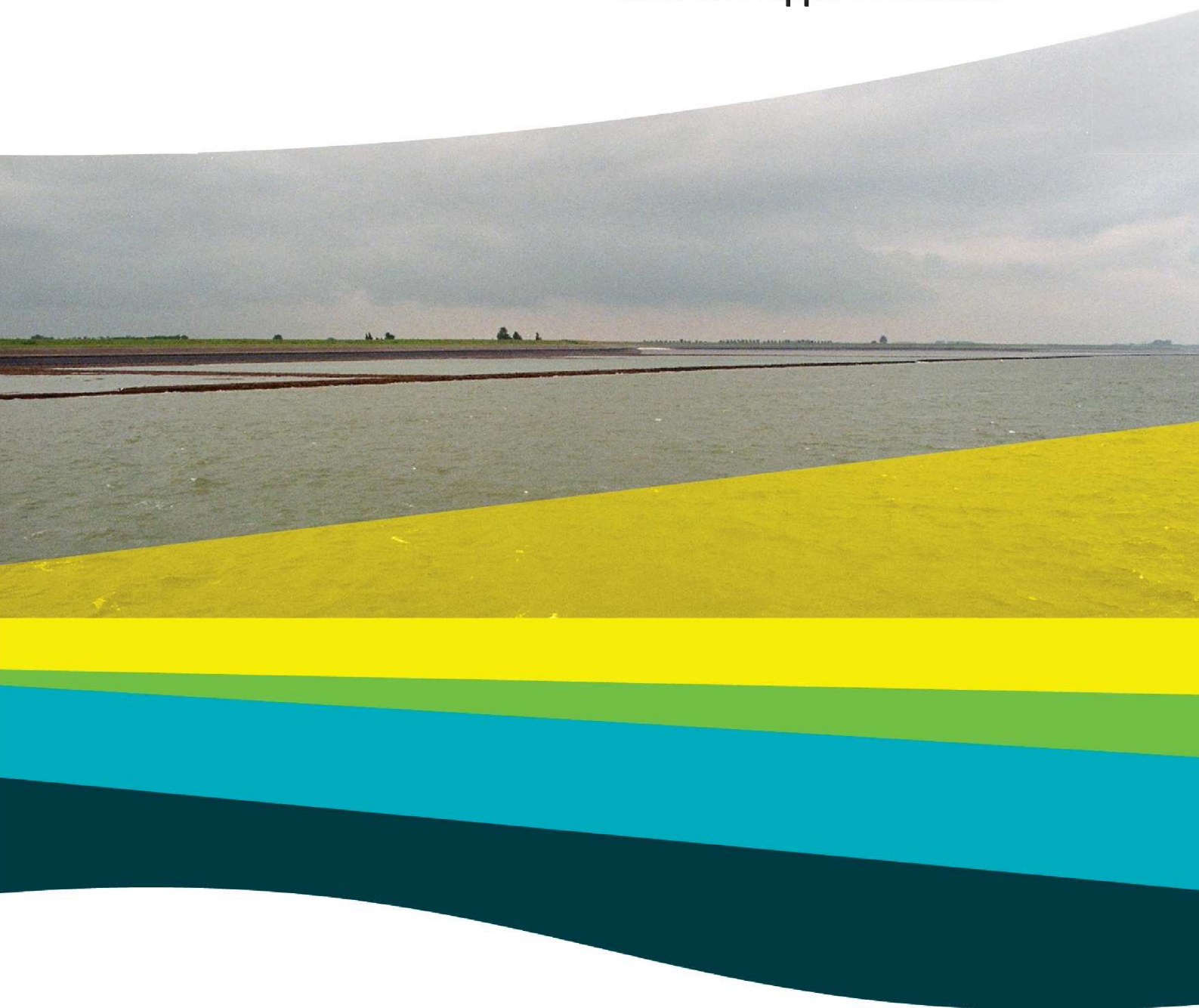




Rijkswaterstaat

Geulwandverdediging Westerschelde

RWS WD rapport 2008.003



Geulwandverdediging Westerschelde

november 2007

.....

Colofon

Uitgegeven door: Rijkswaterstaat Waterdienst

Informatie: Koos Saathof
Telefoon: 0320-2984111

Datum: november 2007

1.	Inleiding 7
1.1	Doelstelling 7
1.2	Workshop 7
1.3	Stand van zaken bij de MER 8
1.4	Innovaties 8
1.5	Leeswijzer 9
2.	Probleemanalyse 11
2.1	Algemeen 11
2.2	Gat van Ossensisse 11
2.2.1	Gat van Ossensisse II, dwarsraai 8 11
2.2.2	Gat van Ossensisse II, dwarsraai 1 13
2.2.3	Nol van Ossensisse 14
2.2.4	Onbeschermd gebied, dwarsraai Ossensisse 2 15
2.3	Zuidergat 15
2.4	Nauw van Bath 16
3.	Morfologische veranderingen in Westerschelde 19
3.1	Algemeen 19
3.2	Export van zand uit de Westerschelde 19
3.3	Omslag van een twee- naar een enkelgeulstelsel 19
3.4	Derde verdieping en erosie langs oevers 20
3.5	Verflauwing van de kop van de Nol van Ossensisse 20
3.6	Scheepsgolven in Nauw van Bath 21
3.7	Geulgeleiding van Nauw van Bath 22
3.8	Onderzoek naar stabiliteit van tweegeulensysteem 25
4.	Zettingsvloeiingen en afschuivingen 27
4.1	Algemeen 27
4.2	Beschikbare gegevens 27
4.3	Zettingsvloeiing 27
4.4	Grondgesteldheid 28
4.4.1	Gat van Ossensisse 28
4.4.2	Zuidergat 28
4.4.3	Nauw van Bath 29
4.5	Toetsrapportages op Zettingsvloeiing 29
4.6	Inmetingen 29
4.6.1	Gat van Ossensisse 29
4.6.2	Zuidergat 29
4.6.3	Nauw van Bath 29
5.	Kostenraming 31
5.1	Uitgangspunten kostenraming 31
5.2	Opzet kostenraming 32
5.2.1	Maatregelen Ossensisse 32
5.2.2	Nauw van Bath 33

5.3	Resumé kostenraming 34
6.	Conclusies 35
7.	Aanbevelingen 37

1. Inleiding

Tussen Nederland en Vlaanderen is een verdrag gesloten over een ruimer getijvenster voor grotere schepen. In de Westerschelde hebben de vaargeulen van Vlissingen naar Antwerpen reeds twee verdiepingen ondergaan. Om de scheepvaart in de nabije toekomst meer tegemoet te komen, staat een derde verdieping op stapel, waardoor mogelijk de geulwanden instabieler zouden kunnen worden. Instabiele geulwanden hebben niet alleen negatieve gevolgen voor de veiligheid van de achterliggende primaire waterkeringen en de bevaarbaarheid van de vaargeulen, maar ook het ecologisch waardevolle habitat gaat door erosie en zettingsvloeiingen verloren.

1.1 Doelstelling

Vanwege de grote economische belangen, i.e. bereikbaarheid Antwerpen, worden de drempels in de hoofdvaargeul in de Westerschelde gebaggerd. Door deze werkzaamheden gaan hoogstwaarschijnlijk de stroompatronen veranderen en verdwijnen mogelijk voor de ecologie belangrijke zandplaten en slikken langs de oevers. De vraag is nu wat de consequenties hiervan zijn op de geulwanden als gevolg van de tweede verruiming in de periode 1997-2001 en de verwachting voor de derde verruiming in de periode 2008-2009. Voor het vervullen van bovengenoemde scheepvaartfunctie dienen de volgende 3 criteria in acht te worden genomen.

- De veiligheid van het achterland moet te allen tijde voldoen aan de wettelijke normen conform het VTV (= Voorschrift Toetsen op Veiligheid).
- De veiligheid van de scheepvaart moet gewaarborgd zijn en de vaargeulen moeten voldoende diep en breed zijn, opdat geen onverwachte afschuivingen of zettingsvloeiingen optreden oftewel de geulen in de rivier zouden een stabiele ontwikkeling moeten kennen.
- Het milieu en de natuur in de Westerschelde moeten optimaal kunnen fungeren en geen hinder ondervinden van eventuele maatregelen die uit het realiseren van de bereikbaarheid naar Antwerpen voortvloeien.

Rijkswaterstaat heeft samen met GeoDelft en WL | Delft Hydraulics voor een aantal locaties langs de Westerschelde (Gat en Nol van Ossensse, Zuidergat, en Nauw van Bath) verschillende items nader verkend, zoals

- Versteiling van geulwanden;
- Verwekinggevoeligheid van de ondergrond;
- Toetsresultaten van primaire waterkeringen.

1.2 Workshop

Voor het dragen van een probleemanalyse met inbreng van expertise op het gebied van geotechniek, milieutechniek en waterbouwkunde is op 15 juni j.l. een workshop gehouden. Hierbij zijn globale oplossingsrichtingen beschouwd door de werkgroep "Geulwandverdediging Westerschelde": Ir. E. Berendsen (RWS-Bouwdienst), Dr.ir. G. Hoffmans (RWS-DWW), Dhr. G.

de Kock (RWS-Zeeland), Ir. G.J. Liek (RWS-Zeeland), Dr.ir. E. Mosselman (WL | Delft Hydraulics), Ing. E. Paree (RWS-Zeeland), Ing. N. Roelse (RWS-Zeeland), Ir. M. van der Ruyt (GeoDelft), Ir. L.E.B. Saathof (RWS-DWW), Ir. M. van der Wal (RWS-DWW), Ing. K. van Westenbrugge (RWS-Zeeland), Ir. D. de Wilde (RWS-Bouwdienst).



1.3 Stand van zaken bij de MER

WL | Delft Hydraulics heeft voor de m.e.r. (= milieueffectrapportage) berekeningen gemaakt van de hydrodynamische en morfologische effecten van de derde verdieping van de Westerschelde. Deze berekeningen geven aan dat de autonome ontwikkeling een eroderende, zand exporterende trend vertoont.

In de m.e.r. wordt de problematiek van de stabiliteit van de geulwanden onderkend. Het onderwerp wordt uitgewerkt door Alkyon (Arcadis) en gerapporteerd in het Basisrapport Water. De aanpak is dat mogelijke knelpunten worden geïdentificeerd op basis van toenames van de bodemschuifspanningen langs de geulwanden (zie § 3.4).

1.4 Innovaties

De werkgroep 'Geulwandverdediging Westerschelde' heeft naast traditionele oplossingen ook innovatieve oplossingen geïnventariseerd. Prijs technisch blijkt het toepassen van geobags en geocontainers voor het opvullen van de erosiekuil niet aantrekkelijk te zijn. De kosten van geobags worden geraamd op circa 100 €/m³, indien zij gecontroleerd met een kraan worden aangebracht en 40 à 50 €/m³, indien zij met behulp van een schuiftorster worden aangebracht. Dit laatste kan alleen indien de grond niet verwekinggevoelig is. Zowel de geobags als de grotere geocontainers (circa 15 à 25 €/m³) zijn vele malen duurder dan de kuilen te vullen met lokaal gewonnen zand (circa 2 €/m³) en af te dichten met een filterconstructie van mijnsteen (zie hoofdstuk 5). Wel lijkt de techniek

geschikt voor het opbouwen van een strekdam voor het leiden van de geul tussen Bath en Ossensisse (zie § 3.7).

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het probleem van bovengenoemde locaties (§ 1.2) langs de Westerschelde geanalyseerd. In de navolgende hoofdstukken wordt dit gestructureerd en worden mogelijke oplossingen aangereikt. Hoofdstukken 3 en 4 geven respectievelijk een indicatie van de morfologische veranderingen in de Westerschelde en de geotechnische invalshoek van de geulwanden en de primaire waterkeringen. Hoofdstuk 5 gaat in op de kosten en hoofdstukken 6 en 7 beschrijven de conclusies en aanbevelingen.

2. Probleemanalyse

Algemeen

Tijdens de workshop (§ 1.2) zijn door RWS-Zeeland vragen gesteld over een viertal locaties (§ 2.2 t/m 2.4).

Gat van Ossensisse

Het Gat van Ossensisse ligt in het midden van de Westerschelde. De geulwand is verdedigd ten noorden van Terneuzen (Gat van Ossensisse II) en geheel oostelijk waar de Nol van Ossensisse zich bevindt. Hier tussenin heeft de natuur vrij spel. Een viertal deellocaties worden nader bestudeerd. Deze zijn:

- Gat van Ossensisse II, dwarsraai 8 (westelijk deel)
- Gat van Ossensisse II, dwarsraai 1 (oostelijk deel)
- Nol van Ossensisse
- Onbeschermd gebied, dwarsraai Ossensisse 2

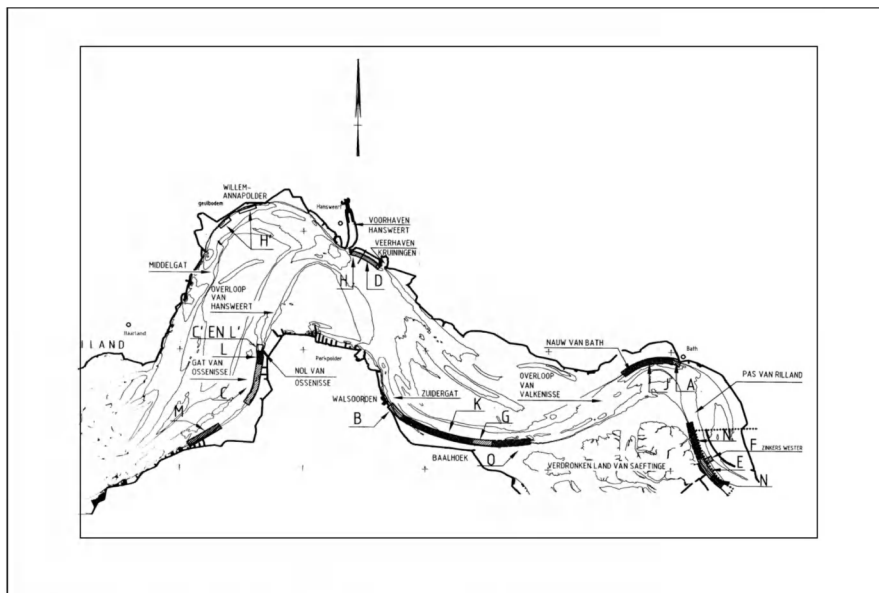


Fig. 1 Vaargeulen in de Westerschelde

Gat van Ossensisse II, dwarsraai 8

De geulwand nabij dwarsraai 8 (Fig. 2), erodeert ten gevolge van een ebstroom. Niet alleen de kopse kant, maar ook het talud aan het onderuiteinde van de steenbestorting schuurt uit. Ter plaatse van het Gat van Ossensisse hebben in het verleden diverse oevervallen plaatsgevonden, waarbij oude bestortingen (ca. 1880) mogelijk zijn verdwenen. Blijkens bronnen van RWS-Zeeland ligt de breedte hiervan in de range van 100 tot 1000 m wat inhoudt dat de rivierbodem zeer waarschijnlijk uit losgepakt zand bestaat.

Omdat de geulwandverdediging parallel aan de primaire waterkering ligt, zijn de volgende vragen actueel.

- 1) Is het erosieproces in evenwicht of zal dit zich verder ontwikkelen?
- 2) Welke faalmechanismen zijn van toepassing op de zeedijk waar de uitschuring plaatsvindt? Voldoet de zeedijk aan de wettelijke normen conform het VTV?

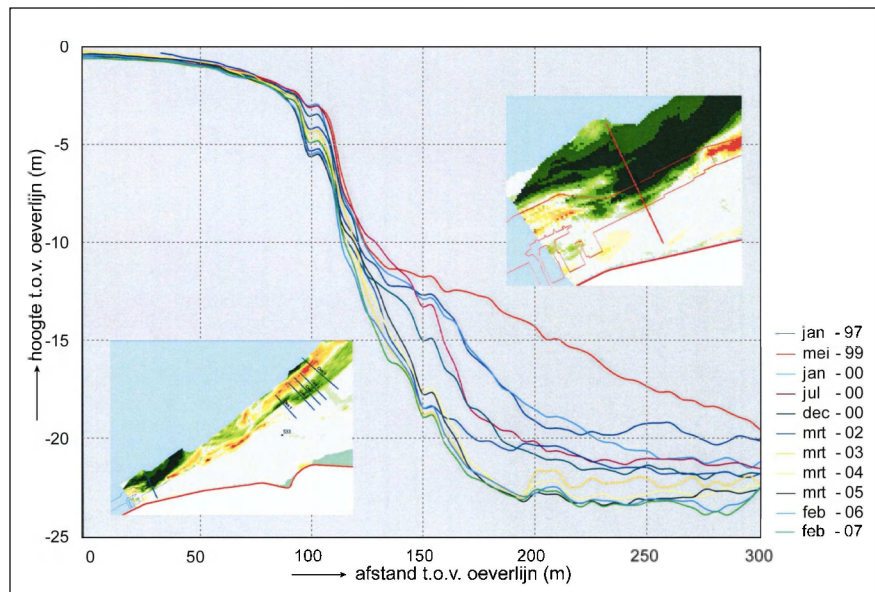


Fig. 2a Verdieping van geulwand Gat van Ossenisse II, Dwarsraai 8, zie ook vak M in Fig. 1

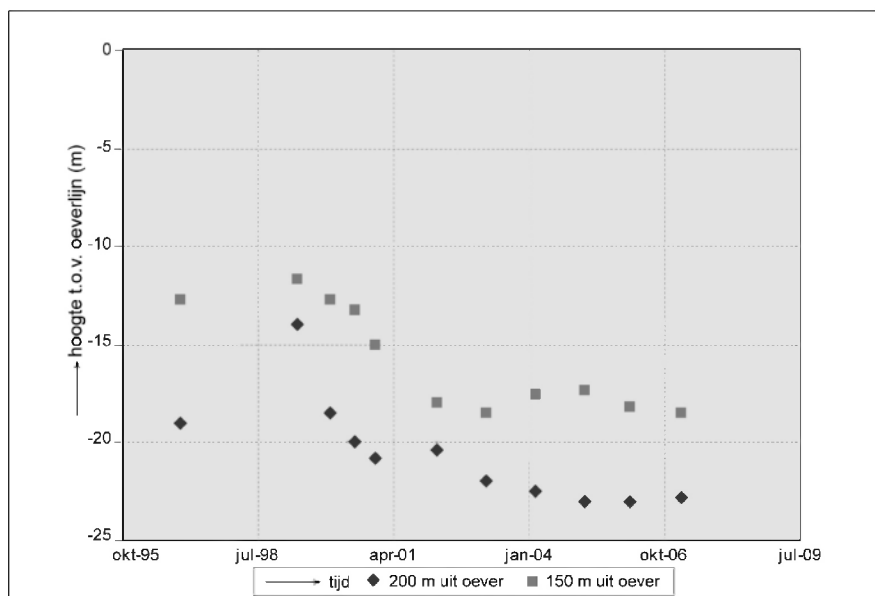


Fig. 2b Verdieping als functie van de tijd (zie ook Fig. 2a)

Ad 1). Omdat in de afgelopen twee jaren de ontgrondingskuil zich heeft gestabiliseerd, is het erosieproces waarschijnlijk in evenwicht.

Ad 2). Waarschijnlijk kunnen afschuivingen en/of zettingsvloeiingen optreden gezien de diepte van de kuil (NAP -22 m) en de gepaard gaande steilheid van het talud (1V:2,5H), zie ook hoofdstuk 4.

Gat van Ossenissee II, dwarsraai 1

Peilingen hebben aangetoond dat ter plaatse van dwarsraai 1 (Fig. 3) de geul beneden aan de onderkant van de bestorting sterk verdiept. Voor het analyseren van het probleem zijn de volgende vragen karakteristiek.

1. Is de ontgrondingskuil in evenwicht? Heeft de aanzethelling een kritieke waarde bereikt? De hellingen van het te bestorten talud en het niet verdedigde talud bedragen respectievelijk 1V:10H en 1V:4H.
2. Zo nee, welke maatregelen zouden getroffen moeten worden? (verdere bestorting? Geobags? Overige (innovatieve) maatregelen?

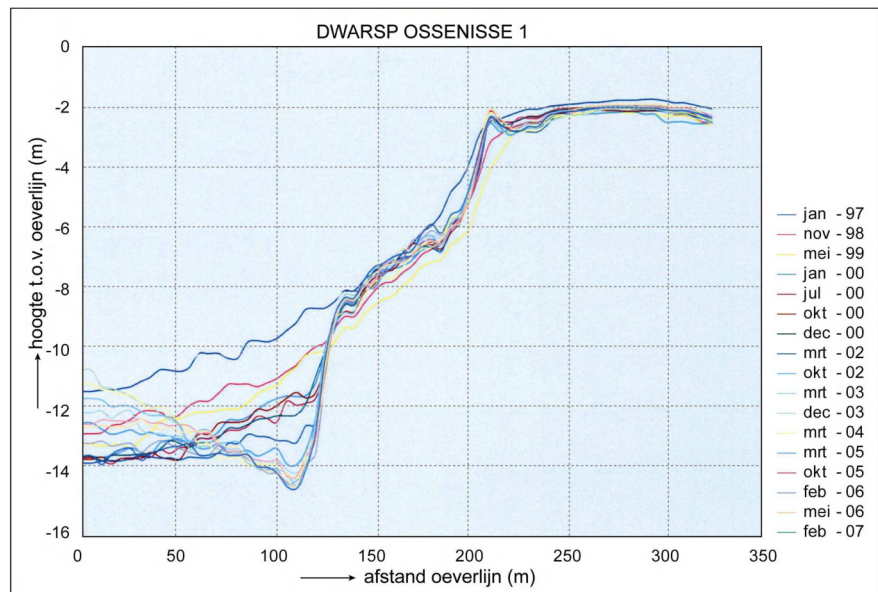


Fig. 3a Verdieping van geulwand Gat van Ossenissee II, Dwarsraai 1 (zie ook vak M in Fig. 1)

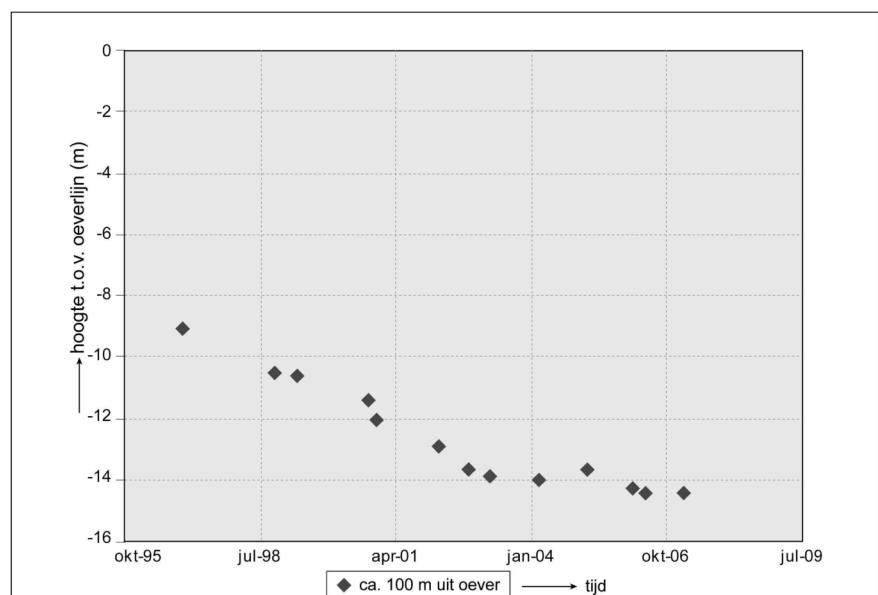


Fig. 3b Verdieping als functie van de tijd (zie ook Fig. 3a)

Ad 1) De ontgrondingskuil verdiept zich nog steeds (Fig. 3b). Alertheid is dus geboden. Waarschijnlijk heeft de onderkant van de bestorting op NAP -8 m gelegen. Vanaf 1998 is de kuil met 8 m gegroeid. Het onverdedigde talud is versteild naar 1V:4H. Dit is nog niet alarmerend, omdat het criterium 1V:3H dat ten tijde van de Oosterscheldewerken werd gehanteerd, nog niet is bereikt.

Ad 2) Innovaties blijken anno 2007 nog niet te kunnen concurreren met traditionele oplossingen (§ 1.4).

Nol van Ossenissee

Aan de bovenstroomse zijde van het Gat van Ossenissee I (Fig. 4) treedt nabij de strekdam "Nol van Ossenissee" erosie op. Tijdens de eb- en vloedstroom laat de stroming rondom de krib los, waardoor de belasting door een verhoogde turbulentie-intensiteit (wervels met verticale assen) sterk toeneemt. De volgende vragen zijn van belang.

1. Is de ontgrondingskuil (totale waterdiepte is circa 45 m) in evenwicht?
2. Heeft de diepte van de ontgrondingskuil consequenties voor de veiligheid van de primaire waterkering? Is het voorland voldoende breed? Voldoet de zeedijk aan het VTV?
3. Zijn additionele maatregelen vereist?

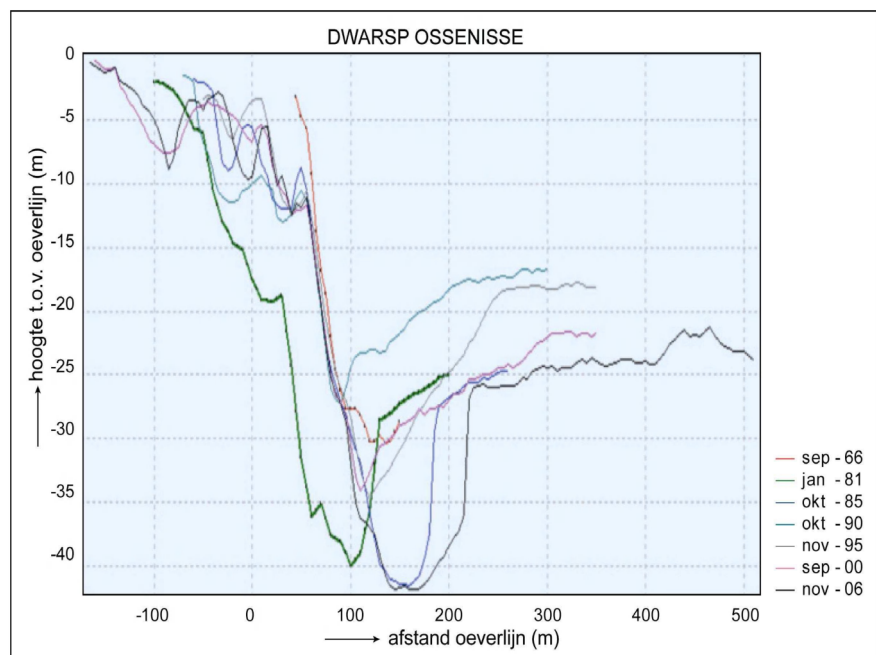


Fig. 4 Ontgravingkuil nabij Nol Van Ossenissee

Ad 1) De lengte van de krib is ten opzichte van de vaargeulbreedte te verwaarlozen (verhouding is minder dan 10%). Met dit uitgangspunt en aannemende dat de krib gestroomlijnd is, is de geschatte ontgravingdiepte met de Breusers-vergelijking (zie Scour Manual¹, blz. 104) gelijk aan de oorspronkelijke waterdiepte van 25 m resulterend in een totale waterdiepte van 50 m. Op basis hiervan is de ontgravingkuil dus nog niet in evenwicht, zie ook hoofdstuk 4.

¹ Scour Manual, 1997. Balkema, Rotterdam.

Ad 2) Indien de ondergrond uit losgepakt zand bestaat, is een reële kans op een zettingsvloeiing aanwezig. Bij het optreden van dit faalmechanisme wordt niet alleen de vaargeul ondieper, maar kan ook de primaire waterkering als gevolg hiervan bezwijken en in de ontgrondingskuil schuiven.

Ad 3) Voorgesteld wordt om de strekdam af te toppen of flauwer te maken zodanig dat de stroming blijft aanliggen en geen wervels met verticale assen optreden (zie ook § 3.5).

Onbeschermd gebied, dwarsraai Ossenisse 2

Tijdens de workshop wordt opgemerkt dat het ontgrondingsverloop nabij Ossenisse 2 vooralsnog geen problemen oplevert.

Zuidergat

De geulwand nabij Baalhoek ter plaatse van Valkenisse 2 loopt noordelijk van het Verdrongen land van Saeftinge. In ruim 7 jaar heeft het getij 30 m tot 40 m voorland meegenomen (Fig. 5), daarentegen is de ontgrondingskuil gedurende deze periode niet in diepte toegenomen.

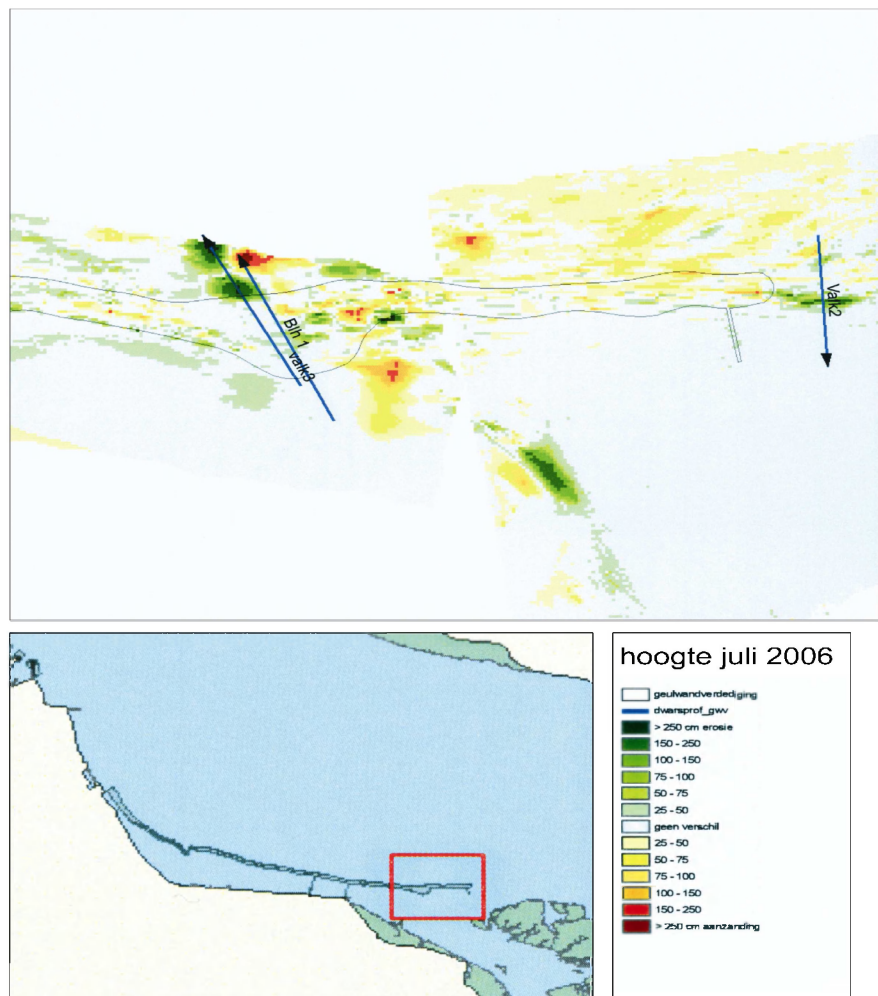


Fig. 5a Zuidergat, zie ook Vak O in Fig.1, dwarsraai Valkenisse 2

1. Is het ontgrondingsproces anno 2007 in evenwicht? Wat zijn de verwachtingen voor de komende tien jaar?

Ad 1) Op basis van de peilingen is de natuur nog niet in evenwicht. Waarschijnlijk zal de hoofdstroom ook in de toekomst het Verdrunken land van Saeftinge blijven aanvallen. Er dreigt geen acuut gevaar voor de veiligheid.

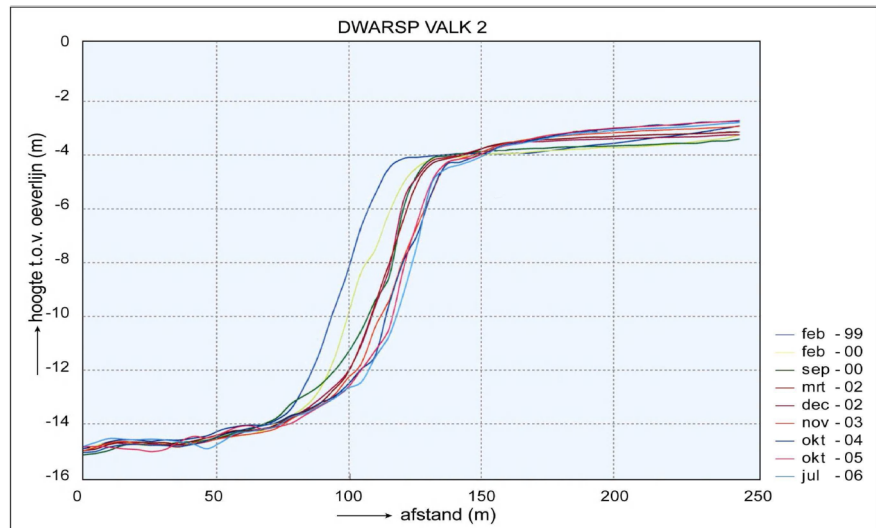


Fig. 5b Verdieping als functie van de tijd, dwarsraai Valkenisse 2

Nauw van Bath

Het schorgebied aan het Nauw van Bath wordt door een gesloten strekdam van ongeveer 1 m hoogte doorsneden. Langs de geulrand in de oostelijke helft ligt een geulwandverdediging. De aanwezigheid van een hoog schor voor een zeedijk verhoogt het veilig functioneren van zo'n dijk. Aangezien zowel de veiligheid als het milieu een zaak zijn voor de lange termijn zal er over 50 jaar nog steeds een schor moeten liggen.

Ofschoon de vloed- en de ebstroom verantwoordelijk zijn voor aanzanding en erosie in de Westerschelde, spelen in het Nauw van Bath scheepsgolven een significante rol (waarnemingen Paree, zie ook § 3.6). Door de werking ervan kan in een korte tijd een grote hoeveelheid water over de slikken direct achter de geulwandverdediging stromen. Bij de afstroming is de watersnelheid voldoende groot om kleine slibdeeltjes mee te nemen. Het achterliggend schor wordt niet aangetast.

1. Heeft het eroderen van het vruchtbare slik nadelige effecten voor de natuur? Zijn er maatregelen mogelijk om de erosie te vertragen of te stoppen (Fig. 6)?
2. In het oostelijk deel van het Nauw van Bath is het talud onder de steenbestorting onderhevig aan erosie. De helling van het bestortte deel bedraagt 1V:3H (Fig. 7). De helling van het onbestortte talud was op feb. 2007 1V:2H. Is het ontgrondingsproces in evenwicht? Wordt het onbeschermde talud nog steiler in de toekomst? Zou reeds ondermijning van de bestorting optreden gezien de steilheid van 1V:2H? Welke maatregelen zijn nodig?

Ad 1) De eroderende werking van de oeverlijn kan worden gereduceerd door een palenrij. Van der Wal (RWS-DWW) heeft met deze constructie ruime ervaring in Bangladesh opgedaan en is van mening dat dit ook in Nederland goed zou kunnen functioneren. De workshop adviseert in eerste instantie ervaring op te doen met een kleinschalig proefvak en vervolgens bij slagen het gehele traject gelijksoortig in te richten. Door de weerstand van de palen zal de gemiddelde snelheid op het slik afnemen waardoor het water mogelijk slib zou kunnen afzetten en dus de natuur zich weer zou kunnen herstellen.

Ad 2) Het ontgrondingsproces schijnt in evenwicht te zijn, omdat er sinds 2002 geen noemenswaardige veranderingen zijn waargenomen. Hoogstwaarschijnlijk heeft dit te maken met een gecementeerde zandlaag die ook in Vlaanderen voorkomt. Maatregelen zijn hier vooralsnog niet vereist.

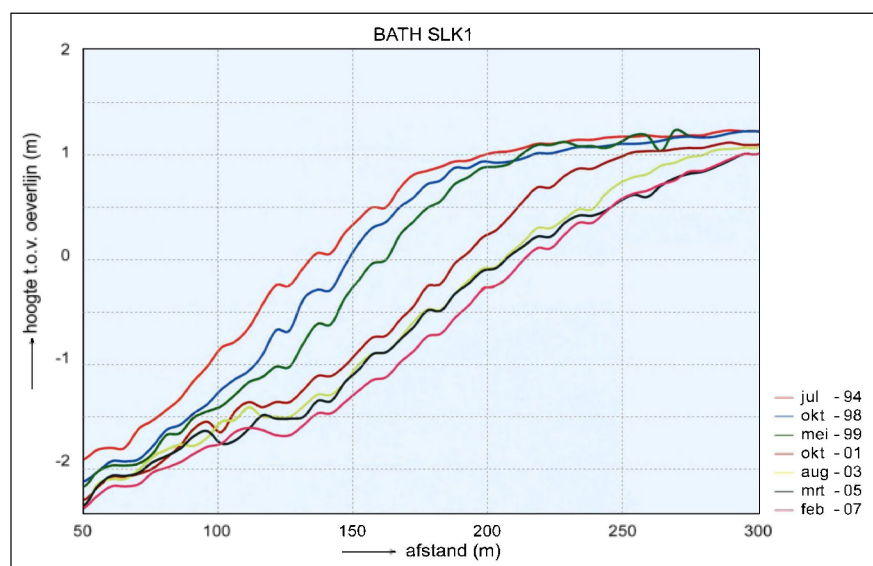


Fig. 6a Afslag van voorland als functie van tijd, dwarsraai SLK (zie ook Fig. 7a)

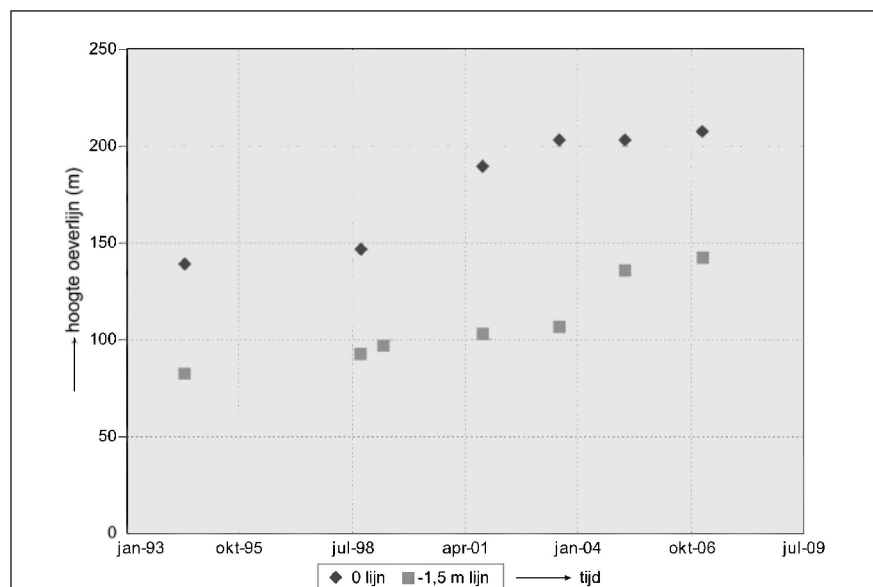


Fig. 6b Afslag van voorland als functie van tijd, dwarsraai SLK 1 (zie ook Fig. 6a)

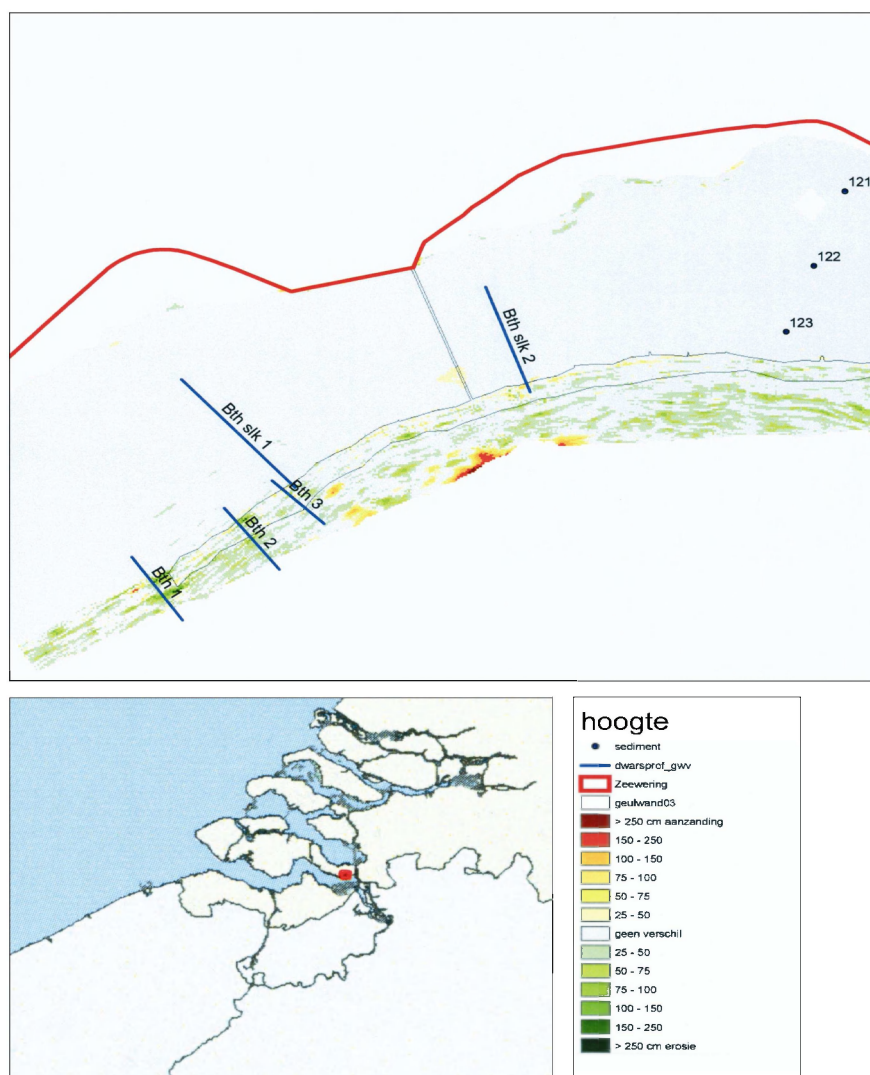


Fig. 7a Geulrandbestorting Nauw van Bath

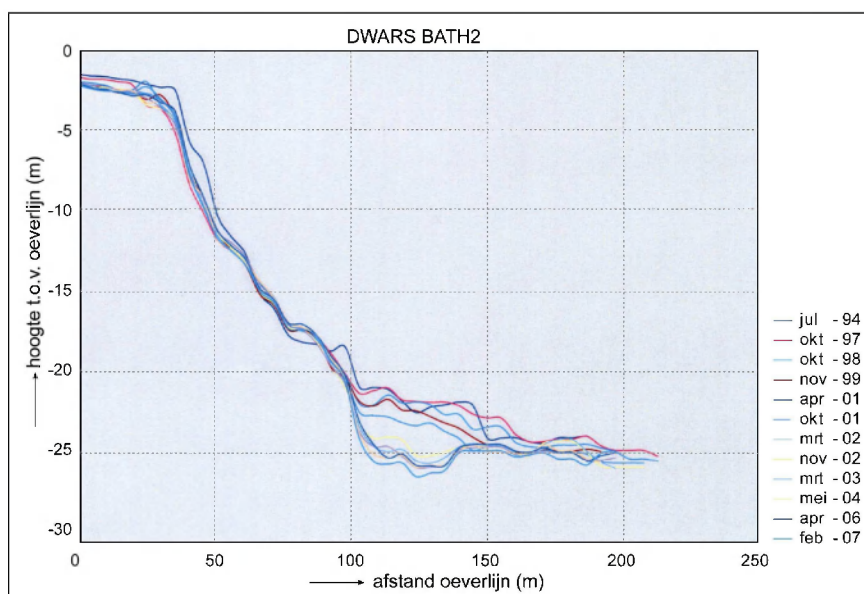


Fig. 7b Verdieping als functie van de tijd, Dwarsraai Bath2

3. Morfologische veranderingen in Westerschelde

Algemeen

De Westerschelde is een getijderivier waarbij de invloed van de zee tot ver stroomopwaarts (landinwaarts) aanwezig is. Het getijverschil tussen hoog- en laagwater bedraagt bij Vlissingen gemiddeld 4 m en bij Antwerpen ruim 5 m en is verder stroomopwaarts nog merkbaar tot bij Gent. Per getijde stroomt er gemiddeld ongeveer een miljard m³ zeewater de Westerschelde in en uit, resulterend in maatgevende stroomsnelheden van 2 tot 3 m/s. Bij eb vallen er gigantische zandplaten droog zoals de Platen van Valkenisse, die ten noorden van het Verdrongen land van Saeftinghe liggen. De grote platen aan de binnenbochten zijn doorsneden door kleinere geulen die de hoofd- en nevengeul onderling verbinden. Deze kortsluitgeulen verplaatsen zich en schuren de platen af waardoor deze niet de kans krijgen om op te hogen. Omdat het getij in de verdiepte scheepvaartgeul sneller in en uit trekt, laat het water de kortsluitgeulen links liggen. Gevolg is dat de platen niet meer afslijten; ze groeien aaneen en worden hoger.

De lokale bodemontwikkeling bij de geulwanden kan niet los worden gezien van de grootschalige morfologische ontwikkeling van de Westerschelde. Deze grootschalige ontwikkeling bepaalt niet alleen de gemiddelde bodemligging, maar ook de lokale ontgrondingsdiepten, omdat deze laatste schalen met de waterdiepte. Twee grootschalige morfologische ontwikkelingen zijn van belang:

- Export van zand uit de Westerschelde als geheel;
- Omslag van een tweegeulensysteem naar een enkelgeulstelsel.

Export van zand uit de Westerschelde

Rond 1990 is de Westerschelde omgeslagen van een zand importerend systeem naar een zand exporterend systeem. De oorzaken hiervan zijn niet precies bekend. Zandwinning is een belangrijke factor voor de export, maar verklaart niet de omslag. Een andere factor is mogelijk de praktijk in de jaren negentig waarbij sediment in het oostelijke deel van de Westerschelde gebaggerd werd en vervolgens in het westelijke deel gestort werd. Dit droeg bij aan zeewaarts sedimenttransport. Het algehele verlies van sediment is van belang voor alle geulwandverdedigingen. Nog onbeantwoord is de vraag waarom het sedimentverlies vooral afkomstig lijkt te zijn uit de zone van het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse. Dit raakt direct aan de problematiek van de geulwanden langs het Zuidergat.

Omslag van een twee- naar een enkelgeulstelsel

Onder verwaarlozing van baggeren, storten en geulwandverdedigingen voorspelt een theoretische analyse dat het huidige tweegeulensysteem robuust is en zichzelf na verstoring herstelt. In principe kunnen baggeren, storten en geulwandverdedigingen een omslag naar een enkelgeulstelsel forceren. Uit recente studies is inmiddels redelijk goed bekend bij welke

omvang van baggeren en storten dat zou gebeuren. De huidige ontwikkeling van kenmerkende geometrische parameters in de Westerschelde en het voorbeeld van een soortgelijke omslag in het estuarium van de Seine suggereren toch dat dit punt blijvende aandacht verdient. Een omslag kan aanvankelijk op alle beschouwde locaties leiden tot een verdieping van de bodem langs de geulwanden. Op langere termijn zou deze verdieping naar verwachting afnemen, omdat een enkelgeulstelsel weer zand zou importeren.

Derde verdieping en erosie langs oevers

De rivierbodem van de Westerschelde bestaat uit loskorrelig zand en heeft een variërende korrelgrootte van 0,15 tot 0,25 mm. In principe zijn relatief kleine stroomsnelheden van ongeveer 0,5 m/s voldoende om zandkorrels in beweging te brengen. Dit is overigens niet nieuw, omdat gedurende eeuwenlang de getijrivieren in Zeeland aan verandering onderhevig zijn geweest. Indien geen derde verdieping zal plaatsvinden, zal het evenwicht waarschijnlijk ook worden verstoord, omdat tijdens de eb- en vloedstroom snelheden van wel 3 m/s kunnen optreden. Dit betekent dat te allen tijde erosie en sedimentatie zal optreden.

Indien de drempels in de hoofdvaargeul kunstmatig worden gebaggerd, neemt de waterdiepte toe en neemt de weerstand (of ruwheid) af. Hierdoor wordt het doorstroomprofiel gladder en zullen tijdelijk de snelheden toenemen. Deze gevolgtrekking kan eenvoudig met de vergelijking van Chézy worden aangetoond. Het baggeren veroorzaakt een zogenaamd uitruimingsproces waardoor de dwarsdoorsnede van de geul toeneemt tot een nieuw evenwicht wordt bereikt. De tijdelijke toename van de snelheid en het nieuwe profiel van de hoofdvaargeul is uitsluitend met geavanceerde stromingsmodellen te bepalen, zie ook § 3.8.

Verflauwing van de kop van de Nol van Ossensisse

De Nol van Ossensisse is een strekdam die enerzijds de geul op een veilige afstand houdt van de primaire waterkering, maar anderzijds een diepe lokale ontgrondingskuil in de geul veroorzaakt. Deze kuil kent sterke variaties in bodemligging. De kuil en de daarin optredende snelle bodemdalingen kunnen in principe zettingsvloeiingen opwekken in de vooroever. Tijdens de workshop op 15 juni 2007 is daarom voorgesteld om de kop van de Nol van Ossensisse te verflauwen tot een helling van 1V:7H. Deze verflauwing kan de diepte van de kuil en de sterkte van de bodemfluctuaties verminderen. Deze maatregel wordt echter alleen aanbevolen als zettingsvloeiingen daadwerkelijk een gevaar voor de primaire waterkering vormen. Naast grondmechanische overwegingen past hier ook de morfologische overweging dat de oevers bij Ossensisse minder zijn teruggeschreden dan oevers elders langs de Westerschelde². Dat suggereert dat de oevers hier blijkbaar weinig gevoelig zijn voor erosie en oevervallen. Overigens is ook rond Ossensisse wel degelijk sprake geweest van oevervallen en het geleidelijk verdwijnen van kustpolders, onder meer

² Dampierrekaart uit tweede helft van de dertiende eeuw (Rijksarchief Gent, Kaarten & Plans, 2598), kaart uit 1799 (Service Historique de l'Armée de Terre, nr. O 15 4.7.C. 72, Vincennes).

door stormvloed in de zestiende eeuw. Deze morfologische overweging moet daarom opgevat worden als een eerste indicatie die nadere verificatie behoeft.

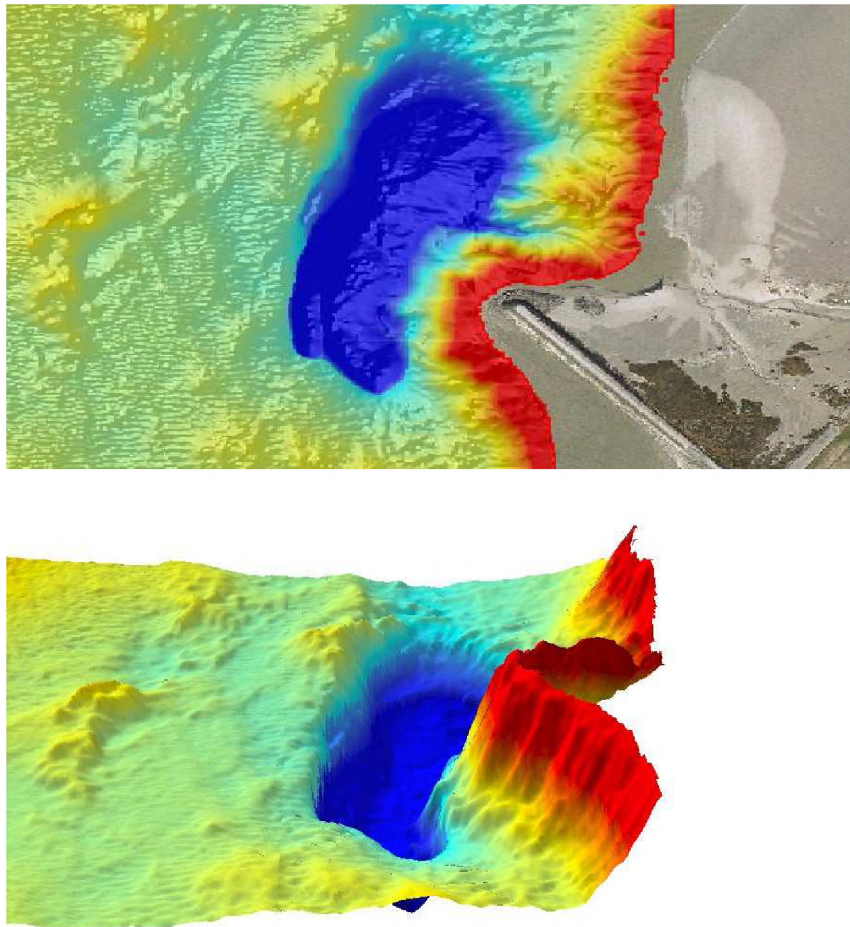


Fig. 8 Ontgrondingskuil nabij Nul van Ossensisse; maximale waterdiepte is anno 2007 circa 45 m

Scheepsgolven in Nauw van Bath

Vanaf 2003 zijn tijdens laagwater door Rijkswaterstaat rollende stenen waargenomen (Fig. 9). Tijdens scheepspassages trekt het water als gevolg van grote scheepsgolven terug en daalt de waterstand met ruim 0,5 m. Vervolgens komt een lokale "tsunami" met een waterhoogte van ongeveer 1 m, die een aanzienlijk eind over het slik stroomt, zodat ook met mooi weer de bestortingen in volledig regenkledij bezocht worden. De 2 mannen op de foto moeten dan met z'n tweeën een stijve driehoek vormen om niet van de bestorting afgespoeld te worden (waarnemingen van ing. E. Paree, RWS-Zeeland). Dit fenomeen komt ook voor bij de bestorting NO Saeftinge, terwijl elders in de Westerschelde dit niet is geconstateerd. Hoogstwaarschijnlijk zijn de dimensies van de bestorting aan de bovenkant van de geulwandverdediging onvoldoende groot om de krachten van bovengenoemde scheepsgolven te kunnen weerstaan.



Fig. 9 Geulwandverdediging Nauw van Bath; De rode lijn is tot waar het veen aan het oppervlak ligt. Fotopunt is ook aangegeven (vanaf een paal, 10m hoog, genomen). De bestorting is op de laagwaterlijn nog net waarneembaar.

Geulgeleiding van Nauw van Bath

De kunstmatige verruiming van de hoofdgeul en de verzanding van de nevengeul, blokkeren de wisselwerking tussen de hoofd- en nevengeul. Normaliter zou in de loop van de tijd de hoofdgeul een nevengeul worden en omgekeerd; het patroon van water en platen verandert dus bijna continue. Doordat de vaargeul werd vastgelegd door middel van geulwandverdedigingen, is deze wisselwerking verdwenen.



Fig. 10 Verschilkaart laseraltimetrie slik 2004 – 2001 en ligging bestorting
Blauw is ligging dwarsprofiel, zie ook Fig. 6.

Het Nauw van Bath is een smalle vaarweg met een kleine bochtstraal. Een verdere verslechtering van de vaarweg is ongewenst. Door de aanleg van de strekdam bij Antwerpen in de periode 1960 - 1970 (pijl 1 in Fig. 11) is de vaargeul juist bovenstrooms van het Nauw van Bath naar het westen gedrukt. De lengte van de strekdam is mogelijk te groot, waardoor de bochtstraal van het Nauw van Bath kleiner is geworden. Ruwweg kan worden gesteld dat tussen 1960 en 1990 de bochtstraal tot ongeveer 1000 m (Fig. 12) is gehalveerd.

De afname van de bochtstraal en het instandhouden van de dijken en de geulwandverdediging en de aanzanding in de binnenbocht hebben tezamen en in wisselwerking met elkaar geleid tot een smalle diepe geul in het Nauw van Bath (pijl 2 in Fig. 11). Door deze ontwikkeling is de lengte van de bocht toegenomen en daardoor ook de hydraulische weerstand van de geul. Bij hoogwater heeft daarom een steeds groter deel van het debiet de neiging in de binnenbocht een bochtafsnijding te ontwikkelen (pijl 3).

Door deze ontwikkeling heeft de vaargeul in het Nauw van Bath de neiging langzaam te verslechteren. Op den duur is het denkbaar dat de vaargeul zich zou willen gaan verleggen naar de Schaar van de Noord, een geul op korte afstand van het Verdrongen land van Saeftinge. Indien dat gebeurt dan kan de bevaarbaarheid alleen met grote baggerinspanningen gehandhaafd blijven.

Mogelijke maatregelen voor het handhaven van de bevaarbaarheid, zijn:

- Extra baggeren in de vaargeul en de baggerspecie eventueel in de Schaar van de Noord storten;
- Het verleggen en verruimen van de geul aan de westzijde, waarmee een verruiming van de bocht en een toename van de straal kan worden verkregen (-.- lijn in Fig. 13);
- Het aanleggen van een strekdam aan de linkeroever en ten westen van het nauw van Bath (wit gebied in Fig. 13). De kruinhoogte, de exacte ligging en de lengte van de dam moeten worden geoptimaliseerd;
- Het aanleggen van een strekdam op de linkeroever bovenstrooms van het Nauw van Bath (- - - lijn in Fig. 13);
- Het met ongeveer 100 m verkorten van de strekdam ten noorden van de Zandvlietsluis.

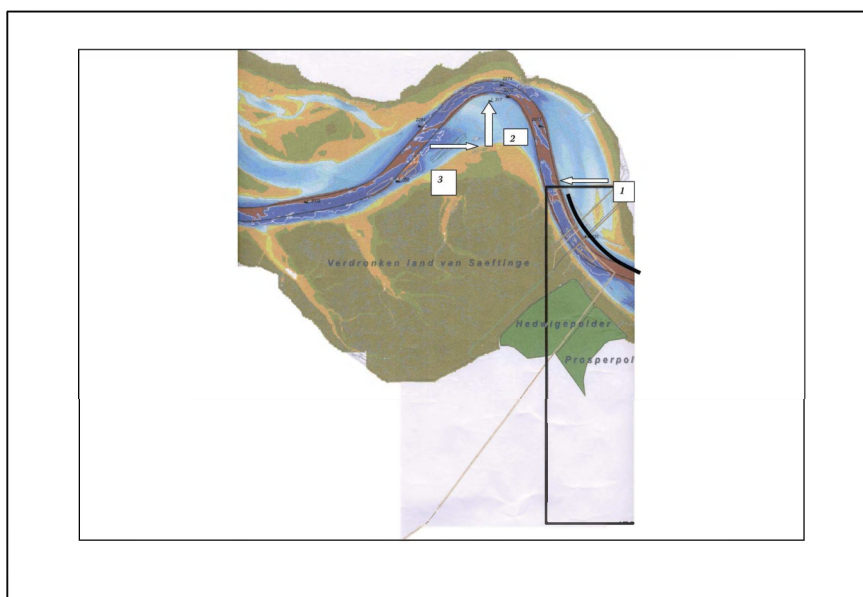


Fig. 11. Schematische voorstelling van de morfologische ontwikkelingen in het Nauw van Bath

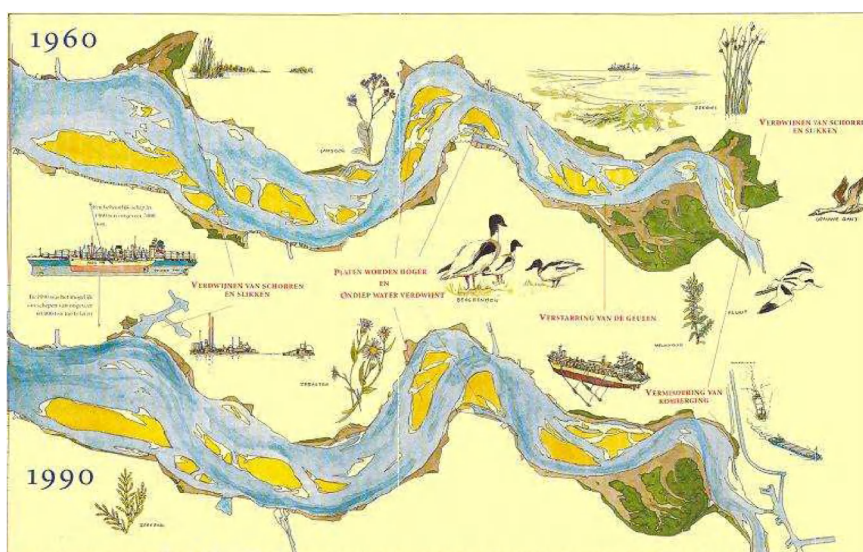


Fig. 12a De bathymetrie van de Westerschelde in 1960 en in 1990.

Het ontwerp van een strekdam bestaat traditioneel uit een kraagstuk, een kern van zand afgedekt met een toplaag bestaande uit een filterlaag en breuksteen en is relatief goedkoop. Echter in sommige gevallen kunnen innovaties, bijvoorbeeld een kern van geo-containers en/of geobags, lonend zijn, omdat de uitvoering sneller is en minder weersafhankelijk is. In Hoofdstuk 5 zijn de kosten opgenomen van

- Volledige zanddam afgedekt met geotextiel en breuksteen;
- Geocontainerdam voor de helft afgedekt met breuksteen (kap);
- Breuksteendam voor de helft afgedekt met breuksteen.



Fig. 12b De twee strekdammen die bij Antwerpen in de Schelde zijn aangelegd (zie ook bijlage A).

Op basis van de informatie die RWS-Zeeland heeft verstrekt, en de overwegingen, die in de voorgaande paragrafen zijn beschreven, worden de volgende acties geadviseerd

- Onderzoek of de beschreven morfologische ontwikkeling in het Nauw van Bath juist is;
- Maak een predictie van toekomstige morfologische ontwikkelingen in het Nauw van Bath. Het verdient aanbeveling daarbij rekening te houden met geplande toekomstige ontwikkelingen;
- Vergelijk de geïnterpreteerde oplossingen meer in detail. De aanleg van een strekdam op de linkeroever ten westen van het Nauw van Bath lijkt een aantrekkelijke oplossing;
- Verken de voordelen van een innovatief ontwerp van een strekdam.

Onderzoek naar stabiliteit van tweegeulensysteem

Binnen “VOP Kustlijnonderzoek LT” onderzoekt WL | Delft Hydraulics momenteel de stabiliteit van het tweegeulensysteem in de context van storten van sediment. Voor de invloed van geulsplitsingen op deze stabiliteit kan gebruik gemaakt worden van het riviervissingsonderzoek van de Morfologische Driehoek (RWS-RIZA, WL, TNO-NITG, Universiteit van Utrecht). Grootschalige morfologische ontwikkelingen kunnen berekend worden met het op fysica gebaseerde modelsysteem Delft3D en het semi-empirische model ESTMORF. Deze modellen schieten thans echter tekort bij de weergave van lokale morfologische verschijnselen aan de teen van de geulwanden. Delft3D ontbeert adequate procesbeschrijvingen voor zowel lokale ontgrondingen als de vorming van steilere dwarsellingen.

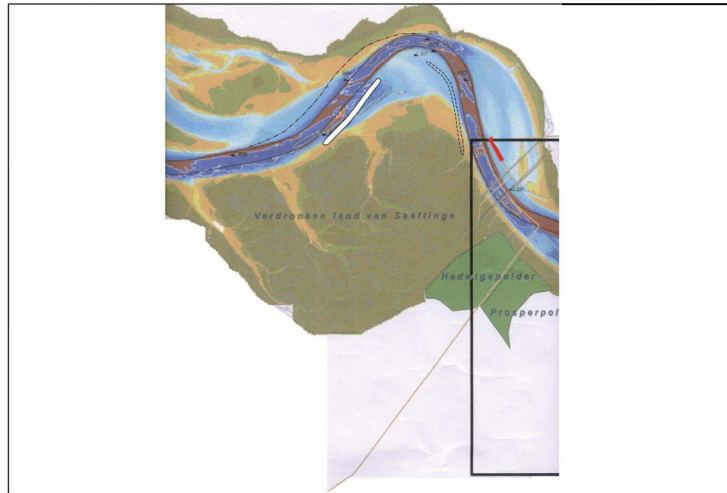


Fig. 13. Schematische voorstelling van oplossingsvarianten.

4. Zettingsvloeiingen en afschuivingen

Algemeen

De kans op zettingsvloeiingen en afschuivingen is groot vanwege de steilheid van de geulwanden en het feit dat zettingsvloeiingen veelvuldig in Zeeland zijn voorgekomen. Voor het afschatten van de kans hierop zijn gegevens essentieel om relatieve dichtheden te kunnen herleiden. Indien wordt uitgegaan van de eenvoudige toets in het VTV zal het schadeprofiel bij het Gat van Ossensisse tot achter de dijk doorlopen. Op basis hiervan heeft het waterschap Zeeuws Vlaanderen deze dijken afgekeurd waardoor de veiligheid van het achterliggende gebied dus onvoldoende wordt gewaarborgd.

Beschikbare gegevens

De volgende gegevens zijn beschikbaar

- “Toetsing op veiligheid”, eindrapportage 2005, Dijkkring 32. Zeeuws Vlaanderen door Waterschap Zeeuws Vlaanderen;
- “Rapportage Peilingen 2006” door Waterschap de Zeeuwse Eilanden.

De volgende grondgegevens zijn terug te vinden in het GeoDelft archief

- 4 Sonderingen tot circa NAP -25 m voor het Gat van Ossensisse;
- 8 Sonderingen tot circa NAP -5 m voor het Zuidergat;
- 10 Sonderingen tot circa NAP -10 m voor het Nauw van Bath.

Zettingsvloeiing

Het mechanisme zettingsvloeiing kan worden voorgesteld als een 3 opeenvolgende fasen-systeem (verstoring, verweking en vloeiing) en treedt alleen op als geulwanden uit losgepakt zand bestaan. Als gevolg van een initiële verstoring van de belastingstoestand kunnen wateroverspanningen in het zandlichaam worden gegenereerd. Een verstoring van de spannings-toestand is bijvoorbeeld het versteilen van de geulwand of het verdiepen van de geul door erosie verschijnselen (of bagger werkzaamheden), of als wisselende waterspanningen in de ondergrond optreden als gevolg van getijde of scheepvaart. Door een toename van de waterspanningen als gevolg van een deformatie plus initiële belasting kan de schuifweerstand zo ver afnemen dat de korrels in de open ruimtes gaan “drijven”. Dit proces heet verweking. Na het verweken van een zandlichaam in de verzadigde ondergrond kan dit zandlichaam (afhankelijk van de locatie van het verweekte gebied en het talud van de geulwand) uitvloeien. Na het uitvloeien, zal het zand-water mengsel weer sedimenteren onder een veel flauwer talud.

Of een (statische) verweking en daaropvolgend zettingsvloeiing kan plaatsvinden is afhankelijk van 1) dichtheid van het zandlichaam, 2) contractie-dilatantie gedrag van het zand en 3) steilheid van de geulwand en diepte van de vaargeul.

De conusweerstand is een maat voor de relatieve dichtheid van een zandpakket. Naarmate de relatieve dichtheid afneemt, des te gevoeliger het zandpakket voor verweking wordt en dus hoe groter de kans op een zettingsvloeiing is. De verbanden tussen de conusweerstand en de relatieve dichtheden kunnen relatief grote verschillen opleveren. Verschillen in de orde grootte van 10 procent zijn niet uitzonderlijk indien zij met een elektrische sondeerconus zijn gemeten. Het is niet aan te bevelen om deze oude mechanische sonderingen te herleiden naar relatieve dichtheden, omdat vaak niet bekend is met welk soort conus is gewerkt, welke wrijvingsbrekers er in deze oude sonderingen zijn toegepast, en welk materieel bij deze oude sonderingen is gebruikt.

Contractie en dilatatie gedrag van het zand kan alleen worden bepaald met laboratoriumproeven die voor deze verkenning niet voorhanden zijn.

In generieke termen kan beoordeeld worden of een geulwand qua steilheid en een vaargeul qua diepte in de potentiële gevarenzone zit, echter deze moeten in combinatie worden gebruikt met de relatieve dichtheid en de zandeigenschappen om daadwerkelijk een specifieke uitspraak over de zettingsvloeiingsgevoeligheid te kunnen doen.

Grondgesteldheid

Inzicht in de grondgesteldheid wordt verkregen op basis van sonderingen en of boringen.

Gat van Ossensisse

In 1959 zijn sonderingen langs het Gat van Ossensisse uitgevoerd op en achter de waterkering tot een diepte van circa NAP -25 m. De sonderingen zijn uitgevoerd zonder kleefmetingen. Tot een diepte van circa NAP -5 m bestaat de ondergrond uit wisselend zand en klei. Beneden NAP -5 m bestaat de ondergrond volledig uit zand. De conuswaarden tot circa NAP -15 m zijn gemiddeld 100 kg/cm². Vanaf circa NAP -16 m lopen de conuswaarden op tot circa 180 kg/cm². Op 1 van de 4 sonderingen loopt de conuswaarde tussen NAP -16 m tot NAP -19 m terug tot 80 kg/cm².

Zuidergat

In 1961 zijn tot circa NAP -6 m sonderingen uitgevoerd zonder kleefmeting en enkel conusweerstand. De locatie van de sonderingen zijn op en achter de waterkering. Uit het sondeerbeeld met ondersteuning van een ondiepe boring blijkt het bovenste deel van de ondergrond te bestaan uit slappe samendrukbare kleilagen. De sonderingen zijn gestopt bij het bereiken van de zandlaag. De grondgegevens uit het archief geven daarom geen indicatie van de verwekinggevoeligheid van de zandige ondergrond beneden NAP -6 m. Verder is er 1 boring uitgevoerd tot circa NAP -31 m. Hieruit blijkt dat vanaf NAP -7 m de ondergrond uit zand te bestaan. Omdat het enkel de boorbeschrijving betreft is geen uitspraak mogelijk over de verwekinggevoeligheid.

Nauw van Bath

In 1977 zijn sonderingen tot circa NAP -10 m uitgevoerd zonder kleefmeting en alleen conusweerstanden. De sonderingen zijn op en achter de waterkering uitgevoerd. Uit het sondeerbeeld met ondersteuning van een ondiepe boring blijkt dat het bovenste deel van de ondergrond te bestaan uit slappe samendrukbare lagen (voornamelijk klei). Onder deze slappe lagen wordt zand aangetroffen; de conusweerstanden vanaf circa NAP -7 m zijn groter dan 100 kg/cm².

Toetsrapportages op Zettingsvloeiing

Het voorland van het Gat van Ossenis is mede getoetst op stabiliteitsverlies van de vooroever als gevolg van een zettingsvloeiing. Hierover wordt letterlijk vermeld "Stabiliteitsverlies van de vooroever / het voorland door afschuiving (AF) of zettingsvloeiing (ZV) in de directe omgeving van de dijk wordt als een bedreiging voor de veiligheid gezien." Uit de gerapporteerde gegevens blijkt 0,5% niet te voldoen en 22,2%, waaronder het Gat van Ossenis en het Zuidergat, zou geavanceerd getoetst moeten worden. Dit betekent dat een zettingsvloeiing van de vooroever als een reële bedreiging moet worden beschouwd. Het rapport geeft echter geen duidelijkheid waarop en hoe precies de toetsing is uitgevoerd.

Inmetingen

Gat van Ossenis

Het talud langs het Gat van Ossenis (zie ook Fig. 3) in beide aangeleverde dwarsprofielen staat onder een helling van circa 1V:3H. Bij losgepakte zanden zonder noemenswaardige bestorting moet een taludhelling van 1V:3H als zettingsvloeiinggevoelig worden beschouwd. Het VTV maakt melding van maximaal 1V:4H over 7 m en 1V:7H over de gehele hoogte. Tevens blijkt uit inmetingen van de afgelopen jaren dat door erosie het talud steiler is geworden en dat de vaargeul zich heeft verdiept, echter de erosie in de vaargeul lijkt sinds 2005 te zijn afgenomen tot een redelijk stabiele diepte.

Zuidergat

De hoogte van de geulwand nabij het Zuidergat lijkt stabiel uit de inmetingen vanaf 1999 tot en met 2006 (zie ook Fig. 5). De steilheid lijkt eveneens stabiel. Wel blijkt uit de inmetingen dat het talud zelf landinwaarts verschuift. De helling van de geulwand is ongeveer 1V:2H en is sinds 1999 onveranderlijk. Dit is zeer steil en geeft reden tot bezorgdheid. Bestortingsgegevens en recente ondergrondgegevens zouden hierover uitsluitsel kunnen geven alvorens hier direct een conclusie aan te verbinden.

Nauw van Bath

Fig. 6 toont de geulwand met een helling van circa 1V:3H. Ook hier is het zandlichaam losgepakt, zodat de geulwand zettingsvloeiinggevoelig is. De steilheid van het talud en de vaargeuldiepte lijken redelijk onveranderlijk.

5. Kostenraming

Uitgangspunten kostenraming

De kostenraming heeft betrekking op onderstaande stabiliteitsmaatregelen

- Het inkorten van de strekdam “Nol van Ossenis”, het afgraven rondom de strekdam en het afdekken met granulair materiaal;
- De ontgrondingskuil ter plaatse van het “Gat van Ossenis” wordt over een lengte van 1,5 km met zand opgevuld en met staalslakken afgedekt; (Dwarsraai Ossenis 1 is voor het vaststellen van volume eenheden bepalend, zie ook Fig. 3);
- Door het aanbrengen van een palenrij reduceert de erosie en herstelt mogelijk de oever van het waardevolle slikkengebied nabij het Nauw van Bath;
- Bouwen van een strekdam/geleidedam in het Nauw van Bath.

De hier gepresenteerde kosten zijn onderverdeeld in directe en indirecte kosten en zijn gebaseerd op het prijspeil van 2007. De totale kosten zijn de som van de directe en indirecte kosten. Voor het percentage indirecte kosten is 45% van de directe kosten in rekening gebracht. Deze 45% is als volgt opgebouwd:

- Overige kosten: eenmalige -, algemene -, en uitvoeringskosten, incl. winst en risico: 20% van de directe kosten;
- Onvoorziene kosten: 15% van som van directe + overige kosten;
- Engineeringkosten: 5% van som directe, overige en onvoorziene kosten.

De hoeveelheden, zoals gebruikt voor de kostenraming, zijn indicatief (zie ook § 3.7). De nauwkeurigheid van de kostenraming bedraagt +/- 30%, waarbij de omvang van de benodigde hoeveelheden de grootste onzekerheid vormt.

Gebruikte eenheidsprijzen

- De aankoop en verwerking van granulaire materialen zijn afgeleid van vergelijkbare en eerder uitgevoerde bestortingswerken in de Westerschelde (bron: Noach Roelse, RWS-Zeeland);
- Het ontgraven en hergebruik van granulair materiaal voor het aanpassen van de Nol van Ossenis, de aankoop en het installeren van de palen voor de stabiliteitsmaatregel plaatrand Nauw van Bath zijn bepaald door de kostprijsafdeling van de RWS-Bouwdienst;
- De eenheidsprijs voor het gecontroleerd aanbrengen van zand voor het opvullen van de ontgrondingskuil Ossenis is samengesteld door RWS-Noordzee en afgeleid van vergelijkbare werkzaamheden, zoals toegepast bij stabilisatiewerken aan de Nederlandse kust.

In de kostenraming zijn geen extra kosten opgenomen voor het niet continue doorwerken ten gevolge van de scheepvaart. Eveneens is geen aandacht besteed aan een detaillering van de filterconstructie.

Opzet kostenraming

De kostenraming van de hiervoor aangegeven maatregelen is als volgt opgezet:

- Overzicht van de toe te passen materialen met hoeveelheden;
- Wijze van uitvoering en inzet van materieel;
- Eenheidsprijs; Totale kosten (directe + indirecte kosten, excl. BTW) van de uit te voeren maatregel.

Maatregelen Ossensisse

Tabel 5.2.1 geeft een kostenoverzicht van de werkzaamheden nabij de Nol van Ossensisse (inkorten van strekdam en afgraven van gebied voor en naast de strekdam) en het Gat van Ossensisse (vastleggen van kuil).

Tabel 5.2.1 Aanpassingswerken strekdam Nol van Ossensisse

Activiteit	Uitvoeringswijze + hoeveelheid	Eenheidsprijs	Kosten		Totale kosten (Euro's)
			Directe	Indirecte	
Gedeeltelijk afgraven/inkorten strekdam Ossensisse	Afgraven met behulp van kraanponton + afvoer van vrijkomende materialen naar en opslag in tijdelijk depot.				
	Hoeveelheid: 11.000 ton	€ 4,90/ton	€ 53.900	€ 24.255	€ 78.155
Afgraven gebied direct voor en naast de strekdam	Afgraven met behulp van kraanponton + afvoer vrijkomende materialen naar en opslag in tijdelijk depot.				
	Hoeveelheid: 100.000 ton	€ 4,90/ton	€ 490.000	€ 220.500	€ 710.500
Afdekken afgegraven gebied met hergebruik vrijgekomen en nieuw aan te kopen materiaal	Oppakken, transport en aanbrengen van opgeslagen materiaal vanuit tijdelijke depots en het met behulp van een kraanponton verwerken als top laag-materiaal in de afdek laag van het afgegraven gebied;				
	Hoeveelheid: 111.000 ton	€ 4,00/ton	€ 444.000	€ 199.800	€ 643.800
	Idem maar dan verwerken van aan te kopen staalslakken voor toepassing in tussenlaag onder afdek laag van top laag van vrijgekomen materiaal;				
	Hoeveelheid: 20.000 ton (1.200 kg/m²)	€ 10,45/ton	€ 209.000	€ 94.050	€ 303.050
				Totaal	€ 1.735.505

Tabel 5.2.1 (vervolg) Maatregelen ontgrondingskuil (Gat van Ossensisse)

Activiteit	Uitvoeringswijze + hoeveelheid	Eenheids-prijs	Kosten		Totale kosten (Euro's)
			Directe	Indirecte	
Opvullen ontgrondingskuil	Gecontroleerd vullen van ontgrondingskuil met zand met behulp van hopper. (aanbrengen via omgekeerd zuigproces)				
	Hoeveelheid: 250.000 m³	€ 2,20/m³	€ 550.000	€ 247.500	€ 797.500
Afdekken zand-aanvulling	Afdekking van de aangebrachte zandaanvulling met laag staalslak (1200 kg/m ²) aan te brengen m.b.v. kraanponton				
	Hoeveelheid: 153.000 ton	€ 10,45/ton	€ 1.598.850	€ 719.482	€ 2.318.332
				Totaal	€ 3.115.832

Nauw van Bath

Tabel 5.2.2 geeft een overzicht van de kosten voor het plaatsen van een palenrij langs de oevers van het Nauw van Bath en tabel 5.2.3 geeft indicatieve kosten van de strekdam in het Nauw van Bath. Voor de berekening is uitgegaan van een circa 9 m hoge dam (van -8.0 NAP tot +1.0 NAP) waarbij geen differentiatie is gemaakt naar directe- en indirecte kosten, alleen de totale kosten worden gegeven (bron: Ed Berendsen / Dick de Wilde).

Tabel 5.2.2 Maatregelen palenrij (Nauw van Bath)

Activiteit	Uitvoeringswijze + hoeveelheid	Eenheidsprijs	Kosten		Totale kosten (Euro's)
			Directe	Indirecte	
Aankoop, leveren en installeren palen	Plaatsen palen m.b.v. draadkraan met trilblok op ponton, werkboot t.b.v. ankerbehandeling etc. Paaldiameter rond 0,40 m, lengte palen 10 m., netto productie 5 palen/ uur, 1,5 paal/m ¹ , Hoeveelheid palen over lengte van 500 meter: 750 stuks	leveren palen € 115/ paal; Aanbrengen palen: € 81,=/paal	€ 86.250	€ 38.812	€ 125.062
			€ 60.750	€ 27.338	€ 88.088
				Totaal	€ 213.150

Tabel 5.2.3 **Maatregelen geleidingsdam (Nauw van Bath)**

Type strekdam	Uitvoeringswijze + hoeveelheid	Eenheidsprijs	Totale kosten (Euro's)
Volledige zanddam afgedekt met breuksteen en talud 1V:10H	Benodigd zand 850 m ³ Verliezen 20% 150 m ³ Totaal benodigd 1000 m ³	€ 2,5 per m ³	€ 2.500
	Geotextiel 200 m ²	€ 2,5 per m ²	€ 500
	Ballastlaag 0,1 m x 200 m ² = 20 m ³	€ 50 per m ³	€ 1.000
	Breuksteen 0,5 m x 200 m ² = 100 m ³	€ 50 per m ³	€ 5.000
	Totale kosten per strekkende m		€ 9.000
Geocontainerdam met kap van breuksteen en talud van 1V:2H	Benodigd geocontainers 210 m ³	€ 20 per m ³	€ 4.200
	Geotextiel 45 m ²	€ 2,5 per m ²	€ 125
	Ballastlaag 0,1 m x 50 m ² = 5 m ³	€ 50 per m ³	€ 250
	Breuksteen 0,5 m x 25 m ² = 12 m ³	€ 50 per m ³	€ 600
	Totale kosten per strekkende m		€ 5.200
Breuksteendam voor de helft afgedekt met breuksteen talud 1V:1,5H	Benodigd kernmateriaal 180 m ³	€ 24 per m ³	€ 4.300
	Filtermateriaal 0,1 m x 40 m ² = 4 m ³	€ 50 per m ³	€ 200
	Breuksteen 0,5 m x 25 m ² = 12 m ³	€ 50 per m ³	€ 600
	Totale kosten per strekkende m		€ 5.100

Resumé kostenraming

De kosten voor het inkorten van de strekdam en het stabiliseren van de directe omgeving rond de ingekorte strekdam bedragen 1,75 ME en de kosten voor het stabiliseren van de ontgrondingskuil zijn 3,12 M€. (Subtotaal Ossensisse is 4,90 M€). De kosten voor het leveren van palen en het aanbrengen ervan bedragen respectievelijk 0,125 M€ en 0,088 M€. (Subtotaal Nauw van Bath is 0,215 M€). De totale kosten zijn 5,1 M€ (excl. BTW) en 6,1 M€ (incl. BTW). De kosten voor de strekdam in het Nauw van Bath variëren van 5 tot 9 KE per m. Het lijkt erop dat innovaties lonend zouden kunnen zijn.

6. Conclusies

Op basis van de beschikbare gegevens zijn in de werkgroep Geulwandverdediging de volgende conclusies getrokken.

Hydraulisch-morfologisch

Langs alle beschouwde trajecten variëren de vaargeuldieptes van 20 m tot 25 m en blijkt uit de inmetingen dat de helling van de geulwanden circa 1V:3H is en in het geval van het Zuidergat zelfs 1V:2H

Indien de drempels in de hoofdvaargeul kunstmatig worden gebaggerd, neemt de waterdiepte toe en neemt de weerstand (of ruwheid) af. Hierdoor wordt het doorstroomprofiel gladder en zullen tijdelijk de snelheden toenemen. Deze gevolgtrekking kan eenvoudig met de vergelijking van Chézy worden aangetoond. Het baggeren veroorzaakt een zogenaamd uitruimingsproces waardoor de dwarsdoorsnede van de geul toeneemt tot een nieuw evenwicht wordt bereikt. De tijdelijke toename van de snelheid en het nieuwe profiel van de hoofdvaargeul is echter uitsluitend met geavanceerde stromingsmodellen te bepalen en niet met een globale handberekening, zie ook § 3.8.

Geotechnisch

De archiefgegevens ter plaatse van het Nauw van Bath, het Zuidergat en het Gat van Ossensisse bieden onvoldoende informatie om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot de verwekinggevoeligheid van de zandige ondergrond. Uit de toetsingsrapportage van Waterschap Zeeuws Vlaanderen blijkt dat langs het Gat van Ossensisse en het Zuidergat de vooroever als zettingsvloeiinggevoelig moet worden beschouwd. Op basis hiervan moet worden geconcludeerd dat de geulwanden ook als zettingsvloeiinggevoelig moet worden aangenomen. Gezien de vaargeuldieptes in combinatie met de taludhellingen, de zandige ondergrond en de geschiedenis van zettingsvloeiingen langs de Zeeuwse eilanden moet worden geconcludeerd dat voor alle locaties de kans op een mogelijke zettingsvloeiing groot moet worden geacht. Op basis van deze conclusies zijn oplossingsrichtingen verkend waarvoor een globale kostenraming is opgesteld.

Voorgestelde maatregelen

De voorgestelde maatregelen zijn naar de aard van het betreffende probleem in drie groepen ingedeeld:

1. Geulwandverdediging

Ten behoeve van het handhaven van de stabiliteit van de geulwand en de stabiliteit van de dijken langs de vaargeul in de Westerschelde ten oosten van Terneuzen worden de volgende maatregelen aanbevolen.

Bij de Nol van Ossensisse:

- het inkorten van de strekdam "Nol van Ossensisse",
- het afgraven rondom de strekdam en stabiliseren van de directe omgeving rond de ingekorte strekdam door het afdekken met granulair materiaal.

En in het Gat van Ossensisse:

- het vastleggen van de ontgrondingskuil: over een lengte van 1,5 km met zand vullen en met staalslakken afdekken. Deze maatregel zal niet alleen de stabiliteit van de geulwand verbeteren, maar zal ook de vaargeul zelf verbeteren, waardoor daar wellicht minder gebaggerd hoeft te worden.

2. Erosie van de schorren in het Nauw van Bath

Ten behoeve van een stabilisatie en het beperken van de erosie van het schor aan de noordelijke oever van het Nauw van Bath wordt aanbevolen een palenrij dicht langs de bestaande geulwandverdediging te plaatsen. Een begroeide palenrij heeft ook ecologische waarde. Door de palenrij zullen de stroomsnelheden op het schor afnemen.

3. Bevaarbaarheid van het Nauw van Bath

De bevaarbaarheid van het Nauw van Bath is de afgelopen decennia onder andere door het halveren van de bochtstraal van de vaargeul en de groei en erosie van platen achteruit gegaan. Ten behoeve van het verbeteren van de bevaarbaarheid van het Nauw van Bath wordt een studie naar mogelijke maatregelen aanbevolen.

- Extra baggeren in de vaargeul en de baggerspecie eventueel in de Schaar van de Noord storten
- Het verleggen en verruimen van de geul aan de westzijde, waarmee een verruiming van de bocht en een toename van de straal kan worden verkregen (-.-.- lijn in Fig. 13)
- Het aanleggen van een strekdam aan de linkeroever en ten westen van het nauw van Bath (wit gebied in Fig. 13). De kruinhoogte, de exacte ligging en de lengte van de dam moeten worden geoptimaliseerd
- Het aanleggen van een strekdam op de linkeroever bovenstrooms van het Nauw van Bath (- - - lijn in Fig. 13)
- Het met ongeveer 100 m verkorten van de strekdam ten noorden van de Zandvlietsluis.

Door deze maatregelen zal de bevaarbaarheid van het Nauw van Bath sterk verbeteren.

Kosten

De kosten voor het inkorten van de strekdam (Nol van Ossenis) en het stabiliseren van de directe omgeving rond de ingekorte strekdam bedragen 1,8 M€ en de kosten voor het stabiliseren van de ontgrondingskuil over een traject van 1,5 km langs het Gat van Ossenis zijn 3,1 M€. De kosten voor het leveren van palen en het aanbrengen ervan langs de oevers van het Nauw van Bath bedragen respectievelijk 0,125 M€ en 0,088 M€. Hiermede zijn de totale kosten 5,1 M€ (excl. BTW) en 6,1 M€ (incl. BTW) .

De kosten voor de strekdam in het Nauw van Bath variëren van 5 tot 9 KE per m. Het lijkt erop dat innovaties, zoals het toepassen van geocontainers, lonend zouden kunnen zijn.

7. Aanbevelingen

Om een definitieve uitspraak te kunnen doen met betrekking tot het kwantificeren van de kans op zettingsvloeiing langs de beschouwde locaties (Gat van Ossensisse, Zuidergat en Nauw van Bath) en daarmee mogelijk negatieve gevolgen voor de veiligheid van de waterkering en de bevaarbaarheid van de vaargeul is de volgende informatie essentieel:

- Recente grondonderzoeksgegevens (sonderingen) langs het voorland van de betreffende trajecten;
- Gedetailleerde bestortingsgegevens (dikte, locatie, hoogte etc) langs de verschillende trajecten;
- De daadwerkelijk uitgevoerde toetsingsgegevens langs alle waterkeringstrajecten;
- Ingemeten dwarsprofielen van de dijk tot en met de teen van de geulwand langs alle trajecten.

Vervolgonderzoek, een geavanceerde toetsing op zettingsvloeiing, wordt normaliter in 3 fasen opgebouwd, te weten (1) globale faalkansanalyse (bureauwerk op basis van bestaande gegevens uit de toetsing en voorgaande onderzoeken en literatuurgegevens, (2) haalbaarheidsonderzoek om te zien of relatief duur grond- en laboratoriumonderzoek naar alle waarschijnlijkheid kan leiden tot een goedkeuring en als laatste de 3de fase een faalkansanalyse op basis van grond- en laboratoriumonderzoek met daadwerkelijke verwekingsparameters. De kosten voor een 1ste fase liggen in de orde grootte van 50 k€ (exclusief BTW) en 59,5 k€ (inclusief BTW) de 2de fase circa 15 k€ (exclusief BTW) en de derde fase is erg afhankelijk van de hoeveelheid grond en laboratorium onderzoek en varieert van 100 k€ tot 300 k€ (exclusief BTW).

Het Nauw van Bath is een smalle vaarweg met een kleine bochtstraal. Een verdere verslechtering van de vaarweg is ongewenst. Op basis van de uitgangspunten en overwegingen (zie hoofdstuk 3) worden de volgende acties geadviseerd:

- Onderzoek naar de juistheid van de beschreven morfologische ontwikkeling in het Nauw van Bath;
- Maak een predictie van toekomstige morfologische ontwikkelingen in het Nauw van Bath. Het verdient aanbeveling daarbij rekening te houden met geplande toekomstige ontwikkelingen;
- Vergelijk de geïnventariseerde oplossingen meer in detail. De aanleg van een strekdam op de linkeroever ten westen van het Nauw van Bath lijkt een aantrekkelijke oplossing;
- Verken de voordelen van een innovatief ontwerp van een strekdam.