

Zanddam Zwin

schatting benodigde afmetingen



werkdokument RIKZ/AB/2003.823.x

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

Op 20 minuten loopafstand vanaf station Middelburg richting industriegebied Arnstein of met treintaxi bereikbaar



Aan
Ir. E.J. Blaakman (RWS-ZL)

Contactpersoon
P. Roelse/ T. Walhout

Datum
27 oktober 2003

Nummer
RIKZ/AB/2003.823.x

Onderwerp
Zanddam Zwin; schatting benodigde afmetingen

Doorkiesnummer
0118-672300/233

Bijlage(n)
-

Product
Zeeland* advies

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Bij dreigende verontreiniging van het natuurgebied Het Zwin door naar de kust drijvende olie is afsluiting van de monding met een tijdelijke zanddam een reeds beproefde mogelijkheid.

Als tot de aanleg van een dam wordt besloten moeten er keuzes worden gemaakt voor de locatie en de afmetingen. Deze zijn afhankelijk van de te verwachten waterstands- en golfbelasting op de dam.

Voorkeur heeft een locatie tussen de duinformaties ter weerszijden van de monding (traject A, zie bijlage 1). Hier kan met een relatief korte dam worden volstaan, terwijl het benodigde zand dichtbij kan worden gewonnen. Deze locatie maakt de dam echter kwetsbaar voor golfaanval, zodat de afmetingen van het damprofiel groot moeten zijn. Minder kwetsbaar is een dam achter de monding (trajecten B en C), die daardoor minder zwaar hoeft te zijn dan een dam in de monding. Het nadeel is dat zo'n dam aanzienlijk langer is en een kleiner deel van Het Zwin beschermt, terwijl de beste zandbronnen verder weg liggen.

Omdat bij een dreigende calamiteit snel beslissingen moeten worden genomen, is het nodig van te voren inzicht te hebben in de omvang van de maatregelen, gerelateerd aan de verwachte hydraulische situatie.

1.2 Vraagstelling

De beleidsafdeling AXA van Rijkswaterstaat – Directie Zeeland heeft het Rijksinstituut voor Kust en Zee opdracht gegeven tot het uitvoeren van een "quick-scan". Concrete vragen hierbij zijn:

1. Hoe stabiel is een vrij snel opgetrokken zanddam direct aan zee, als die enige dagen tot weken het zeewater en met name de olie daarin moet keren.

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

2. Welke overwegingen kunnen worden geadviseerd die bepalend zijn voor de keuze tussen aanleg van een zanddam volgens traject A, dan wel volgens traject B en C?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten voor de berekeningen weergegeven, zoals de hydraulische belasting, welke rekenmethodiek is gevolgd en de beperkingen daarvan.

Hoofdstuk 3 is een verkenning, gericht op het beantwoorden van de bovenvermelde vragen met betrekking tot de stabiliteit van een zanddam en de tracékeuze. De beantwoording zelf volgt in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 wordt informatie gegeven voor de operationele beslissingen door het crisisteam voor het Zwin.

Het werkdocument wordt besloten met hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen

2. Uitgangspunten en randvoorwaarden

2.1 Damafmetingen

Uitgangspunt is een eenvoudige zanddam zonder bekleding, verharding of andere denkbare versterkingen. De dam wordt met behulp van vrachtwagens en bulldozers opgeworpen en aangedrukt.

De kruinhoogte varieert van NAP +3 m tot NAP + 7 m. Voor de kruinbreedte wordt gedacht aan 0 tot 8 m. De taludhellingen zijn 1:1.

2.2 Faalmechanisme(n)

Binnen de opdracht mag worden verondersteld dat de stabiliteit van de zanddam alleen wordt bepaald door afslag. Dit betekent dat instabiliteit door verweking niet wordt beschouwd, hoewel daar gezien de steile taluds wel zorg om kan bestaan.

Golfoverslag kan eveneens tot bezwijken leiden voordat de afslagrand het binnentalud heeft bereikt. In de Leidraad Duinafslag van de TAW wordt daarom een grensprofiel geëist, afhankelijk van golfhoogte en -periode en met een hoogte van minimaal 2,5 m. Een dergelijk minimum is bedoeld voor primaire waterkeringen onder extreme omstandigheden. Omdat toch enig profiel moet resteren om doorbraak te voorkomen is voor "normale" omstandigheden voorlopig uitgegaan van een vereist restvolume boven stormvloedpeil van 2 m³, gebaseerd op een waakhoogte van 1 m en een kruinbreedte van 1 m.

Bij kalme zee zal de kruin iets boven de verwachte waterstand moeten worden aangebracht om waterstandfluctuaties en kleine golfjes te kunnen opvangen. Mede op grond van de ervaring tijdens de proefafdamming door TAW in 1995 wordt een minimale waakhoogte van ca. 0,3 m aanbevolen. De kruinbreedte moet in dat geval niet te klein zijn, o.a. om zettingsvloeiing van het binnentalud te voorkomen (minimaal 2 m?).

2.3 Hydraulische belasting

Als richtpunt voor de maximaal te beschouwen belasting is de hoogste stormvloed van 26 februari 1990 genomen, één uit de reeks "Crocus-stormen". Deze stormvloed heeft een kans van ca. 1 maal per 15 jaar. Op grond hiervan zijn stormvloedfrequenties beschouwd tussen 10 en 1/20 per jaar. Gaat men er vanuit dat de dam 2 à 3 weken moet functioneren en dat het optreden van een calamiteit en een stormvloed onafhankelijk is, dan is de kans op het samentreffen van storm en calamiteit ca. 5%. De kans van samentreffen bij de genoemde overschrijdingskansen is dus 0,25 à 50%. Hierbij moet bedacht worden dat de hogere stormvloeden vrijwel alle in de winterperiode voorkomen (oktober t/m maart). Onder de lagere stormvloeden zitten ook zomerstormen.

Indien niet met stormopzet moet worden gerekend is het astronomisch hoogwater een richtpunt. Dit bedraagt bij Cadzand gemiddeld NAP +1,95 m en bij springtij NAP +2,36 m.

Tabel 1 geeft de beschouwde stormvloedfrequenties weer met de hydraulische randvoorwaarden.

De stormvloedstanden zijn ontleend aan Philippart e.a. (1995). Om de hierin genoemde waterstanden op peildatum 1985 te herleiden naar het heden is voor hoogwaterstijging 0,05 m toegevoegd.

De vermelde stormopzetten betreffen een astronomisch springtij. Voor de lage frequenties zal dat een vrij goed beeld geven, omdat de kans op een hoge waterstand bij doortij dan zeer klein is. Voor de hoge frequenties is de kans groot dat de

hoogwaterstand tevens kan worden bereikt door een laag astronomisch getij en een hoge stormopzet. Dit betekent dat bij een lage stormvloedstand zowel lage als hoge opzetten mogelijk zijn en dus ook een kleine en een grote golfaanval.

De golfhoogten en -perioden zijn afgeleid van De Ronde e.a. (1995) met behulp van relaties uit Ebbens en Roelse (1982). Voor de golfperiode is uitgegaan van een piekperiode van 11 seconden bij ontwerpomstandigheden. Dit betekent dat de in Ebbens en Roelse vermelde "gemiddelde" periode met 50% moet worden verhoogd. Omdat de invloed van de lokaal opgewekte golven toeneemt bij normale stormomstandigheden, is dit percentage verminderd naar nul bij een frequentie van 10 maal per jaar.

In DUROSTA is alleen de waterstand buiten de kustlijn gedurende het getij gevarieerd. Aannemelijk is dat de golfhoogte en -periode tijdens laagwater kleiner zijn dan tijdens hoogwater. Omdat de waterdiepte voor de zanddam vrij gering is zal de golfhoogte grotendeels diepte-afhankelijk zijn. DUROSTA zal de golfhoogte daar dus wel laten variëren, ook al wordt buiten de kustlijn en constante hoogte ingevoerd.

Tabel 1. Hydraulische randvoorwaarden Cadzand

Frequentie (per jaar)	SVP (2000) (m NAP)	Stormopzet bij Springtij (m)	Hs ¹⁾ (m)	Tp ¹⁾ (s)
10	+2,40	0,04	1,80	5,0
5	+2,75	0,39	2,30	5,9
2	+3,00	0,69	2,75	6,6
1	+3,15	0,77	2,92	6,9
5*10 ⁻¹	+3,30	0,89	3,25	7,4
2*10 ⁻¹	+3,50	1,12	3,50	7,9
1*10 ⁻¹	+3,70	1,29	3,70	8,3
5*10 ⁻²	+3,90	1,46	3,80	8,6

1) ter plaatse van de meetpaal Cadzand, bodemdiepte ca. NAP-10 m.

2.4 Duinafslagmodel

Gerekend is met DUROSTA, een tijdsafhankelijk model voor duinafslag tijdens stormvloeden. Voor de tijdreeksen van de waterstanden is de stormvloed van 27/28 februari 1990 als model genomen. Voor de in tabel 1 genoemde fictieve stormvloeden is deze storm verschaald aan de hand van de stormopzet.

DUROSTA heeft enkele beperkingen:

- Het is een 1-lijnmodel. Dat wil zeggen dat gerekend wordt langs één bodemprofiel. Effecten van afwijkende golfontwikkeling naast deze lijn worden niet meegenomen. Het is daarom zonder nadere studie van refractie en diffractie niet mogelijk een zinvolle berekening te maken voor locatie C.
- De golfontwikkeling wordt gesimuleerd met ENDEC. Hierbij wordt de golfperiode constant gehouden. Dit leidt waarschijnlijk tot een overschatting van de afslag.
- DUROSTA is afgeregeld op het afslagvolume, niet op de profielvorm. Met name het profieldeel boven rekenpeil heeft soms een onlogische vorm. Door TAW wordt voorlopig een duinfronthelling van 1:1 zodanig gepositioneerd dat de afslaghoeveelheid boven stormvloedpeil overeenkomt. Deze methode is ook hier gehanteerd.

2.5 Dam C en de eventuele verbindingsdam B-C

Voor de golfbelasting op dam C kan niet worden volstaan met een DUROSTA-berekening. De dam ligt in de luwte, zodat met een geavanceerd golfmodel (bijv. SWAN) via o.a. refractie en diffractie de juiste golfkarakteristieken moeten worden vastgesteld. Dit past niet in een quick-scan.

Omdat dam B geen alternatief is zonder dam C is dezerzijds de benodigde kruinbreedte arbitrair vastgesteld op de helft van de kruinbreedte van Dam B. Voor de kruinbreedte van dam B-C is het gemiddelde van de dammen B en C aangehouden, dus 75% van de kruinbreedte van dam A.

3. Rekenresultaten verkenning damafmetingen

3.1 damprofielen

In de tabellen 2 en 3 zijn per stormvloedfrequentie en per kruinhoogte de berekende kruinbreedten gegeven voor de locaties A en B. Hierbij is zonedig uitgegaan van het eerder genoemde minimale restvolume van 2 m³ boven de stormvloedstand.

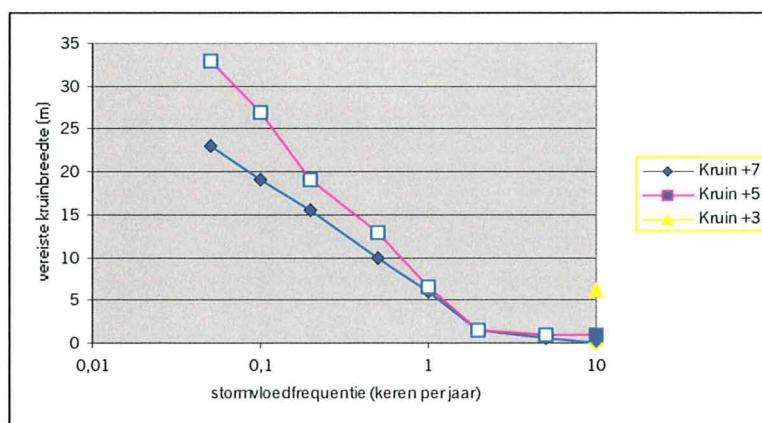
De figuren 1 en 2 geven de informatie grafisch weer.

Tabel 2. Kruinbreedten (m) zanddam locatie A

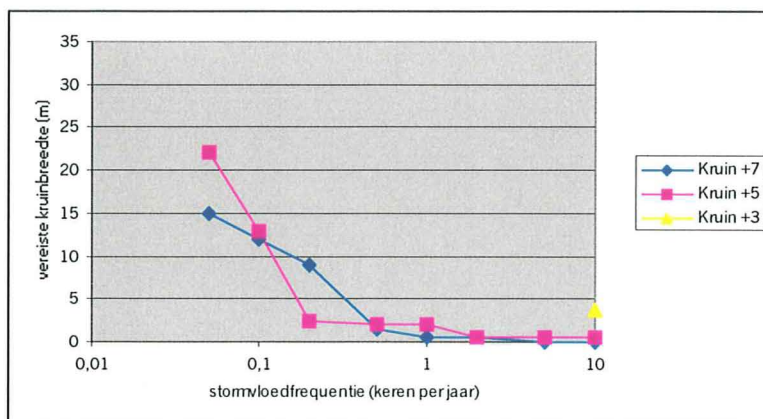
Frequentie (per jaar)	SVP (NAP)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP + 7 m
10	+2,40	6,2	1	0
5	+2,75	Waakhoogte <0,3m	1	0,5
2	+3,00	Overlopen	1,5	1,5
1	+3,15	"	6,5	6
5*10 ⁻¹	+3,30	"	13	10
2*10 ⁻¹	+3,50	"	19	15,5
1*10 ⁻¹	+3,70	"	27	19
5*10 ⁻²	+3,90	"	33	23

Tabel 3. Kruinbreedten (m) zanddam locatie B

Frequentie (per jaar)	SVP (NAP)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP + 7 m
10	+2,40	3,7	0,5	0
5	+2,75	Waakhoogte <0,3m	0,5	0
2	+3,00	overlopen	0,5	0,5
1	+3,15	"	2	0,5
5*10 ⁻¹	+3,30	"	2	1,5
2*10 ⁻¹	+3,50	"	2,5	9
1*10 ⁻¹	+3,70	"	13	12
5*10 ⁻²	+3,90	"	22	15



Figuur 1. Berekende kruinbreedten dam A



Figuur 2. Berekende kruinbreedten dam B

Opmerkingen:

1. Bovenstaande damafmetingen gelden vooral voor stormomstandigheden. Gezien de korte tijd dat een dam moet functioneren is te overwegen de dam bij aanleg minimale afmetingen te geven, afgestemd op de dan heersende omstandigheden. Bij een toenemende golf- en waterstandbelasting kan de dam naar behoefte worden verzwaaard. De zandbronnen moeten dan wel bereikbaar zijn.
2. Het steile buitentalud is zeer ongunstig voor de afslag. In de geul op NAP + 0,5 m wordt snel een strandje gevormd met zand van de dam. Hierbij zal ook enige vereffening in lengterichting plaatsvinden vanaf de aanliggende stranden. De vereffening en het verschil in kruinbreedte kunnen eventueel worden voorkomen door ter plaatse van de geul een flauwer buitentalud aan te brengen.
De berekeningen zijn uitgevoerd voor het profiel in de geul. Voor de aangrenzende damtrajecten over het hogere strand kan dus met een smallere kruin worden volstaan. Voorlopig is voor een grove schatting van het grondverzet gerekend met een uniform damprofiel over de gehele lengte.
3. Opvallend is in tabel 3 (figuur 2) dat bij $f = 2 \cdot 10^{-1}$ de afslag bij een kruin op NAP +5 m kleiner is dan bij een kruin op NAP + 7m. Aan de bodemontwikkeling is te zien dat wellicht golfreflectie in het spel is.

3.2 Grondverzet

Voor een indruk van het grondverzet zijn de gegevens van de tabellen 2 en 3 grofweg omgerekend naar daminhouden. Hierbij is gerekend met:

Dam A:

Lengte op bodem NAP +0,5 m = 50 m; lengte op bodem NAP + 2 m = 100 m

Dam B:

Lengte op bodem NAP +0,5 m = 50 m; lengte op bodem NAP + 2 m = 50 m

Dam C:

Lengte op bodem NAP +0,5 m = 25 m; lengte op bodem NAP + 2 m = 75 m

Dam B-C:

Lengte op bodem NAP + 2 m = 250 m

Uitgaande van de voor de dammen A en B berekende kruinbreedten en de aannamen hiervoor voor de dammen C en B-C, zijn de daminhouden berekend. De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 4 t/m 7 en de figuren 3 t/m 5.

Tabel 4. Inhouden (m³) zanddam locatie A

Frequentie (per jaar)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP +7 m
10	1808	2438	4613
5	Geen optie	2438	5025
2	"	2700	5850
1	"	5325	9563
5*10 ⁻¹	"	8738	12863
2*10 ⁻¹	"	11888	17400
1*10 ⁻¹	"	16088	20288
5*10 ⁻²	"	19238	23588

Tabel 5. Inhouden (m³) zanddam locatie B

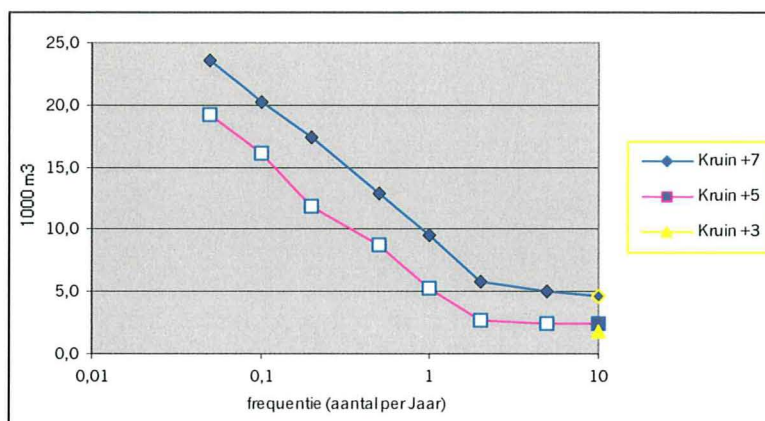
Frequentie (per jaar)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP +7 m
10	1010	1650	3363
5	Geen optie	1650	3363
2	"	1650	3650
1	"	1650	3650
5*10 ⁻¹	"	1838	4225
2*10 ⁻¹	"	2400	5663
1*10 ⁻¹	"	2681	10263
5*10 ⁻²	"	5850	11988

Tabel 6. Inhouden (m³) zanddam locatie C

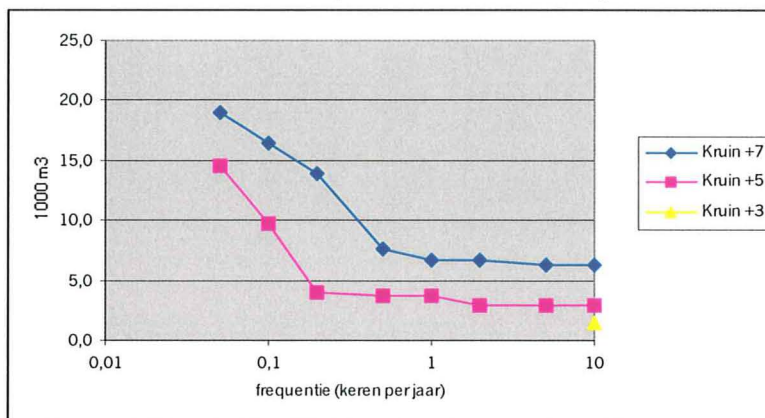
Frequentie (per jaar)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP +7 m
10	486	1266	2931
5	Geen optie	1266	2931
2	"	1266	3066
1	"	1266	3066
5*10 ⁻¹	"	1350	3334
2*10 ⁻¹	"	1603	4006
1*10 ⁻¹	"	1730	6156
5*10 ⁻²	"	3156	6963

Tabel 7. Inhouden (m³) zanddam locatie B-C

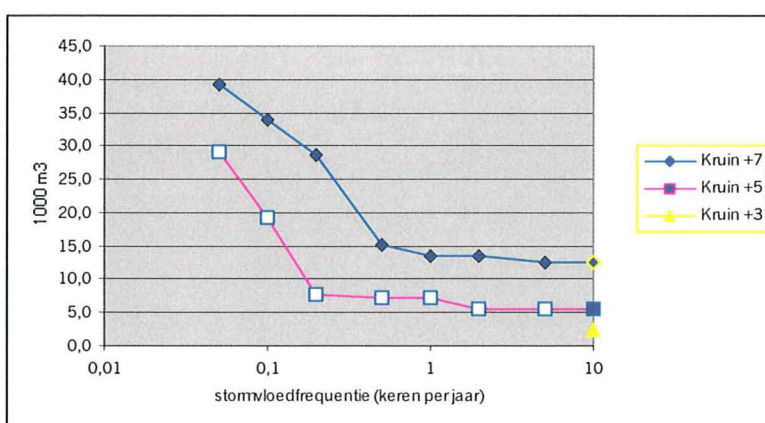
Frequentie (per jaar)	NAP + 3 m	NAP + 5 m	NAP +7 m
10	944	2531	6250
5	Geen optie	2531	6250
2	"	2531	6719
1	"	3375	6719
5*10 ⁻¹	"	3375	7656
2*10 ⁻¹	"	3656	14688
1*10 ⁻¹	"	9563	17500
5*10 ⁻²	"	14625	20313



Figuur 3. Volume zanddam locatie A bij diverse stormvloedfrequenties



Figuur 4. Volume zanddam locatie B+C bij diverse stormvloedfrequenties



Figuur 5. Volume zanddam locatie B+C+(B-C) bij diverse stormvloedfrequenties

4. Beantwoorden vragen

4.1 Vraag 1: Stabiliteit

Een dam met een kruin op NAP +3 m heeft een grote kans op doorbraak ten gevolge van overlopen. Alleen bij waterstanden die vaker dan 5 keer per jaar voorkomen treedt geen overlopen op.

Bij een stormvloedfrequentie van ca. 2 maal per jaar en groter speelt afslag van dam A (kruin op NAP +5 of +7 m) door golven nog een ondergeschikte rol. Bij dam B is dat bij een frequentie van 1 maal per 2 à 5 jaar. De kruinbreedte van dam A kan bij een hoogwatersituatie van 2 maal per jaar 1,5 m of minder zijn; bij dam B zelf 0,5 m of minder.

Bij dam A neemt de vereiste kruinbreedte duidelijk toe bij een stormvloedfrequentie van 1 maal per jaar, bij dam B is dat ca. 1 maal per 2 jaar.

Voor het keren van een flinke stormvloed, zoals de "Crocusstorm" van 1990 is bij de gegeven hoogten een zeer brede kruin nodig: 25 à 35 m bij dam A en 15 à 25 m bij dam B.

Door een simpele bekleding van de dam, bijvoorbeeld met kunstofdoek en alleen bij de geulen, is wellicht aanzienlijk op de dambreedte (en dus op het zandverzet) te besparen. Gezien de mate van afslag en de benodigde lengte ligt zo'n aanvullende maatregel eerder in de rede bij dam A dan bij het traject B + C + (B-C).

4.2 Vraag 2: Keuze tracé

Hieronder volgen enkele overwegingen ten aanzien van de tracékeuze:

a. Kosten

daminhoud

Aannemelijk is dat bij een tracé achter de monding de drie dammen (B, C en B-C) alle nodig zijn; de kering zal gesloten moeten zijn. De totale lengte komt dan op 450 m. Dat is aanzienlijk meer dan de 150 m lengte van dam A.

Met name de lengte bepaalt het grondverzet. De inhoud van een dam achter de monding is hierdoor ca. tweemaal zo groot als van een dam in de monding.

Indien slechts een normaal hoogwater moet worden gekeerd is de hulpdam B-C wellicht niet nodig. In dat geval vervalt het voordeel van dam A (figuur 4).

grondverzet

Behalve van de daminhoud is het grondverzet ook afhankelijk van de aanvoerroute. Er vanuit gaande dat de grootste zandbron het strand is, betekent een tracé achter de monding een hogere m3-prijs. Behalve bij de aanleg speelt dit ook een rol bij het opruimen van de dam.

b. Natuurbelang

Beschermde oppervlakte

Bij een dam achter de monding zal een deel van Het Zwin niet worden beschermd.

Behalve de vervuiling door olie zal een vrij grote oppervlakte worden verstoord door de aanleg en het opruimen. Omdat de werken voor het grootste deel in het zandige intergetijdegebied plaatsvinden, mag verwacht worden dat de natuurlijke dynamiek de sporen kort na het verwijderen van de dam weer zal hebben uitgewist.

Kwaliteit verstoord gebied

De kans dat waardevolle vegetatie verloren gaat door de werkzaamheden is bij een dam door het natuurgebied achter de monding aanzienlijk groter dan bij een dam in de monding.

Doorbraakkans

Met de aanleg van een tijdelijke zanddam zal enig risico genomen moeten worden. Hoewel bij verslechterende omstandigheden het versterken van de dam tot de mogelijkheden behoort, kan het weer altijd voor verrassingen zorgen. In zo'n situatie is een korte dam altijd gunstiger dan een lange dam. De bewaking is eenvoudiger en versterking van de dam vergt minder zand.

5. Informatie voor beslissingen crisisteam

5.1 Gemiddelde kruinhoogte en breedte dam A bij "normale" stormen

De beslissing voor de tracé-keuze en de aanleghoogte zal worden gebaseerd op de verwachting van de waterstanden en de golfafmetingen. Hieruit kan met DUROSTA de afslag van de (een) dam worden berekend. Uitgaande van een kruinhoogte volgt hieruit de bijbehorende kruinbreedte.

Omdat bij een calamiteit de mogelijkheden beperkt zijn om snel de benodigde berekeningen uit te voeren volgt hier een voorbeeld van gebruiksgerede informatie, uitgaande van een verschillende waterstandfrequenties.

Het stormvloedpeil (SVP), de golfhoogte (Hs) en de golfperiode (Tp) bepalen de minimale kruinhoogte (Kmin).

De waakhogte (w, hoogte kruin t.o.v. SVP) kan bijvoorbeeld worden berekend met Hs en Tp in de Wielingen volgens de formule uit de Leidraad Duinafslag. Voor dam A komt dat grofweg neer op de golfhoogte aan de teen van de dam. Uitgaande van de hydraulische randvoorwaarden volgens tabel 1 is in tabel 8 Kmin voor dam A gegeven volgens de Leidraad-formule. Door interpolatie van de gegevens in tabel 2 is een globale schatting van de vereiste dambreedte bepaald.

Tabel 8. Minimale kruinhoogte dam A

Frequentie (per Jaar)	SVP (m NAP)	Hs in Wielingen (m)	Tp (s)	w *) (m)	Kmin (m NAP)	Bmin (m)
10	+2,40	1,80	5,0	0,80	+3,20	6
5	+2,75	2,30	5,9	1,07	+3,82	6
2	+3,00	2,75	6,6	1,31	+4,36	7
1	+3,15	2,92	6,9	1,41	+4,59	9
$5 \cdot 10^{-1}$	+3,30	3,25	7,4	1,60	+4,90	13
$2 \cdot 10^{-1}$	+3,50	3,50	7,9	1,77	+5,30	18,5
$1 \cdot 10^{-1}$	+3,70	3,70	8,3	1,92	+5,62	24,5
$5 \cdot 10^{-2}$	+3,90	3,80	8,6	2,01	+5,88	29

) $w = 0,12 T_p^(H_s)^{0,5}$, waarin Tp en Hs op relatief diep water

Opm.: De minimale waarde $w = 2,5$ m voor extreme stormvloeden wordt hier niet geacht van toepassing te zijn.

De gegevens in tabel 8 zijn gebaseerd op een gemiddelde relatie tussen golfafmetingen en stormopzet, die door Ebbens en Roelse (1982) is afgeleid voor normale stormvloeden. In de praktijk zal bij verwachtingen van waterstand en golven niet een gemiddelde relatie worden gehanteerd, maar reële verwachtingswaarden. Zeker bij de lagere waterstanden kunnen deze aanzienlijk afwijken van de gemiddelde relatie voor stormvloeden.

5.2 beslisinstrument voor verschillende stormomstandigheden

Combinatie van astronomisch getij en stormopzet

De afslag van een zanddam wordt bepaald door het verloop van de waterstand en de golfbelasting. Het waterstandverloop hangt af van het astronomische getij en de

stormopzet. De stormopzet en de golfbelasting zijn via de wind aan elkaar gerelateerd, zij het met een grote spreiding.

Wordt een maximale stormvloedstand gevormd tijdens springtij (combinatie a), dan is een kleine stormopzet nodig in vergelijking met doottij (combinatie b). Hierdoor is het waterstandsverloop anders. Bij doottij en een grote stormopzet zal de gemiddelde waterstand van het hoogste getij hoger zijn dan bij een springtij met een kleinere stormopzet. Bovendien is bij een grotere stormopzet de golfbelasting groter.

Oriënterende berekeningen geven aan dat combinatie b een aanzienlijk grotere afslag geeft dan combinatie a. De informatie zoals gegeven in tabel 8 heeft dus maar een beperkte waarde.

Beslisinstrument

Om voor een bepaalde golf- en waterstandverwachting snel de juiste damafmetingen te kunnen bepalen zou men moeten beschikken over informatie (tabellen of grafieken) zoals gegeven in tabel 8, voor verschillende astronomische getijden. Zowel voor dam A, als voor dam B + C + (B-C) zijn hiervoor aanvullende berekeningen nodig. Om voor de damtrajecten B, C en (B-C) een betrouwbare set gegevens op te leveren is het aan te bevelen om de golfdoordringing nader te beschouwen.

Praktische benadering Dam A

Alvorens te concluderen over de noodzaak van veel extra berekeningen is getracht een indruk te verkrijgen van de diverse combinaties van astronomisch getij en storm(wind)opzet. Hiervoor is de volgende methode gehanteerd.

a. Relaties uit metingen (tussen gemiddeld tij en springtij)

1. Om voor doottij, gemiddeld getij en springtij een schatting te maken van de damafmetingen zijn aan de hand van Ebbens en Roelse (1982) H_s en T_p uitgedrukt als functie van de stormopzet. Vanuit de veronderstelling dat deze relatie geldt voor springtij bij hoge waarden en voor doottij bij lage waarden, is hiervoor eerst een relatie gelegd tussen de stormopzet en het stormvloedpeil. De astronomische waarden zijn toegepast, verlopend van gemiddeld getij naar gemiddeld springtij.
2. Vervolgens is met de formule uit de Leidraad Duinafslag de waakhogte berekend.
3. De uitkomsten van de geïnterpoleerde DUROSTA-berekeningen (tabel 8) zijn uitgedrukt als functie van de waakhogte.

b. Doorvertaling naar verschillende getijomstandigheden (dood-, gem. en spring-).

4. Met deze functie zijn voor de diverse stormvloedstanden de kruinbreedten voor doottij, gemiddeld tij en springtij berekend.
5. Aan de hand van extra DUROSTA-berekeningen voor een gemiddelde stormvloedstand bij doottij en bij springtij zijn de uitkomsten van punt 4 gecorrigeerd.
6. Met de stormvloedstand en de waakhogte is de minimum kruinhoogte berekend.

In tabel 9 zijn de resultaten van de praktische benadering vermeld voor waterstandintervallen van 0,5 m.

Praktische benadering dammen B en C

Voor de berekening van de minimale kruinhoogte zijn de volgende aannamen gedaan:

- Gezien het uitgestrekte hooggelegen voorland heeft zich een golfveld ingesteld, waarbij $H_s = 0,5 D$ (D is waterdiepte). Deze golf wordt maatgevend gesteld.
- Omdat de hoogste golven ruim voor de dam zijn gebroken zal de piekperiode T_p afnemen. Omdat voor zo'n specifieke situatie geen goede rekenmethode beschikbaar is, is arbitrair de reductie van de maatgevende T_p gesteld op 15%.

- De golf- en waterstandbelasting is verdisconteerd in de minimale kruinhoogte. Uit de berekeningen voor dam A is een lineaire relatie afgeleid tussen kruinhoogte en dambreedte. Uit een verificatie met de berekeningen van dam B blijkt dat de toepassing hiervan voor dam B verantwoord is.
- Omdat dam C door zijn ligging in de luwte van het duin aanzienlijk minder golfaanval zal moeten opvangen dan Dam B, is de benodigde dambreedte gesteld op de helft van dam B. Uitgangspunt is dat de kruin dan wel even hoog moet zijn als bij dam B.

De tabellen 10 en 11 geven de resultaten weer voor de dammen B en C.

Tabel 9. Afmetingen dam A bij verschillende getij omstandigheden.

SVP (m NAP)	Stormopzet (m)			Minimum Kruinhoogte (m + NAP)			Kruinbreedte (m)		
	dood	gem	spring	dood	gem	spring	dood	gem	spring
2	0,55	0,05	-0,36	3,0	2,3*)	2,3*)	10	6	3
2,5	1,05	0,55	0,14	4,1	3,5	2,8	12	6	3
3	1,55	1,05	0,64	5,2	4,6	4,1	30	12	3
3,5	2,05	1,55	1,14	6,3	5,7	5,2	47	30	15
4	2,55	2,05	1,64	7,3	6,8	6,3	63	47	33
4,5	3,05	2,55	2,14	8,3	7,8	7,4	78	63	50

*) minimale waakhogte van 0,3 m

Tabel 10. Afmetingen dam B bij verschillende getij omstandigheden (grove schatting).

SVP (m NAP)	Stormopzet (m)			Minimum Kruinhoogte (m + NAP)			Kruinbreedte (m)		
	dood	gem	spring	dood	gem	spring	dood	gem	spring
2	0,55	0,05	-0,36	2,5	2,3	2,3*)	5	3	2
2,5	1,05	0,55	0,14	3,2	3,1	2,9	5	3	2
3	1,55	1,05	0,64	3,9	3,8	3,7	8	3	2
3,5	2,05	1,55	1,14	4,6	4,5	4,4	18	13	6
4	2,55	2,05	1,64	5,3	5,2	5,1	29	23	17
4,5	3,05	2,55	2,14	5,9	5,8	5,8	40	33	27

*) minimale waakhogte van 0,3 m

Tabel 11. Afmetingen dam C bij verschillende getij omstandigheden (grove schatting).

SVP (mNAP)	Stormopzet (m)			Minimum Kruinhoogte (m + NAP)			Kruinbreedte (m)		
	dood	gem	spring	dood	gem	spring	dood	gem	spring
2	0,55	0,05	-0,36	2,5	2,3	2,0*)	3	1	1
2,5	1,05	0,55	0,14	3,2	3,1	2,9	3	1	1
3	1,55	1,05	0,64	3,9	3,8	3,7	4	1	1
3,5	2,05	1,55	1,14	4,6	4,5	4,4	9	6	3
4	2,55	2,05	1,64	5,3	5,2	5,1	15	11	8
4,5	3,05	2,55	2,14	5,9	5,8	5,8	20	16	13

*) minimale waakhogte van 0,3 m

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Keuze damtracé

Een dam in de monding van Het Zwin vergt aanzienlijk minder zand (ca. de helft) dan een dam achter de monding. Alleen als de hulpdam B-C niet nodig is (normale hoogwaters) vervalt het voordeel van dam A.

De afmetingen van een dam in de monding worden tot hoogwaterstanden die 2 keer per jaar voorkomen voornamelijk bepaald door de waterstand. Bij stormvloed en gaat afslag door golven een rol spelen en moet de dam breder zijn. Voor een dam achter de monding ligt dit omslagpunt bij een frequentie van 1 maal per 2 à 5 jaar.

Een relatief lage dam (NAP +5 m) is voordeliger dan een hogere dam (NAP +7 m). Een dam tot NAP +3 m is slechts toereikend tot een waterstand van ca. NAP +2,70 m. Deze waterstand wordt 5 keer per jaar overschreden. Alleen in de zomerperiode, als geen waterstandverhoging wordt verwacht, zal een dergelijke dam dus kunnen voldoen.

Tijdens de afslag zal de zandafzetting voor de dam de golfaanval reduceren. Bij een laag voorland (in de geul) zal de reductie later effectief zijn dan bij een hoog voorland en dus meer afslag geven. Hiermee kan bij de damaanleg rekening worden gehouden als de benodigde breedte groter is dan de minimale 10 m.

Door de kleine lengte is de beheersbaarheid (inspectie, onderhoud, versterking) van een dam in de monding groter dan van een dam achter de monding.

6.2 Beslisinstrument

Als de kruinhoogte wordt afgestemd op de golfbelasting kan de kruinbreedte van dam B ca. de helft zijn van de kruinbreedte van dam A.

Oriënterende berekeningen geven aan dat de combinatie van astronomisch getij en windopzet niet kan worden verwaarloosd. Er is nu een schatting gemaakt voor waterstanden bij dood-, gemiddeld, en springtij. Voor een goed onderbouwd beslisinstrument zijn aanvullende berekeningen nodig.

Berekeningen voor de dam(men) achter de monding zijn niet eenvoudig:

- Er is geen goede rekenmethode beschikbaar voor de minimale kruinhoogte.
- Met name door energiestreiding achter de monding is de golfbelasting niet eenvoudig te bepalen.
- Het duinafslagmodel DUROSTA past geen reductie op de golfperiode toe.

Voor een grove schatting van de damafmetingen in een tracé achter de monding is een pragmatische aanpak gevolgd. Voor een goed onderbouwd beslisinstrument zijn aanvullende berekeningen nodig voor golfdoordringing en damerosie.

Referenties

Blaakman, E.J., 2003

Quick scan houdbaarheid zanddam Zwin
Memo 18 september 2003

Ebbens, E.H. en Roelse, P., 1982

Golfrandvoorwaarden duinwaterkeringen in Zeeland.
Nota WWKZ-82.V017

Philippart, M.E. e.a., 1995

De Basispeilen langs de Nederlandse kust ; de ruimtelijke verdeling en
overschrijdingslijnen.
Rapport RIKZ-95.008

Ronde, J.G. de e.a., 1995

Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water.
Rapport RIKZ-95.024

TAW, 1984

Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering

Bijlage 1. Te onderzoeken zanddammen Het Zwin

