Die Küste, 32 (1978), 1-155

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

ARCHIVE
FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY
ON THE NORTH SEA AND BALTIC COAST

3950-A-2012-00000100

Heft 32

1978

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Die Küste

ARCHIV FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK AN DER NORD- UND OSTSEE

ARCHIVE FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY ON THE NORTH SEA AND BALTIC COAST

HERAUSGEBER:
KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN

Heft 32 - 1978

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:
Addresses of the authors of this volume:

HARTEN, Herrmann, Dipl.-Ing., Moorweidenstraße 14, 2000 Hamburg 13; KÖSTER, Rolf, Prof. Dr., Fridtjof-Nansen-Weg 8, 2300 Kronshagen; KRAMER, Johann, Dipl.-Ing., Ltd. Baudirektor, Mühlenweg 11, 2960 Aurich; LUCK, Günter, Dr.-Ing., An der Mühle 4a, 2982 Norderney; PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing., Ltd. Regierungsbaudirektor a. D., An den Eichen 52, 2301 Mönkeberg; REINECK, Hans-Erich, Prof. Dr., Schleusenstr. 39, 2940 Wilhelmshaven; ROHDE, Hans, Dr.-Ing., Ltd. Baudirektor, Moorweidenstraße 14, 2000 Hamburg 13; SINDERN, Josef, Dipl.-Ing., Baudirektor, Feldstr. 251/253, 2300 Kiel; STREIF, Hansjörg, Dr., Stilleweg 2, 3000 Hannover 51; VOLLMERS, Hans-Joachim, Prof. Dr.-Ing., Werner-Heisenberg-Weg 39, 8014 Neubiberg.

Die Verfasser sind für den Inhalt der Aufsätze allein verantwortlich. Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet:
The authors are solely reponsible for the content of their articles. Reproduction on whole or in part with the permission of the publisher:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen.
German Committee for Coastal Engineering Research.
Vorsitzender (Chairman): Ltd. Ministerialrat Prof. Dr.-Ing. F. ZITSCHER.
Geschäftsführer (Secretary): Baudirektor J. SINDERN.
Schriftleiter (Editor): Ltd. Baudirektor Dr.-Ing. GÖHREN.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Inhaltsverzeichnis
Content

(Korrekturblatt)

ROHDE, Hans, Dr.-Ing.
Die Geschichte des deutschen Küstengebietes 6
The History of the German Coastal Area 7

STREIF, Hansjörg, Dr.
KÖSTER, Rolf, Prof. Dr.
Zur Geologie der deutschen Nordseeküste 30
The Geology of the German North Sea Coast 31

HARTEN, Hermann, Dipl.-Ing.
VOLLMERS, Hans, Prof. Dr.-Ing.
Die Ästuarien der deutschen Nordseeküste 50
The Estuaries of the German North Sea Coast 51

REINECK, Hans-Erich, Prof. Dr.
Die Watten der deutschen Nordseeküste 66
The Tidal Flats on the German North Sea Coast 67

LUCK, Günter, Dr.-Ing.
Inseln vor der südlichen Nordseeküste 84
Islands in front of the Southern North Sea Coast 85

PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing.
Inseln vor der östlichen Nordseeküste 94
Islands along the Eastern North Sea Coast 95

PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing.
Die Ostseeküste zwischen Flensburg und der Lübecker Bucht 110
The Baltic Coast between Flensburg and the Lübeck Bay 111

KRAMER, Johann, Dipl.-Ing.
Küstenschutzwerke an der deutschen Nord- und Ostsee 124
Coast Protection Works on the German North Sea and Baltic Coast . . . 125

SINDERN, Josef, Dipl.-Ing.
Küsteningenieurwesen und Verwaltung 140
Coastal Engineering System Organisation and Administration 141

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Inhaltsverzeichnis
Content

ROHDE, Hans, Dr.-Ing.
Die Geschichte des deutschen Küstengebietes 6
The History of the German Coastal Area 7

STREIF, Hansjörg, Dr.
KÖSTER, Rolf, Prof. Dr.
Zur Geologie der deutschen Nordseeküste 30
The Geology of the German North Sea Coast 31

HARTEN, Hermann, Dipl.-Ing.
VOLLMERS, Hans, Prof. Dr.-Ing.
Die Ästuarien der deutschen Nordseeküste 48
The Estuaries of the German North Sea Coast 49

REINECK, Hans-Erich, Prof. Dr.
Die Watten der deutschen Nordseeküste 64
The Tidal Flats on the German North Sea Coast 65

LUCK, Günter, Dr.-Ing.
Inseln vor der südlichen Nordseeküste 82
Islands in front of the Southern North Sea Coast 83

PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing.
Inseln vor der östlichen Nordseeküste 92
Islands along the Eastern North Sea Coast 93

PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing.
Die Ostseeküste zwischen Flensburg und der Lübecker Bucht 108
The Baltic Coast between Flensburg and the Lübeck Bay 109

KRAMER, Johann, Dipl.-Ing.
Küstenschutzwerke an der deutschen Nord- und Ostsee 122
Coast Protection Works on the German North Sea and Baltic Coast . . . 123

SINDERN, Josef, Dipl.-Ing.
Küsteningenieurwesen und Verwaltung 138
Coastal Engineering System Organisation and Administration 139

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Vorwort

Wie an vielen Küsten der Erde, hat sich auch an den Küsten der Nord- und Ostsee bereits früh mit der Entwicklung von Schiffahrt und Handel, Fischfang und Landwirtschaft menschliche, kulturelle Aktivität entfaltet. Durch die Erfordernisse des Hafenbaus, des Ausbaus von Schiffahrtswegen und des Küstenschutzes sind über die Jahrhunderte hinweg umfangreiche wasserbauliche Arbeiten durchgeführt worden. Damit ist es ein ingenieurwissenschaftliches Fachgebiet geworden, das heute im internationalen Sprachgebrauch als „Coastal Engineering" bezeichnet wird. Die sehr flache, erst in der jüngsten Erdgeschichte durch immense Sand- und Schlickablagerungen entstandene Nordseeküste zwischen den Niederlanden und der jütländischen Halbinsel mit ihren ausgedehnten Marschen und dem Problem säkularer Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels hat in diesem Zusammenhang ganz besondere und in vielen Ländern unbekannte wasserbauliche Probleme und entsprechende technische Lösungen gebracht.

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über nur vergleichsweise kleine Küstenabschnitte an der Nord- und Ostsee. Trotzdem bilden die wasserbaulichen Arbeiten zum Küstenschutz, zum Ausbau und zur Unterhaltung der Schiffahrtsstraßen, zur Entwässerung des Hinterlandes und zum Teil auch zur Landgewinnung wichtige und finanziell erhebliche Aufgaben. Pflege und Vertiefung des entsprechenden Fachwissens spielen eine bedeutende Rolle, sowohl im Bereich der zuständigen Wasserbauverwaltungen als auch auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Lehre und Forschung.

Das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) ist ein Gremium der für die wasserbaulichen Aufgaben an der Küste zuständigen Verwaltungen und hat sich der Förderung der praxisbezogenen wasserbaulichen Forschung im Küstengebiet angenommen. Es begrüßt daher ganz besonders, daß die „16. International Coastal Engineering Conference 1978" in Hamburg ausgerichtet wird und hofft, daß davon fruchtbare Impulse für die Küstenforschung unseres Landes ausgehen, aber auch, daß die aus zahlreichen Ländern angereisten Konferenzteilnehmer fachliche Anregungen und Eindrücke durch das Studium der an unseren Küsten bestehenden Probleme gwinnen.

In diesem Sinne ist das vorliegende Heft 32 der Schriftenreihe „Die Küste" der Coastal Engineering Conference 1978 in Hamburg gewidmet – es soll einen Überblick über unsere Küstenlandschaft, seine Geologie, seine Geschichte und seine wasserbaulichen Probleme geben.

Die Übersetzung der Aufsätze im vorliegenden Heft wurde von Herrn Fritz Kestner und seiner Frau, Oxford, durchgeführt. Ihnen sei dafür an dieser Stelle besonders gedankt.

Der Vorsitzende des Kuratoriums für Forschung
im Küsteningenieurwesen
Prof. Dr.-Ing. F. Zitscher

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Foreword

As on many other coasts throughout the world, the development of shipping and trade, fishing and agriculture on the North Sea and Baltic Coasts was accompanied by the growth of human cultural activities. Because of the requirements of harbour building, the maintenance of shipping lanes and of coast protection, an extensive number of hydraulic works were constructed over the centuries so that a specialised branch of engineering science grew up which is now internationally described as 'coastal engineering'. The very flat North Sea coast between the Netherlands and the Jutland peninsular was formed in the most recent period of the earth's history by immense deposits of sand and mud. The extended marshland and the problems of secular rises and falls of sea level associated with this have raised quite special coastal engineering problems, some of them unknown in other countries, and these have required appropriate technical solutions.

The Federal German Republic has only a comparatively short stretch of coast line on the North Sea and the Baltic Sea. In spite of this, the hydraulic engineering tasks of coast protection, constructing and maintaining shipping channels, draining the Hinterland, and to some extent land reclamation involve important tasks with considerable financial outlays. Cultivating and developing the specialised scientific knowledge required, plays an important role both in the field of the existing coastal engineering administration and in the area of scientific education and research.

The Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) is a Board which is responsible for the administration of hydraulic engineering tasks on the coast and which has interested itself in encouraging practical applied research in the coastal area. It therefore particularly welcomes the fact that the "16 International Coastal Engineering Conference 1978" is to be held in Hamburg, and hopes that it will give rise to a fruitful impulse to coastal research in Federal Germany but also that the conference delegates who have travelled from many countries may gain professional stimulation and impressions from the study of the problems along our coast.*

It is in this spirit that this volume of the professional journal "Die Küste" is dedicated to the Coastal Engineering Conference 1978 in Hamburg to give them a review of our coastal landscape, its geology, its history, and its hydraulic engineering problems.

The department wishes to thank Mr. & Mrs. Fritz Kestner of Oxford who translated the versions in this volume.

Chairman of the Kuratorium für Forschung
im Küsteningenieurwesen
Prof. Dr.-Ing. F. Zitscher

* *Coastal Engineering Board*

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Die Geschichte des deutschen Küstengebietes

Von Hans Rohde

1. Kurzer Abriß der politischen Geschichte

Die ersten schriftlich überlieferten Originalberichte über das Gebiet der deutschen Nordseeküste stammen von den Römern. Sie kamen erstmals am Ende des zweiten Jahrhunderts vor Chr. mit den germanischen Kimbern und Teutonen in Berührung. Man nimmt an, daß diese in Jütland lebenden Stämme ihr Siedlungsgebiet infolge der Wirkung von Sturmfluten verlassen haben. Auf ihrem Zug nach Süden bedrohten sie das Römische Reich, bis sie 101 und 102 v. Chr. in Südfrankreich vernichtend geschlagen wurden.

Nachdem Cäsar bis 51 v. Chr. Gallien erobert hatte, standen die Römer am Rhein und damit an der Grenze zu den germanischen Friesen, Chauken, Sachsen und Angeln, die im Nordseeküstengebiet seßhaft waren. Die Römer drangen in Germanien ein und bis zur Elbe vor, mußten sich aber nach der Schlacht im Teutoburger Wald wieder zurückziehen. Danach unternahmen sie noch manche Einfälle nach Germanien und drangen auch mit Schiffen in die Flußmündungen von Ems, Weser und Elbe ein. Aus dieser Zeit stammen Berichte über das Leben der Küstenbewohner von Plinius und Tacitus. In die Mitte des 1. Jahrtausends nach Chr. fällt die große germanische Völkerwanderung. Angeln und Sachsen zogen nach Britannien. Sachsen drängten aus dem Land nördlich der Elbe in das Gebiet zwischen Elbe und Weser sowie südlich des eigentlichen Küstengebietes bis an die Ems, während die Friesen weiterhin an der Küste von der Rheinmündung bis zur Weser lebten.

Nachdem schon am Ende der römischen Kaiserzeit das Christentum in Gallien Fuß gefaßt hatte, breitete es sich im 7. und 8. Jahrhundert auch in Friesland aus (Willibrord, Bonifatius). Klöster wurden gegründet, Kirchen gebaut, die zu Siedlungsmittelpunkten wurden. In diese Zeit fällt die Landnahme an der jütischen Westküste durch Friesen, die hier in ein Gebiet eindrangen, dessen Bevölkerung ausgedünnt war, vielleicht infolge des Auszugs der Angeln und Sachsen nach Britannien. Die Gründe für die friesische Auswanderung sind nicht bekannt; vielleicht wollten friesische Sippen der Christianisierung entgehen. Solche Auswanderungen aus religiösen Gründen hat es schon mehrfach gegeben; zum Beispiel sind im 17. Jahrhundert Menschen aus den Niederlanden ihres Glaubens wegen in das Land nördlich der Eider ausgewandert. Wegen der friesischen Besiedlung im 7. oder 8. Jahrhundert heißt das Küstengebiet nördlich der Eider heute noch Nordfriesland.

Am Ende des 8. Jahrhunderts vergrößerte der Frankenkönig Karl der Große sein Reich um das Gebiet der Sachsen; die Eider wurde die Nordgrenze dieses Reiches. Fränkische Kastelle wurden Keimzellen von Städten wie Hamburg oder Itzehoe, Bremen wurde schon 788 Bischofssitz. In dem gesamten Reichsgebiet wurde das Christentum gefestigt und die christliche Mission nun auch außerhalb des Reichsgebietes betrieben, nördlich der Eider in Nordfriesland und Dänemark, in Norwegen und Schweden (Ansgar). Nach der karolingischen Reichsteilung von Mersen 870 gehörte das Nordseeküstengebiet zum Ostfränkischen Reich und danach zum Deutschen Kaiserreich. Die unmittelbaren Landesherren waren seit dem Hochmittelalter die Grafen – später die Herzöge –

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The History of the German Coastal Area

By Hans Rohde

1. Brief outline of the political history

The earliest written reports about the German North Sea coastal areas have come down to us from the Romans. They first came in touch with the Germanic Cimbrians and Teutons at the end of the second century B. C. It is assumed that these tribes which lived in Jutland left their settlement area as a result of the effects of storm floods. In their movement towards the south they threatened the Roman Empire until they were defeated and annihilated in Southern France in 101 and 102 B. C.

After Caesar completed the conquest of Gaul in 51 B. C. the Romans were established on the Rhine and thus at the boundaries of the Germanic Freesians, Caucasians, Saxons and Angles who had settled in the area along the North Sea coast. The Romans pressed on into Germany and up to the Elbe but had to draw back after the battle in the Teutoburger Wald. After that they undertook various expeditions into Germany and penetrated into the estuaries of the Ems, Weser and Elbe by boat. The reports by Pliny and Tacitus of the way of life of the coastal inhabitants date from this period. The great Germanic migrations took place in the middle period of the first ten centuries A. D. Angles and Saxons withdrew to Britain. Saxons moved from the country north of the Elbe to the area between the Elbe and the Weser as well as south of the actual coastal area up to the Ems, while the Freesians continued to live on the coast from the Rhine estuary to the Weser.

After Christianity had already gained a foothold in Gaul during the period of the Roman Empire it spread to Friesland in the seventh and eighth centuries (Willibrord, Boniface). Monasteries were founded and churches built which became centres of settlements. The capture of land in the Juttish west coast by the Freesians falls into this period as they pressed into the area where the population had thinned out, perhaps as a result of the emigration of Angles and Saxons to Britain. The reasons for the Freesian migrations are not known. Perhaps Freesian tribes wanted to resist Christianization. Such migrations for religious reasons have already occurred a number of times. For example in the 17th century people from the Netherlands migrated to the country north of the Eider because of their religious beliefs. Because of the Freesian settlements in the 7th and 8th centuries the coastal area north of the Eider is still known today as North Friesland.

At the end of the 8th century Charlemagne the King of the Franks extended his empire into the Saxon's area. The Eider was the northern boundary of this empire. Frankish castles provided the nucleus of towns like Hamburg and Itzehoe. Bremen was already the seat of a bishop in 788. Christianity was consolidated throughout the empire and Christian missions were carried out beyond its boundaries, north of the Eider in North Friesland and Denmark, and in Norway and Sweden (Ansgar). After the division of Charles' Empire at Mersen in 870 the North Sea coastal area belonged to the East Frankish Empire and later to the German Empire. The direct rulers from the high middle ages were the Grafen (Earls) later Herzogs (Dukes) of Schleswig and Holstein for the lands North of the Elbe, the Archbishops of Bremen for the land between the

von Schleswig und Holstein für das Land nördlich der Elbe, der Erzbischof von Bremen für das Land zwischen Elbe und Weser sowie die Grafen von Oldenburg und Friesland westlich der Weser. Das gesamte Küstengebiet war fast ausschließlich Bauernland mit einigen kleineren Marktflecken.

Eine größere politische Neuordnung ergab sich erst nach dem 30jährigen Krieg. Das Land zwischen Elbe und Weser wurde schwedisch, das westliche Friesland Bestandteil der Vereinigten Niederlande, die 1648 vom Deutschen Reich unabhängig wurden. Die Grafschaft Oldenburg war zeitweise dänisch, die Grafschaft Ostfriesland kam 1744 zu Preußen. 1715 fiel das schwedische ehemalige Erzbistum Bremen an das Kurfürstentum und spätere Königreich Hannover. Mit Ausnahme von Schleswig-Holstein im Nordischen Krieg ist das deutsche Nordseeküstengebiet von den zahlreichen kriegerischen Auseinandersetzungen in Mitteleuropa zwischen dem Ende des 30jährigen Krieges und dem Ende des 18. Jahrhunderts verschont geblieben.

1803 besetzte Napoleon das Kurfürstentum Hannover, dann Oldenburg, das preußische Ostfriesland und die Hansestädte Bremen und Hamburg. Die Niederlande, das gesamte deutsche Nordseeküstengebiet bis zur Elbe und noch ein Streifen nach Lübeck wurden 1810 unmittelbarer Bestandteil des französischen Kaiserreiches. Die Herzogtümer Schleswig und Holstein kamen zu Dänemark. Die Insel Helgoland, von jeher zu Holstein gehörend, war 1807 von England annektiert worden. Bei der politischen Neuordnung Europas durch den Wiener Kongreß 1815 kam Ostfriesland zum Königreich Hannover. Nach dem preußisch-österreichischen Krieg 1866 wurden das Königreich Hannover und die Herzogtümer Schleswig und Holstein preußische Provinzen. Mit Ausnahme der oldenburgischen Küste an der Wesermündung und am Jadebusen sowie einer kurzen, zu Hamburg gehörenden Küstenstrecke bei Cuxhaven waren damit die gesamte deutsche Nordseeküste und die Ufer von Ems, Weser und Elbe preußisch. Helgoland wurde 1890 vom Deutschen Reich im Tausch gegen die ostafrikanische Insel Sansibar erworben.

Nach dem 2. Weltkrieg entstand nördlich der Elbe das Bundesland Schleswig-Holstein; aus dem ehemaligen Königreich Hannover einschließlich Ostfriesland und aus dem Großherzogtum Oldenburg wurde das Bundesland Niedersachsen. Die Städte Hamburg und Bremen wurden ebenfalls Bundesländer.

2. Der Kampf der Küstenbewohner gegen das Meer

Die klimatischen Verhältnisse werden schon in der Zeit um Christi Geburt ähnlich gewesen sein wie heute; westliche Winde waren vorherrschend. Sturmfluten zerstörten die Marschen, durch Sturmflutsedimentation kam es aber auch zur Bildung neuer Marschflächen an anderer Stelle. Die Marschen ragten im ersten Jahrtausend nach Christi Geburt weiter in die Nordsee vor als heute. Nach vorausgegangenen Oszillationen stieg in der 2. Hälfte des ersten Jahrtausends der mittlere Wasserstand an der Nordseeküste allmählich infolge Änderung großklimatischer Verhältnisse an. Die Marschengürtel wurden schmaler, die Überflutungen häufiger. Die Menschen, die bisher in rückwärtigen Teilen des unbedeichten Marschgebietes ihre Wohnplätze unmittelbar auf der Marschoberfläche anlegen konnten, mußten nun Warfen bauen und sie immer wieder erhöhen. Abb. 1 zeigt den Schnitt durch eine solche Warf[1]).

[1]) Warf oder Wurt: Aus Erde oder Stalldung aufgeschichteter Hügel.

Die Küste, 32 (1978), 1-155



Tafel I: Insel Baltrum vom Ostende Norderney her gesehen. Noch 1650 reichte das Westende Baltrums rd. 5 km weiter nach Westen. Die vor rd. 100 Jahren im Westen Baltrums errichteten Schutzwerke haben die endgültige Zerstörung der Insel verhindert. (Aufn. U. Muuß)

Plate I: The island of Baltrum seen from the eastern end of Norderney. As recently as 1650, the western end of Baltrum extended about 5 km further west. Protective works, built at its western end about 100 years ago, have prevented the final destruction of the island.

Die Küste, 32 (1978), 1-155



Tafel II: Entwässerungssiel und Kutterhafen an der Butjadinger Küste (Fedderwarder Siel). Die Siele dienen der Bewirtschaftung des Wasserhaushaltes der bedeichten Marschgebiete und der Abführung des ihnen zufließenden Oberflächenwassers der Geest. Die von den Sielen seewärts verlaufenden Außentiefs stellen die Verbindung zum tiefen Wasser her, durch welche die Kutter ihre Fischgründe erreichen. (Aufn. U. Muuß)

Plate II: Drainage sluice and fishing harbour on the coast of Butjading (Fedderwarder Sluice). The sluices are used for controlling the water level of the embanked marshes and for discharging the fresh water flow from the uplands. The outer channels seaward connect the sluices with deep water and are used by the fishing vessels to reach their fishing grounds.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Elbe and the Weser and the Grafen of Oldenburg and Friesland West of the Weser. The whole coastal area was almost entirely peasant land with a few small market towns.

The first large political re-organisation occured after the 30 years war. The land between the Elbe and the Weser became Swedish, and West Friesland part of the Netherlands Union, which became independent from the German Empire in 1648. The Grafschaft (Earldom) of Oldenburg was for a time Danish, that of East Friesland came to Prussia in 1744. In 1715 the Swedish former Archbishop's seat of Bremen fell to the Electorate, later Kingdom, of Hannover. With the exception of Schleswig-Holstein in the Nordic war the German North Sea coastal area was spared from the numerous warlike conflicts in central Europe between the end of the 30 years war and the end of the 18th century.

In 1803 Napoleon occupied the Electorate of Hannover, then Oldenburg, Prussian East Friesland, and the Hanseatic towns of Bremen and Hamburg. In 1810 the Netherlands, the whole German North sea coastal area up to the Elbe and even a strip as far as Lübeck became a direct part of the French Empire. The duchies of Schleswig and Holstein became part of Denmark. The island of Heligoland, which had up to then been part of Holstein was annexed by England in 1807. Under the political re-organisation of Europe by the Congress of Vienna in 1815 East Friesland came to the Kingdom of Hannover.

After the Austrian–Prusso war of 1866 the Kingdom of Hannover and the Duchies of Schleswig and Holstein became Prussian provinces. With the exception of the Oldenburg coast along the Weser estuary and along the Jade inlet as well as a short coastal strip beside Cuxhaven which belonged to Hamburg, the whole North Sea coast and the banks of the Ems, Weser and Elbe were Prussian. Heligoland was acquired by Germany in 1890 in exchange for the East African island of Zanzibar.

After the second world war the Federal state of Schleswig-Holstein was formed north of the Elbe; from the former Kingdom of Hannover including East Friesland and from the Grand Duchy of Oldenburg the Federal state of Lower Saxony was formed. The city of Hamburg and the city of Bremen also became Federal States.

2. The struggle of the coastal inhabitants against the sea

The climatic conditions were probably similar to those of today at the time of Christ's birth; the prevalent winds were westerly. Storm tides destroyed the marshes, but sedimentation following storm tides also formed new marshes in other positions. In the first ten centuries A. D. the marshes extended further into the North Sea than they do today. After earlier fluctuations the average sea level on the North Sea coast rose gradually between 500 and 1000 A. D. as a result of macro-climatic changes. The belt of marshland became narrower, the flooding more frequent. The people who up till then could build their dwellings directly on the upper parts of the marsh at the rear of the undyked marshes must now build "Warfen" and continually raise them higher. Fig. 1 shows a cross section through such a Warf[1]).

[1]) A Warf or Wurt: a mound or hillock constructed out of earth or stable manure.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Das an der deutschen Nordseeküste gelegene Marschland muß man sich als ein flaches, unbedeichtes Land vorstellen, das von vielen Prielen durchzogen war. Es reichte an der Westküste des heutigen Schleswig-Holsteins viel weiter nach Westen; die großen Meeresbuchten zwischen der Deltamündung von Rhein, Maas und Schelde im Westen und der Elbemündung im Osten waren nicht vorhanden. Wie das Marschland an der Westküste am Beginn des 2. Jahrtausends n. Chr. etwa ausgesehen haben mag, zeigt die Karte von Nordfriesland (Abb. 2) des Husumer Kartographen Johannes Mejer aus dem Jahr 1652. So wie in Nordfriesland wird es ähnlich auch in Dithmarschen, in den Elbmarschen und in den Marschgebieten zwischen Elbe und Rhein gewesen sein. Vor der west- und ostfriesischen Küste lag allerdings schon damals eine Kette von Düneninseln.

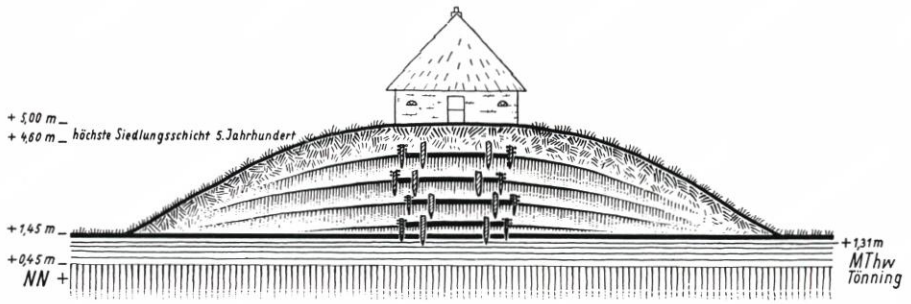


Abb. 1. Schematischer Schnitt durch eine Warf. Die erste Besiedlung erfolgte im 2. Jahrhundert n. Chr. auf der unbedeichten Marsch. Mit dem Steigen der Sturmflutwasserstände mußte die Warf im Laufe der folgenden Jahrhunderte immer wieder aufgehöht werden

Fig. 1. Schematic cross section through a "Warf" (see footnote P. 9). The first settlements took place in the 2nd century A.D. on undyked marshes. With rising storm flood water levels in the following centuries these "warfs" had to be raised higher time and again

In der Zeit um 1000 oder 1100 n. Chr. hat der Meeresspiegel wahrscheinlich einen besonders hohen Stand erreicht; danach begann er allmählich wieder abzusinken. Solange der Wasserstand noch anstieg, nahm der Meereseinfluß in der unbedeichten Marsch zu; die Priele wurden breiter und tiefer. Es war technisch nicht möglich, größere Priele zu durchdämmen und das gesamte Land durch Deiche zu schützen. Das konnte erst Aussicht auf Erfolg haben, als durch langsames Absinken des Meeresspiegels der Meereseinfluß zurückging und die Priele allmählich schrumpften. Daher setzte in den ersten Jahrhunderten nach der Jahrtausendwende überall an der deutschen Nordseeküste der Bau

---

Abb. 2. Karte von Nordfriesland um 1240 von dem Husumer Kartographen J. Mejer (1652). Die Karte ist in Einzelheiten zwar ungenau, gibt aber einen im allgemeinen wohl weitgehend zutreffenden Eindruck von dem Landschaftsbild der Westküste vor dem 14. Jahrhundert

Fig. 2. Map of North Friesland about 1240 by the Husum cartographer J. Mejer (1652). Although the map is inaccurate in detail, in general it gives a good broad impression of the west coast landscape before the 14th century

Die Küste, 32 (1978), 1-155



von Deichen ein. Sie gewährten den hinter ihnen liegenden Kögen[2]) Schutz gegen Sturmfluten. Im Laufe des 13. Jahrhunderts ist die Bedeichung der gesamten deutschen Nordseeküste weitgehend abgeschlossen gewesen. In den noch verbliebenen Prielen und in den Flüssen wird aber die Tidebewegung stärker geworden sein. Der Tidehub nahm zu, die Tidegrenze wurde stromaufwärts verschoben. Das von der See her bei Sturmfluten eindringende Wasser konnte sich nun nicht mehr durch das verzweigte Prielsystem über das ganze Land ausbreiten; es drängte sich in den wenigen großen Tidewasserläufen zusammen, mit höheren Wasserständen, vor allem bei Sturmfluten. Dieser stärkeren Belastung hielten manche der noch schwachen Deiche nicht stand, Deichbrüche waren die zwangsläufige Folge.

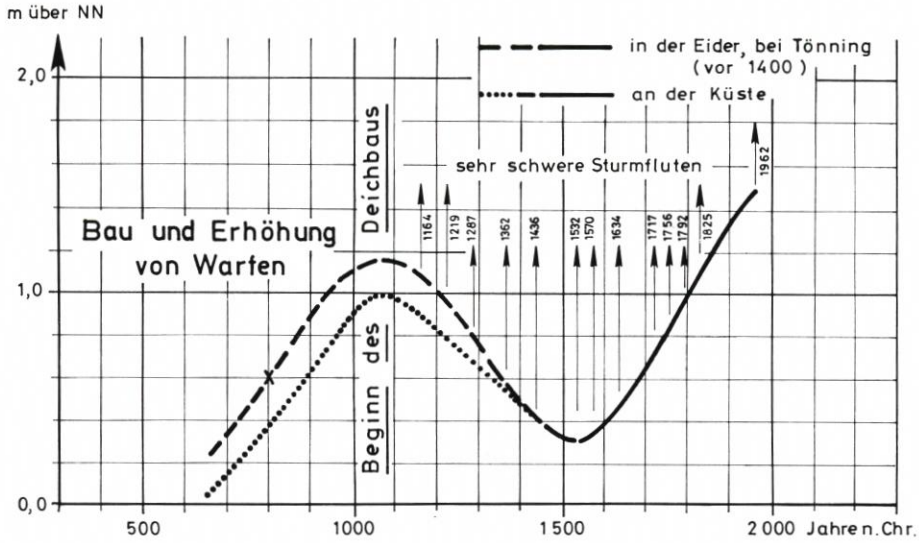


Abb. 3. Mutmaßliche Ganglinie des MThw seit etwa 650 n. Chr. Die gestrichelte Linie läßt sich aus archäologischen Funden an der Eider bei Tönning konstruieren (Wasserstand an der Elisenhofwarf um 800 auf NN +80 cm). Die Wasserstandsganglinie unmittelbar an der Küste wird niedriger gelegen haben, wie es die punktierte Linie andeutet

Fig. 3. Probable co-tidal line of HWMT from about 650. The dash line was constructed from archaeological excavations on the Eider near Tönning. (Water level at the Elisenhof "Warf" about 800 A.D. was NN +80 cm). The water level co-tidal line directly on the coast would have been lower as is indicated by the dotted line

Zwar sind auch aus den Zeiten vor dem Beginn des Deichbaus Sturmfluten bekannt, von besonders schweren Sturmfluten mit außergewöhnlich hohen Menschenverlusten und auch Verlusten an wertvollem Land wird jedoch erst aus Zeiten berichtet, in denen die Bedeichung der Küste schon weit fortgeschritten war. Die Überflutung eines Kooges infolge eines Deichbruches ist ein schwerwiegenderes Ereignis als die allmähliche Überschwemmung eines unbedeichten Landes. Bei einem Deichbruch tritt die Überflutung plötzlich ein; sie trifft auf Menschen, die sich hinter dem Deich verhältnismäßig sicher fühlen. So kann es eher zu schweren Verlusten an Menschenleben, Vieh und Sachgütern

[2]) Koog: Von Deichen umschlossenes, tiefliegendes Marschland.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

One must picture the marshland along the German North sea coast as a flat undyked area which was intersected by many creeks. On the west coast of present day Schleswig-Holstein it extended much further to the west; the large sea inlets between the estuarine deltas of the Rhine, Maas and Schelde in the west and the Elbe in the east did not exist. The map of North Friesland (Fig. 2) by the Husum Cartographer Johannes Mejer in the year 1652 shows how the marshland on the west coast may have looked soon after the tenth century A. D. In Dithmarschen, in the Elbmarschen and in the marsh areas between the Elbe and the Rhine it would have been very much the same as in North Friesland. In any case in front of the west and east Friesian coasts there already lay a chain of dune islands.

In the period around 1000 or 1100 A. D. the sea level had probably reached a particularly high level; thereafter it gradually began to fall again. As long as the water level was still rising, the effect of the sea on the undyked marsh increased; the creeks became broader and deeper. It was not technically possible to dam the larger creeks and protect the whole land area by dykes. This could only have some prospect of success as the sinking sea level reduced the effect of the sea and the creeks gradually shrank. Thus in the first centuries after the turn of the millennium everywhere along the German North sea coast dykes began to be built. They protected the polders (koog[2]) lying behind them from storm surges. In the course of the 13th century the embanking of the whole German North sea coast was largely completed. In the creeks which still remained and in the rivers, however, the tidal flow became stronger. The tidal range increased, the tidal limits were shifted upstream. The water forced in from the sea by storm surges could no longer spread out over the whole area through the branches of the creek system; it was concentrated in a few large tidal channels, with high water levels, especially during surges. These more powerful forces were more than the still weak dykes could withstand, the necessary result was that the dykes were breached.

Although it is true that in the period before the building of embankments, storm surges were also known, reports of exceptionally heavy storm surges with high loss of life and of valuable land are first reported in the period when the embanking of the coast was already far advanced. The sudden flooding of a polder as a result of a breach in a dyke is a much graver matter than the gradual inundation of unembanked land. With a breach in the dyke the flood breaks through suddenly; it hits people who have felt themselves relatively secure behind the dyke. This can more readily lead to heavy loss of life, cattle and property. While the unembanked marshes were mainly used for grazing livestock and were protected by a carpet of grassland, the embanked polders were largely used for arable farming. Flooding can more easily erode the topsoil from ploughed land. Arable farming requires deeper drainage and this led to greater subsidence of the marshland soil. As well as this peat was cut from some polders. So in spite of the fall of sea levels over the centuries the ground level in some polders lay below HWMT, and this could lead to permanent loss of land once a dyke had been breached. Fig. 3 shows the probable course of the co-tidal line of HWMT on the German North sea coast from about 500 A. D. until today.

It is thanks to literate Christian priests that from about the end of the tenth century A. D. we are supplied with information about storm surges. The priests may have kept a record of such information, because they interpreted such great misfortunes

---

[2]) Koog (polder): deep lying marshland enclosed by dykes.

kommen. Während in der unbedeichten Marsch vorwiegend Viehwirtschaft möglich und das Land überall von einer Rasendecke geschützt war, betrieb man im bedeichten Koog in großem Umfang Ackerbau. Bei Überflutungen kann die Oberfläche des Ackerbodens leichter erodieren. Für den Ackerbau wurde eine tiefere Entwässerung benötigt, die zu stärkeren Sackungen des Marschbodens führte. Außerdem wurde in manchen Kögen Torf abgebaut. So konnte trotz säkularem Absinken des Meeresspiegels die Landoberfläche in einigen Kögen unter MThw liegen, und es konnte nach Deichbrüchen zu bleibenden Landverlusten kommen. Abb. 3 zeigt den mutmaßlichen Verlauf der Ganglinie des MThw an der deutschen Nordseeküste von der Mitte des ersten Jahrtausends n. Chr. bis zur Gegenwart.

Den schriftkundigen christlichen Priestern ist es zu danken, daß etwa seit dem Ende des 1. Jahrtausends n. Chr. Nachrichten über Sturmfluten überliefert sind. Die Priester mögen derartige Mitteilungen aufgezeichnet haben, weil sie größere Unglücksfälle als Strafen Gottes deuteten und jede halbwegs schwere Sturmflut für die Marschbauern wegen der häufig auch nur örtlich angerichteten Schäden ein solcher Unglücksfall war.

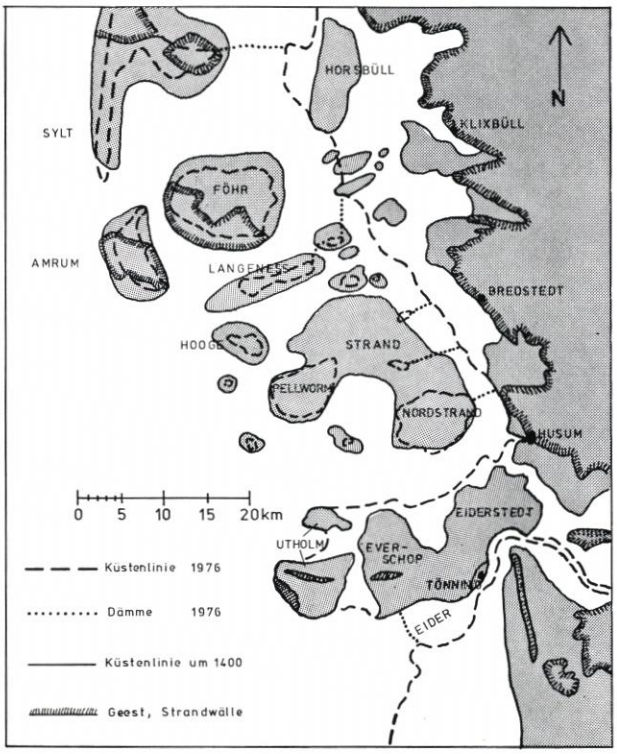


Abb. 4. Mutmaßliche Küstenlinie in Nordfriesland und dem nördlichen Dithmarschen am Ende des 14. Jahrhunderts. Zum Vergleich ist die heutige Küstenlinie eingetragen. Zwischen der Küstenlinie am Festland und den Inseln lag das von Prielen durchzogene Wattenmeer. Die Priele sind nicht dargestellt, da ihr damaliger Verlauf unbekannt ist

Fig. 4. Probable coastline in North Friesland and the northern Dithmarschen area at the end of the 14th century. The present day coastline is included for comparison. Between the coastline of the mainland and the islands lie the inter-tidal shallows intersected by creeks. The creeks are not shown since their courses at that time are not known



Abb. 5. Ehemaliges bedeichtes Ackerland im heutigen nordfriesischen Wattenmeer. Zu erkennen sind Pflugspuren, die lange Zeit von jungen Sedimenten bedeckt waren und durch neue Erosion freigelegt wurden

Fig. 5. Areas that were formerly dyked farmland in the North Friesian inter-tidal shallows. Traces of plough furrows can be recognised which were covered for a long time with early sediment and have been revealed by new erosion

as punishments from God and every even moderately severe storm surge was such a misfortune for the marshland peasants because of the heavy though often merely local damage. The following are known as particularly severe storm surges which flooded large areas of land in the whole coastal region and caused the loss of many thousands of lives: the Julian flood (17th February 1164), the first Marcellus flood (16th January 1219) and the Lucia flood (14th December 1287). The worst storm surge catastrophe, which took place in the German North Sea coast up to then was the second Marcellus flood of January 16th 1362. The chroniclers spoke of 100,000 dead which is surely an exaggeration. Wide areas were covered by water and in part lost for ever. The inlets of the Jade, Dollart, Harle and Ley were considerably enlarged. In North Friesland the flood advanced in some places as far as the edge of the sandy uplands. Large bights were cut out of the land, and some channels through tidal flats developed into arms of the sea. The whole present day outline of the German North Sea coast was largely shaped by this storm surge and generally by the floods of the 14th century. Even today one can find in some places in the North Friesian tidal flats traces of the drowned land: ditches and ploughed furrows (Fig. 5), well mouths lined with turf sods, bricks,

Als besonders schwere Sturmfluten, bei denen große Landflächen im gesamten Küstengebiet überflutet wurden und viele tausend Menschen ihr Leben verloren, sind bekannt die Julianenflut (17. Februar 1164), die erste Marcellusflut (16. Januar 1219) und die Luciaflut (14. Dezember 1287). Die größte Sturmflutkatastrophe, die die deutsche Nordseeküste bisher heimgesucht hat, war die zweite Marcellusflut am 16. Januar 1362. Die Chroniken sprechen von 100 000 Toten, eine Zahl, die sicherlich übertrieben ist. Weite Gebiete wurden überschwemmt und gingen zum Teil für immer verloren. Jadebusen, Dollart, Harle und Leybucht wurden stark vergrößert. In Nordfriesland drang die Flut stellenweise bis an den Geestrand vor (Abb. 4). Große Buchten wurden in das Land gerissen, einige Wattströme zu breiten Meeresarmen erweitert. Der gesamte heutige Verlauf der deutschen Nordseeküste ist weitgehend durch diese und weitere Sturmfluten des 14. Jahrhunderts geprägt worden. Noch heute findet man an manchen Stellen im nordfriesischen Watt Reste des untergegangenen Landes: Gräben und Ackerfurchen (Abb. 5), Brunnenringe aus Torfsoden, Ziegelsteine, Sielbalken, Scherben, Tier- und Menschenknochen. Diese Kulturspuren haben sich unter jungen Sturmflutsedimenten erhalten können, bis sie bei Erosionen in jüngster Zeit zum Vorschein kamen. Daß gerade die Sturmfluten des 14. Jahrhunderts so verheerende Folgen hatten, mag auch mit daran gelegen haben, daß die Bevölkerung durch die seit 1348 in ganz Europa grassierende Pest dezimiert und verarmt war und man daher die Deiche nicht sorgfältig genug unterhalten konnte.

Auch im 15. Jahrhundert hat es wieder sehr schwere Sturmfluten gegeben; die schwersten waren die Allerheiligenflut am 1. November 1436 und die Flut vom 6. Januar 1470. Die Küstenbewohner versuchten nun aber, einen Teil des ihnen entrissenen Landes zurückzugewinnen. Das Jahr 1362 wird daher symbolisch zugleich als Geburtsjahr der Landgewinnung angesehen. Überall an der deutschen Küste wurden Wiederbedeichungen in Angriff genommen. Unterstützt wurden diese Landgewinnungen sicherlich durch das weitere Absinken des mittleren Meeresspiegels bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts (Abb. 3).

In Nordfriesland entstanden neue Köge vor den Geesteinbuchtungen. Einige große Inseln wurden neu bedeicht. Dasselbe gilt für Eiderstedt und Dithmarschen. Die Verbindung zwischen Hever und Eider wurde in dieser Zeit nach und nach geschlossen. Wegen des tiefen Einbruchs der Eidermündung drang die Flut weiter eideraufwärts vor, auch oberhalb der Treenemündung wurden nun Deiche erforderlich. Abb. 4 läßt erkennen, welche Flächen in Nordfriesland vom 15. Jahrhundert bis heute dem Meer wieder abgerungen werden konnten. Etwa zur selben Zeit begann man am Jadebusen, in der Leybucht, in Butjardingen und in den Elbmarschen verlorenes Land wieder zu bedeichen. Abb. 6 zeigt die seit dem 15. Jahrhundert vorgenommene Eindeichung im Jade- und Unterwesergebiet und die früheren Meeresarme. Durch die Sturmflut vom 26. September 1509, die von Holland bis zur Weser viele Schäden anrichtete, erreichte der Dollart seine größte Ausdehnung. Danach setzte auch hier die Rückgewinnung verlorengegangenen Landes ein (Abb. 7). Sturmfluten behinderten natürlich die Landgewinnungsarbeiten. Als schwerste Sturmfluten gelten dabei die Allerheiligenfluten von 1532 und 1570.

Der Küstenschutz ist von Anfang an eine Gemeinschaftsleistung gewesen. Schon sehr früh haben sich die Bewohner sturmflutgefährdeter Gebiete zusammentun müssen, um Deiche und andere Schutzwerke zu bauen, ständig zu unterhalten und zu erweitern. Solche Zusammenschlüsse von Gemeinden lassen sich bis ins 11. Jahrhundert zurückver-



Tafel III: Multispektrale Scanner-Aufnahme des ERTS-Satelliten von Jade- und Weserästuar zur Unterscheidung von sandigen (= hellen) und schlickigen (= grünlich-dunklen) Watten. Schlick ist in Ufernähe und auf den Wattwasserscheiden angereichert.

Plate III: Multi-spectral scanner photograph from the ERTS-satellite of the Jade- und Weser-estuaries, distinguishing between sandy (light) and muddy (greenish-dark) tidal flats. Mud is more plentiful near the shore and along the inter-tidal water-shed.

timber from sluices, shards and human and animal bones. These traces of civilisation were able to be preserved under the early sediments of the storm floods until erosion brought them to light in very recent times. The fact that the storm floods of the 14th century had such very far reaching consequences may also in part be due to the fact that the plague which had been raging all over Europe since 1348 decimated and impoverished the population so that the dykes could not be maintained with sufficient care.

In the 15th century there were also exceedingly severe floods; the worst were the All Saints Day flood on November 1st 1436 and the flood of January 6th 1470. The coastal inhabitants, however, now tried to win back a part of the land which had been torn from them. The year 1362 was therefore also symbolically regarded as the year of the birth of land reclamation. Everywhere along the German coast rebuilding of dykes was set in motion. This land reclamation was certainly helped by the further sinking of mean sea levels up to the middle of the 16th century (Fig. 3).

In North Friesland new polders were formed in front of the places where the floods had cut into the sandy uplands. Some large islands were newly embanked. This also happened at Eiderstedt and Dithmarschen. The link between the rivers Hever and Eider was gradually closed in this period. Because of the deep breach the Eider estuary allowed the flood tide to penetrate further upstream in the Eider and dykes were also now required upstream of the mouth of the Treene. Fig. 4 shows which areas in North Friesland it was possible to reclaim from the sea from the 15th century to the present day. About the same time a start was made in reclaiming land that had been lost in the Jade inlet, the Ley bight, in Butjardingen and in the Elbe marshes. Fig. 6 shows the embankments built in the Jade and lower Weser area since the 15th centuries and the earlier arms of the sea. As a result of the storm floods of September 26th 1509 which caused much damage from Holland up to the Weser the Dollart achieved its greatest expansion. After that time the reclamation of land which had been lost also took place here (Fig. 7). Storm floods naturally hindered the work of reclamation. The worst storm surges in this respect were considered the All Saints Day floods of 1532 and 1570.

Coast protection has been a communal activity from the beginning. Quite early on those living in areas threatened by storm floods had to join together to build dykes and other protective works, and continually to maintain and extend them. One can trace such agreements between communities right back into the 11th century. Written documents, setting out the duties of the members of the dyke associations from the 15th century are still in existence; before then much was handed down verbally. The feudal lord ratified such legal directives; he had, after all, an interest in secure protection of the land from floods, so as to maintain his subjects' ability to pay their dues.

From the middle of the 16th century a secular rise in mean water levels is to be observed along the North Sea coast which averaged about 25 cm per century. As a result the peak water level of the worst storm floods became continually higher. For the first time in the 16th century and from then on the peak high water level of storm floods has been recorded. Regular measurement of water levels began in the 17th century in Hamburg and at the beginning of the 18th century in the Jadebusen. In spite of the gradual rise of water level the permanent losses of land as well as losses of human lives and of livestock were less than in the 14th century as the technical methods of coast protection were continually improving. Of course the dykes had to be constantly raised and strengthened against the higher peak levels of storm tides. A particularly

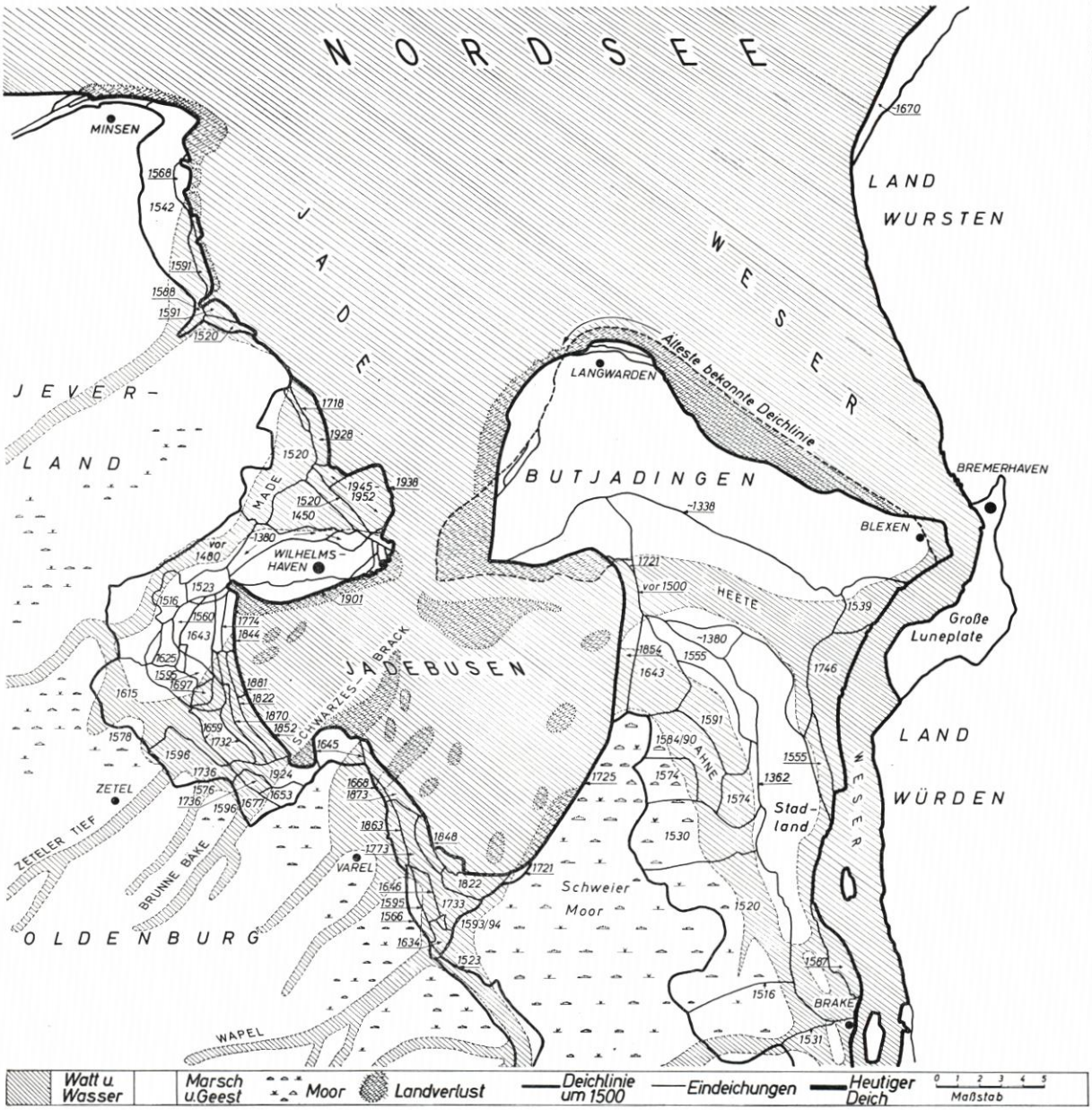


Abb. 6. Landverluste und Eindeichungen am Jadebusen und an der Unterweser
Fig. 6. Loss of land and embanking around the Jade inlet and the lower Weser

severe natural catastrophe, especially for North Friesland was the storm surge of October 1634. The island of Strand was inundated and split into the islands of North Strand and Pellworm (Fig. 4). Some 8400 people lost their lives.

The last really large storm flood catastrophe which effected the German North Sea coast was the Christmas flood of 1717. There are many reports of this. Some 6000 km² were inundated, 11,000 people died, 100,000 animals were lost and 5,000 houses destroyed. However, soon after the dykes were rebuilt better than before. They

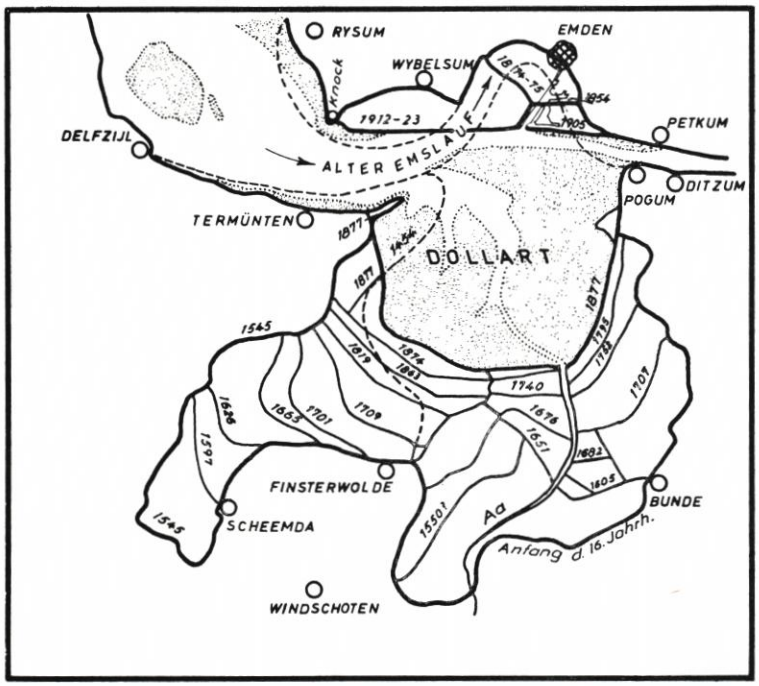


Abb. 7. Eindeichungen am Dollart seit dem 16. Jahrhundert und an der Ems bei Emden. Gestrichelt ist der Verlauf der Ems vor dem Einbruch des Dollart eingezeichnet

Fig. 7. Embanking on the Dollart since the 16th century and on the Ems near Emden. The course of the Ems before the break through of the Dollart is a dash line

could withstand the sometimes even higher storm tides of the remainder of the 18th century, although they reached exceptionally high levels in 1792/93. The next very bad storm surge occurred on 3/4 February 1825. Thanks to the now very secure dykes a smaller area of land was flooded than in 1717 but this flood still also killed 800 people.

The storm tides of the 19th century after 1825 and of the first half of the 20th century caused only slight losses. The storm flood of February 16/17 1962 is the first that can again be described as a very serious event for the whole German North Sea coast.

folgen. Schriftliche Urkunden, in denen die Pflichten der Deichgenossen aufgezeichnet waren, sind aus dem 15. Jahrhundert noch vorhanden; vorher wird vieles nur mündlich überliefert worden sein. Der Landesherr bestätigte solche Rechtsvorschriften, hatte er doch ein Interesse an einem sicheren Schutz des Landes vor Sturmfluten, damit die Steuerkraft seiner Untertanen erhalten blieb.

Von der Mitte des 16. Jahrhunderts an ist ein säkularer Anstieg des mittleren Wasserstandes an der Nordseeküste zu verzeichnen, der im Durchschnitt etwa 25 cm im Jahrhundert beträgt. Damit sind auch die Scheitelwasserstände der schwersten Sturmfluten immer höher geworden. Vom 16. Jahrhundert an sind erste Höhenangaben von Sturmflutscheiteln überliefert. Regelmäßige Wasserstandsmessungen begannen Ende des 17. Jahrhunderts in Hamburg und Anfang des 18. Jahrhunderts am Jadebusen. Trotz des allmählichen Anstiegs des Wasserstandes sind die bleibenden Landverluste und die Verluste an Menschenleben sowie an Vieh und Sachgütern auch bei den schwersten Sturmfluten geringer gewesen als im 14. Jahrhundert, da die technischen Mittel für den Küstenschutz immer besser geworden waren. Allerdings mußten die Deiche wegen der höheren Sturmflutscheitel ständig erhöht und verstärkt werden. Eine besonders schwere Naturkatastrophe, in erster Linie für Nordfriesland, war die Sturmflut vom 11. Oktober 1634. Die Insel Strand wurde überflutet und in die Inseln Nordstrand und Pellworm zerrissen (Abb. 4). 8400 Menschen verloren ihr Leben.

Die letzte wirklich große Sturmflutkatastrophe, die die deutsche Nordseeküste betroffen hat, war die Weihnachtsflut von 1717. Hierüber gibt es zahlreiche Berichte. 6000 km² wurden überflutet, 11 000 Menschen starben, 100 000 Stück Vieh kamen um, und 5000 Häuser wurden zerstört. Aber schon bald waren die Deiche besser wiederhergestellt als sie vorher waren. Sie konnten den teilweise noch höheren Sturmfluten des restlichen 18. Jahrhunderts trotzen, die 1792/93 eine besonders große Häufigkeit erreichten. Die nächste sehr schwere Sturmflut trat am 3./4. Februar 1825 ein. Dank der nun schon recht sicheren Deiche wurden weniger Landflächen überflutet als 1717. 800 Menschen fanden aber damals noch denTod.

Die Sturmfluten des 19. Jahrhunderts nach 1825 und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts brachten nur geringe Verluste. Erst die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 kann wieder als ein schwerwiegendes Ereignis für die gesamte deutsche Nordseeküste bezeichnet werden.

3. Die Entwicklung der Seeschiffahrt an der deutschen Nordseeküste

Die an der Küste ansässigen Friesen betätigten sich schon früh als seefahrende Kaufleute. Von der Rheinmündung aus unternahmen sie Fahrten über den Niederrhein ins Binnenland. Sie fuhren aber auch über See nach England, an die französische Atlantikküste und nach Skandinavien und gründeten in den Strommündungen und an den Küsten ihre Niederlassungen. Nördlichster Punkt des Rheinverkehrs war das friesische Dorestadt in der Nähe des heutigen Utrecht. Abb. 8 zeigt, stark schematisiert, den Seeverkehrsweg entlang der deutschen Nordseeküste und durch die Ostsee nach dem Handelszentrum Birka am Mälar-See. Die Schiffe hielten sich auf ihren Reisen dicht an der Küste. Der Verkehr zur Ostsee ging Eider und Treene aufwärts. Bei Hollingstedt fand ein Umschlag auf Landfahrzeuge statt, und an der Schlei war Haithabu in der Nähe des heutigen Schleswig Hauptstapelplatz. Dieser Verkehr von der Nordsee zur Ostsee durch

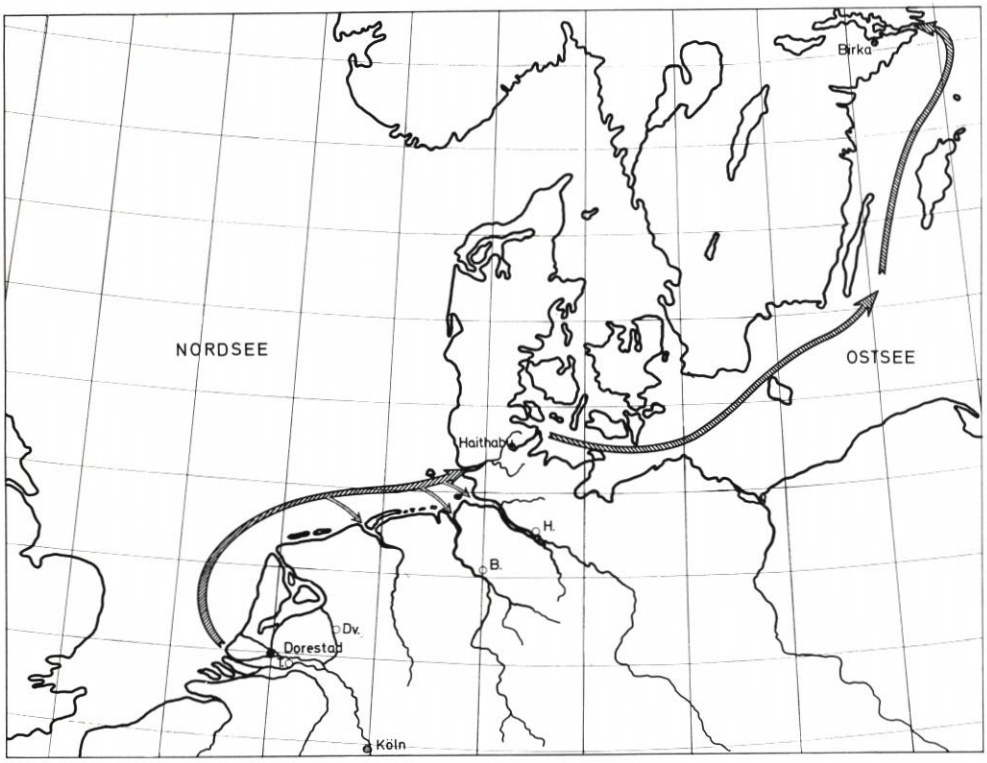


Abb. 8. Seeverkehrswege im frühen Mittelalter

Fig. 8. Sea trading routes in the early Middle Ages

3. The development of overseas shipping on the German North Sea Coast

The Friesians, who had settled on the coast, quite early on busied themselves as sea-going traders. From the Rhine estuary they undertook journeys inland through the lower Rhine. They also sailed across the sea to England, to the French Atlantic coast, and to Scandinavia and established their settlements on the river estuaries and along the coasts. The most northerly point of the Rhine traffic was the Friesian Dorestadt near present day Utrecht. Fig. 8 shows, very schematically, the sea traffic network along the German North Sea coast and through the Baltic to the trading centre of Birka on Lake Mälaren (in Sweden). The ships held close to the coast on their voyages. The voyage to the Baltic went upstream in the Eider and Treene. At Hollingstedt there was a changeover to land transport and Haithabu on the Schlei near the present site of Schleswig was the main staple trading place. This trade from the North Sea to the Baltic through the Cimbrian peninsular (Jutland) took place between the 7th and 11th centuries until the destruction of Haithabu.

In the meantime the towns of Bremen and Hamburg had developed in the 8th and 9th centuries and Emden in the 11th or 12th. Because of their favourable position relatively deep inland they became reloading points for trade from inland going over-

die kimbrische Halbinsel bestand etwa vom 7. bis zum 11. Jahrhundert, bis zur Zerstörung von Haithabu.

Inzwischen hatten sich im 8. und 9. Jahrhundert die Städte Bremen und Hamburg sowie im 11. oder 12. Jahrhundert Emden entwickelt. Sie wurden wegen ihrer günstigen Lage verhältnismäßig tief im Binnenland zu Umschlagplätzen für den Handel vom Binnenland über See und umgekehrt. Der Verkehr über See hatte zwei Richtungen: nach Skandinavien und dem Ostseeraum und zur Rheinmündung mit Utrecht als Haupthandelszentrum seit dem 11. Jahrhundert. Ursache für die große Bedeutung des Ostseehandels war vor allem die deutsche Ostkolonisation. Im 13. Jahrhundert hatten sich zahlreiche Städte in Deutschland und in den Nachbarländern zu dem mächtigen Bund der Hanse zusammengeschlossen. Emden hat diesem Städtebund nicht angehört. In der Blütezeit der Hanse (1370–1412) waren Gent und Brügge die Hauptumschlagplätze, die vom Rheinmündungsgebiet den Handel nach allen Richtungen vermittelten. Die Schiffahrt war auch noch zu dieser Zeit im wesentlichen Küstenschiffahrt.

Die Erstarkung der europäischen Nationalstaaten führte zum Niedergang der Hanse. Es kam zur Entdeckung des Seeweges nach Indien und Amerika. Die Kolonialmächte waren bestrebt, den neu entstandenen Überseehandel mit eigenen Schiffen und in den eigenen Häfen abzuwickeln. Einen direkten Überseehandel der deutschen Häfen gab es bis zum Ende des 18. Jahrhunderts fast nicht. In den Häfen von Spanien, Portugal und später von England und den Niederlanden fand meistens der Umschlag auf die Schiffe statt, die zu den deutschen Nordseehäfen fuhren. Die Mündungsstrecken von Elbe, Weser und Ems waren die Zufahrten zu den wichtigsten Häfen, in denen der Umschlag für den weiteren Verkehr in das Binnenland vorgenommen wurde. Für die verhältnismäßig kleinen Segelschiffe der damaligen Zeit war ein Ausbau dieser Flußstrecken nicht erforderlich.

Die großen Flüsse unterstanden seit dem frühen Mittelalter unmittelbar der Reichshoheit, dem Kaiser. Dieser konnte den Handelsstädten das Recht der Zollfreiheit für eigene und der Zollerhebung für fremde Schiffe auf den Flüssen verleihen. Damit wurde die Grundlage für die Entwicklung der Hafenstädte geschaffen. Hamburgs Freibrief wurde 1189 erteilt, der Emder Emszoll wird schon 1224 als Reichslehen erwähnt, und 1541 wird Bremens Herrschaft auf der Weser ausdrücklich bestätigt. Mit diesen Rechten wurde den Städten aber auch die Sorge für die Schiffahrt übertragen. Sie übernahmen es, die Schiffahrtswege mit Tonnen, unbefeuerten Baken (Abb. 9) und schließlich auch mit Leuchtfeuern zu bezeichnen. Die Entwicklung der Hafenstädte ist nicht stetig gewesen. Mit dem ständigen Wechsel der politischen und damit der wirtschaftlichen Verhältnisse gab es Blütezeiten und Notzeiten für Handelsschiffahrt und Hafenstädte. Kämpfe waren mit den an die Flüsse grenzenden Ländern zu bestehen, die durch Zölle auch einen Nutzen für sich aus der Schiffahrt ziehen wollten. Sturmfluten brachten auch den Hafenstädten große Schäden; so wurde Emden vom Hauptstrom der Ems abgeschnitten, als sich das Flußbett 1509 infolge einer Sturmflut verlegte (Abb. 7).

Erst nach Abfall der nordamerikanischen Kolonien vom Mutterland entwickelte sich von den Häfen an der deutschen Nordseeküste aus ein Überseeverkehr, in erster Linie nach Nordamerika. Die Entwicklung zum freien Weltverkehr wurde aber durch die Napoleonischen Kriege unterbrochen. Durch die Kontinentalsperre brach der gesamte deutsche Seehandel zusammen.

Nach 1815 kam es zu einer stürmischen Entwicklung des Seehandels und damit der Weltwirtschaft. In Deutschland wurden die Binnenzölle aufgehoben und der Zollverein gegründet. Durch die Erfindung der Dampfmaschine war eine großangelegte Industriali-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

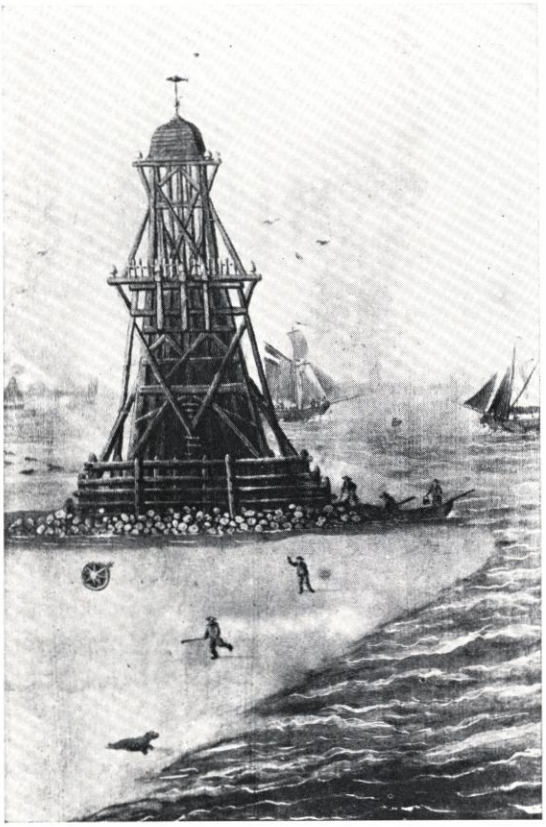


Abb. 9. Die Bremer Bake an der Wesermündung im 18. Jahrhundert
Fig. 9. The Bremer beacon in the Weser estuary in the 18th century

seas and vice-versa. The sea trade had two directions: to Scandinavia and the Baltic area and to the Rhine estuary with Utrecht as the main trading centre from the 11th century. The reason for the importance of the Baltic trade was primarily the German eastward colonisation. In the 13th century many towns in Germany and neighbouring countries joined together in the powerful Hanseatic League. Emden did not belong to this group of towns. In the heyday of the Hanseatic League (1370–1412) Ghent and Bruges were the main entrepôt ports which acted as middlemen in all directions for trade from the region around the Rhine estuary. Shipping at this time was still essentially coastal traffic.

The strengthening of European nation states led to a decline of the Hanseatic League. The sea routes to India and America were discovered. The colonial powers were trying to carry out the new international trade in their own ships and from their own ports. Up to the end of the 18th century there was practically no direct overseas trade from German ports. It was in ports in Spain and Portugal and later in England and the Netherlands that most goods were transferred on to ships that travelled to the North Sea ports. The estuary reaches of the Elbe, Weser and Ems were the entrances to the most important ports in which transfer for farther inland transport would take

sierung in England und bald auch in Deutschland möglich geworden. Rohstoffe mußten eingeführt werden, die Bevölkerung wuchs, Auswanderer zogen in großen Massen nach USA. Das alles belebte den Schiffsverkehr.

Für den zunehmenden Überseeverkehr waren größere und schnellere Schiffe nötig. Der Bau von eisernen Dampfschiffen setzte sich durch und zwang zu einem Ausbau der Mündungsstrecken der deutschen Tideströme. Um die Mitte des Jahrhunderts begann der Ausbau der Unterelbe, der bis heute immer weitergeführt wurde, um die Elbe immer größeren Schiffen anzupassen. Wegen der zunehmenden Schiffsgrößen und der Verschlechterung der Fahrwasserverhältnisse auf der Unterweser gründete Bremen 1827 einen neuen Hafen an der Mündung, Bremerhaven. Ab 1883 wurde dann die Unterweser vertieft und ausgebaut. 1845 wurde die Verbindung zwischen dem alten Hafen Emden und der Ems durch einen leistungsfähigen Hafenkanal hergestellt. Mit dem Ausbau der Schiffahrtsstraßen ging eine Verbesserung der Fahrwasserbezeichnung durch den Bau leistungsfähiger Leuchtfeuer einher.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

place. It was not necessary to improve these stretches of the rivers for the relatively small sailing ships of that period.

Since the early middle ages the larger rivers have been directly subject to the ruler of the empire, the Kaiser. He could grant trading cities the right to allow their own ships through without paying duties and to charge duties to other ships. This provided the basis for the development of the seaport cities. Hamburg's charter as a free city was granted in 1189, Emden was already mentioned in 1224 as entitled to collect duties on behalf of the Empire, and in 1541 Bremen's rights of control over the Weser were explicitly confirmed. Under these laws the care of shipping was also transferred to the cities. They undertook to mark the shipping channels with buoys, unlit beacons, and finally with lighthouses. The development of the ports was not continuous. With continual changes in political and therefore economic conditions there were periods of boom and slump for shipping trade and for the ports. Struggles were carried on with the countries bordering the rivers which also wanted to benefit from the shipping trade by levying duties on it. Storm surges also caused great damage to the ports: thus Emden was cut off from the main channel of the Ems as the river bed shifted as a result of the storm surge of 1509 (Fig 7).

Only after the break away of the North American colonies from the motherland did the German North Sea ports develop an overseas trade, primarily to North America. The development towards free world trade was however interrupted by the Napoleonic wars. The continental blockade caused the collapse of the whole of German overseas trade.

After 1815 there came a violent upsurge of sea trade and with it of the world economy. In Germany the internal tariffs were lifted and the Zollverein (customs union) was founded. The invention of the steam engine made possible large scale industrialisation in England and soon also in Germany. Raw materials had to be imported, the population grew, emigrants were drawn in large number to the U.S.A. All this revived the shipping trade.

Larger and faster ships were needed for this growing overseas transport. The building of iron steamships began and forced the improvement of the seaward stretches of the German tidal channels. The improvement of the lower Elbe, which is still going on today to accomodate even larger ships, began in the mid 19th century. In 1827, because of the increasing size of ships and the worsening conditions in the shipping channel in the lower Weser, Bremen founded a new port, Bremerhaven, seawards in the estuary. From 1883 the lower Weser was then deepened and improved. In 1845 a link was established between the old port of Emden and the Ems through an efficient ship canal. The improvement of shipping channels was accompanied by the improvement of navigation signals through the construction of efficient lighthouses.

Historische Zeittafel

Jahre	Ereignisse der europäischen Geschichte	Bedeutende Persönlichkeiten	Bedeutende Ereignisse für die deutsche Nordseeküste
150–	113–101 Kämpfe der Kimbern und Teutonen gegen Römer	Gaius Marius	Kimbern-Sturmflut
	59–51 Römer erobern Gallien	Julius Caesar † 44	Römer in Germanien bis zur Elbe
	9 Varus-Schlacht		
0–		Christi Geburt	Römische Schiffe in Ems, Weser und Elbe
	43/44 Römer erobern Britannien	Plinius * 23 † 79 Tacitus * 55 † 116	
		Kaiser Trajan (98–117)	
250–	*römische Kaiserzeit*		Besiedlung der Marschen in Nordfriesland
	313 Toleranzedikt	Kaiser Konstantin d. Gr. (306–337)	
	375 Hunneneinfall		
	Angeln und Sachsen nach Britannien	Kaiser Theoderich d. Gr. (493–533)	
500–	*Völkerwanderung*		Haithabu gegründet
	568 Langobarden in Italien		
		Mohammed 632 gestorben	Christliche Mission in Friesland und Sachsen
750–	787	Willibrord * 657 † 739	Friesen besiedeln Nordfriesland
	Wikingerzüge	Bischof Bonifatius (719–754)	788 Bremen Bischofssitz
	843/870 Reichsteilungen von Verdun und Mersen	Kaiser Karl d. Gr. (768–814)	820 Hamburg gegründet
		Bischof Ansgar (831–865)	Christliche Mission nördlich der Elbe
	874	Kaiser Otto I. (936–973)	845 Hamburg zerstört
1000–	1000 Wikinger entdecken Amerika	König Knut d. Gr. (995–1035)	Beginn des Deichbaus
	1066 Hastings, Normannen erobern England	König Wilhelm d. Eroberer * 1027 † 1087	
1100–	1096	Kaiser Heinrich IV. (1056–1106)	
			1143 Lübeck gegründet
1200–	1183 Friede zu Konstanz	Kaiser Friedrich I., Barbarossa (1152–1190)	1164 Sturmflut (Julianenflut)
	Kreuzzüge		1189 Zollfreiheit für Hamburger Schiffe auf der Elbe
	1241 Mongoleneinfall, Schlacht bei Liegnitz	Papst Innozenz III. (1198–1216)	1219 Sturmflut (Marcellusflut)
1300–	1291 Christen räumen Akkon	Kaiser Rudolf v. Habsburg (1273–1291)	1224 Emder Emszoll erwähnt
	1348–51 Die Pest in Europa		1287 Sturmflut (Luciaflut)
			1310 Turm auf Neuwerk

	1370 Friede von Stralsund	König Waldemar IV., Atterdag (1340–1375)	1362 Sturmflut (Marcellusflut) Beginn der Landgewinnung
1400–	*Blütezeit der Hanse* 1414–18 Konzil zu Konstanz		1391–98 Stecknitz-Kanal gebaut
	1453 Türken erobern Konstantinopel	Kaiser Maximilian I (1459–1519)	1436 Sturmflut (Allerheiligenflut)
1500–	1492 Amerika entdeckt	Christoph Columbus * 1451 † 1500	1489 Verbindung Hever – Treene abgedämmt
	1517 Reformation	Martin Luther * 1483 † 1546	1509 Emden von Ems abgeschnitten
	1529 Türken vor Wien	Kaiser Karl V. (1519–1556)	1532 Sturmflut (3. Allerheiligenflut)
	1555 Augsburger Religionsfriede	Queen Elisabeth I. (1558–1603)	1541 Hoheit Bremens über die Weser
	1588 Untergang der Armada	Galileo Galilei * 1564 † 1642	
1600–	1568–1648 Freiheitskampf der Niederlande	Wilhelm v. Nassau-Oranien † 1584	1570 Sturmflut (4. Allerheiligenflut)
	1618–48 Dreißigjähriger Krieg	Oliver Cromwell * 1599 † 1658	1630 erstes Leuchtfeuer (Helgoland)
	1652–54 Krieg England – Niederlande	König Gustav Adolf v. Schweden † 1632	1634 Sturmflut (Nordstrand!) erster „Fluthmesser“ in Hamburg
	1678 Friede von Nymwegen	König Louis XIV. (1643–1715)	
1700–	1683 Die Türken vor Wien	Isaac Newton * 1642 † 1727	1717 Sturmflut (Weihnachtsflut) Pegel am Jadebusen (Brahms)
	1700–21 Nordischer Krieg		
	1701–14 Spanischer Erbfolgekrieg	Adam Smith * 1723 † 1790	1739 Windmühlenbagger auf der Weser
	1756–63 Siebenjähriger Krieg	George Washington * 1732 † 1799	1777–84 Eiderkanal gebaut
	1776 USA unabhängig	James Watt * 1736 † 1819	
	1783 Friede von Versailles	König Friedrich II. v. Preußen (1740–1786)	1790 Hydrometr. Flügel (Woltman)
1800–	1786 Französische Revolution	Kaiser Napoleon I. * 1769 † 1821	1792/93 viele schwere Sturmfluten
	1806–08 Kontinentalsperre		
	1814/15 Wiener Kongreß	Otto v. Bismarck * 1815 † 1898	1816 erstes Dampfschiff auf der Elbe
	1833 Deutscher Zollverein		1825 Sturmflut
		Friedrich List † 1846	1827 Bremerhaven gegründet
	1848 Revolutionen		1834 Dampfbagger auf der Elbe
	1864 Schleswig-Holsteinischer Krieg	Abraham Lincoln † 1865	1845–49 Ausbau des Emder Hafens
	1866 Krieg Preußen – Österreich	Queen Viktoria (1837–1901)	1862 erster Schreibpegel
	1870/71 Krieg Deutschland – Frankreich	Kaiser Wilhelm I. (1871–1888)	1883–95 Unterweserkorrektion
1900–			1887–95 Nord-Ostsee-Kanal gebaut
	1914–18 I. Weltkrieg		

Chronological Table of History

Years	European Historical Events	Important Personalities	Important Events for the German North Sea Coast
150–	113–101 Fights of Cimbrians and Teutons against the Romans	Gaius Marius	Cimbrians-Storm Surge
	59–51 Romans conquer Gaul	Julius Caesar † 44	Romans in Germany up to the
0–	9 Battle of Varus	Birth of Christ	River Elbe
	43/44 Romans conquer Britain	Plinius * 23 † 79	Roman Ships on the rivers Ems, Weser
		Tacitus * 55 † 116	and Elbe
250–	*Period of the Roman Empire*	Emperor Trajan (98–117)	Settlement in the marches of
	313 Edict of Tolerance	Emperor Constantin the Great (306–337)	North Frisia
	375 Invasion by the Huns		
	Angles and Saxon move to Britain	Emperor Theodorus the Great (493–533)	Haithabu founded
500–	*Population Migrations*		
	568 The Langobards in Italy	Mohamed died in 632	Christian Mission in Frisia and Saxony
		Willibrod * 657 † 739	Frisians settle in North Frisia
750–	787		788 Bremen seat of a Bishop
	Migration of the Vikings	Bishop Boniface (719–754)	820 Hamburg founded
	843/870 Division of the Empire of Verdun and Mersen	Emperor Charlemagne (768–814)	Christian Mission north of the Elbe
		Bishop Ansgar (831–865)	
	874	Emperor Otto I (936–973)	845 Hamburg destroyed
1000–	1000 Vikings discover America	King Canute the Great (995–1035)	start of dyke building
	1066 Hastings, Norman conquest of England	William the Conqueror * 1027 † 1087	
	1096	Emperor Henry IV (1056–1106)	
1100–	1183 Peace of Constance		1143 Lübeck founded
		Emperor Frederick I, Barbarossa	1164 Storm Surge (Juliana Flood)
	Crusades	(1152–1190)	1189 No Customs-Duty for ships
			from Hamburg on the Elbe
1200–	1241 Invasion by the Mongoln	Pope Innocent III (1198–1216)	1219 Storm Surge (Marcellus Flood)
	Battle near Liegnitz		1224 Ems Duty for Emden referred to
		Emperor Rudolf of Habsburg	in documents
	1291 Christians evacuate Akkon	(1273–1291)	1287 Storm Surge (Lucia Flood)
1300–			1310 Tower on Neuwerk
	1348–51 The Plague in Europe		

1400–	1370 Peace of Stralsund *Flowering of the Hansa* 1414–18 Council of Constance 1453 Turks conquer Constantinopel	King Waldemar IV, Atterdag (1340–1375)	1362 Storm Surge (Marcellus Flood) Beginning of Land Reclamation 1391–98 Construction of the Stecknitz Canal
		Emperor Maximilian I (1459–1519)	1436 Storm Surge (All Saints Day Flood)
1500–	1492 America discovered 1517 The Reformation	Christoph Columbus * 1451 † 1500 Martin Luther * 1483 † 1546	1489 Connection between the rivers Hever and Treene dammed off 1509 Emden cut off from river Ems
	1529 The Turk in front of Vienna 1555 The religious peace of Augsburg 1588 Defeat of the Armada	Emperor Charles V (1519–1556)	1532 Storm Surge (3rd All Saints Day Flood) 1541 Bremen responsible for Weser
1600–	1568–1648 War of Liberation in the Netherlands 1618–48 Thirty Years War 1652–54 War between England and the Netherlands	Queen Elisabeth (1558–1603) Galileo Galilei * 1564 † 1642 William of Nassau Oranien † 1584 Oliver Cromwell * 1599 † 1658 King Gustav Adolf of Sweden † 1632	1570 Storm Surge (4th All Saints Day Flood) 1630 First Lighthouse (Heligoland) 1634 Storm Surge (Nordstrand!) First Tide Gauge in Hamburg
	1678 Peace of Nymwegen 1683 The Turks in front of Vienna	King Louis XIV (1643–1715) Isaac Newton * 1642 † 1727	
1700–	1700–21 Northern War 1701–14 Spanish War of Succession	Adam Smith * 1723 † 1790	1717 Storm Surge (Christmas Flood) Tide Gauge on the Jade Bay (Brahms)
	1756–63 Seven Years War 1776 Independence of the United States of America 1783 Peace of Versailles	Georg Washington * 1732 † 1799 James Watt * 1736 † 1819 King Frederick II of Prussia (1740–1786) Emperor Napoleon * 1769 † 1821	1739 Windmill Dredger on the Weser 1777–84 Construction of Eider Canal
1800–	1786 French Revolution 1806–08 Continental Blockade 1814/15 Congress of Vienna 1833 German Customs Union 1848 Revolutions 1864 Schleswig-Holstein. War 1866 War between Prussia and Austria 1870/71 War between Germany and France	Otto of Bismarck * 1815 † 1898 Frederick List † 1846 Abraham Lincoln † 1865 Queen Victoria (1837–1901) Kaiser William I (1871–1888)	1790 Velocity Meter (Woltman) 1792/93 Many severe Storm Surges 1816 First steamer on the Elbe 1825 Storm Surge 1827 Bremerhaven founded 1834 Steam Dredger on the Elbe 1845–49 Extension of the Harbour of Emden 1862 First Recording Tide Gauge 1883–95 Deepening and widening of Lower Weser 1887–95 Construction of Kiel Canal
1900–	1914–18 First World War		

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Zur Geologie der deutschen Nordseeküste

Von Hansjörg Streif und Rolf Köster

1 Geologie des Nordseebeckens

Die heutige Küstengestalt und die heute im Küstenraum wirksamen dynamischen Prozesse sind das vorläufige letzte Stadium einer wechselvollen und keineswegs abgeschlossenen geologischen Entwicklung. Im Vergleich mit vorausgegangenen Phasen z. T. sehr rasant ablaufender und einschneidender Veränderungen kann der augenblickliche Zustand aus geologischer Sicht als ein relativ stabiles Entwicklungsstadium betrachtet werden.

Mindestens seit dem Perm (300 Mio Jahre) ist das Nordseebecken ein epirogenetisches Senkungsgebiet, in dem sich mächtige Abfolgen mesozoischer und känozoischer Sedimente abgelagert haben. Ein geologischer Schnitt durch das Nordseebecken läßt die Zunahme der Sedimentmächtigkeiten vom Rand des Beckens zum Zentrum deutlich erkennen. Örtlich wird die Schichtfolge durch das Auftreten von Salzstöcken gestört, wobei mesozoische Gesteine durch salztektonische Bewegungen bis an die Meeresoberfläche herausgehoben werden. Ein Beispiel hierfür ist die Insel Helgoland, die aus Schichten des Buntsandstein besteht. Im Bereich der nördlich und östlich Helgolands vorgelagerten Abrasionsplattform streichen Schichten des Oberen Buntsandstein bis Oberkreide aus.

Die Entwicklung des Nordseeraumes im Quartär wurde durch starke klimatische Schwankungen bestimmt. Diese führten einerseits zu den Eisvorstößen der Elster-, Saale- und Weichsel-Vereisung, andererseits zu Meeresspiegelanstiegen bzw. -hochständen während der Interglazialzeiten und im Holozän.

Glaziäre Ablagerungen der *Elster-Vereisung* sind in Schleswig-Holstein und Niedersachsen weit verbreitet. Das Verteilungsmuster dieser Sedimente läßt den Schluß zu, daß das Nordseebecken bis auf die Höhe der Ems- und der Themsemündung eiserfüllt war. Südlich dieser Linie war die Nordsee eisfrei. Mit beginnendem Zerfall des Elster-Eises bildeten sich Schmelzwasserbecken, in denen limnische, vorwiegend tonig-siltige Sedimente in der Fazies des „Lauenburger Tones" abgelagert worden sind.

Im Verlauf des nachfolgenden *Holstein-Interglazials* (Elster-Saale-Interglazial) transgredierten über diesen älteren Bildungen die marinen Ablagerungen des Holsteinmeeres. Die Küstenlinie dieses ältesten quartären Meeresvorstoßes verlief vermutlich nördlich der Ostfriesischen Inseln und reichte buchtenartig tief in das Unterelbegebiet mit Ausläufern nach Westmecklenburg und ins südliche Schleswig-Holstein (Abb. 1). Während des Holstein-Interglazials hat der Meeresspiegel vermutlich ca. 5 m über dem heutigen Stand gelegen. Während der *Saale-Vereisung* war der gesamte Nordseeraum mit Eis erfüllt. Mit Ausnahme der hohen Bergrücken und der südlichen Landesteile waren auch Niedersachsen, Westfalen und das Niederrheingebiet eisbedeckt.

Im *Eem-Interglazial* (Saale-Weichsel-Interglazial) erfolgte eine neuerliche marine Transgression. Das Meer erreichte einen Höchststand, der im ostfriesischen Raum bei − 7 m NN, in Schleswig-Holstein bei maximal − 4 m NN beobachtet worden ist. Das marine Eem ist weniger weit verbreitet als das marine Holstein (Abb. 1), zeigt aber eine engere Übereinstimmung mit dem heutigen Küstenverlauf.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The Geology of the German North Sea Coast

By Hansjörg Streif and Rolf Köster

1 Geology of the German North Sea Basin

The present configuration of the coast and the dynamic processes at work in the coastal area today are the latest transitional stage of a changing and in no way completed geological process. In comparison with previous phases which were in part exceedingly rapid and incisive changes, the present situation can be considered a relatively stable stage of development from a geological point of view.

At least since the Permian (300 million years) the North Sea has been an area of epirogenetic subsidence, in which a thick succession of Mesozoic and Cenozoic sediments have accumulated. A geological cross section through the North Sea basin clearly shows an increase in the thickness of sediments from the edge of the basin to the centre. In some places the vertical sequence of the layers is disturbed by the occurrence of salt domes; in this way Mesozoic rocks are forced up by halokinetic movement right up to the surface of the sea bed. An example of this is the island of Heligoland which consists of layers of Bunter (red sandstone). There are outcrops of Upper Bunter and Upper Cretaceous rocks on the abrasion platform in northern and eastern Heligoland.

The development of the North Sea area in the Quaternary was determined by very sharp climatic fluctuations. These led on the one hand to the ice advances during the Elsterian, Saalian and Weichselian glaciations, and on the other hand to the rising sea levels or to high levels during the interglacial periods and the Holocene period.

Glacial deposits from the *Elsterian Glaciation* are widespread in Schleswig-Holstein and Lower Saxony. The pattern of distribution of these sediments leads to the conclusion that the North Sea basin was filled with ice as far south as the Ems and Thames estuaries. South of this Line the North Sea was free of ice. As the Elsterian ice began to break up, melt water basins began to from. Limnic, mainly clayey-silty sediment, was deposited in the facies of the "Lauenburg clay" in these basins.

In the course of the following *Holsteinian interglacial period* (Elster/Saale interglacial), the marine deposits of the Holstein sea transgressed over these older formations. The course of the coastline of this oldest Quaternary advance of the sea probably ran north of the East Friesian Islands and reached in the form of a bay deep into the lower Elbe area with outrunners to west Mecklenburg and southern Schleswig-Holstein (Fig. 1). During the Holsteinian interglacial period the sea level is presumed to have been about 5 metres above its present position.

During the *Saalian glaciation* the whole North Sea was filled with ice. With the exception of high mountain ridges and the most southerly part of the land, Lower Saxony, Westphalia and the lower Rhine area were also covered with ice.

During the *Eemian interglacial period* (Saale/Weichsel interglacial) there was a new marine transgression. The sea reached a high level, which has been observed in the East Friesian area as about – 7 m NN* and in Schleswig-Holstein about a maximum of

*) NN = corresponds approximately to the English O.D.

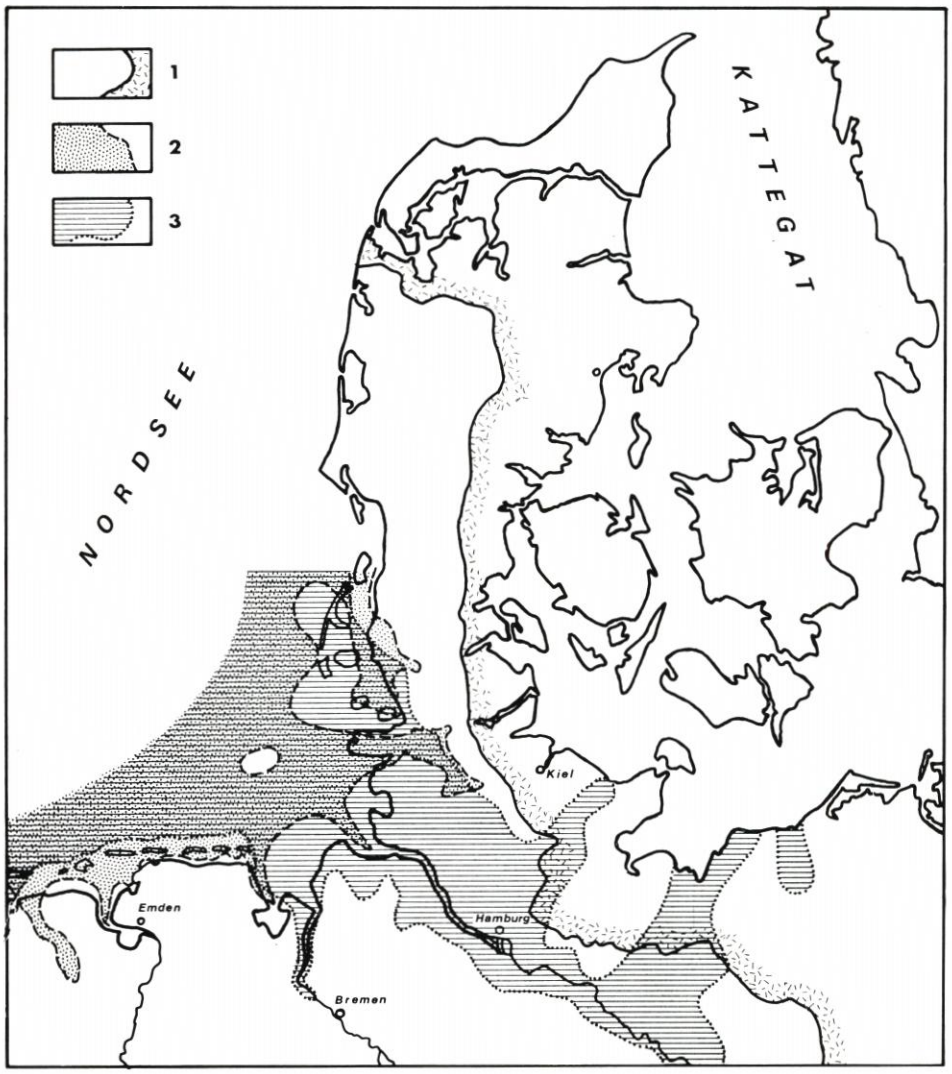


Abb. 1. Wichtige paläogeographische Einheiten in Norddeutschland und Dänemark. 1 = Verlauf der weichselzeitlichen Endmoräne, 2 = Verbreitung des Eem-Meeres, 3 = Verbreitung des Holstein-Meeres

Fig. 1. Important paleogeographic units in northern Germany and Denmark.
1 = course of the Weichselian end moraine; 2 = spatial extension of the Eem sea; 3 = spatial extension of the Holstein sea.

Während der *Weichsel-Vereisung* war der deutsche Nordseeschelf eisfrei. Die skandinavischen Gletscher reichten von Osten und Nordosten her fast bis an die Elbe. Von dort verlaufen die Weichsel-Endmoränen in nördlicher Richtung durch Schleswig-Holstein und Dänemark, wo sie südlich des Limfjordes nach Westen umbiegen und in die Nordsee ausstreichen. Ihnen entsprechen an der englischen Küste die Endmoränen des Devensian, die südlich des Wash die Nordseeküste erreichen.

Die Küste, 32 (1978), 1-155



Tafel IV: Scharhörn – Außensand des Neuwerker Watts in der Elbemündung. Das rd. 17 ha große, grüne Dünengebiet ist vor rd. 50 Jahren durch Sandfangmaßnahmen entstanden und heute bedeutender Brutplatz für Seevögel. (Aufn. U. Muuß)

Plate IV: Scharhörn-Outer Sand of the Neuwerk tidal flat in the Elbe estuary. The 17 hectares of green dune area came into being as a result of sand trapping carried out about 50 years ago. Today it is an important breeding ground for seabirds.

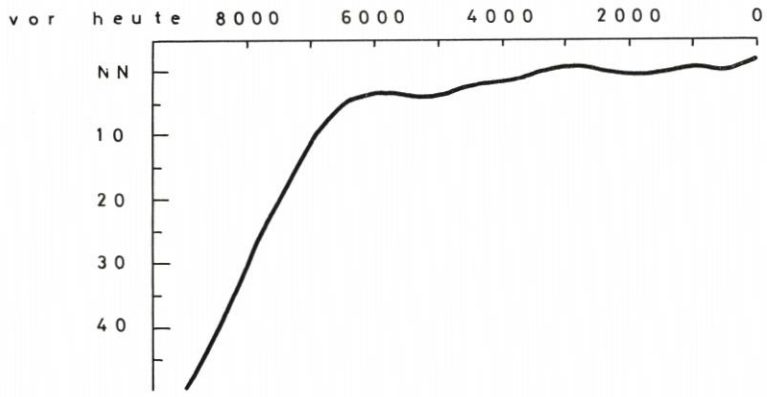


Abb. 2. Kurve des relativen Wasseranstieges an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein
Fig. 2. Curve showing the relative rise of sea level along the North Sea coast of Schleswig-Holstein.

— 4 m NN. The Eem sea was less widely spread than the Holstein sea (Fig. 1) but corresponded more closely with the present day coast line.

During the *Weichselian glaciation,* the German North Sea shelf was free of ice. The Scandinavian glacier stretched from the east and northeast almost to the Elbe. From there, the Weichselian end moraines ran north through Schleswig-Holstein and Denmark where they curved to the west, south of the Limfjord, and extended into the North Sea. These correspond to the Devensian end moraines on the English coast which reach the North Sea coast south of the Wash.

In the North Sea area, a lake of melt water developed during the maximum of Weichselian glaciation, resulting from the morphology of the sea bed. This fresh water lake discharged either directly to the north or through the English Channel south west into the Atlantic, and was independent of the world-wide eustatic minimum of about —100 m. This lake of melt water, which lay southeast of the Dogger Bank, served as a regional drainage basin for all the rivers of northwest Germany. Only after the world sea level had risen to about —45 m did the Holocene marine transgression phenomena begin in the German part of the shelf.

2 The rising sea level in the course of the Holocene period

The transgression during the Holocene period led to present conditions in the coastal area. The deepest lying transgressive overlap of marine sediments on a basal fen peat known up to now is to the south of the Dogger bank at a depth of —45.8 m. This has been dated by pollen analysis at 9000 years B.P.* Further comparable transgressive overlaps of marine sediments over basal fen peat are known at various levels above —45 m. This means that the basal peat was formed throughout the whole Holocene period.

*) Before the present, reference datum is 1950.

Im Bereich der Nordsee entwickelte sich während des Weichsel-Hochglazials – bedingt durch die Morphologie des Seebodens – ein Schmelzwassersee. Dieser Süßwassersee war vom eustatisch bedingten Tiefstand des Weltmeerspiegels von ca. −100 m unabhängig und entwässerte entweder direkt nach Norden oder durch den Ärmelkanal nach Südwesten zum Atlantik. Dieser südöstlich der Doggerbank gelegene Schmelzwassersee diente als regionale Vorflut der gesamten Flüsse Nordwestdeutschlands. Erst nachdem der Weltmeerspiegel auf etwa −45 m angestiegen war, begann im deutschen Schelfanteil das marine Transgressionsgeschehen des Holozän.

2 Der Meeresspiegelanstieg im Verlauf des Holozän

Die Transgression im Verlauf des Holozän führte zu den heutigen Verhältnissen im Küstenraum. Der bislang am tiefsten gelegene Transgressionskontakt mariner Sedimente über einem basalen Niedermoortorf ist von der südlichen Doggerbank aus einer Tiefe von −45,8 m bekannt und mit Hilfe der Pollenanalyse auf 9000 Jahre vor heute (v. h.) datiert worden. Weitere vergleichbare Transgressionskontakte von marinen Sedimenten über basalen Torfen sind aus der offenen Nordsee und den anschließenden Küstengebieten in unterschiedlichsten Tiefenlagen oberhalb von −45 m bekannt. Das heißt, basale Torfe haben sich im Verlauf des gesamten Holozän gebildet.

Etwa 8000 Jahre v. h. lag der Meeresspiegel noch bei etwa −20 m NN. Bis ungefähr 5000 Jahre v. h. stieg er schnell, danach unter Oszillationen langsam an. Bei diesem relativen Wasseranstieg wirken mehrere Vorgänge zusammen:

- ein weltweiter eustatischer Wasseranstieg durch das klimabedingte Abschmelzen der Eismassen,
- isostatische Ausgleichsbewegungen der Erdkruste als Folge der Entlastung durch das Abschmelzen des Eises,
- eine seit mindestens 300 Millionen Jahren zu beobachtende Senkung der Erdkruste im Bereich der Nordsee,
- Setzung der Sedimente in örtlich sehr unterschiedlichem Umfange und
- Gezeiten mit ihren örtlich und zeitlich wechselnden Tidekurven.

Deshalb kann es keine für alle Orte der deutschen Nordseeküste gültige Kurve des relativen Wasseranstieges geben. Die Transgression hat vielmehr je nach dem Zusammenwirken des Wasseranstieges mit dem Ausgangsrelief und dem verfügbaren Lockermaterial zu recht unterschiedlichen Küstenentwicklungen geführt. Als Beispiel wird in Abb. 2 eine an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste erarbeitete Kurve wiedergegeben.

3 Geologie des Küstenraumes

Während die marinen holozänen Sedimente in der offenen Nordsee mit Ausnahme der Riesenrippelfelder nur als dünner Schleier ausgebildet sind, treten im Küstenraum hohe Sedimentmächtigkeiten auf. Diese nehmen im Flachwasserbereich oberhalb 15 m Tiefe stark zu und erreichen in der Zone der Düneninseln sowie in den Ästuarien bis 30 m Mächtigkeit. Von dort aus nehmen sie in Richtung auf das pleistozäne Hinterland langsam ab. In einem küstennormalen Schnitt lassen sich innerhalb dieses holozänen Sedimentkörpers drei räumlich nebeneinanderstehende Einheiten unterscheiden (Abb. 3):

- ein „Klastischer Komplex“ (seewärtiger Teil)

Die Küste, 32 (1978), 1-155

About 8000 years B.P. the sea level lay at about −20 m NN. Up to approximately 5000 B.P. it rose rapidly, and after that slowly and with fluctuations. This relative rise in water levels was influenced by several events:

- a world wide eustatic rise in water levels caused by climatic changes melting the mass of ice,
- isostatic rebound of the earth's crust as a result of the reduction of the ice load,
- a sinking of the earth's crust in the North Sea area that can be observed over a period of at least 300 million years,
- consolidation of sediments to varying extents in different locations,
- tides with their changes in different localities and at different periods of time.

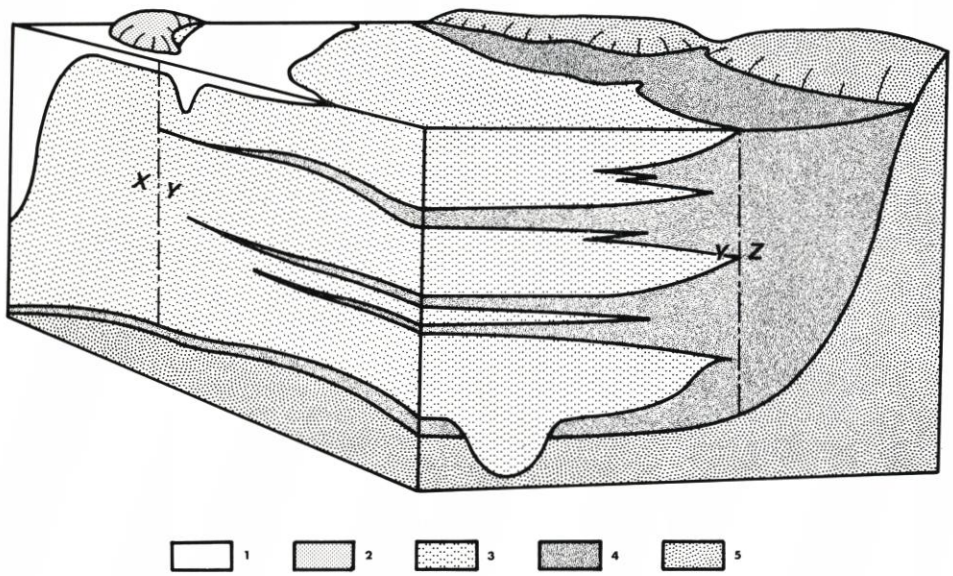


Abb. 3. Schematisches Blockbild des Küstenholozäns mit seinen lithologischen Einheiten: X = Klastischer Komplex, Y = Verzahnungskomplex, Z = Torfkomplex
1 = Wasser, 2 = Dünen (äolische Fazies), 3 = klastische Ablagerung (marine, brackische und lagunäre Fazies), 4 = Torfe, 5 = pleistozäner Untergrund

Fig. 3. Schematic block diagram of the coastal Holocene with its lithological units:
X = clastic complex, Y = interfingering complex, Z = peat complex.
1 = water; 2 = dunes (aeolic facies); 3 = clastic deposits (marine, brackish and lagoonal facies); 4 = peats; 5 = Pleistocene substratum.

Because of this it is not possible to draw up a curve of the relative rise in sea level which applies to all places along the German North Sea coast. The transgression has led to quite different coastal developments according to the joint effect of the rise in sea level, the original relief, and the available unconsolidated material. As an example Fig. 2 presents a curve worked out for the Schleswig-Holstein North Sea coast.

- ein „Verzahnungskomplex“ (Übergangszone, in der sich klastische Sedimente mit Torflagen verzahnen) und
- ein „Torfkomplex“ (Geestrandmoor.)

Innerhalb der Komplexe ist eine vertikale Gliederung in unterschiedliche Sequenzen durchführbar. Von dieser räumlichen Anordnung klastischer und organischer Sedimente gehen sämtliche Versuche aus, das Küstenholozän lithologisch, faziell und zeitlich zu gliedern. Trotz der Gleichartigkeit im Aufbau des holozänen Sedimentkörpers ergeben sich regionale Unterschiede, die im folgenden behandelt werden.

3.1 Regionale Entwicklung zwischen Ems und Elbe

Nach geographischen Gesichtspunkten ist diese Region zweigegliedert. Zwischen Ems und Jade ist ein System von Düneninseln ausgebildet, hinter denen sich Rückseitenwatten und Marschen ausbreiten. Östlich der Jade treten hochliegende Sandbänke auf mit offenen Watten bzw. mit Buchten- und Ästuarwatten im Bereich von Jadebusen, Weser- und Elbemündung. Auch hier schließen sich landwärts Marschen an.

Aus geologischer Sicht zeigen die genannten Gebiete eine einheitliche Entwicklung. Die Inseln und die Sandbänke sind beides Elemente eines ausgedehnten Barriere-Systems, das sich entlang der gesamten südlichen Nordseeküste von den Niederlanden bis Dänemark erstreckt. Dieses System setzt nördlich der Rhein-Maas-Mündung als geschlossener Strandwall ein, der bis Alkmaar/Niederlande reicht. Nach Nordosten und Osten schließt sich die Kette der Westfriesischen und Ostfriesischen Inseln an. Dann folgen bis zur Elbe und nördlich davon hochliegende Sandbank-Systeme. Im Raum Sylt, Föhr und Amrum werden diese von Inseln mit einem pleistozänen, z. T. auch tertiären

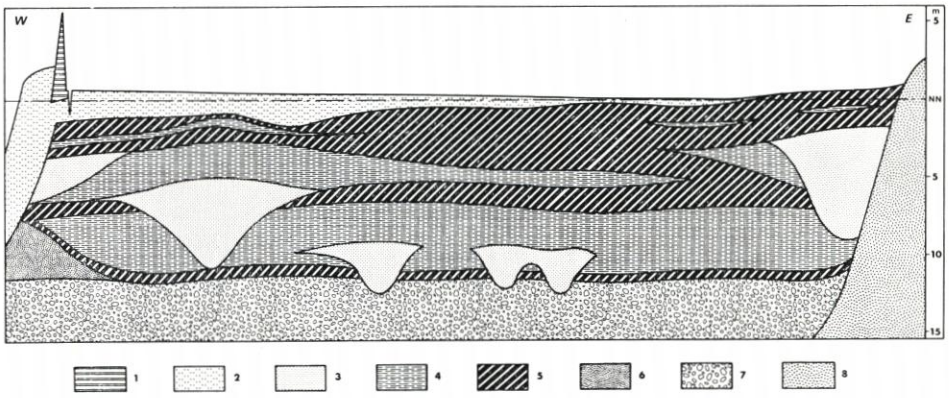


Abb. 4. Geologischer Schnitt durch den Ostteil des Wesertales zwischen Bremen und Bremerhaven. 1 = Deich, 2 = Wattsedimente, 3 = brackische Rinnenablagerungen, 4 = brackisch-lagunäre Sedimente, 5 = Torf, 6 = Flußranddünen eines Vorläufers der Weser, 7 = fluviatile Niederterrasse der Weser, 8 = Geest ungegliedert

Fig. 4. Geological section through the eastern part of the Weser valley between Bremen and Bremerhaven.
1 = dike; 2 = tidal flat deposits; 3 = brackish gulley deposits; 4 = brackish-lagoonal sediments; 5 = peat; 6 = river dunes of a former river Weser; 7 = fluvial Low Terrace of river Weser; 8 = Pleistocene hinterland

Die Küste, 32 (1978), 1-155

3 Geology of the coastal area

While, apart from the giant ripple fields, the marine Holocene sediments in the open North Sea merely form as a thin cover, in the coastal area there are considerable thicknesses of sediments. These increase in thickness in the shallow water area of less than 15 metres depth, and in the barrier island zone as well as in the estuaries reach thicknesses of 30 metres. From there, they gradually decrease towards the Pleistocene hinterland. A cross section normal to the coast makes it possible to distinguish three spatially adjacent units in this body of Holocene sediments (Fig. 3):

- a clastic complex (seaward part),
- an interfingering complex (a transitional zone in which the clastic sediments interlock with peat layers), and
- a peat complex (back swamp area).

Within the complex a vertical classification into various sequences can be traced. This spatial arrangement of clastic and organic sediments provides the basis for all the attempts at subdivision of the coastal Holocene with regard to lithology, facies or chronology. Despite the similarity in the sequences of Holocene sediments, there are regional differences which are dealt with below.

3.1 Regional development between the Ems and the Elbe

From the geographical point of view this region can be divided into two parts. Between the Ems and the Jade a system of barrier islands has developed. Sheltered tidal flats and marsh lands spread behind them. East of the Jade there are open tidal flats with high sand banks as well as bay or estuarine flats in the area of the Jade bay and the mouths of the Weser and the Elbe. In this area, too, three are marshes on the landward side of the flats.

From a geological point of view, this area shows a uniform development. Thus, the islands and sand banks are both elements of a barrier system which stretches along the entire southern North Sea coast from the Netherlands to Denmark. This system stretches from the Rhine-Maass estuary as a continuous barrier as far as Alkmaar in the Netherlands. To the northeast and east, it joins the chain of West Friesian and East Friesian Islands. There then follows a high lying system of sand banks up to the Elbe and to the north. In the area of Sylt, Föhr and Amrum, these sand banks are replaced by islands with Pleistocene, and in part Tertiary cores around which Holocene sands have been deposited. In Denmark the continuous barrier system is found again in front of the Ringköbing and Nissum Fjords. This pattern of distribution can be traced back to the tidal range. In tide free areas, or in coastal zones with small tidal ranges continuous barrier systems are built up. Towards the inner part of the German bight where the tidal range increases, these are broken and replaced first by barrier islands and then by a system of sand banks.

The *barrier islands* are formed predominantly of sandy sediments which lie on a pre-Holocene relief. A basal peat layer is often inserted between the two elements. This sequence shows a transgressive overlap of marine littoral facies above terrestial deposits and bog formations. The reason for this transgressive overlap is the relative rise of sea level in the course of the Holocene period in connection with a landward sand transport. Before the beginning of active coastal and island protection works by man, the

Inselkern abgelöst, um den sich holozäne Sande angelagert haben. In Dänemark folgen wieder geschlossene Barriere-Systeme im Bereich des Ringköbing- und des Nissum-Fjordes. Dieses Verteilungsmuster wird auf die unterschiedlichen Tidenhübe zurückgeführt. Im tidefreien Gebiet bzw. in Küstenzonen mit geringen Tidehüben bilden sich dabei geschlossene Barriere-Systeme. In Richtung auf den inneren Teil der Deutschen Bucht werden diese bei zunehmenden Tidehüben zunächst von Düneninseln und dann von Sandbank-Systemen abgelöst.

Die *Düneninseln* bestehen vorwiegend aus sandigen Sedimenten und lagern einem präholozän angelegten Relief auf, wobei sich vielfach ein Basaltorf zwischen beiden Einheiten einschaltet. Diese Abfolge zeigt ein transgressives Übergreifen der marin-litoralen Fazies über terrestrische Ablagerungen und Moorbildungen an. Ursache dieses transgressiven Übergreifens ist der relative Meeresspiegelanstieg im Verlauf des Holozän in Verbindung mit einem landwärts gerichteten Sandtransport. Vor Beginn des aktiven Insel- und Küstenschutzes durch den Menschen waren die Inseln in ihrer Lage und Gestalt ausschließlich von dem Meeresspiegel-Anstiegsgeschehen sowie den Kräften von Seegang, Brandung und Tideströmen bestimmt. Mit größter Wahrscheinlichkeit haben in früheren Stadien der holozänen Küstenentwicklung Barriere-Systeme bestanden, die seewärts vor der heutigen Inselkette gelegen haben.

Die ältesten bislang datierten Basaltorfproben aus dem Bereich des Inselsockels von Baltrum und Langeoog stammen aus dem Tiefenbereich zwischen −22 und −16 m NN und sind auf etwa 8000 v. h. datiert. Oberhalb der Basaltorfe sind in den sandigen Sedimentkörpern der Inseln datierfähige Schichten erst wieder ab etwa −1,5 m NN anzutreffen. Aus ihrem Alter ergab sich, daß um 1450 v. h. schon Vorformen der heutigen Insel Wangerooge bestanden haben müssen.

Das morphologisch auffallendste Element der Inseln sind die bis 20 m hohen Dünen. Sie stehen mit dem Barriere-System in einem engen, aber indirekten Zusammenhang. Erst nach Entstehung einer hochwasserfreien Plate wurden die Dünen als äolische Bildungen dem marinen Unterbau aufgesetzt. Dabei wird bei Niedrigwasser Sand aus dem nassen Strand ausgeblasen und unter Mitwirkung der Vegetation zu Dünen aufgehäuft.

Eine ähnliche Entwicklung wie die Ostfriesischen Inseln haben die hochliegenden Sandplaten zwischen Jade und Elbe durchlaufen.

Die *Wattgebiete und Marschen* bilden eine Übergangszone, in der sich verschiedene Wattfaziesbereiche mit lagunären und limnischen Absätzen sowie Torfen verzahnen. Diese Sedimente lagern einer alten Oberfläche auf, deren Morphologie recht genau bekannt ist. In Gebieten hochliegenden Pleistozäns ist infolge fluviatiler Erosion und äolischer Akkumulation ein vorherrschend wellig-kuppiges Relief mit einzelnen eingeschnittenen Rinnen ausgebildet. In den Flußtälern von Ems, Weser und Elbe ist die Holozänbasis als eine ebene, seewärts geneigte Fläche ausgebildet. Sie entspricht dort der Oberfläche der weichselzeitlichen Niederterrasse (Abb. 4).

Die marine Transgression des Holozän stieß zunächst in die oben erwähnten Flußtäler und -rinnen vor. Dabei kam es teils zu kontinuierlichen Übergängen von semiterrestrisch-limnischer Fazies zum brackisch-marinen Milieu, teils aber auch zu erheblichen Erosions-, Umlagerungs- und Resedimentationsvorgängen.

Mit weiter ansteigendem Meeresspiegel breitete sich der marine Einfluß über die tiefliegenden Regionen hinausgreifend flächenhaft aus. Im seewärtigen Teil gelangten dabei feinsandig-schluffige, meist kalkreiche Wattsedimente zum Absatz bzw. schluffig-tonige Brackwasserbildungen mit unterschiedlichem Kalkanteil. Landwärts folgen tonige,

Die Küste, 32 (1978), 1-155

position and shape of the islands was entirely determined by the phenomena related to the rising sea level, the strength of the wave action, breakers, and tidal flows. It is most probable that in the earlier stages of the Holocene coastal development, barrier systems existed which lay seaward of the present day chain of islands.

The oldest basal peat samples dated up to now come from the area at the base of the islands of Baltrum and Langeoog from depth between −22 and −16 m NN and are dated at about 8000 B.P. Above the basal peat, layers which can be dated are found in the sandy body of the islands only at about −1.5 m NN. Their age indicates that earlier forms of the present island of Wangerooge must have already existed about 1450 years ago.

The most striking morphological element of the islands are the dunes up to 20 metres high. They have a close, but indirect relationship to the barrier system. Only after the formation of a bank which was above high water level did the dunes build up as wind borne formation on the top of a marine substructure. Thus at low water, sand was blown up from the wet beach and with the help of vegetation accumulated into dunes.

The high lying sand banks between the Jade and the Elbe have developed in a similar way into the East Friesian Islands.

The *tidal flats and marshes* form a transitional zone in which various tidal flat facies interlock with lagoonal and limnic deposits and peat. These sediments lie on top of an old surface of which the morphology is exactly known. In the high-lying Pleistocene areas, fluvial erosion and wind-born accretion have formed a rounded wavy relief cut through by separate channels. In the river valleys of the Ems, Weser and Elbe the base of the Holocene has a level surface gently dipping seawards. It corresponds there to the surface of the fluvial Weichselian low Terrace (Niederterrasse) (Fig. 4).

The Holocene marine transgression advanced first into these river valleys and channels. At these places there is sometimes a continuous transition from semi-terrestial limnic facies to the brackish marine environment, and at others evidence of considerable processes of erosion, reworking and redeposition.

With further rises in sea level the marine influence spread laterally over the low lying regions. Fine sandy silty tidal flat sediments, mostly rich in lime, were deposited in the seaward part, or silty clayey brackish water deposits with varying lime content. To the landward follows clayey, mainly lime – free sediments with high organic components, and then muds and semi-terrestial peats. The point of time when marine influenced sedimentation began varies from place to place, according both to its level and how exposed the deposition area was to the sea.

The transgression began somewhere between 7200 and 6000 B.P. This landward advance came to an end at about 5800 B.P. and was replaced by regressive tendencies. Thus peat layers spread seawards from the back swamp area over clastic sediments. This process introduced a phase of development which led to an intensive inter fingering of peat and clastic sediments. The formation of these peat intercalations accelerated from about 5500 B.P. and continued till 2600 B.P. After that peat deposits were formed only to a limited extent until about 1600 B.P., while at the same time the marine influences again became dominant.

The intercalated peat layers were originally interpreted as indications of temporary falls in sea level. More recently it has been considered that these peats can also be formed during rising sea levels, if the rate of growth of the peat bog is higher than the

überwiegend kalkfreie Sedimente mit hoher organischer Komponente, ferner Mudden und semiterrestrische Torfe. Der Zeitpunkt beginnender marin beeinflußter Sedimentation liegt von Ort zu Ort unterschiedlich früh, je nach Höhenlage und nach Exposition des Ablagerungsgebietes zur See hin.

Die Transgression begann etwa zwischen 7200 und 6000 v. h. Dieser landwärts gerichtete Vorstoß endete etwa um 5800 v. h. und wurde durch regressive Tendenzen abgelöst. Dabei breiteten sich, vom Geestrandmoor ausgehend, Torflagen seewärts über klastische Sedimente aus. Dieser Prozeß leitete eine Entwicklungsphase ein, während der es zu einer innigen Verzahnung von Torfen und klastischen Sedimenten kam. Die Entstehung dieser Torfeinschaltungen setzte in stärkerem Umfang ab ca. 5500 v. h. ein und dauerte bis 2600 v. h. an. Danach bildeten sie sich nur noch in geringerem Umfang bis etwa 1600 v. h., während gleichzeitig der marine Einfluß erneut dominierend wurde. Die eingeschalteten Torfe wurden ursprünglich als Anzeichen zeitweiliger Meeresspiegelabsenkungen gedeutet. Neuerdings geht man davon aus, daß diese Torfe sich auch bei steigendem Meeresspiegel bilden können, sofern die Moorwachstumsrate höher ist als die zeitlich entsprechende Meeresspiegel-Anstiegsrate. Eine vorübergehende Absenkung des Meeresspiegels erscheint im Gebiet zwischen Ems und Elbe für die Zeit um Christi Geburt weitestgehend als gesichert. Begründete Vermutungen liegen für eine weitere Absenkungsphase zwischen 3200 und 2800 v. h. vor.

Mit dem Beginn des Deichbaus um ~ 1000 n. Chr. ging die natürliche Küstenentwicklung zu Ende. Es kam jedoch auch danach zu wiederholten Meereseinbrüchen, die sehr wesentlich zur Gestaltung der heutigen Küstenkonfiguration beigetragen haben. Der Deichbau und insbesondere die in seiner Folge notwendig gewordene künstliche Entwässerung des Hinterlandes haben die Auswirkungen dieser jungen Einbrüche z. T. verschärft. Durch die künstliche Entwässerung traten besonders in Gebieten mit tonigen Sedimenten und Torfen erhebliche Setzungen auf, die die ursprüngliche Oberfläche dieser Regionen tiefer gelegt haben. Bei einem Deichbruch im seewärtigen Bereich konnte das Meer dadurch ungehindert weit in die Hinterländer vordringen. Bezeichnenderweise liegen z. B. die Buchten des Dollart und des Jadebusens in ehemaligen Moorgebieten. Ihre Entstehung ist nur teilweise auf ein erosives Ausräumen des Torfes zurückzuführen, teilweise ist sie allein durch Kompaktion bedingt. Unter der Auflast eingefrachteter Sedimente wurden die setzungsfähigen Schichten derart zusammengepreßt, daß ihre Oberfläche unter den Meeresspiegel zu liegen kam.

Neben den heute noch vorhandenen Buchten des Jadebusens und des Dollart, deren Entstehung im 12. bzw. 13. Jahrhundert n. Chr. begann und die ihre maximale Ausdehnung im 14. bzw. 16. Jh. erreicht hatten, bestanden noch weitere Buchten, die inzwischen wieder verlandet sind. Vollständig abgeschlossen ist die Verlandung der Harlebucht. Von der Leybucht, die ihre größte Ausdehnung ebenfalls im 14. Jh. besessen hat, ist infolge der nachfolgenden raschen Verlandung nur noch ein kleiner Rest vorhanden.

Geologisch wirken diese Buchten als Sedimentfallen mit einer extrem hohen Sedimentations- und Verlandungsrate. Diese günstigen natürlichen Tendenzen wurden durch gezielte menschliche Eingriffe genutzt und erheblich verstärkt, so daß die verlorengegangenen Gebiete zum großen Teil zurückgewonnen werden konnten. Mit der sich rasch entwickelnden Technologie wurden die Baumaßnahmen der Vordeichung in zunehmendem Maße von den natürlichen Gegebenheiten unabhängiger.



Die Küste, 32 (1978), 1-155

Tafel V: Insel Helgoland in der Deutschen Bucht. (Aufn. U. Muuß)

Plate V: The island of Heligoland in the Bay of Heligoland.

Die Küste, 32 (1978), 1-155



Tafel VI: Blick über das Watt mit Prielen und Landgewinnungswerken, über die Deiche in die besiedelte Marsch bis hin zur Geest (Meldorfer Bucht). (Aufn. U. Muuß)

Plate VI: View across the tidal flats with creeks and land reclamation works towards the dykes and cultivated marshes as for as the uplands.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

corresponding rate of rise in sea level. A temporary fall in sea level in the area between the Ems and the Elbe at the time of Christ's birth is widely believed to be certain. There are good grounds for supposing a further phase of falling sea levels between 3200 and 2800 B.P.

With the beginning of dyke building about 1000 A.D. natural development of the coastline came to an end. However breaches by the sea since then have taken place which have contributed quite significantly to the formation of the present coastal configuration. The building of dykes, and especially the consequent necessity for artificial drainage of the inland area, to some extent increased the effect of these breaches. Artificial drainage led to considerable compaction and consolidation especially in areas with clayey sediments and peat. This had the effect of lowering the original surface of these regions. When a dyke was breached in the seaward area, the sea could penetrate unhindered far inland. The Dollart bay and the Jade bay are typical examples which lie in former peat bog areas. Their formation is only in part due to an erosive removal of the peat; it is partly also caused by compaction. Under the pressure of the load of sediment brought in, the layers which could settle were so pressed together that their surface came to lie below sea level.

In addition to the still existing Jade and Dollart bays which began in the 12th and 13th centuries and reached their maximum extent between the 14th and 16th centuries, other bays were formed which later filled up again. The accretion of the Harlebucht is totally completed. There is only a small remainder of the Leybucht, which also reached its maximum size in the 14th century, and which filled up rapidly thereafter.

Geologically, these bays act as sediment traps with extremely high rates of sedimentation and accretion. These favourable natural tendencies are made use of and powerfully re-inforced by purposeful human intervention, so that areas which have been lost to the sea can to a large extent be reclaimed. As technology rapidly develops, the construction of embankments is increasingly independent of natural conditions.

3.2 Regional development between the Elbe and the Danish border

The area of the present Schleswig-Holstein North Sea coast lay far nearer the edge of the Weichselian ice than the Lower Saxony coastal area. Its moraines lie in the east of Schleswig-Holstein. In the western part of the land periglacial processes with solifluction, wind-blown sand and the formation of pavements prevailed.

At the margin of the ice great quantities of melt water were released over broad sandur plains. In North Friesia, they stretch from the hilly Pleistocene hinterland to the area of the present coast. From this area, the melt water flowed directly northwest into the North Sea basin. The water from the sandur plain lying further to the south collected in valleys and finally flowed through the ice marginal valley of the Elbe to the main receiving basin. The former valley is still visible to some extent today in the relief of the North Sea bed.

The landscape in the present-day coastal area at the end of the last glaciation consisted partly of high-lying moraines and sandur plains sloping gently to the North Sea, partly of wide and deep valleys, such as the ice marginal valley of the Elbe, the Eider and Treene valleys, and also deep and narrow melt water and erosion channels.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

3.2 Regionale Entwicklung zwischen Elbe und dänischer Grenze

Das Gebiet der heutigen schleswig-holsteinischen Nordseeküste lag dem weichselzeitlichen Eisrand sehr viel näher als das niedersächsische Küstengebiet. Seine Moränen finden sich im Osten von Schleswig-Holstein. In den westlichen Landesteilen herrschten periglaziale Vorgänge mit Bodenfließen, Flugsandverwehungen und Bildung von Steinsohlen.

Am Eisrand wurden große Schmelzwassermassen frei, die weite Sanderflächen aufschütteten. In Nordfriesland erstrecken sie sich zwischen Geestkuppen bis in das heutige Küstengebiet. Aus diesem Raum wurden die Schmelzwässer direkt nach Nordwesten in das Nordseebecken abgeführt. Das Wasser der weiter südlich gelegenen Sanderflächen sammelte sich in Tälern, die schließlich über das Elbe-Urstromtal an die Vorflut angeschlossen waren. Die Täler zeichnen sich teilweise noch heute im Relief des Nordseebodens ab.

Am Ende der letzten Vereisung fanden sich im Bereich des heutigen Küstengebietes als Landschaftsformen teils hochliegende, flach zur Nordsee hin geneigte Moränen- und Sanderflächen, breite und tiefe Schmelzwassertäler – wie das Urstromtal der Elbe und die Schmelzwassertäler der Eider und Treene – und schließlich ebenfalls tiefe, aber schmale Schmelzwasser- und Erosionsrinnen.

Als Ergebnis dieser Ausgangsbedingungen und des Ablaufes der nacheiszeitlichen Transgression entstanden an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste drei sehr unterschiedliche Räume (Abb. 5):

- Dithmarschen und südliches Eiderstedt
- Nordfriesland und nördliches Eiderstedt
- die Geestkerninseln Sylt, Amrum und Föhr

Das Küstengebiet von *Dithmarschen* wird heute landwärts weithin von Steilufern begrenzt. Sie sind aber nur zum kleinen Teil der Tätigkeit des Meeres zu verdanken, sondern in erster Linie der Erosion durch Schmelzwasser. Der Geestrand fällt hier steil bis auf − 20 m NN ab. In diesem Gebiet wurde im Verlauf des gesamten Holozän nur wenig Schlick, aber viel Sand abgelagert. Von Geestvorsprüngen aus bildeten sich Haken und Nehrungen, die als „Donns" große Fächer bildeten. Ein anderer Haken reicht als „Lundener Nehrung" nach Norden, ein weiterer durchzieht etwa die Mitte von Eiderstedt von Westen nach Osten.

Im Schutz dieser Haken und Nehrungen bildeten sich große Lagunen und Moore, westlich von ihnen entstand erst nach längerer Sedimentationszeit verhältnismäßig spät ein Wattenmeer. Bis zur Zeit um Christi Geburt entstanden Marschen mit einer Höhe von + 1 bis + 2 m NN. Sie sind in den letzten 2000 Jahren nur noch selten überflutet worden. Größere Meereseinbrüche sind hier nicht erfolgt, die Küste hat sich durch ständig neue Anlandungen und Eindeichungen nach Westen verschoben.

In *Nordfriesland* bildeten sich demgegenüber in den tiefen, aber schmalen Tälern, in die die Nordsee früh und schnell eindrang, wie auf den höherliegenden, schwach nach Westen geneigten Sander- und Flugsandflächen in weiter Ausdehnung Brackwasserablagerungen, nahe am Geestrand auch Schilftorf: Nur im äußeren Teil des Sedimentationsraumes – der etwa im Gebiet des heutigen nordfriesischen Wattenmeeres liegt – war der Einfluß des Meeres auf die Sedimente stärker, und hier entstand auch schon früh ein erstes Wattenmeer.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

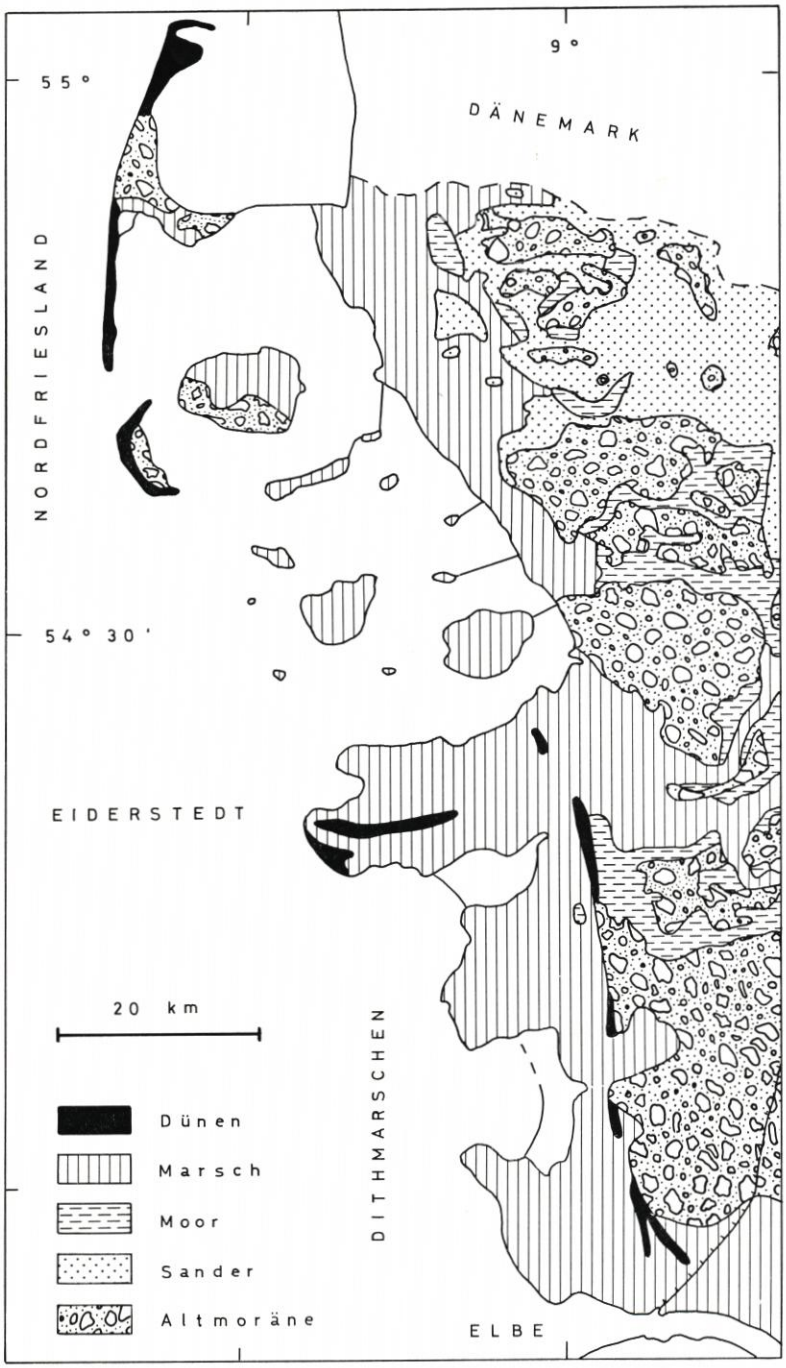


Abb. 5. Geologische Übersichtskarte des Nordseeküstengebietes von Schleswig-Holstein
Fig. 5. Geological sketch map of the North Sea coastal zone of Schleswig-Holstein

Abb. 6. Die Auswirkungen des Salztorfabbaus unter begrüntem Anwachs auf die Landschaftsentwicklung

Oben: Im Mittelalter wurden im Untersuchungsgebiet Torflager, die von begrüntem Anwachs bedeckt waren, zum Zwecke der Salzgewinnung abgebaut. Man schützte die Abbauflächen teilweise durch Kajedeiche, um die störenden Einflüsse von Überflutungen zu vermeiden. Der Salztorfgewinnung fielen große Landflächen zum Opfer.

Unten: Das Vordringen des Meereseinflusses wurde durch die Auswirkungen der Abbautätigkeit örtlich in stärkstem Maße begünstigt: Durch die Entfernung der Torfschichten gerieten beträchtliche Teile der Oberfläche unter das Niveau des MThw. Kajedeiche und stehengebliebene Landstreifen brachen bei Sturmflutüberschwemmungen zusammen, und die Abbaugebiete verwandelten sich in Wattflächen. Diese durch menschliche Tätigkeit verursachte Vergrößerung der bei Flut vom Wasser bedeckten Gebiete hatte u. a. einen verstärkten Uferabbruch durch ungehemmte Brandungseinwirkung zur Folge (Pfeile). Nur an geschützten Stellen wuchs neues Halligland über den Abbauflächen auf (vgl. Profil in Bildmitte und Abb. 50). Durch Überflutungssedimentation hat sich die Oberfläche des erhaltenen Halliglandes seit der Zeit des Torfabbaus beträchtlich erhöht (heutige Hallig).

Fig. 6: The effect of the removal of salty peat layers underlying the areas of salt marsh growth on the development of the landscape.

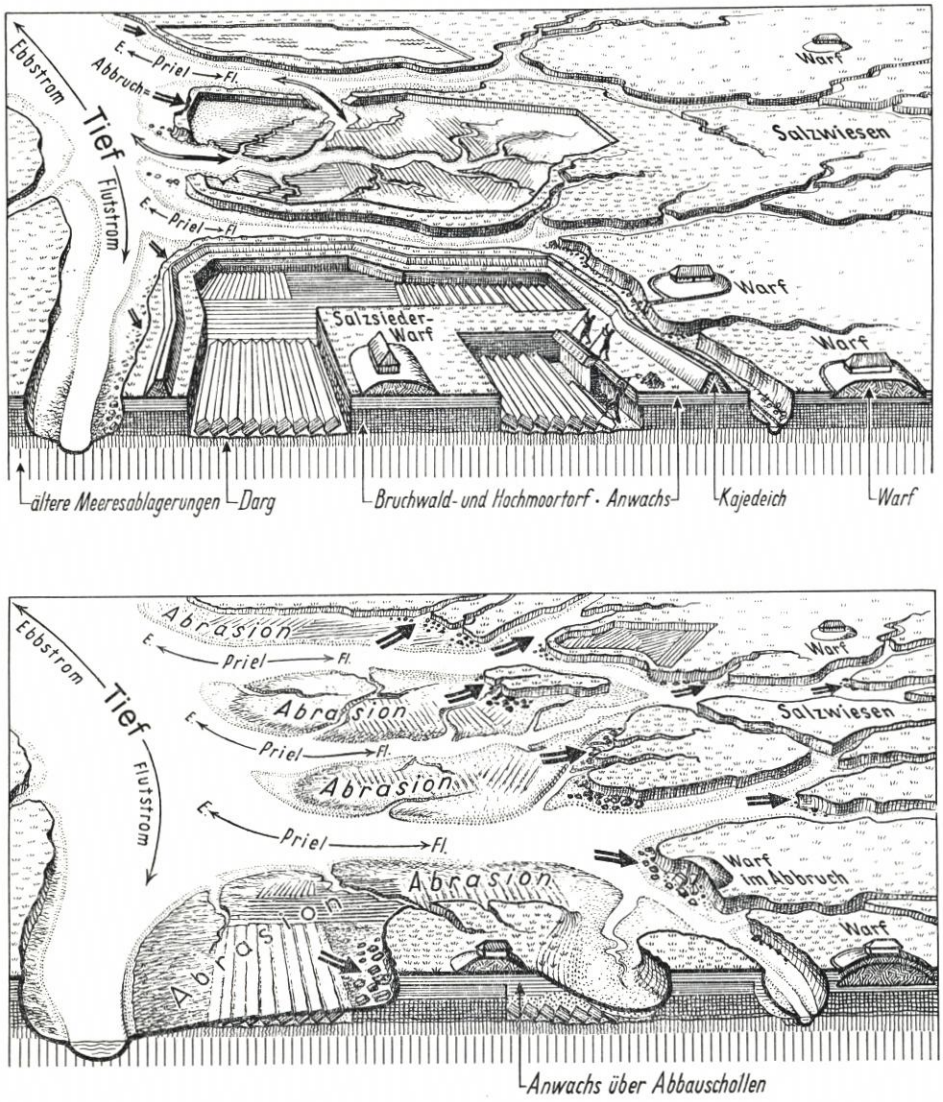
Above: During the Middle Ages, in the area examined, layers of peat covered with saltings were removed for the purpose of salt production. Some areas of excavation were protected by summer dykes, in order to exclude the detrimental effect of tidal flooding. Extensive areas were *sacrificed* for the production of salt.

Below: The removal of the salty peat layers encouraged the sea very strongly to advance locally. The peat excavation lowered the level of extensive areas to below that of MHWST Summer dykes and strips of land from which peat had not been removed collapsed during the flooding by storm tides, and the areas from which peat had been removed were turned into intertidal areas. This man-made increase in areas covered by water during the flood, in turn caused increased shore erosion, because of increased wave action closer inshore (arrows). Only in sheltered stretches of the areas from marsh grew up. Since the time of peat removal, as a result continuing tidal sedimentation, the surface level of the area of small islands (Halligen) which was preserved, has increased considerably (todays area of small islands).

Die großen Sümpfe vor dem Festland breiteten sich im Laufe der Zeit nach Westen aus und überlagerten hier die alte Marsch. Die menschliche Besiedlung drang schrittweise in dieses Gebiet vor und erschloß vom 11. Jh. an systematisch die Marsch- und Moorgebiete in Verbindung mit umfangreichen landeskulturellen und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die sich als folgenschwerer Eingriff in die natürliche Landschaft erweisen sollten (vgl. ROHDE, Abb. 2).

Die Torfdecke wurde weithin zur Brenntorfgewinnung und zum Salztorfabbau abgegraben und dadurch die Landoberfläche erniedrigt. Der mittelalterliche Siedlungshorizont lag nun meist auf der alten Marsch (Abb. 6). Im Jahre 1362 brach bei einer schweren Sturmflut das Meer über die zu niedrigen Deiche in dieses Gebiet ein. Mit Ausnahme weniger Restflächen, in denen der Torf noch nicht abgebaut war, wurde das Land bis zum Geestrand weithin überflutet (vgl. ROHDE, Abb. 4). Nun entstanden die ersten großen Wattströme, große Mengen sandiger und toniger Sedimente wurden aufgearbeitet und als junge Marsch über den untergegangenen Kulturflächen und Mooren abgelagert.

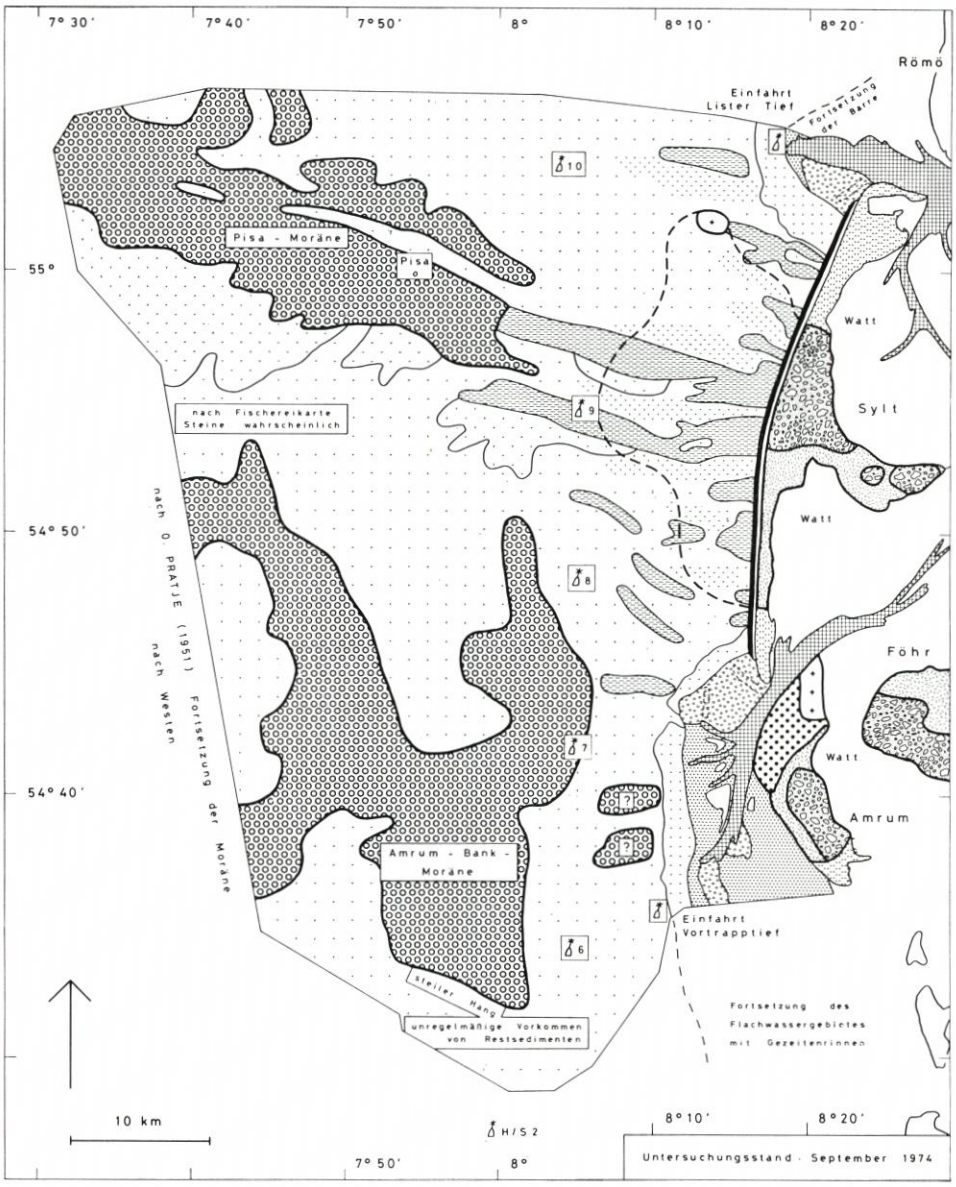
Nach dieser Katastrophe begann in Nordfriesland eine systematische Landgewinnung mit der Anlage von Kögen. Bis Anfang des 17. Jh. waren wieder größere zusammenhängende Landflächen entstanden, so bildeten schon im 16. Jh. Pellworm, Nordstrand und Nordstrandischmoor eine große Insel. 1634 erfolgte ein zweiter katastrophaler Meereseinbruch mit Zerstückelung dieser Insel und der Entstehung tiefer und breiter Wattströme. Damit war das Ausgangsstadium für die jüngste Entwicklung gegeben, die im Zusammenspiel von Naturvorgängen und umfangreichen Landgewin-



As a result of these initial conditions and the course of transgression in the following periods three very different areas were formed on the North Sea coast of Schleswig-Holstein (Fig. 5).

- Dithmarschen and South Eiderstedt
- North Friesia and North Eiderstedt
- The islands of Sylt, Amrum and Föhr with Pleistocene cores

The coastal area of *Dithmarschen* is today largely bounded by steep embankments to the landward. These are only to a small extent caused by sea activity but are mainly due to erosion by melt water. The edge of the hilly Pleistocene areas slopes steeply up to about −20 m here. In this area, very little mud, but much sand was deposited in the course of the whole Holocene period. Spits and sand bars formed at protrusions of the


7° 30'
7° 40'
7° 50'
8°
8° 10'
8° 20'
Römö
Einfahrt Lister Tief
Fortsetzung der Barre
10
Pisa - Moräne
Pisa
55°
Watt
Sylt
nach Fischereikarte Steine wahrscheinlich
9
54° 50'
nach O. PRATJE (1951) Fortsetzung der Moräne nach Westen
8
Föhr
7
Watt
54° 40'
Amrum
Amrum - Bank - Moräne
Einfahrt Vortrapptief
6
Steiler Hang
unregelmäßige Vorkommen von Restsedimenten
Fortsetzung des Flachwassergebietes mit Gezeitenrinnen
10 km
H/S 2
8° 10'
8° 20'
7° 50'
8°
Untersuchungsstand · September 1974
Geestkerne der Inseln
Dünen, Strand und Marsch mit geringer Holozänmächtigkeit
Dünen mit mächtigem Holozänsockel
geringmächtiger holozäner Meeressand auf hochliegendem Pleistozän
Riff
wahrscheinliche Ausdehnung des Westerländer Geestkernes bei Beginn der Abtragung
Steingrund
abgetragene Moränen mit einer Decke aus Restsedimenten und Wandersandfeldern
Wandersand ohne auffallende Strukturen
Sandrücken aus Wandersand
Flächen mit extrem feinem Sand
Erosionszonen in Wandersandfeldern
Gezeitenrinnen
flache Seitenrinnen
gröberer Sand der Barren
feiner Sand der Barren
extrem feiner Sand am Außenrand der Barren
Sandbänke

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Pleistocene areas, creating large fanlike "Donns". Another spit reaches north as the "Lundener Nehrung" and another runs through the middle of Eiderstedt from west to east.

Large lagoons and bogs were formed in the shelter of these spits and sand bars. Only after a long period of sedimentation a tidal flat was formed to the west of them. Up to the time of Christ's birth, marshes were formed at a level of + 1 to + 2 m NN. They have only rarely been flooded in the last 2,000 years. There have been no large breaches by the sea in this area, and the coast has shifted to the west through steady accretion and embanking.

In *North Frisia,* the North Sea penetrated early and rapidly into the deep but narrow valleys. Brackish water deposits were formed in these valleys as well as over wide areas of the higher lying sandur and wind-borne sand plains which slope slightly to the west. Near the edge of the outcropping Pleistocene phragmites peat also formed. Only in the outer part of the sedimentation area which lies approximately in the area of today's North Friesian tidal flats was the influence of the sea on sedimentation greater and in this area a first tidal flat was also formed quite early. The large bog in front of the mainland spread in the course of time towards the west and covered the old marsh. Human settlements similarly pressed gradually into this area after the 11th century and systematically opened the marsh and moorland combining many agricultural and water management measures which had far reaching effects on the natural landscape (see ROHDE, Fig. 2).

The peat layer was extensively dug up for burning and for salt production so that the surface of the land was lowered. The mediaeval settlements then usually were situated on the old marsh (Fig. 6). In 1362 a severe storm surge broke into this area over the dykes, which were too low. With the exception of a small residual area where the peat had not yet been dug up, the land was flooded up to the margin of the sandy uplands (see ROHDE, Fig. 4). The first great channels through the tidal flats were cut at this time and large quantities of sandy and clayey sediments were reworked and deposited as young marsh over the flooded cultivated fields and peat bogs. After this catastrophe a systematic land reclamation by the creation of polders (Köge) began in North Friesia. Large interconnected land areas had again been created by the beginning of the 17th century. Thus, as early as the 16th century Pellworm, Nordstrand and Nordstrandischmoor formed a single island. In 1634 a second catastrophic sea flood occurred, breaking up this island again and creating deep, wide channels through the tidal flats. This provided the initial conditions for the most recent developments which have led by a combination of natural forces and extensive reclamation and embankment works to the present landscape with a mainland coast, embanked islands and polders.

The three large islands in the northern part of the west coast of *Schleswig-Holstein, Sylt, Amrum and Föhr* have cores of Pleistocene and Tertiary and outcrops of moraine mainly from the Saalian glaciation. The core of Sylt forms the central part of the island between Westerland and Kampen and is attacked by the sea along its

---

Abb. 7. Geologische Karte der Geestinseln in Nordfriesland und des vorgelagerten Seegrundes
Fig. 7. Geological map of the pleistocene islands in North-Friesia and of the bottom structures of the sea areas in front.

nungs- und Eindeichungsarbeiten zum heutigen Landschaftsbild mit Festlandküste, bedeichten Inseln und den Halligen geführt hat.

Die drei großen Inseln im Norden der schleswig-holsteinischen Westküste, *Sylt, Amrum und Föhr,* haben Geestkerne, Aufragungen von Moränen überwiegend der Saale-Vereisung. Der Sylter Geestkern baut den mittleren Teil der Insel zwischen Westerland und Kampen auf. In seiner ganzen Länge von 5 km wird er vom Meer angegriffen. Das „Rote Kliff" weicht an den am stärksten gefährdeten Stellen mit Geschwindigkeiten bis zu mehr als 1 m im Jahr zurück. Dieses Steilufer ist das einzige große, noch im schnellen Abbruch liegende Kliff an der deutschen Nordseeküste. Am Seegrund läßt sich die frühere Ausdehnung des Westerländer Geestkernes bis mindestens 10 km von der heutigen Küste nach Westen verfolgen (Abb. 7).

Nach Osten findet die Westerländer Geest ihre Fortsetzung in der Archsumer Geest und in der Morsumer Geest. Zwischen den einzelnen Geestkuppen liegt Marsch. Nördlich und südlich des Westerländer Geestkernes finden sich große Dünengebiete, die ihren Aufbau den Kräften des Meeres und des Windes verdanken. Der Sand entstammt dem Abbruch des „Roten Kliffs" und ist durch den Küstenversatz nach Norden und Süden verfrachtet worden. Das Längenwachstum der rund 40 km langen Insel ist praktisch zum Erliegen gekommen. Die gegenwärtigen Veränderungen werden von der Rückverlegung fast der ganzen Westküste von Sylt beherrscht.

Auch der Geestkern von Amrum hatte an der Westküste ein langgestrecktes Kliff, vor dem sich aber in den letzten Jahrtausenden die weite Sandfläche des Kniepsandes gebildet hat. Heute liegt auf Amrum nur noch ein kleines Kliff an der Ostseite im Abbruch. Ebenso gibt es Steilufer in eiszeitlichen Ablagerungen an der Südküste von Föhr, während der Norden dieser Insel aus Marschland besteht.

whole length of 5 km. The "red cliff" (Rote Kliff) retreats at its most exposed places at a rate of more than a metre per year. This steep cliff is the only large cliff along the German North Sea coast still subject to rapid erosion. On the sea bed the original extent of the Westerland Pleistocene core can be traced from the present coast for at least 10 km to the west (Fig. 7).

The Pleistocene core at Westerland extends eastwards into the Archsumer and Morsumer cores. Marsh lies between the individual hillocks. North and south of the Westerland core there are large dune areas which have been created by the forces of sea and wind. The sand is derived from the erosion of the "red cliff" and has been shifted from north to south by littoral drift. The growth in the length of the approximately 40 km long island has practically ceased. The present changes are almost entirely governed by the retreat of almost the whole west coast of Sylt.

The core of Amrum also had a long cliff stretching along the west coast in front of which, however, the wide sand area of the Kniepsand has formed in the last few thousand years. Today only a small cliff on the east side of the island is subject to erosion. Similarly, there are steep banks from ice age deposits on the south coast of Föhr while the north of the island is marshland.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

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 Tidehüben 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 Fahrrinnen, die im Vergleich zur Gesamtstrombreite relativ schmal sind, kommt es örtlich oft zu stärkeren Sedimentationen im Fahrwasser. Daher sind ständige Unterhaltungsbaggerungen erforderlich. Die Sandzufuhr 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 Fahrrinnen 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)

Die Küste, 32 (1978), 1-155

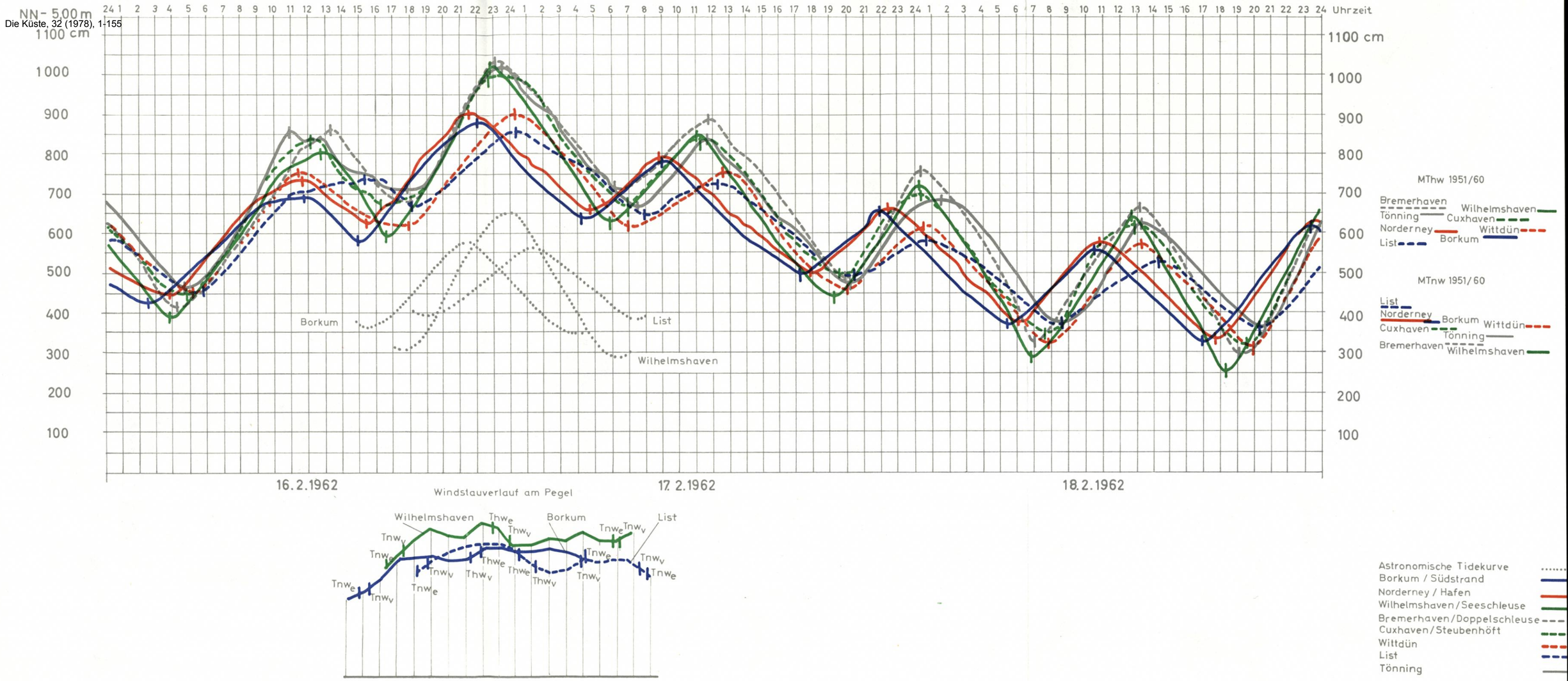


Abb. 2. Sturmflut Februar 1962
Fig. 2. Storm tide February 1962

Die Küste, 32 (1978), 1-155

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 deflexion 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.

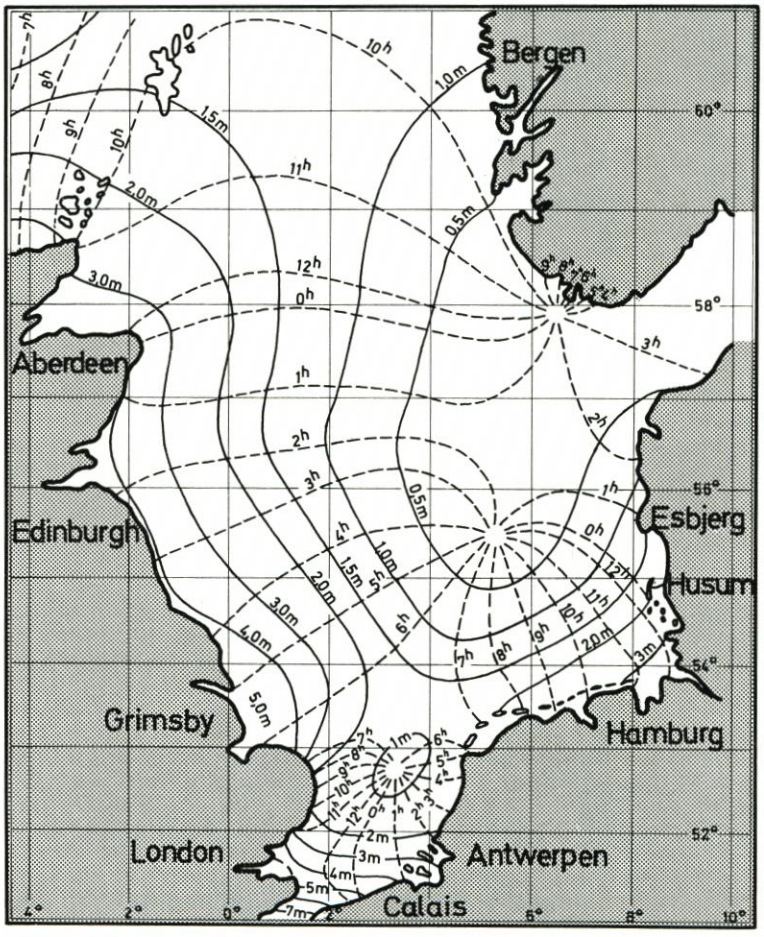


Abb. 1. Linien gleichen Springtidehubes (Nordsee)
Fig. 1. Lines of equal spring tidal range

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

	Von der Seegrenze From the seaward limit	Länge – Length (km)	Wassertiefe Waterdepth KN (m)	Mittlere Flutwassermenge Mean tidal discharge (10^6 m³)	Oberwasserabfluß Fresh water flow (m^3/s) mittlerer mean MQ	niedrigster lowest MNQ	höchster maximum HNQ	Mittlerer Tidehub Mean tidal Range (1902) MThb	Mittlerer Tidehub Mean tidal Range (1975) MThb	Sturmflut Febr. 1962 Storm tide Febr. 1962 (NN – 500 m) HTwh	Mittlerer Korndurchmesser Mean grain diameter (cm)	Gütertransport 10 Mio t/Jahr Tonnage of Goods 10 Mill. t/ear	Bemerkungen Remarks
Ems	Mövensteert	35	12,5	780									Vorrangig Schiffahrt
	Emden	70	8,5	4,5	80	5	1200	304,0	311,0	976,0	0,015	11,7	Mainly shipping
	Herbrum	125	3,2	0				43,0					
Jade	Wilhelmshaven	47	18,5	400		unbedeutend insignificant		361,0	377,0	1022,0	0,03	30,4	Vorrangig Schiffahrt Mainly shipping
Weser	Bremerhaven	60	12,0	155				332,0	364,0	1035,0		34,6	Vorrangig Schiffahrt
	Bremen	120	9,0	15	310	50	3500	63,0		1041,0	0,034	14,7	Mainly shipping
	Hemelingen	130	3,5	0									
Elbe	Cuxhaven	36	13,5	650				235,0	297,0	996,0	0,03–	91,2	Vorrangig Schiffahrt
	Hamburg	135	13,5	70	700	130	3900	128,4		1070,0	0,05	51,5	Mainly shipping
	Geesthacht	173	2,5	0									
Eider	Hundeknöll	25	2,0	40					273,0				Versandung d. Eider; Tidehub nimmt ab; vorrangig Vorfluter Silting of the Eider; tidal range decreasing; mainly drainage
	Tönning	38	2,0	12	(14)	0	(140)	267,0	255,0	1021,0	0,012		
	Nordfeld	59	2,0	0									

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.

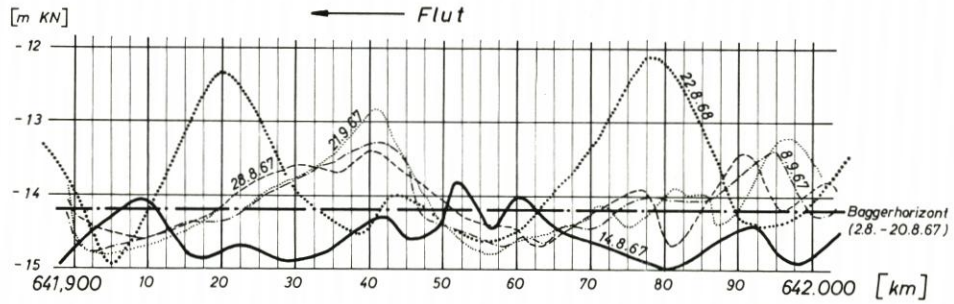


Abb. 3. Dünenentwicklung. Flut, Baggerhorizont, mKn – Kartennull

Fig. 3. Dune development. Flood, Dredging horizont, [m KN] – Sea level

2. Eider

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 bedeicht (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 durchgeführte 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 horinzontally 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 heigh 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 Hundeknöll 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 Ebbestromes kann durch zeitweises Schließen des Sieles die Tide beeinflußt werden (Abb. 5 c).

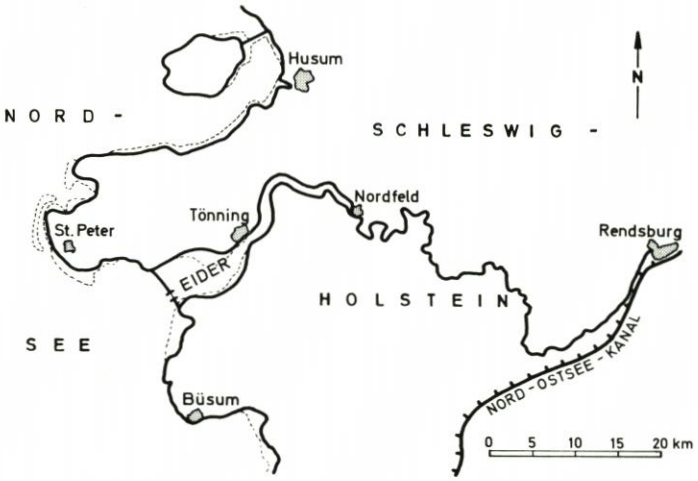


Abb. 4. Übersichtsplan der Eider, Nord-Ostsee-Kanal
Fig. 4. General map of the Eider, Kiel Channel

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 Leitdamm 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 Stauhaltung 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.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

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

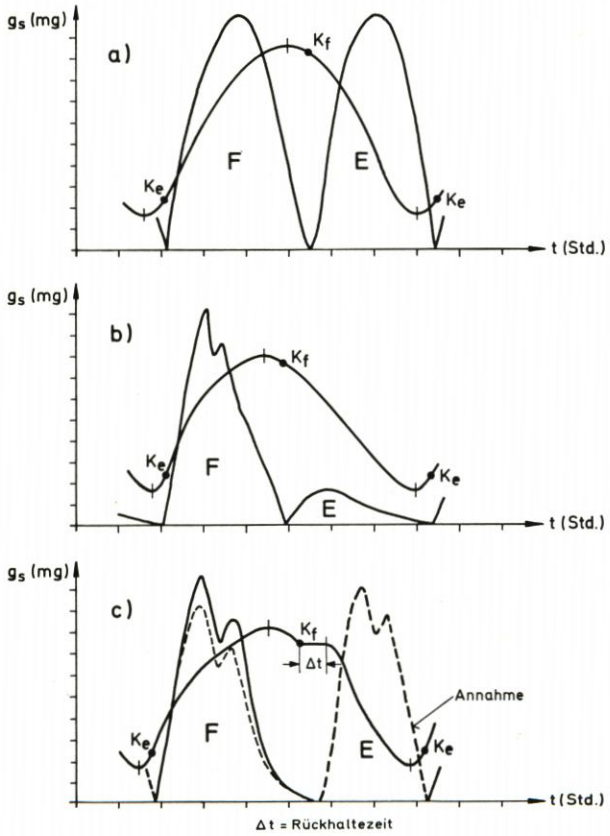


Abb. 5 a, b, c. Schwebstoffverteilung

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
△ t Rückhaltezeit – time of retension
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).

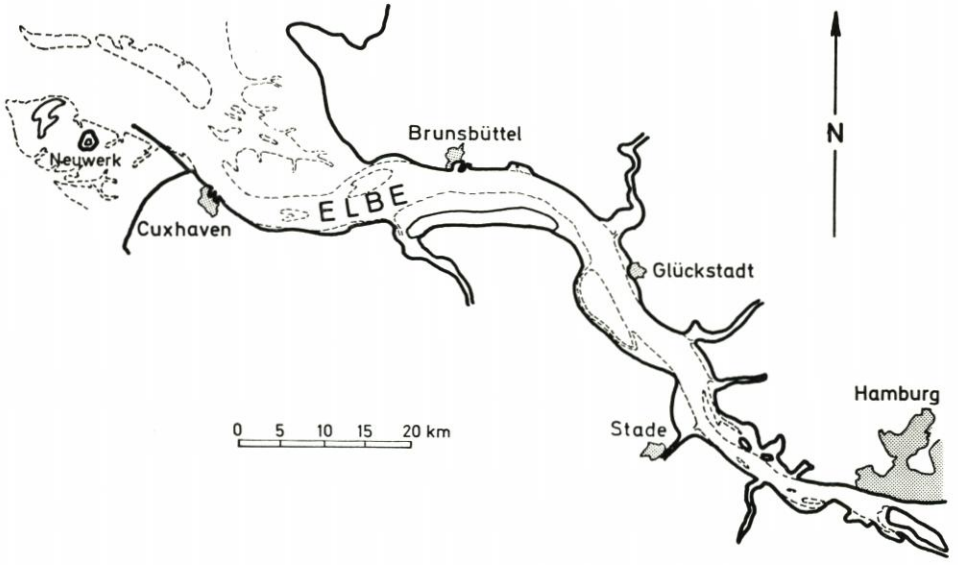


Abb. 6. Übersichtsplan der Elbe
Fig. 6. General map of the Elbe

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).

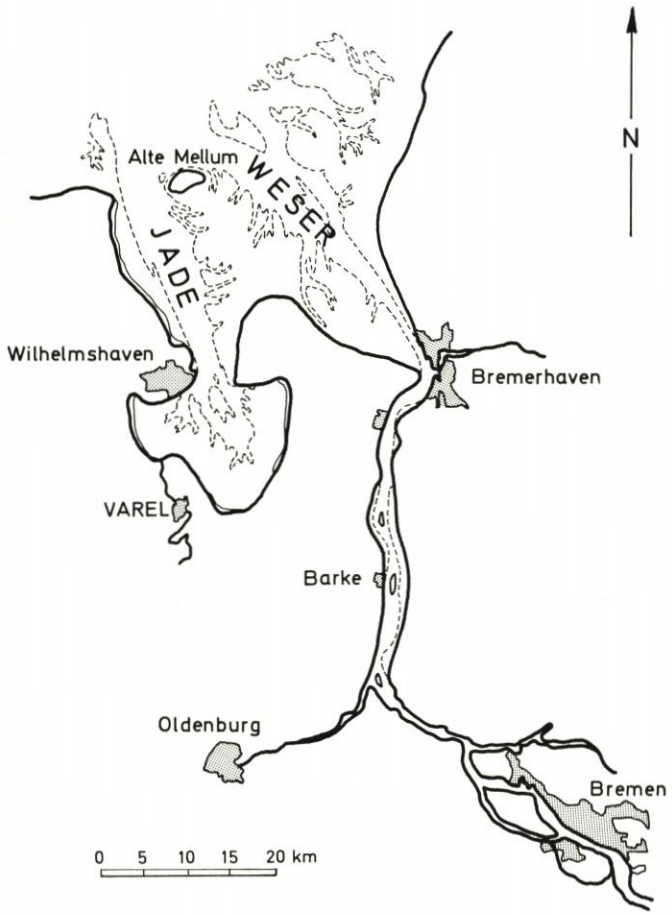


Abb. 7. Übersichtsplan der Jade-Weser
Fig. 7. General map of the Jade-Weser

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 Schiffstiefgängen 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 Korrektionen 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.

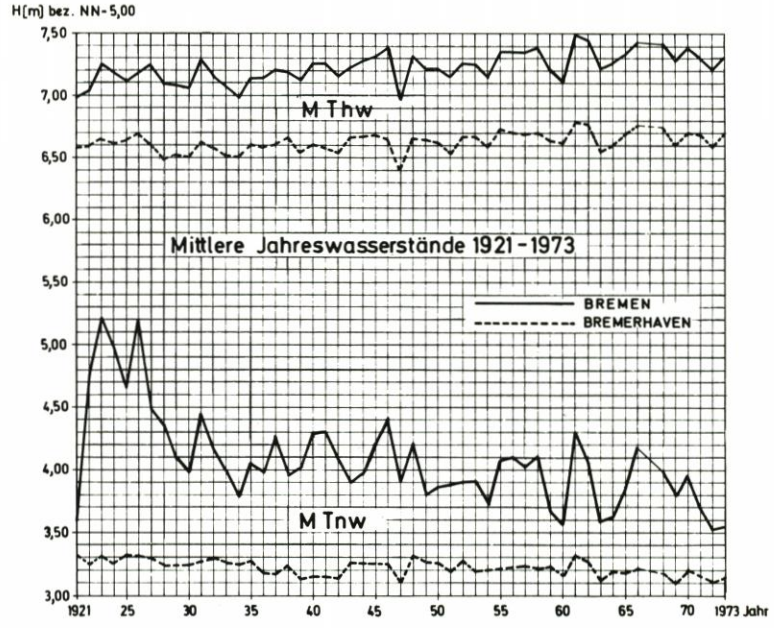


Abb. 8. Wasserstandslinien (Tnw, Thw) vin 1921–1973 am Pegel Bremen

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

Die Küste, 32 (1978), 1-155

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 m^3 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 $400 \cdot 10^6$ m^3 (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 $400 \cdot 10^6$ m³ (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 gekrümmt 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.

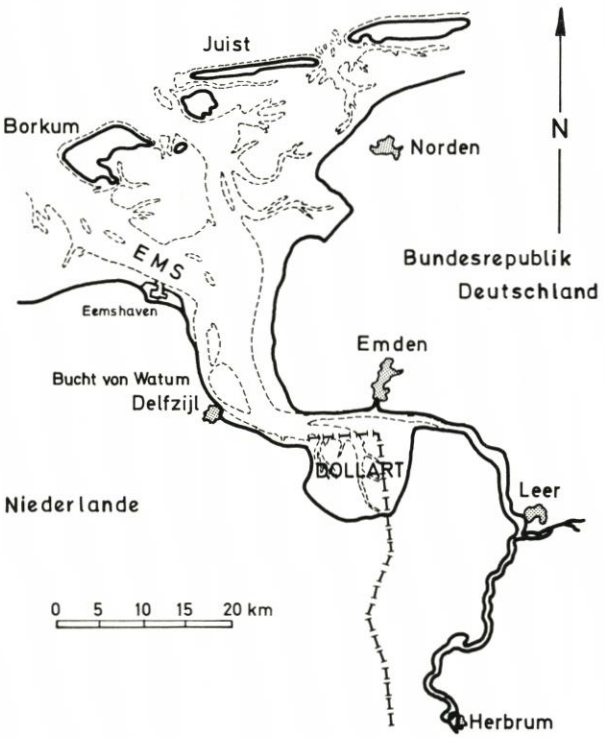


Abb. 9. Übersichtsplan der Ems
Fig. 9. General map of the Ems

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.

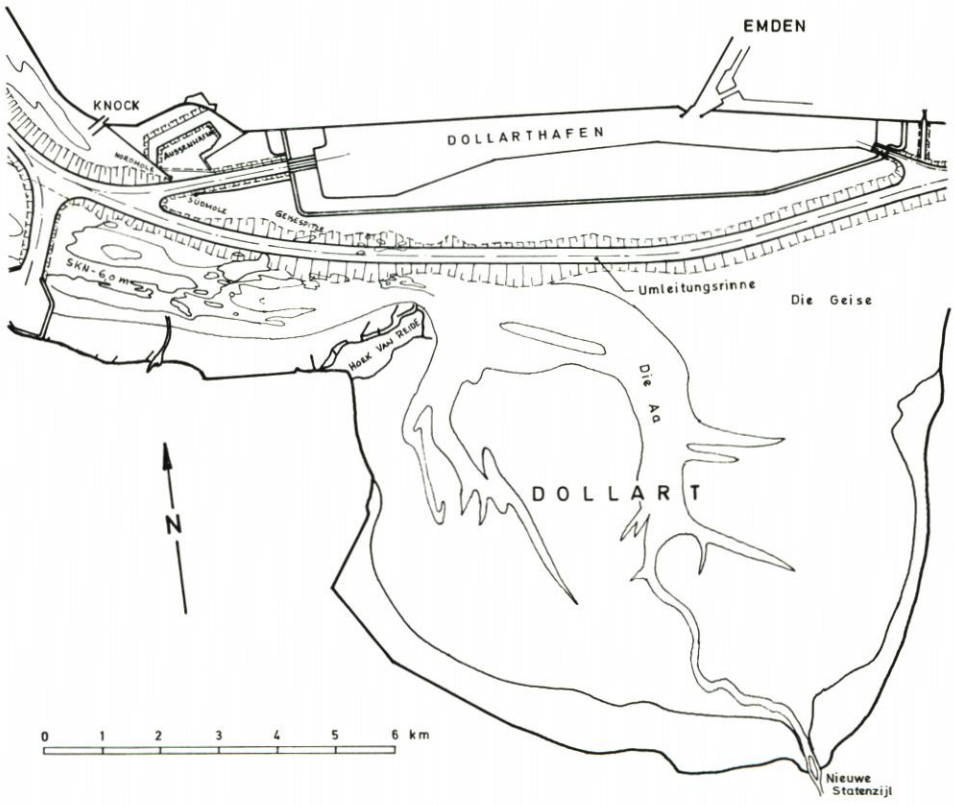


Abb. 10. Dollarthafen, Verlegung der Emsrinne in den Dollart

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.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

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.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Die Watten der deutschen Nordseeküste

Von Hans-Erich Reineck

1. Vorkommen

Die Süd- und teilweise die Ostküste der Nordsee wird von Watten begrenzt. In einer Gesamtlänge von 450 km erstrecken sie sich vor der niederländischen, der deutschen und der dänischen Küste. Die Watten der südlichen Nordsee sind durchschnittlich 5 bis 7 km, maximal 10 bis 15 km breit. Sie werden von Flüssen und zahlreichen Rinnen zerschnitten (Tafel III).

2. Hydrographie und Sedimenthaushalt

Die Tiden sind semidiurnal. Der Springtidehub liegt bei 2,6 m, maximal im Jadebusen bei 4,1 m. Der Nipptidehub beträgt 1,8 m, im Jadebusen 3,1 m. Die Tideströmungen erreichen auf den Watten Geschwindigkeiten von 30 bis 50 cm/sec., maximal (bei Sturmfluten) 150 cm/sec. In kleineren Rinnen liegen die Strömungsgeschwindigkeiten bei etwa 100 cm/sec. (Abb. 1) und in großen Rinnen bei etwa 150 cm/sec.

Von sehr wesentlicher Bedeutung ist der Seegang. Er kommt aus wechselnder Richtung mit wechselnder Stärke. Jedoch herrscht die Richtung aus dem Westsektor vor. Der Seegang des Wattenmeeres hat stärksten Einfluß auf die Sedimentverteilung, auf Erosion und Sedimentation.

Im Verein von Tideströmungen und Seegang werden große Schwebstoffmengen im Watt transportiert. Messungen im Neuwerker Watt ergaben Suspensionskonzentrationen von 30 mg/l für die ungestörte Tide; 100 mg/l wurde im Mittel von 1500 Messungen am häufigsten gemessen und 300 mg/l für eine Sturmfluttide. Wird dabei die unterschiedliche Überströmungsrichtung und Überströmungsmenge eines Watts berücksichtigt, so steigt der Suspensionstransport bei Sturmfluten um zwei bis drei Zehnerpotenzen (Abb. 2).

Die heutigen Watten bekommen nur wenig neues Sediment zugeführt. Die meisten Sedimentbewegungen finden innerhalb des Watts in Form von Umlagerung statt (Abb. 3).

Die Wassertemperaturen der Wasserkörper, welche die Watten überfluten, schwanken stark und sind an die Schwankungen der Lufttemperatur gebunden. Ähnlich stark schwankt der Salzgehalt in den großen Meeresbuchten, wo bei trockenem Wetter im Sommer der Salzgehalt über den der freien See steigen kann. Im Winter kühlen die Watten stark ab, so daß dort die erste Eisbildung erfolgt. Bei starken, auf das Land gerichteten Winden kommt es zu Eispressung, die Bauwerken gefährlich werden kann (Abb. 4).

3. Die Sedimente

Die Sedimente stammen vorwiegend aus aufgearbeiteten glazialen Sedimenten. Daneben werden geringere Anteile – vor allem pelitische Fraktionen – von Flüssen heran-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The Tidal Flats on the German North Sea Coast

By Hans-Erich Reineck

1. Location

The South and in part the East coast of the North Sea are bounded by tidal flats. They stretch for a total length of 450 km along the Netherlands, German and Danish coasts. The tidal flats of the southern North Sea are of an average width of 5 to 7 km with a maximum of 10 to 15 km. They are intersected by rivers and numerous creeks (Plate III).

2. Hydrography and Sedimentation processes

The tides are semidiurnal. The spring tide range lies around 2.6 m with a maximum of 4.1 m in the Jade bay (Jadebusen). Neap tidal range is 1.8 m with 3.1 m in the Jadebusen. The tidal currents over the flats reach velocities of 30 to 50 cm/sec., with a maximum (at storm surges) of 150 cm/sec. In smaller channels the current velocities are about 100 cm/sec. (Fig. 1) and in large channels about 150 cm/sec.

Wave movement is a very important factor. It comes from various directions and with changing strength. Nevertheless, the predominant movement is from the western sector. The wave movement over the tidal flats is the major factor influencing the distribution of sediments, and erosion and sedimentation.

Tidal currents and wave movement combine to transport large quantities of suspended load over the tidal flats. Measurements in the Neuwerk flat gave concentrations of suspension of 30 mg/l for a calm tide; of 1500 measurements the most frequent mean value was 100 mg/l and 300 mg/l was reached on a storm flood tide. If account is also taken of the shifting direction and volume with which the tide flows over the flats the transport of sediments during storm surges rises by two to three orders of magnitude (Fig. 2).

The present day tidal flats receive very little new sediment from outside. Most sediment changes take place within the flats in the form of redistribution (Fig. 3).

The water temperature of the body of water which inundates the flats fluctuates greatly and is related to fluctuations in air temperature. In the same way the salt content in the large marine bays also varies, so that in dry summer weather the salt content can rise higher than that in the open sea. In winter the flats cool very much, so that the first ice forms here. When there are strong winds blowing in a landward direction there can be ice pressures which can endanger engineering structures (Fig. 4).

3. The Sediments

The origin of these is predominantly re-worked glacial sediments. In addition there is a smaller proportion – especially pelitic fractions – brought down by rivers, but

Die Küste, 32 (1978), 1-155

DAUERSTROMMESSUNGEN VOR DER WURSTER KÜSTE

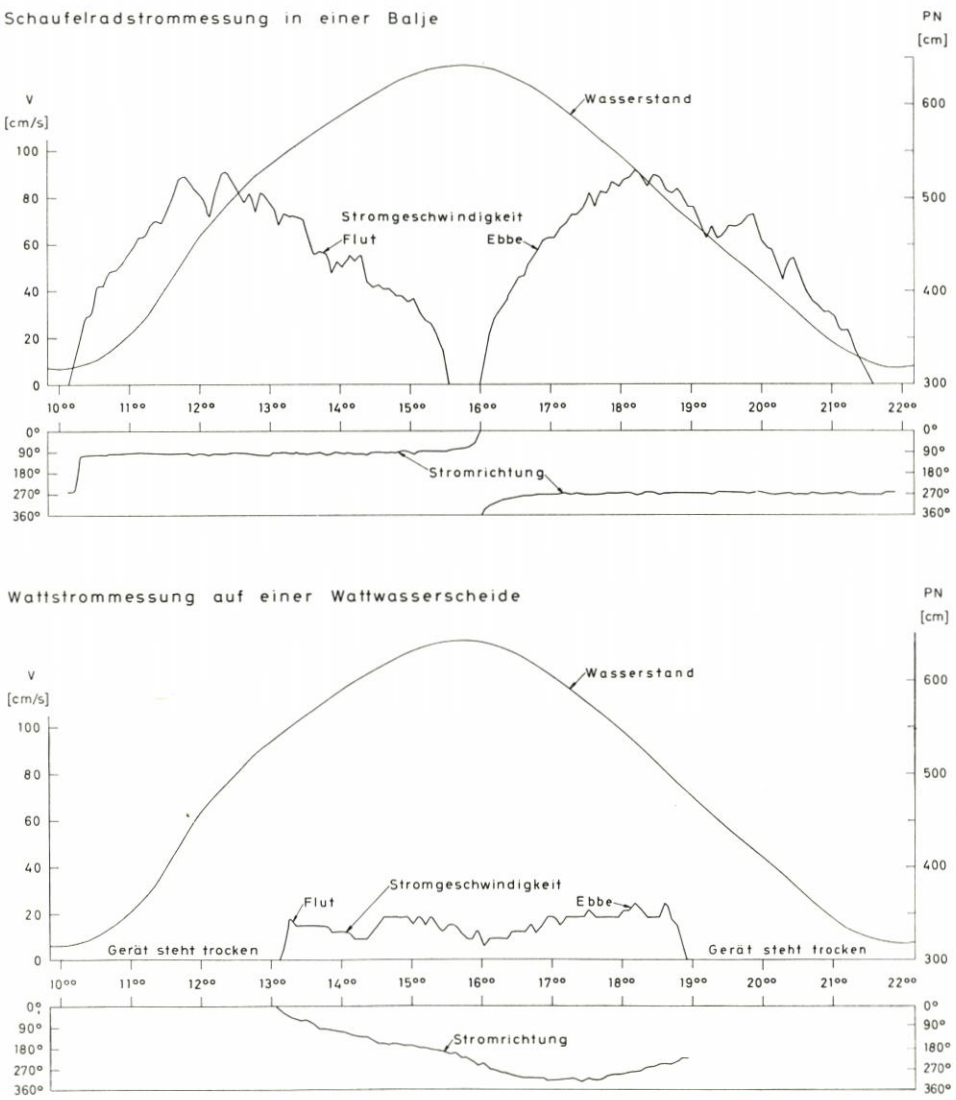


Abb. 1. Kurven von Tidestromgeschwindigkeit und Stromrichtung nach Messungen in einer Balje und auf einer Wattwasserscheide

Fig. 1. Curves of velocities and directions of tidal currents in a Balje (channel) and at a tidal flat watershed

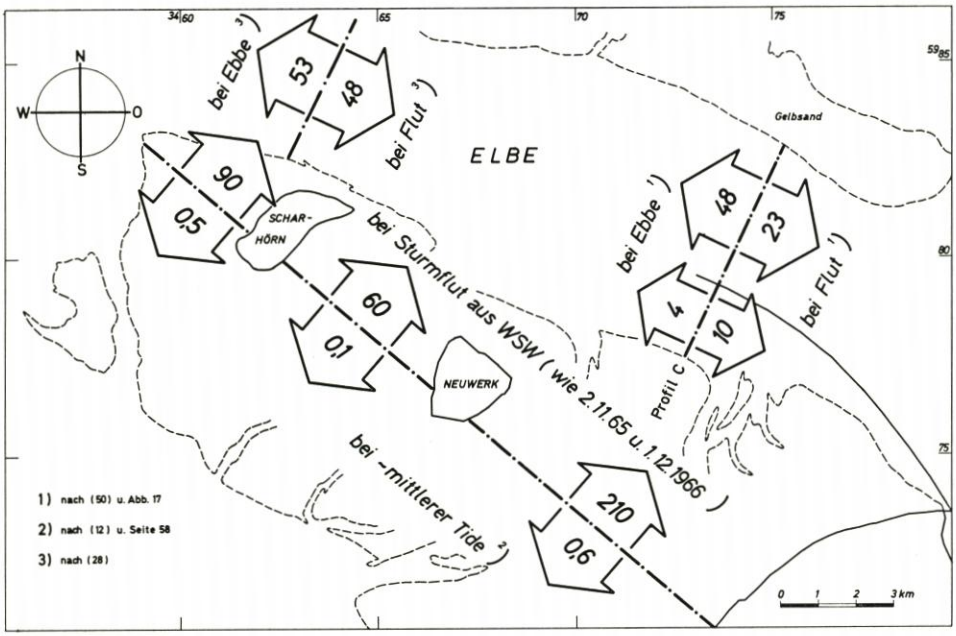


Abb. 2. Transport von Schwebstoffmengen in der Elbe und über das Neuwerker Watt bei Ebbe und bei Flut. Über das Neuwerker Watt werden bei mittlerer Tide nur kleine Schwebstoffmengen nach SW, bei Sturmflut jedoch sehr große Mengen nach NE transportiert

Fig. 2. Suspended load transport in the Elbe and over the Neuwerk tidal flat during ebb and flood. At the Neuwerk flat there is only a small suspended load towards SW at mean tide, but at storm surges there is very heavy suspended load transport to the NE

pelitic material can also come from older layers being eroded. The mud consists of clayey silt with a mixture of fine sand in varying proportions.

The sand on the tidal flats is a fine sand with a mean diameter of about 0.1 mm (= 3.3 Phi). On the beaches subject to wave action, on the other hand, a fine-medium grained to medium grained sand prevails with a mean diameter of about 0.2 mm (=2.3 Phi). The commonest mineral is quartz (80 %), next in order come felspat, mica and carbonate. Some 0.2–3.5 % are heavy minerals like epidot, hornblende, garnet etc.

As well as the mineral component, the sediments include fecal pellets, mainly of mud. These are produced by snails, molluscs and worms. As well as this the content includes foraminifera, ostracods, spines from sea urchins, peat debris, and crushed shell. Although the proportion of the gravel fraction, which mainly originates from re-worked moraine is very small, this also includes molluscs shells and mud pebbles.

Gravel is mostly found in the channels, partly armouring the bed. In the tidal flat area gravels are only found where Pleistocene sediments project above the flats.

4. Morphology

The tidal flats consist of a body of marine sediments parallel to the beach with a wedge shaped form that interfingers with the fixed land by limnic and semi-terrestrial

gebracht, aber auch aus älteren erodierten Schichten können Pelite kommen. Schlick besteht aus tonigem Silt mit Beimengungen von Feinsand in unterschiedlichen Mengenverhältnissen.

Der Wattensand ist ein Feinsand mit einem Md um 0,1 mm (= 3,3 Phi). An den Brandungsstränden dagegen herrschen feinsandige Mittelsande bis Mittelsande vor mit einem Md um 0,2 mm (= 2,3 Phi). Das häufigste Mineral ist Quarz (80 %), nachgeordnet sind Feldspäte, Glimmer und Karbonate. 0,2–3,5 % sind Schwermineralien wie Epidot, Hornblende, Granat u. a. m.

Die Sedimente enthalten neben den mineralischen Komponenten Kotpillen, vorwiegend aus Schlick. Produzenten sind Schnecken, Muscheln und Würmer. Weiterhin sind enthalten: Foraminiferen und Ostracodengehäuse, Stacheln von Herzigeln, Torfgrus und Bruchschill. Gering ist der Anteil an der Kiesfraktion, die vorwiegend aus aufgearbeiteten Moränen stammt, die aber auch Muschelklappen und Schlickgerölle enthält.

Kies ist meist in den Rinnen vorhanden, z. T. als Sohlenpflaster. Auf Wattflächen ist Kies nur dort zu finden, wo kiesige Sedimente des Pleistozäns aus dem Watt herausragen.

4. Morphologie

Die Watten stellen einen uferparallelen marinen Sedimentkörper dar mit keilförmiger Gestalt, der zum Festland hin mit limnischen und semiterrestrischen Schichten verzahnt ist. In der Gegend der heutigen Deiche liegt die Untergrenze des Holozäns bei etwa –5 m NN und an der Seeseite bei etwa 15 bis 20 m unter NN.

Diese Untergrenze füllt tiefe Rinnen in älteren Schichten. Einige dieser Rinnen sind schon im Pleistozän angelegt und als Rinnen noch heute an der Oberfläche „durchgepaust". Sie entwässern z. T. künstlich das Binnenland (Tiefs).

Die Wattrinnen enden zum Land hin meist in einem stark verästelten Prielsystem (Tafel III). Nach See schließen sie sich zu mächtigen Rinnen zusammen mit Wassertiefen, die 20 m und mehr erreichen können. Zwischen den Rinnensystemen im Watt liegen Wattwasserscheiden.

Die Lage großer Rinnen wechselt nur langsam – außer bei plötzlichen Durchbrüchen von Sandbarren oder gar Düneninseln. Kleinere Rinnen mäandern beträchtlich und bilden Prall- und Gleithänge aus.

Die Wattrinnen sind vorwiegend vom Ebbstrom geprägt. Daneben kommen aber auch Flutstromrinnen und Flutstromhaken vor.

Nach der Lage zur offenen See kann man 3 Watt-Typen unterscheiden:

Rückseitenwatten: Watten, an deren Seeseite Düneninseln entwickelt sind. Beispiel sind die Watten hinter den West- und Ostfriesischen Inseln.

Offene Watten: Watten ohne seeseitigen Schutz durch Düneninseln. Beispiel: die Watten zwischen Weser und Elbe bis nördlich von Sylt. Diese Watten haben einen sehr flach geneigten Unterwasserhang. An der Seefront sind teilweise unter und über der Niedrigwasserlinie fast strandparallele Strandriffe, wie an den Stränden der Düneninseln, entwickelt. An der Hochwasserlinie kommt es zu flachen Sandplaten mit Anzeichen von Windtransport wie Primärdünen, ohne daß jedoch stabile Inseln daraus entstehen.

Watten in Buchten und Ästuarien, z. B. Dollart, in der Jade und in der Weser- und Elbmündung. An der Niedrigwasserlinie sind sie zwar sandig, jedoch

layers (see also KÖSTER and STREIF). The lower edge of the Holocene lies at about NN – 5 m in the vicinity of the present day embankments and at the seaward end of the flats about NN – 15 to 20 m.

This lower boundary fills deep channels in older layers (see KÖSTER and STREIF). Some of these channels were already laid down in the Pleistocene period and the outline of these old channels can still be traced as channels on the surface today. They at present artificially drain the inland area.

The channels through the tidal flats mostly end at the landward side in a very branchy system of creeks (Plate III). Towards the seaward they join up into broad channels with water depths which can reach 20 m or more. Between the channel systems on the flats lie tidal divides.

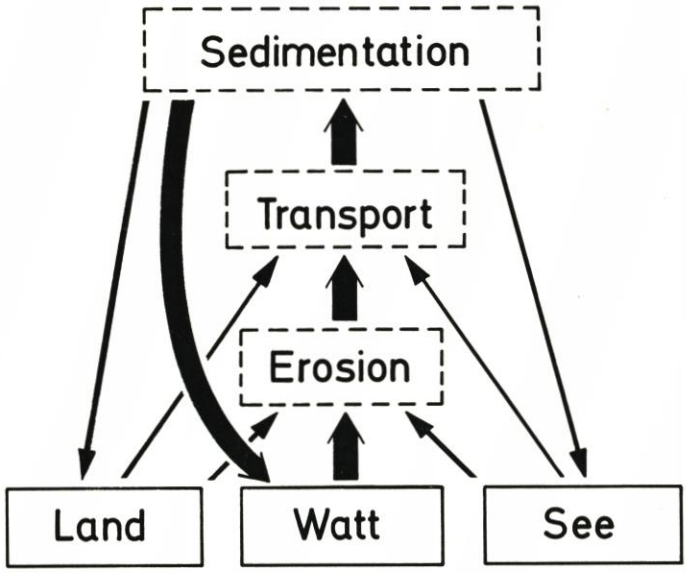


Abb. 3. Im Watt findet im wesentlichen Umlagerung, d. h. Erosion und Resedimentation eigener Sedimente statt. Nur wenig Sedimente werden von Land und See her zugeführt und auch wenig dorthin abgeführt

Fig. 3. In the tidal flats the essential process is one of re-working of sediments already there by erosion and re-settlement. Very little sediments are brought in from land or sea and very little is carried out of the area

The position of the larger channels changes only slowly – except when they suddenly break through sand bars or even barrier islands during storm surges. Small channels meander considerably and form bank cutting faces and point bars.

Tidal channels are mainly shaped by the ebb tide. However there are also flood channels and tidal wedges.

According to the position in relation to the open sea three types of tidal flat can be distinguished:

Protected flats: flats where barrier islands have development on the seaward side. Examples are the flats at the rear of the West and East Friesian Islands.

sind dort keine Inseln oder Sandplaten ausgebildet. Auch Sandriffe sind sehr selten entwickelt, denn die anlaufende Wellenenergie, die zum Aufbau von Strandriffen erforderlich ist, fehlt.

Der gesamte Wattkomplex umfaßt in bezug auf die Wasserbedeckung drei Bereiche, die sich teilweise auch morphologisch und botanisch unterscheiden.

Das Sublitoral, Gebiete immer unter Wasserbedeckung. Dies sind große Rinnen und lagunenähnliche Wasserbecken, teilweise untergliedert durch Sandbänke und Platen.

Das Eulitoral, der Auftauchbereich des Watts, also die Wattflächen. Sie sind weitgehend eben und von der Hochwasserlinie zur Niedrigwasserlinie schwach geneigt. Die Wattflächen werden von zahlreichen verästelten Rinnen be- und entwässert. Hinzu kommen Ästuare von Flüssen, welche die Watten durchschneiden und Tiefs, die das Binnenland entwässern und die Deichlinie durch Siele durchqueren.



Abb. 4. Eispressung an einer Buhne

Fig. 4. Ice pressure on a groyne

Das Supralitoral erstreckt sich von der Hochwasserlinie bis zum Deich, ursprünglich jedoch weit in das Marschenland hinein. Es ist der von einer dichten Vegetationsdecke (Halophyten) bedeckte Außengroden[1]). Dort, wo dieser Groden vorwächst, ist an der Hochwasserlinie ein allmählicher Übergang zum Watt vorhanden (Abb. 9). Wenn Erosion vorherrscht, wird ein Grodenkliff gebildet, das langsam zurückverlagert wird. Die Steilkante liegt bevorzugt an der Ostseite der Meeresbuchten, weil dort der

[1]) Groden = über Mitteltidehochwasser liegendes, begrüntes Deichvorland.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

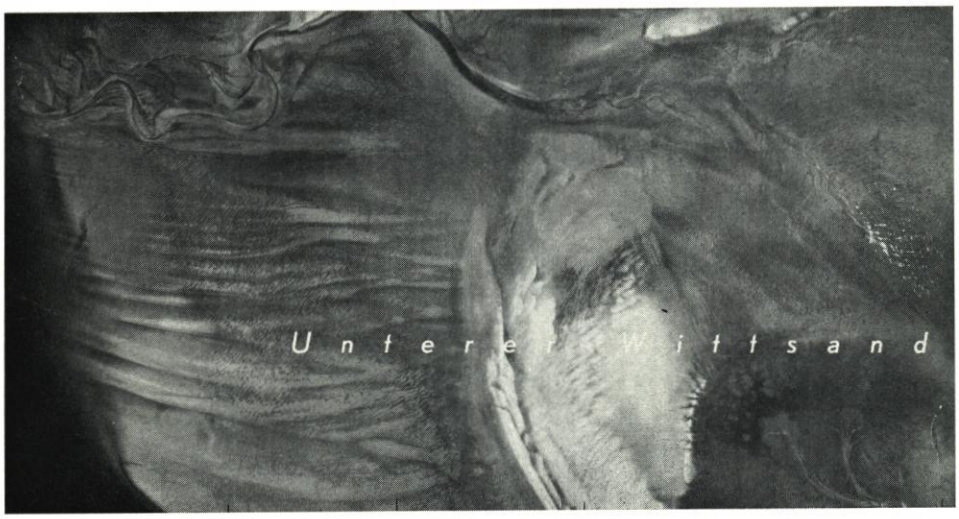


Abb. 5. Luftbild eines Sandwatts mit Sandwellen

Fig. 5. Aerial photograph of a sand flat with sand waves

Open flats: flats with no protection on the seaward side from barrier islands; for example flats between the Weser and Elbe up to the north of Sylt. These flats have a very flat underwater slope. On the seaward side are longshore bars almost parallel to the beach, partly above and partly below the low water line, similar to those developed on the beaches of the barrier islands. At the high water line shallow shoals develop with signs of wind transport like primary dunes, which do not however become stable islands.

Flats in Bays and Estuaries: e.g. in the Dollart, the Jade, and in the outer Weser and Elbe estuaries. Although these are indeed also sandy at the low water mark this does not lead to the formation of islands or shoals. Neither do sandbars often develop since the energy of the incoming waves which is necessary to build sandbars, is lacking.

The overall tidal flat complex comprises three different areas as far as water cover is concerned which have some morphological and botanical differences:

The sub-tidal area is always covered by water. These are large channels and lagoon-like pools of water, partly sub-divided by sandbanks and shoals.

The inter-tidal area, the drying stretch of the tidal flats. They are mainly flat and slope gently from the high to the low water line. The tidal flats are flooded and drained by numerous branching channels. In addition to this, river estuaries cut through the flats, and creeks drain the inland area through sluices in the dykes.

The supra-tidal area extends from the high water mark to the foot of the embankment, though originally it stretched far back into the marshland behind. The 'Groden'[1]) is carpeted with vegetation (halophytes). At the edge of these Groden or Saltings there is a gradual transition to tidal flats at the high water line (Fig. 9). In periods of erosion a marsh cutting face is formed which moves slowly landward. The

[1]) Groden = the saltings in front of an embankment above high water



Abb. 6. Luftbild einer Wattkante, die der Brandung ausgesetzt ist. Dort sind Strandriffe entwickelt

Fig. 6. Aerial photograph of edge of tidal flats against which waves are breaking. A long shore bar is developing

stärkste Wellenangriff bei den vorwiegenden Winden aus W stattfindet. Solche Ufer waren oft über Jahrhunderte im Abbruch befindlich. Heute sind sie größtenteils durch Deckwerke und Buhnen geschützt.

5. Kleinmorphologie

Die Wattflächen sind zwar großmorphologisch eben, aber in kleineren Bereichen sind vor allem die Sandflächen oft stark strukturiert. Die am häufigsten auftretenden Formen sind in Tabelle 1 enthalten.

Kleinrippeln bedecken schwächer überströmte Sandflächen. Bei stärkerem Seegang werden an deren Stelle oder zusätzlich Wellenrippeln gebildet. Großrippeln sind auf sandigen Rinnensohlen, stark überströmten Platen und tiefgelegenen Wattspornen entwickelt. Riesenrippeln kommen in Großrinnen und in Flüssen vor. Da sie nach Baggerungen schnell wieder aufwachsen, stellen sie die Baggerei und die Schiffahrt vor Probleme. Sandwellen kommen in tiefliegenden Sandwatten vor (Abb. 5), die nur bei Sturmfluten stark überströmt werden; sonst herrschen dort Strömungsgeschwindigkeiten, die Kleinrippeln erzeugen. Strandriffe (Abb. 6) und Brandungsbänke (Abb. 7) sind unter Wasser im Bereich des Vorstrandes und am Strand im Bereich des Nassen Strandes entwickelt. Bei Stürmen werden die oberen Strandriffe eingeebnet, teilweise aber auch weiter aufs Watt hinauf verlagert. Dafür wird oft das untere Riff, das bei normalem Seegang unter der wirksamen Wellenbasis liegt, reaktiviert. Gegenrippeln sind nur in sehr flachem Wasser zu finden, wo schießende Strömung entsteht, z. B. an verflachten Prielmündungen und auf Strand-

Tabelle 1. Kleinmorphologische Formen in sandigen Sedimenten des Watts. Alle Größenangaben und Strömungsgeschwindigkeiten sind stark abhängig von der Korngröße der Sande.

Table 1. Morphological forms in the sandy sediments of the flat. All size data and flow velocities are closely related to the grain size of the sand.

Name Name	Kammverlauf Shape of Crest	Größe Size	Symmetrie Symmetry	Entstehung Origin
Strömungs-Kleinrippeln (Kleinriffeln) Small current ripples (small ripples)	gerade / straight wellenförmig / sinuous sichelförmig / lunate zungenförmig / linguoid rhomboedrisch / rhomboid	H = 6 cm L = 4–60 cm	asymmetrisch asymmetrical	Strömung / current V = 20—100 cm/sec Fr = 0,15–~0,3
Strömungs-Großrippeln (Großriffeln) Mega ripples (large ripples)	gerade / straight wellenförmig / sinuous sichelförmig / lunate zungenförmig / linguoid rhomboedrisch / rhomboid	H = 6–150 cm L = 0,6–30 m	asymmetrisch asymmetrical	Strömung / current V = 50–300 cm/sec Fr = 0,3–0,65
Riesenrippeln Giant ripples	gerade / straight wellenförmig / sinuous vergabelt / bifurcated	H = 1,5–15 m L = 30–1000 m	symmetrisch und asymmetrisch symmetrical and asymmetrical	Strömung wie bei Großrippeln current as with mega ripples
Sandwellen Sand waves	gerade / straight	H = bis Dezimeter L = bis 100 m	asymmetrisch asymmetrical	unklar / uncertain
Strandriffe (uferparallel) Longshore Bars (parallel to the shore)	gerade / straight	H = Dezimeter Kammbreite = Zehnermeter Kammlänge = Zehnermeter bis Kilometer H = decimetre Crest width = 10-metres Crest length = 10-metres up to 1 kilometre		starker Seegang strong wave action
Brandungsbänke (Platen) Shoals (sandbanks)	gerade / straight gebogen / curved	H = Dezimeter bis Meter Kammbreite = hundert Meter Kammlänge = bis Kilometer H = decimetre to metres Crest width = 100 m Crest length = up to kilometres	asymmetrisch asymmetrical	Brandung und Brandungsschwalle breaking waves and surge
Gegenrippeln Anti-dunes	gerade / straight	H = 1–45 cm L = bis/up to 600 cm	fast symmetrisch almost symmetrical	schießende Strömung Fr = >1 Shooting current Fr = > 1
Wellenrippeln Wave ripples	gerade / straight vergabelt / bifurcated	H = 0,3–22 cm L = 0,9–200 cm	symmetrisch symmetrical	Seegang V = 10–100 cm/sec wave movement V = 10–100 cm/sec
asymmetrische Wellenrippeln Asymetrical wave ripples	gerade / straight vergabelt / bifurcated	H = 0,3–19 cm L = 1,5–105 cm	asymmetrisch asymmetrical	Schwalle / surge

Die Küste, 32 (1978), 1-155

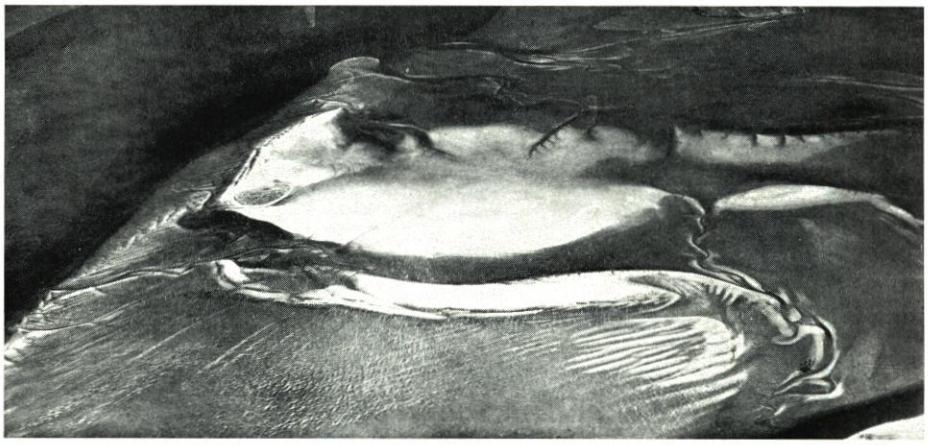


Abb. 7. Die Insel Scharhörn in einer Luftbild-Schrägaufnahme. Im Vordergrund eine hauptsächlich durch Brandung auf Scharhörn zu verlagerte Brandungsbank

Fig. 7. The island of Scharhörn in an oblique aerial photograph.
In the foreground a shoal mainly built up by wave action which has moved towards Scharhörn

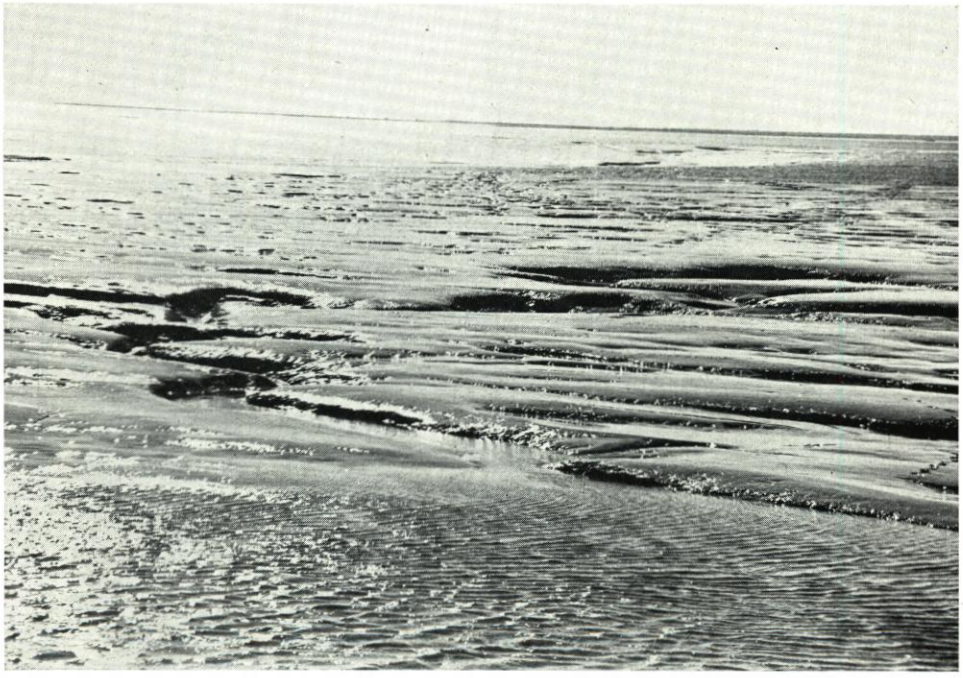


Abb. 8. Schlickwatt mit stark mäanderndem Priel. Im Vordergrund eine größere Wattrinne

Fig. 8. Mud flat with strongly meandering creek. In the foreground a large tidal channel

steep slope tends to favour the east side of the sea bay as with the prevailing winds from the west the waves attack most strongly on that side. Such cutting faces often went on eroding for centuries. Nowadays they are mostly protected by paving and groynes.

5. Micro-morphology

Although the macro-morphology of the tidal flats is level, in small areas, especially in sandy stretches, they are often considerably structured. The most commonly met forms are included in Table 1.

Small current ripples cover sand areas covered by weak currents. With heavier seas wave ripples replace them or are added to them. Mega ripples develop on the sandy beds of channels, on shoals subjected to heavy currents, and deep lying spurs of the tidal flats. Giant ripples occur in large channels and rivers. As they develop very rapidly after dredging, they present problems for dredging and shipping. Sand waves arise in deep lying sand flats (Fig. 5) which are only subjected to heavy currents during storm tides; at other times the prevailing flow velocities produce small ripples. Long shore bars (Fig. 6) and shoals (Fig. 7) develop

Tabelle 2. Verteilung der Schichtgefüge und der Verwühlung in Wattsedimenten in %.

Table 2. Distribution of bedding structure and disturbance of the sediments on the flat in %.

	Sandwatt Sand flats	Mischwatt Mixed flats	Schlickwatt Mudflats
Kleinrippel-Schichtung Small ripple bedding	54	+	+
Laminierter Sand Laminated sand	10	+	+
Schrägschichtung (Großrippeln) Crossbedding (mega-ripples)	5	+	–
Verwühlt Disturbed (bioturbated)	12	21	39
Wechselschichtung Sand/Schlick Alternate layering sand/mud	+	42	13
Linsen- und Flaserschichtung Lenticular and veined (flaser) bedding	14	22	6
Schlickbänke Mud layers	+	12	41



Abb. 9. Schlickige Verlandungszone mit Quellerpflanzen.
Im Hintergrund der Außengroden mit Deich

Fig. 9. Muddy accretion zone with annual salt marsh plants.
In the background the permanent saltings in front of the dyke

riffen. Wellenrippeln: Von grundberührendem Seegang werden durch die oszillierenden Wasserbewegungen symmetrische, dort, wo Wellen zu Schwallen umgeformt sind, auch asymmetrische Wellenrippeln erzeugt.

6. Die Sedimentverteilung

Entsprechend der Verteilung der hydrodynamischen Kräfte sind auch die Sedimente verteilt. Dort, wo Brandung der freien Flachsee einwirkt, liegt Mittelsand. Wo Seegang großer Wasserflächen im Wattenbereich einwirken kann, also an der Niedrigwasserlinie der meisten Wattflächen, befindet sich Feinsand. Zum Land oder zur Wattwasserscheide hin folgt ein Streifen Mischwatt und schließlich am Land und auf den meisten Wattwasserscheiden zieht sich das Schlickwatt hin (Tafel III). Diese drei Zonen, Sandwatt, Mischwatt und Schlickwatt (Abb. 8, 9), sind auf den meisten Wattflächen vorhanden. Das Schlickwatt setzt jedoch dort aus, wo wenig Schlick angeliefert wird, oder an Ostufern von Buchten, gegen die der meiste Seegang anläuft, wie z. B. im Jadebusen.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

in the area in front of the beach and on the beach itself on the foreshore (between high and low water). During storms the upper sandbars are levelled, although to some extent they are also shifted further up the tidal flat. The underlying bar which under normal conditions lies below the effective wave movement is reactivated during such storms. Anti-dunes are only to be found in very shallow water, where shooting flow occurs, e.g. at the flattened mouths of the creeks and on long shore bars. Wave ripples: wave movements close to the bed produce symmetrical ripples through the oscillating water movement. In places where the waves are deformed into surges, asymmetrical ripples are also produced.

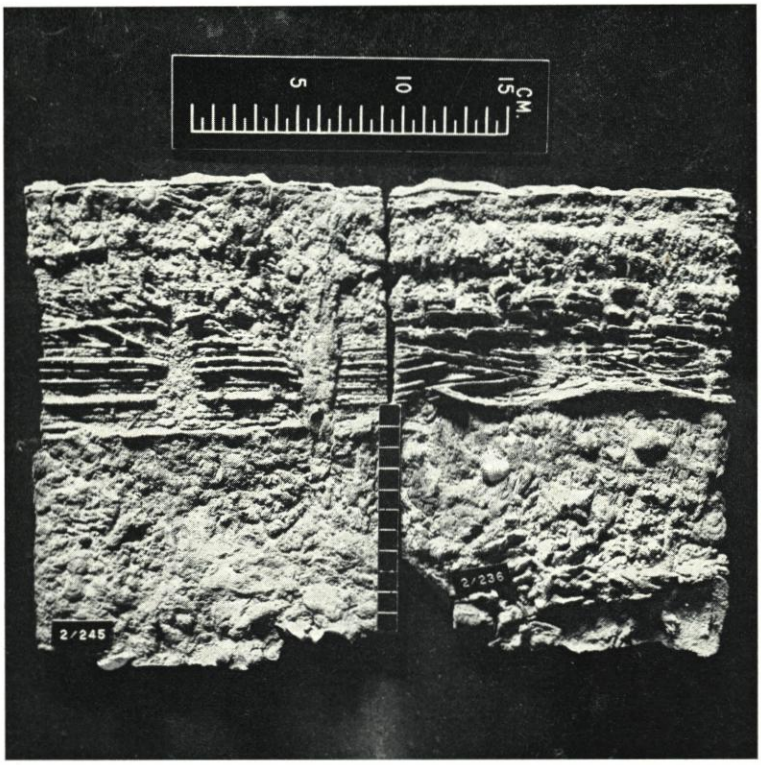


Abb. 10. Stark verwühlter Wattboden (Reliefguß einer ungestörten Sedimentprobe)

Fig. 10. Very disturbed sediments from a tidal flat (Peels with high relief of an undisturbed sediment core)

6. The distribution of sediments

The sediments are also distributed in line with the distribution of hydrodynamic forces. In areas where the waves are acting on open coastal waters the bed is medium sands. There are fine sands where wave movement over relatively large open areas of water is affecting the tidal flat. Towards the landward or up to the watershed there follow a strip of mixed flats and finally nearest the land and on most of the watershed



Abb. 11. Reusen in einer Wattrinne
Fig. 11. Fish baskets in a tidal channel

7. Die Gefüge

Die Sand- und Schlickvorkommen weisen innere Gefüge auf. Einmal sind es primäre Gefüge mit physikalischem Ursprung (Tabelle 2). Daneben gibt es auch zahlreiche biogene Gefüge (= Wühlgefüge) (Abb. 10).

Feinblättrige Wechselschichtung, Flaser- und Linsenschichtung entstehen durch den tidegegebenen Wechsel zwischen Tideströmungen (=Sandtransport) und Stauwasserzeiten (= Schlickabsatz) (Abb. 1).

8. Der Lebensraum Watt

Auf den Watten leben vorwiegend Polychaeten, Muscheln, Schnecken und Krebse sowie eine Vielzahl winziger Ein- und Mehrzeller, wie z. B. Diatomeen und Foraminiferen. Die meisten der Makroformen leben im Wattenboden. Hinzu kommen Ebbgäste, wie Vögel und Insekten und Flutgäste, wie Fische, Krebse, Quallen, Seesterne und Plankton. In der Verlandungszone wird die Vegetation dichter und über MThw setzt eine geschlossene Vegetationsdecke von Halophyten ein (Abb. 9).

Die Wattbewohner üben einen gewissen Einfluß auf die Wattsedimente aus: Eine Reihe von Suspensionsfiltern erzeugen Kotpillen, durch welche es zu Schlickanreicherun-



Tafel VIII: Insel Amrum am Westrand des Wattenmeeres mit breitem Dünengürtel und vorgelagertem Außensand (vorn links). Im Osten Geest- und Marschländereien. (Aufn. U. Muuß)

Plate VIII: The island of Amrum along the western edge of the inter-tidal zone, with a broad belt of dunes and an outer sand in front, which can be seen in the foreground on the left. On its eastern side there are areas of diluvium and of saltings.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

stretches: the mud flats (Plate III). These three zones, sand flats (Fig. 7), mixed flats and mud flats (Fig. 8, 9) are found on most tidal flats. There is a break in the mud flats, however, in areas where little mud is deposited, or on the east side of bays, which is most exposed to wave action as in the Jade Bay.

7. The structure

The sandy and muddy areas display internal structures. Some of these are primary structures with physical origins (Table 2). In addition there are numerous biological structures (bioturbate structures) (Fig. 10).

Thinly inter-layered bedding, flaser (veins) and lenticular bedding (Fig. 1) are formed through the laminating action of the changing tide between the tidal currents (sand transport) and slack water (deposit of mud).

8. The tidal flat habitat

Polychaetes, bivalves, gastropods, and shrimps are the main inhabitants of the tidal flats together with a great number of tiny unicellular and multicellular forms such as diatoms and foraminifers. Most macro forms live in the soil of the flat. There are also visitors on the ebb tide such as birds and insects and on the flood tide such as fish, crabs, jelly fish, star fish, and plankton. In the accretion zone the vegetation becomes denser and above HWMT there is an unbroken carpet of salt tolerating vegetation (halophytes) (Fig. 9).

The creatures living on the flat have a certain influence on the sediments in it. A series of suspension feeders produce fecal pellets which can enrich the mud. There are particularly large numbers of the mussel *Mytilus edulis*. A great many other creatures such as Polychaetes etc. produce fecal pellets which behave in the same way as sand grains as regards sediment transport and often account for a large part of the mud content of the sand.

A skin of diatoms can fix the top surface of the flat in a slimy algal mat. The many burrows of the mud shrimp *Corophium* on the other hand, so perforate the high lying cutting faces of the marsh that they are easier to erode. The vegetation in the zone of deposition, particularly salicornia, encourages deposition as the mud settles there more thickly.

The decaying organic substance essentially contributes to the formation of the "redox" zone. The topmost millimetre to centimetre of the flat is oxygenated, a layer of soil lying below about a decimetre thick is anaerobic. This can often be recognised from its blue-black colour.

9. The importance of the tidal flat area

In the European tidal flats, or more exactly in the channels of the tidal flat fishing is carried out (Fig. 11). Plaice and prawns are caught and mussels are farmed. The flats are particularly valuable as a nursery for important types of fish such as herrings, plaice, sole, flounders, Kliesche and cod.

gen kommen kann. Es ist dies in besonderem Maße die Muschel *Mytilus edulis*. Aber auch zahlreiche andere Tiere, wie Polychaeten usw. produzieren Kotpillen, die sich beim Sedimenttransport ähnlich wie Sandkörner verhalten und oft einen großen Teil des Schlickgehalts in Sanden ausmachen.

Diatomeenhäute können die Wattoberfläche durch einen dünnen Schleimteppich festlegen. Die zahlreichen Bauten des Schlickkrebses *Corophium* vermögen dagegen hochliegende Kleikanten so zu durchlöchern, daß sie leichter abgetragen werden können. Die Vegetation der Verlandungszone, vorwiegend der Queller, fördert die Verlandung dadurch, daß sich dort Schlick stärker absetzt.

Die zerfallende organische Substanz trägt wesentlich zur Ausbildung der Redoxzone bei. Die obersten Milli- bis Zentimeter des Watts sind oxidiert; eine darunter liegende Bodenschicht von Dezimeter-Mächtigkeit ist reduziert, was an der oft blauschwarzen Färbung erkennbar ist.

9. Die Bedeutung des Wattenraumes

In den europäischen Watten, genauer in den Wattrinnen, wird Wattenfischerei betrieben (Abb. 11). Es werden vor allem Garnelen und Schollen gefangen; daneben wird Miesmuschelzucht betrieben. Von großer Bedeutung ist das Watt als Kinderstube für so bedeutende Arten wie Hering, Scholle, Seezunge, Flunder, Kliesche und Dorsch.

Das Watt hat zudem große Bedeutung als Naturraum und als Erholungsgebiet. In bezug auf das Binnenland und den Deich ist das Watt schützendes Vorfeld. Durch Verlandung war es möglich, im Laufe der Geschichte zahlreiche, durch Meereseinbrüche in das Land eingerissene Buchten wieder zum Festland zurückzugewinnen.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

In addition the tidal flats have great importance as a nature reserve and a health resort. In relation to the inland area and the embankment the flat acts as a protective foreshore. Deposition on the flats has made it possible to win back to the land many stretches which had previously been washed away when the sea broke through.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Inseln vor der südlichen Nordseeküste

Von Günter Luck

Der zwischen dem Ästuar der Ems und der Jade gelegenen ostfriesischen Küste sind die sieben Düneninseln Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog, Wangerooge sowie drei Strandinseln Lütje Hörn, Memmert und Minsener Oog vorgelagert. Vom Festland sind sie getrennt durch Wattgebiete wechselnder Ausdehnung, die bei Niedrigwasser trocken fallen und bei Hochwasser überflutet sind.

Die sich von Westen nach Osten erstreckende Inselkette ist durchbrochen von den Seegaten Osterems, Norderneyer Seegat, Wichter Ee, Accumer Ee, Otzumer Balje, Harle und Blaue Balje. In den Seegaten vollzieht sich der Wasseraustausch zwischen den Wattgebieten und der offenen See.

Die Gesamtausdehnung der Inselkette von Borkum-West bis Minsener Oog-Ost beträgt rd. 90 km. In ihrer Lage zueinander sind die Inseln von Süden nach Norden gestaffelt, und Wangerooge ist rd. 20 km nördlicher als Borkum gelegen.

Die derzeitige Ausdehnung der Inseln und ihre Flächen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Klima ist – wie an der gesamten Nordseeküste – mit kühlen Sommern und ziemlich warmen Wintern marin geprägt. Infolge häufiger Starkwindlagen mit kräftiger Brandung ist der Aerosol-Gehalt der Luft besonders hoch, worauf der therapeutische Effekt des Inselklimas für Bronchialerkrankungen zurückzuführen ist.

Die Vegetation der Inseln setzt sich wesentlich aus salzverträglichen Pflanzen zusammen. Wegen des geringen Nahrungsangebotes ist die ursprüngliche Fauna verhältnismäßig artenarm. Lediglich die Avifauna ist, insbesondere wegen des Aufenthaltes durchziehender Vögel, sehr artenreich.

Infolge karger Erwerbsmöglichkeiten waren die Inseln ursprünglich nur schwach besiedelt (Tab. 2). Erst nachdem die klimatherapeutischen Wirkungen des Seeklimas erkannt waren und sie als Erholungsgebiete Bedeutung erlangten, stiegen die Einwohnerzahlen stetig an. Heute leben auf den Inseln ständig rd. 23 500 Einwohner.

Die Inseln verdanken ihre Entstehung den Kraftentfaltungen des Meeres und der Wirkung des Windes. Sie sind somit nicht – wie lange geglaubt – Restbestandteile alten Festlandes oder einer Nehrung. Durch den überwiegend von West nach Ost gerichteten Gezeitenstrom wird aus dem belgisch/niederländischen Küstengebiet ständig der zum Aufbau der Inseln erforderliche Sand herangeführt und durch die Brandung zu Platen aufgeworfen, auf welchen nach Erreichen einer gewissen Höhe auch Pflanzen gedeihen können. Der Pflanzensamen wird durch den Wind und mit dem Vogelkot auf die Inseln verbracht. Sobald eine – wenn auch zunächst spärliche – Vegetation vorhanden ist, die äolisch verfrachtete Sande fängt und durchwurzelt, beginnt das Höhenwachstum der Platen zu dünentragenden Inseln.

Es ist nachgewiesen, daß die so entstandenen Inseln ursprünglich weiter nördlich gelegen waren und als Folge des säkularen Wasseranstiegs der Nordsee im Laufe der Zeit nach Süden verlagert wurden. Die Nord/Süd-Bewegung war begleitet von einem beträchtlichen, von Westen nach Osten fortschreitenden Gestaltwandel, der seit etwa 1650 verhältnismäßig genau verfolgt werden kann. Dieser Gestaltwandel wurde aktiv bewirkt durch den überwiegend von Westen nach Osten gerichteten Gezeitenstrom und die in den Seegaten Nord/Süd verlaufenden Strömungen, die im Gezeitenrhythmus

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Islands in front of the Southern North Sea Coast

By Günter Luck

Off the East Friesian coast between the Ems and Jade estuaries lie the seven dune islands Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog and Wangerooge as well as the three beach islands Lütje Hörn, Memmert and Minsener Oog. They are separated from the mainland by tidal flats of changing width which fall dry at low water and are flooded at high water.

This chain of islands stretching from west to east is broken by sea deeps: the Osterems Seegat, the Norderney Seegat, the Wichter Ee, Accumer Ee, Otzumer Balje, the Harle and Blaue Balje. In these deeps the exchange of water between the open sea and the tidal flats occurs.

The total length of the island chain from the west of Borkum to the east of Minsener Oog is about 90 km. The islands are stepped from south to north in their relative positions and Wangerooge is set about 20 km further north than Borkum.

The present spread of the islands and their area is set out in summary in Tab. 1. The climate, like that along the whole North Sea coast is characteristically marine with cool summers and comparatively warm winters. Because of the very windy situation with powerful breakers, the spray content of the air is very high and this accounts for the therapeutic effect of the island climate on those with bronchial complaints.

The vegetation of the islands mainly consists of salt-tolerant plants. Because of the poor food supply there was originally a relatively poor range of native fauna. Only the bird life is very rich in varieties, especially because migrant birds stop there.

Because of the scanty employment possibilities the islands were originally very thinly settled (Tab. 2). The number of inhabitants only began to expand steadily when the therapeutic effects of the sea climate became known and the islands became important as health resorts. The permanent population of the islands is now about 23,500.

The islands owe their existence to the powerful action of the sea and the effect of the wind. They are not – as was long believed – the remains of an old mainland area nor of sandspits. The tidal currents which are predominantly from west to east bring the steady stream of the sand which is necessary to build the islands, from the Belgium/Netherlands coastal area and it is thrown up into shoals by the breakers. When these reach a certain height plants can colonise them. The plant seeds are brought to the islands by the wind and in bird droppings. As soon as there is some vegetation, even if it is at first sparse, the wind borne sand begins to settle and the shoals build up high to become dune carrying islands.

It has been shown that the islands formed in this way originally lay further to the north and that as a result of the secular rise of water level in the North Sea they were shifted to the south over the course of time. The north/south movement was accompanied by a considerable progressive change in configuration from west to east, which can be followed reasonably exactly from about 1650. This change in shape was brought about by the prevailing tidal currents from west to east, and the currents running north/south through the deeps between the islands. Over the tidal cycle and in particular during storms this produced very strong wave action from the north-west sector with littoral drift eastwards.

Tabelle Table 1

Ausdehnung und Flächen der Inseln Extent and Area of the Islands

	West-Ost-Ausdehnung Length West-East km	Nord-Süd-Ausdehnung Length North-South km	Gesamtfläche über MThw Total Area above HWMT km²	Dünengebiet Area of Dunes km²	Heller Undyked Marsh km²	trockener Strand Dry beach (above HMWT) km²	urkundlich erstmals erwähnt First mentioned historically
Borkum	10,7	3,0	31,0	9,5	12,4	9,1	1227
Juist	15,0	0,8	12,6	4,9	3,6	4,1	1398
Norderney	13,9	1,9	24,7	8,9	6,9	8,9	1398
Baltrum	5,1	1,4	6,2	2,5	1,2	2,5	1398
Langeoog	10,9	1,5	20,4	8,7	6,8	4,9	1398
Spiekeroog	9,8	2,0	21,3	3,7	4,1	13,5	1398
Wangerooge	8,3	1,0	8,4	1,7	4,2	2,5	1306
Summe/Total	73,7	–	124,6	39,9	39,2	45,5	–

Tabelle Table 2

Bevölkerungsentwicklung Development of population

	älteste Angaben Oldest Data	1850	1875	1900	1925	1950	1974	Kurgäste Holiday Visitors 1974
Borkum	?	436	617	2.114	3.400	5.000	7.300	98.362
Juist	1650: 22 Familien 1650: 22 Families	200	213	300	1.141	1.676	2.150	72.198
Norderney	1550: 16 Familien 1550: 16 Families	968	2.042	4.038	5.564	7.477	8.170	124.757
Baltrum	1650: 14 Familien 1650: 14 Families	?	150	140	223	466	682	28.585
Langeoog	1684: 12 Familien 1684: 12 Families	96	130	300	890	2.042	2.648	52.394
Spiekeroog	1684: 19 Familien 1684: 19 Families	134	192	237	428	588	870	25.751
Wangerooge	1570: 50 Familien 1570: 50 Families	90	90	235	1.354	1.629	1.652	32.834
Summe/Total		1.924	3.434	7.364	13.000	18.878	23.472	434.881

wechselnden Wasserstände und dem insbesondere bei Stürmen aus dem Nordwest-Sektor sehr starken Seegang mit ostwärts gerichteten Brandungsströmen.

Den aktiven Kräften wirken die auf den Inseln vorhandenen Sandmengen in ihrer Gesamtheit passiv entgegen. Im Zusammenwirken von Wind und Vegetation werden diese Sandvorräte stetig vermehrt oder Sandverluste durch entsprechende Zufuhren ausgeglichen. Die Nord/Süd-Gliederung ist in Abb. 1 dargestellt. An den seewärtigen Unterwasserhang schließt sich der nasse Strand (zwischen MTnw und MThw) an. Oberhalb MThw bis zum Dünenfuß (~ 2 m + NN) erstreckt sich der trockene Strand. Die ihn begrenzende Dünenlandschaft gliedert sich in Weißdünen, Graudünen (Abb. 2) und Schwarzdünen. Südlich der Dünen sind bis zum Watt reichende Heller[1]) gelegen.

Erste Hinweise auf die Inseln werden von griechischen und römischen Geographen gegeben. 1398 werden sie in ihrer Gesamtheit erstmals erwähnt. Nach etwa 1600 ist das Quellenmaterial dann so beschaffen, daß die seither eingetretenen Veränderungen mit zeitlich zunehmender Sicherheit nachgezeichnet werden können.

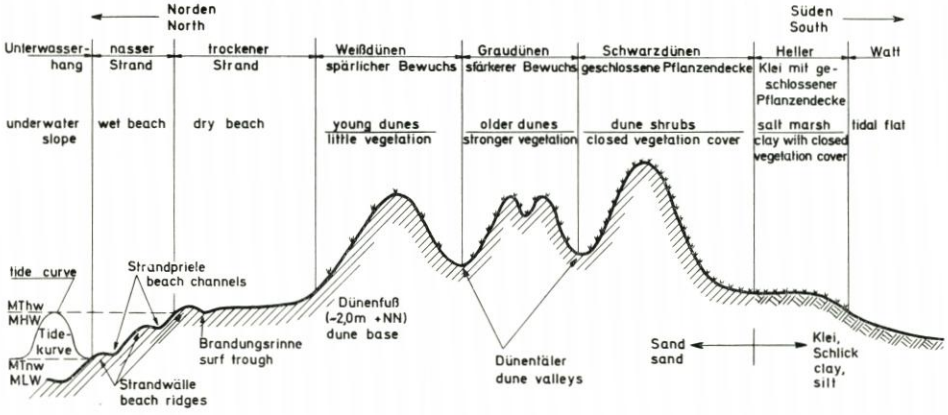


Abb. 1. Nord/Süd-Gliederung der Ostfriesischen Inseln (schematisch)
Fig. 1. North/South pattern of the East Friesian Islands (schematic)

In den vergangenen 300 Jahren ist die großräumige Entwicklung durch folgende Vorgänge geprägt: erhebliches Wachstum der Inseln Juist, Norderney und Wangerooge nach Osten, Verschwinden der ursprünglich recht großen, im Norderneyer Seegat gelegenen Insel Buise, starke Abbrucherscheinungen im Westen der Inseln Baltrum und Wangerooge, anhaltende Südostverlagerung Borkums und eine sehr ruhige Entwicklung der Inseln Langeoog und Spiekeroog. Seit etwa 1860 wurde diesen Vorgängen mit Buhnen sowie Deckwerken begegnet und damit ein morphologischer Zustand fixiert, der bei ungehindertem Verlauf des natürlichen Geschehens nur vorübergehend gewesen wäre.

Im Bereich der Seegaten besteht im Naturzustand ein dynamisches Gleichgewicht, das wesentlich durch die Größe des zugehörigen Watteinzugsgebietes, dem Querschnitt der tiefen Rinne des Seegats und der Ausdehnung der die Seegaten nach Norden umlaufenden Riffbögen bestimmt ist. In den Abbildungen 3 und 4 sind beispielhaft zwei

[1]) Heller = unbedeichtes Marschvorland

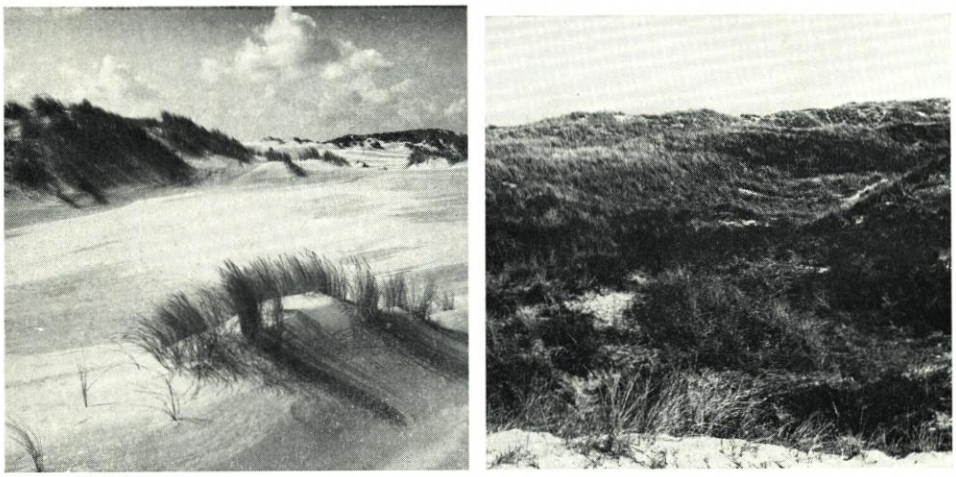


Abb. 2. Weißdünen (links) und Graudünen (rechts) auf Langeoog
Fig. 2. White Dunes (left) and Grey Dunes (right) on Langeoog

The great quantity of sand which was already on the islands passively resisted these attacks. A combination of wind and vegetation steadily increased these stores of sand or at least balanced losses by corresponding gains. The north/south balance is shown in Fig. I. The underwater slope to the seaward joins on to the wet beach (between LWMT and HWMT). The dry sand stretches from above HWMT up to the foot of the dunes (2 m +NN)[1]). The dune landscape is formed of white dunes, grey dunes (Fig. 2) and black dunes. South of the dunes and up to the tidal flats are reaches of "Heller"[2]).

The first information about the islands was from Greek and Roman geographers. They were first mentioned in their entirety in 1398. Only after about 1600, however, is the source material in such a form that the changes since then can be described with increasing certainty as time passes. In the last 300 years the broad scale developments have the following characteristics: considerable growth on the east side of the islands of Juist, Norderney and Wangerooge; disappearance of the originally quite big island of Buise in the Norderney Seegat, considerable erosion on the west of the islands of Baltrum and Wangerooge; continuing shift in the position of Borkum to the south east and a very gradual development of the islands Langeoog and Spiekeroog. Since 1860 these processes have been checked by groynes and protective works. This has fixed a morphological situation which, left to the unhindered play of natural forces, would only have been transitory.

In the area of the deeps (Seegaten) under natural conditions there is a dynamic equilibrium which is in fact determined by the size of their catchment area on the tidal flats, the cross section of the deep channel of the Seegat, and size of the curved sand bars rounding off the northern end of the Seegat. As examples, Figs. 3 and 4 show aerial photographs of two differently shaped Seegaten (Norderney Seegat and Accumer

[1]) The German NN is the approximate equivalent of the English O.D.
[2]) Heller = unembanked saltmarsh

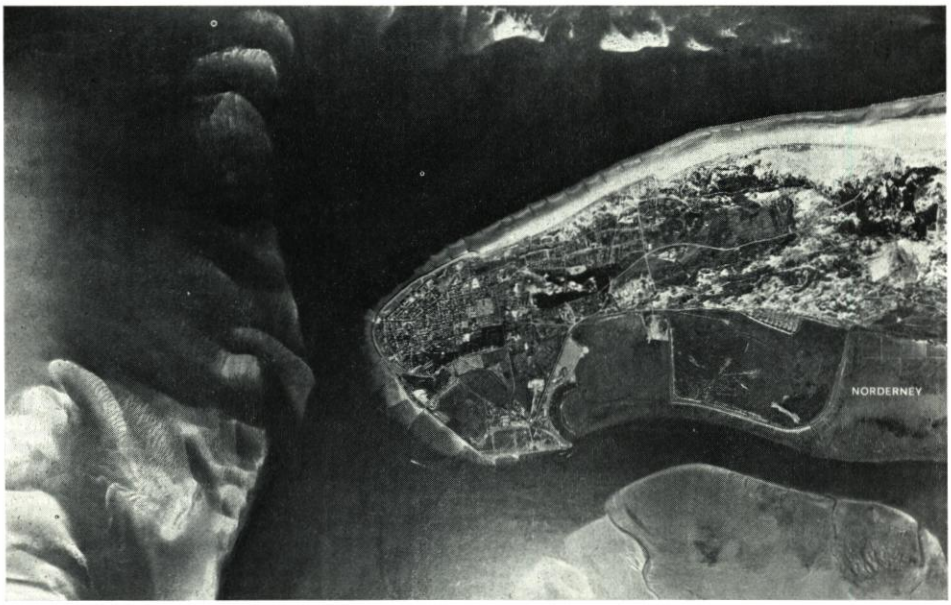


Abb. 3. Luftbild Norderneyer Seegat (Maßstab ~1 : 70 000)
Fig. 3. Aerial photograph of Norderney Seegat (scale 1 : 70 000)

unterschiedlich gestaltete Seegaten (Norderneyer Seegat und Accumer Ee) im Luftbild dargestellt. Die Aufnahmen lassen unschwer die Bedeutung der Riffbögen für die Sandversorgung der östlich benachbarten Inseln erkennen. In den Luftbildern fällt auf, daß der Riffbogen des Norderneyer Seegats die Insel Norderney erst in ihrer Mitte erreicht, während derjenige der Accumer Ee auf das Westende der Insel Langeoog zustößt. Die Sandbilanz der Inseln ist wesentlich bestimmt durch den Anlandungsbereich der Platen. So ist sie auf Langeoog wegen der Sandzufuhr im Westen insgesamt ausgeglichen. Auf Norderney ist die Sandbilanz westlich des Anlandungsbereiches negativ (Abb. 5) und erst östlich ausgeglichen bis positiv. Zusätzlich beeinflußt sind diese Vorgänge durch das scharfe Herandrängen der tiefen Rinne des Norderneyer Seegats (Abb. 6), dem zu Beginn dieses Jahrhunderts mit Unterwasserbuhnen begegnet wurde.

Verursacht sind die in Beziehung zu den Inselstränden unterschiedlichen Anlandungen durch die Lage der tiefen Rinne der Seegaten (östlich oder westlich), und diese ist wiederum bewirkt durch die räumliche Verteilung der Watteinzugsgebiete. So überwiegt im Norderneyer Seegat der westliche und in der Accumer Ee der östliche Teil des zugehörigen Einzugsgebietes.

Östlich der Ostfriesischen Inseln – aber nicht zu ihnen gehörend – sind noch die kleinen Inseln Mellum (zwischen Jade und Weser) sowie Neuwerk und Scharhörn (Elbmündungsgebiet) gelegen. Mellum, eine kleine, unbewohnte Strandinsel, ist eine junge Bildung des Meeres. Der erste Pflanzenwuchs ist hier etwa 1870 entstanden. Gegenwärtig ist die über MThw liegende Fläche der Insel 0,64 km² groß. Eine 30 bis 40 m breite Düne erhebt sich mit ihren höchsten Stellen etwa 3 bis 4 m über MThw. Wegen seiner interessanten Vogel- und Pflanzenwelt ist Mellum seit 1909 unter Naturschutz gestellt.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

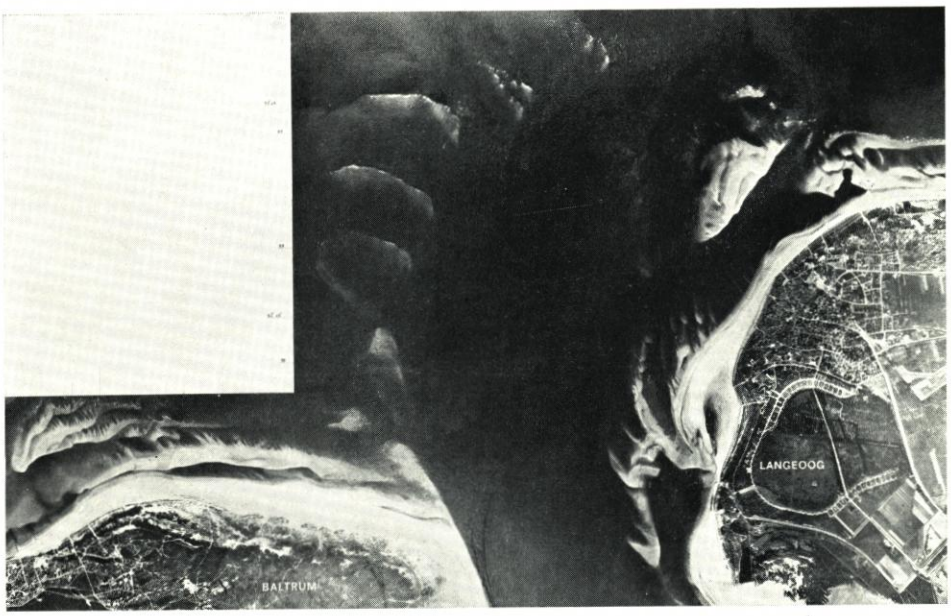


Abb. 4. Luftbild Accumer Ee (Maßstab ~1 : 85 000)
Fig. 4. Aerial photograph of Accumer Ee (scale 1 : 85 000)

Ee). The photographs make it easy to recognise the importance of the curved sand bar for the supply of sand to the neighbouring islands to the east. The aerial photographs show strikingly that the bar in the Norderney Seegat has already reached the middle of the island of Norderney while that of the Accumer Ee has pushed up to the west end of the island of Langeoog. The sand balance of the islands is essentially determined by the landward part of the shoal. Thus in Langeoog there is an overall balance because of the arrival of sand in the west. In Norderney the sand balance west of the landward reach is negative (Fig. 5) and only balances or becomes positive to the east. These patterns are also influenced by pressure from the approach of the deep channel of the Norderney Seegat (Fig. 6) which was controlled by underwater groynes at the beginning of this century. The differential shoaling along the island's beaches is caused by the position of the deep channel in the Seegaten (east or west) and this is, in turn, brought about by the size, shape and location of its catchment area on the tidal flats. So in the Norderney Seegat the westward part of its catchment area is predominant and in the Accumer Ee the eastward part.

East of the East Friesian islands, but not part of them remain the small islands of Mellum (between the Jade and the Weser) as well as Neuwerk and Scharhörn (in the mouth of the Elbe). Mellum, a small, uninhabited island is a recent creation of the sea. The first growth of plant life started here about 1870. At present the area of the island above HWMT is 0.64 km² large. A 30 to 40 m wide dune rises to a maximum height of about 3 to 4 m above HWMT. Because of its interesting plant and bird life Mellum has been a nature reserve since 1909.

Neuwerk is a marshland island that has long been inhabited. The area of the island above HWMT is 2.9 km². About 1.1 km² of this have been dyked since 1560 so that the

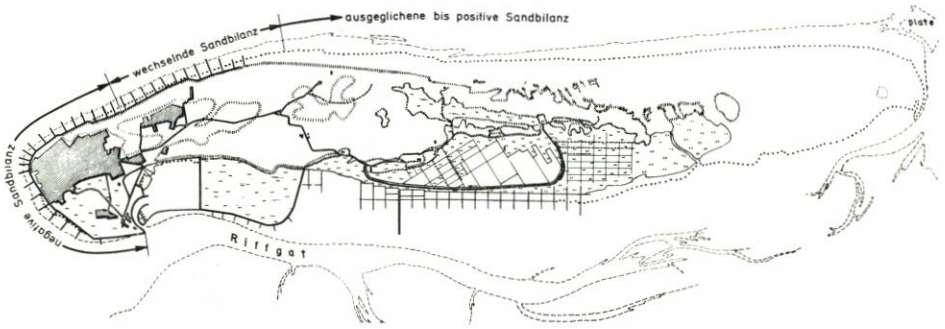


Abb. 5. Sandbilanz der Inselstrände von Norderney
Fig. 5. Sand balance on the island beaches of Norderney

Neuwerk ist eine seit altersher bewohnte Marschinsel. Die über MThw liegende Inselfläche ist 2,9 km² groß. Davon sind seit 1560 etwa 1,1 km² bedeicht, so daß die rd. 40 Einwohner zählende Gemeinde gegen Sturmfluten geschützt ist. Auf einer Wurt steht der im Jahre 1310 von Hamburg gebaute, fast 40 m hohe, vierkantige Turm, das „Niewark" (= neue Werk), der der Insel den Namen gab. Er diente dem Schutz der Schiffahrt in der Elbemündung, später als Leuchtfeuer. Zur Niedrigwasserzeit ist die Insel vom Festland her zu Fuß oder mit dem Pferdefuhrwerk erreichbar (~ 10 km).

Scharhörn, eine kleine, unbewohnte Strandinsel, ist etwa 5 km nordwestlich von Neuwerk gelegen (Inselfläche über MThw = 2,8 km²) (Tafel IV). Schutzarbeiten außer Dünenpflege werden hier nicht ausgeführt. Zur Tideniedrigwasserzeit ist die Insel von Neuwerk her mit Pferdefuhrwerk oder zu Fuß erreichbar. Scharhörn ist als Vogelschutzgebiet ausgewiesen, und im Sommer befindet sich dort ständig ein Vogelwart.

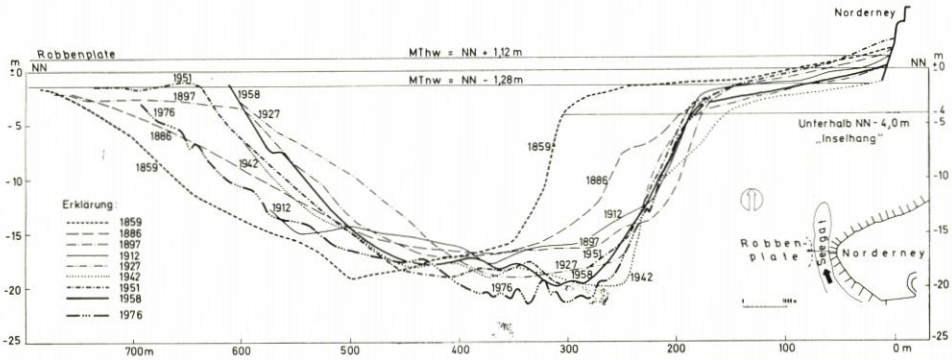


Abb. 6. Veränderung der tiefen Rinne des Norderneyer Seegats seit 1859

Fig. 6. Changes in the deep channel of the Norderney Seegat since 1859

community of about 40 inhabitants is protected against storm floods. A four sided tower nearly 40 m high built on an earth mound (Wurt) by Hamburg in 1310 and called the "Niewark" (new work) gave the island its name. It served for the protection of the shipping in the Elbe estuary and later as a lighthouse. At low water the island can be reached from the mainland on foot or by horse drawn transport (10 km).

Scharhörn, a small uninhabited duneless island lies some 5 km north west of Neuwerk (area of the island above HWMT = 2.8 km²) (Plate IV). Apart from care of the dunes no protective works have been carried out here. At low tide the island can be reached by foot or with horse drawn transport from Neuwerk. Scharhörn is designated as a bird sanctuary, and in summer there is always a bird warden there.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Inseln vor der östlichen Nordseeküste

Von Marcus Petersen

1. Übersicht

Fast senkrecht zum Verlauf der Inselkette zwischen Ems und Elbe liegen die Inseln an der östlichen Flanke der Nordseeküste – am Rande des etwa 2500 km² großen Wattengebietes oder unregelmäßig auf den Wattflächen verteilt. Die amphibische Wattlandschaft gliedert sich in die bei Ebbe trockenfallenden und bei Flut mit Wasser bedeckten Watten (63 %), die bei mittlerem Tidehochwasser nicht überfluteten Außensände (2,5 %), die dauernd mit Wasser gefüllten Rinnen (30 %) und die „Halligen" und Vorländereien (4,5 %). Hinzu kommen die Geestinseln und die von Deichen umgebenen Marschinseln (283 km²), die bei Sturmfluten nicht überschwemmt werden.

Die Inseln befinden sich vorwiegend im nördlichen Teil des zehn bis zwanzig Kilometer breiten Wattengürtels (Abb. 1). Der ständige natürliche Wechsel zwischen Zerstörung und Aufbau der Gezeitenlandschaft hat ihre Formen geprägt. Die Felseninsel Helgoland, etwa fünfzig Kilometer vor der Schwemmlandküste in der freien Nordsee, nimmt eine Sonderstellung ein.

Teile der Inseln, Halligen und Außensände, wie auch das gesamte nordfriesische Wattenmeer, stehen unter Naturschutz. In der breiten Öffentlichkeit wird kritisch über die Erhaltung und Wiederherstellung einer intakten Umwelt diskutiert, Art und Umfang der Küstenschutzmaßnahmen werden beleuchtet. Man möchte die biologisch hochproduktiven amphibischen Watten und Priele erhalten, um das Ökosystem des Wattenmeeres nicht in Gefahr zu bringen. Im Hinblick auf die weiter andauernde „Meeresspiegelhebung" bleibt der Küstenschutz eine lebenswichtige Aufgabe in diesem Raum; denn die Wattsockel müssen in ihrem Bestand bestehenbleiben, und das für das Ökosystem ausgewogene Gleichgewicht zwischen Watten, Rinnen und Salzwiesen muß hergestellt werden.

2. Die wesentlichen Gestaltungsvorgänge im nordfriesischen Wattenmeer

Das Wattengebiet Nordfrieslands befindet sich trotz der Rückgewinnung früherer Köge keineswegs im Gleichgewicht. Das läßt sich an dem Einzugsbereich des Wattstromes Norderhever erläutern, wo der Wattsockel zunehmend an Masse verliert. Etwa zu der Zeit, als die Friesen diese Marschen besiedelten, drangen Sturmfluten in das Land ein und vernichteten es (s. Beitrag Rohde). Tidegewässer vergrößerten sich zu breiten und tiefen Rinnen mit starken Stromgeschwindigkeiten. Als Hauptrinne bekam der Heverstrom in den Sturmfluten des Mittelalters mehr und mehr Bedeutung. Als dann die Katastrophenflut 1634 die fruchtbare Insel Alt-Nordstrand vollständig überschwemmte, fraß sich die Hever tief in das Inselgebiet ein, so daß nur Reste der heutigen Marschinseln Pellworm und Nordstrand sowie die Hallig Nordstrandischmoor übrigblieben.

Vergleicht man das Gewässer Norderhever mit anderen Fließgewässern, so wird man kaum irgendwo eine annähernd gleiche Landschaftsform finden. Die Hever hat nur eine Länge von 32 Kilometern. Ihre Mündung ist acht Kilometer weit geöffnet; die leicht seewärts gebogene natürliche Barre liegt fünf bis sechs Meter unter dem Tideniedrig-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Islands along the Eastern North Sea Coast

By Marcus Petersen

1. General Review

The islands on the eastern flank of the North Sea coast lie almost at right angles to the chain of islands between the Ems and the Elbe. They are distributed round the edge of the 2,500 km² tidal flat area or lie irregularly within the tidal flat area. The amphibian tidal flat landscape divides into the area which falls dry on the ebb and is covered by the flood (63 %), the outer sands which are not covered at mean tide high water (2.5 %), the channels which are permanently full of water (30 %) and the "Halligen" (small islands) and foreshore areas (4.5 %). In addition to this there are "Geest" (diluvium) islands and marsh islands surrounded by dykes (283 km²) which are not flooded by storm surges.

The islands are mostly in the northern part of the ten to twenty kilometre broad belt of tidal flats (Fig. 1). They have been shaped and formed by the steady natural change between erosion and accretion of the tidal landscape. The rock island of Heligoland, about 50 kilometres seaward of the alluvial coast in the open North Sea has a special place.

Parts of the islands, Halligen and outer sands, as well as the whole of the North Friesian tidal flat area are under a nature conservancy order. There have been wide public discussions criticising the maintenance and restoration of an intact environment and these have brought the nature and extent of coastal protection measures into the public eye. It is desirable that the biologically highly productive amphibian flats and creeks should be maintained so as not to endanger the ecological system of the tidal flats. In view of the continuing rise in sea level, coast protection remains a matter of life and death in this area; for the core of the tidal flats must be maintained in existence and the appropriate balance for the ecological system between tidal flats, channels and salt marshes must be established.

2. The basic processes shaping the North Friesian Tidal Flats

The tidal flat area in North Friesland is in no way in equilibrium despite the earlier reclamation of polders. This can be illustrated by the catchment area of the North Hever channel through the flats where the core of the flats are continually decreasing in size. About the time that the Friesians settled in these marshes storm surges broke over the land and destroyed it (see paper by Rohde). Tidal flows cut out broad deep channels with high flow velocities. The Hever stream as the main channel became more and more important during the storm surges of the middle ages. Thus when the catastrophic flood of 1634 flooded the whole of the fertile island of Alt-Nordstrand the Hever cut deeply into the island area so that only a remnant remained, the present day marsh islands of Pellworm and Nordstrand and the Hallig Nordstrandischmoor.

If the North Hever flow is compared with that of other flowing water it is hard to find a similar type of land formation. The Hever is only 32 km long. Its mouth is eight kilometres wide, the natural bar curving slightly to the seaward lies five to six metres

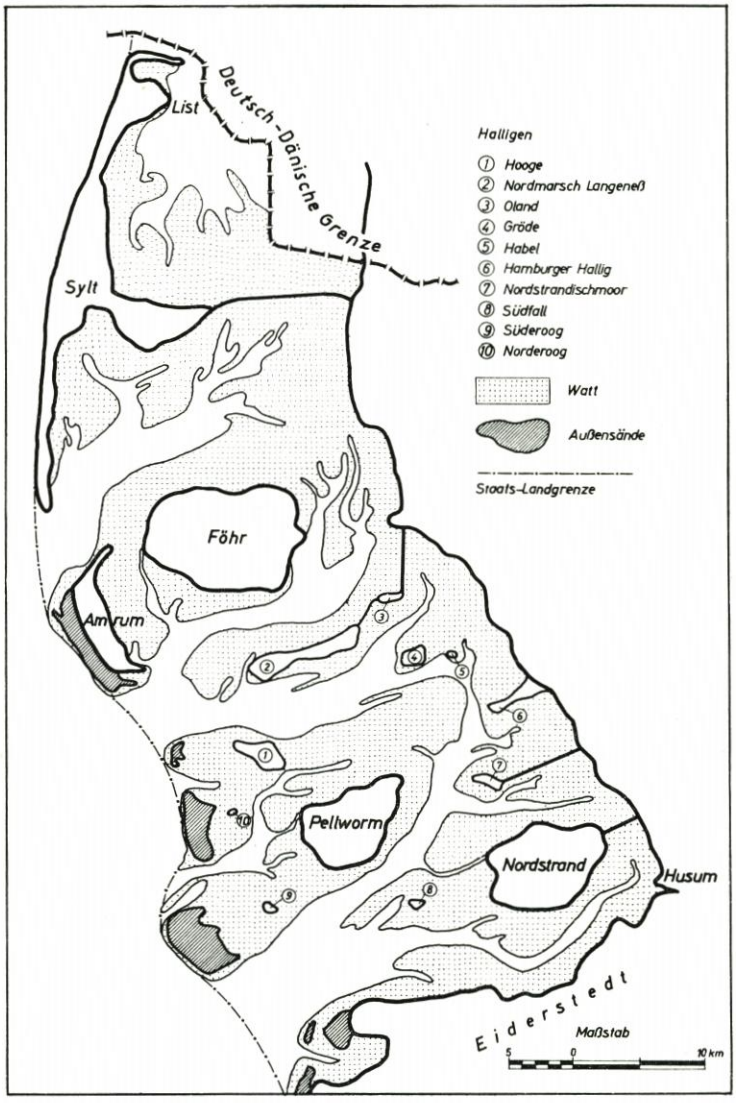


Abb. 1. Die Nordfriesischen Inseln
Fig. 1. The North Friesian Islands

wasser. Der Mittellauf dagegen hat eine Breite von 2000 Metern; er hat sich bis 30 Meter tief in den Schwemmsand und Kleiboden hineingefressen.

Bemerkenswert ist das Verhalten der Wattwasserscheide in jüngster Zeit. Sie hat sich zwischen der Norderhever und der Süderaue allein in den letzten 70 Jahren um fast 7000 Meter nach Norden verlegt. Dabei wurden die Süderaue zurückgedrängt, die Strömung verschärft und der Einflußbereich der Hever bis südlich von Hallig Gröde (Abb. 1) ausgedehnt. Als Folgeerscheinung sind umfangreiche Abrasionsflächen auf den Watten zu beobachten, auf denen frühere Kulturlandgebiete freigespült worden sind. Die Oberfläche der heutigen Halligen und Vorländereien liegt dagegen rund zwei Meter höher. Die

Die Küste, 32 (1978), 1-155



Tafel IX: Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals. (Aufn. U. Muuß)

Plate IX: Locks of the Kiel Canal.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

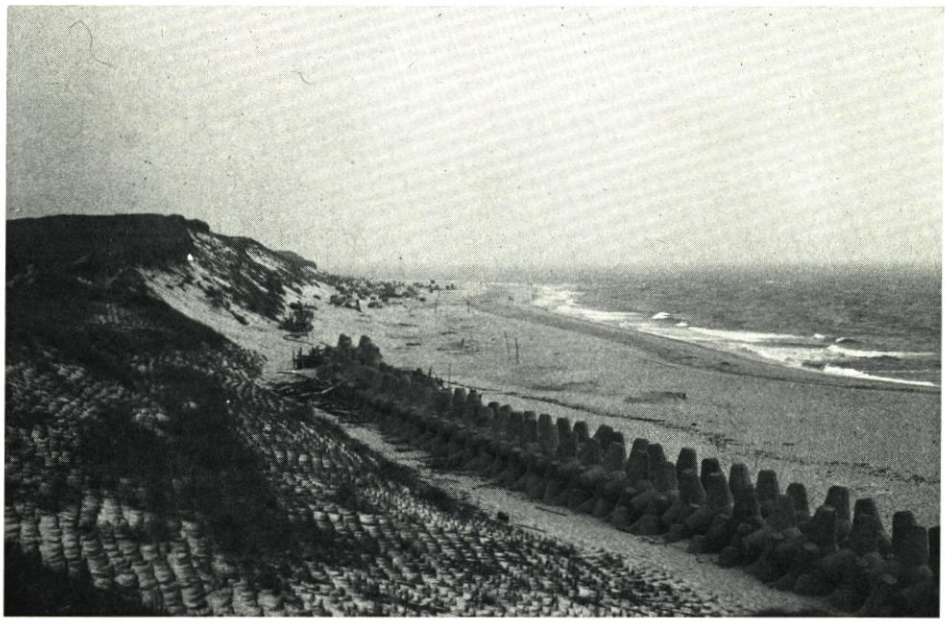


Abb. 2. Hörnum auf Sylt, südlicher Abschluß des Tetrapodenwalles, 1970
Fig. 2. Hörnum on Sylt, southern end of the wall of tetrapods, 1970

below low water. The middle reach on the other hand, had a width of 2,000 metres and it has cut up to 30 metres deep into the alluvial sands and clay bed.

The behaviour of the watershed on the flats in the recent past is noteworthy. In the last 70 years alone it has shifted about 7,000 metres to the North in the area between the North Hever and the South Aue. This has pushed back the South Aue, strengthened the current and extended the area influenced by the Hever to the south of the Hallig of Gröde (Fig. 1). As a result extensive areas of surface erosion can be observed on the flats from which land in the area which was earlier cultivated has been washed away. The surface of the present day Halligen (s. ob.) and foreshores, on the other hand, are now about two metres higher. The reason for this unusual alteration in the landscape is to be found primarily in the secular rise in sea level of about 25 to 30 cm in 100 years.

The outer sands, with a total area of about 57 km², belong, as do the large islands and the small Halligen, to the system of natural defences of the mainland coast. They all fulfill their function as wave breaks. The form, length and height of the waves in the open North Sea alter as they enter the level tidal flats; a special, wave climate typical of the flats is established.

West of the low water mark of the outer islands and the chain of outer sandbanks the relief of the sea bed falls gradually. Depths of 10 metres are reached two kilometres seaward of Sylt but in other places 10 to 15 kilometres beyond the edge of the flats.

The North Sea is continually driving back the west beaches of Sylt and Amrum and of the other outer sands at a rate of the order of magnitude of between one and thirty

Ursache für diese außergewöhnliche Landschaftsdynamik ist vor allem im säkularen Anstieg des Meeresspiegels, 25 bis 30 cm in 100 Jahren, zu suchen.

Die Außensände mit einer Gesamtfläche von rund 57 km² gehören – wie die großen Inseln und kleinen Halligen – zum natürlichen Verteidigungssystem der Festlandsküste. Sie alle erfüllen ihre Funktion als Wellenbrecher. Die Formen der langen und hohen Wellen in der offenen Nordsee ändern sich beim Eintritt in das flache Wattenmeer; es entsteht ein besonderes, für die Watten typisches Wellenklima.

Westlich der Tideniedrigwasser-Linie der äußeren Insel- und Außensandkette fällt das Relief des Meeresbodens allmählich ab. Tiefen von zehn Metern werden vor Sylt in zwei Kilometer, sonst in 10 bis 15 Kilometer Entfernung von der äußeren Wattgrenze erreicht.

Die Nordsee drückt den Westrand von Sylt, Amrum und von den übrigen Außensänden immer weiter zurück, und zwar um Beträge in der Größenordnung von einem bis dreißig Meter je Jahr. Die Veränderungen dieser Landschaftsteile sind mit dem bloßen Auge kaum wahrzunehmen. Ihre Ausmaße wurden erst durch Messungen und Kartenvergleiche festgestellt.

3. Die Inseln mit „Geestkern", Sylt, Amrum, Föhr

Die Geest auf den drei nördlichsten Inseln Sylt, Amrum und Föhr besteht aus eiszeitlichen Ablagerungen. Auf Sylt ragt sie bis 27 Meter über den Meeresspiegel. Diluviale (pleistozene) Schichten treten an Steilufern zutage, an einem Kliff auch tertiäre Formationen. Angelehnt an den Geestkern entstanden im Norden und Süden nacheiszeitliche Dünen von ansehnlichen Ausmaßen. Die Sandmenge ist im nördlichen Teil von Sylt am größten, wo die Dünen bis 50 Meter hoch aufgeweht wurden. Im Schutze der Geest und der Dünen war die Bildung einer 1700 Hektar großen Marschfläche möglich, die vor vierzig Jahren eingedeicht worden ist.

Die Einwohnerzahl von Sylt hat nach der Inbetriebnahme des Eisenbahndammes, der sturmflutfreien Landverbindung mit dem Festland, erheblich zugenommen. Heute wohnen dort 25 000 Personen (Tab. 1); auf der Insel werden jährlich mehr als 3,5 Millionen Fremdübernachtungen gebucht.

Tabelle 1

Die Inseln zwischen der Elbe und Sylt

	Fläche Area km²	Länge Length km	Breite Width km	Einwohner Inhabitants	Kurgäste*) Holiday Visitors
Sylt	96	40	up to 12	25 000	254 350
Amrum	20	10	up to 3	3 000	49 470
Föhr	82	12	8	9 100	77 080
Pellworm	37	8	6	1 200	13 500
Nordstrand	48	10	6	3 000	10 275
Halligen	23	up to 9	up to 2	350	6 230
Außensände	57	50	up to 2	–	–
Heligoland	2			3 000	38 970
	365			44 650	449 875

*) gemeldet in der Zeit vom 1. Okt. 1976 bis 30. Sept. 1977
registered in the period from 1st Oct. 1976 to 30th Sept 1977

Die Küste, 32 (1978), 1-155

metres per year. The changes in this part of the landscape can hardly be observed with the naked eye. Their extent can only be established by survey and comparison charts.

3. The islands with "diluvial cores", Sylt, Amrum, Föhr

The diluvium on the three most northerly islands: Sylt, Amrum and Föhr has existed since it was deposited in the ice age. On Sylt it rises to 27 metres above sea level. Diluvial (Pleistozene) layers come into view in the steep banks, there are also tertiary formations on one cliff. Adjoining the diluvial core on the North and South there are

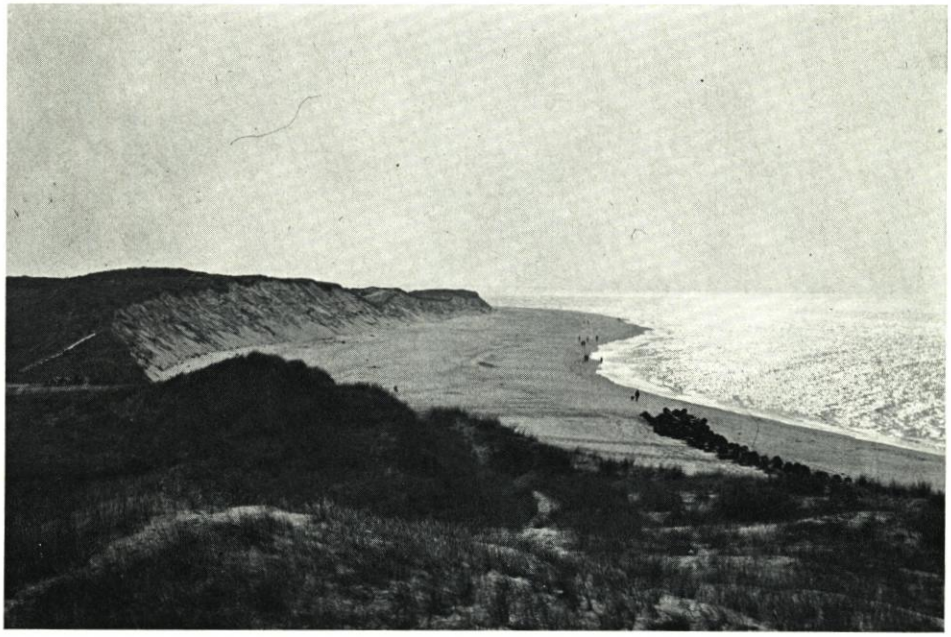


Abb. 3. Hörnum auf Sylt, Lee-Erosion (100 m) am südlichen Abschluß des Tetrapodenwalles, 1976

Fig. 3. Hörnum on Sylt, lee erosion (100 m) at the southern end of the wall tetrapods, 1976

post-ice-age dunes of imposing size. The amount of sand is greatest in the Northern part of Sylt where the wind has piled the dunes up to 50 metres high. The shelter of the diluvium and the dunes made possible the creation of a 1700 ha area of marsh which was enclosed by dykes forty years ago.

Since the railway embankment came into use as a link with the mainland unaffected by storm surges, the population of Sylt has increased considerably. Today some 25,000 people live there (Table 1); the island accommodates more than 3.5 million overnight visits in the course of a year.

As the 40 kilometer long west beach of Sylt lies facing the main wind direction, it is constantly exposed to the action of the breaking waves. The North Sea attacks the



Abb. 4. Amrum – Watt – Föhr
Fig. 4. Amrum – tidal flat – Föhr

Da der 40 Kilometer lange Weststrand von Sylt frontal zur Hauptwindrichtung liegt, ist er dauernd den Brandungskräften ausgesetzt. Die Nordsee greift die Insel an und nimmt von ihrer Substanz. Dabei wird die Küstenlinie durchschnittlich um etwa einen Meter im Jahr zurückgedrängt. Zum Schutze des in der Mitte gelegenen, 1855 gegründeten Seebades Westerland hat man das Ufer deshalb auf drei Kilometer in verschiedenen Bauweisen stark befestigt mit dem Erfolg, daß der Strand – der natürliche Schutz der Insel – abgetragen wird und der fortgeschwemmte Sand durch künstlichen Nachschub ergänzt werden muß.

Auf dem südlichen Nehrungshaken von Sylt wurde vor einer Siedlung ein Längswerk aus 6000 kg schweren Tetrapoden in einer Länge von gut einem Kilometer und quer dazu eine 230 Meter lange Tetrapodenbuhne gebaut. Damit ist es gelungen, auf der Luvseite der Buhne reichlich Sand zu fangen. Mit Hilfe von Sandfangzäunen und durch Bepflanzen hat man eine neue Vordüne entstehen lassen. Durch die Anlage wurde jedoch der natürliche Sandtransport unterbrochen und die Küstenlinie auf der Südseite um rund 100 Meter zurückverlegt. Innerhalb weniger Jahre haben Sturmfluten riesige Sandmengen

Die Küste, 32 (1978), 1-155

island and wears it away. In this way the coastline is pushed back by an average of one metre a year. To protect the central sea bathing resort of Westerland which was founded in 1855 various types of protective works were built to protect the shoreline for a length of three kilometres. The result was that the beach, the natural protection of the island, was eroded and the sand which was washed away had to be augmented by artificial replenishment.

On the southern hooked spit of Sylt along the front of a settlement a work of a good kilometre long was built of tetrapods weighing 6000 kg and a 230 metre long groyne of tetrapods was built at right angle to it. In this way it has been possible to collect plentiful supplies of sand on the windward side of the groyne. With the aid of sand collecting fences and by planting, it has been possible to create a new pre-dune. The works break the natural sand transport and have moved back the coastline on the southern side by about 100 metres. Over a short number of years storm tides have moved very large quantities of sand on a short stretch of shore. This is the most important example of lee erosion on our coast (Figs. 2 and 3).

The diluvial core of the island of Amrum (Fig. 4 and Plate VIII) rises to 18 metres above sea level. The highest dune overtops it by another nine metres. Both the spits in the north and south curve towards the east. In the west there is an outer sand almost one kilometre wide directly in front of the dunes. Soon after buildings were erected on the southern spit and despite the plentiful supply of sand on this island costly coast protection works

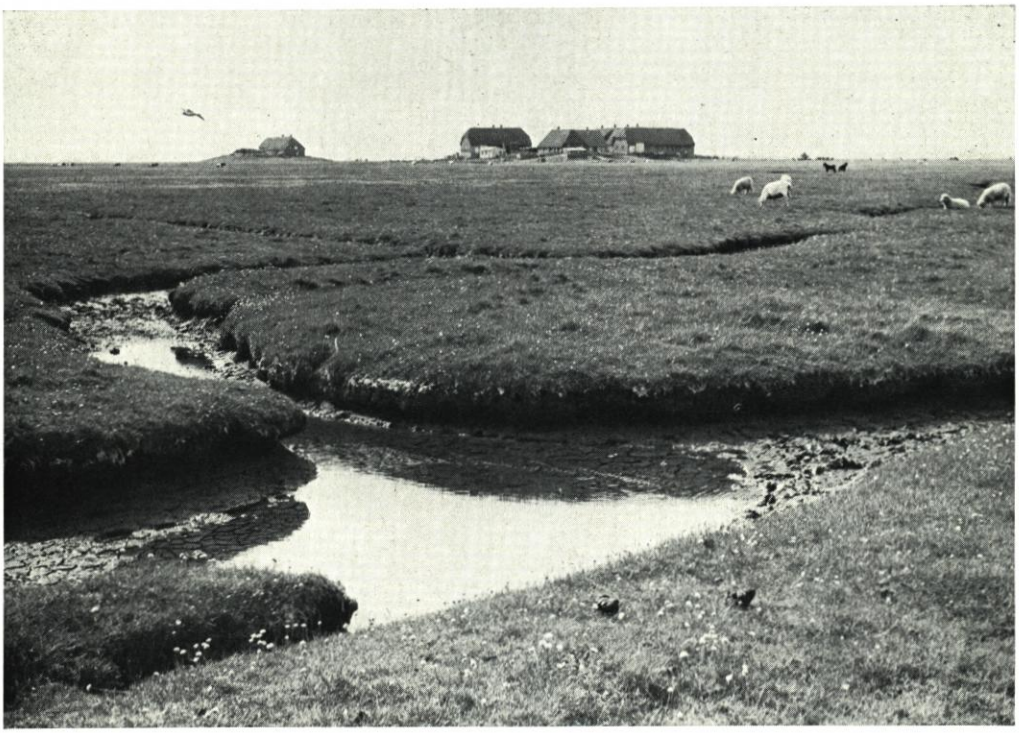


Abb. 5. Hallig Gröde. Weideland südlich der beiden Warfen

Fig. 5. The Hallig (small island) Gröde. Meadow south of the two Warfen (artificial hillocks)

auf kurzer Uferstrecke verlagert. Dies ist das wichtigste Beispiel für eine Lee-Erosion an unseren Küsten (Abb. 2 und 3).

Der Geestkern der Insel Amrum (Abb. 4 u. Tafel VIII) erhebt sich bis 18 Meter über den Meeresspiegel. Er wird von der höchsten Düne noch um weitere neun Meter übertroffen. Die beiden Haken im Norden und Süden sind nach Osten abgebogen. Im Westen befindet sich ein Außensand mit einer Breite von fast einem Kilometer unmittelbar vor den Dünen. Da der Südhaken bebaut wurde, mußten bald danach und trotz des Sandreichtums dieser Insel kostspielige Küstenschutzwerke erstellt und unterhalten werden. Auf der Ostseite von Amrum haben sich kleine Marschgebiete bilden können, die heute durch Deiche gegen Sturmfluten geschützt sind. Im Jahre 1890 begann auf Amrum der Badebetrieb, der dort inzwischen den Haupterwerbszweig darstellt.

Im Gegensatz zu Sylt und Amrum gibt es auf Föhr kaum Dünen; auch Haken und Nehrungen konnten sich nicht bilden. Der Geestkern umfaßt etwa ein Drittel der Inselfläche. Er wölbt sich nur 13 m über NN empor. Der 22 Kilometer lange Landesschutzdeich verwehrt der Flut den Zutritt in die 5000 Hektar große Marsch. Bei einem Umfang der Insel von 37 Kilometern beträgt ihre Gesamtfläche 8200 Hektar (Tab. 1).

Durch die Flurbereinigung ab 1960 wurde die Inselstruktur von Grund auf verändert. Die Landwirtschaft, nach dem Fremdenverkehr der bedeutendste Wirtschaftsfaktor der Insel, erhielt bessere Arbeitsmöglichkeiten; fünfzig Bauernhöfe wurden aus den beengten Dorflagen herausgenommen und im Marschkoog oder an der Feldmarkgrenze der Geestdörfer mit zweckmäßigen Gebäuden angesiedelt.

Die Stadt Wyk mit 5500 Einwohnern verfügt über 7000 Betten; schon 1819 Seebad, registriert sie etwa 900 000 Übernachtungen im Jahr. Im Linienverkehr werden 650 000 Passagiere zwischen den Häfen Dagebüll, Wyk und Wittdün auf Amrum befördert. Hinzu kommt der Ausflugsverkehr mit 150 000 Personen nach den Nordfriesischen Inseln und Halligen sowie nach Helgoland.

4. Die Marschinseln Pellworm und Nordstrand

Weite Gebiete der Marschen und Watten Nordfrieslands bildeten einst eine zusammenhängende Landfläche, die seit dem Mittelalter durch Sturmfluten mehr und mehr zerstört worden ist (s. Beitrag Rohde). Die beiden Marschinseln sind Reste der durch Sturmfluten zertrümmerten Landschaft. Die Wiederbedeichung der 170 km² großen Insel Alt-Nordstrand war nach der katastrophalen Überschwemmung im Jahre 1634 nur im Westen und Osten möglich. Das Einzugsgebiet des Wattstromes Norderhever war aber plötzlich sehr viel größer geworden. (Auch die politischen Verhältnisse waren außergewöhnlich ungünstig.) Die Erosion der Hauptrinne konnte deshalb schnell fortschreiten. Dieser Vorgang dauert selbst in der Gegenwart noch an.

Vom Festland nach Pellworm (3700 ha) soll nun ein Damm gebaut werden. Auf eine feste Wattwasserscheide zwischen den Erosionsrinnen kann man nicht verzichten, wenn der verhängnisvolle Zerstörungsprozeß beendet werden soll. In Verbindung mit der Wiederbedeichung der Buchten nördlich der Insel Nordstrand werden der Einzugsbereich der Hever verkleinert und ihr weiteres Vordringen verhindert werden.

Die 5000 Hektar große Insel Nordstrand erhielt im Jahre 1935 einen sturmflutfreien Straßendamm und wurde damit verkehrsgünstig an das Festland angeschlossen.

In den letzten Jahren entwickelte sich auf beiden Inseln neben der Landwirtschaft ebenfalls ein lebhafter Fremdenverkehr.

had to be built and maintained. On the east side of Amrum small areas of marsh have been able to form which are now protected against storm tides by dykes. Amrum began to be used as a bathing resort in 1890 and since then this has developed into the main source of employment.

In contrast to Sylt and Amrum there are hardly any dunes on F ö h r ; neither can hooks or spits develop. The diluvial core forms almost one third of the island's area. It rises only 13 m above mean sea level. The 22 kilometre long land protection dyke prevents the flood tide from entering the 5000 ha of marsh. With a circumference of 37 kilometres the total area of the island is 8200 ha (Table 1). Land consolidation carried out since 1960 altered the structure of the farmland. Agriculture, the most important economic activity on the island after tourism, offered better employment opportunities. Some fifty farmhouses were moved out of their cramped position in the villages and re-erected with suitable farm buildings on sites on the polders or on the edge of the diluvial villages where the fields began.

The town of Wyk with 5500 inhabitants has 7000 beds availabe for visitors; it was already a sea bathing resort in 1819 and registers about 900,000 overnight visits a year. Scheduled shipping lines carried 650,000 passengers between the ports of Dagebüll, Wyk and Wittdün to Amrum. In addition some 150,000 persons are carried by air to the North Friesian islands and Halligen and to Heligoland.

4. The marsh islands of Pellworm and Nordstrand

Wide areas of marsh and flats in North Friesland once formed a connected land area, which has been more and more destroyed by storm floods since the middle ages (see paper by Rohde). The two marsh islands are the remnant of the landscape which has been broken up by the storm surges. The re-dyking of the 170 km² large island of Alt-Nordstrand after the catastrophic flooding of 1634 was only possible in the west and in the east. The catchment area of the North Hever channel through the tidal flats suddenly became much larger. (In addition the political conditions were exceptionally unfavourable.) The erosion by the main channel could therefore progress rapidly. This process is still going on at present.

An embankment is now to be built from the mainland to Pellworm (3700 ha). One cannot do without a fixed tidal flat watershed between the eroding channels if the fatally destructive process is to be ended. In connection with the re-dyking of the bay north of the island of Nordstrand the catchment area of the Hever will be reduced and its further advance prevented.

In 1935 the 5000 ha large island of Nordstrand acquired a road embankment which gave it a traffic link with the mainland.

In recent years agriculture on both islands has been supplement by a developing lively tourist trade.

5. Die Halligen

Die Halligen, nur teilweise mit niedrigen Deichen umgeben, sind kleine Inseln im Wattenmeer (zusammen 2300 Hektar). Die Wohn- und Wirtschaftsstätten wurden auf künstlich hergestellten Wohnhügeln errichtet, deren Höhen sich an den höchsten Sturmfluten orientiert haben (Abb. 5). Obgleich sie nur dünn oder gar nicht besiedelt sind (etwa 350 Einwohner), versorgt man die meisten über Kabel mit Telefon und elektrischem Strom und über Leitungen mit gutem Trinkwasser vom Festland.

Überflutungen des Halliglandes bei „Landunter", die sogar im Sommer vorkommen können (Tafel VII), schließen jeden Ackerbau aus, weil die Nutzpflanzen den Salzgehalt nicht vertragen. Auch für die Viehhaltung sind die Voraussetzungen keineswegs optimal. Der Halligbauer hat kaum die Möglichkeiten der Intensivierung. Der Fremdenverkehr ist daher heute ein wichtiger Nebenerwerb.

Gegen Uferabbruch sind die Halligen mit Deckwerken geschützt worden, so daß ein weiterer Flächenverlust vorerst nicht mehr möglich ist.

Nur die Hallig Nordstrandischmoor ist ein Rest der 1634 zerstörten Insel Alt-Nordstrand. Die übrigen Halligen sind erst später entstanden und teilweise wieder völlig zerstört worden. In der Dithmarscher Bucht, nordöstlich von Trischen, sind alle Halligen verschwunden; nur Hallig Helmsand ist geblieben, nachdem ihr Bestand durch einen Verbindungsdamm zum Festland gesichert worden war (Tafel VI).

Die nordfriesischen Halligen Langeneß, Oland, die Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor sowie die Hallig Helmsand in der Dithmarscher Bucht sind durch leichtere Dämme, die nur eben über das mittlere Tidehochwasser reichen, mit dem Festland verbunden worden. Die Verbindungsdämme sollen die erodierende Strömung um die Inseln und Halligen herum unterbinden; sie stellen somit Hauptwerke des Küstenschutzes, der Landerhaltung und der Landschaftspflege dar.

6. Außensände und kleine Düneninseln

Von Amrum bis zur Mündung der Elbe liegen auf dem äußeren Wattrand ausgedehnte Außensände (Abb. 4 und 6). Es handelt sich dabei um Sandanhäufungen, die normalerweise bis etwa einen Meter über das mittlere Tidehochwasser von den Wellen der Nordsee aufgespült werden. Bei niederschlagsfreien und starken Winden können hier Primärdünen entstehen, die in der Regel durch Sturmfluten wieder eingeebnet werden.

Aus einer solchen kleinen Düneninsel entstand in der Mitte des 19. Jahrhunderts die Insel Trischen vor der Elbemündung, deren Geschichte als klassisches Beispiel für die Schwierigkeiten bei der Beurteilung der landschaftsgestaltenden Naturkräfte in unserem Küstenraum gelten kann. Starke Sandzufuhren vom Westen her ließen zunächst den Außensand und zeitweise auch Dünen entstehen, in deren Schutz sogar grünes Vorland aufwachsen konnte. Diese Salzwiesen übersandeten, und bald bildete sich ein neuer Anwachs von etwa neunzig Hektar (bis 1894). Die nochmalige Übersandung bei Sturmfluten verkleinerte das Grünland wieder auf etwa 18 Hektar. In kurzer Zeit breitete es sich dann so weit aus, daß es in den Jahren 1922 bis 1925 bedeicht werden konnte. Im Westen stellten die Dünen den natürlichen Sturmflutschutz dar. Der neue Inselkoog wurde kultiviert und landwirtschaftlich genutzt – aber nicht lange! Die Wellen der Nordsee griffen die Substanz der Dünen an, der Sandhaushalt blieb eindeutig negativ. Eine einzige Sturmflut legte den Dünenfuß um 25 Meter zurück. Schwere Inselschutzwerke wurden zur Ver-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

5. The Halligen (small islands)

The Halligen, which are only in part surrounded by low dykes, are small islands on the tidal flats (together 2300 hectars). The living and farming quarters are built on artificially created hillocks whose height has been dictated by that of the highest storm floods (Fig. 5). Although they are only thinly or hardly at all settled (about 350 inhabitants) most are provided with telephone and electricity by cable and with good drinking water piped from the mainland.

The flooding of the land on the Halligen by salt water penetration which can even occur in summer (Plate VII) rules out arable farming as crops cannot stand the salt content. Neither are the conditions optimal for livestock. The small farmer on the Halligen has very little chance of intensification. Tourism is therefore a very important ancillary enterprise nowadays.

The Halligen have been protected by paving works against breaching of the shore so that a further loss of land is not possible for the time being.

Only the Nordstrandischmoor Hallig is a remnant of the island of Alt-Nordstrand which was destroyed in 1634. The other Halligen were formed later and in part have been completely destroyed. All the Halligen in Ditmarsch bay north east of Trischen have disappeared; only the Helmsand Hallig remains, after its existence was secured by an embankment linking it to the mainland (Plate VI).

The North Friesian Halligen of Langeness and Oland, the Hamburg Hallig and Nordstrandischmoor as well as the Helmsand Hallig in the Dithmarsch bay are linked to the mainland through smaller embankments which only just reach above mean tide high water. The linking embankments should neutralized the eroding flow around the islands and Halligen; they are thus major works for coast protection, land maintenance and landscape conservation.

6. Outer sands and small barrier (dune) islands

From Amrum to the mouth of the Elbe at the outer margin of the flats lie extensive outer sands (Figs. 4 and 6). These are heaped up sandbanks which are normally thrown up by the waves of the North Sea to a height of about one metre above mean high tide levels. When there are high winds but no precipitation primary dunes can be formed on them through these are usually levelled again by storm tides.

The island of Trischen in the mouth of the Elbe arose from such a small dune island in the middle of the 19th century and its history is a classic example of the difficulty of evaluating the natural forces shaping the landscape in our coastal area. A heavy movement of sand from the west first allowed the outer sand and then from time to time dunes to develop. In their shelter it was even possible for a grassy foreland to develop. This salt marsh silted up and soon formed a new growth of almost 90 hectars (up to 1894). Storm floods covered it once again with sand and reduced the salt marsh area to 18 hectars. In a short period it spread out again so that in the years 1922 to 1925 it could be enclosed by dykes. In the west the dunes provided a natural protection against storm floods. The new island polder was cultivated and used for agriculture – but not for long. The waves of the North Sea attacked the body of the dunes and the sand balance remained clearly negative. A single storm flood pushed the base of the dunes back by 25 metres. Heavy island protection works were carried out as a defence.



Abb. 6. Wattgebiet südlich von Hallig Hooge und vorgelagerte Außensände
Fig. 6. Tidal flat area south of the Hallig of Hooge and the outer sands in front

teidigung angelegt. Aber sie konnten den natürlichen Abbruch des Außensandes nicht verhindern. Er schritt sehr schnell voran, und im Jahre 1942 brach eine leichte Sturmflut in den Koog ein und riß eine 100 Meter breite Lücke in das Schutzwerk. Von den Dünen blieben nur noch Reste übrig. Eine Instandsetzung erschien nicht ratsam. So mußte der Bauer seinen Inselkoog wenig später – nach 15jähriger Nutzung – preisgeben. Heute liegt der Westrand von Trischen bereits ostwärts des damaligen Koogdeiches auf der Wattseite (Abb. 7).

Nördlich von Trischen lag der Außensand Tertius. Während der sehr schweren Sturmflut im Januar 1976 ereignete sich eine großflächige Abrasion, und seitdem taucht diese Sandplate regelmäßig bei Flut unter Wasser.



Abb. 7, Fig. 7. Trischen, 1958

However they could not prevent the natural erosion of the outer sand. It progressed very rapidly and in the year 1942 a quite light storm flood broke into the polder and tore a gap some 100 metres wide in the protective works. Only a remnant of the dunes remained. A repair did not seem sensible. So a few months later the farmer had to surrender his polder after 15 years use. Today the western boundary of Trischen already lies east of the old polder dyke on the tidal flat side (Fig. 7).

7. Helgoland

Die Insel Helgoland besteht aus zwei getrennten Inseln, Hauptinsel und Düne (Tafel V). Sie hatte einst ein Vielfaches der heutigen Größe. Der Buntsandsteinfelsen wird langsam, aber sicher von den Brandungskräften zerstört, was an den bizarren Formen zu erkennen ist. Am Fuße der Felsen wird eine flache Felsenterrasse bei besonders niedrigen Wasserständen frei. Helgoland war stets ein wichtiger Stützpunkt für die Schiffahrt. Seit der Gründung des Seebades im Jahre 1826 wurde die Insel dank ihrer hervorragenden klimatischen Bedingungen durch die Lage im Meer von vielen Millionen Gästen besucht. Besonders zahlreich sind in der Hauptsaison die Tagesgäste: bis zu 10 000 Personen an einem Tag (Tab. 1).

Nach dem Kriege war Helgoland jahrelang Übungsziel für Bombenflugzeuge. Man hat auch im Jahre 1947 versucht, die Felseninsel durch eine gewaltige Sprengung zu zerstören und für weitere Nutzung unbrauchbar zu machen. Dies gelang jedoch nicht.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

North of Trischen lay the Tertius outer sand. During the very severe storm flood in January 1976 very extensive surface erosion occurred, and since then this sand bar is covered regularly by the flood tide.

7. Heligoland

The island of Heligoland consists of two separate islands, the main island and dunes (Plate V). It was once many times its present size. The red sandstone rocks have been slowly but steadily destroyed by the action of the breakers as can be seen from their bizarre formations. At the base of the rock face there is an area of rock terrace which is dry at exceptionally low tides. Heligoland was always an important base for shipping. Since the beginning of sea bathing in the year 1826 the island has been visited by many million visitors thanks to its excellent climatic conditions, because of its position on the sea (Table 1). The number of day visitors in the high season is particularly great: up to 10,000 people in one day. After the war Heligoland was for a number of years a practice range for bomber aircraft. In 1947 an attempt was even made to destroy the island by an enormous explosion so as to make it impossible to use again. This was however unsuccessful.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Die Ostseeküste zwischen Flensburg und der Lübecker Bucht

Von Marcus Petersen

1. Die Entstehung der Ostsee

Die Ostseeküste ist unter ganz anderen Bedingungen entstanden als die Wattenküste an der Nordsee. Die schmale Landbrücke, welche die Ostsee von der Nordsee trennt, wurde in der Eiszeit geformt. Damals waren riesige Wassermassen als Eis gebunden; der Wasserspiegel der Ostsee lag um 7500 v. Chr. etwa 25 Meter unter dem heutigen Mittelwasser. Als das Klima allgemein wärmer wurde und das Eis schmolz, stieg der Meeresspiegel weltweit an. Schließlich drang das Salzwasser der Nordsee über die Bodenschwellen der Belte in das Becken der westlichen Ostsee ein. Die Transgression dauerte etwa bis 2000 v. Chr. Seitdem bestehen die Grundformen der heutigen Küste; sie wurden von dieser Zeit an nur noch verhältnismäßig wenig umgestaltet. Aber der Entwicklungsprozeß kann noch nicht als abgeschlossen bezeichnet werden.



Abb. 1. Steilküste als Abtragungs- und Haken als Ablagerungsgebiet bilden eine funktionale Einheit. Die Umwertung der Natur- zur Erholungslandschaft wird durch den Hochhauskomplex des Ferienzentrums Heiligenhafen demonstriert

Fig. 1. Erosion along the steep coastline and accretion along the curved spits form a single functional unit. The change from a natural landscape to a recreational landscape is illustrated by the high rise complex of the Heiligenhafen holiday centre.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The Baltic Coast between Flensburg and the Lübeck Bay

By Marcus Petersen

1. The Origin of the Baltic Sea

The Baltic coast developed under quite different conditions from the tidal flats on the coast of the North Sea. The narrow bridge of land which separates the Baltic from the North Sea was formed in the ice age. At that time vast quantities of water were locked up in ice; in 7500 B.C. the water level of the Baltic was some 25 metres lower than present mean water level. As the climate generally became warmer and the ice melted water levels all over the world gradually rose, eventually the salt water of the North Sea broke over the land threshold of the "Belte" into the basin of the west Baltic Sea. The transgression lasted up to about 2000 B.C. The basic form of the present coast dates from that time; from then on it has only been altered a comparatively small amount. However, the development process cannot be considered complete.

2. The coastal formations and how they were formed

Along the 530 kilometre stretch of coast steep (130 km) and flat (400 km) shorelines alternate (Fig. 1). The loss of land through coast erosion is very much greater than the growth of new land through accretion. On average over the last hundred years



Abb. 2. Steilufer mit abgerutschten Schuttmassen

Fig. 2. Steep cliff with the mound of debris below, which has sheared off it.

2. Die Küstenformen und ihre Gestaltung

An der 530 Kilometer langen Küstenstrecke wechseln Steilufer (130 km) und flache Ufer (400 km) einander ab (Abb. 1). Die Landverluste durch Küstenabbruch sind bei weitem größer als der Zuwachs an Land durch neue Ablagerungen. Im Durchschnitt der letzten hundert Jahre gingen jährlich etwas mehr als ein Hektar Land verloren. Vom Uferrückgang sind sowohl die steilen als auch die flachen Ufer betroffen. Geländevorsprünge werden am meisten abgetragen, und Buchten verlanden.

Am Fuße der Steilufer (Kliff) bildet sich gegen Ende des Winters eine Schutthalde aus abgestürzten Mergelbrocken (Abb. 2) und aus Mergelbrei (Abb. 3). Diese wird von Sturmfluten immer wieder fortgeräumt. Je länger sie dauern und je häufiger sie eintreten, desto mehr Material wird verlagert. Die aufgearbeiteten und sortierten Stoffe des Geschiebemergels folgen den Strömungen des Wassers in der Brandungszone – vorwiegend uferparallel (Abb. 4). Die feinen, tonigen Teile gelangen in Suspension; sie werden in die Tiefen der Ostsee und in die Buchten transportiert und dort sedimentiert. Wo ein reichlicher Nachschub stattfindet, können sich Küstenabschnitte mit breiten Sandstränden bilden; mangelt es daran, so bleibt ein steiniger Strand übrig (Tafel X).

Die Formen der Steilufer werden durch das Zusammenspiel von landseitigen und seeseitigen Kräften geprägt; die einen wirken langsam und fast unscheinbar, die anderen aber um so plötzlicher und eindrucksvoller. So kann in wenigen Stunden durch eine Sturmflut mehr umgestaltet werden als sonst in einem ganzen Jahr oder gar in Jahrzehnten.

Auf dem Unterwasserstrand werden Steine bis etwa Kopfgröße hin- und hergerollt. Sie lösen feinere Teile aus dem Untergrund durch Stoßen, Reiben und Schleifen.



Abb. 3. Steilufer mit frischen Schlammströmen
Fig. 3. Steep cliff with new mud streams.



Tafel X: Zwischen der Eckernförder Bucht und der Kieler Förde weit in die Ostsee ragende Landzunge mit Steilufer als Zeichen der fortschreitenden Erosion. (Aufn. U. Muuß)

Plate X: Tongue of land between the Bay of Eckernförde and the Fjord of Kiel, extending far into the Baltic Sea, with cliffs showing progressive erosion.

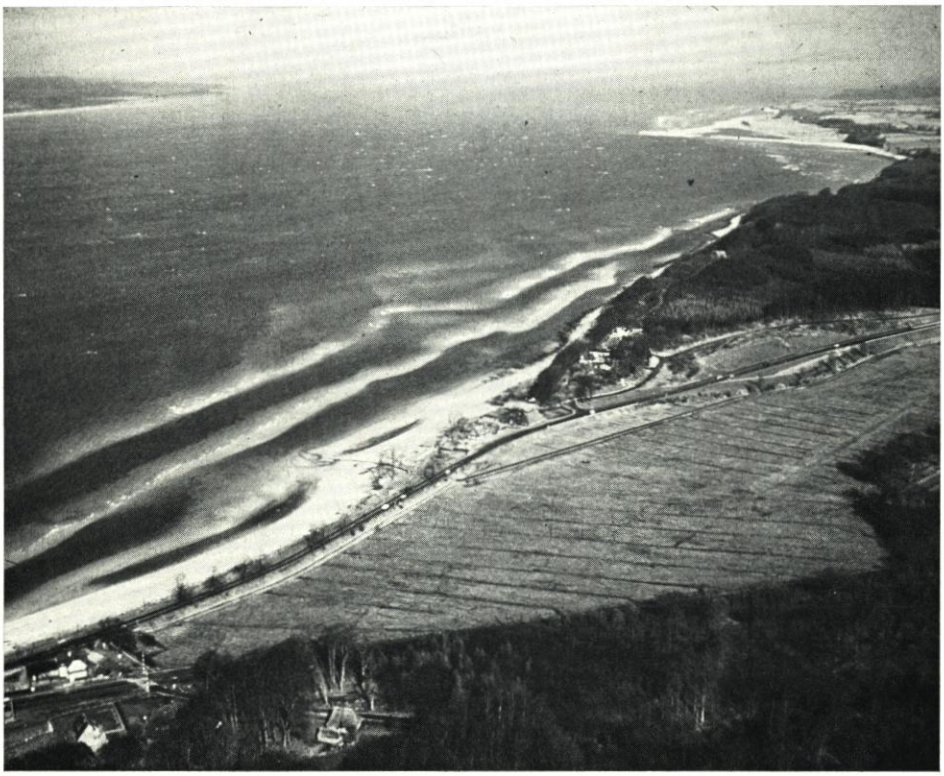


Abb. 4. Küstenparallele Sandriffe in der Eckernförder Bucht
Fig. 4. Sand bars parallel to the coast in the Eckernförder bay.

something over one hectare of land is lost every year. Both the steep and shallow coast lines are retreating, Promontories are mostly carried away and bays silt up.

Towards the end of the winter protective mounds made of fallen lumps of marl develop at the foot of the steep cliffs (Fig. 2 and 3). These are always washed away again by the storm surges. Te more frequent the surges the more material is shifted. The reworked and sorted material from the boulder clay follows the flow of the water in the zone where the waves break – predominantly parallel to the coast (Fig. 4). The fine clayey particles are carried in suspension, and are transported into the deeps of the Baltic and into the bays and deposited there. Where there is plentiful reserve of sand, a broad sandy beach can develop along that stretch of coast; if this is lacking then the beach remains stoney (Plate X).

The forms of the steep coastline have been shaped by a combination of landward and seaward forces. The one works slowly and almost imperceptibly, the other more suddenly and dramatically. Thus in a small number of hours a storm surge can make greater changes than would otherwise happen in one year or even ten years.

Where the water covers the lower part of the beach stones up to about the size of a head are rolled to and fro. Small pieces are broken off from their lower side through collisions, scraping, and sliding. In this way the bed is further worn away. In this area, if there are no stones, wave action alone can wash away the softened boulder clay



Abb. 5. Blockarmer Unterwasserstrand vor einem Steilufer bei 1 m unter Mittelwasser. Fußspuren in durchweichter Geschiebemergeloberfläche

Fig. 5. Beach with few boulders 1 metre below mean water in front of a steep cliff. Footprints in the soft surface of the boulder clay.



Abb. 6. Brandungshöhlen im Steilufer

Fig. 6. Caves hollowed out by wave action in the steep cliff.

(Fig. 5). These processes in front of the cliff together bring about a levelling of the sea bed (abrasion).

If the waves break against a sandy cliff they wash out caves several metres deep (Fig. 6). The overhang breaks soon after so that bow shaped indentations appear on the upper edge of the cliffs. Non-layered homogeneous clay marls withstand the waves for the longest. In winter the marls are deeply soaked. This loosens the soil structure, and deep fissures can be formed. The steep cliff loses its stability, whole layers crash down or slide away (Fig. 7). In addition to this ground water runs over impermeable layers of soil and comes out over the steep cliffs, and with addition of rainwater discharge



Abb. 7. Staffelförmiger Schollenabbruch als Folge von Grundwasseraustritt und Frostwirkung
Fig. 7. Stepped erosion of blocks of material as a result ground water discharge and frost action.

this increases the cliff erosion. If frost in the soaking marls brings about an expansion in the volume of the frozen water and the ice then melts large and small streams of mud flow out of the cliff (Fig. 3).

As months or sometimes years can pass before the next storm surge the mounds of debris at the foot of the cliffs can be partly grown over in summer with seeds carried in the mud. Even with a continuous cover of vegetation, however, the slope does not become stable as long as new storm floods set off these natural processes of destruction again and again. The attack by the sea will grow worse if the secular rise in sea level continues.

The l o w l y i n g a r e a of the Baltic coast is also different from that on the North Sea, both in its area, its origin and its soil structure. There are some 25,000 hectares of salt marsh as compared to more than 200,000 hectares of sea and river marshes in the

Auf diese Weise wird der Boden weiter abgetragen. Der aufgeweichte Geschiebemergel kann auch dort, wo keine Steine liegen, allein durch die Wellenbewegung abgespült werden (Abb. 5). Diese Vorgänge vor dem Kliff bewirken zusammen eine flächenhafte Abtragung des Meeresbodens (Abrasion).

Trifft die Brandung auf ein sandiges Kliff, so kann sie mehrere Meter tiefe Höhlen aus der steilen Wand auswaschen (Abb. 6). Der Hang bricht bald nach, so daß an der Kliffoberkante bogenförmige Einbuchtungen sichtbar werden. Ungeschichteter homogener Tonmergel widersteht der Brandung am längsten. Im Winter wird der Mergel tief durchfeuchtet. Dabei lockert sich das Bodengefüge, und es können tiefe Risse entstehen. Das steile Kliff verliert seinen Halt, ganze Schollen stürzen oder gleiten hinab (Abb. 7). Hinzu kommt, daß Grundwasser über stauenden Bodenschichten am Steilhang austritt und zusammen mit abfließendem Regenwasser den Kliffabbruch verstärkt. Wenn der Frost in dem feuchten Mergel eine Volumenvergrößerung des gefrierenden Wassers herbeigeführt hat und das Eis auftaut, fließen mehr oder weniger große Schlammströme abwärts (Abb. 3).

Da bis zur nächsten Sturmflut Monate oder auch Jahre vergehen können, wird der Schuttkegel am Kliffuß im Sommer von den mitgeführten Pflanzen teilweise begrünt. Eine stabile Böschung kann sich auch bei geschlossener Pflanzendecke nicht ausbilden, solange neue Sturmfluten diesen natürlichen Zerstörungsvorgang stets wieder in Gang setzen.

Der Meeresangriff wird sich weiter verstärken, wenn der säkulare Anstieg des Meeres fortdauert.

Auch die N i e d e r u n g s g e b i e t e an der Ostseeküste unterscheiden sich von denen an der Nordsee sowohl nach der Flächengröße als auch nach ihrer Entstehung und der Bodenstruktur. 25 000 Hektar Salzwiesen an der Ostsee stehen einer Gesamtfläche von mehr als 200 000 Hektar See- und Flußmarschen allein an der schleswig-holsteinischen Nordsee gegenüber. Außerdem ist der Boden sehr viel jünger als der im Westen.

Die meisten Niederungen sind vor etwa 4000 Jahren oder später entstanden; sie sind also bedeutend jünger als die ersten Marschbildungen an der Nordseeküste. Die Ostsee war bei der Litorina-Transgression in eine durch Hügel und Mulden stark gegliederte jungglaziale Landschaft mit vielen Landvorsprüngen eingedrungen. Gegen Ende der Transgression begann die Abtragung dieser Vorsprünge, und Kliffs entstanden an den exponierten Stellen. Dieser Vorgang wird sehr intensiv gewesen sein, denn verhältnismäßig große Materialmengen haben in kurzer Zeit Strandwälle aufgeschüttet und zahlreiche Senken abgeriegelt.

Unmittelbar nach Absperrung des Ostseewassers von den Senken staute sich das Grundwasser hinter den Strandwällen, so daß sich Moor bildete. Auf diese Weise wurde das an manchen Stellen noch vorhandene glaziale Relief innerhalb der Niederungen verdeckt.

Bei den strandwallmorphologischen Untersuchungen hat man am Meeresboden vor Niederungen Torfe gefunden, und zwar auch viele hundert Meter vor der heutigen Uferlinie. Das bedeutet, daß Torfschichten, die im Schutze von Strandwällen in Bodensenken durch Rückstau von Oberflächen- und Grundwasser entstanden waren, in späterer Zeit im Zuge des Landverlustes von Strandwällen überwandert worden sind. Solche Torffunde im flachen Wasser vor dem Ufer stellen wichtige Zeugen für den Küstenrückgang dar, wobei die gegenwärtigen Niederungsgebiete nur als Restteile von einst größeren Niederungen anzusehen sind.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Schleswig-Holstein North Sea area alone. In addition to this the land is much younger than in the west. Most of the low lying areas were formed 4,000 years ago or more recently; they are therefore significantly younger than the first marsh formations on the North Sea coast. During the Litorina transgression the Baltic penetrated into a recent glacial landscape much broken up by hills and basins, with many promontories. Towards the end of the transgression these promontories began to be cut down and cliffs were left in the exposed places. This process must have been very intensive, as in a short time comparatively large quantities of material threw up a barrier beach and blocked off numerous lows.

Immediately after the Baltic waters were excluded from these lows the ground water became stagnant behind the barrier of the beaches so that moors developed. In this way the glacial relief which still existed in the low lying areas was covered up in many places.

In investigations of the morphology of the barrier beaches peat has been found on the sea bed in front of the lows, and indeed many hundred meters in front of the present shore line. This implies that peat layers which were formed through the stagnation of surface and groundwater in the lows sheltered by the barrier beaches, at a later stage as land was lost and the beaches shifted inland were left on the other side of the barrier beaches. Such discoveries of peat in the shallow water in front of the shore bear important witness to the retreating coastline. Thus the present day low lying areas must be seen as only a residue of once larger low areas.

B a r r i e r b e a c h e s originated through storm floods, and in addition only storm floods could shift them. The material originated in the steep cliffs, was brought in by littoral drift or moved towads the coast form the broad zone where the waves were breaking. High water levels and winds blowing towards the land transported it landwards. The energy of a wave as it breaks is sufficient to carry with it a stone as big as a fist and wash it up on the protective beach. This contributed considerably to their formation (Fig. 8).

The height of the protective beach is dependent on how far the largest wave can throw up stones, gravel and sand on it; the highest measure about two metres above mean water. Thus the beach provides a certain protection for the low lying hinterland. Very severe storm floods however wash over the naturally formed protective beaches and shift them back several metres.

The natural landward movement of the protective beaches reaches greater values than that of the cliffs between which it usually stretches. The coastline therefore usually curves in to the landward.

Differing heights of protective beaches stand out in areas of accretion where they have been thrown up on top of sand banks and have led to the formation of hooked spits. Aerial photographs show these coastal formations clearly (Plate XI). As the curved spits are exposed to still greater natural forces than the protective beaches it is necessary to limit building on such elements of the landscape to the most essential amount.

The t i d e s are of no practical importance on the Baltic coast. On windless days using a recording tide gauge it is possible to observe a variation of 18 to 20 cm. During storm floods on this highly indented coastline, however, there are extreme high water levels up to 3.5 m above mean water. Such surges produced by the wind are indeed less common than on the North Sea as they are only produced by storms from the North East after previous severe storms from the West. The reason for this lies in the long shape of the Baltic Sea basin in which only certain quite definite wind paths in a

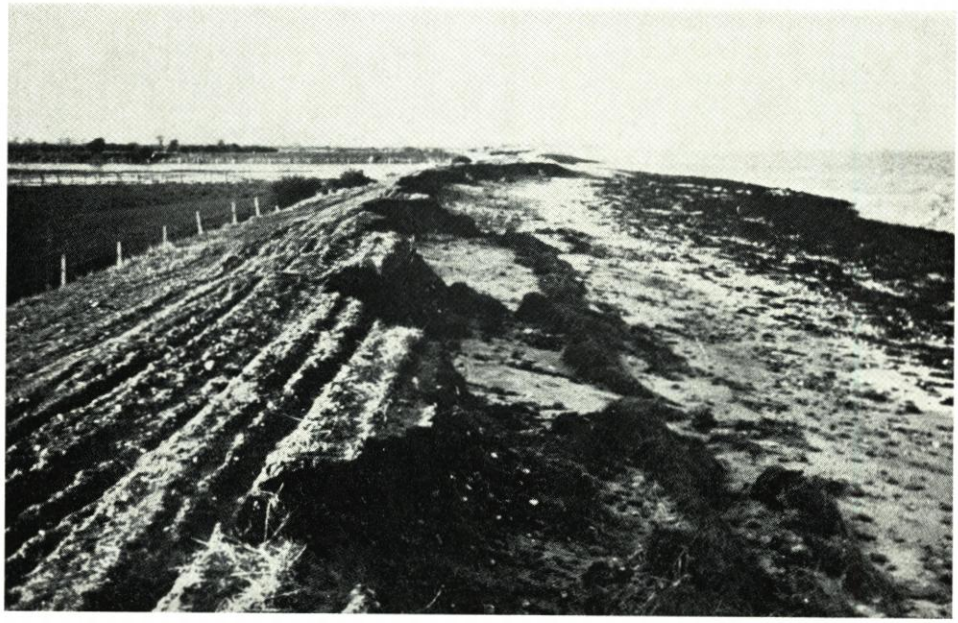


Abb. 8. Sturmflutschäden am Strandwalldeich
Fig. 8. Storm flood damage to beach embankments.

Strandwälle entstehen durch Sturmfluten, sie werden auch nur von Sturmfluten verlagert. Das vom Steilufer stammende und von Längskräften herantransportierte oder das aus einer breiten Brandungszone auf die Küste zu bewegte Material wird bei hohen Wasserständen und auflandigen Winden landwärts befördert. Die Wellenenergie ist beim Überschlagen stark genug, um noch faustgroße Steine mit emporzureißen und über den Strandwall hinüberzuspülen. Sie tragen im wesentlichen zu seinem Aufbau bei (Abb. 8).

Die Höhe des Strandwalles ist davon abhängig, wie lange die größten Wellen Steine, Kies und Sand auf ihn hinaufwerfen können; das höchste Maß liegt etwa bei zwei Meter über Mittelwasser. Für das niedrige Hinterland bietet der Strandwall somit einen gewissen Schutz. Die sehr schweren Sturmfluten spülen allerdings über die natürlich entstandenen Strandwälle hinweg und verlegen sie um Meterbeträge rückwärts.

Die natürliche landwärtige Bewegung des Strandwalles erreicht größere Werte als die der Kliffs, zwischen denen er in der Regel aufgehängt ist. Die Küstenlinie biegt deshalb in den meisten Fällen zum Land hin ein.

Unterschiedlich hohe Strandwälle zeichnen sich in Ablagerungsgebieten ab, wo sie auf Sandplaten aufgeschüttet wurden und zur Bildung von Haken führten. Luftaufnahmen verdeutlichen diese Küstenformationen (Tafel XI). Da die Haken noch größeren natürlichen Bewegungen ausgesetzt sind als die Strandwälle, muß eine Bebauung solcher Landschaftselemente auf das notwendigste Maß beschränkt bleiben.

Die Gezeiten haben an der Ostseeküste keine praktische Bedeutung. An windstillen Tagen kann man mit Hilfe von Schreibpegeln einen Schwankungsbereich von 18 bis 20 cm beobachten. Bei Sturmfluten gibt es an der buchtenreichen Küste jedoch

Die Küste, 32 (1978), 1-155

low pressure area can have the effect of building up a surge. Wave heights of 5 m and wave lengths of from 80 to 90 m have been observed in the west Baltic.

The lakes behind the shore are drained through sluices or by pumping stations in the same way as the marshes in the North Sea; they are therefore not directly connected to the salty sea water. The "Noore" (lakes along the beach which are linked to the Baltic) on the other hand have levels corresponding to those in the Baltic; thus their water levels go down when the levels in the Baltic fall and rise when they rise. The link between the waters serves as a free passage (Plate XII).



Abb. 9. Fischer- und Sporthafen in der Lübecker Bucht. Die Hafenmole unterbricht die natürliche Sandbewegung und erzeugt eine Lee-Erosion

Fig. 9. Fishing and leisure craft harbour in the bay of Lübeck. The harbour breakwater interrups the natural movement of sand and causes lee eroison.

3. Economic Development of the Baltic Coast

The low lying areas ar used in various ways – for arable farming and pasture, the beach, lakes and "Noore" for fishing and partly for harvesting reeds (Phragmites communis), and recently for tourism. In the towns and coastal districts, building is pressing far into the area liable to flooding.

extrem hohe Wasserstände bis 3,5 m über Mittelwasser. Solche Windstauwerte sind hier im Vergleich zur Nordsee allerdings seltener, weil sie nur bei Stürmen aus Nordosten nach voraufgegangenen starken Weststürmen erzeugt werden. Der Grund dafür liegt in der langgestreckten Form des Ostseebeckens, in dem nur ganz bestimmte Zugbahnen der Tiefdruckgebiete stauwirksam werden können. Wellenhöhen von 5 m und Wellenlängen von 80 bis 90 m wurden in der westlichen Ostsee beobachtet.

Die Strandseen werden durch Siele oder Schöpfwerke entwässert, ähnlich wie die Marschen an der Nordsee; sie stehen also nicht unmittelbar mit dem salzigen Meerwasser in Verbindung. Die Noore*) dagegen korrespondieren mit dem Wasser der Ostsee, das heißt, bei fallendem Wasser in der Ostsee fällt auch das Wasser im Noor und umgekehrt. Die Verbindung zwischen den Gewässern fungiert als freier Durchlaß (Tafel XII).

3. Wirtschaftliche Nutzung der Ostseeküste

Die Niederungen werden auf verschiedene Art genutzt, nämlich als Acker- und Grünland, die Strandseen und Noore als Fischgewässer oder teilweise zur Reetgewinnung *(Phragmites communis)* und neuerdings vom Fremdenverkehr. In den Städten und Küstengemeinden dringt die Bebauung bis weit in die Überschwemmungsgebiete vor.

Die Ackernutzung beschränkt sich im wesentlichen auf die landwärts an die Niederungen angrenzenden, noch im Überschwemmungsbereich liegenden, flachen Geschiebemergelböden. Das Grünland der Salzwiesen dient als Viehweide und zur Heugewinnung. Für die Berufs- und Sportfischerei sind sowohl die unmittelbar hinter dem Strandwall liegenden Strandseen (Binnenseen) als auch die zum Teil recht ausgedehnten Noore interessant.

In den letzten 25 Jahren war ein außergewöhnlich starker Druck des Fremdenverkehrs auf die Ostseeküste festzustellen. Der Drang zur Küste hin ist hier stärker als an der Nordsee, wenn man die Übernachtungen als Maßstab wählt.

Vor zehn Jahren begann man an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste, neue Ferienzentren (Abb. 1) zu errichten, die inzwischen alle in Betrieb genommen worden sind. Man kann sie als an die Küste verlegte Teile der binnenländischen Ballungsräume bezeichnen, die dem anspruchsvollen Gast fast alle gewohnten Annehmlichkeiten urbanen Lebens zusammen mit der unmittelbaren Nähe des Meeres bieten; meist sind noch weitere Einrichtungen vorhanden, wie Meerwasserschwimmbäder, Spielplätze, Kurmittelhäuser, Bootsliegeplätze.

Einer solchen „Menschenflut" waren die Strände und die bisherigen Maßnahmen zur Sicherung der Küste nicht gewachsen. Verkehrs-, Nutz- und Schonflächen mußten ausgewiesen werden unter Berücksichtigung der Strandkapazität. Die von der Natur geschaffenen Strandflächen reichten an zahlreichen Abschnitten nicht mehr aus, so daß man sie durch Sandaufspülungen künstlich verbreitern oder überhaupt erst schaffen mußte.

Die kleinen Fischereihäfen sind in den letzten Jahren alle erweitert worden, um Liegeplätze für Sportboote zu schaffen. Auffällig ist die verringerte Zahl an Fischerbooten und die Zunahme der Sportboote. Zusätzlich sind neue Sporthäfen, die zahl-

*) Noore = Strandseen mit offener Verbindung zur Ostsee (s. Tafel XII).

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The arable farming is essentially limited to level boulder clay soil to the landward side of the low lying areas and still subject to flooding. The pasture on the salt marsh serves as grazing for cattle and for harvesting hay. The lakes directly behind the protective beaches and to some extent the very extensive "Noore" are of interest both for commercial fishing and for fishing sport.

In the last 25 years the exceptionally high pressure of t o u r i s m on the Baltic coast has been established. The rush towards the coast is even greater here than on the North Sea coast if one uses the number of overnight visitors as a measure.

Ten years ago a start was made on the construction of new holiday centres on the Baltic Coast of Schleswig-Holstein and they are all now in operation. One can describe them as part of the inland metropolitan area shifted to the coast, which offer the exacting visitor practically all accustomed comforts of urban life together with the direct neighbourhood of the sea. Mostly other facilities are also available such as sea-water swimming baths, playgrounds, sanatoria, boat marinas.

The beaches and the coast protection measures used up to now were not able to cope with such a flood of people. Roadways, commercial areas, and beauty spots had to be designated taking account of the beach capacity. The naturally created areas of beach were no longer sufficient in many stretches so that they had to be artificially extended through pumping sand or even created for the first time.

The small f i s h i n g p o r t s have all been extended in recent years to provide moorings for leisure craft. The fall in the number of fishing boats and the increase in leisure craft is conspicuous. In addition new marinas which can take large numbers of boats have become available. These harbours mostly lie on the outer coast or near it. They are equipped with harbour breakwaters which are intended to screen off the waves and prevent silting of the harbour entrance. The breakwaters are roughly at right angles to the coastline, and thus they interrupt the natural drift of the sand. The sand accumulates on the windward side (Fig. 9) so that an extension of the breakwater is necessary when the sand has reached the head of the breakwater. On the leeward side, erosion takes place, the beach disappears and the shore line has to be protected against further attack.

The western Baltic has for a long time been considered an ideal place for sailing. Every year the Kiel week takes place in the second half of June; it originally started to celebrate the opening of the Kiel canal. In particular the regattas for the 1936 and 1972 Olympic games were held in the area of the Kiel Fjord.

The internationally famous and much used K i e l c a n a l which was completed in 1895 runs between Kiel and Brunsbüttelkoog. Its length from the mouth of the Elbe to the Kiel Fjord is almost 100 km. The amount of shipping it carries is comparable to the Panama and Suez Canals.

> It is recorded from the Viking period about 800 A.D. tha the narrow land bridge between the Baltic and the North Sea was already being used to transport goods. The route went for 43 kilometres along the river Schlei deep into the hilly country. At this point the width of land to the Eider which led to the North Sea was only 16 kilometres. This transport route considerably reduced the route round Jutland which was 440 sea miles longer and dangerous for the relatively small ships.

With the heavy use of the Baltic coastal waters by shipping, harbours, towns and local authorities, as in other places, a more or less serious deterioration of w a t e r q u a l i t y has become apparent so that a broad network of sewage collection and purification works had to be built. Systematic investigations and checking of water will

reiche Boote aufnehmen können, zur Verfügung gestellt worden. Diese Häfen liegen meist an der Außenküste oder in deren Nähe. Sie wurden mit Hafenmolen ausgerüstet, welche die Wellen abschirmen und die Versandung der Hafeneinfahrten verhindern sollen. Die Molen werden etwa senkrecht zur Uferlinie angeordnet; dadurch wird die natürliche Sanddrift unterbrochen. Auf der Luv-Seite lagert sich der Sand ab (Abb. 9), so daß eine Verlängerung der Mole erforderlich wird, wenn die Sandmenge bis zum Molenkopf angewachsen ist. Auf der Lee-Seite wird das Ufer erodiert, der Strand verschwindet, und das Ufer muß gegen weiteren Abbruch geschützt werden.

Die westliche Ostsee gilt seit langem als ideales *Segelrevier*. Alljährlich findet in der zweiten Junihälfte die Kieler Woche statt, erstmalig anläßlich der Einweihung des Nord-Ostsee-Kanals (Kiel-Canal). Hervorzuheben sind die im Umfeld der Kieler Förde veranstalteten Regatten der Olympischen Spiele 1936 und 1972.

Zwischen Kiel und Brunsbüttelkoog verläuft der 1895 fertiggestellte, international bedeutende und viel benutzte N o r d - O s t s e e - K a n a l. Die Länge zwischen der Elbmündung und der Kieler Förde beträgt fast 100 Kilometer. Seine Verkehrsleistung ist mit der des Suezkanals und des Panamakanals vergleichbar.

> Aus der Wikingerzeit um 800 n. Chr. ist überliefert, daß die schmale Landbrücke zwischen der Ostsee und der Nordsee bereits damals für den Transport von Gütern überquert wurde. Man fuhr auf der Schlei 43 Kilometer weit in das Hügelland hinein. Hier war die Landenge bis zur Eider, die in die Nordsee mündet, nur etwa 16 Kilometer breit. Dieser Transitweg kürzte die um 440 Seemeilen längere und für die verhältnismäßig kleinen Schiffe sehr gefährliche Reise um Jütland herum erheblich ab.

Mit der starken Inanspruchnahme der Ostsee-Küstengewässer durch den Schiffsverkehr, durch die Häfen, die Städte und Gemeinden war – wie auch anderswo – eine mehr oder weniger sichtbare Beeinträchtigung der W a s s e r q u a l i t ä t verbunden, so daß ein weitverzweigtes Netz von Abwasser-Sammelleitungen und eine größere Anzahl an Reinigungsanlagen gebaut werden mußten. Systematische Untersuchungen und Wasserkontrollen werden in Abstimmung mit den übrigen Anliegerstaaten der Ostsee durchgeführt. Man hofft, daß nunmehr die Qualität des Ostseewassers in vertretbaren Grenzen gehalten werden kann.

Die Bemühungen um den Gewässerschutz werden ergänzt durch spezielle Regelungen des Naturschutzes und des Vogelschutzes in besonderen Reservaten und durch Maßnahmen der Landschaftspflege.

be carried out in agreement with other countries bordering the Baltic. It is to be hoped that from now on the quality of the Baltic sea water can be kept within reasonable limits.

The efforts to protect water quality are extended through special Nature Conservancy regulations and bird protection in special reserves and through measures for landscape conservation.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Küstenschutzwerke an der deutschen Nord- und Ostsee

Von Johann Kramer

1. Deichbau an der Nordsee

Die erste Besiedlung der Marschen an der Nordsee und den Tideströmen Ems, Weser, Elbe und Eider in der Zeit vor Christi Geburt war möglich, ohne daß die Wohnstätten gegen Sturmfluten geschützt werden mußten, weil der Meeresspiegel tiefer als heute lag. Als dann in der Folgezeit die Wasserstände der Nordsee anstiegen, mußten die Bewohner Erdhügel, sogenannte Wurten, aufschütten, um sich und ihre Habe bei Sturmfluten zu bergen (s. Beitrag ROHDE). Mit der zunehmenden Zahl der Bewohner wurden zunächst vereinzelt Siedlungen durch Ringdeiche umschlossen, aus denen dann bis zum 13. Jahrhundert die erste geschlossene Bedeichung des Nordseeküstengebietes entstand.

Die ersten Deiche (Abb. 1) hatten sehr kleine Querschnitte. Zu Beginn des Deichbaues waren es niedrige Erdwälle mit steilen Böschungen und geringer Breite. Sie wurden zunächst im ausreichenden Abstand von der Uferlinie angelegt, so daß sie über ein Vorland verfügten. Wenn durch Erosion das Vorland abgebrochen worden war, wurde häufig versucht, den Fuß der nunmehr scharliegenden Deiche durch senkrechte Wände aus Holz zu schützen. Die Unterhaltung dieser kurzlebigen „Holzdeiche" war sehr kostenaufwendig, wurde dennoch streckenweise bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts beibehalten. Als ihre hydraulisch ungünstige Wirkung erkannt worden war, die in der verstärkten Ausräumung des Wattes vor dem Deichfuß bestand, wurde dieser flach geböscht angelegt, mit Soden bedeckt und diese mit Strohbestick befestigt. Jedoch erforderten diese „Strohdeiche", die an der gesamten Nordseeküste verbreitet waren, ungeheure Strohmengen und deshalb ebenfalls einen jährlichen hohen Unterhaltungsaufwand. Bereits im 18. Jahrhundert wurden daher die ersten Schardeiche massiv als „Steindeiche" befestigt. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erhielten dann alle Schardeiche auf dem Festland und den Inseln Befestigungen aus Natur- oder Ziegelsteinen.

Die Außenböschungen der Seedeiche, die vor allem der Brandung ausgesetzt waren, wurden im Laufe der Jahrhunderte flacher angelegt (Abb. 1). Es war erkannt worden, daß auf ihnen die Wellen weniger branden und geringere Schäden an der Grasnarbe und dem Erdkörper des Deiches entstehen. Die Innenböschungen der Deiche blieben dagegen nach wie vor steil und wurden bei Wellenüberlauf oder Überströmung ausgewaschen, woraus häufig Deichbrüche entstanden. Mit den bis zur Gegenwart weiterhin ansteigenden Sturmflutwasserständen wuchs auch die Deichhöhe von rd. 2,0 m bis zu 9,0 m über Gelände (Abb. 1). Das Wachsen der Deichquerschnitte vom Beginn des Deichbaues bis heute auf ein Vielfaches – mit der Zunahme ihrer Breite von rd. 4,0 m auf rd. 70,0 m – zeigt diese Abbildung ebenfalls deutlich. Darin wirkt sich auch die Erkenntnis der letzten Jahrzehnte aus, daß die Innenböschung flach zu bauen ist, damit überlaufende höchste Wellen keinen Boden auswaschen können.

Nach den sehr schweren Sturmfluten in der Nordsee von 1953, 1962, 1973 und 1976 ist wiederum die Erhöhung und Verstärkung aller See- und Stromdeiche im Nordseeküstengebiet begonnen worden und wird in etwa 10 Jahren abgeschlossen sein. Die Ab-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Coast Protection Works on the German North Sea and Baltic Coast

By Johann Kramer

1. Embankment construction on the North Sea

The first settlement of the marshland areas on the North Sea and in the tidal areas of the Ems, Weser, Elbe and Eider in the period before Christ's birth was possible without protecting habitations against storm tides since the sea levels were lower than they are today. As the water levels rose in the following period the inhabitants had to build mounds of earth, so called "Wurten", to protect themselves and their property against storm tides (see paper by ROHDE). As the number of inhabitants increased individual settlements were enclosed by ring dykes, until by about the 13th century the first continuous embankment of the North Sea coastal area had been built.

The first dykes (Fig. 1) had a very small cross section. At the beginning of dyke building they were low earth walls, steeply sloping and narrow. They were at first built far enough away from the shore line to leave them with a foreshore. If the foreshore was cut away by erosion, an attempt was usually made to protect the now more exposed dyke by vertical walls of wood. The maintenance of these short lived "wooden dykes" was very costly, but it was nevertheless continued in some stretches till towards the end of the 18th century. As their unfavourable hydraulic effect, which consisted of increased erosion of the flat at the foot of the dyke, came to be recognised, they were given a flat slope, turfed and the turf was fixed with straw bands. These "straw dykes" which were used along the whole North Sea coast required enormous quantities of straw and therefore had a high annual maintenance cost. By the 18th century the first of these exposed dykes had been solidly fixed as stone dykes. In the second half of the 19th century all exposed dykes on the mainland and the islands were fixed either by stones or bricks.

The outer slope of the sea dykes which was above all attacked by the breakers was built flatter over the centuries (Fig. 1). It became recognised, that waves would break less against them and would cause less damage to the roots of the grass and the earth fill of the dyke. The inner slope of the dyke, on the other hand, still remained steep and was washed away when waves broke over it or when it was over-topped, and this was frequently a cause of breaches in the dyke. With continuing rise of storm tide water levels up to the present day the height of embankments also increased from around 2.0 m up to 9.0 metres above the level of the surrounding land (Fig. 1). This figure clearly shows how the cross section of the dykes multiplied from their first building to the present, with an increase of width from about 4.0 metres to 70 metres. This also takes account of the recognition in recent decades that the inner slope should be built flat so that the highest waves breaking over it cannot wash away any soil.

After the very severe storm tides in the North Sea in 1953, 1962, 1973 and 1976 the raising and strengthening of all sea and river embankments in the North Sea coastal area was again begun and will be completed in about ten years. Figure 2 shows typical embankment cross sections. An embankment with a foreshore (A) starts from an outer slope of 1:6 with the slope gradually changing to blend with the foreshore. The "Schardeich" (B), an exposed embankment without foreshore, with the same slope to the

bildung 2 enthält typische Deichquerschnitte. Ein Deich mit Vorland (A) geht von der Außenneigung von 1:6 mit Neigungswechseln in das Vorland über. Der Schardeich (B) – ein Deich ohne Vorland – hat bei gleicher Neigung der Außenböschung einen im Vergleich zu früher höher hinaufgeführten massiven Fuß, der mit Natursteinen, Asphalt oder Beton befestigt wird. Ein Flußdeich (C) an der Elbe ist mit einer Asphaltbetondecke auf der Außenseite, der Krone und im oberen Bereich der Binnenböschung befestigt. Der Kern der gegenwärtig verstärkten oder auch neu gebauten Deiche besteht im allgemeinen aus Sand, da nicht genügend Klei verfügbar ist und dieser deshalb nur für eine möglichst erosionsfeste Kleidecke mit einer Dicke von 1,0 m bis 1,5 m benutzt wird. Für die Kronenhöhe von Seedeichen ist der Bemessungswasserstand maßgebend, der – nach unterschiedlichen Verfahren ermittelt (Abb. 3) – auf den höchsten Sturmflutwasserstand aufbaut und einen Zuschlag für den säkularen Anstieg des Meeresspiegels enthält, der rund 25 cm beträgt. Der um den Wellenauflauf erhöhte Bemessungswasserstand ergibt die Deichhöhe. Für die Bestimmung der Kronenhöhe von Stromdeichen an Ems, Weser und Elbe sind hydraulische Modellversuche erforderlich, weil anders die Eingriffe durch Flußregulierungen, Hafenbauten und Abschließung der Nebenflüsse durch Sperrwerke nicht erfaßt werden können.

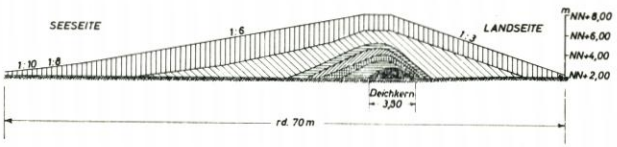


Abb. 1. Vergleich älterer Deichquerschnitte mit modernen;
der älteste Querschnitt wurde ungefähr 1000 nach Christi und der höchste nach 1962 angelegt

Fig. 1. Comparison of older embankment cross sections with modern ones;
the oldest cross section was built at approximately 1000 A.D. and the highest after 1962

Für den Küstenschutz ist seit dem 16. Jahrhundert die Neulandgewinnung bedeutsam gewesen (Abb. 4). Auf diese Weise konnten Einbrüche des Meeres beseitigt oder Buchten wie Dollart, Jadebusen und Meldorfer Bucht auf einen geringen Teil ihrer größten Ausdehnung verkleinert werden, was die Deichlinien erheblich verkürzte. Für die Landgewinnung (Abb. 5) werden Landgewinnungsfelder angelegt, die durch Lahnungsdämme abgeteilt sind, wodurch stärkere Wellenbewegung in den Feldern verhindert wird. In die Felder strömt zweimal täglich schlickhaltiges Flutwasser ein, aus dem im ruhigen Wasser Feststoffe sedimentieren und die Fläche auffüllen. Sobald eine bestimmte Höhe des Lahnungsfeldes erreicht ist, werden Grüppen – kleine Gräben – ausgehoben, die nach Füllung durch Sedimentation wieder hergestellt werden, wobei der Aushub auf die Flächen zwischen den Grüppen verteilt wird. Die häufige Wiederholung dieses Vorganges läßt die Landgewinnungsfelder weiter aufwachsen, wobei ein Fortschritt von bis zu 10 cm/Jahr erzielt werden kann. Für die buhnenartig wirkenden Lahnungsdämme gibt es verschiedene Bauweisen unter Verwendung von Busch bis zu Betonfertigteilen.

Durch den Bau neuer Deiche im Zuge der Landgewinnung, vor allem aber durch die Schließung der Nebenflüsse von Ems, Weser und Elbe sowie der gesamten Eider, wird gegenwärtig die Deichlinie an der deutschen Nordseeküste von rd. 1430 km Länge zwischen der holländischen und dänischen Grenze auf rd. 970 km verkürzt. Die Sperr-

outer wall, has a solid base which has been raised to a higher level than in earlier times and which is strengthened with stone, asphalt or concrete. A river embankment (C) on the Elbe is strengthened on the outer side, on the crown and at the top of the inner side with an asphalt concrete layer. The core of recently strengthened or newly built embankments generally consists of sand, since not enough clay is available, and this is therefore used to make an erosion proof clay cover 1.0 m to 1.5 m thick. The crest level of sea embankments is fixed by the measured water level. This is determined in various ways (Fig. 3) based on the highest storm tide levels with an addition of about 25 cm for secular rise in sea levels. This measured level is raised by an allowance for wave action and this gives the height of the embankment. To determine the crest level of the river embankments in the Ems, Weser and Elbe, hydraulic model investigations are required as otherwise account cannot be taken of river regulation, harbour works and barriers closing tributary rivers.

Since the 16th century land reclamation has become important for coast protection (Fig. 4). In this way the sea could be prevented from breaking through, or inlets like the Dollart, Jadebusen and Meldorfer Bucht could be reduced to a small part of their maximum size, thus considerably shortening the length of the embankments. For land reclamation (Fig. 5) land reclamation fields are laid out, divided by small dams (Lahnungsdämme) which prevent strong wave action in them. The fields are covered twice a day by tides carrying mud in suspension, from this solids are deposited at slack water and fill up the area. When the "Lahnungs" fields have reached a certain level "Grüppen" (small ditches) are dug. As these are filled up by sedimentation they are re-dug and the material excavated is spread on the area between them. The frequent repetition of this procedure allows the reclaimed fields to rise higher, so that an increase of 10 cm a year can be achieved. There are various ways of building these groyne-like "Lahnungs" dams from bushy twigs to ready made concrete sections.

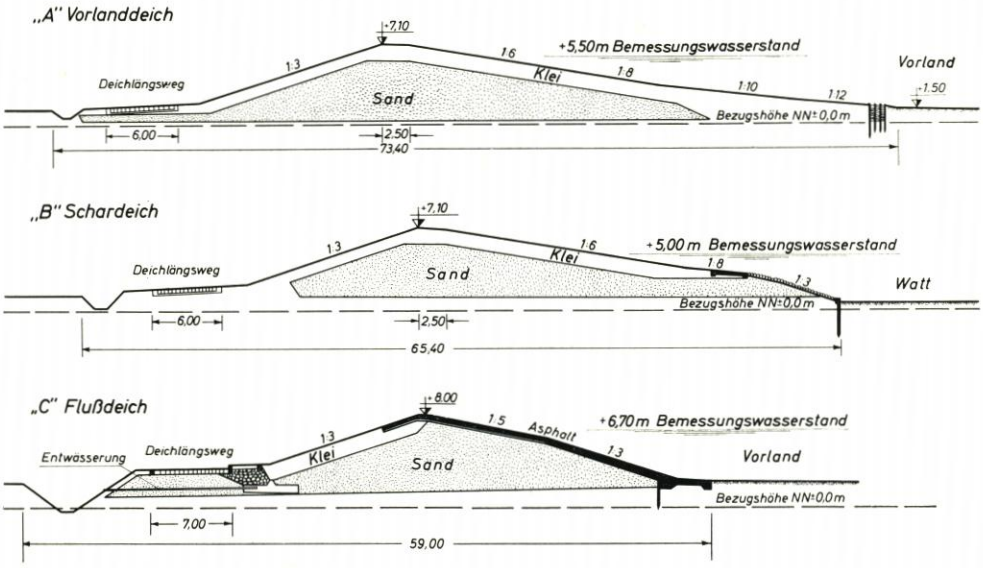


Abb. 2. Querschnitt von Deichen mit Sandkern und einer Klei- oder Asphaltdecke

Fig. 2. Cross section of embankments with sand cores and a clay or asphalt covering

werke (Abb. 6) bleiben bei normalen oder wenig erhöhten Tiden geöffnet, um das Flußregime möglichst wenig zu beeinträchtigen, und werden nur bei erhöhten Sturmflutwasserständen geschlossen.

2. Schutzwerke an der Ostsee

Der Schutz der Ostseeküste gegen Sturmfluten unterscheidet sich von dem der Nordsee, weil hier die weiten Marsch- und Wattgebiete fehlen (s. Beitrag PETERSEN). Der Unterwasserstrand fällt steiler ab, so daß größere Wassertiefen bis an die Küste reichen. Von der 530 km langen Ostseeküste hat der größte Teil flache Ufer vor Niederungsgebieten, die streckenweise von Steilufern unterbrochen werden. Der Landverlust an der Ostsee ist seit jeher größer als der Landgewinn gewesen.

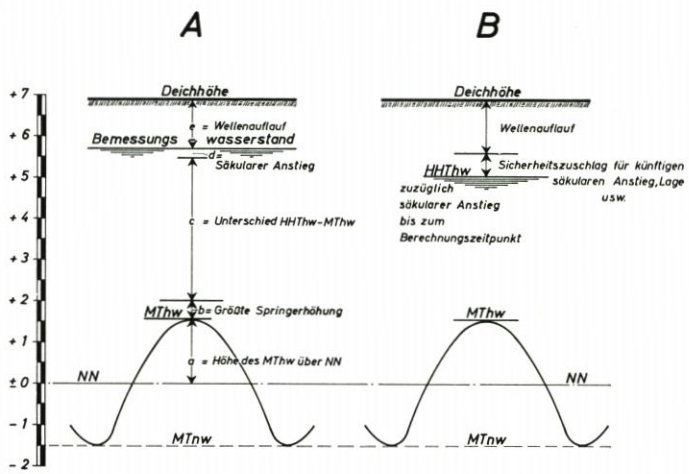


Abb. 3. Bestimmung der Kronenhöhe von Deichen:
A) Einzelwertverfahren
B) Vergleichsverfahren

Fig. 3. Determination of the crest level of embankments.
A) method based on an individual value
B) method based on comparison

Vor den Niederungen ist von der Brandung im allgemeinen ein Strandwall aufgeworfen worden, der bei Bauten zu ihrem Schutz vor Überschwemmungen den Ansatz für den Deichkörper bildete. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts begann der Deichbau und wurde verstärkt nach der sehr schweren Ostseesturmflut des Jahres 1872 fortgeführt, wobei Kronenhöhen bis zu NN +5,0 m angestrebt wurden (Abb. 7). Deiche auf dem Strandwall waren bei weiterem natürlichen Zurückweichen des Strandes gefährdet, so daß sie mit massiven Fußbefestigungen und Buhnen gesichert werden mußten. Auf die Dauer hatte dieser starre Uferschutz jedoch nur Erfolg, wenn aus dem natürlichen Transport ausreichend Sand zugeführt wurde, um Unterspülungen zu vermeiden. Wo die Sandbilanz negativ blieb, sind in neuerer Zeit Strände künstlich aufgefüllt worden, wobei jedoch zu erkennen ist, daß der Sandbedarf für die Erhaltung aller Strände nicht aus dem begrenzten Sandvorrat des Küstenvorfeldes gedeckt werden kann.



Die Küste, 32 (1978), 1-155

Tafel XI: Haken bei Flügge auf Fehmarn verlängert sich in die Bucht hinein; Vorstufe für das Entstehen einer Nehrung. (Aufn. U. Muuß)

Plate XI: Curved sand spit near Flügge on the island of Fehmarn advancing into the bay. This is the early stage of the formation of a water logged area behind the spit.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

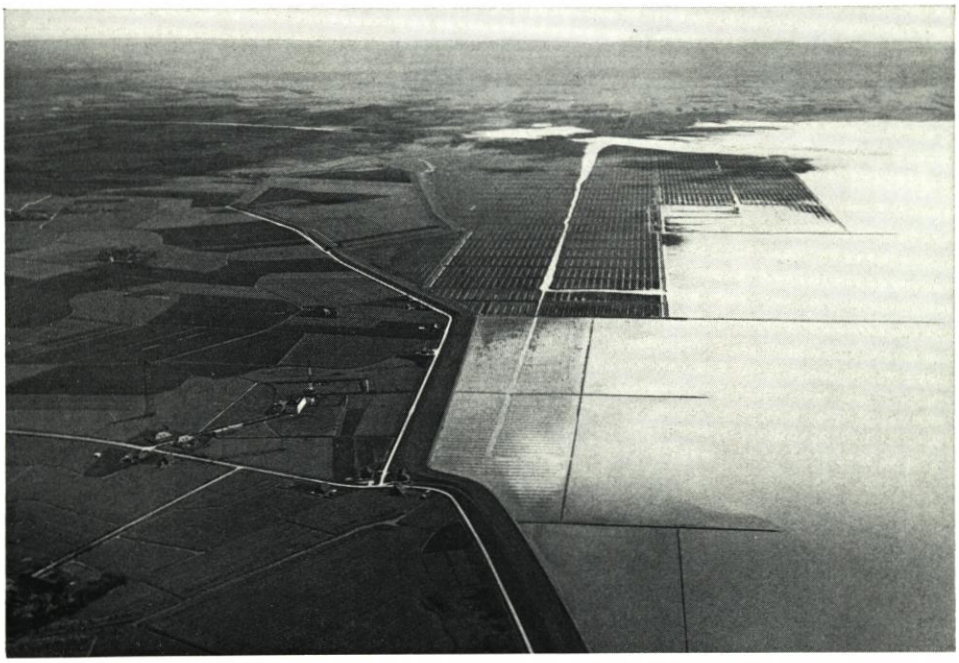


Abb. 4. Seedeich bei Utlandshörn mit Blick in die Leybucht; im Vordergrund Schardeich mit Lahnungen, im Hintergrund begrüppte Landgewinnungsfelder (Luftbild freigegeben: SH 487–151)

Fig. 4. Sea embankment beside Utlandshörn looking towards Leybucht; in the foreground a "Schardeich" or exposed embankment with "Lahnung" dams, and in the background land reclamation fields with parallel ditches

The building of new embankments in the course of land reclamation, and above all the closing of the tributaries of the Ems, Weser and Elbe as well as the whole of the Eider have shortened the present line of embankments on the German North Sea coast between the Danish and Dutch borders from 1430 km to about 970 km. The tidal barriers (Fig. 6) remain open during normal or slightly high tides so as to have the minimum effect on the regime of rivers and are only closed against the raised water levels caused by storm tides.

2. Protection works on the Baltic

The protection of the Baltic coast against storm tides differs from that on the North Sea because here there are no broad areas of marshes and flats (see PETERSEN's paper). The underwater bed slopes more steeply so that greater depths of water reach right to the coast. Of the 530 km long Baltic coast the greater part has shallow beaches in front of low lying areas which are broken in some stretches by steep cliffs. The land lost on the Baltic coast has always been more than the land reclaimed.

In front of the low lying areas there is generally a sand bar thrown up by breaking waves. When engineering works are being constructed to protect them from flooding

Die Erhaltung der Steilufer an der Ostsee bringt die gleichen Probleme, handelt es sich hierbei doch meistens um Bereiche mit negativer Sandbilanz. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurde begonnen, einzelne Uferabschnitte durch Buhnen und Deckwerke zu schützen und den Sandeintrieb in die Fahrwasser und Häfen zu verhindern. Die Bauwerke waren mancherorts wirkungslos, so daß auch hier Strandauffüllungen erforderlich sind, wenn ein weiterer Uferabbruch nicht zugelassen werden darf.

Die verstärkte Nutzung der Ostseeküste für den Fremdenverkehr zwingt auf langen Strecken dazu, den weiteren Uferabbruch durch Sturmfluten zu verhindern. In das Programm der Verstärkung des Küstenschutzes ist deshalb auch die Ostseeküste einbezogen worden. Sie soll im nächsten Jahrzehnt abgeschlossen werden und wird zu sehr viel breiter gelagerten Schutzwerken als bisher führen (Abb. 7, Deichkörper 1975).

An der stark gegliederten Ostseeküste sind Städte wie Flensburg und Eckernförde, aber auch Kiel der Gefahr der Überschwemmung bei hohen Sturmflutwasserständen aus-

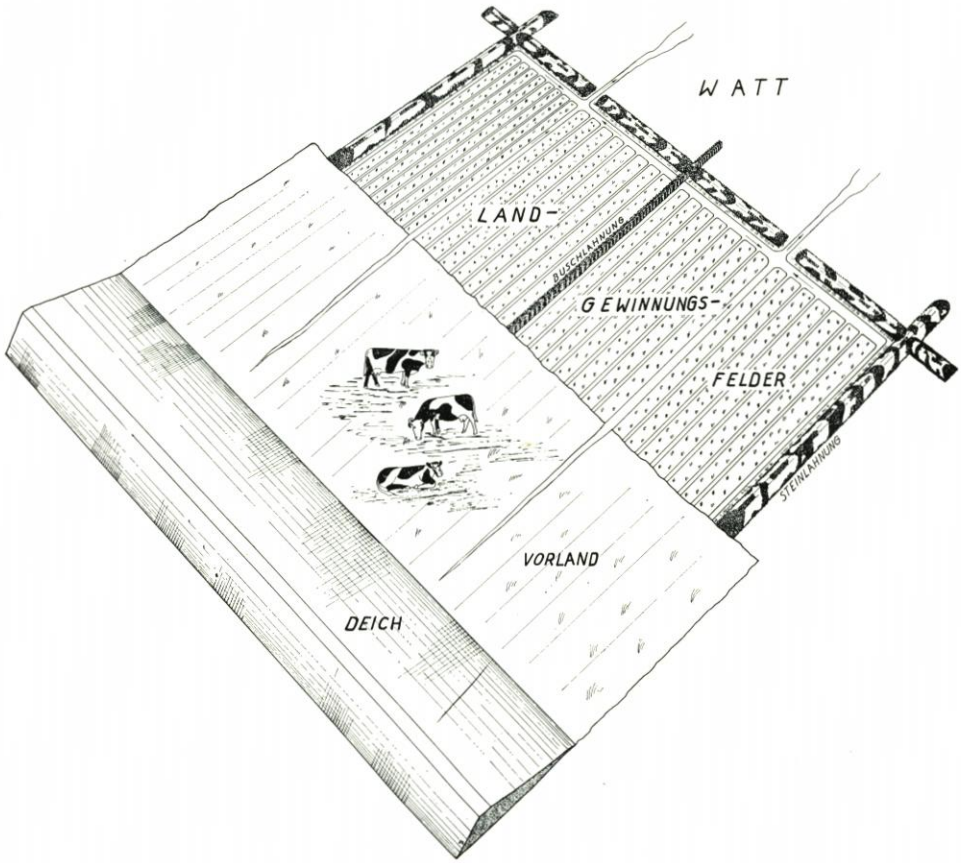


Abb. 5. Deich mit Vorland und Landgewinnungsfeldern als aktiver Küstenschutz (schematisch dargestellt)

Fig. 5. Embankment with foreshore and land reclamation fields as an active coast protection (shown schematically)

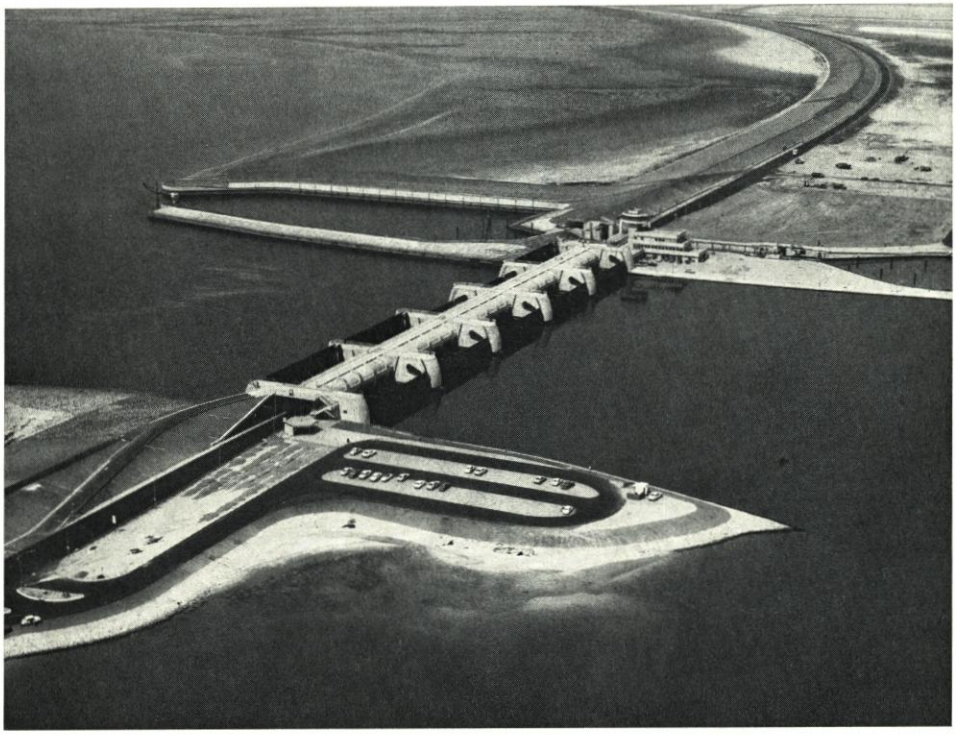


Abb. 6. Eider-Sperrwerk mit 5 Durchflußöffnungen und Schleuse sowie Anschlußdeich (Ph. Holzmann Archiv; Luftbild freigegeben: LA Hamburg 965/77)

Fig. 6. Eider barrage with 5 sluice openings and lock and the adjoining embankment

these provide the basis for the body of the embankment. Dyke building began in the middle of the 18th century and was carried on more intensively after the very bad Baltic storm tides of 1872, when the aim was to achieve embankments with a crest height of NN +5.0 m*) (Fig. 7). Dykes along the sand bar were endangered by the further natural retreat of the beach so that they had to be secured with massive reinforcements of their footings and with groynes. In the long run, however, this rigid embankment protecion was only successful, when natural transport brought in sufficient sand to prevent their being undercut. In recent times the beach has been built up artificially in cases where the sand balance remains negative as it has been recognised that the sand requirements to maintain all the beaches cannot be maintained from the limited sand stocks in the coastal foreshore.

The maintenance of the cliffs on the Baltic involves the same problems which are mostly to do with negative sand balance. In the middle of the 19th century a start was made on the protection of individual stretches of shore with groynes and paving and on the prevention of sand movement into shipping channels and harbours. The engineering works in many areas were ineffective, so that beach nourishment was also necessary here if further erosion of the coast was not to be allowed.

*) NN is approximately equivalent to English O.D.

gesetzt. Wegen der Enge der Bebauung können hier keine flach geböschten Erddeiche aufgeführt werden, sondern es sind Hochwasserschutzwände zu errichten, die mit vielen verschließbaren Öffnungen für den Verkehr ausgestattet werden müssen und deshalb besonders hohe Kosten bringen.

3. Strand- und Dünenschutz auf den Inseln an der Nordsee

Der Schutz der Strände und Dünen der Ostfriesischen und Nordfriesischen Inseln (s. Beiträge LUCK und PETERSEN) begann in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, nachdem die Inseln durch Sturmfluten so viele schützende Dünen verloren

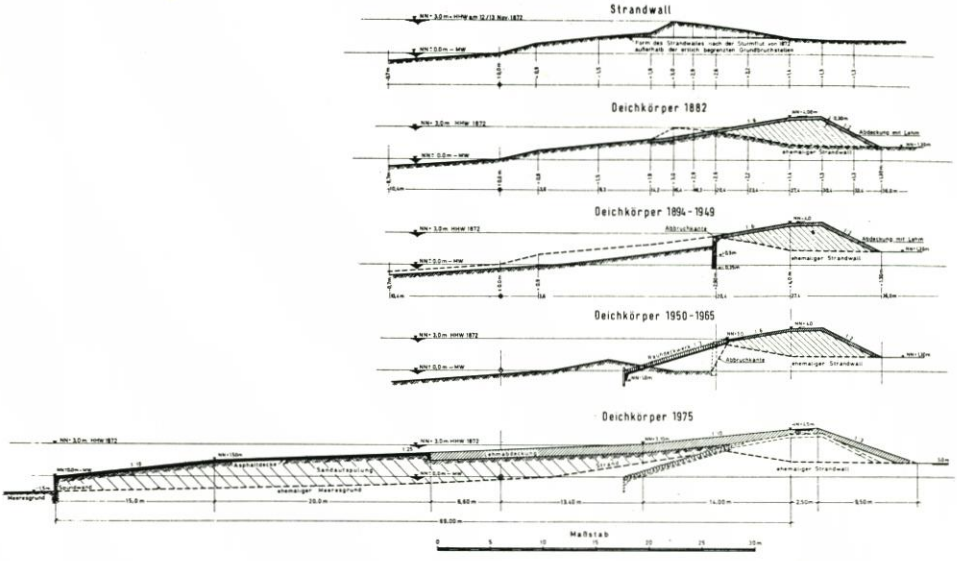


Abb. 7. Strandwall und Deichprofile an der Ostseeküste vor der Probstei
Fig. 7. Beach wall and embankment profile on the Baltic coast in front of Probstei

hatten, daß die Wohnorte gefährdet waren. Der Bau von Schutzwerken erschien in dieser Zeit günstiger als die Verlegung der zwischenzeitlich gewachsenen Siedlungen mit ihren Badeanlagen. Hinzu kamen die damals geringen Kenntnisse über die hydrologisch-morphologischen Vorgänge im Küstenvorfeld, nach denen erwartet wurde, daß die auf kurzen Uferstrecken angelegten Bauwerke für den Inselschutz ausreichen würden. Beispiele dafür sind die Inseln, auf denen zunächst einige hundert Meter Dünendeckwerk und einige Buhnen erbaut wurden, aus denen dann bis zur Gegenwart nach weiteren Strand- und Dünenabbrüchen langgestreckte Deckwerke mit einer großen Zahl von Buhnen entstanden. Insgesamt sind auf den Düneninseln an der Nordsee rd. 60 km Deckwerke und mehrere Hundert Buhnen der verschiedensten Bauweise entstanden.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The increased use of the Baltic coast for tourism made it necessary to prevent further erosion by storm tides over long stretches of coast. The Baltic coast has therefore also been included in the programme for strengthening coast defences that will be carried out in the next decade and this will lead to much more widely spread protection works than before (Fig. 7, embankment core 1975).

On the very indented Baltic coast towns like Flensburg and Eckernförde, and indeed also Kiel are in danger of flooding by the high water levels of storm tides. Because they are so closely built up it is not possible to build flatly sloping earth embankments here. Instead high water protection walls have to be built with many openings for traffic that can be closed at high tide and these involve very high costs.

3. Beach and dune protection on the islands on the North Sea

The protection of the beaches and dunes of the East Friesian and North Friesian islands (see papers by LUCK and PETERSEN) began in the second half of the last century after the islands had lost so many of their protective dunes through storm tides that the settlement areas were endangered. The building of protective works appeared

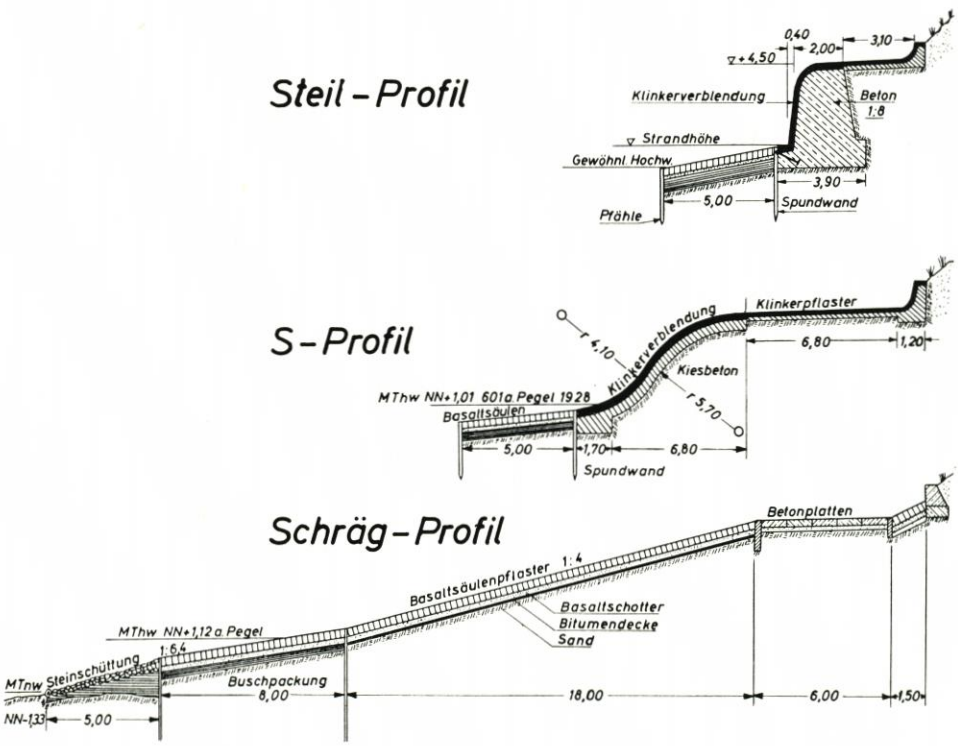


Abb. 8. Querschnitte von Dünendeckwerken

Fig. 8. Cross section of dune surface protection works

Die ersten Dünendeckwerke waren geschlossene oder offene Pfahlwerke. Ihre Lebensdauer war jedoch wegen der geringen Haltbarkeit des Holzes begrenzt. Sehr bald wurde deshalb begonnen, in massiver Bauweise Deckwerke im Steil-Profil oder S-Profil herzustellen (Abb. 8). Sie waren konstruktiv widerstandsfähiger, führten aber aufgrund der Brandung an ihrem Fuß zu Auskolkungen, besonders vor den Steilmauern, und mußten deshalb durch Spundwände und Steinvorschüttungen gegen Erosion gesichert werden. Meistens schritt jedoch der Sandverlust vor den Deckwerken fort, da sie in

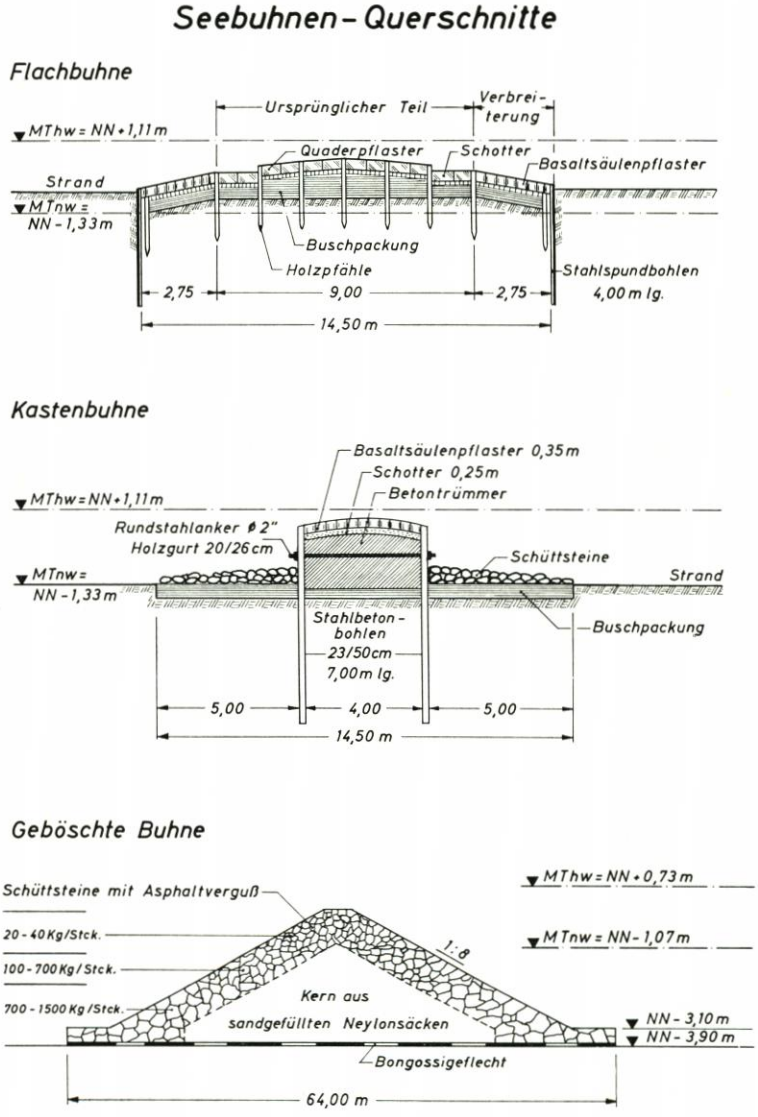


Abb. 9. Querschnitte von schweren Seebuhnen

Fig. 9. Cross section of heavy duty sea groynes

Die Küste, 32 (1978), 1-155

at that time better than moving the settlements and bathing places which had grown up in the meantime. In addition with the little understanding at that time of hydraulic-morphological processes on the coastal foreshore it was expected that engineering works along short stretches of coast would be sufficient to protect the islands. Examples of this are the islands, on which at first a few hundred metres of dune paving works and a few groynes were constructed, until eventually by the present time after further beach and dune erosion long stretches of paving works and large numbers of groynes developed. Altogether on the barrier (dune) islands of the North Sea about 60 km of protective paving works and several hundred groynes were constructed.



Abb. 10. Westende der Insel Norderney nach der Strandaufspülung 1971 mit hochwasserfreiem Strand

Fig. 10. West of the island of Norderney after the beach feeding of 1971 with beach above high water level

The first dune protection works were closed or open timber works. Their length of life was limited because of the poor durability of the wood. Very soon, therefore, solidly built paving works in steep profile or S-profile began to be constructed (Fig. 8). These had greater resistance because of their construction but because of waves breaking at their base they led to scour, particularly in front of steep stone banks. They therefore had to be protected against erosion by sheet piling and dumping stones along their front. In most cases the sand loss in front of the paving works continued since they were erected on stretches of beach with a negative sand balance. In the thirties of this century the oblique profile was introduced, first in Sylt and later in Norderney to minimise the wave action on the paving (Fig. 8). This distributed the action of the breakers over a larger area. As well as changes in the profile, the strength of the construction of the protective works was always being increased, so that they are nowadays stable in the face of wave action so long as they are not endangered by undermining

Strandbereichen mit negativer Sandbilanz errichtet worden waren. Um die Brandung vor dem Deckwerk zu mindern, entstand dann in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts das Schrägprofil, erstmals auf Sylt und später auf Norderney (Abb. 8), bei dem die Brandung auf eine größere Fläche verteilt wird. Neben der Veränderung im Profil wurden die Deckwerke in der Konstruktion immer schwerer, so daß sie heute standfest gegenüber den Brandungskräften sind, wenn sie nicht durch Unterspülung infolge Strandabnahme gefährdet werden. Auf Sylt und auf einigen anderen Inseln sind am Dünenfuß oder vor Steilmauern Wälle aus Tetrapoden gesetzt worden, die wellendämpfend wirken und damit den Strandabtrag vermindern. Für die gegenwärtig noch gebauten Dünendeckwerke werden vor allem massive Baustoffe wie Naturstein, Asphalt und Beton sowie Stahlspundwände als Längs- und Quersicherung verwendet.

Dem Bau von Dünendeckwerken folgte sehr bald der von Buhnen, die den uferparallelen Brandungsstrom mit Sandtransport hemmen sollten, wodurch von ihnen eine stranderhaltende Wirkung erwartet wurde. Die Buhnen entstanden in den verschiedensten Bauweisen zunächst als flach geböschte Steinbuhnen (Abb. 9), an die mit fortschreitendem Verlust an Strandhöhe seitlich Bermen angebaut wurden, bis man in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts begann, sie seitlich durch Stahlspundwände einzugrenzen. Auf diese Weise wurde auch ihre Standsicherheit bei veränderten Strandhöhen erhalten. Kastenbuhnen (Abb. 9) mit seitlichen Stahlbeton- oder Stahlbohlen waren von vornherein anpassungsfähig gegenüber veränderlichen Strandhöhen, besonders dann, wenn seitlich Sinkstücke lagen. Daneben besteht eine Vielzahl anderer Buhnenkonstruktionen aus Schüttsteinen mit Asphalt- oder Zementmörtelverguß der oberen Steinlage sowie mit unterschiedlich geneigten Böschungen. Bei großen Buhnenquerschnitten (Abb. 9)

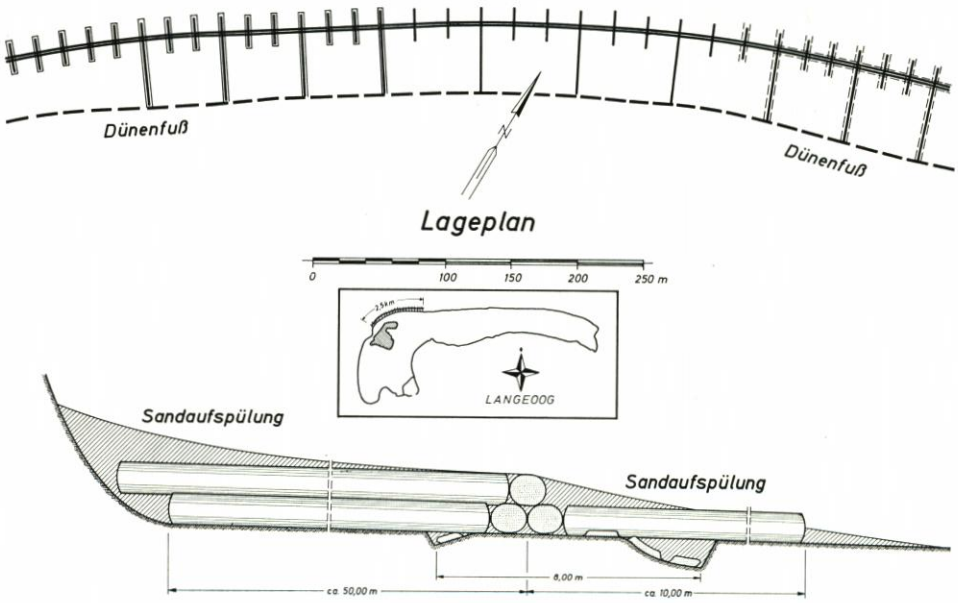


Abb. 11. Sandauffüllung auf der Insel Langeoog mit stabilisierendem, sandgefülltem Schlauchwerk 1971/72

Fig. 11. Beach feeding on the island of Langeoog with stabilizing sand filled tube works

Die Küste, 32 (1978), 1-155

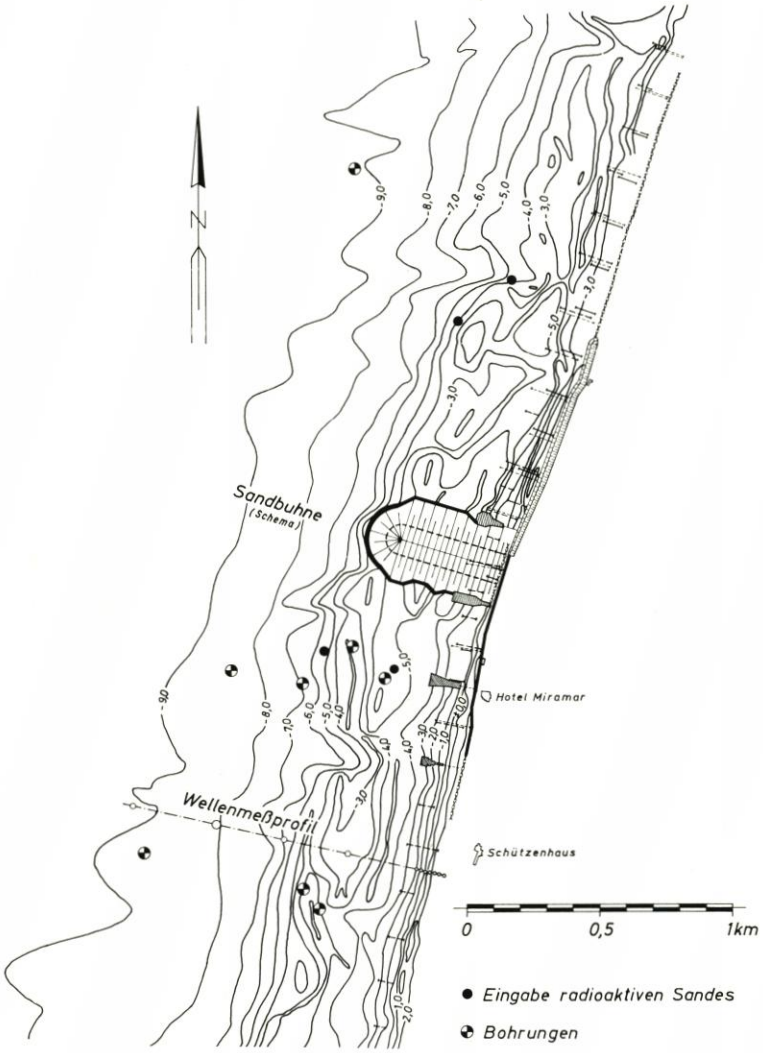


Abb. 12. Strandauffüllung vor Westerland auf Sylt 1972
Fig. 12. Beach feeding in front of Westerland on Sylt 1972

through sand erosion. On Sylt and in some other islands mounds of tetrapods have been put at the foot of dunes or at the base of steep embankment walls. These have the effect of damping down the wave action and thus diminishing beach erosion. For the dune protection works which are still being built today solid building materials such as stone, asphalt or concrete are used with steel sheet piling to secure them lengthwise and in cross-section.

The building of dune protection paving was followed very soon by that of groynes which should hinder wave movement with sand transport parallel to the shore and thus were expected to have the effect of conserving the beach. The groynes were built in

kann der Kern aus sandgefüllten Nylonsäcken bestehen. Durch den breiten Kopf einer solchen Buhne soll eine bessere stranderhaltende Wirkung als bei anderen Buhnenkonstruktionen erreicht werden.

Die auf den meisten Düneninseln bis heute entstandenen ausgedehnten Buhnensysteme mit der Vielfalt unterschiedlicher Bauweisen, deren Bau durch die in ihrem Bereich jeweils negative Sandbilanz verursacht wurde, haben im allgemeinen die Tendenz der Strandentwicklung grundsätzlich nicht ändern können. Deshalb wurde zum Ausgleich der natürlichen Sandverluste auf verschiedenen Inseln zur künstlichen Sandzufuhr übergegangen. Die erste große Strandauffüllung war 1951/52 am Westende von Norderney auf einer Strandstrecke von 5,1 km (Abb. 10). In zwei Jahren wurde flächenmäßig der Sand von der Strandmauer her eingespült, wobei zunächst ein sehr breiter hochwasserfreier Strand mit unnatürlich steilen Neigungen entstand, der dann durch die Sturmfluten des folgenden Winters abgetragen und den natürlichen Strandneigungen angepaßt wurde. Insgesamt ist diese Aufspülung bei naturgemäßer Abnahme der Menge rd. 15 Jahre wirksam geblieben. Eine flächenmäßige Aufspülung in den Jahren 1971/72 auf Langeoog wurde durch die Verlegung von sandgefüllten Schläuchen stabilisiert (Abb. 11). Dadurch wurde vor allem der Brandungsbereich vom Dünenfuß seewärts zum uferparallelen Schlauchwerk verlegt, wodurch weniger Sand in den Materialtransport während der Brandung gelangte und damit die Verluste am Strand sich verminderten. Vor der Westseite der Insel Sylt trat nach einer konzentrierten Vorspülung, die in Form einer bis ans Riff reichenden „Sandbuhne" geplant war (Abb. 12), eine schnelle Verlagerung der eingespülten Sandmassen in nördlicher und auch südlicher Richtung ein. Wichtig war hier die Beobachtung, daß nichts vom eingespülten Sand seewärts über das Riff verloren ging, sondern dieser voll in den uferparallelen Sandtransport einfloß. Neben diesen Strandauffüllungen sind inzwischen weitere ausgeführt worden, da sich erwiesen hat, daß sie unter Nutzung der hydraulischen Fördertechnik den wirtschaftlichsten Inselschutz ergeben. Hinzu kommt, daß die aufgespülten Strände auch für den Badebetrieb genutzt werden können, der die Grundlage der Existenz der Ost- und Nordfriesischen Inseln ist.

Eine Sonderstellung im Küstenschutz nimmt die in der Deutschen Bucht liegende Insel Helgoland (Tafel V) ein. Die Insel aus weichem Felsgestein, die unter der Wirkung der Brandung seit ihrer Entstehung auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Größe abgenommen hat, erhielt in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts eine Schutzmauer, die sie voll umgibt. Einen Schutz erfordert auch die danebenliegende kleine Düneninsel, die vor allem für den Badebetrieb genutzt wird. Beide sind durch Schutzwerke verschiedener Art umschlossen, von senkrechten Ufermauern und Stahlspundwänden bis zum Tetrapodenwall. Die verschiedenen Konstruktionen erklären sich nicht nur aus der Bedeutung Helgolands als Badeort, sondern auch aus der früheren als Marinestützpunkt und der heutigen als Nothafen bei Stürmen in der Nordsee. Für die Hafenanlagen sind ausgreifende Molensysteme entstanden, die gleichzeitig als Schutz für die aufgeschütteten Landflächen dienen.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

various ways, first as shallow sloping stone groynes (Fig. 9). As the level of the beach progressively fell these were extended with side berms (ledges) until in the twenties of this century steel sheet piling began to be used to limit their sideways extension. In this way it was also possible to keep them standing securely when the level of the beach changed. Coffer dams (Fig. 9) with lateral reinforced concrete or steel beams were from the first capable of adjustment for changes in beach level, especially in cases where there were sunken rocks. In addition there are a great many other types of groyne construction from loose stone, with asphalt or cement mortar poured over the top layer of stones, as well as with differently inclined slopes. Where the cross section of the groyne is large (Fig. 9), the core can be made of sand filled nylon sacks. The broad top of such a groyne is intended to achieve a better beach conservation effect than other types of construction.

In general the widespread groyne systems which still exist today and which are built in many different ways, and whose building was caused by the negative sand balance in their area, are not able to make a fundamental change in the trend of beach development. Because of this various islands have resorted to artificial beach feeding to make good the natural loss of sand. The first large beach feeding was carried out in 1951/52 on the west end of Norderney on a stretch of beach about 5.1 km long (Fig. 10). Over two years sand from the beach wall was pumped over the surface. This first produced a broad beach above high water line with an unnaturally steep slope, this was levelled by the storm tides of the following winter and conformed to the natural slope of the beach. Altogether this spreading of sand remains effective for about 15 years under reasonable natural conditions. In Langeoog in the years 1971/72 sand pumped on the surface was stabilized by laying down sand filled tubes (Fig. 11). In particular the tube-works were laid parallel to the shore in the area where the waves broke, from the foot of the dunes to the seaward, so that the waves succeeded in transporting less sand and the loss of sand on the beach was reduced. In front of the west side of the island of Sylt after a concentrated discharge of sand, which was planned in the form of a sand bar to reach as far as the sandbank (Fig. 12), there was a rapid shifting of the artificial sand mass in a northern and southern direction. The important observation was made that none of the newly deposited sand was lost to the seaward over the sandbank, but that it all flowed into the sand transport system parallel to the shore. Since then other cases of beach feeding as well as these have been carried out, as it has been shown, that by using the technique of encouraging hydraulic processes they provide the most economic method of island protection. An additional advantage is that the beaches on which sand is pumped can also be used for bathing, which is the basis for existence in the East and North Friesian islands.

The island of Heligoland, lying in the bay of Heligoland occupies a special position in coast protection (Plate V). The island with cliffs of soft rock, which has been reduced to a fraction of its original size by wave action, was given a protective wall, right round the island, in the first decade of this century. The small barrier (dune) islands lying close by which are mainly used as bathing resorts also require protection. Both are surrounded by protective works of various kinds, from vertical embankment walls and steel sheet piling to walls of tetrapods. These various protective works are accounted for not merely because of Heligoland's importance as a bathing resort, but because of its earlier role as a naval base and its present day one as an emergency harbour during North Sea storms. An extensive system of breakwaters has developed for the harbour installations which also serve as a protection for the built up land areas behind.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Küsteningenieurwesen und Verwaltung

Zusammengestellt von Josef Sindern

1 Einleitung

Die Aufgaben des Küsteningenieurwesens gruppieren sich im wesentlichen um die folgenden zwei Bereiche:

- die Erhaltung und Sicherung der Schiffbarkeit der Wasserstraßen,
- die Sicherung der Küsten des Festlandes und der Inseln gegen die Angriffe des Meeres.

Die deutsche Nordseeküste wird durch die Ströme Ems, Jade, Weser, Elbe und Eider tief gegliedert. Den mehr oder weniger breiten Wattengürtel schließen im Westen die Ostfriesischen Inseln, im Norden die Nordfriesischen Inseln gegen die tiefere See ab. Die Gezeitenbewegung hat im Watt stark verzweigte Systeme von Wattströmen und Prielen gebildet, die z. T. auch der Vorflut der Binnengewässer und als Wasserstraßen dienen. Sich selbst überlassen, würden sie ihre Lage und Abmessungen ständig verändern. Solche Veränderungen können vor allem den Schiffsverkehr beeinträchtigen; sie sind aber auch für den Bestand und die Standsicherheit von Küsten- und Inselschutzanlagen von großer Bedeutung.

Die Seeschiffahrtsstraßen, die von der seewärtigen Begrenzung des Küstenmeeres (Hoheitsgrenze Bundesrepublik Deutschland) bis tief hinein in die Unterläufe der Flüsse sowie in die Förden und Buchten des Meeres reichen, dienen in erster Linie der internationalen Seeschiffahrt als Zufahrten zu den deutschen Häfen. Ihre Leistungsfähigkeit hat für die Wettbewerbslage der deutschen Seehäfen, über die etwa ein Drittel des gesamten grenzüberschreitenden Verkehrs der Bundesrepublik (einschließlich Rohrfernleitungen) abgewickelt wird, ausschlaggebende Bedeutung.

Der Bund mit seiner *Wasser- und Schiffahrtsverwaltung* ist verantwortlich für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs und den für die Schiffahrt erforderlichen Zustand der Seeschiffahrtsstraßen. Der Küsten- und Inselschutz ist Aufgabe der Küstenländer und ihrer *Wasserwirtschaftsverwaltungen.* Besonders die Sturmfluten von 1962 und 1976 haben wieder gezeigt, daß Küstenschutz lebensnotwendig ist. In Deutschland besteht der Küstenschutz vor allem im Überflutungsschutz der Deiche, in der Verkürzung der Deichlinie durch Sperrwerke in den Tideflüssen und in der Sicherung der Inseln gegen die Angriffe des Meeres.

2 Die Verwaltungen

Die Bundesrepublik Deutschland ist ein föderativer Staat. Dementsprechend gibt es Verwaltungen des Bundes und der Länder.

2.1 Der Bund

Die *Wasser- und Schiffahrtsverwaltung (WSV)* ist eine Verwaltung des *Bundesministers für Verkehr (BMV).* Sie nimmt ihre Aufgaben an der Küste durch die *Wasser-*

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Coastel Engineering System Organisation and Administration

Compiled by Josef Sindern

1 Introduction

Coastal Engineering tasks essentially fall into the following two groups:
- maintaining and keeping the waterways open for shipping
- protecting the coasts of the mainland and the islands against attack by the sea.

The German North Sea coast is deeply divided by the rivers Ems, Jade, Weser, Elbe and Eider. A more or less wide belt of tidal flats separates the East Friesian Islands in the West and the North Friesian Islands in the North from the deeper sea. The movement of the tides has created a highly branched system of tidal channels and creeks through the flats, which at present also serve partly as drainage channels for the inland waters and as shipping channels. If they were left to themselves their position and size would alter continually. Such changes are particularly harmful for shipping; they are also of great importance for the stability and security of coastal and island protection works.

The shipping channels reach from the seaward limits of the coastal sea (territorial limits of the Federal German Republic) to deep into the lower river courses and into the sea fjords and bays. They serve primarily as entrance to German harbours for international seagoing shipping. Their efficiency is of decisive importance for the competitive position of the German seaports through which passes about one third of all Federal German international commerce (including imports through pipelines).

The Federal Government with its *Wasser- und Schiffahrtsverwaltung*[1]) *(WSV)* is responsible for the safety and smooth flow of traffic and for keeping the shipping lanes in the state required by shipping. Coastal and island protection is the task of the coastal "Länder" (States) and their *Wasserwirtschaftsverwaltungen*[2]). The storm surges of 1962 and 1976 have shown again that coast protection is a matter of life and death. In Federal Germany coast protection consists principally of flood protection by embankments, or shortening the embankment line by barrages in tidal rivers, and protecting the islands against attack by the sea.

2 The Administration

The Federal Republic is a federal state so that there are Federal and "Länder" authorities. The various levels of Government authority in the GFR are as follows:
1. Federal Ministries and authorities (Bundesminister und Behörden)
2. Länder (State) Ministries and authorities (including City States like Hamburg and Bremen)
3. Bezirke (sub-regions of Länder)

---

[1]) Water and Shipping Authority.
[2]) Water Management Authorities.

und Schiffahrtsdirektionen (WSD) Nord in Kiel und *Nordwest* in Aurich wahr. Wichtige zentrale Stellen und Forschungseinrichtungen des Bundes sind

die *Bundesanstalt für Gewässerkunde* in Koblenz,

die *Bundesanstalt für Wasserbau* in Karlsruhe mit ihrer Außenstelle Küste in Hamburg und

das *Deutsche Hydrographische Institut* in Hamburg, das auch für den Seekarten- und Gezeitendienst zuständig ist.

2.1.1 Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nord

Der Bereich der *WSD Nord* umfaßt die Küstengewässer (Seewasserstraßen) der Bundesrepublik Deutschland an der Ostsee und an der Nordsee von der dänisch-deutschen Grenze bis südwestlich von Helgoland und Cuxhaven. Ferner gehören dazu die Eider und der Nord-Ostsee-Kanal (NOK). Von den *Ämtern* der *WSD Nord* befassen sich die *Wasser- und Schiffahrtsämter (WSA) Hamburg, Cuxhaven, Tönning* und *Lübeck* mit Küsteningenieurfragen.

Im Bereich der *WSÄ Hamburg* und *Cuxhaven* wird z. Z. die Elbe so vertieft, daß künftig Container-Schiffe der dritten Generation mit etwa 12 m Tiefgang tideunabhängig und Massengutfrachter der 100 000–120 000-tdw-Klasse tideabhängig den Hafen Hamburg anlaufen können. Hamburg erreichte 1977 einen Hafenumschlag von über 54 Mio t.

Im Bereich der *WSÄ Cuxhaven* und *Tönning* wird im Jahr 1978 die gesamte Fahrwasserbezeichnung auf ein neues, international vereinbartes und wesentlich vereinfachtes Betonnungssystem umgestellt. Die Ostsee folgt 1980. Alle Feuerschiffe werden nach und nach durch rationellere, ferngesteuerte und automatisch arbeitende Systeme ersetzt; dazu gehören auch der in der offenen See errichtete Leuchtturm „Großer Vogelsand" im Elbe-Ästuar sowie die Türme vor der Kieler und Flensburger Förde.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Flußmündungen durch Sturmflutsperrwerke (Eider, Pinnau, Krückau, Stör und Oste) gesichert, von denen das Eidersperrwerk mit 200 m Breite das größte ist. Sie haben sich bei den letzten Sturmfluten bestens bewährt. Die *WSD Nord* hat sie für das Land Schleswig-Holstein und Niedersachsen gebaut.

In der Ostsee werden die Aufgaben der *WSD Nord* vom *WSA Lübeck* wahrgenommen. Sie konzentrieren sich auf Fahrwasserbezeichnungen und Wasserstraßenaufsicht an der 290 sm langen, durch tief in das Land reichende Förden gegliederten Küste sowie an der Trave und den Schiffahrtswegen der westlichen Ostsee. Von Travemünde bis Lübeck wird die Trave so vertieft, daß sie für Seeschiffe mit einem Tiefgang bis zu 8,5 m und einer Tragfähigkeit bis zu 14 000 tdw befahrbar ist. Lübeck verfügt in Travemünde über den meist befahrenen Ostseefährhafen. Der Seegüterumschlag betrug im Jahr 1977 in Lübeck 8,9 Mio t.

Für Bau, Betrieb und Unterhaltung sowie Verkehrsordnung und -lenkung des NOK – im internationalen Sprachgebrauch auch „Kiel Canal" genannt – sind die *WSÄ Kiel-Holtenau* und *Brunsbüttel* zuständig. Zur Anpassung des 1895 in Betrieb genommenen und 1907 bis 1914 erstmalig erweiterten NOK an den gestiegenen Schiffsverkehr sowie zur Sicherung der stark beanspruchten Unterwasserböschungen durch abermalige Verbreiterung des Kanals um fast 60 m sind umfangreiche Bauarbeiten in vollem Gange.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

4. Kreis (rural or urban districts)
5. Gemeinde: any size of self governing local authority from a village to a city, or rural or urban district.

2.1 The Federal Government

The *Wasser- und Schiffahrtsverwaltung* is an authority of the *Bundesminister für Verkehr (BMV)*[3]. It carries out its tasks on the coast through the *Wasser- und Schiffahrtsdirektionen (WSD)*[4]. Its North division is at Kiel and North-west is at Aurich. Important Federal central stations and research institutes are
the *Bundesanstalt für Gewässerkunde*[5] in Coblenz,
the *Bundesanstalt für Wasserbau*[6] in Karlsruhe with its coastal out station in Hamburg and
the *Deutsche Hydrographische Institut*[7] in Hamburg, which is also responsible for charts and tidal information.

2.1.1 The Northern Water and Shipping Directorate (WSD North)

The field of *WSD North* covers the coastal waters (sea navigation channels) of Federal Germany on the Baltic and on the North Sea from the Danish Germany border to the south west of Heligoland and Cuxhaven. In addition the Eider and the Kiel Canal (Nord-Ostsee-Kanal, NOK) are included. Of the offices (Ämtern) of *WSD North* the *WSA offices Hamburg, Cuxhaven, Tönning* and *Lübeck* deal with coastal engineering problems.

In the *Hamburg* and *Cuxhaven WSA* area the Elbe is being so increased in depths that future third generation container ships can enter Hamburg harbour at all stages of the tide and bulk cargo ships of 100,000 tdw class at high tide. For this purpose about 40 million m³ of material will be dredged. In 1977 the turnover at the port of Hamburg reached more than 54 million tonnes.

In the *Cuxhaven* and *Tönning WSA* area in 1978 the whole system of marking the shipping channel will be changed over to a new internationally standardised and much simplified system of buoys. This will follow in the Baltic in 1980. All lightships will gradually be replaced by more rational, remote controlled, and automated systems; this includes the "Grosser Vogelsand" lighthouse in the open sea in the Elbe estuary as well as those in front of the Kiel and Flensburg Fjords.

In recent years several river mouths (Eider, Pinnau, Krückau, Stör and Oste) have been secured against storm surges by barrages. The Eider barrage which is 200 metres wide is the largest. They have fully proved their worth in the most recent storm surges. *WSD North* built them for the "Länder" Schleswig Holstein and Niedersachsen.

---

[3]) Federal Minister for Transport.
[4]) Directorates of Water and Shipping.
[5]) Federal Hydrology Station.
[6]) Federal Hydraulics Station.
[7]) German Hydrographic Institute.

2.1.2 Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nordwest

Räumlich ist die *WSD Nordwest* zuständig für das Seegebiet vor der Nordseeküste von der niederländisch-deutschen Grenze bis in die Nähe von Helgoland und Cuxhaven, die Ems bis Papenburg, die Jade, die Weser bis oberhalb Bremens sowie für einige Kanäle und Flußstrecken. Die *WSÄ Emden, Wilhelmshaven, Bremen* und *Bremerhaven* sind die Ortsbehörden der *WSD Nordwest,* die unmittelbar an der Küste liegen.

Fahrwasserveränderungen sind in beiden Tideflußmündungen des WSD-Bereiches – Ems und Weser – und auch in der Jade häufig. Wegen ihrer Bedeutung für die Schiffahrt muß entsprechend viel gebaggert werden; die Fahrwasserbezeichnung muß angepaßt und die Eckpfeiler – Inseln Borkum und Wangerooge – müssen gesichert werden.

Zu den wichtigsten Aufgaben des *WSA Emden* gehören Fahrwasserausbau und -unterhaltung in der Ems, Fahrwasserbezeichnung, Wasserstraßenaufsicht, Betrieb des Ledasperrwerkes und Inselschutz auf Borkum. Dabei müssen die Aufgaben an der Ems zwischen Emden und Borkum, zu denen auch der weitere Fahrwasserausbau gehört, auf Grund des „Ems-Dollart-Vertrages" in enger Zusammenarbeit mit den Niederlanden durchgeführt werden. Das Amt betreut außerdem Marinehafenanlagen sowie im Auftrage des Landes Niedersachsen den Seehafen Emden (etwa 12 Mio t Umschlag pro Jahr), 6 kleinere Küstenhäfen und den seeseitigen Inselschutz auf Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog und Spiekeroog.

Das *WSA Wilhelmshaven* beaufsichtigt, kennzeichnet und unterhält Jade, Jadebusen und angrenzendes Seegebiet. Die Jade wurde so ausgebaggert, daß 250 000 tdw – VLCCs beladen nach Wilhelmshaven gelangen können; hier befindet sich mit 30 Mio t Ölumschlag pro Jahr der wichtigste deutsche Ölhafen. Das *WSA* ist außerdem für den Hafen Wilhelmshaven sowie den Inselschutz auf Wangerooge und Minsener Oog zuständig. Im Auftrage des Landes Niedersachsen läßt es Hafenanlagen für Massengutumschlag, wie z. B. die „Niedersachsenbrücke" in Wilhelmshaven, bauen.

Auf Außen- und Unterweser gelangen Seeschiffe nach Bremerhaven, Nordenham, Brake und Bremen, Häfen, deren Jahresumschlag zusammen um 35 Mio t beträgt. Das *WSA Bremerhaven* betreut die Außenweser/Unterweser von See bis Brake und das *WSA Bremen* die Unterweser von Brake bis Bremen. Unter anderem bezeichnen fünf in See stehende Leuchttürme das schwierige Fahrwasser. Die Außenweser ist so ausgebaut, daß Schiffe mit 85 000 tdw Bremerhaven erreichen. Die Unterweser ist bis Ende 1978 so ausgebaut, daß Schiffe mit 70 000 tdw Nordenham, mit 45 000 tdw Brake und mit 35 000 tdw Bremen anlaufen können.

2.2 Die Länder

Den vier Küstenländern Niedersachsen, Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein obliegen die Aufgaben des Küstenschutzes und die Betreuung der Häfen. Neben entsprechenden Eigenleistungen der Träger werden beim Küstenschutz 30 % der Zuschüsse vom Land aufgebracht und die übrigen 70 % vom *Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML)* erstattet.



Tafel XII: Von Strandwällen aufgebautes „Höft" wächst nach rechts hin durch Anbau junger Strandwälle weiter. Das Geltinger Noor im Hintergrund. (Aufn. U. Muuß)

Plate XII: „Höft" (sand formation above high water mark) built up from sand waves moving along the beach. It continues to grow towards the right due to the arrival of further sand waves. The Geltinger Noor is in the background.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

In the Baltic the task of *WSD North* is looked after by *WSA Lübeck*. It concentrates on marking navigation channels and looking after shipping lanes on the 290 sea miles through fjords which reach deeply into the indented coastline as well as on the Trave and on the shipping lanes of the western Baltic. The Trave from Travemünde to Lübeck will be deepened sufficiently to take seagoing ships with a draught of up to 8.5 metres and with a deadweight of up to 14,000 t. Lübeck has an annual harbour turnover of about 8.9 million tonnes and has available in Travemünde the most frequented ferry port in the Baltic.

The *WSA Kiel-Holtenau* and *Brunsbüttel* are reponsible for building, running and maintenance of NOK, internationally known as the Kiel canal, as well as for organising and directing the shipping in it. Extensive engineering works are underway to adapt the Kiel canal, which came into use in 1895 and was first widened between 1907 and 1914, to the increased amount of shipping as well as to secure the side slopes, which are under constant pressure, by a further widening of the canal to almost 60 metres.

2.1.2 The North West Water and Shipping Directorate (WSD North West)

The *WSD North West* is responsible for the Sea area in front of the North Sea coast from the Netherlands-German border to near Heligoland and Cuxhaven, the Ems up to Papenburg, the Jade, the Weser to above Bremen, as well as for various canal and stretches of river. The *WSÄ Emden, Wilhelmshaven, Bremen* and *Bremerhaven* ar the local agencies of *WSD North West* which lie directly on the coast.

Changes in the shipping channels are frequent in both the tidal estuaries in this WSD's area (the Ems and Weser) as well as in the Jade. Because of their importance to shipping they need to be dredged appropriately; the navigation signals must be adjusted and the islands of Borkum and Wangerooge at each corner must be protected.

Among the most important tasks of the *Emden WSA* are extending and maintaining the shipping channel in the Ems (about 7.5 million m^3 is dredged per year), marking navigation routes, supervising shipping channels, running the Leda barrage, and island protection on Borkum. In addition they must carry out work on the Ems between Emden and Borkum. Because of the "Ems-Dollart agreement" this includes working closely with the Netherlands on further extension of the shipping channel. The Emden WSA also looks after marine harbour installations as well as the seaport of Emden under contract to the "Land" of Lower Saxony (about 12 million tonnes turnover per year) and six smaller coastal ports. It is also reponsible for island protection on the seaward side of Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog and Spiekeroog.

The *Wilhelmshaven WSA* supervises, marks and maintains the Jade, the Jade bay and the adjacent sea area. The Jade is dredged sufficiently to allow laden VLCC ships of 250,000 tdw to reach Wilhelmshaven. This is the most important oil port in the GFR with a turnover of about 30 million tonnes of oil per year. This *WSA* is also responsible for the harbour at Wilhelmshaven as well as for island protection on Wangerooge and Minsener Oog. It is building harbour equipment for large scale goods handling in Wilhelmshaven under contract from the Land of Lower Saxony e.g. "the Lower Saxony Bridge".

Sea going ships reach Bremerhaven, Nordenham, Brake and Bremen, whose harbours have a yearly turnover of 35 million tonnes, through the outer and lower Weser.

2.2.1 Niedersachsen

Dem Schutze des rd. 8000 km² großen niedersächsischen Küstengebietes, seiner Bevölkerung und Wirtschaftsgüter vor Sturmfluten dienen rd. 1100 km See-, Strom- und Flußdeiche, 12 Sturmflutsperrwerke, umfangreiche Deichvorlandsicherungen und Uferbefestigungen sowie ein System von Deichverteidigungswegen. Hinzu kommen die Strand- und Dünenschutzwerke auf den Ostfriesischen Inseln. Diese Küstenschutzanlagen den neuesten Erkenntnissen entsprechend auszubauen, ist Inhalt des „Niedersächsischen Küstenprogrammes", das seit 1955 ausgeführt wird und nach der Katastrophensturmflut vom 16./17. Februar 1962 wesentlich erweitert wurde. Als jüngste Fortschreibung dieses Programmes ist heute der „Generalplan Küstenschutz Niedersachsen" von 1973 für die Fortführung des Küstenschutzes maßgebend.

Das „Niedersächsische Deichgesetz" schreibt vor, daß die Eigentümer aller im Schutze der Deiche und Sperrwerke gelegenen Grundstücke zur gemeinschaftlichen Deicherhaltung verpflichtet sind. Für diese Aufgabe bestehen in Niedersachsen 27 *Deichverbände*. Die Deicherhaltung umfaßt die Herstellung und Wiederherstellung der vorgeschriebenen Abmessung der Deiche und zugehörigen Anlagen sowie deren Unterhaltung. Besondere Aufgaben des Küstenschutzes hat das Deichgesetz dagegen dem Land selbst zugewiesen, so den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der Sturmflutsperrwerke und die Schutzmaßnahmen auf den Ostfriesischen Inseln. Außerdem trägt das Land die gesamten Kosten für die Herstellung der erforderlichen Deichabmessungen. Aus diesem Grunde haben die Mehrzahl der *Deichverbände* Planung und Bauleitung der Küstenschutzmaßnahmen den *Wasserwirtschaftsämtern* im niedersächsischen Küstengebiet übertragen. Die fachliche Prüfung der Pläne nehmen die *Bezirksregierungen Weser-Ems* und *Lüneburg* wahr, die gleichzeitig obere Aufsichtsbehörde über die *Deichverbände* sind. Der *Niedersächsische Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten*, gleichzeitig oberste Deichbehörde, hat sich die Zustimmung und Genehmigung der Planungen vorbehalten. Untere Deichbehörde sind die Landkreise und kreisfreien Städte. Für besondere Aufgaben des Küstenschutzes, wie die Vorlandgewinnung und -sicherung sowie den Inselschutz, besteht das *Bauamt für Küstenschutz* in Norden. Die praxisbezogenen wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet die *Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz* in Norderney. Beide Dienststellen gehören zur *Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung*.

Die niedersächsischen Häfen werden teils als Landeshäfen, teils als kommunale Häfen der Gemeinden betrieben und ausgebaut. Oberste Landesbehörde der *Niedersächsischen Häfen- und Schiffahrtsverwaltung* ist die Verkehrsabteilung beim *Niedersächsischen Minister für Wirtschaft und Verkehr*. Ihr nachgeordnet sind entsprechende Dezernate bei den *Bezirksregierungen Weser-Ems* und *Lüneburg*. Für den nordwestlichen Küstenbereich zwischen Ems und Jade nimmt die *WSV* die Aufgaben der Mittel- und Ortsinstanz auftragsweise für das Land wahr. Dagegen bestehen für den übrigen Küstenbereich für Planungsaufgaben sowie für Bau, Betrieb und Unterhaltung der Landeshäfen die *Niedersächsischen Hafenämter Brake* und *Cuxhaven*.

2.2.2 Freie Hansestadt Bremen

Die Häfen des Landes Bremen liegen an der Weser in Bremerhaven und ca. 50 km landeinwärts in Bremen.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

The *Bremerhaven WSA* controls the outer Weser and lower Weser from the sea to Brake and the *Bremen WSA* the lower Weser from Brake to Bremen. The difficult channel is marked among other things by five lighthouses standing in the sea. The outer Weser has been extended so that ships of 85,000 tdw can reach Bremerhaven. The lower Weser is to be extended by the end of 1978 so that ships of 70,000 tdw can reach Nordenham, of 45,000 tdw Brake and of 35,000 tdw Bremen.

2.2 The "Länder" (states)

The four coastal "Länder" of Lower Saxony, Bremen, Hamburg and Schleswig Holstein are responsible for the tasks of coast protection and for managing the harbours. Apart from an appropriate contribution from whoever benefits, some 30 % of the additional cost of coast protection is met by the "Land" government and the remaining 70 % provided through the *Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML)*[8]).

2.2.1 Lower Saxony

The protection from storm surges of the Lower Saxony coastal area of about 8,000 km², its population, and property is achieved by about 1,100 km of sea, channel and river embankments, 12 barrages against storm surges, expensive defence works in front of embankments and a system of approach roads for embankment maintenance. In addition to this there are beach and dune protection works on the East Friesian Islands. The aim of the "Lower Saxony Coastal Programme" is to build these coastal works in line with latest knowledge. The most recent expression of this programme today is the 1973 "General Plan for Coast Protection in Lower Saxony" laying down standards for further coast protection.

The "Lower Saxony Embankment (Dyke) Law" lays down that the owners of all plots of land sheltered by an embankment or barrage are jointly responsible for maintenance of the embankments. There are some 27 "Deichverbände" *(Dyke Associations)* in Lower Saxony to carry out this task. The embankment maintenance includes establishing or re-establishing the prescribed measurements of the embankments and related works and their maintenance. On the other hand the Dyke Law assigns certain tasks to the Land itself. These include the building, running and maintenance of the barrages against storm surges and the protective measures on the ten East Friesian Islands. As well as this the "Land" bears the whole cost for carrying out the necessary surveys of the embankments. For this reason the *Wasserwirtschaftsämter (water management authorities)* have taken over most of the planning and development of coast protection measures in the Lower Saxony coastal area. The technical checking of plans is looked after by the *"Bezirksregierungen"* (local governments) *Weser-Ems* and *Lüneburg*, who at the same time are the agency supervising the "Deichverbände". The *Lower Saxony Minister for Food, Agriculture and Forestry*, the highest level Dyke authority, has retained powers to agree and authorise plans. "Landkreise" (sub-level

[8]) Federal Minister of Food, Agriculture and Forestry.

Der *Senator für Häfen, Schiffahrt und Verkehr* ist das verantwortliche „Ministerium". Ihm unterstehen das *Hafenbauamt* in Bremen und das *Hansestadt Bremisches Amt* in Bremerhaven.

Zum Schutz gegen Sturmfluten werden in Bremen etwa 160 km und in Bremerhaven etwa 20 km Deiche, Deckwerke und Hochwasserschutzwände unterhalten. In den Nebenflüssen Ochtum und Lesum in Bremen und Geeste in Bremerhaven sind im Mündungsbereich Sturmflutsperrwerke errichtet worden.

Die Unterhaltung dieser Anlagen teilen sich in Bremen die *Deichverbände,* das *Wasserwirtschaftsamt* und das *Hafenbauamt,* während in Bremerhaven das *Bremische Amt* zuständig ist.

Die *Deichverbände* unterliegen der Aufsicht des *Senators für Inneres.* Dabei werden die technischen Belange vom *Wasserwirtschaftsamt Bremen* wahrgenommen. Zuständiges „Ministerium" für das *Wasserwirtschaftsamt* ist der *Senator für das Bauwesen* mit seinem Referat – Wasserwirtschaft/Wasserbau –.

2.2.3 Freie und Hansestadt Hamburg

Die Aufgaben des Küsteningenieurwesens werden in Hamburg von zwei Behörden wahrgenommen, die zugleich Wasserbehörden sind.

Die *Baubehörde – Amt für Ingenieurwesen I* – ist zuständig für alle Hochwasserschutzanlagen (Deiche und Mauern) der Hauptdeichlinie, die nach der Sturmflut vom 16./17. 2. 1962 in 97 km Länge einschl. Schleusen, Sperrwerken, Schöpfwerken und Deichsielen neu geplant und gebaut worden sind, sowie grundsätzlich für alle wasserbehördlichen Aufgaben binnendeichs. Innerhalb der stadtstaatlichen Verwaltung obliegt der Baubehörde der zentrale Hochwasserschutz, doch liegen Einzelaufgaben des Betriebs, der Unterhaltung und der Verteidigung unter ihrer Fachaufsicht bei anderen Behörden. Bei der Deichverteidigung sind auch Mitglieder von Verbänden beteiligt. Darüber hinaus besteht seit 1978 als Organ der Mitwirkung der Bevölkerung der „Verwaltungsausschuß für den Hochwasserschutz".

Die neuen Anlagen schützen außer 250 km² tiefliegenden Flächen auch die wichtigen Nord-Süd-Verkehrswege und haben sich am 3. 1. 1976, als die Sturmflut in Hamburg 75 cm höher auflief als 1962, bewährt. Auf Grund der Sturmfluten im Jahre 1976 wurde die Sicherung des Geesthanges stromab von Altona in die Hochwasserschutzmaßnahmen aufgenommen.

Die *Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft – Amt Strom- und Hafenbau* – ist zuständig für Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung der gesamten Infrastruktur des Hafens Hamburg einschl. aller Wasserläufe sowie des hamburgischen Hafenteils in Cuxhaven, außerdem für alle wasserbehördlichen Aufgaben außerhalb der Hauptdeiche, also auch des Hafengebietes und der im hamburgischen Bereich liegenden Elbe einschl. sämtlicher Verkehrssicherungsmaßnahmen. Etwa zwei Drittel der außendeichs liegenden Hafenflächen werden z. Z. auf Grund der Überschwemmungen während der Sturmflut von 1976 durch Hochwasserschutzwände und zahlreiche Nebenanlagen gesichert; an einzelnen Bauwerken wird Objektschutz vorgenommen. Diese Maßnahmen werden von den privaten Interessenten mit staatlichen Zuschüssen und unter behördlicher Aufsicht durchgeführt. Das *Amt Strom- und Hafenbau* hat außerdem nach 1976 in Ergänzung der Wasserstandsvorhersagen des *DHI* einen speziell auf den Ham-

Die Küste, 32 (1978), 1-155

local authorities) and "Kreis" – free cities are lower level dyke authorities. The *Bauamt für Küstenschutz (department of coast protection works)* in Norden is responsible for various special coast protection works like reclamation and protection of coastal land and island protection. The *Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz (Research Station for Island and Coast Protection)* in Norderney works out scientific principles on the basis of practical experience. Both these stations are part of the *Wasserwirtschaftsverwaltung (Lower Saxony Water Management Administration).*

Some of the harbours in Lower Saxony are built and run by the "Land" level authorities and some by "Gemeinde"*) level local authorities. At the "Land" level the highest authority of the *Niedersächsische Hafen- und Schiffahrtsverwaltung (Lower Saxony Harbour and Shipping Administration)* is the transport division of the *Niedersächsische Minister für Wirtschaft und Verkehr (Lower Saxony Minister of Economic Affairs and Transport).* Below this are certain administrative departments of the *Weser-Ems and Lüneburg Bezirksregierungen* (level local governments). The *Federal Water and Shipping (WSV)* looks after the tasks of the medium and small local authorities in the North-west coastal stretch between the Ems and the Jade under contract to the "Land". The *Hafenämter Brake* and *Cuxhaven (Lower Saxony Harbour Authorities)* look after planning matters in the remaining coastal area and are responsible for building, running and maintaining the harbours belonging to the Land.

2.2.2 The Free Hanseatic City of Bremen

The harbours of the "Land" Bremen lie on the Weser at Bremerhaven and about 50 km upstream in Bremen. The *Senator für Häfen, Schiffahrt und Verkehr (Harbours, Shipping and Transport)* is the responsible minister. Under him are the *Hafenbauamt (Harbour Works Office) Bremen* and the *Hansestadt Bremisches Amt (Office of the Hanseatic City of Bremen)* in Bremerhaven.

As a protection against storm surges about 160 km of dykes, paving works, and high water protection walls are maintained in Bremen and another 20 km in Bremerhaven. The tributary rivers Ochtum and Lesum in Bremen and the Geeste in Bremerhaven have storm surge barrages in their mouth areas. The responsibility for the maintenance of these installations in Bremen is shared between the "Deichverbände", the *Wasserwirtschaftsamt* and the *Hafenbauamt.* In Bremerhaven the *Bremische Amt* is the responsible authority.

The Deichverbände come under the supervision of the *Senator für Inneres (for the Interior).* At the same time the Federal interests of the *Wasserwirtschaftsamt Bremen* is looked after. The minister in charge of the *Wasserwirtschaftsamt* is the *Senator für das Bauwesen (works and building)* with his responsiblity for water management and hydraulic engineering.

*) Gemeinde – any self governing local authority of any size.

burger Bereich abgestellten eigenen „Sturmflutwarndienst" mit örtlichen Einzelangaben eingerichtet.

Zum Hamburger Staatsgebiet gehört eine 100 km² große Fläche im Neuwerker Watt in der Elbemündung, einschl. der Inseln Neuwerk und Scharhörn. Seit 1963 werden hier vom *Amt Strom- und Hafenbau* Forschungs- und Planungsarbeiten für das Projekt eines Tiefwasser-Industriehafens durchgeführt.

2.2.4 Schleswig-Holstein

Häfen werden von den Gemeinden oder vom Land *(Minister für Wirtschaft und Verkehr)* gebaut und betrieben.

Die Küste von Schleswig-Holstein ist etwa 1100 km lang, 444 km davon werden durch Deiche geschützt. In den dahinter liegenden Marschen leben etwa 150 000 Menschen und liegen rd. 350 000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche. Auf Grund der Erfahrungen mit der Sturmflut vom 16. 2. 1962 wurde 1963 ein „Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz" aufgestellt. Der Schwerpunkt dieser Planung lag in der Verbesserung des Sturmflutschutzes durch Verstärkung der vorhandenen Deiche und insbesondere Verkürzung der Deichlinie auf ca. 50 % der Ausgangslänge. Der Plan war bis Ende 1977 zu etwa 60 % erfüllt. Der Generalplan ist 1977 fortgeschrieben worden. Die Fortschreibung setzt neben der Fortführung der bereits im Generalplan von 1963 vorgesehenen Arbeiten einen weiteren Schwerpunkt im Bereich des Schutzes sandiger Küsten und der flächenhaften Sicherung des Wattsockels.

Die u. a. für diese Aufgaben verantwortliche „fachlich zuständige oberste Landesbehörde" ist der *Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (MELF).* Die zuständige Verwaltung besteht u. a. aus der *Abteilung Wasserwirtschaft* im Ministerium, dem *Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten (LaWaKü)* in Kiel sowie sechs *Ämtern für Land- und Wasserwirtschaft (ALW)* in Itzehoe, Heide, Husum, Flensburg, Kiel und Lübeck.

Der *MELF, Abteilung Wasserwirtschaft,* behandelt Grundsatzfragen und bearbeitet die Generalplanung. Das *LaWaKü* erarbeitet naturwissenschaftliche und technische Grundlagen. Wasserwirtschaftliche Daten (z. B. Wasserstände) werden gesammelt, bearbeitet und weitergeleitet. Natürliche und künstliche Einflüsse auf Küstengewässer, Küsten und Küstenanlagen werden beurteilt. Das *Landesamt* berät die *Ämter für Land- und Wasserwirtschaft* und ist lenkend tätig hinsichtlich deren gewässerkundlicher und sonstiger Grundlagenarbeiten. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Küsteningenieurwesen liegt bei den *Ämtern für Land- und Wasserwirtschaft* an der Westküste des Landes Schleswig-Holstein und hier insbesondere im Bereich der *Ämter für Land- und Wasserwirtschaft Heide* und *Husum.* Hier werden umfangreiche Arbeiten zur Erhaltung des Deichvorlandes durchgeführt sowie durch laufende Vermessung der Wattflächen, Wasserstandsmessungen und Strömungsmessungen die Grundlagen für Küstenschutzmaßnahmen, insbesondere für die flächenhafte Sicherung der sandigen Küsten und des Wattsockels, erarbeitet.

Die Küste, 32 (1978), 1-155

2.2.3 The Free and Hanseatic City of Hamburg

The coastal engineering tasks in Hamburg are undertaken by two authorities, which are at the same time water authorities.

The *Baubehörde – Amt für Ingenieurwesen I (Ministery for building Department for engineering works I)* is responsible for all installation protecting against high water (embankments and walls) along the main line of dykes which were re-planned and re-built after the storm surge of February 16th–17th 1962. This is 97 km long and includes locks, barrages, pumping stations, and sluices. They are also basically responsible for all water authority tasks behind the dykes. Within the administration of the city state the Building Department has the main obligation for high water protection, but individual tasks involved with running, maintenance and defence fall under other departments with special expertise. Members of the "Deichverbände" also share in dyke defence. In addition to all this the *Verwaltungsausschuß für den Hochwasserschutz (Administrative Committee for Flood Protection)* was set up in 1978 as an organisation to secure the participation of the general population.

The new works as well as protecting some 250 km² of low lying ground also protect the important north-south traffic routes and have proved themselves in practice, since the ftorm surge of 3. 1. 1976 in Hamburg was 75 cm higher than that of 1962. Because of the storm surge in 1976 the protection of the slope at the edge of the sandy uplands downstream of Altona was included in the flood protection measures.

The *Amt Strom- und Hafenbau (River and Harbour Engineering Department)* of the *Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft (Ministry of Economic Affairs, Traffic and Agriculture)* is responsible for planning, building, running and maintaining all the infrastructure of Hamburg harbour including all water courses and the part of Hamburg harbour in Cuxhaven. As well as that it is responsible for all water authority tasks outside the main embankments, for the harbour area and for the stretch of the Elbe within the Hamburg area, including general measures for the safety of shipping. Because of the flooding during the storm surge of 1976 about two thirds of the harbour area lying outside the dykes is at present protected by flood protection walls and countless ancillary installations; individual protective works are undertaken to protect particular objects. These measure are carried out by private interests with government support under the supervision of the public authorities. Since 1976 to further the water level forecasts of the *DHI (Hydrographic Institute)* the *Amt Strom- und Hafenbau* has set up its own storm flood warning service with local branches.

The area belonging to the State of Hamburg includes 100 km² the Neuwerk tidal flat in the mouth of the Elbe with the islands Neuwerk and Scharhörn. Since 1963 the research and planning work of the *Amt Strom- und Hafenbau* for the deep water industrial harbour project has been carried out there.

2.2.4 Schleswig-Holstein

Harbours are built and run either by self governing local authorities (Gemeinde) or by the "Land".

The coast of Schleswig-Holstein is about 1,100 km long and some 444 km is protected by dykes. Some 150,000 people live in marshland lying behind where there are about 350,000 ha of agricultural land. As a result of experience during the storm surge

3 Küstenforschung

Die Küstenforschung befaßt sich mit den hydrodynamischen und küstenmorphologischen Vorgängen im Grenzbereich Meer – Festland. Die Verbesserung und Erweiterung der Erkenntnisse auf diesem Gebiet ist für alle Ingenieuraufgaben des Küsten- und Inselschutzes sowie des See- und Hafenbaues von wesentlicher Bedeutung. Zu diesem Zweck bedürfen die physikalischen Vorgänge beim Feststofftransport und bei der Sedimentbildung sowie die Vorgänge im Brandungsbereich der weiteren Erforschung. Ebenso müssen die genauen Strömungsverhältnisse erforscht, die mittelfristigen morphologischen Veränderungen erfaßt, der Seegang gemessen und ein Vorhersageverfahren für Umweltparameter für Zwecke des Küstenschutzes weiterentwickelt werden. Die Grundlagenforschung liegt überwiegend bei den wissenschaftlichen Hochschulen (Universitäten) der Länder, bei denen deshalb verschiedene Sonderforschungsbereiche eingerichtet worden sind. Die wichtigsten deutschen Hochschulen für das Küsteningenieurwesen sind die *Technische Universität Braunschweig* mit dem *Leichtweiß-Institut* und die *Technische Universität Hannover* mit dem *Franzius-Institut*. Während die Grundlagenforschung überwiegend von der *Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)* mitfinanziert wird, fördert der *Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)* die mehr anwendungsbezogene Forschung im Küsteningenieurwesen.

Zur Koordinierung dieser zweckgebundenen Forschung haben die mit Aufgaben des Küsteningenieurwesens befaßten Verwaltungen des Bundes *(BMV, BML, BMFT)* und der Küstenländer im Jahre 1973 das *Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)* gebildet und ein Verwaltungsabkommen über die gemeinsame Durchführung von Aufgaben der Küstenforschung abgeschlossen.

Das *KFKI* ist Herausgeber der Schriftenreihe „Die Küste".

Die Küste, 32 (1978), 1-155

of 16. 2. 1962 the "General plan for embankment strengthening, embankment shortening and coast protection" was drawn up in 1963. The emphasis in this plan was on strengthening existing dykes and in particular on shortening the line of dykes by about 50 % of its original length. By the end of 1977 about 60 % of this plan had been completed. The general plan was extended in 1977. The revised version includes the continuation of the 1963 plan but adds a further task in the protection of the sandy coast and securing the area of the core of the tidal flats. The highest technical authority responsible for this task among others, is the (Schleswig-Holstein) *Minister for Agriculture, Food and Forestry (MELF).* The responsible administrative departments include the *Abteilung Wasserwirtschaft (water management division of the Ministry),* the *Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten (LaWaKü) (Land Office for Water Resources and Coasts)* in Kiel, as well as six *Ämter für Land- und Wasserwirtschaft (ALW) (offices for Agriculture and Water Management)* in Itzehoe, Heide, Husum, Flensburg, Kiel and Lübeck.

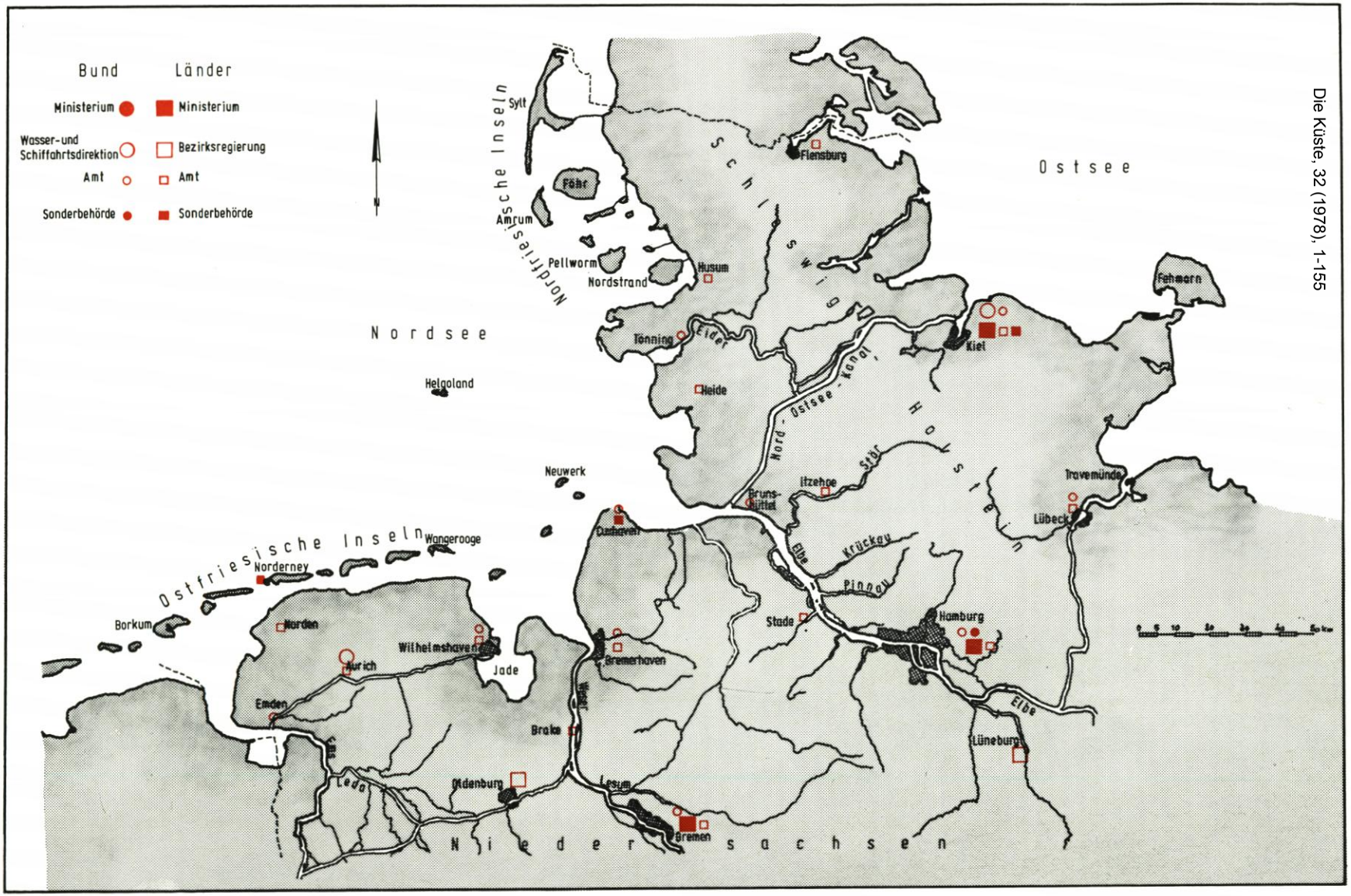
The *water management department of the Ministry* handles question of principle and works out the General Plan. The *LaWaKü* works out basic scientific and technical matters. Water management data (e.g. water levels) are collected, processed and redisseminated; natural and artificial influences on coastal waters, coasts, and coastal works are evaluated. The *LaWaKü* advises the *Offices of Agriculture and Water Management* and has a guiding role on hydraulic and other basic work. The main coastal engineering work is concentrated in the *Offices of Agriculture and Water Management Heide* and *Husum.* Here extensive work is carried out on the maintenance of the foreland of the dykes as well as on continuing surveys of the flats and water level and flow measurements as a basis for coastal protection measures, particularly for securing the area of the core of the tidal flats.

3 Coastal Research

The coastal research is concerned with hydrodynamic and coastal morphological processes in the marginal area between the sea and the land. The improvement and extension of knowledge in this field is of primary importance for all engineering tasks of coast and island protection as well as for sea and harbour engineering. For this purpose further research has to be carried out into the physical processes of sand and sediment transport and deposition as well as into processes in the zones where the waves break. In the same way exact flow conditions must be investigated, medium term morphological changes be recorded, wave action be measured and a predictive environmental parameter for coast protection purposes by developed. The basic research is mainly carried out in the scientific universities in the "Länder", which have various special research departments for this purpose. The most important German Universities for coastal engineering are the *Technical University of Braunschweig* with the *Leichtweiss-Institut* and the *Technical University of Hannover* with the *Franzius-Institut.* While basic research is usually jointly financed by the *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**, the *Federal Minister for Research and Technology (BMFT)* assists most of the more applied research in coastal engineering.

---

*) A joint Federal and "Länder" organisation.



Die Küste, 32 (1978), 1-155

To co-ordinate this applied research, the various administrative departments concerned with coastal engineering tasks *(BMV, BML, BMFT)* and the "Länder" with coastal interests set up a committee in 1973 the *Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen ((KFKI) (Joint Organisation for Research in Coastal Engineering)* and drew up an administrative agreement about the joint carrying out of coastal research. *KFKI publish the journal "Die Küste".*

Dienststellen der im Küsteningenieurwesen tätigen Verwaltungen
(Adresses of authorities and offices)

Bundesminister für Verkehr	Kennedyallee 72	5300 Bonn
Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	Rochusstr. 1	5300 Bonn-Duisdorf
Bundesminister für Forschung und Technologie	Heinemannstr. 2	5300 Bonn 2
Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nord	Hindenburgufer 247	2300 Kiel
Wasser- und Schiffahrtsamt Hamburg	Moorweidenstr. 14	2000 Hamburg 13
Wasser- und Schiffahrtsamt Cuxhaven	Deichstr. 12	2190 Cuxhaven
Wasser- und Schiffahrtsamt Tönning	Am Hafen 40	2253 Tönning
Wasser- und Schiffahrtsamt Lübeck	Musterbahn 19	2400 Lübeck
Wasser- und Schiffahrtsamt Kiel-Holtenau	Schleuseninsel	2300 Kiel 17
Wasser- und Schiffahrtsamt Brunsbüttel	Alte Zentrale	2212 Brunsbüttel 1
Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nordwest	Schloßplatz 9	2960 Aurich 1
Wasser- und Schiffahrtsamt Emden	Friedr.-Naumann-Str. 7	2970 Emden
Wasser- und Schiffahrtsamt Wilhelmshaven	Mozartstr. 32	2940 Wilhelmshaven
Wasser- und Schiffahrtsamt Bremen	Langenstr. 38-42	2800 Bremen 1
Wasser- und Schiffahrtsamt Bremerhaven	Am Radarturm 1	2850 Bremerhaven-Mitte
Niedersächsischer Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten – Wasserwirtschaftsverwaltung –	Calenberger Str. 2	3000 Hannover
Bezirksregierung Weser-Ems, Dezernat 502 – Wasserwirtschaft –	Theodor-Tantzen-Platz 8	2900 Oldenburg
Bezirksregierung Lüneburg, Dezernat 502 – Wasserwirtschaft –	Am Ochsenmarkt 1	3140 Lüneburg
Wasserwirtschaftsamt Aurich	Oldersumer Str. 48	2960 Aurich
Wasserwirtschaftsamt Brake	Weserstr. 1	2880 Brake/Unterweser
Wasserwirtschaftsamt Stade	Bleichergang 11	2160 Stade
Wasserwirtschaftsamt Wilhelmshaven	Fliegerdeich	2940 Wilhelmshaven
Bauamt für Küstenschutz und Landgewinnung	Jahnstr. 1	2980 Norden
Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz	An der Mühle 5	2982 Norderney
Der Senator für das Bauwesen, Referat 44 – Wasserwirtschaft/ Wasserbau –	Schlachthofstr.	2800 Bremen 1
Wasserwirtschaftsamt Bremen	Schlachthofstr.	2800 Bremen 1
Der Senator für Häfen, Schiffahrt und Verkehr	Kirchenstr. 4-5 a	2800 Bremen 1
Hafenbauamt Bremen	Überseehafen, Hafenhaus, Eingang B	2800 Bremen

Hansestadt Bremisches Amt Bremerhaven	Bussestr. 27	2850 Bremerhaven 1
Der Senator für Inneres	Contrescarpe 22/24	2800 Bremen
Baubehörde der Freien und Hansestadt Hamburg, Amt für Ingenieurwesen I, Hauptabteilung Wasserwirtschaft	Neuer Wall 72	2000 Hamburg 36
Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft der Freien und Hansestadt Hamburg – Strom und Hafenbau –	Dalmannstr. 1-3	2000 Hamburg 11
Behörde für Inneres der Freien und Hansestadt Hamburg	Johanniswall 4	2000 Hamburg 1
Forschungs- und Vorarbeitenstelle Neuwerk	Lentzkai	2190 Cuxhaven
Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein	Düsternbrooker Weg 104-108	2300 Kiel
Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten	Saarbrückenstr. 38	2300 Kiel
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide	Berliner Str. 19	2240 Heide
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum	Herzog-Adolf-Str. 1	2250 Husum
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Lübeck	Am Bahnhof 12	2400 Lübeck
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Itzehoe	Breitenburger Str. 37a	2210 Itzehoe
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Kiel	Sophienblatt 50a	2300 Kiel
Amt für Land- und Wasserwirtschaft Flensburg	Schiffbrücke 66	2390 Flensburg
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen	Feldstr. 251/253	2300 Kiel-Wik

Die Küste, 32 (1978), 1-155

Bildquellen

ROHDE, HANS: Die Geschichte des deutschen Küstengebietes

Abb. 1. Bantelmann, A.: Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauveränderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste, Jg. 8, 1960.
Abb. 2. Danckwerth, C.: Newe Landesbeschreibung der zwey Herzogthümer Schleswich und Holstein zusambt vielen dabey gehörigen newen Landcarten. Husum, 1952.
Abb. 4. Petersen, M. und Rohde, H.: Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe. Neumünster, 1977.
Abb. 5. Bantelmann, A.: Die Landschaftsentwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste, dargestellt am Beispiel Nordfriesland. Die Küste, Jg. 14, H. 2, 1966.
Abb. 6. Kramer, J.: Sturmflut 1962. Norden, 1967.
Abb. 7. Kramer, J.: Sturmflut 1962. Norden, 1967.
Abb. 8. Rohde, H.: Die Entwicklung der Wasserstraßen im Bereich der deutschen Nordseeküste. Die Küste, H. 20, 1970.
Abb. 9. Rohde, H.: Die Entwicklung der Wasserstraßen im Bereich der deutschen Nordseeküste Die Küste, H. 20, 1970.

STREIF, HANSJÖRG und KÖSTER, ROLF: Zur Geologie der deutschen Nordseeküste

Abb. 2. Petersen, M. und Rohde, H.: Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe. Neumünster, 1977.
Abb. 5. Geologische Karte von Schleswig-Holstein 1:500 000, Deutscher Planungsatlas, Band Schleswig-Holstein, 1958.
Abb. 6. Bantelmann, A.: Die Landschaftsentwicklung an der schleswig-holsteinischen Westküste, dargestellt am Beispiel Nordfriesland. Die Küste, Jg. 14, H. 2, 1966.

REINECK, HANS-ERICH: Die Watten der deutschen Nordseeküste

Abb. 1. Luck, G. (ed.): Reisefibel. Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz d. Nieders. Wasserwirtschaftsverwaltung, Norderney, 1976.
Abb. 2. Göhren, H.: Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. Hamburger Küstenforschung, H. 19, 1971.
Abb. 4. Lüders, K. und Luck, G.: Kleines Küstenlexikon, August Lax, Hildesheim, 1976.
Abb. 5. Aufgenommen i. A. Vermessungsamt Hamburg, 31. 7. 1968 durch Hansa Luftbild GmbH, Münster/Westf., freigegeben Reg.-Präsident Münster/Westf., Nr. 5256/71.
Abb. 6. Göhren, H.: Studien zur morphologischen Entwicklung des Elbmündungsgebietes. Hamburger Küstenforschung, H. 14, 1970. Aufgenommen i. A. Vermessungsamt Hamburg, 1935, durch Hansa Luftbild GmbH, Münster/Westf., freigegeben Reg.-Präsident Münster/Westf., Nr. PK 616 v. 13. 9. 1957.
Abb. 7. Göhren, H.: Zur Dynamik und Morphologie der hohen Sandbänke im Wattenmeer zwischen Jade und Eider. Die Küste, H. 27, 1975: Aufgenommen 1971 durch Vermessungsbüro N. Rüpke, Hamburg. Freigabe durch Luftamt Hamburg, Nr. 1250/71.

LUCK, GÜNTER: Inseln vor der südlichen Nordseeküste
Lufttaufnahmen durch Vermessungsbüro N. Rüpke, Hamburg; Freigabe Nr. LAH 55872.

PETERSEN, MARCUS: Inseln vor der östlichen Nordseeküste
Abb. 1. Petersen, M.: Der nordfriesische Inselbereich, Natur und Mensch als gestaltende Kräfte. Ber. z. Landeskunde, 17, 2, 1956.
Abb. 2 und 3. Petersen, M. und Rohde, H.: Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe, Neumünster, 1977.
Abb. 4 bis 7. König, D.: Deutung von Luftbildern des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres. Die Küste, H. 22, 1972.

PETERSEN, MARCUS: Die Ostseeküste zwischen Flensburg und der Lübecker Bucht

Abb. 1. Muuß, U. und Petersen, M.: Die Küsten Schleswig-Holsteins. Neumünster, 1971, Freigabe-Nummer SH 1194-151.

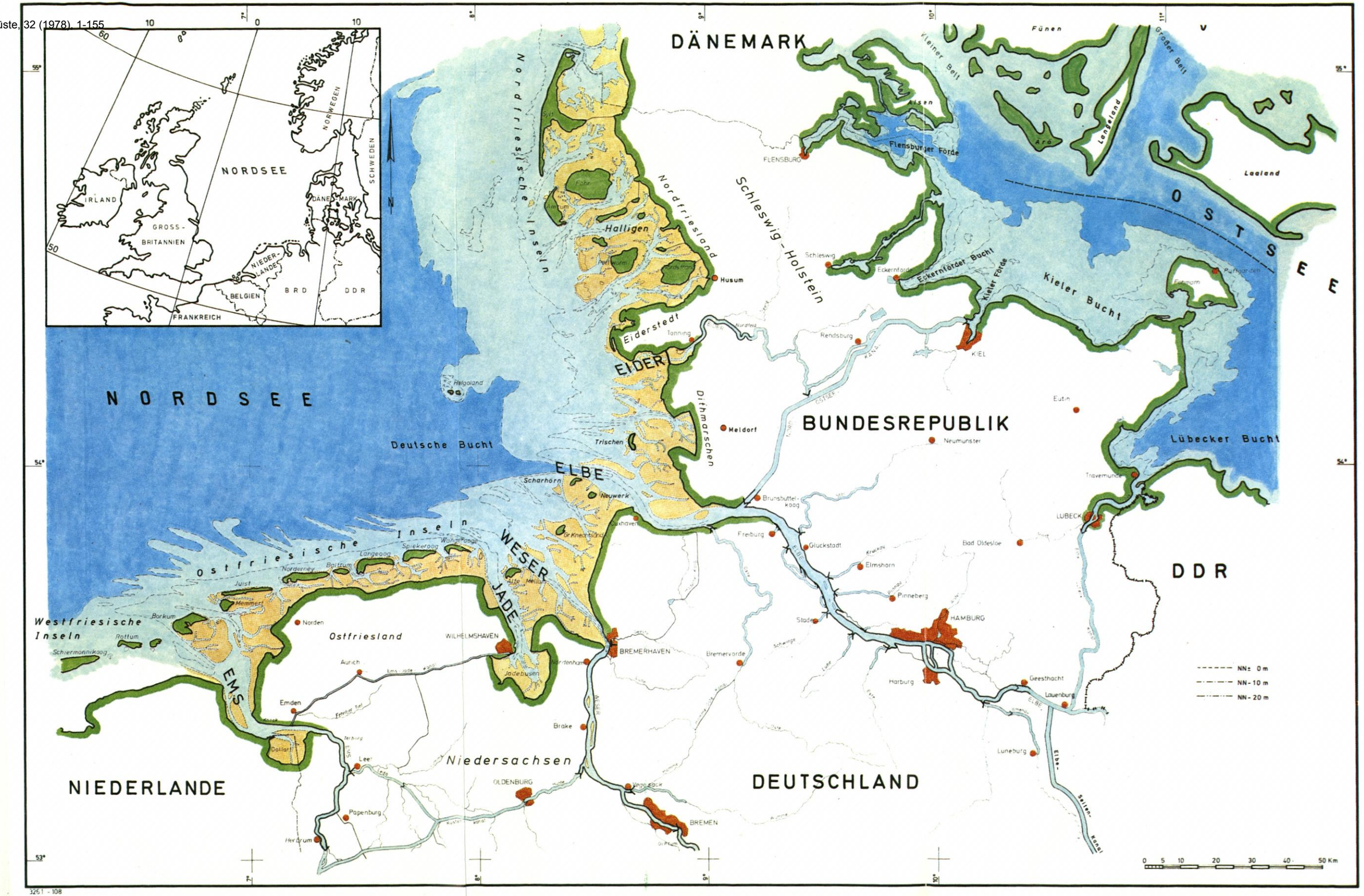
Abb. 2. Petersen, M. und Rohde, H.: Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe. Neumünster, 1977.
Abb. 3. Petersen, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste (Samland bis Schleswig-Holstein). Die Küste, H. 2, Jg. 1, 1952.
Abb. 4. Muuß, U. und Petersen, M.: Die Küsten Schleswig-Holsteins. Neumünster, 1971, Freigabe-Nummer SH 341-151.
Abb. 5 bis 7. Petersen, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste (Samland bis Schleswig-Holstein). Die Küste, H. 2, Jg. 1, 1952.
Abb. 8. Petersen, M. und Rohde, H.: Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe. Neumünster, 1977.
Abb. 9 und 10. Muuß, U. und Petersen, M.: Die Küsten Schleswig-Holsteins. Neumünster, 1971.

KRAMER, JOHANN: Küstenschutzwerke an der deutschen Nord- und Ostsee

Abb. 7. Rodloff, W.: Deiche und Uferschutz bei Ostseesturmfluten. Die Wasserwirtschaft, 64. Jg., H. 12, 1966.

Die Farbtafeln I, II und IV bis XII enthalten Aufnahmen der Luftbildatlanten Schleswig-Holstein und Niedersachsen (Freigabenummern SH 443-151, SH 238-151, SH 222-151, SH 1290-151, SH 733-151, SH 334-151, SH 3-151, SH 74-151, SH 126-151, SH 1325-151, SH 1505-151), herausgegeben vom Wachholtz-Verlag, Neumünster. Die Aufnahmen wurden mit freundlicher Genehmigung der Verfasser Dr. Uwe Muuß und Dr.-Ing. Marcus Petersen zur Verfügung gestellt.

Die Küste, 32 (1978), 1-155



326.1 - 108

Die Küste, 32 (1978), 1-155