

Die Abbruchursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt

Aus einer Denkschrift von 1939¹⁾

Von Claus Hundt

Inhalt

I.	Das Untersuchungsgebiet und die Aufgabenstellung	5
II.	Erdgeschichtlicher Aufbau Nord-Sylts	5
III.	Bisherige Veränderungen der Ellenbogenküste und des umgebenden Seegebietes	7
	1. Strandverlagerung	8
	2. Seetiefenänderung	10
	a) Jetzige Gestalt des Seegrundes	10
	b) Veränderung des Seegrundes	12
IV.	Die verändernden Kräfte	14
	1. Wind	14
	2. Gezeiten	15
	a) Wasserstand	15
	b) Strömung	16
V.	Auswirkung der verändernden Kräfte	23
	1. Sandwanderung	23
	a) Stromdrift	23
	b) Strandversatz	26
	2. Veränderung der Seegrund- und Küstengestalt	27
VI.	Die künftige Küstenentwicklung am Ellenbogen	32
VII.	Nachwort 1958	36
VIII.	Schriftenverzeichnis	37

¹⁾ Gekürzter, in Einzelheiten überarbeiteter, sachlich unveränderter Abdruck einer amtlichen Denkschrift an den derzeitigen Oberpräsidenten in Kiel, aufgestellt von der Forschungsabteilung — Forschungsgruppe Sylt — des Marschenbauamts Husum am 15. August 1939.

Die Denkschrift behandelt ein Zwischenergebnis von Untersuchungen, die seit 1936 im Rahmen der sogenannten Westküstenforschung (vgl. Aufsatz LORENZEN in „Westküste“ I, 1, 1938) über die Ursachen des ständigen Schwindens der Insel Sylt und über Möglichkeiten ihrer Sicherung angesetzt waren. Bis 1939 konzentrierten sich diese Untersuchungen auf die Strecke des stärksten Abbruchs an der Insel überhaupt, auf die Nordwestecke des Ellenbogens. Das küstenmorphologische und bautechnische Problem der Sicherung der Gesamtinsel war weiterführenden Arbeiten zugeordnet, mußte jedoch bei Kriegsausbruch zurückgestellt werden. 1952 bis 1955 von neuem aufgegriffen, konnten die Abbruchvorgänge auf der damals besonders zurückbrechenden mittleren Küstenstrecke beiderseits Westerland der Klärung nähergebracht werden, insbesondere auch das umstrittene Verhalten von Buhnen- und Deckwerksystemen (vgl. Aufsatz LAMPRECHT in diesem Heft). Insofern bildet die vorliegende Denkschrift lediglich den ersten Schritt zur Erkenntnis der Gesamtfrage Sylt. Die letzten Schritte sind auch heute noch ungetan.

Besonderen Dank für Anleitung und Mithilfe schuldet der Verfasser seinen damaligen Vorgesetzten, dem verstorbenen derzeitigen Leiter der Forschungsabteilung Husum, Herrn Oberregierungsbaurat H. SCHELLING und dem derzeitigen Leiter der Zentralstelle Westküste in Kiel, dem jetzigen Präsidenten der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Herrn J. M. LORENZEN. Auf die Problemstellungen und die Untersuchungsverfahren haben die damals bekanntgewordenen küstenmorphologischen Arbeiten von GAYE und WALTHER über Norderney, von KRÜGER und LÜDERS über die Jademündung und von VAN VEEN über das Seegebiet der Hoofden entscheidenden Einfluß gehabt. Das derzeitige Marineobservatorium Wilhelmshaven unter Leitung von Herrn Dr. RAUSCHELBACH war an der Durchführung und Auswertung der umfangreichen Strommessungen maßgebend beteiligt.

I. Das Untersuchungsgebiet und die Aufgabenstellung

Der Bestand der Insel Sylt ist durch einen fortschreitenden Abbruch ihrer Westküste gefährdet. Er ist zwar seit langem bekannt, von seinen Ursachen fehlte aber bisher eine ausreichende Kenntnis. Die Forschungsabteilung des Marschenbauamts Husum wurde daher 1936 mit der Durchführung von Untersuchungen über die Ursachen des Küstenrückgangs beauftragt, um damit Unterlagen für einen wirksamen Küstenschutz zu schaffen.

Die Aufgabe der vorliegenden Denkschrift ist es, Richtlinien für die Sicherung derjenigen Küstenstrecke zu vermitteln, die in jüngster Zeit unter dem Angriff des Meeres am stärksten gelitten hat und die deshalb sofortige Schutzmaßnahmen verlangt. Dies ist das Gebiet des nordwestlichen Ellenbogens, der nördlichsten Spitze der Insel Sylt. Schon im Jahre 1928 war bei einer Sturmflut der Dünengürtel südlich vom Huk²⁾ an der schmalsten Stelle zwischen dem Königshafen und der Nordsee überströmt und das Ellenbogensgebiet dadurch für Stunden von der übrigen Insel abgeschnitten worden. Der zunehmende Küstenabbruch auch nördlich dieser Küstenstrecke, besonders durch die Sturmfluten vom Herbst 1936 verursacht, gab 1938 Veranlassung zum Bau eines Uferdeckwerks (LÜPKES u. SIEMENS, 1940).

Seit 1865 hat die Preussische Staatsverwaltung mit erheblichen Mitteln versucht, den Abbruch des Weststrandes der Insel Sylt durch den Bau von Stein- und später Eisenbuhnen, sowie der Uferschutzmauer vor Westerland aufzuhalten. Die letzten großen Sturmfluten auf Sylt haben jedoch gezeigt, daß kurze Querwerke allein nicht in der Lage sind, die der Brandung stark ausgesetzte Küste am nordwestlichen Ellenbogen ausreichend zu schützen. Hier wurde daher der Bau des schweren Deckwerks sofort notwendig.

Zur Abschätzung der Wirkung von Küstenschutzbauwerken bedarf es Untersuchungen, die sich nicht nur auf den sichtbaren Strandabbruch beschränken, sondern auf das angrenzende Seegebiet der Küste ausgedehnt werden. Neben der Erforschung des erdgeschichtlichen Aufbaues des Untersuchungsgebietes und seiner Veränderungen während der jüngsten Vergangenheit war es demnach vor allem erforderlich, die zur Zeit im Seebereich vor der Ellenbogenküste wirkenden Kräfte zu ermitteln, um hieraus die bisherige und zukünftige Entwicklung der Küste von Nord-Sylt abzuleiten.

II. Erdgeschichtlicher Aufbau Nord-Sylts

Insbesondere auf der nördlichen Hälfte der Insel Sylt sind der geologische Aufbau und die erdgeschichtliche Entstehung dieses Inselteils in den Jahren 1937/38 im Auftrage des Oberpräsidenten Schleswig-Holsteins durch Bohrungen eingehend untersucht worden (GRIPP u. SIMON, 1940; GRIPP u. BECKER, 1940).

Nördlich von Kliffende bilden danach nicht, wie bisher angenommen, tertiäre und diluviale Kerne den Untergrund, sondern dort liegt ein großes diluviales Ausräumungsbecken, das mit jungdiluvialen und alluvialen Absätzen ausgefüllt ist. Diese Beckenausfüllung wird vor dem Weststrand Listlands in gleicher Weise abgetragen wie der Geestkern der Insel am Roten Kliff.

Der ganze Lister Dünenzug ist ein junger, nur wenig älteren Absätzen aufgelagerter Stromhaken, der einseitig von dem Landkern bei Kliffende aus von den Meeres- und Windkräften vorgebaut wird. Seine Westkante bleibt stets in gleicher Linie mit dem ostwärts zurücktretenden Abbruchufer des Geestkerns. Er unterliegt also selbst wieder dem Abbruch im Westen, während er beständig nach Norden vorgebaut wird (vgl. Abb. 2).

²⁾ Der Übersichtsplan (Abb. 1) enthält die im folgenden verwandten Bezeichnungen der Inselteile, Sände und Seegebiete.

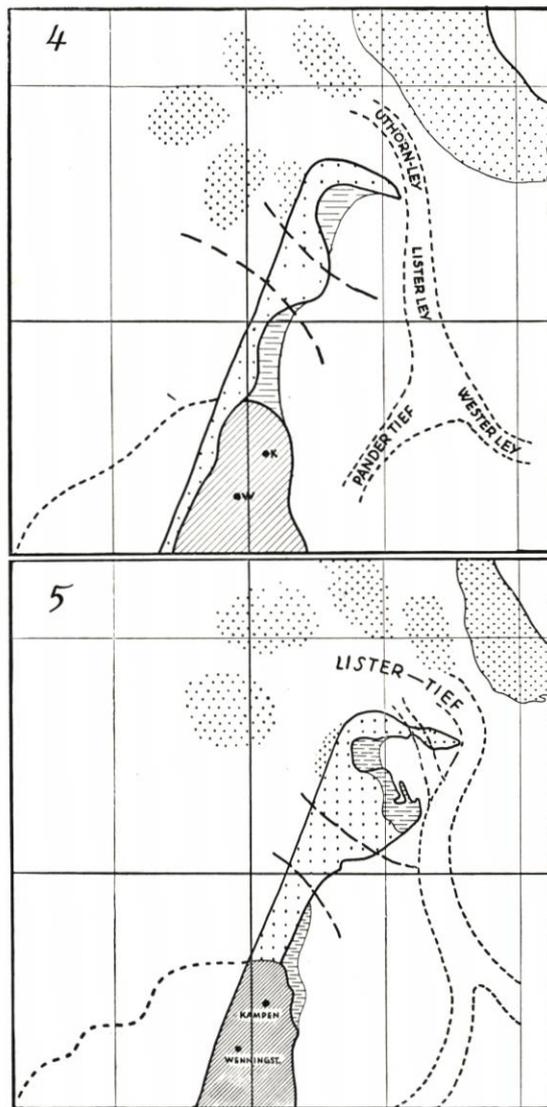
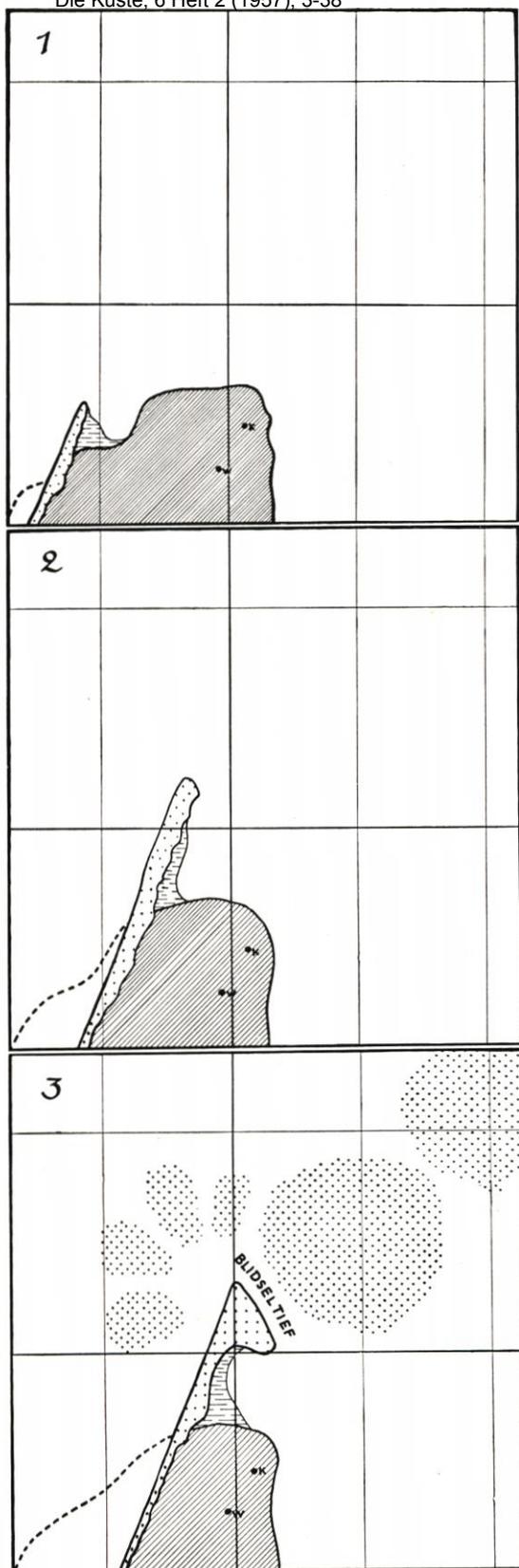


Abb. 2. Schema der Entwicklung des Listland-Hakens
(aus GRIPP u. SIMON, 1940)

Der Ellenbogen ist ebenfalls ein dem Listland-Haken nach Osten angegliederter sekundärer Stromhaken.

Die Wattenbucht des Königshafens unterbricht den stetigen Vorbau des Listlandes. Hier wurde die Entwicklung, wahrscheinlich durch vermehrte Sandzufuhr, zeitweilig beschleunigt, so daß ein Vorläufer des heute Ellenbogen genannten Dünenzuges die Fläche des jetzigen Königshafens umrundete. Beispiele ähnlicher Umrundungen eines Flachstrandes bieten Hörnum Odde im Süden der Insel und Kniephafen auf Amrum.

Während Abbildung 2 die aus den Bohrergebnissen erkannte Entstehungsgeschichte von Listland schematisch darstellt, veranschaulicht der Höhenschichtenplan des heutigen Ellenbogens die Art des Vorbaus von Listland nach Norden (vgl. GRIPP, 1940, Tafel 2 auf S. 46). Die zwiebelschalenartig angeordneten und vom Westellenbogen ausstrahlenden Dünenzüge entsprechen früheren Strandlagen. Am Ostfeuer liegt das Ausgangszentrum einer zweiten ähnlichen Dünengruppe, die den Aufbau des Ostellenbogens widerspiegelt.

Dieselbe Entstehungsweise des Ellenbogens muß auch für das übrige Listland südlich des Königshafens angenommen werden, obgleich hier die Wanderdünen die Formen verändert haben.

Diese Grundzüge der erdgeschichtlichen Entwicklung Listlands und des Ellenbogens in der Vergangenheit sind bei den heutigen Küstenveränderungen gleichfalls noch festzustellen. Die bildenden Kräfte von heute und früher werden daher ähnlich sein und voraussichtlich auch noch in nächster Zukunft beständig bleiben.

Bei jeder Bauplanung muß also damit gerechnet werden, daß der Untergrund des Ellenbogens und seine Umgebung aus losem, von Wasser und Wind zusammengetragenen Sand bestehen, festere Bodenschichten aber, an die sich Bauwerke anlehnen könnten, fehlen.

III. Bisherige Veränderungen der Ellenbogenküste und des umgebenden Seegebietes

Die Untersuchung der Küstenabbrüche am Ellenbogen geht von der Feststellung des bisherigen Gestaltwandels der Insel Sylt infolge der Strandverlagerungen im Laufe der letzten Zeit aus und wird auf die Veränderung des vorgelagerten Seegebietes ausgedehnt.

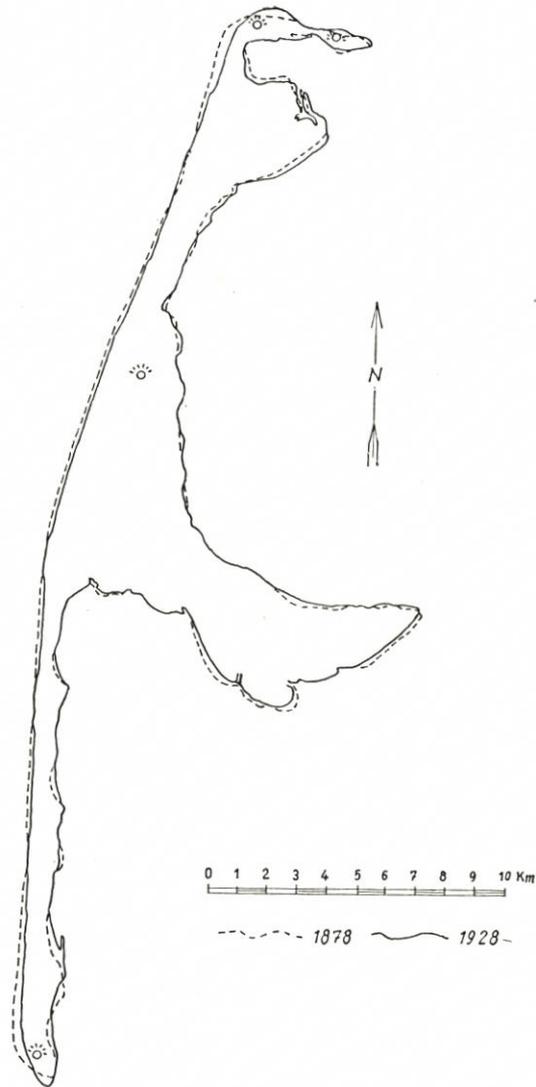


Abb. 3. Gestaltwandel der Insel Sylt 1878 bis 1928 (nach Meßtischblättern)

1. Strandverlagerung

Die erste zuverlässige Vermessung des Inselumrisses stammt aus dem Jahre 1793. Später hat sich die gesamte Westküste Sylts nachweislich dauernd ostwärts verlagert.

Der Gestaltwandel der Insel Sylt in den letzten fünfzig Jahren von 1878 bis 1928 ist in Abbildung 3 angedeutet. Die Westküste ist nicht überall gleichmäßig zurückgegangen, sondern in verstärktem Maße an beiden Inselenden. Auffallend gering ist der Küstenrückgang an den Strecken zwischen der Inselmitte und ihren Enden.

Wie sich der Strand im einzelnen verlagert hat, zeigen die seit 1883 vom Wasserbauamt Husum wiederholt durchgeführten Vermessungen von Strandprofilen. Der durchschnittliche Jahresabbruch in den letzten rund fünfzig Jahren, gemessen in der Linie des MThw, betrug hiernach (Abbruch negativ):

Strandverlagerung der Westküste von Nord-Sylt von
1883 bis 1938 in m/Jahr

Küstenstrecke	Mittl. Wert	Größtwert	gemessen i. d. Linie
Westerland-Klappholtal	— 1,20 m	— 1,76 m (Kliffende)	HThw
vor Klappholtal	— 0,30 m		HThw
Klappholtal-Ellenbogen	— 3,20 m	— 7,30 m (südl. v. Huk)	HThw
Nordellenbogen (Plate)		+ 6,00 m	MThw

Der durch diese Zahlen gekennzeichnete langjährige Durchschnittswert des Abbruchs setzt sich aus sehr unterschiedlichen Werten für die einzelnen Zeitabschnitte und in diesen wieder für die einzelnen Profile zusammen. Der durchschnittliche Jahresabbruch an der Hauptabbruchstrecke des Westellenbogens seit Beginn der Vermessungen (1883) beträgt zum Beispiel: 11,50 m (bis 1916), 9,70 m (bis 1926), 7,30 m (bis Sommer 1935). Die Abnahme dieses Abbruchwertes beträgt rund 35% in neunzehn Jahren. Auch vor 1878 ist mehr abgebrochen als nach 1878. Der Hauptabbruch am Westellenbogen scheint hiernach für den betrachteten Zeitraum schwächer zu werden.

Aus den in Abbildung 4 graphisch dargestellten durchschnittlichen Jahresabbrüchen für die Zeitabschnitte 1916/26/35/39 sind folgende Merkmale hervorzuheben:

- Bei Profil 33 liegt 1916/26 ein Abbruch von 6 m, dagegen 1926/35 und 1935/39 ein Anwachs von 3 m vor. Derartig schroffe Wechsel bedeuten lediglich den Ausgleich eines örtlich begrenzten Sturmfluteinbruchs und kommen an der ganzen Westküste in regelloser Verteilung mehrfach vor.
- Dagegen scheint im Wechsel der Hauptabbrüche am westlichen Ellenbogen eine bestimmte Regel zu liegen. Die Hauptabbruchzone im Bereich der Profile 38 bis 44 am West-Ellenbogen, in Abbildung 4 mit „a“ bezeichnet, ist seit 1916 stetig um 1500 m nach Norden gewandert. Sie lag 1916/26: 1000 m südlich vom Huk, dagegen 1935/39: 500 m nördlich davon und nähert sich jetzt schon dem Westrand der „Plate“.

Aus dem Lageplan der verschiedenen Strandlinien (Abb. 5) geht ferner hervor, daß die Küste am Ellenbogen vor 1935 nur ausbuchtende Formen hatte (vgl. MThw-Linie 1928). Die nach Sturmfluten stehengebliebenen Vorsprünge wurden später jeweils abgeschliffen. Erst die Oktoberstürme im Jahre 1935 verursachten vor dem Westfeuer die heute vorhandene Einbuchtung der Strandlinie und der Abbruchkante, die in den Stürmen des Jahres 1936 noch weiter ausgebildet wurde. Zugleich blieb aber auffälligerweise, wie schon vorher, das stark vorspringende Huk von stärkeren Abbrüchen verschont.

Das Anwachsgebiet am Nord-Ellenbogen — Plate genannt — breitet sich nicht nur nach Norden aus, sondern schiebt auch seinen Ostrand jährlich um rund 17 m nach Osten in die

Mittelbucht vor. Gleichbleibende Wandergeschwindigkeit vorausgesetzt, würde die „Einschnürungsstelle“ in vierzig Jahren von der Plate erreicht und damit geschützt sein.

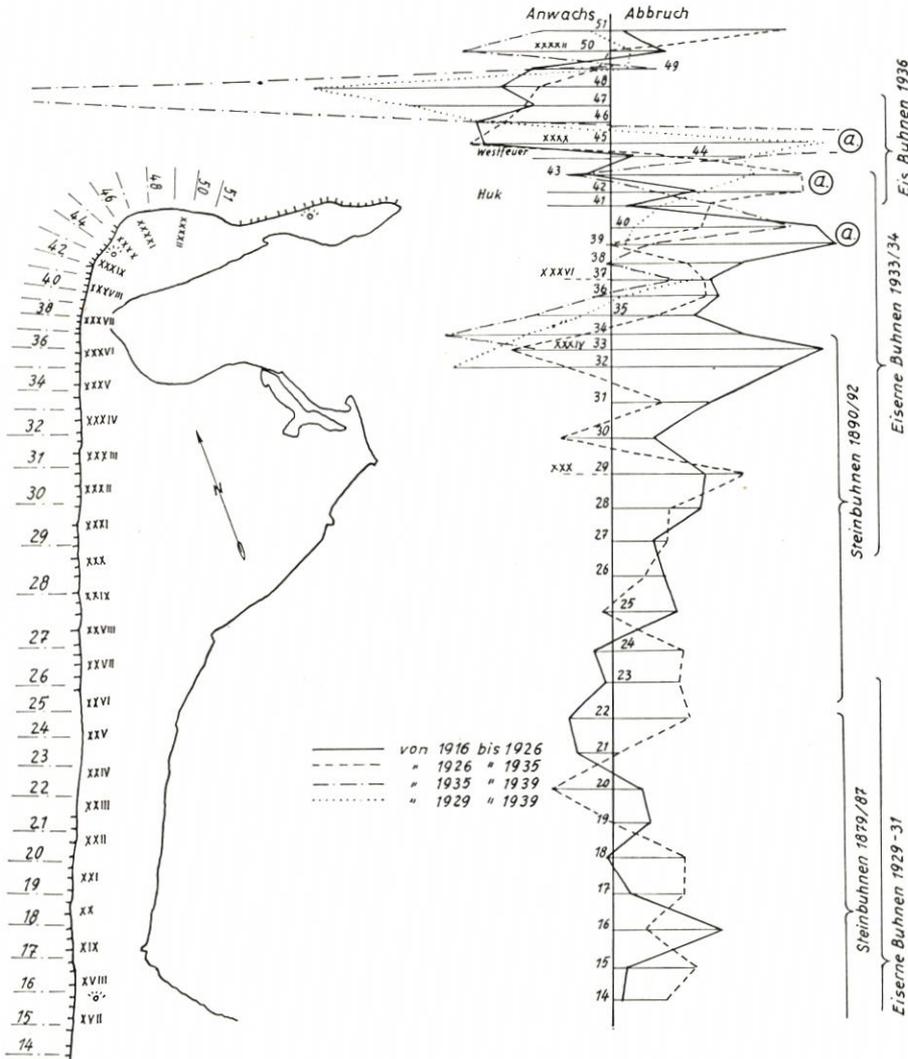


Abb. 4. Mittlere jährliche Verlagerung des Dünenfußes 1916 bis 1939, nördliche Westküste Sylts Gemessen in HThw-Höhe = + 4,12 m NN. Nach Strandprofilmessungen des Marschenbauamts Husum

Zusammenfassung

Die früher von Kliffende bis Ellenbogen Huk schwach konkav geformte Westküste hat seit 1800 bis heute unter verstärktem Abbruch am westlichen Ellenbogen eine völlig gestreckte Form angenommen.

Gleichzeitig hat sich die Hauptabbruchzone von Süden um das Ostindienfahrerhuk herum vor das Westfeuer und an den Westrand der Plate verlagert. Vor dem vorspringenden Huk erhält sich seit einigen Jahren ein besonders breiter und hoher Strand. Daraus wird gefolgert, daß die Küste am West-Ellenbogen zur Zeit einen relativen Beharrungszustand erreicht hat und die Abbruchtätigkeit hier abnehmen, dagegen an der westlichen Plate zunehmen wird.

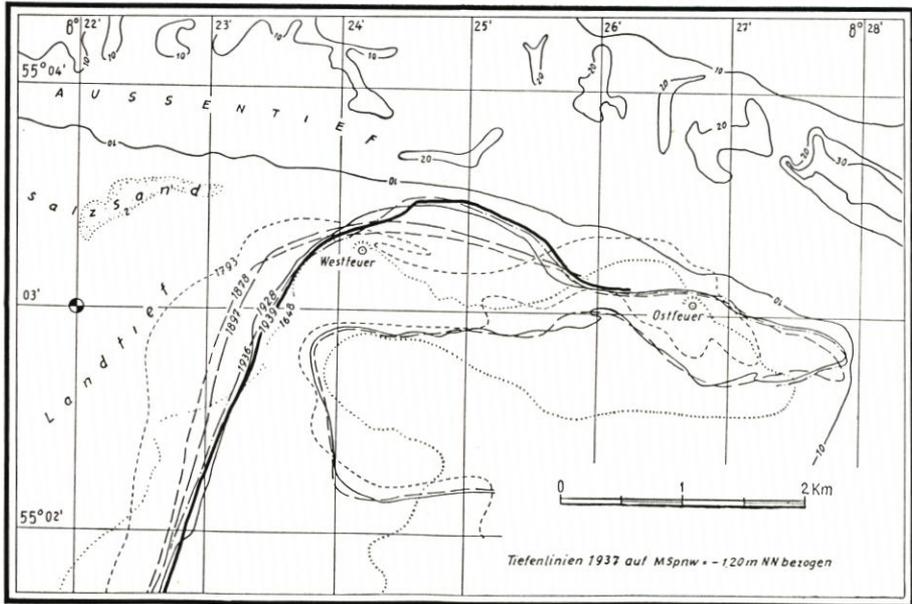


Abb. 5. Verlagerung der MThw-Linie am Ellenbogen 1648 bis 1936

1648 nach MEYER. Festpunkte astronomisch orientiert von GEEZ. Verlauf nicht sicher (nach MÜLLER-FISCHER, 1938). 1793 nach Dän. Ges. der Wissenschaften. Festpunkte trigonometrisch vermessen (nach MÜLLER-FISCHER, 1938). 1878 nach Meßtischblättern d. Preuß. Landesaufnahme. 1897 nach Strandprofilen des Wasserbauamts Husum. 1928 nach topogr. Grundkarte 1 : 5000. 1936 nach Strandprofilen der Forschungsgruppe Sylt. 1939 nach Strandprofilen der Forschungsgruppe Sylt

2. Seetiefenänderung

Die Veränderungen der Seetiefen des Untersuchungsgebietes sind aus den Lotungen der Kriegsmarine seit 1868 bekannt. Außerdem wurden engmaschige, mehrmals wiederholte Profilotungen seit 1936 durch die Forschungsabteilung Husum ausgeführt. Über die Tiefenänderungen jenseits der deutschen Grenze auf dänischem Gebiet fehlen seit 1917 genauere Vermessungen

a) Jetzige Gestalt des Seegrundes

Im gesamten Seegebiet vor Nord-Sylt kommt dem Lister Tief die größte Bedeutung zu. Es umströmt als natürliche Vorflut des 385 km² großen Wattenraums zwischen dem Nordteil der Insel Sylt, dem Hindenburgdamm und dem Festland aus Süden in schmäler bis zu 40 m tiefer Rinne den Ost-Ellobogen in scharfem Bogen nach West-Nord-Westen und breitet sich in einem nach Westen flacher werdenden Becken aus. Dieses wird gegen die fast ebene 10 m tiefe Sohle der offenen See durch die Außensände: Salzsand, Außenbarre und Rüstensand abgegrenzt.

Den Wasseraustausch zwischen dem Lister Tief und der offenen See vermittelt zur Hauptsache das Lister Außentief. Eine zweite Verbindung zwischen Außentief und offener See verläuft in Küstennähe zwischen Ost-Salzsand und West-Ellobogen über die Landtiefbarre nach Südwesten zum Landtief. Zwar ist diese Verbindung für den Wasseraustausch des Lister Tiefs von geringerer Bedeutung, für den Küstenabbruch am West-Ellobogen dagegen ausschlaggebend.

Die Außensände liegen 1 bis 3 m unter Tnw. Das Außentief ist am West-Ellobogen um 20 m und am äußeren Ende etwa 10 m tief. Während sein Nordufer, der Rüstengang, flach

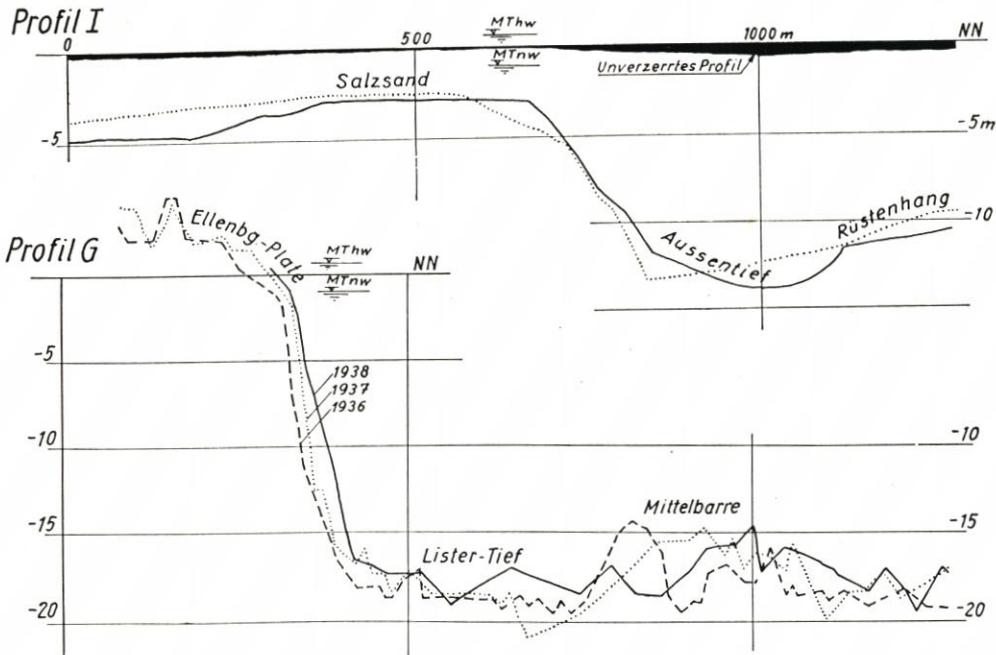


Abb. 6. Querprofile am Südufer des Lister Tiefs 1936/1937/1938 (Salzsand u. Ellenbogen-Plate)
Vgl. Lageplan Abb. 1. Überhöhung 25fach

zum Tief abfällt, ist das Südufer, die Salzsand- und Ellenbogenkante steil geneigt. Bemerkenswert ist der völlig gestreckte Verlauf des ganzen Südufers des Außentiefs (s. 10 m-Linie) in Ost-Westrichtung, was auf eine überwiegend längsausgleichende Formkraft hinweist.

Zum Verständnis der folgenden Untersuchungen über die Sandwanderung müssen die Seegrundformen vor dem West-Ellenbogen eingehender behandelt werden (Abb. 1 und 13).

Der Salzsand, äußerlich annähernd ein untermeerisches Spiegelbild zum Ellenbogen, fällt nordwärts mit einer Böschung von rund 1:20 steil in das 15 m tiefe Außentief ab, dagegen leitet im Süden ein flacher Hang mit etwa 1:200 in die rund 6 m tiefe Lister Westsee über (Abb. 6).

In dem Winkel zwischen Salzsand und Listland-Ellenbogen hat das Landtief aus Südwesten vorstoßend einen Fluttrichter ausgebildet, der aus 6 m Tiefe bis zu 1,5 m unter Tnw über der Landtiefbarre ansteigt, um von dort wieder in das Außentief nach Norden steil abzufallen. Dieser schmale Rücken der Landtiefbarre verbindet den Salzsand mit dem Strande des Ellenbogens in fast geschlossener Höhe; den eigentlichen Anschluß an den Strand vermittelt dann querab vom Westfeuer die flache symmetrisch geformte „Zunge“, eine Sandbank, die eine der beständigsten Formen am West-Ellenbogen darstellt.

Von den Kleinformen des Seegrundes haben die Strandriffe an der gesamten Westküste Sylts eine große Bedeutung für die Strandlage. Ihr nördlichster Ausläufer, der „Ellenbogensteert“ streicht als Strandhaken vom Huk aus ebbwärts nach Südwesten, schwenkt zur Küste, verschwindet und erneuert sich — in offenbar kurzjähriger Periode — wieder von See her. Seine wechselnde Form und Lage wird auch die Ursache der wechselnden Strandlagen südlich des Huks sein. Der besondere Einfluß dieses Riffs auf den Vorstrand am Huk wird noch behandelt.

b) Veränderung des Seegrundes

Wie das steile Nordgefälle des Salzsandes, der Landtieffbarre und der Plate andeuten, haben die Bodenformen des Untersuchungsgebietes allgemein eine nördliche Wanderrichtung, was im einzelnen durch Seekartenvergleich für die Zeit seit 1868 bewiesen wird.

Maßgeblich für alle Seetiefenveränderungen im Untersuchungsgebiet ist die Veränderung des Lister Außentiefs. Es hat sich in den letzten siebenzig Jahren seit 1868 um 500 bis 1000 m nach Norden verlagert (Abb. 7 und 8), mit ihm die Nordküste des Ellenbogens.

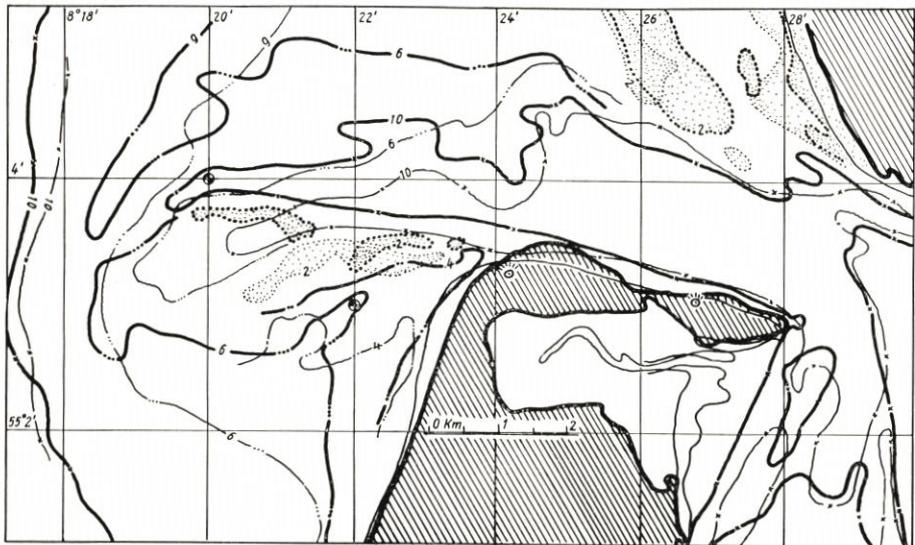


Abb. 7. Verlagerungen am Lister Außentief 1879 (dünne Linien) bis 1939 (dicke Linien)

Mit der Nordwanderung aller Bodenformen zusammen mit dem Außentief ist gleichzeitig eine Schwenkung der Achsen der Haupt-Tiefs, und damit der Hauptstromrichtungen vor der Küste verbunden.

Diese Nordwärtsverlagerung und Schwenkung des Tiefs wirkt sich erheblich auf die Anlandungs- und Abbruchserscheinungen der Küste vor allem am Ellenbogen aus.

Mit den Verlagerungen des Lister Außentiefs sind die Veränderungen des Landtiefs eng verbunden. Das Landtief ist wie das Außentief eine seit langem bestehende flache Stromrinne, die sich seit Beginn der Vermessungen langsam vertieft und außerdem eine erhebliche Nordschwenkung von durchschnittlich $\frac{1}{2}$ Grad im Jahr ausführt. Dieses Tief, das vor sechzig Jahren noch fast parallel zur Küste verlief, ist heute in einem Winkel von etwa 60 Grad zur Westküste Sylts geneigt und hat in dieser Zeit seine 4 m-Tiefenlinie um rund 2000 m weiter nach Nordosten vorgeschoben. Die unmittelbare Folge hiervon ist einmal der verstärkte Abbruch der West-Ellenbogenküste, d. h. eine Verlagerung der Hauptabbruchzone nördlich des Huks und durch die Schwenkung der Achse des Tiefs von Land nach See zu eine schwache Hebung des Vorstrandes südlich des Huks. Bei dieser Entwicklung, die zweifellos im Zusammenhang mit der nordwärts gerichteten Schwenkung des Außentiefs auch künftig vor sich gehen wird, muß sich die Zone der Hauptabbrüche noch weiter nordwärts verlagern. Damit wird der Westrand der Plate in die Hauptgefahrenzone gerückt werden.

Die Verlagerungen der Haupttrinnen Außentief und Landtief seit 1868 bis

1937 sind in der Abbildung 8 schematisch dargestellt. Die Wandergeschwindigkeiten einiger Punkte seien hier angegeben:

Ende des Außentiefs	26 m/Jahr nach Nordwesten
Nordkante des westlichen Salzsandes	15 m/Jahr nach Norden
Landtiefbarre	7 m/Jahr nach Norden
Nordrand der Plate	6,5 m/Jahr nach Norden.

Die Wandergeschwindigkeiten sind zwar verhältnismäßig klein, aber stetig und lassen den Schluß zu, daß auch in Zukunft größere Veränderungen im Seegebiet entsprechend stetig vor sich gehen werden. Der Kartenvergleich zeigt ferner, daß die durch die Hauptstromrichtungen des Lister Tiefs geformten Nordkanten des Salzsandes, der Landtiefbarre und der Plate stets in einer Linie liegen, ein Umstand, der die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen erleichtert.

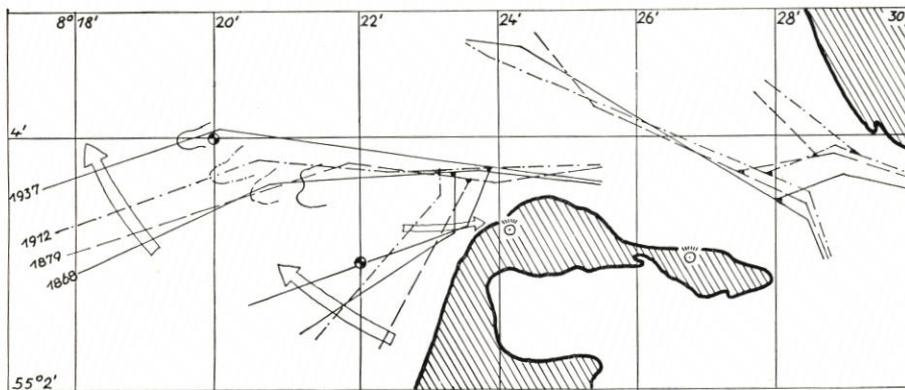


Abb. 8. Lister Tief. Verlagerung der Hauptachsen 1868 bis 1937

Die Höhenlage der einzelnen Sände und Barren ist trotz ihrer intensiven Verlagerung im allgemeinen, wie überall an der Tideküste, konstant geblieben. Diese „Grenzhöhe“ liegt z. B. für den Salzsand und die Landtiefbarre rund 2 bis 3 m und für die Außenbarre des Lister Tiefs rund 6 bis 7 m unter Tnw und muß mit den örtlichen Stromverhältnissen zusammenhängen.

Die Tiefenänderungen in der Lister Westsee südlich des engeren Untersuchungsgebietes deuten auf langsamen, aber stetigen Abtrag hin, der sich nordwärts auch in dem Vordringen des Landtiefs ausdrückt (vgl. Abb. 23).

Wenn auch die großräumigen Verlagerungen des Seegrundes als die Hauptursachen für alle weiteren Veränderungen im Küstengebiet des Ellenbogens anzusehen sind, so können doch kleinere Seegrundformen, besonders in der Nähe der Küste, durch ihre Veränderung ebenfalls mittelbar die Küstenformen beeinflussen. Hierzu gehört besonders die Landtiefbarre.

Für die später zu erörternde Stellungnahme zu den geplanten Küstenschutzmaßnahmen ist es wichtig, diese Barre und ihren Bestand genauer zu verfolgen. Die Landtiefbarre hat sich, wie jede Barre, an der Stelle des Zusammentreffens zweier Strömungen, und zwar des Landtiefs und des Außentiefs, gebildet. Da sie sich seit langem in ihrem Bestand nahezu erhalten hat, muß hier zwischen den aufbauenden und abtragenden Kräften ein Gleichgewichtszustand herrschen, der sich voraussichtlich so lange nicht ändern wird, wie die beiden Tiefs ihre Lage zueinander annähernd beibehalten und die Strömungen nach Richtung und Stärke dieselben

bleiben. Ein Abbau der Barre oder ein Durchbruch des Landtiefs zum Außentief wäre erst denkbar, wenn sich die derzeitigen Kräfteverhältnisse hier grundlegend ändern würden, wofür vorerst keine Hinweise vorliegen. Hierüber wird bei der Betrachtung der augenblicklichen Kräfteverhältnisse noch zu sprechen sein.

Zusammenfassung

Der Kartenvergleich für die letzten siebenzig Jahre zeigt die bisherige Entwicklung der Seegrundveränderungen eindeutig auf und läßt Rückschlüsse auf die künftige Entwicklung zu. Die Hauptergebnisse sind:

1. Das Lister Außentief und das Landtief unterliegen einer Rechtsschwenkung und damit einer Nordwärtsverlagerung. Hierbei ist die Schwenkung des Landtiefs rascher.
2. Die Verlagerungen beider Tiefs erfolgten bisher stets gleichsinnig und stehen im Zusammenhang miteinander.
3. Die 4 m-Tiefenlinie im Landtief ist um 2000 m in siebenzig Jahren nach Nordosten vorgedrungen. Dadurch wurde der Angriff auf die Ellenbogenküste verstärkt. Durch die Schwenkung der Achse des Landtiefs von Land nach See zu ist die Hauptabbruchzone nach Norden, und zwar nördlich des Huks, verlagert worden und bedroht hierdurch den westlichen Rand der Plate. Der Abbruch südlich des Huks hat nachgelassen.
4. Salzsand und Landtiefbarre sind Strombildungen und haben eine bestimmte Grenzhöhe stets eingehalten. Südlich des Salzsandes vor der übrigen Westküste Sylts ist eine langsam fortschreitende Vertiefung des Seegrundes festzustellen.

IV. Die verändernden Kräfte

Erst die Ermittlung der zur Zeit hier wirkenden Kräfte gibt eine Handhabe, die aus den Kartenvergleichen festgestellten Formenveränderungen richtig zu deuten und Möglichkeiten zu ihrer zweckentsprechenden Lenkung zu erkennen. Von der Forschungsabteilung sind daher im größeren Raum vor Nord-Sylt erstmalig systematische Messungen der Gezeitenströme, der Wasserstandsbewegungen und des Windes seit 1936 durchgeführt, von denen einige für die vorliegende Aufgabe wichtige Ergebnisse kurz dargelegt werden sollen.

1. Wind

Neben den Gezeitenkräften kommt dem Wind durch seine mittelbare Wirkung auf Richtung und Stärke der Brandung und des Seegangs an der offenen Küste die größte Bedeutung zu. Seine Rolle als unmittelbarer Strand- und Dünenbildner im Trockenen ist zwar augenfällig, jedoch für die Frage des Küstenabbruchs am Nordwest-Ellenbogen sekundär und kann hier vernachlässigt werden.

Um Anhaltspunkte über die Windwirkung auf die Gezeitenströme und die Sandwanderung zu erhalten, sind insbesondere die resultierenden Wirkungsrichtungen der meteorologischen Station in Westerland/Sylt für den Zeitraum von 1927 bis 1936 ausgewertet worden (Abb. 9).

Auf Sylt überwiegen nach Häufigkeit und Stärke die Winde aus West, Nordwest und Südwest bei weitem. Die resultierende Richtung aller Winddruckstunden ist mit West zu Nord ermittelt. Werden die Winddruckstunden nach Komponenten quer und längs zur Küste zerlegt, so erhalten beide Küstenhälften Längskomponenten in Richtung zu den Inselenden. Die durchschnittliche strandversetzende Windwirkung ist also im Nordteil der Insel

nördlich und im Südteil der Insel südlich gerichtet. Es liegt somit eine Transportscheide vor, welche die Ausbildung des Küstenknicks in der Inselmitte fördert.

Westliche Winde bewirken den stärksten Seegang und die höchsten Wasserstände, so daß ihre Brandungswirkung an der Küste und auf den Sänden und Riffen besonders groß ist. Ablandige östliche Winde verursachen niedrige Wasserstände vor Sylt und tragen zur Strand-erhöhung bei.

2. Gezeiten

Die Gezeitenkräfte bewirken die Veränderungen der Küste mittels Strömung und Seegang, die je nach dem herrschenden Wasserstand bei der Sandwanderung mehr oder weniger zusammenarbeiten.

a) Wasserstand

Abgesehen davon, daß die Stärke der Brandung von den Wassertiefen vor der Küste abhängt, ist die Kenntnis der Wasserstände in diesem Zusammenhang insofern von Belang, als vor allem die Größe des Tidehubs die Stromgeschwindigkeiten im Bereich des Lister Tiefs bestimmt.

Es folgen kurze Angaben über die Pegelhauptwerte im Bereich von Nord-Sylt (Abb. 10).

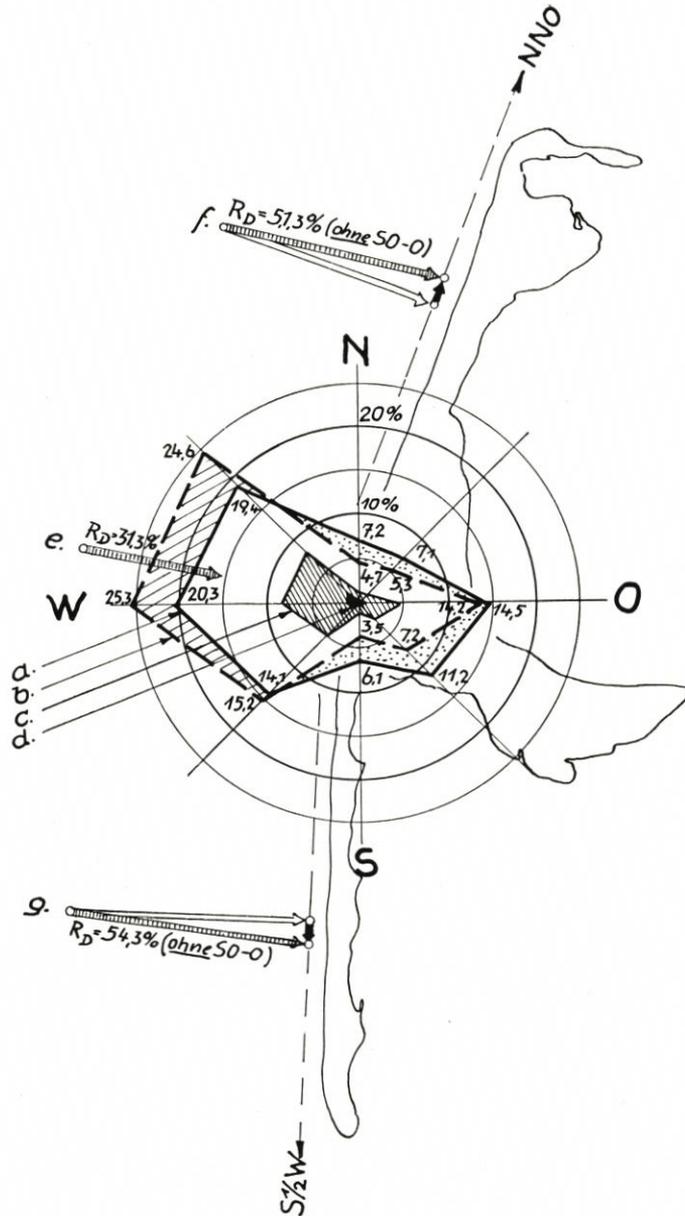


Abb. 9. Mittlere Windverteilung Westerland/Sylt 1927 bis 1936 und ihr Einfluß auf den Strandversatz an der Sylter Westküste (Erläuterung S. 34)

Die Abnahme des Tidehubs längs der schleswig-holsteinisch-jütischen Westküste von Süden nach Norden kommt auch an der Sylter Küste zum Ausdruck:

Hörnum	175 cm	Ellenbogen	160 cm
Westerland	168 cm	List	156 cm.

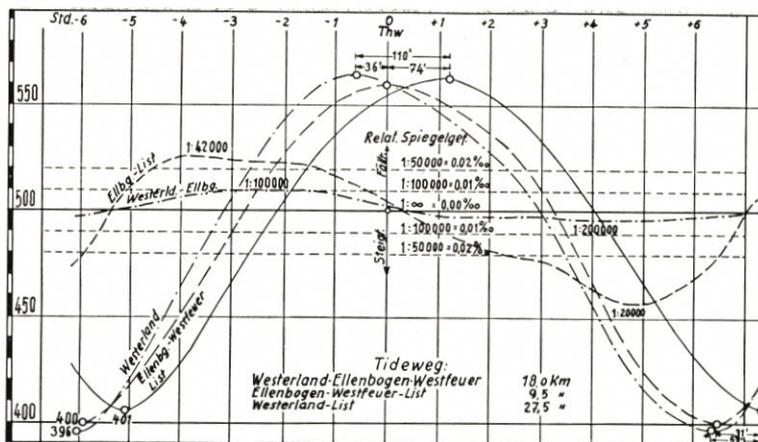


Abb. 10. Mittlere Tidekurven und Spiegelgefälle um Nord-Sylt (Erläuterung S. 34)

Einen Anhalt für das Verhältnis der Stromgeschwindigkeiten gibt das aus den mittleren Tidekurven ermittelte relative Wasserspiegelgefälle zwischen den einzelnen Pegelorten. Danach beträgt bei mittlerer Tide das absolute bzw. relative Höchstgefälle:

Ort	Entfernung	Höchstes Wasserspiegelgefälle			
		Flut		Ebbe	
		absolut	relativ	absolut	relativ
Westerland	18 km	18 cm	1 : 100 000	10 cm	1 : 200 000
Ellenbogen	10 km	25 cm	1 : 42 000	42 cm	1 : 20 000
List					

Längs der Westküste der Insel überwiegt also das Flutgefälle, im Lister Tief jedoch das Ebbegefälle. Demgemäß ist auch durch die Strommessungen vor der Westküste Sylts stärkerer Flutstrom, im Lister Tief aber stärkerer Ebbestrom festgestellt worden.

b) Strömung

Seit 1936 sind insgesamt 56 Strommessungen mit dem RAUSCHELBACHSchen Strommeßgerät ausgeführt worden. Sie sind in den Jahren 1936 und 1937 so angeordnet (Abb. 11), daß mit ihnen der Wasseraustausch an allen drei Grenzen des Mündungsgebietes des Lister Tiefs erfaßt wird. Weitere, hier nicht ausgewertete Meßstellen dienen besonderen Zwecken.

Die Ausführung der Strommessungen war auf Wetterlagen mit westlichem Wind bis Stärke 4 Bft. und östlichem Wind bis 6 Bft. beschränkt.

Die bei verschiedenen Tidehuben gemessenen Stromgeschwindigkeiten jeder Meßstelle sind mit Hilfe der Steig- und Fallgeschwindigkeiten auf mittlere Tide umgerechnet. Geschwindigkeit und Richtung des Stromes für volle Flut und volle Ebbe sind auf Abbildung 11 dargestellt.

Im Gesamtgebiet sind drei Stromarten zu unterscheiden, die durch die Darstellung der Meßergebnisse in Form von Vektorketten in den Abbildungen 12 und 13 veranschaulicht sind.

1. Der straffgeführte alternierende Strom im Lister Außentief und im Landtief (rasches Kentern des Stromes um 180 Grad).

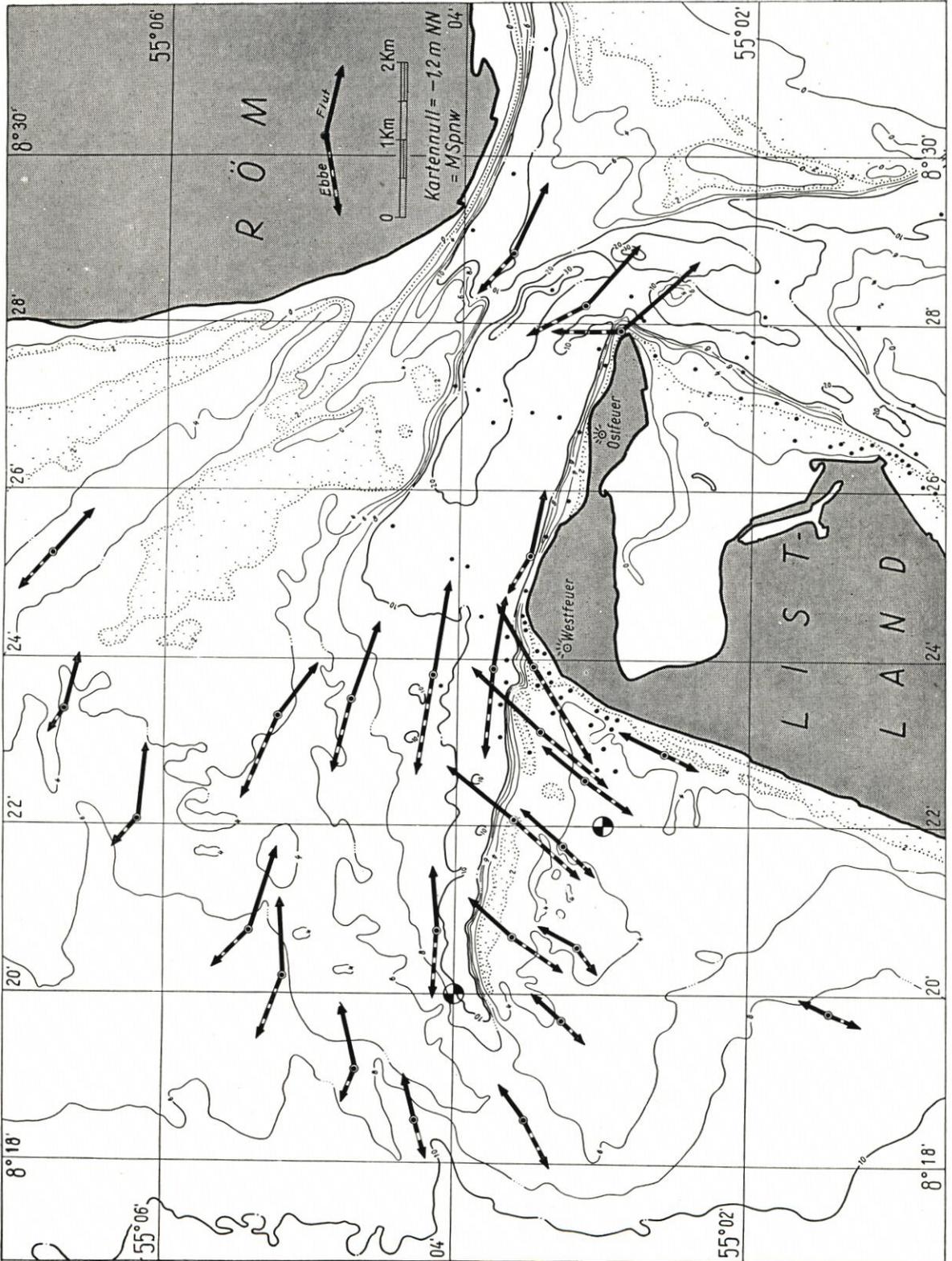


Abb. 11. Flut- und Ebbestrom im Lister Tief (Erläuterung S. 34)

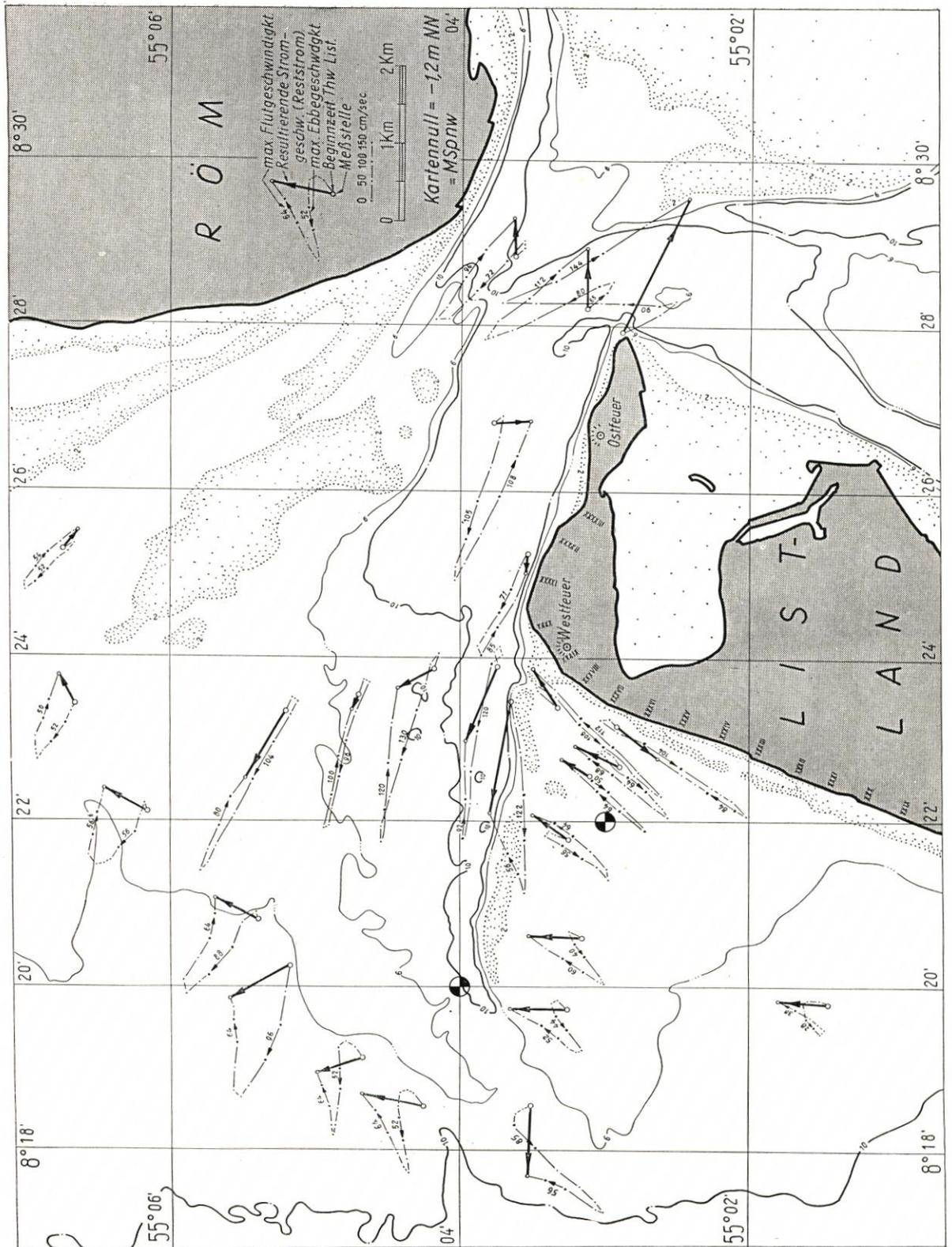


Abb. 12. Oberflächenströmung Lister Tief (Erläuterung S. 34)



Abb. 13. Oberflächen- und Grundstrom vor West-Ellebogen (Erläuterung S. 35)

2. Der versetzt alternierende Strom über dem Salzsand (schnelles Stromkernern, aber Ebbe- und Flutstromrichtung im stumpfen Winkel zueinander).
3. Der die offene See kennzeichnende Drehstrom außerhalb der Stromrinnen (langsameres Kernern unter Drehen über alle Richtungen).

Aus der straffen Richtung der alternierenden Ströme in den Stromrinnen und über den Salzsand ist zu schließen, daß diese Strömung durch Wind und Seegang nicht wesentlich beeinflusst wird. Für den Bereich der offenen See ist dagegen anzunehmen, daß starke Winde die Richtung und Stärke des schwachen Drehstroms ändern können.

Größe und Richtung des Stromes im Lister Außentief sind durch die straffe Führung der großen Wassermengen in diesem 20 bis 30 m tiefen und bis zu 3000 m breiten Stromtiefe bestimmt. Gegenläufige Stromrichtungen zwischen Oberflächen- und Grundstrom sind nicht beobachtet worden. Die Größtwerte der Stromgeschwindigkeiten treten im Oberflächenstrom auf, um von oben nach unten parabelförmig abzunehmen.

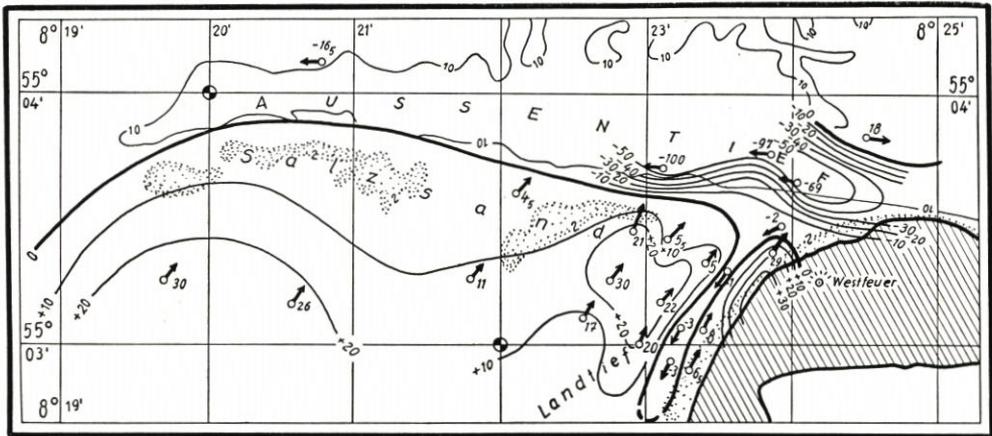


Abb. 14. Verteilung des Durchflussumerschusses einer Tide vor West-Ellenbogen
Unterschied ($\Delta\Sigma Q'$) der durch einen 1 m breiten Streifen in mittl. Flut- und Ebberichtung geflossenen Wassermengen in 1000 m³/lfdm. Flutrichtung positiv. Gemessen 1936—1938. Geschwindigkeiten bezogen auf mittlere Tide List

Das Außentief beherrscht mit seinen großen Wassermengen eindeutig auch die Strömung des übrigen Gebiets und lenkt den nach Nordosten über den Salzsand setzenden Flutstrom (s. Abb. 11) geschlossen in östlicher Richtung ab. Besonders plötzlich erfolgt diese Ablenkung bei dem aus dem Landtief kommenden, unmittelbar unter Land streichenden starken Flutstrom. Die aus dem Landtief in das Außentief fließenden Wassermassen werden an der Engstelle zwischen dem Salzsand und der Küste straff zusammengefaßt und gegen die Küste gedrängt. Sie sind aber trotz der großen Stromgeschwindigkeiten (max 140 cm/s) nicht in der Lage, den Flutstrom im Außentief abzulenken. Dieser Umstand ist einer der Gründe, weshalb unter den jetzigen Verhältnissen ein Durchbruch vom Landtief zum Außentief nicht stattfindet; das Landtief führt, bezogen auf 1 lfdm Querschnitt, bei Flut nur etwa den dritten Teil der entsprechenden Wassermenge im Außentief.

Der Ebbestrom (s. Abb. 11) wird aus dem Lister Außentief mit großer Geschwindigkeit nach Westen und fächerartig nach allen Seiten über die Außensände geführt; über dem westlichen Salzsand z. B. unter schwacher Ablenkung nach Südwesten. Nur zum Landtief werden unmittelbar unter der Küste die Wassermassen wieder in scharfer Bündelung aus dem Außentief um fast 90 Grad entsprechend dem Gefälle nach Süden abgelenkt. Diese Strombündelung macht sich noch rund 2 km südwestlich der Landtiefbarre bemerkbar, sie ist beim

Ebbestrom ausgeprägter als beim Flutstrom. Ebbe- und Flutstrom sind im Landtief infolge der straffen Stromführung und der hohen Geschwindigkeiten um 180 Grad versetzt.

Die größten Geschwindigkeiten überhaupt treten im Landtief über der Zunge, einer flachen Sandbank querab vom Westfeuer, auf. Die im südlichen Landtief gleichmäßig verteilten Geschwindigkeiten von 60 bis 70 cm/s steigen hier beim Überströmen der Landtiefbarre bis zu Höchstwerten von 140 cm/s bei Flut und 150 cm/s bei Ebbe an. Diese Geschwindigkeitserhöhung ist der Querschnittseinengung über der Landtiefbarre zuzuschreiben.

Bei Flut ist gleich nach dem Übertritt über Landtiefbarre und Salzsand deutlich eine Geschwindigkeitsabnahme erkennbar, die durch den Stau im tiefen Wasser des Außentiefs hervorgerufen wird.

Die für die Sandwanderung wichtige resultierende Tideströmung, d. h. die aus Flut- und Ebbestrom resultierende Wasserversetzung bei mittlerer Tide, ist in den Abbildungen 12 und 13 durch die Eintragung der sogenannten „Restströme“ kenntlich gemacht. Im ganzen

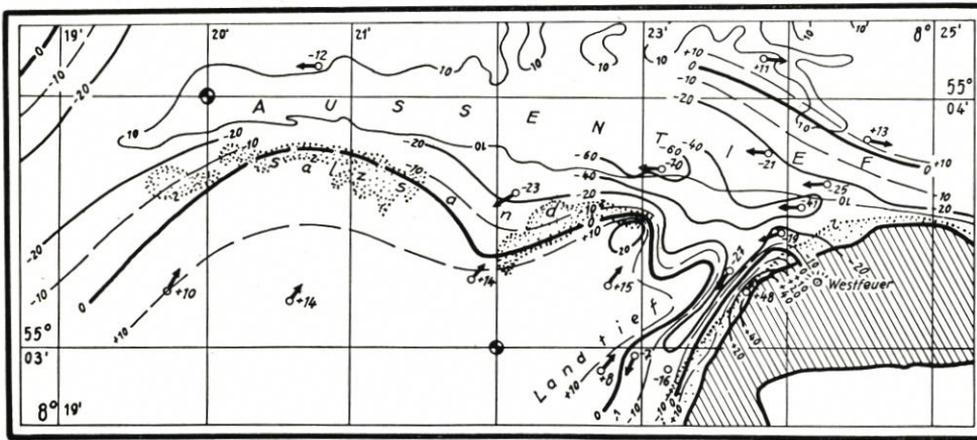


Abb. 15. Verteilung des Geschwindigkeitsüberschusses der Tideströmung vor West-Ellebogen
Unterschied ($\Delta \max v_m$) der größten mittleren Profilgeschwindigkeiten von Flut und Ebbe. Flutstrom
positiv. Gemessen 1936—1938. Geschwindigkeiten bezogen auf mittlere Tide List

hat sie eine nördliche Richtung, die nur im Zuge des Außentiefs eindeutig in Ebberichtung nach Westen zeigt. Wenn auch aus den Restströmen nicht ohne weiteres auf die bewegten Sandmengen geschlossen werden kann, so erlauben sie doch — wie einige Sandfallenmessungen nachgewiesen haben — im Untersuchungsgebiet Rückschlüsse auf die vorherrschenden Richtungen der Sandwanderung bei mittleren Tideverhältnissen (vgl. Abschnitt V).

Zur Beurteilung des Kräftebildes vor dem Ellebogen sind neben der Verteilung der maximalen Stromgeschwindigkeiten die bewegten Wassermengen von größter Bedeutung.

Die Abbildung 14, in der die Unterschiede der Ebbe- und Flutwassermengen verzeichnet sind, ist ein unmittelbares Abbild der Leistungsverteilung von Ebbe und Flut. Die Grenzen zwischen den Gebieten mit Ebbe- und denen mit Flutüberschuß sind hierin erkennbar. Die Hauptgrenze verläuft von der Ellebogenküste bei Westfeuer über die Landtiefbarre und den Salzsandrücken nach Westen. Sie scheidet das Gebiet südlich des Salzsandes mit überwiegender Flutleistung von dem Außentief, in dem einheitlich die Ebbe überwiegt.

Da die resultierende Wasserbewegung im allgemeinen auch die resultierende Sandbewegung widerspiegelt, wird der Sand, der über Salzsand und Landtiefbarre hinweg oder an der Ellebogenküste entlang in das Außentief gerät, in dieser Rinne zur See abgeführt und geht damit dem Küstenaufbau offenbar verloren.

Daß der Salzsandrücken eine Wassertransportscheide ist, war zu vermuten. Unerwartet ist dagegen die schmale Zone überwiegender Ebbe, die sich aus dem Außentief quer über die Landtiefbarre bis weit nach Süden in das Landtief hinein erstreckt. Der Ebbeüberschuß ist in dieser Zone nicht kräftig, aber örtlich einheitlich (vgl. auch Abb. 15).

Die Strommessungen haben für mittlere Tide folgendes Bild ergeben:

1. Im Untersuchungsgebiet treten drei kennzeichnende Stromarten auf, die Rückschlüsse auf ihre Kraftwirkungen und auf ihre Abhängigkeit vom Wind und Seegang zulassen.
2. Die Maximal-Geschwindigkeiten überhaupt, bis zu 150 cm/s, treten hart unter der West-Ellenbogenküste über der Landtiefbarre auf.
3. Den Durchflusmengen nach ist das Landtief trotz höchster Stromgeschwindigkeiten nur eine untergeordnete Abzweigung des Außentiefs. Die Stromrichtung des Außentiefs wird durch das Landtief nicht abgelenkt. Solange das Übergewicht des Außentiefs anhält und die beiden Hauptstromrichtungen ihre Lage zueinander nicht wesentlich ändern, besteht an der Landtiefbarre keine Durchbruchgefahr.
4. Durch Wassermengenvergleich werden Grenzen der Flut- und Ebbeüberschußgebiete bestimmt. Die Hauptgrenze zieht vom Westfeuer über Landtiefbarre und Salzsandrücken nach Westen und scheidet das Außentief mit Ebbeüberschuß von dem Salzsand und dem Landtief mit Flutüberschuß.
5. Mitten im Landtief mit allgemein überwiegender Flut verläuft ein schmaler Streifen mit geringem Ebbeüberschuß.
6. Die resultierende Tideströmung im Mündungsgebiet des Lister Tiefs ist nördlich gerichtet. Hiermit steht die Wanderung der Seegrundformen im Einklang.

Die bisher durchgeführten Strommessungen geben das Kräftebild bei ruhiger Wetterlage bis etwa Windstärke 4 Bft. wieder, das durch starke Winde und Stürme Änderungen erfahren kann. Da der Strom bei Sturmfluten gerätmäßig noch nicht meßbar war, werden Anhaltspunkte zur Bestimmung ihres Einflusses gesucht.

Unter der annähernd zutreffenden Voraussetzung, daß die Stromgeschwindigkeiten von den Steig- und Fallgeschwindigkeiten linear abhängen, kann gefolgert werden, daß die möglichen Sturmflutgeschwindigkeiten, die immer nur kurze Zeit auftreten, die ermittelten Werte der Normaltiden nicht um mehr als 60 % übersteigen.

Dabei wachsen die Stromgeschwindigkeiten über der Landtiefbarre langsamer als im Landtief oder im Außentief.

Selbst im ungünstigsten Fall dürften die größten Stromgeschwindigkeiten an der Oberfläche nicht über folgende Werte steigen:

über der Landtiefbarre	von 150 cm/s nicht über 250 cm/s
im Landtief	von 65 cm/s nicht über 110 cm/s
im Außentief	von 120 cm/s nicht über 200 cm/s.

Die zugehörigen Stromgeschwindigkeiten über dem Grund, die für die Sandwanderung maßgebend sind, betragen etwa 75 % der Geschwindigkeiten an der Oberfläche.

Als Beleg für die geschätzten Stromgeschwindigkeiten wird auf Abbildung 16 eine Untersuchung von Stromgeschwindigkeiten im Norderneyer Seegat während der Sturmflutperiode 21./25. November 1930 beigefügt, wo die Erhöhung der Stromgeschwindigkeiten gegenüber dem Wert bei mittlerer Tide zu 50 % ermittelt wurde.

Die Verstärkung des Gezeitenstroms bei Sturmfluten ist somit in ihrer Auswirkung auf den Sandtransport sicher geringer, als die Wirkung des bei Sturmfluten erheblich gesteigerten Seegangs. Da der Seegang in stärkerem Maße eine lösende als transportierende Wirkung hat — abgesehen von der strandnahen Brandungszone —, wird wegen der nur geringen Ablenkung

der Hauptstromrichtungen von denen der Normaltiden auch das hiernach abgeleitete Sandwanderungsbild wahrscheinlich bei Sturmfluten nicht grundlegend verändert (vgl. Abschn. V 1). — Der abschließende Beweis hierfür kann allerdings zur Zeit nicht geführt werden.

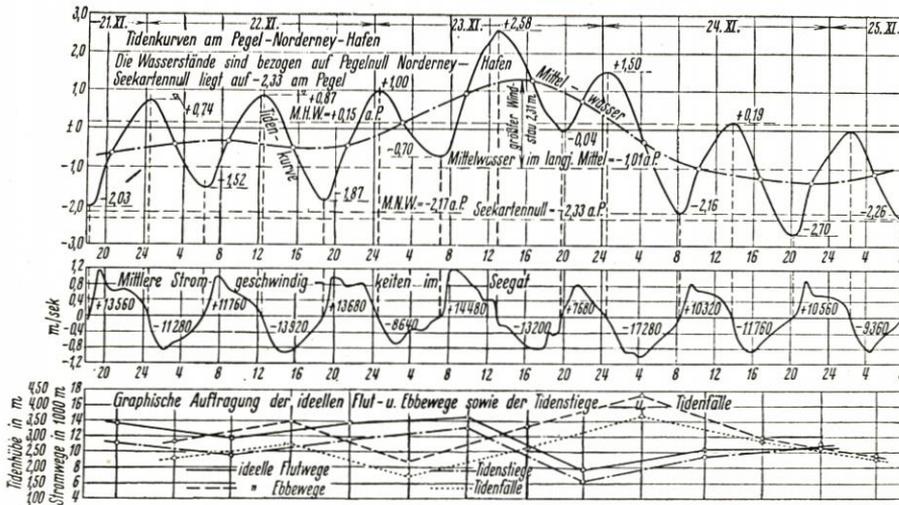


Abb. 16. Die mittleren Stromgeschwindigkeiten im Norderneyer Seegat während der Sturmflutperiode vom 21. bis 25. November 1930 (nach WALTHER, 1934)

V. Auswirkung der verändernden Kräfte

Aus Seekartenvergleichen, neueren Meßergebnissen sowie Gezeiten- und Windbeobachtungen sind für die Wandlungen der Küsten- und Seegrundformen Zusammenhänge aufgezeigt worden. Es bleibt nachzuweisen, wie die Sandwanderung mit den Gestaltungs Kräften in Beziehung steht.

1. Sandwanderung

Hierbei wird nach den hauptsächlichlichen Erscheinungsformen unterschieden zwischen a) der durch den Gezeitenstrom allein hervorgerufenen Sandverfrachtung oder der „Stromdrift“ und b) der durch schrägauf laufende Brandung erzeugten Sandverfrachtung längs des Strandes oder dem „Strandversatz“.

a) Stromdrift

Mit relativem Erfolg konnte die Stromdrift bei ruhigem Wetter mit der LÜDERSschen Sandfalle ermittelt werden, deren allgemeine Anzeigezuverlässigkeit hier nicht untersucht werden soll. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Zuverlässigkeit der Sandfallenmessungen von bestimmten örtlichen Voraussetzungen abhängt, die im Untersuchungsgebiet außer auf der Landtiefbarre im allgemeinen gegeben zu sein scheinen (Beispielmeßergebnis Abb. 17). Die großen Stromgeschwindigkeiten und das unruhige Bodenrelief der Landtiefbarre erschweren direkte Sandmengenmessungen. Sie sind hier auch entbehrlich, weil die durch den Seekartenvergleich festgestellte Tatsache einer Nordverschiebung der Barrenkante um 6 m jährlich die Sandwanderung in Flutrichtung nach Norden beweist. Die Ergebnisse der Sandfallenmessungen sind in Abbildung 18 ausgewertet.

Im Landtief sind bei ruhigem Wetter die Sandmengen wegen des schwachen Grundstromes von rund 40 bis 50 cm/s sehr gering. Bei Flut ist die verfrachtete Menge rund doppelt so groß wie bei Ebbe, was eine viermal wiederholte Kontrollmessung (Nr. 134c auf Abb. 13)

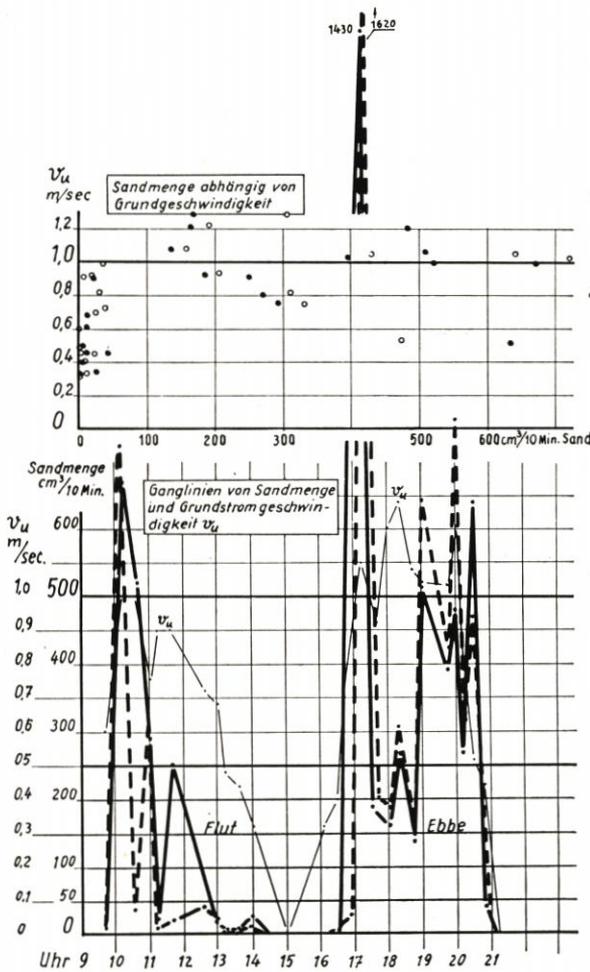


Abb. 17. Diagramm einer Sandfallen-Kontrollmessung im Lister Tief vor West-Ellenbogen³⁾

material aufgebaut werden, das durch den Strandversatz an der Küste entlang herbeigeschafft wird.

In Übereinstimmung mit den Strombildern (Abb. 14 u. 15) zeigt auch Abbildung 18 innerhalb eines allgemeinen Flutsandüberschußgebiets einen ausgeprägten Streifen mit Ebbesandüberschuß, der querab vom Huk küstenparallel nach Südwesten verläuft. Die Bildung des Ellenbogen-Steert wird hiermit zusammenhängen.

Aus technischen Gründen konnte die Sandfalle nicht an jeder der 56 Strommeßstellen angesetzt werden. Ein Vergleich der Strommessungen mit den gleichzeitig ausgeführten Sand-

bestätigt hat. Der Sand wandert also nach Norden und gehorcht somit dem festgestellten nordwärts gerichteten Reststrom. Alle weiteren, westlich von Meßstelle 134 auf dem Südhang des Salzsandes gelegenen Meßstellen zeigen ebenfalls nördlichen Reststrom, so daß hieraus rückschließend auf eine allgemeine nordwärts gerichtete Sandwanderung bei ruhigem Wetter geschlossen wird.

Im Außentief überwiegt im Einklang mit dem Strombild der Sandtransport in Ebberichtung. Die Sandtransportscheide zwischen Flutsandüberschuß im Süden und Ebbesandüberschuß im Außentief konnte damit auf Grund der Messungen festgelegt werden. Sie läuft vom Westfeuer über die Zunge und die Landtiefkante nach Westen und deckt sich also mit der aus Abbildung 14 ersichtlichen Wassertransportscheide. Der über die Landtiefbarre gelangende Sand wird, soweit er nicht zum Vorbau der Barre nach Norden benutzt wird, im Außentief bei Ebbe nach Westen zur See und nicht nach Osten an die Plate geschafft. Wider Erwarten ist somit die Plate keine reine Strombildung, sondern eine durch Strandversatz hervorgerufene Bildung. Sie kann hauptsächlich nur aus dem Ma-

³⁾ Strommeßstelle 152b, Landtiefkante, 4. Mai 1939. Wassertiefe 6 m unter Mittelwasser. Dampfer Rungholt, 20 m lang. Gleichzeitige Messung mit zwei LÜDERSSchen Sandfallen: Falle 1 am Heck, Falle 2 am Bug.

fallenmessungen ergibt aber, daß sich — von unerheblichen Sonderfällen abgesehen — die resultierende Richtung des Stromes und der Sandwanderung decken. Somit haben die Reststrombilder, die für den größeren Raum auf Abbildung 12 und für den engeren Ellenbogenbereich auf Abbildung 13 aufgetragen sind, zugleich auch Geltung für die Richtung der Sandwanderung. Zur Sicherheit sind außerdem die Restströme nur aus denjenigen Bodenströmen

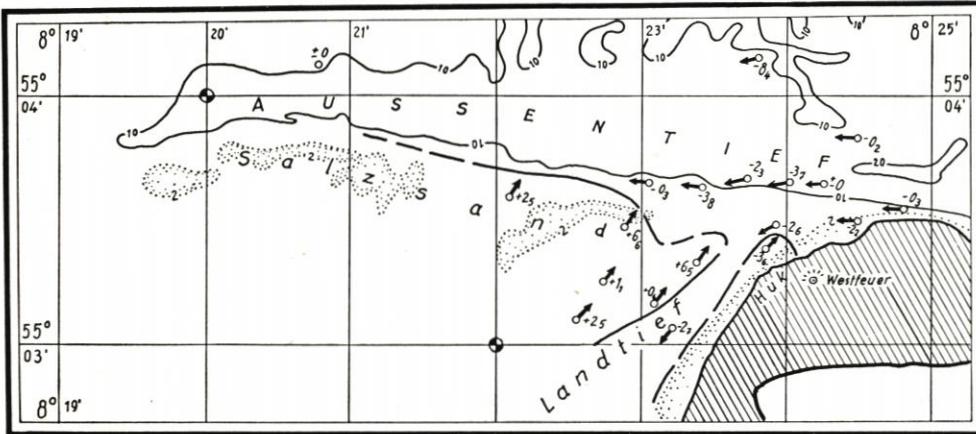


Abb. 18. Verteilung des Sandtransportüberschusses von Flut und Ebbe vor West-Ellobogen (Erläuterung S. 35)

mit $v \geq 40$ cm/s gebildet, die nachweislich Sand bewegen (Abb. 19). Auch diese Darstellung zeigt die vor der Westküste nach Norden gerichteten Resultierenden.

Über die absolute Menge des bewegten Sandes sagen die Restströme an und für sich jedoch nichts aus.

Zusammengefaßt kann aus den bei ruhiger Wetterlage gewonnenen Meßergebnissen der Sandfallenmessungen für die Stromdrift gefolgert werden:

1. Die aus dem Strommeßergebnis gezogenen Folgerungen für die Sandwanderungsrichtung werden durch das Ergebnis einiger zuverlässiger Sandfallenmessungen bestätigt.
2. Der normale Tidestrom verfrachtet Sand von Süden über den Salzsand und die Landtiefbarre hinweg nach Norden. Im Außentief wird ein Sandüberschuß durch den Ebbestrom seewärts abgeführt.
3. Die Plate wird nicht durch die Stromdrift, sondern überwiegend durch den Strandversatz gespeist (vgl. folgenden Abschnitt).
4. Vor der Küstenstrecke südlich vom Huk liegt ein schmaler Streifen mit Ebbesandüberschuß, der mit der dortigen Riffbildung Ellenbogen-Steert zusammenhängt.

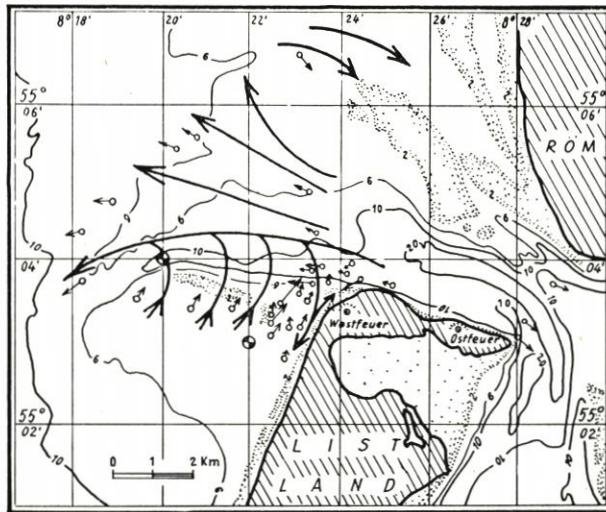


Abb. 19. Resultierende Grundströmung und Sandwanderung im Lister Tief (Erläuterung S. 35)

b. Strandversatz

Beträchtliche Sandmengen werden längs der Küste bei schräg auflaufender Brandung durch den Strandversatz verfrachtet, der sich nicht nur auf den „nassen“ Strand erstreckt, sondern auch erheblich weiter seewärts wirkt. Eine Anschauung von der Stärke und Richtung des Strandversatzes gewinnt man aus der Beobachtung, daß an der ganzen Westküste Listlands bis zur Plate hinauf auf Niedrigwasserhöhe Geröllfelder mit Steinen bis zu doppelter Kopfgröße liegen, die aus dem etwa 10 km entfernt liegenden Roten Kliff stammen. Auf der Plate wurde ein Betonblock von 30 kg Gewicht gefunden, dessen Herkunftsort nachweislich 1½ km südlich lag.

Die Menge des Strandversatzes vor dem Westfeuer ist folgendermaßen nachweisbar: Da die Ergebnisse der Strom- und Sandwanderungsmessungen eine Sandbelieferung der Plate durch Stromdrift fast ganz ausschließen, muß das Aufbaumaterial auf der Strecke Westfeuer-Plate, entgegen dem nachgewiesenen Überwiegen des Ebbestroms, durch Strandversatz verfrachtet sein. Aus der bekannten jährlichen Anwachsmasse ergibt sich die notwendige Anfuhrleistung des Strandversatzes zu rund 600 m³ täglich. Da der Ebbeabtrag an der Nordkante nicht berücksichtigt ist, ist dies ein Mindestwert.

Ein Vergleich mit amerikanischen Untersuchungen (TIMMERMANN, 1935) an der kalifornischen Sandküste zeigt vergleichsweise, daß sich dort beim mäßigen Seegang der Strandversatz bis 120 m seewärts der Uferlinie auswirkt und Sandmengen von 2500 m³ täglich verfrachten kann.

Während der Strandversatz auch ohne Strom entsteht, wirken sich im freien Wasser der Seegang und die Brandung hauptsächlich dadurch auf die Sandwanderung aus, daß sie die Sandteilchen vom Boden lösen und dem Gezeitenstrom zur Verfrachtung übergeben. Auf diese Weise kann auch schwacher Strom, der allein keinen Sand fördern könnte, beträchtliche Sandmengen verschleppen.

Wie sich der Anteil der Sturmfluten und Normaltiden auf die gesamte Sandwanderung verteilt, soll ein Rechenbeispiel zeigen, das jedoch auf zahlenmäßige Genauigkeit keinen Anspruch machen kann, wohl aber die in Betracht kommenden Größenordnungen umreißt. Überträgt man die — bei ruhigem Wetter mit der Sandfalle wiederholt gemessenen — Sandmengen einzelner Meßstellen auf den insgesamt 5 km langen Salzsand-Südhang, so ergibt sich, daß in jeder Tide rund 15 m³ als Überschuß des Fluttransports über den Salzsand nach Norden geschoben werden. Demgegenüber beträgt die in der Zeit von 1912 bis 1938 nach einem Seekartenvergleich nach Norden gewanderte Gesamtmenge etwa 160 000 m³/Jahr oder 230 m³ je Tide (Abb. 22). Zählt man zu den Sturmfluten alle Fluten mit einem Wasserstand höher als 50 cm über MThw, das sind für das Jahr 1938 etwa 20 % aller Tiden, so folgt hieraus, daß im Durchschnitt jede Sturmfluttide mit rund 1000 m³ etwa die siebzigfache Sandmenge einer Normaltide verfrachtet und die Gesamtleistung aller Sturmfluttiden im Jahre etwa zwanzigmal so groß ist wie diejenige aller Normaltiden.

Die Menge der jährlichen Sandwanderung wird demnach wesentlich von den Sturmfluten bestimmt. Die Frage bleibt, ob die für ruhige Wetterlagen festgestellten Sandwanderrichtungen maßgeblich durch Sturmfluten verändert werden. Wie die Windauswertungen zeigen, sind die West-, Nordwest- und Südweststürme vor Sylt am häufigsten und auch in ihrer Wirkungsdauer am größten. Das bedeutet, daß die Stürme mit dem Flutstrom streichen, und deshalb die Sandwanderung am ehesten in Flutstromrichtung verstärkt wird. Abgesehen von einer Strombeschleunigung der mit dem Winde anlaufenden Sturmflut ist auch der Seegang und damit die lösende Kraft länger und schwerer, wenn er mit dem Strom (Flut) läuft als gegen den Strom (Ebbe).

Jede Sturmflut wird also im Bereich des Lister Tiefs die Sandwanderung vorwiegend in Flutrichtung verstärken.

Südwestliche und westliche Stürme werden große Sandmengen, vornehmlich in der Lister Westsee aufrühren und nach Norden über den Salzsand hinweg in das Außentief verfrachten (vgl. die oben errechneten Mengen). Nur Nord- und Nordweststürme könnten, wenn überhaupt, im Gebiet des Salzsandes und der Lister Westsee zeitweilig eine rückläufige Wanderbewegung des Sandes in südlicher Richtung auslösen. Da aber ohnehin bei Nord- und Nordweststurm der Seegang an den Außensänden stark gebrochen wird, kommen Stürme aus diesen Richtungen nicht in dem Maße am West-Ellenbogen zur Wirkung, wie die Südwest- und Weststürme.

Im Seegebiet vor dem West-Ellenbogen bleibt demnach die Hauptsandwanderung auch bei Sturmfluten nach Norden gerichtet. Die bei normalen Wetterlagen ermittelten Sandwanderungsrichtungen behalten bei Sturmfluten ihre Gültigkeit im wesentlichen bei.

2. Veränderung der Seegrund- und Küstengestalt

Die bisherigen Anschauungen, wonach ein fester „schmaler Rücken durch den baldigen Durchbruch des Landtiefs in das Außentief hinein in seinem Bestand bedroht“ und nur durch „Abdämmung“ des Landtiefs zu erhalten sei (MÜLLER-FISCHER, 1938), finden in den Untersuchungsergebnissen über die Bildung und den Bestand der Landtiefbarre und des Salzsandes ebensowenig eine Stütze wie im geologischen Befund.

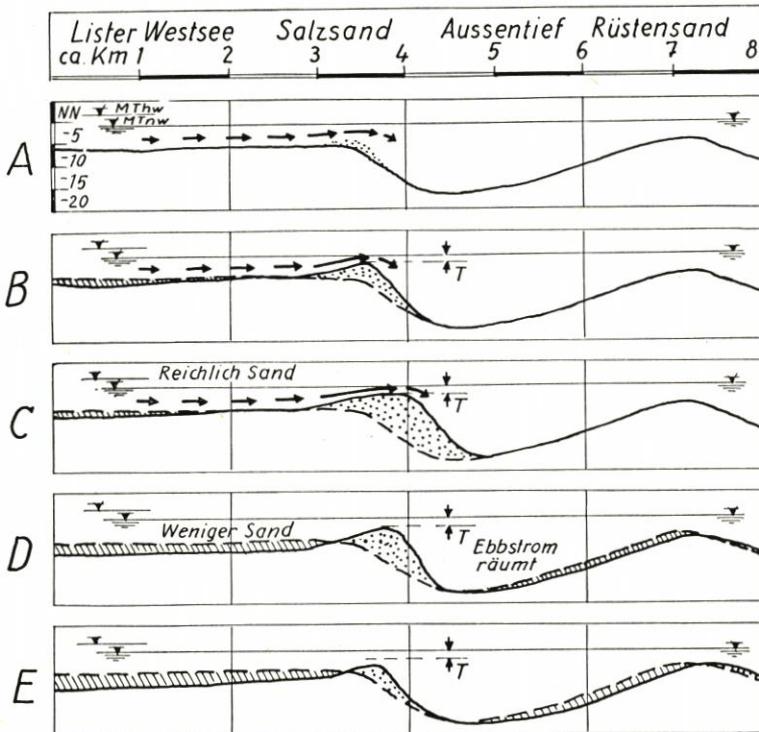


Abb. 20. Schema des Auf- und Abbaues des Salzsandes (und der Landtiefbarre) (Erläuterung S. 35)



Abb. 21. Tiefenänderung von 1898 bis 1938 im Mündungsgebiet des Lister Tiefs
 Nach den Arbeitskarten zu den Seekarten der Kriegsmarine ermittelt. Auftrag positiv. Abtrag negativ.
 Tiefenänderung in m

Salzsand und Landtiefbarre sind, wie nachgewiesen wurde, Strombildungen aus losem, leicht beweglichem Sand und als „Barren“ anzusprechen. Über den möglichen Auf- und Abbau dieser Sandbildungen gibt Abbildung 20 eine Vorstellung. Ihr Bestand hängt von der Voraussetzung ab, daß das derzeitige Verhältnis der Stromkräfte und eine ständige Sandzufuhr wie bisher fortbestehen. Beide Barren haben, wie der Kartenvergleich der letzten siebenzig Jahre zeigt, stets eine den Barren eigentümliche Grenzhöhe behalten, was auf eine Beständigkeit der Kräfteverhältnisse in diesem Gebiet schließen läßt.

Während die Erhaltung der konstanten Rückenhöhe derartiger Barren an sich schon ständig neue Sandzufuhr auf der Luvseite verlangt, ist es das Besondere an Salzsand und Landtiefbarre,

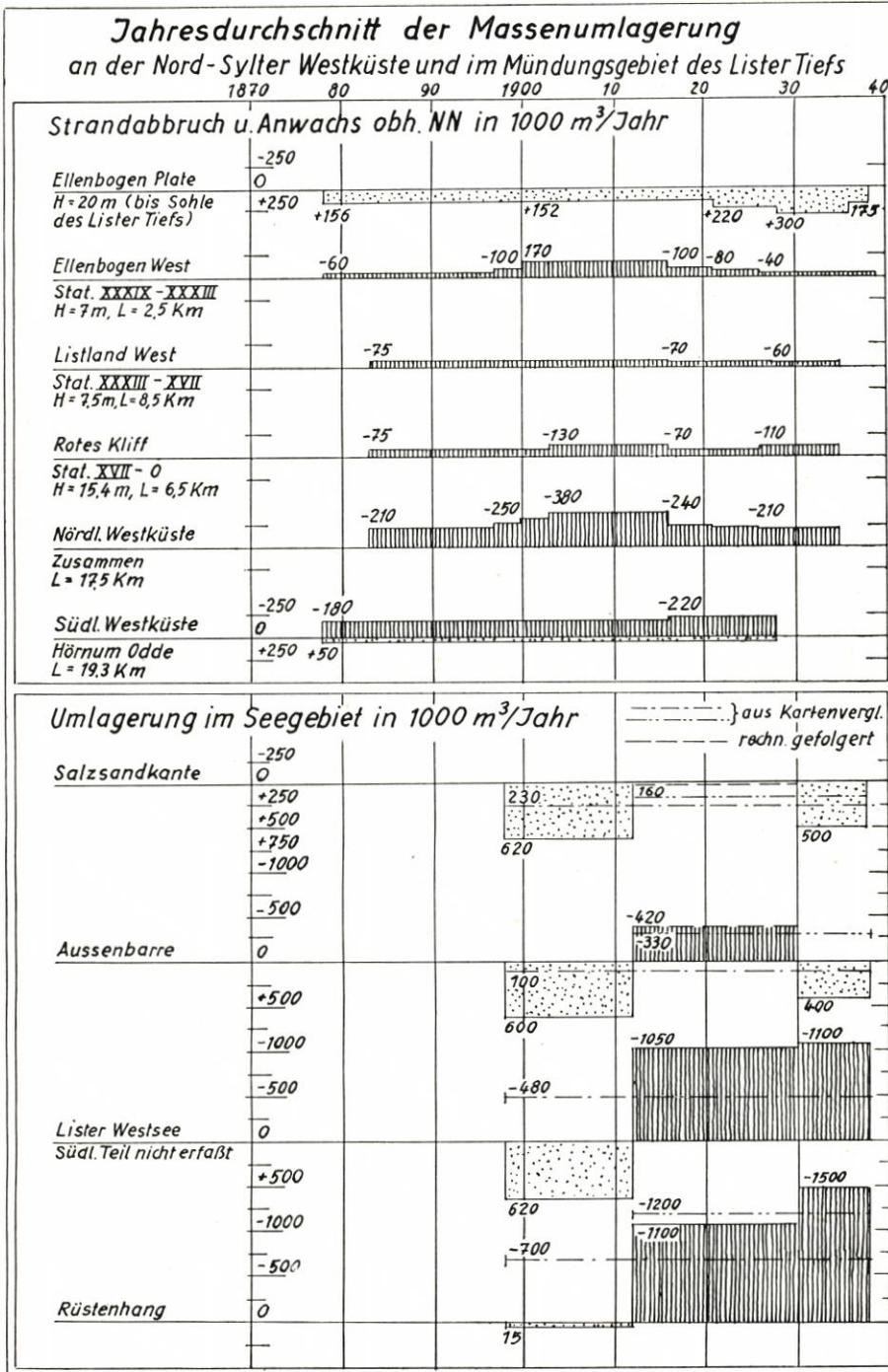


Abb. 22. Jahresdurchschnitt der Massenumlagerung im Mündungsgebiet des Lister Tiefs und an der Nord-Sylter Westküste 1878 bis 1939 in 1000 m³/Jahr

daß der Sand an der Leeseite im Norden nur zum Teil liegen bleibt, zum Teil aber durch den überwiegenden Ebbestrom des Außentiefs nach See abgeführt wird. Die Sandanfuhr von Süden muß also gleich oder größer sein als die Sandabfuhr im Außentief. Ist sie größer, verbreitern sich die Sände, läßt sie nach, werden sie schmaler. Ihre Höhe wird aber erst dann abnehmen, wenn sich Luv- und Leehang mit kleiner werdendem Umfang des Sandes berühren. Selbst wenn die Sandzufuhr plötzlich ganz aufhörte, würden diese Sände nur allmählich niedriger werden, da sie den zur Höherhaltung benötigten Sand zunächst aus der eigenen Masse am Luvhang entnehmen könnten.

Da nach der bisherigen Entwicklung ein plötzliches Versiegen der südlich gelegenen Sandquelle nicht zu erwarten ist, und außerdem plötzliche Höhenveränderungen dem Aufbau- prinzip der Barren widersprechen, wird ein weiterer Abbau des Salzsandes und der Landtief- barre nur ganz allmählich und nicht in Form eines Durchbruchs erfolgen. Die weitere Voraussetzung für ihren Bestand ist, daß die „Stoßkraft“ des Landtiefs gegenüber derjenigen des Außentiefs so schwach bleibt wie bisher. Erst wenn unter gleichzeitiger Verstärkung der Stromkräfte die Achse des Landtiefs seine Hauptstromrichtung (Achse) so weit an die Außen- tiefachse heranschwenken würde, daß der Flutstrom nicht mehr seitlich quer, sondern mit spitzem Winkel in das Außentief einmünden würde und damit der Stromstau fortiele, wäre das Ver- schwinden der Barre und damit ein Durchbruch des Landtiefs zum Außentief möglich. Mit der- artigen Veränderungen ist vorläufig aber noch nicht zu rechnen. Der Bestand der Sände hängt wesentlich von der Größe der Sandzufuhr aus Süden ab. Die Ergiebigkeit dieser Sand- quelle für die Sandzufuhr ist demnach entscheidend für die Lebensdauer von Salzsand und Landtiefbarre.

Über die Herkunft und den Verbleib der bewegten Sandmengen geben die Tiefenänderungs- pläne Auskunft, z. B. Abbildung 21, worin die Seetiefenänderung 1898 bis 1938 dargestellt ist. Aus ihnen und den seit 1883 durchgeführten Strandprofilmessungen sind für die einzelnen Teilgebiete des Untersuchungsgebietes die Auf- und Abtragungsmassen ermittelt und im Diagramm (Abb. 22) zusammengestellt.

Die Pläne lassen erkennen:

- a) starken Auftrag an der Nordkante des Salzsandes,
- b) verbreiteten Abtrag in der Lister Westsee, der nach Osten vor der Küste in eine schmale Auftragszone übergeht,
- c) westlich vom Außentief eine Fläche mit mäßigem Auftrag (Außenbarre),
- d) auf dem Rüstehang eine breite Fläche mit kräftigem Abtrag,
- e) nordwestlich davon auf dem Außenhang des Rüstensandes einen Streifen mit Auftrag.

Die Quelle des über Salzsand, Landtiefbarre und zur Plate wandernden Sandes ist also außer in den Abbruchmassen der Küste auch in dem Abtrag der Lister Westsee zu suchen. Die seeseitige Grenze dieses Abtragsgebietes wird in den Tiefenänderungsplänen nicht erfaßt und ist ungewiß. Die Ergiebigkeit der Sandquelle innerhalb der erfaßten Fläche hat in der Vergangenheit stark geschwankt und läßt zur Zeit anscheinend nach.

Das aus dem Außentief geräumte Material setzt sich zum Teil im Westen auf der Außen- barre ab.

Der am Nordufer des Außentiefs abgetragene Sand lagert sich zum Teil im Nordwesten des Rüstensandes ab, zum größeren Teil wandert er weiter nach Norden und Nordosten über den Lammelägersand vor die Insel Röm, wie man aus den Strombildern (z. B. Abb. 12) schließen muß.

Eine Gegenüberstellung der Abtrags- und Auftragsmassen ergibt:

Durchschnittliche Massenumlagerung in 1000 m³/Jahr
+ Anwachs — Abtrag

für die Zeitabschnitte	1898—1938	1930—1938
Lister Westsee	— 480	— 1100
Westküste nördl. Westerland	— 280	— 200
Lister Westküste	— 160	— 100
	— 920	— 1400
Salzsandkante	+ 230	+ 500
Außenbarre	+ 100	+ 400
Plate	+ 220	+ 250
	+ 550	+ 1150

Der Küstenabbruch nördlich von Westerland beträgt hiernach etwa ein Drittel bis ein Sechstel des Abtrags in der Lister Westsee. Eine Verminderung der Sandzufuhr — etwa durch ein Deckwerk — infolge Festlegung der ganzen Westküste könnte demnach schon einen merklichen Einfluß auf die Erhaltung der Landtiefbarre haben.

Die Ergiebigkeit der Sandzufuhr aus der offenen See vor Sylt (Lister Westsee) könnte ferner infolge anhaltender Vertiefung langsam zurückgehen, bis sich hier eine Grenztiefe einstellen würde, bei der die Sandwanderung bedeutungslos und damit ein Abbau von Landtiefbarre und Salzsand beginnen würde.

Dieser immerhin erkennbare Ausräumungsvorgang vor der Westküste Sylts verläuft jedoch äußerst langsam, überdies ist nach den vorliegenden Unterlagen zu vermuten, daß auch die Lister Westsee wieder Sandzufuhren aus südlicher oder westlicher Richtung erhält, so daß eine akute Gefahr für den Bestand der Sände vor West-Ellenbogen vorläufig nicht besteht.

Außer der Kenntnis von der Bildung und Erhaltung der großen Seegrundformen sind für die Küstenschutzmaßnahmen noch folgende Einzelheiten der Küstengestaltung von Bedeutung.

In Abschnitt III war betont, daß sich vor dem auffällig scharf vorspringenden Ostindienfahrehuk fast immer eine gute Strandlage erhalten hat. Ferner wurde auf die Einbuchtung der Abbruchkante vor dem Westfeuer hingewiesen. Ist einerseits die festgestellte Erhöhung des Vorstrandes vor der Küste Ellenbogen-West (südlich vom Huk) auf das Abschwenken des Landtiefs von

der Küste zurückzuführen, so ist der Grund für die gute Strandlage unmittelbar vor dem Huk in der vor diesem Punkt besonders günstigen Sandwanderung zu erblicken (Abb. 23). Der in breiter Front zur Landtiefbarre herangeführte Sand wird zum Teil in dem rund 300 m vom Strand entfernten „Ebbestrich“ (s. Abb. 14 und 18) wieder nach Süden verfrachtet und von dem Seegang zur Bildung des Riffs Ellenbogen-Steert benutzt. Zwischen Riff

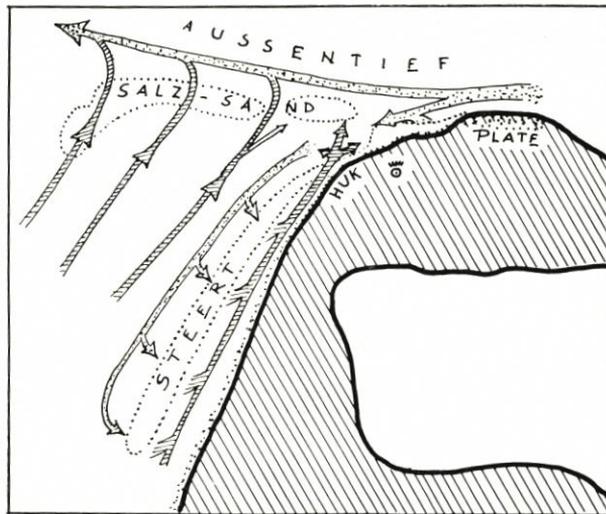


Abb. 23. Schema der Sandwanderung vor West-Ellenbogen, Stand 1939 (schraffierte Pfeile = Flutüberschuß, gepunktet = Ebbeüberschuß)

und Strand läuft der Sandstrom infolge Flutstromdrift und Strandversatz von neuem nach Norden und wirft den Sand über die Riffwurzel hinweg vor dem Huk auf. Dieser Sandkreislauf hat von jeher den auffälligen Küstenvorsprung am Ostindienfahrerhuk erhalten helfen (vgl. frühere Küstenlinien), obwohl in den letzten Jahrzehnten das Landtief soweit vorgedrungen und geschwenkt ist, daß jetzt die Brandung und der Strom gerade diese Küstenstrecke in besonderem Maße angreifen. Nordwärts anschließend, vor dem Westfeuer, fehlen dagegen die zur Auffüllung erforderlichen Sandmengen, so daß hier eine Einbuchtung im Strand entstand.

Zusammenfassung

Die veränderten Kräfte haben auf die Küste und das umliegende Seegebiet im Raum um Nord-Sylt folgende Wirkungen gehabt:

1. Die Gestaltänderungen der Küste und der Seegrundformen werden durch die Gezeitenströmung, den Seegang, die Brandung und als Folge dieser Kräfte besonders durch die Sandwanderung hervorgerufen.
2. An der gesamten jährlichen Sandverfrachtung im Seegebiet südlich des Salzsandes sind Sturmfluten und Normaltiden etwa im Verhältnis 20 : 1 beteiligt. Das Übergewicht der Sturmfluten wird auf die Wirkung des Seegangs zurückgeführt.
3. Nach dem Ergebnis der Sandfallenmessungen herrscht bei Normaltiden in Übereinstimmung mit dem Strombild eine allgemein mit der Flut nach Norden gerichtete Sandwanderung. Nur im Außentief werden überwiegende Sandmengen mit der Ebbe nach Westen zur See abgeführt. Die häufigen Sturmfluten aus westlicher Richtung vergrößern die Sandwanderung erheblich, ändern aber nicht ihre Richtung. Nur Stürme aus Norden und Nordwesten können zeitweilig ein Wandern des Sandes nach Süden hervorrufen.
4. Landtiefbarre und Salzsand sind als Barrenbildung in ihrem Bestand abhängig von dem jetzigen Verhältnis der Stromkräfte und einer ständigen Sandzufuhr aus der südlich gelegenen Lister Westsee. Sie sind selbst bei langsamer Abnahme dieser Sandzufuhr vorläufig in ihrem Bestand nicht gefährdet.
5. Ein „Durchbruch“ des Landtiefs zum Außentief ist nach dem augenblicklichen Kräftebild nicht zu befürchten, weil sich die schwächere Stromkraft des Landtiefs gegenüber der stärkeren des Außentiefs nicht erheblich auswirken kann.
6. Die trotz stärksten Strom- und Brandungsangriffs ständig gute Strandlage unmittelbar vor dem Huk einerseits und die Einbuchtung der Küste vor dem Westfeuer andererseits sind Folgen eines verwickelten eng begrenzten Sandhaushalts, dessen Gleichgewicht unter anderem von der Achsenrichtung des Landtiefs zur Küste abhängt.
7. Das Aufbaumaterial für die Plate am Nord-Ellenbogen besteht vornehmlich aus Abbruchmaterial, das durch Strandversatz von der Westküste der Insel am Huk vorbei hergeschafft wird.

VI. Die künftige Küstenentwicklung am Ellenbogen

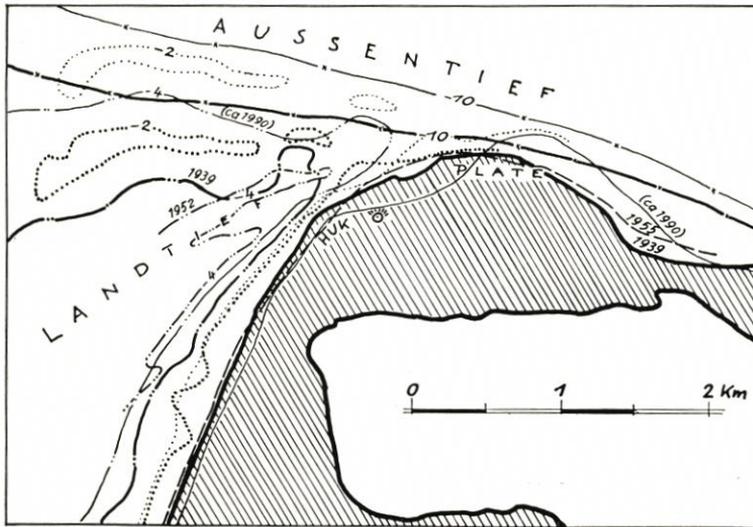
Bei der Frage, wie sich künftig die natürliche Entwicklung der Küste am Ellenbogen gestalten wird, soll die Wirkung der am Ellenbogen seit 1936 vorhandenen kurzen eisernen Strandbuhnen außer Acht gelassen werden, weil sie hierfür von untergeordneter Bedeutung bleiben würden.

Unter Beachtung der im Kartenvergleich festgestellten früheren Entwicklung und des Kräftebildes der Gegenwart lassen sich für die künftige Küstenentwicklung um Nord-Sylt ohne Berücksichtigung etwaiger Schutzbauwerke folgende Aussagen machen (Abb. 24):

Die starken Ebbestromgeschwindigkeiten haben am Rüstenhang gegenüber dem Ellenbogen große Ebbetrichter (Großer Trichter u. a.) ausgebildet, die auf eine Fortdauer der nordwärts gerichteten Schwenkung des Außentiefs hindeuten. Die weitere Entwicklung des Landtiefs, die im einzelnen nicht ganz so stetig wie die des Außentiefs verlaufen dürfte, hängt von dem Verhältnis der Stromkräfte im Außentief und Landtief und von der weiteren

Ausräumung des Südhanges des Salzsandes ab. Die Ausräumung wird eine weitere Nord-schwenkung der Landtiefachse zur Folge haben, jedoch darf die hierdurch hervorgerufene Verstärkung der Stoßkraft des Landtiefs (Brandung, Strom) in ihrer Auswirkung nicht überschätzt werden, weil, wie heute bereits durch die Bildung des Ellenbogen-Steert u. a. angedeutet, vor der Küste Ellenbogen-West südlich des Huks gleichzeitig eine mäßige Aufhöhung des Vorstrands anhalten wird.

Die nördlich des Ellenbogens gelegene Plate wird künftig mehr und mehr in den Bereich der Hauptabbrüche kommen, und damit wird auch das Westfeuer in seinem Bestand gefährdet werden. Die Nord- und Ostverbreiterung der Plate wird andauern und zum langsamen Auffüllen der Mittelbucht (Einschnürungsstelle) führen. In dieser Entwicklung werden plötzliche



Uferlinien MThw \approx + 1 m NN. Tiefenlinien bezogen auf MSpThw = - 1,2 m NN.
Zustand 1939: dicke Linien.
Vermuteter Zustand 1990: dünne Linien.
Nachtrag: Uferlinie 1955 nach Strandprofilen und Tiefenlinien 1952 nach Echolotungen des Marschenbauamts Husum

Abb. 24. Vermutete Entwicklung des Ellenbogens in den nächsten fünfzig Jahren seit 1939

und einschneidende Veränderungen nicht eintreten, weil alle Sände Strombildungen sind, die wohl durch Sturmfluten zeitweilig aufgerührt, nicht aber zerstört oder so umgestaltet werden können, daß sich grundsätzlich andere Stromverhältnisse einstellen müßten. Es besteht daher auch nicht die akute Gefahr eines Durchbruchs der Landtiefbarre.

Der Bestand des Ellenbogens als Ganzes ist in der nächsten Zukunft noch nicht gefährdet. Es ist aber zu bedenken, daß angesichts der durch das Deckwerk jetzt (1939) schon festgelegten Küstenlinie auf längere Sicht mit verschärften Bedingungen für den Schutz der Nordwestecke des Ellenbogens gerechnet werden muß.

Es bleibt ohnehin eine Frage, wann — ohne den jetzt vorgenommenen gewaltsamen Eingriff des Deckwerks — der richtige Zeitpunkt eingetreten wäre, den Nordabschnitt der Sylter Westküste auf die Dauer und auf wirtschaftlichste Weise zu sichern. Es gibt Hinweise dafür, daß die anwachsenden Weststrände der nordwärts anschließenden dänischen Inselkette (Röm, Fanö usw.) einerseits und andererseits die abbrechende Westküste Nord-Sylts einer gemeinsamen Streichlinie zustreben. Eindeutig hat jedenfalls die starke Staffelung zwischen den Westküsten von Röm und Sylt im letzten Jahrhundert abgenommen, und man darf schätzen, daß der Nordwest-Ellenbogen aus seiner vorspringenden gefährdeten Lage von Natur aus langsam unter stetiger Verminderung der jährlichen Abbruchquote zurückgehen wird.

Erläuterungen zu den Abbildungen 9 bis 20

Abb. 9: Mittlere Windverteilung Westerland/Sylt 1927—1936 und ihr Einfluß auf den Strandversatz an der Sylter Westküste

- Verteilung der Windvorkommen (relative Häufigkeit N).
- Verteilung der Winddruckstunden ($D = N \cdot v^2$).
- Verteilung der Windvorkommen ≥ 4 Bft.
- Verteilung der Windvorkommen ≥ 6 Bft.
- Resultierende der Winddruckstunden (R_D) von allen Windrichtungen, in % der Jahressumme.
- Resultierende der Winddruckstunden (R_D) nur von Richtungen, die an der Listland-Westküste Seegang erzeugen, d. h. ohne SO und O, in % der Jahressumme, zerlegt nach Komponenten quer und längs zum Strand.
- Resultierende der Winddruckstunden (R_D) nur von Richtungen, die an der Hörnum-Westküste Seegang erzeugen, d. h. ohne SO, O und NO, in % der Jahressumme, zerlegt nach Komponenten quer und längs zum Strand.

Die Resultierendenrichtungen der Windstärken ≥ 4 Bft und ≥ 6 Bft weichen nicht wesentlich von denen aller Windstärken ab. Schraffiert: Windstärken über dem Jahresmittel aus allen Richtungen. Punktiert: Windstärken unter dem Jahresmittel.

Abb. 10: Mittlere Tidekurven und Spiegelgefälle um Nord-Sylt.
Mittlere Tide, Hauptwerte

Pegel	Hub cm	MTnw PN	MThw PN	Stieg-		Fall-		Zeitunterschied gegen Husum		NNTnw PN	HHTnw PN
				Dauer h	Geschw. min	Dauer h	Geschw. min	Tnw min	Thw min		
Wittdün	233	363	596	5	42,063	6	43,058	0	-34	214	866
Westerland	168	396	564	5	27,052	6	58,040	-35	-85	~150	~820
Ellbg. Westfeuer	160	400	560	5	57,045	6	28,041	-23	-49		
List-Brücke	156	407	563	6	20,041	6	05,043	+31	+25	192	897

Abb. 11: Flut- und Ebbstrom im Lister Tief

Volle Flut 3 Std. vor Thw Ellenbogen.

Volle Flut 4 Std. nach Thw Ellenbogen.

Mittlere Profilgeschwindigkeiten, beobachtete Werte nicht auf mittl. Tide bezogen.

Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Messungen dargestellt.

Messungen durchgeführt 1936—1939.

Tiefen nach Arbeitskarte der Kriegsmarine April 1937.

Seekarten-Null = MSpNW = -1,2 m NN.

Einzelwerte der Geschwindigkeit siehe Abb. 12 und 13.

Abb. 12: Oberflächenströmung Lister Tief

Vektorielle Darstellung. Beginnzeit Tnw List. Strommessungen 1936—1939. Beobachtete, nicht auf mittlere Tide bezogene Geschwindigkeiten. Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Meßstellen dargestellt.

Tiefen nach See-Arbeitskarte der Kriegsmarine April 1937. Seekarten-Null = MSpNW = -1,2 m NN.

Erläuterungen zu den Abbildungen 9 bis 20

Abb. 13: Oberflächen- und Grundstrom vor West-Ellenbogen

Vektorielle Darstellung. Beginnzeit Tnw List. Strommessungen 1936—1939. Beobachtete, nicht auf mittlere Tide bezogene Geschwindigkeiten. Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Meßstellen dargestellt.

Tiefen nach Echograph-Lotungen der Forschungsgruppe Sylt Sommer 1938. Karten-Null = NN.

Abb. 18: Verteilung des Sandtransportüberschusses von Flut und Ebbe vor West-Ellenbogen

Unterschied (ΔS) der am Boden durch den Querschnitt der LÜDERSSchen Sandfalle gewanderten Sandmengen bei Flut (positiv) und Ebbe (negativ) in $1000 \text{ cm}^3/0,9 \text{ dm}^2$.

Gemessen 1936—1938. Unmittelbare Meßergebnisse, nicht auf mittlere Tide bezogen.

Abb. 19: Resultierende Grundströmung der Tide und Sandwanderung im Lister Tief

Resultierende ermittelt ohne alle $v_{(\text{Grund})} < 40 \text{ cm/s}$ unter der summarischen Annahme, daß hier die Transportgrenze liegt. Ermittlung wie auf Abb. 12 und 13.

Nicht auf mittlere Tide bezogen.

Gepfeilte Kurven: Hauptbahnen der Sandwanderung.

Abb. 20: Schema des Auf- und Abbaues des Salzsandes (und der Landtiefbarre)

Abtrag: schraffiert. Auftrag: punktiert.

Pfeillängen entsprechend der Stromgeschwindigkeit.

A—C: Kein einseitig ausräumender Ebbstrom im Außentief angenommen. Dann: Flutstrom räumt Lister Westsee aus. Stromstau beim Eintritt in das Außentief. Aufschüttung einer Schwelle. Bei reichlicher Sandanfuhr bildet sich C. Sand steigt nur bis zur Grenztiefe T (etwa $-1,5 \text{ m MTnw}$). Bildung einer breiten Krone.

D u. E: Im Außentief überwiegender Ebbstrom, der den Schütthang des Salzsandes und den gegenüberliegenden Rüstengang abräumt. Abnahme der Sandzufuhr mit zunehmender Vertiefung der Lister Westsee. Dadurch zunächst Breitenabnahme des Salzsandes (D), in der Folge auch Höhenabnahme des Salzsandes.

Dargestellt ist die Wirkung der Flut. Ebbe wirkt im Gegensinn, aber bedeutend schwächer. Resultierende also in Flutrichtung, außer im Außentief, wo Ebbe überwiegt.

VII. Nachwort 1958

Die schon 1939 beabsichtigte Veröffentlichung der Denkschrift unterblieb aus kriegsbedingten Gründen. Jetzt, zwanzig Jahre später, erscheint es jedoch noch nützlich, die Beobachtungsergebnisse als umfassende Bestandsaufnahme des Mündungsgebietes des nördlichsten und größten deutschen Wattentiefs nachträglich bekanntzumachen, um damit zur allgemeinen Küstenkunde der Deutschen Bucht beizutragen. Zum anderen bedarf es zur noch ausstehenden endgültigen Sicherung der Gesamtinsel Sylt der greifbaren Bereitstellung aller inzwischen überhaupt angestellten Beobachtungen und Überlegungen.

Die bis 1939 auf Sylt angewandten hydrologischen und morphologischen Beobachtungs- und Auswertungsverfahren dürfen heute teilweise als überholt, vereinzelt vielleicht als unzureichend angesehen werden. Auf alle Fälle sind sie lückenhaft. Das gilt besonders für die Strom- und Sandmessungen, die sich meist auf einzeln aufeinanderfolgende „Schönwetter“-Messungen über je eine Tide beschränken mußten. Praktisch zuverlässige Dauer-Stromschreiber gab es noch nicht. Auf die morphologisch überaus wirksamen Vorgänge bei Sturm konnte lediglich nach gewissen Analogien gefolgert werden. Über die Wirkungen von Seegang und Brandung fehlten Erfahrungen, wie sie heute bereitstehen.

Aber aufschlußreich ist jetzt die Probe auf die in der Denkschrift gemachten Schlußfolgerungen und Voraussagen, zu der die zurückliegende, rund zwanzig Jahre lange Entwicklung die Möglichkeit gibt.

Bei Abschluß der Untersuchungen 1939 war das neue rund zweieinhalb km lange Basaldeckwerk fertiggestellt. Es fehlte nur noch seine Fußsicherung in Form von fünf schweren Unterwasserbuhnen von rund 350 m Länge, die nach dem damaligen Entwurf den Vorstrand binden sollten. An dem schon vorher bestehenden System einwandiger kurzer Spundstahlbuhnen hatte der Verschleiß eingesetzt (vgl. Abb. 13). Folgerichtig mußte ein derartig unabgestimmtes und des Krieges wegen nicht unterhaltenes Strandschutzsystem verwildern, und so verfiel es in der Folge bis auf einige Reststücke; seine Schutzwirkung unterblieb oder schlug streckenweise durch Lee-Erosion usw. in das Gegenteil um. Vereinzelt und vorübergehend trat auch Strandanwachs ein, so z. B. nordöstlich vom Westfeuer bei Station XXXX (vgl. Abb. 13).

Dieser durch die besonderen Umstände unvollständig gebliebene örtliche Eingriff will bedacht sein, wenn nunmehr die in Abschnitt VI auf fünfzig Jahre vorausgesagte natürliche Küstenentwicklung am Ellenbogen mit der im ersten halben Zeitraum tatsächlich eingetretenen Entwicklung verglichen werden soll. In die Abbildung 24, welche die bis 1990 vorausgesagte Verlagerung einiger kennzeichnender Ufer- und Tiefenlinien zeigt, wurde nachträglich die aus Strandprofilmessungen abgeleitete Uferlinie von 1955 sowie die aus Echolotpeilungen ermittelte 4 m-Tiefenlinie des Landtiefs von 1952 eingetragen.

Danach zeigt die Uferlinie (MThw) im Ganzen eindeutig die vorausgesagten Verlagerungstendenzen, wenn auch — bis jetzt — in der Geschwindigkeit teils von der Voraussage abweichend. Überraschend dagegen ist es, daß das Ufer zwischen Westfeuer und dem Ostrand der Plate nicht zurück- sondern merklich vorgeschritten ist. Den pessimistisch vorausgesagten weiten Einbruchbogen hat offenbar der hier noch intakte Deckwerkskörper trotz fehlender Vorstrandsicherung verhindern können.

Nicht gerade verwunderlich ist der eingetretene mäßige gleichförmige Uferanwachs rund eineinhalb km vom südlichen Kartenrand aus bis zum Halsansatz des Ellenbogens. Zwar war auf dem Zukunftschema der Abbildung 24 vorsichtshalber ein schmaler Uferrückgang eingezeichnet worden; für den untermeerischen Vorstrand war aus den verwickelten Sandwanderungsverhältnissen (vgl. Abb. 23) heraus jedoch auf eine im Ganzen schwach positive Entwicklung

dieser Küstenstrecke südlich vom Huk geschlossen worden (vgl. u. a. Abschnitt VI). Die Treffsicherheit dieser von mancher Seite angezweifelten Behauptung wird ferner durch das Abrücken der 4 m-Tiefenlinie belegt; die günstige Verlagerung der Uferlinie ist also keine isolierte oder vorübergehende Einzelercheinung.

Soweit die Betrachtungen bisher geführt wurden, stimmt Voraussage und tatsächliche Entwicklung befriedigend überein.

Darüber hinaus gibt es einen Widerspruch zur Voraussage. Das ist — wegen der auf Landnähe beschränkten Kontroll-Lotungen von 1952 mit Vorsicht aufzufassen — die auffällige Tatsache, daß sich das Landtief mit seinem oberen trichterförmigen Ende nicht weiter in den Salzsand hinein in nordöstlicher Richtung vorgearbeitet hat, sondern sich offensichtlich verflacht hat. Dies zeigen die 4 m-Tiefenlinien von 1939 und 1952. Zu ergänzen ist hier, daß sich der Umfang der sogenannten „Landtiefbarre“ zwischen Landtief und Außentief nach dem Ergebnis derselben Lotungen eher vergrößert als vermindert hat (in Abbildung 24 ist die 4 m-Linie des Außentiefs der Übersicht wegen nicht eingezeichnet). Das bedeutet, daß das bis 1939 beobachtete sehr stetige Vorschreiten und Ausdehnen des oberen Landtiefs zumindest einen nicht erwarteten Stillstand erfahren hat. Die möglichen Ursachen können z. Zt. nicht untersucht werden.

Zusammengefaßt ergeben die angestellten Vergleiche eine so weitgehende Übereinstimmung zwischen Voraussage und tatsächlicher Entwicklung, daß die vor zwanzig Jahren angestellten Untersuchungen nachträglich einen höheren Zuverlässigkeitsgrad erlangen, als den Vorbehalten nach, die wegen einiger unabwendbarer Verfahrensmängel zu stellen sind, erwartet werden konnte. Nun erhält auch der in den Schlußfolgerungen der Denkschrift enthaltene gemäßigte Optimismus über das künftige Schicksal des Ellenbogens eine festere Grundlage: künftige Abbrüche an seinen seewärtigen Seiten, auch vorübergehende Ein- und sogar Durchbrüche zum Königshafen wie derjenige von 1928, werden und können zwar eintreten, nachhaltige „Katastrophen“ jedoch wie ein von manchem befürchteter „Durchstoß“ des Landtiefs zum Lister Außentief bleiben solange ausgeschlossen, bis das Mündungssystem des Lister Tiefs mit seinen Stromrinnen und Außensänden seinen Charakter grundsätzlich ändert. Dieser Zeitpunkt liegt zur Zeit außerhalb der Vorhersagemöglichkeit. Fragen dieser Art — sie sind am Schluß der Denkschrift angedeutet — griffen auch über die praktisch und zeitlich bedingte Zielsetzung der Untersuchungen noch hinaus. Ihre Lösung würde unter anderem voraussetzen, die Quellen und die Wanderwege der Masseteilchen eindeutig zu kennen, durch die das Seegrundrelief im Mündungsgebiet des Lister Tiefs heute noch im dynamischen Gleichgewicht erhalten wird.

Der Boden- und Wirtschaftswert des Ellenbogens mag nicht erheblich sein. Der unzweifelhafte Zusammenhang der Küstenumformung am und vor dem nordwestlichen Ellenbogen mit den Abbrucherscheinungen an den dichtbesiedelten Küstenstrecken des Inselkerns um Westerland wird aber eines Tages dazu zwingen, den küstenmorphologischen Problemen der Westküste Sylts im größeren Raume nachzugehen. Der Inhalt der vorliegenden Denkschrift darf dafür als Beitrag gelten.

VIII. Schriftenverzeichnis

1. GRIPP, K. u. SIMON, W. G.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. I. Nord-Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.
2. GRIPP, K. u. BECKER, W.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. II. Mittel-Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.
3. HANSEN, C. P.: Die nordfriesische Insel Sylt. Leipzig 1859.
4. LÜPKES, H. u. SIEMENS, H. P.: Planung und Stand der Maßnahmen zur Sicherung des Ellenbogens von Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.

5. MAGER, Fr.: Der Abbruch der Insel Sylt durch die Nordsee. Schr. Balt. Komm. Kiel 6, 1927.
6. MÜLLER, Fr. u. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil 2: Die Inseln, Band 7: Sylt. Berlin 1938.
7. TIMMERMANN, P. D.: Proeven over de invloed van golven op een strand. Leidsche Geol. Med. VI, 1935.
8. WALTHER, Fr.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechnik 12, H. 13, 1934.
9. ZAUSIG, F.: Veränderungen der Küsten, Sände, Tiefs und Watten der Gewässer um Sylt (Nordsee) nach alten Seekarten, Seehandbüchern und Landkarten seit 1585. Geol. Meere u. Binnengewässer 3, H. 4, 1939.

Ferner: Marschenbauamt Husum, Akten und Planarchiv.