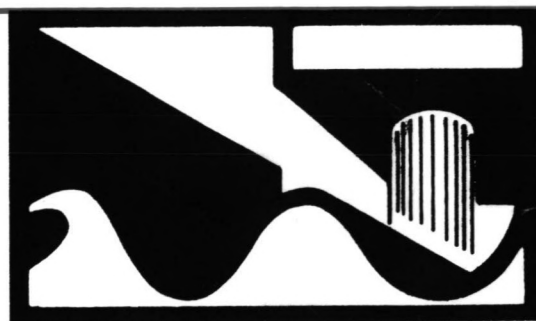




Ontwerp van een lagune-ingang bij
Hoek van Holland in het kader van
de kustuitbreidingsplannen

J.L.M. Heijenrath
D. Meurs

Ontwerp van een lagune-ingang bij
Hoek van Holland in het kader van de
kustuitbreidingsplannen

Afstudeerrapport

J.L.M. Heijenrath
D. Meurs

Delft, december 1986

Afstudeerhoogleraar : Prof. Dr. Ir. E.W. Bijker
Afstudeerbegeleider : Ir. J. de Nekker

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde
Sectie Kustwaterbouwkunde

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk 1	INLEIDING	blz. 4
1.1	Voorgeschiedenis	blz. 4
1.2	Ontstaan en ontwikkeling van het Plan Waterman	blz. 4
1.3	Keuze voor deelvariant	blz. 8
1.4	Aanpak van het onderzoek	blz. 10
Hoofdstuk 2	RANDVOORWAARDEN	blz. 11
2.1	Algemeen	blz. 11
2.2	Bodemligging	blz. 11
2.3	Waterstanden	blz. 16
2.4	Getijstroming	blz. 21
2.5	Windklimaat	blz. 21
2.6	Golfklimaat	blz. 23
2.7	Botenbestand	blz. 27
Hoofdstuk 3	ONTWERP EN DIMENSIONERING VAN DE BEKKENINGANG	blz. 29
3.1	Algemeen	blz. 29
3.2	Bepaling van de globale afmetingen	blz. 34
3.2.1	De bodemligging van de ingang	blz. 34
3.2.2	De bodemligging van het kanaal	blz. 40
3.2.3	De bodemligging van de lagune	blz. 40
3.2.4	De breedte van de ingang	blz. 41
3.2.5	De breedte van het kanaal	blz. 43
3.2.6	De richting van de ingang	blz. 45
3.2.7	De lengte van de dammen en dijken	blz. 48
3.2.8	Evaluatie van de globale ontwerpen	blz. 51
3.3	Golfoordringing door de opening	blz. 55
3.3.1	DiffRACTIE	blz. 55
3.3.2	Gebruikte methoden	blz. 55
3.3.3	Resultaten	blz. 60
3.4	Golfoordringing door de dammen	blz. 64
3.5	Aanpassing van de varianten	blz. 68

3.6	Ontwerp en kostenberekening dammen	blz. 72
3.6.1	Inleiding	blz. 72
3.6.2	Aanleg van de golfbrekers	blz. 74
3.6.3	Golfbrekerprofielen	blz. 75
3.6.4	Totale aanlegkosten van de dammen	blz. 80
3.7	Vergelijking en aanbevelingen	blz. 81
Hoofdstuk 4	ONTWERP PRIMAIRE WATERKERING	blz. 84
4.1	Inleiding	blz. 84
4.2	Bepaling minimaal duinprofiel	blz. 86
4.3	Conclusies	blz. 87

Nawoord

Literatuurlijst

Appendices

1

INLEIDING

1.1

Voorgeschiedenis

In de afgelopen jaren zijn diverse plannen voor landaanwinning voor de Nederlandse kust ontwikkeld. Het kustgebied van Zuid-Holland heeft daarbij speciaal in de belangstelling gestaan.

Dat is niet verwonderlijk gezien het feit dat in deze regio een groot aantal ruimtelijke en sociaal-economische knelpunten te signaleren zijn. Zuid-Holland beschikt over 's werelds grootste haven en grootste aaneengesloten kassengebied en heeft provinciaal gezien de grootste industriële en agrarische produktie in Nederland.

Zuid-Holland kent daarnaast ook de grootste bevolkingsdichtheid, afvalproduktie en woningnood. Daarom is in Zuid-Holland de beschikbare ruimte schaars en wordt al jaren gestudeerd op uitbreidingsplannen in de vorm van kustlokaties.

De belangrijkste plannen die gemaakt zijn voor de kustuitbreiding in de regio Zuid-Holland-west zijn 'Dorp in Zee' (1976) van de ontwikkelingsmaatschappij Polyzathe, 'Westduinen' (1977) van de Haagse gemeenteraadsleden Cadel en Ter Velden en 'Nieuwduinen' (1977) van de Volker-Stevin groep.

In al deze plannen wordt voor een bepaald ruimtelijk probleem op het land uitbreiding op zee gezocht. Er is sprake van mono-functionele oplossingen, die vanuit een regionale optiek door de provincie in haar Studie- en Beleidsnota Kustlokaties (lit.18) zijn verworpen.

1.2

Ontstaan en ontwikkeling van het Plan Waterman

Het Zuidhollandse Statenlid R.E. Waterman heeft in mei 1980 zijn visie op mogelijke kustuitbreiding gelanceerd onder de titel: 'Naar een Integraal Kustbeleid in Zuid-Holland' (lit.24). In deze visie maakt Waterman duidelijk dat het kustbeleid dient te bestaan uit het oplossen van bestaande en komende knelpunten in onderlinge samenhang en in relatie tot het achterland enerzijds en tot de aangrenzende zee anderzijds.

Waterman noemt het project voor de kustuitbreiding tussen Hoek van Holland en Scheveningen 'Deelplan I'. Deelplan II behelst de uitbreiding van de Maasvlakte in zuidwestelijke richting voor industriële doeleinden (zie bijlage 1).

In een later stadium zijn in het kader van een integraal kustbeleid voor Nederland ook kustuitbreidingen bij de Brouwersdam en bij Texel

ontworpen.

In Deelplan I komt Waterman tot een multifunctioneel ontwerp, waarbij de constructie en de uitvoering van de primaire zeewering gebaseerd zijn op de door ir. Svasek ontwikkelde principes , die als titel dragen 'Bouwen met de natuur'.

Naar aanleiding van zijn plannen is in januari 1982 een stuurgroep gevormd, onder leiding van ir. G. Tjalma, die onderzoek heeft gedaan naar de technische mogelijkheden van kustuitbreiding ten noorden van de Nieuwe Waterweg, gericht op waterhuishouding, kustmorfologie en kustverdediging, klimaat, milieuapecten, uitvoeringstechnische problemen en kosten (lit.22).

In het onderzoek zijn naast de Waterman-contour drie varianten ontwikkeld (zie bijlage 2). Dit in verband met het feit dat de Waterman-contour ter hoogte van Den Haag te weinig ruimtewinst biedt voor een eventuele vierde Scheveningse haven en woningbouwlocaties. Bovendien is in de oorspronkelijke plannen van Waterman geen rekening gehouden met Loswal Noord, de kunstmatige verondieping voor de Delflandse kust ten gevolge van het storten van baggerspecie uit de Rotterdamse haven. Daarnaast ligt Kijkduin niet meer aan het water, waardoor de bestaande situatie functioneel wordt ondermijnd.

Enkele conclusies, die naar aanleiding van het onderzoek op kustwaterbouwkundig gebied getrokken zijn in het rapport:

- kustmorfologisch en civiel-technisch is een uitbreiding van de zuidhollandse kust realiseerbaar en in stand te houden, waarbij echter niet kan worden volstaan met een volledig zachte zeewering, maar met plaatselijk harde elementen.
- de jaarlijkse zandbehoefte van de nieuwe kustlijn (het zeewaartse onderhoud) ligt op 300.000 m³ zand. In de huidige situatie is dat 150.000 m³ zand.

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek van de stuurgroep Tjalma is door Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland besloten tot verder onderzoek door de stuurgroep Borgman, die zich diende te buigen over de ruimtelijke inrichting, de financieel-economische haalbaarheid en de bestuurlijkjuridische aspecten.

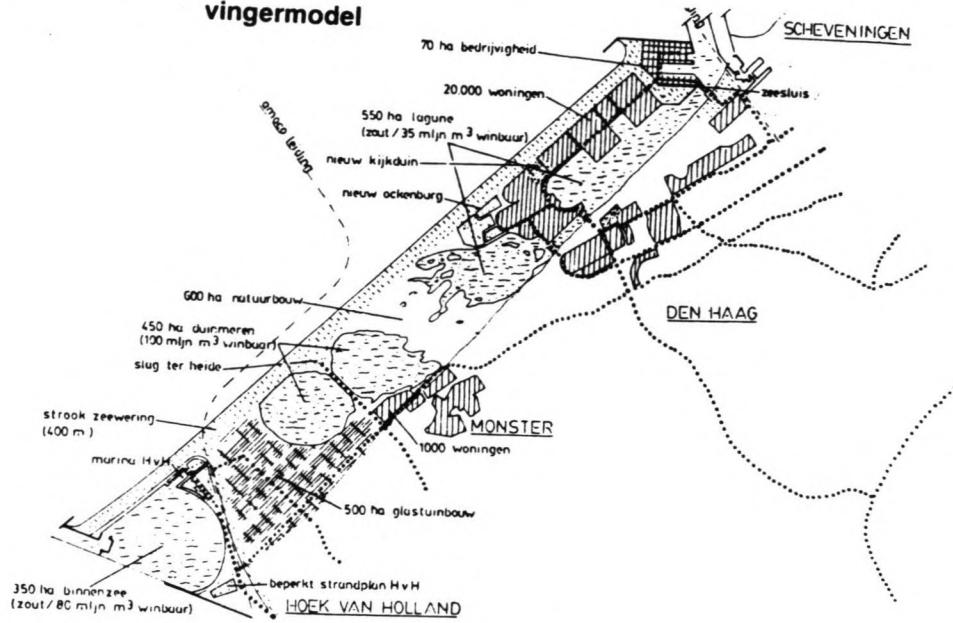
In april 1984 is het onderzoek door de stuurgroep Borgman gestart. Er zijn modellen ontwikkeld aan de hand van criteria die bepaald zijn in de volgende onderzoeksvelden :

- ruimtelijke inpasbaarheid
- maatschappelijke effecten
- exploitatie
- fasering
- economische effecten / maatschappelijke kosten-batenanalyse
- bestuurlijk organisatorische aspecten
- gevolgen voor het natuurlijk milieu en het landschap

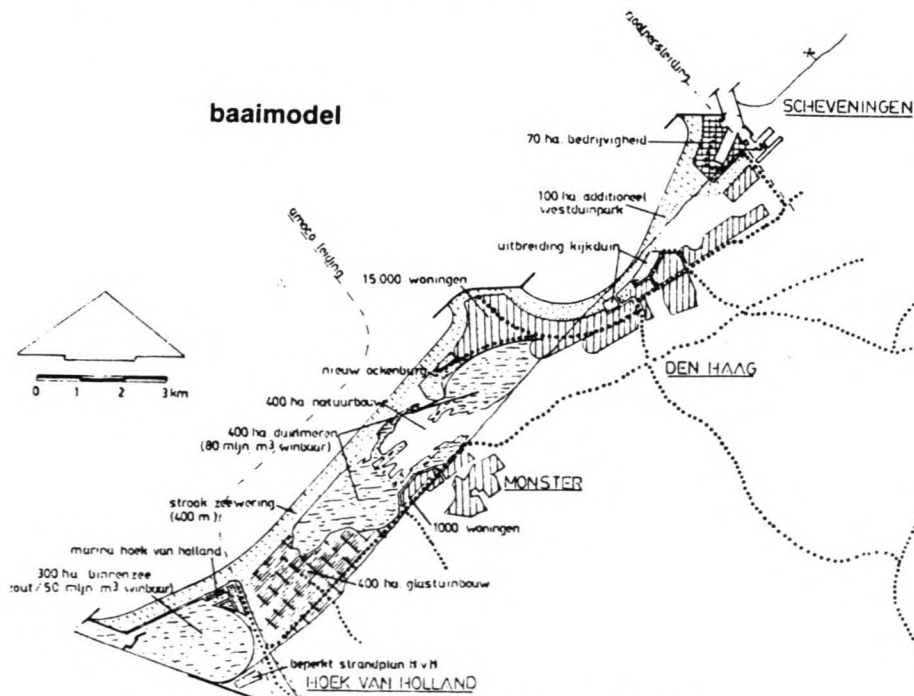
De modellen zijn weergegeven in de figuren 1 t/m 4.

Deze modellen zullen dienen voor een verdere studie op eerdergenoemde terreinen. De modellen zijn ontwikkeld ten behoeve van een tussen-rapportage over de stand van het onderzoek (lit.3 t/m 5). Op het moment dat met deze studie werd aangevangen (december 1985) waren deze gegevens de meest recente.

vingermodel

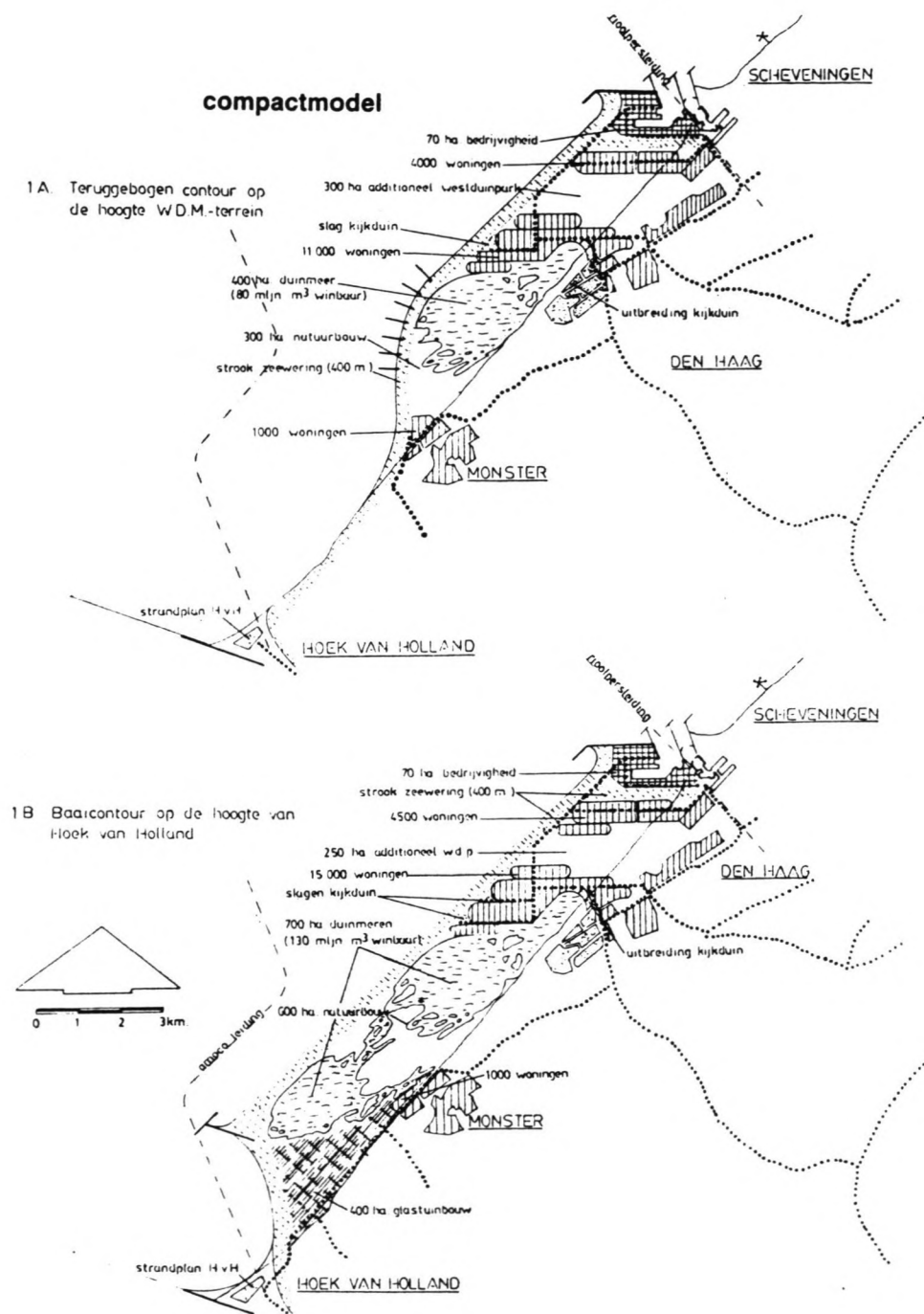


baaimodel



Ontwikkelde modellen

Figuur 1 en 2



Ontwikkelde modellen

Figuur 3 en 4

1.3

Keuze voor deelvariant

Uitgangspunt voor het afstudeerproject is het uitwerken van de mogelijkheden voor het aanleggen van een marina ter hoogte van Hoek van Holland binnen de plannen tot kustuitbreiding. In het kader van deze opdracht kunnen twee typen oplossingen voor het aanleggen van een marina worden bekeken.

Enerzijds een open verbinding met de Noordzee, waarbij de mogelijkheid bestaat om deze opening direct aan zee te maken of door de Noorderdam naar de Nieuwe Waterweg.

Een tweede mogelijkheid is een verbinding, waarbij getijinvloeden van de Noordzee geheel of gedeeltelijk worden uitgesloten. Hierbij valt te denken aan een overtoom of een sluis.

Deze mogelijkheden zijn vergeleken met de alternatieven die door de stuurgroepen Tjalma en Borgman zijn voorgesteld.

Daarnaast is gebleken dat van de zijde van de havenautoriteiten in Rotterdam negatief geoordeeld werd over de mogelijkheid om de pleziervaart via een opening in de Noorderdam gebruik te laten maken van de Nieuwe Waterweg.

Omdat getracht is een ontwerp nader te bestuderen dat reële mogelijkheden biedt tot uitvoering is besloten om te kiezen voor een open verbinding direct met de Noordzee.

Binnen de alternatieven zoals die door de stuurgroep Borgman zijn ontwikkeld, zijn voor de varianten 2 en 3 (zie figuur 2 en 3) de meeste mogelijkheden tot realisatie van een marina bij Hoek van Holland. Overleg met medewerkers van de Provinciale Planologische Dienst heeft ertoe geleid het onderzoek te concentreren op een ontwerp dat past binnen deze twee varianten.

Gesprekken met dhr. R.E. Waterman hadden tot gevolg dat een verder uitgewerkte deelvariant (zie figuur 5) voor Hoek van Holland in het onderzoek is betrokken. Het ontwerp voor deze deelvariant is gemaakt in opdracht van dhr. Waterman door het ingenieursbureau Boiten. Hierbij heeft men zich vooral laten leiden door het specifieke wensen- en eisenpakket dat door en voor de recreatie in het algemeen en de pleziervaart in het bijzonder wordt gesteld. De nadere kustwaterbouwkundige uitwerking dient nog te geschieden.

In dit ontwerp is getracht een recreatiegebied te schetsen dat zich door haar unieke karakter kan onderscheiden van de overige Nederlandse badplaatsen. De lagune zal een meervoudig recreatief doel krijgen. Dat betekent dat diverse vormen van recreatie in en om de lagune zullen kunnen plaatsvinden.

Naast dagtoerisme wordt bovendien de mogelijkheid geboden voor langdurig toerisme door de aanleg van een camping direct aan het lagunestrand.

De verschillende vormen van recreatie die in het ontwerp kunnen worden beoefend zijn o.a. surfen, zwemmen, teleskiën, zonnen, zeilen, waterfietsen en golfen.

De aantrekkelijkheid voor recreanten is groot, omdat in het plan veel aandacht besteed wordt aan het creëren van stranden met een oriën-

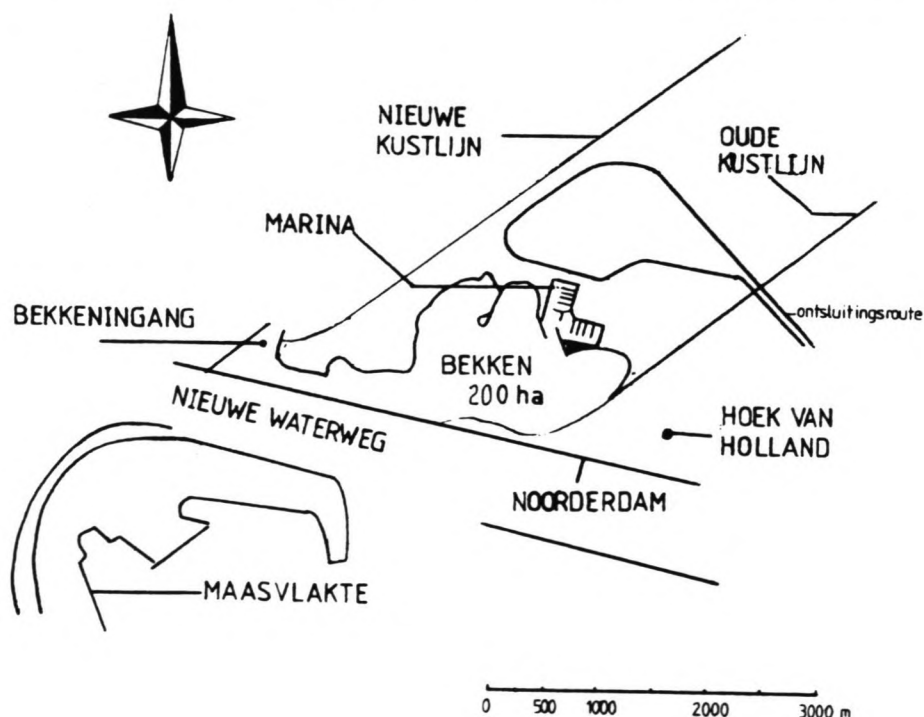
tatie op het zuiden, een voor de Hollandse kust unieke ligging. Bovendien worden goede verbindingen met het Noordzeestrand aangelegd, waardoor de keuzemogelijkheden voor de recreant worden vergroot. Door de geringe waterdiepte en door de beschutting zal het lagunewater warmer zijn dan het Noordzeewater, hetgeen voor zwemmers aantrekkelijk is. Daarnaast is de golfslag in de lagune minder dan op zee, waardoor door een breder publiek kan worden gesurfd.

In het plan zal verder een jachthaven worden aangelegd, die plaats kan bieden aan 750 boten in de uiteindelijke situatie. Deze haven is voor zeilers aantrekkelijk vanwege de keus die gemaakt kan worden om op zee of op het 200ha grote bekken te zeilen.

Voor een andere vorm van watersport is een speciale ruimte in de lagune gereserveerd: teleski. Dit kan worden beoefend in de luwte van een kunstmatig opgeworpen duingebied, ten noorden van de bekkeningang.

Ook op de wal worden een aantal faciliteiten geschapen, die het gebied toeristisch aantrekkelijk maken. Er zal een golfcourt worden aangelegd in het duingebied en nabij de jachthaven wordt een boulevard met winkels gepland.

Dit ontwerp zal als basis dienen voor de kustwaterbouwkundige berekeningen die in het kader van deze deelstudie zullen worden gemaakt.



Lagune voor Hoek van Holland

Figuur 5

1.4

Aanpak van het onderzoek

In het kader van deze deelstudie zullen een aantal kustwaterbouwkundige aspecten uit het plan, zoals dat door het bureau Boiten is geschetst (zie figuur 5), nader worden bekeken. De volgende facetten worden bekeken :

- 1 dimensionering en ontwerp van de bekkeningang (*)
- 2 ontwerp van een duin als primaire waterkering

ad 1 Vergeleken wordt in hoeverre de bekkeningang zoals die door Boiten wordt voorgesteld, verschilt van een alternatieve mogelijkheid zoals die in deze studie is ontworpen, wat betreft golfdoordringing in het bekken en bevaarbaarheid van de ingang. Hiervoor worden een aantal vergelijkende diffractieberekeningen gemaakt met behulp van de methoden zoals die beschreven staan in de Shore Protection Manual (lit.7) , in het diktaat Korte golven (lit.2) en in lit.8. Tevens zullen de golfbrekers die de bekkeningang vormen, worden gedimensioneerd en zal een schatting gemaakt worden van de kosten.

ad 2 In het onderzoek naar de bepaling van het ondiepwatergolfklimaat voor de kust van Hoek van Holland (lit.12) is gebleken dat de energiedissipatie voor de ontwerpstorm ($H_s=8.3m$, $T_p=12s$ (**)) tussen diep water (-20m dieptelijn) en de brekerzone in tegenstelling tot hetgeen de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen in haar Leidraad (lit.20) vermeldt, niet verwaarloosbaar is. Dit betekent dat de significante golfhoogte net voor de brekerzone (waterdiepte $2 \cdot H_s$), die geldt als invoerparameter in de duinafslagberekening, ongeveer 50% lager is dan de waarde die door de TAW is voorgeschreven net voor de brekerzone.

De minimaal benodigde afmetingen van de duinkering op de lokatie Hoek van Holland zal enerzijds worden berekend met de waarden voor de significante golfhoogte en de piekperiode, die aangegeven staan in de leidraad, en anderzijds worden berekend met de waarden, die bepaald zijn in het afstudeerrapport 'Lange termijn golfstatistiek voor de kust van Hoek van Holland'(lit. 12).

-
- *) Onder bekkeningang wordt verstaan de verbinding tussen de lagune en de Noordzee.
- **) T_p is de piekperiode van het golfspectrum (sec).
 H_s is de significante golfhoogte (m).

2

RANDVOORWAARDEN

2.1

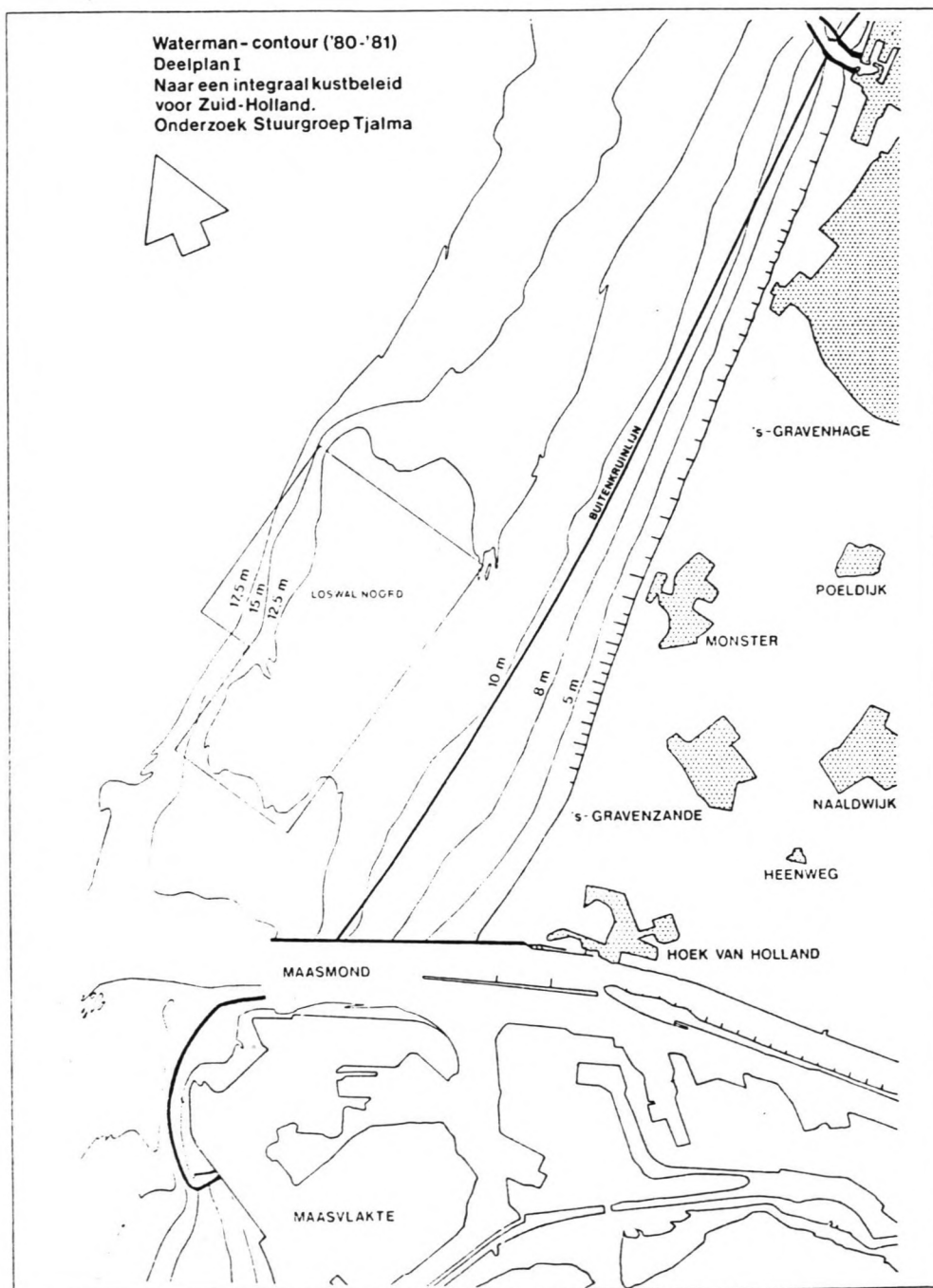
Algemeen

Om de in de inleiding gestelde doelstellingen voor dit afstudeerproject te kunnen verwezenlijken is het eerst van belang een inzicht te krijgen in de fysische omstandigheden voor de kust van Delfland ter hoogte van Hoek van Holland. In dit hoofdstuk zijn de gegevens over de bodem, wind, waterstand, stroming en golven voor de kust van Hoek van Holland verzameld. Tevens is een indeling gemaakt van het te verwachten botenbestand aan de hand van bestaande indelingen.

2.2

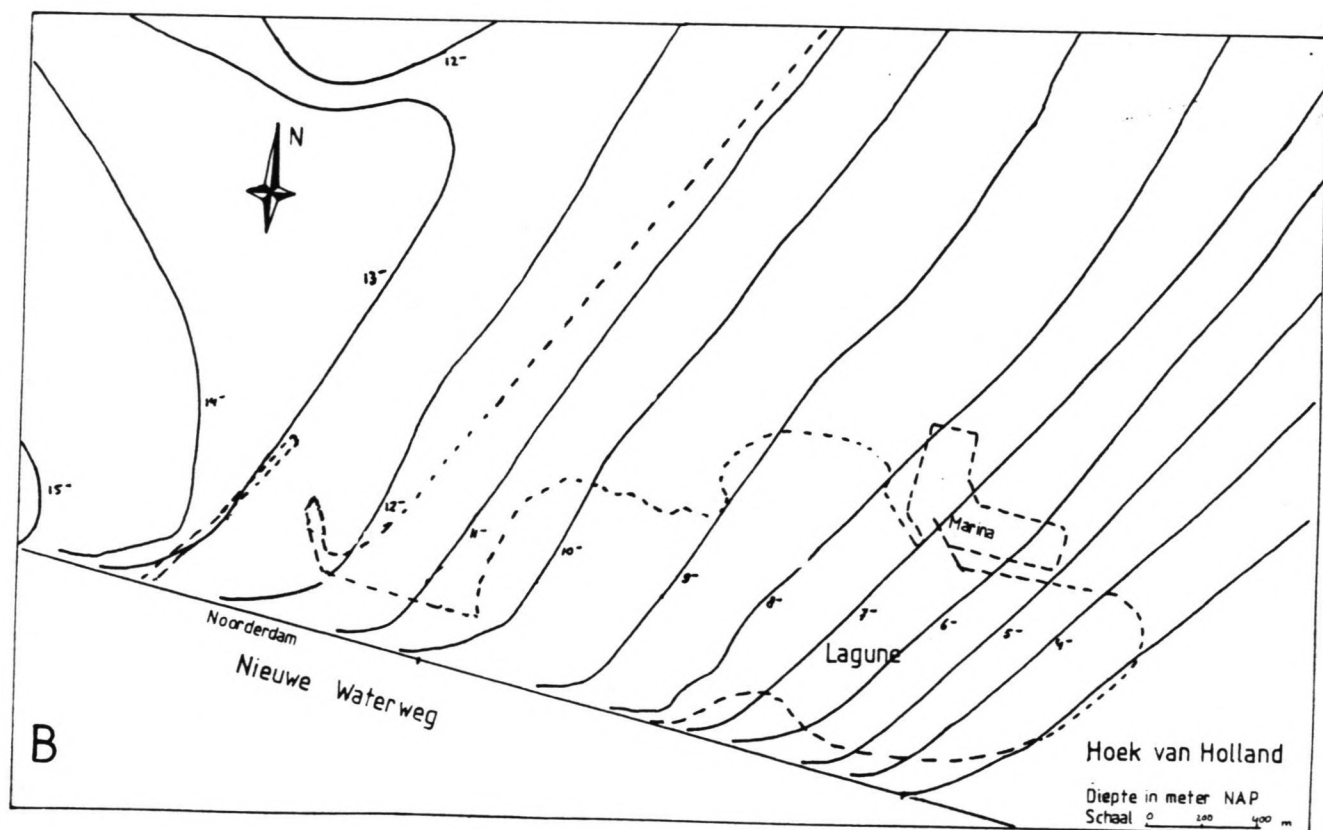
Bodemligging

In het kader van de studie van de commissie Tjalma is door Rijkswaterstaat een bodemschematisatie van de kust voor Delfland en de Maasvlakte met behulp van peilkaarten uit 1983 gemaakt. In deze bodemschematisatie is de kustuitbreiding voor de kust van Delfland aangebracht. In figuur 6 is de bodemligging met de buitenkruinlijn van de kustuitbreiding, die als uitgangspunt diende voor het onderzoek van de commissie Tjalma in 1983, weergegeven. Door de Stuurgroep Kustuitbreiding onder leiding van Borgman is in 1985 gesteld, dat de contour van de kustuitbreiding ter hoogte van Hoek van Holland, waarbij de landaanwinst maximaal is, ten minste op 700m vanaf de kop van de noorderdam moet liggen. Deze afstand geldt als uitgangspunt in dit afstudeerproject. In figuur 7 is de bodemligging gegeven bij Hoek van Holland, die bepaald is met behulp van een peilkaart van 1981. Tevens is hierin de contour van het kustuitbreidingsplan voor Hoek van Holland volgens de ideeën van R.E. Waterman aangegeven (zie figuur 5).



Bodemligging met "Watermancontour"

Figuur 6

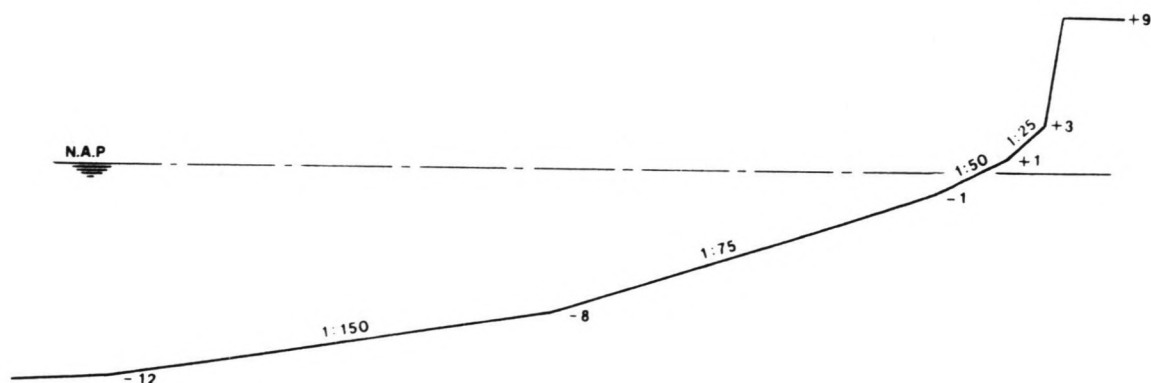


Bodemligging voor Hoek van Holland

Figuur 7

De uiteindelijke vorm van het bodemprofiel, dat zich na de kustuitbreiding zal ontwikkelen is weergegeven in figuur 8. Dit verwachte bodemprofiel is gebaseerd op het gemiddelde van een aantal profielen in het kustvak Rijnland.

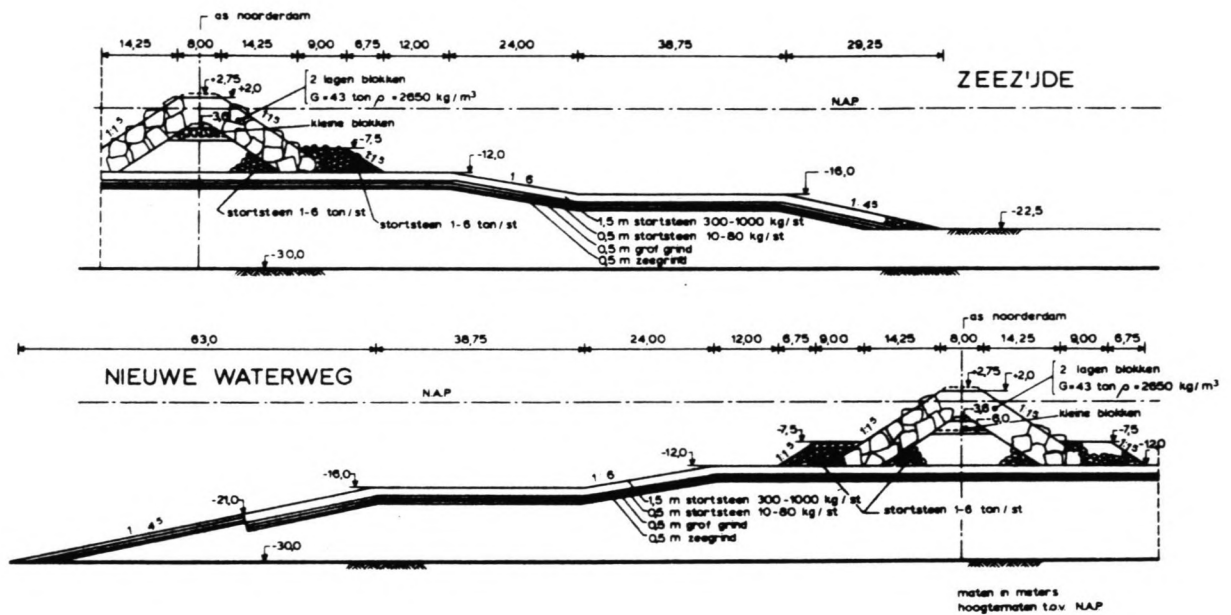
In de studie van de commissie Tjalma (lit.22) is van dit profiel gebruik gemaakt bij het bepalen van de minimaal benodigde afmetingen van de aan te leggen duinkering door middel van afslagberekeningen. Deze berekeningen zijn gemaakt op basis van een richtlijn voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering. Deze richtlijn is opgesteld door de Technische Adviescommissie Waterkeringen (T.A.W.) in 1982.



Bodemprofiel

Figuur 8

Het ontwerp van de bekkeningang zal ten dele bepaald worden door de aanwezigheid van de Noorderdam. Een dwarsdoorsnede over deze dam is gegeven in figuur 9. De kruin van de Noorderdam ligt op +2m N.A.P. De voornaamste functie van de Noorderdam is stroomgeleiding. In de dwarsdoorsnede is duidelijk zichtbaar, dat de zeebodem over een breedte van 138m vanaf de as van de Noorderdam aan de noordzijde bedekt is met een filterconstructie.



Dwarsdoorsnede over de Noorderdam

Figuur 9

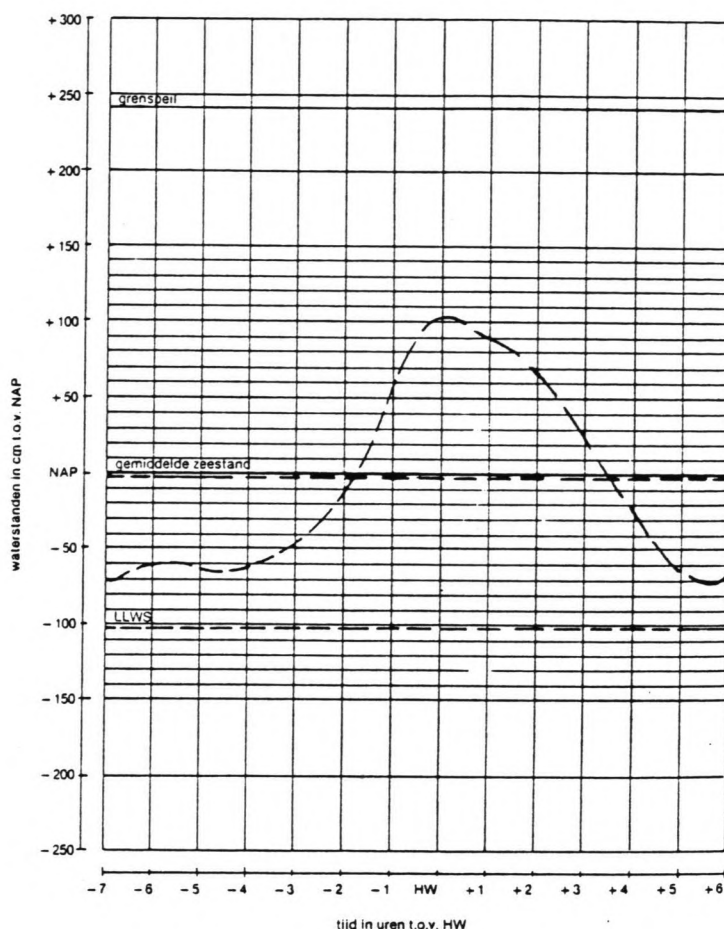
2.3

Waterstanden

Voor het ontwerp van een haven zijn gegevens nodig over de getijbeweging en over de extreme waterstanden om de toegankelijkheid van de haven en de hoogte van eventuele waterkeringen te kunnen bepalen. De volgende gegevens zijn verzameld over de waterstanden bij Hoek van Holland.

- gemiddelde getijkromme (bovenrijnafvoer 1000-1400 m³/s)(figuur 10)
- gemiddelde getijkromme (bovenrijnafvoer 2000-2400 m³/s)(bijlage 3)
- gemiddeld springtij en doodtij (afvoer 1000-1400 m³/s)(bijlage 4)
- gemiddeld springtij en doodtij (afvoer 2000-2400 m³/s)(bijlage 5)
- waterstandsverhoging ten gevolge van de wind (figuur 11)
- overschrijdingsfrequenties hoogwater (figuur 12)
- onderschrijdingsfrequenties laagwater (figuur 13)

Gemiddelde getijkromme

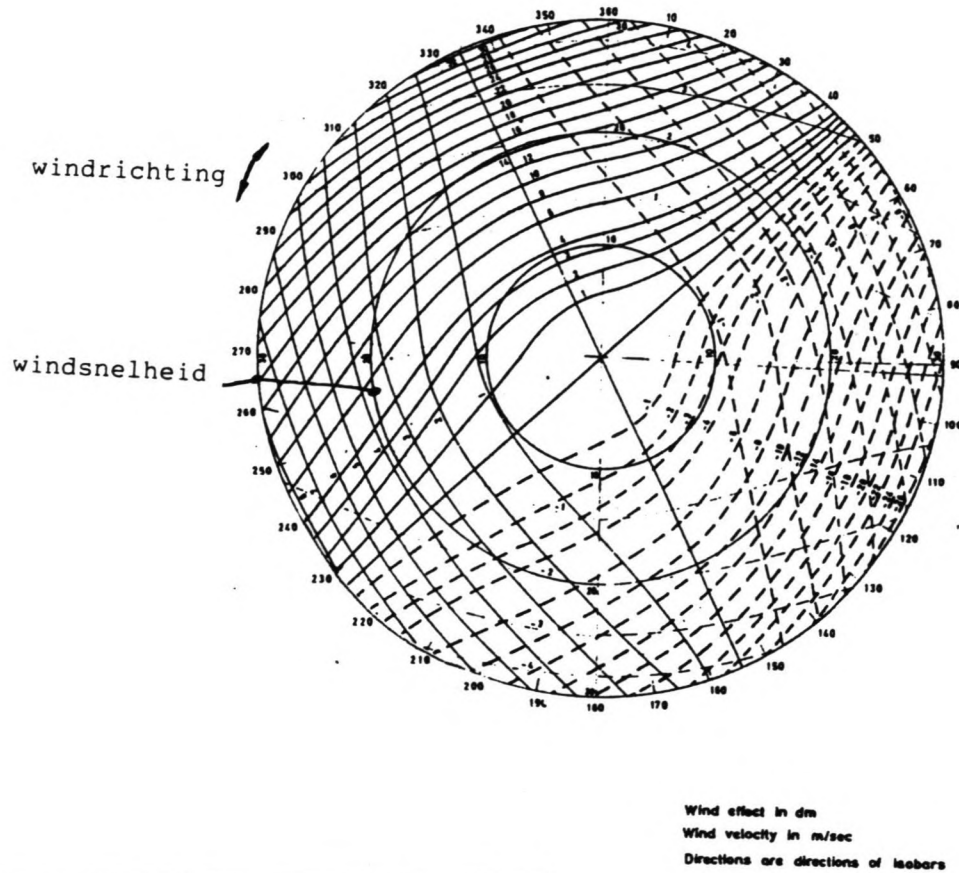


Gemiddelde getijkromme voor HvH (bij bovenrijnafvoer 1000-1400 m³/s)

Figuur 10

De gemiddelde hoogwaterstand is +1.04m N.A.P. en de gemiddelde laagwaterstand ligt tussen -0.66m en -0.71m afhankelijk van de bovenrijnafvoer. Tijdens gemiddeld springtij is de hoogwaterstand +1.25m N.A.P. en bij gemiddeld doortij is de laagwaterstand -0.75m N.A.P. In figuur 10 staan ook het grenspeil en de L.L.W.S. aangegeven. Het grenspeil is het peil, dat gemiddeld eens per twee jaar wordt bereikt of overschreden en bedraagt voor Hoek van Holland +2.42m N.A.P. De afkorting L.L.W.S. staat voor laaglaagwaterspring en dit is het meerjarig gemiddelde van het laagste springlaagwater van elke maand. Deze bedraagt voor Hoek van Holland -1.03m N.A.P.

Waterstandsverhoging ten gevolge van de wind



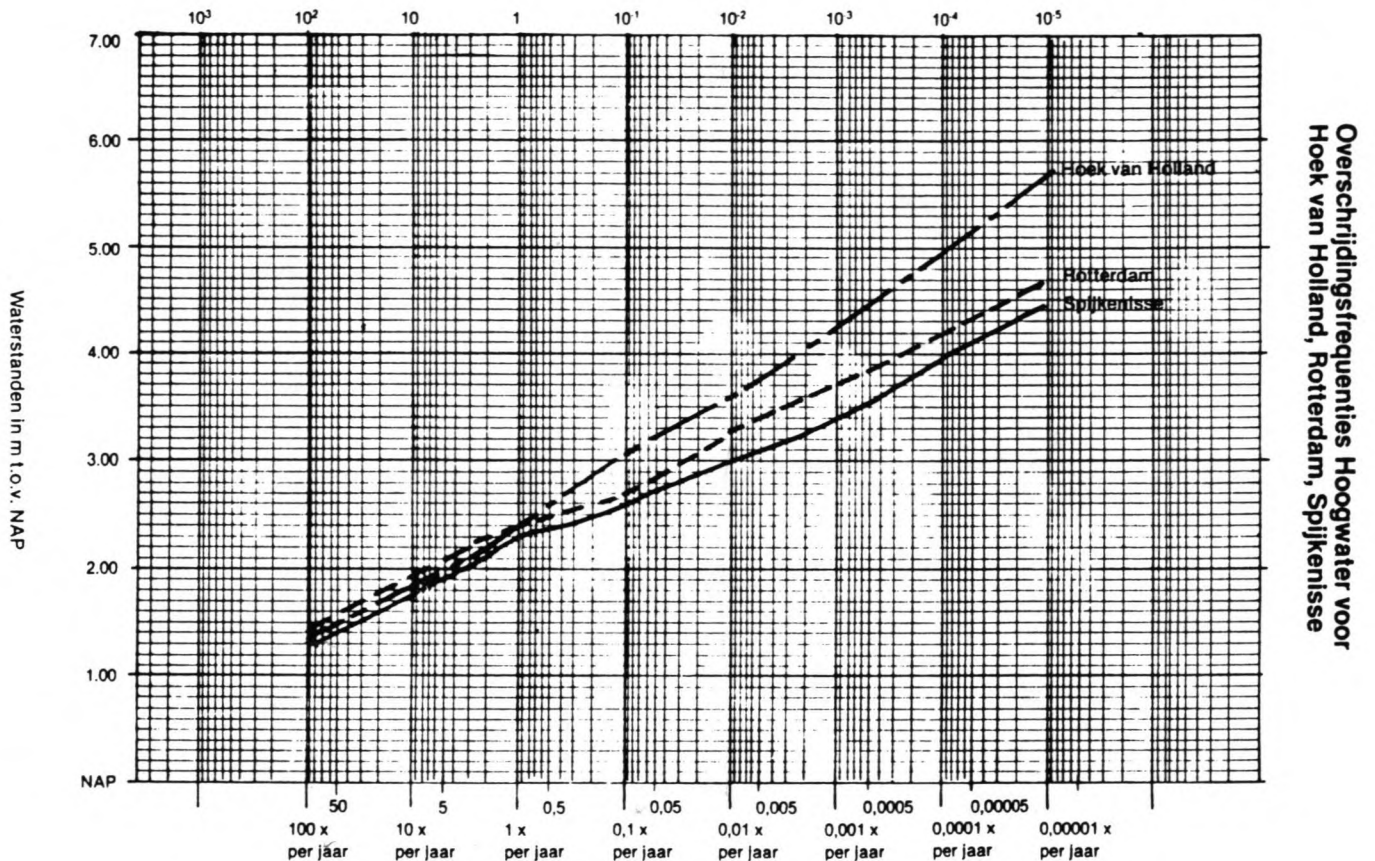
RISE OF WATER AT HOOK OF HOLLAND AS FUNCTION
OF WIND DIRECTION AND WIND VELOCITY

Windopzet als functie van de windsnelheid en -richting

Figuur 11

De windsnelheid is met behulp van concentrische cirkels weergegeven en de windrichting staat in graden op de buitenste cirkel. Bij een bepaalde windrichting en windsnelheid (gemeten op LE Goeree) kan een waterstandsverhoging voor Hoek van Holland worden afgelezen. Voor een bepaalde windsnelheid is de waterstandsverhoging bij een windrichting tussen 320° - 350° maximaal (aanlandig) en de waterstandsverlaging voor een bepaalde windsnelheid bij een richting tussen 100° en 130° maximaal (aflandig).

Extreem hoogwater



Overschrijdingsfrequenties hoogwater

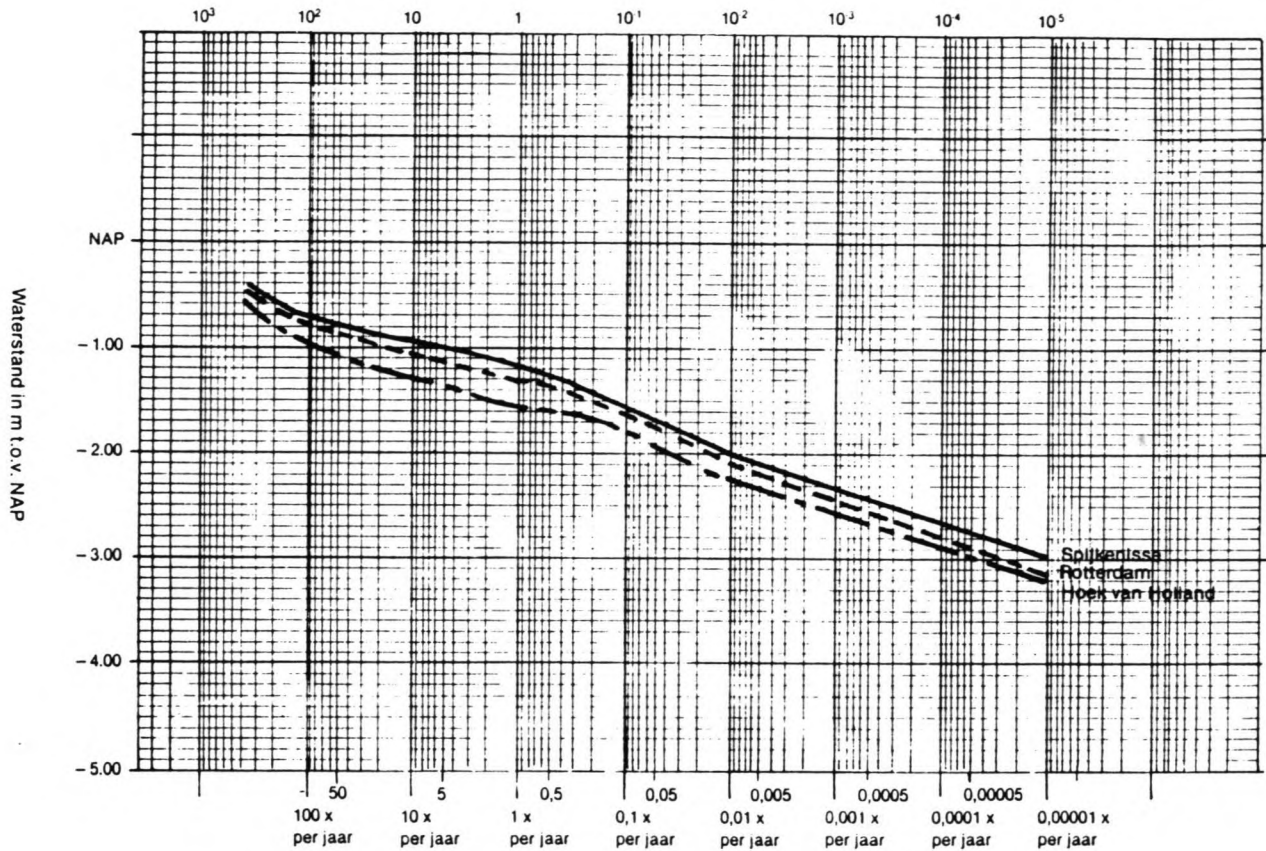
Figuur 12

Extreem hoogwater treedt op als de vloedwaterstand samenvalt met een waterstandsverhoging ten gevolge van aanlandige wind.

Ten aanzien van extreem hoogwater kan opgemerkt worden, dat de +2.0m N.A.P.waterstand gemiddeld 8 keer per jaar overschreden wordt. Aangezien de kruinhoogte van de Noorderdam op +2.0m N.A.P. ligt, betekent dit, dat de kruin van de Noorderdam gemiddeld 8 keer per jaar onder water staat.

De primaire waterkeringen van Centraal-Holland mogen niet bezwijken bij een storm waarbij een stormvloedstand met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} per jaar. In de leidraad van de TAW (lit. 20) is gesteld dat maatgevende doorbreekkans voor de duinen van Centraal-Holland gelijk is aan 10^{-5} . Een stormvloedstand met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-5} ligt in dat geval op +5.75m NAP.

Extreem laagwater



Onderschrijdingsfrequenties Laagwater voor
Hoek van Holland, Rotterdam, Spijkensse

Onderschrijdingsfrequenties laagwater

Figuur 13

Extreem laagwater treedt op indien de ebwaterstand samenvalt met een waterstandsverlaging ten gevolge van een afluiddige wind. Ten aanzien van extreem laagwater kan opgemerkt worden, dat de L.L.W.S. (-1.03m N.A.P.) gemiddeld ongeveer 80 keer per jaar onderschreden wordt. De waterstand, die 10 keer per jaar onderschreden wordt bedraagt -1.30m N.A.P.

2.4

Getijstroming

De stroomsnelheden voor een havenmond ten gevolge van het getij zijn van belang bij het in- en uitvaren van een haven door boten. Tevens bepaald de stroom in de havenmond, die het havenbekken vult en ledigt, de eventuele erosie of sedimentatie.

De stroomsnelheden die bij de huidige kustlijnligging optreden tijdens een gemiddelde getijcyclus zijn per uur weergegeven in lit.19. De maximale stroomsnelheid, die bij de kop van de Noorderdam optreedt is 1.0 m/s.

De stroomsnelheden gemiddeld over de diepte bedragen op enige afstand van de kust 0-0.5 m/s bij gemiddeld doottij en 0-0.8 m/s bij gemiddeld springtij.

Bij de huidige kustligging komt de vloed vanuit het zuiden opzetten. De vloedstroom trekt de Nieuwe Waterweg binnen en trekt langs de kust noordwaarts. De ebstroom is van noord naar zuid gericht.

Langs de Nederlandse kust is een faseverschil aanwezig tussen de verwachte stroombeweging, die de verticale getijbeweging volgt, en de werkelijk optredende stroombeweging. Deze stroombeweging ligt ongeveer 3 uur achter in fase bij Hoek van Holland.

2.5

Windklimaat

De mate van verblijfsrecreatie op een strand en de mogelijkheden om te zeilen en te surfen worden in hoge mate bepaald door de wind. In figuur 14 is het percentage van de tijd dat een bepaalde windkracht (in Beaufort) per windrichtingssector is voorgekomen bij Hoek van Holland in de periode 1954 t/m 1970 uitgezet. Deze verdeling naar windkracht en -richting is ook nog uitgewerkt in bijlage 6.

Verdeling van de windkracht naar richtingsectoren en in percentages van voorkomen.
Station: Hoek van Holland, tijdvak 1954 t/m 1970.

WINDKRACHT IN BEAUFORT	windrichtingsectoren van 30°																				TOTAAL					
	NOORD 345°-014°		015°-044°		045°-074°		OOST 075°-104°		105°-134°		135°-164°		ZUID 165°-194°		195°-224°		225°-254°		WEST 255°-284°				285°-314°		315°-344°	
	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %	%	cumulatief %
0 t/m 2	1.00	1.00	1.23	1.23	2.04	2.04	2.74	2.74	1.39	1.39	1.64	1.64	1.56	1.56	0.81	0.81	0.77	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.93	18.79	18.79
3	1.95	2.95	2.04	3.27	2.50	4.54	3.77	6.51	1.75	3.14	2.08	3.72	2.66	4.22	1.66	2.47	1.73	2.50	1.82	2.82	1.38	2.38	1.44	2.37	24.78	43.57
4	2.86	5.81	1.97	5.24	1.98	6.48	2.32	8.83	1.36	4.50	1.82	5.54	3.04	7.26	3.12	5.59	3.81	6.31	2.99	5.81	1.96	4.34	2.07	4.44	29.25	72.82
5	1.38	7.19	0.61	5.85	0.43	6.91	0.37	9.20	0.23	4.73	0.54	6.08	1.46	8.72	2.43	8.02	3.64	9.95	2.16	7.97	1.56	5.90	1.28	5.72	16.10	88.92
6	0.48	7.68	0.15	6.00	0.07	6.98	0.04	9.24	0.02	4.75	0.10	6.18	0.45	9.17	1.30	9.32	2.40	12.35	1.09	9.06	0.90	6.80	0.60	6.32	7.61	96.53
7	0.12	7.80	0.01	6.01	0.01	6.99			0.00	4.75	0.01	6.19	0.10	9.27	0.42	9.74	0.86	13.21	0.37	9.43	0.31	7.11	0.22	6.54	2.40	98.93
8	0.03	7.83	0.00	6.01	0.00	6.99					0.00	6.19	0.04	9.31	0.17	9.91	0.28	13.49	0.18	9.61	0.14	7.25	0.07	6.61	0.90	99.83
9	0.00	7.83									0.00	6.19	0.00	9.31	0.00	9.91	0.03	13.52	0.03	9.64	0.03	7.28	0.00	6.61	0.10	99.93
10																	0.01	13.53	0.00	9.64	0.00	7.28	0.00	6.61	0.01	100
Totaal	7.83		6.01		7.00		9.24		4.76		6.18		9.31		9.93		13.53		9.64		7.28		6.61		100	

0,00 = wel voorgekomen maar
minder dan 0,005%

* incl. veranderlijk en windstil 2,09%

Station: Hoek van Holland

Windklimaat voor Hoek van Holland

Figuur 14

In het geval van een windrichting uit de sectoren tussen 225°-15° is de wind aanlandig.

Aan de hand van figuur 14 en de bijlage 6 kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden.

De windrichtingssector met het grootste voorkomenspercentage is de sector 225°-255° met een voorkomenspercentage van 13.53 % van de tijd. Aanlandige wind komt 50.9 % van de tijd voor.

Een windkracht van 8 Beaufort of hoger komt in het totaal 1.01 % van de tijd voor. De windrichting is in dat geval voor 0.80 % van de tijd aanlandig en voor 0.21 % van de tijd aflandig.

Een windkracht van 6 Beaufort of hoger komt in het totaal 11.08 % van de tijd voor. De windrichting is in dat geval voor 8.31 % van de tijd aanlandig en voor 2.77 % van de tijd aflandig.

2.6

Golfklimaat

In een recente studie (lit.12) is het golfklimaat op ondiep water bepaald op verschillende lokaties voor de kust van Delfland ter hoogte van Hoek van Holland. Als basis voor de berekeningen diende de diepwatergolfstatistiek op het lichteiland Goeree. Dit eiland ligt op ongeveer 20 km uit de kust voor de Maasvlakte. Hier zijn gedurende de jaren '76-'82 de significante golfhoogte, gemiddelde periode en windrichting bepaald met een tijdsinterval van 3 uur. De golfrichting is gelijk gesteld aan de gemeten windrichting. De verkregen driedimensionale kansdichtheidsfunctie (H_s, T_g, θ) is gediscrètiseerd in klassen weergegeven (zie bijlage 7):

- golfrichting (θ) in klassen van 30°
- significante golfhoogte (H_s) in klassen van 0.5m
- gemiddelde golfperiode (T_g) in klassen van 1s

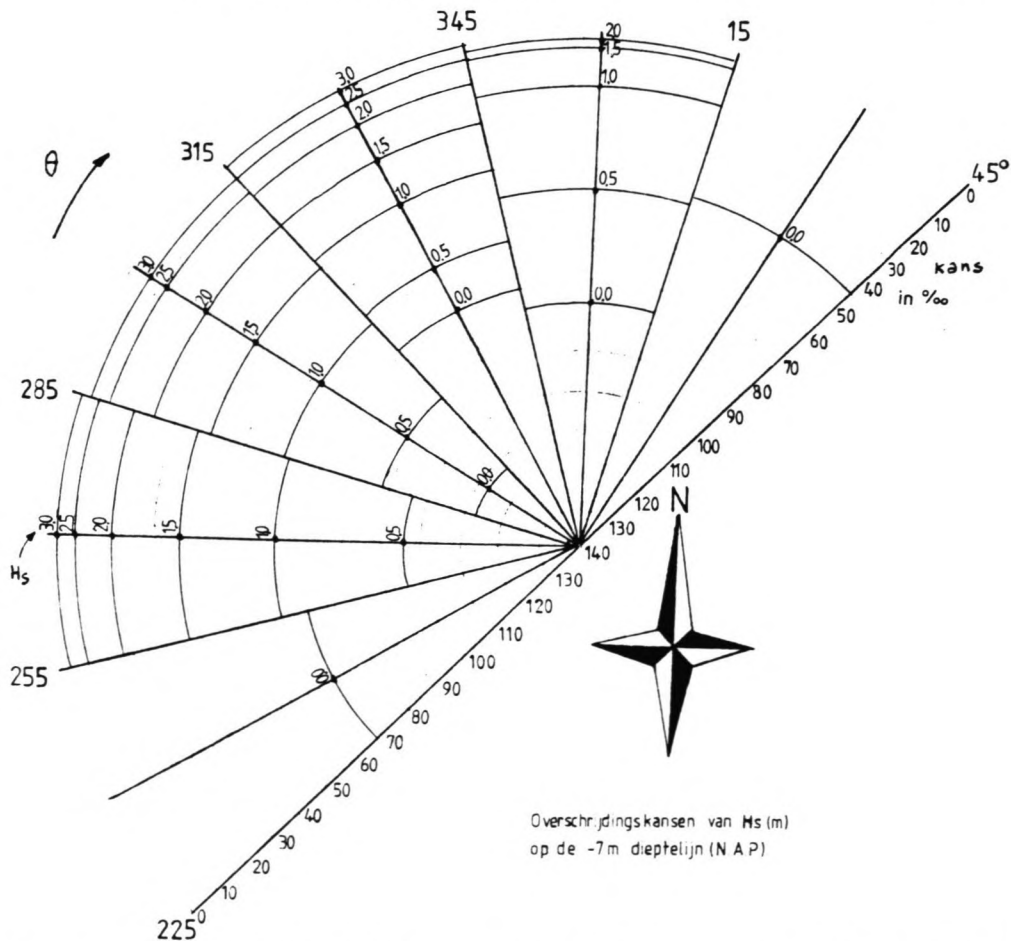
VERDELING VAN H1/3 EN GGT											TOTAAL				
in m. en s.															
	1	2	3	4	5	6	7	8	- H						
1															
2															
3	145	99	1							245					
4	427	762	326	18	2					1535					
5	67	407	718	534	125	9				1860					
6	1	59	106	234	299	192	63	11		965					
7		7	3	6	8	48	63	42	17	7	202				
8					1	3	3	7	1		16				
9		1									1				
10															
T															
Totaal	640	1335	1154	792	434	250	129	56	24	8	1		1		4824

Waarnemingsverdeling op lichteiland Goeree (NAP - 23m)

Figuur 15

In het totaal bestaat de verdeling uit 9629 waarnemingen. Figuur 15 geeft de klasseverdeling van de significante golfhoogte ($H1/3$) en de gemiddelde periode (GGT = gem.golftijd) weer geïntegreerd over de sectoren van 225° tot 45° (4824 waarnemingen). De golven uit deze richtingssectoren planten zich voort in de richting van de kust. De waarnemingen in de andere richtingssectoren zijn niet van belang, omdat de golfhoogten vlak voor de kust gering zijn door de schaduwwerking van de kust en de gemeten waarden op lichteiland Goeree dus onbruikbaar

zijn. Bij de bepaling van de ondiepwatertstatistiek worden deze 4804 waarnemingen in de golfhoogteklasse 0-0.5m geplaatst. Met behulp van het golfvoortplantingsmodel HISWA, dat door de sectie Vloeistofmechanica ontwikkeld is, en met behulp van het in het kader van deze studie ontwikkelde programma HISOT is de diepwatertstatistiek van lichteiland Goeree omgerekend naar ondiepwatertstatistieken voor lokaties op de -15m, -12m, -10m, -7m en -5m dieptelijn ter hoogte van Hoek van Holland. De exacte ligging van de lokaties staat aangegeven in bijlage 8. Voor uitvoerige informatie wordt verwezen naar de studie 'Lange termijn golfstatistiek voor de kust van Hoek van Holland' (lit.12). In figuur 16 is de overschrijdingsfrequentie (in %) van de significante golfhoogtes (in m) op de -7m dieptelijn per richtingssector (in °) uitgezet. De overschrijdingsfrequenties zijn per richtingssector uitgezet in het midden van elke richtingssector. Voorbeeld : Voor een golfveld uit de sector 315°-345° is de voorkomenskans van $H_s > 1.0\text{m}$ 3.9%

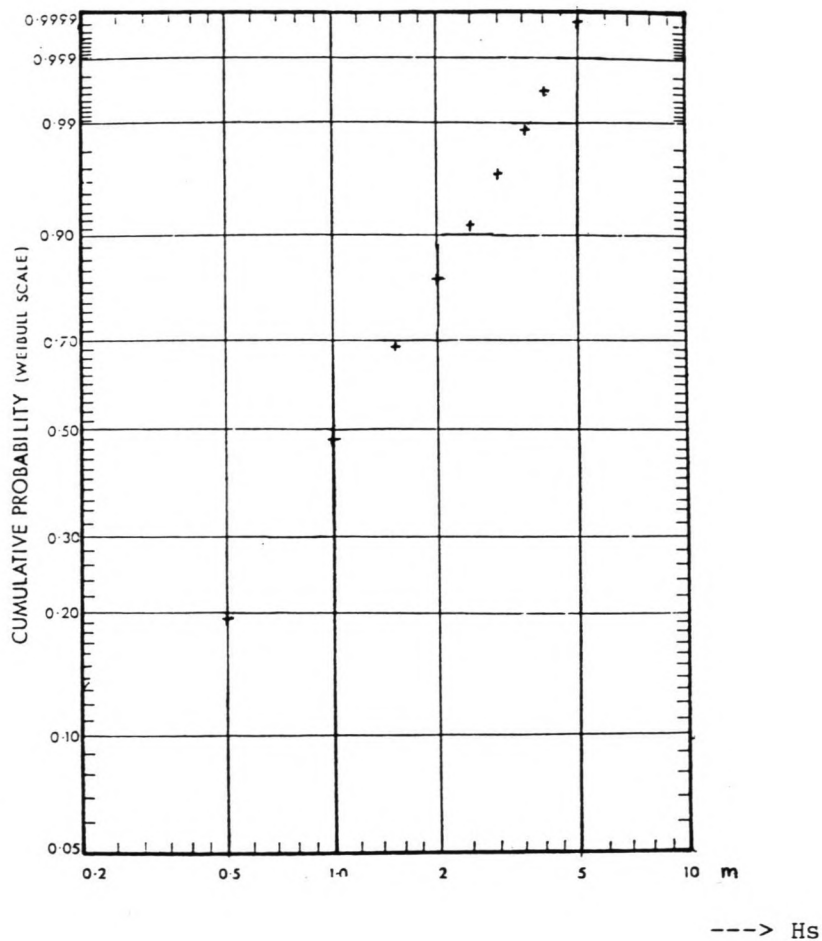


Overschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte per golfrichting op de -7m dieptelijn ten noorden van de Noorderdam

Figuur 16

In figuur 17 zijn de onderschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte op de -15m dieptelijn, die berekend zijn op basis van 3509 van de 9629 waarnemingen, uitgezet op Weibullpapier. Deze 3509 waarnemingen zijn de waarnemingen van golven in de richting van de kust, waarbij tevens in verband met schaduwwerking van de Maasvlakte in het zuiden en de Nederlandse kustlijn in het noorden het aantal waarnemingen in de uiterste sectoren is gereduceerd.

De overschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte voor het totaal aantal waarnemingen kunnen bepaald worden door de uit figuur 17 afgelezen overschrijdingsfrequenties te vermenigvuldigen met de faktor 3509/9629.



Onderschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte
op de -15m dieptelijn

Figuur 17

In figuur 16 is duidelijk te constateren, dat de overheersende golf-richting uit de sector 255° - 285° komt. Deze golfrichting komt 13.8 % van de tijd voor.

De golfrichting met het kleinste percentage van voorkomen ligt in de sector 15° - 45° met een voorkomenskans van 4.4 % van de tijd.

De kans op golven met een significante golfhoogte, die groter is dan 3.0m, is het grootst in de sector 285° - 315° . De kans op een significante golfhoogte groter dan 3.0m met een golfrichting tussen 285° - 315° bedraagt 0.005(0.5%).

Met behulp van figuur 17 is te bepalen, dat de kans op een significante golfhoogte, die groter is dan 5m, 0.000052 bedraagt:

$$P(H_s > 5m) = (3509/9629) * (1 - 0.9986) = 0.000052$$

De overschrijdingskans van een significante golfhoogte met een waarde van 3.25m is 0.01:

$$P(H_s > 3.25m) = (3509/9629) * (1 - 0.9725) = 0.01$$

De verdeling van de waarnemingen op de -7m dieptelijn is weergegeven in bijlage 9. In deze bijlage staat voor iedere golfrichtingssector θ en voor de totale verdeling op de -7m dieptelijn het aantal golfvelden in de klassen van H_s en T_g . De golfrichtingssector θ is weergegeven ten opzichte van de oriëntatie van de Nederlandse kust, dat wil zeggen dat $\theta = 0^{\circ}$ een golfrichting NW betekent en dat $\theta = -90^{\circ}$ ZW betekent ($\theta = 90^{\circ}$ betekent NO).

In bijlage 10 staan de onderschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte voor de -12m, -10m, -7m en -5m dieptelijn uitgezet op Weibullpapier. De overschrijdingsfrequenties zijn berekend op basis van 3509 van de 9629 waarnemingen, zodat de overschrijdingsfrequenties voor het totaal aantal waarnemingen berekend moet worden door de afgelezen overschrijdingsfrequenties met een faktor 3509/9629 te vermenigvuldigen.

2.7

Botenbestand

Om een haven te kunnen ontwerpen dient een inzicht te bestaan in de aantallen en afmetingen van de boten, die in de toekomst verwacht zullen worden in de haven. Deze gegevens worden in het algemeen gebruikt voor de bepaling van het aantal en de afmetingen van de ligplaatsen en voor het bepalen van de benodigde breedte en diepte van de haveningang. In het kader van dit projekt zal geen ontwerp gemaakt worden van de jachthaven zelf, maar van de bekkeningang en het kanaal zoals in de inleiding vermeld is.

In het afstudeerwerk 'Jachthaven bij Katwijk' van R.J. Holthuijsen is een studie gemaakt naar de indeling van het jachtenbestand (lit. 13). In deze studie zijn de indelingen van verschillende bestaande jachthavens vergeleken om tot een indeling voor een jachthaven bij Katwijk te komen.

	Lengte klassen (m)						
	L<8	8<L<10	10<L<12	12<L<15	15<L<18	18<L<25	25<L
ANWB	12%	40%	27%	12%	2%	4%	2%
Brighton	29%	31%	20%	14%	3%	2%	1%
Languedoc-Roussillon	38%	23%	21%	12%	3%	3%	1%
Katwijk	26%	31%	23%	13%	3%	3%	1%

Indelingen van het botenbestand voor verschillende havens
(in procenten van het totaal)

Tabel 1

Het botenbestand van Katwijk is bepaald door per lengteklasse het gemiddelde percentage van de andere drie indelingen te berekenen.

De gemiddelde bootlengte is 11.3 m.

In een rapport van PIANC (lit. 17) zijn per lengteklasse de benodigde ligplaatsdiepte en -breedte gegeven voor zowel zeilboten als motorboten (zie tabel 2).

Sailing yachts and motor/sailing				Motor boats and centreboards			Trimarans and Catamarans		
Berth				Berth			Berth		
Length overall L	Class	depth	width	Class	depth	width	Class	depth	width
$L < 8$	IS	1.5	2.8	IM	1.0	3.3	IT	0.6	4.5
$8 \leq L < 10$	IIS	1.6	3.0	IIM	1.0	3.5	IIT	0.8	5.0
$10 \leq L < 12$	IIIS	1.7	3.2	IIIM	1.0	4.0	IIIT	1.0	5.5
$12 \leq L < 15$	IVS	2.0	3.8	IVM	1.3	4.6	IVT	1.2	7.0
$15 \leq L < 18$	VS	2.5	4.5	VM	1.5	5.0	VT	—	—
$18 \leq L < 25$	VIS	3.0	5.5	VIM	2.0	5.5	VIT	—	—
$L \geq 25$	VIIS	4.5	7.0	VIIM	2.5	7.0	VIIT	—	—

5.G Yacht classification with recommended berth widths and depths. The depth and width of berths are assumed normal maxima for the class which will only be exceeded in a small percentage of cases. The dredged depth should be taken from extreme low water and increased appropriately to allow for wave action, dredging tolerance and siltation

bootdiepgang en -breedte

Tabel 2

Als maat voor de maximale diepgang van een jacht in een bepaalde lengte-klasse wordt de waarde van de diepgang aangehouden.

De maximale diepgang bedraagt voor motorboten 2.5m en voor zeilboten 4.5m, zoals blijkt uit tabel 2.

Uit de indeling van de boten voor de jachthaven van Katwijk blijkt, dat 4% van de boten langer is dan 18m. Omdat de verhouding tussen zeil- en motorboten voor de Nederlandse kust door de ANWB bepaald is op 1:10, kan gesteld worden, dat 4% van de boten zeilboten langer dan 18m zijn. De diepgang van een zeilboot met een lengte van 18m is volgens tabel 2 maximaal 3.0m.

Voor het ontwerp van de bekkeningang en het kanaal voor Hoek van Holland wordt uitgegaan van het botenbestand, die in tabel 1 voor de haven van Katwijk gegeven is.

3

ONTWERP EN DIMENSIONERING VAN DE BEKKENINGANG

3.1

Algemeen

De bekkeningang verzorgt de verbinding van de lagune met de Noordzee en wordt gevormd door een kanaal, dat begrensd wordt door dammen en een dijk (zie figuur 18).

De lokatie van de bekkeningang is noordelijk naast de Noorderdam gekozen. Dit biedt een aantal voordelen boven een ingang noordelijker:

- Allereerst kan gebruik worden gemaakt van de Noorderdam als havendam, hetgeen de benodigde nieuwe damlengte reduceert.
- Bovendien wordt de kustlijn niet onderbroken, hetgeen gunstig is door het vermijden van extra 'harde punten'.

In dit hoofdstuk worden twee alternatieve bekkeningangen bekeken en vergeleken, die beiden onmiddellijk ten noorden van de Noorderdam zijn gesitueerd. Het betreft de varianten die door de Stuurgroep Borgman (lit.5) en door het bureau Boiten zijn aangegeven.

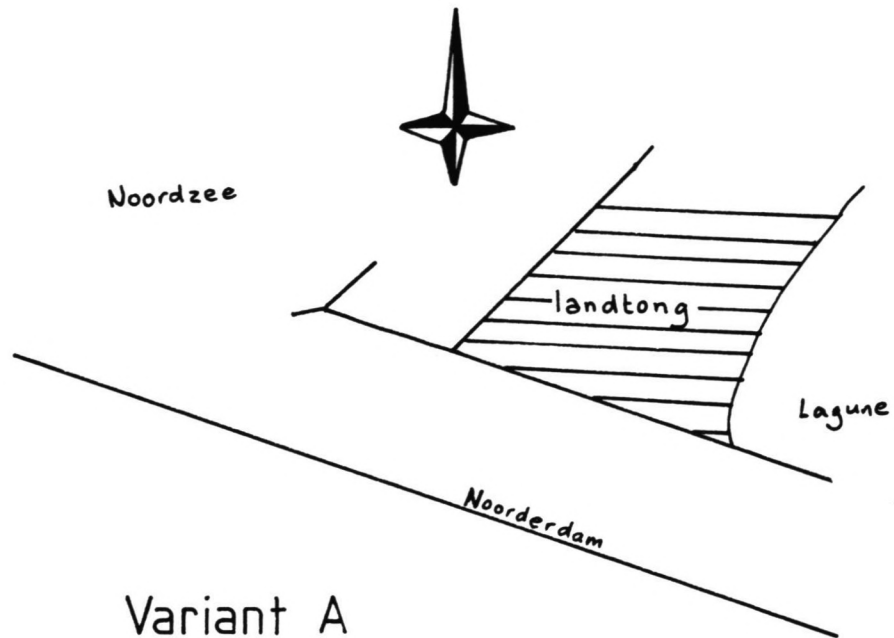
De variant A (Borgman) is gebaseerd op een ontwerp met een minimale damlengte. Bij het ontwerp van variant B is rekening gehouden met de visuele duidelijkheid van de ingang. De bekkeningang bevindt zich in de nabijheid van een van de grootste havens ter wereld met een zeer frequente scheepvaart. Een goede scheiding van de beroeps- en de pleziervaart is voor alle betrokkenen uit oogpunt van veiligheid gunstig.

De varianten zijn in figuur 18 weergegeven. Deze schematische varianten zijn als uitgangspunt gebruikt voor het ontwerpproces. In bijlage 11 zijn de twee varianten getekend in de huidige bodemconfiguratie.

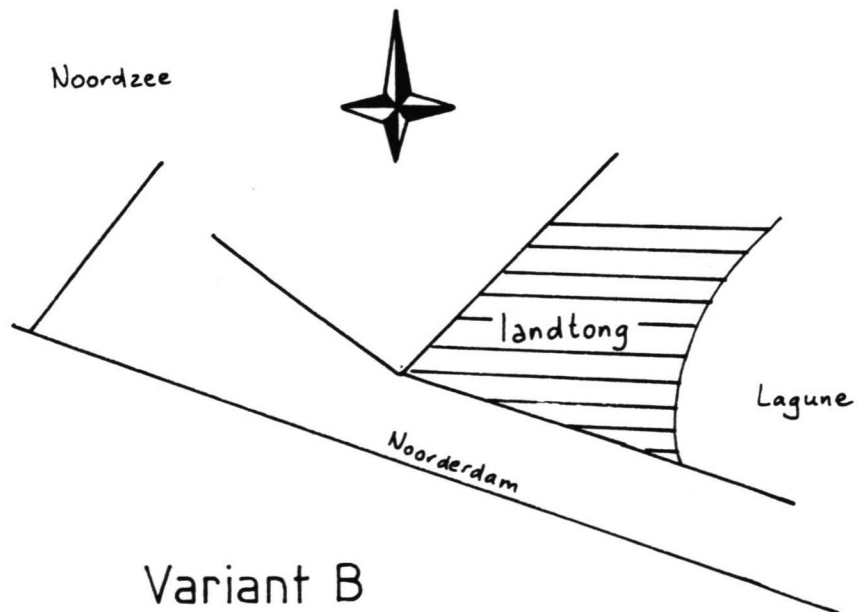
De functie van de bekkeningang is naast het dienen als toegang voor de lagune het reduceren van de golfhoogte, waardoor de golfhoogte in de lagune beperkt blijft. In figuur 18 is duidelijk te zien dat de ontwerpen op twee verschillende principes berusten om de golven te dempen. Er bestaan namelijk twee methoden om golven in een bassin te dempen:

- Meerdere doorgangen na elkaar aanleggen, waardoor na elke doorgang de energie zich spreidt en maar een gedeelte in het volgende bassin terecht komt (variant A).
- Scheiden van de vaarbaan en de golfbaan door direct na de ingang een bocht in de vaarbaan aan te brengen (variant B).

Voor beide methoden geldt, dat de golfenergie het snelste gereduceerd wordt, indien gebruik gemaakt wordt van flauwe taluds of eventueel strandjes als begrenzingen.



Variant A



Variant B

globale ontwerpen van de bekkeningang

Figuur 18

De ingang van de lagune zal in drie stadia dienst doen :

In de uitvoeringsfase dienen de werkschepen die betrokken zijn bij de aanleg van het projekt de toekomstige marina als werkhaven te kunnen gebruiken.

In het gebruiksstadium wordt de bekkeningang door motor- en zeiljachten gebruikt om vanuit het bekken de Noordzee op te varen en vice versa.

Tevens moet het mogelijk zijn eventueel onderhoudsbaggerwerk te plegen.

De uitgangspunten, die voor het ontwerp en de dimensionering van de bekkeningang, gehanteerd zijn, zijn de volgende:

- 1- Jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m moeten kunnen in- en uitvaren bij een aanlandige wind met windkracht 7 Beaufort (17.1m/s) tijdens de gemiddelde laagwaterstand.
- 2- Jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m moeten kunnen in- en uitvaren bij een aflandige wind met windkracht 7 Beaufort (17.1m/s).
- 3- Werk-, onderhoudsschepen en jachten met een diepgang van 4.0m moeten in- en uit- kunnen varen ten eerste tijdens gemiddeld laagwater en lage golven en ten tweede tijdens extreem laagwater. Tevens moeten deze schepen veilig in de lagune kunnen verblijven tijdens extreme golfomstandigheden op zee en een gemiddelde laagwaterstand en tijdens extreem laagwater.
- 4- Jachten varen de bekkeningang in en uit op de motor met een gemiddelde snelheid van 2.0 m/s.
Werkschepen varen de bekkeningang in en uit met een snelheid van 4.0 m/s.
- 5- De stroomsnelheid in het kanaal zal tijdens gemiddeld hoogwater maximaal 1.0 m/s mogen bedragen.
- 6- De dwarsstroming wordt op maximaal 1.0 m/s gesteld.
- 7- Het aantal jachten, dat een ligplaats zal kunnen hebben in de marina van Hoek van Holland, is 750.
- 8- De lagune heeft een oppervlakte van 200 ha.
- 9- De significante golfhoogte in het midden van het bekken mag in het geval van een wind met windkracht 7 Beaufort maximaal 1.0m zijn.

- 10- Het talud van het strand en van de ondiepwaterbodem aan de zeezijde is als volgt opgebouwd:

tussen	+3.0m NAP en +1.0m NAP	1:25
tussen	+1.0m NAP en -1.0m NAP	1:50
tussen	-1.0m NAP en -8.0m NAP	1:75

Het talud van de ondiepwaterbodem vanaf de bekkeningang in de richting van de Eurogeul tot de kop van de Noorderdam wordt gesteld op 1:60 a 1:75.

Het talud van de stranden aan de lagunekant wordt steiler dan aan de zeezijde:

tussen	+3.0m NAP en +1.0m NAP	1:25
tussen	+1.0m NAP en -3.0m NAP	1:50
tussen	-3.0m NAP en bodem lagune	1:6

- 11- De Noorderdam zal niet worden verbreed of verlengd in de kustuitbreidingsplannen.

- 12- De breedte van de landtong ten noorden van de bekkeningang wordt gesteld op 300m op het NAP-niveau. Deze landtong hoeft niet de voldoen aan de eisen voor Deltaveiligheid, omdat het niet om een primaire zeewering gaat. Het gebied krijgt een recreatieve bestemming.

ad 1/2 Om de marina van Hoek van Holland aantrekkelijk te maken als bestemming voor het publiek en als lig- of verblijfplaats voor jachten is het zaak de lagune toegankelijk te maken voor alle jachten in rustige weersomstandigheden en de mogelijkheid te bieden in- en uit te varen voor de meeste jachten bij windkracht 7. Aangenomen wordt dat bij windkracht 8 geen jacht meer uitvaart. In het geval dat jachten tijdens een storm met een windkracht groter dan windkracht 7 zich op zee bevindt kan de Nieuwe Waterweg dienen als toevluchtsoord voor de grote jachten. In de uitgangspunten is gesteld, dat jachten met een lengte van 18m nog moeten kunnen in- en uitvaren bij windkracht 7 gecombineerd met laagwater. De langere jachten met een grotere diepgang (4% van het totaal aantal boten) kunnen eventueel bij hoogwater in- en uitvaren.

ad 3 Het aanleg- en onderhoudswerk zal niet onder extreme golfsituaties plaatsvinden. De lagune zal dan wel een veilige beschutting moeten kunnen geven. Het werk moet wel kunnen doorgaan bij een aflandige wind tot windkracht 8 Beaufort.

ad 4 Het binnenlopen van de bekkeningang zal door de zeilschepen meestal op de motor gebeuren. Voor de gemiddelde snelheid die

jachten op de motor kunnen varen wordt 2.0 m/s aangehouden. Werkschepen met afmetingen van 90m lengte en 12m breedte (laadvermogen 2000 ton) hebben geladen een gemiddelde snelheid van 4.0 m/s (lit.6).

- ad 6 Uit metingen in de situatie zonder kustuitbreiding blijkt de stroming maximaal 1.0m/s te zijn. In bijlage 12 is een verwachting van het stroombeeld voor de beide varianten A en B voor eb- en vloedstroming gegeven. De stroomsnelheden zullen in de situatie met de kustuitbreiding niet veel groter zijn dan voor de huidige situatie.
Voor zeiljachten is het bij een zijwaartse stroming van 1.0 m/s nog mogelijk om een bepaalde koers te varen.
- ad 7/8 In §1.3 wordt het ontwerp van het recreatiegebied rond het bekken vermeld.
- ad 9 Tijdens windkracht 7 is gesteld, dat er zich jachten in de lagune bevinden en zal de significante golfhoogte beperkt moeten zijn om rustig te kunnen varen.
- ad 10 Voor het verwachte kustprofiel, dat zich na verloop van tijd zal gaan instellen, is het profiel uit §2.2 aangehouden.
Voor het talud vanaf de bekkeningang in de richting van de Eurogeul is 1:60 a 1:75 gekozen, omdat de taludhelling van de Eurogeul voor de kop van de Noorderdam in de huidige situatie ongeveer 1:60 is.
Voor het strandtalud in de lagune is beneden -3.0m NAP een helling van 1:6 gekozen. Deze keuze is gebaseerd op het aanlegtalud van het Slufterprojekt (zie lit. 9), waar een helling van 1:5 voor het binnentalud is aangehouden. De mogelijke aanleghelling is sterk afhankelijk van de grondsoort.

De globale vorm en afmetingen van de bekkeningang zullen aan de hand van bovenstaande uitgangspunten worden bepaald. Met behulp van deze voorlopige varianten zullen diffractieberekeningen worden gemaakt, die tot doel hebben de bevaarbaarheid van de ingang en de golfdoordringing in de lagune te beoordelen. Aan de hand hiervan zal de ingang eventueel aangepast worden.

Ter indicatie zijn in bijlage 13 een aantal verschillende havens langs de Belgisch-Nederlandse kust weergegeven. Deze havens geven een idee van het bestaande aanbod.

3.2 Bepaling van de globale afmetingen

3.2.1 Bodemligging van de ingang

Van de uitgangspunten, die in §3.1 ten aanzien van de bekkeningang zijn gesteld, zijn de volgende punten van belang voor de dieptebepaling van de ingang:

- Jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m moeten in- en uit kunnen varen tijdens een aanlandige wind met windkracht 7 Beaufort en een gemiddelde laagwaterstand.
- Jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m moeten in- en uit kunnen varen tijdens een aflandige wind met windkracht 7 Beaufort.
- Werk-, onderhoudsschepen en jachten met een diepgang van 4.0m moeten kunnen in- en uitvaren ten eerste tijdens gemiddeld laagwater en lage golven en ten tweede tijdens extreem laagwater.

De factoren, die de diepte bepalen, zijn de beweging van jachten ten gevolge van de golfbeweging, de waterstand ten gevolge van het getij en de wind, de diepgang van de jachten en de overdiepte. In de overdiepte is de bodemruwheid en het effect van buistoten verwerkt.

Tevens wordt de bodemligging van de bekkeningang bepaald door de eis dat de bekkeningang tijdens de golfomstandigheden, waarbij jachten nog moeten kunnen in- en uitvaren, buiten de brekerzone moet liggen.

Voor jachten met een diepgang van 3.0m wordt de diepte berekend voor twee maatgevende situaties:

- 1 extreme golfomstandigheden en gemiddeld laagwater
- 2 gemiddelde golfcondities en extreem laagwater

1 Extreme golfomstandigheden en gemiddeld laagwater

In het algemeen treedt een situatie van extreme golfomstandigheden op bij een langdurige krachtige aanlandige wind.

Een aanlandige wind met een windkracht van 8 Beaufort en hoger treedt 0.8% van de tijd op (zie §2.5). Dit percentage is als volgt verdeeld over de windrichtingssectoren:

windrichtingssector	percentage van voorkomen windkracht $\geq$ 8 Beaufort
225°-255°	0.32%
255°-285°	0.21%
285°-315°	0.17%
315°-345°	0.07%
345°-015°	0.03%
015°-045°	0.005%

225°-045°	0.8% (=70 uur/jaar)

Voorkomenspercentages van windkracht $\geq$ 8 Beaufort

Tabel 3

Het gemiddelde optredende golfveld op diep water bij een aanlandige wind met een windkracht van 7 Beaufort (13.9m/s-17.1m/s) hangt af van de windrichting. De relatie tussen de windsnelheid uit een bepaalde richtingssector en de significante golfhoogte van het aanwezige golfveld is bepaald in lit.1. De gebruikte relaties zijn weergegeven in bijlage 8 van lit.12. De relaties zijn afgeleid door W. Bakker uit waarnemingen van het lichtschip Goeree. Aangenomen is, dat de gemiddelde golfrichting gelijk is aan de gemiddelde windrichting. Het golfveld op diep water, dat optreedt bij een windsnelheid van 17m/s, is per richtingssector als volgt:

richtingssector	significante golfhoogte bij windkracht 7 B
225°-255°	3.00 m
255°-285°	3.00 m
285°-315°	3.00 m
315°-345°	3.30 m
345°-015°	3.30 m
015°-045°	3.00 m

Significante golfhoogte bij een windsnelheid van 17m/s

Tabel 4

Op ondiep water reduceert de significante golfhoogte van het golfveld dat optreedt bij een windkracht van 7 B door energiedissipatie en refractie. De significante golfhoogte op ondiep water wordt bepaald door

de significante golfhoogtes op diep water in tabel 4 te vermenigvuldigen met de factor H_s/H_{so} , die in lit.12 op de -7m dieptelijn bepaald zijn voor het golfveld met $H_{so} = 3.0m$. Omdat de H_s/H_{so} verhouding in lit.12 voor 5 hoofdrichtingen bepaald is, zijn een aantal H_s/H_{so} factoren voor tussenliggende richtingen afgeschat.

golfrichting op diep water (graden)	H_s/H_{so}	H_{so} (m)	H_s op de -7m NAP dieptelijn (m)
225°-255°	0.70	3.00	2.10
255°-285°	0.84	3.00	2.50
285°-315°	0.98	3.00	2.90
315°-345°	0.98	3.30	3.25
345°-015°	0.80	3.30	2.60
015°-045°	0.70	3.00	2.10

Significante golfhoogte op ondiep water
(-7m dieptelijn) bij een windsnelheid van 17m/s

Tabel 5

De gemiddelde golfrichting op ondiep water is niet meer gelijk aan de gemiddelde golfrichting op diep water, als de refractie groot is. De gemiddelde golfrichting voor het golfveld uit de richtingssector 315°-345° zal op ondiep water dezelfde golfrichting hebben, omdat de refractie gering is.

De maatgevende significante golfhoogte bij een windsnelheid van 17m/s is op de -7m NAP dieptelijn gedurende een gedeelte van de tijd 3.25m. Deze significante golfhoogte zal gemiddeld 0.58% van de tijd (=51 uur/jaar) overschreden worden op de -7m NAP dieptelijn (zie bijlage 10).

De gemiddelde periode in een golfveld met een golfveld met een significante golfhoogte van 3.25m ligt tussen de 6 en 8 seconden (zie bijlage 9).

De golfbeweging in een golfveld met een gemiddelde periode van 6 seconden bevindt zich op een waterdiepte van 6.0-7.0m in het overgangsgebied tussen sinusoidaal en cnoidaal(*). Als het golfveld een gemiddelde periode ≥ 7 sec heeft dan is de golfbeweging op een waterdiepte van 7.0m cnoidaal.

- scheepsbeweging

In lit.13 is een studie gedaan naar de verticale beweging (dompen) van jachten. De mate van het dompen van jachten hangt af van de golfrichting ten opzichte van de vaarrichting en van de bootlengte ten opzichte van de golflengte. In een rapport van Gerritsma is de respons van de verticale beweging van een jacht in de "half-ton cup" klasse op de golfbeweging bepaald als de vaarrichting tegen of met de golfrichting mee is. Ondanks de speciale omstandigheden op basis waarvan deze overdrachtsfunctie bepaald is (zie lit. 13), is hiermee de de dompbeweging van jachten berekend.

Uit de resultaten van de berekeningen blijkt, dat de bewegingsfrequentie van grote jachten, die tegen de golfrichting invaren, in het geval van extreme golfomstandigheden dichtbij de resonantiefrequentie ligt. Het uitvaren is dus maatgevend voor de dieptebepaling van de ingang.

Gesteld is dat, jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m tijdens een storm met windkracht 7 Beaufort moeten kunnen in- en uitvaren. Het golfveld, dat in dat geval op de -7m dieptelijn verwacht wordt op te treden, heeft een significante golfhoogte van 3.25m en een gemiddelde golfperiode tussen de 6 en 8 seconden.

De golfperiode, waarbij een jacht van 18m lengte dat tegen de golfrichting invaart gaat resoneren is ongeveer 4.7s. De vergrotingsfactor voor de bepaling van de beweging van het jacht ten opzichte van de golfbeweging is in de gegeven extreme golfomstandigheden het grootst bij een gemiddelde golfperiode van 6 seconden (zie bijlage 14). De vergrotingsfactor is voor een jacht met een lengte van 18m en voor een golfbeweging met een gemiddelde periode van 6s bepaald op 1.32 (zie bijlage 14).

De golfbeweging bij een gemiddelde golfperiode van 6s is sinusoidaal beschouwd voor de ingang.

De maximale uitwijking van een jacht beneden het stilwaterniveau bedraagt $0.5 \cdot 1.32 \cdot 3.25 = 2.15m$.

- waterstand ten gevolge van het getij

De gemiddelde laagwaterstand bedraagt -0.71m NAP.

- waterstandsverhoging ten gevolge van de wind

In het geval van een aanlandige wind met een windkracht van 7 Beaufort varieert de waterstandsverhoging ten gevolge van de wind tussen de

*) de overgang van een sinusoidale naar een cnoidale golfbeweging ligt in de zone waar $d/L_0 = 0.10$ (d=diepte, L_0 =golflengte op diep water)

0.10m en 1.0m afhankelijk van de windrichting (zie §2.3). In geval van een windrichting uit de sector 315°-345° is de waterstandsverhoging 1.0m.

- diepgang

Jachten met een diepgang van 3.0m moeten onder de extreme golfcondities nog veilig in- en uit- kunnen varen.

- overdiepte

Voor de overdiepte is 0.5m aangehouden.

De minimaal benodigde diepte voor de bekkeningang in de situatie met extreme golfomstandigheden en gemiddeld laagwater is:

$$\text{diepte} = -2.15 - 0.71 + 1.00 - 3.00 - 0.50 = -5.36 \text{ NAP}$$

2 Extreem laagwater en gemiddelde golfomstandigheden

Als een sterke afluiddige wind tegelijk optreedt met een laagwaterstand is er sprake van extreem laagwater. De significante golfhoogtes op ondiep water zijn in die situatie laag door de schaduwwerking van de kust.

De significante golfhoogte wordt gesteld op een waarde van 0.5m in deze omstandigheden.

- scheepsbeweging

De scheepsbeweging zal dezelfde zijn als de golfbeweging voor een jacht met een lengte van 18m, omdat de golfperiode klein is en de responsiefactor in dat geval de waarde 1 heeft. De maximale uitwijking beneden de stilwaterstand is 0.25m. De respons van jachten met een kleinere lengte zal wellicht groter zijn, maar omdat de diepgang van deze jachten kleiner zal zijn dan 3.0m is als maatgevende situatie het in- en uitvaren van een jacht met een lengte van 18m genomen.

- waterstand ten gevolge van getij en wind

In geval van een afluiddige wind met een windsnelheid van 17m/s is de waterstandsverlaging maximaal 0.90m (zie §2.3). De extreme laagwaterstand is dan -1.61m NAP. Deze waterstand zal gemiddeld 1 keer per jaar onderschreden worden (zie §2.3).

- diepgang

Jachten met een diepgang van 3.0m moeten met extreem laagwater nog veilig in- en uit- kunnen varen.

- overdiepte

Voor de overdiepte is 0.5m aangehouden.

De minimaal benodigde diepte voor de bekkeningang in geval van een extreem laagwaterstand en gemiddelde golfcondities is:

$$\text{diepte} = -0.25 - 1.61 - 3.00 - 0.50 = -5.36 \text{m NAP}$$

Voor werk-, onderhoudsschepen en jachten met een diepgang van 4.0m wordt de diepte berekend voor twee maatgevende situaties:

- 3 gemiddelde golfomstandigheden en gemiddeld laagwater
- 4 gemiddelde golfomstandigheden en extreem laagwater

3 Gemiddelde golfomstandigheden en gemiddeld laagwater

Als gemiddelde golfomstandigheden wordt een golfveld met een significante golfhoogte van 1.0m gekozen. Deze significante golfhoogte wordt gemiddeld 18 % van de tijd (=68 dagen/jaar) overschreden (zie bijlage 10).

- De scheepsbeweging wordt alleen bepaald voor de jachten. Jachten met een lengte van 25m hebben een responsiefactor van 1.71 bij golven met een periode van 6.0s (zie bijlage 14).
De maximale uitwijking van een jacht beneden het stilwaterniveau bedraagt $0.5 * 1.71 * 1.00 = 0.86m$.
- De waterstand ten gevolge van het getij bij gemiddeld laagwater is -0.71m NAP.
- De waterstandsverhoging ten gevolge van de wind wordt op 0.0m gesteld.
- De diepgang is 4.0m.
- Voor de overdiepte wordt 0.5m aangehouden.

De minimaal benodigde diepte voor de bekkeningang in geval van een laagwaterstand en gemiddelde golfcondities is:

$$\text{diepte} = -0.86 - 0.71 - 4.00 - 0.50 = -6.07m \text{ NAP}$$

4 Gemiddelde golfomstandigheden en extreem laagwater

De significante golfhoogte bij een afluende wind wordt gesteld op 0.5m.

- De maximale uitwijking van het jacht beneden het stilwaterniveau bedraagt $0.5 * 0.5 = 0.25m$.
- De extreme laagwaterstand is -1.31m NAP. Dit is de waterstand, die optreedt bij een gemiddelde laagwaterstand gecombineerd met een waterstandsverlaging van 0.60m. Deze waterstandsverlaging is de maximale verlaging, die optreedt bij een afluende wind met windkracht 6 Beaufort (14 m/s). Een afluende wind met een gemiddelde windsnelheid van 14 m/s wordt 0.75% van de tijd (=66 uur/jaar) overschreden.
De waterstand van -1.31m NAP wordt gemiddeld 10 maal per jaar onderschreden.
- De diepgang is 4.0m.
- Voor de overdiepte is 0.5m aangehouden.

Voor de minimaal benodigde diepte voor de bekkeningang in geval van gemiddelde golfcondities en extreem laagwater is:

$$\text{diepte} = -0.25 - 0.71 - 0.60 - 4.00 - 0.50 = -6.06 \text{ m NAP}$$

Maatgevende situatie voor de bodemligging

De maatgevende minimaal benodigde diepteligging is -6.07m NAP.

Ligging van de brekerzone

Het begin van de brekerzone ligt voor een golfveld op een waterdiepte van $2 \cdot H_s$. In het geval van een golfveld met een significante golfhoogte van 3.25m op de -7m NAP dieptelijn ligt de grens van de brekerzone op een waterdiepte van ongeveer 6.50m. Omdat de waterstand tijdens gemiddeld laagwater op +0.30m NAP ligt (gem. laagwater + opwaaiing = $-0.71 + 1.0$), moet de bodem van de ingang minimaal op -6.20m NAP liggen.

Gekozen wordt voor een bodemligging op een diepte van -6.50m NAP.

3.2.2

Bodemligging van het kanaal

De minimale diepte in het kanaal, wordt bepaald door de dezelfde factoren als bij bepaling van de bodemligging van de ingang (zie §3.2.1). Tevens worden dezelfde uitgangspunten als in §3.2.1 gehanteerd.

De verticale uitwijking van een jacht met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m wordt bepaald door het golfklimaat in het kanaal. In geval van extreme golfomstandigheden op zee moet het golfklimaat in het kanaal bepaald worden door middel van een diffractieberekening. In geval van extreem laagwater (aflandige wind) wordt de significante golfhoogte in het kanaal gesteld op 0.5m.

De minimaal benodigde diepte in het kanaal wordt bepaald door de situatie met extreem laagwater. De benodigde bodemligging is net als voor de ingang -6.07m NAP.

De bodemligging in het kanaal wordt gelijk gesteld aan de bodemligging van de ingang, die in §3.2.1 bepaald is op -6.50m NAP.

3.2.3

Bodemligging van de lagune

De minimale diepte in de lagune, die vereist is zodat jachten en werkschepen tijdens extreme golfomstandigheden op zee of tijdens extreem laagwater veilig in de lagune kunnen verblijven, wordt bepaald door dezelfde factoren als bij de bepaling van de bodemligging van de ingang (zie §3.2.1). Als uitgangspunt geldt, dat werkschepen en jachten met een diepgang van 4.0m veilig in het bekken moeten kunnen verblijven.

Ten aanzien van het golfklimaat in het bekken is gesteld, dat de maximale significante golfhoogte in het midden van de lagune in extreme golfomstandigheden niet hoger mag zijn dan 1.0m. De benodigde diepte in de lagune bij gemiddeld laagwater en een significante golfhoogte van 1.0m is:

$$\text{diepte} = -0.5 \cdot 1.0 \cdot 1.71 - 0.71 + 1.00 - 4.00 - 0.50 = -5.07 \text{ NAP}$$

Als responsiefactor is 1.71 voor de beweging van de jachten gebruikt, omdat de gemiddelde golffrequentie dicht bij de resonantiefrequentie ligt. De minimaal benodigde diepte in de lagune wordt bepaald door de situatie met extreem laagwater. De benodigde diepte is voor boten met een diepgang van 4.0m in dat geval -6.07m NAP. Deze bodemligging is vereist voor het deel van de lagune tussen de bekkeningang en de marina.

De bodemligging van de lagune tussen de bekkeningang en de marina wordt gesteld op -6.50m N.A.P.

3.2.4

De breedte van de toegang

Voor de bepaling van de minimale breedte van de toegang zijn een aantal eventueel maatgevende situaties te onderscheiden :

- maximale stroomsnelheid door het getij
- veilige doorvaart voor werkschepen tijdens de aanlegfase
- afhandeling van jachten tijdens topdagen in het gebruiksstadium

Maximale stroomsnelheid door het getij

Voor de maximale langsstroomsnelheid, die door de getijbeweging veroorzaakt wordt, is $v=1.0$ m/s aangehouden. Met behulp van de volgende formules, kan het minimale doorstromingsprofiel worden berekend :

$$Q = A * dh/dt \quad (1)$$

$$v = Q/E = A/E * dh/dt \quad (2)$$

$$h = h_0 * \sin (wt - \phi) \quad (3)$$

waarin : Q = totale debiet door de opening (m^3/s)
 A = oppervlakte van het bekken (m^2)
 dh/dt = afname van waterstand per tijdseenheid (m/s)
 v = stroomsnelheid door de opening (m/s)
 E = totale doorstroomprofiel (m^2)
 h = waterstandsverloop door getij (m)

Het waterstandsverloop h voor de verschillende getij- en rijnafvoersituaties is weergegeven in bijlagen 3,4,5 en figuur 10. Uitgaande van een gemiddelde getijkromme kan voor dh/dt een maximum van $2.0 * 10 \text{ m/s}$ worden afgeleid. Deze maximale dh/dt treedt ongeveer 2 uur per getijcyclus op.

Bij een bekkenoppervlakte van 200ha volgt uit de eis dat de toegestane stroomsnelheid maximaal 1.0 m/s is, dat het doorstromingsprofiel 400 m^2 is. Bij een waterdiepte van 6.5m (zie §3.2.1) betekent dit een minimale breedte van 62m. Bij dit profiel zal de maximale stroming tijdens springvloed 1.7 m/s zijn en de maximale stroomsnelheid tijdens eb 0.83 m/s zijn.

Veilige doorvaart voor werkschepen in de aanlegfase

In de aanlegsituatie van de kustuitbreiding dienen werkschepen gebruik te kunnen maken van de bekkeningang. Voor de afmetingen van de werkschepen wordt 90m * 12m aangehouden. De maximaal toelaatbare dwarsstroming voor deze schepen is 1.0 m/s. Bij deze maximale zijwaartse stroming van 1.0 m/s en een voorwaartse snelheid van de schepen van 4.0 m/s kan de benodigde breedte bij een- en tweerichtingsverkeer worden bepaald (zie bijlage 15).

Voor eenrichtingsverkeer wordt een breedte van 100m op kioldiepte (120m tussen de bovenkanten van de taluds van de dammen) gevonden en voor tweerichtingsverkeer dient de breedte 150m op kioldiepte (170m tussen de bovenkanten van de taluds van de dammen) te zijn.

Afhandeling van jachten tijdens topdagen

De benodigde doorvaartcapaciteit in het gebruiksstadium kan als volgt bepaald worden. Naar aanleiding van het geplande maximum aantal zeiljachten van 750 kan volgens de normen van de ANWB worden uitgerekend hoeveel boten maximaal per uur uitvaren. Op een zomerse dag is dit 60% van de totale hoeveelheid boten. Hiervan vaart maximaal 40% in een uur uit. Dat betekent in dit geval een capaciteit $C = 0.6 * 0.4 * 750 = 180$ boten per uur. Uit lit.13 volgt verder dat de capaciteit C van een bepaalde situatie afhangt van een aantal parameters :

$$C = (2*v)/(5*L) * (B/L - 2) \quad (4)$$

waarin : C = de capaciteit van de toegang (boten/uur)
v = vaarsnelheid van de schepen op de motor (m/uur)
L = gemiddelde lengte van de schepen (m)
B = breedte van de toegang (m)

Met behulp van formule 4, kan de breedte worden bepaald als voor de verschillende parameters de volgende waarden worden aangehouden :

L = 11.3m
v = 3600 m/uur
C = 180 boten/uur

De minimale breedte wordt dan B = 39m.

Maatgevende situatie voor de bepaling van de breedte van de opening :

De minimaal benodigde breedte van de ingang wordt bepaald door het gebruik van de bekkeningang door werkschepen tijdens de uitvoering van de kustuitbreiding. Er wordt uitgegaan van eenrichtingsverkeer ter plaatse van de opening, waardoor een breedte van ongeveer 120m op kruinhoogte tussen de bovenkanten van de taluds noodzakelijk wordt.

In verband met de genoemde onzekerheden ten aanzien van het stroombeeld voor de opening van variant B, dat in bijlage 12 geschetst is, en de psychologische hinder die schippers ondervinden bij het naderen van de invaartopening parallel aan de Noorderdam in variant A wordt een extra breedte van 50m opgeteld bij de noodzakelijke breedte.

In beide varianten wordt de breedte van de ingang dus 170m. Deze breedte moet aanwezig zijn op de kruinhoogte tussen de bovenkanten van de taluds. In rustige golfomstandigheden kan bij deze breedte eventueel tweerichtingsverkeer worden toegestaan (zie bijlage 15).

Ten aanzien van het veilig in- en uitvaren van jachten kan worden opgemerkt dat een breedte van 170m voldoende ruimte biedt voor een enkel zeiljacht om in extreme golfomstandigheden en bij sterke stroming de ingang te bevaren.

3.2.5

De breedte van het kanaal

De breedte van het kanaal wordt bepaald aan de hand van de eisen ten aanzien van veilige passage van de schepen. Gesteld kan worden dat het kanaal minimaal de breedte van de ingang dient te hebben in verband met het feit dat een eventueel smaller kanaal zorgt voor grotere stroomsnelheden ten gevolge van het getij en van golfenergieconcentratie. Het is mogelijk een aantal fysische verschijnselen te onderscheiden die

het golfbeeld in het kanaal in sterke mate beïnvloeden:

- 1 Allereerst de golfdoordringing door de toegang. In dit kader speelt de vorm en de verhouding breedte kanaal/breedte toegang een grote rol. Hoe groter deze verhouding, des te meer spreiding van de inkomende golfenergie en des te lager zijn de resulterende golfhoogten.
- 2 Doordat de dammen niet alle golfenergie volledig absorberen, treedt reflectie op in het kanaal. De reflectie zal voor de dammen anders zijn dan voor de dijk, die de landaanwinning beschermt.
- 3 Daarnaast speelt de transmissie door de dammen een rol. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen transmissie door de noorderdam en transmissie door de nieuw aan te leggen dammen in de twee varianten.
- 4 Bovendien moet rekening worden gehouden met het verschijnsel golf-overslag. In verband met de geringe hoogte van de noorderdam speelt dit een rol. Ook voor de andere dammen treedt overslag op.
- 5 Opslingering in het bekken en eventuele dwarsslingeringen in het kanaal (resonantie) beïnvloeden het golfbeeld in het kanaal eveneens. Deze effecten worden in dit verband niet nader beschouwd en verder verwaarloosd.

- ad 1 Er dient verschil gemaakt te worden tussen de twee typen varianten, die wat betreft de golfdemping op verschillende principes berusten. Omdat het principe van golfdemping in variant A berust op verspreiding van de golfenergie moet de breedte van het kanaal in variant A breder zijn dan de ingangsbreedte van 170m. Omdat de golfenergie bij een grote breedte kanaal/breedte toegang verhouding meer wordt verdeeld en de golfhoogten in het kanaal daardoor kleiner zullen zijn, is een grote kanaalbreedte hiervoor optimaal. Bij variant B wordt de golfenergie voornamelijk gedempt in het eerste deel van de bekkeningang (voorhavenfunctie). De minimale breedte wordt in dit geval bepaald door het eenrichtingsverkeer van werkschepen. Deze breedte is berekend in §3.2.4 en bedraagt 120m bij een waterdiepte van 6.5m.
- ad 2 t/m 4 In bijlage 17 en in §3.3 en §3.4 wordt de invloed van reflectie, transmissie en overslag in een aantal globale berekeningen weergegeven. In dit stadium wordt volstaan met een ruwe schatting voor de benodigde extra breedte van 50m.

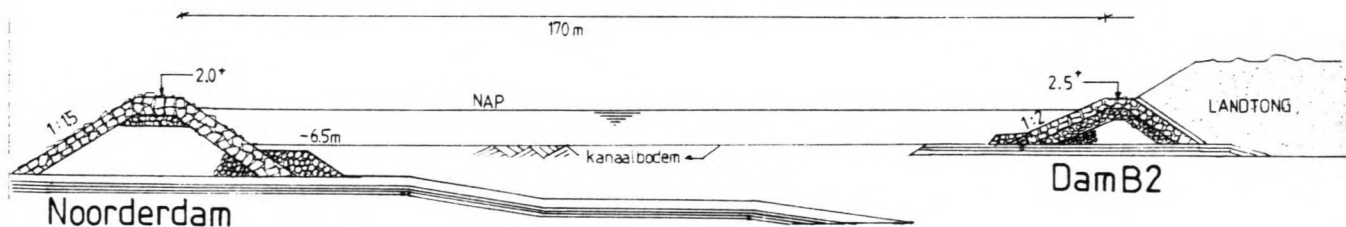
Keuze

De minimaal benodigde kanaalbreedte bij variant A bedraagt 220m op kruinniveau tussen de bovenkanten van de taluds. De extra breedte om de invloed van de reflectie, transmissie en overslag in rekening te brengen is in dit geval niet nodig, omdat het kanaal al 50m breder wordt dan de ingang voor de energiestreiding.

Bij variant B wordt de extra breedte van 50m wel opgeteld. De breedte voor deze variant wordt 170m op kruinniveau tussen de bovenkanten van de taluds.

Relatie met het bestaande dwarsprofiel van de Noorderdam

Naast de eisen ten aanzien van de veilige passage van de schepen kan de breedte van het kanaal worden gerelateerd aan het bestaande dwarsprofiel van de Noorderdam. In figuur 19 is het profiel van de Noorderdam weergegeven. Hierin is een breedte van 170m (de variant met het smalste kanaal) aangegeven. Zichtbaar is dat bij deze kanaalbreedte de bestaande filterconstructie geen invloed meer heeft op de fundering van de teen van de nieuw aan te leggen dijk.



Dwarsprofiel van het kanaal

Figuur 19

3.2.6

Richting van de ingang

De toegankelijkheid van de bekkeningang in geval van extreme golf- en/of stroomomstandigheden en de toegankelijkheid op lange termijn wordt in grote mate bepaald door de richting van de bekkeningang. De keuze van de richting van de bekkeningang geschiedt voor variant A op basis van de ligging van de noorderdam en voor variant B op basis van het golfklimaat op ondiep water.

De factoren, die de toegankelijkheid van de bekkeningang beïnvloeden zijn:

- golfklimaat
- stroming
- aanzanding

De factoren stroming en aanzanding worden voor de 2 varianten globaal beschouwd.

Bepaling van de richting van de bekkeningang

- variant A

De richting van de ingang ligt voor variant A vast. De richting van de Noorderdam is bepalend voor deze richting. De nieuwe aan te leggen strekdam noordelijk van de Noorderdam ligt in principe parallel aan de Noorderdam. De richting van de ingang is 290°.

Uit de resultaten van de hoofdstudie (lit.12 en §2.6) blijkt, dat op de -7m dieptelijn het grootste percentage golven uit de sectoren 255°-285° en 285°-315° komt. Tevens is de kans op een significante golfhoogte groter dan 3.0m uit deze sectoren het grootst.

- variant B

De bepaling van de richting van de ingang hangt voor een groot deel af van het ter plaatse heersende golfklimaat op ondiep water. De invallende golfenergie wordt zo veel mogelijk beperkt. In een studie ter bepaling van het golfklimaat voor de kust van Delfland ter hoogte van Hoek van Holland is dit golfklimaat op ondiep water bepaald. De resultaten van deze studie laten zien dat de gunstigste richting van de ingang tussen 345° en 045° is. Het percentage golven is dan minimaal en de kans op een golfveld met een significante golfhoogte, die groter is dan 3.0m, is het kleinst (zie §2.6). Hierdoor zal ook meestal de koersrichting bij binnenvaren niet parallel zijn aan de golfrichting, hetgeen gunstig is voor de besturing.

Ten aanzien van een aantal aspecten ter bepaling van de richting van de ingang kan slechts een globale uitspraak worden gedaan. Het stromingsbeeld in de diverse fasen zou verder uitgezocht moeten worden, alvorens daarover kwantitatieve conclusies getrokken kunnen worden. Datzelfde geldt voor de aanzanding van de ingang.

Aanzanding van de ingang

De aanzanding van de ingang zal in belangrijke mate afhangen van de richting van de opening. Voor de aanzanding zijn twee transportverschijnselen van belang. Allereerst het transport dat optreedt ten gevolge van de getijstroming. De vloedstroom zal materiaal in het kanaal afzetten, die voor een gedeelte door de ebstroom weer naar buiten getransporteerd wordt. Daarnaast kan aanzanding optreden als gevolg van

het door golfenergie aangedreven langtransport. Bij een opening die bijna loodrecht op de kustlijn is geplaatst, is de kans op beïnvloeding door het langtransport aanmerkelijk kleiner dan bij een opening die parallel aan de kust wordt gekozen. Voor de nederlandse kust treedt zowel zandtransport in noordoostelijke als in zuidwestelijke richting op. Het resulterende langtransport langs de nederlandse kust is noordwaarts gericht. Bij transport in zuidwestelijke richting bestaat de mogelijkheid op aanzanding van de ingang. Waarschijnlijk zal het zandtransport ter plaatse van de opening in zuidelijke en westelijke richting zijn.

Stroming

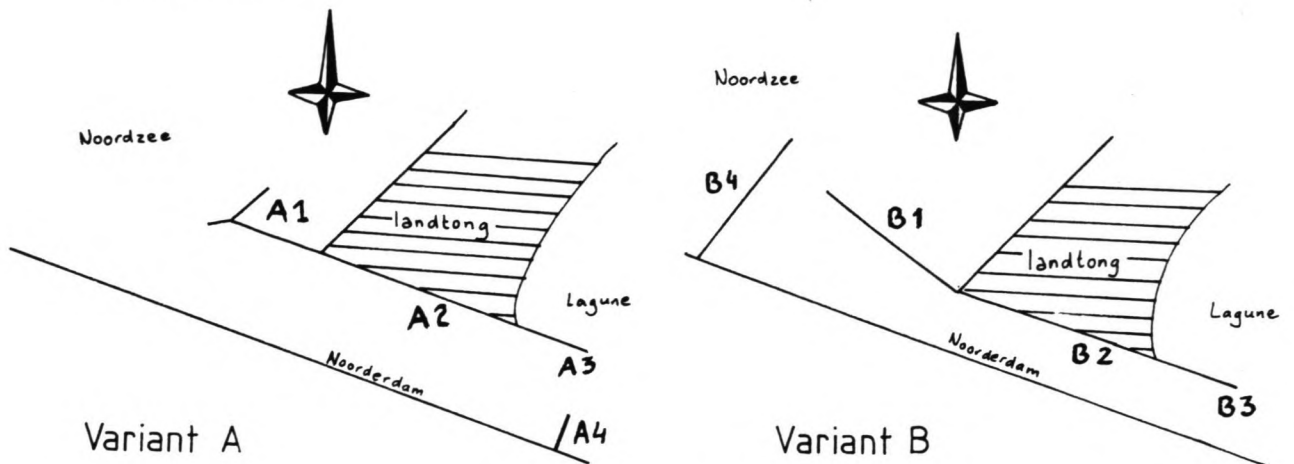
Het stroombeeld voor de bekkeningang is belangrijk ten aanzien van de bevaarbaarheid van de ingang. Het stroombeeld zal beïnvloed worden door de ligging van de nieuwe dammen. In bijlage 12 is een schets gemaakt van de te verwachten stroombeelden. Voor beide varianten geldt, dat de in- en uitstroming van de lagune de verticale getijbeweging direct zal volgen, omdat de oppervlakte van de lagune gering is. Omdat de stroombeweging voor de bekkeningang langs ongeveer 3 uur in fase achterligt op de verticale getijbeweging zal de maximale stroomsnelheid in de ingang niet samenvallen met de maximale stroomsnelheid voor de ingang.

Het stroombeeld zal in variant A het minst veranderen in vergelijking met de huidige situatie. In geval van variant B zorgt de dam haaks op de Noorderdam voor een verstoring van het stroombeeld waardoor eventueel een neer kan ontstaan.

3.2.7

De lengte van de dammen en dijken

De bekkeningang wordt begrensd door een dijk en dammen. De totale lengte en de situering zijn belangrijk ten aanzien van kosten en golfdoordringing. De verschillende dam- en dijkdelen zijn in figuur 20 weergegeven.



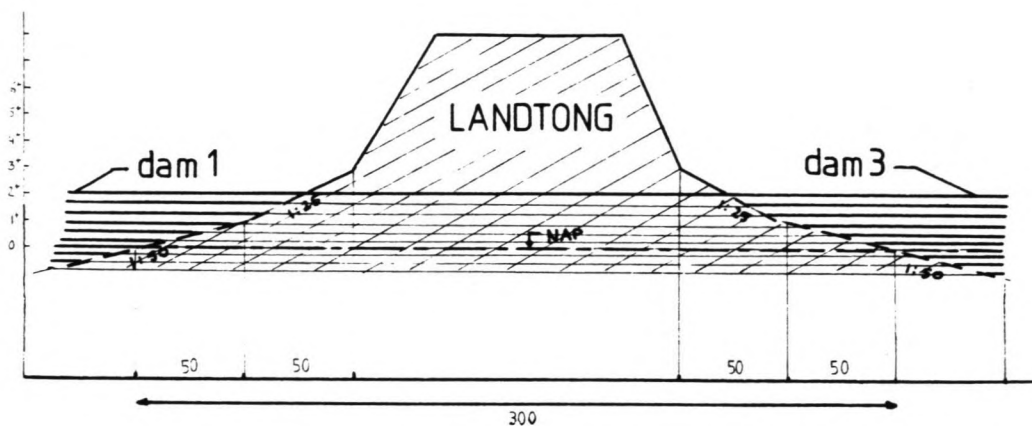
Codering dammen en dijken

Figuur 20

De totale lengte en lokatie van de dammen en dijken wordt bepaald door de hiervoor bepaalde vorm, globale afmetingen en richting van de bekkeningang en door de uitgangspunten, die in §3.1 gesteld zijn ten aanzien van het te verwachten talud in zeewaartse richting en het dwarstalud in de richting van de Eurogeul. Daarnaast wordt de lengte van het dijkprofiel bepaald door de breedte van het duinprofiel.

De dijk

De landaanwinning wordt in beide varianten aan de kanaalzijde beschermd door middel van een dijk (A2 en B2). Aan de zeezijde en aan de bekkenzijde wordt voor de verdediging gebruik gemaakt van een 'zachte' zeewering, een duin. De minimale dwarsdoorsnede die benodigd is voor deze duinverdediging bepaalt de lengte van de dijk. De dwarsdoorsnede van het duinprofiel is in figuur 21 weergegeven. De lengte van het profiel wordt 300m op NAP-niveau. Dat betekent dat de dijk eveneens deze lengte heeft. Over de lengte van de dijk zal de hoogte van de dijk variëren tussen +2.0m NAP aan de zee- en de lagunezijde en de duinhoogte in het midden van de landtong.



Aanzicht van de landtong vanaf de Noorderdam in NO-richting

Figuur 21

De dammen

Doordat het kanaal een diepte heeft van minimaal 6.5m is aan de uiteinden van de dijk een bescherming nodig voor de taluds van de duinverdediging. In figuur 8 is het talud van het duinprofiel aan de zeezijde weergegeven. Voor de lagune worden de volgende taluds aangehouden : tussen +3.0 NAP en +1.0 NAP 1:25, tussen +1.0 NAP en -3.0 NAP een talud van 1:50. Vanaf -3.0 NAP tot de bodem van de lagune kan een talud van 1:6 worden aangelegd.

- Variant A

Het laguneprofiel laat zien dat voor de dam A3 een lengte nodig is van 170m.

Aan de zeezijde wordt het talud 1:50 tussen +1.0m NAP en -1.0m NAP en 1:75 tussen -1.0m NAP en -8.0m NAP. Voor dam A1 zijn twee facetten van belang. Allereerst dient deze dam een stabiel talud vanaf de waterlijn tot in de geul (-6.5m NAP) te waarborgen. Bovendien mag het talud dat zich instelt tussen deze diepte van -6.5m NAP en de kop van de Noorderdam (-14.5m NAP (*)) niet steiler dan 1:60 zijn.

Deze voorwaarden maken een dwarsdam op dam A1 noodzakelijk. Deze

*) Ter plaatse van de kop van de Noorderdam is in de huidige situatie een diepte van 14.5m aanwezig. De bodemlijnen van de huidige situatie zijn weergegeven in bijlage 11.

dwarsdam heeft tot taak een stabiel talud te creëren tot een diepte van -6.5m NAP op een zodanige afstand van de kop van de Noorderdam, dat vanaf deze diepte van -6.5m NAP tot de kop van de Noorderdam een talud van 1:60 kan ontstaan. Omdat de Noorderdam 700m uitsteekt buiten de kustuitbreiding, mag bij een talud van 1:60 naar de kop van de Noorderdam de lengte van dam A1 maximaal 250m zijn. De dwarsdam op A1 moet een lengte van 160m hebben om bij het gegeven talud vanaf de waterlijn tot -6.5m NAP te komen.

De totale lengte van dam A4 wordt niet bepaald aan de hand van mogelijke taluds. De functie van deze dam is specifiek de golf-doordringing in het bekken te verminderen. De opening die minimaal dient te worden aangehouden is eerder bepaald op 100m. Doordat de schepen hier ter plaatse in tegenstelling met de zeewaarts gelegen toegang geen hinder ondervinden van dwarsstroming wordt geen extra breedte aangehouden. De noodzaak van dam A4 wordt aan de hand van diffractieberekeningen bepaald, waarna in §3.5 de eventuele afmetingen worden bepaald. In bijlage 16 is variant A geschetst op de verwachte bodemligging.

- Variant B

De lengte van dam B1 wordt bepaald door de profiel van het evenwichtstalud (zie figuur 8). De lengte van dam B1 wordt daardoor 460m. Voor dam B3 geldt hetzelfde als voor dam A3. De lengte van deze dam wordt daardoor eveneens 170m.

Dam B4 heeft een tweeledig doel. Allereerst de golfinval in het bekken minimaliseren en daarnaast een stabiel talud richting Noorderdam garanderen. Voor de ingang verloopt de diepte van -6.5m NAP aan de oostkant van de ingang (aan de strandzijde, kop dam B1) tot -8.5m NAP aan de westkant van de ingang (zeezijde, kop dam B4)). Bij een talud in de richting van de Eurogeul van 1:60 a 1:75 is 460m damlengte B4 nodig om tot een diepte van -14.5m NAP aan de kop van de Noorderdam te komen. In bijlage 16 is variant B geschetst op de verwachte bodemligging.

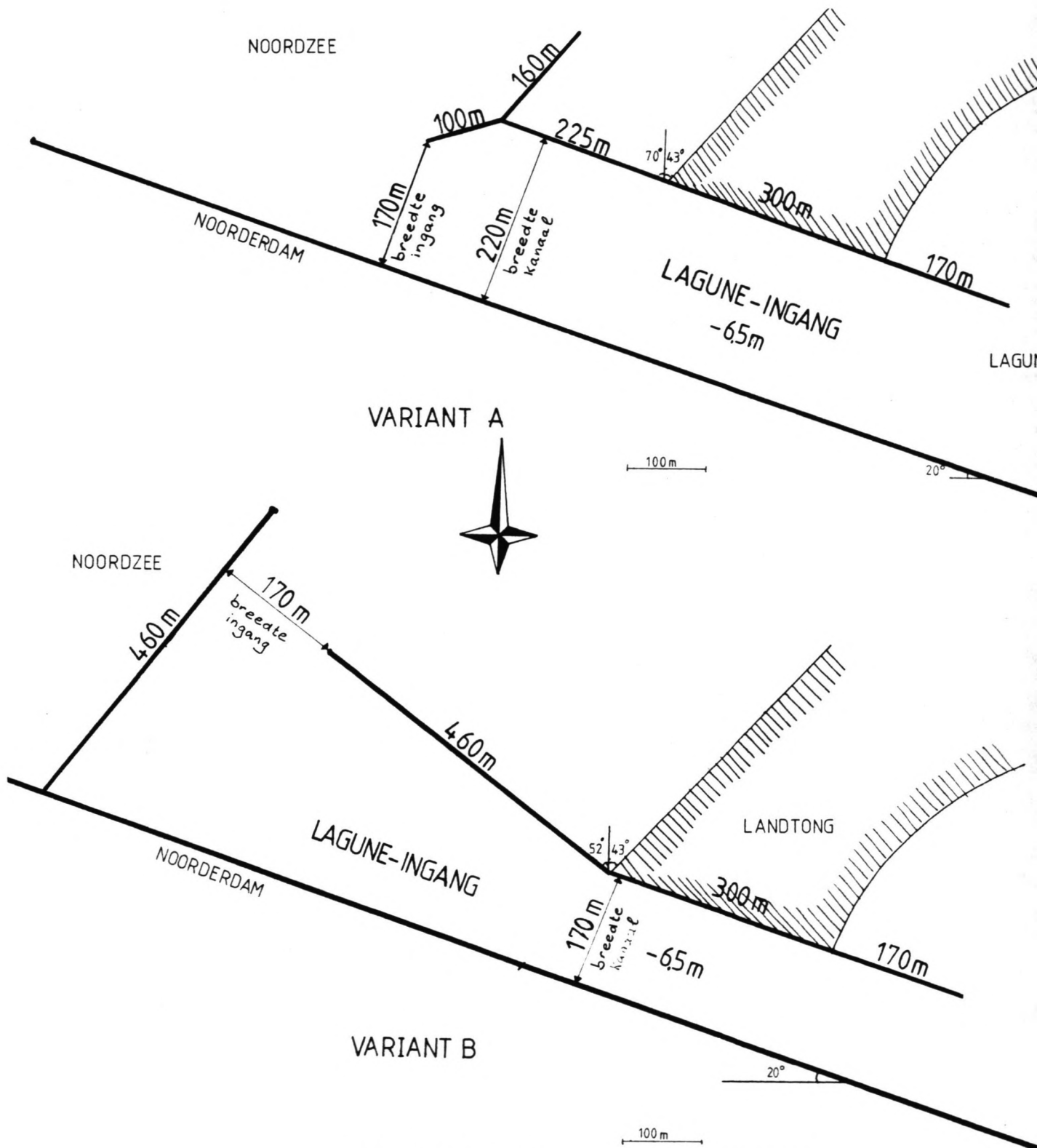
3.2.8

Evaluatie van de globale ontwerpen

De twee varianten zoals die gebruikt worden voor de diffractie-berekeningen zijn weergegeven in figuur 22. Aan de hand van de resultaten van de diffractieberekeningen worden de ontwerpen bijgesteld. De uitgangspunten voor de eerste ontwerpen van beide varianten zijn :

	Variant A	variant B
breedte ingang	170m	170m
breedte kanaal	220m	170m
diepte kanaal	-6.5m NAP	-6.5m NAP
richting ingang	290°	45°
zeewaarts talud tussen +1m en -1m NAP	1:50	1:50
zeewaarts talud tussen -1m en -8m NAP	1:75	1:75
dwarstalud richting Eurogeul	1:60	1:75
duintalud lagune tussen +1m en -1m NAP	1:25	1:25
duintalud lagune tussen -1m en -3m NAP	1:50	1:50
duintalud lagune dieper dan -3m NAP	1:6	1:6
totale damlengte	655m + A4	1090m
totale dijk lengte	300m	300m

Tabel 6



Eerste ontwerpen van de beide varianten

Figuur 22

In- en uitvaarmogelijkheden van de lagune--ingang voor jachten

Omdat de bodemdiepte van de ingang op -6.50m NAP en de breedte van de ingang op 170m zijn gekozen, zijn de situaties waarbij nog kan worden in- en uitgevaren door jachten verruimd ten opzichte van de uitgangspunten.

Voor de jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m is het mogelijk om in- en uit te varen tijdens hogere windsnelheden dan 17.1m/s (7 Beaufort) omdat de minimaal benodigde diepte op -5.36m NAP ligt.

- aflandige wind

Het blijkt, dat de jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m bij de gekozen bodemligging van de ingang kunnen in- en uitvaren tot en met windkracht 9 Beaufort tijdens gemiddeld laagwater. De maximale waterstandsverlaging bij deze storm is 2.10m.

- aanlandige wind

In principe kunnen de jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m in alle extreme golfomstandigheden in- en uitvaren tijdens gemiddeld laagwater bij de gekozen bodemligging. De extra diepte van 1.14m boven de minimaal benodigde diepte van 5.36m is ruim voldoende om grotere uitwijkingen beneden het stilwaterniveau ten gevolge van hogere golven op te nemen. Tevens zal de waterstandsverhoging ten gevolge van de wind toenemen bij grotere windsnelheden waardoor de aanwezige waterdiepte in de ingang vergroot zal worden.

Het enige probleem, dat zal optreden voor het veilig in- en uit varen van de ingang is de stijging van het aantal golven, dat breekt voor de ingang. Deze stijging is echter zeer gering. Uit berekeningen met het numerieke golfvoortplantingsmodel HISWA blijkt namelijk dat de ligging van de grens van de brekerzone nauwelijks verschuift in zeewaartse richting ten opzichte van de dieptelijnen bij golfvelden met een hogere significante golfhoogte op diep water.

Gesteld kan worden dat de jachten met een lengte van 18m en een diepgang van 3.0m tijdens gemiddeld laagwater kunnen in- en uitvaren tot en met windkracht 9 Beaufort.

Voor jachten met een diepgang van 4.0m is de toegankelijkheid van de lagune-ingang ook groter dan waarvan uitgegaan is in §3.2.1.

- aflandige wind

De jachten met een diepgang van 4.0m kunnen in- en uitvaren tot en met windkracht 7 Beaufort bij gemiddeld laagwater. De waterstandsverlaging ten gevolge van deze wind is maximaal 0.90m.

- aanlandige wind

De jachten met een diepgang van 4.0m kunnen nog uitvaren bij gemiddeld laagwater en een significante golfhoogte van 1.5m. Deze golfhoogte wordt 10.6% van de tijd (=39 dagen/jaar) overschreden. Er kan alleen bij hogere golven uitgevaren worden als gebruik gemaakt wordt van de waterstandsverhoging ten gevolge van het getij.

Invaren kunnen de jachten tot en met windkracht 9 Beaufort. Het enige probleem is, net als bij de jachten met een lengte van 18m (zie hiervoor), het aantal brekende golven voor de ingang.

3.3 Golfdoordringing door de opening

3.3.1 Diffractie

Wanneer een golfveld een constructie ontmoet zal het gedeeltelijk worden gereflecteerd. Daarnaast zullen de golfkammen om het obstakel buigen en de schaduwzijde van de constructie beïnvloeden. Dit verschijnsel wordt diffractie genoemd.

De bepaling van deze diffractie is belangrijk omdat aan de hand hiervan de golfdoordringing rond een haveningang of een havendam kan worden bepaald.

Het verschijnsel diffractie kan theoretisch worden beschreven aan de hand van principes die door Huygens zijn opgesteld. Sommerfeld heeft uitgaande van deze principes een oplossing afgeleid. Deze oplossing is voor een aantal gevallen toepasbaar. In een aantal overige gevallen wordt met een vereenvoudigde oplossing van de vergelijkingen van Sommerfeld gewerkt.

In dit kader wordt de theoretische beschrijving van het diffractieverschijnsel verder niet beschreven. Voor het bepalen van de golfdoordringing in de lagune-ingang wordt gebruik gemaakt van een aantal methoden, waarin al dan niet vereenvoudigde oplossingen van de Sommerfeld-vergelijking worden berekend. De aannamen waarop deze methoden berusten worden wel vermeld.

3.3.2 Gebruikte methoden

Voor de bepaling van de diffractie in de lagune-ingang is gebruik gemaakt van de volgende methoden :

- methoden beschreven in de Shore Protection Manual
- de 'Spiraal van Cornu'
- 'Ersatzwellenverfahren' van Daemrich (lit.8)

Voor het bepalen van het diffractiepatroon worden voor de methoden de volgende aannamen gedaan :

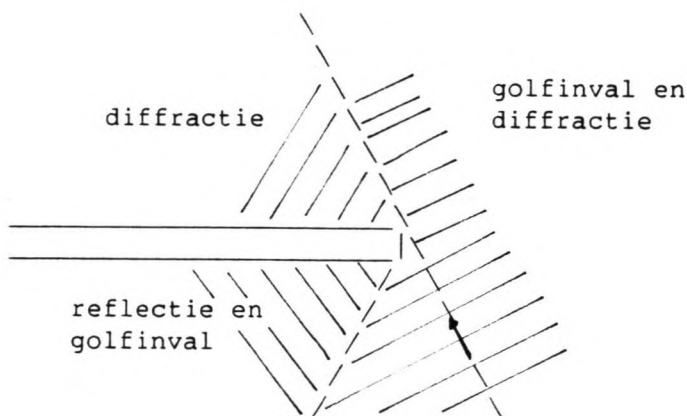
- lineaire golftheorie geldig (monochromatische zwaartekrachtsgolven)
- constante diepte (geen refractie-invloeden)
- starre ondoorlaatbare golfbrekers
- half oneindig lange rechte golfbrekers
- oneindig dunne golfbrekers

De Shore Protection Manual (SPM)

In de SPM worden de diffractiepatronen voor een aantal veel voorkomende gevallen bepaald. Deze gevallen zijn :

- een half oneindig lange golfbreker met een willekeurige richting van het invallende golffront
- een opening tussen twee op een lijn liggende half-oneindig lange golfbrekers met verschillende breedtes bij loodrechte inval van het golffront
- een opening tussen twee op een lijn liggende half-oneindig lange golfbrekers met een breedte van 1 golflengte bij willekeurige invalshoeken van het golffront.

Bij deze oplossingen wordt uitgegaan van de bovengenoemde aannamen. Bovendien kan hieraan worden toegevoegd dat voor de berekening van de diffractie door een opening de diffractie door reflectie tegen de dam wordt verwaarloosd. In het geval van een golfveld dat een half-oneindig lange dam ontmoet, is de diffractie ten gevolge van reflectie wel verwerkt.



Verschillende zones bij golfinval op een dam

Figuur 23

De spiraal van Cornu

Daarnaast bestaat de mogelijkheid om het door diffractie opgewekte golfpatroon te berekenen met behulp van de methode van Cornu. In deze methode wordt de oplossing van Sommerfeld grafisch uitgewerkt. Door het vectorieel optellen van de invloeden van de golfbronnen kan een diagram worden geconstrueerd in de vorm van een spiraal, waarin rekening houdend met faseverschillen de invloeden van een of twee havendammen op

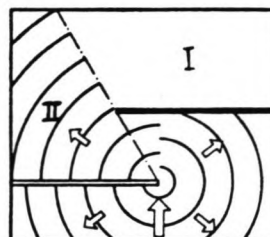
de amplitude van een willekeurig punt achter de dam(men) kan worden bepaald. Voor een uitvoerige beschrijving van de totstandkoming van de spiraal van Cornu en het gebruik ervan wordt verwezen naar lit.2. Het toepassingsgebied waarvoor de methoden kunnen worden gebruikt kan worden verruimd ten aanzien van de eerder geschetste beperkingen. De methoden van Cornu en de SPM mag worden toegepast voor dammen waarvan de vorm niet oneindig lang (maar wel zodanig dat nog een een verwijding achter de ingang plaatsvindt) en niet oneindig dun hoeft te zijn (breedte van de dam moet klein zijn ten opzichte van de golflengte).

Ersatzwellenverfahren van Daemrich

Wanneer twee golfbrekers overlappen of verspringen ten opzichte van elkaar, kan voor de berekening van het golfpatroon in de secundaire diffractiezone (zone I in figuur 24) gebruik worden gemaakt van de semi-empirische benaderingsmethode, die door Daemrich is ontwikkeld onder de naam 'Ersatzwellenverfahren'.



verspringend



overlappend

Golfbrekerconfiguraties

Figuur 24

Deze methode gaat ervan uit dat het golfpatroon in gebied I kan worden berekend door hiervoor de invloed van een 'vervangingsgolf' (Ersatzwelle) in rekening te brengen. De hoogte van deze golf wordt bepaald aan de hand van de waarde van de diffractiecoëfficiënt ten gevolge van diffractie om de eerste havendamkop ter plaatse van de tweede havendamkop. Deze hoogte wordt verder constant verondersteld over de breedte van de invallende golffront. De richting van het golffront wordt gelijk gesteld aan de richting van de verbindinglijn tussen de twee damkoppen.

Het golfbeeld in gebied II wordt door beide damkoppen bepaald. Hiervoor

dienen de amplituden van de golven ten gevolge van diffractie om de beide damkoppen rekening houdend met faseverschillen te worden opgeteld. De scheidingslijn tussen beide gebieden dient geen discontinuïteiten bevatten. Daarom wordt hier een modificatie van de golfhoogte toegepast in het gebied I, waarbij het verschil tussen de golfhoogte in I en II over een sector van 30° lineair wordt verminderd (uitgebreide behandeling in lit.8).

Invoer voor de diffractieberekeningen

De diffractie voor de beide varianten A en B is met behulp van de bovenstaande methoden opgelost.

Het invallende golfveld, waarvan de energie gespreid is over een driedimensionaal spectrum met golfrichting, -hoogte en -periode, wordt in de berekeningen gekarakteriseerd door een golfparametercombinatie H_s, T_g en Θ_g , waarvan de diffractie als voor een monochromatische golf wordt berekend. Dat is een ongunstige schematisatie van de realiteit. Doordat in werkelijkheid de energie van het golfveld gespreid is over de richtingen zal het diffractiepatroon minder golfdoordringing te zien geven.

Naast diffractie is ook de reflectie tegen de dammen meegenomen. Alleen primaire reflectie is in de berekeningen meegenomen, dus geen reflectie van gereflecteerde golven, omdat de invloed daarvan te verwaarlozen bleek te zijn. Het effect van reflectie is in rekening gebracht door toepassing van de spiegelwetten (hoek van inval is hoek van terugkaatsing). Het effect van de golfhoogte, die reflecteert wordt, op de invallende golfhoogte kan worden berekend met behulp van de energiebalans, waarbij moet gelden dat de resulterende energie gelijk is aan de som van de gereflecteerde energie en de invallende energie.

De reflectiecoëfficiënten van de dammen zijn bepaald in bijlage 17. Voor de Noorderdam is de reflectiecoëfficiënt 0.4 en voor de overige dammen 0.3.

De diffractieberekeningen zijn uitgevoerd voor monochromatische golven met een periode van 6s. Deze periode is gekozen omdat de maatgevende golfhoogte voor het golfbeeld in de lagune-ingang een waarde heeft van 3.25m. Bij deze significante golfhoogte kunnen volgens de ondiepwaterverdelingen zoals die in lit.12 zijn berekend perioden van 6s, 7s en 8s voorkomen. Omdat een steilere golf minder diffractieinvloed onder vindt en daardoor een golfpatroon met hogere amplituden ontstaat, is gekozen voor de steilste golfcombinatie. De invoerwaarden in de berekeningen zijn in tabel 7 weergegeven.

	variant A	variant B
richting	290°, 300° 330°, 360°	360° 015°
periode	6s	6s

Tabel 7

In de diffractieberekening zelf is de golfhoogte niet van belang. De amplitudefactoren, die worden bepaald, worden naderhand vermenigvuldigd met de invallende golfhoogte. Voor de interpretatie van het golfbeeld in de lagune-ingang zijn deze laatste waarden van belang. De waarden van de invallende significante golfhoogten per richting zijn weergegeven in tabel 5 van §3.2.1.

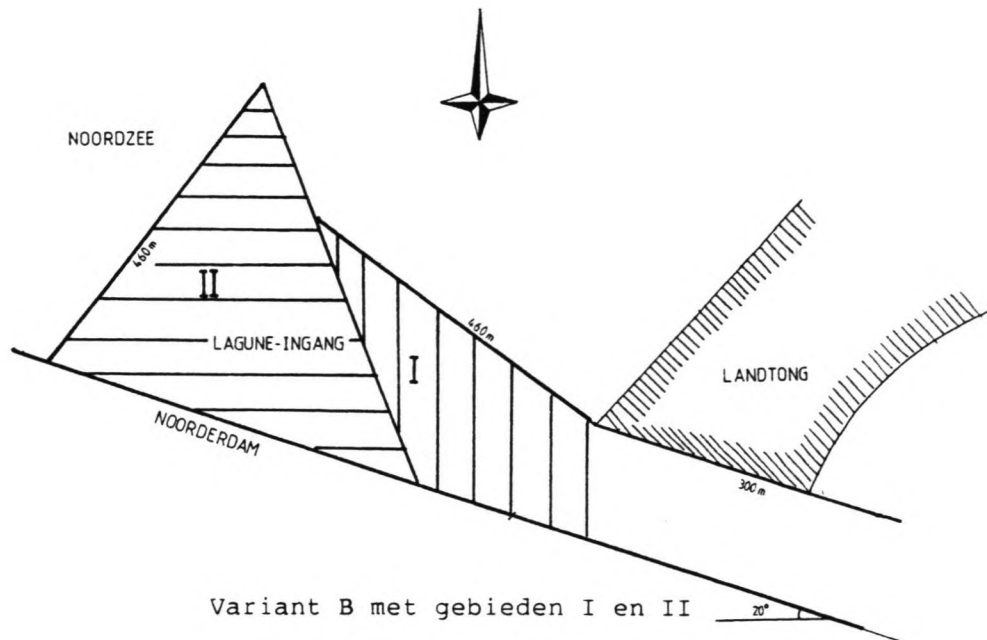
- Variant A

Bij golfinval uit de sector $290^\circ < \theta < 15^\circ$ treedt door de Noorderdam geen diffractie op. De diffractie kan worden berekend aan de hand van de methoden voor een half-oneindig lange dam met verschillende hoeken van inval. De reflectie op de Noorderdam en de reflectie op de dam die voor de diffractie zorgt wordt in de berekening meegenomen. In het geval dat de golfinval parallel aan de Noorderdam is, wordt de eventuele invloed van de Noorderdam verwaarloosd (wrijving langs de dam en reflectie tegen de dam).

Het golfpatroon is berekend voor parallel inval met behulp van de spiraal van Cornu (verwaarlozing van reflectie) en met behulp van de diagrammen 2.28 t/m 2.39 uit de Shore Protection Manual (100% reflectie). De resultaten vertoonden goede overeenkomsten, waarna voor de overige richtingen verder gebruik is gemaakt van de SPM.

- Variant B

Voor de bepaling van het diffractiepatroon voor de configuratie zoals die in variant B is vastgelegd, dient rekening gehouden te worden met het feit dat de twee havendammen niet op een lijn liggen en dat de opening tussen de dammen niet dezelfde richting heeft als de invallende golfkammen. Dat betekent dat er achter de meest naar 'binnen' gelegen dam een gebied ligt, waarvoor de diffractie niet te bepalen is met behulp van de diagrammen uit de SPM of met behulp van de spiraal van Cornu. Het golfpatroon in dit zogenaamde secundaire diffractiegebied wordt bepaald met behulp van de methode van Daemrich.



Figuur 25

De diffractie in gebied II wordt bepaald met behulp van de spiraal van Cornu en de SPM. Voor een golfrichting zijn de resultaten met behulp van beide methoden bepaald. De uitkomsten stemden in hoge mate overeen, waarna de tweede richting alleen met de SPM is bepaald.

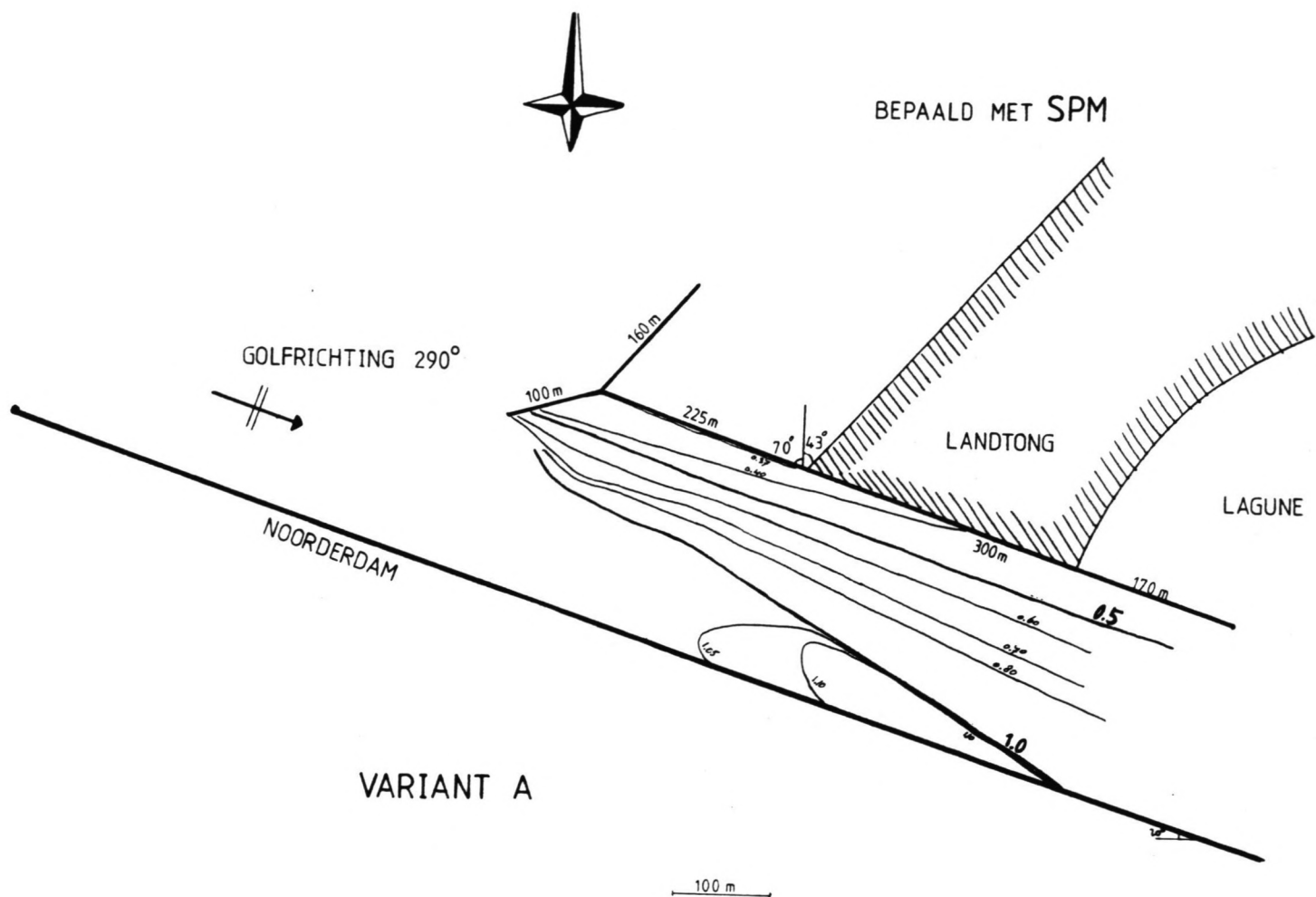
In principe kan slechts een benaderende oplossing voor scheve inval in een opening met een willekeurige breedte worden gegeven aan de hand van de diagrammen 2.42 t/m 2.52 uit de SPM. Dit kan door gebruik te maken van het feit dat de golfdoordringing bij scheve inval bepaald kan worden door een diagram voor loodrechte inval, waarbij de openingsbreedte gelijk is aan de afstand tussen de twee havendammen gemeten in de richting van de golfkam van de invallende golf (zie SPM figuur 2.58, Johnson 1962).

Op de grens van gebied I en gebied II moeten de waarden van de golfhoogte worden aangepast om discontinuïteiten te voorkomen.

3.3.3

Resultaten

Hieronder wordt voor beide varianten de maatgevende situatie voor het golfpatroon in de lagune-ingang ten gevolge van golfdoordringing door de opening weergegeven. De overige niet maatgevende golfrichtingen staan vermeld in bijlage 18.

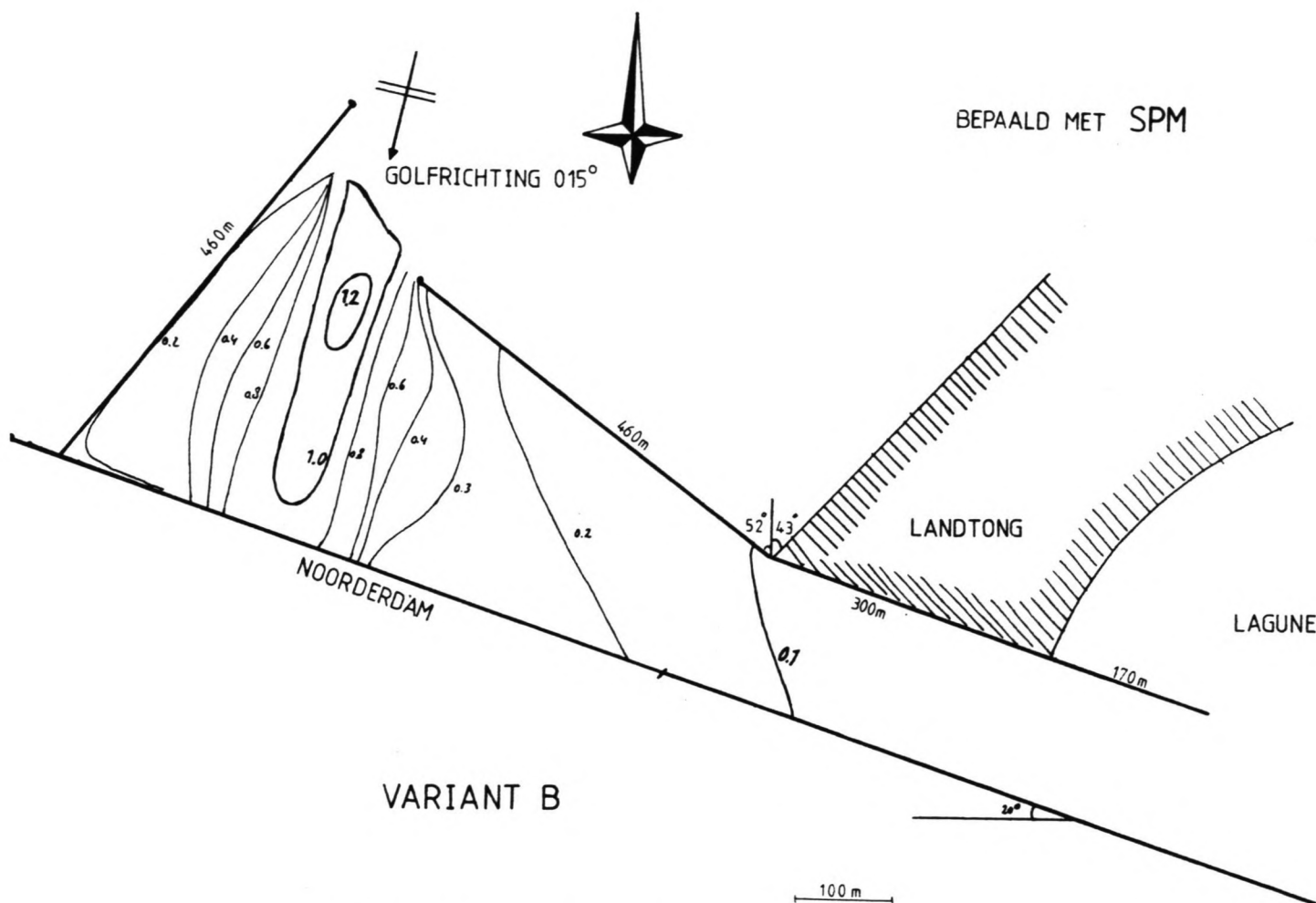


VARIANT A

(amplitudedefactorlijnen)

Diffractiepatroon voor de maatgevende richting voor variant A

Figuur 26



VARIANT B

(amplitudefactorlijnen)

Diffractionpatroon voor de maatgevende richting voor variant B

Figuur 27

Interpretatie van de resultaten

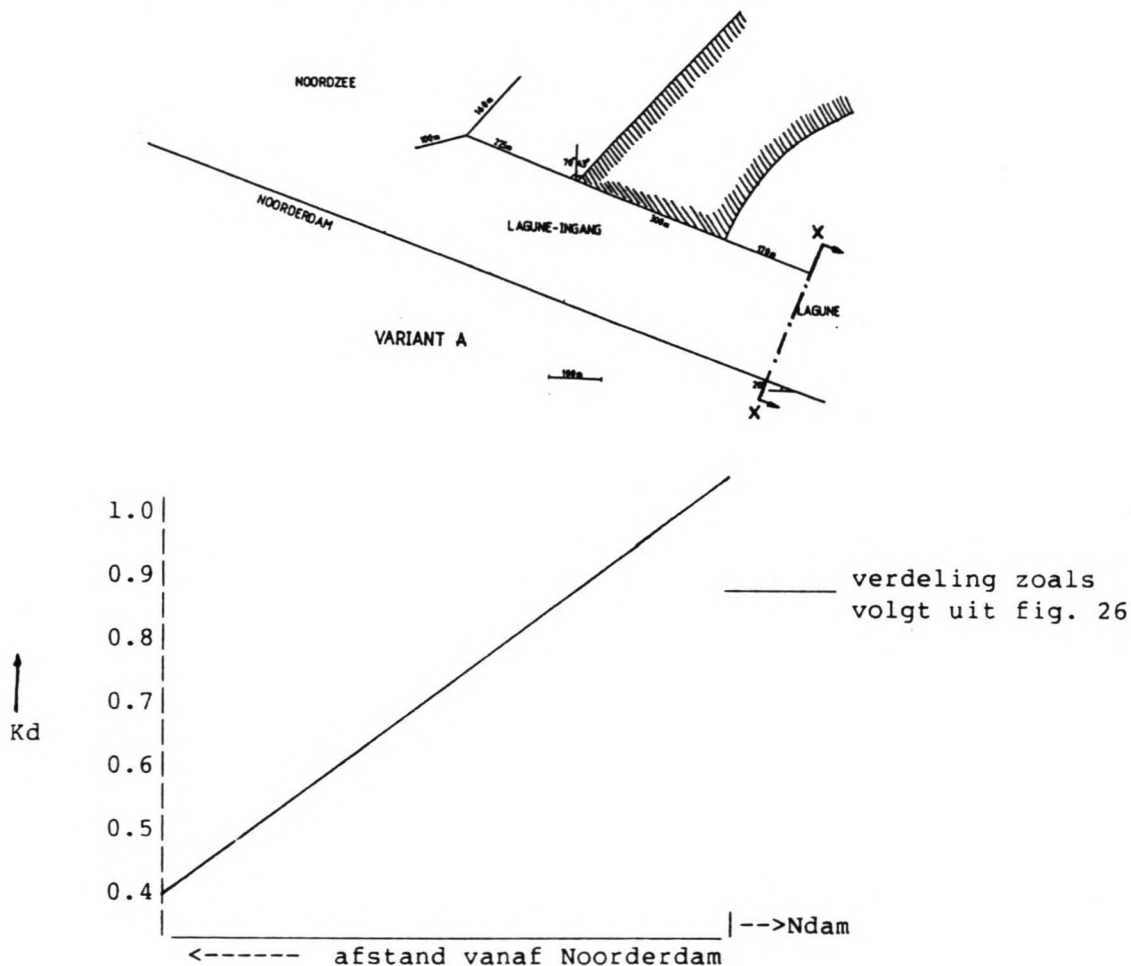
Bij de interpretatie van de resultaten voor beide figuren zoals die in de figuren 26 en 27 en in de bijlagen 16 zijn weergegeven dient te worden opgemerkt dat twee aspecten bij de beoordeling van de varianten van belang zijn en de invloed daarvan dan ook zal worden aangegeven:

- de maximaal optredende amplitudefactor K_d in de vaarbaan
- de maximale overgebleven amplitudefactor ter plaatse van de overgang kanaal-lagune.

Variant A

Voor variant A kan uit de resultaten van de diffractiepatronen worden geconcludeerd dat de maximaal optredende amplitudefactor in de vaarbaan optreedt voor vrijwel alle invalsrichtingen. Deze amplitudefactor is 1.08.

De amplitudefactoren die voor de maatgevende richting achterin het kanaal optreden zijn weergegeven in figuur 28.



Amplitudefactorverdeling over de breedte van de opening (DSN X--X)

Figuur 28

Uit figuur 28 blijkt dat voor variant A een dwarsdam op de Noorddam noodzakelijk zal zijn (dam A4, zie blz.48). Ook wanneer de invallende golf als kortkammig wordt beschouwd (energiespreiding over de richtingen) zal volgens de diagrammen 7.62 t/m 7.65 in de SPM de dam A4 noodzakelijk zijn.

De invloed van de reflectie die aan de beide kanten van het kanaal een maal in rekening wordt gebracht (dus geen reflectie van gereflecteerde golven) zorgt ervoor dat de golven verder doordringen in de lagune, dan zonder reflectie het geval zou zijn.

Variant B

Uit de twee golfpatronen die bepaald zijn voor de relevante richtingen van golfinval blijkt dat de golfdoordringing in de lagune geen enkele rol van betekenis speelt. De lagune-ingang zorgt voor een grote reductie van de golfhoogten.

Wel dient acht te worden geslagen op de opgelopen amplitudefactor K_d die op korte afstand van de beide damkoppen voor beide invalrichtingen een waarde van 1.2 krijgt.

De invloed van de reflectie op het diffractiepatroon is ook voor deze variant een maal in de bepaling meegenomen en zorgt voor een verschuiving van de golfhoogtelijnen in de richting van de lagune.

3.4 Golfdoordringing door de dammen

Naast golfdoordringing door de opening vindt ook golfdoordringing door en over de dammen plaats.

Bij invallende golven wordt door een havendam golfenergie gereflecteerd, gedissipeerd of vindt transmissie door de constructie plaats. De manier waarop de oorspronkelijke golfenergie is verdeeld tussen reflectie, dissipatie en transmissie hangt af van de invallende golfbreker (rubblemound, gezet, ondoorlaatbaar of doorlatend) en de geometrie van de constructie (talud, kruinhoogte boven waterniveau, kruinbreedte). In het ideale geval reflecteren of dissiperen golfbrekers alle golfenergie die de haven nadert. Golfdoordringing van golfenergie over (overslag) of door een golfbreker (transmissie) dient te worden beperkt.

Het grootste deel van de kennis over het verschijnsel van golftransmissie, -reflectie, -overslag en -dissipatie is verkregen uit diverse modelstudies.

Voor de bepaling van het golfbeeld in het kanaal en de golfdoordringing in de lagune zijn de transmissie en de overslag van buiten de geul over de Noorderdam en de dammen A4 en B4 van belang. In §3.1 is gesteld dat de significante golfhoogte in het midden van de lagune een maximale waarde van $H_s = 1\text{m}$ dient te hebben. Bij golfaanval uit de sector tussen 240° en 345° is de golfdoordringing door de ingang niet maatgevend. Voor deze richtingen wordt de golfdoordringing door de dammen bepaald.

Aangezien achter de dammen de golven verder worden beïnvloed door wind en bodemwrijving en deze effecten in de orde van 20cm zijn en elkaar ongeveer opheffen, dient het resultaat van golfoverslag en -transmissie een significante golfhoogte op te leveren van maximaal $H_s = 1\text{m}$.

Voor de golfdoordringing in de lagune is praktisch alleen de golf-overslag over de dammen A4 en B4 van belang. De overslag over de Noorderdam beïnvloedt alleen het golfbeeld in het kanaal (in geringe mate).

De maatgevende doordringing zal plaatsvinden als de golven parallel aan de Noorderdam invallen (290°). De maatgevende overslag over de overslag over de Noorderdam zal vanuit de richting 240° zijn (Dit is de maximale hoek die golven met de Noorderdam kunnen maken door de schaduwwerking van de Maasvlakte.).

De significante golfhoogte H_s en de golfperiode T_g bij de maatgevende ontwerpsituatie (windkracht 7) zijn weergegeven in tabel 8. Ook de overige ingevoerde parameters zijn per geval vermeld.

	Noorderdam	Dam A4	Dam B4
golf- richting	240°	290°	290°
dam- richting	290°	20°	45°
H_s	2.50m *)	3.25m *)	3.25m *)
T_g	8s	8s	8s
waterstand	+1.3m NAP	+1.9m NAP	+1.9m NAP
kruinh.	+2.0m	+2.5m	+3.0m
kruinbr.	8.0m	3.5m	5.5m
talud	1:1.5	1:4	1:1.5

Invoergegevens transmissie en overslag

Tabel 8

Voor de maatgevende golven dient te worden bepaald of breking optreedt. Voor loodrecht invallende golven op een talud wordt als criterium voor breking genomen :

*) De waarden van H_s zijn bepaald aan de hand van tabel 5, waarbij dient te worden opgemerkt dat de richtingsverdeling zoals die in tabel 5 wordt gehanteerd afkomstig is van diep water. Deze verdeling heeft de invloeden van de nadering van de kust ondergaan.

$$\tan \alpha \leq 8/T * \sqrt{H/2g} \quad (\text{Irribarren}) \quad (5)$$

waarin : α = helling van het talud
 T = golfperiode
 H = golfhoogte

Voor de bovenstaande invoerparameters zal geen golfbreking optreden indien het optreden van breking met behulp van formule (5) wordt bepaald.

Overslag en transmissie

Voor doorlaatbare dammen zoals de Noorderdam en de nieuw aan te leggen dammen, geldt dat de golfdoordringing door de dammen is opgebouwd uit twee elementen : golfdoordringing door overslag (eng.: overtopping) en golfdoordringing door de constructie (eng.: transmission). De totale golfdoordringing kan berekend worden met :

$$K_T = (K_{To}^2 + K_{Tt}^2)^{1/2} \quad (6)$$

waarin K_T is de verhouding tussen inkomende golfhoogte en overblijvende golfhoogte
 K_{To} is de coëfficiënt voor overslag
 K_{Tt} is de coëfficiënt voor transmissie

Overslag

Golfoverslag treedt op wanneer de potentiële golfoploop (dit is de golfoploop die zou worden bereikt indien het talud van de golfbreker lang genoeg zou zijn) groter is dan de beschikbare oplooptenue. De overslagfactor wordt berekend volgens :

$$K_{To} = C * (1 - F/R) \quad (7)$$

waarin : F = de vrije hoogte van de kruin boven het waterniveau ($F = h - d_s$)
 C = overslagcoëfficiënt ($0.51 - 0.11 * (b/h)$)
(b =kruinbreedte, h =golfbrekerhoogte)
 R = de oplooptenue
Deze kan bijvoorbeeld berekend worden aan de hand van de SPM (lit.7) of van lit.21 (blz.30) ($R = H * \sqrt{\pi/2\alpha}$).

De berekende overslagcoëfficiënt kan worden gereduceerd wanneer de golfval onder een hoek plaatsvindt. De hoek die de dammen met de maatgevende golfrichting maken kan uit tabel 8 bepaald. De reductiefactor bedraagt $\cos \beta$, waarin β de hoek is die de golfrichting maakt met de normaalrichting op de dam.

Transmissie

De factor KT_t is een gecompliceerde functie van de golfcondities, de breedte van de constructie, de doorlaatbaarheid, het formaat, de opbouw van de verschillende lagen, de hoogte van de constructie en de waterdiepte.

Golven met een lage steilheid (astronomisch getij) zullen vrijwel geheel door de golfbreker heen gaan, terwijl windgolven vrijwel geheel worden gedempt.

Onderzoekingen hebben echter uitgewezen dat zodra er ook overslag optreedt de totale golfdoordringing bij groter wordende steilheden gaat toenemen.

De bepaling van de transmissiecoëfficiënt op basis van de gegevens uit figuur 7.50 van de SPM levert een waarde voor $KT_t = 0.15$. Aangezien op het gebied van transmissie slechts zeer weinig gegevens bekend zijn, is deze waarde slechts een indicatie en kan alleen een grootteorde worden ingeschat.

In tegenstelling tot de overslag kan voor transmissie geen reductie in de vorm van een $\cos \beta$ worden aangebracht voor de invloed van de richting van inval.

Totaal overslag en transmissie

	Noorderdam	Dam A4	Dam B4
overslagcoef.	0.32	0.33	0.28
$\cos \beta$	0.64	1.0	0.91
K_{To}	0.20	0.33	0.25
KT_t	0.15	0.15	0.15
KT	0.25	0.36	0.29
H_s (in m)	0.63	1.05	0.95

Golfdoordringing per dam

Tabel 9

Uit berekeningen volgt dus dat bij een kruinhoogte van 3.0m NAP voor dam B4 en een kruinhoogte van 2.5m NAP voor dam A4 de golven achter de dammen in de maatgevende situatie, waarbij een windkracht van 7 B optreedt, niet hoger worden dan de in de uitgangspunten gestelde golfhoogte $H_s = 1.0\text{m}$. Voor de kruinhoogten van de beide dammen worden verder deze waarden aangehouden in de berekeningen van de profielen.

3.5

Aanpassing van de varianten

In de globale dimensionering zijn afmetingen voor de varianten A en B bepaald. De afmetingen voor A en B zijn in diffractieberekeningen getoetst op de mate van golfdoordringing. Uit de bepaalde golfpatronen kunnen een aantal conclusies worden getrokken ten aanzien van het voldoen aan de in §3.1 gestelde eisen.

Wat betreft de reflectie kan uit de berekeningen worden geconstateerd dat de invloed hiervan op de golfdoordringing bij mogelijke andere reflectiecoëfficiënten geen noemenswaardige invloed op het diffractiepatroon zal hebben.

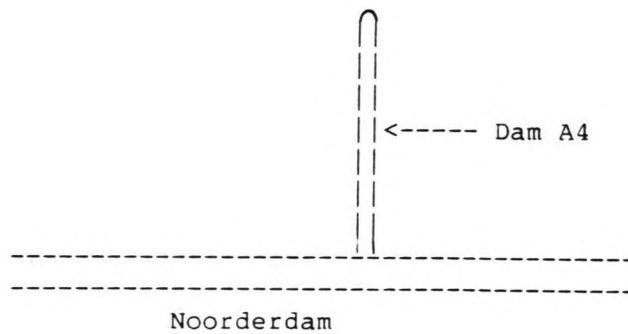
Variant A

Bij de bepaling van het golfpatroon met behulp van diffractieberekeningen is de reflectie tegen de noordelijke begrenzing van het kanaal in alle gevallen verwaarloosd (behalve voor de invalrichting 290°). Door een verbreding van 50m direct na de ingang blijkt dat deze verwaarlozing gerechtvaardigd is. (Ook voor de invalrichting parallel langs de Noorderdam 290° blijkt dit slechts 2% te zijn.)

Doordat de reflectie bij een extra kanaalbreedte van 50m al verwaarloosd kan worden, zal deze breedte worden aangehouden.

- Golfdoordringing in de lagune

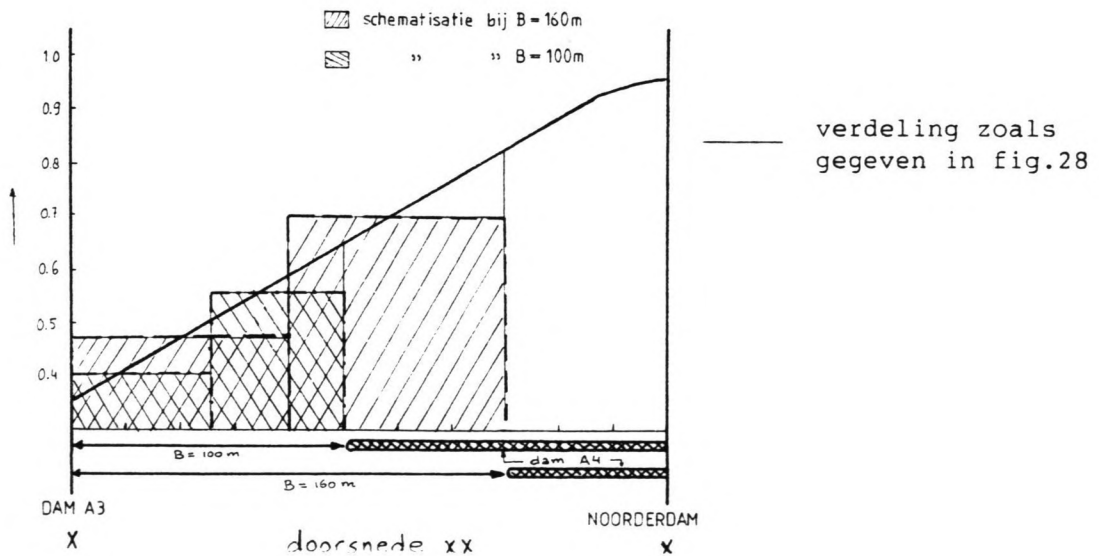
De golfdoordringing in de lagune is in de maatgevende situatie te groot om aan de gestelde voorwaarde dat de significante golfhoogte in het midden van de lagune bij windkracht 7 maximaal 1.0m mag zijn te voldoen. Daarom dient een dam te worden aangelegd die deze golfdoordringing dient te reduceren. De maximale lengte van deze dam wordt bepaald door de minimale openingsbreedte voor de toegang tot de lagune (100m) en de minimumlengte door de mate van beperking van de golfdoordringing (zie fig. 28).



Situatieschets nieuwe dam A4

Figuur 29

De golfdoordringing in het bekken wordt met behulp van een diffractieberekening bepaald. Als uitgangspunt voor deze berekening wordt voor de invallende golf ervan uitgegaan dat de golf front loodrecht invalt met een golfhoogteverdeling, die is weergegeven in figuur 30. Deze waarden zijn afgeleid uit de resultaten van de maatgevende richting voor de golfdoordringing in figuur 26.



Amplitudefactorverdeling over de breedte van de opening (DSN X--X in figuur 28)

Figuur 30

Om de golfdoordringing te berekenen is een schematisatie ten aanzien van de amplitudeverdeling over de ingang gedaan, die het mogelijk maakt de diffractie met behulp van de spiraal van Cornu te berekenen. Hiervoor zijn voor de verschillende onderzochte mogelijke openingsbreedten de schematisaties doorgevoerd die in figuur 30 zijn aangegeven. Voor de openingsbreedten 100m, 120m, 140m en 160m is dit gedaan. Alleen de schematisatie voor 100m en voor 160m zijn in figuur 30 weergegeven.

Bij de diffractieberekening ten gevolge van deze niet-constante golfhoogte wordt de amplitudedefactor ten gevolge van de diffractie om twee damkoppen uitgerekend door het gewogen optellen van de vectoren in de Cornu-spiraal. De weegfactor betreft de verhouding van de amplituden in de schematisatie.

De maximale golfhoogten achter de dammen blijken op te treden ter plaatse van de loodlijn op het midden van de opening. Omdat de dam A4 tot doel heeft de maximale golfdoordringing te reduceren is niet het gehele golfbeeld bepaald, maar slechts dit gebied van maxima. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in bijlage 19.

Omdat in de berekeningen wordt uitgegaan van een constante diepte en een onbeperkt wateroppervlak achter de dammen is geen rekening gehouden met refractieinvloeden, die zullen optreden als gevolg van verondiepingen in de lagune. De invloed van refractie zal een reducerende werking op de golfhoogte hebben, waardoor de bepaalde golfhoogte aan de hoge kant is. Uit de resultaten blijkt dat de in §3.1 gestelde maximale doordringing in de lagune van 1m bij de doorgerekende openingsbreedten bereikt wordt na de in tabel 10 weergegeven afstand.

openingsbreedte	afstand vanaf DSN X-X tot waar $H_s = 1m$
100m	700m
120m	1100m
140m	1600m
160m	2150m

Mate van golfdoordringing als functie van de openingsbreedte

Tabel 10

Het midden van de lagune ligt op een afstand van ongeveer 1600m achter de dammen. Wanneer de golfhoogte hier een waarde van 1m mag hebben, dan dient de opening een breedte van maximaal 140m te hebben. Deze opening voldoet verder aan de gestelde eisen in §3.1.

- Optredende golfhoogte voor de ingang

De maximaal optredende amplitudefactor in de vaarbaan voor de ingang is $K_d = 1.08$. De diepte van -6.5m NAP is voor deze amplitudefactor nog voldoende, omdat bij de maatgevende situatie voor de bepaling van de diepte niet de situatie met extreme golfomstandigheden is, maar de extreem lage waterstand. Daardoor is er een extra diepte naast de benodigde diepte voor extreme golfomstandigheden die ruim voldoende is voor de 8% extra golfhoogte.

Variant B

Het golfpatroon in de ingang wordt bepaald door het diffractiepatroon dat optreedt voor de golfrichtingen N en NNO. Voor de overige richtingen zijn de amplitudecoëfficiënten veel lager.

Golfpatronen die optreden als gevolg van transmissie en overslag door en over de dammen worden verder niet beschouwd.

- Golfdoordringing in de lagune

Uit de golfpatronen in figuur 27 en bijlage 16 is te zien dat de golfdoordringing in de lagune minder is dan een tiende van de invallende golfhoogte, dankzij de zeer gunstige geometrie. Uitgaande van een bepaalde mate van golfdoordringing kan de ingangsconfiguratie worden geoptimaliseerd. Hier wordt verder geen nieuwe configuratie bepaald.

- Golfveld in de ingang

De maximale amplitudefactor in de lagune-ingang blijkt voor de beide richtingen 1.20 te zijn. Omdat de optredende significante golfhoogte bij windkracht 7 uit de richtingen NNO en N 2.60m is (zie tabel 5), wordt de maximale significante golfhoogte in de ingang 3.12m. Aangezien de diepte van de ingang is berekend op een significante golfhoogte van 3.25m, zijn geen aanpassingen van de diepte noodzakelijk.

Conclusies

De beide varianten A en B zijn in deze § zodanig aangepast aan de eisen zoals die in §3.1 gesteld zijn. Dat betekent dat variant B niet aangepast is. Wel bestaat de mogelijkheid voor variant B om de afmetingen van de dammen te beperken, omdat de resultaten van de diffractieberekeningen aantonen dat de configuratie ten aanzien van golfdoordringing zeer ruim is opgezet. Voor variant A is een dam met een lengte van 80m aangebracht aan het einde van de ingang om de golfdoordringing in het bekken te reduceren om aan de gestelde eis (zie §3.1 nr.9) te kunnen voldoen. De overige maten (breedte en diepte) zijn ongewijzigd.

3.6

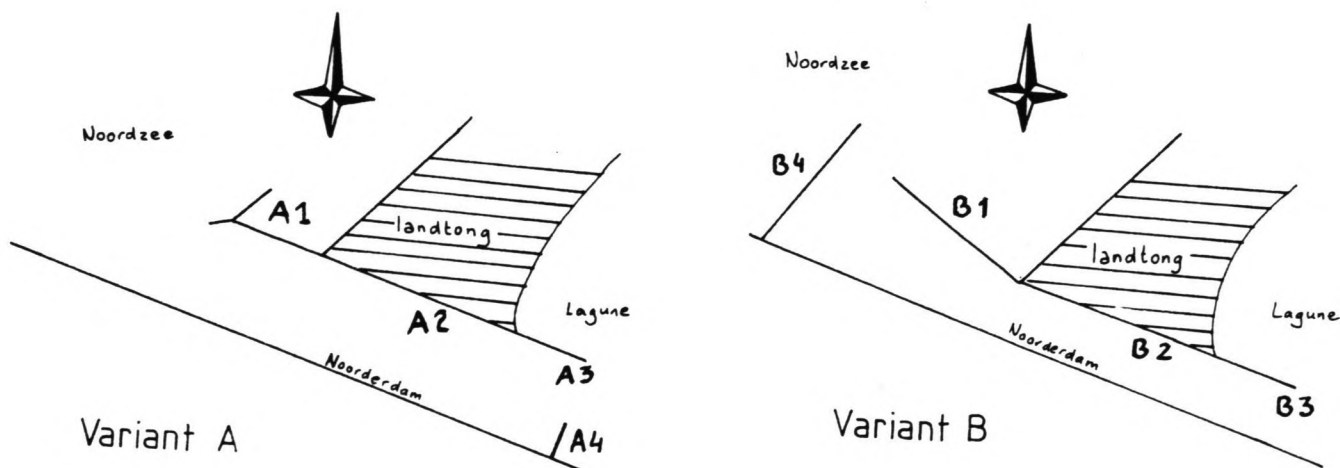
Ontwerp en kostenberekening van de dammen

3.6.1

Inleiding

De dammen in de beide varianten, waarvan de lengten in §3.2.7 zijn bepaald, kunnen aan de hand van figuur 31 nader worden omschreven. De functies van de dammen in het algemeen zijn :

- het reduceren van de golfbeweging in de bekkeningang bij omstandigheden waarvoor scheepvaart kan optreden (windkracht 7)
- het reduceren van zeer zware stormen, zodat schade en overlast aan de binnenzijde van de lagune-ingang wordt beperkt
- het zorgen voor de instandhouding van de bodemligging van de lagune-ingang.



Dammen in de beide varianten

Figuur 31

Per variant worden de functies van de afzonderlijke dammen beschreven en verder wordt voor elke dam aangegeven wat de verwachte bodemligging naast de dam is na de kustuitbreiding.

- variant A

In variant A worden vier dammen onderscheiden, waarvan een dam aan een zijde wordt begrensd door land en de overige dammen aan beide zijden door water. Dam A1 bestaat uit drie gedeelten. Het gedeelte parallel aan de Noorderdam heeft een lengte van 225m. In de uiteindelijke eindsituatie zal de diepte van de bodem aan de noordelijke kant tussen 0.0m NAP en -3.0m NAP liggen en aan de zuidelijke (binnen-)kant op -6.5m NAP. Samen met het meest noordelijk gelegen gedeelte van 160m (waarnaast de diepte van de bodem aan westelijke kant tussen -3.0m NAP en -5.0m NAP ligt) dient dit gedeelte om de vereiste diepte in het kanaal te handhaven. Het talud waaronder de omliggende bodem ligt staat vermeld in §3.1. Het meest westelijke gedeelte met een lengte van 100m, dat aan de noordelijke kant een bodemligging tussen -5m NAP en -6.5m NAP heeft, dient de doorvaartopening vast te leggen en dient de golfdoordringing te beperken.

Dam A2 wordt aan een kant begrensd door de landtong en scheidt land en water.

De 170m lange dam A3, die aan noordelijke kant wordt begrensd door een bodemligging met diepten tussen 0.0m NAP en -6.5m NAP en aan de zuidelijke zijde door het kanaal met een diepte van -6.5m dient de diepte in dit kanaal te handhaven.

De functie van dam A4 is om de golfdoordringing in de lagune te beperken. De dam krijgt een lengte van 80m.

- variant B

Dam B1 die zich vanaf de kustlijn uitstrekt over een lengte van 460m en aan noordelijke kant begrensd wordt door een bodem tussen 0.0m NAP en -6.5m NAP en aan zuidelijke kant door een bodem op -6.5m NAP, dient om deze bodemligging in stand te houden.

Voor de dammen B2 en B3 geldt exact hetzelfde als voor A2 en A3 in variant A.

Dam B4 wordt aangelegd om de golfdoordringing uit de sectoren tussen 225° en 315° te voorkomen. Deze dam staat bloot aan de hevigste golf-aanval. Daarnaast moet de diepte van de lagune-ingang van -6.5m NAP worden beschermd. Aan de buitenzijde verloopt de bodem tussen -8.5m en -15m.

De keuze van de te ontwerpen dammen kan gedaan worden uit de volgende drie typen :

- 'rubble mound'
- monoliet-constructie
- combinatie van de twee bovenstaande constructietypen

In het kader van deze deelstudie wordt verder niet ingegaan op de voor- en nadelen van de verschillende constructietypen. Gekozen is voor de 'rubble-mound' oplossing. Hierbij speelde onder andere het feit dat de Noorderdam eveneens deze constructievorm heeft een rol.

3.6.2

Aanleg van de golfbrekers

De aan te leggen golfbrekers van de lagune-ingang komen naast de Noorderdam te liggen. De huidige bodem op de lokatie van de lagune-ingang ligt tussen de -15m en de -11m NAP dieptelijn (zie bijlage 11). De verwachte bodemligging na de uitvoering van de kustuitbreiding zal in en voor de lagune-ingang -6.50m NAP zijn voor de beide varianten. Omdat de kosten van de aanleg sterk afhangen van de aanlegdiepte van de golfbrekers is het aan te bevelen om met de aanleg pas te beginnen wanneer de bodem is opgehoogd. De aanleg wordt per variant behandeld:

- variant A

Ter plaatse van de aan te leggen landtong en langs de Noorderdam zal de huidige bodem opgehoogd worden. Wanneer een bodemligging van -8.0m NAP is bereikt op de plaatsen, waar de golfbrekers komen te liggen, zal begonnen worden met de constructie van de golfbrekers A1, A2, A3 en A4 (zie figuur 31). De aanlegdiepte is op -8.0m NAP gekozen zodat een funderingsdiepte van 1.5m aanwezig is als de bodem op -6.5m NAP komt te liggen. Gelijktijdig met de constructie van de golfbrekers A1, A2 en A3 zal de opbouw van de filterconstructie tussen de landtong en A2 en zal de opbouw van de landtong plaatsvinden. Door de aanleg van de landtong zal de golfaanval op de golfbrekers A1, A2 en A3 tijdens de constructie en in de eindfase reduceren. Tevens zal de significante golfhoogte in het schaduwgebied tijdens de aanleg van de landtong steeds meer verminderen, zodat de werkschepen rustiger kunnen liggen.

- variant B

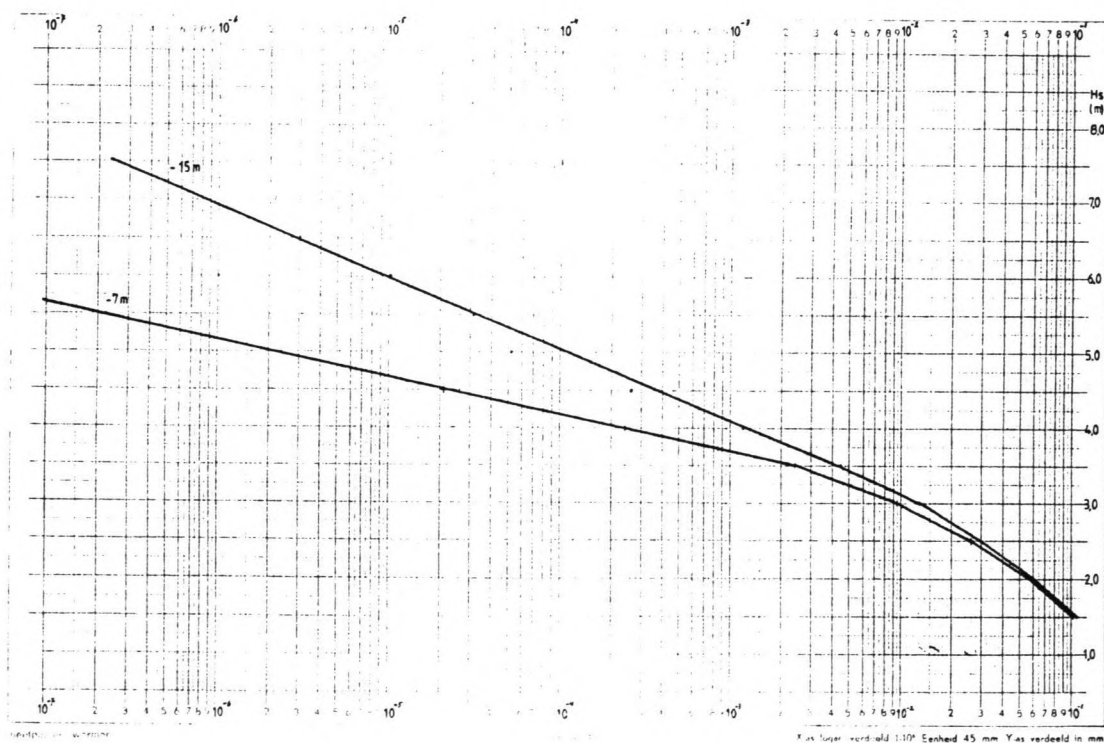
De eerste fase in de aanleg van deze variant zal golfbreker B4 geconstrueerd worden. Deze golfbreker zal gefundeerd worden op een diepte van -15m NAP. Het voordeel van de aanleg van B4 in de eerste fase is, dat achter de golfbreker een schaduwgebied ontstaat, waar de werkschepen rustig kunnen liggen om de overige golfbrekers op te bouwen. De golfbrekers B2 en B3 zullen geconstrueerd worden, nadat de bodem verhoogd is tot -8.0m NAP. De opbouw van de landtong en de opbouw van de filterconstructie tussen de landtong en B2 zal gelijktijdig met de opbouw van de golfbrekers B2, B3 plaatsvinden.

3.6.3

Golfbrekerprofielen

Golfklimaat

Het golfklimaat op de lokatie Hoek van Holland is beschreven in §2.6. In deze § zijn de overschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogte voor verschillende dieptelijn uitgezet op Weibullpapier. De overschrijdingsfrequenties voor de -15m en de -7m dieptelijn zijn in figuur 32 uitgezet op halflogaritmisch papier. De gemiddelde stormduur wordt gesteld op 6 uur.



Overschrijdingsfrequenties op de -15m en -7m dieptelijn voor H_s

Figuur 32

Beschrijving van de ontwerpcriteria voor de Noorderdam.

Het profiel van de Noorderdam zoals dat is weergegeven in figuur 9 in §2.2 is ontworpen op een ontwerpstorm met een $H_s = 8.5\text{m}$ met een kans van overschrijding van 10^{-5} .

Het schadekriterium voor de Noorderdam is gesteld op 2% ('slight').

De kruinhoogte van de Noorderdam is ontworpen aan de hand van de volgende redenatie : De loodsdiensten stoppen hun werk wanneer de significante golfhoogte groter is dan 4m en de waterstand hoger is dan 2m. Sleepboten kunnen hun trossen nog overbrengen bij $H_s = 2\text{m}$. Om ervoor te zorgen dat tot de situatie dat op zee $H_s = 4\text{m}$ is, gewerkt kan worden moet de golfhoogte op de Nieuwe waterweg gereduceerd worden van 4m tot 2m. Dat betekent een reductie van 50%. Een reductie van 50% op de inkomende golf wordt bij golfoverslag bereikt wanneer de kruinhoogte even hoog is als de waterstand. Dat is +2.0m NAP.

De Noorderdam is opgebouwd uit primary armor units van 43 ton en kleinere secondary armor units (betonkubussen, $\gamma = 2650 \text{ kg/m}^3$). De kern is opgebouwd uit stortsteen (0.3-1 ton en 1-6 ton) de filterlaag uit stortsteen en grind (verschillende gradaties). De filterlaag strekt zich uit over een lengte van 138m aan beide zijden van de Noorderdam (zie figuur 9)

Bepaling van de profielen

In het kader van het bepalen van de (globale) verschillen in de kosten voor de beide lagune-ingangvarianten zijn een aantal doorsneden van de dammen berekend. Zoals hiervoor reeds is vermeld hangt de aanlegdiepte van de constructie af van de manier van aanleggen. Grofweg kunnen twee diepten worden aangegeven waarop de constructies worden aangelegd : -15.0m NAP en -8.0m NAP. Voor de twee varianten ziet dat er als volgt uit :

damnummer	Variant A		Variant B	
	L	d	L	d
1	485m	-8m	460m	-8m
2	300m	-8m	300m	-8m
3	170m	-8m	170m	-8m
4	80m	-8m	460m	-15m

Tabel 11

Uit tabel 11 blijkt dat de grote verschillen tussen de beide varianten gelegen zijn in de ontwerpen voor dam A4 en B4. Deze dammen zijn nader gedimensioneerd en er is een kostenberekening gemaakt. Voor de aanlegkosten voor de overige dammen, waarvoor het verschil tussen beide varianten gering is, wordt op basis van de berekeningen voor dam A4 een globale kostenindicatie gegeven.

De beschrijving van de berekeningen staat voor dam A4 in bijlage 20a en voor dam B4 in bijlage 20b. In de berekeningen van de doorsneden van de damprofielen van A4 en B4 wordt uitgegaan van de in §3.4 bepaalde kruinhoogten. Voor dam A4 is dat +2.5m NAP en voor dam B4 is dat +3.0m NAP.

Verder wordt voor de golfrandvoorwaarden die gelden voor de beide constructies gebruik gemaakt van de resultaten van de golfklimaatstudie. Deze zijn onder andere weergegeven in figuur 32. Voor dam A4 is de verdeling op de -7m NAP lijn en voor B4 op de -15m NAP lijn gebruikt. Voor de constructie van de dammen wordt ervan uitgegaan dat er niet wordt ontgraven, zodat eventueel teenconstructies noodzakelijk zullen zijn.

De constructie wordt opgebouwd op een filter, dat aan de voorkant voor dam B4 een lengte van 30m heeft en aan de voorkant van dam A4 een lengte van 20m. Aan de achterkant wordt het filter 10m doorgetrokken. Tijdens de aanleg wordt ervan uitgegaan, dat het verlies aan fijn grind bij het storten 40% bedraagt. Bovenop dit filter wordt de kern van stortsteen van 0.3-1 ton aangebracht. Daarop komen de secondary armor units. Dit is stortsteen gegradeerd van 1-6 ton voor dam B4 en gegradeerd van 1-3 ton voor dam A4. Op deze laag wordt de primary armor aangelegd. Deze toplaag wordt vanaf de kruin aangelegd tot een diepte van $2 \cdot H$ (H =ontwerpgolfhoogte) onder de maximale waterstand aan de voorkant en $1 \cdot H$ onder de gemiddelde waterstand aan de achterkant. De toplaag zal worden vervaardigd uit betonnen kubussen ($\rho=2650\text{kg/m}^3$), die een pakkingcoëfficiënt hebben van 1.10 en een porositeit van 47%.

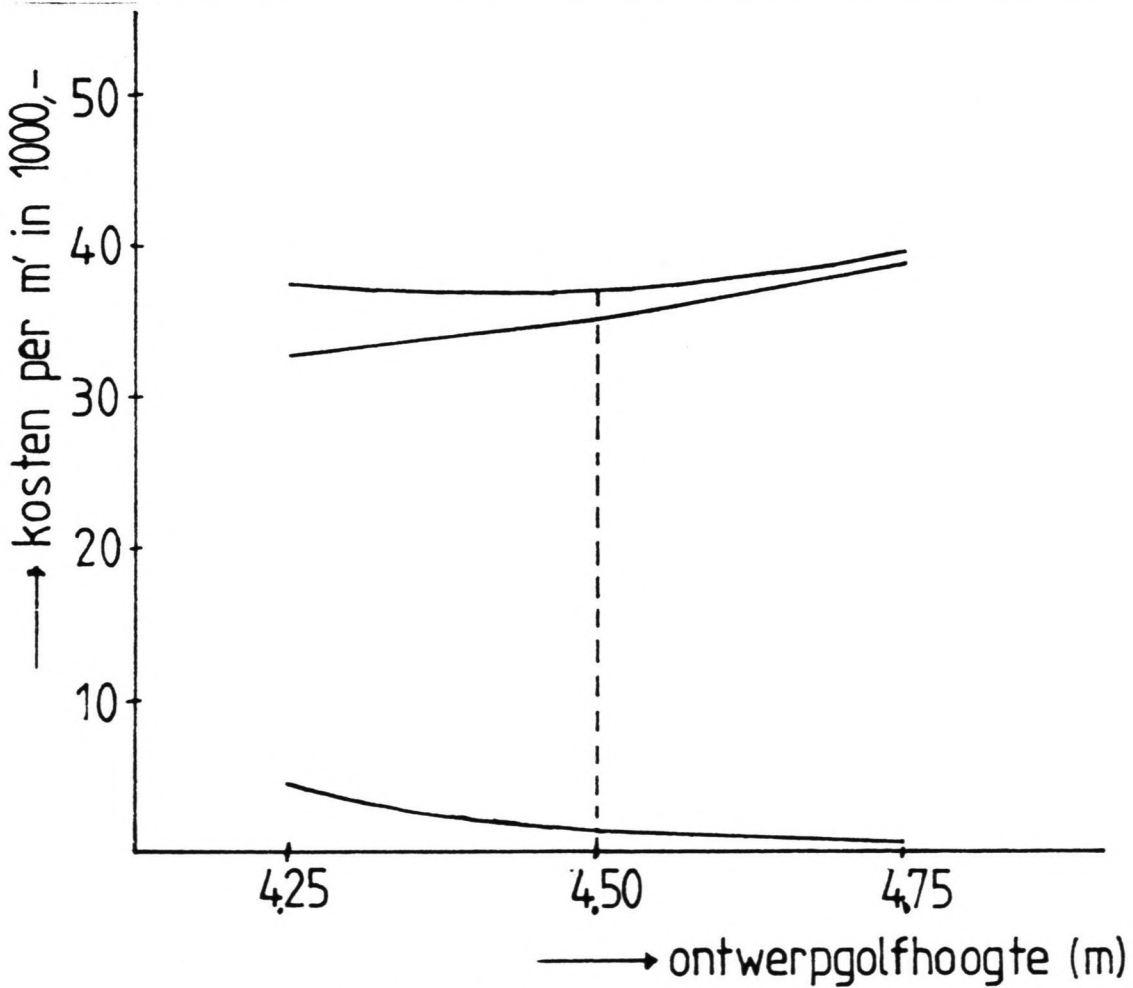
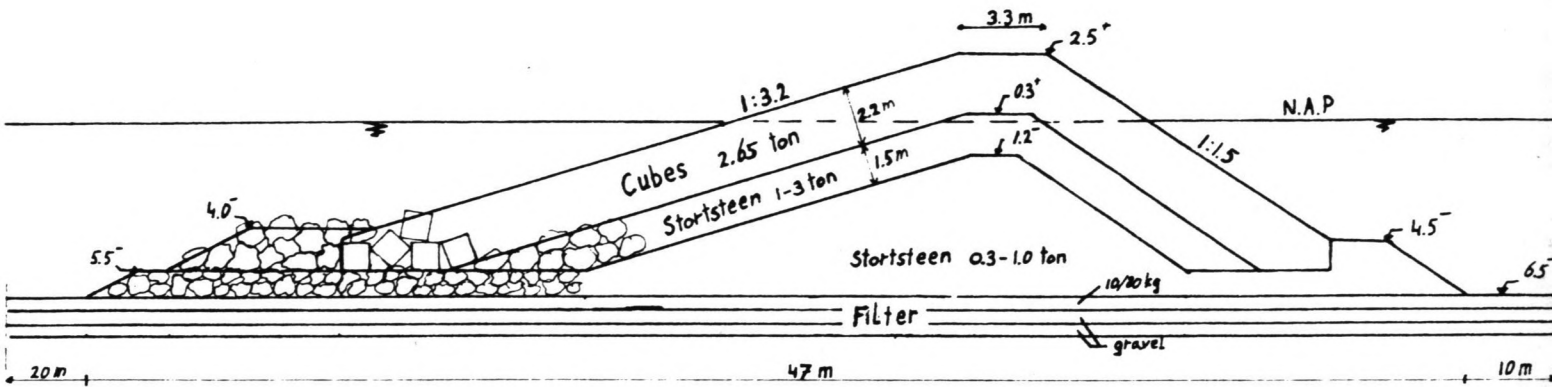
De toegelaten schade bij een ontwerpstorm is gelijk gesteld aan de toegelaten schade bij de Noorderdam bij een ontwerpstorm, namelijk 2% (categorie 'slight'). Dat betekent een schadefactor van 8 bij het gebruik van kubussen ($K_d=8$). Omdat op het talud golven zullen breken, wordt de constructie zwaarder belast en zal de schadefactor afnemen. In deze gevallen wordt de factor $K_d = 0.87 \cdot 8 = 7$.

Voor de economische levensduur van de constructie is een periode van 50 jaar gekozen (met een rentepercentage van 7%).

Verder wordt gerekend met een reparatiefrequentie van 1 keer per jaar, omdat de dammen van de Maasvlakte en de Noorderdam nu een keer per jaar worden hersteld en de beheerder van deze dam dezelfde instantie zal zijn en deze dam eveneens jaarlijks zal nalopen.

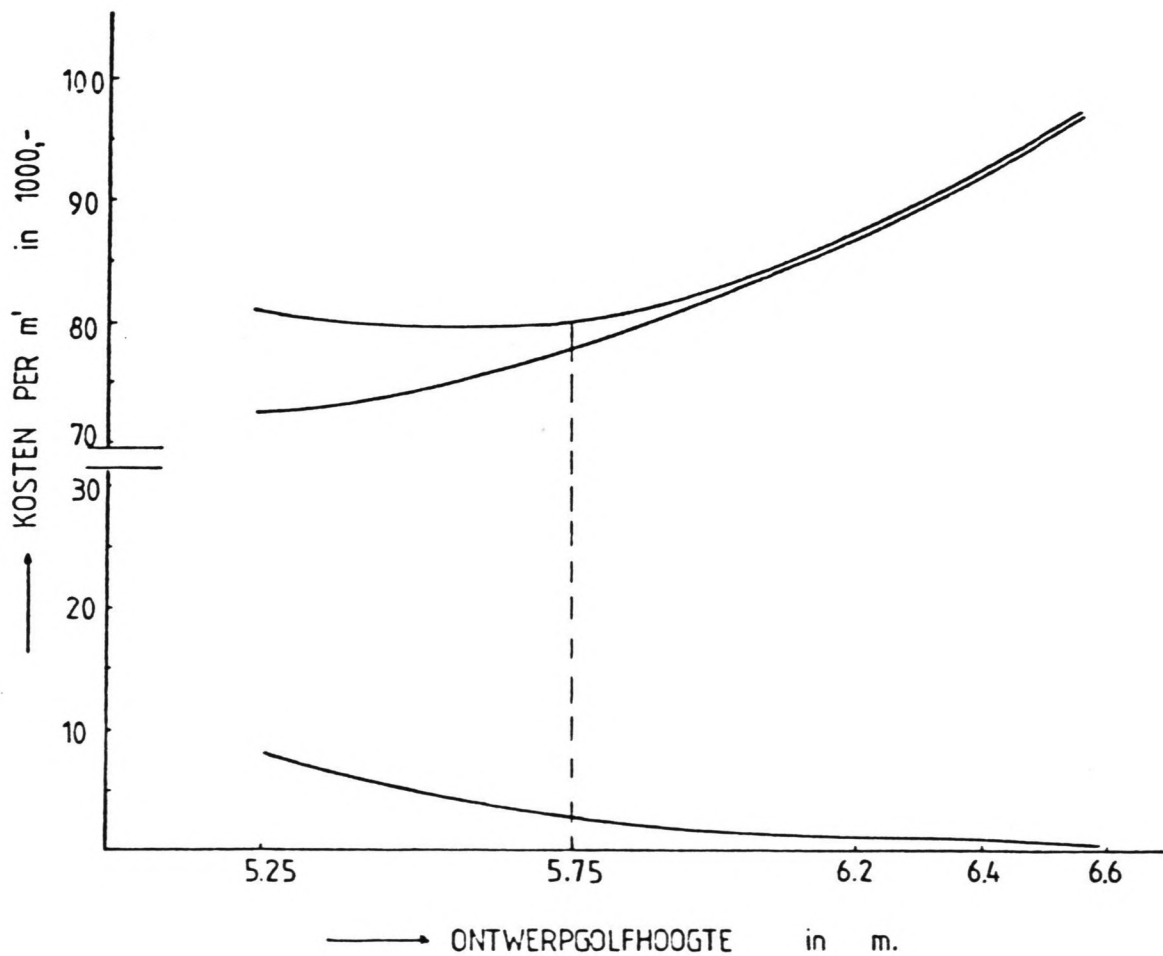
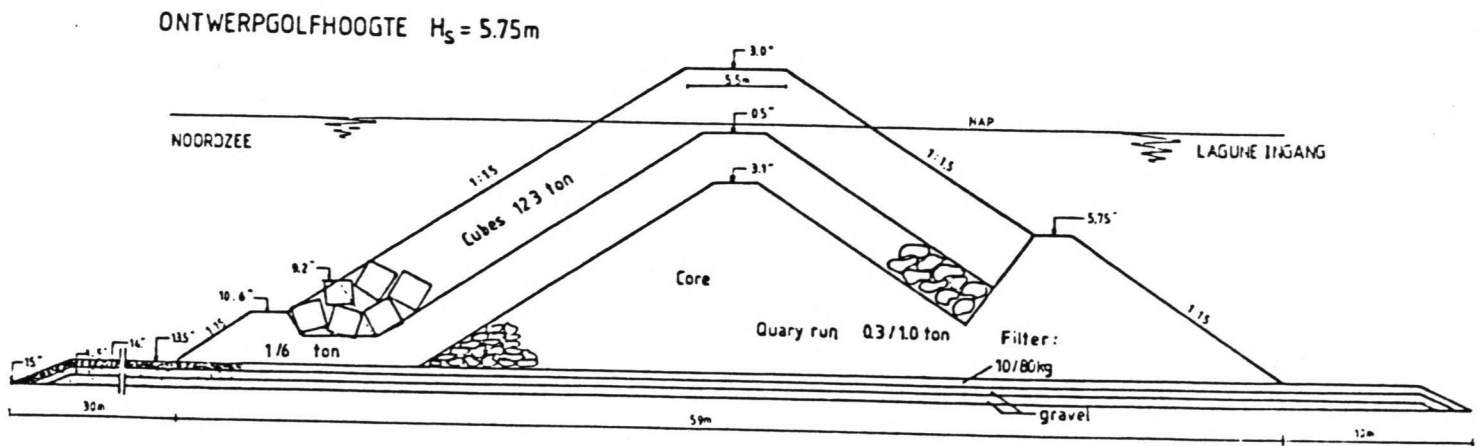
Het resultaat van de optimalisatie van de profielen levert een kostenplaatje op dat voor dam A4 in figuur 33 en voor dam B4 in figuur 34 is weergegeven. In deze figuren staan de kosten van de dammen bij verschillende ontwerpgolfhoogten. Voor beide varianten is het profiel met de laagste totale kosten gekozen.

$H_s = 4,50\text{m}$



Optimalisatiecurve en gekozen damprofiel voor dam A4

Figuur 33



Optimalisatiecurve en gekozen damprofiel voor dam B4

Figuur 34

3.6.4

Totale aanlegkosten van de dammen

Met behulp van de kosten die voor de beide damprofielen zijn bepaald per strekkende meter kunnen nu de totale aanlegkosten voor de dammen van de lagune-ingang voor elke variant worden berekend.

Voor de dammen A4 en B4 worden de bepaalde kosten per strekkende meter aangehouden. Voor de overige dammen worden de kosten per strekkende meter gebruikt van het damprofiel A4 ontworpen op een significante golfhoogte van 4.25m (zie bijlage 20a).

In beide varianten moet een filterconstructie aangelegd worden tussen de landtong en dam 2. De aanlegkosten van deze filterconstructie zijn bepaald in bijlage 20c. Op de plaats waar de filterconstructie aangebracht wordt, worden geen betonkubussen (primary armor) geplaatst. Dit geeft een reductie in de kosten (zie bijlage 20c).

De aanlegkosten per variant zijn gegeven in tabel 12.

Variant A				Variant B			
dam	lengte (m)	kosten (f/m)	aanlegkosten (f) *10 ⁶	dam	lengte (m)	kosten (f/m)	aanlegkosten (f) *10 ⁶
A1	485	33000	16.0	B1	460	33000	15.2
A2	300	33000	9.9	B2	300	33000	9.9
A3	170	33000	5.6	B3	170	33000	5.6
A4	80	36000	2.9	B4	460	77000	35.4
fil	150	5000	0.75	fil	150	5000	0.75
red	150	4200	-0.63	red	150	4200	-0.63
Totaal			f 34.5 *10 ⁶	Totaal			f 66.2 *10 ⁶

Tabel 12

Opmerking: fil= filterconstuctie
red= reductie primary armor

3.7

Vergelijking en aanbevelingen

Voor de aangepaste varianten, die beide aan de uitgangspunten voldoen, wordt een afweging ten aanzien van de volgende mogelijke keuzecriteria gemaakt.

- 1 aanlegkosten van de bekkeningang
- 2 golfdoordringing in de lagune
- 3 bevaarbaarheid van de bekkeningang
- 4 visuele duidelijkheid(*)
- 5 invloed aanwezigheid dammen bij het binnenvaren(**)

De afweging is als volgt:

- 1 In §3.6 is voor beide varianten een globale kostenberekening gemaakt voor de bekkeningang. Het blijkt, dat variant A de goedkoopste oplossing is. De aanlegkosten van variant A zijn 52% ten opzichte van de aanlegkosten van variant B.
- 2 De golfdoordringing in de lagune zal in variant B minder zijn dan in variant A (zie §3.3).
- 3 De bevaarbaarheid van de ingang en het kanaal zal in variant B beter zijn dan in variant A (zie §3.3).
- 4 De visuele duidelijkheid is in geval van variant B beter dan in geval van variant A.
- 5 De invloed van de aanwezigheid van de dammen bij het invaren van de bekkeningang is in geval van variant A negatiever dan in geval van variant B, omdat in variant A de schepen over een lang traject langs de Noorderdam moeten varen.

De vergelijking van de beide varianten kan op een aantal criteria alleen globaal geschieden, omdat de voor- en nadelen van de beide varianten nader onderzocht zal moeten worden om een definitieve beoordeling te kunnen geven. Tevens zal het gewicht van de verschillende criteria bepaald moeten worden, voordat een definitieve keuze gemaakt kan worden uit de twee varianten.

Voordat een definitieve keuze gemaakt gaat worden is het aan te raden om

- *) onder visuele duidelijkheid wordt verstaan dat het verschil tussen de ingang van de Eurogeul en van de lagune duidelijk waarneembaar moet zijn en dat de beroepsvaart gescheiden blijft van de pleziervaart
- **) onder de invloed aanwezigheid van dammen bij het binnenvaren wordt verstaan de psychologische hinder, die schippers ondervinden bij het binnenvaren van een havenmond in de buurt van havendammen

de twee varianten eerst te optimaliseren, omdat nog een aantal variaties in de bekkeningangconfiguratie mogelijk zijn. Beide varianten kunnen aangepast worden, opdat ze beter voldoen ten aanzien van bepaalde keuzecriteria. Een aantal mogelijke aanpassingen zijn:

variant A

- verbreden van de ingang om de negatieve invloed van de aanwezigheid van de Noorderdam te verminderen.
- verbreden van het kanaal om de bevaarbaarheid in het kanaal te verbeteren
- aanleg van een korte dam haaks op de Noorderdam om de visuele duidelijkheid te verbeteren

variant B

- dam B1 parallel aan de Noorderdam leggen en dam B4 verkorten om de aanlegkosten te verminderen
- de aansluiting van dam B4 op de Noorderdam op ondieper water leggen om de aanlegkosten te verminderen
- verkorten van dam B4 om de aanlegkosten te verminderen en het stroombeeld te verbeteren
- verminderen van de kanaalbreedte, zodat dam B4 verkort kan worden om de aanlegkosten te verminderen

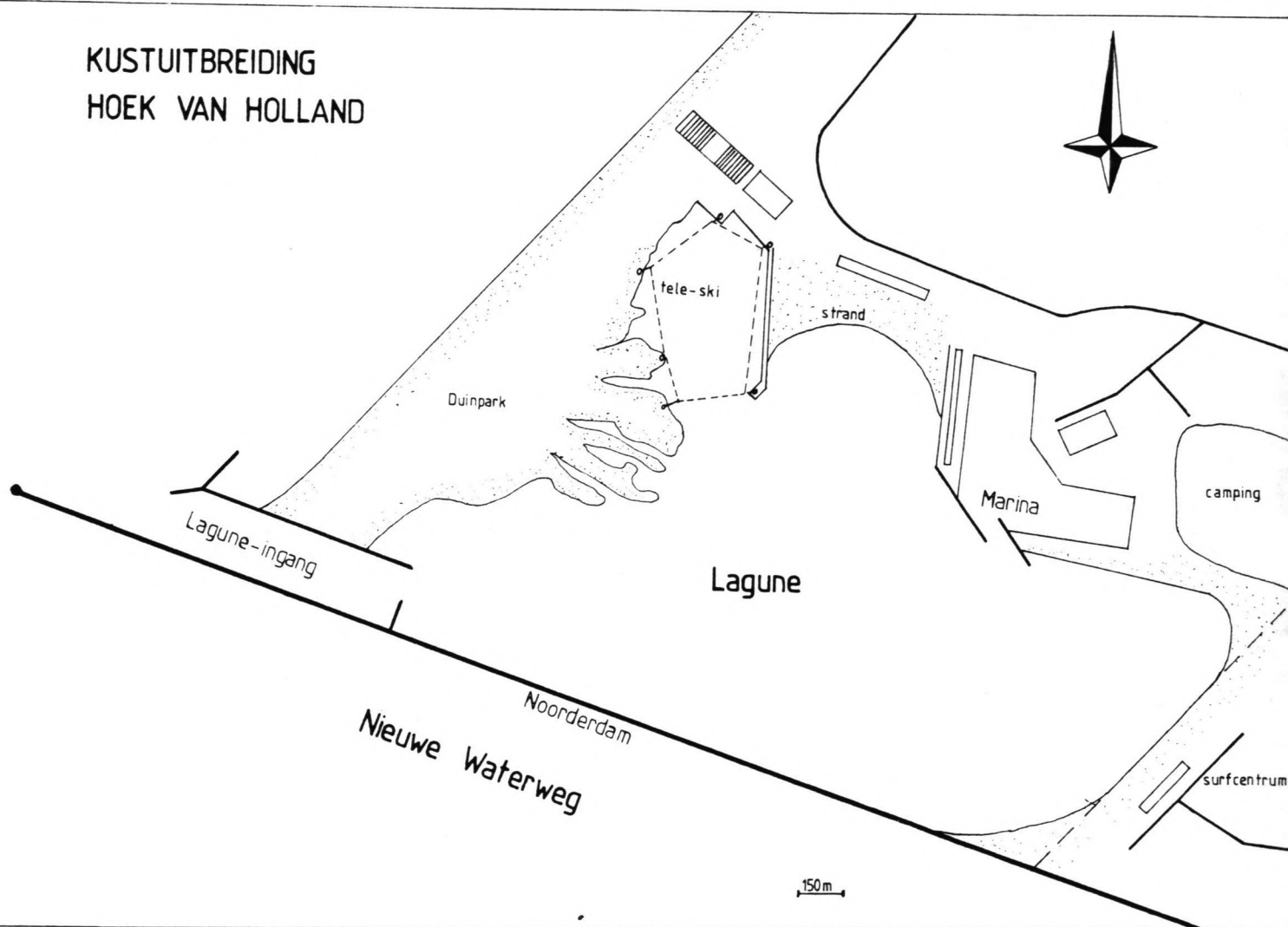
Gerealiseerd moet worden, dat elke aanpassing naast voordelen ook nadelen ten aanzien van bepaalde criteria heeft.

Het is zeer waarschijnlijk dat de aanlegkosten van de bekkeningang het belangrijkste criterium is voor de keuze van een configuratie. Wat de aanlegkosten betreft is variant A de optimale oplossing. Het hangt van de belangrijkheid van de criteria visuele duidelijkheid, invloed van de aanwezigheid van de Noorderdam en de bevaarbaarheid van de bekkeningang af, of variant A aangepast moet worden en de aanlegkosten hoger mogen worden. Figuur 35 geeft de gekozen lagune-ingang in verhouding tot het totale lagune-ontwerp.

De configuratie van de bekkeningang kan ook aangepast worden door het bijstellen van de gebruikte uitgangspunten waarop de varianten ontworpen zijn. De aanlegkosten kunnen voor beide varianten verminderen wanneer bijvoorbeeld:

- het talud vanaf de bekkeningang in de richting van de Eurogeul steiler gekozen mag worden dan 1:60
- de toegankelijkheid van de bekkeningang minder wordt gekozen
- de breedte van de landtong minder zal worden dan 300m

KUSTUITBREIDING HOEK VAN HOLLAND



Lagune-ontwerp

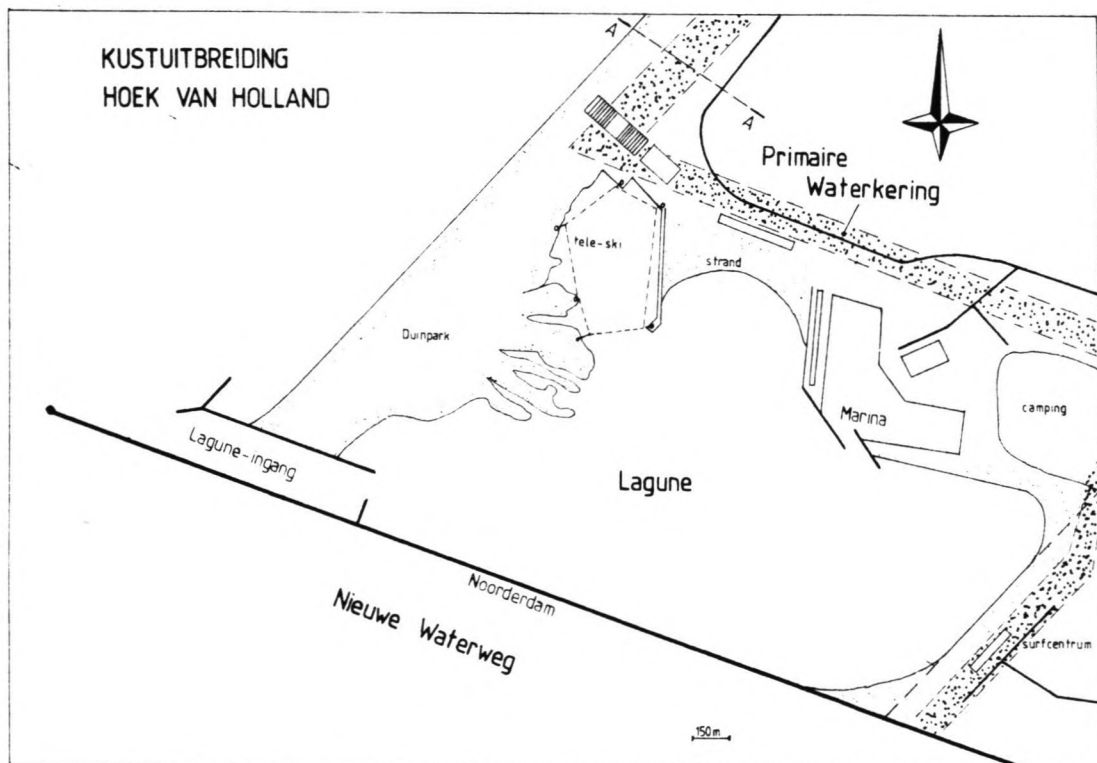
Figuur 35

4.1

Inleiding

De kustuitbreiding tussen Hoek van Holland en Scheveningen zal tegen overstroming beschermd moeten worden door een waterkering, die voldoet aan de door de Deltacommissie gestelde eisen ten aanzien van de veiligheid. De primaire waterkering zal een storm waarbij een stormvloedstand met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-4} per jaar moeten kunnen weerstaan. De ligging van het te ontwerpen duinprofiel is weergegeven in figuur 36.

In de rapporten van de commissie Tjalma en Borgman is gekozen voor een duinenrij als primaire waterkering.



Ligging van de primaire zeewering

Figuur 36

Met behulp van de 'leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering' van de Technische Adviescommissie van de Waterkeringen is het mogelijk een duinkering te ontwerpen, die voldoet aan de gestelde veiligheidseis. Het dwarsprofiel van de duinkering moet zo ontworpen worden, dat na de ontwerpstorm, waarbij grote duinafslag optreedt, nog een stabiel duinprofiel (grensprofiel) aanwezig is om overstromen te voorkomen.

De mate van duinafslag tijdens een ontwerpstorm en het benodigde minimale grensprofiel op de lokatie Hoek van Holland zijn met behulp van de leidraad te bepalen. Voor deze berekeningen zijn een aantal invoerparameters en de ligging van het aanwezige kustprofiel benodigd.

kustprofiel

Voor het kustprofiel, dat zich na de kustuitbreiding zal gaan instellen, is het profiel aangehouden dat in § 2.2 gegeven is.

invoerparameters

In de leidraad zijn voor verschillende lokaties langs de Nederlandse kust de waarden voor de invoerparameters stormvloedstand, korreldiameter en significante golfhoogte gegeven. Voor de lokatie Hoek van Holland moet voor de duinafslagberekening een rekenpeil van +5.75m N.A.P. en een significante golfhoogte van 8.30m ingevoerd worden.

Uit het afstudeerrapport 'Lange termijn golfstatistiek voor de kust van Hoek van Holland' blijkt echter dat een significante golfhoogte van 4.0m ingevoerd mag worden voor de lokatie Hoek van Holland.

Voor de in te voeren korreldiameter D_{50} is een waarde van 200um aangehouden. De rekenwaarde voor de korreldiameter is 194um.

Voor de bepaling van de minimale kruinhoogte van het grensprofiel is de waarde van de piekperiode (T_p) van het golfspektrum benodigd. In de leidraad staat dat hiervoor een waarde van 12.0s aangehouden kan worden. Uit lit.12 blijkt echter dat een piekperiode van 9.0s ingevoerd mag worden voor de lokatie Hoek van Holland.

In tabel 13 zijn de waarden van de invoerparameters voor de afslagberekening en voor de bepaling van het grensprofiel gegeven.

	RP (m NAP)	D_{50} (um)	Hs (m)	T_p (s)
leidraad TAW	+5.75	194	8.30	12.0
lit.12	+5.75	194	4.00	9.0

Invoerparameters voor duindimensionering

Tabel 13

4.2 Bepaling minimaal benodigde duinprofielen

Voor de duinkering op de lokatie Hoek van Holland zijn twee ontwerpen gemaakt. Het ene ontwerp is berekend met de invoerparameters significante golfhoogte en piekperiode, die in de leidraad aangegeven staan, en het andere ontwerp is berekend met de invoerparameters, die in lit.12 bepaald zijn (zie tabel 13).

De minimaal benodigde kruinhoogte van het grensprofiel is berekend in tabel 14 met de formule:

$$\text{kruinhoogte(ho)} = \text{RP} + 0.12 \cdot \text{Tp} \cdot \text{Hs}$$

met RP= rekenpeil in m boven N.A.P.

Tp= piekperiode van het golfspektrum in sec.

Hs= verwachtingswaarde van de significante golfhoogte(m) behorende bij het rekenpeil

	RP	Tp	Hs	ho
	(m NAP)	(s)	(m)	(m NAP)
leidraad TAW	+5.75	12.0	8.30	+10.00
lit.12	+5.75	9.0	4.00	+ 8.25

Minimaal benodigde kruinhoogte

Tabel 14

De overige minimale afmetingen van het grensprofiel staan gegeven in de leidraad. Voor de kruinbreedte van het grensprofiel is in beide ontwerpen de minimale waarde van 3.0m aangehouden. De helling van het binnentalud is gekozen op 1:3.

In alle twee de ontwerpen is gerekend met een toeslag op de berekende hoeveelheid duinafslag boven het stormvloedpeil voor de invloeden van de nauwkeurigheid van het rekenmodel, de bui-oscillaties en -stoten en de onzekerheid omtrent de tijd gedurende welke de waterstand rond het maximum verblijft. Deze toeslag bedraagt:

$$T = 0.25 \cdot A + 20 \text{ m}^3/\text{ml}$$

met: T= toeslag voor duinafslag boven het rekenpeil (m³/ml)
A= berekende duinafslag boven rekenpeil (m³/ml)

De invloed van een gradient in het langstransport op de duinafslag is voor dit kustgedeelte buiten beschouwing gelaten.

In bijlage 21 zijn de beide ontwerpen van de duinkering en de afslagprofielen in geval van een ontwerpstorm weergegeven. In tabel 15 zijn de afmetingen en de verwachte mate van duinafslag voor de twee ontwerpen gegeven. De hellingen voor het binnen- en het buitentalud van de duinkering is in beide gevallen 1:3 gekozen.

	kruin- hoogte (m NAP)	duinvoet- breedte (m)	totale afslag (m)	A (m)	T (m)	teruggang duin op S.V. peil (m)
leidraad TAW	+9.00	144	323	246	82	104
lit.12	+8.25	102	162	116	49	69

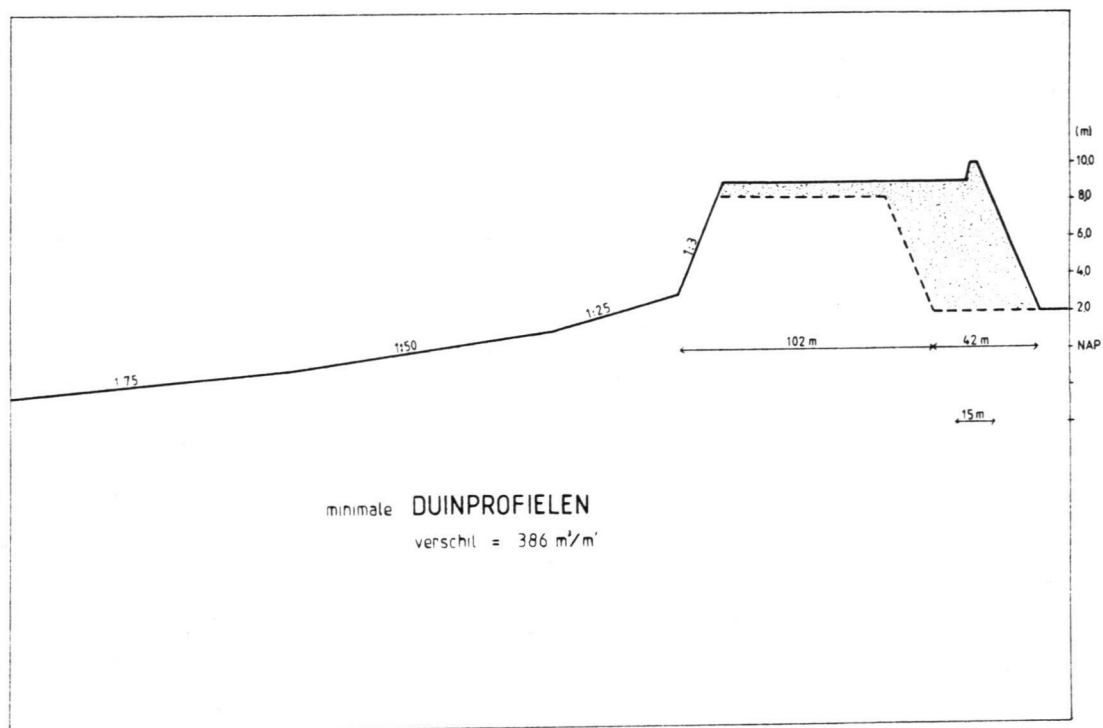
Afmetingen en afslag duinontwerpen

Tabel 15

4.3

Conclusies

Het blijkt dat, indien de in lit.12 bepaalde waarden voor de significante golfhoogte en de piekperiode als invoerwaarden voor de duinafslagberekening gebruikt worden, 386 m³ zand per strekkende meter duin minder nodig is dan in het geval van een duinafslagberekening met de waarden uit de leidraad van de TAW. In figuur 37 zijn beide ontworpen duinprofielen weergegeven. Het verschil in zandinhoud van de beide ontwerpen bedraagt 41% (uitgedrukt in procenten ten opzichte van het ontwerp met de leidraad).



Vergelijking duinprofielen

Figuur 37

NAWOORD

In dit afstudeerrapport wordt verslag gedaan van het ontwerp voor een lagune-ingang en een primaire zeewering in de kustuitbreidingsplannen tussen Hoek van Holland en Scheveningen. Voordat met dit ontwerp kon worden begonnen zijn eerst in de hoofdstudie de golfrandvoorwaarden bepaald.

Bij het ontwerp van de lagune-ingang is gebruik gemaakt van gegevens van verschillende bronnen. Onder andere is gebruik gemaakt van het ontwerp zoals dat door het bureau Boiten is gemaakt. Voor het ter beschikking stellen en het nader toelichten van de plannen gaat onze dank uit naar dhr. Boiten.

Daarnaast gaat een woord van dank naar dhr. R.E. Waterman, die met zijn aanstekelijk enthousiasme ook ons heeft weten te winnen voor zijn plannen en dankzij wie wij op de hoogte bleven van de nieuwste ontwikkelingen omtrent de planvorming.

Onze dank gaat verder uit naar dhr. J. van de Graaff, dhr. L.H. Holthuysen en dhr. J. de Nekker, alsmede naar Prof. E.W. Bijker die ons hebben begeleid en met raad en daad ter zijde hebben gestaan.

Delft, januari 1987

J.L.M. Heijenrath
D. Meurs

LITERATUURLIJST

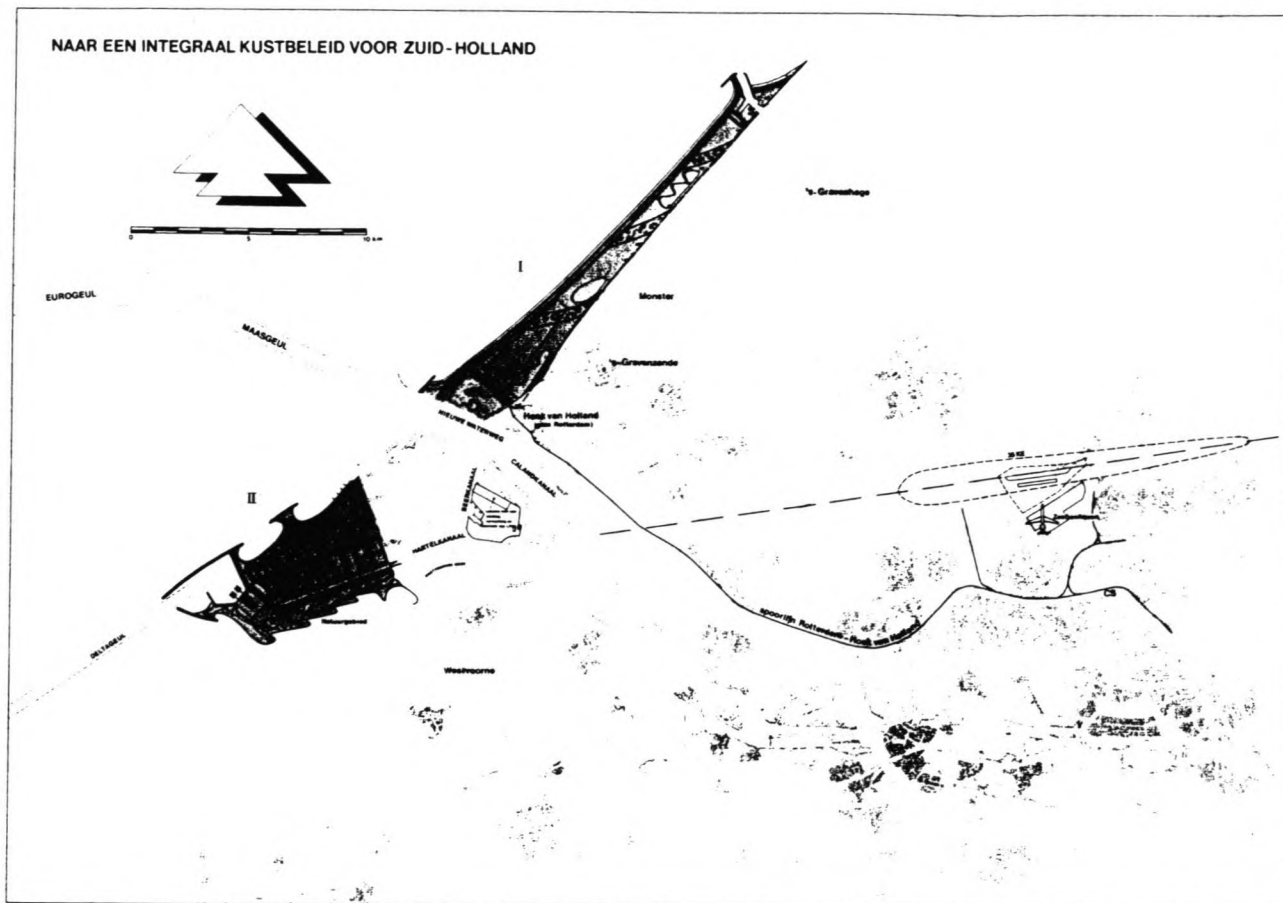
- (1) W.T. Bakker
Berekening van het langstransport door golven met de methode van evenwijdige dieptelijnen, Rijkswaterstaat, Studierapport WWK 69 - 7, 1969
- (2) J.A. Battjes
Collegediktaat B76 Korte Golven, Technische Universiteit Delft, 1983
- (5) Commissie Borgman
Kustuitbreiding Scheveningen - Hoek van Holland, Tussenverslag, 1985
- (3) Commissie Borgman, Subwerkgroep Morfologie
Kustonderzoek 84, Resultaten werkzaamheden eerste fase, maart 1985
- (4) Commissie Borgman, Subwerkgroep Morfolgie
Kustonderzoek 85, Aanvulling op de resultaten eerste fase, mei 1985
- (6) J. Bouwmeester
Collegediktaat F12N Havens en Scheepvaartwegen, Technische Universiteit Delft, 1985
- (7) Coastal Engineering Research Centre (CERC)
Shore Protection Manual, 1984
- (8) K.F. Daemrich
Diffraction gebeugter wellen. Ein Beitrag zur Berechnung der Wellenunruhe in Häfen, Franzius-Institut der Universität Hannover, 1977
- (9) Gemeente Rotterdam, Rijkswaterstaat, Openbaar Lichaam Rijnmond
Grootschalige lokatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied, Optimalisatie Variant III, november 1985
- (10) Gemeentewerken Rotterdam, Studiebureau Havenwerken
Informatiebulletin Gemeentewerken no. 5, 1984
- (11) D.G. Hamer en F.C. Hamer
Ontwerp buitenhaven Noordland Afstudeerrapport nr.443 , Sectie Kustwaterbouwkunde, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, 1979

- (12) J.L.M Heijenrath, D. Meurs
Bepaling van het lange termijn golfklimaat voor de kust van Hoek van Holland, Afstudeerrapport R/1986/H/11, Sectie Vloeistofmechanica, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, 1986
- (13) R.J. Holthuijsen
Ontwerp van een jachthaven bij Katwijk, Afstudeerrapport nr.555, Sectie Kustwaterbouwkunde, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, 1983
- (14) W.W. Massie
Diktaat F11a Coastal Engineering I, Technische Universiteit Delft, 1982
- (15) W.W. Massie
Diktaat F11b Coastal Engineering II, Technische Universiteit Delft, 1983
- (16) W.W. Massie
Diktaat F5 Coastal Engineering III, Technische Universiteit Delft, 1982
- (17) PIANC
Final Report on the International Commission for Sport and Pleasure Navigation. Bulletin no.25 vol III, 1976
- (18) Provinciaal Planologische Dienst Zuid-Holland
Studie- en beleidsnota Kustlokaties, 1979
- (19) Rijkswaterstaat, Dienst getijdewateren
Stroomatlas Toegang Europoort, eindsituatie, 1975
- (20) Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering, 1984
- (21) Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Golfoploop en golfoverslag, 1972
- (22) Commissie Tjalma
Onderzoek naar de mogelijkheden van Kustuitbreiding tussen Hoek van Holland en Scheveningen, 1983
- (23) Waterloopkundig Laboratorium
Eindrapportage werken havenmond Hoek van Holland, Rapporten R816, 1977
- (24) R.E. Waterman
Naar een integraal kustbeleid voor Zuid-Holland, 1980

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

BIJLAGE 1	'Naar een Integraal Kustbeleid voor Zuid Holland'
BIJLAGE 2	Kustuitbreidingsvarianten van de Stuurgroep Tjalma
BIJLAGE 3	Gemiddelde getijkromme voor Hoek van Holland
BIJLAGE 4	Getijkromme voor Hoek van Holland (springtij en doodtij)
BIJLAGE 5	Getijkromme voor Hoek van Holland (springtij en doodtij)
BIJLAGE 6	Windklimaat voor Hoek van Holland
BIJLAGE 7	Golfklimaat op Lichteiland Goeree
BIJLAGE 8	Bodemschematisatie met lokaties waar de ondiepwater statistiek is bepaald
BIJLAGE 9	Lange termijn golfstatistiek op de -7m NAP Dieptelijn
BIJLAGE 10	Significante golfhoogteonderschrijdingslijnen
BIJLAGE 11	Twee lagune-ingangvarianten met de huidige bodemligging
BIJLAGE 12	Stroombeelden voor Hoek van Holland
BIJLAGE 13	Havens langs de Belgisch-Nederlandse kust
BIJLAGE 14	Bepaling van de responsiefactor voor de berekening van de scheepsbeweging
BIJLAGE 15	Bepaling van de breedte van de ingang
BIJLAGE 16	Lagune-ingangvarianten op de toekomstige bodemligging
BIJLAGE 17	Bepaling van de reflectiecoëfficiënten
BIJLAGE 18	Resultaten van de diffractieberekeningen
BIJLAGE 19	Berekening ter bepaling van de lengte van dam A4
BIJLAGE 20	Optimalisatieberekeningen voor de golfbrekerprofielen
BIJLAGE 21	Duinprofielen berekend met HISWawaarden en TAWwaarden

NAAR EEN INTEGRAAL KUSTBELEID VOOR ZUID-HOLLAND



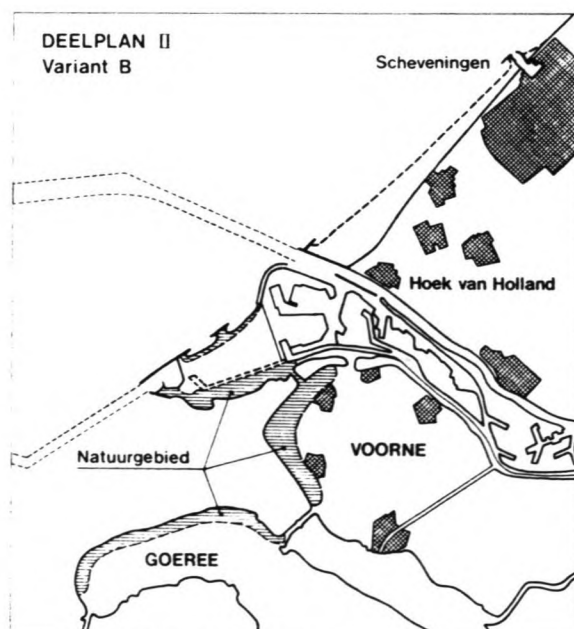
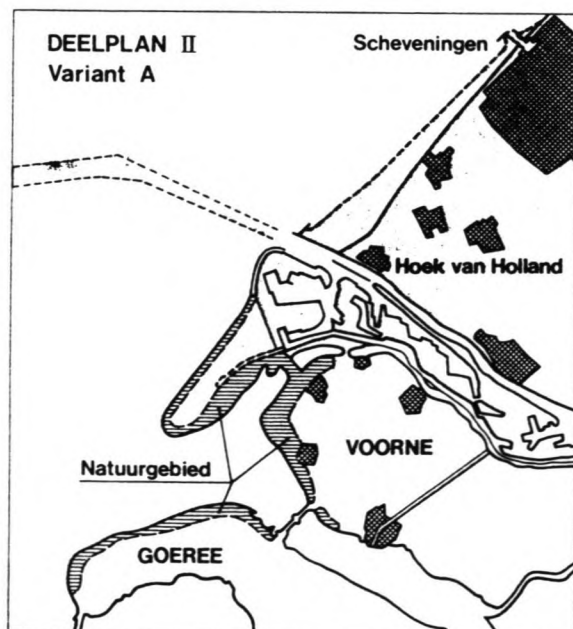
Zuid-Hollandse kustlocaties in hoofdzaak aan te leggen volgens het principe 'Bouwen met de Natuur'.

Ten behoeve van:

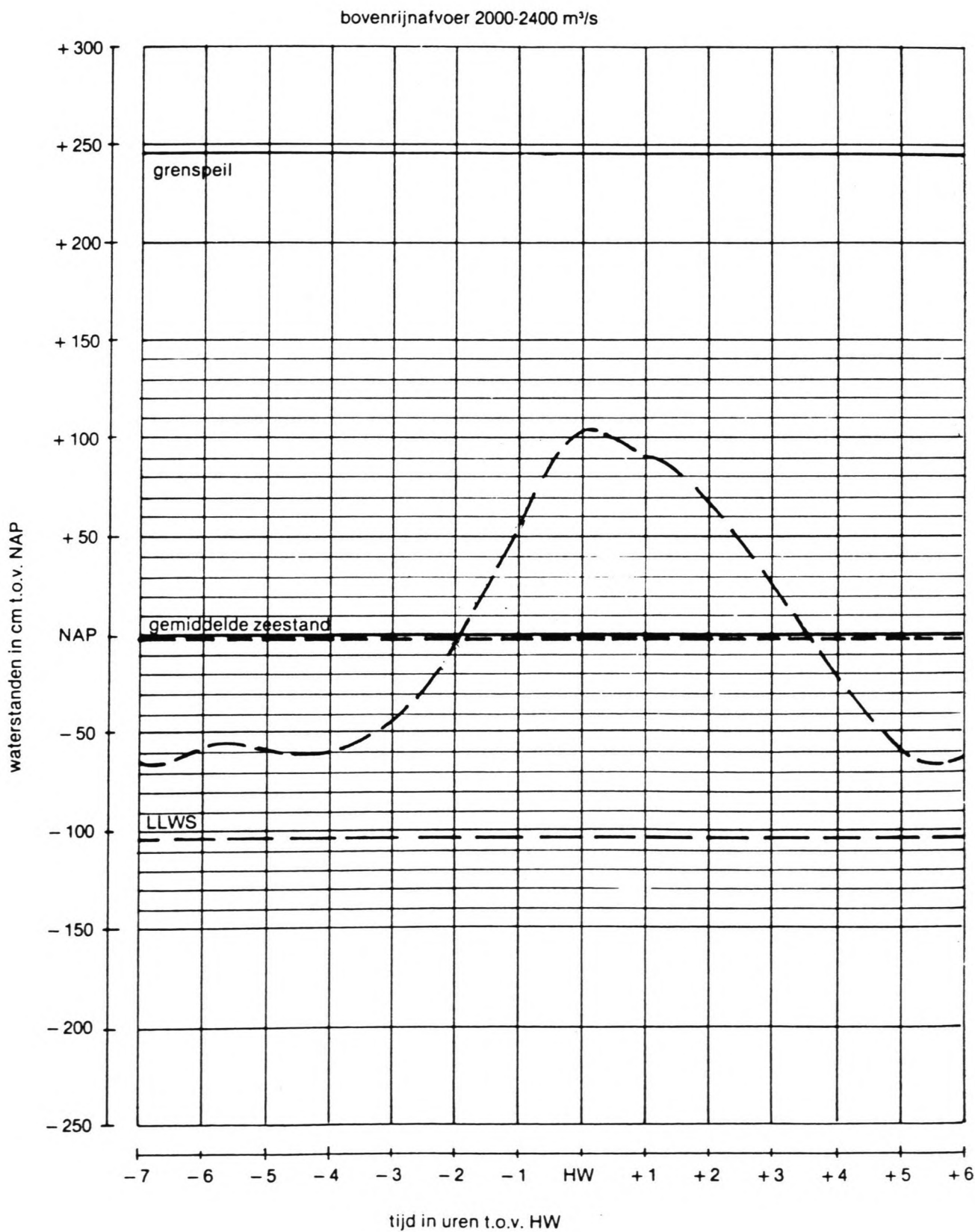
- Bouwlocaties (woningen, bedrijven, voorzieningen)
- Havenactiviteiten
- Landschaps-, natuur- en milieuwaarden
- Recreatie
- Infrastructuur m.b.t. openbaar & particulier vervoer (wegen; verlengd Hartelkanaal; tram - trein - bus; lopende band systeem, pijpleidingen)
- Veiligheid (o.a. kustbescherming)
- Waterhuishouding
- Volstrekt milieubeheersbare berging en verwerking baggerspecie & reststoffen
- Potentiële mogelijkheden wind-, zon-, waterenergie
- Economie en Werkgelegenheid

Betrokken overheden:

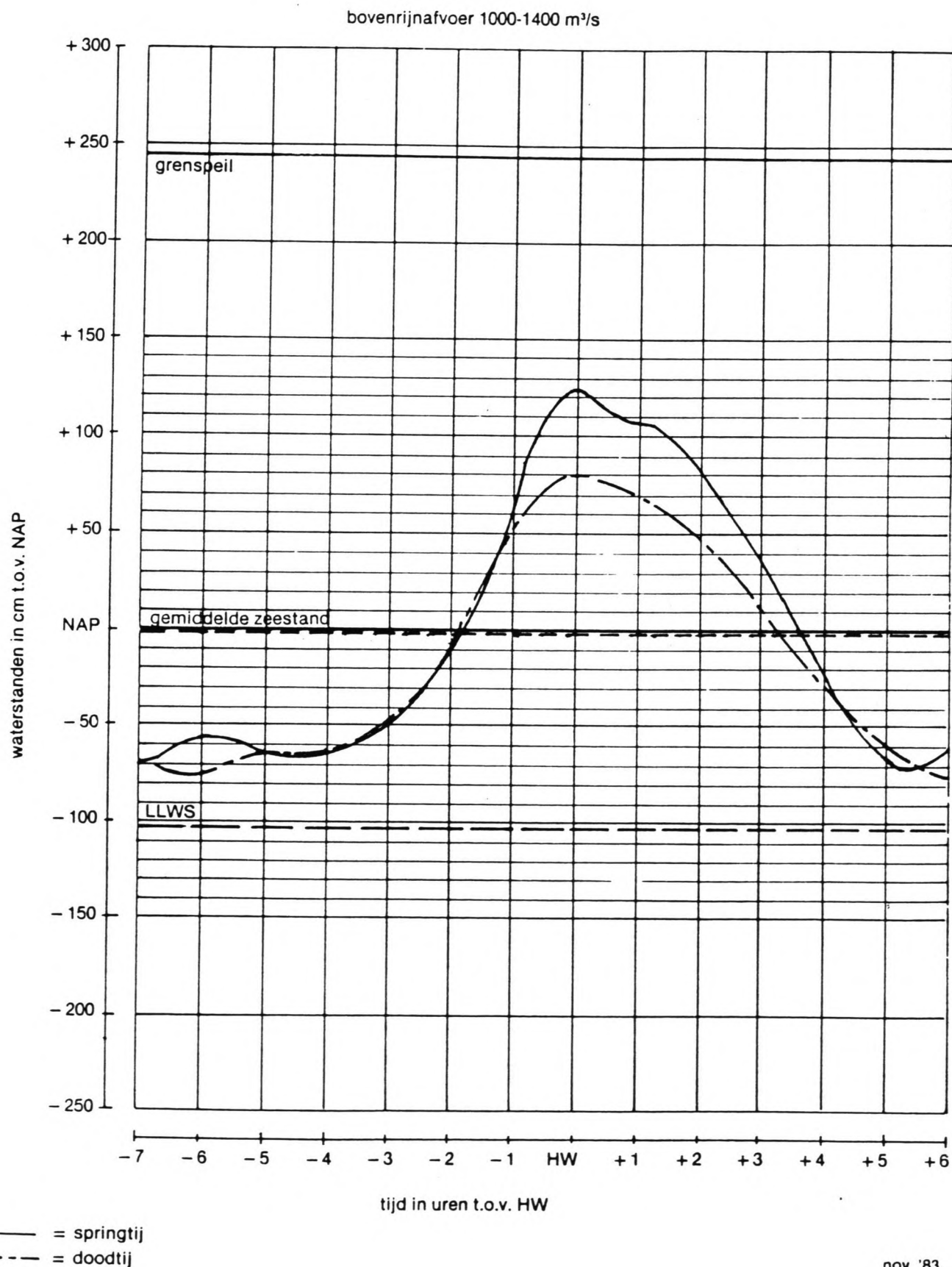
- Rijk
- Provincie Zuid-Holland
- Openbaar Lichaam Rijnmond
- Hoogheemraadschap Delfland
- Gemeente Rotterdam
- Gemeente 's-Gravenhage
- Gemeente Monster
- Gemeente 's-Gravenzande
- Samenwerkingsorgaan Westland
- Gemeente Westvoorne



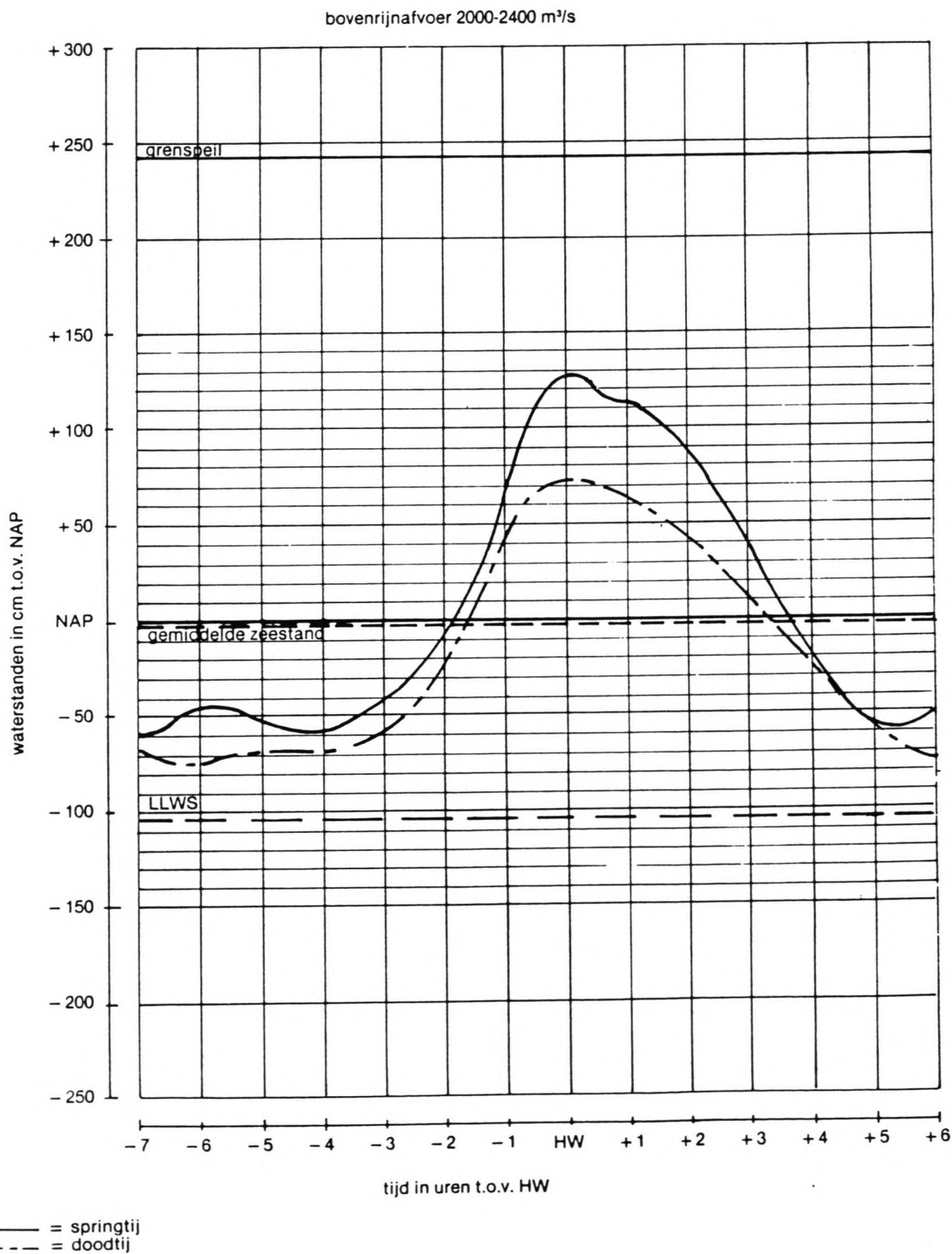
Gemiddelde getijkromme Hoek van Holland



Getijkromme Hoek van Holland voor gemiddeld springtij en gemiddeld doottij

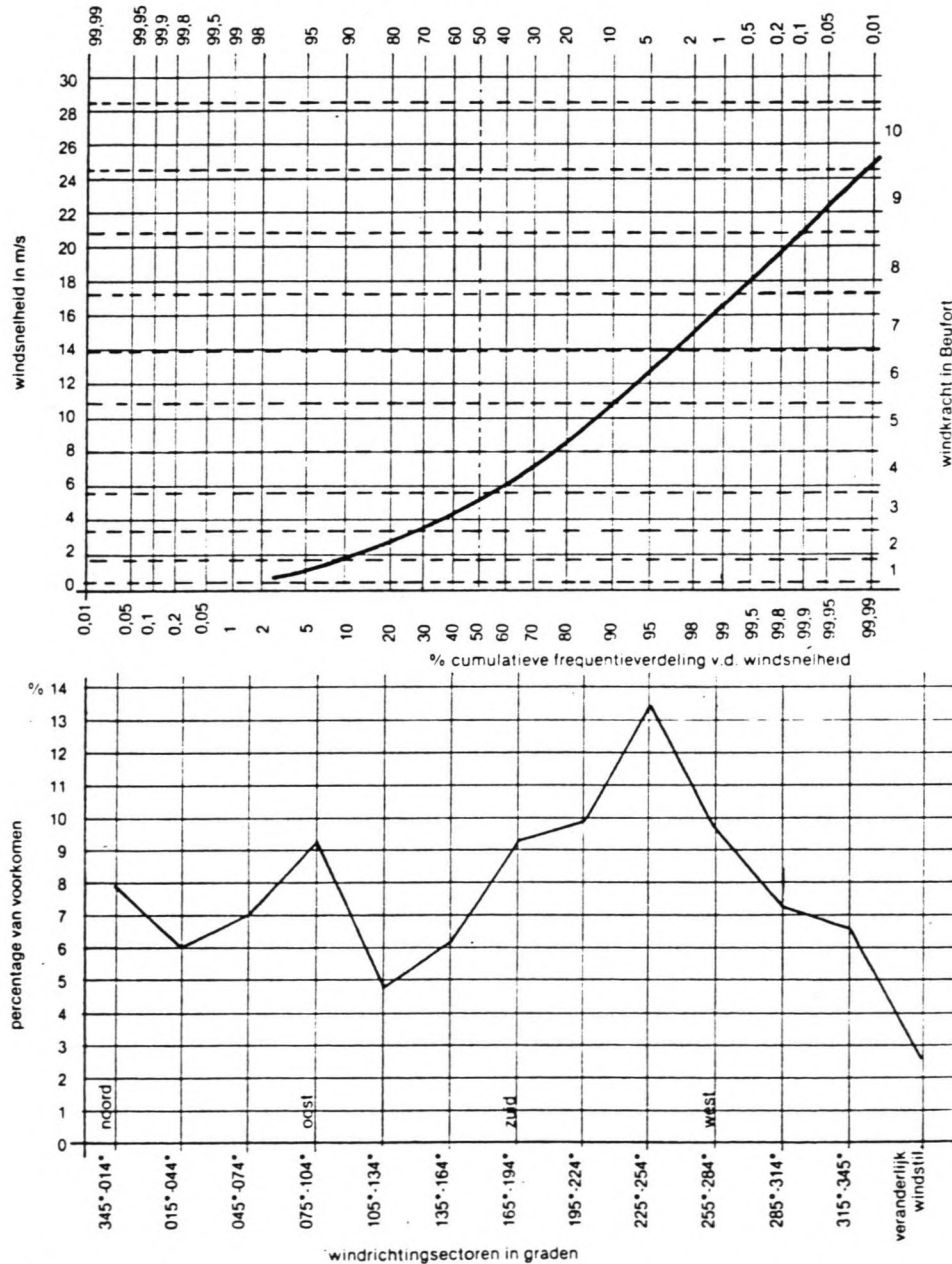


Getijkromme Hoek van Holland voor gemiddeld springtij en gemiddeld doodtij



GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM
Ingenieursbureau Havenwerken

Windsnelheden en windrichtingen
station: Hoek van Holland
Procentuele cumulatieve frequentieverdeling van de
windsnelheid. Windrichting in percentages van voorkomen.
Tijdvak 1954 t/m 1970



1% = 87,6 uur/jaar

VERDELING VAN H1/3 EN GGT										225 < WR < 255	
in m. en s. in aantal waarnemingen											
	1	2	3	4	5	6	7	8	- H		
1											
2											
3	42	40	1								83
4	108	244	144	11	2						509
5	20	125	246	205	56	5					657
6	1	12	19	66	75	37	13	2			225
7		1			15	4	5	3			28
8					1		1				2
9											
10											
T											
Totaal	171	422	410	282	133	57	18	7	4		1504

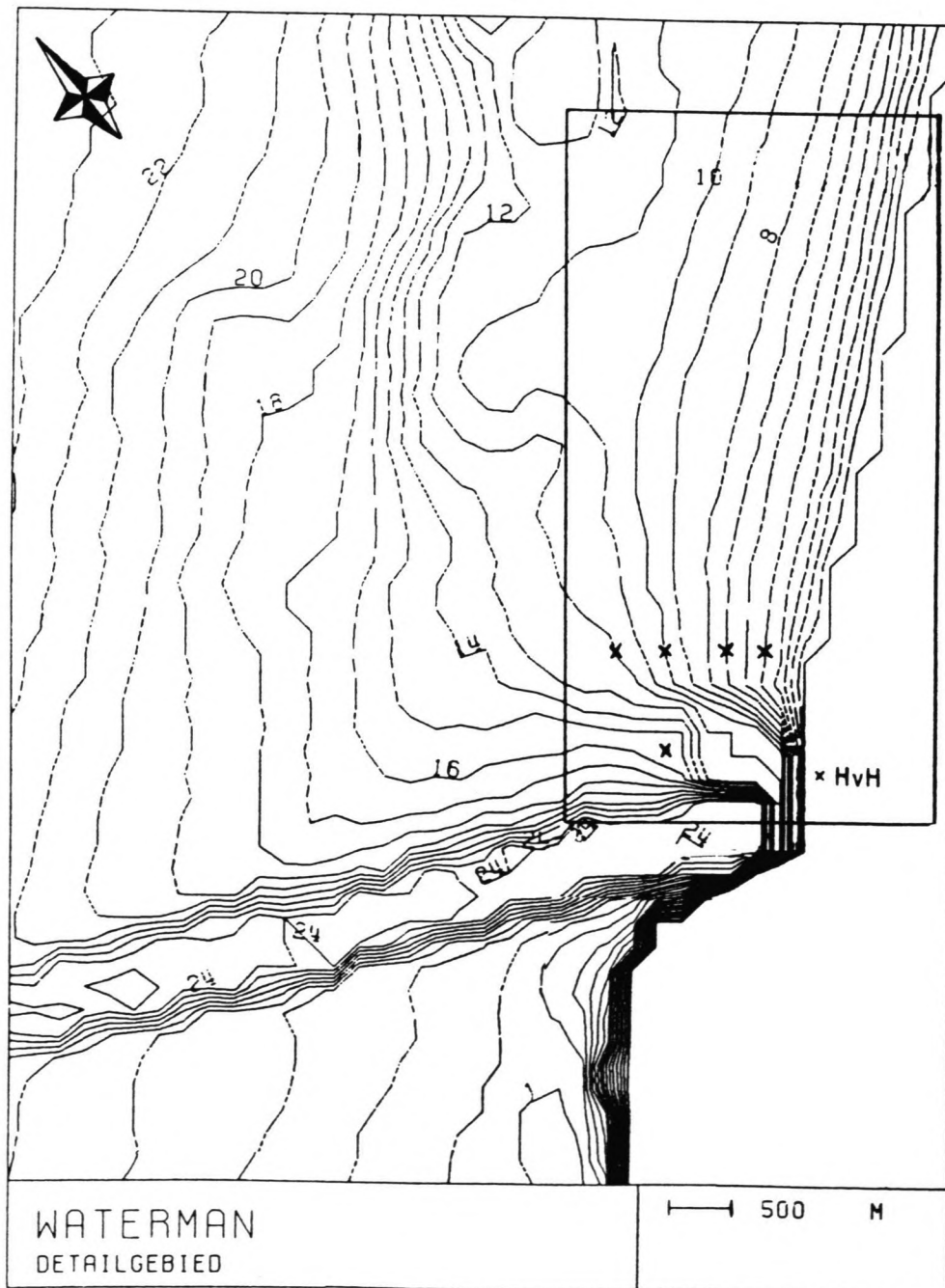
VERDELING VAN H1/3 EN GGT											255<WR<285					
in m. en s.																
	1		2		3		4		5		6		7		8 → H	
1																
2																
3	28	13														41
4	64	138	47	3												252
5	13	70	139	135	32	1										390
6		9	19	42	62	47	17	3								199
7				1	1	9	17	15	5	4	1					53
8									2					1		3
9																
10																
T																
Totaal	105	230	205	181	95	57	34	18	7	4	1			1		938

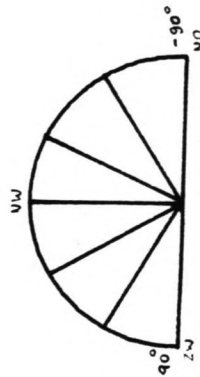
VERDELING VAN H1/3 EN GGT										285 < WR < 315			
in m. en s.													
	1	2	3	4	5	6	7	8	→ H				
1													
2													
3	18	9											27
4	69	97	37										203
5	9	44	107	80	11								251
6		10	15	38	77	47	11	3					201
7		1		3	7	23	13	5	1				53
8						1	1	1					3
9													
10													
T													
Totaal	96	161	159	118	91	54	34	17	6	2			738

VERDELING VAN H1/3 EN GGT										315 < WR < 345			
in m. en s.													
	1	2	3	4	5	6	7	8	→ H				
1													
2													
3	15	8											23
4	36	72	31	1									140
5	4	42	89	67	10								212
6		6	14	47	55	38	12	2					174
7		2	2		1	6	9	4	2				26
8						1	1						2
9													
10													
T													
Totaal	55	130	136	115	66	44	22	7	2				577

VERDELING VAN H1/3 EN GGT										345<WR<015			
in m. en s.													
	1	2	3	4	5	6	7	8	- H				
1													
2													
3	24	10											34
4	58	99	32	2									191
5	9	51	63	29	11	1							164
6		11	17	27	17	10	6						88
7		2		1	1	7	6	4	1	2			24
8					1			3					4
9													
10													
T													
Totaal	91	173	112	59	29	19	12	4	4	2			505

VERDELING VAN H1/3 EN GGT										015<WR<045			
in m. en s.													
	1	2	3	4	5	6	7	8	- H				
1													
2													
3	18	19											37
4	92	112	35	1									240
5	12	75	74	18	5	2							186
6		11	22	14	13	13	4	1					78
7		1	1	4	2	4	4	1	1				18
8							1	1					2
9		1											1
10													
T													
Totaal	122	219	132	37	20	19	9	3	1				562

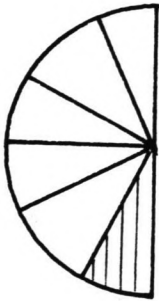




TOTAAL		-90.0 < θ < 90.0										DIEPTE 7.0 M		TOTAAL Hs			
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
1.0																	
2.0			16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8
3.0			189.5	105.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294.9
4.0			286.2	367.6	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	701.1
5.0			186.4	414.6	270.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	877.8
6.0			37.5	159.2	335.1	317.5	56.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	905.4
7.0			4.2	19.0	45.8	142.2	243.1	143.8	40.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	640.9
8.0			0.1	0.0	0.0	1.0	5.3	16.3	28.8	18.0	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0
9.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAAL	Tg	720.7	1065.9	698.3	467.5	304.5	160.1	69.1	20.6	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3509.0

Tg

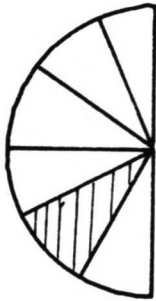
BIJLAGE 9b



GOLFRICHTING : 60.0 < **Θ** < 90.0

DIÉPTE 7.0 M

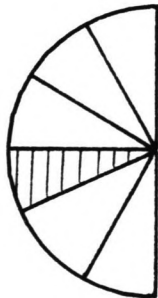
[illegible]



GOLFRICHTING : 30.0 < 9 < 60.0

DIEPTE 7.0 M

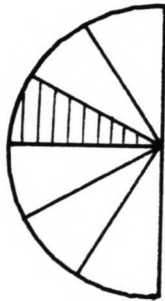
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	TOTAAL HS
1.0		5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2.0		54.4	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.6
3.0		84.3	113.7	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	208.1
4.0		56.5	130.0	80.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	267.2
5.0		13.4	54.1	139.9	91.2	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	307.5
6.0		1.3	4.5	19.1	73.3	88.2	41.9	8.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	236.8
7.0		0.0	0.0	0.0	0.9	4.6	11.3	13.1	5.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.6
8.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAAL Tg	215.1	328.5	249.1	166.1	101.6	53.2	21.5	5.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1140.9



GOLFRICHTING : 0.0 < Θ < 30.0

DIEPTE 7.0 M

	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	TOTAAL HS
1.0		3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
2.0		41.2	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0
3.0		61.0	92.9	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	169.8
4.0		39.7	102.5	89.2	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.3
5.0		6.7	36.3	90.0	130.4	28.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	292.2
6.0		0.8	5.6	8.9	27.7	82.9	60.0	22.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	209.5
7.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.0	11.1	11.0	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4
8.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAAL Tg	152.9	262.0	204.0	162.0	112.1	63.0	33.3	12.6	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1003.9

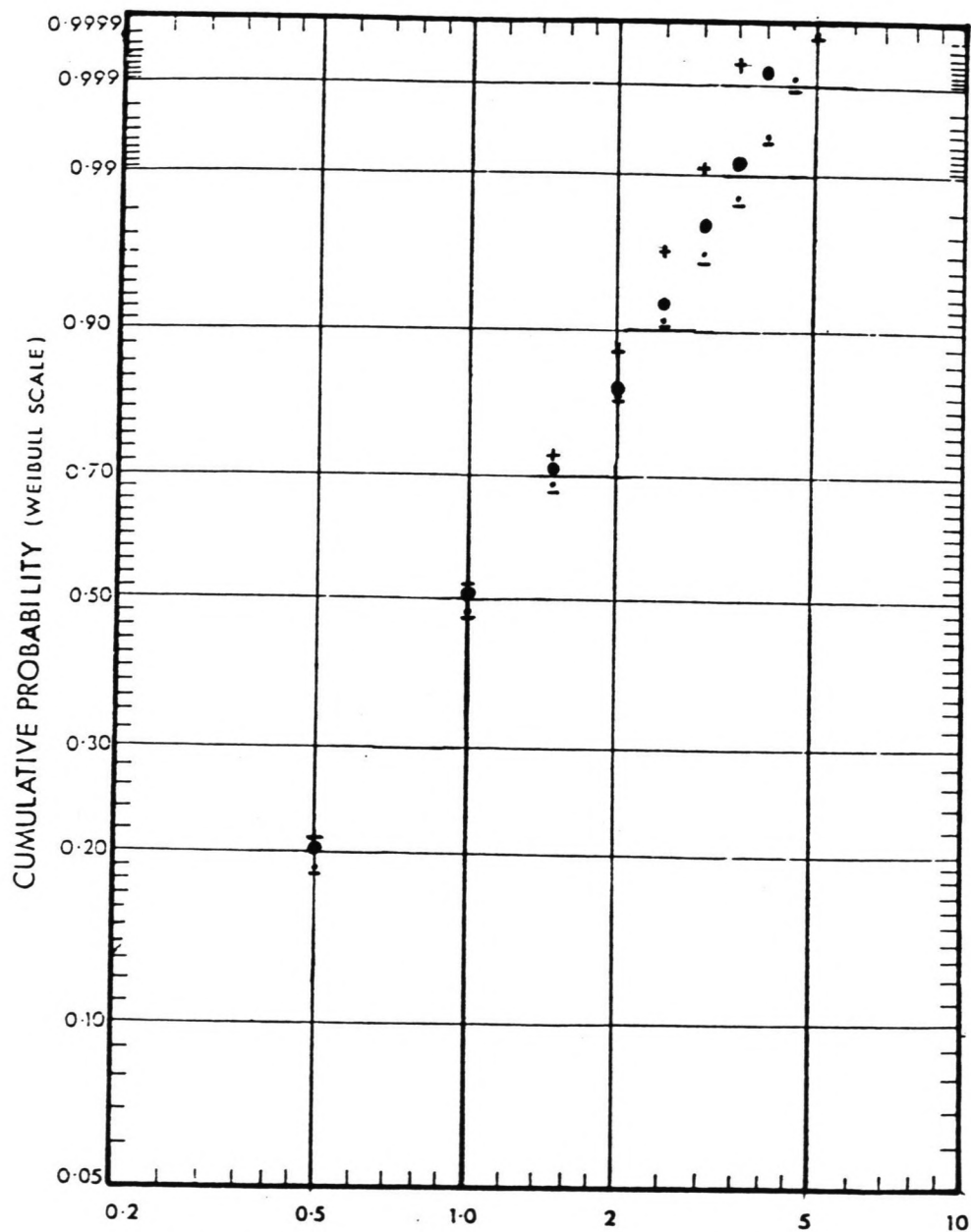


GOLFRICHTING : -30.0 < θ < 0.0

DIEPTE 7.0 M

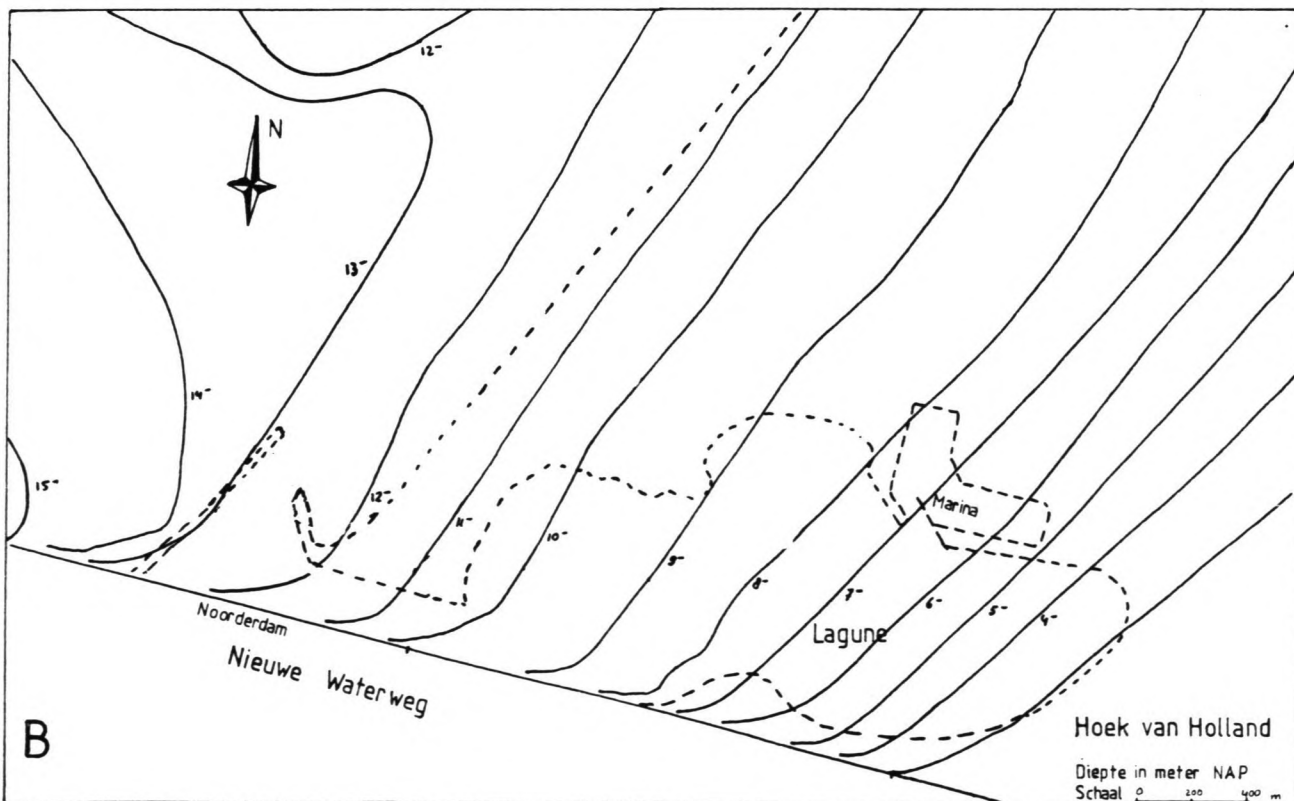
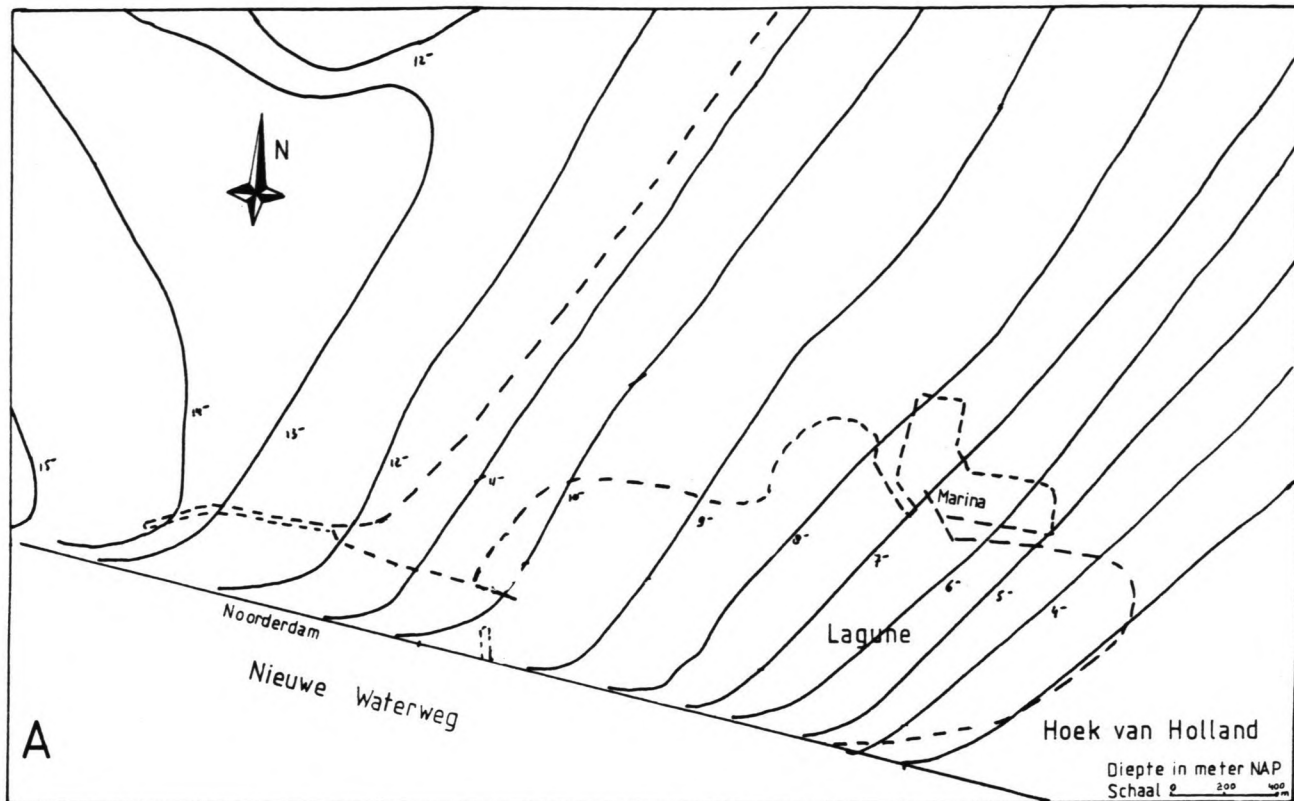
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	TOTAAL Hs
1.0																
2.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
3.0	25.9	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.9
4.0	40.9	65.7	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.7
5.0	26.0	73.5	59.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161.2
6.0	5.0	29.7	58.6	74.2	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	184.4
7.0	1.2	6.0	11.4	29.1	56.0	37.6	8.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150.8
8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	4.4	1.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7
9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAAL Tg	101.6	192.8	142.7	105.4	73.1	38.6	13.2	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	670.2

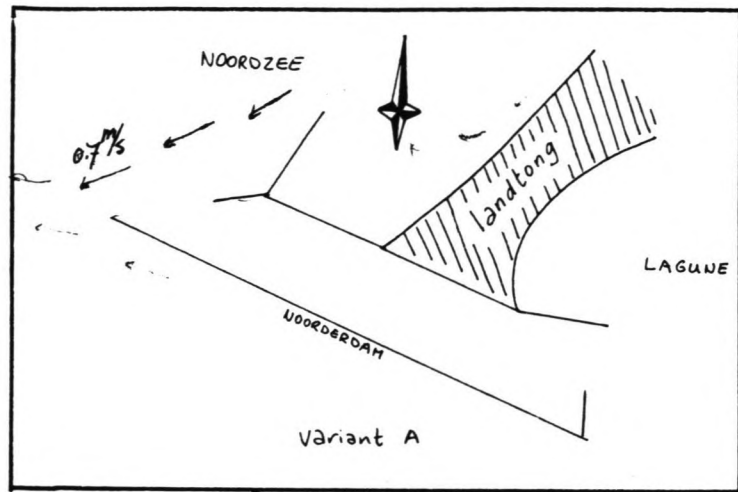
- + -5m
- -7m
- -10m
- -12m



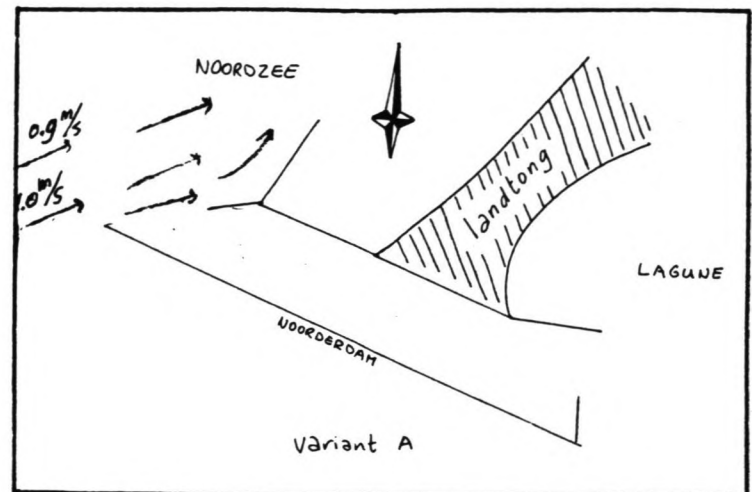
Significante golfhoogteonderschrijdingslijnen voor -12m, -10m, -7m en -5m diepte

BIJLAGE 11

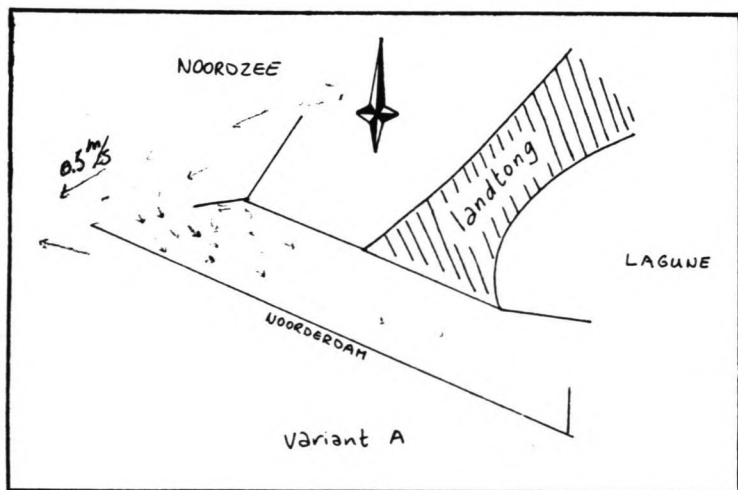




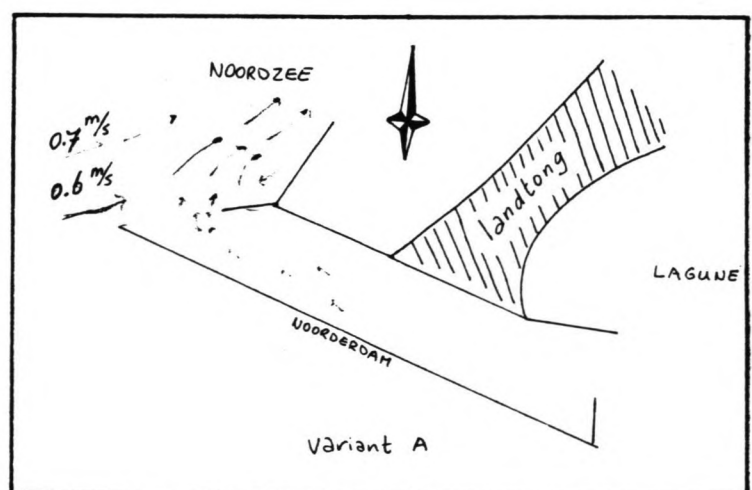
6 uur voor HW



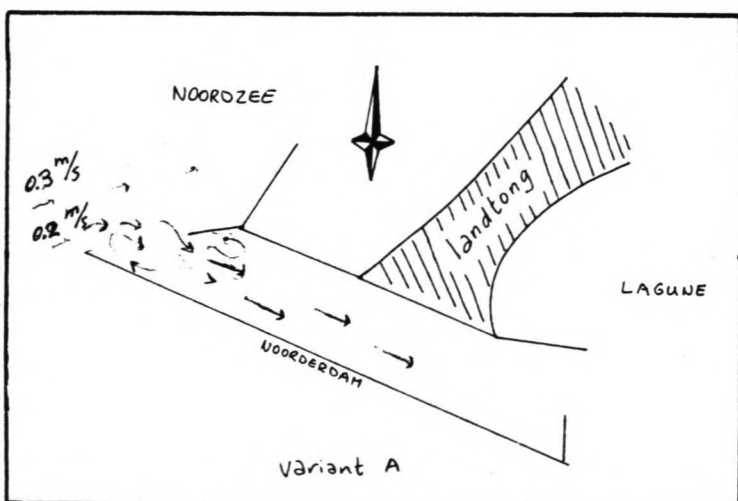
HW



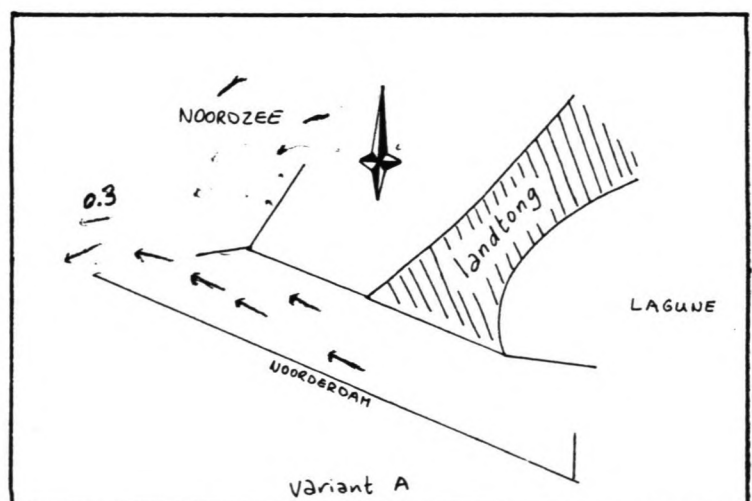
4 uur voor HW



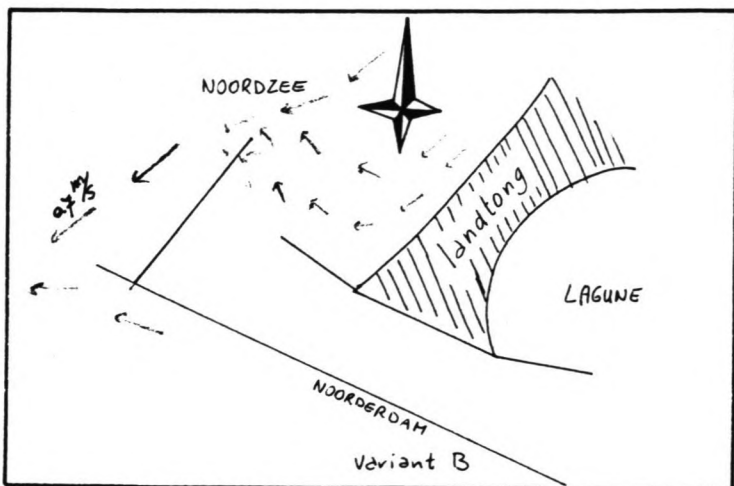
1 uur na HW



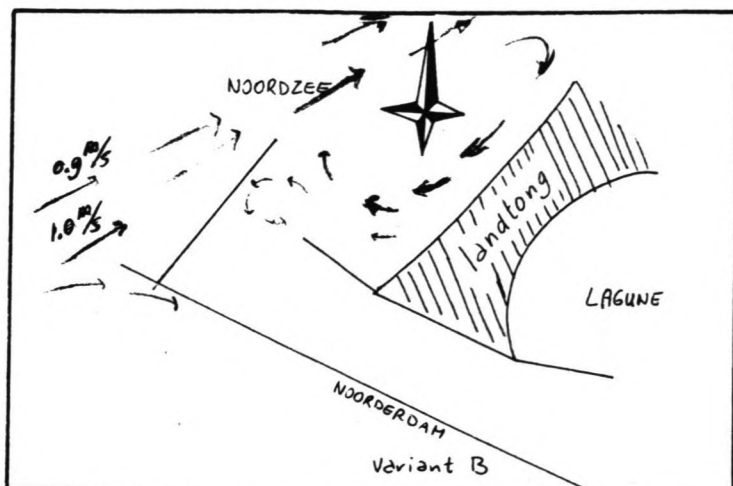
1 uur voor HW



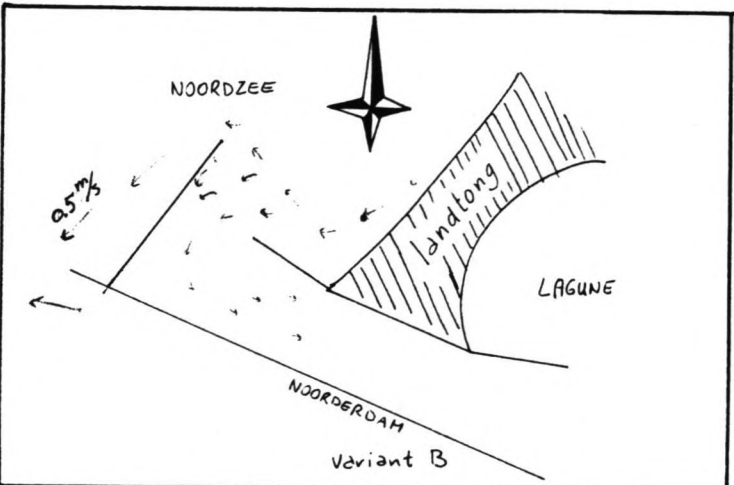
4 uur na HW



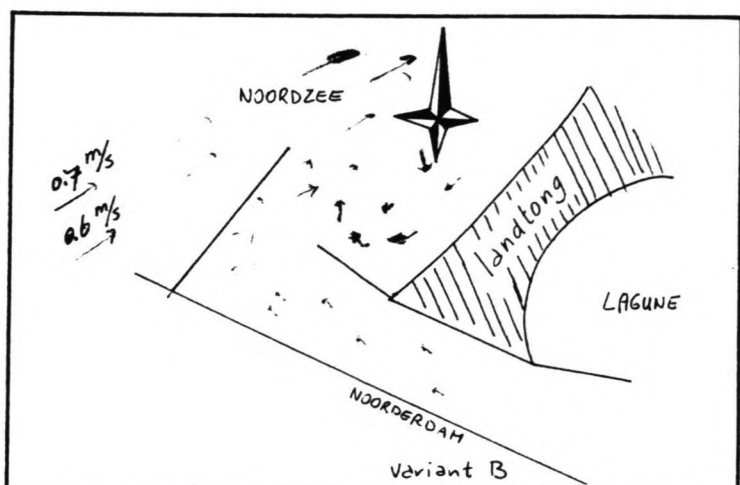
6 uur voor HW



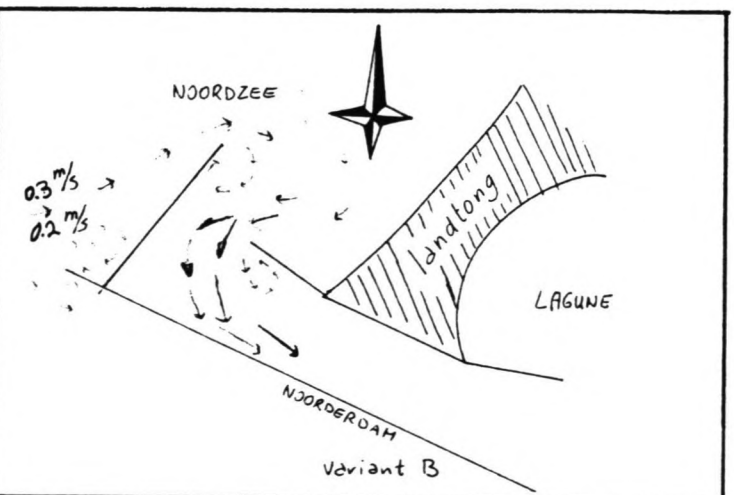
HW



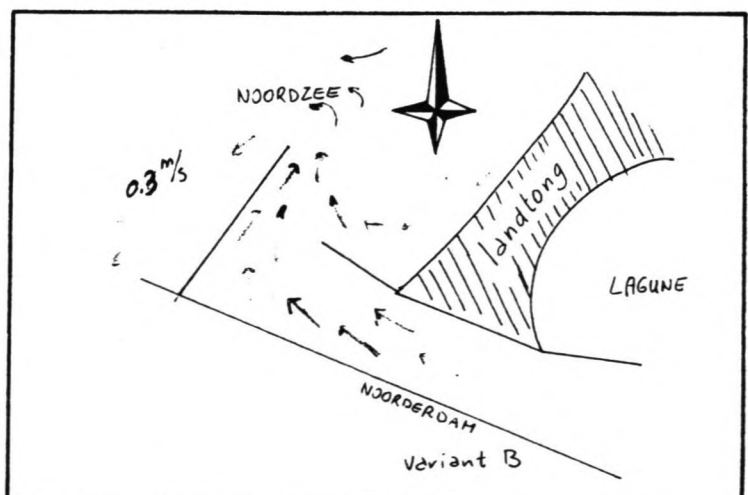
4 uur voor HW



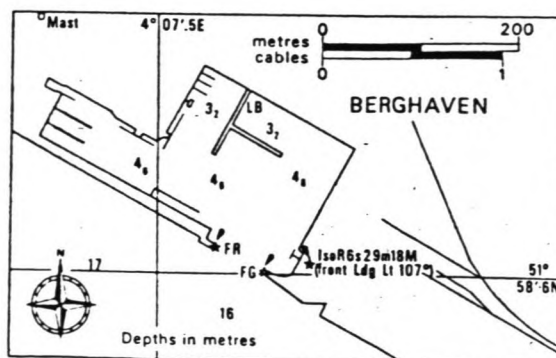
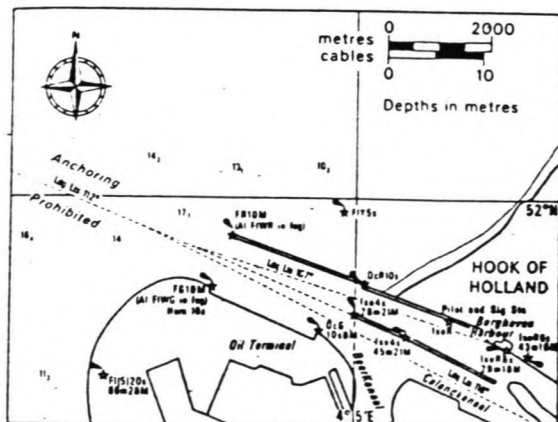
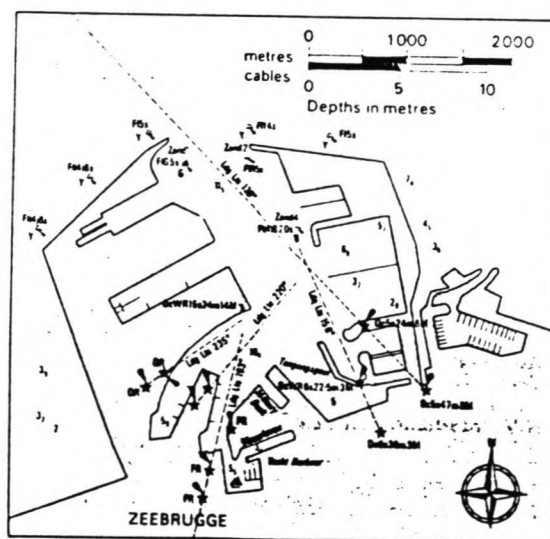
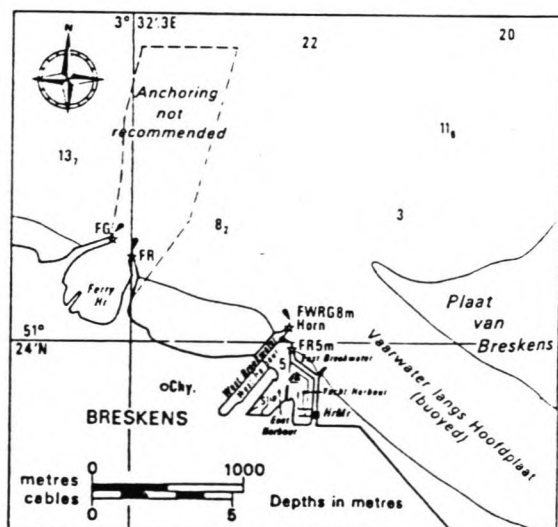
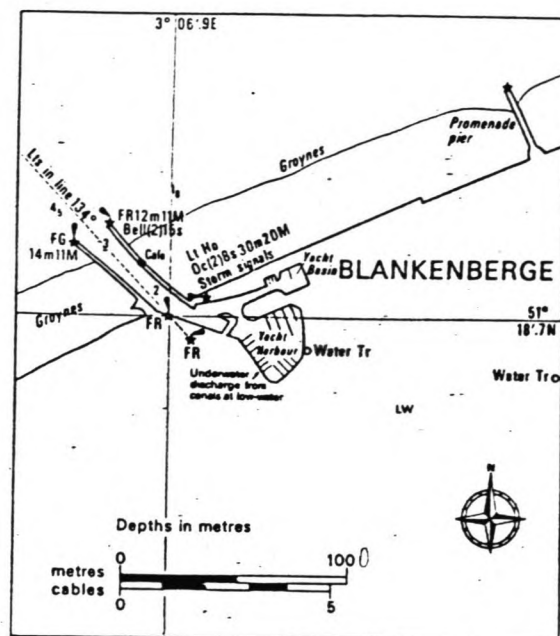
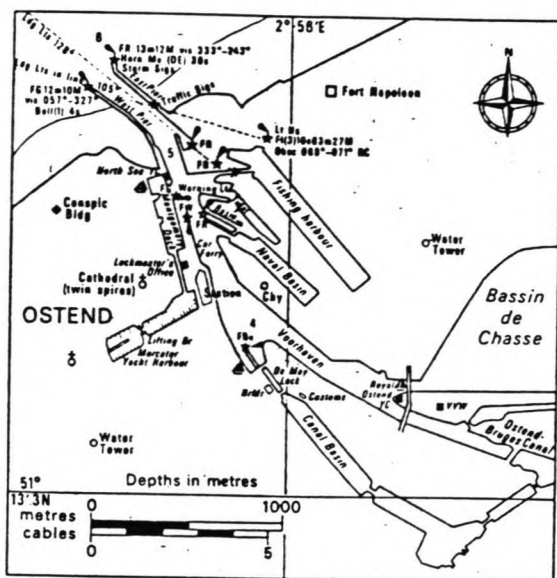
1 uur na HW

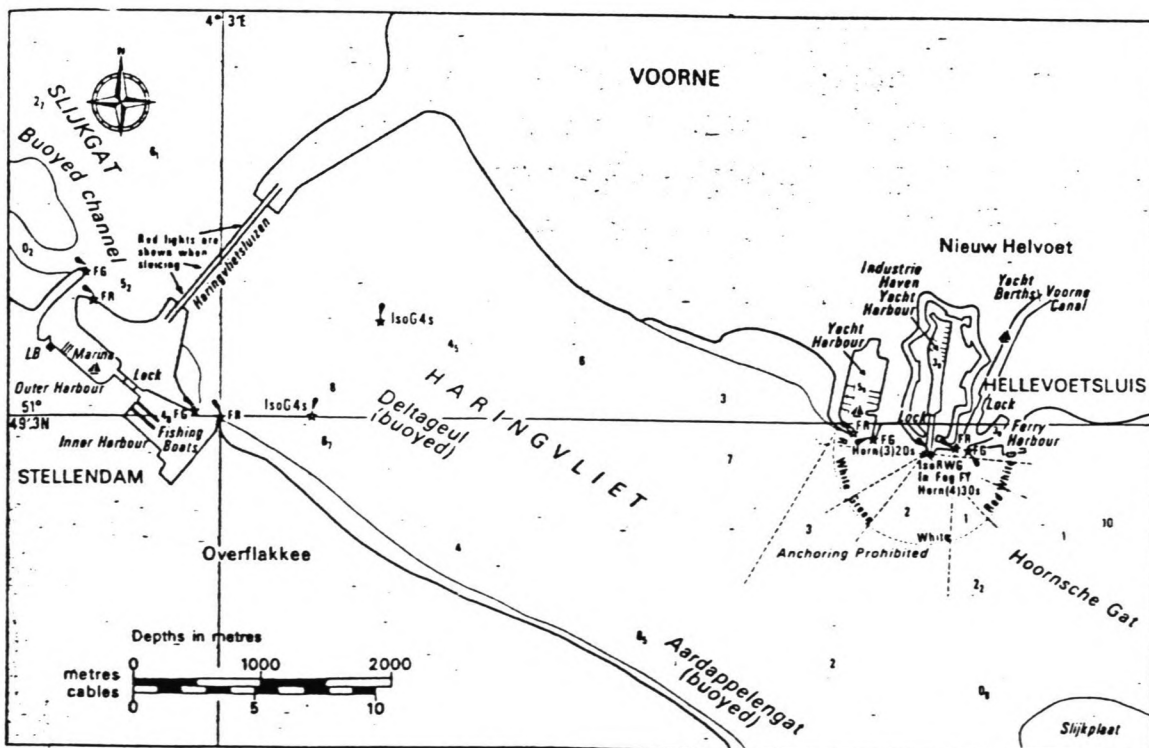
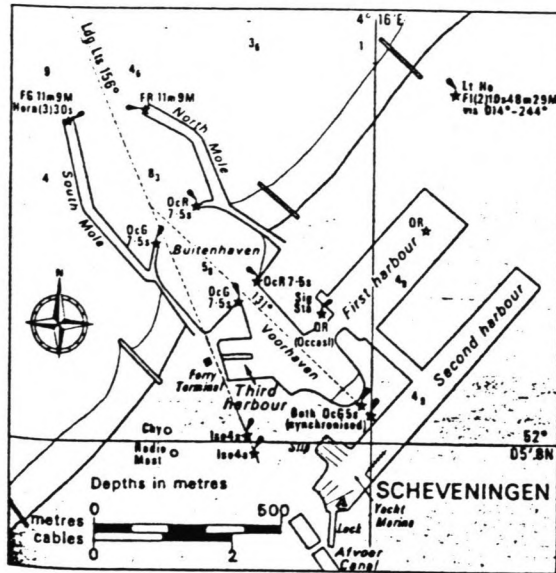


1 uur voor HW



4 uur na HW





Bepaling vd responsiefactor voor de berekening vd scheepsbeweging

De responsiefactor wordt bepaald met behulp van de formules en de resultaten in het afstudeerverslag 'Jachthaven Katwijk' (lit.13). De responsiefactor voor de beweging van een jacht is in dit afstudeerrapport bepaald met behulp van de overdrachtsfunctie van Gerritsma (zie lit.13). De bruikbaarheid en de beperkingen van de overdrachtsfunctie zijn vermeld in lit.13.

De responsiefactoren zijn bepaald voor een jacht met een lengte van 18m en voor een jacht met een lengte van 25m. Als de vaarrichting gelijk is aan de golfrichting dan is $u=0^\circ$. Als de vaarrichting tegen de golfrichting in is dan is $u=180^\circ$.

	lengte = 18m		lengte = 25m	
	1.0	1.32	1.0	1.71
T = 6.0s	1.0	1.32	1.0	1.71
T = 7.0s	1.0	1.14	1.0	1.32
T = 8.0s	1.0	1.00	1.0	1.14

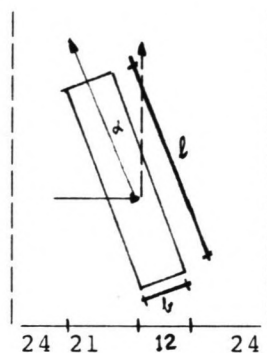
responsiefactoren

Bepaling van de breedte van de toegang

Volgens literatuur 11 wordt de breedte van een toegang voor schepen als volgt berekend :

Uitgaande van een dwarsstroming van 1m/s, een voorwaartse scheeps-snelheid van 4.0m/s en scheepsafmetingen van 90m*12m, geldt :

a) eenrichtingsverkeer

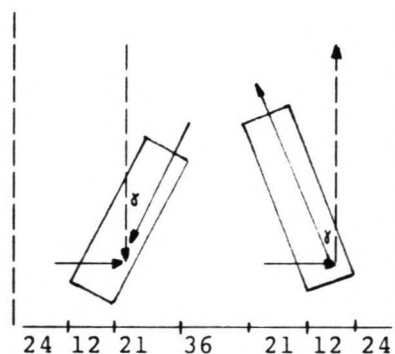


$$B = 2*b + l*\sin\alpha + b*\cos\alpha + 2b = 81m$$

De opening moet groter zijn dan de lengte van het schip (ivm versperring bij calamiteiten)
Daarom wordt B=100m

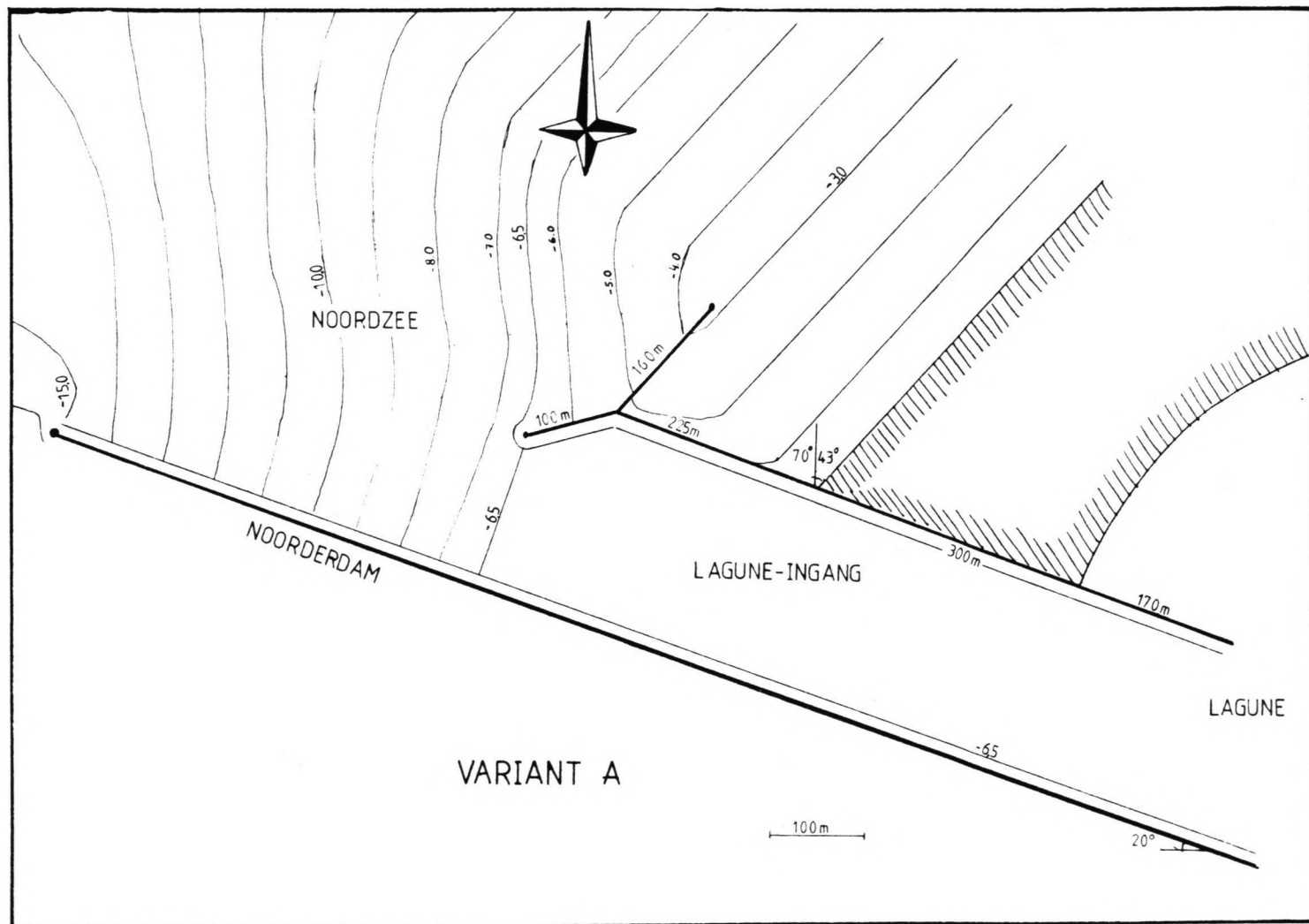
Figuur 1

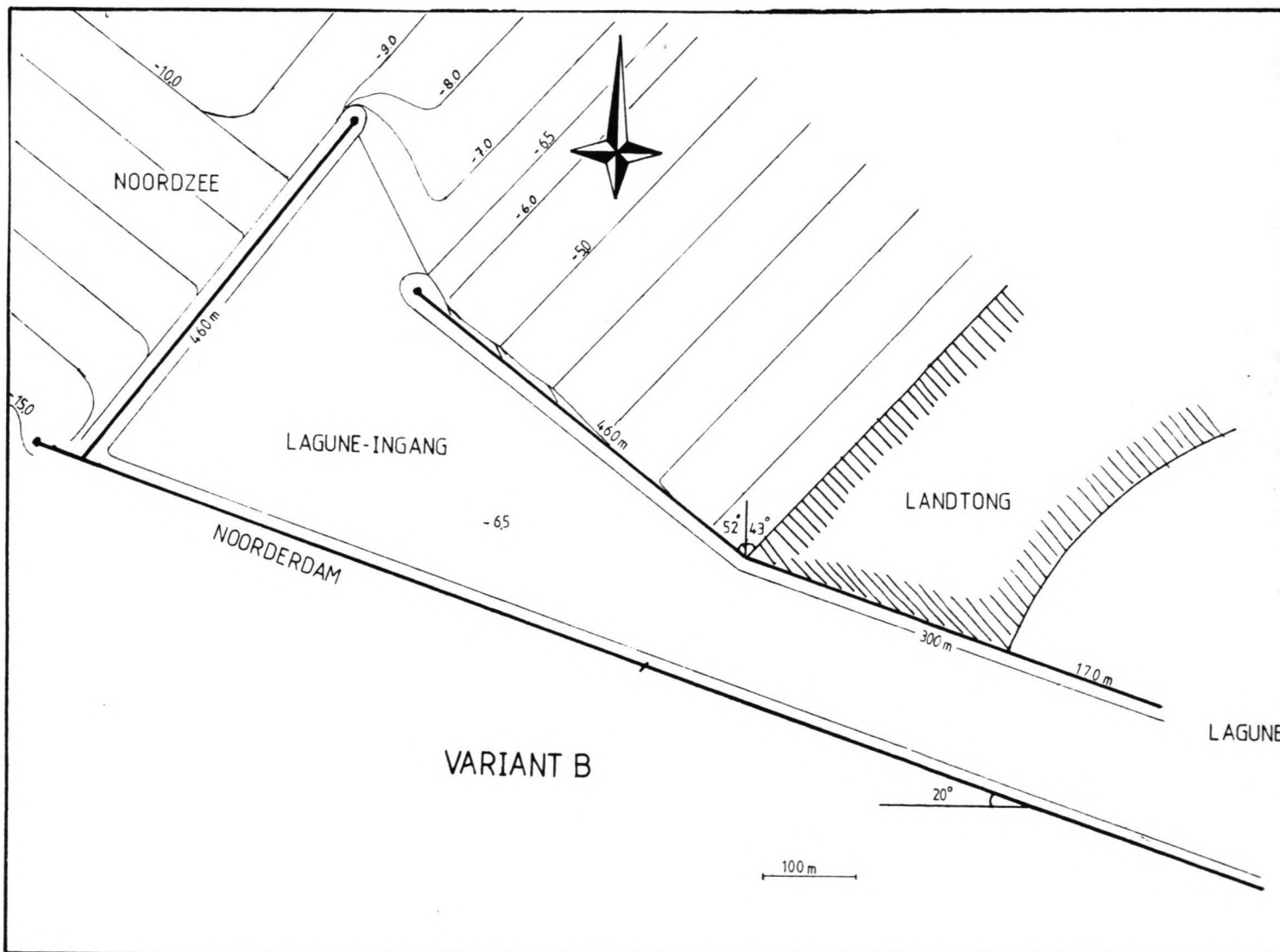
b) tweerichtingsverkeer



$$B = 2*b + b*\cos\alpha + l*\sin\alpha + 3b + l*\sin\alpha + b*\cos\alpha + 2b = 150m.$$

Figuur 2





Reflectie

Er kunnen twee verschillende constructies onderscheiden worden wat betreft de bepaling van de reflectiecoëfficiënten: de Noorderdam en de nieuw aan te leggen dammen en dijk.

De functie van de Noorderdam is stroomgeleiding.

De nieuwe dammen hebben eveneens deze functie, maar zullen daarnaast moeten bijdragen aan de golfenergiedissipatie. In dit stadium is gekozen voor een binnentalud van 1:2. In § 3.6 zal een nadere dimensionering van deze nieuwe dammen plaatsvinden.

Het dijkprofiel wordt opgebouwd uit een hard element met eveneens een taludhelling van 1:2. Hiertegenaan wordt later het grondlichaam voor de landstrook aangelegd.

De reflectiecoëfficiënten kunnen bepaald worden aan de hand van de methode uit de Shore Protection Manual (fig.2-65) of volgens het diktaat Korte Golven.

Hierin wordt de reflectie bepaald als functie van de waarde ξ . Deze waarde is een maat voor de steilheid van de invallende golven in verhouding tot de helling van het talud.

De formule voor de berekening van de ξ is :

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(H_i / L_o)}}$$

waarin : α = de hellingshoek van het talud
 H_i = de invallende significante golfhoogte
 L_o = de golflengte op diep water

Uitgaande van een golfhoogte H_s van 3.25m (zie par 3.2.1) zijn perioden tussen 6s en 8s mogelijk. Dit betekent voor de diepwatergolflengte L_o : $56m < L_o < 100m$. Het talud van de Noorderdam heeft een helling van 1:1.5 en de taluds van de nieuwe dammen en dijk hebben een talud van 1:2.

Voor de nieuwe dammen volgt: $2.1 < \xi < 2.8$

Voor de Noorderdam volgt: $2.8 < \xi < 3.7$

De reflectiecoëfficiënten kunnen nu als functie van de eerder bepaalde factor ξ uit figuur 2.65 van de SPM (1984) en uit figuur 7.3 van lit.2 worden afgelezen.

BIJLAGE 17

		SPM	Battjes
nieuwe dammen	L=56	0.23	0.21
	L=100	0.32	0.39
Noorderdam	L=56	0.32	0.38
	L=100	0.4	0.5

Reflectiecoëfficiënten volgens Battjes en de SPM

Tabel 1

Voor de berekening van de golfdoordringing in de lagune-ingang wordt voor de reflectie van de nieuwe dammen en de dijk een coëfficiënt van 0.3 aangehouden en voor de reflectiecoëfficiënt van de Noorderdam een waarde van 0.4m.

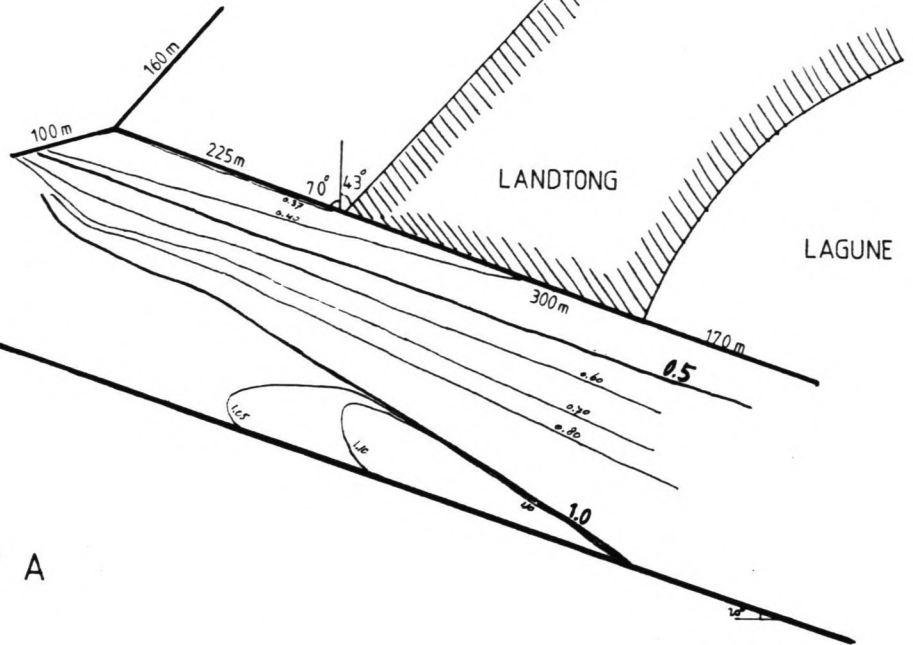
BEPAALD MET SPM



GOLFRICHTING 290°



NOORDERDAM



VARIANT A

100 m

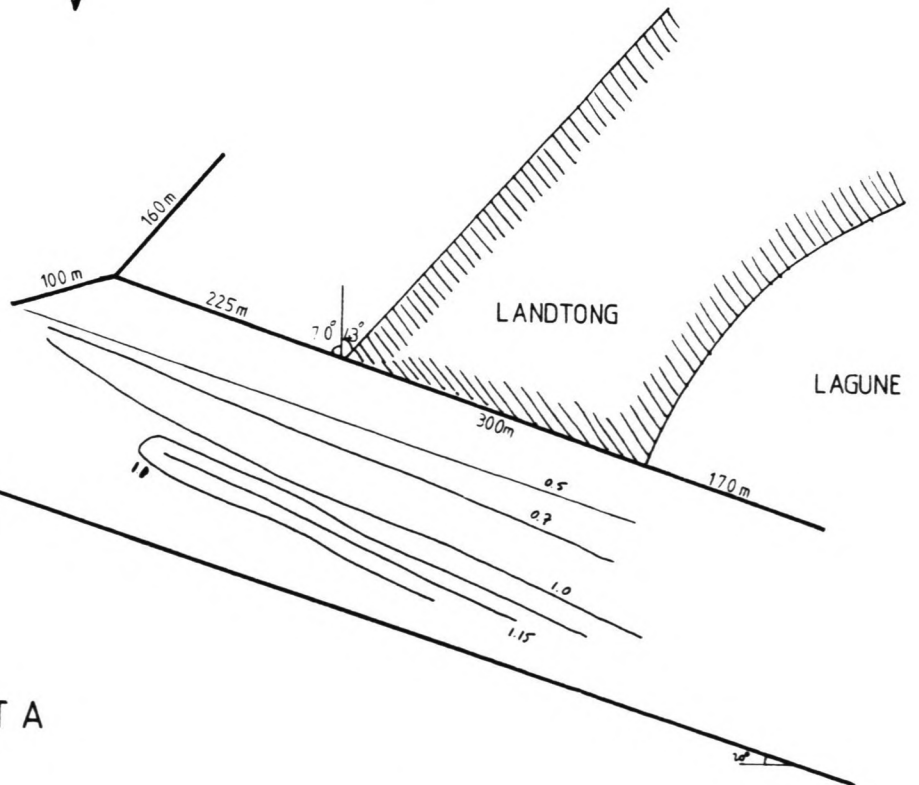


BEPAALD MET CORNU

GOLFRICHTING 290°



NOORDERDAM



VARIANT A

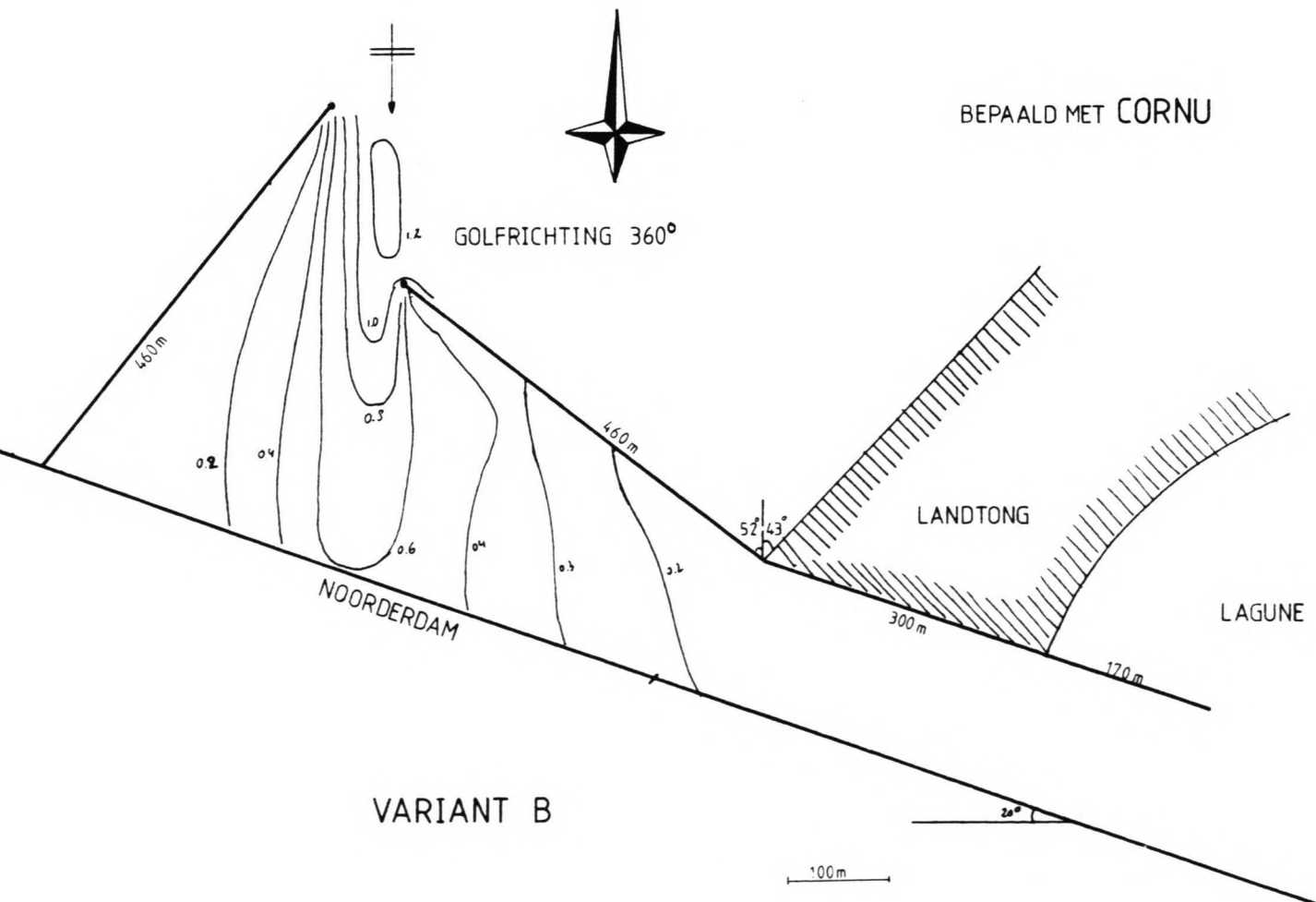
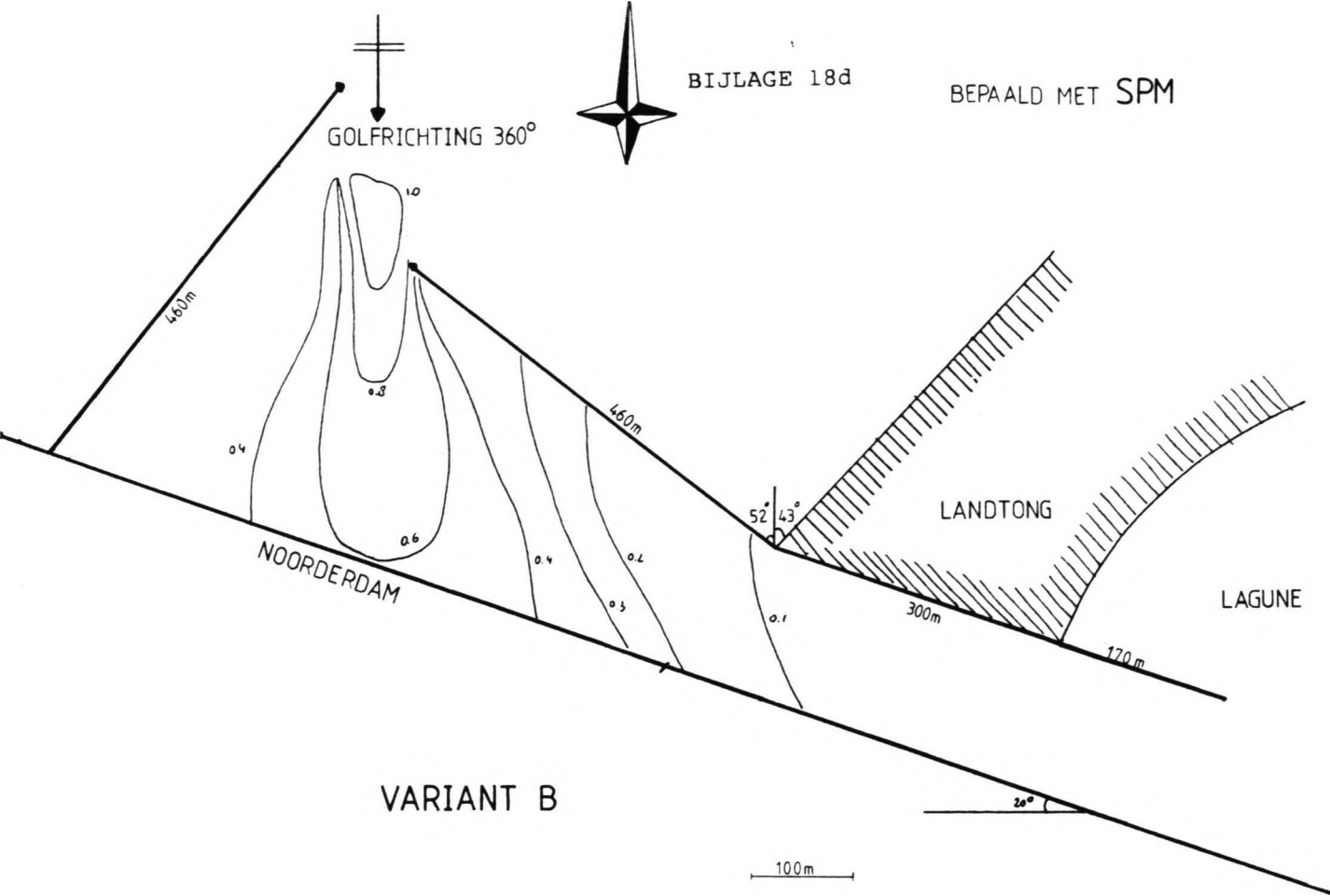
100 m


GOLFRICHTING 300°



GOLFRICHTING 360°





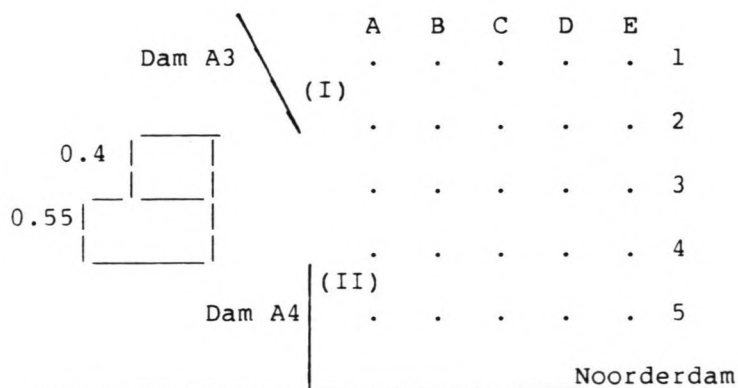
Berekening ter bepaling van de lengte van dam A4

Uit figuur 28 is de amplitudeverhouding over de opening af te lezen. Bij een schematisatie, zoals die in figuur 30 is gemaakt, kan voor de openingsbreedten de volgende verhouding worden afgeleid, wanneer de opening steeds in twee gelijke delen wordt verdeeld.

openingsbreedte	amplitudeverhouding
100m	0.6 - 0.45
120m	0.7 - 0.50
140m	0.75 - 0.50
160m	0.8 - 0.50

Tabel 1

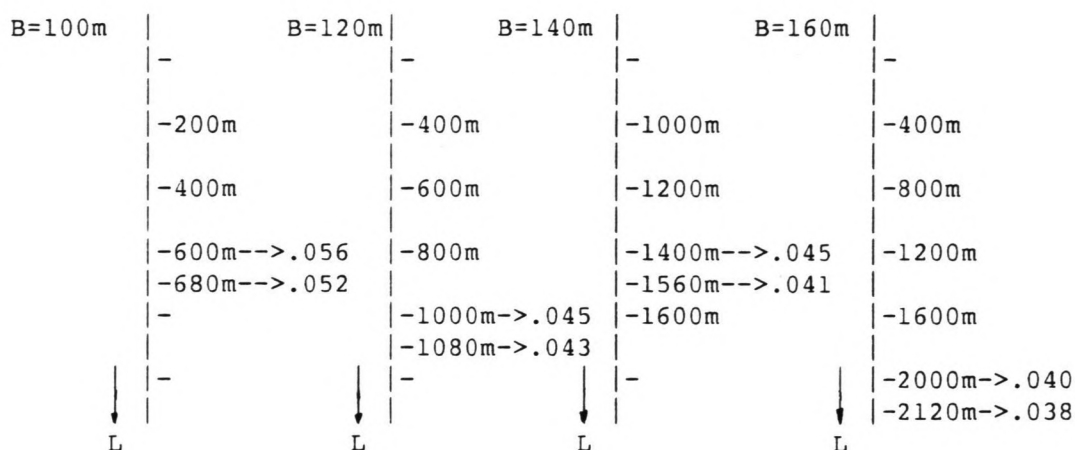
In figuur 1 is de situatie getekend achter de damkoppen I en II voor een openingsbreedte van B=80m.



Figuur 1

Het invallende golffront is geschematiseerd tot twee helften met amplitudefactoren van 0.4 en 0.55. De maximale amplitudefactoren achter de koppen blijken op te treden in de buurt van de middelloodlijn van de verbindingslijn tussen de twee damkoppen. Voor de gevallen B=100m, 120m, 140m en 160m zijn vervolgens op deze lijnen de amplitudefactoren berekend.

BIJLAGE 19



Figuur 2

B = 100m	--> afstand is 680m	: $K_d = 0.052 \cdot 0.60 = 0.031$	Hs = 1m
B = 120m	--> afstand is 1080m	: $K_d = 0.043 \cdot 0.70 = 0.031$	Hs = 1m
B = 140m	--> afstand is 1560m	: $K_d = 0.041 \cdot 0.75 = 0.031$	Hs = 1m
B = 160m	--> afstand is 2120m	: $K_d = 0.039 \cdot 0.80 = 0.031$	Hs = 1m

De afstanden waar de golfhoogte uiteindelijk $H_s=1m$ wordt, is voor de verschillende openings-breedten hierboven weergegeven.

B = 100m	---> Afstand is 700m
B = 120m	---> Afstand is 1100m
B = 140m	---> Afstand is 1600m
B = 160m	---> Afstand is 2150m

Ontwerp van golfbreker A4

Met behulp van de uitgangspunten voor het ontwerp zoals die in par. 3.6.3 zijn vermeld wordt een berekening voor de verschillende onderdelen van golfbreker A4 gemaakt. Als extra uitgangspunt geldt dat voor deze dam de reflectiecoëfficiënt laag moet worden om een rustig golfbeeld in de zone van de overgang van de lagune-ingang naar de lagune. De taludhelling moet ongeveer 1:3 zijn.

Allereerst de berekening voor een ontwerpgolfhoogte van 4.50m. In totaal zijn voor dam A4 berekeningen voor 3 ontwerpgolfhoogten gemaakt : 4.25m, 4.50m, 4.75m.

Primary armor : Voor de diepte tot waar de toplaag moet worden doorgezet kan worden berekend dat

$$H_a = 2 \cdot 4.50 + 0.7 - 3.0 = -6.7 \text{m NAP}$$

Met behulp van de formule van Hudson kan nu het gewicht van de primary armor units worden bepaald:

$$W = \frac{\rho_a \cdot H^3}{K_d \cdot \Delta^3 \cdot \cot(a)}$$

waarin : W = gewicht van de blokken (kg)
 ρ_a = soortelijk gewicht van beton (kg/m³)
 H = ontwerpgolfhoogte (m)
 K_d = schadefactor (-)
 $\Delta = (\rho_a - \rho_w) / \rho_w$
 a = taludhelling

Gebruikmakend van de waarden uit par. 3.6.3, waarin a = 2650 kg/m³, K_d = 7, x = 1.59 en bij een taludhelling van 1:3.2, levert dit hier W = 2.56 ton. Dat betekent bij een soortelijk gewicht van 2650 kg/m³ een ribbe van 1.0m.

De breedte van de kruin kan nu bepaald worden aan de hand van de volgende formule :

$$B = m' \cdot K_{\Delta} \cdot (W / \rho_a)^{1/3}$$

waarin : B = breedte van de kruin (m)
 m' = aantal eenheden in de breedte (-)
 K_Δ = pakkingscoëfficiënt (=1.1)
 W = gewicht van de blokken (kg)
 ρ_a = soortelijk massa van beton

BIJLAGE 20a

Uitgaande van een minimale breedte van 3 eenheden op de kruin, die noodzakelijk is als er overslag optreedt (hetgeen hier het geval is) wordt de breedte van de kruin $B = 3.3\text{m}$.

De dikte van de toplaag kan berekend worden met :

$$t = m * k_d * (W/\rho_a)^{1/3}$$

waarin : t = dikte van de toplaag

m = aantal eenheden

k_d = pakkingscoëfficiënt

W = gewicht van de eenheden

ρ_a = soortelijke massa van beton

Bij een dikte van 2 kubussen voor de toplaag wordt de dikte 2.2m .

Secondary armor : Voor het ontwerpen van de tweede laag wordt uitgegaan van een storm met een significante golfhoogte van 3.25m . Deze tweede laag moet stormen kunnen trotseren tijdens de aanlegfase.

Een eis voor de grootte van de eenheden van de tweede laag is bovendien dat de eenheden in gewicht meer dan 10% van de toplaag.

De tweede laag wordt aangelegd met stortsteen van $1-3$ ton.

Met behulp van de Hudsonformule wordt gevonden dat het gemiddelde gewicht van de stortsteen 1.1 ton dient te zijn.

De dikte van de tweede laag wordt 1.5m .

Op deze manier is het mogelijk om voor verschillende ontwerpgolfhoogten en profiel te bepalen. Omdat de dam op een diepte van -8m NAP gefundeerd wordt en de hoogte waarover de primary armor bij de grotere golfhoogten zal moeten worden doorgetrokken groter is dan de beschikbare diepten, dient een teenconstructie te worden aangelegd.

Hieronder staan de resultaten van de berekeningen voor de overige golfhoogten getabelleerd.

De niet vermelde waarden blijven gelijk aan de waarden die gebruikt zijn in het ontwerp voor de golfhoogte van 4.50m .

Voor de berekening van de aanlegkosten van de profielen is uitgegaan van

BIJLAGE 20a

de prijzen zoals die vermeld staan in tabel 2.

golfhoogte	4.25m	4.75m
diepte toplaag	-6.20m	-7.2m
gewicht toplaag	2.65ton	2.65ton
talud helling	1:2.7	1:3.8
dikte tweede laag	1.5m	1.5m
teen- constructie	1-3ton	1-3ton

Tabel 1

	kosten
Primary armor units : (Kubussen 2.65 ton)	
materiaal	300,- / m ³
plaatsen	15,- / ton
Secondary armor (Stortsteen 1-3 ton)	50,- / ton
Teenconstructie (Stortsteen 1-3 ton)	50,- / ton
Kern (Stortsteen 0.3 - 1 ton)	50,- / ton
Filterconstructie (stortsteen 10/80 kg)	40,- / ton
(grof grind)	30,- / ton
(fijn grind)	30,- / ton

Tabel 2

De aanlegkosten van de verschillende profielen worden nu :

	Hs=4.25m	Hs=4.50m	Hs=4.75m
Betonkubussen 2.65 ton	107.3ton 13.750,-	116.3ton 14.908,-	128.7ton 16.505,-
Stortsteen 1-3 ton	77.7 ton 3.883,-	83.5 ton 4.174,-	91.7 ton 4.586,-
Stortsteen 0.3-1 ton	161.6ton 8.080,-	175.0ton 8.751,-	191.3ton 9.563,-
Filter stortsteen	65.5 ton 2.618,-	68.9 ton 2.754,-	73.1 ton 2.924,-
grof grind	61.6 ton 1.840,-	64.8 ton 1.944,-	68.8 ton 2.064,-
fijn grind	97.0 ton 2.905,-	102.0ton 3.062,-	108.4ton 3.251,-
Totaal	33.087,-	35.592,-	38.892,-

Tabel 3

Per profiel worden nu de schadekosten op jaarbasis berekend, waarbij uitgegaan wordt van een reparatiefrequentie van 1 keer per jaar. Op basis van de overschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogten uit figuur 32 kunnen de kansen van optreden van bepaalde golfhoogteklassen worden berekend. De golfhoogte waarvoor de schade steeds berekend is, is het midden van een dergelijke klasse (bv. Hs=4.25m is het midden van de klasse tussen $4.0m < Hs < 4.5m$, die een kans van voorkomen van $2.2 \cdot 10^{-4}$ heeft.) Per klasse kan vervolgens de schadekans worden bepaald bij een reparatiefrequentie van 1 keer per jaar : $p(\text{damage}) = 1 - (1 - dp)^M$. Hierin is M het aantal stormen per jaar. Uitgaande van een gemiddelde stormduur van 6 uur op de Noordzee, wordt $M = 1460$. (bv. voor de eerder genoemde klasse wordt $p(\text{damage}) = 0.27$) Per klasse wordt bovendien de schadecoëfficiënt bepaald door de formule $(H_s \text{ optredend} / H_s \text{ ontwerp})^3$. Aan de hand van deze coëfficiënt kan de hoeveelheid schade worden bepaald uit lit.16. Nu is het mogelijk om voor een bepaalde storm te berekenen wat de mogelijke schade aan de diverse profielen zal zijn.

BIJLAGE 20a

stormen in Hs	4.25m	4.60m	4.8m	5.0m	5.2m	5.4m	5.6m	
P(Hs)	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$5.1 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-6}$	$7.8 \cdot 10^{-7}$	$3.0 \cdot 10^{-7}$	$1.4 \cdot 10^{-7}$	
P(dam)	0.27	$1.8 \cdot 10^{-2}$	$7.4 \cdot 10^{-3}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	
Ontwerp 4.25m								
schade factor	1	1.27	1.44	1.63	1.83	2.05	2.29	
% schade	2%	16%	20%	25%	31%	36%	43%	
schade(f)	550	4400	5500	6612	8199	9522	14228	
P*schade	149	80	41	20	9	4	3	306
Ontwerp 4.50m								
schade factor	-	1.07	1.21	1.37	1.54	1.73	1.93	
% schade	-	9%	15%	19%	22%	28%	34%	
schade(f)	-	2684	4473	5665	6297	8014	9732	
P*schade	-	49	33	17	7	4	2	112
Ontwerp 4.75m								
schade factor	-	-	1.03	1.17	1.31	1.47	1.64	
%schade	-	-	6%	13%	17%	20%	25%	
schade(f)	-	-	1981	4291	5612	6602	7909	
P*schade	-	-	15	13	6	3	2	39

Uit de vorige tabel kunnen de schadekosten worden bepaald. Aan de hand van deze schadekosten kan nu op basis van een rentevoet van 7% en een economische levensduur van 50 jaar de hoeveelheid geld worden berekend die bij de ingebruikname van het project aanwezig moet zijn om reparaties die nodig zijn om de schade na stormen te herstellen te kunnen betalen. Deze 'pwf'-waarde wordt als volgt berekend :

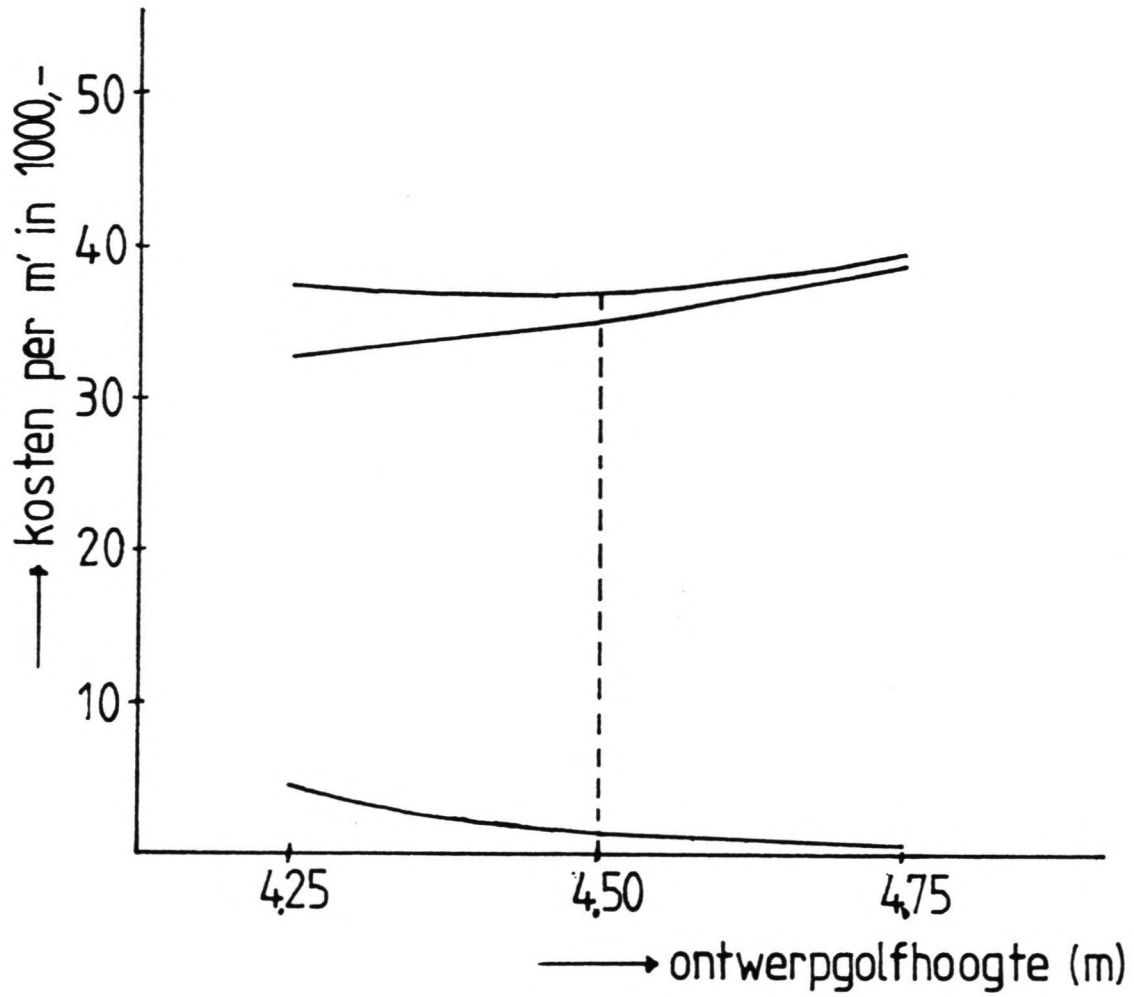
$$pwf = \frac{1.07^50 - 1}{0.07 * (1.07^50)} = 13.8$$

Aan de hand van deze factor is het mogelijk om de totale kosten van het project te berekenen.

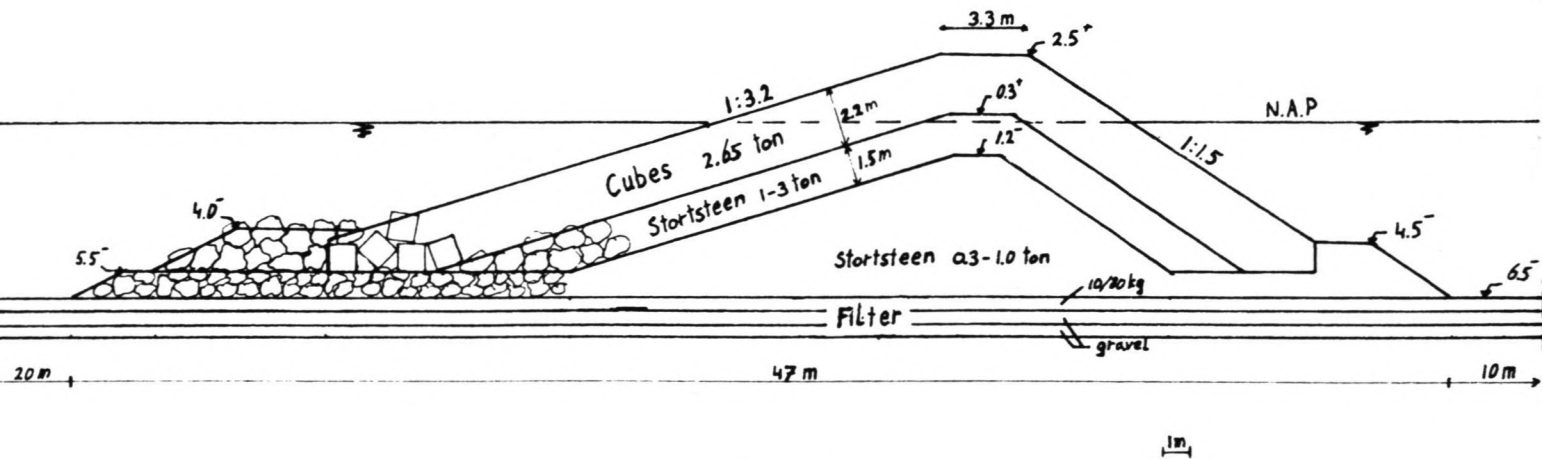
ontwerpgolfhoogte	4.25	4.50	4.75
jaarlijkse schade	306	112	39
gekapitaliseerde s.	4217	1543	535
aanlegkosten	33087	35592	38892
totale kosten	37304	37135	39427

Tabel 5

Uit tabel 5 en in figuur 1 is te zien dat het optimale ontwerp voor het golfbrekerprofiel bij een ontwerphoogte van $H_s = 4.50\text{m}$ ligt. Er is dan ook voor dit profiel gekozen.

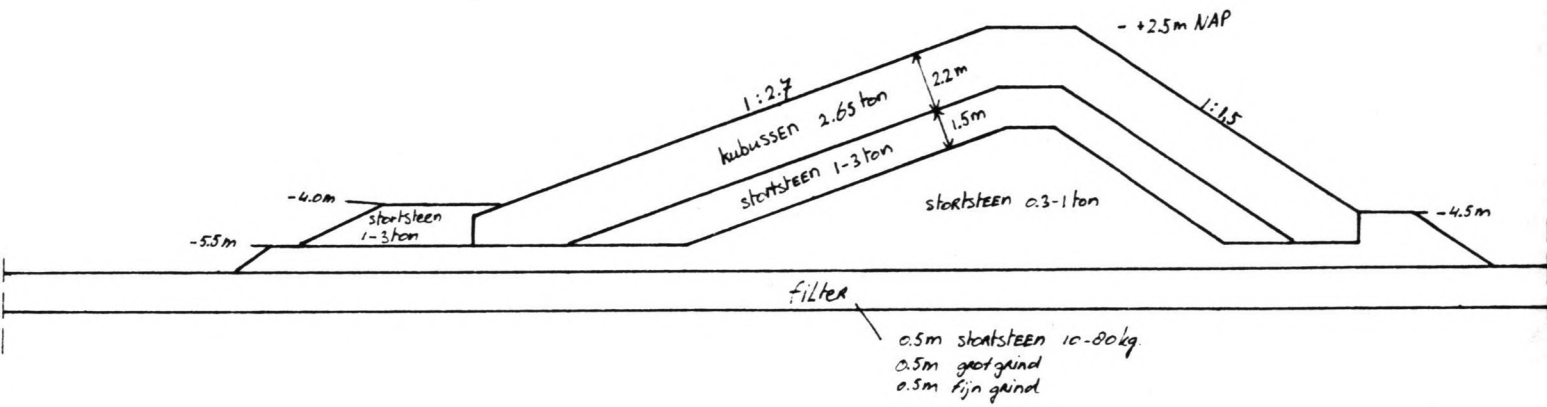


Hs = 4.50m

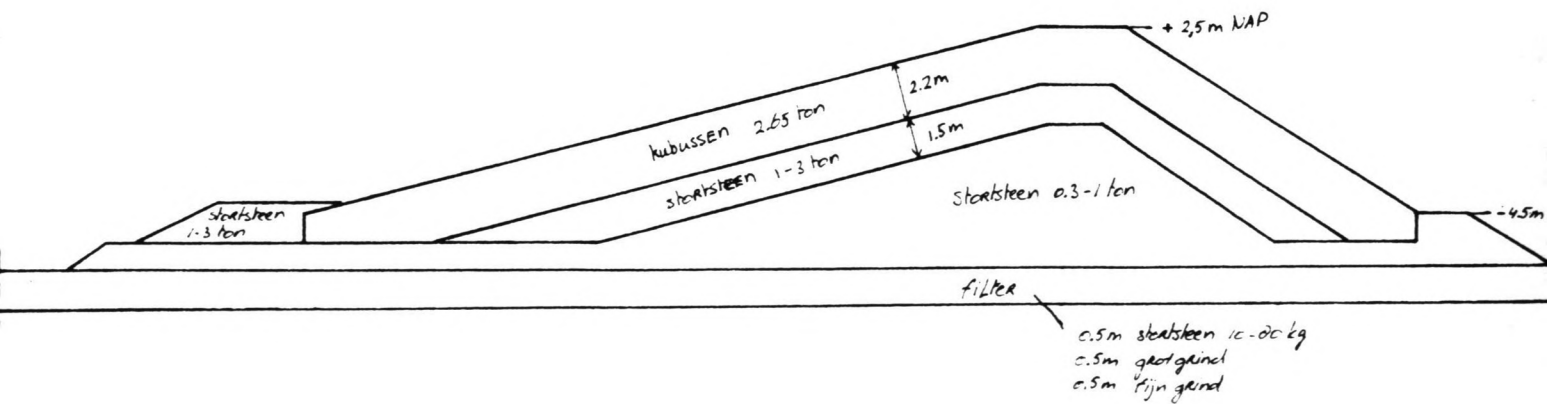


Figuur 1

Hs= 425m



Hs= 475 m



Figuur 2

Ontwerp van golfbreker B4

Met behulp van de uitgangspunten voor het ontwerp zoals die in par. 3.6.3 zijn vermeld wordt een berekening voor de verschillende onderdelen van golfbreker B4 gemaakt.

Allereerst de berekening voor een ontwerpgolfhoogte van 5.75m. In totaal zijn voor dam B4 berekeningen voor 5 ontwerpgolfhoogten gemaakt : 5.25m, 5.75m, 6.2m, 6.4m en 6.6m.

Primary armor : Voor de diepte tot waar de toplaag moet worden doorgezet kan worden berekend dat $H_a = 2 \cdot 5.75 + 0.7 - 3.0 = -9.2\text{m}$ NAP

Met behulp van de formule van Hudson kan nu het gewicht van de primary armor units worden bepaald:

$$W = \frac{\rho_a \cdot H^3}{K_d \cdot \Delta^3 \cdot \cot(a)}$$

waarin : W = gewicht van de blokken (kg)
 ρ_a = soortelijk gewicht van beton (kg/m^3)
 H = ontwerpgolfhoogte (m)
 K_d = schadefactor (-)
 $\Delta = (\rho_a - \rho_w) / \rho_w$
 a = taludhelling

Gebruikmakend van de waarden uit par. 3.6.3, waarin $\rho_a = 2650 \text{ kg/m}^3$, $K_d = 7$, $\Delta = 1.59$ en bij een taludhelling van 1:1.5, levert dit hier $W = 12.3 \text{ ton}$. Dat betekent bij een soortelijk gewicht van 2650 kg/m^3 een ribbe van 1.6m.

De breedte van de kruin kan nu bepaald worden aan de hand van de volgende formule :

$$B = m' \cdot K_{\Delta} \cdot (W / \rho_a)^{1/3}$$

waarin : B = breedte van de kruin (m)
 m' = aantal eenheden in de breedte (-)
 K_{Δ} = pakkingscoëfficiënt (=1.1)
 W = gewicht van de blokken (kg)
 ρ_a = soortelijk massa van beton

Uitgaande van een minimale breedte van 3 eenheden op de kruin, die noodzakelijk is als er overslag optreedt (hetgeen hier het geval is) wordt de breedte van de

kruin B = 5.5m.

De dikte van de toplaag kan berekend worden met :

$$t = m * k_{\Delta} * (W/\rho_a)^{1/3}$$

waarin : t = dikte van de toplaag

m = aantal eenheden

k_{Δ} = pakkingscoëfficiënt

W = gewicht van de eenheden

ρ_a = soortelijke massa van beton

Bij een dikte van 2 kubussen voor de toplaag wordt de dikte 3.70m.

Secondary armor : Voor het ontwerpen van de tweede laag wordt uitgegaan van een storm met een significante golfhoogte van 3.25m. Deze tweede laag moet stormen kunnen trotseren tijdens de aanlegfase.

Een eis voor de grootte van de eenheden van de tweede laag is bovendien dat de eenheden in gewicht meer dan 10% van de toplaag.

De tweede laag wordt aangelegd met stortsteen van 1-6 ton.

Met behulp van de Hudsonformule wordt gevonden dat het gemiddelde gewicht van de stortsteen 3.7 ton dient te zijn.

De dikte van de tweede laag wordt 2.5m.

Op deze manier is het mogelijk om voor verschillende ontwerp golfhoogten en profiel te bepalen. Omdat echter niet zal worden ontgraven en de diepte waarover de primary armor bij de grotere golfhoogten zal moeten worden doorgetrokken groter is dan de beschikbare diepten, dient een teenconstructie te worden aangelegd bij een ontwerp golfhoogte van $H_s = 6.4m$ en $H_s = 6.6m$.

In tabel 1 staan de resultaten van de berekeningen voor de overige golfhoogten getabelleerd. De niet vermelde waarden blijven gelijk aan de waarden die gebruikt zijn in het ontwerp voor de golfhoogte van 5.75m.

Voor de berekening van de aanlegkosten van de profielen is uitgegaan van de prijzen zoals die vermeld staan in tabel 2.

BIJLAGE 20b

golfhoogte	5.25m	6.2m	6.4m	6.6m
diepte toplaag	-8.20m	-10.1m	-10.5m	-10.9m
gewicht toplaag	12.3ton	12.3ton	12.3ton	12.3ton
talud helling	1:1.1	1:1.9	1:2.1	1:2.3
dikte tweede laag	2.8m	2.3m	2.3m	2.2m
teen- constructie	-	-	W = 5.6t hoek 1:5	W = 5.6t hoek 1:5

Tabel 1

	kosten
Primary armor units : (Kubussen 12.3 ton) materiaal plaatsen	300,- / m ³ 15,- / ton
Secondary armor (Stortsteen 1-6 ton)	50,- / ton
Teenconstructie (Kubussen 5.6 ton) materiaal plaatsen	300,- / m ³ 15,- / ton
Kern (Stortsteen 0.3 - 1 ton)	50,- / ton
Filterconstructie (stortsteen 10/80 kg) (grof grind) (fijn grind)	40,- / ton 30,- / ton 30,- / ton

Tabel 2

De aanlegkosten van de verschillende profielen worden nu :

	Hs=5.25m	Hs=5.75m	Hs=6.2m	Hs=6.4m	Hs=6.6m
Primary armor	69m ³ 23.400,-	80m ³ 27.200,-	95m ³ 32.300,-	100m ³ 34.000,-	106m ³ 35.900,-
Secondary armor	86.4m ³ 13.700,-	81.1m ³ 12.900,-	86.4m ³ 13.700,-	75m ³ 11.900,-	78m ³ 12.400,-
Teenconstructie	-	-	-	10.7m ³ 3600,-	12m ³ 4100,-
Kern	238m ³ 23.800,-	248m ³ 24.800,-	278 ³ 27.800,-	281m ³ 28.100,-	311m ³ 31.100,-
Filter stortsteen	47.5m ³ 3800,-	49.5m ³ 4000,-	54m ³ 4300,-	56.5m ³ 4500,-	60.4m ³ 4800,-
grof grind	47.5m ³ 2900,-	49.5m ³ 3000,-	54m ³ 3200,-	56.5m ³ 3400,-	60.4m ³ 3600,-
fijn grind	47.5m ³ 4800,-	49.5m ³ 5000,-	54m ³ 5300,-	56.5m ³ 5700,-	60.4m ³ 6000,-
Totaal	72.400,-	76.900,-	86.400,-	91.200,-	97.900,-

Tabel 3

Per profiel worden nu de schadekosten op jaarbasis berekend, waarbij uitgegaan wordt van een reparatiefrequentie van 1 keer per jaar. Op basis van de overschrijdingsfrequenties van de significante golfhoogten uit figuur 32 kunnen de kansen van optreden van bepaalde golfhoogteklassen worden berekend. De golfhoogte waarvoor de schade steeds berekend is, is het midden van een dergelijke klasse (bv. Hs=5.25m is het midden van de klasse tussen $5.0m < Hs < 5.5m$, die een kans van voorkomen van $6.9 \cdot 10^{-5}$ heeft.) Per klasse kan vervolgens de schadekans worden bepaald bij een reparatiefrequentie van 1 keer per jaar: $p(\text{damage}) = 1 - (1 - dp)^M$. Hierin is M het aantal stormen per jaar. Uitgaande van een gemiddelde stormduur van 6 uur op de Noordzee, wordt $M = 1460$. (bv. voor de eerder genoemde klasse wordt $p(\text{damage}) = 0.0958$) Per klasse wordt bovendien de schadecoëfficiënt bepaald door de formule $(H_s \text{ optredend} / H_s \text{ ontwerp})^3$. Aan de hand van deze coëfficiënt kan de hoeveelheid schade worden bepaald uit lit.16. Nu is het mogelijk om voor een bepaalde storm te berekenen wat de mogelijke schade aan de diverse profielen zal zijn.

BIJLAGE 20b

stormen in Hs	5.25m	5.75m	6.2m	6.4m	6.6m	6.8m	7.0m	
P(Hs)	$6.9 \cdot 10^{-5}$	$2.1 \cdot 10^{-5}$	$5.4 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$0.6 \cdot 10^{-6}$	$0.45 \cdot 10^{-6}$	
P(dam)	0.0958	0.0302	0.0079	0.0023	0.0019	0.0009	0.0007	
Ontwerp 5.25m								
schade factor	1	1.31	1.65	1.81	1.98	2.17	2.37	
% schade	2%	16%	27%	30%	35%	40%	45%	
schade(f)	936	7488	16241	18045	21053	29000	32600	
P*schade	90	226	128	42	40	26	22	574
Ontwerp 5.75m								
schade factor	-	1	1.25	1.38	1.51	1.65	1.80	
% schade	-	2%	16%	19%	21%	27%	30%	
schade(f)	-	1088	8704	10336	12632	16241	18045	
P*schade	-	33	69	24	24	14	12	176
Ontwerp 6.2 m								
schade factor	-	-	1	1.10	1.21	1.32	1.44	
%schade	-	-	2%	10%	15%	17%	20%	
schade(f)	-	-	1292	6460	9690	10982	13800	
P*schade	-	-	10	15	18	10	9	62

BIJLAGE 20b

Ontwerp 6.4 m								
schade factor	-	-	-	1	1.10	1.20	1.31	
%schade	-	-	-	2%	10%	15%	16%	
schade(f)	-	-	-	1360	6800	10200	11560	
P*schade	-	-		3	13	9	8	33
Ontwerp 6.6 m								
schade factor	-	-	-	-	1	1.09	1.19	
%schade	-	-	-	-	2%	10%	15%	
schade(f)	-	-	-	-	1436	7180	10770	
P*schade	-	-	-	-	3	6	7	16

Tabel 4

Uit tabel 4 kunnen de schadekosten worden bepaald. Aan de hand van deze schadekosten kan nu op basis van een rentevoet van 7% en een economische levensduur van 50 jaar de hoeveelheid geld worden berekend die bij de ingebruikname van het project aanwezig moet zijn om reparaties die nodig zijn om de schade na stormen te herstellen te kunnen betalen. Deze 'pwf'-waarde wordt als volgt berekend :

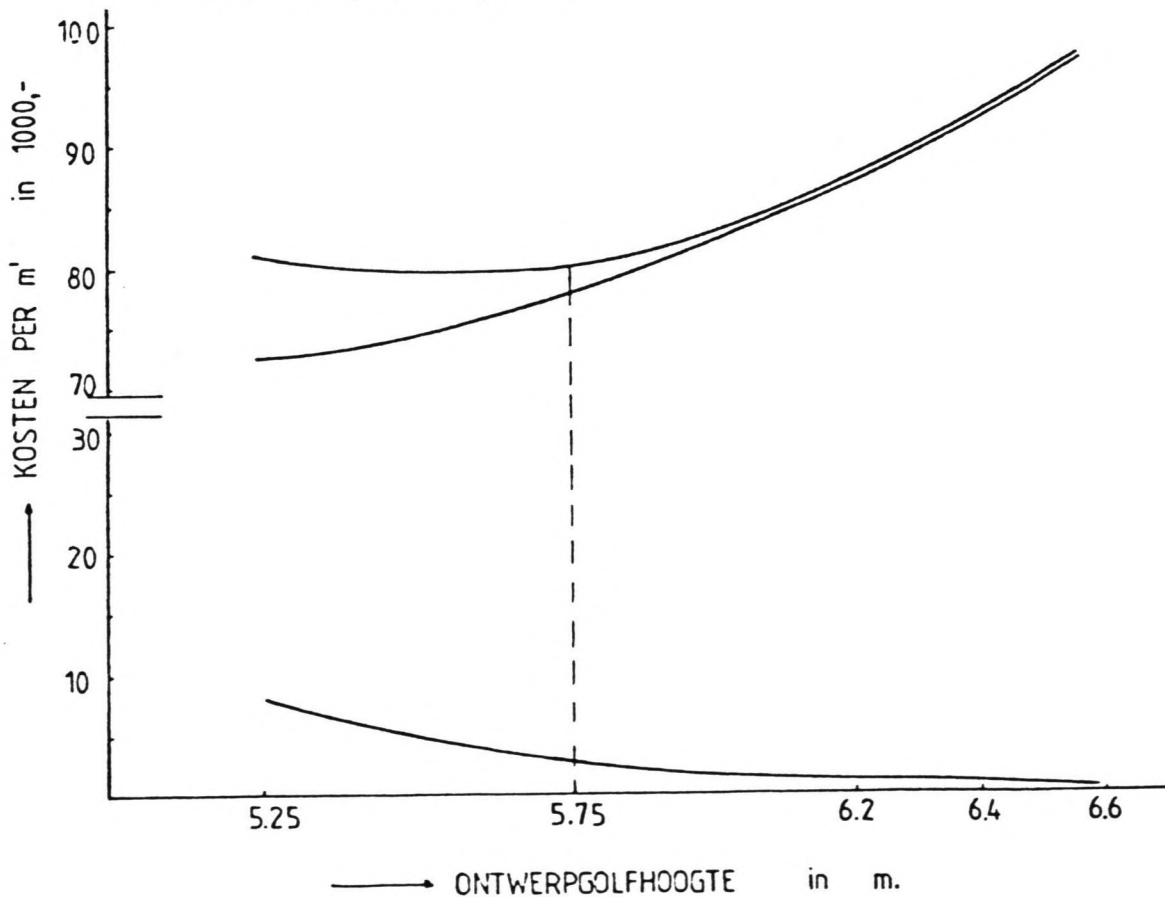
$$pwf = \frac{1.07^{50} - 1}{0.07 * (1.07)^{50}} = 13.8$$

Aan de hand van deze factor is het mogelijk om de totale kosten van het project te berekenen.

ontwerpgolfhoogte	5.25	5.75	6.2	6.4	6.6
jaarlijkse schade	574	176	62	33	16
gekapitaliseerde s.	7900	2400	900	500	200
aanlegkosten	72400	76900	86600	91200	97900
totale kosten	80300	79300	87500	91700	98100

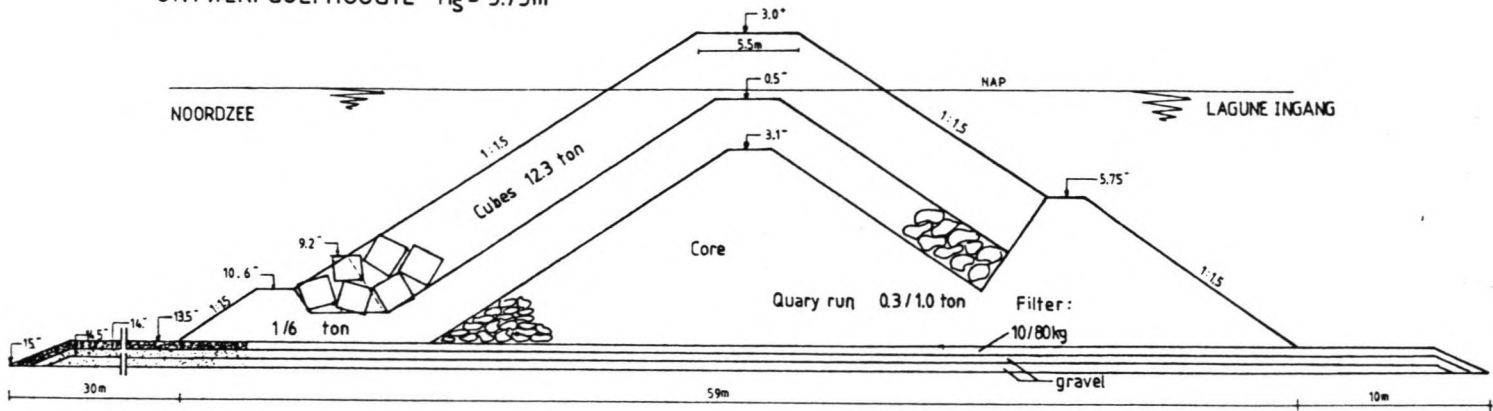
Tabel 5

Uit tabel 5 en in figuur 1 is te zien dat het optimale ontwerp voor het golfbrekerprofiel bij een ontwerphoogte van $H_s = 5.75\text{m}$ ligt. Er is dan ook voor dit profiel gekozen.



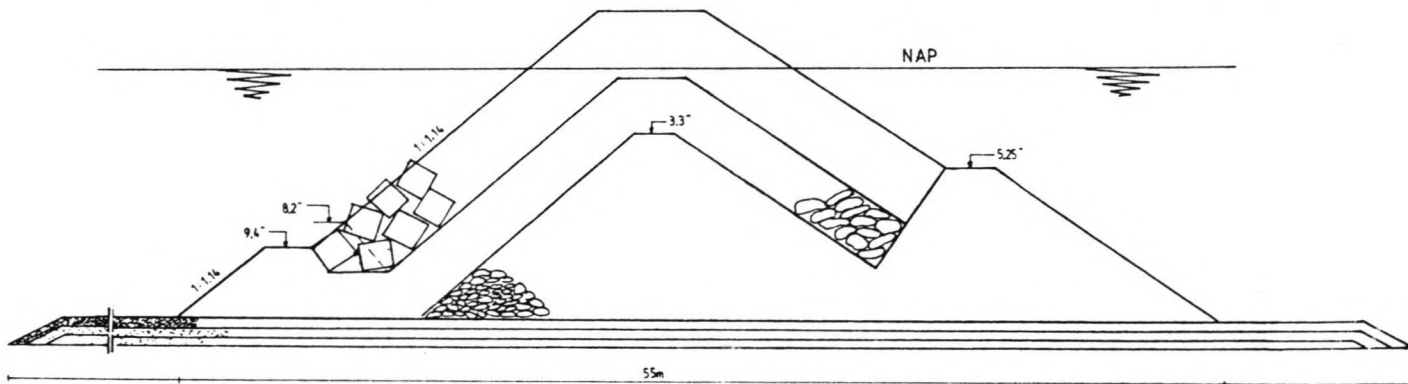
Figuur 1

ONTWERPGOLFHOOGTE $H_s = 5.75\text{m}$



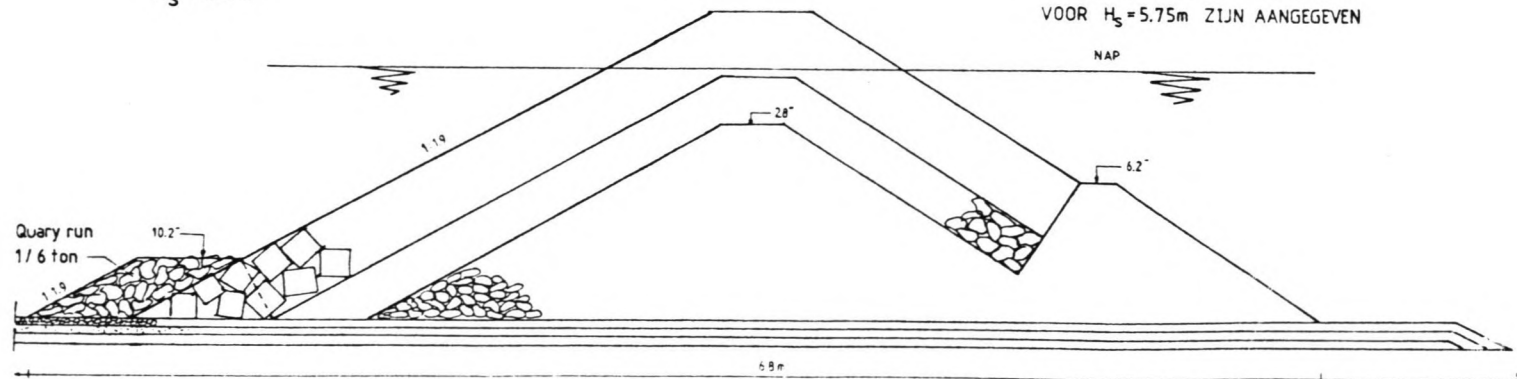
$H_s = 5.25\text{m}$

ALLEEN AFWIJKINGEN TOV ONTWERP
VOOR $H_s = 5.75\text{m}$ ZIJN AANGEGEVEN



$H_s = 6.2\text{m}$

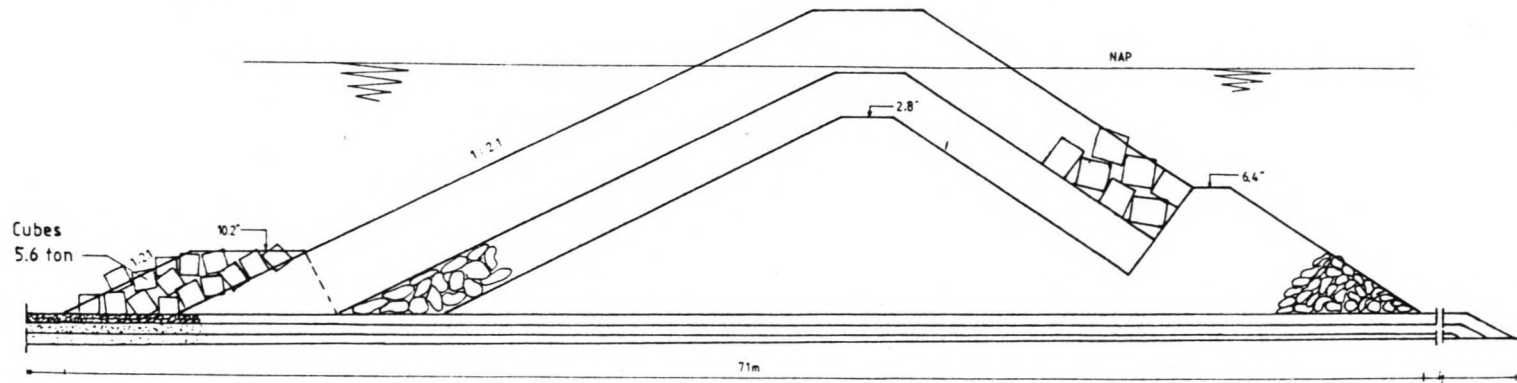
ALLEEN AFWIJKINGEN TOV ONTWERP
VOOR $H_s = 5.75\text{m}$ ZIJN AANGEGEVEN



Figuur 2

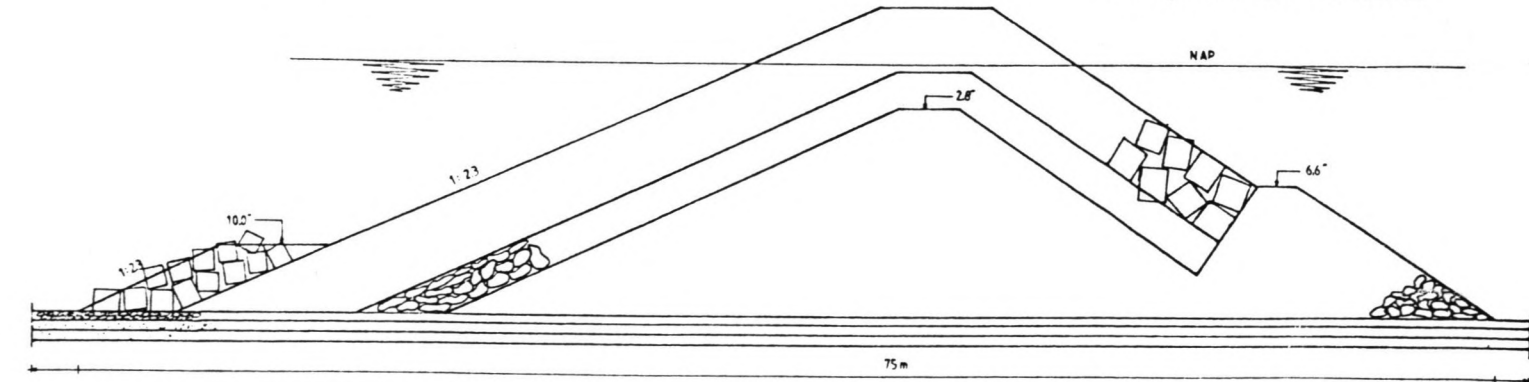
$H_s = 6.4\text{m}$

ALLEEN AFWIJKINGEN TOV ONTWERP
VOOR $H_s = 5.75\text{m}$ ZIJN AANGEGEVEN



$H_s = 6.6\text{m}$

ALLEEN AFWIJKINGEN TOV ONTWERP
VOOR $H_s = 5.75\text{m}$ ZIJN WEERGEGEVEN



Figuur 3

Aanlegkosten van de filterconstructie

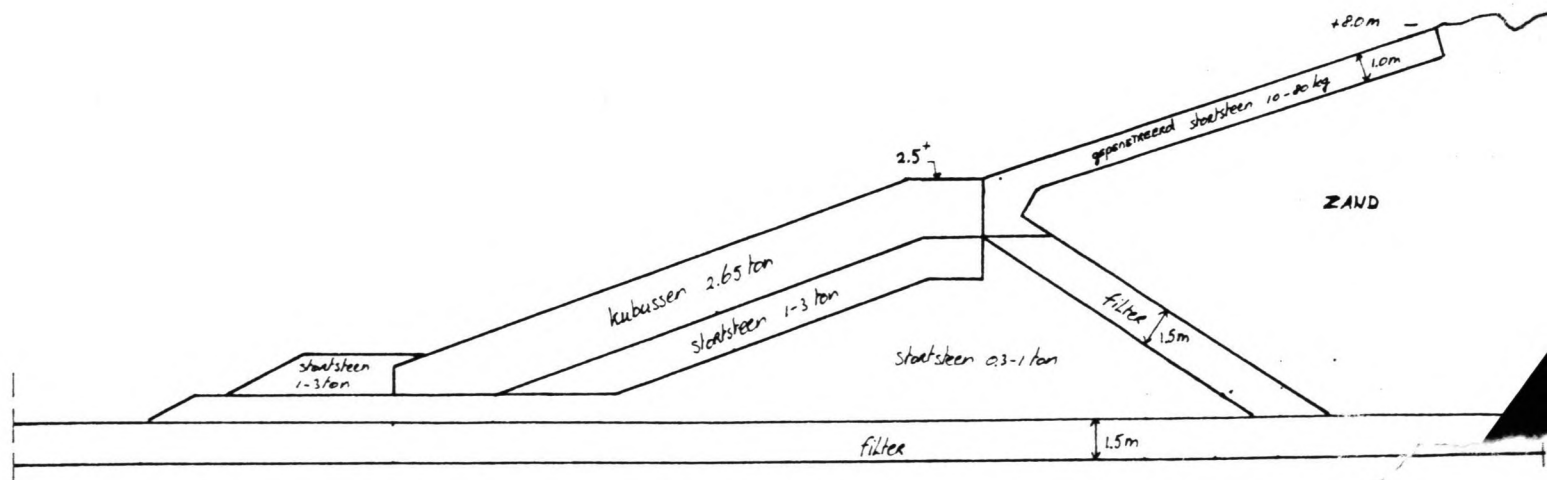
De kostenberekening, die volgt, moet gezien worden als een grove schatting.

De filterconstructie moet aangebracht worden over een lengte van ongeveer 150m tussen de landtong en dam 2. Dam 2 heeft het profiel dat in bijlage 20a bepaald is voor een ontwerp significante golfhoogte van 4.25m. Ter plaatse van de filterconstructie wordt het profiel aangepast (zie figuur 1). Over een lengte van 150m wordt geen stortsteen 1-3 ton en geen betonkubussen geplaatst. In de plaats van de stortsteenlaag 1-3 ton komt stortsteen 0.3-1 ton. Op deze laag wordt de filterconstructie aangebracht. De filter krijgt een dikte van 1.5m en bestaat uit 3 lagen van elk een halve meter dikte.

De drie lagen zijn:

- breuksteen 10-80kg
- grof grind
- fijn grind

Vanaf de kruin van dam 2 tot de kruin van de landtong wordt op het zand een beschermende laag van gepenetreerde stortsteen 10-80kg met een dikte van 1.0m aangebracht onder een helling van 1:3 (zie figuur 1).



Dam 2 met filterconstructie

Figuur 1

Aanlegkosten filterconstructie

- filterlaag

De filterlaag heeft een lengte van 15.3m.

materiaal	laagvolume (m ³)	dichtheid (ton/m ³)	prijs (f/ton)	aanlegkosten (f/m)
breuksteen	7.7	1.7	40	524
grof grind	7.7	1.6	30	369
fijn grind	7.7	1.8	30	417
Totaal				1310

- gepenetreerd stortsteen

De lengte van de laag gepenetreerd stortsteen is 19.0m

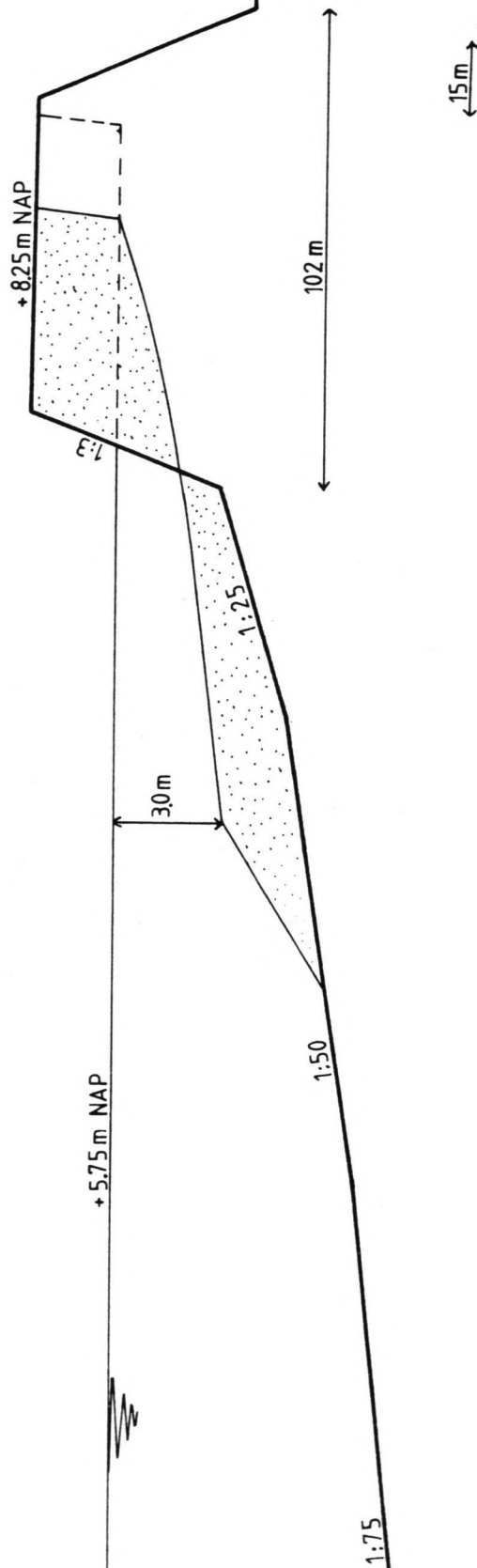
materiaal	laagvolume (m ³)	dichtheid (ton/m ³)	prijs (f/ton)	aanlegkosten (f/m)
asfalt	5.7	2.2	180	2250
breuksteen	19.0	1.7	40	1292
Totaal				4852

De totale aanlegkosten van de filterconstructie bedraagt: f5000,- per strekkende meter.

De reductie in de kosten van dam 2 op de plaats waar de filterconstructie aangelegd zal worden bedraagt: f4200,- per strekkende meter. Dit bedrag zijn de kosten van de primary armor (zie bijlage 20a).

(m) -100 -80 -60 -40 -20 NA

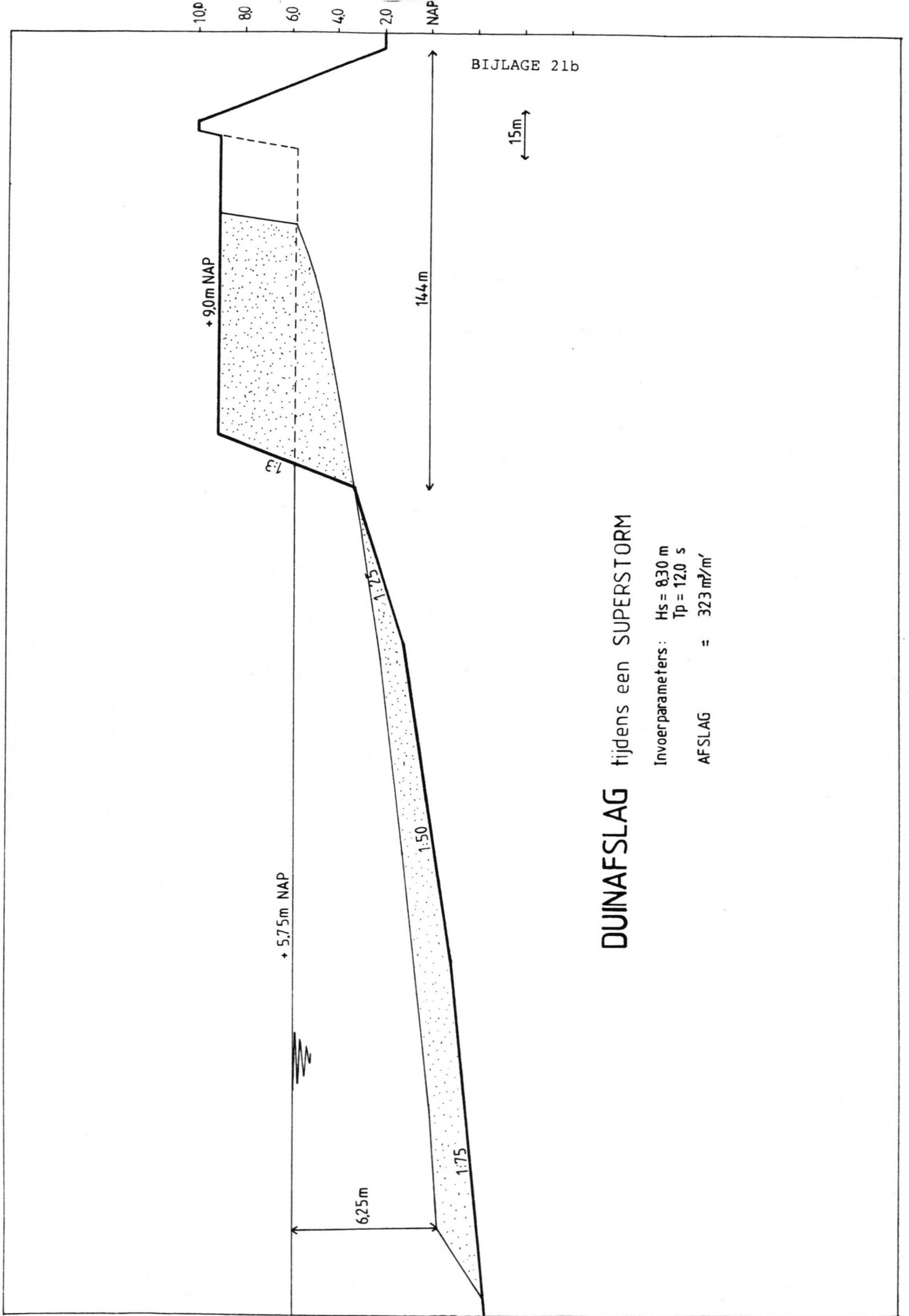
BIJLAGE 21a



DUINAFSLAG tijdens een SUPERSTORM

Invoerparameters: $H_s = 4.0 \text{ m}$
 $T_p = 9.0 \text{ s}$

AFSLAG = $162 \text{ m}^3/\text{m}'$



DUINAFSLAG tijdens een SUPERSTORM

Invoerparameters: $H_s = 8.30 \text{ m}$
 $T_p = 12.0 \text{ s}$

AFSLAG = $323 \text{ m}^3/\text{m}'$

