

Senckenberg am Meer 342*).

Primärgefüge, Bioturbation und Makrofauna als Indikatoren des Sandversatzes im Seegebiet vor Norderney (Nordsee).

I. Zonierung von Primärgefügen und Bioturbation.

HANS-ERICH REINECK,

Institut für Meeresgeologie und Meeresbiologie „Senckenberg“, Wilhelmshaven).

Mit 1 Tafel, 3 Abbildungen und 1 Tabelle.

Übersicht.

Von 20 m Wassertiefe an aufwärts wurde ein Profil bis hinauf zur Niedrigwasserlinie mit ungestörten Kastengreifer- und Kanisterproben gelegt. Es konnten 4 strandparallele nach Wassertiefe gestaffelte Zonen sedimentologisch voneinander unterschieden werden, die mit zunehmender Wassertiefe eine deutliche Abnahme der Umlagerungshäufigkeit und des Sedimenttransportes aufweisen. Die sedimentologisch unterscheidbaren Zonen I, III und IV decken sich weitgehend mit den von DÖRJES (1976) festgestellten Lebensgemeinschaften für die Makrobenthonten.

Zone I liegt zwischen 0 und 1,2 m Wassertiefe. Im wesentlichen wird damit das erste fast strandparallele Vorstrandriff und das Riffal erfaßt. Der Sand ist nach dem Medianwert am gröbsten. Der Anteil an Großrippelgefügen ist hoch, die Verwühlung ist gering. Umlagerung findet täglich statt.

Zone II liegt zwischen 1,2 und 3,0 m Wassertiefe. Der Medianwert ist kleiner als in Zone I. In dieser Zone liegt das zweite fast strandparallele Vorstrandriff. Bei ruhigem Wetter findet hier kein Sandtransport statt.

In Zone III, zwischen 3,0 und 7,5 m Wassertiefe, liegt die feinste Sandfraktion. In dieser Zone sind Sägezahnriffe ausgebildet. Die Verwühlung ist höher als in den Zonen I und II. Damit wird eine seltenere Umlagerung dokumentiert.

*) 341: Senckenbergiana marit., 8 (1/3): 111-153; Frankfurt a. M. 1976.

1) Anschrift: Prof. Dr. Hans-Erich Reineck, Senckenberg-Institut, Schleusenstraße 39 A, D-2940 Wilhelmshaven.

von van der Linden 1976

In Zone IV, zwischen 7,5 und 20 m Wassertiefe, wird der Sand wieder etwas gröber. Großrippelgefüge sind häufig, doch deutet die hohe Verwühlung dieser Zone, verglichen mit den Zonen I-III, auf einen seltenen Sandtransport, der hauptsächlich während der sehr schweren Winterstürme stattfinden dürfte.

Abstract.

Box cores and can cores were sampled along a profile running from the 20 m depth contour to the low water line of the barrier island Norderney/North Sea. Four zones showing an increasing degree of bioturbation and a decreasing rate of sediment transport with increasing water depth have been differentiated.

Zone I, located between the low water line and the 1.2 m depth contour, covers the uppermost bar and runnel of the shoreface. It is characterized by coarse grained sediments, proportional high degree of crossbedded megaripples, and low degree of bioturbation. Sediment reworking occurs constantly.

In Zone II located between the 1.2 and 3.0 m depth contours the sediment textures are finer than in zone I. It covers the second bar and runnel of the shoreface. During calm weather no sediment transport occurs.

Zone III is located between the 3.0 and 7.5 m depth contours. The sand is proportionally finer and the degree of bioturbation higher than in the zones of less water depths.

In Zone IV located between the 7.5 and 20 m depth contours the median size of sand increases due to the reworking process of Pleistocene relict sediments. Crossbedding of megaripples is common; however, the high degree of bioturbation shows that the transport of sediment occurs only sporadically during heavy storms mainly in winter-time. Zones I, III and IV are inhabited by the macrobenthic communities described by DÖRJES (1976).

Inhalt.

Einleitung und Problemstellung	156
Arbeitsweise	157
Hydrographie	157
Das Vorstrandrelief	158
Korngrößenverteilung der Sedimente	159
Die Schichtgefüge	160
Verteilung der Gefüge	160
Entscheidung und Verwühlung	161
Die Zonierung des Sedimenttransports	164
Schriften	166

Einleitung und Problemstellung.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte das Schwerpunktprogramm „Sandbewegung im Küstenraum“. Im Rahmen dieses Schwerpunktprogrammes wurde von den Wissenschaftlern des Senckenberg-Instituts ein For-

schungsvorhaben vor der ostfriesischen Dünen-Insel Norderney durchgeführt. Die Untersuchungen sollten dazu führen, neben den Einzelergebnissen der Sedimentverteilung, der Sedimentbewegung, der Art und Verteilung des Makrobenthos und seiner Lebensgemeinschaften sowie der Bioturbation in einer Synthese ein Gesamtbild zu entwerfen.

Im folgenden wird über die Sedimentverteilung, die physikalischen Primärgefüge (Schichtungsarten) und über die Bioturbation berichtet. Das Ziel der Untersuchungen war, aus den Ergebnissen auf die Stärke der Umlagerungen und des Transports Schlüsse zu ziehen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft möchte ich für die finanzielle Hilfe meinen besten Dank aussprechen.

Arbeitsweise.

Von See her wurden 1970 und 1973 mit dem Forschungskutter „Astarte“ zwei Profile auf die Mitte der Insel zu gelegt und ab 20 m Wassertiefe alle Tiefenmeter aufwärts eine Kastengreiferprobe entnommen. Diese Profile wurden 1971 vervollständigt durch Kastengreiferproben mit einem kleineren Gerät durch F. WUNDERLICH mit dem Kutter „Challenger IV“ und durch Kanisterproben unterhalb der Niedrigwasserlinie. Um das Relief aufzunehmen, wurde ein mit DECCA Navigation vermarktes Echographenprofil gefahren. Die obersten Meter wurden von Land her mit Meßgeräten und Meßleinen vermessen. Von den ungestörten Kastengreifer- und Kanisterproben abgezweigte kleinere Probenmengen dienten für Sedimentanalysen. Die ungestörten Hauptproben wurden zu Reliefgüssen verarbeitet, um damit die Gefüge deutlicher erkennbar zu machen.

Hydrographie.

Der mittlere Tidenhub beträgt vor Norderney etwa 2,4 m. Die Tiden treten zweimal täglich auf. Aus diesem Seegebiet liegen drei Strombeobachtungen vor (DHI 1963). Die Wassertiefe an den Meßpunkten betrug 14, 16 und 20 m. Gemessen wurde in allen drei Fällen in 7 m Wassertiefe. An allen drei Meßpunkten erreichte der Flutstrom etwas höhere Geschwindigkeiten als der Ebbstrom. Die Flutstrom-Maxima lagen zwischen 60 und 80 cm/sec. Die Ebbstrom-Maxima zwischen 50 und 70 cm/sec. Die Richtung war bipolar: 90° (Flutstromrichtung) und 270° (Ebbstromrichtung). Für das Oberflächenwasser geben das DHI (1956) und der Seehydrographische Dienst der DDR (1963) 110-150 cm/sec. Maximalgeschwindigkeit an. Diese Größenordnung wird am Boden mit Sicherheit nur in seltenen Ausnahmen erreicht.

Der seeseitige Strand ist im Sommer mäßiger, meist aber mittlerer Wellenenergie ausgesetzt. Im Winter wird die auflaufende Wellenenergie durch zahlreiche Stürme aus W und NW sehr viel stärker.

Das Vorstrandrelief.

Der Vorstrand schließt sich seewärts an den Nassen Strand an (Einteilung nach LÜDERS 1967). Die Grenze zwischen beiden Bereichen ist die mittlere Springtidenniedrigwasserlinie = Seekarten-Null. Auf Seekarten-Null sind auch alle weiteren Tiefenangaben bezogen. Während der Außenarbeiten war der Nasse Strand durch zwei Strandriffe und zwei Strandrinnen, der Vorstrand durch zwei Vorstrandriffe gegliedert. Das obere Vorstrandriff reichte mit seinem Kamm während der Niedrigwasserzeit fast an die Wasseroberfläche heran. Sand wurde dort auch bei geringerer Wellenhöhe und -länge bewegt. Die Wassertiefe im Riffal betrug 1 m. Der Kamm des zweiten Strandriffs lag in 1,5 m Wassertiefe. Sandbewegungen dürften dort nur bei größeren Wellenlängen stattgefunden haben. Besonders geschützt war das landseitig gelegene Riffal, das bei Niedrigwasser etwas über 3 m Wassertiefe aufwies. Die Kammrichtung der Vorstrand- und Strandriffe war nahezu strandparallel. Das jeweilige Westende der Riffe ging in den Strand bzw. Vorstrand über, so daß die Riffe in sehr spitzen Winkeln zur Strandlinie verliefen. Die Strand- und Vorstrandriffe sind auf der topographischen Wattokarte 1:25 000 dargestellt (Forschungsstelle Norderney 1966).

Im unteren Teil des Vorstrands waren in zwei Tiefenbereichen Sandriffe

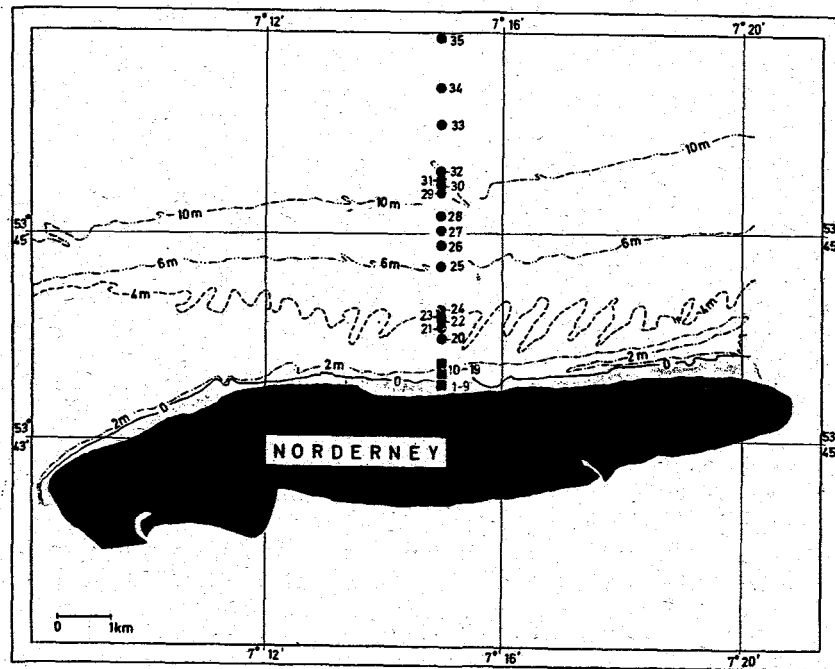


Abb. 1. Übersichtskarte von Norderney. — Gliederung des Vorstrands durch verschiedene Riffe und Lage der Probenpunkte.

Fig. 1. Index map and shoreface of barrier island Norderney with bars.

schräg zur Strandlinie entwickelt (Abb. 1). Die mittleren Tiefen, in der die Kämme dieser Riffe angetroffen wurden, betrugen 4 m und 9 m. Aus der Seekarte des DHI Nr. 89 ist noch ein weiteres Riff bei 20 m verzeichnet. Da die Riffe in 4 m Wassertiefe wie Sägezähne nebeneinander gereiht liegen, werden sie Sägezahn-Riffe genannt (REINECK 1963). Bei den Riffen in 9 m ist diese Gleichförmigkeit nicht entwickelt. Wie bei den 20 m Riffen kann man nur von einzelnen zungenförmigen Riffen sprechen.

Die 4-m-Sägezahn-Riffe sind deutlich vor den Inseln Norderney, Langeoog und Spiekeroog entwickelt. Sie sind SW-NE gerichtet und im Mittel etwa 1 km lang (DHI Peilpläne 3-6 und topographische Wattokarte Nr. 6 u. 7). Die Riffe bei 9 m und 20 m verlaufen dagegen im rechten Winkel dazu, nämlich SE-NW. Sie sind zudem erheblich länger als die Riffe in 4 m Wassertiefe. Wird zu der 20 m Linie auf den Peilplänen des DHI (Nr. 3-6, Juist/Wangerooge) noch die 22, 23, 24 und 25 m Linie ausgezogen, so sind diese Riffe bis 25 m Wassertiefe zu erkennen und bis zu 15 km lang. Keines der genannten Riffe ist stationär. Die Sägezähne in 4 m Wassertiefe werden sicherlich häufiger umlagert als die Riffe im tieferen Wasser. Aber auch von den 20 m Riffen wird als Anmerkung auf den Peilplänen (DHI 1956) angegeben, daß der 20 m Auslauf sich um 1 m in südlicher Richtung vergrößert habe. Die Genese der Riffe ist noch nicht gesichert. REINECK (1963) vergleicht die Sägezähne mit schwach entwickelten Riesenrippeln, da die Sägezähne formdiskordant sind. Die Riffe in 20 m sind mittelsandig und haben die Richtung des Oldenburg-Ostfriesischen Geestrückens. Diese Erklärung ist jedoch mehr als Arbeitshypothese zu werten. Beabsichtigte weitere Untersuchungen werden endgültige Argumente für die Art ihrer Entstehung erbringen.

Wenn man von der morphologischen Gestaltung des seeseitigen Abfalls der Insel Norderney durch die Sandriffe absieht, so zeigt das Vorstrandprofil zwischen 0 und 4 m Wassertiefe mit 1:250 die steilste Neigung, zwischen 4 und 15 m Wassertiefe beträgt die Neigung etwa 1:330 und zwischen 15 und 20 m Wassertiefe nur noch 1:1000.

Korngrößenverteilung der Sedimente.

Die Benennung der Korngrößenverteilung erfolgte nach DIN 4188. Die Analysen ergaben, daß der Sand zur Tiefe hin zunächst feiner, dann aber wieder gröber wird. Es lassen sich dabei folgende Zonen ausgliedern:

- Zone I: 0- 1,2 m Wassertiefe: Feinsandiger Mittelsand bis Mittelsand.
- Zone II: 1,2- 3,0 m Wassertiefe: Mittelsandiger Feinsand.
- Zone III: 3,0- 7,5 m Wassertiefe: Feinsand.
- Zone IV: 7,5-20 m Wassertiefe: Mittelsandiger Feinsand.

Der Sand in Zone IV ist also wieder gröber als der in Zone III. Nach der Korngrößenverteilungskarte der Inneren Deutschen Bucht von GADOW & SCHÄFER (1973) erstreckt sich der mittelsandige Feinsand bis etwa zur 30 m Tiefenlinie im Norden. Es ist wahrscheinlich, daß es sich um marin aufgearbeitete pleistozäne Relikte handelt.

Die Schichtgefüge.

In den ungestört entnommenen Proben wurden die im folgenden aufgezählten Schichtgefüge festgestellt: Kleinrippel-Schrägschichtung, meist von Strömungsrippeln stammend; Schrägschichtung von Großrippeln und von steilen Riffstirnen; laminierter Sand; Wechselschichtung Sand/Schlick.

Soweit die Reliefgüsse eine Diagnose zuließen, wurde unterschieden zwischen Schrägschichtung von Strömungskleinrippeln und der Schrägschichtung von Oszillationsrippeln.

Die Schrägschichtungen von Großrippeln und die von steilen Riffstirnen entstehen unter vollkommen unterschiedlichen hydraulischen Bedingungen. Für die morphologische Unterscheidung dieser beiden in den Dimensionen sich gleichenden Schrägschichtungsarten sind aber noch zu wenige Kriterien vorhanden.

Laminierte Sande umfassen auch jene Profilabschnitte, in denen sehr flache Einfallswinkel zu erkennen waren. Gelegentlich gibt es Schichtpakete, die mit flachem Einfallswinkel gegeneinander verstellt und durch Diskordanzen voneinander getrennt sind. Als Entstehungsart wird der Absatz von Sand-Suspensionswolken angenommen.

Die Wechselschichtung Sand/Schlick kommt gemessen an den anderen Schichtungsarten nur sehr selten vor. Die Schlick- und Sandlagen sind in sich laminiert und gelegentlich durch Erosionsdiskordanzen getrennt (Taf. 1 Fig. 1). Die wenigen Schlicklagen des Vorstrandes kommen nur in den Rifftälern vor (Abb. 2). Während Starkwind-Wetterlagen wird Schlick z. B. im Bereich der Rückseitenwatten, der Seegatten und im Vorstrandbereich erodiert. Wenn die hydraulische Energie abflaut, wirken die Rifftäler als Sedimentfallen, in denen sich suspendierter Schlick absetzen kann.

Verteilung der Gefüge.

Die Gefüge zeigen im Gesamtprofil eine deutliche Verteilungstendenz (Abb. 2, 3). Die Großrippelgefüge haben ein Maximum in Zone I (0-1,2 m Wassertiefe) und in Zone IV (7,5-20 m Wassertiefe). Die Gefüge in Zone IV sind jedoch meist verwühlt. Daraus wird deutlich, daß in dieser Tiefe Umlagerungen selten stattfinden, so daß sich dort größere Bodenorganismen ansiedeln und entwickeln können. In der Zone I dagegen ist der Grad der Verwühlung gering, weil dort sehr häufig Umlagerungen stattfinden. Wenngleich in Zone IV auch mehr Großrippelschichtung vorgefunden wurde als in Zone III (31% in Zone IV gegenüber 2% in Zone III), so dürfte dieser Unterschied weniger in stärkeren hydraulischen Bedingungen liegen, als vielmehr in der Tatsache begründet sein, daß in Zone IV der Sand etwas gröber ist und damit leichter Großrippelbildung zuläßt als der feinere Sand in Zone III.

Das Maximum der Verteilung der Kleinrippelgefüge liegt in Zone II und III, also zwischen 1,2 m und 7,5 m Wassertiefe. Die Oszillationsrippeln wurden in vielen Proben an der Sedimentoberfläche gefunden. Sie sind somit sehr

vergängliche Strukturen. Die gleiche Beobachtung wurde auch in anderen Vorstrandprofilen im Mittelmeer (REINECK & SINGH 1971) und an der Küste von Georgia (HOWARD & REINECK 1972) gemacht. Nur in 4 Proben waren die Oszillationsrippelgefüge so mächtig (Taf. 1 Fig. 2), daß man annehmen kann, sie könnten bei weiterem Sedimentaufwuchs erhalten bleiben. Diese Proben liegen zwischen 2 m und 6,5 m Wassertiefe (Abb. 2). Die tiefsten Oszillationsrippeln wurden in 12 m Wassertiefe gefunden (Abb. 3). Von fossilen Aufschlüssen sind aus dem Vorstrandbereich gekappte Oszillationsrippeln bekannt (CAMPBELL, 1966), die wohl auch in rezenten Ablagerungen vorhanden, aber wegen ihrer Größe normalerweise in Kastengreiferproben nicht erkennbar sind. In einzelnen Fällen sind diese „truncated wave-ripple laminae“ aber in geringerer Größe ausgebildet und dann auch in Kastengreiferproben sicher ansprechbar (Taf. 1 Fig. 2).

Die grobe Wechselschichtung Sand/Schlick ist an die Rifftäler gebunden, wo für Schlick geeignete Sedimentationsbedingungen vorhanden sind.

Der laminierte Sand ist die häufigste Gefügeart. In Zone I ist er mit 48% vertreten, und in den tieferen Zonen steigt sein Anteil auf über 60% an.

Entschichtung und Verwühlung.

Unter Entschichtung wird die völlige Auslöschung der Primärgefüge durch biogene Gefüge, wie Gänge, Wühlspuren oder andere Spuren verstanden. In einem Ablagerungsbereich oder auch in einer schmalen Zone kann man das Verhältnis von entschichteten zu nicht entschichteten Profilabschnitten in Prozenten angeben. Die Zonen I, II und III zeigten keine signifikanten Unterschiede. Die biogene Entschichtung lag zwischen 3 und 10%. In der Zone IV war der Anteil der biogenen Entschichtung mit 21% jedoch deutlich größer als in den Zonen I-III.

Neben der völligen Verwühlung (= Entschichtung) gibt es noch ein breites Spektrum, in welchem Maße Profilabschnitte verwühlt sein können. Das Maß der Verwühlung wird pro Profilabschnitt in Prozent angegeben. So bedeuten z. B. 5%, daß in dem betrachteten Profilabschnitt 5% der primären Gefüge durch die Tätigkeit der Endobioten durch biogene Gefüge ersetzt worden sind. Um weiteren Aufschluß über die Verwühlung zu bekommen, wurde für jede Zone der Mittelwert der Verwühlung 1. Grades ermittelt. Hierzu wurden folgende Verwühlungsklassen gebildet:

- 100% = völlig verwühlt (= entschichtet);
- 90-99% = sehr stark verwühlt;
- 60-90% = stark verwühlt;
- 30-60% = verwühlt;
- 5-30% = schwach verwühlt;
- 1-5% = vereinzelte Wühlspuren;
- 0% = keine Verwühlung.

Die Einordnung in die jeweilige Verwühlungsklasse wurde für jeden Profilabschnitt der ungestörten Kastengreifer- und Kanisterproben vorgenommen und daraus der mittlere Verwühlungsgrad ermittelt.

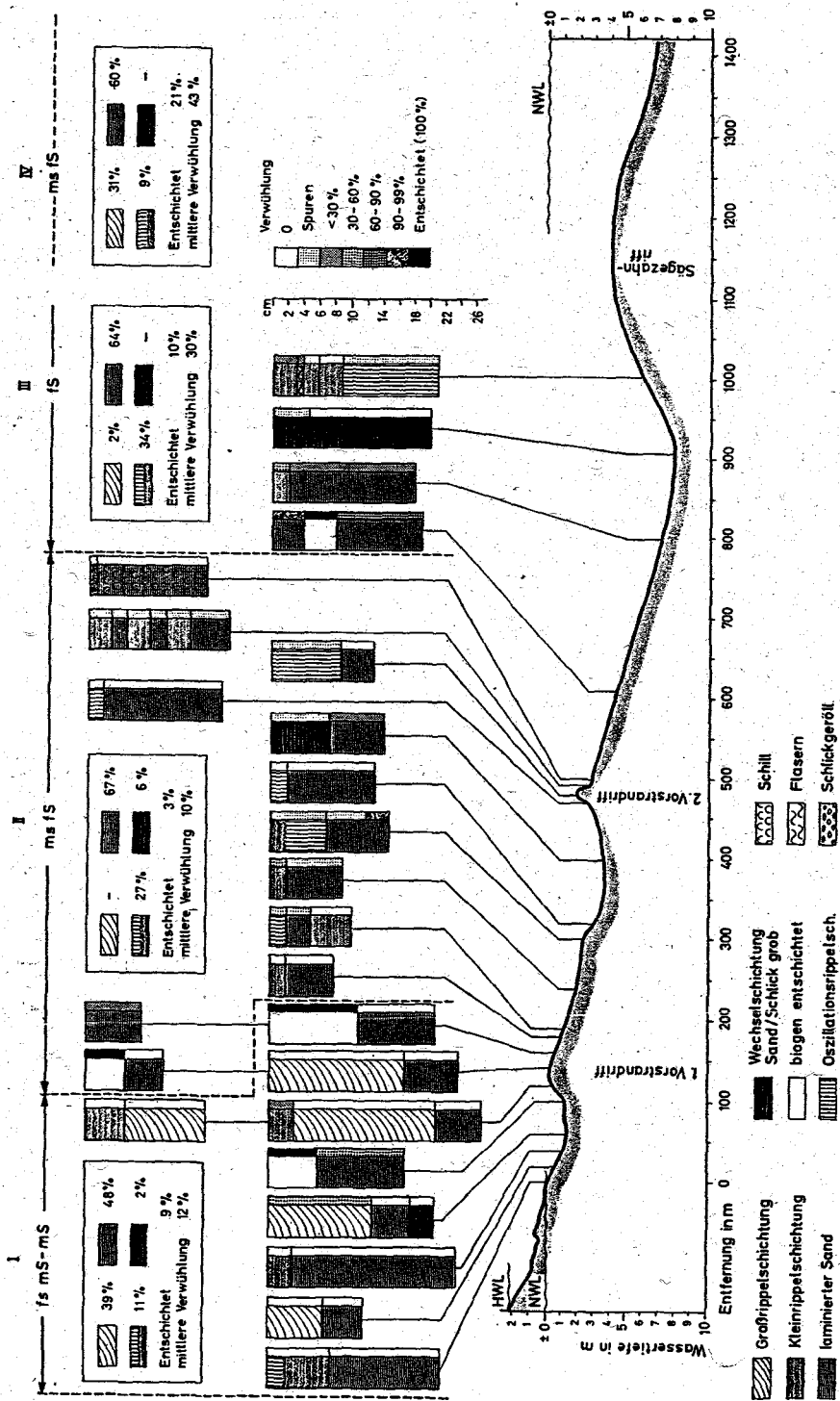


Abb. 2. Strandes Profil des Vorstrands von Norderney von 0-7 m Wassertiefe mit Darstellung der Gefüge der einzelnen Kastengreifer- und Kanisterproben, sowie für jede der Zonen eine zusammenfassende Darstellung der Gefüge und Angabe über Entschichtung, mittlere Verwühlung und Sandkörnung.

Fig. 2. Nearshore profile of the shoreline from low water line to 7 m water depth of barrier island Norderney with box core and can core samples and distribution of primary sedimentary features for each zone. This profile is continued in the profile of Fig. 3.

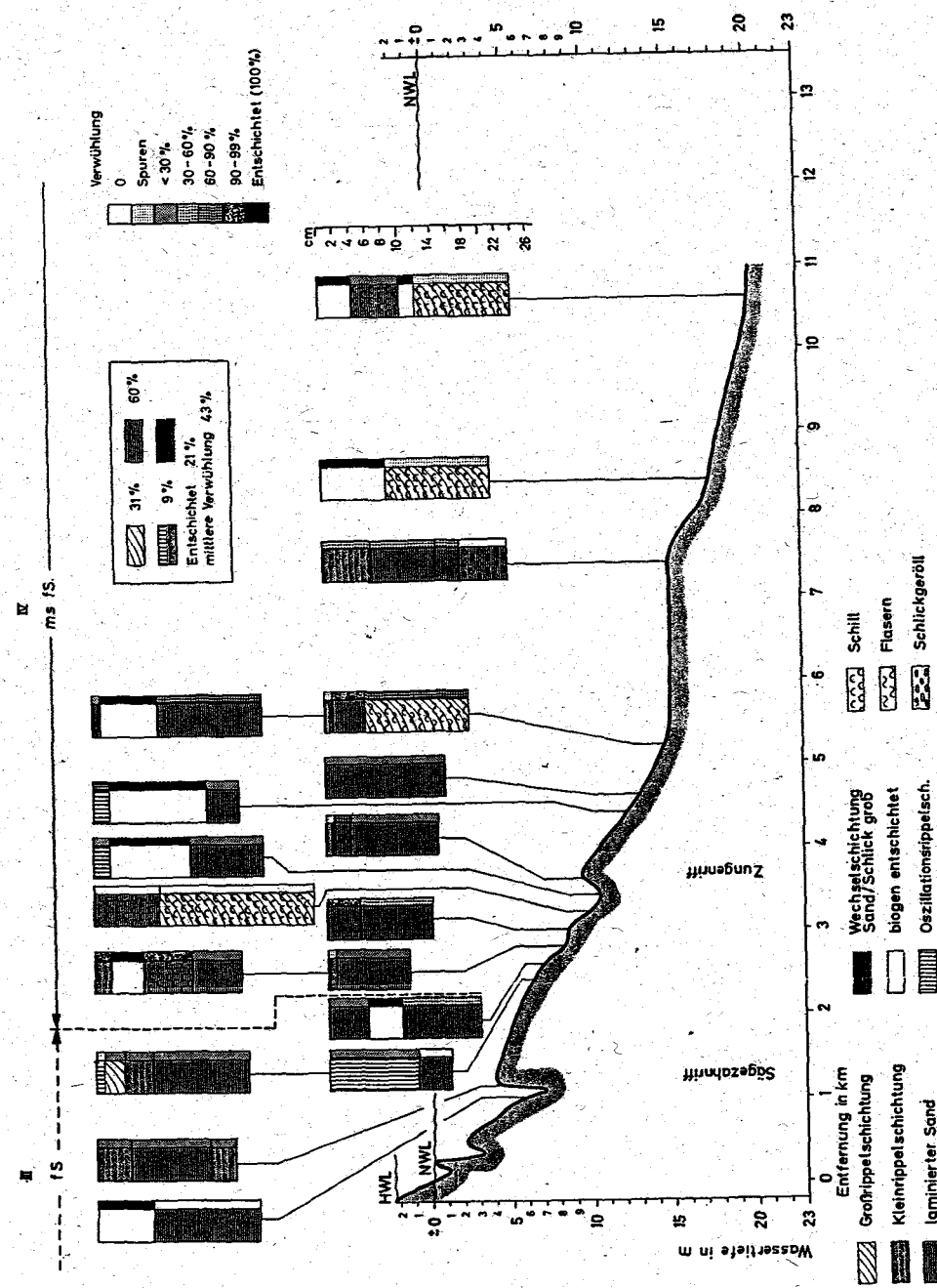


Abb. 3. Fortsetzung des Profils von Abb. 2 von 7 bis 20 m Wassertiefe mit Darstellung von Zone III und IV.

Fig. 3. Continuation of profile in Fig. 2 from water depth 7 to 20 m. Zones III and IV are described.

In Zone I und II, also in einer Wassertiefe von 0 bis 3,0 m, betrug der Mittelwert der Verwühlung 10 bzw. 12% und fällt damit in die Klasse „schwach verwühlt“. Für Zone III (3,0–7,5 m Wassertiefe) wurden 30% ermittelt. Dieser Wert liegt an der Grenze der Klassen „schwach verwühlt“ und „verwühlt“. In Zone IV wurde eine weitere Steigerung der mittleren Verwühlung auf 43% festgestellt. Das Ergebnis der Mittelwertbildung zeigt ein Ansteigen der mittleren Verwühlung mit zunehmender Wassertiefe. Da das Substrat relativ gleichförmig bleibt, dürfte ein entscheidender Parameter für das Bodenleben die zur Tiefe hin abnehmende hydraulische Energie sein. Umgekehrt mit der Zunahme der hydraulischen Energie findet eine starke Erosion und Resedimentation und bei sonst günstigen Lebensbedingungen eine Abnahme der Besiedlung durch Endobionten statt (REINECK 1967). Die wirksame hydraulische Energie wird weniger von den Tideströmungen bestimmt, sondern in stärkerem Maße vom Einwirken des Seegangs auf den Boden.

Die Zonierung des Sedimenttransports.

Die Aufteilung in vier Zonen bezog sich zunächst auf die vorliegenden Sedimente. Es ergab sich aber bei der Untersuchung der Morphologie, der Gefüge und der Bioturbation, daß sich die vier Zonen auch an diesen Kriterien unterscheiden lassen. Tabelle 1 ergibt hierzu eine Übersicht. Die beiden wichtigsten Indizien, die auf Sedimenttransport hinweisen, sind die Stärke der Bioturbation und die Gefügeart.

Aus der Verteilung der Stärke der Bioturbation und der Verteilung der Gefüge läßt sich erkennen, daß die häufigsten Umlagerungen in Zone I (0–1,2 m Wassertiefe) stattfinden. Das 1. Vorstrandriff wird in diese Dynamik mit einbezogen. Die Verwühlung ist sehr gering. Großrippelgefüge sind häufig. Die meisten entstammen strandparallel verlagernden Großrippeln im Strandriff-Tal. Auch kleinere Oberflächenwellen haben auf dem Riff Grundberührung. Bei Niedrigwasser werden sie zu Schwallen verformt. In der Vorstrandrinne sind auch bei ruhigem Wetter Rippströmungen vorhanden. In der Vorstrandrinne ist im Gegensatz zum Vorstrandriff schwache Bioturbation vorhanden. Diese Zone entspricht der *Haustorius arenarius*-Gemeinschaft von DÖRJES (1976), der gleichfalls auf die besiedelten Vorstrandrinne, im Gegensatz zu den unbesiedelten Vorstrandriffen, hinweist.

In der Zone II (1,2–3,0 m Wassertiefe) findet keine tägliche Umlagerung mehr statt. Doch bei den häufig auftretenden Starkwinden aus W bis N wird der entsprechende Seegang bis in diese Tiefe wirksame Grundberührung haben, so daß hier noch ein Vorstrandriff entstand. Die Umlagerung ist noch so häufig, daß hier kein Anstieg gegenüber der Zone I an Bioturbation zu erkennen ist. In der landseitig vom Vorstrandriff ausgebildeten Rinne ist Schlick in Wechschelung mit Sand abgelagert (Abb. 2).

In der Zone III (3,0–7,5 m Wassertiefe) befinden sich die Sägezahnriffe. Ihre Entstehungsbedingungen sind sicher von denen der Strand- und Vorstrand-Riffe zu unterscheiden. Vermutlich wirkt hier ein gelegentlich auftretender, von Seegangswirkung unterstützter Küstenlängsstrom. Der Sand ist feiner. Daß die

Tabelle 1. Zusammenstellung der vier tiefenstaffelten Zonen des Vorstrandes von Norderney mit charakteristischen morphologischen und sedimentologischen Unterscheidungsmerkmalen. — Die Sedimentarten wurden abgekürzt: fs mS = feinsandiger Mittelsand; ms fs = mittelsandiger Feinsand; fs = Feinsand.

Table 1. Four zones of the shoreface of Norderney with characteristic morphological and sedimentological differences.

Zone	Wassertiefe m	Morphologie	Riffkammer-Richtung	Sedimentart	Großrippeln	Kleinrippeln	lam. Sand	Wechschelung Sand/Schlick	mittlere Bioturbation
I	0–1,2	1. Vorstrandriff	fast strandparallel	fs mS-mS	39%	11%	48%	2%	12%
II	1,2–3,0	2. Vorstrandriff	fast strandparallel	ms fs	0	27%	67%	6%	10%
III	3,0–7,5	Sägezahnriffe	NE	fs	2%	34%	64%	0	30%
IV	7,5–20	Zungenriffe	NW	ms fs	31%	9%	60%	0	43%

Umlagerungen seltener als in Zone I und II sind, beweist der Anstieg der mittleren Verwühlung auf 30%. In den dazugehörigen Tälern kann grobe Wechsel-schichtung Sand/Schlick abgelagert sein (Abb. 2). Zone III deckt sich nahezu mit der von DÖRJES (1976) festgestellten *Macoma baltica*-Gemeinschaft.

In der Zone IV (7,5–20 m Wassertiefe) läßt sich durch den weiteren Anstieg der mittleren Bioturbation auf 43% ersehen, daß die Umlagerung nochmals geringer und seltener geworden ist. Bei seltenen Ereignissen wird aber auch hier noch die Oberflächenmorphologie verändert, wie es den Peilberichten zu entnehmen ist. In dieser Tiefe wird weiter östlich im inneren Teil der Deutschen Bucht bereits Schlick abgelagert. Das ist auf dem Schelf vor Norderney nicht der Fall, da kein Schlick von Land her zugeführt wird. Die Sande dürften marin überarbeitete Reliktsande sein. Sowohl die Wühlspuren wie auch die Schichtungsarten, zumindest soweit sie mit dem Kastengreifer erfaßt wurden, sind dagegen rezent.

Die Zone IV fällt in die *Venus gallina*-Gemeinschaft, wie sie DÖRJES (1976) beschreibt. DÖRJES konnte die *Venus gallina*-Gemeinschaft bis 35 m Wassertiefe verfolgen, dort schließt nach See hin die *Amphiura filiformis*-Gemeinschaft an. Die für die sedimentologischen Untersuchungen entnommenen Kastengreiferproben enden vom Strand her gesehen schon bei 20 m Wassertiefe, da Sedimentbewegungen unterhalb dieser Tiefe wegen ihres seltenen Auftretens für den Küstenlängstransport nur von geringer Bedeutung sind. Die Sedimentkarte bei GADOW & SCHÄFER (1973, Abb. 1) und die Verteilung der Verwühlung bei REINECK (1963, Kt. 6) lassen die Vermutung zu, daß es bei einer sedimentologischen Bearbeitung von Kastengreiferproben, gleichlaufend mit den biologischen Untersuchungen, gleichfalls zur Angleichung einer weiteren, mit der *Amphiura filiformis*-Gemeinschaft deckenden Zone, gekommen wäre.

Schriften.

- CAMPBELL, CH. V. (1966): Truncated wave-ripple laminae. — J. sediment. Petrol., 36: 825–828, 1 Fig.; Tulsa, Okla.
- DÖRJES, J. (1976): Primärgefüge, Bioturbation und Makrofauna als Indikatoren des Sandversatzes im Seegebiet vor Norderney (Nordsee). II. Zonierung und Verteilung der Makrofauna. — Senckenbergiana marit., 8 (4/6): (im Druck); Frankfurt a. M.
- GADOW, S. & SCHÄFER, A. (1973): Die Sedimente der Deutschen Bucht: Korngrößen, Tonminerale und Schwermetalle. — Senckenbergiana marit., 5: 165–178, 7 Abb.; Frankfurt a. M.
- HOWARD, J. D. & REINECK, H.-E. (1972): Georgia coastal region, Sapelo Island, U.S.A.: Sedimentology and Biology. IV. Physical and biogenic sedimentary structures of the nearshore shelf. — Senckenbergiana marit., 4: 81–123, Taf. 1–5, 12 Abb.; Frankfurt a. M.
- LÜDERS, K. (1967): Kleines Küsten-Lexikon. — Veröff. Niedersächs. Inst. Landeskd. Landesentwickl. Univ. Göttingen, Schr. wirtsch.-wiss. Ges. Stud. Niedersachs., Reihe A: Forschungen zur Landes- u. Volkskunde. I. Natur, Wirtschaft, Siedlung u. Planung, 82, 238 S., 2 Taf., 289 Abb.; Göttingen, Hannover.

- REINECK, H.-E. (1963): Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. — Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., 505: 1–138, Taf. 1–12, Kt. 1–15, 21 Abb., 18 Tab.; Frankfurt a. M.
- — — (1967): Parameter von Schichtung und Bioturbation. — Geol. Rdsch., 56: 420–438, 11 Abb., Stuttgart.
- REINECK, H.-E. & SINGH, I. B. (1971): Der Golf von Gaeta (Tyrrhenisches Meer). III. Die Gefüge von Vorstrand- und Schelfsedimenten. — Senckenbergiana marit., 3: 185–201, Taf. 1–4, 3 Abb., 2 Tab.; Frankfurt a. M.
- TOPOGRAPHISCHE WATTKARTE 1:25 000, Nr. 15: Niedersächsische Küste. Niedersächsische Wasserwirtschaftsverwaltung, hergestellt von der Forschungsstelle Norderney 1966.

Tafel 1.

- Fig. 1. Wechselschichtung Sand/Schlick aus einem Riffital des Vorstrandbereiches vor Norderney, Nordsee; Wassertiefe 5,8 m. — Röntgenaufnahme positiv. Hell = Schlick; dunkel = Sand. — Gleicher Maßstab wie Fig. 2.
- Fig. 2. Sedimente aus dem Vorstrandbereich von Norderney, Nordsee; Wassertiefe 3,8 m: Im unteren Teil des Reliefgusses gekappte Oszillationsrippelschichtung, wie sie CAMPBELL (1966) aus fossilen Vorstrandsedimenten als „truncated wave-ripple laminae“ beschrieben hat. — Maßstabeinteilung in cm.

Plate 1.

- Fig. 1. Coarsely interlayered bedding sand/mud deposited in a runnel of the shoreface of the island Norderney, North Sea; water depth 5.8 m. — X-ray radiographic print. Light = mud; dark = sand. — Same scale as Fig. 2.
- Fig. 2. Sediments of the shoreface of the island Norderney, North Sea; water depth 3.8 m: In the lower part of the relief cast truncated wave-ripple laminae as described by CAMPBELL (1966) in fossil shoreface sediments. — Centimeter scale.

