Die Höhenvariabilität einer Sedimentoberfläche – über den Einfluß hydrographischer Parameter auf morphologische Veränderungen in der Unterelbe

Von Hans-Joachim Dammschneider

Zusammenfassung

Im Bereich der Insel Rhinplatte (Unterelbe) wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren kontinuierlich Messungen der mikromorphologischen Veränderlichkeit von Sedimentniveaus durchgeführt. Bewertet wurde die quantitative Entwicklung unterschiedlicher Standorte (Erosion/Sedimentation differierender Materialqualitäten). Parallel dazu wurden anhand übergeordneter, zeitlich hochauflösender hydrographischer Parameter zuordnungsfähige lokalspezifisch-morphodynamische Abhängigkeiten und Wechselwirkungsmuster gesucht.

Ziel war es, hinsichtlich der im Mittelpunkt des wasserbaulich-verkehrstechnischen Interesses stehenden Unterhaltungs-Baggermengen festzustellen, in welchem Umfang und aufgrund welcher

systemimanenten Steuerelemente Sediment (Baggergut) zeitweise "mobilisiert" wird.

Im Ergebnis zeigt sich, daß im Schlickareal der Insel Rhinplatte eine eindeutige quantitative Korrelation zwischen der Sedimentniveauentwicklung und Oberwasserveränderung besteht. Demgegenüber wird bei anstehendem Sand der Materialumsatz primär durch die Veränderlichkeit von Ebb- und Flutdauer bzw. die Varianz des Verhältnisses von Ebb- zu Flutdauer geprägt. Weiterhin kann überschlägig dokumentiert werden, welche Wechselwirkungen zwischen den natürlichen Schwankungen der übergeordneten Hydrographie des Oberwassers bzw. der astronomischen Tide einerseits und lokalen Sekundärparametern wie Salzgehalt, Strömungsgeschwindigkeit oder Wasserstand andererseits zu erwarten sind.

Insgesamt wird deutlich, daß innerhalb des morphodynamischen Systems der Unterelbe dominante bzw. prägende Faktoren bestehen, deren Wirkungsgrößen aus der Summe der natürlichen Interdependenzen extrahiert werden können. In diesem Sinne wäre es hinsichtlich der kurzfristigen Verfügbarkeitsplanung von Baggerkapazitäten interessant, Wahrscheinlichkeiten

morphologischer Trends kybernetisch zu prognostizieren.

Summary

Two years of continuous measurements of micro-morphological elevation changes have been conducted in the vicinity of Rhinplatte Island (Lower Elbe). A quantitative evaluation of the erosion and sedimentation volumes for different qualities of material was made. An attempt was made to determine a correlation between the local observed phenomena and the detailed hydrographic data which was simultaneously measured.

The primary goal was to determine to what extent and under what conditions it is possible to

mobilize the sediment in order to reduce dredging costs.

The results show that for mud deposits there is a definite correlation between the sediment levels and the river flow rates. On the other hand, sand heights are primarily influenced by changes in the duration of ebb and flood tides i.e. the variance in the ratio between the ebb and flood tide durations. An additional documentation of the interaction between natural variations of primary parameters such as the river flow rate and the astronomical tide and local secondary parameters, such as water levels, flow velocity and salt concentrations could be made.

It is apparent, that the influence of dominant factors can be seen in the interaction within the morphological systems of the lower Elbe. It would therefore be of interest to predict the probability of morphological trends using computers in order to aid in the planning of deposition areas.

Inhalt

1.	1. Einleitung	 	 		 	232
2.	2. Integrierende Meßstrategie – ein kybernetischer Ansatz	 	 		 	233
3.	3. Anwendung und Ergebnisse	 	 		 	236
	3.1 Meßstrategie					
	3.2 Untersuchungsraum und Standortqualität	 	 		 	239
	3.3 Meßaufbau	 	 		 	242
	3.4 Oberwasser und Schlickniveauveränderungen	 	 		 	244
	3.5 Tidedauer, Sandniveau und Baggertrend	 	 		 	250
4.	4. Fazit	 	 		 	254
	Schriftenverzeichnis					257

1. Einleitung

Unterhaltsbaggerungen in Fahrrinnen gehören seit Bestehen definierter Ausbautiefen beinahe zum täglichen Betrieb der ästuarinen deutschen Seeschiffahrtsstraßen. Auch bei Betrachtung des über 100 km langen Schiffahrtsweges der Elbe zwischen Cuxhaven und Hamburg finden sich immerwiederkehrend Streckenabschnitte, die von umfangreichen Eintreibungen bzw. Untiefenbildungen betroffen werden. Der dafür verantwortliche natürliche Materialtransport bzw. die naturbedingte Materialumlagerung ist in nicht kanalisierten Gewässern wie der Unterelbe ein morphodynamisch unvermeidlicher und in diesem Sinne "normaler" Vorgang. Andererseits ist er aus nautischer Sicht unerfreulich bzw. verkehrstechnisch kostenintensiv, denn der Eintritt solcher Fahrwassermindertiefen verursacht sowohl in der laufenden Peilarbeit (vorsorgende Tiefenkontrolle) als auch im Betrieb von Baggerfahrzeugen (Wiederherstellung der garantierten Solltiefen) eine aufwendige Logistik.

Leider kann mit dem derzeitigen Stand der Erkenntnis keine Prognose über das zeitliche Auftreten von Eintreibungen gestellt werden. Struktur und Bewegungsablauf von großräumigen natürlichen Materialumlagerungen sowie die Ablaufmuster räumlich begrenzter Untiefenbildungen (beispielsweise "influviale Schwemmfächer", Dammschneider, 1986a) sind bis auf wenige, mehr allgemeine Hinweise weitestgehend unbekannt. Besonders die potentielle, zeitabhängige Beziehung zwischen der übergeordneten Hydrographie des Oberwassers und dem lokalen Sedimentverhalten im unteren Tideregime der Unterelbe wurde bisher nur sehr pauschal betrachtet (Lucht, 1953; Rohde, 1974). Korrelationsmuster zwischen veränderlichen Tideparametern (Tidedauer etc.) und dem quantitativen Verhalten des Sohlensediments sind darüber hinaus kaum erforscht.

Die vorliegende Abhandlung wird sich deshalb in angewandter Form mit dem Problem des Nachweises der Wirksamkeit von Oberwasservariationen und Schwankungen der Tidezyklen auf das morphologisch-quantitative Regime der Unterelbe befassen. Dies schließt die Beschreibung eines Weges ein, mit dem ein morphologisch-regionaler Detailtrend erfaßt werden kann. Unter Beachtung der praktischen Aufgabenstellung soll mittels

- 1. unmittelbarer mikromorphologischer Messungen am Sediment in einer
- 2. wasserbaulich-baggertechnisch "kritischen" Lokalität ein
- nachvollziehbarer Bezug zur parallel gemessenen übergeordneten hydrographischen Größe des "Oberwassers" bzw. des "Tidezyklus"

hergestellt werden.

Ziel ist es, praktisch verwertbare Interdependenzen aufzuzeigen, die es letztendlich erlauben, gewisse Prognosen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des zeitlichen Eintritts von Sedimentation und Erosion zu stellen. Profitieren soll davon der Einsatz von Baggerfahr-

zeugen, indem Trends zu potentiellem Fahrrinneneintrieb mittels hydrographischer Parameter "vorhergesagt" werden.

Entsprechend dieser Zielansprache ist nach Auffassung des Verfassers eine vergleichsweise erweiterte Untersuchungsstrategie notwendig. Denn zur Problemdeutung bestehender Baggerstellen reicht es zukünftig nicht mehr aus, isolierte faktorielle (einzelelementbezogene) Naturuntersuchungen, wie z.B. Strömungsmessungen, durchzuführen. Zunehmend wichtiger (und Dank leistungsfähiger Datenverarbeitung auch erst möglich) wird die zusammenfassend-nalytische Betrachtung möglichst vieler gleichzeitig (synoptisch) in der Natur gewonnener Daten. Kurzgesagt, es scheint sinnvoll, über eine Systemanalyse zur expost-Prognose nachzudenken.

2. Integrierende Meßstrategie - ein kybernetischer Ansatz

Auf der mit dem Stichwort "Systemanalyse" angerissenen Meßphilosophie lastet allerdings nach wie vor ein sehr gewichtiges Erkenntnisdefizit. Denn Beziehungsmuster zwischen übergeordneten hydrographischen Faktoren der Elbe (Oberwasser/Tidedauer etc.) und lokalspezifischen Veränderungen der Morphologie, welche eine Baggerstelle als vorübergehender Akkumulationsschwerpunkt massiv typisiert, können bisher nur unbefriedigend qualitativ und so gut wie gar nicht quantitativ beschrieben werden.

Grundsätzlich ist in der Unterelbe zwar ein Einfluß des Oberwassers (= Primärfaktor) auf die allgemeine Materialbilanz (= sekundäre Systemgruppe) nachweisbar (ROHDE, 1974). Allerdings besteht das Problem, daß die dazu bisher erkannten Teilbeziehungen zwar einfach erscheinen mögen, beispielsweise jene zwischen Oberwasser und Strömungsgeschwindigkeit (VOLLMERS und WOLF, 1969), jedoch in Wahrheit die Vernetzung des zugrundeliegenden Wirkungsgefüges außerordentlich komplex gestaltet ist.

Denn grundsätzlich handelt es sich bei allen Oberwasser-"Abhängigkeiten" nicht um eine unmittelbare Wirkung "des" Oberwassers, sondern um einen mittelbaren Effekt, ausgelöst von einer durch die jeweilige Oberwassermenge hervorgerufenen unterschiedlichen Füllung des oberen Tidebereiches. Anders gesagt: die der Oberwasserführung entsprechend variierende Flutraumänderung der Oberelbe (Bereich Wehr Geesthacht-Hamburg) wirkt in Form einer Veränderung/Verformung der Tidewelle flußabwärts bis in den äußeren Bereich des Elbeästuars.

Dies geschieht zu einem großen Teil über abhängige Parameter, wovon einer der wesentlichen die relative Veränderung des Wasserspiegelgefälles ist. Letzteres bestimmt in Folge die Strömungsgeschwindigkeiten (Gefälle-Gradient).

Das bedeutet natürlich eine außerordentliche Verkomplizierung der häufig nur als Einfach-Abhängigkeit gesehenen Verbindung zwischen "Oberwasser" einerseits und "der" morphologischen Veränderung andererseits.

Nachfolgend dazu ein unvollständiges und simplifizierendes, weil vor allem zunächst die astronomischen Einflüsse ausklammerndes Fließdiagramm-Konzept. Es demonstriert den kybernetischen Ansatz (und roten Faden) der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich des Wirkungsgefüges zwischen "Oberwasser" und "Unterelbe-Baggermenge":

Es wird ersichtlich, weshalb die Oberwassermenge des Tideflusses Elbe einen prägenden Einfluß auf die Veränderlichkeit von Baggermengen haben muß – sie steuert im Endeffekt über diverse sich unterscheidende Wirkpfade das lokale Sedimentniveau maßgebend mit.

Das vorstehende Beispiel vernachlässigt des besseren Verständnisses wegen noch weitestgehend das Subsystem "Tidezyklus".

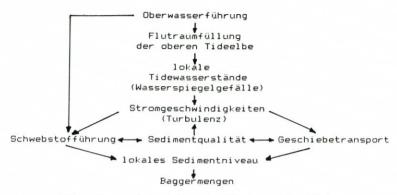


Abb. 1: Kybernetisches Schema der Oberwasserabhängigkeiten

Es ist klar, daß die Variation der Tiden nicht nur die Wasserstandshöhen, sondern auch die Dauer einer Ebb- bzw. Flutphase umfaßt. Beide Faktoren, Höhe wie Dauer einer Tide, sind gekoppelt mit der Veränderlichkeit der Strömungsgeschwindigkeiten und werden vom Oberwasser modifiziert (siehe Abb. 1). Nachfolgend dazu zwei typische Beispiele, die das Bild kybernetischer System-Kopplungen und damit die Komplexität einer Analyse von Beziehungsmustern zwischen "Oberwasser" (beeinflußt Wasserstand bzw. Tide), "Tide" (modifiziert den Faktor Strömung) und "Morphologie" (wird vom Faktor Strömung geprägt) etwas transparenter machen sollen.

Bekannt ist, daß die Ebbstromgeschwindigkeiten nicht nur in Abhängigkeit vom Wasserstand variieren, sondern (zwingenderweise) auch mit der jeweiligen astronomischen Ebbdauer korrespondieren. Am Beispiel einer Meßstelle bei Rhinplatte (km 672,5) kann gezeigt werden, daß eine veränderlich große Ebbwassermenge zu bestimmten Zeiten in 440 Minuten, zu anderen Zeiten in nur 390 Minuten (beispielhafte Größenordnung) durch das Unterelbe-Profil transportiert wird.

Wie die Abb. 2 zeigt, kann dabei die astronomisch bedingte Schwankungsbreite der mittleren Ebbstromgeschwindigkeiten mehr als 50 % betragen, die Varianz der Ebbdauer-überschüsse im Beobachtungszeitraum mehr als 60 Minuten innerhalb weniger Tage erreichen*)! Wichtig ist, daß beide Faktoren dergestalt in einem systematischen Zusammenhang stehen, daß mit Zunahme des Ebbdauerüberschusses tendenziell auch die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten ansteigen.

Um den kurzen Einblick in beispielhafte Systemkopplungen um ein zweites Beispiel zu ergänzen, seien auch die Abhängigkeiten zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Wasserstand (Thw/Tnw) erwähnt.

Wie die Abbildung 3 exemplarisch zeigt, weichen die registrierten Thw am Pegel Glückstadt gleichgerichtet signifikant vom MThw ab, wie auch die mittleren Ebbstromgeschwindigkeiten eine "Schwingung" in ihrem zeitlichen Verlauf zeigen. Nach Langzeitmessungen besteht im Unterelbebereich bei Rhinplatte ein Bezug zwischen den Tide-Hochwasserständen (Thw) und den mittleren Ebbegeschwindigkeiten (v_{me}) in der Form, daß bei Thw > MThw Ebbgeschwindigkeiten > 65 cm/sec vorherrschen, während bei Thw < MThw

^{*)} Beispiel Meßstelle Rhinplatte Süd, km 671,5, nördlicher Fahrwasserrand, 1 m unter Wasseroberfläche: mittlere Ebbstromgeschwindigkeit am 2.11. 1988 = 50 cm/sec; mittlere Ebbstromgeschwindigkeit am 7.11. 1988 = 75 cm/sec; Ebbdauerunterschied = 25 Minuten, Oberwasserführung = 406 bzw. 410 m³/sec; Windrichtung und -stärke an beiden Tagen = "West, 2 Beaufort".

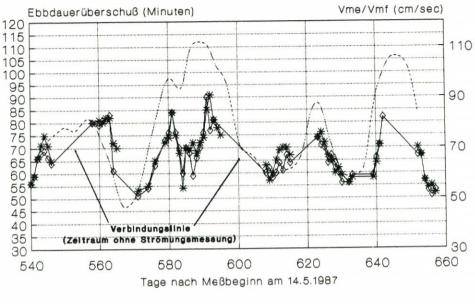


Abb. 2

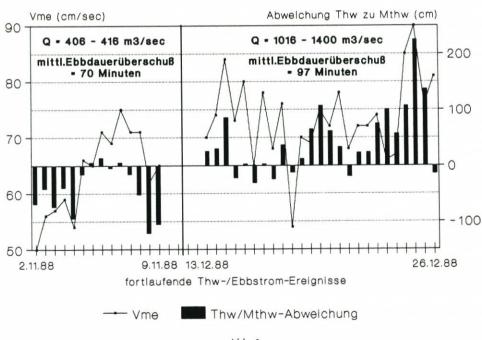


Abb. 3

Ebbgeschwindigkeiten < 65 cm/sec zu beobachten sind (Meßstelle Elb-km 672,5, nördlicher Tonnenstrich).

Diese Korrelation sagt noch nichts über die eigentliche Ursache der Abweichungen des Thw vom MThw aus. Über die unbestreitbare Wirksamkeit der Astronomie hinaus (siehe vorstehend) sollte jedoch auch das Oberwasser im Raum Glückstadt (indirekt, siehe Abbildung 1) noch einen spürbaren "Einfluß" besitzen – ungeachtet einer Distanz zur Tidegrenze bei Geesthacht von 91 km (siehe dazu HINRICHSEN, 1989).

Trotz der notgedrungen stark vereinfachenden und exemplarisch-verkürzten Darstellung von zwei typischen Systemverflechtungsmustern kann zusammenfassend festgestellt werden, daß das primäre analytische Problem des angewandten coastal-engeneering darin besteht, daß bisher kein eindeutiger Bezug zwischen

- a) dem konkreten und objektiv faßbaren Faktor Oberwasser (m³ pro Zeiteinheit) bzw. Tidedauer (in Minuten) einerseits
- b) dem räumlich differenzierten und quantitativ schwer auflösbaren Faktor Morphologie andererseits (Tiefe in dm unter/über Bezugshorizont pro Flächeneinheit) hergestellt werden konnte.

Dabei wäre dies außerordentlich wünschenswert, könnte doch stärker als bisher von (im Unterschied zum Faktor Strömung) permanent leicht verfügbaren und relativ präzisen Zahlen wie Tidedauer oder Oberwasserführung ausgehend, eine gewisse Abschätzung potentieller morphologischer Trends, sprich die Wahrscheinlichkeit der Untiefenbildungen im Fahrrinnenbereich, vorgenommen werden.

Ohne an dieser Stelle weiter auf vom Verfasser angestellte kybernetische Überlegungen einzugehen, soll versuchsweise ein Weg beschritten werden, der sowohl einen lokalen morphologischen Trend eindeutig und handhabbar beschreibt als diesen auch mit leicht verfügbaren hydrographischen Parametern korreliert und begründet. Der Kernsatz lautet:

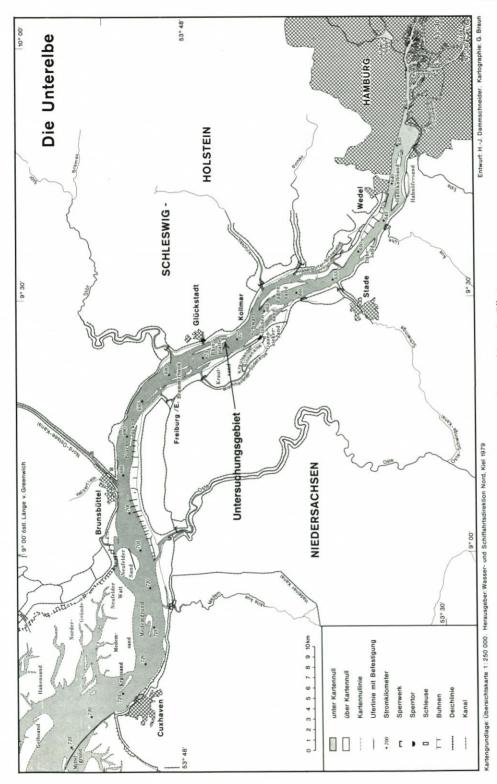
Aufnahme eines sogenannten "integrierenden" und meßtechnisch exakt auflösbaren morphologischen Faktors, dessen Wertvariabilität in ableitbarem bzw. statistisch quantifizierbarem Bezug zur Veränderlichkeit der hochauflösenden (täglichen) Indikatoren "Oberwasser" und "Tide" (-dauer) steht und gleichzeitig einen konkreten räumlichen Bezug besitzt.

Dies bedeutet nichts anderes, als daß ersatzweise für den raumdeckend nur außerordentlich schwierig meßbaren Faktor "Strömung", der im Längsprofil exakt errechenbare Tideparameter "Ebbdauerüberschuß" gewählt wird. Dies ermöglicht die räumliche und zeitliche Zuordnung von Hydrologie (Oberwasser/Tide) und Morphologie (Sedimentation). Beide werden miteinander "im System" in ihrer Reaktion aufeinander verständlich. Dies wiederum soll tiefergehende Einblicke in Ursache und Wirkung des Eintritts von regionalen Mindertiefen, d. h. die Entstehung von Baggernotwendigkeiten, geben.

3. Anwendung und Ergebnisse

3.1 Meßstrategie

Im Mittelpunkt der exemplarischen Untersuchung steht der Systemkomplex "lokale mikromorphologische Sedimentbilanz". Als Testgebiet ausgewählt wurde der Unterelbebereich bei der Insel Rhinplatte (Lage siehe Karte 1). Letzteres entspricht im Kern dem eigentlichen (anwendungsbezogenen) Problem, nämlich der Untersuchung einer Massenver-



Karte 1: Lage des Untersuchungsgebietes im Elbeästuar

änderung von Sediment im Bereich einer kritischen Unterelbe-Baggerstelle (siehe DAMM-SCHNEIDER, 1986a).

Die quantifizierte "Mikromorphologie" ist dabei ein hochintegrierender (bei geeigneter Ortswahl weitestgehend unselbständiger) Faktor im Gesamtkomplex der Tidedynamik. Denn: er weist im Unterschied zur direkten Schwebstofführung des Wasserkörpers (siehe Abb. 4 der räumlich und zeitlich stark wechselnden Trübungswolken unterschiedlicher Intensität) eine gewisse Trägheit auf und ist deshalb gegen Extremwerte gedämpft.



Die Frage, die sich sofort stellt, ist: Wie kann die sogenannte "lokale mikromorphologische Sedimentbilanz" am besten und genauesten aufgenommen werden, um dem gestellten systemanalytischen Anspruch gerecht zu werden? Nach Ansicht des Verfassers liegt die Lösung in einer über die Zeit kontinuierlichen Messung der Feinniveauunterschiede im Bereich eines räumlich definierten (anwendungsbezogen "kritischen") Sohlenareals. Die Begriffe Mikromorphologie bzw. die morphologischen Feinniveauunterschiede bedeuten, daß morphologische Veränderungen der Größenordnung ≤ 10 mm aufgenommen werden und deren zeitliche Entwicklung in möglichst kurzen Abständen festgehalten wird. Parallel müssen in mindestens gleicher zeitlicher Auflösung die Veränderungen des Oberwassers bzw. die Variabilität der Tiden erfaßt werden.

Die zeitlich fortlaufende Feinniveaumessung eines Sohlenbereiches ist eine bereits von Führböter (1979) postulierte Methode, die auf sensible Weise zeitliche Einflüsse auf die Sohle erfassen kann. Zum jetzigen Zeitpunkt muß jedoch festgestellt werden, daß für den Raumkörper unter KN kein geeignetes Unterwasser-Instrumentarium zur Verfügung steht, denn die von Manzenrieder und Witte (1986) entwickelten Sensortypen (analoger und digitaler Sandstandspegel) waren zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht für Tiefwasserregionen geeignet.

Aus diesem Grunde soll im ersten Ansatz auf einen periodisch trockenfallenden Wattenbereich ausgewichen werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß überregionale hydrologische Systemeinflüsse in ihrer Wirkung auf die Mikromorphologie sowohl im Wattenbereich als auch im Tiefwasser in gewissem Maße parallel verlaufen. Dies ist speziell für den hydrographisch übergeordneten Faktor "Oberwasser" zulässig, da der potentielle Einfluß aus großräumiger Entfernung mit der Folge einer ausgeglichenen Wirkungsverteilung, d. h. gleichgerichtet im gesamten Regime (Querprofil) eines geographisch begrenzten Raumes, erfolgt.

Das bedeutet, daß bei Bestehen eines oberwasserabhängigen morphodynamischen Trends, der inhaltlich-quantitativ betrachtet zur Sedimentation bzw. Erosion führt (= Veränderung der Zusammensetzung und Verrechnung maßgeblicher oberwasserabhängiger hydrographischer Parameter zugunsten/zulasten eines definierten Mikroreliefs), dieser im Wattenbereich ebenso als Niveauanhebung oder -absenkung ablesbar ist, wie er im Tiefwasser "positiv" auf die Entwicklung der Sedimentbilanz wirkt. Der Unterschied zwischen Tief- und Flachwasser- bzw. Wattbereich besteht nur darin, daß im Tiefwasser (bzw. Wasser allgemein) bisher keine Meßmethodik ausreichender, d. h. die Morphologie hochauflösender, Sensibilität verfügbar ist, während im trockenfallenden, d. h. der Anschauungserfahrung unterliegenden, Watt mittels genauester Quantifizierungsmessungen morphologische Detailtrendaussagen möglich sein sollten.

Andererseits verlangt diese Annahme jedoch keineswegs, daß eine insgesamt "positive" Materialbilanz bzw. eine Wattflächenanhebung auch kurzfristige "Mindertiefenbildung" im Fahrwasserbereich des Tideflusses nach sich zieht – dazu sind das Strömungsverhalten und die natürliche Umlagerung in beiden Subsystemen zu differenziert. Allerdings sollten im mittelfristigen Trend (!) beide morphologischen Segmente des Systems "Flußsohle" vergleichbar sein. Die Betrachtung der zeitlichen Baggermengenentwicklung kann dazu Aussagen erlauben.

Hinsichtlich der Vergleichsfaktoren "Tide" und "Oberwasser" bestehen in der Elbe keine Meßprobleme.

Das Oberwasser wird mit mehr als ausreichender Genauigkeit im Oberelbeprofil bei Neu Darchau (km 536,44) täglich bestimmt. Zwar liegen nur überschlägige Erfahrungswerte für das unterstromige "Eintreffen" eines Oberwasserimpulses vor, jedoch ist dies für die nachfolgenden Auswertungen kein wirkliches Handicap, da die (momentane) zeitliche Auflösung ohnehin nur Trendanalysen erlaubt.

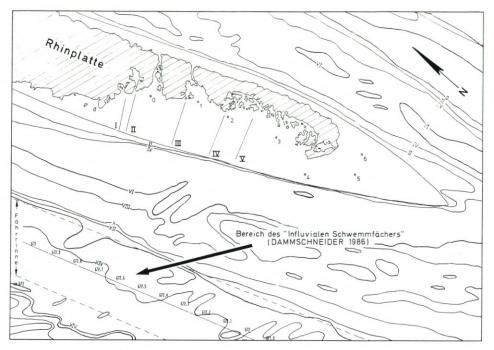
Der Faktor "Tide" läßt sich in der Unterelbe qualitativ und, aufgrund des dichten Netzes an Pegelanlagen, auch räumlich sehr präzise fassen. Lokale morphologische Veränderungen können deshalb jeweils mit Hilfe der Wasserstandsstatistik des nächstgelegenen Pegels analysiert werden. Für den Bereich der Insel Rhinplatte ist dies der Pegel Glückstadt (Elb-km 674,3 = 1500 m unterstromig des Untersuchungsgebietes).

3.2 Untersuchungsraum und Standortqualität

Hinsichtlich der vorgesehenen Meßstrategie ist es notwendig, innerhalb des Großbereiches "Rhinplatte" eine (Watt-)Meßlokalität zu wählen, die bei

- a) Zugehörigkeit zum maßgebenden dynamischen System der Hauptelbe
- b) unter möglichst geringer anthropogener Beeinflussung steht.

Gewählt wurde das bei Niedrigwasser zugängliche Wattareal im südlichen Bereich der Insel Rhinplatte (Elb-km 671,8–672,8, siehe Karte 2). Wie es die Zielvorgabe fordert, befindet sich dieses Meßgebiet in unmittelbarer Nachbarschaft zu einer der intensivsten Baggerstellen der



Karte 2: Meßstellenverteilung und Unterwasser-Morphologie im Bereich Rhinplatte Süd.

1 = Sediment-Meßstelle Nr. 1

I = Schlickprofil Nr. I

= Vegetationsbereich (Schilf)

Unterelbe (siehe Dammschneider, 1986a) – die Querprofilentfernung zur Fahrrinnen-Eintriebstelle bei km 671-km 673 beträgt nur rd. 350 m.

Es wurden insgesamt sieben Meßstellen eingerichtet, deren räumliche Verteilung die Karte 2 wiedergibt. Das Luftbild (Abb. 5) zeigt darüber hinaus, in welcher Form die Qualität des anstehenden Sedimentes variiert: Im Bereich der eigentlichen Inselspitze befindet sich ein Sandwatt, während in unterstromiger Verlängerung (im Schutz des Vegetationsgürtels) ein Schlickwatt vorliegt.

Aufgrund des Leitdammschutzes zum Hauptfahrwasser der Elbe sowie einer halbseitigen Ummantelung mit Schilfvegetation ist besonders im Schlickwatt bei insgesamt relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten eine gute Abschirmung gegenüber Wellen/Windwellen und störenden Schiffsschwelleinflüssen gewährleistet – ohne Frage Gründe, weshalb hier überhaupt eine Ton- und Schluffsedimentation stattfindet.

Das Sandwatt befindet sich in erheblich exponierterer Lage; vor allem der Faktor "Strömung" ist hier prägnanter als im Schlickwattbereich. Aufgrund des besonders nach Kenterpunkt Ebbe bzw. Flut gegebenen Quergefälles zwischen Haupt- und Nebenelbe kommt es zu spürbaren Überströmungen des Sandwatts.

Im Vergleich zu Messungen, die in links- oder rechtselbischen Uferwatten durchgeführt werden, besitzt die Insel Rhinplatte einen unschätzbaren Vorteil: Ihre Zugänglichkeit für Mensch und Tier ist außerordentlich schlecht. Nicht einmal der unentwegteste Paddler oder Sportschiffer landet hier an, so daß eine anthropogene, aber auch animalische Fremdirritation an allen Meßstellen so gut wie ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus sind alle



Abb. 5

Meßstellen auf Rhinplatte "mitten im Strom" und in voller Zugehörigkeit zum hydrologischen System der Hauptelbe zu sehen – eine nach BÜDEL (1969) fast schon optimale "Versuchsanordnung der Natur".

Letzterer Begriff kann übertragen auch für die Auswahl der in vorliegender Abhandlung kommentierten Meßstellen herangezogen werden. Denn für die darzustellenden Systeminterdependenzen haben sich zwei von insgesamt sieben Meßpunkten als besonders geeignet erwiesen: Das Schlickwatt wird typisiert durch die Meßstelle 0, das Sandwatt durch die Meßstelle 5 (siehe Karte 2) repräsentiert.

Bei der Auswahl gerade dieser zwei Punkte liegen die Erfahrungswerte aus einer 21monatigen Zeitreihe (Stand: Dezember 1988) zugrunde. Dieser Zeitraum reicht aus, um klar feststellen zu können, daß hinsichtlich der natürlichen Beziehungsmuster deutliche raumrelevante Unterschiede bestehen.

Das heißt natürlich nicht, daß nicht innerhalb des zu betrachtenden Systems alle Faktoren an jedem Ort faktengebend mitwirken, jedoch ist deren Ausprägung (Dominanz) räumlich unterschiedlich verteilt. In diesem Sinne muß nach momentanem Stand der Analysemethoden zunächst jener Meßpunkt gefunden werden, an dem möglichst eindeutige Beziehungen zwischen definierten Parametern erkennbar (!) und deshalb deutbar werden.

Dies ist der erste Schritt der Systemanalyse; der zweite (ungleich schwierigere) ist die Analyse aller Beziehungsmuster an allen Orten ohne wertmäßige Selektierung von Primäroder Sekundär-Faktoren.

Hinsichtlich der zwei nach der Materialansprache unterschiedlichen Meßareale gilt folgendes: Schlick beinhaltet stofflich aufgrund des Hauptbestandteils "Ton und Schluff"

sowie "organische Partikel", daß gerade durch jene innerhalb des gesamten Wasserkörpers transportierten sedimentären Feinstanteile des Schwebs/der Suspensionsfracht eine Reaktion auf unmittelbare hydrographische Komplexveränderungen gegeben ist, während "Sand" bzw. "Geschiebe" als überwiegend grenzschichtbe wegtes Material mehr einen vom "Rand"-Bereich des Wasserkörpers tangierten Indikator liefert.

Die Kornspektren lagen bei der Schlickmeßstelle (Position 0) i. M. bei einem dg von 0,08 mm, bei der Sandmeßstelle (Position 5) um einen dg von i. M. 0,3 mm. Theoretisch verlangt die HJULSTRÖM-Kurve eine Erodierbarkeit des anzutreffenden Sandes ab einer Strömungsgeschwindigkeit von 25 cm/sec, des im Meßareal vorliegenden Schlicks ab 40 cm/sec. Messungen im Bereich des Schlickareals (Sohle) ergaben, daß hier (je nach Örtlichkeit) v_{max}-Geschwindigkeiten von 13 cm/sec bis 28 cm/sec auftreten, während im Sandareal die v_{max}-Geschwindigkeiten bei rd. 30 bis 50 cm/sec liegen.

Die je nach Basishöhe des Meßpunktes lokal unterschiedlich lange Überströmdauer ist grundsätzlich im tiefergelegenen Sandareal ausgedehnter (Position 5 = NN - 0.4 m; mittlere Stromdauer rd. 9,5 Stunden) als im relativ höhergelegenen Schlickareal (Position 0 = 0.6 m NN; mittlere Stromdauer rd. 5 Stunden).

3.3 Meßaufbau

Die für das mikromorphologische Untersuchungsprogramm gewählte Meßeinrichtung besteht je Standort aus einem sehr kleinen Stahlstab (siehe Abb. 6), der, obwohl außerordentlich einfach konstruiert, die Quintessenz zur ungestörten Sedimentniveau- und, ergänzend, Schlickmächtigkeitsmessung darstellt. Der Grund für die Wahl eines solchen Einfach-Gerätes liegt in der jedem großvolumigeren Meßobjekt anhängenden Gefahr zur Ausbildung von Kolken bzw. Strömungsirritationen im Umfeld der Meßstelle. Der dünne Stahlstab mit einem Durchmesser von 10 mm hingegen löst praktisch keine Veränderungen im Schlickumfeld aus.

Nachteil dieser Einfachkonstruktion ist allerdings, daß eine manuelle Datenerfassung stattfinden muß, die zudem nur in einem Zeitintervall von Tagen erfolgen kann. Hier wäre theoretisch der digitale Sandstandspegel nach Manzenrieder und Witte (1986) einsetzbar gewesen. Unter Berücksichtigung des Materials "Schlick" (Verklebungsgefahr der optischen Öffnungen), der relativ zu großen Dimension des Meßrohres (10 cm Durchmesser = Kolkausbildung) und des kostenintensiven/elektronisch-sensiblen Apparateaufbaus schien für einen Dauereinsatz (ununterbrochen bisher mehr als 600 Tage) die gewählte Konstruktion trotz leichter theoretischer Nachteile in der Höhenauflösung sinnvoller*).

Die Meßpfähle wurden am 30.4. 1987 bei Niedrigwasser gesetzt und in den folgenden Monaten mehrfach per Nivellement auf (tatsächlich gegebene) Höhenstabilität kontrolliert. Auf den Meßpfählen wurden Niveaumarkierungen angebracht, die zur Ablesung der Schlickoberflächenverhältnisse dienten.

Gemessen wurde im Abstand von i. M. 10 Tagen und zwar

- a) das relative Niveau der Sedimentoberfläche, bezogen auf den Pfahltop bzw. NN und im Bereich des Schlickfeldes
- b) die Schlickmächtigkeit.

Letzteres wurde ab dem 14.5. 1987 mit einem besonderen, eigenentwickelten Meßstock

^{*)} Anmerkung: Für die Zukunft wäre ein automatisch arbeitender akustischer Sandstandspegel mit einer Sedimentniveau-Höhenauflösung < 1 cm und analoger bzw. digitaler Datenaufzeichnung denkbar.

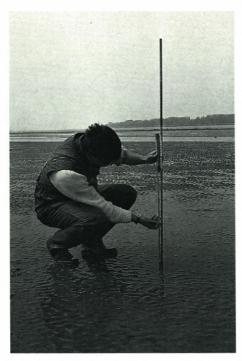


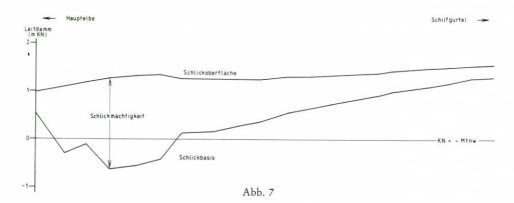
Abb. 6

vollzogen, der an der Spitze eine Kugel mit einem Durchmesser von 6 cm besitzt. Dieser Stock wurde je Messung per Handdruck (und unter Berücksichtigung eines vom Meßgehilfen zu beherrschenden "Drehmoments") in den Schlick gepreßt, bis beim Erreichen eines festen Widerstandes eine weitere Absenkung des Stockes unmöglich war. Abgelesen wurde am Meßstock der Abstand 'fester Untergrund' – 'Schlickoberfläche'. Die Wiederholbarkeitsgenauigkeit einer solchen Messung ist trotz eigener ursprünglicher Bedenken recht gut, da der Dichtesprung zwischen lockerem Schlick und unterlagerndem Sand immer sehr ausgeprägt war.

Unter Berücksichtigung, daß die Messungen seit dem April 1987 ohne Unterbrechung (ein Eiswinter fand nicht statt) durchgeführt wurden, waren die Messungen für die Meßgehilfen eine körperlich anstrengende Arbeit, da die Positionen zu Fuß angelaufen werden mußten und auf diesem Wege die zu durchschreitenden Schlickmächtigkeiten teilweise bis zu mehr als 60 cm anwuchsen.

Die fahrwasserseitige Kante des Schlickgebietes weist natürlich noch weit höhere Schlickmächtigkeiten auf. Dort wurde am 17.9. 1987 vom Boot aus in fünf Profillinien (Lage siehe Karte 2, Beispiel siehe Abb. 7) die Schlickmächtigkeit ausgemessen, indem eine Peilstange niedergebracht wurde. Diese Peilstange besitzt ebenso wie die kleinere Handmeßlatte einen 6 cm großen Kopf. Weiterhin hat diese Stange jedoch die Besonderheit, daß sie von außen mit einem Klettband umkleidet ist, welches das durchteufte Material an die Stange bindet. Dadurch kann die Grenzschicht zwischen Schlick und Wasser relativ genau (auf 0,5 cm) bestimmt werden. Die maximal gemessene Schlickmächtigkeit (dünnflüssiger Schlick – "fluid mud") betrug immerhin 1,95 m!

Bei einem meßtechnisch bewertenden Vergleich der Sedimenteigenschaften ist "Schlick"



als Indikator für geringste quantitativ-mikromorphologische Veränderungen von allen denkbaren Sedimentzusammensetzungen der idealste, da er bei feinster, d. h. "fließender" Eigenschaft (hoher Wassergehalt/relativ geringe Dichte), die am besten gedämpfte bzw. gepufferte Systemreaktion zeigt. Darüber hinaus bietet Schlick eine sehr präzise Auflösung seiner Grenzschicht, welche hier als Schlickniveau bezeichnet wird.

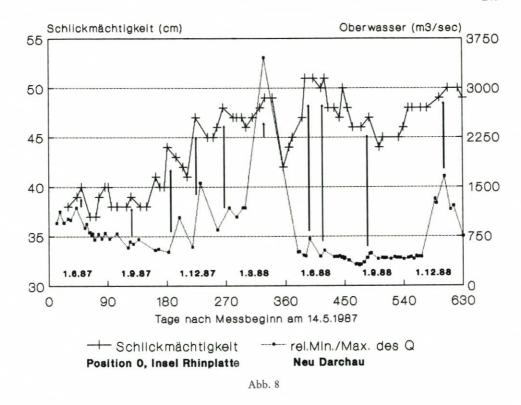
Im Sandwatt wird die exakte Niveaumessung der Sedimentoberfläche durch Riffelbildung erschwert. Da jedoch zu zeigen sein wird, daß die mikromorphologischen Veränderungen im Sandwatt in Größenordnungen ablaufen, die die mögliche Fehlerquote einer Messung deutlich überschreiten, ist auch hier eine problemlose Darstellung der Beziehung zwischen Veränderungen des Sedimentniveaus und der Variabilität hydrologischer Parameter gegeben.

3.4 Oberwasser und Schlickniveauveränderungen

Im Verlauf der Meßkampagne traten sehr starke Unterschiede in der Oberwasserführung der Elbe auf. Während zu Beginn Werte von über 1000 m³/sec gemessen wurden, sank dann unter geringfügigen Ausschlägen bis Herbst 1987 die Wasserführung langsam auf rd. 500 m³/sec ab. Ab Dezember 1987 bis zum Mai 1988 setzte eine Periode langanhaltender kräftiger Oberwasserzunahmen wie auch -abnahmen ein. Das absolute Maximum der Oberwasserführung wurde am 5. 4. 1988 mit 3457 m³/sec erreicht. Ab Juni 1988 bewegte sich die Oberwasserführung dann wieder in mittleren bis unterdurchschnittlichen Größenordnungen bzw. sank am 27. 8. 1988 mit 308 m³/sec auf den geringsten Wert des Meßzeitraums ab. Auch während der Monate September, Oktober und November 1988 blieb das Oberwasser unter dem langjährigen Mittel; es schwankt unerheblich um einen Betrag von rd. 420 m³/sec. Erst Mitte des Monats Dezember 1988 traf wieder eine Hochwasserwelle im Oberelberaum ein. Am 4.1. 1989 wurde nach steilem Anstieg das Maximum von 1655 m³/sec erreicht. Danach setzte ein rapider Abfall ein, der erst Mitte Februar 1989 mit 564 m³/sec seinen Endpunkt fand.

Das Verhalten des Schlickwattsediments, sprich die Veränderung der Schlickmächtigkeit bzw. des Schlickoberflächenniveaus, zeigt bei absoluter Betrachtung bereits gewisse Übereinstimmungen mit der Entwicklung des Oberwassers.

So ist nach Abb. 8 besonders in den ersten 12 Monaten der Meßreihe, d.h. bis April 1989, eine Verlaufsähnlichkeit zwischen Absinken des Oberwassers und Abnahme/Stagnation der Schlickhöhe bzw. Anstieg des Oberwassers und einem Anstieg der Schlickmächtigkeit abzulesen.



Oberwasserveränderung (m3/Tag) Sedimentniveauveränderung (mm) Sediment am Messpunkt : "Schlick" 50 mm 1.12.88 1.12.87 1.3.88 1.6.88 180 540 630 0 90 270 360 450 Tage nach Messbeginn am 14.5.87 + \triangle Q₀ in m³/Tag - \triangle Niveau Position 0 jeweils kumulierter Werteverlauf

Abb. 9

Allerdings sind die Beziehungen nicht zu allen Ereignissen absolut zwingend. Dies ändert sich, wenn man statt der reinen Absolutwerte von Oberwasserführung und Schlickniveau deren Veränderlichkeit über die Zeit kumulativ aufträgt: Die Abb. 9 zeigt überaus deutlich, daß eine sehr enge Kopplung zwischen

- a) der Zunahme/Abnahme des Oberwassers (ausgedrückt als Veränderung in m³ pro Tag) und
- b) der Aufhöhung/Niveauabsenkung der Schlickoberfläche (Veränderung der Niveauhöhe gegen NN in mm)

besteht.

Mit einem gewissen Zeitversatz reagiert tatsächlich und nachweislich das Schlickniveau auf Veränderungen der Oberwasserführung bei Neu-Darchau. Dies geschieht in jedem Fall gleichsinnig, indem bei einem Oberwasseranstieg auch das Schlickniveau ansteigt und bei einem Oberwasserabfall sich ebenfalls das Schlickniveau absenkt!

Die Korrelation ist jedoch nicht nur gleichgerichtet, sondern auch wert- bzw. intensitätsmäßig überraschend ähnlich. Das heißt, besonders ausgeprägte Oberwasserveränderungen (starke Q_0 -Ab- oder Zunahme in wenigen Tagen) "bewirken" auch einen deutlicheren Anbzw. Abfall des Schlickniveaus.

Gut erkennbar wird dieser Zusammenhang am Beispiel des Oberwasseranstiegs im März 1988. Ab 7.3. 1988 steigt innerhalb von 29 Tagen das Oberwasser um 2278 m³ an. Dies ist eine mittlere Steigerung des Abflusses von + 79 m³ pro Tag. Im gleichen Zeitraum erhöht sich das Schlickniveau um 30 mm. Im anschließenden Abfallen des Oberwassers (2952 m³ in 51 Tagen = -58 m³ pro Tag) sinkt mit gleicher Steilheit das Schlickniveau um 20 mm ab. Der "Abstieg" des Schlickniveaus ist jedoch bereits etwas früher beendet als das Absinken des Oberwassers (Grund: Abnahme der Kurvensteilheit im Ausklang der Oberwasserverringerung?).

Die korrelativ aufgetragenen Zeitreihen belegen insgesamt, d.h. nicht nur an vorstehendem Beispiel, daß (über welche Zwischenglieder auch immer) die Akkumulation von Schlick außerordentlich sensibel auf Oberwasserveränderungen reagiert.

Unter Hinweis auf Abschnitt 2 und das dort aufgeführte kybernetische Fließdiagramm muß klar herausgestellt werden, daß Veränderungen des Schlickhaushalts auf Rhinplatte nicht in direkter Kausalfolge einer Oberwasserveränderung gesehen werden dürfen. Dies meint, daß nicht unbedingt mit "mehr" Oberwasser auch "mehr" Feinmaterial von der Oberelbe zur Meßstelle transportiert wird, sondern nur, daß aufgrund der sich oberwasserabhängig ändernden Systemverhältnisse im unteren Tideästuar (!) zeitweise ein Klima entsteht, welches zu verstärkter Absetzung von Schlick führt.

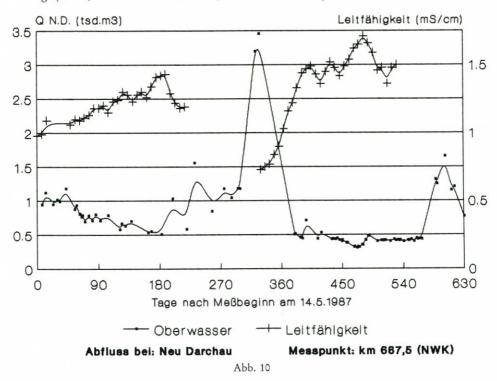
Gänzlich andersartig verläuft die mikromorphologische Umformung im Bereich des Sandwatts. Hier (Meßposition 5) ergibt sich nur ein relativ geringer Bezug zwischen Sedimentniveau- und Oberwasserveränderung. Zwar scheinen besondere Oberwasserereignisse, wie der oben beschriebene Anstieg des Oberelbe-Q₀ im März 1988, auch im Bereich des Sandwatts Wirkung zu zeigen, jedoch kann keine durchgehende Logik (Parallelität) beider Parameter-Reaktionen erkannt werden. Beim Material "Sand" ist im kybernetischen Sinne (Regelkreistheorie) der Faktor "Oberwasser" als ein eher sekundäres Stellglied anzusehen, das zwar "mit"-steuert, jedoch nur modifizierend. Welche Beziehungsmuster hier prägend sind, wird Abschnitt 3.5 zu zeigen haben.

Welches Zwischenglied könnte nun die (belegbare) Abhängigkeit zwischen Oberwasserveränderung und Schlickhaushalt bewirken bzw. auslösen?

Wie Göhren (1966) für die Weser zeigt, kommt u.a. dafür der Faktor "Salzgehalt" in Frage, d.h. die oberwasserabhängige Verschiebung der Brackwasserzone.

Und tatsächlich zeigt die hydrologische Dauermeßstation bei km 667,5 (NWK) die Unterelbe-"Wirksamkeit" von Oberwasserveränderungen, indem eine Korrelation zwischen den fortlaufend aufgezeichneten relativen (täglichen) Leitfähigkeits-Extremwerten (Min.- und Max.-Werte) des Ästuars und der Veränderlichkeit der Oberwasserführung hergestellt werden kann.

Die Abb. 10 belegt, daß allgemein gesehen bei fallendem Oberwasser die Leitfähigkeitswerte ansteigen bzw. mit steigendem Oberwasser die Leitfähigkeitswerte abfallen. Besonders klar kommt dies im Zeitraum April bis Juni 1988 zum Ausdruck, wo bei rapide sinkendem Oberwasser (zwischen dem 5.4. 1988 und dem 25.5. 1988 von 3457 m³/sec auf 505 m³/sec) mit rd. 14tägiger Verzögerung die Leitfähigkeit kontinuierlich und um insgesamt 100 % ansteigt (von 0,7 mS am 8.4. 1988 auf 1,43 mS am 4.6. 1988).



Der Einfluß des Oberwassers auf den Verlauf der Süß-/Brackwassergrenze wird damit in sehr großer Deutlichkeit aufgezeigt. Offen bleibt, ob und wenn in welcher Form Salzgehaltsschwankungen auch für die nach Abb. 9 so enormen Feinunterschiede und -parallelitäten zwischen Oberwasser und Schlickniveauschwankungen verantwortlich sein können.

Die Abbildungen 11 bis 13 werfen ein Schlaglicht auf die Sensibilität, mit der die Brackwasserzone sich innerhalb des Untersuchungsgebietes verlagert: Während bei einer zeitgleichen Längsprofilmessung (Probennahme an Sohle und Oberfläche) das Maximum des Salzgehaltes bei km 679,8 am 26.5. 1988 rd. 500 ppm betrug, liegt der Wert am 10.8. 1988 an gleicher Stelle bei rd. 1600 ppm. Dabei beträgt der Unterschied in der Oberwasserführung zwar nur 123 m³/sec, jedoch ist der 26.5. 1988 exakt am Ende eines steilen Oberwasserabfalls (von 3457 auf 505 m³/sec) zu finden, während am 10.8. 1988 ein seit Wochen andauerndes unterdurchschnittliches Oberwasser von rd. 400 m³/sec herrscht.

Es darf ergänzend hinzugefügt werden, daß die Wetterlagen in beiden Meßzeiträumen ruhig, d. h. in den Vortagen frei von westlichen Starkwinden, waren. Auch die Tidenunterschiede verlaufen an beiden Tagen in ähnlichen Größenordnungen.

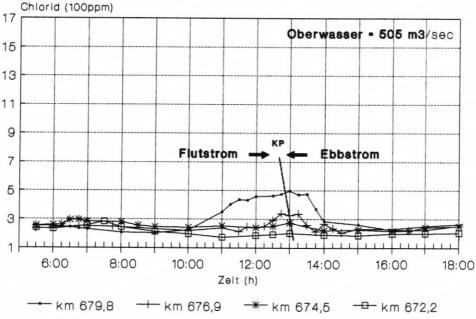


Abb. 11: Salzgehalt der Unterelbe am 26. 05. 1988, sohlennahe Probennahme

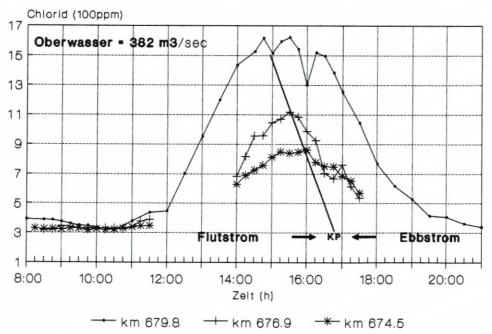


Abb. 12: Salzgehalt der Unterelbe am 10. 08. 1988, sohlennahe Probennahme

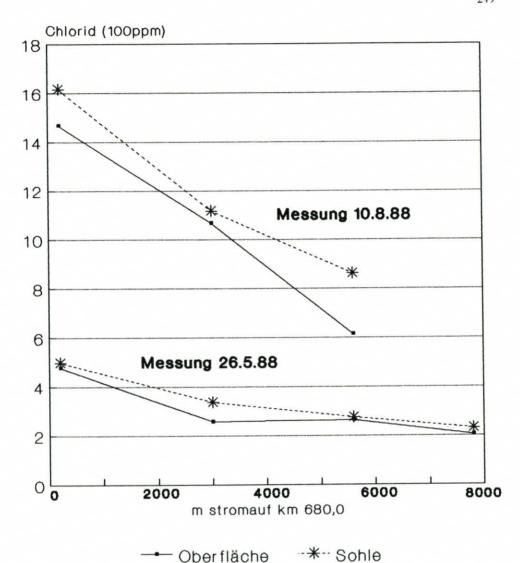


Abb. 13: Salzgehalt bei Kenterpunkt Flut- auf Ebbstrom. Längsprofildarstellung der Messungen vom 26. 5. und 10. 8. 1988, jeweils Oberflächen- und Sohlenbeprobung (Ganglinien siehe Abb. 11 und 12)

Die Meßergebnisse deuten an, daß, bezogen auf das Problem der Analyse mikromorphologischer (Schlickniveau-)Veränderungen, im Bereich der Insel Rhinplatte durchaus eine "Oberwasserabhängigkeit" gegeben ist.

Trotz der Hinweise auf den potentiellen Einfluß der Brackwasserverschiebung kann aber nicht endgültig belegt werden, wie die in Abb. 1 (Abschnitt 2) aufgezeigten hydrologischen Stell- und Zwischenglieder tatsächlich "funktionieren" und ob dies maßgeblich oder sekundär über die räumliche Verschiebung eines chemischen Parameters (des Salzgehaltes) verläuft. Letzterer Faktor steht allerdings im dringenden Verdacht, das Phänomen der oberwassergesteuerten Schlickakkumulation entscheidend mitzubeeinflussen – ein gutes Beispiel kybernetischer Vernetzungen bzw. Systemsteuerung.

Insgesamt belegen die vorstehenden Ergebnisse überaus deutlich, daß es notwendig ist, den Begriff "Sediment" bei einer morphodynamischen Bewertung qualitativ zu definieren. Denn die Veränderlichkeit des Materials "Sand" reagiert im Vergleich zu "Schlick" ganz unterschiedlich. Während hinsichtlich des Schlicks jedoch (unter Berücksichtigung der kybernetischen Zwischenglieder) ein klarer Reaktionsbezug zur Entwicklung des Oberwassers hergestellt werden kann, muß für die Sedimentqualität "Sand" eine andersartige Steuergröße gegeben sein.

3.5 Tidedauer, Sandniveau und Baggertrend

Die Frage ist also: Gibt es Anzeichen dafür, daß auch bei der Sedimentqualität "Sand" ein prägender Systemparameter steuernd die wesentlichen quantitativen Veränderungen "bestimmt"?

Nach dem Oberwasser, das entsprechend der Abb. 14 zwar eine angedeutete aber nicht prägende Beeinflussung des Sandniveaus erkennen läßt, kämen ohne Frage Systemelemente aus dem weiteren Bereich der "Tide" in Betracht.

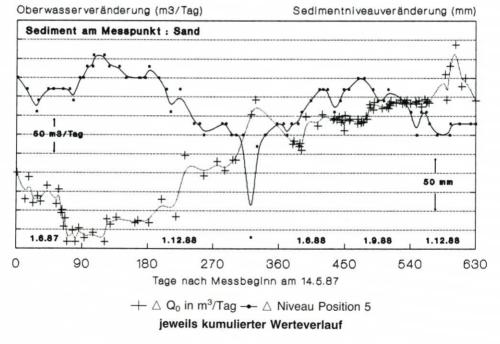


Abb. 14

Ein gewisses Problem ist hier allerdings darin zu sehen, daß bisher dem Verfasser noch keine ausreichend langen Meßreihen "aus dem Wasserkörper" zur Verfügung stehen. Denn eine Strömungsdauermessung konnte erst mit Ende des vorliegenden Untersuchungszeitraums durchgeführt werden, so daß zwar einige interessante Ergebnisse nachfolgend angeführt, jedoch keine unmittelbare Korrelation zu Sedimentveränderungen angestellt werden können.

Verfügbar war hingegen in täglicher (tidenweiser) Auflösung der Faktor "Ebb- und Flutdauer". Er läßt sich leicht aus den Ganglinien bzw. Scheitelwerten des der Untersuchungsstelle nächstgelegenen Pegels Glückstadt extrahieren.

Natürlich ist dies nur ein erster Ansatz, da Ebb- und Flutdauer besser aus Strömungsmessungen abgeleitet werden sollten (Kenterpunktsverschiebung), als aus reinen Thw-/Tnw-Eintrittszeiten. Andererseits besitzt die gewählte Tidenbestimmung den großen Vorteil, daß sie "on-line" aus der Pegeldaten-Fernübertragung bestimmt werden kann.

Der Faktor "Tidendauer" wurde vom Verfasser dahingehend vereinfacht, daß die übergreifenden Mittel des Ebbdauerüberschusses errechnet werden. Dadurch können kurzzeitig wirkende Störgrößen (z.B. rasch durchziehende Windereignisse) gemildert und der maßgebende Trend der Tidendauer, der sich primär aus den Faktoren Oberwasser, Astronomie und Großwetterlage zusammensetzt, deutlicher werden.

Die tatsächliche Kurve der Ebbdauerüberschüsse entspricht langfristig betrachtet im Trend, jedoch nicht in den Beträgen, der vorherberechneten Ganglinie (siehe beispielhaften Ausschnitt Abb. 15). Tatsächlich ergibt sich ein Anstieg des Ebbdauerüberschusses von rd. 74 Minuten im Monat Mai 1987 (Meßbeginn) auf 120 Minuten im September 1987. Im Anschluß sinken die Ebbdauerüberschüsse bis zu einem absoluten Minimum (41 Minuten) im Februar 1988 ab.

Das nach vorherberechnetem (astronomischen) Verlauf im Monat Februar zu erwartende langsame Ansteigen der Ebbdauerüberschüsse wird interessanterweise deutlich gestört: Innerhalb weniger Tage nämlich erhöht sich der Ebbdauerüberschuß von o.a. und zu diesem Zeitpunkt "normalen" 41 Minuten auf außergewöhnliche 95 Minuten, um anschließend wieder auf 62 Minuten abzufallen.

Verantwortlich ist eindeutig die massive Zunahme des Oberwassers während dieser Zeit, welches auf das absolute Maximum des Untersuchungszeitraumes, d.h. 3547 m³/sec (5.4. 1988), ansteigt.

Im Anschluß an diese "Anomalie" entwickeln sich die Ebbdauerüberschüsse wieder ungefähr entsprechend dem vorherberechneten Maße. Sie erreichen 113 Minuten im Juni 1988, um dann unter (in allen Zeiträumen vorhandenen) Ausschlägen auf 46 Minuten im November 1988 abzufallen.

Insgesamt werden damit in einem mittleren Zeitraum von 6 Monaten Unterschiede im Ebbdauerüberschuß erreicht, die bei rd. 70 Minuten liegen.

Das Sandniveau der Meßstelle 5 verhält sich in verblüffender Weise kongruent zum Verlauf der Ebbdauerüberschüsse: Relatives Minimum wie auch die relativen Maxima des tatsächlich eingetretenen Sandniveaus ähneln sich jeweils in den zu beobachtenden Veränderungen bzw. den Maxima und Minima der Ebbdauerüberschüsse.

Obwohl die Dichte der Niveaumessungen offensichtlich noch nicht ganz befriedigen kann, zeigt der Trend beider Kurven dergestalt eine unübersehbare Kopplung, daß das Sandniveau eine leicht zeitversetzte Ausgleichskurve der mittleren Ebbdauerüberschüsse ergibt.

Extremereignisse lassen den Zusammenhang auch kurzfristig erkennen, beispielsweise im März/April 1988 (325. Tag der Meßreihe). Hier fällt der Ebbdauerüberschuß von über 90 Minuten steil auf rd. 60 Minuten ab. Parallel fällt auch das Sandniveau um außergewöhnliche

Der vergleichbare Ebbdauerüberschuß-Einbruch im Januar 1988 (270. Tag der Meßreihe) zeigt allerdings keinen Niveauabfall. Das ist jedoch kein unbedingter Gegenbeweis, sondern kann damit erklärt werden, daß leider gerade innerhalb dieses Zeitraumes von drei Wochen keine Sandniveaumessungen stattgefunden haben (personell bedingte Meßlücke).

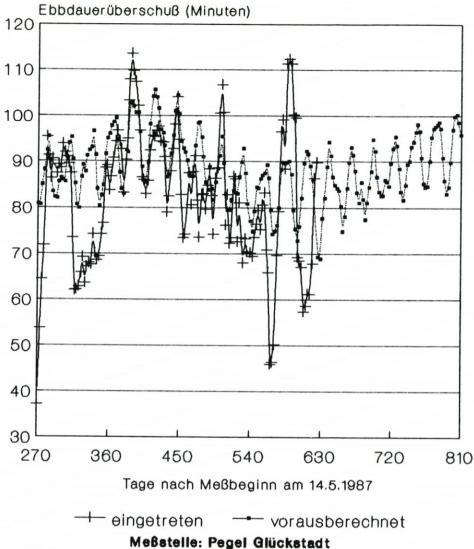


Abb. 15

Außerordentlich interessant ist des weiteren die Parallelität der Verlaufskurven von Sandniveau (bzw. der übergreifenden mittleren Ebbstrom-"Überschüsse") und den Unterelbe-Baggermengen!

Die Abbildungen 16 und 17 belegen (in Kombination) eine sehr große Ähnlichkeit im Verlauf der Größen "Ebbdauerüberschuß", "Sandniveau" und "Baggermengen". Es wäre also denkbar, daß eine gewisse Mobilisierung von Sediment (primär Sand) in Abhängigkeit von der tatsächlichen mittleren Zeitverteilung zwischen Ebb- und Flutstrom stattfindet.

Grundsätzlich sagt das natürlich noch nichts über die Herkunft des scheinbar mal mehr und mal weniger "in Transport" übergehenden Sediments aus. Neutral kann zunächst nur von Zeiträumen intensiverer bzw. weniger intensiver natürlicher Materialumlagerung gesprochen werden.

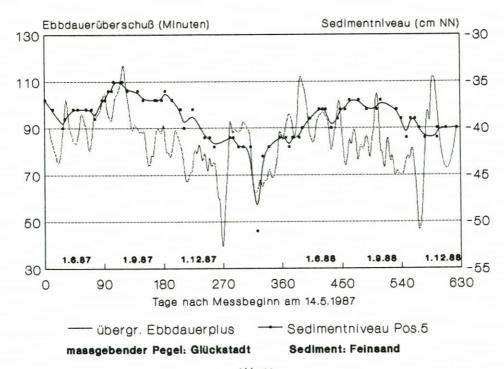


Abb. 16

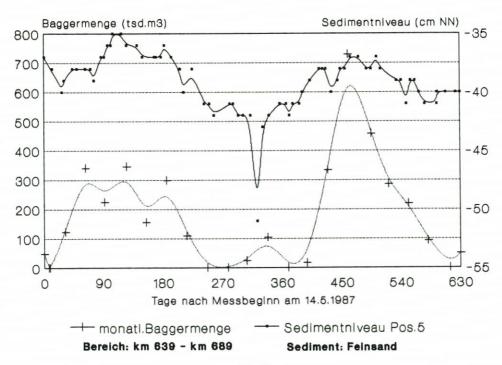


Abb. 17

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist das unbedingte Postulat einer "Herkunfts-Ansprache" von Baggermaterial ohnehin nicht notwendig, da vieles darauf hindeutet, daß auch in Zeiträumen mit "mehr" Baggermengen die Sedimentbilanz dennoch in etwa gleich bleibt. Gemeint ist, daß zeitweise (siehe Abschnitt 4) nur die sohlennahe Umsatzhöhe an Material größer wird, nicht jedoch die im Flußregime insgesamt bestehende Raumbilanz.

Interessant ist in diesem Zusammenhang eines: Bekanntlich werden in allen deutschen Tideästuaren die Hauptmaterialeintriebe im stromabblickend rechten (bei den deutschen Tideflüssen also dem nautisch "roten") Fahrwassersektor beobachtet. Die Abb. 18 zeigt dies exemplarisch am Beispiel des Jahres 1988 (Unterelbe):

	Baggersektor					
	grün	Mitte	rot			
km 639-689	584	315	1728			

Abb. 18: Baggermengen in der Unterelbe, Jahrgang 1988, nach Fahrwassersektoren getrennt aufgeführt (Werte des WSA Hamburg in tsd. m³)

Sollte dieses Phänomen möglicherweise (mit) darauf zurückgeführt werden können, daß die Wirksamkeit der Carioliskraft (= auf der Nordhalbkugel Rechtsablenkung eines strömenden Mediums) sich prägnant in der primär-potentiell vom Ebbstrom ausgehenden Materialmobilisierung wiederfindet? Dadurch, daß Baggermaterial sinnvollerweise im Regime belassen bleibt (Umlagerungsverfahren = die Bilanz des Reviers bleibt konstant), werden mit der räumlichen Ungleichverteilung der Mindertiefenbildungen eventuell nur die dominanten bzw. insgesamt resultierenden Umlagerungstrends visualisiert.

Über die Parallelität zum Verlauf der Ebbdauerüberschüsse hinaus verhalten sich die Baggermengen durchaus (und logischerweise, siehe Abschnitt 2!) in gewisser Übereinstimmung zur Veränderlichkeit des Neu-Darchauer Q_0 . Wie in vorstehenden Abschnitten ausgeführt, ist dieser Zusammenhang nach Ansicht des Verfassers aber nicht unmittelbar, sondern über (mehrfachgesteuerte) Zwischenparameter (Ebbdauerüberschuß-/Strömungsgeschwindigkeits-/Salzgehaltsveränderungen etc.) verursacht.

4. Fazit

Unter Berücksichtigung aller derzeit verfügbaren Daten ist es hinsichtlich der im Mittelpunkt des wasserbaulich-verkehrstechnischen Interesses stehenden Baggermengenentwicklung entscheidend, in welchem Umfang Sediment zeitweise "mobilisiert" bzw. sich über die Zeit in veränderlicher Quantität in Transport befindet.

Dabei muß nach Sedimentqualitäten unterschieden werden, denn der überwiegend aus dem Schwebstofftransport resultierende "Schlick" reagiert anders auf Veränderungen hydrographischer Parameter als es das hauptsächlich im Grenzschichttransport (Geschiebe- und sohlennaher Suspensionstransport) bewegte Material "Sand" tut.

Maßgebende Veränderliche für das Resultat "Materialumsatz" sind sowohl das Oberwasser (über Zwischenglieder), als auch die Tide. Ihr jeweiliger Einfluß ist über die Zeit wechselnd (Oberwasser = Witterungsverlauf / Tide = Astronomie) und verrechnet sich im kybernetischen Sinne miteinander. Bei geeigneter Ortswahl (Meßstelle) können jedoch die jeweils dominanten bzw. prägenden Faktoren aus der Summe der Wechselwirkungen extrahiert werden.

Mit anderen Worten: Zwischen Oberwasser und Tide bestehen über diverse Zwischen-

glieder Kopplungs- bzw. Abhängigkeitsmechanismen. Dadurch zeigen sowohl "Sand" als auch "Schlick" trotz unterschiedlicher Primärsteuerungen zeitweise durchaus auch Merkmale einer Beeinflussung durch das jeweils sekundäre Stellglied "Oberwasser" bzw. "Tide".

Im Unterelbebereich bei Rhinplatte (Glückstadt) können folgende Primär-Systemabhängigkeiten festgestellt werden:

1. Sedimentqualität "Sand"

Primär entscheidend ist das Verhältnis von Ebb- zu Flutdauer. Je größer der mittlere Ebbdauerüberschuß ist, desto mehr Sand befindet sich offensichtlich in Transport, d. h., desto größer scheint die Masse des mobilisierten/des in Umlagerung befindlichen Grenzschicht-Sediments (s. o.) zu sein.

Funktionell ist dies damit zu erklären, daß im Verlauf zunehmender Ebbdauerüberschüsse auch die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten ansteigen. Dadurch ergibt sich eine Erhöhung des Materialumsatzes mit der Folge, daß die mittlere Amplitude einer gedachten Sohlniveaugrenzschicht (Stabilitätsform) größer werden muß (lokales "Ausschwingen" einer im ersten Ansatz stabilen Grenzschicht; siehe Abb. 19).

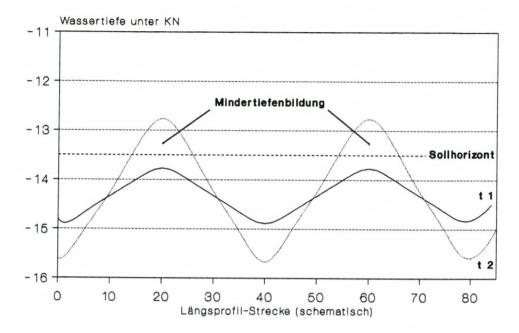
In Anwendung auf das zugrundeliegende praktische Problem der Wasserstraßenunterhaltung ergibt sich, daß bei einer Erhöhung der mittleren Sohlniveau-Amplitude (durch astronomisch bedingte Veränderung der Tidedauern bzw. der daran gekoppelten Stromgeschwindigkeiten) auch die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung von "Peaks" (besser: großräumige Rücken), welche die definierte Sohlentiefe von 13,5 m KN überragen (= Mindertiefen), größer wird. Die der Analyse zugrundeliegende Meßstelle 5 (Elb-Kilometer 671,8) muß in diesem Sinne als das System charakterisierender Standort ("Versuchsanordnung der Natur") gesehen werden.

De fakto bedeutet dies, daß sich eine erhöhte Mobilisierung von Material wahrnehmbar (und störend) dort niederschlägt, wo tatsächlich kontinuierliche Beobachtungen
der Flußsohle stattfinden, nämlich in der seeschifftiefen Fahrrinne. Nach dieser Vorstellung
zu postulierende großräumig-parallel auftretende relative Übertiefen werden bisher nicht
ausreichend beachtet bzw. können im Zuge von Verkehrssicherungspeilungen nicht festgestellt werden, da sie auch außerhalb der eigentlichen Fahrrinne liegen.

Insgesamt verlangt das vorstehend beschriebene und in Abbildung 19 schematisierte Modell nicht unbedingt, daß in Zeiträumen mit erhöhter Baggernotwendigkeit auch mehr Material von außen in das System hineingebracht wird.

Der Verfasser geht bei seinen Überlegungen davon aus, daß Mindertiefenbildungen in der Fahrrinne nur ein Indiz für relativ verstärkte natürliche Umlagerungen sind. Die Bilanz des Systems kann dabei insgesamt durchaus gleich bleiben. Grundsätzlich deckt sich diese Überlegung mit den Beobachtungen von Vollmers und Wolf (1969; siehe dazu Abschnitt 2), welche tatsächlich bei einer Erhöhung der mittleren Ebbstromgeschwindigkeiten um 22 % eine Erhöhung des Materialumsatzes (Riffelgeschwindigkeit) um das 10fache ermittelten.

In Anwendung auf die Wasserstraßenunterhaltung (Unterhaltungsbaggerung) ist das bei Untiefenbildung betriebene wasserbauliche Umlagerungsverfahren (Materialverfrachtung mittels Hopperbagger) sinnvoll, da durch das "Verschieben"/Einbringen des lokal sedimentierten Materials (= Untiefe = Baggergut) in Richtung Übertiefen ein Ausgleich der Sohl-Amplituden vorgenommen wird, ohne die natürliche Massenbilanz des Regimes zu stören, d.h. insgesamt aus dem quantitativ-morphodynamischen Gleichgewicht zu bringen!



t 1 = Materialumsatz und "Sohlen"-Amplitude unkritisch
t 2 = Materialumsatz und "Sohlen"-Amplitude kritisch

Abb. 19: Materialumsatz und Mindertiefenbildung in der Unterelbe, schematisierte Darstellung.

t1: resultierender Sohlenzustand bei relativ verringerten Ebbdauerüberschüssen.

Die mit kleinen Ebbdauerüberschüssen verbundenen geringeren Strömungsgeschwindigkeiten führen zu relativ verminderten Sohlniveau-Änderungsamplituden, d. h. (auch) einem verringerten Auftreten von "Mindertiefen" im Bereich der Fahrrinne.

Insgesamt ist während dieses periodisch auftretenden morphodynamischen Zyklus, der jedoch durch Oberwasserextrema gestört/variiert werden kann, die Menge des im Revier umgesetzten Materials relativ reduziert.

t2: resultierender Sohlenzustand bei relativ erhöhten Ebbdauerüberschüssen.

Die damit verbundenen erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten führen zu relativ verstärkten Sohlniveau-Änderungsamplituden, d.h. (auch) einem erhöhten Auftreten von "Mindertiefen" (= Amplituden-Spitzen) im Bereich der Fahrrinne.

Insgesamt ist während dieses periodisch auftretenden morphodynamischen Zyklus, der ebenfalls durch Oberwasserextrema gestört/variiert werden kann, die Menge des im Revier umgesetzten Materials relativ erhöht.

Das Oberwasser modifiziert (über Zwischenglieder) dieses Grundmuster, im Bereich der Baggerstelle Rhinplatte ohne Frage auch über die Verschiebung der Brackwasserzone.

2. Sedimentqualität "Schlick"

Hinsichtlich des "Schlicks" kann eindeutig belegt werden, daß die Dynamik dieses Materials oberwasserabhängig gesteuert ist: Je intensiver das Oberwasser ansteigt (Veränderlichkeit in m³/Tag), desto mehr Schwebstoff (Ton- und Schluff / organische Substanz) ist in Transport bzw. wird als Schlick abgelagert. Ein Einfluß des Verhältnisses von Ebb- und Flutdauer ist im Unterschied zur Sedimentqualität "Sand" nicht unmittelbar erkennbar.

Dies Ergebnis bedeutet nicht, daß ein in bezug zur Oberwassererhöhung stattfindender erhöhter Schlickfall auch unmittelbar aus dem Oberwasser herrührt! Wahrscheinlich ist vielmehr, daß ähnlich wie bei der Sedimentqualität "Sand" die dem spezifischen Sedimentverhalten zugrundeliegenden/steuernden Primärparameter eine oberwasserparallele/oberwasserabhängig verstärkte Feinmaterialbildung/-mobilisierung, vermutlich auch über die Verschiebung der Brackwasserzone, hervorrufen.

Die aus den faktischen Ergebnissen abgeleiteten Überlegungen und Funktionsdeutungen sind derzeit natürlich noch nicht vollständig verifizierbar. Dennoch bringt der Verfasser die o. a. Darstellung von Systemzusammenhängen zur Diskussion, da die Dichte an bestätigenden Indizien hoch ist. Das angewandte Problem der nächsten Zeit sollte sein, Meßeinrichtungen zu schaffen und zu betreiben, die es erlauben, bisher nur plausible Systemzusammenhänge schlüssig zu beweisen.

5. Schriftenverzeichnis

- BÜDEL, J.: Das System der klima-genetischen Geomorphologie. Erdkunde, H. 23, 1969.
- CHRISTIANSEN, H.: Neue Erkenntnisse über Schlickbildungs- und Sedimentationsprozesse im Hamburger Hafen. Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft, Bd. 42, 1988.
- Dammschneider, H.-J.: Morphodynamik, Materialbilanz und Tidewassermenge der Unterelbe. Berliner Geogr. Studien, Bd. 12, 1983.
- DAMMSCHNEIDER, H.-J.: Influviale Schwemmfächer Über die lokalen Folgen natürlicher Materialumlagerungen im Bereich der Unterelbe. Die Küste, H. 43, 1986 (a).
- Dammschneider, H.-J.: Flächenhafte Materialanalyse und Sohlformeninterpretation Grundlagen zur Bestimmung der gerichteten Morphodynamik im Elbeästuar. Unveröffentlichte Untersuchung, Hamburg, 1986 (b).
- Dammschneider, H.-J.: Luftbildkartierung von Schwimmerbahnen Eine Methode zur iterativen Aufnahme von flächenhaften Strömungsverteilungen und ihr Vergleich zur punktuellen In-Situ-Meßwertgewinnung. Die Küste, H. 47, 1988.
- Dammschneider, H.-J.: Schwebstoffwolken im Tideästuar der Unterelbe Erfassung und Bewertung durch Luftbildkartierung und Trübungsmessung. In Arbeit befindliches Untersuchungsprogramm. 1989.
- FÜHRBÖTER, A.: Sandbewegung im Küstenraum Rückschau, Ergebnisse, Ausblick. Sandbewegung im Küstenraum, Boppard, 1979.
- GÖHREN, H.: Beobachtungen über den Einfluß des Oberwassers auf die Sandbewegung in der Außenweser. Die Küste, Jg. 14, H. 2, 1966.
- Hinrichsen, A. M.: Der Einfluß des Oberwassers auf die Tideparameter der Elbe. Unveröffentl. Untersuchung, WSD Nord, Kiel, 1989.
- KLUG, H. u. LANG, R.: Einführung in die Geosystemlehre. Darmstadt, 1983.
- LUCHT, F.: Die Sandwanderung im unteren Tidegebiet der Elbe. Dt. hydrogr. Z. Bd. 6, 1953.
- Manzenrieder, H. u. Witte, H.-H.: Aufnahme von dynamischen Veränderungen an Gewässersohlen Verfahren, Einschränkungen und neue Methoden –. Mitt. d. Leichtweiss-Inst. f. Wasserbau TU Braunschweig, H. 93, 1986.
- Mundschenk, H.: Zur Quantifizierung von Sedimentbewegungen im Bereich alternierender Tideströmungen. Deutsche Gewässerkdl. Mitt., H. 5, 1979.
- NEUMANN, L. J. R. u. HAAR, S.: Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Ästuaren.
 Abschlußbericht des vom BMFT geförderten gleichnamigen KFKI-Vorhabens, Hamburg,
- ROHDE, H.: Strömungsgeschwindigkeit und Schwebstofftransport in einem Tidefluß. Die Küste, H. 25, 1974.
- Vollmers, H. u. Wolf, G.: Untersuchungen von Sohlumbildungen im Bereich der Unterelbe. Die Wasserwirtschaft, H. 10, 1969.