

Werkdocument

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Aan

Dick de Jong, Fred Twisk

Contactpersoon

M. van Helvert

Datum

29 maart 2001

Nummer

RIKZ/OS/2001.811x

Onderwerp

Oriënterend onderzoek naar de bepaling van de brekerzone bij intergetijdengebieden in de Oosterschelde met SWAN-1D

Doorkiesnummer

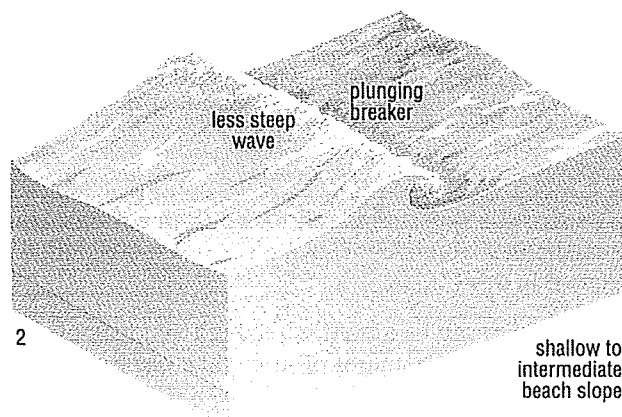
347

Bijlage(n)

37

Product

WONS*ECOTOPEN



Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding.....	3
1.1 Doel onderzoek.....	3
1.2 Leeswijzer.....	3
2. Theorie windgolven en brekende golven.....	4
3. Opzet berekeningen.....	6
3.1 Waar zijn de berekeningen uitgevoerd?.....	6
3.2 Randvoorwaarden.....	8
3.3 Uitgangspunten.....	9
3.4 Software.....	9
3.5 Verwerking uitvoer en bepaling brekerzone.....	9
4. De resultaten.....	11
4.1 De Galgeplaat.....	11
4.1.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m.....	11
4.1.2 Resultaat bij N.A.P.....	11
4.1.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m.....	12
4.2 Slikken van Kats.....	13
4.2.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m.....	13
4.2.2 Resultaat bij N.A.P.....	13
4.2.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m.....	13
4.3 Verdrongen land van Zuid Beveland.....	13
4.3.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m.....	13
4.3.2 Resultaat bij N.A.P.....	14
4.3.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m.....	14
5. Conclusie.....	14
6. Beperkingen.....	15
6.1 Software.....	15
6.2 Gebrek.....	16

1. Inleiding

1.1 Doel onderzoek

In het kader van het project WONS*ECOTOPEN speelt er de vraag welk effect brekende, door wind gegenereerde golven, hebben op de bodemdieren en de vegetatie rondom de waterlijn bij intergetijdengebieden. Het idee bestaat dat wanneer een golf breekt dit gebeurt in een zone niet ver vanaf de waterlijn van het intergetijdengebied. De vraag is hoe groot/breed deze zone is en welke snelheden zich voordoen aan de bodem.

Dit werkdocument beschrijft de activiteiten die zijn uitgevoerd bij het bepalen van de zone waarin de golven breken. Door middel van een 1D-model SWAN zijn de berekeningen uitgevoerd. Met dit model is het mogelijk het golfverloop, ook wel golfgroei genoemd, in de zin van golfhoogte en golflengte te berekenen wanneer deze de kust nadert. Nadrukkelijk is gekeken naar de Galgeplaat, de Slikken van Kats en het Verdrongen land van Zuid-Beveland in de Oosterschelde.

Het doel van dit onderzoek is een eerste eenvoudige benadering van de gestelde vraag. Mogelijk leidt dit werkdocument tot een vervolg studie met een 2D model.

1.2 Leeswijzer

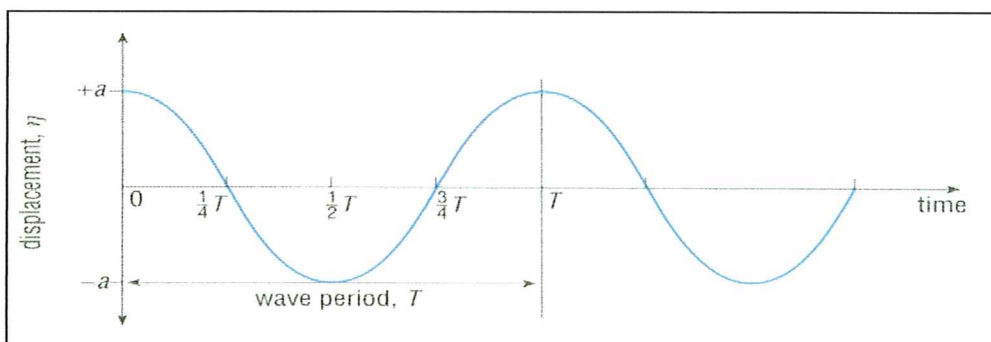
Hoofdstuk 2 begint met een korte beschrijving van de theorie van wind- en brekende golven. Vervolgens de opzet van de uitgangspunten, randvoorwaarden en berekeningen enz. in hoofdstuk 3.

De resultaten van de berekeningen staan beschreven in hoofdstuk 4 en de conclusies in hoofdstuk 5. Dit werkdocument wordt afgesloten met de beperkingen ten aanzien van de gebruikte software met daarin een advies hoe het onderzoek verder aangepakt dient te worden.

2. Theorie windgolven en brekende golven

Windgolven zijn golven die worden gegenereerd door de wind. Hiervoor is een strijklengte (Engels: fetch) nodig voor de golfontwikkeling. Dit is een lengte op een open watervlakte die beschikbaar is voor de golfontwikkeling.

Windgolven zijn korte golven. Dit betekent dat, in tegenstelling tot lange golven zoals het getij, windgolven niet leiden tot een waterstandverhoging. Hoewel windgolven zich voortbewegen, is er praktisch gesproken geen sprake van watertransport zoals bij het getij. Bij een windgolf is er meer sprake van een energievoortplanting.

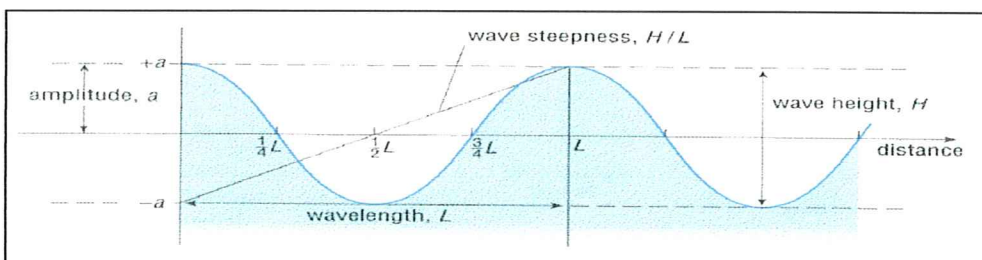


Figuur 1: Verticale verplaatsing a.g.v. eengolf in een vast punt uitgezet in de tijd.

Wanneer een windgolf de kust nadert en het ondieper wordt gaat deze de invloed van de bodem merken. De golfhoogte en de golflengte nemen beide af (de golfperiode T blijft gelijk). Een golf die beïnvloed wordt door de bodem wordt een ondiepwatergolf genoemd. Daar tegenover is er de diepwatergolf die geen invloed ondervindt van de bodem.

De grens tussen deze twee typen golven is afhankelijk van de waterdiepte. Men spreekt van een diepwatergolf wanneer de waterdiepte (h) groter is dan de helft van de golflengte L_0 ($h > 0,5 L_0$). Bij een ondiepwatergolf is de waterdiepte kleiner dan een twintigste deel van de golflengte L_0 ($h < 0,05 L_0$). De overgang van diepwatergolf naar een ondiepwatergolf is een tussengebied wat ligt tussen de $0,5 > h/L_0 > 0,05$.

Windgolven kunnen voor een groot deel verantwoordelijk zijn voor erosie, bijvoorbeeld langs randen van intergetijdengebieden. Het betreft erosie op kleine schaal ofwel microschaal. Wanneer een windgolf ondiepwatervlucht bereikt gaat de bodem een steeds sterkere invloed uitoefenen op het golfbeeld. Door de afnemende golflengte wordt de golfsteilheid H/L groter.



Figuur 2: Afbeelding golfdimensies golflengte en -hoogte.

De voortplantingssnelheid neemt af, maar de orbitale snelheid neemt toe. Op een bepaald moment wordt de orbitale snelheid zo groot ten opzichte van de voortplantingssnelheid dat de waterdeeltjes uit de golf treden. Dit verschijnsel wordt het breken van de golf genoemd. Een brekende golf verliest nagenoeg al zijn energie. De golfenergie wordt voor een belangrijk deel op de bodem overgedragen, waardoor een zware bodemaanval ontstaat.

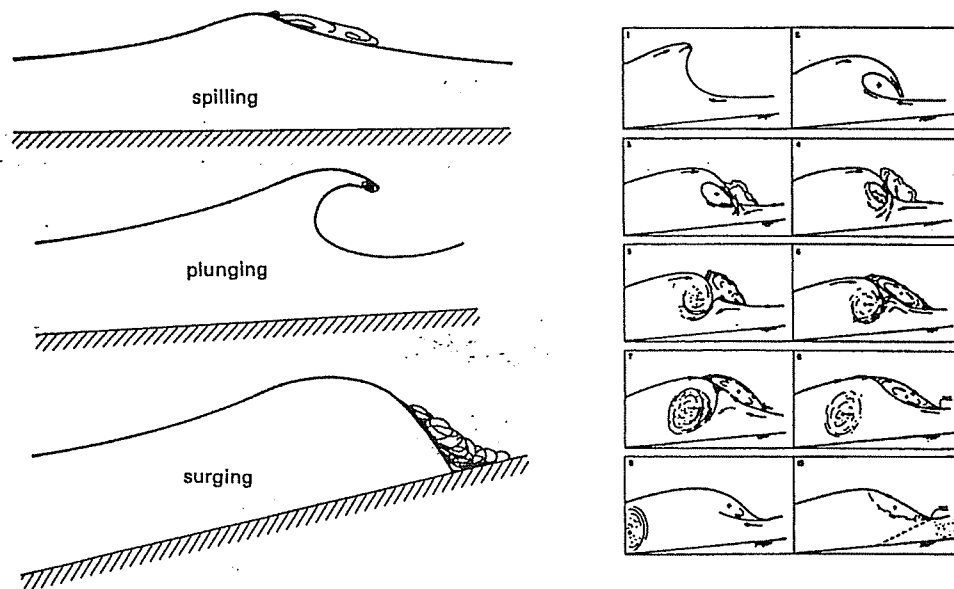
Het moment van breken wordt met de relatie tussen de significante golfhoogte H_{sig} en de waterdiepte h weergegeven ofwel $\gamma = H_{sig}/h$. Kana 1979 (uit van Rijn 1990, Blz 299) heeft voor golfhoogtes van individuele brekergolven drie verschillende brekergolven gekwalificeerd. Deze zijn:

Spilling (overlopende) golven : $\gamma = 0,55 - 0,65$

Transitional (overgang) golven: $\gamma = 0,65 - 0,75$

Plunging (neerstortende) golven : $\gamma = 0,75 - 0,90$

De 'plunging golf' veroorzaakte de zwaarste bodemaanval. In figuur 3 wordt dit duidelijk afgebeeld.



Figuur 3: De drie brekergolven met rechts de plunging golf bij breken.

In figuur 3 staat een 'surging' golf afgebeeld in plaats van een 'transitional' golf. In de gerefereerde literatuur wordt dit zo aangehouden. In het vervolg wordt aangenomen dat met een surging golf en een transitional golf hetzelfde wordt bedoeld.

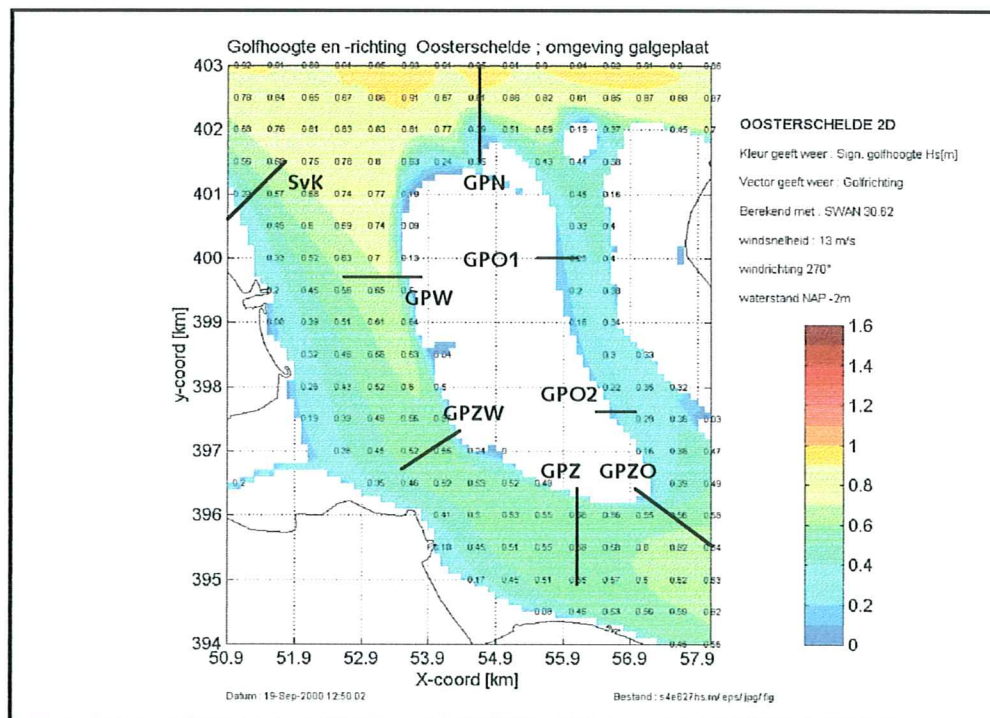
3. Opzet berekeningen

3.1 Waar zijn de berekeningen uitgevoerd?

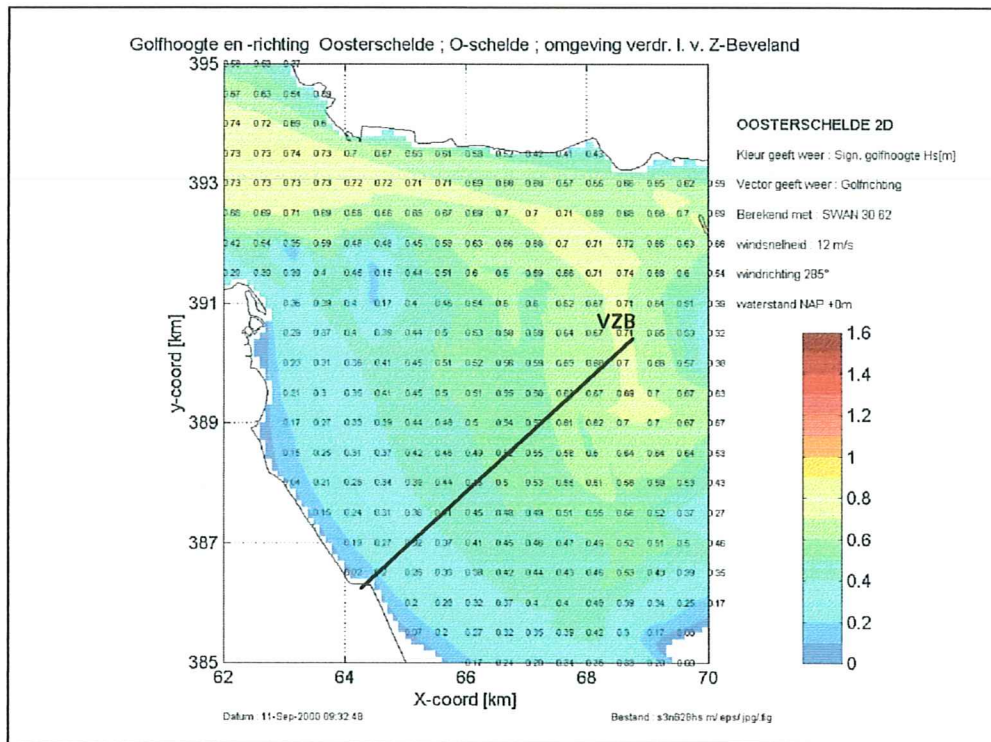
Zoals al in de inleiding is gemeld zijn de berekeningen uitgevoerd voor de Galgeplaat, de Slikken van Kats en het Verdrongen land van Zuid-Beveland in de Oosterschelde. Vanaf de randen van deze locaties zijn raaien uitgezet die reiken tot aan het diepe water in de geul. Op deze manier kan een golf vanaf relatief diep naar ondiep water worden berekend. Figuur 1 geeft een overzicht van de posities van de raaien rondom de Galgeplaat en de Slikken van Kats.

De toegepaste raaien zijn als volgt benoemd:

- Galgeplaat Noord, GPN;
- Galgeplaat Oost1, GPO1;
- Galgeplaat Oost2, GPO2;
- Galgeplaat ZuidOost, GPZO;
- Galgeplaat Zuid, GPZ;
- Galgeplaat ZuidWest, GPZW;
- Galgeplaat West, GPW;
- Slikken van Kats, SvK;
- Verdrongen land van Zuid-Beveland, VZB.



Figuur 4a: Raaien rondom de Galgeplaat en Slikken van Kats.



Figuur 4b: Raai Verdrongen land van Zuid-Beveland

De coördinaten van de raaien zijn als volgt:

Locaties	Begin		Eind	
	X	Y	X	Y
GPN	54500	400000	54500	404000
GPO1	55000	400000	56300	400000
GPO2	56000	397500	57000	397500
GPZO	57200	396500	57895	395780
GPZ	56000	396700	56000	394750
GPZW	54500	397500	53700	396650
GPW	54000	399300	53040	399300
SvK	50800	401000	51558	401521
VZB	64500	386800	65207	387501

Tabel 1: Coördinaten van de raaien, begin en eind in Parijse coördinaten.

3.2 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn verkregen met het golfmodel SWAN 2D. Met behulp van dit 2D-model zijn de golfhoogten (H_{sig}) met de bijbehorende piekperioden (T_p) in de omgeving van de de betreffende studiegebieden berekend. Figuur 1 geeft een typische uitvoer van zo'n berekening. Het begin van de raai bevindt zich in relatief diep water (meestal een geul). De daarbij gelegen golfhoogte en piekperiode worden gebruikt als randvoorwaarden voor de berekening. Met behulp van SWAN 1D wordt de golfgroei over de raai richting plaatrand berekend.

De randvoorwaarden zijn berekend bij drie waterstanden en twee windrichtingen.

De waterstanden zijn bij N.A.P. + 2m, N.A.P. en N.A.P. - 2m. De twee windrichtingen zijn het westen (270°) en iets noordelijker namelijk 285°. Deze laatste windrichting is gekozen omdat de strijklengte (ten opzichte van de westelijke richting) dan groter is. De golven zijn berekend bij een windkracht 6 (windsnelheid 12 á 13 m/s). De gebruikte randvoorwaarden voor iedere raai zijn als volgt.

Locatie	Windrichting 270°					
	H_{sig}			T_p		
	N.A.P. + 2m	N.A.P.	N.A.P. - 2m	N.A.P. + 2m	N.A.P.	N.A.P. - 2m
GPN	1,12	1,01	0,95	4,17	4,17	3,73
GPO1	0,95	0,52	0,25	4,17	2,16	1,56
GPO2	0,88	0,50	0,29	3,73	2,41	1,94
GPZO	0,84	0,67	0,64	3,34	3,00	2,69
GPZ	0,70	0,59	0,55	3,34	3,00	3,00
GPZW	0,68	0,56	0,49	2,55	2,29	2,55
GPW	0,78	0,69	0,63	4,17	3,73	3,17
SvK	0,85	0,77	0,68	4,17	3,73	3,34
VZB	0,47	0,35	0,14	2,16	1,94	1,25

Tabel 2: Randvoorwaarden bij windrichting 270°

Locatie	Windrichting 285°					
	H_{sig}			T_p		
	N.A.P. + 2m	N.A.P.	N.A.P. - 2m	N.A.P. + 2m	N.A.P.	N.A.P. - 2m
GPN	1,04	0,96	0,88	4,17	4,17	3,73
GPO1	0,93	0,51	0,28	4,17	2,16	2,16
GPO2	0,89	0,44	0,34	4,17	2,41	2,41
GPZO	0,85	0,68	0,61	3,34	3,00	2,69
GPZ	0,76	0,63	0,59	3,34	3,34	3,00
GPZW	0,73	0,64	0,56	3,73	3,73	3,34
GPW	0,81	0,74	0,67	3,73	3,73	3,34
SvK	0,87	0,81	0,71	3,73	3,73	3,34
VZB	0,51	0,36	0,15	2,69	1,94	1,39

Tabel 3: Randvoorwaarden bij windrichting 285°

3.3 Uitgangspunten

Er wordt vanuit gegaan dat de golven die de rand van de intergetijdengebieden naderen geen hoek maken ten opzichte van de raai. Met andere woorden de inkomende golf plant zicht voort in de lengte richting van de raai.

Met een overheersende westelijke windrichting en een aantal raaien die vanuit diep water een daaraan tegengestelde richting hebben, is het ondenkbaar dat door refractie de inkomende golf zo zal bijdraaien dat deze zich in de lengterichting van de te beschouwen raai voort plant. De golf zal door refractie wel bijbuigen maar niet zoveel dat deze loodrecht de rand van het intergetijde gebied nadert. Toch is er in de berekeningen vanuit gegaan dat de golven de rand van de intergetijdengebieden loodrecht naderen. Dit is namelijk de meest ongunstige situatie. In werkelijkheid zal dit meer onder een hoek gebeuren waardoor er strijkgolven ontstaan. Deze hebben een meer spilling-achtig karakter.

De hoek tussen de golfinval en de raai is nul. De rand van het intergetijdengebied wordt door de golf loodrecht benadert. De windrichting is wel ingevoerd en maakt een hoek ten opzichte van de raai (deze is afhankelijk van de positie van de raai).

Met stroming is geen rekening gehouden.

Bij het uitvoeren van deze berekeningen wordt in de regel uitgegaan van een diepwatergolf die vanaf het begin van een raai de rand van het intergetijdengebied nadert. De raaien zijn daarom zo gekozen dat deze beginnen vanuit het diepste punt langs het te beschouwen gebied, in dit geval een geul. Op deze manier is er nog steeds de benadering dat een golf vanuit 'relatief' diep water de rand van het intergetijdengebied nadert. Wel is er naar gestreefd om de raai zo kort mogelijk te houden.

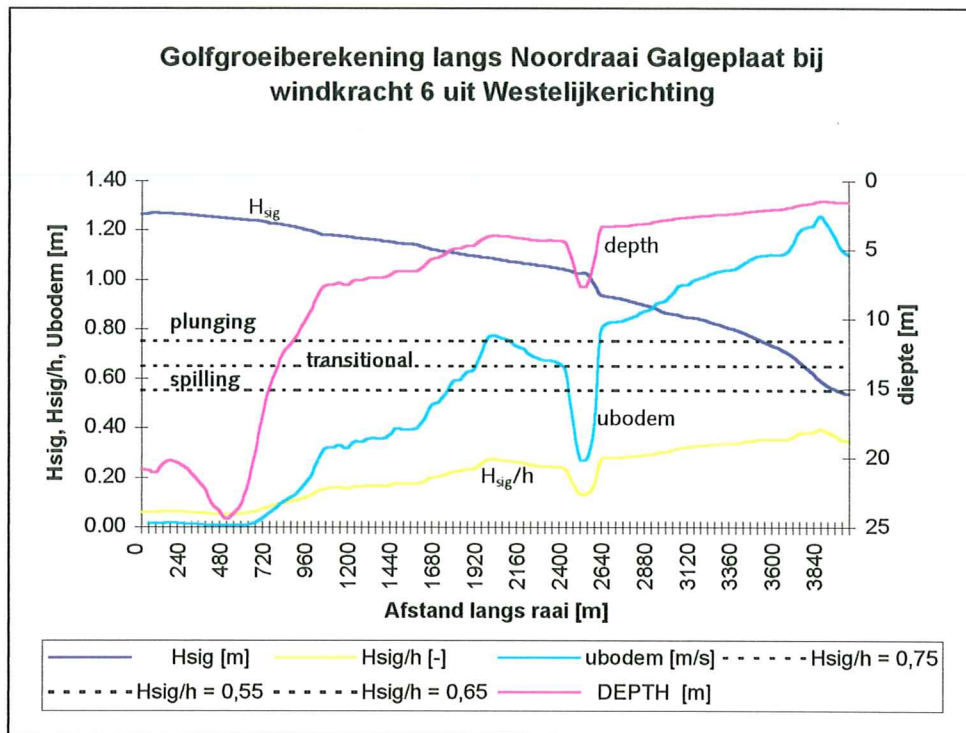
3.4 Software

De berekeningen zijn uitgevoerd met SWAN 1D. Met GIS zijn de bodemprofielen verkregen en deze kunnen in SWAN worden ingevoerd voor de berekening.

3.5 Verwerking uitvoer en bepaling brekerzone

De uitvoer van SWAN 1D is verder verwerkt in een spreadsheet. De berekende significante golfhoogte vanaf het begin van de raai (vanaf relatief diep water) naar de rand van de plaat of het slik, de golfperiode en de bijbehorende waterdiepte zijn gebruikt als rechtstreekse uitvoer. Vervolgens is met die uitvoer de golflengte L_o , de voortplantingssnelheid c , de verhouding H_{sig}/h en de orbitale snelheid berekend. De H_{sig}/h is getoetst aan de criteria van de drie typen brekergolven, spilling, transitional en plunging.

De H_{sig} , de verhouding H_{sig}/h en de orbitale snelheid zijn in een grafiek geplaatst. Samen met de drie criteria van de brekergolven en het bodemprofiel langs de raai wordt bij iedere waterstand duidelijk wat het effect is op de rand van het te beschouwen gebied. Wanneer de lijn H_{sig}/h de drie criteria snijdt kan de lengte van de brekerzone bepaald worden. Op de horizontale as is de afstand langs de raai weergegeven. Nul is het begin van de raai vanaf relatief diep water. De afstand loopt op totdat de waterlijn wordt bereikt. Op de linker y-as staan de waarden van de H_{sig} , H_{sig}/h en de orbitale snelheid (U_{bodem}) weergegeven en op de rechter y-as de waterdiepte. In figuur 2 is een voorbeeld gegeven.



Figuur 2: Voorbeeld van de verwerking van de uitvoer.

De golfenergie die verdwijnt of overgedragen wordt aan de bodem, wordt gerelateerd aan de golfhoogte. De golfenergie wordt als volgt berekend:

$$E_{tot} = 1/8 \rho g H_{sig}^2$$

Het verloop van de golfhoogte geeft indirect aan wat het verloop is van de energie. Uit praktisch oogpunt is presentatie van de golfenergie achterwege gelaten.

4. De resultaten

4.1 De Galgeplaat

4.1.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m

De grafieken voor de Galgeplaat staan afgebeeld in bijlage 1a t/m 1g. Iedere bijlage bevat twee grafieken namelijk de berekening uitgevoerd met een windrichting uit het westen (270°) en iets noordelijker daarvan (285°).

Langs de noordraai neemt de golfhoogte af doordat het snel ondieper wordt. Vooral na 500 m vanaf het begin. De orbitale sneheid aan de bodem neemt toe naarmate het ondieper wordt. De verhouding golfhoogte waterdiepte bereikt niet (eens) het criterium van 0,55. De golven breken dus niet volgens de criteria wanneer de plaatrand in het noorden wordt bereikt.

Langs oostraai 1 neemt over de eerste 420 m de golfhoogte iets toe tot ongeveer 1 m. Tot dan toe is het geleidelijker ondieper geworden. Na 520 m is de diepte afgenomen tot minder dan 5 m en die blijft zo tot aan het eind van de raai. De golfhoogte neemt af en de orbitale snelheid neemt toe. De verhouding golfhoogte waterdiepte bereikt het criterium van 0,55 niet en de golf breekt dus niet volgens de criteria wanneer de plaatrand wordt bereikt.

Langs oostraai 2 min of meer hetzelfde beeld. Langzaam wordt het ondieper waardoor de golfhoogte iets groter wordt. Maar na snel afnemen van de diepte neemt de golfhoogte af. Ook hier breken de golven niet. Het criterium van de spilling golven wordt niet bereikt.

Het profiel van de zuid-oostraai blijft ongeveer twee derde van de raai op constante diepte. De golfhoogte neemt iets af. Na 760 m wordt het snel ondieper. De golfhoogte neemt iets sneller af. Echter het uiteindelijke verlies aan energie is niet veel want het criterium van de spilling golf wordt niet bereikt en de golf breekt dus niet. Wel lijkt het erop dat bij een windrichting van 270° de golfhoogte iets meer afneemt ten opzichte van een windrichting van 285°. Echter het verschil is klein.

De zuidraai heeft in het begin een geleidelijk afname van de waterdiepte. Ondanks dat neemt de golfhoogte niet veel af. Pas na 1540 m wanneer de bodem plaatselijk zeer stijl wordt neemt de golfhoogte ook drastisch af. Echter de golf wordt niet gebroken. Het criterium van 0,55 wordt niet bereikt.

Langs de zuidwestraai is een duidelijke stijging van de golfhoogte waarneembaar. De waterdiepte neemt geleidelijk af waardoor de golf langzaam in hoogte groeit. Over dit traject neemt de orbitale snelheid ook toe. Deze laatste maakt een snelle stijging door na 1600 m. De golf gaat dan waarschijnlijk pas echt goed de bodem merken. Ondanks het stijgen van de orbitale snelheid breekt de golf niet.

Als laatste de westraai waarover de eerste 300 m een lichte groei is te zien in de golfhoogte. Daarna neemt de waterdiepte over een korte afstand snel af waardoor de golfhoogte afneemt. Echter de golf wordt niet gebroken.

4.1.2 Resultaat bij N.A.P.

De grafieken voor de Galgeplaat staan afgebeeld in bijlage 2a t/m 2h.

Langs de noordraai neemt de golfhoogte over de eerste 600 m iets toe. Daarna neemt door het plotseling afnemen van de waterdiepte de golfhoogte af. Aan het eind van de

raai is de golfhoogte 0. Het criterium van 0,55 wordt niet bereikt. De orbitale snelheid daalt na 2640 m tot 0,10 m/s. Het lijkt alsof de golf uitvlakt.

Oostraaï 1 vertoont vanaf 500 m een daling in de golfhoogte tot 0. De orbitale snelheid neemt behoorlijk toe over het stuk waar de (golf)hoogte veel energie verliest. De verhouding golfhoogte waterdiepte bereikt net niet het criterium van de spilling breker golf. De golf wordt dus niet gebroken.

Oostraaï 2 geeft het beeld van een geleidelijke afnemende golfhoogte. De orbitale snelheid schommelt behoorlijk en de verhouding golfhoogte waterdiepte schommelt mee. Het criterium wordt niet bereikt en de golf wordt niet gebroken.

Langs de zuid-oostraaï is het beeld nagenoeg hetzelfde als bij N.A.P. +2m. Uiteindelijk is de golfhoogte aan het eind van de raai lager bij deze waterstand dan bij een waterstand van N.A.P. +2m. De orbitale snelheid neemt dan ook behoorlijk toe aan het eind van de raai.

Langs de zuidraai overschrijdt de golf het breker criterium volgens de spilling golf. Dit is te wijten aan de dramatische daling van de golfhoogte als gevolg van de plotseling snel afnemende waterdiepte. Als gevolg hiervan stijgt de orbitale snelheid enorm over een korte afstand. Het resultaat is dat de golf breekt volgens een spilling golf. Bijna wordt de transitional golf bereikt. De zone waarover de golf breekt is een kleine 20 meter voor beide windrichtingen (zie bijlage 2e en 2f, detail brekerzone).

Het verloop van de golfhoogte langs de zuid-west raai levert voor beide windrichtingen een verschillend beeld op. Bij de wind uit westelijke richting neemt de golfhoogte in het begin van de raai af. Daarna blijft de golfhoogte onveranderd waarna deze weer afneemt. Bij wind uit noordwestelijke richting (285°) groeit de golfhoogte over de eerste 580 m om daarna pas af te nemen. Bij de afname neemt de orbitale snelheid behoorlijk toe. Bij beide windrichtingen eindigt de golfhoogte op een gelijke hoogte, namelijk ongeveer 0,24 m. Ondanks het tegenstrijdig beeld wordt de golf in beide gevallen niet gebroken.

De westraai levert geen schokkend beeld op. Ten opzichte van de N.A.P. + 2m berekening neemt de golfhoogte sneller af, de orbitale snelheid sneller toe en is de verhouding golfhoogte waterdiepte iets groter maar bereikt het criterium van 0,55 niet, waardoor de golf niet breekt volgens het spilling criterium.

4.1.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m

De grafieken voor de Galgeplaat staan afgebeeld in bijlage 3a t/m 3n.

Door de lage waterstand zullen de golven die de plaat naderen waarschijnlijk wel worden gebroken. Langs de noordraai is dit al het geval. Doordat de golfhoogte aan het begin al kleiner is zal deze niet zo snel afnemen als bij de hogere waterstanden. Dat blijkt ook wel omdat dit pas gebeurt na zo'n 1600 m. Bij de voorgaande twee berekeningen waarbij de waterstand respectievelijk 2 en 4 m hoger was gebeurde dit al na een kleine 1000 m. Echter bij N.A.P. - 2 m groeit de golfhoogte zelfs eerst nog over de eerste 700 m. Na deze 700 m gaat de golfhoogte afnemen. Na 1600 m zakt de golfhoogte helemaal ineen. De orbitale snelheid neemt ook behoorlijk af. Het gevolg is een explosieve toename van de verhouding golfhoogte waterdiepte tot ver boven het plunging golf criterium van 0,75. Dit gebeurt allemaal in een zone van ongeveer 40 m voor de waterlijn aan de plaatrand (bijlage 3a en 3b, detail brekerzone).

Opvallend is dat bij een afname van de orbitale snelheid alle criteria worden overschreden. Dit zelfde verschijnsel trad op langs de zuidraai bij een waterstand van N.A.P.

Door een lage waterstand valt een groot deel van de raai droog. Dit heeft tot gevolg dat er een compleet ander beeld ontstaat. Bij N.A.P. - 2m is er ruim 200 m van de raai

ingekort. De bodem heeft dan een vrij geleidelijk verloop wat tot gevolg heeft dat de golfhoogte pas aan het eind gaat breken.

De oostraai 1 is de enige raai op N.A.P. - 2m waarbij de golven aan het eind niet de criteria van de golfbreker bereiken. Ze blijven onder het spilling criterium.

Oostraai 2 daarentegen breekt de golf bij een windrichting uit het westen (270°). De verhouding golfhoogte waterdiepte raakt net het criterium van de spilling golf. Bij een windrichting van 285° gaat de verhouding over het criterium heen om net het transitional criterium te bereiken. Dit gebeurt over een zone van 5 m (bijlage 3e en 3f, detail brekerzone).

Bij de zuid-oostraai schiet de lijn die de verhouding aangeeft tussen golfhoogte en waterdiepte helemaal over het plunging criterium heen. De zone waarover dit gebeurt is zo'n 10 m (bijlage 3g en 3h, detail brekerzone).

De zuidraai geeft nagenoeg hetzelfde beeld als de zuid-oost raai. Pas aan het einde worden het criterium overschreden. Echter het criterium van de plunging golf wordt niet gehaald. De zone waarover dit gebeurt is zo'n 10 m (bijlage 3i en 3j, detail brekerzone).

En dan tot slot de zuid-westraai en de westraai langs de Galgeplaat. Weer het beeld dat aan het eind de criteria worden overschreden. De zone waarover de golven breken is tussen de 10 en 20 m. Opvallend is het verschillende golfverloop tussen de twee windrichtingen. Bij een windrichting van 270° blijft de golfhoogte nagenoeg gelijk of neigt tot afnemen. Bij een windrichting van 285° is een duidelijke golfgroei waarneembaar. Bij beide windrichtingen neemt de golfhoogte bij ondiep water snel af (bijlage 3k t/m 3n).

4.2 Slikken van Kats

4.2.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m

Er is maar één raai van toepassing voor de Slikken van Kats. Deze raai ligt bijna tegen de twee windrichtingen in. De raai begint namelijk in het noordoosten en eindigt in het zuidwesten. Golven die uit het westen komen moeten een behoorlijke hoek maken voordat ze precies over de raai de slikrand naderen. Golven zullen deze slikrand eerder onder een hoek aanvallen. Deze berekening is dus eigenlijk de meest ongunstige situatie bij de aanname dat golven bijbuigen wanneer ze ondiep water bereiken. Echter bij een waterstand van N.A.P. + 2m gebeurt er niets. De verhouding golfhoogte waterdiepte bereikt het laagste criterium niet (bijlage 4).

4.2.2 Resultaat bij N.A.P.

Door de lagere waterstand en nagenoeg net zo grote golf als bij N.A.P. + 2m, wordt het criterium van de spilling golf overschreden. Dit gebeurt over een aanzienlijk grote zone van zo'n 70 m bij beide windrichtingen (bijlage 5a en 5b, detail brekerzone).

4.2.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m

Bij een nog lagere waterstand breekt de golf aan het eind van de raai. Alle criteria worden overschreden tot over de plunging golven heen. De zone waarover dit gebeurt is zo'n 20 m breed (bijlage 6a en 6b, detailbrekerzone).

4.3 Verdrongen land van Zuid Beveland

4.3.1 Resultaat bij N.A.P. + 2m

In bijlage 7 is te zien dat het bodemprofiel een vrij geleidelijk verloop heeft op de knik na op 240 m vanaf het begin. De golfhoogte verandert weinig en de verhouding

golfhoogte waterdiepte volgt nagenoeg een rechte lijn. Ook hier is het probleem dat de raai bijna loodrecht op de beide windrichtingen staat. De golven komend uit het westen moeten bijna een hoek van 90° maken om vervolgens de rand van het gebied echt te naderen. Dit is moeilijk voor te stellen. Het is aannemelijker dat de golven onder een hoek de rand van het gebied zullen naderen. De berekeningen die nu zijn uitgevoerd gaan er vanuit dat een golf in de lengterichting van een raai de rand van het gebied nadert. Dit is de meest ongunstige situatie. Ondanks dat gebeurt er weinig. De verhouding golfhoogte waterdiepte bereikt niet de criteria voor brekende golven.

4.3.2 Resultaat bij N.A.P.

Hier is min of meer hetzelfde beeld zichtbaar (bijlage 8). De slikrand heeft bij deze waterstand weinig te vrezen voor erosie door golven. De golfhoogte neemt af wanneer het de rand nadert. De criteria worden niet bereikt.

4.3.3 Resultaat bij N.A.P. - 2m

Door de lage waterstand is de raai behoorlijk korter geworden. Het gevolg is zeer ondiep water. De waterstand is aan het begin van de raai nog maar 30 cm. Het is de vraag of de berekening bij deze waterstand wel goed is. Zowel de golfhoogte als de orbitale snelheid en de verhouding golfhoogte en waterdiepte nemen af naar 0 (bijlage 9).

5. Conclusie

Uit de berekeningen blijkt dat alleen bij een lage waterstand de golven zodanig breken dat de criteria worden overschreden.

Bij N.A.P. + 2m wordt het criterium van de verhouding golfhoogte waterdiepte voor de in beschouwing genomen gebieden, niet bereikt. De verhouding golfhoogte waterdiepte blijft onder 0,55. Hoe de golven dan breken wanneer ze de rand van een intergetijden gebied bereiken is niet bekend. Een golftype onder de 0,55 wordt niet genoemd. Waarschijnlijk zal de golf aan de rand gewoon overlopen of oplopen. Dit is te vergelijken met de spilling golf.

Bij N.A.P. is de verhouding groter maar nog niet verontrustend. Alleen aan de zuidzijde van de Galgeplaat en aan de Slikken van Kats wordt de verhouding van 0,55 overschreden. Dit betekent dat de golf breekt volgens het spilling type. De zone waarover dit gebeurt is zo'n 20 m. De energie wordt overgedragen naar de bodem. Maar welke schade dit geeft aan de bodem is niet bekend. Ongetwijfeld zal het bodemmateriaal in beweging worden gebracht. Echter schade zoals een plunging brekergolf aanricht zal de spilling brekergolf niet veroorzaken.

Bij N.A.P. - 2m worden rondom de Galgeplaat alle golven gebroken. Alleen langs de oostraai 1 wordt het criterium niet gehaald. Langs alle overige raaien worden de golven gebroken en wel voor de meeste volgens het criterium van de plunging golf op oostraai 2 na. De golf over deze raai overschrijdt alleen het 0,55 criterium en breekt volgens het spilling type.

De zone waarover dit gebeurt varieert in het noorden vanaf 40 m, aan de oostzijde 5 m en vanaf het zuidoosten tot aan het noorden 20 m. De plunging golven veroorzaken een behoorlijke omwoeling van het sediment aan de bodem.

De golven die de rand van de Slikken van Kats bereiken breken ook volgens het plunging type. De zone waarover dit gebeurt is zo'n 20 m.

Aan de rand van het Verdrongen land van Zuid-Beveland gebeurt weinig. Het verloop van de verhouding golfhoogte waterdiepte is opmerkelijk. Deze begint hoog en eindigt op nul.

Opvallend is dat bij een windrichting van 285° de verhouding golfhoogte waterdiepte hoger in de criteria lijnen terecht komt. Vooral bij lagere waterstanden is dit het geval. Dit is opvallend omdat de golfhoogte aan het begin van de raai kleiner is dan bij de windrichting van 270°. Waarschijnlijk heeft het te maken met de verhouding golfhoogte waterdiepte die bij de aanvang van de berekening al lager is, waardoor de golfgroei wordt beïnvloed. Echter de golven breken wel eerder bij een windrichting van 285° in vergelijking met een windrichting van 270°.

De afmetingen van de zone waarover de golven breken is voor beide windrichtingen nagenoeg gelijk. De algemene tendens is dat bij een windrichting van 285° deze zone iets breder is. Dit is te wijten aan het eerder breken van de golven wanneer deze de rand van de intergetijden gebieden bereiken.

Tot slot kan worden geconcludeerd dat golven bij lage waterstanden en windrichtingen uit het noord-westen de meeste schade kunnen aanrichten aan Galgeplaat en de Slikken van Kats in de Oosterschelde. De zone waarover dit gebeurt is afhankelijk van de waterstand. In het vervolg zouden berekeningen moeten worden uitgevoerd bij waterstanden zoals gemiddeld laag water, doodtij enz.

In de tabel 3 is een overzicht gegeven van de breedte van de brekerzone's.

Locatie	Breedte brekerzone in meters voor beide windrichtingen		
	N.A.P. + 2m	N.A.P.	N.A.P. - 2m
Galegplaat			
Noord	-	-	40
oost	-	-	5 → 0
zuid	-	15 → 20	10
west	-	-	10 → 20
Slikken van Kats	-	70	20
Verdr. Lnd v Z Bvld	-	-	-

Tabel 3: Overzicht Breedte brekerzone golven

6. Beperkingen

6.1 Software

De resultaten van de berekeningen uitgevoerd met SWAN-1D geven maar een summier beeld. Het is een eerste indicatie en verkenning betreffende golven die breken aan de randen van intergetijdengebieden.

Het is aan te bevelen om in het vervolg 2D berekeningen uit te voeren vanwege de meer 'realistische' aanpak met 2D berekeningen. Met SWAN-2D berekeningen wordt een 2D-rooster gebruikt die het hele te bestuderen gebied overlapt. De invloed van o.a. golfrefractie kan beter worden gesimuleerd. Bovendien kunnen de invloeden van wind en stroming beter worden gesimuleerd.

Tijdens de analyse van de berekeningsresultaten met SWAN-1d is gebleken dat een foute invoer is gedaan. Namelijk in de invoer is een windrichting aangehouden van 270° en/of 285°. Het is beter om met 1D berekeningen de windrichting gelijk aan de

raairichting te nemen. Het opnieuw uitvoeren van de berekeningen met de gewijzigde invoer is niet gelukt vanwege problemen met SWAN-1D. Door hardware problemen loopt de software vast. Dit betekent dat de invloed van de windrichting niet bekend is. Verwacht wordt dat deze invloed nihil zal zijn omdat de wind set-up in beide gevallen niet is aangezet.

6.2 Gebrek

Over brekende golven en het effect daarvan op de morfologie en vegetatie is weinig bekend. De aangehouden criteria van spilling, transitional en plunging golven worden veel gebruikt bij het ontwerpen van constructies. De plunging golf is berucht vanwege de grote schade die aan gericht kan worden aan beschermingsconstructies op waterkeringen. Vanuit dit gegeven is aangenomen dat deze golven ook behoorlijk veel schade kunnen aanrichten op onbeschermden randen zoals bij intergetijdengebieden. Echter wat het effect is op de lange termijn is moeilijk te bepalen. Het is mogelijk dat door stroming het verplaatste sediment permanent verdwijnt of juist weer terug wordt afgezet in het gebied van herkomst. In SWAN-2D, waarmee stroming beter is te simuleren, is het wellicht mogelijk om hierover een betere uitspraak te doen.

Literatuur

- Leo C. van Rijn, Principles of fluid and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans. 1990

