

technische adviescommissie voor de waterkeringen

Literatuuronderzoek

GOLFERVORMING BIJ EEN HOOG VOOR-
LAND

S-79.030

Deelstudie bij de vakgroep Vloeistofmechanica

door: Herman van der Most

begeleider: Lector dr.ir. J.A. Battjes

Delft,

november 1979

Titel: Golfvervorming bij een hoog voorland.

Auteur: Herman van der Most

Uitgave: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1979.

Beknopte inhoud:

Het rapport "Literatuuronderzoek bij een hoog voorland" bevat een systematische weergave van de bestaande kennis van het gedrag van golven in een bepaalde ondiepte-situatie. Die situatie betreft een tamelijk vlak, relatief hoog liggend voorland voor een kust met daar boven een geringe waterdiepte, en wel het gebied vanaf de lijn waar de golven het voorland bereiken tot aan de lijn waar de golven zich, voornamelijk t.g.v. brekingsverschijnselen, hebben aangepast aan de waterdiepte op het voorland. Het rapport geeft een beschrijving van de verschijnselen van het breken en van de overige oorzaken van energieverliezen in de golven. De in de literatuur gegeven kwantitatieve benaderingen voor het verloop van de golfhoogte en -periode in en na de brekerzône worden weergegeven. Dit leidt tot enkele praktisch hanteerbare resultaten.

Golfvervorming bij een hoog voorland

Inhoud

Blz.

Voorwoord

Probleemstelling

Lijst van bijlagen

Lijst van symbolen en notaties

1. Samenvatting	1.1.
2. Inleiding	2.1.
3. Kwalitatieve beschrijving van het vervormingsproces	3.1.
4. Overzicht beschikbare experimentele resultaten	4.1.
5. Breken van de golven op het voorland	5.1.
5.1. Inleiding	5.1.
5.2. Vorm van de brekende golf	5.1.
5.3. Brekertype	5.2.
5.4. Karakteristieke punten in het breekproces	5.4.
6. Theoretische benaderingen m.b.t. energiedissipatie in gebroken golven op een horizontaal voorland	6.1.
6.1. Inleiding	6.1.
6.2. Benadering Horikawa & Kuo	6.2.
6.3. Benadering Battjes	6.6.
6.4. Benadering Sawaragi en Iwata	6.10.
7. Golfhoogte op het voorland	7.1.
7.1. Inleiding	7.1.
7.2. Regelmatige golven; golfhoogte na de brekerzône	7.3.
7.2.1. $H_V/H_O = f(h_V/L_O; H_O/L_O)$ en $H_V/H_O = f(H_O/L_O; h_V/L_O)$	7.4.
7.2.2. $H_V/H_O = f(H_O/L_O; H_O/h_V)$	7.8.
7.2.3. $H_V/h_V = f(h_V/L_O; H_O/L_O)$	7.9.
7.2.4. $H_V/h_V = f(H_O/L_O; H_O/h_V)$	7.9.
7.2.5. Verlies aan vermogen = $f(h_V/L_O; H_O/L_O)$	7.9.
7.2.6. Verlies aan vermogen = $f(H_O/L_O; H_O/h_V)$	7.10.
7.2.7. Invloed steilheid aanloophelling	7.11.
7.3. Regelmatige golven; verloop golfhoogte op voorland in de brekerzône	7.13.
7.3.1. $H_V/H_b = f(x/L_V; H_O/L_O; h_V/L_O)$	7.13.
7.3.2. $H_V/H_V = f(x/L_V; h_V/L_O; H_O/L_O)$	7.16.

<u>Vervolg inhoud</u>	<u>Blz.</u>
7.4. Onregelmatige golven; verloop golfhoogte op voorland	7.17.
7.5. Grensgolfhoogte	7.20.
7.6. Golfhoogtevermindering door overdracht van golfenergie naar hogere harmonischen	7.21.
8. Golfperiode op het voorland	8.1.
9. Golflengte op het voorland	9.1.
10. Brekerzône	10.1.
10.1. Inleiding	10.1.
10.2. Golfhoogte aan begin van brekerzône	10.2.
10.3. Breedte van de brekerzône	10.4.
10.3.1. $L_B/L_O = f(h_V/L_O; H_O/L_O)$	10.4.
10.3.2. $L_B/L_O = f(H_O/L_O; H_O/h_V)$	10.5.
10.3.3. $L_B/L_V = f(h_V/L_O; H_O/L_O)$	10.6.
10.3.4. $L_B/L_V = f(H_O/L_O; H_O/h_V)$	10.7.
10.4. Effectiviteit voorlandbreedte t.b.v. kustbescherming	10.8.
11. Conclusies	11.1.
12. Literatuur	12.1.
Bijlagen	

Voorwoord

Bij literatuurrapporten is onderscheid te maken naar de mate van volledigheid waarin de bestaande literatuur is gebruikt en de wijze waarop deze literatuur is verwerkt. Voor dit laatste bestaan in beginsel twee mogelijkheden: een "compilatief" en een "kritisch" rapport.

Met betrekking tot de mate van volledigheid kan gesteld worden, dat bij het opsporen van de literatuur, alle in aanmerking komende bronnen (zie inleiding) zijn onderzocht. De aard van het rapport is eerder "kritisch" dan "compilatief" te noemen, in die zin dat de resultaten uit de literatuur zijn vergeleken en geëvalueerd.

Het onderwerp van deze literatuurstudie is afkomstig uit werkgroep 1: "golfproblemen bij dijken" van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW).

Probleemstelling

Onderwerp van deze studie is de golfvervorming bij een hoog voorland, en wel in de brekerzône en de onmiddellijke omgeving hiervan.

Onderzocht zijn de invloeden van de golfkenmerken op diep water en van de waterdiepte op het voorland op:

- de golfkenmerken op het voorland, en
 - de kenmerken van de brekerzône (breedte brekerzône, verloop van de golfhoogte in de brekerzône),
- met behulp van uit de literatuur beschikbare gegevens.

De relaties tussen de verschillende grootheden zijn systematisch onderzocht, en zoveel mogelijk gekwantificeerd, waarbij de resultaten uit verschillende onderzoeken onderling zijn vergeleken. Voor de golfhoogtevermindering in de brekerzône worden tevens een aantal, uit de literatuur bekende, theoretische benaderingen gepresenteerd.

Lijst van bijlagen

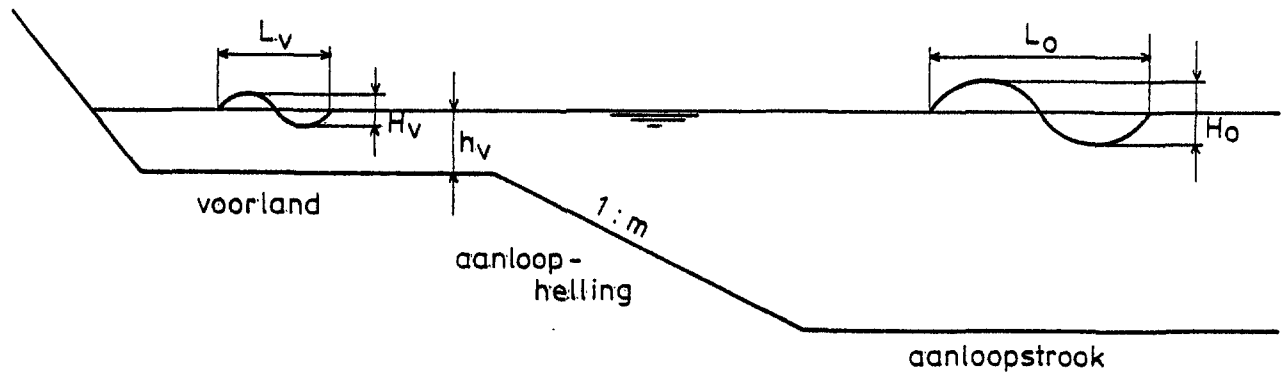
- 4.1. Overzicht van de kenmerkende elementen van een zestal experimentele onderzoeken.
- 5.1. Golfkamhoogte als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Sawaragi en Iwata).
- 5.2. Overgangsgebied tussen "spilling" en "plunging" brekende golven (Sawaragi en Iwata).
- 5.3. Afstanden van karakteristieke punten t.o.v. het breekpunt als functie van de golfsteilheid (Sawaragi en Iwata).
- 7.1. Berekening dimensieloze factoren uit de resultaten van "Anlage 10" (Hensen).
- 7.2. Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).
- 7.3. Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid en de afstand tot het breekpunt (Sawaragi en Iwata).
- 7.4. Vergelijking tussen de resultaten van Hensen (bijlage 7.2.) en Sawaragi en Iwata (bijlage 7.3.).
- 7.5. Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de relatieve waterdiepte (Hensen).
- 7.6. Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de relatieve waterdiepte en de afstand tot het breekpunt (Sawaragi en Iwata).
- 7.7. Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 7.8. Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).
- 7.9. Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 7.10. Golfhoogte op het voorland als functie van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 7.11. Verlies aan vermogen als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

- 7.12. Verlies aan vermogen als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 7.13. Verlies aan vermogen als functie van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 7.14. Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Sawaragi en Iwata).
- 7.15. Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Horikawa en Kuo).
- 7.16. Resultaten van bijlagen 7.14 en 7.15 met $H_0/h_v = 0,94 - 0,98$, 0,81 en 0,63 in tabelvorm.
- 7.17. Vergelijking tussen resultaten van Sawaragi & Iwata en Horikawa & Kuo m.b.t. verloop van de golfhoogte in de brekerzône voor $H_0/h_v = 0,94 - 0,98$.
- 7.18. Als bijlage 7.17, met $H_0/h_v = 0,81$.
- 7.19. Als bijlage 7.17, met $H_0/h_v = 0,63$.
- 7.20. Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van relatieve waterdiepte en golfsteilheid (Sawaragi en Iwata).
- 7.21. Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor een zekere variatie in golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Horikawa en Kuo).
- 7.22. Verloop van designificante golfhoogte op het voorland (M 1084).
- 7.23. Situatie modelonderzoek M 1084 met licht hellend voorland.
- 7.24. Verloop op het voorland van de golfhoogte met een overschrijdingspercentage van 2% (M 1084).
- 7.25. Verloop op het voorland van de golfhoogte met een overschrijdingspercentage van 15% (M 1084).
- 7.26. Verloop op het voorland van de golfhoogte met een overschrijdingspercentage van 50% (M 1084).
- 7.27. Verloop op het voorland van de verhouding tussen de golfhoogte met een overschrijdingspercentage van 15% en één van 50% (M 1084).
- 7.28. Bepaling grensgolfhoogte uit de gegevens van "Anlage 25" (Hensen).

- 7.29. Grensgolfhoogte als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Hensen, Sawaragi & Iwata).
- 7.30. Golfhoogte spectrum op aantal afstanden t.o.v. het breekpunt voor een golfsteilheid van $H_o/L_o = 0,103$ en een relatieve waterdiepte van $h_v/L_o = 0,140$ (Sawaragi en Iwata).
- 7.31. Als bijlage 7.30, met $H_o/L_o = 0,0467$ en $h_v/L_o = 0,0311$ (Sawaragi en Iwata).
- 7.32. Als bijlage 7.30, met $H_o/L_o = 0,0240$ en $h_v/L_o = 0,0311$ (Sawaragi en Iwata).
- 7.33. Hogere harmonischen uit het golfhoogtespectrum als functie van de afstand tot het breekpunt voor een golfsteilheid $H_o/L_o = 0,072$ en een relatieve waterdiepte $h_v/L_o = 0,140$ (Sawaragi en Iwata).
- 7.34. Als bijlage 7.33, met $H_o/L_o = 0,0467$ en $h_v/L_o = 0,0311$ (Sawaragi en Iwata).
- 7.35. Variatie in golfhoogtespectrum in en buiten de brekerzône (Sawaragi en Iwata).
- 9.1. Golf lengte op het voorland als functie van waterdiepte en periode (Hensen).
- 9.2. Bepaling van de verhouding tussen de golflengte op het voorland en die op diep water uit de gegevens van "Anlage 13" (Hensen).
- 10.1. Verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte op het punt van breken als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Sawaragi en Iwata).
- 10.2. Bepaling golfhoogte-waterdiepte verhouding in het breekpunt (Galvin).
- 10.3. Bepaling golfhoogte-waterdiepte verhouding in het breekpunt uit de gegevens van "Anlage 26", (Hensen).
- 10.4. Verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte in het breekpunt als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Hensen).
- 10.5. Bepaling van de breedte van de brekerzône uit de gegevens van "Anlagen 21 t/m 24" (Hensen).
- 10.6. Breedte van de brekerzône als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

- 10.7. Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen)
- 10.8. Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor de situatie van flauwe strandhellingen (Nakamura).
- 10.9. Breedte van de brekerzône als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).
- 10.10. Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen).
- 10.11. Afstand van het breekpunt tot het punt waar de schuimwerking ophoudt, als functie van de golfsteilheid (Sawaragi en Iwata).
- 10.12. De som van "plunge" en "splash distance" als functie van de golfsteilheid (Galvin).
- 10.13. Bepaling van de som van de "plunge" en splash distance" (Galvin).
- 10.14. Golfoploophoogte met een overschrijdingspercentage van 2% als functie van de voorlandbreedte (M 1084).
- 10.15. Bepaling golfoploophoogte-verhouding tussen een dijk met voorland en één zonder (Hensen).

Lijst van symbolen en notaties



H_o	golfhoogte op diep water
H_v	golfhoogte op het voorland
H_{gr}	grensgolfhoogte
H_b	golfhoogte in het breekpunt
H_s	significante golfhoogte
C_{sm}	verhouding tussen significante en mediane golfhoogte
$C_{1/3}$	verhouding tussen significante en gemiddelde golfhoogte
L_o	golflengte op diep water ($L_o = gT^2/2\pi$)
L_v	golflengte op het voorland
L_B	breedte van de brekerzône
l_v	breedte van het voorland
T	golfperiode
T_v	golfperiode op het voorland
T_p	golfperiode, waarbij energiespectrum piekwaarde bereikt
f	frequentie
c	voortplantingssnelheid van een golf.
h_v	waterdiepte op het voorland
h_b	waterdiepte in het breekpunt
E	energie van een golf
P_o	energieflux (vermogen) op diep water
P_v	energieflux op het voorland
ρ	soortelijke massa water
g	versnelling zwaartekracht

z	golfoploophoogte
m	steilheid van aanloophelling
x	variabele afstand tot breekpunt
x_p, x_B	afstand van breekpunt tot plaats waar kruin van de brekende golf het water weer bereikt.
x_S	afstand van breekpunt tot plaats waar "splash" op het water komt.
x_A	afstand van breekpunt tot plaats waar de luchtbelllen uit het water verdwenen zijn.
x_v	afstand van breekpunt tot plaats waar "horizontal roller" verdwijnt.
r_b	golfkamhoogte
μ	dynamische viscositeit
ν	kinematische viscositeit

1. Samenvatting

Een golf die zich van het diepe water naar het voorland toe voortplant zal door de veranderingen in de waterdiepte vervormen. In hoofdstuk 3 worden de verschillende oorzaken van golfvervorming en energiedissipatie beschreven; hierbij wordt aangegeven welke parameters van belang zijn.

Op grond van een afschatting van het relatieve belang van de verschillende oorzaken kan geconcludeerd worden, dat bodemwrijving en turbulentie t.g.v. breken veruit de belangrijkste zijn. In de brekerzône is deze laatste oorzaak overheersend. Daar deze literatuurstudie zich richt op het "gebeuren" rond de brekerzône is aan de bodemwrijving in de rest van het rapport geen aandacht meer besteed.

In hoofdstuk 4 wordt van de, het meest bruikbaar gebleken, literatuur een kort overzicht gegeven van de kenmerken van de betreffende onderzoeken: de doelstellingen van het onderzoek, de proefopzet, welke grootheden zijn gevarieerd e.d.

Tevens wordt een aantal problemen opgesomd die men bij de uitvoering van de experimenten en de interpretatie van de resultaten tegenkomt.

Het belangrijkste element in de golfvervorming is het breken van de golf. In het proces van breken is een aantal aspecten te onderscheiden, zoals de vorm van de brekende golf en het brekertype, welke laatste van invloed blijkt te zijn op de golfvervorming ná het breekpunt. Deze punten komen in hoofdstuk 5 aan de orde.

Hoofdstuk 6 is gewijd aan een aantal uit de literatuur bekende theoretische benaderingen m.b.t. de golfvervorming op een horizontaal voorland (bodem). Hierbij wordt bijzondere aandacht besteed aan de uitgangspunten en aannamen van de respectievelijke benaderingen. De samenhang tussen theorie en experiment wordt bij elke benadering met een figuur toegelicht.

De golfhoogte op het voorland wordt behandeld in hoofdstuk 7. Onderzocht is op welke wijze de golfhoogte op het voorland afhankelijk is van de golfgrootheden op diep water (H_0 en L_0) en de waterdiepte op het voorland (h_v).

Deze parameters zijn samengevoegd tot de volgende drie dimensieloze grootheden: H_0/L_0 , h_v/L_0 en H_0/h_v .

De aard van de uit de literatuur beschikbare resultaten noodzaakt ertoe bij de regelmatige golven een onderscheid te maken tussen de golfhoogte na de brekerzône en het verloop van de golfhoogte in de brekerzône.

Daarnaast is er een paragraaf gewijd aan het verloop van bepaalde kentallen bij onregelmatige golven. Tussen de resultaten van de verschillende onderzoeken blijkt in vele gevallen een redelijke mate van overeenstemming te bestaan.

De grensgolfhoogte, d.i. de verhouding tussen de golfhoogte op diep water en de waterdiepte op het voorland, waarbij de golf nog juist niet breekt, bepaald als functie van de golfsteilheid, geeft een goede overeenstemming te zien tussen de resultaten van de onderzoeken van Hensen enerzijds en Sawaragi en Iwata anderzijds.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beschouwing over de energieoverdracht naar hogere harmonischen. Deze blijkt sterk te worden beïnvloed door de relatieve waterdiepte.

Hoofdstuk 8 behandelt de golfperiode op het voorland in relatie tot die op diep water. Geconcludeerd kan worden, dat, hoewel er hoger-frequente componenten op het voorland zullen voorkomen, er sprake zal zijn van een "grondperiode" T op het voorland die gelijk is aan die op diep water. Met andere woorden de periode blijft constant.

In één onderzoek (Hensen en Führböter) wordt een toeneming van de periode geconstateerd; hiervoor bestaat geen redelijke verklaring.

In hoofdstuk 9 wordt aan de hand van de onderzoeksresultaten van Hensen nagegaan in hoeverre de golflengte op het voorland, met behulp van de theorie van Airy, uit de periode en de waterdiepte kan worden afgeleid. Dit blijkt een goede benadering te vormen.

Hoofdstuk 10 gaat allereerst in op de verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte aan het begin van de brekerzône.

Het belangrijkste deel van dit hoofdstuk betreft de breedte van de brekerzône. Onderzocht is op welke wijze deze afhangt van de reeds in hoofdstuk 7 onderscheiden dimensieloze grootheden. De

breedte van de brekerzône blijkt ca. 2-3 maal de golflengte op het voorland te bedragen.

Tenslotte wordt nog een korte beschouwing gewijd aan de effectiviteit van een zekere voorlandbreedte t.b.v. kustbescherming. Belangrijk hierbij is de verhouding tussen de voorlandbreedte en de breedte van de brekerzône.

2. Inleiding

Er is sprake van een hoog voorland, wanneer voor de kust over een zekere breedte geringe waterdiepten voorkomen.

Deze waterdiepten lopen uiteen van nul tot 5 à 10 m, afhankelijk van getij en opwaaiing; de breedte van het voorland van een honderd meter tot enige kilometers.

Hoge voorlanden treft men vooral aan in Waddengebieden en bij koraalkusten; o.m. de Friese en Groningse kust en de Duitse Noordzeekust.

Het voorland is onder een helling met het "diepe" water verbonden. Voor de Duitse Noordzeekust varieert de steilheid van deze helling tussen de 1:15 en 1:100 (Siefert 1974, blz. 185).

In fig. 2.1. is een voorbeeld gegeven van een dijk met een hoog voorland in Noord-Oost Groningen, ter hoogte van de Emma-polder, iets westelijk van de Eemshaven.

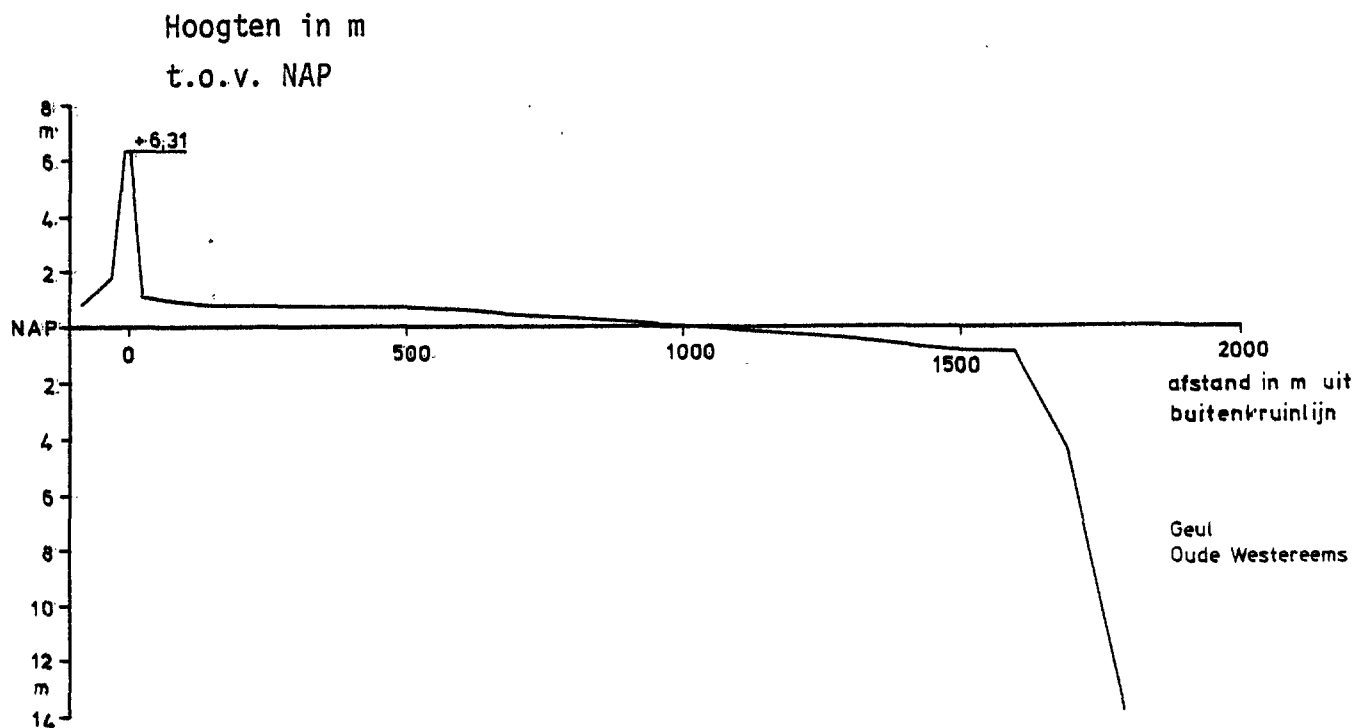


Fig. 2.1. Voorbeeld van een dijk met hoog voorland

Het voorland strekt zich uit over een breedte van ca. 1500 m en vertoont een flauw hellend verloop. Aan de "zee-zijde" wordt het voorland begrensd door de geul Oude Westereems.

Voorlanden kunnen een belangrijke functie hebben bij de bescherming van het land tegen de zee.

De (geringe) waterdiepte stelt een limiet aan de golfwerking op het voorland en begrenst daarmee de grootte van de golfoploophoogte tegen de dijk.

Golven waarbij de verhouding golfhoogte-waterdiepte een zeker maximum overschrijdt zullen nabij de aanzet van het voorland breken, daarbij zoveel energie verliezend dat weer een stabiele golf op het verdere verloop van het voorland mogelijk wordt.

Om een indruk te geven van de golfoploop reducerende werking van een hoog voorland is in fig. 2.2. de golfoploophoogte (z) weergegeven als functie van de golfhoogte van een regelmatige golf.

De waterdiepte op het voorland bij de teen van de dijk (d) bedraagt 2 resp. 4 m. Fig. 2.2. is overgenomen uit M 1084; de voorlandsituatie waarvoor het verband tussen z en H is bepaald is geschetst in fig. 2.3.

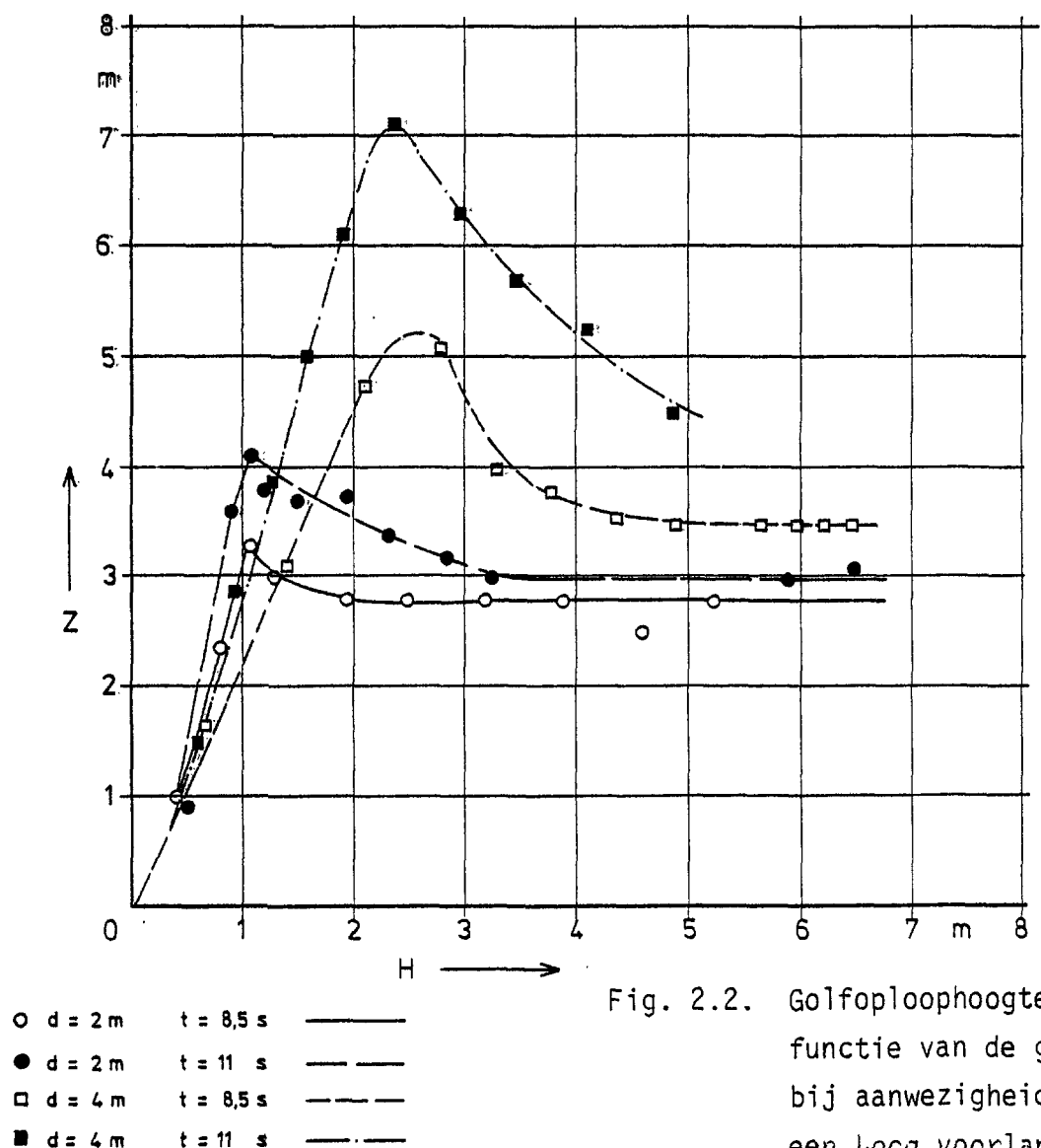


Fig. 2.2. Golfoploophoogte als functie van de golfhoogte bij aanwezigheid van een hoog voorland

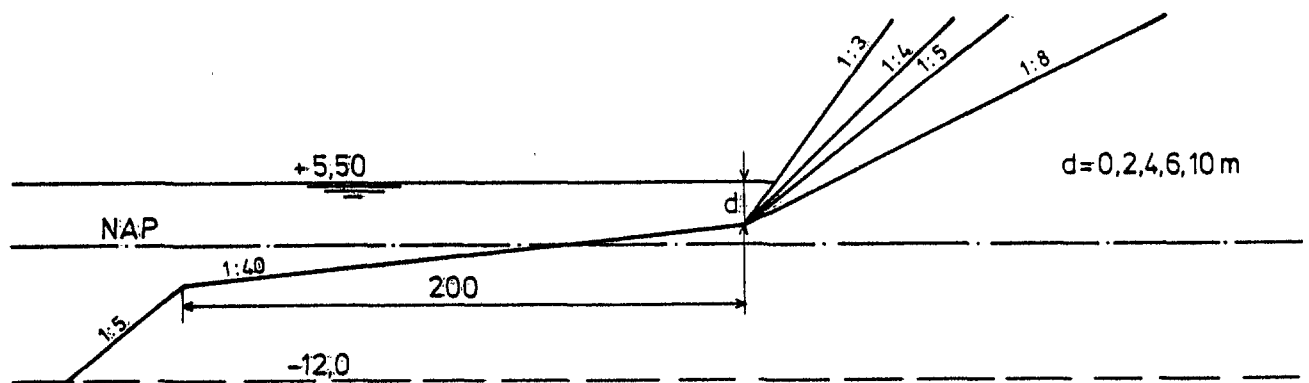


Fig. 2.3. Voorlandsituatie

Alle krommen in fig. 2.2. vertonen een vrijwel identiek verloop: allereerst een bij benadering lineair verband tussen golfoploophoogte en golfhoogte tot de maximale golfoploop wordt bereikt; verdere toeneming van de golfhoogte geeft een afname van de golfoploophoogte te zien tot een zekere limietwaarde, hierna blijft de oploophoogte konstant.

In de literatuur met betrekking tot voorlandsituaties worden vrij veel gegevens en beschouwingen gepresenteerd in samenhang met de golfoploop. Deze zijn weliswaar nuttig voor de interpretatie maar in kwantitatieve zin is hier weinig mee aan te vangen.

Immers in de meeste gevallen is niet na te gaan in welke mate de waterdiepte op het voorland en het talud van de dijk de waarde van de golfoploophoogte bepalen.

Dit literatuuronderzoek is dan ook vooral gericht op de golfactie op het voorland, in afhankelijkheid van bodemverloop en golfkarakteristieken op diep water. Uit de golfbeweging op het voorland kan vervolgens de golfoploophoogte bij een bepaalde dijk worden afgeleid.

Waar nodig zijn de resultaten uit de literatuur dimensieloos gemaakt. Dit opent de mogelijkheid de resultaten van de verschillende onderzoeken met elkaar te vergelijken, en maakt daarbij de resultaten eenvoudiger toegankelijk voor uit te voeren berekeningen.

In dit rapport wordt na de beschrijving van het vervormingsproces in hoofdstuk 3 in hoofdstuk 4 een overzicht gegeven van de beschikbare literatuur met betrekking tot de voorlandsituatie. Vermeld zijn die onderzoeken, waarvan de experimentele resultaten in de daaropvolgende hoofdstukken gebruikt zijn.

Op de belangrijkste oorzaak van golfhoogtevermindering (energiedissipatie): breken wordt in hoofdstuk 5 nader ingegaan. Hoofdstuk 6 bevat een aantal theoretische benaderingen m.b.t. de golfvervorming door breken bij een horizontale bodem (d.i. een voorland).

De hoofdmoot van dit rapport wordt gevormd door de hoofdstukken 7 t/m 10. Hierin worden de golfkarakteristieken op het voorland behandeld in hun relatie tot de waterdiepte op het voorland en de golfkarakteristieken op diepwater.

Achtereenvolgens komen daarbij aan de orde: de golfhoogte (veruit de belangrijkste), de golfperiode, de golflengte en tenslotte de breedte van de brekerzône.

Bij het opsporen van de literatuur zijn de volgende bronnen op bruikbare gegevens onderzocht:

- van het Waterloopkundig Laboratorium de volgende groepen uit de HDC-code:

16.12 - 16.13 - 16.15 - 16.16 - 16.70 - 16.74 -
 16.75 - 16.83 - 26.07 - 26.10 - 26.14 - 26.15 -
 26.16 - 26.27 - 30.25 - 30.45 - 61.67

- van de volgende periodieken, congresverslagen e.d. de jaargangen:

1. Coastal Engineering Conference (1950 - 1978)
2. Coastal Engineering in Japan (1958 - 1976)
3. Journal of the Waterways & Harbours Division
van de ASCE (1956 - 1978)
4. Deutsches Hydrographisches Zeitschrift (1970 - 1978)
5. Acta Hydrophysica (1973 - 1978)
8. Die Küste (t/m 1977)
9. Mitteilungen Leichtweiss-Institut
Technische Universität Braunschweig (t/m 1975)
10. Mitteilungen Franzius-Institut (t/m 1977)
11. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt,
Wasser- und Grundbau, Berlin (t/m 1977)

3. Kwalitatieve beschrijving van het vervormingsproces

Bij de beschouwing van de golfvervorming door een voorland zijn de volgende factoren van belang:

- 1.- het verloop van de waterdiepte van het diepe water tot aan de aan het voorland grenzende waterkering.
- 2.- de waterbeweging.

ad 1) De situatie van de bodem is als volgt: allereerst een gedeelte waar de waterdiepte dusdanig groot is, dat de golfbeweging geen invloed van de bodem ondervindt. Dit wordt gevolgd door de aanloophelling, die het diepe water met het voorland verbindt. De steilheid van de aanloophelling in de uitgevoerde experimenten loopt uiteen van 1:3 tot 1:20.

Het voorland dat hier op volgt kan zowel horizontaal als flauw hellend zijn. De waterdiepte op het voorland wordt sterk beïnvloed door het getij en eventuele opstuwing van het water door de wind. De waterdiepte is veelal zo gering dat voor de golfbeweging het voorland als "ondiep" ($h_v/L_0 < 1/20$) kan worden beschouwd.

ad 2) Bij de waterbeweging is onderscheid te maken tussen regelmatige en onregelmatige golven. De eerste zijn op diepwater volledig gekenmerkt door hun golfhoogte en -periode; de laatste door het energiespectrum en de golfhoogteverdeling.

In ondieper wordend water begint de golf a.h.w. de bodem te "voelen" en gaan de golfkarakteristieken zich wijzigen. Eerst geleidelijk, maar in de brekerzône vrij sterk. In de formules voor de golfbeweging wordt de waterdiepte h van belang.

In het volgende wordt de golfbeweging gaande van het diepe water naar het voorland toe iets uitvoeriger beschreven, met speciale aandacht voor de oorzaak van de golfhoogtevermindering: de energiedissipatie in haar verschillende uitingsvormen.

Zolang de golf zich in diep water bevindt vindt de dissipatie van golfenergie voornamelijk plaats in de vorm van "white-capping": wit schuim (door de wind veroorzaakt) op de kam van de golf.

Bij voortplanting over de aanloophelling komt de golf in

3.2.

steeds ondieper wordend water. Men zegt dat de golf de bodem begint te "voelen", wanneer de waterdiepte ongeveer de helft van de golflengte is geworden.

Op de aanloophelling gaan de golven steeds langzamer lopen, de golflengte neemt af en de golfhoogte toe. De golfsteilheid (H/L) neemt hierdoor eveneens toe. Dit proces wordt aangeduid met "shoaling". In dit gebied vormt de bodemwrijving de belangrijkste oorzaak van energiedissipatie.

Interne viskeuze dissipatie geeft geen dissipatie van betekenis.

Ook verliezen ten gevolge van perkolatie zijn doorgaans van veel minder belang dan die ten gevolge van bodemwrijving.

In tabel 3.1. is voor een bepaalde situatie de absolute en relatieve waarde van bovengenoemde drie oorzaken van energiedissipatie aangegeven. Deze tabel is overgenomen uit Svendsen en Jonsson (1976).

	energiedissipatie per eenheid van oppervlakte (W/m^2)	relatieve verandering in de gemiddelde energieflux over één golflengte (%)
Bodemwrijving (turbulent)	9,0	1,7
Perkolatie (laminair)	0,31	0,06
Viskeuze dissipatie buiten grenslaag	0,00021	0,00004

Tabel 3.1. Energieverliezen in een regelmatige lopende golf met $H = 2$ m, $h = 7$ m en $T = 8$ sec.

Nikuradse ruwheidsparameter $k_N = 5$ cm

Doorlatendheidscoëfficiënt Darcy $k_D = 10^{-3}$ m/s.

Bij verder afnemen van de waterdiepte neemt de golfvervorming steeds geprononceerdere vormen aan. De vorm van de golf wordt nu gekenmerkt door piekvormige golftoppen gescheiden door vlakke golf dalen. Ook het golffront neemt in steilheid toe

en bereikt op gegeven moment een grens-waarde, waarbij de golf breekt.

Dit breken van de golf vindt veelal plaats in de onmiddellijke omgeving van de aanzet van het voorland, n.l. daar waar door de overgang van de aanloophelling naar het voorland een discontinuïteit in het bodemprofiel aanwezig is. De brekertypes, die bij een voorland voorkomen zijn de "spilling" en de "plunging" breker. Hierop wordt in hoofdstuk 5 nader ingegaan.

De energiedissipatie in de brekerzône ten gevolge van het breken van de golf is op zijn minst een orde groter dan de, in het voorgaande, genoemde oorzaken van energiedissipatie.

Dit kan ondermeer geïllustreerd worden aan het feit dat bij een strandhelling de energieflex binnen een aantal golflengten ná het breekpunt tot nul moet zijn afgenomen.

Belangrijke parameters in het breekproces zijn de golfsteilheid (op diep water H_0/L_0), de verhouding tussen de golfhoogte op diep water en de waterdiepte op het voorland (H_0/h_V) en de relatieve waterdiepte op het voorland (h_V/L_0). Deze beide laatste parameters hebben ook sterke invloed op de overdracht van golfenergie naar hogere harmonischen (zie ook paragraaf 7.6.).

Aan het eind van de brekerzône stelt zich weer een min of meer regelmatige golfvorm in, die zich over het resterende deel van het voorland voortplant en uiteindelijk de waterkering bereikt. Op dit laatste traject kan de bodemwrijving nog een vrij aanzienlijke golfhoogtevermindering teweeg brengen.

Uit voorgaande beschouwing kan afgeleid worden dat voor de golfhoogtevermindering slechts de dissipatie t.g.v. turbulentie (breken) en bodemwrijving een werkzaam aandeel heeft.

Van deze beide oorzaken van dissipatie is die t.g.v. breken veruit de belangrijkste. Sawaragi en Iwata (1974) concluderen op grond van hun metingen, dat wanneer een golf zich voortplant over een afstand van tweemaal zijn golflengte de energiedissipatie t.g.v. bodemwrijving op zijn hoogst 9% bedraagt.

Uit bijlagen 10.9 en 10.10 blijkt dat deze lengte ongeveer overeenkomt met de lengte van de brekerzône ($L_B/L_V = 2 \text{ à } 3$). De totale energiedissipatie in de brekerzône loopt volgens

bijlagen 7.11 en 7.12 uiteen van 70 tot bijna 100 procent.

Hieruit volgt dat de energiedissipatie in de brekerzône vrijwel uitsluitend aan de invloed van turbulentie t.g.v. breken kan worden toegeschreven. Energiedissipatie t.g.v. bodemwrijving wordt eigenlijk pas interessant wanneer er na de brekerzône over een vrij groot traject nog een hoog voorland aanwezig is.

Aan de bodemwrijving wordt in het vervolg van dit rapport geen aandacht meer besteed. Hoofddoel van dit literatuuronderzoek is de golfvervorming in de brekerzône, met als belangrijk element hierbij de "output" van de brekerzône: de golfkarakteristieken op het voorland direkt na de brekerzône.

Deze kunnen in het geval van een voorland over grote lengte gebruikt worden als randvoorwaarde (beginvoorwaarde) voor berekeningen voor de bepaling van de energiedissipatie door bodemwrijving op dit lange voorland.

Benaderingen voor verschillende bodemruwheiden zijn ondermeer te vinden bij Jonsson (1966), Dean en Eagleson (1966), Ippen en Mitchell (1957), Bretschneider en Reid (1954) en Miche (1954).

Voor voorlanden met een dichte begroeiing, waarbij de bodemwrijving een aanzienlijke energiedissipatie kan veroorzaken, is de studie van Camfield (1977) van belang. Deze geeft een benaderingsmethode voor het schatten van de golfgroei en -afname in ondiep water bij hoge waarden van de bodemwrijving.

4. Overzicht beschikbare experimentele resultaten

In de hoofdstukken 7 tot en met 10 worden een aantal in het vervormingsproces te onderscheiden grootheden besproken aan de hand van de experimentele resultaten uit een zestal publikaties.

Enkele kenmerkende elementen uit deze onderzoeken zijn in bijlage 4.1. weergegeven.

Dit betreft de proefopzet (type golven, steilheid aanloophelling), het type brekende golven, de plaatsbepaling van de golfhoogte op het voorland en de uitgangspareters.

Door variatie van deze uitgangspareters verkrijgt men een kwalitatief en kwantitatief inzicht in de wijze, waarop allerlei aspecten van het vervormingsproces van deze pareters afhangen.

Het oogmerk van het onderzoek is niet bij alle onderzoeken gelijk. Ruwweg kan een tweedeling gemaakt worden in onderzoeken, die:

- beogen relaties vast te leggen tussen de golfoploophoogten en de uitgangspareters. Hierbij wordt de golfbeweging op het voorland meestal buiten beschouwing gelaten.
- vooral de golfactie op het voorland tot onderwerp van studie hebben. Hierbij gaat het dan ook vaak om het verloop van de golfhoogte na het breekpunt.

Dit feit legt beperkingen op aan de mogelijkheden tot het vergelijken van de resultaten van de verschillende auteurs.

De combinatie van voorlandlengte, waterdiepte op het voorland en golfhoogte op diep water is dusdanig, dat de lengte van de brekerzone kleiner is dan de lengte van het voorland.

Naast de, in bijlage 4.1. opgenomen, publikaties is ook uit andere informatie geput, o.a. met betrekking tot de golfvervorming bij een andersoortige bodemconfiguratie (Nakamura) alsmede theoretische beschouwingen betreffende de golfvervorming op een horizontale bodem (Battjes).

Met de experimenten wordt getracht het in de natuur optredende vervormingsproces zo goed mogelijk na te bootsen. Bij de uitvoering van de proeven kunnen de volgende complicaties optreden:

- o De waterdiepte op de aanloopstrook is onvoldoende om van echte diepwatergolven te kunnen spreken. Dit is te ondervangen door de waarden op de aanloopstrook met de theorie van Airy om te rekenen naar diep water.

Het verschijnsel is ondermeer opgetreden bij de langere golven bij de proeven van Hensen.

- o Daar waar de waterdiepte in kustwaartse richting in grootte afneemt treedt gedeeltelijke reflectie van de aankomende golf op; dit hangt o.a. af van de steilheid van de aanloophelling.

Bij proeven waarbij de golfoploophoogte is bepaald treedt bovendien terugkaatsing van het dijktaalud op.

De gereflecteerde en aankomende golven interfereren, waardoor de golfbeweging op het voorland een onregelmatig karakter krijgt.

Om de invloed van de reflectie op de proefresultaten zoveel mogelijk te beperken, hebben een aantal onderzoekers slechts gewerkt met een specifiek aantal golven uit een opgewekte golftrein. Dit zijn bij Hensen en Führeböter de golven die korte tijd na het starten van de golfmachine zijn opgewekt.

Wel dient voldoende tijd verstreken te zijn om de golfopwekking te doen inspelen. Galvin geeft aan, dat hij bij een samengestelde helling (d.i. een voorlandsituatie) gebruik heeft gemaakt van de 11^e t/m 30^e golf van een opgewekte golftrein. Dit in tegenstelling tot proeven bij een strandhelling, waarbij pas metingen zijn verricht na een inspeeltijd van vijf minuten. Het is de vraag of de invloed van de reflectie dusdanig is, dat deze "kunstgrepen" noodzakelijk zijn; temeer daar bij Galvin aan het eind van het voorland een golf-absorberende constructie is geplaatst.

Voor hellingen flauwer dan 1:10 zal nauwelijks nog reflectie optreden.

- o Om de invloed van de, door het breken van de golf veroorzaakte, turbulentie op het vervormingsgedrag na het breekpunt te bepalen hebben Sawaragi en Iwata gekozen voor een proefopstelling met een horizontale bodem. In hun motivering hiervan stellen zij, dat hierbij in tegenstelling tot bij een strandhelling verschijnselen als "returnflow", "wave set-up en set-down", "shoaling" en reflectie een veel geringere rol spelen bij de golfvervorming na het breekpunt.

Dit is in beginsel juist, hoewel ook bij een voorlandsituatie

een zekere verhoging van de middenstand zal optreden, waardoor een bepaalde retourstroom lijkt te worden instandgehouden.

- o Bij experimenten met brekende golven kunnen schaaleffecten optreden (Diephuis, 1957). Ook de verschillende waarde die aan de "turbulence decay coefficient" β aan natuur- en modelmetingen bij de theoretische benadering van Horikawa en Kuo wordt toegekend lijkt hier op te wijzen.

- o Onduidelijk is of de voorlandbreedte enige invloed op het vervormingsgedrag van de golf na het breekpunt uitoefent.

In beginsel lijkt hiervoor geen aanleiding te bestaan, toch is bij M 1084 deze invloed wel geconstateerd (zie ook paragraaf 7.3.). Mogelijk is dit toe te schrijven aan de invloed van de reflectie tegen het dijklichaam. Bij verschillende voorlandbreedtes zullen aankomende en gereflecteerde golven op een andere wijze interfereren.

Een en ander maakt, dat experimentele resultaten slechts met de nodige voorzichtigheid in praktijksituaties kunnen worden toegepast.

5. Breken van de golven op het voorland

5.1. Inleiding

Bij de in dit hoofdstuk beschouwde publicaties (Horikawa & Kuo (1966), Galvin (1969) en Sawaragi & Iwata (1974)) breken de golven, die zich uit het "diepe" water naar het voorland toe voortplanten in vrijwel alle gevallen op het voorland. Bij Horikawa zijn alleen die golven gebruikt, die breken op de aanzet van het voorland.

De resultaten van Galvin hebben betrekking op "plunging" brekende golven; die van de overigen op zowel "spilling" als "plunging" brekende golven. Het type breker blijkt een belangrijke invloed te hebben op de snelheid van de golfhoogteverandering in de brekerzône. Het type breker dat optreedt wordt bepaald door de golfkarakteristieken op diep water en het verloop van de bodem. De door de verschillende auteurs gehanteerde criteria hierbij, komen in paragraaf 5.3. aan de orde.

Aan het eind van dit hoofdstuk worden de, in het verloop van het breekproces te onderscheiden, stadia behandeld; met speciale aandacht voor de afstand waarover de gebroken golf de betreffende kenmerken vertoont.

5.2. Vorm van de brekende golf

Wanneer de golf uit diep water komt, zal deze op de aanloophelling door de geringer wordende waterdiepte opsteilen.

De golftop krijgt hierbij een steeds meer gepiekt uiterlijk, terwijl het golfdal flauwer wordt.

Door Sawaragi en Iwata is voor de situatie van een horizontaal voorland voorafgegaan door een aanloophelling, de verhouding bepaald tussen de golfkamhoogte (d.i. de afstand van de golfkruin tot de bodem) op het punt van breken en de golfhoogte op diep water (bijl. 5.1.). Deze verhouding is beschouwd als functie van de golfsteilheid op diep water (H_0/L_0) en de relatieve waterdiepte op het voorland (h_v/L_0).

Toeneming van de golfsteilheid en afname van de relatieve waterdiepte hebben een reducerende werking op het gepiekte karakter van golven op het punt van breken.

Hieruit volgt tevens dat voor een "spilling" breker de waarde van r_b/H_0 groter is dan voor een "plunging" breker.

Benadrukt zij dat bovenstaande geldt voor golven die op het voorland breken.

De verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte op het punt van breken wordt behandeld in paragraaf 10.2.

5.3. Brekertype

Twee typen brekende golven zijn bij de situatie met een voorland van belang: de "spilling" breker en de "plunging" breker.

Van beide typen is in fig. 5.1. schetsmatig aangegeven welke vorm de golf heeft op het breekpunt en op het traject hierop-volgend.

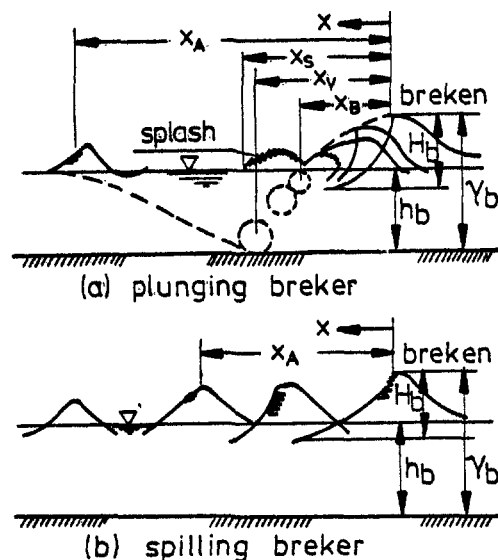


Fig. 5.1. Golfvorm van "plunging" en "spilling" breker

Het optreden van één van beide brekertypes wordt bepaald door de golfkarakteristieken op diep water en de waterdiepte op het punt van breken.

Sawaragi en Iwata hebben voor de situatie van golven die breken op een voorland dat wordt voorafgegaan door een aanloophelling van 1:18 het overgangsgebied tussen beide brekertypen vastgesteld.

Voor $H_0/h_v < 0,72$ is er sprake van "spilling" brekers en voor $H_0/h_v > 0,72$ van "plunging" brekers*. Andere auteurs geven voor deze overgang geen waarden.

Wel is uit de meetresultaten van Galvin de verhouding H_0/h_v af te leiden (zie bijlage 10.13) voor de plunging brekende golven waarmee Galvin heeft gewerkt. Deze ligt gemiddeld genomen rond de 0,68 met een uitschieter naar beneden van 0,49 en naar boven van 0,93.

Geconcludeerd mag worden dat de overgangswaarde van H_0/h_v aan veel meer spreiding onderhevig is, dan bijlage 5.2. suggereert. Voor een strandhelling onderscheidt Galvin (1969) twee parameters die de overgang tussen "spilling" en "plunging" aangeven: de "offshore parameter" ($H_0/L_0 \cdot m^2$) en de "inshore parameter" (H_b/gmT^2).

Er is sprake van een "spilling" breker wanneer $H_0/L_0 \cdot m^2$ resp. H_b/gmT^2 groter is dan 4,8 resp. 0,068. Bij kleinere waarden van deze parameters treden "plunging" brekers op.

Een opvallend verschil tussen de situatie van een strandhelling en die van een voorland treedt aan het licht, wanneer de invloed van een verandering van de golfsteilheid op het brekertype wordt beschouwd.

Bij een voorland leidt vergroting van de golfsteilheid ertoe, dat de golf op gegeven moment niet meer "spilling" breekt, maar een "plunging" karakter krijgt. In het geval van een strandhelling is deze overgang precies andersom.

Het verschillend gedrag bij het breken op een voorland en op een strandhelling wordt door Sawaragi en Iwata aan de volgende oorzaken toegeschreven:

* De resultaten zijn weergegeven in bijlage 5.2.

5.4.

- op een voorland dwingen de golven zichzelf te breken
- de effecten van terugstroming (return-flow), "shoaling", "wave set-up en set-down" spelen bij het breken van een golf op een strandhelling een belangrijke rol.

Een aantal van deze factoren kan evenwel ook bij een voorland een rol spelen, o.a. afhankelijk van de lengte van het voorland. De invloed van deze factoren zal hierbij evenwel geringer zijn.

5.4. Karakteristieke punten in het breekproces

In het breekproces zijn een aantal stadia te onderscheiden die op een zekere afstand t.o.v. het breekpunt optreden.

Bij een "plunging" breker kunnen achtereenvolgens worden onderscheiden de punten waar:

- de kruin van de brekende golf het water weer bereikt.
- de "horizontal roller" verdwijnt. Onder de "horizontal roller" wordt verstaan de cirkelvormige beweging om een horizontale as evenwijdig aan de golfkam, die bij een "plunging" breker in het water vóór het golffront aanwezig is.
- de "splash" op het water terechtkomt. Met de "splash" wordt bedoeld het water dat bij het neerkomen van de kruin van de brekende golf omhoog "spat".
- de bij het breken in het water "opgenomen" luchtbellen weer uit het water verdwenen zijn.

In het geval van een "spilling" breker is slechts het stadium waar de luchtbellen zijn verdwenen van belang (zie ook fig. 5.1.).

Sawaragi en Iwata (1974) hebben de afstand van deze punten t.o.v. het breekpunt bepaald. Deze afstanden worden successievelijk aangeduid met X_B , X_V , X_S , X_A .

Genoemde afstanden zijn dimensieloos gemaakt met de golflengte op het voorland (L_V), berekend met de theorie van Airy.

Onderzocht is op welke wijze deze dimensieloze afstanden afhangen van de golfsteilheid op diep water (H_0/L_0) en de relatieve waterdiepte op het voorland (h_V/L_0). De resultaten hiervan zijn vervat in bijlage 5.3.

De waarde van X_A/L_V blijkt sterk bepaald te worden door de grootte

van h_v/L_0 en H_0/L_0 . De andere dimensieloze afstanden zijn slechts licht afhankelijk van de golfsteilheid en onafhankelijk van de relatieve waterdiepte.

Ook Galvin (1969) heeft voor een beperkt aantal golven op een samengestelde helling (voorland) de afstand t.o.v. het breekpunt bepaald van het punt waar de kruin van de brekende golf weer het water raakt. De hierbij behorende waarden van de golfsteilheid op diep water, de relatieve waterdiepte en de golf-lengte op het voorland zijn met de theorie van Airy bepaald (zie bijlage 10.13).

De waarden van Galvin voor $X_p/L_v (= X_B/L_v)$ geven een ca. 50% grotere waarde te zien dan die van Sawaragi en Iwata.

6. Theoretische benaderingen m.b.t. energiedissipatie in gebroken golven op een horizontaal voorland

6.1. Inleiding

Een theoretische benadering van de golfhoogtevermindering in de brekerzône bij een horizontaal voorland dient in ieder geval de volgende elementen te bevatten:

- a. het type breker. Deze parameter kan expliciet in rekening gebracht worden door de benadering vooraf te beperken tot bijv. de "spilling" breker. Een andere (impliciete) mogelijkheid is het toekennen van een bepaalde waarde aan een coëfficiënt, waardoor in het ene geval de benadering geldt voor een "spilling" breker en bij een andere waarde van de coëfficiënt voor een "plunging" breker.

De eerste aanpak is fraaier, daar hierbij het fysisch verschillende "breekgedrag" bij de twee typen brekers in de benadering wordt ingebouwd.

- b. het verloop van de bodem en hier direkt mee samenhangend de golfkarakteristieken op het punt van breken.

De mate waarin deze beide factoren het verloop van de golfhoogte van de gebroken golven beïnvloeden is sterk afhankelijk van het verloop van de bodem na het breekpunt.

Voor langzaam afnemende waterdiepte (flauwe hellingen) en voor toenemende waterdiepte na het breekpunt wordt het gedrag van de golf na het breken voornamelijk bepaald door de golfkarakteristieken op het punt van breken.

De in dit hoofdstuk opgenomen benaderingen geven als eindresultaat een vergelijking waarmee het verloop van de golfhoogte in de brekerzône berekend kan worden.

Horikawa & Kuo (1966) zowel als Battjes (1978) maken bij hun benadering gebruik van de energiebalans. Het verschil tussen beide benaderingen wordt gevormd door de in de energiebalans in te voeren dissipatiefunctie, welke bij Battjes slechts geldigheid bezit voor een "spilling" breker.

Horikawa en Kuo spreken zich over het type breker, waarvoor hun benadering geldig is, niet uit.

Sawaragi en Iwata (1974) gaan in hun benadering uit van de twee-dimensionale vergelijking van Navier-Stokes, die na enige vereenvoudigingen en invoering van de wet van behoud van massa, leidt tot twee differentiaalvergelijkingen waarmee de turbulentie-invloed op de golfhoogtevermindering nā het breekpunt wordt beschreven.

Genoemde drie benaderingen worden in de volgende paragrafen iets uitgebreider besproken. Hierbij wordt speciaal aandacht geschonken aan de uitgangspunten van de theorie en de aannamen die bij de benadering worden gedaan.

Indien verifikatie van de theorie heeft plaatsgehad, zal de samenhang tussen theorie en experiment grafisch worden toegelicht.

Daar waar de formules bijzonder omvangrijk worden (met name bij Horikawa en Kuo) zijn slechts de structuur van de formule en de erin voorkomende grootheden aangegeven.

6.2. Benadering Horikawa & Kuo

De benadering van Horikawa en Kuo van de golfhoogtevermindering van gebroken golven op een horizontale bodem is een verbijzondering van een meer algemene theorie. In deze theorie wordt gebruik gemaakt van de wet van behoud van energie. De onderscheiden oorzaken van energiedissipatie worden in de energiebalans ingevoerd, waarna voor een strandhelling en een horizontale bodem het verloop van de waterdiepte in rekening gebracht kan worden.

In deze paragraaf wordt slechts de laatste benadering weergegeven.

Het type breken waarvoor de, in de energiebalans in te voeren, dissipatiefunctie geldig is, wordt door Horikawa en Kuo niet gespecificeerd.

Aan het begin van de benadering worden vier uitgangspunten c.q. aannamen vermeld:

1. De kenmerken van de gebroken golven in de brekerzōne worden beschreven met de 2^e orde benadering van de "solitary wave"-theorie.
2. De energiedissipatie t.g.v. turbulentie en bodemwrijving wordt in rekening gebracht. Het effect van perkolatie wordt verwaarloosd.

3. In de gehele brekerzône wordt dezelfde waarde van de wrijvingscoëfficiënt gehanteerd.
4. De turbulentie is isotroop en neemt vanaf het breekpunt in kustwaartse richting exponentieel met de afstand af.

Bodemwrijving

De schuifspanning langs de bodem wordt benaderd met:

$$\tau_b = C_f \cdot \left(\frac{8}{3\pi}\right) \bar{u}^2, \text{ met } \bar{u} \text{ de amplitude van de over de hoogte gemiddelde horizontale snelheid } \bar{u}, \text{ en } C_f \text{ de wrijvingscoëfficiënt.}$$

De energiedissipatie t.g.v. bodemwrijving per eenheid van breedte en tijd wordt gegeven door:

$$\frac{dE_b}{dt} = \int_{-\infty}^{\infty} \rho \cdot \bar{u} \cdot \tau_b \cdot dx = f(\rho, g, C_f, H, h) \quad (1)$$

$f(\rho, g, C_f, H, h)$ is een polynoom in H/h .

Turbulentie

Wanneer de turbulentie statistisch isotroop is, kan de energiedissipatie t.g.v. turbulentie per eenheid van volume en tijd worden geschreven als:

$$\bar{W} = 15 \mu \cdot \frac{\overline{u'^2}}{\lambda^2}, \text{ met} \quad (2)$$

μ de viscositeitscoëfficiënt,

u' de fluktuatie in de horizontale component van de snelheid,
en λ de dissipatielengte.

De turbulentie neemt in kustwaartse richting exponentieel af,
d.w.z.

$$\overline{u'^2} :: \exp(-\beta \cdot x/L), \text{ met}$$

β de turbulentiedempingscoëfficiënt en L de golflengte.

Hiermee ontstaat voor de dissipatielengte de volgende uitdrukking:

$$\lambda^2 = \frac{\overline{-10vu'^2}}{\frac{du'^2}{dt}} = \frac{\overline{-10vu'^2}}{c \cdot \frac{du'^2}{dx}} = 10 \cdot \frac{vT}{\beta} \quad (3)$$

Vervolgens wordt aangenomen dat de mengweg λ in de hypothese van Prandtl evenredig is met de hoogte boven de bodem

$$u' = \lambda \cdot \frac{du}{dz} = \kappa (z+h) \frac{du}{dz} \quad (4)$$

met κ de universele konstante van Kármán en h de waterdiepte. De z -as verticaal omhoog vanaf het wateroppervlak.

Substitutie van (3) en (4) in vergelijking (2) geeft:

$$\bar{W} = 1,5 \cdot \rho \frac{\kappa^2 \beta}{T} (z+h)^2 \cdot \left(\frac{du}{dz}\right)^2 \quad (5)$$

met $\frac{du}{dz}$ bepaald uit de rotatie vrije beweging van een niet-gebroken golf.

Voor de energiedissipatie t.g.v. turbulentie per eenheid van breedte en tijd geldt dan:

$$\frac{dE_t}{dt} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-h}^{\eta} \bar{W} \cdot dz dx = g(\rho, g, \beta, T, H, h), \text{ met} \quad (6)$$

η de verhoging van het wateroppervlak

Ook $g(\dots)$ is een polynoom in H/h .

Energiebalans

De totale energie in een "solitary wave" per eenheid van breedte wordt in de 2^e orde benadering gegeven door:

$$E_s = \frac{8}{3\sqrt{3}} \cdot \rho g h^3 (H/h)^{3/2} \cdot (1 + H/h)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Voor de afgeleide naar de tijd van de hoeveelheid energie geldt dan:

$$\frac{dE_s}{dt} = \frac{4,4}{\sqrt{3}} \cdot \rho g h (H/h)^{\frac{1}{2}} \cdot (1 + H/h)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{d(H/h)}{dx} \quad (8)$$

Toepassing van de wet van behoud van energie geeft de volgende vergelijking:

$$\frac{dE_s}{dt} = -\left(\frac{dE_b}{dt} + \frac{dE_t}{dt}\right). \quad (9)$$

Substitutie van vergelijking (1), (6) en (8) in vergelijking (9) levert na enig omwerken de volgende differentiaalvergelijking op:

$$\frac{dx}{T \cdot \sqrt{gh}} = f^* (g, T, C_f, \beta, H, h) \cdot d(H/h), \quad (10)$$

waarin $f^* (\dots)$ wederom een polynoom in H/h vormt.

Hiermee wordt het verloop van de golfhoogte in de brekerzône beschreven.

Horikawa en Kuo hebben het eindresultaat (vgl. 10) van hun theorie vergeleken met laboratoriumexperimenten en natuurmetingen.

Tussen theorie en experiment bestaat een redelijke overeenstemming wanneer aan de coëfficiënt β een waarde van 4 à 5 wordt toegekend. Een voorbeeld hiervan is in fig. 6.1. gegeven.

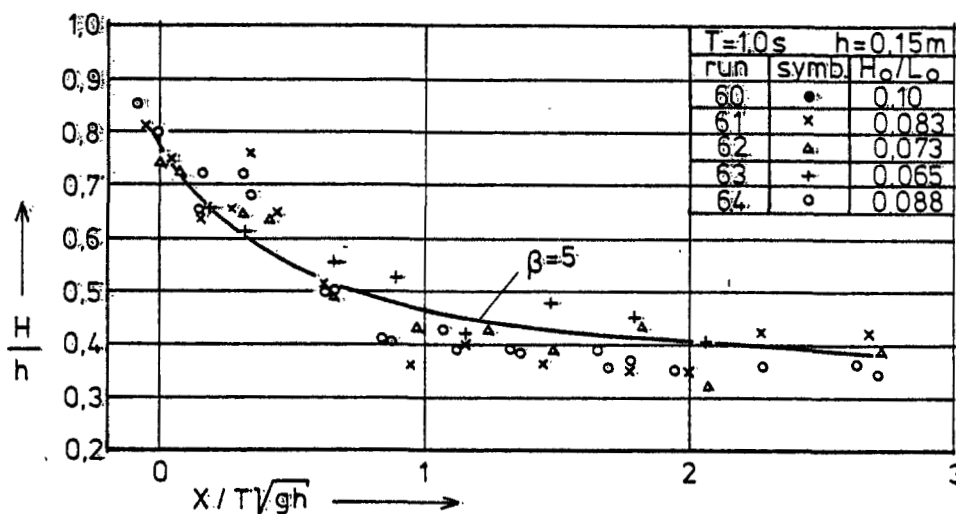


Fig. 6.1. Vergelijking tussen theoretische benadering en experimentele resultaten (Horikawa en Kuo)

Bij de natuurmetingen vertoont de theoretische benadering redelijke overeenstemming voor $\beta = 1$. Dit verschil tussen modelproeven enerzijds en natuurmetingen anderzijds wordt aan schaal-effekten bij het breken geweten.

Voor een deel echter moet het worden geweten aan onvolkomenheden in de theoretische benadering.

Zo wordt een "interne" grootte als de horizontale component van de snelheid van een waterdeeltje ingevoerd, zonder dat daarbij

duidelijk is welk type breker wordt beschouwd. En het type breker is toch maatgevend voor de "interne" structuur van de brekende golf en daarmee voor de horizontale snelheid u .

Uit de mate waarin de grootheden H_0 , T en h_v zijn gevarieerd in de proeven is af te leiden dat beide type brekers zijn opgetreden.

Ook het koppelen van de verticale gradiënt van de horizontale snelheid van een waterdeeltje in een brekende golf aan de mengweg in de hypothese van Prandtl (vergelijking 4) lijkt moeilijk verdedigbaar. Het karakter van de bij het breken van de golf opgewekte turbulentie is duidelijk verschillend.

Daar waar het gebruik van de grootte u al als twijfelachtig moet worden beschouwd, lijkt een verfijndere aanpak door het hanteren van de 2^e orde benadering van de "solitary wave" weinig zinvol. Daarbij komt nog, dat de proeven zijn uitgevoerd met periodieke golven. Hantering van de formules voor de periodieke golfbeweging lijkt dan ook meer op zijn plaats.

Opgemerkt kan tenslotte nog worden, dat de algemene theoretische benadering verbijzonderd voor een strandhelling een minder goede overeenstemming tussen theorie en experiment te zien geeft dan voor een horizontale bodem.

Dit is mogelijk toe te schrijven aan het feit dat sommige aannamen in de voorlandsituatie eerder aanvaardbaar zijn dan bij een strandhelling. Tenslotte is het gedrag van de golf in de omgeving van het breekpunt in deze laatste situatie nogal afwijkend.

6.3. Benadering Battjes

De wijze van benadering van Battjes is in grote lijnen dezelfde als van Horikawa en Kuo: er wordt een algemene theorie ontwikkeld door invoering in de energiebalans van de verschillende oorzaken van energiedissipatie, waarna deze theorie wordt verbijzonderd voor de situatie van een strandhelling en een horizontale bodem.

De benadering van Battjes is beperkt tot golven van het "spilling" breker-type. Slechts de invloed van de turbulentie op de golfhoogtevermindering na het breken wordt in rekening gebracht.

Dissipatiefunctie

De energiedissipatie in een "spilling" gebroken golf wordt in navolging van Le Méhauté, Divoky en Hwang afgeschat met de energiedissipatie in een "bore" van dezelfde hoogte (zie fig. 6.2.).

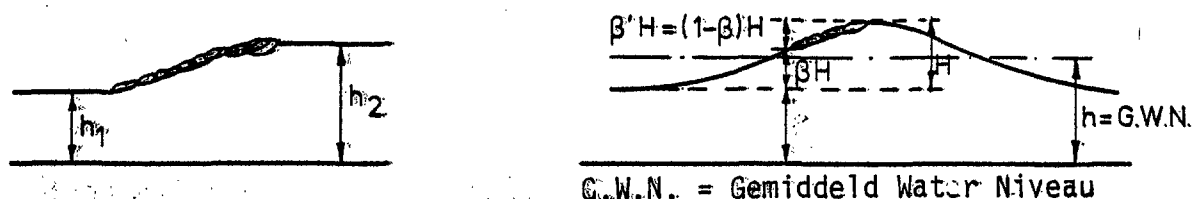


Fig. 6.2.

De energiedissipatie per eenheid van tijd in een "bore", die twee gebieden met eenparige stroming verbindt, wordt gegeven door:

$$D' = 1/4 \rho g \frac{(h_2 - h_1)^3}{h_1 h_2} \cdot Q = 1/4 \cdot \rho g (h_2 - h_1)^3 \left\{ \frac{g(h_1 + h_2)}{2h_1 h_2} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

met Q het debiet door de "bore".

De hoogte van het schuimgebied is groot $(1-\beta)H = \beta' \cdot H$

Met $h_1 \cdot h_2 = O(h^2)^*$ gaat vergelijking (1) over in:

$$D' = B \cdot 1/4 \rho g \frac{(\beta' H)^3 \cdot c}{h} \quad \text{met } c = (gh)^{1/2} \quad (2)$$

waarbij in de coëfficiënt B de gevolgen van de benadering (verschil tussen "spilling" breker en een "bore") worden vervat; wanneer de benadering juist is dient $B' = O(1)$ te zijn.

Alvorens vergelijking (2) in de energiebalans kan worden ingevoerd, dient de parameter β' bekend te zijn.

Le Méhauté (1962) en Divoky (1970) hebben dit probleem op twee verschillende wijzen benaderd.

Voor "flauwe" hellingen nemen zij aan dat geldt: $H/h = \text{konstant}$, met als gevolg een afhankelijkheid van β' van de steilheid van de helling.

* $O(\dots)$ wil zeggen in de orde van grootte van....

Voor "steile" hellingen nemen zij aan $\beta' = 1$, waarna een vergelijking voor H/h volgt.

Battjes stelt de volgende hypothese voor: $\beta' = H/\gamma \cdot h$ met γh de plaatselijke "brekerhoogte".

Deze voorstelling van β' sluit beter aan bij de waarnemingen dat β' , bij konstante of weer toenemende waterdiepte nā het breekpunt, sterker afneemt dan de golfhoogte H .

De energiedissipatie per eenheid van tijd kan nu worden geschreven als:

$$D' = \frac{B}{4\gamma^3} \rho g H^2 c \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^4 = \frac{B}{4\gamma^3} \rho g H^2 \cdot (gh)^{1/2} \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^4 \quad (3)$$

Energiebalans toegepast op "solitary waves"

De totale energie in een "solitary wave" per eenheid van breedte wordt (in eerste orde benadering) geschreven als:

$$E'_s = \frac{8}{3\sqrt{3}} \rho g (Hh)^{3/2} \quad (4)$$

Toepassing van de wet van behoud van energie geeft:

$$\frac{dE'_s}{dt} + D' = c \cdot \frac{dE'_s}{dx} + D' = 0 \quad (5)$$

Substitutie van vergelijking (3) en (4) in (5), met $h = \text{konstant}$ levert de volgende differentiaalvergelijking op:

$$h^{3/2} \frac{dH^{3/2}}{dx} + \frac{3\sqrt{3}}{32} \cdot \frac{B}{\gamma^3} \cdot h^{-4} \cdot H^6 = 0 \quad (6)$$

Integratie van (6), met als randvoorwaarde $x = 0$; $H = H(0)$, leidt tot:

$$\left\{ \frac{H(x)}{H(0)} \right\}^{-9/2} = 1 + \frac{9\sqrt{3}}{32} \cdot \frac{B}{\gamma^3} \cdot \left\{ \frac{H(0)}{h} \right\}^{9/2} \cdot \frac{x}{h} \quad (7)$$

Energiebalans toegepast op periodieke golven

In plaats van de totale dissipatie van een brekende golf (D') wordt nu de gemiddelde energiedissipatie per eenheid van tijd

en oppervlakte beschouwd (D):

$$D = \frac{D'}{c.T} = \frac{B}{4\gamma^3} \cdot \frac{\rho g H^2}{T} \cdot (H/h)^4 \quad (8)$$

De gemiddelde energieflex per eenheid van breedte wordt benaderd met:

$$P = 1/8 \rho g H^2 (gh)^{1/2} \quad (9)$$

De energiebalans ziet er nu als volgt uit:

$$\frac{dP}{dx} + D = 0 \quad (10)$$

Invulling van vergelijking (8) en (9) in (10), met $h = \text{konstant}$ leidt na integratie tot de volgende vergelijking

$$\left\{ \frac{H(x)}{H(0)} \right\}^{-4} = 1 + \frac{x}{T \sqrt{gh}} \cdot \frac{4B}{\gamma^3} \left\{ \frac{H(0)}{h} \right\}^4 \quad (11)$$

In verkorte schrijfwijze:

$$\left\{ \frac{H(x)}{H(0)} \right\}^{-4} = 1 + \frac{A \cdot x}{T \sqrt{gh}}, \text{ met } A = \frac{4B}{\gamma^3} \left\{ \frac{H(0)}{h} \right\}^4$$

De algemene theoretische benadering toegepast op periodieke golven en verbijzonderd voor een horizontale bodem is vergeleken met experimentele resultaten van Horikawa en Kuo (zie fig. 6.3.).

Voor γ is in dit geval een waarde van $\gamma = 0,6$ gehanteerd en voor de coëfficiënt is $B = 2$ genomen, wat voor A een waarde van $A = 15,2$ oplevert.

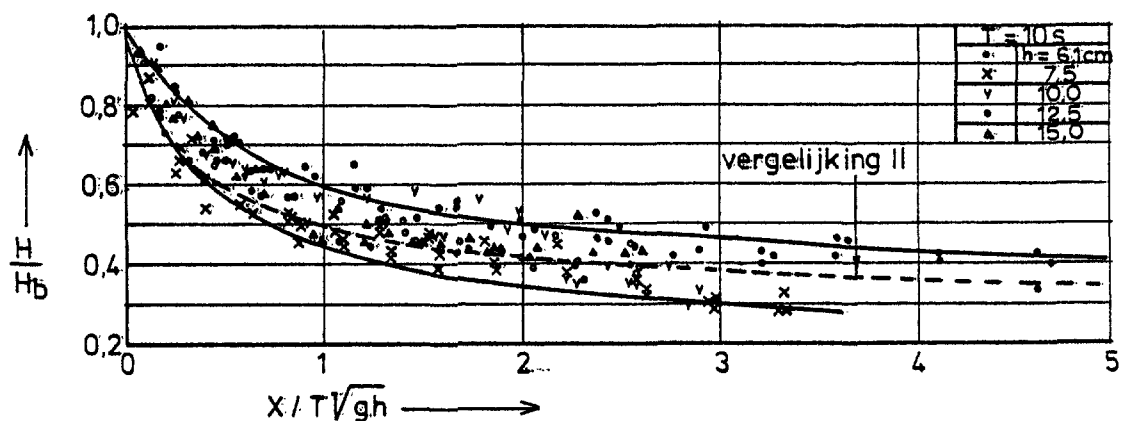


Fig. 6.3. Vergelijking tussen de theoretische benadering van Battjes en de experimentele resultaten van Horikawa en Kuo.

De overeenstemming is redelijk te noemen. De golfhoogtevermindering direct na het breekpunt ("initial decay rate") wordt evenwel enigszins overschat.

Overigens hebben de experimentele resultaten van Horikawa en Kuo betrekking op zowel "spilling" als "plunging" brekende golven, terwijl de dissipatiefunctie bij Battjes is benaderd voor een "spilling" breker.

6.4. Benadering Sawaragi en Iwata

In hun benadering van de golfhoogtevermindering van een gebroken golf gaan Sawaragi en Iwata uit van de twee-dimensionale Navier-Stokes vergelijking met turbulentie-termen.

$$\rho \frac{DU}{Dt} = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 U + \left(\frac{\partial P_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial P_{zx}}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\rho \frac{DV}{Dt} = - \rho g - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 V + \left(\frac{\partial P_{zx}}{\partial z} + \frac{\partial P_{zz}}{\partial z} \right)$$

met P_{xx} , P_{zz} = Reynolds spanningen, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, P = druk

μ = viscositeitscoëfficiënt, U = horizontale en V = vertikale

snelheid van een waterdeeltje; oorsprong van de z-as op de bodem.

Met de volgende drie aannamen:

1. $DV/Dt = 0$
2. Termen met de viscositeit zijn te verwaarlozen t.o.v. de termen met de Reynoldsspanningen.
3. $0(\frac{\partial P_{xx}}{\partial x} \text{ en } \frac{\partial P_{zx}}{\partial x}) \gg 0(\frac{\partial P_{zx}}{\partial z} \text{ en } \frac{\partial P_{zz}}{\partial z})$

gaat vergelijking (1) over in:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (P_{xx} + P_{zx}) = 0 \quad (2)$$

met η = golfprofiel.

De Reynoldsspanningen P_{xx} en P_{zx} worden vervolgens benaderd met:

$$P_{xx} = L_1^2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right) \left| \frac{\partial U}{\partial x} \right| :: - L_x^2 \left(\frac{U}{h} \right)^2 \quad (3)$$

$$P_{zx} = L_2^2 \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| :: - L_z^2 \left(\frac{U}{h} \right)^2$$

De lengtes L_x en L_z uit vergelijking (3) worden nu benaderd met:

$$L_x^2 + L_z^2 = K(h + \eta)^2 \quad (4)$$

met K de turbulentie-intensiteits-coëfficiënt.

Substitutie van vergelijking (3) en (4) in (2) leidt tot:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (K(\eta + h)^2 \left(\frac{U}{h} \right)^2) = 0 \quad (5)$$

Toepassing van de wet van behoud van massa geeft

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U(h + \eta)) = 0 \quad (6)$$

De vergelijkingen (5) en (6), met een beginvoorwaarde erbij, zijn voldoende om de golfhoogtevermindering te beschrijven.

De oplossing van de vergelijkingen (5) en (6) gaat via de eindige differentiemethode. Hiertoe worden de variabelen uit deze vergelijkingen in een iets andere vorm geschreven:

$$X^* = x/h ; T^* = (t/h) \cdot \sqrt{gh} ; U^* = U / \sqrt{gh} ; H^* = (h + \eta)/h$$

Voor een netwerk van (X_i^*, T_i^*) worden nu waarden van U^* en H^* bepaald; hierbij is $X_i^* = i \Delta X^*$ en $T_i^* = i \Delta T^*$.

In fig. 6.4 is een vergelijking gemaakt tussen de experimentele resultaten en de theoretische benadering van de golfhoogtevermindering voor zowel een "spilling" als een "plunging" breker.

Bij een bepaalde keuze van de turbulentieintensiteitscoëfficiënt K is de overeenstemming tussen theorie en experiment redelijk goed.

Voor een "plunging" breker, die gekenmerkt wordt door een snellere golfhoogtevermindering dient een aanzienlijk grotere waarde van K te worden gehanteerd dan voor een "spilling" breker.

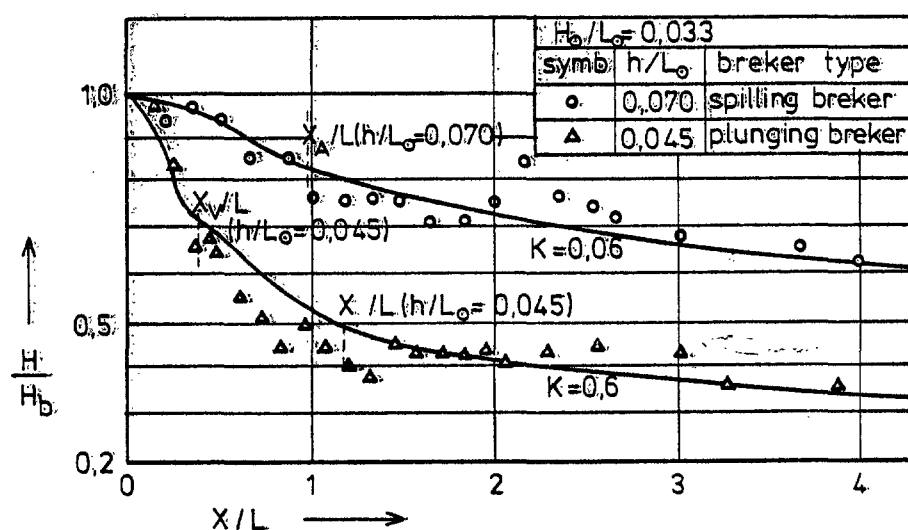


Fig. 6.4. Vergelijking tussen theoretische benadering en experimentele resultaten (Sawaragi en Iwata)

Sawaragi en Iwata hebben hun theoretische benadering ook vergeleken met de benadering van Horikawa en Kuo.

Voor bepaalde combinaties van coëfficiënten vertonen de krommen van beide benaderingen een vrijwel identiek verloop (fig. 6.5.).

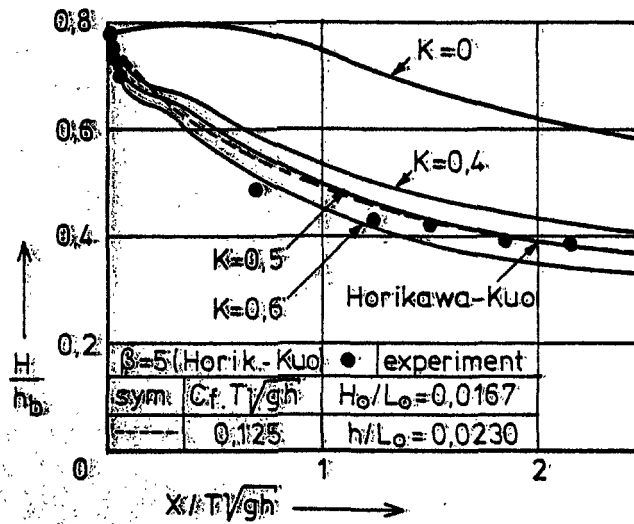


Fig. 6.5. Vergelijking tussen theoretische benaderingen van Sawaragi en Iwata en Horikawa en Kuo.

Aan de benadering van Sawaragi en Iwata kleeft hetzelfde bezwaar als aan die van Horikawa en Kuo: gewerkt wordt met interne grootheden (u) van de gebroken golf, terwijl het, de interne structuur bepalende, brekertype d.m.v. een turbulentie intensiteitscoëfficiënt via een achterdeurtje wordt ingevoerd.

7. Golfhoogte op het voorland

7.1. Inleiding

De golfhoogte op het voorland wordt bepaald door de grootheden, die de waterbeweging op de aanloopstrook en het verloop van de bodem karakteriseren.

Voor de bodemconfiguratie zijn dit:

- de diepte van het voorland (h_v),
 - de steilheid van de aanloophelling (m),
 - de diepte van de aanloopstrook (h_a),
- en voor de waterbeweging op "diep" water;
- de golfhoogte op de aanloopstrook (H_a)
 - de golfperiode op de aanloopstrook (T)
 - de golflengte op de aanloopstrook (L_a)

Deze laatste grootheid (L_a) is geen onafhankelijke variabele, maar wordt bepaald door h_a en T.

De diepte van de aanloopstrook is alleen van belang indien het quotiënt van deze waterdiepte en de "diepwatergolflengte" kleiner is dan een half. Door het omrekenen (theorie Airy) van de golfhoogte en -lengte op de aanloopstrook naar hun waarde op diep water wordt de parameter h_a geëlimineerd.

Dit lijkt gerechtvaardigd, daar het golfvervormingsproces zich in hoofdzaak afspeelt in de zône van het eind van de aanloophelling en de aanzet van het voorland. De "toevallige" waarde van h_a en daarmee L_a zal hierop weinig van invloed zijn.

De waterbeweging wordt derhalve gekenmerkt door de (evt. omgerekende) golfhoogte op diep water (H_0) en de golfperiode (T).

Bij de presentatie van de resultaten wordt i.p.v. de periode de diepwatergolflengte gebruikt ($L_0 = gT^2 / 2\pi$).

Over de invloed van de steilheid van de aanloophelling op de golfvervorming is weinig tot niets bekend. Slechts Hensen en Führböter (1962) hebben deze helling in hun onderzoek een weinig gevarieerd, en de invloed van deze variatie op de golfoploophoogte bekeken. Als uitgangsparameters blijven dus over: h_v , H_0 en L_0 .

Alle uitgangsparemeters hebben de dimensie lengte, en kunnen eenvoudig tot de volgende dimensieloze faktoren worden samengevoegd: H_0/h_V ; h_V/L_0 en H_0/L_0 .

Om tot een zinvolle presentatie van de verschillende samenhangen te komen, dient ook de golfhoogte op het voorland dimensieloos te worden gemaakt. Hiervoor in aanmerking komen de waterdiepte op het voorland en de golfhoogte op diep water.

Dit levert dan: H_V/H_0 en H_V/h_V .

In het ideale geval zou nu de samenhang van H_V/H_0 resp. H_V/h_V met één van de uitgangsparemeters dienen te worden bekeken, terwijl één van de beide andere uitgangsparemeters daarbij constant wordt gehouden. De derde parameter is direkt gekoppeld aan de beide andere. Het beperkte aantal meetresultaten evenwel maakt dit niet altijd goed mogelijk.

Bovendien zou de presentatie van de verschillende samenhangen bijzonder uitvoerig worden en treden hierin min of meer doublures op. Immers van elk uit de drie uitgangsparemeters te vormen tweetal, zal de ene parameter in het ene geval als onafhankelijke variabele fungeren, terwijl de andere parameter vaste waarden aanneemt en zijn de rollen in het andere geval precies omgedraaid. De grafische weergave van deze verbanden is uiteraard verschillend, maar de invloed van de afzonderlijke parameters op de golfhoogte op het voorland is reeds uit één van beide grafieken af te leiden.

Daarom is in de meeste gevallen volstaan met de presentatie van één van beide verbanden. Slechts wanneer uitvoerige meetresultaten beschikbaar zijn en het andere verband interessant lijkt zijn beide verbanden weergegeven. Daar de parameter H_0/h_V als de dominante faktor beschouwd kan worden is deze in het tweetal waarin hij voorkomt als parameter met vaste waarde(n) aangevend (H_0/L_0 ; H_0/h_V).

Het verband met (h_V/L_0 ; H_0/h_V) wordt niet gepresenteerd daar de verhouding tussen H_0/L_0 en h_V/L_0 voor vaste waarden van H_0/h_V constant is en dit verband dus geen nieuwe gezichtspunten oplevert.

Bij de overblijvende combinatie is h_V/L_0 als onafhankelijke varia-

bele gekozen. De volgende twee combinaties van de uitgangsparameters worden gehanteerd: $(h_v/L_o; H_o/L_o)$ en $(H_o/L_o; H_o/h_v)$.

Voor de in de volgende paragrafen verwerkte gegevens is geput uit een vijftal publikaties. In bijlage 4.1. zijn van deze onderzoeken een aantal kenmerkende aspecten kort weergegeven.

Belangrijkste verschil tussen deze publikaties is het type golven: onregelmatig (M 1084) en regelmatig (overige); terwijl bij deze laatste onderscheid is te maken naar de plaats waar de golfhoogte op het voorland is bepaald.

In de meeste gevallen wordt het verloop van de golfhoogte op het voorland als functie van de afstand tot een bepaald punt (breekpunt) gegeven; Hensen (1954) daarentegen geeft slechts één waarde voor H_v en wel op een niet nader gespecificeerde plaats ná de brekerzône. Genoemd onderscheid m.b.t. het type golven en de plaats van golfhoogtebepaling op het voorland is als indelingscriterium gehanteerd.

Aan het eind van dit hoofdstuk wordt nog op een tweetal aspecten ingegaan, die niet direkt in het voorgaande zijn in te passen.

Het gaat hier om de relatieve "grensgolfhoogte", d.i. de waarde van het verhoudingsgetal van waterdiepte op het voorland en golfhoogte op de aanloopstrook, waarbij de "diep"watergolf zich nog juist zonder te breken op het voorland voortplant, en om het o.a. door Sawaragi en Iwata (1974) geconstateerde verschijnsel, dat bij het breken van de golven op het voorland golfenergie naar hogere harmonischen wordt overgedragen. Vooral voor kleine waarden van h_v/L_o neemt dit duidelijke vormen aan.

7.2. Regelmatige golven; golfhoogte ná de brekerzône

De in de inleiding van dit hoofdstuk aangeduide samenhangen tussen de golfhoogte op het voorland en de uitgangsparameters worden in het volgende stuk voor stuk behandeld.

De meetresultaten van Hensen (1954) dienen hierbij als

leidraad.

Hensen heeft de resultaten van zijn onderzoek niet in dimensieloze vorm gepresenteerd. In "Anlage 10" geeft hij evenwel van 32 meetpunten per punt de waarde van de volgende grootheden H_v , H_a , T , h_v en h_a .

Hieruit zijn met enig omrekenen de in de inleiding onderscheiden dimensieloze factoren af te leiden.

De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 7.1.

Waar mogelijk is door het omwerken van de resultaten van andere onderzoeken een vergelijking gemaakt met de uit de resultaten van Hensen gevonden verbanden.

Zo is bij Sawaragi en Iwata (1974) de grootte van de golfhoogte op het voorland, als functie van één of meerdere uitgangsparemeters vastgesteld op vaste afstanden van het breekpunt ($x/L_v = 2,0; 4,0$).

Daar de waarde van de uitgangsparemeters in de verschillende onderzoeken niet dezelfde is kunnen mogelijke overeenkomsten veelal slechts kwitatatief worden aangetoond.

$$7.2.1. \quad H_v/H_o = f(h_v/L_o; H_o/L_o) \text{ en } H_v/H_o = f(H_o/L_o; h_v/L_o)$$

De golfsteilheid van de meetresultaten uit bijlage 7.1 ver-toont voor $H_o/L_o > 0,040$ te veel spreiding; met uitzondering van de zône (0,064-0,069). Voor de samenstelling van bijl. 7.2 zijn slechts de waarden van de golfsteilheid met $H_o/L_o < 0,040$ en $0,064 < H_o/L_o < 0,069$ gebruikt. Hoewel H_o/L_o in bijlage 7.2 fungeert als parameter met "vaste" waarden is de golfsteilheid toch een weinig gevarieerd om voldoende meetpunten per serie van H_o/L_o te verkrijgen.

De punten in bijlage 7.2. hebben vrijwel alle betrekking op "plunging"-brekende golven. De overgang van het ene brekertype naar het andere is voor elke waarde van H_o/L_o aangegeven.

Deze overgangswaarde is bepaald met het door Sawaragi en Iwata afgeleide criterium $H_o/h_v = 0,72$. Hantering van dit criterium is gerechtvaardigd, daar in beide onderzoeken

met vrijwel dezelfde aanloophelling wordt gewerkt (1:18; 1:20).

Enigszins grof geschematiseerd kunnen de krommen worden opgevat als rechte lijnen, waarvan de richtingscoëfficiënt afneemt bij een toeneming van de golfsteilheid. In formulevorm:

$H_V/H_0 = K(H_0/L_0) \cdot h_V/L_0$. Hergroepering van deze parameters geeft $H_V/h_V = f(H_0/L_0)$, welk verband onafhankelijk is van h_V/L_0 en H_0/h_V .

In bijlage 7.9 is H_V/h_V als functie van H_0/L_0 uitgezet. Dit blijkt geen duidelijke samenhang op te leveren. Hieruit volgt dat de genoemde schematisatie niet toelaatbaar is.

De verhouding golfhoogte op het voorland-golfhoogte op diep water neemt toe bij vergroting van de waarde van h_V/L_0 . Een toeneming van de golfsteilheid heeft evenwel een golfhoogte-reducerende invloed.

Met name voor kleine waarden van de golfsteilheid betekent een geringe afname in de waarde van h_V/L_0 een aanzienlijke afname van de golfhoogte op het voorland.

Voor een konstante grootte van de golfhoogte op diep water geeft een verkleining van de periode een grotere waarde van de golfsteilheid, maar eveneens van h_V/L_0 .

Beide parameters hebben een tegengestelde invloed op de waarde van H_V/H_0 . Het netto-effect zal van geval tot geval verschillen.

De golfhoogte op het voorland kan zelfs grotere waarden aannemen dan die op de aanloopstrook. Dit is het geval bij golven met een bijzonder kleine golfsteilheid. Deze golven steilen op tijdens het voortplanten over de aanloophelling ("shoaling"), waardoor de golfhoogte toeneemt.

Ter vergelijking met het uit de meetresultaten van Hensen gevonden verband is in bijlage 7.3 het verloop weergegeven van H_V/H_b als functie van h_V/L_0 voor vaste waarde van H_0/L_0 , bepaald uit de meetresultaten van Sawaragi en Iwata. Deze presenteren hun resultaten in de vorm van H_V/H_b als functie van X/L_V voor vaste waarden van h_V/L_0 en H_0/L_0 . Met H_b de golfhoogte bij het breekpunt.

In bijlage 7.3 is nu de golfhoogteverhouding weergegeven op afstanden van 2 en 4 maal de golflengte op het voorland vanaf het breekpunt ($X/L_v = 2,0$ en $4,0$)

Sawaragi en Iwata hebben bij het dimensieloos maken van de golfhoogte op het voorland de golfhoogte bij het breken gebruikt i.p.v. die op diep water. Met de beschikbare gegevens is het niet mogelijk terug te rekenen naar de golfhoogte op diep water. Dit noodgedwongen verschil in presentatie heeft uiteraard gevolgen voor de interpretatie van de beschouwde samenhangen.

Behalve de "krommen" met als vaste waarde van $H_o/L_o = 0,033$ voor afstanden t.o.v. het breekpunt van $X/L_v = 2,0$ en $4,0$, zijn in bijlage 7.3 nog een viertal "losse" meetpunt ingetekend. Deze zijn alle bepaald op $X/L_v = 2,0$. I.p.v. de golfsteilheid (H_o/L_o) is hierbij de verhouding H_b/L_o gehanteerd. De invloed van de factoren h_v/L_o en H_o/L_o op H_v/H_b bij Sawaragi en Iwata stemt overeen met die op H_v/H bij Hensen.

Voor een nader onderzoek naar de kwantitatieve overeenstemming tussen de beide onderzoeken zijn in bijlage 7.4 de krommen voor $H_o/L_o = 0,033$ overgenomen uit bijlage 7.3. Deze worden nu vergeleken met de krommen voor $H_o/L_o = 0,026 - 0,030$ en $H_o/L_o = 0,036 - 0,040$ uit bijlage 7.2. Deze krommen uit bijlage 7.2 hebben een golfsteilheid die het dichtst bij $0,033$ ligt.

De volgende aspecten zijn bij de interpretatie van bijlage 7.4 van belang:

- verschil in golfsteilheid: hierdoor zullen de krommen voor $H_o/L_o = 0,026 - 0,030$ en $H_o/L_o = 0,036 - 0,040$ iets omlaag resp. omhoog verschuiven en een flauwer resp. steiler verloop krijgen.
- de invloed van het feit, dat in het ene geval H_v/H_o en in het andere H_v/H_b langs de verticale as is uitgezet.

Het verschil hangt af van de mate waarin de golf heeft kunnen "opsteilen" alvorens te breken. Is de "shoaling"-invloed vrij sterk, dan kan H_b wel zo'n 10-20% groter zijn dan H_o .

Dit zal het sterkst optreden voor "kleine" waarden van de relatieve waterdiepte h_v/L_0 .

- de plaats waar de golfhoogte op het voorland is bepaald. Uit bijlage 7.3 valt af te leiden dat deze plaats van invloed is.

Welke waarde van X/L_v voor een goede vergelijking gebruikt moet worden, is niet te zeggen, Hensen geeft nergens aan waar hij de golfhoogte op het voorland heeft bepaald.

De kromme met $X/L_v = 2,0$ geeft de beste overeenkomst te zien.

Rekening houdend met genoemde drie aspecten kan uit bijlage 7.4 geconcludeerd worden dat de resultaten van de onderzoeken van Hensen resp. Sawaragi en Iwata redelijk overeenstemmen, met dien verstande, dat de resultaten van Hensen systematisch een wat hogere waarde van H_v/H_0 aangeven.

In het volgende wordt de rol van h_v/L_0 en H_0/L_0 omgekeerd en fungeert H_0/L_0 als onafhankelijk variabele. In bijlage 7.5 is het verband $H_v/H_0 = f(H_0/L_0; h_v/L_0)$, bepaald met de meetresultaten van Hensen, weergegeven.

De invloed van de factoren H_0/L_0 en h_v/L_0 op de golfhoogte op het voorland is dezelfde als gevonden in bijlage 7.2, alleen de invloed van een kleine wijziging in de golfsteilheid bij "kleine" waarden van deze steilheid ($H_0/L_0 < 0,020$) treedt nu nog duidelijker naar voren.

Een kleine afname van H_0/L_0 resulteert in een sterke toeneming van de golfhoogte op het voorland.

Met de resultaten van Sawaragi en Iwata is bijlage 7.6 samengesteld.

Bepaald zijn krommen met $h_v/L_0 = 0,070$ voor afstanden t.o.v. het breekpunt van $X/L_v = 2,0$ en $4,0$.

Tevens is voor een tweetal waarden van h_v/L_0 (0,0311 en 0,140) bij $X/L_v = 2,0$ de waarde van H_v/H_0 voor bepaalde waarden van H_0/L_0 weergegeven. Overgang "spilling"- "plunging" breken is op de gebruikelijke wijze aangegeven.

De resultaten uit de bijlagen 7.5 en 7.6 stemmen overeen in die zin, dat bij beide een toeneming van de golfsteilheid en een afname van de waarde van h_v/L_0 een reducerende invloed hebben op de golfhoogte op het voorland.

Vershil lijkt aanwezig in de vorm van de krommen: in het ene geval "hyperbolen", in het andere twee t.o.v. elkaar verschoven rechten. Dit verschil wordt evenwel grotendeels veroorzaakt door het feit dat de golfhoogte op het voorland niet op dezelfde wijze dimensieloos is gemaakt.

Zoals al eerder is opgemerkt zal bij "kleine" golfsteilheden de waarde H_b t.g.v. "shoaling" duidelijk groter zijn dan H_o .

Dat betekent dat voor dezelfde golf H_v/H_b kleiner is dan H_v/H_o ; en dit verschil neemt toe voor afnemende golfsteilheid. Voor kleiner wordende H_o/L_o zal het verloop van de krommen uit bijlage 7.6 steeds steiler worden en de "hyperbool"-vorm uit bijlage 7.5 benaderen.

Voor een kwantitatieve vergelijking komen slechts de twee meetpunten met $h_v/L_o = 0,0311$ uit bijlage 7.5 in aanmerking.

Rekening houdend met de verschillende invloed van H_o en H_b sluiten deze beide punten goed aan bij de kromme voor $h_v/L_o = 0,028 - 0,033$ uit bijlage 7.5.

7.2.2. $H_v/H_o = f(H_o/L_o; H_o/h_v)$

In bijlage 7.7 is weergegeven het verband tussen de dimensieloos gemaakte golfhoogte op het voorland en de faktor H_o/L_o voor "vaste" waarden van H_o/h_v . De waarde H_o/h_v is een weinig gevarieerd om voldoende meetpunten per serie van H_o/h_v te krijgen.

De waarde van H_v/H_o neemt af bij een toeneming van de verhouding tussen de golfhoogte op diep water en de waterdiepte op het voorland. De spreiding in H_v/H_o is vrij aanzienlijk ($H_o/h_v = 1,05-1,09$).

Het verloop van de krommen voor $H_o/h_v \approx 0,40$ en $0,60$ laat een geringe afname van H_v/H_o zien bij een toeneming van de waarde van H_o/L_o . Het aantal punten in deze series van H_o/h_v is evenwel te gering om hieraan conclusies te verbinden.

7.2.3. $H_V/h_V = f(h_V/L_0; H_0/L_0)$

Uitgezet is in bijlage 7.8 de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte op het voorland als functie van h_V/L_0 , en wel voor vaste waarden van de golfsteilheid op diep water. Een verband tussen H_V/h_V en h_V/L_0 is uit deze figuur niet af te lezen. Het merendeel van de meetpunten ligt in de zône $0,380 < H_V/h_V < 0,400$.

7.2.4. $H_V/h_V = f(H_0/L_0; H_0/h_V)$

Als laatste invloedsfaktor op de verhouding H_V/h_V wordt de golfsteilheid beschouwd, bij vaste waarden van H_0/h_V (bijlage 7.9).

Bijlage 7.9 laat een soortgelijk beeld zien als bijlage 7.8: Waarden van H_V/h_V die rond de 0,40 schommelen, maar die verder niet afhankelijk blijken van h_V/L_0 en H_0/L_0 .

Dat de waarde van H_V/h_V rond de 0,40 beweegt kan nog als volgt verduidelijkt worden. Het uitzetten van H_V/H_0 tegen H_0/h_V in bijlage 7.10 levert een hyperbool op van de soort $x.f(x) = \text{cst}$ ofwel $(H_V/H_0) \cdot (H_0/h_V) = H_V/h_V = \text{cst}$.

Uiteraard treedt ook in bijlage 7.10 de nodige spreiding op, maar de getekende "kromme" vormt een goede benadering van het verband dat tussen de parameters H_V/H_0 en H_0/h_V bestaat.

De waarde van de constante H_V/h_V is 0,39 - 0,40.

7.2.5. Verlies aan vermogen = $f(h_V/L_0; H_0/L_0)$

De energieflux of het vermogen van een sinusvormige golf wordt gegeven door de formule: $P = c_g \cdot E = n \cdot c \cdot E = n \cdot c \cdot 1/8 \cdot \rho g H^2 B$, met c de voortplantingssnelheid van de golf, n een verkorte schrijfwijze van $n = 1/2 + (kh)/\sinh(2kh)$ en B de breedte van de golf.

Het verschil in energieflux op diep water en dat op het voorland nā de brekerzône geeft aan hoeveel energie er tijdens het vervormingsproces is gedissipeerd.

Met de gegevens uit bijlage 7.1 is dit verschil in energieflux per golf te bepalen. Voor een dimensieloze presentatie wordt het verschil in energieflux gedeeld door de energieflux op diep water: $(P_0 - P_V)/P_0$.

Bij de bepaling van het verlies aan vermogen zijn de volgende aannamen gedaan:

- de periode van de golf blijft bij breken gelijk. Hoewel Hensen zich hier niet expliciet over uitlaat is uit de presentatie van een aantal gegevens af te leiden dat deze aanname gerechtvaardigd is. Hensen geeft o.a. de voortplantingssnelheid van de golf op het voorland en op de aanloopstrook als functie van de periode, en de verschillende meetpunten liggen hierbij recht boven elkaar.
- de breedte van de golf blijft dezelfde. Is binnen de beperkte breedte van de goot zeker aan voldaan.
- de vorm van de golf die zich na de brekerzône heeft ingesteld is dusdanig dat de energie hiervan met de formule $E = 1/8 \rho g H^2$. B. goed benaderd wordt.

Het op deze wijze bepaalde verlies aan energieflex is in bijlage 7.11 uitgezet tegen h_v/L_0 voor vaste waarden van de golfsteilheid. De waarde van $(P_0 - P_v)/P_0$ neemt af met een toeneming van de faktor h_v/L_0 . De gradiënt van deze afname wordt bij toenemende h_v/L_0 steeds groter tot het verloop van de kromme zo steil wordt, dat deze vrijwel loodrecht op de horizontale as staat. De waarde van h_v/L_0 waar dit plaatsvindt vormt de overgang tussen brekende en niet-brekende golven; de verhouding tussen de parameter met vaste waarden (H_0/L_0) en de onafhankelijke variabele (h_v/L_0) is dan ongeveer $H_0/h_v = 0,35 - 0,40$.

Voor grotere waarden van de golfsteilheid verloopt de afname van $(P_0 - P_v)/P_0$ met toenemende h_v/L_0 aanzienlijk langzamer.

7.2.6. Verlies aan vermogen = $f(H_0/L_0; H_0/h_v)$

Het verlies aan energieflex tussen diep water en het voorland is in bijlage 7.12 uitgezet tegen de golfsteilheid voor "vaste" waarden van H_0/h_v .

De grootte van $(P_0 - P_v)/P_v$ neemt toe met een toeneming van H_0/h_v . Met de golfsteilheid valt geen verband waar te nemen. Ten einde de invloed van de faktor H_0/h_v op het verlies aan energieflex duidelijker tot uitdrukking te brengen is dit verband in bijlage 7.13 weergegeven met H_0/h_v als onafhankelijke variabele.

Het verlies in vermogen neemt in eerste instantie ($0,40 < H_0/h_v < 0,60$) sterk toe bij een betrekkelijk geringe toeneming van H_0/h_v . In dit bereik is het breken nog niet volledig ontwikkeld en kan een kleine wijziging in de uitgangswaarde H_0/h_v een enorme toeneming in het verlies aan energieflex betekenen.

Voor $H_0/h_v > 1,00$ bedraagt het verlies aan vermogen meer dan 90% en neemt voor grotere H_0/h_v slechts weinig meer toe.

7.2.7. Invloed steilheid aanloophelling

De steilheid van de aanloophelling is bij vrijwel alle onderzoeken verschillend (zie bijlage 4.1.). Daar evenwel al deze onderzoeken of zich op verschillende punten hebben geconcentreerd of bij andere waarden van golfhoogte, periode en voorlanddiepte metingen zijn verricht is met deze variatie niets aan te vangen.

Slechts Hensen en Führböter (1962) hebben binnen één onderzoek de steilheid van de aanloophelling gevarieerd (1:3 en 1:4).

Echter niet de invloed op de golfhoogte op het voorland, maar die op de golfoploophoogte tegen een bepaald dijklichaam is vastgesteld.

Dit is onderzocht voor een voorland met een lengte van 200 m en met twee verschillende waterdiepten op het voorland: 2,50 en 5,50 m. Schaal van het model 1:10.

De golfhoogte op "diep" water varieerde rond de 1,50 m.

Nu is de golfoploop natuurlijk niet alleen afhankelijk van de golfhoogte, ook golflengte en -vorm zijn bepalend.

Maar daar bij overigens gelijke omstandigheden slechts de steilheid van de aanloophelling is gevarieerd, kan het verschil in golfoploop tussen een voorland met een aanloophelling 1:3 en één met een helling van 1:4 een (kwalitatieve) indruk geven van de invloed van de steilheid van de helling op de golfwerking op het voorland.

In fig. 7.1 is de verhouding in golfoploophoogte voor een helling van 1:4 en 1:3 als functie van de waterdiepte weergegeven.

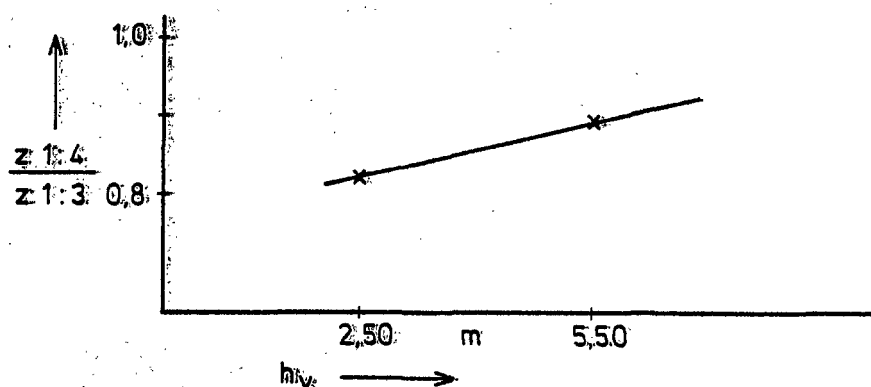


Fig. 7.1. Invloed van de steilheid van de aanloophelling op de golfoploophoogte (Hensen en Führböter)

Hensen en Führböter geven als verklaring voor de geringere golfoploop bij een aanloophelling 1:4, dat in dit geval door de flauwere helling een sterkere voorbranding optreedt, wat een reductie in de golfoploop zou geven.

Deze uitleg lijkt weinig plausibel daar de verhouding H_o/h_v voor een waterdiepte van 5,50 m ($1,50/5,50 = 0,27$) te gering is om de golf te doen breken. Voor een waterdiepte van 2,50 m zal de golf wel breken, maar de invloed van de sterkere voorbranding zal slechts dan aanwezig zijn indien de lengte van het voorland geringer is dan de lengte van de brekerzone.

Hensen (1954) vindt voor soortgelijke omstandigheden ($h_v = 3,80$ m; $H_o = 2,00$ m. $\rightarrow H_o/h_v = 0,57$) een lengte van de brekerzone van ca. 100 m. Ook voor deze waterdiepte lijkt de uitleg niet op te gaan.

Duidelijk is wel, dat de steilheid van de aanloophelling van invloed is op de gereflecteerde golfenergie (althans voor hellingen steiler dan 1:10) en op de mate waarin de golf de gelegenheid krijgt zich aan de veranderende bodemomstandigheden aan te passen. Voor steile hellingen zal deze invloed kritischer zijn dan voor flauwere.

Experimentele gegevens over deze invloeden zijn niet bekend.

7.3. Regelmatige golven; verloop golfhoogte op voorland in de brekerzône

In deze paragraaf wordt het verloop van de golfhoogte op het voorland na het moment van breken behandeld.

De aan de afstand tot het breekpunt te koppelen fysische karakteristieken van het breekproces zijn reeds in hoofdstuk 5 aan de orde geweest en komen hier niet opnieuw ter sprake.

Het verloop van H_V/H_b of H_V/H_0 tegen $x/T \cdot \sqrt{gh_V}$ of x/L_V wordt gegeven voor bepaalde waarden van de golfsteilheid (H_0/L_0) en van h_V/L_0 .

Hierbij is één van de beide laatste parameter een vaste waarde toegekend en neemt de andere parameter een aantal verschillende waarden aan teneinde de relatieve invloed van de beide factoren tot uitdrukking te brengen.

De in deze paragraaf opgenomen experimentele gegevens zijn afkomstig uit de onderzoeken van: Sawaragi en Iwata (1974), Horikawa en Kuo (1966) en uit M 1084 (1971).

Daar deze gegevens reeds in dimensieloze vorm worden gepresenteerd, hebben de gegevens geen nadere bewerking ondergaan. Volstaan is met een signalering en interpretatie van bestaande overeenkomsten en aanwezige verschillen.

De onderzoeken van Horikawa en Kuo hebben betrekking op een speciale categorie van golven, n.l. die breken op de grens tussen de aanloophelling en de aanzet van het voorland. Voor M 1084 was het wel nodig enige bewerkingen op de meetresultaten uit te voeren om een dimensieloos verloop van (in dit geval) de significante golfhoogte te verkrijgen.

7.3.1. $H_V/H_b = f(x/L_V; H_0/L_0; h_V/L_0)$

Beschouwd wordt het verloop van H_V/H_b als functie van x/L_V voor een bepaalde waarde van h_V/L_0 en een aantal uiteenlopende waarden van de golfsteilheid. Hiertoe zijn een tweetal figuren overgenomen uit de publikaties van Sawaragi en Iwata (bijlage 7.14) resp. Horikawa en Kuo (bijlage 7.15). Voor een goede vergelijking tussen bijlagen 7.14 en 7.15 is het nodig dat op de verticale as dezelfde verhouding is uitgezet. Dit kan door in bijlage 7.15 de waarde van de meetpunten

te vermenigvuldigen met een faktor $1/0,78$ (Bij breken geldt $\frac{H}{h} = 0,78 \rightarrow h_v = 1,28 H_b$).

Daarnaast dient voor bijlage 7.15 de waarde van h_v/L_0 bekend te zijn. Deze bedraagt voor $T = 1,0$ sec. en $h_v = 15$ cm: 0,102.

Uitgaande van het criterium van Sawaragi en Iwata is er voor een waarde van de golfsteilheid $> 0,072$ sprake van een "plunging" breker.

Sawaragi en Iwata (bijlage 7.14) vinden dat bij een bepaalde waarde van h_v/L_0 ($= 0,070$) voor een toenemende golfsteilheid de golfhoogte op het voorland steeds sneller afneemt. Tevens komt de invloed van het type breker duidelijk tot uitdrukking. Voor een "spilling" breker neemt de golfhoogte veel minder snel af dan voor een "plunging" breker zodat het trajekt waarover de golfhoogtevermindering plaatsvindt langer is.

Uit bijlage 7.15 (Horikawa en Kuo) komt de afhankelijkheid van de golfsteilheid veel minder scherp naar voren. Toch is deze invloed ook hier aanwezig, en werkt zij in dezelfde richting: de punten met de kleinste golfsteilheid ($= 0,065$) liggen vrijwel alle boven en de punten met de grootste golfsteilheid ($= 0,100$) vrijwel alle onder de theoretische kromme.

Een kwantitatieve vergelijking tussen de resultaten uit bijlagen 7.14 en 7.15 bij gelijke golfsteilheden is niet zinvol, daar de waarden van h_v/L_0 bij beide figuren verschillend zijn.

Deze verhouding h_v/L_0 is van invloed op het meer of minder geprononceerde karakter van het breken van de golf.

Meer resultaat levert mogelijk een vergelijking tussen die gegevens uit bijlagen 7.14 en 7.15 waarvoor de verhouding $H_0/h_v = (H_0/L_0)/(h_v/L_0)$ vrijwel dezelfde is.

Dit is het geval voor de golfsteilheden 0,066, 0,056 en 0,0444 uit bijlage 7.14 en 0,100, 0,083 en 0,065 uit bijlage 7.15.

De waarden van H_0/h_v zijn dan resp. 0,94 à 0,98, 0,81 en 0,65.

De gegevens uit de bijlagen 7.14 en 7.15 zijn voor deze gevallen in tabelvorm ondergebracht (bijlage 7.16). Voor een overzichtelijke presentatie is voor elk van de waarden van H_0/h_v een

aparte figuur getekend (bijlagen 7.17, 7.18 en 7.19).

Voor de beide eerste gevallen (bijlagen 7.17 en 7.18) is de overeenkomst goed te noemen. De nog bestaande verschillen kunnen tendele worden toegeschreven aan de iets afwijkende waarden van H_0/h_v en mogelijk ook aan het verschil in de steilheid van de aanloophellingen (1:5 en 1:18).

Het laatste geval (bijlage 7.19), de "spilling" breker, blijkt voor beide onderzoeken sterk te verschillen. Oorzaak hiervan is moeilijk aan te wijzen. Het enige kenmerkende verschil tussen de beide proefopstellingen is de steilheid van de aanloophelling.

Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn, dat in het geval van de helling 1:5 (Horikawa en Kuo) de verandering in waterdiepte door de golf onvoldoende snel kan worden gevolgd en de golf zich niet aan de aanwezige diepte kan aanpassen.

De kruin krijgt de neiging te gaan hellen en het breken krijgt een meer "plunging"-achtig karakter, en daarmee gaat een grotere energiedissipatie gepaard.

Dit zou tevens betekenen, dat het door Sawaragi en Iwata afgeleide criterium, dat de grens tussen "spilling" en "plunging" breken aangeeft, slechts geldt voor een helling van 1:18. Voor een steilere helling zal de grens H_0/h_v lager zijn dan 0,72.

Tot slot van dit gedeelte nog een aantal opmerkingen over een paar details in de bijlagen 7.14 en 7.15.

In bijlage 7.14 vertonen een aantal krommen, met name voor de sterk "plunging" brekende golven, direct na het breken een merkwaardig verloop; een dal, gevolgd door een korte piek, waarna de kromme verder "normaal" afneemt. De plaats van deze kortstondige toeneming valt ongeveer samen met de plaats waar de door Sawaragi en Iwata onderscheiden "horizontale roller" op houdt te bestaan.

Mogelijk is het zo, dat de golfenergie die bij het breken wordt overgedragen naar de kinematische energie van de "horizontale roller" bij het verdwijnen van de "roller" weer opnieuw ten goede komt aan de golfenergie, wat resulteert in een tijdelijke toeneming van de golfhoogte.

Uit bijlage 7.15 is af te leiden dat de verhouding van golfhoogte en waterdiepte op het voorland (H_V/h_V) na de brekerzone schommelt tussen de 0,3 en 0,5 met een gemiddelde waarde van 0,4.

Dit stemt goed overeen met de resultaten van Hensen (bijlage 7.9).

7.3.2. $H_V/H_b = f(x/L_V; h_V/L_0; H_0/L_0)$

Voor dit verloop is slechts één figuur (bijlage 7.20, Sawaragi en Iwata) direkt beschikbaar.

De invloedsfeer van H_0/L_0 en h_V/L_0 is zoals die in paragraaf 7.3.1. is gevonden: bij een gelijkblijvende waarde van de golfsteilheid neemt het verloop van H_V/H_b voor afnemende h_V/L_0 steeds sneller af.

Ook nu is een duidelijk verschil tussen een "plunging" en "spilling" brekende golf duidelijk waarneembaar. Horikawa en Kuo geven voor dit specifieke verband geen gegevens. Zij hebben weliswaar onderzoek gedaan voor verschillende waarden van h_V/L_0 , maar in de presentatie van de resultaten hiervan is de invloed van de golfsteilheid buiten beschouwing gebleven. Voor de volledigheid is deze figuur (bijlage 7.21) bij de bijlagen opgenomen. De golfsteilheid is bij dit onderzoek gevarieerd tussen 0,025 en 0,100, en de waarde van h_V/L_0 tussen 0,0439 en 0,102.

De figuur geeft in ieder geval een goede indruk in welke band de waarde van H_V/H_b voor deze waarden van golfsteilheid en h_V/L_0 ligt.

Voor een kwantitatieve vergelijking met de resultaten van Sawaragi en Iwata zijn de gegevens uit bijlage 7.21 ten eme male ongeschikt.

Een vergelijking met het verloop van de significante golfhoogte op het voorland uit een deelonderzoek uit M 1084 is wel mogelijk. De situatie is hierbij als volgt: voor drie verschillende voorlandlengten (100, 250 en 400 m) is het verloop van de significante golfhoogte bepaald. De waterdiepte op het voorland bedroeg 3 m; de steilheid van de aanloophelling 1:5.

De significante golfhoogte op "diep" water was 3,90 m en de piek van het energiedichtheidspectrum lag bij 8,5 seconden;

Lengteschaal bij het onderzoek bedroeg 1:50.

Deze golfhoogte en -periode zijn gebruikt voor het bepalen van de waarden van h_v/L_0 en H_{so}/L_0 ; deze bedragen aldus berekend 0,027 resp. 0,035.

Tevens zijn deze waarden van golfhoogte en -periode aangepast voor het dimensieloos maken van de golfhoogte op het voorland en van de afstand tot de grens tussen aanloophelling en het begin van het voorland. Bij onregelmatige golven is het uiteraard niet mogelijk te spreken van het breekpunt, zodat in dit geval de golfhoogte op het voorland is gegeven ten opzichte van een vast punt in de bodemconfiguratie.

De gegevens uit M 1084 op boven beschreven wijze bewerkt geven dan het volgende beeld te zien (bijlage 7.22).

Voor een vergelijking van bijlage 7.20 met bijlage 7.22 ligt het meest voor de hand ongeveer dezelfde waarden van h_v/L_0 en H_0/L_0 te nemen, nu overigens bepaald voor regelmatige golven.

Uit bijlage 7.20 is dit de kromme met $H_0/L_0 = 0,033$ en $h_v/L_0 = 0,031$.

Deze geeft evenwel met geen van de krommen uit bijlage 7.22 een goede overeenkomst. Slechts de kromme ($H_0/L_0 = 0,033$; $h_v/L_0 = 0,045$) vertoont een vrijwel zelfde verloop als de kromme uit bijlage 7.22 met een voorlandlengte van 250 m. Met de kromme voor een voorlandlengte van 400 is over het eerste stuk (tot $x/L_v = 2,0$) een verschillend verloop aanwezig.

Waarom het verloop van de significante golfhoogte op het voorland afhankelijk is van de lengte van het voorland is een onduidelijke zaak, immers het eerste stuk is voor alle voorlandlengten hetzelfde.

Mogelijk is het toe te schrijven aan het effect van terugkaatsing van de golf tegen de dijk. Bij verschillende voorlandlengten zullen teruggekaatste en aankomende golven op een andere wijze interfereren.

7.4. Onregelmatige golven; verloop golfhoogte op voorland

In het onderzoek M 1084 is voor een tweetal verschillende situaties voor onregelmatige golven het verloop van de golfhoogte op het voorland bepaald. Het eerste geval betreft het al in het vorige gedeelte weergegeven verloop van de signifi-

cante golfhoogte op een horizontaal voorland met de verschillende voorlandlengten (bijlage 7.22).

Van dit deelonderzoek is bij de weergave van de resultaten slechts het verloop van de significante golfhoogte gegeven. Aan dit gedeelte kan in deze paragraaf dan ook geen uitbreiding worden gegeven.

De tweede situatie heeft betrekking op een licht hellend voorland (1:40) met een lengte van 200 m (bijlage 7.23).

De aanloophelling bedraagt 1:5 en aan het eind van het voorland bevindt zich een dijk met een talud 1:4. Onderzoek is gedaan bij vier verschillende waterstanden aan de teen van de dijk: $h_{vt} = 2, 4, 6$ en 10 m. De significante golfhoogte op "diep" water is 4,00 m en de piek van het energiedichtheidspectrum ligt bij 8,5 sec. De golfhoogteverdeling is bepaald in een drietal punten gelegen op 50, 100 en 150 m vanaf de aanzet van het voorland.

Voor elk van de vier waterdiepten zijn de resultaten in een grafiek weergegeven; hierin is de golfhoogte op de betreffende plaats uitgezet tegen het bijbehorende overschrijdingspercentage.

Deze presentatie wijze opent de mogelijkheid het verloop van een aantal specifieke kentallen nader te bestuderen. Dit is in onderstaande gedaan voor de golfhoogten met de volgende overschrijdingspercentages: 2, 15 en 50% en voor de verhouding tussen deze beide laatste golfhoogten (C_{sm}).

Deze specifieke overschrijdingspercentages zijn gekozen om de volgende redenen: de 2% is vrij arbitrair, maar bij golfoploopbeschouwingen wordt veel met dit overschrijdingspercentage gewerkt, de 15% komt vrijwel overeen met de significante golfhoogte en de 50% (mediane golfhoogte) geeft een goede indruk van de gemiddelde golfhoogte.

Het verloop van de faktor (C_{sm}) geeft aan hoe de verdeling van de golfhoogten bij het voortplanten over het voorland verandert. Op "diep" water voldoen de golfhoogten goed aan de Rayleigh-verdeling.

Er is van afgezien waarden van golfsteilheid en h_v/L_0 te formuleren. Bij onregelmatige golven is dit al een vrij gebrekkige karakterisering; de in dit geval door het hellende voorland nog variërende voorlanddiepte maakt het nog minder zinvol.

De afstand van de drie meetpunten tot de aanzet van het voorland is dan ook niet in dimensieloze vorm gepresenteerd.

Dit is wel gedaan met de golfhoogte op het voorland; deze is gedeeld door de golfhoogte met hetzelfde overschrijdingspercentage op "diep" water.

De op bovenstaande wijze bepaalde verbanden $H_v/H_0 = f(x; h_{vt})$ en $C_{sm} = f(x; h_{vt})$, met h_{vt} de voorlanddiepte ter plaatse van de teen van de dijk, zijn weergegeven in de bijlagen 7.24 t/m 7.27.

Uit bijlagen 7.24 t/m 7.27 is af te leiden, dat voor $h_{vt} = 6-10$ m (ofwel $H_{sign}/h_{vt} = 0,40 - 0,66$) er van enige golfvervorming van betekenis nog geen sprake is. Voor $h_{vt} = 6$ m vertoont de verhouding met een overschrijdingspercentage van 2% enige afname.

Bedacht moet worden, dat voor de drie meetpunten de feitelijke waterdiepte een afstand van 1,25, 2,50 resp. 3,75 m groter is dan de waarde van h_{vt} .

Voor een waterdiepte aan de teen van de dijk van 4 m en meer nog voor één van 2 m is de afname van de verhoudingsgetallen aanzienlijk.

Ook de golfhoogte-verdeling gaat voor deze diepten duidelijk van de Rayleigh-verdeling afwijken. Oorzaak hiervan is dat de hoogste fracties relatief het meeste breken. Er vindt a.h.w. een "afschuimen" plaats van de grootste golfhoogten.

In welke mate de afstand tot de aanzet van het voorland de golfhoogtevermindering beïnvloedt, is moeilijk af te leiden, daar slechts de gecombineerde invloed van afstand tot aanzet voorland en van de afnemende voorlanddiepte bekend is.

Siefert (1974) heeft voor de Duits Noordzeekust uitgebreide natuurmetingen verricht ter bepaling van een groot aantal golfparameters.

Hierbij is ook de "breedte" van de golfhoogteverdeling voor een aantal onderscheiden gebieden bepaald. Deze faktor $C_{1/3}$ is gedefinieerd als het quotiënt van significante en gemiddelde golfhoogte. Dit is vrijwel dezelfde grootheid als uit bijlage 7.27 (C_{sm}); alleen is in dat geval i.p.v.

de gemiddelde de mediane golfhoogte ingevoerd.

Vergelijking van beide factoren kan mogelijk interessant zijn.

Door Siefert worden drie soorten "wadgebieden" onderscheiden:

- "Brandungsfreies Watt", waterdiepte < 5 m.
- "Randwatt", waterdiepte 2-5 m.
- "Brandungswatt", waterdiepte 1-4 m.

De waarden van $C_{1/3}$ bedragen hierbij resp. 1,45, 1,47 en 1,41.

Vergelijking met bijlage 7.27 leert dat deze waarden goed aansluiten bij de kromme met een waterdiepte aan de teen van 2 m.

In de meetpunten bedraagt de waterdiepte in dat geval resp. 5,75, 4,50 en 3,25 m.

7.5. Grens golfhoogte

Onder de grensgolfhoogte wordt verstaan die golfhoogte, welke nog juist zonder te breken het voorland bereikt. Op de verhouding tussen deze golfhoogte en de waterdiepte op het voorland zijn de in § 7.1 onderscheiden dimensieloze factoren van invloed.

Twee auteurs behandelen dit aspect: Sawaragi en Iwata en Hensen.

Bij de eersten vormt het een onderdeel in de classificatie van golven in niet-brekende, "spilling"-brekende en "plunging" brekende golven. Hiertoe is voor iedere golf de waarde van H_0/L_0 uitgezet op de horizontale as en de waarde van h_v/L_0 op de verticale as. Dit levert een drietal "puntenwolken"; de begrenzingen hiervan, de overgangen van het ene type golf naar het andere, zijn met rechten goed te benaderen.

De grensgolfhoogte kan nu opgevat worden als de overgang tussen niet-brekende en ("spilling") brekende golven.

De richtingscoëfficiënt van de lijn die deze grens weergeeft

$$(h_v/L_0)/(H_0/L_0) = h_v/H_0 \text{ bedraagt } 1,786, \text{ of } H_0/h_v = 0,560.$$

Hensen heeft de verhouding tussen de grensgolfhoogte en de waterdiepte op het voorland apart bepaald, en wel als functie van de periode. Voor een vergelijking met de resultaten van Sawaragi en Iwata is deze presentatie ongeschikt.

In "Anlage 25" geeft Hensen per meetpunt de waarde van de

volgende grootheden: h_v/H_{vgrens} ; T en h_v .

Met behulp van de theorie van Aivy kunnen de bij de grensgolfhoogte behorende waarden van h_v/L_0 en H_0/L_0 worden bepaald (bijlage 7.28).

Deze waarden zijn uitgezet in bijlage 7.29 en blijken goed benaderd te kunnen worden met een rechte lijn, die bovendien bijzonder dicht ligt bij de door Sawaragi en Iwata afgeleide overgang tussen niet-brekende en ("spilling") brekende golven.

Uit de metingen van Hensen volgt een waarde van $H_0/h_v = 0,525$.

7.6. Golfhoogtevermindering door overdracht van golfenergie naar hogere harmonischen

Sawaragi en Iwata (1974, 1976) hebben op een aantal verschillende plaatsen het verloop van de golfhoogte in de tijd bepaald.

Waarnemingen zijn gedaan op tijdsintervallen $\Delta t = 1/30$ sec; totale meettijd bedoeg 16 sec. Op dit golfhoogtesignaal is een Fourier-analyse uitgevoerd met de FFT-methode (Fast Fourier Transform). Het golfhoogtespectrum wat hieruit volgt geeft het volgende beeld te zien (bijlagen 7.30 - 7.32):

Naast de frequentie van de monochromatische invallende golf treden ook hogere frequenties op, waarbij de hogere harmonischen (frequenties die een veelvoud vormen van de "grondfrequentie" f_0) duidelijk dominant zijn. De equivalente golfhoogte van het golfhoogtespectrum, afgeleid met het theorema van Parseval:

$\left\{ \sum_{j=1}^{\infty} H_j^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$ blijkt goed overeen te stemmen met de op "conventio-

nele" wijze bepaalde golfhoogte.

Het golfhoogtespectrum is steeds bepaald op een viertal plaatsen:

- op de aanloopstrook, voor de golfopwekker.
- op het breekpunt,
- op een punt in de brekerzone,
- op een punt na de brekerzone, waar zich weer een regelmatige golf heeft ingesteld.

Op de aanloopstrook is reeds een component met de frequentie $2 \cdot f_0$ aanwezig. Naar het breekpunt toe ontstaan nog hogere harmonischen terwijl de component met de "grondfrequentie" in grootte

afneemt. Zoals uit de bovenste twee spectra van de bijlagen 7.30 - 7.32 blijkt treedt dit gebeuren in alle drie de gevallen op, met uitzondering van de afname van de grootte van de spectrale component met de grondfrequentie, die op bijlage 7.32 juist toeneemt ("shoaling").

Mogelijk speelt het feit dat bijlage 7.32 een "spilling" breker betreft en de beide andere een "plunging" breker hierbij een rol. Overigens is de classificatie in brekertypen in strijd met het door Sawaragi en Iwata zelf afgeleide criterium $H_0/h_V = 0,72$.

In bijlage 7.32 is de verhouding $H_0/h_V = 0,77$ en in bijlage 7.30 $H_0/h_V = 0,74$. De eerste nu wordt als "spilling" en de laatste als "plunging" gekenmerkt, terwijl in feite bij beide $H_0/h_V > 0,72$ is, waaruit voor beide een "plunging"-karakter zou volgen.

De veranderingen in het golfhoogtespectrum na het breekpunt worden in belangrijke mate bepaald door de grootte van de relatieve waterdiepte h_V/L_0 en de verhouding tussen de golfhoogte op diep water en de waterdiepte op het voorland (H_0/h_V).

Ter illustratie van deze invloed zijn uit Sawaragi en Iwata (1974) de bijlagen 7.33 en 7.34 overgenomen.

Uit deze bijlagen volgt dat binnen een afstand na het breekpunt van driemaal de golflengte op het voorland ($x/L_V = 3,0$) hogere harmonischen met een frequentie groter dan viermaal de "grond"-frequentie verdwenen zijn.

Voor "grote" waarden van h_V/L_0 en "kleine" van H_0/h_V (bijlage 7.33) is de afname van de spectrale componenten het geringst en blijft de volgorde van grootte van de componenten ongewijzigd. Bij "kleine" waarden van h_V/L_0 en "grote" van H_0/h_V daarentegen is de afname van met name de spectrale component met de "grond"-frequentie bijzonder groot, zo groot zelfs dat deze kleiner wordt dan de component met de frequentie $2.f_0$. In dit geval is er sprake van een aanzienlijke energieoverdracht naar hogere harmonischen. In bijlage 7.32 is dezelfde "kleine" waarde van h_V/L_0 ($= 0,0311$) aanwezig als in bijlage 7.34. De golfsteilheid en daarmee de factor H_0/h_V is evenwel kleiner. Ook in dit geval is er sprake van een sterke afname van de spectrale component met de "grond"-frequentie en hebben de componenten met de frequenties $2.f_0$ en $3.f_0$ nog een aanzienlijke grootte bij $x/L_V = 3,0$. Voor deze klei-

nere waarde van H_0/h_v treedt er echter geen wijziging in de volgorde van grootte van de spectrale componenten op.

Door Sawaragi en Iwata is onderzocht of de golfhoogtespectra op de verschillende afstanden t.o.v. het breekpunt aan bepaalde wetmatigheden voldoen. De invallende golf verandert in een ingewikkeld soort brekende golf die is samengesteld uit componenten met hogere frequenties, terwijl de overmaat aan energie, die niet voor de golfbeweging aangewend kan worden, gedissipeerd wordt.

Op grond hiervan veronderstellen Sawaragi en Iwata, dat de golf een voor het in standhouden van de golfbeweging kritische toestand bereikt.

Via een dimensie-analyse van de het golfhoogtespectrum bepalende grootheden in het frequentiebereik, waar de zwaartekracht de dominante faktor is, en de oppervlaktespanning en viscositeit als tweede orde grootheden beschouwd kunnen worden, leiden zij een relatie af tussen het golfhoogtespectrum $H(f)$ en de frequentie (f).

Voor ondiep water golven zijn de bepalende grootheden: g , h en f . Het golfhoogtespectrum heeft de dimensie lengte en heeft het volgende verband $H(f) :: g^{1/2} \cdot h^{1/2} \cdot f^{-1}$.

Deze afhankelijkheidsrelatie geldt voor frequenties:

$$f < f_1 = g/4\pi h.$$

De grens f_1 van het frequentie-bereik van de ondiepwatergolf is afgeleid uit het criterium $h/L_0 < 0,50$. Is deze verhouding $h/L_0 > 0,50$, dan kan de invloed van de waterdiepte verwaarloosd worden.

Strikt genomen is het door Sawaragi en Iwata genoemde frequentie-bereik ($f < f_1$) niet juist, immers van ondiep water golven is pas sprake wanneer geldt $h_v/L_0 < 0,05$.

In het tussenliggende gebied $0,05 < h_v/L_0 < 0,5$ wordt de invloed van de waterdiepte en de frequentie gegeven door de zgn. dispersierelatie.

Het golfhoogtespectrum bepalende grootheden op diep water zijn: g en f . Voor het golfhoogtespectrum geldt nu: $H(f) :: g \cdot f^{-2}$. Het frequentiebereik van deze diepwatergolven wordt naar be-

neden toe begrensd door $f = f_1$ en naar boven toe door de frequentie waarbij de invloed van de oppervlaktespanning van belang gaat worden:

$$f = f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho^* \cdot g}{K}} .$$

Met ρ^* de dichtheid van het water met "luchtinslag" en K de oppervlaktespanning.

Wanneer de golfhoogte, zowel als de frequentie op een log-schaal worden uitgezet, dan wordt het verband tussen $H(f)$ en f weergegeven door een rechte lijn, waarvan de richtingscoëfficiënt -1 resp. -2 bedraagt.

In bijlage 7.35 is voor het geval van een spilling breker nagegaan in welke mate de afgeleide verbanden voldoen. De grenzen van de frequentiebereiken van de ondiep- en diepwatergolven zijn $f_1 = 3,3$ (c/s) en $f_c = 13,3$ (c/s). De zône met "air entrainment", het gebied waarin lucht in het water in de vorm van luchtbelletjes aanwezig is wordt gegeven door $0 < X_A/L_V < 1,05$.

Het blijkt dat in de brekerzône voor $f < f_1$ de componenten van het golfhoogtespectrum ongeveer evenredig zijn met f^{-1} en voor $f_1 < f < f_c$ met f^{-2} . Buiten de brekerzône, dus vóór het punt van breken en na de brekerzône treden geen componenten met "hogere" frequenties ($f > 5$ (c/s)) meer op en is geen verband tussen $H(f)$ en f aanwezig.

8. Golfperiode op het voorland

Met betrekking tot de golfperiode op het voorland in relatie tot die op "diep water", worden door de verschillende onderzoekers sterk uiteenlopende uitspraken gedaan.

Deze worden eerst in het kort weergegeven en vervolgens nader beschouwd.

Hensen (1954) geeft in de "Anlagen 13 en 16" de waarde van de golflengte resp. de voortplantingssnelheid van de golf als functie van de periode. De waarden van deze grootheden op de aanloopstrook resp. het voorland zijn boven elkaar uitgezet, d.w.z. bij dezelfde periode.

Hierbij dient aangetekend te worden, dat Hensen weliswaar de golfperiode op direkte wijze bepaald heeft, maar dat niet duidelijk tot uitdrukking komt, of hij dit alleen op de aanloopstrook heeft gedaan en vervolgens heeft aangenomen, dat deze op het voorland dezelfde bleef, of dat hij T_v expliciet bepaald heeft.

Hensen en Führböter(1962) constateren een toeneming van de golfperiode op het voorland t.o.v. die op diep water ($T_v/T_0 = 1,3 \text{ à } 1,5$) terwijl binnen de beperkte variatiemogelijkheden noch met de voorlanddiepte, noch met de voorlandlengte enige samenhang wordt gevonden. Deze constatering is gebaseerd op een aanzienlijk aantal waarnemingen van de tijdsduur waarin 10 achtereenvolgende golftoppen een bepaalde doorsnede passeren; dit zowel op de aanloopstrook als op het voorland.

Deze tijdsduur is bepaald voor de zogenaamde "auswertbare" golven. Hiermee worden de golven bedoeld die opgewekt zijn korte tijd na het starten van de golfmachine, dit om de invloed van de reflecties van de golven (tegen de aanloopheiling en de dijk) te beperken. Wel is voldoende tijd verstreken, om het verschijnsel te doen inspelen.

De golfvorm op het voorland wordt onregelmatiger genoemd dan die op de aanloopstrook; toch is in het golfhoogtesignaal een duidelijke periode te herkennen.

Sawaragi en Iwata (1974) daarentegen constateren dat golfenergie bij de overgang van diep water naar het voorland wordt overgedragen naar hogere harmonischen (zie paragraaf 7.6.). Dit betekent dat op het voorland naast golven met de "grondperiode" ook golven met een kleinere periode optreden, die a.h.w. gesuperponeerd zijn

op de golf met de "grondperiode". Een belangrijke parameter is in dit verband de relatieve waterdiepte h_v/L_0 .

Nakamura (1966) tenslotte heeft voor flauwe strandhellingen (1:50; 1:100) de verhouding bepaald tussen de periode van de regelmatige golf die zich bij deze flauwe hellingen ná de brekerzône instelt en de periode op het breekpunt, welke laatste gelijk is aan die op diep water.

Deze verhouding is uitgezet tegen het quotiënt van de waterdiepte bij breken en de diepwatergolflengte (h_b/L_0). Het resultaat is weergegeven in fig. 8.1.

Voor kleine waarden van h_b/L_0 is er sprake van een aanzienlijke reductie in de waarde van de golfperiode. Voor de helling van 1:100 en het "normale" bereik van h_b/L_0 ($0,010 < h_b/L_0 < 0,100$) ondergaat de periode nauwelijks een wijziging.

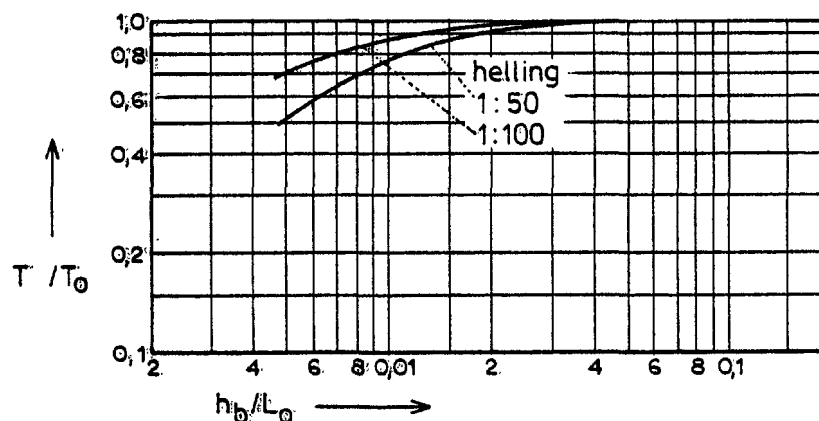


Fig. 8.1. Golfperiode na de brekerzône als functie van de relatieve waterdiepte (Nakamura).

Zowel een toeneming, een afname als ook een (vrijwel) constant blijven van de periode worden geconstateerd.

Aan de onderzoeken van Sawaragi en Iwata lijkt de meeste waarde te kunnen worden toegeschreven. Het betreft een recente publikatie.

De meer geavanceerde instrumenten, maar ook de gebruikte analytische technieken maken een betere registratie en daardoor een beter begrip van het vervormingsproces mogelijk.

Hun resultaten stemmen bovendien overeen met die van Madsen

en Mei (1969) die voor niet-brekende golven vinden, dat bij voortplanting via een taludhelling in ondiep water een eenling-golf uiteenvalt in meerdere golven. Er ontstaat a.h.w. een golf-trein van steeds kleinere golven, die op hun beurt steeds de volgende lijken op te wekken.

Ook Zabusky en Galvin (1968) hebben deze "secondary waves" waargenomen.

De energieoverdracht naar hogere harmonischen treedt vooral op voor lage waarden van h_v/L_0 , d.w.z. voor relatief lange golven op relatief ondiep water. Er vormt zich mogelijk een soort "nieuwe" golftop in het golfdal van de opgewekte monochromatische golf. Aanwijzing dat dit gebeurt is wellicht te halen uit het feit dat bij Fourier-analyse van het golfsignaal de spectrale component $H(f_0)$ aanzienlijk kleiner is dan de op conventionele wijze gemeten golfhoogte H_0 .

Ook Hensen heeft voor lange golven op relatief ondiep water geconstateerd dat deze niet stabiel waren en uiteenvielen.

Het feit dat Hensen geen verandering in de periode waarneemt, is niet noodzakelijkerwijs strijdig met de bevindingen van Sawaragi en Iwata. Voor niet te kleine waarde van h_v/L_0 blijft de spectrale component met de grondfrequentie n.l. de grootste.

Bepaling van de golfperiode op conventionele wijze, het meten van de tijdsduur waarin een vastgesteld aantal golftoppen een doorsnede passeert, zal een periode opleveren die ongeveer gelijk is aan de reciproke waarde van de grondfrequentie.

Wel zal door de aanwezigheid van golfcomponenten met hogere frequenties het verloop van het golfbeeld in de tijd vrij onrustig zijn.

Deze onregelmatiger golfvorm op het voorland in vergelijking met de aanloopstrook wordt ook door Hensen en Führböter genoemd. Een toeneming van de golfperiode, zoals waargenomen door Hensen en Führböter is in deze beschouwing niet in te passen.

Uit "Abbildung 8", waarin een voorbeeld wordt gegeven van de golfhoogtereregistratie in de tijd, voor zowel de aanloopstrook als het voorland, blijkt evenwel dat op het voorland de afstand tussen de golftoppen duidelijk groter is dan op de aanloopstrook.

Hensen en Führböter stellen zelf ook geen verklaring te weten voor het door hen waargenomene. Wel delen ze mee hierop later nog terug te zullen komen. Latere publikaties over dit onderwerp zijn evenwel niet uitgekomen; in ieder geval niet als publikatie van het Franzius Institut.

Merkwaardig is voorts dat Hensen er geen melding van maakt, dat hij in zijn eigen onderzoek van 1954 een dergelijk verschijnsel niet heeft waargenomen. In een ander verband wordt zijn onderzoek wel aangehaald.

9. Golflengte op het voorland

De golflengte op het voorland (L_v) is de lengte van de regelmatige golf, die zich na de brekerzone instelt.

Hensen heeft de samenhang tussen de golflengte op het voorland, en die op de aanloopstrook nader onderzocht. Hij komt daarbij tot twee tegenstrijdige uitspraken. Enerzijds stelt hij dat de golflengte zowel op het voorland als op de aanloopstrook binnen redelijke grenzen aan de theorie van Airy voldoet, anderzijds stelt hij dat de golflengte op het voorland lineair afhankelijk is van die op de aanloopstrook.

Wanneer evenwel de golf op de aanloopstrook wordt opgevat als een "diep water" golf ($h/L_0 > 1/2$) en die op het voorland als een "ondiep water" golf ($h/L_0 < 1/20$) dan geldt voor de verhouding L_v/L_0 :

$$L_v/L_0 = (\sqrt{gh_v} \cdot T) / \left(\frac{gT^2}{2\pi} \right) = 1/2\pi \cdot \sqrt{h_v/g} \cdot T^{-1} \quad (1)$$

De verhouding L_v/L_0 is dus geen constante, maar een functie van de periode en de waterdiepte op het voorland.

Dat Hensen tot andere resultaten komt, is ten dele toe te schrijven aan het feit dat hij de golflengte op de aanloopstrook gebruikt, en niet de (meer zinvolle) diepwatergolflengte. Op de aanloopstrook is n.l. de waterdiepte onvoldoende om ook bij grotere perioden de golf als "diepwatergolf" te kunnen beschouwen.

Met de in "Anlage 13" gepresenteerde gegevens (o.m. L_v , T en h_v) is het evenwel mogelijk de samenhang te beschouwen tussen de gemeten golflengte op het voorland en de uit de periode berekende "diepwatergolflengte". Deze verhouding L_v/L_0 is in bijlage 9.1. uitgezet tegen $\sqrt{h_v/g}/T$. De resultaten van de berekening zijn vervat in bijlage 9.2.

De punten blijken goed door vgl (1) te worden benaderd.

Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat de theorie van Airy geschikt is voor het vaststellen van de golflengte op het voorland.

Bovendien kan het gevonden verband worden gezien als een be-

vestiging van het in hoofdstuk 8 gestelde betreffende het constant blijven van de periode.

Voor $\sqrt{h_v/g}/T > 0,100$ gaan de punten afwijken van de rechte van vgl. (1). De waterdiepte (h_v) is dan zo groot resp. de periode (T) zo klein, dat de golf niet langer als "ondiep water" golf kan worden beschouwd. ($\sqrt{h_v/g}.1/T > 0,100$ komt overeen met $h_v/L_0 > 0,063$ en dat is weer groter dan $1/20$). Voor deze waarden van h_v en T is er dan ook niet langer sprake van "ondiep-watergolven".

Vergelijking (1) is voor deze grote waarden van $\sqrt{h_v/g}.1/T$ niet langer geldig.

10. Brekerzone

10.1. Inleiding

Onder de brekerzône wordt verstaan het gebied waarin de turbulente energiedissipatie t.g.v. het breken van de golf plaats vindt.

Het begin van de brekerzône wordt gevormd door de plaats waar de golf op het punt staat te gaan breken. Bij een "plunging" breker wordt hiervoor veelal aangehouden het moment waarop het golffront verticaal is, en bij een "spilling" breker het moment waarop schuimvorming begint op te treden.

Voor het einde van de brekerzône geven de verschillende onderzoekers geen eensluidende definitie. Zo wordt bij Nakamura (1966) de plaats waar de golf weer een "regelmatige" vorm aanneemt als einde van de brekerzône beschouwd.

Sawaragi en Iwata (1974) geven waarden van L_B waarbij als einde van de brekerzône wordt aangehouden het punt waar de schuimvorming (aeration) ophoudt.

Voor "plunging" brekende golven presenteert Galvin (1969) waarden van de afstand tussen het breekpunt en de plaats waar de kam van de brekende golf weer het water bereikt.

Hensen (1954) geeft geen uitsluitsel welke definitie hij voor de bepaling van het einde van de brekerzône heeft gehanteerd; vermoedelijk is dit dezelfde als bij Nakamura, n.l. de plaats waar zich weer een "regelmatige" golf heeft ingesteld.

Van deze brekerzône worden twee aspecten in het volgende nader bekeken.

Dit zijn de golfhoogte aan het begin van de brekerzône, anders gezegd de verhouding tussen waterdiepte en golfhoogte op het punt van breken, en de breedte van de brekerzône.

Een aantal auteurs hebben in hun onderzoek de breedte van het voorland gevarieerd. Op grond hiervan en van de resultaten uit paragraaf 10.3. zijn conclusies te trekken over de effectiviteit van een zekere voorlandbreedte uit het oogpunt van een adequate kustbescherming.

10.2. Golfhoogte aan begin van brekerzône

Een golf breekt wanneer de golfsteilheid (H/L) of de golfhoogte-waterdiepte-verhouding een zekere maximumwaarde bereikt.

Voor het specifieke geval van een horizontale bodem voorafgegaan door een talud (voorland + aanloophelling) worden door een drietal onderzoekers waarden gepresenteerd voor de verhouding golfhoogte-waterdiepte op het punt van breken.

Galvin, en Sawaragi en Iwata gebruiken de golfhoogte bij breken, terwijl Hensen de golfhoogte op de aanloopstrook hanteert.

Voor dit laatste onderzoek is door omrekening de golfhoogte bij breken bepaald.

Sawaragi en Iwata (1974) hebben de verhouding H_b/h_b bepaald als functie van de golfsteilheid op diep water (H_o/L_o) en de parameter h_b/L_o (bijlage 10.1.). Hierbij is h_b de stilwaterdiepte op het voorland resp. op de aanloophelling; afhankelijk van de plaats waar de golf breekt. Het blijkt, dat de waarde van H_b/h_b bij vaste waarde van h_b/L_o toeneemt met het groter worden van de golfsteilheid. Vergroten van h_b/L_o bij gelijkblijvende golfsteilheid doet de waarde van H_b/h_b afnemen.

Voor "kleine" waarden van h_b/L_o en "grote" van H_o/L_o neemt de verhouding H_b/h_b wel bijzonder grote waarden aan; bijna onwaarschijnlijk groot. Mogelijk is de grootte van h_b in die gevallen enigszins onderschat. Door o.m. "set-up" zal de "actuele" waarde van h_b groter zijn.

Door Galvin zijn voor een samengestelde helling (horizontaal voorland, aanloophelling 1:15) voor een beperkt aantal proeven bij "plunging" brekende golven de volgende golf- en waterdieptegrootheden bepaald: h_a , h_v , h_b , T en H_b . De waterdiepte bij het breekpunt is, daar de meeste golven op het voorland braken, vrijwel in alle gevallen gelijk aan de waterdiepte op het voorland.

De verhouding H_b/h_b is hiermee direkt te bepalen. Voor een vergelijking met de resultaten van Sawaragi en Iwata zijn bovendien de bijbehorende waarden van H_o/L_o en h_b/L_o nodig.

Met de theorie van Airy is uit h_b/L_o de verhouding H_b/H_o en daarmee de golfhoogte op diep water bepaald.

De resultaten van deze berekening zijn opgenomen in bijlage 10.2.

Resultaten van Galvin blijken goed aan te sluiten bij de door Sawaragi en Iwata gevonden verbanden. Het verschil bedraagt slechts 4-10%.

Voor de eerste vier golven uit bijlage 10.2. is de verhouding $H_b/h_b < 0,72$. Op grond van het criterium van Sawaragi en Iwata zou hier sprake zijn van "spilling" brekende golven; dit is strijdig met het eerder gestelde, immers Galvin heeft de verhouding H_b/h_b bepaald voor "plunging" brekende golven.

Hensen (1954) geeft in "Anlage 26" de verhouding van de waterdiepte in het breekpunt met de golfhoogte op de aanloopstrook als functie van de periode van de golf voor vaste waarden van de waterdiepte op het voorland, en de golfhoogte op de aanloopstrook.

Het hanteren van de golfhoogte op de aanloopstrook is weinig zinvol. De golfhoogte bij breken is uit die op de aanloopstrook af te leiden (te benaderen) met de theorie van Airy.

Tevens zijn waarden van h_b/L_0 en H_0/L_0 bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 10.3.

In bijlage 10.4. is H_b/h_b als functie van H_0/L_0 voor vaste waarden van h_b/L_0 weergegeven, bepaald uit de meetresultaten van Hensen.

Kwalitatief stemt het verbond tussen H_b/h_b en de parameters h_b/L_0 en H_0/L_0 goed overeen met de resultaten van Sawaragi en Iwata (bijlage 10.1.). Voor $h_b/L_0 = 0,070 - 0,078$ is de spreiding te groot, en het aantal meetpunten te gering om te kunnen vaststellen of ook voor grotere waarden van h_b/L_0 deze overeenkomst aanwezig is.

Voor een kwantitatieve vergelijking komen in aanmerking de "krommen" voor $h_b/L_0 = 0,029 - 0,033$ en $h_b/L_0 = 0,042 - 0,046$.

Deze laatste "kromme" ($h_b/L_0 \approx 0,44$) stemt zeer goed overeen; afwijkingen $< 5\%$.

Voor $h_b/L_0 \approx 0,31$ zijn evenwel aanzienlijke verschillen aanwezig; de kromme in bijlage 10.4. vertoont een te steil verloop.

10.3. Breedte van de brekerzône

De breedte van de brekerzône L_B wordt bepaald door de golfparameters en de grootte en het verloop van de waterdiepte. Bij de behandeling van dit onderwerp worden de resultaten van Hensen als leidraad gebruikt.

Hensen geeft in de "Anlagen 21 t/m 24" waarden voor de breedte van de brekerzône als functie van resp. het absolute energieverlies van de golf, de golfperiode, de golfhoogte op de aanloopstrook en een soort van golfsteilheid.

Deze presentatie is vrij ondoorzichtig en biedt geen mogelijkheden voor een vergelijking met andere onderzoeksresultaten.

Uit de "Anlagen 21 t/m 24" zijn evenwel alle parameters af te leiden die nodig zijn voor een dimensieloze presentatie van de te beschouwen samenhangen.

De breedte van de brekerzône is op twee manieren dimensieloos gemaakt, n.l. met de golflengte op diepwater (L_O) en die op het voorland (L_V). De verhouding L_B/L_O resp. L_B/L_V is uitgezet tegen dezelfde combinatie van de parameters h_V/L_O , H_O/L_O en H_O/h_V als in paragraaf 7.2.

De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 10.5.

Voor een vergelijking met de uit de resultaten van Hensen gevonden verbanden zijn de resultaten van Nakamura, Sawaragi en Iwata, en Galvin beschikbaar.

In de inleiding is reeds aangestipt, dat de verschillende onderzoekers niet één en hetzelfde criterium hebben gehanteerd voor de bepaling van het einde van de brekerzône. Een kwantitatieve vergelijking wordt hierdoor bemoeilijkt.

Ook de grote spreiding in de beschouwde samenhangen (zie bijv. bijlagen 10.6. en 10.9.), met name wanneer het aantal meetpunten gering is, maakt de interpretatie van de verschillen en overeenkomsten tussen de verschillende onderzoeken tot een moeilijke zaak.

10.3.1. $L_B/L_O = f(h_V/L_O; H_O/L_O)$

Uitgezet is in bijl. 10.6. de verhouding tussen de breedte van de brekerzône en de diepwatergolflengte, als functie van de para-

meter h_v/L_0 voor "vaste" waarden van de golfsteilheid.

De waarde van de golfsteilheid is een weinig gevarieerd om voldoende meetpunten per serie te verkrijgen.

De waarde van L_B/L_0 blijkt afnemend stijgend met h_v/L_0 toe te nemen. De invloed van de golfsteilheid op L_B/L_0 is uit bijlage 10.6. moeilijk af te leiden, daar het aantal meetpunten voor $H_0/L_0 = \text{constant}$ vrij gering is, en deze bovendien een verschillend bereik van de waarde van h_v/L_0 hebben.

Wel zijn de meetpunten in bijlage 10.6. redelijk door één kromme te benaderen. De waarde van de golfsteilheid varieert in dat geval tussen 0,010 en 0,068. De spreiding is vrij aanzienlijk, maar dit geldt voor de meeste grootheden, die door het breekproces worden beïnvloed. Met het buiten beschouwing laten van twee meetpunten met $h_v/L_0 = 0,062 - 0,068$, kunnen de punten benaderd worden met de rechte $L_B = 30 h_v$. Voor een vergelijking met dit uit de resultaten van Hensen gevonden verband zijn geen geschikte gegevens beschikbaar.

10.3.2. $L_B/L_0 = f(H_0/L_0; H_0/h_v)$

In bijlage 10.7. is de dimensieloos gemaakte breedte van de brekerzône uitgezet tegen de golfsteilheid voor drie verschillende "vaste" waarden van H_0/h_v .

Hieruit volgt een duidelijke toeneming van L_B/L_0 voor een toenemende golfsteilheid. De invloed van de parameter H_0/h_v is voor $H_0/h_v > 1,00$ betrekkelijk gering.

Voor kleinere waarden van H_0/h_v neemt het belang van deze parameter toe. Rond $H_0/h_v = 0,72$ zal de invloed van H_0/h_v waarschijnlijk het grootst zijn, daar dit de "grenswaarde" vormt tussen een "spilling" en "plunging" breker.

Door Nakamura (1966) is voor aantal, in steilheid tussen 1:10 en 1:100 variërende strandhellingen de breedte van de "brekerzône" als functie van de golfsteilheid bepaald (bijlage 10.8.).

Voor hellingen steiler dan 1:30 is de breedte van de brekerzône gelijk aan de afstand van het breekpunt tot de waterlijn. Bij flauwere hellingen ($m < 1:50$) stelt zich na zekere afstand van het breekpunt weer een "regelmatige" golf in; deze afstand geldt voor hellingen flauwer dan 1:50 als de brekerzône. De meetpunten kunnen benaderd worden met de rechte $L_B = 26 H_0$.

Nu is het verloop van de waterdiepte bij de onderzoeken van Hensen en Nakamura duidelijk verschillend, waardoor ook het golfvervormingsproces verschillend zal zijn. De resultaten van Nakamura zijn toch hier opgenomen, omdat geen andere geschikte resultaten voorhanden zijn, en omdat de golfvervorming bij zeer flauwe strandhellingen mogelijk als een redelijke benadering van de golfvervorming bij een horizontale bodem (= voorland) beschouwd kan worden. Althans voor de golven die op het voorland, en dus niet op de aanloophelling, breken.

De aanzienlijke spreiding in L_B/L_0 in bijlage 10.8., vooral in het in de praktijk meest interessante gebied van de golfsteilheid ($0,020 < H_0/L_0 < 0,080$), maakt een vergelijking tussen bijlagen 10.7. en 10.8. er niet eenvoudiger op.

Deze spreiding, waarvan de grootte door de logaritmische schaal enigszins gemaskerd wordt, is mogelijk het gevolg van het feit dat de resultaten in bijlage 10.8. betrekking hebben op verschillende strandhellingen. De steilheid varieert tussen 1:10 en 1:100.

Een vergelijking tussen de resultaten van Hensen en Nakamura wijst desalniettemin op een redelijke overeenkomst tussen de gemiddelde waarden van L_B/L_0 bij beide onderzoeken.

Zowel in bijlage 10.7. als 10.8. is er sprake van een lineaire toeneming van L_B/L_0 met het groter worden van de golfsteilheid. Kwantitatief is de overeenstemming minder: voor een golfsteilheid van 0,020 resp. 0,080 geeft Hensen voor L_B/L_0 de waarden 0,60 resp. 1,60 en Nakamura 0,50 resp. 2,00.

10.3.3. $L_B/L_v = f(h_v/L_0; H_0/L_0)$

Met de meetresultaten van Hensen is in bijlage 10.9. de met de golflengte op het voorland dimensieloos gemaakte breedte van de brekerzône uitgezet tegen de parameter h_v/L_0 voor een aantal "vaste" waarden van de golfsteilheid.

Een duidelijke samenhang valt niet waar te nemen, noch met h_v/L_0 noch met H_0/L_0 . Wel blijken de meeste punten waarden van L_B/L_v te hebben, die liggen tussen 1,5 en 3,0.

Uit de bijlagen 7.14 en 7.15 (resultaten van Horikawa en Kuo resp. Sawaragi en Iwata) volgen ook waarden van L_B/L_V die in hetzelfde bereik liggen.

10.3.4. $L_B/L_V = f(H_O/L_O; H_O/h_V)$

De afhankelijkheid van de verhouding L_B/L_V van de golfsteilheid voor "vaste" waarden van H_O/h_V is nagegaan in bijlage 10.10.

Hieruit kan een toeneming van L_B/L_V met stijgende H_O/L_O worden afgeleid. Dit geldt met name voor $H_O/h_V = 1,05 - 1,10$.

Voor de beide andere waarden van H_O/h_V is de spreiding te groot, en het aantal meetpunten te gering, om hierover een eenduidige uitspraak te kunnen doen. Iets dergelijks geldt voor de invloed van de factor H_O/h_V zelf.

Sawaragi en Iwata (1974) hebben de afstand van het breekpunt tot het punt waar de luchtbellens (schuimwerking) zijn verdwenen (X_A) bepaald als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van h_b/L_O . Let wel h_b , d.i. de waterdiepte in het breekpunt en niet de waterdiepte op het voorland.

De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage 10.11. De verhouding X_A/L_V blijkt toe te nemen met toenemende golfsteilheid. Kleiner worden van de factor h_b/L_O geeft eveneens een toeneming van X_A/L_V .

Bij een vergelijking tussen de resultaten van bijlagen 10.10 en 10.11. zijn twee aspecten van belang:

- het verschil in criterium dat is gehanteerd ter bepaling van het einde van de "brekerzone". Met name voor kleine waarden van de golfsteilheid geeft bijlage 10.11. duidelijk lagere waarden voor de breedte van de "brekerzone"; scheelt een factor 2 à 3. Voor grotere golfsteilheid wordt dit verschil steeds kleiner.
- in bijlage 10.11. is bij het verband tussen de breedte van de "brekerzone" en de golfsteilheid een andere parameter met "vaste" waarden (h_b/L_O) gehanteerd dan in bijlage 10.10 (H_O/h_V).

Het gebruik van de waterdiepte bij het breekpunt blijkt betere resultaten op te leveren dan de waterdiepte op het voorland; verband tussen X_A/L_V en H_O/L_O hangt wel duidelijk af van h_b/L_O en dat tussen L_B/L_V en H_O/L_O niet van H_O/h_V .

Hensen geeft evenwel geen waarden voor h_b , zodat deze presentatie in bijlage 10.10 niet gevolgd kon worden.

Galvin tenslotte heeft voor een beperkt aantal "plunging" brekende golven de som bepaald van de "plunge" en "splash distance".

Onder de "plunge distance" (X_p) wordt verstaan de afstand van het breekpunt tot het punt waar de brekende kruin weer het wateroppervlak bereikt. Met de "splash distance" (X_s) wordt bedoeld de afstand van het punt waar de kruin op het water terechtkomt tot het punt waar de "splash" weer het water bereikt.

De "plunge + splash distance" is dimensieloos gemaakt met de golfhoogte op het voorland en uitgezet tegen de golfsteilheid (bijlage 10.12.).

De resultaten van de berekening zijn opgenomen in bijlage 10.13.

Ook in dit geval is er sprake van een toeneming van de waarde van de op de verticale as uitgezette grootte met een toeneming van de golfsteilheid.

De waarde van de "plunge + splash distance" is beduidend kleiner dan de breedte van de "brekerzone" zoals gepresenteerd in bijlagen 10.10. en 10.11. Met de "plunge + splash distance" is het einde van de brekerzone duidelijk nog niet bereikt.

10.4. Effectiviteit voorlandbreedte t.b.v. kustbescherming

In een drietal onderzoeken is de invloed van de breedte van het voorland (L_b) op de golfoploophoogte bij een dijk bepaald.

Daar de invloed van de voorlandbreedte in samenhang met de golfoploophoogte is beschouwd en deze oploophoogte in belangrijke mate wordt bepaald door de vorm van de dijk, mag aan de afgeleide verhoudingsgetallen geen absolute waarde worden toegekend.

Wel kan hieruit enige kwalitatieve informatie worden afgeleid. De bepalende factor in de oploophoogte - reducerende werking van het voorland is de verhouding tussen de breedte van het voorland en de breedte van de brekerzone (l_b/L_B).

Wanneer deze factor eenmaal groter is dan één heeft een verdere toeneming van de voorlandbreedte slechts een marginiaal effect op de golfoploophoogte. Voor waarden van $l_b/L_B < 1$ kan een toeneming van de voorlandbreedte een vrij aanzienlijke

reductie van de golfloop te weeg brengen.

Ter illustratie hiervan worden in het volgende kort de resultaten van de genoemde onderzoeken weergegeven.

In M 1084 is bij onregelmatige golven voor voorlandbreedten van 0, 100, 250 en 400 m de golfoploophoogte met een overschrijdingsfrequentie van 2% bepaald. De waterdiepte op het voorland bedraagt 3 m en de steilheid van de aanloophelling is 1:5.

De significante golfhoogte bedraagt 4,0 m en de top van het energiespectrum ligt bij 8,5 sec. (zie ook paragraaf 7.3.).

Deze periode is gebruikt voor het bepalen van een "kenmerkende" golflengte, waaruit vervolgens met de significante golfhoogte een "kenmerkende" golfsteilheid is afgeleid ($L_0 = 113$ m; $H_0/L_0 = 0,035$).

Met bijlage 10.7. (paragraaf 10.3.) volgt voor de verhouding $L_B/L_0 \approx 0,90$.

Hiermee wordt de breedte van de brekerzône geschat op $L_B \approx 100$ m. In bijlage 10.14. is nu het quotiënt van de golfoploophoogte bij een relatieve voorlandbreedte X en die bij het ontbreken van een voorland uitgezet tegen de faktor $1_v/L_B$.

De in het voorgaande beschreven invloed van de verhouding tussen de voorlandbreedte en de breedte van de brekerzône treedt hierin duidelijk naar voren.

Hensen & Führböter (1962) hebben bij waterdiepten op het voorland van 2,50 en 5,50 m de golfoploophoogten tegen een dijk bepaald voor voorlandbreedten van 100 resp. 200 m. De golfhoogte op de aanloopstrook bedraagt ca. 1,50 m. Verlenging van het voorland blijkt enige vermindering van de golfloop te geven.

Voor voorlanddiepten van 2,50 resp. 5,50 m bedraagt de verhouding $Z_{200\text{ m}}/Z_{100\text{ m}}$ 0,88 resp. 0,96.

De reductie in golfloop is het grootst bij de kleinste waterdiepte ($h_v = 2,50$ m); de invloed van de bodemwrijving is in dit geval groter.

Voor beide waterdiepten evenwel is de reductie gering; de breedte van de brekerzône is blijkbaar kleiner dan 100 m geweest. Een schatting van L_B is niet mogelijk door het ontbreken van waarden van H_0/L_0 .

Hensen (1954) heeft de golfoploophoogte bepaald voor een dijk nā een voorland van 600 m, een dijk direct nā de brekerzōne en een dijk in de brekerzōne op de aanzet van het voorland, dus de grens tussen voorland en aanloophelling.

De golfoploophoogten zijn bepaald voor voorlanddiepten van 2,00, 3,50 en 5,00 m. De golfhoogte op de aanloopstrook varieerde tussen de 2,00 m en 5,00 m en de golfperiode tussen 4,5 en 14,5 sec.

Beschouwd zijn de maximale en minimale oploophoogten die bij de drie onderscheiden waterdiepten optreden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage 10.15.

Tussen een dijk direct nā de brekerzōne en ēēn nā een voorland van 600 m wordt door Hensen geen verschil in oploophoogte geconstateerd.

In de praktijk zal evenwel, zeker bij geringe waterdiepten en lange voorlanden enige energiedissipatie t.g.v. bodemwrijving optreden. Dat Hensen dit niet heeft waargenomen is mogelijk toe te schrijven aan een bijzonder gladde gootbodem, hoewel in de toelichting op de proefopzet gesteld wordt, dat op grond van ervaring de "juiste" ruwheid is aangebracht.

Ook is het mogelijk, dat het effect van de bodemwrijving wel aanwezig was, maar dat de invloed betrekkelijk gering was en door Hensen niet als zodanig is onderkend vanwege de spreiding in de resultaten.

Uit bijlage 10.15 volgt dat de golfoploophoogte tussen een dijk in de brekerzōne en een dijk nā een voorland van 600 m aanzienlijk verschilt. Het meest interessant is de reductie in de maximale oploophoogte, dus voor de grootste waarden van de tussen 2,00 en 5,00 m gevarieerde golfhoogte op de aanloopstrook.

Met name bij de kleine voorlanddiepten (H_0/h_v relatief groot) is de reductie in golfoploop bijzonder groot. De oploophoogte wordt tot ongeveer de helft teruggebracht.

11. Conclusies

Op grond van de bevindingen uit de voorgaande hoofdstukken kan de kennis van en het inzicht in de golfvervorming bij een hoog voorland als volgt gekwalificeerd worden:

- wat betreft regelmatige golven bestaat er een redelijke kennis van de relaties tussen de golfkenmerken op diep water en de waterdiepte op het voorland enerzijds en golfkenmerken op het voorland anderzijds.
Het inzicht is minder groot. Er bestaan weliswaar een aantal theoretische benaderingen, waarmee de golfhoogtevermindering na het breken kan worden beschreven, maar deze vergen de invulling van een bepaalde waarde van de coëfficiënt, om overeenstemming tussen theorie en experiment te bewerkstelligen.
- met betrekking tot onregelmatige golven kan gesteld worden, dat hiervan vrij weinig bekend is^{*)}.

De belangrijkste conclusies m.b.t. de vervorming van regelmatige golven worden in onderstaande kort geresumeerd.

1. De waterdiepte op het voorland is de bepalende invloedsfactor op de grootte van de golfhoogte op het voorland. De invloed van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte is slechts van secundair belang.
De verhouding H_v/h_v varieert tussen 0,30 en 0,50, met een gemiddelde van circa 0,40.
2. Het verloop van de golfhoogte in de brekerzône wordt in sterke mate bepaald door de parameter H_0/h_v . Deze parameter wordt tevens gehanteerd als criterium voor de classificatie in brekertype. Het brekertype blijkt dan ook van invloed op de golfhoogtevermindering in de brekerzône; met name op de snelheid hiervan.

^{*)} Recent is door Battjes en Janssen (1978) een theoretische benadering gepresenteerd voor het energieverlies t.g.v. breken van onregelmatige golven.

Dit betreft een uitbreiding tot onregelmatige golven van de in paragraaf 6.3. besproken benadering. Hieraan is in dit rapport verder geen aandacht besteed.

3. De verhouding tussen de golfhoogte op diep water en de waterdiepte op het voorland, waarbij de golf zich nog juist zonder te breken over het voorland voortplant, bedraagt

$$(H_0/h_v)_{\text{grens}} = 0,52 - 0,56$$

4. Het verlies aan vermogen (energieflux) van een regelmatige golf is een functie van de parameter H_0/h_v .
Het verlies aan vermogen is voor $H_0/h_v > 1,0$ steeds groter dan 80% en voor $H_0/h_v > 1,5$ steeds groter dan 90%.
5. De golfperiode blijft constant.
Voor kleine waarden van de relatieve waterdiepte vindt in de brekerzône overdracht van golfenergie plaats naar hogere harmonischen. Behalve de eerste en tweede harmonische dempen deze weer snel uit.
6. De theorie van Airy vormt een goede benadering voor de bepaling van de golflengte op het voorland.
7. De verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte aan het begin van de brekerzône (op het punt van breken) is een functie van de parameter H_0/h_v , en varieert tussen 0,60 en 1,30.
8. De breedte van de brekerzône bedraagt 0,50 - 2,00 maal de golflengte op diep water, en neemt ongeveer lineair toe als functie van de golfsteilheid.

Uitgedrukt in de golflengte op het voorland loopt de breedte van de brekerzône uiteen van $L_B/L_v = 1,0 - 5,0$. Een verband met de golfsteilheid is nu veel minder duidelijk aanwezig.

9. De golfoploop reducerende werking van een voorland is afhankelijk van de verhouding tussen de breedte van het voorland en de breedte van de brekerzône.
Is deze verhouding groter dan één ($l_v/L_B > 1$), dan heeft een verdere vergroting van de voorlandbreedte slechts een geringe afname van de golfoploophoogte tot gevolg.

12. Literatuur

Battjes, J.A. "Energy dissipation in breaking solitary and periodic waves", manuscript, 14 pag, april 1978, niet gepubliceerd.

Battjes, J.A. en J.P.F.M. Janssen,
"Energy loss and set-up due to breaking of random waves.
In: 16th Conf. on Coastal Eng, Hamburg, Germany,
aug.-sept. 1978, Vol. I, pag. 569-587.

Bretschneider, C.L. en R.O. Reid. "Modification of wave height due to bottomfriction, percolation and refraction".
Beach Erosion Board, Techn. Memo no. 45, U.S. Army Corps of Engineers, 1954.

Camfield, F.E. "Wind-wave propagation over flooded, vegetated land"
Fort Belvoir, U.S. Army, Coast. Eng. Res. Center, 1977,
Tp 77-12, 42 pag, 19 fig.

Dean, R.G. en P.S. Eagleson. "Finite amplitude waves"
In: Estuary and coastline hydrodynamics, A.T. Ippen (ed).
Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York, 1966, pag 93-132.

Diephuis, J.H.R. "Scale effects involving the breaking of waves"
In: 6th Conf. on Coastal Eng, Florida, Dec 1957,
Part I, pag 194-201.

Divoky, D., B. Le Méhauté en A. Lin. "Breaking waves on gentle slopes", Journal of Geophysical Research, 75, 9,
Maart 1970, pag 1681-1692.

Galvin, C.J., Jr. "Breaker travel and choice of design wave height". Journal of the waterways and harbors division,
ASCE, WW2, No. 6569, 1969, pag 175-200.

Hensen, W. "Modellversuche über den Wellenaufbau an Seedeichen in Wattengebiet". In: Mitt. Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Heft 5, 1954, pag 123-165.

Hensen, W. en A. Führböter. "Modelversuche über den Wellenauflauf an den Elbdeichen bei Finkenwerder".

In: Mitt. des Franzius-Institut, T.H. Hannover, Heft 21, 1962, pag 82-101.

Horikawa, K. en C.T. Kuo. "A study on wave transformation inside surfzone". In: 10th Conf. on Coastal Eng, Tokyo, Japan, Sept. 1966, Vol. I, Ch. 15, pag 217-234.

Ippen, A.T. en M.M. Mitchell. "The damping of the solitary wave from boundary shear measurements". T.R. no. 23, MIT. Hydrodynamics Lab., juni 1957.

Jonsson, Ivar G. "Wave boundary layers and friction factors". In: 10th Conf. on Coastal Eng., Tokyo, Japan, Sept. 1966, Vol. I, Ch. 10, pag 127-149.

Le Méhauté, B. "On non-saturated breakers and the wave run-up". In: 8th Conf. on Coastal Eng, Mexico, 1962, pag 77-92.

Madsen, O.S. en C.C. Mei. "The transformation of a solitary wave over an uneven bottom". Journal of Fluid Mechanics, 39, 1969, no. 4, Dec, pag 781-791.

Miche, M.R. "Propriétés des trains d'ondes océaniques et de laboratoire". Comité Central d'Océanographie et d'Etude de Côtes, 1954.

Nakamura, M. "Wave decaying due to breaking". In: 10th Conf. on Coastal Eng., Tokyo, Japan, Sept, 1966, Vol. I, Ch. 16, pag 234-253.

Oorschot, J.H. van en P. van Vliet. "Golfoploop op een dijk met hoog voorland". Waterloopkundig Laboratorium, Verslag modelonderzoek M 1084, 1971.

Sawaragi, T. en K. Iwata. "On wave deformation after breaking". In: 14th Conf. on Coastal Eng., Copenhagen, Denmark, Juni, 1974, Danish Hydraulics Inst.,

Sawaragi, T. en K. Iwata. "Turbulence effect on wave deformation after breaking". Coastal Engineering in Japan, 17, 1974, Dec., pag 39-49.

Sawaragi, T. en K. Iwata. "Wave spectrum of breaking wave"
In: 15th Conf. on Coastal Eng., Honolulu, Hawaii, 1976,
Part I, Ch. 33, pag 580-594.

Siefert, W. "Über den Seegang in Flachwassergebieten".
In: Mitt des Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen
Universität Braunschweig, Heft 40, 1974, Braunschweig, pag 1-240.

Svendsen, I.A. en I.G. Jonsson. "Hydrodynamics of coastal regions".
Lecture notes 1976, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering (ISVA),
Technical University of Denmark, Lynby, pag 220-229.

Zabusky, N.J. en C.J. Galvin, Jr. "Secondary waves as solitons".
In: Transactions American Geophysical Union, 49, no. 1,
Washington, 1968, pag 209.

Onderstaand worden een aantal publikaties opgesomd, die op grond van de titel van belang lijken, maar bij nader onderzoek voor het beschouwde onderwerp niet bruikbaar bleken.

Camfield, F.E. en R.L. Street. "The effects of bottom configuration on the deformation, breaking and run-up of solitary waves".
In: 11th Conf. on Coastal Eng., London, 1968, Volume I,
pag 173-189.

Czepa, O., H. Hartke en S. Hoeg. "Bericht über Messungen von Seegang und Seegangswirkungen on der Ostseeküste".
Acta Hydrophysica, Bd 14, H. 1/2, Akademie-Verlag, Berlin 1969.

Detle, H.H. en A. Führböter. "Field investigations in surf zones"
In: 14th Conf. on Coastal Eng., Copenhagen, Denmark, juni, 1974,
Danish Hydraulics Inst., Volume I, pag 518-537.

Draper, L. "Attenuation of sea waves with depth".

La Houille Blanche, 12, 1957, no. 6, pag 926-931.

Hundt, C. "Wellenauflauf an Deichen und Deckwerken, Erfahrungen und Erkenntnisse von der Schleswig-Holsteinischen Westküste". Wasser und Boden, 9, 1957, pag 43-48.

Lüders, K. "Küstenausschus Nord- und Ostsee Technisch-Wissenschaftlicher Beirat. Deichsicherung durch Verhüttungs-rückstände". Die Küste, 1969, no. 18, pag 75-101.

Tickner, E.G. "Effects of reefs and bottom slopes on wind set-up in shallow water". Beach Erosion Board Office of the Chief of Engineers, Techn. Memo no. 122, Nov. 1960, pag 1-20.

Vongvisomjai, S. "Energy loss of a breaker".
In: Second Australian Conf. on Coastal Eng., Gold Coast, Queensland, April, 1975, Sydney, Inst. of Eng., Australia, nat. conf. publ. 75.2, pag 207-211.

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

De commissie adviseert de minister omtrent alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang kunnen zijn voor een doelmatige constructie en het onderhoud van waterkeringen dan wel voor de veiligheid van door waterkeringen beschermde gebieden.

bijlagen behorend bij het rapport:

literatuuronderzoek Golfvervorming bij een hoog voorland

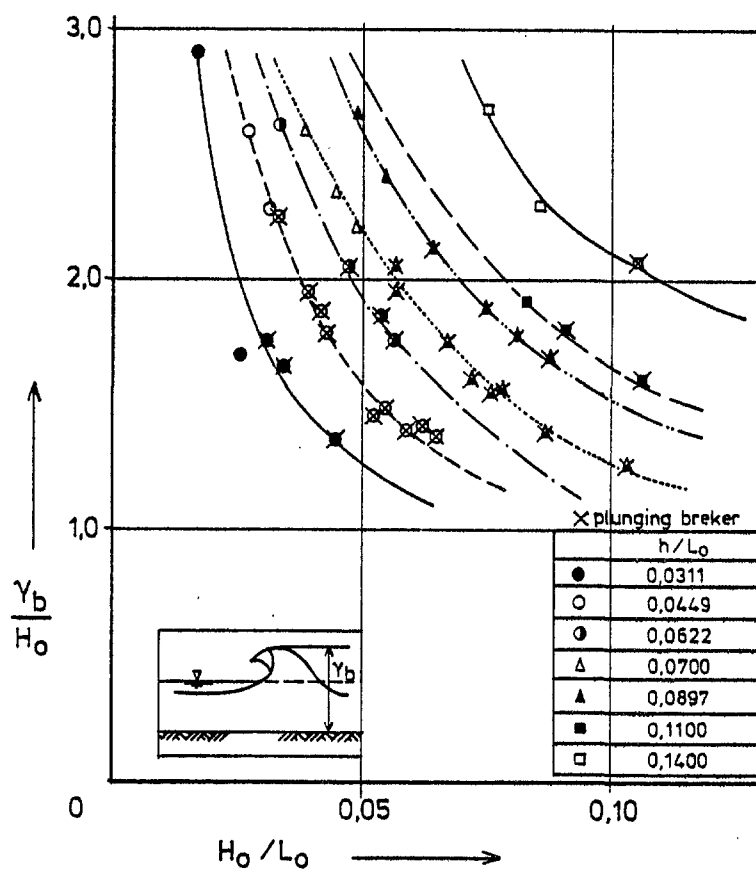
H. v.d. Mast

november 1979

Onderzoek	Type golven	Uitgangsparameters, variatie hierin	Steilheid van aanloophelling, heiling van voorland	Constructie op het einde van het voorland	Type van brakende golven (Criterium $H_0/h_v = 0,72$)	Plaatsbepaling van golfhoogte op het voorland
Hensen (1954)	regelmatig	T: 4,8-14,5 s h_v : 2,0 3,5 5,0 m H: 2,0 3,8 5,0 m H nog naar H_0 toe te rekenen	1:20 voorland horizontaal	dijk	vrijwel uitsluitend "plunging", enkele "spilling"	niet gespecificeerd geeft één waarde vermoedelijk <u>na</u> de brekerzone
Hensen, Fürbötter (1962)	regelmatig	slechts h_v geverfeerd h_v : 0,25 m - 0,55 m	1:3 en 1:4 voorland horizontaal	dijk	p.m.	geen directe bepaling golfhoogte op voorland, maar golfoploophoogte tegen een dijk
Horikawa, Kuo (1966)	regelmatig	T: 1,0-2,6 s h_v : 0,06-0,18 m H_0 : 0,034-0,153 m	1:5 voorland horizontaal	golfabsorberende constructie	zowel "spilling" als "plunging"	geeft verloop in brekerzone vanaf breekpunt tot $x/L_v = 5,0$
Galvin (1969)	regelmatig	T: 3,4-6,6 s h_v : 8,6 9,6 feet H_0 : 2,1-2,4 feet	1:15 voorland horizontaal	golfdempende constructie	"plunging"	slechts plaats van breekpunt bepaald
M 1084 (1971)	onregelmatig, H_2 en $H_{1/2}$, veldoen aan Rayleigh	$H_s = 4,0$ m; $T_0 = 8,5$ s $m_0 = 1,0$ m ²	a) 1:5 voorland 1:40 b) 1:5 voorland hor.	dijk	"samenstel" van "plunging" en "spilling"	geeft voor b) het verloop vanaf vastpunt (aanzet voorland) tot voor de dijk
Sawaragi, Iwata (1974)	regelmatig	T: 0,8 1,0 1,2 s h_v : 0,07 0,11 0,14 m H_0 : 0,035-0,135 m	1:18 voorland horizontaal	golfabsorberende constructie	zowel "spilling" als "plunging" maakt dit onderscheid expliciet	geeft verloop in de brekerzone vanaf breekpunt tot $x/L_v = 5,0$

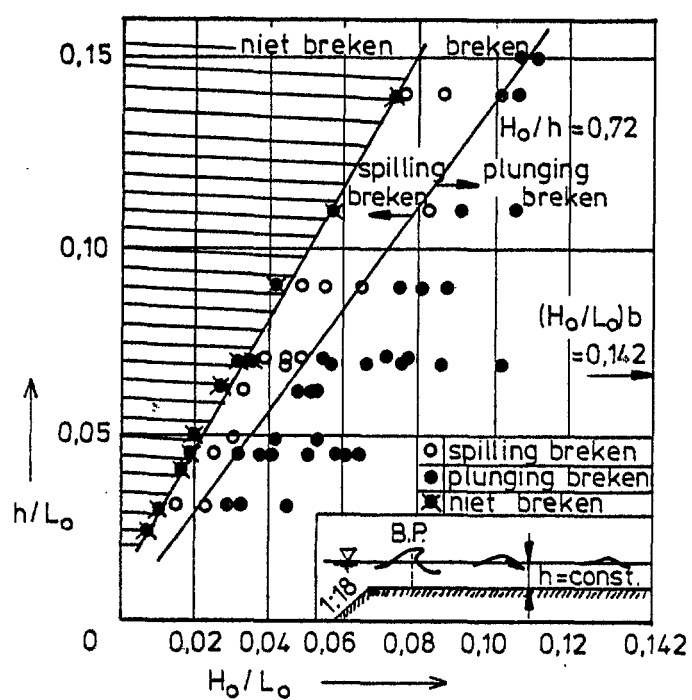
Overzicht van de kenmerkende elementen van een zestal experimentele onderzoeken.

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 4.1 tek nr A4 - 79.263
				werknr	



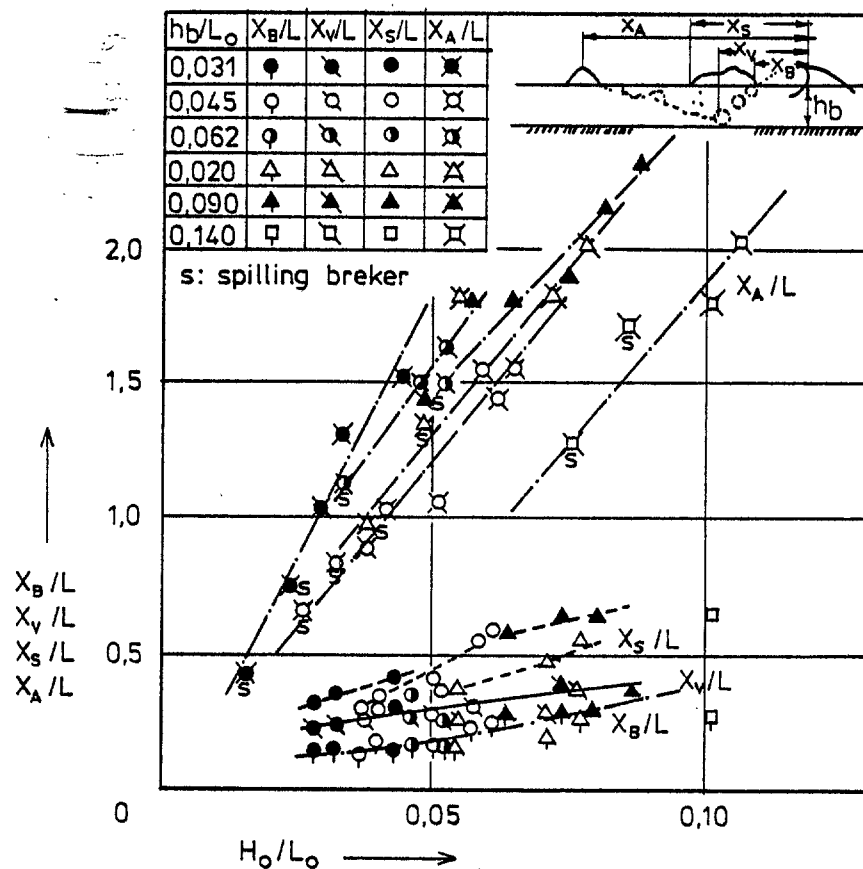
Golfkamhoogte als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte
(Sawaragi en Iwata)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 5.1
				werknr	tek nr A4 - 79.264



Overgangsgebied tussen "spilling" en "plunging" brekende golven
(Sawaragi en Iwata)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 5.2
				werknr	
					tek nr A4 - 79.265



Afstanden van karakteristieke punten t.o.v. het breekpunt als functie van de golfsteilheid (Sawaragi en Iwata).

TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

get

gew

gez

Schaal

werknr

Bijlage 5.3

tek nr A4 - 79.266

	h_v	H_0	H_v	T	L_0	h_v/L_0	H_0/H_v	H_0	H_v/H_0	H_v/h_v	h_v/L_0	H_0/L_0	H_0/h_v	L_v	n_v	L_0/T c_0	L_v/T c_v	$1/2 \cdot c_0 \cdot H_0^2$	$n_v \cdot c_v \cdot H_v^2$	$1/2 \cdot c_0 \cdot H_0^2 - n_v \cdot c_v \cdot H_v^2$ $1/2 \cdot c_0 \cdot H_0^2$
	α	n	α	s	α									α		m/s	m/s			
1	2,00	2,00	0,73	6,2	60,0	0,210	0,9205	2,17	0,336	0,365	0,033	0,036	1,09	27,5	0,9328	9,68	4,44	22,79	2,21	0,903
2	2,00	2,00	0,73	8,9	123,7	0,102	0,9313	2,15	0,339	0,365	0,016	0,017	1,08	39,4	0,9670	13,90	4,43	32,13	2,28	0,929
3	2,00	2,00	0,79	9,0	126,5	0,099	0,9336	2,14	0,369	0,395	0,016	0,017	1,07	39,9	0,9670	14,06	4,43	32,19	2,67	0,917
4	2,00	2,00	0,65	14,8	342,0	0,037	1,081	1,85	0,351	0,325	0,006	0,005	0,93	65,6	0,9875	23,11	4,43	39,55	1,85	0,953
5	2,00	3,80	0,81	6,2	60,0	0,210	0,9205	4,13	0,196	0,405	0,033	0,069	2,07	27,5	0,9328	9,68	4,44	82,56	2,72	0,967
6	2,00	3,80	0,75	8,5	112,8	0,112	0,9246	4,11	0,182	0,375	0,018	0,036	2,06	37,7	0,9630	13,27	4,44	112,08	2,41	0,978
7	2,00	3,80	0,75	12,2	232,4	0,054	1,010	3,76	0,199	0,375	0,009	0,016	1,88	54,0	0,9813	19,05	4,43	134,66	2,44	0,982
8	2,00	5,00	0,79	6,3	62,0	0,203	0,9188	5,44	0,145	0,395	0,032	0,088	2,72	27,9	0,9348	9,84	4,43	145,60	2,58	0,982
9	2,00	5,00	0,79	7,2	80,9	0,156	0,9131	5,48	0,144	0,395	0,025	0,068	2,74	31,9	0,9488	11,24	4,43	168,77	2,62	0,984
10	3,50	2,00	1,17	5,0	39,0	0,361	0,9670	2,07	0,565	0,334	0,090	0,053	0,59	26,5	0,8273	7,80	5,30	16,71	6,00	0,641
11	3,50	2,00	1,23	6,0	56,2	0,251	0,9326	2,14	0,574	0,351	0,062	0,038	0,61	33,0	0,8774	9,37	5,50	21,46	7,30	0,660
12	3,50	2,00	1,52	9,4	138,0	0,102	0,9313	2,15	0,707	0,434	0,025	0,016	0,61	55,1	0,9488	14,68	5,90	33,93	12,93	0,619
13	3,50	2,00	1,31	13,8	297,3	0,047	1,034	1,93	0,678	0,374	0,012	0,006	0,55	80,9	0,9752	21,54	5,86	40,12	9,81	0,755
14	3,50	3,80	1,29	6,2	60,0	0,235	0,9276	4,10	0,315	0,369	0,058	0,068	1,17	34,3	0,8849	9,60	5,53	81,36	8,14	0,900
15	3,50	3,80	1,38	9,7	146,9	0,096	0,9367	4,06	0,340	0,394	0,024	0,028	1,16	56,8	0,9508	15,14	5,86	124,78	10,61	0,915
16	3,50	3,80	1,29	13,7	293,0	0,048	1,031	3,69	0,350	0,369	0,012	0,013	1,05	80,3	0,9752	21,39	5,86	145,62	9,51	0,935
17	3,50	5,00	1,40	6,4	64,0	0,220	0,9231	5,42	0,258	0,400	0,055	0,085	1,55	35,2	0,8905	10,00	5,50	146,88	9,60	0,935
18	3,50	5,00	1,19	7,4	85,5	0,165	0,9132	5,48	0,217	0,340	0,041	0,064	1,57	43,4	0,9172	11,55	5,86	173,43	7,61	0,956
19	3,50	5,00	1,40	9,3	135,0	0,104	0,9281	5,39	0,260	0,400	0,026	0,040	1,54	54,5	0,9468	14,52	5,86	210,92	10,87	0,948
20	3,50	5,00	1,40	11,2	195,9	0,072	0,9678	5,17	0,271	0,400	0,018	0,026	1,48	65,6	0,9630	17,50	5,86	233,88	11,06	0,953
21	5,00	2,00	1,88	4,8	36,0	0,433	0,9820	2,04	0,922	0,376	0,139	0,057	0,41	28,7	0,7486	7,50	5,98	15,61	15,82	-
22	5,00	2,00	2,29	8,7	118,2	0,132	0,9164	2,18	1,050	0,458	0,042	0,018	0,44	60,9	0,9153	13,59	7,00	32,29	33,60	-
23	5,00	2,00	2,17	14,5	328,3	0,048	1,031	1,94	1,119	0,434	0,015	0,006	0,39	101,6	0,9690	22,64	7,01	42,60	31,99	0,249
24	5,00	3,80	2,38	6,7	70,1	0,223	0,9240	4,11	0,579	0,476	0,071	0,059	0,82	43,5	0,8609	10,46	6,50	88,35	31,70	0,641
25	5,00	3,80	2,38	12,4	240,1	0,065	0,9815	3,87	0,615	0,476	0,021	0,016	0,77	86,8	0,9568	19,36	7,00	144,98	37,94	0,738
26	5,00	3,80	2,38	14,3	319,3	0,049	1,027	3,70	0,643	0,476	0,016	0,012	0,74	100,2	0,9670	22,33	7,01	152,85	38,40	0,749
27	5,00	3,80	2,18	14,4	323,8	0,048	1,031	3,69	0,591	0,436	0,015	0,011	0,74	100,9	0,9690	22,49	7,01	153,11	32,28	0,789
28	5,00	5,00	1,77	5,8	52,5	0,297	0,9480	5,27	0,336	0,354	0,095	0,100	1,06	36,5	0,8187	9,05	6,29	125,67	16,13	0,872
29	5,00	5,00	2,38	6,8	72,2	0,216	0,9221	5,42	0,439	0,476	0,069	0,075	1,08	44,2	0,8645	10,62	6,50	155,99	31,83	0,796
30	5,00	5,00	2,50	8,7	118,2	0,132	0,9165	5,46	0,458	0,500	0,042	0,046	1,09	60,9	0,9153	13,59	7,00	202,57	40,04	0,802
31	5,00	5,00	2,38	9,3	135,0	0,116	0,9225	5,42	0,439	0,476	0,037	0,040	1,08	65,1	0,9250	14,52	7,00	213,27	36,68	0,828
32	5,00	5,00	2,31	10,7	178,8	0,087	0,9457	5,29	0,437	0,462	0,028	0,030	1,06	74,9	0,9428	16,71	7,00	233,81	35,22	0,849

TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Berekening dimensieloze factoren uit de resultaten van
"Anlage 10" (Hensen)

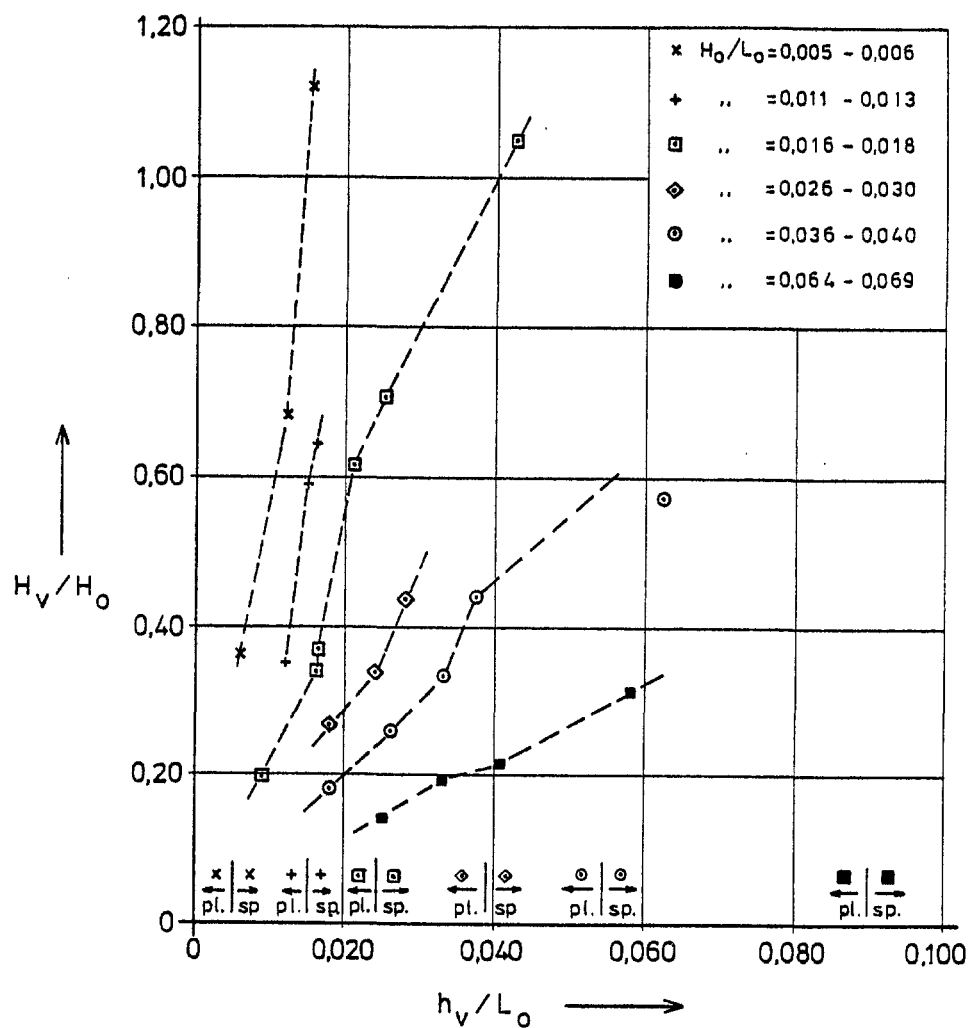
get	gew	gez

Schaal

werknr

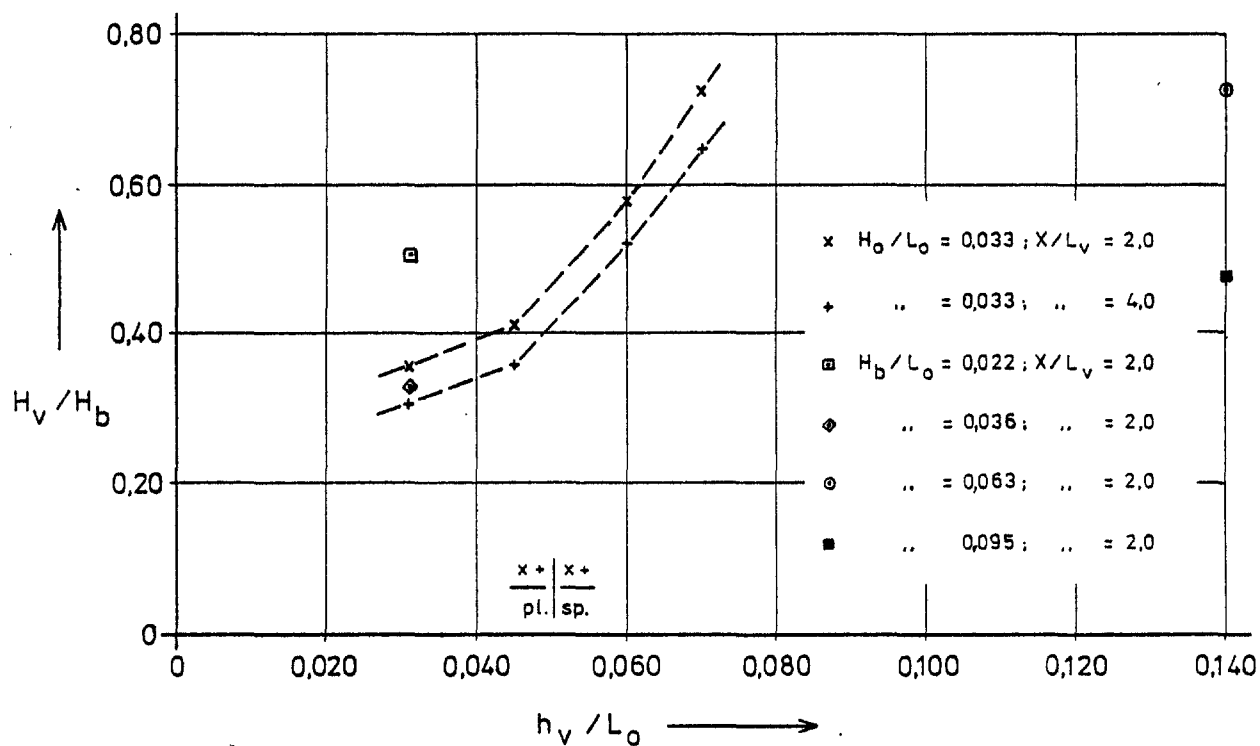
Bijlage 7.1

tek nr A4-79.267



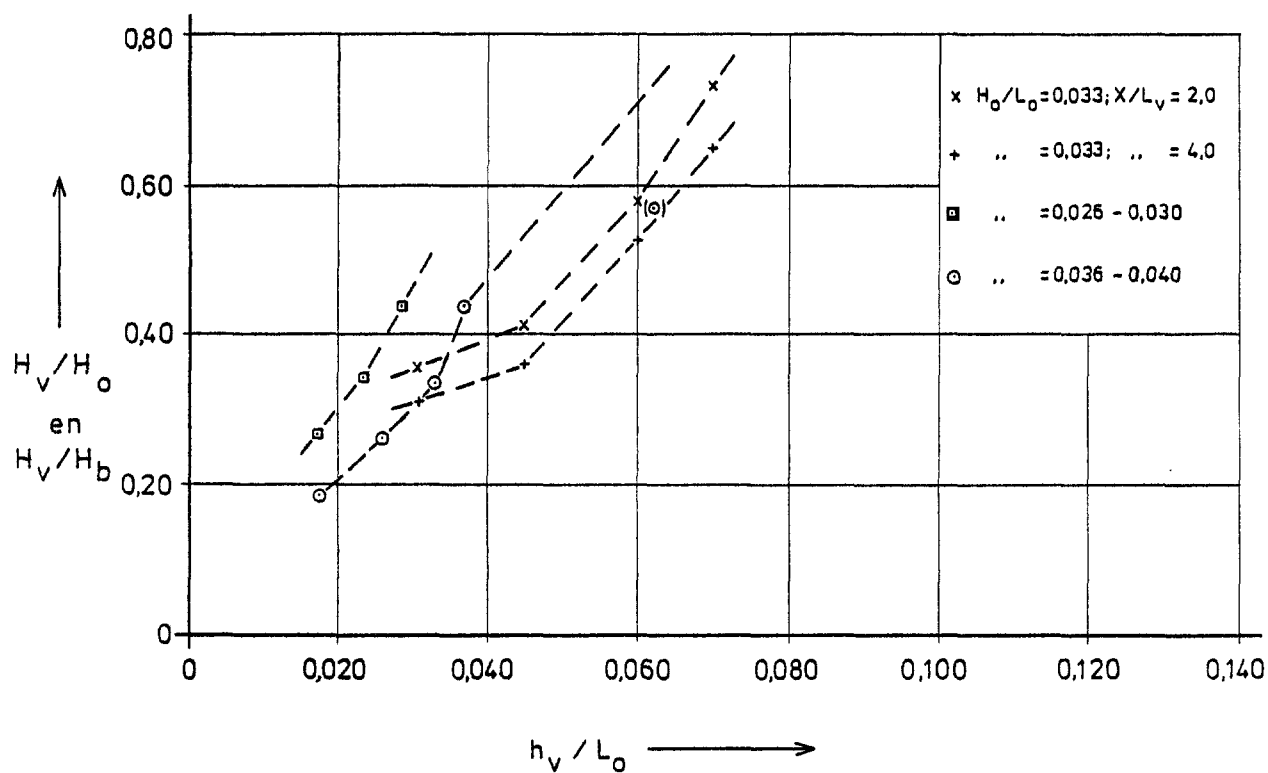
Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.2
				werknr	tek nr A4 - 79.268



Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid en de afstand tot het breekpunt (Sawaragi en Iwata).

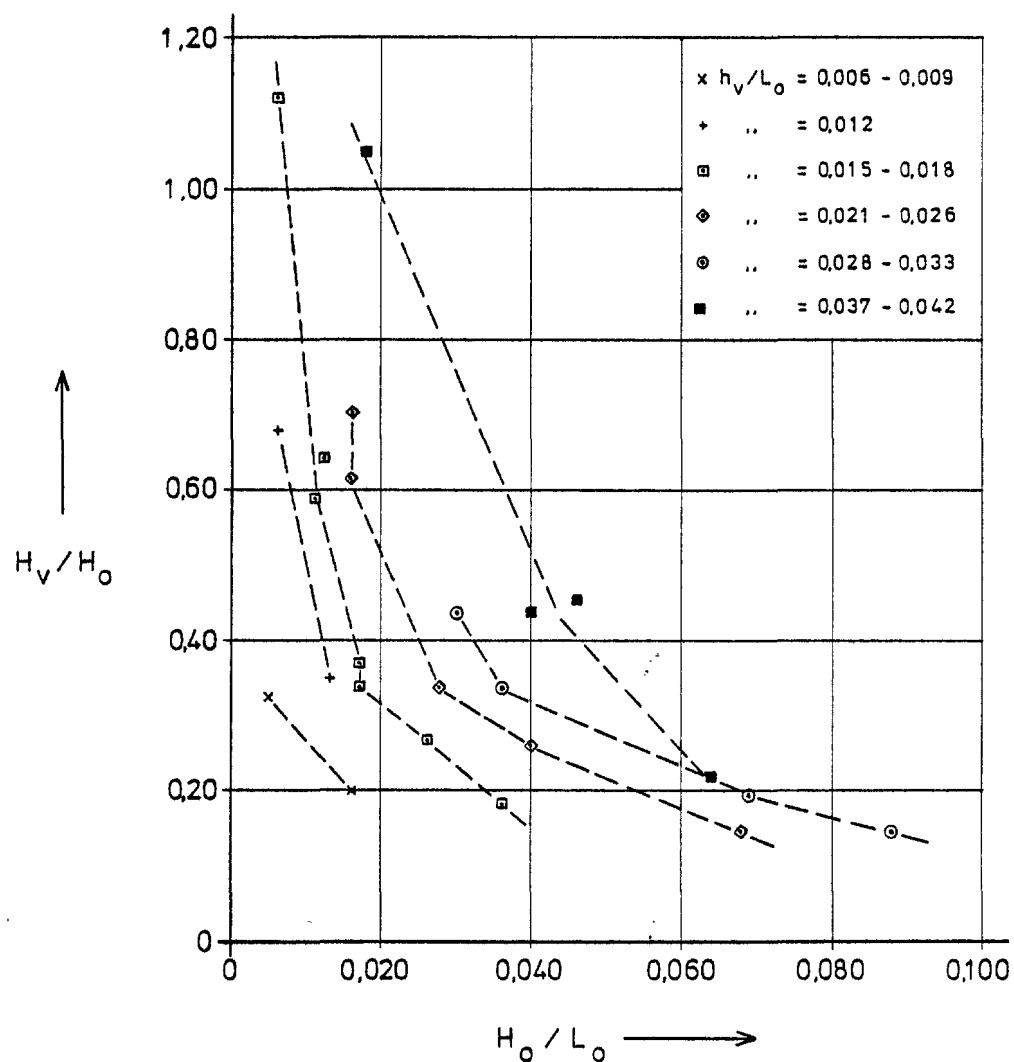
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.3 tek nr A4 - 79.269
				werknr	



Vergelijking tussen de resultaten van Hensen (bijlage 7.2) en Sawaragi en Iwata (bijlage 7.3).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.4
				werknr	

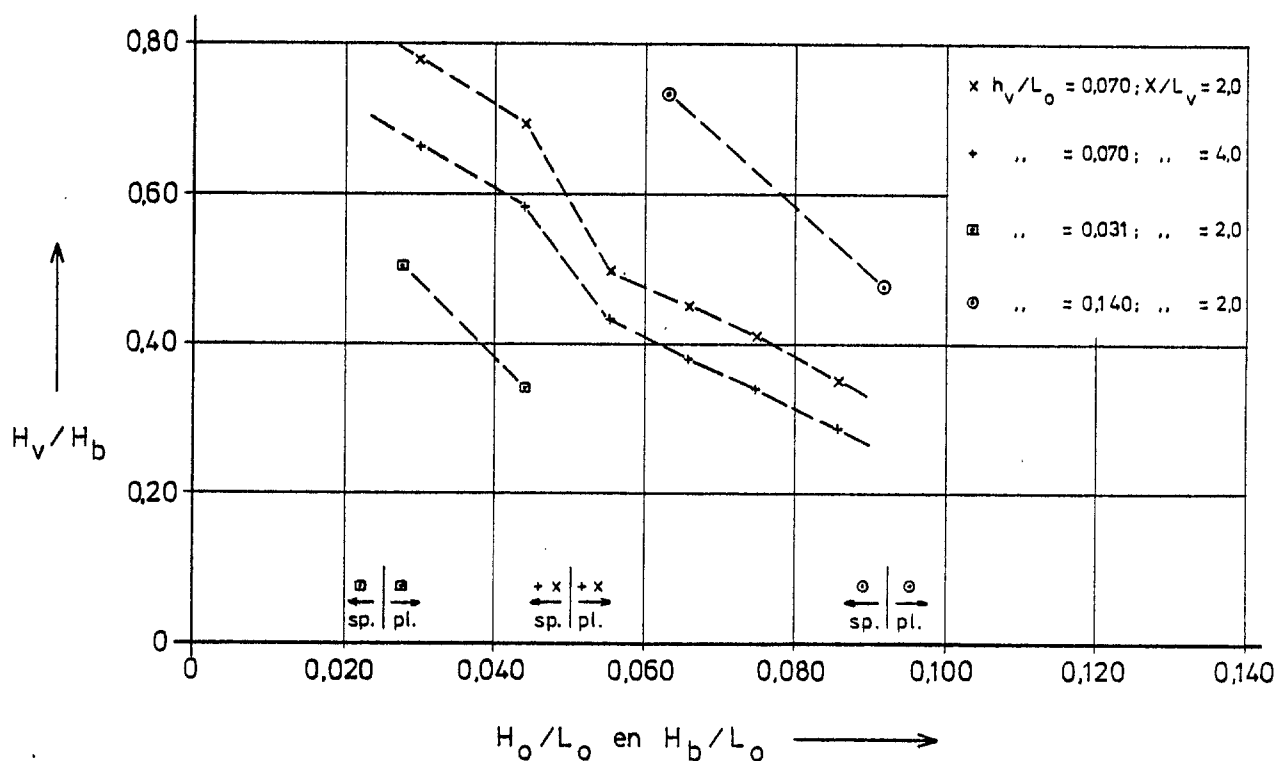
tek nr A4 - 79.270



Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de relatieve waterdiepte (Hensen).

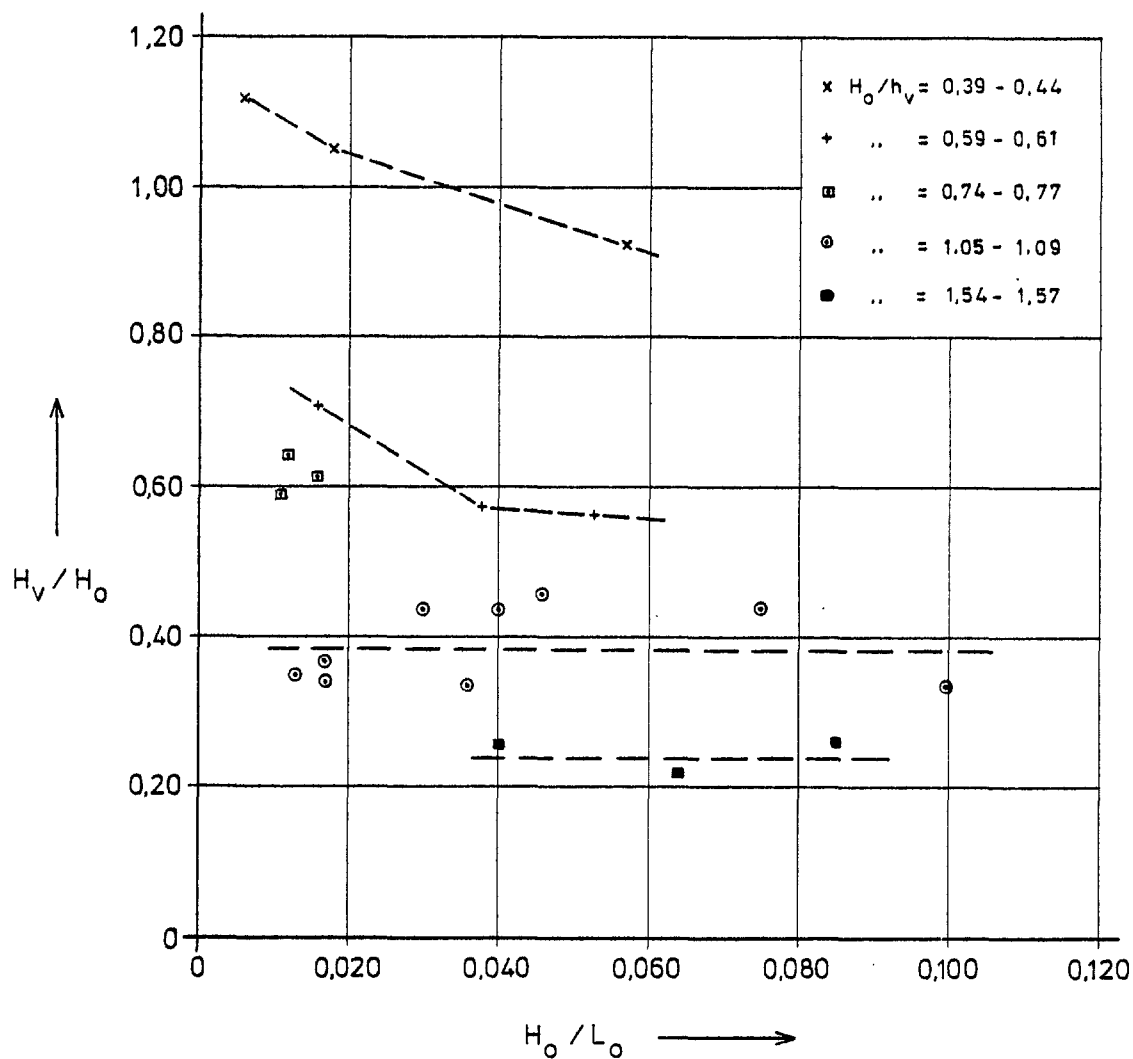
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.5
				werknr	

tek nr A4 - 79.271



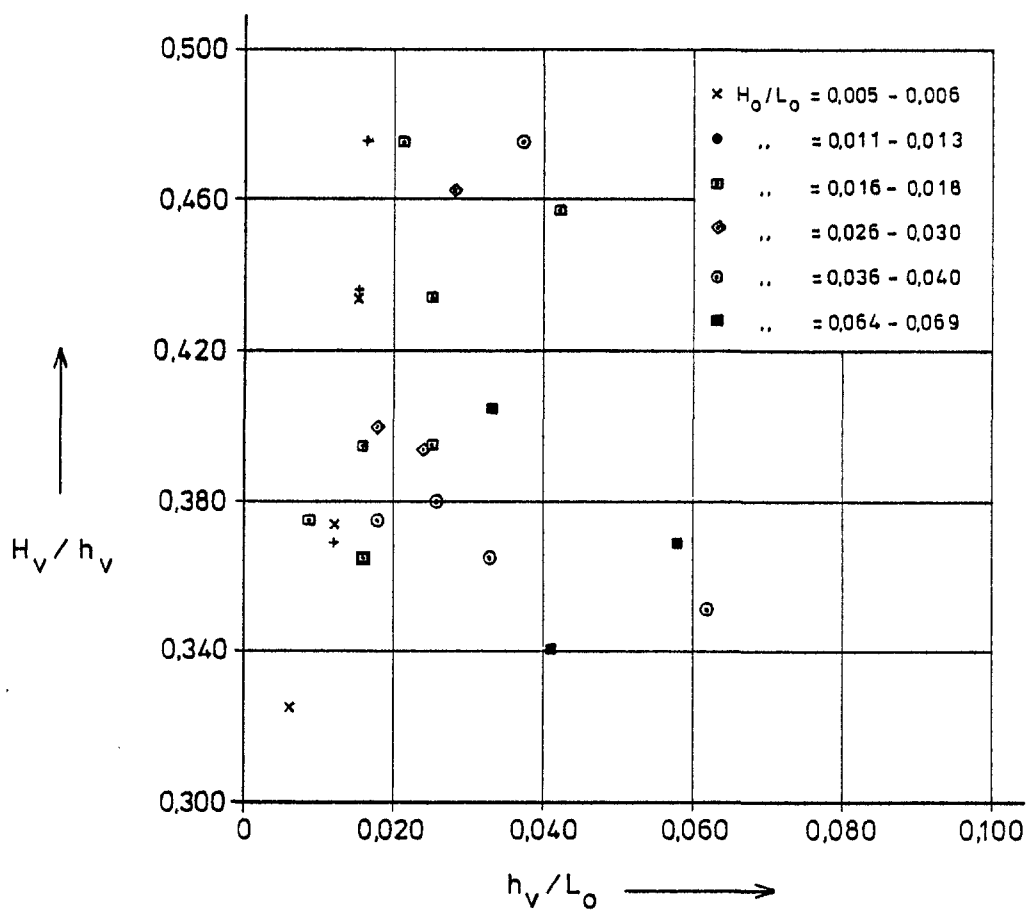
Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de relatieve waterdiepte en de afstand tot het breekpunt (Sawaragi en Iwata).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.6 tek nr A4 - 79.272
				werknr	



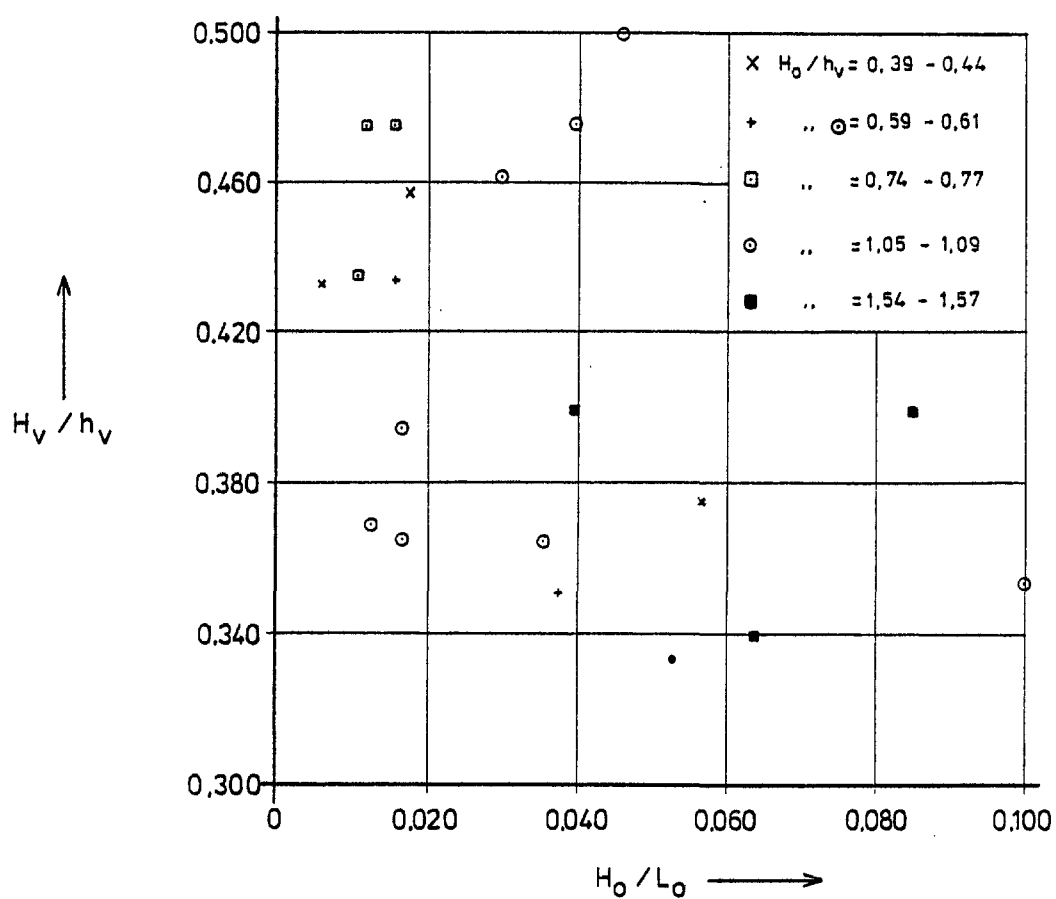
Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_V (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.7 tek nr A4 - 79.273
				werknr	



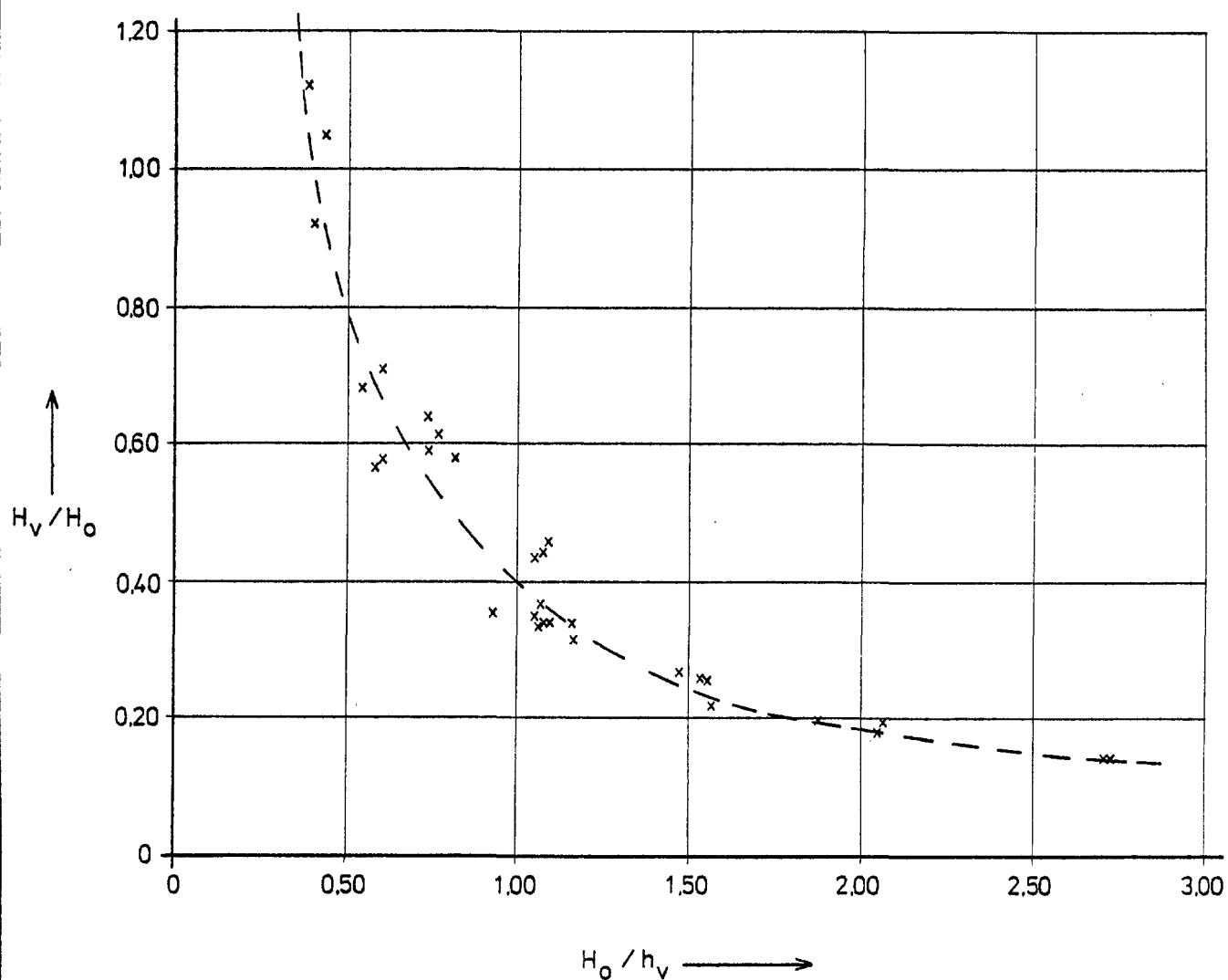
Golfhoogte op het voorland als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.8
				werknr	tek nr A4 - 79.274



Golfhoogte op het voorland als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_V (Hensen).

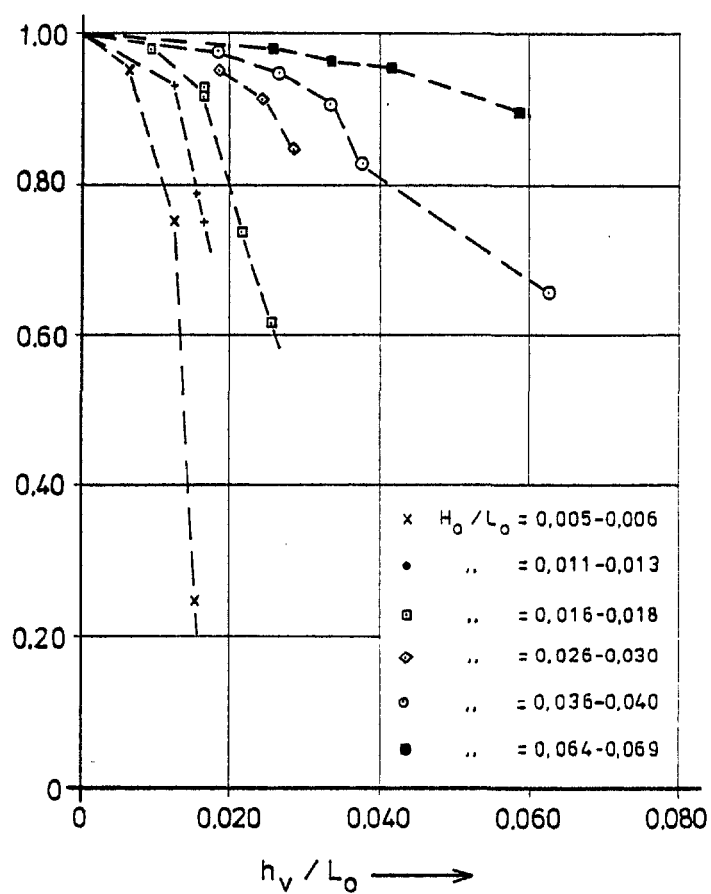
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.9
				werknr	tek nr A4 - 79.275



Golfhoogte op het voorland als functie van de parameter H_0/h_V (Hensen).

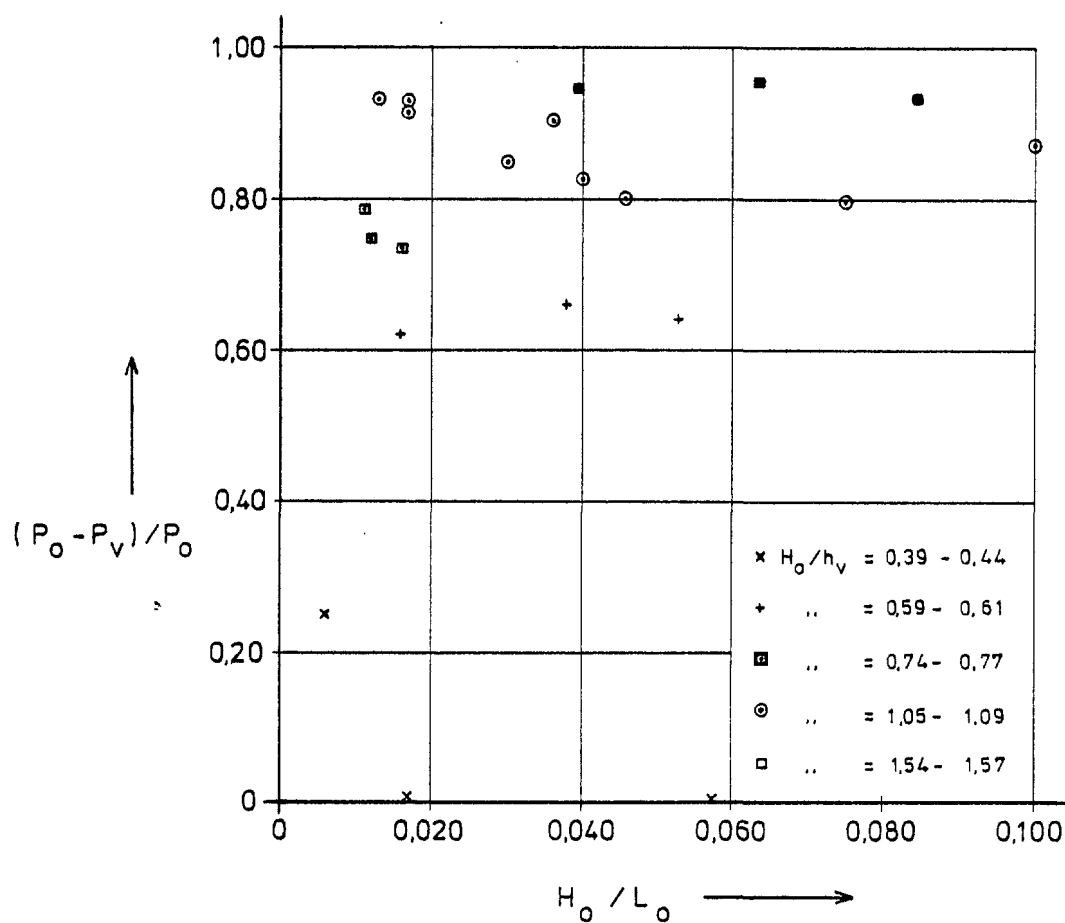
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.10
				werknr	
					tek nr A4 - 79.276

$\uparrow$
 $(P_o - P_v) / P_o$



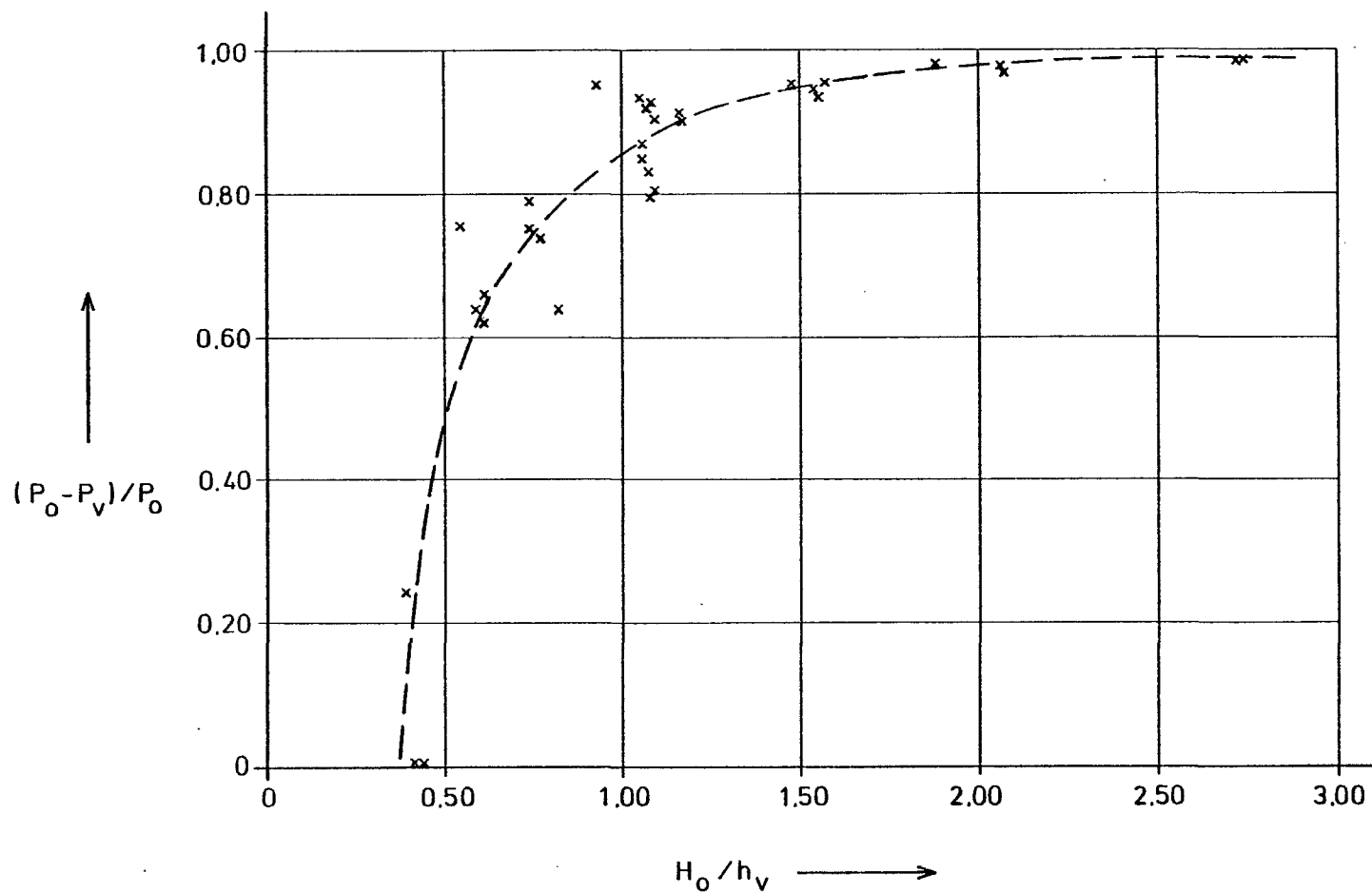
Verlies aan vermogen als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.11
				werknr	tek nr A4 - 79.277



Verlies aan vermogen als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_o / h_v (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.12
				werknr	tek nr A4 - 79.278



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Verlies aan vermogen als functie van de parameter H_o / h_v
(Hensen).

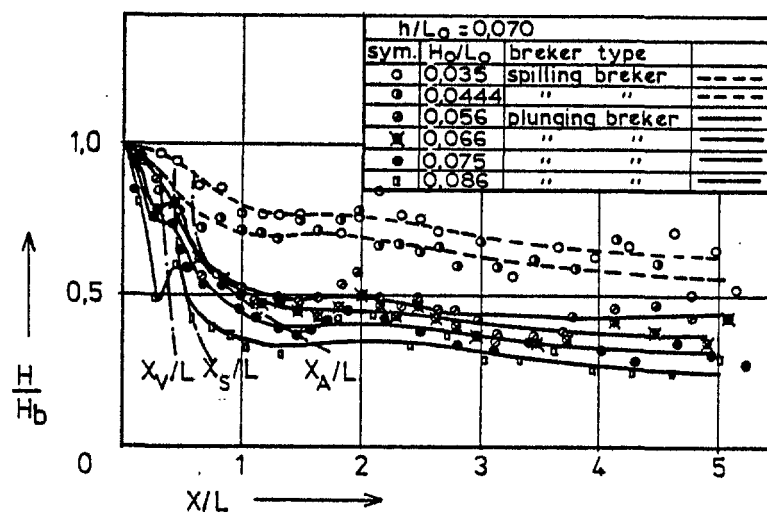
get	gew	gez

Schaal

werknr

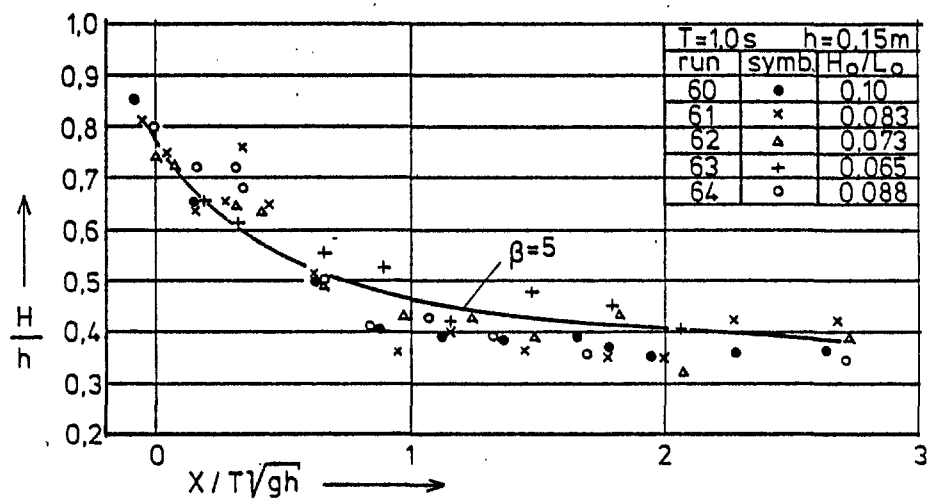
Bijlage 7.13

tek nr A4- 79.279



Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Sawaragi en Iwata).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.14
				werknr	tek nr A4 - 79.280



Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Horikawa en Kuo).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.15
				werknr	tek nr A4 - 79.281

$H_0/h_v = 0,94-0,98$

Sawaragi en Iwata

 $h_v/L_0 = 0,070$; $H_0/L_0 = 0,066$

H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,96	0,10
0,78	0,26
0,81	0,43
0,62	0,63
0,55	0,83
0,47	1,14
0,48	1,31
0,44	1,45
0,42	1,63
0,46	1,80
0,50	1,98
0,47	2,14
0,43	2,28
0,46	2,46
0,42	2,61
0,40	2,77
0,37	2,97

Horikawa en Kuo

 $h_v/L_0 = 0,102$; $H_0/L_0 = 0,100$

H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,83	0,15
0,87	0,34
0,64	0,62
0,52	0,87
0,50	1,12
0,50	1,35
0,50	1,65
0,48	1,77
0,46	1,94
0,46	2,26
0,47	2,63

 $H_0/h_v = 0,81$

Sawaragi en Iwata

 $h_v/L_0 = 0,070$; $H_0/L_0 = 0,056$

H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,89	0,26
0,65	0,47
0,56	0,64
0,52	1,00
0,48	1,11
0,49	1,28
0,48	1,48
0,49	1,63
0,54	1,83
0,58	1,95
0,49	2,14
0,47	2,32
0,49	2,45
0,45	2,63
0,45	2,76
0,42	2,97

TAW

Technische Adviescommissie
voor de WaterkeringenResultaten van de bijlagen 7.14 en 7.15 met $H_0/h_v =$
0,94 - 0,98 ; 0,81 en 0,63 in tabelvorm.

get

gew

gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.16a

tek nr A4-79.282a

$$H_0/h_v = 0,63$$

Horikawa en Kuo	
$h_v/L_0 = 0,102; H_0/L_0 = 0,083$	
H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,97	0,04
0,82	0,16
0,84	0,27
0,97	0,34
0,83	0,44
0,66	0,62
0,46	0,94
0,51	1,15
0,46	1,44
0,45	1,63
0,44	2,00
0,54	2,26
0,54	2,68

Sawaragi en Iwata	
$h_v/L_0 = 0,070; H_0/L_0 = 0,0444$	
H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,85	0,29
0,77	0,46
0,73	0,64
0,75	0,81
0,72	1,00
0,71	1,16
0,69	1,30
0,75	1,49
0,72	1,64
0,76	1,81
0,78	1,97
0,67	2,14
0,67	2,31
0,65	2,49
0,66	2,64
0,60	2,80

Horikawa en Kuo	
$h_v/L_0 = 0,102; H_0/L_0 = 0,065$	
H_v/H_b	$x/T \sqrt{gh_v}$
0,84	0,19
0,79	0,32
0,71	0,65
0,68	0,88
0,54	1,15
0,61	1,47
0,58	1,79
0,52	2,06

TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

vervolg bijlage 7.16

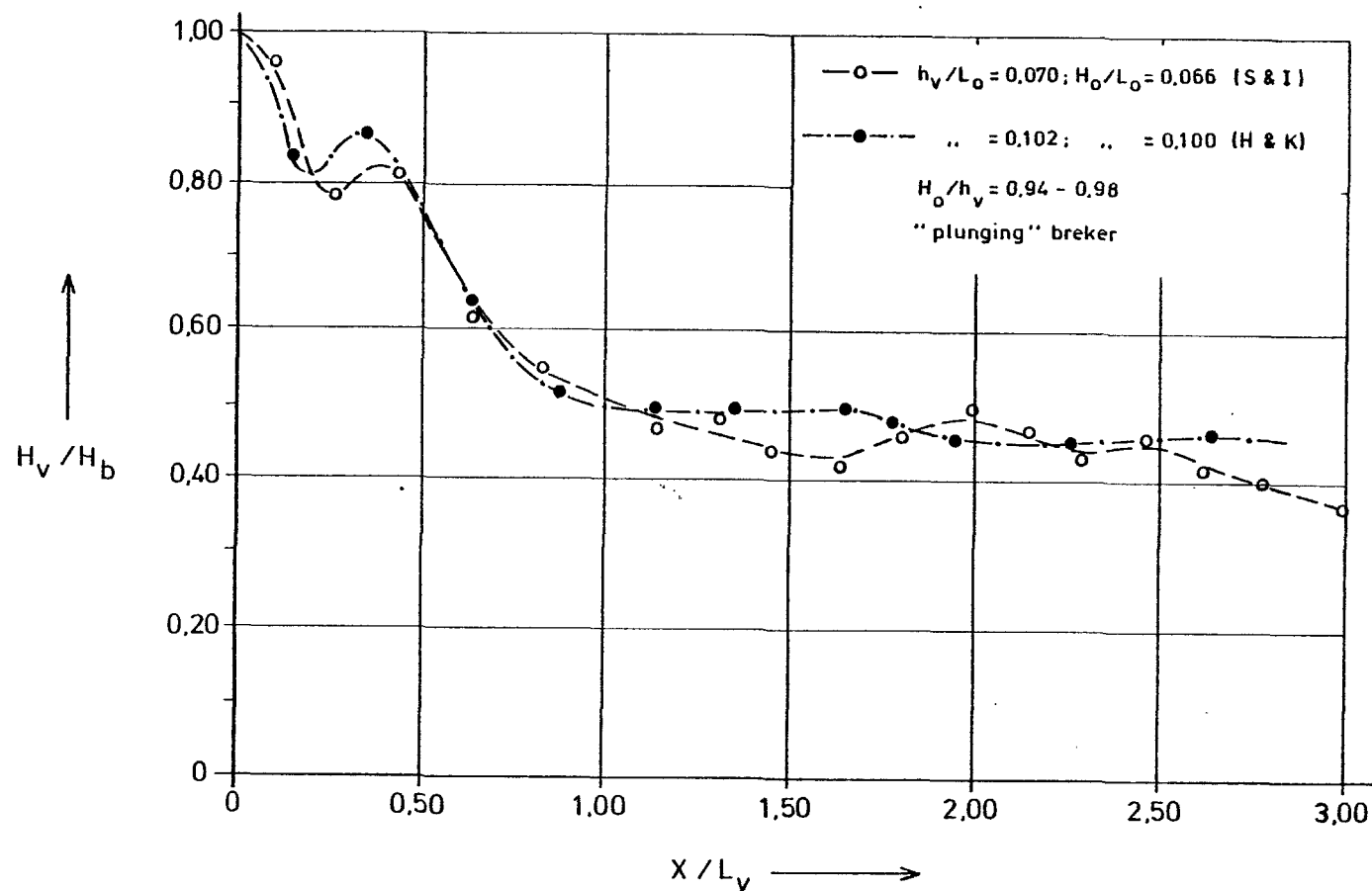
get	gew	gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.16b

tek nr A4-79.282b



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Vergelijking tussen resultaten van Sawaragi & Iwata en
Horikawa & Kuo m.b.t. verloop van de golfhoogte in de
brekerzône voor $H_0/h_v = 0,94 - 0,98$

get

gew

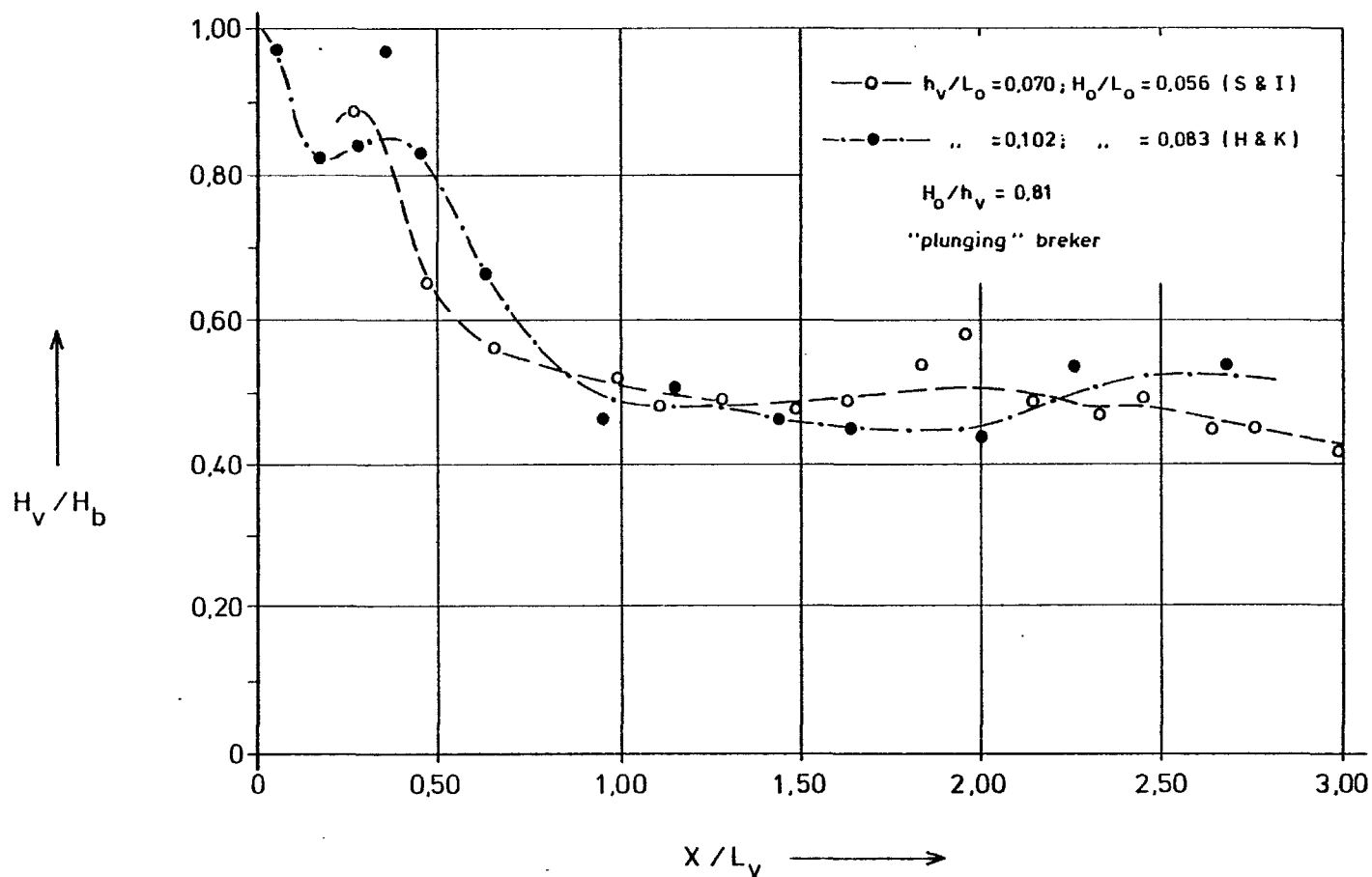
gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.17

tek nr A4-79.283



TAW

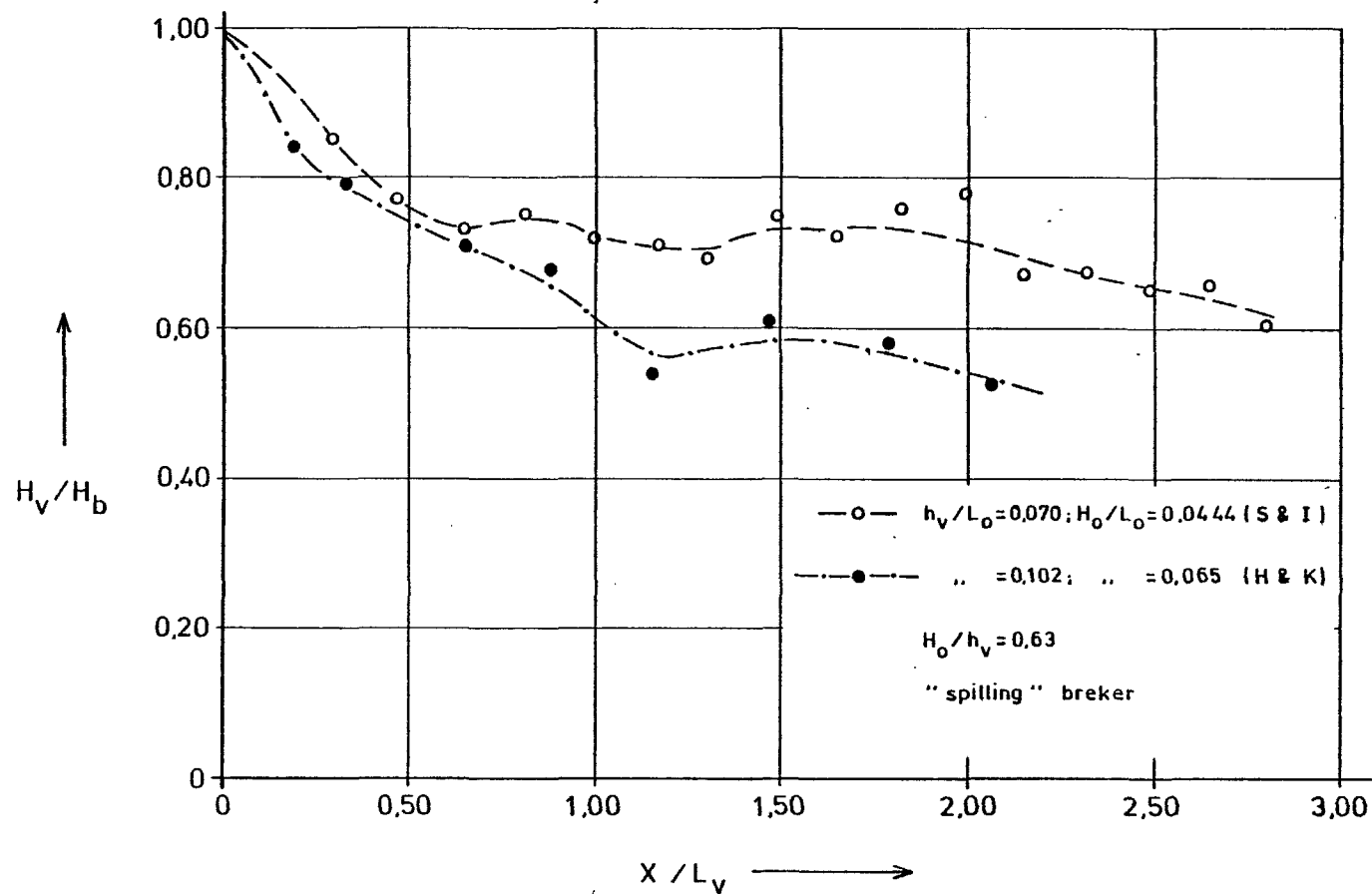
Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Vergelijking tussen resultaten van Sawaragi & Iwata en
Horikawa & Kuo m.b.t. verloop van de golfhoogte in de
brekerzône voor $H_o/h_v = 0,81$

get	gew	gez

Schaal
werknr

Bijlage 7.18
tek nr A4-79.284



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Vergelijking tussen resultaten van Sawaragi & Iwata en
Horikawa & Kuo m.b.t. verloop van de golfhoogte in de
brekerzone voor $H_0/h_v = 0,63$

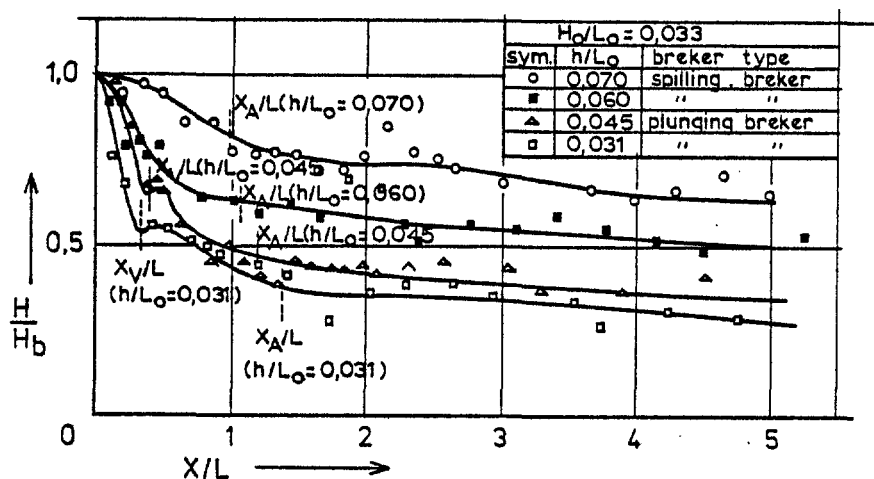
get	gew	gez

Schaal

werknr

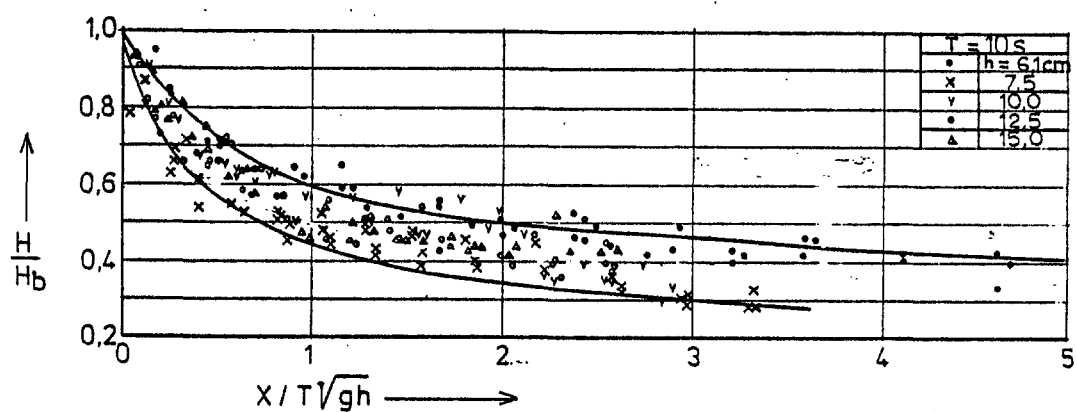
Bijlage 7.19

tek nr A4-79.285



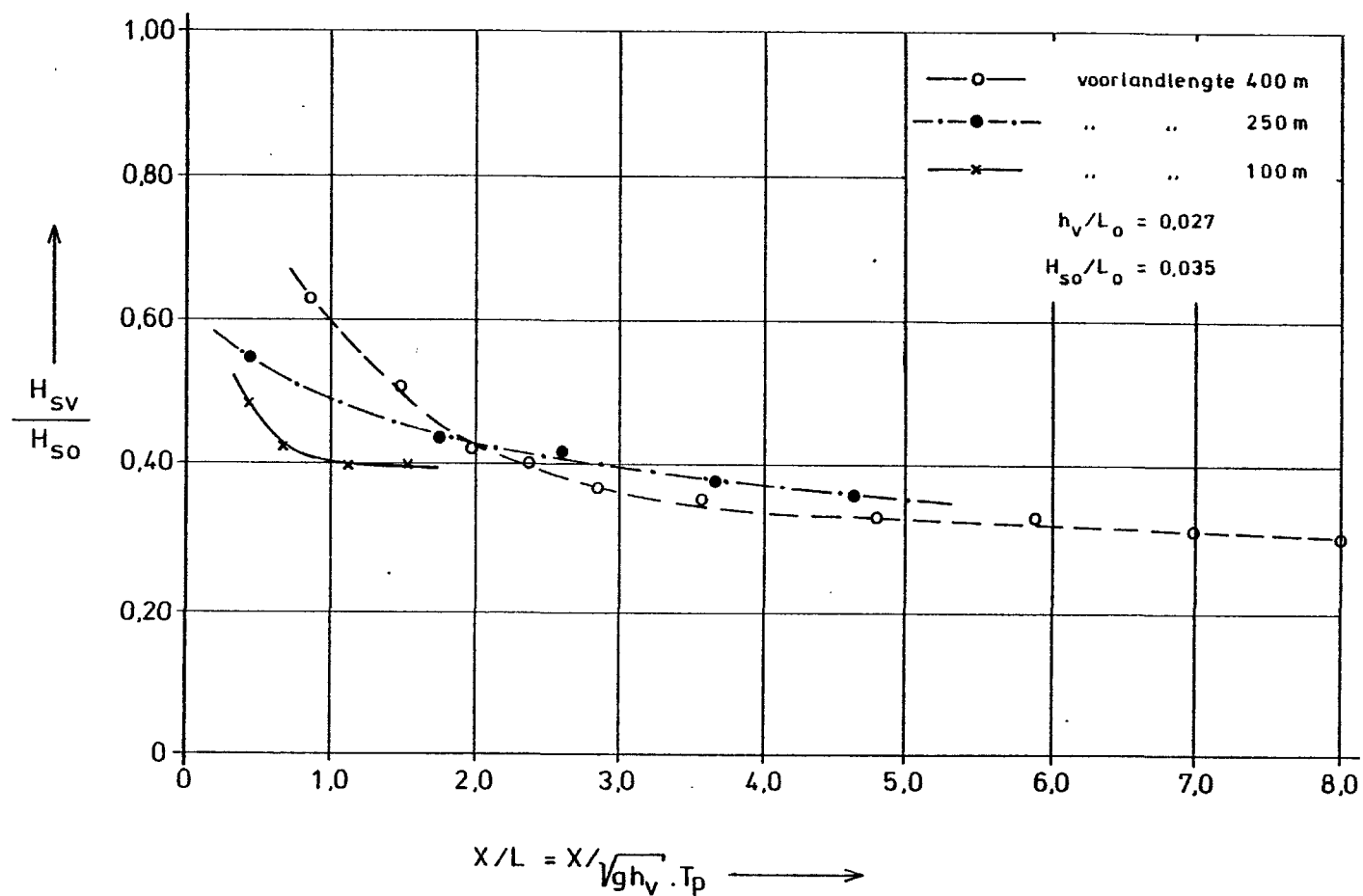
Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor vaste waarden van relatieve waterdiepte en golfsteilheid (Sawaragi en Iwata).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.20
				werknr	tek nr A4 - 79.286



Golfhoogte in de brekerzône als functie van de afstand tot het breekpunt voor een zekere variatie in golfsteilheid en relatieve waterdiepte (Horikawa & Kuo)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.21
				werknr	tek nr A4 - 79.287

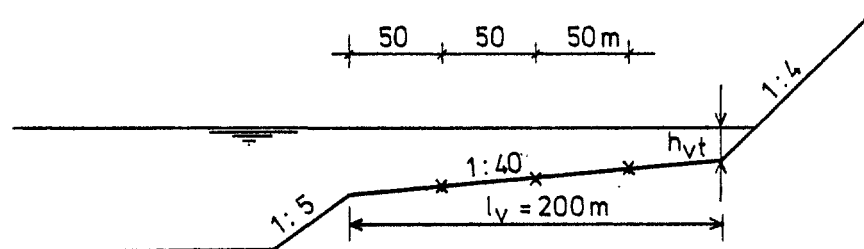


TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

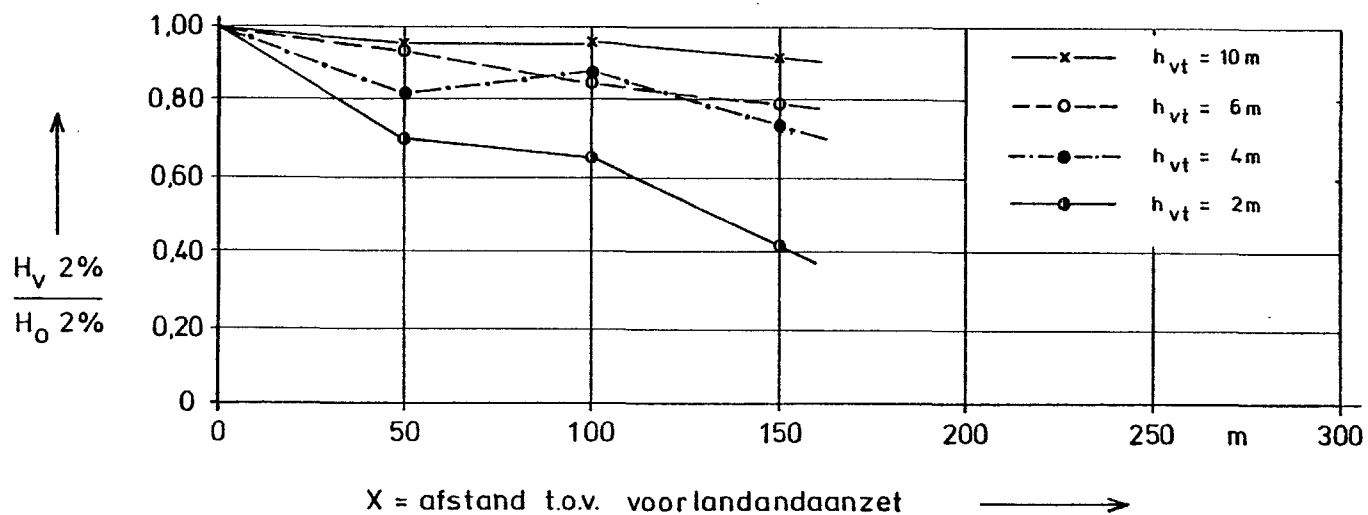
Verloop van de significante golfhoogte op het voorland
(M 1084)

get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.22
			werknr	tek nr A4-79.288



Situatie modelonderzoek M 1084 met licht hellend
voorland.

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.23
				werknr	tek nr A4 - 79.289



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Verloop op het voorland van de golfhoogte met een
overschrijdingspercentage van 2% (M 1084)

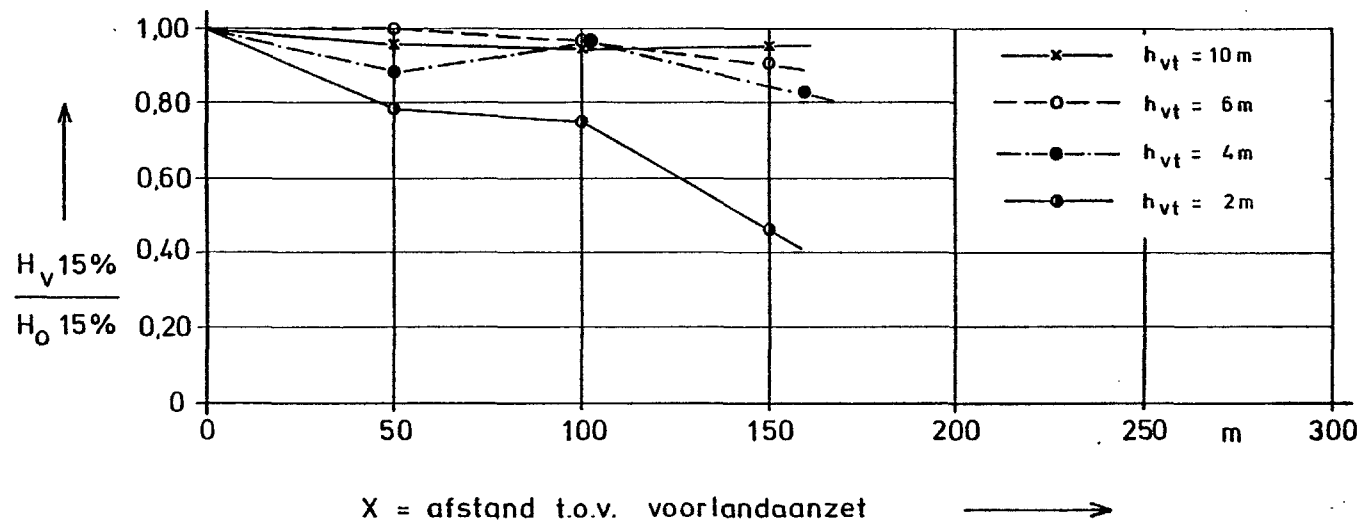
get	gew	gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.24

tek nr A4-79.290



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Verloop op het voorland van de golfhoogte met een
overschrijdingspercentage van 15% (M 1084)

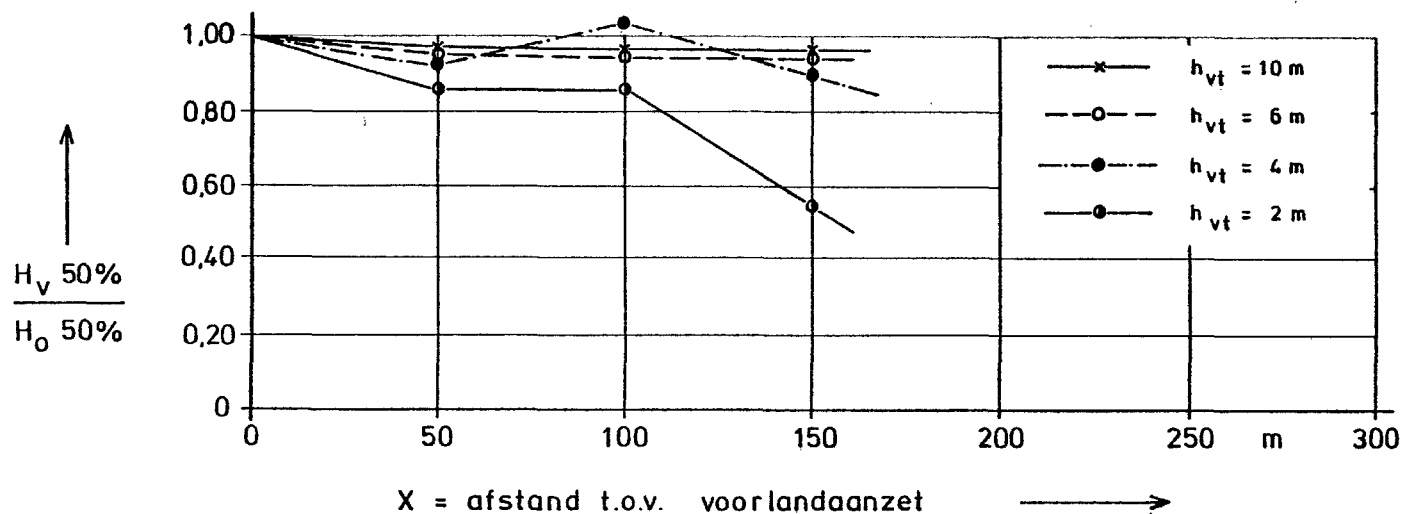
get	gew	gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.25

tek nr A4-79.291



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Verloop op het voorland van de golfhoogte met een
overschrijdingspercentage van 50% (M 1084)

get

gew

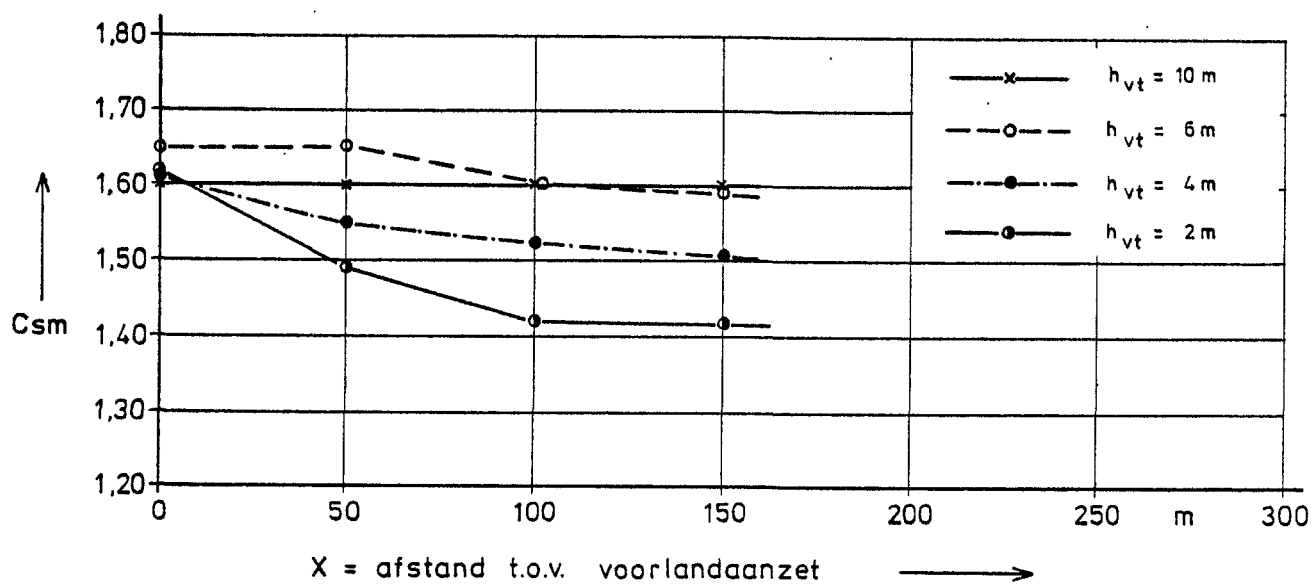
gez

Schaal

werknr

Bijlage 7.26

tek nr A4-79.292



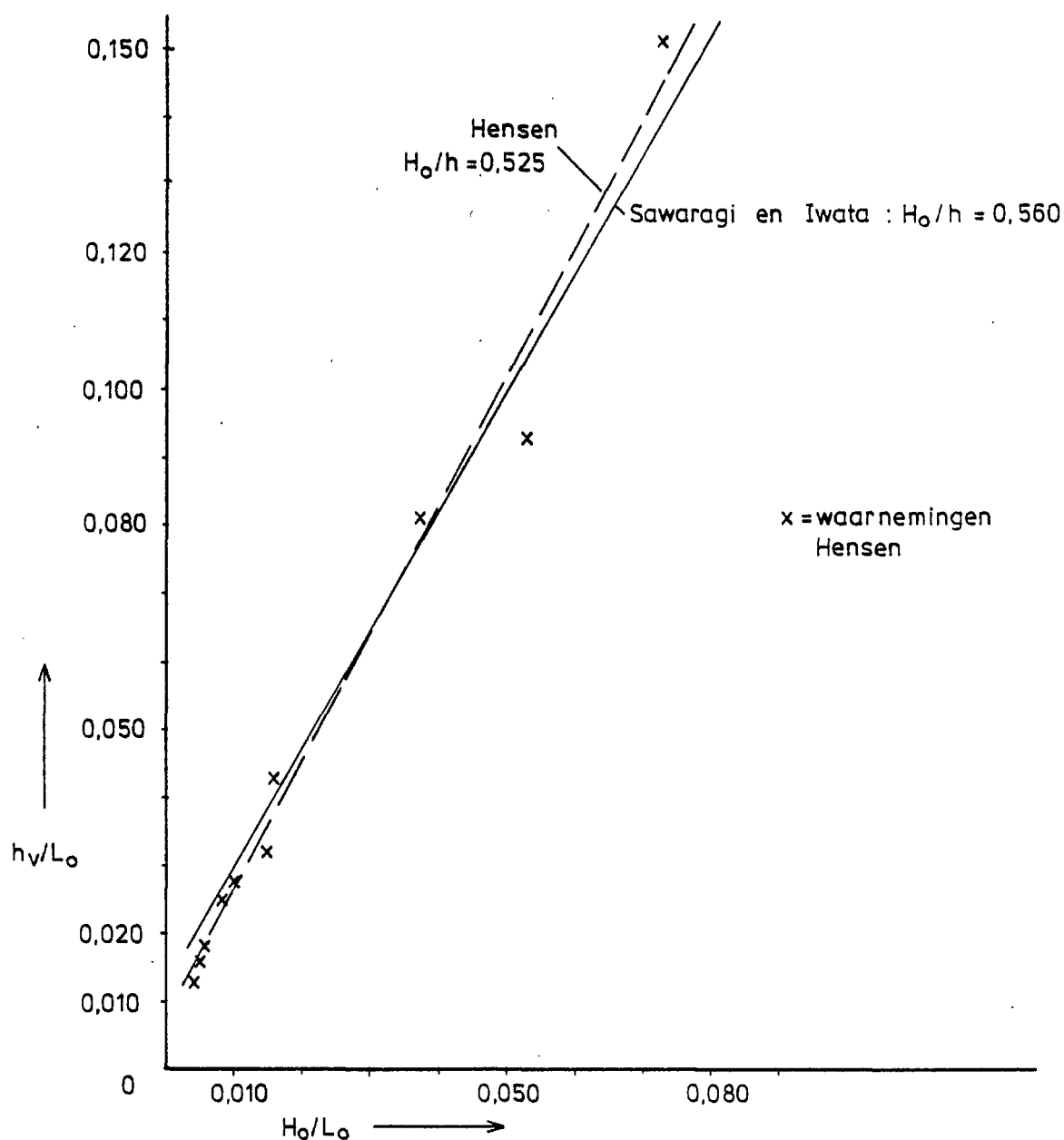
Verloop op het voorland van de verhouding tussen de golfhoogte met een overschrijdingspercentage van 15% en één van 50% (M 1084)

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.27
				werknr	tek nr A4 - 79.293

	T	h_v/H_v	h_v	H_v	L_o	h_v/L_o	H_v/H_o	H_o	H_o/L_o
	s		m	m	m				
1	4,6	2,271	5,00	2,20	33,05	0,151	0,9133	2,41	0,073
2	4,9	1,864	3,50	1,88	37,51	0,093	0,9391	2,00	0,053
3	6,3	2,286	5,00	2,19	62,00	0,081	0,9535	2,30	0,037
4	6,3	2,004	2,00	1,00	62,00	0,032	1,112	0,90	0,015
5	8,6	2,504	5,00	2,00	115,53	0,043	1,051	1,90	0,016
6	8,9	2,513	3,50	1,39	123,73	0,028	1,142	1,22	0,010
7	9,4	2,712	3,50	1,29	138,03	0,025	1,168	1,10	0,008
8	13,4	2,525	5,00	1,98	280,49	0,018	1,258	1,57	0,006
9	14,3	2,517	5,00	1,99	319,43	0,016	1,290	1,54	0,005
10	15,6	2,754	5,00	1,82	380,15	0,013	1,358	1,34	0,004

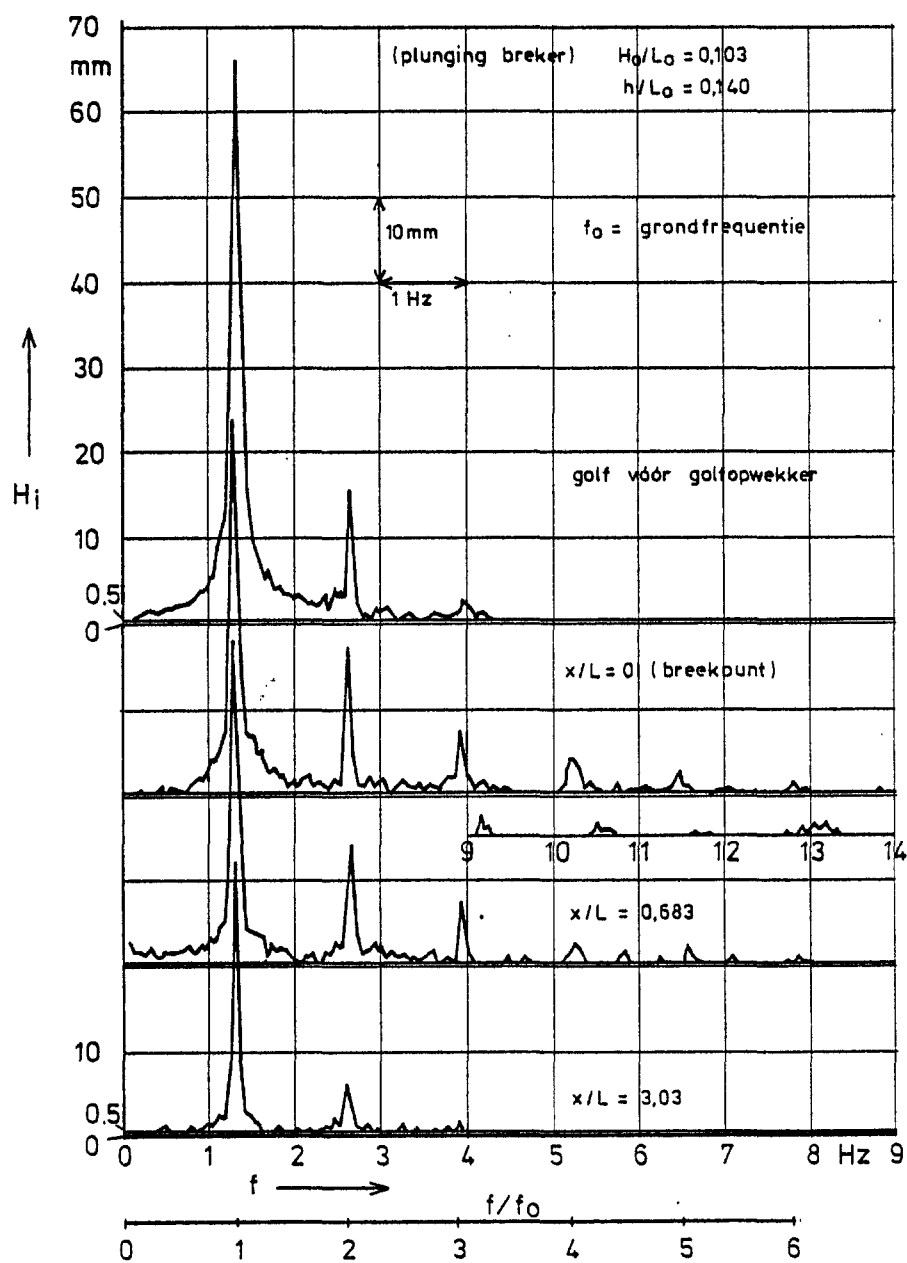
Bepaling grensgolfhoogte uit de gegevens van "Anlage 25" (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.28
				werknr	tek nr A4 - 79.294



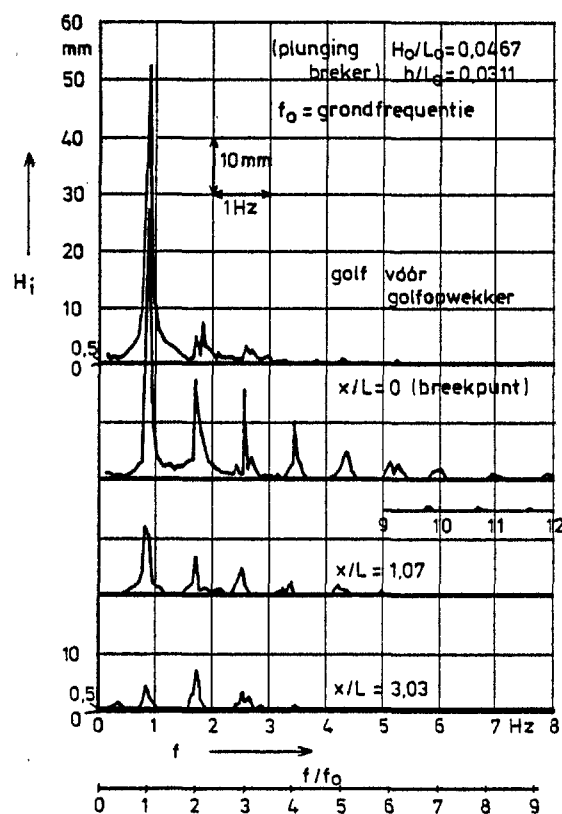
Grensgolfhoogte als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Hensen, Sawaragi en Iwata).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.29
				werknr	tek nr A4 - 79.295



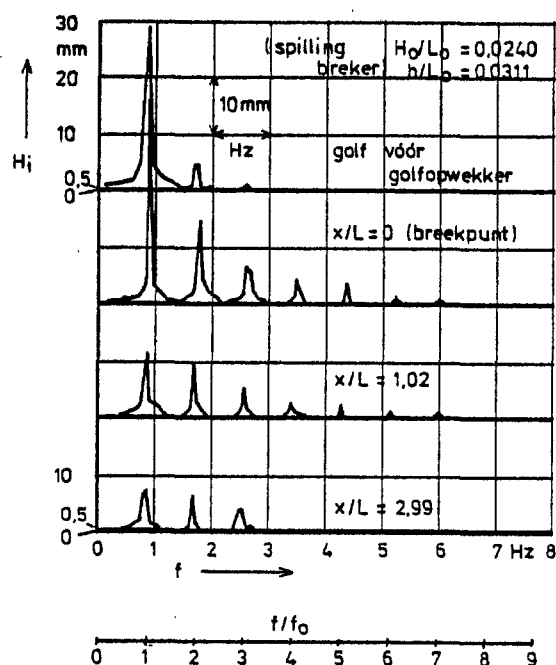
Golfhoogte spectrum op aantal afstanden t.o.v. het breekpunt voor een golfsteilheid van $H_0/l_0 = 0,103$ en een relatieve waterdiepte van $h_v/L_0 = 0,140$ (Sawaragi en Iwata)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.30
				werknr	tek nr A4 -79.296



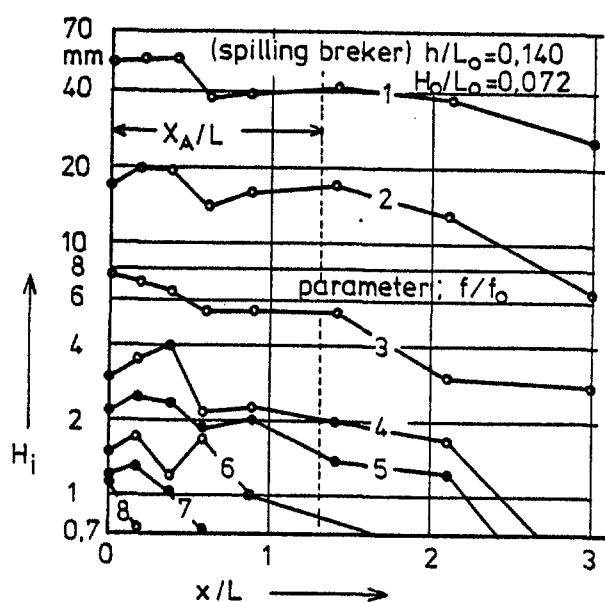
Als bijlage 7.30, met $H_0/L_0 = 0.0467$ en $h_v/L_0 = 0.0311$ (Sawaragi en Iwata)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.31
				werknr	tek nr A4 - 79.297



Als bijlage 7.30, met $H_0/L_0 = 0.0240$ en $h_v/L_0 = 0.0311$ (Sawaragi en Iwata)

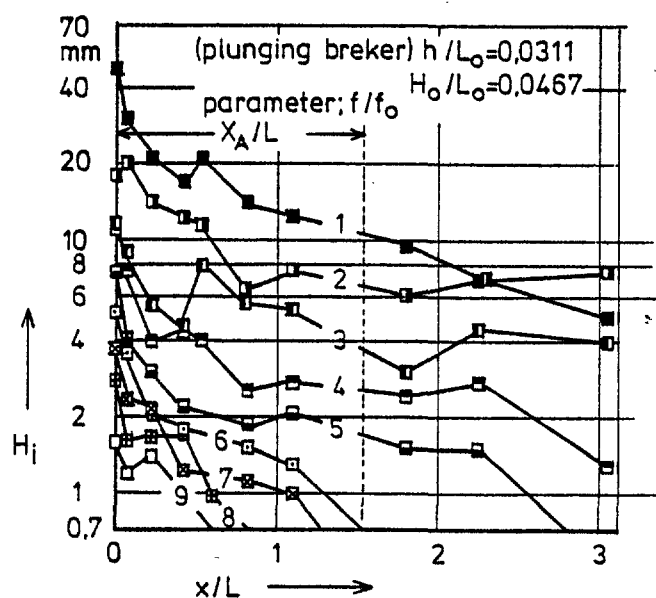
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.32
				werknr	tek nr A4 - 79.298



Hogere harmonischen uit het golfhoogtespectrum als functie van de afstand tot het breekpunt voor een golfsteilheid $H_0/L_0 = 0,072$ en een relatieve waterdiepte $h_0/L_0 = 0,140$ (Sawaragi en Iwata).

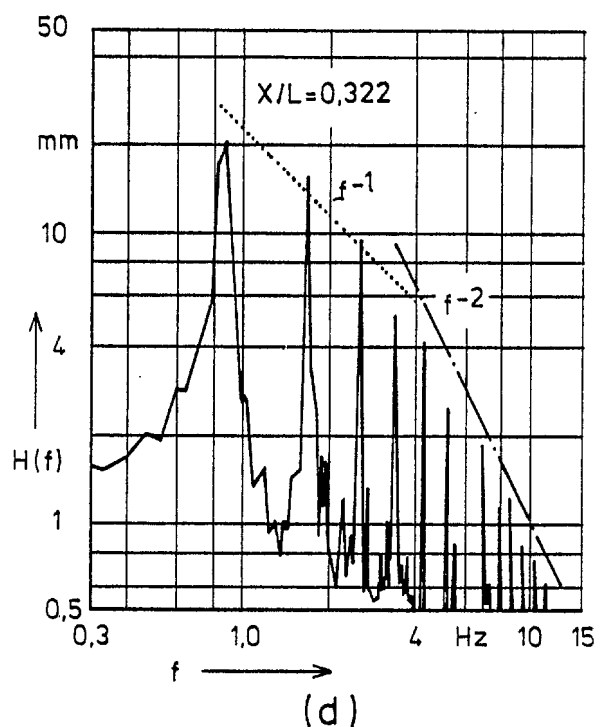
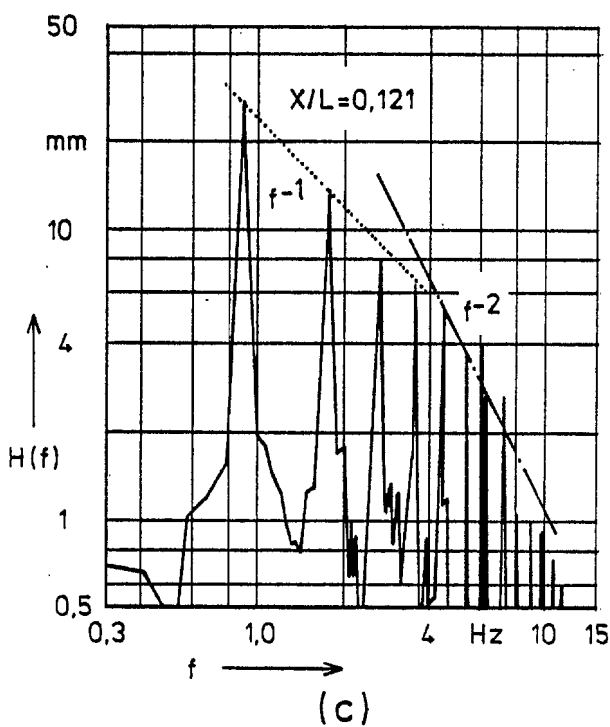
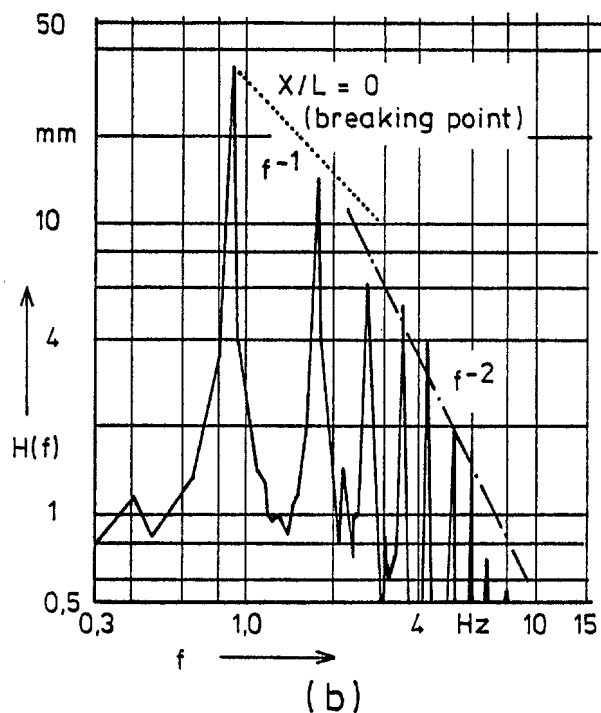
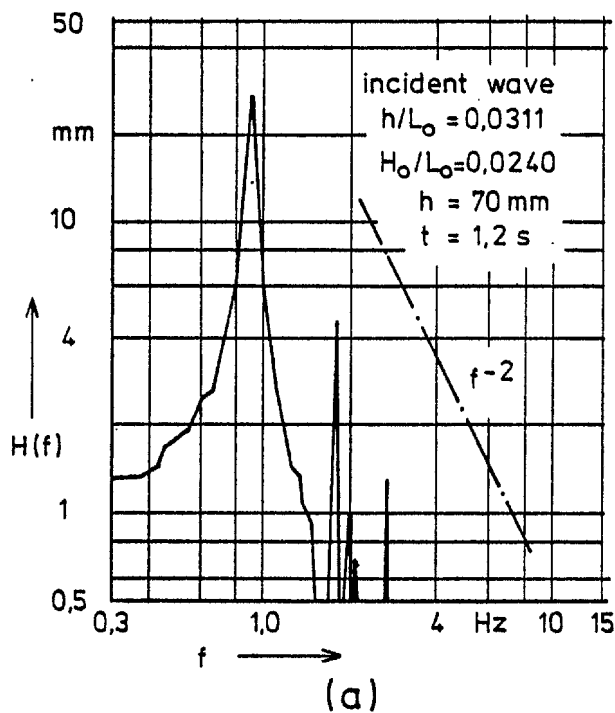
TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.33
				werknr	

tek nr A4 - 79.299



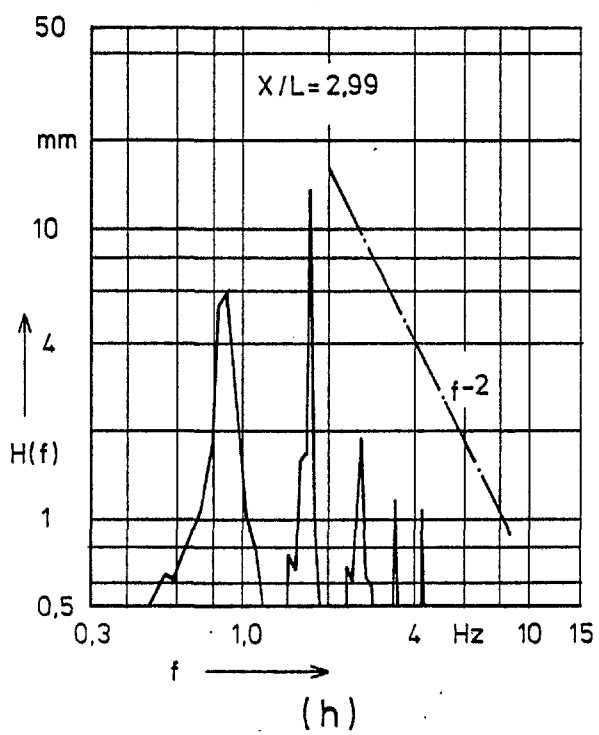
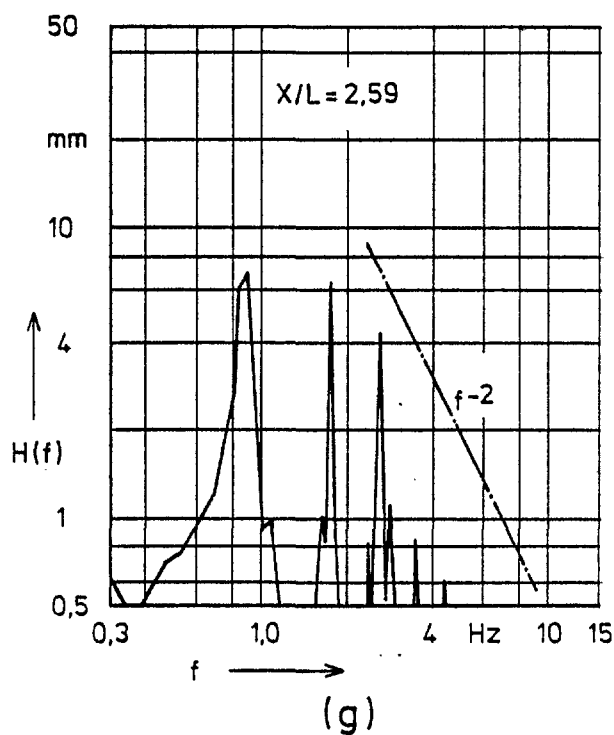
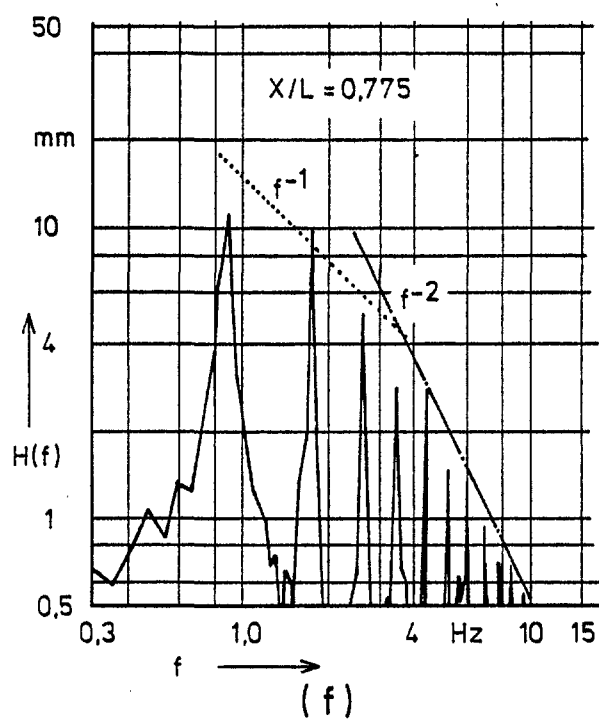
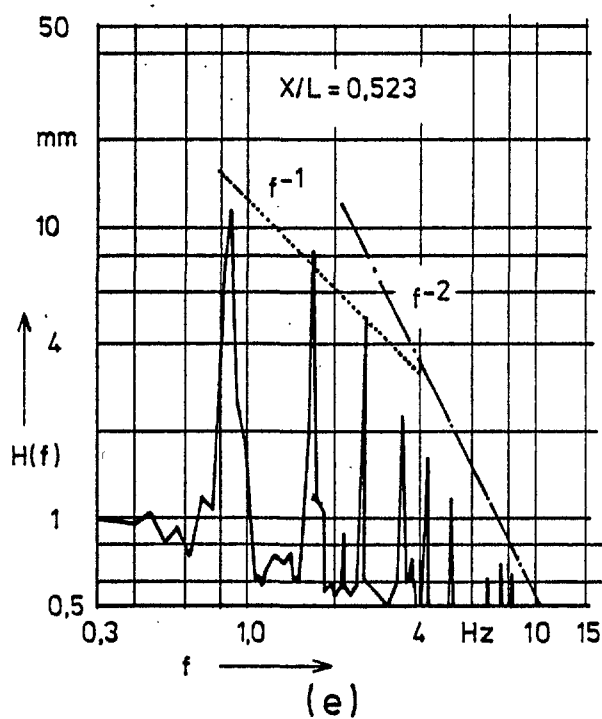
Hogere harmonischen uit het golfooogtespectrum als functie van de afstand tot het breekpunt voor een golfsteilheid $H_0/L_0 = 0,0467$ en een relatieve waterdiepte $h_v/L_0 = 0,0311$ (Sawaragi en Iwata).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.34
				werknr	tek nr A4 - 79.300



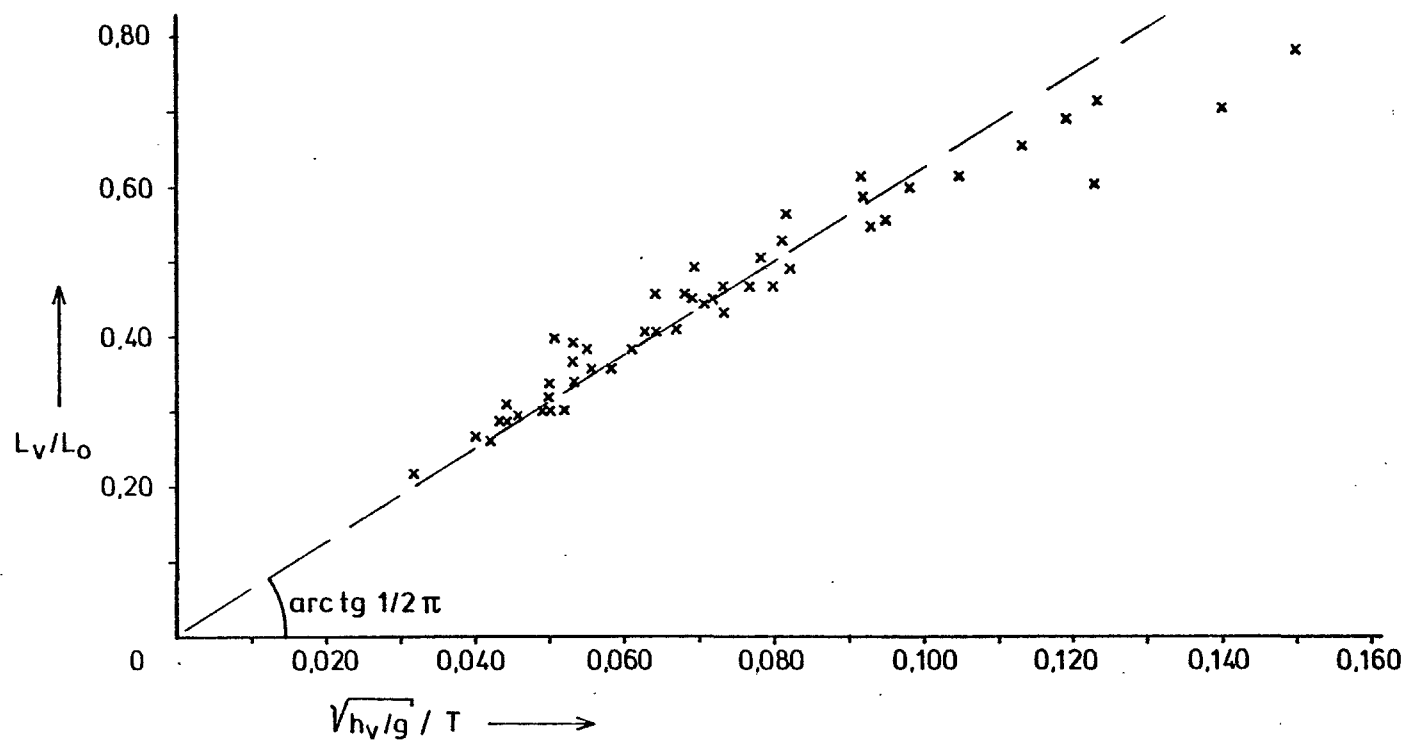
Variatie in golfhooftespectrum in en buiten de brekerzône (Sawaragi en Iwata).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.35a
				werknr	tek nr A4 - 79.301a



Vervolg bijlage 7.35

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 7.35b
				werknr	tek nr A4 - 79.301b



TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

Golflengte op het voorland als functie van waterdiepte
en periode (Hensen).

get	gew	gez	Schaal	Bijlage 9.1
			werknr	tek nr A4-79.302

	T	L _v	h _v	L _o	L _v /L _o	$\frac{\sqrt{h_v/g}}{T}$
	(s)	(m)	(m)	(m)		T
1	4,8	28	5,00	36	0,78	0,149
2	5,0	27	3,50	39	0,69	0,119
3	5,1	29	5,00	41	0,71	0,140
4	5,8	32	5,00	53	0,61	0,123
5	5,8	38	5,00	53	0,72	0,123
6	6,2	26	2,00	60	0,43	0,073
7	6,2	28	2,00	60	0,47	0,073
8	6,3	28	2,00	62	0,45	0,072
9	6,4	28	2,00	64	0,44	0,071
10	6,3	35	3,50	62	0,56	0,095
11	6,1	35	3,50	58	0,60	0,098
12	6,4	35	3,50	64	0,55	0,093
13	6,3	41	5,00	62	0,66	0,113
14	6,5	39	3,50	66	0,59	0,092
15	6,8	45	5,00	72	0,62	0,105
16	7,2	33	2,00	81	0,41	0,063
17	7,4	45	3,50	86	0,53	0,081
18	7,8	54	5,00	95	0,57	0,092
19	8,0	36	2,00	100	0,36	0,056
20	8,5	38	2,00	113	0,34	0,053
21	8,6	45	2,00	116	0,39	0,053
22	8,6	57	3,50	116	0,49	0,069
23	8,7	58	5,00	118	0,49	0,082
24	8,9	58	5,00	124	0,47	0,080
25	8,7	67	5,00	118	0,57	0,082
26	8,9	49	2,00	124	0,40	0,051

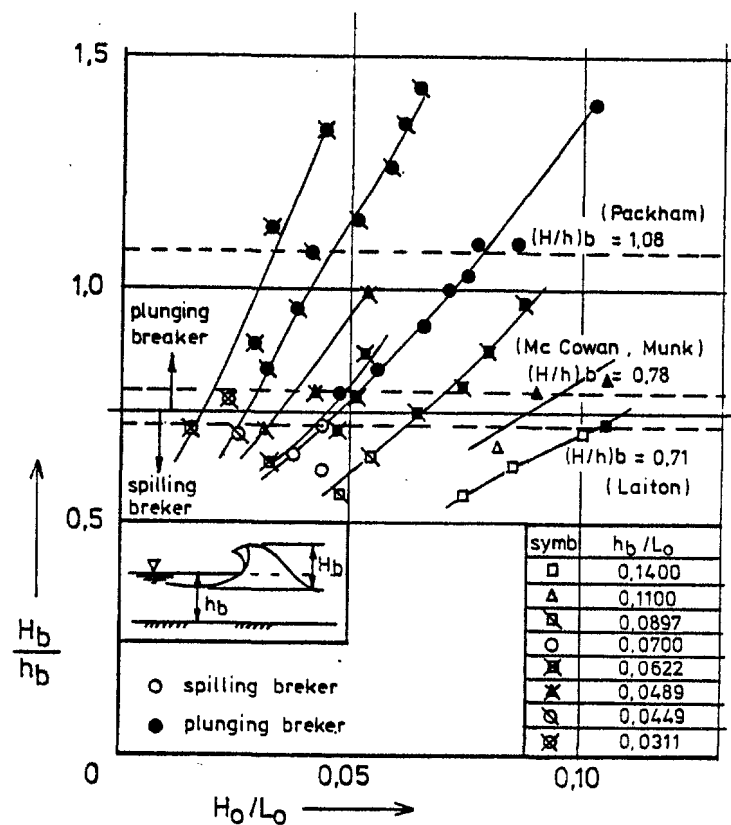
Bepaling van de verhouding tussen de golflengte op het voorland en die op diep water uit de gegevens van "Anlage 13" (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 9.2a
				werknr	tek nr A4 - 79.303a

	T	L_v	h_v	L_o	L_v/L_o	$\sqrt{h_v/g}$
	(s)	(m)	(m)	(m)		τ
27	9,0	41	2,00	127	0,32	0,050
28	9,3	62	3,50	135	0,46	0,064
29	9,2	67	5,00	132	0,51	0,078
30	9,3	64	5,00	135	0,47	0,077
31	9,4	56	3,50	138	0,41	0,064
32	9,8	57	3,50	150	0,38	0,061
33	9,8	43	2,00	150	0,29	0,046
34	10,4	76	5,00	169	0,45	0,069
35	10,5	79	5,00	172	0,46	0,068
36	10,7	74	5,00	179	0,41	0,067
37	11,2	72	3,50	196	0,37	0,053
38	11,4	55	2,00	203	0,27	0,040
39	10,9	71	3,50	186	0,38	0,055
40	12,3	86	5,00	236	0,36	0,058
41	13,5	97	5,00	285	0,34	0,053
42	13,6	84	3,50	289	0,29	0,044
43	13,6	89	3,50	289	0,31	0,044
44	13,7	89	5,00	293	0,30	0,052
45	13,8	87	3,50	297	0,29	0,043
46	14,7	82	3,50	311	0,26	0,042
47	14,3	71	2,00	319	0,22	0,032
48	14,3	96	5,00	319	0,30	0,050
49	14,3	103	5,00	319	0,32	0,050
50	14,4	109	5,00	324	0,34	0,050
51	14,5	99	5,00	328	0,30	0,049

Vervolg bijlage 9.2.

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 9.2 b
				werknr	tek nr A4 - 79.303b



Verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte op het punt van breken als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Sawaragi en Iwata).

• TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

get

gew

gez

Schaal

werknr

Bijlage 10.1

tek nr A4 - 79.304

nr.	h_a	h_y	T	L_0	h_v/L_0	h_b/H_b *	H_b^{**}	H_b/H_0	H_0	h_b/H_0	L_y	H_b/h_b
	m	m	s	m			m		m		m	
1	2,93	1,10	6,55	67,0	0,0164	1,60	0,686	1,284	0,534	2,05	21,15	0,63
2a	2,93	1,10	3,41	18,2	0,0606	1,49	0,738	0,9918	0,744	1,47	10,54	0,67
2b	2,93	1,10	3,39	18,0	0,0613	1,53	0,719	0,9902	0,726	1,52	9,86	0,65
3	2,93	1,10	3,74	21,9	0,0503	1,61	0,683	1,022	0,668	1,65	11,64	0,62
4	2,62	0,79	3,38	17,8	0,0443*	1,18	0,754	1,023	0,737	1,21	8,97	0,85
5	2,62	0,79	3,75	22,0	0,0360	1,18	0,669	1,086	0,616	1,28	10,08	0,85
6	2,62	0,79	4,51	31,8	0,0249	1,26	0,627	1,169	0,536	1,47	12,27	0,79

* $h_b = h_v$, behalve voor nr. 4: daar is $h_b = h_v + 1/3 \text{ foot} = h_v + 0,10 \text{ m} = 0,89 \text{ m}$

$$h_b/L_0 = 0,89/17,8 = 0,0500$$

** H_b is de golfhoogte waarbij de golf bij die bepaalde diepte gaat breken. Met theorie Airy is golfhoogte op diepwater af te leiden.

TAW

Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen

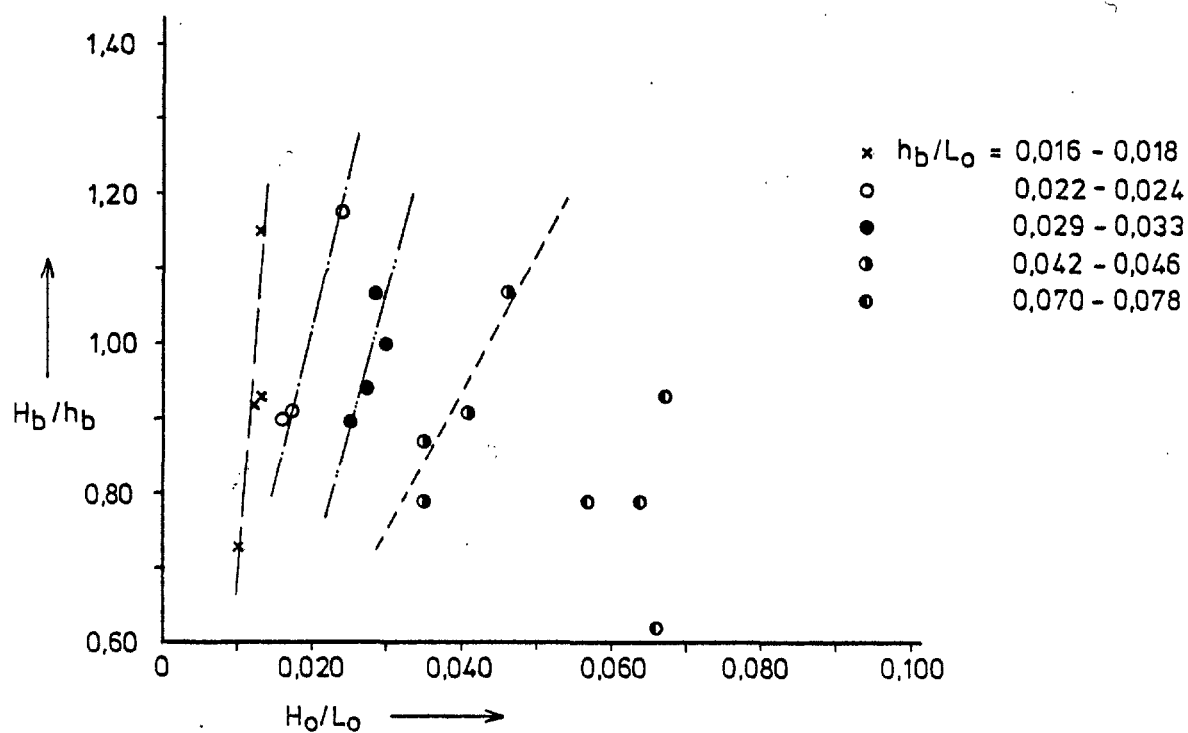
Bepaling golfhoogte-waterdiepteverhouding in het breek-
punt (Galvin).

get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.2
			werknr	tek nr A4-79.305

nr.	h_b/H_a	T	H_a	h_v	L_o	h_a/L_o	H_a/H_o	H_o	H_o/L_o	$\frac{h_b}{m}$	h_b/L_o	H_b/H_o	$\frac{H_b}{m}$	H_b/h_b
1	1,25	5,8	5,00	5,00	52,5	0,297	0,9480	5,27	0,100	6,25	0,119	0,9209	4,85	0,78
2	1,14	6,3	3,80	2,00	62,0	0,203	0,9188	4,14	0,067	4,33	0,070	0,9713	4,02	0,93
3	1,24	6,3	3,80	3,50	62,0	0,227	0,9252	4,11	0,066	4,71	0,076	0,9609	3,95	0,62
4	1,28	6,3	5,00	2,00	62,0	0,203	0,9188	5,44	0,088	6,40	0,103	0,9306	5,06	0,79
5	1,43	6,3	2,00	2,00	62,0	0,203	0,9188	2,18	0,035	2,86	0,046	1,038	2,26	0,79
6	1,33	6,8	3,80	5,00	72,2	0,216	0,9221	4,12	0,057	5,05	0,070	0,9713	4,00	0,79
7	1,35	7,2	5,00	2,00	81,0	0,155	0,9132	5,48	0,068	6,75	0,083	0,9508	5,21	0,77
8	1,33	7,4	5,00	3,50	85,5	0,165	0,9132	5,48	0,064	6,65	0,078	0,9578	5,25	0,79
9	1,18	7,8	5,00	5,00	95,0	0,164	0,9132	5,48	0,058	5,90	0,062	0,9884	5,41	0,92
10	1,14	8,0	3,80	2,00	100,0	0,126	0,9183	4,14	0,041	4,33	0,043	1,050	3,94	0,91
11	1,05	8,7	5,00	2,00	118,2	0,107	0,9278	5,39	0,046	5,25	0,044	1,046	5,64	1,07
12	1,25	8,7	5,00	3,50	118,2	0,119	0,9209	5,43	0,046	6,25	0,053	1,013	5,50	0,88
13	1,32	8,7	3,80	5,00	118,2	0,132	0,9164	4,15	0,035	5,02	0,042	1,055	4,38	0,87
14	1,41	9,0	2,00	2,00	126,5	0,100	0,9327	2,14	0,017	2,82	0,022	1,202	2,57	0,91
15	1,34	9,2	5,00	5,00	132,2	0,118	0,9215	5,43	0,041	6,70	0,051	1,018	5,53	0,83
16	1,13	9,7	3,80	3,50	147,0	0,096	0,9362	4,06	0,028	4,29	0,029	1,134	4,60	1,07
17	1,25	9,7	3,80	2,00	147,0	0,086	0,9469	4,01	0,027	4,75	0,032	1,112	4,46	0,94
18	1,32	10,2	3,80	5,00	162,5	0,096	0,9362	4,06	0,025	5,02	0,031	1,118	4,54	0,90
19	1,17	10,6	5,00	5,00	175,5	0,089	0,9434	5,30	0,030	5,85	0,033	1,105	5,86	1,00
20	1,16	11,4	2,00	2,00	203,0	0,062	0,9887	2,02	0,010	2,32	0,011	1,408	2,84	1,22
21	1,02	11,6	5,00	3,50	210,2	0,067	0,9774	5,12	0,024	5,10	0,024	1,180	6,04	1,18
22	1,36	12,4	3,80	5,00	240,2	0,065	0,9815	3,87	0,016	5,17	0,022	1,202	4,65	0,90
23	1,36	13,5	3,80	5,00	284,7	0,055	1,007	3,77	0,013	5,17	0,018	1,258	4,74	0,92
24	1,24	13,6	3,80	3,50	288,9	0,049	1,027	3,70	0,013	4,17	0,016	1,291	4,78	1,15
25	1,38	14,3	3,80	5,00	319,4	0,049	1,027	3,70	0,012	5,24	0,016	1,291	4,78	0,92
26	1,60	14,7	3,80	2,00	337,6	0,037	1,081	3,52	0,010	6,08	0,018	1,258	4,43	0,73

Bepaling golfhoogte-waterdiepteverhouding in het breekpunt uit de gegevens van "Anlage 26" (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.3
				werknr	tek nr A4 - 79.306



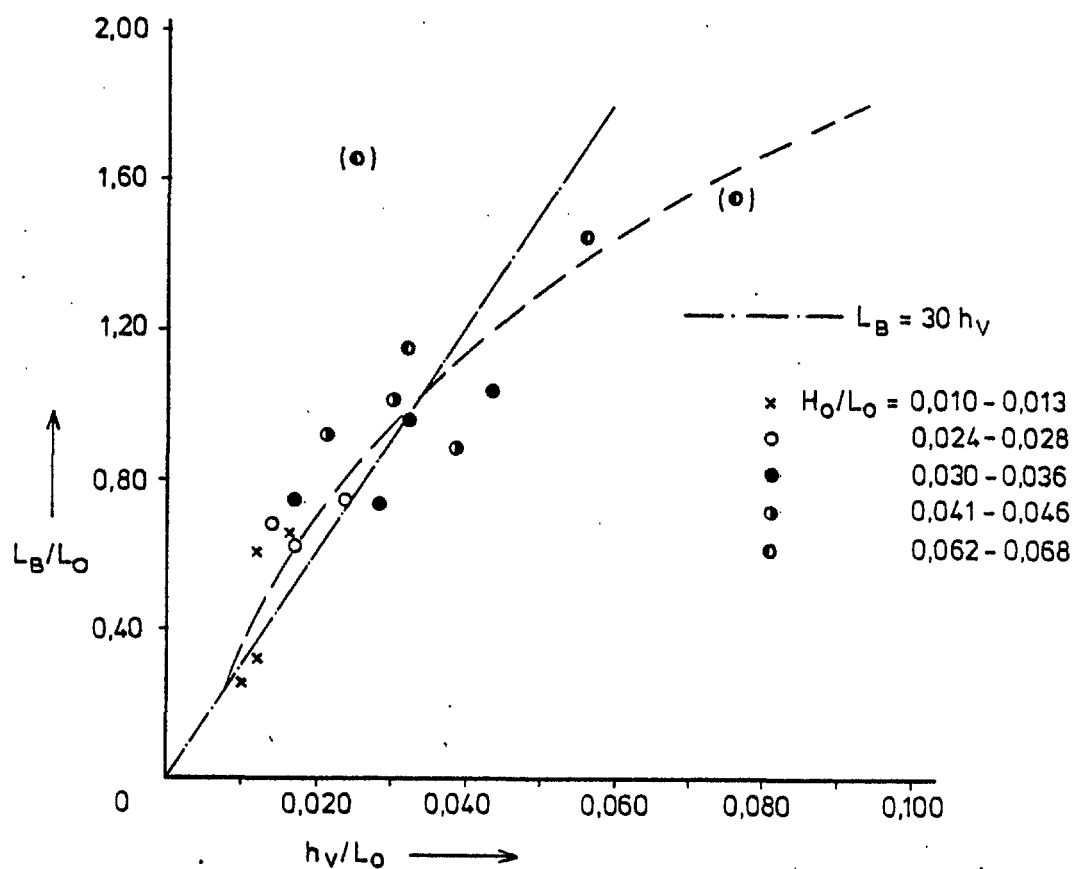
Verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte in het breekpunt als functie van de golfsteilheid en de relatieve waterdiepte (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.4
				werknr	tek nr A4 - 79.307

	L_B	T	H_a	h_v	$\frac{E_o - E_v \cdot 100}{E_o}$	L_o			H_o				L_v		
	m	s	m	m	%	m	h_a/L_o	H_a/H_o	m	h_v/L_o	H_o/L_o	H_o/h_v	m	L_B/L_o	L_B/L_v
1	133	11,6	5,00	3,50	95	210,2	0,067	0,9775	5,12	0,017	-0,024	-1,46	66,2	0,63	2,01
2	129	10,6	5,00	5,00	87	175,5	0,089	0,9434	5,30	0,028	-0,030	-1,06	72,8	0,74	1,77
3	117	9,2	5,00	5,00	84	132,2	0,118	0,9215	5,43	0,038	-0,041	-1,09	61,7	0,89	1,90
4	121	8,7	5,00	3,50	95	118,2	0,119	0,9209	5,43	0,030	-0,046	-1,55	49,1	1,02	2,47
5	90	13,5	3,80	3,50	87	284,7	0,050	1,023	3,71	0,012	-0,013	-1,06	79,4	0,32	1,14
6	210	14,3	3,80	5,00	77	319,3	0,049	1,027	3,70	0,016	-0,012	-0,74	97,6	0,66	2,15
7	123	7,5	5,00	3,50	96	87,9	0,160	0,9130	5,48	0,040	-0,062	-1,57	42,02	1,40	2,93
8	170	13,4	3,80	3,50	79	280,5	0,050	1,023	3,71	0,012	-0,013	-1,06	79,4	0,61	2,14
9	119	7,8	5,00	5,00	82	95,0	0,164	0,9132	5,48	0,053	-0,058	-1,10	51,4	1,25	2,31
10	135	7,2	5,00	2,00	99	81,0	0,156	0,9131	5,48	0,025	-0,068	-2,74	30,9	1,67	4,37
11	131	12,4	3,80	5,00	76	240,2	0,065	0,9815	3,87	0,021	-0,016	-0,77	84,7	0,55	1,55
12	210	6,5	5,00	3,50	95	66,0	0,214	0,9215	5,43	0,053	-0,082	-1,55	36,0	3,18	5,83
13	110	6,2	5,00	2,00	99	60,0	0,210	0,9205	5,43	0,033	-0,091	-2,72	26,7	1,83	4,13
14	100	9,7	3,80	2,00	98	147,0	0,086	0,9469	4,01	0,014	-0,027	-2,01	41,9	0,68	2,39
15	110	9,7	3,80	3,50	86	147,0	0,096	0,9362	4,06	0,024	-0,028	-1,16	55,2	0,75	1,99
16	87	8,6	3,80	2,00	98	115,5	0,109	0,9264	4,10	0,017	-0,036	-2,05	37,9	0,75	2,30
17	91	5,7	5,00	5,00	91	50,8	0,307	0,9511	5,26	0,098	-0,103	-1,05	35,9	1,79	2,54
18	90	7,9	3,80	2,00	98	97,5	0,129	0,9172	4,14	0,021	-0,042	-2,07	33,9	0,92	2,66
19	120	8,6	3,80	5,00	73	115,5	0,135	0,9157	4,15	0,043	-0,036	-0,83	57,7	1,04	2,08
20	71	6,3	3,80	2,00	97	62,0	0,203	0,9188	4,14	0,032	-0,067	-2,07	27,1	1,15	2,62
21	103	6,5	3,80	5,00	72	66,0	0,236	0,9279	4,10	0,076	-0,062	-0,82	41,8	1,56	2,46
22	90	6,3	3,80	3,50	92	62,0	0,227	0,9252	4,11	0,056	-0,066	-1,17	34,9	1,45	2,58
23	80	14,8	2,00	2,00	94	342,2	0,037	1,081	1,85	0,006	-0,005	-0,92	65,0	0,23	1,23
24	52	11,4	2,00	2,00	92	203,0	0,062	0,9884	2,02	0,010	-0,010	-1,01	49,6	0,26	1,05
25	60	9,0	2,00	2,00	91	126,5	0,100	0,9327	2,14	0,016	-0,017	-1,07	48,5	0,47	1,24
26	60	6,3	2,00	2,00	93	62,0	0,203	0,9188	2,18	0,032	-0,035	-1,09	27,1	0,97	2,21

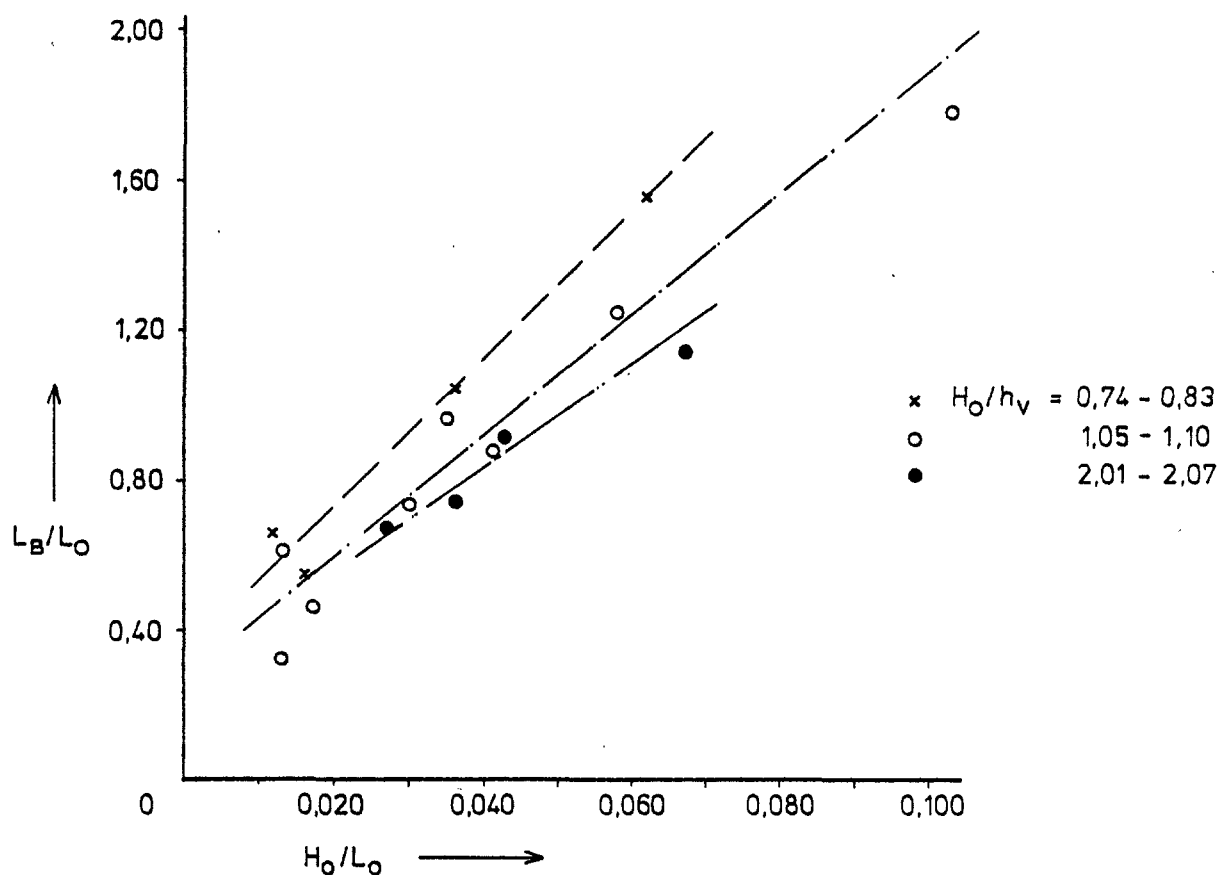
Bepaling van de breedte van de brekerzône uit de gegevens van "Anlagen 21 t/m 24" (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.5
				werknr	
					tek nr A4 - 79.308



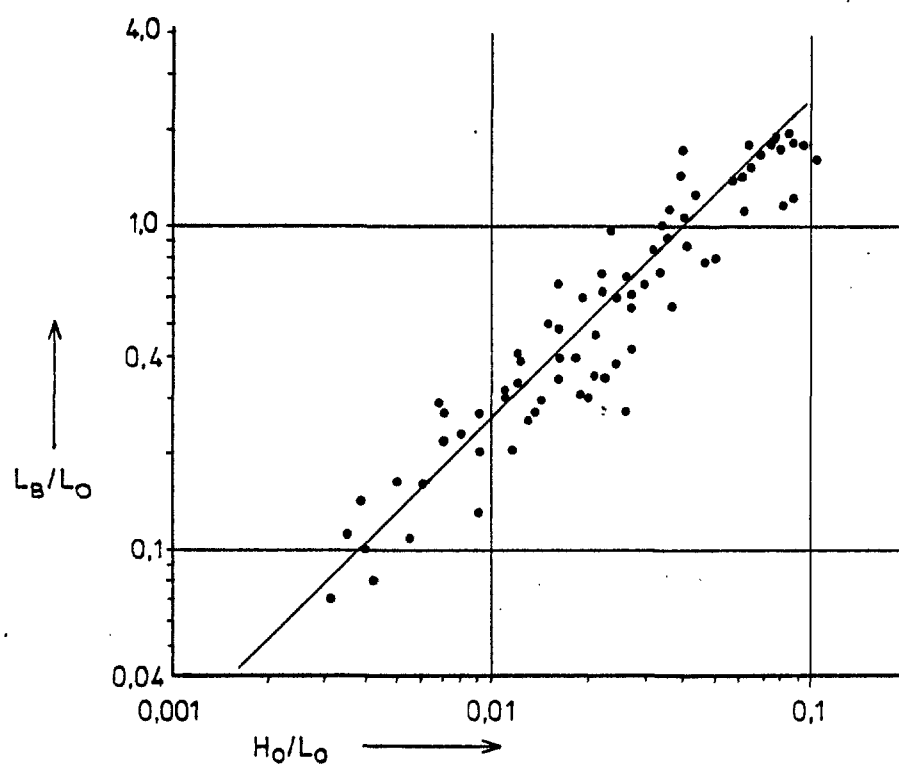
Breedte van de brekerzône als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.6
				werknr	tek nr A4 - 79.309



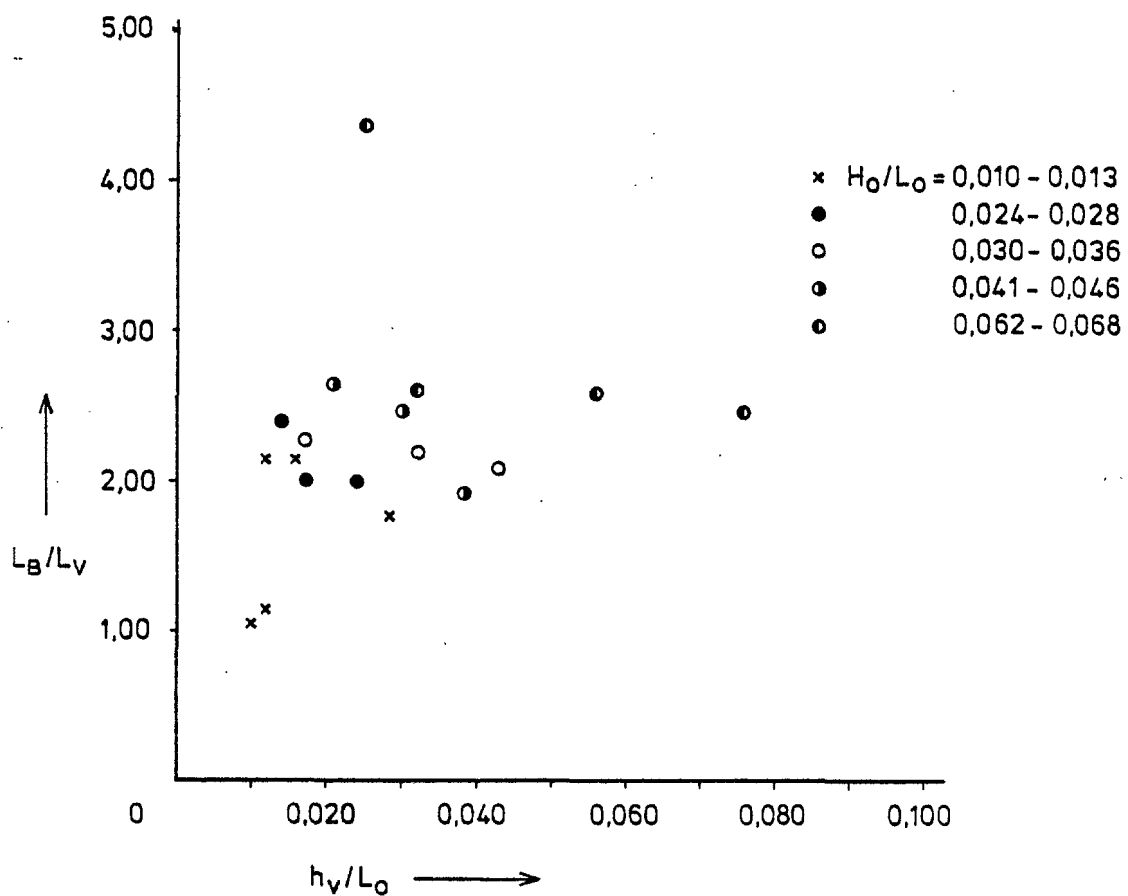
Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_v (Hensen).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.7
				werknr	tek nr A4 - 79.310



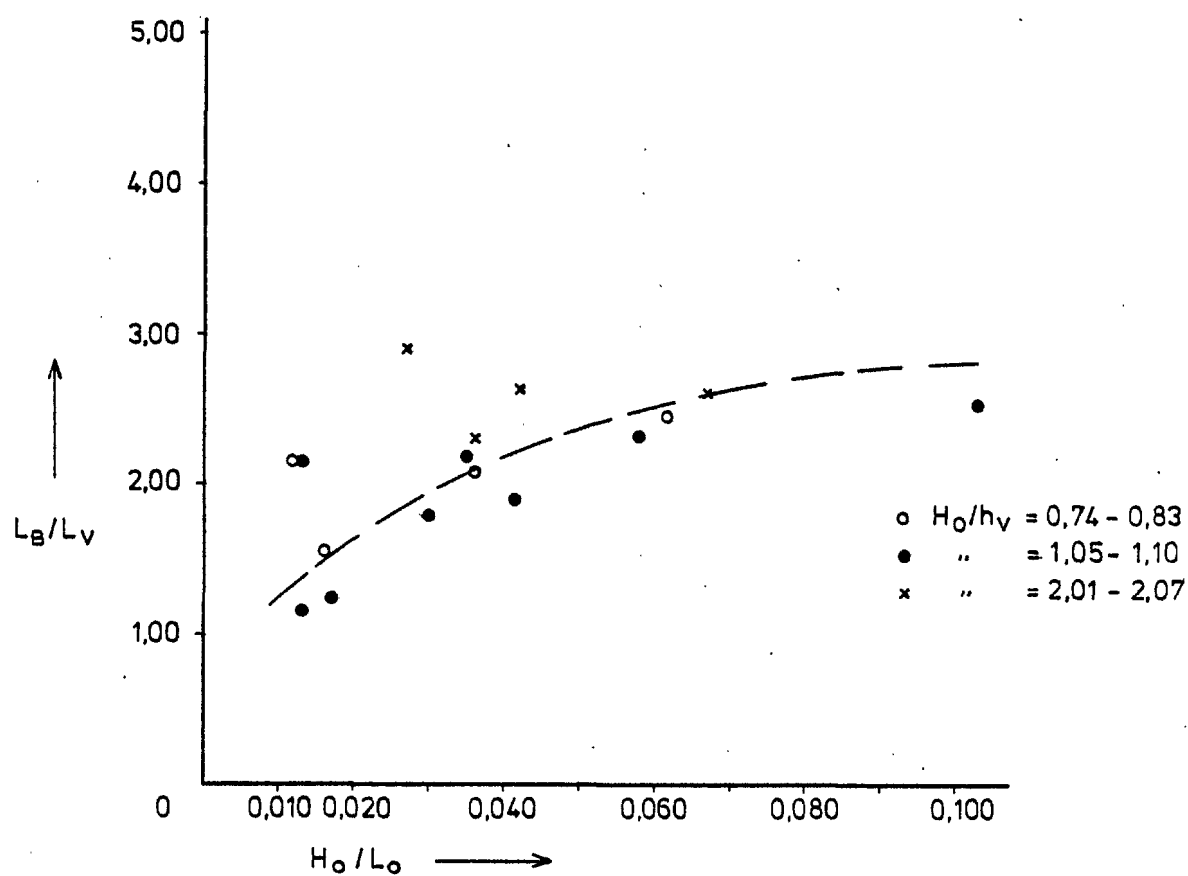
Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor de situatie van flauwe strandhellingen (Nakamura).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.8
				werknr	tek nr A4 - 79.311



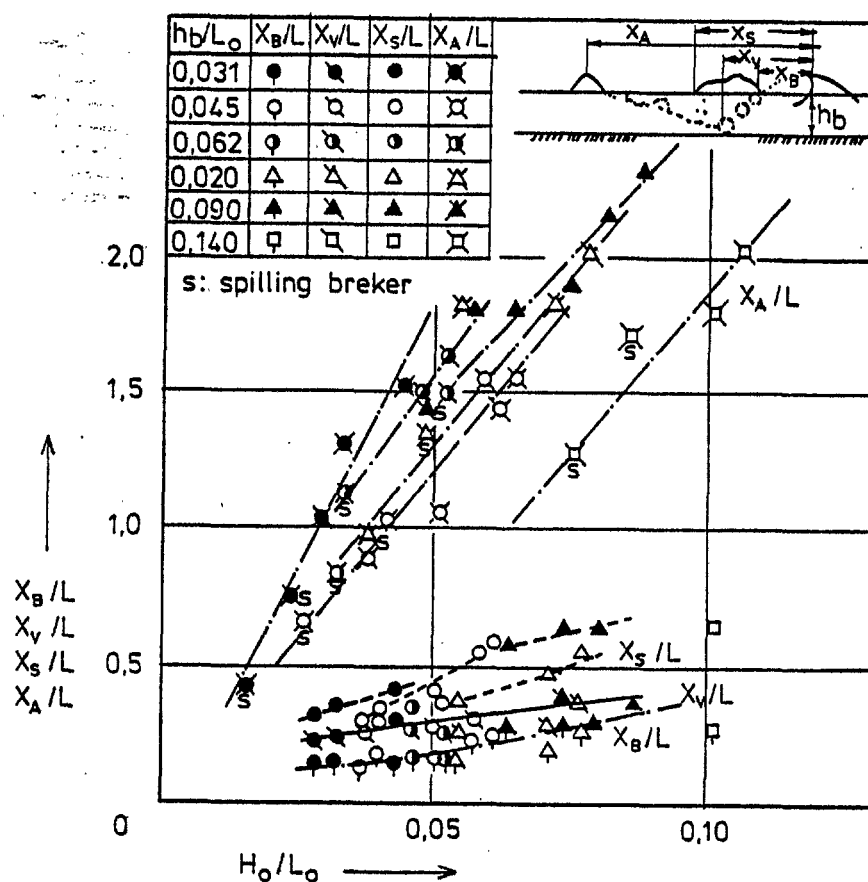
Breedte van de brekerzône als functie van de relatieve waterdiepte voor vaste waarden van de golfsteilheid (Hensen).

. TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.9
				werknr	tek nr A4 - 79.312



Breedte van de brekerzône als functie van de golfsteilheid voor vaste waarden van de parameter H_0/h_V (Hensen).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.10
				werknr	tek nr A4 - 79.313



Afstand van het breekpunt tot het punt waar de schuimwerking ophoudt,
 als functie van de golfsteilheid (Sawaragi & Iwata)

• TAW

Technische Adviescommissie
 voor de Waterkeringen

get

gew

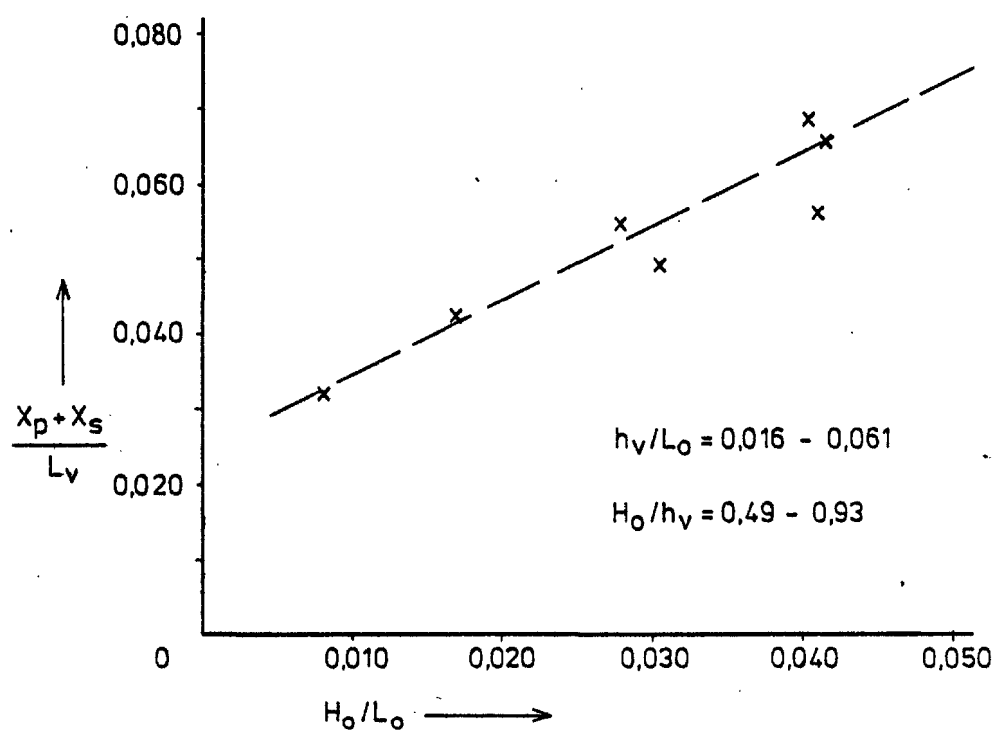
gez

Schaal

werknr

Bijlage 10.11

tek nr A4 - 79.314



De som van "plunge" en "splash distance" als functie van de golfsteilheid (Galvin).

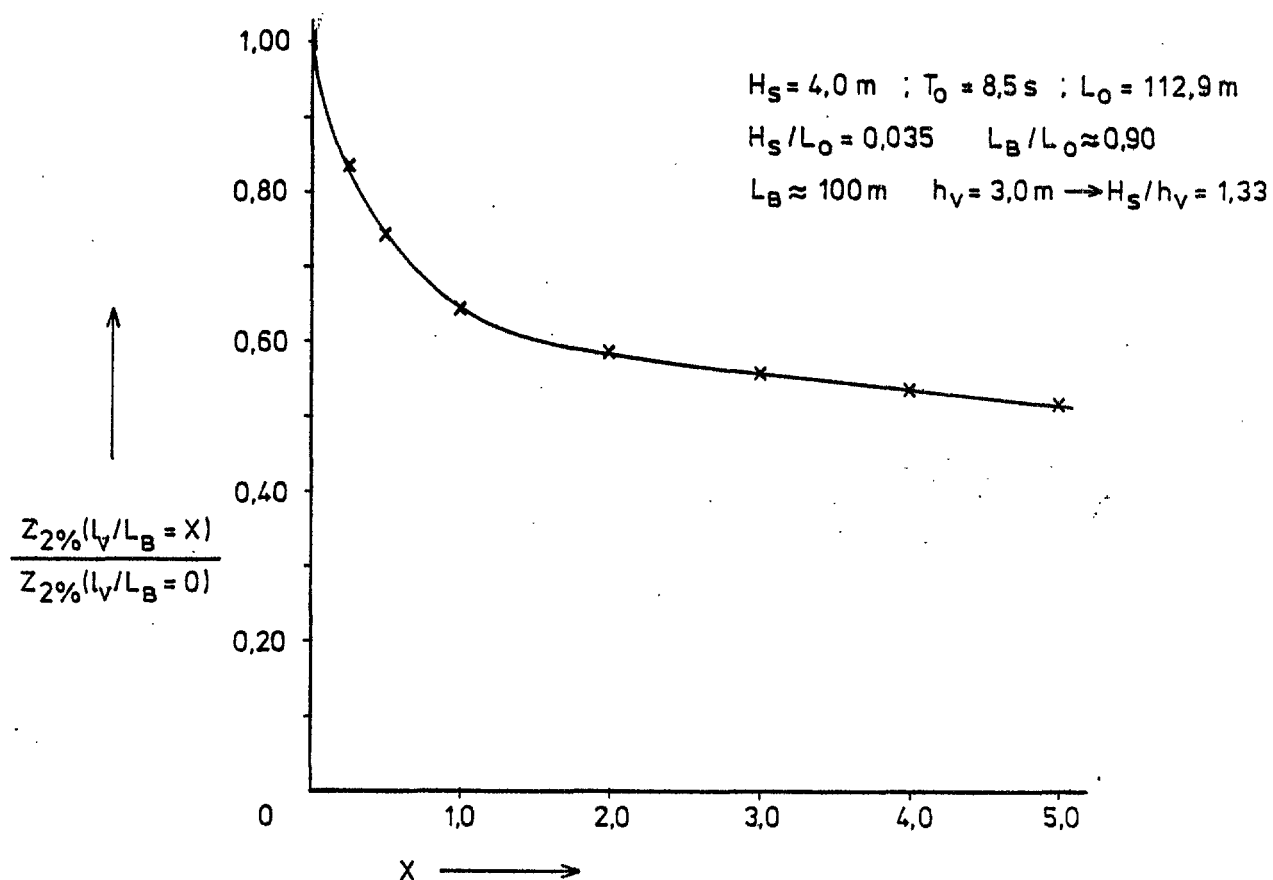
• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.12
				werknr	

tek nr A4 - 79.315

nr.	$\frac{h_v}{L_o}$	$\frac{H_o}{L_o}$	$\frac{H_o}{h_v}$	$\frac{X_p + X_s}{m}$	$\frac{X_p + X_s}{L_o}$	$\frac{X_p + X_s}{L_v}$	$\frac{X_p}{L_v}$
1	0,0164	0,0079	0,485	6,82	0,102	0,322	0,161
2a	0,0606	0,0409	0,676	5,92	0,325	0,562	0,281
2b	0,0613	0,0403	0,660	6,80	0,378	0,690	0,345
3	0,0503	0,0305	0,607	5,72	0,261	0,491	0,246
4	0,0443	0,0414	0,933	5,88	0,330	0,656	0,328
5	0,0360	0,0280	0,780	5,54	0,252	0,550	0,275
6	0,0249	0,0169	0,678	5,22	0,164	0,425	0,213

Bepaling van de som van de "plunge" en "splash distance" (Galvin).

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.13
				werknr	tek nr A4 - 79.316



Golfploophoogte met een overschrijdingspercentage van 2% als functie van de voorlandbreedte (M 1084)

TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.14
				werknr	tek nr A4 - 79.317

voorland- diepte	I. golfoploop bij dijk met voorland $l_v = 600$ m		II. golfoploop bij dijk in de brekerzône.		Z_I / Z_{II}	
	minimaal	maximaal	min.	max.	min.	max.
2,00 m	0,58 m	1,08 m	0,83 m	2,32 m	0,70	0,47
3,50 m	1,00 m	2,42 m	1,38 m	3,96 m	0,72	0,61
5,00 m	1,42 m	4,53 m	2,00 m	5,60 m	0,71	0,81

Bepaling golfoploophoogteverhouding tussen een dijk met voorland en één zonder (Hensen).

• TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal	Bijlage 10.15
				werknr	tek nr A4 - 79.318