Deltares

Enabling Delta Life

Kwelderwal voor Delfzijl

indicaties voor ontwerp, kosten en ecologische potenties



Deltares

Kwelderwal voor Delfzijl

indicaties voor ontwerp, kosten en ecologische potenties

Caroline Gautier
Pieter van Geer
Jan Mulder
Claire van Oeveren
Mindert de Vries

1202323-001

© Deltares, 2010

Deltares

Titel
Kwelderwal voor Delfzijl

Opdrachtgever	**Project**	**Pagina's**
gemeente Delfzijl	1202323-001	29

Trefwoorden
Hoogwaterbescherming, Kwelderwal, Kwelderwerken, veiligheid, natuur en recreatie

Samenvatting
Een eerste, ruwe verkenning van de mogelijke vorm, omvang, kosten en ecologische potenties van een kwelderwal met kwelderwerken voor Delfzijl, heeft geleid tot de volgende conclusies:

Een Kwelderwal (strandwal met kwelderwerken) voor Delfzijl, biedt de (anno 2010) wettelijk vereiste veiligheid van de waterkering op een termijn van 2060, zonder dat de huidige hoogwaterkering hoeft te worden verhoogd.

Een Kwelderwal biedt een solide basis voor eventuele versterkingen na 2060 voor een tijdshorizon van 200 jaar vanaf nu.

De kosten van zo'n Kwelderwal liggen, volgens een eerste ruwe schatting, in dezelfde orde van grootte (€30 mln) als het traditioneel versterken van de huidige hoogwaterkering (€32 mln), en zijn zo'n 30% hoger dan het traditioneel versterken van de Schermdijk (€22 mln).

Een Kwelderwal biedt kansen voor fasering, dit levert flexibiliteit in het licht van onzekere zeespiegelstijging en klimaatverandering.

Een Kwelderwal biedt kansen voor een combinatie van veiligheid, natuurontwikkeling, recreatie en een natuurvriendelijker aanzicht van Delfzijl.

Aanleg van een Kwelderwal levert een ecologische meerwaarde voor het Eems-Dollard gebied, zeker voor het areaal pionierzone van de kwelder.

Aanleg en fasering van een Kwelderwal draagt bij aan een duurzaam en effectief sedimentbeheer van de Eems-Dollard. Door bij de aanleg gebruik te maken van de bestaande sedimentstromen uit vaargeul onderhoud en verdieping, is een win-win situatie te creeeren.

Fasering in de tijd levert de mogelijkheid om natuurwaarde bij te sturen en gebruik te maken van natuurlijke aanslibbing om kosten te besparen.

Een Kwelderwal biedt kansrijke perspectieven. Deze kansen, maar ook de gegeven, grote onzekerheden maken nader onderzoek gerechtvaardigd (en gewenst).

Referenties
-

Deltares

Titel
Kwelderwal voor Delfzijl

Opdrachtgever	Project	Pagina's
gemeente Delfzijl	1202323-001	29

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	apr. 2010	Caroline Gautier		Mark Klein Breteler		Johan Boon	
		Pieter van Geer		John de Ronde			
		Jan Mulder					
		Claire van Oeveren					
		Mindert de Vries					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Schermdijk ontwerpeisen **2**

3 Doel van de studie **3**

4 Concept **4**
4.1 Uitdaging 4
4.2 Zachte oplossingen voor waterveiligheid 4
4.3 Verwachte kosten en baten 5

5 Aanpak en afbakening **6**

6 Schetsmatig ontwerp van een kwelderwal en kwelderwerken **8**
6.1 Inleiding 8
6.2 Huidige profielen 8
6.3 Schetsmatig ontwerp van een zandige kwelderwal met kwelder 8
6.4 Benodigd materiaal 10
6.5 Gefaseerde aanleg : solide basis voor flexibele versterking op lange termijn 12

7 Ecologische potenties van een kwelderwal **13**
7.1 Vastlegging van slib 13
7.2 Natuurwaarde Kwelderwal project voor Eems-Dollard 14

8 Ruwe kostenvergelijking van beschermingsopties **18**
8.1 Inleiding 18
8.2 Kostenschatting optie a: kwelderwal en kwelderwerken 18
8.3 Kostenschatting optie b: ‘harde’ versterking Schermdijk 19
8.4 Kostenschatting optie c: versterking hoogwaterkering 23
8.5 Kostenvergelijking 26

9 Discussie **27**
9.1 Onzekerheden en kansen 27
9.2 Beleid en relevante programma’s 27
9.3 Noodzaak voor aanvullend onderzoek 28

10 Samenvatting en conclusies **29**

11 Referenties **30**

1 Inleiding

In het kader van het Marconi-project van de gemeente Delfzijl, is in oktober 2009 het eind-rapport “Maritieme Concepten in Beeld” verschenen.
Belangrijkste conclusies uit het rapport zijn:

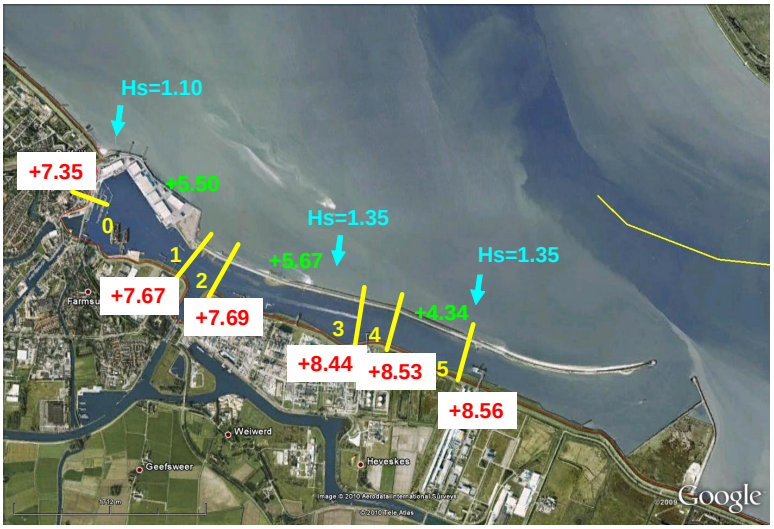
1. een versterking van het maritieme karakter van Delfzijl vergt meer en andere investeringen dan alleen een adequate en aantrekkelijke verhoging van de primaire zeedijk langs de haven van Delfzijl;
2. vanuit de analyses kan een aantal ontwerpen voor de inrichting van de haven terzijde worden gelegd als zijnde niet uitvoerbaar en/of niet realistisch. De resterende ontwikkelingsruimte is daarmee verkleind tot twee onderscheidende alternatieven die verder onderzocht moeten worden;
3. de verdere planontwikkeling kan alleen succesvol verder worden gebracht via een gezamenlijke inzet van de per activiteit relevante partners.

De gemeente Delfzijl heeft besloten in 2010 een vervolg te geven aan deze conclusies door een verdere uitwerking van de resterende alternatieven (te weten havenconcept 1; een “nulalternatief” gebaseerd op versterking van de bestaande zeewering, en havenconcept 3; het voorlopige ‘”voorkeursalternatief” van de gemeente Delfzijl, gekenmerkt door een versterking van de zogenaamde schermdijk tot onderdeel van de hoogwaterkering). In dit verband voorziet de gemeente Delfzijl een tweetal werkateliers in respectievelijk medio februari en eind maart 2010, ter voorbereiding van een bestuurlijk overleg in april.

Tijdens een eerste werkatelier op 18 februari 2010, zijn verschillende ontwerpvarianten van een schermdijk besproken, gebaseerd op schematische, kwantitatieve inschattingen door Deltares (Gautier, 2010). Een variant in de vorm van een brede kwelderwal, kwam hierbij als meest belovend naar voren.

Aansluitend aan deze workshop is aan Deltares verzocht enkele ontwerpopties in beeld te brengen en indicaties van kosten en van ecologische potenties van een kwelderwal.

2 Schermdijk ontwerpeisen



Figuur 1: Situatieschets Schermdijk en primaire kering, met (in geel) de ligging van een aantal dwarsprofielen en ter plaatse van de profielen, de huidige kruinhoogtes van de hoogwaterkering (rood) en van de schermdijk (groen), en de significante golfhoogtes Hs (blauw) volgens het Randvoorwaardenboek 2006; (Gautier, 2010).

Gautier (2010) concludeert dat door de Schermdijk aan te passen de primaire kering bij Delfzijl ook in 2060 voldoende veiligheid kan bieden. Drie oplossingsrichtingen zijn daarvoor onderzocht. Als globale eisen voor de dimensies daarvan gelden, bij een verwachte zeespiegelstijging van 35 cm in 2060:

1) Verhogen Schermdijk
   Flauw buitentalud ca 8 graden(ca. 1:7); hoogte kruin NAP + 7.15 m
   Benodigde verhoging:
   (7.15 m – huidige kruinhoogte + 0.35 m bodemdaling compensatie)

2) Verbreden Schermdijk + verhogen
   Breedte kruin orde 20 m; hoogte kruin NAP + 6.25 m
   Benodigde verhoging:
   (6.25 m – huidige kruinhoogte + 0.35 m bodemdaling compensatie)

3) Verhogen Schermdijk + stormvloedkering
   Hoogte kruin NAP + 7.05 m ;
   Benodigde verhoging:
   (7.05 m – huidige kruinhoogte + 0.35 m bodemdaling compensatie)

Gautier (2010) geeft aan dat het mogelijk is oplossingsrichtingen te combineren. Ook kan men denken aan eventueel beperkte aanpassing van de primaire kering in combinatie met aanpassingen aan de Schermdijk.

Deze studie richt zich op het verder uitwerken van de oplossingsrichtingen 1) en 2) in de vorm van een kwelderwal met kwelderwerken.

3 Doel van de studie

Het doel van de studie is het schematisch kwantificeren van de vorm, omvang, kosten en ecologische potenties van een kwelderwal met kwelderwerken voor Delfzijl, gesitueerd tussen de oostelijke punt van de Schermdijk en de westelijke punt Voolhok (segmenten I en IV in figuur 2).



Fig. 2 Segmenten in de zeekering van Delfzijl (Marconi rapport, 2009)

Meer in detail is de vraagstelling:

1. Kwalitatieve beschrijving van de ecologische potenties van een kwelderwal met kwelderwerken van Schermdijk tot westelijke punt Voolhok.
   Bij deze beschrijving wordt minimaal aandacht besteed aan de volgende punten:
   - Inschatting van de benodigde en mogelijke breedte van de kwelderwerken, als ontwerpbasis voor de komende 200 jaar;
   - Suggesties uit rapport “Beschermende dijk” Hanzehogeschool Groningen, december 2009;
   - Vastlegging van slib door kwelderwerken en de effecten daarvan op de slibhuishouding, het doorzicht en de ecologie van de Eems-Dollard als geheel;
   - Mogelijkheden voor win-win met lopende baggerwerken.

   Tevens zal kort worden ingegaan op mogelijkheden om bestaande (en mogelijke nieuwe) harde waterkeringen, ecologisch optimaler vorm te geven.

2. Ruwe kostenvergelijking van de opties: (a) kwelderwal met kwelderwerken, (b) ‘harde’ versterking van de schermdijk, (c) versterking van de hoogwaterkering.
   Rijkswaterstaat en de waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa’s leveren kentallen voor de prijs van dijkversterkingen per strekkende meter.

4 Concept

4.1 Uitdaging

Uitgaande van onze visie: “ duurzame waterveiligheid door bouwen met de natuur”, is de uitdaging: het ontwerp van een duurzaam veilige oplossing die haalbaar en betaalbaar is en die meerwaarde oplevert voor natuur en recreatie.

4.2 Zachte oplossingen voor waterveiligheid

In het Nederlandse beleid van kustbescherming wordt waar mogelijk gekozen voor zachte oplossingen. Deze oplossingen blijken vaak goedkoper dan harde oplossingen en kunnen op termijn tegen relatief lage kosten weer worden aangepast aan nieuwe eisen. In het voorland van de zeeweringen in de Delta en in het Waddengebied treft men vaak een zone aan met vegetatie die bodem stabiliseert, stroming afremt en golven uitdooft. Dit effect wordt veroorzaakt door de interactie van schorvegetatie, golven, stroming en sedimenttransport.

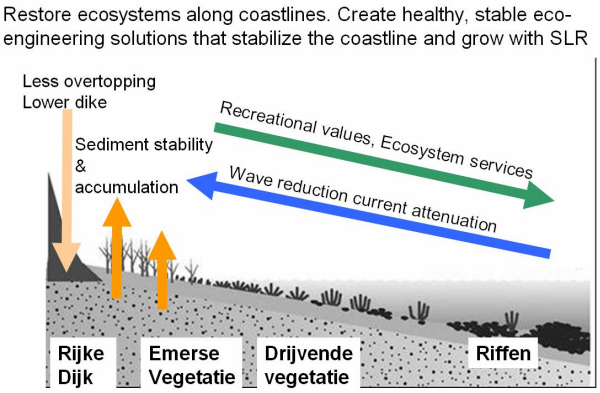


Fig.3 Opties voor het herstel van ecosystemen langs de kust, die een stabiele kustlijn en meegroeien met de zeespiegel, mogelijk maken

Deze concepten werden al toegepast bij een ontwerp van een niet verder verhoogde maar wel verbrede, voornamelijk zachte, Afsluitdijk (Waddenwerken, 2008). De nieuwe, brede, zachte superdijk wordt ingepakt in zand en vegetatie, die golfremmend werkt en die als vanzelf meegroeit met zeespiegelrijzing door invangen van sediment.
De concepten zijn ook bruikbaar langs zoete wateren. In het project ‘Groene golfremmende dijk Fort Steurgat bij Werkendam’ wordt in het kader van het Ruimte voor de Rivierenprogramma “Ontpoldering Noordwaard”, een gedetailleerd ontwerp van een groene, golfremmende en doorbraakvrije primaire waterkering gerealiseerd, op basis van de aanleg van een voldoende getoetste, golfremmende griendvegetatie in combinatie met een grasdijk. Hiervoor zijn door Deltares modelberekeningen uitgevoerd die de effectiviteit van golfremming en sedimenttransport door vegetatie onderbouwen.
Een zogenaamde ‘Kwelderwal’ voor Delfzijl, baseert zich op deze principes (zie Fig. 4 en 5).



Fig. 4 Impressie van een kwelderwal zoals ontworpen voor de Afsluitdijk (Waddenwerken, 2008)

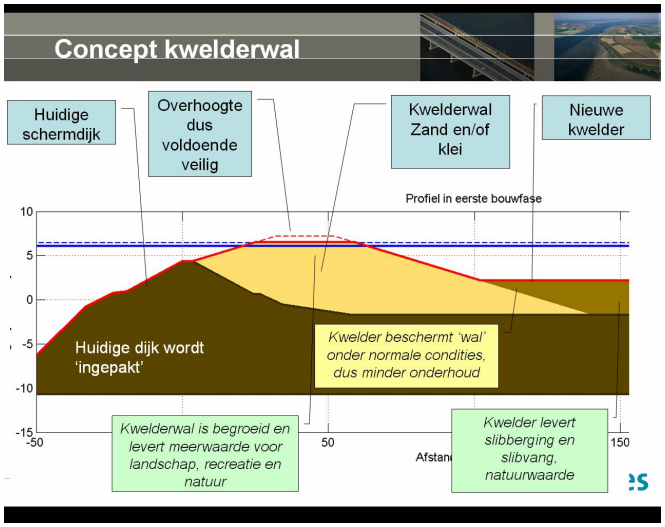


Fig. 5 Schetsmatig ontwerp veilige kwelderwal voor Schermdijk Delfzijl, met een indicatie van de werking(in geel en groen).

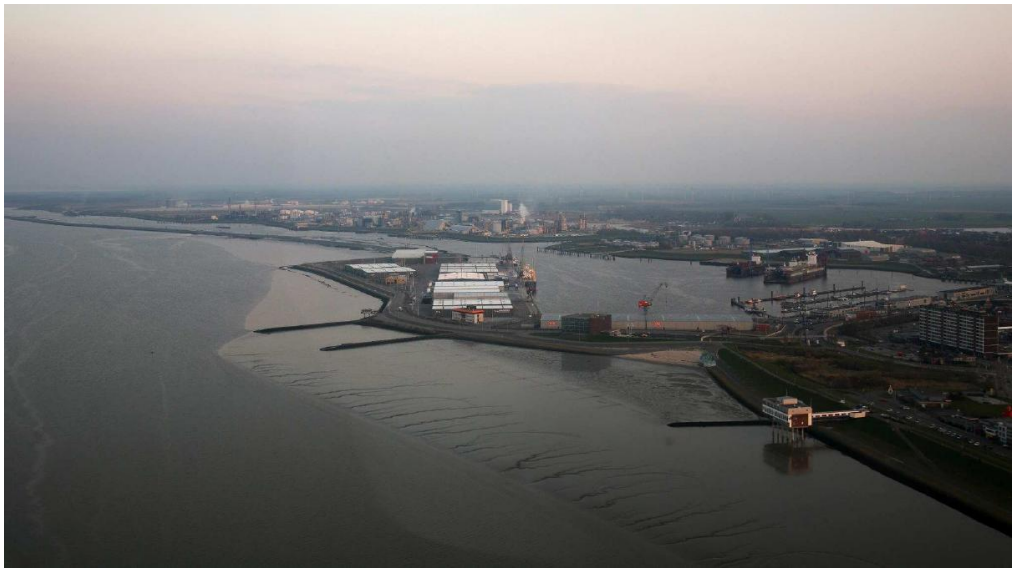
Een kwelder wordt gedefinieerd als een buitendijkse afzetting van slib en zand met daarop een natuurlijk gevestigde vegetatie, die bestand is tegen regelmatige overstroming door zout water.

4.3 Verwachte kosten en baten

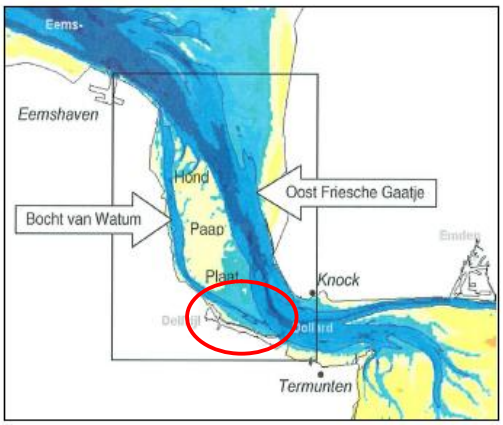
Uit eerdere studies als de 'Waddenwerken' en 'Ontpoldering Noordwaard', blijkt dat praktische oplossingen mogelijk zijn. Oplossingen, die zeker niet duurder zijn dan traditionele harde dijkverhoging en die inderdaad een meerwaarde bieden voor natuur, recreatie en landschappelijke inpasbaarheid. Wel treedt er een verschuiving op van kosten in aanlegfase naar kosten van onderhoud. Werken op kilometerschaal zoals mogelijk bij Delfzijl, kan robuuste arealen aan diverse kweldernatuur opleveren, die bijdragen aan de natuurwaarde van een groter gebied dan de locatie zelf.

5 Aanpak en afbakening

De toepasbaarheid van het kwelderwal-concept voor Delfzijl, is onderzocht in het gebied tussen de westelijke punt van Voolhok en de oostelijke punt van de Schermdijk (Zie Fig. 2 en Fig. 6). Het zoekgebied wordt aan de zeezijde begrensd door de geul van de Bocht van Watum (Fig. 7).



Figuur 6 Primair zoekgebied voor kwelderwal en kelderwerken voor Delfzijl



Figuur 7 Zoekgebied gelegen ten zuiden van de Bocht van Watum

De Bocht van Watum is geleidelijk aan het opzanden. De snelheid waarmee de Bocht ondieper werd gedurende de voorbije decennia, lag rond de 10 cm per jaar (Marconi, 2009). Op de recente dieptekaart, is de Bocht van Watum echter nog steeds duidelijk als geul te herkennen. Met name voor de dijk van ons aandachtsgebied Voolhok, vormt de uitloper van de Bocht van Watum nog steeds een geul met een diepte groter dan 5 m (zie Fig. 8).

Gebaseerd op de ongunstige uitgangscondities voor kweldervorming voor de dijk van Voolhok, heeft de eerste verkenning zich geconcentreerd op de mogelijkheden in het gebied gelegen voor de Schermdijk.

In deze verkenning is allereerst een schetsmatig ontwerp gemaakt van een kwelderwal en kwelderwerken voor de Schermdijk, gebaseerd op het concept zoals beschreven in par. 4.2 en op de ontwerpeisen aan een versterkte Schermdijk zoals berekend door Gautier (2010). Door een berekening met het rekenmodel Xbeach, is vervolgens getoetst of het schetsmatig ontwerp van de kwelderwal voldoende sterk is om een extreme storm (met een kans van voorkomen gelijk aan 1:4000) te weerstaan (zie H. 6).
Vervolgens zijn van dit ontwerp de potenties ingeschat voor het invangen en vastleggen van slib en voor de ontwikkeling van natuurwaarden (H.7).

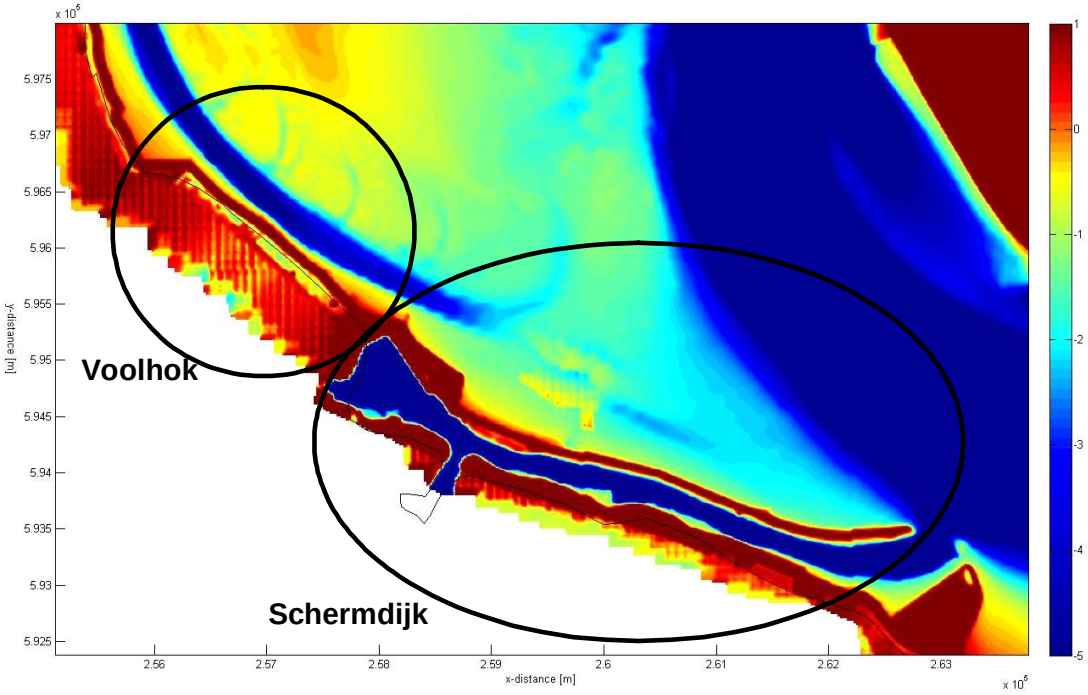


Fig. 8 Diepteligging in het zoekgebied voor mogelijke kwelderwal en kwelderwerken. Door de geul voor de dijk van Voolhok, zijn de uitgangscondities voor kwelderwerken ter plaatse ongunstig.

Tenslotte, is een eerste, voorlopige inschatting gemaakt van de orde van grootte van de te verwachten (aanleg)kosten. Deze schatting is vergeleken met een vergelijkbare schatting van de kosten voor traditionele versterking van de Schermdijk en van de hoogwaterkering (H.8).
Daarna volgen in H.9 een discussie en in H. 10 de belangrijkste conclusies.

6 Schetsmatig ontwerp van een kwelderwal en kwelderwerken

6.1 Inleiding

Een eerste schetsmatig ontwerp van een kwelderwal en kwelderwerken baseert zich op het concept zoals beschreven in par. 4.2 en de Figuren 4 en 5. Het ontwerp gaat uit van een kwelder, gelegen voor een zandige verhoging van de schermdijk.

6.2 Huidige profielen

Bij het maken van het ontwerp dat in dit hoofdstuk besproken wordt is gebruik gemaakt van vijf schematisch samengestelde dwarsprofielen van de schermdijk met vooroever. De locaties van deze profielen zijn weergegeven in Figuur 1. Bij het samenstellen van de dwarsprofielen (Fig. 9) is gebruik gemaakt van profielgegevens zoals gepresenteerd in vander Leest et al. (2009) (het gedigitaliseerde gedeelte van het profiel) en afmetingen en diepten die zijn geschat op basis van de dieptekaart in Fig. 8 (het geschematiseerde deel van het profiel).

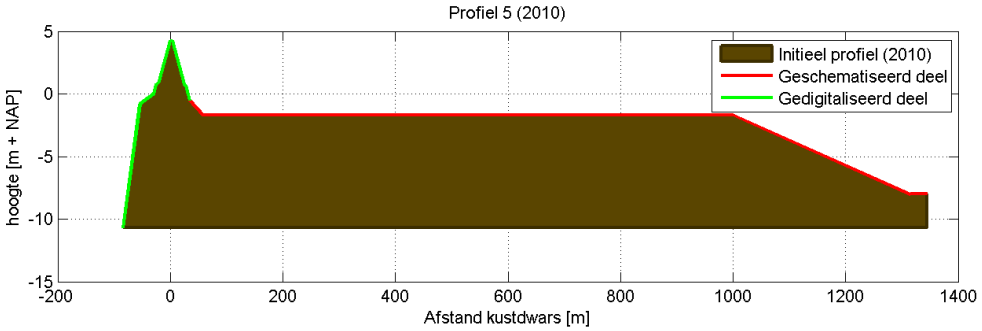


Fig. 9 Samenstelling van dwarsprofiel uit gedigitaliseerde data (van der Leest et al., 2009) en geschematiseerde data op grond van handmatige schatting uit Fig. 8.

6.3 Schetsmatig ontwerp van een zandige kwelderwal met kwelder

Het lijkt niet noodzakelijk om in een keer een volledige kwelder aan te leggen. Die zou moeten groeien in de tijd. In deze paragraaf wordt allereerst een in 2060 gewenste profielvorm besproken, om vervolgens in te gaan op een mogelijke profielvorm tijdens de eerste aanleg. Er wordt vanuit gegaan dat deels door natuurlijke aangroei en deels door menselijk handelen de kwelder die in de eerste fase is aangelegd, kan uitgroeien naar het uiteindelijk gewenste profiel.

6.3.1 Beschrijving van het uiteindelijk gewenste profiel in 2060

Het uiteindelijk gewenste profiel bestaat uit twee gedeelten. Ten eerste is er een gewenste verhoging van de schermdijk ten dienste van de veiligheid tegen overstroming (in deze variant te bereiken met een zandig profiel zonder bescherming). Dit zandlichaam moet zorgen voor reductie van de golfhoogte zoals besproken in Gautier (2009). Het tweede deel omvat een kwelder zeewaarts van dit zandlichaam. Deze kwelder moet onder normale omstandigheden, de teen van het zandlichaam beschermen tegen erosie en daarmee het onderhoud aan dat zandlichaam beperken, terwijl tevens veel natuurwaarde aan het gebied wordt toegevoegd.

Bij het dimensioneren van de kwelderwal en de kwelderwerken hebben de volgende argumenten een rol gespeeld:

In Gautier (2009) is voor de profielen 0, 2 en 4 ingegaan op de maximale golfhoogte (Hs) die over de verhoogde schermdijk kan worden toegelaten teneinde de primaire kering de storm op te kunnen laten vangen. Op dit moment is er onvoldoende kennis beschikbaar om de stabiliteit van een zandlichaam te berekenen dat deels onder water komt te staan (en dus wordt overstroomd) tijdens een extreme storm. Daarom is er voor een minimaal ontwerp voor gekozen om de uiteindelijke profielen een hoogte te geven van 40 cm boven de verwachte maximale waterstand voor 2060. Zodoende wordt het overspoelen van de zandlichamen vermeden. De top van het zandlichaam heeft een breedte van 20 meter. De helling van het talud tussen de top van de huidige schermdijk en de top van het zandlichaam evenals het talud tussen de top van het zandlichaam en het oorspronkelijke profiel bedraagt 1:10.

Tijdens deze studie is er vanuit gegaan dat een optimale kwelder kan ontstaan bij een bodemhelling van 1:200. Kwelder ontstaat voornamelijk rond de gemiddelde hoogwaterlijn (GHW). Bij Delfzijl bedraagt deze ongeveer GHW = 1.5 m + NAP. Het kwelderdeel van het profiel bestaat derhalve uit een horizontaal deel (ter hoogte van GHW) om vervolgens met 1:200 naar het initieel profiel te gaan.

Figuur 11-A bevat een weergave van dit schematische ontwerp voor profiel 4. Een detail van kwelderwal en de overgang naar de kwelderwerken is weergegeven in Fig. 5

Uit berekeningen met XBeach is gebleken dat een profiel als beschreven in Fig. 11-A en 11-B, tijdens de verwachte maatgevende omstandigheden in 2060 niet bezwijkt (Fig. 10). Als gevolg daarvan wordt bij een dergelijk profiel geen golfdoordringing in de haven verwacht.

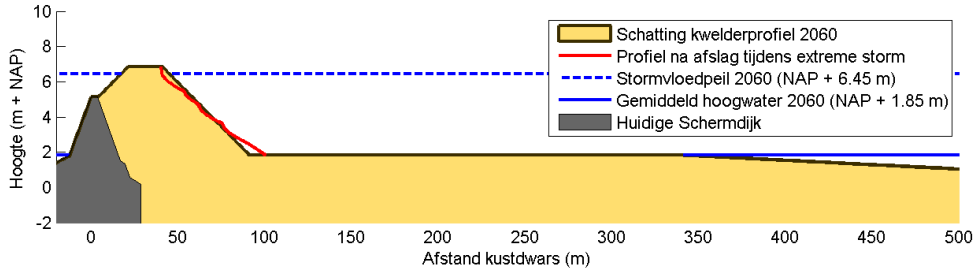


Fig. 10 Berekening van het afslagprofiel (rood) van de kwelderwal na een extreme storm (met een kans van voorkomen van 1:4000) bij een stormvloedpeil van 2060. Berekeningsresultaat van het model Xbeach.

6.3.2 Profiel na aanleg eerste fase in 2010

Er zijn meerdere argumenten voor een gefaseerde aanleg. Ten eerste gaat de aanleg van een volledige profiel gepaard met grote volumes zand, slib en keileem die zouden moeten worden aangevoerd. De gewenste bescherming is echter pas in 2060 noodzakelijk. Fasering kan daarom de kosten drukken. Een tweede argument om te kiezen voor een gefaseerde aanleg is dat er na aanleg van een initieel profiel, ook natuurlijke aangroei van de kwelder valt te verwachten.

Bij het ontwerp van een mogelijke, eerste fase kwelderwal met kwelder, spelen vergelijkbare argumenten als bij het bovenbeschreven ontwerp in par 6.3.1.

Aangezien de kwelder tegen het zandlichaam zou moeten aangroeien is het gewenst het onderste deel van het zandlichaam, in de eerste fase aan te leggen. Om overspoelen te

voorkomen is het echter wel verstandig om de top boven het huidige stormvloedpeil te laten uitsteken. Het is echter vanuit veiligheidsoptiek niet noodzakelijk om de gewenste hoogte in 2060 direct aan te leggen. De top van het zandige profiel zou in een later stadium kunnen worden verhoogd.

Een mogelijk kwelder profiel in de eerste fase zou kunnen bestaan uit (zie ook Fig. 11-B en Fig. 5):

- Een horizontaal deel (ter hoogte van GHW) met een lengte van 50 m zeewaarts.
- Een aansluitend vak (uitgezet met rijsthouten dijkjes) met een lengte van 150 m in de richting dwars op de kust. De bodemhelling in dit vak is 1:200 (aflopend zeewaarts).
- Een aansluiting tussen het kweldervak en de initiële bodem onder een hoek van 1:20.

Er is tijdens deze studie aangenomen dat een dergelijk kwelderprofiel een goede basis is voor natuurlijke groei van de kwelder.

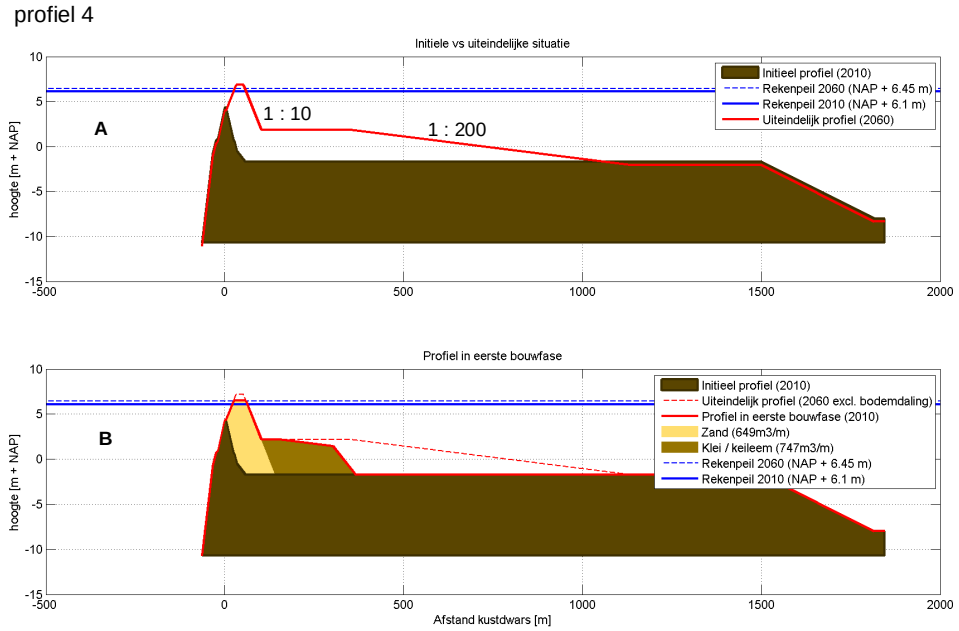


Fig. 11 Schetsmatig ontwerp van een kwelderwal (opgebouwd uit zand) met voorliggende kwelder;
A) in een gewenst eindprofiel in 2060, met een zandlichaam met een hoogte tot 40 cm boven het verwachte maximale waterpeil in 2060, een topbreedte van 20 m en helling van 1:10; en met een kwelderlichaam met een helling van 1:200.
B) een aanlegprofiel, dat ruimte laat voor gefaseerde groei van de kwelder of door natuurlijke aanslibbing, en/of door slibberging van havenslib

6.4 Benodigd materiaal

Voor de aanleg van een profiel in de eerste fase zoals in de voorgaande paragraaf is beschreven en schetsmatig weergegeven in Fig. 11-B, zijn verschillende volumes zand en klei (of keileem) nodig. Tabel 1 geeft een overzicht van de benodigde volumina bij toepassing van het besproken schematisch ontwerp voor een eerste fase, voor de vijf profielen. Er is een onderscheid gemaakt tussen het zandvolume dat nodig is voor het verhogen en vergroten van de schermdijk en het (klei / keileem) volume dat nodig zou zijn voor aanleg van het voorgestelde kwelderprofiel.

Locatie	Volume zand (m^3/m)	Volume klei / keileem (m^3/m)
Profiel 1	522	614
Profiel 2	511	614
Profiel 3	611	680
Profiel 4	649	747
Profiel 5	657	747

Tabel 1 Schattingen voor de volumina sediment benodigd voor de aanleg van een eerste fase kwelderwal en voorliggende kwelder volgens een ontwerp als in Fig. 11-B. De volumina zijn geschat voor de locaties van de de vijf profielen zoals weergegeven in Fig. 1.

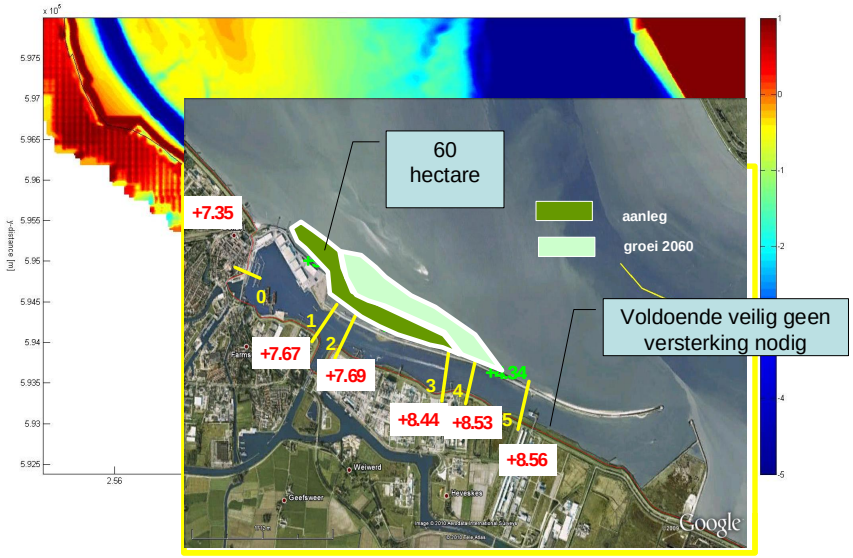


Fig. 12 Schetsmatig ontwerp van een eerste fase Kwelderwal en kwelder (donkergroen) en een indicatie van de mogelijk natuurlijke groei tot 2060. De aanleg bestaat hierbij uit totaal zo'n 60 ha, die zich bevindt langs het noordelijk deel van Schermdijk en Handelskade.

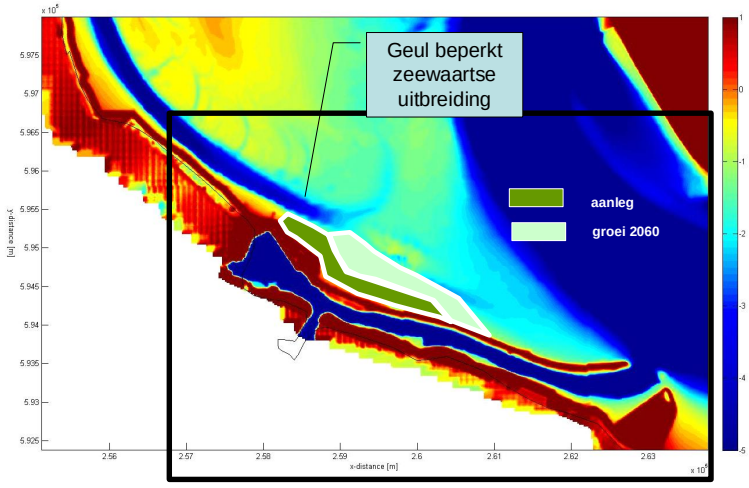


Fig. 13 Schetsmatig ontwerp van een eerste fase Kwelderwal en kwelder. De zeewaartse uitbreiding wordt in eerste fase nog beperkt door de aanwezigheid van de geul in de Bocht van Watum.

De totaal benodigde hoeveelheid sediment sediment wordt vervolgens bepaald door de lengte van (het deel van) de schermdijk waarvoor de eerste fase wordt aangelegd. Om daar een eerste

idee over te vormen, is uitgegaan van een aanleg langs zo'n drie kilometer van de totaal vijf kilometer lange schermdijk (zie Fig. 12). In deze variant ligt de kwelderwal en kwelder, tegen de handelskade, met als noordelijke begrenzing het zuidelijke havenhoofd van de oude haveningang. Vandaaruit strekt deze zich zo'n drie kilometer uit tot langs de Schermdijk.
Belangrijk argument om voor deze basisvariant te kiezen, is het feit dat verhoging van het oostelijk deel van de Schermdijk niet direct noodzakelijk is om toch tot 2060 de veiligheid te kunnen garanderen. Het achterligende deel van de hoogwaterkering bevat daarvoor nog voldoende hoogte (Gautier, 2009).

De totaal benodigde hoeveelheid sediment om deze variant te realiseren is zo'n 3,7 miljoen m3. Uitgaande van een kwelderwal uitgevoerd in zand vraagt het zo,n 1,7 miljoen m3 zand; en uitgaande van de aanleg van een kwelderbasis in keileem nog eens 2 miljoen m3 keileem.

6.5 Gefaseerde aanleg : solide basis voor flexibele versterking op lange termijn

Naast bovengenoemde variant zijn vele andere mogelijk.
Zo kan er anders worden gefaseerd in tijd en ruimte. Bijvoorbeeld door een kortere of langere kustlengte te kiezen, welke vervolgens in de tijd wordt uitgebreid(zie bv Fig 14). Ook kan worden gekozen voor een andere initiele breedte van de kwelderwal en de kwelderwerken. De keuze daarvoor kunnen we laten afhangen van de beschikbaarheid van materiaal dat voor de aanleg beschikbaar is en van de mate waarin we gebruik willen maken van de potentie voor natuurlijke aangroei.
Daarnaast kan de hoogte van de kwelderwal lager worden gekozen. Immers pas in 2060 is de nu gekozen hoogte vereist. Ook hier is een gefaseerde aanleg mogelijk. Wel zal ook aandacht moeten worden besteed aan de ecologische consequenties daarvan .
Tot slot kan nog worden gevarieerd met de balans tussen hoeveelheid zand en keileem / klei. Bijvoorbeeld door het plaatsen van een zandsuppletie alvorens de kwelder aan te leggen, of door het plaatsen van een kern of bescherming van klei / keileem op de verhoging van de schermdijk.

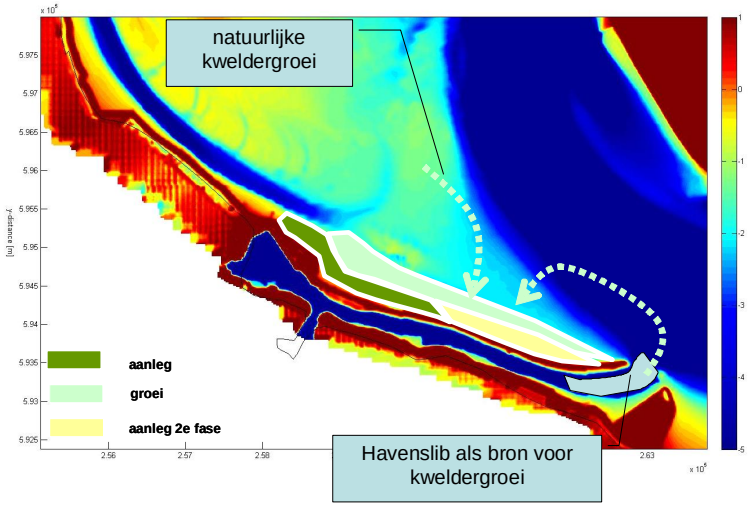


Fig. 14 Voorbeeld van een fasering in de tijd waarbij na een eerste fase aanleg, een tweede fase volgt. Intussentijd kan door natuurlijke aangroei en door gebruik van havenslib de kweldergroei verder worden gestimuleerd.

In alle varianten biedt een kwelderwal een solide basis voor verdere versterking op langere termijn (200 jaar). De fasering schept daarbij kansen om flexibel in te spelen op veranderende omstandigheden.

7 Ecologische potenties van een kwelderwal

7.1 Vastlegging van slib



Figuur 15 kwelderwerken voor de Friese kust.

Al sinds de 17de eeuw zorgen menselijke ingrepen met succes voor versnelde opslibbing van kwelders langs de Friese en Groningse kust. Middels een netwerk van rijshouten dammen en greppels worden bezinkvelden gecreëerd, tegen de dijk aan (Fig. 15). Uit metingen langs de Friese en Groningse kust is gebleken dat in deze bezinkvelden de obslibbing aanzienlijk hoog kan zijn, tot ruim 1 – 2 cm per jaar (Kwelderwerken, 2008). Figuur 16 toont een bovenaanzicht van een mogelijke layout van de kwelderwerken langs de schermdijk.

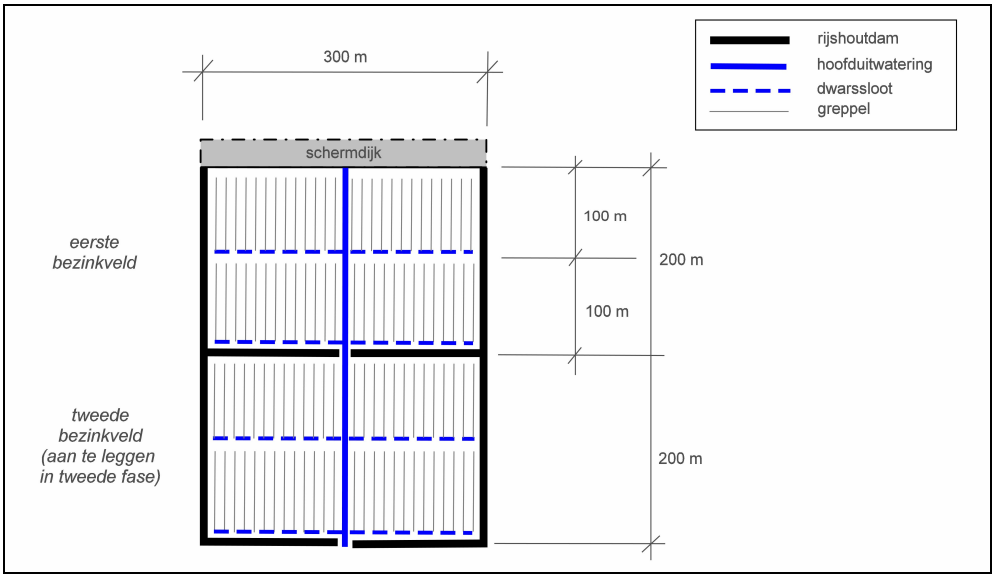


Fig. 16 Mogelijke layout van kwelderwerken langs de Schermdijk in Delfzijl.

Figuur 17 toont de dwarsdoorsnede van een mogelijk startprofiel van kwelderwerken zeewaarts van een kwelderwal langs de schermdijk, met de verwachte opslibbing na 50 jaar. Door met een krapper profiel te beginnen, is er in de opstartfase minder grond nodig. De kwelderwal zou vervolgens jaarlijks mogelijk kunnen worden uitgebreid met het gebaggerde slib uit de haven, totdat het eindprofiel is bereikt. De zone direct tegen de schermdijk is de jonge kwelder, deze is aan de onderkant begrensd door het niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW). Bij een voldoende aanbod aan slib, kan de kwelder stijgen met de snelheid van de zeespiegelstijging. De zone hieronder is de pionierzone, hier wordt het meeste slib afgezet en vastgelegd, totdat het niveau van de jonge kwelder is bereikt.

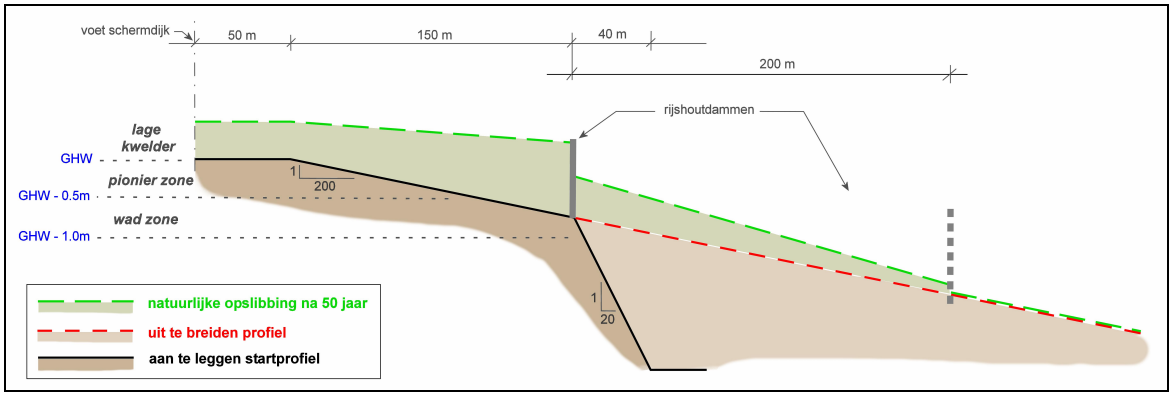


Fig. 17 Dwarsdoorsnede van een mogelijk startprofiel van kwelderwerken gelegen voor een kwelderwal, met een schatting van de mogelijke aanslibbing na 50 jaar. (GHW is Gemiddeld Hoog Water).

Bij het gegeven startprofiel zou de kwelder met ongeveer 3 tot 4 m per jaar zeewaarts kunnen uitbreiden, waardoor de kwelder in 2060 al zo'n 150 tot 200 m verder zeewaarts zou zijn gegroeid. Het volume aan slib dat hiermee (in de beginfase) jaarlijks wordt afgevangen door natuurlijke opslibbing uit het systeem is ongeveer 3000 m^3 per jaar per strekkende kilometer dam. Bij een basisvaraiant van 3 km lengte dus zo'n 9000 m3 per jaar. Dit volume wordt mettertijd groter naarmate de kwelder verder is uitgegroeid.

Momenteel wordt in de haven van Delfzijl jaarlijks ongeveer 1,4 miljoen m^3 slib door het bellenscherm in beweging gebracht, daarnaast vindt er voor ca. 400.000 m^3/jaar aan onderhoudsbaggerwerk plaats. Het zeewaarts opvullen van het profiel tot minimale hoogte nodig voor opstarten van kweldergroei ('kwelder-fundament') - dus tot een hoogte van rond Gemiddeld Hoog Water (GHW) - levert een mogelijkheid om een aanzienlijk volume slib te bergen. Dit volume bedraagt bij een zeewaartse uitbreiding met 150 m al zo'n 150.000 m^3 per kilometer. Het versneld uitbouwen van het kwelderfundament kan daarom aantrekkelijk zijn als bestemming van onderhoudsbaggerwerk in de haven, mits aan kwaliteitseisen wordt voldaan.

7.2 Natuurwaarde Kwelderwal project voor Eems-Dollard

(Mede gebaseerd op informatie van Imares en Hans Revier)

7.2.1 Kwelderontwikkeling

Het areaal vastelandkwelders langs de Groningse kust is in de afgelopen honderden jaren door inpolderingen gereduceerd van meer dan 100km^2 tot minder dan 20km^2 Op dit moment wordt er een voortdurende afname van pioniervegetatie langs de kwelders van de Eems

Dollard waargenomen. Kweldervorming wordt door aanzanding en opslibbing en ontwatering in gang gezet in gebieden waar voldoende beschutting is om sterfte en erosie van pioniervegetatie door stormwerking te kunnen compenseren. De kwelder bestaat uit verschillend begroeide hoogtezones, die elk een karakteristieke waarde voor vegetatie en diersoorten vertegenwoordigen. De kwelderwerken dragen bij aan de snelheid van opslibbing door optimalisatie van slibvang en versnelling van ontwatering. In onderstaande figuur zijn deze zoneringen weergegeven (Fig. 18 en 19).

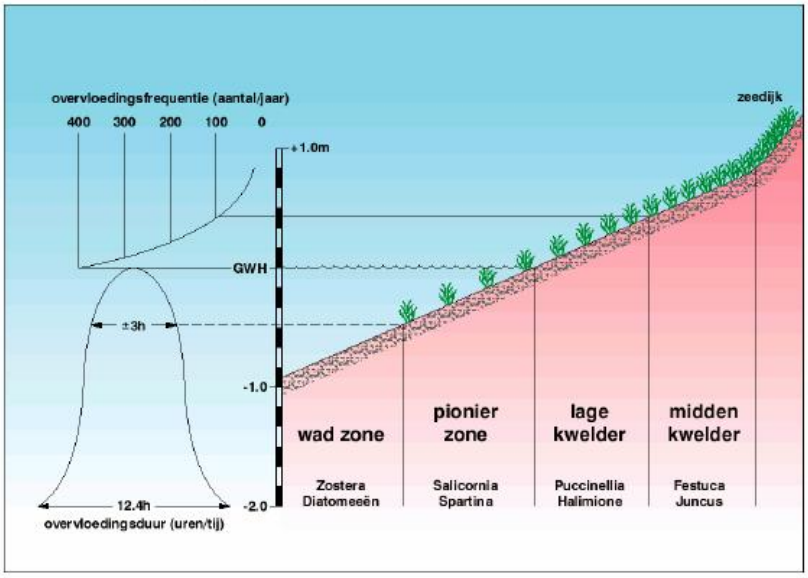


Fig. 18 Verschillende hoogtezones in een kwelder, gekarakteriseerd door een eigen vegetatie en diersoorten (met dank aan Hans Revier)



Fig. 19 Vegetatie ontwikkeling van de pionierzone(links, met vooral Zeekraal, Salicornia en enkele patches Spartina) en de hogere kwelder (rechts, in dit geval gedomineerd door Zee-aster, Tripolium). (met dank aan Hans Revier)

7.2.2 Belang voor ecosysteem

Kwelders hebben een belangrijke rol in het ecosysteem. De helft van de Nederlandse zoutplantenvegetatie ligt binnen de kwelders van het waddengebied. Het zijn belangrijkste broedgebied voor Bontbekplevieren, Tureluurs, Kokmeeuwen, Visdieven, Noordse sterns en Kluten. Het zijn de belangrijkste fourageergebied voor Rotganzen en Brandganzen. De kwelder kan dienen als hoogwatervluchtplaats tijdens vloed.

Door opslag van slib, bodemvorming en primaire productie zijn de kwelders relevant voor de nutrienten-cyclus in de Waddenzee,en na aanleg ook voor de Eems-Dollard. Aanleg van kwelders langs de Schermdijk in Delfzijl zal echter ook een aantasting kunnen betekenen van het areaal intertidale en subtidale habitats in het gebied. De balans tussen de mogelijke voor- en nadelen verdient nader onderzoek .

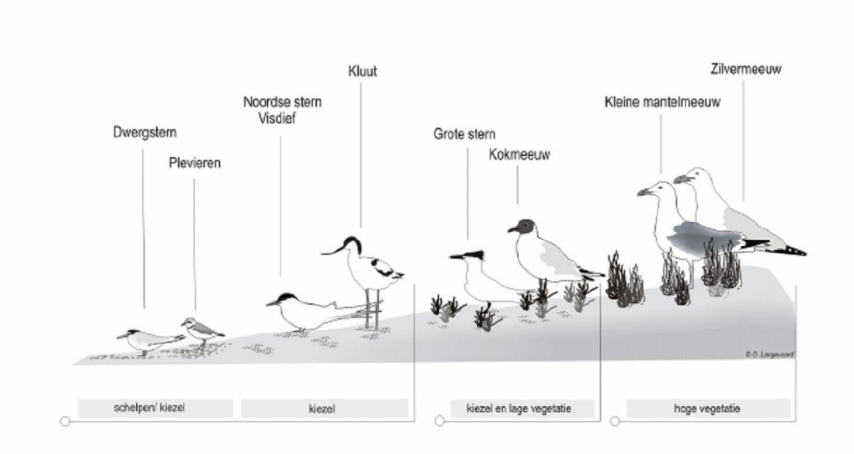


Fig. 20 Kenmerkende vogelsoorten voor wad en kwelder

Kwelders zijn één van de weinige Nederlandse landschappen van internationale betekenis. 10% van de Europese kwelders ligt op Nederlands grondgebied. Een kwelderwal langs drie kilometer van de Schermdijk bij Delfzijl levert, bij een breedte van 200 meter een areaal van 60 hectare (6 km^2). Dit is een significante bijdrage (ca. 10%) aan het huidige areaal kwelders in de Eems-Dollard (zie Fig. 21). Het is qua grootte een robuuste bijdrage aan de benodigde broed en foerageer habitats in de Eems-Dollard. In dit gebied is de kwelder ook nuttig als rustige hoogwatervluchtplaats voor vele op de slikken foeragerende vogelsoorten. Het gebied kan de huidige afname van areaal pioniervegetatie wellicht kompenseren.

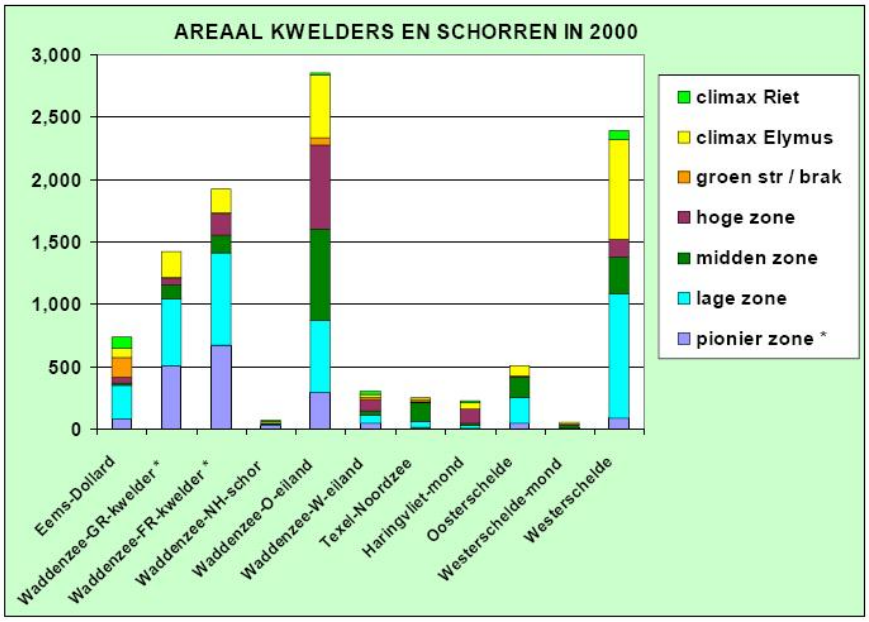


Fig. 21 Oppervlak aan kwelders en schorren in Nederland anno 2000.

7.2.3 Belang voor klimaatproblematiek

Kwelderontwikkeling draagt bij aan bodemvorming en opslag van organisch materiaal in de bodem, gedurende lange perioden (kwelders kunnen eeuwen lang bestaan). Dit leidt ook tot een opslag van kooldioxide in de kwelder en daarmee draagt kweldervoming bij aan nationale ambities om kooldioxide emissies te reduceren. Deze kooldioxide equivalenten vertegenwoordigen een zekere monetaire waarde. Uit Waddenwerken (2008) blijkt dat per jaar gemiddeld 6 ton CO_2 per ha wordt vastgelegd. Dit is 2,5 tot 3 maal meer dan netto door bos wordt vastgelegd. Het totale oppervlak aan nieuwe kwelders bedraagt in het ontwerp voor een eerste fase, 60 ha (Fig. 11). Uitgedrukt in CO_2 certificaten, ad 22 Euro per ton vastgelegde CO_2 (prijspeil oktober 2008) representeert dit een waarde van ca 8.000 Euro/jaar. Dit is vergelijkbaar met de beheerskosten voor kwelders, die in de orde van 5000 Euro / 60ha.jaar liggen. Als ook de vastlegging via ingevangen slib wordt meegerekend is de hoeveelheid CO_2, die wordt vastgelegd meer dan dubbel zo groot (Waddenwerken, 2008).

8 Ruwe kostenvergelijking van beschermingsopties

8.1 Inleiding

Op basis van het ruwe ontwerp zoals beschreven in H.6 willen wij een eerste, voorlopige inschatting maken van de orde van grootte van de te verwachten (aanleg)kosten. Om een gevoel te krijgen voor de relatieve waarde hiervan, wordt deze schatting vergeleken met een vergelijkbare schatting van de kosten voor traditionele versterking van de Schermdijk en van de hoogwaterkering

We beschouwen dus drie beschermings-opties:

(a) kwelderwal met kwelderwerken
(b) 'harde' versterking van de schermdijk
(c) versterking van de hoogwaterkering.

De dimensies voor optie (a) zijn beschreven in hoofdstuk 6.

Een "harde" versterking van de schermdijk (optie b) is kort genoemd in Gautier(2010) en wordt verder gepresenteerd in Paragraaf 8.3.

De dimensies voor versterking van de hoogwaterkering (optie c) worden in Paragraaf 8.4 bepaald.

Behalve op deze dimensies, zijn de kostenschattingen per optie gebaseerd op ruwe indicaties van kostprijzen (Tabel 2).

materiaal / methode	**eenheid**	**prijs per eenheid [€]**
zand	m3	10
keileem	m3	5
rijshouten dam	strekkende m	175
harde bekleding, nat	strekkende km	4 – 10 miljoen
binnendijkse ophoging	strekkende m en m hoogte	2000
damwand	strekkende km	10 - 15 miljoen

Tabel 2 Indicatieve schattingen van eenheidskostprijzen. Bronnen o.a.: Hoog Water Beschermings Programma-HWBP, C. Jacobs (Noorderzijlvest), H. Mulder (RWS-WD) en P. Noordstra (RWS-NN)

In deze fase van het project is een gedetailleerde kostenschatting niet te maken. Men dient de gepresenteerde kosten te interpreteren als slechts een eerste ruwe indicatie.

8.2 Kostenschatting optie a: kwelderwal en kwelderwerken

De kostenberekening is gebaseerd op een kwelderwal met kwelderwerken over een kustlengte van 3 km (Fig. 12) met een dwarsdoorsnede zoals weergegeven in Fig. 11-B en een layout van kwelderwerken volgens Fig. 16. De benodigde hoeveelheid materiaal is berekend in par. 6.4.

De totale kosten voor het benodigde sediment voor de aanleg volgen uit Tabel 3.

		(zie tabel 1)		
	lengte [m]	volume zand per m [m3/m']	totaal volume zand [10^3 m3]	Kosten zand €10/m3
0	900	ca 500	450	
1	200	522	105	
2	850	511	450	
3	500	611	305	
4	650	649	420	
5	2000	657	-	
tot			1730	17.3 M€

		(zie tabel1)		
	lengte [m]	volume keileem per m [m3/m']	Totaal volume keileem [10^3 m3]	Kosten keileem: €5/m3
0	900	ca 600	540	
1	200	614	120	
2	850	614	520	
3	500	680	340	
4	650	747	490	
5	2000	747	-	
tot			2010	10 M€

Tabel 3 Kostenschatting voor totaal benodigd sediment voor de aanleg van een kwelderwal en kwelderwerken over een kustlengte van 3 km.

Naast het sediment, zijn voor de kwelderwerken een reeks rijshouten dammen nodig (zie Fig. 16). Bij een kustlengte van 3 km, met een breedte van 250 m betekent dat:

Stel 2 rijen in langsrichting over 3 km	6000 m
Stel 12 rijen in dwarsrichting (ca om de 250 m) ieder 250 m lang:	3000 m
Totaal rijshouten dammen	9000 m

Bij kale kosten van ca €175/m', met een toeslag factor van 1.5 zijn de kosten voor de rijshouten dammen ca 2.3 M€.

De totaalschatting voor kwelderwal en kwelderwerken komt daarmee op zo'n €30 miljoen.

8.3 Kostenschatting optie b: 'harde' versterking Schermdijk

8.3.1 Ontwerpeisen optie b

Zoals beschreven in Paragraaf 4.5 van Gautier (2010), zal het verbreden van de Schermdijk in combinatie met beperkte verhoging, leiden tot extra golfreductie van golven die via de Schermdijk het zeehavenkanaal bereiken. In deze paragraaf wordt uiteengezet tot welke

dimensies de Schermdijk verbreed zou moeten worden om de huidige primaire kering niet te hoeven versterken terwijl die toch voldoende veilig zal zijn in het jaar 2060.

Indien de breedte van de kruin van de Schermdijk gelijk is aan een halve golflengte, dan is de maximale significante golfhoogte die er overheen komt ongeveer gelijk aan de helft van de waterhoogte boven de kruin. Uitgaande van een golfperiode van 5 seconde, bedraagt de golflengte ongeveer 40 m ($1.56 * 5^2$) en is een kruinbreedte benodigd van orde 20 m.

De vereiste kruinhoogte is afhankelijk van de benodigde golfreductie. Voor profielen 0, 2 en 4 is in Paragraaf 4.4 van Gautier (2010) berekend wat de maximale golfhoogte mag zijn die over de Schermdijk de haven bereikt:

max toegestane golfhoogte over de Schermdijk

Profiel 0: 0.46 m
Profiel 2: 0.10 m
Profiel 4: 1.00 m

De waterhoogte boven de kruin van de Schermdijk mag het dubbele bedragen:

max toegestane waterdiepte boven de kruin

Profiel 0: 0.9 m
Profiel 2: 0.2 m
Profiel 4: 2.0 m

Uitgaande van een ontwerppeil van NAP+6.35 (profiel 0) en NAP+6.45 (profiel 2 en 4) gelden de volgende minimale kruinhoogtes voor de Schermdijk:

minimaal vereiste kruinhoogte Schermdijk:

Profiel 0: NAP+6.35 – 0.9 = NAP + 5.45 m
Profiel 2: NAP+6.45 – 0.2 = NAP + 6.25 m
Profiel 4: NAP+6.45 – 2.0 = NAP + 4.45 m

Indien men nu al de overhoogte wil aanleggen die nodig is om de 0.35 m bodemdaling die verwacht wordt voor het jaar 2060 op te vangen, dan dient men de kruinhoogte als volgt te verhogen:

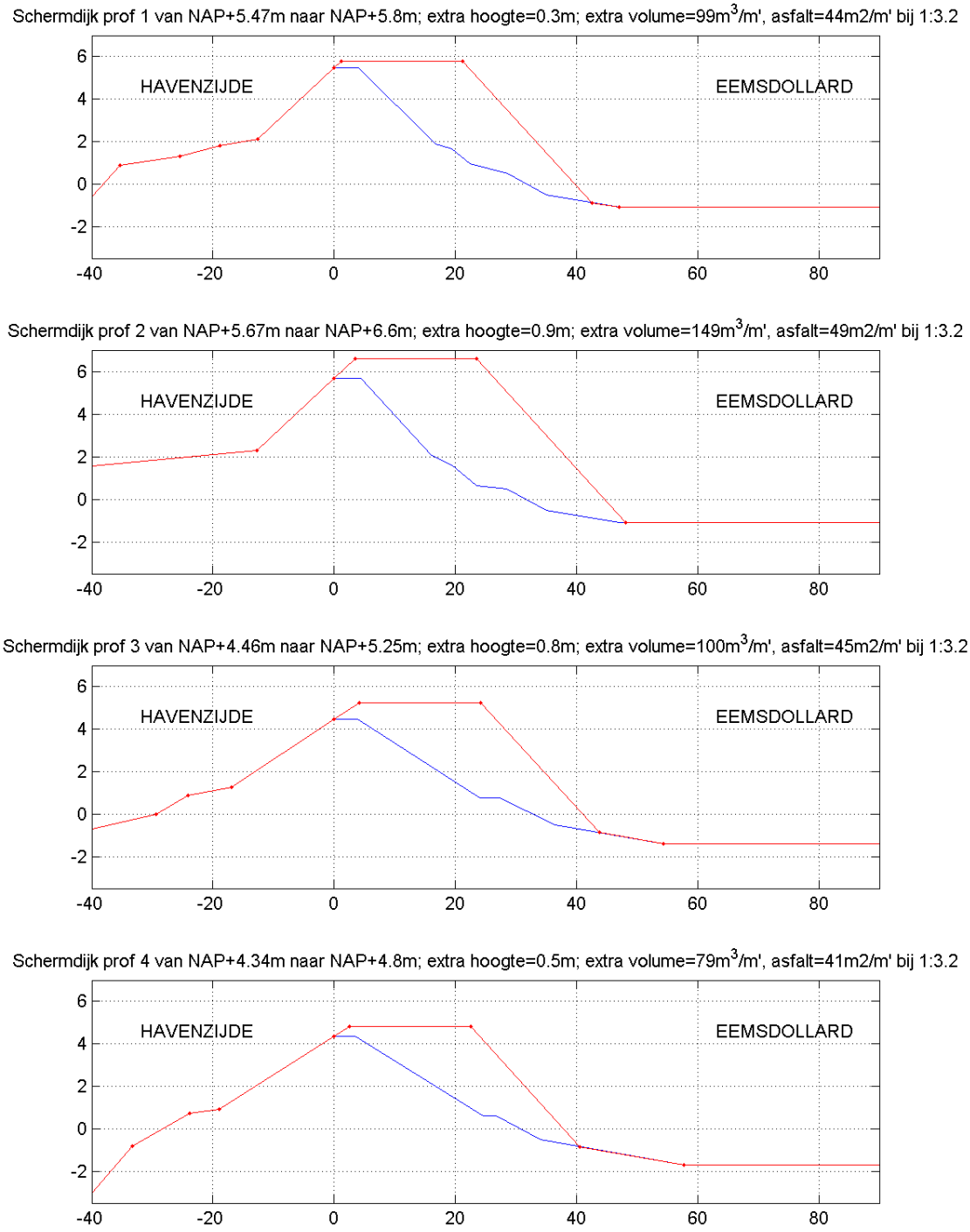
aanleg kruinhoogte Schermdijk

Profiel 0: NAP+5.45 + 0.35 = NAP + 5.8 m
Profiel 2: NAP+6.25 + 0.35 = NAP + 6.6 m
Profiel 4: NAP+4.45 + 0.35 = NAP + 4.8 m

Eigenlijk begint de Schermdijk pas nabij profiel 1 (zie Fig. 1). Ten westen daarvan ligt de Handelskade Oost (hoogte ca NAP+5.5. m) met enkele gebouwen erop.

Figuur 22 toont het ontwerp van de verbreding van de Schermdijk voor profielen 1, 2, 3 en 4. Voor profiel 2 en 4 is uitgegaan van bovenstaande berekeningen. Het ontwerp voor profiel 1 en 3 is geschat. Voor Profiel 3 is geïnterpoleerd tussen de kruinhoogte van profielen 2 en 4, waarbij profiel 4 driemaal zo zwaar meetelt omdat profiel 3 daar driemaal zo dichtbij ligt. Dat levert een aanleg kruinhoogte op van NAP +5.25 m.

Voor profiel 1 is een iets andere opzet gekozen omdat daar de lokale windgroei minder belangrijk wordt geacht. Uitgangspunt is een geschatte toelaatbare golfhoogte op de hoogwaterkering van 0.5 m daar (grofweg tussen profiel 0 (0.46 m) en profiel 2 (0.51 m) in, zie Tabel 4.5, kolom 6 uit Gautier (2010)). Als een klein deel daarvan afkomstig zou zijn van



Figuur 22 Ontwerp van de verbreding van de Schermdijk voor profielen 1, 2, 3 en 4.

lokale windgroei, dan reserveren we een toelaatbare golfhoogte van 0.45 m die van buitenaf via de Schermdijk de kering bereikt. Uitgaande van deze 0.45 m als maximaal toegestane waarde, zou de aanleghoogte van de kruin van de Schermdijk van profiel 1 - inclusief bodemdaling - NAP+5.8 m moeten zijn.

Als helling van het buitentalud is voor de Schermdijk overal 1:3.2 aangehouden. Momenteel bedraagt de helling ca 1:3.5. De Schermdijk in zijn huidige vorm is uitgevoerd als een zandlichaam met bitumen.

8.3.2 Kosten optie b: "harde" versterking van de Schermdijk

De Schermdijk (incl Handelskade Oost) heeft een lengte van ca. 5100 m. Dit splitsen we als volgt op naar de representatieve profielen:

Profiel 0: 900 m
Profiel 1: 200 m
Profiel 2: 850 m
Profiel 3: 500 m
Profiel 4: 650 m
Profiel 5: 2000 m

Verhoging van het oostelijk deel van de Schermdijk is niet direct noodzakelijk om toch tot 2060 de veiligheid te kunnen garanderen. Het achterligende deel van de hoogwaterkering bevat daarvoor nog voldoende hoogte (Gautier, 2010). Voor de versterking van de Schermdijk gaan we daarom voorlopig uit van een totaal te versterken lengte van 3 km. De daarvoor benodigde hoeveelheid sediment is berekend in Tabel 4.

	lengte [m]	volume zand per m [m3/m']	totaal volume zand [10^3 m3]	Kosten zand [€10/m3]
0	900	ca 100	90	
1	200	100	20	
2	850	150	127.5	
3	500	100	50	
4	650	80	52	
5	2000	-	-	
tot			340	3.4 M€

Tabel 4 Kostenschatting van het benodigde sediment voor verhoging van de Schermdijk over een lengte van 3 km met een kruinbreedte van 20 m (zie Fig. 22).

Bovenop deze 3.4 M€ voor zand komen de kosten voor aanleg van een bekleding. Uitgaande van 6M€ per kilometer bekleding, komen deze kosten bij 3 km op 18 M€.
De schatting voor de totale kosten komen daarmee op 21.4 M€.

8.4 Kostenschatting optie c: versterking hoogwaterkering

8.4.1 Ontwerpeisen optie c

Als men zou besluiten de Schermdijk niet aan te passen, dan dient de primaire kering aangepast te worden om in 2060 – de waterstand is dan naar verwachting met 0.35 m gestegen, de bodem even zoveel gedaald - voldoende veiligheid te bieden.

In deze paragraaf worden de benodigde dimensies gegeven.

Met behulp van het programma PC-overslag zijn enkele berekeningen gemaakt om – uitgaande van de geschatte hydraulische randvoorwaarden voor het jaar 2060 – de benodigde kruinhoogte voor het jaar 2060 te bepalen, zie 5. De Schermdijk is hierbij buiten beschouwing gelaten.

profiel	huidige kruin hoogte t.o.v NAP [m]	verwachtte bodem- daling in 2060 [m]	invoer			uitvoer	benodigde verhoging kruin [m] incl. 0.35 m bodemdaling
			waterstand (2060) t.o.v NAP [m]	golfhoogte (1.1*HR2006) Hs [m]	golfperiode (≈4*√Hs) Tp [s]	benodigde kruinhoogte t.o.v. NAP [m]	
0	7.36	0.35	6.35	1.21	4.4	8.65	1.6
1	7.67	0.35	6.45	1.32	4.60	8.76	1.4
2	7.69	0.35	6.45	1.49	4.88	8.98	1.6
3	8.44	0.35	6.45	1.49	4.88	9.13	1.0
4	8.53	0.35	6.45	1.49	4.88	8.58	0.4
5	8.56	0.35	6.45	1.49	4.88	8.12	-0.1

Tabel 5 Schatting benodigde kruinhoogte primaire kering in het jaar 2060 (voor ligging van de profielen zie Fig. 1)

De kering langs het centrum van Delfzijl heeft een andere vorm dan langs het Chemiepark. Aangezien de damwand niet goed te schematiseren is in PC-overslag, maken we voor Profiel 0 langs het stadscentrum gebruik van het programma Breakwat om de benodigde kruinhoogte voor het jaar 2060 te bepalen. We schematiseren de kering als een “verticale wand”, en berekenen iteratief bij welke kruinhoogte het overslagdebiet circa 1 l/s/m zou zijn. Voor de hydraulische belasting van 2060 en uitgaande van een golfrichting van 45˚ met de normaal van de kering blijkt de benodigde kruinhoogte NAP+8.65 m te zijn.

Profiel 5, biedt naar verwachting in 2060 voldoende veiligheid. De overige profielen dienen verhoogd te worden om het hoofd te bieden aan de te verwachten zeespiegelstijging en bodemdaling. In het westen, bij profiel 0 en 2 is de benodigde verhoging het grootst, namelijk 1.6 m (Fig. 23).

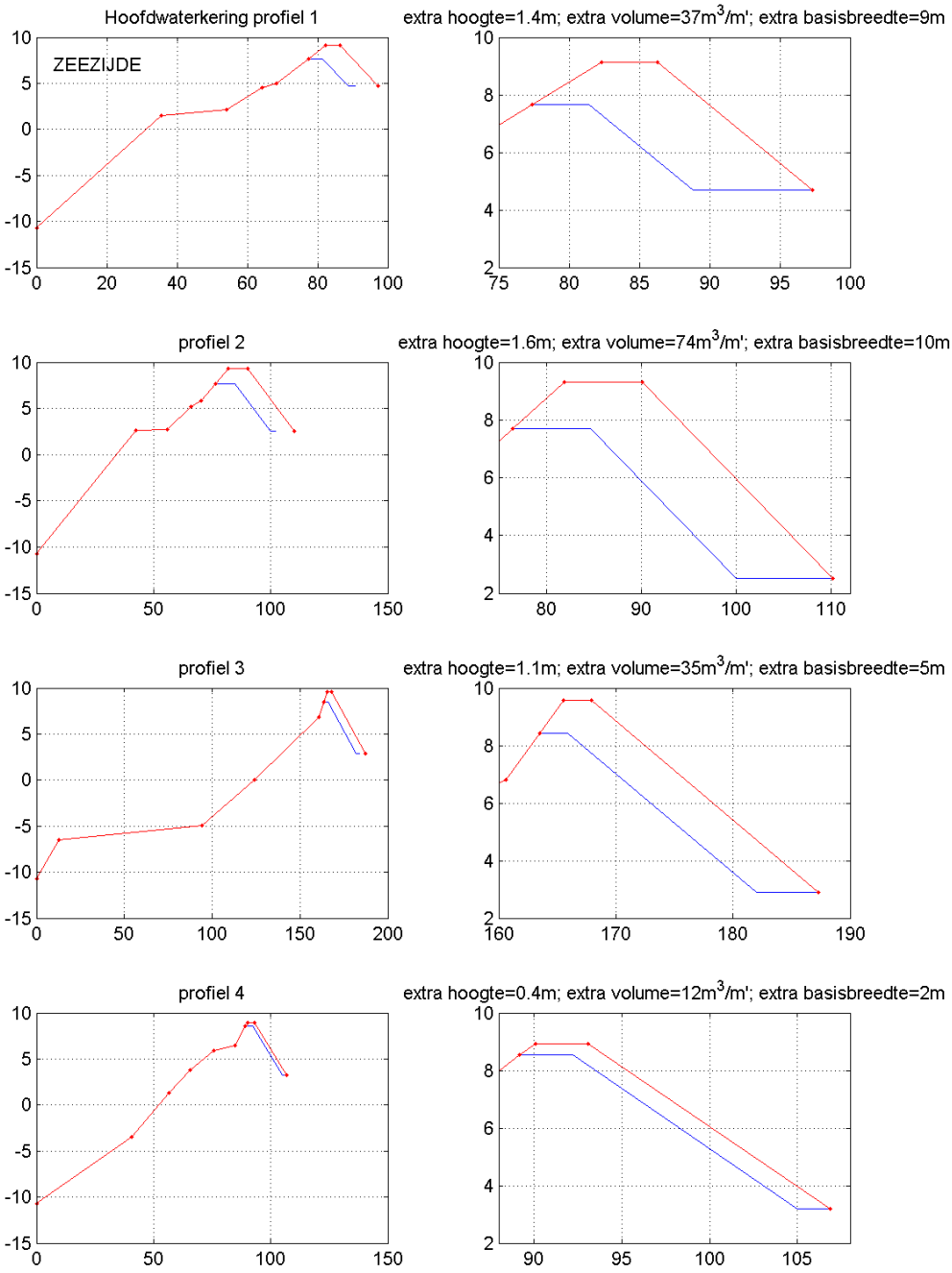


Fig. 23 Ontwerp voor een binnendijkse versterking van de hoogwaterkering in Delfzijl voor de profielen 1,2,3 en 4

8.4.2 Kosten optie c: versterking van de hoogwaterkering

Profiel 5, biedt naar verwachting in 2060 voldoende veiligheid. De overige profielen dienen verhoogd te worden om het hoofd te bieden aan de te verwachten zeespiegelstijging en bodemdaling. Er wordt uitgegaan van binnendijkse verhoging. De kosten zijn op te splitsen in de volgende onderdelen:

1) dijkverhoging à €2000 per m en per m ophoging
2) onteigenen industrieterrein plus verleggen weg
3) aanpassen damwand.

Het totale ophoging van de hoogwaterkering is weergegeven in Tabel 6.

	lengte [m]	ophoging (zie Fig 23) [m]	verhoging*lengte [m2]	Kosten verhoging [€2000/m2]
0	900			
1	1500	1.4	2100	
2	1250	1.6	2000	
3	500	1.1	550	
4	750	0.4	300	
5	2000	0	0	
tot	6900		4950	10 M€

Tabel 6 Kostenschatting voor de hoeveelheid benodigd sediment voor versterking van de hoogwaterkering

Bovenop deze 10 M€ voor de binnendijkse verhoging komen de kosten voor noodzakelijke onteigening en zo nodig het verleggen van een weg, voor het realiseren van de benodigde breedte van de kering. Deze kosten zijn hier in een eerste benadering geschat op zo'n 10 M€. Tenslotte dient ook de damwand met circa 1.6 m opgehoogd te worden. Wellicht zal hiervoor ook de basis verbreed moeten worden, wat weer onteigening vereist. Een grove eerste kosteninschatting voor de constructieve aanpassingen plus eventuele grondonteigening is 12 M€.
De totale kosten voor een versterking van de hoogwaterkering worden geschat op 32 M€.

8.5 Kostenvergelijking

	lengte [km]	"grond" [10^3 m3]	eenheids prijs zand / keileem [€/m3]	"grond" [M€]	eenheids prijs bekleding [M€/km]	bekleding [M€]	Onteige-nen industrie [M€]	rijs-dam [M€]	dam-wand [M€]	**totaal [M€]**
a	3	3740	10 / 5	27.3	-	-	-	2.3	-	**30**
b	3	340	10	3.4	6	18	-	-	-	**22**
c	5	-	-	10	-	-	10	-	12	**32**

Tabel 7 Vergelijking van indicatieve kostenschattingen voor de drie opties; (a) kwelderwal en kwelderwerken, (b) "harde" versterking Schermdijk en (c) versterking van de hoogwaterkering

Bovenstaande kostenvergelijking dient gezien te worden als een eerste globale inschatting. Bij de kwelderwal - alternatief a – heeft men nog de vrijheid om een kleinere lengte te kiezen. (zie ook par. 6.5). Dit zorgt direct voor een kostenreductie, zonder dat de veiligheid in gevaar komt. Voor de harde versterkingen van alternatief b en c zou het verkleinen van de lengte de veiligheid ondermijnen. Het verkorten van de constructie is voor deze alternatieven dus geen optie.

9 Discussie

9.1 Onzekerheden en kansen

Een eerste ruwe vergelijking van de kosten van de verschillende opties om tot 2060 voor Delfzijl veiligheid te bieden tegen overstromingen, laat voor alle opties een vergelijkbare waarde zien. Daarbij moet wel worden aangetekend dat het een zeer ruwe, eerste benadering betreft. De marges rond de schattingen zijn groot. Enerzijds komt dat door de grote marges rond de eenheidsprijzen van het te gebruiken materiaal cq de toe te passen methode. Anderzijds door de grote onzekerheden rond het ontwerp en door de vele varianten die daarbij mogelijk zijn.

Voor de kwelderwal en kwelderwerken zijn al een groot aantal varianten genoemd in par. 6.5. Daarbij is gewezen op de mogelijkheden om te faseren in de ruimte zowel als in de tijd. Dat levert mogelijkheden op voor allerlei verschillende afmetingen (en dus kosten). Een andere variant wordt geboden door de sediment-samenstelling te wijzigen.
De kostprijs van het te gebruiken sediment is sterk afhankelijk van de ‘bron’ waaruit dit kan worden verkregen. Gezien de omvang van alle door de mens gestuurde sedimentstromen in dit gebied – samenhangend met onderhoud en verdieping van vaargeulen en havens -, liggen hier grote kansen om win-win situaties te scheppen door het maken van werk met werk.

Specifiek kijkend naar een kwelderwal (optie a) en “harde’ versterking van de Schermdijk (optie b), zou bij de kostenschatting ook het rentevoordeel in beeld moeten worden gebracht dat ontstaat door het uitstel (tot 2060) van investeringen aan de hoofdwaterkering.

Voordat tot een meer definitieve keuze kan worden gekomen, is het wenselijk nader te onderzoeken welke optimalisaties er mogelijk zijn door combinaties van de drie opties, zowel voor het realiseren van hoogwaterbescherming als voor ecologische doeleinden. Wat dat laatste betreft moet niet alleen worden gedacht aan de mogelijkheden van de kwelderwal en kwelders, maar evenzeer aan ecologische optimalisatie van de harde zeeweringen; de mogelijkheden voor het toepassen van Rijke Dijk concepten.

9.2 Beleid en relevante programma’s

Nederlands beleid (o.a. PKB) is gericht op vergroting kwelderareaal en herstel van geleidelijke en volwaardige zoet-zout overgangen, in Friesland wordt gestreefd naar uitbreiding van kwelder areaal door ontpoldering van zomerpolders. Alleen in Noord-Holland zijn plannen voor actieve vergroting van kwelders door kwelderwerken.
Een kwelderwal en kwelderwerken bij Delfzijl, past goed binnen dit beleid.

Het klimaatbuffersprogramma van VROM is op zoek naar mogelijkheden om waterveiligheid en natuurontwikkeling op een duurzame manier te verbinden. Het Kwelderwal concept is daarvoor een mogelijk bruikbare insteek. Aangetoond moet worden dat de natuurontwikkeling bijdraagt aan veiligheid en een waarde heeft voor het ecosysteem op regionaal niveau.

Hiernaast levert het nationale hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) mogelijkheden om noodzakelijke dijkversterking te zoeken in de breedte van het voorland en niet per definitie in de hoogte van de bestaande dijk. Hiertoe moeten Rijkswaterstaat en

Waterschappen elkaar vinden in samen gedragen zachte ontwerpen. Dat dit mogelijk is bewijst de ontwikkeling van de Groene Golfremmende Dijk in het RVR programma ‘Ontpoldering Noordwaard’.

Het Delta-programma biedt evenzeer een kader voor het experimenteren met klimaatbestendige, multi-functionele oplossingen, Een Kwelderwal bij Delfzijl zou in dit verband als een nuttige pilot kunnen functioneren.

9.3 Noodzaak voor aanvullend onderzoek

Tot nu toe is slechts een zeer globale studie uitgevoerd van het Kwelderwal concept. Gegeven de resterende grote onzekerheden, maar ook de kansen die dit concept biedt, is meer gedetailleerd onderzoek gerechtvaardigd en gewenst.

Onderwerpen:

- Van belang is om op locatie voldoende rustige omstandigheden (met name in relatie tot golfwerking) te creëeren die kweldergroei mogelijk maken. Dit leidt mogelijk tot het ontwerp van enkele luwte dammen aan weerszijden van de kwelder. Noodzaak, locatie en grootte dienen nader te worden onderzocht.
- De kwelder gaat functioneren als slib en zand opslag voor het omliggende gebied. De stroom patronen worden aangepast. Het effect van deze geomorfologische verandering op verdeling van diepe en ondiepe gebieden is nog onvoldoende bekend.
- De kwelder, maar ook de daarachter liggende hoge wal zal een rol gaan spelen in de beschikbaarheid en benutting van habitats in het (omliggende) gebied. Huidige arealen van intertidale en subtidale habitats worden mogelijk verkleind. De betekenis hiervan dient nader te worden uitgewerkt.
- Het is nuttig om de mogelijkheden te verkennen om variaties (breedte, hoogte, geulpatroon) in de ‘start’-kwelder aan te brengen in langsrichting. Hierdoor ontstaan niet alleen kansen voor een gunstiger kostenplaatje - zoals al hierboven aangegeven -, maar ontstaat ook een meer natuurlijk ogende kwelder. Meerwaarde voor natuur, invloed op aanslibbing en aanlegkosten moet worden onderzocht
- Mogelijk is het creëren van een specifiek biotoop voor broedvogels een eenvoudig te behalen meerwaarde tijdens kwelderaanleg. De mogelijkheid moet worden onderzocht.

Aangaande beheer:

- De aard van de ontwikkeling van de kweldervegetatie na aanleg van de kwelderwal is afhankelijk van ontwerp aspecten (hoogte, breedte, ontwatering) en fysische forcering door getij en golven. Monitoring is nodig om kennis te vergroten en om in de periode na aanleg van de eerste fase de ontwikkelingen bij te sturen indien nodig.
- Ruimtelijke en seizonale zonering van het gebied heeft invloed op recreatiewaarde en natuurwaarde. De mogelijkheden voor en effecten van zonering moeten nader worden bestudeerd.
- Een gefaseerde aanleg van rijshouten dammen is mogelijk zonder grote natuurschade.

10 Samenvatting en conclusies

Een eerste, ruwe verkenning van de mogelijke vorm, omvang, kosten en ecologische potenties van een kwelderwal met kwelderwerken voor Delfzijl, heeft geleid tot de volgende conclusies:

Een Kwelderwal (strandwal met kwelderwerken) voor Delfzijl, biedt de (anno 2010) wettelijk vereiste veiligheid van de waterkering op een termijn van 2060, zonder dat de huidige hoogwaterkering hoeft te worden verhoogd.

Een Kwelderwal biedt een solide basis voor eventuele versterkingen na 2060 voor een tijdshorizon van 200 jaar vanaf nu.

De kosten van zo'n Kwelderwal liggen, volgens een eerste ruwe schatting, in dezelfde orde van grootte (€30 mln) als het traditioneel versterken van de huidige hoogwaterkering (€32 mln), en zijn zo'n 30% hoger dan het traditioneel versterken van de Schermdijk (€22 mln).

Een Kwelderwal biedt kansen voor fasering, dit levert flexibiliteit in het licht van onzekere zeespiegelstijging en klimaatverandering.

Een Kwelderwal biedt kansen voor een combinatie van veiligheid, natuurontwikkeling, recreatie en een natuurvriendelijker aanzicht van Delfzijl.

Aanleg van een Kwelderwal levert een ecologische meerwaarde voor het Eems-Dollard gebied, zeker voor het areaal pionierzone van de kwelder.

Aanleg en fasering van een Kwelderwal draagt bij aan een duurzaam en effectief sedimentbeheer van de Eems-Dollard. Door bij de aanleg gebruik te maken van de bestaande sedimentstromen uit vaargeul onderhoud en verdieping, is een win-win situatie te creeeren.

Fasering in de tijd levert de mogelijkheid om natuurwaarde bij te sturen en gebruik te maken van natuurlijke aanslibbing om kosten te besparen.

Een Kwelderwal biedt kansrijke perspectieven. Deze kansen, maar ook de gegeven, grote onzekerheden maken nader onderzoek gerechtvaardigd (en gewenst).

11 Referenties

Gautier, C., 2010, Mogelijke golfreductie Schermdijk voor Delfzijl, Deltares rapport 102323, maart 2010

Leest, W.A van der, J. Groothuis en n. Hildenbrant, 2009, De beschermende dijk; onderzoek kustverdediging Delfzijl, afstudeerrapport Hanzehogeschool Groningen, December 2009

Marconi, 2009, Maritieme concepten in beeld, Eindrapportage verkenning mogelijkheden versterking maritiem karakter Delfzijl- project Marconi, Gemeente Defzijl, October 2009

Waddenwerken (2008), Waddenwerken; een veilige kering die meegroeit met de zee, Eindrapportage marktverkenning Afsluitdijk – Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, november 2008, rapport DHV / Imares / Hosper [http://www.rijkswaterstaat.nl/images/WaddenWerken_tcm174-218403.pdf]