

## 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 Sturmflut tide. 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-

# 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).

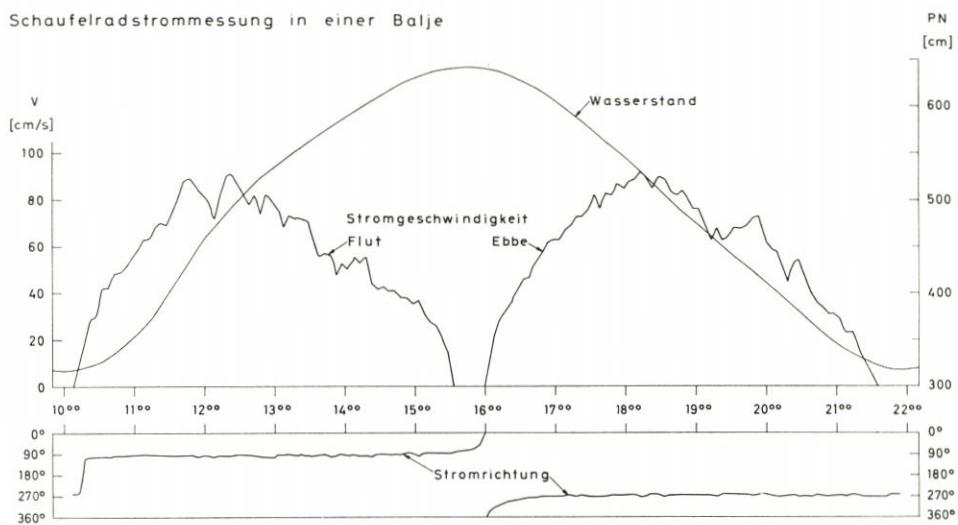
The water temperature of the body of water which inundates the flats fluctuates greatly and is related to fluctuations in air temperature. In the same way the salt content in the large marine bays also varies, so that in dry summer weather the salt content can rise higher than that in the open sea. In 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

### DAUERSTROMMESSUNGEN VOR DER WURSTER KÜSTE

Schaufelradstrommessung in einer Balje



Wattstrommessung auf einer Wattwasserscheide

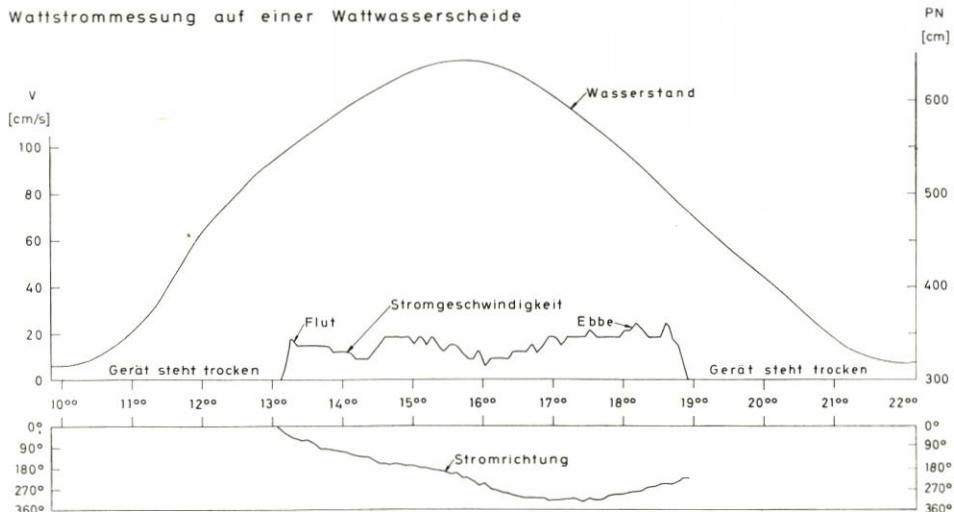


Abb. 1. Kurven von Tidestromgeschwindigkeit und Stromrichtung nach Messungen in einer Balje und auf einer Wattwasserscheide

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

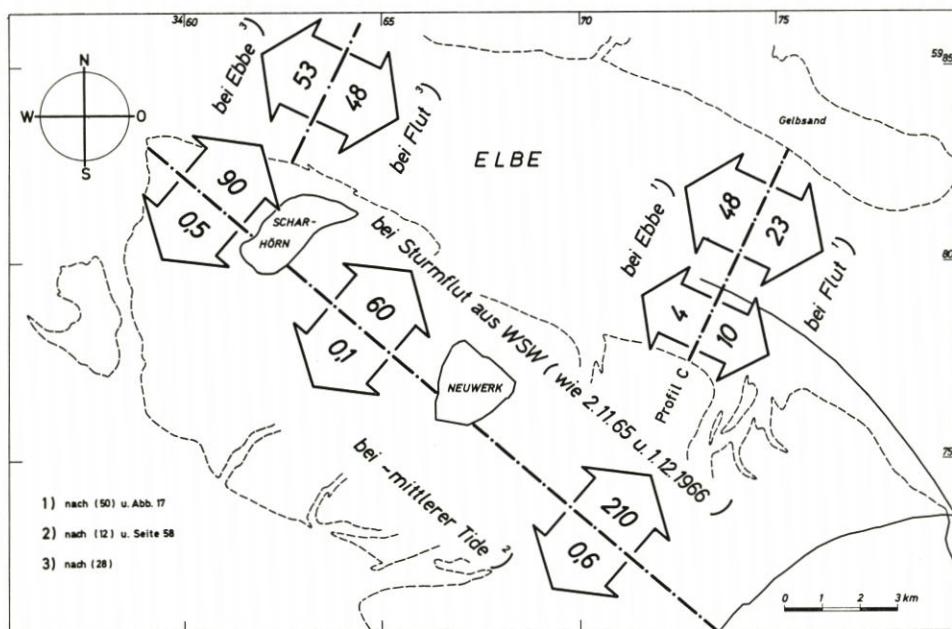


Abb. 2. Transport von Schwebstoffmengen in der Elbe und über das Neuwerker Watt bei Ebbe und bei Flut. Über das Neuwerker Watt werden bei mittlerer Tide nur kleine Schwebstoffmengen nach SW, bei Sturmflut jedoch sehr große Mengen nach NE transportiert

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 Watrinnen 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 Watrinnen 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 Strandrisse, wie an den Stränden der Düneninseln, entwickelt. An der Hochwasserlinie kommt es zu flachen Sandplatten 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 branched 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.

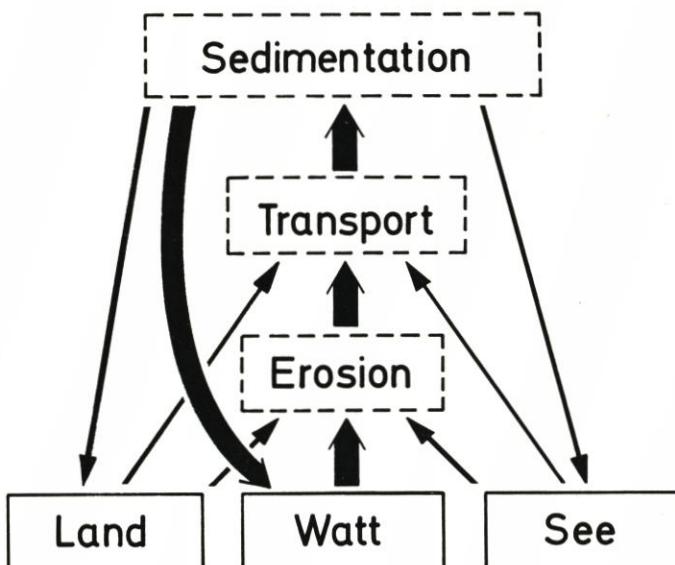


Abb. 3. Im Watt findet im wesentlichen Umlagerung, d. h. Erosion und Resedimentation eigener Sedimente statt. Nur wenig Sedimente werden von Land und See her zugeführt und auch wenig dorthin abgeführt

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 Sandplatten 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 lagunähnliche Wasserbecken, teilweise untergliedert durch Sandbänke und Platten.

**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 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<sup>1)</sup>. Dort, wo dieser Groden vorwächst, ist an der Hochwasserlinie ein allmäßlicher 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

<sup>1)</sup> Groden = über Mitteltidehochwasser liegendes, begrüntes Deichvorland.



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'<sup>1)</sup> 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

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

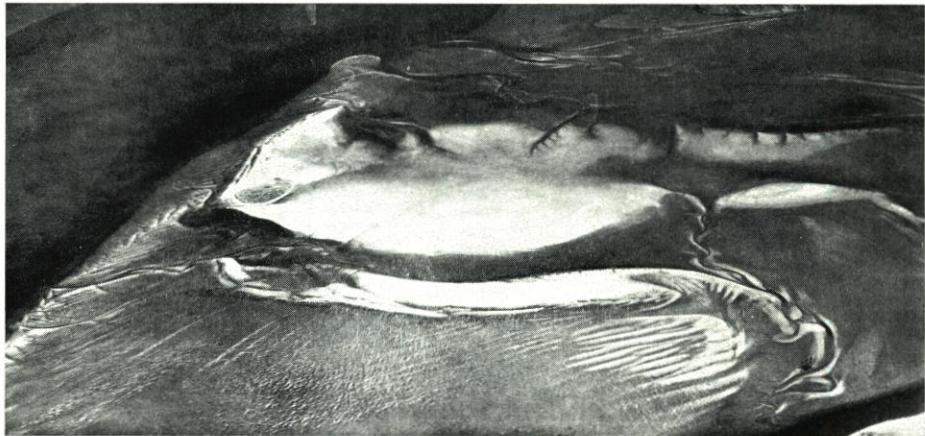


Abb. 7. Die Insel Scharhörn in einer Luftbild-Schrägaufnahme. Im Vordergrund eine hauptsächlich durch Brandung auf Scharhörn zu verlagerte Brandungsbank

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

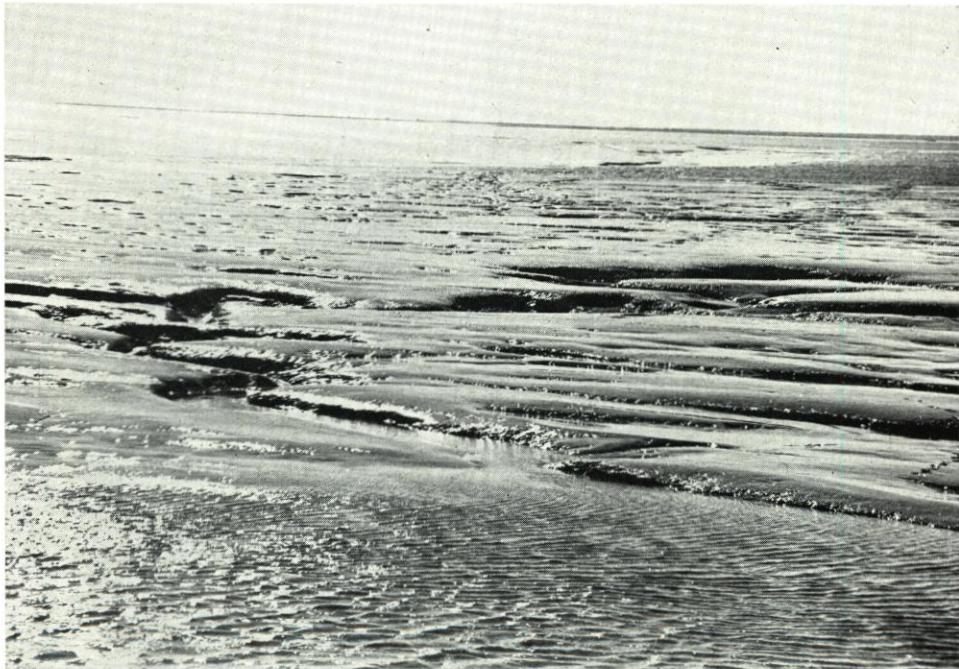


Abb. 8. Schlickwatt mit stark mäanderndem Priel. Im Vordergrund eine größere Watstrinne

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.

**S m a l l c u r r e n t r i p p l e s** cover sand areas covered by weak currents. With heavier seas wave ripples replace them or are added to them. **M e g a r i p p l e s** develop on the sandy beds of channels, on shoals subjected to heavy currents, and deep lying spurs of the tidal flats. **G i a n t r i p p l e s** occur in large channels and rivers. As they develop very rapidly after dredging, they present problems for dredging and shipping. **S a n d w a v e s** 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. **L o n g s h o r e b a r s** (Fig. 6) and **s h o a l s** (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 salttings 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.

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. **A n t i - d u n e s** 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. **W a v e r i p p l e s**: 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.

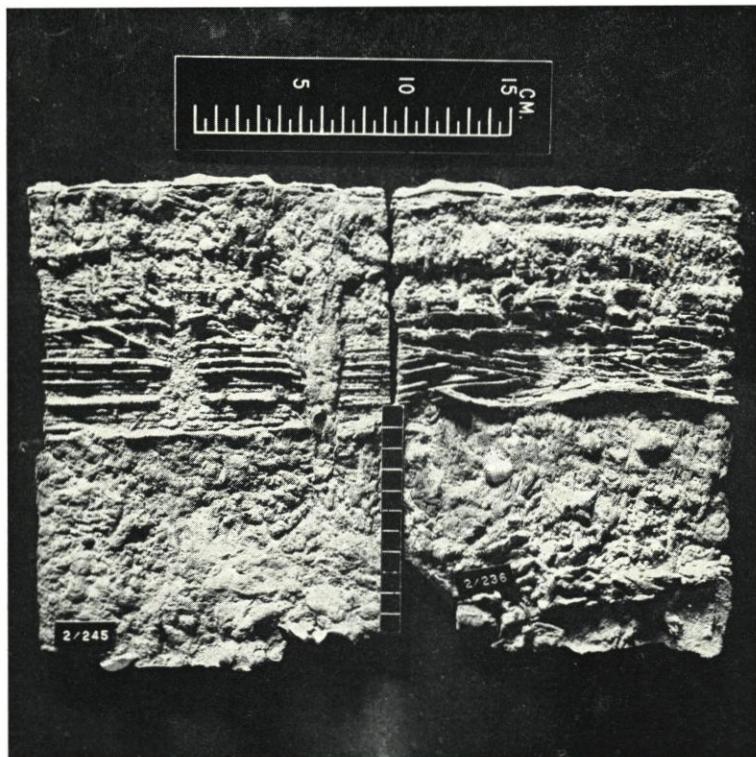


Abb. 10. Stark verwöhler Wattboden (Reliefguß einer ungestörten Sedimentprobe)  
Fig. 10. Very disturbed sediments from a tidal flat (Peels with high relief of an undisturbed sediment core)

#### 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 Wattringe

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 Stauwassерzeiten (= 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 salttings.

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 blau-schwarzen 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.

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.