Beitrag zur Frage des maßgebenden Sturmflutseegangs vor einem Deich am Watt. Beispiel Büsum

Von Claus Hundt

Inhalt

1.	Anlaß und Absicht													136
2.	Grundwerte													140
3.	Vorausberechnung des	mai	ßgeb	enden	Stu	rmflu	tseeg	angs	vor	dem	Deich			141
4.	Schriftenverzeichnis			•										145

1. Anlaß und Absicht¹)

Bei der Sturmflut vom 16. Februar hat der Wellenauflauf an entscheidenden Deichstrecken tatsächlich schon diejenige Höhe erreicht, die nach den 1954 aufgestellten Vorausberechnungen (HUNDT 1955, Tab. 7) erst bei Eintritt der als maßgebend erachteten Sturmflutwasserstände zu erwarten sein sollte.

An zwölf repräsentativen Deichstationen relativ starker Gefährdung betrug der Wellenauflauf am 16. Februar 1962 im Mittel/Maximum/Minimum

$$A_{62}$$
 (mitt./max/min) = 2,6/3,3/1,9 m,

lotrecht gemessen vom Ruhewasserstand bis zu den jeweils höchsten Wellenspitzen (Вотнмани u. HUNDT 1962), dargestellt durch die nachträglich einnivellierte Flutkante (Treibselkante). Die vor acht Jahren für dieselben Punkte als maßgebend vorausberechneten Auflaufhöhen betrugen vergleichsweise

$$A_{massg. 54}$$
 (mitt./max/min) = 2,7/3,5/2,0 m,

praktisch also dasselbe.

Hierbei alarmierten die beiden Umstände,

- a) daß der maßgebende Sturmflutwasserstand bei Büsum rund 0,4 m höher liegt als am 16. Februar 1962,
- b) daß der Küstenwind während einer maßgebenden Orkanflut wesentlich stärker erwartet werden muß als er am 16. Februar 1962 tatsächlich auftrat, nämlich mindestens 30 bis 32 m/s mittlere Windgeschwindigkeit anstelle des am 16. Februar 1962 gemessenen geringen Wertes 20 m/s, vergleiche die Abbildungen 1a und 1b sowie (HUNDT 1955)! In bezug auf die stau- und wellenwirksame Windkraft, die sich im Quadrat der Windgeschwindigkeit ausdrückt, ist demnach noch eine Steigerung auf den etwa 2,2fachen Wert zu erwarten im Vergleich zum 16. Februar 1962.

Offenbar haben also die 1954 angestellten Wellenermittlungen untertrieben. Diese hatten sich gestützt auf folgende Unterlagen:

c) Analyse örtlicher Einflußfaktoren wie Wassertiefen, Luvstellung der Deichachse, Streich-

¹) Dieser Aufsatz wurde im Juni 1962 terminbedingt als Grundlage für befristet aufzustellende Deichbestick-Entwürfe niedergeschrieben. Er behandelt in vorläufiger Weise aus dem Gesamtproblem Seegang und Wellenform nur die Teilfrage des Seegangs vor dem Deich an einem ausgewählten örtlichen Beispiel.





2.30 Uhr am 17. Februar aus mittl. Windgeschw. (u = 32) und oberem Böenmittel ohne die

zehn höchsten (u $_{B0en}$ = 36,5): U $_{mx}$ = (32 + 36,5) $^{1/2}$ = 34,2 m/s

länge des Windes u. a. auf Grund örtlicher Erhebungen bei einigen hohen Sturmfluten seit 1936, einschließlich 1. Februar 1953 in Holland (HUNDT 1955, S. 128).

- d) Einzelne wenige Handmessungen über Wellenperioden und Wellenauflauf bei der Sturmflut am 16. Januar 1954 in Dithmarschen, Eiderstedt und Nordfriesland.
- e) Modellversuche 1954/55 über Wellenauflauf an einem Deich-Normalprofil konkaven Typs hinter einem auf NN gelegenen Wattstreifen, seewärts unbeschränkt anschließendes Tiefwasser auf Sohle — 10 m NN (HENSEN 1954, 1955).

Stark idealisierend handelt es sich hier um windfreie Tiefwasser-Dünung, die durch Brandung am Wattsaum umgeformt wird, sodann mit geschwächter Energie aber gleicher Periode an den Deichfuß gelangt und schließlich am Deich aufläuft. Die absoluten Ergebnisse konnten also nicht naturähnlich sein, denn der Seegang vor den schleswig-holsteinischen Deichen ist fast ausnahmslos eine selbständige ortseigene Windsee, die mit den Wellenelementen der offenen See wenig zu tun hat. Darüber hinaus mußte auch der Anteil des Windschubs während des eigentlichen Wellenauflaufs am Deich in den Versuchen fehlen.

Gleichwohl erlauben die Versuche relative Rückschlüsse auf die Beziehungen zwischen Wassertiefe, Wellenperioden u. a. und Wellenauflauf.

Gegenüber dem Stand von 1954 gibt es nunmehr vollständigere Ermittlungsgrundlagen wie folgt:

- f) Systematische Handmessungen über Wellenauflauf und Perioden während mehrerer Sturmfluten von 1954 bis zum 12. Februar 1962 an zwölf repräsentativen Deichstationen, mittels Taschenuhr und meterweise am Außendeich verteilten Höhenmarken; sechs Beobachtungstermine in der Stunde zu je zwei Minuten Beobachtungsdauer (s. Abb. 2a sowie PEGEL-AUSSENSTELLE BÜSUM 1962).
- g) Flutkantennivellement nach der Sturmflut vom 16. Februar 1962 in Eiderstedt und Dithmarschen (Вотнмалл u. Hundt 1962). Die übrigen schleswig-holsteinischen Deichstrecken sind zur Zeit noch nicht ausgewertet²).
- h) Während der schweren Sturmflut am 16. Februar 1962 Wellenbeobachtungen wie unter f) an drei Stationen, darunter Büsum-West. Alle anderen Stationen fielen angesichts der Katastrophengefahr aus, siehe Abbildung 2b.
- i) Zusätzlich zu h) einzelne Schätzungen von Wellenhöhen und Längen auf dem Watt vor Büsum-West durch HUNDT am 16. Februar als einzige bisher bekanntgewordene Erfahrungswerte über extreme Verhältnisse. Beobachtung ermöglicht durch seitliche Einsicht in die arenaartige Wattbucht.
- k) Niederländische Untersuchungs- und Versuchsergebnisse (Deltacommissie 1960, besonders Bijlage V. 1–2.0.2), zusammengefaßt in Abbildung 3A–C.

Die Fragestellung dieser Teilbearbeitung lautet:

Wie groß können äußerstenfalls

die praktisch wirksame Wellenhöhe H,

die praktisch wirksame Wellenperiode T,

daneben

die Wellenlänge L und die Wellenschnelligkeit C

vor dem Deichfuß bei Büsum-West werden, sobald der maßgebende Sturmflutwasserstand $HHW_{massg.} = +5,3$ NN zugleich mit einer örtlichen mittleren Windgeschwindigkeit u = 32 m/s aus der gefährlichsten Richtung West auftritt (Bezeichnungen wie im Wellenfunktionsdigramm Abb. 3).

²) Inzwischen veröffentlicht durch ZITSCHER (1962).



Deichprofil

-25.4



Wellenperiode, Wellenauflauf und Wasserstand am Schardeich in Büsum-West (Meßstation W5)

WA = Wellenauflauf der Wellenzungen, Höchst- und Niedrigstwert aus 2 Minuten Beobachtungsdauer, 10-Minuten-Termine, Augenbeobachtung an meterweise an der Böschung

Abb. 2b. Sturmflut am 16. Februar 1962

Böen Mittel

gestaffelten Höhenmarken. W=Wasserstand, T=Wellenperiode, 2-Minuten-Mittel, Termine wie oben. u = Windge-schwindigkeit nach Windschreiber Büsum-Westmole.

aution

+72 TANYTA

40

139

2. Grundwerte

Die Wellenmeßstation Büsum-West liegt an einem Schardeich, vor dem sich westwärts, d. h. sturmwärts, auf rund 1 km ein fast ebenes Watt von mittlerer Sohlenhöhe + 0,5 m NN erstreckt. Weiter hinaus folgen Senken bis - 1,5 m NN und Flachrücken bis + 0,8 m NN aufeinander. Die Westachse mündet schließlich nach rund 2 km schräge in den bis 20 m tiefen Wattstrom "Piep" (Lageplan s. Abb. 4).

Am 16. Februar 1962, bei Sturmrichtung NWzW, kann die Meßstation schwach in Leeschutz der gegen Norden abschirmenden Seedeichstrecke gelegen haben, ohne daß allerdings



Abb. 4. Übersichtsplan des Wattgebiets westlich Büsum

dieser Sondereinfluß an den bisherigen Beobachtungen aufgefallen wäre. Doch ist dieser Umstand insofern im Auge zu behalten, als andererseits bei der Vorausberechnung auf Westorkan der wirksame Windstreichraum vollkommen frei vorzustellen ist. Ob dann außerdem noch die im Vergleich zum 16. Februar 1962 nähere Lage des Tiefwassers der Piep eine verschärfende Rolle spielen kann, darf auf Grund der Hannoverschen Modellversuche bezweifelt werden. Nach den dortigen Anlagen 22 und 23 verlischt selbst sehr starker Tiefwasserseegang spätestens 200 m nach seinem Übergang auf Flachwasser völlig durch Brandung. Auf feinere Modifikationen, etwa Diffraktion auf ansteigendem Grund, sei nur hingewiesen.

Beobachtete Wellenelemente

Bei fünf Sturmflutscheiteln betrugen an Station Büsum-West die Zweiminutenmittel der Wellenperioden 4 bis 41/2 s, im ganzen gesehen ziemlich gleichartig trotz verschiedener Wasserstände, vgl. Abbildungen 2a, b. Genauere Analyse steht noch aus.

Am 16. Februar 1962 wurden eine Stunde lang vor Hochwasser im Mittel beobachtet:

 $T_{\rm m}$ beob. = 4 bis 5 s.

Es ist jetzt zu ermitteln, wieweit sich die Periode unter extremen Verhältnissen steigern kann. Vergleichsweise wiesen Nachbarstationen, ebenfalls an Schardeichen, größere Perioden (um 5 s) auf als Büsum; das Watt liegt dort etwas tiefer. Demgegenüber betrugen die Wellenperioden vor Deichen mit Vorland, das 1 bis 2 m höher liegt als Watt, nur 2 bis $3^{1/2}$ s.

Wellenhöhen und Längen vor dem Deich sind nirgends beobachtet worden außer am 16. Februar 1962 bei Büsum-West. Nach Augenmaß betrugen zur Hochwasserzeit

die größten Wellenhöhen H_{mx} beob. = 1,8 bis 2,2 m

die größten Wellenlängen L_{mx} beob. = 12 bis 18 m.

Diese Schätzungen waren zwar bei bedecktem Nachthimmel angestellt worden, sie wurden aber durch Klarwetter und Mondschein sowie durch die Möglichkeit seitlicher Einsicht erleichtert.

Gemessene Windgeschwindigkeiten

Der Windmesser Büsum liegt auf Höhe+18 m NN frei gegen das westliche Wattenmeer, von wo der Wind ohne Hindernis heranstreicht.

Am 16. Februar 1962 bei Hochwasser betrug die mittlere Windgeschwindigkeit 20 m/s, wie Abbildung 1b ausweist. Man hat indessen, zumal angesichts der über sechs Stunden dauernden stetigen Vorwirkung, die wellenwirksame Windgeschwindigkeit nicht im Windmittel, sondern mehr in Nähe der häufigeren Böenstöße zu suchen, also laut Windblatt bei etwa

$$U_{\rm B}=24$$
 m/s.

Sinngemäß sind für die Vorausberechnungen nicht die äußerst erwarteten mittleren Windgeschwindigkeiten 30 bis 32 m/s einzusetzen, sondern eine "wirksame" Windgeschwindigkeit (Abb. 1a als Beispiel) von

$$U_{B \text{ massg.}} = \text{rund 35 m/s.}$$

Obige Verwendung der "wirksamen" Windgeschwindigkeit geschieht freihändig, u. a. auf Grund persönlicher Erfahrung auf den Watten. Anderweitige Untersuchungen sind nicht bekannt geworden.

 U_B wird gesetzt als Stundenmittel aus: Mittlerer Windgeschwindigkeit und Mittel der oberen Böenspitzen ohne die zehn höchsten.

3. Vorausberechnung des maßgebenden Sturmflutseegangs vor dem Deich

Das als Abbildung 3 beigegebene Delfter Seegangsdiagramm zeigt die Wellenelemente in Abhängigkeit von ihren Erzeugenden: Wassertiefe, Wind und Streichlänge. Für Seichtwasserverhältnisse bietet dies vom Wasserbaulaboratorium Delft aufgestellt Diagramm offenbar die bisher zuverlässigste Einsicht. Neuerdings wurden die Werte bestätigt durch Wellenmessungen im IJsselmeer 1960 (ROEST 1961). Sie beruhen sowohl auf umfangreichen Seegangsbeobachtungen und Messungen als auch ergänzenden Modellversuchen (GERRITSEN 1956).

Die Möglichkeit, das Diagramm auf die Meßstation Büsum mindestens annähernd zu "eichen", boten die im Abschnitt 1 genannten eigenen Beobachtungen.

Folgendes war dabei zu beachten:

- a) Die Windkraft wird laut Abschnitt 2 durch ein Böenmittel repräsentiert, welches größer als die mittlere Windgeschwindigkeit ist.
- b) Diagramm- und Beobachtungswerte der Wellenhöhen sind beide auf die sogenannte "kennzeichnende Wellenhöhe" H1/3³) zu reduzieren, um vergleichsfähig zu sein. Deshalb sind die

³) H_{1/3} bedeutet den Mittelwert aus dem höchsten Drittel aller Beobachtungen.

ľ	-
	e
:	
	e
•	0
	a
Į	-

Ermittlung des maßgebenden Seegangs vor dem Deich Büsum-West

1	2		Э	4	5	9 .	7	8	6
	Bezeichnung, Formel	Dimension	Symbol	Nachrechng. 16. 2. 1962 Rechng. (Beob.)	Wie 16. 1. 1954 Vorm. Rechng. (Beob.)	Voraus- berechnung maßg. Sturmfl.	Wie 6. Jedoch $W_B = 20 \text{ m/s}$	Wie 6. Jedo F = 5000 n	ch Tiefwasser 1 Schema
- 0 n 4	Höhe der Windbeob. Mittl. Watthöhe ¹) Tidehochwasserstand Beob. Windgeschw. Böenmittel ²)	NN m + + NN m + + m/s	B OK Watt Thw UB	+ 16 + 0,5 + 4,9 24 NW	+ 16 + 0,2 + 3,8 zW 20 West	+ 16 + 0,2 + 5,3 35 West	+ 16 + 0,2 + 5,3 20 West	+ 16 + 0,2 + 5,3 35 West	+ 16 12,7 + 5,3 35 West
8 <i>A</i> 6 21	Höhe d. Windbeob. über Wasserspg. 50 · h _B	ا ٤	h _B 5g h _B (5gh _B)0,2	11,1 555 3,54	12,2 610 3,6	10,7 535 3,51	. 10,7 535 3,51	10,7 535 3,51	10,7 535 3,51
9 11	$U_{B^{1,4}}$: $(5gh_B)^{0,2}$ %)	m/s	$U_{\rm R}^{1,4}$	88 24,8	66 18,4	145 41,3	66 18,8	145 41,3	145 41,3
112 113	Windstreichlänge ³) Wassertiefe Thw — OK Watt	n m	${ m g/U_R}^2$ H d	$10\ 000\ 4,4$	1/ ₃₄ 10 000 3,6	1/171 10 000 5,1	1/35 10 000 5,1	5 000 5,1	1/171 10 000 18
15 16 17 17	Abszisse zu F Diagramm (Abb. 3A) Parameter zu d Diagramm Ordinate aus H Diagramm Ordinate aus r Diagramm	1111	$\begin{array}{c} g/U_R{}^2\cdot F\\ g/U_R{}^2\cdot d\\ g/U_R{}^2\cdot H\\ g/U_R{}^2\cdot r\end{array}$	161 0,071 0,019 0,044	295 0,122 0,03 0,063	58,5 0,03 0,009 0,023	283 0,14 0,035 0,068	29,2 0,03 0,008 0,022	58,3 0,11 0,021 0,043
19 22 23 24 24	Kennz. Wellenhöhe = Zl. $7 \times U_{R}^{2/g}$ Rollkreis = Zl. $8 \times U_{R}^{2/g}$ Tang. hyperbolicus	EE	$\begin{array}{c} H(1/3) \ ^4) \\ r \\ d/r \\ th(d/r) \\ g.r.th(d/r) \end{array}$	1,2 (1,2 2,7 1,61 0,92 24,8	(2) ⁵) 1,02 2,14 1,68 0,93 19,9	1,55 3,96 1,29 0,86 34	1,24 2,40 2,1 0,97 23,3	1,37 3,75 1,36 0,88 33	3,6 7,4 2,4 0,99 73

142

-
e
ell
9
Ta
20
ц
n
N
e
S
L
0
E.

40 5,6	34,1
4,05	34,1
3,1	7,0
24,9 4,3	34,1
13,4 3,0 (3,8?)	6,8
3,4(4)	12,4
Ч	hR
S	Ш
L/C	$\mathrm{UR}^{2/5\mathrm{gg}}$
Wellenperiode	
	Wellenperiode L/C s T $3,4(4)$ $3,0(3,8?)$ $4,3$ $3,1$ $4,05$ $5,6$

¹) Etwa 1 km seewärts gemittelt. ²) Als wellenwirksam wird angenommen das Stundenmittel aus der mittleren Windgeschwindigkeit

und dem Mittel der oberen Böenspitzen ohne die zehn höchsten.
³) Längs F soll das Watt nirgends OK Watt lt. Zeile 2 überragen.
⁴) Mittel des höchsten Drittels aller Beobachtungen = H (^{1/3}), H (^{1/3}) = 1,8 H_m = 0,55 H_{mx}.
⁵) H (^{1/s}) = 0,55. H_{mx} beob. = 0,55 · 2,2 = 1,22 m.
⁶) g = Erdbeschleunigung = 10 m/s².

Tabelle 2

Ergebnisse der "Ermittlung des maßgebenden Seegangs vor dem Deich Büsum-West"

(
Zt	
et	
es	
00	
F	
er	
E	
E	
la	
X	
E	
. –	
p	
SII	
-	
er	
a u o	
B	
Ę.	
ac	
-q	
See	
E	
	1

				Vorau	sberechn	et für	H H W masser
6		16.1. 1954	16. 2. 1962				Schema Tiefw.
Spalte d. Ermittl	g. Tabelle	5	4	7	9	8	6
Wasserstd. Thw	m NN	+ 3,8	+ 4.9	+ 5.3	+ 5.3	+ 5.3	+ 5.3
Mittlere Bodenhöhe	m NN	+ 0,2	+ 0,5	+ 0.2	+ 0.2	+ 0.2	- 12.7
Wind U _B ¹)	m/s	20 W	24 NWzW	20 W	35 W	35 W	35 W
Streichlg. F	km	10	10	10	10	5	10
Wirks. Wa-Tiefe d	ш	3,6	4,4	5,1	5,1	5,1	18
Wellen-Höhe H _{1/3} ²)	н	1,0	1,2	1,2	1,6	1.4	3.6
Höhe H _{mx}	ш		2,2 (2,2)	2,2	3,0	2,6	5.0
Länge L _m	ш	13,4	17 (12-18)	15	25	24	48
Schnelligkeit C	m/s	4,5	5,0	4,8	5,8	5,8	8.5
Periode T _m	S	$3,0 (\sim 3,8)$	3,4 (4,0)	3,1	$5,2^{3}$)	4,0	5,6
1) Wirksame Windoese	hwindickeit						

²) "Kennzeichnende W-Höhe" $H_{1/3} = 1/_{1,8} H_{mx}$ ³) 5,2 = Diagrammwert, 4,3 × 1,2, analog dem Verhältnis Beobachtung z. Diagrammwert am 16. 2. 1962: 4,0 : 3,4 = 1,2.

143

am 16. Februar 1962 bei Büsum als Höchstwert H_{mx} beobachteten Wellenhöhen umzurechnen: $H_{1/3} \sim H_{mx} / 1.8 \sim 0.55 H_{mx}$.

Diese Beziehung hat sich aus Theorie und Messungen über Wellenspektren ergeben (vgl. auch WEMELSFELDER 1954). Neuere Untersuchungen, u. a. von BRETSCHNEIDER (1954), ergaben für Flachwasser niedrigere Werte: 1,3 bis 1,6. Diese sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die auf Tabelle 1 durchgeführte Ermittlung führt auf die Ergebnisse der Tabelle 2.

Die Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung kann an der Sturmflut des 16. Februar 1962, Spalte 4, nachgeprüft werden. Sie ist in Wellenhöhe und -länge recht gut, dagegen sind die gerechneten Wellenperioden kleiner als beobachtet. Da aber bei den mit ungeschultem Personal und unter härtesten Umständen durchgeführten Beobachtungen gewisser Verdacht auf Unterdrückung einzelner kleinerer Wellen(aufläufe) und somit auf zu lange Perioden besteht, bleibt zur Zeit noch ungewiß, bei wem oder ob bei beiden ein systematischer Fehler liegt.

Für die Beantwortung der Frage, inwiefern sich die Perioden — als wirksamer Einfluß auf den Wellenauflauf — ändern können, kommt es in erster Linie auf deren Relativänderungen an. Hierüber geben die weiteren Spalten ausreichende Auskunft.

Die Windstreichlänge F spielt — auch bei Sturmwind — keine überragende Rolle, wie aus den Spalten 6 und 8 zu erkennen ist. Man verfolge auch die verschiedenen Funktionslinien der Abbildung 3; der Einfluß des Arguments F nähert sich jeweils bald einer Konstanten (horizontale Asymptote). Die Wahl einer zutreffenden Streichlänge ist demnach eine verhältnismäßig unempfindliche Angelegenheit, womit die Operation im ganzen an Zuverlässigkeit gewinnt.

Schließlich können aus Spalte 6 der obigen Tabelle die eingangs gestellten Fragen beantwortet werden:

Vor dem Deich bei Büsum-West, bei dem maßgebenden Sturmflutwasserstand HHW_{massg.} = + 5,3 m NN und bei 32 m/s mittlerer Windgeschwindigkeit (= 35 m/s wirksame Windgeschwindigkeit) aus Richtung West, gemessen am Windmesser Büsum-Westmole, sind zu erwarten:

Kennzeichnende Wellenhöhen	$H_{1/3}$		etwa	1,6	m,
Maximale Wellenhöhen, vereinzelt	H_{mx}	=	etwa	3	m,
Wellenperioden	$T_{\rm m}$	=	etwa	5,2	s,
Wellenlängen	$L_{\rm m}$	=	etwa	25	m.



Diagramm für Tangens hyperbolicus Ighx

Abb. 3B. Diagramm der Werte tgh x für die Formel der Wellenschnelligkeit $C = \sqrt{gr} \operatorname{tgh} (d/r)$





Zwei Beispiele vom Watt vor Büsum-West

- 1. Sturmflut 16. Februar 1962. Nach Rechnung und Delfter Diagramm. Hauptgrößen des Seegangs durch Beobachtung etwa bestätigt
- 2. Bei maßgebendem Sturmflutwasserstand, berechnet

Grundlagen und Gültigkeit des Delfter Diagramms, Abb. 3A:

Aufgestellt von Thijsse 1948 auf Grund von Naturbeobachtungen sowie von Modellversuchen in DELFT. Gültig für konstanten Wind und horizontalen Grund.

Diagrammwerte H bei U≤ 15 m/s und d ~ 4 m bis 30 % zu groß (ROEST 1960, Messungen IJsselmeer), bei Sturm etwas zu klein oder richtig (Einzelbeob. 16. Februar 1962 bei d ~ 4,5 m von HUNDT). 3. 1,8 in Tiefwasser d>L/2

Zeichenerklärung:

- (m/s²) Erdbeschleunigung 10 m/s²
- Höhe der Windbeobachtung UB über Wasserspiegel hB (m) oder freiem Gelände
- Wirksame Windgeschwindigkeit, beobachtet. Als schub- U_B (m/s) wirksam angenommen das Stundenmittel aus: Mittlere Windgeschwindigkeit und Mittel der oberen Böenspitzen ohne die 10 höchsten Werte
- Reduzierte Windgeschwindigkeit, d. i. die schubpropor- U_R (m/s) tionale Windgeschwindigkeit, berechnet oder gemessen in Höhe hR über Wasserspiegel
- Reduzierte Höhenlage der Windbeobachtung über h_R (m) Wasserspiegel
- F Streichlänge des Windes (m)
- d Wirksame Wassertiefe längs F (m)
- Rollkreisradius des als Trochoide angenommenen r (m) Wellenprofils
- Kennzeichnende (signifikante) Wellenhöhe = Mittel des H (m) höchsten Drittels aller Beobachtungen (= "H_{1/3}") Größte Einzelwellen, in Flach- bis Tiefwasser
- H_{mx} (m) $H_{mx} = 1,3$ bis 1,8 H
- Mittlere Wellenlänge (m)
- (m/s) Mittlere Wellenschnelligkeit (Fortpflanzungs-C geschwindigkeit)
- T (s) Mittlere Wellenperiode

Formeln:

1. $U_R = U_R^{7/5}$: $(5g h_B)^{1/5}$ aus den bedingenden Annahmen (s. Abb. 3C): 1. Vertikale Windverteilung parabolisch $U = b \cdot h^{1/7}$, worin b eine durch die in Höhe hB festgestellte Windgeschwindigkeit UB gegebene Konstante ist. 2. Höhenlage $h_R = U_R^2 : 5g$

2. L = $2\pi r$

3. C =
$$V$$
 g r tgh(d/r), tgh = Tangens hyperbolicus,
Werte siehe Diagramm Abb. 3B

Für "Tiefwasser" (d>L/2) wird C =
$$\sqrt{\frac{2L}{g\pi}}$$

Für "Flachwasser" (d\sqrt{gd}
4. T = L : C

40 30 20 10 rg UR2 $\frac{Hg}{U_R^2}$ 15 1 0.05 60 50 40 30 20 10 8 6 5 4 3 2 - d Wassertiefe in M I = Wellenperiode in Sec C = Wellenschnelligkt. in M/sec Wellenhöhe (sign) -Rollkreisradius - Wellenlänge =2 TCr

Ir H

Ermittlungsverfahren.

Grafisch für die durch die Diagramme erfaßten Bereiche der Ausgangsgrößen UB, hB, d und F: siehe eingetragenes Beispiel vom 16. Februar 1962 Büsum Watt westlich Büsum. Rechnerisch außerhalb der Diagrammbereiche mittels der o.g. Formeln und des Hauptdiagramms (4). Beispiel (16. Februar 1962 Watt westlich Büsum)

Gegeben:	UB	hB	d	F	g
	m/s	m	m	m	m/s
	24	11,1	4,4	104	10
1 1 E-	1 41 77 9/	10 31	1		** .

 $U_{\rm R} = 24.4$ m/s nach Formel 1), $U_{\rm R}^2/g = 60$. Mit den Eingangswerten $Fg/U_{\rm R}^2 = 166$, $dg/U_{\rm R}^2 = 0.073$ ergibt das Hauptdiagramm (4) Hg/UR² = 0,021 und rg/UR² = 0,045, voraus H = 0,021 \cdot 60 = 1,26 m und r = 2,70 m, sowie L = $2\pi r = 17$ m, C = $\sqrt{10 \cdot 2,7} \cdot \text{tgh} (4,4/2,7) = 5,2 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,63} = 100$ $5,2 \cdot 0,962 = 5,00$ m/s und T = 17 : 5 = 3,4 s nach Formel 2 bis 4.

Diagrammwerte T bei Sturm und Flachwasser etwas zu klein (HUNDT 1962).

Insgesamt: Diagrammergebnisse zwar nicht von absoluter Einzelgenauigkeit, jedoch zuverlässig in Größenordnung und Tendenzen. Das Verhältnis der maximalen zur kennzeichnenden Wellenhöhe wird

durchschnittlich angenommen zu: H_{mx} : $H_{1/3} =$ 1. 1,3 bis 1,6 in Flachwasser d<L/2 und Wind U<20 m/s 2. bis 1,8 in Flachwasser d<L/2 und Sturm U>20 m/s



Zeitschrift "Die Küste" 1962, Heft 2

Anlage zum Aufsatz HUNDT: Maßgebender Sturmflutseegang vor einem Deich am Watt

4. Schriftenverzeichnis

BOTHMANN, W. und HUNDT, Cl.: Entwurf der Deichsollhöhen in Eiderstedt und Dithmarschen auf Grund der Sturmflut am 16. Februar 1962.

Dienstb. Marschenbauamt Heide, Pegelaußenstelle Büsum vom 5. Juni 1962. BRETSCHNEIDER, C. L.: Generation of wind waves over a shallow bottom.

Beach Eros. Board, Techn. Mem. Nr. 51. 1954

DELTACOMMISSIE: Rapport Deltacommissie, Deel 6.

's-Gravenhage 1960.

GERRITSEN, F.: De betekenis van het meten van golven voor de waterbouwkunde. De Ing. H. 51, S. 228 ff. 1956.

GROEN, P.: Zeegolfen. - 's-Gravenhage 1950.

HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenauflauf an Seedeichen im Wattgebiet. Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 5. 1954.

HENSEN, W.: Modellversuche zur Bestimmung des Einflusses der Form eines Seedeiches auf die Höhe des Seedeiches. — Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 7. 1955.

HUNDT, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. — Die Küste 4, H. 1/2. 1955.

Min. f. Ernährung, Landwirtsch. u. Forsten Schleswig-Holstein: Erlaß betr. Überprüfung des Deichbesticks. Erlaß III 22-WaWi 10772 vom 19. März 1954.

Pegclaußenstelle Büsum: Belegsammlung über Wellenbeobachtungen. Akte 3722, Mai u. Juni 1962. PILON, J. J.: Wellenbremsende Konstruktionen bei Uferdeckwerken in Asphaltbauweise in Hol-

land und ihre wirtschaftliche Bedeutung. — Bitumen 3, S. 57 ff. 1960.

ROEST, P. W .: Wave recording on the IJsselmeer.

Proc. VII. Conf. Coastal Eng. 1960, Kap. 3, S. 53. Den Haag 1961.

ROLL, H. U.: Über die Ausbreitung der Meereswellen unter der Wirkung des Windes, auf Grund von Messungen im Wattenmeer. — Dtsch. Hydrogr. Z. 2, H. 6. 1949.

SVERDRUP, H. U. und MUNK, H. W.: Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell. — Transact. Americ. Geophys. Union 27, S. 823-827. 1946.

SVERDRUP, H. U. und MUNK, H. W.: Theoretical and empirical relations in forecasting breakers and surf. — Transact. Americ. Geophy. Union 27, S. 828-836. 1946.

THIJSSE, J. Th.: Dimensions of wind-generated waves.

Rapport Gen. Assembly Int. Assoc. Phys. Oceanogr. Ref. 2, 80/81. Oslo 1948.

WEMELSFELDER, P. J.: De Integrator als golfmeetapparatur. - De Ing. H. 19, S. 53 ff. 1954.

ZITSCHER, F. F.: Analyse zur Bemessung von Außenböschungen scharliegender Seedeiche gegen Wellenbcanspruchung. — Wasser u. Boden 14, H. 10, S. 337—349, 1962.