Sturmflutseegang in einem Ästuar

Von Volker Barthel

Zusammenfassung

In der Außenweser wurde 1975/76 ein Seegangsmeßprogramm begonnen, das vom Wasser- und Schiffahrtsamt Bremerhaven durchgeführt und vom Bundesminister für Forschung und Technologie durch das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen gefördert wird. Erste Ergebnisse zeigen, daß unter Sturmflutbedingungen höhere Wellen im äußeren Ästuar auftreten können, als allgemein angenommen oder vorausberechnet werden konnte. Im inneren Ästuar treten höhere Wellen mit sehr langen Perioden auf. Außerdem wird die Wahrscheinlichkeit von Wellenfolgen mit $H > H_{1/3}$ unter normalen und Sturmflutbedingungen untersucht und mit theoretischen Ergebnissen verglichen.

Summary

First results of a wave investigation program in the Outer Weser (German Bight of the North Sea) indicate, that under storm conditions higher waves can occur in the outer estuary than are calculated by normal prediction methods. In the inner estuary higher waves mainly occur as a sort of swell. In addition the probability of runs of waves with $H > H_{1/3}$ was investigated for normal and storm surge conditions and the results were compared with those of a theoretical investigation.

Inhalt

1.	Einführung 10	04
2.	Sturmflutseegang 10)7
2.1	Änderung der Wellenhöhe als Funktion der Windgeschwindigkeit und Wassertiefe 10	28
2.2	Änderung der Wellenperiode und -steilheit	10
2.3	Änderung der Höhen und Perioden zwischen Normal- und Sturmtide	12
3.	Die höchste Einzelwelle H _{max}	13
4.	Folgen hoher Wellen	15
5.	Zusammenfassung	16
6.	Schriftenverzeichnis	17

1. Einführung

Die Bedeutung und Notwendigkeit von Naturmessungen des Seegangs sind gerade in den letzten Jahren von Fachleuten immer wieder betont worden. Es gibt an der deutschen Nordseeküste wohl eine Anzahl von Messungen in größeren Wassertiefen, in Brandungszonen sandiger Strände und im Wattengebiet. Man findet jedoch in der Literatur kaum Ergebnisse von Messungen in Ästuarien. Berechnungs- und Vorhersageverfahren für gerade Küsten mit parallelen Tiefenlinien oder auch für andere geometrische Küstenformen sind bekannt. Es läßt sich jedoch kaum ein Beispiel finden für Untiefen, Riffe, Sandbänke mit einem System von tiefen Rinnen, wiederum Tiefwasser mit starken Strömungen und Untiefen, die nach Kilometern freier Wasserflächen folgen (WIEGEL, 1964). Die Kenntnis der hier herrschenden komplizierten Seegangssysteme ist u. a. eine notwendige Grundlage für Untersuchungen im Bereich der Sandbankwanderung und auch aus diesem Grund wichtig für die



Abb. 1. Untersuchungsgebiet

105

106



Planung und Bemessung aller Bauwerke am und im Wasser. Die Korrelation von Wasserstand, Tideströmung, Seegang, Orbitalströmung und morphologischer Veränderung soll eine Abschätzung des Seegangseinflusses auf die Morphologie und Seebauwerke und – umgekehrt

- der Morphologie auf den Seegang in bestimmten Bereichen des Ästuars ermöglichen (BARTHEL, 1977).

Aus diesem Grund wurde 1975 ein Naturmeßprogramm für Seegang in der Außenweser begonnen, das vom Wasser- und Schiffahrtsamt Bremerhaven durchgeführt und vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) durch das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) unterstützt wird.

Abb. 1 zeigt den äußeren Teil des Weserästuars mit den Meßstationen "Schlüsseltonne" (ST), "Roter Sand – Ost" (RSO), "Roter Sand – West" (RSW), "Tegeler Plate – Ost" (TPO) und "Tegeler Plate – West" (TPW). Zunächst sollen am Beispiel dieser Stationen folgende Fragestellungen untersucht werden:

- a) Veränderungen der Seegangsparameter beim Einlaufen des Seegangs in das Ästuar
- b) Verteilung der Seegangsenergie hinter Riffen und Platen
- c) Einfluß des Seegangs auf die Morphologie und umgekehrt Beeinflussung des Seegangs durch die Morphologie
- d) Bestimmung von Bemessungsdaten für Bauwerke aller Art
- e) Einfluß des Seegangs auf den Einsatz von Schiffen und insbesondere des langperiodischen Seegangs auf die oft nur mit geringer underkeel-clearance fahrenden Tiefgangsschiffe.

2. Sturmflutseegang

Inzwischen liegen erste Ergebnisse der Untersuchungen vor (Abb. 2): Am 3. Januar 1976 wuchs der Wind in der Deutschen Bucht von 16 m/s bis auf fast 30 m/s (Beaufort 11) an.

Die Richtung änderte sich von 175° (S) auf 295° (WNW), ein Bereich, der oft sehr sturmflutwirksam ist. Der Wasserstand am Pegel "Alte Weser" lag um 4.59 Uhr auf NPH + 539 cm (MTnw = NPH + 351 cm) und um 13.39 Uhr auf NPH + 910 cm (MThw = NPH + 632 cm). Leider waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle Meßpositionen besetzt, so daß nur an den Stationen "Schlüsseltonne" (ST) und "Tegeler Plate – Ost" (TPO) Meßdaten aufgenommen werden konnten.



Die Küste, 34 (1979), 104-117

108

Eine dritte Station – ein Wellenpegel vom Typ "Wemelsfelder" – fiel durch Kollision mit einem treibenden Schiff aus.

Die Station ST, besetzt mit einer Meßboje (wave-rider), liegt auf einer Wassertiefe von rd. 22 m bei MTnw und soll die von der offenen See kommenden Wellen registrieren (äußeres Ästuar). TPO ist mit einem Meßpfahl (Wellenschreiber Typ Wemelsfelder) besetzt und liegt vor der Tegeler Plate bei etwa 4 m Wassertiefe bei MTnw (Abb. 3).

Die gewonnenen Daten sind repräsentativ für den "inneren Ästuarbereich".

Die verläßlichen Seegangsschriebe wurden nach der "zero-crossing"-Methode ausgewertet und in Abb. 2 als Funktion der Zeit aufgetragen.

Wie man sieht, wachsen die Wellenhöhen \overline{H} und $H_{1/3}$ im äußeren Ästuar mit zunehmender Windgeschwindigkeit sehr schnell an, nehmen mit nachlassendem Wind wieder ab, um dann wiederum noch höhere Werte zu erreichen. Leider fiel die Station ST gegen 14.00 Uhr aus, da der Rekorder auf eine derartige Wellenhöhe nicht eingestellt war. Die Wellenperioden \overline{T} und $T_{H1/3}$ zeigen etwa das gleiche Verhalten in Abhängigkeit vom Windgeschehen.

Erst mit etwa 2 Stunden Verzögerung erreichen im "inneren Ästuar" die Wellenhöhen \overline{H} , $H_{1/3}$ und H_{max} ihre Maximalwerte. Ein zweiter PEAK wird am 4. 1. gegen 3.00 Uhr erreicht. Es ist offensichtlich, daß hier die Wellenhöhen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Wassertiefe bei abnehmender Windgeschwindigkeit stehen. Erstaunlich ist dabei die starke Zunahme der Perioden $T_{H1/3}$ bis auf Werte von 16 sec. Darauf wird weiter unten noch eingegangen.

2.1 Änderung der Wellenhöhe als Funktion der Windgeschwindigkeit und Wassertiefe

Da inzwischen eine Reihe von anderen Messungen für den untersuchten Bereich vorliegen, konnte die Abhängigkeit der Wellenhöhe von Windgeschwindigkeit u und Tiefe d untersucht werden. Dazu wurden jeweils Registrierungen bei annähernd gleichen Wasserständen bzw. Windgeschwindigkeiten zusammengefaßt. Abb. 4 zeigt, daß an der Station TPO











Abb. 6. Abhängigkeit der Wellenhöhen von der Windgeschwindigkeit (TPO)

Die Küste, 34 (1979), 104-117 110

(inneres Ästuar) der funktionelle Zusammenhang zwischen H bzw. $H_{1/3}$ und der Wassertiefe wesentlich besser ist (r = 0,85 bis 0,87) als im äußeren Ästuar (r = 0,46 bis 0,52), obwohl auch dort bei 22 m Wassertiefe noch eine Abhängigkeit zu erkennen ist.

Abb. 5 zeigt für das äußere Ästuar eine gute Abhängigkeit der Höhen von der Windgeschwindigkeit, wie sie auch in der Literatur – meistens jedoch als lineare Funktion – angegeben wird. Die bei der Sturmflut gewonnenen Werte (U = 20 bis 25 m/s) passen gut dazu.

In Abb. 6 sind die gleichen Werte für das innere Ästuar dargestellt. Hier können die Werte jedoch eindeutig verschiedenen Gruppen mit unterschiedlichen Wassertiefen zugeordnet werden. Die Abhängigkeit von der Wassertiefe ist klar erkennbar.

2.2 Änderung der Wellenperiode und -steilheit

Erstaunlich war der starke Anstieg der Wellenperioden im inneren Ästuar während der Sturmflut. Die signifikante Wellenperiode T_{H1/3} erreicht Werte von mehr als 15 sec. Die Auswertung neuerer Daten in dieser Hinsicht zeigte, daß bei außergewöhnlichen Wettersituationen, d. h. Starkwindlagen, der Seegang in dieser Region mit sehr langen Perioden auftritt.



Abb. 7. Veränderung der Wellenperioden $T_{H^{-1/3}}$ und des Steilheitsmaßes $s = \frac{\overline{H}}{e\overline{T}^2}$

Mit der vereinfachten Annahme

$$L = \overline{T}^2$$

können Wellenlängen bis zu 80 m vorkommen, die für die Bewegung tiefabgeladener Schiffe in einer engen Fahrrinne bereits Einfluß haben können.

Man sollte annehmen, daß – ähnlich wie bei der Tidewelle – der sich im Außengebiet entwickelnde Seegang durch Refraktion, Diffraktion und Shoaling-effect beim Einlaufen in das Ästuar kürzer und steiler wird. Es scheint jedoch gerade das Gegenteil der Fall zu sein. Da inzwischen eine Reihe von weiteren Messungen ausgewertet wurde, konnte nachgewiesen werden, daß grundsätzlich längere Perioden beim Einlaufen in das Flachwassergebiet entstehen, auch wenn zwischen den Untiefen tiefere Rinnen liegen. Der örtliche Windeinfluß ist dabei offensichtlich von untergeordneter Bedeutung.



Abb. 8. Abhängigkeit des Steilheitsmaßes s von der mittleren Wellenhöhe H

112

Abb. 7 zeigt die Veränderung der signifikanten Perioden T_{H 1/3} und des Steilheitsmaßes

$$g = \frac{H}{g \cdot \overline{T}^2}$$

5

für zwei Gruppen von Wellen verschiedener Höhe.

Man erkennt, daß mit zunehmender Wassertiefe, d. h. beim Einlaufen in Flachwassergebiete, die Wellenperioden zunehmen, der Steilheitsfaktor jedoch kleiner wird. Die gleiche Erscheinung stellte SIEFERT (1973) bei Messungen im Wattengebiet vor der Elbemündung fest. Die Station RSO liegt auf einer Untiefe, wo bei niedrigen Wellenhöhen und damit auch geringeren Wasserständen mit Brechen zu rechnen ist (Abb. 7).

Die wachsende Periode der Wellen beim Einlaufen in das Ästuar verringert notwendigerweise den Steilheitsfaktor s bei gleichbleibender bzw. abnehmender Wellenhöhe. Während im äußeren Ästuar mit größerer Windgeschwindigkeit und Wassertiefe (Sturmtide) die Steilheit (Begrenzungslinie des Streubereichs) zunimmt und einen konstanten Wert erreicht (Abb. 8), ist im inneren Ästuar der Streubereich bei größeren Wassertiefen breiter, die max. Werte liegen jedoch tiefer. Als Vergleich dazu sind Werte für eine andere Windrichtung aufgetragen, die das empfindliche Verhalten des Wellenklimas bei verschiedenen Einflußfaktoren zeigen sollen.

Offensichtlich nimmt im inneren Ästuar die Wellensteilheit, abhängig von der Windrichtung und damit auch von der FETCH-Länge, mit zunehmender mittlerer Wellenhöhe \overline{H} ab, eine Tatsache, die für die Bemessung von Bauwerken wichtig sein kann.

2.3 Änderung der Höhen und Perioden zwischen Normalund Sturmtide

In Abb. 9 ist die mittlere Periode \overline{T} als Funktion der mittleren Wellenhöhe \overline{H} aufgetragen. Abgesehen von den Unterschieden zwischen innerem und äußerem Ästuar bei normalen Verhältnissen (es wurden rd. 100 Registrierungen ausgewertet) zeigt sich, daß eine Sturmflut



erhebliche Änderungen der Wellencharakteristik hervorruft. Dabei wird offensichtlich, daß außergewöhnliche Windlagen bei ST kürzere Perioden und damit steilere Wellen hervorrufen, während bei TPO gerade das Gegenteil der Fall ist. Abb. 10 zeigt die mittleren Verhältnisse der Perioden und Höhen an den Stationen ST und TPO sowie die entsprechenden Werte bei der Sturmflut.

W7 11 1 ··· 1

	w	entennoi	I C II		
		\overline{H}	H _{1/3}	H _{1/10}	$H_{\rm max}$
Inneres Ästuar (TPO)	a)	1	1,47	1,75	1,98
	b)	1	1,55	1,85	1,89
Äußeres Ästuar (ST)	a)	1	1,50	1,86	2,14
	b)	1	1,55	1,95	2,30
	Wel	llenperi	o d e n		
		Ŧ	TH 1/3	T _{H 1/10}	T _{max}

		1	I H 1/3	¹ H 1/10	1 max	
Inneres Ästuar (TPO)	a)	1	1,27	1,30	1,29	
	b)	1	1,46	2,21	1,34	
Äußeres Ästuar (ST)	a)	1	1,12	1,12	1,57	
	b)	1	1,11	1,09	1,08	

a) = Mittelwert aus 100 Registrierungen bei Normaltide (Wind: WNW-N)

b) = Sturmflutwerte (44 Registrierungen)

Abb. 10. Mittlere Verhältniswerte der Wellenhöhe und -perioden

Dazu kann in wenigen Worten gesagt werden:

- Inneres Ästuar (TPO): Das Verhältnis der mittleren Perioden zu den signifikanten Werten nimmt bei der Sturmflut stark zu – Umwandlung in Dünung. Die Höhenverhältnisse ändern sich weniger; maximale Höhen werden geringer.
- Ä ußeres Ästuar (ST): Die Perioden werden kleiner, die Wellen demnach steiler. Das Verhältnis der mittleren zu den signifikanten und max. Wellenhöhen nimmt zu. Diese Ergebnisse passen in den Rahmen des vorher Gesagten.

3. Die höchste Einzelwelle H_{max}

Da bisher für den Außenweserbereich keine längerfristigen Wellenmessungen vorlagen, waren die Ergebnisse der Sturmflutmessungen erstaunlich und erschreckend zugleich, insbesondere, da die hohen Windgeschwindigkeiten nur kurzfristig auftraten und die Windrichtung dauernd wechselte.

Nach McCowan ist für Tiefwasser zwar ein theoretisches

 $H_{max} = 0,78 \text{ d} = (\text{für } d_m = 24,5 \text{ m}) = \text{rd. } 19 \text{ m}$

möglich. Da aber der Seegang in der Deutschen Bucht wegen der dort herrschenden Wassertiefen bei größeren Windstärken allgemein als Flachwasserseegang anzusehen ist, wird zusätzlich zur turbulenten Reibung im Seegang (free turbulence friction) eine Sohlreibung Die Küste, 34 (1979), 104-117

114

wirksam (wall turbulence friction). Wellenenergie und -höhe werden dadurch vermindert.

DRAPER (1973) hat für diesen Bereich der Nordsee für einen 50-Jahre-Bemessungssturm von 12 Stunden Dauer ein $H_{max} = 17$ m berechnet.

Setzt man für den Bereich der südlichen Nordsee einen Bemessungssturm mit

Windgeschw .:	U	=	40 m/s
Dauer:	t	=	5 Std
Fetchlänge:	F	=	250 km
wirks.FLänge:	W	=	150 km

an, so ergeben sich nach verschiedenen Berechnungsverfahren für Flachwasser signifikante Wellenhöhen von

 $H_{1/3} = 7,0 \text{ m} - 10,5 \text{ m}$ (Schüttrumpf, 1973).

Nach dem verbesserten Verfahren von BRETSCHNEIDER (1956) wurde für den Bereich des äußeren Ästuars unter den oben angeführten Bedingungen ein $H_{1/3} = 6,80$ m ermittelt.

Bei Ansatz der Beziehung

$$\frac{H_{max}}{H_{1/3}} = (145 \ \frac{g \cdot d}{U^2}) \ 0.1 \pm 10 \ ^{\circ/_{\circ}}$$

ist dann eine maximale Wellenhöhe von $H_{max} = 10,0$ m möglich.

ROLL (1956) kommt aus Beobachtungen an Feuerschiffen zu dem Schluß, daß Wellenhöhen bis zu 8 m vorkommen. Bei dem Sturm vom 2./3. 1. 76 wurde an der Station ST bis zum Abbruch der Messungen ein $H_{1/3} = 6,72$ m registriert.

Die maximale Wellenhöhe, die auf der letzten unvollständigen Registrierung zu erkennen war, betrug $H_{max} = 10,0$ m (Ende der Registrierpapierbreite).

Aus dem Anstieg der Welle und der Periode kann man bei vorsichtiger Abschätzung jedoch darauf schließen, daß eine Gesamthöhe von 12 bis 13 m eingetreten ist.

Die maximale Wellenhöhe im inneren Ästuar kann nach den bekannten Vorhersageverfahren kaum berechnet werden, da das Verhältnis

$$\frac{H_{max}}{d} = f (d, Topografie)$$

in diesem Gebiet sehr komplex ist.

Die höchstmögliche fortschreitende Welle im Flachwasser ist theoretisch nach KISHI (1959):

$$\begin{split} H_{max} &= 0,9 \text{ d} & \text{ für } d < 0,1 \text{ L} \\ H_{max} &= 0,146 \text{ d} & \text{ für } d > 0,4 \text{ L} \end{split}$$

mit einem parabolischen Übergang zwischen beiden Bereichen. Für natürlichen Seegang mit L $\cong \overline{T}^2$ ergibt das:

$$\begin{array}{ll} H_{max} \ = \ 0.9 \ d & \mbox{für } d < 0.1 \ T_{H_{max}}^2 \\ H_{max} \ = \ 0.146 \ T_{H_{max}}^2 & \mbox{für } d > 0.4 \ T_{H_{max}}^2 \end{array}$$

Bei den im inneren Ästuar herrschenden Beziehungen für die hier behandelte Windrichtung

$$\begin{array}{ll} T_{H1/3} &= 1,27\,\overline{T} \\ T_{H1/10} &= 1,30\,\overline{T} \\ T_{Hmax} &= 1,34\,\overline{T} \mbox{ wird} \\ H_{max} &= 0,9\,d \qquad \mbox{ für } d < 0,18\,\overline{T}^2 \\ H_{max} &= 0,26\,\overline{T}^2 \qquad \mbox{ für } d > 0,72\,\overline{T}^2 \end{array}$$

Für flache Böschungsverhältnisse ist H_{max} theor. = 8,4 m (KISHI, 1959).

Diese Wellenhöhe scheint jedoch nach den vorliegenden Messungen für TPO nicht eintreten zu können, da auf den davor liegenden Platen und Riffen eine starke Energieumwandlung eintritt. Die hier gemessene max. Wellenhöhe während der Sturmflut betrug $H_{max} = 4,05$ m mit einer Periode von $T_{H_{max}} = 18,2$ sec. Die bei späteren Messungen beobachtete max. Wellenhöhe unter dem Einfluß von rd. 4 Std. Wind mit 20 m/s aus WNW überschritt nicht den Wert von 3,50 m mit einer Periode von 12 sec.

4. Folgen hoher Wellen

Wichtig für die Planung von Bauwerken im Küstenbereich kann neben der Bemessung auf höchsten Wasserstand und höchste Wellenhöhe bzw. $H_{1/3}$ oder $H_{1/10}$ auch eine gewisse dynamische Beanspruchung durch Folgen von Wellen sein, die eine bestimmte Höhe überschreiten. Bei den hier vorliegenden Messungen und den unerwartet großen Wellenhöhen war es daher interessant, auch diese Erscheinung für die Sturmtide und auch für normale Bedingungen zu untersuchen.

Das Problem wurde bereits von GODA (1970) numerisch behandelt für ein PIERSON-MOSKOWITZ-Spektrum. RYE (1975) hat ähnliche Naturuntersuchungen für Sturmbedingungen durchgeführt. SIEFERT (1977) berechnete die Wahrscheinlichkeit von Folgen hoher Wellen für das benachbarte Elbegebiet mit den angrenzenden Watten. Die Ergebnisse sind in Abb. 11 dargestellt. Die Darstellung auf halblogarithmischem Papier zeigt, daß die Wahrscheinlichkeit von Folgen höherer Wellen als H_{1/3} sich im äußeren Ästuar (ST: d = 20–25 m) am besten der Theorie von GODA (1970) anpaßt. Bei der Behandlung von 40 Registrierungen trat in keinem Fall eine Folge von mehr als 3 Wellen auf. Die Verteilungsfunktion für das innere Ästuar (TPO) paßt sich gut den Ergebnissen aus der Elbemündung an.

Der Vergleich der bei normalen Bedingungen gewonnenen Ergebnisse mit den Sturmflut-



Abb. 11. Wahrscheinlichkeit von Wellenfolgen mit $H > H_{1/2}$





Abb. 12. Wahrscheinlichkeit von Wellenfolgen mit H > H1/, - Sturmflut

messungen (Abb. 12) zeigt, daß bei außergewöhnlichen Wetterbedingungen bei den untersuchten ungünstigsten Windrichtungen keine Vergrößerung der Wahrscheinlichkeit von Folgen von Wellen mit H> $H_{1/3}$ zu erwarten ist. Bei TPO treten deutlich kürzere Folgen von entsprechenden hohen Wellen auf.

5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den relativ kurzen Sturmtidenmessungen zu Beginn des Ästuarprogramms im Vergleich zu Messungen unter normalen Bedingungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) Die Wellenhöhen im äußeren Ästuar (ST) im tiefen Wasser sind weitgehend windabhängig, während der örtliche Windeinfluß selbst bei hohen Geschwindigkeiten im inneren Ästuar (TPO) dem Einfluß der Wassertiefe untergeordnet ist.
- b) Bei Windgeschwindigkeiten U > 15 bis 20 m/s tritt der Seegang im inneren Ästuar mit langen Perioden als Übergang zur Dünung auf und stellt eine gewisse Gefahr für Tiefgangsschiffe dar. Maximale Wellenhöhen werden beeinflußt durch die vorgelagerten Platen und Rinnen und bis zum Erreichen des inneren Ästuars 50 bis 60 % abgeschwächt.
- c) Die max. Höhen im äußeren Ästuar erreichten schon bei einem kurzen Sturm Werte > 10 m. Theoretische Werte für einen 50jährigen Bemessungssturm von mehr als 15 m sind nicht auszuschließen.
- d) Die Seegangsparameter ändern sich bei Sturmflutbedingungen bei den Stationen unterschiedlich stark entsprechend dem vorher Gesagten.
- e) Die für die Bemessung von Seebauwerken bedeutenden Folgen von Wellen mit $H > H_{1/3}$ treten bei außergewöhnlichen Wetterbedingungen nicht häufiger als bei normalen auf. Sie entsprechen in tiefem Wasser des äußeren Ästuars (ST) der theoretischen Verteilung von

GODA (1970) und zeigen im Flachwasser des inneren Ästuars ähnliches Verhalten wie in Nachbargebieten.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde der Einfluß der Tideströmung, die im Untersuchungsgebiet Werte von $V_{e, f max} = 1,3$ bis 1,4 m/s erreicht, nicht berücksichtigt. Es wird eine Aufgabe für die nächste Zeit sein, den nachweisbaren Einfluß insbesondere auf die Wellenhöhen aus den bisher gewonnenen Messungen zu ermitteln.

6. Schriftenverzeichnis

BARTHEL, V.: Stability of Tidal Channels Dependent on River Improvement. Int. Conf. on Coast. Eng. 1976, Honolulu, Hawaii, ASCE, New York, 1977.

BRETSCHNEIDER, Ch. L.: Wave Forecasting Relationships for the Gulf of Mexico. Beach Erosion Board, Techn. Mem. No. 84, 1956.

DRAPER, L.: Extreme Wave Conditions in British and Adjacent Waters. Proc. Int. Conf. on Coast. Eng. 1972, Vancouver, ASCE, New York, 1973.

GODA, Y.: Numerical Experiments on Wave Statistics with Spectral Simulation. Report of the Port and Harbour Res. Inst., Vol. 9, Nr. 3, 1970.

- KISHI, T.: The Possible Highest Gravity Waves in Shallow Water. Coastal Eng. in Japan, Jap. Soc. of Civ. Eng., Tokyo, 1959.
- ROLL, H.-U.: Die Meereswellen in der südlichen Nordsee (auf Grund von Wellenbeobachtungen Deutscher Feuerschiffe). Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröff. Nr. 8, Hamburg, 1956.
- RYE, H.: Wave Group Formation Among Storm Waves. Proc. Int. Conf. on Coast. Eng. 1974, Copenhagen, ASCE, New York, 1975.
- SCHÜTTRUMPF, R.: Über die Bestimmung von Bemessungswellen für den Seebau am Beispiel der südlichen Nordsee. Mitt. des Franzius-Inst. der Techn. Univ. Hannover, H. 39, 1973.
- SIEFERT, W.: Consecutive High Waves in Coastal Waters. Proc. Int. Conf. on Coast. Eng. 1976, ASCE, New York, 1977.

SIEFERT, W.: Über den Seegang in Flachwassergebieten, Mitt. des Leichtweiss-Inst. der Techn. Univ. Braunschweig, H. 40, 1973.

WIEGEL, L.: Oceanographical Engineering. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. Y. 1964.