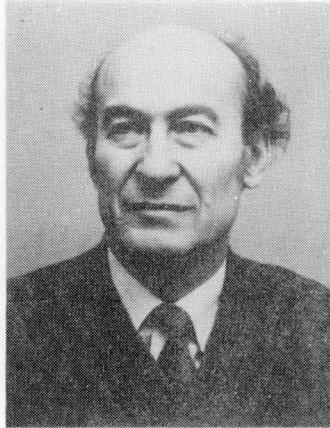


Dr. Gyula S a m u

EIN BEITRAG ZU DEN SEDIMENTATIONSVERHÄLTNISSEN IM EMDER  
FAHRWASSER UND EMDER HAFEN

A contribution to the sedimentation in navigable channel  
of Emden and in Harbour Emden



Gyula Samu, Dr. rer. nat. Wiss.-Ang. in  
der Bundesanstalt für Wasserbau Karls-  
ruhe

Geboren 1936. Studium der Geographie  
und Biologie an der Naturwissenschaft-  
lichen Universität Budapest von 1955 bis  
1956 bzw. der Geographie an der Univer-  
sität Hamburg von 1958 bis 1965. Promo-  
tion 1965. Seit 1965 in der Bundesanstalt  
für Wasserbau, Außenstelle Küste und dort  
Sachbearbeiter für morphologische Fragen.

Inhaltsangabe

Während der letzten Jahre wurden im Emder Hafen und im Fahr-  
wasser umfangreiche Baggerarbeiten durchgeführt. Die mensch-  
lichen Eingriffe haben störend auf die natürlichen Verhält-  
nisse, insbesondere auf die Sedimentation gewirkt. Die Korn-  
größenanalysen können gewisse Hinweise zum Verständnis der  
Sedimentationsverhältnisse geben. Im Rahmen der Untersuchungen  
zur Emsumleitung ergab sich die Möglichkeit, eine große Anzahl  
von Sedimentproben granulometrisch auszuwerten. Die Ergebnisse  
zeigen, daß das Korngrößenspektrum im Untersuchungsbereich  
tonig-schluffige bis zu grobsandige Fraktionen umfaßt, wobei  
unterschiedliche Sedimentationszonen auskartiert werden können.  
Die stark feinkörnigen Ablagerungen kommen überwiegend im Emder  
Hafen und im Fahrwasser vor. Die wahrscheinliche Ursache der  
starken Verschlickung resultiert aus den Wechselbeziehungen  
der Gezeitenbewegung und des Oberwassers, mitbeeinflußt durch  
die Baggerungen. Der Einfluß des Brackwassers ist in der Korn-  
größenverteilung erkennbar.

Summary

Extensive dredging has been undertaken in navigable chan-  
nel Emden and in harbour Emden during the last years. Human  
interference disturbs natural sedimentation. Some indications  
to the comprehension of deranged sediment occurrence can be  
given by grain size analyses. Granulometrically analysed  
samples taken in the course of the investigation into River  
Ems by-channel indicate a grain size spectrum ranging from  
clay-silty to coarse grained fractions. Generally the finely  
grained deposits occur in the navigable channel of Emden  
and in harbour Emden. The probable cause is the interaction  
between tidal movement and head water discharge as well as  
dredging. The influence of the brackish water can be recognized  
by the grain size distribution.

I N H A L T

	Seite
1 Problemstellung	3
2 Unterlagen und Bearbeitung der Bodenproben	3
3 Untersuchungsmethode und Darstellung der Ergebnisse	12
4 Verteilung der Sedimente nach Korngrößen	28
5 Auswertung der Schwebstoffproben	34
6 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen	39
7 Deutung der Ergebnisse in Bezug auf die Sedimentationsverhältnisse	42
8 Zusammenfassung und Ausblick	50
9 Literatur	51

## 1 Problemstellung

Das Mündungsgebiet der Ems gehört zu jenen Landschaften der Erdoberfläche, in denen die verschiedenen Faktoren in komplizierten Wechselwirkungen zueinander stehen. Jeder natürliche und künstliche Eingriff beeinflusst die dort bestehenden Verhältnisse in einer Größenordnung, über deren Ausmaß bei dem gegenwärtigen Stand des Wissens nicht in allen Einzelheiten eine eindeutige Aussage gemacht werden kann. Die Hauptursache der Änderungen ist in der durch die Gezeitenbewegung und dem durch das Oberwasser bedingten Wechsel und in den Baggerungen zu suchen.

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Beobachtung der Sedimentbewegung, die sehr empfindlich auf die Störungen des Gleichgewichtszustandes reagieren kann. In welcher Weise Menge und Qualität feinklastischer Sedimente sich verändern, ist schwierig vorauszusagen, da das Verhältnis schluffig-toniger Materialien unter verschiedenen hydrodynamischen Einwirkungen mit den veränderlichen chemisch physikalischen Eigenschaften dieser Sedimente verknüpft ist. Obwohl zwischen den abgelagerten Sedimentarten und ihrem Transport gut definierbare Zusammenhänge bestehen, ist es vage, allein aus den Ergebnissen der Korngrößenanalysen die Vorgänge zu deuten. Die Korngrößenverteilungen und aus ihr abgeleitete Kennwerte lassen sich daher nur innerhalb der Berücksichtigung der verschiedenen Kräfte allgemeiner und gebietsspezifischer Art verwenden. Zum Verständnis der Transportbedingungen kann allerdings eine solche Analyse Hinweise geben. In diesem Beitrag werden hauptsächlich die Ergebnisse mehrerer granulometrischer Untersuchungen dargelegt, um als Versuch in erster Orientierung die Sedimentationsverhältnisse unter den heutigen Bedingungen in der Ems erfassen zu können.

## 2 Unterlagen und Bearbeitung der Bodenproben

In unregelmäßigen Abständen wurden in der unteren Ems, in der Emsmündung und im Hafengebiete zahlreiche Bodenproben entnommen (Bilder 1-4). Den Grundstock für die Bearbeitung des Materials bilden die Proben des WSA Emden (1958, 1960, 1961, 1974/75) und der BAW-AK (1976).\*

\* Für die Überlassung zahlreicher Unterlagen durch das WSA Emden sei an dieser Stelle gedankt. Ausdrücklich gedankt sei Herrn D. Steen vom WSA Emden und Herrn W. Dietze von der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nordwest für die Anregungen und Hinweise.

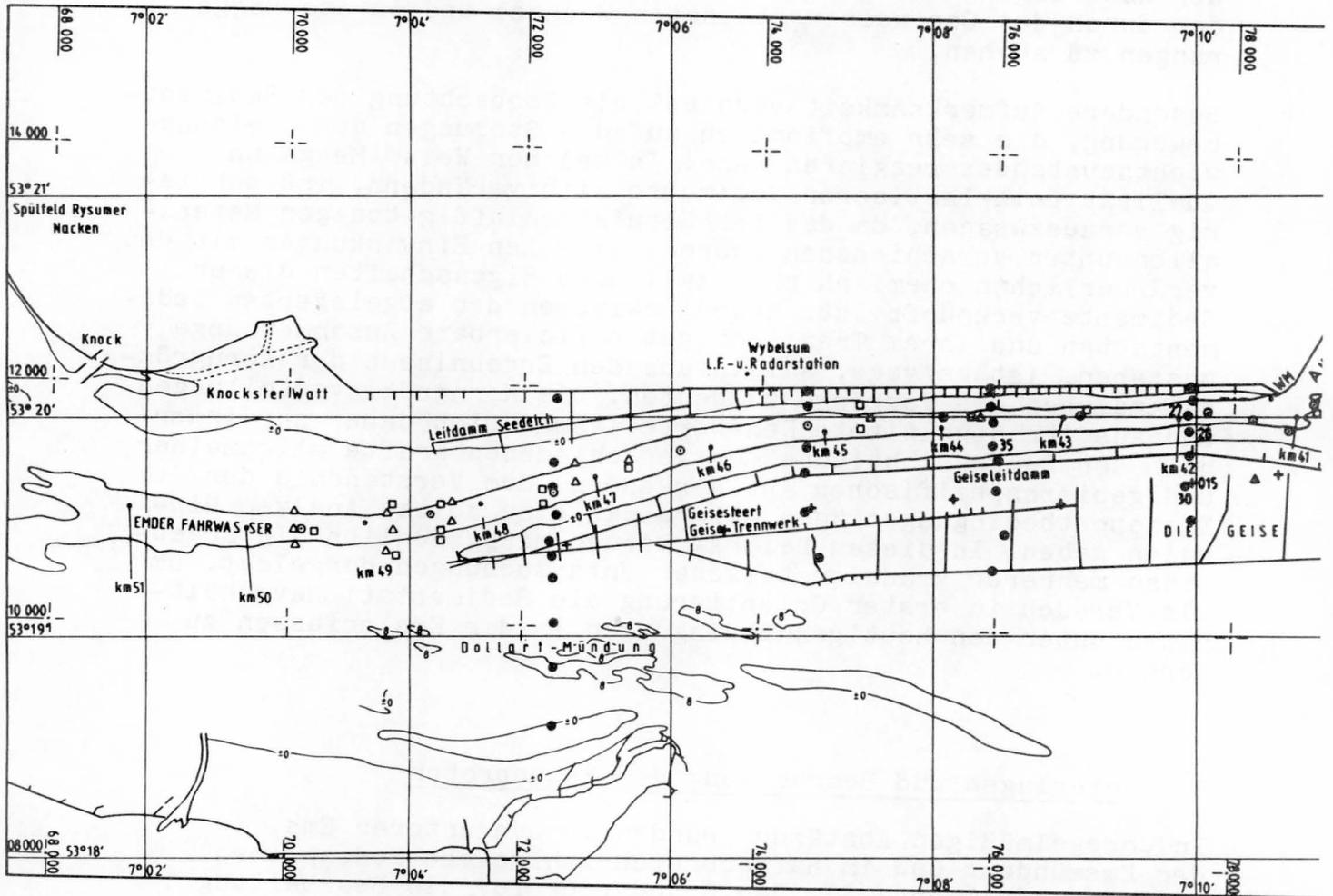
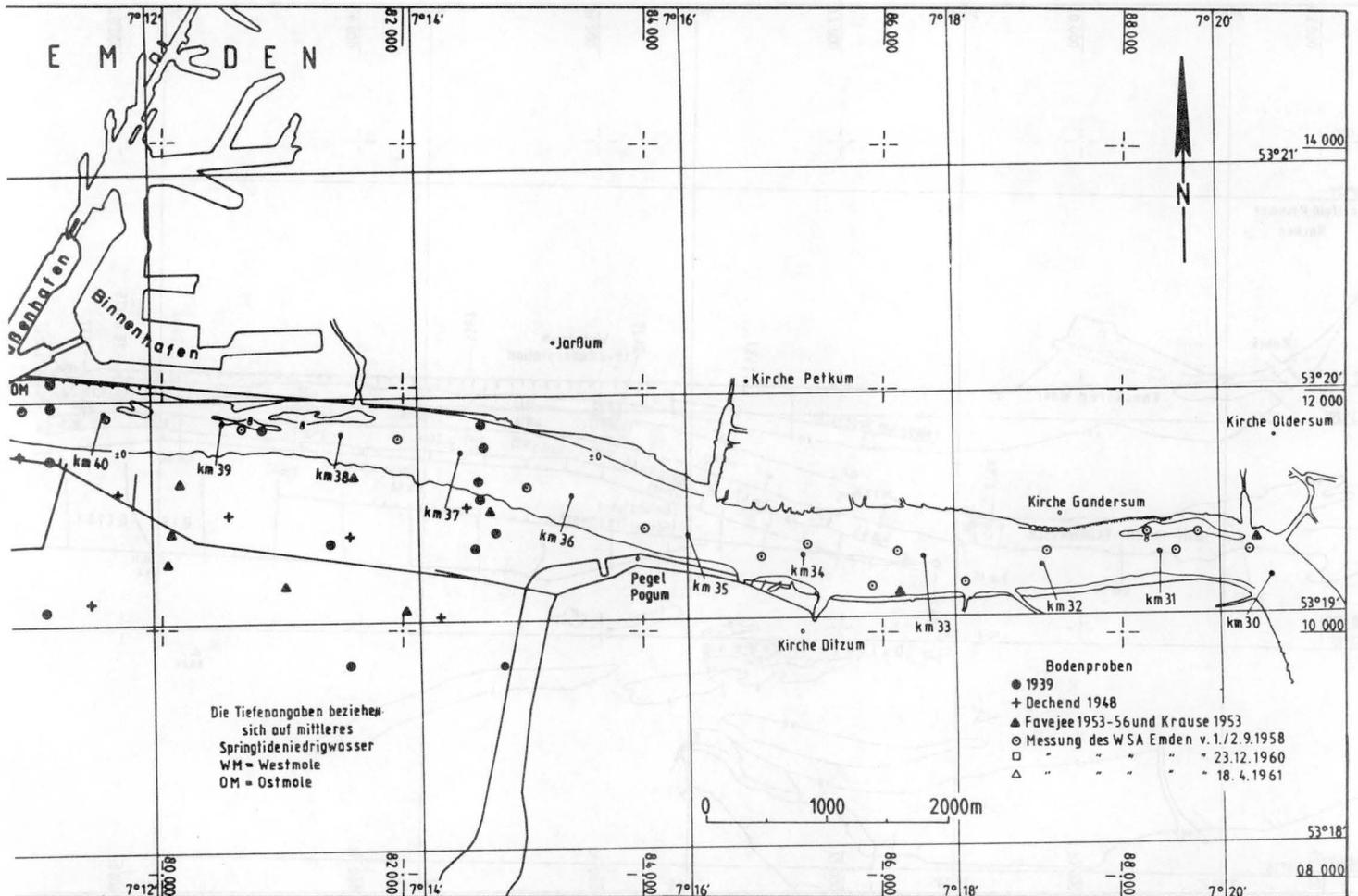


Bild 1 Lageplan der Entnahmestellen von Bodenproben in der Ems der früheren Untersuchungen



Lageplan der Entnahmestellen von Bodenproben in der Ems der früheren Untersuchungen

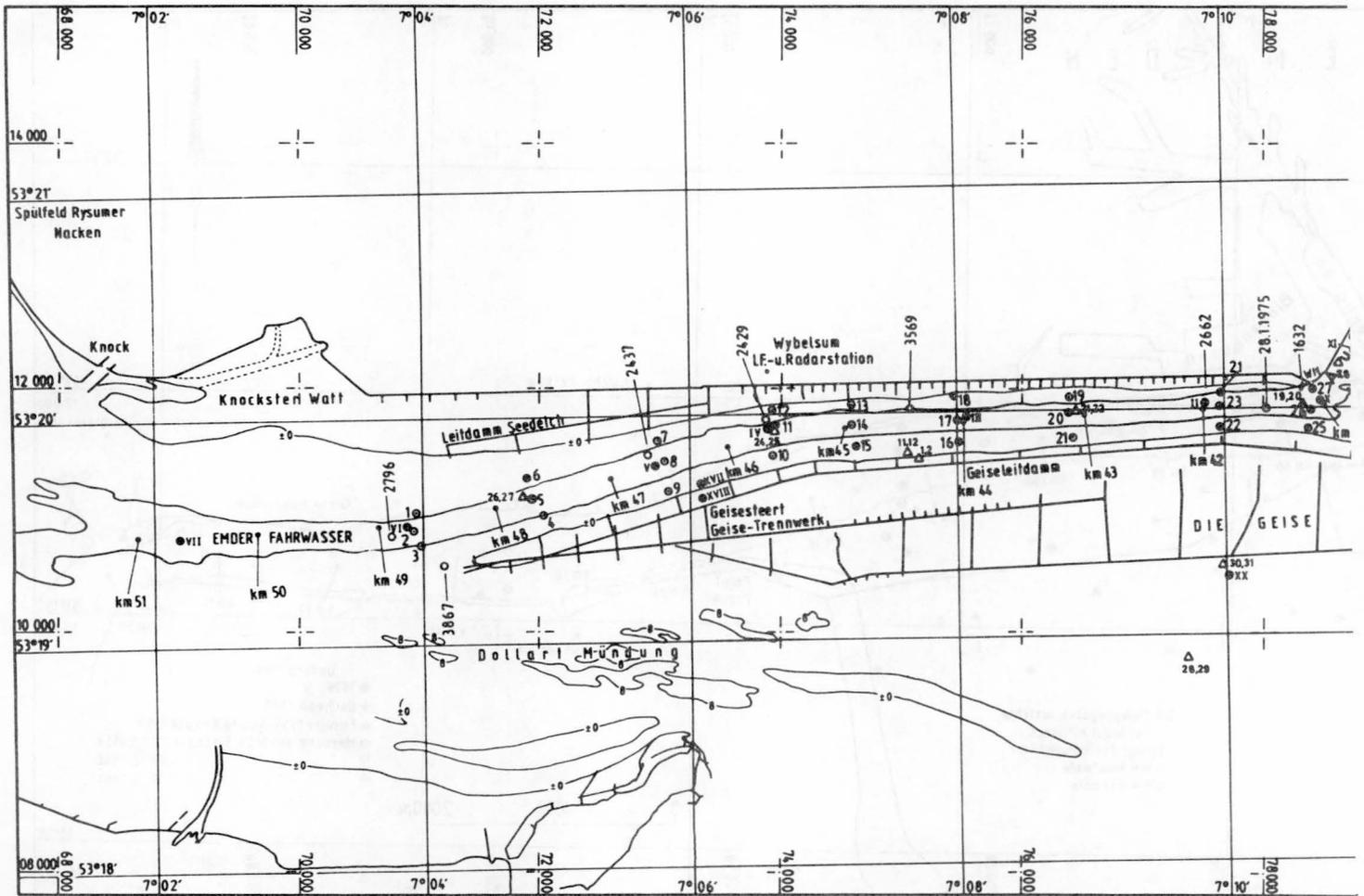
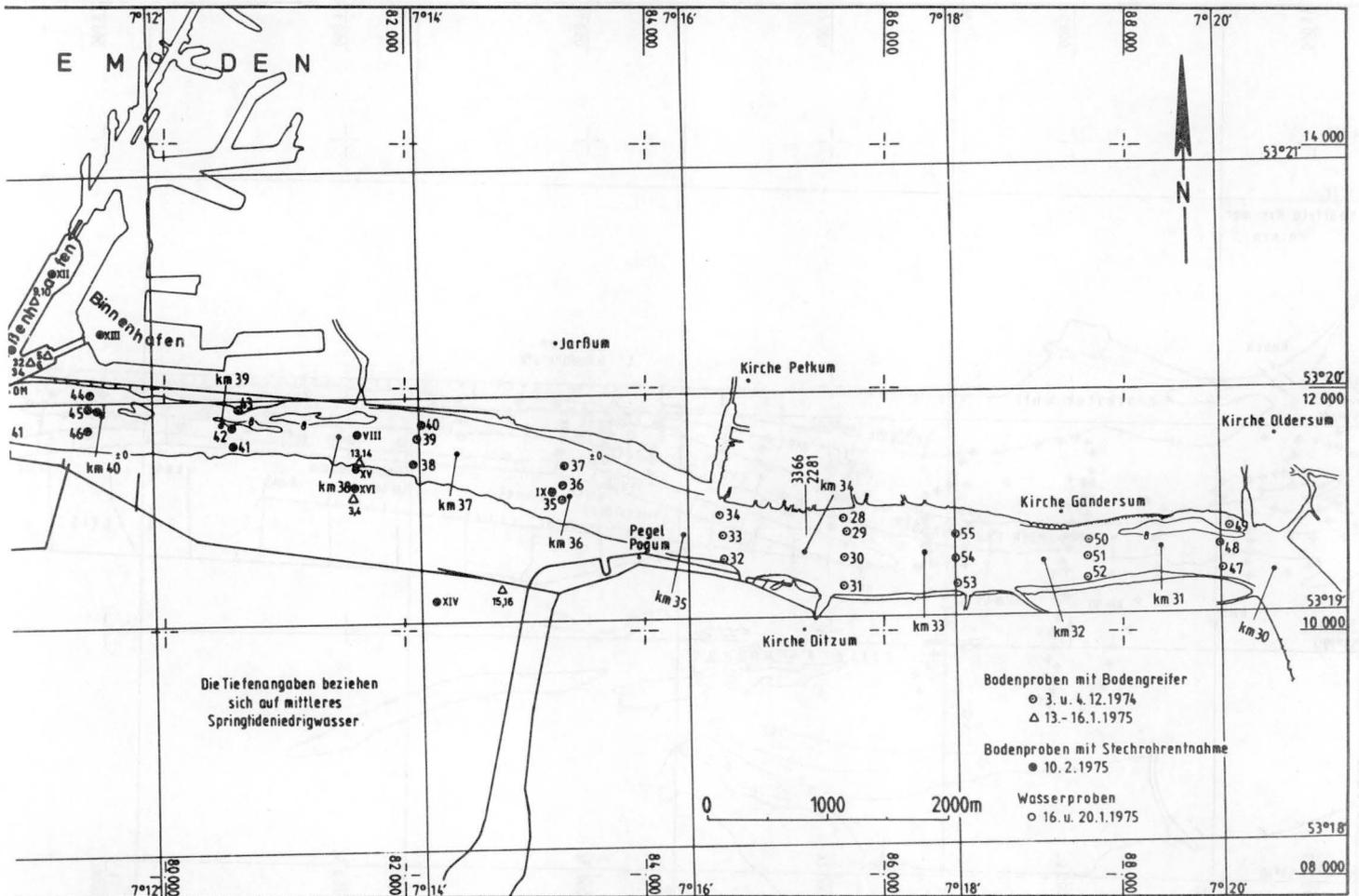


Bild 2 Lageplan der Entnahmestellen der Boden, Stech- und Wasserproben in der Ems

Samu: Ein Beitrag zu den Sedimentationsverhältnissen



Lageplan der Entnahmestellen der Boden, Stech- und Wasserproben in der Ems

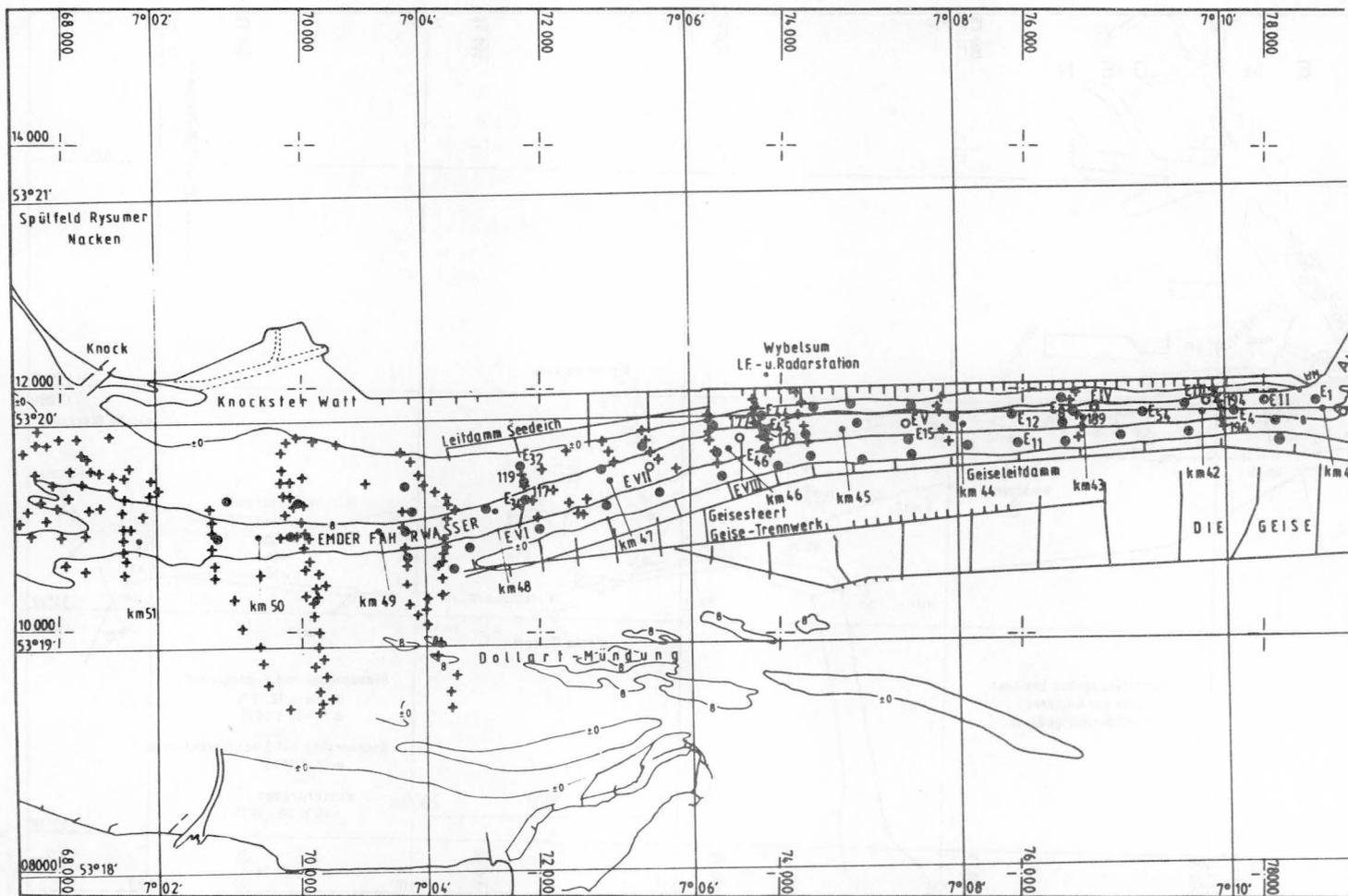
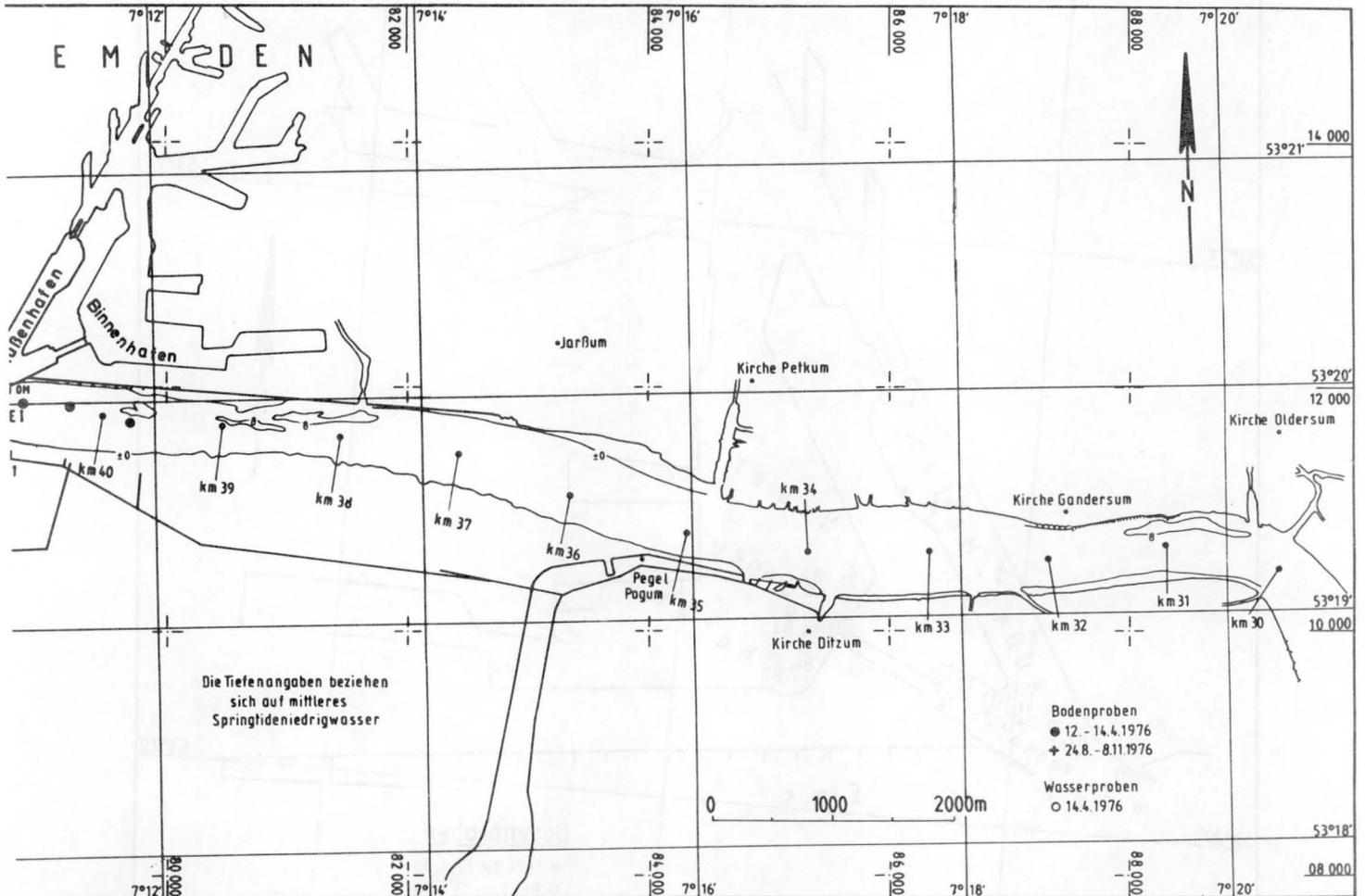


Bild 3 Lageplan der Entnahmestellen der Boden- und Wasserproben in der Ems



Lageplan der Entnahmestellen der Boden- und Wasserproben in der Ems

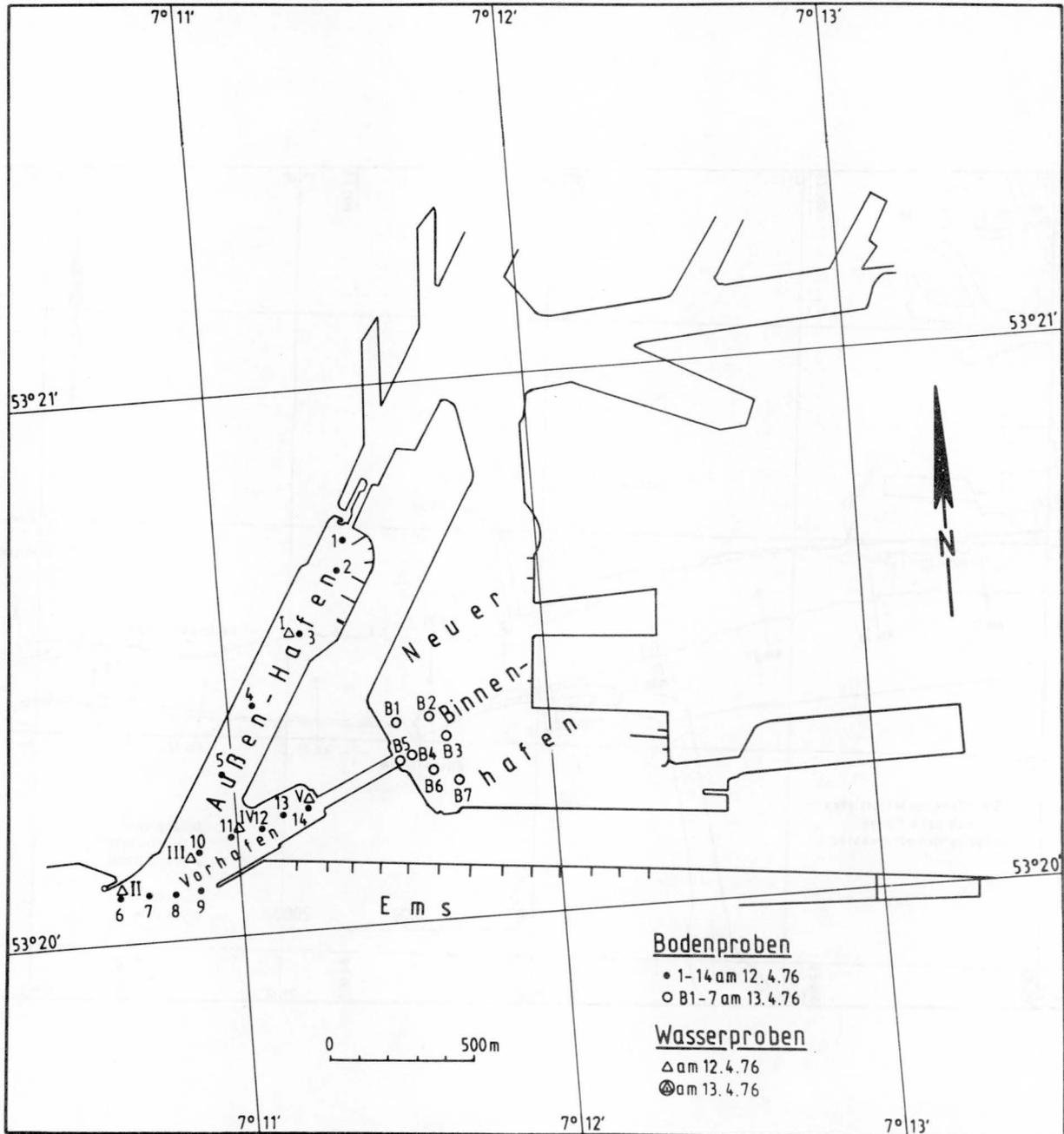


Bild 4 Lageplan der Entnahmestellen der Boden- und Wasserproben im Hafen

# Samu: Ein Beitrag zu den Sedimentationsverhältnissen

Aus dem Untersuchungsgebiet wurden insgesamt entnommen:

rund 380 Greiferproben  
19 ungestörte Bodenproben  
und 20 Wasserproben.

Außerdem wurden noch etwa 80 weitere Probenentnahmen berücksichtigt, die aus anderen Untersuchungen stammen, teilweise im Auftrag des WSA durchgeführt (1939), Dechend 1948/49 /6/, Favejee 1953-56 /8/, Krause 1953 /14/.

Alle diese Oberflächenproben, mit Ausnahme einiger weniger, sind gestört. Die Bodenprobenentnahme wurde mit einem van Veen-Greifer durchgeführt, die Wasserproben sind mit einem Vertikal-Wasserschöpfer von 1000 cm<sup>3</sup> Inhalt entnommen. Zur Untersuchung gelangte jeweils die oberste Schicht einer Bodenprobe. Die Bearbeitung des Materials geschah beim WSA Emden (Ermittlung des Salzgehaltes, Siebanalysen) und bei der BAW-AK (Schlamm- und Siebanalysen, Wassergehalt). Nach dem Entsalzen und Trocknen wurden die Proben durch Naßsiegung und Schlammung in die Fraktionsteile Sand, Schluff und Ton zerlegt. Die Korngrößenanalyse erfolgte nach DIN 4188. Bei der Verwendung einer Planprüfsiebmaschine beträgt der Siebwirkungsgrad nach 20 Minuten Siebdauer 97 bis 98 %. Die Bezeichnung der Sedimente nach DIN 4022 ist in der nachfolgenden Unterteilung (Tab. 1) wiedergegeben:

Tabelle 1 Bezeichnung der Sedimente

Grobkies	(gKi)	60-20 mm
Mittelkies	(mKi)	20- 6 mm
Feinkies	(fKi)	6- 2 mm
Grobsand	(gS)	2-0,63 mm
Mittelsand	(mS)	0,63-0,2 mm
Feinsand	(fS)	0,2-0,063 mm
Schluff	(Silt)	0,063-0,002 mm
Ton		< 0,002 mm

### 3 Untersuchungsmethode und Darstellung der Ergebnisse

Die abgelagerten Sedimente setzen sich aus Teilchenarten zusammen, die durch spezifisches Gewicht, Größe und Form voneinander abweichen.

Ihre Häufigkeit kann durch die Verteilungsfunktion beschrieben werden. Meistens wird die Gewichtsverteilung benutzt. Eine Gewichtsverteilung in Abhängigkeit von der Korngröße wird in Form einer Häufigkeitsverteilung und einer Summenkurve mit linearer Ordinatenenteilung und in Form einer Summenkurve mit Wahrscheinlichkeitsskala in Bild 5 dargestellt. Bevorzugt wird die Darstellung der Korngrößenverteilung durch Summenkurven verwendet, da gewisse Größen zur Kennzeichnung der Korngrößenverteilung aus ihr direkt abgelesen werden können. In der vorliegenden Arbeit wurden die Gewichtsanteile der Kornklassen auf Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen. Diese Art der Auftragung zeigt, ob das Gemisch einer lognormalen Verteilung entspricht oder aus Überlagerung mehrerer lognormaler Anteile besteht. Die Summenkurve einer logarithmischen Normalverteilung ist eine gerade Linie. Den häufig auftretenden drei lognormalen Anteilen werden die Transportarten "Rollen, Springen und Schweben" zugeordnet (Visher /30/). Die wichtigsten Parameter nach Trask /29/, die für die Kennzeichnung des Korngemisches verwendet werden, sind Bild 5 zu entnehmen. Die Quartile  $Q_1$ ,  $Q_2 = Md$  und  $Q_3$  sind die Korngrößen der 25 - 50- und 75 % - Durchgänge der Summenkurve.

Der Sortierungskoeffizient sagt etwas über die Streuung aus. Je mehr Kornklassen am Aufbau eines Kornkollektivs beteiligt sind, umso flacher ist die Summenkurve und umso größer der Abstand von  $Q_3$  und  $Q_1$ , also auch der Zahlenwert dieser Koeffizienten. Der Schiefekoeffizient zeigt die Abweichung von der Symmetrie der Summenkurve, d.h., ausgehend von der mittleren Korngröße besagen die errechneten Werte, ob gröbere oder feinere Kornklassen überwiegen. Ein ideal sortierter Sand und eine vollkommen symmetrische Kurve besitzen den Wert 1. Bezüglich weiterer Einzelheiten der Behandlung der Korngrößen sei auf die umfassende Literatur hingewiesen (Friedmann /9/, Inman /12/, Köster /13/, Müller /19/, Walger /31/). Die aus den Summenkurven ermittelten Werte werden kartografisch wiedergegeben, und zwar der Median, der Schluff- und Tonanteil (Bilder 6 - 12). Aus Gründen der Übersichtlichkeit und zu Vergleichszwecken ist eine graphische Darstellung angebracht. Die Meßpunkte von identischen Lagen wurden bei den Vergleichen nebeneinander aufgetragen, um ein besseres Erkennen zu ermöglichen.

Die genannten Darstellungen mit den bereits besprochenen Ermittlungsmethoden geben eine Möglichkeit für die Deutung der Sedimentationsverhältnisse.

Da bei den älteren Untersuchungen neben der Sedimentkarte gelegentlich auch die Analysen selbst zur Verfügung standen, konnten die analysierten Korngrößengemische nach einer vereinheitlichten Einteilung umbenannt werden. Somit bestand die Möglichkeit, die Sedimentkarten den Korngrößenverteilungen aus den verschiedenen Jahren gegenüberzustellen.

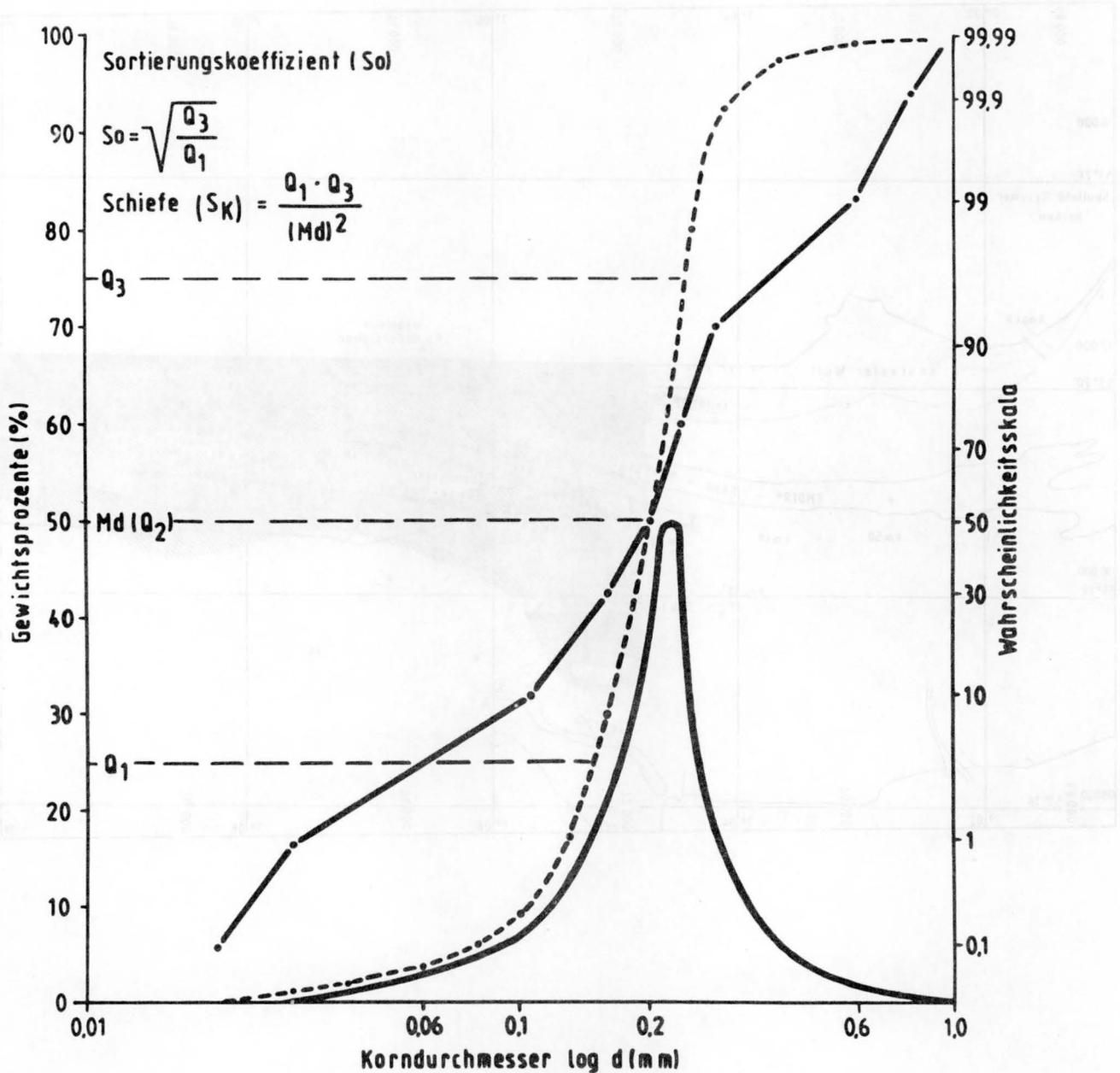


Bild 5 Schematische Darstellung der Korngrößenverteilung

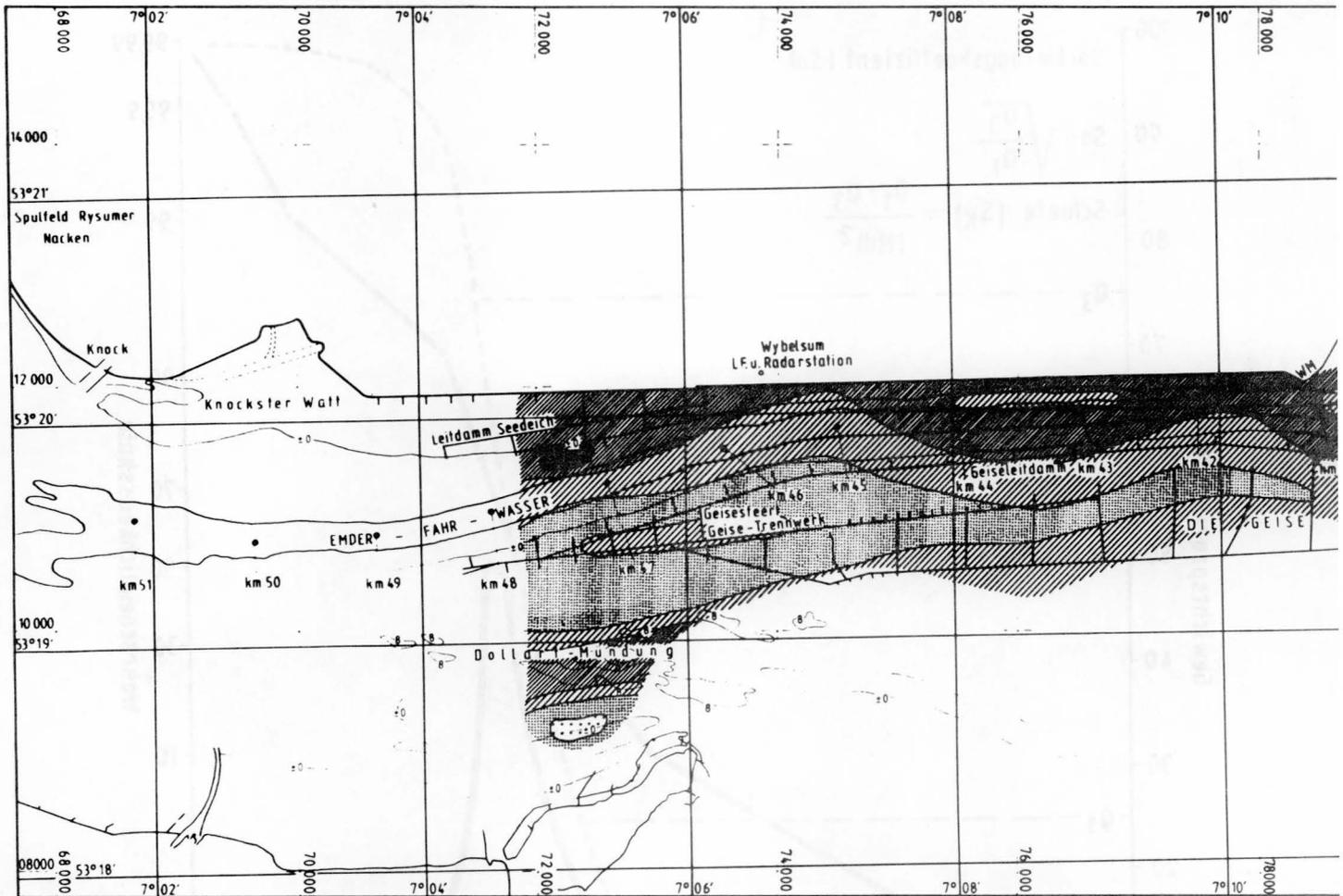
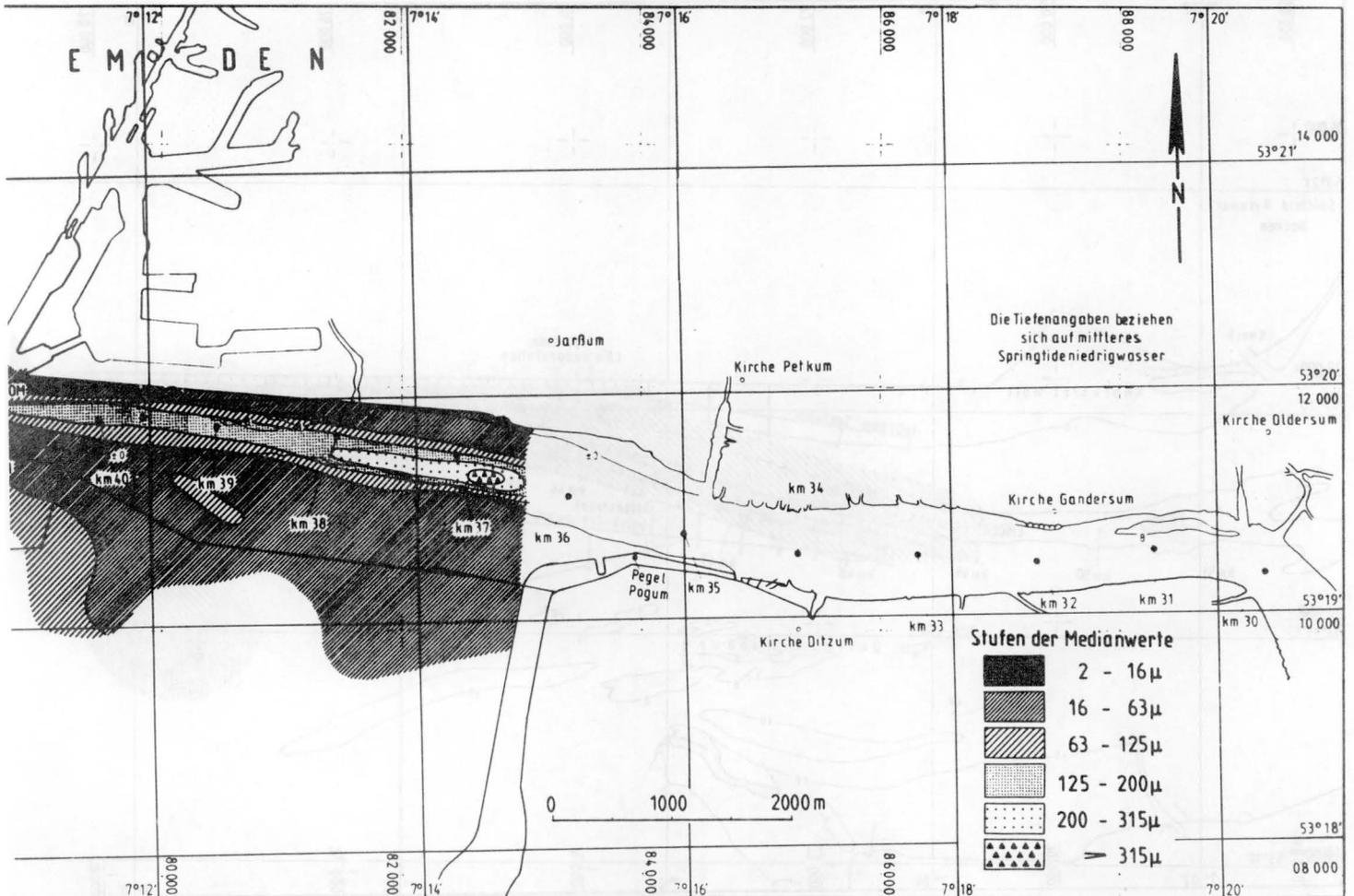


Bild 6 Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen 1939/48 -



Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emdener Außenhafen - Nach Probenentnahmen 1939/48 -

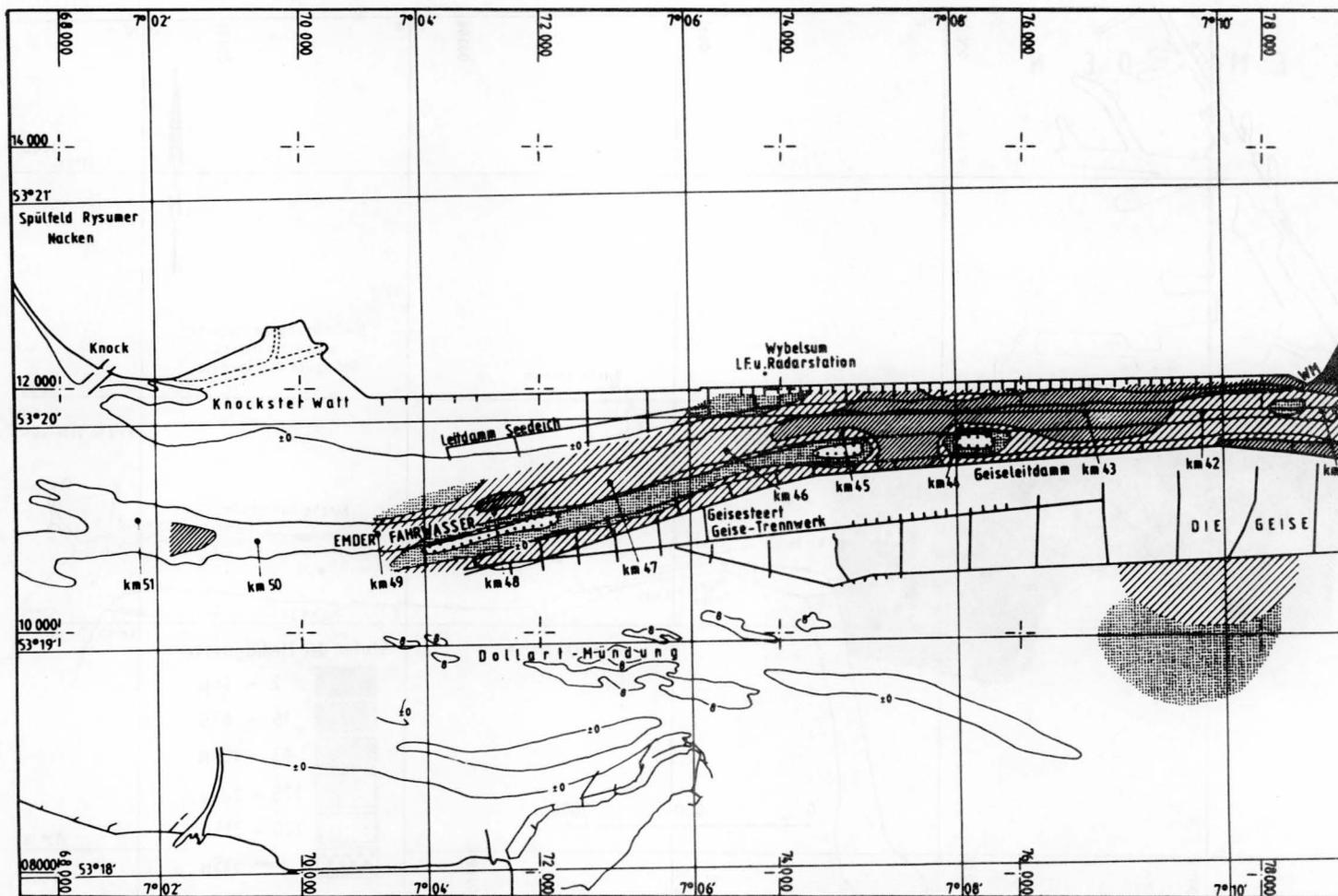
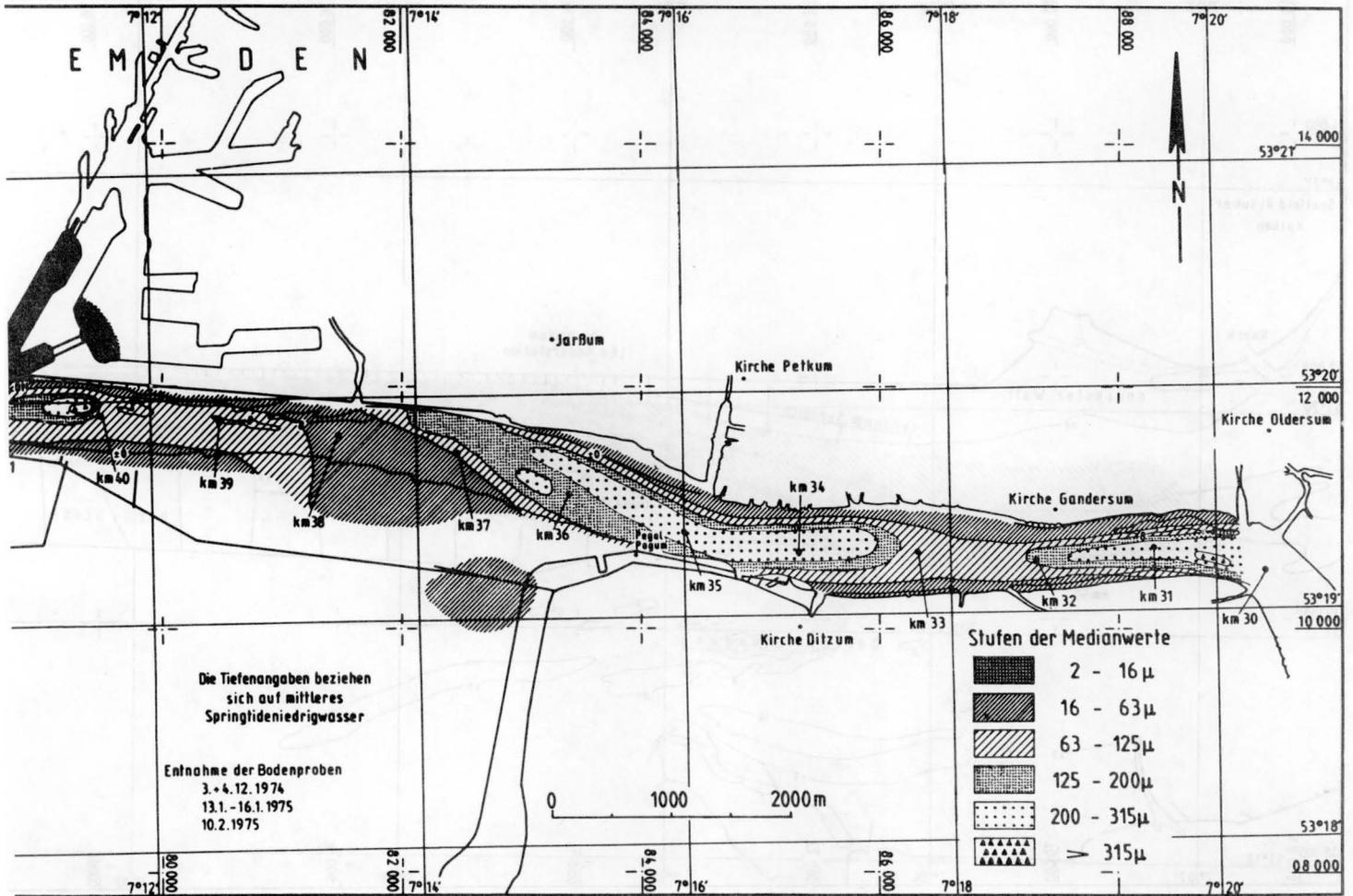


Bild 7 Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen von 1974/75



Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen von 1974/75

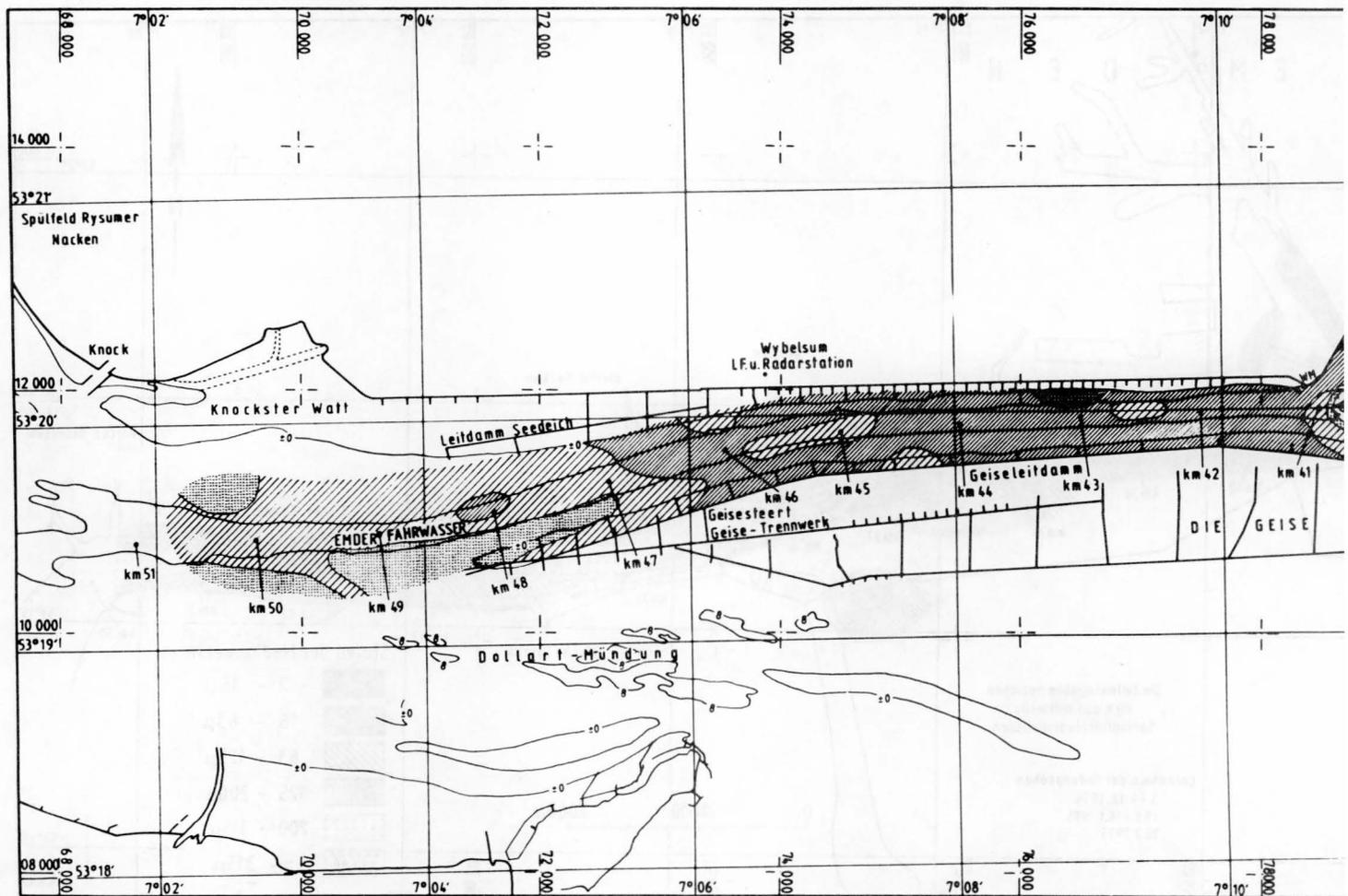
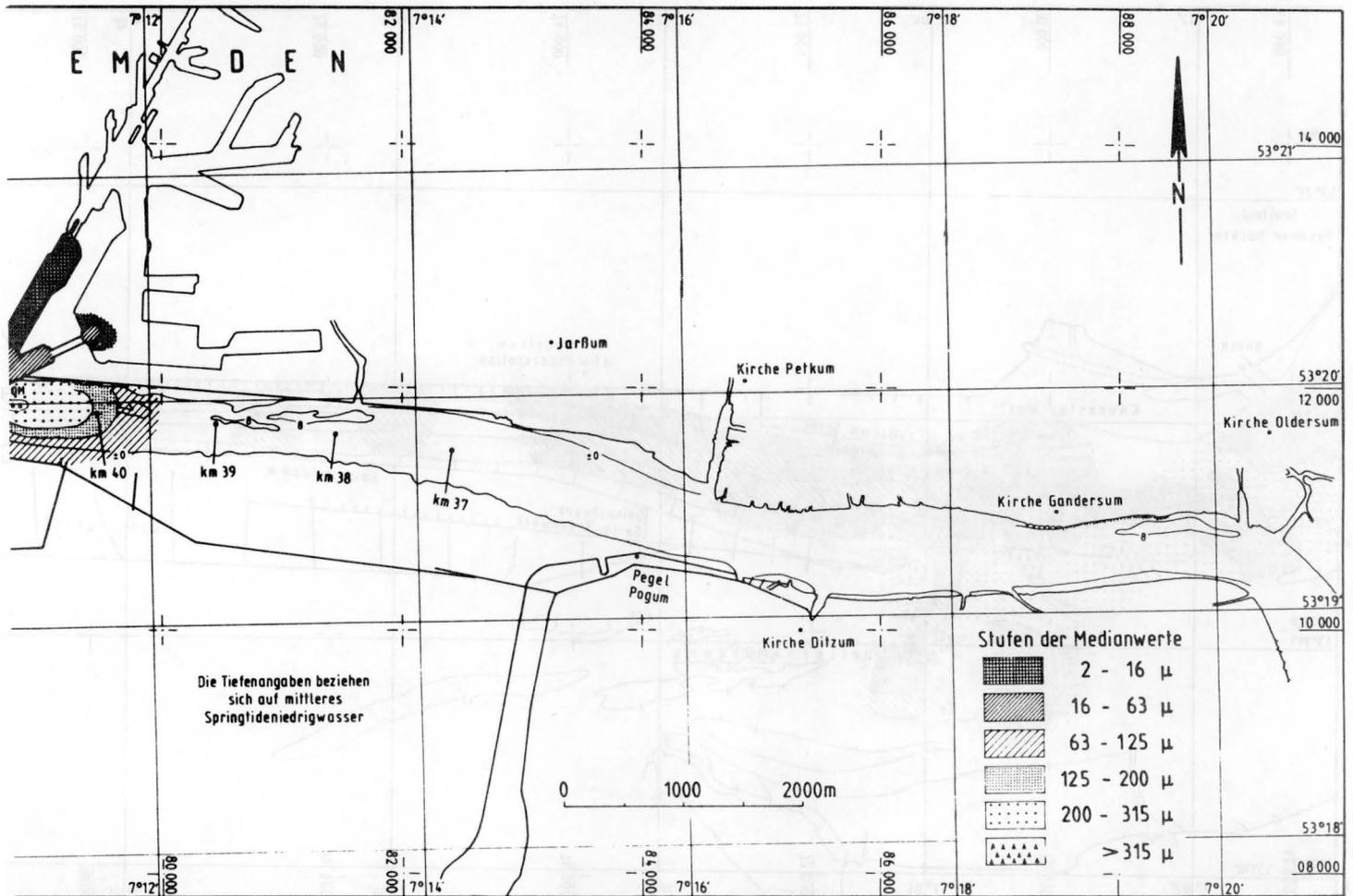


Bild 8 Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen vom 12.04.-14.04.1976



Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems und im Emdener Außenhafen - Nach Probenentnahmen vom 12.04.-14.04.1976

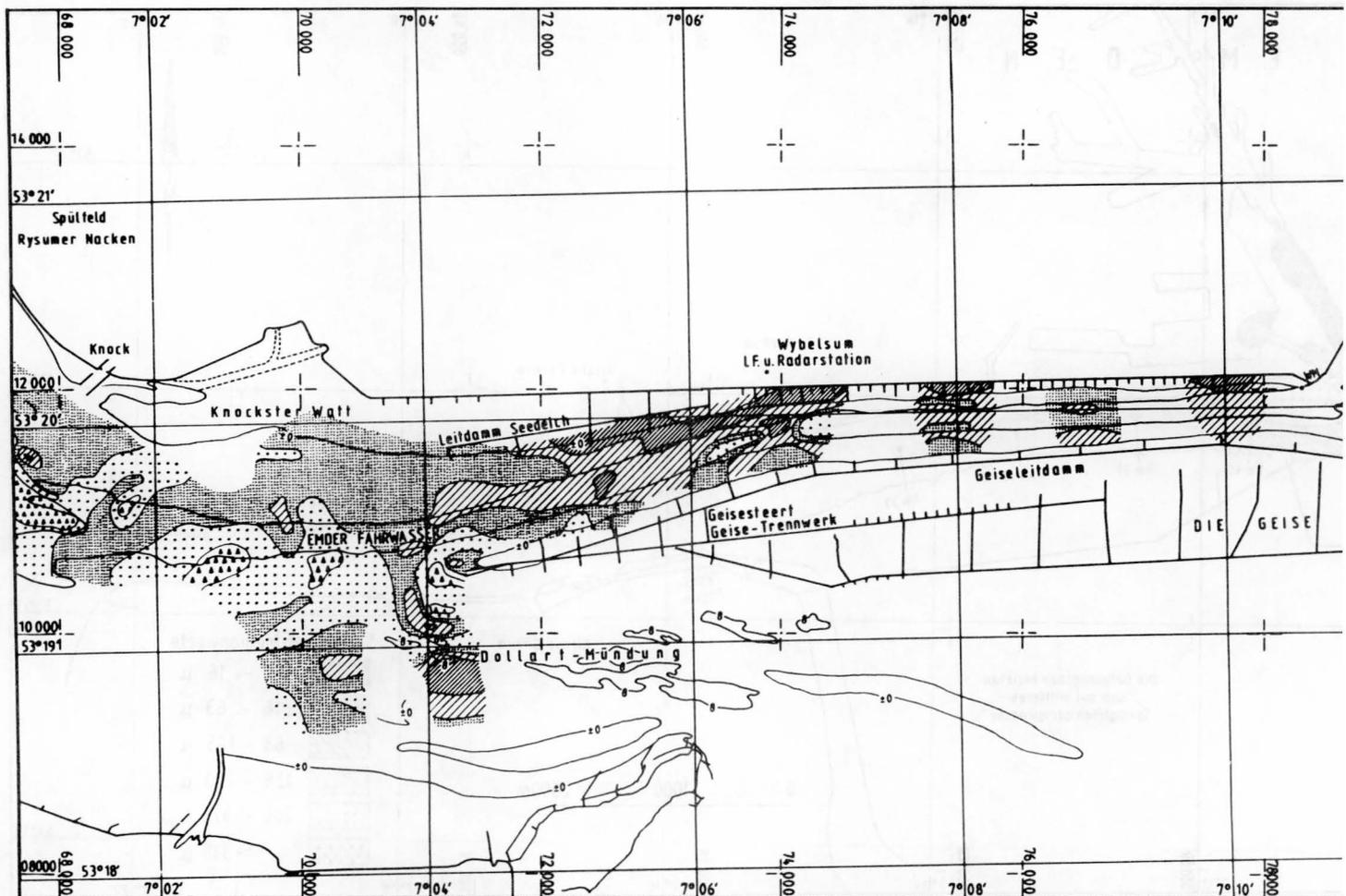
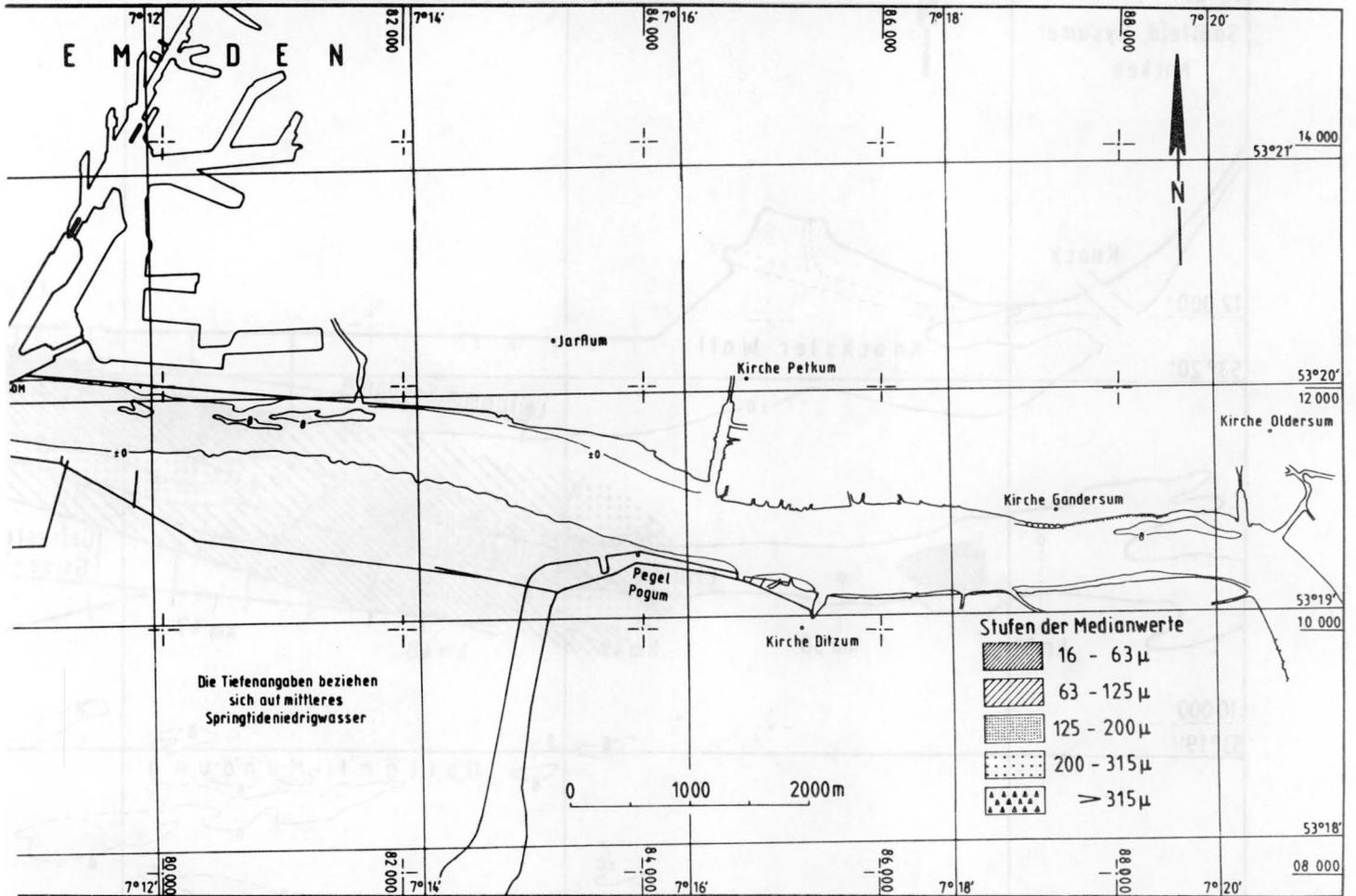


Bild 9 Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems - Nach Probenentnahmen vom 24.08.-08.11.1976 -



Flächenhafte Verteilung des Medianwertes in der Ems - Nach Probenentnahmen vom 24.08.-08.11.1976 -

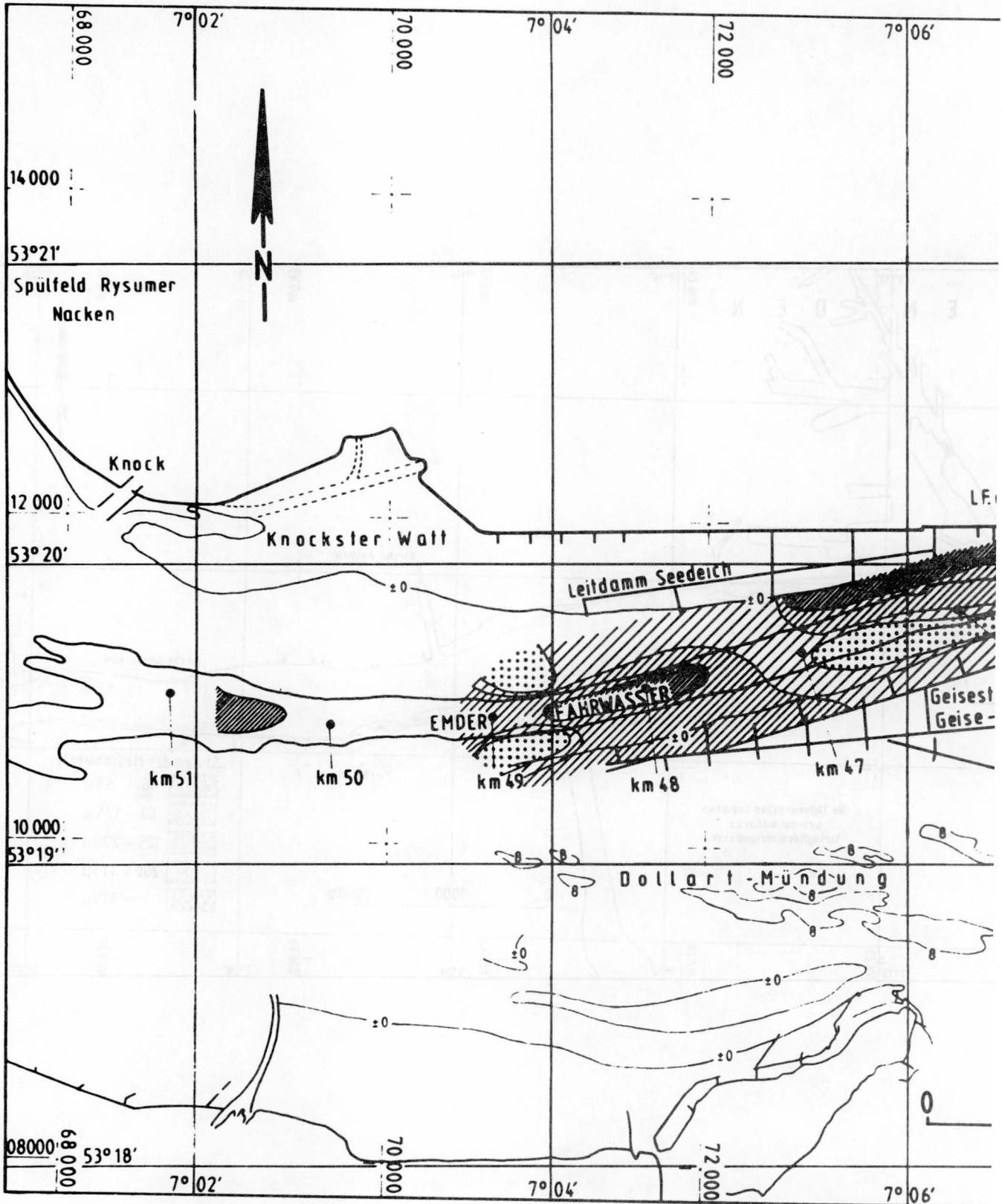
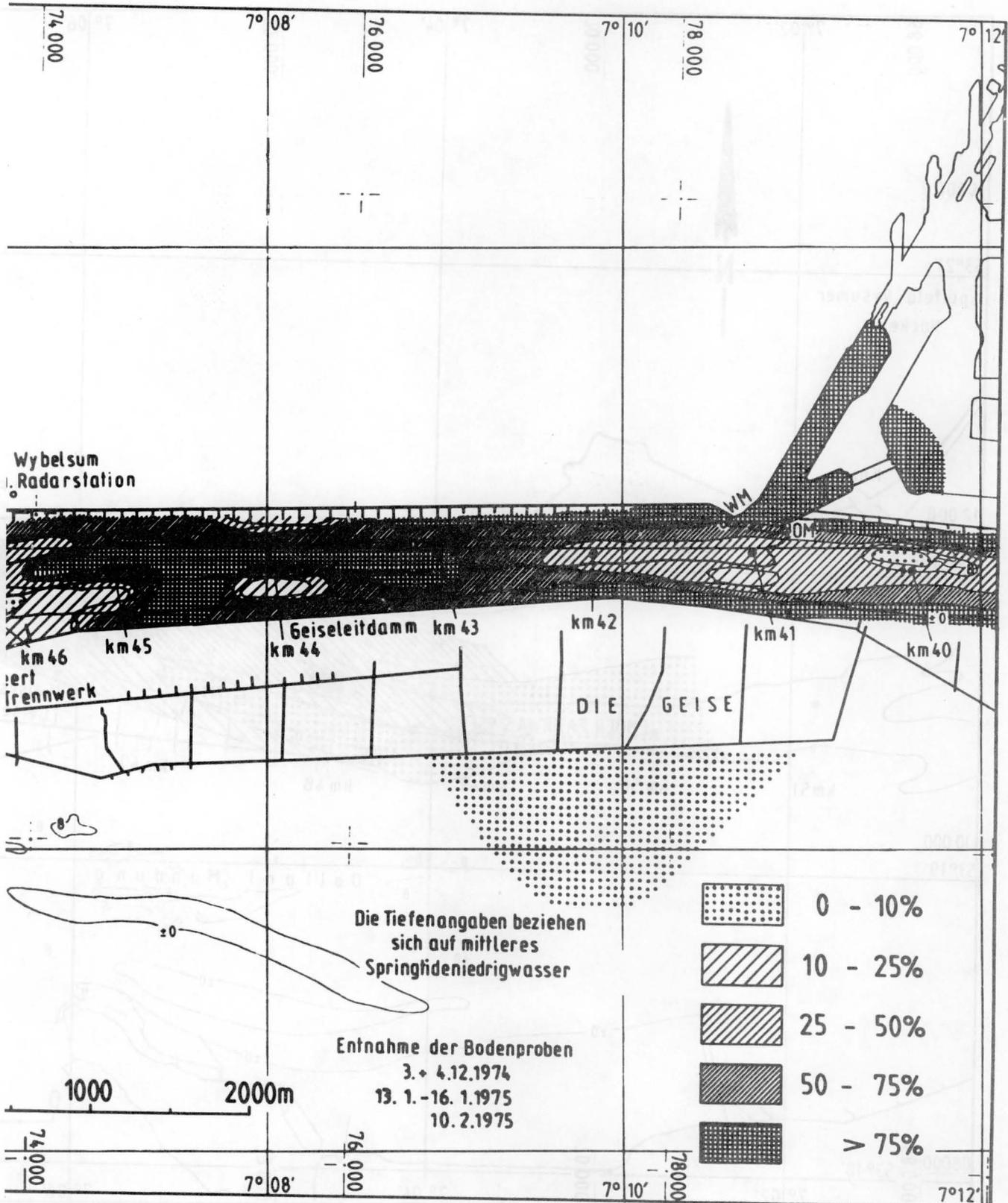


Bild 10 Schluff- und Tonanteil ( $< 63 \mu$ ) in der Ems und im Emdener Außenhafen - Nach Probenentnahmen 1974/75 -



Schluff- und Tonanteil ( $< 63 \mu$ ) in der Ems und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen 1974/75 -

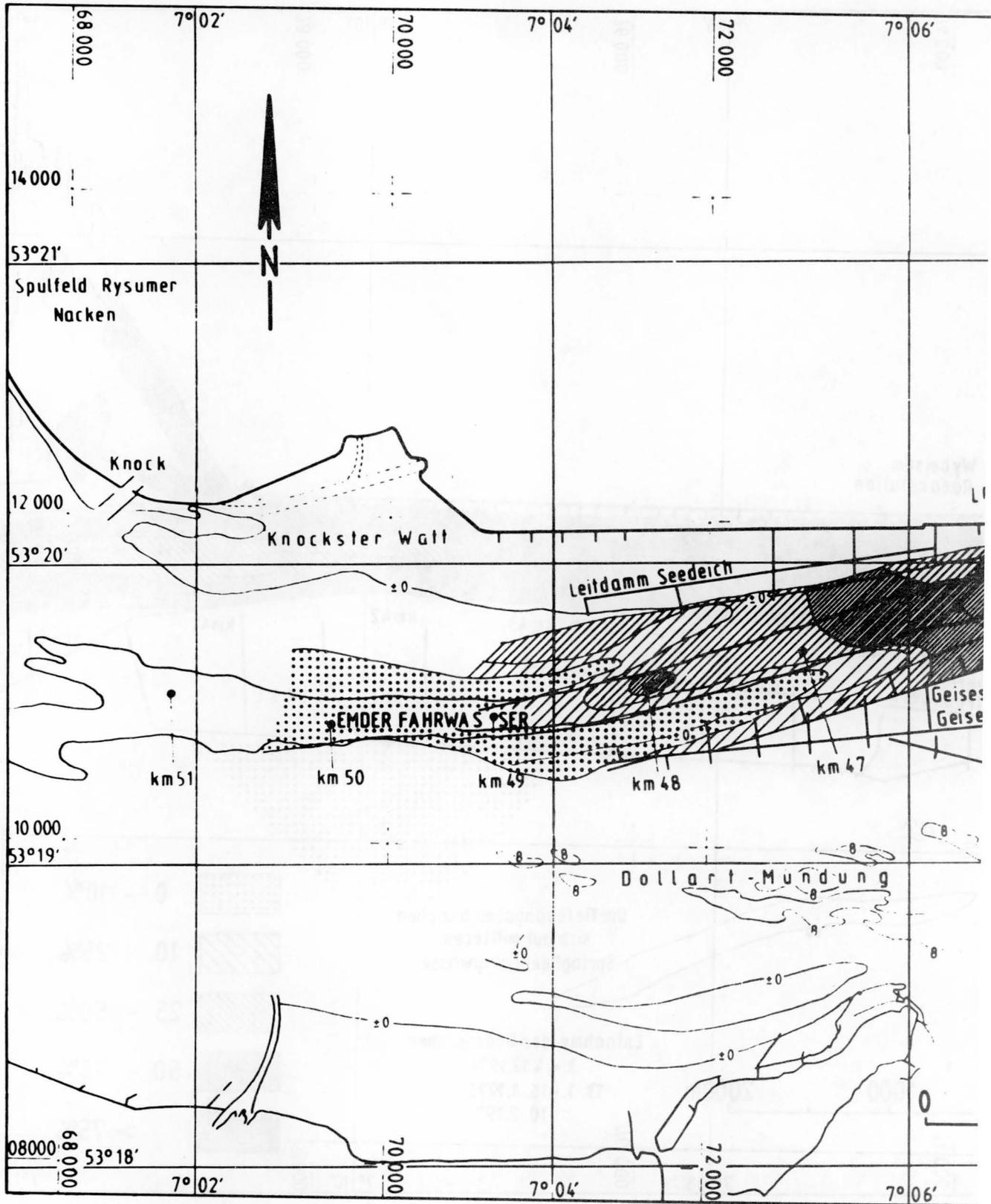
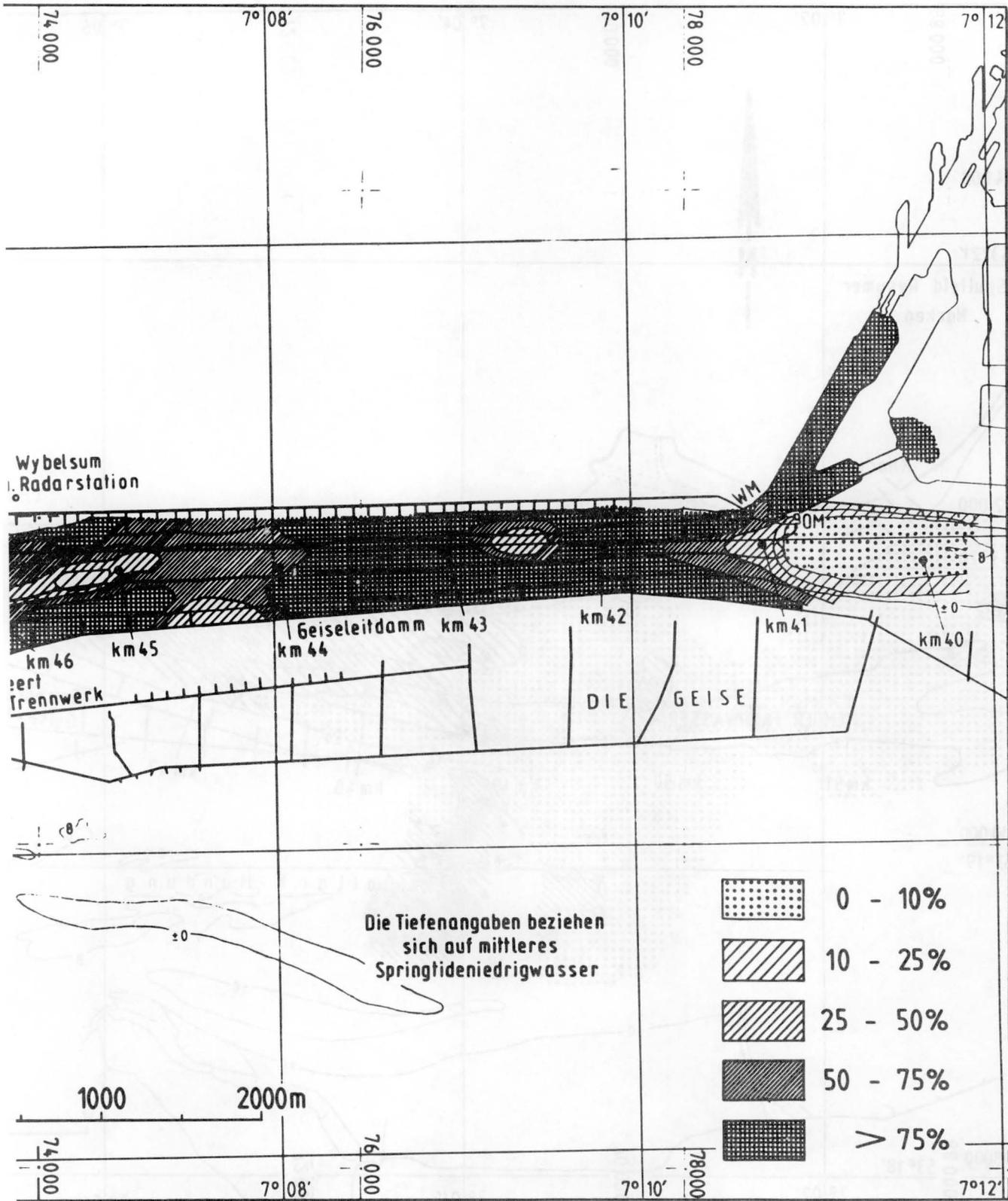


Bild 11 Schluff- und Tonanteil ( $< 63 \mu$ ) im Emden Fahrwasser und im Emden Außenhafen - Nach Probenentnahmen vom 12.04.-14.04.1976 -



Schluff- und Tonanteil ( $< 63\mu$ ) im Emder Fahrwasser und im Emder Außenhafen - Nach Probenentnahmen vom 12.04.-14.04.1976 -

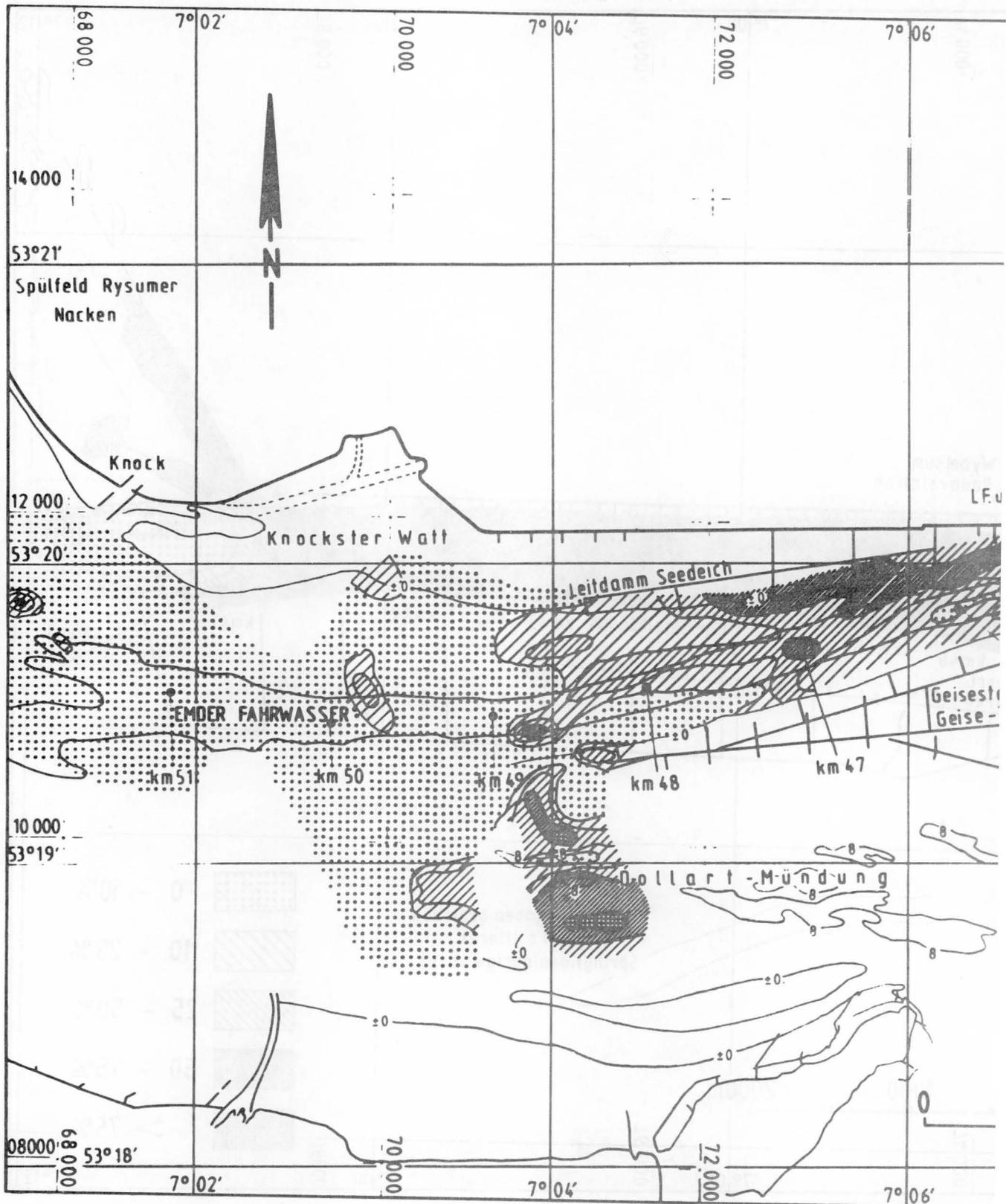
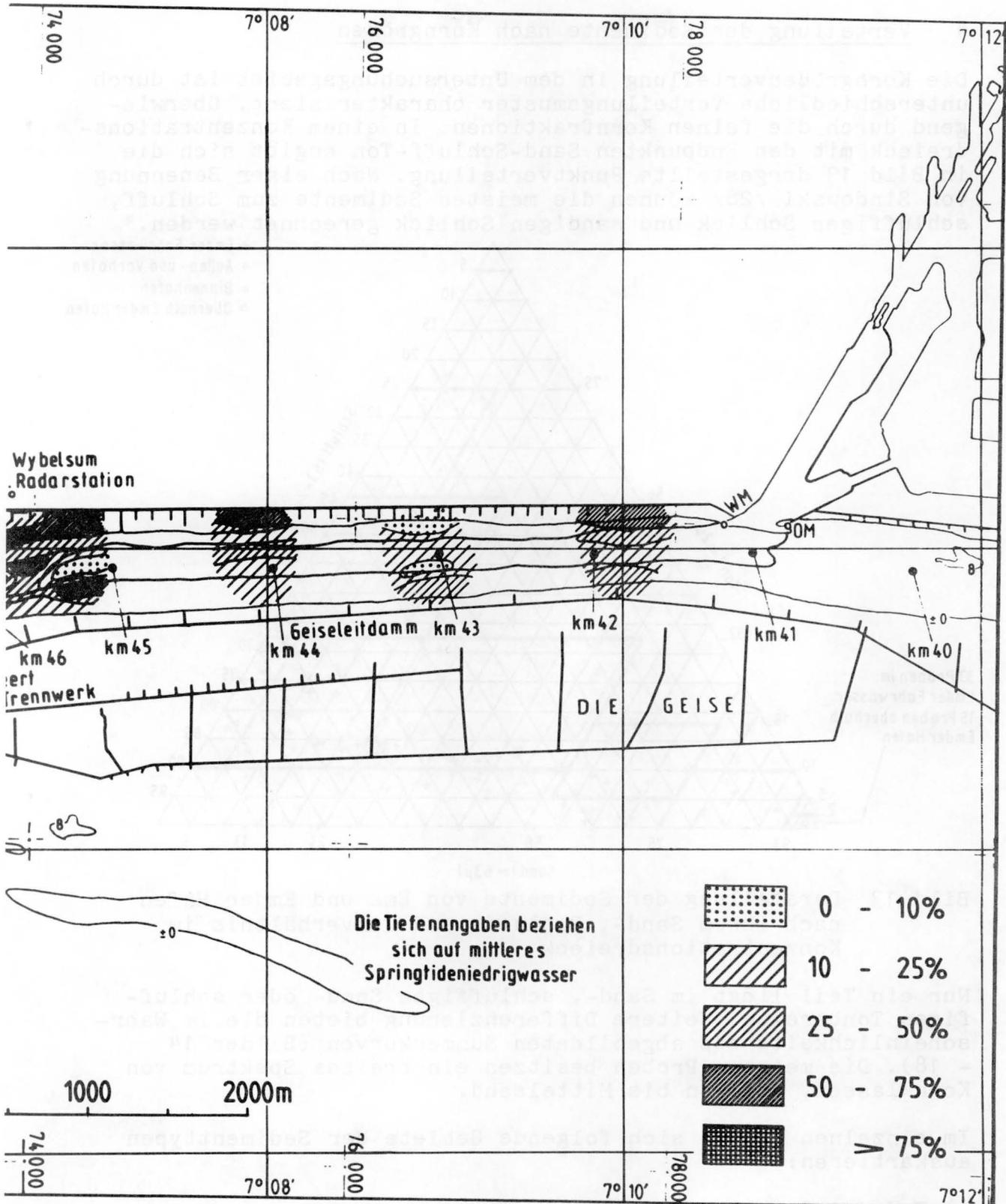


Bild 12 Schluff- und Tonanteil ( $< 63 \mu$ ) im Emden Fahrwasser  
Nach Probenentnahme vom 24.8.-8.11.1976



Schluff- und Tonanteil ( $< 63 \mu$ ) im Emders Fahrwasser  
 Nach Probenentnahme vom 24.8.-8.11.1976

#### 4 Verteilung der Sedimente nach Korngrößen

Die Korngrößenverteilung in dem Untersuchungsgebiet ist durch unterschiedliche Verteilungsmuster charakterisiert, überwiegend durch die feinen Kornfraktionen. In einem Konzentrationsdreieck mit den Endpunkten Sand-Schluff-Ton ergibt sich die in Bild 13 dargestellte Punktverteilung. Nach einer Benennung von Sindowski /28/ können die meisten Sedimente zum Schluff, schluffigen Schlick und sandigen Schlick gerechnet werden.\*

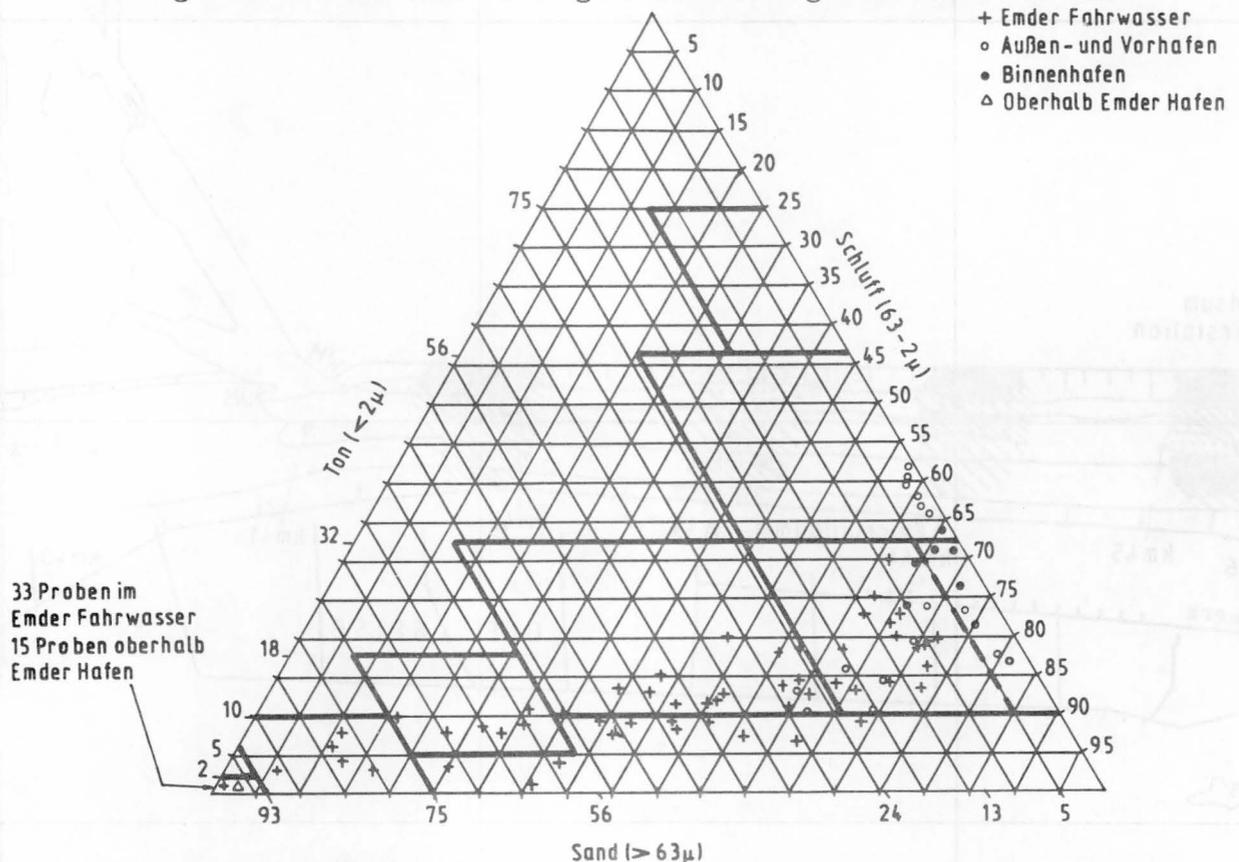


Bild 13 Darstellung der Sedimente von Ems und Emden Hafen nach ihrem Sand-, Schluff- und Tonverhältnis im Konzentrationsdreieck

Nur ein Teil liegt im Sand-, schluffigen Sand- oder schluffigen Tonbereich. Weitere Differenzierung bieten die im Wahrscheinlichkeitsnetz abgebildeten Summenkurven (Bilder 14 - 18). Die meisten Proben besitzen ein breites Spektrum von Kornklassen, von Ton bis Mittelsand.

Im einzelnen lassen sich folgende Gebiete der Sedimenttypen auskartieren:

- 1) Emden Außenhafen und Binnenhafen
- 2) Stromabschnitt oberhalb Emden
- 3) Stromabschnitt unterhalb Emden

\* Ein Teil der analysierten Proben konnte nicht auf diese Weise dargestellt werden, da nur der Sandanteil in Fraktionen zerlegt wurde, aber nicht die Anteile unter  $63 \mu$ .

Samu: Ein Beitrag zu den Sedimentationsverhältnissen

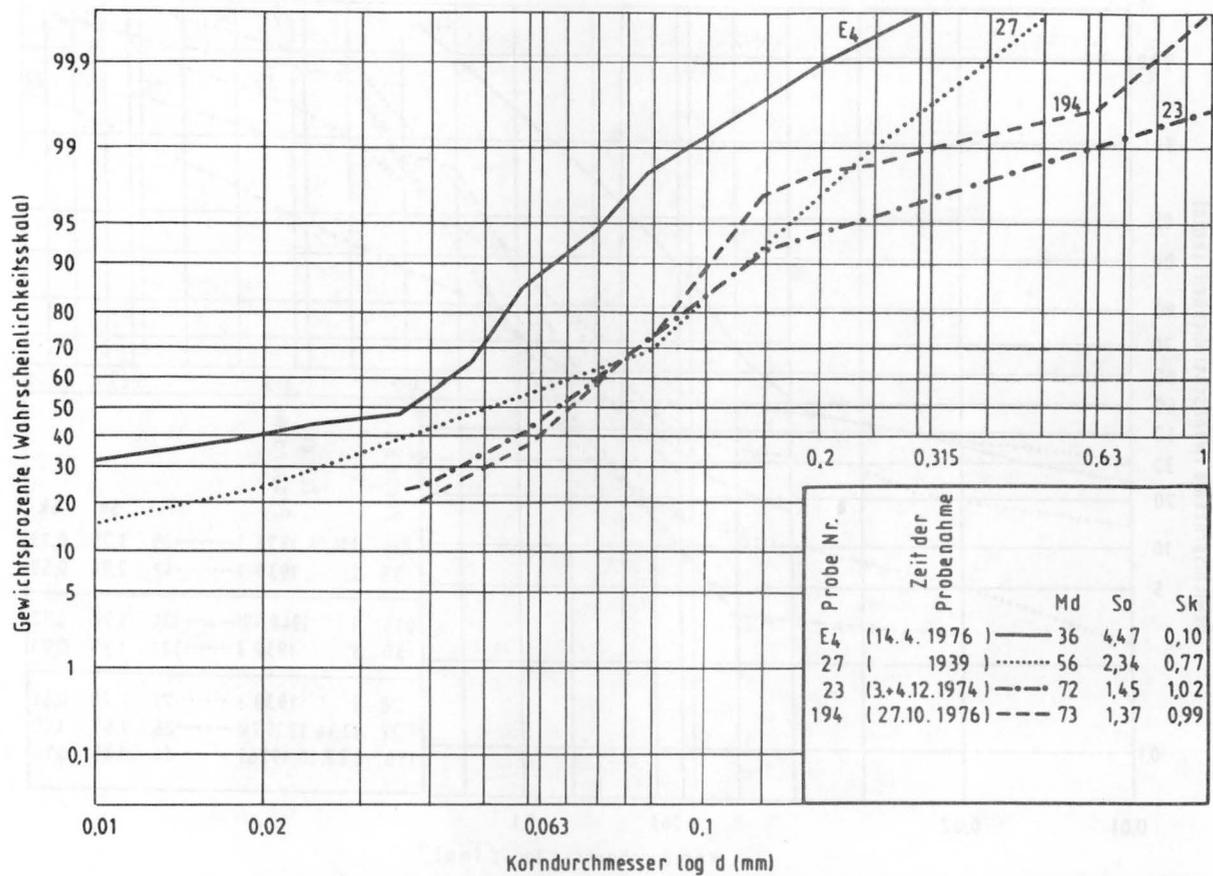


Bild 14 Änderung der Kornsummenkurven im Emden Fahrwasser bei km 42,0.

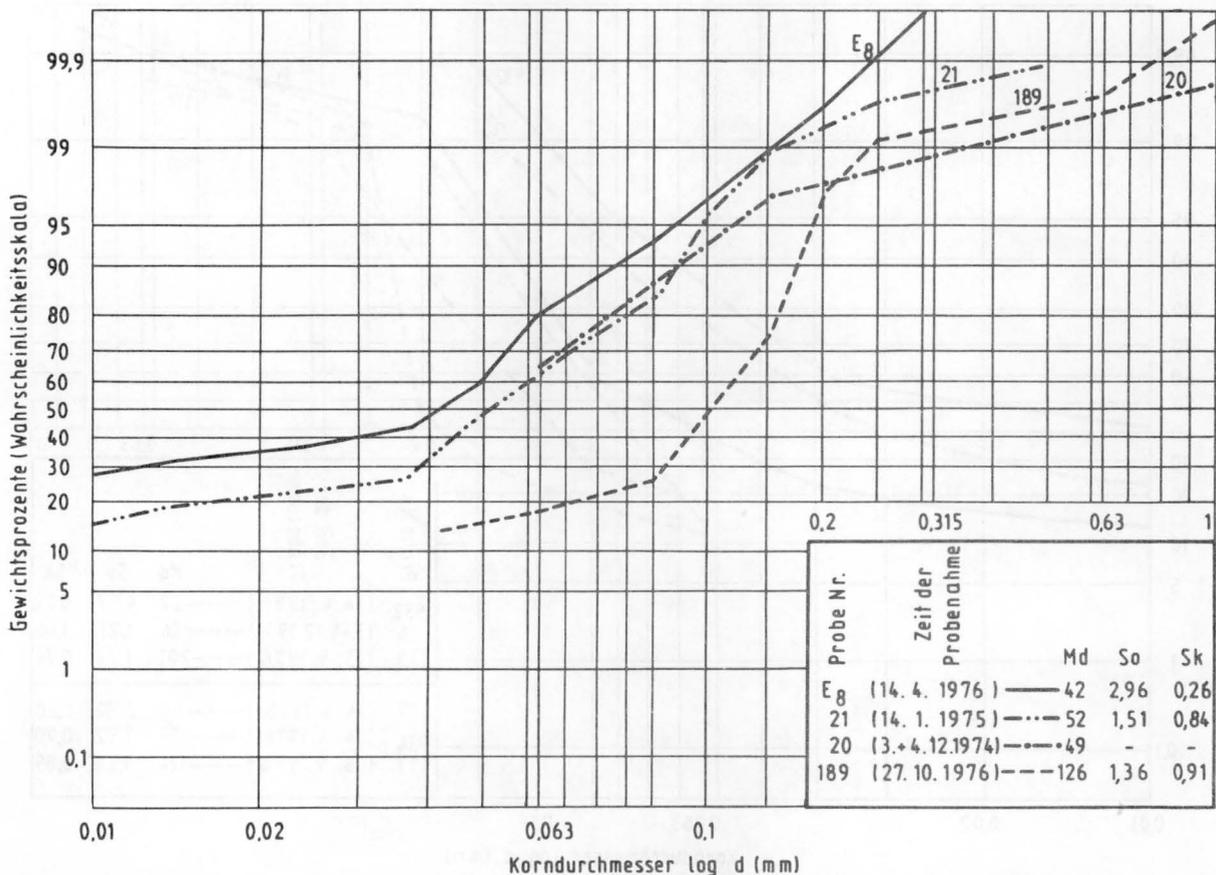


Bild 15 Änderung der Kornsummenkurven im Emden Fahrwasser bei km 43,0.

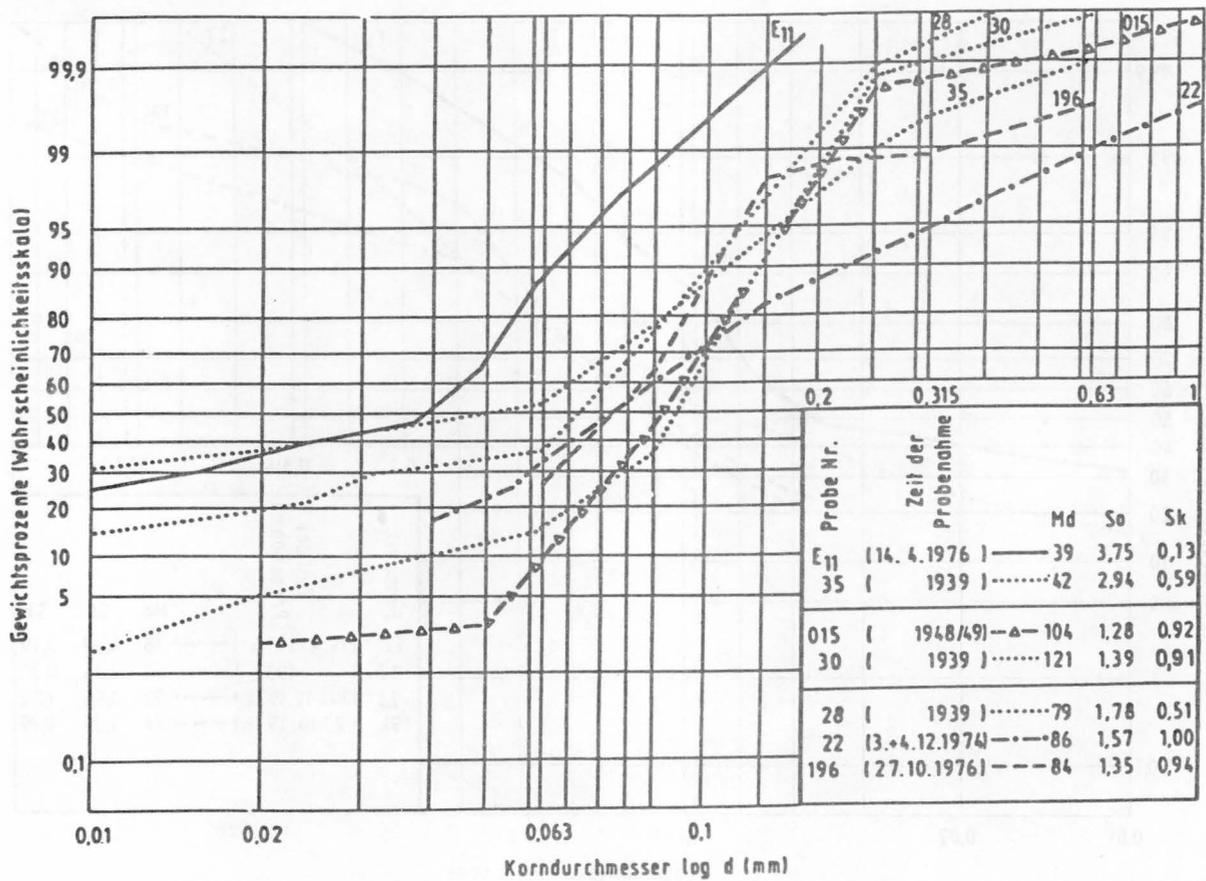


Bild 16 Änderung der Kornsummenkurven im Gebiet südlich des Emders Fahrwassers bei km 42,0.

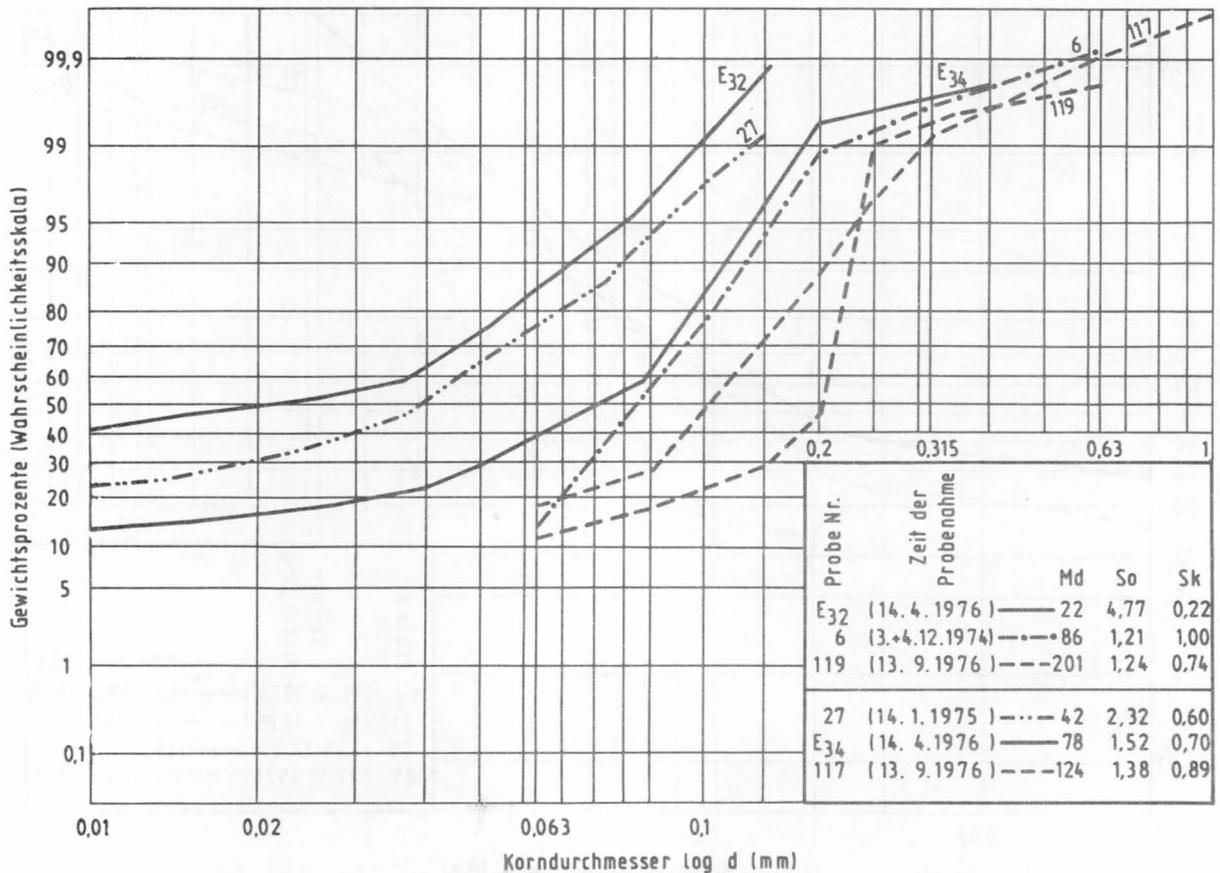


Bild 17 Änderung der Kornsummenkurven im Emders Fahrwasser und in dem nörlich angrenden Bereich bei km 48,0.

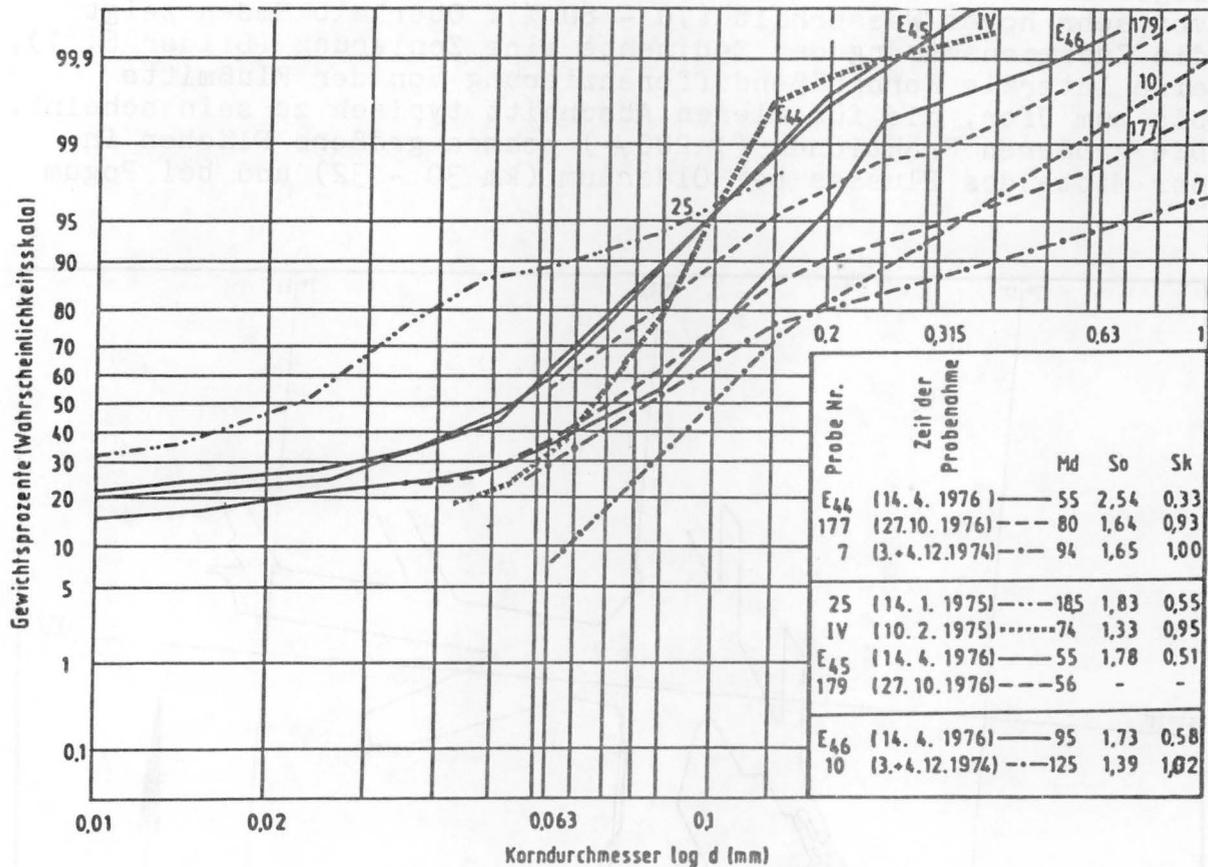


Bild 18 Änderung der Kornsummenkurven im Querprofil des Emders Fahrwassers bei km 45,7.

In den Hafenbecken des Außen- und Binnenhafens besteht das Bodenmaterial aus sehr feinen Sedimenten mit einem Median von 2 - 16  $\mu$ . Als besonders fein erwies sich das Bodenmaterial im Außenhafen von der Nesserlander Schleuse bis VW-Umschlagplatz und im Binnenhafen. Die Tonanteile der Proben liegen durchschnittlich über 33 % im Außenhafen und über 24 % im Binnenhafen. (Bild 19, Tab. 2). Im übrigen Teil gehören sie dem Schluffbereich an. Unmittelbar vor der neuen Seeschleuse im Vorhafen und auch im Binnenhafen kommt es zu vorübergehender Vergrößerung des Sohlenmaterials. Im Vorhafen erwies sich die zunächst einheitlich auskartierte Sedimentdecke unterschiedlich in Bezug auf ihre Fraktionsteile (Bild 8). Bild 19 zeigt hinsichtlich der Tonverteilung ein etwas detaillierteres Bild. Von der Linie West- zu Ostmole ist eine deutliche Abstufung des Medianwertes und eine Zunahme des Tongehaltes erkennbar. Interessanterweise zeigen die Schluffgehalte der Proben die geringsten Schwankungen, gleich aus welchem Bereich sie im Hafengebiet stammen. Allgemein zeichnen sich die hier untersuchten Proben durch eine schlechte

Sortierung (Tab. 2) aus und besitzen gegenüber der Normalverteilung einen höheren Überschuss an Feinmaterial, wie aus der Schiefe ablesbar ist (Tab. 2). Die Sohle des Hafenbeckens (Außen-, Binnen- und Vorhafen) und die einiger Teile des Emdener Fahrwassers bestand aus sehr weichem, frisch abgesetztem, gelegentlich in der obersten Schicht schwach oxidiertem Schlick von sehr hohem Wasserhalt (70 - 80 %). Oberhalb Emden zeigt die Zusammensetzung der Sedimente eine Zonierung (Bilder 6, 7), eine laterale Korngrößendifferenzierung von der Flußmitte bis zum Ufer, die für diesen Abschnitt typisch zu sein scheint. Die größeren Fraktionen ( $> 200 \mu$ ) nehmen größere Flächen in der Mitte des Flusses bei Oldersum (km 30 - 32) und bei Pogum

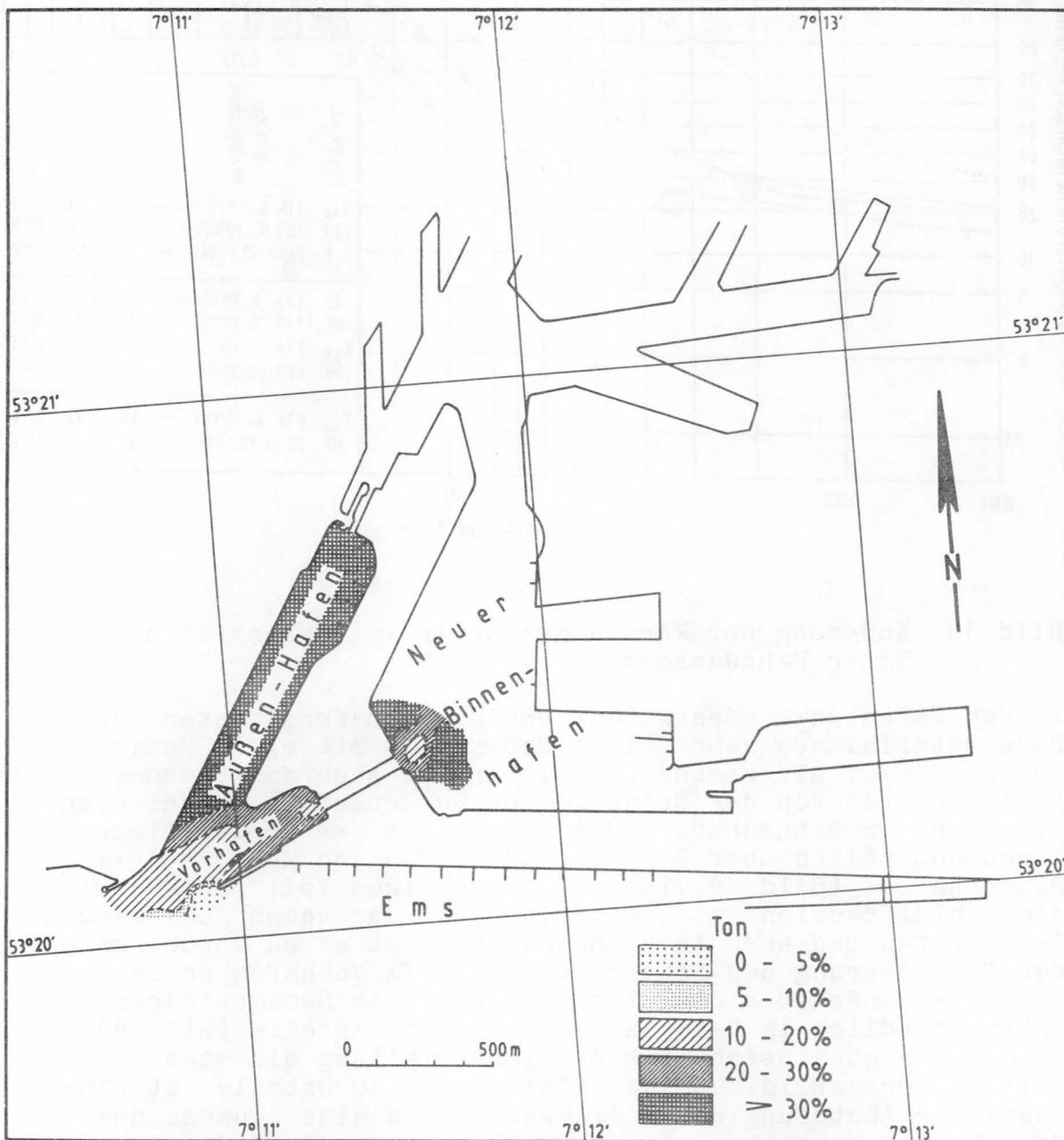


Bild 19 Tongehalt ( $< 2 \mu$ ) der Sedimente im Emdener Außen-, Binnen- und Vorhafen (nach Messungen vom 12.-14.04.1976)

Tabelle 2 Zusammenstellung ausgewählter Eigenschaften der Sedimente im Emder Fahrwasser

Probe Nr.	Datum der Probenentnahme	Ort der Probenentnahme	Kies	Grob-	Sand		Schluff (Silt)	Ton	O <sub>2</sub>	S <sub>0</sub>	Sk
					%	%					
		Bodenproben	%	%	%	%	%	%	μ		
B <sub>3</sub>	13. 4. 1976	Emden, Neuer Binnenhafen	-	-	0,3	5,0	67,7	27,0	12	4,06	0,33
B <sub>4</sub>	13. 4. 1976	" " "	-	-	0,8	12,8	73,4	13,0	26	2,48	0,38
B <sub>7</sub>	13. 4. 1976	" " "	-	-	-	1,0	67,0	32,0	7,3	5,00	0,47
Z XIII	Jan./Febr.	" " "	-	-	-	2,9	70,8	26,3	79	3,38	0,56
		Bodenproben									
1	12. 4. 1976	Emden, Außenhafen	-	-	-	1,9	62,1	36,0	4,0	4,00	0,81
2	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	1,7	57,3	41,0	3,2		
3	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	2,0	61,5	36,5	4,2	4,20	1,02
4	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	1,4	56,9	41,7	3,2	4,30	0,89
5	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	2,3	60,2	37,5	4,2	4,36	1,08
7+8	13. 1. 1975	" " "	-	-	-	2,0	81,2	16,8	14,0	2,40	0,47
9+10	13. 1. 1975	" " "	-	-	-	1,8	79,8	18,4	11,75	2,78	0,61
XII	Jan./Febr.	" " "	-	-	-	1,5	58,2	40,3	3,5	4,23	0,70
		Bodenproben									
10	12. 4. 1976	Emden, Vorhafen	-	-	0,2	15,3	65,5	19,0	4,1	3,49	0,15
11	12. 4. 1976	" " "	-	-	0,5	21,3	61,7	16,5	4,5	2,85	0,23
12	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	10,9	69,1	20,0	3,9	3,78	0,13
13	12. 4. 1976	" " "	-	-	-	8,0	68,0	24,0	2,5	4,67	0,17
14	12. 4. 1976	" " "	-	-	2,0	25,2	59,3	13,5	5,2	2,03	0,39
5+6	13. 1. 1975	" " "	-	-	-	3,2	75,4	21,4	1,3	3,37	0,45
32+4	16. 1. 1975	" " "	-	-	-	3,0	74,4	22,6	14,5	3,37	0,36
		Bodenproben									
11+12	14. 1. 1975	Emder Fahrwasser	-	-	-	12,7	65,2	22,1	18,5	4,0	0,31
24+25	14. 1. 1975	" " "	-	-	-	12,5	74,1	13,4	24,0	1,85	0,68
26+27	14. 1. 1975	" " "	-	-	-	26,8	61,3	11,9	4,25	2,33	0,43
V II	Jan./Febr.	" " "	-	-	0,5	35,7	51,4	12,4	5,20	2,59	0,26
E 34	14. 4. 1976	" " "	-	0,1	0,4	60,5	30,6	8,4	78,0	1,52	0,70
E 12	14. 4. 1976	" " "	-	-	0,2	21,8	63,0	9,0	51,0	1,37	0,74
E 54	14. 4. 1976	" " "	-	-	0,3	58,7	36,7	4,3	69,0	1,25	1,14
		Wasserproben									
1576	13. 4. 1976	In der Neuen Seeschleuse	-	-	-	12,2	64,7	23,1	23,5		
3024	13. 4. 1976	" " " V	-	-	-	2,0	67,5	30,5	6,8		
2228	14. 4. 1976	Außenhafen, Entnahmestelle I	-	-	-	-	63,0	37,0	5,0		
3814	14. 4. 1976	" " " III	-	-	-	8,5	66,9	24,6	15,0		
3865	14. 4. 1976	Vorhafen, Entnahmestelle V	-	-	-	0,8	66,0	33,2	4,9		

(km 34 - 36) ein. Die gut sortierten Mittelsande werden von immer feineren Bodenarten in Richtung Ufer nach beiden Seiten umschlossen. In Ufernähe findet man Sedimente ähnlich feiner Konsistenz wie im Außenhafen. Dieses Bild der Bodenbedeckung läßt sich bis zum Außenhafen verfolgen (km 41).

Westlich im Emder Fahrwasser ist die Korngrößenzusammensetzung wesentlich heterogener als im Hafengebiet. Die Sedimente erfassen ein breites Korngrößenpektrum von schluffig-tonigen bis zu grobsandigen Fraktionen. Die regionalen Darstellungen der Schluff- und Tonteile bzw. der Korngrößenverteilungen geben einen Überblick über die Verbreitung der verschiedenen Fraktionen (Bilder 6 - 12). Einerseits besteht in der räumlichen Verteilung ein unregelmäßiges Muster der Korngrößen, das abgesehen von bestimmten exponierten Stellen (Bühnenfelder) nicht an bevorzugte Bereiche gebunden zu sein scheint, andererseits ist in der Korngrößenzusammensetzung eine deutliche allgemeine Tendenz erkennbar. Der Sandanteil nimmt nach See hin deutlich zu. Die Verzahnung von Feinsanden mit Schluffen oder Schluffen mit Mittelsanden bietet das charakteristische Bild der Oberflächenverteilung der Korngrößen.

Typische Summenkurven sind in den Bildern 14 - 18 wiedergegeben. An einigen Stellen allerdings werden im Fahrwasser Bereiche angetroffen, in denen die Sedimente ähnliche Korngrößenzusammensetzungen zeigen wie die der Ablagerungen im Hafengebieten (Tab. 2). Bemerkenswert ist die hohe Beteiligung der Tone mit durchschnittlich 14,2 % am Gesamtsediment in dieser Strecke. Bei näherer Betrachtung nimmt innerhalb dieser Zone das Sediment an einigen Stellen den Charakter eines schluffarmen (unter 10 %) und gut sortierten Feinsandes an (Bilder 6 - 12). Sporadisch steigt sogar die Beteiligung der Mittelsande erheblich an (Geise-Weststeert). Deutliche Vergrößerung ist im Übergangsbereich zum Dollartmund zu erkennen. Im Dollartmund selbst ist nach der vorliegenden Bestandsaufnahme die Korngrößenverteilung ziemlich ungeordnet (Bild 9). Innerhalb kleinerer Entfernungen ist der sprunghafte Wechsel der Zusammensetzung des Korngemisches typisch.

### 5 Auswertung der Schwebstoffproben

Die wiedergegebenen Analysenergebnisse der Schwebstoffproben können nur als Ergänzung zu den bereits erkannten Zusammenhängen anderer Untersuchungen gewertet werden; denn es fehlt sowohl eine zeitliche als auch eine räumliche Kontinuität. Es sind einige punktuelle Messungen, wovon zwei über einen längeren Zeitraum in drei Tiefenstufen durchgeführt worden sind. Im Gegensatz zu den Ablagerungen enthalten die Schwebstoffproben erwartungsgemäß mehr feine Partikel als die Bodensedimente (Tab. 3). Die Unterschiede sind jedoch vielfach an die verschiedenen Tidephasen und auch an die örtlichen Bedingungen geknüpft.

Tabelle 3 Zusammensetzung von Schwebstoffproben (entnommen 1 m über der Sohle) und Sedimentproben an gleichen Entnahmestellen im Hafengebiet und im Emders Fahrwasser

Probe Nr.	Datum der Probenentnahme	Ort der Probenentnahme	Sand					Ton	Medianwert $Q_2$
			Kies	Grob-	Mittel-	Fein-	Schluff (Silt)		
			%	%	%	%	%	$\mu$	
I 3	} 12.4.76	Schwebstoffprobe* } Außenhafen	-	-	-	-	630	370	5.0
		Bodenprobe	-	-	-	2.0	61.5	36.5	4.2
III 10	} 12.4.76	Schwebstoffprobe } Vorhafen	-	-	-	8.5	66.9	24.6	15.0
		Bodenprobe	-	-	0.3	15.2	65.5	19.0	41.0
V 14	} 12.4.76	Schwebstoffprobe } Vorhafen	-	-	-	0.8	66.0	33.2	4.9
		Bodenprobe	-	-	2.0	25.2	59.3	13.5	52.0
2637 E 15	} 14.4.76	Schwebstoffprobe } Emders Fahrwasser	-	-	0.2	51.7	48.1		64.0
		Bodenprobe	-	-	0.6	29.4	59.0	11.0	58.0
2662 II	} 16.1.75	Schwebstoffprobe } Emders Fahrwasser	-	-	-	3.3	66.5	30.2	8.0
		Bodenprobe	-	-	0.2	63.7	36.1	-	79.0
2429 IV	} 16.1.75	Schwebstoffprobe } Emders Fahrwasser	-	-	-	10.1	64.6	25.3	19.5
		Bodenprobe	-	-	0.2	67.1	32.7	-	74.0
*2m über der Sohle									

Im Außenhafen sind die Unterschiede in der Kornzusammensetzung des Materials zwischen den Boden- und Schwebstoffproben ausgesprochen gering. Die Werte für den Tongehalt bewegen sich zwischen 20 % und 40 % (Tab. 2,3). Erst im Vorhafen und mit der zunehmenden Entfernung vom Hafengebiet im Emdrer Fahrwasser treten größere Abweichungen auf. Die in den Wasserproben enthaltenen Schwebstoffe haben allerdings dort einen relativ hohen Grobanteil. In einigen Fällen kann der Sandgehalt der Suspension in der Flutphase sogar höher liegen als der des an dieser Stelle gelagerten Bodenmaterials. Eine Messung am 28.01.1975 in der Nähe der Westmole im Fahrwasser (Bild 20) über eine Tide zeigte, daß die Zusammensetzung der in Suspension befindlichen Partikel von den Tidephasen abhängig ist.

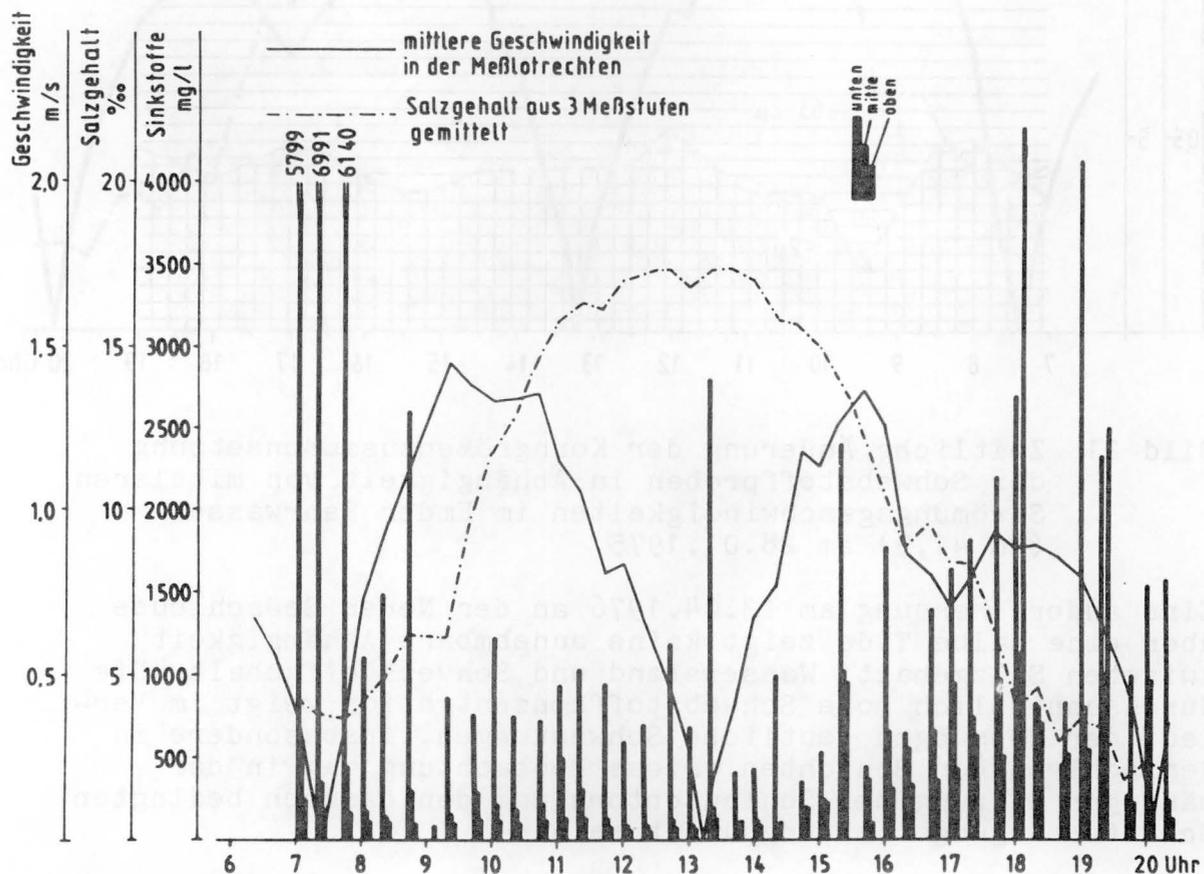


Bild 20 Schwebstoffgehalt, Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt im Emdrer Fahrwasser (km 41,5) am 28.01.75

Aus Bild 21 ist ersichtlich, daß sich bei Flut ein prozentual höherer Gehalt an Feinsanden in Suspension befindet als bei Ebbe. Der Feinsandgehalt steigt bei Flut von 15,5 % auf 50,6 % und bei Ebbe von 8,9 % auf 14,8 %. Weniger deutlich sind die Zusammenhänge zwischen Salz- und Feinsandgehalt bzw. Salz- und Tongehalt. Auch zwischen den Strömungsgeschwindigkeiten und dem Tongehalt der Schwebstoffproben läßt sich keine Abhängigkeit erkennen. Dagegen ist das Gesamt-Schwebstoffmaximum deutlich in dem 4 % - 7 % Bereich des Salzgehaltes wiederzufinden.

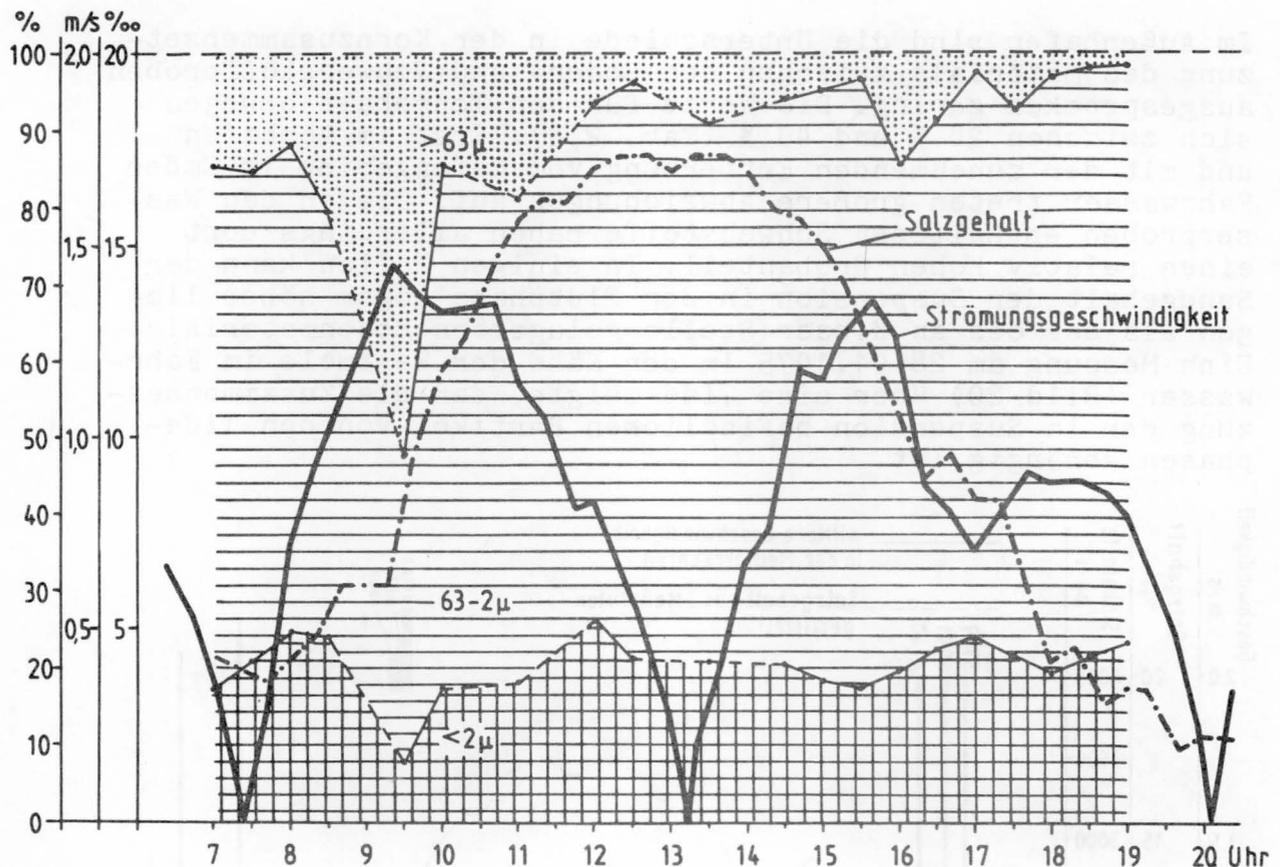


Bild 21 Zeitliche Änderung der Korngrößenzusammensetzung der Schwebstoffproben in Abhängigkeit von mittleren Strömungsgeschwindigkeiten im Emden Fahrwasser (km 41,5) am 28.01.1975

Eine andere Messung am 13.04.1976 an der Neuen Seeschleuse über eine halbe Tide zeigt keine annehmbare Abhängigkeit zwischen Salzgehalt, Wasserstand und Schwebstoffgehalt. Die durchschnittlich hohe Schwebstoffkonzentration zeigt im Verlauf der Messungen deutliche Schwankungen, insbesondere in den sohlennahen Schichten. Diese Beobachtung mag in der häufigen Öffnung der Schleusentore und den dadurch bedingten Schiffsbewegungen mitbegründet sein.

Ein gleichsinniger Verlauf zwischen den einzelnen Parametern ist noch am besten in der Mitte des vertikalen Meßquerschnitts festzustellen. Sowohl der Salzgehalt als auch die Schwebstoffkonzentration nahmen bei einsetzendem Flutstrom von 5.30 Uhr bis 7.00 Uhr, verbunden mit einer großen Salzgehaltsschwankung (5 %) zwischen Oberfläche und Tiefe, ständig ab. Erst ab 7.30 Uhr war ein sprunghaftes Anwachsen der Suspensionsmenge zu verzeichnen. Die Suspensionsproben in der Nähe der Sohle weisen in den einzelnen Tidephasen, soweit die Proben analysiert wurden, geringfügige Abweichungen in ihrem Sand- bzw. Schluffanteil, aber kaum in ihrem Tonanteil auf. Ungewöhnlich hoch fällt die Sandfraktion der Schwebstoffprobe

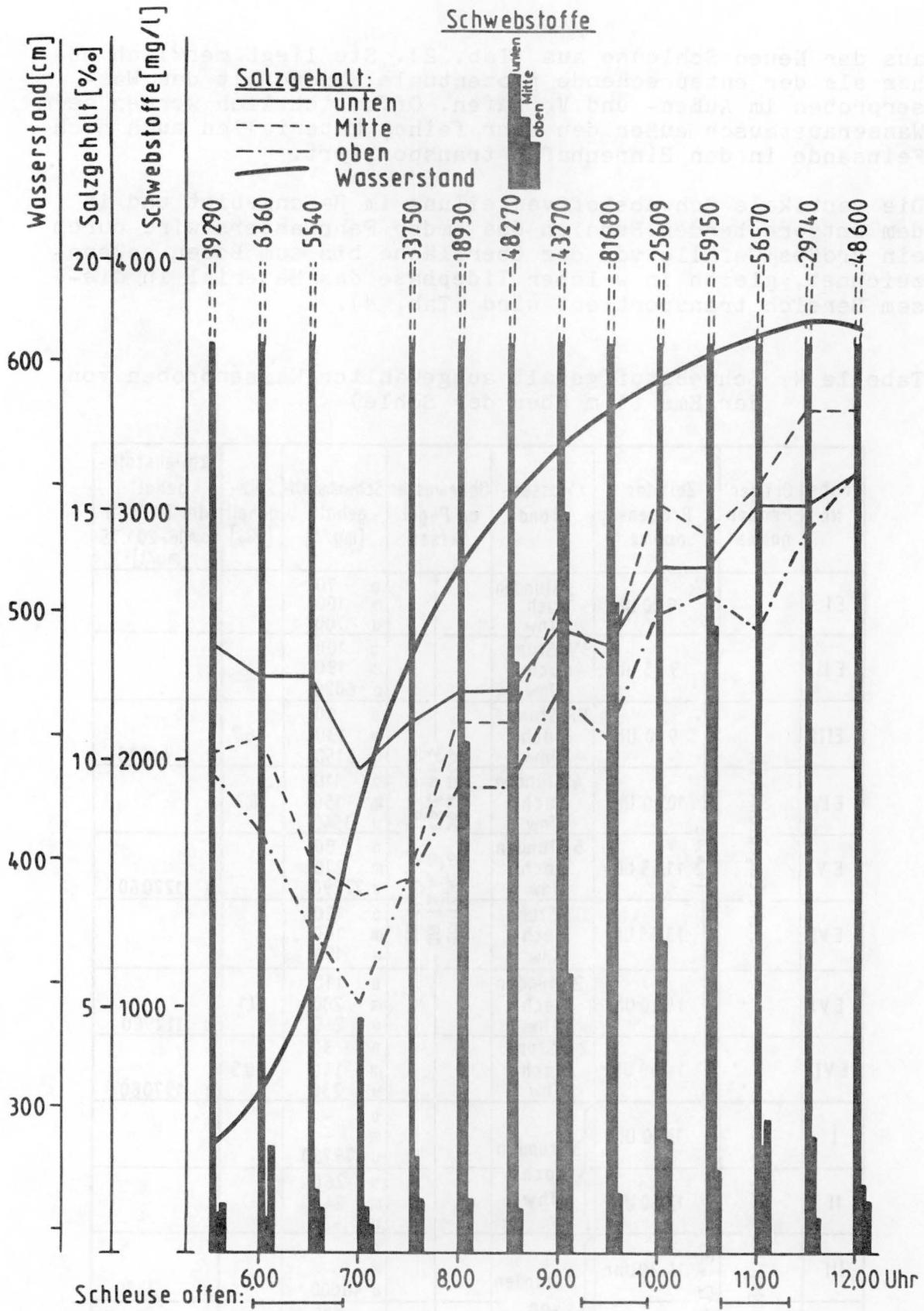


Bild 22 Schwebstoffgehalt, Wasserstand und Salzgehalt vor der Neuen Seeschleuse am 13.04.1976

aus der Neuen Schleuse aus (Tab. 2). Sie liegt merklich höher als der entsprechende prozentuale Sandgehalt der Wasserproben im Außen- und Vorhafen. Offensichtlich werden beim Wasseraustausch außer den sehr feinen Materialien auch noch Feinsande in den Binnenhafen transportiert.

Die vertikale Schwebstoffverteilung im Hafengebiet und in dem entsprechenden Bereich des Emders Fahrwassers wird durch ein großes Gefälle von der Oberfläche bis zum Boden gekennzeichnet, gleich in welcher Tidephase das Material in diesem Bereich transportiert wird (Tab. 4).

Tabelle 4 Schwebstoffgehalt ausgewählter Wasserproben von der Ems (1 m über der Sohle)

Probe Nr.	Ort der Probenahme	Zeit der Probenahme	Wasserstand	Oberwasser am Pegel Versen	Schwebstoffgehalt [mg/l]	Salzgehalt [‰]	Schwebstoffgehalt der Proben vom 16.-20.1.75 [mg/l]
E I	siehe Lageplan (Abb. 1)	9.00 Uhr	3 Stunden nach Tnw		o 70 m 100 u 700		
E II		9.25 Uhr	3 1/2 Stund. nach Tnw		o 100 m 190 u 6020		
E III		9.40 Uhr	3 1/2 Stund. nach Tnw		o 80 m 130 u 5150	16,7	u 45010
E IV		10.00 Uhr	4 Stunden nach Tnw		o 110 m 150 u 3540	18,3	
E V		11.45 Uhr	5 Stunden nach Tnw		o 80 m 270 u 27290		u 122060
E VI		13.55 Uhr	1 1/2 Stund. nach Thw		o 120 m 100 u 190		
E VII		14.20 Uhr	2 Stunden nach Thw		o 110 m 200 u 240	17,1	u 112960
E VIII		14.48 Uhr	2 1/2 Stund. nach Thw		o 30 m 140 u 230	20,5	u 197080
I	siehe Lageplan (Abb. 1)	13.40 Uhr	3 Stunden nach Thw		o - m - u 179760		
II		13.50 Uhr			o 260 m 240 u 420		
III		14.30 Uhr	2 Stunden vor Tnw		o - m - u 40600		u 3370
IV		14.45 Uhr			o 180 m - u 10030		
V		15.30 Uhr		1 1/2 Stund. vor Tnw		o 60 m - u 79290	

o = oben m = mitte u = unten

## 6 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen

Vergleiche mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen können nur unter der Voraussetzung der Anwendung gleicher Bearbeitungsmethoden einwandfrei durchgeführt werden. Nur solche Proben wurden berücksichtigt (siehe Kap. 3). Die Forderungen sind auf ein Minimum reduziert. Die Sedimentzusammensetzung scheint unter dem Vorbehalt der genannten Gründe, unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen und der Fehlerhaftigkeit der Probenentnahmen, außer im Emden Fahrwasser, keine wesentliche großräumige Veränderung in dem Untersuchungsgebiet erfahren zu haben (Bild 23).

Jederzeit sind in der Ems oberhalb Emden Wechsellagerungen von gröberem und feinerem, meist sandigem Material in der Rinne vorhanden, das uferwärts immer mehr schlickige Konsistenz annimmt. Nach dem Bericht Dechend /6/ sind hier bei den Probenentnahmen von 1939 auch ähnliche Verhältnisse angetroffen worden wie im Jahre 1948 und auch im Jahre 1974 und 1975. Als verhältnismäßig stabil dürfen auch die Wattgebiete des nördlichen Dollart (Geise südlich des Trennwerks bzw. Geise-Watt bis Pogum) gelten.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird zunächst angenommen, daß die ständigen Baggerungen im Emden Fahrwasser und die natürliche Verschiebung der Brackwasserzone, bedingt durch die wechselnde Oberwassermenge, zur Änderung der Korngrößenzusammensetzung und zur Störung der Verhältnisse geführt haben.

Auf diesem Streckenabschnitt scheint schon relativ früh eine größere zeitliche Variationsbreite der Sedimentausbildung vorhanden zu sein. Zwischen den Kartierungen von 1939 und 1948 kommen unterhalb von Emden hauptsächlich Mehlsande vor. Als Mehlsand wird die Kornfraktion zwischen  $20\mu$  und  $100\mu$  definiert, das heißt, ein nicht bekannter Teil muß nach der heute üblichen Klassifizierung (DIN 4188) zum Schluff, ein anderer zum Feinsand gerechnet werden. Ein Jahr später ist die Rinnensohle bei der Probennahme im Jahre 1942 von 30-50 cm mächtigem Feinsand bedeckt, der über Mehlsand und Schlick lagert. Daraus ist die zeitliche Änderung der Sedimentzusammensetzung und das Vorhandensein von relativ schluffigem Material auch zur damaligen Zeit ersichtlich. Die Mächtigkeit der Feinstanteile läßt sich nicht mehr feststellen.

Im Anschluß an die Untersuchungen von 1974/75 wurde festgestellt, daß die großräumige Oberflächenverteilung der Sedimente hauptsächlich im Emden Fahrwasser, aber örtlich auch im Hafengebiet Veränderungen erfahren hat. Die wesentlichen Unterschiede werden für die Orte, die lageidentisch sind, in der Gegenüberstellung auf den Bildern 14 - 18 zusammengefaßt.

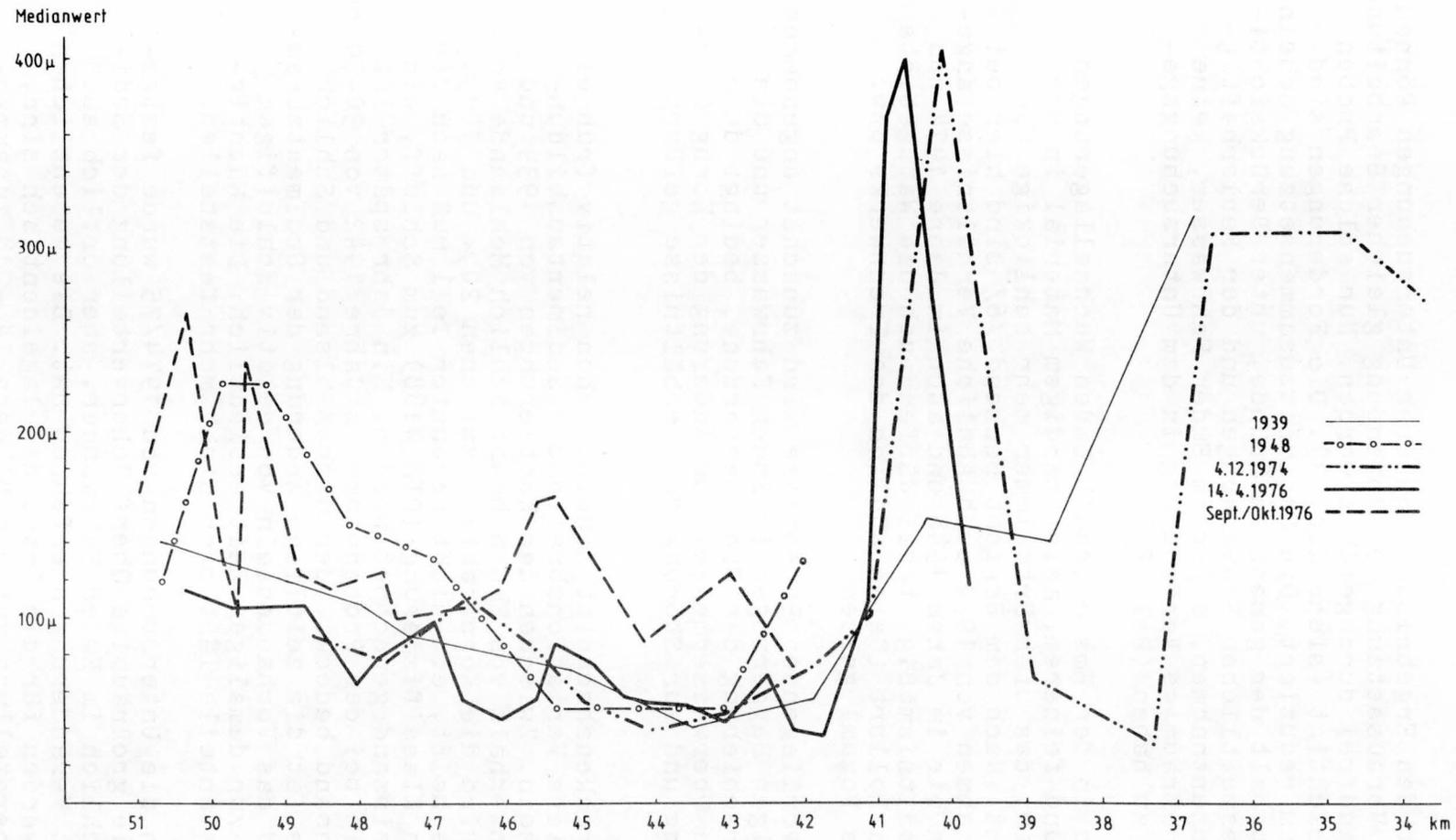


Bild 23 Verteilung der Oberflächensedimente in der Längsrichtung der Ems

Feinste Korngrößenverteilung ist in der Probereihe 12.-14.4.76 anzutreffen.

Die Zone der Sedimente, die überwiegend aus feinkörnigen Fraktionen bestehen, hat sich abgesehen vom äußersten Westen und Osten des Untersuchungsgebietes gegenüber der bei der vorherigen Untersuchung festgestellten Verteilung geringfügig nach Westen ausgedehnt. Ausgeprägte Veränderungen des Kornspektrums wurden im Vorhafen und in einzelnen Gebieten des Emders Fahrwassers in der Rinne und im Geise-Weststeert ermittelt. Im Vorhafen beruhen die Ergebnisse auf einem engmaschigen Probenetz, wodurch eine differenziertere Auskartierung ermöglicht wurde. Allerdings im gleichen Gebiet, in dem noch im Jahre 1974/75 Schluffe oder schluffige Feinsande oder umgekehrt Feinsande oder Mittelsand verzeichnet werden, ist eine Verschiebung zu gröberen oder feineren Fraktionen eingetreten.

Der Vergleich der Schwebstoffproben aus dem Emders Fahrwasser während der beiden Untersuchungen zeigt, daß die Menge der Schwebstoffe in der Nähe der Sohle erheblich abgenommen hat. Die Gegenüberstellung (Tabelle 4) gilt für alle Stationen, in denen während der Flut Schwebstoffproben entnommen wurden. Die beiden Untersuchungsreihen sind in Zeiten sehr hoher (1974/75) oder kurz nach hohen Oberwasserabflüssen (12.-14.4.76) durchgeführt worden (Bild 24). Im Anschluß an die Untersuchungen vom 12. und 14.4.1976 wurde bei der erneuten Probenahme von August bis November 1976 festgestellt, daß die großräumige Oberflächenverteilung der Sedimente sich in der granulometrischen Zusammensetzung in dem vergleichbaren Abschnitt des Emders Fahrwassers bis Knock wieder verändert hat. Die Zunahme der gröberen Anteile ist typisch. Diese Verschiebung in den Kornanteilen von Frühjahr bis Herbst wird auch durch die Darstellung von Kornsummenkurven deutlich (Bilder 14 - 18). Die Änderung in Richtung zu gröberen Fraktionen ist durch das Zurücktreten der Schluff- und Tonanteile (hierbei wurde der Schluff- und Tonanteil nicht gesondert getrennt) und durch die Beimischung mehr sandiger Komponenten bedingt. Gebiete, in denen die Korngrößen von weniger als  $63\mu$  vorherrschend sind, haben erheblich abgenommen. Allerdings läßt sich eine Vereinheitlichung der Qualitätsänderung nicht überall verzeichnen. So ist die Verschiebung in dem südlichen Rinnenrand und am Geise-Weststeert wesentlich stärker ausgeprägt als an nördlichen Randbezirken. Örtlich bleibt die Feinkörnigkeit der Sedimente erhalten, wie dies in Wybelsum und westlich davon der Fall ist, obwohl anteilmäßig die Schluffe und Tone auch hier weniger geworden sind.

Während der Probenahme werden langanhaltend niedrige Oberwassermengen verzeichnet (Bild 24).

Im ganzen gesehen zeigen die Analysenergebnisse, daß die Ablagerung von feinkörniger Konsistenz von dem Oberwasser beeinflusst in bestimmte Bereichen vor sich geht. Das Vor-

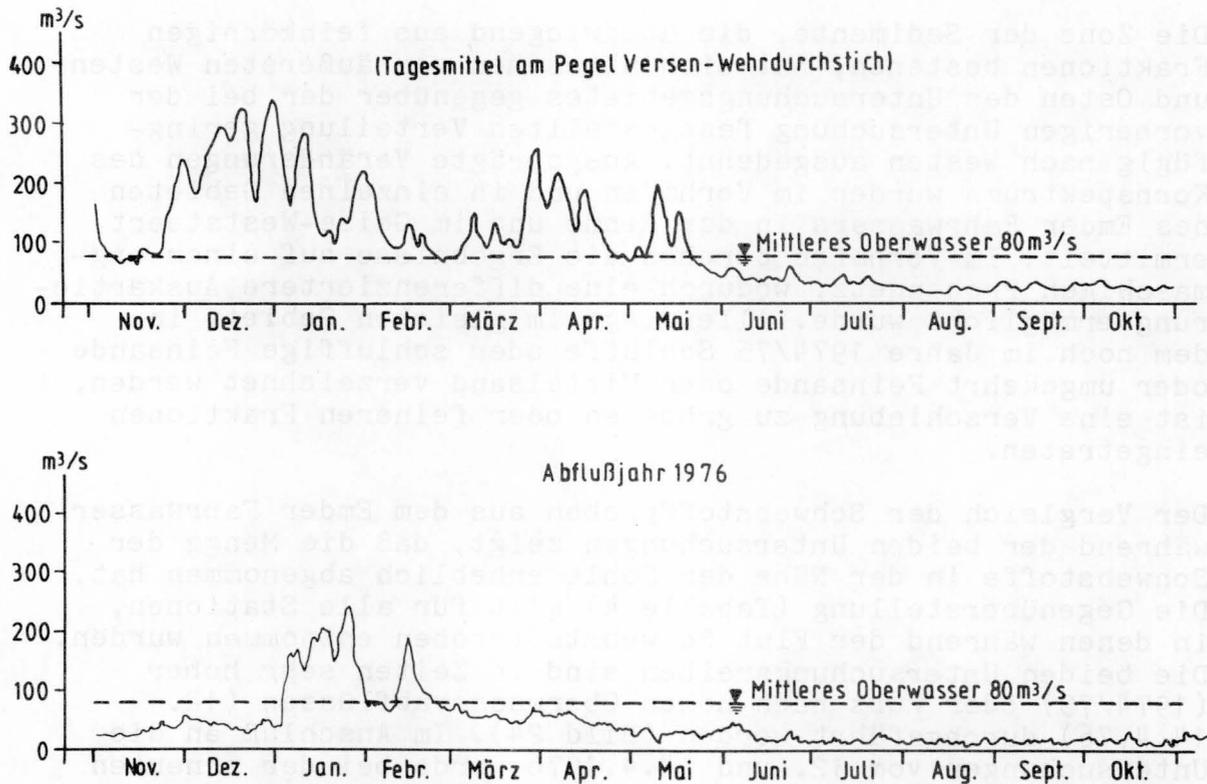


Bild 24 Oberwasserführung der Ems, Abflußjahr 1975, 1976

kommen schlickiger Sedimente mit ausgewogenem Korngrößen-spektrum ist auf der Strecke östlich Wybelsum, in der Höhe Wybelsum und teilweise westlich davon am stärksten ausgeprägt. Besonders ist die Schlickbedeckung des Bodens von km 44 bis km 45 und mit Unterbrechung auch bis km 46 typisch. Westlich dieses Raumes um km 48 wird auch noch häufig feines Material unter extrem hohen Oberwasserverhältnissen abgelagert.

#### 7 Deutung der Ergebnisse in Bezug auf die Sedimentations-verhältnisse

Die Einflußgrößen der Mechanismen, die zur Schlickbildung führen und der Ursprung des Materials sind zwei Fragen, die im Rahmen dieser Arbeit kurz angeschnitten werden. Aus den Darstellungen und aus den Daten ergeben sich einige Anhaltspunkte, die für die Klärung der Entstehung unterschiedlicher Ablagerungsbereiche Hinweise geben.

Die Kompliziertheit der Vorgänge erlaubt nur eine eingeschränkte Aussage. Die Ergebnisse lassen über die abgelagerten Sedimentmengen keine Angaben zu.

Die Heterogenität der Feststoffe ist im unterschiedlichen Ursprung begründet. Das zur Ablagerung angebotene Sediment wird in erster Linie durch die Gezeitenbewegung und das Oberwasser herangeführt. Zu anderen Ursachen der Anhäufung von Materialien der verschiedenen Korngrößen können unter anderem noch lokale geographische Gegebenheiten (Erosion älterer Ablagerungen, Abbruch der Wattkanten), anthropogene Eingriffe (veränderte geometrische Abmessung des Stromes, Aufwühlung des Bodens durch Baggereinsätze, mögliche Wiedereintreibung aus den Verklappungsgebieten, Rückspülung feinkörniger Stoffe aus den Spülfeldern und durch den Überlauf des Laderaumes des Baggers), biologische Neubildung, Abwässer und Bildung von Aggregaten aus kolloidalen Partikeln beitragen.

Der relativ hohe Kies- und Grobanteil einiger Proben dürfte aus angeschnittenen Pleistozänschichten stammen, die stellenweise über - 10 m NN liegen (Dechend /6/). Ebenso liefern ältere Schlickablagerungen wiederverarbeitet feinkörniges Material dem Materialstrom zu. Die Sedimentation des Untersuchungsgebietes hängt weitgehend von den besonderen Verhältnissen in diesem Raum und von der vielfältigen Wechselwirkung der Einflußfaktoren ab. Eine Reihe von Prozessen steuerte dazu bei, daß im Fahrwasser hohe Ablagerungen mit einem übermäßigen feinkörnigen, bisweilen geflockten Schlickanteil stattfinden. Der starke stromaufgerichtete Feststofftransport liefert, bedingt durch die Gezeitendynamik und durch die die Gezeitenströmungen überlagernden landeinwärts wirkenden Dichteströmungen, nicht nur die sandigen Anteile, sondern auch die feinkörnige Komponente. Der Ursprung der schluffigen-tonigen Sedimente im Hafen und Fahrwasser ist überwiegend in diesem Materialstrom zu suchen. Der Weg der radioaktiv markierten Sande von der Mittelplate ist einseitig stromaufwärts gerichtet (BAW /3/). Die Menge der in den jährlichen Baggermengen enthaltenen Feststoffe (1,4 - 1,5 Mio. t Trockengewicht, Mittel aus den Jahren 1967-76 nach Schreier /27/) beträgt im Hafen und Fahrwasser das Mehrfache der Sedimentanfuhr durch das Oberwasser (0,3 Mio. t).

Aus dem Wechsel der in Suspension befindlichen Partikel ergeben sich Hinweise für die Transportrichtung. Die in Bild 21 dargestellten Änderungen der prozentualen Verteilung der Sedimente zeigt eine deutliche Abhängigkeit zwischen den Feinsanden und den Strömungsgeschwindigkeiten und weist auf den stärkeren Einfluß der Flut an der Sohle hin. Das Vorkommen der braunen Oberemssande und grauen Seesande zeigt keine Unterschiede zwischen den Untersuchungen von 1948/49 und 1974/75. Unterhalb Emden bei km 41 tritt kein Oberemsmaterial am Boden auf, dagegen können die grauen Seesande bis Pogum sicher verfolgt werden. Diese Tatsache fügt sich ein in das Bild der allgemeinen Erkenntnisse über die Bewegung der Suspensions- und Geschiebefracht in Bodennähe landeinwärts und speziell

in diesem Stromabschnitt (Schreier /27/, Postma /23/, BAW /3/). Der Meßpunkt befindet sich im Emders Fahrwasser in der Strommitte am Ausgang des Außenhafens 0,5 m über der Sohle. Charakteristisch ist für die Ems die räumlich enge Begrenzung der oligo- und mesohalinen Zone, die zwischen Knock und den Raum Kritzum gelegt werden kann (Hensen /11/, Kühl-Mann /16/). Die Bewegung des Schwerpunktes der Brackwasserzone unterliegt periodischen, aperiodischen und jahreszeitlichen Einflüssen. Dementsprechend bewirkt sie vielfach die Verschiebung der einzelnen Sedimentationszonen. Der Brackwassereffekt führt, mitbedingt durch die Zusammensetzung der im Wasserkörper enthaltenen Schwebstoffe, zur Verschlechterung der Sortierung und zu höherem Schlickgehalt der Sedimente am Boden. In der Variation des Salzgehaltsvordringens, also mit der Bewegung des Schwerpunktes der Brackwasserzone, werden die Transportrichtungen wie die Vorgänge, die zu Qualitätsunterschieden des bewegten Materials führen, entscheidend beeinflusst. Die Zunahme des Sinkstoffgehaltes in der Längsrichtung mit Annäherung an den oberen Teil der Brackwasserzone und die Vergrößerung des Anteils der schluffigen Bestandteile sind aus früheren Untersuchungen in der Ems bekannt (Hensen /11/, Kühl, Mann /16/, Niebuhr /21/, Postma /22/). Es scheint so, daß der flutseitige Transport durch die Menge des Oberwasserzuflusses verstärkt wird (Schreier /27/), und damit nimmt die Sedimentmenge zu.

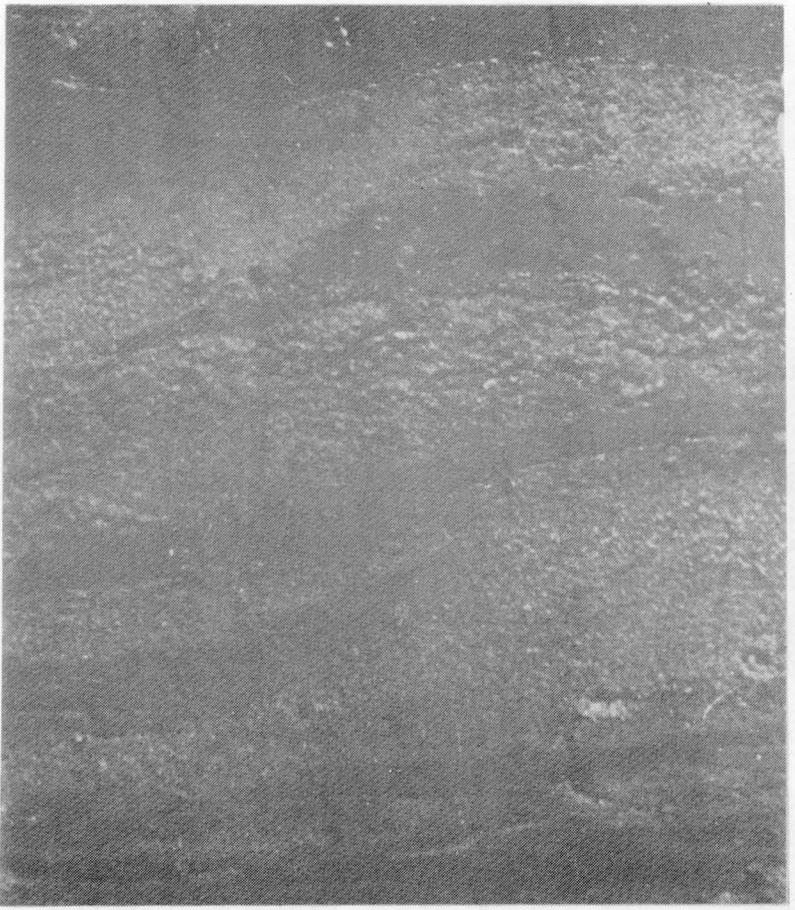
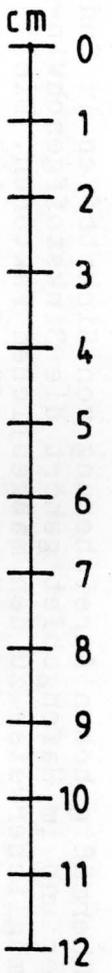
Nach einigen Untersuchungen wird die Erhöhung der Schwebstoffkonzentration bzw. die Zunahme der Flockung von starken Wasserbewegungen und dem Wechsel der Strömungsgeschwindigkeiten beeinflusst (Krone /15/). Die Beeinflussung von Gezeitendynamik und von Oberwasser läßt sich in der Wechsellagerung von feinem und grobem Material ablesen, wie bei den wenigen ungestörten Proben aus der Fahrwassermitte gut erkennbar ist (Bild 25).

Eine nicht abschätzbare Größe von Veränderungen ist mit den menschlichen Eingriffen gekoppelt. Im Emders Fahrwasser wird seit dem Kriegsende intensiv gebaggert. Diese menschliche Tätigkeit mußte zwangsläufig zu veränderter Gleichgewichtslage zwischen Sedimentation, Erosion und Transport führen. Eine genaue Analyse der veränderten Verhältnisse (Schreier/27/) zeigt, daß durch die künstliche Vertiefung die Strömungen örtlich begrenzt zugenommen haben und den Transportvorgang verstärkten, demzufolge werden Feststoffe vermehrt in das Emders Fahrwasser hineintransportiert (Sandfang).

Das vornehmliche Übergewicht der hydrologischen Arbeiten erläutert nur zum Teil die vorliegende Feststellung. Ohne Kenntnisse der physikalisch-chemischen und biochemischen Umsetzungen zwischen den festen und gelösten anorganischen und organischen Substanzen, der biologischen Besonderheiten des Gewässers und der geologischen Vorgeschichte des Sediments, ist schwer das Erosions- und Sedimentationsverhalten feinkörniger Materialien zu beurteilen.



Probe Nr. Z I



Probe Nr. Z X

Bild 25 Ungestörte Sedimentproben aus der obersten Schicht des Rinnenbodens der Ems

Welche Einflußgrößen letztlich dieses oder jenes Verhalten der Schlickbildung bewirken könnten, wird an dieser Stelle nur im Zusammenhang mit den vorhandenen Ergebnissen andeutungsweise erwähnt. Ohnehin herrscht in der Fachliteratur eine widersprüchliche Meinung und weder die Vertreter derer, die durch hydrodynamische Prozesse das Phänomen des Schlickfalls, noch jener, die hydrochemisch-biologische Prozesse als Ursachen angeben, können eindeutige Erklärungen anbieten.

Nach Zeiten längerer Trockenheit werden bei raschem Anschwellen des Oberwassers (100-150 m<sup>3</sup>/s und mehr) die in die oberhalb von Emden gelegene Brackwasserzone angelieferten Feststoffe stromabwärts transportiert. Der größte Teil der feinsten Schwebstoffe kommt im Emden Fahrwasser bei einem einmaligen Vorgang zur Ablagerung. Anders gesagt, die stärkste Entfaltung der Sedimentation liegt im Emden Fahrwasser. Die Hafeneinfahrt liegt im Zentrum der Brackwasserzone. Den Ablagerungsvorgang zeigen besonders eindrucksvoll die Echolotaufnahmen der Bilder 26 a+b (WSA Emden /33/). Die scharfe obere Begrenzung dieser 1-2 m dicken Schicht hochkonzentrierter Feststoffsuspension reflektiert die Schwingungen des Echolots, die als Schatten über der wahren Sohle erscheinen. Der gebildete Schlickpfropfen\* mit einer Konzentration von 100-200 g/l (Tabelle 4) setzt sich innerhalb einer Tide sehr rasch ab und bleibt bereits in der folgenden Tidephase (Flut) größtenteils liegen.

Bei der übermäßig hohen Anreicherung von Sinkstoffen im Emden Fahrwasser und im Hafengebiet gehört die Sinkstoffgeschwindigkeit möglicherweise zu den maßgeblichen Faktoren. Die etwas vereinfachten in situ Messungen für Suspensionen (25-28 g/l) einem mittleren Medianwert von 6-8  $\mu$  und bei einer Temperatur von 12°C ergaben größenordnungsmäßig eine Fallgeschwindigkeit zwischen 0,43 und 0,46 mm/sec.. Das heißt, die angegebenen Werte liegen erheblich höher als die Sinkgeschwindigkeit des entsprechenden Einzelkorns unter ähnlichen Verhältnissen (0,026-0,046 mm/sec.).

Versuche unter Laborbedingungen und auch andere Untersuchungsergebnisse (Bellesort /4/, Galenne /10/, Krone /15/, Migniot /18/, Nedeco /20/) zeigen, daß die Sinkgeschwindigkeit im Kornverband höher ist als die von einem Einzelkorn, daß heißt bei hohem Feststoffgehalt um das Vielfache höher liegen können als bei niedrigen Konzentrationen.

\* Dieser Ausdruck ist nur eine vorläufige Bezeichnung für diese Erscheinung, die in deutscher Sprache noch keine eindeutige Definition erhielt. Die kaum bewegliche hochkonzentrierte, flüssig-breiige Suspension mit einer Dichte von 1,1 bis 1,2 g/cm<sup>3</sup> bei 100-300 g/l Konzentration, von 0,5 m bis 2,5 m Dicke und mehreren km Länge wird in der französischen bzw. englischen Sprache "crème de vase" oder "mud layer" bezeichnet.

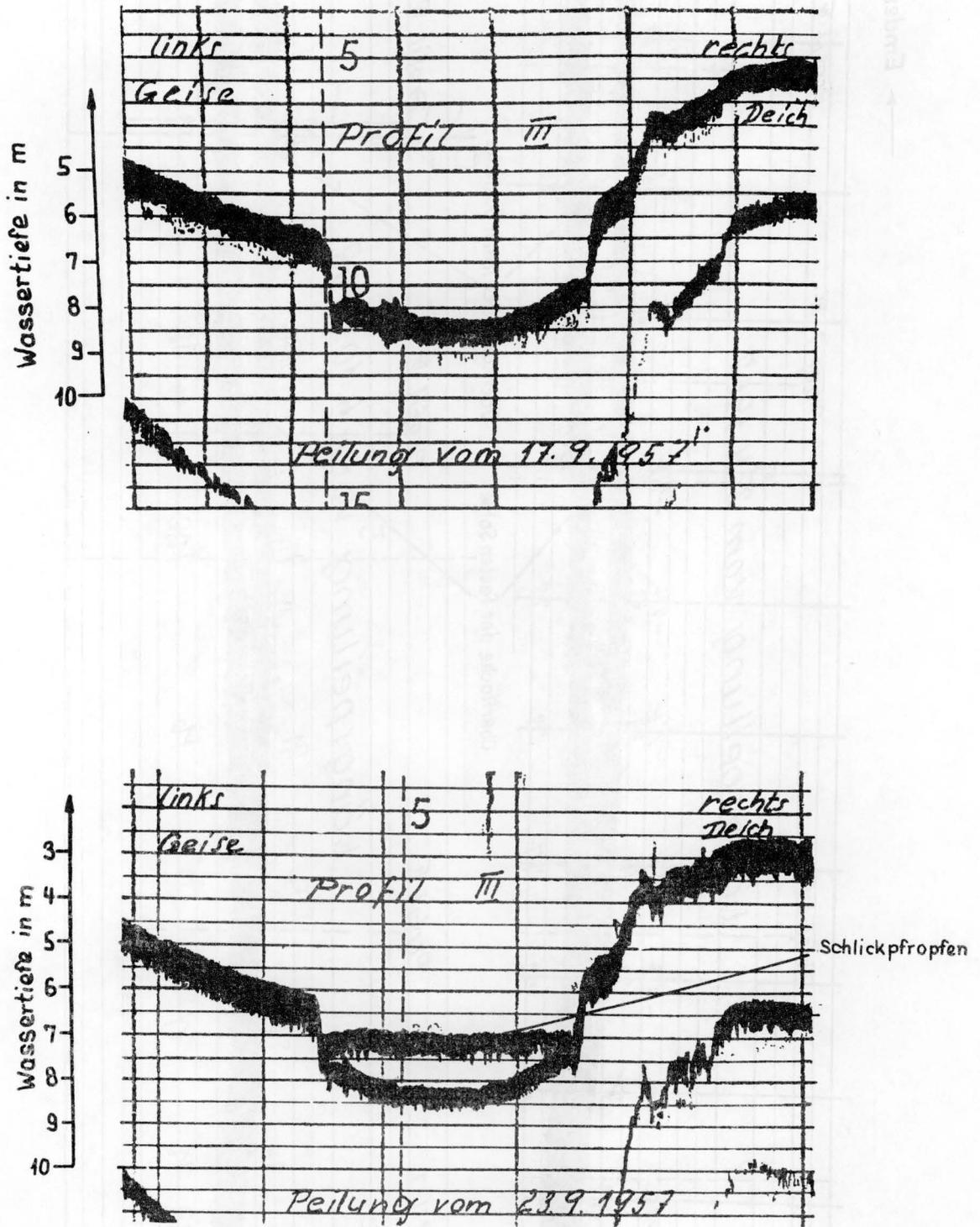


Bild 26a Echographenstreifen von der Entstehung des "Schlickpfropfens" im Querschnitt km 43 des Emders Fahrwassers

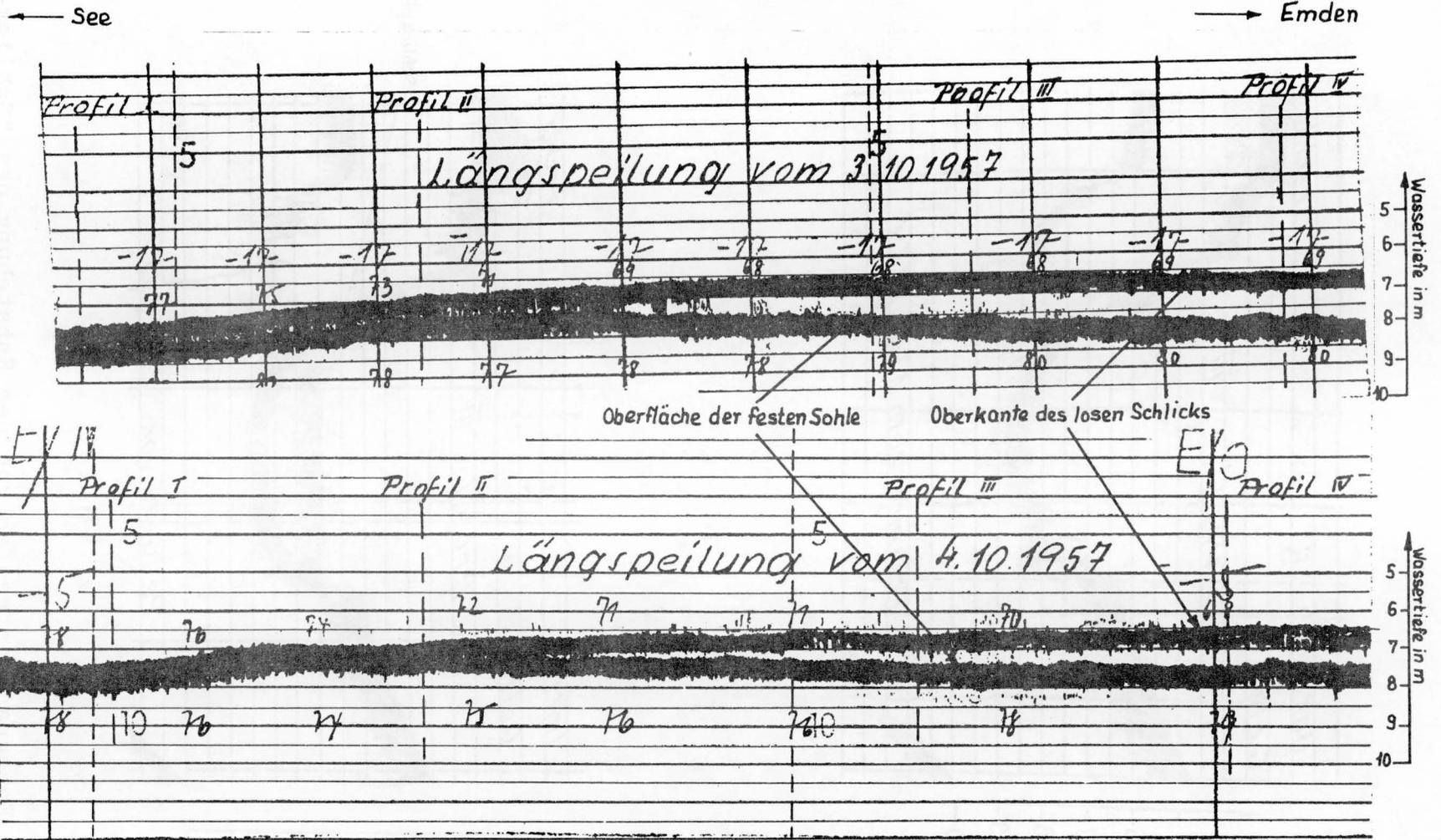


Bild 26b Echographenstreifen von einem "Schlickpfropfen" im Längsprofil im Emdener Fahrwasser

Selbst wenn die durchgeführten Berechnungen nur als Orientierung zu werten sind, so zeigt sich doch, daß die gegenseitige Beeinflussung der Teilchen, aus welchem Grunde auch immer, mit Zunahme ihrer Gesamtmasse eine entscheidende Wirkung auf die Sinkgeschwindigkeit hat.

Die Korngröße stellt für die Ablagerung, den Transport und die Erosion sandiger Sedimente den wichtigsten Parameter dar. Daneben spielen bei zunehmender Beimengung von tonigen und organischen Sedimenten einige andere Sedimenteigenschaften eine erhebliche Rolle. Offenbar ist die Bildung und Erhaltung von solchen frischen, unkonsolidierten Sedimenten im Seewasser-Schlicksystem bei hoher Konzentration außer von den hydrodynamischen Bedingungen auch von dem physikalisch-chemischen Verhalten des Materials selbst abhängig, das einen Einfluß auf die Fließeigenschaften des Wassers auszuüben vermag. Die aus der Literatur bekannten Ergebnisse verschiedener Untersuchungen (Bellesort /4/, Galenne /10/, Migniot /18/) deuten darauf hin, daß die Vorbedingung für dieses Verhalten der Schwebstoffe ein bestimmter Gehalt an feinkörnigen Komponenten ist.

Die Erosion, aber auch die Sedimentation der schlickig-tonigen Ablagerungen sind von einigen Faktoren abhängig (Wassergehalt, Porosität, bodenmechanische Eigenschaften, mineralogische Zusammensetzung, geologische Vorgeschichte, Elektrolitgehalt des Porenwassers), wobei die Zusammenhänge gegenseitig schwer zu erkennen sind.

Charakteristisch ist das Verharren frisch abgelagerter Schlicke im Untersuchungsgebiet trotz eines Zustandes langanhaltender geringer Verdichtung.

Nach Erosionsversuchen mit Monomineralien (Bentonite) benötigt man für den Transportbeginn höhere Schubspannungsgeschwindigkeiten als für vergleichbare konsolidierte Tone (Einsele, etc./7/).

Das Verhalten der kohäsiven Sedimente ist weitgehend von den Eigenschaften der in ihnen enthaltenen Tonmineralien abhängig. Schon 10 % Tongehalt kann die Bodeneigenschaften völlig bestimmen. Die Proben aus dem Hafengebiet (Binnenhafen 13-34 %, Außenhafen 10-40 % Tonanteil) zeigen, welches Gewicht bei der Beurteilung der Problematik dieser Fraktion beizumessen ist.

Zum Verständnis der Vorgänge ist auch die Einbeziehung der biologischen Betrachtung erforderlich. Denn die organischen Komponenten gelangen dort zu größerer Bedeutung, wo hohe Ablagerungen von feinsten Stoffen zu erwarten sind. Die Aufzählung der Faktoren ist unvollständig und sollte im Rahmen dieser Untersuchung nur einen Einblick in die Problematik andeuten.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit der Korngrößenverteilung in der Ems und ihren möglichen Ursachen. Den granulometrischen Untersuchungen zufolge läßt sich das Untersuchungsgebiet in verschiedene Sedimentationszonen gliedern: Die Ems oberhalb Emden, das Emders Fahrwasser, Geise-Nord Dollart und Emders Außenhafen. Die stark-schluffig-tonigen Ablagerungen im Emders Fahrwasser sind aus den Wechselbeziehungen der Gezeitendynamik und des Oberwassers zu erklären, und sie sind überwiegend an den Einfluß der Brackwasserzone gebunden. Der Aufbau der Sedimentdecke ändert sich besonders hier bei einer Oberwasserwelle erheblich. Die hohen Schwebstoffkonzentrationen werden bei entsprechender Oberwasser- menge in das Emders Fahrwasser gedrückt und dort festgehalten. Aus diesem Materialstrom gelangen neben dem Sand zunehmend Schluff- und Tonfraktionen in das Hafenbecken. Unter Verwertung anderer Ergebnisse stammen die Sande und ein wesentlicher Teil des feinkörnigen Materials aus dem seewärtigen Raum. Die Menge der Sedimente, die durch das Oberwasser herangeführt oder durch die Primärproduktion erzeugt wird, muß geringer betrachtet werden. Aus den Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen und Messungen, die die Erkundung von Entstehung, Herkunft und Transport des Materials zum Ziel hatten, wird die Komplexität der in der Wechselwirkung stehenden geologischen, hydrologischen, biologischen und chemischen Parameter deutlich. Die Feststellungen über die qualitativen Erkenntnisse der Massenbewegung und ihre möglichen Ursachen veranschaulichen, mit welchen Fehlerquellen und Schwierigkeiten man bei quantitativen Bestimmungen rechnen muß. Die zahlreichen Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen bzw. die erheblichen Fortschritte im Bereich der Grenzwissenschaften des Wasserbaus konnten bis heute keine für jeden vorkommenden Fall befriedigende Lösung des Problems bringen.

9 Literatur

- /1/ Allen, G.P.                    Processus de sédimentation de vases  
Bonnefille R.                   dans l'estuaire de la Gironde.  
(1974)                            La Houille Blanche 29:129-136
- /2/ Arulanandan, K.               Fundamental aspects of muds.  
(1975)                            Erosion of cohesive soils.  
Journal of the Hydr. Div. ASCE  
Vo.1 101, No. HY5 635-639
- /3/ BAW-AK (1977)                Untersuchung der Sandbewegung in  
der Ems im Gebiet des Gatjebogens,  
August bis November 1976. (Unveröffent-  
lichter Bericht)
- /4/ Bellesort, B.                 Movement of suspended sediments in  
(1973)                            estuaries flocculation and rate of  
removal of muddy sediments. Techn.  
Rep.Ser.Int.Atom Energy Ag.145:31-40
- /5/ Crommelin, R.D.               A contribution to the sedimentary  
(1960)                            petrology of the Dollart as comparated  
with adjoining areas. Verh.Kon. Ned.  
Geo.-Mijb. Gen., Geol.Ser., D.XIX. Das  
Ems-Estuarium (Nordsee), s'Gravenhage
- /6/ Dechend, W.                 Die geologischen Untersuchungen in  
(1950)                            der Ems (unveröffentl. Bericht des WSA  
Emden)
- /7/ Einsele, G.                   Mass physical properties, sliding  
Overbeck, R.                   and erodibility of experimentally  
Schwarz, H.U.                   deposited and differently consoli-  
Unsöld, O.                      dated clayey muds.  
(1974)                            Sedimentology 21: 339-372
- /8/ Favejee, S.Ch.L.              On the origin of the mud deposits  
(1960)                            in the Ems-Estuary. Verh.Kon. Ned.  
Geol.-Mijnb.Gen., Geol. Ser. 19:  
147-151, Symposium Ems-Estuarium,  
s'Gravenhage
- /9/ Friedmann, G.M.               Dynamic processes and statistical  
(1967)                            parameters compared for size frequen-  
cy distribution of beach and river  
sand. Journ. Sed. Petr. 37: 327-354
- /10/ Galenne, B.                 Study of fine material in suspension  
(1974)                            in the estuary of the Loire and its  
dynamic grading. Estuar. and Coast.  
Mar.Science 2:261-272

- /11/ Hensen, W.  
(1953) Das Eindringen von Salzwasser in die Gezeitenflüsse und ihre Nebenflüsse, in Seekanäle und in Häfen. Mitt.Han. Vers.Anst. für Grund- und Wasserbau, Franzius Inst.d.TH Hannover 3: 20-50
- /12/ Inman, D.L.  
(1952) Measures for describing the size distribution of sediments.Journ. Sediment Petr. 22: 125-145
- /13/ Köster, E.  
(1964) Granulometrische und morphometrische Meßmethoden an Mineralkörnern, Steinen und sonstigen Stoffen. Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart
- /14/ Krause, H.R.  
(1954) Bericht über eine Untersuchung der bodenbewohnenden Lebensgemeinschaften und des Schlickgehaltes im deutschen Dollartgebiet (unveröffentl. Bericht d. Forschungsstelle Norderney des WSA Norden)
- /15/ Krone, R.B.  
(1962) Flume Studies of the transport of sediment in estuarial shoaling processes. Final Report. Hydr.Eng. and San.Eng. Res.Lab. University of Cal. Berkeley
- /16/ Kühl, M.; Mann,H.  
(1954) Über die Hydrochemie der unteren Ems. Veröffentl.d.Inst.f.Meeresforschung, 3: 126-158, B'haven.
- /17/ Marsal, D.  
(1967) Statische Methoden für Erdwissenschaftler. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- /18/ Migniot, C.  
(1968) Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur coportements sous des actions hydrodynamiques. La Houille Blanche 23: 591-620
- /19/ Müller, G.  
(1964) Methoden der Sedimentuntersuchung E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- /20/ NEDECO  
(1965) Konzentration: Siltation Bangkok Port Channel, The Hague, aus: Onderzoek eingeschappen van slib. Waterloopkundig Laboratorium, Delft Hydraulic Laboratory, November 1976

- /21/ Niebuhr, W. (1955) Beobachtungen über den Sandtransport in der unteren Ems. Die Küste, Jg. 4: 67-92
- /22/ Postma, H. (1960) Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport im Ems-Dollart-Gebiet. Verh. Kon.Ned.Geol.-Mijnb.Gen., Geol.Ser. 19:103-110, Symposium Ems-Estuarium, s'Gravenhage
- /23/ Postma, H. (1967) Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In "Estuaries", ed. G.H. Lauff, p.158-179
- /24/ Samu, Gy. (1976) Korngrößenverteilung der Sedimente in der Ems und im Emders Außenhafen (unveröffentl. Berichte der BAW-AK, März und Oktober)
- /25/ Samu, Gy. (1977) Untersuchung über das organische Material in Flußmündungen, speziell im Ems-Dollart-Gebiet. Überblick über die Herkunft, Menge und Verteilung der organischen Substanzen und den Einfluß der Organismen auf die Sedimentbildung (unveröffentl. Bericht der BAW-AK, August)
- /26/ Samu, Gy. (1978) Korngrößenverteilung der Sedimente in der Ems und im Emders Außenhafen (unveröffentl. Berichte der BAW-AK, März und Oktober)
- /27/ Schreier, M. (1977) Untersuchung der Sedimentationsverhältnisse in der Unterems und im Dollart nach einer geplanten Emsumleitung (unveröffentl. Bericht der BAW-AK)
- /28/ Sindowski, K.H. (1973) Das ostfriesische Küstengebiet. Inseln, Watt und Marschen. Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart
- /29/ Trask, F.D. (1932) Origin and environment of sediments of Petroleum, Houston Gulf.Publ.Co.675
- /30/ Visher, G.S. (1969) Grain size distribution and depositional processes. Journ.Sed.Petr. 39:1079-1106
- /31/ Walger, E. (1961) Die Korngrößenverteilung von Einzelschichten sandiger Sedimente und ihre genetische Bedeutung. Geol.Rundschau 51: 494-507

- /32/ Wiggers, A.J. Die Korngrößenverteilung der holozänen  
(1963) Sedimente im Dollart-Ems-Estuarium.  
Verh.Kon.Ned.Geol.Mijn.Gen., Geol. Ser.D.  
XIX:111-133. Das Ems-Estuarium (Nordsee).  
s'Gravenshage.
- /33/ Wasser- und Verschiedentl. unveröffentl. Dienst-  
Schiffahrtsamt berichte  
(WSA) Emden