

DE BRANDINGS-STROMING

ACHTER EEN GOLFBREKER.

door;

T. Schuhmacher

Begeleider: dr. ir. N. Booij Hoogleraar: prof. dr. ir. C.B. Vreugdenhil

Technische Hogeschool Delft Afdeling der Civiele Techniek Vakgroep Vloeistofmechanica

Delft, maart 1986

HOOF	DSTUK	:		BLZ.
	Inho	udsopga	ve	i
	Gera	adpleeg	de literatuur	ii
1.	Over	zicht		1
2,	Prob	leemste	lling	2
3.	Lite	ratuur	onderzoek	5
4.	Afba	kening	en aannames	7
5,	Afsc 5,1	hatting Formul	van de golfopzet en de stroomsnelheid eringen	9 9
	5.2	Schatt	ing	12
6,	Keuz	e van h	et numerieke model	16
7.	Gege	vens va	n de numerieke modellen	20
	7.1	Keuze	maaswijdte en modelgrenzen voor beide modellen	20
	7.2	Gegeve	ns voor de golfberekening	23
	7.3	Gegeve	ns voor de stromingsberekening	26
8.	Bere	keninas	resultaten	32
0.	3.1	Result	aten van de golfberekening	32
	8.2	Result	aten van de stromingsberekening	35
		8.2.1	Onderzoek naar de stationaire toestand	35
		8.2.2	Golfopzet	36
		8.2.3	Stromingsrichting	39
		8.2.4	Zuidelijke grens	40
	8,3	Gevoe!	igheidsonderzoek	41

9. Conclusies

- i -

46

Geraadpleegde literatuur.

- 1-. Battjes, J.A., 1974, Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-genarated waves, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, 244 pp.
- 2-. Battjes, J.A. and J.P.F.M. Jansen, 1978, Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference Hamburg, A.S.C.E. New York Vol. I pp. 569-587, T.H.-bibl. nr. 1685 6285
- 3-. Mei, C.C., 1982, The applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, T.H.-bibl. nr. 1753 5256
- 4-. Liu, P.L.F. and Mei, C.C., 1975, Effects of a breakwater on nearshore currents due to breaking waves, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Tech. Mem. 57, 264 pp.
- 5-. Gourlay, M.R., 1978, Wave set-up and wave generated currents in the lee of a breakwater of headland, Department of Civil Engineering University of Queensland, St. Lucia, Australia, T.H.-kustwaterbouwkunde rapporten 175 en 238^a.
- 6-. Basco, D.R., 1982, Surf Zone Currents volume I, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Miscellaneous report no. 82-7 (I).
- 7-. Visser, P.J., 1984, A mathematical model of uniform longshore currents and the comparison with laboratory data, Laboratory of Fluid Mechanics, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, Report No. 84-2, 151 pp.

- i i -

-iii-Vervolg literatuur.

- 9-. Booij, N., Holthuijsen, L.H. and Herbers, T.H.C., 1985, The shallow water wave hindcast model HISWA Part I: phisical and numerical background and part II: test cases, Group of Fluid Mechanics, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, Report No. 6-85, 65 pp. resp. 29 pp.
- 9-. J.A. Battjes, 1986, Korte Golven, Collegedictaat b-76, T.H.-Delft.
- 10-. E.W. Bijker et al., 1982, Coastal Engineering Volume I (Introduction), Collegedictaat f-11a, T.H.-Delft.
- 11-. E.W. Bijker et al., 1980, Coastal Engineering Volume II (Harbor and Beach Problems), Collegedictaat f-11b, T.H.-Delft.
- 12-. C.B. Vreugdenhil, 1981, Waterloopkundige berekeningen I. Collegedictaat b-84, T.H.-Delft.
- 13-. C.B. Vreugdenhil, 1984, Waterloopkundige berekeningen II. Collegedictaat b-85, T.H.-Delft.
- 14-. T. Schuhmacher, 1985, Aanzanding nabij de haven van Viana do Castelo (tekst en bijlagen), Afstudeerverslag.

1. OVERZICHT

- 1 - -

In deze deelstudie wordt het stromingspatroon ten gevolge van een inkomend golfveld achter een golfbreker beschouwd. Het inkomend golfveld zal achter de golfbreker ten gevolge van diffractie en refractie vervormen. De golfkrachten die hieruit afgeleid kunnen worden drijven een brandingsstroom aan.

Een analytische oplossingsmethode van de hiervoor te hanteren formules is te complex, vooral voor een onregelmatige bodemligging. Daarom is gekozen voor een numerieke oplossingsmethode.

Hierbij is gebruik gemaakt van twee computermodellen; één ter bepaling van de golfkrachten ("radiation-stress"-componenten) (HISWA) en één voor de stromingsberekening (DUCHESS).

De golfaangedreven stroming achter een golfbreker is voor twee verschillende bodemliggingen bekeken. Allereerst voor een gekromde kust en vervolgens voor een rechte kust.

Het hierbij ontstane stromingspatroon is in kwantitatieve zin voor één invallende golfrichting uitgewerkt en de richting van de opgewekte brandingsstroom blijkt afhankelijk te zijn van de bodemligging.

2. PROBLEEMSTELLING

Viara Do Castelo is een havenstad in het noorden van Portugal. Door een toename van de activiteiten in de stad, was het gewenst de havenfaciliteiten uit te breiden. In het kader van deze uitbreiding, is besloten een lange golfbreker te bouwen, om zodoende de scheepvaart en de haven meer bescherming te bieden (zie bijlage 1). Deze golfbreker is begin 1982 gereed gekomen en loopt nagenoeg evenwijdig aan het kustgedeelte ten zuiden van Viana do Castelo. Tussen deze kust en de golfbreker loopt de toegangsgeul tot de haven.

Doordat dit kustgedeelte nu grotendeels wordt beschermd tegen de invallende golven, is er een verandering van het golfklimaat aan de ingang van de haven geconstateerd. Het gevolg hiervan was een aanzanding tegen de havendam, die loodrecht op dit strand is gesitueerd en als scheiding fungeert met de toegangsgeul tot de haven. Deze aanzanding ging dusdanig snel, dat na 2 jaar reeds een zandtransport om de kop van de havendam plaats vond en er werd gevreesd voor een aanzanding van de toegangsgeul tot de haven. Zie hiervoor Schuhmacher (1985). De voornaamste conclusie van deze studie is dat de aanzanding tegen de havendam een evenwichtsprofiel zal bereiken, indien de havendam wordt verlengd.

Bij de hiervoor gemaakte kustlijnberekening is geen rekening gehouden met secundaire invloeden. De belangrijkste invloed die verwaarloosd is, is de aanwezigheid van een gradiënt in de golfspanning langs de kust, die verantwoordelijk is voor een verschil in golfopzet langs de kust. Hoe hoger de invallende golf, des te hoger de golfopzet is. Aangezien in het schaduwgebied van de golfbreker de golfhoogte gereduceerd wordt, is ook de golfopzet hier geringer. Dit houdt dus in dat er een verhang in de gemiddelde waterspiegel langs de kust ontstaat, waardoor het water in de richting van de havendam zal gaan stromen. Dit verschijnsel zal de aanzet zijn tot een circulatiestroming in het schaduwgebied van de golfbreker. Deze toestand zal echter alleen optreden aan de schaduwzijde van de golfbreker bij schuin invallende golven uit west- of noordwestelijke richting. Bij golven uit zuidwestelijke richtingen zal het verschil in golfopzet een

-2.-

minder belangrijke rol spelen, omdat de golven dan ongestoord de kust kunnen bereiken en de golfbreker weinig invloed op de eankomende golven kan uitoefenen. In dit geval zal een normale langsstroming ten gevolge van de golfschuifspanningscomponent in de brandingszone optreden, in de richting van de langs de kust ontbonden golfkrachten. Bij golven uit west- of noordwestelijke richting geldt dit ook, maar dan ligt het cunt waarbij de invloed van de golfbreker niet meer merkbaar is. verder zuidwaarts.

In dit deelrapport wordt getracht een schatting te maken van het stroombeeld dat het gevolg is van een gradiënt in de golfopzet langs de kust. Deze aandrijvende kracht zal vermoedelijk een stationaire stromings-toestand doen instellen.

Vervolgens kan worden nagegaan wat de invloed van dit stroombeeld zal zijn op het sediment transport. Wel moet dan het stroombeeld bij verschillende golfrichtingen worden bekeken en de hierbij geldende frequenties van voorkomen moeten in de resulterende zandtransport berekening worden verdisconteerd. Nu deze in eerste instantie verwaarloosde effecten in ogenschouw worden genomen, kan er worden bezien of er nog een additioneel zandtransport zal gaan optreden. Met andere woorden er kan worden nagegaan wat de invloed van het golfopzet verschil langs de kust is op het ontwikkelde kustprofiel, waardoor een nauwkeurigere voorspelling van het kustprofiel mogelijk wordt. Vooral van belang hierbij is, in welke mate een aanzanding van de toegangsgeul is te verwachten.

Ook kan inzicht worden verkregen in de eventuele hinder die de scheepvaart zal ondervinden ten gevolge van het opgewekte stromingspatroon. De invloed hiervan zal hoofdzakelijk afhangen van de stromingsrichting en de sterkte van de stroming in de toegangsgeul tot de haven.

Tot slot geeft het stroombeeld achter de golfbreker een beter fysisch inzicht. Het ontstaan van een circulatiestroom achter een golfbreker is theoretisch wel beschreven, maar een kwantitatieve beschouwing hiervan wordt meestal achterwege gelaten, vooral indien sprake is van een onregelmatige bodemligging. Door de ontwikkeling van geavanceerde

-3.-

computermodellen, is het mogelijk om langs numerieke weg een schatting van het stromingspatroon te geven.

3. LITERATUUR ONDERZOEK

Onderzoek naar het stromingspatroon achter een golfbreker is onder meer verricht door Liu en Mei (1975 en 1982). In deze cublicatie wordt het stromingspatroon nabij een golfbreker loodrecht op de kust en evenwijdig aan de kust beschreven. Hier zal het laatste geval kort worden samengevat, omdat deze situatie relevant is voor de haven van Viana do Castelo. Allereerst wordt er verondersteld dat de dieptelijnen recht en evenwijdig aan de kust lopen en dat de diepte langzaam verandert binnen een golflengte hetgeen dus een flauwe bodemhelling impliceert. Het golfbeeld achter de golfbreker wordt bepaald bij een regelmatig uniform invallend golfveld. Hierbij spelen refractie en diffractie-invloeden een rol. Dit verstoorde golfveld wordt analytisch benaderd. Hierbij wordt er verondersteld dat de verandering van de golfhoogte in de richting van de golfstraal klein is, ten opzichte van de verandering loodrecht hierop (dus in de richting van de golfkam). Verder wordt er verondersteld dat er geen energie verlies optreedt en dat de golfreflectie te verwaarlozen is. De hier gebruikte afleiding blijkt goed te voldoen op enige golflengtes van de golfbreker verwijderd en waar het water niet te ondiep is.

Met behulp van dit golfveld worden de golfspanningen numeriek berekend evenals de gemiddelde waterstand en de resulterende stroomsnelheden.

De stroomfunctie wordt berekend, waarbij de convectieve traagheid en de laterale wrijving worden verwaarloosd. De berekeningen werden gemaakt bij zowel rechte als bij scheef invallende golven voor twee verschillende waarden van de bodemwrijvingscoëfficiënt.

Het resulterende stromingspatroon levert een roterende cel achter de golfbreker op, hetgeen kwalitatief ook van te voren voorspeld was.

Als resultaat van de berekening zijn in de bijlagen 2a en 2b de contouren van de gemiddelde waterstand en het verloop van het stroomlijnen patroon weergegeven voor een loodrechte golfinval en bij een dimensieloze weerstandscoëfficiënt van $C_f=0.01$. Het blijkt dat bij deze situatie een maximale

-5.-

stroomsnelheid optreedt in het centrum van de cel, en wel $v_{max}=0.55$ m/s.

De grootte van de weerstands-coëfficiënt bleek weinig invloed te hebben op de gemiddelde waterstand, maar wel op de grootte van de stroomsnelheid. Een grotere weerstand bleek een lagere stroomsnelheid tot gevolg te hebben.

De gemiddelde waterstand en de stroomlijnen bij een scheve golfirval met een weerstands-coëfficiënt van $C_f=0.01$ zijn als bijlage 2c en 2d toegevoegd.

Het sedimenttransport is niet beschouwd.

De publicatie eindigt met enige praktijk voorbeelden van de beschreven uitgangspunten. Hierin bevestigen waarnemingen het theoretisch voorspelde stromingspatroon.

4. AFBAKENING EN AANNAMES

Voordat een berekening van de waterstand en stroomsnelheden wordt gemaakt, zullen allereerst enkele aannames worden gedaan omtrent de uitgangspunten. Ook zal het terrein enigszins afgebakend moeten worden, met het oog op de vele invloeden die op dit probleem betrekking kunnen hebben. Deze uitgangspunten zijn als volgt:

- Het stromingspatroon zal in deze deelstudie slechts voor één golfrichting bepaald worden. Bij voorkeur uit een richting die representatief is voor de haven van Viana do Castelo en waarbij een gradiënt in de golfopzet langs het strand te verwachten is.
- Er worden geen sedimenttransport berekeningen gemaakt. Indien het sedimenttransport bepaald moet worden, dienen stromingspatronen behorende bij de verschillende windrichtingen met de desbetreffende frequenties bekend te zijn.
- 3. De invloed van de rivier de Lima op het stromingspatroon wordt buiten beschouwing gelaten. De stroomsnelheid ten gevolge van de gemiddelde rivierafvoer is klein, terwijl de maximale stroomsnelheid ten gevolge van de komberging globaal 0.1 m/s is (Schuhmacher, 1985).
- 4. Voor de keuze van een representatief golfveld, zie Schuhmacher (1985). De belangrijkste motiveringen zijn de volgende:

Er is gekozen voor een golfklimaat afkomstig uit de golfatlas "Ocean Wave Statistics". Hierbij zijn de verschillende geregistreerde golfhoogten gedurende een vijftal jaren samengevat door één karakteristieke golfhoogte per golfrichting. Op basis van de golfhoogte tot de macht 2.5 ($\overline{H}_{2.5}(sign)$) worden de golfhoogten gemiddeld. Dit is gedaan omdat het zandtransport evenredig is met de golfhoogte tot de macht 2.5.

Anders is het echter indien de golfkrachten bepaald dienen te worden. De golfkrachten zijn evenredig met de energie van de golven en dus evenredig met het kwadraat van de golfhoogte. Daarom is het in dit verband beter het

-7.-

kwadratisch gemiddelde van de golfhoogten te nemen $(\overline{H}_2(sign))$, dan de gemiddelde golfhoogte op basis van de macht 2.5 $(\overline{H}_{2.5}(sign))$.

De overwegende golfrichting blijkt in de westelijke golfrichtings-sector te liggen, waarbij het gemiddelde van de energie niet in het midden ligt van een golfrichtingssector (deze is 30^o), maar ongeveer 5^o zuidelijker. Bij deze richting blijkt het kustgedeelte dat buiten de invloed van de golfbreker valt in een dynamisch evenwicht te verkeren, hetgeen overeenstemt met de werkelijkheid. Voor de golfperiode wordt een lineair gemiddelde aangehouden. Men mag veronderstellen dat de geschatte waarden uit de "Ocean Wave Statistics" een onregelmatig golfveld vertegenwoordigt.

De parameters van het golfveld zijn nu:

$\phi_{0,N} = 265^{\circ}$	golfrichting in diep water, rechtsom
	gemeten t.o.v. het noorden.
$\overline{H}_2(sign) = 2.60 \text{ m}.$	kwadratisch gemiddelde significante
	golfhoogte in diep water.
T = 7.6 s.	gemiddelde golfperiode van een
	onregelmatig golfveld.

Voor het breek-criterium wordt een brekerindex van $\chi = 0.7$ aangehouden.

Omdat geen gegevens over de bodemruwheid bekend zijn, wordt hiervoor een waarde aangenomen van r=0.06 m.. De invloed op de weerstand is niet erg groot.

- 5. De invloed van de getij-stroming langs de kust is te verwaarlozen, omdat de getijde-golf loodrecht op de Portugese kust aankomt. Dit is af te leiden uit de havengetallen langs de Portugese westkust (Schuhmacher,1985).
- 6. Aangezien de aanzanding tegen de havendam momenteel reeds in grote mate heeft plaatsgevonden, zal deze bodemligging het uitgangspunt voor de verdere stromingsberekeningen zijn. Aangehouden wordt de bodemligging zoals die in feb/mrt 1984 (± 2 jaar na voltooing van de golfbreker) is gemeten, omdat hiervan de meeste gegevens bekend zijn. In bijlage 1 is deze bodemligging getekend.

-8. -

5, AFSCHATTING VAN DE GOLFOPZET EN DE STROOMSNELHEID.

Voordat een numerieke berekening gemaakt wordt, zal een afschatting worden gemaakt van de golfopzet en de te verwachten stroomsnelheden. Dit verschaft een inzicht in welke orde van grootte de betreffende grootheden verwacht kunnen worden. Bovendien kan een vergelijking worden gemaakt tussen de resultaten van de numerieke berekening en de schatting, omdat geen meetgegevens van de stroomsnelheden en golfopzet in het kustgebied bekend zijn.

Verder kan een schatting gebruikt worden om een betere keuze te maken voor de gegevens die het numerieke model vereist. Bijvoorbeeld de breedte van het stroomprofiel geeft een aarwijzing voor de roosterafstanden.

Voor het maken van een schatting van de stroomsnelheden, worden alleen de belangrijkste termen meegenomen. Deze zijn de schuifspannings-component en de verhangterm met de bijbehorende bodemweerstand. De overige termen zoals de convectie term en de gradiënt in de golfspanning langs de kust zijn klein ten opzichte van de eerst genoemden en worden hier verwaarloosd. Allereerst zal een schatting worden gemaakt van de stroomsnelheden die optreden ten gevolge van de verhangterm met bijbehorende bodemschuifspanning en vervolgens zal een schatting worden gemaakt van de stroomsnelheden ten gevolge van de golf-schuifspanningscomponent eveneens met inbegrip van de bodemschuifspanning. Daarna zullen deze snelheden worden gesuperponeerd, zodat een indruk wordt verkregen van de orde van grootte van de te verwachten snelheden.

De schatting zal vooraf worden gegaan door de gebruikte. formules met de hiervoor geldende aannames.

5.1 FORMULERINGEN.

Een verandering van de golfspannings-component loodrecht op de kust, geeft een golfkracht loodrecht op de kust. Deze loodrecht op de kust ontbonden golfkracht kan geen stroming

-9. --

introduceren, maar wel een opstuwing van het gemiddelde waterniveau. Indien een krachtenbalans loodrecht op de kust wordt opgesteld, blijkt dat de golfkracht evenwicht moet maken met de verhangkracht.

De golfopzet die hiervan het resultaat is, is als volgt (zie Bijker et al., 1980):

$$h_{\rm br} = -1/16. \text{ y. H}_{\rm br}$$
 (5.1.1).
 $h_{\rm bs} = 5/16. \text{ y. H}_{\rm br}$ (5.1.2).

Waarin:

hbr	:	golf set-down t.p.v. de brekerlijn.
hbs	;	golf set-up t.p.v. het strand.
Hbr	:	golfhoogte t.p.v. brekerlijn.
X	;	breker-index = H(rms)/(d+h).
H(rms)	:	root-mean-square golfhoogte.
d+h	:	totale waterdiepte

Hierbij wordt er een lineair verband aangehouden tussen de golf set-down t.p.v. de brekerlijn en de golf set-up t.p.v. het strand (de zgn. "spilling-breaker" oplossing). De betrekking voor de golfopzet h in de brekerzone is dan:

 $h = \frac{5}{16} \cdot y \cdot H_{br} - \frac{3}{8} \cdot y^2 \cdot m \cdot x \qquad \text{voor} \quad x \leq \frac{H_{br}}{y} * \frac{1}{m} \qquad (5.1.3).$ Hierin is m de bodemhelling.

De aannames voor deze afleiding zijn:

- Uitgangspunt is de lineaire golftheorie, waarbij er van een monochromatisch golfveld wordt uitgegaan. Er wordt dus geen rekening gehouden met de aanwezigheid van een onregelmatig golfveld.
- Er wordt geen richtings-spreiding van het golfveld in rekening gebracht.
- Er wordt verondersteld dat het proces in ondiep water plaatsvindt.
- -. Ook is er bij de afleiding een hydrostatische bodemdruk verondersteld, hetgeen betekent dat de bodemhellingen flauw moeten zijn.

-. Er wordt uitgegaan van rechte en evenwijdige dieptelijnen.

-10. -

-. De golfkammen lopen evenwijdig aan het strand, hetgeen door refractie-invloed een redelijke benadering lijkt, maar niet volledig opgaat.

Povenstaarde beperkingen brengen met zich mee dat de golfopzet behoorlijk overschat kan worden. Vooral de aanwezigheid van een monochromatisch golfveld mag niet als reëel worden beschouwd. De golfopzet kan in de praktijk wel 50% lager liggen.

Voor een betere afleiding van de golfopzet wordt verwezen naar Battjes(1978), waar rekening wordt gehouden met een onregelmatig golfveld, waarbij de golfhoogte-verdeling in de brekerzone als een kansfunctie wordt beschreven.

Indien de gradiënt van de golf-schuifspannings-component langs de kust evenwicht maakt met de bodemschuifspanning is de resulterende langssnelheid als volgt (Bijker et al., 1980):

$$V = \frac{5.\pi \sqrt{9}}{8.\sqrt{2}} * \frac{\sin(\phi_{c})}{c_{0}} * \chi * \frac{C}{\sqrt{f_{W}}} * (d+h) * m \qquad (5.1.4).$$

Waarin:

V : de stroom snelheid gemiddeld over de diepte. g : de versnelling van de zwaartekracht. \$\vee\$\$\vee\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ de hoek van golf inval op diep water. c_0 : de golf fase snelheid in diep water. y : de breker-index. h : golfopzet t.o.v. het referentie-vlak. d : de waterdiepte t.o.v. het referentie-vlak. m : de strandhelling dd/dx. C : de Chézy coëfficiënt. f_w : een dimensieloze coëfficiënt.

Bij deze snelheidsverdeling zijn de volgende aannames gedaan:

-. evenwijdige dieptelijnen.

-. een ondiep water benadering voor de lineaire golf-theorie.

-11.-

- er wordt uitgegaan van een kleine hoek van golf inval op de brekerlijn.
- -. in de brekerzone is de stroomsnelheid verwaarloosd ten opzichte van de orbitale snelheid (zwakke langsstroom).

-. er wordt geen laterale wrijving in rekening gebracht.

Met deze aannames blijkt de snelheid een lineair verband te Febben met de waterdiepte (d+h) in de brandingszone.

De langesnelheid ten gevolge van de verhangterm is afhankelijk van het verhang evenwijdig aan de kust. Indien deze verhangkracht evenwicht maakt met de bodemschuifspanning resulteert de volgende vergelijking:

$$V_1 = \frac{\pi \sqrt{2}}{\chi} * \frac{C}{\sqrt{f_w}} * \sqrt{(d+h)} * i$$
 (5.1.5).

Waarin V_1 de langssnelheid t.g.v. de verhangkracht is en dh/dy = i het waterspiegelverhang.

Hierbij is de golf-schuifspannings-component langs de kust verwaarloosd.

5.2 SCHATTING.

Voor het maken van de schatting zijn behalve de in hoofdstuk 4 genoemde aannames de volgende uitgangspunten genomen:

- Er wordt uitgegaan van evenwijdige dieptelijnen, waarvan de richting een hoek van 20⁰ rechtsomdraaiend ten opzichte van het noorden maakt.
- 2. Er wordt met een monochromatisch golfveld gerekend.
- De geometrie van het kustgebied wordt geschematiseerd zoals die in bijlage 3-a fig. 2 is getekend.
- De golfhoogte verdeling op de brekerlijn langs de kust wordt uit het hoofdrapport (Schuhmacher, 1985) overgenomen.

Hierbij is er echter één restrictie.

-12. -

Namelijk de golfhoogte verdeling is bepaald voor een representatieve golfhoogte van $\overline{H}_{2,5}(sign)$, zoals in hoofdstuk 4 is beschreven. Terwijl het hier beter is als representatieve golfhoogte $\overline{H}_2(sign)$ te nemen.

Daarom wordt de golfhoogte op de brekerlijn met een factor $\overline{H}_{2}(sign)/\overline{H}_{2.5}(sign) = 2.60/2.81 = 0.93$ vermenigvuldigd.

De golfopzet of langsstroming wordt uitgerekend op basis van de root-mean-square golfhoogte. Wil men toch de significante golfhoogte aanhouden, dan moet een cmrekeningsfactor van $\sqrt{1/2} = 0.7$ in rekening worden gebracht.

De totale reducering van de golfhoogte op de brekerlijn wordt dan: $0.7 \pm 0.93 = 0.45$.

Verder wordt de slingering van de golfhoogte langs de kust, die het gevolg is van diffractie, als een rechte geschematiseerd. In bijlage 3-a fig. 2 is de golfhoogte op de brekerlijn langs de kust door een stippellijn weergegeven.

In formule:

 $H_{\rm Dr} = 0.65 \pm 0.32 = 0.21 \, {\rm m}.$ voor y <u><</u> 300 m. $H_{br} = 0.21 + \frac{(1.92 - 0.21)}{500} * (y - 300)$ voor $300 \le y \le 800$ m. $H_{br} = 0.65 \pm 2.96 = 1.92 m.$ y > 800 m. voor

5. Voor de bodemhelling in de brandingszone wordt een gemiddelde helling van 1:30 aangenomen.

Met behulp van formule 5.1.3 kan de golfopzet in de brandingszone uitgerekend worden. In bijlage 3-b zijn de iso-lijnen van de waterspiegel uitwijkingen getekend. Bovendien is hierin de brekerlijn en de kustlijn als een streeplijn weergegeven.

Vervolgens kan uit deze golfopzet een waterspiegelverhang evenwijdig aan de kust uitgerekend worden. Indien de gradiënt in de golfhoogte langs de kust nul is, is er ook geen verhang langs de kust. Dit geldt voor y ≥ 800 m. en y < 300 m.. Voor het kustgedeelte 300 < y < 800 m. volgt dat er een constant verhang langs de kust aanwezig is, omdat de gradiënt in de golfhoogte langs de kust lineair is aangenomen.

(5.2.1).

Nu kan de langssnelheid ten gevolge van de verhangkracht worden berekend door gebruik te maken van formule 5.1.5. De iso-lijnen van deze snelheden zijn in bijlage 3-c getekend. De snelheden die het gevolg zijn van de golf-schuifspanningscomponent zijn berekend met behulp van formule 5.1.4. In bijlage 3-d zijn de iso-lijnen van deze snelheden getekend. Hierbij moet worden opgemerkt dat de verandering van de golfrichting t.g.v. de diffractie achter de golfbreker niet in rekening is gebracht.

Vervolgens kunnen beide snelheden worden gesuperponeerd. Strikt genomen is dit niet geheel correct, maar men krijgt wel een idee van de orde van grootte van de te verwachten stroomsnelheden.

In bijlage 3-e zijn de gesuperponeerde snelheden weergegeven. Het gevonden snelheidsprofiel loodrecht op de kust is driehoekig, waarbij de maximale snelheid op de brekerlijn ligt. Buiten de brandingszone is de snelheid nul. Dit betekent dat er een steile snelheids-gradiënt op de brekerlijn aanwezig is, hetgeen niet reëel is. De oorzaak ligt in het feit dat er geen laterale wrijving in rekening is gebracht, welke de langsstroming breder maakt en de piekwaarde afvlakt.

Door deze laterale wrijving in rekening te brengen, kan hiervoor als vuistregel worden aangenomen, dat de stroming zich tot 0.6 * de brekerzone buiten de brekerlijn uitstrekt en dat de maximale snelheid optreedt op 2/3 van de brekerzone vanaf de kust gerekend, met een waarde gelijk aan de helft van de snelheid op de brekerlijn die in bijlage 3-e is getekend.

Deze snelheids-verdeling is in bijlage 3-f getekend.

Als gevolg van het feit dat aan de continuïteits-vergelijking voldaan moet worden, kan de conclusie worden getrokken dat er een toestroming van water buiten de brandingszone moet plaatsvinden. Op het punt waar de langsstroming tegengesteld gericht is, hetgeen het geval is voor y=300 resp. y=800, zal een afstroming resp. toestroming loodrecht op de kust ontstaan. Voor het hier tussenliggende kustgedeelte zal een retourstroming buiten de brandingszone optreden. Daar de waterdiepte hier over het algemeen groter is, zal dientengevolge de retoursnelheid kleiner worden.

-14,-

Hiermee is een meer kwantitatieve voorspelling van de circulatie-stroming tot stand gekomen, met name voor het gedeelte in de brandingszone.

Samengevat kan geconcludeerd worden dat er een maximale stroomsnelheid van 0.7 m/s verwacht kan worden op het kustgedeelte waar de invloed van de golfbreker gering is en een maximale stroomsnelheid van 0.4 m/s voor de diffractieneer. De maximale golfopzet ligt in de orde van 0.4 m. en de breedte van het stroomprofiel in de orde van 130 m..

6. KEUZE VAN HET NUMERIEKE MODEL.

Na een schatting van de stroomsnelheden te hebben gemaakt, zal nu getracht worden een nauwkeurigere voorspelling van de stroomsnelheden te maken.

De formules van de bewegingsvergelijking zijn dusdanig gecompliceerd, dat het moeilijk wordt een analytische oplossing te vinden. Daarom zal getracht worden het probleem numeriek op te lossen.

Globaal kan men de berekening in twee delen opsplitsen, namelijk een deel waarin de golfkrachten worden bepaald en een deel waarin de stroming wordt berekend.

Een belangrijke invoer hierbij is de bodemligging, die als bekend verondersteld mag worden en die voor beide uiteraard dezelfde is.

Beide delen worden bepaald door de randvoorwaarden die worden opgelegd.

Voor het gedeelte waarin de golfkrachten worden bepaald, is vooral het inkomend golfveld van belang. En van het gedeelte waarin de stroming wordt berekend zijn vooral de randvoorwaarden die op de randen van het model worden opgelegd van belang. Zo is het hier mogelijk een getij of kombergingsstroming in rekening te brengen door op de rand van het model de desbetreffende grootheden vast te leggen.

Vervolgens moet het model waarin de golfkrachten worden berekend in staat zijn de belangrijkste fysische verschijnselen redelijk goed te kunnen weergeven. Vooral van belang is hierbij: refractie, diffractie, het breken en ook de richtingsspreiding van de golven.

Met behulp van de golfkrachten kan de aangedreven stroming worden bepaald. Van belang voor de grootte van de stroomsnelheden zijn vooral de bodemwrijving en de (turbulente) viscositeit van het water. Verder is het te verwachten dat het stroombeeld stationair zal worden, omdat de golfkrachten niet in grootte zullen veranderen.

De stroming is afhankelijk van de golfkrachten, maar zal vervolgens weer invloed uitoefenen op de golfkrachten, omdat er dan sprake is van stroomrefractie. Het zou dus overwogen kunnen worden opnieuw de golfkrachten te bepalen bij de

-16, -

opgewekte stroming en deze golfkrachten zullen op hun beurt weer een verandering van het stroombeeld ten gevolge hebben. Dit proces kan men herhalen totdat het stroombeeld niet veel verandering meer ondergaat.

De te volgen werkwijze zoals die hiervoor is beschreven is schematisch in onderstaande figuuur weergegeven.



In de hierna volgende berekening is gebruik gemaakt van twee afzonderlijke numerieke modellen, die aan elkaar gekoppeld moeten worden. De terugkoppeling die in de figuur gestippeld is aangegeven, is niet gemaakt.

Om te beginnen zal een keuze moeten worden gemaakt voor een golfmodel. De belangrijkste eisen die aan dit model moeten worden gesteld, zijn reeds genoemd en worden hierna nogmaals in tabel 1 opgenomen. Bovendien zijn hierin de belangrijkste numerieke modellen opgenomen.

-17. -

Als praktisch punt is meegenomen de toegankelijkheid van het model tot de T.H..

_	DIFFRACTIE	REFRACTIE	BREKEN	GOLF - SPANNING	RICHTINGS- SPREIDING	Т.Н.
HISWA	-	+	+	+	+	+
CREDIZ	÷	+	+	?	-	-
PHAROS	+	+	- ?	-	-	-
VELD	-	÷	+	-	-	-

TABEL 1.

Hieruit blijkt dat het model HISWA als het beste naar voren komt, zij het dat geen diffractie in rekening kan worden gebracht. Wel wordt rekening gehouden met de richtingsbeide verschijnselen spreiding van de golven. Hoewel volstrekt verschillend van aard zijn, is er wel een vergelijkbaar gedrag achter de golfbreker te verwachten. Namelijk in beide gevallen wordt de golfenergie achter de golfbreker uitgesmeerd. In het geval van richtingsspreiding gebeurt dit meer gelijkmatig, terwijl bij diffractie een sterke reducering van de golfhoogten nabij de schaduwlijn optreedt. In de praktijk zullen beide processen een rol spelen, zodat een combinatie van beide de beste benadering zou zijn. Welk proces het belangrijkste is valt moeilijk te zeggen.

Samenvattend lijkt het HISWA model wel geschikt om in het beschouwde kustgebied de golfkrachten te bepalen. Nadeel is echter dat geen diffractie in rekening wordt gebracht. Het feit dat wel met een richtingsspreiding in het golfveld wordt gerekend, komt dit enigszins ten goede.

Tot slot zal een keuze moeten worden gemaakt voor een stromingsmodel. Zoals reeds eerder ter sprake is gekomen zijn hiervoor de bodemwrijving en de viscositeit van belang, evenals de convectie die in rekening moet worden gebracht. Verder moet het model in staat zijn de aandrijvende krachten die in het golfmodel bepaald zijn, in te lezen. Ook is er sprake van een golfopzet aan de kust, zodat er geëist moet worden dat het model met een vrije waterspiegel rekent.

-18. -

Deze voorwaarden zijn eveneens in tabelvorm opgenomen met wederom als praktisch punt de toegankelijkheid tot de T.H. en als extra informatie de manier waarop het model de te berekenen grootheder bepaalt (het rooster van het model).

	BODEM- WRIJVING	VISCO- SITEIT	CON- VECTIE	AANDRIJ- VENDE KRACHT	VRIJE WATER- SFIEGEL	т.н.	ROOSTER
DUCHESS	+	+	+	÷	+	+	rechthoekig
WAQUA	+	+	+	÷	+	+ -	rechthoekig
ODYSSEE	+	+	+	+	-	-	kromlijnig
FRIMO	+	-	-	+	-	-	kromlijnig
PHOENIX	+	+	+	+	-	+	rechthoekig

TABEL 2.

Uit deze tabel blijkt dat het model DUCHESS aan alle gestelde eisen voldoet en waarvan dus verwacht mag worden dat de stroomsnelheden ten gevolge van de in te lezen golfkrachten goed kunnen worden weergegeven.

7. GEGEVENS VAN DE NUMERIEKE MODELLEN.

7.1 KEUZE MAASWIJDTE EN MODELGRENZEN VOOR BEIDE MODELLEN.

Behalve de belangrijkste eigenschappen die in tabel 1 en 2 staan vermeld, zullen hier nog enige algemene opmerkingen en aanvullingen over de te gebruiken modellen worden gemaakt. HISWA staat voor HIndcasting Shallow WAter waves. Het model maakt gebruik van een rechthoekig rooster. Conventionele technieken maken gebruik van de golfstralen, maar indien er niet-lineaire termen zoals bodemdissipatie of het breken van de golven in rekening wordt gebracht, worden dit soort berekeningen te gecompliceerd en is het beter van een rechthoekig rekenrooster gebruik te maken. De berekeningen worden gemaakt met een expliciet schema, zodat enige stabiliteits-voorwaarden verwacht kunnen worden. Het model is 3-dimensionaal; 2 ruimte-dimensies (x en y) en één dimensie voor de richting van de golven (θ).

Verder is het model stationair, zodat de golfcondities onafhankelijk van de tijd zijn. De berekeningen vinden plaats in een vast rekenrooster.

De richtingsspreiding in het golfveld wordt geacht binnen een bepaalde richtingssector te vallen. Deze richtingssector is ten opzichte van het rekenrooster vastgelegd. Indien de golfrichting verandert t.g.v. bijvoorbeeld refractie of diffractie kan het voorkomen dat een hoeveelheid energie buiten deze richtingssector valt. In HISWA wordt deze energie als verloren beschouwd. Dit betekent dat de sectorhoek, waarbinnen de richtingsspreiding van de golven in rekening de wordt gebracht, voldoende groot moet zijn en dat hoofdrichting van de golven globaal met de rekenrichting overeen moet komen.

De bodemligging wordt ingevoerd in een bodemrooster dat eventueel een hoek kan maken met het rekenrooster en ook de maaswijdte kan hier eventueel aan verschillen.

DUCHESS is een model waarin gebruik wordt gemaakt van een impliciet rekenschema. Dit houdt in dat in eerste instantie geen beperkingen gelden betreffende de stabiliteit.

-20. -

Het model maakt ook gebruik van een rechthoekig rekenrooster. In dit robster echter moet ook de bodemligging worden ingevoerd, in welke punten ook de snelheid en de waterstand worden berekend. Het is niet mogelijk om met bijvoorbeeld een kleinere stapgrootte de berekening nogmaals te maken met hetzelfde bodemrooster. Hiervoor moeten dan ook de tussenliggende diepten worden ingevoerd. Deze beperkingen die voor DUCHESS gelden, werken ook indirekt door in HISWA, omdat daza de invoer DUCHESS Voor verzorgt, zodat het uitvoerrooster in HISWA dezelfde moet zijn als in DUCHESS. De belangrijkste eis die tot een keuze van de maaswijdte moet leiden is het feit dat de stroming in het kustgebied goed weergegeven moet worden. Hiervoor mag de roosterafstand niet te groot worden gekozen, omdat dan de details door de mazen van het net verloren gaan. Met andere woorden, het oplossend vermogen van het rooster moet voldoende groot zijn om een redelijke benadering van het stroombeeld te krijgen. Bovendien kunnen de mazen ook niet te klein worden, omdat dan de benodigde rekentijd ontzettend lang kan worden.

Allereerst zullen de roosterafstanden worden bepaald en vervolgens de gebiedsgrootte.

Loodrecht op de kust ontstaat er tot 1.6 maal de brandingszone een langsstroming (zie bijlage 3-f); zeewaarts hiervan zal een retourstroming ontstaan. Neem aan dat de breedte van de retourstroming dezelfde is als de breedte van de langsstroming. De totale stromingsbreedte van de diffractie-neer bedraagt dan: 2 * 1.6L = 2 * 130 = 260 meter (zie bijlage 3-f). Een vuistregel voor het goed weergegeven van deze stroming zegt dat dit gebied minimaal 6 punten moet bevatten. Indien hiervoor 8 punten worden gekozen, om een redelijke weergave van de stroming te verzekeren, wordt de roosterafstand in x-richting: $\Delta x = 30$ meter.

Omdat de maaswijdten van het rekenrooster en het bodemrooster in DUCHESS identiek aan elkaar zijn, worden ook voor HISWA deze gelijk gekozen.

De gradiënten van de stroming langs de kust (in y-richting) zijn kleiner te verwachten dan die in x-richting, omdat een relatief langgerekt stromingspatroon zal ontstaan. Daarom wordt de roosterafstand in y-richting iets groter gekozen en er wordt mee volstaan om hiervoor $\Delta y = 50$ meter te nemen. De gebiedsgrootte kan niet te klein zijn, omdat dan de randen invloed kunnen uitoefenen op het te beschouwen kustgedeelte. Wordt het gebied te groot genomen, dan zal de benodigde rekentijd weer toenemen.

De gebiedsgrootte die moet worden aangenomen om de diffractieneer goed te kunnen weergeven, moet in ieder geval het diffractie-gebied bevatten. Dit is het kustgebied dat zich achter de golfbreker uitstrekt. De lengte van het kustgebied waarin de diffractie-invloed nog merkbaar is, is ongeveer 1500 meter (zie bijlage 3-a). Maar de kustlijn zuidelijk hiervan vertoont een bocht (zie bijlage 1), die van invloed kan zijn op de stroming in het te beschouwen kustgedeelte. Daarom is het verstandig om ook een deel van deze kustlijn in het model op te nemen. In eerste instantie wordt voor de totale lengte van het model in y-richting 3000 meter gekozen, inclusief de rivier de Lima die aan de noordkant van de havendam ligt. De afstand van de golfbreker tot de kust is 1260 meter. Hiermee wordt het gebied waarin het stromingspatroon wordt beschouwd: 1260 * 3000 meter. Met de reeds aangenomen roosterafstanden zijn dit dus 43 ¥ 61 = 2623 punten.

Voor de richting van het bodem- en uitvoerrooster in HISWA en het rooster in DUCHESS wordt aangenomen dat deze een hoek van 20^o rechtsomdraaiend maakt ten opzichte van het noorden. Dit is gedaan omdat op deze manier de dieptelijnen grotendeels evenwijdig aan dit rooster lopen. De geometrie van het kustgebied wordt dan zo weinig mogelijk door trapjeslijnen weergegeven, welke indirekt een vergroting van de bodemweerstand met zich meebrengt.

Ook voor het coördinaten-stelsel, ten opzichte waarvan alle coördinaten en richtingen moeten worden opgegeven wordt dezelfde oriëntatie aangehouden. De oorsprong van dit stelsel wordt in het meest noordelijk punt van de hiervoor genoemde roosters op de kust aangenomen, waarbij de x-as zeewaarts gericht is en de y-as langs de kust zuidelijk gericht. De richting van het rekenrooster in HISWA wordt in de golfrichting aangenomen.

-22. -

7.2 GEGEVENS VOOR DE GOLFBEREKENING.

Allereerst is het van belang dat het rekenrooster niet alleen door fysische overwegingen wordt bepaald, maar ook door de numerieke voorwaarden. Er moet gecontroleerd worden of de stabiliteits-voorwaarden bij het gekozen rekenrooster wel verzekerd zijn.

Vervolgens moet een keuze worden gemaakt voor de fysische invoer parameters die het model verlangt.

Deze eerste stabiliteits-voorwaarde is als volgt:

$$\frac{dx}{dy} \leftarrow \frac{2}{Cy} \qquad (7.2.1).$$

Waarin:

dx : stapgrootte in x-richting. dy : stapgrootte in y-richting. Pn : dimensieloze constante; gewoonlijk gelijk aan: 0.7. Cx : voortplantingssnelheid van de golven in x-richting. Cy : voortplantingssnelheid van de golven in y-richting.

In afwezigheid van stroming gaat de formule over in:

$$\frac{dx}{dy} \quad (Pn \ \ \ \ cotg(\theta) \tag{7.2.2}$$

Waarin:

 θ : de voortplantingsrichting van de golven t.o.v. de hoofdrichting.

De tweede stabiliteits-voorwaarde is:

 $\frac{dx}{d\theta} \leftarrow \frac{Pd}{C\theta} + \frac{Cx}{C\theta}$ (7.2.3).

Waarin:

d θ : de stapgrootte voor de richtingsspreiding in het golfveld. Pd : dimensieloze constante; gewoonlijk gelijk aan: 0.7. C θ : de voortplantingssnelheid in de golfspreidings-richtingen.

-23. -

Deze formule kan ruw benaderd worden door:

 $\frac{dx}{d\theta} \langle Pd + d/m$ (7.2.4).

Waarin:

d : de bodemdiepte. m : de bodemhelling.

Reeds eerder is opgemerkt dat de sectorbreedte waarin de energieverdeling plaats heeft, zo groot mogelijk moet worden gekozen om te voorkomen dat er energie buiten de sector gaat lopen waardoor energieverlies optreedt. De maximale sectorbreedte θ_0 wordt bij de reeds gekozen stapgrootten in x en y-richting uit formule 7.2.2 berekend:

 $\tan(\theta_{o}) \leq \frac{dy}{dy} * Pn = \Rightarrow \theta_{o} \leq \arctan(\frac{50}{30} * 0.7) = \Rightarrow \theta_{o} \leq 49^{o}$

Hierin is θ_0 nog steeds gemeten t.o.v. de hoofdrichting van de golven, zodat de totale sectorbreedte 2 maal zo groot wordt. Voor deze sector wordt in de berekening een hoek van 90^o gekozen, om de stabiliteit te verzekeren. Verder moet worden voldaan aan de tweede stabiliteitseis. Volgens formule 7.2.4 is de stabiliteits-voorwaarde het meest beperkend bij kleinere diepten en steile bodemhellingen. Stel bijvoorbeeld dat in de branding de volgende extreme omstandigheid geldt: m = 1/10 = 0.1 en de diepte is: d = 0.5 meter. Dan volgt uit formule 7.2.4:

 $d\theta \ge dx + \frac{1}{Pd} + \frac{m}{d} ==> d\theta \ge 30 + \frac{1}{0.7} + \frac{0.1}{0.5} ==> d\theta \ge 8.5^{D}$

Voor de resolutie van de richtings-spreiding wordt derhalve gekozen voor $\Delta \theta = 9^{\circ}$, zodat per punt 10 berekeningen voor de energie spreiding worden gemaakt. Met deze aannames mag worden verwacht dat grotendeels aan de stabiliteitsvoorwaarden kan worden voldaan. Deze eis is echter minder stringent, omdat het programma zelf voor ieder punt deze eis controleert. Indien niet aan de eis wordt voldaan, wordt de

-24. -

voortplantingssnelheid C θ in formule 7.2.3 lokaal gereduceerd, zodanig dat wel weer aan de voorwaarde wordt voldaan. Dit heeft echter wel als gevolg dat de nauwkeurigheid afneemt indien dit veelvuldig voorkomt.

Tot slot moeten de parameters van het golfveld op de rand van het model worden opgegeven.

Voor de richtingsspreiding van het golfveld zijn geen gegevens bekend, waardoor met een redelijke schatting zal moeten worden volstaan.

Indien sprake is van deining zal de richtings-spreiding veel kleiner zijn dan dit bij golven in een windveld het geval is. Globaal kan worden aangenomen dat de richtings-spreiding van deining ongeveer 10° bedraagt, terwijl voor golven in een windveld ongeveer 30° kan worden aangenomen. Meestal komt een combinatie van beide gevallen voor en zeker bij de haven van Viana do Castelo, die direkt aan de Atlantische Oceaan grenst.

Hier wordt in eerste instantie een richtings-spreiding van 30^D aangehouden, waarbij later eventueel de gevoeligheid in de richtings-spreiding kan worden getoetst. In het model wordt voor de richtings-spreiding een cosinus-verdeling tot een zekere even macht aangenomen. Indien een spreiding van 30^D bereikt wil worden, moet hiervoor een cosinus-kwadraatverdeling worden opgegeven.

Vervolgens moet een waarde voor de golfhoogte, golfperiode en golfrichting op de rand worden opgelegd.

In hoofdstuk 4 zijn deze reeds beschreven voor diep water omstandigheden. De waterdiepte op de rand van het model variëert van 10 tot 13.5 meter, waardoor de rand niet meer in relatief diep water kan worden aangenomen.

De golfperiode ondervindt geen verandering indien de golven in ondiep water komen. Anders is dit voor de golfhoogte en de golfrichting. Hiervoor wordt een eenvoudige refractie en shoaling berekening tot de modelrand uitgevoerd (zie bijlage 5-e).

Verder wordt er op gewezen dat de significante golfhoogte ingevoerd moet worden.

-25. -

De golfparameters die op de rand van het model worden ingevoerd zijn als volgt:

richtingsspreiding = 30° ϕ ' = 13° t.o.v. het coördinaten-stelsel wordt dit: ϕ ' = 167° . H(sign) = 2.40 m. T = 7.6 s.

De invoergegevens zijn opgenomen als bijlage 4-a. Het bodemrooster, het rekenrooster en een kleiner uitvoerrooster met hierin de ligging van de golfbreker en de havendam is te vinden op bijlage 4-b. De bodemligging, welke t.o.v. gemiddeld zeeniveau is gemeten (dit is 2 meter boven het referentie vlak Zéro Hidrogrâfico

7.3 GEGEVENS VOOR DE STROMINGSBEREKENING.

volgens bijlage 1), is in bijlage 4-c weergegeven.

Het stromingspatroon wordt berekend met het niet-stationaire model DUCHESS. Allereerst worden de beginvoorwaarden en de randvoorwaarden die moeten worden opgelegd besproken. Daarna wordt de tijdstap in het model bepaald en tot slot worden de fysische invoer parameters beschouwd.

De meest voor de hand liggende uitgangssituatie voor de begintoestand is de toestand in rust. Vanuit deze toestand grijpen dan de golfkrachten aan. De rusttoestand wordt plotseling verstoord door deze golfkrachten, waardoor het te verwachten is dat er een golf in het gebied gaat lopen. Ook kan er verwacht worden dat de uiteindelijke toestand wederom stationair zal worden, omdat de golfkrachten constant blijven.

Behalve de begintoestand moeten ook randvoorwaarden worden opgegeven.

Om te beginnen zijn dit de vaste randen, zoals de kust en de golfbreker. De randvoorwaarde die hier geldt is dat de stroomsnelheid in de richting loodrecht op de rand nul moet

-26. -

zijn. Als randvoorwaarde voor de rivier wordt opgegeven dat het debiet constant is. In deze berekening wordt er vanuit gegaan dat het debiet nul is, waardoor er geen invloed van de stroming van de rivier op het kustgebied te verwachten is. Er resteert nog een randvoorwaarde voor de zeerand, welke men liever niet zou willen opleggen. Daarom is het hier gewenst een zwakke randvoorwaarde op te leggen, welke de stroming in het gebied zo weinig mogelijk beïnvloed. Ook moeten de in het begin opgewekte golven niet worden teruggekaatst door de rand. Om deze uitdemping zo snel mogelijk te laten gebeuren wordt de zeewaartse randvoorwaarde als absorberend voorgesteld.

Volgens de karakteristieken theorie wordt er dan een waterstand oneindig ver weg opgegeven, waardoor het mogelijk wordt dat de golf het model uitloopt. Dit geschiedt overigens nooit volledig, zodat wel van een zwakke reflecterende randvoorwaarde wordt gesproken. Deze randvoorwaarde is als volgt:

$$u + 2\sqrt{g.(d+h)} = u_0 + 2\sqrt{g.(d+h_0)}$$
 (7.3.1).

Hierin zijn u en h de waarden binnen het model en u_0 en h_0 de waarden buiten het model. De waarde van u_0 wordt in DUCHESS verwaarloosd. De waarde van de waterstand h_0 wordt hier constant gehouden.

DUCHESS is een niet-stationair model, dus moet er gekozen worden voor de tijdstap waarmee het model de berekeningen uitvoert. Een kenmerkende parameter hiervoor is het dimensieloze Courant-getal.

Dit is als volgt gedefiniëerd:

$$\sigma = c * \frac{\Delta t}{\Delta \times}$$

Hierin is:

(7.3.2).

σ : het dimensieloze Courant getal.
 c : een karakteristieke snelheid.
 Δt : de tijdstap in de berekening.
 Δx : de stapgrootte in x-richting.

Omdat in het begin van de berekening een golf wordt opgewekt,

zal de karakteristieke snelheid voornamelijk worden bepaald door de voortplantingssnelheid van deze verstoring. Deze verplaatst zich met een snelheid $\sqrt{9.d}$. Indien zich na verloop van tijd een stationaire toestand heeft ingesteld, zal de stroomsnelheid u maatgevend worden.

De tijdstap kan dus als volgt worden bepaald:

$$\Delta t = \underbrace{\nabla \cdot \Delta x}_{q, d}$$
voor de begintoestand (7.3.3).
en
$$\Delta t = \underbrace{\nabla \cdot \Delta x}_{u}$$
voor de stationaire toestand (7.3.4).

Omdat in het begin van de berekening een plotselinge verandering optreedt ten gevolge van het aangrijpen van de golfkrachten in het model, is het verstandig het Courant-getal in het begin klein te kiezen, zodat de veranderingen goed gevolgd kunnen worden.

In eerste instantie geldt er geen stabiliteits-voorwaarde voor de berekening omdat het een impliciet model is, maar indien de veranderingen in de berekening niet goed gevolgd kunnen worden, omdat de tijdstap te groot is, kan toch instabiliteit optreden. Het is niet zo dat het Courant-getal oneirdig groot kan worden, maar het moet aangepast worden aan de te verwachten veranderingen.

Voor de begintoestand is een waarde van het Courant-getal: σ = 1 à 2 aangehouden, terwijl deze in de loop van de berekening groter is gekozen. Indien voor de begintoestand verder een gemiddelde diepte van d=7 meter wordt aangenomen, geldt voor de begintijdstap (formule 7.3.3):

 $\Delta t = 1.5 \times 30 \times (9.81 \times 7)^{-1/2} = 5 s..$

Na een aanloop periode kan het Courant-getal groter worden gekozen, bijvoorbeeld na 45 s. een Courant-getal van $\sigma =$ 4 à 6 waarmee de tijdstap tot $\Delta t = 15$ s. verhoogd kan worden. Stel dat er een golf ontstaat die met een gemiddelde voortplantingssnelheid van: $c = \sqrt{g.d} = \sqrt{9.81 \times 7} = 8$ m/s in de richting van de x-as loopt. De lengte van het model in x-richting is ongeveer 1200 meter (zie bijlage 3-a), zodat na 1200/8 = 150 s. de golf de absorberende rand heeft bereikt. Er mag dan worden verondersteld dat na 150 s. de opgewekte golf gaat uitdempen, waardoor het Courant-getal wederom verhoogd kan worden. Neem vervolgens bijvoorbeeld een Courantgetal van 6 à 10, waardoor de tijdstap $\Delta t = 30$ s. wordt. Voorlopig wordt aangenomen dat na 1500 s. een stationaire toestand wordt bereikt. Of dit ook het geval is, zal uit de berekening moeten blijken.

Samenvattend wordt voor het volgende rekenschema gekozen:

_	GETAL	TIJD- STAP At	TIJDS- DUUR	AANTAL REKEN- STAPPEN	TOTALE TIJDS- DUUR
1e stap	1 à 2	5 s.	45 s.	9	45 s.
2e stap	4 & 6	15 s.	105 s.	7	150 s.
3e stap	6 à 10	30 s.	1350 s.	45	1500 s.

TABEL 3.

Een belangrijke invoer voor DUCHESS zijn de golfkrachten die de uitvoer zijn van HISWA. Deze krachten zijn vectoren, waarvan eerst de x-component wordt ingelezen en vervolgens de y-component door middel van het commando WIND (zie bijlage 4-d voor de invoergegevens). Het valt hierbij op dat de ingelezen golfkrachten met een factor 2 worden vermenigvuldigd. Dit is gedaan omdat tijdens de berekeningen een fout in HISWA werd geconstateerd, waardoor de golfkrachten een factor 2 te laag bleken te zijn. Deze fout zal in HISWA worden gecorrigeerd, waardoor de krachten in DUCHESS dan niet nogmaals met 2 moeten worden vermenigvuldigd.

De fysische invoer parameters die DUCHESS vereist zijn de wrijving en de viscositeit.

De bodemruwheid is reeds in hoofdstuk 4 ter sprake gekomen, waar besloten is een waarde van r=0.06 m. te kiezen, omdat hiervoor geen meetgegevens bekend zijn. Hieruit kan de Chézy-coëfficiënt berekend worden (Bijker et al., 1980), die in het model ingevoerd moet worden.

Van de viscositeit kan een betere schatting worden gemaakt, omdat deze afhankelijk is van de mate van turbulentie. Vooral in de brandingszone is de turbulentie groot. Indien de golfhoogte groter wordt, is het te verwachten dat ook de turbulentie groter wordt. Turbulentie is een impulsuitwisseling, die het stromingsprofiel in de branding afvlakt

-29. -

en breder maakt. Een maat voor deze turbulentie is de (turbulente) viscositeit. Buiten de brandingszone is weinig turbulentie, zodat verwacht mag worden dat de invloed van de viscositeit hier beduidend minder is. Omdat hier alleen een stroming optreedt en geen brekende golven aanwezig zijn, kan de turbulentie buiten de brandingszone worden vergeleken met een waarde die gewoonlijk voor (beneden) rivieren geldt, globaal tussen de 0.01 en 0.1 m²/s.

Battjes heeft een theoretische aanzet gegeven tot een voorspelling van deze turbulente viscositeit te komen en met behulp van laboratorium proeven is deze theorie uitgewerkt tot een formule die een voorspelling voor de grootte van de viscositeit in de branding geeft (zie Visser, 1984). Het resultaat voor de maximale turbulentie snelheid in de brekerzone is als volgt, indien een voorbeeld uit de publicatie wordt overgenomen (Visser, 1984 formule 3.3.43; dit is dus geen algemene formule):

$$Y_{t} = M * 1 * 0.8 * \left\{ \frac{5}{32} \cdot \frac{1}{x_{p1}} \cdot 9 \cdot H_{0}^{2} \cdot c_{0} \cdot \cos(\varphi_{0}) \right\}^{1/3}$$
(7.3.5).

Waarin:

Υt	:	de (kinematische) turbulente viscositeit constant
		over de diepte. Ook wel: "eddy viscosity" genoemd.
М	:	de laterale wrijvings-coëfficiënt
		(een dimensieloze constante in de orde van 1).
1	:	karakteristieke lengte van de turbulentie;
		("mixing length").
9	;	de versnelling van de zwaartekracht.
Ho	:	de root-mean-square golfhoogte in diep water.
c _	:	de golf fase snelheid in diep water
φ_{\circ}	:	hoek van golfinval op diep water t.o.v.
,		de normaal van de kust (x-as).
×ol	;	afstand van de kust tot de "plunge-line".

Er wordt hier gesproken over de "plunge-line". Dit is de lijn waar de golven omslaan en breken. Terwijl meestal wordt gesproken van de "brekerlijn" $(x_{\rm br})$, waarmee de lijn van de grootste golfhoogte wordt bedoeld. Omdat het verschil tussen beide erg klein is, wordt hiervoor de brekerlijn aangehouden. Voor de waarde van 1 wordt meestal de waterdiepte d aangehouder.

Voor de waarde van M vermeldt Visser (1984) verschillende meetresultaten, maar hier worden de resultaten van de meest voorkomende situaties gebruikt, namelijk M= 2.5 à 3.

Voor het kustgedeelte waar de grootste golfhoogte (zie bijlage 3-f) aarwezig is, geldt dan voor een gemiddelde diepte in de branding van d=2.5 meter:

 $Y_{t} = 5.56 \text{ m}^2/\text{s}.$

Voor het kustgedeelte waar de kleinste golfhoogte (zie bijlage 3-f) aanwezig is, geldt voor een gemiddelde diepte in de branding van d=0.25 meter:

 $Y_t = 0.26 \text{ m}^2/\text{s}.$

Hieruit blijkt dus dat de viscositeit sterk afhankelijk is van de plaats.

Het programma DUCHESS hanteert een constante viscositeit voor het gehele gebied, hetgeen als een bezwaar is op te vatten. Er zal dus een keuze moeten worden gemaakt. Omdat het in eerste instantie gaat om de brandingsstroming, zal de viscositeit worden genomen die voor de brandingszone geldt en wel behorende bij de grootste golfhoogte.

Gekozen wordt voor een viscositeit van 5 m²/s.

Dit houdt in dat de viscositeit buiten de brandingszone en voor de kleinere golfhoogten veel te hoog wordt aangenomen, maar een gevoeligheidsonderzoek moet uitwijzen in welke mate het stromingspatroon hierdoor wordt beïnvloedt.

De invoergegevens zoals die hierboven zijn beschreven is opgenomen als bijlage 4-d.

-31.-
8. BEREKENINGS-RESULTATEN.

Nu alle invoergegevens zijn besproken, zal worden nagegaan in hoeverre de berekeningsresultaten zinvol zijn.

Omdat geen metingen bekend zijn kunnen de berekeningsresultaten niet hieraan getoetst worden. Wel kan worden nagegaan of de orde van grootte overeenkomt met de reeds gedane schattingen.

Verder zal de gevoeligheid van enige belangrijke invoergegevens op de berekening worden onderzocht. De test-cases worden genummerd voor zowel HISWA als DUCHESS. De reeds besproken gegevens voor de berekeningen zullen als uitgangspunt dienen en er wordt hiervan slechts één parameter veranderd, indien de gevoeligheid hiervan wordt bezien. Allereerst worden de resultaten van de golfberekening besproken, waarna de resultaten van de stromingsberekening

volgen. Tot slot zal de gevoeligheid van enkele belangrijke

8.1 RESULTATEN VAN DE GOLFBEREKENING.

parameters worden onderzocht.

De berekening van de golfkrachten met behulp van HISWA is gemaakt met de invoergegevens die reeds eerder ter sprake zijn gekomen (test-case TSO1). In bijlage 5-a zijn de iso-lijnen van de golfhoogte getekend. Het valt hierbij op de zuidelijke dat de golfhoogte in de nabijheid van gebiedsgrens afneemt. Dit is te verklaren uit het feit dat de energie die buiten de gebiedsgrens valt, als verloren wordt beschouwd. Men zou dit van te voren ook hebben kunnen voorspellen, maar de grootte van dit invloedsgebied laat zich moeilijker voorspellen. Na deze berekening kan de lengte van dit invloedsgebied worden opgemeten uit bijlage 5-a. Deze is ongeveer 800 meter. Bij een volgende berekening wordt het rekenrooster 1.5 maal deze afstand groter gemaakt (test-case TSO2). De hierbij behorende bodemligging is als bijlage 5-b toegevoegd en de iso-lijnen van de golfhoogte als bijlage 5-c. Hieruit blijkt dat de randinvloed van de golfhoogte in het te beschouwen kustgebied (dit gebied is omlijnd) zo goed

-32.-

als verdweren is. Er kan dus worden aangenomen dat er weinig golfenergie uit het te beschouwen kustgebied verdwijnt. Dijlage 5-d vertoont nogmaals van deze test-case de iso-lijnen van de golfhoogte in het kleinere uitvoergebied. Het valt op dat de iso lijnen in de richting van de kust plotseling knikken, hetgeen er op duidt dat de golven op dit punt breken en dat de golfhoogte verder kustwaarts afneemt. Indien deze "krikken" in de iso-lijnen als breekpunt wordt beschouwd, kan de brekerlijn langs de kust worden geconstrueerd, hetgeen op bijlage 5-d is aangegeven. Bovendien is de brekerlijn van bijlage 3-a er bij getekend, met dien verstande dat de significante golfhoogte hier met 0.93 is vermenigvuldigd (zie hoofdstuk 5.2).

Indien het golfhoogte verloop van beide gevallen met elkaar wordt vergeleken, vallen er hierbij twee dingen op (zie ook bijlage 8-c).

1. Allereerst is de golfhoogte op de brekerlijn (bijlage 3-a) voor het kustgedeelte waar de invloed van de golfbreker verwaarloosd kan worden, hoger dan die volgens HISWA is berekend. Toch zou men hier een golfhoogte in dezelfde orde van grootte verwachten. De oorzaak ligt waarschijnlijk in het feit dat er in het ene geval met een regelmatig golfveld is gerekend en in het andere geval met een onregelmatig golfveld.

Daarom is het mogelijk dat een verkeerde vergelijkbare golfhoogte in de HISWA-berekening op de rand is ingevoerd. De brekerlijn van bijlage 3-a is berekend voor een monochromatisch golfveld, evenals de golfhoogte die voor HISWA op de modelrand is opgelegd. Vanaf de modelrand wordt in HISWA met een onregelmatig golfveld verder gerekend.

In bijlage 5-e is het golfhoogte verloop naar de kust toe voor beide gevallen getekend, voor een kustgedeelte waar geen invloed van de golfbreker is verondersteld. Hieruit volgt dat de golfhoogte voor een monochromatisch golfveld vanaf de modelrand van HISWA af gerekend weer toeneemt. Terwijl de golfhoogte volgens HISWA berekend niet meer toeneemt.

Beter zou het zijn een HISWA berekening te maken met als uitgangspunt de golfhoogte in diep water, waarmee vervolgens de golfhoogte op de rand van het model kan worden bepaald. Dit is echter niet gedaan, waardoor er hier mee wordt volstaan met een vergelijkbaar lagere golfhoogte verder te rekenen.

2. Als tweede punt valt te constateren dat de gradiënt in de golfhoogte langs de kust ten gevolge van de diffractieberekening (bijlage 3-a) veel steiler is dan die in HISWA is berekend ten gevolge van de richtingsspreiding. Een verschil was van te voren reeds voorspeld, omdat HISWA niet met diffractie rekening houdt (zie het negatieve punt van HISWA in tabel 1 van hoofdstuk 6).

Kennelijk is de energie verdeling ten gevolge van de richtingsspreiding veel groter dan die ten gevolge van diffractie. Dit duidt er dus op dat de richtingsspreiding van het golfveld overheerst en dat het extra in rekening brengen van diffractie niet veel meer zal uitmaken voor de energie verdeling langs de kust.

Desalniettemin moet toch rekening worden gehouden met een afwijking van het werkelijk optredende stromingsprofiel. Hoe groot deze afwijking is valt moeilijk te schatten.

Er is gekozen voor een vrij grote richtingsspreiding, ramelijk 30^D, terwijl de halve sectorbreedte waarin de energie wordt behouden 450 is. Dit lijkt niet in overeenstemming met elkaar te zijn, omdat een grote richtingsspreiding ook een grotere sectorbreedte verlangt, maar omdat voldaan moet worden aan vergelijking 7.2.2 kan dit niet verwezenlijkt worden teneinde aan de stabiliteitsvoorwaarde te voldoen. Om nu deze invloed te testen (test-case TSO3) wordt een berekening gemaakt met een grotere halve sectorbreedte (namelijk 60°), waardoor de stapgrootte ∆x gehalveerd moet worden tot 15 m. Bovendien is de stapprootte in de richtingsspreiding bijna gelijk gehouden $(\Delta \theta = 10^{\circ})$, hetgeen een groter aantal berekeningen in de golfrichting betekent (namelijk 2¥60/10 = 12 berekeningen per punt). Bijlage 5-f toont wederom de iso-lijnen van de golfhoogte. Vergeleken met test-case TSO2 blijkt er weinig verandering te zijn ontstaan. Bovendien is het aantal berekeningen dusdanig toegenomen, dat er problemen ontstonden met de opslag van de data op schijf en bovendien de

-34. -

rekenkosten aanzienlijk toenamen. Test-case berekening TSO3 voert 2 maal zoveel berekeningen in het 7 - 7 vlak uit en 1.2 maal zoveel voor de richtingsspreiding.

Samenvattend is het niet nodig met dit rekenrooster verder te gaan, omdat de verschillen met het rekenrooster dat als uitgangspunt is gekozen aanvaardbaar blijken te zijn. Uitgangspunt voor de verdere berekening ter bepaling van de stroomsnelheden zal dus HISWA test-case TSO2 zijn.

8.2 RESULTATEN VAN DE STROMINGSBEREKENING.

Met de reeds besproken invoer voor DUCHESS wordt begonnen met DUCHESS test-case TS03.

De krachten invoer hiervan is bijgevoegd als bijlage 6-a en het bijbehorende stromingspatroon met hierin de iso-lijnen voor gelijke waterstanden als bijlage 6-b. Bij dit verkregen stromingspatroon zijn de volgende vragen gerezen, die puntsgewijs aan de orde zullen komen:

- -. Is er een stationaire stromingstoestand ontstaan.
- -. Is de golfopzet goed weergegeven.
- -. Is de stroming nabij de havendam goed weergegeven.
- Is de muistroming nabij de zuidelijke gebiedsgrens een randeffect of is deze het gevolg van een vermindering van de brandingsstroom.

8.2.1 Onderzoek naar de stationaire toestand.

De eerste vraag die gerezen is bij de stromingsberekening betreft het feit of er wel een stationaire toestand is opgetreden. Dit valt te. verwachten, omdat de golfkrachten constant in de tijd blijven. Hiertoe is dezelfde berekening nog eens in tijd voortgezet tot het tijdstip t=3600 s. In bijlage 6-d zijn de snelheid, waterstand en de golf- en

-35.-

verhangknacht in de tijd uitgezet voor het punt A (9,18). Dit punt is gekozen op een plaats waar de kustlijn reeds gebogen is, maar waar nog niet veel invloed van het einde van de havendem merkbaar is en welke bovendien in de brandingszone ligt.

Verder is voor het punt B (10,25), dat ook in bijlage 6-a is aangegeven, nogmaals de waterstand in de tijd uitgezet.

Uit de grafiek blijkt dat het tijdstip t=1500 waarvoor in eenste instantie een stationaire stroming was verondersteld, geen slechte schatting is geweest.

Bovendien is te zien dat er een golf in het kustgebied wordt opgewekt ten gevolge van de plotselinge verandering van de rusttoestand door het aanbrengen van de golfkrachten. Deze golf heeft een periode van globaal 300 s., maar op het tijdstip t=1950 s. is de variatie in de waterstand nog slechts enkele milimeters.

Daarom kan geconcludeerd worden dat voor het tijdstip t =1950 s. de stromingstoestand als stationair is te beschouwen.

8.2.2 Golfopzet.

Uit de eerste berekeningsresultaten bleek dat de golfopzet een factor 4 kleiner was dan de golfopzet die in hoofdstuk 5.2 is geschat. Bij nader onderzoek werd een fout in het HISWA-model ondekt, waardoor de golfkrachten een factor twee te laag werden berekend. Om dit op te vangen zijn de golfkrachten in DUCHESS met een factor 2 vergroot.

Omdat de golfopzet een lineair verband heeft met de golfkrachten, blijft de golfopzet die in DUCHESS wordt berekend nog steeds een factor twee kleiner dan die uit de schatting volgt.

Om deze resterende factor 2 te verklaren zijn de volgende mogelijkheden onderzocht:

- -. De ondiep water theorie is ten onrechte verondersteld.
- De richtingsspreiding van de golven mag niet verwaarloosd worden.

-36. -

-. De benadering van de golfopzet is verschillend.

De ondiep water benadering leidt er toe dat voor de verhouding tussen de groepssnelheid en de fasesnelheid van de golver (meestal genoteerd als n) geldt: n = 1. Deze waarde van n is afhankelijk van de diepte d en het golfgetal k. In dit geval geldt voor de grootste diepte waarin de golfkrachten een rol beginnen te spelen dat n = 0.85. Geniddeld over de gehele brandingszone geldt dan: n = 0.93. Deze factor is dus niet de oorzaak van het grote verschil in golfopzet tussen de schatting en de berekening in DUCHESS.

De richtingsspreiding van de golven houdt in dat de totale energie verdeeld is over verschillende richtingen. Hier wordt aangenomen dat dit volgens een $\cos^2 \varphi$ -verdeling plaatsvindt. Indien de energie dus geïntergreerd wordt over de richtingen, moet de totale energie wederom verkregen worden. In formule:

$$E = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2}{\pi} \times \cos^2(d\varphi) = 1$$

(8.2.1.1).

De golfopzet wordt echter alleen veroorzaakt door de golfkrachten die loodrecht op de kust gericht zijn, waardoor dus een fractie van de energie ten goede komt aan de golfopzet.

Met bovenstaande gegevens bedraagt deze fractie een factor 0.85 voor golven in diep water indien verondersteld wordt dat de golven loodrecht op de kust invallen.

Maar door refractie wordt de richtingsspreiding van de golven kleiner in de richting van de kust, waardoor de $\cos^2 \varphi$ benadering van het richtingsspectrum niet meer correct is. Een betere benadering zou dan een smaller richtingsspectrum zijn.

Omdat de golfopzet hoofdzakelijk in de brandingszone optreedt, kan verwacht worden dat de golven bijna loodrecht op de kust aankomen en dat de richtingsspreiding kleiner is geworden. Dus ook de eerder genoemde factor 0.85 is kleiner

-37. -

in de brandingszone. Hienwit moet geconcludeerd worden dat het verwaarlozen van de Hichtingsspreiding in de golven acceptabel is voor het schatten van de golfopzet.

Tot slot wordt gecontroleerd of het verschil in golfopzet verklaard kan worden uit het feit dat er verschillende benaderingen zijn gebruikt om de golfopzet te berekenen. HISWA maakt gebruik van de benadering die is voorgesteld door Battjes (1978) voor een onregelmatig golfveld.

Hierin wordt de golfhoogte als een kansfunctie beschreven, met als relatie voor de maximale golfhoogte: $H(max) = \chi *d;$ waar d de diepte en χ de brekerindex is.

De golfopzet die in hoofdstuk 5.1 is gegeven (Bijker et al. 1980) geldt voor een monochromatisch golfveld. De golfhoogte die hier voor de brandingszone geldt, kan worden afgeleid uit de betrekking: $H = \chi * d$. Deze betrekking geeft een vaste golfhoogte behorende bij één bepaalde diepte aan.

Het verschil in de benadering tussen beide berekeningen is het feit dat HISWA rekening houdt met golven in de brekerzone die op een bepaald punt lager zijn dan de brekerindex aangeeft en nog niet breken. Terwijl voor de schatting een constante relatie tussen de golfhoogte en de waterdiepte wordt verondersteld en niet rekening wordt gehouden met eventuele lagere voorkomende golfhoogten.

Beide benaderingen maken dus gebruik van een verschillende definitie van de brekerindex. In een nader onderzoek werden de berekeningsresultaten van HISWA vergeleken met de afleiding van de formule voor de golfopzet in hoofdstuk 5.1. Hieruit bleek dat de verschillende definitie voor de brekerindex de oorzaak was van het verschil in golfopzet.

Omdat de benadering van Battjes reëler is, kan er worden aangenomen dat de berekende golfopzet volgens HISWA goed is weergegeven. Ook laboratorium proeven hebben dit uitgewezen. Mede door het feit dat bij de formules 5.1.1 en 5.1.2 reeds de opmerking is geplaatst dat de op deze manier bepaalde golfopzet wel 50% overschat kan worden. Hjervit kan dus geconcludeerd worden dat er verwacht mag worden dat de golfopzet die volgens HISWA is berekend een redelijk goede benadering is.

In bijlage 6-b zijn de iso-lijnen van de waterstand voor 0, 0.1 en 0.2 m getekend.

8,2,3 STROMINGSRICHTING.

De derde overweging betreft het feit dat de stromingsrichting die ontstaat nabij de aanzanding tegen de havendam een andere richting blijkt te hebben dan in eerste instantie was verwacht. Zowel de theorie van Mei en Liu (1975) als de gemaakte schatting van het stromingspatroon (hoofdstuk 5.2) wijzen een tegengestelde stroming aan. Maar in beide gevallen werd van rechte en evenwijdige dieptelijnen uitgegaan, terwijl de numerieke berekening als uitgangspunt een willekeurige bodemligging heeft. In hoeverre de bodemligging invloed heeft op de stromingsrichting zal hierna worden onderzocht.

Wat in ieder geval geen invloed heeft op de stromingsrichting, is de wrijving en de viscositeit. Beide verschijnselen hebben welliswaar invloed op de grootte of de verdeling van de stroming, maar kunnen er niet de oorzaak van zijn dat de stromingsrichting verandert, omdat deze altijd door één of andere kracht moet worden aangedreven. Daarom zal voor een bepaald punt een krachtenbalans worden opgesteld. Er wordt gekozen voor het punt A (9,18) die op bijlage 6-a is aangegeven.

De aandrijvende kracht blijft constant en volgt uit de uitvoer van HISWA; de verhangkracht wordt berekend uit de uitvoer van DUCHESS voor het tijdstip t=1500 s.

Van beide krachten kan een resulterende kracht bepaald worden, namelijk:

 $F_{res} = 2.20 \text{ N/m}^2.$

Deze krachten zijn uitgezet in bijlage 6-c. Hierin is bovendien de richting van de kustlijn getekend. De richting van de verhengkracht is bijna loodrecht op de kust. Niet geheel omdat er ook een verhang langs de kust aanwezig is. Ook de golfkracht staat bijna loodrecht op de kust.

De ontbonden component langs de kust van beide krachten blijken hier een tegengestelde richting te hebben.

Indien de resulterende kracht wordt ontbonden in een kracht loodrecht op de kust en evenwijdig aan de kust, blijkt dat er sen zuidwaartse component resteert.

Zoals needs eerder is opgemerkt is het diffractie effect in de berekering niet meegenomen. Kwantitatief valt hier verder weirig over te zeggen.

Omdat bij deze kustlijn oriëntatie de twee langs de kust ontbonden krachten tegengesteld gericht zijn, rijst de vraag of dit ook het geval is voor een rechte kustlijn. Om dit te onderzoeken ligt het voor de hand ook een zelfde berekening te maken met als uitgangspunt een rechte kustlijn.

8.2.4 Zuidelijke grens.

Tot slot wordt aandacht besteed aan de muistroming die nabij de zuidelijke gebiedsgrens ontstaat. Ter plaatse van de muistroom verandert de kustlijn van richting, waardoor de golven meer loodrecht invallen. Dit heeft als gevolg dat de stroomsnelheid ten gevolge van de golfschuifspanningscomponent minder wordt. Omdat moet worden voldaan de aan continuīteitsvergelijking heeft dit als gevolg dat de stroming afbuigt tot buiten de brandingszone. Een tweede porzaak die dit effect kan versterken zou de randinvloed kunnen zijn. Om dit na te gaan is besloten een berekening te maken met een dichte rand als zuidelijke gebiedsgrens. Het te verwachten resultaat is een brandingsstroming, die zich langs deze dichte grens voortbeweegt tot in het diepe water. Indien dan nog steeds een muistroming optreedt, kan men met iets meer zekerheid zeggen dat het randeffect niet de oorzaak hiervan is. Deze test berekening is uitgevoerd als testcase TS04.

Het resultaat van deze stroming staat vermeld op bijlage 6-d. Indien dit stromingspatroon wordt vergeleken met het stromingspatnoon van test-case TSO3 (bijlage 6-b), is en een grote overeenkomst te constateren. Dit wijst en op dat de nandvoorwaande voor beide gevallen niet veel van elkaar verschi't, waardoor geen nadere conclusie omtrent de veranderde nandvoorwaarde getrokken kan worden.

Indien het stromingspatroon nabij de zuidelijke gebiedsgrens nader wordt beschouwd, valt er een toename van de stroomsnelheid in de laatste 200 m. te constateren, die naar de kust toe gericht is. Terwijl hiervoor geen directe eanleiding is, zoale uit het stromingspatroon is te zien dat verder van de rand af ligt.

En kan dus geen nadere conclusie omtrent de grootte van de muistroming worden getrokken, omdat er nog steeds sprake kan zijn van een randinvloed.

Of deze randinvloed het gevolg is van de knik in het dieptelijnen patroon op de rand van het model (zie bijlage 5-b) valt moeilijk te zeggen. Dit zou kunnen worden nagegaan indien het bodemrooster ten zuiden van de gebiedsgrens wordt uitgebreid.

Op het stromingspatroon nabij de zuidelijke gebiedsgrens zal niet verder worden ingegaan, omdat in eerste instantie het gebied van interesse nabij de havendam ligt.

8.3 Gevoeligheidsonderzoek.

Vervolgens zullen berekeningen worden gemaakt omtrent de gevoeligheid voor variaties in enkele belangrijke parameters. DUCHESS testcase TSO3 wordt als vergelijking gebruikt. Slechts één grootheid wordt veranderd terwijl alle andere gelijk blijven.

De volgende gevallen zullen nader worden onderzocht:

-. De viscositeit.

-. De richtingsspreiding in de golven.

-, De vorm van de kust.

De waarde van de viscositeit is in de berekening als $5 \text{ m}^2/\text{s}$

(test case TSO3) aangenomen, welke waarde het meest reëel is bij een grote golfhoogte. Om de invloed van de viscositeit op het stromingspatroon na te gaan, wordt en gekozen voor een tien keer zo kleine waarde, nl. 0.5 m 2 /s.

Deze berekening is als testcase TSOS gemaakt (zie bijlage 7-a).

Om een indruk te geven wat de invloed van de viscositeit op de langestroming is, kan het stromingsprofiel voor beide gevallen voor een raai loodrecht op de kust worden uitgezet, om zodoende een vergelijking tussen beide te maken. De raai waarop de langesnelheden worden uitgezet, is gekozen op een plaats waar de verandering van de snelheid lange de kust niet groot meer is en de convectieve termen klein zijn te verwachten. Dit is ter plaatse van het kustgedeelte waar geen aartanding heeft plaatsgevonden, bijvoorbeeld op een afstand van 1250 meter ten zuiden van de havendam op raai y=36. Deze raai is in bijlage 7-a als doorsnede I-I aangegeven. In bijlage 7-b is de snelheids-verdeling voor beide gevallen getekend.

Bij een lagere viscositeit zijn de snelheidsgradiënten steiler en worden ook de snelheden groter. Voor een grotere viscositeit worden beide genoemde factoren afgevlakt en een erigszins breder stromingsprofiel valt te constateren. Zoals uit bijlage 7-b is af te leiden neemt de maximale snelheid met 0.17 m/s af, waaruit geconcludeerd kan worden dat de invloed van de viscositeitsterm erg belangrijk wordt. Ter oriëntering wordt het aandeel van de langskracht die de viscositeit als gevolg heeft, hier gegeven voor een punt dat in de brandingszone is gelegen, bijvoorbeeld het punt C (5,36) dat ook in bijlage 7-a is aangegeven. Voor test-case TSO5 is deze kracht:

 $F_{visc,y} = -0.39 \text{ N/m}^2.$

Voor test case TSO3 bedraagt de viscositeitskracht:

 $F_{visc, \gamma} = -2.0 \text{ N/m}^2.$

Als vergelijking wordt de in dit punt optredende golfkracht in y-richting gegeven: $F_{1,y} = 5.19 \text{ N/m}^2$ of zie bijvoorbeeld

-42. -

bijlage 6-d of 9-f.

Behalve de viscositeit zelf is vooral de verandering van de enelheid loodrecht op de kust (in x-richting) verentwoordelijk voor de grootte van de viscositeitskracht. Hiervit blijkt dus dat ook de viscositeit een belangrijke rol speelt in de snelheidsverdeling van de langsstroming. Dit duidt er op dat een constante viscositeit over het gehele gebied geen goede voorstelling van zaken geeft en dat een variabele viscositeit in het gebied een reëler stromingspatroon oplevert.

In bijlage 7-b is bovendien voor het punt C (5,36) het verloop van de langssnelheid in de tijd weergegeven, evenals de waterstand en de golf- en verhangkrachten.

De langesnelheid ontwikkelt zich geleidelijk aan tot een bij benadering constant blijvende langesnelheid. Uit deze grafiek is dus af te leiden dat er nagenoeg een stationaire toestand is opgetreden na t=1950 s.

Nabij de zuidelijke gebiedsgrens doen zich duidelijk twee neren voor, welke niet over een groter gebied worden uitgesmeerd, zoals dit bij een grotere viscositeit het geval is. Over de eventuele randinvloed op deze neer is reeds een beschouwing gehouden.

Geconcludeerd kan worden dat de viscositeit een belangrijke invloed heeft op het stromingspatroon en dat het hanteren van een variabele viscositeit in het kustgebied gewenst is.

In testcase TS10 is de invloed van een kleinere richtingsspreiding in de golven bekeken, namelijk in de orde van grootte van 10°. Voor deze waarde is een nieuwe berekening gemaakt voor zowel HISWA als DUCHESS. In HISWA wordt de richtingsspreiding benaderd door de functie: $\cos^{30} \varphi$. In bijlage 8-a en 8-b wordt de golfhoogte verdeling volgens HISWA in zowel het gehele gebied als het kleinere uitvoergebied weergegeven.

In bijlage 8-c is het golfhoogte verloop langs de kust op de brekerlijn voor de verschillende test-cases volgens HISWA weergegeven. Hier valt te zien dat de gradiënt van de golfhoogte op de brekerlijn steiler wordt indien de richtingsspreiding kleiner wordt genomen. Als vergelijking hiermee is ook het verloop van de golfhoogte op de brekerlijn door eer diffractie-berekening gegeven voor een morochromatisch golfveld (zie Schuhmacher, 1985). De hierbij behorende gradiënt in de golfhoogte langs de kust is echter nog wel steiler dan de gradiënt behorende bij de kleinere richtingsspreiding.

De golfkrachten in het kustgebied die optreden bij het golfveld met een richtingsspreiding van 10⁰ is als bijlage 8-d toegevoegd en de stroming die hiervan het gevolg is als bijlage 8-e.

In de sterkte van de brandingsstroom is er weinig verandering op te merken. De stromingsrichting is dezelfde gebleven evenals de breedte van de stroming ten opzichte van testcase TS03, welke als de vergelijkingsberekening wordt beschouwd. Puiten de brandingszone is echter wel een geconcentreerde stroming te constateren, namelijk rondom de schaduwlijn van de golven. Hier treden de grootste gradiënten van de golfhoogten op, waardoor de golfkrachten hier groter zijn. Puiten dit gebied worden de golfkrachten juist minder. Aan de brandingsstroming is dit effect niet merkbaar.

De golfopzet voor het geval met kleinere richtingsspreiding is wel iets groter, maar dit verschil is klein, namelijk in de orde van 0.5 cm. Een iets grotere golfopzet was wel te verwachten, omdat er meer golfenergie in de hoofdrichting van de golfstralen loopt, waardoor meer energie loodrecht op de kust aankomt, welke verantwoordelijk is voor de golfopzet. De conclusie die getrokken kan worden is dat de verkleining van de richtingsspreiding weinig invloed heeft op het stromingspatroon in de brandingszone.

Tot slot wordt een berekening gemaakt voor een rechte kust (testcase TS2O). Hiertoe zijn de dieptelijnen bij de havendam recht getrokken. Deze nieuwe bodemligging is weergegeven op bijlage 9-a. De golfhoogte verdeling die uit HISWA volgt is bijgevoegd als bijlage 9-b en 9-c en de golfkrachten die in DUCHESS zijn ingelezen zijn in bijlage 9-d te vinden. Omdat de havendam enigzins scheef ligt is in eerste instantie

getracht deze situatie weer te geven als een trapjeslijn. In

-44, -

DUCHESS leidde deze schematisering tot een instabiel stromingspatroon in het gebied waar de trapjeslijn naar birnen gaat en breidde zich vanuit dit gebied verder naar buiter uit. Dit is opgevergen door de havendam als een rechte liin te schematiseren.

Voor de stromingsberekening bleek het niet voldoende een stapgrootte van $\Delta t=30$ s. toe te passen; dit leidde eveneens tot instabiliteit. Daarom is als tijdstap gekozen: $\Delta t=15$ s., waarbij de berekening wel stabiel bleek te zijn.

Het resultaat van de stromingsberekening is te vinden op bijlage 9-e. Hier valt direkt op te merken dat er nu wel een diffractie neer ontstaat, zoals veelal is voorspeld. Kennelijk is dus inderdaad de bodemligging van wezenlijk belang voor de stromingsrichting.

Nogmaals worden de golfkrachtenvectoren voor een punt uitgerekend dat in de brandingszone nabij de havendam is gelegen, maar waar de havendam nog geen invloed op de stroming uitoefent. Het punt D met DUCHESS-coördinaten (4,18) voldoet hieraan en is in bijlage 9-d aangegeven. In bijlage 9-f zijn deze golfkrachtenvectoren getekend, evenals de ligging van de kustlijn. Indien de resulterende kracht wordt ontbonden in een richting loodrecht op de kust en evenwijdig hieraan, blijkt dat nu een stroming in de richting van de haven ontstaat.

Bovendien is in bijlage 9-f een grafiek gemaakt, waarbij de belangrijkste grootheden in het punt D (4,18) tegen de tijd zijn uitgezet. Ook hieruit blijkt dat een stationaire toestand verondersteld mag worden op het tijdstip t=1950 s. Er kan dus geconcludeerd worden dat de bodemligging invloed heeft op de brandingsstroom langs de kust.

-45. -

9. CONCLUSIES.

In dit verslag is alleen een golfaangedreven stroming beschouwd ten gevolge van één invallende golfrichting uit het westen.

Het golfbeeld is bepaald door rekening te houden met een richtingsspreiding in het golfveld. Er is geen diffractie achter de golfbreker in rekening gebracht.

Het stromingspatroon is berekend voor zowel een rechte als een gekromde kustlijn.

In het geval van een rechte kustlijn ontstaat er een diffractie-neer, waarvan de aangedreven brandingsstroom in de richting van de havendam loopt. Terwijl de brandingsstroming behorende bij de gekromde kustlijn vanaf de havendam gericht is.

Indien men alleen van deze situatie uitgaat en hierbij de zandtransporten bepaalt, kan men verwachten dat er een evenwichtskustlijn ontstaat waarbij de verhangkrachten en de golfkrachten met elkaar in evenwicht zijn. In dit geval wordt er geen resulterende brandingsstroom opgewekt.

Maar indien zandtransporten worden beschouwd, moet men van een geheel golfklimaat uitgaan, waardoor de stromingen ook bij andere golfrichtingen bepaald moeten worden. Omdat dit hier niet is gebeurd, blijft het echter een vermoeden.

Een verkleining van de richtingsspreiding van het golfveld bleek weinig invloed te hebben op de grootte van de stroomsnelheid in de brandingszone.

Een vergroting van de viscositeit heeft als gevolg dat de grootte van de stroomsnelheden in de brandingszone worden afgevlakt en het stroomprofiel breder wordt. Omdat de viscositeit in de brandingszone veel groter is dan hier buiten, is het aan te bevelen om gebruik te maken van een variabele viscositeit voor het kustgebied.

Tot slot is de invloed van het buiten beschouwing blijven van de diffractie onbekend, maar is waarschijnlijk klein.

Een vervolgstudie waarin ook diffractie wordt meegenomen zal moeten uitwijzen hoe groot deze invloed zal zijn op het beschouwde kustgebied.

-46. -



AANZANDING NABIJ DE

HAVEN VAN

VIANA DO CASTELO.













195

Bijlage 2-b.





198

Bijlage 2-C





Bijlage





Bijlage 3-C









Bijlage 4-a

Invoer HISWA.

1191 // HAVAISC JOH EXEC (3396,56), T.SCHUHHACHER, REGION=1024K, TIME=(1,30) PGH=HISPREP DSH=44VM.PROGLIB, DISP=3HR 002 //PREP 003 //STEPLIS 004 //FTJ6FØ01 DD SYSOUT=A UD 115 :).). 1:13 11.19 GRID 1590,4200,90,53,84,9,F 2007.37,3847.04,167 BOTTOIL 0.0.0,42,60,30,50 READ BOTT 1.0.3 I-C PAR 2.40,7.6,167,2 010 011 IJC I BREA I JC PAR 2.40,7.6,167,2 BREA .7 FRAMU DETAIL, 630,1300,1,500,0,21,26 FRAMU DETAIL, 630,1300,1,500,0,0,0,42,60 dLOCK DETAIL, PAPER HSIGH J.JI,DISPR 0.1, 0B J.JI,DSPR 0.1 LOCK BODEHROOSTER, PAPER DEPTH J.JI,FORCE dLOCK BODEHROOSTER, FILE FORC02 FORCE ulte 1103,0,1200,300,1290,900,1260,920,1240,900,1265,870, & 1165,303,1085,0 LINE J.500,660,570,375,582,360,585,0,510 LINE J.500,660,500,630,1800,0,00 LINE J.500,630,500,630,1800,0,00 LINE J.500,630,500,630,500 LINE J.500,630,500,630,500,630,500 LINE J.500,630,500,630,500,630,500 LINE J.500,630,500,630,500,630,500,630,500 LINE J.500,630,500,630,500,630,500,630,500,630,500,500,630,500,5 013 115 010 .18 019 020 021 022 022 023 023 U25 U25 U25 U27 1128 029 031 STOP //UEPF F DD * ***** INVOER DIEPTE: 43*61=2623 PUNTEM * TR DD DSJ=&LASTR, DISP=(MEW, PASS), VOL=SUR=DISK10, UNIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=YBS, LRECL=19064, BLKSIZE=190008) TJ DD DSJ=&LASTU, DISP=(NEW, PASS), VOL=SER=DISK10, DHIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=VBS, LRECL=19064, BLKSIZE=19068) DS DD DSG=JNVATSC, VIAMAX, UNIT=DISK, VOL=SER=DISK10, DISP=(NEW, CATLG), SPACE=(TRK, (2,2)), DC3=(LRECL=80, RECF =FB, BLKSIZE=4000) PJ EXEC PGN=HISCOMP PLIB DD DSJ=JNV1.PROGLIB, DISP=SHR 6F001 DD SJ=JNVMTSC, HRESVAA, DISP=(JEJ, CATLG), VOL=SER=DISK23, UNIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=VBS, LRECL=19064, BLKSIZE=19068) P EXEC PGN=HISOUT NOL=SER=DISK23, UNIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=VBS, LRECL=19064, BLKSIZE=19068) P EXEC PGN=HISOUT PLIB DD DSJ=JNVMTSC, HRESVAA, DISP=(JEJ, CATLG), VOL=SER=DISK23, UNIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=VBS, LRECL=19064, BLKSIZE=19068) P EXEC PGN=HISOUT PLIB DD DSJ=JNVMTSC, HRESVAA, DISP=(JEJ, CATLG), VOL=SER=DISK23, UNIT=DISK, SPACE=(TRK, (10, 10)), DC3=(RECFM=VBS, LRECL=19064, BLKSIZE=19068) P EXEC PGN=HISOUT PLIB DD DSJ=JNVM, PROGLIB, DISP=SHR 6F001 DD SYGOUT=A TH DD SYGOUT=A PLIB DD DSJ=JNVM, PROGLIB, DISP=SHR 6F001 DD SYGOUT=A TH DD SYGOUT=A DD 133 ********* ******** .134 //113TR 135 11 136 11 //INSTI 138 // //PLIDS 14.1 041 11 11 //CO 1P1 613 043 //COTPJ 044 //STEPLIB 045 //FTJ6F001 046 //IMSTR 047 //HRES 048 // VOL= 049 // DCG= 050 //007P 051 //STEP413 052 //FTJ6F001 PUIB DD DSJ=JAVM.PROGLIB,DISP=SHR 6F001 DD SYBOUT=A FJ DD DSH=&IASTU,DISP=(OLD,DELETE) S DD USH=*.COMPU.HRES,DISP=OLD CJ2 DD USH=*.COMPU.HRES,DISP=(NEW,CATLG),SPACE=(TRK,(2,2)), DC3=(URECL=8J,RECF (=FB,BLKSIZE=4000) 052 //1036FU 053 //108FJ 054 //082S 055 //F04CJ2 056 // 00 057 // 00 0.8C.12 .158 //PLTD; 159 11 160 11 061

Bijlage 4-b



Bijlage 4-c.



Jnuoer DUCHESS.

Bijlage 4-d.

062 //WJVMTSC 063 // EXEC 064 //STEPLIS 065 //FT06F001 JUB (3396,56), T. SCHUHHACHER, REGION=80JK, TIME=(1,30) PGH=DUCHESS DD DSJ=UVVI.PROGLIB,DISP=SHR //FT06F001 DD SYSOUT=A //BACKUP DD DSH=HVVM.PROGLIB,DISP=SHR //BACKUP DD DSH=JNVMTSC.STRODM8,DISP=(NEW.CATLG), // VOL=SER=DISK25,UGIT=DISK,SPACE=(TRK.(10,10)), // DCG=(R2CFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068) //INPUT DD * RUM VIAUA.DUCHESS' TS03' 'DIFFRACTIE-HEER' 156 067 068 11 069 SET STEP=5 SRID 13,61,39,50 LEFT DOTTOM VAR SCA=-1,NDS=12,IDLA=1 FORM 6 .171 .172 BOTTOM VAR SCA=-1, NDJ=12, IODA=1 CONT PLAN BJT 0.75 5 RAJOVOJRJAARDE MATERLEVEL 500HDARY H CONSTANT 0 43,20,43,61 300HDARY H CONSTANT 0 42,61,12,61 500HDARY OX CONSTANT 0 1,7,1,2 REFL OX 42,20,60 TREFL OX 42,20,60 TREFL OX 60,12,42 5 RAJDVOJRJAARDE GOLFBREKER, DAM EN KUST WORDT GEGEVEN DOOR PLAN BOT FRICT 60J 18,200,0 VISC EV=5 COMP 0 SHOP PLAN STORY VAR JI D SC=2, DOS=14, IDLA=1, FREE STORY VAR JI D SC=2, DOS=14, IDLA=1, FREE .)73 074 175 175 173 171 .) 9 ;) 331 192 183 184 1185 180 .198 189 ,1') () 1191 102 194 195 175 :193 199 2 100 1 11 2 103 2 104 5 1.15 1.16 1,17 5 £ 1.19 1.19 11. 111 112 113 /////1253.)1 115 INVOER DIEPTE: 43*61=2623 PUNTER USH=HVMCSC.FORC01,DISP=0LD 110 ******** //FT14F0J1 1)7 11:716:0.01 SYSOUT=A 110 50 119 120 121 122 3 DO DSH=MHVMTSC.CAST1,DISP=(HEM,CATUG), JMIT=DISK,VOL=SER=DISK10,SPACE=(TRK,(2,2)), DCB=(URECL=80,RECF1=FB,BLKSIZE=240) 118603 141 T=015K 11 11 11



Bijlage 5-b.



6 9 0 ↓ 100 M Δ 2.00 ×10-1 M HISWA.VIANA SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE TS02

Bijlage 5-c.






Bijlage 5-f.













<u>Bijlage 8-a.</u>





Bijlage 8-b







<u>Bijlage q-a</u>















TAPENAAM: WW9319

Filenaam op TAPE	Volgnummer op TAPE (label-nr.)	Test-	Omschrijving
TPC.VIANA.FORCO1	1	TS03	golfkr. uit HISWA; gekromde kustlijn
TEC.VIANA.DUCHO3	2	TS03	gekr. kustl.; absorb. Z-grens; $\varphi_0=30$
TOC.VIANA.DUCH04	3	T204	gekr. kustl.; dichte Z-grens; $\varphi_0=50$ visc. $Y=5$ m ² /s; tmax=1750 s.
TOC.VIANA.DUCHO5	4	TS05	gekr. kustl.; absorb. Z-grens; $\varphi_0=30$ visc. $Y=0.5 \text{ m}^2/\text{s}$; two.=1250 s.
TCC. HISWA, HRES10	5	TEIO	gekr. kustl.; richtingson, Dasid
TCC. VIANA, FORCO2	6	TSIO	golfkr. uit H1SWA; gekr. kustl. richtingsspr. $\theta_{c}=30^{\circ}$
TEC.VIANA, DUCH10	7	TS10	gekr. kusti.; absorb. Z-grens; $\varphi_0=30$ visc. Y=5 m ² /s; theorem 1950 =
TEC. HISWA. HEESEO	3	TS20	rechte kustl.: richtingsen 0
TEC. VIANA, FORCO3	7	TS20	gekr. kustl.; absorb. Z-grens; richtingssor. 0.=309
TSC. VIANA, DUCH20	10	TS20	golfkr. uit HISWA; rechte kustlijn
TSC. HISWALLIST	11	TS02	listing invoergegevens HISUA
TTC. DUCH.LIST	12	T503	listing invoergegevens hiswa
TEC. VIANA. DEPTH1	13		data diente-invoer voor gekr
TCC. VIANA, DEPTH2	14		data diepte-invoer voor rechte just
TCC. HISWA, PLOTO2	15	TS02	plot gekromde dientelijnen
TCC HISWA, PLOT10	16	T310	plot HalGN voor richtingson. Ø.slo
TCC. HISWA. FLOTZO	17	TS20	plot rechte disptelijnen
TCC.HISWA, PLOT22	18	TS20	plot HSIGH voor rechte kusti.
TEC. DUCH. PLOTO3	17	TS03	plot krachteninv. & stroom na 1500 s
TCC.DUCH.PLOT04	20	TS04	plot krachteninv. & stroom na 1950 s
TOC. DUCH. PLOTO5	21	TS05	plot krachteninv. & stroom na 1950 e
TSC. DUCH. PLOT10	22	TSIO	plot krachteninv. & stroom na 1950 -
TCC.DUCH.PLOT20	23	TS20	plot krachteninv. & stroom na 1950 s.





