Die Küste, 21 (1971), 17-28

# Untersuchung des Seegangs in flachem Wasser

### Von Winfried Siefert

### Inhalt

Symbol-Verzeichnis																			17
I.	Meßprogramm																÷		17
II.	Auswertung																		19
III. Seegang auf dem flachen Watt																			
	A. Vergleich v	on	kenn	zeid	hnen	den	Seeg	ang	sgrö	ßen	vor	und	auf	der	m V	Watt			21
	B. Höhen- und	ł P	eriod	len-	Verte	eilur	ngen												22
	C. Wellenhöhe	n																	24
IV.	Zusammenfassu	ng															•		27
v.	Schrifttum .								•										28

### Symbol-Verzeichnis

C <sub>1/3</sub>	$Umrechnungsfaktor = \frac{H_{1/3}}{\overline{H}}$							
C1/10	Umrechnungsfaktor = $\frac{H_{1/10}}{\overline{H}}$							
Сτ	Umrechnungsfaktor = $\frac{T_{H1/3}}{T}$							
d	Wassertiefe							
H	Mittlere Wellenhöhe der Nulldurchgangs-Wellen (zero-crossing waves)							
$\overline{H}_{max}$	Maximale mittlere Wellenhöhe							
H <sub>1/3</sub>	Kennzeichnende Wellenhöhe = Mittel der 33 % höchsten Nulldurchgangs-Wellen							
H <sub>1/10</sub>	Mittel der 10 % höchsten Nulldurchgangs-Wellen							
H <sub>max</sub>	Höchste Einzelwelle im Verlauf einer Tide							
T	Mittlere Wellenperiode der Nulldurchgangs-Wellen							
$T_{\rm H1/3}$	Mittlere Periode der 33 % höchsten Nulldurchgangs-Wellen (d. h. der kennzeichnenden Wellenhöhe)							
η	Normierte Wellenhöhe; $\eta = rac{\mathrm{H}}{\mathrm{H}}$							
τ	Normierte Wellenperiode; $\tau = \frac{T}{T}$							

### I. Meßprogramm

Im Rahmen eines allgemeinen Forschungsprogrammes zur Untersuchung der hydrologischen, hydrodynamischen und morphologischen Verhältnisse und Veränderungen in der Elbemündung werden seit 1963 auch Seegangsmessungen angestellt (3). Da bisher der Seegangsmessung im unmittelbaren Küstenvorfeld – zumindest in Deutschland – nur geringe Beachtung geschenkt worden war, standen zur Bestimmung des Seegangs im Gebiet der Elbemündung vor Beginn dieses Meßprogramms keine Unterlagen zur Verfügung. Auch das vorliegende Schrift-



tum enthält kaum Angaben über Seegangsverhältnisse in morphologisch stark gegliederten Gebieten vor der Küste (2, 9, 11). So wurde es erforderlich, ein Programm zu entwickeln, das den besonderen Gegebenheiten gerecht wird. Es umfaßt Messungen an nunmehr 18 Stationen. Davon liegen drei in der Außenelbe und zwei in der Unterelbe, die übrigen auf dem flachen Watt oder am Rande des Watts (Abb. 1).

9 Meßstationen bestehen aus eingespülten Standrohren, an denen Schwimmerrohre befestigt

sind, die die Meßgeräte tragen (Abb. 2). Es sind Geräte, die nach dem Prinzip von WEMELS-FELDER den Wellenhub integrieren, der von Schwimmern übertragen wird, und in bestimmten Abständen Daueraufzeichnungen von 2 bis 5 Min. Länge machen. 5 Stationen auf dem Watt arbeiten mit Geräten, die von GöHREN (1) entwickelt wurden und in Abständen von 1 Std. Zähler abfotografieren, auf denen Wellenhub und Wellenanzahl registriert werden (Abb. 3). Messungen an 4 weiteren Stationen wurden inzwischen abgeschlossen\*).

### II. Auswertung

Aufzeichnungen mit schnellem Papiervorschub geben Aufschluß über die Wellenhöhen und -perioden und damit nur über einen Teil der den Seegang kennzeichnenden Größen, da Wellenlänge, -fortschrittsrichtung und -geschwindigkeit nicht erfaßt werden. Erwähnt sei dazu, daß die letzteren aus Radar- und Luftbildern ermittelt werden können, wobei dann aber die Angaben über Höhen und Perioden fehlen. Untersuchungen zur Kopplung der Ergebnisse von Luftbildern und Schwimmerregistrierungen,



Abb. 2. Station Scharhörnriff (SR)

um neben dem Höhen- und Frequenz- auch das Richtungsspektrum zu erfassen, brachten bisher keine befriedigenden Ergebnisse.

Die Registrierungen der Meßgeräte werden, wie heute allgemein üblich, nach mittleren Werten  $\overline{H}$  und  $\overline{T}$  der Nulldurchgangs-Wellen (zero-crossing waves) ausgewertet. Hinzu kommen die kennzeichnenden Seegangsgrößen H<sub>1/3</sub>, T<sub>H1/3</sub>, H<sub>1/10</sub>, H<sub>max</sub> usw. Es ist bekannt, daß die Aussagekraft von Wellenkennwerten wie etwa der mittleren oder einer kennzeichnenden Wellenhöhe begrenzt ist. Sie erweist sich jedoch auch in einem Gebiet mit starken Tiefenänderungen als übersichtlich und brauchbar, um dem Ingenieur einen Eindruck von dem Seegang im Untersuchungsgebiet zu vermitteln, so daß auf die Berechnung von Energiespektren verzichtet werden kann zugunsten der Auswertung nach kennzeichnenden Wellengrößen. Für mögliche Bauplanungen sind ohnehin statistische Aufstellungen repräsentativer Kennwerte wie

<sup>\*)</sup> Eine ausführliche Arbeit über die Seegangsmessungen der Forschungsgruppe Neuwerk ist in Heft 18 der Schriftenreihe "Hamburger Küstenforschung" erschienen.

mittlere, kennzeichnende und maximale Wellenhöhe und -periode wichtiger als Spektralanalysen.

In ein Gebiet laufen fast immer mehrere Wellensysteme zugleich aus verschiedenen Richtungen ein und überlagern sich. Diese Systeme können je nach Entstehung und Alter sehr verschiedene Höhen und Perioden haben. GAUSSSche Normalverteilung wie bei den theoretischen Ansätzen von CARTWRIGHT und LONGUET-HIGGINS oder RAYLEIGH-Verteilung für ein sehr schmales Wellenspektrum sind dabei nur selten vorhanden. Bei der Überlagerung mehrerer Seegangssysteme kann eine mittlere Wellenlänge oder -höhe auch physikalisch nicht definiert



Abb. 3. Wattstation Scharhörn-Bake (SB)

werden. Allgemeine rechnerische Ansätze sind bei der starken Streuung der Wellenbewegung in diesem Gebiet erst möglich, wenn die Mathematik der nichtlinearen Überlagerung soweit entwickelt ist, daß auch Spektren im Flachwasser gerechnet werden können. Zur genaueren Analyse der gleichzeitig in der Elbemündung auftretenden Wellenhöhen und -perioden wurden statt dessen typische Verteilungskurven untersucht. Trotz gewisser Einschränkungen gestatten diese einige interessante Angaben über die Veränderung des Seegangs beim Lauf in flaches Wasser.

Die Meßdaten H und T aus der Seegangsregistrierung werden nach Windgeschwindigkeiten und -richtungen geordnet. Dabei wird zwischen verschiedenen Sektortypen unterschieden, entsprechend denen das Windgeschehen der letzten 6 bis 24 Stunden vor der Messung gemittelt wird. Da in den Rinnen und auf dem Watt bei Winden aus SW bis N der von See her einlaufende Seegang maßgebend ist, sind für diese Windlagen die Verhältnisse außerhalb des Wattgebietes (an der Station Scharhörnriff, Abb. 1) zu berücksichtigen. Die Unterteilung der ablandi-

gen Windrichtungen (N bis SW) geschieht dagegen unmittelbar nach der Topographie an der Meßstelle. So sind auf Abbildung 4 die Windsektoren der Station Scharhörnriff eingetragen, die für das gesamte Meßgebiet einheitlich benutzt werden, und dazu an der Station Hundebalje diejenigen, die nur für die Auswertung an dieser Meßstation gelten.

Großenteils elektronisch wurden für bisher 5 Stationen Beziehungen zwischen Wellenhöhen bzw. -perioden und den Wind- und Tideverhältnissen aufgestellt. Dazu wurden rd. 6000 Registrierungen ausgewertet.





Abb. 4. Einteilung der Windsektoren zur Korrelation der Seegangs- und der Winddaten

## III. Seegang auf dem flachen Watt A. Vergleich von kennzeichnenden Seegangsgrößen vor und auf dem Watt

Zu einem möglichst umfassenden Vergleich wurden aus Registrierungen von den einzelnen Meßstationen die Verhältnisse  $C_{1/3}$ ,  $C_{1/10}$  und  $C_7$  berechnet und mit der mittleren Wellenhöhe und der Wassertiefe in Beziehung gebracht. Alle Werte zeigen die Tendenz, daß der Seegang beim Lauf auf das flachere Watt gleichförmiger wird, daß also die  $H_{1/10}$  und  $H_{1/3}$  im Verhältnis zur mittleren Wellenhöhe etwas kleiner werden. Das ist zurückzuführen auf eine Art "Sortierung", bei der nur Reste der höchsten Wellen, die im tieferen Wasser die Werte  $H_{1/10}$  und Hun wesentlich mitbestim-

H<sub>1/3</sub> wesentlich mitbestimmen, auf dem Watt fortbestehen können. So ist es erklärlich, daß das Verhältnis C1/10 schneller als C1/3 abnimmt. Ebenso wird die Veränderung des Seegangsspektrums deutlich am Verhältnis Cr der Perioden, das zum Watt hin ebenfalls abnimmt. Das Seegangsspektrum wird schmaler. Es zeigt sich demnach, daß man bei der Seegangsbestimmung in Küstennähe nicht überall mit konstanten Verhältniswerten rechnen sollte. Das gilt für



Abb. 5. Veränderung von C<sub>1/3</sub> mit H in der Elbe (Scharhörnriff) und auf dem Watt (Hundebalje)

die Höhen ebenso wie für die Perioden. Während das Verhältnis C $\tau$  im tieferen Wasser der Elbemündung 1,25 beträgt und durch die Angaben bei SVASEK (7) für Messungen vor der niederländischen Küste bestätigt wird, ist es auf dem Watt nur noch 1,15. Dieser Wert wiederum ist nahezu identisch mit dem von SIBUL 1955 ebenfalls in geringen Wassertiefen (im Windwellenkanal) ermittelten von 1,10 (9).

Darüber hinaus sei auf ein Untersuchungsergebnis hingewiesen, das offensichtlich bei der Beurteilung der Nulldurchgangs-Wellen weitgehend unbekannt geblieben ist. Wie Abbildung 5 am Beispiel einer Tiefwasserstation (Scharnhörnriff) und einer Wattstation (Hundebalje) zeigt, ist das Verhältnis  $C_{1/3}$  nicht nur vom Standort, sondern auch von der mittleren Wellenhöhe  $\overline{H}$ abhängig. Je größer die Wellen sind, desto gleichförmiger wird der Seegang, und zwar auf dem Watt ungleich schneller als im tieferen Wasser.

Zur Verdeutlichung der Richtungsvarianz des Seegangs vor und auf dem Watt sind auf Abbildung 6 die Fortschrittsrichtungen der "bestimmenden Seegangssysteme" (6) bei zwei Seegangsbefliegungen dargestellt. Während im inneren Bereich der Elbemündung etwa den Windrichtungen entsprechend alle Wellenrichtungen möglich sind, nimmt die Richtungsvarianz in den Wattrinnen sehr stark ab. Der Vergleich der Wellenfortschrittsrichtungen bei WNW- und bei O-Wind zeigt, daß die Richtungen vor dem Watt um 120° differieren, während es auf der Wattrinne Hundebalje nur noch 30° sind. Das Ergebnis besagt, daß die Wellen im Bereiche dieser Wattrinnen nahezu unabhängig vom Wind prielaufwärts laufen.





Abb. 6. Richtungsvarianz des Seegangs vor und auf dem Watt

#### B. Höhen- und Perioden-Verteilungen

Aus dem Vergleich der  $C_{1/3}$ ,  $C_{1/10}$  und  $C_{\tau}$  sind bereits einige interessante Schlußfolgerungen über die Veränderung des Seegangs beim Einlaufen in flacheres Wasser möglich. Umfassendere Interpretationen des Flachwasser-Seegangs sind jedoch aus den Verteilungskurven der Höhen und Perioden zu ziehen, die die gesamte Skala der überlagerten Wellen in Form von Summenhäufigkeiten darstellen. Die auf Abbildung 7 angegebenen und als Höhenspektren bezeichneten Verteilungskurven

$$p(\eta) = 1 - e^{-\frac{\Pi}{4}} \cdot \eta^{\varphi}$$

zeigen, daß jeder Verteilung der Wellenhöhen ein bestimmter Wert  $C_{1/3}$  zugeordnet werden kann. Dabei kann dann der Faktor  $\varphi$  bestimmt werden als

$$\varphi = f(C_{1/3}).$$

Mit  $C_{1/3} = 1,60$  wird  $\varphi = 2$ , womit die Verteilung in diesem Falle gleich der nach Lon-GUET-HIGGINS (4) für die Wellenhöhen geltenden RAYLEIGH-Verteilung ist. Auf Abbildung 5 wurde jedoch schon gezeigt, daß

$$C_{1/3} = f$$
 (H, Standort)

und nicht etwa  $C_{1/3} = \text{const.} = 1,60$  ist. Bei einer Kopplung der hier angegebenen Beziehungen ist es somit möglich, in Abhängigkeit von der (nach Abb. 5 bekannten) Seegangscharakteristik am Standort allein aus gemessenen mittleren Wellenhöhen die gesamte Wellenhöhenverteilung zu bestimmen. Dabei kommt der höchsten Einzelwelle  $H_{max}$  für konstruktive Planungen einige Bedeutung zu. Sie kann für die Summenhäufigkeit 99,98 % (gleich der Eintrittswahrscheinlichkeit 2 · 10<sup>-4</sup>) als höchste Welle im Verlauf einer Tide angegeben werden. Es wird deutlich, daß mit abnehmendem C<sub>1/3</sub> das Verhältnis  $\frac{H_{max}}{\overline{H}}$  schnell kleiner wird. Der Seegang im tiefe-



Abb. 7. Wellenhöhen-Verteilungen in flachem Wasser



Abb. 8. Wellenperioden-Verteilungen in flachem Wasser

#### 24

ren Wasser wird beim Lauf in Flachwassergebiete zunehmend in Wellen gleicher Höhen und Fortschrittsrichtungen umgewandelt.

Während also das Höhenspektrum mit abnehmender Wassertiefe und zunehmender Wellenhöhe schmaler wird, wird gleichzeitig das Periodenspektrum erweitert, wie Abbildung 8 zeigt. Die drei aus dem Schriftum übernommenen Verteilungen weichen beträchtlich voneinander ab, aber keine gibt die Verhältnisse im Elbmündungsgebiet ausreichend gut wieder. Die Veränderung der Periodenverteilung im Flachwasser mag ausgehend von dem Tiefwasser-Spektrum nach BRETSCHNEIDER betrachtet werden. Am Rande der Elbe bei Wassertiefen zwischen 5 und 11 m ist der Seegang durch die Topographie bereits so stark beeinflußt, daß zwar die mittleren Perioden T kleiner geworden sind, zugleich aber durch das Verbleiben einiger langperiodischer Wellen im Seegang wesentlich größere Verhältnisse  $\tau = \frac{T}{T}$  auftreten können. Laufen die Wellen dann in die Brandungszone weiter, so ändert sich zwar nicht diese Verteilung, wohl aber die mittlere Periode. Sie wird länger. Im Watt schließlich führen die verbliebenen langen Perioden (meist geringer Höhe) bei erneuter Abnahme der T zu einer breiteren Verteilung, die der RAYLEIGH-Verteilung nahekommt.

### C. Wellenhöhen

Die Gegebenheiten im Tidegebiet bringen es mit sich, daß gerade auf dem Watt die Wellenhöhen entscheidend vom Wasserstand, also der Tidephase abhängen. Da auch der Wasserstand (neben dem steten Gezeitenwechsel) vom Wind stark beeinflußt wird, liegen hier komplexe Beziehungen vor:

- a. Wellenhöhe als Funktion des Windes und des Wasserstandes;
- b. Wasserstand als Funktion des Windes.

Damit besteht gleichsam eine doppelte Abhängigkeit der Wellenhöhe vom Wind.

Bei konstantem Wasserstand (oder im Tiefwasser, wo eine veränderte Höhenlage des Ruhewasserspiegels und damit der Wassertiefe ohne Bedeutung ist) werden sich Abhängigkeiten zwischen Wellenhöhe und Windverhältnissen finden lassen. Das Beispiel der Station Hundebalje auf Abbildung 9 verdeutlicht den Einfluß der Windrichtung (ablandig oder auflandig) auf die Wasserstände. Da die Wellenhöhe von Windstärke und Wasserstand abhängt, wird sie auf dem Watt besonders bei auflandigen Winden mit gleichzeitiger Erhöhung der Wassertiefe wachsen können. Ablandiger Wind dagegen bewirkt eine Vergrößerung der Wellenhöhe bei gleichzeitiger Abnahme der Wassertiefe. Die Wellenhöhe kann also nur so lange zunehmen, wie der erste Effekt größer als der zweite ist, bei weiterer Windzunahme muß dann die Wellenhöhe wieder abnehmen. Die Grenzen der möglichen Wellenhöhen sind auf Abbildung 9 durch Einhüllende skizziert.

Auf Abbildung 9 sind für drei Wasserstände (MThw + 1 m, MThw, MThw – 0,5 m) die höchsten zu erwartenden mittleren Wellenhöhen  $\overline{H}_{max}$  in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit nach Windsektoren getrennt dargestellt. Es kann festgestellt werden, daß bei ablandigem Wind aus den Sektoren 1 bis 3 (346° bis 210°) auf dem flachen Watt im Gebiet der Station Hundebalje die mittleren Wellenhöhen  $\overline{H}$  37 cm nicht überschreiten, was einer kennzeichnenden Wellenhöhe von 55 cm entspricht. Bei diesen Windrichtungen treten die höchsten Wellen dann auf, wenn der Wasserstand (bei der Windgeschwindigkeit von 19 bis 22 m/s) die Höhe des MThw (Wassertiefe 1,9 m) nicht mehr erreicht, sondern Thw etwa 20 cm darunter liegt.

Außer diesem Ergebnis interessiert aber besonders die maximal mögliche Wellenhöhe.



Abb. 9. Station Hundebalje (HB), Wellenhöhen in Abhängigkeit von Wind und Wassertiefe (Wassertiefe bei MThw: 1,9 m)



Abb. 10. Vergleich der Wellenhöhen vor und auf dem Watt

Diese ist dann zu erwarten, wenn Wellenhöhe und Wasserstand mit dem Wind zunehmen. Bei Wind aus W bis NNW (Sektor 6, Abb. 4) um 7 Bft wurden auf dem flachen Watt an der Station Hundebalje mittlere Wellenhöhen um 70 cm und damit kennzeichnende Wellenhöhen um 95 cm registriert.

Die Anpassung der Wellenlaufrichtung an die Tiefenverhältnisse führt dazu, daß die



Abb. 11. Höhe der höchsten Einzelwelle in Abhängigkeit von der Wassertiefe

höchsten Wellen auf dem Watt auftreten, wenn das hier betrachtete Gebiet im Schutz der Düne Scharhörn zu liegen scheint (Abb. 10). Die Windwirklänge von rd. 1,5 km über Wassertiefen von 0 bis 1,5 m würde nicht ausreichen, um mittlere Wellenhöhen von über 50 cm zu erzeugen. Die gebräuchlichen Rechenansätze liefern viel kleinere Wellen. Die auf Abbildung 10 dargestellte Beziehung zwischen den Wellenhöhen auf dem Watt (Hundebalje) und im rd. 6 m tieferen Wasser vor dem Watt (Lüchtergrund) macht auch deutlich, daß auf dem Watt die höchsten Wellen dann gemessen werden, wenn vor dem Watt ebenfalls die höchsten Wellen auftreten.

Ein Vergleich der in Abhängigkeit von den Tiefenverhältnissen möglichen Wellenhöhen an verschiedenen Stationen (Abb. 11) zeigt, daß je nach dem Charakter des bei stärkeren Winden vorherrschenden Seegangs das Verhältnis der Wellenhöhen zur Wassertiefe (hier am Beispiel der H<sub>max</sub> gezeigt) sehr unterschiedlich ist. Während die Stationen HB und ES außerhalb des Brandungsgebietes auf bzw. an dem Watt stehen, muß bei SW westlich von Scharhörn mit stark aufgesteilten, brandenden Wellen gerechnet werden. So können einzelne Wellen in der Brandung Höhen erreichen, die um 0,3 d gegenüber nicht brechenden (stabilen) Wellen erhöht sind. Das Verhältnis  $\frac{H_{max}}{d}$ , das für geringe Tiefen weit über 1 liegt, läuft mit zunehmender Wassertiefe auf einen Grenzwert zu.

### IV. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit gibt den Inhalt des Vortrages wieder, den der Verfasser auf der 12. Coastal Engineering Conference 1970 in Washington, USA, hielt. Die Ergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die die Forschungsgruppe Neuwerk seit 1963 im Elbmündungsgebiet 28

durchführt. Eine ausführliche Veröffentlichung ist im Frühjahr 1971 in der "Hamburger Küstenforschung", Heft 18, erschienen.

Der Vergleich von kennzeichnenden und mittleren Wellenhöhen sowie von vollständigen Verteilungskurven der gleichzeitig im Seegang auftretenden Wellenhöhen vor und auf dem Watt zeigt folgende Gesetzmäßigkeiten: 1. Das Verhältnis der kennzeichnenden zu den mitt-

leren Wellenhöhen  $\frac{H_{1/3}}{\overline{H}}$  ist nicht konstant. Es ist abhängig von den topographischen Verhält-

nissen. 2. Es nimmt mit steigenden mittleren Wellenhöhen ab. 3. Jedem Verhältnis $\frac{H_{1/3}}{\overline{H}}$ kann eine Verteilungsfunktion der Wellenhöhen zugeordnet werden. Daran ist festzustellen, daß das Höhenspektrum mit zunehmenden Wellenhöhen und abnehmender Wassertiefe schmaler wird. 4. Verbunden damit ist eine Erweiterung des Periodenspektrums.

Neben den meteorologischen Verhältnissen sind für die Entwicklung der Wellenhöhen auf dem Watt die Tidewasserstände von entscheidender Bedeutung. Für einige Standorte werden die Wellenhöhen der höchsten Einzelwellen in Abhängigkeit von der Wassertiefe angegeben, deren Größe stark von dem vorherrschenden Seegangscharakter beeinflußt wird.

### V. Schrifttum

- 1. GÖHREN, H.: Entwicklung eines integrierenden Wellenmeßgerätes. Hamburger Küstenforsch. H. 13 (1970).
- 2. KOELE, L. A., and DE BRUYN, P. A.: Statistical Distribution of Wave Heights in Correlation with Energy Spectrum and Water Depth. Proceedings, 9th Coastal Eng. Conf. 1964.
- 3. LAUCHT, H.: Ursachen und Ziele der Hamburger Küstenforschung an der Elbmündung. Hamburger Küstenforsch. H. 1 (1968).
- 4. LONGUET-HIGGINS, M. S.: On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves. (J. Marine Research XI [1952] 3.)
- 5. SCHRADER, J. P.: Kennzeichnende Seegangsgrößen für drei Meßpunkte in der Elbmündung. (Hamburger Küstenforsch. H. 4 [1968].)
- SIEFERT, W.: Seegangsbestimmung mit Radar und nach Luftbildern. (Hamburger Küstenforsch. H. 7 [1969].)
- 7. SVASEK, J. N.: Statistical Evaluation of Wave Conditions in a Deltaic Area. Proceedings, Symposium Research on Wave Action, Delft/Holl. 1969.
- WALDEN, H., und PIEST, J.: Vergleichsmessungen des Seegangs mit verschiedenen Meßgeräten. Dtsch. Wetterdienst – Seewetteramt – Einzelveröffentl. Nr. 30 (1961).
- 9. WIEGEL, R. L.: Oceanographical Engineering. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1964.
- 10. WIEGEL, R. L.: Waves and their Effects on Pile-Supported Structures. Proceedings, Symposium Research on Wave Action, Delft/Holl. 1969.
- 11. U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER: Shore Protection, Planning and Design. Techn. Rep. No. 4, 1966.