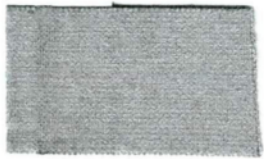


1677

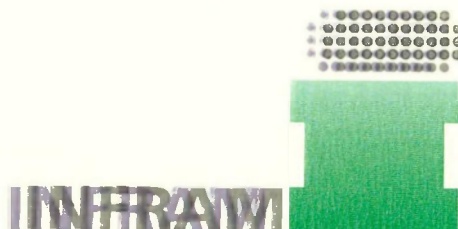


- Opdrachtgever:
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
- Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, TAW

□ Plan van aanpak voor het afleiden van ontwerp-
relaties voor golfoploop en golfoverslag, toegespitst
op de Westerschelde

□ Oktober 1997

□ i131



□ INFRAM B.V.
□ Postbus 688, 7500 AP Enschede
□ Telefoon: 053-489 43 62
□ Telefax : 053-489 43 62

Plan van aanpak voor het afleiden van ontwerp-
relaties voor golfoploop en golfoverslag, toegespitst
op de Westerschelde

J.W. van der Meer

Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Opdracht.....	2
1.3 Aanpak studie.....	2
2 Hydraulische randvoorwaarden	3
2.1 Hydraulische randvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water.....	3
2.2 Randvoorwaardenboek 2001.....	4
2.3 Randvoorwaarden Westerschelde.....	5
3 Golfloop en golfverslag	9
3.1 Algemeen.....	9
3.2 Dubbeltoppige spectra.....	10
3.3 Ondiepe voorlanden in de Westerschelde.....	11
3.4 Nadere uitwerking golfloop bij ondiepe voorlanden.....	12
3.5 Golfloopmetingen bij Petten.....	13
3.6 Modelonderzoek.....	14
4 Plan van aanpak	16

Referenties

Lijst van symbolen

Lijst van tabellen

Lijst van figuren



1.1 Probleemstelling

Recente berekeningen met het golvenmodel SWAN voor de Westerschelde geven dubbeltoppige en dikbuikige spectra en in sommige gevallen een langere golfperiode dan voorheen werd aangenomen. Ook zijn de golfcondities tot op 40-60 m voor de teen van de dijk, soms op (zeer) ondiep water gegeven. De golfoploop en golfoverslag bij deze afwijkende spectra en bij ondiepe voorlanden is onderwerp van deze studie, waarbij de Westerschelde centraal staat.

Met de Wet op de Waterkering is een vijfjaarlijkse toetsing van de dijken in Nederland verplicht gesteld. Om deze toetsing te kunnen uitvoeren is in 1996 het Randvoorwaardenboek (Rijkswaterstaat, 1996) uitgekomen waarin waterstanden, golfhoogtes en golfperioden worden gegeven die gebruikt kunnen worden bij deze toetsing. De resultaten van recente studies naar de *basispeilen* zijn in dit Randvoorwaardenboek al verwerkt (Dillingh et al., 1993, Phillipart et al., 1993, Van Urk, 1993 en Phillipart et al., 1995). Gebleken is dat met name golfhoogtes en golfperiodes voor een groot deel nog dateren uit de tijd van de Deltacommissie.

Momenteel wordt druk gewerkt aan het verbeteren van deze hydraulische randvoorwaarden. Veel van deze studies worden in het HYDRA-project uitgevoerd. Recentelijk zijn enkele studies die betrekking hebben op de *golfhoogte* en *golfperiode* langs de Nederlandse kust gepubliceerd (De Ronde et al., 1995 en Roskam en Hoekema, 1996). Hierbij is gevonden dat de piekperiode van de golven (veel) langer kan zijn dan is aangenomen in het Randvoorwaardenboek. Bij een tweede toetsingsronde zou dit mogelijk kunnen leiden tot dijkverhogingen, want een langere golfperiode geeft in het algemeen een hogere golfoploop en daarmee een hogere benodigde dijkhoogte.

Aan de andere kant is komen vast te staan dat golfoploop- en golfoverslagformules mogelijk te conservatief zijn als er een voorland aanwezig is waarop de golven substantieel breken. Substantieel wil zeggen dat dit breken op een voorland resulteert in een golfhoogte nabij de teen van de dijk die minder dan de helft is van de golfhoogte op dieper water. Deze problematiek is in een breed verband op een discussiedag besproken (Tönjes en Janssen, 1996) en heeft geleid tot een prioriteitstelling in onderzoek naar golven op ondiep water en de effecten daarvan op constructies.

Recentelijk is, in het kader van de eerste vijfjaarlijkse toetsing, de problematiek rondom de sterkte van dijkbekledingen onder ontwerpomstandigheden naar voren gekomen. Dit heeft geleid tot een landelijke inventarisatie van de sterkte van dijkbekledingen en heeft daarnaast geresulteerd in versterkingsprogramma's, beginnend in de Westerschelde. Dijkbekledingen liggen vaak lager dan het ontwerppeil en het is daarmee mogelijk dat de kritieke belasting voor een dijkbekleding niet bij het ontwerp- of basispeil optreedt, maar bij een lagere waterstand. Om de kritieke belasting te kunnen vaststellen zijn golfrandvoorwaarden bij verschillende waterstanden nodig en niet alleen bij het basispeil.

Door RIKZ is deze actie opgepakt en inmiddels zijn de eerste resultaten beschikbaar (Andorka Gal en Roelse, 1997 en Andorka Gal et al., 1997). Met behulp van het golvenmodel SWAN zijn bij een drietal waterstanden (2, 4 en 6 m + NAP) de golfcondities op de Westerschelde berekend en in detail voor een aantal te versterken

dijkvakken. Op een aantal plaatsen worden dubbeltoppige of hele brede spectra berekend. Ook hier is ten aanzien van het effect op golfoploop en golfoverslag niet al te veel van bekend. Daarnaast worden op enkele plaatsen (veel) langere golfperioden berekend dan die welke in het Randvoorwaardenboek zijn vermeld.

Bovenstaande problematiek van langere golfperioden, ondiepe voorlanden en de golfoploop- en golfoverslag in deze situaties, zijn onderwerp van deze studie. Het eindresultaat is een plan van aanpak voor het afleiden van ontwerprelaties voor golfoploop en golfoverslag bij afwijkende spectra, toegespitst op de problematiek in de Westerschelde. Daarmee is het plan van aanpak beperkter van aard dan de gehele problematiek van golven op ondiep water en de effecten daarvan op constructies (zie Van der Meer, 1996, voor een beschrijving van deze problematiek en Tönjes en Janssen, 1996, voor de prioriteitstelling van dat onderzoek). De analyse van de golfrandvoorwaarden, zoals die nu door RIKZ zijn gegeven, is een integraal onderdeel van deze studie.

1.2 Opdracht

Op 15 juli 1997 ontving Infram BV van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde het verzoek voor het uitbrengen van een offerte met betrekking tot het maken van een plan van aanpak voor het afleiden van ontwerprelaties voor golfoploop en golfoverslag bij afwijkende spectra, gericht op de problematiek in de Westerschelde.

Op 7 augustus 1997 is vervolgens offerte uitgebracht. Op 22 augustus 1997 is opdracht ontvangen met kenmerk AK 973701. Het verplichtingnummer is 3100/0349 en het werk valt onder het project TAW/COORD.

De studie is uitgevoerd door dr.ir. J.W. van der Meer. De projectbegeleiders waren ir. A.P. de Looft en ir. C.J. van Westen. Dank is verschuldigd aan ir J.H. Andorka Gal van Rijkswaterstaat, RIKZ, voor de uiterst behulpzame wijze waarop alle relevante informatie werd verstrekt.

1.3 Aanpak studie

Het eerste deel van de studie betrof de bestudering van de hydraulische randvoorwaarden (hoofdstuk 2), beginnend bij de randvoorwaarden op relatief diep water langs de Nederlandse kust (paragrafen 2.1 en 2.2) en daarna de randvoorwaarden op de Westerschelde zoals die onlangs zijn berekend (paragraaf 2.3).

Het tweede deel spitste zich toe op golfoploop en golfoverslag (hoofdstuk 3), waarbij de situatie in de Westerschelde met betrekking tot tweetoppige en brede spectra en ondiepe voorlanden wordt geëvalueerd. Een voorlopige aanpassing van de formules bij zeer ondiepe voorlanden wordt voorgesteld.

Uit de studie komt een aantal conclusies en aanbevelingen naar voren die in hoofdstuk 4 zijn samengevat en uiteindelijk verwerkt in een kort plan van aanpak voor verdere studie.

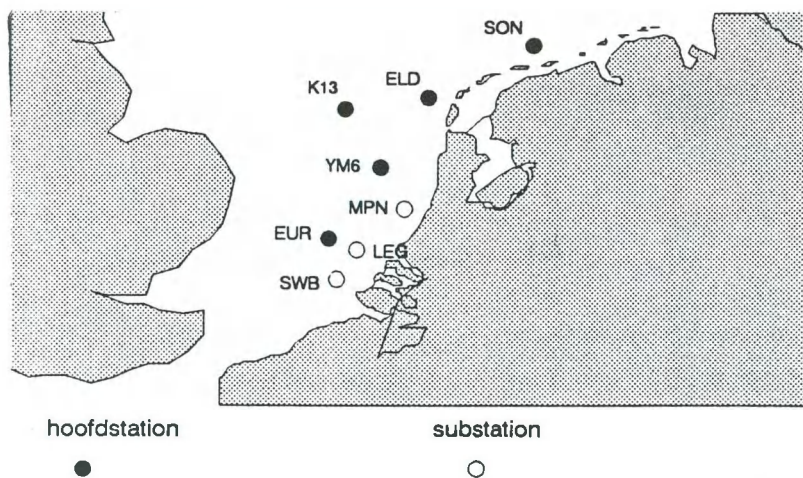


2.1 Hydraulische randvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water

In Rijkswaterstaat, 1996, worden de hydraulische randvoorwaarden gegeven voor primaire waterkeringen, zoals deze bij de eerste toetsingsronde gebruikt moeten worden. Voor alle dijkvakken van dijkkringgebieden is het toetspeil 2000.0 of rekenpeil 2000.0 (zandige kust: basispeil + 2/3 decimeringshoogte) gegeven en de significante golfhoogte en piekperiode.

De randvoorwaarden bij Hoek van Holland worden vaak als referentie gebruikt. Het ontwerppeil (1985) is daar 5,0 m + NAP, de golfhoogte $H_s = 8,4$ m en de piekperiode $T_p = 12$ s. De ontwerppeilen variëren langs de Nederlandse kust evenals de golfhoogten op relatief diep water (meestal de NAP -20 m lijn). De gegeven piekperiodes stammen waarschijnlijk uit de beginjaren tachtig toen de Leidraad Duinafslag werd samengesteld. Ten noorden van Hoek van Holland is over de gehele Nederlandse kust een piekperiode van 12 s aangehouden, ten zuiden van Hoek van Holland is dit 8 s.

Figuur 1
Golfmeetstations langs de Nederlandse kust



In recente studies van RIKZ is de marginale statistiek van de golfhoogten en golfperiodes uitgewerkt op basis van vijftien jaar metingen bij diverse meetlocaties langs de Nederlands kust (figuur 1). In tabel 1 zijn van noord naar zuid voor vijf meetstations de verwachtingswaarden van significante golfhoogte en piekperiode weergegeven met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} keer per jaar. In de tabel is de piekperiode gegeven die behoort bij de significante golfhoogte en ook de piekperiode zoals die uit de marginale statistiek van de golfperiodes zelf volgt. Referenties zijn De Ronde et al., 1995, en Roskam en Hoekema, 1996.

Station	$H_{m0} 10^{-4}$ (m)	T_p bij $H_{m0} 10^{-4}$ (s)	$T_p 10^{-4}$ (s)
SON	9,6	16,7	19,4
ELD	10,0	15,5	17,1
K13	9,7	14,7	15,8
YM6	9,1	14,5	15,7
EUR	8,4	12,5	13,3

Tabel 1 Verwachtingswaarden van H_{m0} en T_p voor vijf meetstations langs de Nederlandse kust

Uit de tabel volgt dat voor Hoek van Holland (meetstation EUR) inderdaad ongeveer een piekperiode van 12 s wordt gevonden. Voor noordelijker gelegen stations neemt deze periode toe tot 16,7 s bij SON. Dit is duidelijk langer dan de 12 s die in het randvoorwaardenboek is gegeven. De marginale statistiek van golfperioden komt natuurlijk tot nog hogere waarden. Deze mogen niet geïsoleerd worden gebruikt, maar alleen in combinatie met de waterstands- en golfhoogtestatistiek in een meerdimensionale benadering. Verder gelden de waarden voor de meetstations op relatief diep water (19-32 m) en moet voor ontwerp en toetsing van dijken nog een vertaalslag worden gemaakt naar de teen van de dijk toe.

Ten zuiden van EUR zijn geen meetstations meegenomen. Wel is het substation SWB aanwezig dat zuidelijker ligt. Omdat de golfperiode van noord naar zuid afneemt en omdat in het randvoorwaardenboek ten zuiden van Hoek van Holland een lagere golfperiode van 8 s wordt aangehouden, is het mogelijk dat station SWB ook een lagere golfperiode aangeeft dan de 12,5 s bij Hoek van Holland. Het verdient aanbeveling het verloop van de golfperiode ten zuiden van Hoek van Holland nader te onderzoeken.

Momenteel wordt veel gebruik gemaakt van geavanceerde golfmodellen, zoals SWAN, die op basis van windvelden de golfspectra, -hoogten en -perioden kunnen berekenen. Het verdient ook aanbeveling de afname van de golfperiode van noord naar zuid langs de Nederlandse kust te simuleren. Ten eerste geeft dit een goede verificatie van het model en een fysische onderbouwing van de afname van de periode, ten tweede kan dan meer worden gezegd over de golfperioden ten zuiden van Hoek van Holland.

2.2 Randvoorwaardenboek 2001

In de vijf jaar tussen het Randvoorwaardenboek van nu (Rijkswaterstaat, 1996) en het volgende wordt veel studie verricht naar de hydraulische randvoorwaarden, met name de golfhoogten en golfperioden langs de Nederlandse kust en de meerdimensionale statistiek van waterstanden, golven en wind. Een groot deel van dit werk wordt verricht in het HYDRA-project (RIKZ, 1997).

Na de marginale statistiek van de golfhoogten (De Ronde et al., 1995) en golfperioden (Roskam en Hoekema, 1996), wordt momenteel studie verricht naar de meerdimensionale statistiek (Van Marle, 1997). Het HYDRA-project is er op gericht in 2001 te komen met een nieuw Randvoorwaardenboek waarin een volledig meervoudige statistiek als hydraulische randvoorwaarde gegeven zal worden. Er zal binnen het project afstemming plaatsvinden met de TAW (met name TAW D - leidraden) en het project UBW (Uniformering Berekening Belastingen op Waterkeringen).

In de periode tussen het Randvoorwaardenboek van 1996 en 2001 wordt zeer veel studie verricht. Waar in 1996 deterministische randvoorwaarden worden gegeven, met soms nog een verleden dat teruggaat tot de Deltacommissie, worden nu studies uitgevoerd naar een volledig meervoudige statistiek die toegepast kan worden in een probabilistische ontwerpprocedure of toetsing. Het gevaar van grote verschillen (trendbreuken) met de huidige methode is daardoor in principe aanwezig zodat hier aandacht aan moet worden besteed.

Binnen het UBW-project wordt gewerkt aan een uniforme berekening van belastingen op waterkeringen, waarin RIZA en RIKZ een primaire rol spelen. Momenteel zijn de methodieken voor de zee en de meren nog niet op elkaar afgestemd. Bij de meren (IJsselmeer en eventueel Markermeer) gaat men uit van marginale statistieken van waterstand, golven en wind en wordt met een probabilistische module de benodigde kruinhoogte berekend. Binnen deze module wordt de overgang van diep water naar de



teen van de constructie berekend. Alleen golfoploop en golfoverslag worden berekend en nog geen andere faal- of toetsmechanismen. Bij de kust wordt door RIKZ gekozen voor de meerdimensionale statistiek van De Haan. Deze methode beschrijft ook hoe deze statistiek naar de teen van de constructie toe moet worden gebracht, maar dit is ingewikkeld en is nog onderwerp van verdere studie.

Binnen de TAW wordt de Marsroute uitgestippeld die moet leiden tot een goede probabilistische toetsing van een volledig dijkkringgebied. De hydraulische randvoorwaarden, en vooral de wijze waarop deze worden toegeleverd, zouden een integraal onderdeel moeten zijn van de Marsroute. Dit geldt zowel voor de aanpak van de kust (HYDRA-RIKZ) als voor de meren (RIZA). De koppeling tussen deze projecten en de Marsroute lijkt nu minimaal.

Hydraulische randvoorwaarden zijn ingangsvARIABLEN bij de berekening van hoogte en sterkte van constructies. Het is essentieel dat er een goede afstemming is tussen de instanties die de randvoorwaarden toeleveren en de TAW (met name TAW A-C) die de faalmechanismen ontwikkelen. Dit geldt ook met betrekking tot de wijze waarop in de volgende ronde getoetst moet gaan worden, opnieuw deterministisch of al volledig probabilistisch. Deze afstemming is er niet of nauwelijks geweest.

Bovenstaande opmerkingen leiden tot de volgende aanbevelingen:

- Het voeren van overleg tussen RIKZ, RIZA en de TAW waarbij een uniforme aanpak voor de methodiek wordt vastgesteld met betrekking tot het toeleveren van randvoorwaarden. Deze methodiek moet passen binnen de Marsroute (TAW E) en moet afgestemd zijn op de faalmechanismen (TAW A-C). De TAW zou nadrukkelijk een grotere rol in deze kunnen spelen dan tot nu toe.
- Het volgende Randvoorwaardenboek moet geen grote trendbreuken vertonen met het huidige. Vastgesteld moet worden of de overgang naar een volledige probabilistische toetsmethodiek met meerdimensionale statistiek al verantwoord kan worden gemaakt of dat mogelijk toch een deterministische toetsing nodig is.

2.3 Randvoorwaarden Westerschelde

Uit de eind 1996 in TAW-verband verrichtte inventarisatie naar de stabiliteit van bekledingen is gebleken dat een groot aantal dijkvakken niet voldeed aan de daaraan te stellen normen. In opdracht van het projectbureau Zeeweringen zijn toen door RIKZ studies gestart om nieuwe golftrandvoorwaarden voor het toetsen en eventueel ontwerpen van dijkbekledingen in de Westerschelde. Dijkbekledingen liggen soms lager dan het toetspeil en de maatgevende belasting hoeft dan ook niet bij dit hoge toetspeil op te treden (wat over het algemeen wel zo is bij de toetsing of berekening van de kruinhoogte). Daarom zijn voor drie verschillende waterstanden golftrandvoorwaarden berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd door Alkyon (Van Vledder en Van Banning, 1997) en de resultaten zijn samengevat weergegeven in Andorka et al., 1997). Het eindresultaat is een tabel met hydraulische randvoorwaarden voor de dijkbekledingen van 65 dijkvakken in de Westerschelde. Deze tabel is als tabel 2.1 aan dit verslag toegevoegd.

De berekeningen zijn in zeer korte tijd uitgevoerd (in verband met de te starten versterkingen) en zijn in principe alleen bedoeld voor dijkbekledingen. De hele studie werpt echter wel zijn licht vooruit naar randvoorwaarden die mogelijk voor dijkhoogteberekeningen zullen worden vastgesteld. Daarom wordt de aanpak voor dijkbekledingen hier geëvalueerd.

De golfrandvoorwaarden zijn vastgesteld gegeven een 1/4000 windsnelheid. Met het vrij nieuwe spectraal model SWAN zijn de berekeningen uitgevoerd. Hierbij is de 1/4000 H_{m0} bij EUR als randvoorwaarde genomen, evenals de extreme golfperiode 1/4000 T_p . Deze geven $H_{m0} = 8,16$ m en $T_p = 13$ s. Als eerste moet worden opgemerkt dat de marginale statistiek van de golfperioden niet afzonderlijk mag worden toegepast, dit mag alleen bij toepassing binnen de meerdimensionale statistiek. Een betere uitgangssituatie was geweest de piekperiode te kiezen die hoort bij de 1/4000 H_{m0} . Dit is een periode van $T_p = 12,3$ s. In het gebied ten westen van de Westerschelde-monding is eigenlijk een iets te lange golfperiode opgelegd. Ook geeft bovenstaande aan dat er onzekerheid bestaat omtrent vaststellen van te gebruiken golfperioden.

Het model SWAN is ingezet nadat een snelle verificatie was uitgevoerd op drie historische stormen op de Westerschelde (Andorka en Roelse, 1997). Uit deze verificatie kwam dat SWAN de piekperiode met 0,24 s onderschatte met een standaardafwijking van 0,77 s en dat de golfhoogte met ongeveer 10% werd overschat met een standaardafwijking van 20%. Op basis hiervan is besloten alle piekperioden met 1 s te vermeerderen (de afwijking + 1 standaardafwijking) en de golfhoogten gelijk te laten.

Op deze beslissing valt veel af te dingen. In deterministische ontwerpformules, zoals bijvoorbeeld voor de golfoploop en golfoverslag, wordt soms enige veiligheid aangebracht die de onzekerheid van de formule zelf enigszins meeneemt, maar ook deels die van de parameters. In de formule worden de gemiddelde waarden van de parameters genomen. De veiligheid moet integraal bij de toepassing van de formule worden vastgesteld (tenminste bij deterministische berekeningen) en deze veiligheid wordt dan vaak op een standaardafwijking gezet, gebaseerd op meetpunten. Dit mag niet worden gedaan voor de randvoorwaarden die in de formules worden ingevuld, zoals de golfhoogte en golfperiode, omdat anders veiligheid op veiligheid wordt gestapeld.

De door SWAN berekende piekperiode wijkt gemiddeld maar weinig af van de gemeten periode, zeker gezien de standaardafwijking en de nauwkeurigheid van het vaststellen van de berekende piekperiode. Deze nauwkeurigheid hangt af van de resolutie in de frequentieruimte. Het verschil tussen opeenvolgende piekperioden is ongeveer 0,4-0,7 s bij perioden tussen 4 s en 7 s en loopt op tot 1,1 s bij een periode in de buurt van 10 s en tot 1,3 s bij een periode van 12,5 s. Er is dan ook geen enkele gefundeerde reden de berekende golfperioden met 1 s te vermeerderen, evenmin als er reden is de berekende golfhoogten te verlagen. De in Andorka et al., 1997, gegeven piekperioden (zie ook tabel 2.1) zijn daarmee eigenlijk allemaal een seconde te hoog.

Inmiddels wordt een uitvoeriger verificatie uitgevoerd. Het verdient aanbeveling deze verificatie af te wachten voordat berekende golfperioden worden veranderd.

De SWAN-berekeningen, en ook de metingen, laten zien dat voor het grootste deel van de Westerschelde de golven lokaal op de Westerschelde worden opgewekt en dat de golven op de Noordzee geen invloed hebben. Alleen bij de monding van de Westerschelde is nog wel de invloed van de Noordzee aanwezig. Figuren 2.1-2.4 geven van dit geheel een kort overzicht.

Figuur 2.1 geeft een dubbeltoppig spectrum voor het station WIEL dat in de Westerschelde-monding ligt. De lange piek van ongeveer 12-13 s komt vanuit de Noordzee en de korte piek van 7,2 s wordt veroorzaakt door lokaal opgewekte golven. Vlak voor de kust bij dijkvak 17 van dijkkringgebied 32 is dat nog precies zo, zie figuur 2.2. Aangezien dit punt op ondiep water ligt is de golfhoogte sterk afhankelijk van de waterstand, maar het dubbeltoppige spectrum is bij alle waterstanden aanwezig. Het iets meer naar het oosten liggende dijkvak 9 in hetzelfde dijkkringgebied krijgt iets minder van de lange golven en de twee pieken zijn bijna samengevoegd tot één top,

zie figuur 2.3. Het verder in de Westerschelde gelegen station D laat een lokaal opgewekt spectrum zien met een piekperiode van ongeveer 6,5 s. Dit soort spectra wordt overal in de Westerschelde berekend, de dubbeltoppige spectra komen alleen aan de westelijke monding voor.

In de overzichtstabel van golfrandvoorwaarden voor 65 dijkvakken wordt bij een dubbeltoppig of dikbuikig spectrum, zoals in figuren 2.1-2.3 voorzichtigheidshalve de langste piek aangehouden. Zie daarvoor tabel 2.1, de gebieden 1 en 2 met dijkvakken 8-13 en 17 en 18. Dit zou mogelijk kunnen leiden tot een (zwarte) overdimensionering van de dijkbekleding. Bij een dijkhoogteberekening zou dit zeker het geval zijn. In Van der Meer, 1997, wordt een procedure beschreven voor golfoploop en dubbeltoppige spectra. Het lange en korte deel wordt gesplitst en op een bepaalde wijze samengevoegd. Ten aanzien van de golfrandvoorwaarden verdient het aanbeveling bij dubbeltoppige of dikbuikige spectra beide piekperioden te geven met de bijbehorende golfhoogte of energie (bijvoorbeeld gesplitst bij het minimum tussen de perioden).

Voor elk dijkvak zijn spectra en golfhoogten berekend. Voorbeelden van spectra zijn al in figuren 2.1-2.4 gegeven en besproken. Het verloop van de golfhoogte over de laatste 500 m naar de dijk wordt voor enkele dijkvakken gegeven in figuren 2.5-2.7. Figuur 2.5 geeft het meest westelijke dijkvak (met een dubbeltoppig spectrum, zie figuur 2.2). Dit dijkvak is een van de enige in de Westerschelde waarbij een redelijk hoog voorland aanwezig is. De golfhoogte neemt gestaag af naar de dijk toe. De tabel in figuur 2.5 geeft de golfrandvoorwaarden op raai-afstand 400 m (de verticale lijn in de figuren). Bij de samenstelling van tabel 2.1 met de randvoorwaarden voor de dijkbekledingen is niet deze locatie genomen, maar een locatie dicht bij de dijk. Deze locatie verschilt per dijkvak en is afhankelijk van de betrouwbaarheid van de laatst berekende punten. In het algemeen zijn dit afstanden van 40-60 m vanaf de teen van de dijk. In figuur 2.5 is bijvoorbeeld raai-afstand 500 m genomen. De afstanden zowel als de waterdiepten waarvoor de golfrandvoorwaarden gelden zijn in tabel 2.1 gegeven.

Figuur 2.5 geeft voor een waterstand van 6 m + NAP een golfhoogte-afname van ongeveer 5 m naar 2,5 m. Bij alle andere dijkvakken is de relatieve afname minder. Dit betekent dat er, ten aanzien van dijkhoogte-berekeningen, in de Westerschelde nauwelijks sprake is van "zeer ondiepe" voorlanden, waarbij de golfhoogte meer dan 50% reduceert ten opzicht van de golfhoogte op dieper water. Dit is wel degelijk het geval bij de problematiek van de dijkbekledingen omdat daar ook waterstanden worden beschouwd die 2 en 4 m lager liggen. Juist voor de problematiek van de dijkbekledingen komen veel ondiepe voorlanden voor.

Figuur 2.6 hoort bij figuur 2.3. Ook hier is een redelijk flauw en ondiep voorland aanwezig waarop de golven breken. De golfrandvoorwaarde in tabel 2.1 is gegeven voor raai-afstand 440 m. Figuur 2.7 tenslotte geeft een karakteristiek voorbeeld van situaties verderop in de Westerschelde. Het voorland, bij een waterstand van 6 m + NAP, is redelijk diep voor de aanwezige golven en de golfhoogte reduceert maar weinig tot aan de dijk.

Met de berekeningen met SWAN kan de golfhoogte niet precies bij de teen van de dijk worden bepaald. Omdat met een grid van 20 m is gerekend zijn de laatste punten niet betrouwbaar. Daarom zijn de randvoorwaarden op ongeveer 40-60 m voor de dijk bepaald. Als er nog duidelijk een ondiep voorland op dit laatste stuk aanwezig is, zal de golfhoogte bij de teen van de dijk lager zijn dan die welke in tabel 2.1 is gegeven. In zo'n geval zou een 1-dimensionale berekening over dit laatste stuk deze lagere golfhoogte kunnen vaststellen. Modellen die hiervoor kunnen worden gebruikt zijn ENDEC (vaste periode, geen spectrum), ODIFLOCS (rekent in tijdsdomein) en eventueel

het in ontwikkeling zijnde SWAN-1D (wel spectraal). Het is in ieder geval aan te bevelen een methode te ontwikkelen of vast te stellen die dan overal (bij kust en meren) wordt toegepast.

Samengevat brengt de evaluatie van de berekening van golfrandvoorwaarden in de Westerschelde de volgende punten naar voren:

- De berekeningen zijn alleen gemaakt om dijkbekledingen te toetsen en eventueel te ontwerpen. Voor een dijkhoogteberekening zou het juiste toetspeil aangenomen moeten zijn.
- Bij EUR is een iets te lange piekperiode opgelegd. Dit heeft alleen een klein effect op de golfperiode bij dijkgebieden 1 en 2 in de westelijke monding.
- De gegeven golfperioden in tabel 2.1 zijn 1 s te lang.
- Dubbeltoppige en dikbuikige spectra komen voor in de westelijke monding. Het verdient aanbeveling hier beide piekperioden te geven met de bijbehorende energie of golfhoogte.
- Er zijn weinig “zeer ondiepe” voorlanden in de Westerschelde bij het ontwerp- of toetspeil. Dit betekent dat in principe de golfploop- en golfoverslagformules normaal toepasbaar zijn. Voor de problematiek van dijkbekledingen komen wel degelijk veel ondiepe voorlanden voor.
- De golfrandvoorwaarden zijn op 40-60 m uit de teen van de dijk gegeven. In gevallen met een ondiep voorland op dit gedeelte kan het zinvol zijn de golfhoogte bij de teen vast te stellen met daarvoor beschikbare modellen.



3.1 Algemeen

Golfoploop- en golfoverslag-formules voor dijken zijn binnen TAW-kader ontwikkeld, zie Van der Meer, 1997-1 en 1997-2. Beide referenties horen bijelkaar; de eerste geeft de (aangepaste) formules zoals ze direct in de praktijk gebruikt kunnen worden, de tweede geeft achtergrondinformatie over de aanpassingen die zijn voorgesteld ten opzichte van een eerdere versie uit 1993.

De basisformulering voor golfoploop is vrij eenvoudig:

$$z_{2\%}/H_s = 1,6 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \xi_{op} \quad \text{met een maximum van } 3,2 \gamma_f \gamma_\beta$$

Hierin is $z_{2\%}$ de 2%-golfoploop, H_s de significante golfhoogte, γ_b , γ_f , en γ_β reductiefactoren voor een berm, ruwheid op het talud en scheve golfaanval, en tenslotte ξ_{op} de brekerparameter. De beschrijving van de reductiefactoren, en met name die voor de berm, is redelijk ingewikkeld. De brekerparameter wordt gegeven door:

$$\xi_{op} = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / (gT_p^2)}$$

De golfhoogte geldt ter plaatse van de teen van de constructie.

Voor een dubbeltoppig spectrum wordt een procedure gegeven om de golfoploop en golfoverslag te kunnen vaststellen. Beide pieken moeten worden onderkend, omdat bij het aannemen van maar één piek de oploop wordt onderschat (bij de kortste periode) en wordt overschat bij alleen de langste periode. Voor elke piek wordt afzonderlijk de piekperiode en de bijbehorende energie (= golfhoogte) bepaald. Met deze waarden wordt voor elke piek de golfoploop afzonderlijk berekend. Daarna worden de waarden samengevoegd met:

$$z_{2\%} = \sqrt[4]{z_{2\%}^4(1) + z_{2\%}^4(2)}$$

Hierbij staan (1) en (2) voor respectievelijk de eerste en de tweede piek.

Voor de golfoploop en golfoverslag op (zeer) ondiepe voorlanden wordt in Van der Meer, 1997-1, voorzichtigheidshalve de ontwikkelde formules voor golfoploop en overslag aangehouden zonder reductie. Een enkel onderzoek heeft echter aangetoond dat bij zeer zwaar breken en dus bij een grote afname van de golfhoogte, de relatieve golfoploop wel eens (aanzienlijk) lager kan zijn dan bij een diep voorland. Er zijn echter te weinig metingen om hier een gefundeerde afwijking te kunnen bepalen. Het werk is beschreven in Van der Meer, 1997-2, en zal verderop in dit verslag aan de orde komen.

3.2 Dubbeltoppige spectra

In de Westerschelde-monding komen bij zware stormen dubbeltoppige spectra voor, zie figuren 2.2 en 2.3. Figuur 2.2 geeft een duidelijk voorbeeld, in figuur 2.3 vallen de beide pieken bijna samen en zou van een "dikbuikig" spectrum gesproken kunnen worden. De spectra zijn bepaald voor dijkvakken 17 en 9 van dijkkringgebied 32. Als randvoorwaarden voor het toetsen/ontwerpen van de dijkbekledingen in de Westerschelde zijn de gegevens in tabel 2.1 bepaald (Andorka et al., 1997). Hierbij is bij een dubbeltoppig of dikbuikig spectrum steeds de langste periode aangehouden.

In het algemeen geldt dat een langere golfperiode vaak een hogere belasting geeft. In ieder geval is dit zo voor de golfloop en golfverslag. Daarom wordt hier nader ingegaan op het effect van dubbeltoppige spectra op golfloop (golfverslag geeft overeenkomstige effecten). Eenvoudigheidshalve wordt een geschematiseerde dijk met een talud 1:4 aangehouden. Het gaat alleen om het analyseren van de effecten van dubbeltoppige spectra en niet om de juiste oploophoogte bij specifieke dijkvakken.

Als voorbeeld wordt figuur 2.2 genomen. De lange piek komt vanuit de Noordzee, maar de bijbehorende golfhoogte is grotendeels gereduceerd door ondiepten in de monding van de Westerschelde. De korte piek ontstaat door lokaal opgewekte golven. De golfperioden zijn respectievelijk 7,19 s en 13 s. De totale golfhoogte is 3,21 m. Dit betekent dat $m_0 = (3,21/4)^2 = 0,644 \text{ m}^2$. Omdat de spectrale waarden niet bekend zijn wordt een afschatting gemaakt van het aandeel dat bij de afzonderlijke pieken hoort. De scheiding wordt gelegd op het minimum tussen de beide piekfrequenties. Globaal is het oppervlak bij de lange piek ongeveer 0,2 tot 0,25 maal m_0 . Dit betekent $m_0(1) = 0,129 \text{ m}^2$ tot $0,161 \text{ m}^2$. Arbitrair in dit voorbeeld wordt gekozen voor $m_0(1) = 0,15 \text{ m}^2$.

Dit geeft:

$$\begin{aligned} T_p(1) &= 13 \text{ s}; m_0(1) = 0,15 \text{ m}^2 \text{ en } H_{m0} = 1,55 \text{ m} \\ T_p(2) &= 7,19 \text{ s}; m_0(2) = 0,494 \text{ m}^2 \text{ en } H_{m0} = 2,81 \text{ m} \end{aligned}$$

Onder de aanname dat bovenstaande waarden voor de teen van de dijk gelden, wordt met de oploopformules het volgende gevonden:

$$\begin{aligned} \xi_{op}(1) &= 3,26; z_{2\%}(1) = 4,96 \text{ m} \\ \xi_{op}(2) &= 1,34; z_{2\%}(2) = 6,02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$z_{2\%} = \sqrt[4]{4,96^4 + 6,02^4} = 6,62 \text{ m}$$

Zou het spectrum als een enkeltoppig spectrum behandeld zijn, gekarakteriseerd met de kortste piekperiode, dan volgt $\xi_{op} = 1,25$ en $z_{2\%} = 6,42 \text{ m}$. Dit is heel dicht bij de berekende waarde voor het dubbeltoppige spectrum. Op zich is dit ook wel logisch, want er zit ongeveer viermaal zoveel energie bij deze kortste periode dan bij de langste periode. De laagfrequente component (de lange piek) zorgt voor een toename in de golfloop van ongeveer 3%.

In het bovenstaande voorbeeld zit eigenlijk maar weinig energie bij de lange piek. Als gevoeligheidsanalyse kan dit aandeel ook worden vergroot. Bijvoorbeeld door de twee perioden gelijk te houden en de verdeling van de energie over de perioden anders te nemen. Als eenderde van de energie bij de lange periode zit wordt de golfloop 6,99 m, dit is 9% hoger dan voor een enkeltoppig spectrum met de korte periode. Als de helft van de energie bij de lange periode zit wordt de golfloop 7,77 m. Dit is 21% hoger dan bij een enkelvoudig spectrum.



Zou een enkelvoudig spectrum met een piekperiode van 13 s aangehouden zijn (zoals in tabel 2.1 is gegeven) dan ontstaat $\xi_{op} = 2,27$ en $z_{2\%} = 11,66$ m! Dit is ruim 5 m hoger dan bij het samengestelde spectrum. Het aanhouden van de langste periode leidt tot een zeer grote overschatting van de golfoploop (en derhalve ook golfoverslag). Als bij de stabiliteit van steenzettingen de golfperiode ook een grote rol speelt, dan is eenzelfde conclusie voor steenzettingen geldig.

Het is daarom uiterst wenselijk dat bij dubbeltoppige en dikbuikige spectra beide golfperiodes en bijbehorende energie of golfhoogten worden gegeven, en niet alleen de langste periode.

Voor steenzettingen is, voor zover dat al niet bekend is, het aan te bevelen het effect van dubbeltoppige spectra op de stabiliteit te onderzoeken.

3.3 Ondiepe voorlanden in de Westerschelde

De uitgangssituatie voor de bepaling van ondiepe voorlanden in de Westerschelde wordt hier vastgelegd op de kruinhoogte-bepaling, dat wil zeggen onder maatgevend hoog water. Dit is een andere situatie dan bij de randvoorwaarden-bepaling voor de steenbekledingen, waar (veel) lagere waterstanden zijn aangehouden. De maatgevende hoogwaterstand voor kruinhoogte-bepaling is ongeveer 6 m + NAP. Bij de randvoorwaarden voor de steenbekledingen is ook gekeken naar waterstanden van 2 m en 4 m + NAP.

De golfhoogten op de Westerschelde voor de 1/4000 jaar conditie liggen globaal tussen de 2 en 3 m. Bij een waterstand van 6 m + NAP betekent dit dat voorlanden ondiep worden als deze hoger komen te liggen dan 2 m + NAP. Met behulp van de Topografische Atlas (Topografische Dienst, 1995) is nagegaan waar gebieden voor de dijk liggen die aan deze voorwaarde voldoen. Dit zijn, met de kilometeraanduiding:

Zuidgors	x = 46-48 km	y = 379 km
Zusterzand	x = 64-67 km	y = 380-381 km
Zimmermanweg	x = 70-71 km	y = 380 km
Selenapolder	x = 71-74 km	y = 372-374 km
Ten oosten van Paal	x = 66 - 67,5 km	y = 374,5-373 km
Baalhoek	x = 64,5-65,5 km	y = 375,5-375 km
Verdronken Zwarte Polder	x = 19-20 km	y = 379-380 km

In de studie naar de randvoorwaarden voor steenbekledingen is in detail naar 65 dijkvakken gekeken. Er zijn maar 4 dijkvakken die vallen binnen bovengenoemde opsomming. Als eerste is dit dijkvak 17, zie figuren 2.2 en 2.5, welke valt onder de Verdronken Zwarte Polder. De andere dijkvakken zijn:

Gebied 12, dijkvak 64 (Zusterland)

Gebied 11, dijkvak 79 (ten oosten van Paal)

Gebied 11, dijkvak 83 (Baalhoek)

De spectra en raaiplots voor deze dijkvakken zijn gegeven in figuren 3.1-3.6. Uit de figuren volgt inderdaad dat van een ondiep voorland sprake is en verder valt op dat de situaties redelijk overeen komen. In alle drie de situaties is de golfhoogte bij een waterstand van 6 m + NAP ongeveer 1,4 m en bij een 2 m lagere waterstand 0,7 m. Bij een nog 2 m lagere waterstand valt het gebied voor de dijk droog. Uit de figuren valt niet af te leiden wat de golfhoogte op dieper water is, want over het hele gegeven gebied met een lengte van ongeveer 500 m ligt dit lage voorland. De golfhoogte neemt



over dit gebied licht af, maar het kan best zijn dat de golfhoogte op dieper water hoger is en dat er veel breken optreedt bij het bereiken van het begin van het voorland. De factor $H_{s,t}/H_{s,d}$ is daarmee uit deze figuren niet af te leiden. De golfperiode is ongeveer 4,5 s en dit geeft met een golfhoogte van 1,4 m een golfsteilheid van 0,044, wat behoorlijk steil is. Dit is een aanwijzing dat op dieper water de golfhoogte niet extreem veel hoger is. De spectra-plots (figuren 3.2, 3.4 en 3.6) geven alledrie nog wel een redelijk gepiekt spectrum bij de hoogste waterstand. Dit is niet meer het geval bij een 2 m lagere waterstand.

Uit de figuren volgt dat zeker van ondiepe voorlanden sprake is maar dat bij de hoogste waterstand niet het effect van zwaar breken en "platgeslagen" spectra optreedt. Bij lagere waterstanden is dit wel zo.

3.4 Nadere uitwerking golfloop bij ondiepe voorlanden

In Van der Meer, 1997-2, paragraaf 4.2, is het modelonderzoek M 1084 beschreven met een analyse van de resultaten. Een deel van deze proeven is nogmaals weergegeven in figuren 3.7 en 3.8. Het betreft hier proeven met een 200 m lang, 1:40 voorland, zie ook figuur 3.8b. Er zijn vier proefseries uitgevoerd met verschillende waterdiepten bij de teen van het talud. De golfrandvoorwaarden zijn gegeven in tabel 2.

Serie	H_s (m)	T_p (s)	s_{op} (-)
1	4	8,5	0,036
2	3	8,5	0,027
3	4	11	0,021
4	5	11	0,027

Tabel 2 Golfrandvoorwaarden bij proeven M 1084

Proefseries 2 en 4 hebben dezelfde golfsteilheid. De resultaten van de golfoplooptmetingen zijn gegeven in figuur 3.7a, onderverdeeld naar waterdiepte, en in figuur 3.7b, onderverdeeld naar proefseries. De lijn in de figuren is de golfoplooptrelatie. De waarde die bij elke proef is weergegeven is de verhouding $H_{s,t}/H_{s,d}$, waarbij t staat voor de waarde bij de teen van het talud en d voor diep water. De verhouding geeft weer de afname van de golfhoogte ten opzichte van de golfhoogte op diep(er) water. Globaal volgen de punten met een verhouding hoger dan 0,5 de oplooptrelatie, terwijl lagere waarden een lagere golfloop laten zien. Vandaar dat zeer ondiep water gedefinieerd werd als een locatie waar de golven met meer dan 50% in hoogte waren afgenomen.

Figuur 3.7b geeft het verband als dezelfde conditie op diep water wordt opgewekt, maar de waterdiepte bij de teen steeds wordt verkleind. Doordat de golfhoogte afneemt, neemt de golfsteilheid ook af en neemt de brekerparameter toe. Van links naar rechts gekeken moet de *relatieve* golfloop dan toenemen (de *werkelijke* golfloop neemt af omdat de golfhoogte afneemt). Dit gebeurt ook tot een bepaalde grens. Dan wordt een maximum bereikt en daalt de golfloop. De proefseries met dezelfde golfperiode geven ongeveer hetzelfde verband. De series met de langste golfperiode buigen minder snel af dan de series met de kortere golfperiode.

De proefwaarden van $H_{s,t}/H_{s,d}$ waarbij het maximum in het oplooptverband wordt gevonden, zijn 0,65; 0,79; 0,67 en 0,55, zie figuur 3.7b. Proefserie 4 laat eigenlijk nog geen afbuiging zien, wel wordt een maximum bereikt. Als voor het bereiken van het maximum de verhouding $H_{s,t}/H_{s,d} = 0,7$ wordt aangehouden, dan geeft dit voor proefserie 1 met de grootste golfsteilheid het beeld als in figuur 3.8a. Daar zijn de proeven



met verschillende boventaluds gegeven. Over het algemeen geeft dit afbreekcriterium inderdaad een goed beeld van het maximum.

Bij het vaststellen van de ontwerpformules is gesteld dat er te weinig gegevens zijn om een maximum gefundeerd vast te stellen. Eén van de redenen was dat bij een golfhoogte-afname tot 11% de relatieve golfoploop weer dicht bij de oplooprelatie kwam (zie het meeste rechtse punt in figuur 3.7). Dit is echter ook het minst betrouwbare punt.

Vooruitlopend op mogelijk nader onderzoek kan echter wel een idee gegeven worden van wat een mogelijke reductie is. Voor de grootste golfsteilheid is dit het criterium $H_{s,t}/H_{s,d} = 0,7$. Voor proefserie 3 met de laagste golfsteilheid wordt voor het maximum de maximale waarde van $z_{2\%}/H_s = 3$ gevonden. Dit klopt ook met de metingen. Voor proefseries 2 en 4, met dezelfde golfsteilheid, wordt dezelfde maximale waarde voor $H_{s,t}/H_{s,d} = 0,7$ berekend ($z_{2\%}/H_s = 2,75$) en dit ligt precies tussen het maximum van de twee proefseries in. In principe zouden proefseries 2 en 4 hetzelfde verband moeten geven. Dit is duidelijk niet zo.

Proefserie 4 kan ook als een schaalproef van proefserie 2 worden gezien, want ze hebben dezelfde golfsteilheid. De schaal is de verhouding in golfhoogtes: $3/5 = 0,6$. Wat dan nog verschilt is dat het voorland ook met dezelfde schaal verkleind moet worden. In figuur 3.8b is het effect gegeven. Als proefserie 4 verkleind wordt tot dezelfde golfhoogte en periode als bij proefserie 2, dan is het voorland maar 120 m lang en is de waterdiepte voor het voorland ook kleiner. Een mogelijke conclusie is dan dat er ook nog effecten van voorlandlengte en waterdiepte meespelen. Het voorland is bij 8.5 s $1,77 L_{op}$ lang en voor 11 s is dit $1,07 L_{op}$. Kennelijk is een voorlandlengte van één golflengte nog niet genoeg om dezelfde condities bij de teen van het talud te geven.

Een voorlopige conclusie zou kunnen zijn dat bij golfsteilheden hoger dan $s_{op} = 0,03$ en bij voorlanden langer dan ongeveer $1,5 L_{op}$, de golfoploop beperkt is tot een maximum bij $H_{s,t}/H_{s,d} = 0,7$. Mogelijk is dit ook al zo bij een golfsteilheid die iets lager is, maar dan moet het voorland misschien nog iets langer zijn.

Als een maximum optreedt dat lager is dan $z_{2\%}/H_s = 3,2$ dan is het vrij eenvoudig dit in golfoverslagformules te verwerken. De waarde van het maximum gedeeld door 3,2 geeft dan een reductiefactor die net als de andere reductiefactoren behandeld kan worden.

3.5 Golfoploopmetingen bij Petten

Al enkele jaren worden golf- en golfoploopmetingen bij Petten uitgevoerd. De analyse van deze metingen is nog in volle gang. Deze metingen zijn ook interessant voor deze studie, omdat de Pettemer zeevering aan een ondiepe vooroever ligt. Een volledige bestudering van de resultaten was echter geen onderdeel van deze studie. In het kader van deze studie werden echter wel enkele (maar niet alle) rapporten verkregen. Dit zijn Andorka, 1996; De Boer, 1997 en De Jong, 1997. Deze beschrijven de uitwerking van golfmetingen en de verificatie van SWAN. Ook werd een gedeeltelijk concept verkregen van de verificatie van de golfoploopmetingen, maar dit is nog niet in een stadium dat het als referentie kan dienen.

De metingen zijn van belang voor de problematiek van ondiepe voorlanden en mogelijk verder onderzoek op dat gebied. Daarom wordt op basis van de verkregen rapporten een aantal opmerkingen gemaakt. Deze zijn onvolledig en soms, door

gebrek aan informatie, misschien niet terecht. De opmerkingen worden daarom onder voorbehoud gemaakt.

Omtrent de manier van golfloop meten, het vaststellen van de golfploophoogte en de uitwerking van de metingen was geen informatie beschikbaar. Er is veel werk gedaan aan golfloop in laboratoriumomstandigheden. Dit heeft ook betrekking op de manier van uitwerking. Voor een goede verificatie van metingen aan mogelijke berekeningen, is het essentieel dat van dezelfde meet- en uitwerkingsmethoden wordt uitgegaan. Een evaluatie zou hier op zijn plaats kunnen zijn.

De golfmetingen zijn niet alleen spectraal uitgewerkt, maar ook in het tijdsdomein. Deze gegevens waren echter tijdens de studie niet beschikbaar. Juist voor de golfoploopmetingen, maar ook voor de beschrijving van golven op ondiep water, is het van belang de uitwerking in het tijdsdomein eveneens uit te voeren. Bijvoorbeeld de golfhoogte-overschrijdingskrommen, de $H_{1/3}$ en de T_g . Deze kunnen dan worden vergeleken met de spectrale waarden.

Voor de verificatie van de golfoploopmetingen wordt nu een vrij ingewikkelde procedure gevolgd met toepassen van SWAN in steeds kleiner wordende rekengebieden met steeds kleinere grids. Daarnaast worden een programma als ODIFLOCS gebruikt om de golfloop te berekenen. Wat nog ontbreekt is een eerste globale verificatie zoals die ook bijvoorbeeld bij een toetsing zou worden gebruikt. Er is niet al te veel verschil in golfhoogten, golfperioden en maximale waterstanden bij de gemeten stormen. In alle gevallen neemt de golfhoogte af na de eerste bank op 2,5 km tot ongeveer 3,5 m, en nog eens na de tweede bank op 500 m voor de dijk tot iets minder dan 3 m. Het laatste stuk naar de kust toe is vrij diep totdat het stuk voorland wordt bereikt dat naar de teen van de dijk loopt. Dit stuk voorland is 1:25 vanaf 8,5 m – NAP tot 2,2 – NAP. Daarna is er een 60 m lang stuk 1:60 tot aan de teen van de dijk. Op het diepere stuk vóór het 1:25 voorland ligt een meetpunt (MP5). Dit punt geeft een redelijk normaal spectrum dat nog niet volledig is “platgeslagen”. Een eenvoudige verificatie is de gemeten randvoorwaarden op dat punt te nemen, het voorland 1:25 en 1:60 te nemen en met bijvoorbeeld ENDEC (of later SWAN-1D) de golfhoogte bij te teen te berekenen. Daarna kunnen direct de golfloopformules worden gebruikt.

Bovenstaande opmerkingen leiden tot een aanbeveling. Er zijn verschillende waterstaatsonderdelen die in het project samenwerken en die ieder een deel van de metingen of uitwerking doen. De kennis met betrekking tot meten en uitwerken van golfloop is in het project ontwikkeld en er is niet of nauwelijks een relatie gelegd met werk dat in laboratoria is gedaan. Het is mogelijk dat daardoor verschillen tussen metingen en latere berekeningen ontstaan, met ook mogelijk gevolgen voor te trekken conclusies (een gerapporteerde conclusie is nu al dat de gemeten golfloop veel hoger is dan de berekende en dat de zeewering te laag is). Aanbevolen wordt een evaluatie of audit uit te (laten) voeren op het geheel van metingen, uitwerkingen en verificatie.

3.6 Modelonderzoek

Op de discussiedag omtrent ondiepe voorlanden zijn prioriteiten gesteld en onderzoeksgebieden aangegeven, zie Tönjes en Janssen, 1996. Dit betrof zowel onderzoek naar theoretische en numeriek modelvorming van golven op ondiep water als modelonderzoek naar de ontwikkeling van golven over een ondiep voorland en de effecten daarvan op de constructie.



Binnen de TAW zijn in 1995 al projectplannen ontwikkeld voor kleinschalig modelonderzoek. Deze plannen hebben, mede door gebrek aan capaciteit bij de DWW, geen doorgang gevonden. Dit betekent ook dat we eind 1997 nog niet veel verder zijn dan eind 1995.

Met het Deltagootonderzoek dat momenteel plaatsvindt is ruimte gereserveerd voor het effect van ondiepe voorlanden (Den Heijer, 1997). Dit betreft zowel enkele proeven in de Deltagoot als een uitgebreidere proevenserie in de kleinschalige Scheldegoot van WL. Een voorlopig proevenprogramma is gegeven, maar de definitieve invulling vindt momenteel plaats. Enkele conclusies uit de onderhavige evaluatie kunnen mogelijk worden meegenomen in het onderzoek. Dit zijn met name:

- De voorlandlengte lijkt van invloed te zijn op de golfoploop. Het verdient daarom aanbeveling voorlandlengtes tussen ongeveer $1 L_{op}$ en $3 L_{op}$ te onderzoeken en na te gaan tot waar de voorlandlengte invloed heeft.
- De golfsteilheden die momenteel in het voorlopige programma zijn vastgesteld, zijn vrij hoog. Het komt vrij vaak voor (bijvoorbeeld bij Petten) dat de golven wel over een lang traject in hoogte afnemen met vrijwel gelijkblijvende piekperiode, maar dat het echte ondiepe voorland dan nog komt. In zo'n geval is er vóór het ondiepe voorland een normaal spectrum, maar met een lage golfsteilheid. Golfsteilheden van $s_{op} = 0,01-0,02$ kunnen dan gemakkelijk ontstaan. Het verdient aanbeveling ook aandacht te besteden aan golfsteilheden in dit gebied.
- Voor golfoploop en golfoverslag is een procedure ontwikkeld om dubbeltoppige spectra mee te nemen. Deze is maar op enkele proeven gebaseerd en voldoende verificatiemetingen ontbreken. Proeven op dit gebied zijn zeer aan te bevelen.
- Voor stabiliteit van steenzettingen bestaat geen procedure voor dubbeltoppige spectra. Mogelijk dat het onderzoek een eerste idee kan geven. De uitwerking valt in het kader van de feitelijke proeven en niet onder deze studie.

Daarnaast wordt uitdrukkelijk aanbevolen een hoge prioriteit te geven aan verder (model)onderzoek op het gebied van ondiepe voorlanden. De reeds ontwikkelde TAW-plannen kunnen hierbij als basis dienen.



Conclusies, aanbevelingen en plan van aanpak

In hoofdstuk 2 zijn de hydraulische randvoorwaarden geëvalueerd en in hoofdstuk 3 effecten met betrekking tot golfoploop en golfoverslag. Een aantal aanbevelingen en conclusies is gegeven. Deze worden hier samengevat weergegeven, waarna tot slot aandacht wordt besteed aan een mogelijk plan van aanpak met betrekking tot ontwerp-relaties voor golfoploop en golfoverslag bij afwijkende spectra, toegespitst op de Westerschelde.

Voor de studie zijn de hydraulische randvoorwaarden op de Westerschelde en de bijbehorende aanpak voor berekening van golfoploop en golfoverslag het meest relevant. In de studie is vooraf echter aandacht besteed aan de hydraulische randvoorwaarden langs de Nederlandse kust en daarom worden conclusies en aanbevelingen op dit gebied ook gegeven.

Hydraulische randvoorwaarden langs de Nederlandse kust

- Het wordt aanbevolen intensief overleg te voeren tussen RIKZ, RIZA en de TAW waarbij een uniforme aanpak voor de methodiek wordt vastgesteld met betrekking tot het toeleveren van randvoorwaarden. Deze methodiek moet passen binnen de Marsroute (TAW E) en moet afgestemd zijn op de faalmechanismen (TAW A-C). De TAW zou nadrukkelijk een grotere rol in deze kunnen spelen dan tot nu toe.
- Het volgende Randvoorwaardenboek moet geen grote trendbreuken vertonen met het huidige. Vastgesteld moet worden of de overgang naar een volledige probabilistische toetsmethodiek met meerdimensionale statistiek al verantwoord kan worden gemaakt of dat mogelijk toch een deterministische toetsing nodig is.
- De piekperiode op relatief diep water neemt van noord naar zuid langs de Nederlandse kust af. Dit is geconcludeerd op basis van statistische verwerking van vijftien jaar meetgegevens. Het verdient aanbeveling deze afname ook te simuleren met een geavanceerd model als bijvoorbeeld SWAN en daarna uitspraken te doen omtrent golfperioden ten zuiden van Hoek van Holland. Daarbij kunnen zuidelijk gelegen meetstations ook worden meegenomen.

Hydraulische randvoorwaarden Westerschelde

- De berekeningen door RIKZ zijn alleen gemaakt om dijkbekledingen te toetsen en eventueel te ontwerpen. Voor een dijkhoogteberekening zou het juiste toetspeil aangenomen moeten zijn. De randvoorwaarden kunnen alleen voor dijkhoogteberekeningen worden gebruikt als tussen de drie waterstanden wordt geïnterpoleerd. In feite zou naast een golvenmodel ook een stromingsmodel gebruikt kunnen worden dat in ontwerp- of toetssituaties de waterstand overal langs de dijken berekend. Dit is een procedure die momenteel voor het IJsselmeer is toegepast.
- Bij meetstation EUR is een iets te lange piekperiode opgelegd. Dit heeft alleen een klein effect op de golfperiode bij dijkgebieden 1 en 2 in de westelijke monding.
- De gegeven golfperioden in tabel 2.1 zijn 1 s te lang.
- Dubbeltoppige en dikbuikige spectra komen voor in de westelijke monding. Het verdient aanbeveling hier beide piekperioden te geven met de bijbehorende energie of golfhoogte.



- Er zijn weinig "zeer ondiepe" voorlanden in de Westerschelde, bij de hoogwaterstanden voor een dijkhoogteberekening. Dit betekent dat in principe de golfploop- en golfoverslagformules veelal normaal toepasbaar zijn. Voor dijkbekledingen wordt ook met lagere waterstanden gerekend en dan komen wel degelijk ondiepe voorlanden voor.
- De golfrandvoorwaarden zijn op 40-60 m uit de teen van de dijk gegeven. In gevallen met een ondiep voorland op dit gedeelte kan het zinvol zijn de golfhoogte bij de teen vast te stellen. Mogelijke modellen hiervoor zijn ENDEC, ODIFLOCS en het in ontwikkeling zijnde SWAN-1D. Bij het mogelijk moeten aanpassen van een dijk is het in ieder geval aan te bevelen het voorland goed op te meten.

Golfploop en golfoverslag

- Er bestaat een procedure om de invloed van dubbeltoppige en, op dezelfde manier, dikbuikige spectra op golfploop en golfoverslag in rekening te brengen. Deze kan worden toegepast voor de monding van de Westerschelde. De procedure is wel ontwikkeld op basis van weinig metingen en een mogelijke goede verificatie in het lopende Scheldegootonderzoek is zeer zinvol.
- Er komen met maatgevende hoogwaterstanden in de Westerschelde niet veel ondiepe voorlanden voor. De problematiek van de ondiepe voorlanden (met betrekking tot dijkhoogte-bepaling) is wel aanwezig, maar dus beperkt. Het is mogelijk dat de problematiek wel breder speelt in de rest van Nederland.
- In de nieuwste golfploop- en golfoverslagformules wordt veiligheidshalve geen reductie in rekening gebracht bij ondiepe voorlanden. Toch geeft modelonderzoek wel aan dat soms reductie kan optreden. Een eerste voorstel voor reductie is dat bij een voldoende lang voorland (vooralsnog minstens 1,5 tot 2 maal de golflengte L_{op}) de relatieve golfploop beperkt is tot de waarde die gevonden wordt als 0,7 maal de golfhoogte op diep water wordt ingevuld. Dit mag alleen als de golfsteilheid niet te laag is. Een ondergrens is ongeveer $s_{op} = 0,03$.
- De golf- en golfploopmetingen bij de Pettemer zeekering zijn interessant met betrekking tot de ondiep water problematiek. Momenteel wordt zowel de uitvoering als analyse in Waterstaatskader uitgevoerd, terwijl golfploopmetingen en ontwikkeling van relaties door WL zijn uitgevoerd. Het is mogelijk dat er verschillen ontstaan tussen metingen en latere berekeningen die gevolgen kunnen hebben voor te trekken conclusies. Het wordt daarom aanbevolen een evaluatie of audit te (laten) uitvoeren op het geheel van metingen, uitwerkingen en verificatie.

Plan van aanpak

Het plan van aanpak heeft betrekking op golfploop en golfoverslag en dan met name de problematiek met betrekking tot dubbeltoppige en dikbuikige spectra en de "platgeslagen" spectra bij zeer ondiepe voorlanden. De hydraulische randvoorwaarden, zoals in hoofdstuk 2 beschreven, en de conclusies en aanbevelingen daaromtrent, zoals bovenstaand samengevat, zijn geen onderdeel van dit plan van aanpak.

Er zijn drie vervolgstapen te onderscheiden, waarbij twee op korte termijn opgepakt kunnen of gaan worden en waarbij de laatste op langere termijn speelt.

Evaluatie van de golf- en ooplopmetingen bij Petten

Aangezien nog niet alle werk ten aanzien van analyse van de Petten-metingen is voltooid en er nog geen definitieve conclusies zijn, is het op korte termijn uitvoeren van een evaluatie aan te bevelen. De evaluatie kan uit de volgende onderdelen bestaan:

- Inventarisatie van documenten (de olopmeter, calibratie, uitwerking in tijds- en frequentiedomein, alle golvenmetingen, metingen kust).
- Bestuderen van deze documenten en overleg plegen met RIKZ, DWW en de Directie Noord-Holland.
- Het samenvatten van de procedures ten aanzien van het uitwerken van golven en olopmetingen in laboratorium-omstandigheden.
- Het vergelijken van de procedures in laboratorium en prototype meetomstandigheden.
- Conclusies en aanbevelingen geven omtrent de gevolgde procedure van meten en uitwerken van de prototype metingen in relatie tot laboratoriumwerk waarin oloprelaties zijn vastgesteld.
- Aanbevelingen geven voor het mogelijk verder uitwerken van de metingen.

Termijn en kosten liggen in dezelfde orde van grootte als de onderhavige studie.

Scheldegootonderzoek in het kader van het grotere Deltagootonderzoek

Het Scheldegootonderzoek is in voorbereiding en het proevenprogramma wordt momenteel vastgesteld. Dit betekent dat het meenemen van onderstaande aanbevelingen alleen op korte termijn kan.

- De voorlandlengte lijkt van invloed te zijn op de golfloop. Het verdient daarom aanbeveling voorlandlengtes tussen ongeveer $1 L_{op}$ en $3 L_{op}$ te onderzoeken en na te gaan tot waar de voorlandlengte invloed heeft.
- De golfsteilheden die momenteel in het voorlopige programma zijn vastgesteld, zijn vrij hoog. Het komt vrij vaak voor (bijvoorbeeld bij Petten) dat de golven wel over een lang traject in hoogte afnemen met vrijwel gelijkblijvende piekperiode, maar dat het echte ondiepe voorland dan nog komt. In zo'n geval is er vóór het ondiepe voorland een normaal spectrum, maar met een lage golfsteilheid. Golfsteilheden van $s_{op} = 0,01-0,02$ kunnen dan gemakkelijk ontstaan. Het verdient aanbeveling ook aandacht te besteden aan golfsteilheden in dit gebied.
- Voor golfloop en golfoverslag is een procedure ontwikkeld om dubbeltoppige spectra mee te nemen. Deze is maar op enkele proeven gebaseerd en voldoende verificatiemetingen ontbreken. Proeven op dit gebied zijn zeer aan te bevelen. Het aandeel van de energie die bij de lange piek hoort moet worden gevarieerd tussen de twee uitersten (0% = alleen korte piek en 100% is alleen lange piek). De proeven kunnen zowel met als zonder voorland worden uitgevoerd.

Toegepast modelonderzoek in TAW-verband

Een eerste voorstel voor toegepast modelonderzoek naar de ondiep water problematiek, inclusief dubbeltoppige spectra is twee jaar geleden al geschreven als TAW-A1-projectplan. Het verdient ten eerste aanbeveling de algemene problematiek verder te onderzoeken. Op basis van de resultaten van het Scheldegootonderzoek kan dit plan worden aangepast en eventueel uitgebreid. Het huidige plan is in tweeën gesplitst met een deel gericht op golfontwikkeling op een ondiep voorland en een deel gericht op de effecten zoals golfloop en golfoverslag. In het plan worden verschillende voorlanden voor onderzoek voorgesteld:

- Een recht voorland 1:100
- Een recht voorland 1:200 of flauwer
- Bovengenoemd voorland met een geschematiseerde zandbank met een voorhelling van 1:20 en een lijzijde van 1:10 op relatief diep water
- Een voorland met een helling van 1:20 die overgaat in een horizontaal voorland



Voorgestelde taluds zijn 1:2 en 1:4. In het Scheldegootonderzoek in het kader van de Westerschelde wordt een 1:100 voorland onderzocht. Op basis van de resultaten kan het TAW-projectplan worden aangepast.



Referenties

- Andorka Gal, J.H., 1996. Verification set Petten. Rapport RIKZ/OS – 96.137x.
- Andorka Gal, J.H., J.C.M. de Jong, A.T. Kamsteeg en J.G. de Ronde, 1997. Golftrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid. Conceptrapport RIKZ-97.046 (15 september).
- Andorka Gal, J.H. en P. Roelse, 1997. Westerschelde golfmodellering en golftrandvoorwaarden voor de dijkvakken Borsele polder, Wilhelmus-/Kruispolder, Kleine Huissens-/Eendrachtspolder, Hans van Kruiningen polder. Rapport RIKZ.
- De Boer, C.J.H., 1997. Calibration of the numerical wave model SWAN along the Petten transect. Rapport RIKZ en de Technische Universiteit Delft.
- Den Heijer, F., 1997. Projectplan Grootschalig modelonderzoek taludbekledingen. Waterloopkundig Laboratorium, H 3189.
- De Jong, J.C.M., 1997. Verificatioin of the numerical wave model SWAN in the Petten coastal area. Rapport van RIKZ en de Technische Universiteit Delft.
- De Ronde, J.G., J.G.A. van Marle, A.P. Roskam en J.H. Andorka Gal, 1995. Golftrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief ondiep water. Rapport RIKZ-95.024.
- De Valk, C.F., 1997. Transformation of multivariat extreme value statistics from deep water toward the shore and calculation of failure frequencies for Pettemer Zeewering and Friesche Zeegat. Rapport ARGOSS A26.
- Dillingh, D., L. de Haan, R. Helmers, G.P. Können en J. van Malde, 1993. De basispeilen langs de Nederlandse kust. Statistisch onderzoek. Rapport DGW-93.023.
- Phillipart, M.E., S.T. Twa en J.G. de Ronde, 1993. De basispeilen langs de Nederlandse kust. Fysisch onderzoek. Rapport DGW-93.025.
- Phillipart, M.E., D. Dilling en S.T. Twa, 1995. De basispeilen langs de Nederlandse kust. De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen. Rapport RIKZ-95.008.
- Roskam, A.P. en J. Hoekema, 1996. Randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust. Rapport RIZK-96.019.
- Rijkswaterstaat, 1996. Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.
- RIKZ, (1996). Verloop van golfhoogten en golfperioden in de Westerschelde tijdens enkele stormperioden in 1990-1992.
- RIKZ, (1997). Projectplan HYDRA.
- TAW, 1989. Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 – benedenrivierengebied. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Tönjes, P. en J.P.F.M. Janssen, 1996. Verslag bijeenkomst “Ondiepe voorlanden” op 14 november 1996. Topografische Dienst, 1995. Grote provincie atlas; Zeeland. Wolters-Noordhoff Atlasproducties.
- Van der Meer, J.W., 1996. Het effect van (zeer) ondiepe voorlanden op waterkeringen. Notitie ter voorbereiding op de discussiebijeenkomst “Ondiepe voorlanden”.
- Van der Meer, J.W., 1997-1. Golfoploop en golfoverslag bij dijken. Waterloopkundig Laboratorium, verslag H2458/H3051.
- Van der Meer, J.W., 1997-2. Golfoploop en golfoverslag bij dijken. Projectverslag: achtergronden bij aanpassing van notitie “Golfoploop en golfoverslag bij dijken” H 638, april 1993. Waterloopkundig Laboratorium, verslag H2458/H3051.
- Van Gent, M.R.A., 1996-1. Golfontwikkeling bij ondiepe voorlanden. Waterloopkundig Laboratorium. Projectplan voor onderzoek binnen TAW-A.
- Van Gent, M.R.A., 1996-2. Golfoploop bij ondiepe voorlanden. Waterloopkundig Laboratorium. Projectplan voor onderzoek binnen TAW-A.
- Van Marle, J.G.A., 1997. Meerdimensionale offshore statistiek voor het berekenen van hydraulische belastingen op zeedijken en duinen. Hydraulische randvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water (N.A.P. –20 meter lijn). Conceptrapport RIKZ.
- Van Urk, 1993. De basispeilen langs de Nederlandse kust. Eindverslag. Rapport DGW-93.026.
- Van Vledder, G.Ph. en G.K.F.M. van Banning, 1997. Golfberekeningen Westerschelde. Rapport Alkyon A174.



Lijst van symbolen

g	Zwaartekrachtversnelling
H_{m0}	Significante golfhoogte bepaald uit het spectrum
H_s	Significante golfhoogte, H_{m0} of $H_{1/3}$
$H_{1/3}$	Significante golfhoogte, gemiddelde van hoogste eenderde deel van de golven
$H_{m0}(1)$	Golfhoogte behorende bij de eerste piek van een dubbeltoppig spectrum
$H_{m0}(2)$	Golfhoogte behorende bij de tweede piek van een dubbeltoppig spectrum
$H_{s,d}$	Golfhoogte op diep(er) water
$H_{s,t}$	Golfhoogte ter plaatse van de teen van de constructie
m_0	Nulde moment van het spectrum
$m_0(1)$	Nulde moment van het eerste deel van een dubbeltoppig spectrum
$m_0(2)$	Nulde moment van het tweede deel van een dubbeltoppig spectrum
s_{op}	Golfsteilheid berekend met de piekperiode
T_g	Gemiddelde golfperiode
T_p	Piekperiode
$T_p(1)$	Piekperiode van de eerste piek van een dubbeltoppig spectrum
$T_p(2)$	Piekperiode van de tweede piek van een dubbeltoppig spectrum
x	Coördinaat in x-richting
y	Coördinaat in y-richting
$z_{2\%}$	2%-golfoploopwaarde
$z_{2\%}(1)$	2%-golfoploopwaarde behorende bij de eerste piek van een dubbeltoppig spectrum
$z_{2\%}(2)$	2%-golfoploopwaarde behorende bij de tweede piek van een dubbeltoppig spectrum
α	Hoek van het talud
γ_b	Reductiefactor bij golfoploop voor een berm
γ_f	Reductiefactor bij golfoploop voor ruwheid op het talud
γ_β	Reductiefactor bij golfoploop voor scheve golfaanval
ξ_{op}	Brekerparameter berekend met T_p
$\xi_{op}(1)$	Brekerparameter berekend met $T_p(1)$
$\xi_{op}(2)$	Brekerparameter berekend met $T_p(2)$



Lijst van tabellen

- 1 Verwachtingswaarden van H_{m0} en T_p voor vijf meetstations langs de Nederlandse kust
- 2 Golfrandvoorwaarden bij proeven M 1084
- 2.1 Golfrandvoorwaarden voor de Westerschelde – dijkbekledingen (Andorka et al., 1997)



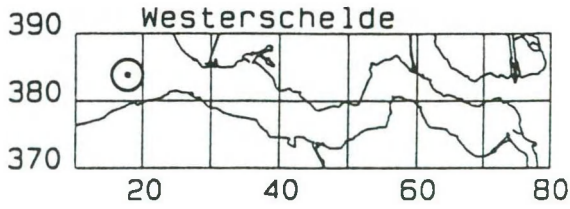
Lijst van figuren

- 2.1 Situatieschets en bodemligging station WIEL. Lokatie $x = 17667.0$ (m).
 $y = 383867.0$ (m). Spectra voor situatie zonder en met stroom.
- 2.2 Situatieschets en bodemligging dijkvak 17. Dijkkringgebied 32 Zeeuws
Vlaanderen. Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP.
- 2.3 Situatieschets en bodemligging dijkvak 9. Dijkkringgebied 32 Zeeuws Vlaanderen.
Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP.
- 2.4 Situatieschets en bodemligging station D. Lokatie $x = 31000.0$ (m).
 $y = 383750.0$ (m). Spectra voor situatie zonder en met stroom.
- 2.5 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 17. Golfrandvoorwaarden voor
dijkvak 17. Windrichting 360° .
- 2.6 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 9. Golfrandvoorwaarden voor
dijkvak 9. Windrichting 330° .
- 2.7 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 112. Effect stroom op golven voor
dijkvak 112. Dijkkringgebied 32: Zeeuws Vlaanderen.

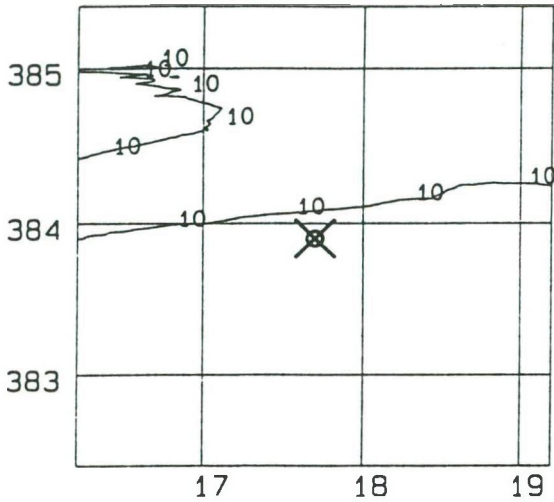
- 3.1 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 64. Golfrandvoorwaarden voor
dijkvak 64. Windrichting 360° .
- 3.2 Situatieschets en bodemligging dijkvak 64. Dijkkringgebied 31. Zuid-Beveland.
Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP
- 3.3 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 79. Golfrandvoorwaarden voor
dijkvak 79. Windrichting 360° .
- 3.4 Situatieschets en bodemligging dijkvak 79. Dijkkringgebied 32. Zeeuws
Vlaanderen. Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP.
- 3.5 Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 83. Golfrandvoorwaarden voor
dijkvak 79. Windrichting 360° .
- 3.6 Situatieschets en bodemligging dijkvak 83. Dijkkringgebied 32. Zeeuws
Vlaanderen. Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP.
- 3.7 Proeven 1-18 van M 1084. Voorland 1:40, 200 m lang met een 1:4 boventalud.
- 3.8 Proeven 19-24 van M 1084. Voorland 1:40 met diverse taluds.



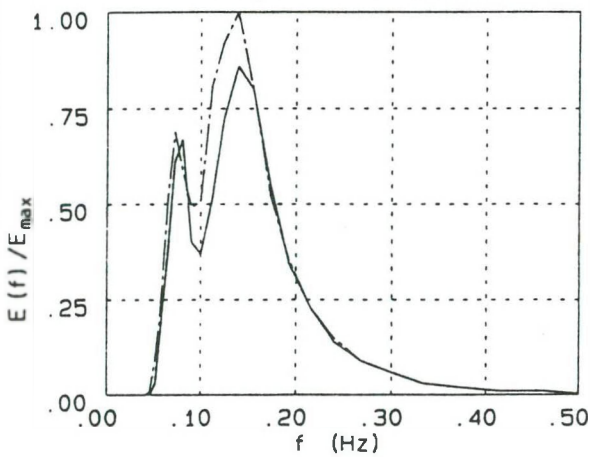
gebied	vak	grens aan	Polder naam	Hs	Hs	Hs	TP	TP	TP	Golf dir.	Rvwb	Rvwb	bepaald uit raaiplot:	real strooms	wind richting	periode	Hs_oud	Hs_oud	Hs_oud	TP_oud	TP_oud	TP_oud	Golf dir.	Waterdiepte	Waterdiepte	Waterdiepte	
				wf+2m	wf+4m	wf+6m	wf+2m	wf+4m	wf+6m		Hs	T			num	bepaald uit	wf+2m	wf+4m	wf+6m	wf+2m	wf+4m	wf+6m		wf+2m	wf+4m	wf+6m	
1	8	7	Jong-Breskenspolder	2	3	3,8	12,2	12,2	12,2	340	4,83	8	v008d211	440	330	w008d211								3,88	5,88	7,88	
	8	9	Jong-Breskenspolder	2,9	3,5	4,2	12,2	12,2	12,2	330			b008d211	440	330	w008d211								5,85	7,85	9,85	
	9	8	Oud en Jong-Breskenspolder	2,9	3,5	4,2	12,2	12,2	12,2	310			b008d211	440	330	w008d211								5,85	7,85	9,85	
	9	10	Oud en Jong-Breskenspolder	1,6	2,7	3,6	12,2	12,2	12,2	310			v010d211	500	330	w009d211								2,65	4,65	6,65	
	10		Kleine Polder	1,6	2,7	3,6	12,2	12,2	12,2	340			v010d211	500	330	w009d211								2,65	4,65	6,65	
	11		Clethempolder	1,4	2,4	3,3	12,2	12,2	12,2	340			v011d211	520	330	w011d211								2,28	4,28	6,28	
	12		s-Gravenpolder	0,9	2	3	12,2	12,2	12,2	350			v012d211	440	330	w012d211								1,51	3,51	5,51	
	13		Baanstpolder	0,9	2	3	12,2	12,2	12,2	350			a013d211	400	330	w013d211								1,50	3,50	5,50	
	2	17	16	Herdijkte Zwartepolder (oostelijke zeedijk)	0,8	1,8	2,8	13	13	13	?			v017d212	500	360	w017d212								1,05	3,05	5,05
		17		Herdijkte Zwartepolder (oostelijke zeedijk)	<=0,6	<=1,4	<=2,4	13	13	13	360			a017d212	500	360	w017d212								1,00	3,00	5,00
		17	18	Herdijkte Zwartepolder (oostelijke zeedijk)	0,9	2	3,1	13	13	13	?			v018d212	440	360	w018d212								1,40	3,40	5,4
		18		Herdijkte Zwartepolder (noordelijke zeedijk)	0,9	2	3,1	13	13	13	350			v018d212	440	360	w018d212										
	3a	138		Hans v. Kruijningpolder	1,6	1,8	2,1	6,8	7,5	8,2	20	2,5		copy v 139				1,4	1,7	2	5	5,5	6	20			
3	139	138	Elisabethpolder	1,6	1,8	2,1	6,8	7,5	8,2	20	2,5		v139d211	400	330	w139d211								3,71	5,71	7,71	
	139	140	Elisabethpolder	1,6	1,9	2,4	6,8	7,5	8,2	20	2,5		b139d211	420	330	w139d211								3,57	5,57	7,57	
4	128		Paulinapolder	0,6	1,4	1,9	5,2	5,7	6,8	360	1,8	5,2	v128d210	440	315	w128d210								1,09	3,09	5,09	
	129		Paulinapolder	0,4	1,2	1,7	5,2	5,7	6,8	20	1,8	5,2	a128d210	420	315	w129d210								0,31	2,31	4,31	
	130		Thomaspolder	0,7	1,3	1,7	5,2	6,8	6,8	10	1,85	5	v131d210	440	315	w130d210								1,67	3,67	5,67	
	131		Thomaspolder	0,7	1,3	1,7	5,2	6,8	6,8	10	1,85	5	v131d210	440	315	w131d210								1,67	3,67	5,67	
	132	131	Hoofdplaatpolder	1	1,4	1,8	5,2	6,2	6,8	10	1,8		a132d210	520	315	w132d210								5,12	7,12	9,12	
	132	133	Hoofdplaatpolder	1,1	1,6	2,1	5,2	6,2	6,8	10	1,8		a132d210	520	315	w133d211								4,91	6,91	8,91	
	133	132	Hoofdplaatpolder	1,1	1,6	2,1	5,2	5,7	6,8	360	2,5		v134d211	420	330	w133d211								4,91	6,91	8,91	
	133	134	Hoofdplaatpolder	1	1,6	2,1	5,2	5,7	6,8	360	2,5		v135d211	480	330	w134d211											
	134		Hoofdplaatpolder	1,1	1,5	1,9	5,2	5,7	6,8	360	2,27	9	v135d211	480	330	w135d211											
	135		Hoofdplaatpolder	1,1	1,5	1,9	5,2	5,7	6,2	10	1,64	9	v135d211	480	330	w136d211											
	136		Hoofdplaatpolder	1,1	1,5	1,9	5,2	5,7	6,2	10	1,75	9	v136d211	420	330	w137d211											
	137	136	Hoofdplaatpolder	1	1,4	1,6	5,2	5,7	6,2	10	1,75		v137d211	420	330	w137d211											
	137	136	Hoofdplaatpolder	1,3	1,7	2,2	6,8	7,5	7,5	10	1,75		v137d211	340	330	w137d211											
	5	120	119	Nieuw Neuzenpolder	1,6	1,9	2,3	5,7	6,2	6,8	360	2,7		a120d211	460	330	w120d211								3,72	5,72	7,72
		120	121	Nieuw Neuzenpolder	1,4	1,9	2,2	5,7	6,2	6,8	360	2,7		v120d211	480	330	w120d211								3,44	5,44	7,44
		121	120	Nieuw Neuzenpolder	1,4	1,9	2,2	5,7	6,2	6,8	360	2,2		v120d211	480	330	w120d211								3,44	5,44	7,44
121		122	Nieuw Neuzenpolder	1,9	2,2	2,5	6,2	6,2	6,8	360	2,2		a122d211	420	330	w122d211								21,00	23,0	25,00	
122			Nieuw Neuzenpolder	1,9	2,2	2,5	6,2	6,2	6,8	360	2,55	5,3	a122d211	420	330	w122d211								21,00	23,0	25,00	
123			Nieuw Neuzenpolder	2	2,4	2,8	6,2	6,2	6,8	360	2,4	5,3	v123d211	420	330	w123d211								5,23	7,23	9,23	
124			Nieuw Neuzenpolder	2	2,4	2,7	6,2	6,2	6,8	300	2,4	5,3	a124d211	440	330	w124d211								6,10	8,10	10,10	
125		124	Nieuw Neuzenpolder	2	2,4	2,6	6,2	6,2	6,8	300	2,4	5,3	v124d211	440	330	w124d211								16,64	18,64	20,64	
125		126	Nieuw Neuzenpolder	1,7	2	2,3	6,2	6,2	6,8	300	2,4	5,3	v125d211	480	330	w125d211								17,00	19,00	21,00	
126			Braakmanpolder	1,7	1,9	2,2	5,7	6,2	6,8	350	2,1	5,3	a125d211	420	330	w125d211								17,00	18,00	21,00	
6		109	106	Magarethapolder	1,6	2,1	2,5	5,7	6,2	6,8	350	3,3		v109d210	440	315	w109d210								3,28	5,28	7,28
		109	110	Magarethapolder	2	2,3	2,5	5,7	6,2	6,8	350	3,3		b109d210	420	315	w109d210								6,78	8,78	10,78
	110		Magarethapolder	2,1	2,4	2,7	5,7	6,2	6,8	350	3,8		v110d210	420	315	w110d210								10,65	12,65	14,65	
	111	110	Magarethapolder	2,1	2,4	2,7	5,7	6,2	6,8	340	3,5		v110d210	420	315	w111d210								10,65	12,65	14,65	
	111		Magarethapolder	1,6	2,1	2,5	5,7	6,2	6,8	340	3,5		v111d210	440	315	w111d210								3,50	5,50	7,50	
	111	112	Magarethapolder	1,6	2,1	2,5	5,7	6,2	6,8	340	3,5		v111d210	440	315	w111d210								3,50	5,50	7,50	
	112		Magarethapolder	0,8	1,7	2,4	5,7	6,8	6,8	340	3,3		v112d210	480	315	w112d210								1,29	3,29	5,29	
	112		Magarethapolder	0,8	1,7	2,4	5,7	6,8	6,8	340	3,3		v112d210	480	315	w112d210								1,29	3,29	5,29	
	113		Nieuw Othenepolder	1,3	1,8	2,3	5,7	6,2	6,8	360	2,65	5,4	v113d210	480	315	w113d210								3,33	5,33	7,33	
	7	102		Eendragt	1,1	1,8	2,2	6,2	6,8	6,8	350	1,82	4,6	b102d209	440	290	w102d209								2,70	4,70	6,70
103			Eendragt	1,3	1,9	2,2	6,2	6,8	6,8	350	3,01	5,9	v103d209	400	290	w103d209								3,03	5,03	7,03	
104		103	Eendragt	1,3	1,9	2,2	6,2	6,8	6,8	350	3,2	5,9	v103d209	400	290	w103d209								3,03	5,03	7,03	
104		105	Eendragt	1,8	2,2	2,5	6,2	6,8	6,8	350	3,2	5,9	b104d209	400	290	w104d209								4,57	6,57	8,57	
7a	105		Eendragt	2,2	2,6	2,8	6,2	6,8	6,8	350	3,2	5,9					2,2	2,6	2,8	5,9	5,9	5,9					
	106		Kleine Huissenspolder	2,2	2,6	2,8	6,2	6,8	6,8	350	3,2	5,9					2,2	2,6	2,8	5,9	5,9	5,9					
	107	106	Kleine Huissenspolder	2,2	2,6	2,8	6,2	6,8	6,8	350	3,2	5,9															



Bodentopografie



Frequentiespectrum

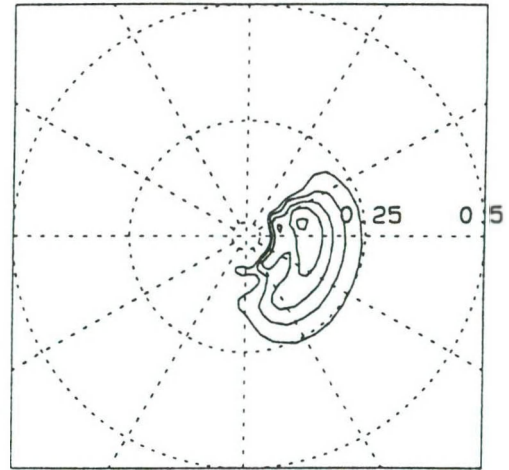


$E_{max} = 12.020 \text{ (m}^2\text{/Hz)}$

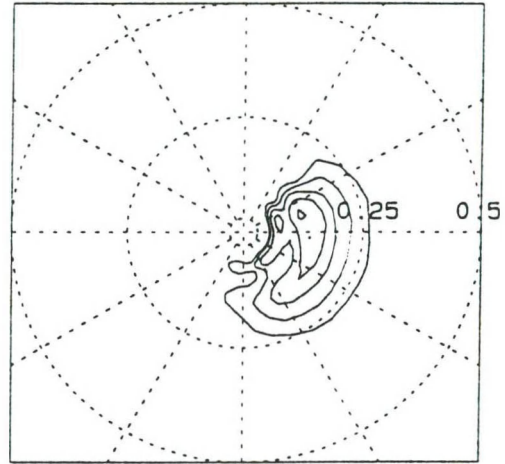
	C	N
H_s (m)	4.67	4.39
RT_p (s)	7.19	7.19
AT_p (s)	7.19	7.19
T_{m02} (s)	5.41	5.63
d (m)	18.88	18.88
H_s/d	.25	.23
N_{dir} (°)	284.	283.
D_{spr} (°)	35.	35.

————— N = zonder stroom
 - - - - - C = met stroom

Polair spectrum, met stroom



Polair spectrum, zonder stroom



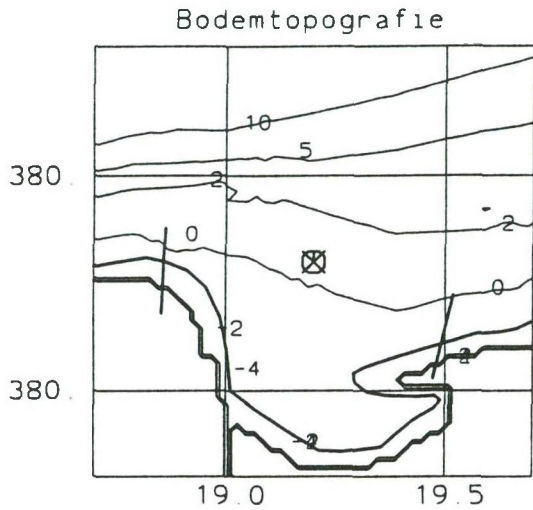
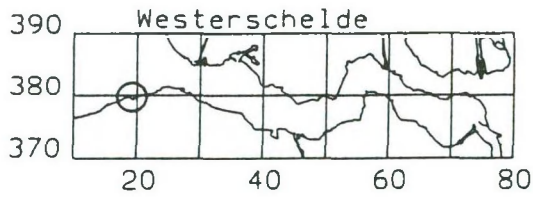
Contourlijnen t.o.v. E_{max} :
 0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

Stroomsnelheid (m/s) .72
 Stroomrichting (N°) 82.

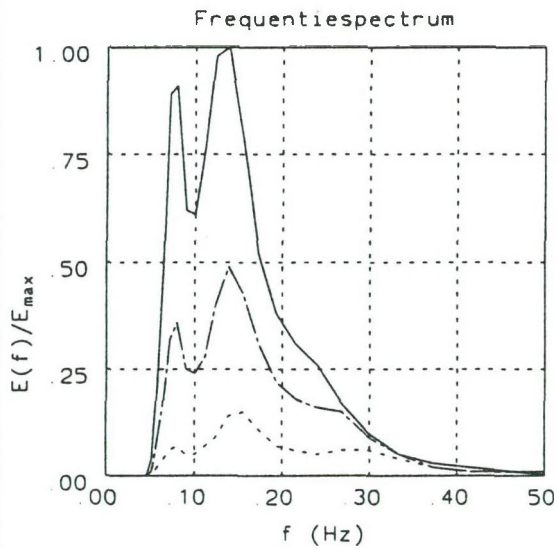
Situatieschets en bodemligging station WIEL
 Lokatie x= 17667.0 (m), y= 383867.0 (m)
 Spectra voor situatie zonder en met stroom

WIEL-W09

Windrichting 290 (°)

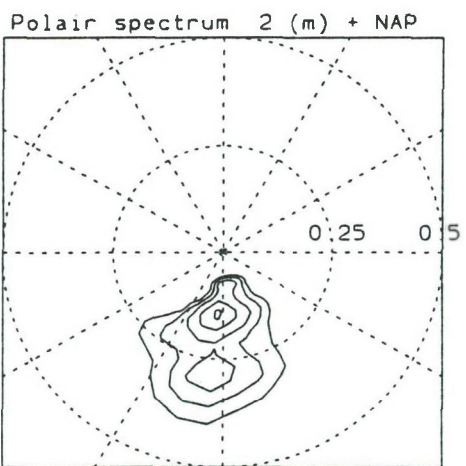
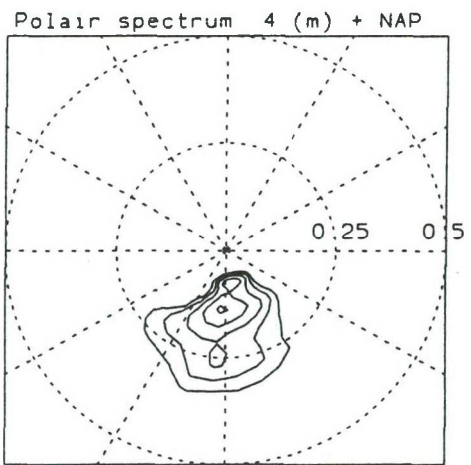
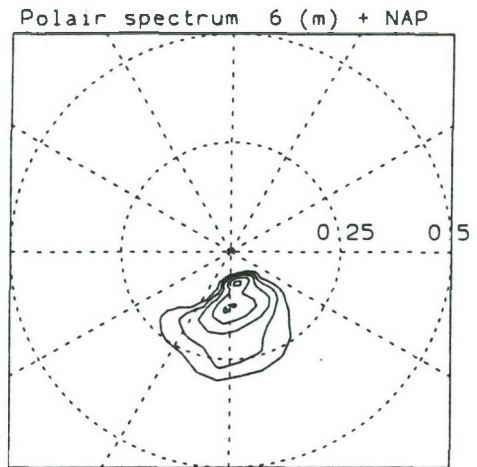


Locatie uitvoerpunt
 x = 19202.5 (m)
 y = 379765.6 (m)



$E_{max} = 5.485 \text{ (m}^2/\text{Hz)}$

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Contourlijnen t o v E_{max}
 0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

Situatieschets en bodemligging dijkvak 17
 Dijkkringgebied 32 Zeeuwsch Vlaanderen
 Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP

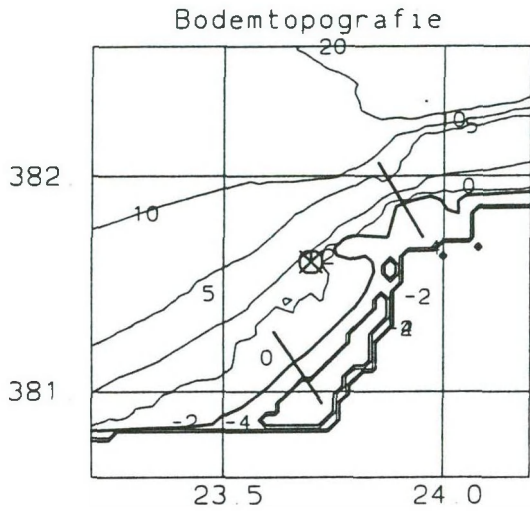
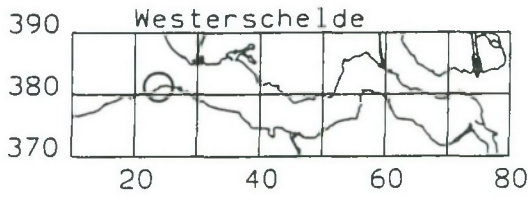
D32/V017

Windrichting 360 (°)

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

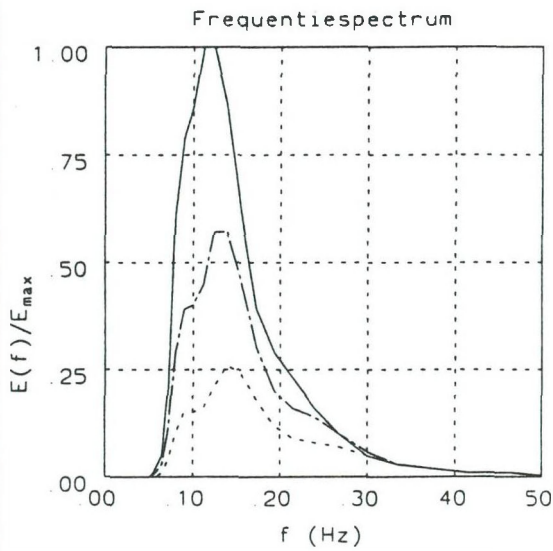
A174

Fig. 2.2



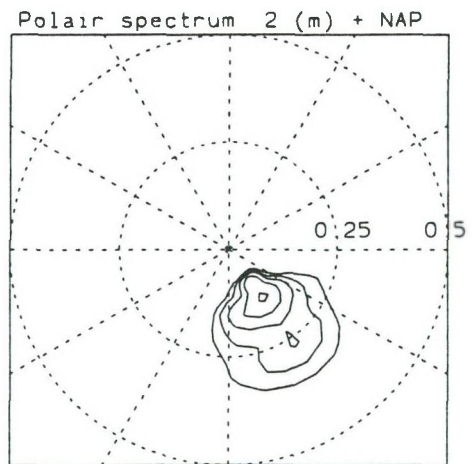
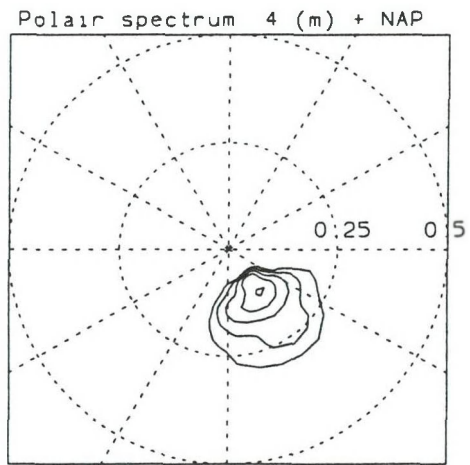
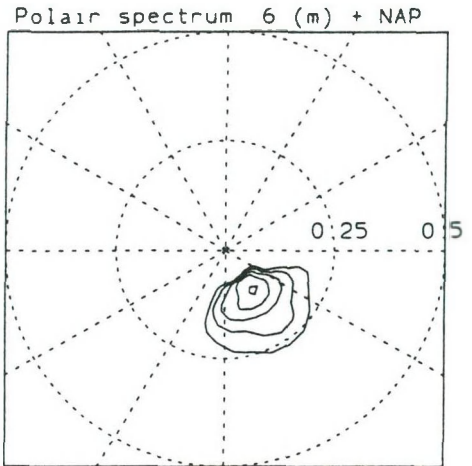
Locatie uitvoerpunt

x = 23730 6 (m)
y = 381257 4 (m)



$E_{max} = 9\,423 \text{ (m}^2/\text{Hz)}$

- H = 6 0 (m) +NAP
- - - - - M = 4 0 (m) +NAP
- L = 2 0 (m) +NAP



Contourlijnen t o v. E_{max}
0 9 0 5 0 25 0 125 0 0625

Situatieschets en bodemligging dijkvak 9
Dijkkringgebied 32 Zeeuwsch Vlaanderen
Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP

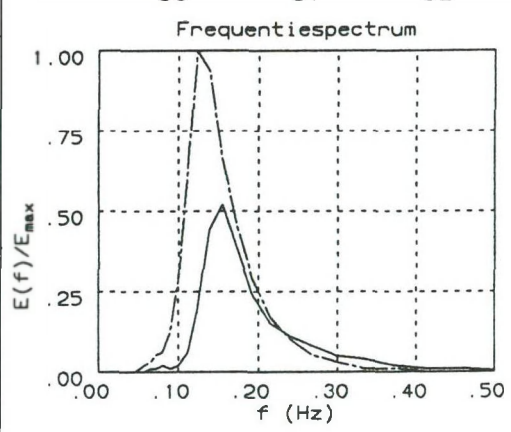
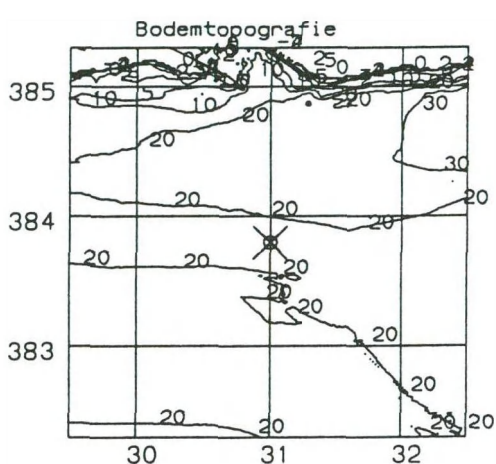
D32/V009

Windrichting 330 (°)

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

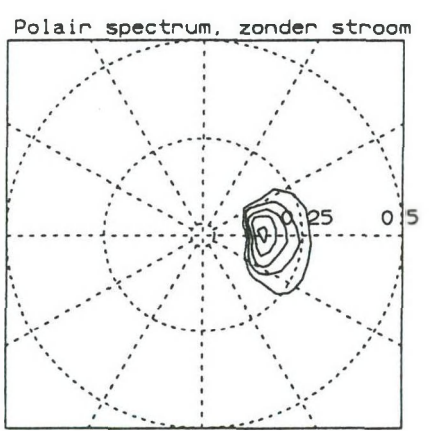
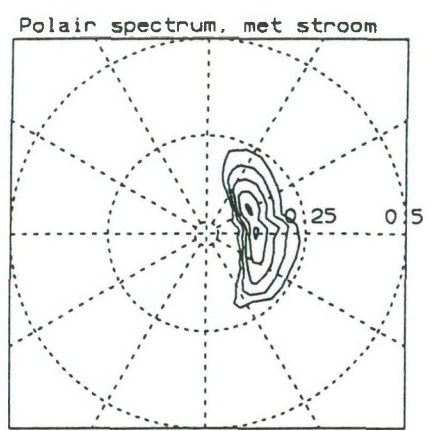
Fig. 2.3



$E_{max} = 14.320 \text{ (m}^2/\text{Hz)}$

	N	C
H_s (m)	3.26	4.22
RT_p (s)	6.45	7.19
AT_p (s)	6.45	8.06
T_{m02} (s)	4.34	5.88
d (m)	22.07	22.07
H_s/d	.15	.19
N_{dir} (°)	272.	260.
D_{spr} (°)	23.	34.

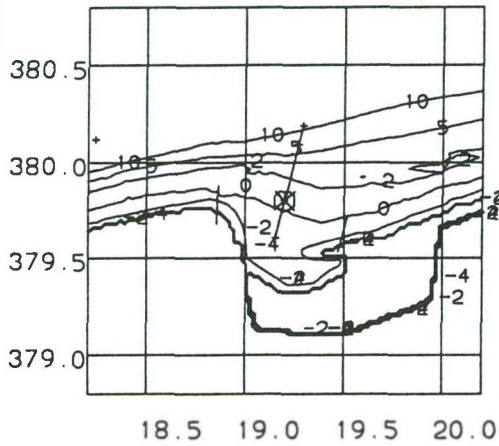
— N = zonder stroom
 - - - C = met stroom



Contourlijnen t.o.v. E_{max} :
 0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

Stroomsnelheid (m/s) 1.35
 Stroomrichting (N°) 62.

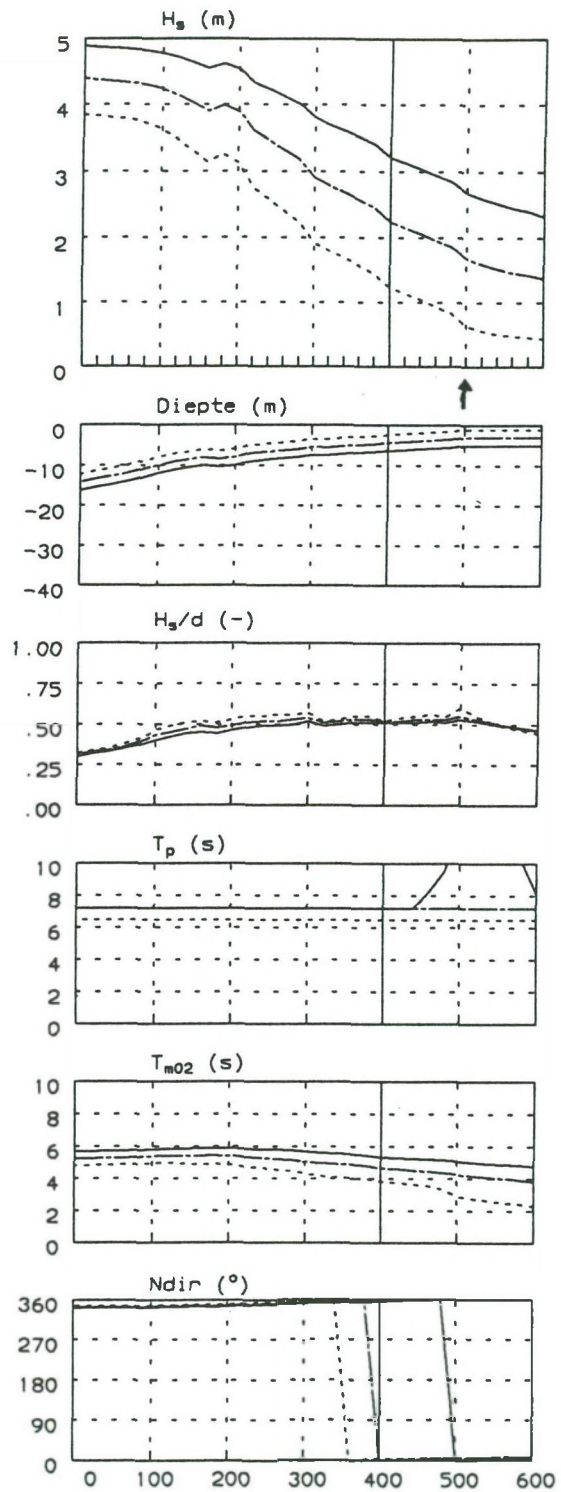
Situatieschets en bodemligging station D Lokatie x= 31000.0 (m), y= 383750.0 (m) Spectra voor situatie zonder en met stroom	D----W09
	Windrichting 290 (°)
ALKYON Hydraulic Consultancy & Research	A174 Fig. 2.4



Locatie uitvoerpunt
 x = 19202.5 (m)
 y = 379765.6 (m)

	L	M	H
H_s (m)	1.24	2.24	3.21
T_p (s)	6.45	7.19	7.19
T_{m02} (s)	3.80	4.64	5.32
d (m)	2.36	4.36	6.36
H_s/d	.52	.52	.51
Ndir (°)	4.	0.	356.

— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 17
 Golfrandvoorwaarden voor dijkvak 17
 Windrichting 360°

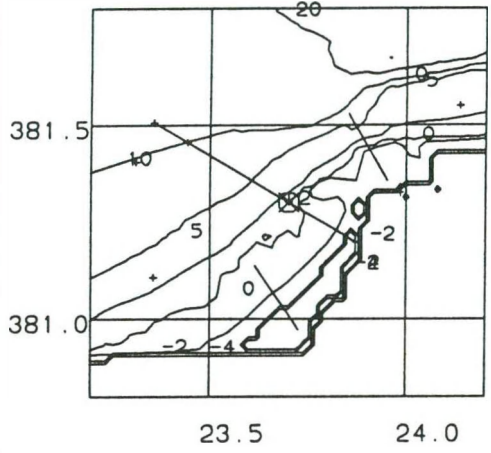
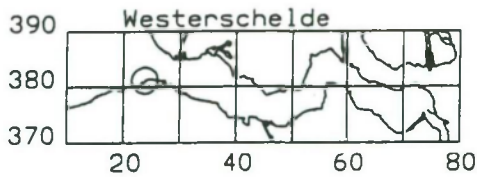
SWAN

V017D212

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

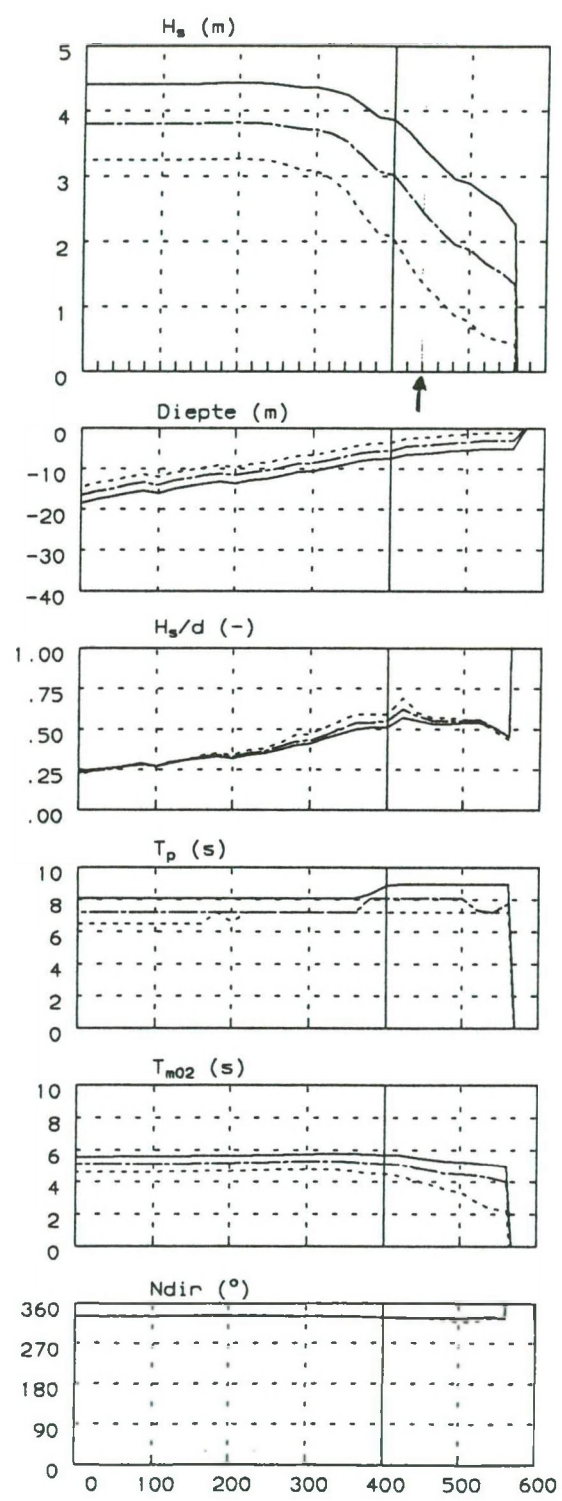
Fig. 2.5



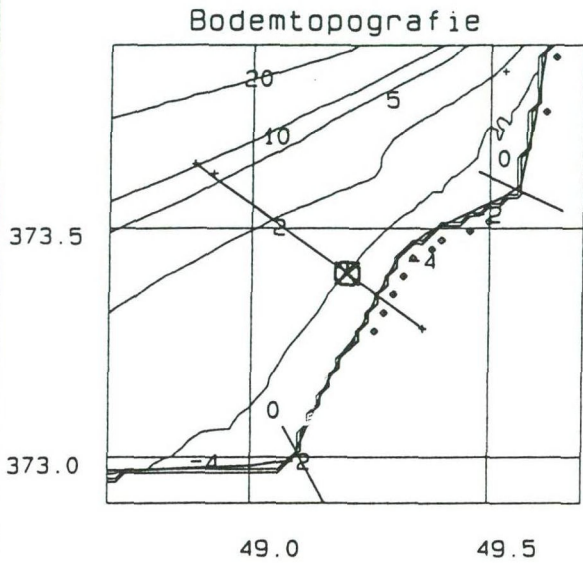
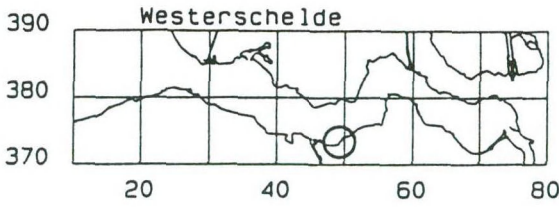
Locatie uitvoerpunt
 x = 23730.6 (m)
 y = 381257.4 (m)

	L	M	H
H_s (m)	2.07	3.02	3.86
T_p (s)	7.19	8.06	8.86
T_{m02} (s)	4.49	5.12	5.67
d (m)	3.51	5.51	7.51
H_s/d	.59	.55	.51
Ndir (°)	328	328	328

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 9 Golfbrandvoorwaarden voor dijkvak 9 Windrichting 330°	SWAN	V009D211
	ALKYON Hydraulic Consultancy & Research	A174



Locatie uitvoerpunt

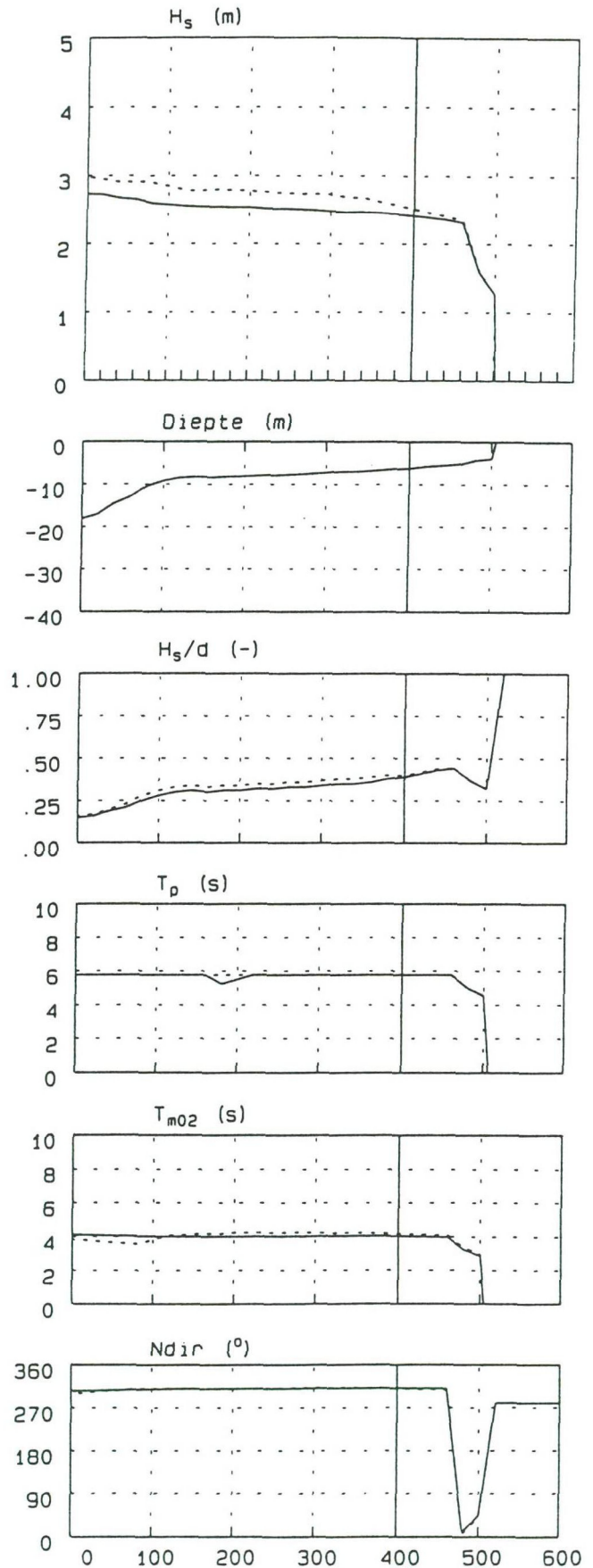
x = 49191.8 (m)
y = 373416.2 (m)

Stroomsnelheid (m/s) .07
Stroomrichting (N°) 196.



	C	N
H_s (m)	2.52	2.42
T_p (s)	5.78	5.78
T_{m02} (s)	4.19	4.04
d (m)	6.24	6.24
H_s/d	.40	.39
Ndir (°)	310.	311.

— zonder stroom: h = 6.0 (m) +NAP
..... met stroom : h = 6.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodentopografie dijkvak 112
Effect stroom op golven voor dijkvak 112
Dijkringgebied 32: Zeeuwsch Vlaanderen

SWAN

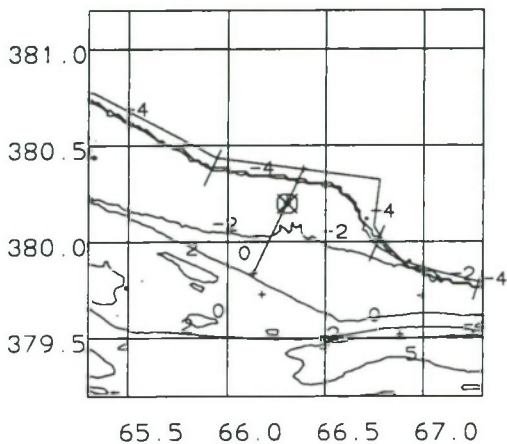
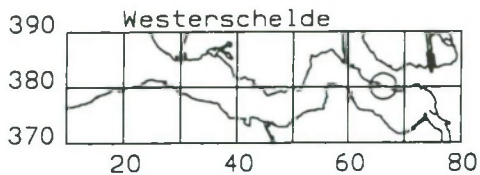
V1120209

Windrichting 290°

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

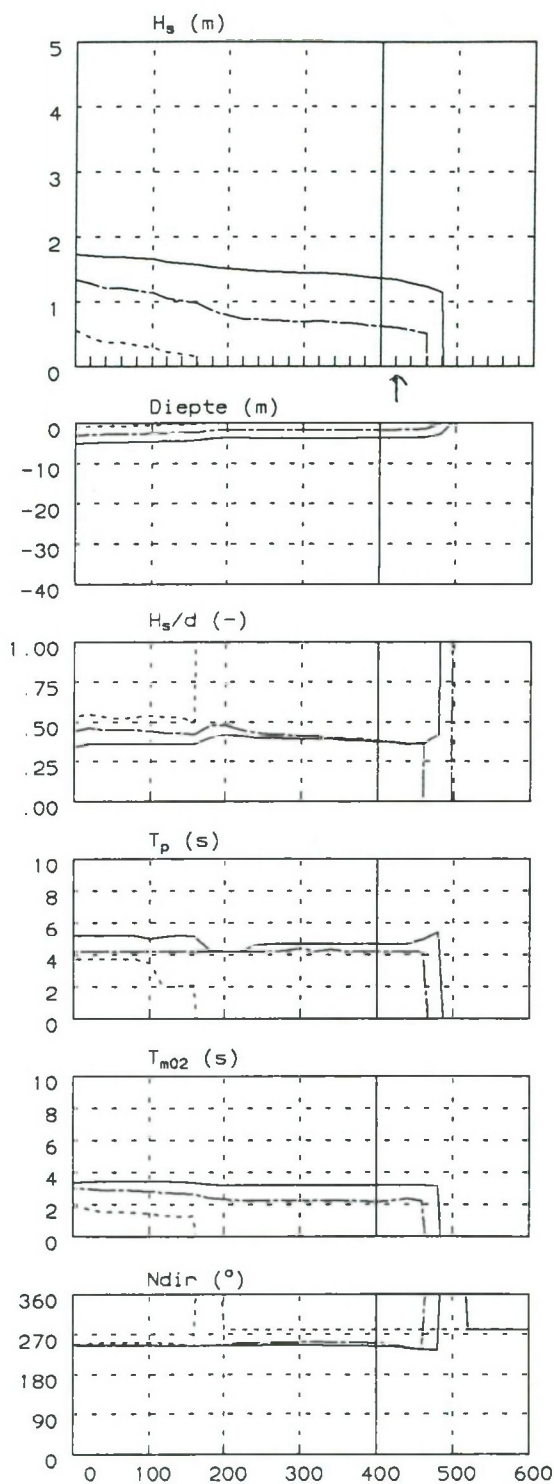
Fig. 2.7



Locatie uitvoerpunt
 x = 66301.2 (m)
 y = 380168.3 (m)

	L	M	H
H_s (m)	*****	.62	1.36
T_p (s)	*****	4.17	4.65
T_{m02} (s)	*****	2.16	3.19
d (m)	*****	1.65	3.65
H_s/d	1.00	.38	.37
Ndir (°)	280.	250.	243.

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 64
 Golfbrandvoorwaarden voor dijkvak 64
 Windrichting 270°

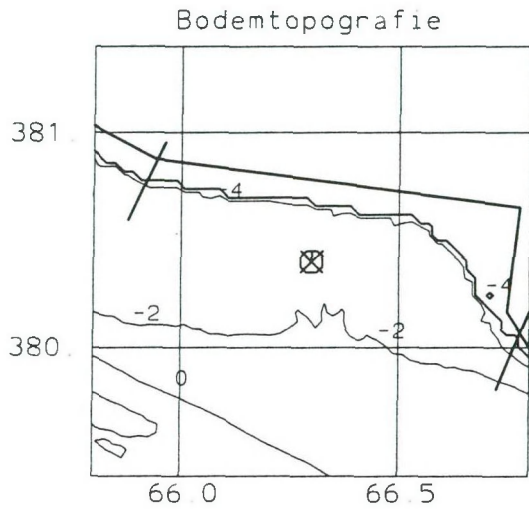
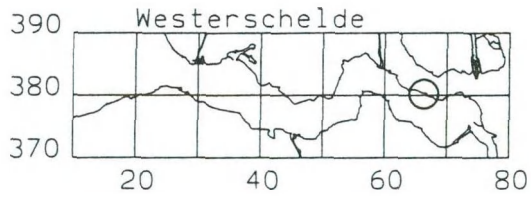
SWAN

V064D107

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

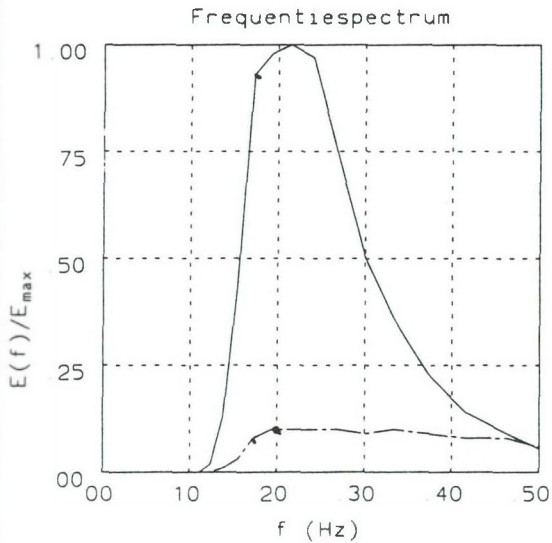
Fig. 3.1



Locatie uitvoerpunt

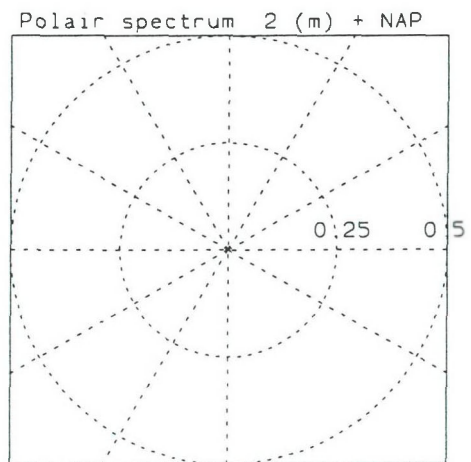
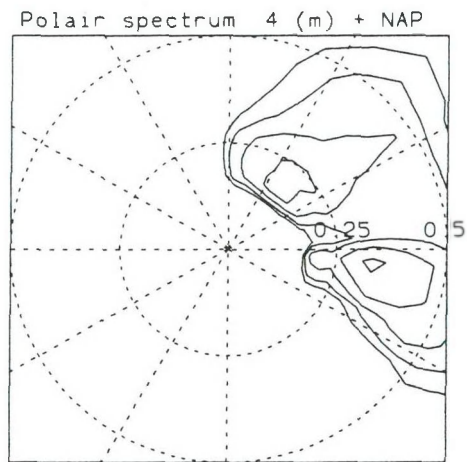
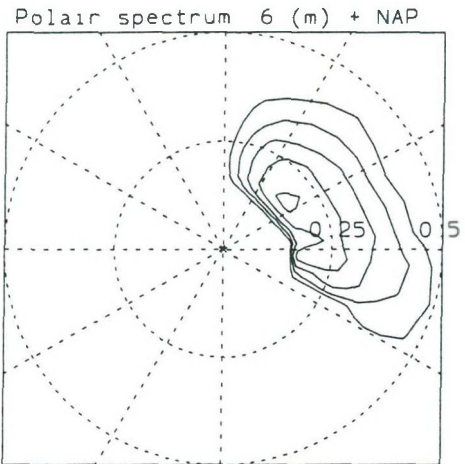
x = 66301.2 (m)

y = 380168.3 (m)



$E_{max} = 679 \text{ (m}^2\text{/Hz)}$

- H = 6.0 (m) +NAP
- · — · — M = 4.0 (m) +NAP
- L = 2.0 (m) +NAP



Contourlijnen t.o.v. E_{max}
0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

Situatieschets en bodemligging dijkvak 64
Dijkkringgebied 31 Zuid-Beveland
Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP

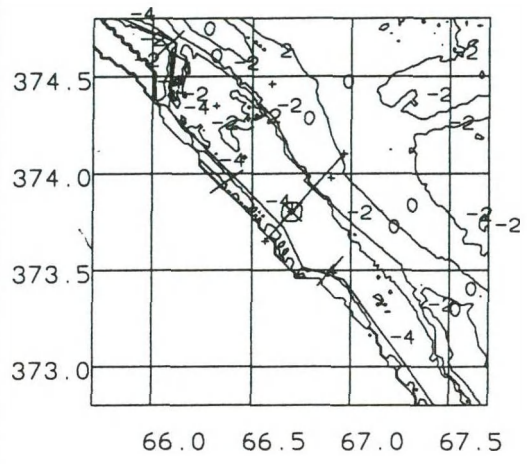
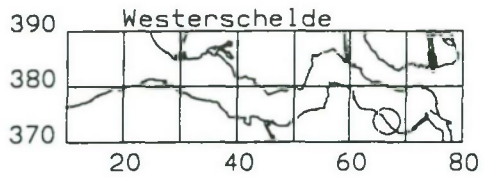
D31/V064

Windrichting 270 (°)

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

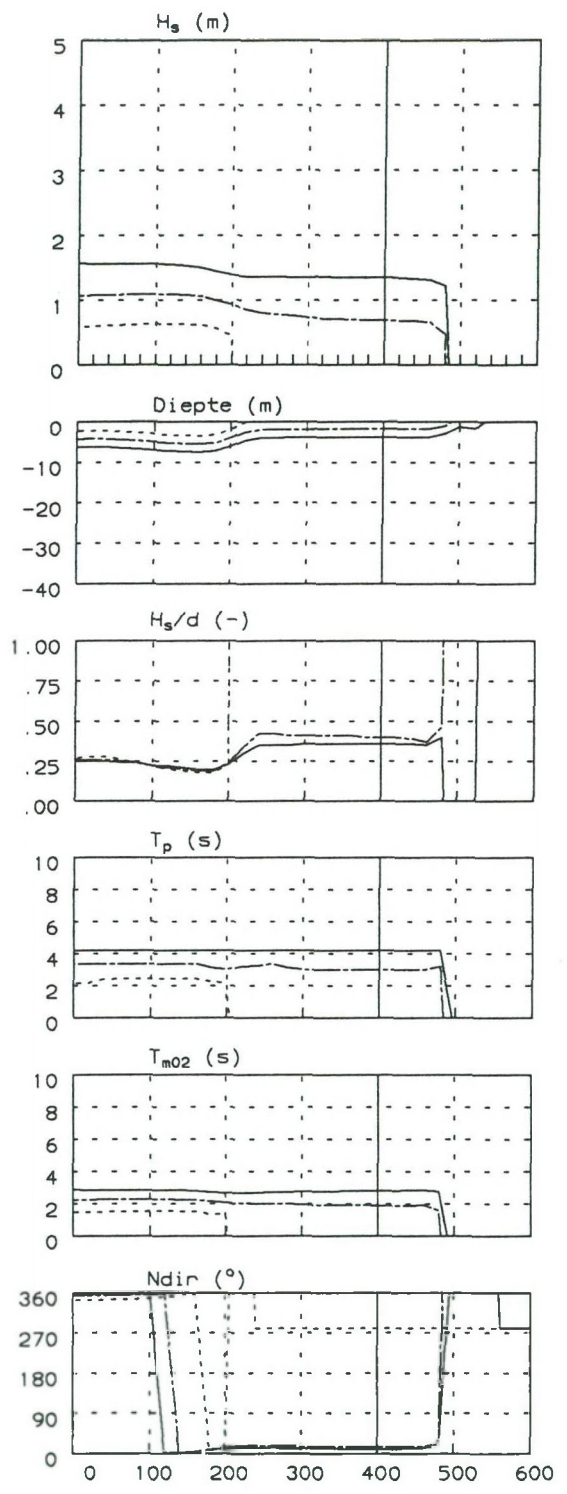
Fig. 3.2



Locatie uitvoerpunt
 x = 66669.0 (m)
 y = 373788.0 (m)

	L	M	H
H_s (m)	*****	.69	1.35
T_p (s)	*****	3.00	4.17
T_{m02} (s)	*****	1.88	2.80
d (m)	*****	1.71	3.71
H_s/d	1.00	.40	.36
N_{dir} (°)	280.	15.	10.

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 79
 Golfbrandvoorwaarden voor dijkvak 79
 Windrichting 360°

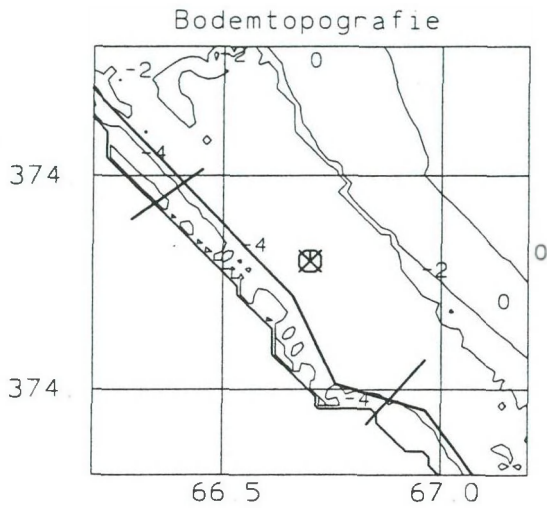
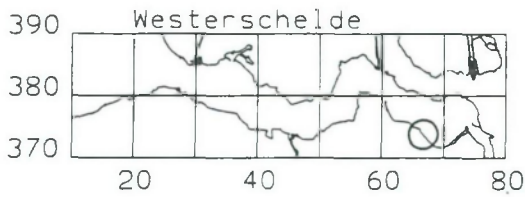
SWAN

V079D212

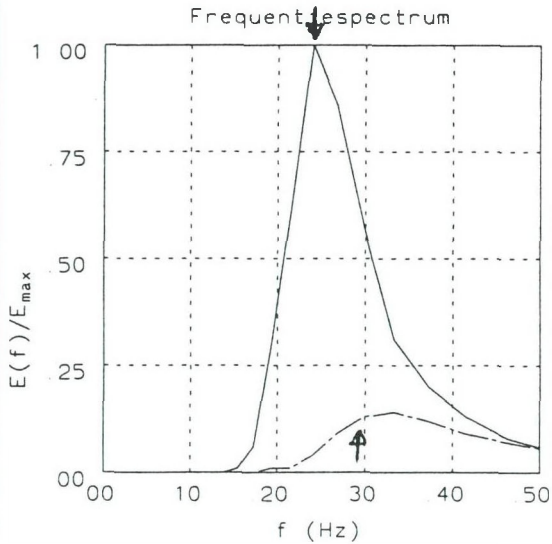
ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

Fig. 3.3

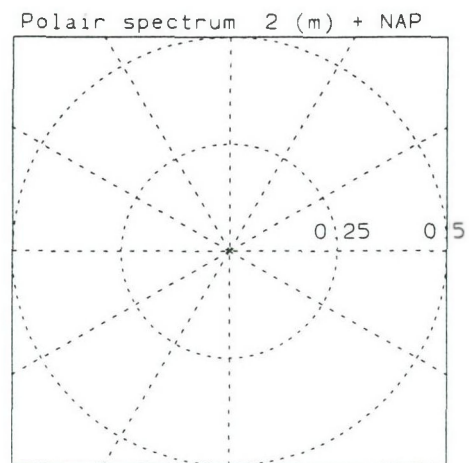
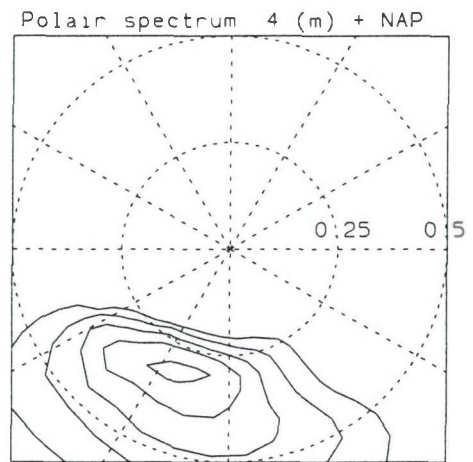
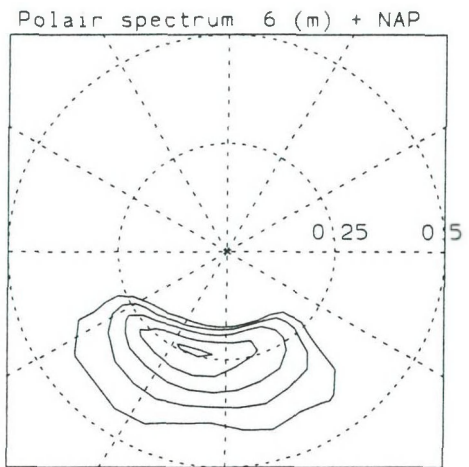


Locatie uitvoerpunt
 x = 66669.0 (m)
 y = 373788.0 (m)



$E_{max} = 866 \text{ (m}^2/\text{Hz)}$

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Contourlijnen t o v E_{max}
 0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

Situatieschets en bodemligging dijkvak 79
 Dijkkringgebied 32 Zeeuwsch Vlaanderen
 Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP

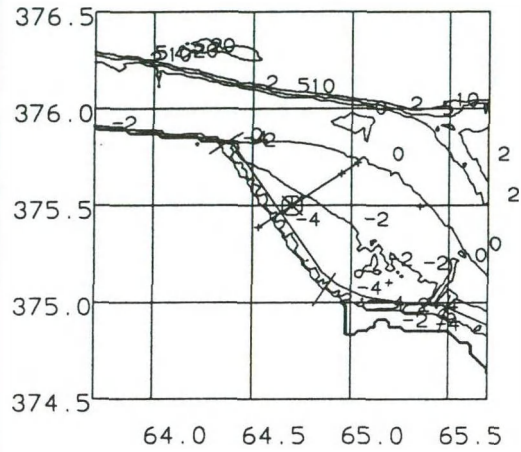
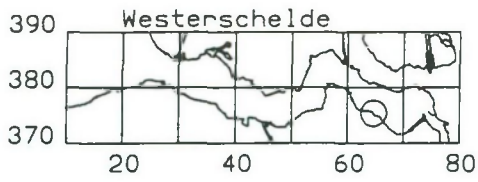
D32/V079

Windrichting 360 (°)

ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

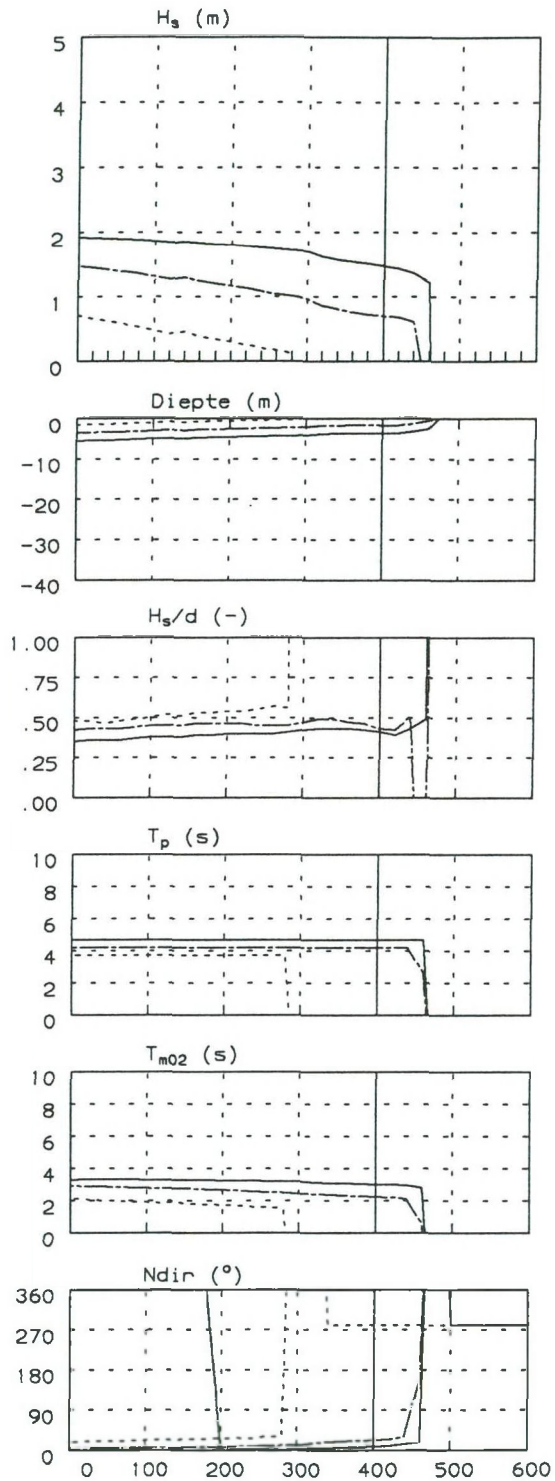
Fig. 3.4



Locatie uitvoerpunt
 x = 64709.7 (m)
 y = 375453.5 (m)

	L	M	H
H_s (m)	*****	.70	1.47
T_p (s)	*****	4.17	4.65
T_{m02} (s)	*****	2.23	3.01
d (m)	*****	1.62	3.62
H_s/d	1.00	.43	.41
Ndir (°)	280.	23.	9.

————— H = 6.0 (m) +NAP
 - - - - - M = 4.0 (m) +NAP
 L = 2.0 (m) +NAP



Situatieschets en bodemtopografie dijkvak 83
 Golfrandvoorwaarden voor dijkvak 83
 Windrichting 360°

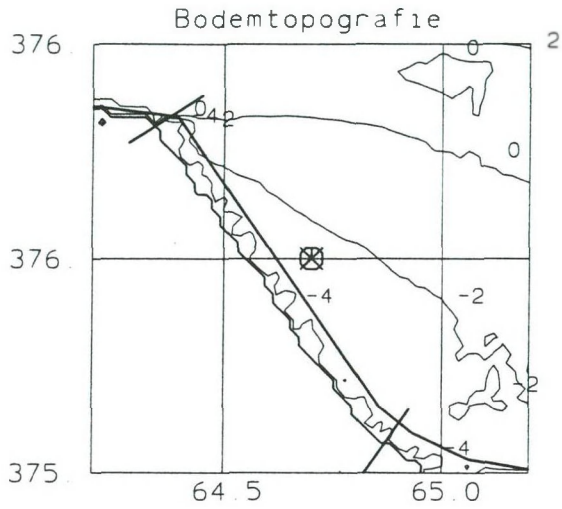
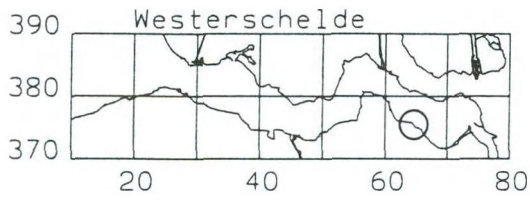
SWAN

V083D212

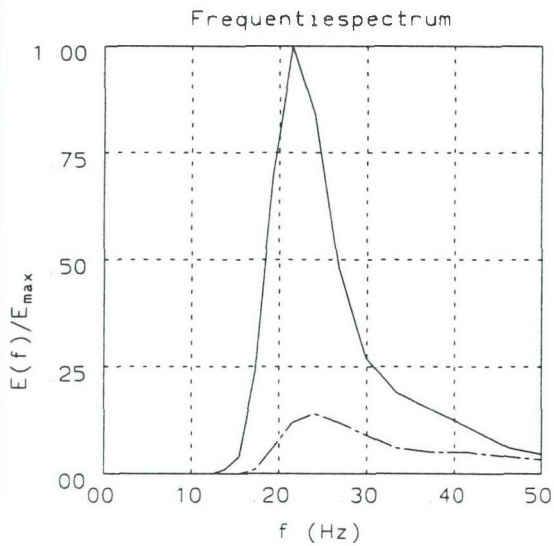
ALKYON Hydraulic Consultancy & Research

A174

Fig. 3.5

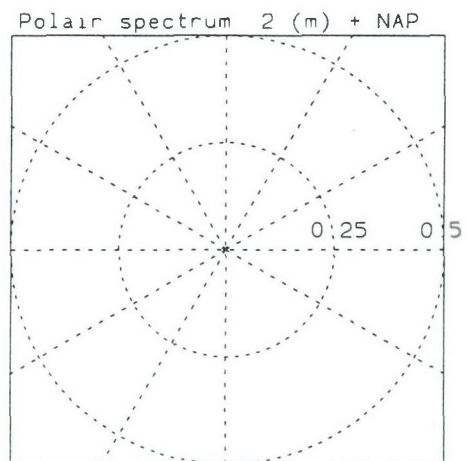
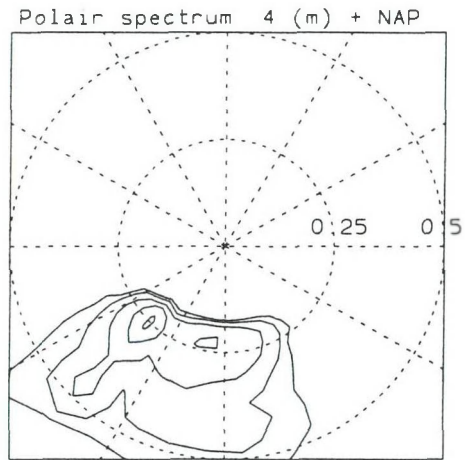
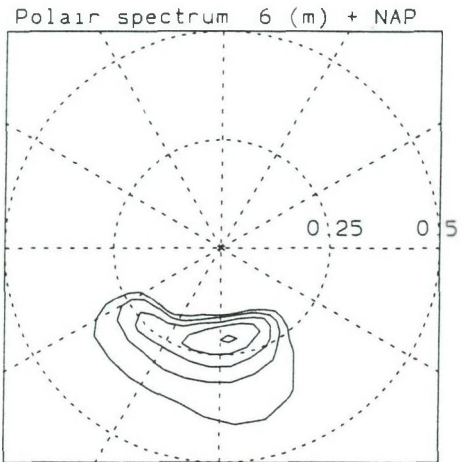


Locatie uitvoerpunt
 x = 64709.7 (m)
 y = 375453.6 (m)



$E_{max} = 1.216 \text{ (m}^2\text{/Hz)}$

- H = 6.0 (m) +NAP
- - - - - M = 4.0 (m) +NAP
- L = 2.0 (m) +NAP

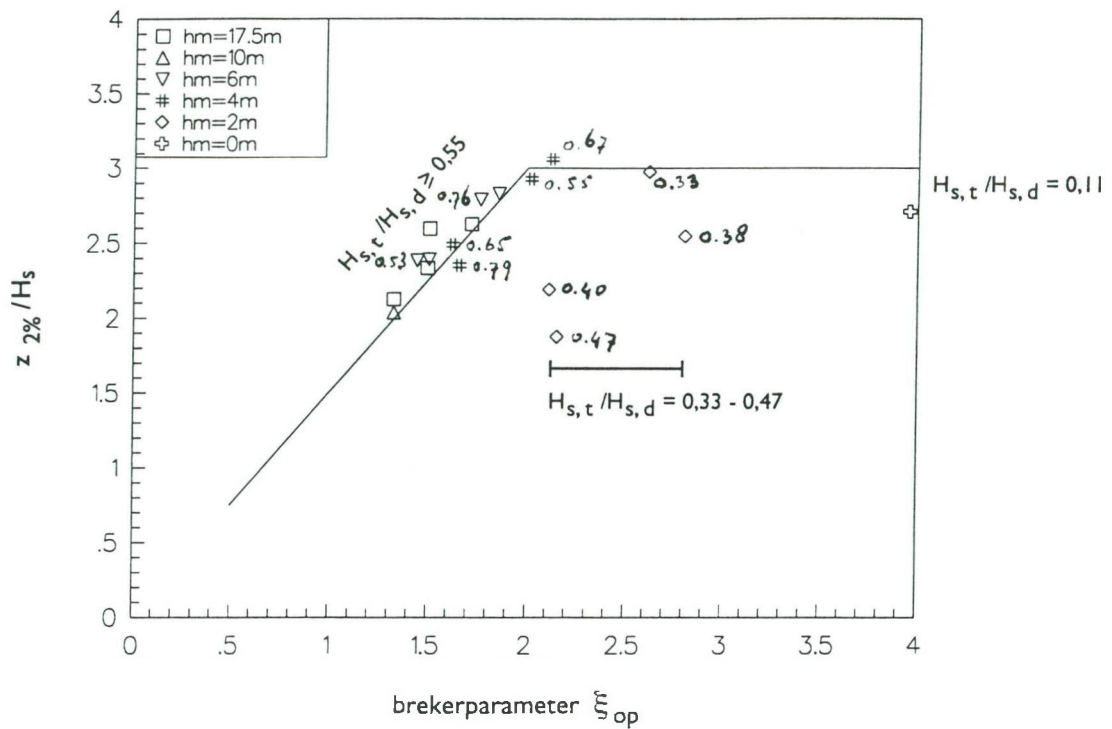


Contourlijnen t.o.v. E_{max}
 0.9 0.5 0.25 0.125 0.0625

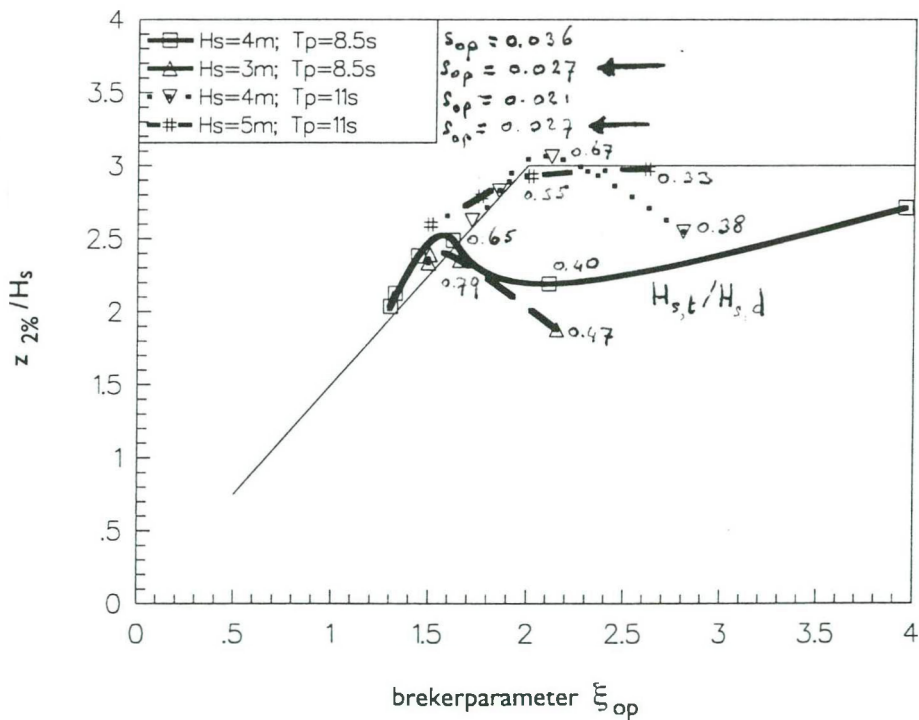
Situatieschets en bodemligging dijkvak 83
 Dijkkringgebied 32: Zeeuwsch Vlaanderen
 Spectra voor 2, 4, 6 (m) + NAP

D32/V083

Windrichting 360 (°)



Figuur a Proeven I-18, onderverdeeld naar waterdiepte



Figuur b Proeven I-18 bij dezelfde golfcondities op diep water

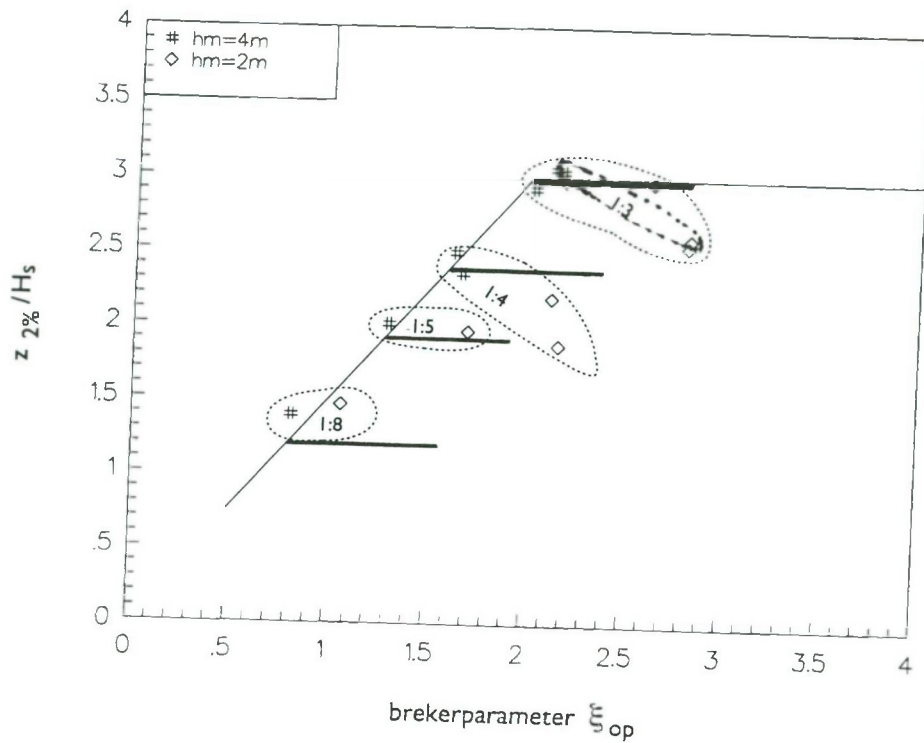
Proeven I-18 van M1084
 Voorland 1:40, 200 m lang met een 1:4 boventalud

016

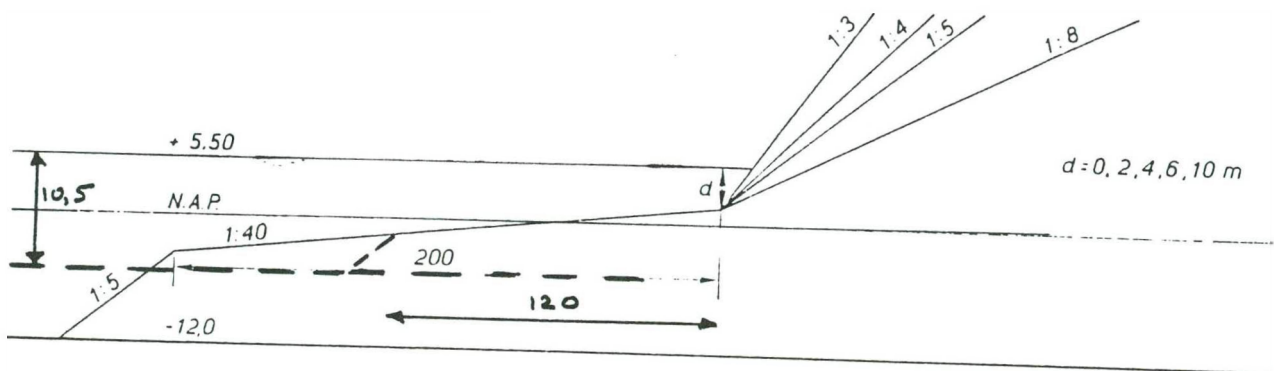
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 3051

FIG. 3.7



Figuur a. Afbreekcriterium bij $0,7 H_{s,d}$. Golfhoogte 4 m, periode 8,5 s.



Figuur b. Voorland voor de proeven en voor "geschaalde" proef $H_s = 5$ m;
 $T_p = 11$ s naar $H_s = 3$ m; $T_p = 8,5$ s

Proeven 19-24 van M1084
 Voorland 1:40 met diverse taluds

017

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 3051

FIG. 3.8

