

Zur Dynamik und Morphologie der hohen Sandbänke im Wattenmeer zwischen Jade und Eider

Von Harald Göhren

Summary

Extended sand banks ranging up to some hundred acres with a crest height in the MHW-level are typical features of the outer tidal flats of the south-eastern North Sea coast.

Primary forms develop in the surf zone at the sea-side tidal flat border. They are formed like bars and migrate towards the coast with a surprisingly high velocity, up to 150 m/year.

The movement is caused by strong erosion on the seaward slope – which is shaped beach-like – and deposition at the steeper land-side (lee-side) slope.

It was found that surf action at the bar is linked with strong unidirectional currents across the crest up to 100 cm/s. The currents are most likely generated by wave set-up in front of the bank and by wind-drift water motion.

The migration velocity of the sand banks decreases with increasing distance from the tidal flat border. This effect seems to be most important when generation of new banks continues. It leads to "overtaking" and "interaction" of the single structures, thiswise growing together and building up the large sand banks as described above, and gives an explanation of the development of large offshore sand banks and dune islands on tidal flats.

Inhalt

1. Einleitung	28
2. Die hohen Sandbänke zwischen Jade und Eider	29
2.1. Lage und morphologische Struktur	29
2.2. Küstenmorphologische Entwicklung nach den historischen Quellen	31
2.3. Probleme der Entstehung und dynamischen Beeinflussung	34
3. Einige Beobachtungsergebnisse aus dem Gebiet von Scharhörn	35
3.1. Entwicklung der hohen Sandbank von Scharhörn seit Mitte des 19. Jahrhunderts	35
3.2. Entstehung und Verlagerung neuer Brandungsbänke im Außenwatt	37
3.3. Hydrodynamische Einflüsse und Sandtransport	39
4. Zusammenfassende Betrachtung und Schlußfolgerungen	49
5. Schriftenverzeichnis	49

1. Einleitung

Die deutsche Nordseeküste mit ihren vorgelagerten ausgedehnten Wattgebieten läßt sich in drei Abschnitte unterschiedlicher Struktur gliedern. Zwischen Ems und Jade ist der Wattengürtel relativ schmal, sehr gleichförmig gestaltet und auf der Seeseite durch die Kette der ostfriesischen Düneninseln abgeschlossen. Zwischen Jade und Eider ist das Watt wesentlich breiter, durch die Tideflüsse und große küstennormale Wattströme zerteilt und seeseitig durch eine Reihe hochliegender Sandbänke mit sporadischer Dünenbildung besetzt. Das nordfriesische Wattenmeer schließlich, ebenfalls breiter als das ostfriesische, erhält seine besondere Prägung durch die großen Marscheninseln und die kleineren Halligen, beide Relikte großer Landverluste vergangener Jahrhunderte.

Die Inseln dieses Küstenraumes sind bevorzugte Objekte der geologisch-küstenmorphologischen Forschung; zum einen, weil die meisten besiedelt sind und dieser Siedlungsraum seit jeher durch die ständigen Angriffe der Nordsee gefährdet war. Die vielfachen in diesem Zusammenhang entstandenen Aufzeichnungen und Kulturspuren stellen wertvolle Quellen für die Wissenschaft dar. Zum anderen hat man bereits früh die Bedeutung der Inseln für den Schutz des dahinterliegenden Festlandes erkannt und auch aus diesem Grunde ihre Entwicklung und ihre hydrodynamische Beeinflussung studiert.

Die am äußeren Wattrand liegenden hohen Sandbänke zwischen Jade und Eider nehmen in diesem Rahmen eine Sonderstellung ein. Sie sind – mit Ausnahme von Trischen – niemals besiedelt gewesen und können z. T. auch nur insofern als Inseln bezeichnet werden, als größere, zusammenhängende Flächen um wenige Zentimeter oder Dezimeter über das MThw hinausragen. Gerade deswegen aber und weil sich ihre Entwicklung bisher noch fast ohne menschliche Eingriffe vollzogen hat, sind sie interessante Objekte zum Studium der Naturkräfte, welche unsere Nordseeküsten gestalten.

Auf der Grundlage von Meßergebnissen und Beobachtungen im Gebiet von Scharhörn, die im Rahmen eines seit 1963 laufenden Forschungsprogramms der Freien und Hansestadt Hamburg in der Elbemündung entstanden sind (LAUCHT, 1968), soll mit der vorliegenden Arbeit ein weiterer Beitrag zu diesem Thema geliefert werden. Verfasser hat darüber auf der 14. Konferenz für „Coastal Engineering“ in Kopenhagen, 1974, berichtet. Der vorliegende Aufsatz geht jedoch über diesen Beitrag hinaus, weil er Zusammenhänge der historischen und geologischen Entwicklung aufgreift, welche im Rahmen einer internationalen Konferenz nicht angebracht waren.

2. Die hohen Sandbänke zwischen Jade und Eider

2.1. Lage und morphologische Struktur

Abbildung 1 enthält einen Übersichtsplan der inneren Deutschen Bucht, in dem zwischen Jade und Eider alle Erhebungen oberhalb MThw besonders herausgehoben sind. Es sind dies von Süden nach Norden: Alte Mellum, Knechtsand, Scharhörn, Neuwerk, Trischen, Tertiussand, Blauortsand.

Mit Ausnahme von Neuwerk, der alten Marscheninsel, und Tertiussand weisen alle diese Sandbänke eine ähnliche Lage und Form auf. Sie liegen jeweils etwa am Kopf der großen zusammenhängenden Wattgebiete, welche durch tiefe, küstennormale Stromrinnen voneinander getrennt sind. Die Form ist bohnenförmig, wobei die konvex gekrümmte Flanke der See zugewendet ist. Die in Abbildung 2 zusammengestellten Luftbild-Senkrechttaufnahmen lassen bereits unmittelbar erkennen, daß diese Strukturen durch gleichartige hydrodynamische Prozesse beeinflußt werden.

Die vier Platen, *Mellum*, *Knechtsand*, *Scharhörn* und *Trischen*, sind auch nach der Flächengröße etwa vergleichbar. Sie liegt zwischen 300 und 800 ha (berechnet innerhalb der MThw-Linie). Gemeinsam ist ferner ihre Höhenlage – nur einige Dezimeter über MThw – und die Sedimentstruktur. Die mittlere Korngröße liegt deutlich über der des umliegenden Watts.

Infolge der Höhenlage und des gröberen Sedimentes tritt Sandflug auf, der zu sporadischer Dünenbildung führt. Bei Trischen und Mellum ist es außerdem im Schutz der Dünen zur Grünlandbildung auf schlickigen Ablagerungen gekommen. Wegen der Flugsanderscheinungen und der zeitweilig geringen Lagerungsdichte der Sedimente auf den

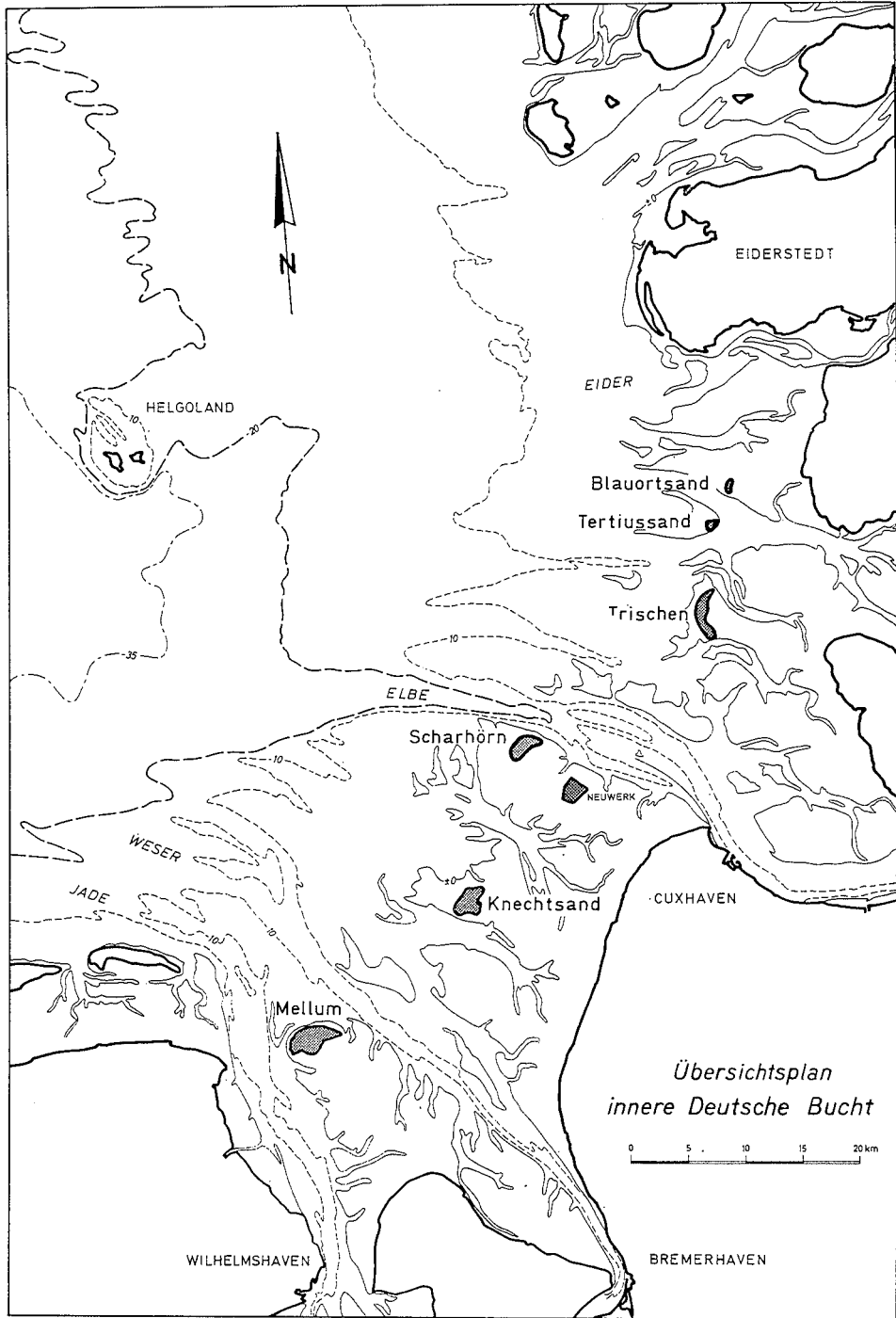


Abb. 1

Rücken der Bänke werden sie in der Literatur häufig als „Flugsandplatten“ oder „Schwemmsandplatten“ bezeichnet (WRAGE, 1930, und WOHLBERG, 1950).

2.2. Küstenmorphologische Entwicklung nach den historischen Quellen

Die Frage nach der geologischen Entstehung und Einordnung der hier untersuchten hohen Sandbänke soll nicht aufgegriffen werden. Eindeutig fest steht, daß es sich bei allen genannten um alluviale Bildungen handelt, daß diese Aufragungen in dem umgebenden niedrigeren Wattniveau also nicht etwa an ältere geologische Kerne gebunden sind. Im übrigen bestehen aber in geologischen Fachkreisen noch keine einheitlichen Auffassungen über den genauen Ablauf der Wattentwicklung vor unserer Nordseeküste und damit über Zeit und Bildungsmechanismen bei der Entstehung der inselartigen Sandbänke. LINKE (1969, S. 4 bis 19) gibt einen Überblick über die hier vorhandenen und teils divergierenden Lehrmeinungen.

Die historischen Quellen – alte Seekarten, Segelanweisungen sowie sonstige Archivalien – liefern bereits eine Fülle von Material zum Studium der morphologischen Prozesse, d. h. der Veränderung und Verlagerung der Sandbänke; vereinzelt finden sich auch Hinweise zeitgenössischer Beobachter über ihre Entstehung. Das bisher erschlossene Material ist von verschiedenen Autoren in dieser Richtung ausgewertet worden (u. a. HOMEIER, 1969; KRAMER, 1961; LANG, 1970 und 1975; SCHÄFER, 1941; WETZEL, 1924; WIELAND, 1972; WOHLBERG 1950). Als wichtigstes Ergebnis stellt sich zunächst heraus, daß hochliegende Sände in den Randwattpositionen, die den derzeitigen in etwa entsprechen, schon

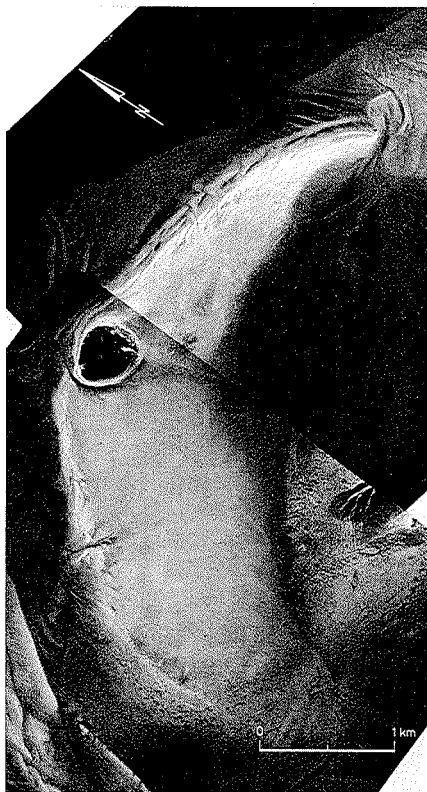
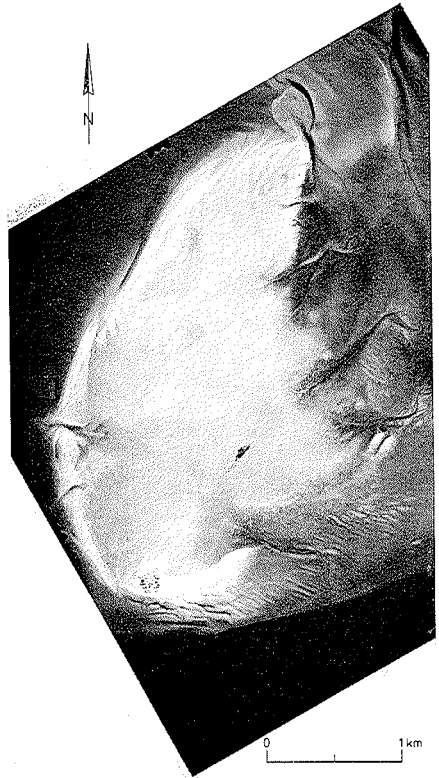
Tabelle 1

Die hohen Sandbänke in den Außenwattgebieten zwischen Jade und Eider – ihre erste Erwähnung in den historischen Quellen

	Erstmals genannt	Erstmals auf einer Karte dargestellt
Mellum	1410, „Uppe de Mellem“	1589, DAVID FABRICIUS, Karte von Ostfriesland
Eversand	1685 „Eversandt“	1768, TROCK, Seekarte „Helgol., Elbe, Weser“
Knechtsand	1683	1684, Anonym (Skizze, s. LANG, 1970, Taf. XXVI)
Meithörn	1575 (evtl. Vorläufer des Knechtsandes)	1685, Anonym (Skizze, s. LANG, 1970, Taf. XXVII)
Scharhörn	1299	1586, LORICH, Elbkarte
Trischen	1610	1721, ZIMMERMANN u. HASENBANK, Elbkarte
Blauortsand	1551	1585, HAYEN, Amsteldamsche Zeekarten

in Karten des 17. und 18. Jahrhunderts dargestellt oder angedeutet sind und bereits noch früher urkundlich erwähnt wurden. Tabelle 1, deren Daten von Dr. A. LANG freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden, gibt hierzu eine kurze Übersicht.

Soweit sich bei der Auswertung dieser historischen Quellen im übrigen Lücken ergeben haben – sei es, daß einige Inseln erst später genannt wurden als andere, sei es, daß sie nach ersten Erwähnungen oder Darstellungen über längere Zeit nicht mehr auftauchten –, lassen sich daraus jedoch noch keine gesicherten Schlüsse über Entstehung oder zwischenzeitliche Zerstörungen ziehen. Die abgelegenen und von Menschen kaum zu nutzenden Sandbänke dürften in den früheren Jahrhunderten nur wenig Beachtung gefunden haben, es sei denn als Gefahrenpunkte für die Schifffahrt oder im Zusammenhang mit Strandungen.



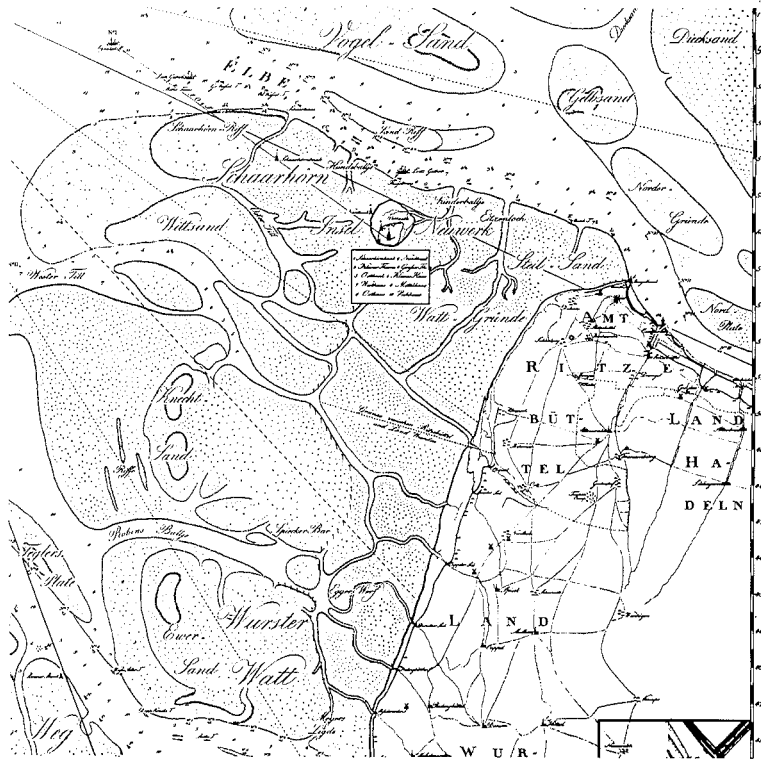


Abb. 3. Ausschnitt einer Karte von Woltmann aus dem Jahre 1825 mit Darstellung der Wattgebiete zwischen Weser und Elbe

Insgesamt läßt sich schließen, daß es sich bei den großen, im Randwatt liegenden Sandbänken zwischen Jade und Eider um Strukturen handelt, welche in säkularen Zeiträumen als stabil anzusehen sind, obgleich sie – wie noch dargelegt wird – einem raschen Gestaltungswandel unterliegen. Darüber hinaus hat es aber nachweislich früher noch weitere Inseln gegeben, die zerstört worden sind oder – wie vor der Dithmarscher Küste – durch Eindeichungen dem Festland angeschlossen wurden. So wird in einer Karte von WOLTMANN (1825) im südlichen Wurster Watt der „Eversand“ als große, hochliegende Sandbank dargestellt (Abb. 3). LANG (1970, S. 48 und 49) nennt „Meithörn“ eine Sandbank mit Dünen vor der Wurster Küste, die im 16. und 17. Jahrhundert in mehreren Quellen erwähnt wird. Möglicherweise handelt es sich hierbei allerdings um den späteren

Abb. 2. Die großen Sandbänke in den Außenwattgebieten zwischen Jade und Eider in Luftbildsenkrechtaufnahmen.

Oben links: Mellum; Aufnahme: Vermessungsbüro Rüpke, Hamburg, 25. 8. 1971; Freigabe: Luftamt Hamburg Nr. 3266/71

Oben rechts: Knechtsand; Aufnahme: Hansa-Luftbild 1. 7. 1968; Freigabe: Reg.Präs. Münster 10. 9. 1968, Nr. 3847

Unten links: Scharhörn; Aufnahme: Hansa-Luftbild 1. 7. 1968; Freigabe: Reg.Präs. Münster 10. 9. 1968, Nr. 3847

Unten rechts: Trischen; Aufnahme: Vermessungsbüro Rüpke, Hamburg, Mai-Sept. 1958; Freigabe: Luftamt Hamburg Nr. 7 000 77

Knechtsand. Im Dithmarscher Watt schließlich sind noch der „Bielshövensand“ und der „Dieksand“ zu nennen, beide bis ins 16. Jahrhundert zurückzuverfolgen und in einer Karte von ZIMMERMANN und HASENBANCK (1721) dargestellt. Der Dieksand lag jedoch mehr küstenwärts und ist – wie bekannt – im 19. Jahrhundert eingedeicht worden.

Während Karten des 17. und 18. Jahrhunderts nur sehr grobe und stark verzeichnete Darstellungen des Küstenverlaufs enthalten, sind sie im 19. Jahrhundert bereits genauer und ermöglichen eine einigermaßen zuverlässige Untersuchung der Veränderung nach

Tabelle 2
Mittlere jährliche Verlagerung in östlicher Richtung

	m/Jahr	Quelle
Knechtsand	37 (seit 1789?)	HOMEIER, 1969, Seite 77 u. 78
	30 (seit 1859)	HOMEIER, 1969, Seite 77 u. 78
Scharhörn	14	GÖHREN, 1970, Abb. 35
	14	HOMEIER, 1969, Seite 79
Trischen	29 (1885–1967)	WIELAND, 1972, Seite 130
	41 (1885–1948)	WOHLENBERG, 1950, Seite 175
Blauortsand	32	WIELAND, 1972, Seite 129

Form und Lage. Für Knechtsand, Scharhörn, Trischen und Blauortsand sind sie bereits genauer untersucht worden.

Tabelle 2 enthält die Ergebnisse und zeigt, daß alle genannten Sandbänke sich mit Geschwindigkeiten zwischen 10 und 40 m pro Jahr in östlicher Richtung verlagern. Auch für Mellum gibt SCHÄFER (1941) aus Kartenvergleichen eines kürzeren Beobachtungszeitraumes einen entsprechenden Rückgang an. Diese Verlagerungstendenz stellt ein Phänomen dar, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit näher behandelt werden soll. Denn wenn man die Lageveränderungen dieser Größenordnung auf säkulare Dimensionen extrapoliert, so kommt man zu dem Schluß, daß es sich um sehr flüchtige, instabile Gebilde handeln muß, was im Widerspruch steht zu den bereits sehr frühen Erwähnungen inselartiger Gebilde in etwa den gleichen Positionen (s.o.).

2.3. Probleme der Entstehung und dynamischen Beeinflussung

Es fehlt in der Literatur nicht an Betrachtungen über die hydrodynamischen und morphologischen Prozesse, welche zur Entstehung und Formung der großen Sandplatten in unserem Wattenmeer unter den hier herrschenden Gezeitenverhältnissen und meteorologischen Bedingungen führen. Trotzdem sind nach Auffassung des Verfassers einige diesbezügliche Fragen nicht hinreichend oder aber widersprüchlich beantwortet.

Zunächst steht fest, daß über MThw aufragende Strukturen im freien Watt nicht durch normale Gezeitenströmungen aufgebaut werden können. Sowohl aus der Höhenlage der Platen als auch aus der exponierten Lage und der Sedimentstruktur (gröberes Sediment als im umliegenden Watt) folgt, daß sie bei erhöhten Wasserständen und durch Brandungstätigkeit aufgebaut sein müssen. GIERLOFF-EMDEN (1961, Abb. 7) beschreibt – ausgehend von den Verhältnissen auf Trischen – den Ablauf der Entstehung einer größeren Sandbank mit Dünenentwicklung und Marschenbildung in Lee der Dünen aus der Primärform einer kleinen Brandungsaufschüttung. Wendet man dieses insgesamt plausibel er-

scheinende Schema auf die hier untersuchten Strukturen an, so tauchen doch einige Probleme auf. Die hochwasserfreien Platen von Mellum, Knechtsand und Scharhörn sind 1000 bis 3000 m breit und flachen auch auf ihrer Leeseite nur allmählich zum mittleren Wattniveau ab. Brandungseinfluß – auch in der Aufbauphase – kann nur in einer relativ schmalen Zone wirksam sein. Es fragt sich, infolge welchen Effektes Platen dieser Breite aufwachsen konnten und auf welche Weise auch gegenwärtig noch, bei der stetigen Verlagerung nach Osten, auf der Leeseite weiter Material abgelagert wird. Schlickablagerungen nach dem Schema von GIERLOFF-EMDEN scheiden dabei aus, da diese bei Scharhörn und Knechtsand z. B. überhaupt nicht vorhanden sind, während sie bei Trischen und Mellum nur im Schutze eines kleinen Dünengürtels beobachtet wurden (SCHÄFER, 1941, S. 36; WOHLBERG, 1950, S. 166).

Offen ist auch, welchen Anteil der äolische Sandtransport an der Entstehung und der Erhaltung der Sandbänke hat. Während nach GIERLOFF-EMDEN der Sandflug erst maßgebend wird, wenn die Plate als Auftragung über MThw geformt ist, nimmt LINKE (1969, S. 71) an, daß er bereits für den Sedimentaufbau des „oberen Gezeitenbereiches“ maßgebend ist.

Die nachfolgend mitgeteilten Beobachtungen aus dem Gebiet von Scharhörn liefern einige aufschlußreiche Fakten zu diesen Fragen.

3. Einige Beobachtungsergebnisse aus dem Gebiet von Scharhörn

3.1. Entwicklung der hohen Sandbank von Scharhörn seit Mitte des 19. Jahrhunderts

Erst in einer Karte von MEYER aus dem Jahre 1868 findet man bei Scharhörn eine Eintragung, die – ergänzt um einige Höhenangaben – ausweist, daß hier eine größere Fläche oberhalb MThw liegt. Weitere Vermessungsunterlagen existieren aus dem Jahre

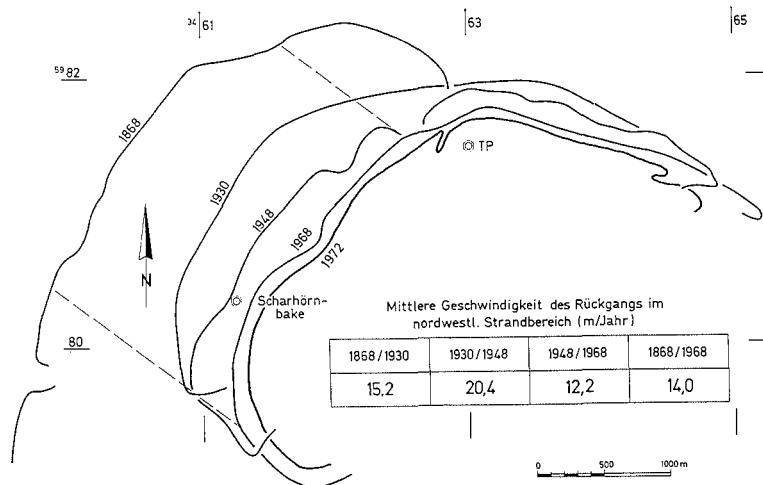


Abb. 4. Veränderung der seeseitigen Kante (MThw-Linie) der Plate von Scharhörn seit 1868. Nach GÖHREN (1970, Abb. 35)

1930, und seit 1948 liegen sie in dichter Folge vor. In Abbildung 4 sind die seeseitigen MThw-Linien dieser verschiedenen Stadien dargestellt, aus denen die Verlagerung der Plate in östlicher Richtung nachzuweisen ist.

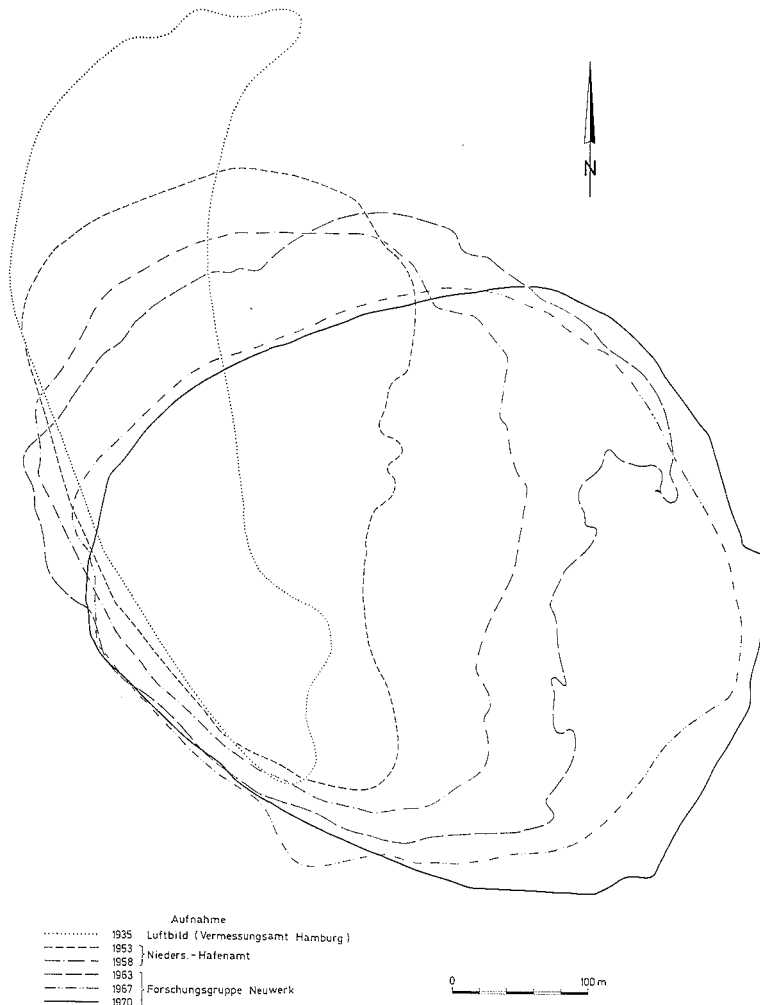


Abb. 5. Entwicklung des Dünengebietes von Scharhörn. Dargestellt sind die Umrißlinien der begrünten Fläche. Nach GÖHREN (1970, Abb. 48)

Daß Scharhörn als über MThw liegende Sandbank erst sehr viel später in Karten dargestellt wurde als die anderen Inseln, ist bemerkenswert, liegt es doch unmittelbar an der wichtigsten Schifffahrtsrinne dieses Raumes. Die Auswertung weiterer Archivalien durch LANG (1970, S. 111 ff.) läßt jedoch mit ziemlicher Sicherheit darauf schließen, daß ein hochliegender Sand in diesem Raum schon in früheren Jahrhunderten existierte.

Die im Nordwesten der Sandbank gelegene Düne folgt der Verlagerung der Plate (Abb. 5). Unmittelbar nach ihrer Entstehung (die Düne von Scharhörn ist erst um 1930 durch Anlage von Sandfangzäunen und Bepflanzung entstanden) wurde sie auf der Nord-

westseite durch Brandung bei höheren Wasserständen erodiert, während auf der Ostseite ständig neue Dünen anwachsen. Der Sand stammt ausschließlich aus dem östlichen Flügel der hohen Sandbank, wird also bei Ostwind herangetragen. Im Zusammenhang mit den späteren Betrachtungen ist bemerkenswert, daß die Düne auf der Südwestseite, wo ebenfalls über mehrere Kilometer hochliegende Sandflächen vorgelagert sind, keinen nennenswerten Anwachs erfahren hat.

3.2. Entstehung und Verlagerung neuer Brandungsbänke im Außenwatt

Abbildung 6, eine Luftbildschrägaufnahme von Scharhörn, läßt erkennen, daß seawärts der hohen und zusammenhängenden Plate eine weitere, schmale und langgestreckte Sandbank liegt. Diese Bank, deren Rücken z. Z. etwa in Höhe des MThw liegt, ist jüngeren Ursprungs; ihre Entwicklung konnte an Hand regelmäßiger Wattaufnahmen und Luftbildbefliegungen der vergangenen Jahre (GÖHREN, 1970) genau verfolgt werden und läßt einige interessante Phänomene zutage treten. Noch Ende der 40er Jahre tauchte das

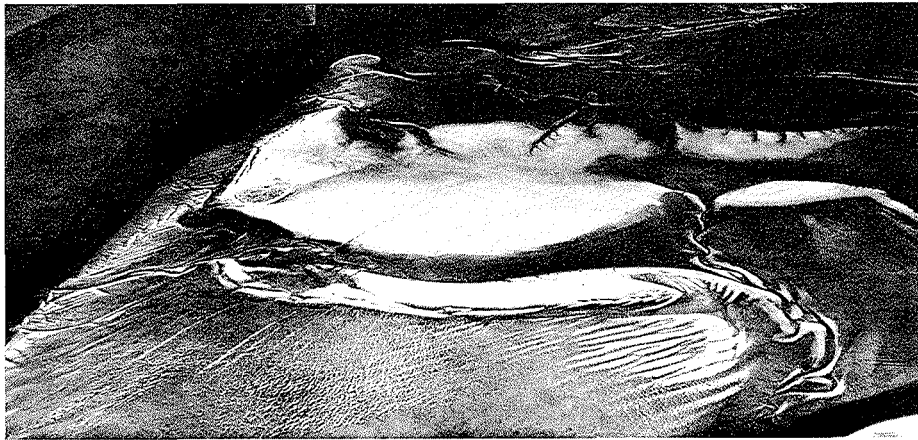


Abb. 6. Scharhörn in einer Luftbildschrägaufnahme (Blickrichtung etwa östlich). Im Vordergrund die Brandungsbank, rechts der großen Scharhörner Plate eine kleinere wandernde Sandbank (Bank III in Abb. 12). Aufgenommen 1971 durch Vermessungsbüro Rüpke, Hamburg; Freigabe durch Luftamt Hamburg, Nr. 1250/71

Watt unmittelbar nordwestlich der Scharhörner Plate unter MTnw ab (Mauserbucht, s. Abb. 7). In der Folgezeit ist dieses Gebiet stark angewachsen, und es entstanden – die Anfangsphase ist leider nicht mehr festzustellen – zwei riff- oder barrenartige Sandbänke, die schnell größer wurden und sich ostwärts verlagerten. Abbildung 7 zeigt vier zeitliche Zustände dieser Entwicklung, Abbildung 8 den Vorgang in einer Profilersie, welche sowohl die stetige Zunahme der Höhe als auch die seitliche Verlagerung besonders gut erkennen läßt. Man gewinnt aus dieser Darstellung den Eindruck einer unmittelbaren „Materialüberschüttung“, wie sie auch bei der Bewegung von Strömungsriffeln auftritt.

Die mehr oder weniger scharf ausgeprägten Böschungen der neuen Bänke sind durch Kammlinien getrennt, welche in Luftbildsenkrechtaufnahmen hervortreten (Abb. 9). Die Auswertung einer Serie von Luftbildern seit 1957 ergab daher eine weitere Möglichkeit,

die Verlagerung dieser Strukturen darzustellen (vgl. dazu auch NEWTON und WERNER, 1969, Abb. 8). Wenn man die „Wandergeschwindigkeit“ aus der Verlagerung der Kamm-
linien ableitet, so kommt man zu den in Abb. 10 dargestellten Daten. Die Mittelwerte
liegen zwischen 60 und 90 m pro Jahr, das Maximum bei der seawärts liegenden Bank be-
trägt 150 m pro Jahr. Die in Abbildung 10 mit (I) bezeichnete, in der Anfangsphase mehr
außen liegende Bank verlagert sich im Durchschnitt wesentlich schneller als die zweite (II)
und auch als eine kleinere, weiter südöstlich liegende Sandbank (III), deren gleichartige

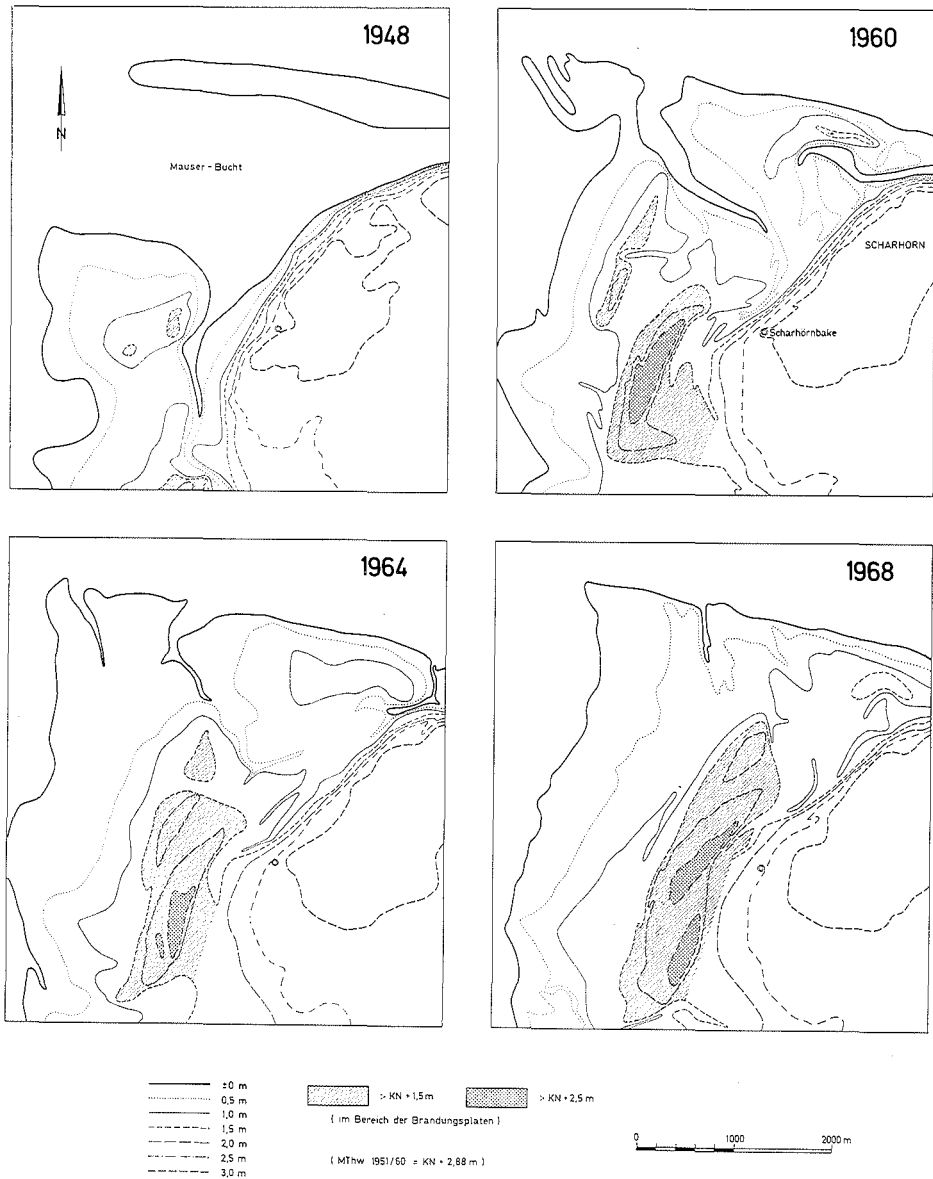


Abb. 7. Morphologische Entwicklung des Wattgebietes westlich von Scharhorn von 1948 bis 1968.
Nach GÖHREN (1970, Abb. 44)

Dynamik überhaupt erst in den Luftbildern festgestellt wurde (vgl. dazu auch Abbildung 6).

Trägt man die Verlagerung der jungen, neu gebildeten Sandbänke und der alten Plate von Scharhörn in Westostrichtung in einem Zeit-Weg-Diagramm auf (Abb. 11), so wird erkennbar, daß hier ein morphologisch bedeutungsvoller Effekt des „Einholens“

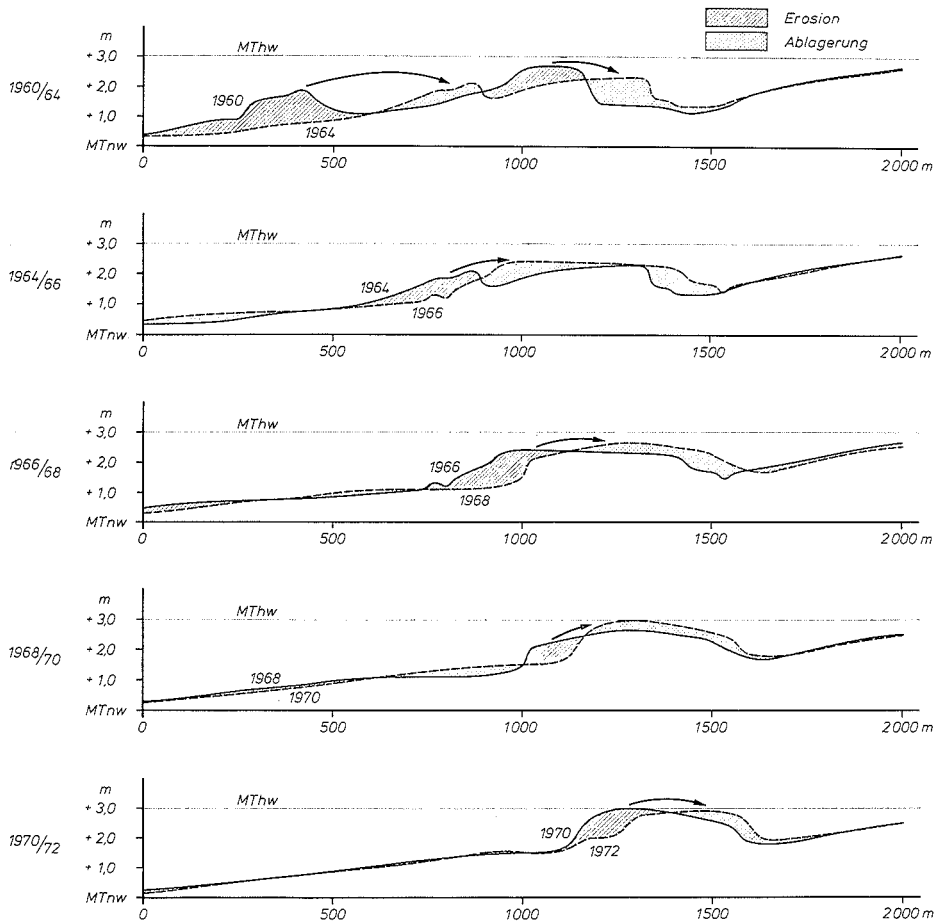


Abb. 8. Veränderung der Brandungsbänke vor Scharhörn in einer Profildarstellung. (Lage des Profils s. Abb. 13)

oder „Auflaufens“ wirksam wird. Die sehr viel schneller wandernde Bank I hat sich praktisch bereits um 1968 mit Bank II vereinigt. Diese inzwischen recht ausgedehnte Struktur nähert sich stetig der z. Z. nur noch langsam zurückweichenden westlichen Flanke der Plate von Scharhörn und wird sich wahrscheinlich in absehbarer Zeit dieser anlagern.

3.3. Hydrodynamische Einflüsse und Sandtransport

Tideströmungen, Orbitalströmungen, Brandungsströmungen und Triftströmungen sowie bei trockenliegender Sohle unmittelbar der Wind beeinflussen die Sandbänke in den

Randwattgebieten zeitlich und räumlich mit wechselnder Intensität. Die Zusammenhänge und Wechselbeziehungen sind außerordentlich kompliziert und lassen sich größtenteils nur qualitativ erfassen. Es stellt sich vor allem die Frage, welche der genannten Einflußfaktoren dominierend sind.

Die Strömungen normaler, nicht durch Wind beeinflusster Gezeiten sind für die Morphologie der Sandbänke kaum von Einfluß. Dies läßt sich bereits aus der Sedimentstruktur folgern und geht außerdem aus verschiedenen Untersuchungen hervor, die diesbezüglich im Raum Scharhörn und auch an anderen Stellen durchgeführt worden sind. Es wird durch die nachfolgend beschriebenen Strombeobachtungen erneut bestätigt.

Seegang und Brandung sind hingegen von entscheidender Bedeutung, da bei auflandigen Starkwinden und erhöhten Wasserständen die aus der Nordsee anlaufenden Wind- und Dünungswellen hauptsächlich in den Randwatten und auch an den Rändern der Sand-

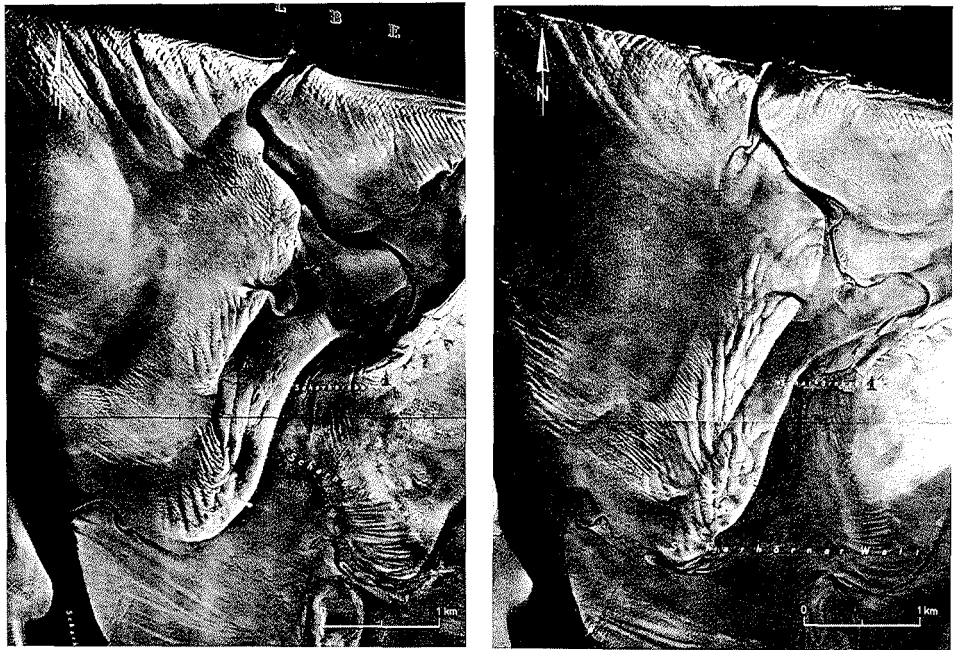


Abb. 9. Brandungsbänke im Watt westlich von Scharhörn in Luftbildaufnahmen. – Links: 1957, Aufnahme durch Plan und Karte, Münster, im Auftrage der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg; Freigabe Reg.Präs. Münster, 13. 9. 57, 616. – Rechts: 1965, Aufnahme durch Hansa-Luftbild, Münster, im Auftrage des Vermessungsamtes Hamburg; Freigabe Reg.Präs. Münster, 2. 11. 65, 3127

bänke ihre Energie abgeben. In den Randwattgebieten mit sehr flacher Neigung kommt es dabei zu einer Art Flächenbrandung, an den Flanken der Sandbänke zu einer linienförmigen Brandung mit Wellenrefraktion und entsprechenden küstenparallelen Brandungsströmungen (vgl. SIEFERT, 1969, S. 37 ff.). Abbildung 12 enthält eine Luftbild-Senkrechtaufnahme des Gebietes um Scharhörn während einer leichten Sturmflut und zeigt dieses anschaulich. Die Sandbank südwestlich der hohen Plate, die in Abschnitt 3.2. beschrieben wurde, liegt unter Wasser, ist jedoch an der Konzentration von Brandungswellen auf ihrem Rücken zu erkennen. Die hohe Plate von Scharhörn ist ebenfalls untergetaucht, je-

doch ist hier (bei nur geringen Wassertiefen) im Luftbild kein Seegang mehr auszumachen. Dagegen ist an der seeseitigen Flanke die klassische Brecherzone ausgebildet.

Die Brandungstätigkeit ist ohne Zweifel Ursache der auftretenden Erosionen. Interessant ist dabei die Frage, in welcher Richtung das erodierte Material vorwiegend transportiert wird. Aus der Verlagerungsrichtung der Bänke muß geschlossen werden, daß es hauptsächlich aus der Erosionszone an der seeseitigen Flanke über den Platenrücken hin-

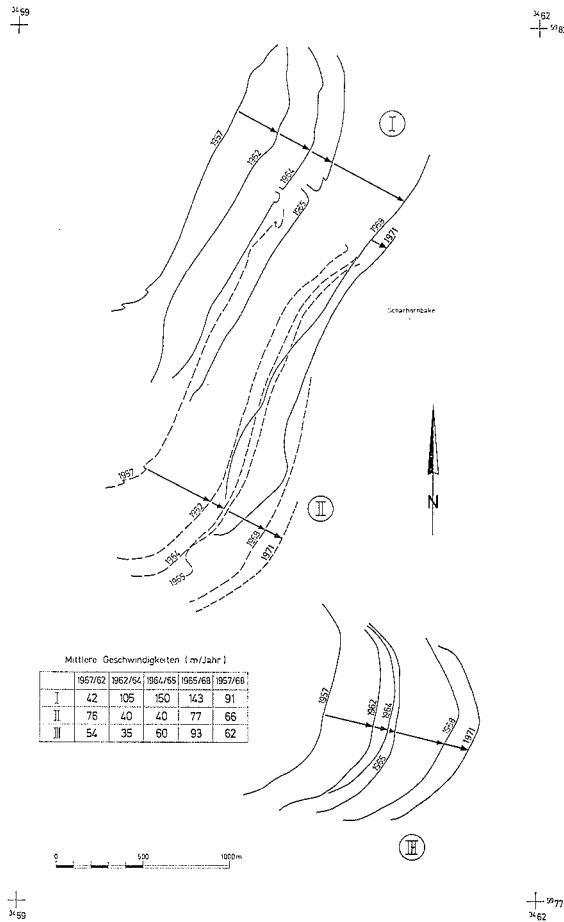


Abb. 10. Lage der Kammlinien der Brandungsbänke westlich von Scharhorn in verschiedenen Luftbilddaufnahmen seit 1957. Nach GÖHREN (1970, Abb. 45)

weg verfrachtet wird, also nicht strandparallel als „longshore drift“, wie am klassischen Brandungsstrand. Um dieses zu untersuchen, sind im Jahre 1973 in dem in Abbildung 13 dargestellten Profil vier Wattdauerstrom-Meßgeräte (Meßhöhe über Grund ca. 0,4 m) aufgestellt und über längere Zeit betrieben worden. Dabei gelang es, zahlreiche Starkwindtiden und insbesondere drei im November 1973 eingetretene Sturmfluten zu erfassen. Aus der Fülle dieses Beobachtungsmaterials sind die wichtigsten Ergebnisse in Abbildung 14 bis Abbildung 16 dargestellt. Abbildung 14 gibt einen Vergleich synoptischer Messungen über 12 Tage an den Stationen 12 und 13, also auf dem Rücken der vorgelager-

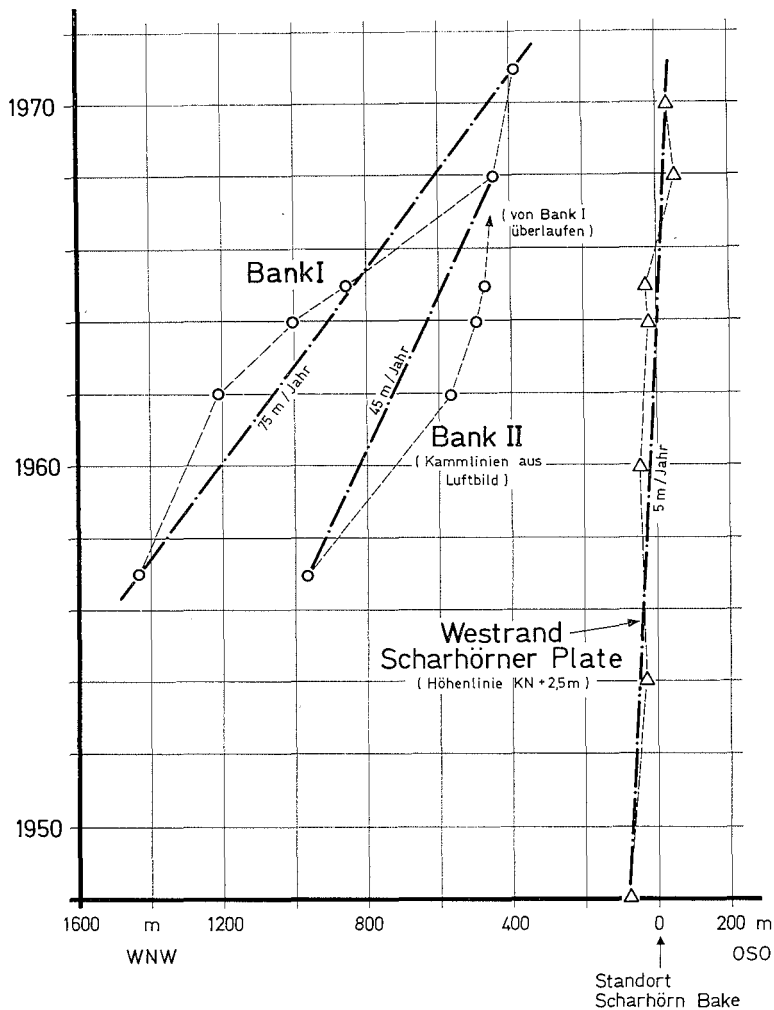


Abb. 11. Zeit-Weg-Diagramm der Bewegung der Brandungsbänke vor Scharhörn, ermittelt aus Luftbildaufnahmen

ten Bank und im Watt seawärts davon. Abbildung 15 enthält eine Zusammenstellung der V_{max} bei mittlerer Tide und bei einer Reihe ausgewählter Starkwind- und Sturmzeiten. In Abbildung 16 schließlich sind für die Sturmfluten vom 13. 11. und vom 16. 11. sowie deren Vortiden die an jeweils 3 Stationen gemessenen synoptischen Geschwindigkeiten in Ganglinienform aufgetragen.

Unter Verzicht auf eine ausführliche Diskussion dieser Ergebnisse läßt sich folgendes zusammenfassend aussagen:

- Die mittleren Tideströmungen (ohne Windeinfluß) vor der äußeren Sandbank und auch in der Rinne zwischen dieser Bank und der hohen Plate sind nur von geringer Intensität. (Auf den Rücken beider Bänke sind sie gleich Null.)
- Bei Starkwindtiden mit Windrichtungen aus Südwest bis Nordwest nehmen die Stromgeschwindigkeiten an allen Stationen zu, wobei die Richtungen Ost und Nordost vorherrschen. Die V_{max} sind an Pos. 12, also auf der vorgelagerten Bank, höher als an den anderen Stationen.



Abb. 12. Luftbild von Scharhörn während einer leichten Sturmflut am 14. 3. 1968. Starke Brandung am Nordwestrand der Scharhörner Plate und im westlich vorgelagerten Watt. Aufnahme durch Vermessungsbüro Rüpke, Hamburg; Freigabe durch Luftamt Hamburg, Nr. 1250/71

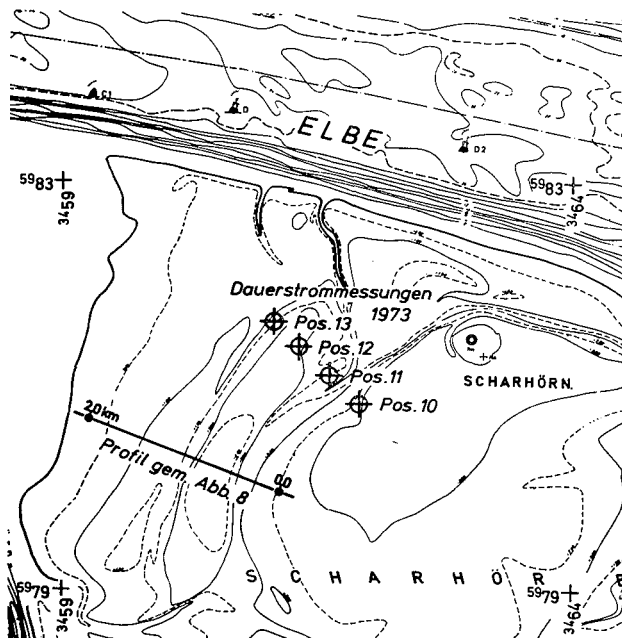


Abb. 13. Lageplan des Wattgebietes um Scharhörn mit Strömungsmesspositionen (vgl. Abb. 18 bis 20) und Darstellung des Profilschnitts in Abb. 10

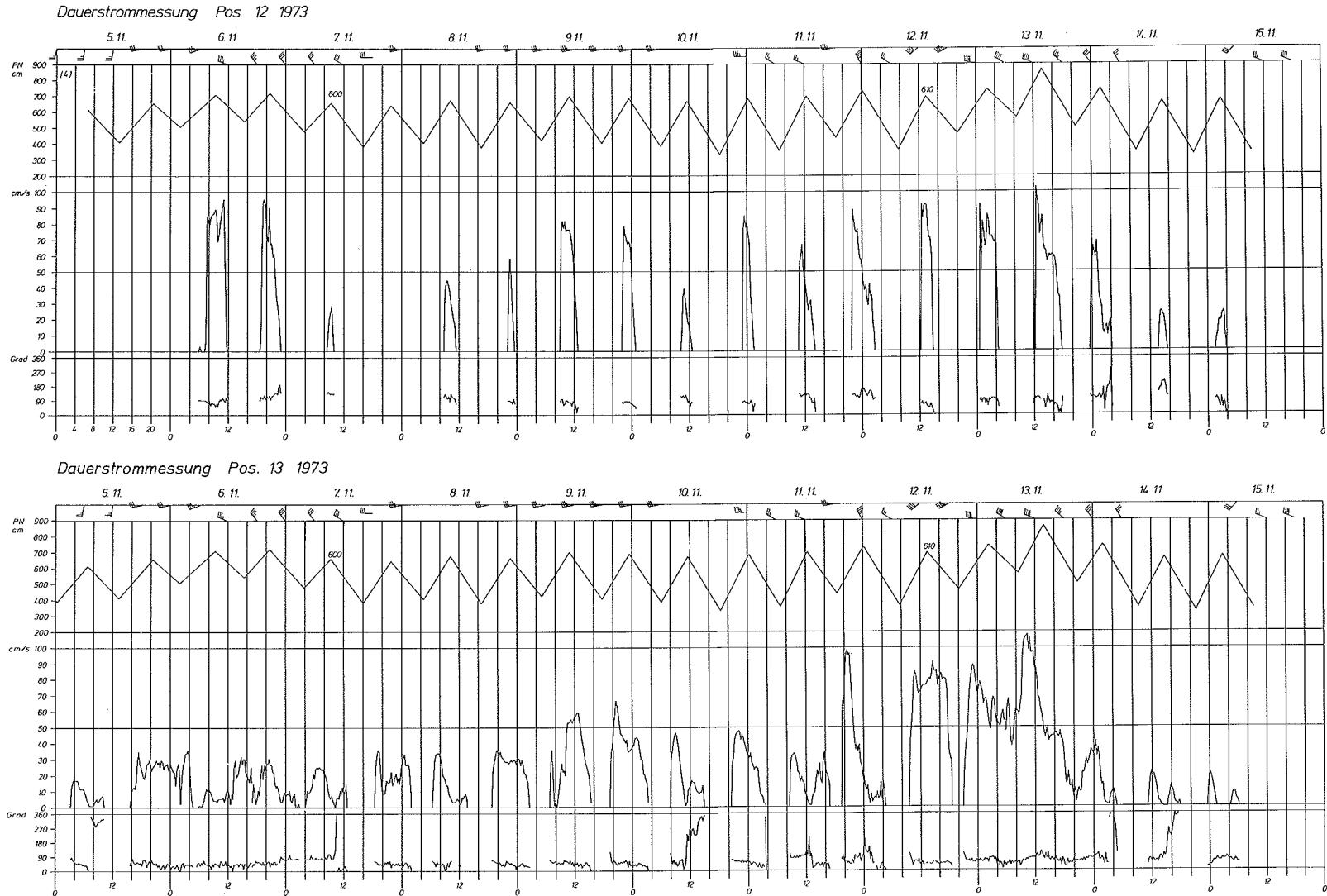


Abb. 14. Ganglinien der Dauerstrommessungen 12 und 13 vom 5. bis 15. 11. 1973 (mit Sturmflut vom 13. 11. 1973). Lage der Stationen s. Abb. 17

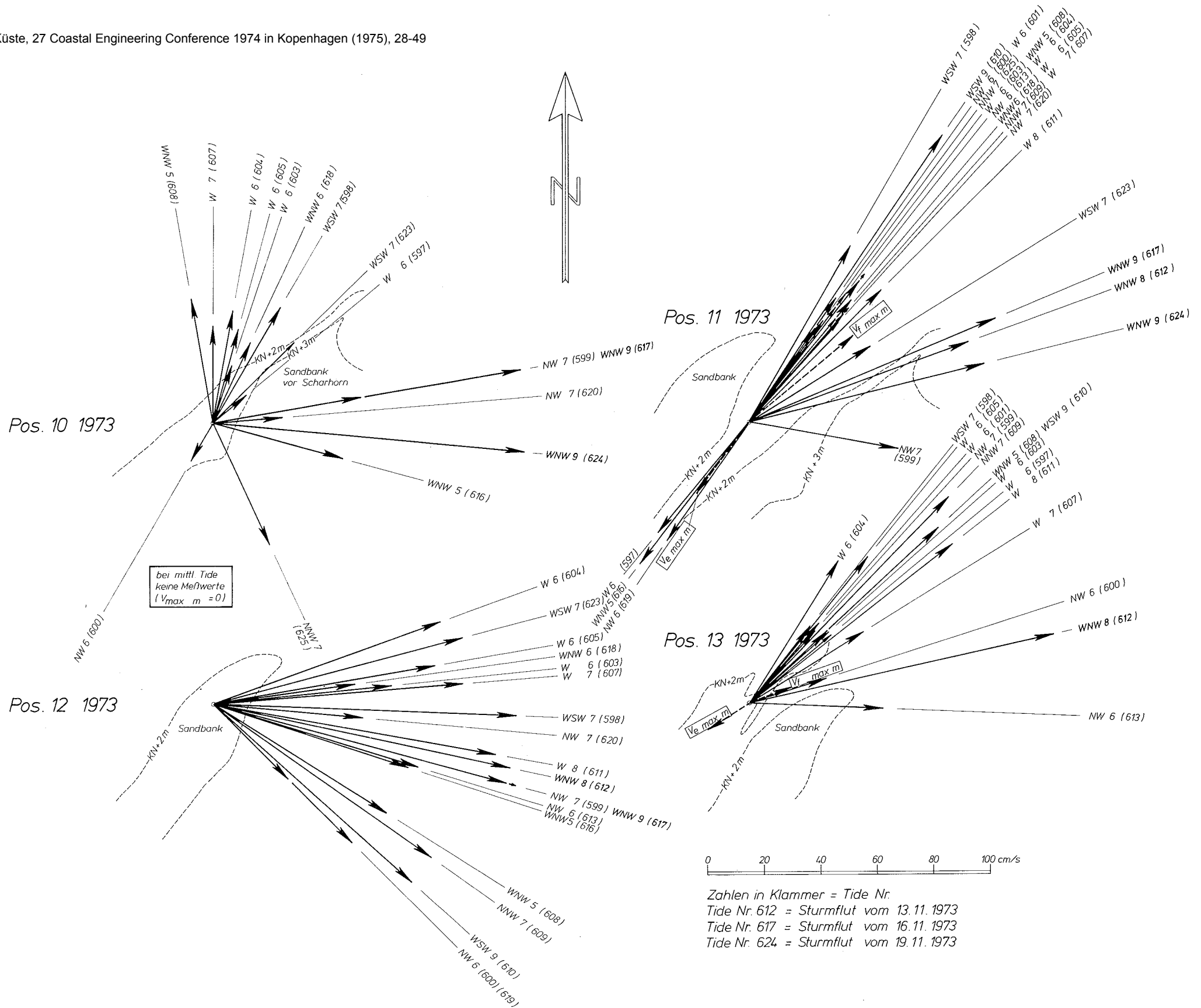


Abb. 15. Maximale Stromgeschwindigkeiten an den Stationen 10 bis 13 (vgl. Abb. 17). Meßhöhe über Sohle ca. 0,4 m

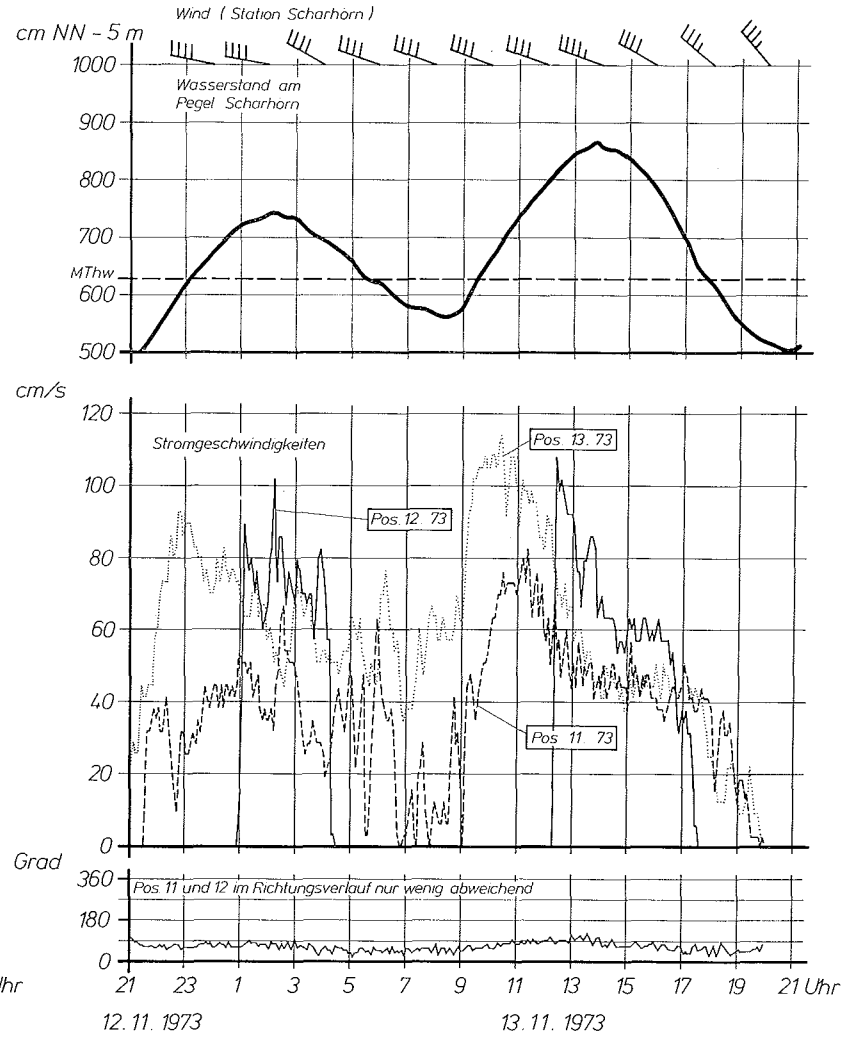
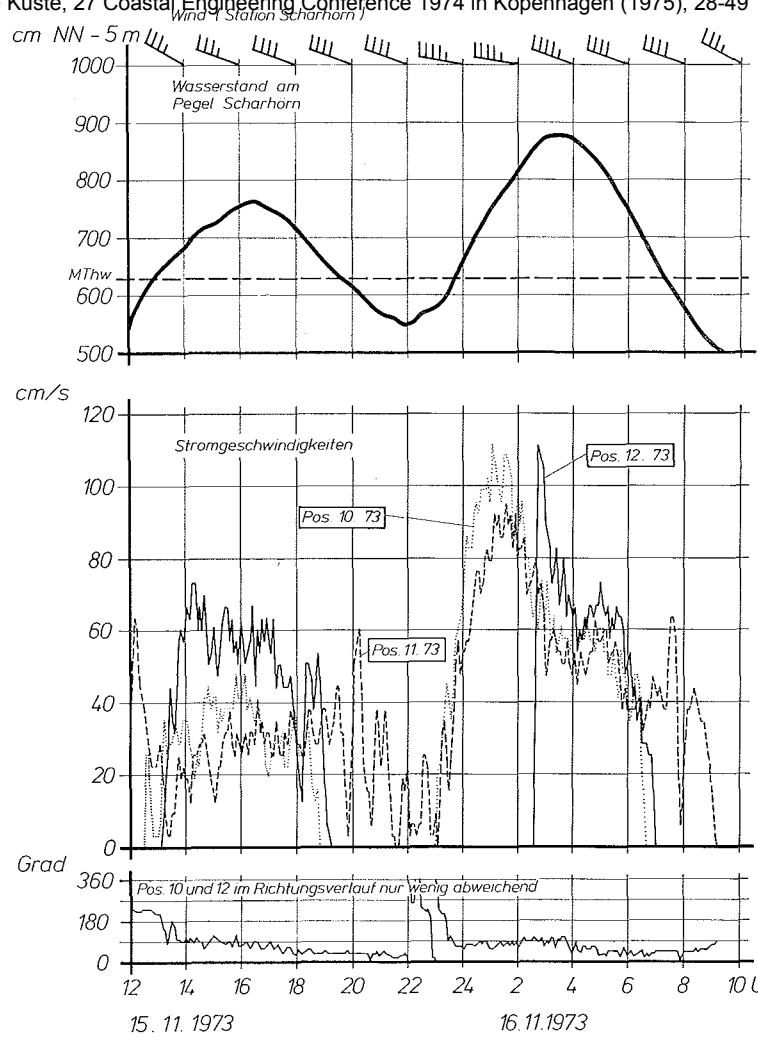


Abb. 16. Synoptischer Strömungsverlauf an den Stationen 10 bis 13 (s. Abb. 17) während der Sturmfluten vom 13. 11. und 16. 11. 1973

- Die Strömungen auf der Sandbank (Pos. 12) und auch auf der Scharhörner Plate (Pos. 10) sind mehr östlich gerichtet, also etwa senkrecht zur Achse, während an Station 11 und 13 bei auflandigem Wind eine nordöstliche, mehr uferparallele Strömung vorherrscht.
- Bei Sturmfluten werden Stromgeschwindigkeiten von 100 cm/s und mehr erreicht. Dabei tritt - unabhängig vom Steigen oder Fallen des Wasserspiegels - nur noch eine landwärts gerichtete Strömung auf.

Nach diesen Strombeobachtungen werden die Sandbänke nur bei erhöhten Wasserständen und auflandigem Wind überströmt, und zwar in einer Richtung, welche mit der Fortschrittsrichtung der Bänke identisch ist. Die Verlagerung ist demnach hauptsächlich Folge einer Materialüberschüttung von der unter Erosion stehenden Luvseite auf die Lee-seite. Eine Abnahme der Transportintensitäten von der Erosions- zur Sedimentationszone, welche die Aufnahme und nachfolgende Ablagerung von Sedimenten erklärt, ist in Abbildung 15 und Abbildung 16 nachzuweisen. Hierbei sind aber noch die in den Messungen nicht erfaßten höherfrequenten Orbitalströmungen zu berücksichtigen, die in jedem Fall auf der exponierten Luvseite zu einer Verstärkung des Materialtransportes führen dürften.

Auf die physikalischen Ursachen des beschriebenen Strömungssystems soll hier nicht näher eingegangen werden. Eine genauere theoretische Analyse erscheint kaum möglich, da sich mehrere Faktoren überlagern:

- Strömung infolge unmittelbarer Windschubspannung an der Wasseroberfläche (Triftströmung).
- Strömung infolge Wellen- und Brandungsstau.
- Gefälleströmung im Zusammenhang mit den zeitlich veränderlichen Wasserspiegelneigungen der einlaufenden Windstauwelle.

Die festgestellten Seegangs- und Strömungsverhältnisse geben auch eine hinreichende Erklärung für die vorhandene Sedimentverteilung. Die Kornvergrößerung, die bereits an den seeseitigen Böschungen der Sandbänke einsetzt (vgl. LINKE, 1969, S. 64 ff.) und die sich bis auf deren Rücken erstreckt, läßt sich als Brandungssortierung erklären. Die abnehmenden mittleren Korndurchmesser zur Leeseite der Bänke hin sind Folge einer Sortierung bei dem über den Rücken in östlicher Richtung hinwegsetzenden Materialtransport.

In welchem Maße bei diesen Prozessen noch der äolische Sandtransport beteiligt ist, ist nicht sicher anzugeben. Nach Auffassung des Verfassers spielt der Sandflug sowohl bei der Entstehung als auch bei der Veränderung der Sandbänke nur eine sekundäre Rolle; er gewinnt z. B. erst dann Bedeutung, wenn sich infolge der anderen genannten Effekte ausgedehnte und genügend hohe Sandflächen gebildet haben. Für das Gebiet von Scharhörner gibt es dafür ein wichtiges Indiz: Sowohl die Profilform der Bänke als auch die Verlagerungsrichtung und die Sedimentverteilung sprechen für einen Sandtransport in östlicher Richtung. Sandflug dagegen tritt hauptsächlich bei östlichen (ablandigen) Winden auf, weil sie die Wasserstände erniedrigen und die hochliegenden Sandflächen austrocknen. Bei auflandigen Starkwinden und den damit verbundenen höheren Wasserständen kommt es dagegen auf den nur kurzzeitig freiwerdenden, durchfeuchteten Platen wesentlich seltener zu intensiven Sandverwehungen. Die Orientierung des Dünenanwuchses auf Scharhörner (vgl. Abb. 5) ist ein unmittelbarer Beweis dafür (GISZAS, 1970).

4. Zusammenfassende Betrachtung und Schlußfolgerungen

Die in den vorigen Abschnitten behandelten Beobachtungsergebnisse und angestellten Betrachtungen ergeben einige neue oder doch erweiterte Aspekte zur Entstehung und Formung der hochliegenden Sandbänke in den Außenwattgebieten der inneren Deutschen Bucht.

Zunächst sei noch einmal das Phänomen der schnell wandernden Brandungsbänke herausgestellt. Im Primärstadium handelt es sich um riffartige Strukturen, welche in der Brandungszone des Randwatts entstehen und zu ihrem Aufbau sowie zu ihrer weiteren Entwicklung eine von See kommende Sandzufuhr erfordern. Wegen des Fehlens einer festen Uferlinie auf ihrer Leeseite und der Überströmung und Materialüberschüttung bei

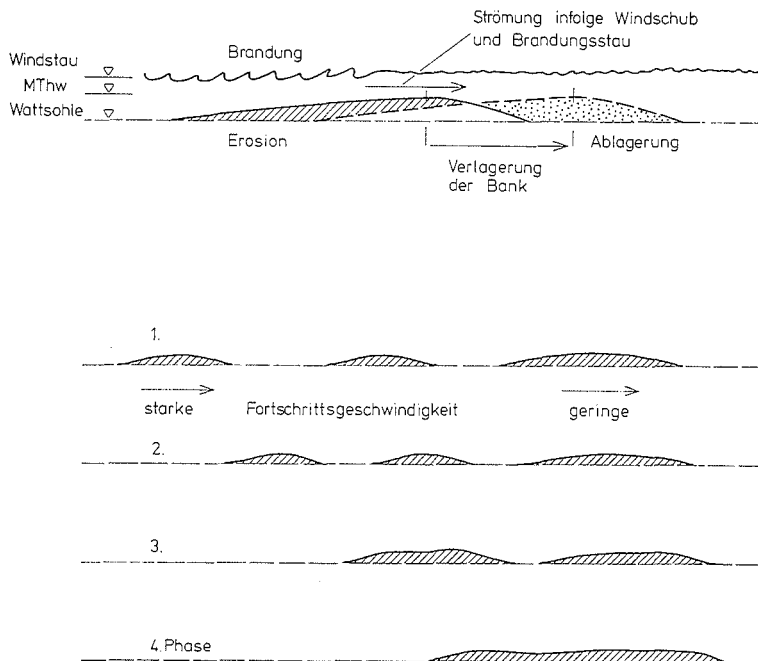


Abb. 17. Verlagerung und Zusammenschluß brandungsbeeinflusster Sandbänke in Außenwattgebieten als Bildungsmechanismus größerer inselartiger Platten (schematisch)

auflandigen Starkwinden wandern diese Strukturen mit bemerkenswert hoher Geschwindigkeit küstenwärts. Daß sie bei diesem Prozeß nicht zerstört werden, sondern stabil bleiben oder gar wachsen, erfordert – wie schon bemerkt – zweifellos einen ständigen Materialüberschuß.

Beim Vordringen der Bänke kommt es zu einer Verlangsamung der Bewegung, einerseits wegen der küstenwärts abnehmenden Seegangenergie, andererseits dann, wenn luvseitig neue gleichartige Gebilde entstehen und zusätzlichen Schutz geben. Dieser Effekt der abnehmenden Verlagerungsgeschwindigkeit, der bei den Außensänden vor Scharhörn eindeutig nachgewiesen werden konnte, führt nun zu einem „Aufeinanderlaufen“ und „Verschmelzen“ der kleineren Strukturen und damit zur Bildung größerer, zusammenhängender Sandbankkomplexe. In Abbildung 17 ist dies schematisch dargestellt. Es ist ein

ähnlicher physikalischer Vorgang, wie ihn FÜHRBÖTER (1967) für die Morphologie der Strömungsriffel angegeben hat.

Der beschriebene morphologische Prozeß liefert eine Erklärung sowohl für die große Ausdehnung der hohen Sandplate von Scharhörn sowie der ihr ähnlichen benachbarten Platen als auch für deren zumindest säkular nachzuweisende Stabilität in den exponierten Randwattgebieten. Ein langfristiger Bestand dieser großen Sandinseln bei der permanenten Erosion ihrer seeseitigen Flanken scheint nur durch eine periodische Entstehung neuer Sandakkumulationen möglich. Bleibt diese Versorgung aus, so müssen die Sandbänke zwangsläufig immer weiter auf das Watt getrieben werden, um dort schließlich aufgerieben oder aber bei zunehmendem Schutz gegen Brandungserosion stationär zu werden und Keimzellen für anderslaufende Prozesse der Inselbildung zu sein. In diesem Zusammenhang sei auf eine spekulative Betrachtung HOMMERS (1969, S. 80) hingewiesen, der Neuwerk als Endstation der Verlagerung der Sandplatten von Scharhörn betrachtet. Auf diese Problematik soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

Es stellt sich die Frage, ob sich nicht ähnliche Vorgänge, wie sie zur Zeit vor Scharhörn zu beobachten sind, innerhalb der mehrere Jahrhunderte zu übersehenden Entwicklung nachweisen lassen müßten. Hierbei ist zunächst folgendes zu berücksichtigen: Zuverlässige Aufnahmen der unzugänglichen Außenwattzonen der inneren Deutschen Bucht sind aus dem vorigen Jahrhundert nur sporadisch vorhanden. Aber auch bis in die Gegenwart hinein sind nur selten und unregelmäßig Vermessungen durchgeführt worden. Der Zyklus der Entstehung, Verlagerung und Anlagerung neuer Brandungsbänke an eine große Sandplate lief bei Scharhörn in einem Zeitraum von rund 30 Jahren ab, wenn man davon ausgeht, daß dieser Prozeß etwa um 1980 abgeschlossen sein wird. Nur durch die sehr dichten terrestrischen und luftbildmäßigen Aufnahmen der beiden vergangenen Jahrzehnte sind diese bedeutsamen Vorgänge überhaupt bemerkt und quantitativ erfaßt worden. Man kann also davon ausgehen, daß ähnliche Erscheinungen, die sich hier wie auch vor Mellum, Knechtsand und Trischen in den vergangenen Jahrhunderten abgespielt haben mögen, kaum bemerkt worden sind. Aus der Sicht des Geschehens bei Scharhörn finden sich im übrigen einige Indizien dafür, daß schnell wandernde Brandungsbänke auch in den anderen Regionen aufgetreten sind. So gibt z. B. SCHÄFER (1941, S. 88) folgendes an: „Die Fläche der Alten Mellum wird im Westen und Nordwesten gegen die Jade durch ein von Nord nach Süd ziehendes Sandriff begrenzt, das sich auf seiner ganzen Breite auf den Strand schiebt. LANG (1970, S. 125) zitiert mehrere Quellen, aus denen belegt werden kann, daß der Standort der 1661 errichteten Scharhörnbake einen mehrfachen Wechsel zwischen hoher Sandplate und normaler Wattlage erfahren hat. Der in Abb. 3 dargestellte Ausschnitt der Karte WOLTMANNs aus dem Jahre 1825 zeigt südwestlich des Knechtsandes drei längliche Strukturen, als „Riffe“ bezeichnet, die auf dem Watt liegen und in ihrer Längenausdehnung wie auch in ihrer Lage zueinander dem oben beschriebenen System der Sandbänke vor Scharhörn durchaus ähnlich sind. Für den Knechtsand läßt sich außerdem aus neueren Luftaufnahmen eine gleichartig verlaufende Sandbankverlagerung nachweisen (NEWTON und WERNER, 1969, Abb. 8). Die Entwicklung Trischens gibt schließlich in ihrer Dreiteilung, die eine Karte ABENDROTHs aus dem Jahre 1846 festhält, ein besonders eindrucksvolles Beispiel für das System wandernder Sandbänke. WOHLBERG (1950, S. 165) bemerkt in einem Kartenvergleich: „Wir stellen fest, daß der mittlere Sand im Zunehmen, die beiden anderen Sände, der Boschsand-Polln im Westen und der Riesensand im Osten, dagegen im Abnehmen begriffen sind. Boschsand-Polln, nur noch als schmales Band erkennbar, ist außerdem im Begriff, sich dem mittleren der drei Sände, dem Boschsand, anzulagern.“

5. Schriftenverzeichnis

- DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums. Westküste, I, 2, 1938.
- FÜHRBÖTER, A.: Zur Mechanik der Strömungsriffel. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Technischen Hochschule Hannover, H. 29, 1967.
- GELLERT, J. F.: Das Außenelbewatt zwischen Cuxhaven-Duhnen und Scharhörn. Ergebnisse einer geologisch-morphologischen Kartierung. Petermanns Geogr. Mitt., Jg. 96, 1952.
- GIERLOFF-EMDEN, H. G.: Luftbild und Küstengeographie am Beispiel der deutschen Nordseeküste. Schriftenfolge des Instituts für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg, Heft 4, 1961.
- GISZAS, H.: Beitrag zur Frage des Sandtransportes durch Wind – Messungen im Gebiet um Scharhörn (Elbe) –. Hamburger Küstenforschung, H. 16, 1970.
- GÖHREN, H.: Die Strömungsverhältnisse im Elbmündungsgebiet. Hamburger Küstenforschung, H. 6, 1969.
- GÖHREN, H.: Studien zur morphologischen Entwicklung des Elbmündungsgebietes. Hamburger Küstenforschung, H. 14, 1970.
- GÖHREN, H.: Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. Hamburger Küstenforschung, H. 19, 1971.
- GÖHREN, H.: Dynamics and Morphology of Sand Banks in the Surf Zone of Outer Tidal Flats. Proc. 14. Int. Conf. on Coast. Eng., Copenhagen, 1975.
- GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Archiv Dt. Seewarte und Marineobservatorium, Bd. 63, Nr. 2, Hamburg 1944.
- HOMMEIER, H.: Das Wurster Watt – Eine historisch morphologische Untersuchung der Küsten- und Wattgebiete von der Weser- bis zur Elbemündung. Jahresbericht der Forschungsstelle Norderney 1967, Bd. XIX, 1969.
- KRAMER, J.: Natürliche Entwicklung des Großen Knechtsandes und seine Bedeutung für den Küstenschutz. Jahresbericht der Forschungsstelle Norderney, 1960, Bd. XII, 1961.
- LANG, A. W.: Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung des südlichen Elbe-Ästuars von 1560 bis 1960. Hamburger Küstenforschung, H. 12, 1970.
- LANG, A. W.: Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung des Dithmarscher Watts von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zur Gegenwart. Hamburger Küstenforschung, H. 31, 1975.
- LAUCHT, H.: Ursachen und Ziele der Hamburger Küstenforschung an der Elbmündung. Hamburger Küstenforschung, H. 1, 1968.
- LINKE, G.: Die Entstehung der Insel Scharhörn und ihre Bedeutung für die Überlegungen zur Sandbewegung in der Deutschen Bucht. Hamburger Küstenforschung, H. 11, 1969.
- LINKE, G.: Über die geologischen Verhältnisse im Gebiet Neuwerk/Scharhörn. Hamburger Küstenforschung, H. 17, 1970.
- NEWTON, R. S., WERNER, F.: Luftbildanalyse und Sedimentgefüge als Hilfsmittel für das Sandtransportproblem im Wattgebiet vor Cuxhaven. Hamburger Küstenforschung, H. 8, 1969.
- SCHÄFER, W.: Mellum, eine Düneninsel der deutschen Nordseeküste. Abhand. d. Senckenbg. Naturforsch. Ges., 457, 1941.
- SIEFERT, W.: Seegangsbestimmungen mit Radar und nach Luftbildern. Hamburger Küstenforschung, H. 7, 1969.
- SIMON, W. G.: Sedimentpetrographische Kartierung des Neuwerker Watts im Sommer 1952. Die Küste, Jahrgang 6, Heft 2, 1957.
- WETZEL, W.: Trischen, eine Studie zur Geologie der Gegenwart. Nordelbingen, 3. Bd., 1924.
- WIELAND, P.: Untersuchung zur geomorphologischen Entwicklungstendenz des Außensandes Blauort. Die Küste, H. 23, 1972.
- WOHLEBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. – Mitt. Geogr. Ges. Hamburg, Bd. XLIX, 1950.
- WRAGE, W.: Das Wattenmeer zwischen Trischen und Friedrichskoog. Arch. Dt. Seewarte 48, 1930.