

FRANZIUS-INSTITUT
FÜR WASSERBAU UND KÜSTENINGENIEURWESEN
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME
ZUR VERÄNDERUNG DER SCHICHTUNG UND TRÜBUNG
IM DOLLART DURCH DEN BAU DES GEPLANTEN
DOLLARTHAFENS

I n h a l t

	Seite
1. Veranlassung und Aufgabe	1
2. Definitionen im Brackwassergebiet	4
3. Wesentliche hydrologische Veränderungen durch die Emsumleitung	4
4. Schichtungen im Brackwassergebiet des Dollarts	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Klassifizierung nach Ästuarzahlen	9
4.3 Auswirkungen der Emsumleitung durch den Dollart	10
4.3.1 Allgemeines	10
4.3.2 Durchmischungsgrad im bestehenden Zustand	10
4.3.3 Durchmischungsgrad nach erfolgter Emsumleitung	19
5. Trübung und Sedimentation	28
5.1 Allgemeines	28
5.2 Feststoffkonzentration am oberen Ende der Brackwasserzone	29
5.3 Besonderheiten im Tidebecken	31
5.4 Eingriffe in den Sedimenthaushalt	32
5.5 Sedimentationsverhalten des Dollarts	36
5.6 Auswirkungen der Emsumleitung durch den Dollart	43
6. Zusammenfassung	47
7. Schrifttum	49

1. Veranlassung und Aufgabe

Das vom Niedersächsischen Minister für Wirtschaft und Verkehr geplante Dollarthafen-Projekt sieht eine Umstrukturierung des Seehafens Emden in Verbindung mit einer Umleitung der Ems durch den Dollart und den Bau einer Schleuse zur Schaffung eines tidefreien Seehafens im jetzigen Emsbereich vor (Abb.1 und 2).

Den Salzgehaltsänderungen im Bereich des Dollarts infolge der geplanten Baumaßnahmen kommt eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung der ökologischen Auswirkungen zu. Der Niedersächsische Minister für Wirtschaft und Verkehr beauftragte das Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen am 25.1.1979, eine gutachtliche Stellungnahme zur Salzgehaltsverteilung im Naturzustand des Dollarts und zur Änderung der Salzgehalte nach Ausführung der geplanten Baumaßnahmen abzugeben. Die gutachtliche Stellungnahme wurde am 6.4.1979 anlässlich eines Sachverständigengesprächs in der niedersächsischen Landesvertretung in Bonn den niederländischen Teilnehmern übergeben und erläutert.

In dem o.a. Sachverständigengespräch wurden von niederländischer Seite Befürchtungen geäußert, daß die Ökologie des Dollartbeckens durch zunehmende Schichtung und Trübung des Dollartwassers, insbesondere über den Platen, erheblich gestört werden könne.

Es wurde vereinbart, daß von niederländischer und deutscher Seite Stellungnahmen mit qualitativen Aussagen zu diesem Problemkreis ausgearbeitet werden sollen.

Der Niedersächsische Minister für Wirtschaft und Verkehr beauftragte das Franzius-Institut der Universität Hannover am 9.4.1979, eine gutachtliche Stellungnahme zur Schichtung und Trübung des Dollartwassers zu erstellen.

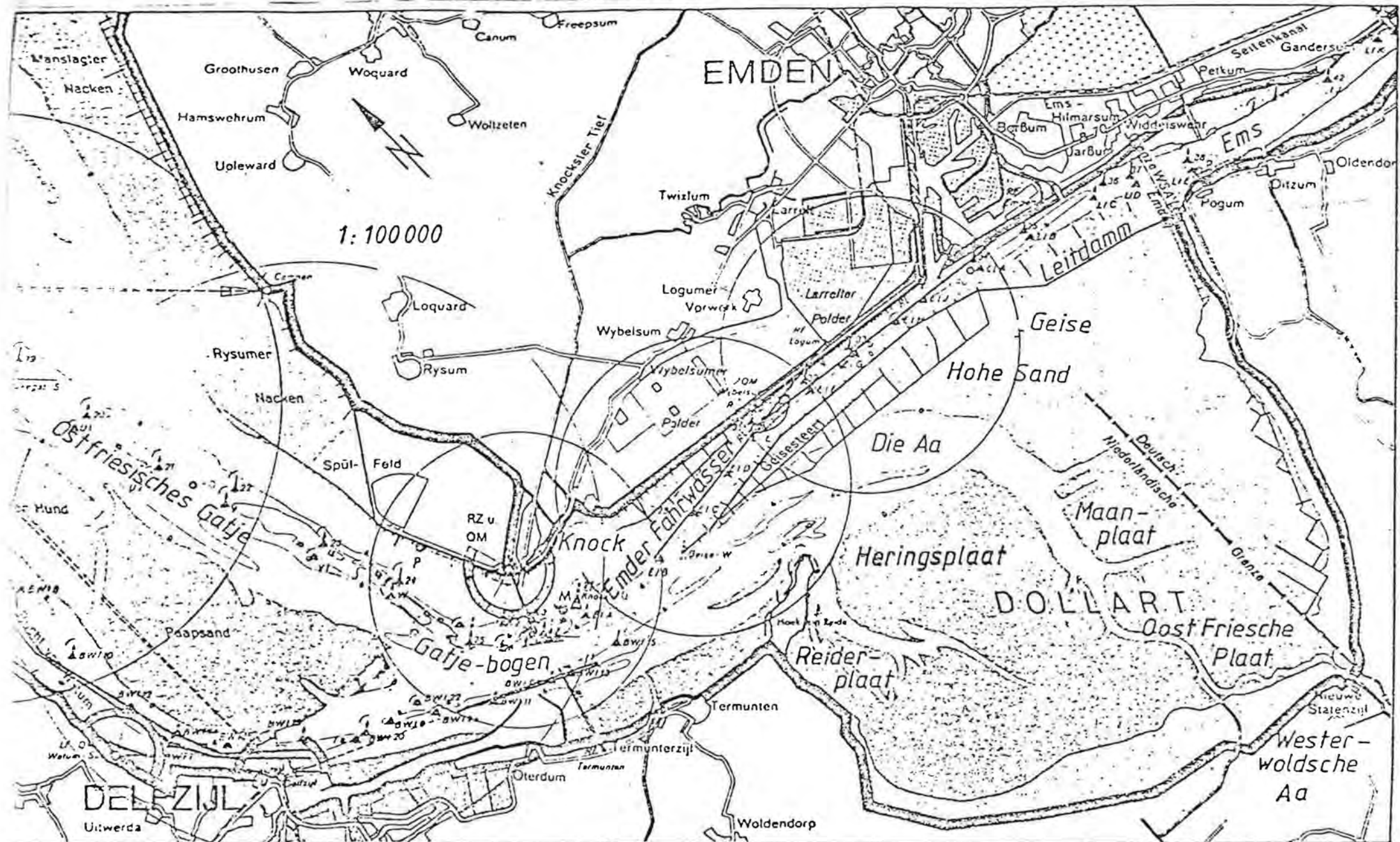


Abb. 1 Lageplan

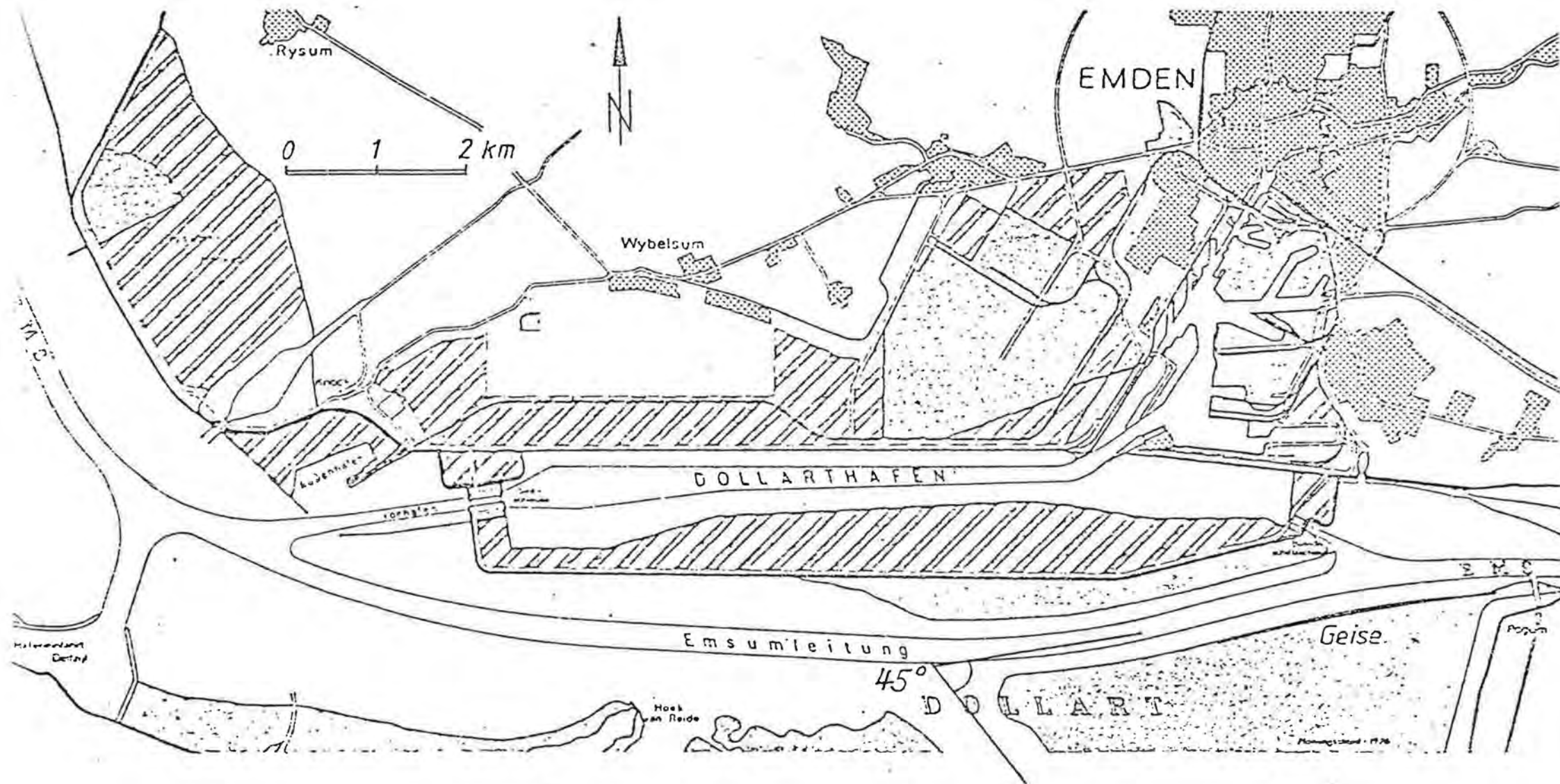


Abb. 2 Lageplan zum Projekt Dollarthafen

2. Definitionen im Brackwassergebiet

Als Brackwasserzone bezeichnet man den Teil eines Tide-
ästuars, in dem sich im Verlauf einer Tide der Salz-
gehalt von Ort zu Ort und periodisch mit der Zeit än-
dert. Die Brackwassergrenzen geben die Endpunkte der
Brackwasserzone an, d.h. an den Grenzpunkten bleibt der
Salzgehalt während einer Tide konstant. Die unteren
Brackwassergrenzen der deutschen Tideflüsse liegen
außerhalb der Mündungsgebiete in der Nordsee, ihre Lage
ist nicht genau zu definieren. Wesentliche Bedeutung
kommt der oberen Brackwassergrenze zu, die meist weit
oberhalb der Mündung des Ästuars liegt.

Die Ausdehnung der Brackwasserzone hängt von der Geo-
metrie und Morphologie des Tideästuars, der Tidebewegung
und der Oberwasserführung des Tideflusses ab. Ändern
sich diese Größen, so verschiebt sich die Brackwasser-
zone. Als Brackwassergebiet bezeichnet man den Gesamt-
bereich des Flusses, in dem sich die Brackwasserzone nach
oberstrom und unterstrom bewegt.

In Abb. 3 ist die Verteilung des Salzgehalts über die
Flußlängsachse zum Zeitpunkt des Kenterns von Flut- und
Ebbestrom schematisch dargestellt.

3. Wesentliche hydrologische Veränderungen durch die Ems- umleitung

Die wesentlichen Veränderungen der hydrologischen Ver-
hältnisse im Dollartbereich werden mit dem Durchstich
des Geiserückens im Rahmen der Emsumleitung bewirkt
(Abb. 2).

Das Süßwasser der Ems beeinflusst besonders bei mittleren
und höheren Abflüssen in stärkerem Maße direkt den Salz-
gehalt des Dollarts, ohne die Vermischungsbereiche Gatje-
bogen, Ostfriesisches Gat durchflossen zu haben (15).

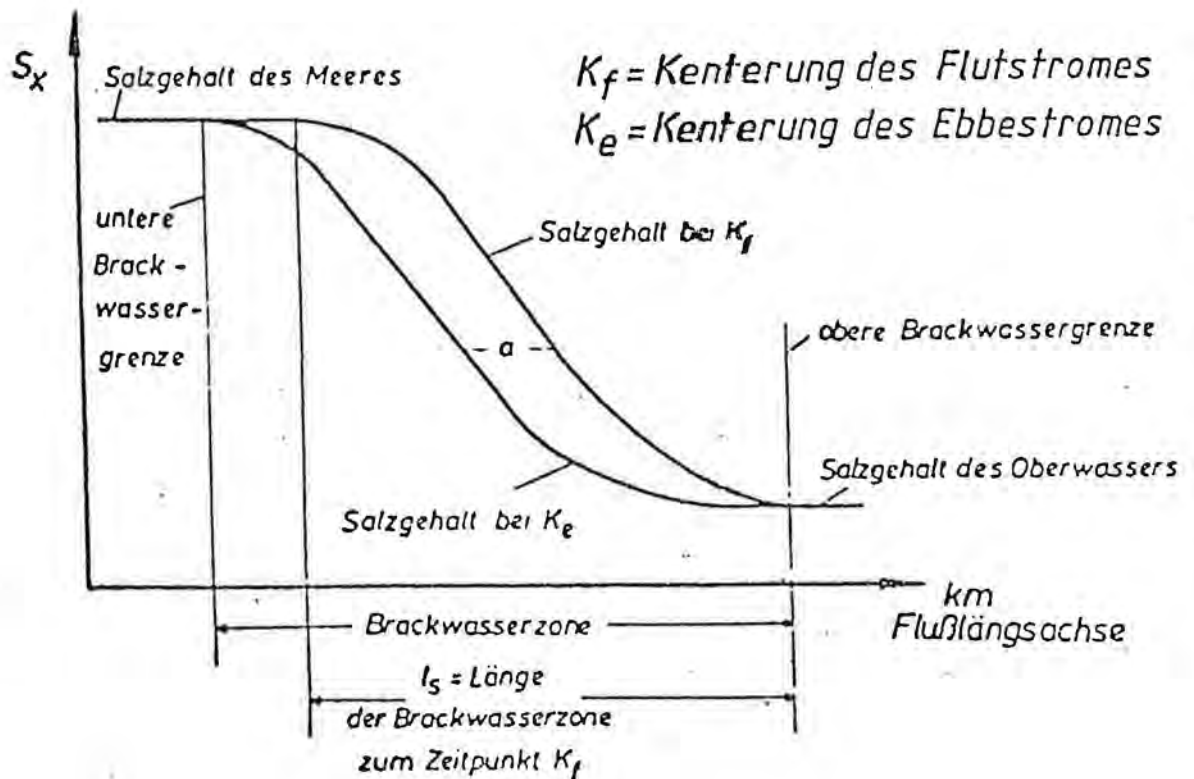


Abb. 3 Definitionen im Brackwassergebiet

Die bisherige Trennung von Emders Fahrwasser und Dollart an der Geisespitze wird um etwa 6 km stromauf in den Bereich des Einschnitts im Geiserücken verlegt.

Der Durchfluß am Dollartmund erhöht sich, da die Tidewassermengen aus dem Tidebereich oberhalb der Emsumleitung zusätzlich ein- und ausströmen müssen.

4. Schichtungen im Brackwassergebiet des Dollarts

4.1 Allgemeines

Bei der Vermischung des Seewassers mit dem Flußwasser in der Brackwasserzone können verschiedene Durchmischungszustände eintreten. Im folgenden werden diese Durch-

mischungszustände definiert und die Besonderheiten erläutert.

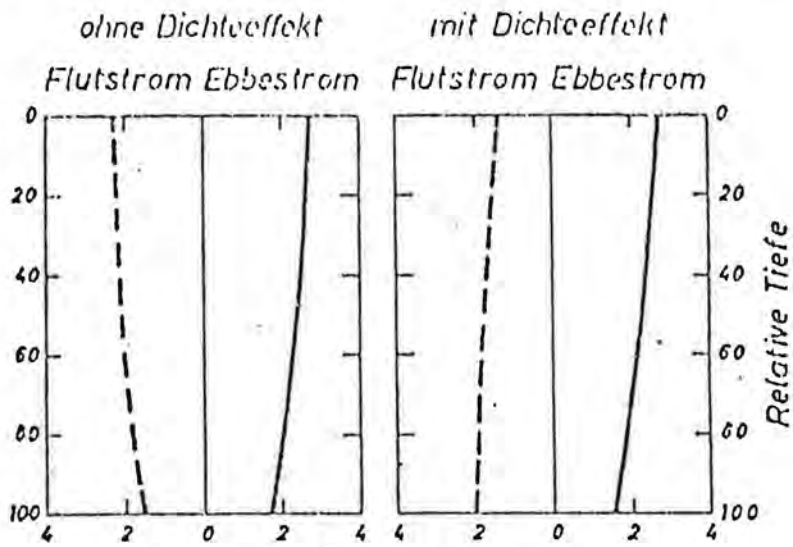
Es ist üblich, den Durchmischungszustand eines Tideflusses mit den Bezeichnungen "gut durchmischt", "teilweise durchmischt" und "schlecht durchmischt" anzugeben. Diese relativen Begriffe können aus der Änderung der lotrechten Salzgehaltsverteilung für einen Meßpunkt bestimmt werden.

Ein gut durchmischter Tidefluß (z. B. Weser und Elbe) ist durch nahezu gleiche Salzgehalte zwischen Oberfläche und Sohle gekennzeichnet. In Flußlängsrichtung nimmt der Salzgehalt vom Meeressalzgehalt nach oberstrom bis auf den Salzgehalt des Oberwassers ab. In gut durchmischten Tideästuarien beträgt das Verhältnis von Oberwassermenge zu Tidewassermenge normalerweise weniger als 1:10 (10). Eine typische Geschwindigkeitsverteilung über die Tiefe für Flut und Ebbe zeigt Abb. 4. Wegen des Dichtegradienten ist beim Flutstrom die Geschwindigkeit an der Sohle größer als an der Oberfläche, während beim Ebbestrom die Geschwindigkeit im oberen Querschnittsteil größer ist als im unteren. Auch die Kenterzeiten treten an Oberfläche und Sohle nicht gleichzeitig ein. So kentert die Ebbeströmung an der Sohle früher als an der Oberfläche, und die Flutströmung an der Sohle später als an der Oberfläche.

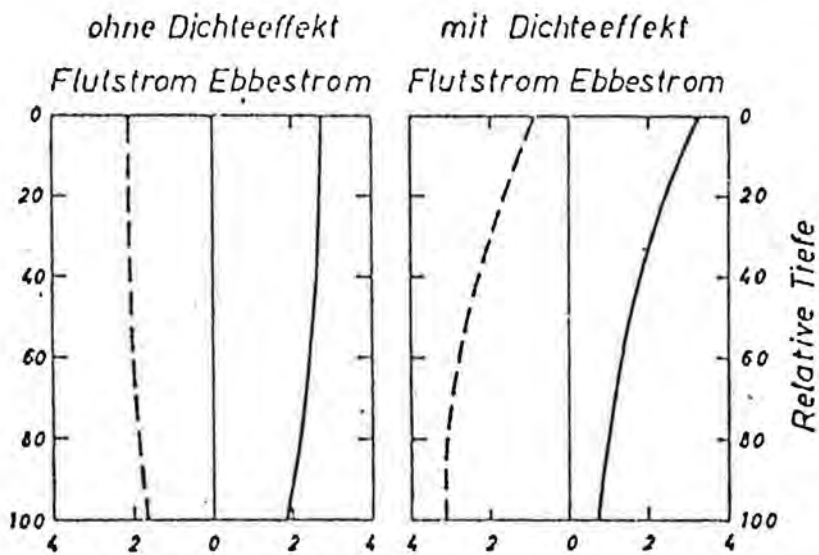
Dieses Verhalten ist in einem teilweise durchmischten Tideästuar (z.B. Rotterdam Wasserweg und Tyne) noch stärker ausgeprägt. Die typischen Geschwindigkeitsverteilungen zeigt Abb. 4.

Das Verhältnis von Oberwassermenge zu Tidewassermenge liegt etwa zwischen 0,2 und 0,5 (10).

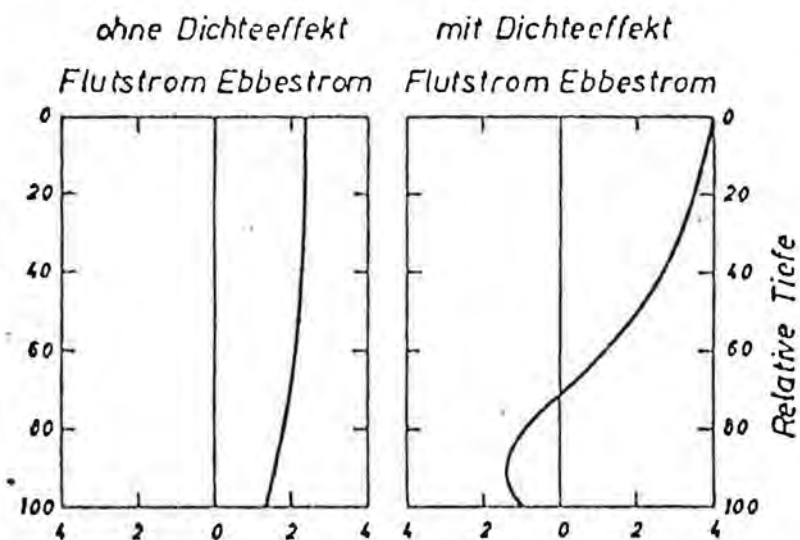
In einem schlecht durchmischten Tideästuar (z.B. Rhone) überwiegt der Oberwasserabfluß gegenüber der Tidewassermenge. Zwischen dem vom Meer eintretenden Salzwasser und dem Oberwasser tritt eine deutliche Schichtung ein. Über dem an der Sohle vordringenden Salzkeil fließt das spe-



a) gute Durchmischung



b) teilweise Durchmischung

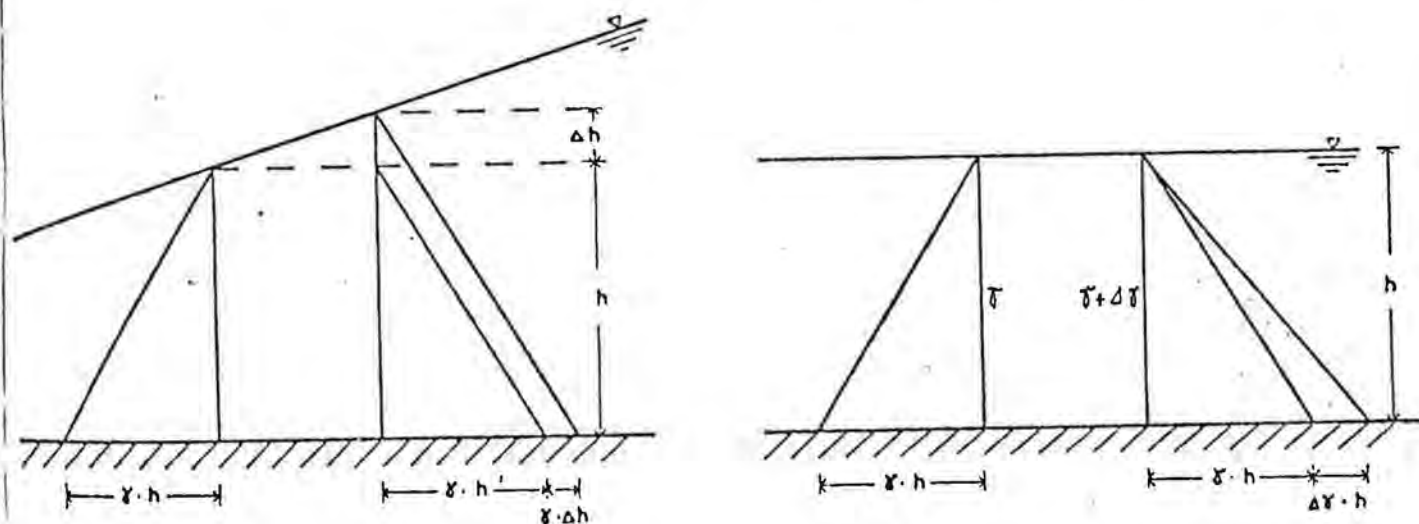


c) starke Schichtung

Abb. 4 Geschwindigkeitsverteilungen über die Tiefe bei unterschiedlichen Durchmischungszuständen (10)

zifisch leichtere Oberwasser zum Meer hin ab. Für ein sehr stark geschichtetes Ästuar ist die Geschwindigkeitsverteilung in Abb. 4 dargestellt. Über und auch etwas unterhalb der Trennschicht zwischen Süß- und Salzwasser herrscht ständig eine durch das Oberwasser bedingte, flußabwärts gerichtete Strömung, während der Salzkeil an der Sohle eine stromauf gerichtete Strömung aufweist, die an der Spitze des Keils gleich Null ist. Der Salzkeil ändert praktisch seine Lage nicht.

Die Ursachen der Dichteströmung, die an der Sohle zur Verstärkung des Flutstromes und zur Verlängerung der Flutströmdauer gegenüber den Verhältnissen ohne Dichteeffekte führen (Abb. 4), sind aus der Prinzipskizze in Abbildung 5 ersichtlich. Aus der Skizze ist zu entnehmen, daß Dichteströmungen auch in vollständig durchmischten Gewässern auftreten, solange ein Dichtegradient in Längsrichtung besteht. Mit einer Zunahme des Dichtegradienten und zunehmender Wassertiefe nimmt auch die Dichteströmung zu.



Druckgradient infolge
eines Wasserspiegelgefälles

Druckgradient infolge
eines Dichtegradienten

Abb. 5 Prinzipskizze zur Dichteströmung

4.2 Klassifizierung nach Ästuarzahlen

Zur Klassifizierung eines Ästuars in die drei vorstehend genannten Gruppen wurden dimensionslose, sogenannte Ästuarzahlen entwickelt.

a) Ästuarzahl E von HARLEMAN und ABRAHAM (4)

$$E = \frac{P_T \cdot F_o^2}{Q_f \cdot T} \quad (1)$$

mit P_T = Flutwassermenge (m^3)

F_o = FROUDESche Zahl

$$= U_o / \sqrt{g \cdot d}$$

mit U_o = max. Strömungsgeschwindigkeit im Flutstrom an der Mündung (m/s)

d = mittlere Tiefe an der Mündung (m)

Q_f = Oberwasserabfluß (m^3/s)

T = Tidedauer (s)

b) Ästuarzahl α von CREMERS (17)

$$\alpha = \frac{Q_f \cdot T}{P_T} \quad (2)$$

mit den obengenannten Bezeichnungen.

Daraus ergeben sich folgende Einteilungen (17)

Klasse A: "schlecht durchmischte" Tideästuare

$$E \leq 0,005$$

$$\alpha \geq 1,0$$

Klasse B: "teilweise durchmischte" Tideästuare

$$0,005 < E < 0,2$$

$$0,1 < \alpha < 1,0$$

Klasse C: "gut durchmischte" Tideästuare

$$E \geq 0,2$$

$$\alpha \leq 0,1$$

Anhand dieser Einteilungen soll überprüft werden, ob durch das Dollarthafenprojekt eine Schichtung des Wassers im Dollartbecken zu erwarten ist.

4.3 Auswirkungen der Emsumleitung durch den Dollart

4.3.1 Allgemeines

Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Oberwasserabflüsse sind Abflüsse am Pegel Versen (Wehrdurchstich). Diese Abflüsse sind in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern des Weser-Ems-Gebietes aufgeführt und dienen ebenfalls als Grundlage für die Untersuchungen über die Salzgehaltsänderungen im Dollartbecken (16). Zur Bestimmung der Kennzahlen E und α wurde der auf Pogum bezogene Oberwasserabfluß verwendet. Der Abfluß im Querschnitt Pogum beträgt etwa das 1,5-fache des Abflusses am Pegel Versen (16).

4.3.2 Durchmischungsgrad im bestehenden Zustand

Untersuchungen von DORRESTEIN (3) anhand von Messungen aus dem Jahre 1956 und Auswertungen der deutsch-niederländischen Salzgehaltsmessungen aus den Jahren 1976 bis 1978 zeigen, daß im jetzigen Zustand eine gute Durchmischung im Dollart gegeben ist.

⚡ DORRESTEIN (3) bezeichnet den Dollart insgesamt als wirkungsvolles Durchmischungsbecken. Dabei ist zu beachten, daß in den 50er Jahren vor dem Bau des Geisedammes (1960 - 1962) noch ein Austausch zwischen Ems und Dollart möglich war. Nach dem Bericht vom RIJKSWATERSTAT (18) gelangten mit dem Flutstrom etwa $7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser aus der Ems in den Dollart und bei Ebbe etwa $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser aus dem Dollart in die Ems. Umgerechnet in sekundliche Abflüsse über die Tidedauer flossen demnach bei Flutstrom im Mittel rd. $157 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Ems. Dies ist erheblich mehr als der mittlere Abfluß der Ems ($80 \text{ m}^3/\text{s} \approx 120 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Pogum).

In den Abbildungen 6 und 7 sind die Differenzen der Salzgehalte zwischen den Meßebenen "unten" (etwa 1 m über der

DOLLART - NORD

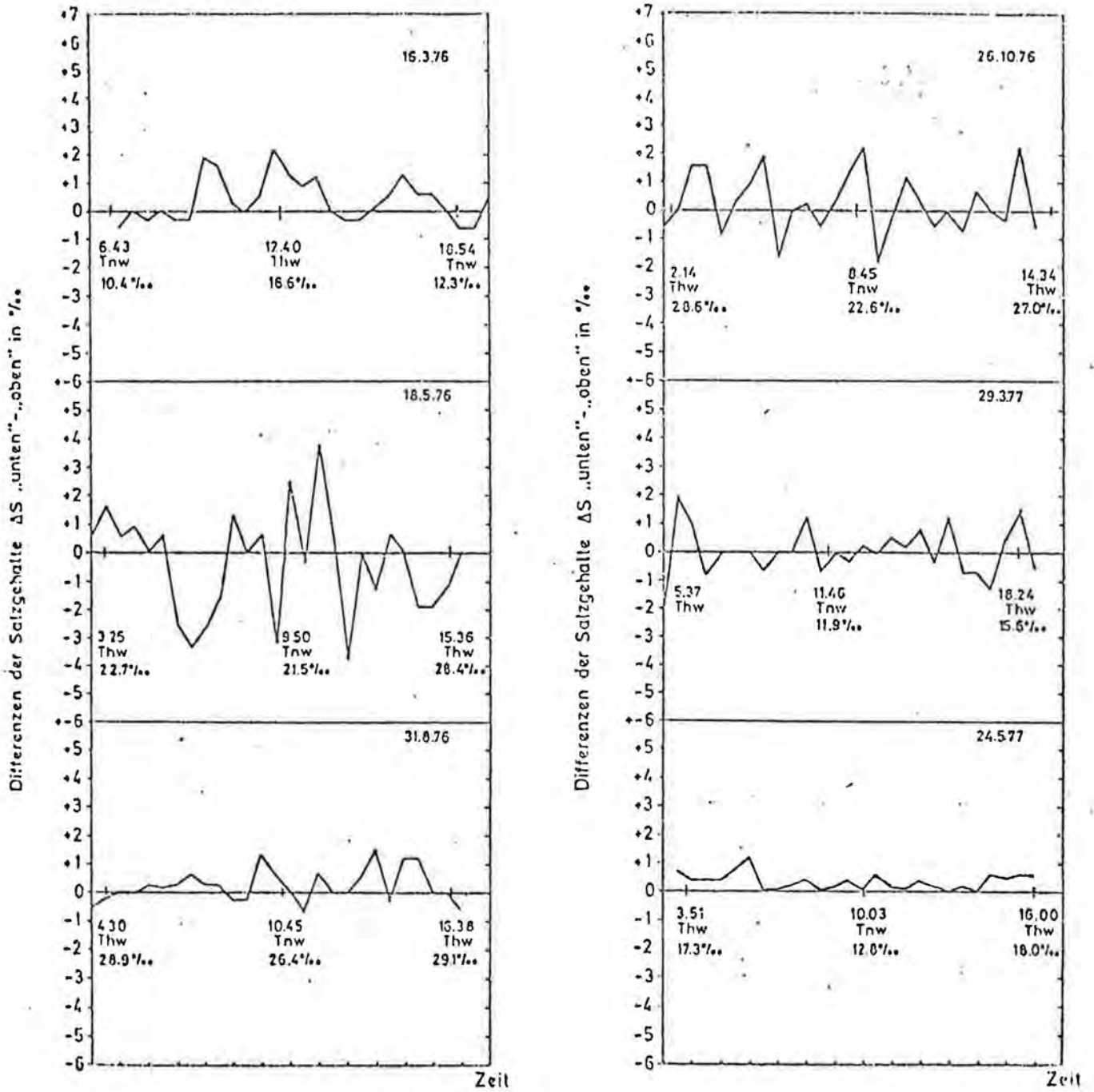


Abb. 6 Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebenen "unten" und "oben" an der Meßstelle Dollart-Nord

DOLLART - NORD

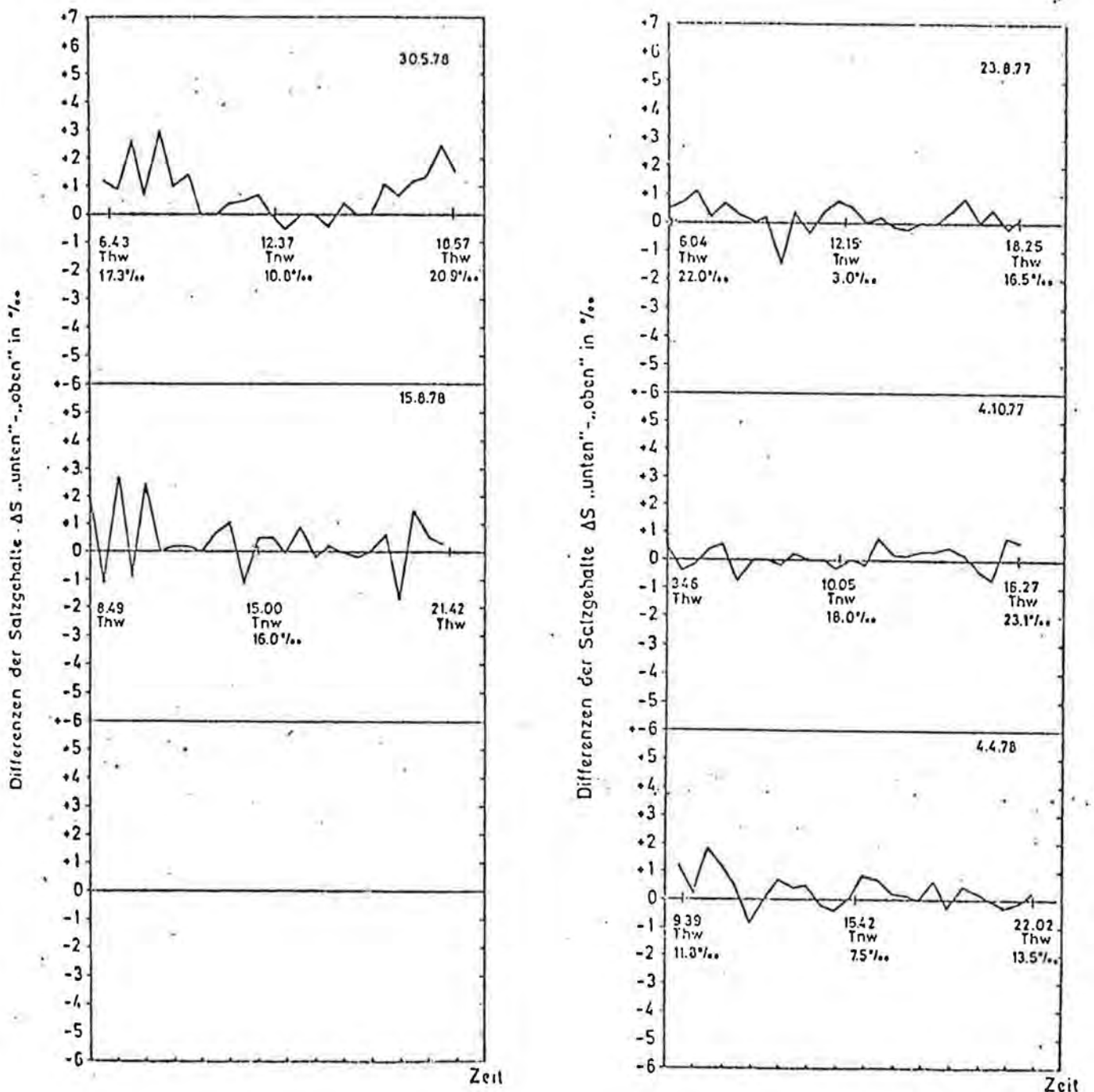


Abb. 7 Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebeben "unten" und "oben" an der Meßstelle Dollart-Nord

Sohle) und "oben" (etwa 0,5 m unter der Oberfläche) für die Meßstelle Dollart-Nord (Lageplan, Abb. 8) aus den deutsch-niederländischen Salzgehaltsmessungen (Tab. 1) aufgetragen. Die Ganglinien der Differenzen zeigen ein Minimum zum Zeitpunkt der Kenterung des Ebbestromes und ein Maximum etwa zum Zeitpunkt der Kenterung des Flutstromes.

Unter Berücksichtigung der Absolutwerte der Salzgehalte, die zu diesen Zeitpunkten auftraten (Abb. 6 und 7), sind die Salzgehaltsdifferenzen relativ klein. Dies zeigt die relativ gute Durchmischung im Dollartbecken.

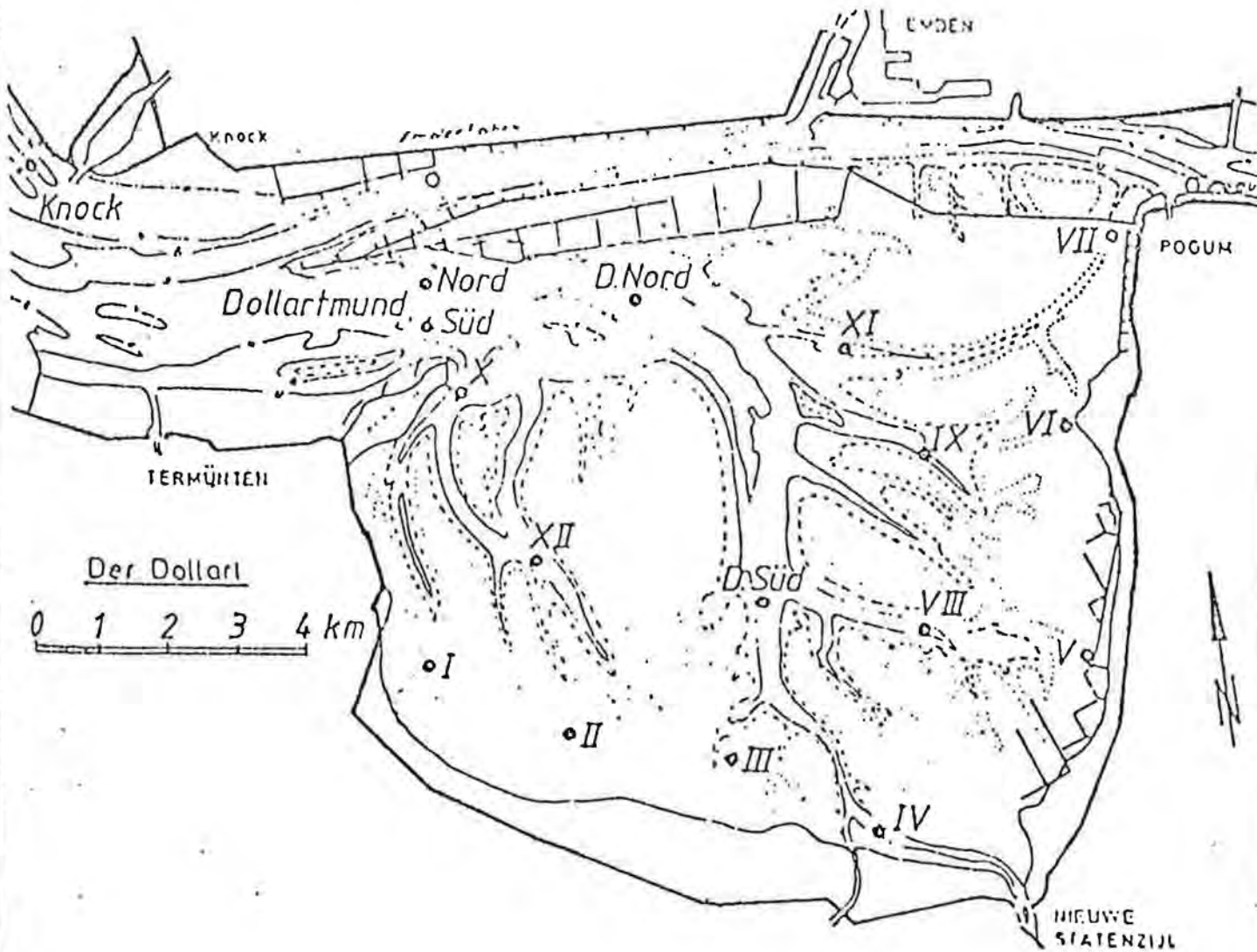


Abb. 8 Lageplan der Meßstellen im Dollart

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum	16.3.76	18.5.76	31.8.76	26.10.76	29.3.77	24.5.77	23.8.77	4.10.77	4.4.78	30.5.78	15.8.78
Uhrzeit/Thw	0 ¹⁷ 613	3 ²⁵ 608	4 ³⁰ 653	2 ¹⁴ 642	5 ³⁷ 562	3 ⁵¹ 594	6 ⁰⁴ 613	3 ⁴⁶ 621	9 ³⁹ 598	6 ⁴² 592	8 ⁴⁹ 614
Uhrzeit/Tnw	6 ⁴³ 271	9 ⁵⁰ 286	10 ⁴⁵ 332	8 ⁴⁵ 288	11 ⁴⁶ 343	10 ⁰³ 300	12 ¹⁵ 331	10 ⁰⁵ 341	15 ⁴² 293	12 ³⁷ 305	15 ⁰⁰ 332
Uhrzeit/Thw	12 ⁴⁰ 601	15 ³⁶ 642	16 ³⁸ 648	14 ⁴ 629	18 ²⁴ 583	16 ⁰⁰ 616	18 ²⁵ 619	16 ²⁷ 621	22 ⁰² 623	18 ⁵⁶ 631	21 ⁴² 647
Tidefall	342	322	321	354	219	294	282	280	305	287	282
Tidestieg	330	356	316	341	240	316	288	280	330	326	315
Flutdauer min	357	346	353	349	398	357	368	382	380	379	402
Q ₀ MeBtag, m ³ /s	55,1	26,8	16,6	22,0	70,3	43,2	74,4	51,5	122	83	32,4
\bar{Q}_{05} m ³ /s	55,2	30,1	15,6	23,0	51,4	47,9	48,1	29,6	162	146	37,2
\bar{Q}_{010} "	57,2	30,0	15,3	23,5	55,0	58,8	46,7	27,7	171	104	39,8
\bar{Q}_{015} "	63,2	32,2	15,4	23,0	57,9	57,1	41,0	27,1	164	85	40,6
Standardabw. \bar{Q}_{015}	10	4	2	4	7	12	10	6	22	48	10
Nieuwe Statenzijl											
MeBtag m ³ /s	19	24	6	15	21	-	15	23	20	8	11
Monatsmittel m ³ /s	12	8	8	14	17	16	17	18	-	-	-
$\bar{Q}_{015}/N.S.$	1:5	1:4	1:2	1:1,5	1:3,5	1:3,5	1:2,5	1:1,5	-	-	-
Windr./Windst.											
Borkum	O/5	OSO/5	N/2	O/5	NO/2	NO/2	SO/2	SSW/6	NO/5	ONO/3	S 4
Emden	NO/5	O/3	SW/4	O/3	NO/1	O/3	NO/2	SW/5	NO/4	NO/3	S 3

Tab.1 Übersicht zu den deutsch-niederländischen Messungen

In Abbildung 9 ist mit Hilfe der in Abschnitt 4.2 definierten Kennzahlen dargestellt, bei welchen Flutstromwassermengen und Oberwasserabflüssen Schichtungen zu erwarten sind. Die unter den Geraden liegenden Bereiche geben gut durchmischte Verhältnisse an.

Nach Auswertungen des RIJKSWATERSTAAT, DIRECTIE GRONINGEN, von Messungen in der Natur aus den Jahren 1974 bis 1977 fließen unter mittleren Verhältnissen etwa $230 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser mit dem Flutstrom durch den Querschnitt Gatjebogen und $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ durch den Dollartmund. Im Querschnitt Pogum beträgt die Flutwassermenge zur Füllung des stromauf liegenden Flutraumes etwa $50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Für die Flutwassermengen im Gatjebogen und bei Pogum wurden jeweils für den mittleren Oberwasserabfluß und den Medianwert des Abflusses der Durchmischungszustand entsprechend den Kennzahlen E und α mit den entsprechenden Querschnittsgrößen bestimmt (Abb.9). Die mittleren Tiefen und die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im Flutstrom wurden den Unterlagen des RIJKSWATERSTAAT zu den Auswertungen der Strömungsmessungen entnommen.

Die eingetragenen Punkte zeigen, daß im Bereich Gatjebogen selbst bei Oberwasserabflüssen $Q_0 = 265 \text{ m}^3/\text{s}$ noch eine gute Durchmischung stattfindet, während am Ems-Querschnitt Pogum mit der Kennzahl $E = 0,2$ der Bereich der teilweisen Durchmischung bei etwa $Q_0 = 93 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wird.

Die Auftragungen der Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebenen "oben" und "unten" (Abb. 10 und 11) zeigen an der Meßstelle Pogum auch wesentlich größere Schichtungen, als die entsprechenden Auftragungen für die Meßstelle Dollart-Nord (Abb. 6 und 7).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch Salzgehaltsmessungen im Dollartmund bzw. in der nördlichen Aa

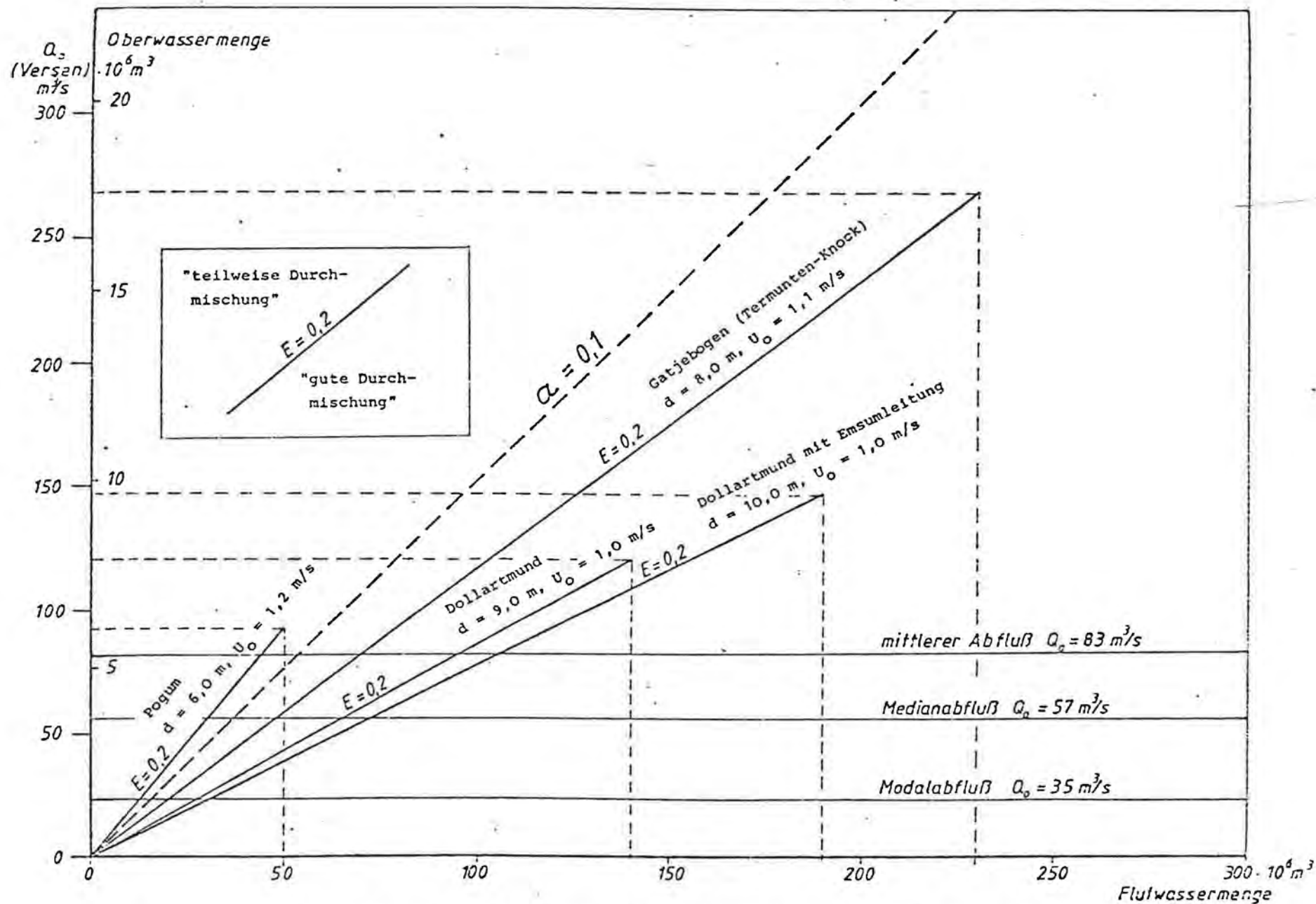


Abb. 9 Diagramm zur Ermittlung des Durchmischungs-Zustandes

POGUM

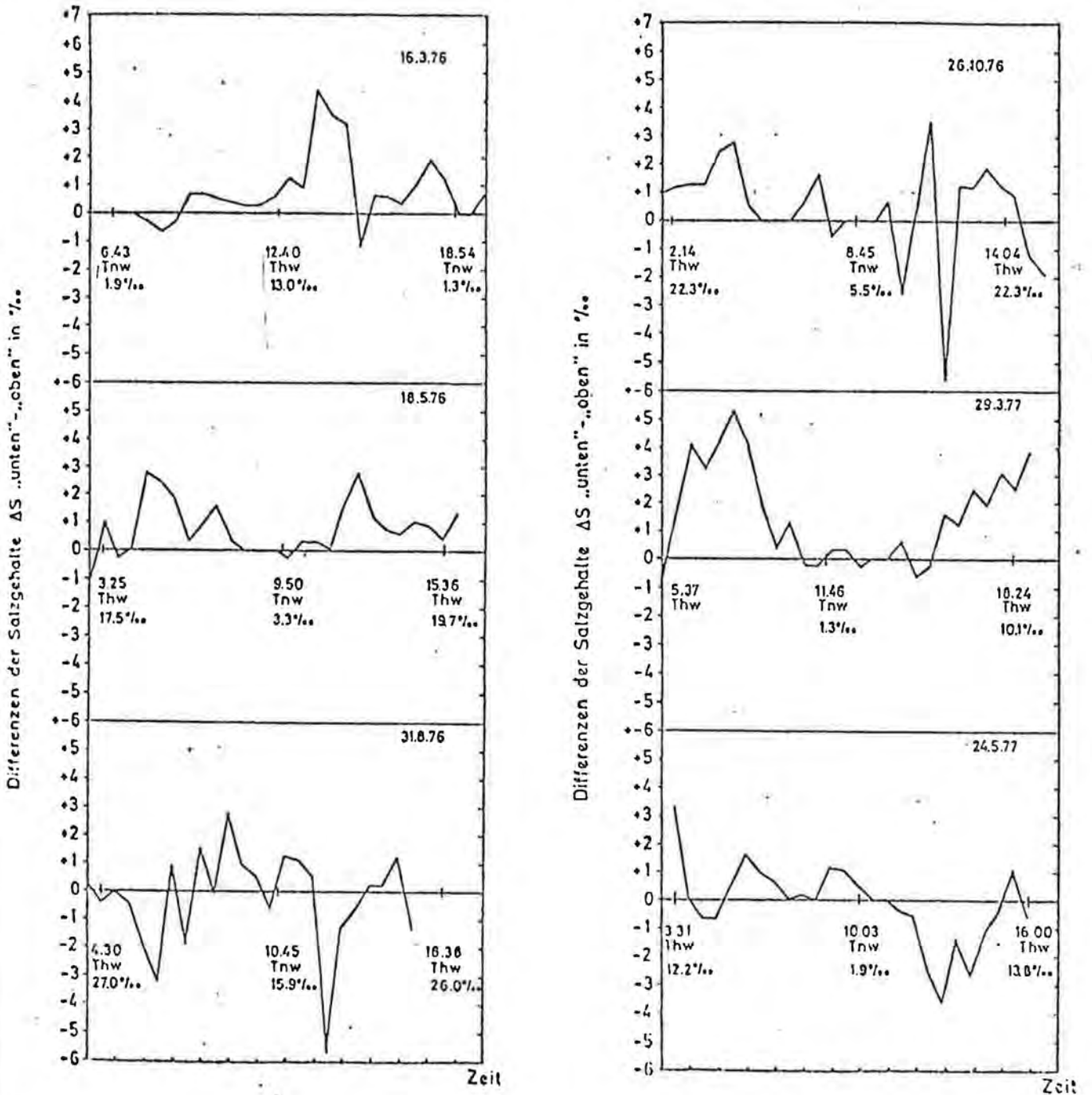


Abb. 10 Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebenen "unten" und "oben" an der Meßstelle POGUM

POGUM

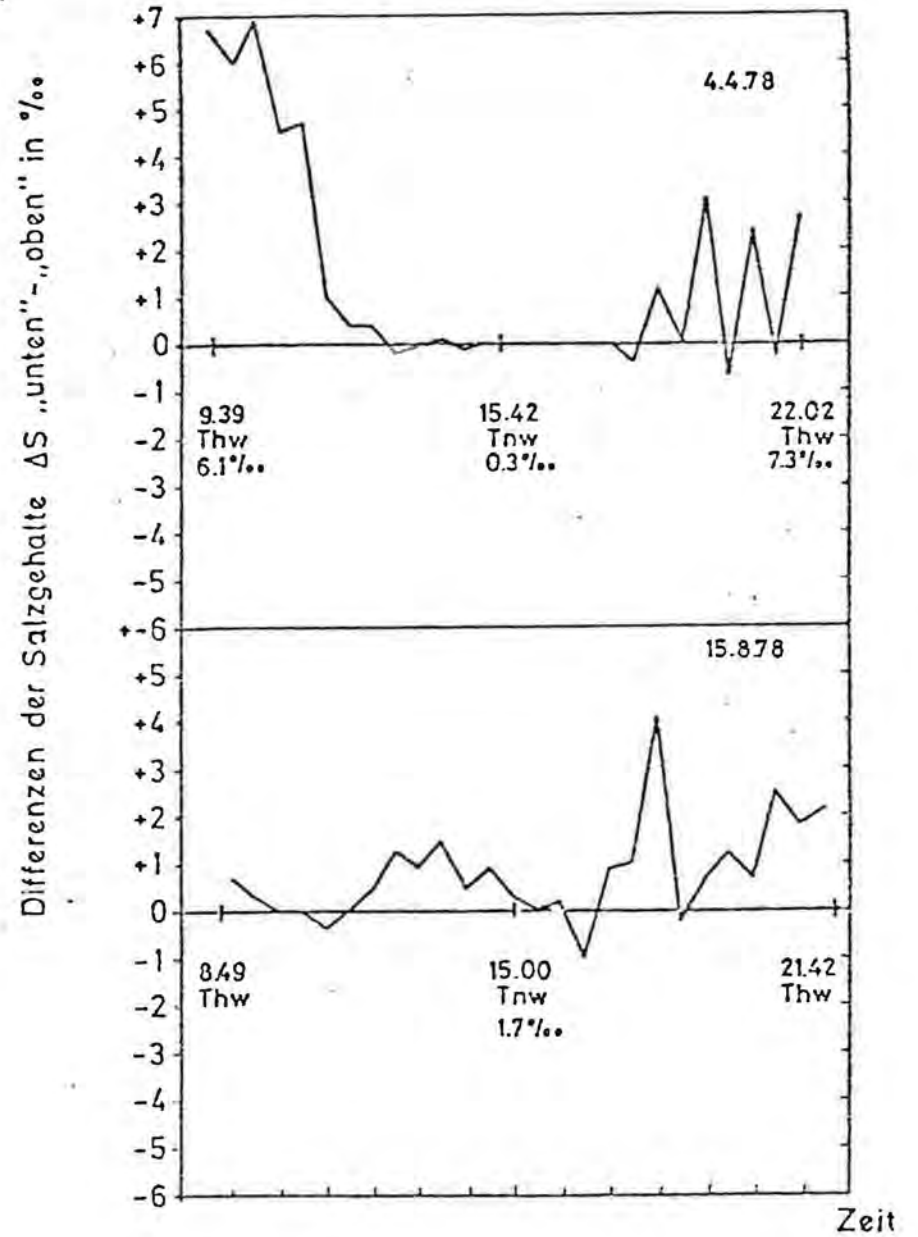
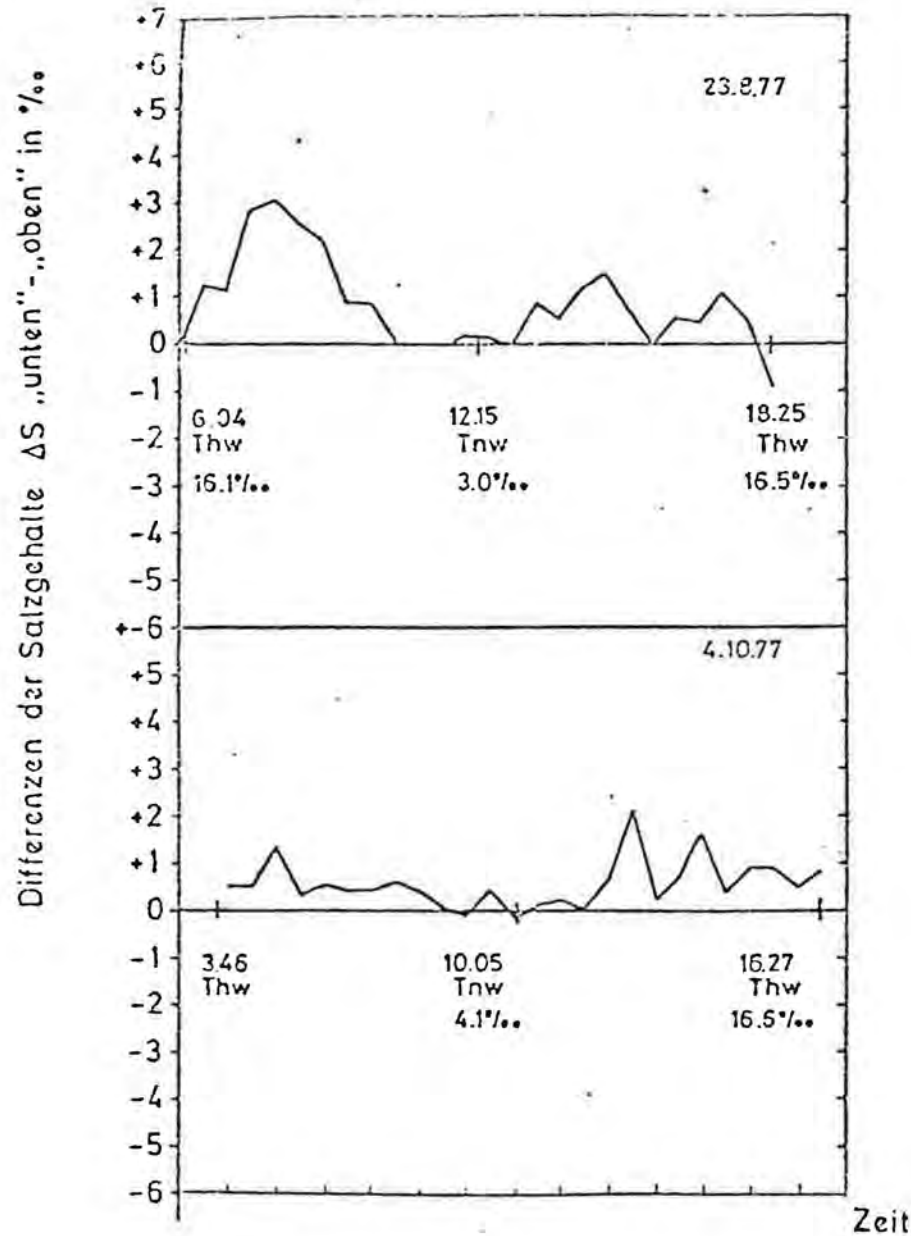


Abb. 11 Salzgehaltssdifferenzen zwischen den Meßebenen "unten" und "oben" an der Meßstelle Pogum

für den bestehenden Zustand eine gute Durchmischung des Gewässers nachgewiesen werden kann. Dieses Ergebnis wird auch durch die für die Klassifizierung von Tideästuaren maßgebenden Kennzahlen bestätigt.

An der Meßstelle Pogum (Ems) ist wegen der wesentlich geringeren Flutwassermenge eine stärkere Schichtung im Brackwasser meßbar. Die Größenordnung der für diesen Bereich maßgebenden Kennzahlen läßt ebenfalls auf eine weniger gute Durchmischung schließen.

4.3.3 Durchmischungsgrad nach erfolgter Emsumleitung

Nach Fertigstellung des Dollarthafenprojektes muß die für den Querschnitt Pogum ermittelte Flutwassermenge zusätzlich durch den Dollartmund fließen, da der Flutspeicherraum des Dollarts nahezu unverändert erhalten bleibt (Volumenausgleich durch Baggerung und Aufspülung). Auch die Tidewasserstände der Ems ändern sich nur unwesentlich (14).

Die Flutwassermenge bei Hoek van Reide kann demnach zu etwa $140 \cdot 10^6 + 50 \cdot 10^6 = 190 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ angesetzt werden.

Das Süßwasser der Ems gelangt direkt über die Umleitungsrinne in den Dollart.

Zur Überprüfung des Durchmischungszustandes wird daher die Flutwassermenge bei Hoek van Reide mit dem Oberwasserabfluß in Beziehung gesetzt.

Abbildung 9 zeigt, daß man nach der Definition von CREMERS (17) bis zu einem Oberwasserabfluß von rd. $290 \text{ m}^3/\text{s}$ gute Durchmischung erhält ($\alpha = 0,1$).

Verwendet man die Ästuarzahl E, so wird der Übergang vom gut durchmischten zum teilweise durchmischten Zustand bei etwa $Q_0 = 140 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht. Dabei wurde die mittlere Wassertiefe an der Mündung zu 10 m angenommen. Dies entspricht der Sohlenlage der Umleitungsrinne (Abb. 12).

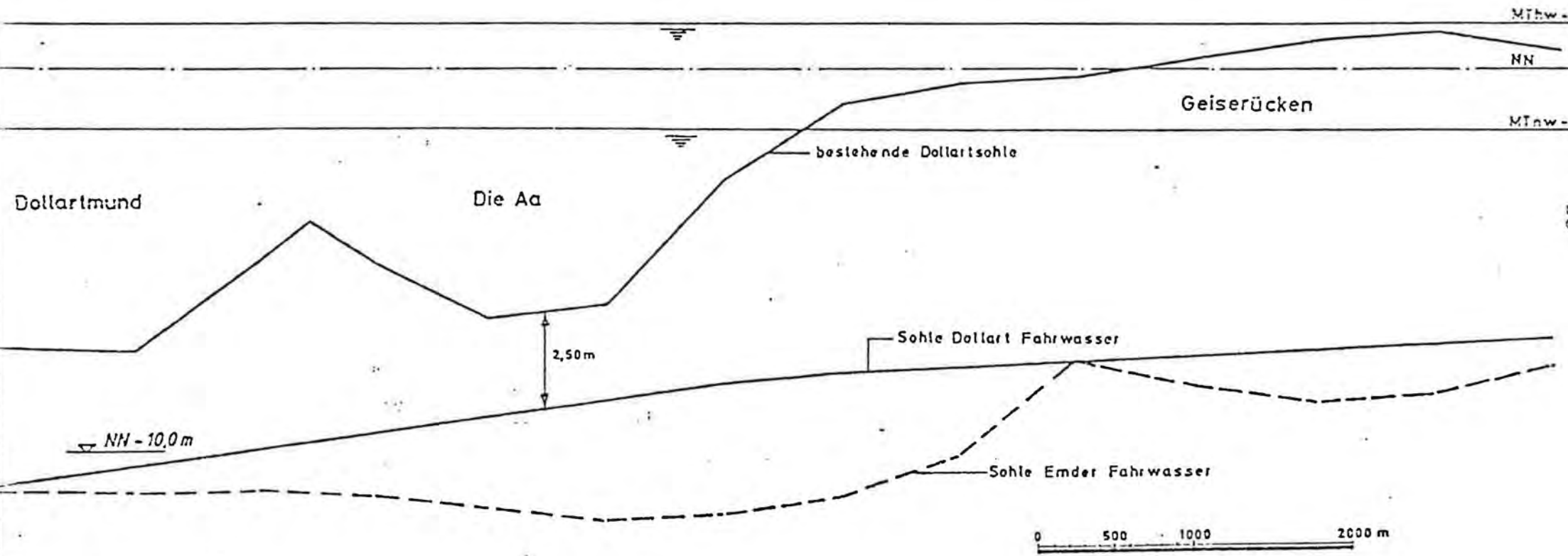


Abb. 12 Längsschnitt durch die Umleitungsrinne

Mit geringerer mittlerer Tiefe wächst der Durchmischungsgrad, es wurde demnach der für die Durchmischung ungünstigste Querschnittsteil untersucht.

Bei mittlerem Emsabfluß (1966/75) von $Q_0 = 83 \text{ m}^3/\text{s}$ und dem für die Betrachtungen zur Änderung der Salzgehaltsverteilung maßgebenden Medianabfluß von $Q_0 = 57 \text{ m}^3/\text{s}$ ist demnach im Dollartmund auch nach Bau des Dollarthafens eine gute Durchmischung von See- und Flußwasser gegeben (Abb. 9).

Änderungen des Durchmischungszustandes werden im nördlichen Teil der Aa und über dem jetzigen Geiserücken im Bereich der Umleitungsrinne auftreten. Mit dem Ebbestrom zugeführtes Süßwasser der Ems füllt den Raum der nördlichen Aa und der Geiserinne. In Abb. 13 sind die im hydraulischen Modell der BAW, Hamburg-Rissen, ermittelten Salzgehalte zum Zeitpunkt der Kenterung der Ebbeströmung für diesen Bereich eingetragen.

Wegen der Süßwasserzufuhr aus der Geiserinne (Ebbewassermenge bei Pogum etwa $55 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) bei relativ geringen Wassertiefen und der Queranströmung unter etwa 45° aus der Aa (Ebbewassermenge etwa $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, Abb. 2) ist im Bereich Geiserinne - nördliche Aa zwar ein starker Salzgehaltsgradient in Quer- und Längsrichtung (Tiefpunkt am Ende der Umleitungsrinne), aber gleichzeitig eine gute Durchmischung über die Tiefe infolge der hohen Turbulenz zu erwarten.

An der Meßstelle Pogum zeigt sich auch im jetzigen Zustand, daß um den Zeitpunkt k_e eine gute Durchmischung über die Tiefe eintritt (Abb. 10 und 11). Ähnliche Verhältnisse werden auch in der Geiserinne bzw. nördlichen Aa auftreten.

Durch die Queranströmung aus dem Groten Gat wird das Süßwasser der Ems in den nördlichen Teil der Aa versetzt

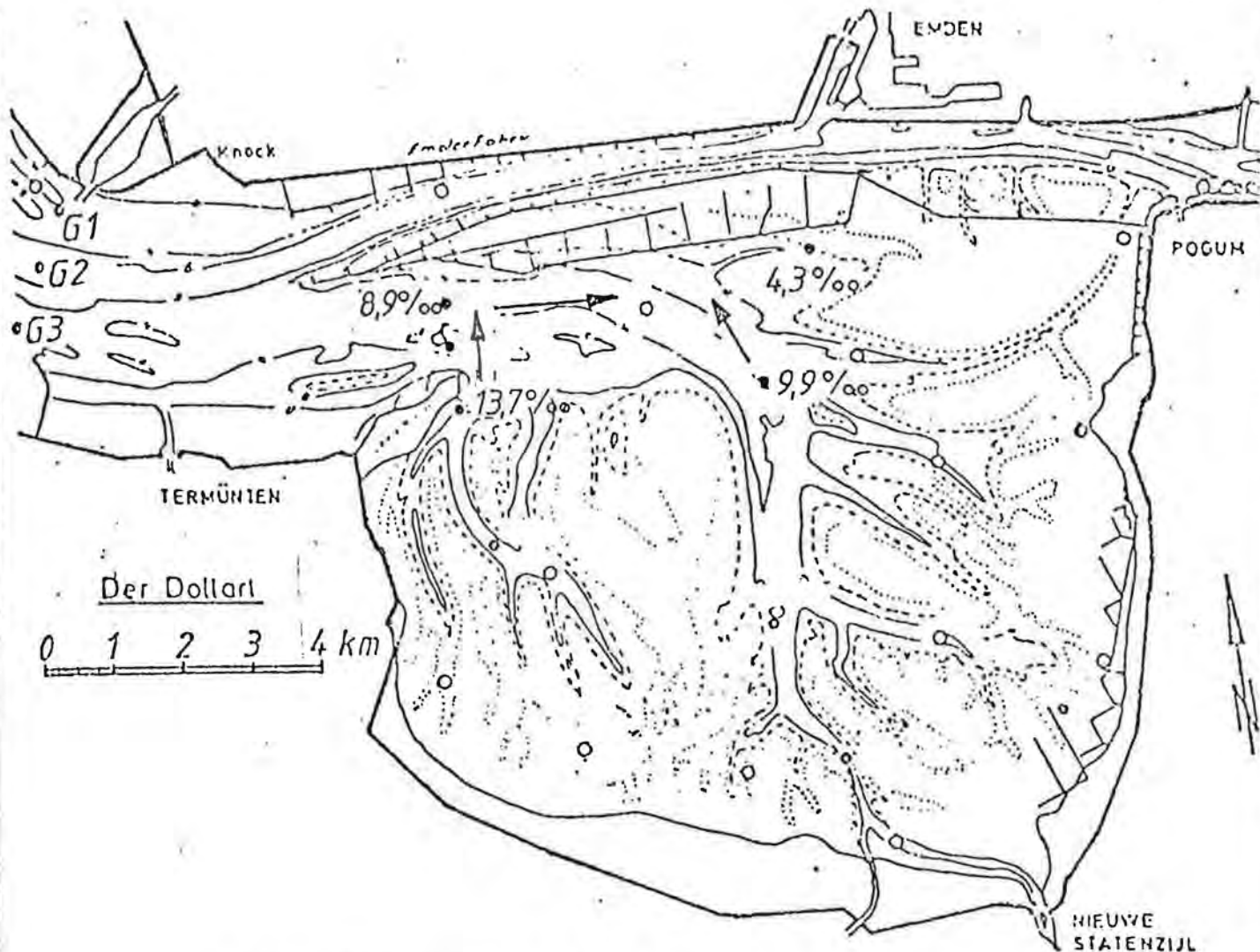


Abb. 13 Verlauf der Salzgehaltsgradienten zum Zeitpunkt k_e beim Abfluß mQ (nach Modelluntersuchungen der BAW)

und, verstärkt durch die Rechtsablenkung der Strömung infolge der Corioliskraft, am Geiseweststeert anliegend aus dem Dollart abgeführt.

Die Salzgehaltsmessungen an den Meßstellen im Dollartmund weisen einen entsprechend starken Quergradienten auf (Abb. 13).

Die Füllung des Dollarts erfolgt mit dem ersten Flutstrom durch den südlichen Teil des Dollartmundes. Mit weiter zunehmender Flutströmung wird der größte Teil des westlich der Einemündung der Geiserinne befindlichen Süßwassers wieder der Geiserinne und der Ems zugeführt. Ein kleinerer

Teil gelangt in das Rinnensystem des Dollartbeckens, das zunehmend mit gut durchmischem Brackwasser aus dem Dollartmund und dem äußeren Ästuar gefüllt wird.

Da die Platen erst bei Wasserständen um N.A.P. bedeckt werden, steht zur Vermischung des in das Rinnensystem eingeflossenen Süßwassers der Ems eine Durchmischungszeit von etwa 3 Stunden zur Verfügung. In dieser Zeit wird der Haupttrinnenquerschnitt der Aa (Abb. 14) von etwa $27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zunehmend salzhaltigeren Wassers durchströmt. Die damit verbundenen turbulenten Durchmischungen, begünstigt durch die Auffächerung des Rinnensystems, lassen keine starke Schichtung zu.

Waarum!

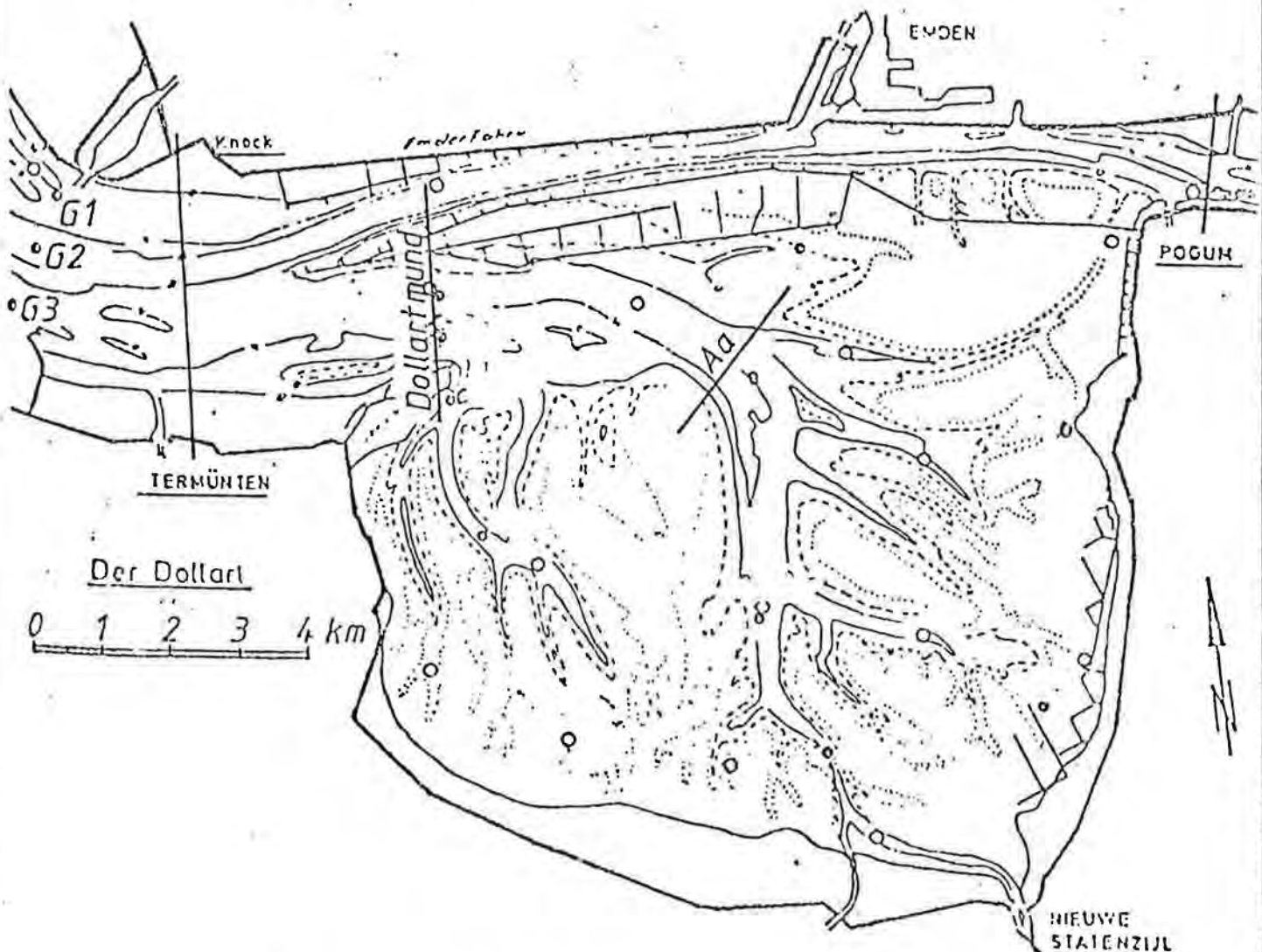


Abb. 14 Lage der Meßquerschnitte

Werden die großflächigen Platen bedeckt, tritt eine zusätzliche Vermischung durch Turbulenz infolge von Windwellen auf.

Insgesamt beträgt die Flutwassermenge am Meßquerschnitt in der Aa etwa $65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Am Querschnitt Pogum fließen dagegen nur etwa $50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ mit dem Flutstrom gegen den Oberwasserabfluß der Ems ein. Auch aus dieser Gegenüberstellung ist eine gute Durchmischung des platenbedeckenden Wassers herzuleiten.

Das Durchmischungsvermögen des Rinnensystems soll anhand der deutsch-niederländischen Salzgehaltsmessungen an der Meßstelle Dollart-Süd (Abb. 8) aufgezeigt werden. In Abbildung 15 und 16 sind wieder die Differenzen zwischen den Meßwerten "oben" und "unten" aufgetragen. An dieser Meßstelle zeigen sich erhebliche Differenzen zwischen beiden Meßwerten.

In der gutachtlichen Stellungnahme zur Änderung der Salzgehaltsverteilungen im Dollart (16) wurde die Einleitung von Süßwasser am Nieuwe Statenzijl näher beschrieben. Hier soll nur auf die in Abbildung 17 eingetragenen Sielwassermengen, die in das relativ kleine Restrinnensystem des südlichen Dollarts eingeleitet werden, hingewiesen werden. Diese Wassermengen werden etwa für die Dauer von 5 Stunden um Tideniedrigwasser eingeleitet. Im Gegensatz zur natürlichen Vermischung von Seewasser und Süßwasser in einem Tidefluß, wird hier demnach aufgespeichertes Süßwasser noch etwa bis zu 3 Stunden gegen das einlaufende Brackwasser in das Rinnensystem eingeleitet.

Wegen der etwa gleichen Größenordnung von Sielwassermenge und einlaufender Brackwassermenge ist eine Schichtung um Tideniedrigwasser unvermeidlich. Zur Zeit des Tidehochwassers ist aber auch an dieser Stelle keine nennenswerte Schichtung mehr feststellbar (Abb. 15 und 16).

DOLLART - SÜD

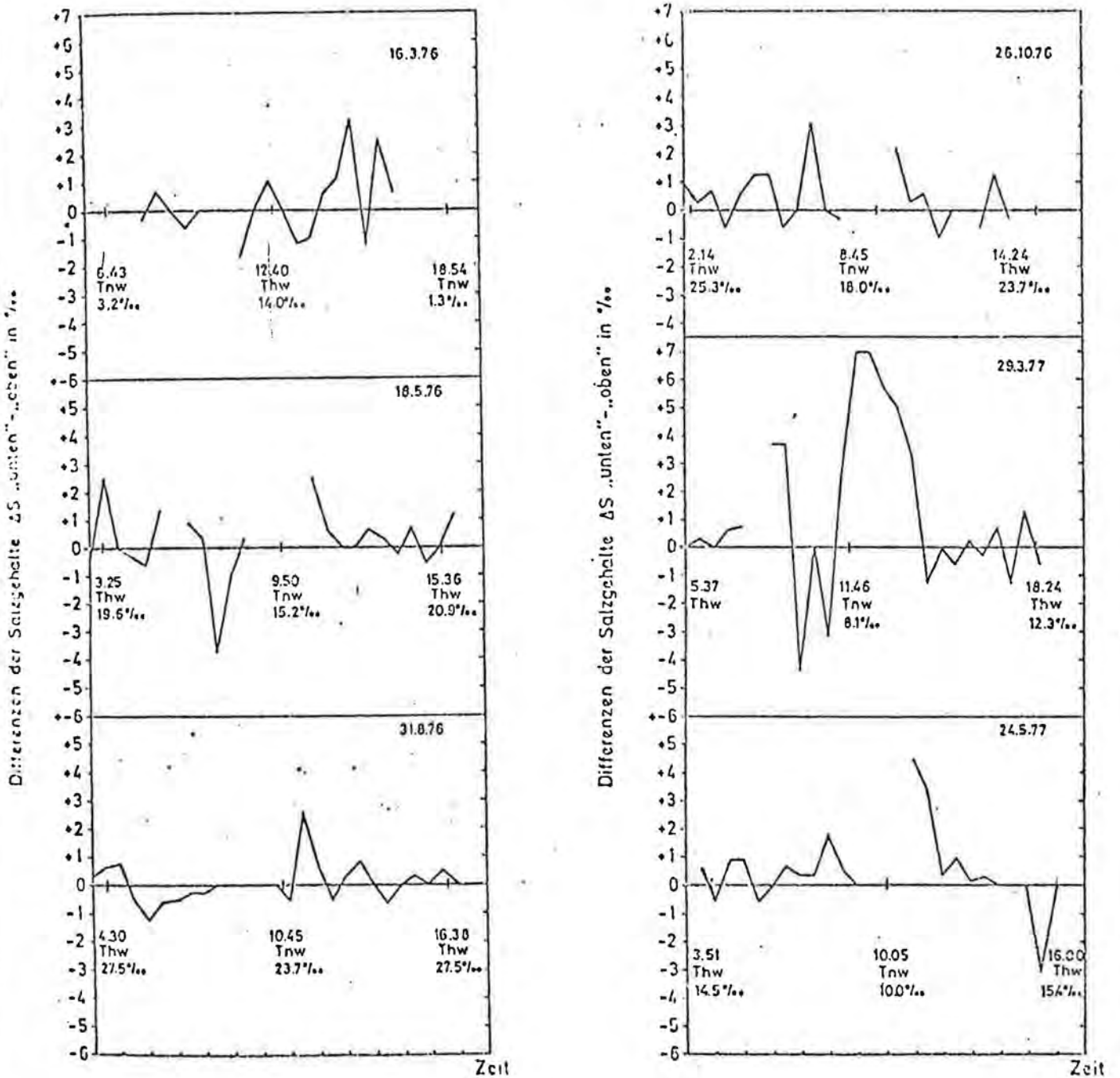


Abb. 15 Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebenen "unten" und "oben" an der Meßstelle Dollart-Süd

DOLLART - SÜD

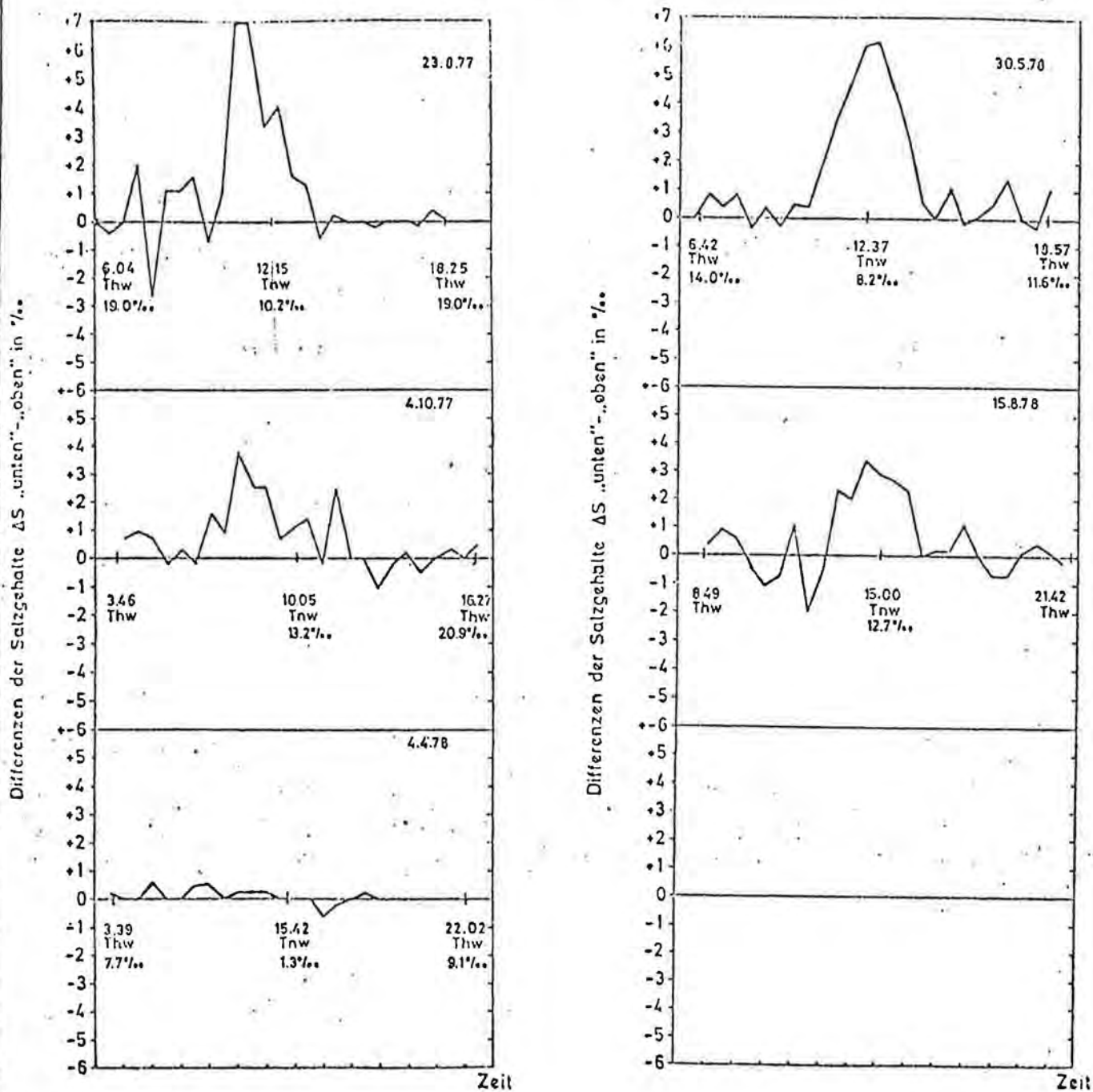


Abb. 16 Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Meßebenen "unten" und "oben" an der Meßstelle Dollart-Süd

Abflußwerte Nieuwe Statenzijl

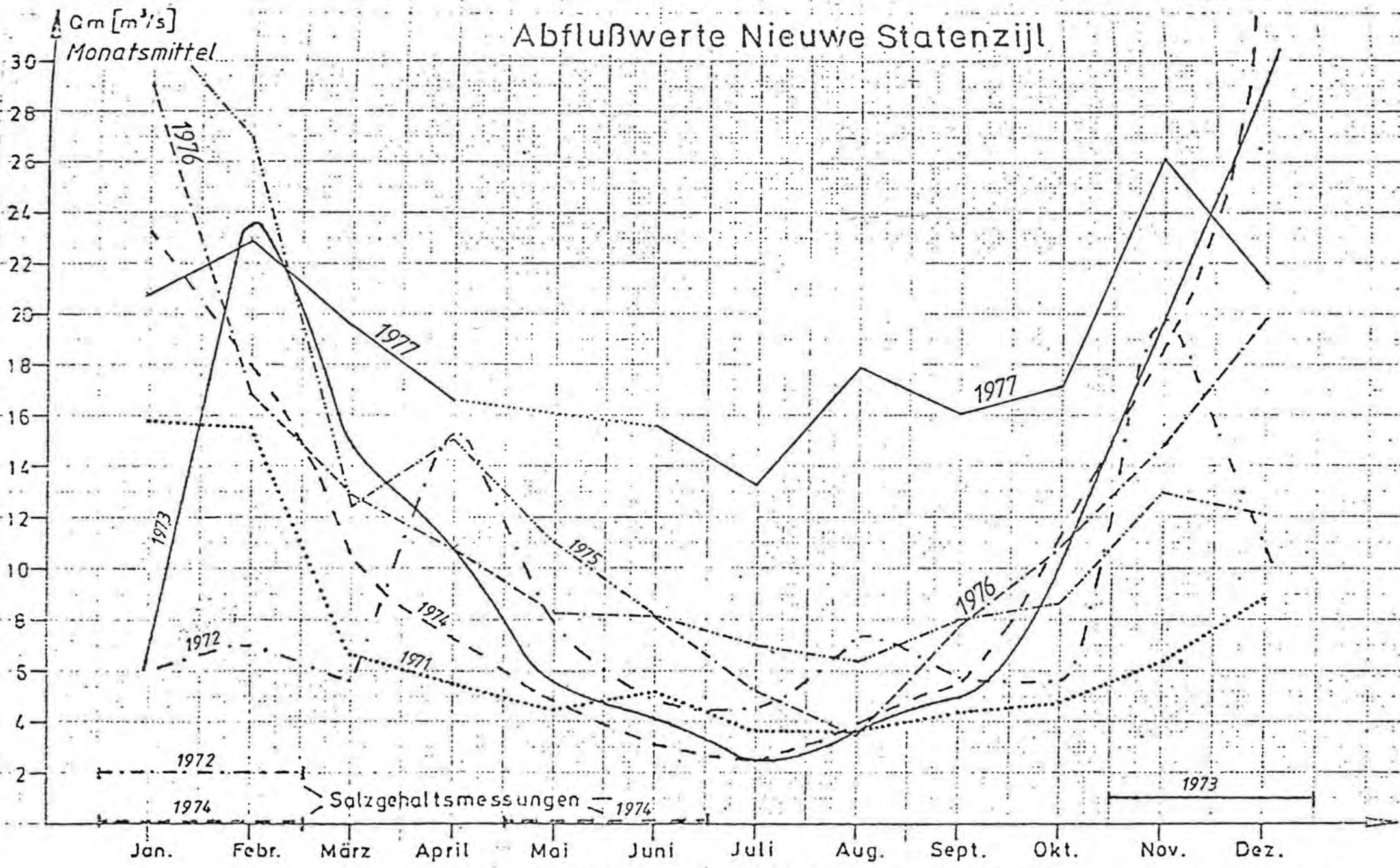


Abb.17 Abflußwerte Nieuwe Statenzijl und Zeiträume der niederländischen Salzgehaltsmessungen

Abflußmonat

Aus der Süßwasserzufuhr der Ems durch die geplante Emsumleitung in den Bereich der nördlichen Aa sind derartige Schichtungen wegen der beschriebenen andersartigen hydraulischen Gegebenheiten nicht möglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Verlegung des Einleitungspunktes der Ems in den Dollart, besonders im südlichen Teil des Dollartbeckens, eine Salzgehaltsabnahme eintritt (15,16). Eine starke Schichtung, die Teilbereiche der Platen stärker als bei vollständiger Durchmischung aufsüßen würde, kann jedoch ausgeschlossen werden.

5. Trübung und Sedimentation

5.1 Allgemeines

In den Brackwassergebieten von Tideflüssen lassen sich Zonen erhöhten Feststoffgehaltes feststellen (9). Diese sogenannten Trübungswolken treten am Kopf der Brackwasserzone bei Salzgehalten von etwa 5 ‰ auf und bewegen sich mit der Tidebewegung stromauf und stromab. Ebenso verlagern sich diese Zonen durch Änderungen im Oberwasserabfluß, als deren Folge sich die Lage der Brackwasserzone verschiebt.

Die Ursachen der Feststoffansammlung sind nicht eindeutig erforscht, es kann aber festgestellt werden, daß die Strömungsverhältnisse wesentlichen Einfluß am Entstehen der Feststoffwolken haben (1). Zwar werden durch kolloidchemische Prozesse und durch biologische Vorgänge (Absterben von Kleinstlebewesen im Übergangsbereich von Süßwasser zu Salzwasser) Schweb- und Sinkstoffe gebildet, doch die örtliche hohe Konzentration läßt sich durch diese Vorgänge nicht erklären.

Grundsätzlich haben mehrere Größen Einfluß auf den Suspensionsgehalt der Feststoffe im Wasser. Wesentliche Parameter sind:

- die Absolutwerte der Strömungsgeschwindigkeiten, sowie die Strömungsdauer und ihre Verteilungen über den Querschnitt unter Einbeziehung der Dichteströmungen,
- die Turbulenzintensität,
- der Salzgehalt,
- die Temperatur (kinematische Zähigkeit),
- der Seegang (in Flachwasserbereichen),
- die Sohlenformation und der Kornaufbau des Sohlmaterials.

Weiterhin als Umgebungsparameter

- das Feststoffangebot angrenzender Wattgebiete und die Feststoffzufuhr mit dem Oberwasser.

Von entscheidender Bedeutung für den Transport suspendierter Stoffe sind jedoch die Strömungsgeschwindigkeiten und -dauern und ihre Verteilungen über den Querschnitt.

5.2 Feststoffkonzentration am oberen Ende der Brackwasserzone

In Abbildung 4 sind relative Strömungsgeschwindigkeiten über die Tiefe in Tideflüssen mit und ohne Dichteeffekte dargestellt. Die Entstehung der Dichteströmung ist aus der Prinzipskizze der Abbildung 5 ersichtlich und wurde in Abschnitt 4.1 beschrieben.

Mit zunehmendem Längsgefälle der Salzgehalte (Dichte) wächst der Einfluß der Dichteströmung auf die Geschwindigkeitsverteilung. Außerdem erhöht sich der Druckgradient mit zunehmender Wassertiefe (Abb. 5).

In der Regel wird die Flutströmung über die Tiefe zunehmend verstärkt, während die Ebbeströmung entsprechend in den oberen Bereich des Abflußquerschnittes verlagert wird.

Außer den Absolutgrößen der Geschwindigkeiten werden auch die Stromdauern beeinflusst, so daß die Flutstromdauer an der Sohle verlängert und die Ebbestromdauer vermindert wird. Die Kenterzeiten treten demnach über die Tiefe zeitlich phasenverschoben auf, wobei in Sohlennähe die Flutströmung überwiegt.

nahme der Feststoffe vom Boden. Weiterhin benötigen die suspendierten Stoffe je nach Material und Kornbeschaffenheit eine gewisse Zeit, bis sie den Boden erreichen, wenn die Geschwindigkeit nicht mehr ausreicht, um sie in Suspension zu halten.

Aus diesem Verhalten ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen den Scheitelwerten der Strömungsgeschwindigkeiten und der Feststoffkonzentrationen (Abb.18).

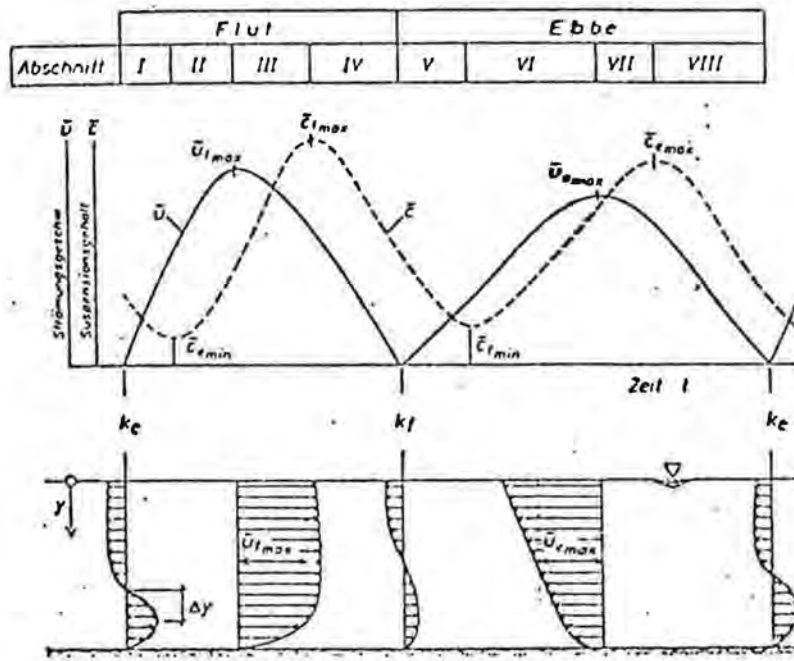


Abb. 18 Phasenverschiebung zwischen Schwebstoffkonzentrationen und Strömungsgeschwindigkeiten

Wird ein natürliches oder künstliches Becken mit feststoffhaltigem Wasser aus einem Tideästuar gefüllt, so werden die mitgeführten Feststoffe wegen der abnehmenden Strömungsgeschwindigkeiten (an den seitlichen Begrenzungen gleich Null) teilweise im Becken abgelagert. Vom ausfließenden Wasser wird hiervon nur ein Teil wieder aufgenommen.

Grundsätzlich besteht daher die Tendenz, daß Gebiete mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten auflanden, wenn sie

Am seewärtigen Ende und an der oberen Brackwassergrenze treten wegen des fehlenden Dichtegradienten keine Dichteströmungen auf. Die geschilderten Unregelmäßigkeiten im Strömungsprofil sind daher dort nicht mehr vorhanden.

Im oberen Bereich der Brackwasserzone überwiegt schließlich auch in Sohlennähe die Ebbeströmung, da zusätzlich zur eingelaufenen Flutwassermenge die Oberwassermenge abgeführt werden muß.

Die bei Kenterung des Flutstromes im oberen Querschnitt zu Boden sinkenden Feststoffe werden mit dem noch stromauf gerichteten, später kenternden Flutstrom in Sohlennähe zum Ende der Brackwasserzone transportiert. Ebenso ist bei der Kenterung des Ebbestromes im oberen Abflußquerschnitt, in Sohlennähe ein Transport der Feststoffe mit dem früher eintretenden Flutstrom möglich. Die geschilderten Vorgänge erklären im Prinzip die Anreicherung von Feststoffen am oberstromigen Ende der Brackwasserzone.

Eine Zunahme der Konzentration erfolgt so lange, bis ein Überschuß an Feststoffen zum Haltevermögen unter den gegebenen hydraulischen Bedingungen auftritt und ein seewärts gerichteter Abtransport des überschüssigen Materials in das äußere Ems-Ästuar mit der Ebbeströmung stattfindet. Von hier aus können suspendierte Stoffe aus der Ems mit der Flutwassermenge in das Dollartbecken gelangen.

5.3 Besonderheiten in Tidebecken

Der Feststoffgehalt des Wassers ist bei gleichem Dargebot von Schweb- und Sinkstoffen in starkem Maße von der Strömungsgeschwindigkeit und Turbulenzintensität abhängig.

Zur Aufnahme von Feststoffen ist zunächst eine ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit und zur Steigerung der Konzentration eine ausreichend lange Dauer der Strömung erforderlich. Zur Erhaltung des Schwebezustandes ist eine geringere Strömungsgeschwindigkeit notwendig, als zur Auf-

von Wassermassen bedeckt werden, die aus Gebieten kommen, wo eine hohe Anreicherung mit Feststoffen möglich war. Der Anteil an Feinststoffen nimmt dabei zu den Rändern des Beckens hin zu.

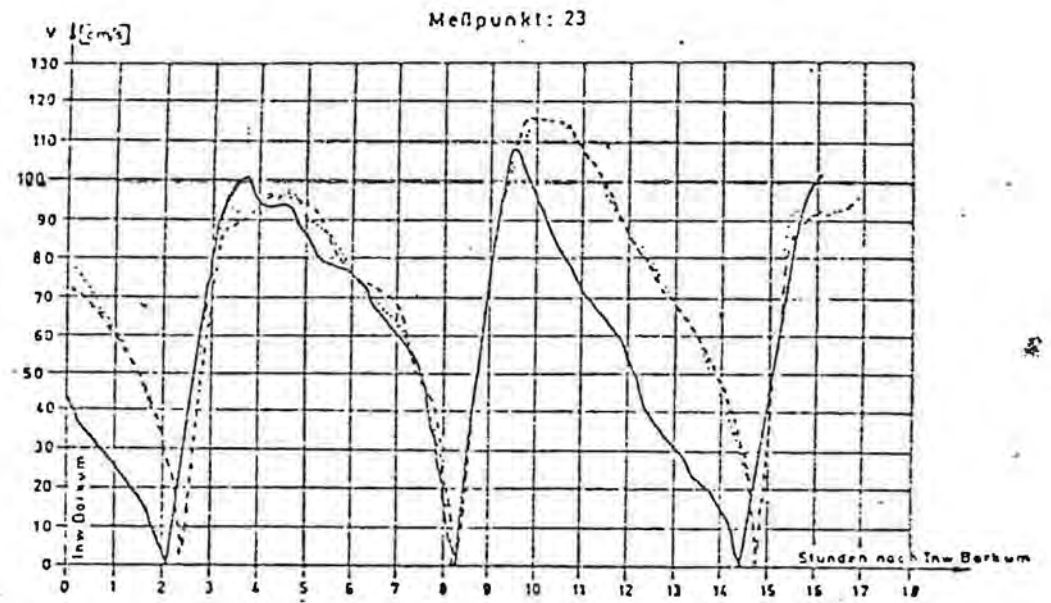
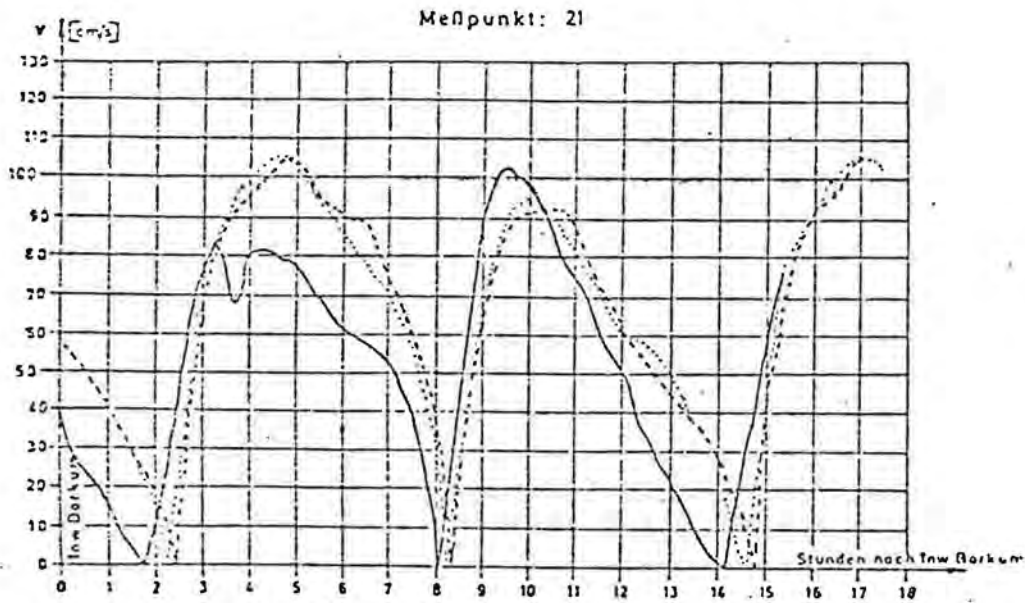
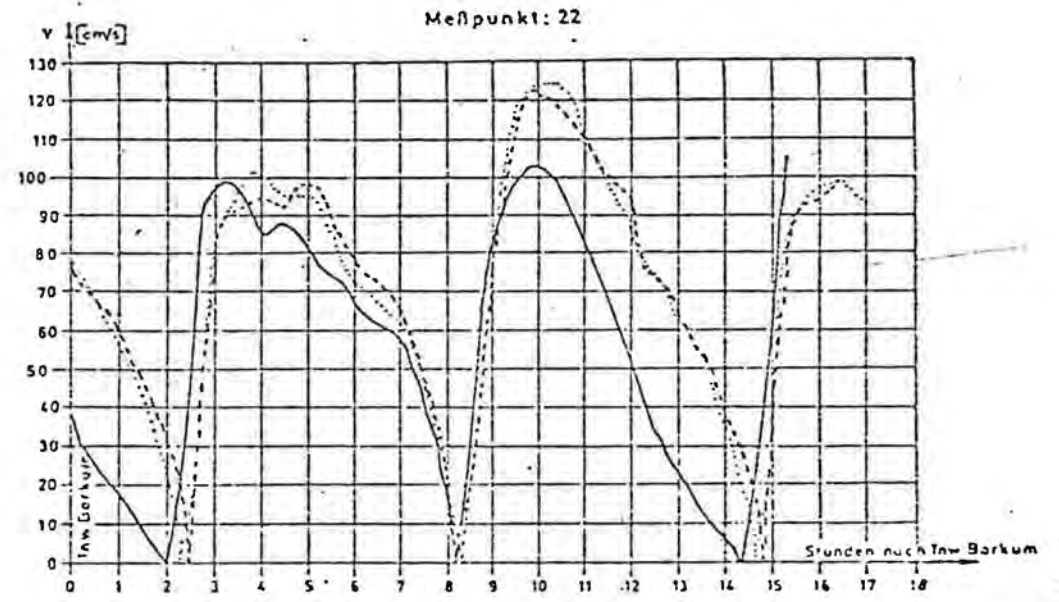
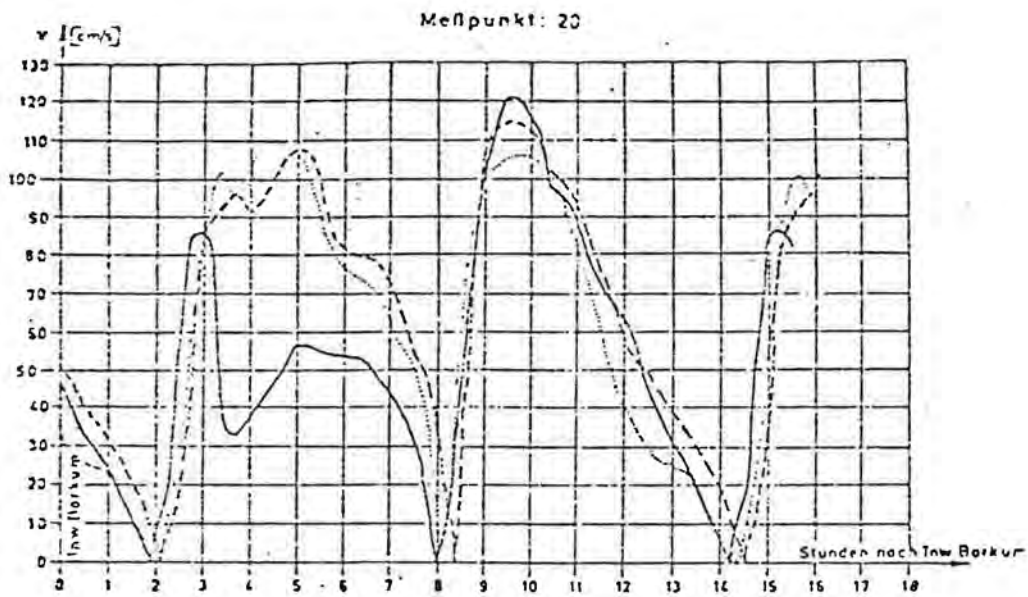
5.4 Eingriffe in den Sedimenthaushalt

Baggerungen zur Sohlenvertiefung stellen Eingriffe in den Sedimenthaushalt eines Tideflusses dar. Ohne diese Eingriffe stellt sich entsprechend den hydrologischen und morphologischen Gegebenheiten im Tidefluß ein Gleichgewichtszustand ein, so daß die von See eingetragenen und die mit dem Oberwasser zugeführten Feststoffe seewärts ausgeräumt werden.

Baggerungen stören das Gleichgewicht und haben verstärkte Sedimentation in der Baggerstrecke zur Folge. Mit zunehmender Vertiefung wächst die Sedimentation. Zur Erhaltung künstlich hergestellter Wassertiefen sind daher fortwährende Unterhaltungsbaggerungen notwendig.

Die Zunahme der Sedimentation hat ihre Ursache in der mit der Querschnittsvergrößerung verbundenen Abnahme der Strömungsgeschwindigkeiten. Durch das Einfließen von mit Feststoffen "überladenen" Wassermassen von See her erfolgt eine Auffüllung der Baggerstrecke. Dieses Verhalten ist in allen deutschen Tideästuaren, die als Seeschiffahrtsstraßen künstlich vertieft sind, zu beobachten.

In Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg-Rissen, wurde nachgewiesen, daß allein die Unterhaltungsbaggerungen im Bereich des Emders Fahrwassers etwa das 10-fache der mit dem Oberwasser der Ems ins Ästuar zugeführten Feststoffmenge betragen. Dabei wurde bereits angenommen, daß die gelöst antransportierten Stoffe mineralisiert sind und einen erheblichen Anteil am Sediment aus der Ems ausmachen (20).

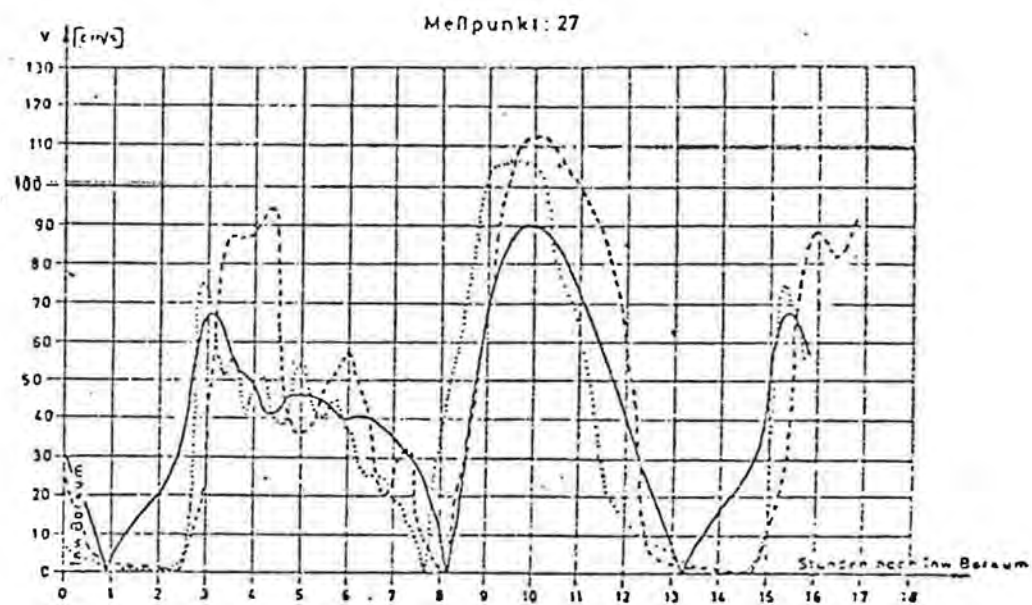
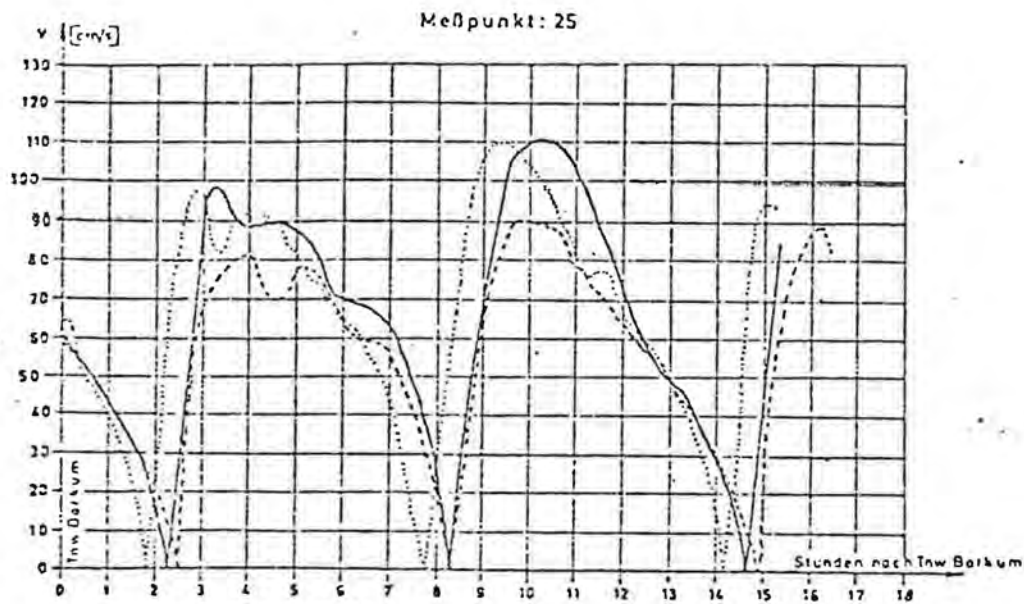
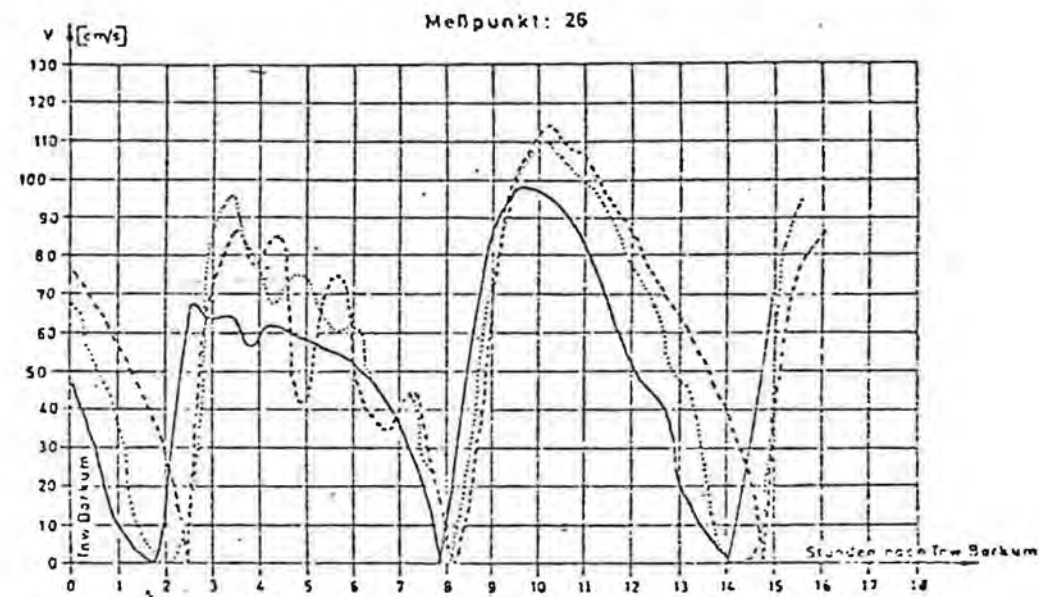
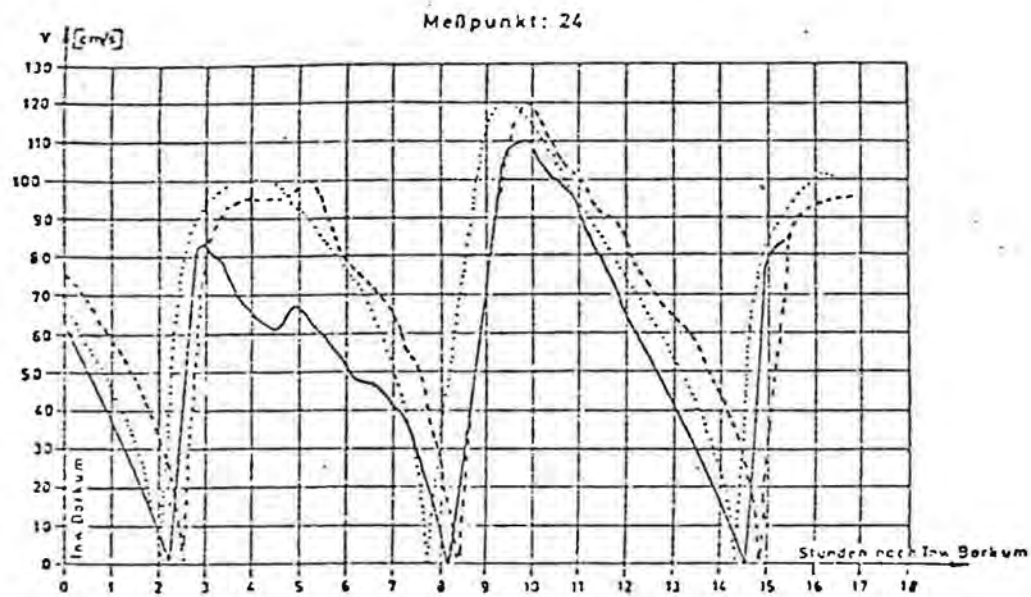


— Naturzustand
 - - - Umleitung
 ····· Umleitung mit Abschleusung

Abb. 19 Strömungsgeschwindigkeiten im Dollartmund
 (nach Modelluntersuchungen der BAW)

1
33
1

3



— Naturzustand
 - - - Umleitung
 Umleitung mit Abschleusung

Abb. 20 Strömungsgeschwindigkeiten im Dollartmund
 (nach Modelluntersuchungen der BAW)

Die zur Schaffung der Umleitungsrinne vorgesehenen Baggerungen sind so geplant, daß von vornherein etwa ein Gleichgewichtszustand der Sedimentation zu erwarten ist. Untersuchungen der BAW an einem hydraulischen Modell mit beweglicher Sohle sowie theoretische Untersuchungen unter Berücksichtigung des Sedimentationsverhaltens im Emdener Fahrwasser führten zu der in Abbildung 12 dargestellten Sohlenlage. Der gewählte Querschnitt (Sohlenbreite etwa 280 m) führt die Tidewassermengen mit etwas höheren maximalen Strömungsgeschwindigkeiten ab, als im bestehenden Zustand (Abb. 19 und 20). Die Lage der Meßpunkte im Modell sind in Abbildung 21 eingetragen.

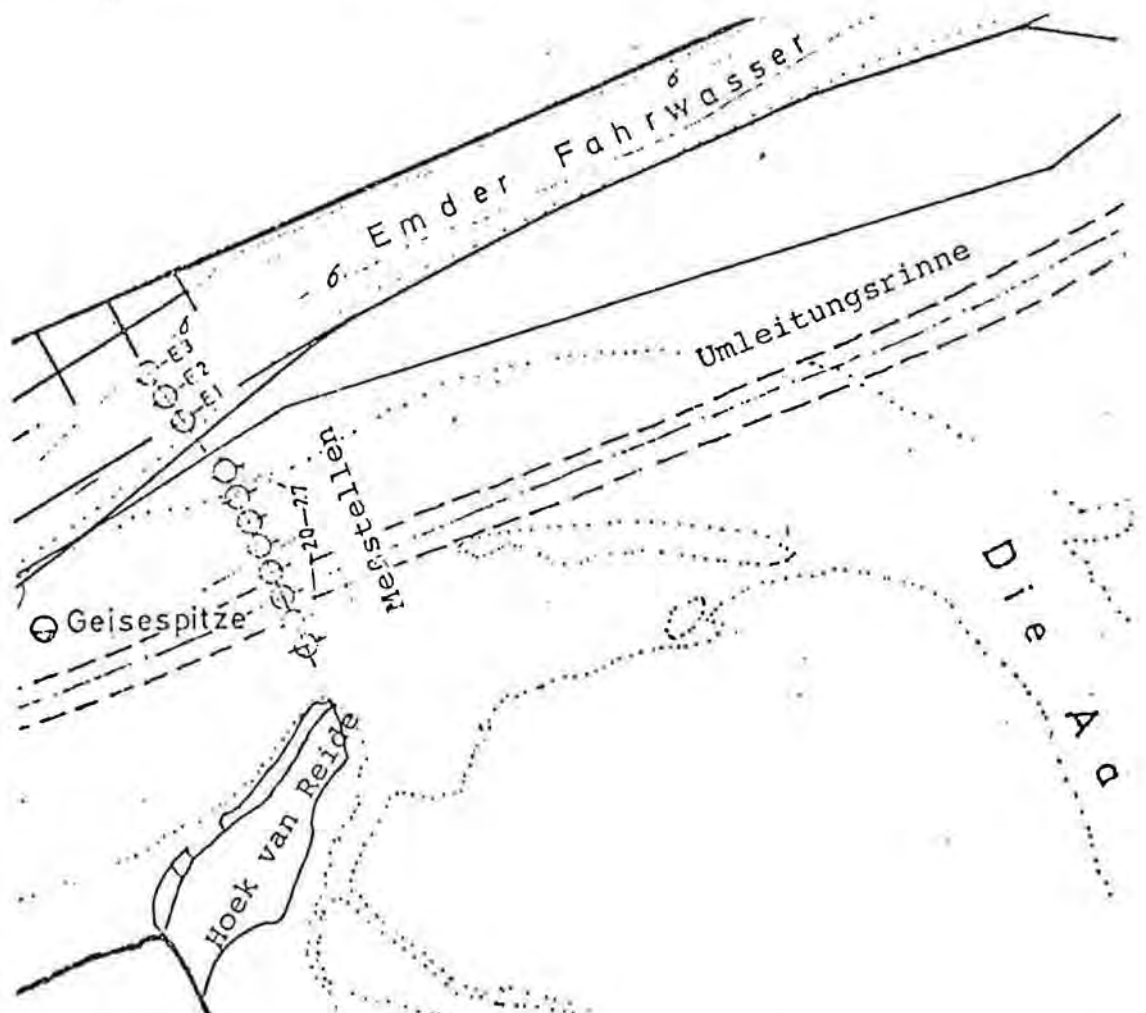


Abb. 21 Lageplan der Meßstellen im Dollartmund

Tiefgänge der in die Ems einlaufenden Schiffe sind für die Sohlenlage im Bereich Dollartmund-Geiserinne nicht maßgebend, daher ist es nicht zwingend erforderlich, geringe Auflandungen bis zur Gleichgewichtslage durch Baggermaßnahmen zu beseitigen.

5.5 Sedimentationsverhalten des Dollarts

Im Jahre 1960 wurden unter der Schriftleitung von VAN VOORTHUYSEN Beiträge mehrerer Autoren, die unter anderem Fragen zur Sedimentationsgeschwindigkeit im Dollart und zur Herkunft der Sedimente behandeln, als sedimentologisches Symposium veröffentlicht.

Von DE SMET und WIGGERS (11) wurde ein Vergleich der pro Jahr im Dollartgebiet abgelagerten Menge und der Zufuhr fester Stoffe durch die Ems durchgeführt. Der Vergleich zeigt, daß die jährliche Sedimentation in den vergangenen 450 Jahren im Durchschnitt das 15- bis 20-fache der Abfuhr fester Stoffe durch die Ems betragen hat.

VAN STRAATEN (12) führte theoretische Untersuchungen zum Transport und zur Zusammensetzung des Dollartsediments durch und kam ebenfalls zu dem Ergebnis, daß höchstens 5% des Sediments aus der Ems stammt.

Petrologische Untersuchungen von CROMMELIN (2) führten zu dem Ergebnis, daß die Zusammensetzung des Dollartsediments der Korngrößen größer 0,002 mm in guter Übereinstimmung mit dem Sediment der benachbarten Wattensedimente steht. Die Sedimente des Dollarts werden danach nicht erkennbar durch Sedimente der Emssohle aufgebaut.

Umfangreiche Untersuchungen von WIGGERS (13) zur Korngrößenverteilung im Dollart führten zur Darstellung der Abbildung die den Tongehalt (Korngröße $< 0,002$ mm) in der oberen Schicht (0-25 cm) des niederländischen Dollartteils angibt. Es ist ersichtlich, daß der Tonanteil auf den Platen größten-

teils weniger als 10% beträgt. Die Platen werden überwiegend durch Feinsand aufgebaut.

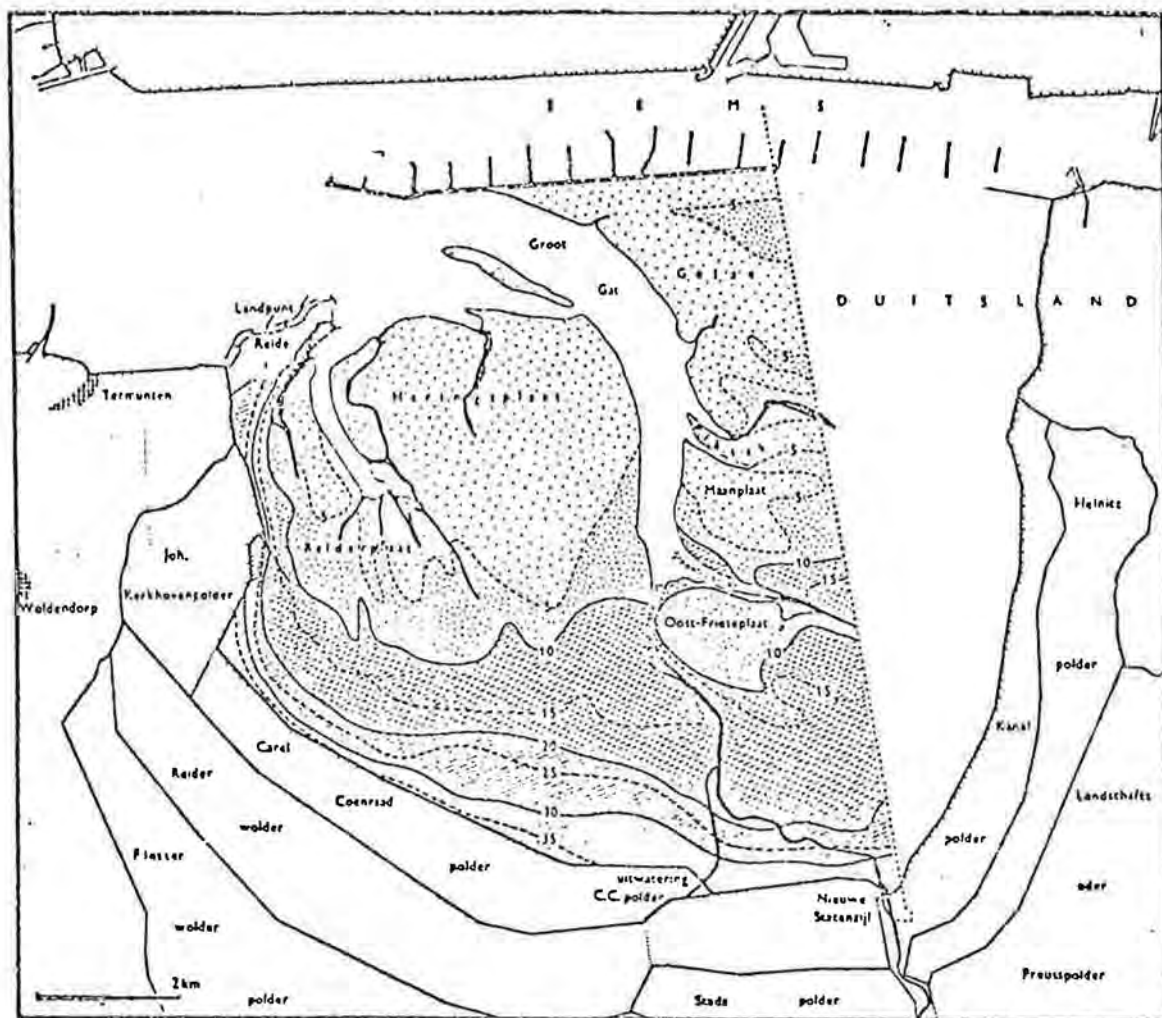


Abb. 22 Verteilung der Tongehalte in der Schicht 0 - 25 cm (13)

Landwärts steigt der Tongehalt bis auf 35% an. Die Zunahme der Feinststoffe in Randbereichen von Tidebecken wurde in Abschnitt 5.3 erläutert. Abbildung 23 veranschaulicht die Korngrößenverteilung an dem Profil III aus dem östlichen Dollart. Die Lage des Meßprofils ist aus Abbildung 24 ersichtlich.

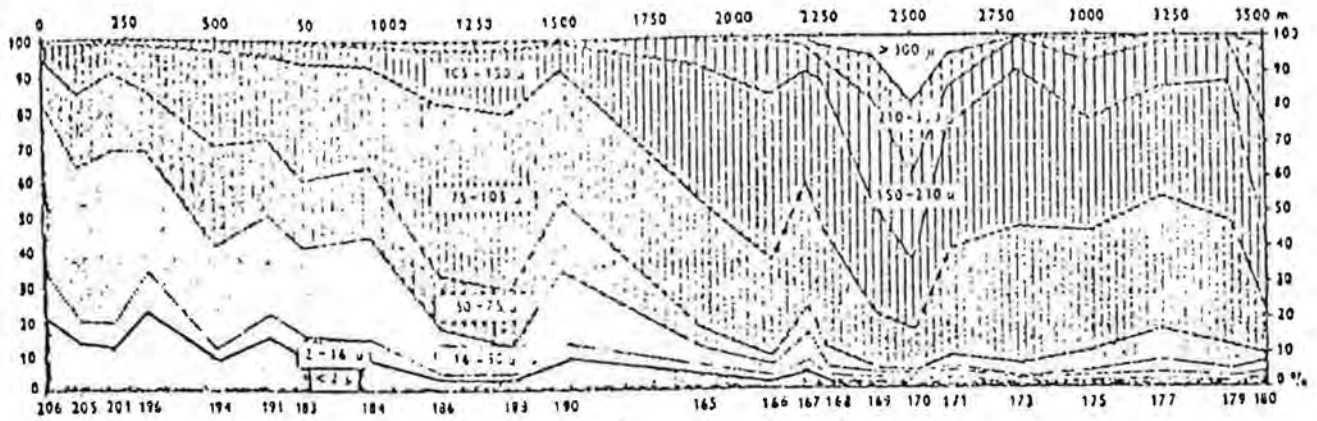


Abb. 23 Granulometrische Zusammensetzung im Profil III

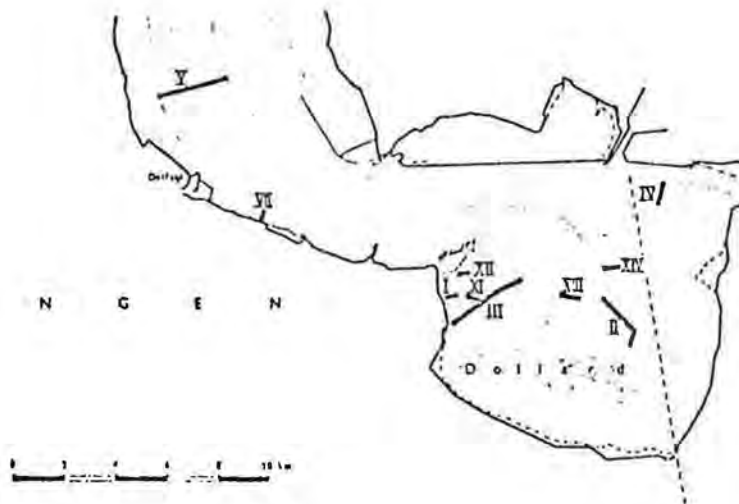


Abb. 24 Lage des Profils III

Zur Sedimentationsgeschwindigkeit wird in Untersuchungen des RIJKSWATERSTAATS, DIRECTIE GRONINGEN, (18) festgestellt, daß sich die Flächen zwischen mittlerem Tideniedrigwasser und mittlerem Tidehochwasser in den letzten Jahren um ca. 0,8 cm/Jahr aufgehöhht haben.

Die Größe der wasserbedeckten Flächen ist in Abbildung 25 in Abhängigkeit vom Wasserstand dargestellt. Die eingetragenen Kurven geben die Verhältnisse von 1952 und aus den Jahren 1969/70 an.

Wasserstand
m + N.A.P.

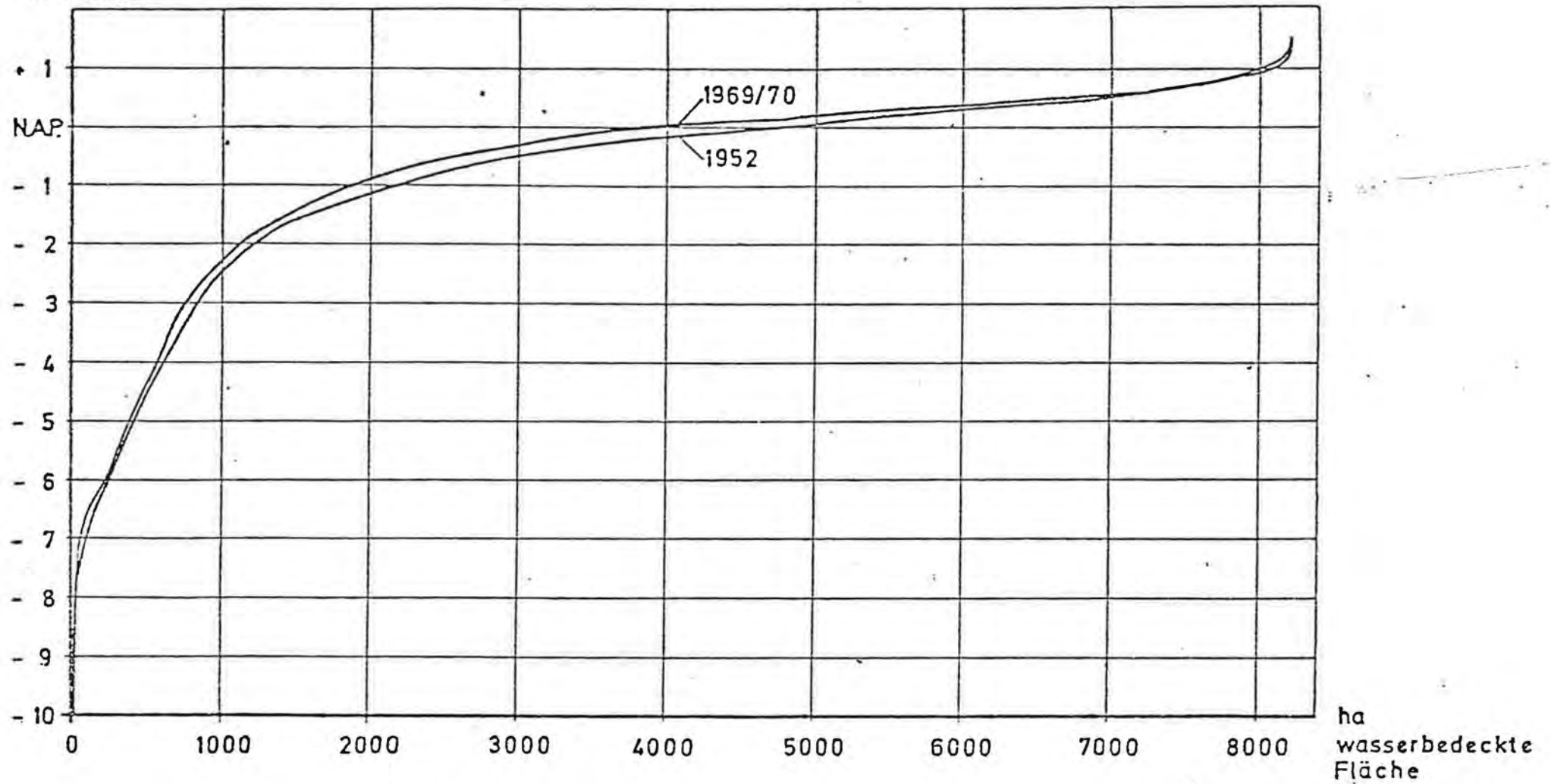


Abb. 25 Größe der wasserbedeckten Flächen in Abhängigkeit vom Tidewasserstand (18)

Zur weiteren Charakterisierung des Sedimentationsverhaltens soll der Vergleich zwischen der mit dem Flutstrom eingebrachten Feststoffmenge und der letztlich abgelagerten Feststoffmenge dienen.

In Abbildung 26 sind im Dollartmund gemessene Feststoffkonzentrationen aufgetragen. Mit einem mittleren Feststoffgehalt von 200 g/m^3 und einer Tidewassermenge von etwa $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ergibt sich die mit einer Tide eingetragene Feststoffmenge zu 28.000 Tonnen. Dies entspricht einer Feststoffmenge von etwa 21 Millionen Tonnen pro Jahr.

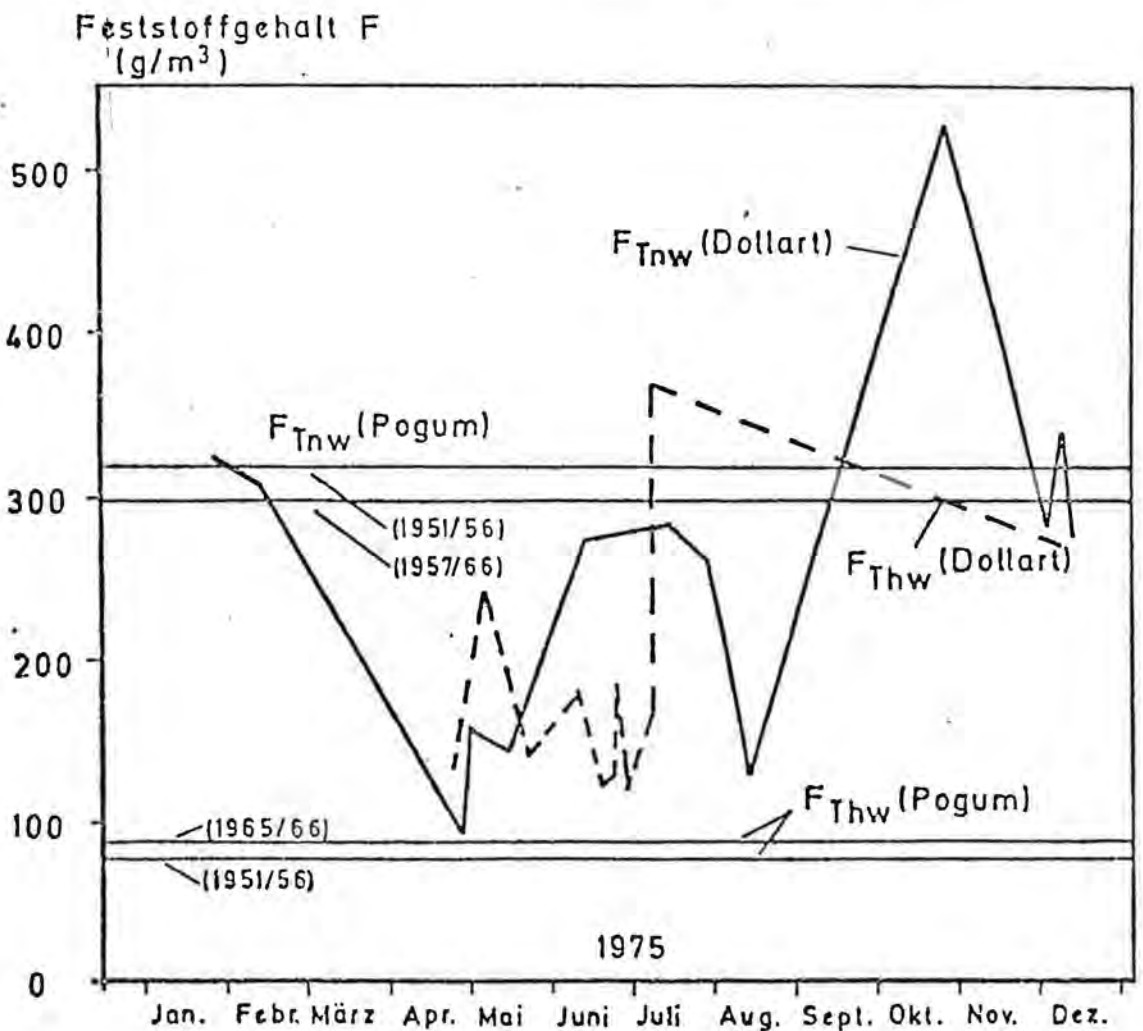


Abb. 26 Feststoffgehalte um Tnw und Thw im Dollart und Zentralwerte des Feststoffgehaltes bei Pogum (20)

Bei einer Sedimentationsrate von 0,8 cm/Jahr (18) auf dem ca. 6500 ha umfassenden, über Tnw liegenden Gebiet des Dollarts ergibt sich die abgelagerte Feststoffmenge zu $520.000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$. Mit einem Raumgewicht des Sediments von etwa 1 g/cm^3 (11) werden demnach pro Jahr 520.000 Tonnen Sedimente abgelagert.

Die überschlägliche Rechnung zeigt, daß nur etwa 2,5 % der im Dollartwasser suspendierten Stoffe dauerhaft auf den trockenfallenden Gebieten abgelagert werden.

Feinstanteile werden durch die Strömungsgeschwindigkeiten und die durch Windwellen verursachte Turbulenz über den Platen größtenteils wieder mit der Ebbwassermenge abgeführt.

Der Anteil an Feinststoffen im Sediment der Platen ist daher relativ gering (Abb. 22). Da die Feinststoffe über den Platen kaum sedimentieren, ist im Dollartwasser eine auffallend hohe Dauertrübung festzustellen.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß der Feststoffgehalt um Tidehochwasser im Dollartmund höher ist als bei Pogum (Abb. 26). Die für Pogum eingetragene waagerechte Linie gibt den "Zentralwert" (=Wert, der gleich häufig unterschritten wie überschritten wird) des Feststoffgehaltes an, der in Verbindung mit Salzgehalten zwischen $2^\circ/\text{oo}$ und $8^\circ/\text{oo}$, also Salzgehalten, die eine größte Konzentration der Feststoffe erwarten lassen, gemessen wurde. Die gleiche Zuordnung gilt für den Zentralwert des Feststoffgehaltes an der Meßstelle Pogum zum Zeitpunkt Tnw.

Zum Zeitpunkt des Tidehochwassers ist der Feststoffgehalt des Dollartwassers im Vergleich mit dem Gehalt an Feststoffen in der Ems bei Pogum also relativ hoch.

Messungen von DORRESTEIN (3) zur Durchsichtigkeit des Wassers im Ems-Dollart-Ästuar belegen diesen Sachverhalt mit Sichttiefen von nur 15 cm bis 30 cm im Dollart, während im Seegebiet Sichttiefen von etwa 300 cm verzeichnet wurden. Zur Zeit des Tidehochwassers hat das Wasser im Dollartmund also keineswegs Seewasserqualität.

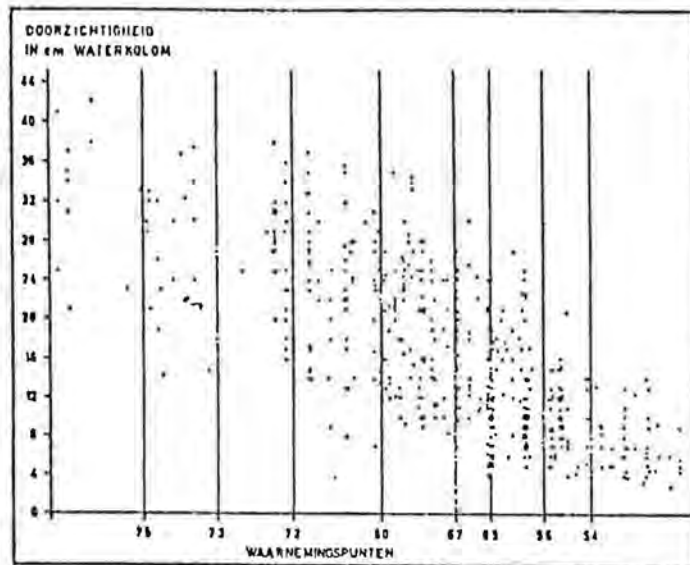


Abb. 27 Sichttiefen im Ems-Dollart-Ästuar (19)

Qualitativ gleiche Ergebnisse zeigen Untersuchungen, die vom RIJKSINSTITUT VOOR ZUIVERING VAN AFVALWATER veröffentlicht wurden (19).

Abbildung 27 zeigt den Verlauf der Durchsichtigkeit des Wassers von Oberflächenproben, die an den in der Abbildung 28 eingetragenen Meßpunkten entnommen wurden. Auch diese Messungen zeigen die sehr geringe Durchsichtigkeit bzw. hohe Trübung des Dollartwassers im Vergleich zum äußeren Ästuar.

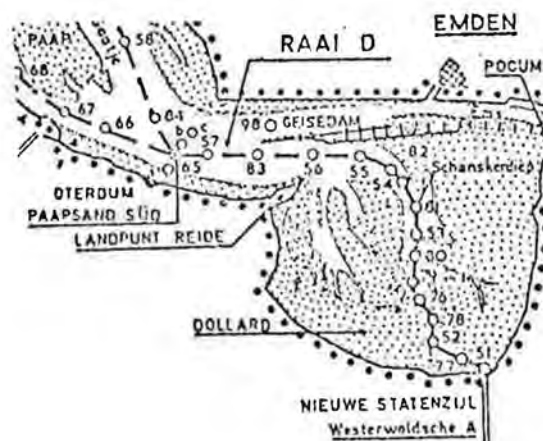


Abb. 28 Lageplan der Probenentnahmestellen

Für die Sedimentation auf den Platen, bzw. überhaupt für Beeinträchtigungen infolge von Trübungen, sind die Feststoffgehalte um Tidehochwasser von Bedeutung, denn große Gebiete werden erst bei Wasserständen über N.A.P. überflutet (Abb. 25).

Zusammenfassend wird festgestellt:

- Wasser?*
1. Die Sedimente des Dollartbeckens entstammen fast ausschließlich seewärts liegenden Gebieten und nur zu einem sehr kleinen Teil (maximal 5%) dem Feststofftransport der Ems.
 2. Trotz des hohen Angebotes an Feinststoffen in der einfließenden Flutwassermenge des Dollarts, lagern sich diese Materialien kaum auf den Platen ab. Der größte Teil wird wieder mit der Ebbwassermenge abgeführt. Insgesamt sedimentieren nur etwa 2,5 % der zugeführten Feststoffe.

5.6. Auswirkungen der Emsumleitung durch den Dollart

Die Lage und die Abmessungen der Umleitungsrinne wurden nach Untersuchungen der BAW-Rissen am hydraulischen Modell so festgelegt, daß ein Gleichgewichtszustand nach relativ kurzer Zeit zu erwarten ist. Die Strömungsgeschwindigkeiten im Dollartmund (Abb. 21) sind für den Naturzustand und für den Zustand nach Bau des Dollarthafens in den Abbildungen 19 und 20 dargestellt. Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten steigen insbesondere im Ebbestrom an. Auffallend ist auch die fülligere Form des zeitlichen Verlaufs der Ebbeströmungen nach der Emsumleitung. Außerdem nimmt die Flutstromdauer um etwa 10 Minuten zu.

Gegenüber den jetzigen Verhältnissen muß mit dem Ebbestrom zusätzlich die Oberwassermenge der Ems abgeführt werden. Die Räumkraft des Ebbestromes wird dadurch im Dollartmund erhöht.

Infolge der Umleitung der Ems durch den Dollart kann das

Trübungsmaximum am Kopf der Brackwasserzone um Tideniedrigwasser in das westliche Ende der Geiserinne und den nördlichen Teil der Aa verlagert werden.

Grundsätzlich ist aus dem Verlauf der Salzgehalte (Abb. 13) für diese Bereiche eine Zunahme der Feststoffkonzentration zu erwarten, wie sie im jetzigen Zustand in der Ems auftritt (vgl. Abschnitt 5.1).

In Abb. 26 ist der Zentralwert des jetzigen Feststoffmaximums an der Meßstelle Pogum zu T_{nw} und der Feststoffgehalt im Dollartmund zu T_{nw} aufgetragen. Der Wert an der Meßstelle Pogum liegt um etwa 30 % höher als im Dollartmund. Setzt man eine ähnliche Erhöhung der Feststoffkonzentration im Bereich Geiserinne-nördliche Aa voraus, bleibt zu klären, in welchem Maße eine Beeinflussung des Dollartbeckens (insbesondere der Platen) zu erwarten ist.

In Abschnitt 4.3.3 wurde bereits erläutert, daß im Dollartmund nach der Emsumleitung zum Zeitpunkt k_e ein starker Salzgradient im Querschnitt auftritt (Abb. 13). Weiterhin ist aus Abbildung 13 ersichtlich, daß in Richtung südlicher Dollart der Salzgehalt ansteigt. Mit den in Abschnitt 5.2 getroffenen Feststellungen zur Auswirkung der Dichteströmungen läßt sich aus der Salzgehaltsverteilung ersehen, daß durch den Salzgehaltsgradienten insbesondere an der Sohle eine Barriere gegen das Eindringen der Trübungswolke in das Rinnensystem besteht. Am Übergang zum Rinnensystem wird wegen des binnenwärts ansteigenden Salzgehaltes die Flutströmung an der Sohle vermindert.

*Es muss die
niedrigere Konzentration
verschil bei
Anstieg von Bildung*

Zusätzlich wird durch den Quergradienten und den Längsgradienten der Salzgehalte in der nördlichen Aa (Dollartmund) das Brackwasser hoher Feststoffkonzentration mit dem Flutstrom verstärkt in die Geiserinne und schließlich in den bestehenden Emslauf zurückgeführt.

Eine Abschirmung zum Dollart ist durch den hohen Geiserücken

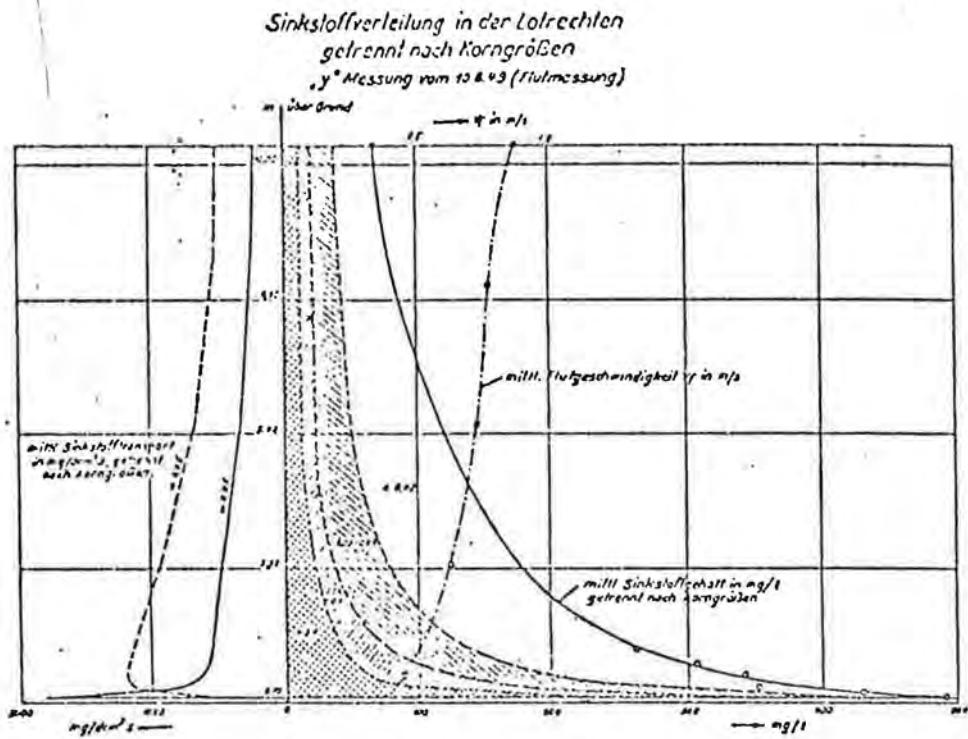


Abb. 29 Sinkstoffverteilung im Flutstrom (7)

Sinkstoffverteilung in der Lotrechten, getrennt nach Korngrößen
Messung Z/101 vom 27. 7. 1949 (Ebbmessung)

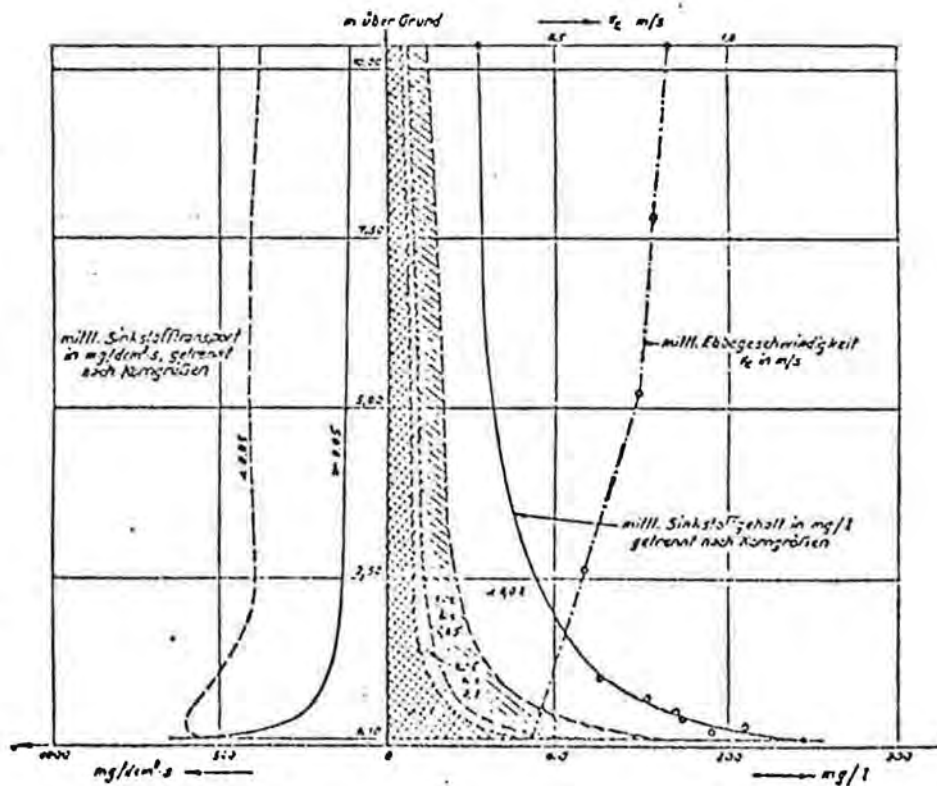


Abb. 30 Sinkstoffverteilung im Ebbestrom (7)

als die u kommt

und bei höheren Wasserständen durch den geplanten, parallel zur Umleitungsrinne liegenden Leitdamm gegeben.

??

Neben der Dichteströmung stehen auch die unterschiedlichen Sohlentiefen der neuen Fahrrinne und des einmündenden Rinnensystems (Höhendifferenz etwa 2,5 m, Abb. 12) einem Einfließen der sohlennahen Trübungswolke sowie von Schlamm in das Rinnensystem des Dollarts entgegen.

NIEBUHR (7) führte Untersuchungen zur Sinkstoffverteilung in der unteren Ems durch. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen Sinkstoffverteilungen in der Lotrechten, getrennt nach Korngrößen, an den in Abbildung 31 eingetragenen Meßstellen. Aus den Auftragungen ist die erhöhte Sinkstoffkonzentration in Sohlennähe ersichtlich.



Abb. 31 Lageplan der Meßpunkte

nicht verteilend

In Abschnitt 5.5 wurde auf den sehr hohen Feststoffgehalt des Dollartwassers zum Zeitpunkt des Tidehochwassers hingewiesen. Wegen des hohen Feststoffgehaltes des platenbedeckenden Flutstromwassers, der im jetzigen Zustand den Zentralwert des maximalen Feststoffgehaltes des Emswassers überschreitet (Abb. 26), ist die Gefahr einer zusätzlichen Trübung im Dollartbecken infolge der Emsumleitung nicht gegeben.

Die Modelluntersuchungen der BAW-Rissen (14) führten zu dem

Ergebnis, daß der Tideablauf und die Morphologie im Dollartbecken südlich der Umleitungsrinne nicht wesentlich beeinflusst werden. Das Sedimentationsverhalten wird daher durch die geplanten Baumaßnahmen nicht verändert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch den Bau des geplanten Dollarthafens keine nachteiligen Auswirkungen durch zunehmende Trübung des platenbedeckenden Wassers zu erwarten sind.

6. Zusammenfassung

In der Planungsphase des Dollarthafenprojektes sollte geprüft werden, ob schwerwiegende Beeinträchtigungen des ökologischen Systems des Dollartbeckens durch die vorgesehenen Baumaßnahmen zu erwarten sind.

Durch die Emsumleitung wird das Emswasser direkt in den Dollart eingeleitet, ohne wie bislang die Durchmischungsbereiche des äußeren Ästuars durchflossen zu haben.

In der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme wird untersucht, ob durch eine Schichtung von See- und Flußwasser Teile des Dollart stärker aufgesüßt werden, als bei vollständiger Durchmischung über die Tiefe. Unter dieser Voraussetzung wurden die hydraulischen Modellversuche der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, Hamburg-Rissen, zur Ermittlung der Salzgehaltsänderungen im Dollart durchgeführt (14,15).

Überprüfungen der Durchmischungszustände führen zu dem Ergebnis, daß starke Schichtungen des platenbedeckenden Flutwassers nach erfolgter Emsumleitung nicht eintreten werden. Nachteilige Folgen hinsichtlich der Ökologie sind daher nicht zu erwarten.

Weiterhin war zu prüfen, ob durch die Emsumleitung höhere Trübungen des platenbedeckenden Wassers verursacht werden


te stark

hervor ist das

können. Anhand von Naturmessungen und Meßwerten aus dem hydraulischen Modell der BAW, Hamburg-Rissen, wird aufgezeigt, daß eine nennenswerte Erhöhung der Trübung nicht auftreten kann. Im jetzigen Zustand ist die Trübung des Dollartwassers bezogen auf die Trübung des Emswassers relativ hoch, so daß eine Vermischung beider Wassermassen im Dollartbecken keine wesentlichen Änderungen des Feststoffgehaltes verursachen kann. Einer starken Beeinflussung des Dollartbeckens durch direkt in das Rinnensystem einfließendes Emswasser stehen außerdem die besonderen hydraulischen und morphologischen Gegebenheiten entgegen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Verwirklichung des Dollarthafenprojektes nicht zu ökologischen Beeinträchtigungen infolge starker Schichtungen oder erhöhter Trübung des plattenbedeckenden Wassers führen wird.

Der Direktor
des Franzius-Instituts



Prof. Dr.-Ing. Dr. phys.
H.W. Partensky

Der Sachbearbeiter:



Dipl.-Ing. Barg

7. Schrifttum

- 1) Christiansen, H. Über den Transport suspendierter
Feststoffe in Ästuarien am Beispiel
der Elbemündung bei Neuwerk
Hamburger Küstenforschung, Heft 28
1974

- 2) Crommelin, R.D. A contribution to the sedimentary
petrology of the Dollart as compared
with adjoining areas
Verh. Kon. Ned. Geo.-Mijnb. Gen., Geol.
Ser. D. XIX. Das Ems-Estuarium 1960

- 3) Dorrestein, R. On the distribution of salinity
and of some other properties of the
water in the Ems-estuary
Verh. Kon. Ned. Geo.-Mijnb. Gen., Geol.
Ser. D. XIX. Das Ems-Estuarium 1960

- 4) Harleman, D.R.F. und One-dimensional analysis of salinity
Abraham, G. intrusion in the Rotterdam Waterway
Delft Hydraulics Laboratory
Publication No. 44, 1966

- 5) Hensen, W. Das Eindringen von Salzwasser in die
Gezeitenflüsse und ihre Nebenflüsse,
in Seekanäle und in Häfen
Mitteilungen des Franzius-Instituts,
Heft 3, 1953

- 6) Kühl, H. und Über die Hydrochemie der Ems
Mann, H. Veröffentlichung d. Inst. f. Meeres-
forschung in Bremerhaven, Band III,
Heft 1, 1954

- 7) Niebuhr, W. Beobachtungen über den Sandtransport
in der unteren Ems
Die Küste, Bd. 4, 1955

- 8) Postma, H. Einige Bemerkungen über den Sink-
stofftransport im Ems-Dollart Gebiet
Verh. Kon. Ned. Geo.-Mijnb. Gen., Geol.
Ser. D. XIX. Das Ems-Estuarium 1960

- 9) Postma, H. und Die Entstehung von Trübungszonen
Kalle, K. im Unterlauf der Flüsse, speziell
im Hinblick auf die Verhältnisse
in der Untereelbe
Deutsche Hydrographische Zeitschrift
Band 8, Heft 4, 1955

- 10) Simmons, H.B. Field experience in estuaries
Estuary and coastline hydrodynamics
Mc Graw-Hill Book Company, 1966
- 11) Smet, L.A. de und
Wiggers Einige Bemerkungen über die Herkunft
und die Sedimentationsgeschwindigkeit
der Dollartablagerungen
Verh.Kon.Ned.Geo.-Mijnb.Gen., Geol.
Ser.D XIX. Das Ems-Estuarium 1960
- 12) Straaten, L.M.J.U. van Transport and composition of sedi-
ments
Verh.Kon.Ned.Geo.-Mijnb.Gen., Geol.
Ser.D XIX. Das Ems-Estuarium 1960
- 13) Wiggers, A.J. Die Korngrößenverteilung der holo-
zänen Sedimente im Dollart-Ems-
Estuarium
Verh.Kon.Ned.Geo.-Mijnb.Gen., Geol.
Ser.D XIX. Das, Ems-Estuarium 1960
- 14) - Modellversuche für die Umleitung der
Ems
Teil 1: Morphologie
Teil 2: Hydrologie
Teil 3: Salzgehaltsverteilung
Bundesanstalt für Wasserbau, Außen-
stelle Küste, Hamburg, 1975/76
(unveröffentlicht)
- 15) - Modellversuche zur Salzgehaltsver-
teilung bei Verlegung des Dollartzu-
flusses
Bundesanstalt für Wasserbau, Außen-
stelle Küste, Hamburg, 1979
(unveröffentlicht)
- 16) - Gutachtliche Stellungnahme zur Ver-
änderung der Salzgehaltsverteilung
im Dollart durch den Bau des geplan-
ten Dollarthafens
Franzius-Institut für Wasserbau und
Küsteningenieurwesen der Universität
Hannover (unveröffentlicht)
- 17) - Salt distribution in estuaries
Rijkswaterstaat Communications
No. 26, 1976
- 18) - De Ontwikkeling van de Dollart
over de Periode 1952-1969/70
Rijkswaterstaat, Directie Groningen,
Studiedienst Delfzijl, Nota nr. 72.1
(unveröffentlicht)

- 19) - Het estuarium als ontvangend water
van grote hoeveelheden afvalstoffen
Rijksinstituut voor zuivering van
afvalwater
Mededeling Nr. 2, 1965
- 20) - Untersuchung der Sedimentationsver-
hältnisse in der Unterems und im
Dollart nach einer geplanten Emsum-
leitung
Bundesanstalt für Wasserbau-Außen-
stelle Küste-, Hamburg, Okt. 1977