

Lange Termijn Visie Schelde- estuarium

Frank den Heijer, Ed Calle

juni 2000

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Doel en aanpak van het onderzoek.....	2
3	Definitie ‘grenzen’ aan dijkverbetering	4
3.1	Discussie in de werkgroepvergadering van 29-6-‘99.....	4
3.2	Oorzaken die noodzaken tot dijkverzwaring.....	5
3.3	De ‘grens’ bepaald door sleutelcriteria	5
3.4	Conclusie.....	7
4	Inleiding cases.....	8
5	Case Westerschelde : Technische haalbaarheid klassieke dijkverhoging.....	10
5.1	Inleiding	10
5.2	Gebieds- en ondergrondbeschrijving	10
5.3	Zettingsvloeiingen.....	12
5.4	Macro stabiliteit binnentalud	13
5.5	Vertaling resultaten naar gehele Westerschelde.....	14
6	Cases Zeeschelde	16
6.1	Keermuur Antwerpen.....	16
6.2	Overslagdijk.....	18
7	Samenvatting en conclusies.....	20

1 Inleiding

Door diensten van Nederland en België wordt momenteel een gezamenlijke ‘lange termijn’ visie ontwikkeld voor het Schelde-estuarium. Vanuit Nederland zijn enkele diensten van Rijkswaterstaat betrokken (DWW, RIKZ en Directie Zeeland); vanuit België de Administratie Waterwegen en Zeewezen (de afdelingen Beleid, maritieme Schelde, Waterbouwkundig Laboratorium en Zeeschelde), en de Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer.

Onder verantwoordelijkheid van de Technische Schelde Commissie zijn er drie belangrijke thema's benoemd waarvoor werkgroepen zijn ingesteld: Toegankelijkheid, Veiligheid, en Natuurlijkheid. Het doel van het opstellen van de lange termijn visie is dat toekomstige ontwikkelingen kunnen worden voorzien zodat er beleidsmatig beter op kan worden ingespeeld.

Het thema Veiligheid heeft als taak een deelvisie op te stellen vanuit het oogpunt ‘Veiligheid tegen overstroming’. Hierbij komen de aspecten waterkeringen, waterafvoer en ruimte voor de rivier aan de orde, in relatie tot de functies vaarweg, landgebruik en natuurlijkheid.

Binnen het thema Veiligheid zijn enkele onderwerpen aangemerkt waarvoor ter ondersteuning van het opstellen van de deelvisie onderzoek moet worden uitgevoerd:

- Overzicht overeenkomsten en verschillen in de Nederlandse en Vlaamse werkwijze veiligheidsbeoordeling, inclusief eventuele adviezen voor aanpassingen.
- Inventarisatie mogelijke maatregelen risicominimalisatie, mede bezien in relatie tot relevante andere functies, aspecten en beleidsuitgangspunten.
- Inventarisatie grenzen aan dijkverbeteringen.

Het laatste punt is onderwerp van voorliggend rapport.

Rijkswaterstaat Directie Zeeland heeft de werkzaamheden zoals aangeboden in de offerte bij brief MCI08688\H3633\FdH van 15 november 1999 opgedragen aan WL|Delft Hydraulics (penvoerder) en Geodelft (Orderbon 319042, 22 november 1999). In de offerte is uitgegaan van enkele exercities voor de Westerschelde. Na overleg gedurende de uitvoering van het project bleek het wenselijk het Belgisch deel van het Schelde-Estuarium ook te belichten. In overleg is besloten om in plaats van een tweede kwantitatieve beschouwing van een locatie in de Westerschelde, aan de hand van enkele kwalitatieve voorbeelden nader in te gaan op enkele aspecten die in Vlaanderen van belang zijn in relatie tot grenzen aan dijkverbeteringen.

Het project is uitgevoerd door F. den Heijer (WL|Delft Hydraulics, projectleider) en E.O.F. Calle (Geodelft). De begeleiding is verzorgd door de heer A. Roos van Rijkswaterstaat DWW.

2 Doel en aanpak van het onderzoek

Bij het opstellen van een lange termijn visie voor het Schelde-estuarium op het gebied van de veiligheid tegen overstromingen is het van belang dat er een goed inzicht bestaat in de waarde van maatregelen die genomen kunnen worden om op diverse veranderingen te kunnen inspelen (klimaatveranderingen, veranderingen als gevolg van ingrepen in het gebied).

Traditioneel is het antwoord op een ramp of bijna-ramp altijd dijkversterking geweest. In het licht van de ontwikkeling in het risico-denken (er wordt momenteel in beide landen steeds meer gedacht in termen van risico's van overstromingen, waarbij ook de mogelijke gevolgen worden betrokken) is het nuttig na te gaan wat de waarde van deze traditionele maatregel in de toekomst kan zijn. Deze waarde hangt af van diverse aspecten: technische mogelijkheden, economische haalbaarheid, maatschappelijke acceptatie, ruimtelijke ordening, etc.

Het doel van het onderzoek is het uitvoeren van een verkenning naar de waarde van dijkverbetering/versterking in de toekomst, voornamelijk gebaseerd op de aspecten 'technische mogelijkheden' en 'economische haalbaarheid'. Daarnaast worden andere aspecten niet uit het oog worden verloren.

Het onderzoek is in twee delen gesplitst:

- fase 1: een beschouwende analyse, waarin wordt ingegaan op de wijze waarop de 'grenzen' aan dijkverbetering worden bepaald, welke sleutelcriteria hierbij een rol spelen, en hoe deze het best kunnen worden afgetast en inzichtelijk gemaakt.
- fase 2: een drietal case studies waarin indicatieve berekeningen de beschouwende analyse kunnen inkleuren.

Fase 1 Definitie 'grenzen' aan dijkverbetering

Technisch gesproken zijn er vermoedelijk altijd wel mogelijkheden om dijkverbeteringen uit te voeren en zo de veiligheid te vergroten. 'Grenzen' zullen in de praktijk veelal worden gegenereerd door andere aspecten. Een praktische grens gebaseerd op bijvoorbeeld economische haalbaarheid kan worden ingeschat op basis van een vergelijking met kosten van andere maatregelen die de kans op overstroming verkleinen.

Sleutelcriteria ten aanzien van grenzen aan dijkverbetering zullen dus naast technische haalbaarheid ook betrekking hebben op andere aspecten die bij bestuurlijke besluitvorming aan de orde zijn, zoals: de genoemde financiële/economische haalbaarheid (waaronder het verwacht maatschappelijk rendement van technische verbeteringen), maatschappelijke acceptatie (bijvoorbeeld in verband met esthetische waarden en gevoelswaarden), randvoorwaarden in het kader van "ruimte voor de rivier" en mogelijkheden van toelaatbaarheid van beperkte inundatie.

Het is van belang een overzicht te krijgen van de belangrijkste sleutelcriteria, en hoe deze de genoemde ‘grenzen’ vastleggen. Een concreet voorbeeld van een belangrijk sleutelcriterium is de kosten van dijkverhoging per km per meter verhoging.

Voor de diverse sleutelcriteria kan de mate waarin deze de ‘grens’ bepaald variëren in het Schelde-estuarium. Hierdoor kunnen in verschillende delen van het estuarium verschillende ‘grenzen’ gelden voor dijkverzwaring.

Fase 2 Vaststelling ‘grenzen’ aan dijkverbetering

Wanneer inzicht is verkregen in de sleutelcriteria en de wijze waarop hiermee de ‘grenzen’ worden vastgelegd is het mogelijk om een beperkt aantal goed gekozen case studies te definiëren op basis waarvan een beeld kan worden verkregen van de grenzen aan dijkverbetering. Aan de hand van resultaten van een case studie in de Westerschelde en enkele kwalitatieve case studies in de Zeeschelde zal bij wijze van indicatie een vertaling worden gemaakt naar conclusies voor het gehele Schelde estuarium ten aanzien van de grenzen aan dijkverbetering.

3 Definitie ‘grenzen’ aan dijkverbetering

Bij elk ontwerpvraagstuk speelt in de praktijk de discussie rondom de haalbaarheid van traditionele ontwerpen of alternatieven. Veelal wordt de haalbaarheid niet bepaald door grenzen aan de techniek, maar door grenzen die door andere aspecten worden gesteld, zoals ruimtelijke ordening of maatschappelijk draagvlak. Bij de ontwikkeling van de Lange Termijn Visie wordt een aantal van dergelijke aspecten beschouwd, waaronder de haalbaarheid van traditionele dijkverzwaring. Het verschil met een ‘normaal’ ontwerpvraagstuk is dat het hierbij gaat om een situatie in de toekomst, waarvan de omstandigheden nu nog niet bekend zijn. De werkgroep Veiligheid ontwikkelt een Lange Termijn (deel)Visie voor het aspect veiligheid waarbij wordt getracht problemen in de toekomst voor te zijn.

Voor de onderhavige verkenning naar ‘grenzen’ aan dijkversterkingen is het daarom nuttig na te gaan welke problemen in de toekomst het hoofd moet worden geboden. We denken hierbij aan zeespiegelstijging, toenemende neerslag, toenemende intensiteit van stormen, maar ook aan de wellicht toenemende ‘vraag’ om veiligheid vanuit de maatschappij.

In plaats van een ‘grens’ aan dijkverzwaring wordt hier liever gesproken over de haalbaarheid van dijkverzwaring in het licht van de mogelijke (systeem)veranderingen.

In dit hoofdstuk wordt een aantal aspecten benoemd die de haalbaarheid van dijkverzwaring beïnvloeden. Eerst wordt de discussie in de werkgroepvergadering van 29-6-’99 kort samengevat. Vervolgens wordt ingegaan op de mogelijke veranderingen die de veiligheid beïnvloeden. Tenslotte wordt ingegaan op sleutelcriteria die de haalbaarheid van dijkverzwaring kunnen bepalen. Dit palet definieert dan tezamen de ‘grens’.

3.1 Discussie in de werkgroepvergadering van 29-6-’99

In de werkgroep Veiligheid is de haalbaarheid van dijkverzwaring aan de orde geweest. Belangrijke technische vragen waren hierbij:

- Kan de stabiliteit van een dijk bij verzwaring zodanig verminderen dat dit geen reële optie meer is?
- Is het denkbaar dat er bij dijkverzwaring andere / onbekende bezwijkmechanismen een rol gaan spelen?
- Kan er ongestoord worden verhoogd in relatie tot eventuele bodemzakking?

Er is geconcludeerd dat veelal alles technisch wel mogelijk is, tegen kosten die afhankelijk zijn van de omstandigheden. Het technische vraagstuk wordt dan een financieel vraagstuk. Er zijn meer financiële aspecten:

- Bij dijkverzwaring gaat het direct om vele honderden kilometers. Het is van belang dat een afweging wordt gemaakt tussen de dijkverzwaring als lokale maatregel en globale maatregelen (zoals stormvloedkeringen en GOG’s)

- Bij hogere dijken kan het zijn dat de gevolgen per overstromingsgebeurtenis toenemen. Dit houdt ook een risico in.

Als belangrijke maatschappelijke vraag is aangemerkt in hoeverre er bij dijkverzwaring uitzicht wordt belemmerd.

Ook het ruimtebeslag dat dijkverhoging met zich meebrengt kan als grens aan de traditionele dijkverzwaring gaan fungeren.

3.2 Oorzaken die noodzaken tot dijkverzwaring

Eventuele oorzaken die noodzaken tot maatregelen om voldoende veiligheid te blijven bieden aan het achterland kunnen hoofdzakelijk worden gecategoriseerd in de volgende drie typen:

- De bedreiging verandert (zeespiegelstijging, toenemende neerslag, toenemende intensiteit van stormen).
- Het bedreigde gebied verandert (de inhoud van de gebieden verandert van waarde, het aantal of de gevoelswaarde van de inwoners verandert). In Nederland is de beschermde waarde in de Randstad sinds de Deltacommissie (1960) ongeveer verdubbeld.
- De veiligheidsnormen veranderen.

In het geval we een Lange Termijn Visie opstellen voor 30 jaar dan zullen we bovengenoemde potentiële veranderingen moet kwantificeren voor het jaar 2030, inclusief de mate van onzekerheid die met deze schattingen gepaard gaan. In hoofdstuk 4 worden deze mogelijke veranderingen globaal gekwantificeerd.

3.3 De 'grens' bepaald door sleutelcriteria

De concrete vraag is: Indien er in 2030 evenveel veiligheid moet worden geboden aan het achterland als nu, met welke aspecten moet dan rekening worden gehouden wanneer de haalbaarheid van dijkverzwaring wordt afgetast.

Sleutelcriteria

In het volgende wordt een lijst gegeven van mogelijk sleutelcriteria ingedeeld in diverse categorieën en invalshoeken.

Kosten en baten

- Samenhangend met de aanleg (mobilisatiekosten, kosten per km dijkverzwaring),
- Samenhangend met het dijkonderhoud
- Samenhangend met de toegenomen veiligheid (verwachte risico-reductie door dijkverzwaring)

Economie

- Werkgelegenheid
- Gevolgen voor de scheepvaart (zoals belemmering tijdens delen van de bouwphase)

Techniek

- Belastingen (niet alleen de hydraulische)
- Type, geometrie en materiaalopbouw van de bestaande waterkering
- Gesteldheid van de ondergrond

Ruimtelijke ordening

- Overige functies van de waterkering en het aangrenzend gebied
- Ruimtebeslag

Maatschappelijke acceptatie

- Uitzicht
- Aanpakken ‘mooie’ dijk / LNC-waarden
- Gevoel van veiligheid

Toepassing sleutelcriteria

Wanneer de situatie op alle genoemde aspecten wordt beoordeeld resulteert er een aantal overzichten (financieel/economisch, technisch, etc.). Hieruit kan de haalbaarheid echter nog steeds niet goed worden gedestilleerd. Een vergelijking op alle aspecten met een of meerdere alternatieven voor dijkverzwaring kan hiertoe wel dienen. Dan worden de voor- en nadelen van dijkverzwaring in perspectief gezet.

Alternatieven voor traditionele dijkverzwaring (verhogen, verbreden, aanbermen, etc.) zijn:

- Lokale alternatieven (Verticale keermuur, L-wand op bestaande dijk, overstroombaar talud)
- Globale alternatieven (stormvloedkering, Gecontroleerde Overstromings Gebieden, etc.)

Een afweging zou bijvoorbeeld in een tabel kunnen worden gevisualiseerd (zie bijvoorbeeld tabel A1 in Appendix A). Deze tabel kan worden gevuld met kwalitatieve gegevens (+/0/-), of kwantitatieve gegevens (kosten, etc.).

Voor het definiëren van een ‘grens’ aan of van de haalbaarheid van dijkverzwaring wordt nu afgewogen door voor oplopende waarden van de benodigde dijkverhoging (1, 2, .. m) een dergelijke tabel in te vullen. Uiteraard zal dijkverzwaring alleen als onhaalbaar worden aangemerkt wanneer er een duidelijk verschil is met andere alternatieven.

Voorbeeld ‘grens’ / haalbaarheid dijkverzwaring:

Bij wijze van voorbeeld wordt er voor het aspect aanlegkosten een vergelijking gemaakt tussen dijkverzwaring voor het gehele Wester- en Zeescheldegebied (ca. 400km) en de bouw van een Stormvloedkering. Met behulp van de kentallen ‘initiatiekosten’ (bv. 400M[€]) en ‘kosten per km dijk lengte per meter benodigde dijkverhoging’ (bv. 2 M[€]) kunnen de aanlegkosten van dijkverzwaring worden bepaald. De aanlegkosten van een stormvloedkering zijn hoog, maar zullen daarentegen niet al te veel stijgen als functie van de verwachte belastingen. In onderstaande tabel is het voorbeeld indicatief ingevuld:

benodigde dijkverhoging	Dijkverzwaring	Stormvloedkering (welke dijkverhoging in 1e kolom voorkomt)
1	1200	1500
1.5	1600	1700
2	2000	1900

Tabel 2 Voorbeeld van de aanlegkosten in euro (€) van dijkverzwaring versus een stormvloedkering

Uit deze gegevens is te zien dat op grond van alleen het aspect aanlegkosten de grens aan de haalbaarheid van dijkverzwaring tussen 1.5 en 2 meter dijkverhoging ligt.

3.4 Conclusie

Er wordt geconcludeerd dat het verkennen van een 'grens' dijkversterking meer is dan een technisch vraagstuk. Uiteraard spelen er veel meer aspecten dan in het voorbeeld in paragraaf 3.3, zoals ook in de gegeven lijst met sleutelcriteria blijkt.

De vaststelling van de werkelijke haalbaarheid van dijkversterking in een groot estuarium is complex. Per dijkvak spelen er diverse aspecten die niet onder een noemer zijn af te wegen (appels en peren). Daarnaast verschilt de afweging vermoedelijk van dijkvak tot dijkvak, zodat er achteraf ook nog eens integraal naar de resultaten moet worden gekeken.

4 Inleiding cases

In het licht van de vraagstelling is het interessant om voor enkele locaties, waar geheel verschillende sleutelcriteria van belang zijn na te gaan waar grenzen zich zullen gaan manifesteren.

Als eerste is voor een traditionele dijkverhoging gekozen in de Westerschelde. Deze wordt nader kwantitatief uitgewerkt in hoofdstuk 5. Het belangrijkste sleutelcriteria zal hier van technische aard zijn: hogere hydraulische belastingen, zodat de stabiliteit moet worden gecontroleerd.

In hoofdstuk 6 wordt gekeken naar Antwerpen, waar veelal keermuren de waterkering vormen, en waar weinig ruimte is. Toekomstige verhogingen zullen hier veelal stuiten op maatschappelijke bezwaren.

Tenslotte wordt een (willekeurige/fictieve) dijk langs de Zeeschelde in beschouwing genomen, waar wederom de ruimte een probleem vormt. Hier zal een omschrijving worden gegeven van mogelijke grenzen die zouden kunnen opspelen wanneer een overstroombare dijk moet worden geconstrueerd.

In het volgende zal achtereenvolgens voor de eerste en de volgende twee cases een schatting worden gemaakt van de te verwachten benodigde verhoging in 2030. Hierbij worden telkens 2 aspecten beschouwd: een veranderende bedreiging en een verandering van het bedreigde.

Westerschelde

Voorbeeld van een veranderende bedreiging

De zeespiegelstijging en de getijslagvergroting (o.a. door menselijke ingrepen) beïnvloeden de hoogwaterstanden in de Westerschelde, en bedraagt 25 cm/eeuw bij de monding tot ca. 50 cm/eeuw bij de Nederlands-Belgische grens. Voor de komende 30 jaar betekent dit respectievelijk ca. 10 tot 15 cm.

Over een toename van de intensiteit en zwaarte van stormen is nog erg weinig bekend. Stel echter dat stormen over 30 jaar ca. 2 maal vaker voorkomen. In het Westerscheldebekken is de decimeringshoogte ca. 70 cm, zodat dit een verhoging van de ontwerpwaterstand betekent van ca. 20 cm.

Stel tenslotte dat er door andere oorzaken, zoals bijvoorbeeld een eventuele verdieping van de Westerschelde, nog eens een toename in de ontwerpwaterstanden van 5 cm is te verwachten.

In totaal betreft de waterstandsverhoging dan ca. 35 tot 40 cm. Onder ontwerpomstandigheden zullen dan ook de golven en de golfploop hoger worden. Tezamen resulteert dan een te verwachten verhoging van de ontwerp-dijkhoogte van ca. 70 tot 80 cm.

Voorbeeld van een verandering van het bedreigde gebied

Stel de situatie dat er in het Westerschelde-gebied tweemaal zoveel inwoners worden verwacht (refererend aan de Randstad in de afgelopen 40 jaar is dit een realistisch uitgangspunt). Hoewel dit momenteel nog niet wettelijk is vastgesteld is het denkbaar dat er stemmen opgaan om het risico, in termen van het verwachte aantal slachtoffers, niet te laten oplopen. Ook dan zouden de dijken moeten worden verzwakt, en in de voorgestelde situatie wel zodanig dat de kans op doorbraak tweemaal zo klein wordt. Met de eerder genoemde decimeringshoogte betekent dit dat het dijkontwerp op ca. 20 cm hogere waterstanden moet worden uitgelegd. Dit komt neer op ca. 40 cm hogere dijken.

Gezien het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de mate van dijkverzwaring die in de periode tot 2030 wellicht nodig is in het Westerscheldegebied, ten opzichte van de huidige veiligheidsnormen, in de orde ligt van ca. 1 tot 1.5 m. Wellicht is het verstandig in de onderhavige verkenning rekening te houden met een verhoging van 2 m.

Antwerpen, Zeeschelde

Voorbeeld van een veranderende bedreiging

De zeespiegelstijging en getijslagvergroting beïnvloeden de hoogwaterstanden in de Beneden Zeeschelde vrijwel evenveel als in het oostelijk deel van de Westerschelde, en bedraagt dus ook ca. 50 cm/eeuw. Voor de komende 30 jaar betekent dit ca. 15 cm.

Over een toename van de intensiteit en zwaarte van stormen en/of neerslag intensiteiten is nog erg weinig bekend. Stel echter dat hoge waterstanden over 30 jaar ca. 2 maal vaker voorkomen. Uitgaande van een decimeringshoogte van ca. 50 cm moet dan met een verhoging van de ontwerpwaterstand worden gerekend van ca. 15 cm. In totaal betreft de waterstandsverhoging dan ca. 30 cm.

Bij de beoordeling van de keermuur te Antwerpen gaat men ervan uit dat ook onder ontwerpomstandigheden er nauwelijks golfaanval zal zijn, als gevolg van de geringe strijklengte.

In totaal betreft de mogelijke vergroting van de belasting op de keermuur dus ook ca. 30 cm.

Voorbeeld van een verandering van het bedreigde gebied

Stel de situatie dat er in en rondom Antwerpen veel wordt geïnvesteerd, zodat de totale geïnvesteerde waarde verdubbelt. Hoewel dit momenteel nog niet wettelijk is vastgesteld is het denkbaar dat er stemmen opgaan om het risico, in termen van het verwachte economische schade, niet te laten oplopen. Ook dan zouden de waterkeringen moeten worden verzwakt, en in de voorgestelde situatie wel zodanig dat de kans op doorbraak tweemaal zo klein wordt. Met de eerder genoemde decimeringshoogte betekent dit dat het dijkontwerp op ca. 15 cm hogere waterstanden moet worden uitgelegd. Dit komt via dezelfde benadering als hierboven neer op ca. 25 cm hogere keermuren in Antwerpen en in het geval van dijken 15 cm verhoging.

Gezien het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de mate van dijkverzwaring die in de periode tot 2030 wellicht nodig is in het Zeescheldegebied, ten opzichte van de huidige veiligheidsnormen, in de orde zou kunnen liggen van ca. 0.5 m.

5 Case Westerschelde : Technische haalbaarheid klassieke dijkverhoging

5.1 Inleiding

In de volgende paragrafen zal aan de hand van een voorbeeld concreet worden verkent of er op technische gronden grenzen zijn aan te geven aan de haalbaarheid van dijkverhoging. Zoals in hoofdstuk 4 reeds is aangegeven moet er in principe rekening worden gehouden met 1 tot 1.5 m dijkverhoging in de komende 30 jaar. In het voorbeeld gaan we uit van 2m dijkverhoging. Om deze dijkverhoging te evalueren wordt er in paragraaf 5.2 eerst een beschrijving gegeven van het ondergrondprofiel. In de paragrafen 5.3 en 5.4 worden twee mogelijk belangrijke geotechnische faaloorzaken behandeld van de waterkeringen in het gebied, respectievelijk zettingsvloeiing en macro stabiliteit.

Bij een binnenwaartse dijkverhoging zal het binnentalud landwaarts schuiven. Navraag bij het Waterschap Zeeuwse Eilanden leerde dat er in Nederland reserveringsstroken bestaan van ca. 30 m, en dat deze in de toekomst wellicht worden uitgebreid. De in dit voorbeeld behandelde dijkverzwaring zal op dit punt geen grens ondervinden. Probleemgebieden zijn de bebouwde gebieden zoals Vlissingen en Terneuzen omdat ingrepen daar complexer zijn.

5.2 Gebieds- en ondergrondbeschrijving

De hoogte boven maaiveld en overige afmetingen van een grondlichaam bepalen tot welke diepte de ondergrond direct en indirect invloed heeft op het functioneren van dat grondlichaam.

In Zeeuwsch Vlaanderen ligt het maaiveld boven NAP, op enkele locale uitzonderingen na waar het tussen 0 m en hooguit –1 m NAP ligt. Deze uitzonderingen betreffen in het nabije verleden afgesloten en drooggelegde grotere kreekssystemen.

In Zuid-Beveland en Walcheren ligt het maaiveld behalve in duingebieden en aangelegde terreinen tussen +1 m en –1 m NAP. De lager gelegen gebieden betreffen enerzijds de oudere polders waar in de afgelopen honderden jaren geen sedimentatie is opgetreden en die bijna alle een veenpakket in de ondiepe ondergrond hebben, en anderzijds (zeer lokaal) in het nabije verleden afgesloten en drooggelegde kreekssystemen.

Voor dijken aan de oevers van de Westerschelde is het onderscheid tussen een drietal geologische eenheden van belang, te weten:

- De stevige, sterk overgeconsolideerde dan wel dichtgepakte kleien en zanden uit het Pleistoceen en Tertiair. Het terrein op deze afzettingen aan het begin van het Holocene, toen de kust nog ver van het gebied vandaan lag, had een quasi regelmatige trend met een tweetal wat bredere dalen respectievelijk tussen Hansweert en Hoedekenskerke, en ter hoogte van de Schelde en Het Schelde-Rijn-kanaal (het dal van de vroeg holocene

Schelde). Voordat latere processen dit oppervlak plaatselijk aantastten verliep deze trend van 2 - 4 m – NAP aan de Zeeuwsch Vlaamsche oever, naar 4 – 6 m beneden NAP aan de noordoever, en plaatselijk in de dalen 8 m beneden NAP.

- De holocene kustafzettingen werden tijdens de sterke Holocene zeespiegelstijging op de stevige ondergrond afgezet, zonder het oppervlak daarvan sterk aan te tasten. Deze Afzettingen van Calais en het direct daarna geaccumuleerde Holland Veen zijn voornamelijk direct op het pleistocene terrein afgezet. De Afzettingen van Calais bestaan in het grootste deel van het gebied uit klei, met meer of minder zandlaagjes, en het Holland Veen bestaat grotendeels uit veen met zeer weinig klei. De bovenkant van dit pakket ligt op ongeveer 2 – 3 m beneden NAP, de ligging van de onderkant is uiteraard gelijk aan de bovenkant van de onderste laag zoals bij het eerste punt al aangegeven. Plaatselijk zijn er kreken in het oude landschap geërodeerd tot 10 – 15 m beneden NAP diepte toen deze afzetting werden gevormd. De kreken uit deze periode zijn in het Westerscheldegebied grotendeels met fijn zand opgevuld met daarin plaatselijk pakketten zand met fijne kleilaagjes.
- In een volgende afzettingsfase zijn de Afzettingen van Duinkerke ontstaan. Deze afzettingen bedekken de Afzettingen van Calais en het Holland Veen en vullen de kreken en zee-armen in die in deze afzettingsfase zijn gevormd. De bedekking van Holland Veen en Afzettingen van Calais is voornamelijk klei en lokaal zand met klei. De tot soms meer dan 25 m beneden NAP in de ondergrond uitgeschuurde kreken en zee-armen zijn gevuld met voornamelijk fijn zand. Deze kreek- en zee-arm opvullingen beslaan in het oosten van Zeeuwsch Vlaanderen 10 – 20 % van het tracé van de Westerschelde-oever en in het westen van Zeeuwsch Vlaanderen en Zuid Beveland en Walcheren 30 – 50 %.

De sterkte en stijfheid van de pleistocene en tertiaire zanden en kleien in de ondergrond is zodanig hoog dat een verhoging van de spanning door de genoemde dijkverhoging en -verzwaring slechts elastische vervorming zal oproepen met op wat langere termijn relatief zeer geringe vervorming door kruip.

De klei- en veenpakketten in de holocene afzettingen die tot een diepte van 4 m –NAP tot plaatselijk 8 m –NAP voorkomen, zullen sterk worden samengedrukt bij aanzienlijke verhoging van de verticale spanning in de grond. De sterkte van deze grondsoorten is niet hoog. De compactie van deze grondsoorten verloopt relatief snel bij toename van de belasting, mede door de beperkte dikte van de lagen. Vanwege de relatief geringe sterkte van ook het gecompacteerd materiaal zullen er voorwaarden aan de steilheid van de taluds zijn. De taludhelling zal, naar het zich laat aanzien, wat flauwer moeten zijn dan die passend geacht werd voor de huidige dijken.

Ten aanzien van het gedrag van de dikke holocene zandpakketten van met name de Afzettingen van Duinkerken die voormalige grote kreekssystemen en zee-armen opvullen bestaat onduidelijkheid. Deze zandafzettingen zijn bekend doordat oevervallen met name in deze zanden voorkomen. Het optreden van oevervallen in deze zanden, als gevolg van een combinatie van een hoge steile onderwateroever en een uittredend verhang in het grondwater, wijst erop dat er in deze pakketten tenminste lokaal zones voorkomen waar het korrelskelet niet erg stabiel is opgebouwd. Een relatief kleine verstoring kan bij niet stabiele opbouw tot lokale wateroverspanning leiden, waardoor een kettingreactie kan ontstaan die tot bezwijken kan leiden. Een nadere analyse betreffende de gevoeligheid voor

zettingsvloeiing, en de betekenis ervan als beperkende factor voor klassieke dijkverhoging is binnen de beperkingen van huidige opdracht niet haalbaar.

De aanmerkelijke toename van het grondvolume van de dijken bij een verhoging van orde 2 m zal er in het algemeen toe leiden dat de (schijnbare) grondwaterstand, in het dijklichaam stijgt ten opzichte van de nu soms al opmerkelijk hoge grondwaterstand. De stabiliteit van het dijklichaam wordt hierdoor verminderd. Het is daarom noodzakelijk de hydrologische situatie in en onder het dijklichaam te beschouwen om na te gaan of de huidige opbouw van dijken kan worden gehandhaafd voor aanmerkelijk grotere dijken. De bovenste afzettingen, het huidige maaiveld, bestaan nagenoeg altijd uit zogenaamde “inter tidal” en “supra tidal” afzettingen, waarvan de bovenste 0.5 tot 1.5 m uit klei en zandige klei bestaat. Bij de bestaande dijken is deze laag soms wel en soms niet geheel verwijderd hetgeen invloed heeft op het bestaan van een schijnbare grondwaterspiegel in de dijk.

5.3 Zettingsvloeiingen

In figuur 1, zijn op de topografische kaart van de Westerschelde de oeverlocaties aangegeven waar de huidige stroomgeulen zijn ingeslepen in betrekkelijk jonge zandafzettingen van de formatie van Duinkerke. Potentieel zijn dit locaties waar zettingsvloeiingen kunnen optreden, afhankelijk van lokale pakkingsdichtheid en onderwaterhellingen aanwezigheid van bestorting enzovoorts.

Tussen 1880 en 1950 hebben zich op tal van plaatsen langs de Westerscheldedijken oevervallen voorgedaan. Aan de zuidoever met name in de strekking tussen Hoofdplaat tot voorbij de voormalige Braakman, verderop naar het oosten bij Kampen en in de strekking van Perkpolder tot Baalhoek, aan de Noordoever bij Ellewoutsdijk en in de strekking van Hoedekenskerke tot Schore (bij Hansweert).

De vraag in hoeverre een dijkverhoging de kans op zettingsvloeiingen (die tot dijkval leiden) vergroot is niet gemakkelijk te beantwoorden. In de TAW-leidraad voor het toetsen van veiligheid van waterkeringen is een eenvoudige toets voor zettingsvloeiingsgevoeligheid opgenomen, die echter uitsluitend gerelateerd is aan geometrische kenmerken, de aanwezigheid van los gepakte zandformaties en onderwaterhellingen, geuldieptes en bestortingsgrenzen. Pakkingsdichtheid en spanningstoestand in het zandpakket (nabij de dijk) speelt in die toets geen rol, maar wel in een meer geavanceerde toetsing. De eventuele invloed van een dijkverhoging kan alleen tot uiting komen in een geavanceerde toetsing. Daartoe moet eerst onderzocht worden waar, in de bestaande toestand, en rekening houdend met eventuele erosie-effecten (mogelijke geulverleggingen) als gevolg van veranderingen in in- en uitstroomdebieten, de geometrische toetsing al leidt tot het stempel “voldoende veilig”. Op die plaatsen is zettingsvloeiingsgevoeligheid geen beperkende factor voor dijkverhoging. Waar de geometrische toetsing niet leidt tot de uitkomst “voldoende veilig”, is een geavanceerde toetsing nodig, waarbij spanningtoename in het zandpakket als gevolg van dijkverhoging wel een rol speelt. Op die locaties waar uit die toetsing het predikaat “onvoldoende” volgt kan zettingsvloeiingsgevoeligheid een beperkende factor zijn voor klassieke dijkverhoging.

5.4 Macro stabiliteit binnentalud

Op plaatsen met een holocene ondergrondopbouw bestaande uit klei, klei/zand en veenpakketten zou mogelijk de binnenwaartse stabiliteit een beperkende factor voor klassieke dijkverhoging kunnen zijn. Deze pakketten zijn grotendeels onderdeel van de Calais-formatie en worden aanguid als het “oude land”. Globaal wordt deze ondergrondopbouw langs de Westerschelde oevers gevonden in die gebieden welke op de kaart (figuur 1) niet zijn aangegeven als zettingsvloeiingsgevoelig. De totale dikte van het holocene pakket varieert, de grootste dikte wordt in het noordoostelijke gebied gevonden (pakketdiktes van ca. 8 meter).

Om de invloed van dijkverhoging op de binnenwaartse (macro) stabiliteit te onderzoeken zijn voor de locatie Waerde (langs de Waerdepolder, oostelijk van Kruiningen), dp 34, stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Het originele dijkprofiel is ontleend aan bestekstekeningen van de dijkverzwaring na de overstromingsramp in 1953. De oude dijk is opgebouwd uit klei, de binnenwaartse verhoging en verzwaring is uitgevoerd in zand. Gerekend is met een ondergrondopbouw, bestaande uit afwisselend horizontale lagen klei, veen enzovoort, zoals aangegeven in de figuren 2, 3 en 4.

In onderstaande tabel zijn, in de volgorde van voorkomen van boven naar beneden schattingen voor de grondeigenschappen gegeven, waarmee de stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd.

	Droog vol. gew. kN/m ³	Nat vol. gew. KN/m ³	Effectieve cohesie kN/m ²	Tangens hoek inw. wrijving
Dijksmateriaal klei	17	17	8	0.38
Dijksmateriaal zand	17	20	-	0.58
Klei, zandig Duinkerke mv - NAP -2m	16	18	6.5	0.35
Hollandveen NAP -2 - -3.5m	13	13	6	0.30
Klei/zandig Calais NAP -3.5 - -5.5m	18	18	15	0.30
Zand/Kleiig Calais NAP -5.5 - -8m		18	15	0.30
Pleistoceen		20	-	0.70

De grondgegevens zijn ontleend aan proevenverzamelingen (van celproeven) in het Zeeuwse. Hoewel de proeflocaties elders zijn (voornamelijk rond de Oosterschelde) zijn deze grondgegevens voldoende representatief voor de indicatieve berekeningen die hier aan de orde zijn.

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het computerprogramma MPROSTAB (voor probabilistische stabiliteitsanalyses). Met dit programma worden Bishop-stabiliteitsfactoren berekend bij gemiddelde schattingen van de schuifsterkteparameters. Tevens worden faalkansen (kansen op afschuiving berekend, in dit geval de kans op afschuiving per km lengte). Daartoe moeten ook spreidingen worden opgegeven. Uitgegaan is van een variatiecoëfficiënt van ca. 0.15 voor de effectieve cohesie en ca. 0.10 voor de tangens van de (effectieve) hoek van inwendige wrijving. De totale schuifsterkte wordt

berekend m.b.v. de wrijvingswet van Coulomb. De freatische lijn in de dijk, waarmee gerekend is, is aangegeven als streeplijn in de figuren 2, 3 en 4.

In eerste instantie is het bestaande dijkprofiel doorgerekend (figuur 2). De berekende stabiliteitsfactor is 1.65, de kritieke glijcirkel snijdt diep in het holocene pakket. De faalkans is verwaarloosbaar klein (orde 10^{-14}).

Vervolgens is een verhoging van 2 m verondersteld, waarbij het ruimtebeslag van de dijk gelijk is gehouden. De verhoging leidt dus tot versteiling van het binnentalud (figuur 3). De stabiliteitsfactor neemt dan af tot ca. 1.30 en de faalkans neemt toe tot ca. 10^{-4} . Conform de heersende opvattingen zou dit nog net op het randje van toelaatbaar (of eigenlijk al niet meer) zijn. De kritieke glijcirkel snijdt alleen in het zandlichaam binnen de dijk.

Als laatste is gekeken naar een klassieke binnenwaartse versterking (ook 2 m verhoging), waarbij het binnentalud, de berm en de sloot evenwijdig verschuiven in binnenwaartse richting (figuur 4). De stabiliteitsfactor daalt in dit geval van 1.65 (bestaande toestand) tot 1.39. De faalkans neemt toe tot ca. 10^{-9} . De kritieke glijcirkel snijdt wederom diep in het holocene pakket. Conform de geldende inzichten is deze stabiliteitsfactor, en de bijbehorende faalkans, ruimschoots toelaatbaar. Deze berekening toont echter wel aan dat door verhoging van de dijk een terugval in veiligheid tegen binnenwaarts afschuiven optreedt.

Conclusies uit de berekeningen:

- Het realiseren van een (hypothetisch benodigde) dijkverhoging van ongeveer twee meter, waarbij het binnentalud zodanig versteild wordt dat het ruimtebeslag van de dijk niet toeneemt is, gezien het verlies van stabiliteitsreserve (ook wanneer geen overslag optreedt), niet erg wenselijk. De probabilistische stabiliteitsberekening voor het ene onderzochte profiel geeft aan dat de kans op afschuiven groter dreigt te worden dan de kans die, gegeven de huidige inzichten, toelaatbaar wordt geacht. Bijkomend probleem is dat de kans op afschuiving onder overslag-omstandigheden aanzienlijk zal toenemen. Bij de reconstructie van de Zeeuwse dijken in de jaren vijftig en zestig, is immers gekozen voor relatief flauwe binnentaluds, omdat gedurende de stormvloedramp van 1953 vele van de dijkdoorbraken het gevolg waren van afschuiven van het binnentalud bij overslag.
- Een dijkverhoging in de orde van twee meter, waarbij het binnentalud evenwijdig binnenwaarts wordt verplaatst, is vooralsnog goed realiseerbaar. Nadeel is uiteraard dat dit leidt tot een groter ruimtebeslag (in de orde van 6 meter per meter dijkverhoging). De berekening toont aan dat de kans op afschuiven, hoewel op zich acceptabel klein, toch toeneemt ten opzichte van de afschuifkans van de bestaande dijk. Dit betekent dat in beginsel ook de mogelijkheid van een “parallelle” dijkverhoging begrensd is; uiteindelijk zal men ook flauwere binnentaluds moeten toepassen. Bij de verhoging van twee meter is die begrenzing echter zeker nog niet bereikt.

5.5 Vertaling resultaten naar gehele Westerschelde

Een exacte vertaling van de berekeningsresultaten van de voorgaande paragraaf naar het gehele Westerscheldegebied is uiteraard speculatief, in die zin dat toenames van faalkansen

bij een aanzienlijke verhoging van de dijken altijd locatieafhankelijk zullen zijn. Voor het doel van deze studie, namelijk het nagaan of op voorhand problemen zijn te verwachten, geven de berekeningsresultaten voldoende indicatie. De keuze van de locatie voor de berekeningen is in die zin maatgevend voor het gehele Westerscheldegebied, dat gerekend is met de grootste dikte van het pakket relatief slappe holocene grondlagen. Dit betekent dat verwacht mag worden dat de stabiliteitscondities elders langs de Westerschelde met eenzelfde holocene ondergrondopbouw nog gunstiger zullen zijn.

Zoals besproken in paragraaf 5.3 zijn bij een aanzienlijke dijkverzwaring mogelijk problemen te verwachten op zettingsvloeiingsgevoelige locaties (zie figuur 1). Hoewel dit een aandachtspunt is bij het ontwerp en de uitvoering, is de verwachting dat de hieruit voortkomende problemen beheersbaar te maken zijn, door bijvoorbeeld maatregelen zoals het bestorten van de vooroever.

Bij het overgrote deel van de Westerscheldedijken bestaat de mogelijkheid van ophogen, waarbij het binnentalud in binnenwaartse richting wordt verplaatst. Slechts op een beperkt aantal locaties is intensieve bebouwing en/of infrastructuur aanwezig. Daar zou een dijkverhoging kunnen leiden tot de noodzaak bebouwing en infrastructuur te slopen en elders opnieuw te herbouwen, of tot alternatieve constructieve, en dus relatief dure, oplossingen voor de waterkering. Dit is onder andere het geval in Vlissingen en Terneuzen. Ook komen wel dijkstrekkings voor, waarin vrij dicht tegen de dijk incidentele bebouwing voorkomt. Door de bank genomen kan echter gesteld worden dat een verhoging van twee meter vanuit technisch oogpunt niet tot onoverkomelijke problemen zal leiden.

Deze conclusie laat onverlet dat zo'n verhoging, juist in genoemde stedelijke gebieden, wel maatschappelijke weerstand en mogelijk financiële claims op kan roepen. Met name van direct aanwonenden langs de dijk (verlies van fraai uitzicht over de Westerschelde, waardoor woningen dalen in prijs). Het uitzicht dat individueel ingeleverd moet worden ten behoeve van collectieve beveiliging tegen overstromingen wordt tegenwoordig anders gewaardeerd dan bij de dijkverhogingen in de jaren vijftig en zestig, toen de stormvloedramp van 1953 nog vers in het geheugen lag.

6 Cases Zeeschelde

6.1 Keermuur Antwerpen

Beschrijving situatie

Het betreft een muur tussen de Schelde en de stad Antwerpen. Deze muur wordt doorsneden door een twaalfstal poorten, die gesloten worden indien het peil in de Schelde te hoog wordt. De verkeersdoorgangen worden handmatig door politie of brandweer gesloten nadat een stormvloedwaarschuwing is ontvangen via de afdeling Maritieme Schelde. De poorten worden gesloten indien de voorspellingen van waterstand bij de peilpost Loodsgebouw boven 6.60m TAW komen. Tot op heden zijn de sluitingen steeds correct uitgevoerd.

De kade ligt op circa 7m TAW (Tweede Algemene Waterpassing). De bovenkant van de waterkeringsmuur ligt op de cota 8.35m TAW. De totale lengte bedraagt circa 6 km. Deze verhoging van 1.35m is eigenlijk het maximale dat wordt toegestaan door de architecturale omgeving.

De veiligheidsnorm is 1/10000 per jaar. De hierbij behorende waterstand is 9.05 m TAW (peilpost Loodsgebouw Antwerpen). Wanneer conform de uitgangspunten voor 2030 in hoofdstuk 4 hierbij nog ca. 0.5 m wordt opgeteld wordt de te keren waterstand ca. 9.5 m TAW. Golven zijn vanwege de kleine strijklengtes nauwelijks van belang.

Er zijn maatschappelijke bezwaren tegen het verhogen van de keermuur tot het noodzakelijke niveau. Deze hebben hoofdzakelijk betrekking op het verlies aan uitzicht. Het betreft hier immers de stadskern, en men tracht zoveel mogelijk de slogan “stad aan de stroom” waar te maken.

Het bovenstaande is een typisch voorbeeld van een ‘grens’ aan de verbetering van de huidige waterkering. Er moet duidelijk naar alternatieven worden gezocht.

Alternatieven

Er zijn een aantal alternatieven denkbaar om de problematiek in Antwerpen op te lossen:

- Een mobiele waterkering over de gehele lengte. Dit is erg kostbaar en het is zeer de vraag of het technisch haalbaar is de gewenste veiligheid te behalen.
- Een stormvloedkering zeewaarts van Antwerpen: Ook dit is erg kostbaar. Gezien de huidige ontwikkelingen in het Sigmaplan is het de vraag of dit nog een reële optie is.
- Meer GOG's. De GOG's beperken de hoogte van de waterstanden langs de rivier bij stormvloeden, en hebben stroomopwaarts het meeste effect. Gezien het feit dat de

hoogwaterstanden te Antwerpen met name door de zee worden bepaald zal dit alternatief niet afdoende zijn om het gewenste veiligheidsniveau te bereiken.

Integrale beoordeling

Bij wijze van voorbeeld worden de alternatieven hier afgezet tegen een beperkt aantal sleutelcriteria (vergelijk tabel A1):

- kosten van aanleg, beheer en onderhoud van de maatregel,
- techniek (mate van haalbaarheid van het ge-eiste veiligheidsniveau),
- maatschappelijke acceptatie (met name uitzicht).

In het volgende zijn de alternatieven tentatief beoordeeld op de sleutelcriteria.

Oplossing	kosten	techniek	maatschappelijke acceptatie
Keermuur, vast	+	+	-
Keermuur, mobiel	-	+	+
SVK	--- *	+	+
GOG's	0	-	+

*) De SVK is uiteraard erg duur, maar anderzijds heeft deze ook nog positief effect op het gebied buiten Antwerpen, terwijl de Keermuur alleen in Antwerpen zelf bescherming geeft.

Enkele opmerkingen:

- Het lijkt alsof het alternatief 'Keermuur, vast' toch als beste naar voren komt. Gezien de besluitvorming in Vlaanderen (voorzover bekend wordt een vaste muur niet acceptabel geacht) weegt de maatschappelijke acceptatie als criterium klaarblijkelijk zwaarder dan de andere criteria.
- Bij de GOG's is bij techniek een '-' geplaatst vanuit het gegeven dat het onmogelijk is om met de aanleg van GOG's in een 'zeelocatie' als Antwerpen de waterstand 1.15 m naar beneden bij te stellen.
- De mate van complexiteit van een alternatief is in de beoordeling verwerkt onder 'kosten'.
- Misschien is het mogelijk om door combinatie van alternatieven de sterke kanten van meerdere alternatieven te gebruiken. Bijvoorbeeld door op die locaties waar geen uitzicht wordt belemmerd een vaste keermuur te bouwen en op de rest een mobiele. Zo kan een aanzienlijke kostenbesparing worden bereikt.
- Veelal wordt de veiligheidsnorm als een harde grens gezien, die in elk geval moet worden bereikt. Ook dit is in de maatschappelijke context gezien niet altijd correct. Het kan voorkomen dat 'men' bereid is meer onveiligheid te accepteren in ruil voor andere 'baten' zoals een mooi uitzicht. Feitelijk is 'veiligheid' dan ook een criterium geworden in bovenstaande tabel. Het alternatief met de GOG's behoort dan toch tot de mogelijkheden.

Conclusie

De conclusie uit het bovenstaande is dat harde grenzen niet bestaan. Een alternatief kan op een bepaald criterium slecht scoren, maar op een ander weer zeer positief zijn.

Een maatschappelijk debat of de afweging tussen de mate van beveiliging en andere criteria kan wellicht aardige accenten opleveren. Misschien is Antwerpen bereid mee te betalen aan de bouw van een stormvloedkering, zodat deze optie toch weer opportuun wordt.

6.2 Overslagdijk

In hoofdstuk 4 is indicatief aangegeven dat er moet worden gerekend op orde 0.5 m klassieke dijkverhoging tot 2030, wanneer er geen bijzondere maatregelen worden genomen. In het volgende wordt ingegaan op de situatie waarbij dijkverhoging onmogelijk is vanwege ruimte gebrek aan de landzijde van de dijk. Ook dijkverhoging waarbij de dijkteen aan de landzijde op dezelfde positie blijft is uitgesloten omdat het talud dan zo steil wordt dat de stabiliteit te gering wordt. Aan de rivierzijde versterken is onmogelijk vanwege beperking van de ruimte voor de rivier.

Er wordt een situatie voorgesteld waarbij de dijk overslagbestendig wordt gemaakt, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een steenzetting of betonplaten op de kruin en aan de landzijde, of door het aanbrengen van ‘wapening’ in de grasmatten. Er wordt vanuitgegaan dat een situatie waarbij de rivierwaterstand boven de kruin komt ontoelaatbaar is. Een overstroming is niet meer beheersbaar. De hoeveelheid binnenstromend water gaat dan ook direct overlast veroorzaken, terwijl overslag nog wel geborgen kan worden in een waterloop.

Het betreft hier dus een dijk die overslagbestendig wordt gemaakt. Deze variant wordt zodoende toepasbaar geacht voor die waterkeringen die nu een grotere waakhogte hebben dan 0.5 m zodat in de voorgestelde toekomstige situatie geen water over de dijk stroomt.

Doel van het volgende is te inventariseren wat voor grenzen dan zouden kunnen gaan spelen. Aan de hand van tabel A1 worden de aspecten langsgelopen.

Kosten:

Het aanbrengen van bijvoorbeeld een steenzetting of betonnen plaat op de kruin en aan de landzijde is erg kostbaar. Per eenheid van lengte zullen de kosten in dezelfde orde liggen als de huidige Westerschelde werkzaamheden aan de buitentaluds.

Techniek:

De variant lijkt goed haalbaar, zeker omdat de afdekking niet zo dik hoeft te zijn. De aansluitingsconstructies tussen bijvoorbeeld de weg op de kruin (asfalt) en het verharde talud aan de landzijde verdienen bijzondere aandacht. Ook moeten er maatregelen worden getroffen om het overslaande water op te kunnen vangen.

Ruimtelijke ordening:

Er is geen extra ruimte nodig aan de landzijde van de dijk. Wel zorgen de eventuele andere functies voor een grens aan deze variant. Wanneer de bestemming van de dijk kruin 'verkeersweg' is, kan dit niet samengaan met 'overslagbestendige dijk'

Maatschappelijke acceptatie:

De inpassing van dergelijke taluds aan de landzijde kan moeilijker zijn. Toch wordt hier geen groot probleem verwacht. Er zijn al diverse ervaringen met doorgroeistenen etc. waardoor de dijk aan de landzijde toch redelijk 'groen' kan zijn. Zeker bij de variant met de gewapende grasmat blijft de dijk groen, en zal dit aspect geen grens vormen.

Enkele concluderende opmerkingen:

- Om de grenzen vast te stellen moeten er naast deze variant feitelijk andere worden geplaatst, zoals GOG's of een L-wand op de kruin. Dan kan een totaalbeeld worden opgesteld van de waarde van deze variant. Dit valt echter buiten het kader van dit project.
- Omdat er bij deze oplossing slechts maximaal 0.5 m wordt gewonnen is deze in België vermoedelijk minder efficiënt. In de Westerschelde biedt de oplossing misschien lokaal een efficiënt alternatief.

7 Samenvatting en conclusies

Door diensten van Nederland en België wordt momenteel een gezamenlijke ‘lange termijn’ visie ontwikkeld voor het Schelde-estuarium. Vanuit Nederland zijn enkele diensten van Rijkswaterstaat betrokken (DWW, RIKZ en Directie Zeeland); vanuit België de Administratie Waterwegen en Zeewezen (de afdelingen Beleid, maritieme Schelde, Waterbouwkundig Laboratorium en Zeeschelde), en de Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer.

Onder verantwoordelijkheid van de Technische Schelde Commissie zijn er drie belangrijke thema's benoemd waarvoor werkgroepen zijn ingesteld: Toegankelijkheid, Veiligheid, en Natuurlijkheid. Het doel van het opstellen van de lange termijn visie is dat toekomstige ontwikkelingen kunnen worden voorzien zodat er beleidsmatig beter op kan worden ingespeeld.

In het kader van het opstellen van een deelvisie ‘Veiligheid’ worden er een aantal verkennende onderzoeken uitgevoerd, waaronder het onderzoek naar ‘Grenzen aan dijkverbetering’ wat geresulteerd heeft in voorliggend rapport.

Het doel van het onderzoek was het uitvoeren van een verkenning naar de waarde van dijkverbetering/versterking in de toekomst, voornamelijk gebaseerd op de aspecten ‘technische mogelijkheden’ en ‘economische haalbaarheid’ (uiteraard zijn andere aspecten niet volledig uit het oog verloren). Het ging hierbij vooral om het richting geven aan de discussie in de werkgroep Veiligheid.

Het onderzoek is in twee delen gesplitst:

fase 1: een beschouwende analyse, waarin is ingegaan op de wijze waarop de ‘grenzen’ aan dijkverbetering worden bepaald, welke sleutelcriteria hierbij een rol spelen, en hoe deze het best kunnen worden afgetast en inzichtelijk gemaakt. Er wordt geconcludeerd dat het verkennen van een ‘grens’ aan dijkversterking meer is dan een technisch vraagstuk zoals ook uit de gegeven lijst met sleutelcriteria blijkt (Appendix A). De sleutelcriteria zijn onder te verdelen in een aantal categorieën: kosten, economie, techniek, ruimtelijke ordening en maatschappelijke acceptatie. Het is goed om te beseffen dat de problematiek op deze wijze multi-dimensionaal is.

De vaststelling van de werkelijke haalbaarheid van dijkversterking in een groot estuarium is dan ook complex. Per dijkvak spelen er diverse aspecten die niet onder een noemer zijn af te wegen. Daarnaast verschilt de afweging vermoedelijk van dijkvak tot dijkvak, zodat er achteraf ook nog eens integraal naar de resultaten moet worden gekeken.

De tabel A1 in Appendix A biedt een stuk gereedschap waarmee op eenvoudige wijze een belangrijk stuk inzicht wordt verkregen.

fase 2: een aantal case studies waarin indicatieve berekeningen de beschouwende analyse illustreren. Een belangrijke conclusie die hieruit is getrokken is dat harde grenzen niet

bestaan. Een alternatief kan op een bepaald criterium slecht scoren, maar op een ander weer zeer positief zijn.

Voor de Westerschelde is gekeken naar de stabiliteit van de dijk tegen afschuiven. Op grond van de indicatieve berekeningen wordt geconcludeerd dat een verhoging van 2 m in het Westerscheldegebied in technische zin vermoedelijk geen grens zal vormen.

Voor de Zeeschelde is meer in kwalitatieve zin gekeken naar Antwerpen. Hier is wel een grens aan de orde: verhoging van de keermuur verhindert het uitzicht. Dit is maatschappelijk niet acceptabel. Het feit dat er technisch en economisch voldoende mogelijkheden zijn, maar dat een ander criterium de grens bepaalt, illustreert het belang van de integrale afweging zoals die in fase 1 is voorgesteld.

Tenslotte is in kwalitatieve zin gekeken naar de mogelijkheden van het overstroombaar maken van dijken langs de Zeeschelde. Belangrijkste grens zal hier de ruimtelijke ordening vormen: als de dijk kruin de bestemming 'verkeer' of 'vluchtweg' heeft zal deze variant niet mogelijk zijn.

Uit de case studies blijkt dat voor het Schelde-estuarium geen algemeen geldende grens aan de dijkversterking is aan te geven maar dat deze grens per locatie genuanceerd moet worden bepaald. Globaal kan worden gesteld dat er in het Nederlandse deel geen grote problemen zijn te verwachten, uitgezonderd de strekkingen langs de steden. In België zijn er mogelijk wel problemen te verwachten. Met name de maatschappelijke acceptatie van aanpassingen aan de ruimtelijke ordening / bestemming van gebieden is een aandachtspunt.

Iets breder geformuleerd kan worden gesteld dat grenzen aan dijkverbeteringen in principe relatief moeten worden gezien ten opzichte van andere mogelijkheden om de veiligheid te garanderen. De alternatieven moeten op tal van criteria worden beoordeeld, waarbij het belang van de afzonderlijke criteria in de beoordeling per situatie verschillend kan zijn.