

rijkswaterstaat

The background of the cover features a large, abstract graphic composed of several overlapping curved shapes. A wide orange band is at the top. Below it, a large white shape curves from the left towards the center. To the right of this, a blue shape curves upwards. At the bottom, a dark green shape curves from the left towards the center. The overall effect is a dynamic, modern composition.

**over het
berekenen van
deltaprofielen**

9

**directie zeeland
studiedienst vlissingen**

Over het berekenen van
Deltaprofielen voor dijken
langs de Westerschelde

INHOUD

1	INLEIDING	3
2	DE VOOR DE KRUINHOOGTE VAN EEN DELTADIJK BEPALENDE GROOTHEDEN.	4
3	DE SUPERSTORMVLOEDSTAND VOOR WILLE- KEURIGE WINDRICHTINGEN.	5
4	BEPALING GOLFAFMETINGEN	6
	4.1 ALGEMEEN	6
	4.2 DE GOLFHOOGTE OP NAAR VERHOUDING DIEP WATER.	7
	4.3 DE GOLFLENGTE EN -PERIODE OP NAAR VERHOUDING DIEP WATER.	10
	4.4 VERANDERINGEN IN HET GOLFEELD BIJ NADERING VAN DE ZEEWERING.	11
5	GOLFOPLOOP, BENODIGDE KRUINHOOGTE EN GOLFOVERSLAG OVER EEN DIJK.	14
	5.1 DE KLASSIEKE GOLFOPLOOPFORMULE.	14
	5.2 RECENTE ONTWIKKELINGEN OP GOLF- OPLOOPGEBIED.	17
	5.2.1 Algemeen.	17
	5.2.2 Een moderne golfoploopformule.	17
	5.2.3 De invloed van waterdiepte en berm op de golfoploop.	18
	5.3 BENODIGDE KRUINHOOGTE EN GOLF- OVERSLAG.	21
6	ENKELE KRITISCHE OPMERKINGEN BIJ DE BESCHREVEN BEREKENINGSMETHODE.	22
	6.1 DE SUPERSTORMVLOEDSTANDEN.	23
	6.2 DE BEPALENDE GOLFHOOGTEN VOLGENS DE GOLFGROEIGRAFIKEN.	23
7	AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDER- ZOEK.	25
8	SAMENVATTING EN CONCLUSIES.	27
	GERAADPLEEGDE LITERATUUR	30
	LIJST VAN BIJLAGEN	32

Over het berekenen van Deltaprofielen voor dijken langs de Westerschelde

IR. J. VAN MALDE
IR. N. SCHOENMAKERS
IR. D.C. VERHAGE
STUDIEDIENST VLISSINGEN

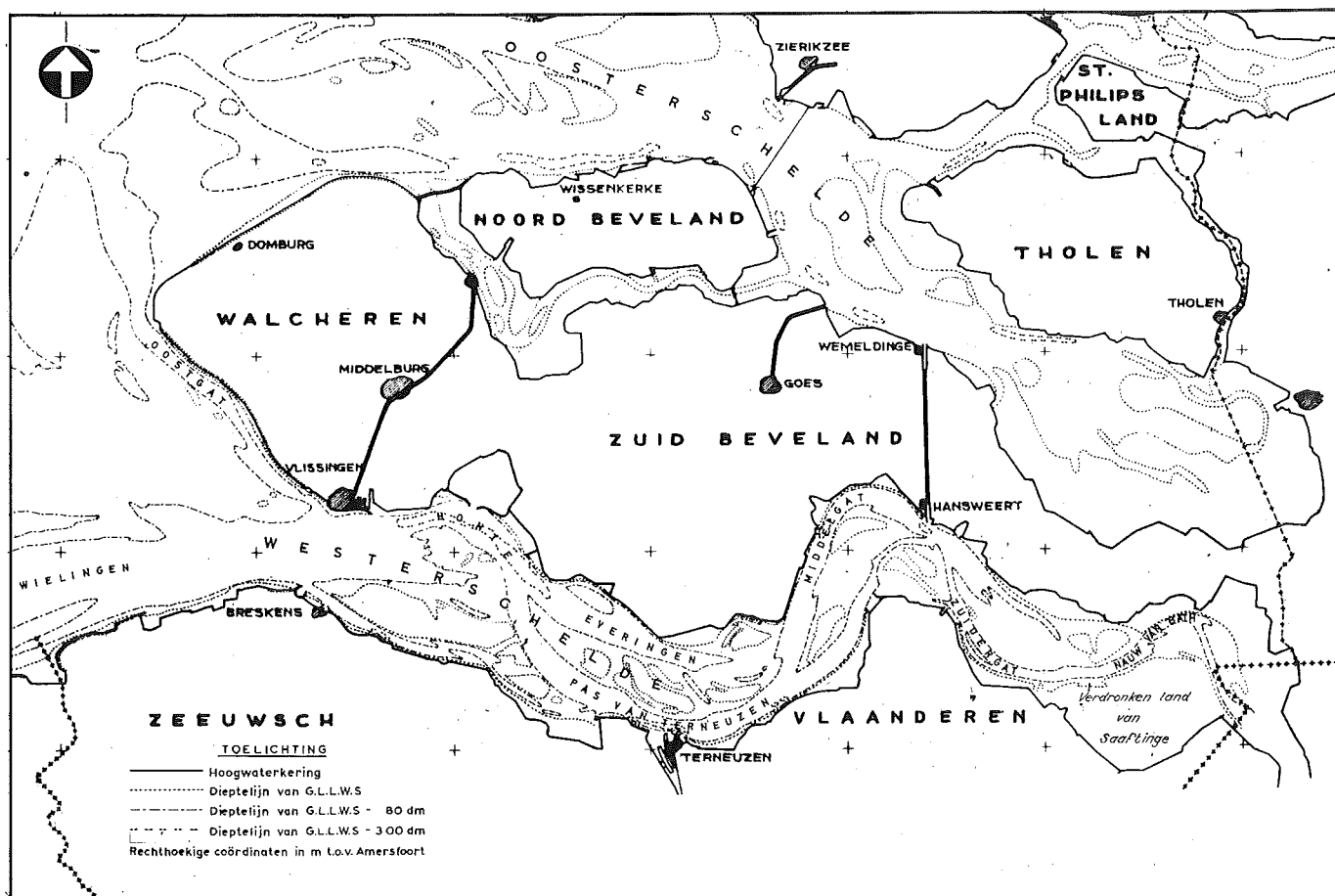
1 INLEIDING

Wanneer een zeedijk in Zeeland een superstormvloed met een overschrijdingsfrequentie van $2,5 \times 10^{-4}$ p.j. ook onder de voor die wering ongunstigste omstandigheden zal keren dan noemt men deze zeewering ook wel "deltadijk".

In beginsel worden in Zeeland bij het vaststellen van de afmetingen van een deltdijk de aanbevelingen en richtlijnen aangehouden van de Deltacommissie, vastgelegd in de hoofdstukken 3 en 8 van lit. 1^a.

Deze hebben betrekking op de hoogte van het ontwerppeil, de vaststelling van de hoogte van de golfoploop tegen het dijkbeloop, de extra waterstandverhoging ten gevolge van een buistoot en de overhoogte (in verband met klink, zeespiegelrijzing enz.).

Uitgaande van deze richtlijnen wordt bij de Studiedienst Vliissingen een - geleidelijk ontwikkelde - rekenmethode gevolgd, waaraan een aantal veronderstellingen ten grondslag liggen, die om nadere bestudering vragen. In deze nota zal



Overzicht Westerschelde en Oosterschelde
schaal 1:250.000

daarom eerst de hier gebruikelijke berekeningsmethode belicht worden (par. 2, 3, 4 en 5), waarna in par. 6 kritische kanttekeningen volgen naar aanleiding van de in voorgaande paragrafen beschreven werkwijze. Par. 7 behelst een beschouwing, waarin op grond van het voorgaande wordt samengevat op welke punten nader onderzoek gewenst is om de gemaakte veronderstellingen op hun juistheid te toetsen dan wel om de waarde van de ingevoerde grootheden nader vast te stellen. De nota besluit met een samenvatting en conclusies (par. 8), een opgave van geraadpleegde literatuur en een lijst van bijlagen.

2 DE VOOR DE KRUINHOOGTE VAN EEN DELTADIJK BEPALENDE GROOTHEDEN.

Volgens de richtlijnen van de Deltacommissie wordt de kruinhoogte van een deltadijk gevonden door de superstormvloedstand (ontwerp-
peil - overschrijdingsfrequentie voor Zeeland $2,5 \times 10^{-4}$ p.j.) te vermeerderen met:

- de golfoploop, gedefiniëerd als de hoogtemaat boven de stormvloedstand, die tijdens die toestand door 2% der tegen het dijkbeloop oplopende golven wordt overschreden;
- een toeslag voor een mogelijke buistoot;
- een overhoogte.

Het ontwerppeil is door de Deltacommissie voor een groot aantal stations aan de kust en langs de zeearmen vastgelegd in tabel 3.0.1 van lit 1^a; dit peil behoort bij een bepaalde overschrijdingskans en wordt verondersteld te worden veroorzaakt door een superstorm uit het noordwesten (320°) met een windsnelheid te Vlissingen van 31 m/s, die tenminste 5 uur moet aanhouden (zie lit 1^a, par 3.0);

voor de berekening van de golfoploop wordt verder aangenomen dat de wind nog over een hoek van 10° zowel kan krimpen als ruimen (lit. 1^a, par. 5.3).

Voor vele dijkvakken langs de Westerschelde vindt men bij toepassing van deze globaal aangeduide regels een relatief lage en soms zelfs in het geheel geen golfoploop, wat een gevolg is van de oriëntering van zo'n dijkgedeelte ten opzichte van het noordwesten. Deze onbevredigende stand van zaken leidde ertoe een methode te ontwikkelen, die het mogelijk maakt te berekenen welke kruinhoogte nodig is bij een superstorm uit een andere richting dan 320° , welke superstorm overigens ook geacht wordt eens per 4000 jaar op te treden en gekenmerkt wordt door dezelfde windsnelheid van 31 m/s. Door deze berekening voor een aantal windrichtingen (met onderling verschil van b.v. 10°) uit te voeren vindt men een maximaal benodigde kruinhoogte, die als Deltahoogte wordt aangehouden.

Deze methode wordt door de Studiedienst Vlissingen gevolgd sinds 1962, toen een berekening werd gemaakt van de met het oog op de "Delta-eisen" benodigde dijkprofielen voor alle dijkvakken langs de Westerschelde; in de laatste jaren uitgevoerde meer gedetailleerde en verfijnde berekeningen wijken niet van deze gedragslijn af. De berekening van de superstormvloedhoogte voor andere windrichtingen dan 320° zal nu eerst worden besproken in par. 3, waarna in de par. 4 en 5 achtereenvolgens de bepaling der golfafmetingen en de berekening van de golfoploop ter sprake komen. Ofschoon daarop in deze beide laatstgenoemde paragrafen niet nader wordt ingegaan, wordt bij de Studiedienst Vlissingen voor de bepaling van de maatgevende golfkarakteristieken waar mogelijk gebruik gemaakt van de

gegevens betreffende de golven tijdens stormvloedstanden, welke gegevens op een vrij groot aantal plaatsen zijn en worden verzameld. Ook de veekrandwaarnemingen, verricht na stormvloeden, kunnen in sommige gevallen voor het beoogde doel worden verwerkt.

3 DE SUPERSTORMVLOEDSTAND VOOR WILLEKEURIGE WINDRICHTINGEN.

Het in tabel 3.0.1 van lit 1^a per station opgegeven ontwerppeil is afgeleid van het, eveneens aldaar vermelde basispeil, dat voor het bewuste station de waterstand met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} per jaar aangeeft.

Dit basispeil is voor het Zeeuwse gebied vervolgens eerst met 30 cm verlaagd (de zg. "economische reductie") - waarmee de overschrijdingsfrequentie is teruggebracht tot $2,5 \cdot 10^{-4}$ p.j. - en vervolgens verhoogd om de invloed van de afdamming der zeegaten in rekening te brengen (deze verhoging bedraagt 5 cm voor de stations langs de kust en de zeearmen ten oosten en zuiden van Vlissingen en loopt ten noorden van Vlissingen op tot maximaal 40 cm). De na deze bewerkingen gevonden waarde is het ontwerppeil (P_o)

Om de superstormvloedstand voor willekeurige windrichtingen te vinden moest allereerst worden vastgesteld welke invloed de richting van de wind tijdens een storm heeft op de zogenaamde opzet, dat is de verhoging van de waterstand ten opzichte van het astronomische getij. Op grond van theoretische beschouwingen (lit 1^b en 2) leek het geoorloofd te veronderstellen dat deze opzet globaal verloopt volgens de cosinus van de verschilhoek tussen de beschouwde windrichting en het

noordwesten; natuurmetingen geven blijkens lit 1^b, blz.170 (zij het met een grote spreiding in de gemeten waarden) steun aan deze veronderstelling.

Ten einde in verband met de benaderende waarde der cosinusfunctie aan de veilige kant te blijven, is nu voor de opzet O_o behorende bij het ontwerppeil P_o niet het verschil aangehouden van P_o en GSHW (dit is de gemiddelde hoogwaterstand), maar dat van P_o en de hoogwaterstand bij gemiddeld springtij (GSHW) of

$$P_o = (\text{GSHW}) + O_o \quad (1)$$

waarmee gelet op het voorgaande geldig wordt de formule

$$P_\varphi = (\text{GSHW}) + O_o \cos \varphi \quad (2a)$$

of

$$P_\varphi = P_o - O_o (1 - \cos \varphi) \quad (2b)$$

waarin

P_φ = de superstormvloedstand bij een windrichting $320^\circ \pm \varphi$;

φ = de hoek tussen 320° en de beschouwde windrichting.

De superstormvloedstand P_φ wordt in de daarvoor in aanmerking komende gevallen verhoogd met een buistooteffect volgens de richtlijnen van par. 5 van lit 1^e.

Bij toepassing der formules (2) veronderstelt men dus dat:

- a. de overschrijdingsfrequentie van iedere combinatie van P_φ met een voldoende langdurige wind ter sterkte van 31 m/s uit de richting $320^\circ \pm \varphi$ gelijk is aan $2,5 \cdot 10^{-4}$ p.j. en verder dat
- b. het buistooteffect onafhankelijk is van φ .

In par. 6.1 zullen de gemaakte veronderstellingen nader ter sprake komen.

4 BEPALING GOLFAFMETINGEN

4.1 ALGEMEEN

De factoren, die bij de golfaan-groeiing een rol spelen en de uiteindelijke golfafmetingen bepalen, zijn:

- a. de windsnelheid;
- b. de strijklengte van de wind;
- c. de windduur en de uitgestrektheid van het windveld;
- d. de waterdiepte;
- e. energieverliezen (bodempwrijving, turbulentie, breking e.d.).

Voor wat betreft deze factoren kan het volgende ter toelichting dienen:

ad a: Voor de grootte van de windsnelheid wordt bij de bepaling van de sterkte van Deltadijken, zoals reeds in par. 2 is vermeld, aangehouden de waarde van 31 m/s. Deze waarde, vastgesteld door de Delta-commissie, blijkt volgens daartoe uitgevoerde berekeningen nodig te zijn om de opzet te veroorzaken die tijdens een superstorm uit N.W. richting te Vlissingen zal optreden. De genoemde windsnelheid wordt toegepast ongeacht de plaats in het Deltagebied en (par. 3) de windrichting.

Deze nogal onbevredigende werkwijze wordt noodzakelijkerwijs toegepast omdat enerzijds niet bekend is welke windsnelheid zal optreden tijdens superstormen uit willekeurige windrichtingen, anderzijds omdat geen gegevens beschikbaar zijn ter vaststelling van de mogelijke afzwakking van de windsterkte in landwaartse richting tijdens zeer zware stormen.

Uit lit. 3 blijkt overigens wel duidelijk dat bij windsnelheden hoger dan 17 m/s er te Vlissingen sprake is van een achterblijven van de windsnelheid ten opzichte van de

windsnelheid volgens waarnemingen vanaf het lichtschip Goeree. (ongeveer 30% voor alle windrichtingen behoudens NW en N; deze windrichtingen geven door de ongunstige situering van het waarnemingstation ten opzichte van de stad Vlissingen nog grotere verschillen in de windsnelheid te zien).

ad b en d: Waarden voor zowel de strijklengte van de wind als de (gemiddelde) waterdiepte worden afgeleid uit lodingbladen en zeekaarten. Op de verschillende manieren waarop de diepte in golfbeschouwingen kan worden verwerkt wordt in par. 4.2 nader ingegaan.

ad c: De windduur en de uitgestrektheid van het windveld worden bij golfberekeningen in dit kader niet in beschouwing genomen. Gelet op de geringe strijklengten, die vrijwel overal op de Westerschelde aanwezig zijn is deze verwaarlozing in het algemeen volledig aanvaardbaar.

Voor enkele dijkvakken en voor de Zeeuwse kusten is er wel sprake van grote strijklengten (100 - 150 km); dergelijke lengten mogen alleen in de beschouwingen worden betrokken bij windduren van 2 à 3 uur of langer, waarbij het windveld zich bovendien over het gehele zogenaamde zuidvak der Noordzee (lit. 1b, par. 3) moet uitstrekken. Gelet op de veronderstellingen die in deze opzichten door de Deltacommissie zijn gedaan ter vaststelling van het ontwerppeil (par. 2) kunnen ook voor de betrokken zeeeringsvakken de opgemeten strijklengten in rekening worden gebracht.

ad e: Bij de meeste bewerkingen ter bepaling van de golfkarakteristieken, die in par. 4.2, 4.3, en 4.4 nader zullen worden besproken, kan gebruik worden gemaakt van grafieken, waarin de invloed van bodempwrijving en turbulentie zijn verwerkt. De gevallen, waarin de bodempwrijving en het breken van golven afzonderlijk

in rekening moeten worden gebracht, komen in par. 4.2 en par. 4.4 nader ter sprake.

De golfkarakteristieken worden berekend voor de dominerende golf ("dominant wave" of "significant wave"), gedefinieerd als de golf, waarvan de hoogte $H \frac{1}{3}$ gelijk is aan de gemiddelde golfhoogte van het hoogste één derde deel der golven.

De karakteristieken van deze golf worden verder dominerende golfhoogte, dominerende golflengte en dominerende golfperiode genoemd. Ten gevolge van het feit dat de hoogte der windgolven uit een golfveld bij benadering voldoet aan de zgn. Rayleigh-verdeling heeft de dominerende golfhoogte een overschrijdingskans van ong. 15%.

De berekening van de golfkarakteristieken wordt in het algemeen in twee fasen uitgevoerd. De eerste fase, nader beschreven in par. 4.2 en 4.3, betreft de bepaling der golfkarakteristieken op verhoudingsgewijs diep water. In de tweede fase, behandeld in par. 4.4, worden de veranderingen nagegaan, die de in de eerste fase bepaalde dominerende golfhoogte en -lengte in het golfveld ondergaan bij de nadering van de teen van de dijk.

4.2 DE GOLFHOOGTE OP NAAR VERHOUDING DIEP WATER

De eerste fase der golfberekening betreft de bepaling van $H \frac{1}{3}$ in de voor het betrokken dijkvak gelegen naar verhouding diepe geul; haar diepte wisselt per dijkvak maar kan gesteld worden op ten minste 10 à 15 m tijdens superstormvloedstanden (veelal is ze aanzienlijk groter). Volledigheidshalve wordt nog opgemerkt dat zich in Zeeland tijdens superstormvloedstanden vrijwel nergens het geval zal voordoen van "diep water", waarin de golfkarakteristieken onafhankelijk zijn van de waterdiepte.

Volgens lit. 4 is dit het geval als voor de waterdiepte D geldt $D > \frac{1}{2} L$ (als L de golflengte is).

Voor de vaststelling van de groei van een golfveld onder invloed van de in par. 4.1 genoemde factoren wordt overeenkomstig de richtlijnen van de Deltacommissie gebruik gemaakt van de golfgroeigrafieken van het Waterloopkundig Laboratorium en van Bretschneider, die beide zijn opgenomen in lit. 1^d. Aangezien hierin geen voorkeur wordt uitgesproken voor een van beide grafieken, worden bij de Studiedienst Vlissingen alle golfberekeningen volgens beide methoden uitgevoerd en de resultaten ervan gemiddeld. De bijlagen 1 en 4 geven deze grafieken weer voor de golfhoogte bij een windsnelheid van 31 m/s.

Wat betreft de keuze van een relevante waarde voor de waterdiepte langs een windbaan kunnen twee werkwijzen worden onderscheiden (die beiden uitgaan van een tweedimensionaal golfverschijnsel).

I. Werkwijze met één (gemiddelde) waterdiepte:

Indien de bodemdiepte niet sterk fluctueert in de beschouwde windrichting (waarbij een strook met voldoende breedte moet worden beschouwd) en indien er in het bijzonder aan het eind van de windbaan geen ondiepten over aanzienlijke lengten optreden wordt over de volle lengte van de windbaan de gemiddelde waterdiepte aangehouden.

II. Werkwijze met vakkenverdeling:

Wordt aan de onder I genoemde voorwaarden niet voldaan, dan is een nadere verfijning nodig. Bij de hiervoor ontwikkelde werkwijze wordt de windbaan zodanig in vakken verdeeld dat per vak geen grote diepteverschillen meer voorkomen.

Aan het einde van het eerste vak (gelegen aan het begin van de windbaan) wordt met de voor dit

vak geldende grootheden (lengte en gemiddelde waterdiepte) de dominerende golfhoogte bepaald. Als gevolg van de schematisering verandert de waterdiepte bij de overgang naar het tweede vak abrupt. Hier ter plaatse wordt nu de fictieve stijklengte bepaald die nodig is om bij de waterdiepte van het tweede vak de golfhoogte op te wekken die aan het einde van het voorgaande vak is gevonden. Om nu de dominerende golfhoogte aan het einde van het tweede vak te bepalen wordt voor de strijklengte aldaar aangehouden de evenwaardige strijklengte, dit is de som der zojuist genoemde fictieve strijklengte en de lengte van het tweede vak. Deze bewerking wordt voor elk der volgende vakken herhaald.

Deze laatste methode leidt bij de overgang naar een ondieper vak in een aantal gevallen tot moeilijkheden. De dominerende golfhoogte neemt immers in een strook met constante diepte onder invloed van een bepaalde windsnelheid met het toenemen van de strijklengte toe, maar nadert daarbij tot een zeker maximum, dat afhankelijk is van de diepte (hoe groter de diepte, des te hoger dit maximum - bijlagen 1 en 4). Indien nu de golfhoogte bij de onderhavige methode aan het eind van een vak groter is dan de (bij de beschouwde windsnelheid behorende) maximale golfhoogte op het volgende (ondiepere) vak, kan de bewerking niet meer op dezelfde wijze worden voortgezet. Er kunnen zich nu twee gevallen voordoen:

- a. de dominerende golfhoogte is te hoog en de te hoge golven uit het golfveld zullen breken;
- b. de dominerende golfhoogte is volgens de golfgroeigrafieken nog te hoog, maar golfbreking treedt niet op.

Geval a: Een golf met een hoogte H breekt op een waterdiepte D (o.a. volgens lit. 4 en 9) indien

$$H \geq \frac{D}{1,3} \quad (3)$$

Bij het passeren van de grens tussen twee vakken zullen dus (volgens de aangehouden schematisering) alle golven breken, waarvan de hoogte groter is dan $(D/1,3)$. Aan de hand van vele golfwaarnemingen langs de Nederlandse kust is in lit. 5, bijlage 10 vastgesteld dat

$$(H_{1/3})_{\max} = 0,5 D \quad (4)$$

In die gevallen, waarin op de grens van twee vakken voor het aankomende golfveld geldt $H_{1/3} \geq 0,5D$ wordt op grond van (4) aangenomen dat door breking van de hoogste golven aan het begin van het nieuwe vak geldt $H_{1/3} = 0,5 D$.

Voor deze nieuwe waarde van $H_{1/3}$ gaat men vervolgens na of ze mogelijk is volgens de golfgroeigrafieken. Is dit het geval dan zet men werkwijze II op de beschreven wijze voort; in het andere geval wordt de nu volgende methode toegepast.

Geval b: Daar de hoogste golven weliswaar niet breken maar de dominerende golfhoogte toch te hoog is voor het nieuwe vak zal het energieverlies ten gevolge van de bodemwrijving groter zijn dan de wind kan toevoeren, met andere woorden de golven zullen lager worden. Voor een zeer lang vak zou verwacht mogen worden dat de dominerende golf uiteindelijk haar evenwichtshoogte zal bereiken. Voor de kortere vakken, waarmee men in de praktijk heeft te maken staan ter bepaling van de mate van golfhoogteafnemering twee methoden ter beschikking, te weten de methode van Miche en die van Bretschneider-Reid, achtereenvolgens beschreven in lit. 6 en lit. 7.

b1. Methode Miche. Beschouwt men de dwarsraaien 1 en 2 aan het begin en

het eind van een vak met een constante diepte D en lengte x dan gelden volgens Miche (lit. 6, blz. 94/95) voor de halve golfhoogten h_1 en h_2 de formules (5) en (6); de index 1 slaat hierbij op het begin van het vak.

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{\alpha h_1 x + 1} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{4g}{3 \pi k_m^2 D^{7/3}} \quad (6)$$

In deze formules is verder g de versnelling der zwaartekracht en k_m een wrijvingsfactor in de door Miche gegeven vorm van de formule voor de eenparige beweging van Manning-Strickler. Vergelijken met de formule van De Chézy geldt dan tussen k_m en C (de coëfficiënt van De Chézy) de betrekking:

$$k_m \sqrt[6]{D} = C \quad (7)$$

Voor C wordt veelal de formule van White-Colebrook voor ruwe leidingen aangehouden, waarin de zandruwheid k voorkomt. Bij benadering kan worden gesteld (lit. 8, par. 2a t/m 2c) dat voor $3,6 < \frac{D}{k} < 680$ volgens de formule van Manning zou gelden

$$C = 24 \sqrt[6]{\frac{D}{k}} \quad (7a)$$

Uit (7) en (7a) volgt

$$k_m = \frac{24}{\sqrt[6]{k}} \quad (7b)$$

De factor 24 wordt voor $1,5 < \frac{D}{k} < 3,6$ verlaagd tot 22 à 23.

Miche heeft de formules (5) en (6) mede afgeleid aan de hand van modelonderzoekingen met behulp van regelmatige golven en getoetst aan de hand van natuurmetingen. Er mag dan ook gesteld worden dat $h = 0,5 H_{50}$ als H_{50} de golfhoogte uit een golfveld is met 50% overschrijdingskans. Daar geldt $H_{1/3} = 1,6 H_{50}$ (zie bijv. lit. 9, blz. 29) kan (5) als volgt geschreven worden:

$$\frac{(H_{1/3})_2}{(H_{1/3})_1} = \frac{3,2}{\alpha (H_{1/3})_1 x + 3,2} \quad (5a)$$

In lit. 6 blz. 81 worden voor een aantal soorten bodem-materiaal de volgende waarden voor de factor k_m gegeven, die deels uit modelonderzoekingen, deels uit natuurmetingen zijn bepaald:

geschaafd hout,	
glad element	$k_m = 100 \quad m^{1/3} s^{-1}$
metselwerk	$k_m = 60 \text{ à } 80 \quad "$
grof zand en grind	$k_m = 40 \text{ à } 50 \quad "$
stortsteen	$k_m = 20 \text{ à } 30 \quad "$

Voor de ondiepe gedeelten van de Westerschelde en de Westerscheldemond verkrijgt men met vergelijking (5a) aanvaardbare waarden voor de golfhoogtevermindering door bodemwrijving indien voor de factor k_m een waarde van 20 à 25 $m^{1/3} s^{-1}$ gekozen wordt. Dit houdt volgens vergelijking (7b) een zandruwheid in van 3,0 à 0,8 m. Zandribbels van dergelijke afmetingen zijn bijv. in de geulen van de Westerscheldemond en in de Everingen wel aangepeild. Ook op platen zijn ribbelhoogten van 1 m geen zeldzaamheid.

Nog afgezien van het feit dat de ribbelhoogte niet zonder meer gelijk is aan de zandruwheid k , zijn voornoemde ribbelafmetingen onder normale omstandigheden gevonden, zodat deze bevindingen niet zonder meer bewijzen dat de waarde van $k_m = 20 \text{ à } 25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ de juiste is. In feite moet k_m empirisch worden bepaald; dit klemt te meer omdat de overgang van regelmatige naar onregelmatige golven - waaruit (5a) volgt - op sterke vereenvoudiging berust. Miche heeft ook een formule afgeleid voor de vermindering van de golfhoogte op een hellende bodem (lit. 6, blz. 127 e.v.), maar die is moeilijk hanteerbaar en blijft hier onbesproken.

b2. Methode Bretschneider-Reid. De procentuele golfhoogtevermindering ten gevolge van wrijving over een horizontale bodem kan bepaald worden met de rechtergrafiek van bijlage 7, ontleend aan lit. 7. Daarnaast is in lit. 7 nog een grafiek aanwezig, waarmee de golfdemping ten gevolge van wrijving op een hellende bodem bepaald kan worden; deze grafiek is weergegeven op de linker zijde van bijlage 7 en wordt bij voorkeur gebruikt bij een ondiep vak met hellende bodem (par. 4.4 onder d).

In de methode Bretschneider-Reid wordt de bodemwrijving in rekening gebracht door middel van een (onbenoemde) wrijvingsfactor f , die het verband aangeeft tussen de schuifspanning τ en de orbitale snelheid U_b aan de bodem volgens

$$\tau = f \cdot \rho U_b^2 \quad (8)$$

Volgens lit. 10 geldt voor een bodem, waarvan de afstand tussen de zandribbels enkele malen kleiner is dan de orbitale

beweging aan de bodem: $f = 0,01$. Deze waarde is door Bretschneider (en Reid) aangehouden en ligt ten grondslag aan de grafieken der bijlagen 4, 5, 6 en 7.

Bij deze theoretische methode is geen rekening gehouden met energietoevoer door wind; daar Miche zijn methode aan natuurmetingen heeft getoetst is het aannemelijk dat daarbij de windvloed althans niet zonder meer veronachtzaamd is.

Overigens is bij beide methoden verondersteld dat de golfkammen evenwijdig aan de dieptelijnen lopen; zodra de betrokken hoek niet meer verwaarloosbaar is moeten refractieberekeningen worden uitgevoerd (par. 4.4).

4.3 DE GOLFLENGTE EN -PERIODE OP NAAR VERHOUDING DIEP WATER

Uit de golfgroeigrafiek van het Waterloopkundig Laboratorium (lit. 1d, bijl. V. 1-2.0.2) kan de dominerende golflengte $L^{1/3}$ rechtstreeks worden afgeleid. De dominerende golfperiode $T^{1/3}$ kan vervolgens worden berekend met behulp van de volgende betrekking, geldig voorsinusvormige golven:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi}{g}} L \cotgh \frac{2\pi D}{L} \quad (9)$$

Desgewenst kan men de waarde van $T^{1/3}$ volgens (9) ook aflezen met behulp van een diagram (lit. 4, fig. 9) of uit tabellen (lit. 13, bijl. 4) halen. Voor een windsnelheid van 31 m/s zijn dezerzijds grafieken samengesteld ter vaststelling van de waarden $L^{1/3}$ en $T^{1/3}$ volgens de methode van het Waterloopkundig Laboratorium (bijl. 2 en 3).

Lit. 1d geeft een afzonderlijke grafiek voor $T^{1/3}$ volgens de methode Bretschneider (bijl. V 1-2.0.4). De waarde

van $L^{1/3}$ kan vervolgens worden bepaald uit (9); deze berekening is echter nogal moeizaam. Ook voor deze methode zijn grafieken samengesteld voor de bepaling van $L^{1/3}$ en $T^{1/3}$ voor een windsnelheid van 31 m/s (bijlage 5 en 6).

De procentuele verschillen in de waarden van $L^{1/3}$ en $T^{1/3}$ volgens de beide werkwijzen zijn aanzienlijk groter dan de overeenkomstige verschillen in de waarden van $H^{1/3}$. In het geval volstaan kan worden met een windbaan, waarover de waterdiepte constant geacht mag worden (werkwijze I van par. 4.2), wordt bij de Studiedienst Vlissingen aangehouden voor $L^{1/3}$ het gemiddelde der waarden volgens de methode van het Waterloopkundig Laboratorium en van Bretschneider. Door substitutie van deze waarde in (9) vindt men vervolgens $T^{1/3}$.

Indien niet volstaan kan worden met invoering van een constante waterdiepte en de baan overeenkomstig werkwijze II van par. 4.2 verdeeld moet worden in een aantal vakken elk met een constante diepte, stuit men voor de bepaling van $L^{1/3}$ en $T^{1/3}$ op moeilijkheden. De hiervoor noodzakelijke kennis omtrent de verandering, die de golflengte ondergaat bij het passeren van een uitgestrekte ondiepte ontbreekt namelijk. Het is bij de Studiedienst Vlissingen gebruikelijk in dit geval uit te gaan van de situatie aan het einde van het laatste - relatief diepe - vak, waarvoor op de wijze, beschreven in par. 4.2 een evenwaardige strijklengte wordt vastgesteld en $H^{1/3}$ wordt berekend. De daarbij behorende waarden van $L^{1/3}$ en

$T^{1/3}$ worden vervolgens op de zojuist beschreven manier bepaald.

Overigens is ook een andere werkwijze denkbaar. Men zou namelijk gebruik kunnen maken van de eigenschap dat de golfperiode weinig wordt beïnvloed door de verondieping (o.a. lit. 4, par. 5.2) en de golfperiode op grond hiervan constant kunnen stellen. De golfperiode kan dan worden vastgesteld met behulp van de gemiddelde diepte over de gehele windbaan, dus zonder een vakverlenging aan te brengen. De golflengte zou daarna vastgesteld kunnen worden met (9) of met behulp van de reeds genoemde tabellen en grafieken, die in de literatuur zijn gegeven. Uitgebreide natuurmetingen zouden over de waarde van deze methode uitsluitsel moeten geven.

4.4 VERANDERINGEN IN HET GOLFVELD BIJ NADERING VAN DE ZEEWERING

Bij de nadering van de zeevering ondergaat het golfveld veranderingen door dieptevermindering en door obstakels in velerlei vormen, die het op zijn weg ontmoet.

Deze veranderingen in golfafmetingen worden veroorzaakt door:

- a. verondieping (Eng.: "shoaling");
- b. bijdraaiing of refractie;
- c. verstrooiing of diffractie;
- d. golfdemping ten gevolge van bodemwrijving;
- e. golfhoogtevermindering door het passeren van onder water gelegen objecten;
- f. breking.

De veranderingen in de golfafmetingen door deze oorzaken worden vastgesteld onder verwaarlozing van de energietoever door wind; dit is in den regel geoorloofd, hetzij doordat de verschijnselen zich over betrekkelijk korte afstand afspelen, hetzij doordat de golfkammen een vrij belangrijke richtingsverandering ondergaan.

De factoren $\underline{a}$. t/m $\underline{f}$. komen nu achtereenvolgens afzonderlijk ter sprake

ad a: De veranderingen, die de golfhoogte en golflengte ondergaan bij verondieping kunnen voor regelmatige golven analytisch worden bepaald. Veelal wordt genoeg genomen met de uitkomsten van de eerste-orde theorie voor sinusvormige golven. Met bodemwrijving wordt daarbij geen rekening gehouden, terwijl de bodemhelling niet steiler mag zijn dan 1:10. De op deze wijze berekende verandering van de golfhoogte en -lengte als functie van de verhouding waterdiepte D tot L_0 , de golflengte op "diep water", (D/L_0) vindt men in lit. 9, appendix D-1 en lit. 11, blz. 514 in tabelvorm en in lit. 4 (diagram V) in grafiekvorm. De geleidelijke verondieping heeft tot gevolg dat de golfhoogte toeneemt (zij het na enige aanvankelijke verlaging) en de golflengte afneemt.

Hoewel deze berekening van de golfhoogte- en golflengteveranderingen gebaseerd is op het theoretische geval van regelmatige sinusvormige golven is het algemeen gebruikelijk ook de verandering van de theoretische dominerende golfhoogte en golflengte van een golfgroep op deze wijze te bepalen.

Of hiermee een fout van betekenis wordt gemaakt is evenmin bekend als het gevolg van de vervanging van L_0 (op "diep water", zie par. 4.2) door $L^{1/3}$ in de geul.

ad b: Indien de golfkammen bij nadering van de oever niet evenwijdig zijn met de dieptelijnen onder de oever dan zullen de golfkammen bijdraaien of refracteren. De hoek tussen de golfkammen en de dieptelijnen wordt daardoor kleiner; daarnaast wordt de afstand tussen de golfstralen (de orthogonale trajectoriën van de golfkammen) wat groter, waardoor de golfhoogte zal afnemen.

Bij een zeer regelmatig hellende oever, waarvan de dieptelijnen onderling evenwijdig lopen, mag de verandering van de invalshoek van de golfkammen en de vermindering van de golfhoogte ontleend worden aan lit. 4, diagram VI. Verlopen de dieptelijner echter onregelmatig dan verdient het aanbeveling de zwenking van een aantal golfstralen te construeren. Hiervoor staan in lit. 12 en 13 tabellen ter beschikking, waarin voor een groot aantal golfperiodes de hoekverdraaiing van een golfstraal is vermeld voor diepteverschillen tussen twee dieptelijnen van 0,5 of 1 m.

De refractieberekeningen zijn alle gebaseerd op de refractietheorie, onder meer beschreven in lit. 14. Bij deze theorie wordt verondersteld dat langs de golfkammen geen energietransport plaatsvindt dat wil zeggen dat de hoeveelheid energie tussen 2 golfstralen constant blijft. De golfenergie per eenheid van oppervlak is dan omgekeerd evenredig met de

afstand tussen twee golfstralen. Stelt men de golfenergie per eenheid van oppervlakte recht evenredig met het kwadraat van de golfhoogte dan kan op iedere plaats langs de golfstraal de golfhoogte berekend worden, eventueel na het bepalen van het energieverlies door bodemwrijving of turbulentie.

ad c:

DiffRACTIE of golfverstrooiing ontstaat wanneer een golfveld over een deel van zijn breedte gestuit wordt door een haven-dam, nol enz. Voorbij de be-eindiging van de dam verplaatst de energie van een deel der wel doorlopende golven zich langs de golfkammen, waardoor ook in de luwte van het obstakel golven zich (met gebogen kammen) voortplanten, zij het door de verspreiding aanmerkelijk lager geworden. De mate waarin de energie van regelmatige golven zich verspreidt kan voor een aantal gevallen bepaald worden m.b.v. de grafieken uit lit. 9, blz. 180 en lit. 11, blz. 74, waarin de golfhoogteverandering weergegeven is als functie van de invalrichting van de golven. Deze uitkomsten worden ook voor windgolven gebruikt.

ad d: Over het traject tussen de geul en de teen van de dijk behoeven de energieverliezen ten gevolge van de bodemwrijving in het algemeen niet in rekening te worden gebracht; de afstand tussen geul en teen is namelijk in den regel relatief zo klein en/of de waterdiepte naar verhouding zo groot dat de wrijvingsinvloed klein is en bovendien min of meer opgeheven zal worden door de energietoevoer door de wind, die ook verwaarloosd wordt. Indien echter een hooggelegen vooroever van aanzienlijke

breedte aanwezig is mag de bodemwrijving niet meer verwaarloosd worden; de golfhoogtevermindering op de relatief hoge vooroever kan dan worden bepaald met behulp van de methode Miche of van de methode Bretschneider-Reid, beide beschreven in par. 4.2. Zo nodig wordt de daar vermelde werkwijze voor de nadere bepaling van de golflengte eveneens toegepast.

ad e: Van golfhoogtevermindering ten gevolge van het passeren van (al dan niet onder het stormvloedpeil gelegen) havendammen, dijkbouten enz., zijn weinig algemeen geldende gegevens bekend. Bovendien vertonen de gegevens die er zijn (uitsluitend afkomstig van modelonderzoekingen met regelmatige golven) een aanzienlijke spreiding, waardoor de golfhoogtevermindering in een bepaald geval slechts zeer globaal kan worden vastgesteld. Gegevens met een algemene geldigheid zijn te vinden in lit. 11 (bl. 132) en lit. 15, waarvan met name de laatste gegevens bevat over obstakels onder water.

ad f: Over golfbreking is veel literatuur (uitvoerig b.v. in lit. 11) verschenen, zij het dat ook voor dit verschijnsel de meeste gegevens betrekking hebben op regelmatige golven. Overigens speelt het brekingsverschijnsel in de berekening van de deltadijken in het algemeen een ondergeschikte rol. De waterdiepte voor een dijk tijdens superstormvloedomstandigheden is namelijk veelal aanzienlijk terwijl de taludhellingen flauw zijn, waardoor het breken vrijwel altijd geschiedt ter plaatse van de teen of op het be-loop van de dijk. Dit verschijnsel is dan ook verdisconteerd in de golfoploopformules.

5 GOLFOPLOOP, BENODIGDE KRUINHOOGTE EN GOLFOVERSLAG OVER EEN DIJK.

5.1 DE KLASSIEKE GOLFOPLOOPFORMULE

Deze wordt reeds een 10- à 15-tal jaren in de volgende vorm toegepast:

$$z = 8f H_{1/3} \operatorname{tg} \alpha \left(\cos \beta - \frac{B}{L} \right) \quad (10)$$

De formule wordt aanbevolen door de Deltacommissie in lit. 1^d.

In deze formule is:

z : de golfoploop die door 2% van de oplopende golven wordt overschreden;

$H_{1/3}$: de dominerende golfhoogte aan de teen van de dijk;

α : de hellingshoek van het dijk-talud;

β : de hoek tussen golfrichting en normaal op de dijk β' verminderd met 10° of $\beta = \beta' - 10^\circ$;

B : de bermbreedte;

L : de golf lengte.

Ten aanzien van deze formule dienen de volgende opmerkingen te worden gemaakt:

- a. De formule is volgens lit. 16, punt 5 en lit. 17^b, hfdst. 5, gegrond op in de jaren 1935-1945 te Delft verrichte modelonderzoekingen met windgolven, waarvan de hoogten klaarblijkelijk (lit. 16) weinig varieerden. Daarbij zijn dijksbelopen beschouwd tussen 1:8 en 1:3½, terwijl (niet nader gedefiniëerde) golfsteilheden $\frac{H}{L}$ - t.w., 0,05 en 0,07 -

zijn beschouwd; de formule heeft betrekking op de steilheid 0,05 (waarvoor de oploop - uiteraard - iets hoger was dan voor de steilheid 0,07). Bij een deel der proeven was ook een berm aangebracht; de taludhelling boven en onder deze berm was bij de proeven, die aan (10) ten grondslag liggen, gelijk (lit. 17^b, par. 5.6).

- b. De 2% overschrijdingskans, die als maatstaf voor de vaststelling der formule is aangehouden, is gekozen op grond van de overweging dat enerzijds geen bovengrens voor de golfoploop is aan te wijzen, terwijl anderzijds dit percentage zo laag is, dat bij het hanteren van deze maatstaf in een getijgebied geen gevaar voor dijkdoorbraak valt te duchten (de formule wordt gebruikt voor het berekenen van de golfoploop tijdens stormvloedstanden; deze duren niet erg lang en enkele overslaande golven doen een dijk niet bezwijken).

- c. Aanvankelijk luidde de formule in haar eenvoudigste gedaante:

$$z = 7,5 H \operatorname{tg} \alpha.$$

De factor 7,5 H is volgens lit. 16 door $8 H^{1/3}$ vervangen in verband met de relatief te grote steilheid van de golven in het model.

In hoeverre bij die vervanging van de gemiddelde golfhoogte H door $H^{1/3}$ ook de onder a. reeds vermelde geringe spreiding der golfhoogte in het model een rol heeft gespeeld is niet duidelijk; wel is er veel onzekerheid met betrekking tot deze golfhoogte in het model (lit. 17^b, par 5.3). Men kan dan ook zeker niet stellen dat in formule (10) een veiligheidsfactor $(8 H^{1/3} : 7,5 H) = 1,7$ is opgenomen; de formule heeft in

feite "slechts een voorlopig en indicatief karakter" (lit. 17^b, blz. 30).

- d. De waarde van de grootheid f is voor uiteenlopende - natuurlijke en kunstmatige - ruwheden in laboratoria uitvoerig onderzocht, echter vrijwel steeds met regelmatige golven.

De waarde van f neemt, naar daarbij gebleken is, af met toenemend bergend vermogen van de dijkbekleding en met toenemende ruwheid van het talud. Een zorgvuldige analyse van de beschikbare gegevens vindt men in lit. 17^a (par. 5.3 en 5.4, blz. 36-51) en 17^b (par. 5.3 en 5.4, blz. 38-41); daaraan kunnen onder andere de volgende verhoudingswaarden

$r = \frac{f}{f_{\text{asfalt}}}$ worden ontleend:

asfalt : $r = 1$

beton : $r = 0,9$

basalt, bloksteen, grasmatt : $r = 0,85 \text{ à } 0,9$

stortsteen,

tetrapoden : $r = 0,5 \text{ à } 0,6$

Volgens lit. 16 geldt $f = 1$ voor een aaneengesloten steenbezetting, terwijl voor gladde gesloten dijkoppervlakken $f = 1,10 \text{ à } 1,15$ (wat inderdaad neerkomt op $r = 0,85 \text{ à } 0,9$ voor de bezetting).

- e. De invalshoek van de golven β^1 wordt met 10° verkleind tot β om twee in lit. 1^d genoemde redenen:

- als de invalshoek groot is blijkt een cosinusverband tussen invalshoek en golfoploop te gunstig te zijn;
- er kunnen tijdens de stormvloedstand plaatselijke en/of kortstondige schommelingen in de windrichting optreden.

De keuze van 10° wordt in lit. 1^d overigens niet nader gemotiveerd.

- f. De L in (10) is volgens lit. 17^b de gemiddelde golflengte $\bar{L}$.

Bij de toepassing der formule ligt het echter voor de hand $L^{1/3}$ aan te houden aanzien deze grootheid wordt berekend. Daarmee wordt dan de waarde van de breuk ($B:L$) in beginsel kleiner; of dit praktisch van betekenis is lijkt nog de vraag gezien de reeds onder a. vermelde geringe spreiding der golfhoogten in het model.

- g. De invoering van de breuk ($B:L$) suggereert dat alleen dit quotiënt een onafhankelijk veranderlijke is; volgens par. 5.6 van lit. 17^b zouden de uitkomsten der proeven evenzeer de invoering van de breuk ($B:H$) rechtvaardigen, zodat het ook mogelijk is in de klassieke golfoploopformule de invloed der bermbreedte te doen uitkomen in de breuk

$$\frac{B}{\sqrt{H} \bar{L}} \text{ (c.q. } \frac{B}{\sqrt{H^{1/3}} L^{1/3}} \text{)};$$

voor de waarden van

$$\frac{B}{\bar{L}}, \text{ respectievelijk } \frac{B}{\sqrt{H} \bar{L}}$$

behoren als grootste waarden te worden aangehouden 0,3 respectievelijk 2,5. Bij de Studiedienst Vlissingen is het gebruikelijk voor ($B:L^{1/3}$) geen grotere waarde dan 0,25 in rekening te brengen. Volledigheidshalve zij nog vermeld

dat de berm een optimale werking heeft wanneer hij gelegen is nabij de stormvloedstand en beter boven dan beneden dit peil kan liggen (o.a. volgens lit. 1^a).

- h. De golfoploopvermindering ten gevolge van het scheef op de dijk aanlopen van de golven is nagegaan in het kader van de reeds besproken modelonderzoekingen, waarbij zowel situaties met als zonder berm zijn onderzocht. Daarbij is de feitelijke invalshoek β' beschouwd, terwijl de golfsteilheid $1/14$ ($\approx 0,07$) bedroeg.

Ook deze modelproeven vertoonden blijkens lit. 17^b, par. 5.7 een opvallend verschil in golfoploopreductie tussen de gevallen met en zonder berm. Uiteindelijk is de kortingscoëfficiënt $(\cos \beta' - \frac{B}{L})$ ingevoerd als gemiddelde voor alle modelresultaten.

Deze coëfficiënt is samengesteld uit twee factoren, die elk een invloed van de scheve golfaanval tot uitdrukking brengen t.w. $\cos \beta'$ in verband met de schijnbare (flauwèrre) taludhelling en $(1 - \frac{B}{L \cos \beta'})$ in verband met de schijnbare (grotere) bermbreedte.

In analytisch opzicht voldoet de grootheid $(\cos \beta' - \frac{B}{L})$ dan ook wel; volgens de laboratoriumproeven voldoet deze kortingscoëfficiënt alleen redelijk voor gevallen met een berm, terwijl bovendien moet gelden $(\cos \beta' - \frac{B}{L}) > 0,6 \cos \beta'$.

Wanneer aan de tweede voorwaarde niet wordt voldaan dan is de kortingscoëfficiënt $0,6 \cos \beta'$. Voor de belopen zonder berm

blijkt de voorgestelde kortingscoëfficiënt niet bruikbaar; wellicht is dit terug te brengen op de niet geheel bevredigende opstelling der proeven.

Analoog aan hetgeen onder f. en g. is vermeld is het bij de Studiedienst Vlissingen in het geval van scheve golfinval gebruikelijk de gemiddelde golflengte $\bar{L}$ te vervangen door de dominerende golflengte $L^{1/3}$; voorts wordt voor de term $B:L^{1/3}$ als maximum waarde 0,25 aangehouden, wat analytisch gesproken niet geheel bevredigend is, maar in de praktijk (bij relatief lage waarden van β' bijv. $\beta' < 45^\circ$) enige extra veiligheid geeft.

- i. Ten slotte verdient het nog de aandacht dat in de formule enkele factoren ontbreken, die wel degelijk van belang zullen zijn. Te denken valt in dit verband aan de periode $T^{1/3}$, de steilheid $(H^{1/3} : L^{1/3})$, de waterdiepte aan de teen van de dijk en aan ε , de breedte van het energiespectrum (zie par. 5.2.1); terwijl de golfopstuwung, optredend bij een hooggelegen voorland, niet expliciet uit (10) blijkt.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat aan (10) vele onvolkomenheden kleven. Inmiddels is een in beginsel veel betere formule ter beschikking gekomen, die in par. 5.2.2. zal worden besproken. Deze formule is echter voor vele gevallen nog niet toereikend, zodat noodgedwongen (10) nog veelvuldig wordt toegepast; bij de Studiedienst Vlissingen wordt daarbij aangehouden $f = 1$ en $L = L^{1/3}$; er is reden aan te nemen dat de formule dan redelijke waarden voor z oplevert (in par. 5.2.2 zal dit nog nader ter sprake komen).

Volledigheidshalve zij - in aansluiting op par. 3 en het hiervoor onder g. gestelde - nog vermeld dat langs de Westerschelde de buitenberm van een "deltadijk" het onderste deel van het buitenbeloop ter hoogte van het ontwerppeil snijdt en vanaf dit peil oploopt onder 1:15. De hoogteligging van de buitenberm wordt dus niet afgestemd op de maatgevende stormvloedstand, die duidelijk lager dan het ontwerppeil kan liggen (par. 3).

5.2 RECENTE ONTWIKKELINGEN OP GOLFOPLOOPGEBIED

5.2.1 Algemeen

Na de ingebruikneming van een nieuwe windgoot door het Waterloopkundig Laboratorium in Delft heeft het golfoplooponderzoek nieuwe impulsen gekregen. In deze windgoot kunnen m.b.v. een geprogrammeerd golfschot onregelmatige golven opgewekt worden, die zeer nauwkeurig in overeenstemming zijn met in de natuur gemeten golfbeelden (of spectra).

Resultaten van modelonderzoeken met onregelmatige golven zijn gepubliceerd in lit. 18 en lit. 19, die in de volgende paragraafonderdelen 5.2.2 en 5.2.3 ter sprake zullen komen.

Alvorens hiertoe over te gaan zullen eerst enkele in de volgende paragraafonderdelen ter sprake komende begrippen omschreven worden n.l.:

- Het energiedichtheidsspectrum (ook wel periodenspectrum of kortweg spectrum genoemd): de functie $S(f)$ die de verdeling van de golfenergie aangeeft over de in de golfbeweging voorkomende frequenties (f);
- De breedte van het spectrum ξ : een onbenoemde maat voor

deze breedte volgens de volgende definitie

$$\xi^2 = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4};$$

hierin zijn m_0 , m_2 en m_4 respectievelijk het nulmoment, het tweede en het vierde moment van het spectrum die in hun algemene vorm berekend kunnen worden uit:

$$m_n = \int_0^\infty S(f) f^n df$$

De term m_0 kan dus omschreven worden als de oppervlakte van het spectrum en is evenredig met de golfenergie per eenheid van oppervlakte E ($E = \rho g m_0$).

- De periode van de spectrale component met de grootste energiedichtheid $\hat{T}$; deze grootte wordt ook wel aangeduid door T_0 , welke schrijfwijze echter niet gebruikt is om niet in verwarring te geraken met de bij de Studiedienst Vlissingen gebruikelijke schrijfwijze van de golfkarakteristieken op diep water.

5.2.2 Een moderne golfoploopformule

Lit. 18 beschrijft een modelonderzoek naar de golfoploop van onregelmatige golven in relatie tot de vorm van het energiedichtheidsspectrum. Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek is de volgende formule voor de 2%-golfoploop opgesteld:

$$Z = C(\epsilon) \hat{T} \sqrt{g H_{1/3}} \operatorname{tg} \alpha \quad (11)$$

waarin:

$C(\epsilon)$ een constante is, die in belangrijke mate afhankelijk is van de zgn. breedte van het energiedichtheidsspectrum ϵ , en $\hat{T}$ de periode is van de spectrale

component met de grootste energiedichtheid. De formule is gegrond op die van Hunt (lit. 17^a). Het spectrum is bij dit onderzoek bepaald uit de golfregistratie op "diep water". De golfkarakteristieken $H_{1/3}$ en $\hat{T}$ en de breedte van het spectrum, die vervolgens uit dit spectrum zijn bepaald, hebben dan ook betrekking op naar verhouding diep water (N.B. bij de klassieke oploopformule - par. 5.1 - hebben de golfkarakteristieken betrekking op de waterdiepte ter plaatse van de teen van de dijk)

Voor enkele gevallen (w.o. twee Noordzeespectra) is in het model door middel van proeven de waarde van $C(\mathcal{E})$ vastgesteld; de gevonden waarden liggen tussen 0,55 en 0,74 (lit. 18, fig. 11 en lit 17^b, fig. 5.9), terwijl de bijbehorende waarden van $\mathcal{E}$ variëren van 0,22 tot 0,59.

Met behulp van de gegevens van het lichtschip "Goeree" (lit. 20) is bij de Studiedienst Vlissingen een verband gelegd tussen $\hat{T}$ en $\bar{T}$, dat weergegeven is op bijlage 8 en waaruit als voorlopige betrekking voor $\hat{T}$ kon worden afgeleid $\hat{T} = 1,41\bar{T}$, zij het dat er sprake is van een behoorlijk grote spreiding.

De toepasbaarheid van formule (11) is beperkt tot die situaties waarin de golfkammen evenwijdig zijn aan de oever, de dijk een vlak buitenbeloop heeft, het buitenbeloop van de dijk doorloopt tot het naar verhouding diepe water en het energiespectrum van de golfbeweging voor de dijk bekend is. Dit betekent dat deze formule niet zonder meer geschikt is voor praktische toepassing langs de Westerschelde en langs de Zeeuwse kust. Inmiddels is een nader onderzoek ingesteld naar de mogelijkheden van (11) voor de kust van West-Zeeuwsch Vlaanderen, dat onder 5.2.3 zal worden besproken.

5.2.3 De invloed van waterdiepte en berm op de golfoploop

In opdracht van de Studiedienst Vlissingen is door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft een stelselmatig onderzoek ingesteld naar de invloed van de waterdiepte aan de teen van de dijk op de golfoploop bij een loodrechte inval van de golven; bij de bewerking der modeluitkomsten is aangesloten op de nieuwe inzichten, die wiskundig zijn uitgedrukt in formule (11).

Als spectrumvorm is een "gemiddeld Noordzee spectrum" (spectrale breedte $\mathcal{E} \approx 0,5$) gekozen; er zijn daarbij twee perioden $\hat{T}$ onderzocht, elk met twee dominerende golfhoogten, te weten $\hat{T} = 8,5$ s met $H_{1/3} = 3$ respectievelijk 4 m en $\hat{T} = 11$ s met $H_{1/3} = 4$ respectievelijk 5,2 m. De overgang van diep water naar het ondiepe water aan de teen van de dijk is verwezenlijkt door een 200 m breed voorland, dat in de meeste gevallen een helling 1:40 had; in een beperkt aantal gevallen is het bovenste gedeelte van dit voorland vanaf een niveau van 4 m onder de waterstand steiler (en wel onder 1:20) opgezet. Zowel de helling van het dijktalud als de waterdiepte aan de teen van de dijk is vrij sterk gevarieerd.

Een overzicht van de onderzochte situaties biedt bijlage 9; staat 1 vermeldt de gevallen zonder berm, staat 2 (voor één specifiek geval, aangegeven in staat 1) geeft het schema van onderzoek naar de invloed van de hoogteligging en de breedte van de berm. Ten slotte zijn ook nog een aantal gevallen met regelmatige golven (staat 3, bijlage 9) en enkele plaatselijke Zeeuwse situaties onderzocht, die hier echter onbesproken blijven. Lit. 19 bevat het modelverslag van het gehele onderzoek.

De - tijdrovende - stelselmatige vergelijking van de modelresultaten met de in par. 5.1 beschreven berekeningswijze kon nog niet worden afgesloten; de belangrijkste uitkomsten van het onderzoek kunnen als volgt worden samengevat:

A. Wanneer de waterdiepte aan de teen meer dan 6 m bedraagt neemt bij het 200 m brede voorland onder 1:40 onder de beschouwde golfomstandigheden de golfoploop niet noemenswaard meer toe (lit. 19, fig. 22); in dit geval voldoet de 2%-golfoploop aan de formule (11), waarbij $C(\mathcal{E}) = 0,62$.

B. Wordt de waterdiepte aan de teen van de dijk kleiner dan 6 m, dan kan de formule voor de golfoploop als volgt worden geschreven:

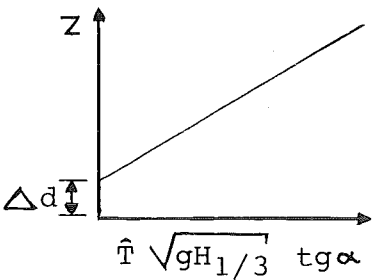
$$z = C' \hat{T} \sqrt{gH_{1/3}} \operatorname{tg} \alpha + \Delta d \quad (11^a)$$

Deze betrekking is geldig mits $\hat{T} \sqrt{gH_{1/3}} \operatorname{tg} \alpha \geq 6\text{m}$; men maakt echter geen grote fout als men de formule toepast zolang $z > 2\text{ m}$.

- Naar aanleiding van (11^a) kan het volgende worden opgemerkt:
- De invoering van C' in plaats van $C(\mathcal{E})$ is op theoretische gronden nodig; voor een Rayleigh-verdeling (par. 4.1) is namelijk de minimale waarde van $C(\mathcal{E}) = 0,48$ (voor $\mathcal{E} = 0$; lit. 17^b, par. 5.3 en fig. III 5.9); C' is echter in een aantal gevallen nog kleiner dan deze minimale waarde.
 - De term Δd is de "nulverschuiving" uit fig. 26 van lit. 19 en heeft niet zonder meer een fysische betekenis.

Wel hangt zijn aanwezigheid samen met een zekere, niet verwaarloosbare verhoging van de gemiddelde waterstand die bij een hooggelegen voorland ter hoogte van de dijk optreedt ten gevolge van o.a. het massatransport van de golven. Het volgende tabelletje geeft enkele waarden van C' en Δd , afgeleid uit lit. 19 fig 26.

waterdiepte ter plaatse van teen dijk	helling voorland	C'	Δd
2 m	1:40	0,19	1,2 m
2 m	1:40/1:20	0,32	0,8 m
4 m	1:40	0,45	0,6 m
$\geq 6\text{ m}$	1:40	0,62	0



- C. De invloed van de bermbreedte op de golfoploop is onderzocht bij steeds dezelfde golfhoogte ($H_{1/3} = 4$ m) en -periode ($\hat{T} = 8,5$ s).

De gezamenlijke invloed van de golfhoogte, -periode én bermbreedte op de golfoploop kan dan ook niet bepaald worden. In het beschouwde geval neemt de golfoploop bij toeneming van de bermbreedte volgens fig. 28 van lit. 19 af totdat bij een breedte van ongeveer 25 m de verdere vermindering niet meer van betekenis is. De golfoploop is dan teruggebracht tot de helft van de oploop bij een talud zonder berm. (In par. 5.1 onder g. is vermeld dat als max. golfloopreductie ten gevolge van een berm wordt aangehouden 0,25).

- D. De invloed van de hoogteligging van de berm* op de golfoploop blijkt volgens lit. 19, fig. 29 vooral voor de smalle bermen niet groot te zijn. Voor de bermen van 7,5 en 15 m ligt het minimum van de golfoploop bij een bermhoogte gelijk aan de waterstand.

Een te hoge ligging heeft waarschijnlijk dezelfde ongunstige invloed als een te lage ligging, maar bij de onderzochte gevallen (staat 2, bijlage 9) beloopt het verschil ten opzichte van de minimale golfoploop 5% of iets meer. Daar voor de bermen met breedten van 25 en 35 m geen situaties onderzocht zijn, waarbij de waterstand hoger was dan de berm, is het niet duidelijk of ook bij deze brede bermen de minimumgolfoploop bereikt wordt bij een waterstand gelijk aan de hoogteligging van de berm.

- E. Voor een dijk zonder berm blijkt in het geval de waterdiepte aan de teen van de dijk groter is

dan 6 m de golfoploop voor $\hat{T} = 8,5$ s en $H_{1/3} = 4$ m (fig. 22 lit. 19) ten hoogste 0,5 m groter te zijn dan volgens de klassieke golfoploopformule (10). Volgens mededeling van de zijde van het W.L. was in het model de steilheid ($H_{1/3}:L_{15\%}$) wat kleiner dan 0,04, terwijl (10) is afgeleid voor een steilheid 0,05 (par. 5.1); de overeenstemming tussen (11) en (10) is in dit geval - rekening houdend met de steilheid - dus redelijk.

Een nadere vergelijking van de uitkomsten volgens (10) met de uitkomsten der overige in M 1084 onderzochte gevallen is nog niet gemaakt. Wel heeft dit modelonderzoek nog eens - ten overvloede - de invloed van de golfsteilheid (c.q. de golfperiode) op de golfoploop aangetoond. De Deltadijken hebben overigens altijd een buitenberm zodat bij toepassing van (10) wel altijd een golfenlge (n.l. $L_{1/3}$) in rekening wordt gebracht. Een toetsing hiervan is in elk geval al nodig omdat het - gelet op (11) - de vraag is of deze golfenlge wel een bruikbare grootheid is.

* Als hoogteligging van een berm wordt aangehouden de hoogte van de voorzijde.

5.3 BENODIGDE KRUINHOOGTE EN GOLFOVERSLAG

Naar in par. 2 en 3 is uiteengezet wordt door de Studiedienst Vlissingen het plaatselijke ontwerppeil, zoals dat in het rapport der Deltacommissie is vastgesteld, niet zonder meer aangehouden als maatgevende waterstand bij de vaststelling van het Deltaprofiel van een dijkvak. In plaats van het ontwerppeil wordt uitgegaan van die superstormvloedstand P_{ϕ} , die te zamen met de daarbij behorende 2%-golfoploop z het hoogste peil oplevert.

De benodigde kruinhoogte is nu gelijk aan de som van:

- de maatgevende superstormvloedstand P_{ϕ} , besproken in par. 3;
- de bijbehorende golfoploop z , besproken in par. 5.1 en 5.2;
- een bui-stooteffect, te berekenen volgens de richtlijnen van lit. 1c;
- een overhoogte van 0,50 m.

De overhoogte dient volgens de Deltacommissie ter compensering van klink van diepere lagen, de relatieve zeespiegelrijzing e.d.; een uitgebreide motivering hiervan is te vinden in lit. 1a, par. 8. In feite is de overhoogte mede te beschouwen als een reserve in verband met mogelijke ongunstige veranderingen in de situatie als gevolg van wijziging in het geulen- en platenstelsel. Zodra deze overhoogte niet meer aanwezig is zal tot dijksverzwaring overgegaan moeten worden.

Volgens deze laatste richtlijn van de Deltacommissie is dus voor een willekeurig dijkvak als limietgeval aanvaardbaar de situatie, die zich na verloop van tijd

zal kunnen voordoen, waarbij de kruinhoogte gelegen is op het peil van de 2%-golfoploop, wat in het algemeen met wateroverslag gepaard zal gaan. Ofschoon er geen aanleiding is deze richtlijn onvoldoende te achten is het toch van belang te weten hoe groot het waterbezwaar door deze overslag zal zijn en wel om de volgende twee redenen:

- a. het ligt in de rede dat de grootte van het waterbezwaar afhankelijk zal zijn van het energiedichtheidsspectrum van de golven voor de dijk en dus niet overal gelijk zal zijn;
- b. er zijn gevallen, waarin overhoogte door de plaatselijke situatie voorshands niet aangebracht kan worden en de overslag bovendien soms in riolen geborgen moet kunnen worden. In deze gevallen heeft men de maximaal toelaatbare overslaghoeveelheid gesteld op 1 à 2 l/s per m^1 .

Een algemeen onderzoek naar de overslag van een dijk met een ononderbroken glad talud biedt lit. 21; bij deze proeven is gebruik gemaakt van windgolven, terwijl de golfsteilheid van de gemiddelde golf ($H_{50}:L_{50}$) bij de verschillende proeven varieerde tussen 0,034 en 0,062. Het energiedichtheidsspectrum is bij de proeven buiten beschouwing gebleven. Bij het hanteren van de resultaten van dit onderzoek moet wel rekening gehouden worden met het feit dat volgens fig.11 van lit. 18 de golfoploop in een model ten gevolge van windgolven 10 à 20% lager is dan de oploop die door "natuurlijke" onregelmatige golven in een model wordt veroorzaakt.

De overslaghoeveelheden volgens lit.21 zouden op grond hiervan

wat te laag zijn. Een nadere bestudering van een en ander lijkt wel gewenst.

Een tweede onderzoek, betrekking hebbend op verticale muren, al dan niet aansluitend op een steil en ruw beloop, biedt lit. 22; de uitkomsten ervan kunnen niet worden vergeleken met andere dezerzijds beschikbare modelresultaten.

6 ENKELE KRITISCHE OPMERKINGEN BIJ DE BESCHREVEN BEREKENINGSMETHODE.

6.1 DE SUPERSTORMVLOEDSTANDEN

Zoals in par. 3 is beschreven wordt er bij de bepaling van de superstormvloedstand voor een willekeurige windrichting (en op een willekeurige plaats in het Deltagebied) van uitgegaan dat het windeffect bij eenzelfde overschrijdingsfrequentie van het hoogwater voor de beschouwde windrichtingen volgens een cosinus-functie verloopt. Deze reeds lange tijd bij de Studiedienst Vliissingen toegepaste procedure is gebaseerd op de door M.P.H. Weenink afgeleide vergelijkingen voor het windeffect langs de zuidelijke kust van de Noordzee ten gevolge van een windveld boven deze zee (lit. 1b en lit. 2). De Noordzee is hierbij verdeeld in een Noordvak, een Zuidvak (onderverdeeld in drie secties) en een Kanaalvak. Per vak wordt bij deze procedure een stationnair windveld met een constante windsnelheid en -richting aanwezig gedacht; elk dezer windvelden veroorzaakt een windeffect op een willekeurige plaats langs onze kust. Het totale windeffect op zo'n plaats is dan de som der drie windeffecten.

Het door elk vak afzonderlijk veroorzaakte windeffect verloopt met de windrichting boven dit vak als een cosinusfunctie (lit. 1b, fig. 3.1.14 t/m 3.1.16);

deze functies zijn echter onderling in fase verschoven. Er moet dus aan de volgende twee voorwaarden voldaan zijn wil het totale windeffect ook een cosinusfunctie zijn van de windrichting:

1e. Het windveld boven ieder vak moet stationnair en homogeen zijn wat betreft de windrichting en windsnelheid, volgens lit. 1d gedurende ten minste 5 uur. Dit houdt in dat het berekende windeffect een "evenwichtswindeffect" is. Wanneer de windsnelheid een duidelijk niet-stationnair karakter heeft is het mogelijk dat het zgn. opzwiepeffect optreedt (lit. 1b, hoofdstuk 3.2).

2e. Tussen de windrichtingen boven de afzonderlijke vakken moet een constant verschil bestaan. Zo treedt het maximum windeffect* te Hoek van Holland op bij windrichtingen boven het Noordvak, het Zuidvak en het Kanaalvak van respectievelijk 350° , 320° en 230° (lit. 1b, fig. 3.1.14 t/m 3.1.16). Daaruit volgt dat de in par. 3 vermelde formule 2a theoretisch gesproken alleen juist is wanneer die windeffecten voor de Nederlandse kust worden beschouwd, die veroorzaakt worden door stormen, waarbij

a. de hoeken tussen de bepalende windrichtingen in de drie vakken gelijk zijn aan die van de windrichtingen combinatie 350° , 320° en 230°

en

b. de windsnelheid per vak onafhankelijk is van de windrichting.

* Hiermee wordt niet het ontwerppeil bedoeld; dat wordt geacht op te treden tijdens een superstorm met een windrichting van 320° boven zowel het Zuidvak, het Noordvak en het Kanaalvak.

In feite zal aan deze uitgangspunten niet zijn voldaan; in dit verband moge hier worden volstaan met enkele opmerkingen:

ad 1^e: Een poging om te komen tot een wat verfijnder schema met betrekking tot de windsnelheid bevat lit. 25; daarbij is uitgegaan van windwaarnemingen aan boord van Nederlandse lichtschepen uit de jaren 1911-1939 (Schouwenbank en Maas) en 1949-1961 (Goeree).

Volgens dit schema neemt de windsnelheid tijdens een superstorm uit het noordwesten voor het betrokken zeegebied trapsgewijs toe tot een maximum van 42 m/s. Dit schema is opgesteld met het oog op golfberekeningen.

ad 2^e: Een verdere complicatie is dat voor het lichtschip Goeree voor hoge windsnelheden geldt dat hoe meer de windrichting van het noordwesten afwijkt, des te geringer de overschrijdingsfrequentie van een bepaalde (hoge) windsnelheid is; bijlage 10 brengt dit in beeld. Hoe dit voor de beide andere vakken is gesteld is niet bekend. In feite wordt bij toepassing van formule (2a) de windrichting boven het Zuidvak bepalend gesteld. Indien dit uitgangspunt praktisch juist is levert toepassing van (2a) voor van het noordwesten afwijkende windrichtingen een te hoge waterstand op omdat de feitelijke windsnelheid dan lager zal zijn dan bij een N.W.storm. Of de definitie van de opzet O_0 als behorende bij het gemiddelde springtij (par. 3) inderdaad een extra veiligheid

oplevert kan hier in het midden worden gelaten.

Samenvattend kan worden gesteld dat bij toepassing van (2a) in feite wordt uitgegaan van een grote mate van schematisatie en idealisering der weerkundige omstandigheden tijdens superstormvloedstanden. Ofschoon er bepaald geen reden is te veronderstellen dat met (2a) voor superstormvloedstanden uit willekeurige windrichtingen te lage topstanden worden berekend lijkt een nader onderzoek naar het verloop van deze topstanden met de windrichting toch ten zeerste gewenst.

6.2 DE BEPALENDE GOLFHOOGTEN VOLGENS DE GOLFGROEIGRAFIEKEN

Zoals in par. 4 reeds is vermeld wordt voor golfberekeningen in het Deltagebied voornamelijk gebruik gemaakt van de golfgroeigrafieken van het Waterloopkundig Laboratorium en van Bretschneider. Deze beide methoden, gegrond dan wel mede gegrond op natuurwaarnemingen, leveren echter geen identieke resultaten op.

Zo zijn bij aanzienlijke waterdiepten en strijklengten de uitkomsten voor de dominerende golfhoogten bij de methode van het Waterloopkundig Laboratorium hoger dan die van de methode Bretschneider; voor de golflengten (c.q. -perioden) geldt - en in veel sterkere mate (zie bijl. 2 en 4) - het tegengestelde. De verschillen tussen de uitkomsten van de golfhoogte-berekeningen volgens deze methoden blijven in het toepassingsgebied echter beperkt tot 10 à 20%, die, gezien

het complexe karakter van windgolven op zee, ook wel konden worden verwacht. Volledigheidshalve dient er nog op te worden gewezen dat in de golfgroeigrafiek van het Waterloopkundig Laboratorium voor de windsnelheid W_{graf} een hoogte is aangehouden van $W_{\text{graf}}^2/5g$. In de meteorologie wordt voor de gestandaardiseerde windsnelheid W een hoogte van 10 m aangehouden. Om deze windsnelheid te kunnen gebruiken voor de onderhavige grafiek dient men volgens lit. 1^d als herleidingsformule aan te houden:

$$W_{\text{graf}} = \sqrt[5]{\frac{W^7}{5g \cdot 10}}$$

Door deze bewerking wordt bij hoge windsnelheden het verschil in golfhoogte tussen de methode van het Waterloopkundig Laboratorium en die van Bretschneider nog groter, om welke reden ze bij de Studiedienst Vlissingen niet wordt toegepast en wordt aangehouden $W_{\text{graf}} = 31 \text{ m/s}$. Hiervan uitgaande blijken de golfhoogten voor diep water volgens beide methoden redelijk te liggen in de door Wiegel samengestelde verzamelgrafiek van een groot aantal waarnemingen (lit. 11, fig. 9.24). Overigens is de spreiding in deze waarnemingen groot.

Men kan zich echter afvragen of toepassing van beide methoden voor Zeeland niet tot te ongunstige waarden leidt, dit op grond van de volgende overwegingen.

- Met behulp van beide methoden uitgevoerde controleberekeningen voor golfhoogtewaarnemingen in de Westerscheldemond en op de Westerschelde leverden te hoge waarden op voor de golfhoogten.

Hierbij dient overigens te worden opgemerkt dat het niet eenvoudig is de meteorologische omstandigheden, die het golfveld opwekten, nauwkeurig te bepalen.

- Resultaten van theoretische onderzoeken uit Japan (lit. 23), die betrekking hebben op diep water, leiden (in het toepassingsgebied: $10 < \frac{gF}{W^2} < 1000$) tot lagere golfhoogten dan de golfgroeigrafieken.
- Uit een latere publicatie van Bretschneider (lit. 24) volgt voor de grotere diepwatervolven een lagere golfhoogte dan volgens zijn in lit 1^d gegeven grafiek. Op bijlage 4 is deze herziene omhullende voor "diep water" (met de grafiek van het Waterloopkundig Laboratorium) ingetekend. Deze verandering zou ook binnen het Zeeuwsche toepassingsgebied (met waterdiepten tot 25 m) van invloed kunnen zijn.

Zoals reeds in par. 4 is vermeld wordt tijdens een superstormvloed, ongeacht de windrichting en de plaats in het Deltagebied, voor de windsnelheid een waarde van 31 m/s genomen. Aangenomen moet worden dat deze waarde voor windrichtingen, die aanzienlijk van noordwest afwijken, te hoog is (par. 6.1), terwijl voor plaatsen op enige afstand van de kust een vermindering van genoemde waarde ten gevolge van afremming van de wind alleszins aannemelijk lijkt. De keuze van de waarde van 31 m/s voor de bepalende windsnelheid (op zee) tijdens een superstormvloed houdt niet in dat hogere windsnelheden niet kunnen optreden. In par. 6.1, blz. 23 is erop gewezen dat een 3-uurs waarneming van de windsnelheid op zee bij een overschrijdingskans van 10^{-4} p.j. zelfs een waarde van

ongeveer 42 m/s zou kunnen bereiken. Het in lit. 25 geopperde schema van windsnelheden kan echter niet voor toepassing in aanmerking komen zolang aanvullend weerkundig onderzoek niet aannemelijk heeft gemaakt dat dit schema een reëel uitgangspunt voor superstormvloedomstandigheden biedt.

Samenvattend kan worden gesteld dat aan een kritische beschouwing van de golfgroeimethoden behoefte bestaat.

7 AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK.

In de voorgaande paragrafen is naar voren gekomen dat de kennis betreffende de factoren, die de uitgangspunten bepalen voor de vaststelling van Deltaprofielen van zeeweringen, zeker nog niet volledig is. Ook aan de werkwijzen, die gevolgd worden om het gedrag van windgolven in een zeearm te bepalen, kleven onvolkomenheden, waarvan de gevolgen niet geheel duidelijk zijn. Aanvulling van de kennis op deze gebieden moet van groot belang worden geacht, met name reeds omdat verwezenlijking van het programma voor de dijkverzwaringen in Zeeland nog een aantal jaren in beslag zal nemen terwijl met de duinverzwaringen nog moet worden begonnen. De met deze werken gemoeide kosten en belangen rechtvaardigen op zichzelf ten volle een krachtige voortzetting van het onderzoek naar de vermelde factoren en verschijnselen, ten einde de ontwerpen voor verzwaringen op zo verantwoord mogelijke wijze te maken. Daarnaast is van veel belang dat ook na de voltooiing

van het programma van Deltaverzwaringen te eniger tijd een verdere (en dan relatief kostbare) versterking van bepaalde zeeweringen nodig zal kunnen blijken te zijn doordat bij voorbeeld alsdan ter plaatse:

- de overhoogte verloren zal zijn gegaan, hetzij door relatieve kruindaling, hetzij (indirect) door wijzigingen van het geulenstelsel in de nabijheid van het desbetreffende dijkvak (par. 5.3);
- de economische reductie van 30 cm (par. 3) ongedaan zal worden gemaakt of
- werken in uitvoering zullen komen.

Een derde argument voor voortgezet onderzoek kan worden ontleend aan de blijvende eisen, waaraan de dijken langs de afgesloten zeearmen zullen moeten voldoen en aan de noodzaak richtlijnen te formuleren, die bij tijdelijke voorzieningen aan de Zeeuwse wateren gevolgd zullen moeten worden in verband met de beveiliging tegen overstromingen.

Op grond van voorgaande paragrafen kunnen met betrekking tot het gewenste verdere onderzoek drie soorten onderwerpen worden onderscheiden, te weten onderzoekingen samenhangend met weerkundige vraagstukken, onderzoekingen betreffende de opwekking en het gedrag van golven en onderzoekingen in verband met golfoploopverschijnselen. Deze drie groepen onderwerpen komen hieronder in deze volgorde nader aan de orde. Het voorgestelde "programma van onderzoek" is gericht op de situatie in Zeeland, maar zal ook van belang zijn voor andere gebieden in Nederland.

*A. ONDERZOEKINGEN, SAMENHANGEND MET
WEERKUNDIGE VRAAGSTUKKEN*

Hiervoor kunnen de volgende vragen worden geformuleerd:

A1: Wat zijn voor de Zeeuwse peilstations de stormvloedstanden veroorzaakt door superstormen met overschrijdingsfrequenties van 10^{-4} en $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar gekenmerkt door windrichtingen te Vlissingen afwijkend van 320° en wat (met het oog op de golfhoogte) is per windrichting de bijbehorende windsnelheid te Vlissingen?

Toelichting: voorgaande vraag betreft de toetsing of verbetering van formule (2a) naar aanleiding van het gestelde in par. 6.1; hierbij zijn vooral de windrichtingen tussen zuid en noordwest van belang.

A2: Op welke landwaartse afneming van de windsnelheid tijdens superstormvloeden mag in Zeeland worden gerekend en dient daarbij landwaarts gaande een verandering der windrichting in rekening te worden gebracht?

Toelichting: het eerste, belangrijkste, deel der vraag vloeit voort uit het gestelde in par. 6.2

A3: Kan worden volstaan met 10° als tijdelijke (d.i. 10 à 15 min. durende) en plaatselijke verandering van de windrichting tijdens superstormvloeden?

A4: Wat zijn te Vlissingen de bepalende windsnelheden uit westelijke en noordwestelijke richting voor stormvloedstanden met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-2} en $3 \cdot 10^{-3}$ per jaar?

Toelichting: deze vraag slaat op uitvoering van werken en tijdelijke voorzieningen.

*B. ONDERZOEKINGEN, BETREFFENDE DE
OPWEKKING EN HET GEDRAG VAN GOLVEN*

B1: Toetsing van de golfgroeigrafieken van het Waterloopkundig Laboratorium en van Bretschneider aan de hand van natuurmetingen op zee, in de zeegaten en in de Zeeuwse Stroom.

B2: Verifiëring van de juistheid der in par. 4.2 t/m 4.4 beschreven bodemstyleringen en de daarbij toegepaste rekenmethoden met behulp van natuurmetingen op de Zeeuwse Stroom.

Toelichting: Dit betreft:

- de vakkenverdeling met de zgn. fictieve strijklengten (werkwijze II, par. 4.2) en de eventueel daarbij aan te nemen constante golfperiode (slot par. 4.3);
- de methoden Miche (bepaling waarde k_m) en Bretschneider-Reid (par. 4.2 onder b.);
- de toepasbaarheid van de gangbare verondiepingsmethode (par. 4.4 onder a.).

Met de uitvoering van een ter zake dienend meetprogramma op de Westerschelde is inmiddels een begin gemaakt.

B3: Vaststelling van een of meer kenmerkende energiedichtheidspectra op de Westerschelde en van de daarbij behorende golfkarakteristieken.

Toelichting: Dit is van belang met het oog op het verdere golfoploonderzoek (zie onder C).

*C. ONDERZOEKINGEN IN VERBAND MET HET
GOLFOPLOOPVERSCHIJNSEL*

C1: Verifiëring van de in par. 5.2.2 en par. 5.2.3 genoemde golfoploopformules (11) en (11a) met behulp van natuurmetingen langs de kust en op de Westerschelde.

C2: Aanvullend respectievelijk hernieuwd golfoplooponderzoek in een model (waarbij andere, in de natuur gemeten, spectra gebruikt worden) met betrekking tot:

- a. de optimale hoogteligging en breedte van bermen zowel bij loodrecht als scheef invallende golven (dit in aansluiting op M 1084).
- b. de invloed van scheef invallende golven op de golfoploop tegen een be-loop met, respectievelijk zonder berm.

C3: Bepaling van de overslaghoeveelheid bij een hoogwaterkering, waarvan de kruin gelegen is op het peil van de 2%-golfoploop.

C4: Bepaling van de invloed van andere voorlandhellingen dan de in M 1084 onderzochte (strand) hellingen op de golfoploop.

8 SAMENVATTING EN CONCLUSIES.

Deze nota behandelt in de eerste plaats de wijze waarop het Delta-profiel van de dijken langs de Westerschelde door de Studiedienst Vlissingen berekend wordt; in welk verband wordt ingegaan op de veronderstellingen, die aan de berekeningsmethode ten grondslag liggen. Deze uiteenzettingen leiden tot een kritische beschouwing van de gemaakte veronderstellingen en van de gebruikte standaardprocedure; deze worden besloten met een opsomming van een aantal gebieden, waarop nader onderzoek gewenst is.

De kruinhoogte en het dwarsprofiel van hoogwaterkeringen worden in beginsel vastgesteld aan de hand van de richtlijnen en aanbevelingen zoals deze door de

Deltacommissie in haar rapport zijn geformuleerd en in par. 2 kort zijn samengevat. Deze hebben betrekking op de hoogte van het ontwerppeil (de zgn. superstormvloedstand), de vaststelling van de golfoploophoogte tegen het buitenbeloop van de dijk, de extra verhoging van de waterstand door een bui-stoot en een overhoogte in verband met klink, zeespiegelrijzing enz.

Het ontwerppeil kan, rekening houdende met een economische reductie en een waterstandverhoging ten gevolge van de Delta-werken in het geval van een noord-westerstorm direct afgeleid worden uit het basispeil, dat een overschrijdingskans heeft van 1% per 100 jaar en voor alle plaatsen langs de Westerschelde door de Deltacommissie is vastgesteld. Daar voor vele dijkvakken langs de Westerschelde een storm met een van het N.W. afwijkende windrichting bepalend zal zijn is een rekenmethode vastgesteld waarmee de superstormvloedstand voor willekeurige windrichtingen kan worden vastgesteld (par. 3).

De wijze, waarop de tijdens de superstorm te verwachten dominerende golfafmetingen bepaald kunnen worden en de factoren die hierbij een rol spelen (windsnelheid en -duur, strijklengte en waterdiepte) worden beschreven in par. 4. Hierbij is voor wat betreft de dominerende golfhoogte onderscheid gemaakt tussen de eenvoudige gevallen waarbij met één gemiddelde waterdiepte over de gehele strijklengte gerekend mag worden (par. 4.2, werkwijze I) en de overige situaties waarbij een schematisatie van de strijklengte in vakken met constante diepte noodzakelijk is (par. 4.2, werkwijze II). Voor de laatstgenoemde werkwijze staan voor de berekening van de golf-demping door bodemwrijving over

uitgestrekte ondiepten de methoden van Miche en van Bretschneider-Reid ter beschikking (gevallen b1 en b2 uit par. 4.2). Par. 4.3 behandelt daarop aansluitend de bepaling van de dominerende golf-lengte en -periode. Voor al deze bewerkingen worden zowel de golf-groeigrafieken van het Waterloopkundig Laboratorium als van Bretschneider gebruikt, met behulp waarvan de bijlagen 1 t/m 6 zijn samengesteld.

Bij nadering van de oever ondergaat het golfveld veranderingen ten gevolge van verondieping, refractie, diffractie, bodemwrijving en breking. De ter beschikking staande middelen om de invloed van deze factoren in rekening te brengen zijn vermeld in par. 4.4. Naast de hoogte van de superstormvloedstand wordt de kruinhoogte van een dijk voornamelijk bepaald door de golfoploophoogte. Tot voor kort is voor de bepaling van deze grootte uitsluitend gebruik gemaakt van de "klassieke" golfoploopformule, een en ander volgens de aanbevelingen van de Deltacommissie. In par. 5.1 wordt uitgebreid ingegaan op de onvolkomen wijze, waarop de invloed van de verschillende variabelen in deze formule tot uitdrukking komt en op haar beperkte geldigheidsgebied. Vervolgens wordt in par. 5.2.1 aandacht besteed aan recente ontwikkelingen op dit gebied waardoor - mede aan de hand van resultaten van modelonderzoekingen in de windgoot van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft - de opstelling van een nieuwe betrekking voor de golfoploop mogelijk werd. Een belangrijke bijdrage aan de nieuwe inzichten op dit gebied is geleverd door het modelonderzoek naar de golfoploop tegen een dijk met een hooggelegen voorland. In dit onderzoek, dat in opdracht van de Studiedienst Vlissingen eveneens door

het Waterloopkundig Laboratorium te Delft is uitgevoerd, is de invloed van de waterdiepte aan de teen van de dijk uitvoerig bestudeerd, terwijl daarnaast nog enige aandacht is besteed aan de invloed van de bermhoogte en breedte (par. 5.2.2). De toepasbaarheid van de moderne golfoploopformule is vooralsnog beperkt tot die situaties waarvoor de vorm van het energiedichtheids-spectrum bekend is.

Par. 5.3 behelst enkele opmerkingen betreffende het waterbezwaar, dat veroorzaakt wordt door 2% der oplopende golven, indien de kruinhoogte op dit golfoplooppeil is gelegen.

Naar aanleiding van de omschreven berekeningsmethode volgen in par. 6 enkele kritische kanttekeningen; deze betreffen de wijze waarop de superstormvloedstand voor een willekeurige windrichting berekend wordt (par. 6.1) en de bepaling van de dominerende golfhoogte en -lengte m.b.v. de golfgroeigrafieken (par. 6.2). Uit de paragrafen 3 t/m 6 blijkt duidelijk dat de beschikbare kennis voor het bepalen van Deltaprofielen van dijken verre van volledig is. Daar aanvulling en uitbreiding van de kennis op dit gebied om velerlei redenen noodzakelijk is bevat par. 7 een opsomming van de vraagstukken op welker gebied nader onderzoek nodig moet worden geacht.

CONCLUSIES:

1. Uitgaande van de hoogte van het ontwerppeil, zoals dit voor een N.W. storm is vastgesteld door de Deltacommissie, kunnen de omstandigheden behorende bij een superstormvloed met gelijke overschrijdingsfrequentie doch met afwijkende windrichting slechts bij benadering worden vastgesteld.

2. De bepaling van de maatgeven-
de golfkarakteristieken m.b.v.
de golfgroeigrafieken geeft
waarschijnlijk te ongunstige
(te hoge) resultaten. Nadere
bestudering van deze methode
m.b.v. natuurwaarnemingen is
gewenst.
3. Aan de "klassieke" formule
voor het berekenen van de
golfoploop kleven vele onvol-
komenheden, terwijl het toe-
passingsgebied van een sinds
kort gebruikte formule nog
beperkt is. Aanvullend res-
pectievelijk hernieuwd (mo-
del)onderzoek is noodzakelijk
met betrekking tot de invloed
van de berm respectievelijk
scheve inval van de golven
op de golfoploop.
4. Over de juistheid van de be-
rekening van golfoverslag
over kruinen van dammen en
dijken bestaat onzekerheid;
nader laboratorium-onderzoek
hiernaar lijkt gewenst.
5. Nadere toetsing van de toege-
paste styleringen ten behoeve
van de golfhoogteberekeningen
is nodig.

Naschrift:

Deze studie verscheen in een
eerdere versie als een nota van
de Studiedienst Vlissingen, die
onderwerp van bespreking vorm-
de binnen Werkgroep 1 der
Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen. Als vrucht
van deze bespreking is de aan-
vankelijke tekst op enkele
plaatsen verbeterd en aangevuld;
voor hun waardevolle suggesties
zijn de schrijvers de leden der
werkgroep zeer erkentelijk.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

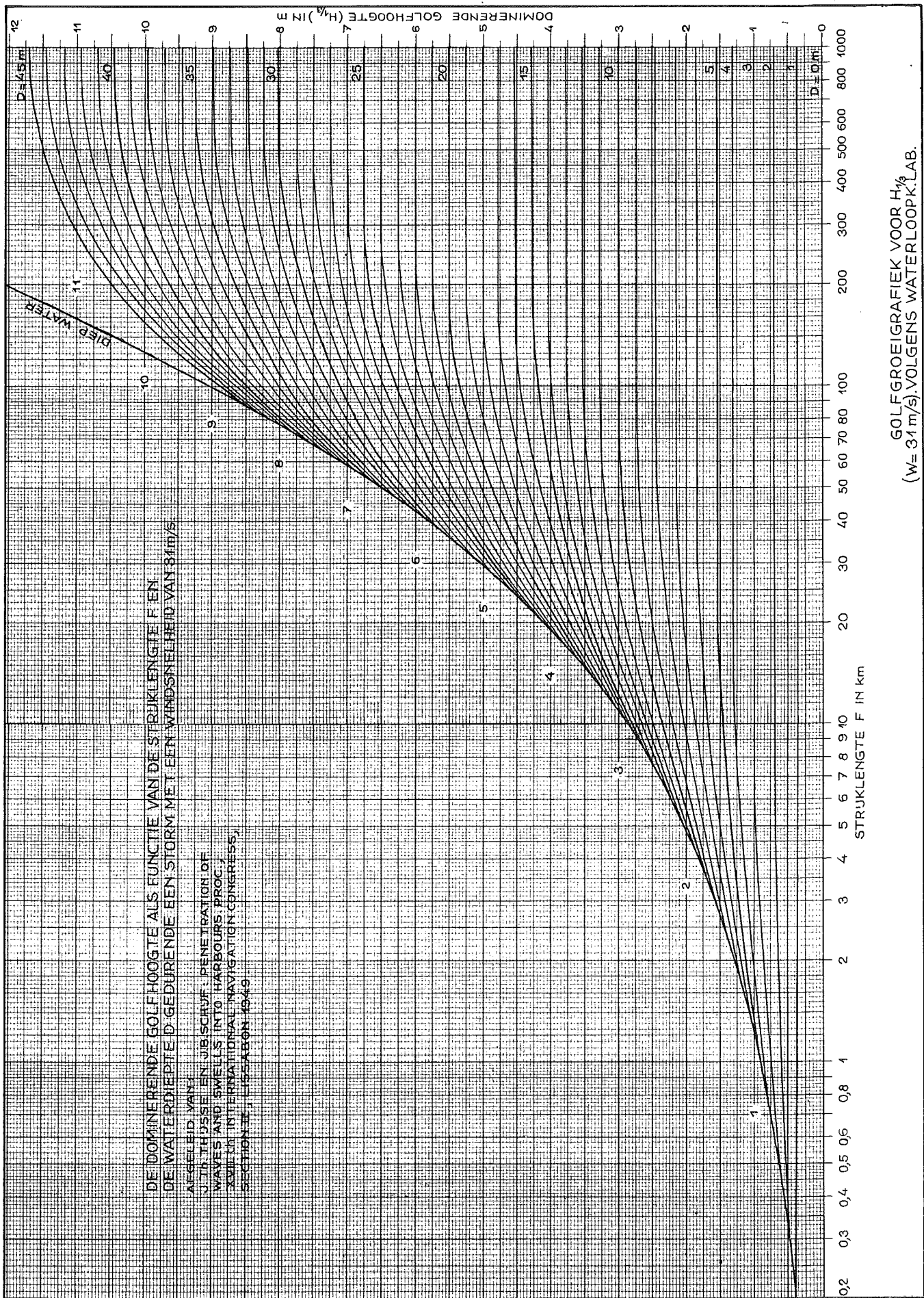
- lit. 1^a. - Eindrapport Delta-commissie.
- lit. 1^b. - Rapport Deltacommissie Deel 2.
- lit. 1^c. - Rapport Deltacommissie Deel 4.
- lit. 1^d. - Rapport Deltacommissie Deel 6.
- lit. 2. - M.P.H. Weenink:
A theory and methods of calculation of wind effects on sea levels in a partly-enclosed sea, with special application to the southern coast of the North Sea.
Mededelingen en verhandelingen no. 73
K.N.M.I. 1958.
- lit. 3. - A.C. Bakker: Verband tussen de wind op het lichtschip Goeree en de gelijktijdige wind te Vlissingen respectievelijk Hoek van Holland. Intern rapport K.N.M.I. 1963.
- lit. 4. - P. Groen en R. Dorrestein: Zeegolven. Opstellen op Oceanografisch en Maritiem gebied no. 11
K.N.M.I., 2e druk 1958.
- lit. 5. - P.A. de Bruijn: Golfhoogtefrequentiekrommen met analytische beschouwing.
Rijkswaterstaat, Waterloopkundige Afdeling Deltadienst (Hellevoetsluis), nota H-151-H.
- lit. 6. - M.R. Miche: Propriétés des trains d'ondes océaniques et de laboratoire.
Comité Central d'Océanographie et d'étude des Côtes 1954.
- lit. 7. - C.L. Bretschneider en R.O. Reid:
Modification of wave height due to bottom friction, percolation and refraction. Beach Erosion Board, Technical Memorandum no. 45 U.S. Army Corps of Engineers, 1954
- lit. 8. - J. van Malde: Onderzoek van snelheidsverticalen in het zomerbed der Nederlandse Rijntakken. Rijkswaterstaat, Studiedienst Bovenrivieren, Nota 59.2, 1959.
- lit. 9. - Shore protection, planning and design. U.S. Army Coastal Engineering Center. Technical Report no. 4, 1966.
- lit. 10. - J. Putnam en J.W. Johnson: The dissipation of wave energy by bottom friction. Transaction American Geophysical Union Vol. 30, nr. 1. 1949.
- lit. 11. - R. Wiegel:
Oceanographical Engineering. Prentice-Hall Inc. 1965.
- lit. 12. - N.N.: Het bepalen van golfrefractiediagrammen. Rijkswaterstaat, Waterloopkundige Afdeling Deltadienst, Rapport nr. 6, 1961.
- lit. 13. - N.N.: Refractie en DiffRACTIE, deel 1. Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Studierapport WWK. 66-2, 1966.

- lit. 14. - R.S. Arthur,
W.H. Munk en
J.O. Isaacs:
The direct construction
of wave rays.
Transactions of the
American Geophysical
Union, vol. 33 no. 6,
1952.
- lit. 15. - M. Makemura,
H. Shiraisky en
Y. Sasiki:
Wave damping effect of
submerged dike.
Proceedings of the 10th
Conference on Coastal
Engineering, Tokio 1966.
- lit. 16. - F. Wassing:
Model investigations on
wave run-up carried out
in the Netherlands
during the past twenty
years. Proceedings of
the 6th Conference on
Coastal Engineering,
1957.
- lit. 17^a. - N.N.: Golfoploop en
Golfoverslag Deel II.
Oploop van regelmatige
golven. Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen, 1970.
- lit. 17^b. - N.N.: Golfoploop en
Golfoverslag Deel III.
Oploop van onregelma-
tige golven. Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen, 1970.
- lit. 18. - J.H. v. Oorschot en
K. d'Angremond:
The effect of wave
energy spectra on wave
run-up. Proceedings of
the 11th Conference on
Coastal Engineering,
London 1968.
- lit. 19. - J.H. v. Oorschot en
P. van Vliet:
Golfoploop op een dijk
met hoog voorland.
- Waterloopkundig
Laboratorium, Verslag
modelonderzoek M 1084,
1971.
- lit. 20. - P. Kruseman:
Presentation of 243
wave spectra from the
Netherlands lightvessel
"Goeree" with some pre-
liminary conclusions.
Navo subcommissie voor
oceanografisch onder-
zoek, tech. rapp.
no. 53, 1971.
- lit. 21. - A. Paape: Experimental
data on the overtopping
of seawalls by waves.
Proceedings of the 7th
Conference on Coastal
Engineering,
Den Haag 1960.
- lit. 22. - S. Tsuruta en Y. Goda:
Expected discharge of
irregular wave over-
topping. Proceedings of
the 11th Conference on
Coastal Engineering,
London 1968.
- lit. 23. - M. Hino: A theory on
the fetch graph, the
roughness of the sea
and the energytransfer
between wind and wave.
Proceedings of the
10th Conference on
Coastal Engineering,
Tokio 1966.
- lit. 24. - C.L. Bretschneider:
Revisions in wave
forecasting: deep and
shallow water.
Proceedings of the 6th
Conference on Coastal
Engineering.
Florida 1957.
- lit. 25. - A.C. Bakker: Enkele wind-
en golfstatistieken uit
het Deltagebied,
W.R. 62-6, K.N.M.I., 1962.

LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage nr.	Omschrijving	for- maat	stamboek nr.
1	Golfgroeigrafiek voor $H_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens W.L.	A2	71.851
2	Golfgroeigrafiek voor $L_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens W.L.	A2	71.852
3	Golfgroeigrafiek voor $T_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens W.L.	A2	71.853
4	Golfgroeigrafiek voor $H_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens Bretschneider.	A2	71.854
5	Golfgroeigrafiek voor $L_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens Bretschneider.	A2	71.855
6	Golfgroeigrafiek voor $T_{1/3}$, $W = 31$ m/s volgens Bretschneider.	A2	71.856
7	Golfdamping boven een horizontale en een hellende bodem volgens Bretschneider-Reid.	A2	71.857
8	Verband tussen $\bar{T}$ en $\hat{T}$ bepaald uit energie- spectra van het l.s. Goeree.	A2	71.858
9	Overzicht modeltoestanden M 1084.	A1	71.859
10	Overschrijdingsfrequenties van 3-uurs waarnemingen van de windsnelheid op het l.s. Goeree (1-1-1949 t/m 31-12-1959).	A1	71.860

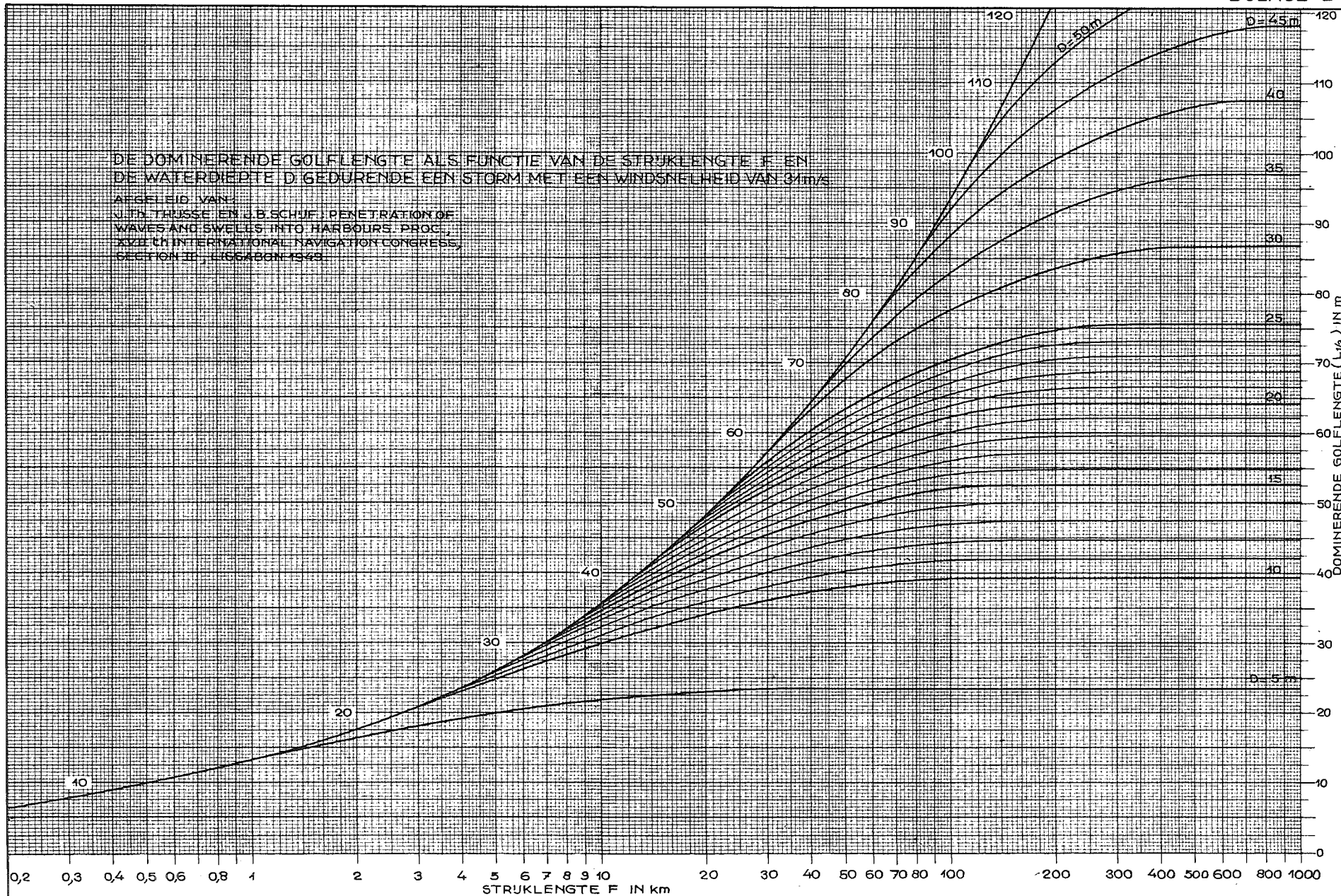
W.L. = Waterloopkundig Laboratorium
te Delft.



GOLFGROEIGRAFIK VOOR $H_{1/2}$
($w = 31 \text{ m/s}$) VOLGENS WATERLOOPK. LAB.

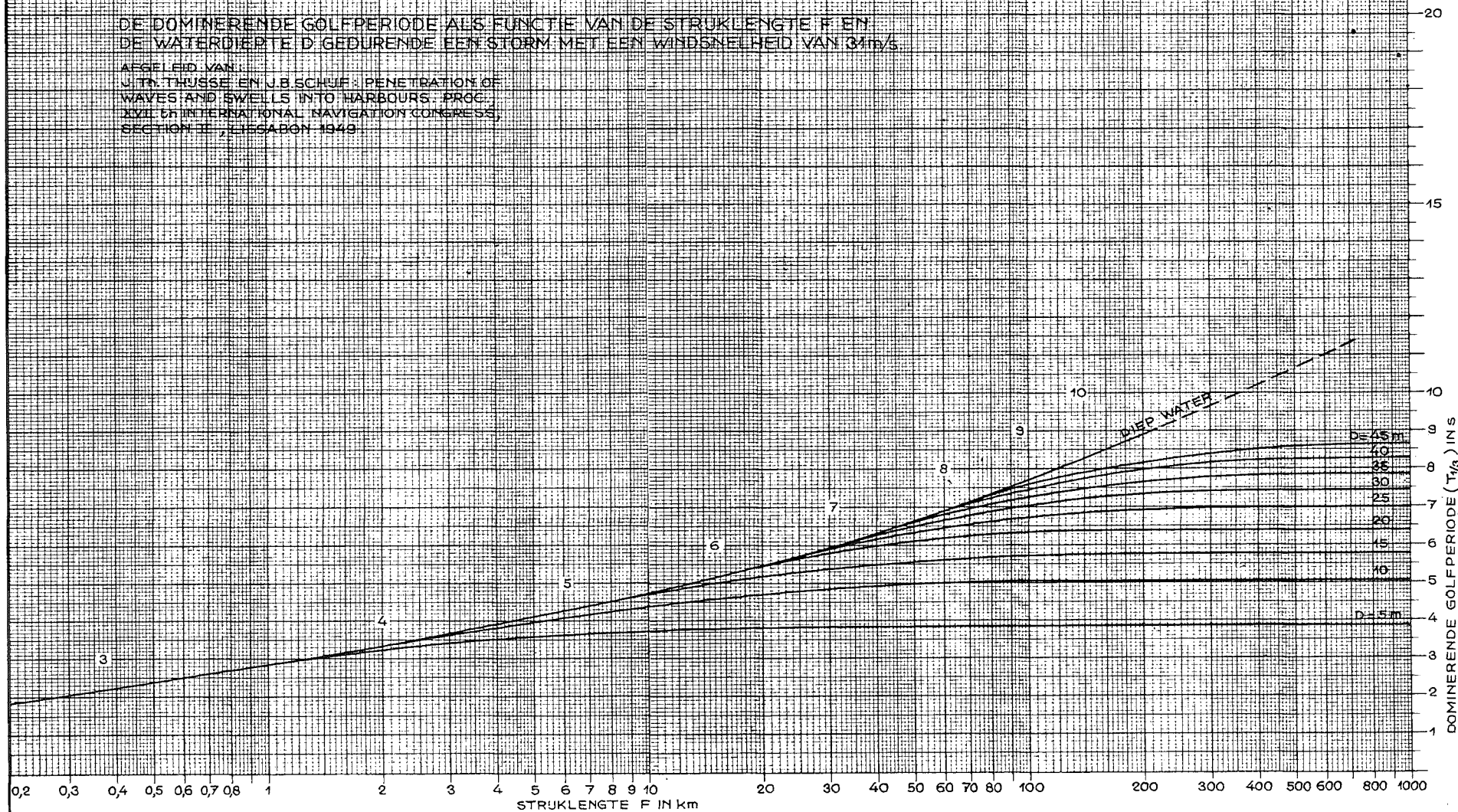
DE DOMINERENDE GOLFLENGTE ALS FUNCTIE VAN DE STRUKLENGTE F EN
DE WATERDIEPTE D GEDURENDE EEN STORM MET EEN WINDSNELHEID VAN 31 m/s

AFGELEID VAN:
J. TH. THUSSE EN J. B. SCHIJF: PENETRATION OF
WAVES AND SWELLS INTO HARBOURS. PROC.
XXIIND INTERNATIONAL NAVIGATION CONGRESS,
SECTION 10, LUGGANO 1963

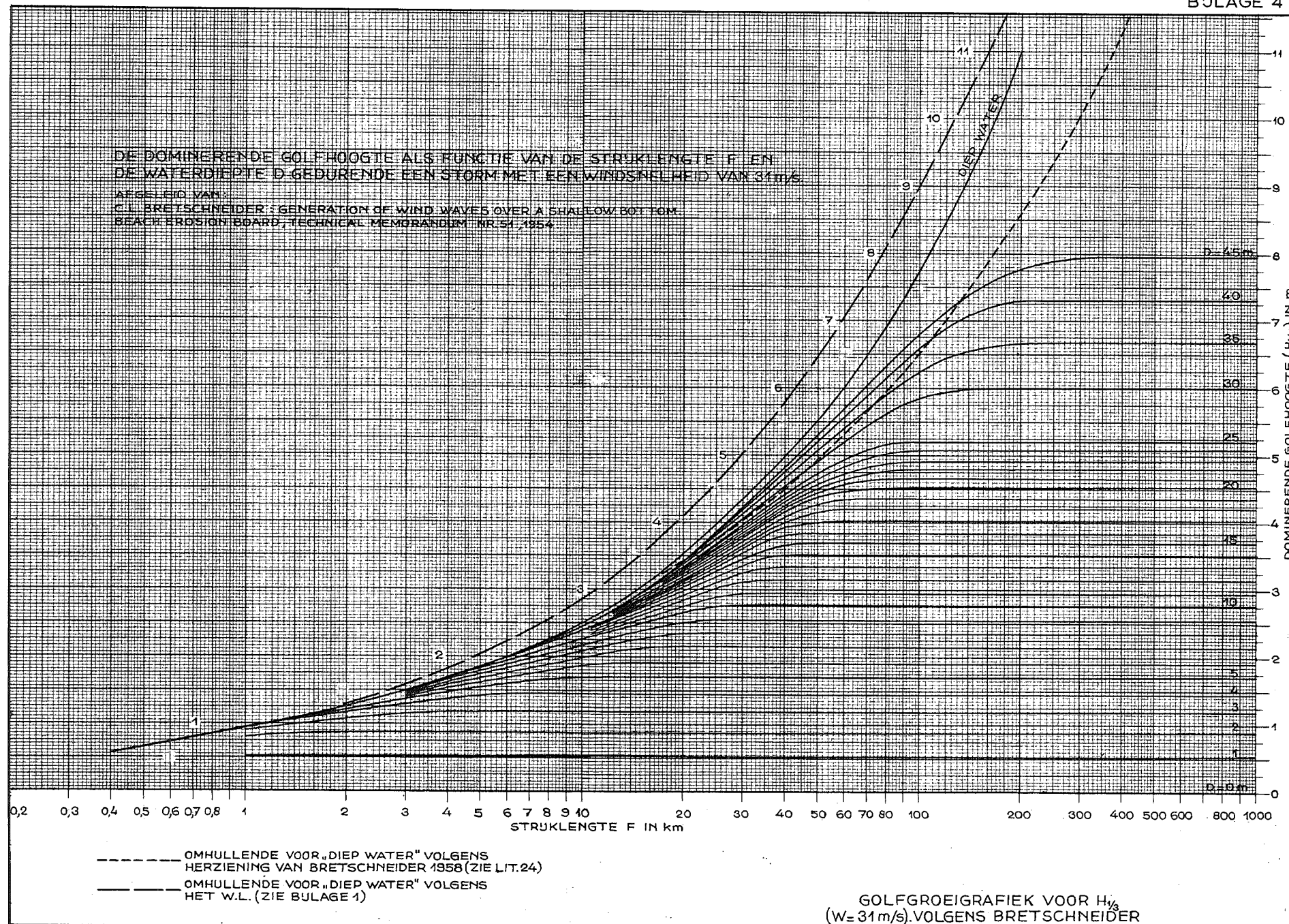


DE DOMINERENDE GOLFPERIODE ALS FUNCTIE VAN DE STRUKLENGTE F EN
DE WATERDIEPTE D GEDEURENDE EEN STORM MET EEN WINDSNELHEID VAN 31 m/s.

AFGELEID VAN
J. TH. THUSSE EN J. B. SCHUIJF: PENETRATION OF
WAVES AND SWELLS INTO HARBOURS. PROC.
XVII. INTERNATIONAL NAVIGATION CONGRESS,
SECTION II, LISABON 1949.

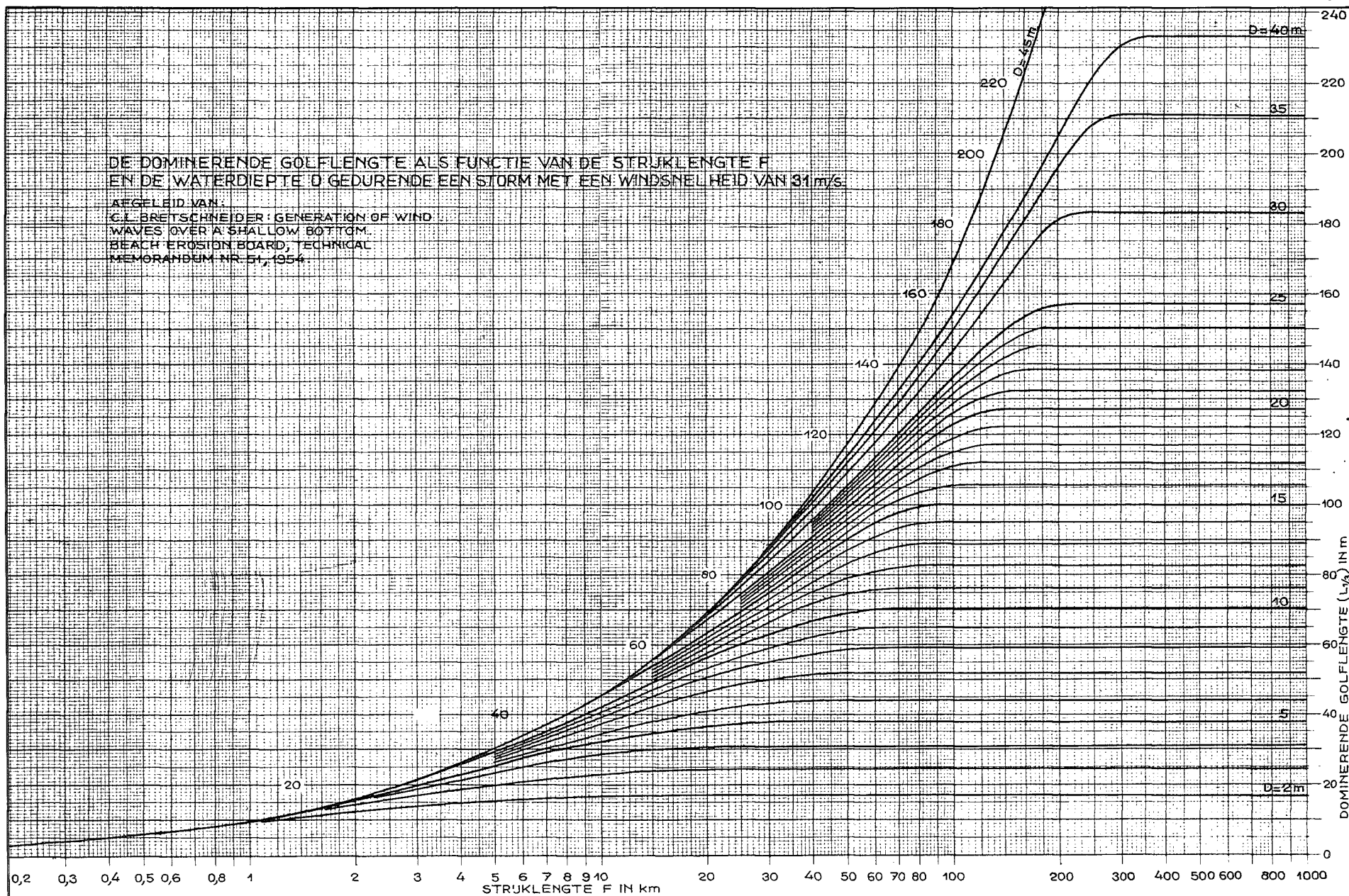


GOLFGROEIGRAFIEK VOOR $T_{1/3}$
(W=31 m/s). VOLGENS WATERLOOPK. LAB.



DE DOMINERENDE GOLFLENGTE ALS FUNCTIE VAN DE STRUKLENGTE F
EN DE WATERDIEPTE D GEDURENDE EEN STORM MET EEN WINDSNELHEID VAN 31 m/s

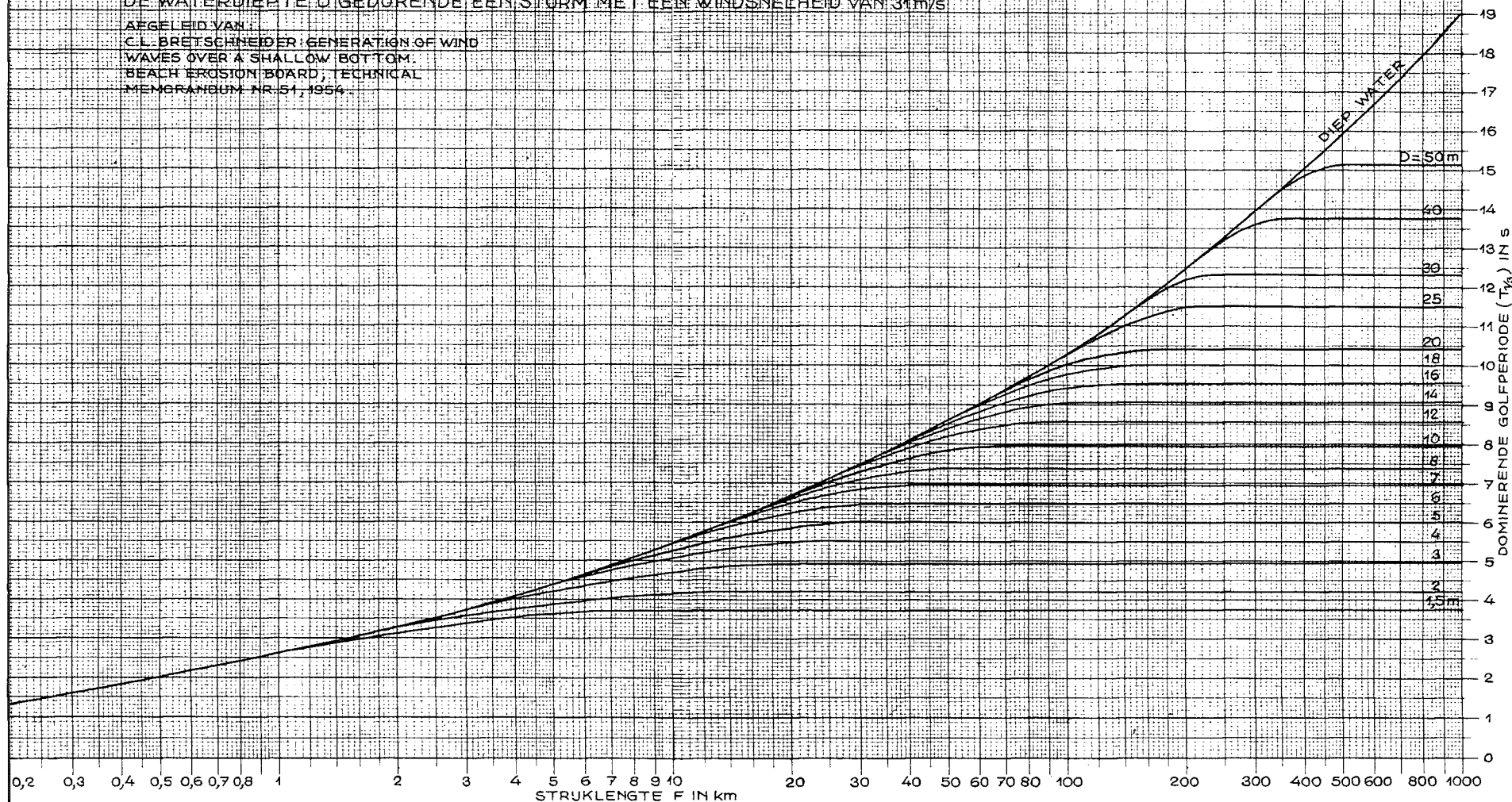
AEGELEID VAN:
C.L. BRETSCHNEIDER: GENERATION OF WIND
WAVES OVER A SHALLOW BOTTOM.
BEACH EROSION BOARD, TECHNICAL
MEMORANDUM NR. 51, 1954



GOLFGROEIGRAFIEK VOOR $L_{1/3}$
($w=31$ m/s). VOLGENS BRETSCHNEIDER

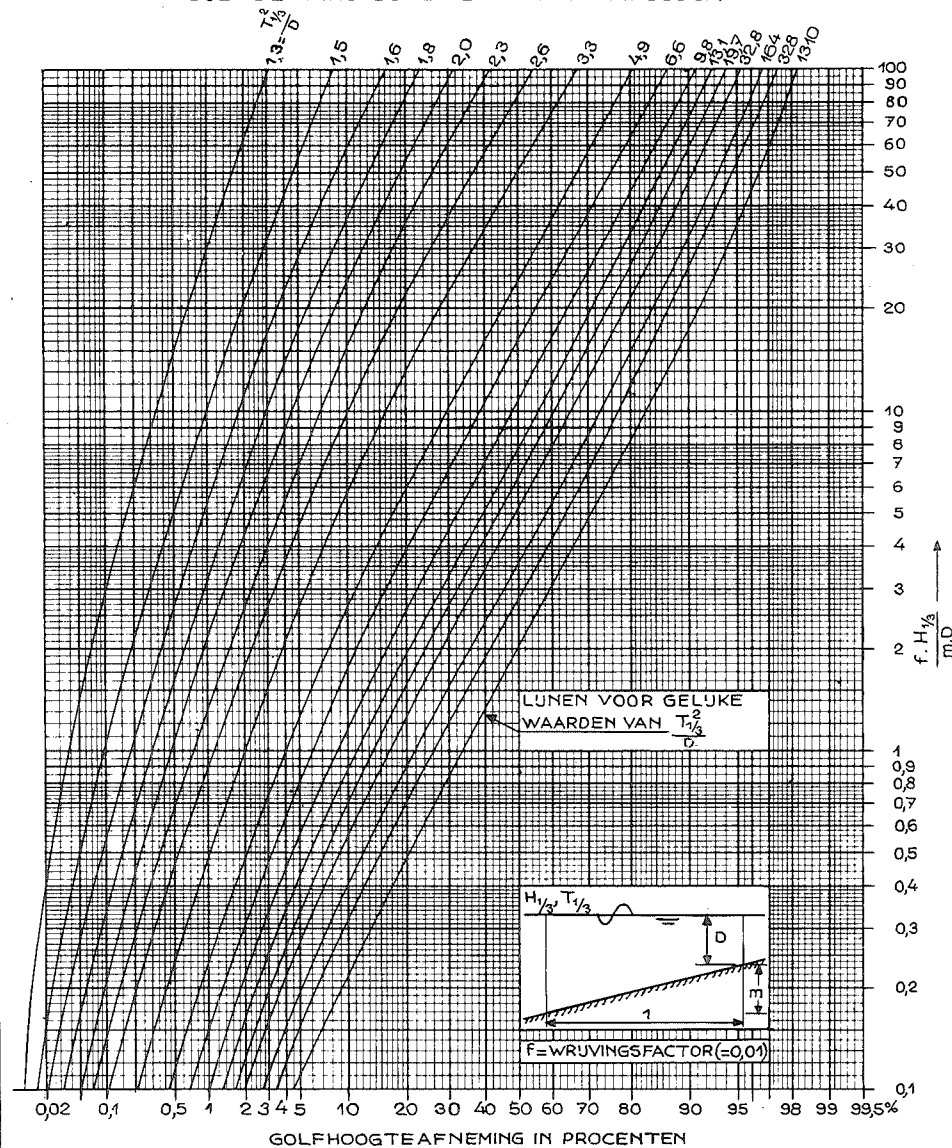
DE DOMINERENDE GOLFPERIODE ALS FUNCTIE VAN DE STRUKLENGTE F EN
DE WATERDIEPTE D GEDURENDE EEN STORM MET EEN WINDSNELHEID VAN 31 m/s

AEGELEID VAN:
C.L. BRETSCHNEIDER: GENERATION OF WIND
WAVES OVER A SHALLOW BOTTOM.
BEACH EROSION BOARD, TECHNICAL
MEMORANDUM NR. 51, 1954.



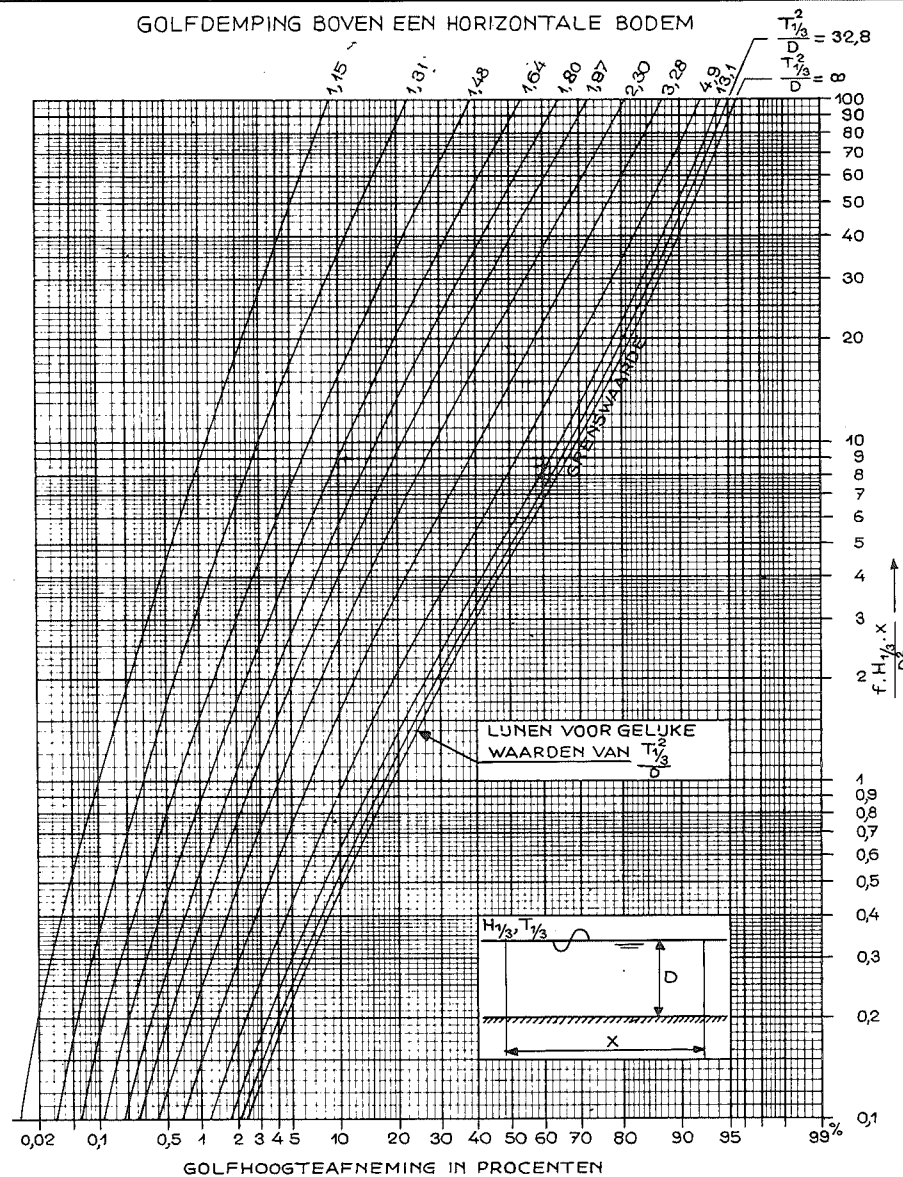
GOLFGROEIGRAFIEK VOOR $T_{1/3}$
(W = 31 m/s) VOLGENS BRETSCHNEIDER

GOLFDEMPING BOVEN EEN HELLENDE BODEM

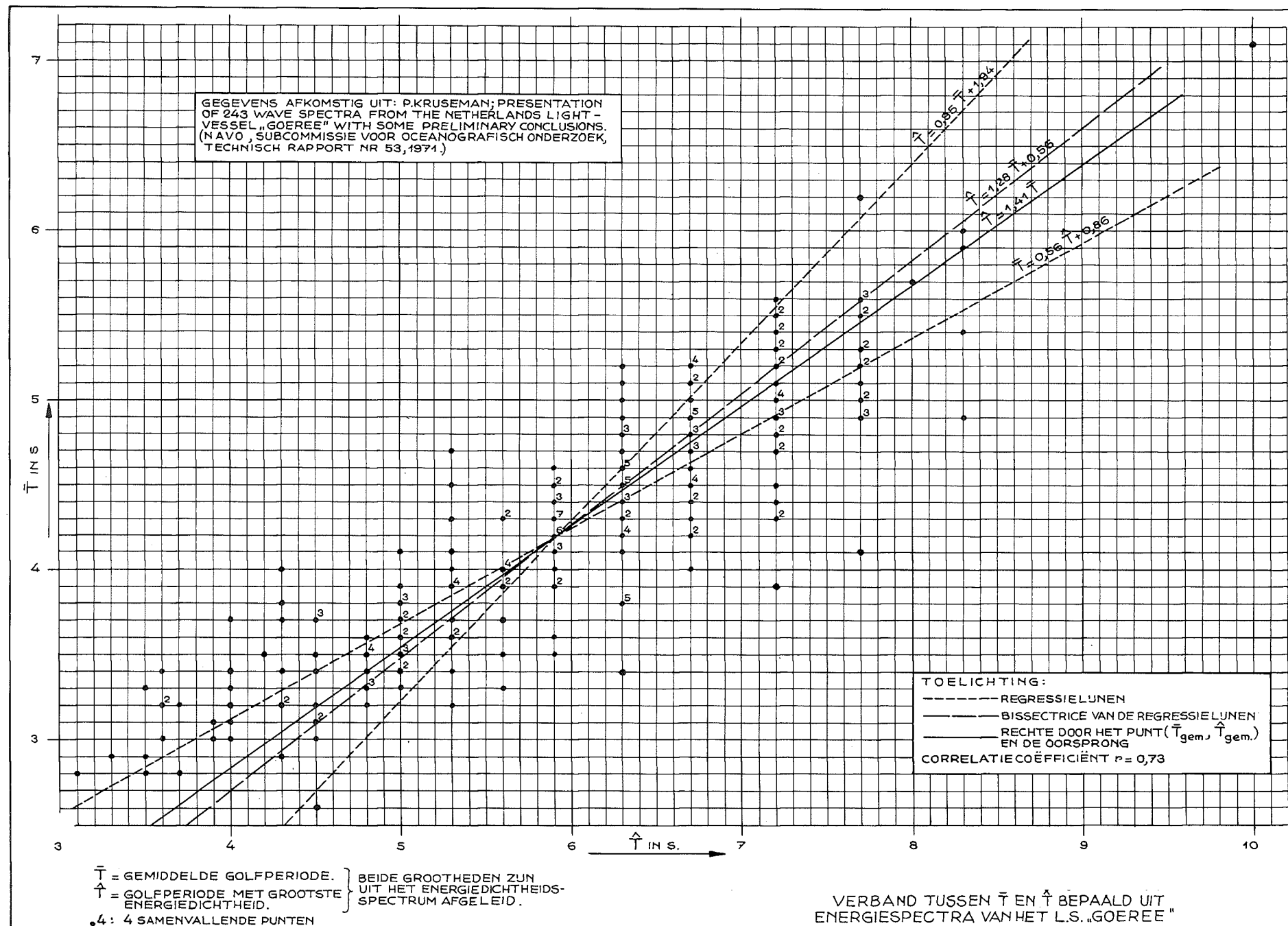


BEIDE GRAFIEKEN ZIJN OVERGENOMEN UIT:
„MODIFICATION OF WAVE HEIGHT DUE TO BOTTOM FRICTION,
PERCOLATION AND REFRACTION" DOOR C.L.BRETSCHNEIDER
EN R.O.REID. BEACH EROSION BOARD, TECHN.MEM.NR45, 1954

GOLFDEMPING BOVEN EEN HORIZONTALE BODEM



GOLFHOOGTEVERMINDERING t.g.v. WRIJVINGSVERLIES
VOOR EEN HELLENDE RESP. HORIZONTALE BODEM



STAAT 1
DUKSPROFIEL ZONDER BERM,
ONREGELMATIGE GOLVEN

STRANDHELLING	1:40						1:40/1:20					
HELLING DUKSBELOOP	1:3	1:4				1:5	1:8	1:4				
GOLFPERIODE $\hat{T}$ IN s	8,5	8,5		11		8,5	8,5	8,5		11		
GOLFHOOGTE $H_{1/3}$ IN m	4	3	4	4	5,2	4	4	3	4	4	5,2	
WATERDIEPTE AAN DE TEEN } = 0 m			X						X			
IDEM = 2 m	X	■	X	X	*	X	X	■	X	X	*	
" = 4 m	X	■	⊗	X	*	X	X					
" = 6 m		■	X	X	*							
" = 10 m			X									
" = 17,5 m			X									

STAAT 2
DUKSPROFIEL MET BERM
ONREGELMATIGE GOLVEN

STRANDHELLING	1:40				HOOGTELIKKING VÓÓRZIJDE BERM t.o.v. WATERSTAND
HELLING DUKSBELOOP	1:4				
GOLFPERIODE $\hat{T}$ IN s	8,5				
GOLFHOOGTE $H_{1/3}$ IN m	4				
WATERDIEPTE AAN DE TEEN } = 4 m		X			+1,50 m
	X	X	X	X	+0,75 m
	X	X	X	X	0
	X	X			-0,75 m
		X			-1,50 m
BERMBREEDTE IN m	7,5	15	25	35	

STAAT 3
DUKSPROFIEL ZONDER BERM
REGELMATIGE GOLVEN

STRANDHELLING	1:40	
HELLING DUKSBELOOP	1:4	
GOLFPERIODE IN s	8,5	11
GOLFHOOGTE IN m	$1/3-7$	$1/5-5$
WATERDIEPTE AAN DE TEEN } = 0 m	+	
IDEM = 2 m	+	+
IDEM = 4 m	+	+
IDEM = 6 m	+	
IDEM = 10 m	+	

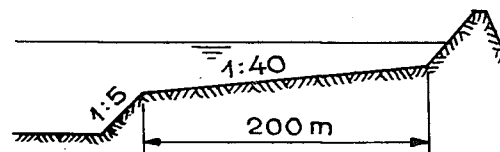
⊗ SITUATIE, WAARVOOR INVLOED
BERM IS ONDERZOCHT (STAAT 2)

TOELICHTING: ALLE MATEN ZIJN PROTOTYPE WAARDEN.

HELLING BERM IS 1:15.

BREEDTE VAN HET VOORLAND IS 200 m.

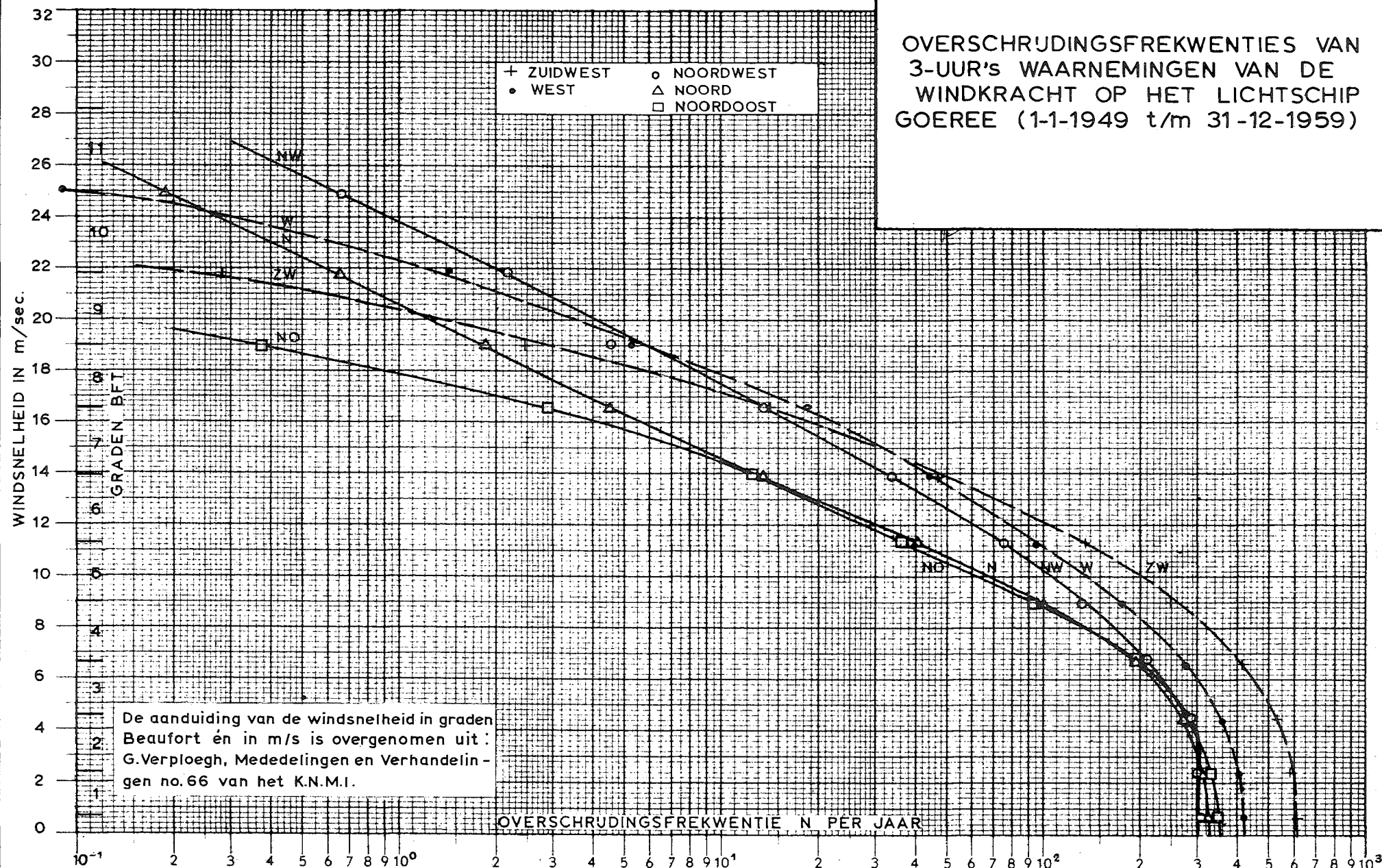
DE GOLFKARAKTERISTIEKEN ZIJN GEMETEN OP „DIEP WATER”



OVERZICHT MODELTOESTANDEN
M 1084
ALGEMEEN ONDERZOEK

AFGELEID UIT: A.C.BAKKER; ENKELE WIND-EN GOLFSTATISTIEKEN UIT HET DELTA-
GEBIED. WET. RAPPORT W.R.62-6. K.N.M.I. DE BILT (TABEL 3^a)

OVERSCHRUDINGSFREKVENTIES VAN
3-UUR'S WAARNEMINGEN VAN DE
WINDKRACHT OP HET LICHTSCHIP
GOEREE (1-1-1949 t/m 31-12-1959)



In deze Rijkswaterstaat-serie zijn de volgende nummers verschenen:

- Nr. 1 *Textuurdieptemetingen op rijkswegen*
Rijkswegenbouwlaboratorium - Delft (februari '71)
- Nr. 2 *De brug over het Julianakanaal en de Maas bij Elsloo*
Directie Bruggen - Voorburg (mei '71)
- Nr. 3 *Proefstrepen van duurzame markeringsmaterialen*
Rijkswegenbouwlaboratorium - Delft (september '71)
- Nr. 4 *Report of an oil control trial in the North Sea*
Afdeling Havenmonden - Hoek van Holland (september '71)
- Nr. 5 *Verkeersstellingen in 1970*
Dienst Verkeerskunde - 's-Gravenhage (november '71)
- Nr. 6 *Kunstharsproefvakken op rijksweg 4*
Rijkswegenbouwlaboratorium - Delft (januari '72)
- Nr. 7'' *Drie bruggen over het Maas-Waalkanaal*
Directie Bruggen - Voorburg (februari '71)
- Nr. 8 *Proefvakken rijksweg 15 - deel I*
Directie Wegen - Afdeling Gorinchem
Rijkswegenbouwlaboratorium - Delft (maart '72)

Tevens een Engelse uitgave
(september '71)

Tevens een Duitse uitgave
(april '72)

Uitgave
Rijkswaterstaat - Hoofddirectie van de Waterstaat
's-Gravenhage

Vormgeving
Studio '67

Grafische verzorging
Bureau Publikaties en Octrooien

Litho's en Offsetdruk
Onderafdeling Reprografie