

# Das Forschungsvorhaben Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren

Von HERMANN CHRISTIANSEN

## Zusammenfassung

Unter finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) wird von einer Projektgruppe des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) seit Ende 1981 das Forschungsvorhaben „Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren“ durchgeführt. In dem Vorhaben werden Meßgeräte getestet und nach bestimmten Meßstrategien eingesetzt. Es ist das Ziel, Empfehlungen zu erarbeiten, nach denen die Zusammenhänge von Schwebstoffbildung, -transport und Schlicksedimentation erforscht werden können. Das bis Mitte 1986 laufende Vorhaben ist unterteilt in die Projekte Elbe und Weser.

Es wurde eine Meßstation entwickelt und, auf einem Ponton schwimmend, in der Elbe bei Oortkaten eingesetzt. Mit ihr können automatisch Schwebstoffproben entnommen und gleichzeitig alle relevanten Begleitparameter registriert und gespeichert werden.

An einer Pfahlstation in der Weser bei Nordenham wurden Sondensysteme für Schwebstofftrübung und Begleitparameter getestet. In einem Sonderprogramm (MASEX '83) wurde eine von der GKSS, Forschungszentrum Geesthacht, entwickelte Gammasonde für Schlickdichtemessungen eingesetzt.

Über die Ergebnisse der Messungen in Elbe und Weser wird mit mehreren Sachbeiträgen in diesem Heft der „Küste“ berichtet.

## Summary

*The research program "Mud and Suspended Matter in Estuaries" has been carried out since 1981 by a KFKI project group through the financial support of the BMFT (Federal Ministry for Research and Technology). In this project instruments have been developed, tested and applied in specially designed measurement programs. The main objective is to arrive at recommendations for investigating the relationship between the formation and transport rates of suspended matter and the associated mud deposition. The research program will continue until June 1986 and is divided into the projects "Elbe" and "Weser".*

*A measurement station on a pontoon in the Elbe at Oortkaten has been developed for the automatic sampling of suspended sediment and the simultaneous recording and storage of important parameter values.*

*A different set of sensors has been installed on a pile in the Weser at Nordenham to record the extinction and other relevant parameters of turbid water. A density probe, developed by the GKSS (Atomic Energy Research Institute Geesthacht), was used in the Weser Estuary during an extensive mud and suspended sediment experiment in 1983 (MASEX '83).*

*Results of the KFKI-research program to date are presented in several publications in this volume.*

## Inhalt

1. Veranlassung . . . . .	116
2. Meßstrategie . . . . .	116
3. Forschungsvorhaben . . . . .	117
3.1 Allgemeines . . . . .	117
3.2 Ziele des Teilprogramms Elbe . . . . .	118
3.2.1 Entwicklung und Betrieb einer Dauermeßstation . . . . .	118
3.2.2 Untersuchung biologischer Faktoren . . . . .	119
3.2.3 Eichmessungen im Querschnitt Oortkaten . . . . .	119

3.3 Ziele des Teilprogramms Weser . . . . .	119
3.3.1 Untersuchungen an der Pfahlstation Nordenham . . . . .	119
3.3.2 Sonderprogramm MASEX '83 . . . . .	120
3.3.3 Sondermeßprogramm Peilvergleiche . . . . .	121
4. Ausblick . . . . .	121

## 1. Veranlassung

In allen deutschen Tideflüssen und -häfen sedimentieren ständig große Mengen an Sand und Schlick. Zur Erhaltung der Fahrwassertiefen sind daher unter hohem Kostenaufwand umfangreiche Baggerungen erforderlich. Eine zusätzliche Kostenexplosion hat sich in den letzten Jahren dadurch ergeben, daß der Schlick teilweise kontaminiert ist und die bisher als unbedenklich angesehenen kostengünstigen Unterbringungsverfahren an Land problematisch geworden sind. Vor diesem Hintergrund wurde von den im KFKI vertretenen Verwaltungen ein Forschungsprogramm erstellt. Inhalt und Ziel dieses Programms sollten sein, die Zusammenhänge zwischen Schwebstoffbildung, -transport und anteiliger Schlicksedimentation so weit zu verstehen, daß daraus

- Möglichkeiten zur Reduzierung des Schlickfalls oder auch
- Möglichkeiten zur Optimierung und damit Kostensenkung des Baggereinsatzes entwickelt werden können.

## 2. Meßstrategie

Aus Erfahrungen der Vergangenheit war bekannt, daß in einem großräumigen Gebiet die Prozesse der Schwebstoffführung und Schlickbildung nicht dadurch erfassbar sind, daß man nur sporadisch einige Messungen durchführt. Die physikalischen, biologischen und chemischen Einflußfaktoren variieren sehr stark innerhalb eines Untersuchungsgebietes und über die Zeit nach Gesetzmäßigkeiten, die weitgehend unbekannt sind, so daß – wenn überhaupt – nur die Methode der fortlaufenden Datenerfassung unter Berücksichtigung einer im Tidebereich erforderlichen Meßstrategie weiterführen kann.

Um das meßtechnisch Wünschenswerte und finanziell und zeitlich Machbare in einem vertretbaren Kompromiß zusammenzuführen, wurde als Fernziel folgende Meßstrategie ins Auge gefaßt:

In einem zu untersuchenden Abschnitt eines Tideflusses werden zwei – für die jeweilige nähere Umgebung repräsentative – Querschnitte I und II ausgewählt und mit zwei Dauer-

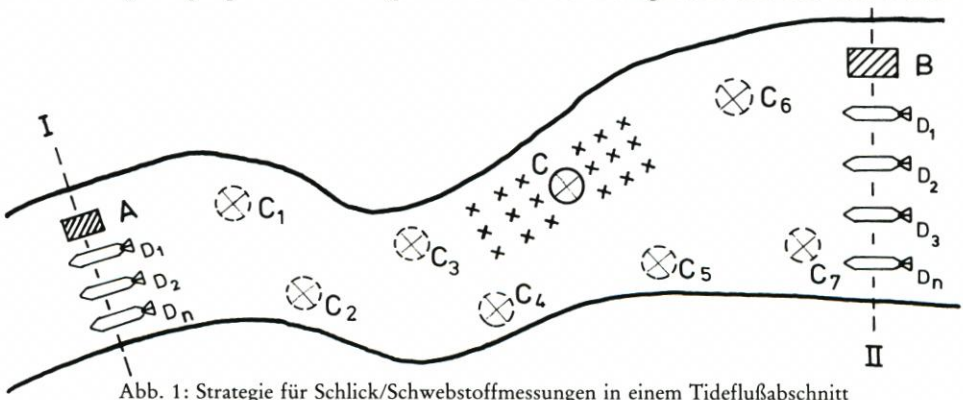


Abb. 1: Strategie für Schlick/Schwebstoffmessungen in einem Tideflußabschnitt

meßstationen (A, B) besetzt. An diesen Stationen werden vertikal integrierend fortlaufend alle relevanten Daten gemessen und über jede Halb tide zur Bilanzierung Ebbe-Flut zusammengefaßt. Zur Eichung der Meßwerte an den Dauermeßstationen auf repräsentative Mittelwerte der jeweiligen Flußquerschnitte werden mehrmals im Jahr an mehreren Stellen im Querschnitt ( $D_1, D_2, \dots, D_n$ ) Vergleichsmessungen mit einem geeigneten Meßgerät (z. B. dem CUX-SAMPLER) durchgeführt.

Zur Erfassung der mit der Topographie innerhalb des Untersuchungsgebiets wechselnden Schlick-/Schwebstoffverhältnisse wird ein Meßsondensystem für jeweils mehrere Tage an wechselnden Standorten ( $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ ) eingesetzt. Mit diesem Meßsondensystem sollen die Meßdaten entweder vertikal integrierend oder fixiert in einer Tiefenstufe erfaßt werden. Bei letzterem Verfahren ist wiederum eine Mehrfacheichung für die Zuordnung der Daten im Meßpunkt in Relation zum Vertikalprofil erforderlich. Während der Positionierung des Sondensystems in  $C_1 \dots C_n$  werden um den jeweiligen Standort in den Positionen X mit einer Spezialsonde die Höhenlagen der Schlickdichtehorizonte mehrfach gemessen. Zum Vergleich der zeitaufwendigen Messungen mit der Dichtesonde sollten auch andere Verfahren wie Echolotpeilungen oder Echostärke-Meßmethoden eingesetzt werden.

### 3. Forschungsvorhaben

#### 3.1 Allgemeines

Um Messungen nach der in Abschn. 2 beschriebenen Strategie durchführen zu können und den Wert der Meßergebnisse im Hinblick auf die Fragen der Praxis zu überprüfen, wurde von der KFKI-Projektgruppe „Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren“ ein entsprechendes Forschungsvorhaben erarbeitet, unter Federführung Hamburgs als Antrag beim BMFT eingereicht und im September 1981 von dort mit der Zusage einer finanziellen Förderung genehmigt.

Das Gesamtprojekt ist in drei Phasen unterteilt:

- I Gerätebeschaffung
- II Gerätetest
- III Wissenschaftliches Untersuchungsprogramm

Die Gesamtfördersumme vom BMFT beläuft sich auf 1,74 Mio. DM. Darin enthalten sind Personalkosten für

- 1 Diplom-Ozeanographen (Vertragsdauer 4,25 Jahre)
- 1 Diplom-Biologen (Vertragsdauer 2 Jahre mit halber Stelle)
- 1 Techniker (Vertragsdauer 3,25 Jahre)

Von Strom- und Hafenanbau, Hamburg, dem Wasser- und Schiffsamt Bremerhaven und dem Institut für Meeresforschung, Bremerhaven, werden zusätzlich rd. 1,0 Mio DM an Eigenbeteiligungen aufgebracht.

Das Gesamtvorhaben wurde im Oktober 1981 begonnen und soll bis Juni 1986 abgeschlossen sein. Da sich die aktiv in das Forschungsvorhaben eingebundenen Dienststellen in Hamburg bzw. in Bremerhaven befinden, wurde beschlossen, in Hamburg das Teilprojekt „Dauermeßstation“ und in Bremerhaven das Teilprojekt „Sondensystem“ durchzuführen. Die Entwicklung einer Gammasonde für Schlickdichtemessungen wurde an die GKSS, Forschungszentrum Geesthacht GmbH, vergeben. Messungen mit dieser Sonde sollten mit Schwerpunkt im Weserprogramm und Sondereinsätzen in Hamburg durchgeführt werden.



Phasen	Jahr	Zuwendung BMFT		Eigenbeteiligung - St. u. Hafenbau - WSA Bremerhaven - Inst. f. Meeresf. BHV
		Geldmittel	enthaltene Personal	
I Gerätebeschaffung	10/81 bis 12/82	430 000,-	./.	
II Gerätetest	4/82 bis 3/83	380 000,-	1 Wiss. IIa 1 Techn. Vc	180 000,-
III Wissenschaftliches Untersuchungs- programm	4/83 bis 6/86	930 000,-	1 Wiss. IIa (3,25 Jahre) 1 Wiss. IIa/2 (2 Jahre) 1 Techn. Vc (2,25 Jahre)	820 000,-
Summe		1 740 000,-		1 000 000,-

### 3.2 Ziele des Teilprogramms Elbe

#### 3.2.1 Entwicklung und Betrieb einer Dauermeßstation

Zur kontinuierlichen Erfassung von Schwebstoffdaten und Begleitparametern sollten auf einer schwimmenden Pontonstation im Elbestrom bei Oortkaten Gerätesysteme eingesetzt, weiterentwickelt und getestet werden.

Die Schwerpunkte des wissenschaftlichen Untersuchungsprogramms (Phase III) sind dann im Jahresgang:

1. die gewählten Gerätesysteme im rechnergesteuerten Automatikbetrieb auf ihre Dauerfunktion zu überprüfen und ggf. zu verbessern,
2. die über jeweils Halbtiden erfaßten Daten auf Plausibilität für Bilanzierungen in einem Stromquerschnitt zu überprüfen (s. Kap. 3.2.3),
3. Korrelationen zwischen den Meßwerten eines Particle Analysers mit den direkt entnommenen integrierten Proben für Konzentration (c) und Kornverteilung (d) herzustellen,
4. Korrelationen zwischen den c- und d-Werten und den übrigen erfaßten Daten T, C, E, O<sub>2</sub>, pH, v und Oberwasser Q<sub>0</sub> herzustellen und
5. die chemischen Inhaltsstoffe wie N, P, Zn, Cu, Ca, Cd, Pb, Cr, Ni, As, Hg durch Analysen der Schwebstoffproben zu bestimmen und Korrelationen zu Veränderungen in der Schwebstoffkonzentration herzustellen.

Die zur Behandlung dieses Themenkreises notwendige Datenerfassung und Analyse ist in folgender Weise vorgesehen:

- fortlaufende Registrierung der Parameter T, C, E, O<sub>2</sub>, pH, v<sub>x,y</sub>,
- vertikal integrierende und isokinetische Dauerentnahme von Flußwasser, Sammlung in getrennten Flut- und Ebbebehältern, Separation der suspendierten Feststoffe nach Ablauf einer Halbtide und Ausstoß der Feststoffproben in Flaschen,
- Analyse der separierten Feststoffproben, und zwar

.. jede einzelne (1412 Halbtiden pro Jahr) auf Trockensubstanzmasse und Glühverlust,  
 .. je 2 Halbtidenmischproben einer Woche (106 pro Jahr) auf Trockensubstanzmasse,  
 Glühverlust, Kornverteilung N, P, Zn, Cu, Ca, Cd, Pb, Cr, Ni, As, Hg.  
 Über Meßprinzip und Aufbau der Station wird von L. NEUMANN mit zwei Beiträgen in  
 diesem Heft der „Küste“ berichtet.

### 3.2.2 Untersuchung biologischer Faktoren

Unter Einbeziehung der an der Station Oortkaten gemessenen Parameter sollen in einem  
 zweijährigen Sonderprogramm 84/85 die Bedeutung biologischer Faktoren für die Schweb-  
 stoffbildung vom Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Ham-  
 burg untersucht werden.

Als biologische Parameter werden dazu gewählt:

- Anteil organischen zu anorganischen Materials im Detritus
  - Anteil des biologischen organischen Anteils
  - Biomasse des biologisch lebenden Anteils
  - Phytoplankton-Biomasse und abgestorbenes Phytoplankton
  - Bakterien-Biomasse
  - Aktivitätszustände von Organismen bzw. Population im biologischen Material
- Über Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse berichtet N. GREISER in diesem Heft der  
 „Küste“.

### 3.2.3 Eichmessungen im Querschnitt Oortkaten

Um die in einem Vertikal-Profil der Station Oortkaten erfaßten Daten den Transportvor-  
 gängen im Gesamt-Flußquerschnitt zuordnen zu können, sollen in einem mehrjährigen  
 Meßprogramm etwa sechsmal pro Jahr in mehreren Meßlotrechten Vergleichsmessungen mit  
 dem CUX-SAMPLER durchgeführt werden. Diese Messungen sind Teil der Eigenleistungen  
 von Strom- und Hafenanbau, Hamburg.

Über die Ergebnisse berichtet der Verfasser in diesem Heft der „Küste“.

## 3.3 Ziele des Teilprogramms Weser

### 3.3.1 Untersuchungen an der Pfahlstation Nordenham

Mit einer vom WSA Bremerhaven zu erstellenden Pfahlstation im Hauptschlickfallgebiet  
 der Weser bei Nordenham soll ein Punkt im Ästuar fixiert werden, an dem von den Firmen  
 Meerestechnik Elektronik (ME) und Norddeutsche Seekabelwerke (NSW) zu beschaffende  
 und vom Institut für Meeresforschung in Bremerhaven zu modifizierende Sondensysteme  
 erprobt werden können.

Nach der Testphase sollen dann im wissenschaftlichen Untersuchungsprogramm mit den  
 Meßdaten folgende erste konkrete Fragestellungen behandelt werden:

1. Welche Korrelationen bestehen zwischen der fortlaufend registrierten optischen Trübungs-  
 messung E und der Suspensionskonzentration c sowie zwischen beiden Größen zu den  
 übrigen am Pfahl gemessenen Daten (T, C, p, O<sub>2</sub>, pH, v<sub>x,y</sub>) und diesen mit dem  
 Oberwasserabfluß?

2. Welchen Einfluß haben darüber hinaus bestimmte gelöste chemische Wasserinhaltsstoffe auf Schlickbildung und -sedimentation?
3. Sind regional und jahreszeitlich eindeutige Beziehungen zwischen Schlickdichte-Meßwerten der von der GKSS zu entwickelnden und dann einzusetzenden Gammasonde, den Echot- bzw. Echostärkeaufzeichnungen und Schlickkernproben aufzustellen?
4. Besteht eine Beziehung zwischen den Veränderungen in der Qualität der Bodensedimente im Testgebiet um den Pfahl, zu den am Pfahl gemessenen Daten bzw. den dort direkt entnommenen Proben?

Darüber hinaus sollen die gewählten Gerätesysteme auf ihre Dauerfunktion hin überprüft und gegebenenfalls verbessert werden.

Zur Behandlung dieser Fragen im Weserprogramm sind folgende Meßwerterfassungen vorgesehen:

- fortlaufende Registrierung am Meßpfahl der Größen T, C, E, p, O<sub>2</sub>, pH, v<sub>x,y</sub>;
- Kalibrierung von Trübungsmessung und Suspensionsgehalt nach einer Methode von KRAUSE/OHM über direkte Probenahmen (z. B. mit dem CUX-SAMPLER) alle zwei Monate mit jeweils 6 Proben, verteilt über eine Tide, und Analyse aller 6 Proben auf Konzentration und Glühverlust und Kornverteilung;
- alle zwei Monate Analyse von zwei am Pfahl genommenen Mischproben (aus 3 Flut- und 2 Ebbeproben) auf gelöste Wasserinhaltsstoffe wie z. B. Cl, K, Na, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>;
- alle zwei Monate Aufnahme der Morphologie und der Bodensedimente in 10 Teilpunkten eines Testgebietes von rund 200 · 50 cm um den Pfahl als Zentralpunkt; dazu:
  - .. höhenmäßig zugeordnete Schlickentnahme mit dem Kernentnahmegesetz des WSA Bremerhaven und anschließender Analyse von jeweils drei Tiefenbereichen auf Wassergehalt, Glühverlust und Kornverteilung,
  - .. Einsatz der Gammasonde (GKSS) für die Höhenbestimmung verschiedener Schlickdichtehorizonte,
  - .. Einsatz von Echot und Echostärkenmeßgerät.

### 3.3.2 Sondermeßprogramm MASEX '83

Da ein Ziel der vorgesehenen Untersuchungen an der Meßstation Nordenham, nämlich die Erfassung der Schlickverhältnisse, nicht erreicht werden konnte, weil weiträumig im Bereich der Pfahlstation kein Schlick mehr vorhanden war, wurde 1983 in Erweiterung der Eigenleistungen des WSA Bremerhaven, des Instituts für Meeresforschung und der GKSS das Projekt MASEX (mud and suspension experiments) durchgeführt. Ziel dieses Sonderprogramms war es, unter Einbeziehung der entwickelten Gerätesysteme in einem rd. 5 km langen Abschnitt der Weser die Veränderlichkeit der Schlicksohle in der Zeitskala von zwölf Stunden bis zu einer Woche zu beobachten und Beziehungen zu gemessenen Begleitparametern an mehreren Stationen innerhalb des Untersuchungsabschnittes aufzustellen. Neben den Sonden-systemen von ME und NSW und der Gammasonde des GKSS kamen dabei auch zahlreiche Aandera-Strömungsmesser und ein Kernentnahmegesetz des WSA Bremerhaven zum Einsatz. Für die Dauermeßkampagne wurde die VICTOR HENSEN vom Institut für Meeresforschung bereitgestellt. 1984 wurden zahlreiche Vergleichs- und Nachfolgemessungen zu MASEX '83 durchgeführt.

Die gewonnenen Meßdaten wurden auch dem Institut für Strömungsmechanik der TU Hannover zur Verfügung gestellt, wo Möglichkeiten zur numerischen Simulation von Schwebstofftransporten erforscht werden.



Über Erfahrungen und Ergebnisse des Meßeinsatzes berichtet die „Arbeitsgruppe MASEX“ in diesem Heft der „Küste“.

### 3.3.3 Sondermeßprogramm Peilvergleiche

Zur Überprüfung der Aussagequalität von Echolotpeilungen und der Sohlveränderung in Querschnittprofilen wurden 1984 vom WSA Bremerhaven über drei Monate und in drei genau vermessenen Profilen Untersuchungen durchgeführt. Über die Ergebnisse berichtet H. MÜLLER in diesem Heft der „Küste“.

## 4. Ausblick

Mit dem Forschungsvorhaben „Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren“ ist unter großzügiger finanzieller Förderung durch das BMFT und mit hervorzuhebendem großem persönlichem Einsatz aller am Projekt beteiligten Mitglieder ein Problemfeld bearbeitet worden, das äußerst komplex ist. Die bisherigen Untersuchungen haben eine Vielzahl neuer Erkenntnisse gebracht, gleichzeitig aber auch neue, bislang nicht absehbare Kenntnislücken aufgezeigt. Derartige Problemfeldausweitungen bei gleichzeitiger Einschränkung konkreter Aussagemöglichkeiten sind bei zeitlich befristeten, schwierigen Forschungsvorhaben unvermeidlich. Ziel der am Forschungsvorhaben aktiv Beteiligten soll es daher sein, unter Vernachlässigung erkennbar unwichtiger Randprobleme sich auf das Wesentliche zu konzentrieren und bis zum Ablauf des Vorhabens soviel wie möglich an verwertbaren Erkenntnissen zu liefern.

Für die Untersuchungen in Hamburg wird man in dieser Beziehung recht optimistisch sein können. Für die Untersuchungen an der Weser gilt das nur eingeschränkt, wobei zu berücksichtigen ist, daß es dort weder Ziel war noch sein konnte, mit Datenerhebungen im Bereich einer Pfahlstation „die Schlickfallverhältnisse in der Außenweser“ zu ergründen. Hier haben die über Eigenleistung der Ämter durchgeführten MASEX-Vorhaben einen Weg gewiesen, bei dem jedoch die Fülle der variablen Parameter über Kopplung mit einem numerischen Modell verarbeitet werden muß, will man zu ersten Prognosen über die Schwebstofftransport- und Schlickablagerungsprozesse kommen. Hinreichend gründliche Erkenntnisse der Prozesse wird man jedoch erst dann gewinnen können, wenn man Datenerhebungen nach der in Abschn. 2 empfohlenen Meßstrategie durchführt und über ein numerisches Modell mit verlässlichen und kontrollierbaren Theorien verarbeitet.