Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Küstenforschungen im Raum Fehmarn — Nordwagrien

Von Claus Magens

Inhalt

I. Das Untersuchungsgebiet 4
II. Art, Umfang und Durchführung der Untersuchungen 9
III. Die allgemeinen Erkenntnisse über die Dynamik im Untersuchungsgebiet 10
1. Die Küstenformen, ihre Veränderungen und die sie bewirkenden Einflüsse und Kräfte 10
2. Der Seegrund als Bild des Kräftespiels 15
IV. Die natürlichen Vorbedingungen für eine Landverkehrsverbindung nach Fehmarn und die Anlage eines Fährhafens an der Nordküste Fehmarns 17
1. Die verkehrstechnischen Forderungen 17
2. Die Wirkung der verschiedenen Bauwerke und die günstigsten Lösungen vom naturgegebenen Zustand her 21
V. Die natürlichen Vorbedingungen für die Erhaltung der Küsten von Nordwagrien und Fehmarn 28
1. Die Wirkung von künstlichen Uferschutzmaßnahmen 28
2. Uferabbruch und Strandwallverlagerung als Wirtschaftsproblem 29
3. Die Möglichkeiten und Grenzen des technischen Küstenschutzes 32
a. Der Stein- und Graswarder und die Hafeneinfahrt von Heiligenhafen 34
b. Die Ostküste Nordwagriens und die Hafeneinfahrt von Großenbrode-Kai 35
c. Die Westküste von Fehmarn 35
d. Die Nord- und Ostküste Fehmarns 36
e. Die Südküste von Fehmarn 37
f. Die übrigen Küstenstrecken 38
4. Der Hochwasserschutz auf Fehmarn 38
VI. Schriftenverzeichnis 38

I. Das Untersuchungsgebiet

Die Gesamtaufgabe für die in den Jahren 1951—1953 im Raum Fehmarn—Nordwagrien durchgeführten Untersuchungen läßt sich in die drei Einzelaufgaben trennen:

1. Welche Naturkräfte sind an den zu beobachtenden Veränderungen an den Küsten des Untersuchungsgebietes beteiligt, und wie wirken sie?
2. Welche Vorbedingungen von der Natur her ergeben sich aus dem festgestellten Kräftespiel für technische Planungen zur Herstellung der sogenannten „Vogelfluglinie", einer Landverkehrsverbindung zwischen Nordwagrien—Fehmarn einerseits und der Insel Laaland andrerseits, die eine feste Überquerung des Fehmarnsunds und einen Fährhafen an der Nordküste von Fehmarn umfaßt?
3. Welche Vorbedingungen von der Natur her ergeben sich für die Beurteilung von Küstenschutzmaßnahmen, ihre Wirkung und ihre Berechtigung?

Während die letzte Aufgabe mehr oder weniger generell für die verschiedenen Küstentypen lösbar schien, erforderte die zweite eine gewisse Begrenzung des Untersuchungsgebietes auf den mutmaßlichen „Einflußraum" der für die seebaulichen Anlagen für die „Vogelfluglinie" vorgesehenen Küstenstrecken.

Ohne die Kenntnis der natürlichen Vorgänge und Kräfte war dieser Einflußraum jedoch nicht von vornherein festzulegen, so daß das Untersuchungsgebiet so weit gefaßt werden mußte, wie der Einflußraum unter ungünstigsten Annahmen vermutet werden konnte.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Es wurde deshalb auf die Küsten Nordwagriens von Groß-Wessek an der Nordseite bis etwa Kraksdorf an der Ostseite und die Küsten der Insel Fehmarn ausgedehnt. Dazu kam das angrenzende Seegebiet, das nach den Bezeichnungen der deutschen Seekarte mit dem Begriff „Gewässer um Fehmarn" gekennzeichnet ist (Abb. 1).

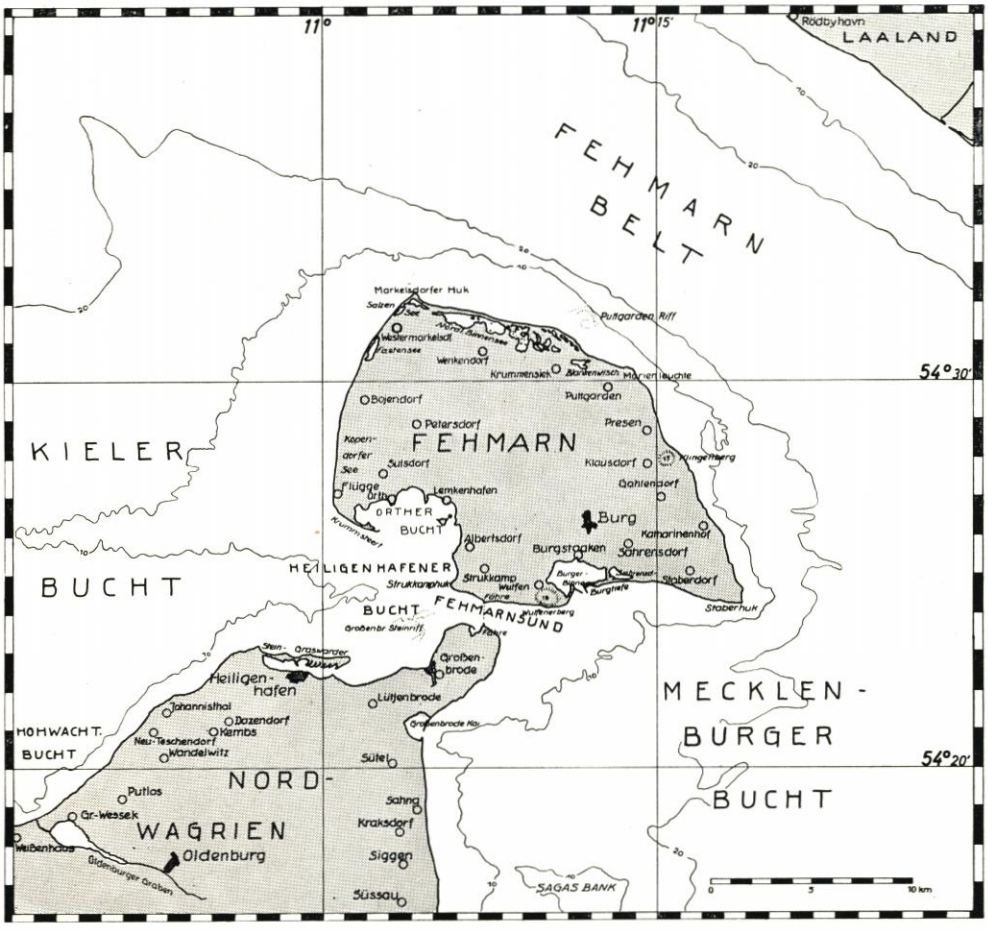

Abb. 1. Übersichtsplan des Untersuchungsgebietes

Das Gebiet stellt den äußersten Ausläufer der ostholsteinischen Hügellandschaft nach Osten dar, der in nordöstlicher Richtung in die Ostsee hineinragt und von der in gleicher Richtung vorgelagerten Insel Fehmarn noch verlängert erscheint. Durch diesen „Riegel" wird die Beltsee in die Kieler Bucht im Nordwesten und die Mecklenburger Bucht im Südosten geteilt. Nordöstlich von Fehmarn verbleibt eine nur 19 km breite Meerenge, der Fehmarnbelt.

Zwischen dem wagrischen Festland und Fehmarn erstreckt sich von West nach Ost der Fehmarnsund, der an der engsten Stelle rund 1 km breit ist, sich aber im Osten sehr schnell zu einer nach Südosten offenen, breiten Bucht, im Westen trichterförmig erweitert. An diesem westlichen Trichter liegen im Süden vor Heiligenhafen der Gras- und Steinwarder in die See vorgeschoben, während im Norden die Küste in großem Bogen die flache Orther Bucht umgeht.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Abb. 2
Steilufer bei Heiligenhafen

Abb. 3
Niedriges Kliff bei Großenbrode

Abb. 4
Westküste Fehmarns. Zum Deich ausgebauter Strandwall im Abbau

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Innerhalb dieser Küsten liegen im südlichen Teil die Höhenzüge der jüngsten Stauchmoränenlandschaft Ostholsteins, im Norden in der Gegend von Lütjenbrode in eine Grundmoränenlandschaft übergehend, die mit ihrem topographisch nur schwach gegliederten Flachlandcharakter auf Fehmarn ihre Fortsetzung findet.

Diesem Landschaftsaufbau entsprechend finden sich zwischen Groß-Wessek und Heiligenhafen, ebenso wie zwischen Sütel und Kraksdorf die Anschnitte der Stauchmoränen als verhältnismäßig hohe Steilufer. Die Halbinsel von Großenbrode weist dagegen nur niedrige Kliffküsten und stellenweise sogar ausgesprochene Flachküsten auf.

Abb. 5 a. Nordwest-Ecke von Fehmarn. Strandwallebene vor geschlossenen Strandseen

Die Küsten Fehmarns zeigen einen völlig anderen Charakter. Die westliche Südküste der Insel ist flach, teils mit niedrigen Kliffs, größtenteils mit Deichen besetzt. Die Südwestecke der Insel wird von der ehemaligen Insel Flügge gebildet, die im Westen durch Strandwallbildungen, im Osten durch einen Damm mit Fehmarn verbunden wurde.

Die völlig bedeichte Westküste der Insel ist sehr flach. Strandwälle haben ausgedehnte Binnenseen eingeschlossen, die im Süden (Kopendorfer See) binnendeichs, im Norden (Fastensee und Salzensee) außendeichs liegen.

Ebenso ist die Nordküste auf größte Länge von Westen her flach und wird von teilweise recht ausgedehnten Strandwallebenen vor Binnenseen gebildet. Erst eben östlich Puttgarden beginnt wieder die Kliffküste, die langsam bis Marienleuchte zu recht ansehnlichen Höhen ansteigt.

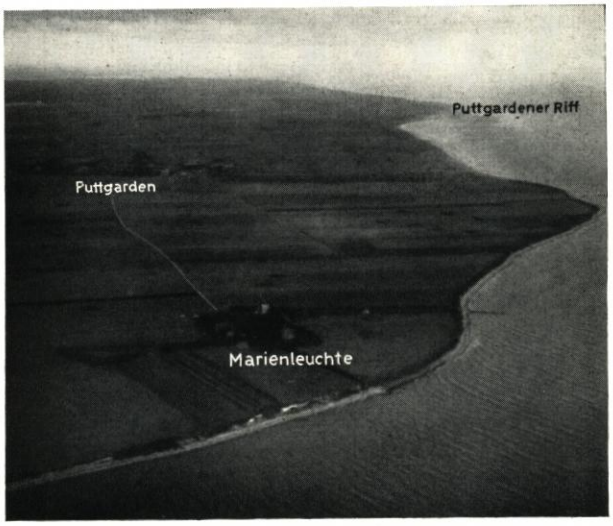

Abb. 5 b. Nordost-Ecke von Fehmarn. Bei Puttgarden beginnende Kliffküste

Die Ostküste besitzt mit ihrem blockreichen Strand und den tarrashaltigen, schräg geböschten, bewachsenen Steilufern ihr eigenes Gepräge, das besonders im südlichen Teil bei Katharinenhof typisch hervortritt.

Die östliche Südküste der Insel läßt sich in drei charakteristische Abschnitte einteilen: die östliche Kliffstrecke, den niedrigen Mittelteil mit den Nehrungen vor dem Sahrensdorfer

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Abb. 6
Flachgeneigtes Tarraskliff an der Ostküste von Fehmarn

Abb. 7
Bewaldetes Tarraskliff an der Ostküste von Fehmarn bei Katharinenhof

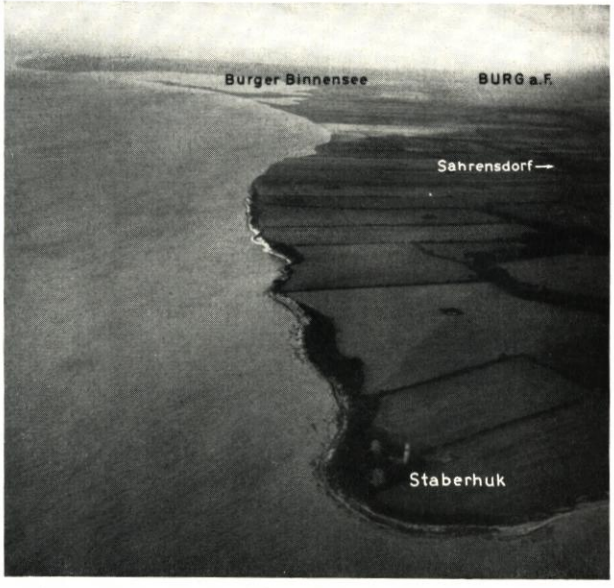

Abb. 8
Östliche Südküste von Fehmarn. Im Hintergrund links der Wulfener Berg

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

und Burger Binnensee und die westliche Kliffküste am Wulfener Berg, die sich petrographisch und stratigraphisch von den Geschiebekliffs unterscheidet.

II. Art, Umfang und Durchführung der Untersuchungen

Für die Erforschung der an den Küstenveränderungen wirksamen Kräfte wurde das folgende Programm aufgestellt:

1. Feststellung der Küstenveränderungen durch genaue Vermessung und Kartierung der Mittelwasserlinie, der Steiluferober- und -unterkanten, der Strandwall- und Deichfüße und des der Küste vorgelagerten Seegrundes sowie Vergleich mit älteren zuverlässigen Aufnahmen.
2. Beobachtung der Wasserstandsschwankungen, ihrer Ursachen und Wirkungen besonders hinsichtlich der Strömungen und Brandungskräfte.
3. Messung von Strömungen im Fehmarnsund und in den Gewässern um Fehmarn und Feststellung ihres Einflusses auf Sandverlagerungen.
4. Untersuchung und Messung der Brandungserscheinungen und Versuch ihrer Deutung als Ursache der Küstenveränderungen.
5. Geologische Kartierung des Seegrundes zur Ermittlung der Sandbewegungen im weiteren Küstenbereich und Ableitung der wirksamen Kräfte aus dem Sedimentationsbild.
6. Sedimentpetrographische Untersuchung der Brandungszone mit dem Ziel, die küstennahen Sandwanderrichtungen festzustellen.
7. Petrographische Untersuchung der Steilufer als Hauptlieferanten für die Sandwanderung und den Aufbau von Nehrungen, Haken und Strandwällen mit dem Versuch, den Verbleib des Abbruchmaterials nachzuweisen.
8. Aufnahme, Kartierung und erdgeschichtliche Deutung der Morphologie der Strandwall-Landschaften als Beitrag zur Deutung von Umfang und Ursachen der Küstenverlagerungen.
9. Erdgeschichtliche Untersuchung des Nehrungssystems der Warder vor Heiligenhafen zur Klärung der Frage, ob dieser Teil der Küste mit den Liefergebieten der Steilufer von Wessek bis Heiligenhafen noch bis in den Fehmarnsund hinein von Einfluß ist.
10. Pollenanalytische Untersuchung der bei den Arbeiten zu 9. anfallenden Bohrkerne zur Datierung der angetroffenen Schichten.
11. Eine verkehrs-geographisch-historische Zusammenfassung der Geschichte der Fährverbindungen zwischen Wagrien—Fehmarn und Laaland, der Häfen und Fahrwässer im Untersuchungsgebiet, insbesondere der Fährverhältnisse über den Fehmarnsund und der Häfen von Heiligenhafen und Burg a. Fehm.

Dabei konnte auf grundlegende Erkenntnisse über die Ursachen und die Größenordnung der Steiluferabbrüche und über ihre Bedeutung für den Aufbau benachbarter Strände, Nehrungen, Haken und Strandwallsysteme zurückgegriffen werden, die vor allem in den Arbeiten von Martens (1927), Kannenberg (1951) und Petersen (1952) dargestellt sind.

Im Vordergrund mußte die Untersuchung der Brandungskräfte und -vorgänge sowie die Wechselbeziehung zwischen Wellenwirkung und Küstenmorphologie stehen, wobei der Begriff „Küste" über den gesamten Raum zwischen nur noch terrestrisch beeinflußtem Landgebiet und nicht mehr von Strömungen oder Seegang beeinflußtem Meeresgrund auszudehnen ist.

Aus diesem Schwerpunkt der Untersuchungen heraus ergab sich bei der Ausdehnung und Vielgestalt des Untersuchungsgebietes die Notwendigkeit einer ständigen und engen Zusammenarbeit aller ozeanographischen, geologischen und technischen Mitarbeiter. Die gegenseitige Ergänzung aller Einzelerkenntnisse durch andere vermittelte ein umfassendes Bild der wesentlichen Vorgänge in der Vergangenheit und Gegenwart und eine Reihe neuer Erkenntnisse, die nicht nur den gestellten Aufgaben zugute kommen sollten.

Im Rahmen dieser Arbeit würde es zu weit führen, alle Einzeluntersuchungen[1]) nach

[1]) Die Einzeluntersuchungen sind im Schriftenverzeichnis aufgeführt.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Art der Durchführung und der Ergebnisse darzustellen. Im folgenden sollen nur die wichtigsten Erkenntnisse und ihre Deutung für die oben genannten seebautechnischen Fragen möglichst kurz zusammengefaßt werden.

III. Die allgemeinen Erkenntnisse über die Dynamik im Untersuchungsgebiet

1. Die Küstenformen, ihre Veränderungen und die sie bewirkenden Einflüsse und Kräfte

Die Küstenformen lassen sich in diluviale und alluviale unterscheiden; die ersteren sind überwiegend im Abbruch und zeichnen sich wegen ihres hohen Anteils an grobem Korn und bindenden Tonbestandteilen durch verhältnismäßig steile Neigung aus. Die Alluvialküsten sind teils im Aufbau, teils im Abbruch, ihre Böschungen sind wegen des feineren und loseren Korngefüges meist erheblich flacher.

Etwa ein Drittel der untersuchten Küstenstrecken besteht aus Diluvialküsten. Die Ursachen des Rückgangs dieser Steilufer sind allgemeingültig am Brodtener Ufer anläßlich der Untersuchungen des Wasser- und Schiffahrtsamts Lübeck (PETERSEN, 1951, 1952) geklärt worden. Danach beruht der ständige Rückgang der Steilufer auf drei Hauptfaktoren, dem ständigen Zerfall der steilen Böschungen, dem Forträumen der abrutschenden Massen durch die Brandungskräfte und der Abrasion des Unterwasserstrandes vor den Steilufern infolge der Brandung. Den Ergebnissen dieser Arbeiten, die sich aus nur einem aus reinem Geschiebemergel aufgebauten Kliff ergaben, konnten weitere Erkenntnisse hinzugefügt werden, die sich auch auf anders aufgebaute Kliffstrecken beziehen.

Der Abbruch reiner Geschiebemergel-Kliffs wird überwiegend durch Bodenfrost verursacht und beeinflußt, der die Massenabstürze bei Frostaufgang vorbereitet und damit der Brandung immer wieder ein aufgelockertes Material liefert. Alle anderen Faktoren treten demgegenüber zurück, gewinnen jedoch größere Bedeutung in Zeiten, denen ausgeprägte Frostperioden fehlen (SEIFERT, 1954).

Kennzeichnend für Steilufer mit geschichtetem Aufbau sind die auf Grund- und Sickerwasseraustritte zurückzuführenden Schollenabbrüche. Da die Lagerungsverhältnisse eine Rolle spielen, treten solche Abbrüche immer nur örtlich auf, führen dann aber häufig zu extremen Abbrüchen.

Nur aus Sand und Kies aufgebaute Steilufer sind Hochwassern gegenüber wenig widerstandsfähig und erleiden bei hohen Wasserständen außerordentlichen Abbruch. Die großen abfallenden Sandmengen können andrerseits die Ausbildung eines breiten und hohen Vorstrandes begünstigen, der das Steilufer bei mittleren Hochwasserständen schützt.

Die Abbrüche an Tarraskliffs[2]), wie sie an der Ostküste von Fehmarn auftreten, erfolgen nicht als Schollenabbrüche oder Abstürze, sondern gehen infolge der hohen Plastizität des Materials langsamer, aber stetig vor sich. Infolgedessen wird die Vegetation in ihrem Wachstum kaum gestört, sondern gleitet allmählich den verhältnismäßig flachen Hang abwärts. Damit ist dieser aber im Gegensatz zu Geschiebemergelkliffs dem Einfluß des Regenwassers, der Luftfeuchtigkeit, der Brandungsspritzer usw. entzogen. Hochwasser können an einem solchen durchwurzelten Hang weniger ausrichten als an den gelockerten Schuttkegeln andrer Steilufer. Aus diesen und anderen in der Struktur des Tarras-Tones begründeten inneren

[2]) Im Glazialgeschiebe dieser Steilufer sind Schollen tertiären Tons, des sogenannten Tarras, enthalten.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Abb. 9
Schollenabbrüche am Steilufer von Heiligenhafen

Abb. 10
Süteler Kliff, reich an Schmelzwassersanden mit breitem schützendem Vorstrand

Abb. 11
Bewachsenes Tarraskliff

Ursachen weisen die Tarraskliffs geringere Rückgangswerte bei gleichen äußeren Bedingungen auf als die Geschiebemergelkliffs (SEIFERT, 1955).

Im Gegensatz zu den am Brodtener Ufer ermittelten Rückgangswerten von im Mittel 46 cm und maximal 86 cm je Jahr ergaben die Kartenvergleiche im allgemeinen niedrigere Werte, zum Teil sogar Anwachs am Strande vor aktiven Kliffs. Nur dort, wo das Heiligenhafener Steilufer am weitesten nach Norden vorgeschoben allen Brandungen ausgesetzt ist, die von Winden aus Südwest über Nord bis Ost ausgehen, ergaben sich höhere Rückgangsziffern, nämlich rund 99 und 86 cm je Jahr. Werte von 50 cm je Jahr wurden sonst nur am Kliff von Wandelwitz mit 67 cm überschritten.

Irgendwelche einwandfreien Abhängigkeiten der Rückgangswerte an Steilufern von den verschiedenen den Abbruch begünstigenden oder hemmenden Bedingungen konnten indessen nirgends gefunden werden. Die Ursachen des Steiluferabbruchs sind neben den eben aufgezeichneten wesentlichsten Faktoren derart zahlreich und ihre Wirkungen örtlich so verschieden, daß durch einen Vergleich der verschiedenen Kliffstrecken bezüglich ihrer geographischen Lage, ihrer Form, ihrer Höhe, ihres inneren Aufbaus und Gefüges, der jeweiligen Häufigkeit und Stärke des Brandungsangriffs, des Aufbaus ihres Vorstrandes und ihres Unterwasserstrandes und anderer Faktoren einerseits und ihrer durch die Vermessungen ermittelten Rückgangswerte andrerseits kein klares Bild über die Einflüsse der Einzelfaktoren zu gewinnen ist.

Indessen konnte festgestellt werden, daß jene Steilufer am schnellsten abgetragen werden, vor denen divergierende Brandungsströmungen am häufigsten entstehen. Auch ist offenbar die Häufigkeit der stärkeren Brandungstätigkeit vor einem Steilufer und damit die Gesamtdauer ihrer Wirkung von größerem Einfluß auf den Uferabtrag als die Stärke der Brandung selbst. Vor allem die den Abbruch sehr beschleunigende Ausräumung des Vorstrandes und der Brandungszone wird von häufiger schwächerer Brandung mehr gefördert als von kurzfristiger stärkerer.

Wesentlich erscheint vor allem für die Frage nach der Möglichkeit einer Verteidigung der Steilufer die am Brodtener Ufer bereits festgestellte und im Raum Fehmarn—Wagrien überall bestätigte Tatsache, daß die Neigung des Unterwasserstrandes über Jahre hinaus nahezu unverändert bleibt. Die Brandungszone wandert also in gleichbleibender Breite mit den Steilufern landeinwärts. Es wird nicht nur der abbrechende Schuttkegel des Kliffs, sondern auch der Sockel des Ufers abgetragen. Die Bodenmassen, die je lfdm Küste vom Unterwasserstrand fortgeräumt werden, sind sogar erheblich größer als die Abbruchmassen der höchsten Kliffstrecken.

Die im Bereich der Brandungszone und des Küstenlängstransports verbleibenden Sinkstoffe und Geschiebe dienen der Natur zum Aufbau von Höfts, Haken und Nehrungen, von Sandbänken, Sandstränden, Strandwällen und Dünen. Die verschiedenen Formen und die morphologischen Vorbedingungen zu ihrer Entstehung sind von MARTENS (1927) erschöpfend behandelt worden. Die seeseitigen Aufbaukräfte wurden indessen für die Ostsee im Rahmen der hier behandelten Untersuchungen erstmalig zusammenfassend dargestellt.

Der Antransport des von den Abbruchufern gelösten Materials zu den Aufbauformen erfolgt durch die Brandungskräfte, also im Wasser. Zur Ablagerung am Strand bedarf es eines auflandigen Quertransports und eines so reichlichen Nachschubs vor der Aufbaustrecke, daß dieser Quertransport ausreichend ergänzt wird. Geht nämlich die Auflandung allein auf Kosten des der Aufbaustrecke vorgelagerten Unterwasserstrandes, so müssen sich in kurzer Zeit dessen Gefälleverhältnisse so verändern, daß ein ablandiger Quertransport einsetzt. Die meisten Anlandungsformen sind deshalb an einen ausreichenden Längstransport

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

von Material gebunden, dessen mitgeführte Sinkstoffe und Geschiebe vor ihrem Strand teilweise oder restlos abgelagert werden.

Daneben gibt es Aufbauformen von Bänken, Stränden und Strandwällen auf bestehenden flachen Unterwasserstränden bzw. Ufern, die unmittelbar vom Quertransport aufgebaut sind, bei denen also der Materialnachschub ausschließlich von See her erfolgt oder einst erfolgte. Dieser Fall setzt flach unter Wasser befindliche Abrasionsflächen größerer Ausdehnung ohne nennenswertes Gefälle nach See zu voraus. Bei genügend fortgeschrittener Abrasion oder einer Hebung des mittleren Wasserspiegels muß jedoch die Anlandungstätigkeit früher oder später aufhören und in Abbruch der Küste übergehen. Dies kann in geologisch kürzeren oder längeren Zeiträumen geschehen.

Typisch für alle diese Alluvialküsten ist ihre niedrige Lage gegenüber dem Meeresspiegel, die ohne zusätzliche Windwirkung nie über die höchste Sturmfluthöhe hinauswachsen kann. Kennzeichnend ist ferner ihr loses Gefüge aus Sand, Kies und Geröll. Sie sind daher gegen den Angriff der Brandung weit weniger widerstandsfähig als die durch Kolloide stark verkitteten Diluvialküsten. Deshalb legen sie sich auch meist in landeinwärts gerichteten Bögen an diese an und werden nur durch diese Form, die eine dem Abbruchwiderstand beider Uferformen entsprechende Energieverteilung der Brandung herbeiführt, in annähernd gleichem Rückgangswert gehalten.

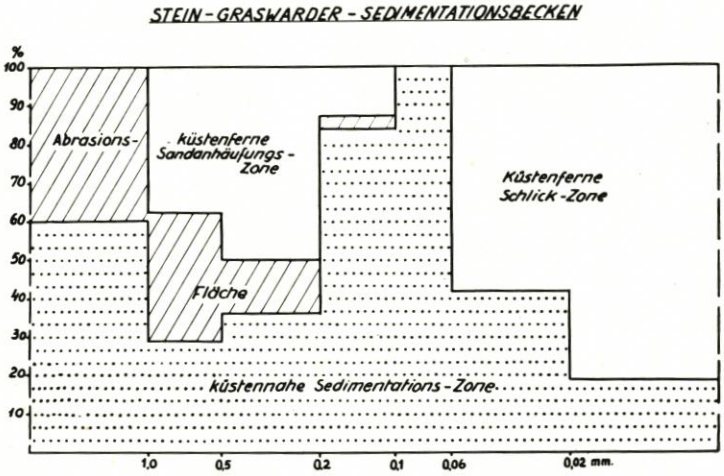

Abb. 12. Verteilung des Abbruchmaterials auf die Sedimentationszonen nach SEIFERT (1955)

Bei dem Vergleich von Karten größeren Maßstabs aus verschiedenen nicht zu kurz aufeinander folgenden Zeiten zeigt sich, daß die sich den abbrechenden Steilufern anschließenden alluvialen Formen mit den ersteren zurückweichen und häufig Reste von älteren, wieder aufgearbeiteten Formen enthalten. Die Alluvionen wachsen also im ganzen unter Rückverlegung ihrer Seeseite nur in der Längsrichtung, solange dies möglich ist. Der früher geprägte Begriff des Küstenausgleichs ist also nur auf die Form der Küste, nicht auf ihre Materialbilanz zu beziehen.

Quantitative sedimentologische Untersuchungen am Abbruch- und Aufbausystem der Heiligenhafener Steilufer — Stein- und Graswarder — konnten nachweisen, daß dort bis zu etwa 73 v. H. des beim Abbruch der Steilufer anfallenden Bodenvolumens dem Land verlorengehen. Dieser Verlust, der sich im wesentlichen auf etwa 27 Gewichtsprozent des Sandes zwischen 1,0 und 0,1 mm Korngröße — jener Fraktionen, die am leichtesten erodiert und verfrachtet werden — und etwa 70 v. H. des Ton- und Schluffanteils erstreckt, findet natürlich nicht allein vor dem Steilufer statt, sondern verteilt sich auf die gesamte Küstenstrecke zwischen Beginn des Liefer- und Ende des Ablagerungsgebiets (Abb. 12).

Als wesentlichste Erkenntnisse ergeben sich aus der Zusammenfassung aller Untersuchungen folgende örtlichen Vorgänge:

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Die Veränderungen der Steilufer westlich von Heiligenhafen bleiben auf die Warder vor Heiligenhafen beschränkt und haben ebensowenig wie der in sich physikalisch geschlossene Küstenabschnitt zwischen Heiligenhafen und der niedrigen Kliffnase nördlich von Großenbrode Einfluß auf den Fehmarnsund.

Erst von dieser Kliffstrecke aus baut sich ein Haken in den Fehmarnsund vor, der auf den südlichen Fährhafen zuwandert.

Östlich dieses Fährhafens ist ein Transport in den Sund hinein nicht mehr nachweisbar. Offenbar unter Mitwirkung der östlichen Mole des Hafens ist der Strand derart aufgeflacht, daß eine Schrägbrandung und damit ein Längstransport nicht mehr zustande kommt.

Außerhalb des Sundes aber geht aller Sandtransport an der Küste entlang nach Süden, also vom Sund fort (BRAND, 1954).

Auch für die weitere Ostküste Nordwagriens läßt sich eine Transportrichtung nach Süden nachweisen. Der Unterwasserstrand zeigt an dieser Küste überall die Tendenz zur Ausflachung. Hoch gelegene Strände mit gelegentlich anzutreffenden eigenartigen Terrassenbildungen in Kliffbuchten schützen die Kliffs vor häufigem Brandungsangriff. Die schon heute verhältnismäßig geringen Rückgangswerte der Steilufer werden sich demnach wahrscheinlich noch verringern, weil nur noch höhere Sturmfluten die von der Witterung zum Absturz gebrachten Schuttkegel annagen.

Abb. 13. Scharliegendes und trotzdem inaktives Kliff westlich von Staberhuk. Reichliche Sandzufuhr oder ein dichtes Steinpflaster am Fuße schützen das Kliff vor Abbruch

Die Ostküste von Fehmarn liefert wenig Sand, weil dort vorwiegend Tarraskliffs anstehen und der Uferrückgang an sich gering ist. Deshalb war sedimentpetrographisch eine eindeutig gerichtete resultierende Sandwanderrichtung nur an den Flanken im Norden und Süden erkennbar. Nach den Brandungsgesetzen müßte der nach Staberhuk angelieferte Brandungsschutt vor der scharfen Küstennase abgelagert werden. Diese Ablagerungen werden aber offenbar von den dort nachgewiesenen Meeresströmungen erfaßt und in größere Tiefen im Osten oder an die Ostküste von Wagrien verfrachtet. Ein Teil mag auch in die vorwiegend von Ost nach West gerichtete Brandungsströmung an der Südküste von Fehmarn gelangen und den Strand weiter westlich auffüllen. Dort ist jedenfalls auf kurzer Strecke das Kliff in Ruhe. Diese Erscheinung könnte indessen ebenfalls, wenn auch nicht ganz so einleuchtend, auf das Vorhandensein eines dichten Steinpflasters vor der Küste zurückgeführt werden.

Von den südlichen Steilufern Fehmarns westlich von Staberhuk wandert der Abbruchschutt in das Strandwallsystem vor dem Sahrensdorfer und Burger Binnensee. Von Westen her baut sich vor dem Burger Binnensee der sogenannte Wulfener Hals auf, der dem schnellen und an Höhe zunehmenden Abbruch des sandreichen Wulfener Bergkliffs zufolge in jüngerer

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Zeit schneller wächst als die östliche Nehrung von Burgtiefe. Der Wulfener Berg liefert bei östlicher Brandungsrichtung auch stark nach Westen. Dies ist der Grund für die einst so lästige starke Versandung des inselseitigen Fährhafens, die zum Teil auch heute noch um die Ostmole herum andauert (BRAND, 1954).

Westlich des inselseitigen Fährhafens ist wenig Bewegung, von den flachen Küsten vor Struckkamp sammelt sich Sand vor der Westmole des Fährhafens.

Die Westküste von Fehmarn kann, obwohl sie keine Kliffs aufweist, nicht als reine Alluvialküste angesprochen werden. Nach den geologisch gewonnenen Erkenntnissen setzt sich der Abfall der Oberfläche Fehmarns von Ost nach West untermeerisch in gleicher Neigung nach Westen fort.

Zu einer Zeit, als der Meeresspiegel noch niedriger lag als gegenwärtig (wenige Dezimeter spielen hier bereits eine Rolle) und die breite Unterwasserterrasse noch weniger abgetragen war, war eine starke Materialzufuhr auf die Küste durchaus wahrscheinlich. Die Materialbilanz der Küste war also früher positiv, und es wurden umfangreiche Strandwallsysteme aufgebaut, deren Reste heute noch als Riegel vor den Strandseen im Westen und als Brücke zur ehemaligen Insel Flügge im Süden zu erkennen sind (KÖSTER, 1954).

Auch die Strandwallsysteme im Norden Fehmarns bezogen ihr Material infolge des gegenwärtig immer noch bestehenden kräftigen West-Ost-Transports an der Fehmarnbelt-Küste entlang von diesen Abrasionsflächen im Westen. Heute werden sie stellenweise noch vom Abbruch der Westküste genährt, der mit steigendem mittleren Meeresspiegel eingesetzt hat. Hauptsächlich aber findet gegenwärtig nur noch eine Verlagerung des Sandes an der Nordküste entlang von West nach Ost statt, so daß sich im Bereich von Westermarkelsdorf schwacher Uferrückgang, im Gebiet westlich Puttgarden starke Aufsandung vollziehen.

Da auch von Osten her um die Huk von Marienleuchte geringe Sandanfuhr in Richtung Puttgardener Riff nachweisbar ist, sammeln sich vor Puttgarden beständig wachsende Sandmassen (BRAND, 1954).

2. Der Seegrund als Bild des Kräftespiels

Wenn man davon ausgeht, daß vor allem Wellen den Meeresboden in der Abrasionszone und in der Brandungszone bis an das Ufer hin lösen und forttragen, so kann man sich vorstellen, daß sich das ganze Gebiet zwischen der Küste und der Tiefenlinie, von der an die im Augenblick der Betrachtung bestehenden Wellen Bodenberührung erhalten, in Bewegung befinden kann.

Da die verschiedenen Korngrößen und Korngewichte sowie die unterschiedlichen Formen der Mineralteilchen nicht gleichartig auf die Wasserbewegung reagieren, findet innerhalb der Transportzone eine bestimmte Sortierung der Sedimente nach Korngrößen und Mineralzusammensetzung statt, aus der die Transportrichtungen erkennbar werden (BRESSAU, in diesem Heft; BRAND, 1954).

Dementsprechend unterteilt sich der Seegrund deutlich in mehrere Zonen, die schon PRATJE (1948) (vgl. BRESSAU in diesem Heft) in der Ostsee erkannte. In der Muddzone lagert sich nur das feinste meist als Schweb verfrachtete Material ab. Die Wellenbewegungen reichen hier selten bis zum Grunde. Am Rande der Muddzone befindet sich die erste Stufe der Bodenberührung der häufiger auftretenden Wellen. Nur selten gelangt sandiges Material in sie hinein und wird dort meist abgelagert. Es ist die (nach PRATJE) sedimentationsfreie oder -arme Zone. In langsamen Übergängen entwickelt sich weiter landwärts die Sedimentationszone von Sand mit zunehmender Korngröße in Richtung auf das Herkunftsgebiet, die PRATJE mit „küstenferner Sandanhäufung" bezeichnet. Hier bleibt der sandige Anteil des Materialverlustes aus dem Küstenhaushalt endgültig liegen (Abb. 14).

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Wo gröberes Korn bewegt werden kann, kann feineres bereits aus dem Lagerungsverband gelöst werden. Der Sandsedimentationszone folgt also ziemlich bald die Abrasionszone, auf der die gröberen Sedimente liegen bleiben und mit zunehmender Abrasion schließlich als Restsediment so dicht liegen, daß sie einen weiteren Abbau des gewachsenen Seegrundes verhindern. Dies aber ist nicht mehr der Fall, wo in Küstennähe auch das grobe Sediment von der Brandungsströmung erfaßt und küstenparallel fortbewegt wird. Hier herrscht bei jedem Wellengang Abrasion und Ausräumung (vgl. MAGENS in diesem Heft). Dort aber, wo die Wellen brechen und damit einen beträchtlichen Teil ihrer Energie schlagartig abgeben, wird der vom Strand nach See zu schwingende Quertransport durch plötzliche örtliche Schwächung der ablandigen Bewegungskomponente unterbrochen, so daß sich eine Sandansammlung bildet, die als Riff bezeichnet wird. Die von PRATJE (1948) gewählte Bezeichnung dieser Zone mit „küstennaher Sandanhäufung" erscheint nach dieser Erklärung nicht mehr sehr glücklich. Sie sollte, der Dynamik Rechnung tragend, Brandungszone oder Riffzone genannt werden, selbst wenn ausgesprochen deutliche Riffbildungen nicht immer zustande kommen, was z. B. bei sehr starkem und sehr schwachem Küstenlängstransport der Fall sein kann.

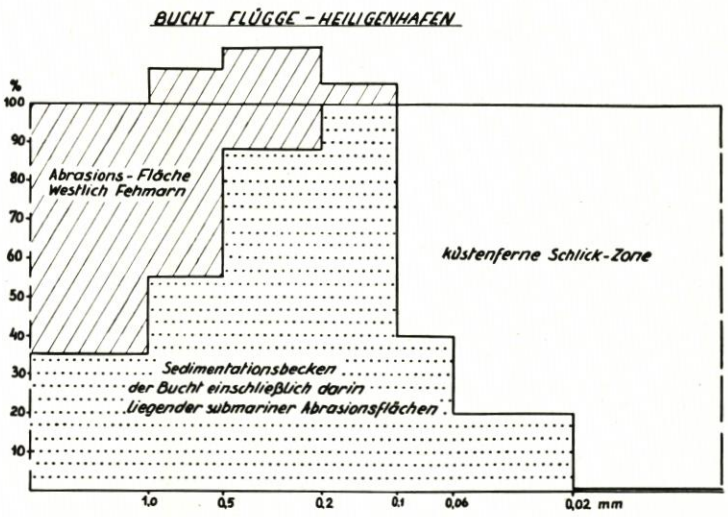

Abb. 14. Verteilung des Abbruchmaterials auf die Sedimentationszonen. Im Gegensatz zu Abb. 12 findet sich in Küstenferne ein Überschuß der Korngrößen zwischen 1,0 und 0,1 mm, nach SEIFERT (1955)

Die verschiedenen Zonen finden sich je nach den häufiger auftretenden größten Wellen in verschiedenen Gewässern in verschiedenen Wassertiefen. Die Muddzone wurde beispielsweise im Fehmarnbelt und östlich Fehmarn in 20 m Tiefe angetroffen, wobei die größten der häufigeren Wellenlängen dort bei 40 m lagen. Im Fehmarnsund und westlich Großenbrode wurden Schlickgebiete schon in 12, 10 und 8 m Tiefe gefunden, die sich ebenso den dort auftretenden Wellenlängen anpassen. Die Tatsache, daß auch in der Muddzone und ihren Randgebieten noch Feinsandfraktionen angetroffen werden, weist indessen ebenso wie die gemessenen Wellenperioden darauf hin, daß auch die Muddzone bei Sturm gelegentlich noch einer Wellenwirkung unterliegen kann.

Da andrerseits mit der mechanischen Arbeit der Wellen am Boden ein Energieverlust und damit eine Verkürzung der Wellenlängen und eine Verzögerung ihres Fortschritts verbunden ist, richtet sich die Tiefenlage und Breitenausdehnung der einzelnen Zonen nach den jeweiligen Wellenverhältnissen und den Neigungs- oder Böschungsverhältnissen des Seegrundes. In Gebieten mit schwachen oder wechselnden Neigungen des Meeresbodens kann sich aus dem gleichen Grunde die Reihenfolge der Zonen völlig umkehren, wie es im Gebiet westlich von Großenbrode, um die Sagasbank in der Mecklenburger Bucht und am Ostausgang des Fehmarnsunds besonders deutlich wird. Bei starken Neigungen oder dem Fehlen bestimmter Korn-

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

größen in genügender Menge können einzelne Zonen auch völlig fehlen, wie vor der Ostküste von Fehmarn (vgl. BRESSAU, in diesem Heft).

Die Meeresströmungen sind meist zu gering, um allein Material zu lösen. Doch können sie vom Seegang erodiertes, vor allem völlig in Schwebe befindliches Material mit sich forttragen und dort zur Ablagerung bringen, wo ihre Geschwindigkeit genügend nachgelassen hat. Dies geschieht eigentlich nur im Bereich geschlossener Buchten, wie den zum Meer offenen Binnenseen und der Orther Bucht oder in ausgedehnten tieferen Becken, zuweilen auch in glazial geformten Vertiefungen innerhalb von häufig durchströmten Querschnitten, wenn in den Vertiefungen Stromstillen herrschen. Im Westausgang des Fehmarnsunds finden sich solche Schlickablagerungen in verhältnismäßig flachen Bodenmulden, obgleich im Fehmarnsund Strömungen von 1 m/s an der Oberfläche nicht selten sind (WEIDEMANN, 1954).

Das Bodenbild des Fehmarnsunds mit den die Geschiebemergelsohle fast überall bedeckenden dünnen Sandschichten weist im übrigen darauf hin, daß seine Sohle in relativer Ruhe ist. Die angetroffenen Sedimente zeigten starke Reduktionserscheinungen, die ausgeschlossen wären, wenn das Material ständig umgelagert würde. Auch weisen die sedimentologischen Untersuchungen der Sundeingänge nach, daß in den Sund hinein keine nennenswerten Sandeintriebe stattfinden können. Die morphologische Gliederung der Sohle auch im westlichen und östlichen Eingang ist glazialen und nicht strömungsphysikalischen Ursprungs (vgl. BRESSAU, in diesem Heft).

Das Strömungsbild des Fehmarnsunds ist dadurch gekennzeichnet, daß die Strömung in erster Linie von dem Gefälle zwischen West- und Ostbucht abhängt. Daraus geht hervor, daß der Strom in seinen größten Werten nur an der engsten Stelle auftritt, das ist zwischen den Fährhäfen.

Nach den Strömungsuntersuchungen (WEIDEMANN, 1954) kann angenommen werden, daß vor den West- und Ostausgängen des Fehmarnsunds besondere typische Zirkulationen bestehen. Im Westen scheint eine Querströmung nach Westsüdwest am Boden vorzuherrschen, die an der Nordwest-Flanke des Graswarders eine deutliche Stromkante ausgebildet hat, und im Osten deuten die Meßergebnisse auf eine vorherrschende Bodenströmung vor der Großenbroder Küste nach Süden hin. Außerdem scheint an der Südküste Fehmarns zwischen Burgtiefe und Staberhuk eine Tiefenströmung von West nach Ost zu überwiegen. Die Kartenvergleiche über rund hundert Jahre zeigten im engeren Sund keine wesentlichen Veränderungen der Sohle.

Das Seegrundbild des Gebiets westlich und nördlich von Fehmarn bestätigt die aus den verschiedenen Küstenuntersuchungen hergeleiteten, oben beschriebenen Erkenntnisse. Der sehr flach nach Westen abfallende Seegrund zeigt deutlich die Merkmale einer dauernden Abrasion. Die Transportrichtung des sandigen Materials ist indessen gegenwärtig nicht auf die Küste zu, sondern zu geringem Teil im Norden in die Tiefen des Fehmarnbelts, zum überwiegenden Teil nach Süden in die Heiligenhafener Bucht hinein erkennbar (vgl. BRESSAU, in diesem Heft).

IV. Die natürlichen Vorbedingungen für eine Landverkehrsverbindung nach Fehmarn und die Anlage eines Fährhafens an der Nordküste Fehmarns

1. Die verkehrstechnischen Forderungen

Das Bestehen einer regelmäßigen Verbindung über den Fehmarnsund muß schon für die ersten Zeiten einer seßhaften Besiedlung der Landschaft angenommen werden, weil Wagrien und Fehmarn von gleichen Volksstämmen bewohnt waren. Aus dem Jahre 1231 stammt die erste schriftliche Erwähnung. Mit der Anlage von festen Anlegebrücken zu Beginn des 19. Jahrhunderts beginnen Schwierig-

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

keiten wegen Versandung der Fährstellen, die erst 1866 nach der Übernahme der Fähre durch den preußischen Staat durch zweckentsprechende Baumaßnahmen beseitigt wurden.

Eine Fährverbindung zwischen Fehmarn und Laaland über den Fehmarnbelt hat ebenfalls in früheren Zeiten bestanden, ist aber um 1866 eingegangen. Bis dahin — bestimmt seit 1454 — bestand die Möglichkeit, sich über den Belt mit Fährschiffen übersetzen zu lassen. Jedoch hat diese Verbindung niemals die Bedeutung erlangt, wie diejenige über den Fehmarnsund. Lediglich im 16. Jahrhundert gelangte sie zu einer gewissen Blüte. Die Schwierigkeiten, die im 17. Jahrhundert zum langsamen Verfall der Verkehrslinie führten, beruhten zum größten Teil auf den ständigen Küstenveränderungen an beiden Ufern des Fehmarnbelts. Ein Pächter lehnte im Jahre 1775 die bis dahin benutzte Anlegestelle bei Puttgarden auf Fehmarn ab „als einer wegen des dortselbst befindlichen großen sandigten Riffs nicht bequemen und sicheren Schiffsstelle". (Das Wort „bequem" hat seinerzeit wohl mehr die Bedeutung von „geeignet" gehabt.)

Später war es in der technischen Entwicklung der Verkehrsmittel und der Beseitigung des Seeräubertums begründet, daß der Seeverkehr zwischen den geographisch begünstigten Hafenplätzen einer Postkutschenreise über Land vorzuziehen war. Erst mit der Anlage von Eisenbahnen verlegte sich das Schwergewicht des Verkehrs wieder mehr auf die Landlinien.

1864 erscheint dann auch das erste Projekt für eine Eisenbahnverbindung über Fehmarn nach Laaland von dem Glückstädter Ingenieur KRÖHNKE. Von dieser Zeit an erscheinen in fortlaufender Folge Entwürfe, Pläne und Denkschriften; indessen ist keins der Projekte zur Ausführung gelangt.

Der zunehmende Kraftfahrzeugverkehr und die neuzeitliche Forderung nach Beschleunigung übten jedoch einen stetig wachsenden Druck aus, der auch heute, nachdem schon 1939 mit dem Bau der „Vogelfluglinie" begonnen worden ist, der Bau wegen der Kriegsumstände jedoch wieder eingestellt werden mußte, erneut zu Überlegungen zur Anlage einer leistungsfähigen Verkehrslinie führte.

Die verkehrstechnischen Forderungen seitens des Eisenbahn- und Straßenverkehrs an den Wasserbau lassen sich dabei in zwei Aufgaben scheiden (Abb. 15):

1. die Überquerung des Fehmarnsunds, die durch
   a) einen Tunnel,
   b) eine Hochbrücke,
   c) eine niedrige Brücke mit beweglichem Schiffsdurchlaß,
   d) eine kurze Brücke mit beweglichem Schiffsdurchlaß zwischen in den Sund vorgeschobenen Dämmen,
   e) einen Damm durch den ganzen Sund mit Schiffahrtsschleuse in der Fahrrinne oder schließlich durch
   f) eine vollständige Durchdämmung des Sundes ohne Schiffsdurchlaß

   bewerkstelligt werden kann.
2. die Anlage eines Fährhafens an der Nordküste von Fehmarn in einer Linie, die eine möglichst zügige Landstraße und eine möglichst kurze Fährstrecke zum Hafen Rödby auf Laaland gewährleistet, der von dänischer Seite seit längerer Zeit zur Aufnahme der Fähre vorbereitet ist.

Für jedes Bauwerk zur Überquerung des Fehmarnsunds ergeben sich aus den geographischen und topographischen Verhältnissen bestimmte Linienführungen, die sich vom Standpunkt des Verkehrs und der Bauausführung als die zweckmäßigsten erweisen.

Der Einschnitt für einen Tunnelbau ist möglichst so vorzunehmen, daß die engste Stelle des Sundes überquert wird; die Rampenanlage für eine Hochbrücke erfordert eine sehr lange landseitige Entwicklung. Während des Baues aber muß die bisherige Verkehrslinie aufrechterhalten bleiben. Deshalb erfordert diese Lösung eine Überquerung des Sundes im Westteil. Damit ergibt sich im Norden für die Eisenbahn ein weniger guter Anschluß an die bestehende Linie nach Burg auf Fehmarn.

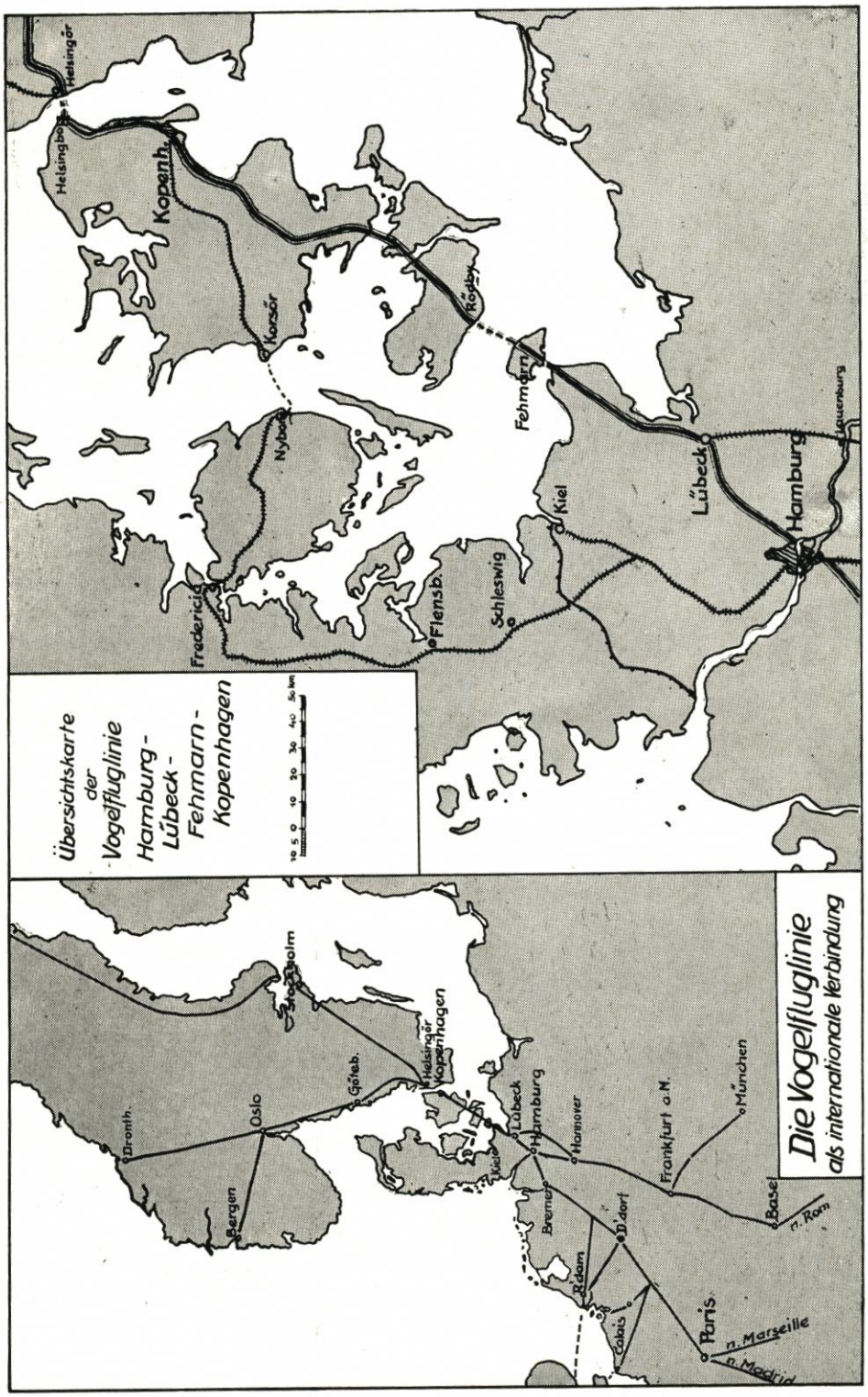
Übersichtskarte der Vogelfluglinie Hamburg - Lübeck - Fehmarn - Kopenhagen
Die Vogelfluglinie als internationale Verbindung
Kopenh.
Helsingör
Helsingborg
Korsör
Nyborg
Frederica
Flensb.
Schleswig
Kiel
Röddby
Fehmarn
Lübeck
Hamburg
Neuenburg
Trondh.
Oslo
Bergen
Göteb.
Stockholm
Helsingör
Kopenhagen
Kiel
Lübeck
Hamburg
Hannover
Bremen
Rdam
D'dorf
Frankfurt a.M.
München
Basel
n. Rom
Calais
Paris
n. Marseille
n. Madrid

Abb. 15

Dadurch und durch die hohen Kosten und die Notwendigkeit sehr langer Strecken mit verlorenem Gefälle entstand wohl das weitere Projekt einer niedrigen Überquerung des

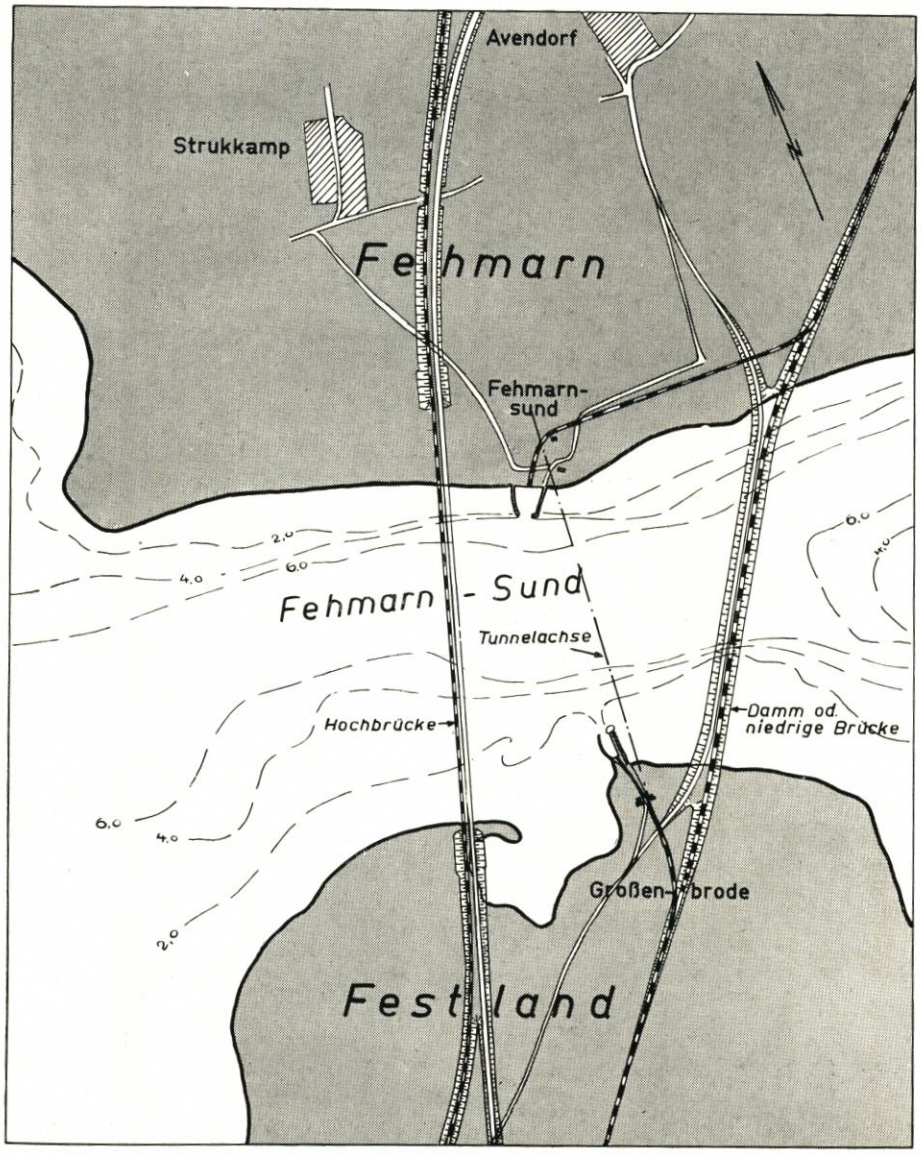

Abb. 16. Verschiedene Linienführungen zur Überquerung des Fehmarn-Sunds mittels Hochbrücke, Tunnel, Damm oder niedriger Brücke

Sundes unmittelbar im Zuge der Verbindung der beiderseitigen Eisenbahnlinien, welches auch für die Landstraße annehmbar ist. Damit verschiebt sich die Kreuzung des Sundes nach den Lösungen c bis f in den Ostteil des Sundes. Zugleich bieten diese Lösungen den Vorteil, daß geringere Wassertiefen zu überwinden sind (Abb. 16).

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Für den Fährhafen muß zunächst neben seiner günstigsten Lage die Schaffung und Erhaltung einer ausreichenden Fahrwassertiefe vor und in dem Hafen gefordert werden. Die Notwendigkeit, die Gleisanlagen für eine reibungslose Abwicklung des Trajektverkehrs in ebenem Gelände zu entwickeln, das über der Höhe der höchsten Wasserstände liegen muß, stellt eine weitere Forderung für die Lage des Fährhafens dar.

Die angestellten Untersuchungen gaben die Gelegenheit, aus den gewonnenen Erkenntnissen über die Naturkräfte im gesamten Raum um Fehmarn solche Möglichkeiten zu suchen, die dem natürlichen Geschehen möglichst angepaßt sind und ihm am wenigsten entgegenarbeiten.

Von diesem Gesichtspunkt her wurde zu den Entwürfen bzw. zu den verkehrstechnischen Lösungen für die Verwirklichung der Vogelfluglinie Stellung genommen.

2. Die Wirkung der verschiedenen Bauwerke und die günstigsten Lösungen vom naturgegebenen Zustand her

Die Überquerung des Sundes ist von der Frage nach Form und Lage des Fährhafens im Norden von Fehmarn zu trennen.

Aus den bau- und verkehrstechnischen Überlegungen ergaben sich für die verschiedenen Möglichkeiten der Sundüberquerung verschiedene Ortslagen. Vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus sind für die verschiedenen Lösungen nach den geschilderten Verhältnissen ebenfalls verschiedene Forderungen zu erheben.

Tunnel und Hochbrücke stellen allerdings nur dann Eingriffe in das natürliche Kräftespiel dar, wenn Rampen, Brückenpfeiler oder Brückenköpfe in den Durchflußquerschnitt des Sundes hinausragen. Tun sie dies nur innerhalb der Brandungszone, so gelangt, falls sie nicht weit genug im Innern des Sundes liegen, die Brandung hinter ihnen wieder schräg an den Strand und erzeugt dort die Lee-Erosion am Ufer, die wohl im Bereich des genannten Hakens am westlichen Südufer zulässig erscheint, nicht aber an der deichgeschützten Nordküste des Sundes. Die Grenze der Küstengefährdung liegt eben westlich der Hochbrückentrasse der Entwürfe.

Die zwischen den Pfeilern einer Hochbrücke verbleibenden Durchflußquerschnitte sollen in ihrer Gesamtheit mindestens ebenso groß wie der engste Sundquerschnitt sein, um Ausräumungen der Sohle zwischen den Pfeilerfundamenten zu vermeiden.

Da sowohl die Tunnel- als auch die Brückentrassen diesen Bedingungen entsprechen, ist gegen ihre Lage nichts einzuwenden.

Anders verhält es sich mit einer teilweisen Durchdämmung des Sundes, vor allem dann, wenn der Sund stark eingeschnürt wird. Abbildung 17 zeigt das anläßlich der Strömungsuntersuchungen (WEIDEMANN, 1955) entwickelte Bild der Oberflächenströmungen im Fehmarnsund und im Vergleich dazu das theoretisch entwickelte Bild der Oberflächenströmungen bei einer Einschnürung durch beiderseitige Brückenköpfe bis auf 500 m Durchflußöffnung, wie sie in einem Plan der Bundesbahnverwaltung vorgesehen war.

Aus der dritten Darstellung ist ersichtlich, daß diese Durchflußöffnung mindestens 800 m betragen sollte.

Die stärkere Einschnürung bewirkt neben der als geringfügig zu bezeichnenden Strömungsverstärkung um etwas mehr als 10 v. H. vor allem die Ausbreitung der Maximalströmung über den gesamten der Schiffahrt zur Verfügung bleibenden Querschnitt. Die kleineren Fahrzeuge können daher dem Größtwert der Strömungsgeschwindigkeit nicht mehr wie bisher ausweichen. Bei starken Strömen, die nicht selten auftreten, ist daher die Kleinschiffahrt stark behindert, wenn nicht gar lahmgelegt.

Es zeigte sich, daß die Strömungen eine große Strahlwirkung, d. h. eine stärkere Bündelung

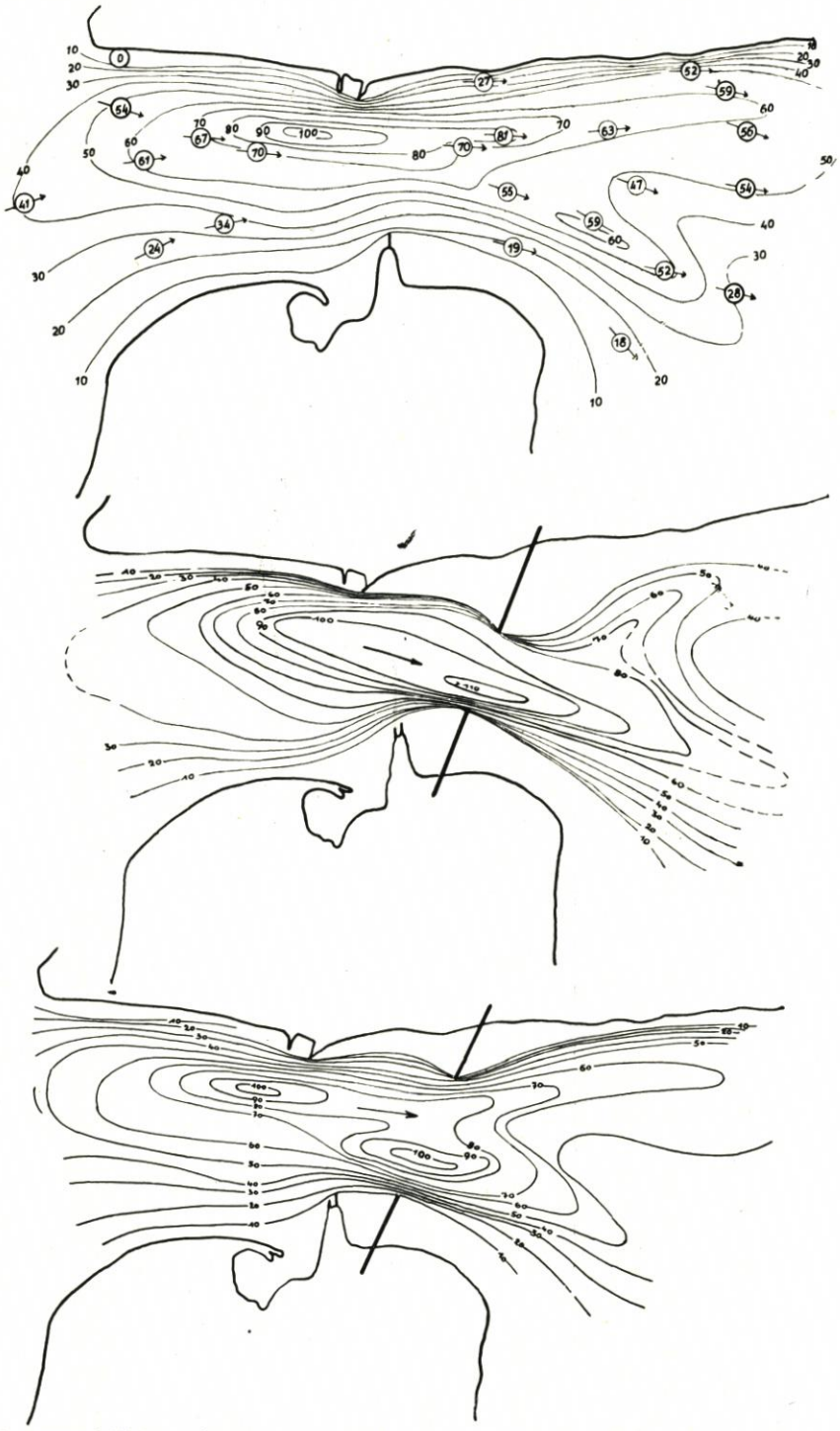

Abb. 17. Strömungsbild im Fehmarn-Sund nach Messungen im jetzigen Zustand und nach Umrechnung für Einschnürungen des Durchflußquerschnitts bei 500 bzw. 800 m Durchflußöffnung. Die Zahlen in den kleinen Kreisen geben die Prozente im Vergleich zu der als 100 % angenommenen Maximalgeschwindigkeit. Die Isotachen stellen die prozentuale Gesamtverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Zuständen dar

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

der Isotachen im Fahrwasserbereich aufweisen, als sich aus der Rechnung ergibt. Die Ansteuerung der Öffnung wird damit von beiden Seiten her erschwert.

Bei einer Einschnürung auf nur 800 m wird eine Erhöhung der Stromgeschwindigkeiten vermieden, eine Ausweichmöglichkeit für kleinere Schiffe gegeben, und mit der Erhaltung der bisherigen Höchstwerte der Bodenströme sind mögliche Ausräumungen an der Sohle auf ein erträgliches Maß beschränkt. Es besteht auch kaum die Gefahr, daß sich die abradierten Bodenmassen in der östlichen Baggerrinne ablagern, was im Falle stärkerer Einschnürung unbedingt zu befürchten sein würde.

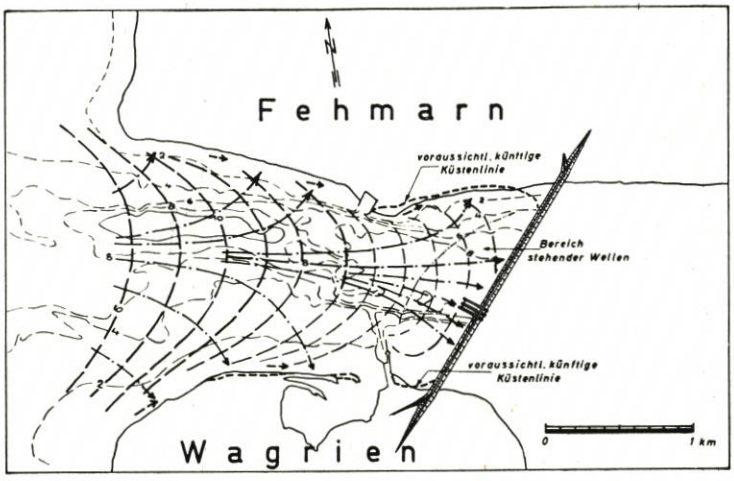

Abb. 18a. Seegangs-, Brandungs- und Sandverlagerungsverhältnisse im Westteil des Fehmarnsunds nach der Durchdämmung

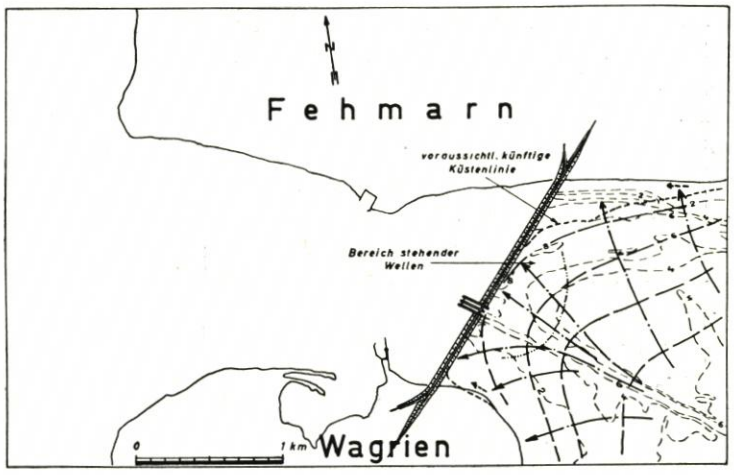

Abb. 18b. Seegangs-, Brandungs- und Sandverlagerungsverhältnisse im Ostteil des Fehmarnsunds nach der Durchdämmung

Ein Damm quer durch den Sund stellt den härtesten Eingriff in das natürliche Kräftespiel dar. Dabei ist es gleichgültig, ob er einen Schleusendurchlaß für die Schiffahrt erhält oder nicht. In jedem Fall unterbindet er die bisherigen Strömungen und beeinflußt damit sowohl den Seegang als auch die Brandung und damit vor allem die Sand- und Sinkstoffablagerungen.

Die von der Strömung hervorgerufene Dämpfung des Seegangs wird aufhören. Vor dem Damm wird dieser in den größeren Wassertiefen ziemlich ungehemmt anlaufen und an dessen verhältnismäßig steilen Böschungen mehr oder weniger reflektieren. Dadurch entsteht an der jeweiligen Luvseite des Dammes ein System von stehenden, ziemlich steilen Wellen, deren Höhen bis zu 60 v. H. über den derzeitigen Werten liegen können. Im übrigen wird der kürzere und steilere Seegang die Brandung verstärken, den Winkel ihrer Anlaufrichtung zur Küste allerdings wahrscheinlich vergrößern. Die Materialverlagerung am Strande wird sich demnach etwa in den gleichen Größenanordnungen halten. Andrerseits wird sie sich von Westen her bis an die Dammwurzeln in den Sund hinein erstrecken und unter Abbau

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

des im Osten des Fährhafens Fehmarnsund bisher abgelagerten Sandes vor allem am Nordufer den spitzen Winkel mit dem Damm ausrunden. Im Osten wird die bisher an der Nordküste bis an den eben genannten Fährhafen gerichtete Sandwanderung am Dammfuß aufhören und, da sie vom sandreichen Kliff des Wulfener Berges reichlich genährt wird, eine starke Ausrundung des inselseitigen Dammanschlusses bewirken. Aus diesem Grunde ist es ebenfalls wünschenswert, daß der Damm möglichst weit nach Osten verlegt wird, damit die Schiffahrtsrinne, die nach Südosten verläuft, nicht in den Bereich dieser Ausrundung gelangt. Die Abbildungen 18 a und b zeigen die gesamten Seegangs-, Brandungs- und Sandverlagerungsverhältnisse, die als Folge des Dammbaues erwartet werden können. Danach ist gegen die Lage des Dammes ebenfalls vom physiographischen Standpunkt aus nichts einzuwenden.

Bezüglich der Frage nach dem Schlickfall bzw. einer möglichen Versandung innerhalb der vor dem Damm beiderseits verbleibenden Buchten ist die Lage des Dammes ziemlich ohne Bedeutung.

Eine Sandansammlung in den Tiefen des Sundes ist nach den oben geschilderten Untersuchungsergebnissen nicht zu erwarten. Die Verlagerungen beschränken sich auf die bereits erwähnten Vorgänge innerhalb der Brandungszone.

Anders verhält sich die Frage nach dem Schlickfall. Schon heute neigt das Becken des Fehmarnsunds trotz der hindurchgehenden Strömung in beiden Richtungen dazu, an einzelnen tieferen Stellen Schlick anzusammeln. Zweifellos werden die bei starkem Seegang vielerorts aufgerührten feinsten Schwebstoffe nach Unterbindung der Strömung im Sund dort leichter zur Sedimentierung neigen. Da sie aber mangels vorhandener Strömung nicht mehr in dem Maße von außen herangetragen werden wie bisher, andrerseits der Schlickfall in der Ostsee überhaupt gegenüber anderen Gewässern sehr gering ist, so ist die Gefahr einer Verschlickung der Schleuse oder der Baggerrinne im Osten kaum gegeben. Den Schlickfall vor der Schleuse wird man voraussichtlich mit Spülungen bei entsprechendem Spiegelgefälle beseitigen können. Wesentlich ist, daß die Schleuse hierfür eingerichtet wird.

Ein zweifellos größeres Problem als die Überquerung des Fehmarnsunds stellt die zweckmäßigste Anlage eines Fährhafens am Fehmarnbelt dar. Eine flache, ungegliederte Küste wie die von Fehmarn ist ausgesprochen h a f e n f e i n d l i c h. Wie an vielen Beispielen, z. B. auch am Gegenhafen von Rödbyhavn, gezeigt werden kann, besteht bei derartigen Anlagen an beweglichen Sandküsten immer die Gefahr der Versandung.

Immer wird man zunächst versuchen, durch die Anlage weit ins tiefere Wasser hinausreichender Hafenmolen Hafeneinfahrt und Zufahrtsrinne aus dem Bereich der Brandungszone hinaus zu verlegen. Indessen bedeuten derartige Einbauten in die Brandungszone stets eine Unterbrechung der parallel zur Küste stattfindenden Sandwanderung, so daß in Luv der resultierenden Wanderrichtung starke Ablagerungen seitlich der Molen stattfinden, während in Lee des Hafens Uferabbrüche einsetzen, die als Lee-Erosion bekannt sind und annähernd hundert Jahre die Fachwelt beschäftigen, ohne daß ein wirksames Mittel dagegen gefunden wurde. Heute weiß man, daß es ein Mittel gegen diese Lee-Erosion nicht geben kann, wenn nicht auf künstlichem Wege eine Sandanreicherung der leeseitigen Küstenstrecke möglich ist.

Der zweite Gedanke ist deshalb, den Hafen aus der Brandungszone völlig herauszunehmen und ihn als Insel vor die Küste zu bauen. Die Verbindung zum Land geschieht in solchem Fall mittels einer Brücke, unter der hindurch die Sandwanderung ungehindert fortgehen kann. Voraussetzung für das Gelingen dieses Plans ist jedoch eine genügende Entfernung des Hafens von der Küste, da dieser sonst als Wellenbrecher wirkt, die Brandung unterbricht und ebenfalls ähnliche Erscheinungen hervorruft wie die Anlage von Molen.

Für die Anlage eines Fährhafens für Eisenbahnverkehr ist die Bauweise des Inselhafens

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

nicht geeignet. Auf jeden Fall wäre sie sehr aufwendig und schwierig in der Ausführung. Im vorliegenden Fall wird also immer mit einem landfesten Molenhafen gerechnet werden müssen.

In den Vereinigten Staaten hat man mit gutem Erfolg stationäre Saugbaggeranlagen errichtet, die von Zeit zu Zeit die in Luv angesammelten Sandmengen durch Druckleitungen auf die Leeseite des Hafens pumpen, um einen Ausgleich für die unterbrochene Sandwanderung zu schaffen.

Derartige Anlagen erfordern indessen Betriebskosten, die nur bei kommerziellen Häfen wirtschaftlich tragbar sind und auch wohl nur bei bestehenden Häfen nachträglich angewandt werden, weil die Verlegung des Hafens oder seine Umgestaltung nicht mehr möglich ist. Bei Neuanlagen sollte man nur im äußersten Falle zu diesem Mittel greifen.

Vom physiographischen Standpunkt aus muß deshalb in erster Linie nach einer Örtlichkeit gesucht werden, wo die Versandungsgefahr nicht oder nur in geringem Maße besteht. Andrerseits müssen die verkehrstechnischen Belange gewahrt bleiben, welche die Anlage des Fährhafens möglichst bei Puttgarden, zumindest aber an der Nordküste von Fehmarn fordern, wenn die Verkehrslinie überhaupt den modernen Ansprüchen entsprechen soll.

Die Untersuchungen haben ergeben, daß unter der Küste wesentliche Strömungen nicht auftreten, jedenfalls nicht in einer solchen Größenordnung, daß Materialverlagerungen am Meeresgrund von ihnen hervorgerufen werden könnten. Andrerseits wurde innerhalb der Brandungszone eine Sandwanderung von der Weststrecke, der Westermarkelsdorfer Huk, nach Osten bis an das „Puttgardener Riff" und vom Osten ebenfalls bis an das genannte Riff nachgewiesen. Vor Puttgarden also begegnen sich die beiden Sandwanderwege und bewirken somit nicht nur die ständige Aufrechterhaltung des „Riffs", sondern wegen der überwiegenden Häufigkeit der West-Ost-Richtung der Brandungsströmung und deren besserer Sättigung mit Sand auch eine Verlagerung des Riffs nach Osten. Mit dieser Verlagerung ist ein Wachsen des Krummensieker Strandwallsystems nach Osten verbunden. Auf den Fährhafen zu wären an dieser Stelle also gerade zwei nicht unbedeutende Sandbewegungen gerichtet. Der Vorteil dieser Lage besteht in dem Ausbleiben einer Lee-Erosion. Küstenschäden wie bei Rödbyhavn sind also kaum zu erwarten. Andrerseits neigt der Hafen an dieser Stelle vor allem wegen des Vorhandenseins des Riffs und des vorspringenden Strandwallkomplexes von Krummensiek zu erheblich schnellerer und stärkerer Versandung als Rödbyhavn.

Eine mehr westliche oder östliche Lage könnte diese Gefahr zwar verringern, weil weiter vom Riff entfernt größere Zeiträume bis zu einer Hafenversandung vergehen würden, aber nicht beseitigen. Überdies würde überall die Lee-Erosion auftreten. An offenen Meeresküsten angelegte Häfen unterliegen nur dort nicht der Versandungsgefahr, wo am Beginn eines einheitlichen Systems der allgegenwärtigen Brandung die Brandungsströmung noch nicht mit Sinkstoffen angereichert ist. Eine solche Stelle befindet sich an der Nordküste Fehmarns nur unmittelbar hinter der Nase von Markelsdorfer Huk. Der zeitweilig um die Ecke herumwandernde Sandstrom bewegt sich dort in einiger Entfernung von der Küste und wird nicht unmittelbar von der Brandung herumgetragen, sondern meist zunächst in Verlängerung der Westküste nach Nordosten abgelagert, von wo ihn die Strömung fortträgt.

Diese Vorgänge sind ohne Schaden dadurch zu unterbrechen, daß man die Natur in ihrem Bestreben, den Sand an der Huk abzulagern, durch die Anlage einer Sichelbuhne von der Westseite der Huk über die Brandungszone hinaus unterstützt. Dann wird im Norden der Huk von Westen her kein Sand mehr angebracht. Sorgt man weiter durch eine Ausbaggerung einer Hafeneinfahrtsrinne für tiefes, brandungsloses Wasser, so kann auch eine Lee-Erosion an der Küste hinter der Huk nicht stattfinden. Erst in weiterer Entfernung nach Osten wird diese einsetzen, zum größten Teil aber dadurch aufgehoben, daß die Ostbrandung Sand vor der östlichen Hafeneinfahrtsmole ablagert. Die Molen brauchen wegen der schwachen

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Brandung an dieser Stelle nicht lang zu sein. Die Abbildungen 19 und 20 stellen die physiographischen Verhältnisse bei Puttgarden und bei Westermarkelsdorf dar. Man erkennt, wie bei Puttgarden die künftige Entwicklung der Riffe auf die Hafeneinfahrt zustrebt. Dieser Linienführung muß die Entwicklung der Strandwälle folgen, so daß nicht ausgeschlossen ist, daß in viel kürzerer Zeit als bei Rödbyhavn – dort waren es keine zwanzig Jahre – die Sand-

Abb. 20. Seegangs- und Brandungsformen aus westlicher Richtung nach Anlage eines Fährhafens bei Markelsdorfer Huk

ablagerungen in der Hafeneinfahrt beginnen. Dieser Entwicklung kann ebenfalls begegnet werden, indem man von den beiderseitigen Hafenmolen ausgehend Sichelbuhnen in die künftige Brandungszone hinausbaut, die durch Wellenbeugung ein Hinauswachsen der Sandablagerungen über die Buhne hinaus verhindern.

Ein Vergleich der beiden Pläne miteinander bezüglich der Baumaßnahmen führt ohne weiteres zu der Annahme, daß Aufwand und Wagnis bei Westermarkelsdorf ganz erheblich geringer werden als bei Puttgarden.

Allein die Anlage der annähernd 1200 m langen Hafeneinfassungsmolen bei Puttgarden erfordert einen Aufwand an Baustoffen, der bei Westermarkelsdorf fast ganz fortfällt. Der Bau der Molen an der ungeschützten Küste ohne einen Schutzhafen in der Nähe bedeutet bei dem häufig auftretenden starken Seegang im Fehmarnbelt ein Wagnis für Fahrzeuge und Geräte, dem man bei Westermarkelsdorf weitgehend dadurch entgeht, daß sich der Bau der Hafeneinfassungen und die Hauptbaggerungen im Schutz der Strandwälle vollziehen. Die aus dem Aushub des Hafenbeckens gewonnenen Bodenmengen brauchen hier auch nicht nach See verfahren zu werden, sondern können in einem Arbeitsgang zur Aufhöhung des seitlichen Geländes verwandt werden. Genauere Kostenermittlungen auf Grund eingehender Bauprogramme und Überlegungen bezüglich der Baustoffbeschaffung haben hierüber nähere Einzelheiten und vollständigere Vergleichsgrundlagen geschaffen. Andrerseits entstehen für den Hafen

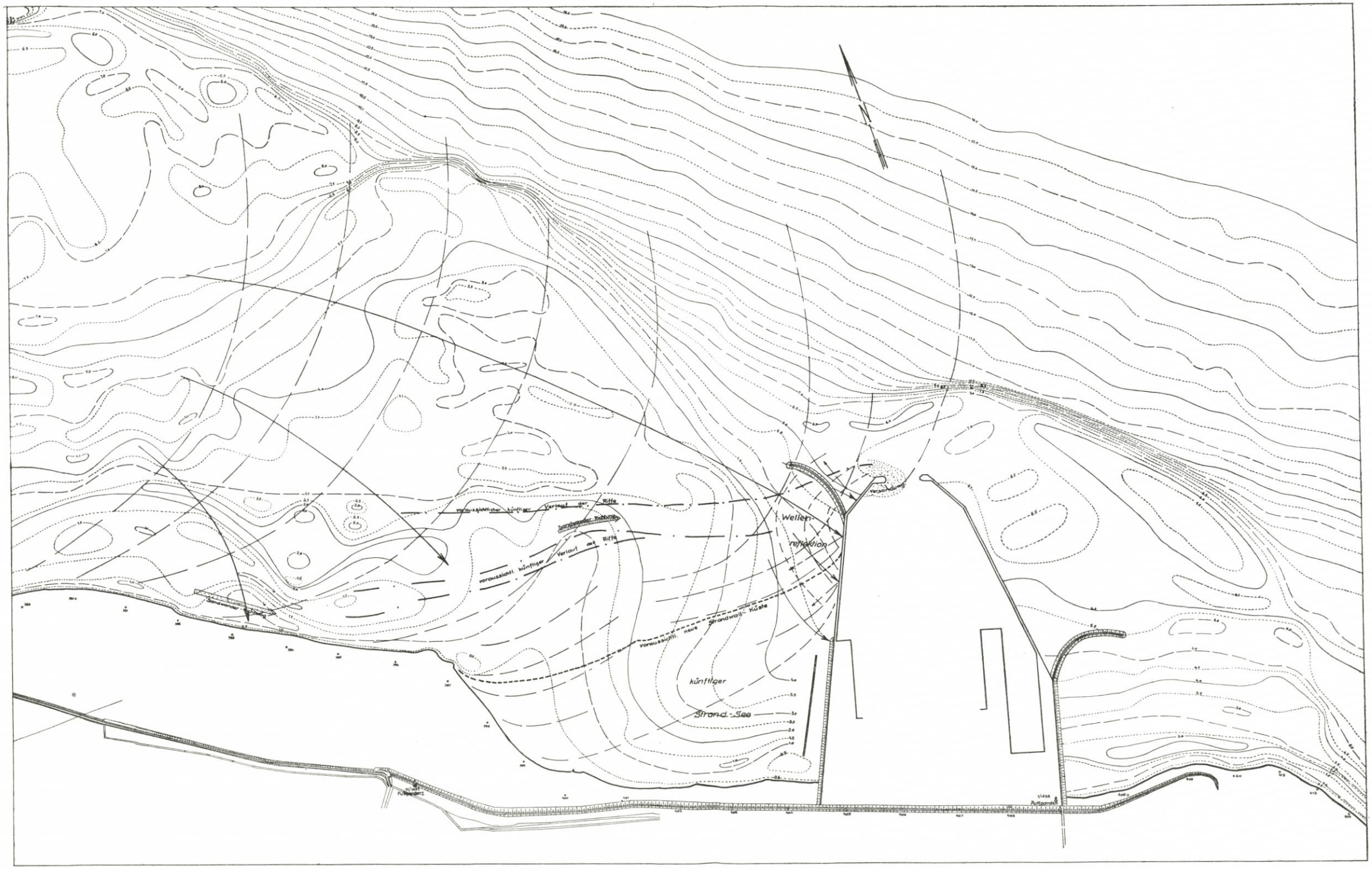

Abb. 19. Darstellung der voraussichtlichen westlichen Küstenentwicklung nach Errichtung des geplanten Fährhafens bei Puttgarden (Das Kräftebild ist ohne Berücksichtigung der vorzuschlagenden Sichelbuhne dargestellt)

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

bei Westermarkelsdorf durch umfangreichere Anschüttungen auf dem niedriger gelegenen Gelände und durch kostspieligere Bauwerksgründungen Nachteile. Außerdem ist die Seestrecke Westermarkelsdorf—Rödby 3,5 km länger und auch die Eisenbahnstrecke auf der Insel selbst bei einer gestreckten Linienführung noch immer um 3,5 km länger. Das alles führt betriebswirtschaftlich zu Mehrkosten gegenüber der Linienführung über Puttgarden.

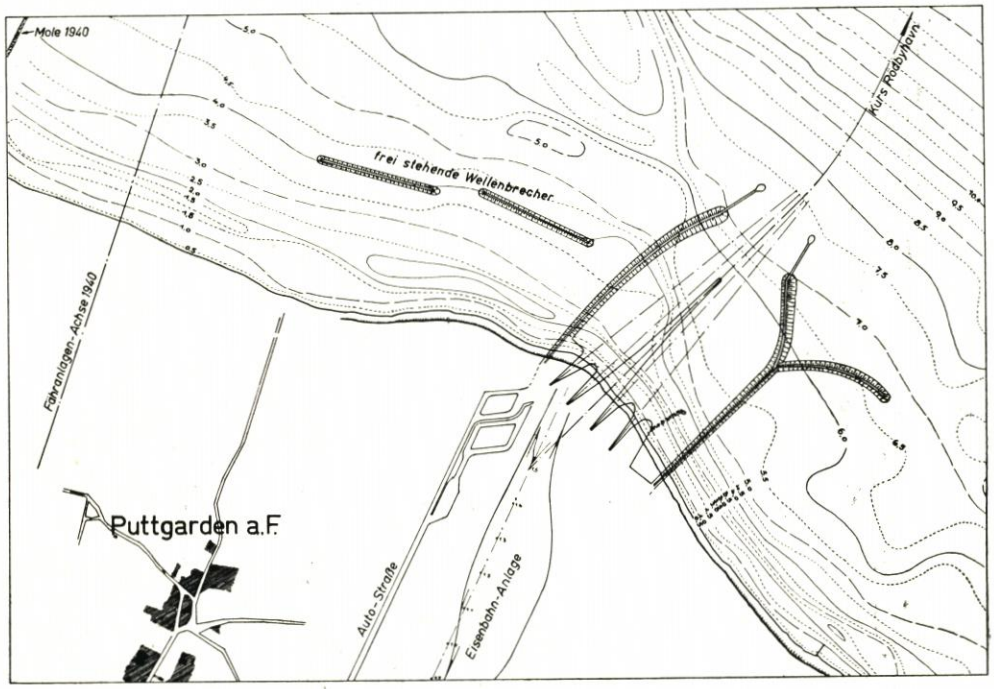

Abb. 21. Plan für den Fährhafen bei Puttgarden nach Abschluß der Untersuchungen

Weitere Überlegungen nach Abschluß der gewässerkundlichen Untersuchungen führten deshalb schließlich dazu, den Hafen von Puttgarden aus noch weiter nach Osten zu verschieben, wo die Versandungsgefahr für absehbare Zeit noch nicht gegeben ist (Abb. 21). Durch die Anlage von küstenparallelen Wellenbrechern wird man das Fortschreiten der Verlandung von West nach Ost, und durch den Anbau einer Sichelbuhne an der östlichen Hafenmole den Sandantrieb vor die Hafeneinfahrt stark verzögern können. Die hierdurch entstehenden Mehrkosten sind immer noch gerechtfertigt, zumal nördlich Marienleuchte die Hafenmolen erheblich kürzer ausgebildet werden können als bei Puttgarden.

Erwähnenswert erscheint in diesem Zusammenhang, daß man jetzt nach eingehenden naturwissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Untersuchungen und Vorarbeiten zu der gleichen Lösung gekommen ist, die 1912 bereits nach sorgfältigen Planungen vom Lübecker Baudirektor Krebs vorgeschlagen worden war.

Es bleibt vom Standpunkt des Ingenieurs nunmehr noch zu wünschen, daß die Planungen nach über hundert Jahren Diskussion in die Tat umgesetzt werden.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

V. Die natürlichen Vorbedingungen für die Erhaltung der Küsten von Nordwagrien und Fehmarn

1. Die Wirkung von künstlichen Uferschutzmaßnahmen

Die Beurteilung von künstlichen Uferschutz- oder Küstenschutzmaßnahmen wird häufig lediglich vom Standpunkt ihrer Lebensdauer her vorgenommen. Die Frage nach dem Wert oder Unwert muß aber in erster Linie von der Funktion des Bauwerks her beantwortet werden. Bei vielen bisher an der Beltsee ausgeführten Küstenschutzbauten mangelt es aber gerade an der richtigen Erkenntnis ihrer Funktion. Die üblichen Formen der Quer- und Längswerke wurden unter falschen Vorstellungen von Küstenströmungen und Wirbeln aus dem Flußbau entlehnt und bedürfen einer grundsätzlichen Überprüfung für den Seebau.

Wie schon anläßlich der Untersuchungen am Brodtener Ufer von PETERSEN (1952) erkannt und dargelegt wurde, haben küstenparallele Uferdeckwerke nur dort Sinn, wo ein ausreichender Längstransport in der Brandungszone dafür sorgt, daß der vor dem Deckwerk liegende Unterwasserstrand genügend „ernährt" wird. Ist dies nicht der Fall, so besteht die bekannte Gefahr der Unterhöhlung des Bauwerks am Fuß, der man in der Regel mit der Anordnung von Spundwänden oder Pfahlreihen am Böschungsfuß zu begegnen versucht. Grundsätzlich aber muß gesagt werden, daß schon die in Betracht gezogene Zerstörung des Bauwerks seine falsche Planung beweist. Ein Deckwerk sollte so ausgebildet werden, daß die Gefahr einer Unterspülung von vornherein ausgeschlossen und nicht nur bis zur Zerstörung der Fuß-Sicherung aufgeschoben wird. Wo also die Gefahr einer Ausräumung des Vorstrandes gegeben ist, sollte man zunächst dieser begegnen, denn sie ist die eigentliche Ursache des Küstenabbruchs. Würde man eine Sicherung des Unterwasserstrandes gegen Abrasion vornehmen können, würde vielfach die Anlage eines Deckwerks überhaupt überflüssig. Diese Sicherung gegen eine Ausräumung des Vorstrandes kann nicht, wie es häufig angenommen worden ist, durch Buhnen erreicht werden.

Die Untersuchungen zeigten, daß der Angriff der Wellen auf die Küste annähernd senkrecht auf diese erfolgt und die Materialbewegungen vorwiegend in gleicher Ebene vor sich gehen. Vor allem der nachweisbare Verlust von Boden an küstenferne Ablagerungsgebiete geschieht infolge des ablandigen Quertransports. Parallel oder annähernd gleichlaufend mit dieser Bewegungsrichtung angeordnete Buhnen können diesen Vorgang in keiner Weise stören oder beeinflussen. Sie werden deshalb auch an Ufern mit starker Abbruchstendenz über kurz oder lang freigespült oder zerstört. Eine Buhne aber, die nicht einsandet, sondern zerstört wird, muß sinnlos erscheinen.

Der annähernd küstenparallele Längstransport vollzieht sich auf und vor den Riffen. Soll er durch Einbauten unterbrochen werden, so müssen diese wenigstens in die Riffzone hinausreichen, was bei den allermeisten Buhnen nicht der Fall ist. (Ihre Länge bemaß man bisher aus nicht stichhaltigen Gründen nach ihrem Abstand voneinander.) Versuche konnten nachweisen, daß sich bei Anlage solcher Buhnen die Riffzone in kurzer Zeit verlegt und der Längstransport dann weiter außerhalb des Buhnenfeldes vor sich geht. Lediglich der strandnahe Zick-Zack-Transport wird von der Buhne beeinflußt. Da seine Bewegung aber nur von der Brandung innerhalb des Buhnenfeldes erzeugt wird, bewegt er nur das innerhalb dieses Feldes befindliche Material von einer Seite zur anderen. Die am Rande des Feldes von der Buhne gehemmte Bewegung erzeugt einen Wasserstau vor dieser, der sich in Rippströmungen an der Buhne entlang nach außen entlastet und einen Teil des an den Rand des Feldes transportierten Sandes nach außen wegspült.

Nur dort also, wo durch die Wellenbewegung von außen Sinkstoffe in das Buhnenfeld angeliefert werden, kann eine dauernde Auflandung erfolgen, und da dieser Nachschub von

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

außen von Wellengrößen, Wassertiefen und Strandneigungsverhältnissen abhängt, würde er auch ohne die Buhnen erfolgen. Buhnen vermögen also lediglich die bestehende Anlandungstendenz an einer Küste mit ausreichendem Längstransport von einem Küstenstrich auf einen anderen zu verlagern. In solchem Fall aber entzieht die Buhne dem strandnahen Längstransport die Sinkstoffe, die zur Aufrechterhaltung der ausgeglichenen Materialbilanz auf der Leeseite der Buhne fehlen. Die Folge ist, daß zwar vor der Buhne Sand gesammelt wird, hinter der Buhne aber die oft um vielleicht 70 v. H. vergrößerte Sandmenge abbricht.

Die gleiche Lee-Erosion entsteht im Anschluß an Deckwerke, wenn diese den unmittelbar vor der Küste stattfindenden Längstransport stören. Durch Umwandlung der Wellenbewegungen durch senkrechte Fußwände, durch schräge Steinschüttungen und andere Einbauten im Bereich der Brecher, werden aber die natürlichen Zufuhren von Wasser und Geschiebe an die Brandungsströmung verändert. Die Folge ist die bei Strandmauern charakteristische Zerstörung der Ufer an ihren Flanken.

Der künftige Küstenschutz muß sich also von Versuchen zur Beseitigung von Wirkungen auf Maßnahmen zur Abstellung der Ursachen des Küstenabbruchs umstellen. Auf die Wege hierzu wird weiter unten noch eingegangen werden. Zuvor aber soll die Beziehung des Menschen und seiner wirtschaftlichen Belange zu den natürlichen Küstenveränderungen behandelt werden.

2. Uferabbruch und Strandwallverlagerung als Wirtschaftsproblem

Überall, wo Stürme und Hochwasser die Küsten bedrohen, haben sie im Lauf der Zeiten ihre Opfer an Land, an Städten und Dörfern gefordert. Aber auch die ständig nagende Brandung hat im Laufe der Jahre und Jahrhunderte Landverluste zur Folge, die nicht unerheblich sind. Zu ihr tritt die Wirkung des anscheinend immer noch anhaltenden Anstiegs des mittleren Meeresspiegels an unseren Küsten, zu dessen Annahme vielseitige Untersuchungen berechtigte Veranlassung geben.

Angesichts dieser Tatsachen und der kostspieligen Anstrengungen des Menschen, die Küsten zu erhalten, die Sturmflutschäden zu vermeiden und womöglich verlorengegangenes Land dem Meere wieder abzuringen, ist es notwendig, die wirklichen Nutzen und Schäden, Kosten, Anstrengungen und Enttäuschungen in diesem Bestreben dem Erfolg und den Folgerungen dieser Eingriffe gegenüberzustellen.

Die im Zuge der Kartenvergleiche im Raum Fehmarn—Nordwagrien über den Zeitraum von 1872/77 bis 1951/53 ermittelten jährlichen Flächenverluste betragen an den fruchtbaren Steiluferküsten etwa 0,46 ha auf dem Festland und etwa 0,24 ha auf der Insel Fehmarn. Der Wert dieser Flächen kann mit etwa 3000 DM je ha angenommen werden, entspricht also einem jährlichen Verlust

für Nordwagrien	von rund	1400 DM
für Fehmarn	von rund	700 DM
zusammen	rund	2100 DM.

Dieser Verlust verteilt sich auf eine Küstenlänge von überschläglich 56 km, beträgt also im Mittel rund 32,— DM je km. Würde man die Küste befestigen, so entfielen — dem gleichen Rechnungsgang folgend, der von PETERSEN (1952) für das Brodtener Ufer angestellt worden ist — etwa 38 000 DM je km nur auf die Unterhaltungskosten. Der Küstenschutz ist hier also nicht zu rechtfertigen.

Anders verhält es sich bei den Niederungsküsten hinter Deichen, wo die Strandflächen das Vorland darstellen. Die Deiche, die hier aus Strandwallmaterial errichtet sind, können der

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Brandung nur geringen Widerstand entgegensetzen. Bei ihrem Bruch würden Hochwasserkatastrophen großen Maßes entstehen.

Im Westen und Norden Fehmarns liegen insgesamt rund 5700 ha niedrig gelegene Landflächen unter Deichschutz. In den Jahren nach der großen Sturmflut vom 13. November 1872 wurden in schneller Folge nacheinander neun Deich- und Entwässerungsverbände auf Fehmarn gebildet, die das ganze von dem genannten Hochwasser überschwemmte Gebiet umfassen.

Die Niederungen sind größtenteils diluvialer Herkunft (Grundmoräne) und daher landwirtschaftlich äußerst ertragreicher Boden. Nur geringe Moorflächen, die sich infolge des mit der Litorina-Transgression verbundenen Grundwasseranstiegs in Küstennähe gebildet haben, und im Norden flache Binnenseen verringern den Wert der Gesamtflächen.

Vom Hügel bei Flügge im Südwesten der Insel bis herum zum Kliffufer östlich Puttgarden zieht sich in ununterbrochener Linie der westliche und nördliche Landesschutzdeich als wichtigstes Hochwasserschutzbauwerk hin. Die Aufwendungen der Deichverbände zur Unterhaltung der Deich- und Entwässerungsanlagen sind verhältnismäßig gering und werden vielfach durch die Einnahmen aus der Graspachtung am Deich und am Deichvorland gedeckt. An staatlichen Beihilfen wurden nach Angaben des Wasserwirtschaftsamts Lübeck seit 1918 309 000 RM bzw. DM aufgewendet. Auf die Gesamtfläche aller Deichverbände und der Nutzungsflächen im Wallnauer „Koog" verteilt ergeben sich demnach für rund 35 Jahre etwa 53 M je ha und rund 1,52 M je ha und Jahr, also äußerst geringe Beträge.

In den Jahren vom ersten Deichbau (um 1875) bis 1918 ist, abgesehen von Beihilfen und Darlehen für die Deichbauten selbst, deren Höhe nicht bekannt ist, nur einmal (1913) dem Inhaber des Gutes Wallnau ein Darlehen für die Zurückverlegung der südlichen Deichstrecke vor Wallnau gewährt worden.

Die wirtschaftliche Rechtfertigung dieser geringen Aufwendungen ist also ohne weiteres gegeben.

Den vom Küstenrückgang und von den damit zusammenhängenden Sandwanderungserscheinungen hervorgerufenen wirtschaftlichen Schäden stehen jene wirtschaftlich begründeten Eingriffe des Menschen im Küstenraum gegenüber, die unter Umständen geeignet sind, den natürlichen Ablauf der Entwicklung ungewollt zu beeinflussen. Sie können dabei unabhängig vom wirtschaftlichen Zweck, den sie verfolgen, auf den Küstenrückgang fördernd oder hemmend wirken. Als ein solcher Eingriff kann die Steinfischerei (Werbung von erratischen Blöcken vom Seegrund) bezeichnet werden.

Die Gewinnung von Steinblöcken aus der Ostsee wird ebenso lange betrieben wie Uferschutz und planmäßiger Hafenbau. Während es in früheren Zeiten bei den damaligen Verkehrsverhältnissen und der sehr beschränkten Auswahl an Baustoffen nahe lag, auf die großen Vorräte an Findlingen auf dem Seegrunde zurückzugreifen, sind es heute zum Teil andere Gründe, die den Umfang der Steinfischerei erheblich fördern. Einmal ist es die Notwendigkeit, für Uferbefestigungen an stark von der Brandung angegriffenen Küstenstrecken Felsen von größtem Gewicht einzubauen, deren Transport über Land aus küstenfernen Steinbrüchen nicht möglich oder völlig unwirtschaftlich sein würde. Zum andern ist durch bessere Gewinnungs- und Absatzorganisation sowie durch die Erschwerung der Lieferung aus mitteldeutschen Steinbrüchen durch die Zonentrennung die „Steinzangerei" konkurrenzfähiger geworden.

Erhebungen über Ort und Umfang der Steinfischerei ergaben, daß an gewissen Küstenstrecken Fehmarns jährlich 1,5 t oder 0,56 m^3 je lfdm Küste an Steinen abgetragen werden. Das sind annähernd 20 v. H. der natürlichen Abtragung. Die anläßlich der Untersuchungen am Brodtener Ufer ausgesprochene Vermutung, daß ein genügend dichtes Blockvorkommen

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

den Unterwasserstrand trotz der von den einzelnen Blöcken hervorgerufenen Turbulenz gegen Abrasion schützt, konnte durch weitere Anzeichen hierfür erhärtet werden.

Die Abstellung der für die Küste somit als schädlich anzusehenden Steingewinnung aus der Ostsee kann indessen durch Verordnungen so lange nicht erreicht werden, als die Nachfrage nach Ostseefindlingen in dem gegenwärtigen Umfang anhält. Sie würde ebenso wie heute unkontrollierbare Übertretungen nach sich ziehen und einen Gewerbezweig von heute auf morgen vernichten. Es sollte daher zunächst dort, wo Bruchsteine verarbeitet werden, der „Ostseefelsen" in den Lieferbedingungen ausgeschlossen werden. Wo jedoch die Findlinge ihres hohen Einzelgewichts wegen aus konstruktiven Gründen ungeschlagen verwandt werden müssen, sollten Zangsteine zugelassen werden. Im übrigen scheint es an der Zeit zu sein, mit methodischen Untersuchungen über die Anwendbarkeit von Beton und Asphalt im schweren Uferbau zu beginnen.

Abb. 22. Mit *Fucus* bewachsener Stein

Abb. 23. Einstreuung zahlreicher Gerölle im Mittelsand eines Strandes als Nachweis für die leichte Beweglichkeit der fucusbewachsenen Steine

Ganz ähnlich verhält es sich mit der im Untersuchungsgebiet allgemein gebräuchlichen Entnahme von Sand, Kies, Geröll und Flint am Strande.

In diesem Fall jedoch ist die wirtschaftliche Berechtigung, ja Notwendigkeit zur Ausbeute der natürlichen Lagerstätten viel eher zu erkennen. Der geologische Aufbau der Insel Fehmarn und des benachbarten Wagriens hat zur Folge, daß hier Sand und Kies in einigermaßen reiner Form nur äußerst selten vorkommen. Die Gewinnung dieser in großen Mengen erforderlichen Güter aus dem Geschiebemergel ist völlig unwirtschaftlich. Größere Flußläufe, aus denen gewaschene Kiese und Sande entnommen werden können, gibt es nicht. Alle Bauarbeiten, vom Hochbau bis zum Straßenbau würden also entweder mit minderwertigem Sand und Kies beliefert werden müssen oder bei Anfuhr von gereinigtem Mischgut ungeheuer mit Transportkosten belastet werden. Auf Fehmarn als reiner Grundmoränenlandschaft finden sich überhaupt keine

Kies- und Sandvorkommen, so daß bei Fortfall der Entnahme von Sand am Strand aller Bedarf vom Festland herübergeschafft werden müßte. Andrerseits bedarf die landwirtschaftlich außerordentlich ergiebig und intensiv genutzte Insel einer Vielzahl von Landwegen, die bei den tonigen und wasserstauenden Eigenschaften des Bodens eine künstliche Befestigung erfordern. Die Anlage von festen Straßendecken wiederum erscheint nur für wenige Hauptverkehrsstrecken wirtschaftlich gerechtfertigt und tragbar. Fehmarns Wegenetz und Baumarkt sind also allein auf die Strandvorkommen von Kies, Sand und Schotter angewiesen.

Andrerseits bedarf es keiner Frage, daß die massenweise Entnahme von Strandmaterial von erheblichem Schaden für die Erhaltung der Küsten ist. Die Bewohner Fehmarns „verbrauchen" also ihr Land nach und nach selbst und um so schneller, wie ihre Ansprüche an den Zustand der Landwege, Hofflächen und Neubauten steigen.

Selbst bei einer Beschränkung der Entnahmeflächen auf die reinen Anlandungsgebiete bleibt nach Einzeluntersuchungen eine negative Bilanz bestehen.

Für Kugelflinte trifft diese Anschauung der Dinge jedoch nicht zu. Einmal liegt deren Gewinnung nur bei 2,7 m^3 je km der in Frage kommenden Küstenstrecken. Zum andern verleihen die Gerölle durch ihre eigene schlagende und reibende Bewegung in der Brandung dieser eine größere Abrasionskraft. Diese Wirkung ist so groß, daß sie durch Vergleich der Rückgangswerte an sonst gleichartigen Küstenstrecken mit dem jeweiligen Geröllvorkommen einwandfrei nachweisbar ist. Das Geröll wird überdies gern von *Fucus* besiedelt, der dem einzelnen Stein nach ausreichendem Wachstum der Pflanze einen erheblichen Auftrieb und eine starke Vergrößerung seiner Angriffsfläche für die Wellenbewegungen und Strömungen verleiht (Abb. 22 u. 23).

Von diesem Gesichtspunkt aus kann auch die bereits erwogene Algenwerbung an der Ostseeküste nicht als nachteilig für die Küstenverteidigung bezeichnet werden.

3. Die Möglichkeiten und Grenzen des technischen Küstenschutzes

Die in bezug auf die Wind- und Wellenrichtungen veränderliche Richtung des Küstenverlaufs bewirkt, daß sich bei gleichbleibender Wellenrichtung an der Küste Strecken mit verschiedenen Angriffsrichtungen der Brandung und somit Brandungsströmungen unterschiedlicher Größe und Richtung bilden. Dadurch entstehen einzelne „physiographische Einheiten" (vgl. MAGENS, in diesem Heft). Verschiedene Brandungsrichtungen können an ein und derselben Küste verschiedene physiographische Einheiten erzeugen. Für die Planung sind deshalb stets die Hauptbrandungsrichtungen einzeln und die resultierende Wirkung aus ihren Häufigkeiten und Stärken zu erfassen. Auch andere morphologisch wirksame Faktoren wie Strömungen, Wasserspiegelschwankungen u. a. müssen bekannt sein.

Abbildung 24 zeigt eine physiographische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes, die im Maßstab 1:50 000 hergestellt wurde, in verkleinerter Wiedergabe. Sie enthält die wesentlichsten Angaben zur Beurteilung der einzelnen Küstenstrecken.

Nur auf Grund eingehender Unterlagen ist es möglich, mit Erfolg in die natürlichen Vorgänge einzugreifen und die gewünschte Entwicklung der Küste herbeizuführen. Dabei gilt es, in „funktioneller" Planung die zweckmäßigsten Bauformen und ihre Lage zu ermitteln, um je nach Erfordernis

a) die betreffende Küste gegen Erosion oder Abrasion zu schützen,
b) aus dem Längs- oder Quertransport ohne Schädigung benachbarter Küstenstrecken Sand zur Verbreiterung des Strandes zu gewinnen und festzuhalten,
c) unerwünschte Sandablagerungen von bestimmten Flächen des Unterwasserstrandes fernzuhalten, oder

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

d) durch Einbauten entstandene Lee-Erosionen auszugleichen.

Rein technisch besteht in jedem Fall die Möglichkeit einer funktionellen Lösung. Wirtschaftlich sind dem Kütsenschutz indessen — wie die vorn angeführten Beispiele bereits zeigen — Grenzen gesetzt.

Der Quertransport nach See zu kann durch künstliche Herabminderung der Wellengeschwindigkeit oder der Wellenhöhe beeinflußt, der Längstransport durch künstliche Wellenbeugung bzw. Herabminderung der Brandungsströmung gelenkt werden.

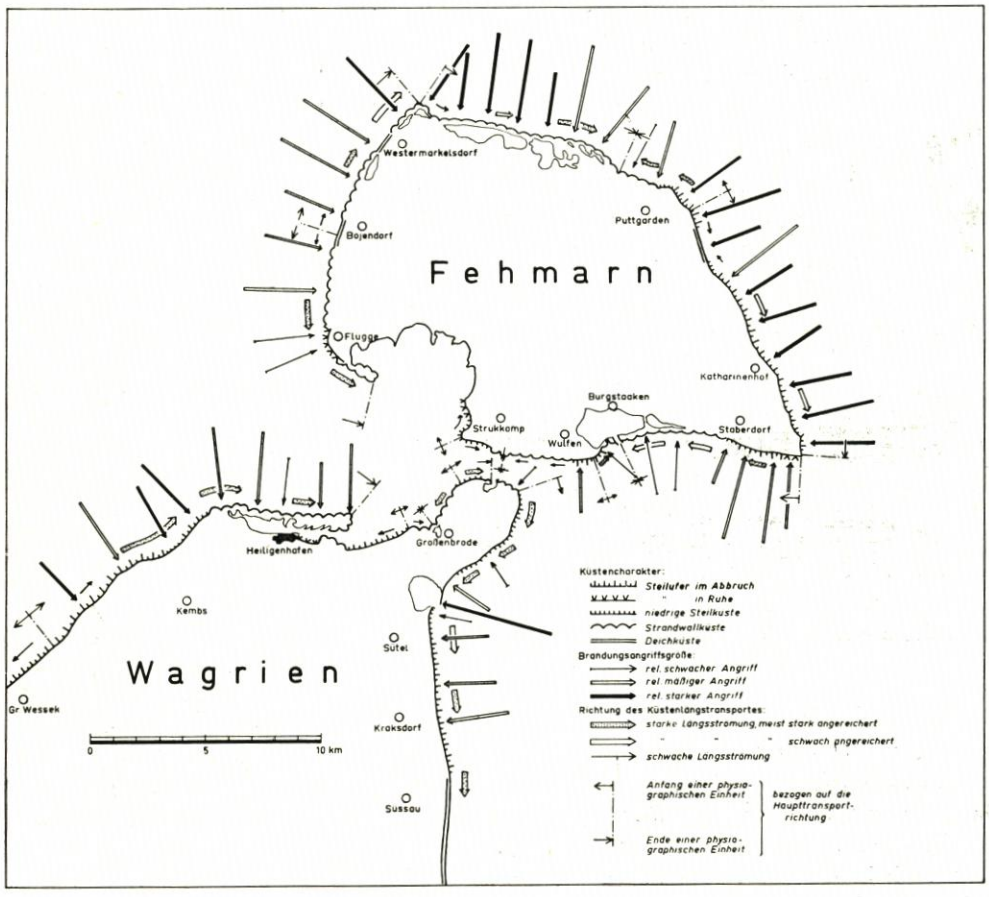

Abb. 24. Physiographische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes

Die natürliche Bildung von Küstenbögen, die in sich selbst stabil bleiben, wenn ihre Aufhängepunkte stark genug sind, scheint dabei ein häufig anwendbares Mittel zu sein, um die Küste zu halten.

Auf keinen Fall aber sollten künftig noch Bauweisen und Bauformen, die sich an anderen Küsten bewährt haben, nur deshalb angewandt werden, ohne zu prüfen, ob sie hier die gewünschte Funktion auch ausüben werden.

Diese Erkenntnisse haben sich von nordamerikanischen Untersuchungen ausgehend im Ausland fast überall verbreitet, und ein Betrachter der jüngsten niederländischen und briti-

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

schen Küstenschutzmaßnahmen wird feststellen, daß sich die angewandten Bauformen weitgehend den neuen Erkenntnissen angeglichen haben.

Im folgenden sollen, der gestellten Aufgabe entsprechend, die im Untersuchungsgebiet als wirtschaftlich gerechtfertigt und für technisch erfolgreich gehaltenen Maßnahmen zum Schutz oder zur Verbesserung der Küsten aufgezeigt werden.

a. Der Stein- und Graswarder und die Hafeneinfahrt von Heiligenhafen

Der weitaus vorwiegende starke West-Ost-Transport der Abbruchmassen der Steilufer westlich von Heiligenhafen hat in geologisch kurzer Zeit (etwa seit 500 n. Chr.) die Warder von Heiligenhafen aufgebaut, wobei die erste Anlage des jüngeren Graswarders um 1400 n. Chr. geschehen sein muß.

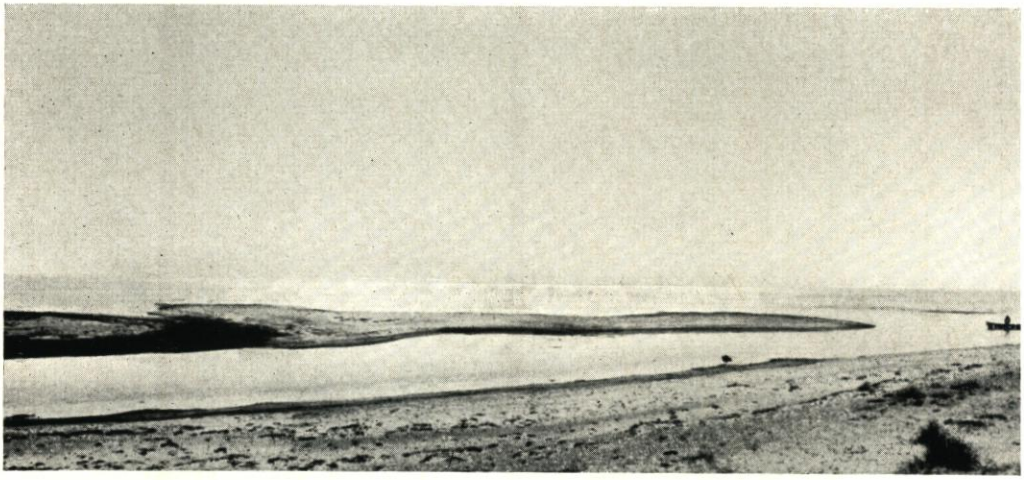

Abb. 25a. Die Fischerrinne vor Heiligenhafen zwischen Stein- und Graswarder. Eine Bank im Mittelgrund des Bildes ist mit dem Steinwarder (links) zusammengewachsen. Im rechten Teil des Bildes ist eine neue kleine Bank erkennbar. Zustand April 1954

Die Fischerrinne zwischen beiden Wardern war ein Strandwalldurchbruch. Ihre Versandung war anläßlich der Untersuchungen (1953) für die nächsten Jahre vorausgesagt und hat sich 1955 vollzogen. (Abbildung 26 zeigt noch das Bild der Küstenvermessung von 1951.) Das jetzt zusammenhängende Wardergebilde wächst in erster Linie nach Osten, dabei haben sich die Nordflanken im ganzen zurückverlegt.

Damit ist eine laufende Verlagerung und Versandung der Hafeneinfahrt und der Reede und ebenso eine starke Einbuße an Badestrandfläche verbunden.

Beides kann durch den Bau einer Sichelbuhne am Ostende des Graswarders nach Abbildung 26 aufgehalten werden. Zur Festlegung des Südostzipfels ist eine weitere kleine Sichelbuhne erforderlich. Zwischen der allmählich nach Westen vorrückenden Versandung vor der großen Sichelbuhne und dem Kliffende im Westen wird sich ein Küstenbogen einstellen, in dessen Abbruchbereich heute schon mit Kuranlagen bebaute Flächen liegen. Der Bogen muß also durch die Anlage von zwei Klinten — flache Nasen vor dem Ufer — in drei kleinere unterteilt werden. Die für die Zukunft zu erwartende Küstenlinie ist aus Abbildung 26 ersichtlich.

Die Anlagekosten werden sich auf rund 1 Mio DM belaufen. Sie sind aus den Einnahmen der Kurverwaltung nicht im entferntesten zu bestreiten. Die Frage, ob das Seebad Heiligen-

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

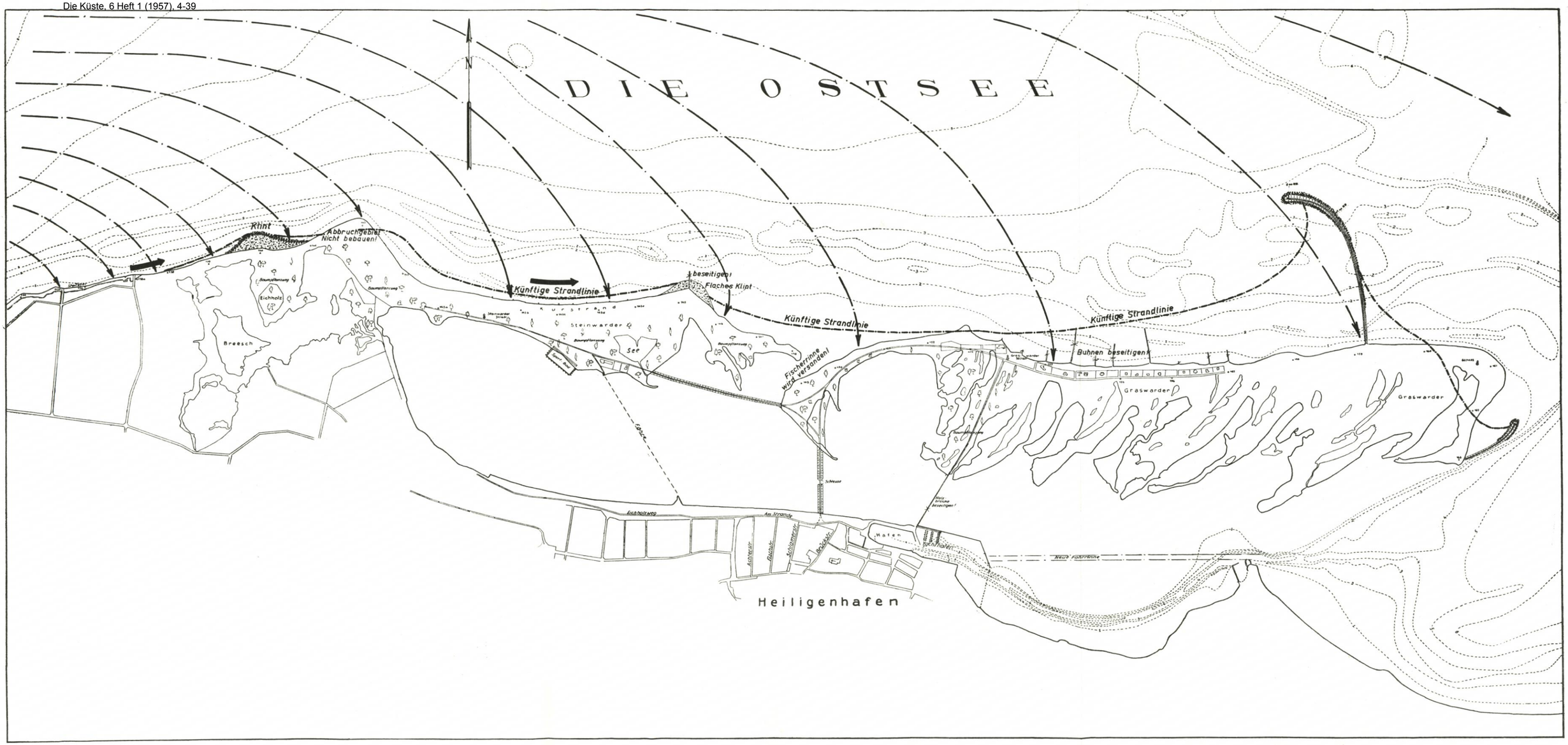

Abb. 26. Stein- und Graswarder vor Heiligenhafen. Plan zur Verbesserung der Strand- und Uferverhältnisse

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

hafen seiner Lage und Leistungsfähigkeit nach diese Investitionen lohnt, kann nicht allein von den heutigen Verhältnissen aus beurteilt werden. Die Tatsachen, daß die Nachfrage nach Erholungsstätten an der See in hohem Maße wächst und daß durch die mehr oder minder ungeregelten Strandbenutzungen an nicht erschlossenen Küstenstreifen sehr viel Schaden an Dünen, Steilufern und Deichen verursacht wird, sollten hierfür mit maßgebend sein.

b. Die Ostküste Nordwagriens und die Hafeneinfahrt von Großenbrode-Kai

Andrerseits bietet sich von Natur an der Ostküste der Halbinsel Großenbrode eine sehr gute Möglichkeit zur Förderung von Kuranlagen. Die Uferbewegungen sind hier weit weniger ungünstig. Auch der Strand vor den südlich Großenbrode beginnenden Steilufern ist breit, hoch gelegen, flach geneigt und meist feinsandig. Hier fehlen nur die Anfahrtstraßen.

Verkehrsmäßig aufgeschlossen ist nur der Strand nördlich des Fährhafens Großenbrode-Kai.

Der Antransport des Sandes erfolgt von Norden und wird im Lauf der Zeit den gesamten Unterwasserstrand vor der Hafenmole aufsanden und dann auch die Fahrwassertiefe in der Hafeneinfahrt gefährden. Die heute schon gelegentlich notwendigen Baggerungen werden daher in Zukunft an Umfang zunehmen, wenn nicht auch hier mit Hilfe einer Sichelbuhne Abhilfe geschaffen wird. Damit würde nördlich der Hafeneinfahrt ein vorzüglicher Kurstrand entstehen.

Abb. 25b. Die vollständig zugewachsene Fischerrinne. Zustand Januar 1955

c. Die Westküste von Fehmarn

Aus der vorher kurz angedeuteten erdgeschichtlichen Entwicklung der Westküste Fehmarns ist ihr heutiger Zustand und die künftige Entwicklung unschwer abzuleiten. Der stetige Anstieg des mittleren Wasserstandes, die Zunahme der westlichen Stürme und die dauernde Austiefung des Meeresgrundes vor der Küste haben die einst auflandige Transportwirkung der Brandung stark herabgemindert, die Beugung der Wellen verkleinert und vor allem im Nordteil die Brandungsströmung und damit den Küstenlängstransport verstärkt. Weitaus der größte Teil des nördlichen Küstenabschnitts liegt heute im Abbruch. Diese Entwicklung wird anhalten, sich wahrscheinlich noch steigern und auf die Südflanke übergreifen, die vor Flügge heute noch anlandende Tendenz zeigt. Das schnelle Wachstum des Krummsteert südlich Flügge in die Orther Bucht hinein wird anhalten.

Um den stark gefährdeten Deichfuß vor der nördlichen Westküste zu halten, muß der an der Markelsdorfer Huk in See gehende Sandstrom des Längstransports aufgehalten und vor der Küste angestaut werden (Abb. 27). Eine Sichelbuhne am Ende der physiographischen

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

Einheit wird dieser Funktion am besten gerecht. Vor den hervorstehenden Landrücken von Westermarkelsdorf und Bojendorf sind Klinten als Stützpfeiler von Küstenbogen anzuordnen. Die dadurch erzielte künftige Küstenform ist aus Abbildung 27 ersichtlich.

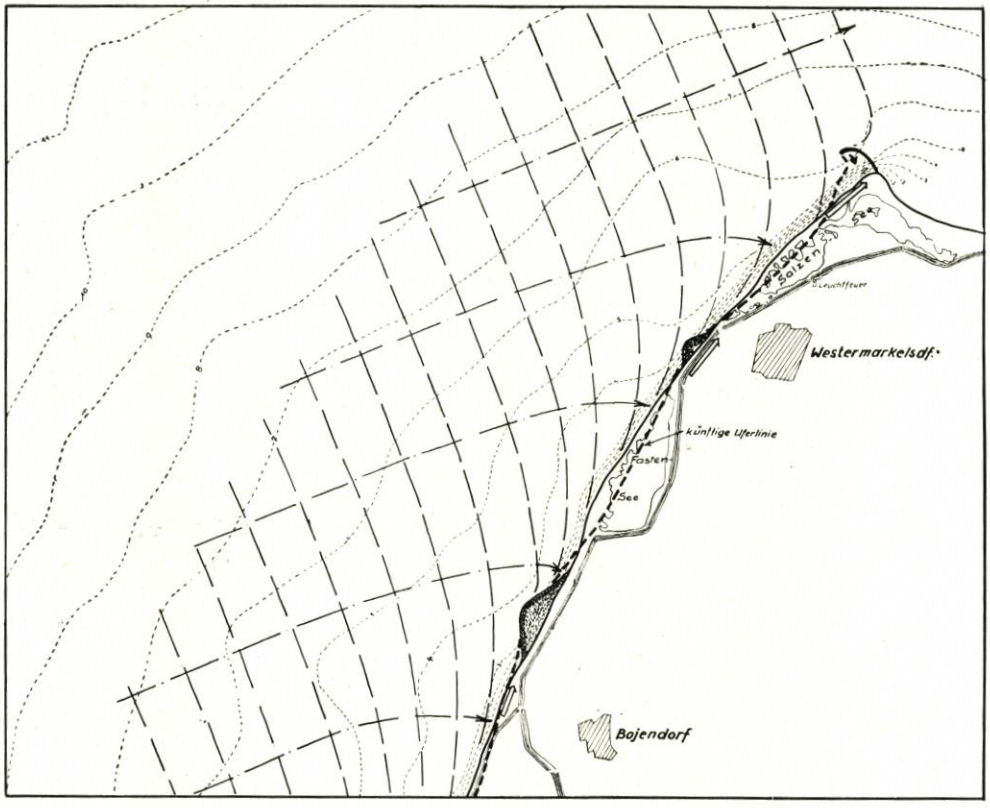

Abb. 27. Plan zur Verteidigung der nördlichen Westküste von Fehmarn

d. Die Nord- und Ostküste Fehmarns

Die Nordküste unterliegt ihrer Lage wegen vorwiegend der Wirkung des Längstransports. Etwa 40 v. H. aller Wetterlagen erzeugen eine Transportrichtung von West nach Ost, etwa 30 v. H. solche von Ost nach West, nur etwa 10 v. H. erzeugen bei kurzer Windbahn Quertransport, der selten ausräumend wirkt. Die Folge ist ein verhältnismäßig ausgeglichener Sandhaushalt mit einer schwachen Ablandung im Westen und einer stärkeren Auflandung am „Puttgardener Riff" westlich Puttgarden.

Die Ostküste liegt indessen bei östlichen Winden mit langer Windbahn unter starker Brandung. Die Küste ist deshalb ziemlich stark geneigt und zeigt kurze Übergänge von der Brandungszone zur Muddzone (Bressau, in diesem Heft). Der petrographische Aufbau der Ufer, besonders im Südteil, der Reichtum an Blöcken und die Armut an Sand halten die Abbruchwerte der Steilufer in geringen Grenzen (Abb. 28).

Lediglich die kurze Deichstrecke vor Presen ist der Sandarmut und des Geröllreichtums wegen gefährdet. Der fehlende Längstransport an Sand macht sich bei der Ausräumung des flachen Küstenbogens nachteilig bemerkbar.

Im allgemeinen bedarf die Nord- und Ostküste keinerlei Schutzmaßnahmen.

Die Küste, 6 Heft 1 (1957), 4-39

e. Die Südküste von Fehmarn

Das gleiche gilt für den größten Teil der Südküste. Sie wird im Fall einer Durchdämmung des Fehmarnsunds ohnehin eine andere Entwicklung nehmen als bisher.

Eine besondere Aufgabe besteht hier nur im Ostteil, an der Einfahrt zum Burger Binnensee, d. h. zum Hafen Burgstaaken. Seit dem Beginn der Neuzeit bestehen hier bereits Schwierigkeiten wegen der Versandung und Ausflachung der Einfahrt. Die erste verständnisvolle Maßnahme der künstlichen Einschnürung verbunden mit Sandfangmolen zu beiden Seiten der Einfahrt stammt vom Deichbauinspektor CHRISTENSEN (vor reichlich 100 Jahren).

Abb. 28. Block- und Steinreicher Strand an der südlichen Ostküste von Fehmarn

Die damaligen Anlagen bedurften vor kurzem der Erneuerung und Ergänzung durch eine Buhne weiter östlich am Strand von Burgtiefe (Abb. 29). Diese Buhne sollte in späteren Jahren sichelförmig verlängert werden, um einen Dauererfolg zu gewährleisten.

Damit wäre die Versandung der Fahrrinne endgültig behoben und zugleich der Badestrand von Burgtiefe verbreitert sowie im Westen eine leistungsfähige Sandentnahmestelle geschaffen.

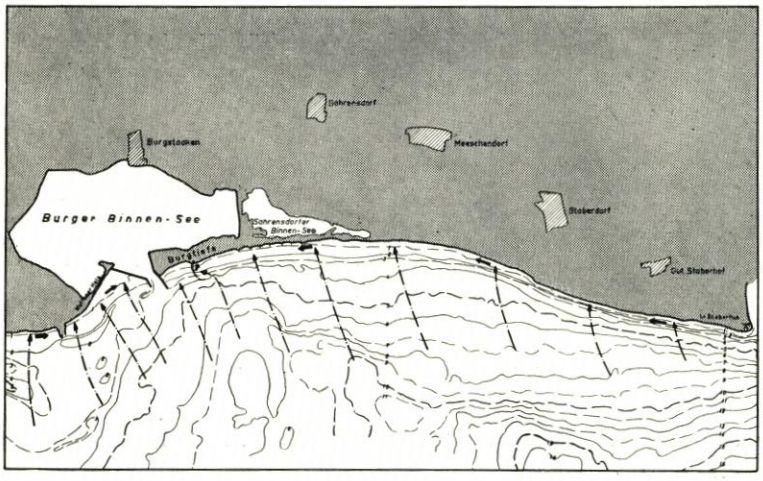

Abb. 29. Östliche Südküste von Fehmarn. Hauptangriffsrichtung der Brandung und der Brandungsströmungen mit den Molen zur Einfahrt nach Burgstaaken und der vor kurzem verlängerten Strandbuhne vor Burgtiefe. Ihre punktierte Weiterführung stellt die folgerichtige Verbesserung der Ergänzungsmaßnahmen dar

f. Die übrigen Küstenstrecken

An allen hier nicht besonders erwähnten Küstenabschnitten sind keine Schutzmaßnahmen erforderlich oder gerechtfertigt. Es würde deshalb zu weit führen, im Rahmen dieses Aufsatzes auf Einzelheiten ihrer Entwicklung in Vergangenheit und Zukunft einzugehen.

Die baulichen Anlagen für die „Vogelfluglinie" werden, wie oben bereits angedeutet, keine nachteiligen Folgen für die Küstenentwicklung haben. Ein Damm durch den Ostteil des Fehmarnsunds würde sogar als Aufhängepunkt für die angrenzenden Küstenstriche von großem Vorteil sein. Dies gilt besonders für den wenig widerstandsfähigen Wulfener Berg.

4. Der Hochwasserschutz auf Fehmarn

Die Untersuchungen über Ursachen und Wirkungen höherer Wasserstände ergaben, daß durchaus mit dem Auftreten höherer Wasserstände gerechnet werden kann, als sie am 13. 11. 1872 als bisher höchste beobachtete Sturmfluthöhe gemessen worden sind. Als Höchstwasserstände können für Fehmarn solche von + 3,00 m NN für künftige Planungen zugrunde gelegt werden.

Wird diesem Höchstwert eine aus den Brandungsuntersuchungen abzuleitende Schwallhöhe des Wellenauflaufs von 1,50 m hinzugerechnet, ergibt sich eine Sollhöhe für die Deiche auf Fehmarn von + 4,50 m NN, die aber nur vor der Presener Niederung durchgehend vorhanden ist. Im Bereich der Gemarkung Dänschendorf wird sie stellenweise erreicht, überall sonst aber liegt sie unter diesem Wert. Auch die Sollhöhen nach dem Bestick liegen sämtlich niedriger. Demnach wird ihre Neufestsetzung und eine Deicherhöhung als notwendig bezeichnet werden müssen.

VI. Schriftenverzeichnis

1. Zusammenstellung der Untersuchungsberichte für das Wasser- und Schiffahrtsamt Kiel, Gewässerkundliche Untersuchungsstelle Heiligenhafen

	Teilbericht	Abschnitt
1. Magens, C. u. H. Weitz: Die vermessungstechnischen Arbeiten in dem Raum Fehmarn—Wagrien und in den Gewässern um Fehmarn. (Unveröffentlicht.)	1	
2. Magens, C.: Die Wasserstandsschwankungen in den Gewässern um Fehmarn. (Unveröffentlicht.)	2	I
3. Weidemann, H.: Die Strömungsverhältnisse an den Küsten Fehmarns und Wagriens. Dtsch. Hydr. Ztschr. Bd. 8, H. 3, 1955.	2	II
4. Magens, C., K. Wyrtki u. G. Roden: Die Brandungserscheinungen an den Küsten Fehmarns und Wagriens. (Vgl. den Aufsatz von Magens in diesem Heft.)	2	III
5. Habetha, E. u. K.-W. Ruck: Geologische Bestandsaufnahme Nordwagrien und Fehmarn. (Unveröffentlicht.)	3	I
6. Bressau, S.: Seegrundkartierung der Gewässer um Fehmarn. (Vgl. den Aufsatz in diesem Heft.)	3	II
7. Brand, G.: Sedimentpetrographische Untersuchung der Brandungszone an den Küsten Fehmarns und Wagriens. „Meyniana", Bd. 4, 1955.	3	III
8. Seifert, G.: Bestandsaufnahme der Steilufer an den Küsten Fehmarns und Wagriens mit einem Versuch, den Verbleib des Abbruchmaterials nachzuweisen. „Meyniana", Bd. 4, 1955.	3	IV
9. Köster, R.: Die Morphologie der Strandwallandschaften im Raum Fehmarn—Wagrien. „Meyniana", Bd. 4, 1955.	3	V
10. Seifert, G.: Die postglaziale Geschichte der Warder und der Eichholzniederung bei Heiligenhafen. „Meyniana", Bd. 4, 1955.	3	VI

11. Schmitz, H.: Pollenanalytische Untersuchungen an Bohrergebnissen bei Heiligenhafen. (Unveröffentlicht.) 3 VII
12. Kannenberg, E. G.: Der Fährverkehr im Raum um die Insel Fehmarn in seiner historischen Entwicklung und die Projekte zu dessen Ausbau in den letzten hundert Jahren. (Unveröffentlicht.) 4 I
13. Kannenberg, E. G.: Die Entwicklung der Häfen der Insel Fehmarn, der Fahrwasserverhältnisse im Fehmarnsund und des Hafens von Heiligenhafen. (Unveröffentlicht.) 4 II

2. Weiteres Schrifttum

1. Dietrich, G.: Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. Die Küste H. 2, 1954.
2. Hagen, G.: Handbuch der Wasserbaukunst, Seeufer und Hafenbau. 3. Teil, I. Bd., Berlin 1863.
3. Kannenberg, E. G.: Die Steilufer der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Schr. Geogr. Inst. Kiel 1951.
4. Lorenzen, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste 1955.
5. Martens, P.: Morphologie der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Breslau 1927.
6. Petersen, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste (Samland bis Schleswig-Holstein). Die Küste H. 2, 1952.
7. Pratje, O.: Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee, Dtsch. Hydr. Ztschr. 1948.
8. Tapfer, E.: Die Meeresgeschichte der Kieler und Lübecker Bucht im Postglazial. Geol. Meere u. Binnengew. 1941.