

1570-46



**Provincie Zeeland
Projectbureau Zwakke Schakels
Zeeland**

**Integrale Beoordeling
kustversterking Zuidwest
Walcheren**

**Deelrapport
Hoogwaterveiligheid & Morfologie**



**Provincie Zeeland
Projectbureau Zwakke Schakels
Zeeland****Integrale Beoordeling
kustversterking Zuidwest
Walcheren****Deelrapport
Hoogwaterveiligheid & Morfologie**

referentie	projectcode	status
MDB185-1/djc/045	MDB185-1-1	definitief 2
projectleider	projectdirecteur	datum
drs. D.J. P. Bel	ir. H.A.A.M. Webers	23 mei 2006

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. S.T. Pwa	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Versie rapport	1
1.3. Leeswijzer	1
2. DEELGEBIEDEN: PROBLEEM EN OPLOSSING	2
2.1. Inleiding	2
2.1.1. Algemeen	2
2.1.2. Aanpak en ontwerp maatregelen	4
2.1.3. Beoordelingskader	6
2.1.4. Randvoorwaarden en uitgangspunten	8
2.2. Deelgebied 1: Domburg – Westkapelle	9
2.2.1. Situatiebeschrijving	9
2.2.2. Maatregelen	9
2.2.3. Beoordeling	13
2.3. Deelgebied 2: Westkapelle – Zoutelande	15
2.3.1. Situatiebeschrijving	15
2.3.2. Maatregelen	16
2.3.3. Beoordeling	22
2.4. Deelgebied 3: Vijgeter – Vlissingen	25
2.4.1. Huidige situatie	25
2.4.2. Maatregelen	26
2.4.3. Beoordeling	30
2.5. Deelgebied 4: Vlissingen	33
2.5.1. Huidige situatie	33
2.5.2. Maatregelen	33
2.5.3. Beoordeling	39
3. MORFOLOGIE	43
3.1. Inhoud van het morfologisch onderzoek	43
3.2. Resultaten berekeningen	45
3.3. Conclusies	46
4. LITERATUUR	47
 laatste bladzijde	 44
 bijlagen	 aantal bladzijden
I Beschrijving van versterkingsmaatregelen per kustvak	22
II Morfologisch onderzoek	53

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In het voorliggend rapport wordt verslag gedaan van de studie naar hoogwaterveiligheid en morfologie. Het belangrijkste doel van de studie is het inzicht verwerven in kansrijke en technisch aantrekkelijke oplossingen voor het veiligheidsprobleem van Zuidwest Walcheren. Hiertoe zijn eerst schetsontwerpen van maatregelen opgesteld en vervolgens beoordeeld op verschillende aspecten met betrekking tot de waterkeringzorg en het kustbeleid. Deze schetsontwerpen zijn de bouwstenen voor de ontwikkeling van de integrale alternatieven.

De maatregelen zijn gericht op versterking van de waterkering opdat op langer termijn aan de veiligheid kan worden voldaan. Duurzaam is een kernbegrip. In het onderzoek is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van het voortraject; hierin zijn in ontwerpateliers schetsontwerpen opgesteld en uitgewerkt vanuit verschillende gebiedsvisies voor de toekomst van de kustverdediging. Insteek van het onderzoek is om zoveel mogelijk aan te sluiten op dit voorwerk.

Kenmerkend langs de Zuidwestkust is het opdringende Oostgat. De druk van deze geul op de kust is de kern van de kustachteruitgang in dit kusttraject welke op haar beurt ertoe leidt dat de veiligheid niet duurzaam kan worden gewaarborgd. Om deze reden is in een parallel onderzoeksspoor een modelonderzoek gestart. Wederom is er ook hier aansluiting op het voortraject waarin Alkyon reeds een vooranalyse van het morfologisch systeem heeft verzorgd. In dit vooronderzoek zijn schetsontwerpen voorgesteld voor maatregelen aan het geulen- en platenstelsel langs de zuidwest kust, gericht op het verbeteren van omstandigheden/condities waaronder de veiligheidsmaatregelen op het land en strand functioneren. Daar waar het vooronderzoek van Alkyon is gestopt, bij de morfodynamische modellering, is deze in een modelonderzoek opgepakt en verder uitgewerkt. De resultaten hiervan zullen in het voorliggend onderzoeksrapport worden opgenomen.

Het voorliggend document behandelt onderzoek volgens beide sporen, beginnende bij de maatregelen op het land en het strand, en vervolgens de maatregelen tegen de oprukkende geulwand

1.2. Versie rapport

Het voorliggend rapport is een actualisatie van het groeidocument dat eerder op 21 oktober 2005 is uitgebracht. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de vorige versie zijn:

- de aanpassingen naar aanleiding van het commentaar van het projectbureau en van de werkgroep Hoogwaterveiligheid en Morfologie;
- de aanpassing naar aanleiding van de integrale beoordeling die inmiddels heeft plaatsgevonden. De integrale beoordeling heeft geleid tot een nieuwe kustvakindeling, aangepaste en nieuwe varianten, en een aangepaste beoordelingskader.

1.3. Leeswijzer

Het rapport behandelt de 2 onderzoekscomponenten in aparte hoofdstukken. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op veiligheidsmaatregelen op het land, het strand en de vooroever. Aan de hand van drie deelgebieden wordt ingegaan op het veiligheidsprobleem, de oplossingsvarianten en de beoordeling ervan op aspecten gerelateerd aan waterkeringzorg en kustbeleid. Achtergronden van de ontwerpen van de oplossingsvarianten en uiteenzetting van de veiligheidsbeoordeling, beiden op kustvakniveau, worden in de bijlagen gegeven.

In hoofdstuk 3 staat het morfologisch onderzoek centraal. Er wordt een korte weergave gegeven van het vooronderzoek, vervolgens wordt het morfodynamisch modelonderzoek beschreven en tot slot wordt ingegaan op wat de maatregelen in de geulen en platen kunnen betekenen voor de veiligheidsmaatregelen op het land en het strand.

2. DEELGEBIEDEN: PROBLEEM EN OPLOSSING

2.1. Inleiding

2.1.1. Algemeen

deelgebieden

In de studie zijn deelgebieden en kustvakken onderscheiden. De probleemanalyse en beschrijving van de oplossing geschieden aan de hand van de deelgebieden: de noordwestkust van Domburg tot de Westkappelse Zeedijk, de zuidwestkust tussen Westkapelle en Zoutelande en tussen Vijgeter en Vlissingen. De deelgebieden zijn ingedeeld op basis van de kustoriëntatie en het hydraulisch-morfologisch systeem waar het deelgebied aan is gelegen. Binnen deze deelgebieden worden nog verschillende kustvakken onderscheiden die onderling verschillen in type waterkering en derhalve in oplossingsmogelijkheden.

Belangrijkste reden om de beschouwing op deelgebiedniveau uit te voeren in plaats van op kustvakniveau is het waarborgen van de samenhang tussen de maatregelen in de verschillende kustvakken. De schetsontwerpen vloeien immers ook voort uit deze gebiedsbenadering in het voortraject. De schaal behoort bij het strategisch karakter van de SMB.

het veiligheidsprobleem

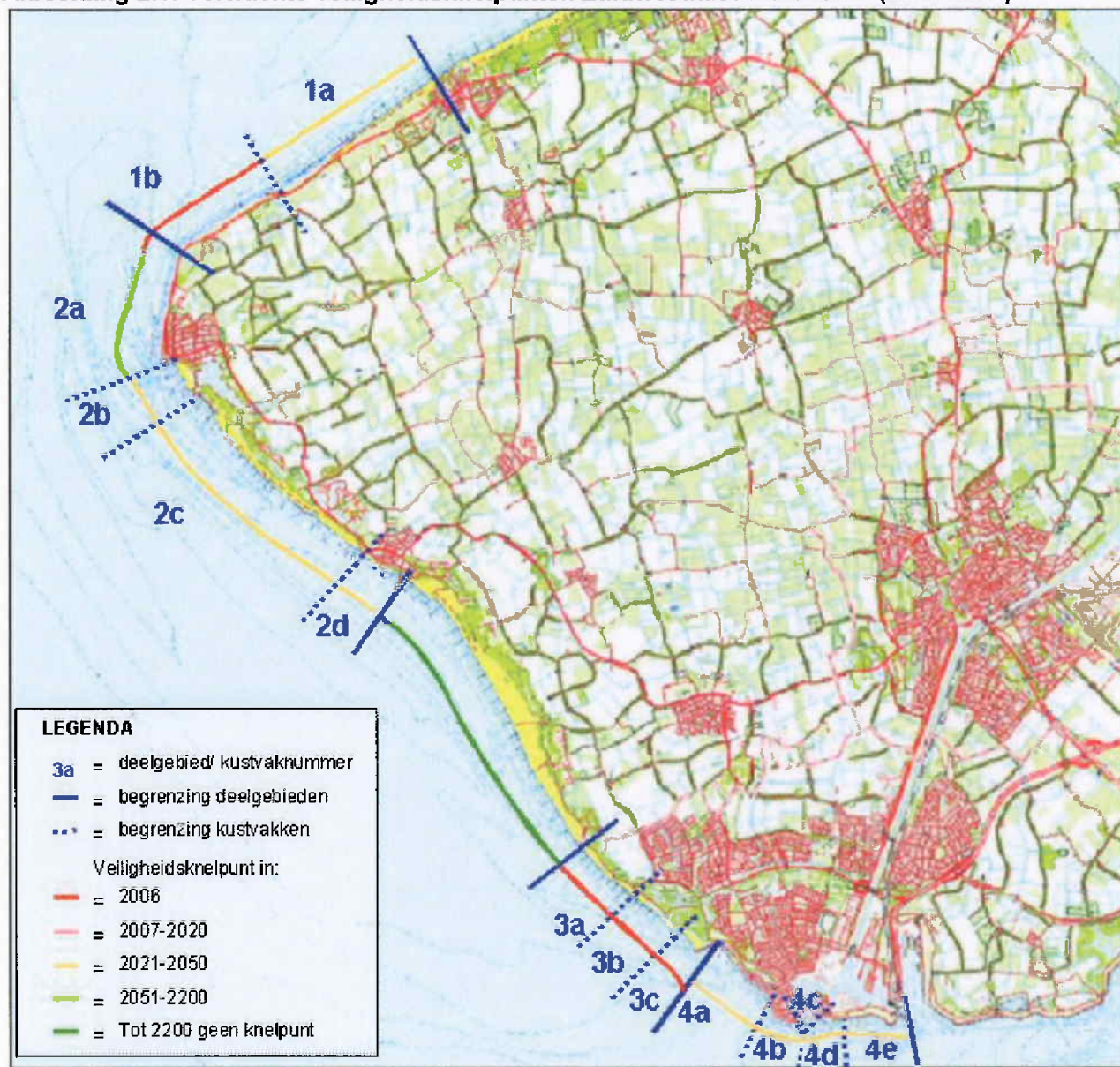
Het beheerderoordeel vormde de eerste aanleiding van de zwakke schakel vraagstukken. Het beheerderoordeel was gericht op de huidige veiligheid. In een aanvullende analyse is door het Waterschap Zeeuwse Eilanden het vizier gelegd op een tijdhorizon van 200 jaar. Deze veiligheidsanalyse is in het achtergronddocument 'Veiligheidsverkenning, bij zwaardere golfbelasting voor 200 jaar; Waterschap Zeeuwse Eilanden, 17 mei 2005' neergelegd [lit. 1]. De resultaten van deze berekeningen geven de kustveiligheidssituatie weer langs (onder meer) de kust van Walcheren tussen Domburg en Vlissingen. De veiligheid is vastgesteld voor nu (jaar 2006) en voor de toekomst (jaar 2050 en 2200). De belangrijkste uitkomsten zijn in bijlage I opgenomen.

Op basis van de berekeningen is voor de Zuidwestkust van Walcheren bepaald of en wanneer de verschillende kustvakken een veiligheidsknelpunt vormen. Een kustvak is een veiligheidsknelpunt wanneer ze tussen nu en het jaar 2200 niet meer bestand zijn tegen een storm, zoals die gemiddeld eens per 4000 jaar plaats vindt. Het beschermingsniveau voldoet dan niet meer aan de '1/4000-norm'.

De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in Afbeelding 2.1.. Hierin wordt de kustveiligheidssituatie weergegeven per kustvak voor nu (jaar 2006) en voor de toekomst (jaar 2050 en 2200).

Bij de berekeningen - en dan met name die voor de langere termijn - is rekening gehouden met een onzekerheidsmarge. Voor verschillende parameters, waaronder de zeespiegelstijging en de bodemligging. Voor de veiligheidsbeoordeling die in Afbeelding 2.1 is weergegeven, is uitgegaan van een 'worst-case'-scenario. Dit betekent dat als uitgangspunt is gehanteerd dat de bodem en kust langs deze kust niet meegroeien vanwege de aanwezigheid van diepe geulen onder de kust. Hoewel omgeven door onzekerheden is dit de algemene verwachting en vanuit veiligheid ook de meest ongunstige benadering.

Afbeelding 2.1. Verwachte veiligheidsknelpunten Zuidwestkust Walcheren (2006-2200)



Op een aantal plekken moeten al op korte termijn maatregelen worden genomen (onveilig in 2006). Dit betreft de zogenaamde acuut zwakke schakels. In tabel 2.1. is de veiligheidssituatie per kustvak samengevat.

Tabel 2.1. Samenvatting veiligheidsoordeel kustvakken Zuidwest Walcheren (2005)

DG	kust vak	veiligheidsknelpunt in:			wat is het knelpunt?
		2006-2020	2021-2050	2050-2200	
1	1a		X ^{a)}		Te weinig (duin)massa, te weinig zand
	1b	X			Teveel overslag over de dijk
2	2a			X ^{b)}	Teveel overslag over de dijk
	2b		X		Te weinig (duin)massa, te weinig zand
	2c		X		Te weinig (duin)massa, te weinig zand
	2d		X ^{c)}		Teveel overslag over de dijk
3	3a	X			Te weinig (duin)massa, te weinig zand
	3b	X			Teveel overslag over de dijk
	3c	X			Teveel overslag over de dijk
4	4a		X		Teveel overslag (de boulevard is te laag)
	4b		X		Teveel overslag (de boulevard is te laag)
	4c		X		Teveel overslag (de muur is te laag)
	4d		X		Teveel overslag over de dijk
	4e		X		Teveel overslag over de dijk

a) Op de overgang van duin naar dijk in kustvak 1a is in de huidige situatie reeds een knelpunt.

b) Het eerste deel van de Westkappelse Zeedijk in kustvak 2a (aansluitend op kustvak 1b) is in de huidige situatie reeds een knelpunt.

c) De overgang van kustvak 2c naar 2d is in de periode 2007-2020 reeds een knelpunt.

doel van de schetsontwerpen en uitgangspunten

Het doel van het opstellen van de schetsontwerpen is om de verschillende oplossingsconcepten van een eerste dimensionering en positionering in de bestaande omgeving te voorzien. Deze schetsontwerpen zijn de varianten die als bouwstenen voor het ontwikkelen van integrale maatregelen kunnen worden gebruikt. Belangrijk is dat de schetsontwerpen onderling onderscheidend zijn. De fase van trechtering is gericht om op basis van verschillen de kansrijke varianten uit te selecteren.

Als vertrekpunt voor de dimensionering geldt de analyse van de veiligheidstekorten van het Waterschap Zeeuwse Eilanden (mei 2005). De maatregelen worden dus ontworpen op het kunnen waarborgen van voldoende veiligheid in het jaar 2200. De maatregelen bestaan veelal uit het versterken van de kust in zowel zeewaartse als landwaartse richting. Om deze kustverbetering vervolgens te handhaven in het kader van BKL-onderhoud, is een hernieuwde definitie van de positie van de BKL benodigd. Alle maatregelen gaan hiervan uit.

De schetsontwerpen zijn in het navolgende afgebeeld in schematische dwarsdoorsneden. Het doel van de figuren is het visualiseren van de maatregelen om een indruk te kunnen geven van verhoudingen en van de ruimtelijke inpassing. Om het concept van en de verschillen tussen de maatregelen te verduidelijken, zijn de figuren veschaald: de horizontale as verschilt van de verticale as.

2.1.2. Aanpak en ontwerp maatregelen

In dit hoofdstuk worden de versterkingsmaatregelen, voor 200 jaar voldoende veiligheid, per deelgebied beschreven. De deelgebieden zijn afgebeeld in afbeelding 2.1. De maatregelen betreffen hier concepten waarvoor in het vooronderzoek reeds een eerste opzet voor het schetsontwerp is gemaakt.

De concepten vertegenwoordigen oplossingsrichtingen die ruimtelijk zijn ingepast en aan de veiligheid voldoen maar die geen meerwaarde herbergen qua ruimtelijke kwaliteit. Het ruimtelijk inpassen van de maatregelen vergt soms significante aanpassing van aanwezige bebouwing en infrastructuur, en de bestaande waterhuishouding. Bij het opstellen van de schetsontwerpen is hieraan ruimschoots aandacht geschonken.

Bij het ontwikkelen van de schetsontwerpen is een aantal leidende ontwerpprincipes gehanteerd:

- zeewaarts, consolidatie en landwaarts. Voor de verschillende deelgebieden is elk van deze drie oplossingsrichtingen vertaald op kustvakniveau in schetsontwerpen (zie Nota Alternatieven en Varianten, 3 oktober 2005 [lit. 2]). Consoliderend omvat maatregelen waarbij de bestaande kering (dijk of duin) aan de zeewaartse dan wel aan landwaartse zijde wordt versterkt. In de uitwerking zijn daarom er twee consoliderende varianten. De zeewaartse oplossingen onderscheiden zich van de consoliderende varianten door nadrukkelijk zeewaartse positie waarbij de ingreep (suppletie) zich strekt over een brede strook van tientallen tot honderden meters. Hierbij maakt een zeewaartse verschuiving van de BKL impliciet integraal deel uit van de maatregel; ook in het beheerderoordeel zijn vergelijkbare suggesties gedaan. Zeewaartse oplossingen zijn gericht op het aanbrengen van zandmassa's op het strand en vooroever; om dit laatste te kunnen realiseren langs de zuidwestkust is een verschuiving van de geulwand van het Oostgat (+ slijtlaag) nodig; Soms is bij de landwaartse of zeewaartse oplossing ook sprake van een stuk overdimensionering, dus meer dan voor het waterkerend vermogen strikt nodig is. Met het surplus, een extra brede duinmassa, wordt dan een ander doel beoogd, bijvoorbeeld natuurontwikkeling of extra brede stranden voor meer recreatie;
- de maatregelen dienen bij voorkeur zacht te zijn (o.a. Ontwerp Beleidslijn voor de kust 2003 [lit. 3]). Hard waar het moet, zacht waar het kan. Waar het moet, geldt voor de dijken waar weinig ruimte voor zandsuppleties aanwezig is (Westkapelle, Zoutelande Vlissingen). Hier zijn harde maatregelen beter inpasbaar en bieden ze derhalve een beter perspectief. Een andere uitzondering zijn de maatregelen aan dijken en boulevards waar de golfoverslag via constructieve maatregelen op effectieve wijze gereduceerd zullen worden;
- Waterkeren in de breedte (Zeeuws Kustbeleidsplan 2004 [lit. 4]). Hierbij wordt zonder de kering te verhogen, de dijk op de kruin en het binnentalud overslagbestendig gemaakt. De sterkte neemt hierdoor toe. Landwaarts moet een komberging worden gecreëerd met waar nodig een secundaire kering hieromheen.

In de ontwerpen is een aantal ontwerpregels aangehouden. Deze luiden als volgt:

- duinen:
Voor de duinkeringen is uitgegaan van verbreding op basis van de afstanden vanuit het 0-punt van de raaien zoals aangegeven door het waterschap. Voor Landwaarts (L) is daarbij uitgegaan van een verbreding tot 11 m hoog. Bij de beëindiging is een talud van 1:5 a 1:10 aangehouden. Een landwaartse variant is overgedimensioneerd ten opzichte van het voor veiligheid benodigde profiel zodat ruimte wordt gecreëerd voor bredere ruimtelijke inpassing. Voor de consoliderende varianten is enkel de voor de veiligheid benodigde hoeveelheid zand aangebracht, zonder extra zand zoals in de landwaartse varianten. Voor consolideren wordt verder onderscheid gemaakt in Consolideren landzijde (CL) en Consolideren zeezijde (CZ). Varianten die een versterking aan de zeezijde inhouden, zijn veelal gecombineerd met een zeewaartse uitbreiding, zie hieronder. Voor de varianten consolideren zeezijde geldt dat deze door de combinatie met zeewaartse strandverbreding een groter volume aan zand in het dwarsprofiel hebben beneden de hoogwaterlijn. Hierdoor kan mogelijk worden volstaan met een kleiner volume aanvulling van het duin. Deze hoeveelheden zijn niet bepaald. Er is uitgegaan van een vergelijking in hoeveelheid aan te brengen zand met de varianten consolideren landzijde;
- dijken:
Voor de dijken is de verhoging gebaseerd op de verbreding zoals aangegeven door het waterschap. De verhoging is gebaseerd op een verbreding op basis van dezelfde taludhellingen en verhoging van de berm met 2m tot ontwerppeil. De uitgangspunten met betrekking tot zeewaartse oplossingen zijn voor dijken gelijk aan duinen;

- geulwand en strandverbreding:

De zeewaartse varianten bestaan voornamelijk uit strandverbreding. Dit alleen is nog niet genoeg om van een voldoende (waterkerings-)veilig profiel te spreken. De zeewaartse varianten dienen daarom gecombineerd te worden met duinsuppleties (consolideren). Bij een voorliggende geul is de strandverbreding vaak alleen mogelijk indien maatregelen aan de geulwand worden getroffen. Door Alkyon (mei 2005) is een minimale en maximale variant hiervoor aangegeven. De minimale variant bestaat uit opschuiven van de geulwand en aanbrengen van geulwandverdediging. Met name voor het Oostgat speelt dit. Deze variant wordt verder benoemd als geulwandstabilisatie. Hierbij is de strandverbreding 10 à 100 m en is de helling van de geulwand verflauwd naar 1:13. Indien de helling al flauwer is, is het profiel opgeschoven.

De maximale variant wordt verder benoemd als geulverlegging. Daarbij is uitgegaan van het baggeren van de zuidflank van de geul en het suppleren van de noordelijke geulwand. De strandverbreding die hierdoor ontstaat, is orde 100 a 200 m. De precieze vorm en afmetingen van het strand dienen nader bepaald te worden. Er is niet gekeken naar zaken als het ontstaan van muiën of het afslagprofiel van het huidige strand, dan wel van het afslagprofiel bij afgraven van het Bankje van Zoutelande. Door Alkyon is weliswaar aangegeven dat de variant maximaal zeewaarts minder realistisch is vanwege de grote onzekerheid van de morfologische effecten. Deze variant is wel verwerkt in meerdere schetsen om zo ruimte te kunnen creëren voor zeewaartse strategieën in het ontwerpatelier.

In de schetsen onderscheiden de variant geulwandstabilisatie en geulverlegging zich van elkaar door de strandbreedte en de helling. Maatregelen zoals het verleggen van de geul, aanleggen van een nieuwe geul of vergraven van het Bankje van Zoutelande zijn door de grote afstand van de waterkering niet of slecht zichtbaar op de schetsen.

2.1.3. Beoordelingskader

Een doel van de studie is het inzicht verwerven welke van de schetsontwerpen kansrijke en aantrekkelijk zijn. Eventueel en waar mogelijk dient een rangschikking (prioritering) hierin te worden gemaakt. Om deze beoordeling en selectie te maken, is een aantal technische criteria geformuleerd die rekening houden met kustbeleid, beheer en kosten. De volgende criteria zijn geformuleerd:

geschiktheid

Probleemoplossend vermogen

Omdat alle uitgewerkte concepten probleemoplossend zijn, in de zin dat de beoogde veiligheid wordt gerealiseerd (het ontwerp moet daar immers op gericht zijn), wordt in deze studie het probleemoplossend vermogen afgemeten aan de inspanning om het beoogd doel (veilig maken van de kering) te bereiken (efficiency).

De bouwstenen worden afgemeten tegen de traditionele oplossingsconcepten: duinsuppletie bij zandige kust en dijkverzwaring bij harde kustverdediging.

De effectiviteit is vaak minder daar waar een complexe maatregel is voorzien maar het eenvoudiger kan. Complexe oplossingen zijn bijvoorbeeld:

- een overslagdijk met komberging: Westkappelse Zeedijk (kustvak 1b) en de Nollendijk (kustvak 3b/c);
- dubbele duinenrijen langs de zuidwestkust (kustvak 2c en 3a);
- dubbele dijk bij Zoutelande (kustvak 2d);
- landwaartse verlegging van het tracé voor de primaire waterkering (kustvak 2b, 2c, 3a/b en 4a).

Het is mogelijk dat het principe (concept) technisch eenvoudig (bijvoorbeeld landwaartse dijkverzwaring) is maar de inpassing veel aanpassingen vergt aan bestaande bebouwing en infrastructuur achter de dijk: het probleemoplossend vermogen van de maatregel wordt dan toch als minder ervaren.

Buitendijks

Dit criterium is gericht op de beoordeling van oplossingsconcepten waarin de status van buitendijks gelegen bebouwing verandert. Een negatieve beoordeling wordt gegeven voor maatregelen waarin bebouwing die nu binnendijks is gelegen, door de ingrepen buitendijks komen te liggen. Omgekeerd zal bij het binnendijks brengen van bebouwing die nu buitendijks is gelegen, positief worden beoordeeld. Alle andere gevallen, waarin de status van bebouwing in dit opzicht zich niet wijzigt door de maatregelen, worden als neutraal beoordeeld.

In dit verband wordt nog opgemerkt dat het vigerend rijksbeleid gericht is op het handhaven van het huidige veiligheidsniveau van bebouwing die buitendijks is gelegen. Dat betekent in de autonome situatie impliciet dat door verzwaring van de hydraulische belasting in de toekomst als gevolg van klimaatwijziging, het handhaven van het huidige veiligheidsniveau inspanningen vergt. Er zijn immers aanvullende maatregelen aan de huidige keringen nodig om het surplus aan hydraulische belasting op te kunnen vangen.

Technische haalbaarheid

De technische haalbaarheid van de maatregel wordt afgemeten aan de mate waarin de techniek is bewezen. Ervaringen met het concept worden positief beoordeeld, net als wanneer de werking van het concept goed wordt 'begrepen'. De technische haalbaarheid van een maatregel wordt minder als de werking afhangt van veel factoren of als de maatregel uit meerdere componenten bestaat (met onderlinge interacties). Eenvoudig samengestelde maatregelen met een eenvoudige werking zijn in het algemeen goed technisch haalbaar. Gecomplieerde maatregelen, bijvoorbeeld complexe aansluitingen op bestaande waterkeringen of waar bebouwing en infrastructuur in de waterkering geïntegreerd wordt met behulp van bijzondere oplossingen, zijn technisch minder haalbaar geacht.

Onzekerheden

De beoordeling op dit aspect richt zich met name op onzekerheden in de technische werking van het concept, dit omdat de werking met de huidige stand van kennis alleen globaal kan worden bepaald of omdat het afhangt van externe stochastische factoren zoals wind- en golfklimaat. Een voorbeeld is de levensduur van de geulwandsuppletie in het Oostgat (als beschermklaag voor zeewaartse oplossingen) die met de huidige kennis alleen met een nauwkeurigheid van orde meerdere jaren te bepalen is.

robuustheid

Veerkracht

Veerkracht is alleen aan de orde bij een zachte kustverdediging. Veerkracht is het vermogen om de druk van hydraulische (en morfologische) veranderingen op te vangen zonder dat de karakteristieke structuur en eigenschappen van de duinenkust veranderen. Kort samengevat moeten natuurlijke processen in staat zijn aangebrachte (storm)schade aan het waterkerend vermogen (duinmassa) te herstellen. Structureel eroderende kusten zoals de zuidwest kust van Walcheren zijn per definitie niet veerkrachtig.

De introductie van nieuwe harde elementen heeft een negatieve score en belemmert de veerkracht van een duinige kust. In de Ontwerp Beleidslijn voor de kust 2003 wordt genoemd dat zand in beginsel niet door harde elementen mag worden vastgehouden.

Flexibiliteit / no-regret gehalte

Dit criterium geeft aan in hoeverre aanpassingen van de maatregel mogelijk zijn als door klimaatveranderingen de golfbelasting sterker toeneemt dan waar nu vanuit wordt gegaan in de randvoorwaarden. Maatregelen die moeilijk zijn aan te passen hebben ook een lage flexibiliteit en een lage no-regret gehalte.

Indien het mogelijk is maatregelen gefaseerd aan te brengen waarbij de opbouw van het waterkerend vermogen gelijk oploopt met de zeespiegelrijzing, hoeft in een vroegtijdig stadium niet een grotere investering gedaan te worden voor een veiligheidsniveau dat pas in een veel later stadium vereist is. Harde kustverdediging zijn in dit opzicht over het algemeen minder goed te faseren derhalve minder flexibel dan zachte keringen.

Reservecapaciteit/overdimensionering

Concepten met (grote) reserves (surplus) in het waterkerend vermogen worden als gunstig beoordeeld. In beginsel herbergen de zeewaartse en landwaartse concepten een surplus aan kerend vermogen. Hetzelfde geldt voor hybride keringen, waar harde keringen met zandmassa's worden versterkt tot het vereiste veiligheidsniveau.

Brede kust

Daar waar een brede kust en breed duingebied tot de mogelijkheden behoort, verdient dit de voorkeur (Leidraad Zandige kust). Brede zandige kust- en duingebieden bieden ontwikkelpotenties voor andere functies en belangen, en voor dynamiek.

In het Zeeuws kustbeleidsplan is als uitgangspunt gehanteerd dat de zandige kust behouden of zelf versterkt moet worden: hierbij worden brede robuuste duinen landwaarts of, indien noodzakelijk, zee-waartse versterkingen expliciet genoemd.

kosten

Kosten aanleg

Dit criterium dient in kwalitatieve zin en vergelijkend te worden toegepast. De referentie is bij een zachte kustverdediging een duinsuppletie en bij een dijk een landwaartse verzwarende. Een negatief oordeel betekent hogere kosten dan de referentie, positief betekent lagere kosten. In sommige kustvakken is een harde maatregel de referentie terwijl zachte varianten hiertegen afgewogen moeten worden: in deze gevallen kan geen gefundeerd oordeel worden gegeven zonder een diepgaander kostenanalyse. Met andere woorden de kosten van een dijkverzwarende kan niet direct tegen de kosten van een duinverzwarende worden afgewogen. Er wordt dan geen oordeel gegeven.

Kosten beheer en onderhoud

Ook hier wordt het criterium in kwalitatieve zin en vergelijkend toegepast. De vergelijking wordt gemaakt met de kosten van een traditionele ingreep, die normaal gesproken zou worden uitgevoerd bij een als onveilig getoetste waterkering. Bij een zachte kustverdediging is de traditionele ingreep een duinsuppletie en bij een dijk is het een landwaartse dijkverzwarende. De kosten van deze traditionele maatregelen zijn de referentie bij de beoordeling op de kosten van aanleg en onderhoud. Een kanttekening wordt geplaatst als de onderhoudskosten van een zachte ingreep met die van een harde oplossing moet worden vergeleken; zonder een diepgaander kostenanalyse kan bij benadering worden gesteld dat een zachte maatregel (suppletie) goedkoper in onderhoud zal zijn dan een verzwarende dijk.

hele kust

invloed op morfologisch systeem en zandhuishouding

Transport van zand langs en dwars op de kust moet zo min mogelijk gehinderd kunnen plaatsvinden en er mag geen zand aan het kustfundament worden onttrokken. (Leidraad Zandige kust, drietrapsstrategie voor het beheer van de zandige kust). De beoordeling op dit punt is positief als dit wordt bewerkstelligd.

2.1.4. Randvoorwaarden en uitgangspunten

In de veiligheidsverkenning bij zwaardere golfbelasting voor 200 jaar (Waterschap Zeeuwse Eilanden, mei 2005 [lit. 1]) is voor verschillende cases het ruimtebeslag bepaald. Hierbij wordt rekening gehouden met zeespiegelstijging en de minimale c.q. gemiddelde strandligging bij gelijkblijvende en meestijgende

bodem. Er is sprake van een meestijgende bodem als de kust volgens het BKL-beleid wordt onderhouden. Bij de Zuidwestkust van Walcheren is door de aanwezigheid van het diepe Oostgat minder sprake zijn van een meestijgende bodem.

De concepten in deze studie zijn ontworpen zodanig dat hierdoor een hoogwaterveiligheid in de komende 200 jaar is gegarandeerd. Deze maatregelen zijn gebaseerd op case 5: zeespiegelrijzing van 1,7 m en een extra stormopzet van 0,4 m waardoor de maatgevende waterstand (MHW) en het rekenpeil is toegenomen met 2,3 m.

De gebruikte profielen in de ontwerpen zijn de Jarkusraaien uit 2004. Soms zijn deze profielen aangevuld met informatie uit raaien van 2000 om een completer beeld te krijgen van de geometrie. Per onderscheiden kustvak is een representatief profiel geselecteerd waarin de oplossingsconcepten zijn ingepast.

2.2. Deelgebied 1: Domburg – Westkapelle

2.2.1. Situatiebeschrijving

Dit deelgebied betreft de noordwestkust van Walcheren tussen Domburg en Westkapelle (zie afbeelding 2.1.), met name het Noorderhoofd vanwaar de zeedijk een andere oriëntatie krijgt. De kust is ruim 4 km lang en heeft een ondiepe voorland / plaatgebied. Zeewaarts hiervan ligt de uitloop van het Oostgat welke die in de richting van Westkapelle dichter bij de kust komt.

De noordwest kust bestaat duinen en een dijk. Tussen Domburg en Westkapelle liggen duinen van circa 11 m hoog. Dit deel wordt kustvak 1a genoemd. Vanaf Domburg is het duingebied achter de eerste duinenrij in gebruik als golfterrein. Achterlangs de duinen loopt de provinciale weg en staan er enkele boerderijen.

Richting Westkapelle gaat het duin over in een dijk, de Westkappelse Zeedijk. Het dijktraject langs de noordwestkust is circa 2 km lang en wordt in de planstudie als kustvak 1b aangeduid. De dijk is circa 13m hoog. Dicht achter de waterkering ligt de provinciale weg en enkele bebouwing.

In kustvak 1a voldoet het duin momenteel nog wel maar dringt op afzienbare termijn, vanaf 2020, het veiligheidsprobleem zich op.

De veiligheid van de Westkappelse Zeedijk is momenteel al kritisch en derhalve een acuut probleem: momenteel wordt hier niet meer aan de veiligheid voldaan. Door het ontbreken van een afdekkende kleilaag zal het binnentalud bezwijken onder de vigerende ontwerpomstandigheden (inclus de verzwaarde golfbelasting) waarbij het overslagdebiet grotendeels in de orde van 0,1 a 2 l/s/m bedraagt terwijl maximaal 0,1 l/s/m toelaatbaar is.

Het uitgangspunt van meestijgende bodem verandert dit algemene beeld in beide kustvakken niet substantieel.

2.2.2. Maatregelen

De maatregelen zijn voor de 2 onderscheiden kustvakken verschillend. In Afbeelding 2.2. en 2.3. zijn de maatregelen afgebeeld. Een beschrijving van elk ontwerp is opgenomen in bijlage II. Noemenswaardig is het navolgende:

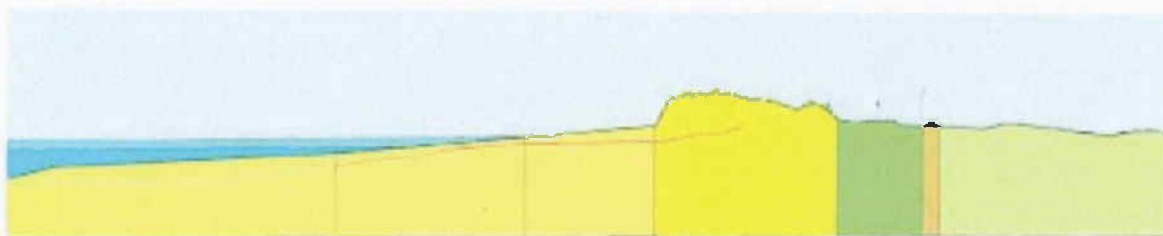
- in het schetsontwerp van de zeewaartse varianten van beide kustvakken zal het gesuppleerde zand verstuiven en de waterkering versterken. Direct na aanleg is er dan sprake van een breed strand en ondiepe vooroever, op termijn anticipeert de maatregel op verstuiving waardoor het benodigd waterkerend vermogen wordt opgebouwd. Het stuifzand in de duinen dient vervolgens behouden te worden met bijvoorbeeld stuifschermen of helmbeplanting (hierdoor neemt de dynamiek overigens

- af). De veiligheidssituatie is als zodanig dat dit principe wel toepasbaar is in kustvak 1 maar dat de acute veiligheidsprobleem in kustvak 2 dit niet toestaat;
- in kustvak 1 bestaat de landwaartse oplossing uit een brede duinenrij. Hier is duidelijk een veiligheidssurplus, ontwikkelpotentie voor ruimtelijke kwaliteit (natuurontwikkeling) is hier het leidend ontwerpprincipe geweest (conform Leidraad Zandige kust). De ontwikkelpotentie voor natuur zal echter vanuit ruimtekwaliteit nog nader vastgesteld moeten worden;
 - voor de duin op dijk variant zijn nog geen officiële ontwerp- en toetsregels beschikbaar.

Afbeelding 2.2. Maatregelen Kustvak 1a, Domburg - Westkapelle, Raai 16.940



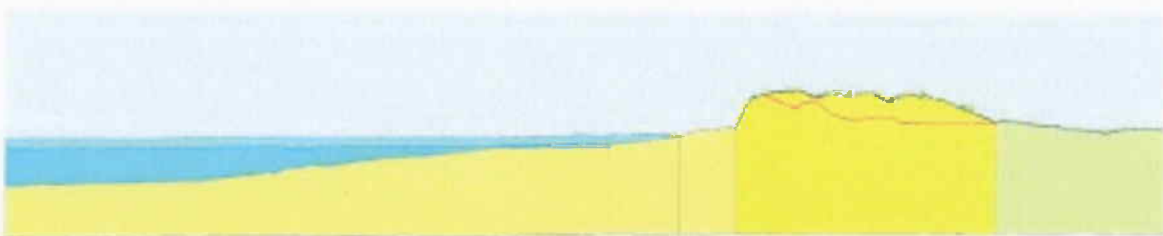
Huidige situatie



CZa dn



CZb dn

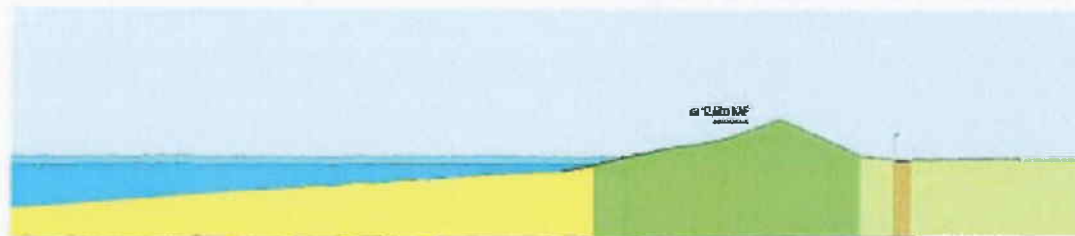


CL dn

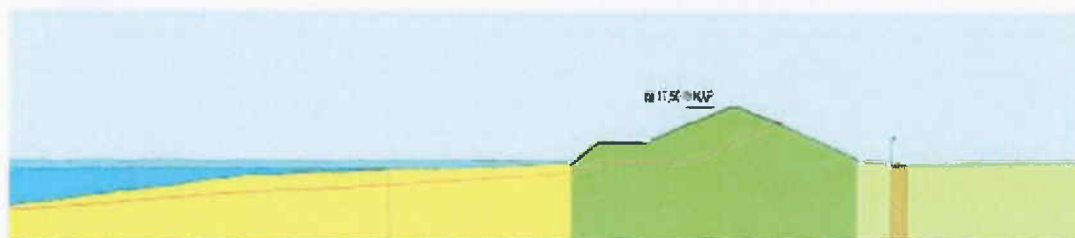


L dn

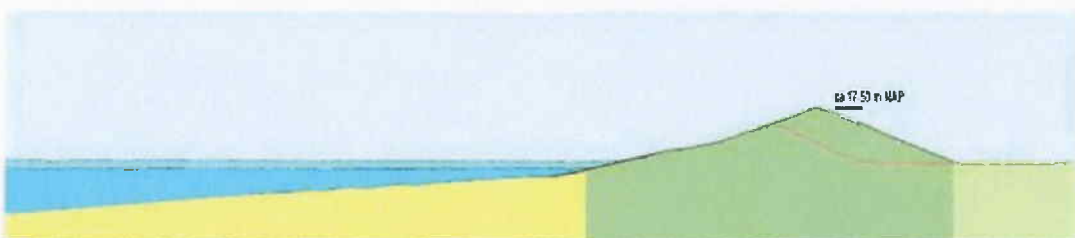
Afbeelding 2.2. Maatregelen Kustvak 1b , Westkapelle zeedijk t/m Noorderhoofd, raai 19.380



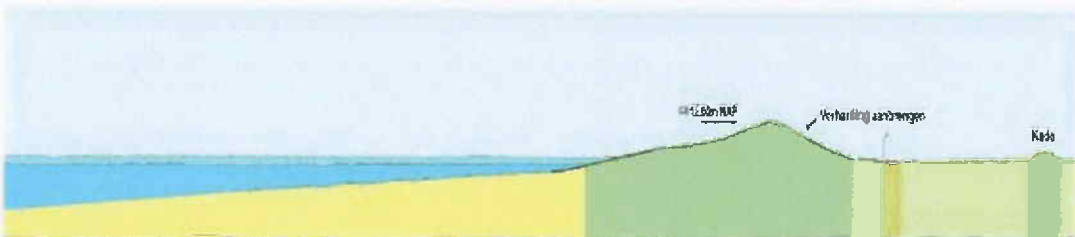
Huidige situatie



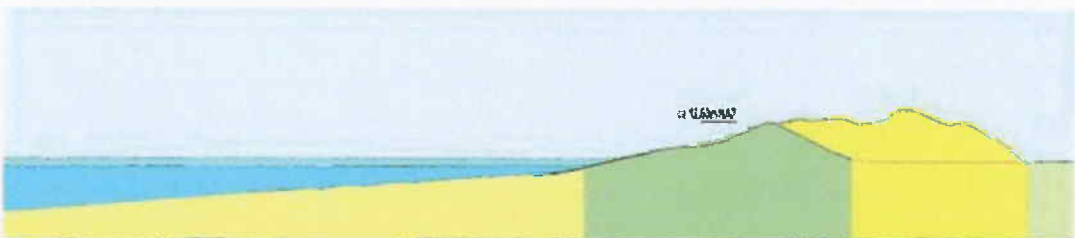
CZ dk



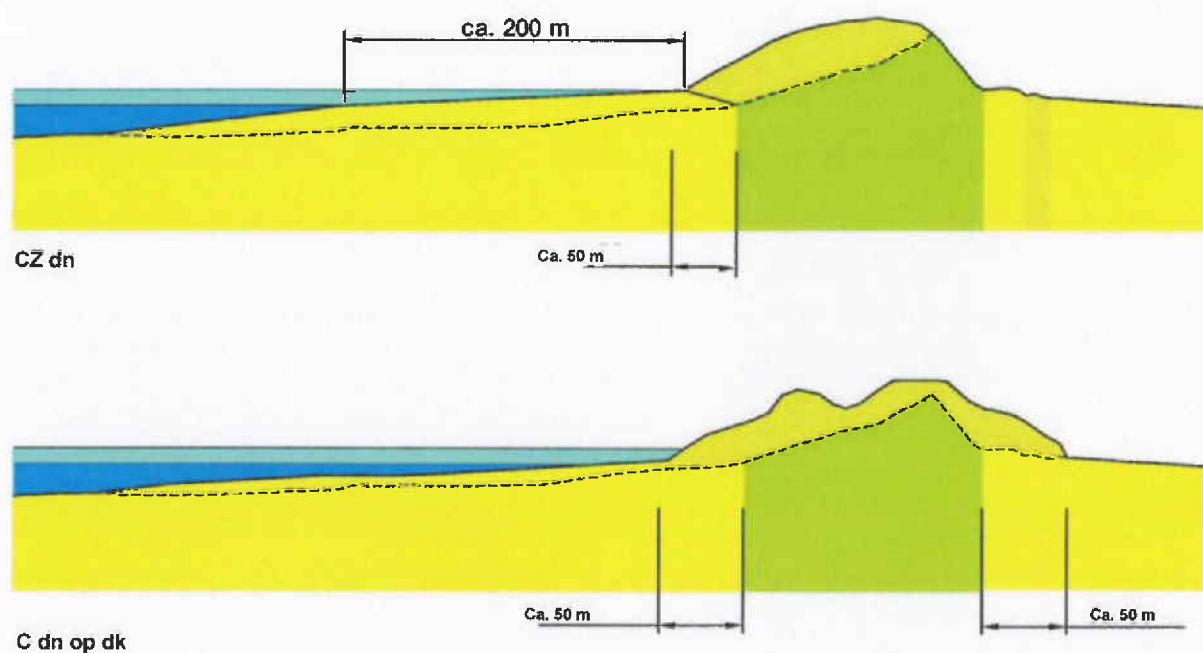
CL dk



L dk+k



L dn



2.2.3. Beoordeling

De beoordeling van de schetsontwerpen vindt plaats in tabellen die per kustvak zijn opgesteld. De criteria en de beoordeling van de meer gangbare en traditionele varianten zijn reeds in paragraaf 2.1.2 aan de orde gekomen. In de beoordelingstabellen zullen derhalve in de voetnoten alleen toelichtingen worden gegeven op de bijzondere, specifieke beoordelingen.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN KUSTVAK 1a			
	CZa dn/ CZb dn ¹⁾		CL dn ²⁾	L dn
Criteria op kustvakniveau				
geschiktheid				
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	- ³⁾	++	++	++
technische haalbaarheid en duurzaamheid	+	+	+	+
onzekerheden	- ⁴⁾	+	+	+
robuustheid				
veerkracht (zelfherstellend vermogen)	++	+	+	++
flexibiliteit / no regret gehalte	++	+	+	++
faseringsmogelijkheden	+	+	+	+
reservecapaciteit/overdimensionering	+ ⁵⁾	++	0	++
brede kust	+	0	0	++
kosten				
kosten aanleg	0 ⁶⁾	0	0	--
kosten beheer en onderhoud	- ⁷⁾	-	0	+
Criteria op hele kustniveau				
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	+ ⁸⁾	0	0	0

Toelichting

- 1) CZa gaat op termijn via verstuiving over in variant CZb, en kunnen ook worden beschouwd als respectievelijk de begin- en eindsituatie.
- 2) CL is de traditionele vorm van duinversterking en geldt als referentievariant voor de beoordeling van de kostencriteria.
- 3) CZa vergt meer zand als CZb en is daarom minder effectief.
- 4) Onzekerheid over de verstuiving en duinvorming. Hierdoor ook onzekerheid over de benodigde hoeveelheid zand.
- 5) De strandverbreding zal de golfaanval afzwakken en dragen indirect bij aan een surplus in de sterkte.
- 6) Enerzijds goedkoper in aanleg omdat strandsuppletie goedkoper is dan duinsuppletie, anderzijds is meer zand benodigd dan bij CZb als geanticipeerd wordt op het initieel verlies door extra suppletiehoeveelheden.
- 7) In CZa en CZb liggen de aangebrachte zandmassa's t.o.v. de rechte kustlijn. In de regel vindt onder invloed van golven en stroming herverdeling langs en dwars op de kust plaats. Hierdoor neemt het onderhoud toe. Volgens Alkyon (april, 2005) moet gerekend worden met 35 % van het autonoom kustonderhoud [lit. 5].
- 8) Door herverdeling zal het naastgelegen kustvak bij Domburg worden gevoed. Overigens vindt langs de kust een cyclisch langjarige trend van aangroei en kustachteruitgang plaats dat onder de naam horizontale zandgolven bekend staat. In 'Alkyon april 2005' [lit. 5] wordt verondersteld dat de omvang van de maatregel te klein zijn om dit patroon te kunnen beïnvloeden.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN KUSTVAK 1b					
	CZ dn	CZ dk	C dn op dk	CL dk	L dk+k	L dn
Criteria op kustvakniveau						
geschiktheid						
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+	+	+	+	+	0
technische haalbaarheid	0	+	0	+	0 ⁴⁾	+
onzekerheden	- ¹⁰⁾	++	0	++	- ⁵⁾	+ ⁸⁾
robuustheid						
flexibiliteit / no regret gehalte	+ ⁹⁾	-	+ ⁹⁾	-	-	+ ⁹⁾
faseringsmogelijkheden	+	-	+	-	0 ¹¹⁾	+
reservecapaciteit/overdimensionering	0	+	0	0	0	0
brede kust	+	0	0	0	6)	+
kosten						
kosten aanleg	2)	2)	2)	0 ¹⁾	- ⁷⁾	2)
kosten beheer en onderhoud	+	0	+	0 ¹⁾	- ⁷⁾	0
Criteria op hele kustniveau						
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	+ ³⁾	+ ³⁾	0	0	0	0

Toelichting

- 1) CL is de referentie variant voor de kostenbepaling.
- 2) Kosten van zandsuppletie is niet te vergelijken met dijkverzwaring zonder nadere kostenberekeningen en derhalve niet beoordeeld.
- 3) Het strand wordt door langstransporten verdeeld over de noordwestkust. Het suppletiezand komt kustvak 1a en Domburg ten goede.
- 4) Er zijn kades nodig om het overgeslagen water te bergen en speciale voorzieningen om het af te voeren. Derhalve een ongunstig oordeel over de technische haalbaarheid van het gehele complex aan ingrepen.
- 5) Onzekerheden t.o.v. de bepaling van de stormduur en het totaal overslagdebiet gedurende maatgevende storm.
- 6) Invulling van het concept Waterkering in de breedte.
- 7) Complex aan voorzieningen en maatregelen (overslagbestendig maken kruin en binnentalud, kade, afwateringssysteem, anti verzilting, amoveren bebouwing) vergen hoge investeringskosten.
- 8) Een goed gedimensioneerde duinkering biedt zekerheid. Er zijn wel onzekerheden t.a.v. de exacte werking van dit hybride systeem. Er is in dit opzicht nog weinig ervaring en er ontbreken ontwerpregels en toetsregels.
- 9) Er bestaat de ontsnappingsmogelijkheid om over te gaan op de traditionele dijkverzwaring mocht de maatregel niet werken.
- 10) Onzekerheid over en afhankelijkheid van de verstuuving. Verder is er onzekerheid over het zandverlies door langstransporten.
- 11) Mogelijkheid om de kade in fasen aan te leggen.

2.3. Deelgebied 2: Westkapelle – Zoutelande

2.3.1. Situatiebeschrijving

Dit deelgebied omvat de zuidwestkust tussen Westkapelle tot en met Zoutelande. Het traject is ca 8 km lang. Het is een sterk gevarieerde kust met 2 dijken, een badstrand en een lange duinenrij. Kenmerkend voor het deelgebied is de aanwezigheid van het Oostgat vlak onder de kust. De geul heeft een dominante rol in het veiligheidsvraagstuk. De diepte van het Oostgat varieert langs dit traject van NAP - 20 m tot -40 m ter hoogte van Westkapelle, daar waar de Westkappelse Zeedijk afbuigt in noordelijke richting. In deelgebied 2 zijn 4 kustvakken onderscheiden.

Het meest westelijke kustvak, vak 2a, betreft het ruim 1,5 km lange traject van de Westkappelse Zeedijk die hier 11,5 m hoog is. Op de dijk bevindt zich een weg. Op dit traject ligt het Oostgat dicht onder de kust, de vooroever is zeer steil. Achter de dijk ligt een landbouwgebied (over een lengte van 400 m),

een te revitaliseren bedrijventerrein (over 400 m) en de bebouwde kern van Westkapelle (over 600 m met nog eens 400 m waar de dijk landinwaarts gaat).

De Westkappelse Zeedijk gaat over in een badstrandtraject. Over ca 300 m is dit strand voor de dijk gelegen, over 250 m voor een kering bestaande uit een duin met dijkresten (harde elementen van de sluiting in 1946). De kering is hier ca 7m hoog en erachter bevindt zich de Westkappelse kreek. Dit kustvak is kort (ca 400 m) en wordt kustvak 2b genoemd.

Verder oostwaarts (kustvak 2c) bestaat de kering over een lengte van ruim 3,5 km uit een hoofdzakelijk enkele duinenrij waarachter campings en bungalowparken zich bevinden. Afgezien van de eerste 500 m, heeft het kustvak een redelijk uniform karakter. De vooroever is steil met een talud in de orde van 1:4. De diepte van het Oostgat voor de duinenrij varieert tussen de NAP -20 en -25 m. De duinen variëren van NAP +11 m tot wel +25 m waarbij wordt aangetekend dat de 11 m hoge duinen wordt gevonden ter plaatse van een 150 m kort traject van een dubbele duinenrij. Over het gehele kustvak genomen ligt de kruin gemiddeld op NAP+20 m.

Zoutelande zelf ten slotte (kustvak 2d) wordt beschermd door een dijk die tussen de NAP +11 en +15 m hoog is. De kruin loopt ter hoogte van de aansluiting met de naastgelegen kustvakken op tot circa NAP +20 m. Direct achter de dijk ligt het dorp; voor de dijk is een smal (nat) strand van ca 40 m aanwezig. De vooroever is hier steil, het Oostgat heeft hier een geuldiepte van NAP -20 m. Ten opzicht van de naastgelegen duinige kustvakken heeft de dijk een geprononceerde zeewaartse ligging.

De veiligheid in het deelgebied varieert tussen de Westkappelse Zeedijk en de rest van de zuidwestkust.

De Westkappelse Zeedijk is tot 2050 veilig (uitgezonderd het Noorderhoofd waar een acuut veiligheidsprobleem ligt; het Noorderhoofd is ingedeeld bij het vorige deelgebied).

De zuidwestkust vanaf het Badstrand tot en met Zoutelande voldoet momenteel wel. De veiligheid zal hier echter eerder, vanaf 2020, een probleem zijn; er zijn dan maatregelen voor grote deeltrajecten benodigd. In dit veiligheidsoordeel is aangenomen dat de kust niet de zeespiegelrijzing volgt; gezien het opdringen van het Oostgat is dit aannemelijk. Alleen indien (door forse ingrepen, zie maatregelen) de geulwand zeewaarts uitgebouwd zou zijn en hier gehandhaafd zou worden, is het mogelijk om ook de veiligheid op een termijn van meer dan 200 jaar te kunnen garanderen.

Voor dit deelgebied kan de kern van het probleem worden toegeschreven aan de kustachteruitgang die ingezet wordt door de ontwikkelingen van de diepe getijgeul Oostgat/Sardijgeul direct voor de kust van zuidwest Walcheren. Deze getijgeul schuift reeds lange tijd op richting kust. Door de harde erosiebestendige ondergrond is bij het opschuiven van het Oostgat een zeer steile geulwand ontstaan.

De aanwezigheid van het Oostgat/Sardijgeul speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen van kustverdedigingsopties voor de komende 200 jaar. Bureau Alkyon heeft gekeken naar het risico van oeverinstabiliteit (strandval). De kans daarop lijkt het grootst te zijn tussen Westkapelle en Zoutelande. Door strandsuppleties neemt de kans op oeverinstabiliteit toe door het gewicht van het aangebrachte zandpakket. Ook tijdens een maatgevende storm (1/4000 stormvloed) kan er een meters dik zandpakket van het duinen op het strand worden afgezet met oeverinstabiliteit als mogelijk gevolg.

2.3.2. Maatregelen

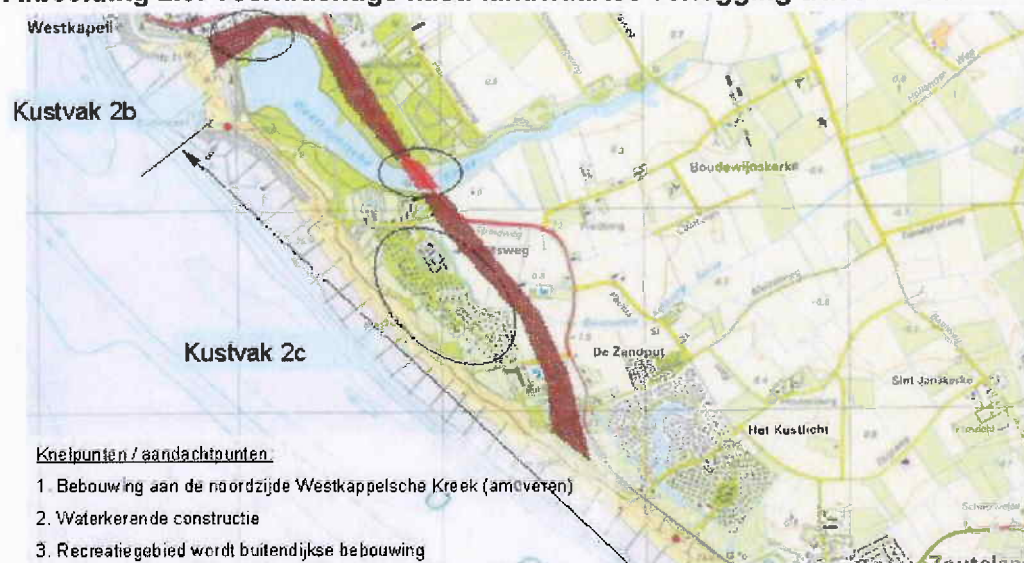
Voor alle kustvakken binnen dit deelgebied zijn de drie basis concepten zeewaarts, consoliderend en landwaarts uitgewerkt. In Afbeelding 2.4. t/m 2.7. zijn per kustvak deze uitwerkingen weergegeven. Een verdere beschrijving van de maatregelen met de dimensies is weergegeven in bijlage II.

De meeste uitwerkingen volgen uit de basisaanpak zoals in paragraaf 2.1. beschreven. De volgende opmerkingen worden geplaatst.

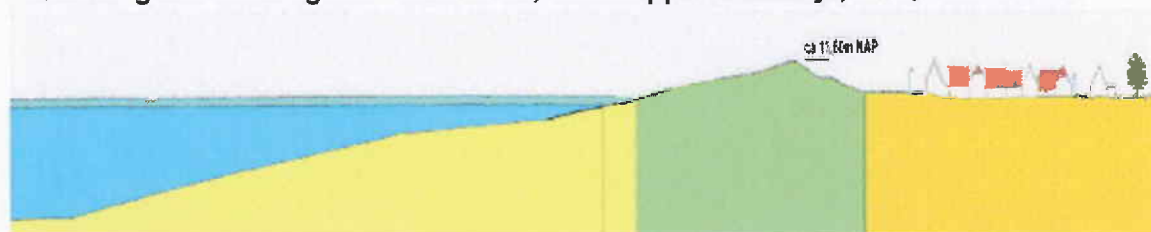
- alle consoliderende oplossingen met een zeewaartse versterking gaan uit van een significante geulwandverschuiving. Deze aanvullende maatregel is een randvoorwaarde voor het goed functioneren van de primaire ingreep en maakt derhalve in feite een complementair deel van de oplossing uit. Op de technisch haalbaarheid zal in hoofdstuk 3 worden ingegaan. De keerzijde is wel dat indien de geulwandverschuiving door erosie afkalft, de versterkte duin of dijk alsnog wordt ondermijnd door een achteruitgang van het voorland. Dit vereist dus zorgvuldig/intensief onderhoud;
- voor het badstrand is geen expliciet zeewaartse oplossing ontworpen (er is volstaan met een consoliderende oplossing met een zeewaartse versterking). Er bevindt zich immers reeds een breed strand op het voorland: verder zeewaarts zou een geulwandverlegging inhouden terwijl hiertoe geen aanleiding bestaat (het brede strand heeft voldoende ruimtelijke kwaliteit);
- een nieuw en nog weinig beproefd concept is de dubbele duinenrij in kustvak 2c. Deze dubbele duinenrij maakt deel uit van het concept van een veerkrachtige kust (zie nota Alternatieven en Varianten, 3 oktober 2005 [lit. 2]) waarin ook het plan bestaat om in de Westkappelse kreek een jachthaven te realiseren. In dit plan vervalt het huidige badstrand, wordt in de duin erachter een keerlus geplaatst en volgt de primaire kering een nieuw tracé: dit loopt ten noorden van de kreek, om vervolgens in zuidoostelijke richting weer aan te sluiten op de bestaande primaire kering, de duinenrij richting Zoutelande. Door deze nieuwe primaire kering als een nieuwe duinregel uit te voeren, ontstaat een dubbele duinenrij. Het tracé is in onderstaande afbeelding afgebeeld. Hoe de primaire kering de kreek moet kruisen vraagt om een nadere uitwerking;
- belangrijke vraag is hoe de dubbele duinenrij nu als primaire waterkering functioneert. Het concept is bijzonder in de zin dat ontwerprichtlijnen noch toetsregels hiervoor bestaan. Voor een eerste uitwerking wordt uitgegaan van de huidige duin, aangevuld met een nieuw duin van vergelijkbare omvang. Op deze wijze wordt ingespeeld op het nieuwe concept van een brede kust dat momenteel actueel is. De buitenste duinenrij zal op termijn niet aan de veiligheid voldoen, maar door rekening te houden met het kerend vermogen in de nieuwe duinenrij wordt de veiligheid toch gewaarborgd. Aangetekend wordt dat dit veiligheidsconcept nog in ontwikkeling is (buiten de context van deze studie).

Een meer conservatieve variant is ervan uitgaan dat de buitenste duinenrij niet wordt versterkt en onderhouden, en dat de tweede nieuwe duinenrij als primaire kering fungeert. Er zijn rekenmethodieken waarin met de afkalving en doorbraak van de eerste duinenrij rekening wordt gehouden. In basisrapport Zandige kust wordt een methodiek aangegeven hoe met de veiligheid van dit systeem kan worden omgegaan [lit. 6]. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de binnenste duinregel het waterkerend vermogen bezit en als primaire kering fungeert (wordt Deltakering in het Waddengebied genoemd). Er is hierbij geen rekening gehouden met het waterkerend vermogen in de buitenste duinregel, wel wordt rekening gehouden met de geometrie en daarmee bij het rekenpeil met het voorland tot aan de 2^e duinregel.

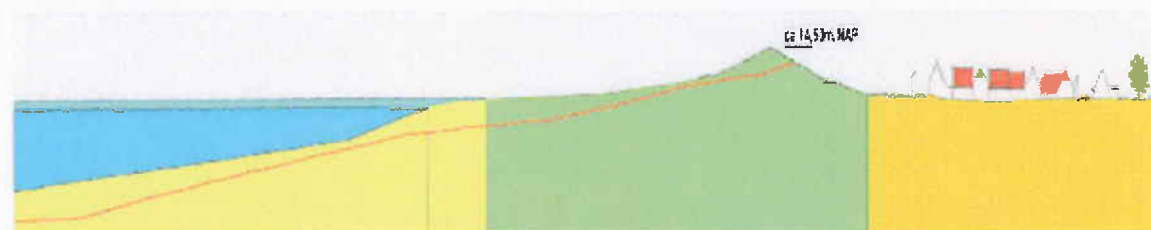
Afbeelding 2.3. Veerkrachtige kust: landwaartse verlegging tracé in kustvak 2C en 3



Afbeelding 2.4. Maatregelen Kustvak 2a, Westkappelse Zeedijk, zuid, Raai 21.650



Huidige situatie



Z dk

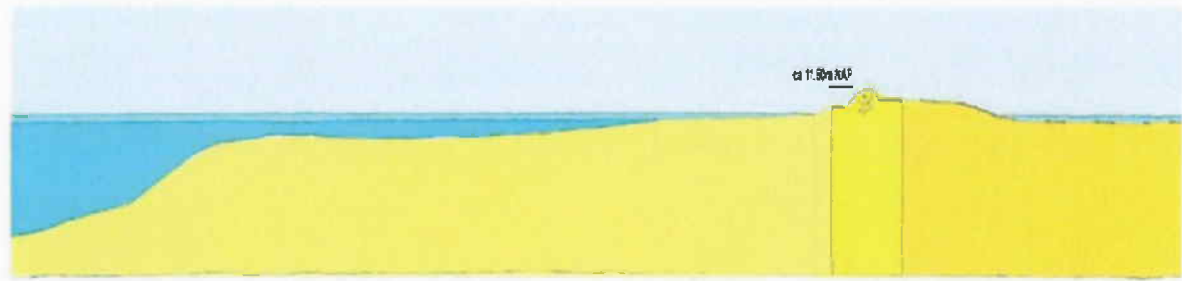
Ca. 20 m Ca. 80 m



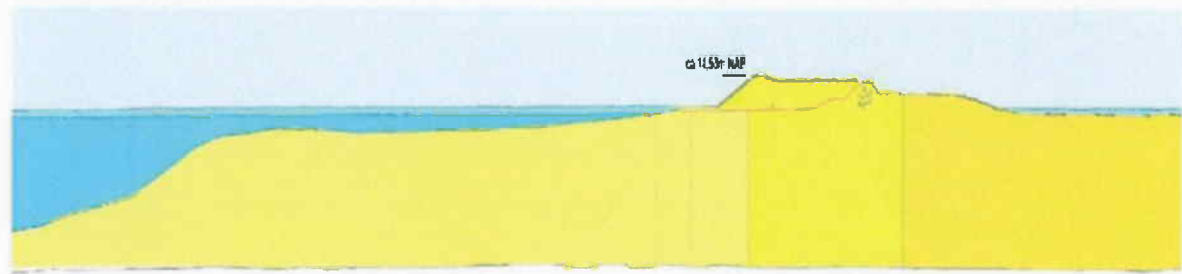
CL dk

Ca. 30 m

Afbeelding 2.5. Maatregelen Kustvak 2b, Westkappelse Zeedijk (badstrand), Raai 22.150

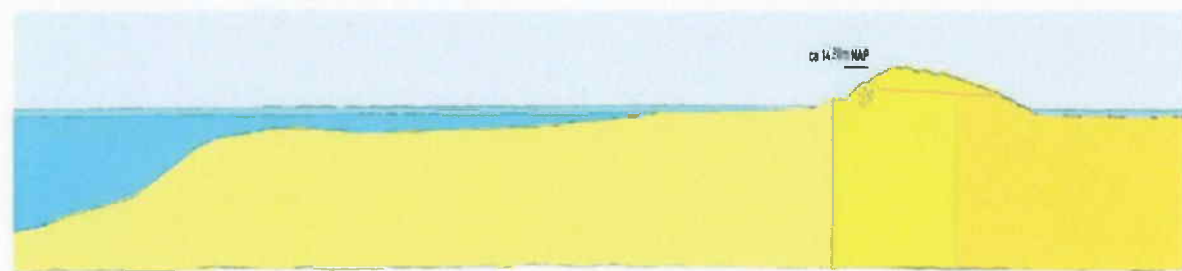


Huidige Situatie



CZ dn

Ca. 70 m



CL dn

Ca. 100 m



L- sl

Max. ca. 500 m

Afbeelding 2.6. Maatregelen Kustvak 2c, Westkapelle - Zoutelande Raai 23.860



Huidige situatie



Z dn s

Ca 100 m



Z dn

Ca 30 m



CL dn

Ca 60 m



L dn

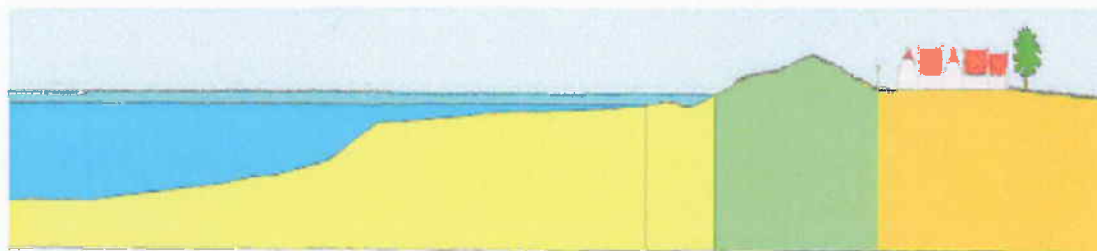
Ca 150 m



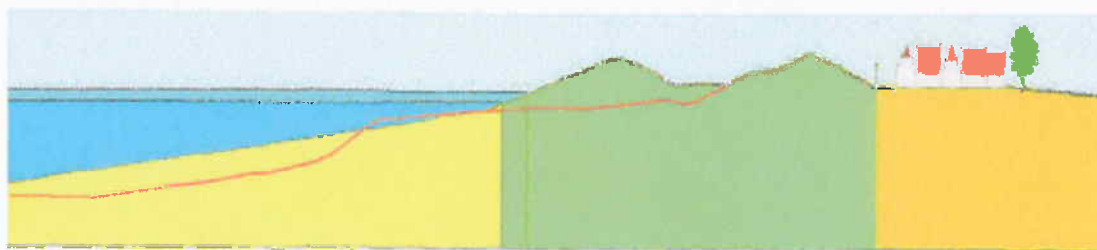
L d-dn

Max 500 m

Afbeelding 2.7. Maatregelen Kustvak 2d, Dijk bij Zoutelande met overgangsconstructie, Raai 26.350

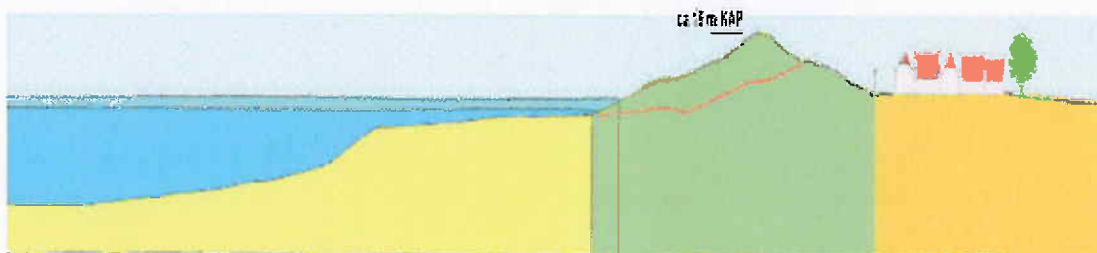


Huidige situatie



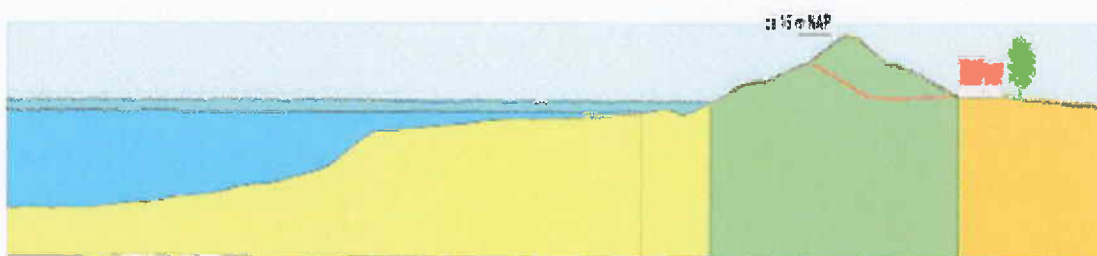
Z d-dk

Ca. 100 m



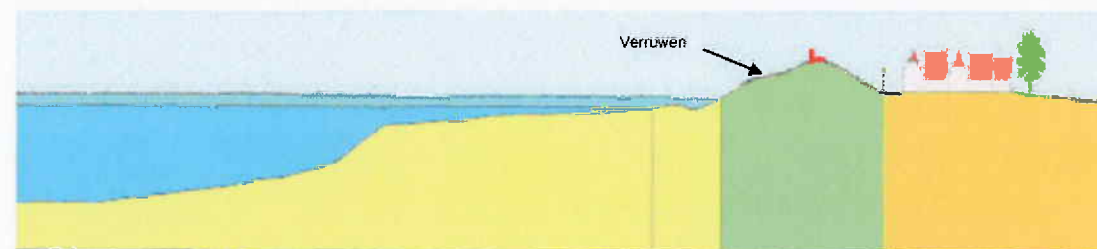
CZ dk

Ca. 40 m

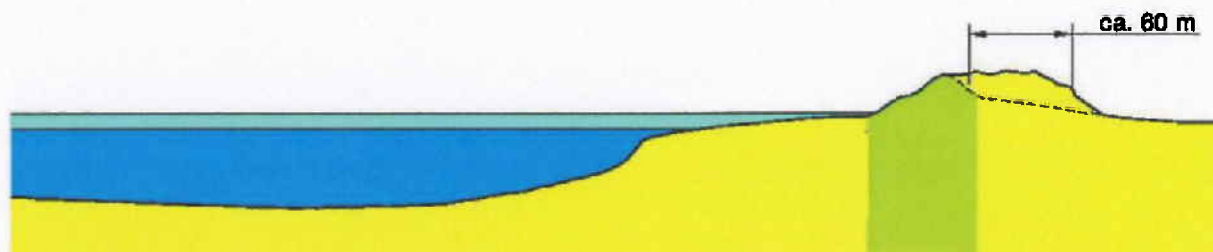


CL dk

Ca. 30 m



CL dk + m



7 d-dk

2.3.3. Beoordeling

De beoordeling geschiedt aan de hand van de onderscheiden/criteria per kustvak (zie ook toelichting paragraaf 2.2.3.).

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 2a	
	Z dk	CL dk ¹⁾
Criteria op kustvakniveau		
geschiktheid		
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+	+ ⁵⁾
technische haalbaarheid	- ²⁾	- ⁶⁾
onzekerheden	- ³⁾	0
robuustheid		
flexibiliteit / no regret gehalte	-	-
faseringsmogelijkheden	-	-
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0 ¹⁾
Brede kust	0	0
kosten		
kosten aanleg	-	-
kosten beheer en onderhoud	-	0
Criteria op hele kustniveau		
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0 ⁴⁾	0

Toelichting

- 1) Het verruimen van het buitentalud is optimaal afgestemd op de verzwaring van de dijk. Tezamen wordt de benodigde sterkte van de dijk gerealiseerd.
- 2) Levensduur van de slijtlaag die middels geulwandsuppletie is aangebracht, is onbekend maar mogelijk beperkt.
- 3) Onzekerheid over de exacte levensduur van de slijtlaag.
- 4) Er wordt meer zand ingebracht in het systeem. Het afgevoerde zand door langstransporten sorteert echter geen positieve effecten elders (blijkt uit het verkennend morfologische modelonderzoek).
- 5) Ondanks de enorme impact op de omgeving achter de dijk lost de ingreep het veiligheidsprobleem effectief op.
- 6) De ruimtelijke inpassing is complex.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN KUSTVAK 2b		
	CZ dn	CL dn	L-sl
Criteria op kustvakniveau			
geschiktheid			
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+	+	-- 1)
technische haalbaarheid en duurzaamheid	-	+	-- 2)
onzekerheden	0	0	-
Buitendijks bebouwing	0	0	-
robuustheid			
flexibiliteit / no regret gehalte	+	+	-
faseringsmogelijkheden	+	+	0
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0	+ 3)
Brede kust	0	+	+ 4)
kosten			
kosten aanleg	0	0	--
kosten beheer en onderhoud	-	0	--
Criteria op hele kustniveau			
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0	0	0

Toelichting

- 1) Een zeer complexe oplossing voor een kort probleemtraject (badstrand).
- 2) Op het alternatief tracé bevinden zich complexe trajecten die ingewikkelde maatregelen vergen (kruising met uitloop van de kreek naar het noorden, aansluiting op Westkappelse Zeedijk, Westkappelse Zeedijk zelf).
- 3) De -oude- waterkering achter het badstrand herbergt een waterkerend vermogen, in het ontwerp van de nieuwe waterkering wordt niet hiermee rekening gehouden.
- 4) Invulling van het concept Waterkering in de breedte.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN KUSTVAK 2c				
	Z dn s	Z dn	CL dn	L dn	L d-dn
Criteria op kustvakniveau					
Geschiktheid					
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	- 8)	++ 1)	+	+	- 7)
technische haalbaarheid en duurzaamheid	- 9)	- 1)	0 4)	0 4)	- 5)
Onzekerheden	- 1)	- 1)	0	0	- 6)
Buitendijks	0	0	0	0	-
Robuustheid					
Veerkracht	0 10)	0	0	0	0
flexibiliteit / no regret gehalte	+	+	+	+	+
reservecapaciteit/overdimensionering	++	+	0	+	++
Brede kust	+	+	0	+	++
Kosten					
kosten aanleg	- 2)	- 2)	0 11)	-	- -
kosten beheer en onderhoud	- 2)	- 2)	0 11)	0	0 6)
Criteria op hele kustniveau					
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0 3)	0 3)	0	0	0

Toelichting

- 1) De oplossing pakt de kern van het probleem, de oprukkende geulwand, aan en heeft hierdoor een groot oplossend vermogen. De levensduur van de geulwandsuppletie is echter beperkt en is een onzekere factor.
- 2) Met de aanleg en mogelijk onderhoud zijn hoge kosten gemoeid.
- 3) Uit morfologisch onderzoek blijkt dat de effecten lokaal zijn en de grootschalige geulen- en platensysteem niet beïnvloeden en derhalve is de beoordeling neutraal.
- 4) Uitgangspunt is dat de –hoofdzakelijk- recreatiewoningen worden verwijderd. De ruimtelijke inpassing is dan geen probleem.
- 5) Het concept is nieuw (nuance: in het Basisrapport Zandige kust worden echter richtlijnen gegeven voor het berekenen van meerdere duinregels waarvan de 2^e zich ver achter de eerste regel bevindt).
- 6) Mogelijk onderhoud is vereist aan het inundatiegebied tussen de duinregels. De buitenste duinregel wordt niet verder onderhouden behoudens BKL onderhoud.
- 7) Als onderdeel van oplossing L sl in kustvak 2 scoort de ingreep negatief.
- 8) Handhaven van geulwandsuppletie vergt zeer grote inspanning en is een voortdurende zorg voor de kustlijn beheerder.
- 9) Geulwandsuppletie heeft naar verwachting een korte levensduur.
- 10) Er is sprake van structurele achteruitgang en derhalve is er geen sprake van veerkracht.
- 11) In de kosten is landwaartse duinversterking de referentiemaatregel.

Criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN KUSTVAK 2d				
	Z d-dk	CZ dk	CL dn	CL dk	CL dk+m
Criteria op kustvakniveau					
geschiktheid					
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+	+	-- ⁵⁾	+	+
technische haalbaarheid	-- ¹⁾	-- ⁴⁾	-- ⁵⁾	-	+
Onzekerheden	-- ²⁾	-	0	0	0
robuustheid					
flexibiliteit / no regret gehalte	-	-	+	-	-
faseringsmogelijkheden	0	0	0	0	+
reservecapaciteit/overdimensionering	+	0	+ ⁶⁾	0	0
Brede kust	0	0	+	0	0
kosten					
kosten aanleg	-	0	--	-	0
kosten beheer en onderhoud	0	0	+	0	0
Criteria op hele kustniveau					
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0 ³⁾	0	0	0	0

Toelichting

- 1) Nieuw en onbeproefd concept, de aansluiting met de bestaande dijk en de afwatering zijn gecompliceerd, de stabiliteit van de teen van de nieuwe dijk is afhankelijk van de stabiliteit van het voorland en daarmee van de levensduur de geulwandverplaatsing.
- 2) Onzekerheid over de levensduur van de geulwandsuppletie.
- 3) Uit morfologisch onderzoek blijkt dat de effecten sterk lokaal en het grootschalige geulen- en platensysteem niet beïnvloeden en derhalve is de beoordeling neutraal. Er vindt mogelijk op beperkte schaal zandtransport naar aangrenzende kustvakken plaats, maar dit is niet met het model onderzocht en zal hier geen substantiële meerwaarde opleveren.
- 4) De stabiliteit van de zeewaartse dijkversterking is technisch complex.
- 5) Complexe inpassing en oplossing in vergelijking met andere alternatieven.
- 6) Indien de bestaande dijk deels gehandhaafd wordt, zal hierin een reststerkte bestaan (stabiliteit van het duinfront).

2.4. Deelgebied 3: Vijgeter – Vlissingen

2.4.1. Huidige situatie

Het derde deelgebied loopt vanaf Vijgeter tot en met Nollehoofd. Het deelgebied is ca 2 kilometer lang maar de primaire waterkering is hier sterk gevarieerd. Er zijn 3 verschillende kustvakken te onderscheiden: kustvak 3a (Vijgeter), 3b (Nolledijk) en 3c (Nollestrand).

Het meest westelijke kustvak begint als een duin met een duinvoetverdediging over een lengte van 1300 m (kustvak 3a). Dit wordt gevolgd door de Nolledijk (kustvak 3b), een 0,5 km lange dijk waarvan de tweede helft getrapt landinwaarts ligt waar een strand is voorgelegen, het Nollestrand (kustvak 3c). Achter de waterkering ligt een parkachtig gebied.

In het beheerderoordeel 2003 is naar voren gekomen dat bij de duinvoetverdediging bij Vijgeter onvoldoende duinvolume aanwezig is. Bij de veiligheidsanalyse (het kwantificeren van de benodigde ruimte-reservering in 'Veiligheidsverkenning, bij zwaardere golfbelasting voor 200 jaar' [lit. 1]) is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van een duinvoetverdediging. Hierdoor is het noodzakelijk om in 2006 maatregelen te nemen. Ook als wel rekening gehouden wordt met de duinvoetverdediging is een landwaartse duinverzwaring van circa 30.000 m³ noodzakelijk, waarbij waarschijnlijk de duinvoetverdedi-

ging zelf ook versterkt moet worden. Op het onverdedigde gedeelte zijn in de periode 2020 - 2050 maatregelen nodig.

Bij kustvak 3b en 3c geldt dat de veiligheid bij de dijk en duin gedeeltelijk ontoereikend is. Door het uitvoeren van een strandsuppletie in 2004 is de veiligheid momenteel vooralsnog gewaarborgd. Op korte termijn (voor 2020) moeten echter structurele maatregelen genomen worden om de veiligheid voor de komende 50 jaar te kunnen garanderen.

2.4.2. Maatregelen

In het deelgebied zijn per kustvak schetsontwerpen van maatregelen opgesteld volgens de leidende ontwerpprincipes zoals eerder uiteengezet. De schetsontwerpen zijn in bijlage II apart en per kustvak beschreven en in Afbeelding 2.9. t/m 2.11. weergegeven.

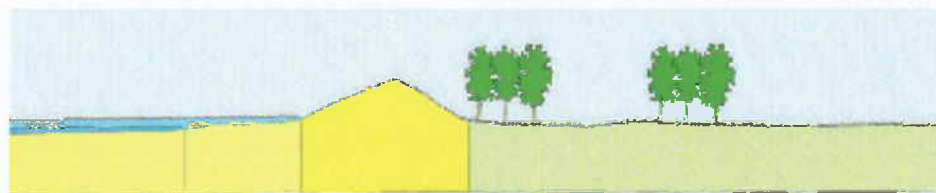
Een toelichting moet worden gegeven op de navolgende maatregelen.

- bij de duinen van Vijgeter bevindt zich een duinvoetverdediging. In de ontwerpen waarvan de dimensies zijn afgeleid uit de ruimtereserveringen, is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van de duinvoet. In de maatregelen bevindt zich dus een niet gekwantificeerde reserve voor de sterkte van de kering;
- er zijn landwaartse maatregelen gepresenteerd in kustvak Vijgeter (3a) en kustvak Zwanenburg (3b). De relatie hiertussen is weergegeven in Afbeelding 2.8. Leidend principe in de Nota Alternatieven en Varianten was hier het ontwikkelen van een veerkrachtige kust. Hierin wordt voor het kustvak 3a een nieuwe robuuste duinregel achter de bestaande kering ontworpen die in oostelijke richting overgaat in de duinversterking van de Nollendijk (variant CL dn). Zodoende is een doorgaande duinkust ontstaan. De hybride kering waarbij Nollendijk aan de landzijde met zand wordt versterkt, dient in dit alternatief als een volledige duin te worden ontworpen en getoetst.

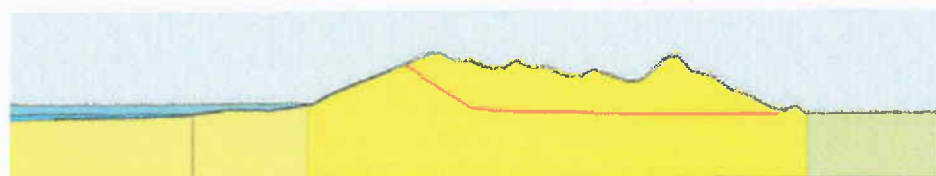
Afbeelding 2.8. Tracé landwaartse maatregelen kustvak 3



Afbeelding 2.9. Maatregelen Kustvak 3a, Vijgeter, duinvoet, Raai 32.260

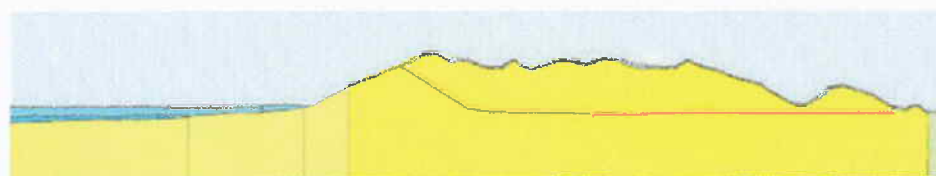


Situatie



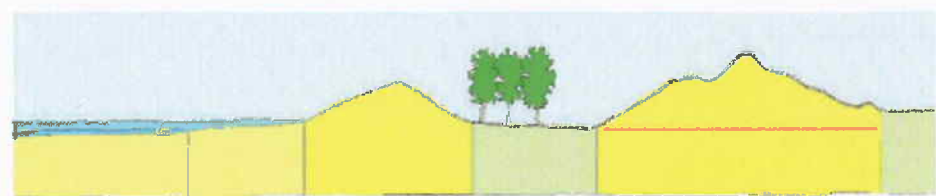
CL dn

ca 130
Ca. 130 m



I dn

Ca. 200 m



I d-dn

ca 130 m



7 dn s

30 m ca. 130 m

ca. 10,40 + 1

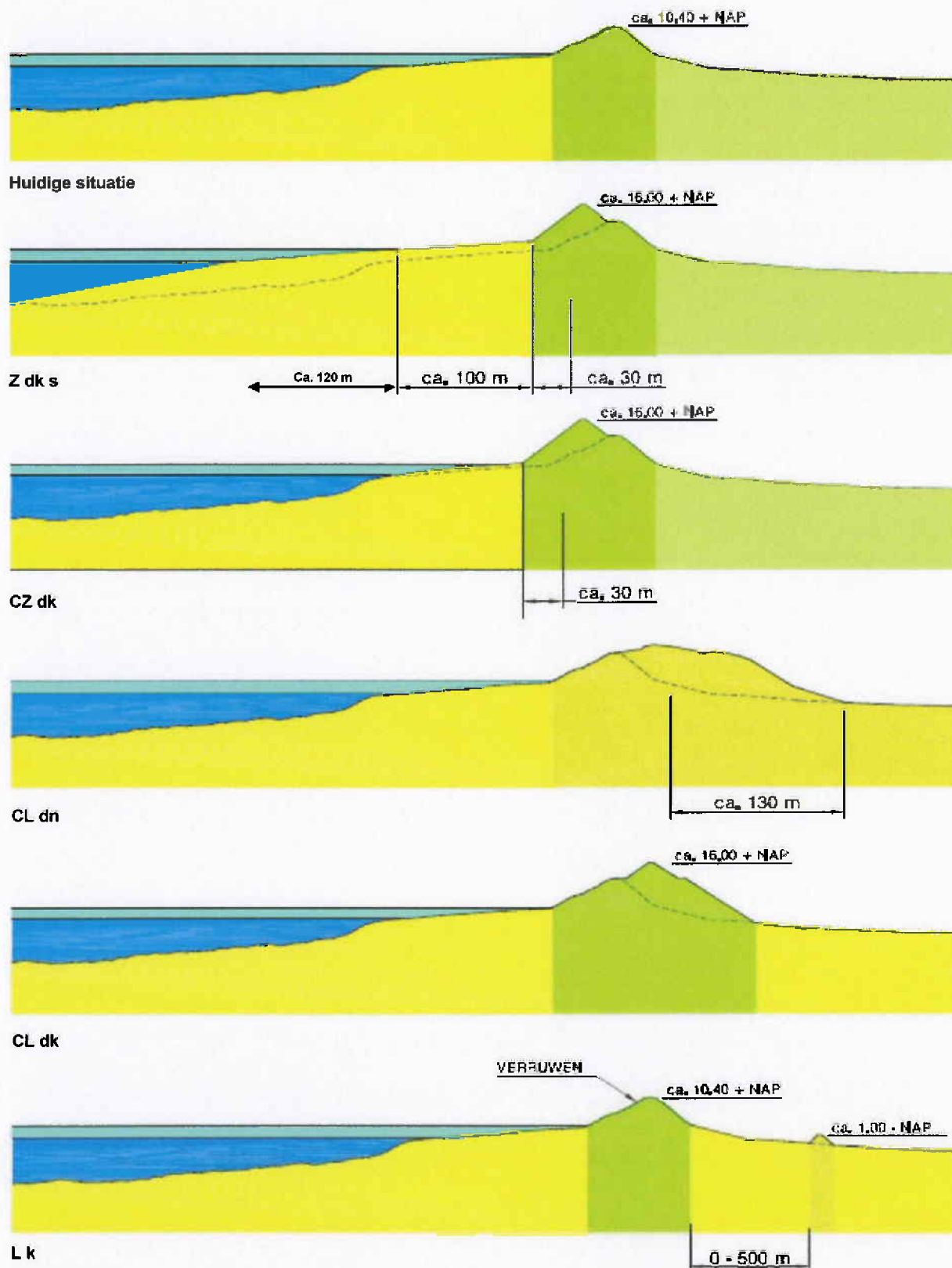


7 dn

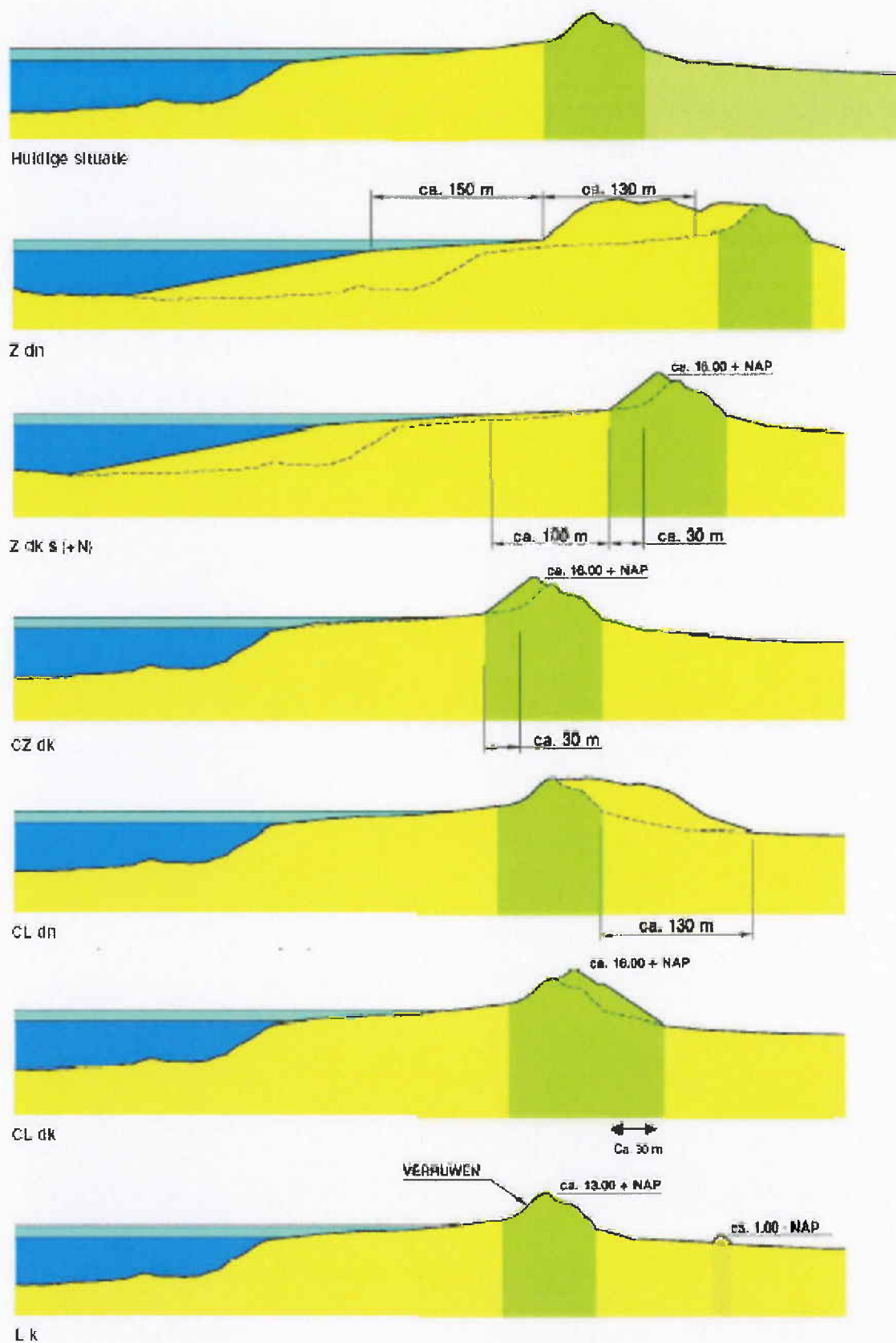
ca. 130 m

ca. 10,40 = IAP

Afbeelding 2.10. Maatregelen Kustvak 3b, Nolledijk, Raai 33.200



Afbeelding 2.11. Maatregelen Kustvak 3c, Nollestrand, Raai 33.600



2.4.3. Beoordeling

De beoordeling geschiedt aan de hand van de onderscheiden criteria per kustvak (toelichting zie paragraaf 2.2.3.).

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 3a				
	Z dn s	Z dn ¹⁾	CL dn	L dn	L d-dn
Criteria op kustvakniveau					
geschiktheid					
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	- ⁹⁾	+ ⁸⁾	+	+	+
technische haalbaarheid en duurzaamheid	-	- ⁵⁾	0	0	0
onzekerheden	- ⁵⁾	- ⁵⁾	0	0	0
buitendijks	0	0	0	0	-
robuustheid					
veerkracht	0	0	0	0	0
flexibiliteit / no regret gehalte	+	+	+	+	+
faseringsmogelijkheden	+	+	+	+	+
reservecapaciteit/overdimensionering	+	0	+ ²⁾	+	++
Brede kust	+	0	0	+	+
kosten					
kosten aanleg	-	0 ⁶⁾	0 ³⁾	-	--
kosten beheer en onderhoud	- ¹⁰⁾	- ¹⁰⁾	0 ³⁾	0	0 ⁴⁾
Criteria op hele kustniveau					
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	7)	7)	0	0	0

Toelichting

- 1) In het ontwerp is een geringe geulwandverplaatsing voorzien.
- 2) Door in het ontwerp de duinvoet te verwaarlozen, ontstaat er een reserve in het waterkerend vermogen. Bij het beheer kan wel hiermee rekening worden gehouden door niet direct in te grijpen, de veerkracht neemt dan toe.
- 3) CL is voor dit criterium als referentie gehanteerd.
- 4) Mogelijk onderhoud is vereist aan het inundatiegebied tussen de duinregels. De buitenste duinregel wordt niet verder onderhouden behoudens BKL onderhoud.
- 5) De duinverzwaring is afhankelijk van de stabiliteit van de geulwand.
- 6) De kosten voor de aanleg is vergelijkbaar verondersteld als de referentie-variant CL. Het is een som van enerzijds hogere lagere suppletiekosten omdat het aan de zeezijde wordt aangebracht, en anderzijds hoger omdat het grotere hoeveelheden betreft i.v.m. de geulwandsuppletie.
- 7) Uit uitgevoerd morfologisch onderzoek is gebleken dat de geulwandsuppletie alleen lokale effecten geeft en niet het groot-schalige geulsysteem beïnvloedt. Op basis van deze bevindingen wordt verwacht dat de geulwandsuppletie in de Sardijn-geul geen significante effecten sorteert. Derhalve wordt op dit criterium neutraal beoordeeld. De geulwandsuppletie komt naar verwachting marginaal het zandbalans van aangrenzende kustvakken ten goede.
- 8) De oplossing pakt de kern van het probleem, de oprukkende geulwand, aan en heeft hierdoor een groot oplossend vermogen. De levensduur van de geulwandsuppletie is echter zeer beperkt en een onzekere factor.
- 9) De levensduur van de geulwandsuppletie is naar verwachting kort en daarmee is de efficiency klein.
- 10) De onderhoudskosten van de geulwandsuppletie zijn hoog door de aanwezigheid van de Sardijngeul.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 3b				
	Z dk s	CZ dk ¹⁾	CL dn	CL dk	L k
Criteria op kustvakniveau					
geschiktheid					
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	- 14)	+	0	+	0 ⁹⁾
technische haalbaarheid en duurzaamheid	- 15)	- 2)	+	0	0 ¹⁰⁾
onzekerheden	- 5)	- 2)	0	0	- 11)
robuustheid					
flexibiliteit / no regret gehalte	+	+	+ 6)	0	-
reservecapaciteit/overdimensionering	+	0	0	0	0
faseringsmogelijkheden	0	0	+	0	+
Brede kust	+	0	+	0	12)
kosten					
kosten aanleg	7)	- 3)	7)	0 ⁸⁾	- 13)
kosten beheer en onderhoud	- -	- 3)	0	0 ⁸⁾	- 13)
Criteria op hele kustniveau					
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0 ⁴⁾	0 ⁴⁾	0	0	0

Toelichting

- 1) In het ontwerp is een geulwandverplaatsing voorzien.
- 2) De stabiliteit van het strand en de duinverzwaring is afhankelijk van de stabiliteit van de geulwand.
- 3) De kosten voor aanleg en onderhoud van de geulwandverplaatsing zijn hoog.
- 4) Uit uitgevoerd morfologisch onderzoek is gebleken dat de geulwandsuppletie in het Oostgat alleen lokale effecten geeft en niet het grootschalige geulsysteem beïnvloedt. Op basis van deze bevindingen wordt verwacht ook de geulwandsuppletie in de Sardijngeul geen significante effecten sorteert. Derhalve wordt op dit criterium neutraal geoordeeld. De geulwandsuppletie komt naar verwachting marginaal het zandbalans van aangrenzende kustvakken ten goede.
- 5) Grote onzekerheid levensduur van de geulwandsuppletie.
- 6) Er bestaat de ontsnappingsmogelijkheid om over te gaan op de traditionele dijkverzwaring mocht de maatregel niet werken.
- 7) Kosten van zandsuppletie is niet te vergelijken met dijkverzwaring zonder nadere kostenberekeningen en derhalve niet beoordeeld.
- 8) CL is de referentie variant.
- 9) Complex aan voorzieningen en maatregelen (overslagbestendig maken kruin en binnentalud, kade, afwateringssysteem, anti verzilting, herinrichting) voor een relatief kort dijktraject.
- 10) Er zijn kades nodig om nodig om het overgeslagen water te bergen en speciale voorzieningen om het af te voeren. Derhalve een ongunstig oordeel over de technische haalbaarheid van het gehele complex aan ingrepen.
- 11) Onzekerheden t.o.v. de bepaling van de stormduur en het totaal overslagdebiet gedurende maatgevende storm.
- 12) Invulling van het concept Waterkering in de breedte.
- 13) Complex aan voorzieningen en maatregelen (overslagbestendig maken kruin en binnentalud, kade, afwateringssysteem, anti verzilting) vergen substantiële investerings- en onderhoudskosten.
- 14) Onderhoud geulwandsuppletie is dermate veel dat oplossing inefficiënt is.
- 15) De geulwandsuppletie in de Sardijngeul is technisch moeilijk te handhaven waardoor de technische haalbaarheid van de oplossing beperkt is.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 3c						
	Z dn	Z dk s	Z dk s + nol.h.	CZ dk ¹⁾	CL dn	CL dk	L k
Criteria op kustvkniveau							
geschiktheid							
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	-	- ¹⁴⁾	- - ¹⁸⁾	+	0	+	0 ⁹⁾
technische haalbaarheid en duurzaamheid	-	- ¹⁵⁾	- ¹⁵⁾	- ²⁾	+	0	0 ¹⁰⁾
onzekerheden	-	- ¹⁶⁾	- ¹⁶⁾	- ²⁾	- ⁵⁾	0	- ¹¹⁾
robuustheid							
flexibiliteit / no regret gehalte	+	-	-	-	+ ⁸⁾	0	-
reservecapaciteit/overdimensionering	+	+	+	0	0	0	0
faseringsmogelijkheden	+	0	0	0	+	0	+
Brede kust	+	0	0	0	+	0	¹²⁾
kosten							
kosten aanleg	¹⁷⁾	⁷⁾	⁷⁾	- - ³⁾	⁷⁾	0 ⁸⁾	- ¹³⁾
kosten beheer en onderhoud	- -	- -	- - ¹⁹⁾	- - ³⁾	0	0 ⁸⁾	- ¹³⁾
Criteria op hele kustniveau							
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0 ⁴⁾	0 ⁴⁾	- ¹⁸⁾	0 ⁴⁾	0	0	0

Toelichting

- 1) In het ontwerp is een geulwandverplaatsing voorzien.
- 2) De stabiliteit van het strand en de duinverzwaring is afhankelijk van de stabiliteit van de geulwand.
- 3) De kosten voor aanleg en onderhoud van de geulwandverplaatsing zijn hoog.
- 4) Uit uitgevoerd morfologisch onderzoek is gebleken dat de geulwandsuppletie in het Oostgat alleen lokale effecten geeft en niet het grootschalige geulsysteem beïnvloedt. Op basis van deze bevindingen wordt verwacht ook de geulwandsuppletie in de Sardijngeul geen significante effecten sorteert. Derhalve wordt op dit criterium neutraal geoordeeld. De geulwandsuppletie komt naar verwachting marginaal het zandbalans van aangrenzende kustvakken ten goede.
- 5) Er zijn onzekerheden t.a.v. de exacte werking van dit hybride systeem (ervaring, ontwerpregels en toetsregels ontbreken) maar de benadering als een volledige duin is conservatief.
- 6) Er bestaat de ontsnappingsmogelijkheid om over te gaan op de traditionele dijkverzwaring mocht de maatregel niet werken.
- 7) Kosten van zandsuppletie is niet te vergelijken met dijkverzwaring zonder nadere kostenberekeningen en derhalve niet beoordeeld.
- 8) CL is de referentie variant.
- 9) Complex aan voorzieningen en maatregelen (overslagbestendig maken kruin en binnentalud, kade, afwateringssysteem, anti verzilting, herinrichting) voor een relatief kort dijktraject.
- 10) Er zijn kades nodig om het overgeslagen water te bergen en speciale voorzieningen om het af te voeren. Derhalve een ongunstig oordeel over de technische haalbaarheid van het gehele complex aan ingrepen.
- 11) Onzekerheden t.o.v. de bepaling van de stormduur en het totaal overslagdebiet gedurende maatgevende storm.
- 12) Invulling van het concept Waterkering in de breedte.
- 13) Complex aan voorzieningen en maatregelen (overslagbestendig maken kruin en binnentalud, kade, afwateringssysteem, anti verzilting) vergen substantiële investerings- en onderhoudskosten.
- 14) Onderhoud geulwandsuppletie is dermate veel dat oplossing inefficiënt is.
- 15) De geulwandsuppletie in de Sardijngeul is technisch moeilijk te handhaven waardoor de technische haalbaarheid van de oplossing beperkt is.
- 16) Grote onzekerheid levensduur van de geulwandsuppletie.
- 17) Goedkoper dan Z dk str.
- 18) Verlenging van het Nollehoofd omvat een verlegging van de vaarroute. De maatregel is zeer ingrijpend.
- 19) Grote snelheden rond de kop van het hoofd geïntroduceerd die grote onderhoudskosten zal vergen.

2.5. Deelgebied 4: Vlissingen

Deelgebied 4 is onder te verdelen in 5 kustvakken te weten:

- | | |
|--|------------------------------------|
| - kustvak 4a: Boulevards Evertsen en Bankert | km 33.800 – km 35.100 (km 34.200); |
| - kustvak 4b :Boulevard De Ruyter | km 35.100 – km 35.800 (km 35.260); |
| - kustvak 4c: Haven | km 35.800 – km 35.900 (km 35.900); |
| - kustvak 4d: Oranjedijk | km 35.900 – km 36.300 (km 36.100); |
| - kustvak 4e: Eilanddijk | km 36.300 – km 37.500 (km 36.700). |

2.5.1. Huidige situatie

De Boulevard bestaat uit een harde constructie met daarachter en daarop bebouwing. Er zijn 3 deeltrajecten te onderscheiden die onderling variëren qua bebouwing, hoogte van de boulevard en oriëntatie. De Kustvak 4a omvat vanaf het Nollehoofd de Boulevards Evertsen en Bankert en de daarachter gelegen kade. Vanaf het Nollehoofd ligt het badstrand. Kustvak 4b betreft Boulevard De Ruyter tot het standbeeld van Michiel de Ruyter. In tegenstelling tot kustvak 4a is hier de boulevard de feitelijke waterkering.

Dit kustgedeelte betreft een boulevard met bebouwing. Bij Boulevard Evertsen is een strand aanwezig van circa 100 m. De bebouwing betreft voornamelijk laagbouw. Op boulevard Bankert is voornamelijk hoogbouw aanwezig. De primaire kering bestaat uit een muur met een parapetconstructie en de achter gelegen kade. Pal voor de oever loopt de Sardijngeul, welke deel uitmaakt van de vaarroute richting het noorden.

Bij de boulevards is de veiligheid minder eenduidig vast te stellen. Er bestaat op dit moment onduidelijkheid over de reducerende werking van de parapetconstructies onder verzwaarde omstandigheden. Daarnaast zijn er geen eenduidige eisen te stellen aan het toelaatbare overslagdebiet op de boulevards. Voor de planstudie is er vanuit gegaan dat het huidige veiligheidsniveau van de boulevards moet worden gehandhaafd. Dat wil zeggen dat de golfoverslag niet mag toenemen. Door het Waterschap Zeeuwse Eilanden is aangegeven dat derhalve in de periode 2020-2050 reeds maatregelen getroffen moeten worden. Over 200 jaar moet de boulevard(muur) -zonder rekening te houden met parapetconstructies - ca 4,5 meter worden verhoogd om te blijven voldoen aan het overslagcriterium.

Kustvak 4c is gelegen in de Michiel de Ruyterhaven en de kering betreft hier een weg-/boulevard constructie rond de havenkom. De kering sluit via de Nieuwendijk en De Ruijterplein aan op de Oranjedijk in kustvak 4d. De veiligheid in kustvak 4c is in de Veiligheidsverkenning voor 200 jaar van het Waterschap niet nader onderzocht in verband met het ontbreken van (geactualiseerde) golfcondities.

Kustvak 4d Oranjedijk km 35.900 – km 36.300 betreft een groene dijk met een berm langs het buitentalud, die als fietspad gebruikt wordt. Het dijkgedeelte is circa 400 m lang en de bouwstenen zijn gebaseerd met behulp van een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai km 36.100). In de huidige situatie bedraagt de breedte van de waterkering circa 75 m en heeft de dijk een hoogte van circa NAP +8 m. Voor de dijk is een nat strand aanwezig van circa 100 m, dat niet erodeert omdat het opgesloten zit tussen de pier van de haven en de pier ter plaatse van de overgang naar de Eilanddijk. Kustvak 4e Eilanddijk betreft, net als de Oranjedijk, een groene dijk met een weg langs het buitentalud. Het dijkgedeelte is circa 1200 m lang en de representatieve raai uit dit kustvakgedeelte is raai 36.700. De geometrie is nagenoeg gelijk in opbouw met de Oranjedijk. Ook bij de Eilanddijk is een breed nat strand gedeelte aanwezig in de huidige situatie van circa 150 m.

2.5.2. Maatregelen

In het deelgebied zijn per kustvak schetsontwerpen van maatregelen opgesteld volgens de ontwerp-principes zoals eerder uiteengezet. Daaraan is nog toegevoegd de verhoging door middel van een muur (Cm). De schetsontwerpen zijn in bijlage II apart en per kustvak beschreven en 2.13. t/m 2.17. weergegeven.

Voor de boulevards van Vlissingen is een alternatief tracé ontwikkeld (langs de kade die nu ook al onderdeel uitmaakt van de kering) waarbij de primaire kering wordt verlegd naar de straten die parallel aan de boulevards zijn gelegen. Dit is weergegeven in onderstaande afbeelding 2.12. De wegconstructie fungeert als kade zoals in de ontwerpschets voor concept landwaarts (variant L). Er zal rekening gehouden moeten worden met aanpassingen op delen van het traject (zie beschrijving in bijlage II).

De primaire kering wordt achter de eerste bebouwingslijn geplaatst. In de beleidslijn voor de kust wordt geëist dat voor kustplaatsen met bebouwing in buitendijkse gebied de huidige veiligheid gehandhaafd blijft. Dit rijksbeleid is recentelijk expliciet onderstreept door de staatssecretaris.

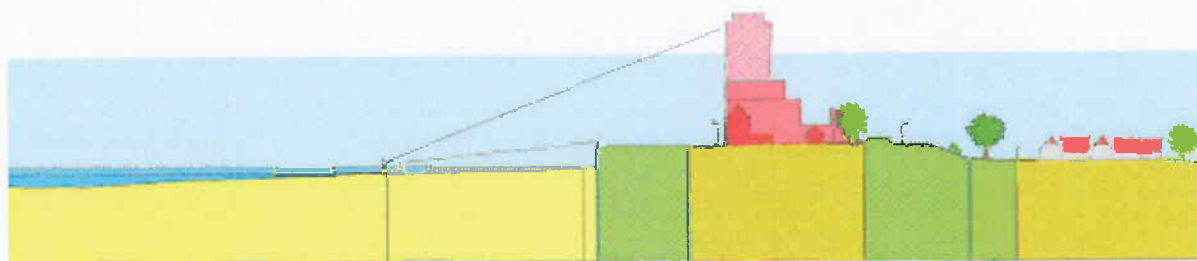
In eerste instantie hoeven hierdoor geen nieuwe maatregelen getroffen te worden om het buitendijks geraakt gebied te beschermen. Het huidige veiligheidsniveau van dit gebied volgt uit de toetsing en het beheerderoordeel, en dient, als uitwerking van de beleidslijn voor buitendijkse bebouwing, te worden vastgelegd in een overschrijdingsfrequentie.

In de toekomst ontstaat echter een knelpunt. Door toenemende belasting (klimaatverandering) zal de veiligheid teruglopen en zal de waterkering van het buitendijks gebied ook op termijn alsnog aangepast dienen te worden. De constructie van de kering (boulevard) is echter zodanig dat de aanpassingen hieraan technisch bewerkelijk zijn en hieraan zijn substantiële kosten verbonden.

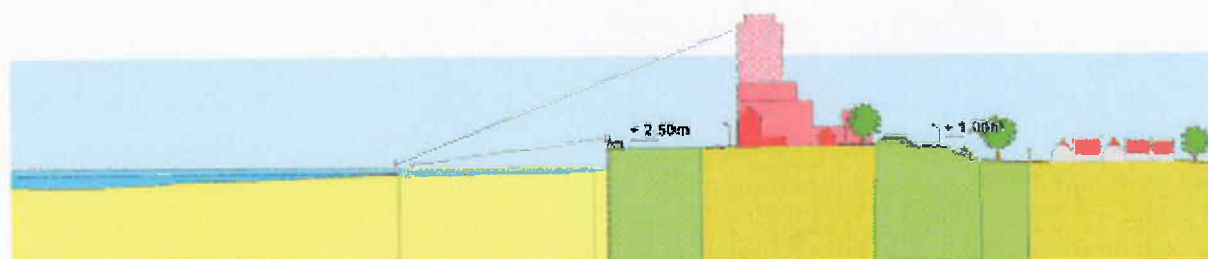
Afbeelding 2.12. Alternatief tracé kustvak 4a



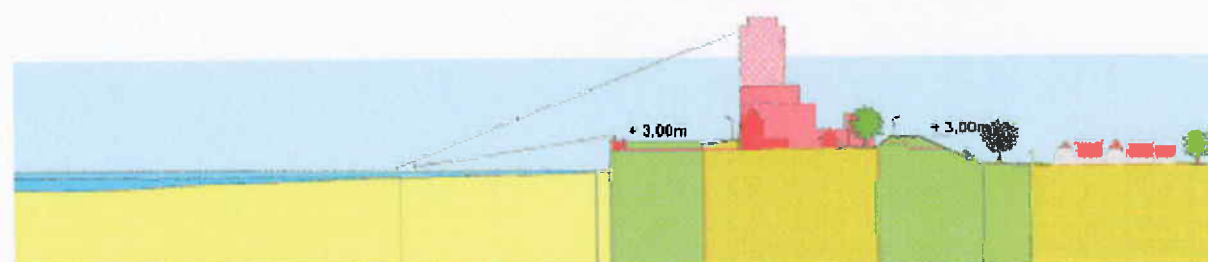
Afbeelding 2.13. Maatregelen Kustvak 4a, Vlissingen boulevard, Raai 34.200



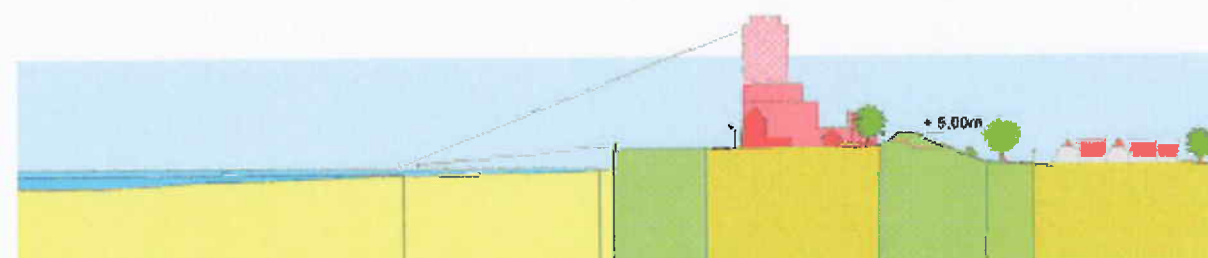
Huidige situatie



Cp

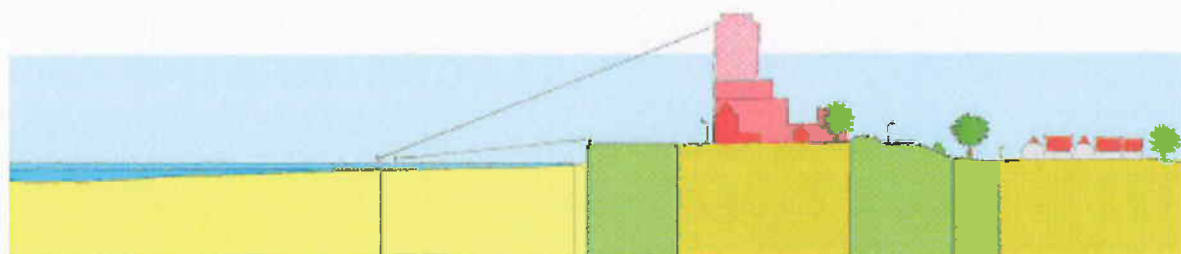


Cb

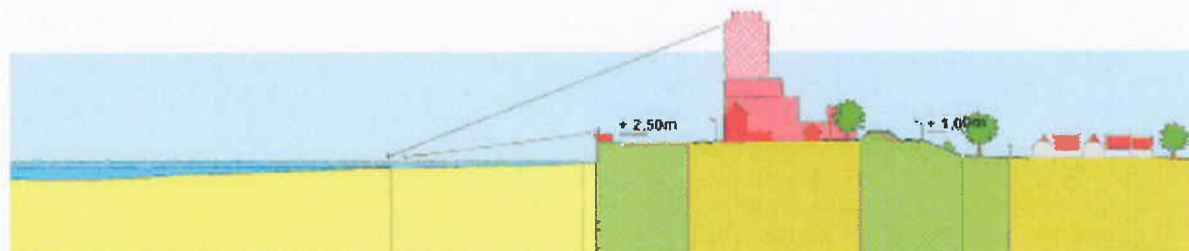


L

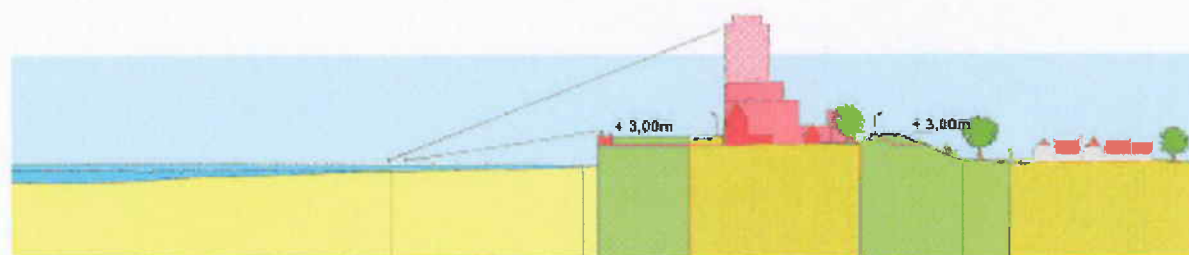
Afbeelding 2.14. Maatregelen Kustvak 4b, Vlissingen boulevard, Raai 35.260



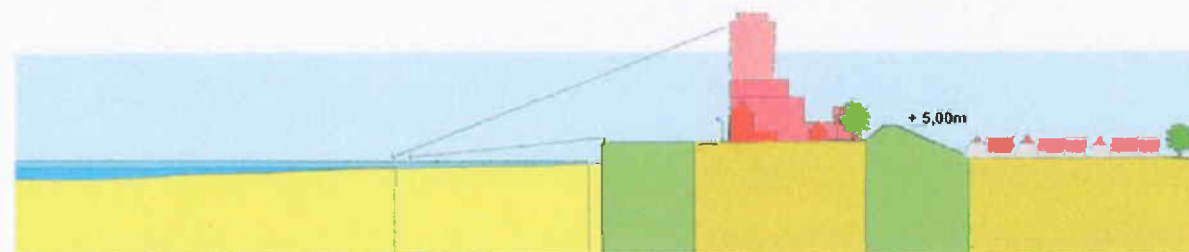
Huidige situatie



Cp

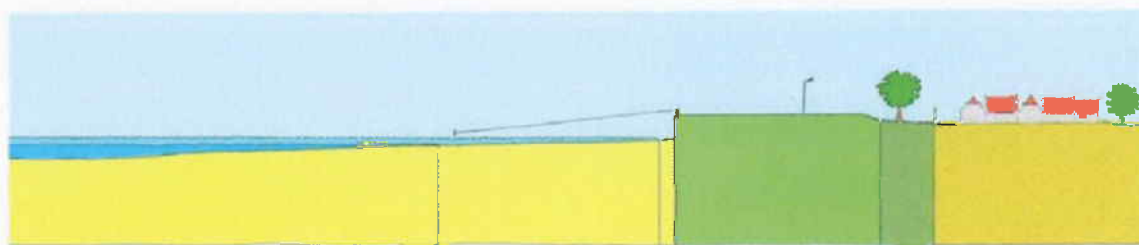


Cb

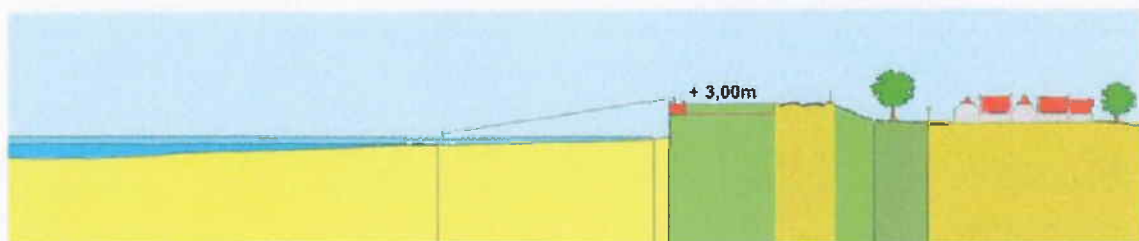


CL

Afbeelding 2.15. Maatregelen Kustvak 4c, Raai 35.900

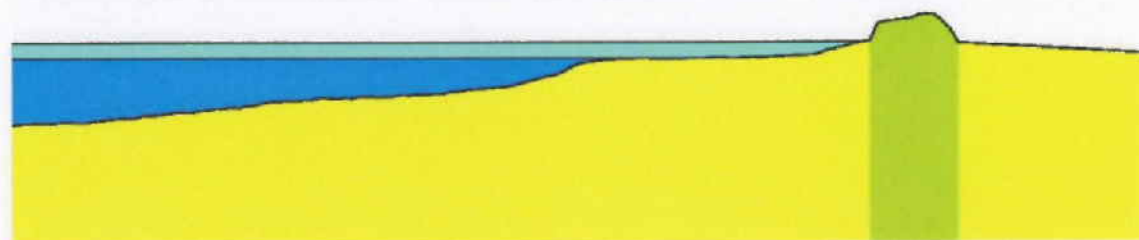


Huidige situatie

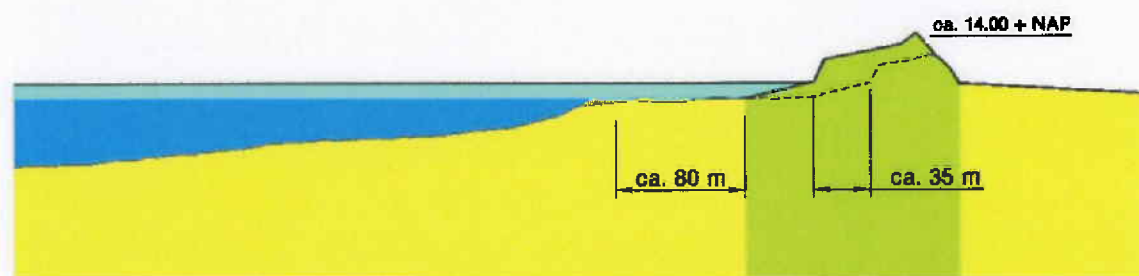


Cm

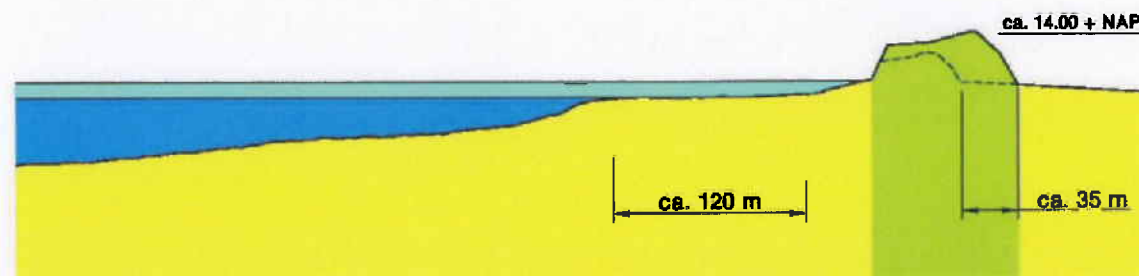
Afbeelding 2.16. Maatregelen Kustvak 4d, Raai ca. 36.100



Huidige situatie

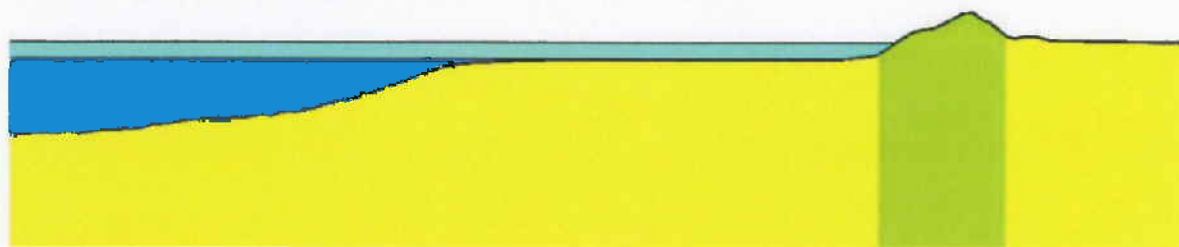


CZ dk

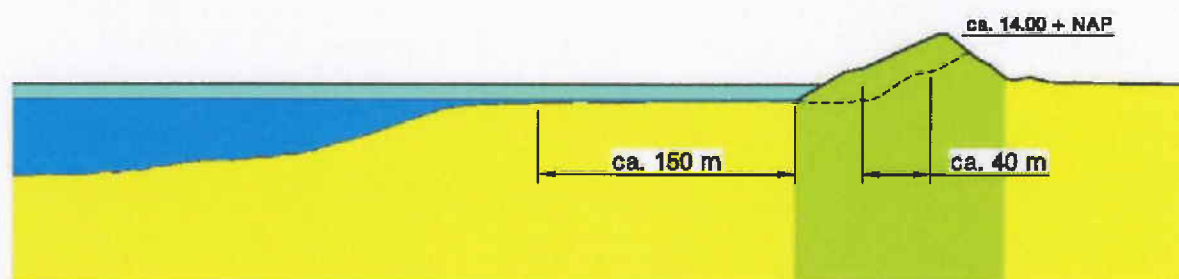


CL dk

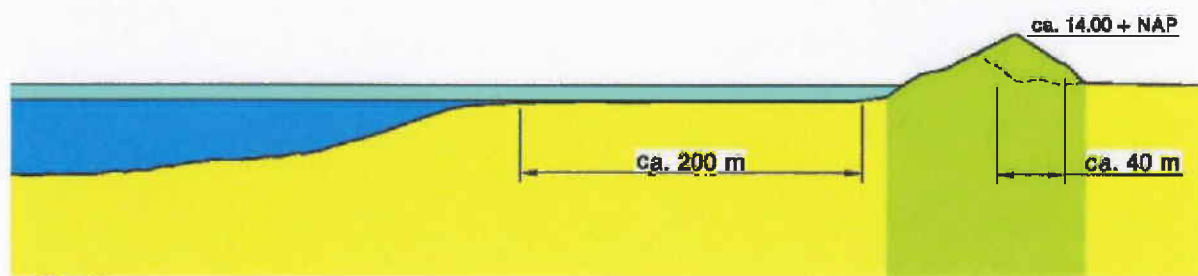
Afbeelding 2.17. Maatregelen Kustvak 4^e, Raai ca. 36.700



Huidige situatie



CZ dk



CL dk

2.5.3. Beoordeling

De beoordeling geschiedt aan de hand van de onderscheiden criteria per kustvak (toelichting zie paragraaf 2.2.3.).

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 4a		
	Cp	Cb	L
Criteria op kustvakniveau			
Geschiktheid			
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+ ¹⁾	+ ¹⁾	- ⁷⁾
technische haalbaarheid en duurzaamheid	+ ²⁾	+ ²⁾	-
Onzekerheden	- ³⁾	+	- ¹¹⁾
Buitendijks	0	0	- ¹⁰⁾
Robuustheid			
flexibiliteit / no regret gehalte	-- ⁴⁾	-- ⁴⁾	+
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0	+
Kosten			
kosten aanleg	+ ⁵⁾	0 ⁶⁾	8)
kosten beheer en onderhoud	0	0	- ⁹⁾
Criteria op hele kustniveau			
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0	0	0

Toelichting

- 1) Dit is een effectieve maatregel.
- 2) Relatief eenvoudig concept.
- 3) Onduidelijkheid over de overslagformulering.
- 4) Zeer negatief oordeel in verband met de relatie met achtergelegen bebouwing.
- 5) Mits de parapetconstructie effectief de overslag kan reduceren, zullen de kosten gunstig zijn ten opzichte van het ophogen boulevard.
- 6) Cb is de referentie variant is hier.
- 7) Door toenemende belasting door klimaatveranderingen zal de veiligheid teruglopen en zal de waterkering van het buitendijks gebied ook op termijn alsnog aangepast dienen te worden. De noodzakelijke investering maakt het dat het probleemoplossend vermogen van dit concept als matig is beoordeeld.
- 8) Zonder gedetailleerder beschouwing is nog niet te voorzien hoe de kosten zich verhouden tot ophogen van boulevard. Voorlopig wordt hier geen oordeel voor gegeven.
- 9) Het buitendijks gebied op veiligheidsniveau houden vergt onderhoud (aanpassingen) in de toekomst van de constructie in voorste verdedigingslinie.
- 10) Voorste bebouwing die een buitendijkse status heeft, dient op hetzelfde veiligheidsniveau gehandhaafd te worden. Dit veiligheidsniveau dient nog te worden vastgesteld.
- 11) Onzekerheid over huidige veiligheidsniveau van voorste bebouwing langs Boulevard Bankert en Everts.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 4b		
	Cb	Cp	CL
Criteria op kustvakniveau			
Geschiktheid			
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	+ 1)	+ 1)	-- 7)
technische haalbaarheid en duurzaamheid	+ 2)	+ 2)	-- 8)
Onzekerheden	-- 3)	+	-- 9)
Buitendijks	0	0	-
Robuustheid			
flexibiliteit / no regret gehalte	-- 4)	-- 4)	--
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0	+ 10)
Kosten			
kosten aanleg	+ 5)	0 6)	-
kosten beheer en onderhoud	0	0	0
Criteria op hele kustniveau			
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0	0	0

Toelichting optimalisatie bouwstenen

- 1) Mits goed gedimensioneerd is het een effectieve maatregel.
- 2) Relatief eenvoudig concept.
- 3) Onduidelijkheid over de overslagformulering.
- 4) Zeer negatief oordeel in verband met de relatie met achtergelegen bebouwing.
- 5) Mits de parapetconstructie effectief de overslag kan reduceren, zullen de kosten gunstig zijn ten opzichte van het ophogen boulevard.
- 6) Cb is de referentie variant is hier.
- 7) De oplossing is zeer complex en omvat een scala aan maatregelen, vooral in de bestaande bebouwing en infrastructuur. De veiligheidsstatus van de buitenste bebouwingslijn is die van buitendijks. Door toenemende belasting door klimaatveranderingen zal de veiligheid teruglopen en zal de waterkering van het buitendijks gebied ook op termijn alsnog aangepast dienen te worden. De noodzakelijke investering maakt het dat het probleemoplossend vermogen van dit concept als matig is beoordeeld.
- 8) Zeer complexe ruimtelijke inpassing en omvat een scala aan lastige maatregelen. De landwaartse kade is in de bebouwing van kustvak 4b moeilijk in te passen (moeilijker dan in kustvak 4a, waar de landwaartse kade meer ruimte biedt).
- 9) Onzekerheid over huidige veiligheidsniveau van voorste bebouwing. Onzekerheid over buitendijkse status.
- 10) In de bebouwing is een reserve voor de sterkte van de kering ingesloten.

BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 4c

toelichting

Er is geen alternatief. Derhalve is hier geen afweging gemaakt.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 4d	
	CZ	CL
Criteria op kustvakniveau		
Geschiktheid		
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	0	- ¹⁾
technische haalbaarheid en duurzaamheid	- ²⁾	0
Onzekerheden	0	0
Robuustheid		
flexibiliteit / no regret gehalte	-	-
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0
Kosten		
kosten aanleg	0	0
kosten beheer en onderhoud	- ³⁾	0 ³⁾
Criteria op hele kustniveau		
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0	0

Toelichting optimalisatie bouwstenen

- 1) Moeilijke ruimtelijke inpassing in bestaande infrastructuur en bebouwing.
- 2) Het dijklichaam ligt dichters langs de kust. Stabiliteit van het voorland is een aandachtspunt.
- 3) Landwaartse dijkverzwaring is hier de referentie.

criteria	BEOORDELING BOUWSTENEN Kustvak 4e	
	CZ	CL
Criteria op kustvakniveau		
Geschiktheid		
probleemoplossend vermogen/effectiviteit	0	- ¹⁾
technische haalbaarheid en duurzaamheid	- ²⁾	0
Onzekerheden	0	0
Robuustheid		
flexibiliteit / no regret gehalte	-	-
reservecapaciteit/overdimensionering	0	0
Kosten		
kosten aanleg	0 ³⁾	0 ³⁾
kosten beheer en onderhoud	0 ³⁾	0 ³⁾
Criteria op hele kustniveau		
effecten zandhuishouding / morfologische systeem	0	0

Toelichting optimalisatie bouwstenen

- 1) Moeilijke ruimtelijke inpassing in bestaande infrastructuur en bebouwing.
- 2) De aansluiting op de havendam is een technisch aandachtspunt.
- 3) Landwaartse dijkverzwaring is hier de referentie.

3. MORFOLOGIE

3.1. Inhoud van het morfologisch onderzoek

In het voorgaande hoofdstuk zijn de varianten beoordeeld op morfologische effecten. Deze beoordeling heeft plaatsgevonden op basis van uitkomsten van een morfologisch modelonderzoek. Dit hoofdstuk bevat een toelichting op het uitgevoerde morfologische onderzoek. De volledige rapportage van het modelonderzoek is als bijlage II ingesloten in deze rapportage.

aanleiding voor het onderzoek

De aanleiding tot het uitvoeren van een modelonderzoek is de complexiteit van de waterbeweging en sedimenttransporten in het Oostgat geulensysteem als gevolg van de interactie van getij-, wind- en golfgedreven stromingen met de Walcherse kust, de kustbeschermingsmaatregelen (palenrijen) en de ruimtelijk sterk variërende vooroever met verschillende geulen en platen. Om een indicatief beeld van deze processen te verkrijgen en effecten van maatregelen enigszins te kunnen voorspellen, is een morfologisch modelonderzoek uitgevoerd.

inhoud van het onderzoek

Het uitgevoerde modelonderzoek gaat in op de effecten van verschillende ingrepen op het morfodynamisch systeem. Deze ingrepen zijn de maatregelen die volgen uit de zeewaartse oplossingen (zie vorige hoofdstuk) die gericht zijn op met name het Oostgeul zodanig vorm te geven dat de druk op de kust van zuidwest Walcheren wordt verlicht. Het modelonderzoek is uitgevoerd om aan te geven in hoeverre deze maatregelen het grootschalige geulen- en platenstelsel beïnvloeden. Grootschalig in zowel ruimtelijke als temporale zin. De veranderingen in het morfologisch systeem worden uitgedrukt in termen van veranderingen van erosie en sedimentatie. In eerste instantie staat de richting van de veranderingen (erosie of sedimentatie) en de reikwijdte van het effect van de maatregelen centraal (wel of geen effecten op de buitendelta). Met het onderzoek is tevens getracht inzicht te krijgen in de levensduur van de maatregelen: hoe lang duurt het voordat de aangebrachte slijtlaag op is.

opbouw en afregeling van het model

Idealiter zou voor deze onderzoeksvraag een gedetailleerd, procesgeoriënteerd morfologisch rekenmodel van dit gebied opgezet dienen te worden. Zo'n gedetailleerd model wordt hier echter niet ingezet. In de eerste plaats zijn de beschikbare modellen (nog) niet in staat alle, in het Oostgat relevante, fysische processen en interacties die het gedrag en de ontwikkeling beïnvloeden tot in detail te beschrijven. Verder gaat het in deze fase (trechters) buiten het bereik van deze studie om een detailmodel op te zetten, te valideren en te kalibreren.

Voor dit modelonderzoek is een meer conceptuele en pragmatische aanpak gevolgd. In de eerste plaats is er een uitsnede gemaakt van het reeds beschikbare grotere 'ZUIDWEST-model', als basis heeft gediend voor onderhavig modelonderzoek, dit is het 'Oostgat-model' genoemd. Verder heeft er geen uitgebreide aparte afregeling plaatsgevonden van dit model. De modelafregeling is overgenomen uit het 'project Zeekennis' (zie Kuiper et al. 2004). In het kader van dit project is het 'ZUIDWEST-model' uitvoerig gekalibreerd en gevalideerd op hydrodynamica en morfodynamica. Deze afregeling was gericht op een correcte weergave van de sedimentatie-erosie patronen in de Westerschelde. Door deze afregeling is het 'Oostgat-model' ook impliciet afgeregeld, en bevat dus een correcte weergave van de dominante kenmerken van de stromingen, transporten en bodemveranderingen langs de Walcherse kust.

Naar het expert oordeel is deze manier van afregelen voldoende om onderscheidende effecten tussen de verschillende varianten te kunnen voorspellen, hetgeen hier centraal staat. Om de werking van elke maatregel zo veel mogelijk tot zijn recht te laten komen, zijn de maatregelen bovendien expliciet vormgegeven waarbij op onderdelen sprake is van een stuk overdimensionering. Het resultaat is een inzicht in welke richting de bodem in de geulen en platen reageren op de maatregelen (sedimentatie of erosie) en wat het invloedsgebied van deze maatregelen is.

Het is niet mogelijk om met dit model de effecten nauwkeurig te kwantificeren. Voor een nauwkeurigere bepaling van specifieke ontwikkelingen op een specifieke locatie is de modelafregeling te schematisch. Derhalve wordt afgeraden de kwantitatieve resultaten van de berekeningen (de "getallen") te gebruiken voor conclusies en ontwerp. De uitkomsten dienen alleen in het kader van de onderlinge vergelijking tussen de maatregelen gebruikt te worden.

Ter toelichting op het voorgaande: zo kan bijvoorbeeld wel aangegeven worden dat als gevolg van een ingreep in de omgeving van de drempel van het Oostgat wel tendeert naar sedimentatie maar is voor exactere bepaling van de omvang en locatie van de sedimentatie een uitgebreider afgeregeld model-studie benodigd. Duidelijk is dus dat de variant zich op dit punt onderscheidt van andere varianten, ondanks het indicatieve karakter.

Een tweede beperking in het gebruik van de onderzoeksresultaten betreft dat de effecten op de kust (voor- of achteruitgang) niet met dit model kunnen worden voorspeld. Er is wel sprake van een indirect effect op de kust: de maatregelen zijn immers gericht op het creëren van betere condities op de voor-oever waardoor de maatregelen aan dijken, duinen en stranden stabielere zullen zijn.

de onderzochte maatregelen

De maatregelen die hier zijn onderzocht, zijn als oplossingsrichtingen in de verkennende morfologische bureaustudie uit het voortraject gepresenteerd. Het betreft de volgende maatregelen:

- de geulwandverplaatsing:
 - een grootschalige suppletie van de noordelijke geulwand van het Oostgat. Door het aanbrengen van een zandpakket op de geulwand wordt als het ware een slijtlaag gecreëerd. De erosie van de geulwand wordt niet tegengehouden maar er is een buffer aanwezig. Verder worden door de geulwandverplaatsing zeewaartse maatregelen mogelijk: er is voldoende vooroever gecreëerd voor inpassing van zeewaartse duinsuppleties en bredere stranden (zie hoofdstuk 2). Er zijn twee varianten van de geulwandsuppletie gemodelleerd:
 - de 'lange' variant:
 - in de 'lange' variant strekt de suppletie zich uit tussen Westkapelle en Dishoek. Als uitgangspunt geldt de NAP-2 m. lijn (i.v.m. de aanvoer van zand door schepen), een horizontaal banket van ongeveer 200-220 m en een geulwandhelling van 1:13. De lange variant is erop gericht om een zo glad mogelijk nieuw geulprofiel te creëren. In totaal behelst het suppletievolume 25 miljoen m³ over een lengte van 9 km;
 - de korte' variant:
 - in de korte variant strekt de suppletie zich uit van Westkapelle tot Zoutelande: de opbouw is identiek aan de lange variant. Bij Westkapelle en Zoutelande loopt de suppletie geleidelijk over in het autonome kustprofiel om kop-staart effecten te minimaliseren. In totaal heeft de suppletie van de korte variant een volume van 12,2 miljoen m³;
- de geulverlegging:
 - naast het suppleren van de geulwand wordt nu een gelijke hoeveelheid sediment van de aanliggende zijde van het Bankje van Zoutelande gebaggerd. Dit heeft een aantal voordelen: ten eerste kan het gebaggerde zand gebruikt worden voor de suppletie (kostenefficiënt), verder blijft het geulvolume behouden waardoor snelheden en het erosiepotentieel niet (of in ieder geval minder) toenemen. In feite word de totale stroming iets van de kust weggeleid.

Aanvullend is nog een tweetal maatregelen onderzocht:

- een geulwandbestorting:
 - reeds in het voortraject is aangegeven dat in verband met de hoge kosten, eerst de zachte aanpak middels het aanbrengen van een slijtlaag (al dan niet als een volledige geulverlegging) onderzocht en, indien aantrekkelijk, aangebracht dient te worden. De bestorting geldt als een reserve-oplossing op de langere termijn. Derhalve is ook deze maatregel onderzocht op de morfologische effecten.
- het aftoppen van het Bankje van Zoutelande:

het aftoppen van het Bankje van Zoutelande betreft het verlagen van de maximale kruinhoogte van -3m NAP naar -5m NAP. De maatregel is in het voortraject ontwikkeld en door de Commissie voor de milieueffectrapportage expliciet aangehaald als een te onderzoeken maatregel. Het achterliggende concept is dat door een verlaging van dit bankje de stroomsnelheden over het bankje afnemen en daardoor ook de zandtransporten. Door een afname van deze laterale transporten zou de uitschuring van het Oostgat minder kunnen zijn. Daar staat tegenover dat de maatregel een grotere golfdoordringing veroorzaakt. De kust achter het bankje van Zoutelande zal hierdoor zwaarder worden aangevallen en sterker eroderen (groter afslag). De mate waarin dit gebeurt kan niet met het gebruikte model worden onderzocht.

Voor een uitgebreide beschrijving van het modelonderzoek wordt verwezen naar bijlage II. In het onderstaande wordt ingegaan op de uitkomsten.

3.2. Resultaten berekeningen

De belangrijkste resultaten van de berekeningen geven het navolgende beeld:

geulwandverplaatsing

- ten noorden van Zoutelande lijkt het aanbrengen van de geulwandsuppletie het autonome gedrag nauwelijks te beïnvloeden. Het Oostgat verdiept enigszins en de erosie van de landwaarts zijde van het Bankje van Zoutelande en de sedimentatie van de zeewaartse zijde word versterkt;
- in de lange variant van de geulwandsuppletie bevindt zich ongeveer ter hoogte van Dishoek een convergentie punt met zuidwaarts gerichte transporten vanuit het Oostgat en noordwaarts gerichte transporten vanuit de Sardijngeul. Hierdoor vindt een maximale sedimentatie van de geul plaats. In de korte variant treedt de sedimentatie net ten zuiden van Zoutelande op in plaats van Dishoek in de lange variant. Als het verzanden van het zuidelijke deel van het Oostgat zich doorzet zal er op lange termijn meer stroming door het Deurloo gaan en minder door het Oostgat. De aanzanding op de oostelijke rand van het Oostgat (in de lange variant) vraagt wel aandacht in verband met een te ondiepe drempel voor de scheepvaart.

geulverlegging

- verkleining van het doorstroomprofiel van de geul door de geulwandverplaatsing kan worden voorkomen door aan de zeewaartse zijde de geulwand van het Bankje van Zoutelande te baggeren. Het vrijgekomen zand wordt gebruikt voor de suppletie: het verleggen van de geul. Het effect is toename van debieten en snelheden in het deel Westkapelle-Zoutelande en hierdoor een netto extra zuidwaarts sediment transport. Het Oostgat tussen Westkapelle en Zoutelande wordt gekenmerkt door erosie en door het uitbouwen van het Bankje van Zoutelande ter hoogte van Westkapelle. Hierdoor is het verleggen van de geul initieel ongunstiger dan enkel de eerder genoemde geulwandverplaatsing. Ten zuiden van Zoutelande reduceren de resttransporten en stromingen sterk en overheerst de sedimentatie in het Oostgat.

geulwandbescherming

- het beschermen van de geulwand met een bestorting heeft weinig effect op de hydro- en morfodynamica. De geringe effecten op de waterbeweging geeft ook de langtermijn ontwikkeling nauwelijks een beïnvloeding;
- aan de teen van de bestorting treedt wel meer erosie op. Deze erosie is relatief klein maar toont het belang aan van een goede teenontwerp met voldoende aandacht aan het uitschuren;
- in het detailontwerp zal verder aandacht benodigd zijn voor de bovenrand van de bekleding en voor de overgang naar de onbeschermden kustvakken aan weerszijden.

aftoppen van het Bankje van Zoutelande

- het verlagen van het Zoutebankje (van de -3 m naar de -5m) is een relatief kleine en locale ingreep. Het verlagen van het Bankje van Zoutelande heeft minimaal effect op de eb-stroming in het Oostgat. De vloed-stroming wordt iets vergroot (meer instroom) en ook de maximale vloodsnelheden

vergroten iets. Dit geeft een kleine vergroting van de zuidwaartse transporten. De zeewaartse transporten over het Bankje heen nemen daar in tegen iets af;

- in de huidige modelschematisatie zijn de effecten van de verlaging te klein om langtermijn morfologische effecten te veroorzaken;
- wellicht leidt de verlaging tot meer golfaanval op de zuidwestkust tijdens stormcondities: hierdoor wordt meer zand afgeslagen en richting de geul afgevoerd waardoor de zandverliezen toenemen. Dit effect is niet met het model onderzocht, er is geen indicatie van de omvang van het effect.

3.3. Conclusies

Uit het modelonderzoek kunnen conclusies worden getrokken over enerzijds de effecten van de maatregelen op de geulen- en platenstelsel, en anderzijds over de werking en effectiviteit van de onderzochte maatregelen.

Voor wat het eerste betreft, kan geconcludeerd worden dat de morfologische effecten van de verschillende alternatieven beperkt blijven tot het Oostgat en Bankje van Zoutelande. Het geulen en platenstelsel van het Oostgat- en Deurloosysteem wordt bepaald door de grootschalige interactie van waterbeweging (vooral getij) en Voordelta morfologie. De voorgestelde alternatieven zijn relatief klein zijn t.o.v. van de 'Voordelta-schaal', waardoor er (op een schaal van jaren tot decaden) geen significante invloed te verwachten is op de grootschalige dynamiek van geulen en platen.

De gemodelleerde suppletieverliezen zijn klein, zeker als dit afzet wordt ten opzichte van de levensduur van vooroever- en strandsuppleties die ligt in de orde van jaren in plaats van decaden. De inschatting is dat de gemodelleerde verliezen dan onrealistisch klein zijn. Tot op heden zijn er echter geen toetsingsmogelijkheden beschikbaar om dit te onderbouwen. Het vereist een zeer gedetailleerde modellering om de effecten van geulwandsuppleties in het Oostgat goed te kwantificeren, waarbij waarschijnlijk ook de transportformuleringen zoals nu gebruikt verbetering behoeven. De haalbaarheid van een dergelijke detailmodellering en een onderzoek naar de relevante processen wordt in het kader van SLA kustlijn zorg nu onderzocht (Walstra 2005). Het is aan te raden om voor het inschatten van de levensduur van de verschillende alternatieven de haalbaarheidsstudie in de afweging te betrekken. Verder wordt geadviseerd de (grootschalige) geulwandsuppletie zoals recentelijk aangebracht in het traject Zoutelande-Westkapelle, mede in beschouwing te nemen; momenteel zijn de meetgegevens met betrekking tot de ontwikkeling nog niet bekend.

4. LITERATUUR

1. Waterschap Zeeuwse Eilanden, Veiligheidsverkenning voor 200 jaar, mei 2005.
2. Projectbureau Zwakke Schakels Zeeland, Nota Alternatieven en Varianten, inclusief bijlagen: - Domburg-westkapelle, - Westkapelle-Zoutelande, - Westduin, 12 juli 2005; Projectbureau Zwakke Schakels Zeeland, Kustvisie Zuidwest Walcheren 2005; Streefbeelden kust Zuidwest Walcheren 2050 – conceptversie, september 2005.
3. Ministerie van VROM in samenwerking met LNV, VenW en EZ, Ontwerp Beleidslijn voor de kust 2003.
4. Provincie Zeeland, Zeeuws Kustbeleidsplan 2004.
5. Alkyon HC & R i.o.v. programmabureau ZSZ, Mogelijkheden voor geulwandversterking of verlegging Oostgat/ Sardijngeul, april 2005.
6. TAW, Basisrapport Leidraad Zandige Kust, juli 1995.
7. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nieuwe inzichten in golfbelasting langs de kust, samenvatting aanvullende beheerdersoordelen, december 2003.

BIJLAGE I Beschrijving van versterkingsmaatregelen per kustvak

DEELGEBIED 1: DOMBURG - WESTKAPELLE

kustvak 1a Duinen domburg tot Westkapelle inclusief overgangsconstructie, duin: km 15.300 - 17.950

CZa dn (zeewaarts):

Aanbrengen van een breed strand dat door verstuiving leidt tot nieuwe duinvorming, waardoor op termijn een voldoende sterk profiel ontstaat. Een eerste nieuwe duin, met een breedte van circa 50 m, wordt direct aangelegd, aangezien het bredere strand weinig direct effect heeft op de waterkeringsveiligheid. In de loop der tijd vindt verstuiwing plaats en treedt duinvorming op.

Duinvorming:

Het gevolg van aanstuiving (duinvorming) in het duin is een toename van het totale zandvolume van het duin, wat een gunstig effect heeft op de veiligheid van het duin. Helm wordt gebruikt om verstuiwing duurzaam tegen te gaan en aanstuiving te bevorderen. De zandvang wordt door helm gestimuleerd bij een regelmatige zandaanvoer (ongeveer 0,2 m zandvang per jaar) is de helm in staat om met de aanwas mee te groeien.

De aangroei van het duinfront kan ook worden bewerkstelligd door het plaatsen van stuifschermen. Met stuifschermen wordt zand gevangen tot een hoogte van 1 meter boven het oorspronkelijke oppervlak. Stuifschermen kunnen het best dwars op de kust geplaatst worden. In plaats van rietschermen worden ook wel rietpoten gebruikt.

Bij stabiele of matig eroderende kusten leveren schermen langs het duinvoet de gewenste buffervorming op. Redenen voor plaatsing zijn dan ook:

- vorming van een buffer waardoor voorkomen wordt dat het duinfront bij niet al te zware stormen wordt afgeslagen;
- de zeewering wordt bij voldoende grote zandaanvoer versterkt;
- de overlast en schade door overstuiving aan vegetatie wordt beperkt of voorkomen.

Na verloop van tijd kan een stuifscherm in verval raken door rotting van het materiaal. De inmiddels aangebrachte helm moet dan zijn functie overnemen.

Een bezwaar van het plaatsen van schermen is het beslag op (een deel) van het recreatiestrand. Het strand heeft namelijk een recreatieve functie. Vooralsnog wordt een breedte van het strand van 160 m (60 m nat en 100 m droog) voldoende geacht.

Onderhoud:

Aan het normaal onderhoud van het duingebied kan vaak goed worden gezien dat er vele functies zijn toegekend aan het duingebied. Tot het normaal onderhoud van het duinen wordt gerekend:

1. bevorderen aangroei van het duinfront;
2. reguleren verstuiwing en overstuiving;
3. afvlakken duinfront;
4. vrijhouden van overgangen en paden.

(bron: Basisrapport Zandige Kust, TAW juli 1995 [lit. 1])

CZb dn (consolidatie zeewaarts):

Een directe aanleg van het duinprofiel aan de zeezijde met een breedte van 100 m. De verbreding van het duin is overgedimensioneerd omdat het vooruitschuiven van het duinfront een toename in erosie tot gevolg kan hebben. Deze variant is in feite een uiteindelijk resultaat van de bovenbeschreven variant, omdat spontane duinvorming ontstaat ten gevolge van een vooroeversuppletie.

CL dn (consolidatie landwaarts):

Er vindt een verbreding plaats over 90 m, de hoogte van de aangevulde duin is circa 11 m. Landinwaarts is de helling circa 1:4 naar het huidige maaiveld. De aanvulling strekt zich uit tot voorbij de provinciale weg. Richting Westkapelle dient de weg, evenals bebouwing, verplaatst te worden voor het versterkte duin.

De versterking heeft effect op een gedeelte van het golfterrein. Het fietspad, direct achter het duinenrij, de provinciale weg en enkele bebouwing moeten worden aangepast. Dit geldt met name voor het gedeelte van de weg richting Westkapelle. De recreatieplaatsen ten oosten van de provinciale weg vallen niet in de versterkingszone en zullen behouden blijven.

L dn (landwaarts):

De hoogte van het duin is circa NAP+ 11 m, verbreding van het duin ten behoeve van veiligheid vindt plaats over circa 90 m. Om extra kansen te bieden voor ruimtelijke kwaliteit wordt het duin nog extra verbreed. De beëindiging landwaarts is gemaakt door het zand aan te brengen onder 1:5 á 1:10. De duinaanvulling bedekt het gehele golfterrein en de provinciale weg tot ver in het landbouwgebied.

De binnenduinrand wordt circa 150 m opgeschoven. De versterking beslaat het gehele golfterrein, vrijwel de gehele provinciale weg en de bebouwing. De recreatie en de bebouwing ten oosten van de provinciale weg wordt nagenoeg niet aangetast.

Tabel I.1. Karakteristieke varianten kustvak 1a

DUIN	huidige situatie	CZa dn	CZb dn	CL dn	L dn
ondersteunende maatregelen		strandsuppletie			
strandbreedte					
-droog	30 m	60 m	30 m	30 m	30 m
-nat	40 m	100 m	40 m	40 m	40 m
hoogte	± 11 m	11 m	11 m	11 m	11 m
breedte duin bij aanleg	50 m	100 m	150 m	140 m	200 m
verbreding duin		zeezijde 50 m	zeezijde 100 m	landzijde 90 m	landzijde circa 150 m
opmerkingen		Dit profiel is gebaseerd op spontane duinvorming			

kustvak 1b Westkappelse Zeedijk, noord: km 17.950 – 20.000

CZ dk (zeewaarts):

De zeewaartse variant is uitgewerkt uitgaande van een verhoging tot NAP +17,5 m en voorzien van een strandverbreding. De dijk is geschetst met een steil benedenbeloop uitgaande van gebroken golven door de hoge vooroever als gevolg van de strandverbreding.

De te behalen verbreding wordt kleiner richting het Noorderhoofd (vanaf Domburg gezien) vanwege de steilere vooroever. De strandverbreding dient, naast recreatie, voor een goede aansluiting op het breder strand in de zeewaartse variant van kustvak 1 richting Domburg.

Een buitentalud met een helling van circa 1:4 en een berm op NAP +5 m met een breedte van circa 10 m is effectief om de golfaanval op de dijk te reduceren.

CZ dn (zeewaarts, overstuivende dijk):

Bij deze variant wordt een breed strand aangebracht van 200 m. Voor de dijk wordt tevens een zandlichaam aangebracht van 50 m. De hoogte van het zandlichaam bedraagt NAP +13 m. Het aanbrengen van een breed strand leidt tot verdere duinvorming (verstuiving). Het zandlichaam kan worden voorzien van stuifschermen of helmgras om de aangroei van nieuwe duinvorming te bevorderen. De duinen aan de zeezijde sluiten qua beleving goed aan op de duinen in kustvak 1.

C dn op dk (consolideren, duin over dijk):

De dijk wordt 'ingepakt' in een zandlichaam. De verbreding van de dijk bedraagt zowel in zeewaarts als in landwaarts richting 50 m. Tevens wordt een strandsuppletie aangebracht voor verdere duinvorming. Het zandvolume wat wordt aangebracht is van dezelfde omvang als in de variant 'landwaarts (met duinen achter de dijk)'

CL dk (consolidatie landwaarts):

Voor deze conventionele methode van dijkversterking bedraagt de verbreding circa 40 m, de verhoging van de kruin is 4,5 m zodat de kruin op NAP +17,5 m komt. Verplaatsing van de weg is nodig. Door aanvullende maatregelen zoals verruwing van het buitentalud kan de verhoging – en daarmee de verbreding – beperkter worden uitgevoerd.

L dk+k (landwaarts met overslagdijk met kade):

Het binnentalud van de Westkappelse Zeedijk wordt voorzien van een erosiebestendige (harde) bekleding (asfalt of steenzetting) om erosie van de kruin en het binnentalud te vermijden. Achter de dijk wordt een bergend volume gecreëerd middels een kade dat aansluit op de primaire kering. De overslag bedraagt, onder maatgevende omstandigheden, gemiddeld circa 11 l/m/s in 2200. Ingeschat wordt dat gedurende 6 uur de overslag het grootst is. Het debiet over de kruin bouwt daarin drie uur op naar 11 l/m/s en daarna weer af. In die zes uur komt circa 120 m³/m¹ over de kruin.

Berging achter kering

Door het grote overslagdebiet zullen de dijken aan de binnenzijde van een voldoende zware bekleding moeten worden voorzien om beschadiging door golven te voorkomen. Aandachtspunt is verder de vervuiling van het gebied en het effect op het grondwater bij een inundatie. Dit kan voor een deel worden opgelost door de aanleg een watergang die het zout water lozen. Om te voorkomen dat er effecten optreden op het achterliggende landbouwgebied (zoutbezwaar) kan het maaiveld van het gebied tussen de primaire kering en de kade worden voorzien van circa 30 cm klei. Hierdoor wordt voorkomen dat het zoute water in contact te komt met het grondwater. Na een inundatie zal het zoute water terug worden gepompt naar zee.

Op een afstand van circa 100 m tussen kade en van de dijk is de inundatiediepte 1,2 m. Het gebied achter kustvak 2a loopt af, daarom zal de kade op sommige locaties hoger komen te liggen. De kades hebben bijvoorbeeld taludhellingen 1:3 en een kruin van 3 m breed, zoals weergegeven in de schetsen. Een dergelijke kade is inpasbaar, de bebouwing (boerderij) zal worden gearmoveerd of op een terp worden gezet.

Door de afstand tot de waterkering te verdubbelen kan de hoogte gehalveerd worden. Echter, de aanpassingen die gemaakt moeten worden om te voorkomen dat er effecten plaatsvinden op het natuurgebied zijn groter. Daardoor is deze optie niet haalbaar.

Een aanvullende maatregel om overslag te beperken zoals het verruwen van het buitentalud is mogelijk. Wanneer het buitentalud wordt verruwd (bijvoorbeeld door het aanbrengen van stortsteen) kan het overslagdebiet tijdens maatgevende omstandigheden met maximaal 90 % worden gereduceerd.

L dn (landwaarts met duinen achter de dijk):

Achter de dijk wordt een robuust duin aangelegd. Voordat het zand aangebracht wordt dient de dijk aan de landzijde verhard te worden, om erosie door overslaand water te voorkomen.

De binnenduinrand wordt hier 100 m verschoven. Hierdoor zal enige bebouwing (een boerderij, een hotel en circa 2 gebouwen) moeten verdwijnen. Het duinmassief heeft geen directe functie voor de veiligheid, maar is gecreëerd voor ruimtelijke kwaliteit.

Tabel 1.2. Karakteristieke varianten kustvak 1b

DIJK	huidige situatie	CZ dk	CZ dn	C dn op dk	CL dk	L dk+k	L dn
ondersteunende maatregelen		strandsuppletie (om breed strand aan te leggen)	strandsuppletie (circa 200m)	strandsuppletie		verharding binnentalud en aanleggen kade	
strandbreedte -droog	0 m	0 m	20 m	20 m	0 m	0 m	0 m
-nat	0-10 m	100 m	200 m	50 m	0-10 m	0-10 m	0-10 m
hoogte	12,6 m	17,5 m	13 m	13 m	17,5 m	12,6 m	12,6 m
breedte waterkering	85 m	105 m	135 m	185 m	125 m	85 m	185 m
verbreding waterke- ringszone		zeezijde 20 m	zeezijde 50 m	100 m	40 m		landwaarts ± 100 m
opmerkingen		steil benedenbe- loop		zowel zee- als landwaarts		zoutbezwaar en aanbre- ngen kade	

DEELGEBIED 2: WESTKAPELLE - ZOUTELANDE

kustvak 2a Westkappelse Zeedijk, zuid: : km 20.000 – 21.950

Z dk (zeewaarts):

Om dijkverbreeding aan de zeezijde mogelijk te maken is vanwege de steile geulwand een zeewaartse geulverschuiving noodzakelijk. De maximale variant van deze geulwandverschuiving (Alkyon mei 2005) is voor dit kustvak geen haalbare oplossing door de aanwezigheid van het Oostgat; hier is uitgegaan van circa 80 m verschuiving. De ingreep heeft effect op de infrastructuur op het buitentalud, deze zal hersteld moeten worden.

CL dk (consolidatie landwaarts):

Deze variant behelst een conventionele dijkversterking bestaande uit een verhoging van de dijk met 3 m tot NAP +14,5 m en een verbreding met circa 30 m. Het bovenbeloop van de dijk kan van een ruwere bekleding voorzien worden. Wanneer het buitentalud wordt verruwd (bijvoorbeeld door het aanbrengen van stortsteen) kan het overslagdebiet tijdens maatgevende omstandigheden met circa 90 % worden gereduceerd. Echter, is deze maatregel niet voldoende om het debiet over de huidige kruin terug te brengen tot 1 l/m/s.

Versterking aan de landzijde betekent noodzaak dat het voorste deel van de bebouwing verdwijnt. Op het onbebouwde deel heeft deze verbreding geen inpassingproblemen. Verruwing van het buitentalud blijft noodzakelijk.

Tabel I.3. Karakteristieke varianten kustvak 2a

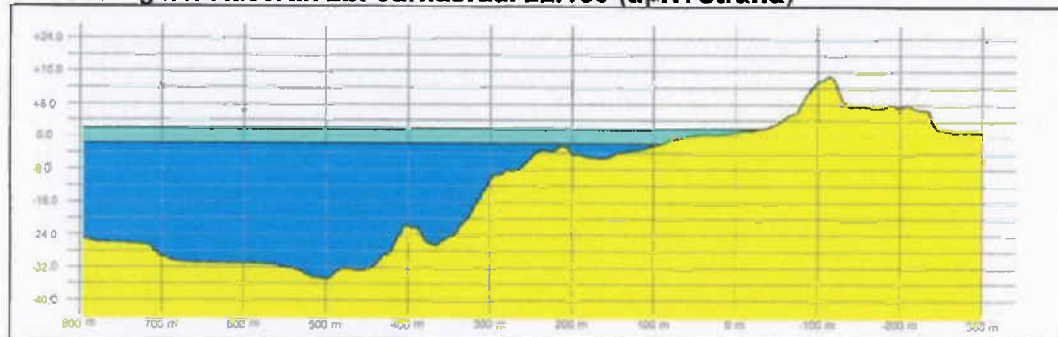
DIJK	huidige situatie	Z dk	CL dk
ondersteunende maatregelen		geulwandverschuiving	
strandbreedte			
-droog	0 m	0 m	0 m
-nat	15 m	20 m	15 m
hoogte	11,6 m	14,5 m	14,5 m
breedte waterkering	130 m	±200 m zeezijde	160 m
verbreding waterkering		80 m	30 m
opmerkingen		grote hoeveelheden materiaal noodzakelijk vanwege geulwandverschuiving	aanvullende maatregelen - verruwen buitentalud - verharden binnentalud

kustvak 2b Westkappelse Zeedijk (badstrand): km 21.950 – 22.350

CZ dn (consolidatie zeewaarts):

Voor de waterkeringveiligheid wordt zeewaarts het duin over circa 70 m aangevuld. Onderstaande afbeelding geeft de Jarkusraai van km 22.150.

Afbeelding I.1. Kustvak 2b: Jarkusraai 22.150 (t.p.v. strand)



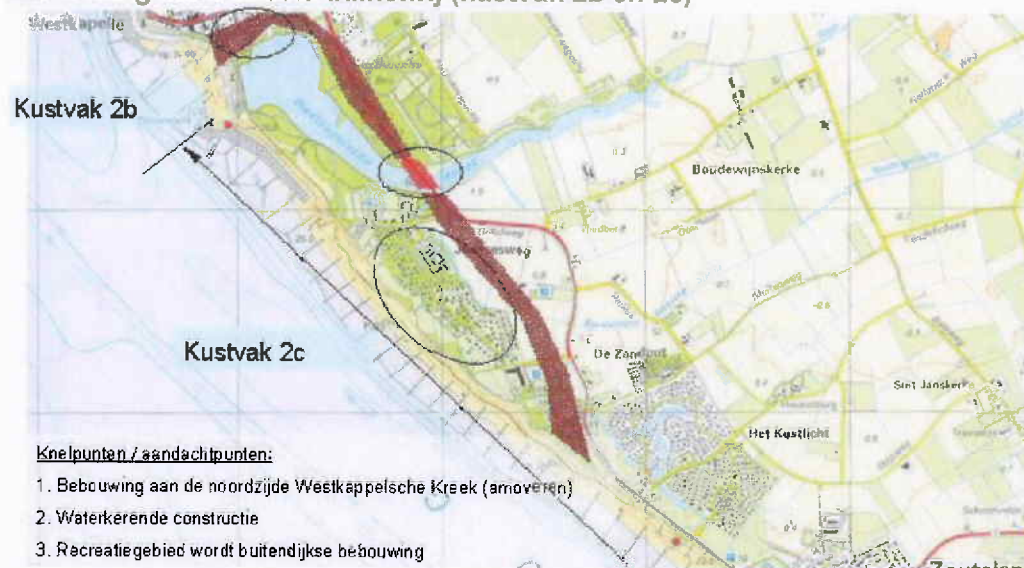
CL dn (consolidatie landwaarts):

Voor de waterkeringsveiligheid is een aanvulling van het duinmassief nodig van circa 100 m breed. Door deze maatregel verdwijnt een lokale weg/fietspad en enkele bebouwing van het zuidelijke gedeelte van Westkapelle (nabij raai 22.150). Landwaarts lijkt goed inpasbaar, voor het grootste gedeelte van dit kustvak is geen bebouwing aanwezig.

L sl (landwaarts, dubbele duinenrij + sluis):

Om van de Westkappelse kreek een jachthaven te maken wordt de duinenrij doorgraven nabij Westkapelle. In het duin achter het badstand wordt een sluis aangebracht. Achter de kreek langs is een duinenrij geprojecteerd die de functie als primaire waterkering overneemt van de huidige duinenrij. Deze duinenrij ligt enkele honderden meters landinwaarts achter de Westkappelse kreek. In de afbeelding is de situatie weergegeven en is het nieuwe tracé te zien. De huidige duinenrij speelt nog wel een rol ter bescherming van het nu buitendijks gelegen gebied.

Afbeelding I.2. Dubbele duinenrij (kustvak 2b en 2c)



Tabel I.4. Karakteristieke varianten kustvak 2b

DUIN	huidige situatie	CZ dn	CL dn	L -sl
ondersteunende maatregelen				
strandbreedte				
-droog	10 m	20 m	10 m	10 m
-nat	85 m	15 m	85 m	85 m
hoogte	12 m	14.5 m	14.5 m	12 m
breedte waterkering	50 m	120 m	150 m	±130 m
verbreding waterkering		70 m	100 m	landinwaarts van de Westkapelsche Kreek
opmerkingen		aansluiting naastgelegen kustvakken		zie tracé bij kustvak 3. Eerste duinenrij verliest functie als primaire water- kering

kustvak 2c Westkapelle - Zoutelande, Duin: km 22.350 - 25.690

Z dn s (zeewaarts en strandverbreding):

Het duin wordt circa 60 m verbreed aan de zeezijde en gecombineerd met een strandverbreding (circa 100 m droog strand). De duinaanvulling is zo hoog mogelijk uitgevoerd. Bij deze variant is een geulwandverschuiving (circa 200 m) nodig, in deze variant is uitgegaan van de maximale variant.

Z dn (zeewaarts):

Het duin wordt circa 60 m verbreed aan de zeezijde zonder strandverbreding. De duinaanvulling is zo hoog mogelijk uitgevoerd. Bij deze variant is een geulwandverschuiving nodig van circa 150 m.

CL dn (consolidatie landwaarts):

Het duin wordt 60 m verbreed met een hoogte tot circa NAP +11 m. Het zand wordt achter het duin tot aan de kruin aangebracht. Deze variant is goed inpasbaar, aangezien de aangebracht massa niet op de plaats komt van de campings en bungalowparken.

L dn (landwaarts):

De duinen worden circa 60 m verbreed voor de veiligheid door tot NAP +11 m het duin te verhogen. Om robuuste duinen te creëren kan de verbreding verder doorgezet worden tot circa 150 m. De binnenduinrand loopt onder af naar het maaiveld. Aan de binnenduinrand liggen momenteel meerdere campings en vakantieparken, deze zullen verdwijnen.

L d-dn (dubbele duinenrij):

Achter de kreek langs richting Zoutelande komt een nieuwe duinenrij die de functie als primaire waterkering overneemt van de huidige duinenrij. Deze duinenrij ligt enkele honderden meters landinwaarts. Deze variant vervangt de huidige primaire waterkering tussen raai 22.350 en 25.000. De huidige duinenrij beschermt alleen tussengelegen gebied.

De aangebrachte duinenrij (primaire duin) sluit aan op de Westkapelse dijk van kustvak 2b. De duinen hebben een breedte van circa 130 m. De afstand tussen de dubbele duinenrij is variabel en bedraagt maximaal circa 500 m. De duinregel beslaat de ruimte die nu in Zuid Westkapelle door de bebouwing wordt ingenomen. Deze bebouwing dient geamoveerd te worden. Vervolgens wordt het duin achter de Westkapelsche Kreek aangebracht. Het tracé van de primaire waterkering loopt door het Wasschapelse bos en langs een provinciale weg. Bij de overgang van de provinciale weg over de Westkapelsche kreek dient een waterkerende constructie te worden aangebracht (nog nader uit te werken). Tenslotte wordt een aansluiting van de deze duinenrij gemaakt met bestaande duin van kustvak 3 ter hoogte van raai 25.000. Om deze aansluiting te maken zal een deel van de camping- en bungalowbebouwing moeten verdwijnen.

In de Afbeelding 1.2. is het tracé van de dubbele duinenrij weergegeven.

Tabel I.5. Karakteristieke varianten kustvak 2c

DUIN	huidige situatie	Z dn s	Z dn	CL dn	L dn	L d-dn
ondersteunende maatregelen		geulwandverschuiving circa 200 m	geulwandverschuiving circa 150 m			
strandbreedte						
-droog	20 m	100 m	30 m	20 m	20 m	20 m
-nat	130 m	± 130 m	± 130 m	130 m	130 m	130 m
hoogte	17,5 m	17m	17 m	11 m	11 m	variabel 11-15 m
breedte waterkering	70 m	130 m	130 m	130 m	220 m	130 m
verbreding waterkering		zeezijde 60-70 m	zeezijde 60-70 m	60 m	± 150 m	verplaatsing landzijde enkele honderden meters (max. 500m)
opmerkingen						eerste duinenrij verliest functie als primaire waterkering

kustvak 2d Dijk bij Zoutelande met overgangsconstructies: km 25.690 - 26.945

Z d-dk (zeewaarts met dubbele dijk):

Deze oplossing is alleen mogelijk in combinatie met opschuiven van de geulwand. De hoogte van de voordijk (met een breedte van 100 m) ligt bij voorkeur rond het toetspeil, uitgegaan is van NAP +8 m. De dubbele dijk fungeert als een lange berm.

Tijdens maatgevende omstandigheden zal overgeslagen water tussen de twee dijken achterblijven. Op enkele plaatsen langs het kustvak worden voorzieningen aangebracht die dit water, na maatgevende omstandigheden, af te voeren naar de zee (bijvoorbeeld door het aanbrengen van duikers met afsluiters).

CZ dk (consolidatie zeewaarts):

De dijk wordt verhoogd, alsook verbreed met circa 40 m aan de zeezijde. Dit kan alleen in combinatie met geulstabilisatie. Als het huidig profiel gekopieerd wordt, dient de dijk 16 m hoog te worden. Door te kiezen voor een zeewaartse oplossing worden de gevolgen voor het dorp Zoutelande beperkt.

CL dk (consolidatie landzijde):

De dijk wordt verhoogd tot 16 m en aan de landzijde verbreed met circa 30 m. Binnendijs moet bebouwing geamoveerd worden. Het bovenbeloop van de dijk kan van een ruwere bekleding voorzien worden; dit is waarschijnlijk niet voldoende om het debiet terug te brengen tot de gewenste 1 l/m/s.

Er is in de huidige situatie recreatiebebouwing aanwezig in het duin. Een deel van de bebouwing van het dorp Zoutelande (inclusief een kerk) zal moeten verdwijnen.

CL dk+m (consolidatie landzijde en verruwen+Lmuur):

Het buitentalud van de dijk wordt verruwd en op de kruin wordt een L-muur aangebracht. Er is in de huidige situatie recreatiebebouwing aanwezig in het dijk. De bebouwing van het dorp Zoutelande (inclusief een kerk) zal hierdoor niet verdwijnen. Een aandachtspunt is het overslagdebiet wat optreedt voor deze variant.

CL dn (consolidatie landwaarts duin):

De dijk wordt landwaarts verduind met een breedte van circa 60 m. Hierdoor zal een groot gedeelte van de bebouwing van Zoutelande moeten verdwijnen.

Tabel I.6. Karakteristieke varianten kustvak 2d

DIJK	huidige situatie	Z d-dk	CZ dk	CL dk	CL dk +m	CL dn
ondersteunende maatregelen		geulwand-verschuiving	geulwandstabilisatie			
strandbreedte						
-droog	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
-nat	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
hoogte	10,8 m	10,8 m (voorste dijk 8 m)	16 m	16 m	11 m	11 m
breedte waterkering	70 m	170 m	110 m	100 m	70 m	70 m
verbreding waterkering		zeezijde 100 m	zeezijde 40 m	landzijde 30 m		60 m
opmerkingen		verharden binnentalud meest zeewaartse dijk	strandsuppletie nodig om strand in stand te houden		acceptatie relatief grote overslag	verduinen dijk, aan de landzijde 60 m. Verwijderen bebouwing

kustvak 3a Vijgeter, duin(voet): km 31.885 – 32.890

Het duin wordt circa 130 m breder aan de zeezijde tot een hoogte van circa 11 m zeezijde en gecombineerd met een strandverbreding (circa 100 m droog strand). Hierbij wordt de geulwand 150 á 200 m verschoven en wordt de helling van de geulwand verflauwd naar 1:13.

Het duin wordt circa 130 m breder aan de zeezijde tot een hoogte van circa 11 m. Hierbij wordt de geulwand 100 m verschoven en wordt de helling van de geulwand verflauwd naar 1:13.

Het duin wordt circa 130 m breder aan de landzijde tot een hoogte van 11 m. Deze variant is goed inpasbaar.

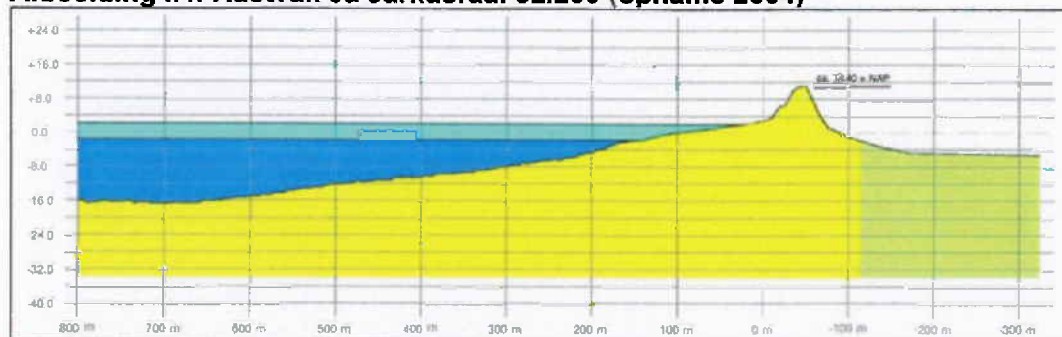
Het duin wordt landwaarts versterkt door aan te vullen met zand. Voor veiligheid wordt het duin 130 m aangevuld tot NAP +11 m. Om een robuust duin te creëren wordt dit verder doorgezet tot 200 m.

Landwaarts wordt een nieuwe duinenrij met een breedte van circa 130 m aangelegd die op termijn de functie van waterkering overneemt. De afstand van de tweede duinenrij op de huidige waterkering varieert en bedraagt maximaal circa 500 m. De eerste duinenrij vervult geen functie meer als primaire waterkering, maar beschermt nog wel het gebied tussen de twee duinenrijen. Het tussenliggend gebied krijgt een lagere veiligheidsnorm.

Afbeelding I.3. Tracé dubbele duinenrij kustvak 3a en tracé verduinen kustvak 3b



Afbeelding I.4. Kustvak 3a Jarkusraai 32.260 (opname 2004)



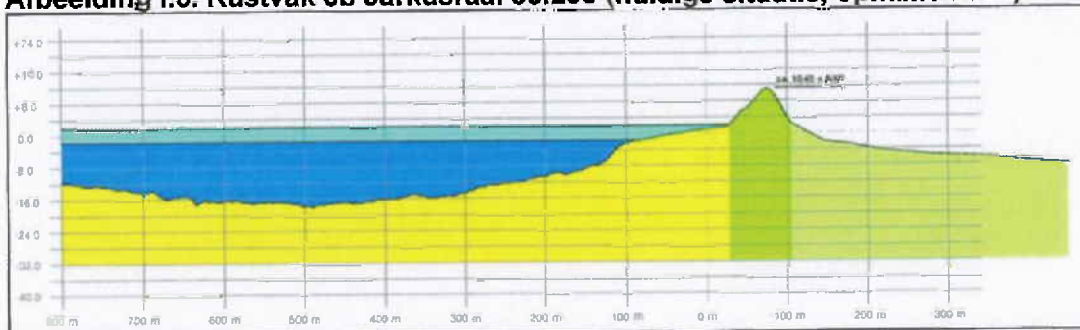
Tabel I.7. Karakteristieke varianten kustvak 3a

DUIN	huidige situatie	Z dn s	Z dn	CL dn	L dn	L d-dn
ondersteunende maatregelen		geulwandverschuiving	geulwandverschuiving			
strandbreedte						
-droog	20 m	100 m	20 m	20 m	20 m	20 m
-nat	120 m	120 m	120 m	120 m	120 m	120 m
hoogte	10,4 m	11 m	11 m	11 m	11 m	11 m
breedte waterkering	80 m	210 m	210 m	210 m	280 m	variabel (breedte 2 ^{de} duin 130 m)
verbreding waterkering		130 m	130 m	130 m	200 m	zone komt honderden meters landwaarts
opmerkingen		geulwandverschuiving ± 200 m	geulwandverschuiving ± 100 m			voorste duinenrij niet meer primair. Tussengebied heeft lagere norm

kustvak 3b Vlissingen Nolledijk: km 32.890 - 33.400

Dit kustgedeelte betreft een dijk (Nolledijk). De schetsen zijn derhalve gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 33.200). In de onderstaande afbeelding is deze raai weergegeven.

Afbeelding 1.5. Kustvak 3b Jarkusraai 33.200 (huidige situatie, opname 2004)



Z dk s (zeewaarts):

Een ophoging tot NAP +16 m en verbreding van de dijk aan de zeezijde van 30 m gecombineerd met een strandverbreding (circa 100 m droog strand). De huidige kruin wordt de binnenberm. Maatregelen zoals verlegging van de geulwand, ophoging van het strand en regelmatig suppleren zijn nodig om het strand te behouden.

CZ dk (zeewaarts):

Een ophoging tot NAP +16 m en verbreding van de dijk aan de zeezijde waardoor deze 30 m breder wordt. De huidige kruin wordt de binnenberm. Maatregelen zoals ophoging van het strand en regelmatig suppleren zijn nodig om het strand te behouden.

CL dn (landwaarts, dijk verduinen):

Door de dijk een gelijk profiel te geven als een naastgelegen (versterkt) duinprofiel kan een doorgaande duinkust gemaakt worden. Het duin wordt circa 130 m breder aan de landzijde tot een hoogte van 11 m. Er kan een goede aansluiting worden gemaakt met het naastgelegen duinprofiel door de dijk een gelijk profiel te geven. Het verduinen van de dijk is goed inpasbaar.

CL dk (consolidatie landwaarts):

De dijk wordt 16 m hoog zodat het overslagdebiet gereduceerd wordt tot de toelaatbare norm. De dijk wordt 30 m breder. Deze versterking is makkelijk inpasbaar.

L k (landwaarts):

Het overslagdebiet bedraagt circa 70 l/m/s. De op te vangen hoeveelheid, na een storm van 6 uur, bedraagt circa 1.500 m³/m¹. Dit debiet slaat over de lengte van de dijk (circa 500 m). Als het gehele gebied achter de dijk en duinen als komberging wordt gebruikt, is de inundatiediepte orde 1 m. Het kombergingsgebied bedraagt circa 1 km².

Een optie is om kades om het gebied aan te leggen. Kades om het gebied krijgen een orde 1:3 helling hebben en de kruin ligt op orde 1,5 m. Tevens moet gezocht worden naar mogelijkheden om het zoute water te lozen zonder nabij gelegen landbouwgebieden te belasten.

Het tracé van de kade is weergegeven op de onderstaande afbeelding. Een probleem is dat een kade aangelegd moeten worden in een gebied met diepe krekken, deze zouden gedempt moeten worden.

Afbeelding I.6. Tracé kade t.b.v. landwaartse variant (overslagdijk met kade)



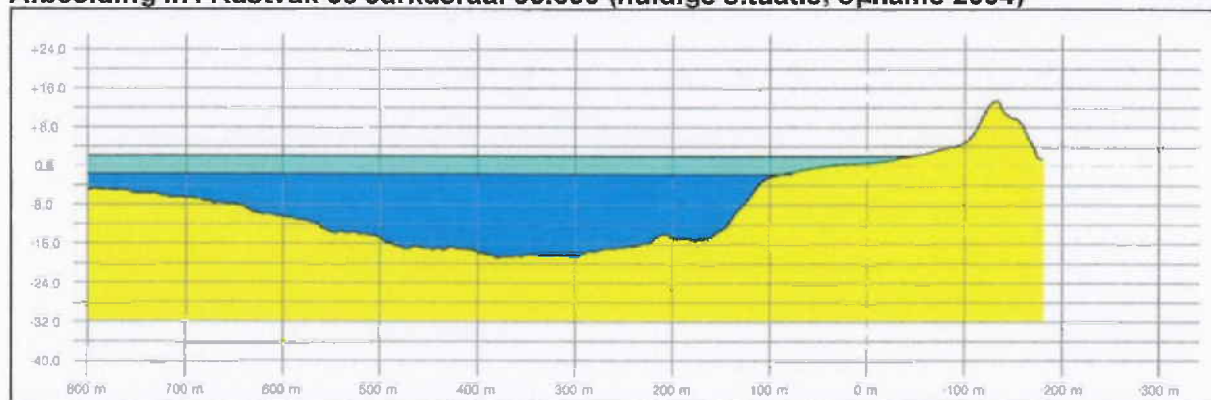
Tabel I.8. Karakteristieke varianten kustvak 3b

DIJK	huidige situatie	Z dk s	CZ dk	CL dk	CL dn	L k
ondersteunende maatregelen		geulwandverschuiving	geulwandstabilisatie			verharden binnentalud, kade aanleggen
strandbreedte						
-droog	0 m	100 m	20 m	0 m	0 m	0 m
-nat	90 m	120 m	120 m	90 m	90 m	90 m
hoogte	10,4 m	16 m	16 m	16 m	11 m	10,40 m
breedte waterkering	70 m	100 m	100 m	100 m	± 200 m	70 m
verbreding waterkering		30 m	30 m	30	± 130 m	enkele honderden meters
opmerkingen		strandsuppletie nodig om strand in stand te houden, geulwandverschuiving: ± 120 m	strandsuppletie nodig om strand in stand te houden			zoutbezwaar

kustvak 3c Nollestrand: km 33.400 – 33.800

Dit kustgedeelte betreft een dijk met een strand ervoor (Nollestrand). De schetsen zijn derhalve gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 33.600). In de onderstaande afbeelding (I.7.) is deze raai weergegeven.

Afbeelding I.7. Kustvak 3c Jarkusraai 33.600 (huidige situatie, opname 2004)



Z dn (zeewaarts duin):

De dijk wordt circa 130 m breder aan de zeezijde tot een hoogte van circa 13 m zeezijde. Hierbij wordt de geulwand circa 150 m verschoven en wordt de helling van de geulwand verflauwd naar 1:13.

Z dk s (N) (zeewaarts dijk en breed strand):

De dijk wordt circa 30 m breder aan de zeezijde tot een hoogte van circa 16 m zeezijde gecombineerd met een strandverbreding (circa 100 m droog strand). Hierbij wordt de geulwand 120 m verschoven en wordt de helling van de geulwand verflauwd naar 1:13. In de kostenraming is tevens de benodigde verlenging van het Nollehoofd opgenomen.

CZ dk (consolideren zeewaarts):

De dijk wordt circa 30 m breder aan de zeezijde tot een hoogte van circa 16 m zeezijde. Er is geen geulwandverschuiving noodzakelijk.

CL dk (consolideren landwaarts dijk):

De dijk wordt 16 m hoog zodat het overslagdebiet gereduceerd wordt tot de toelaatbare norm. De dijk wordt 30 m breder. Deze versterking is makkelijk inpasbaar.

CL dn (consolideren landwaarts, dijk verduinen):

Door de dijk een gelijk profiel te geven als een naastgelegen (versterkt) duinprofiel kan een doorgaande duinkust gemaakt worden. Het duin wordt circa 130 m breder aan de landzijde tot een hoogte van 11 m. Er kan een goede aansluiting worden gemaakt met het naastgelegen duinprofiel door de dijk een gelijk profiel te geven. Het verduinen van de dijk is goed inpasbaar.

L k (landwaarts):

Het overslagdebiet bedraagt circa 70 l/m/s. Zie opmerkingen bij variant L k (landwaarts) van kustvak 3b.

Tabel I.9. Karakteristieke varianten kustvak 3c

DIJK	huidige situatie	Z dn	Z dk s (+N)	CZ dk	CL dk	CL dn	L k
ondersteunende maatregelen		geulwandverschuiving	geulwandverschuiving	geulwandstabilisatie			verharden binnentalud, kade aanleggen
strandbreedte							
-droog	30 m	20 m	100 m	20 m	30 m	30 m	30 m
-nat	90 m	± 150 m	100 m	120 m	90 m	90 m	90 m
hoogte	13 m	13 m	16 m	16 m	16 m	11 m	13 m
breedte waterkering	70 m	200 m	100 m	100 m	100 m	± 200 m	70 m
verbreding waterkering		± 130 m	30 m	30 m	30 m	± 130 m	enkele honderden meters
opmerkingen		geulwandverschuiving: ± 150 m	strandsuppletie nodig om strand in stand te houden, geulwandverschuiving: ± 120 m	strandsuppletie nodig om strand in stand te houden			zoutbezwaar

DEELGEBIED 4: Vlissingen

Deelgebied 4 is onder te verdelen in 5 kustvakken te weten:

- | | |
|--|------------------------------------|
| - kustvak 4a: Boulevards Evertsen en Bankert | km 33.800 – km 35.100 (km 34.200); |
| - kustvak 4b :Boulevard De Ruyter | km 35.100 – km 35.800 (km 35.260); |
| - kustvak 4c: Haven | km 35.800 – km 35.900 (km 35.900); |
| - kustvak 4d: Oranjedijk | km 35.900 – km 36.300 (km 36.100); |
| - kustvak 4e: Eilanddijk | km 36.300 – km 37.500 (km 36.700). |

kustvak 4a Boulevards Evertsen en Bankert, km 33.800 – km 35.100

Dit kustgedeelte betreft een boulevard met bebouwing. Bij Boulevard Evertsen is een strand aanwezig van circa 100 m. De bebouwing betreft voornamelijk laagbouw. Op boulevard Bankert is voornamelijk hoogbouw aanwezig. De schetsen zijn gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 34.200).

Cp (muur met grote parapet):

Een grotere parapetconstructie, bestaande uit een groter overstek aan de zeezijde van de muur op de Boulevard is mogelijk, maar dient gecombineerd te worden met een sterkere en hogere muur. Het overslagdebiet aan de binnenzijde dient te worden afgevoerd. Gedacht kan worden aan doorvoeren door de muur of een zoutwaterriool. De waterafvoer aan de binnenzijde dient hierop gedimensioneerd te worden.

Voor de Boulevard Evertsen en Boulevard Bankert en Vlissingen ontbreken hydraulische randvoorwaarden en er is ook geen formule voor golfoverslag bij een parapetconstructie beschikbaar. Een vereenvoudigde berekening levert een te hoog overslagdebiet op. Het beheerderoordeel is 'nader onderzoek', echter de beheerder gaat ervan uit dat de veiligheid goed is¹.

Cb (ophogen boulevard):

De Boulevard moet verhoogd worden met 3 m zonder rekening te houden met een andere parapetconstructie. De huidige eerste verdiepingen worden kelders en op het niveau van de eerste verdieping staat een muur van circa 1,5 m (daar wordt bij nieuwbouw rekening mee gehouden). De totale verhoging van de kering wordt daarmee circa 4,5 m.

L (landwaarts):

Achter de boulevard komt een waterkering te liggen. Het beschermingsniveau van de Boulevard neemt verder af. Parallel achter de bebouwing langs de boulevard loopt een verhoogde kade. Deze verhoogde kade fungeert niet als secundaire kering. Het tracé verloopt langs de Kenau Hasselaarstraat, het Zaagmolenpad, de Gasthuisstraat en de Noordzeestraat. Dit tracé van de kade is weergegeven in afbeelding I.8.

Voor kustplaatsen met aaneengesloten bebouwing in buitendijks gebied hanteert het Rijk vanaf 2005 de huidige veiligheid, zodat toename van het risico als gevolg van zeespiegelstijging wordt beperkt. Echter door toenemende belasting (klimaatverandering) zal de veiligheid van de waterkering van het buitendijkse gebied ook op termijn afnemen en derhalve zal de kering ook aangepast dienen te worden. In het concept zoals afgebeeld in de schetsen is met dit toekomstbeeld geen rekening gehouden.

¹ Bron: Nieuwe inzichten in golfbelasting langs de kust, samenvatting aanvullende beheerdersoordelen [lit.7].

Afbeelding I.8. Kustvak 4a, Landwaarts tracé



Tabel I.10. Karakteristieke varianten kustvak 4a

BOULEVARD	huidige situatie	Cp	Cb	L
ondersteunende maatregelen		deel ophogen boulevard	ophogen boulevard + muur	dijk achter bebouwing versterken
strandbreedte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte
-droog	0 m	0 m	0 m	0 m
-nat	0 tot 80 m	0 tot 80 m	0 tot 80 m	0 tot 80 m
kruinhoopte boulevard	10 m	12,5	13 m	10 m
kruinhoopte dijk	11 m	12 m	14 m	15 m
opmerkingen		deel boulevard wordt opgehoogd	weg wordt geheel opgehoogd, begane grond wordt kelder	

kustvak 4b Boulevard De Ruyter, km 35.100 – km 35.800

Dit kustgedeelte betreft een boulevard met voornamelijk lage bebouwing. In tegenstelling tot kustvak 4a is hier de boulevard de feitelijke waterkering. De schetsen zijn gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 35.260).

Cp (muur met grote parapet):

Gelijk aan variant van kustvak 4a. Een grotere parapetconstructie (2,5 m), bestaande uit een groter overstek aan de zeezijde van de muur op de Boulevard is mogelijk, maar dient gecombineerd te worden met een sterkere en hogere muur (verhoging circa 1,5 m). Het overslagdebiet aan de binnenzijde dient te worden afgevoerd. Gedacht kan worden aan doorvoeren door de muur of een zoutwaterriool. De waterafvoer aan de binnenzijde dient hierop gedimensioneerd te worden.

Cb (ophogen boulevard):

Gelijk aan variant van kustvak 4a. De Boulevard moet verhoogd worden met 3 m zonder rekening te houden met een andere parapetconstructie. De huidige eerste verdiepingen worden kelders en op het niveau van de eerste verdieping staat een muur van circa 1,5 m (daar wordt bij nieuwbouw rekening mee gehouden). De totale verhoging van de kering wordt daarmee circa 4,5 m.

CL (landwaarts):

Achter de boulevard komt een waterkering te liggen. Het beschermingsniveau van de Boulevard neemt verder af. Parallel achter de bebouwing langs de boulevard loopt de Gasthuisstraat en Noordzeestraat. Diverse bebouwing zal verdwijnen en deze weg zal worden verhoogd tot NAP 15 m).

Bij deze variant wordt de huidige bebouwing langs de boulevard buitendijks gebied. Hiervoor geldt dezelfde opmerking als bij de landwaartse variant van kustvak 4a.

Tabel I.11. Karakteristieke varianten kustvak 4b

BOULEVARD	huidige situatie	Cp	Cb	CL
ondersteunende maatregelen		deel ophogen boulevard	ophogen boulevard + muur	dijk direct achter bebouwing, verhoogden weg
strandbreedte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte
-droog	0 m	0 m	0 m	0 m
-nat	0 tot 80 m	0 tot 80 m	0 tot 80 m	0 tot 80 m
kruinhoogte boulevard	10 m	11,5 m (2,5m parapet)	13 m (1,5m parapet)	10 m
landwaartse dijk	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	15 m
opmerkingen		deel boulevard wordt opgehoogd	weg wordt geheel opgehoogd, begane grond wordt kelder	relatief groot gedeelte bebouwing verwijderen of buitendijks

kustvak 4c Haven, km 35.800 – km 35.900

Dit kustgedeelte betreft een weg-/boulevard constructie en sluit via de Nieuwendijk en De Ruijterplein aan op de Oranjedijk (kustvak 4d). De schets is gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvak-gedeelte (raai 35.900).

Afbeelding I.9. Kustvak 4c, Tracé waterkering



Tabel I.12. Karakteristieke varianten kustvak 4c

BOULEVARD	huidige situatie	Cm (p)
<u>ondersteunende maatregelen</u>		ophogen boulevard + muur
strandbreedte	varieert per kustgedeelte	varieert per kustgedeelte
-droog	0 m	0 m
-nat	0 tot 80 m	0 tot 80 m
kruinhoogte boulevard	10 m	13 m (1,5m parapet)
opmerkingen		weg wordt geheel opgehoogd, begane grond wordt kelder

Cm (ophogen boulevard):

Gelijk aan variant van kustvak 4a en b. De Boulevard moet verhoogd worden met 3 m zonder rekening te houden met een andere parapetconstructie. Op de boulevard staat een muur van circa 1,5 m (daar wordt bij nieuwbouw rekening mee gehouden). De totale verhoging van de kering wordt daarmee circa 4,5 m. Een belangrijk aandachtspunt is dat de muur en boulevard mogelijk te hoog worden en stedenbouwkundig niet meer inpasbaar zijn.

kustvak 4d Oranjedijk km 35.900 – km 36.300

Dit kustgedeelte betreft een groene dijk met een weg langs het buitentalud. Het dijkgedeelte is circa 400 m lang en de schets is gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 36.100). Voor dit kustvakgedeelte zijn twee varianten uitgewerkt. Consolideren zeewaarts om de bebouwing te ontzien en consolideren landwaarts om de cultuurhistorische Oude Molen te ontzien.

CZ dk (consolideren zeewaarts):

Een ophoging tot NAP +14 m en verbreding van de dijk aan de zeezijde waardoor deze 35 m breder wordt. Er zijn geen maatregelen zoals verlegging van de geulwand, ophoging van het strand noodzakelijk.

CL dk (consolideren landwaarts):

De dijk wordt circa 35 m breder aan de landzijde tot een hoogte van 14 m. Er kan een goede aansluiting worden gemaakt met het naastgelegen duinprofiel door de dijk een gelijk profiel te geven. Een deel van de bebouwing zal hierdoor verdwijnen. In de onderstaande afbeelding zijn een aantal cultuurhistorische objecten weergegeven en is aangegeven welk deel van de bebouwing verwijderd dient te worden.

Afbeelding I.10. Kustvak 4d, cultuurhistorische objecten en landwaarts ruimtebeslag (+35m)



Tabel I.13. Karakteristieke varianten kustvak 4d

DIJK	huidige situatie	CZ dk	CL dk
ondersteunende maatregelen			
strandbreedte			
-droog	0 m	0 m	0 m
-nat	120 m	80 m	120 m
hoogte	8 m	14 m	14 m
breedte waterkering	75 m	110 m	110 m
verbreding waterkering		35 m	35 m
opmerkingen			

kustvak 4e Eilanddijk km 36.300 – km 37.500 (km 36.700)

Dit kustgedeelte betreft een groene dijk met een weg langs het buitentalud. Het dijkgedeelte is circa 1200 m lang en de schets is gemaakt met een representatieve raai uit dit kustvakgedeelte (raai 36.700). Voor dit kustvakgedeelte zijn twee varianten uitgewerkt. Consolideren zeewaarts om de bebouwing te ontzien (bedrijventerrein en enkele woningen) en consolideren landwaarts om de effecten op de oude dijk (=oude beer) te ontzien.

CZ dk (consolideren zeewaarts):

Een ophoging tot NAP +14 m en verbreding van de dijk aan de zeezijde waardoor deze 40 m breder wordt. Er zijn geen maatregelen zoals verlegging van de geulwand, ophoging van het strand noodzakelijk.

CL dk (consolideren landwaarts):

De dijk wordt circa 40m breder aan de landzijde tot een hoogte van 14 m. Een deel van de bebouwing zal hierdoor verdwijnen. In de onderstaande afbeelding is aangegeven welk deel van de bebouwing verwijderd dient te worden.

Afbeelding I.11. Kustvak 4e, landwaarts ruimtebeslag (+40m)



Tabel I.14. Karakteristieke varianten kustvak 4e

DIJK	huidige situatie	CZ dk	CL dk
ondersteunende maatregelen			
strandbreedte			
-droog	0 m	0 m	0 m
-nat	150-200 m	110-160 m	150-200 m
hoogte	8 m	14 m	14 m
breedte waterkering	80 m	120 m	120 m
verbreding waterkering		40 m	40 m
opmerkingen			

BIJLAGE II Morfologisch onderzoek

Opdrachtgever:

Witteveen+Bos

SMB - ZW Walcheren

Modellering effectiviteit zeewaartse kustbeschermings-alternatieven

Rapport

mei 2006

Opdrachtgever:

Witteveen+Bos

SMB - ZW Walcheren

Modellering effectiviteit zeewaartse kustbeschermings-alternatieven

E.P.L. Elias en D.J.R. Walstra

Rapport

mei 2006



OPDRACHTGEVER:	Witteveen+Bos																														
TITEL:	SBM – ZW Walcheren																														
SAMENVATTING: Middels een proces-georiënteerd, morfologisch, rekenmodel en <i>expert-judgement</i> is door WL Delft Hydraulics onderzocht wat de effecten zijn van verschillende zeewaartse kustbeschermingsalternatieven voor de kust van Walcheren. Morfologische lange-termijn simulaties (10 jaar) zijn uitgevoerd om de interactie tussen kustverdediging en het voorliggende geulensysteem (Oostgat) te bepalen. De gemodelleerde alternatieven zijn: - geulwandversterking (hard en zacht) - een zeewaartse geul(wand)verschuiving met een zandsuppletie - een verlaging van het Bankje van Zoutelande. De morfologische effecten van de verschillende alternatieven blijven (op een tijdschaal van 10 jaar) beperkt tot het Oostgat en Bankje van Zoutelande. Het geulen en platenstelsel van het Oostgat- en Deurloosysteem wordt bepaald door de grootschalige interactie van waterbeweging (vooral getij) en Voordelta-morfologie. De voorgestelde alternatieven zijn relatief klein zijn ten opzichte van de 'Voordelta-schaal', waardoor er (op een schaal van jaren tot decaden) geen significante invloed te verwachten is op de grootschalige dynamiek van geulen en platen. Door gelijktijdig met het aanbrengen van de suppletie het voorliggende Bankje te baggeren kunnen de verstoringen en zandverliezen van de suppletie worden beperkt.																															
REFERENTIES:																															
<table border="1"><thead><tr><th>VER</th><th>AUTEUR</th><th>DATUM</th><th>OPMERK.</th><th>REVIEW</th><th>GOEDKEURING</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.0</td><td>E.P.L. Elias</td><td>November 2005</td><td></td><td>D.J. Walstra</td><td>T. Schilperoort</td></tr><tr><td></td><td>D.J.R. Walstra</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.0</td><td>D.J.R. Walstra</td><td>Mei 2005</td><td></td><td>A.W. van der Weck</td><td>T. Schilperoort</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING	1.0	E.P.L. Elias	November 2005		D.J. Walstra	T. Schilperoort		D.J.R. Walstra					2.0	D.J.R. Walstra	Mei 2005		A.W. van der Weck	T. Schilperoort						
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING																										
1.0	E.P.L. Elias	November 2005		D.J. Walstra	T. Schilperoort																										
	D.J.R. Walstra																														
2.0	D.J.R. Walstra	Mei 2005		A.W. van der Weck	T. Schilperoort																										
PROJECTNUMMER:	z4052																														
TREFWOORDEN:	Oostgat, geulwandsuppletie																														
AANTAL BLADZIJDEN:	37																														
VERTROUWELIJK:	☒ JA, tot december 2008 ☐ NEE																														
STATUS:	☐ VOORLOPIG ☐ CONCEPT ☒ DEFINITIEF																														

Inhoud

1	Inleiding.....	1—1
1.1	Opdracht en doel.....	1—1
1.2	Aanpak en Leeswijzer.....	1—1
2	Beschrijving studiegebied.....	2—1
2.1	Introductie.....	2—1
2.2	Hydrodynamica.....	2—2
2.3	Morfodynamica.....	2—3
3	Alternatieven en modelopzet.....	3—1
3.1	Introductie.....	3—1
3.2	Grid- en bodemschematisaties.....	3—2
3.3	Randvoorwaarden en parameterinstellingen.....	3—3
3.3.1	Stromingen in detail.....	3—5
3.4	Beschrijving alternatieven.....	3—11
3.4.1	Uitgangspunten.....	3—12
3.4.2	Alternatief T1: Geulwandbescherming (hard).....	3—12
3.4.3	Alternatief T2(a en b): Aftoppen van het Bankje van Zoutelande.....	3—12
3.4.4	Alternatief T3(a en b): Geulwandbescherming (zacht).....	3—13
3.4.5	Alternatief T4 (a en b): Geulverlegging.....	3—13
4	Morfologische Ontwikkelingen.....	4—1
4.1	Introductie.....	4—1
4.2	Alternatief T1; Geulwandbescherming (hard).....	4—1
4.3	Alternatief T2; Aftoppen van het Bankje van Zoutelande.....	4—2

4.4	Alternatief T3: Geulwandbescherming (zacht).....	4—2
4.5	Alternatief T4: Geulverlegging.....	4—4
5	Vertaling modelresultaten / Effectiviteit Alternatieven	5—1
6	Conclusies	6—1
A	Aanvulling Figuren	A—1

I Inleiding

I.1 Opdracht en doel

Middels opdrachtbrief MDB185-1/doesa/006 heeft Witteveen+Bos, WL | Delft Hydraulics opdracht gegeven voor een deelstudie binnen het project “studie zwakke schakels Walcheren”. Centraal staat de onderzoeksvraag: wat zijn de effecten van zeewaartse kustversterkingsalternatieven voor de kust van Walcheren op de voorliggende geul- en geulwandontwikkelingen?

Drie verschillende kustversterkingsalternatieven zijn bedacht om de kustveiligheid te vergroten en waarborgen. Deze alternatieven zijn:

- geulwandversterking (hard en zacht)
- een zeewaartse geul(wand)verschuiving met een zandsuppletie
- een verlaging van het Bankje van Zoutelande.

Middels een procesgeoriënteerd, morfologisch, rekenmodel en expert-judgement wordt door WL | Delft Hydraulics bepaald wat de effecten zijn van genoemde alternatieven. De analyse gebeurt door morfologische simulaties op een tijdschaal van jaren (5 tot 10 jaar) met het “state-of-the-art” Delft3D model. De ontwikkeling en beweging van het voorliggende geulensysteem en de geulwand onder invloed van de verschillende alternatieven wordt gesimuleerd en geanalyseerd met een terugkoppeling naar de morfologische verkenning door Steijn en Van der Spek (2005).

I.2 Aanpak en Leeswijzer

De interactie van getij-, wind- en golfgedreven stromingen met de Walcherse kust, de kustbeschermingsmaatregelen (palenrijen) en de ruimtelijk sterk variërende vooroever met verschillende geulen en platen maken de waterbeweging en sedimenttransporten in het Oostgat geulensysteem zeer complex. Om deze processen te begrijpen en voorspellen zou er idealiter een gedetailleerd, proces-georiënteerd, morfologisch rekenmodel opgezet dienen te worden van dit gebied. Het is onwaarschijnlijk dat een model in huidige vorm alle relevante fysische processen en interacties al bevat, die het gedrag en ontwikkeling tot in detail beschrijven. Op dit moment vindt er in het kader van het RIKZ programma SLA-Kustlijn zorg een inventarisatie plaats over de geschiktheid en de benodigde uitbreidingen en verbeteringen van het huidige modelinstrumentarium ten behoeve van het gedetailleerd modelleren van geulwandsuppleties (zie Walstra, 2005).

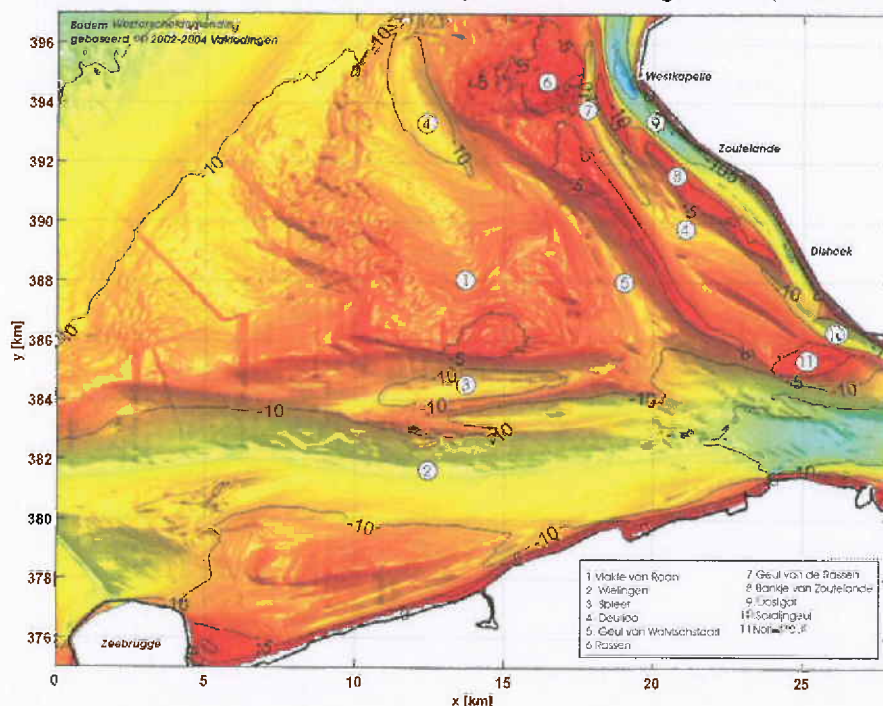
Het gaat buiten het bereik van deze studie om een dergelijk detailmodel op te zetten, te valideren en te kalibreren. Een meer conceptuele aanpak wordt gevolgd. In Hoofdstuk 2 wordt begonnen met het globaal uitwerken van de relevante fysische processen en morfologische ontwikkelingen in de Westerscheldemonding. De modelsommen concentreren zich ten eerste op het weergeven (en begrijpen) van de essentiële kenmerken van het autonome morfologische gedrag van de verschillende geulen en platen die het

Oostgat-systeem vormen (Hoofdstuk 3). Daarnaast worden in Hoofdstuk 3 de algemene uitgangspunten van de modelschematisatie en de verschillende alternatieven behandeld. In Hoofdstuk 4 worden de gemodelleerde morfologische ontwikkelingen voor de verschillende alternatieven beschreven. We eindigen met een expert-judgement vertaling van de modelinzichten naar de effectiviteit van de verschillende alternatieven (Hoofdstuk 5) en de conclusies (Hoofdstuk 6).

2 Beschrijving studiegebied

2.1 Introductie

Zoals in vele buitendelta's is ook in het Westerschelde mondingsgebied sprake van een complex samenspel van getij, golven en wind wat ten grondslag ligt aan de huidige morfologie van de delta en de bijbehorende geulen. Dat hierbij processen of fenomenen op korte tijdschalen (en kleine ruimteschalen) het gedrag op langere termijn (en grote ruimteschaal) beïnvloeden wordt als een algemeen aanvaard gegeven beschouwd. Het grootschalige gedrag van een delta speelt zich over het algemeen af op een tijdschaal van decennia tot eeuwen. Dit impliceert dat de huidige morfologische ontwikkelingen van de Westerschelde buitendelta voor een groot deel wordt bepaald door de condities uit een vergelijkbaar verleden. Deze lange-termijn morfologische ontwikkelingen hebben geresulteerd in de huidige ligging van de geulen en platen met de grootste geul (Wielingen) in het zuiden en een uitgebreid stelsel van geulen en platen langs de kust van Walcheren (zie fig. 2-1). Het Oostgat ligt al meer dan een eeuw tegen de Walcherse kust aangedrukt. Heel langzaam schuift de geul (lokaal) landwaarts, maar deze migratie wordt bemoeilijkt door de kustverdedigingswerken en de aanwezigheid van erosieresistente lagen (Van der Spek, 1997). Deze topografie bestaat in hoofdlijnen al sinds de omslag van een drie-hoofdgeulen naar een twee-hoofdgeulen systeem ongeveer een eeuw geleden (Van der Slikke, 1997).



Figuur 2-1: Overzicht van de belangrijkste platen en geulen in de Westerscheldemonding

Het getij in het Oostgat, maar eigenlijk van de gehele Voordelta, wordt in essentie gevormd door de interactie van een zuid-noord propagerende getijgolf op zee en de kustdwarse getijgolf in het Westerschelde (en Oosterschelde) estuarium. Ebdominante geulen vormen zich vaak in het centrale gedeelte van de delta, terwijl vloedgeulen zich langs de

aanliggende kusten ontwikkelen. Geulen langs de aanliggende kusten kunnen ook verklaard worden door de grootste gradiënten in het verhang, die door het faseverschil van het getij op zee en in het zeegat kortsluitgeulen langs de eilandkoppen creëert. Het Oostgat wordt gezien als zo'n kortsluitgeul (Van der Slikke, 1999a). Gedetailleerde beschouwingen van de grootschalige mechanismen van deze plaat-geul vorming worden o.a. gepresenteerd door Sha (1990) en Van Veen (1950).

Menselijk ingrijpen heeft een grote invloed gehad op het gedrag van de Voordelta en de Walcherse kust. Vooral in de afgelopen eeuw hebben vele ingrepen plaatsgevonden om de scheepvaart naar Zeebrugge en door de Westerschelde naar Antwerpen te bevorderen. Lokaal wordt de morfologie van bagger- en stortlocaties bepaald door deze werkzaamheden. Maar ook de grootschalige voortplanting van het getij en de door getijasymmetrie bepaalde residuele sedimentimport of -export wordt door het baggeren beïnvloed. Vooral aan de Walcherse kust is de interactie van de geulen (Oostgat, Sardijngeul) met de kustbeschermingsconstructies van belang. Aan de noord- en zuidgrens wordt de kust beschermd door de 'harde' verdedigingswerken bij Westkapelle en Vlissingen. Deze harde constructies vormen een soort ophangpunten waaromheen contractie van stroming, lokaal, de geulen zeer diep heeft uitgeschuurd. Tussen de 'ophangpunten' wordt de kust grotendeels beschermd en in stand gehouden door strand- of paalhoofden en suppleties.

2.2 Hydrodynamica

De belangrijkste initiator voor de vorming van de geulen en platen op de Voordelta is de interactie tussen het kustlangse (noord-zuid) getij in de Noordzee en het kustdwarse (west-oost) getij in het Westerschelde. Het getij plant zich vanuit het zuiden in noordelijke richting voort langs de Zeeuwse en Hollandse kust. Hierbij neemt de getijamplitude in noordelijke richting geleidelijk af, terwijl de amplitude kustinwaarts toeneemt in het Westerschelde estuarium. Het inkomende getij stroomt daardoor voornamelijk via de Wielingen-geul het estuarium binnen terwijl via het Oostgat het getijvolume aanzienlijk kleiner is. Ter hoogte van Vlissingen wordt de getijbeweging beïnvloed door het complexe samenspel van de getijvoortplanting door het Oostgat en de Wielingen-geul. De waterbeweging in het Oostgat wordt vooral bepaald doordat de getijamplitude bij Westkapelle kleiner is dan bij Vlissingen. Tijdens hoogwater treedt een verhang richting Westkapelle op (waterstand in Vlissingen hoger dan in Westkapelle) en tijdens laagwater een verhang richting Vlissingen (waterstand in Westkapelle hoger dan in Vlissingen). In de Wielingen-geul wordt de getijstroming bepaald door het faseverschil tussen Vlissingen en Zeebrugge. Het bovenstaande leidt ertoe dat de stroming in het Oostgat vooral maximaal is tijdens laag- en hoogwater omdat dan het verhang het grootst is. In de Wielingen-geul is de getijstroming maximaal aan het einde van de eb- en vloedperioden. In diverse studies wordt een vrij eenduidig beeld gecreëerd van de reststromen in het gebied waarbij vooral de complexe patronen in het Oostgat en rondom het Bankje van Zoutelande opvallen (zie fig. 3-2d).

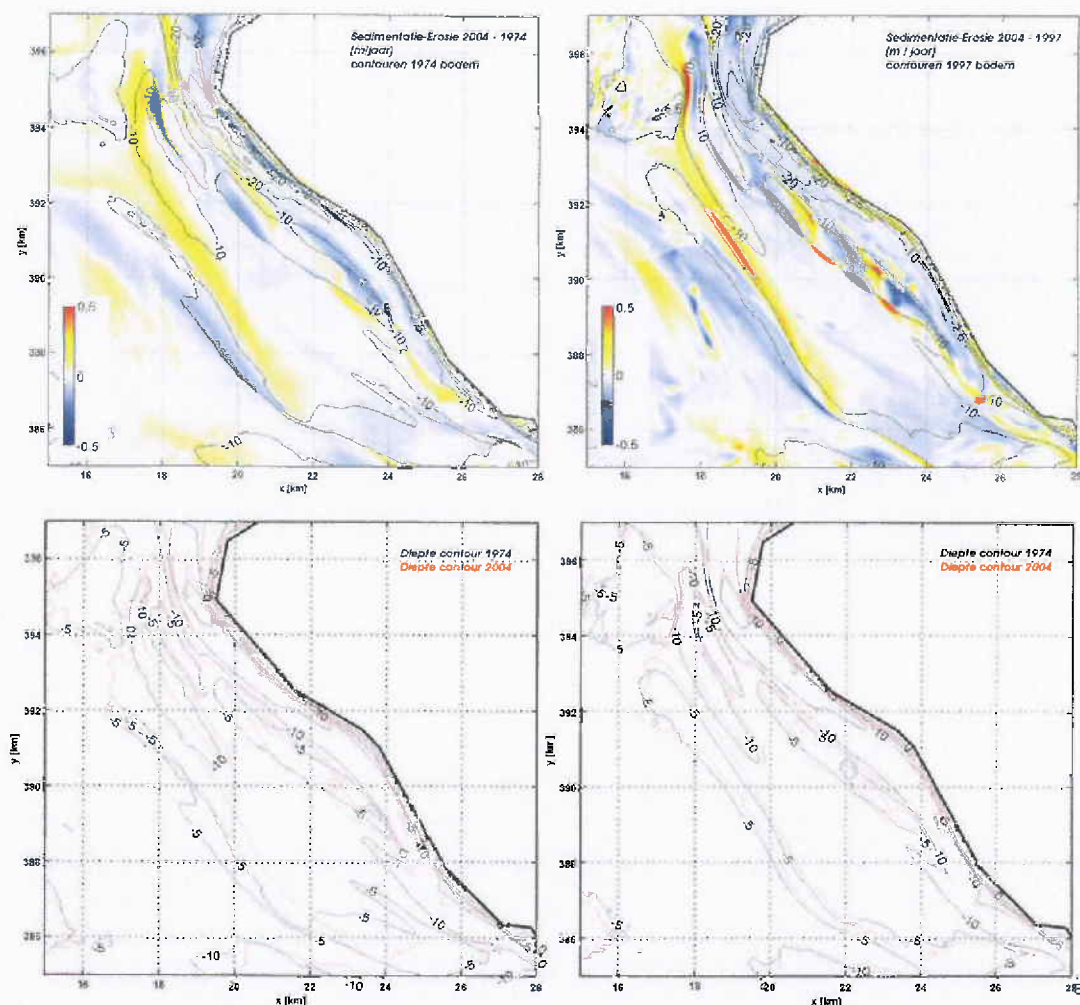
Steijn en Van der Spek (2005) vatten de waterbeweging ter plaatse van Walcheren als volgt samen: een sterk landwaarts gerichte vloedstroom wordt door de geulen Oostgat, Geul van Rassen en Deurloo in kustlangse richting afgevoerd. In het noordelijke gedeelte van het Oostgat (bij Westkapelle) domineert de ebstroming, terwijl het zuidelijke gedeelte (nabij Zoutelande) door de vloed gedomineerd wordt. Deze tegenstelling komt door de relatief

grote vloeddominante stroming over het Bankje van Zoutelande. De geulen Deurloo en Geul van Rassen zijn overwegend ebdominant.

Gezien het feit dat de buitendelta van de Westerscheldemonding relatief diep ligt, is onder gemiddelde condities het belang van golven beperkt tot vooral opwoeling, tijdens stormen kunnen de golven wel breken op de buitendelta. De zuidwestelijke oriëntatie van de Westerscheldemonding heeft tot gevolg dat vooral de golven uit het zuidwesten van belang zijn en zullen leiden tot een verhoging van de noordoostelijk gerichte transporten op de Vlakte van Raan richting het Oostgat. Een punt wat nader onderzocht dient te worden is de invloed van wind op de stromingen en transporten. Door de ondiepe vooroever en de afscherming van de noordelijke windrichtingen door de kust van Walcheren zou juist de (netto) windgedreven stroming wel eens van groot belang kunnen zijn voor de residuele stromingen en transporten in het Oostgat.

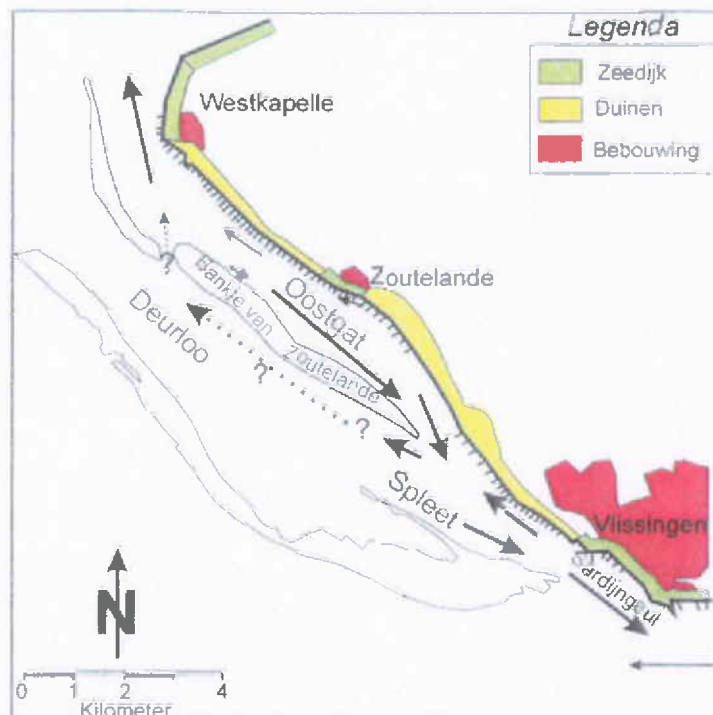
2.3 Morfodynamica

Golven, wind en vooral getij zijn de aandrijvende krachten voor de sedimenttransporten en morfologische veranderingen in het Oostgat. Locale ingrepen zoals geulwandsuppleties, geulverruiming of geulwandbescherming zijn relatief klein ten opzichte van de schaal van de Voordelta. Het is onwaarschijnlijk dat deze lokale maatregelen het grootschalige (lange-termijn) gedrag van de gehele buitendelta beïnvloeden. Het is daarom relevanter om op de tijdschaal van jaren tot (enkele) decaden te kijken naar de interactie tussen de kust en het voorliggende Oostgat-systeem (bestaande uit de geulen Oostgat en Sardijngeul) en aangrenzende Deurloo-systeem (Geul van Rassen en Deurloo). Deze twee systemen worden gescheiden door het Bankje van Zoutelande.



Figuur 2-2: Sedimentatie-erosie patronen omgerekend naar m/jaar (boven) en contourlijnen van de bodem (onder) voor de periode 1974-2004 (links) en de periode 1997-2004 (rechts).

De sedimentatie-erosie patronen gepresenteerd in fig. 2-2 vatten de belangrijkste morfologische veranderingen samen. Als we de jaargemiddelde sedimentatie-erosie over de periode 1974-2004 en de recente patronen van 1997-2004 vergelijken zien we een consistent beeld, alhoewel de groottes verschillen; de sedimentatie-erosie over de recente periode is wat groter dan het lange-termijn gemiddelde. Een afwisselend patroon van sedimentatie en erosie domineert op het Bankje van Zoutelande, de geulen Oostgat en Deurloo eroderen, en sedimentatie (landwaartse verschuiving) treedt op langs de noordelijke uitloper van de Nolleplaat (Elleboog). Ondanks de relatief kleine veranderingen in het Oostgat is er de zorg dat de harde lagen die nu de geulwand vormen afbrokkelen en bressen in de geulrand ontstaan. Het is misschien niet zo zeer de omvang van morfologische ontwikkeling van de geulwand die ons zorgen baart maar de ruimtelijke inpassingsmogelijkheden voor een suppletie op de vooroever en strand. Andere aandachtspunten in dit verband zijn de geulwandversteiling en de langere termijn landwaartse verschuiving van de duinvoet onder invloed van zeespiegelstijging.



Figuur 2-3: Sediment transportpaden gebaseerd op bodemvormen (uit Erkens 2003)

Er bestaan verschillende hypothesen met betrekking tot de zandtransport patronen die deze sedimentatie-erosie patronen verklaren. Steijn en Van der Spek (2005) vatten de zandtransporten als volgt samen; onder invloed van de dominante vloedstroming wordt zand over de Nolleplaat-Elleboog en het Bankje van Zoutelande naar de kust getransporteerd. Dit zand wordt door de kustlangse stroming in het Oostgat noordwaarts en zuidwaarts afgevoerd. In het noorden draagt dit zand onder andere bij tot de vorming van de Rassen. In het zuiden wordt het zand vooral langs de flank van het Bankje van Zoutelande getransporteerd. Gedeeltelijk wordt dit zand weer noordwaarts verplaatst door het Deurloo, langs de zeezijde van het Bankje van Zoutelande. Er ontstaat een soort circulatiecel wat mogelijk een verklaring geeft voor de aanwezigheid en stabiele positie van het Bankje. Dit concept sluit op hoofdlijnen aan bij de geschatte transportrichtingen gebaseerd op de dominante bodemvormen (fig. 2-3).

Om na te gaan of de kustwaartse migratie van de oostelijke geulwand mogelijk samenhangt met een kustwaartse beweging van de westelijke geulwand heeft Hordijk (2002) ook de beweging van de westelijke geulwand bekeken voor de periode 1969-2000. De westelijke geulwand werd in deze periode gekenmerkt door een versteiling. Deze versteiling is onder andere het gevolg van erosie van de geulwand in combinatie met aanzanding van het direct achter de westelijke geulwand gelegen Bankje van Zoutelande. Naast erosie van de geulwanden vond er tussen de raaien 29.30 en 30.33 gedurende de periode 1969-2000 een verdieping van het Oostgat plaats. Deze verdieping bedroeg gemiddeld ongeveer 2 m. Hordijk (2002) concludeert dat aangezien zowel de geulwanden als de bodem van het Oostgat eroderen de oorzaak van de kustwaartse migratie van de oostelijke geulwand van het Oostgat waarschijnlijk een vergroting van de eb- en/of vloeddebeten zijn. Deze conclusie wordt niet onderschreven door Steijn en Van der Spek (2005) en vereist verder onderzoek. Het onderschrijft het belang van een goede beschrijving van de fysische

processen zodat op basis van bijvoorbeeld gevoeligheidsonderzoek de verschillende hypothesen ten aanzien van het morfologisch gedrag van het Oostgat objectief kunnen worden onderzocht.

Golfgedreven transporten lijken vooral van belang op de kust waar golfbreking extra sediment transport veroorzaakt. Conclusies met betrekking tot het belang van deze grotere transporten zijn niet eenduidig. Van der Slikke (1999b) heeft aangetoond dat de morfologische veranderingen van de Walcherse kust zelfs tijdens stormen relatief klein zijn. Dit duidt er op dat de kustachteruitgang samenhangt met continue processen (zoals getij) en niet met incidentele stormcondities. Croqué (1998) concludeert juist dat er een duidelijke verandering in het Oostgat optreedt tijdens stormen.

3 Alternatieven en modelopzet

3.1 Introductie

Een conceptuele modelaanpak wordt gevolgd. De modelsommen concentreren zich op het weergeven (en begrijpen) van de essentiële kenmerken van het autonome morfologische gedrag (zie Hoofdstuk 2) en de effecten van de verschillende ingrepen op dit gedrag. We rekenen met de bestaande complexe configuratie van geulen en platen, maar we schematiseren de aansturing. Recente modellering van onder andere het Zeegat van Texel heeft aangetoond dat Delft3D autonoom gedrag zelfs in deze complexe zeegatgebieden succesvol kan simuleren.

Als aanname bij deze modelschematisatie is er van uitgegaan dat het morfologische gedrag van de Walcherse kust (lees: de interactie Oostgat en kust) gedomineerd wordt door continue processen (getij) en niet zo zeer door episodische storm condities. Voor de conceptuele benadering van deze studie rechtvaardigt dit het gebruik van een morfologisch getij als dominante randvoorwaarde. Daarnaast worden additionele simulaties gedraaid gebruik makend van een bestaande morfologische wind en golfschematisatie zoals afgeleid in het Zeekennis project (zie Kuiper et al. 2004). Deze morfologische condities zijn:

- Windsnelheid 6,8 m/s met een windrichting van 258 °N
- Significante golfhoogte 0.90 m, piek periode 5 s en golfrichting 263 °N

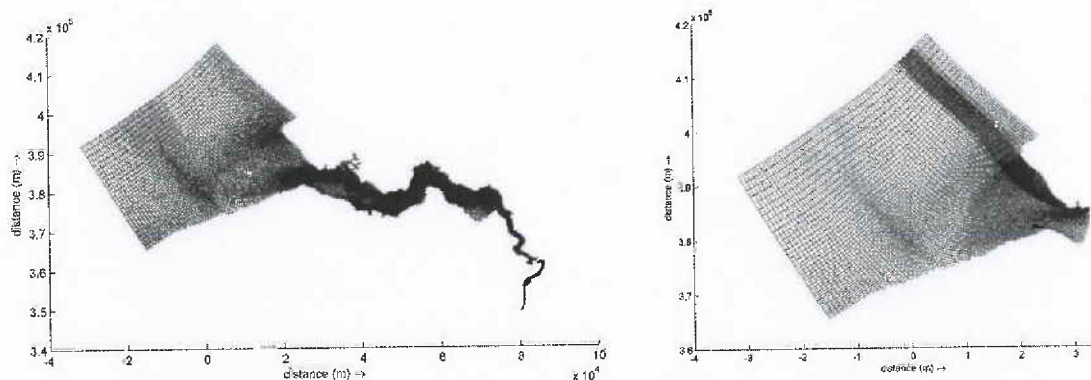
Het effect van golven wordt geparametriseerd opgelegd en behelst alleen het opwoelen van sediment. Bovendien wordt de golfconditie wordt constant verondersteld over het gehele model domein waarbij de maximum golfhoogte wordt begrensd op 70% van de lokale waterdiepte. Dit sediment wordt vervolgens door de wind- en getijgedreven stromingen afgevoerd. De direct door de golven aangedreven brandingstromen worden niet gemodelleerd. Door het complexe karakter van het strand, met de paalhoofden, is het ook onwaarschijnlijk dat in de gebruikte modelschematisatie deze goed zouden worden beschreven zonder uitgebreide validatie en calibratie met meetdata (Walstra 2005).

Een tweede belangrijke aanname is dat de bodem bestaat uit een uniform zandpakket (niet-cohesief) met een mediane korreldiameter (d_{50}) van 200 μm . Het eventueel voorkomen van niet of moeilijk erodeerbare lagen (Van der Spek 1997; Steijn en van der Spek, 2005) wordt in de modelsimulaties dus niet meegenomen. De modelsimulatie van de autonome situatie (T0) zal waarschijnlijk iets meer erosie van de geulwand voorspellen dan dat in werkelijkheid optreedt. Voor de kwalitatieve vergelijking van de door de alternatieven veroorzaakte veranderingen (relatief ten opzichte van de T0 situatie) is dit echter geen belemmering. Op dit moment vindt er in het kader van het RIKZ programma SLA-Kustlijn zorg een inventarisatie plaats over de geschiktheid en de benodigde uitbreidingen en verbeteringen van het huidige modelinstrumentarium ten behoeve van het gedetailleerd modelleren van geulwandsuppleties (zie Walstra, 2005).

Na een korte introductie in de modelopzet en -schematisatie worden achtereenvolgens de resultaten voor de autonome ontwikkeling, en de initiële (korte-termijn) en de morfologische (lange-termijn) simulaties gepresenteerd. Initiële sommen (enkele getijperiodes) verschaffen een eerste schatting van de invloed van de verschillende alternatieven op de stromingen en transporten. De lange termijn sommen simuleren de resulterende morfologische veranderingen over een periode van 10 jaar.

3.2 Grid- en bodemschematisaties

Analyse van het modelgebied, de hydrodynamica en het morfologische gedrag, kort samengevat in Hoofdstuk 2, geeft ons een aantal randvoorwaarden waaraan de modelschematisatie moet voldoen. De getijstromingen door het Oostgat bepalen in essentie de morfologische veranderingen van de Walcherse kust. Het Oostgat vormt onderdeel van de Westerscheldemonding waarop de getijbeweging bepaald wordt door de interactie van het openzee getij en het getij in het Westerschelde estuarium. Het bestaande KUSTZUID model, dat allebei deze elementen bevat, is gebruikt als basis voor deze studie (zie fig. 3-1 voor de gridschematisatie). Het KUSTZUID model is van oorsprong een hydrodynamisch model waarvan de randvoorwaarden op zee afgeregeld zijn op de correcte weergave van de amplitudes en fasen van de dominante getijcomponenten. In het kader van het Zeekennis project is KUSTZUID, door het samenwerkingsverband WL|Delft-Hydraulics / Alkyon, uitgebreid tot een morfodynamisch model, dat afgeregeld is op een correcte weergave van de sedimentatie-erosie patronen in de Westerschelde (Kuiper et al., 2004). Ten behoeve van lange-termijn simulaties zijn hiervoor de hydrodynamische randvoorwaarden vertaald naar een morfologisch getij. Dit morfologische getij is zodanig geselecteerd dat tijdens eb en vloed de berekende transporten door een dwarsdoorsnede ter plaatse van Vlissingen gelijk zijn aan de gemiddelde eb- en vloedtransporten gedurende een volledige springtij-doodtij cyclus.



Figuur 3-1: Rekenroosters van het KUSTZUID model (links) en het Oostgat model (rechts)

De morfologische veranderingen van de Westerschelde zijn niet van belang voor deze studie, daarom is het KUSTZUID modelgrid (zie fig. 3-1, links) net ten oosten van Vlissingen afgeknipt (fig. 3-1, rechts). Op deze modelrand is een waterstandsrandvoorwaarde opgelegd verkregen door het kleine Oostgat model te nesten in het oorspronkelijke KUSTZUID model. De keuze en forcering van de randvoorwaarde is zodanig dat de waterbeweging op de Voordelta voor beide modellen gelijk is.

Uit de analyse van de geobserveerde morfologische veranderingen blijkt dat de transporten langs de Walcherse kust gedomineerd worden door het Oostgat-systeem en interactie met het voorliggende Deurloo-systeem. Om dit complexe geulen- en platenstelsel optimaal weer te geven is het rekenrooster hier lokaal verfijnd. Het uiteindelijke Oostgat modelgrid bestaat in totaal uit 10766 gridcellen met een maximale resolutie van 100x120m (in respectievelijk kustlangse en kustdwarse richting) ter plaatse van het Oostgat. Deze resolutie wordt voldoende fijn geacht om de grootschalige interactie tussen geul en plaat in voldoende detail te beschrijven. Een mogelijk nadeel van het KUSTZUID model is dat de noordelijke rand redelijk dicht bij het interessegebied ligt. Analyse van modelresultaten laat echter zien dat de invloed van de interventies zich vooral zuidwaarts uitstrekt. Bij Westkapelle zijn de verschillen tussen autonome situatie en alternatieven miniem en het is dus niet de verwachting dat de modelrand een invloed op de resultaten heeft. Met dit model is het niet mogelijk uitspraken te doen over het gedeelte kust tussen Westkapelle en Domburg.

De onderliggende modelbodem, buiten het interessegebied, is gebaseerd op de KUSTZUID bodemschematisatie. Ter plaatse van de kust van Walcheren (vanaf Vlissingen noordwaarts) zijn de bodems vervangen door de recente 2004 JARKUS data en Vaklodingen. De recente 2005 vaklodingen (inclusief uitgevoerde suppletie) zijn niet geïmplementeerd. Met de huidige model resolutie zullen de relatief kleine verschillen in de 2004 en 2005 bodemdata de modelresultaten niet beïnvloeden.

3.3 Randvoorwaarden en parameterinstellingen

In het kader van Zeekennis is het ZUIDWEST model uitvoerig gekalibreerd en gevalideerd op hydrodynamica en morfodynamica (zie Kuiper et. al. [2004] voor een nadere uitwerking). De focus van de calibratie en validatie van het Oostgat model is daarom op de correcte weergave van de dominante kenmerken van de stromingen, transporten en bodemveranderingen langs de Walcherse kust.

Stromingen

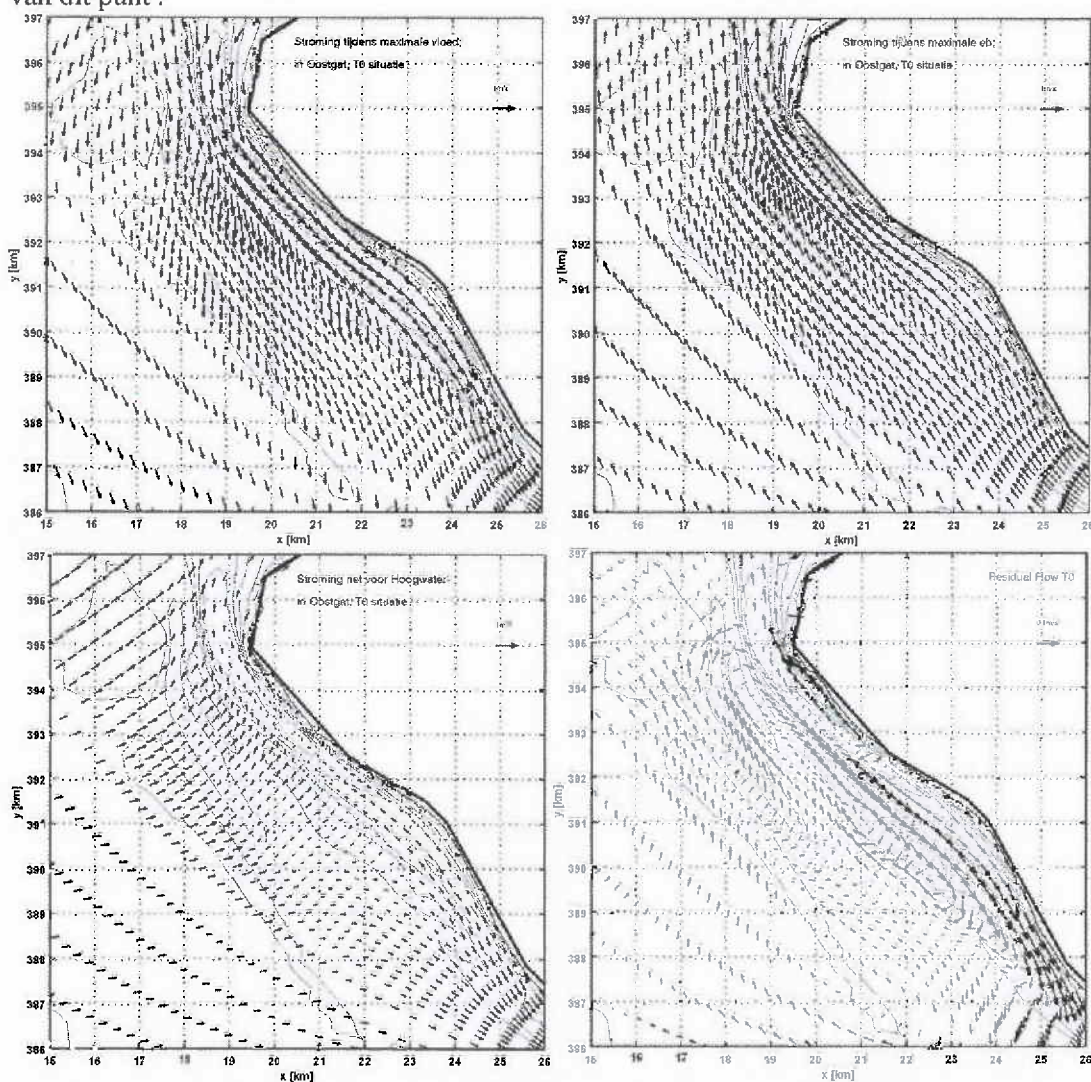
Analyse van de bestaande literatuur (samengevat in Steijn en Van der Spek, 2005) geeft een aantal karakteristieke stromingspatronen die het rekenmodel dient te beschrijven. Analyse van de stromingen laat zien dat de maximale vloedstroming in het Oostgat groter is dan de maximale ebstroming (fig. 3-2a en b). Dit is in overeenstemming met de metingen gepresenteerd in Croque (1998) en de resultaten van het SCALWEST2000 model van Rijkswaterstaat (zie Steijn en Van der Spek, 2005).

Het residuele stromingspatroon (fig. 3-2d) is verkregen door middeling van de instantane stroomvectoren over de getijperiode en geeft een eerste inzicht in de mogelijke transportpaden. Het complexe patroon illustreert dat de stroming langs de Walcherse kust toch wezenlijk anders is dan de getijstroming in de Westerschelde, maar ook dan die op zee. Interactie van de kustlangse getijstroming, de in- en uitstroom van de Westerscheldemonding, met de twee 'ophangpunten' Vlissingen en Westkapelle en de bodem topografie generen een complex patroon van residuele maar ook instantane stroombeelden (zie fig. 3-2 en 3-3). Het residuele stroombeeld wordt overheerst door een voornamelijk vloeddominante stroming in het Oostgat langs het Bankje van Zoutelande (van Westkapelle naar Vlissingen). Een gedeelte van deze stroming buigt, ongeveer ter hoogte

van Dishoek, noordwaarts om de zuidelijke punt van het Bankje heen. Aan de zeewaartse zijde van het Bankje is de residuele stroming kleiner en noordwaarts gericht (eb-dominant). Deze tegengestelde stroombanen vormen een residuele circulatiecel wat een mogelijke verklaring geeft voor de vorming (en stabiele ligging) van het Bankje van Zoutelande.

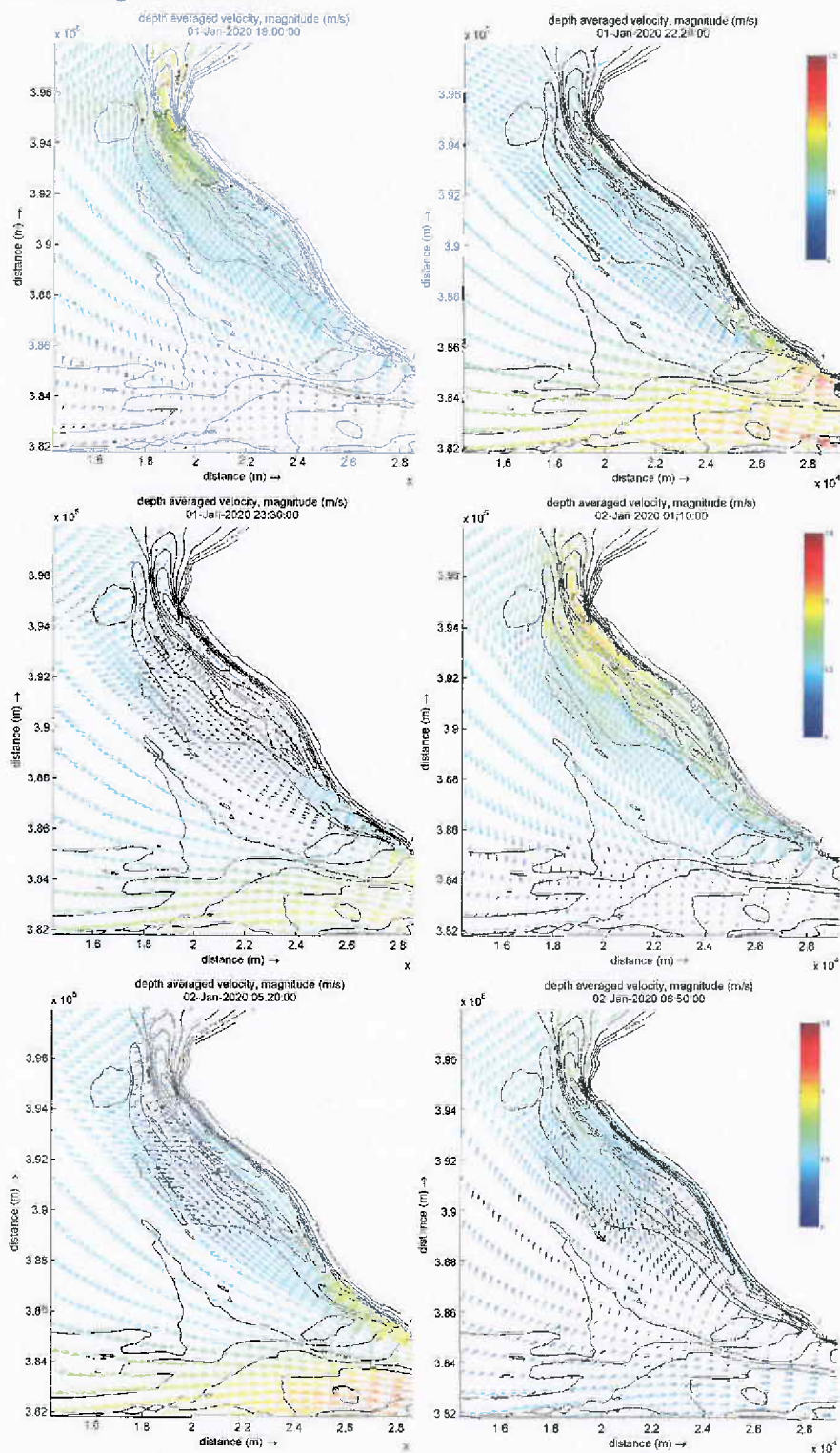
Op de Vlake van Raan zijn de residuele stromingen voornamelijk landwaarts gericht (naar het Oostgat toe). Deze stromingen dragen bij aan de relatief grote residuele stromingen in het noordelijke gedeelte van het Deurloo.

De landwaartse geulwand van het Oostgat wordt gekenmerkt door wissellende eb- en vloeddominante stroomrichtingen. Het noordelijke gedeelte, Zoutelande-Westkapelle, wordt overheerst door de ebstroming. In overeenstemming met de stroombeelden gepresenteerd in Steijn en van der Spek (2005) ontstaat er ter hoogte van dishoek een divergentiepunt in het residuele snelheidsveld met een vloedstroming noordwaarts en een ebstroming zuidwaarts van dit punt.



Figuur 3-2: Gemodelleerde getijdreven stromingspatronen langs de kust van Walcheren, (a) maximale vloedstroming, (b) maximale ebstroming, (c) stroming net voor hoogwater en (d) residuele stromingspatronen.

Stromingen in detail

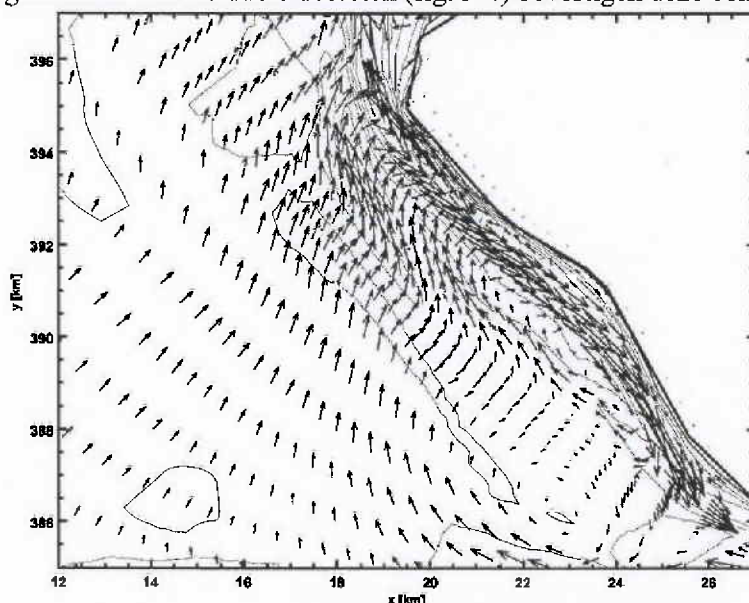


Figuur 3-3: Instantane stroombeelden langs de kust van Walcheren gedurende een getijcyclus (gebaseerd op een morfologisch getij).

Als we kijken bij kentering van het getij in de Westerschelde (debiet in de monding ter plaatse van Vlissingen is nul) zien we dat er relatief grote noordelijke stroomsnelheden op de Vlakte van Raan overheersen (fig. 3-3 19:00). Er is een faseverschil te zien tussen kentering van het getij in de Westerschelde en op zee. In het Oostgat neemt de snelheid toe in de richting van Westkapelle en versnelling van de stroming bij Westkapelle resulteert hier in instantane snelheden van de orde 1 m/s. Tijdens de ebuitstroom nemen deze snelheden nog verder toe tot meer dan 1,5 m/s. Gedurende deze periode zijn de stroomsnelheden voornamelijk kustlangs gericht, hoewel er een kleine laterale instroom is vanaf het Bankje van Zoutelande (fig. 3-3 22:20 – 23:30).

Tijdens kentering van de stroming bij Westkapelle zijn (fig. 3-3 1:10) vindt er nog steeds een uitstroom vanuit de Westerschelde plaats. De stroming in het Oostgat neemt in noordelijke richting sterk af. Ter plaatse van Westkapelle is een zuidwaarts gerichte component te onderscheiden (van de kust af, naar de Vlakte van Raan toe). Met toenemende stroming neemt ook deze component sterk toe. Ter plaatse van Westkapelle zijn de kustdwarse snelheden van een gelijke orde grootte dan de kustlangse snelheden (fig. 3-3 1:10). Met toenemende stroming neemt niet alleen de kust langsstroming in het Oostgat toe, maar ook de zuidwaarts gerichte component van de stroming neemt toe (tussen Zoutelande en Dishoek is de zuidwaartse stroming van dezelfde orde grootte als de langsstroming). Deze sterke zuidwaartse stroming staat eigenlijk gedurende de gehele ebperiode (op zee) over het Bankje van Zoutelande heen. Tijdens de vloedinstroom in de Westerschelde (fig. A4-6 5:20 – 6:50) staan op de Vlakte van Raan de snelheden naar de kust toe gericht en in het Oostgat word de stroming kustlangs afgevoerd.

Steijn en Van der Spek (2005) concluderen dat deze de landwaarts gerichte vloedstroom gedurende bepaalde momenten in het getij leidt tot opstuwing langs de kust. De geulen Oostgat en het Deurloo-systeem voeren het water kustparallel af. Bij Westkapelle domineren de ebstromingen. Naar het zuiden toe wisselen eb- en vloedstromen elkaar af. De gemodelleerde residuele debieten (fig. 3-4) bevestigen deze conclusie.



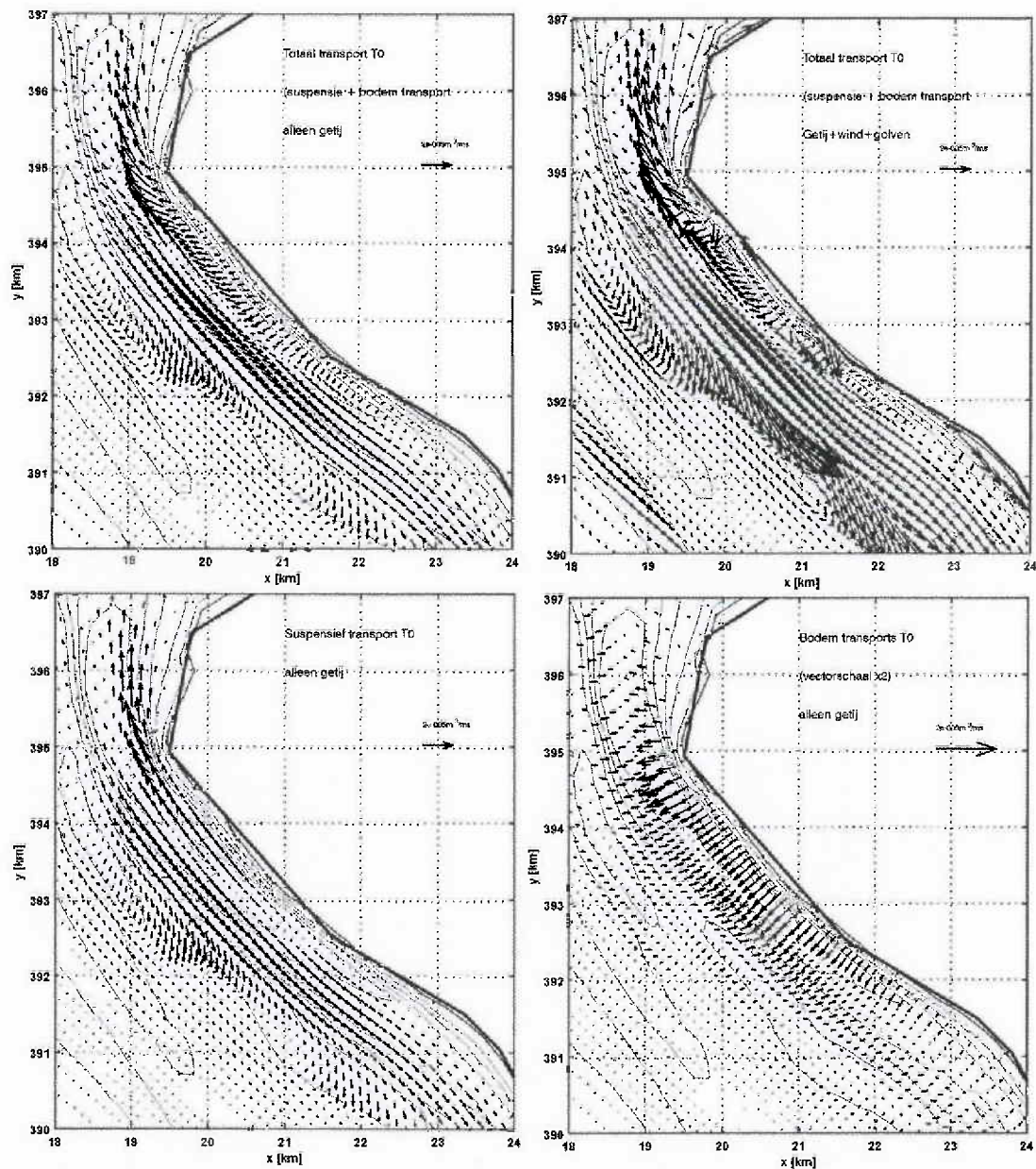
Figuur 3-4: Gemodelleerde residuele debieten langs de kust van Walcheren

Een belangrijke conclusie uit voortgaande analyse van de snelheden (debieten) is dat gemiddeld over het getij de residuele snelheden en debieten landwaarts gericht staan. Maar er staat tijdens eb ook een grote component de andere kant op gericht. Hoewel in de waterbeweging de ebcomponent getijgemiddeld kleiner is dan de vloedcomponent, hoeft dit voor de sedimenttransporten niet zo te zijn.

Sediment transporten

Als eerste benadering wordt sediment transport vaak benaderd als de snelheid tot een macht: $\langle S \rangle = u^n$ (met $n = 3$ of 5). Recent onderzoek (Elias et al., 2005) heeft aangetoond dat in complexe gebieden zoals zeegaten deze simpele benadering niet altijd de juiste transport patronen (zelfs richtingen) voorspelt. In het zeegat van Texel (het Marsdiep) wordt op basis van de simpele U^n relatie export van sediment voorspeld, terwijl er in werkelijkheid een zeer grote sediment import plaatsvindt.

Sediment transporten in deze studie worden daarom uitgerekend met de van Rijn (1993) transportformulering. Er wordt gerekend met een uniform sediment (niet-cohesief) met een korrel diameter (d_{50}) van $200 \mu\text{m}$. In het kort, de van Rijn formulering berekent het totale sediment transport als de som van de bodem en suspensie transporten. De bodemtransporten representeren de sedimentverplaatsingen in de grenslaag door stroming en golven. Suspensief transport zijn de transporten boven de grenslaag door stroming (o.a. orbitaal snelheden, advectief transport door de stroomsnelheden). Belangrijk, voor de steile geulwand is dat voordat de bodemverandering berekend wordt, er nog een correctie plaatsvindt voor bodemhellingseffecten. Voor een gedetailleerde uitleg van de Van Rijn formuleringen wordt verwezen naar het samenvattende verhaal van Van Rijn et al. (2004). Voor de zeer steile geulwandprofielen in het Oostgat is het de vraag of de bodemhellingscorrectie wel voldoende effect heeft. Om het gedrag van de geulwand in detail te modelleren zullen waarschijnlijk meer specifieke fysische processen mee genomen dienen te worden (Walstra, 2005). Voor de modellering van de grootschalige plaat-geul interacties zal dit weinig invloed hebben. Maar bij de interpretatie van de ontwikkeling van de geulwand en suppleties zal hier rekening met gehouden moeten worden.

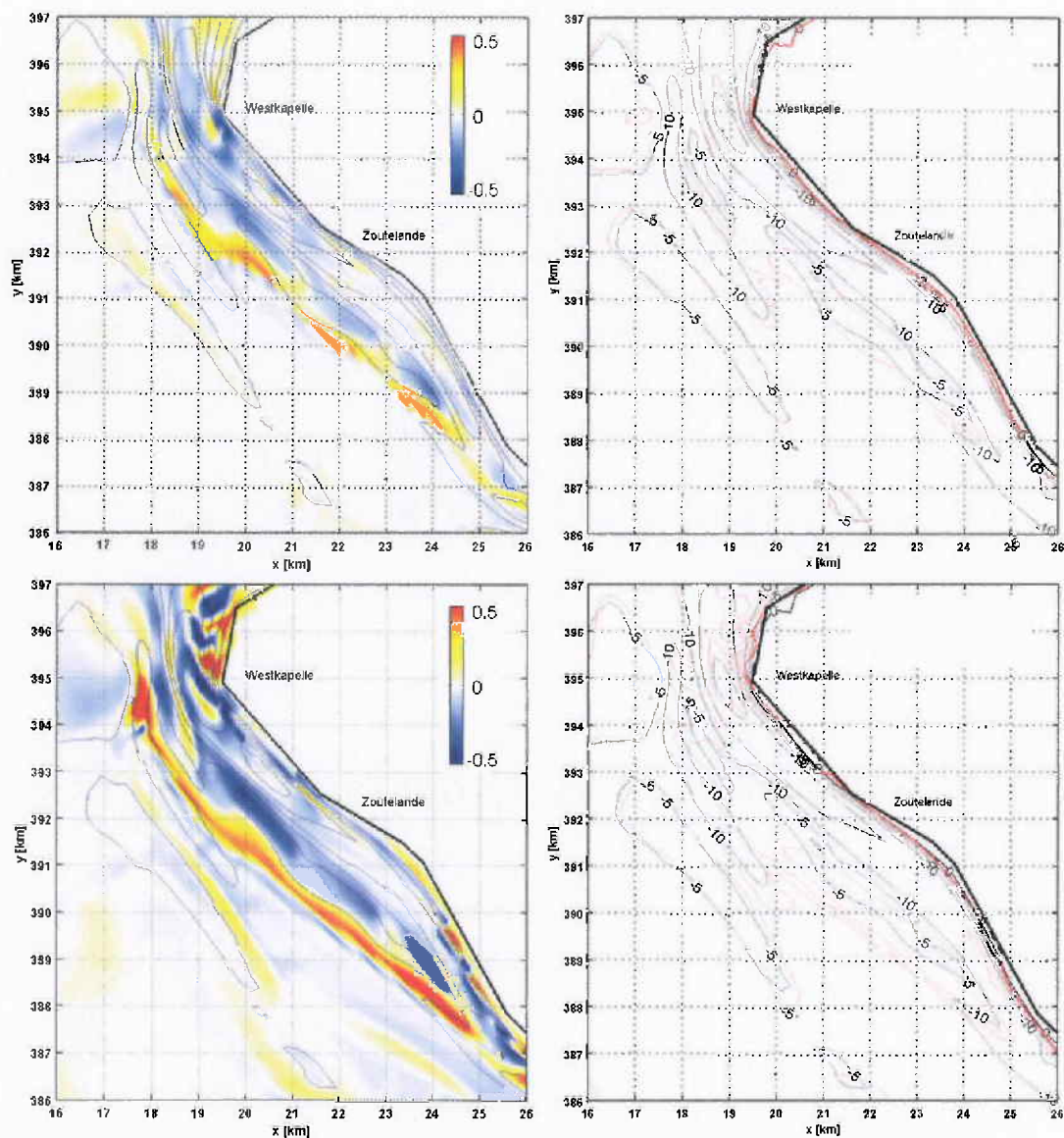


Figuur 3-5: Gemodelleerde residuele sediment transporten voor de autonome (T0) simulatie: (a) totaal getijgedreven transport, (b) getij-, wind- en golfgedreven transport, (c) getijgedreven suspensief transport en (d) getijgedreven bodem transport

Figuur 3-5 vat de gemodelleerde (residuele) transportpatronen samen. Kwalitatief lijken de geobserveerde (fig. 2-3) en gemodelleerde (fig. 3-5a,b) transportrichtingen in overeenstemming. In het noordelijke gedeelte van het Oostgat, nabij Westkapelle, zijn de transporten ebdominant; de grote transportgradiënten corresponderen met de diepe erosiekuilen die hier liggen. Op de steile geulwanden van het Oostgat veroorzaken de bodemtransporten een naar de geulas toe gerichte component door hellingseffecten (fig. 3-5d). Dit is waarschijnlijk een belangrijk mechanisme wat er voor zorgt dat er zand van de geulwand in het centrale gedeelte van de geul terecht komt waar de sterke langsstromingen het lateraal verplaatsen als suspensief transport (fig. 3-5c). Ook het divergentiepunt op de landwaartse geulwand ten zuiden van Zoutelande en de toenemende transporten in zuidwaartse richting worden gereproduceerd.

Een interessant transportpatroon is te zien op het Bankje van Zoutelande. In tegenstelling tot de landwaarts gerichte debieten treden er juist grote zuid- en zeewaarts gerichte transportgradiënten op (tussen Westkapelle en Zoutelande) wat duidt op een uitbouwen van het Bankje. Dit correspondeert met de grote stroomsnelheden tijdens vloed vanaf Westkapelle het Oostgat in en over het Bankje heen. Ondanks dat de residuele stroming over het Bankje heen landwaarts gericht is, wordt het sedimenttransport door deze zeewaartse component bepaald. Op zich is dit logisch, dominante wind en golfcondities staan eigenlijk altijd naar de Walcherse kust toe, zullen dus altijd een landwaarts verplaatsen van het Bankje initiëren. De stabiele positie van het Bankje geeft aan dat er ook een belangrijke zeewaarts (tegengesteld) gerichte component moet zijn. Uit het model volgt dat deze bijdrage door het getij geleverd wordt. Dit bevestigt de bestaande hypothesen dat het Bankje van Zoutelande tijdens kalme perioden (als er geen golfbreking optreedt) opgebouwd word door de zandtoevoer van het Oostgat (Steijn en van der Spek, 2005).

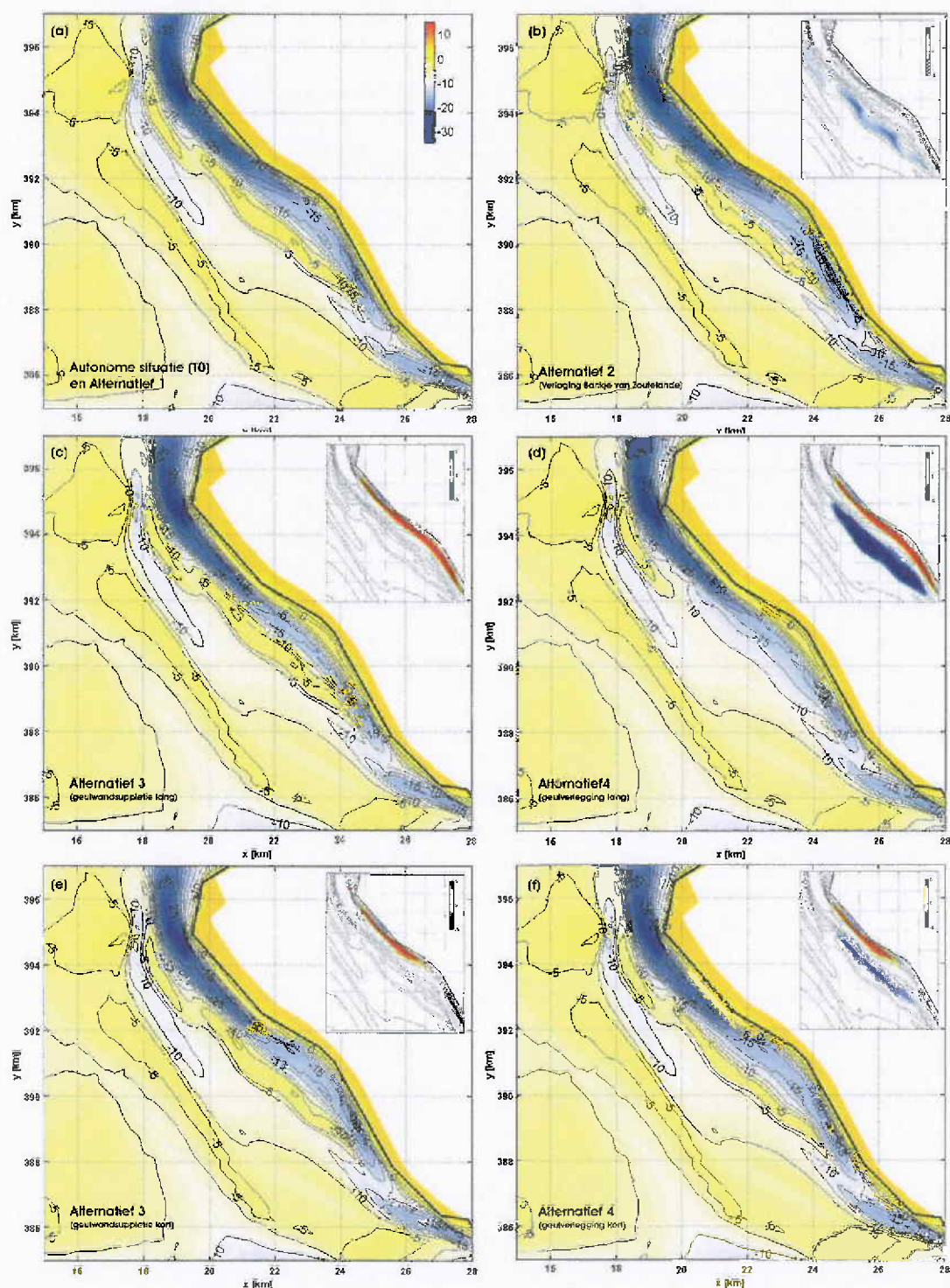
Het toevoegen van opwoeling door golven verandert de essentiële kenmerken van de transport patronen niet (vergelijk fig. 3-5a en b). De transporten worden wel significant groter. Door het gebruik van een morfologisch golfklimaat ($H_{sig} = 0.90$ m) zal ook bij het toepassen van een volledige golfberekening er geen golfbreking op het Bankje plaatsvinden. Dit mechanisme voor landwaarts transport over het Bankje tijdens ruwe condities wordt door het model dus niet gereproduceerd. De gemodelleerde morfologische veranderingen laten dan ook een overschatting van de zeewaartse uitbreiding van het Bankje van Zoutelande zien (fig. 3-6). De in langsricting geobserveerde variërende afwisseling van sedimentatie en erosie word wel gemodelleerd. Zeewaarts van het Bankje van Zoutelande, in het Deurloo, zijn de transporten kleiner en voornamelijk ebdominant. De noordwaartse richting lijkt iets te overheersen. Ook de geobserveerde bodemvormen zijn hier kleiner met een minder gedefinieerde oriëntatie wat lagere netto-transporten en transportgrootte impliceert. Relatief kleine veranderingen vinden plaats in het centrale deel van het Oostgat. In het Noorden (bij Westkapelle) zijn de gemodelleerde veranderingen groter dan in de metingen.



Figuur 3-6: Gemodelleerde sedimentatie erosie patronen en bodemverandering voor 10-jaar simulatie met getijforcering (boven) en getij-, wind- en golf forcering (onder). Rechterkolom: initiële (zwart) en bodemcontouren na tien jaar (rood).

De verschillen in sedimenttransport grootte tussen fig. 3-6a,b en fig. 3-6c,d geven de invloed van het opwoelen van sediment door golven en wind weer. Wind en golven vergroten de transporten, maar kwalitatief blijven de patronen hetzelfde aan de getijgedreven simulatie.

3.4 Beschrijving alternatieven



Figuur 3-7: Ontwerpbodems verschillende alternatieven: (a) autonome situatie (gelijk aan de bodem van alternatief 1), (b) alternatief 2 verlagen Bankje van Zoutelande, (c) alternatief 3a geulwandsuppletie Westkapelle-Dishoek, (d) alternatief 4a geulverlegging Westkapelle-Dishoek, (e) alternatief 3b geulwandsuppletie Westkapelle-Zoutelande, (f) alternatief 4b geulverlegging Westkapelle-Zoutelande, De subfiguren geven de verschillen t.o.v. de T0 situatie.

3.4.1 Uitgangspunten

Figuur 3-7 geeft een overzicht van de gemodelleerde alternatieven. Deze zijn opgesteld aan de hand van de rapporten van Steijn en Van der Spek (2005) en de aanvullende studie van Steijn (2005). Vier verschillende alternatieven zijn doorerekend;

1. Geulwandbescherming hard.
2. Aftoppen van het Bankje van Zoutelande.
3. Geulwandbescherming zacht.
4. Geulwandverlegging.

Van opties 3 en 4 zijn zowel een lange als een korte (lees: meer en minder ingrijpende) variant geconstrueerd en gemodelleerd. Het T0 alternatief beschrijft de autonome situatie, waarvan de modelresultaten in voorgaande sectie (3.3) zijn gepresenteerd.

3.4.2 Alternatief T1: Geulwandbescherming (hard)

Het tegengaan (of vertragen) van de voorgaande erosie van de landwaartse geulwand, kan worden bewerkstelligd door het aanbrengen van een beschermingslaag. Deze bescherming kan geschieden door het aanbrengen van een 'hard' erosieresistent materiaal of door het aanbrengen van een extra zandpakket of slijtlaag op de geulwand (zachte interventie). Het aanbrengen van een harde constructie (bijvoorbeeld steenconstructies) stopt de geulwand erosie definitief. Een groot nadeel is echter dat een dergelijke constructie star is. Eenmaal aangebracht zijn ze vaak moeilijk aan te passen aan de mogelijke morfologische veranderingen op de buitendelta. Een alternatief zou het aanbrengen van een grindbestorting zijn. Het effect van deze variant is echter niet in dit modelonderzoek te vervatten en derhalve hier ook niet verder uitgezocht.

Een goed voorbeeld van de werking van een geulwandbestorting is te vinden in het Marsdiep (het zeegat tussen Den Helder en Texel), waar de zuidelijke oever met behulp van een steenbestorting is ingepakt om de migratie van de keel van het zeegat te stoppen. In het marsdiep is deze constructie uit morfologisch oogpunt succesvol, want het zeegat ligt al sinds het midden van de 18e eeuw op eenzelfde locatie. Een zorgpunt is wel het ontstaan van zeer diepe geulen ter plaatse van het knippunt in de zeewering (analoog aan de ontgrondingskuilen bij Westkapelle en Vlissingen). Doordat stroming hier versneld is de geul sterk verdiept, dus veel en extra beschermingsmateriaal nodig. Naast de hoge kosten van aanleg is meestal ook het onderhoud relatief duur.

De bodemschematisatie van het T1 alternatief is identiek aan de T0 (fig. 3-7a). De aanwezigheid van een erosieresistente laag wordt gemodelleerd door de sedimentbeschikbaarheid op nul te zetten aan de landwaartse zijde van het Oostgat.

3.4.3 Alternatief T2(a en b): Aftoppen van het Bankje van Zoutelande

Het aftoppen van het Bankje van Zoutelande, verlagen van de maximale kruinhoogte van - 3m NAP naar -5m NAP (runid: T2a), is een relatief kleine ingreep (fig. 3-7a). Het achterliggende idee is dat door een verlaging van dit Bankje de stroomsnelheden over het Bankje heen afnemen, waardoor ook de zandtransporten naar het Oostgat toe verminderen. Een afname van deze laterale transporten zou een verminderde uitschuring van het Oostgat

tot gevolg kunnen hebben (Steijn en Van der Spek, 2005). Naast de verlaging tot de -5 m is deze variant is ook doorgerekend met een verdere verlaging tot de -10m (runid : T2b).

3.4.4 Alternatief T3(a en b): Geulwandbescherming (zacht)

Een zachte bescherming van de geulwand is een alternatief voor de harde constructie. Door het aanbrengen van een zandpakket op de geulwand wordt als het ware een slijtlaag gecreëerd. De erosie wordt niet tegengehouden maar er is wel een buffer aanwezig. Het is waarschijnlijk dat initieel, direct na aanbrengen, de erosie van de geul zelfs groter wordt. Afhankelijk van het aangebrachte suppletievolume wordt de stroomvoerende geuldoorsnede verkleind, waardoor geulsnelheden en dus het erosiepotentieel toenemen. Erosiesnelheid en dikte van het zandpakket bepalen het tijdsinterval van hersuppletie.

Het aanbrengen van een slijtlaag is gemodelleerd als alternatief T3. Twee varianten zijn hierbij doorgerekend. In de 'lange' variant (a) strekt de suppletie zich uit tussen Westkapelle en Dishoek. Als uitgangspunt beginnen we op de -2 m lijn (i.v.m. de aanvoer van zand door schepen), een horizontaal banket van ongeveer 200-220 m en een geulwandhelling van 1:13. De suppletie strekt zich uit vanaf Westkapelle tot aan Dishoek om een zo glad mogelijk nieuw geulprofiel te creëren. In totaal behelst het volume $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ over een lengte van 9 km. (zie fig. 3-7c). De dimensies van de suppletie zijn in het model groter gemaakt dan wat er in de praktijk aangebracht zal worden. Dit is gedaan om de effecten van de interventie goed zichtbaar te maken.

Vanwege de grootschaligheid van een suppletie van Westkapelle tot Dishoek is er tevens een kortere variant doorgerekend. Het suppletie ontwerp is identiek alleen strekt de suppletie zich hierin uit van Westkapelle tot Zoutelande (fig. 3-7e). Bij Westkapelle en Zoutelande loopt de suppletie geleidelijk over in het autonome kustprofiel om 'kop-staart' effecten te minimaliseren. In totaal behelst het suppletievolume van deze variant $12,2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

3.4.5 Alternatief T4 (a en b): Geulverlegging

Geulverlegging is een uitgebreidere variant op de geulwandsuppletie. Naast het suppleren van de geulwand wordt nu een gelijke hoeveelheid sediment van de aanliggende zijde van het Bankje van Zoutelande gebaggerd. Dit heeft een aantal voordelen. Ten eerste kan het gebaggerde zand gebruikt worden voor de suppletie (kostenefficiënt). Daarnaast blijft het geulvolume behouden waardoor snelheden en erosiepotentieel niet (of in mindere mate) toenemen. In feite wordt de totale stroming iets van de kust weggeleid. Een nadeel van deze interventie zou kunnen zijn dat de ingreep morfologisch meer ingrijpend is. In plaats van alleen het element Oostgat te veranderen, wijzigt ook het Bankje van Zoutelande. Dit geeft, potentieel, grotere effecten op de naastliggende geulen en platen van het Deurloo-systeem. Door de complexe morfologische respons van zeegat systemen is het moeilijk te voorspellen (of in de hand te houden) wat de uiteindelijke impact zal zijn.

In overeenstemming met alternatief T3 zijn voor zowel voor de lange als de korte variant de effecten doorgerekend. Om aan het benodigde zandvolume voor de lange suppletie te voldoen is het Bankje van Zoutelande tot de -10 m contour verlaagd (fig. 3-7d). De korte variant is minder ingrijpend, hierin is vooral de landwaartse zijde van het Bankje gebruikt (fig. 3-7f). Door het wegbaggeren over de volledige lengte van het Bankje te verspreiden is er voor gezorgd dat de ondoorbroken structuur van het Bankje behouden blijft.

4 Morfologische Ontwikkelingen

4.1 Introductie

Analyse van de effecten van de verschillende alternatieven op de morfologische ontwikkeling van de kust en voorliggende geulen en banken bestaat uit twee onderdelen. Ten eerste bekijken we naar de initiële impact van de verschillende interventies; wat is de directe invloed op momentane en residuele stromingen en transporten. De resultaten worden gepresenteerd in fig. 4-1 (maximale stroomsnelheden), fig. 4-2 (residuele transporten) en fig. 4-3 (residuele transporten relatief t.o.v. de autonome simulatie). Met behulp van deze kennis kunnen we de opgetreden morfologische veranderingen verkregen door lange-termijn (tien jaar) simulaties beter begrijpen. Vanwege de overeenkomstige patronen tussen het getij en de getij+wind+golf simulaties gebruiken we de getijsimulaties voor de beschrijving van de patronen (fig. 4-4 tot 4-7).

Voor ieder alternatief worden de sedimentatie-erosie patronen ten gevolge van de getijstrooming gepresenteerd (het toevoegen van opwoeling door golven vergroot de transporten wel, maar geeft geen wezenlijke veranderingen in de patronen). Daarnaast worden in een aantal representatieve dwarsdoorsneden de geulontwikkelingen in detail gepresenteerd. In de dwarsdoorsneden zijn een zestal lijnen weergegeven. De zwarte lijnen representeert de T0 voor de beginbodem (getrokken lijn) en voor de eindbodem na 10 jaar (kruisjes). De rode lijnen geven de bodem behorende bij het alternatief weer voor $t=0$ (streepjes) en $t=10$ jaar (cirkels). De twee blauwe lijnen laten het verschil zien tussen de begin- en eindbodem voor respectievelijk de T0 (getrokken) en de interventie (streepjes).

4.2 Alternatief T1; Geulwandbescherming (hard)

Het beschermen van de geulwand door middel van een niet-erodeerbare laag heeft weinig effect op de hydro- en morfodynamica. De residuele transportpatronen blijven identiek aan de T0 situatie, alleen lokaal ter plaatse van de bescherming worden de kustdwarse transporten tot nul gereduceerd (zie fig. 4-2a). Dit heeft geen significante invloed op de transporten en stromingen in de omliggende geulen en platen.

Door deze geringe effecten op de waterbeweging is er ook in de lange-termijn ontwikkeling nauwelijks een beïnvloeding van de omliggende morfologie waar te nemen. Lokaal, ter plaatse van de geulbescherming, zijn kleine verschillen in bodemligging zichtbaar t.o.v. de T0 (zie fig. 4-4b). Aan de bovenkant van het geultalud wordt erosie verhinderd (relatief t.o.v. de T0 geeft dit dus een kleine sedimentatie), terwijl aan de teen van de constructie juist iets meer erosie optreedt.

Concluderend: lokale ingreep met slechts geringe morfologische effecten; geen significante invloed op momentane en residuele stroomsnelheden, transporten en lange-termijn morfologische ontwikkeling.

4.3 Alternatief T2; Aftoppen van het Bankje van Zoutelande

Het verlagen van het Bankje van Zoutelande (van de -3 m naar de -5m) is een relatief kleine (en locale) ingreep. Gunstige effecten door verlaging van het Bankje worden niet geobserveerd. In het model is er geen sprake van een laterale zanddruk naar de kust toe, waardoor de maatregel van verlagen dan ook niet het gewenste effect heeft. Het verlagen van het Bankje heeft minimaal effect op de ebstroming in het Oostgat, de vloedstroming daarin tegen wordt iets vergroot (meer instroom over het Bankje heen) en daarmee worden ook de maximale vloodsnelheden iets groter. In het traject Westkapelle-Zoutelande worden de zuidwaartse transporten daardoor juist iets sterker (fig. 4-3b), terwijl het residuele zeewaartse transport over het Bankje heen reduceert.

In de huidige modelschematisatie zijn de effecten van de verlaging te klein om een substantieel verschil in de lange-termijn morfologische ontwikkeling te veroorzaken (fig. A4-5a). Wel kan er geredeneerd worden dat een bijkomend nadeel van verlaging van de kruin leidt tot meer golfaanval op de achterliggende kustlijn tijdens ruwe condities. Hierdoor is er potentieel een groter zandverlies van de kust naar de geul toe.

Als extra simulatie is gekeken naar de invloed van het verder verlagen van het Bankje tot de -10 m contour. Bij deze drastische ingreep zien we een duidelijke toename van de netto debieten door de geul (zowel tijdens eb als vloed), maar een gelijkblijvend residueel debiet. De sedimenttransporten in het noordelijke gedeelte (tussen Zoutelande en Westkapelle) nemen toe, maar ten zuiden van Westkapelle nemen deze juist sterk af. De grotere geuldoorsnede reduceert de snelheden en ter hoogte van Zoutelande treedt een significante sedimentatie op van het Oostgat (fig. 4-5b).

Concluderend de effecten van het aftoppen van het Bankje tot de -5m zijn beperkt. Gunstige effecten door afnemende laterale zandtoevoer worden in de gebruikte modelschematisatie niet gemodelleerd of geobserveerd. Het Bankje weghalen tot de -10m geeft grotere veranderingen, gedomineerd door een grote sedimentatie ter plaatse van Zoutelande.

4.4 Alternatief T3: Geulwandbescherming (zacht)

Het aanbrengen van een 'zachte' geulwandbescherming (suppletie) heeft een grotere initiële morfologische impact in vergelijking tot de 'harde' constructie. Twee aspecten lijken hier belangrijk te zijn: ten eerste is het volume van de zachte interventie groter dan dat van de harde interventie. De zachte variant verkleint daardoor het aanwezige geulvolume waardoor de momentane debieten in de geul iets afnemen. Ten zuiden van Zoutelande nemen ook de residuele debieten af. De maximale snelheden in de overgebleven geul worden wel iets hoger (fig. 4-1c). Grotere snelheden hebben een hogere sedimenttransportcapaciteit (fig. 4-2c), maar ook is er meer interactie met het Bankje van Zoutelande.

Een tweede aspect betreft de vergrote hydraulische weerstand van de geul door de kleinere geuldoorsnede. De stroming zal dan eerder een alternatieve (lees efficiëntere) geul opzoeken (in dit geval het Deurloo). De momentane debieten in het Deurloo nemen iets toe, maar omdat de vloed wat sterker toeneemt dan de eb neemt het residuele debiet juist iets af. In het noordelijke gedeelte van het Oostgat blijven de geulgemiddelde debieten en de momentane

stroomsnelheden nagenoeg onveranderd. Een belangrijke conclusie is dat initieel de stromingen bij Westkapelle niet nadelig beïnvloedt worden door de suppletie. In zuidwaartse richting nemen de debieten in het Oostgat wel af, dus initieel is het mogelijk om met behulp van de suppletie kleinere geuldebieten te verkrijgen.

De effecten van het aanbrengen van de geulwandsuppletie op de sedimenttransporten wordt samengevat door fig. 4-6c (voor de korte variant). De grootste verschillen treden op in het Oostgat ter hoogte van Zoutelande waar de zuidwaartse residuele transporten toenemen en ook het zeewaarts transport over het Bankje van Zoutelande heen vergroot. In het noordelijke deel van Oostgat, richting Westkapelle, nemen juist de residuele transporten iets af. Dit wordt vooral veroorzaakt door een kleine afname van de vloedtransporten en een toename van de ebtransporten. Ten zuiden van de suppletie zand het Oostgat aan (zie fig. 4-6b). Een belangrijke observatie is dat ondanks de relatief grote verkleining van de geuldoorsnede er geen extreme geulverandering optreedt. De geobserveerde verdieping van de geul door hogere stroomsnelheden is relatief beperkt, maar de geul vormt een nieuw evenwichtsprofiel door erosie van de gehele doorsnede. Wat duidelijk te zien is in fig. 4-6 ($k=85$) is dat de erosie van de geulwandsuppletie sneller verloopt dan de erosie van de geulwand in de autonome situatie. Let op, het dwarsprofiel voor raai $k=85$ geeft een wat vertekend beeld van de omvang van de suppletie. In het model ligt in deze raai de kust (lokaal) net iets verder naar achter waardoor de suppletie hier zeer groot lijkt te zijn. Gemiddeld is de verkleining van de geuldoorsnede orde 10-20% (zie raai 70).

De lange suppletie variant (Westkapelle-Dishoek) laat een soortgelijk transportbeeld zien, alleen strekt de invloed zich verder langs de kust uit. Ongeveer ter hoogte van Dishoek ontstaat een convergentie punt met zuidwaarts gerichte transporten vanuit het Oostgat en noordwaarts gerichte transporten vanuit de Sardijngeul. Hier vind ook een maximale sedimentatie van de geul plaats (zie fig. 4-6a). Ten noorden van Zoutelande lijkt het aanbrengen van de geulwandsuppletie het autonome gedrag nauwelijks te beïnvloeden. Het Oostgat verdiept enigszins en de erosie van de landwaartse zijde van het Bankje en sedimentatie van de zeewaartse zijde wordt versterkt.

In beide varianten wordt een sedimentatie van het zuidelijke deel van het Oostgat berekend, wat op langere termijn grootschaligere veranderingen in het Oostgat- en Deurloo-systeem teweeg zou kunnen brengen. Een belangrijke component van de ebstroming door Oostgat wordt geleverd door de Sardijngeul. Als het splitsingspunt sterk verzand word de aanstroming van de Sardijngeul naar het Oostgat toe hydraulisch ongunstiger en zal er relatief meer stroming naar het Deurloo toe worden geleid. Dit kan op termijn een veranderde aansturing van de stroming in deze geulen veroorzaken (minder door het Oostgat en meer door het Deurloo).

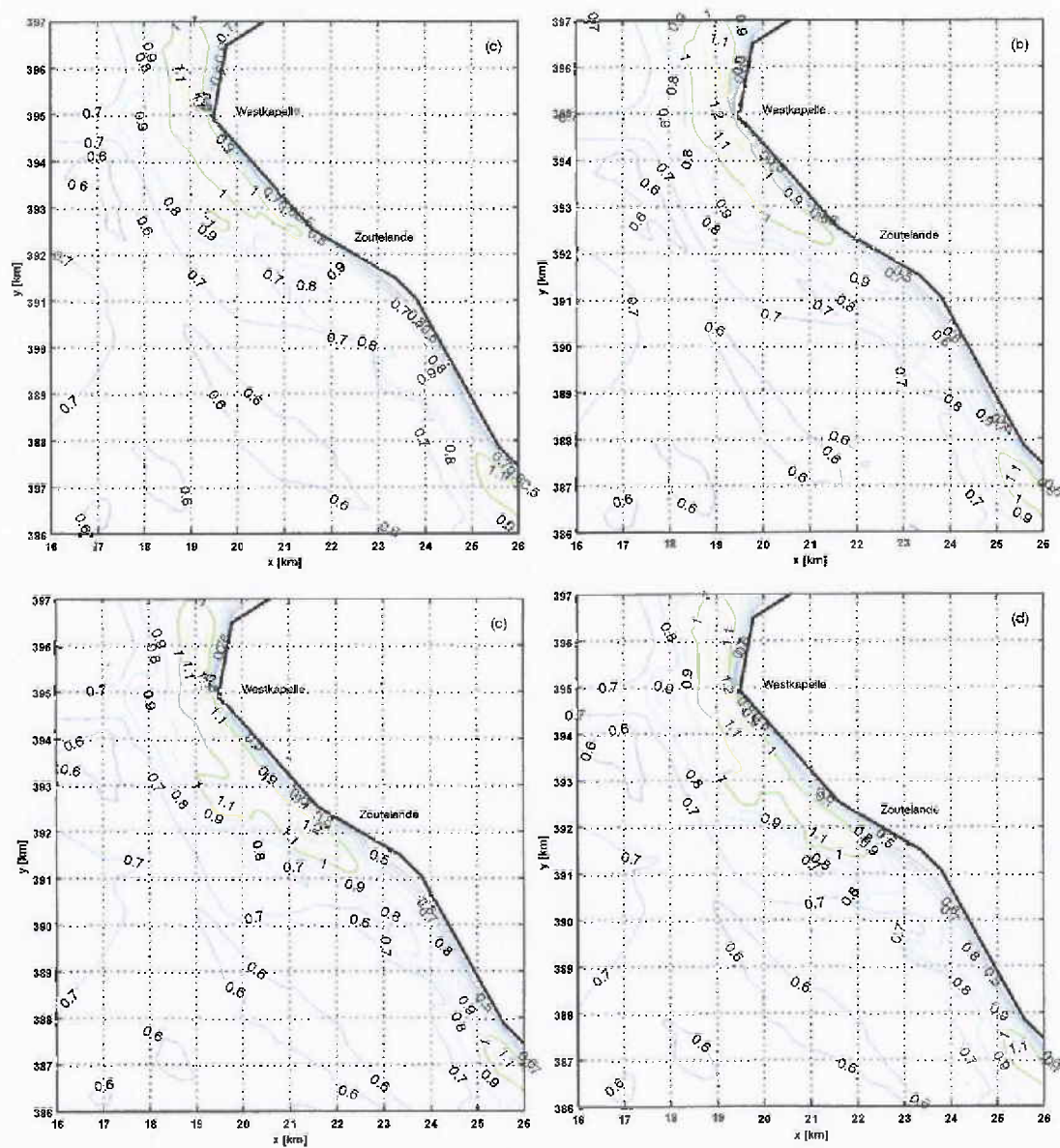
Concluderend: de morfologische effecten van de zachte geulwandsuppletie strekken zich verder uit dan die van de harde constructie. Ook het Bankje van Zoutelande en het Deurloo-systeem worden in de veranderingen betrokken. Grotere stroomsnelheden en sediment aanbod leiden tot een netto toename van de vloeddominante transporten en gradiënten ten zuiden van Zoutelande. In het noorden (Zoutelande-Westkapelle) word een gedeelte van het zand afgezet aan de zeewaartse zijde van het Bankje van Zoutelande. Ten zuiden van Zoutelande vindt juist sedimentatie plaats aan de landwaartse zijde van het Oostgat (waardoor de geuldoorsnede verkleind). Sedimentatie op het splitsingspunt Sardijngeul/Oostgat kan nadelige gevolgen hebben voor de bevaarbaarheid.

4.5 Alternatief T4: Geulverlegging

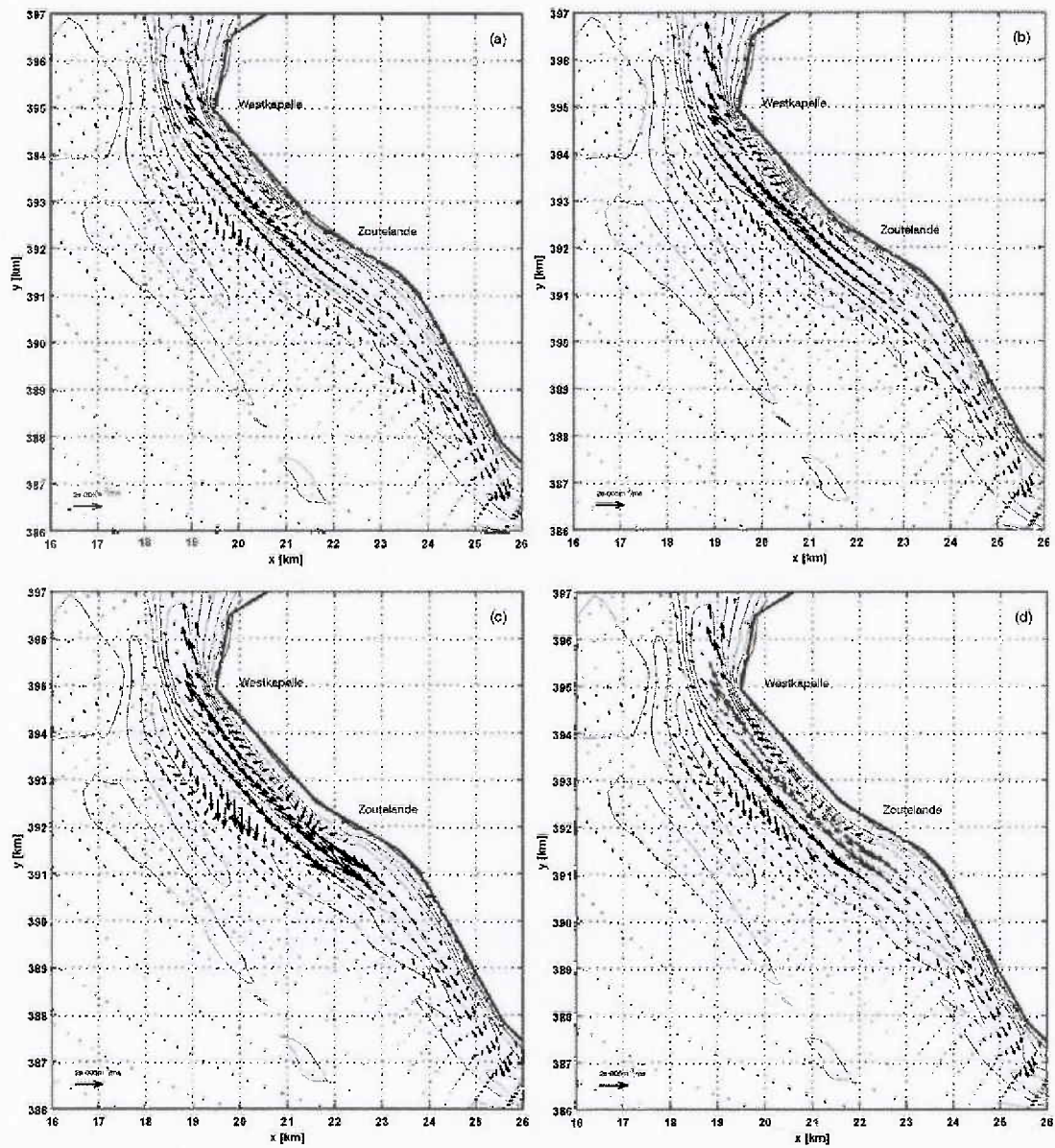
Verkleining van het doorstroomprofiel van de geul door het aanbrengen van een geulwandsuppletie kan worden voorkomen door aan de zeewaartse zijde de geulwand van het Bankje van Zoutelande te baggeren. Het vrijgekomen zand kan dan worden gebruikt voor de suppletie. In vergelijking tot alleen het aanbrengen van de suppletie nemen de initiële verstoringen van de transporten af (vergelijk 4-3c en d). Door het baggeren is de verstoring van het geulprofiel kleiner, de doorsnede neemt minder af, waardoor ook de aanpassingseffecten geringer zijn. Toch zijn in de korte variant de opgetreden sedimentatie-erosie patronen met of zonder baggeren vrijwel identiek (vergelijk 4-7 en 4-6). Het noorden wordt gekenmerkt door erosie van het Oostgat en uitbreiden van het Bankje. In het zuiden overheerst de sedimentatie in het Oostgat. Kijken we in meer detail naar de dwarsprofielen zien we dat wel de groottes verschillen. Vooral de erosie van de geul ($k = 85$) is geringer dan in de situatie zonder baggeren. De geringere verstoring van de snelheden wordt doorvertaald in de zandverliezen van de suppletie af. Zonder baggeren is er een verlies van $1,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en met baggeren reduceert dit tot $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in 10 jaar.

In de lange variant zijn de verschillen in morfologische ontwikkeling bij geulverlegging groter dan in het geval van alleen een suppletie, doordat in de lange variant het Bankje tot de bijna geheel tot de -10 m is weggebaggerd. In het gedeelte Zoutelande-Westkapelle vinden we nog steeds het iets verdiepende Oostgat en een zeewaarts uitbreiden van het Bankje, maar de veranderingen zijn kleiner. Ten zuiden van Zoutelande vinden we vooral een sedimentatie van het Oostgat en een opnieuw opbouwen van het Bankje (de geulwandsuppletie versterkt hierin de geobserveerde sedimentatie door het verlagen van het Bankje [zie alternatief T2]).

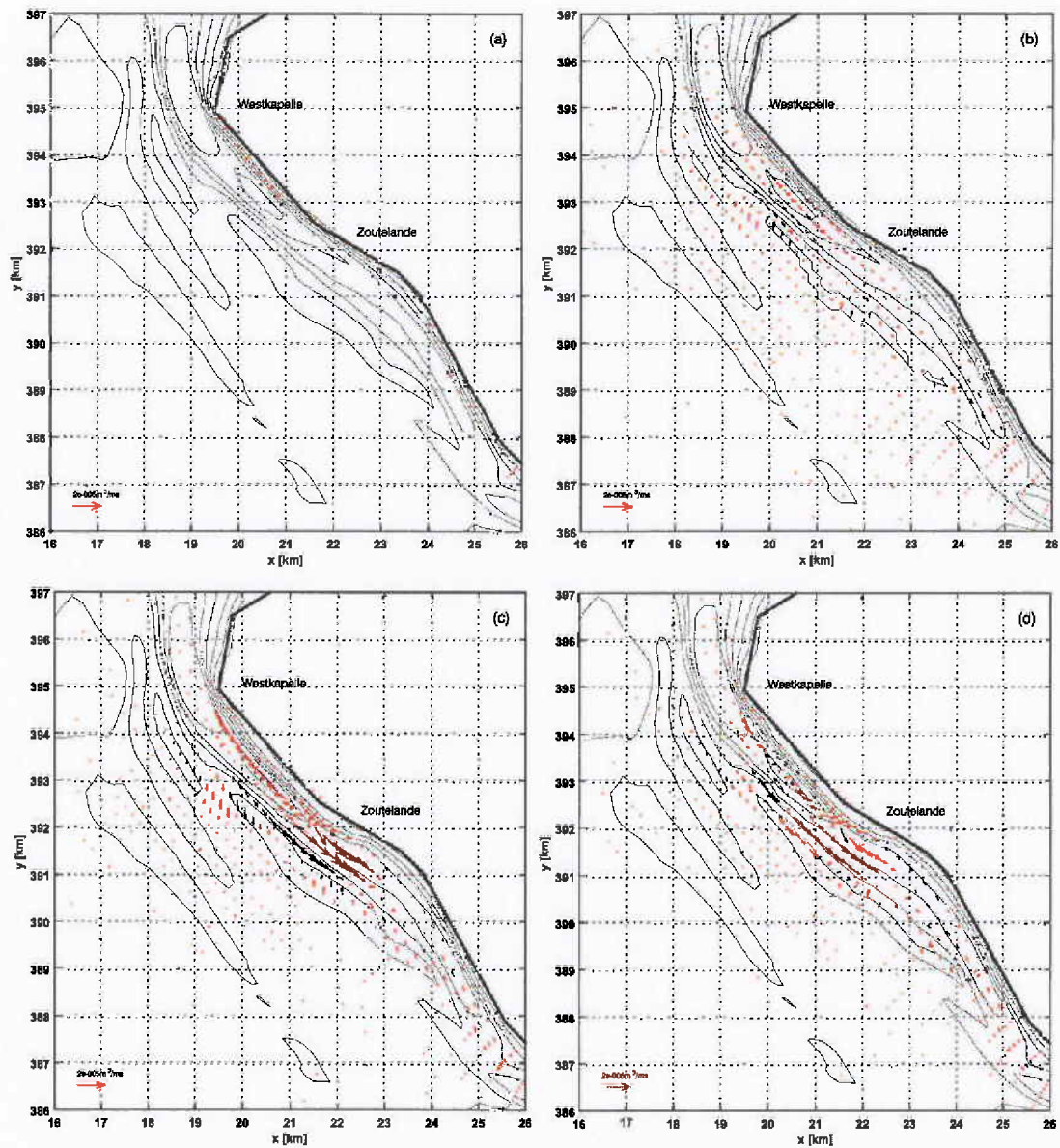
Concluderend: de morfologische effecten van de korte geulwandsuppletie en baggeren van het Bankje van Zoutelande zijn in essentie gelijk aan het alleen aanbrengen van de suppletie. Door de kleinere beïnvloeding van de stromingen zijn de opgetreden veranderingen iets geringer, maar patronen blijven behouden. In de lange variant worden de veranderingen in het zuidelijke gedeelte gedomineerd door aanzanding van het Oostgat en het weer opbouwen van het Bankje. De geulwandsuppletie versterkt deze ontwikkelingen. Het gedrag van de geulwand vertoont in de verschillende alternatieven geen substantiële verschillen.



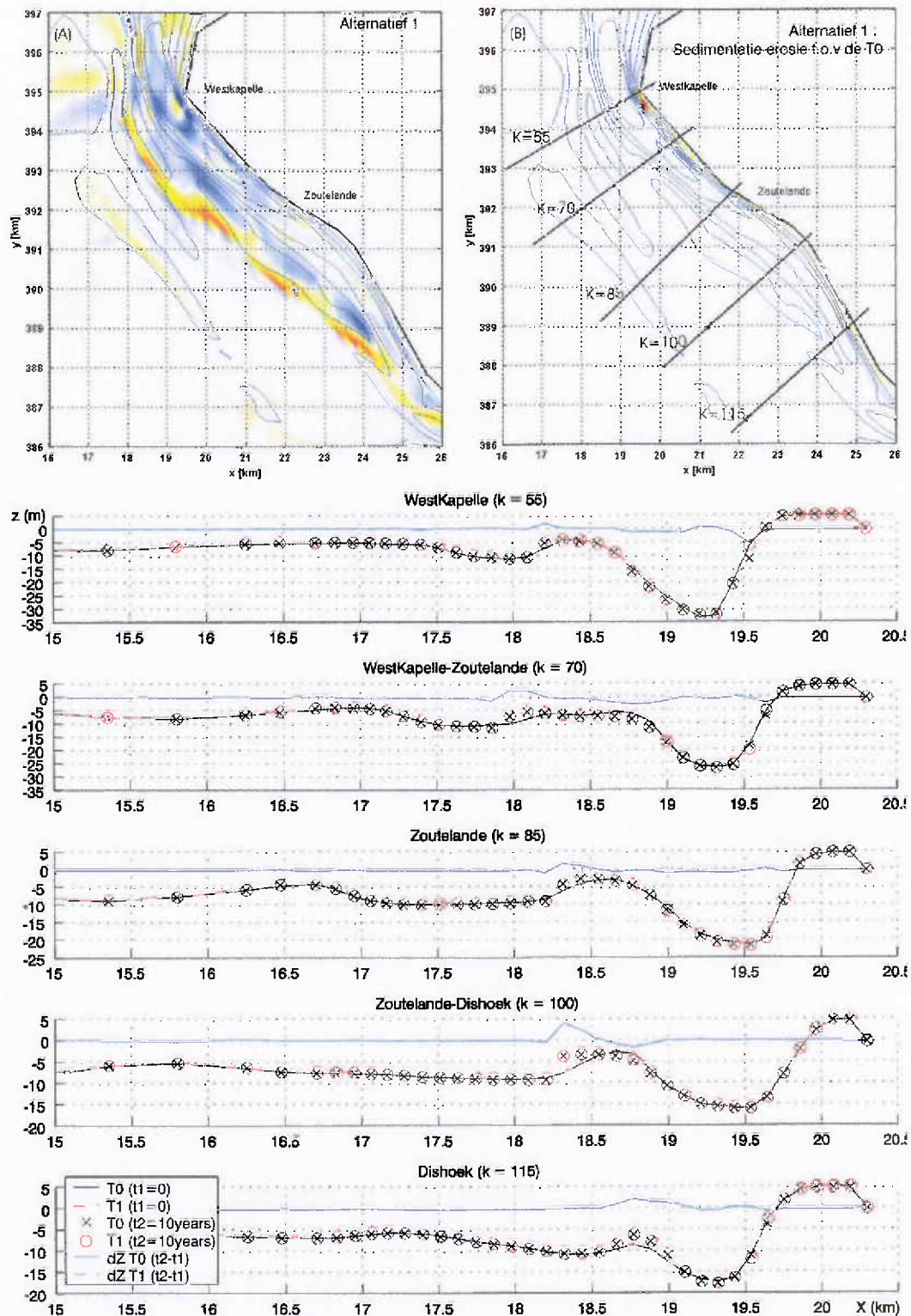
Figuur 4-1: Modelresultaten maximale stroomsnelheden voor (a) T1, (b) T2, (c) T3 kort en (d) T4 kort



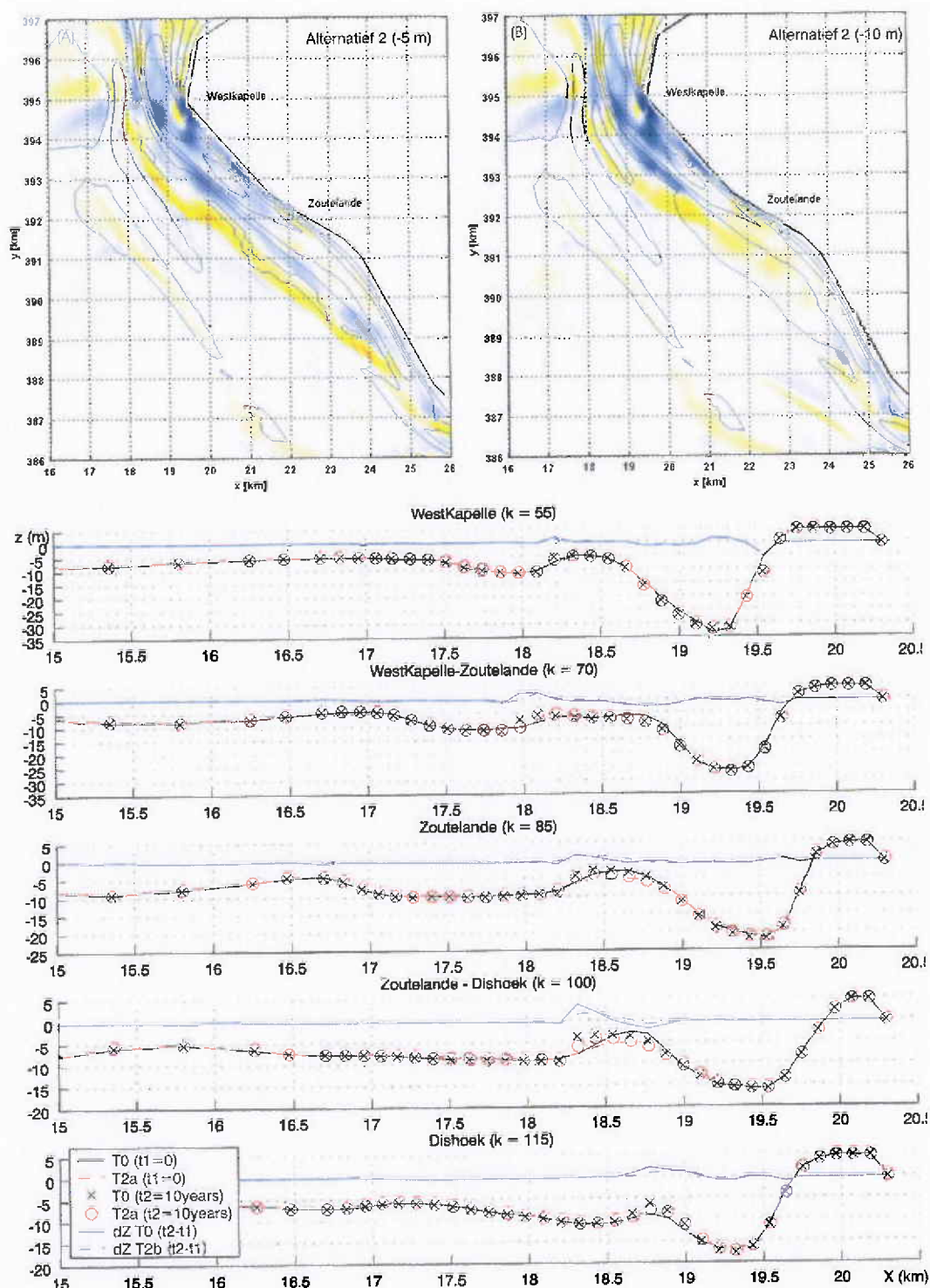
Figuur 4-2: Modelresultaten residuele (total-load) transporten voor (a) T1, (b) T2, (c) T3 kort en (d) T4 kort



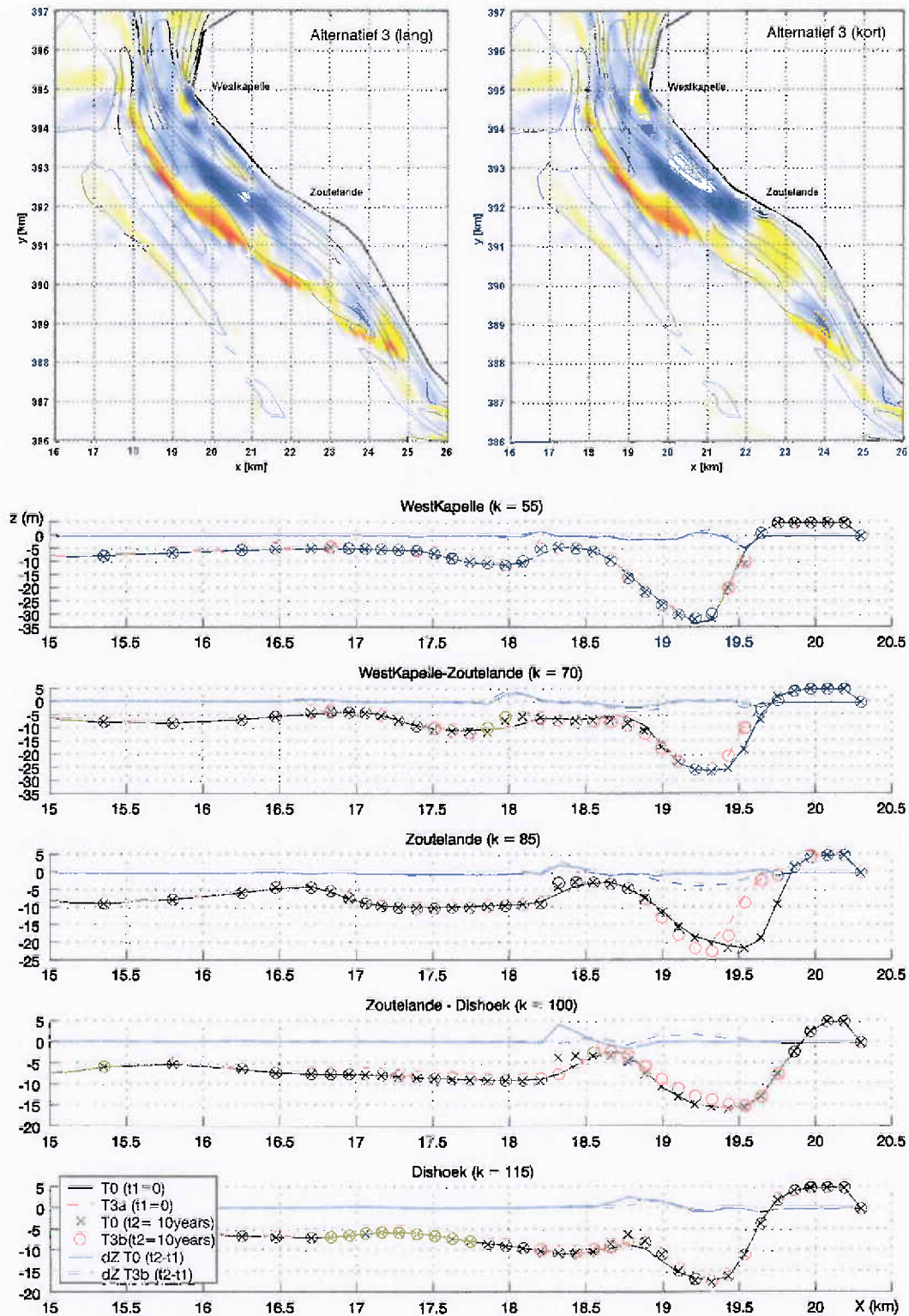
Figuur 4-3: Modelresultaten residuele transporten relatief tot de T0 voor (a) T1, (b) T2, (c) T3 kort en (d) T4 kort



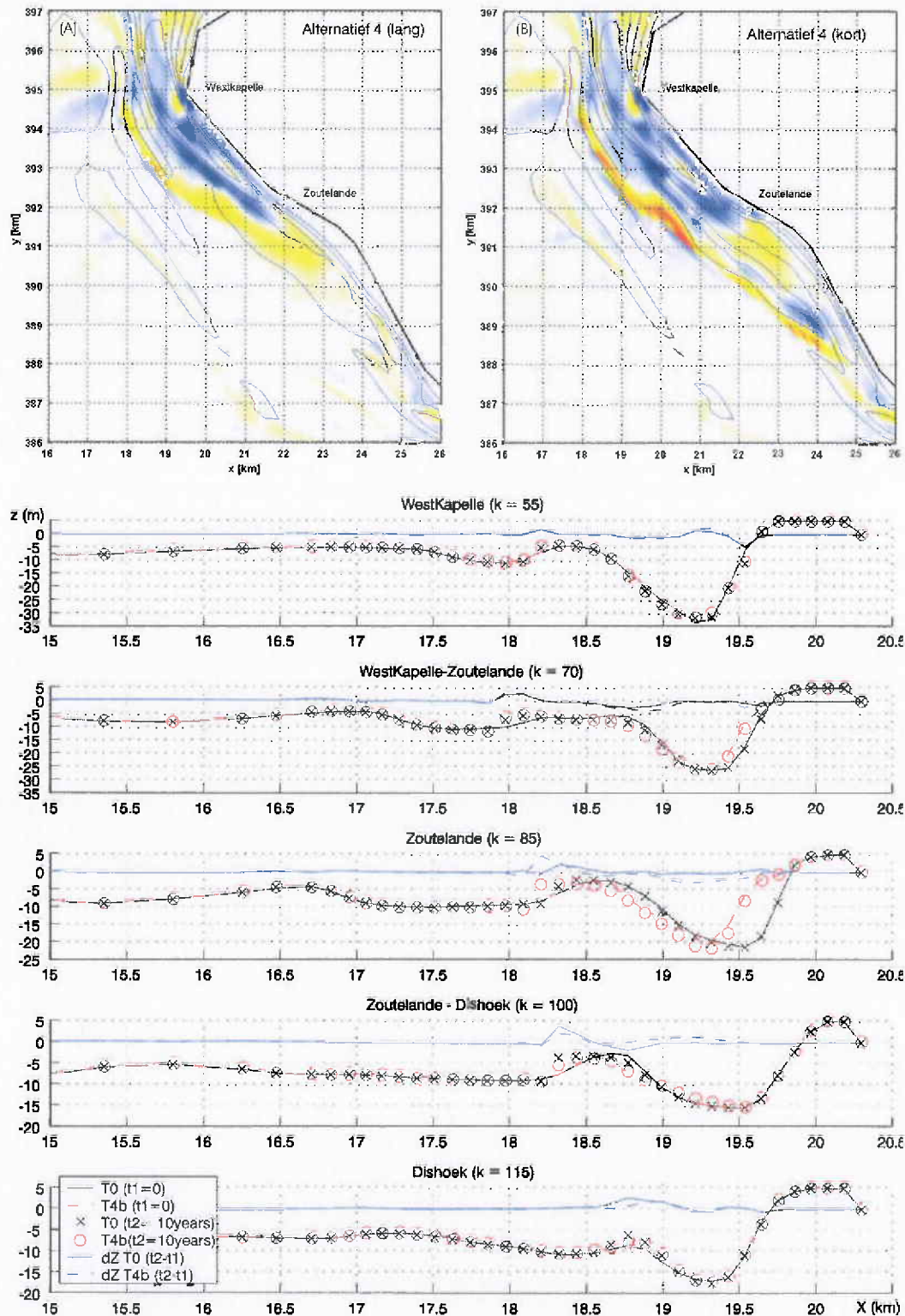
Figuur 4-4: Bodemverandering T1 alternatief, (a) sedimentatie-erosie na 10 jaar, (b) relatieve sedimentatie-erosie t.o.v. de T0 na 10 jaar en locatie van de raaien, (c) ontwikkeling representatieve dwarsdoorsneden Westkapelle-Dishoek



Figuur 4-5: Bodemverandering T2 alternatief, (a) sedimentatie-erosie na 10 jaar voor aftoppen Bankje van Zoutelande tot (a) de -5 m en (b) de -10 m, (c) ontwikkeling representatieve dwarsdoorsneden Westkapelle-Dishoek (voor aftoppen tot de -5 m)



Figuur 4-6: Bodemverandering T3 alternatief, (a) sedimentatie-erosie na 10 jaar voor de lange suppletie en voor (b) de korte suppletie, (c) ontwikkeling representatieve dwarsdoorsneden Westkapelle-Dishoek voor de korte variant.



Figuur 4-7: Bodemverandering T4 alternatief, (a) sedimentatie-erosie na 10 jaar voor de lange suppletie en baggeren van Bankje van Zoutelande en voor (b) de korte suppletie, (c) ontwikkeling representatieve dwarsdoorsneden Westkapelle-Dishoek voor de korte variant

5 Vertaling modelresultaten / Effectiviteit Alternatieven

De focus van de vertaling van de modelresultaten naar effectiviteit van de alternatieven ligt op de beïnvloeding van de dynamiek van de geulen/platen door de verschillende interventies en een terugkoppeling naar de morfologische verkenning zoals gepresenteerd in Steijn en Van der Spek (2005).

Met betrekking tot het eerste punt, kan geconcludeerd worden dat de morfologische effecten van de verschillende alternatieven beperkt blijven tot het Oostgat en Bankje van Zoutelande. Het geulen en platenstelsel van het Oostgat- en Deurloosysteem wordt bepaald door de grootschalige interactie van waterbeweging (vooral getij) en Voordelta morfologie. De voorgestelde alternatieven zijn relatief klein zijn t.o.v. van de 'Voordelta-schaal', waardoor er (op een schaal van jaren tot decaden) geen significante invloed te verwachten is op de grootschalige dynamiek van geulen en platen.

Verlaging van het Bankje tot de -5m NAP en het aanbrengen van een harde geulwandconstructie hebben eigenlijk alleen een lokaal effect. Het verlagen van het Bankje tot de -10m NAP beïnvloedt de sedimentatie-erosie patronen wel over een groter gebied; vooral ter plaatse van Dishoek vindt er in deze variant aanzanding plaats, niet alleen op het Bankje maar ook in de geul. Het terug opbouwen van het weggebaggerde Bankje is een indicatie dat het getij een belangrijke rol speelt in het bestaan van deze zandbank. De geschetste afname van de laterale zanddruk (zoals gesteld door Steijn en Van der Spek 2005) wordt niet gemodelleerd. Enerzijds kan dit te maken hebben met de modelschematisatie. Door de aanname van een morfologisch getij, -wind en -golfklimaat vindt er geen golfbreking plaats op de Vlakte van Raan, waardoor de kustwaartse laterale zandtoevoer beperkt is. Het is een vraagpunt of de geschetste laterale zandtoevoer een belangrijk mechanisme is (en hoe dit nu precies werkt). Door getij vindt er wel een landwaarts gerichte stroming (en debiet) plaats, maar een zeewaarts gericht zandtransport over het Bankje. Het verlagen van het Bankje reduceert juist het zeewaarts transport, maar vergroot de laterale instroom van water de geul in. Hierdoor nemen geuldebieten juist iets toe waardoor de langstransporten in het Oostgat iets toenemen i.p.v. afnemen. Het verdient de aanbeveling om het belang en onderliggende mechanisme van laterale zandtoevoer in de autonome situatie nader te onderzoeken.

Mogelijke negatieve effecten voor de kustlijnontwikkeling door het opbreken van het Bankje worden niet in de modeluitkomsten geobserveerd; de kustontwikkeling wordt niet wezenlijk verstoord door veranderingen op het Bankje. Na baggeren probeert getij het Bankje juist weer op te bouwen. Hierbij moet wel opgemerkt worden in de modelschematisatie de mogelijke extra kustafslag door zwaardere golfaanval niet is meegenomen.

In principe zijn vooral de geulwandbeschermingen direct effectief, waarbij de harde bescherming de minste morfologische veranderingen van het autonome gedrag van de omliggende gebieden veroorzaakt. De zachte geulwandbescherming heeft uit praktisch (en

waarschijnlijk kostentechnisch) oogpunt voordelen. De geulwandsuppletie (eventueel gecombineerd met het baggeren van het Bankje van Zoutelande) heeft wel grotere morfologische effecten dan bijvoorbeeld de harde bescherming. In de modelsimulaties op een tijdschaal van 10 jaar zijn de effecten beperkt tot het Oostgat en het naastgelegen Bankje van Zoutelande, terwijl het autonome gedrag van het Deurloo nagenoeg niet beïnvloed wordt. Toch zijn er indicaties dat op veel langere termijn er wel wat additionele effecten zouden kunnen plaatsvinden. Ten zuiden van het suppletiegebied vindt namelijk sedimentatie plaats in het Oostgat. De locatie van aanzanding is afhankelijk van de lengte van de suppletie. Bij het aanbrengen van de suppletie tot aan Dishoek vindt additionele sedimentatie plaats op het splitsingspunt van Sardijngeul, Deurloo en Oostgat. Aanzanding van dit splitsingspunt is nadelig voor de scheepvaart. Deze aanzanding kan er uiteindelijk ook toe leiden dat de aanstroming vanuit de Sardijngeul naar het Oostgat toe vermindert en naar het Deurloo toeneemt.

Beperkt baggeren van het Bankje van Zoutelande leidt niet tot grote veranderingen in de geobserveerde sedimentatie-erosie patronen. Naast het nadeel van het direct beïnvloeden van twee morfologische elementen (zowel geul als plaat) heeft deze variant wel een aantal voordelen. Uit economisch belang is het voordelig om het gebaggerde materiaal direct te gebruiken voor de suppletie. Uit morfologisch oogpunt is het van belang dat het aangebrachte suppletiezand gebiedseigen is (dezelfde karakteristieken dus eenzelfde soort gedrag). Daarnaast is ook de kleinere verstoring van de geuldoorsnede (doorstroomoppervlakte) van belang. Door een juiste keuze van de baggerstrategie zou de geuloppervlakte zelfs behouden kunnen blijven. Doordat de geuldoorsnede minder beïnvloedt wordt zijn ook de effecten op de waterbeweging kleiner. Hierdoor wordt o.a. verdieping van de geul beperkt. Dit kan een belangrijk punt zijn. Door geulverdieping kunnen eventuele bestaande resistente lagen opgeruimd worden en de dynamiek van diepe geulen is anders dan van ondiepere geulen. Een derde punt is dat de geringere toename van de stroomsnelheden ook in minder suppletieverliezen resulteert (zie Tabel 4-1).

Tabel 4-1: Volumeverandering suppletie (korte variant)

	Volume t= 0 (*10 ⁶ m ³)	Volume t= 10 jaar (*10 ⁶ m ³)	dV (*10 ⁶ m ³)
Alleen getij:			
Suppletievolume	12,2	10,54	- 1,7 (-14 %)
Suppletievolume +baggeren Bankje	12,2 ± 12	10,75	-1,5 (-12%)
Getij + wind+golven:			
Suppletievolume	12,2	9,3	- 2,9 (-24 %)
Suppletievolume +baggeren Bankje	12,2 ± 12	10,1	- 2,1 (-17%)

De volumeveranderingen gepresenteerd in Tabel 4-1 geven een indicatie van de effectiviteit van de geulwandsuppletie. Als we kijken naar de gemodelleerde suppletievolume-

verandering zien we dat na 10 jaar ongeveer 15% (door getij) tot 25% (door getij+wind+golven) van het suppletievolume verdwenen is. Bij gelijktijdig baggeren van het Bankje reduceren de verliezen enigszins. Door een juiste keuze van de baggerstrategie zouden de verliezen waarschijnlijk nog verder beperkt kunnen worden. Het geringe verschil tussen wel of niet meenemen van golven wordt gedeeltelijk veroorzaakt door de keuze van modelschematisatie. De invloed van het opwoelen van sediment door golven is beperkt op de suppletie. In werkelijkheid zal golfbreking op de suppletie juist bijdragen tot grotere zandverliezen door bijvoorbeeld brandingtransport en muistromen tijdens ruwe condities, waardoor zand van de geulwand naar de geul wordt getransporteerd. Tijdens deze ruwe condities worden de verliezen nog extra versterkt door vergroting van de langsstroming en transporten ten gevolge van wind. Een belangrijke conclusie is dat in de uitgevoerde model simulaties de geulwandsuppletie niet leidt tot een sterke verdieping van de geul of een versterkte landwaartse verplaatsing van de geulwand. Het verlies van het suppletiezand ligt in dezelfde orde grootte liggen als de autonome situatie (in de geulgedeelten waar zand aanwezig is).

Een interessant detail in de modelsommen is dat niet al het suppletiezand lateraal weggevoerd wordt, maar door golven wordt ook een gedeelte van het suppletievolume landwaarts richting strand verplaatst. Tijdens kalme omstandigheden (geen golfbreking) zou de suppletie het strand kunnen voeden met zand.

De gemodelleerde suppletie verliezen zijn zeer klein, zeker als je deze afzet ten opzichte van de levensduur van vooroever- en strandsuppleties, die ligt in de orde van jaren in plaats van decaden. Het is onze inschatting dat de gemodelleerde verliezen onrealistisch klein zijn, maar tot op heden zijn er echter geen toetsingsmogelijkheden beschikbaar om dit te onderbouwen. Een eerste (grootschalige) geulwandsuppletie is recentelijk aangebracht in het traject Zoutelande-Westkapelle, maar meetgegevens met betrekking tot de ontwikkeling zijn nog niet bekend. Het ontbreken van validatie- en calibratiemogelijkheden is één van de redenen waarom we waarschijnlijk de kleine schaal processen die het detailgedrag van de suppletie bepalen in de huidige modelschematisatie niet goed weergegeven. Het vereist een zeer gedetailleerde modellering om deze effecten goed te kwantificeren, waarbij waarschijnlijk ook de transportformuleringen zoals nu gebruikt verbetering behoeven. De haalbaarheid van een dergelijke detailmodellering en een onderzoek naar de relevante processen wordt in het kader van SLA kustlijnzorg nu onderzocht (Walstra, 2005).

Het is aan te raden om voor het afschatten van o.a. de levensduur van de verschillende alternatieven zowel de haalbaarheidsstudie (en eventuele vervolgstudies) evenals de geobserveerde ontwikkeling van de proefsuppletie in de afweging te betrekken.

6 Conclusies

Middels een procesgeoriënteerd, morfologisch, rekenmodel en expert-judgement is bepaald wat de effecten zijn van verschillende zeewaartse kustversterkingalternatieven ten behoeve van de kust van Walcheren. Morfologische lange-termijn simulaties (10 jaar) zijn uitgevoerd om de interactie tussen kustverdediging en het voorliggende geulensysteem te bepalen. Vier alternatieven zijn gemodelleerd: (1) harde geulwandversterking, (2) een verlaging van het Bankje van Zoutelande, (3) zachte geulwandversterking ofwel geulwandsuppletie en (4) een zeewaartse geul(wand)verschuiving met een zandsuppletie

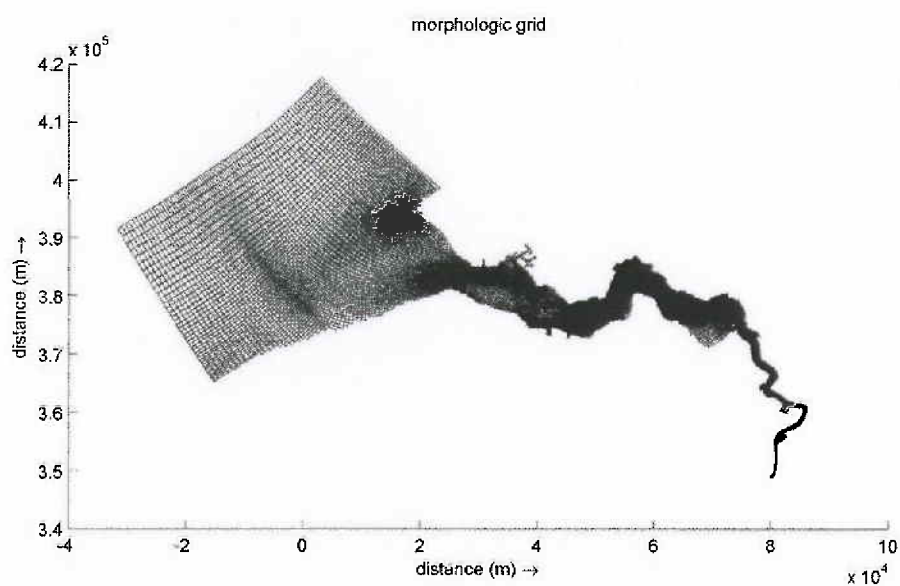
De morfologische effecten van de verschillende alternatieven blijven (op een tijdschaal van 10 jaar) beperkt tot het Oostgat en Bankje van Zoutelande. Het geulen- en platenstelsel van het Oostgat- en Deurloosysteem wordt bepaald door de grootschalige interactie van waterbeweging (vooral getij) en Voordelta morfologie. De voorgestelde alternatieven zijn relatief klein zijn ten opzichte van de 'Voordelta-schaal', waardoor er (op een schaal van jaren tot decaden) geen significante invloed te verwachten is op de grootschalige dynamiek van de voorliggende geulen en platen. Door gelijktijdig met het aanbrengen van de suppletie het voorliggende Bankje van Zoutelande te baggeren kunnen de verstoringen en zandverliezen van de suppletie nog verder worden beperkt.

De gemodelleerde suppletieverliezen zijn klein, zeker als deze afzet wordt ten opzichte van de levensduur van vooroevers- en strandsuppleties die ligt in de orde van jaren in plaats van decaden. Het is aan te raden om voor het afschatten van de levensduur van de verschillende alternatieven zowel de haalbaarheidsstudie (en eventuele vervolgstudies) evenals de geobserveerde ontwikkeling van de proefsuppletie in de afweging te betrekken.

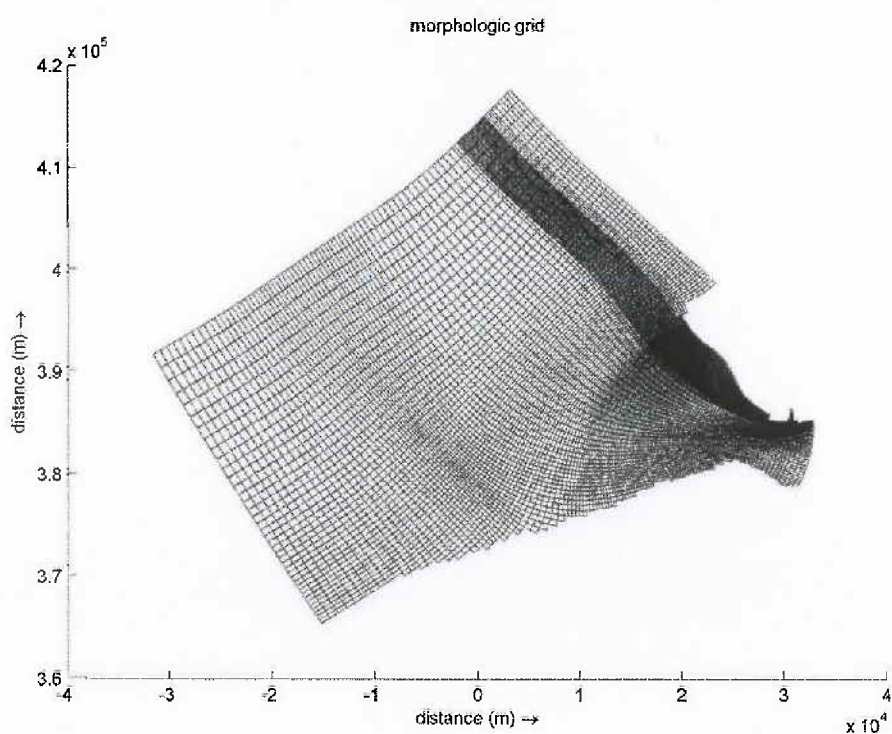
Literatuur

- Croqué, J., 1998. Onderzoek naar de oorzaak van de erosie aan de zuidwestkust van Walcheren, deel 1 & 2. Werkdocument RIKZ/OS-98.876x, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Erkens, G., 2003. Analyse multibeam data Oostgat, geomorfologische analyse op basis van multibeam data uit 2002. Werkdocument RIKZ/OS/2003.168x. Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Roelvink, J. A. 2005. Impact of back-barrier changes on ebb-tidal delta evolution *Journal of Coastal Research*, 42(SI), 460-476.
- Hordijk, D., 2002. Geulwandsuppletie Oostgat Westerschelde. Afstudeerrapport Technische Universiteit Delft.
- Kuiper, C., Steijn, R., Roelvink, D., van der Kaaij, T., Olijslagers, P., 2004. Morphological modelling of the Western Scheldt. Validation of Delft3D. WL | Delft Hydraulics report Z3748.00 / Alkyon report Z3648/A1198.
- Slikke, M.J. van der, 1997. Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993), een inventarisatie van dieptegegevens (1800-1996). Rapport R97-18, IMAU, Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999a. Twee kortsluitgeulen; een vergelijking tussen Oostgat en Krabbengat. R99-11 IMAU, Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999. Invloed van stormen op de zuidwest kust van Walcheren; uitwerking van de meetcampagne 1997/1998, IMAU, Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999b. Invloed van stormen op de zuidwest kust van Walcheren; uitwerking van de meetcampagne 1997/1998, IMAU, Utrecht.
- Sha, L. P., 1990. Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands, the Netherlands, *Geologia Ultraiectina*, 64, University Utrecht, Utrecht.
- Steijn, R.C., 2005. Technische verkenning kustversterking Walcheren – aanvullende rapportage. Alkyon A1495
- Steijn, R.C., Van der Spek, A.J.F., 2005. Mogelijkheden voor geulwandversterking of verlegging Oostgat/Sardijngeul. Verslag van bureaustudie. Alkyon A1431.
- Spek, A van der, 1997. De geologische opbouw van de ondergrond van het mondinggebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. NITG 97-284-B NITG.
- Van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R. and Van Ormondt, M., 2004. Description of TRANSPOR2004 and implementation in Delft3D. WL | Delft Hydraulics report Z3748.00.
- Van Rijn, L. C. (1993). "Transport of fine sands by currents and waves," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 119(2), 123-143.
- Van Veen, J., 1950. Eb en vloodschaar systemen in de Nederlandse getijwateren (in Dutch), *Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap*, 67, pp. 303-325.
- Walstra, D.J.R., 2005. Haalbaarheidsstudie Geulwandsuppletie Oostgat. WL | Delft Hydraulics report Z4056.00.

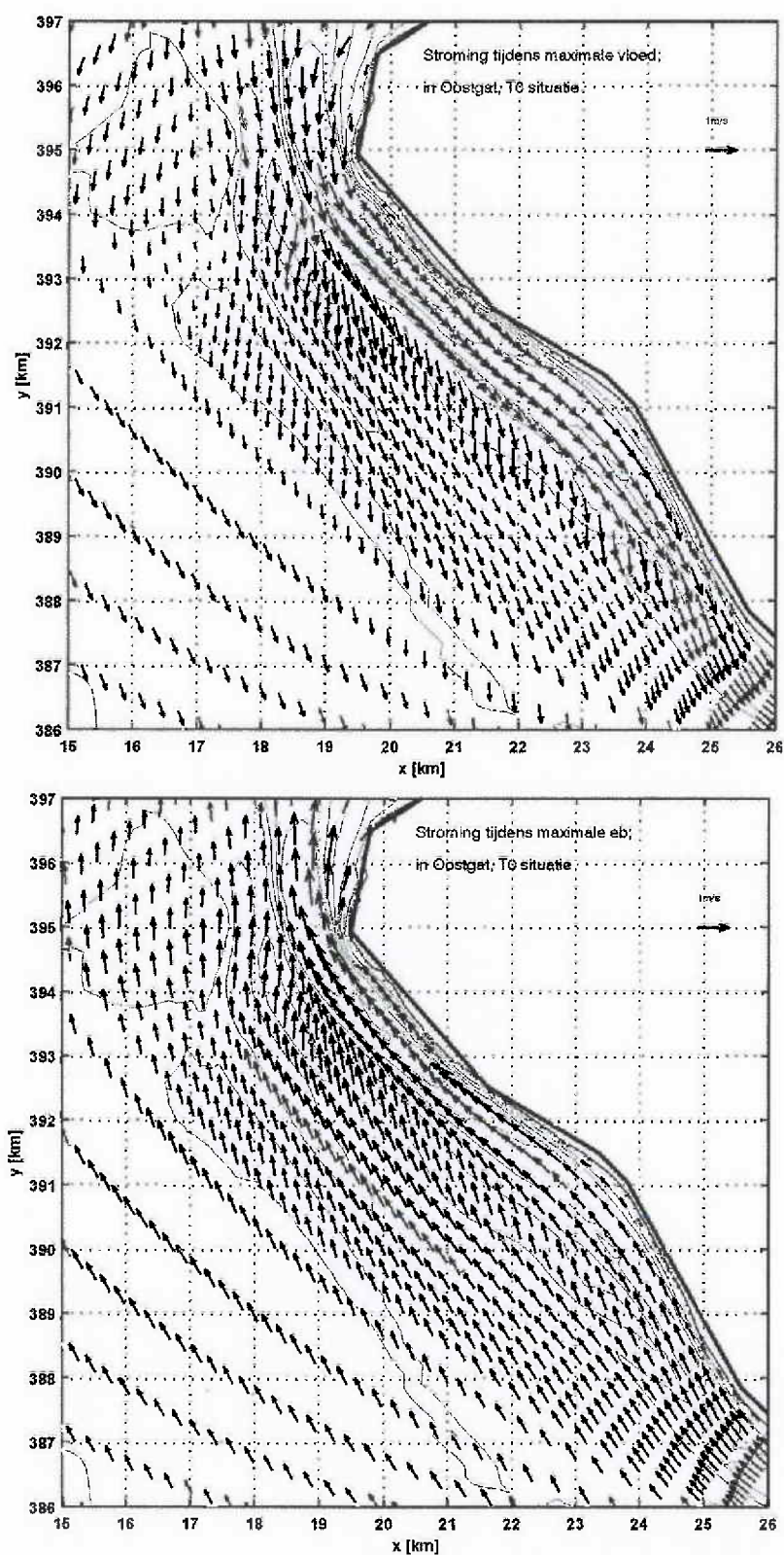
A Aanvulling Figuren



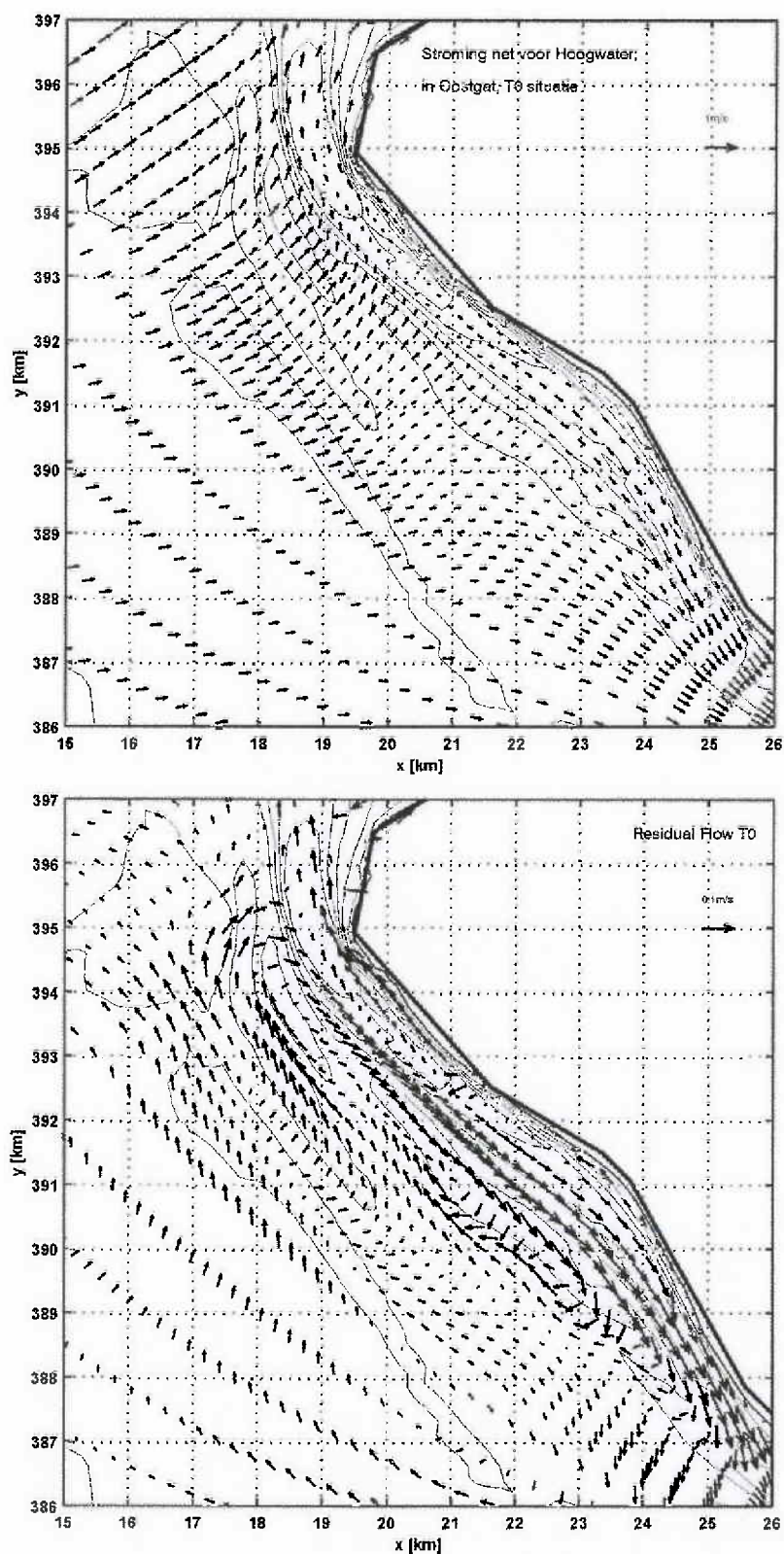
Figuur 3-1a: Rekenroosters van het KUSTZUID model



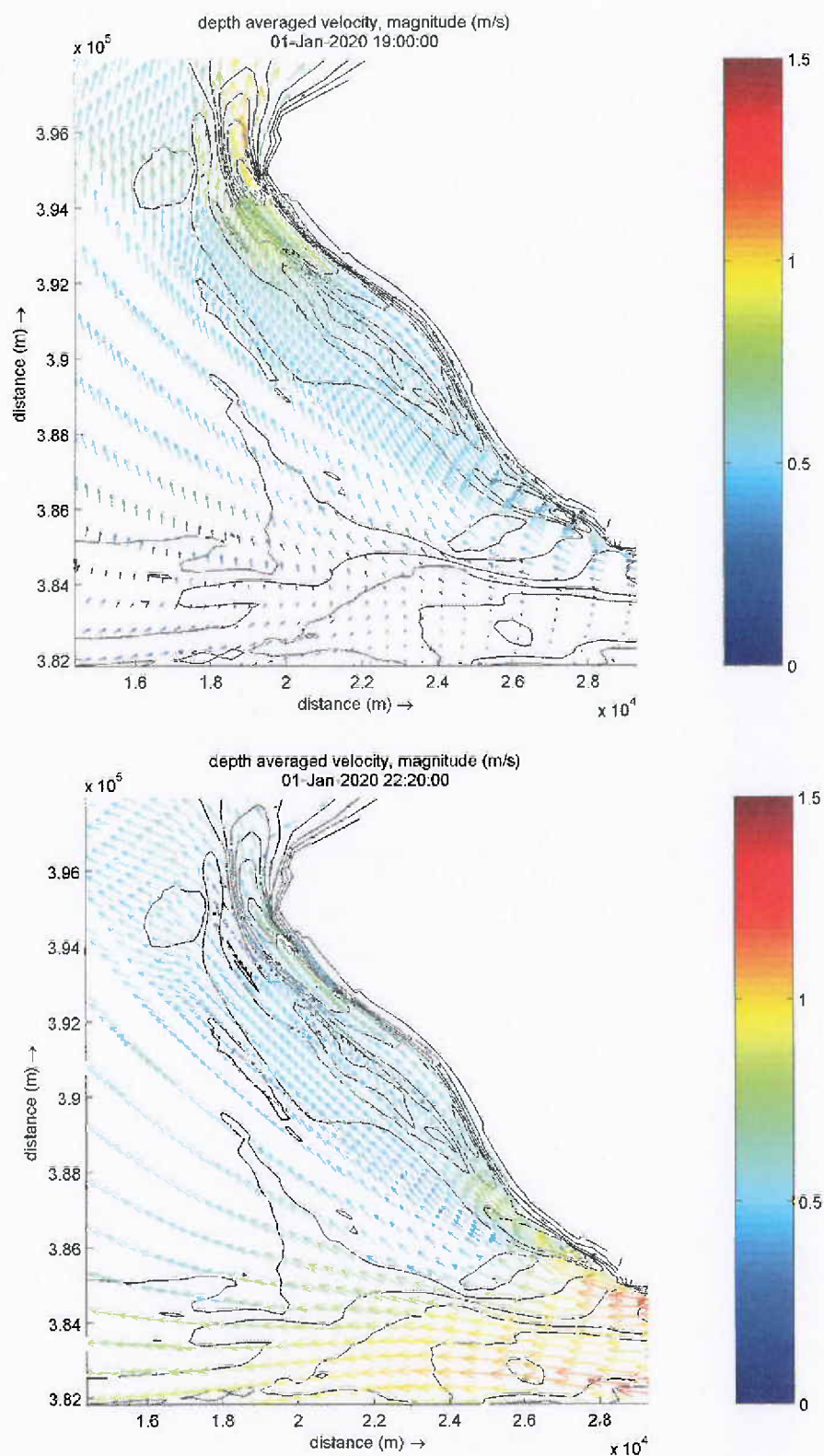
Figuur 3-1b: Rekenroosters van het Oostgat model



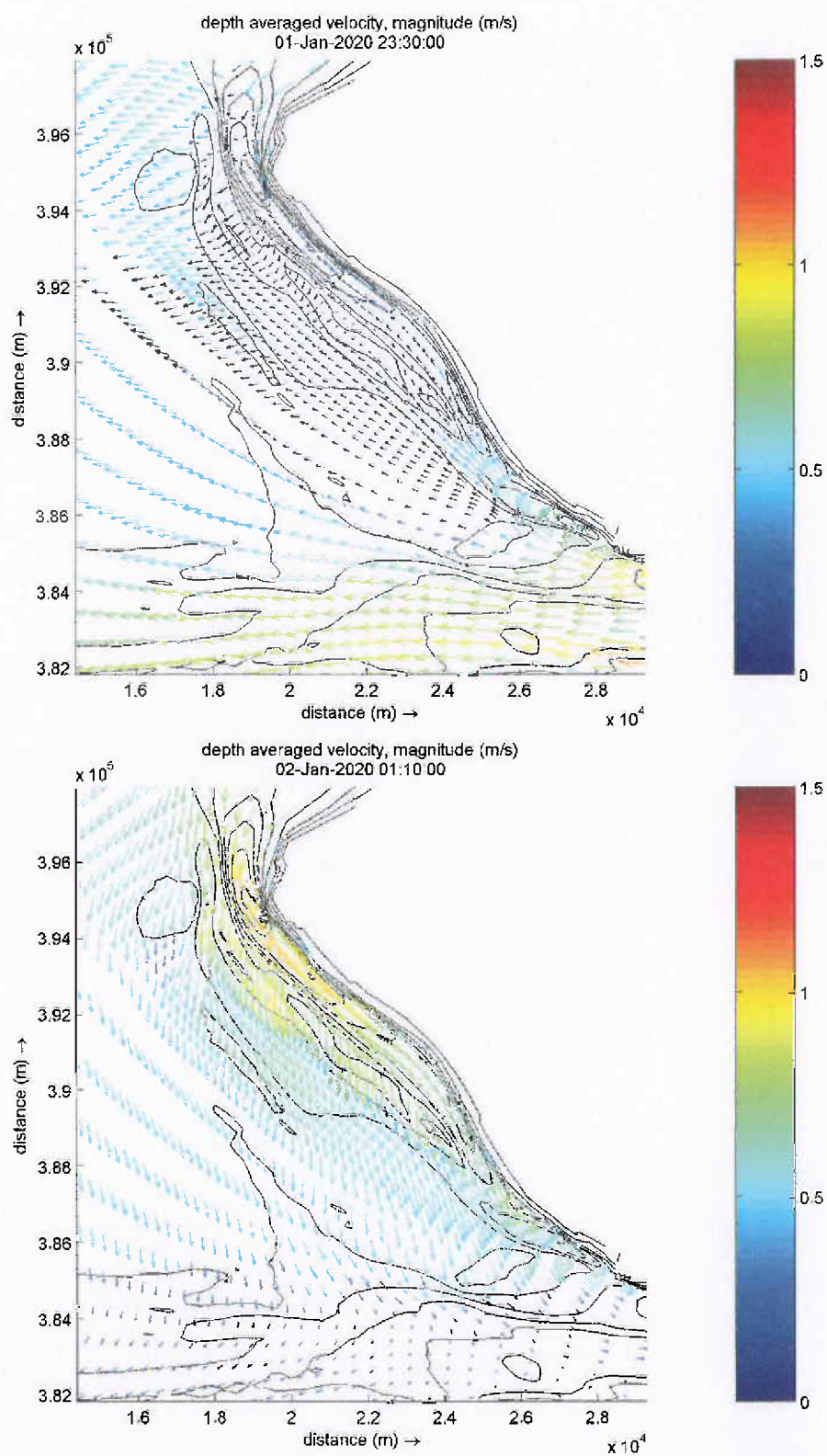
Figuur 3-2a: Gemodelleerde getijgedreven stromingspatronen langs de kust van Walcheren, (boven) maximale vloedstroming en (onder) maximale ebstroming.



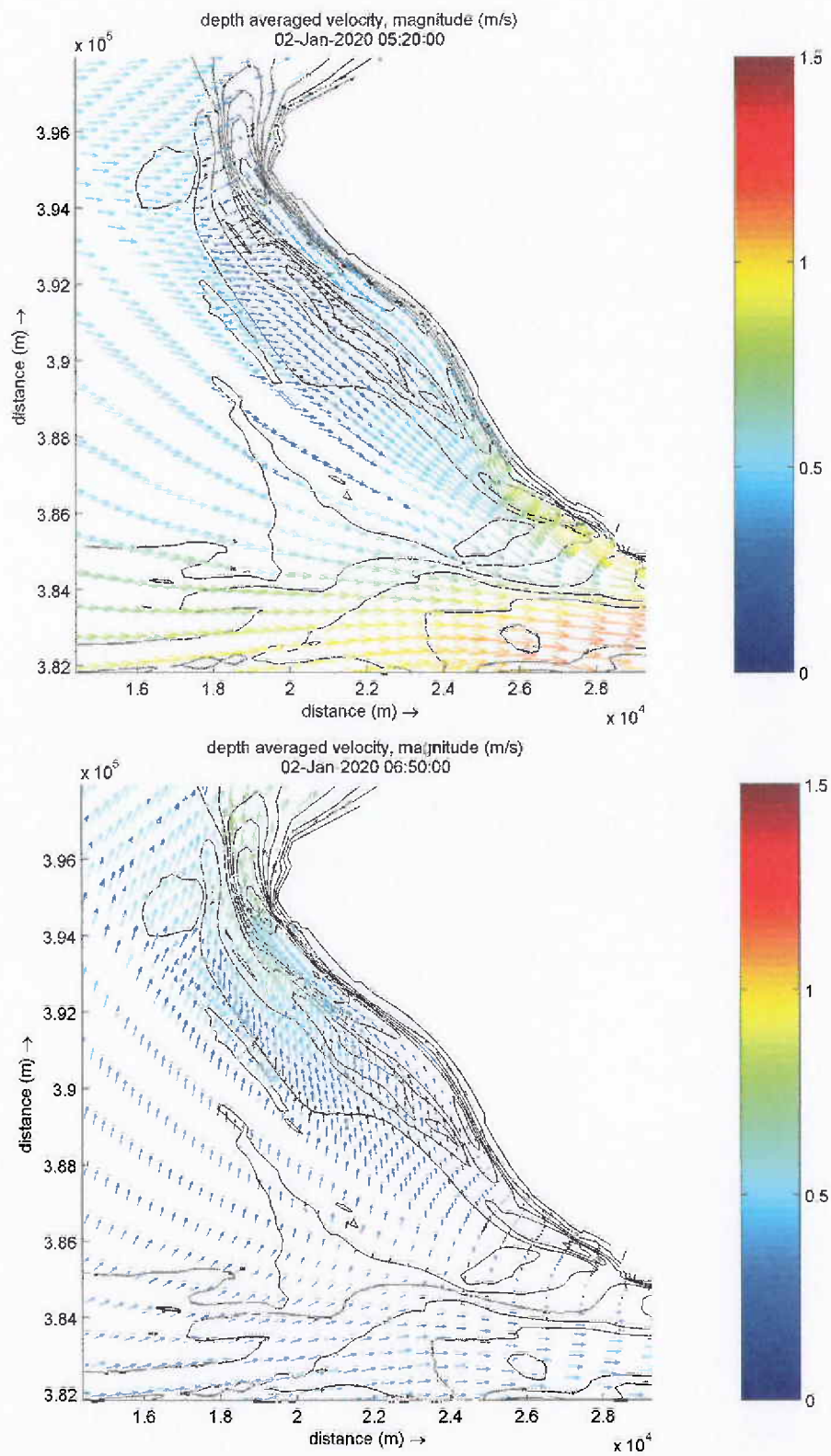
Figuur 3-2b: Gemodelleerde getijgedreven stromingspatronen langs de kust van Walcheren (boven) stroming net voor hoogwater en (onder) residuele stromingspatronen.



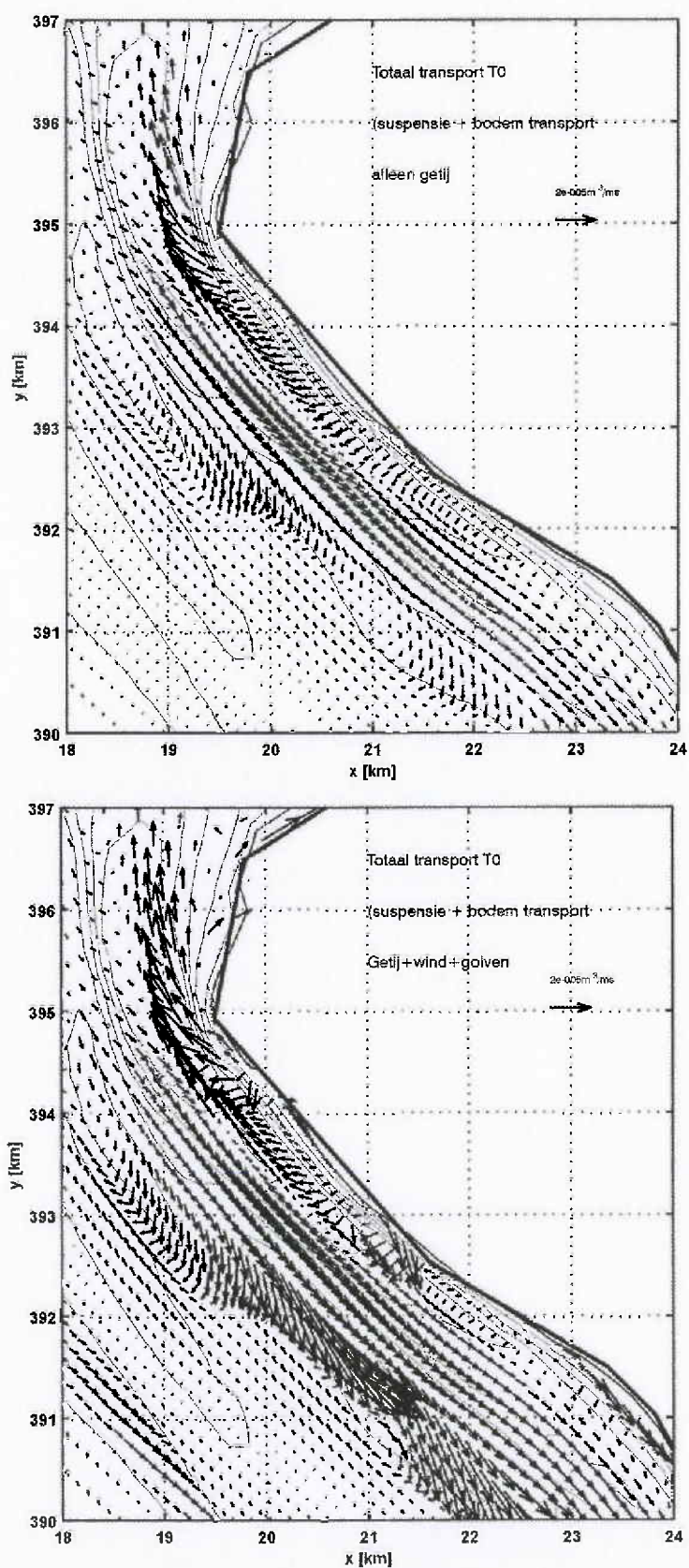
Figuur 3 3a: Instantane stroombeelden langs de kust van Walcheren gedurende een getijcyclus (gebaseerd op een morfologisch getij).



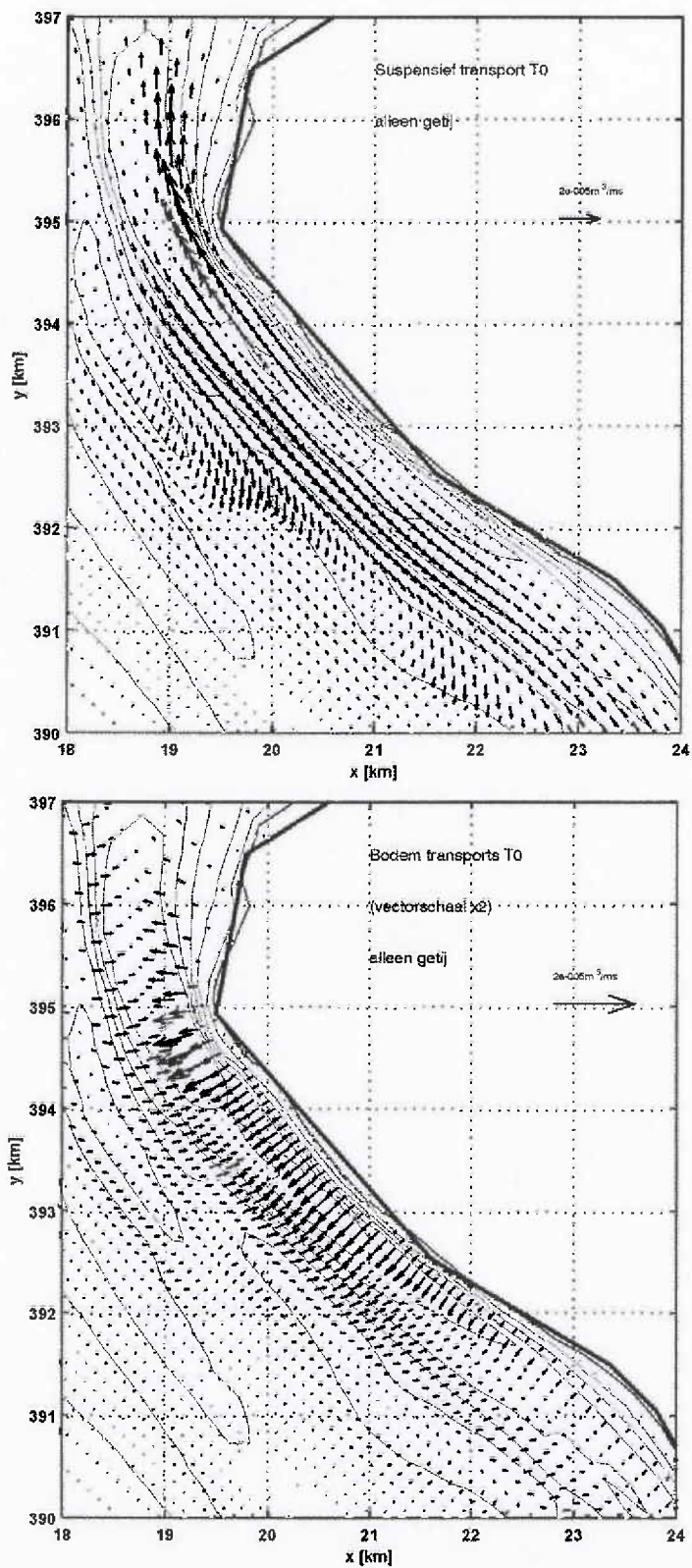
Figuur 3 3b: Instantane stroombeelden langs de kust van Walcheren gedurende een getijcyclus (gebaseerd op een morfologisch getij).



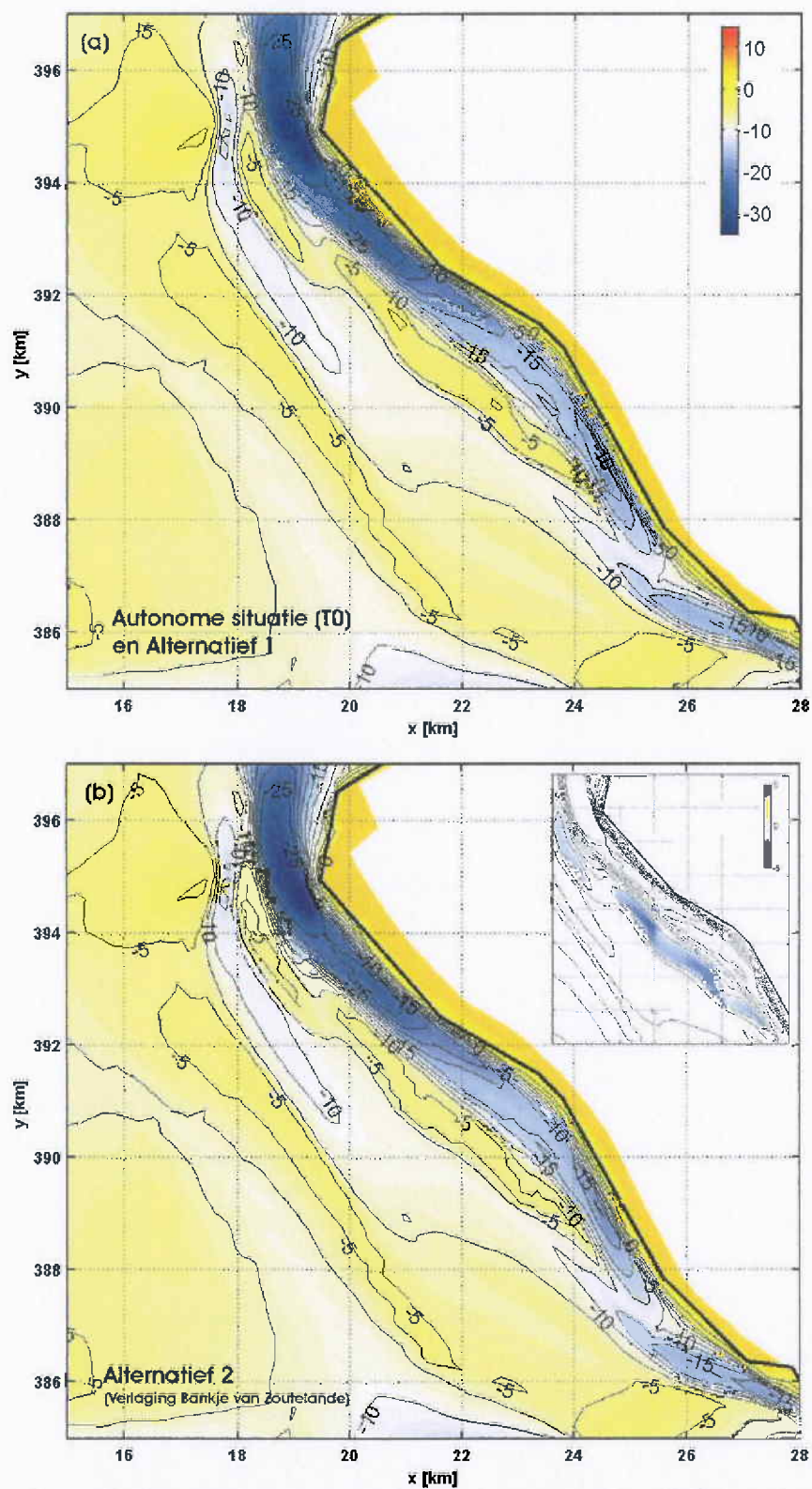
Figuur 3 3c: Instantane stroombeelden langs de kust van Walcheren gedurende een getijcyclus (gebaseerd op een morfologisch getij).



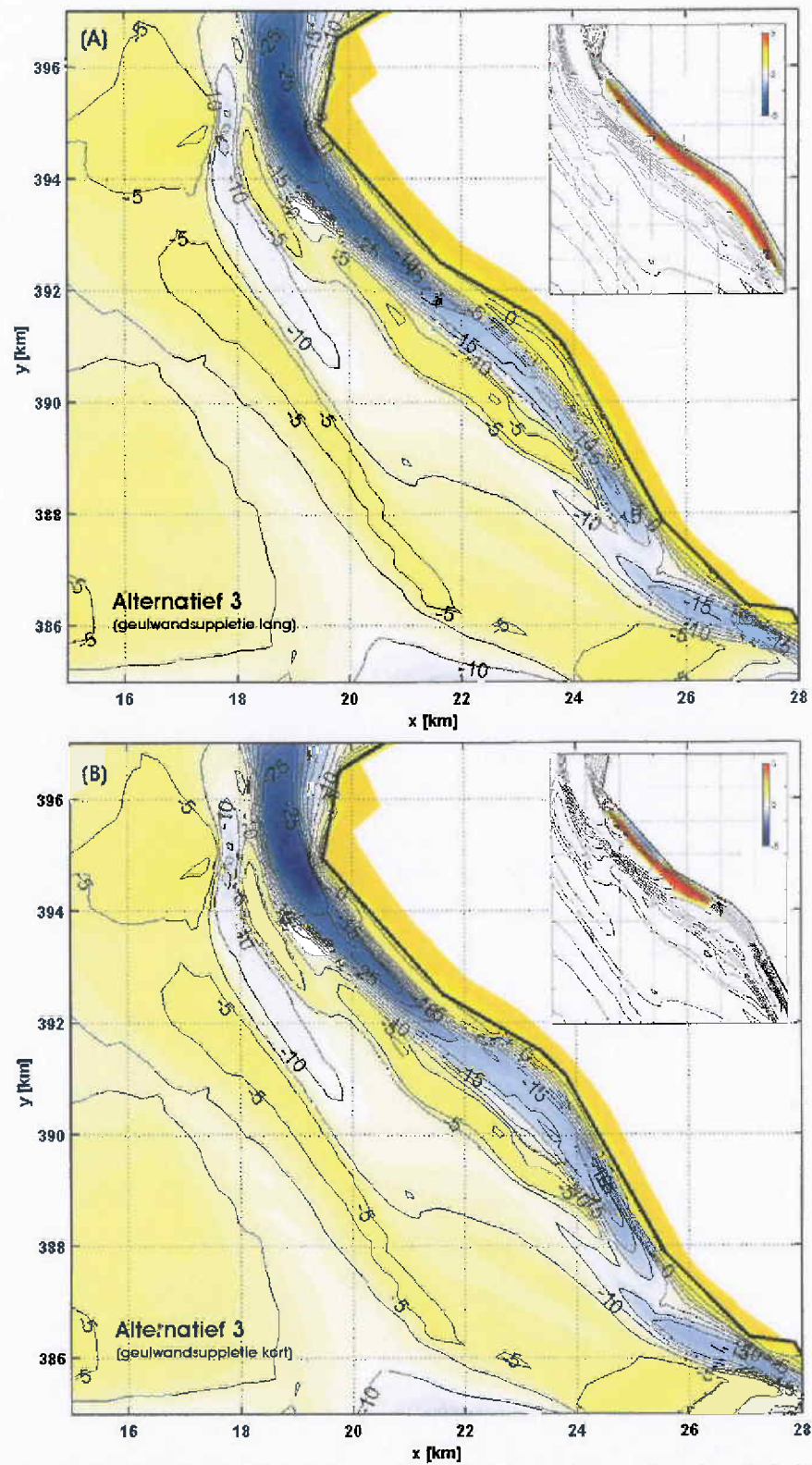
Figuur 3-5a: Gemodelleerde residuele sediment transporten voor de autonome (T0) simulatie: (boven) totaal getijgedreven transport, (onder) getij-, wind- en golfgedreven transport.



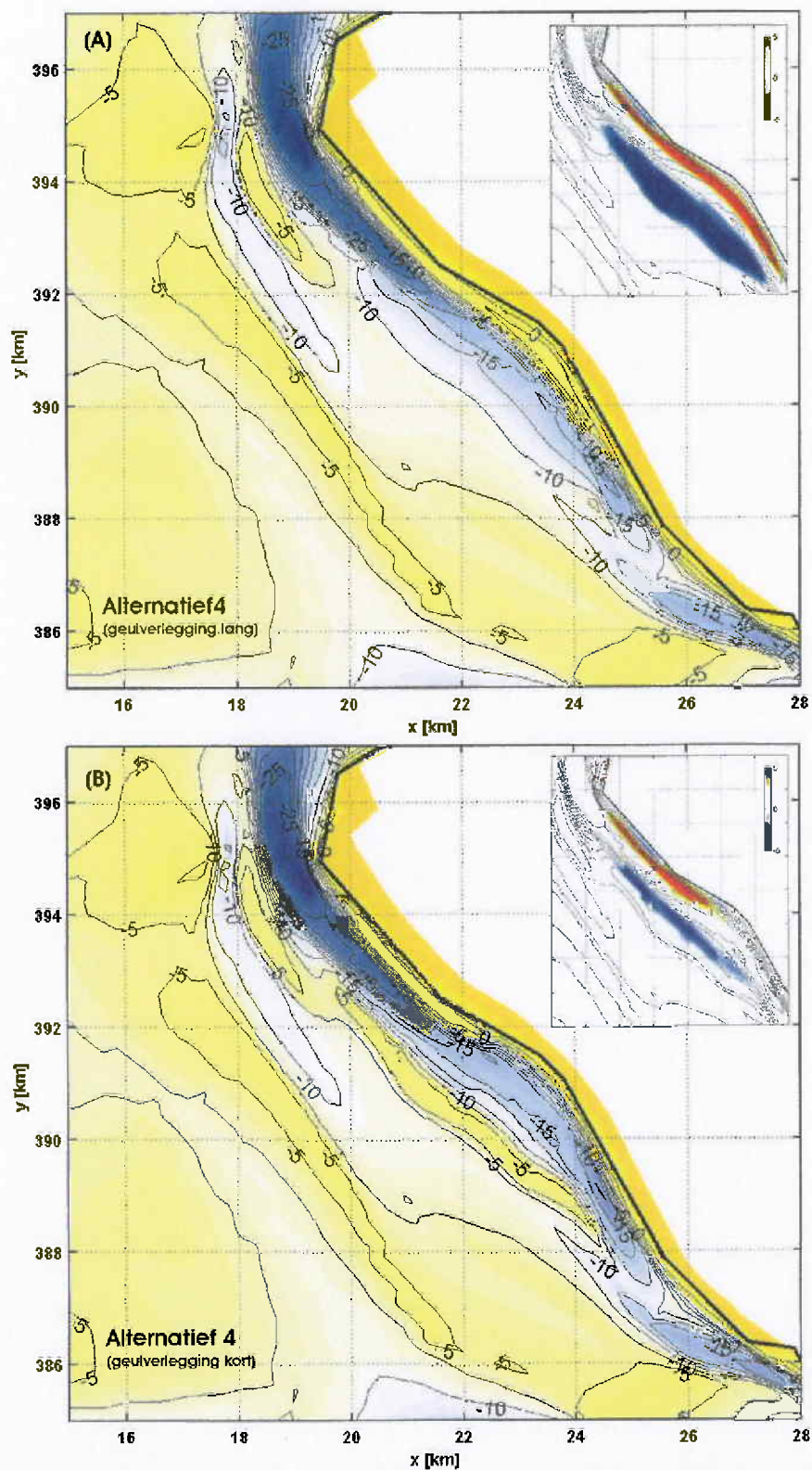
Figuur 3-5b: Gemodelleerde residuele sediment transporten voor de autonome (T0) simulatie: (boven) getijgedreven suspensief transport en (onder) getijgedreven bodem transport



Figuur 3-7a: Ontwerpbodems verschillende alternatieven: (a) autonome situatie (gelijk aan de bodem van alternatief 1), (b) alternatief 2 verlaging Bankje van Zoutelande.



Figuur 3-7b: Ontwerpbodems verschillende alternatieven: (a) alternatief 3a geulwandsuppletie Westkapelle-Dishoek, (b) alternatief 3b geulwandsuppletie Westkapelle-Zoutelande.



Figuur 3-7c: Ontwerpbodems verschillende alternatieven: (a) alternatief 4a geulverlegging Westkapelle-Dishoek, (b) alternatief 4b geulverlegging Westkapelle-Zoutelande, De subfiguren geven de verschillen t.o.v. de T0 situatie.