

Die Ästuarien der deutschen Nordseeküste

Von Hermann Harten und Hans Vollmers

1. Übersicht

Die deutsche Nordseeküste ist stark geprägt durch die Ästuarien der Eider, Elbe, Weser, Jade und Ems. Mit Ausnahme der Jade sind die Ästuarien Mündungsbereiche von Flüssen, die mehr oder weniger große Süßwassermengen abführen. In der sogenannten Brackwasserzone vermischen sich Salz- und Süßwasser; es kommt zu verstärktem Schlickfall. Der Salzgehalt der Nordsee liegt im Bereich der Deutschen Bucht zwischen 15 und 35 ‰.

Die Gezeiten können ungehindert in die Tideströme eindringen (z. B. Elbe ~ 150 km); lediglich die Eider wird bei Sturmfluten durch ein Sperrwerk im Mündungsbereich abgeschlossen (Abb. 4).

Die Strömungsverhältnisse an der deutschen Küste werden maßgebend durch die aus dem Atlantischen Ozean und durch den Englischen Kanal in die Nordsee einlaufende Tide bestimmt. Der Gezeitenrhythmus ist halbtägig, d. h., der zeitliche Durchgang von einem Niedrigwasser zum nächsten beträgt im Mittel 12 h 24'.

Die Verteilung wichtiger Gezeitencharakteristika (Linien gleichen Springtidenhubs und Flutstundenlinien) in der Nordsee ist auf Abb. 1 dargestellt. Die Tidewelle wird durch die Coriolisbeschleunigung (Rechtsablenkung auf der nördlichen Halbkugel) zu einer Drehtide (Amphidromie) umgeformt. So wird z. B. die von Norden einlaufende Tidewelle nach Westen und die zurücklaufende Welle nach Osten abgelenkt. Durch Reflexion und Überlagerung im Nordseebecken kommt es im Bereich der deutschen Küste zu mittleren Tidehöhen von ca. 2 bis 3 Metern. Die in die Ästuarien eindringenden Tidewellen werden durch Reibung und Reflexion weiter verändert. In Tabelle 1 sind die wichtigsten hydrologischen Daten der Ästuarien zusammengestellt.

Von besonderer Bedeutung für die Küstenzone sind die Sturmfluten. In Abb. 2 ist der Verlauf der sehr schweren Februar-Sturmflut von 1962 an verschiedenen Pegeln dargestellt. Man erkennt den besonders hohen Anstieg vor der Jade, Weser, Elbe und Eider. Nach dieser Sturmflut wurden umfangreiche Baumaßnahmen zum Hochwasserschutz begonnen, z. B. Deicherhöhungen, Deichbegradigungen, Sturmflutsperrwerke, Objektschutz in Hafenzonen, die jetzt größtenteils fertiggestellt sind.

Die Tideströme bewegen sich durchweg in alluvialen Flussbetten mit rolligem Sohlenmaterial unterschiedlicher Kornverteilung; der Feststofftransport ist erheblich. Durch die rhythmische Umkehr der Strömungsrichtungen und die nicht immer achsparallel durchströmten tiefen Fahrtrinnen, die im Vergleich zur Gesamtstrombreite relativ schmal sind, kommt es örtlich oft zu stärkeren Sedimentationen im Fahrwasser. Daher sind ständige Unterhaltungsbaggerungen erforderlich. Die Sandzufluss in die Ästuarien erfolgt durch einen großräumigen Transport von West nach Ost entlang der deutschen Küste.

Von den rund 30 Millionen m³, die jährlich zur Unterhaltung aus den tiefen Fahrtrinnen der Tideflüsse Ems, Jade, Weser und Elbe gebaggert werden müssen, ergibt sich für drei charakteristische Bodenarten etwa folgende prozentuale Verteilung:

34 % stark schluffiger Feinsand, z. T. Schlick	(0,001 – 0,06 mm)
33 % Fein- bis Mittelsand, z. T. schluffhaltig	(0,06 – 0,8 mm)
33 % Fein- bis Grobsand, z. T. kiesig	(0,06 – 3,5 mm)

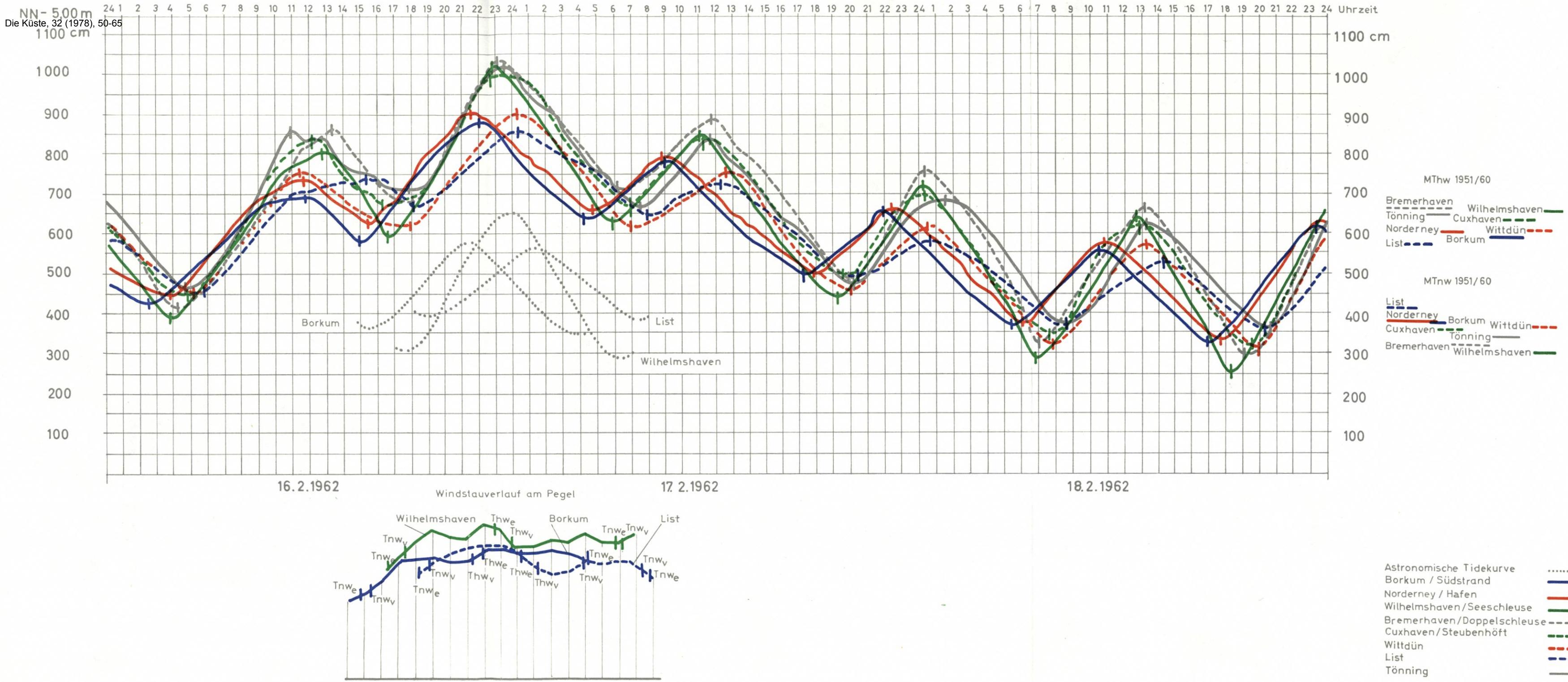


Abb. 2. Sturmflut Februar 1962
Fig. 2. Storm tide February 1962

The Estuaries of the German North Sea Coast

By Hermann Harten and Hans Vollmers

1. Review

The German North Sea coast is strongly marked by the estuaries of the Eider, Elbe, Weser, Jade and Ems. With the exception of the Jade these estuaries are areas at the mouth of rivers which discharge larger or smaller quantities of fresh water. The salt water and fresh water mix in the so-called brackish water zone; this leads to increased deposits of mud. The salt content of the North Sea in the area of the Bay of Heligoland lies between 15 and 35 parts per thousand.

The tides can penetrate freely into the tidal rivers (e.g. in the Elbe ~ 150 km); only the Eider is closed during storm tides by a barrage at its mouth (Fig. 4).

The flow conditions along the German coast are determined by the tides running from the Atlantic Ocean and through the English Channel into the North Sea. The tidal rhythm is semi-diurnal; i.e. the period of time between one low water and the next is an average of 12 hours 24 minutes.

The distribution of important tidal characteristics in the North Sea are shown on Fig. 1 (isolines of tidal ranges at spring tide and time deviation of flood tide). The tidal wave is transformed into a rotary tide (amphidrome) through Coriolis acceleration (a deflection towards the right in the Northern hemisphere). Thus the tidal wave running in from the North is diverted to the West and the returning tidal wave to the East. Reflection and superimposition leads to average tidal ranges of two to three metres near the German coast. These tidal waves are further altered as they enter the estuaries through friction and reflection.

Table 1 summarises the most important hydraulic data on the estuaries. The storm tides are of particular importance for the coastal zone. Fig. 2 shows the course of the very severe storm tide of February 1962 at various tide gauges. One can see the especially high rise in front of the Jade, the Weser, the Elbe and the Eider. After this storm surge extensive high water protection works were begun e.g. raising embankment heights, straightening embankments, barrages against storm tides, protection of particular objects in the harbour area. These are now largely completed.

The tidal currents move along alluvial river beds with loose bed material of various grain sizes; the sediment transport is considerable. Because of the periodic reversal of the direction of flow and, the fact that flow through the deep shipping channel, which is relatively narrow compared to the overall width of the river, is not always parallel to the main axis, there can often be heavy local sedimentation in the shipping channel. Thus continuous maintenance dredging is required. The sand transport into the estuaries is the result of a large scale transport from west to east along the German coast.

Of the approximately 30 million cubic metres which must be dredged annually to maintain the deep shipping channel of the tidal rivers Ems, Jade, Weser and Elbe the percentages of the three characteristic bed materials are as follows:

34 % predominantly silty fine sand, partly mud	(0.001 – 0.06 mm)
33 % fine to medium sand, partly silt	(0.06 – 0.8 mm)
33 % fine to coarse sand, partly gravel	(0.06 – 3.5 mm)

Eine besondere Rolle spielen die Sohlstrukturen, deren Entwicklung und Höhe für die Unterhaltungsarbeiten und die Fixierung der Ausbautiefen von Bedeutung sind. Analog zu den vorkommenden Bodenarten können die Sohlformen grob wie folgt klassifiziert werden:

- 34 % ebene Sohle (evtl. Riffelbildung ~ 10 cm Höhe)
- 33 % Dünen bis 80 cm Höhe
- 33 % Dünen von 80 bis 450 cm Höhe, in Einzelfällen darüber

Da die Abschnitte mit Dünen relativ groß sind, wurden besondere Untersuchungen angestellt, um den Baggereinsatz zu optimieren.

In Abb. 3 sind beispielhaft die Entwicklungstendenzen einer horizontal gebaggerten Dünenstrecke in der Elbe zu erkennen. Schon nach kurzer Zeit tauchen die Sohlkörper wieder auf; dann verlangsamt sich das Anwachsen, und nach einem Jahr ist die Entwicklung mit einer Dünenhöhe von etwa 210 cm abgeschlossen.

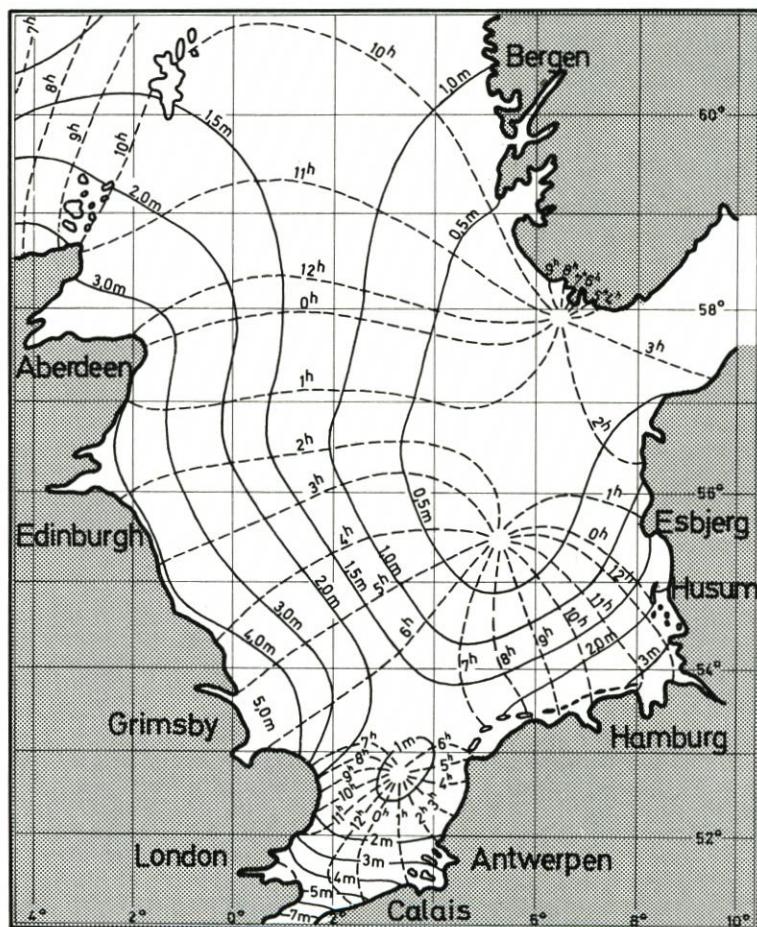


Tabelle 1
Hydrologische Kennwerte der Ästuarien – Hydraulic Data on the Estuaries

	Länge – Length (km)	Wasserhöhe Water depth KN (m)	Mittlere Flutwassermenge Mean tidal discharge (10^6 m^3)	Wasserhöfe Water levels MQ	mittlerer mean MNQ	höchster maximum niedrigster HNQ	Mittlerer Tidehub Mean tidal range (1975)	Mittlerer Tidehub Mean tidal range (1902)	Sturmflut Febr. 1962 Storm tide Feb. 1962 (NN – 500 m)	Mittlerer Tidehub Mean tidal range 1962	Gütertransport 10 Mio t/Jahr Tonnage of Goods 10 Mill. t/year	Kontrolldurchmesser Mean grain diameter	Mean grain diameter 10 Mill. t/year	Bemerkungen Remarks	
Ems	Mövensteert	35	12,5	780	4,5	80	5	1200	304,0 43,0	311,0	976,0	0,015	11,7	Vorrangig Schifffahrt Mainly shipping	
	Emden	70	8,5	0	0										
	Herbrum	125	3,2												
Jade	Wilhelmshaven	47	18,5	400		unbedeutend insignificant			361,0	377,0	1022,0	0,03	30,4	Vorrangig Schifffahrt Mainly shipping	
	Bremerhaven	60	12,0	155	15	310	50	3500	332,0 63,0	364,0	1035,0 1041,0	0,034	34,6	Vorrangig Schifffahrt Mainly shipping	
	Bremen	120	9,0	0											
	Hemelingen	130	3,5												
Weser	Cuxhaven	36	13,5	650	70	700	130	3900	235,0 128,4	297,0	996,0 1070,0	0,03 0,05	91,2 51,5	Vorrangig Schifffahrt Mainly shipping	
	Hamburg	135	13,5	0											
	Geesthacht	173	2,5	0											
Elbe	Hundeköll	25	2,0	40	12	(14)	0	(140)	267,0	273,0	1021,0	0,012			
	Tönning	38	2,0	0											
	Nordfeld	59	2,0	0											
Eider															Versandung d. Eider; Tidehub nimmt ab; vorrangig Vorfluter Silting of the Eider; tidal range decreasing; mainly drainage

Die Erscheinungsformen der Sohle hängen unter anderem vom Korndurchmesser des Bettmaterials ab. So hat sich herausgestellt, daß nur Materialien mit einem charakteristischen Durchmesser $> 0,3$ mm zur Dünenbildung tendieren. Entsprechend den in Tab. 1 global angegebenen Korndurchmessern für die Ästuarien der deutschen Nordseeküste beschränkt sich das Dünenproblem auf Jade, Weser und Elbe. Tatsächlich treten in der Ems und in der Eider keine großen Sohlkörper auf.

Neben dem vermehrten Einsatz von Großraumbaggern werden zur Freihaltung und Stabilisierung der Fahrrinnen Strombauwerke wie Buhnen und Leitwerksysteme errichtet, die den natürlichen Räumprozeß in einer Rinne unterstützen.

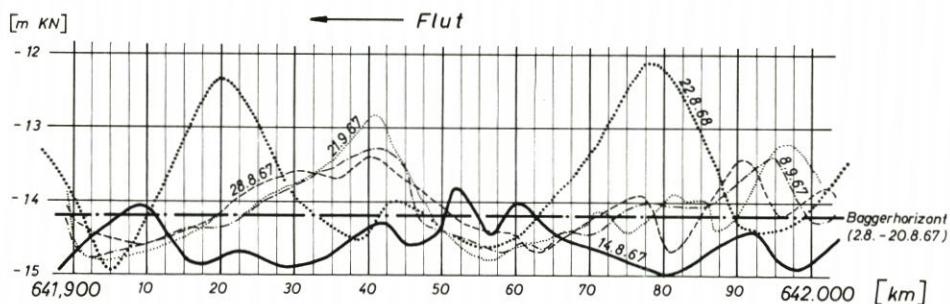


Abb. 3. Dünenentwicklung. Flut, Baggerhorizont, mKN – Kartennull
Fig. 3. Dune development. Flood, Dredging horizon, [m KN] – Sea level

2. E i d e r

Dieser Tidestrom verlief früher in stark gekrümmter Linienführung über Friedrichstadt, Rendsburg bis zu seinem Quellgebiet bei Kiel. Mit dem Bau des Nord-Ostsee-Kanals wurde die Obereider vom Flußgebiet der Eider getrennt und in den Kanal geleitet. Der Tideeinfluß reichte nur noch bis Rendsburg. Die verbleibende Tideeider wurde bedeckt (Abb. 4). Ein Ansteigen des MThw und ein schnelleres Auflaufen der Sturmfluten waren die Folge. Der Geschiebehaushalt blieb ausgeglichen, d. h., die bei Flut in die Eider hineingetragenen erheblichen Schwebstoffmengen wurden durch einen kräftigen Ebbestrom wieder heraustransportiert (Abb. 5 a).

Im Eiderniederungsgebiet kam es immer wieder zu Deichbrüchen und erheblichen Überschwemmungen. Die deshalb 1936 vorwiegend zum Schutz gegen Sturmfluten durchgeföhrte Abdämmung der Eider bei Nordfeld entzog eine 78 km lange Flußstrecke der Tidebewegung. Dadurch kam es unterhalb der Abdämmung zu einer Umformung der Tidewelle, wobei die Ebbeströmung im Verhältnis zur Flutströmung geschwächt wurde. Der Ebbestrom war nicht mehr in der Lage, den von der Flut herantransportierten Sand auszuräumen (Abb. 5 b). Innerhalb weniger Jahre versandete der Flußabschnitt Nordfeld – Tönning so stark, daß Vorflut und Schiffahrt erheblich beeinträchtigt wurden.

Nach umfangreichen Voruntersuchungen wurde ein Sturmflutsperrwerk in die Linie Hundeknöll/Vollerwiek gebaut und 1973 fertiggestellt. Das Bauwerk besteht aus

The structure of the bed plays a special role as its development and level is of importance for the maintenance work and for fixing the target depth for dredging. In the same way as the bed material, the form of the bed can be roughly classified as follows:

34 % level beds (possibly with ripples 10 cm high)

33 % dunes up to 80 cm high

33 % dunes from 80 cm to 450 cm high, or even higher in individual cases.

As the sections with dunes are relatively large, special investigations are carried out to optimize the dredging activities.

Fig. 3, for example, shows the development trends of a horizontally dredged stretch of dunes in the Elbe. After quite a short time the bed regains its old outline, the growth then slows down and after a year when the dune has reached a height of 210 cm the process is completed.

The shape of the bed depends, among other things, on the grain diameter of the bed material. Thus it was established that only material with a characteristic diameter of > 0.3 mm tended to form dunes. Thus in accordance with global data on grain diameters shown in Table 1 for estuaries in the German North Sea coast the dune problem is restricted to the Jade, Weser and Elbe. In fact, no large bed formations occur in the Ems or in the Eider.

As well as the increased use of large scale dredging, river works to control flow such as groynes and training walls have been erected which assist the natural scouring process in a channel.

2. Eider

This tidal river ran earlier on a very twisting course through Friedrichstadt and Rendsburg up to its source near Kiel. With the building of the Kiel (North Sea – Baltic) canal the upper Eider was separated from the Eider river area and diverted into the canal. The tidal influence reached only as far as Rendsburg. The remaining tidal Eider was embanked (Fig. 4). The result was a rise of HWMT and a more rapid rise during storm tides. The sedimentation balance remained in equilibrium i.e. the considerable suspended load brought into the Eider on the flood tide was carried out again by a powerful ebb current (Fig. 5 a).

In the lower Eider area there continued to be further breaches in the embankments and considerable flooding. The damming of the Eider primarily as a protection against storm floods was therefore carried out in 1936 and excluded the tides from a 78 km stretch of the river. As a result the tidal wave below the dam was transformed, so that the ebb flow was weakened relative to the flood flow. The ebb current was no longer able to clear away the sand transported in by the flood current (Fig. 5 b). Within a small number of years the Nordfeld – Tönning stretch of the river had silted up so severely that drainage and shipping were badly affected.

After extensive preliminary investigations a storm flood barrage on the line Hunde-knöll to Vollerwiek was built and completed in 1973. The works consisted of a 4.8 km long dam with sluice and lock. The crest level of the barrage at NN + 8.50 m lies about 7.0 m above HWMT. So that the tide can flow in and out without hinderance, the sluice construction has five openings each with a clear width of 40 m. Under mean tide conditions some 40 million m^3 of water flow through this sluice complex which are closed during storm tides. To improve the scouring power of the ebb tide the tide can be influenced by temporarily closing the sluice (Fig. 5 c).

einem 4,8 km langen Damm mit Siel und Schleuse. Die Sperrwerksoberkante liegt mit NN + 8,50 m etwa 7,00 m über MThw. Damit die Tide ungehindert ein- und ausschwingen kann, besitzt das Sielbauwerk fünf Öffnungen mit je 40 m lichter Breite. Bei mittleren Tideverhältnissen fließen etwa 40 Mio m³ Wasser durch das Sielbauwerk, das bei Sturmflut geschlossen wird.

Zur Verbesserung der Räumkraft des Ebbstromes kann durch zeitweises Schließen des Sieles die Tide beeinflußt werden (Abb. 5 c).

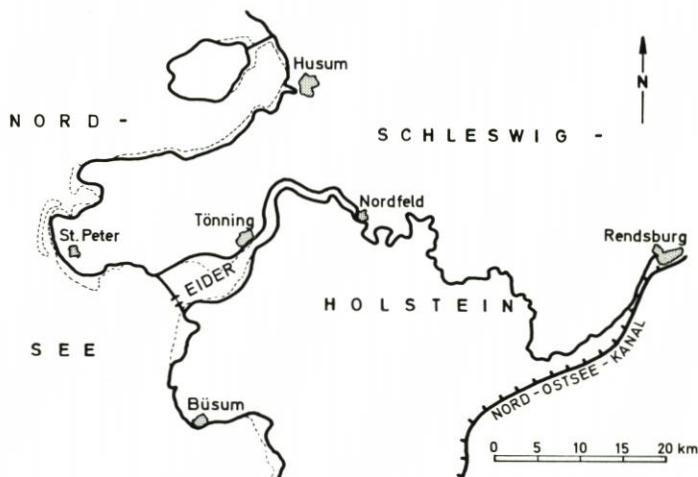


Abb. 4. Übersichtsplan der Eider, Nord-Ostsee-Kanal

Fig. 4. General map of the Eider, Kiel Channel

3. Elbe

Die Elbe, der größte deutsche Tidestrom, ist Zufahrt zum Nord-Ostsee-Kanal und zum größten deutschen Seehafen Hamburg. Unterhalb Hamburgs liegen weitere Häfen.

Die Außenelbe (36 km von der Seegrenze bis Cuxhaven) wird im Norden durch einzelne Sände und Platen, im Süden durch ein geschlossenes Wattgebiet sowie den 9,3 km langen Leidamm Kugelbake begrenzt. Der sehr weite Mündungstrichter der Außenelbe verengt sich oberhalb Cuxhavens, in Höhe der Ostemündung, auf eine Breite von 6,0 km. In langgezogenen Flusskrümmungen führt die Unterelbe, beidseitig durch Deiche begrenzt, in den Hamburger Raum hinein (100,0 km von Cuxhaven bis Hamburg). 48 km oberhalb von Hamburg endet der Tideeinfluß am Wehr Geesthacht (erbaut 1960), aus dessen Staustellung auch der 1976 fertiggestellte Elbe-Seitenkanal abzweigt, der die Elbe mit dem deutschen Binnenschiffahrtsnetz verbindet (Abb. 6).

Mit den wachsenden Schiffsgrößen wurde die Elbe seit Beginn dieses Jahrhunderts bis Hamburg von 10,0 m auf 13,5 m unter KN (Kartennull) vertieft.

Zur Stabilisierung der bis 500 m breiten Fahrrinne dienen Strombauwerke wie Buhnen und Längswerke, die den Abfluß auf die Hauptrinnen mit großen Wassertiefen konzentrieren.

3. The Elbe

The Elbe, the largest tidal river in Germany is the approach to the Kiel canal and the largest German seaport, Hamburg. Below Hamburg there are several other ports.

The outer Elbe (36 km from the sea limits to Cuxhaven) is bounded in the north by individual sand banks and shoals and in the south by a continuous area of tidal flats as well as by the 9.3 km long Kugelbake training wall. The very wide funnel shaped mouth of the outer Elbe reduces in width above Cuxhaven opposite the mouth of the Oste to about 6 km. The Lower Elbe leads through long winding stretches embanked on both sides, up to the Hamburg area (100.0 km from Cuxhaven to Hamburg). The tidal influence ends 48 km above Hamburg at the Geesthacht weir. The Elbe side canal which was completed in 1976 and which links the Elbe with the internal waterways network branches off from the dammed water above this weir (Fig. 6).

With the increase in the size of ships the Elbe up to Hamburg has been deepened from 10 m to 13.5 m below chart datum.

Flow control works such as groynes and longitudinal training walls serve to stabilize the 300 to 500 m wide shipping channel by concentrating the flow in the main channels with the greatest depth of water.

As the shipping channel was improved so was the system of navigation beacons. A 140 km long radar network from Scharhörn to Hamburg provides a safe passage for

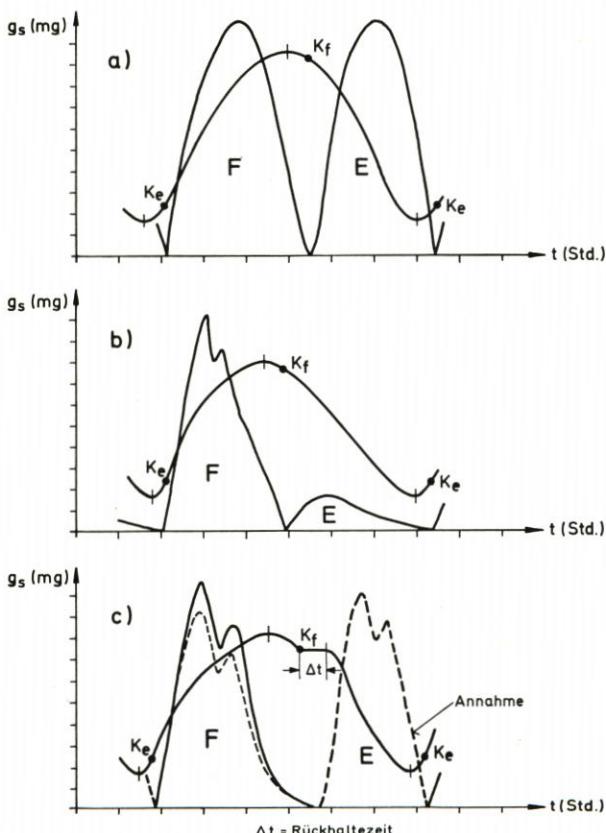


Abb. 5 a, b, c. Schwebstoffverteilung

Fig. 5 a, b, c. Suspended load

g_s (mg) - Sedimentation in (mg)

K_e - Kenterpunkt Ebbe -

Reversal of ebb

K_f - Kenterpunkt Flut -

Reversal of flood

E - Ebbe - Ebb

F - Flut - Flood

Annahme - assumed curve

Δt Rückhaltezeit - time of

retention

t (Std.) - t (hrs.)

Mit dem Ausbau des Fahrwassers wurde auch das System der Richtfeuerlinie verbessert. Eine 140 km lange Radarkette von Scharhörn nach Hamburg gestattet darüber hinaus einen sicheren Schiffsverkehr unabhängig von den Sichtverhältnissen. Der Gütertransport beträgt im Fahrwasserabschnitt von See bis Brunsbüttel 91,2 Mio t/Jahr und im Abschnitt von Brunsbüttel bis Hamburg 51,5 Mio t/Jahr (Stand 1976).

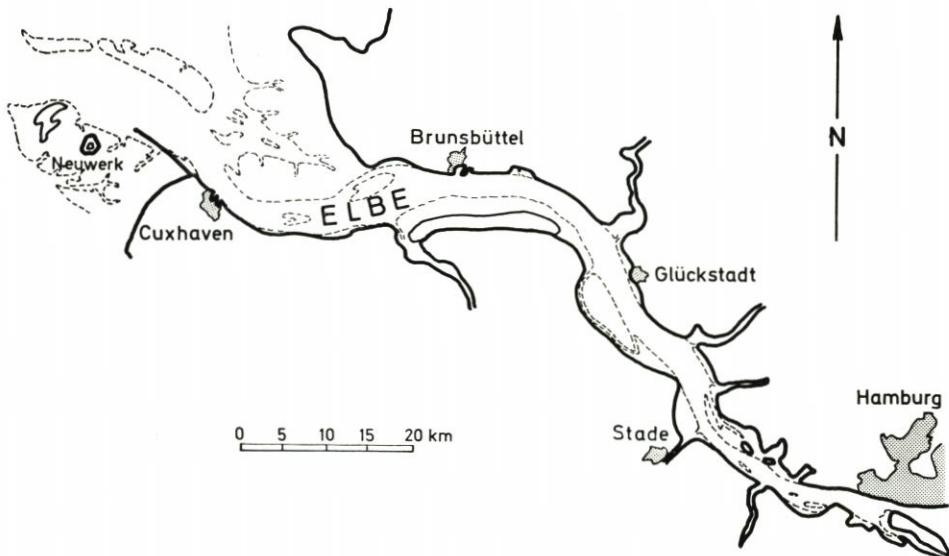


Abb. 6. Übersichtsplan der Elbe

Fig. 6. General map of the Elbe

Neben der Funktion als Verkehrsträger, wozu auch die Sportschiffahrt gehört, ist die Elbe Vorfluter für die Abwassermengen der Städte und Industrieansiedlungen und nimmt die Kühlwasserabflüsse der ausschließlich mit Frischwasserkühlung arbeitenden Kraftwerke auf. Eine besondere Bedeutung haben die Randzonen des Stromes als Lebensraum für die Tier- und Pflanzenwelt.

Die schweren Sturmfluten 1962 (Tab. 1), 1973 und 1976 haben in den Marschgebieten längs der Elbe und besonders in Hamburg erhebliche Schäden angerichtet. Zur Sturmflutsicherung wurden Deichverstärkungen, Vordeichungen, Sperrwerke an den Nebenflüssen und spezielle Schutzmaßnahmen für Industrie- und Umschlaganlagen im Hamburger Hafen durchgeführt. Das Projekt eines Sturmflutsperrwerkes für den ganzen Elberaum wird z. Z. noch untersucht.

4. Weser

Der Strom ist Seeschiffahrtsstraße nach Bremerhaven, Bremen und zu anderen Häfen im Weserbereich wie Nordenham, Brake und Elsfleth. An das beidseitig durch Deiche, Längswerke und Buhnen geführte, relativ schmale Strombett der Unterweser (Bremerhaven bis Bremen = 60 km) schließt die trichterförmige Außenweser (Bremerhaven bis Seegrenze ~ 60 km) an, die aus einem Doppelrinnensystem mit Querverbindungen und dazwischenliegenden Platen besteht (Abb. 7).

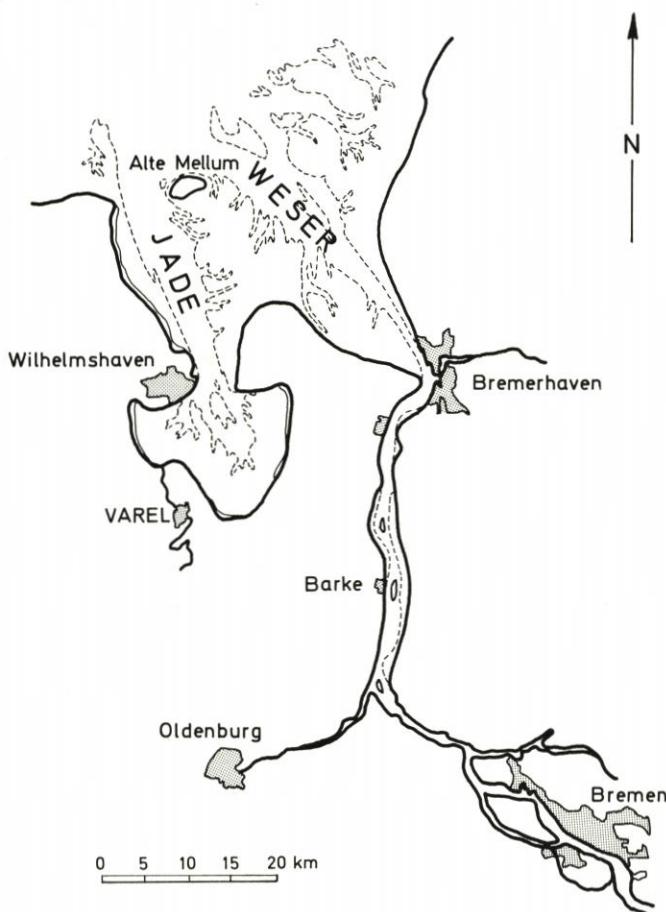


Abb. 7. Übersichtsplan der Jade-Weser

Fig. 7. General map of the Jade-Weser

shipping whatever the visibility. The tonnage carried by ships in the stretch of channel from the sea to Brunsbüttel is 91.2 million tonnes per year and from Brunsbüttel to Hamburg 51.5 million tonnes per year (as at 1976).

Apart from its function as a shipping channel, and this includes recreational sailing and boating, the Elbe also provides drainage for the waste water of the towns and industrial settlements and receives the cooling water discharge of power stations that only use fresh water for cooling. The zones along the edges of the river are particularly important as a habitat for fauna and flora.

The severe storm tides of 1962 (Table 1), 1973 and 1976 caused considerable damage in the marsh area along the Elbe and particularly in Hamburg. As a protection against storm tides, the strengthening of embankments, protection in front of embankments, barrages on tributary rivers and special protective works for industrial and handling equipment in Hamburg harbour were carried out. A project for a storm flood barrage for the whole Elbe area is being investigated at present.

Mit wachsenden Schiffstieflängen mußten die Ausbaumaßnahmen zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse verstärkt vorangetrieben werden. Der wesentliche Eingriff dieses Jahrhunderts in den Fahrwasserverlauf der Außenweser war die Verlegung der Schiffahrtsrinne vom Wurster Arm in den Fedderwarder Arm mit gleichzeitiger Vertiefung auf KN – 10,0 m bis Bremerhaven. Diese Ausbaumaßnahme wurde 1928 abgeschlossen. Eine weitere Vertiefung der Außenweser auf KN – 12,0 m, der Unterweser auf KN – 9,0 m sowie Unterhaltungsarbeiten und Korrekturen führten insgesamt zu einer Vergrößerung des Tidehubs, die sich hauptsächlich in einem Absinken des Tnw auswirkte (Abb. 8). Eine merkliche Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse im Außenweserbereich wurde durch Strombaumaßnahmen möglich, die Flut- und Ebbestrom in der Hauptrinne konzentrierte.

Im Unterweserbereich sind die Probleme der Abwasser- und Wärmebelastung hervorzuheben. Bei Bremerhaven fließen bei mittleren Tideverhältnissen 155 Mio m³ in das Weserästuar ein. Der Oberwasserabfluß schwankt sehr stark (Tab. 1). Der Tideeinfluß endet am Wehr Hemelingen in Bremen. Die Nebenflüsse der Weser werden bei schweren Sturmfluten durch Sperrwerke abgeschlossen. Die Gütertransportmenge beträgt im Fahrwasserabschnitt See bis Bremerhaven 34,6 Mio t/Jahr und im Abschnitt Bremerhaven bis Bremen 14,7 Mio t/Jahr (Stand 1976).

Auch die Weser hat vom Leuchtturm Alte Weser bis Bremerhaven eine Radarkette, die den Schiffsverkehr bei schlechten Sichtverhältnissen sicher nach Bremerhaven leitet.

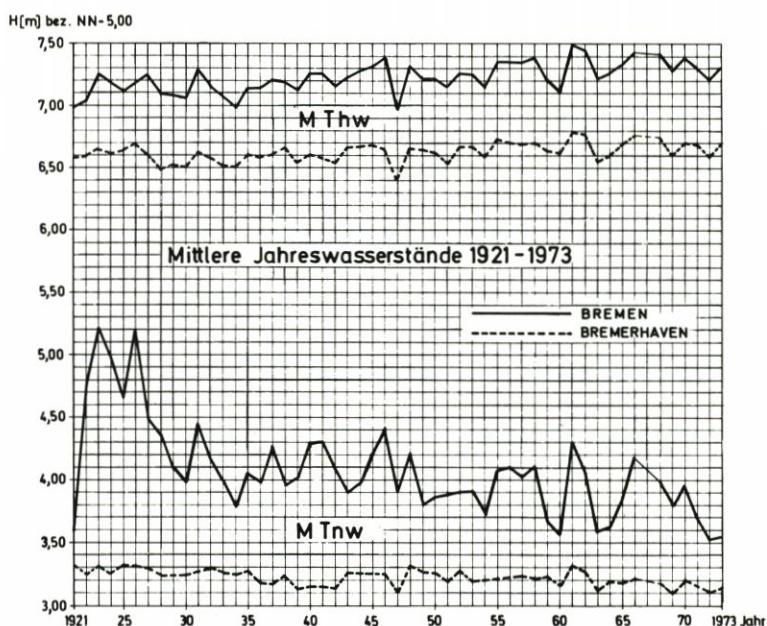


Abb. 8. Wasserstandslinien (Tnw, Thw) von 1921–1973 am Pegel Bremen

Fig. 8. Water levels (LW, HW) at the Bremen tide gauge from 1921–1973
 Mittlere Jahreswasserstände – mean annual water levels
 MThw – Mittleres Tiedehochwasser – mean high water
 MTnw – Mittleres Tiedeniedrigwasser – mean low water
 H [m] – Höhe – height
 NN – Normal Null

4. The Weser

The river is a shipping lane for seagoing vessels as far as Bremerhaven, Bremen and other ports in the Weser area such as Nordenham, Brake and Elsfleth. The relatively narrow river bed of the lower Weser (Bremerhaven to Bremen = 60 km) held on both sides by embankments, longitudinal training walls and groynes joins the trumpet shaped outer Weser (Bremerhaven to the sea limits = 60 km) that consists of a double channel system with cross links and shoals lying between them (Fig. 7).

With the increasing depths required for shipping, engineering measures to improve conditions in the shipping channel had to be intensified. The most important intervention of this century in the alignment of the waterway of the outer Weser was the shifting of the shipping channel from the Wurster arm to the Fedderwarder arm and at the same time increasing the depths to 10 m below chart datum as far as Bremerhaven. These engineering works were completed in 1928. A further deepening of the outer Weser to 12.0 m below chart datum and of the lower Weser to 9.0 m below chart datum combined with maintenance work and corrections, together led to an increase in the tidal range which was mainly expressed as a sinking of low water (Fig. 8). An appreciable improvement in shipping channel conditions in the outer Weser stretch was possible as a result of flow control works which concentrated the flood and ebb flows into the main channel. In the lower Weser the problems of sewage discharge and heat dispersal have arisen. Under mean tide conditions some 155 million m³ flow past Bremerhaven into the Weser estuary. The upper water discharge fluctuates very much (Table 1). The tidal influence ends at the Hemelingen weir in Bremen. The tributary rivers of the Weser are closed against severe storm tides by barrages. The tonnage of goods carried in the shipping lanes from the sea to Bremerhaven are 34.6 million tonnes per year and in the stretch from Bremerhaven to Bremen 14.7 million tonnes per year (as at 1976).

The Weser has also a radar network from the Alte Weser lighthouse to Bremerhaven which shipping can use to navigate safely to Bremerhaven when visibility is poor.

5. The Jade

The Jade is an arm of the sea, which widens at the southern end like a bay into the Jadebusen (Fig. 7). As the upper water discharge is insignificant, the Jade has no brackish water zone and therefore also very little mud sedimentation. The mean tide water volume at Wilhelmshaven is about $400 \cdot 10^6$ m³ (Table 1).

The steady increase in the size of tankers in the recent past made it necessary to build deep water harbours for ships up to 250,000 tonnes particularly for the unloading of oil. The Jade was suitable for this because of its morphological and hydraulic conditions. In 1956 it was, therefore, decided to build an oil terminal at Wilhelmshaven with an unloading bridge, tank storage, and a pipeline to refineries in the Rhine and Ruhr areas. The shipping lane was deepened from 10 m below chart datum to 18.5 m below chart datum. The tonnage carried amounted to about 30.4 million tonnes per year (as at 1976).

Since the completion of the improvement works to 18.5 m below chart datum still greater maintenance dredging has been necessary in some areas. The reasons for this are not yet completely clear and indeed:

- In the Geniusbank area the bed conditions are unstable because the bank moves

5. Jade

Die Jade ist ein Meeresarm, der sich an seinem südlichen Ende buchtartig in den Jadebusen erweitert (Abb. 7). Da der Oberwasserabfluß unbedeutend ist, besitzt die Jade keine Brackwasserzone und daher auch kaum Schlickfall. Die mittlere Tidewassermenge beträgt bei Wilhelmshaven etwa $400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Tab. 1).

Die in der jüngsten Vergangenheit ständig wachsenden Tankergrößen machten den Ausbau eines Tiefwasserhafens für Schiffe bis 250 000 tdw für den Mineralölumschlag notwendig. Auf Grund der hydrologischen und morphologischen Verhältnisse war die Jade hierfür geeignet. Im Jahre 1956 wurde daher beschlossen, in Wilhelmshaven einen Ölumschlaghafen mit einer Löschbrücke, einem Tanklager und einer Pipeline zu Raffinerien im Rhein- und Ruhrgebiet zu bauen. Das Fahrwasser wurde von KN - 10,0 m auf KN - 18,5 m vertieft. Die Gütertransportmenge beläuft sich auf etwa 30,4 Mio t/Jahr (Stand 1976).

Seit Abschluß der Ausbauarbeiten auf KN - 18,5 m sind an einigen Stellen noch größere Unterhaltungsbaggerungen notwendig, deren Ursachen noch nicht endgültig geklärt sind, und zwar:

- Im Bereich der Geniusbank sind die Sohlverhältnisse durch Abwandern dieser Bank in das Fahrwasser instabil.
- Das im Bereich der Platenwanderung liegende Fahrwasser der Außenjade tendiert zu partiellen Verlandungen.
- Die vertiefte Fahrrinne vor Minsener Oog ist relativ stark gekrümmmt und neigt daher zur Instabilität im Sohlverhalten.

6. Ems

Das Emsästuar ist vom Dollart bis Borkum die Grenze zwischen den Niederlanden und der Bundesrepublik Deutschland. Dieser Abschnitt ist auch als Zufahrt für die Häfen Emden, Delfzijl und den „Eemshaven“ von Bedeutung, da nur hier die Wassertiefen für das Einlaufen größerer Seeschiffe ausreichend sind (Tab. 1). Die Tide läuft in zwei Rinnen westlich und östlich der Insel Borkum in die Ems hinein; die Schiffahrtsrinne liegt auf der Westseite der Insel (Abb. 9). Während die Zufahrt zum niederländischen „Eemshaven“ unmittelbar an die tiefe Rinne in der Außenems anschließt, werden die derzeitigen ungünstigen Fahrwasserverhältnisse für Delfzijl und Emden durch die komplexen Strömungsverhältnisse im Gatjebogen bestimmt. Hier läuft die natürliche Strömung schräg zum künstlich offenzuhaltenden Fahrwasser. Die Hauptströmung zwischen dem ostfriesischen Gatje und dem Dollart kreuzt die Schiffahrtsrinne.

Die Nebenrinnen „Ems“ und „Bucht von Watum“ haben eine erheblich geringere Wasserführung. Die dadurch entstandene inhomogene morphologische Struktur dieses Abschnitts bereitet außerordentliche Schwierigkeiten hinsichtlich Navigation und Unterhaltungsbaggerung. Dazu kommt noch die durch Brackwassereffekte bedingte starke Sedimentation im Emder Fahrwasser.

In langjährigen Untersuchungen wurde versucht, sowohl die Verhältnisse im Gatjebogen als auch im Emder Fahrwasser zu verbessern. Dabei stellte sich heraus, daß eine Verlegung der Emsrinne in den Dollart bei gleichzeitiger Abdämmung des Emder Fahrwassers oberhalb des Hafens die Verhältnisse verbessern kann (Abb. 10).

into the shipping channel.

- In the area where the shipping channel lies among shifting shoals the outer Jade has a tendency to partial sedimentation.
- The deepened shipping channel in front of Minsener Oog bends relatively sharply and thus contributes to the instability in the bed conditions.

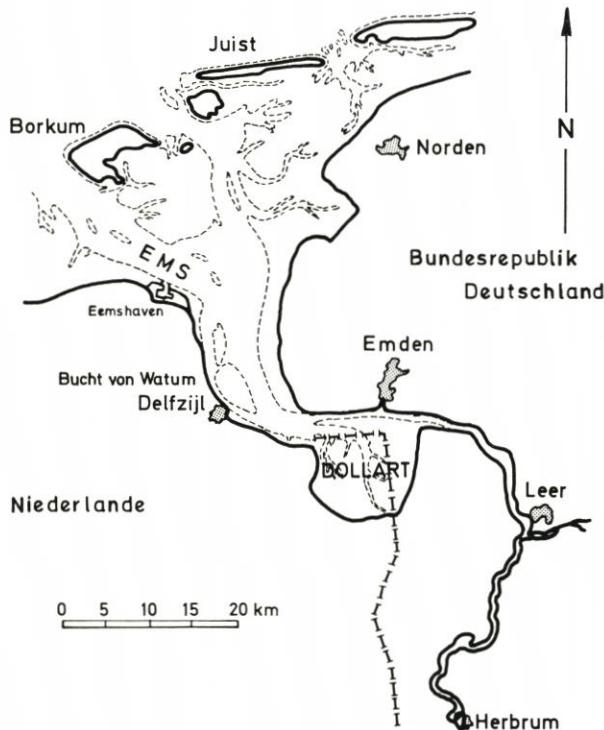


Abb. 9. Übersichtsplan der Ems

Fig. 9. General map of the Ems

6. The Ems

The Ems estuary from the Dollart to Borkum is the border between the Netherlands and the German Federal Republic. This stretch is also of importance as the entrance to the ports of Emden, Delfzijl and "Eemshaven" as only here is the water deep enough to allow the passage of large seagoing vessels (Table 1). The tide runs in two channels west and east of the island of Borkum into the Ems; the shipping channel lies to the west of the island (Fig. 9). While the entrance to the Netherlands "Eemshaven" connects directly to the deep water channel of the outer Ems, the current unfavourable shipping channel conditions for Delfzijl and Emden are determined by the complex flow conditions in the Gatje bend. Here the natural current runs obliquely to the shipping lane which has

Die geplante Regulierung, mit der eine Hafenerweiterung für Emden verbunden werden soll, bietet verschiedene Vorteile:

- Die bisherigen Schwierigkeiten bei der Freihaltung des Emder Fahrwassers, die sehr wesentlich aus dem Ungleichgewicht zwischen der Tidewassermenge und dem vorhandenen Querschnitt resultierten, entfallen. Die Tiefe in der neuen Emsrinne im Dollart wird sich nach einer Gleichgewichtsbetrachtung auf etwa 6,0 m unter TNW einpendeln. Die Durchfahrt von Schiffen mit geringeren Tiefgängen in die obere Ems ist daher ohne Störung möglich.
- Das jetzt vorhandene, komplizierte getrennte Füllsystem Dollart und Ems wird zusammengefaßt. Dadurch wird auch eine schiffahrtstechnisch günstigere Linienführung im Gatjebogen möglich.
- Die Umleitung der Ems durch den Dollart bedeutet einen erheblichen Eingriff in das Regime des Stromes. Die Untersuchungsergebnisse über mögliche Veränderungen der hydrologischen Kennwerte, die Stabilität der neuen Rinnen und Hafenzufahrten sowie der Verlagerung der Brackwasserzone lassen jedoch erkennen, daß sich die Verhältnisse im Emsästuar durch die Rinnenverlegung verbessern werden.

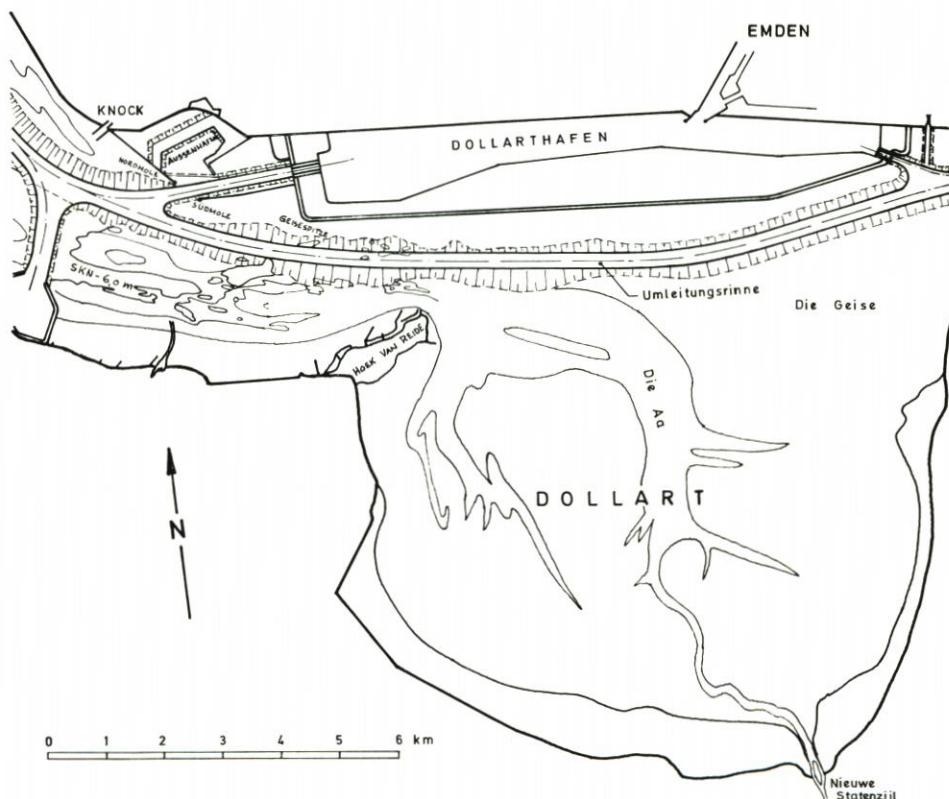


Abb. 10. Dollarthafen, Verlegung der Emsrinne in den Dollart
Fig. 10. Dollart harbour, shifting of the Ems Channel into the Dollart



Tafel VII: Hallig Habel bei Sturmflut. Wellen branden am Uferdeckwerk. Die Wurt (Warf), Wohnhügel mit Haus und Fething (Süßwasserteich), ist der einzige Zufluchtsort für Mensch und Tier. (Aufn. U. Muuß)

Plate VII: The Hallig (small island) of Habel during a storm tide. Waves are breaking along the protective shore paving. The Wurt (Millok), a mound with dwelling and fresh-water pond, is the only refuge for man and beast.

to be kept open artificially. The main current between the East Friesian Gatje and the Dollart crosses the shipping channel.

The subsidiary "Ems" and "Bucht von Watum" channels have a much smaller flow of water. The consequent non-homogeneous morphological structure of this stretch provides exceptional difficulties for navigation and maintenance dredging. To this must be added the heavy sedimentation in the Ems shipping channel caused by the brackish water effect.

Long years of investigation have attempted to improve the conditions in the Gatje bend as well as in the Ems shipping lane. From this it appears that a diversion of the Ems channel into the Dollart combined with damming the Ems shipping lane above the port can improve the conditions. The planned regulation which should be combined with an extension of the harbour at Emden has various advantages:

– It would get rid of the difficulties up to now in keeping the Ems shipping channel open, which are essentially the result of the disequilibrium between the tidal volume and the available cross section. Equations suggest that the depths in the new Ems channel into the Dollart would measure about 6.0 m below LWMT. This would permit the trouble free passage of low draft shipping into the upper Ems.

– The present complicated divided filling system of the Dollart and Ems would be combined. This would make a technically more favourable alignment of the shipping channel possible in the Gatje bend.

– The diversion of the Ems through the Dollart implies a considerable intervention in the regime of the river. The results of the investigation about possible alterations in the hydraulic data, the stability of the new channels and the harbour entrances, as well as the shift in the brackish water zone nevertheless, indicates that conditions in the Ems estuary will be improved by diversion of the channels.