

Zandwinning Westerschelde

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Kwalitatieve beschrijving	4
2.1	Algemeen	4
2.2	Ingrepen en externe factoren	4
2.2.1	Zandwinning	4
2.2.2	Vaargeulbeheer	5
2.2.3	Overige ingrepen	5
2.2.4	Zeespiegelrijzing en getijslagverandering	5
2.2.5	Onderlinge vergelijking ingrepen en externe factoren	5
2.3	Fysische processen	6
2.3.1	Aanpassing waterbeweging	6
2.3.2	Aanpassing van geulen en efficiëntie van geulenparen	7
2.3.3	Bergingscapaciteit en herverdeling van zand	7
2.4	Systeemeigenschappen	10
3	Gevoeligheidsanalyse met numeriek waterbewegingsmodel	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Waterbewegingsmodel en referentieberekening	12
3.3	Gevoeligheidsberekeningen	12
3.4	Berekeningsresultaten	14
4	Kwantitatieve uitwerking met box-modellen	16
4.1	Algemeen	16
4.2	Opzet box-modellen	16
4.3	Korte termijn analyses (tot 2005); locatie zandwinning	17
4.3.1	Evaluatie berekeningen 1 t/m 6	17
4.3.2	Conclusies	18

4.4	Middellange termijn analyses (tot 2030); beheersscenario's	19
4.4.1	bagger- en stortstrategie (berekening 7)	19
4.4.2	verruiming (berekening 8)	20
4.4.3	Verruiming en bagger- en stortstrategie (berekening 9)	22
4.4.4	Zandwinning (berekening 10)	23
4.4.5	Zeespiegelrijzing (berekening 11)	23
4.4.6	Getijslagtoename Noordzee (berekening 12)	24
4.5	Lange termijn analyses (tot 2100); externe forcering	24
5	Conclusies en aanbevelingen	26
	Referenties	28
	Lijst met bijlagen	29

1 Inleiding

Het huidige beleid m.b.t. zandwinning in de Westerschelde is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- Onttrekking van zand moet door import worden gecompenseerd i.v.m. mogelijke aantasting van de structuur van het estuarium (verdrinking)
- Onttrekking van zand moet plaatsvinden in gebieden waar het overschot van zand het grootst is i.v.m. het verminderen van de baggerinspanning en mogelijk herstel van de dynamiek in het oostelijk deel van de Westerschelde

Om te kunnen bepalen of het huidige beleid aangepast dient te worden, dienen de effecten van zandwinning geëvalueerd te worden in relatie tot externe factoren zoals zeespiegelrijzing en getijslagtoename op de Noordzee en ingrepen zoals het baggeren en storten ten behoeve van het vaarwegonderhoud. Het RIKZ zal eind november aan Directie Zeeland advies geven over het zandwinbeleid. Vragen die beantwoord moeten worden zijn: mag er in de toekomst wel of niet zand worden gewonnen in de Westerschelde? En indien zand gewonnen mag worden, hoeveel dan en in welke gebieden?

Ingenieursbureau Svašek bv te Rotterdam heeft in oktober 1999 een verkennende studie uitgevoerd ter onderbouwing van het RIKZ-advies. De resultaten van deze studie worden in dit rapport beschreven. Bij de studie is gekozen voor een aanpak waarbij met name het inzicht in de (veranderende) getijbeweging vergroot wordt.

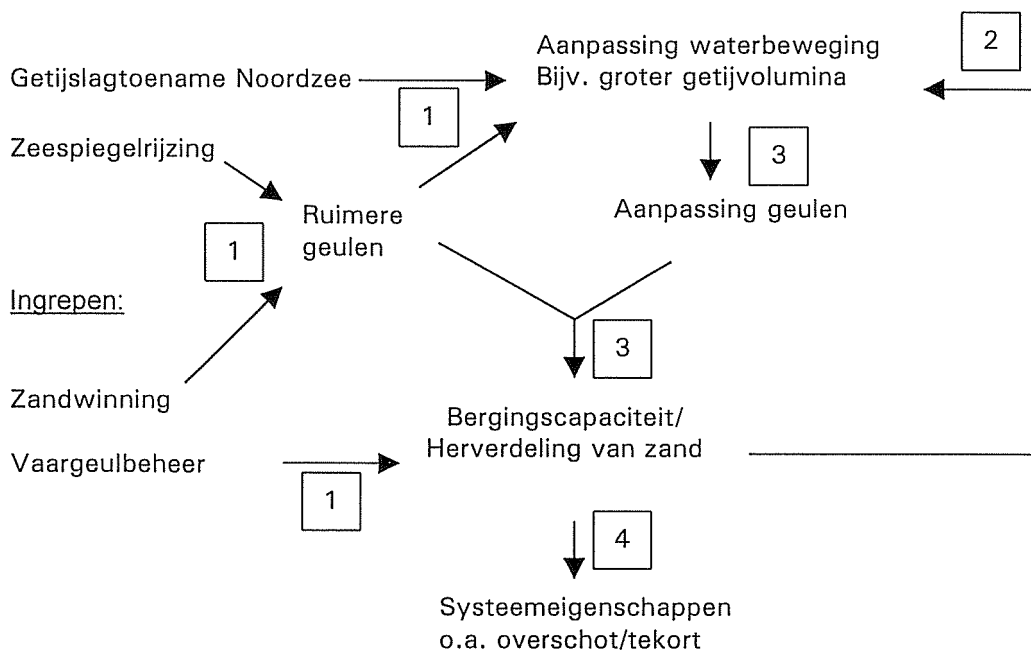
De studie bestaat uit drie delen: een kwalitatieve beschrijving op basis van eerdere studies, inzichten en modelresultaten (hoofdstuk 2), gevoeligheidsanalyse met numeriek waterbewegingsmodel (hoofdstuk 3) en een kwantitatieve uitwerking met box-modellen (hoofdstuk 4). Hoofdstuk 5 bevat conclusies en aanbevelingen.

2 Kwalitatieve beschrijving

2.1 Algemeen

Gebruikmakend van beschikbare kennis en in overleg met deskundigen van binnen het RIKZ zijn de ingrepen, externe factoren, relevante fysische processen, evenwichtsrelaties en systeemeigenschappen beschreven. Zie onderstaande figuur voor een overzicht. In de volgende paragrafen worden de afzonderlijke onderdelen uitgewerkt.

Externe factoren:



In deze studie zijn de verbanden op de volgende manier uitgewerkt:

1. Inschatting op basis van "expert beoordeling" en/of geometrische verhoudingen
 2. SCALWEST-berekening (zie hoofdstuk 3)
 3. Box-model (zie hoofdstuk 4)
 4. Inschatting morfologische ontwikkeling op basis van 1,2 en 3 (zie hoofdstuk 4)
- In de analyses heeft geen voortdurende terugkoppeling of iteratie plaatsgevonden.

2.2 Ingrepen en externe factoren

2.2.1 Zandwinning

Binnen deze studie staan de effecten van zandwinning centraal. Dit zand wordt o.a. gebruikt voor suppleties en in de bouw. Vanaf 1955 is in de Westerschelde ruim 100 miljoen m³ zand aan het estuarium onttrokken (2.5 Mm³/jaar). In tabel 2 van ref.[1] wordt een uitgebreid overzicht gegeven. De huidige zandwinhoeveelheden zijn 1 à 2 Mm³/jaar.

In 1997 is de zandwinning verplaatst van het westen naar het oosten. Het doel hiervan is het beperken van de baggerinspanning op de drempels in het oosten en mogelijk herstel van het verlies aan ondiep water areaal in het oosten.

2.2.2 Vaargeulbeheer

Bij vaargeulbeheer dient onderscheid te worden gemaakt tussen activiteiten om een bepaalde diepte en breedte van de vaargeul te handhaven (onderhoud) en het beter bereikbaar maken voor grotere en diepere schepen (verruiming). Verruiming van de vaargeul zijn uitgevoerd in de periode 1970-1975 en 1997-1998 (48'/43').

Het merendeel van het baggerwerk vindt plaats op de drempels in het oosten (vanaf 1970 tussen de 5 en 10 Mm³/jaar). Tussen 1970 en 1997 werden de gebaggerde zandhoeveelheden voornamelijk in het oostelijk deel teruggestort. In het oosten zijn in deze periode de volgende ontwikkelingen waargenomen: de hoofdgeul is verdiept en verbreed (zowel door het baggeren als door morfologische aanpassingen). Het sediment dat hierbij vrijkwam is voornamelijk opgeslagen in de nevengeulen en plaatcomplexen. De platen zijn hierdoor zowel in oppervlakte als gemiddelde hoogte toegenomen en het ondiep water areaal is sterk afgenomen.

Tegelijkertijd met de 48'/43' verruiming van de Westerschelde is in 1997 de stortstrategie gewijzigd. Het zwaartepunt van de stortingen is verplaatst in westelijke richting. De periode na de laatste verruiming is te kort om de effecten nauwkeurig vast te kunnen stellen. Er zijn echter wel aanwijzingen dat de gewijzigde stortstrategie vermindering van de baggerinspanning en export van zand naar het mondingsgebied tot gevolg heeft.

2.2.3 Overige ingrepen

I.v.m. het vaargeulbeheer, de natuurfunctie en de veiligheid zijn in het verleden voorstellen gedaan voor regulering m.b.v. strekdammen, ontpolderingen, gecontroleerde overstromingsgebieden en stormstuwen. Deze ingrepen zijn moeilijk omkeerbaar. Omdat er momenteel geen concrete plannen zijn voor bovengenoemde ingrepen, worden ze in deze studie buiten beschouwing gelaten.

2.2.4 Zeespiegelrijzing en getijslagverandering

Voor de Westerschelde kan gesteld worden dat de relatieve zeespiegelrijzing, die de afgelopen eeuw 20 cm bedroeg, naar verwachting zal toenemen tot 60 cm voor de komende eeuw. Verder is de verwachting dat de getijslag in het mondingsgebied, evenals de vorige eeuw, de komende eeuw met 3 tot 4 % zal toenemen. Gezien de onzekerheden rond deze verwachtingen is het echter wel belangrijk om met verschillende scenario's rekening te houden (ref.[2]).

2.2.5 Onderlinge vergelijking ingrepen en externe factoren

In tegenstelling tot het baggeren en storten ten behoeve van het vaargeulbeheer, betekent de zandwinning een structurele onttrekking van zand. Gemiddeld over het estuarium komt een zandwinning van bijvoorbeeld 2.5 Mm³/jaar overeen met een bodemdaling van bijna 1 cm/jaar, ofwel 0.90 meter per eeuw. Dit is zelfs meer dan de verwachte zeespiegelrijzing (0.60 meter per eeuw).

Een eventuele bodemdaling wordt voornamelijk als negatief beoordeeld, omdat daarmee waardevolle gebieden (ondiep water, platen, slikken en schorren) verloren zouden kunnen gaan. Verdieping van geulen is op zich niet negatief. Een eventuele herverdeling van zand is daarom van belang. Door vaargeulbeheer en getijslagtoename op de Noordzee zouden de geulen kunnen gaan uitruimen. Als de waterinhoud van de geulen met 2% toeneemt (ca. 40 Mm³), komt voldoende zand beschikbaar om al de platen en het ondiep watergebied (110 km²) met gemiddeld 0.4 m op te hogen.

2.3 Fysische processen

2.3.1 Aanpassing waterbeweging

Door *zandwinning* worden bepaalde geulen ruimer. Aangenomen dat (nog) geen herverdeling van zand optreedt, is de invloed op de waterbeweging kwalitatief als volgt:

- Door toename van de doorstroomprofielen verlagen de snelheden in de betreffende geulen en neemt de weerstand van deze geulen af, en daarmee de demping van de getijgolf.
- Doordat de demping van de getijgolf afneemt, zullen de getijslag in het bekken en de interne berging toenemen en zal het getij iets vervroegen.
- Door toename van de interne berging nemen de debieten toe en zal de snelhedenafname in de ruimere geulen worden beperkt. In de geulen die niet ruimer worden, zullen de snelheden toenemen.
- Omdat alle landinwaarts optredende bergingstoename meetelt, zal de debietentoe name in absolute zin aan de monding het grootst zijn en landinwaarts afnemen.
- De verdere ruimtelijke verdeling van snelhedenveranderingen en getijslagveranderingen is niet direct te bepalen. Hierin speelt de complexe geometrie een belangrijke rol. In een meergeulenstelsel als de Westerschelde is daarbij ook nog een herverdeling van debieten over de geulen (andere eb- en vloeddominantie) mogelijk.

Met een waterbewegingsmodel zijn berekeningen uitgevoerd om de resulterende snelheidsveranderingen kwantitatief te bepalen (zie hoofdstuk 3). Bij het interpreteren van de berekeningsresultaten moet overigens steeds rekening worden gehouden met eventuele morfologische aanpassingen.

Het huidige *bagger- en stortbeleid* resulteert hoogstwaarschijnlijk in een verruiming van het oosten. Het zand dat daarbij beschikbaar komt zal worden geborgen in het midden en westen en in het mondingsgebied. Ook dit zal de waterbeweging in de Westerschelde beïnvloeden. Tot op heden is echter onbekend of dit zand in de geulen of in de ondiepwater- en plaatgebieden zal worden geborgen. Verder is het westen en zeker het mondingsgebied veel ruimer dan het oosten. Het is dus mogelijk dat de wrijvingsafname in het oosten overheerst over de wrijvingstoename in het westen en het mondingsgebied. Om hier gevoel voor te krijgen is een berekening gemaakt met het waterbewegingsmodel.

Bij *verdere verruiming van de vaargeul* komt zand beschikbaar dat elders geborgen zal worden. Bij de verruiming van 1970-1975 is het zand voornamelijk in de nevengeulen, ondiep water- en plaatgebieden terechtgekomen. Bij het gewijzigde stortbeleid is ook voorstelbaar dat zand niet in het oosten, maar wel in het westen en het mondingsgebied komt. Voor beide gevallen is een principeberekening gemaakt met het waterbewegingsmodel.

Door *zeespiegelrijzing* worden niet alleen de geulen ruimer (zoals bij zandwinning), maar komen ook de ondiep water gebieden, platen, slikken en schorren lager te liggen ten opzichte van het gemiddelde zeeniveau. Hierdoor zal ook de bergende breedte toenemen. Tijdens de definitiestudie Zeespiegelrijzing (zie ref.[2]) zijn berekeningen uitgevoerd om de initiële aanpassing van de waterbeweging te bepalen. Bij een middenstandsverhoging van 0.5 m werd een geringe vervroeging van het getij bij Bath (3 minuten) en een lichte getijslagtoename tussen Vlissingen en Bath (0.1%) berekend. Hieruit bleek dat de invloed van de verruiming van de

doorstroomoppervlaktes op de snelheden overheerste t.o.v. de invloed van de toegenomen interne berging. De resulterende snelheidsafname was echter minimaal. De getijvolumina door een aantal raaien lieten bij een middenstandsverhoging van 0.5 m een toename van ruim 4% zien. Dit komt redelijk overeen met de verruiming van de geulen ($0.5 \times 170 \text{ km}^2$ ten opzichte van de totale geulinhoud van 2200 Mm^3).

Door *getijslagtoename op de Noordzee bij Vlissingen* nemen de interne berging, snelheden en weerstand toe. Bij een getijslagtoename van 4% op de Noordzee werd in ref.[2] een verlating van het getij bij Bath met ongeveer 2 minuten en een landinwaarts afnemende toename van de getijverschillen van 4 tot 2 % berekend. In deze studie is een berekening uitgevoerd met 1% getijslagtoename, die vergelijkbare resultaten geeft.

2.3.2 Aanpassing van geulen en efficiëntie van geulenparen

Omdat het vullen en legen van de Westerschelde tijdens een getij voornamelijk via de grote en diepe geulen gebeurt, zullen allereerst de diepe geulen zich aanpassen aan snelhedenveranderingen. Volgens de geldende lineaire evenwichtsrelatie tussen doorstroomoppervlak en getijvolume zal een procentuele toename van het getijvolume een even grote procentuele toename van het doorstroomoppervlak = geulinhoud betekenen.

In de Westerschelde is sprake van parallelle geulen, waarbij door de ene geul het ebvolume groter is en door de andere geul het vloedvolume. Gebleken is dat in ebgeulen m.n. het ebvolume de ontwikkeling bepaalt en in vloedgeulen m.n. het vloedvolume (ref.[4]). Veranderingen in de debietverdeling over beide geulen kan resulteren in aanzanding of uitruiming, zonder dat de grootschalige waterbeweging verandert. Bijvoorbeeld: de verdeling van het vloedvolume blijft gelijk, maar tijdens eb gaat er meer water door de ebgeul stromen en minder door de vloedgeul. De vloedgeul zal dan niet afnemen, terwijl de ebgeul wel toeneemt. Het geulenpaar wordt dus "minder efficiënt" en er komt zand uit het geulenpaar beschikbaar. Bij de analyses met waterbewegings- en boxmodellen wordt dit verschijnsel impliciet meegenomen (hoofdstuk 3 en 4).

Iets dergelijks is bij het Middelgat gebeurd. Hier zijn in de afgelopen 60 jaar tientallen miljoenen m^3 geborgen. Parallel daaraan zijn de getijvolumina in het Gat van Ossensisse wel toegenomen, maar de geulinhoud in veel mindere mate. De oorzaak van de debietverandering was een uitbochttingsproces, waardoor het Middelgat langer werd en minder stroom trok.

2.3.3 Bergingscapaciteit en herverdeling van zand

Veranderingen in de waterbeweging zullen ook veranderingen in zandtransporten tot gevolg hebben. Hierbij is zowel de beschikbaarheid van sediment in suspensie als de transportcapaciteit van de stroming van belang. De kennis over het zandtransport in de Westerschelde is nog onvoldoende om veranderingen t.g.v. ingrepen en externe factoren te kunnen bepalen. In plaats van de trits waterbeweging – sedimenttransport – morfologie wordt daarom een direct verband tussen waterbeweging en morfologie gezocht.

Aanpassing van de geulen resulteert in zandoverschotten/tekorten, die zullen worden gecompenseerd door ophogen/verlagen van andere gebieden. Hierbij speelt de bergingscapaciteit van deze gebieden een grote rol. De snelheid waarmee morfologische veranderingen plaatsvinden wordt bepaald door de fysische processen (zandtransporten).

Een herverdeling van zand bij gegeven verandering van geulinhoud van de Westerschelde kan resulteren in verandering van ondiep water, plaat-, slik- en schorgebieden en/of uitwisseling met aangrenzende gebieden: de Zeeschelde, het land van Saeftinge en het mondingsgebied. In de volgende paragrafen zijn per gebied het morfologische gedrag en de globale afmetingen (bepalend voor de bergingscapaciteit) geïnventariseerd.

Platen, slikken, schorren en ondiep water Westerschelde

De hoogte van platen, slikken en schorren is gerelateerd aan de waterstanden (ref.[4]). Bij stijging van de (hoog)waterstanden zal de hoogte van deze gebieden toenemen. Alleen als er voldoende zand en slib beschikbaar is kunnen de arealen daarbij gelijk blijven of zelfs toenemen. De ontwikkeling van plaat-, slik-, schor- en ondiepwater gebieden wordt dus bepaald door de (hoog)waterstanden en de beschikbaarheid van sediment.

Bijvoorbeeld: Als het geulareaal in de Westerschelde gelijk zou blijven (170 km²) en het gehele overige gebied (110 km²) zou ophogen tot NAP + 3m, dan zou het zandvolume boven NAP -2 m ruim 500 Mm³ bedragen (nu 100 Mm³). Dit zou echter betekenen dat alle intergetijdgebieden verloren zijn gegaan, waardoor de berging en getijvolumina afnemen. Doordat de snelheden in de geulen afnemen zal de wrijving afnemen, waardoor de afname van getijvolumina in de geulen zal worden gecompenseerd. Netto zal echter een snelhedenafname optreden en aanzanding in de geulen. Dit betekent dat de benodigde hoeveelheid zand van buiten de Westerschelde zal moeten worden aangevoerd.

Zeeschelde

De totale inhoud onder NAP van de beneden Zeeschelde tussen de grens en Rupelmonde bedraagt ca. 240 Mm³. Uit een zandbalans over het tijdvak 1961-1991 blijkt dat in de Zeeschelde (tussen de grens en Rupelmonde) netto import van sediment heeft plaatsgevonden (ref.[5]). De inhoudsverandering van de Zeeschelde bedroeg over deze periode in totaal 44,5 Mm³. Onder NAP was de inhoudstoename 51,9 Mm³ (22% van 240 Mm³). Van elders (de bovenstroomse Zeeschelde of de Westerschelde) zou langs natuurlijke weg 19,5 Mm³ zijn aangevoerd. De onttrekking t.g.v. bagger- en storthoeveelheden in de Zeeschelde bedroeg 64,0 Mm³ (90,6 Mm³ gebaggerd en 26,6 Mm³ gestort). Bij een aanvoer van stroomopwaarts tussen de 0 en 10 Mm³ in 30 jaar, zou de natuurlijke aanvoer vanuit de Westerschelde tussen de 10 en 20 Mm³ zijn, gemiddeld 0,3-0,7 Mm³ per jaar.

Vergeleken met de kunstmatige onttrekking van 64 Mm³ is een "natuurlijke" import van 19,5 Mm³ niet veel. Zeker bij zeespiegelrijzing en/of stopzetting van het vaargeulonderhoud zou de bergingscapaciteit van de Zeeschelde dus behoorlijk op kunnen lopen (orde 100 Mm³). De oppervlakte van de Zeeschelde tussen de grens en Rupelmonde bedraagt bijna 25 km². Bij ophoging met 1 m zou 25 Mm³ geborgen worden.

Land van Saeftinge

Het land van Saeftinge bevindt zich in een vergevorderde staat van verlanding. Sinds lange tijd (begin van deze eeuw) is de verlandingsnelheid constant, ca. 0,5 Mm³ per jaar.

Normaliter neemt bij een verlandingsproces de verlandingsnelheid af. Bij de oostelijke geul, het Hondegat is dit inderdaad het geval. Bij de twee westelijke geulen (Ijskelder en Speelmansgat) lijkt er sprake te zijn van een onnatuurlijke ontwikkeling, de geulbodems komen relatief snel omhoog. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk een hoog sedimentaanbod vanaf de riviervoorzijde (ref. [6]). Nu de stortingen in de Overloop van Valkenisse zijn stopgezet kan verwacht worden dat dit sedimentaanbod afneemt en de aanzandingssnelheid wel af gaat nemen, zeker bij verdere onttrekking van zand uit deze geul. Deze afname zal echter een orde kleiner zijn dan de omvang van de zandwinning.

Het tempo van aanzanding van een gebied als het Land van Saeftinge wordt bepaald door de omvang en frequentie van overspoelingen. Bij stijging van de (hoog)waterstanden kan de aanzandingssnelheid toenemen. Het gebied is ca. 27 km² groot (10 km² geulen en 17 km² schorren). Bij ophoging met 1 m zou 27 Mm³ geborgen worden.

Mondingsgebied en import/export

Uit een grootschalige zandbalans over de periode 1969 t/m 1993 blijkt dat de Westerscheldemonding een exporterend gebied is (ref. [7]). Deze zandbalans beslaat het mondingsgebied tussen Vlissingen-Breskens en de NAP –20m waterlijn aan de zeezijde. Noordwaarts ligt de Oosterschelde monding en zuidwaarts de Belgische kust. Het natte volume beneden NAP bedraagt ca. 7700 Mm³, het oppervlak 700 km². Over de periode 1975 t/m 1993 is ongeveer 10 Mm³/jaar geëxporteerd. Een deel hiervan is naar de Westerschelde verplaatst (volgens ref.[9] ca. 1 Mm³/jaar). Onbekend is hoeveel uitwisseling heeft plaatsgevonden met de Belgische kust, de monding van de Oosterschelde en de Noordzee. In deze periode is t.b.v. het vaargeulonderhoud 549 Mm³ gebaggerd, waarvan 543 Mm³ is teruggestort, met name dicht bij de zuidwestgrens van het mondingsgebied (20 m dieptelijn). Het is zeer waarschijnlijk dat een gedeelte hiervan zeewaarts is geborgen.

Het mondingsgebied is ca. 700 km² groot. Bij ophoging met 1 m zou dus ca. 700 Mm³ geborgen worden.

De algemene vorm van de evenwichtsrelatie tussen geuldoorsnede A en getijvolume V (= tidal prism P) luidt: $A = c_1 * P^{c_2}$. In de Westerschelde is een lineaire relatie ($C_2 = 1$) zeer bruikbaar gebleken.

Deze relatie is voor het mondingsgebied minder goed bruikbaar. Hiervoor is een aantal redenen: Het mondingsgebied bestaat uit ondiepe en diepe gebieden. Platen, schorren en slikken komen hier niet voor. Hierdoor zijn geulbegrenzings minder eenduidig dan in de Westerschelde.

In grote delen van het mondingsgebied (m.n. de Vlakte van de Raan) is de stroming niet in één richting, maar rondgaand (ref. [10]). Door deze richtingsspreiding is de oriëntatie van het doorstroomprofiel niet bepaald en is er geen duidelijk onderscheid tussen vloed- en ebvolumina. Slechts in enkele raaien zijn één of tweemaal debietmetingen uitgevoerd.

Zowel door de invloed van golven als een kleinere korreldiameter kunnen de geulen ruimer zijn dan in de Westerschelde (ref. [8]).

Een deel van deze bezwaren kan ondervangen worden door gebruik van een andere evenwichtsrelatie. Binnen KUST*2000 verband (ref. [8]) is op basis van dimensie analyse en het evenwichtsconcentratie concept de volgende evenwichtsrelatie voor geulen in de ingang van een getijdebekken ontwikkeld:

$$A = (2 / \alpha * T)^{0.8} * P^{0.8} * B^{0.2} \quad \text{met:} \quad \alpha = (K_3 * C^3 * g^{0.5} * d_{50})^{0.25}$$

Met:

T	getijperiode
B	geul/raaibreedte
K ₃	Coëfficiënt, waarin het kust langstransport en de "zandvraag" van het bekken kan worden verwerkt
C	wrijvingscoëfficiënt
g	valversnelling
d ₅₀	korreldiameter

In de wrijvingscoëfficiënt (die zeer bepalend is) kan o.a. de invloed van korte golven worden verwerkt. Door het ontbreken van voldoende calibratie- en verificatie gegevens (meerdere debietmetingen, representatieve golfhoogte en korreldiameter) is er momenteel echter onvoldoende inzicht in bepaalde invoerparameters en de betrouwbaarheid van deze relatie.

Uit studies naar andere gebieden (Haringvliet en zeegaten Waddenzee) blijkt dat soortgelijke relaties goed voldoen voor de monding van een getijgeul. Tevens is C₂ vaak kleiner dan 1 (0.8). Geulen in de monding zijn dus in het algemeen ruimer dan de geulen in een estuarium. Wel is duidelijk dat toename van de getijvolumina in het algemeen zal resulteren in een toename van de geulomvang, maar in mindere mate dan in de Westerschelde.

Voor de beschouwingen in dit rapport is bepalend welke zandtransporten bij een eventuele morfologische aanpassing op zullen treden. Waarschijnlijk zal bij een overschot slechts een deel zich naar de Westerschelde verplaatsen (mede afhankelijk van de mate van overschot of tekort in de Westerschelde). Gezien deze onzekerheden wordt de invloed van ingrepen op de waterbeweging en morfologie in het mondingsgebied apart gepresenteerd en via uitwisseling bij de raai Vlissingen-Breskens gekoppeld aan de zandhuishouding van de Westerschelde.

Samenvattend

Een overzicht van inhouden, arealen en gemiddelde zandverplaatsingen is weergegeven in bijlage 2.1. In deze figuur lijken de zandverplaatsingen van Zeeschelde en Land van Saeftinge evengroot als het transport van monding naar Westerschelde. Hoewel deze situatie voor de periode sinds 1975 representatief is, dient opgemerkt te worden dat in enkele jaren daarvoor aanzienlijk sterkere import over de lijn Vlissingen-Breskens is opgetreden (ca. 8 Mm³ per jaar). Verder zijn er aanwijzingen dat sinds de nieuwe bagger- en stortstrategie die vanaf 1997 wordt toegepast export van de Westerschelde naar het mondingsgebied optreedt. Er zal dus omvangrijke aanvoer of afvoer van zand via het mondingsgebied plaats kunnen vinden.

Binnen de Westerschelde zal de getijbeweging bepalend zijn voor de ontwikkeling van de geulen en daarmee indirect ook voor de ontwikkeling van plaat-, slik-, schor- en ondiep water gebieden.

2.4 Systeemeigenschappen

Met het beleid t.a.v. de Westerschelde wordt beoogd de natuurfunctie zoveel mogelijk te beschermen en te versterken, met inachtneming van de scheepvaartfunctie en uiteraard de veiligheid tegen overstromen.

De natuurfunctie van de Westerschelde hangt nauw samen met de diversiteit van het estuarium: een ruimtelijk variatie in zoutgehalte en diepte. Een ongewenste ontwikkeling is daarom het verdwijnen of verkleinen van ondiep water, plaat-, slik- en schorarealen. De aanwezigheid van ondiep water arealen is in verband met de kraamkamerfunctie ook van belang. De exacte locatie van deze gebieden is minder belangrijk. Natuurlijke dynamiek is zelfs een waardevolle eigenschap. Binnen deze studie wordt als indicator voor de natuurfunctie de beschikbaarheid van zand voor ondiep water, plaat-, slik- en schorarealen gehanteerd. Is deze hoeveelheid veel hoger dan in de huidige situatie dan zal er sprake zijn van verlanding, is deze hoeveelheid veel lager dan in de huidige situatie dan zal er sprake zijn van verdrinking. Het zandvolume in de platen boven NAP -2 m is de laatste decennia toegenomen van minder dan 80 Mm³ tot meer dan 110 Mm³. Een hoeveelheid vergelijkbaar met deze hoeveelheden wordt als gunstig beoordeeld. In het oosten kan ook een afname van het zandvolume als gunstig worden beoordeeld (compensatie opgetreden verlanding sinds 1970, in die periode is het plaatvolume toegenomen van 15 naar 35 Mm³).

Andere belangrijke kenmerken van de Westerschelde die behouden dienen te worden zijn de aanwezigheid van een meergeulenstelsel en de bewegingsvrijheid van geulen. Beide aspecten hebben te maken met de debietverdeling binnen geulenparen en kortsluitgeulen. Ook dit is echter terug te voeren op de beschikbaarheid van zand. Als er te weinig zand beschikbaar is en platen verdwijnen, wordt de Westerschelde uiteindelijk één geul en is van debietverdeling over parallelle geulen en kortsluitgeulen geen sprake meer. Als er te veel zand is en het ondiep watergebied verdwijnt, zullen de stromingen zich minder goed kunnen verleggen. De streefsituatie is dus gelijk aan die voor de areaalontwikkeling: de hoeveelheid zand beschikbaar voor niet-geulgebieden in de Westerschelde dient min of meer gelijk te blijven aan de huidige hoeveelheid. De exacte locatie is minder belangrijk.

Voor de scheepvaartfunctie is het van belang dat de vaargeulen voldoende breed en diep blijven. Verder zijn hinderlijke dwarsstromingen ongewenst. Vanuit kostenoverwegingen wordt gestreefd naar minimalisering van de baggerinspanning en vaarwegafstanden.

In verband met de veiligheid tegen overstromen is een afname van de hoogwaterstanden gewenst. Met het oog op de natuurfunctie (aanwezigheid van intergetijde gebieden) dienen de hoog- en laagwaterstanden (afgezien van een acceptabele variatie van enkele centimeters) gelijk te blijven aan de huidige situatie.

Samenvattend zijn de volgende systeemeigenschappen van belang:

- beschikbaarheid van zand voor ondiep water, plaat-, slik- en schorarealen
- meergeulenstelsel
- bewegingsvrijheid van geulen
- brede, diepe en korte vaarweg
- geen sterke dwarsstromingen in de vaargeul
- weinig aanzanding op ondiepe delen van de vaarweg (drempels)
- lage hoogwaterstanden
- voldoende getijverschil
- gradiënten b.v. zoet, zout (voor natuurfunctie).

3 Gevoeligheidsanalyse met numeriek waterbewegingsmodel

3.1 Algemeen

De waterbeweging in de Westerschelde is dermate complex dat er geen simpele relaties voorhanden zijn om de invloed van morfologische veranderingen op de waterbeweging te bepalen. Wel zijn voor de Westerschelde diverse numerieke modellen beschikbaar waarmee de waterbeweging berekend kan worden. Eén van deze modellen, SCALWEST is ingezet bij het beschrijven van de invloed van bodemveranderingen op de waterbeweging.

3.2 Waterbewegingsmodel en referentieberekening

Het SCALWEST-model is een numeriek waterbewegingsmodel van de Westerschelde dat gebaseerd is op WAQUA in SIMONA. Het model strekt zich uit van het mondingsgebied van de Westerschelde tot en met de Zeeschelde in België. Zie bijlage 3.1. Het model heeft ongeveer 75000 rekenpunten en de bodemgegevens van deze punten zijn bepaald uit GIS-gegevens van 1996. De roosterafstand varieert in breedterichting van 10 tot 400 meter en in lengterichting van 40 tot 700 meter. Het model wordt aan de zeerand aangedreven door gemeten waterstanden bij de Vlakte van de Raan en Westkapelle en op de Zeeschelde door gemeten debieten. Zie voor een verdere beschrijving van het SCALWEST-model ref.[11]. Er is gerekend met WAQUA versie 99-06.

16 oktober 1996 wordt gebruikt om het model in te laten spelen. Er zijn nauwelijks weersinvloeden op het getij merkbaar. Als referentieberekening is gekozen om 17 oktober 1996 te gebruiken. Op deze dag is de getijslag tussen gemiddeld getij en springtij. Een gemiddeld getij heeft een getijslag bij Vlissingen van 3.86 m en gemiddeld springtij heeft een getijslag van 4.47 m (Getijcoëfficiënt van 1.16).

Hoog/laagwater t.o.v. NAP (m)	Getijslag (m)	Getijcoëfficiënt
2.21 (hoog)		
	4.23	1.10
-2.02 (laag)		
	4.29	1.11
2.27 (hoog)		
	4.16	1.08
-1.89 (laag)		

Tabel 3.1 Waterstanden 17 oktober 1996 bij Vlissingen

3.3 Gevoeligheidsberekeningen

Doel van de eerste 6 gevoeligheidsberekeningen (t.b.v. korte termijn analyses) is om te bepalen wat de consequentie is van verruiming van individuele geulen (door zandwinning). De berekening geeft voor de aangepaste geul aan of de verhouding tussen getijvolumina en geuldoorsnede gelijk blijft of verandert. Relatief kleiner worden van de getijvolume duidt op zandbergingscapaciteit en aanzanding op termijn. Daarnaast geeft de berekening ook aan wat de invloed op getijvolume/waterbeweging op de andere geulen is. Met name de parallelgeul, maar ook de aangrenzende geulen zullen beïnvloed worden. Met deze berekeningen is informatie aangeleverd t.b.v. de keuze tussen de verschillende potentiële zandwinlocaties.

Doel van de volgende 6 berekeningen (middellange termijn analyses) is om te bepalen hoe verschillende ontwikkelingsscenario's (bagger- en stortbeleid, verdere verruiming en zandwinning) doorwerken. Hiermee wordt de zandwinning gerelateerd aan andere beleidsbeslissingen.

De nummering van de uitgevoerde berekeningen is als volgt. Voor een overzicht van de bodemveranderingen zie bijlage 3.3:

t.b.v. korte termijn analyses (zandwinlocaties)

1. 10 Mm³ onttrekking Pas van Terneuzen
2. 10 Mm³ onttrekking Everingen
3. 10 Mm³ onttrekking Zuidergat/Overloop van Valkenisse
4. 10 Mm³ onttrekking Schaar van Waarde/Valkenisse
5. 10 Mm³ onttrekking Overloop van Hansweert
6. 10 Mm³ onttrekking Middelgat

De diepte in het betreffende geulvak is met een bepaalde factor vermenigvuldigd zodat 10Mm³ uit de geul gehaald wordt.

t.b.v. middellange termijn analyses (beheersscenario's)

7. Huidige bagger- en stortstrategie: gelijkmatig verdeelde onttrekking oosten (60 Mm³) = gelijkmatig verdeelde berging in midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
8. Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen oosten, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
9. Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing. Deze som kan gezien worden als combinatie van 7 en 8 (verruiming met huidige bagger- en stortstrategie).
10. Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging – zandwinning (60 Mm³) in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
11. 10 cm zeespiegelrijzing
12. 10 cm zeespiegelrijzing en 1% getijslagtoename

De hoofdgeul is verruimd door:

- Dieptes tussen de -5 en -16.5 m NAP te verdiepen met 1.5 m.
- Dieptes tussen de -16.5 en -18 m NAP te verdiepen tot -18 m.
- Dieptes groter dan -18 m NAP te verdiepen met 0.1 m.

Het doel van deze verruiming is een volgende verdieping te simuleren. Daarom worden ondieptes in de hoofdgeul sterker verruimd dan diepere gedeelten (1.5 m). Toch zullen ook de diepere gedeelten zich aanpassen als reactie op verdiepte drempels en worden ook deze verdiept (0.1 m). Door de verdieping komt 90.1 Mm³ zand beschikbaar.

Gelijkmatige onttrekking en berging van zand is gerealiseerd door het betreffende gebied op te hogen of te verlagen. In onderstaande tabel staan de toe- en afnames van de bodemhoogte voor de verschillende scenario's:

Scenario\ plaats	Monding/Westen/Midden	Oosten
Berekening 7	21.9 cm	-53.0 cm
Berekening 8	30.4 cm	30.4 cm
Berekening 9	43.2 cm	-
Berekening 10	14.4 cm	-

Tabel 3.2 Ophoging gebieden per scenario

3.4 Berekeningsresultaten

Voor elke berekening zijn de volgende resultaten gepresenteerd in bijlage 3.4 t/m 3.7:

- getijverschillen, hoogwaterstanden en tijdstippen nuldoorgangen voor enkele waterstandstations
- vloed- en ebvolumina per raai

Berekening 1 t/m 6

Een verruiming van een geul in de Westerschelde betekent dat de weerstand in de Westerschelde zal afnemen, hierdoor stijgen de getijamplitudes (de maxima worden hoger en de minima worden lager), (zie bijlage 3.4 en 3.5) en treedt een vervroeging van het getij op (bijlage 3.6).

Door de verruiming van de geul nemen de debieten in de betreffende geul toe (bijlage 3.7). De geulinhoud neemt echter meer toe dan het debiet, waardoor de snelheden dalen. In de parallelgeul dalen de debieten doordat de verruimde geul meer debiet trekt, hierdoor dalen de snelheden. In de rest van het estuarium nemen de debieten en snelheden over het algemeen toe. De Pas van Terneuzen en de Everingen zijn het minst gevoelig voor de 10Mm³ die uit het systeem is gehaald. De geulen in het westen van de Westerschelde zijn ruimer dan de geulen in het oosten waardoor een evengrote onttrekking in het oosten meer effect heeft. Verruiming van de hoofdgeulen doet de getijvolumina sterker toenemen dan verruiming van de nevengeulen. Verruiming van het Zuidergat heeft de meeste invloed op de waterbeweging.

Berekening 7

Bij berekening 7 is de huidige bagger- en stortstrategie doorvertaald naar 2030. Dat betekent dat het oosten verruimd is en dat gestort is in het midden, westen en de monding (bijlage 3.3). Dit resulteert in een afname van de getijverschillen (bijlage 3.4) en een vertraging van het getij (bijlage 3.6), omdat de weerstand in het westelijk deel groter is geworden. Na Hansweert neemt het getijverschil en de vertraging weer af, doordat het oosten verruimd is.

De hoogwaters (bijlage 3.5) zijn in de monding nog op het niveau van de zeespiegelrijzing (berekening 11), maar worden naar het oosten toe lager.

Alhoewel de getijslag minder groot is nemen de debieten in het oosten toe (bijlage 3.7). Doordat het oosten is verlaagd is de horizontale berging (intergetijdengebied) blijkbaar zo sterk toegenomen dat ondanks de afname van de verticale berging (getijslag) de totale interne berging is toegenomen.

Voor de monding is opmerkelijk dat de debieten t.o.v. berekening 11 (alleen zeespiegelrijzing) door Wielingen sterker afnemen dan door het Oostgat. Hierbij moet echter in rekening worden gebracht dat de buitenrand van het SCALWEST-model voor deze berekening eigenlijk te dicht bij ligt.

Berekening 8 t/m 10

Bij berekening 8 t/m 10 is de hoofdgeul verruimd met ca. 90 Mm³, dit is vervolgens op verschillende manieren teruggebracht in het estuarium (bijlage 3.3).

Uit berekening 8 t/m 10 kan geconcludeerd worden dat de hoofdgeul in sterke mate verantwoordelijk is voor de voortplanting van de getijgolf. De getijverschillen nemen ten opzichte van de referentieberekening toe (bijlage 3.4), de hoogwaterstanden worden hoger (bijlage 3.5), en de getijgolf versnelt (bijlage 3.6).

Uit bijlage 3.7 blijkt dat de eb- en vloedvolumes in de hoofdgeul toenemen en in de gebieden waar gestort is afnemen.

Berekening 11 en 12

De berekeningen met 10 cm zeespiegelrijzing met en zonder 1% getijslagtoename laten soortgelijke resultaten zien als beschreven in paragraaf 2.3.1. De snelheden in de geulen blijven bij zeespiegelrijzing ongeveer gelijk. De procentuele toename van de getijvolumina is ongeveer gelijk aan de procentuele toename van de geulinhouden. De getijslag neemt iets toe. Getijslagtoename op de Noordzee dempt naar binnen toe uit. De geulinhoud blijft gelijk, de getijvolumina nemen wel toe maar minder dan 1%.

4 Kwantitatieve uitwerking met box-modellen

4.1 Algemeen

Om een advies uit te kunnen brengen is het van belang dat de effecten van zandwinning (in relatie tot andere factoren en ingrepen) kwantitatief worden vastgesteld. Dit geldt met name voor de ingrepen die op korte termijn (tot 2005) zullen worden uitgevoerd, omdat het vast te stellen beleid voor die periode geldt.

Bij elke analyse zijn 4 stappen doorlopen:
inschatting initiële geometrische aanpassing
berekening waterbeweging bij aangepaste geometrie (SCALWEST-berekening)
berekening initiële morfologische reactie geulen (box-model)
inschatting verwachte morfologische ontwikkeling

De resultaten van de box-model berekeningen zijn gepresenteerd in termen van zandoverschotten/tekorten in de geulen. Dit is verder redenerenderwijs gerelateerd aan plaatniveaus, import en export.

4.2 Opzet box-modellen

Er zijn drie verschillende box-modellen opgezet. De effecten dienen namelijk op drie tijdschalen te worden beschreven (korte, middellange en lange termijn). Hieraan zijn ook ruimteschalen gekoppeld. Voor de lange termijn kunnen de effecten namelijk niet voor individuele geulen en platen worden beschreven. Voor de korte termijn is dit juist wel gewenst.

Bij de opzet van de box-modellen is zoveel mogelijk aangesloten bij de indeling zoals die door het RIKZ binnen MOVE wordt gebruikt (zie o.a. ref.[12]). Een indeling voor elk van de tijdschalen is gegeven in bijlage 4.1. De bijbehorende parameters zijn gegeven in bijlage 4.2: waterinhoud geulen, zandvolumes platen, arealen geulen en platen.

Voor elke geul is een raai in SCALWEST gekozen die de representatief wordt geacht voor de betreffende geul (zie bijlage 3.2).

Met de box-modellen wordt de verwachte morfologische reactie t.g.v. veranderingen in de waterbeweging berekend. Een procentuele verandering in getijvolumina door een geul wordt doorvertaald in een even grote procentuele verandering van de geulinhoud. Aanpassingen van geulen door uitbochtingsprocessen e.d. worden niet bepaald. Verder wijkt bij de box-modellen van berekening 7 t/m 10 de indeling in oosten en midden/westen voor de aanpassingen in het SCALWEST-model iets af van de geulindeling zoals die binnen MOVE wordt gebruikt. Om bovengenoemde redenen dienen de berekende morfologische reacties daarom alleen als indicatie voor de verwachte ontwikkeling te worden gezien. In veel gevallen wijst de berekende reactie erop dat de aangebrachte bodemveranderingen voor een deel gecompenseerd zullen worden (bijvoorbeeld aanzanding na verruiming van de hoofdgeul). De effecten op de waterbeweging (en morfologische reactie) zullen dan ook verminderd worden. De uiteindelijke ontwikkeling zal o.a. bepaald worden door de snelheid van bepaalde processen (uitruiming van geulen, berging in geulen en op platen). Deze reactiesnelheden zijn echter niet bekend.

De verwachte overschotten/tekorten in het mondingsgebied zijn moeilijk vast te stellen. Raai 12 zal slechts voor een bepaald deel van de geulen representatief zijn. Verder is onduidelijk of bij een "overschot" het zand de Westerschelde binnenkomt. In bovenstaande analyse zijn voor het natte volume beneden NAP -5m de volgende waarden aangehouden: Wielingen 1000 Mm³, Deurloo 500 Mm³ en Oostgat 500 Mm³ (totale natte volume beneden NAP -5m van het mondingsgebied is 7700 Mm³). De keuze van deze volumes is subjectief en heeft vrij grote

invloed op de berekende overschotten en tekorten. De berekende morfologische reactie dient daarom alleen als indicatie voor mogelijke bevordering van import of export van zand.

Bij de evaluatie met de box-modellen is verondersteld dat de geulen zich volledig aanpassen volgens de evenwichtsrelatie tussen dominante getijvolume (ebvolume in ebgeulen en vloedvolume in vloedgeulen) en doorstroomoppervlak: procentuele afname/toename getijvolumina = procentuele afname/toename geulinhoud onder NAP -5. Een analyse met de geulinhoud onder NAP -2m geeft vergelijkbare resultaten.

In paragraaf 2.3.2 wordt beschreven dat een verandering in debietverdeling kan resulteren in een minder efficiënt geulenpaar (efficiëntie is het vermogen om water te transporteren). In de analyses is verandering in de efficiëntie van geulen impliciet opgenomen, omdat de berekende geulaanpassing gebaseerd is op verandering van het dominante getijvolume. Een analyse waarbij de geulaanpassing werd gebaseerd op het gemiddelde van eb- en vloedvolume gaf vergelijkbare resultaten. Verandering in de efficiëntie van geulen is in de berekeningsresultaten dus van ondergeschikt belang. Door andere ontwikkelingen (uitbochting van geulen) zou de debietverdeling en efficiëntie wel kunnen veranderen. Dat is in deze studie echter niet onderzocht.

4.3 Korte termijn analyses (tot 2005); locatie zandwinning

Doel van de korte termijn analyses is om te bepalen wat de consequentie van verruiming van individuele geulen is. Dit levert informatie ten behoeve van keuze van mogelijke zandwinlocaties.

Voor een aantal geulen is geëvalueerd wat het effect zou zijn van 10 Mm³ onttrekking. Bij een jaarlijkse zandwinning van 2 Mm³ zou dit overeenkomen met een situatie in 2005.

4.3.1 Evaluatie berekeningen 1 t/m 6

1. Initiële geometrische verandering

De aanpassing van de geulen (in de hele geul een gelijke diepteverandering) is gebaseerd op de aanname dat de plaatselijke onttrekking vrij snel (binnen een jaar) wordt aangevuld vanuit de aanliggende geuldelen.

De volgende 6 SCALWEST-berekeningen zijn uitgevoerd: 10 Mm³ onttrekking in:

1. Pas van Terneuzen
2. Everingen
3. Overloop van Hansweert
4. Middelgat
5. Zuidergat/Overloop van Valkenisse
6. Schaar van Waarde/Valkenisse

2. Beïnvloeding waterbeweging

De resultaten zijn kwalitatief zoals verwacht en beschreven in hoofdstuk 3: lagere snelheden in de verruimde geul en de parallelle geul, landinwaarts snellere voortplanting van de getijgolf en toename van de getijverschillen, hogere snelheden in de overige geulen.

In het midden en het oosten is beïnvloeding waterbeweging in de niet-aangepaste geulenparen (toename getijvolumina) sterker bij ingrepen in de hoofdgeul dan bij ingrepen in nevengeul. Verder laten de berekeningen een toenemende beïnvloeding van de waterbeweging zien voor ingrepen van westen naar oosten.

3. Berekende initiële morfologische reactie

De berekende procentuele toename van de debieten door de aangepaste geul is kleiner dan de procentuele toename van de geulinhoud. Daarom wordt aanzanding van de aangepaste geul verwacht. Verder zal aanzanding in de parallelgeul optreden, omdat daar de getijvolumina kleiner worden. In de overige geulen nemen de getijvolumina toe. Deze geulen zouden dus kunnen gaan uitruimen. Kwantitatief zijn de effecten per aangepaste geul verschillend. Een gedetailleerd overzicht is gegeven in bijlage 4.3. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

Verwachte aanzanding/uitruiming/overschot (in Mm ³) per berekening						
	1	2	3	4	5	6
Verwachte aanzanding aangepaste geul	5.1	6.2	6.4	6.3	7.2	9.0
Verwachte aanzanding parallelle geul	2.2	4.3	3.3	2.4	0.7	1.8
Verwachte uitruiming overige geulen	1.9	2.6	6.9	1.8	9.9	4.2
Zandoverschot Westerschelde	-5.5	-7.8	-2.8	-6.9	2.0	-6.6
Zandoverschot mondingsgebied	3.5	5.3	4.9	2.4	6.5	2.8

De getallen verwijzen naar de berekeningen met aanpassingen in de volgende geulen:

1. Pas van Terneuzen (hoofdgeul westen)
2. Everingen (nevengeul westen)
3. Gat van Ossensisse/Overloop van Hansweert (hoofdgeul midden)
4. Middelgat (nevengeul midden)
5. Zuidergat (hoofdgeul oosten)
6. Schaar van Waarde/Schaar van Valkenisse (nevengeul oosten)

Door zandwinning creëer je een tekort. Dit tekort is echter kleiner dan de zandwinning (10 Mm³), doordat de getijvolumina door de geulen toenemen.

4. Inschatting morfologische ontwikkeling

Als aanzanding van de aangepaste geul optreedt worden de beschreven effecten (gedeeltelijk) tenietgedaan. Wel zal daarvoor zand nodig zijn dat aan andere gebieden onttrokken zal worden. Hiervoor geven de berekende aanzanding/uitruiming een indicatie. Omdat de parallelle geul ook wil aanzanden, zal het zand met name vanuit de aangrenzende geulen worden onttrokken. Het meeste zand zal onttrokken worden aan aangrenzende geulen waar de getijvolumina relatief sterk toenemen. Doordat de getijvolumina in het mondingsgebied toenemen zou ook de import vanuit het mondingsgebied versterkt kunnen worden, vooral bij onttrekking in het westen. Als de aanvoer van zand uit de aangrenzende geulen of het mondingsgebied te traag verloopt, zou in het aangepaste geulenpaar erosie van ondiep water gebieden, platen, slikken en schorren op kunnen treden. Rond de overige geulen (vooral als ze ver van tekortgebieden gelegen zijn) zou juist berging van zand in niet-geul gebieden op kunnen treden.

4.3.2 Conclusies

Bij de beoordeling van de geschiktheid als zandlokatie zijn op korte termijn de volgende beheersdoelstellingen van belang:

- minimalisering van de baggerinspanning;
- verminderen van de opgetreden verlanding in het oosten;
- voorkomen van hinderlijke dwarsstroming in de vaargeul.

Uit de berekeningen blijkt onttrekking in hoofdgeulen te resulteren in minder grote tekorten in het aangepaste geulenpaar en meer overschot (uitruiming) in de overige geulen dan onttrekking in de nevengeul. Er zal dus sneller een nieuw evenwicht ontstaan bij uitruiming van de hoofdgeul, waarbij de hoofdgeul ruimer zal zijn geworden en er meer water door de Westerschelde stroomt.

Dit zal een positief effect hebben op de baggerinspanning. Dit positieve effect zal het sterkst zijn bij zandwinning in het oosten (Zuidergat/Overloop van Valkenisse). Overigens zal ook zandwinning in het midden en westen de baggerinspanningen in het oosten gunstig beïnvloeden, omdat de retourstroom van het gestorte zand in midden en westen minder sterk zal zijn.

Als zand wordt gewonnen in Zuidergat/Overloop van Valkenisse is de kans groot dat zand onttrokken zal worden aan de plaat-, slik- en schorgebieden in het oosten. Dit kan de opgetreden verlanding compenseren. Bij uitruiming van kortsluitgeulen zouden echter ook hinderlijke dwarsstromingen in de vaargeul kunnen optreden (Zimmermangeul). Daarom is enige terughoudendheid ten aanzien van zandwinning in de nevengeul (Schaar van Waarde) gewenst.

4.4 Middellange termijn analyses (tot 2030); beheersscenario's

Doel van de middellange termijn analyses is om te bepalen hoe verschillende ontwikkelingsscenario's doorwerken (bagger- en stortbeleid, verder verruiming en zandwinning). Hiermee wordt zandwinning gerelateerd aan andere beleidsbeslissingen.

Als referentiesituatie is 2030 gekozen. Dan zullen de hydraulische randvoorwaarden anders zijn. Voor 2030 wordt 10 cm zeespiegelrijzing 1% getijslagtoename verwacht. 10 cm zeespiegelrijzing in 2030 ligt bij lineaire ontwikkeling tussen huidige zeespiegelrijzing (20 cm per eeuw) en verwachte zeespiegelrijzing (60 cm in de komende eeuw) en is gekozen omdat geen lineaire ontwikkeling maar een exponentiele ontwikkeling wordt verwacht. 1% getijslagtoename is extrapolatie van huidige ontwikkeling (3 tot 4% per eeuw).

De onzekerheden over de zeespiegelrijzing en getijslagtoename die werkelijk op zullen treden zijn groot. Voor de berekeningen is gekozen voor een conservatieve aanpak, daarom is zeespiegelrijzing wel en getijslagtoename niet meegenomen. De effecten van zeespiegelrijzing en getijslagtoename afzonderlijk worden beschreven in paragraaf 4.4.5 en 4.4.6.

4.4.1 bagger- en stortstrategie (berekening 7)

1. Geometrische aanpassing (en zeespiegelrijzing):

Bij de huidige bagger- en stortstrategie wordt verwacht dat (ook na verloop van tijd) netto zand aan het oosten wordt onttrokken en wordt geborgen in het midden en westen van de Westerschelde en het mondingsgebied. Deze situatie is gesimuleerd in het waterbewegingsmodel in combinatie met 10 cm zeespiegelrijzing. Bij deze berekening is de huidige bagger- en stortstrategie vertaald naar 2030: 60 Mm³ zand verplaatst van oosten (verlaging bodem met 53 cm) naar midden, westen en deel van de monding (verhoging bodem met 22 cm). Dit is vrij extreem, omdat bij een verlaging in het oosten van 53 cm de baggerhoeveelheden omlaag zullen gaan.

In onderstaande tabel zijn de geulinhoudveranderingen gegeven: negatief is ruimer worden (onttrekking van zand en zeespiegelrijzing), positief is krappere worden (toevoeging van zand). Voor de platen zijn geen hoeveelheden gegeven, belangrijker is hoe de hoogteligging verandert.

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: 7 Mm ³	hoofdgeulen: 8 Mm ³	hoofdgeulen: - 11 Mm ³
	nevengeulen: 9 Mm ³	nevengeulen: - 5 Mm ³
	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verhoging van 12 cm (22 cm ingreep - 10 cm zeespiegelrijzing)	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verlaging van 63 cm (52 cm ingreep + 10 cm zeespiegelrijzing)

Bovenstaande getallen laten schijnbaar geen sluitende zandbalans zien. In westen, midden en monding lijken de geulen ruimer te zijn geworden dan de geulen in het oosten krappert zijn geworden. De reden hiervoor is dat de geulen in totaal door zeespiegelrijzing 11 Mm^3 ruimer zijn geworden ($0.1 \text{ m} \times 110 \text{ km}^2$). De zandvolumina die aan de niet-geulgebieden zijn onttrokken en gestort zijn resp. ca. 48 Mm^3 in het oosten en 21 Mm^3 in midden, westen en monding.

2. Beïnvloeding waterbeweging:

Ten opzichte van de berekening met zeespiegelrijzing zijn de resultaten als volgt: vertraging van het getij tot Hansweert en daarna wel versnelling, maar de eerder opgelopen vertraging wordt niet ingehaald. De getijverschillen nemen af en hoogwaters nemen af. Met name in het oosten is de invloed op de hoogwaters groot. Dit komt door demping van de getijgolf in het midden en westen van de Westerschelde en toename van de horizontale berging (bergende breedte) in het oosten. Ondanks de afname van de getijverschillen neemt in het oosten de interne berging toe. Hierdoor nemen ook de getijvolumina benedenstrooms toe. In het westen neemt de interne berging af doordat het intergetijdegebied is opgehoogd. Hierdoor nemen de getijvolumina in de monding af. De hoogwaters nemen door zeespiegelrijzing toe, maar door de geometrische aanpassing af, vooral in het oosten.

3. Overschot/tekort door beïnvloeding snelheden:

In de hoofdgeulen in het oosten is de procentuele toename van de getijvolumina minder groot dan de toename van de geulinhoud. Hier worden de snelheden kleiner en ontstaat dus een tekort. In het midden en westen nemen echter de getijvolumina gemiddeld toe en de geulinhouden af. Hier ontstaat dus een vrij groot zandoverschot in de geulen. In de monding nemen de getijvolumina zo sterk af, dat de procentuele afname van de getijvolumina vrijwel gelijk wordt aan de procentuele afname van de geulinhoud.

In onderstaande tabel is de verwachte verandering van de geulinhouden op basis van veranderingen van de snelheden gegeven. Toename snelheden = overschot (positief), afname snelheden = tekort (negatief).

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: 0 Mm^3	hoofdgeulen: 38 Mm^3	hoofdgeulen: -10 Mm^3
	nevengeulen: 20 Mm^3	nevengeulen: -1 Mm^3

4. Inschatting morfologische reactie:

Opvallend is dat de geulen in midden en westen willen gaan uitruimen, terwijl het intergetijdegebied in de omgeving al is opgehoogd. De geulen in het oosten willen aanzanden, terwijl het intergetijdegebied in de omgeving al lager ligt. Omdat de snelheden in midden en westen toenemen en in oosten en monding lager worden, zal er transport naar het oosten en export naar het mondingsgebied op gang komen. Als dit gebeurt, wordt de ingreep gecompenseerd en zal ook de waterbeweging zich aanpassen. De beschreven effecten zullen hierdoor verzwakt worden.

Wel wordt een blijvende verlaging van niet-geulgebieden in het oosten en verhoging van niet-geulgebieden in midden en westen verwacht. Door het verlagen van het intergetijdegebied in het oosten kan daar meer water worden geborgen. Dit heeft een verlagend effect op de hoogwaterstanden.

4.4.2 verruiming (berekening 8)

1. Geometrische aanpassing (en zeespiegelrijzing):

Bij verdere verruiming van de vaargeul komt zand beschikbaar dat elders geborgen zal worden. Bij de verruiming van 1970-1975 is het zand voornamelijk in de nevengeulen, ondiep water- en plaatgebieden terechtgekomen. Bij het gewijzigde stortbeleid wordt verwacht dat het zand niet in het oosten, maar in het westen en het mondingsgebied geborgen wordt. Voor beide gevallen is een principeberekening gemaakt met het waterbewegingsmodel, resp. berekening 8 en 9.

In berekening 8 is de hoofdgeul verruimd (90 Mm³), waarbij het zand geborgen wordt in oosten, midden, westen en deel van de monding (verhoging bodem met 30 cm). In de hoofdgeul worden ondiepe delen (o.a. drempels) meer verlaagd (1.5 m) dan overige geuldelen (0.1 m).

Geulinhoudveranderingen: negatief is onttrekking van zand, positief is toevoeging van zand

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: 21 Mm ³	hoofdgeulen: -39 Mm ³	hoofdgeulen: -28 Mm ³
	nevengeulen: + 15 Mm ³	nevengeulen: -1 Mm ³
	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau:	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau:
	verhoging van 20 cm	verhoging van 20 cm
	(30 cm ingreep -10 cm	(30 cm ingreep -10 cm
	zeespiegelrijzing)	zeespiegelrijzing)

Ook hier geldt dat de zandbalans schijnbaar niet sluitend is. De verruiming van de hoofdgeul is immers 90 Mm³ plus het oppervlak van de hoofdgeul maal 10 cm zeespiegelrijzing. Dit komt omdat het getal voor het mondingsgebied zowel de ingreep in de hoofdgeul als in de andere geulen representeert.

2. Beïnvloeding waterbeweging:

Verruiming van hoofdgeul blijkt meer invloed op de voortplanting van de getijgolf te hebben dan ophoging van de overige gebieden. Beide berekeningen laten ten opzichte van berekening 11 een vervroeging en toename van de getijverschillen zien. De getijvolumina door de hoofdgeulen nemen toe, de getijvolumina door de nevengeulen nemen af.

3. Overschot/tekort door beïnvloeding snelheden:

In de hoofdgeulen in het oosten is de procentuele toename van de getijvolumina kleiner dan de procentuele toename van de geulinhoud. Hierdoor ontstaat een tekort. Bij de nevengeulen is de procentuele afname van de getijvolumina zelfs groter dan de procentuele afname van de geulinhoud. Dus hier zal ook aanzanding optreden. De procentuele toename van de getijvolumina in de hoofdgeulen in het midden en westen is iets minder groot dan de procentuele toename van de geulinhoud. Ook hier ontstaat dus een tekort. Dit tekort is echter veel minder groot dan in het oosten. De verwachte initiële toename van de geulinhoud is als volgt:

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: -18 Mm ³	hoofdgeulen: -5 Mm ³	hoofdgeulen: -21 Mm ³
	nevengeulen: -3 Mm ³	nevengeulen: 0 Mm ³

4. Inschatting morfologische reactie:

Omdat zowel hoofd- als nevengeulen willen aanzanden zal er zand onttrokken worden aan de niet-geul gebieden. Deze waren verhoogd door het zand dat bij de verruiming beschikbaar kwam uit de vaargeul. Het systeem zal dus terug willen naar de oorspronkelijke toestand, hoewel die

niet geheel hersteld zal worden. De hoofdgeul zal iets ruimer blijven. Dit zand zal in de overige gebieden geborgen worden.

4.4.3 Verruiming en bagger- en stortstrategie (berekening 9)

1. Geometrische aanpassing (en zeespiegelrijzing):

Berekening 9 betreft een verruiming van de hoofdgeul (90 Mm³), waarbij het zand geborgen wordt in midden, westen en deel van de monding (verhoging bodem met 43 cm). In de hoofdgeul worden ondiepe delen (o.a. drempels) meer verlaagd (1.5 m) dan overige geuldelen (0.1 m). De geulinhoudverandering en zijn als volgt (negatief is onttrekking van zand, positief is toevoeging van zand):

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: - 15 Mm ³	hoofdgeulen: -39 Mm ³	hoofdgeulen: -28 Mm ³
	nevengeulen: + 25 Mm ³	nevengeulen: -1 Mm ³
	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verhoging van 33 cm (43 cm ingreep -10 cm zeespiegelrijzing)	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verlaging van 10 cm door zeespiegelrijzing

2. Beïnvloeding waterbeweging:

De invloed op de waterbeweging is evenals de ingreep een combinatie van berekening 7 en 8, waarbij effecten van verruiming overheersen over de effecten van de bagger- en stortstrategie: vervroeging, toename van de getijverschillen, de getijvolumina door de hoofdgeulen nemen toe, de getijvolumina door de nevengeulen nemen af.

3. Overschot/tekort door beïnvloeding snelheden:

De verwachte initiële toename van de geulinhouden is als volgt:

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: -30 Mm ³	hoofdgeulen: 9 Mm ³	hoofdgeulen: -22 Mm ³
	nevengeulen: 4 Mm ³	nevengeulen: -1 Mm ³

Dat er een overschot ontstaat in de nevengeulen in westen en midden wijst erop dat hier te veel is gestort voor een evenwichtssituatie (evenals dit bij berekening 7 het geval is).

4. Inschatting morfologische reactie:

Evaluatie van deze berekening levert geen extra informatie op ten opzichte van de evaluatie van berekening 7 en 8 afzonderlijk. De effecten van de verruiming overheersen. Dus evenals bij berekening 8 zal er zand onttrokken worden aan de niet-geul gebieden, omdat zowel hoofd- als nevengeulen willen aanzanden. De niet-geulgebieden waren verhoogd door het zand dat bij de verruiming beschikbaar kwam uit de vaargeul. Het systeem zal dus terug willen naar de oorspronkelijke toestand, hoewel die niet geheel hersteld zal worden. De hoofdgeul zal iets ruimer blijven. Dit zand zal in de overige gebieden geborgen worden.

4.4.4 Zandwinning (berekening 10)

1. Geometrische aanpassing (en zeespiegelrijzing):

Vervolgens is een berekening uitgevoerd waarbij het zand slechts gedeeltelijk is teruggestort (30 Mm3). Resultierend: verhoging bodem in midden, westen en deel van de monding van 14 cm.

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: -29 Mm3	hoofdgeulen: -39 Mm3	hoofdgeulen: -28 Mm3
	nevengeulen: + 3 Mm3	nevengeulen: -1 Mm3
	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verhoging van 4 cm (14 cm ingreep -10 cm zeespiegelrijzing)	plaathoogte t.o.v. gemiddeld zeeniveau: verlaging van 10 cm door zeespiegelrijzing

2. Beïnvloeding waterbeweging:

De effecten van berekening 10 t.o.v. berekening 9 laten een versnelling en minder demping van de getijgolf zien. Hierdoor nemen de getijverschillen in het oosten toe. In de monding, westen en midden neemt het intergetijdegebied toe. Hierin kan zoveel water worden geborgen dat in de monding en deel westen de getijverschillen en hoogwaters toenemen. (toename bergende breedte). De getijvolumina door de geulen nemen in het oosten iets toe, maar in het westen iets af.

3. Overschot/tekort door beïnvloeding snelheden:

De invloed op de verwachte initiële ontwikkeling van de geulinhoud is hieronder gegeven. De verschillen met berekening 9 zijn klein.

Monding:	Westen/midden Westerschelde:	Oosten Westerschelde:
geulen: -11 Mm3	hoofdgeulen: 4 Mm3	hoofdgeulen: -21 Mm3
	nevengeulen: 1 Mm3	nevengeulen: -1 Mm3

4. Inschatting morfologische reactie:

Uit deze berekening kan worden geconcludeerd dat de hoofdgeul de getijvoortplanting veel meer beïnvloedt dan de overige gebieden. Er komt bij deze berekening dus bijna geen extra zand beschikbaar uit de geulen. De verlaging van de niet-geulgebieden wordt dus niet gecompenseerd.

Evenals bij de eerste 6 berekeningen is het tekort dat ontstaat door zandwinning kleiner dan de gewonnen hoeveelheid zelf. Dit komt doordat de stromingen door de geulen sterker worden.

Opvallend is verder dat het tekort in de geulen in het oosten voor de berekeningen 8, 9 en 10 praktisch gelijk is, hoewel het intergetijdegebied wel wijzigingen ondergaat. De interne berging blijkt hier ongevoelig voor. De consequentie hiervan is dat de waterstanden wel gevoelig zijn. Bij toename van het intergetijdegebied in het oosten nemen de hoogwaterstanden af.

4.4.5 Zeespiegelrijzing (berekening 11)

De procentuele toename van de getijvolumina is vrijwel gelijk aan de procentuele toename van de geulinhoud. Er zal dus vrijwel geen morfologische aanpassing van de geulen optreden. In het mondingsgebied is de aanpassing van de geulinhoud echter gering, terwijl de getijvolumina sterker toenemen. Hier zou dus een overschot aan zand kunnen ontstaan. Het getij vervroegt

iets. De getijverschillen en hoogwaters nemen iets toe (de hoogwaters m.n. door de zeespiegelrijzing zelf).

De platen komen lager te liggen ten opzichte van gemiddeld zeeniveau. Bij gelijkblijvende geometrie zouden de platen, schorren en slikken hierdoor vaker onder water komen te staan. In werkelijkheid zullen ze daardoor ophogen. Als hier geen extra zand voor beschikbaar is zal (bij gelijkblijvend geulareaal) het plaat-, slik- en schorareaal afnemen en het ondiep water areaal toenemen. Dit wordt pas een ongewenste ontwikkeling als dit zeer sterk doorzet. De natuurfunctie blijft vergelijkbaar met de huidige situatie als alle niet-geul gebieden evenveel ophogen als het gemiddelde zeeniveau stijgt. Dit zou kunnen bij import van zand of als de waterinhoud van de geulen toeneemt, door bijvoorbeeld verruiming of getijslagtoename.

4.4.6 Getijslagtoename Noordzee (berekening 12)

Getijslagtoename resulteert in uitruiming van de geulen, dus compensatie van verlaging van niet-geulgebieden door zeespiegelrijzing of scenario's waarbij tekorten in de geulen optreden. Als deze nadelige effecten niet optreden zou in principe elke procentuele toename van getijvolumina door getijslagtoename benut kunnen worden voor zandonttrekking aan de geulen, zonder dat platen, slikken schorren en ondiep water gebieden beïnvloed worden. Hierbij is er wel vanuit gegaan dat na verloop van tijd de zandwinning gelijkmatig over de geulen verdeeld wordt.

Uit de berekening tijdens deze studie volgt voor een getijslagtoename van 1% een overschot in de geulen van 13-17 Mm³ (geulinhoud onder NAP -5 m = 1660 Mm³, onder NAP -2 m = 2200). Dit komt ongeveer overeen met een eerdere berekening die bij een getijslagtoename van 4% een toename van de getijvolumina van 3% liet zien. Met een totale geulinhoud van de Westerschelde van 1660-2200 Mm³ zou dit een overschot van 50-66 Mm³ betekenen.

4.5 Lange termijn analyses (tot 2100); externe forcering

Op de korte en middellange termijn is het effect van (versnelde) zeespiegelrijzing ondergeschikt aan de invloed van beheersmaatregelen. Voor de lange termijn zou de externe forcering dominant kunnen worden. Naast zeespiegelrijzing is ook de externe getijslagtoename op de Noordzee van belang.

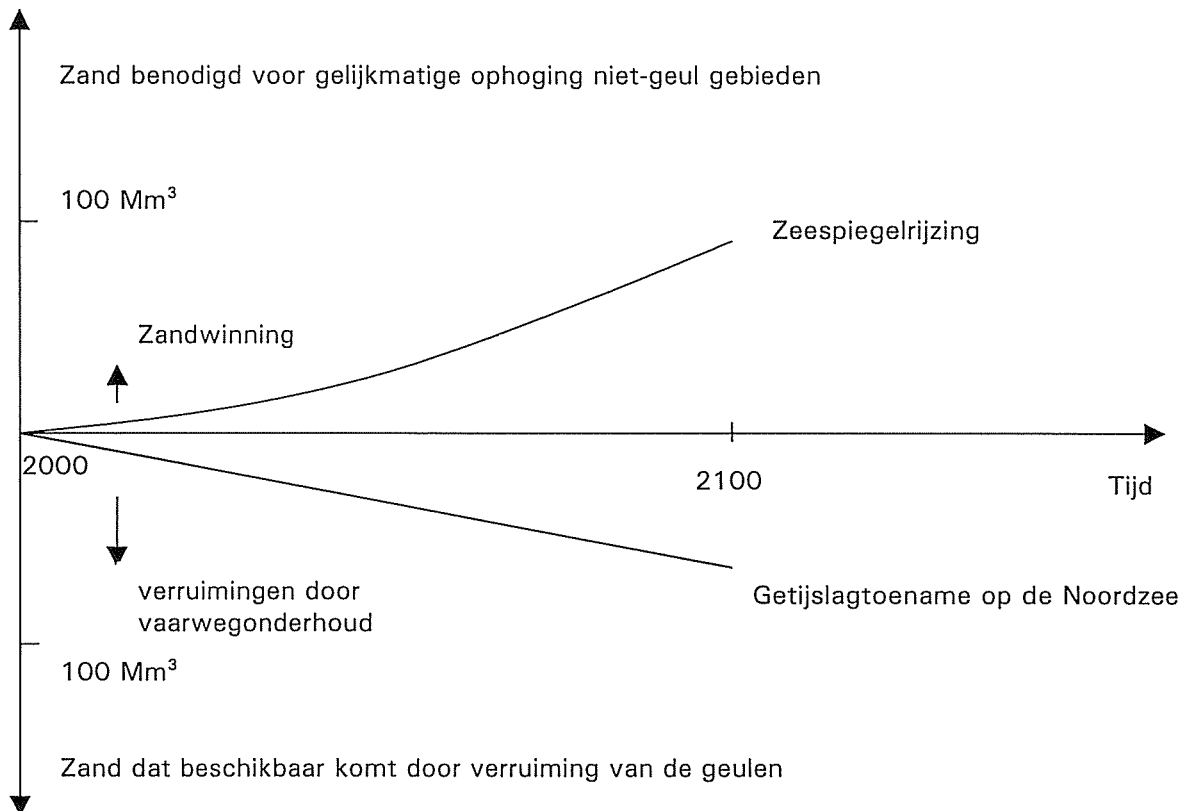
Om de ligging van niet-geulgebieden ten opzichte van de waterstanden gelijk te houden is voor 60 cm zeespiegelrijzing ca. 100 Mm³ (0.6 m x 170 km²) zand nodig.

Getijslagtoename op de Noordzee dempt naar binnen toe uit. De getijvolumina nemen hierdoor procentueel minder sterk toe dan de getijslagtoename op de Noordzee. Bij een getijslagtoename van 4% op de Noordzee komt 50-70 Mm³ zand uit de geulen beschikbaar.

Door verruiming van de vaargeul door vaargeulbeheer komt ook zand beschikbaar. Vanaf 1970 is ca. 30 Mm³ zand geborgen boven NAP -2m.

Door zandwinning wordt zand onttrokken. Als de geulen hierdoor ruimer worden zal meer water de Westerschelde in- en uitstromen. Afhankelijk van waar onttrokken wordt en de morfologische reactie hierop zal een deel van de zandwinning ten koste gaan van de niet-geulgebieden en een deel uit de geulen beschikbaar komen. De lagere snelheden in de geulen door de onttrekking van zand aan de geulen zal voor een groot deel gecompenseerd worden doordat meer water in- en uitstroomt. Het totale tekort zal dus kleiner zijn dan de onttrekking.

In onderstaande figuur is grafisch weergegeven hoe de verschillende invloeden samenhangen. Door zeespiegelrijzing is zand benodigd om de gebieden op te hogen, zodat de ligging ten opzichte van de waterstanden (van belang voor de natuurfunctie) gelijk blijft. Deze behoefte wordt versterkt door zandwinning. Er komt zand beschikbaar als de geulen uitruimen. Dit zal gebeuren als de getijslag op de Noordzee blijft toenemen. Ook door verruiming t.g.v. vaargeulonderhoud komt zand beschikbaar. Om de natuurfunctie te handhaven dient de hoeveelheid zand die benodigd is in de niet-geulgebieden ongeveer gelijk te zijn aan de hoeveelheid zand die beschikbaar komt uit de geulen en of door import vanuit het mondingsgebied.



5 Conclusies en aanbevelingen

Korte termijn effecten

In deze studie is onderzocht hoe de waterbeweging zich bij zandwinning aan zal passen. In het algemeen zal bij onttrekking van zand meer water in- en uit de Westerschelde gaan stromen. Hierdoor zullen de geulen blijvend ruimer zijn. Dit is gunstig met het oog op de baggerinspanning. Het betekent ook dat slechts een deel van de zandwinning ten koste zal gaan van plaat-, slik- en schorgebieden.

Uit de berekeningen blijkt verder dat bij uitruiming van de hoofdgeulen meer water in en uit de Westerschelde gaat stromen dan bij uitruiming van de nevengeulen. Erosie van platen, slikken en schorren zal dus eerder optreden bij zandwinning in nevengeulen dan bij zandwinning in de hoofdgeul. Het Zuidergat laat de sterkste beïnvloeding van de waterbeweging zien. De uitruiming van de geulen in het midden en westen zou zelfs sterker kunnen zijn dan de aanzanding van geulen in het oosten.

Middellange termijn effecten

Zandwinning zal de effecten van de huidige bagger- en stortstrategie versterken. Het oosten van de Westerschelde zal ruimer worden. Het is mogelijk dat platen, slikken en schorren in het oosten gaan eroderen. Sinds 1970 is door verruiming van de vaargeul en import van zand vanuit het mondingsgebied ruim 30 Mm³ zand geborgen boven NAP -2 m. Dit zand kan gewonnen worden zonder dat op korte termijn de natuurfunctie in gevaar komt. Doordat in het intergetijdegebied meer water kan worden geborgen, zullen de hoogwaters in het oosten weer gaan afnemen. Dit is gunstig met het oog op de veiligheid tegen overstromen van de dijken. Bij ruimer worden van het oosten zijn echter ook ontwikkelingen mogelijk, die gevaarlijk kunnen zijn voor de scheepvaart. Bijvoorbeeld uitruiming van de Zimmermangeul. Dit gevaar is het grootst bij zandwinning in de Schaar van Waarde.

Lange termijn effecten

Door zeespiegelrijzing en zandwinning komen plaat-, slik- en schorgebieden lager te liggen ten opzichte van de waterstanden. Als zandwinning resulteert in ruimere geulen, zal de verlaging van deze gebieden door zandwinning beperkt zijn. De platen, slikken en schorren zullen door toename van de overstromingsfrequentie ophogen, mits voldoende zand beschikbaar is. Dit zand kan beschikbaar komen als de geulen ruimer worden door vaargeulbeheer en getijslagtoename op de Noordzee of als zand wordt geïmporteerd vanuit het mondingsgebied. Compensatie van de verlanding in het oosten sinds 1970 kan zelfs als positief worden beoordeeld. Volgens de huidige verwachtingen zal ook op lange termijn door getijslagtoename en verruiming meer zand beschikbaar komen dan benodigd is voor compensatie van de zeespiegelrijzing. Voortdurende monitoring is vereist om deze verwachting en het bijbehorende beleid indien nodig bij te stellen.

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat een verdere verruiming van de vaargeul zal resulteren in een één geul systeem. Zelfs bij een onttrekking van 90 Mm³ uit de vaargeul nemen de getijvolumina in de hoofdgeul minder sterk toe dan de geulinhoud. De snelheden zullen daarom lager worden, zodat aanzanding (compensatie van de verruiming) wordt verwacht.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De nadruk bij deze studie lag vooral op het verkennen van de gevoeligheden van de getijbeweging in de Westerschelde voor veranderingen in de geometrie. De uiteindelijke morfologische aanpassing kon niet nauwkeurig worden bepaald. Bij verder onderzoek zou vooral aan de reactiesnelheden van de verschillende gebieden aandacht moeten worden besteed. Dit

kan in principe met ESTMORF. Omdat de ontwikkeling van platen in ESTMORF (nog) niet goed gereproduceerd worden is echter onduidelijk of de berekende reactiesnelheden van plaataanpassingen wél goed zijn.

Bij de korte termijn analyses is gekeken naar de gevoeligheid voor aanpassing van bepaalde geulen. Ook de bodemligging in niet-geulgebieden (boven NAP – 5 m) beïnvloedt echter de getijbeweging. Uit de middellange termijn analyses volgt dat de invloed op de getijvoortplanting en de stroming door de geulen beperkt is. Wel kan de invloed op de waterstanden aanzienlijk zijn, omdat de bergende breedte toeneemt. Om hier beter inzicht in te krijgen wordt aanbevolen om veranderingen van deze gebieden ook systematisch te onderzoeken met SCALWEST-berekeningen.

Bij de middellange termijn analyses zijn verschillende combinaties van ingrepen onderzocht. Hierdoor was het niet altijd mogelijk om de effecten van de afzonderlijke ingrepen te onderscheiden. Om het inzicht in de berekeningsresultaten te vergroten wordt aanbevolen om ingrepen eerst afzonderlijk door te rekenen.

Referenties

- [1] G. Mol; De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43', Beschrijving van trends in de fysische toestand; Rapport RIKZ-97.049; 1997
- [2] Svašek bv; Lange termijn gedrag Westerschelde, definitiestudie zeespiegelrijzing, 98101/1044; mei 1998
- [3] Svašek bv; Verklarend onderzoek Drempels Westerschelde; januari 1994
- [4] F. T. G. Tank; Empirische relaties tussen de plaat- en slikhoogte en getijkarakteristieken in de Westerschelde, IMAU rapport 95-07; juni 1995
- [5] C. van der Male; De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961-1992, RIKZ/ABD 96.837X, augustus 1996
- [6] T. Pieters; Conclusies onderzoek naar hydraulische en morfologische ontwikkelingen in het Land van Saeftinge, RIKZ/AB-94.801X; oktober 1993
- [7] M.J. van der Slikke; Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding 1969-1993), Een inventarisatie van de dieptegegevens (1800-1996); november 1997
- [8] F. Gerritsen; The effect of wave action on the stability of channels in tidal entrances; augustus 1999
- [9] L.A. Uit den Bogaard; Resultaten zandbalans Westerschelde 1955-1993; februari 1995
- [10] Svašek bv; De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemondd, een modelmatige onderbouwing, 98154/1034; juni 1998
- [11] Jansen; M.H.P.; Bouw, Calibratie en Verificatie SCALWEST. Svašek rapport 97210/1011; mei 1997.
- [12] G. Mol; De fysische toestand van de Westerschelde 1998, kort na de verdieping 48'/43', concept; 28 april 1999
- [13] S. W. E. Huijs; De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke ingrepen 1955-1994, IMAU rapport R96-17; augustus 1996

Lijst met bijlagen

Bijlage 2.1	Globale inhouden, oppervlaktes en zandverplaatsingen.
Bijlage 3.1	Overzicht SCALWEST-model met waterstandstations
Bijlage 3.2	Overzicht debietraaien
Bijlage 3.3	Bodem aanpassingen SCALWEST-model
Bijlage 3.4	Berekende getijverschillen
Bijlage 3.5	Berekende hoogwaterstanden
Bijlage 3.6	Berekende tijdstippen nuldoorgangen
Bijlage 3.7	Berekende getijvolumina
Bijlage 4.1	Indeling box-modellen
Bijlage 4.2	Arealen en volumes
Bijlage 4.3	Berekende morfologische reacties

Bijlage 2.1

Globale inhouden en oppervlaktes Schelde-estuarium:

gebied	inhoud (Mm ³)	oppervlakte (km ²)
Zeeschelde (beneden NAP)	240	25
geulen Westerschelde (beneden NAP -2 m)	2200	170
platen Westerschelde (boven NAP -2 m)	100	110
Monding (beneden NAP)	7700	700

Globale inhouden Westerschelde (Mm³):

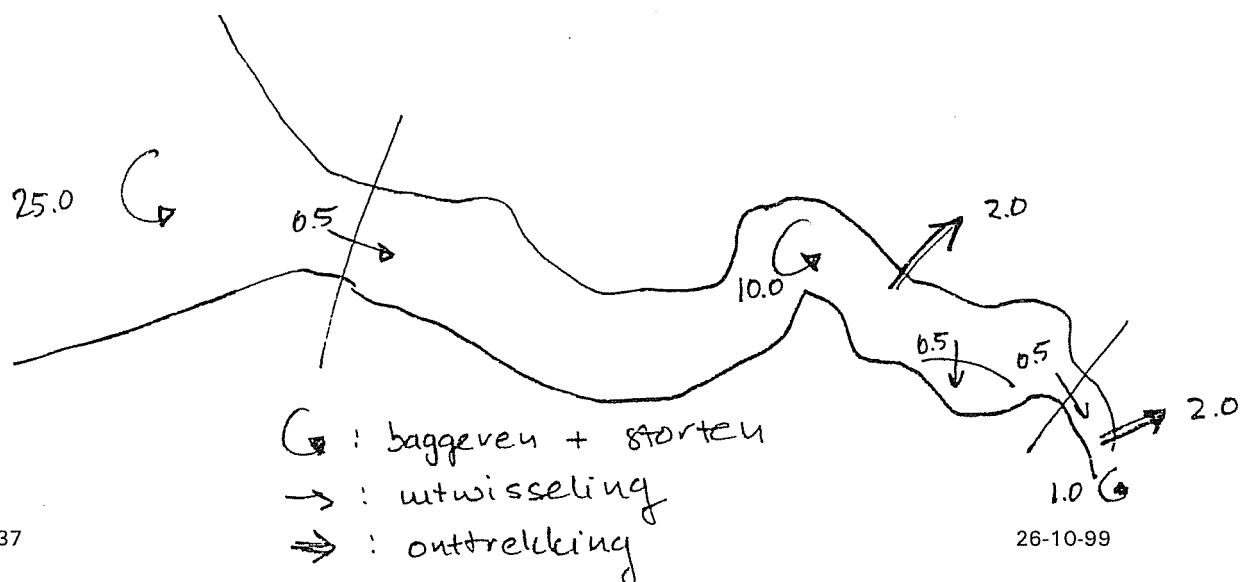
	platen, slikken, schorren en ondiep water	geulen
oosten Westerschelde	30	450
midden/westen Westerschelde	70	1750

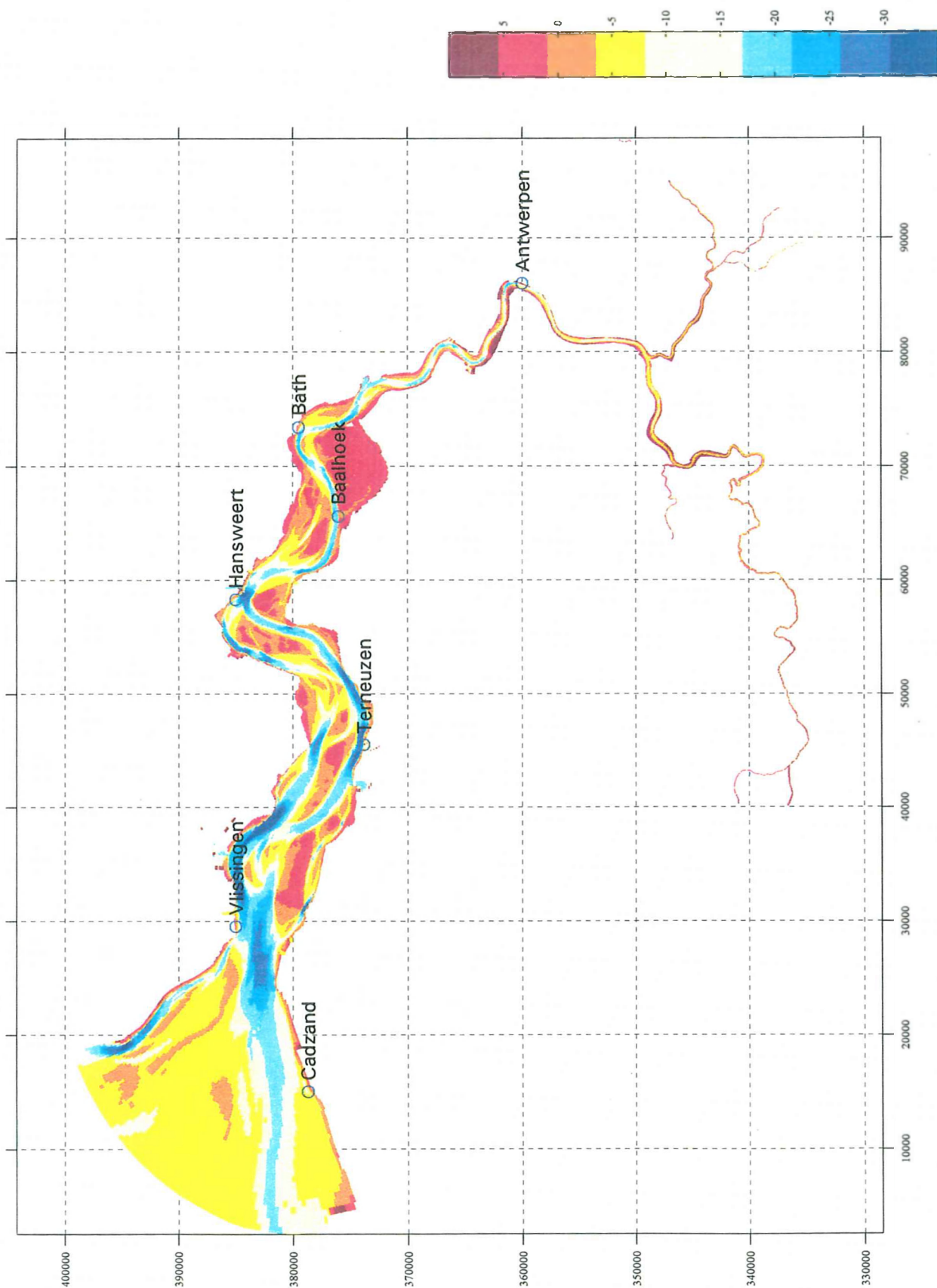
Globale oppervlaktes Westerschelde (km²):

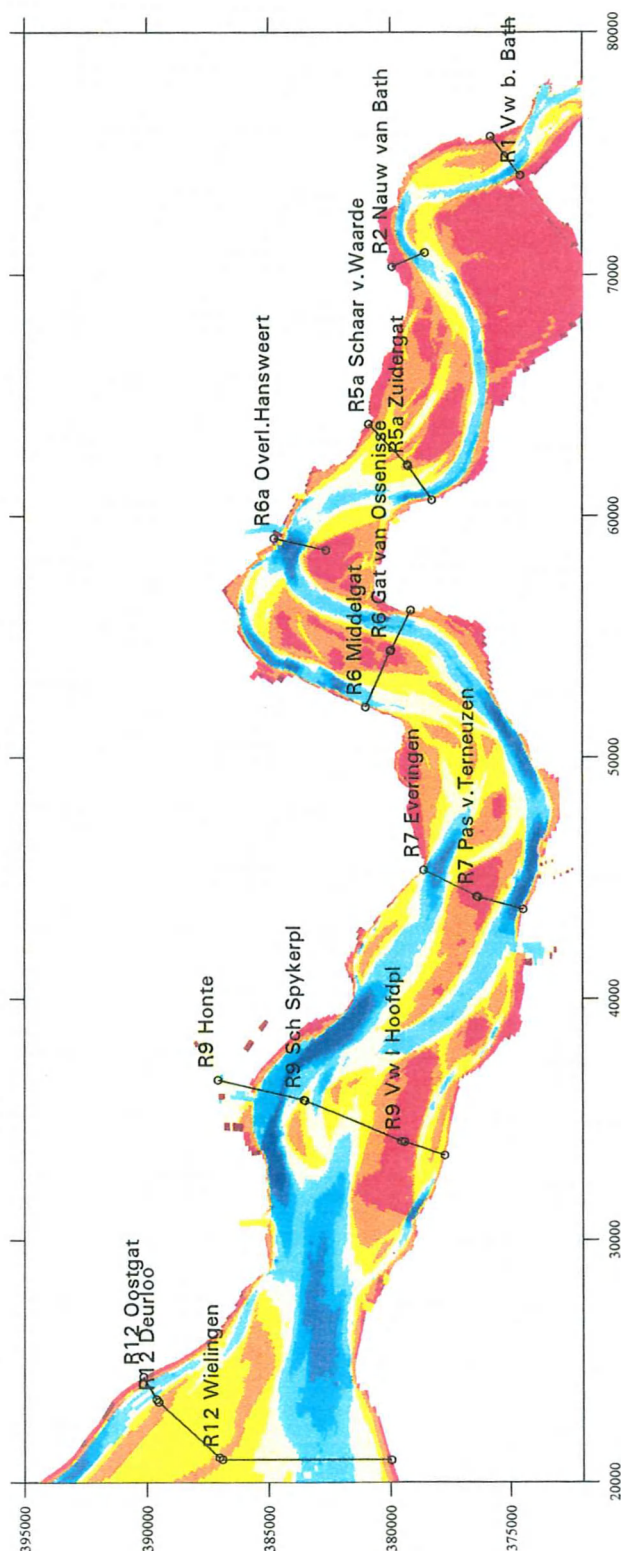
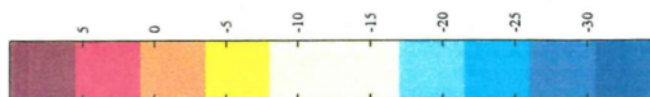
	platen	slikken/ schorren	ondiep water	geulen
Land van Saeftinge		15		10
oosten Westerschelde	15	15	10	40
midden/westen Westerschelde	35	15	20	130

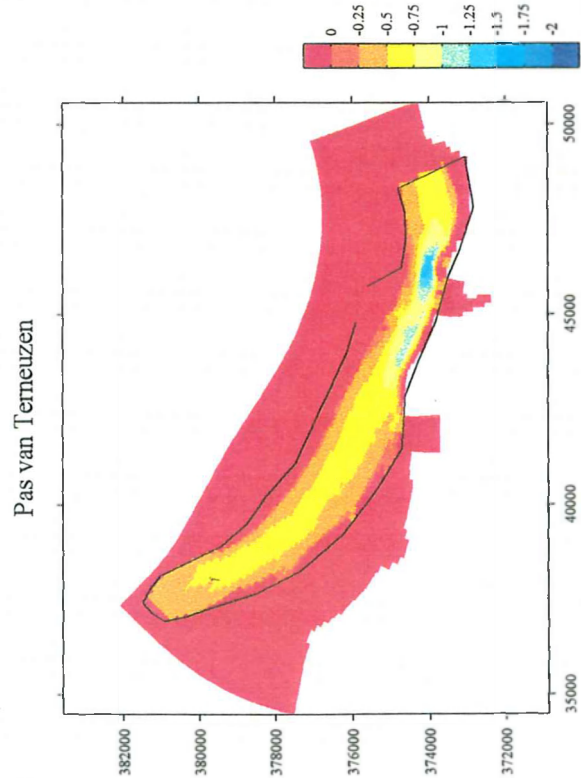
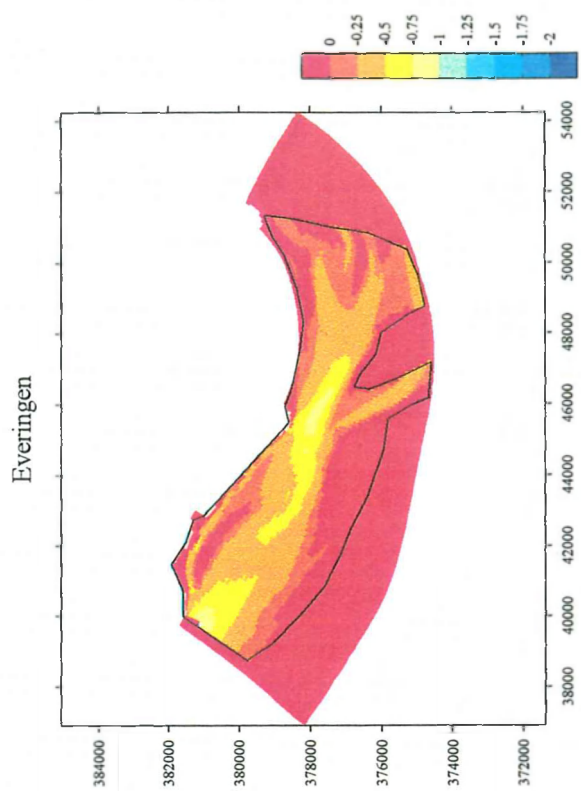
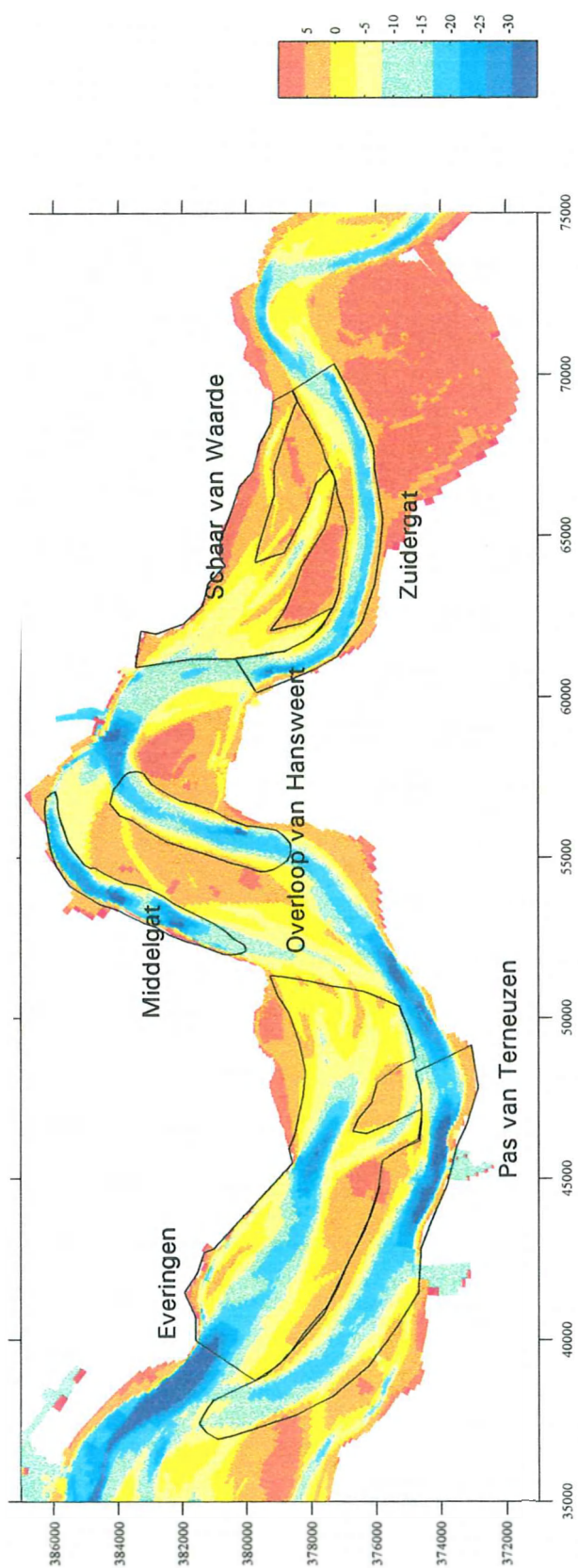
Globale zandverplaatsingen Schelde-estuarium:

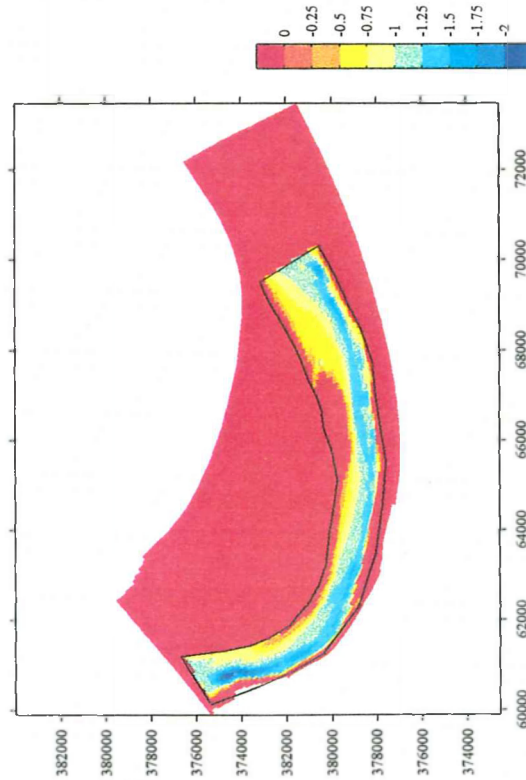
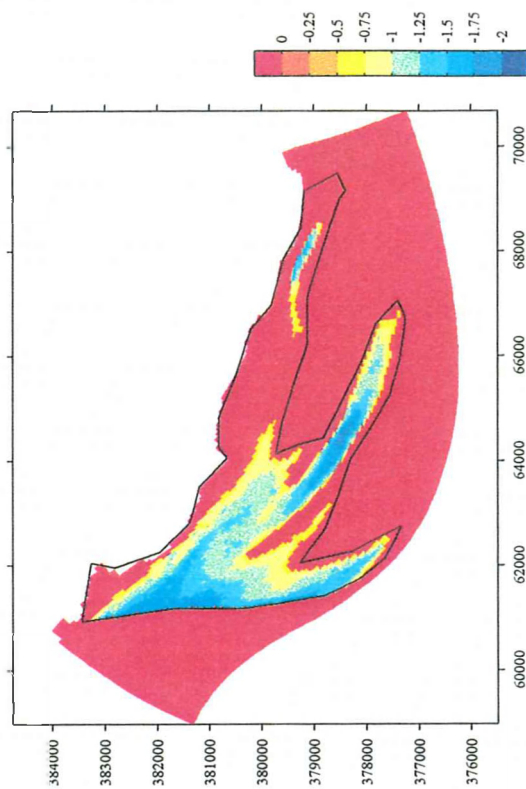
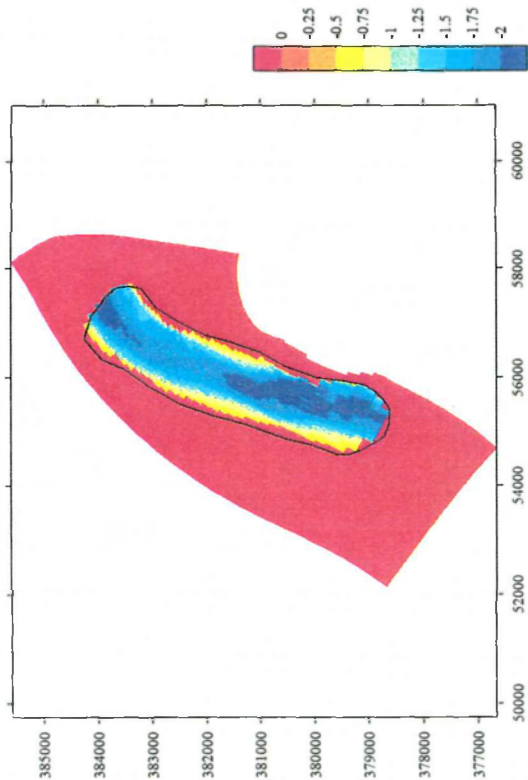
N.B.: gemiddelde waarden. Uitwisseling met monding kan variëren van 8 Mm³ import tot export.

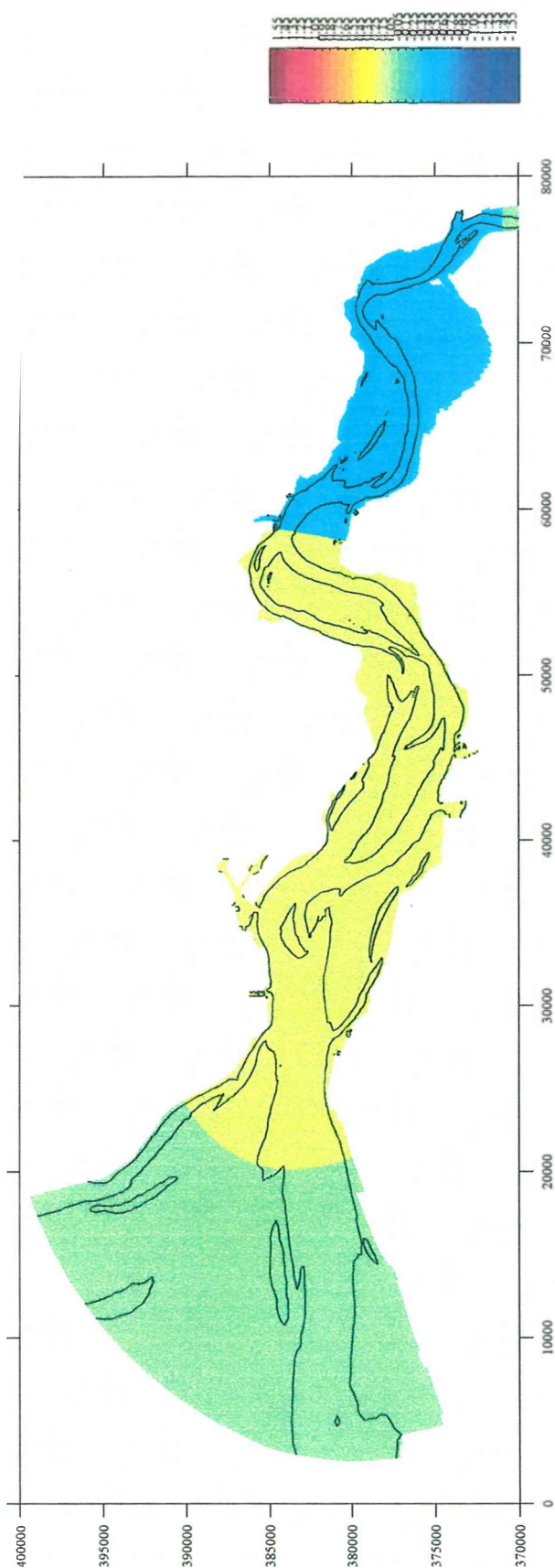




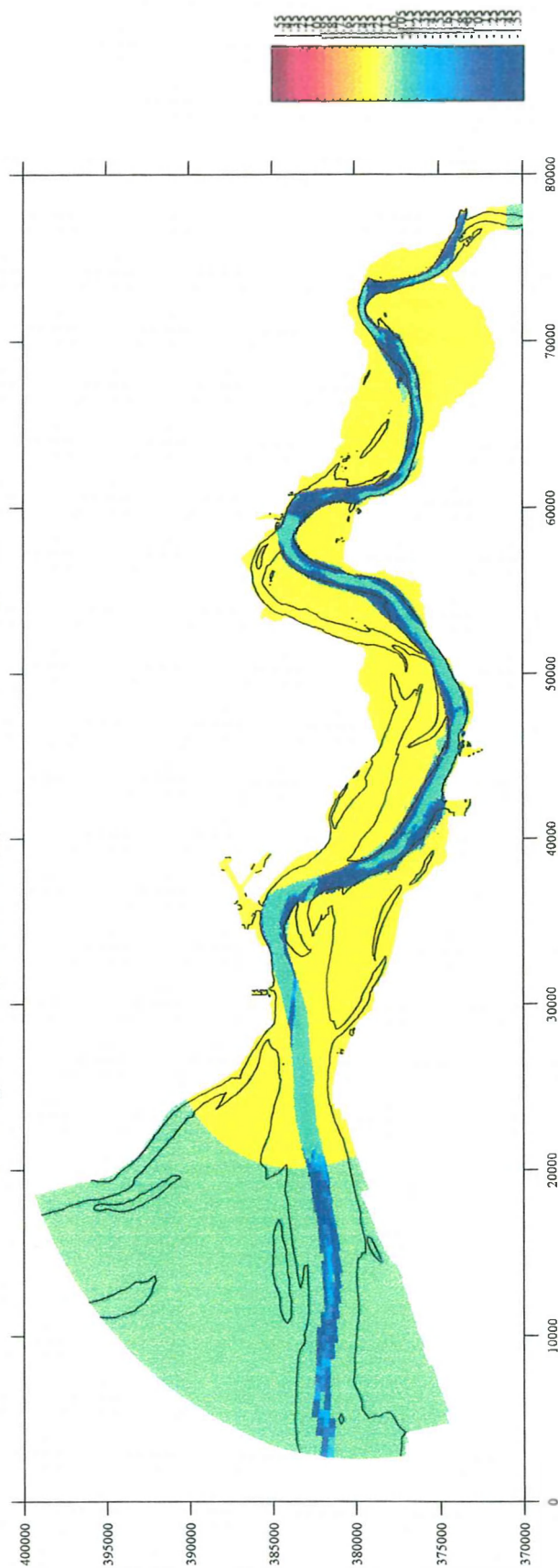


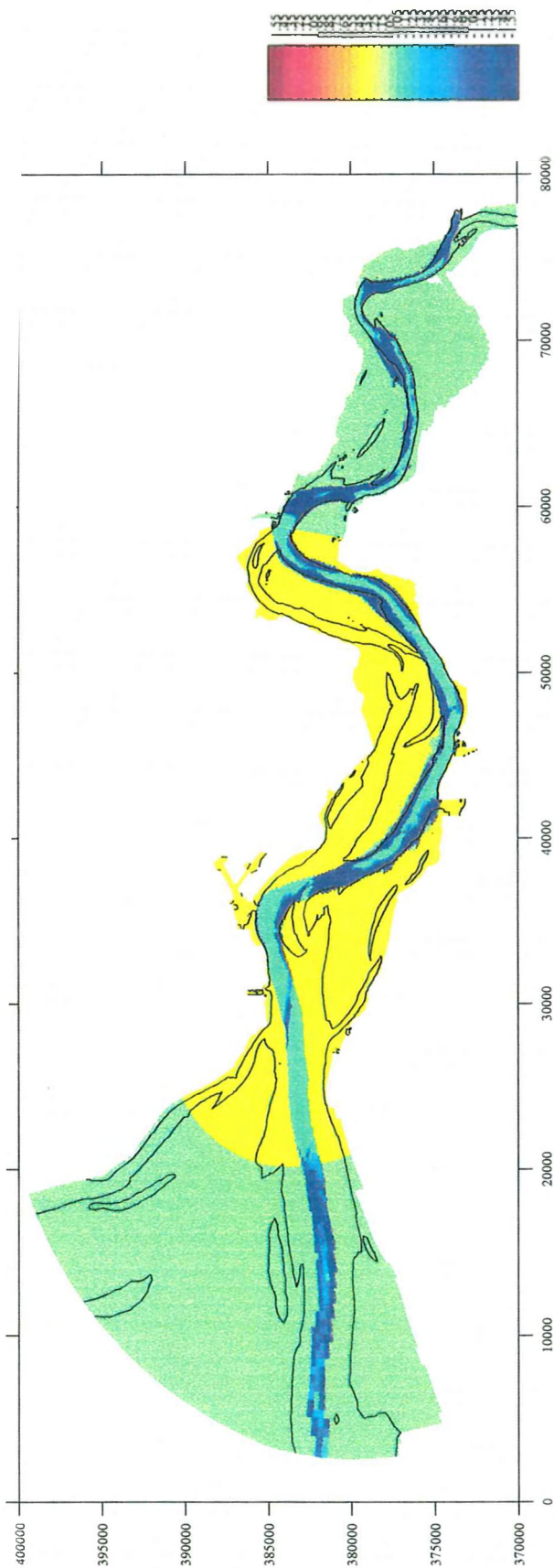




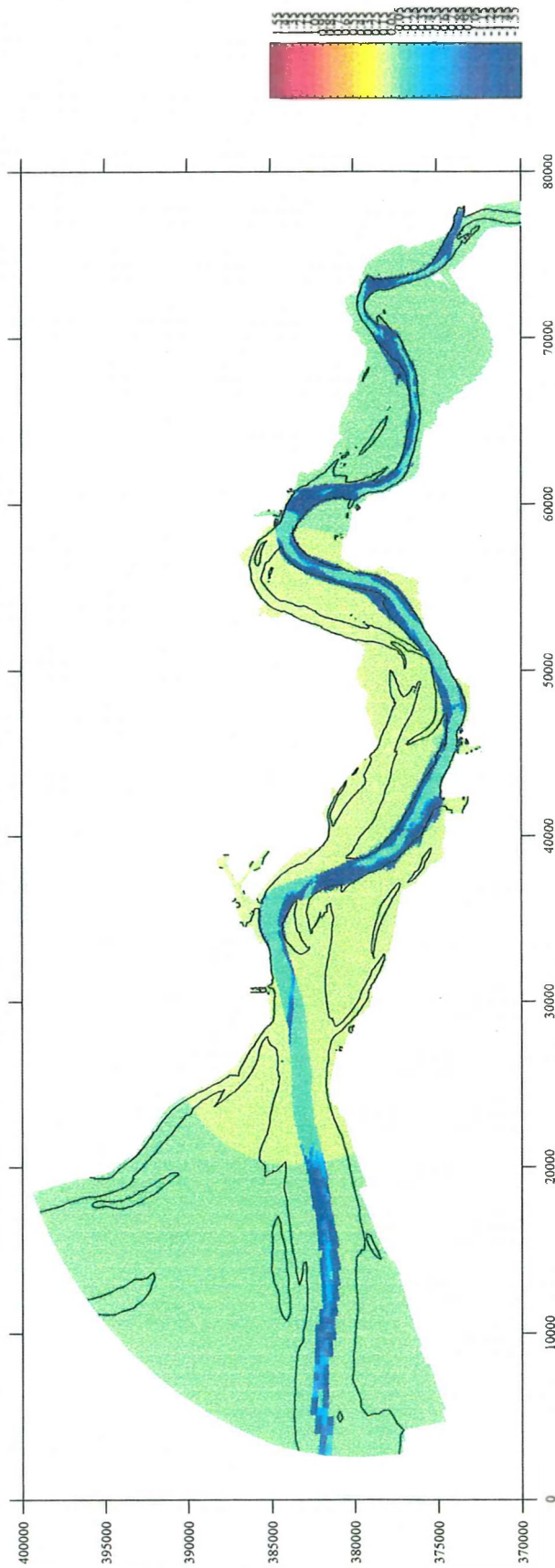


Berekening 8 : Hoofdgeul verruimd, gestort in overig deel Westerschelde





Berekening 10 : Hoofdgeul verruimd, gestort in overig westelijk gebied - zandwinning



Bijlage 3.4: Berekende getijverschillen

Korte termijn

Getijslag toename/afname (%) t.o.v. basisberekening

station\berekening	Pas v. Terneuzen (1)	Everingen (2)	Overl. Hansweert (3)	Middelgat (4)	Zuidergat (5)	Schaar v. Waarde (6)
Cadzand	0.01	0.07	-0.03	0.03	-0.05	-0.01
Vlissingen	0.01	0.03	-0.01	0.01	0.03	0.04
Terneuzen	0.15	0.20	0.01	0.01	-0.01	0.01
Hansweert	0.18	0.23	0.35	0.11	0.07	0.19
Baalhoek	0.14	0.31	0.26	0.13	0.62	0.31
Bath	0.13	0.12	0.15	0.08	0.87	0.20
Antwerpen	0.17	0.14	0.20	0.37	-0.30	0.27

Middellange termijn

Getijslag toename/afname (%) t.o.v. basisberekening

station\berekening	Ber7	Ber8	Ber9	Ber10	Ber11	Ber12
Cadzand	-0.13	0.04	0.16	0.04	-0.02	0.92
Vlissingen	-0.01	0.28	0.42	0.24	0.12	0.98
Terneuzen	-1.04	0.40	0.01	0.38	0.06	0.90
Hansweert	-1.69	1.14	0.41	0.95	0.09	0.90
Baalhoek	-1.01	1.93	1.30	1.79	0.20	0.78
Bath	-1.31	2.23	1.53	1.89	0.09	0.68
Antwerpen	-1.25	1.95	1.27	1.72	0.21	0.86

Sommen middellange termijn analyse:

- Ber7 = Huidige bagger- en stortstrategie: gelijkmatig verdeelde onttrekking oosten (60 Mm³) = gelijkmatig verdeelde berging in midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber8 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen oosten, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber9 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing. Deze som kan gezien worden als combinatie van 7 en 8 (verruiming met huidige bagger- en stortstrategie).
- Ber10 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging – zandwinning (60 Mm³) in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber11 = 10 cm zeespiegelrijzing
- Ber12 = 10 cm zeespiegelrijzing en 1 % getijslagtoename

Bijlage 3.5: Berekende hoogwaterstanden

Korte termijn

Hoogwater toename/afname (cm) t.o.v. basisberekening

station\berekening	Pas v. Terneuzen (1)	Everingen (2)	Overl. Hansweert (3)	Middelgat (4)	Zuidergat (5)	Schaar v. Waarde (6)
Cadzand	0.0	0.2	-0.1	0.1	-0.1	-0.1
Vlissingen	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.2	0.0
Terneuzen	0.4	0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
Hansweert	0.4	0.7	1.0	0.5	0.0	0.3
Baalhoek	0.5	0.6	0.7	0.5	1.6	0.9
Bath	0.3	0.3	0.4	0.3	1.6	0.5
Antwerpen	0.7	0.4	0.7	1.5	-5.7	1.7

Middellange termijn

Hoogwater toename/afname (cm) t.o.v. basisberekening

station\berekening	Ber7	Ber8	Ber9	Ber10	zsr	zsr10gs
Cadzand	10	10	11	10	10	12
Vlissingen	10	11	11	10	11	12
Terneuzen	7	11	9	10	10	12
Hansweert	3	13	10	12	10	12
Baalhoek	3	16	13	14	10	12
Bath	1	16	12	14	10	12
Antwerpen	0	16	13	15	11	13

Hoogwater toename/afname – zeespiegelrijzing (cm) t.o.v. basisberekening

Cadzand	0	0	1	0	0	2
Vlissingen	0	1	1	0	1	2
Terneuzen	-3	1	-1	0	0	2
Hansweert	-7	3	0	2	0	2
Baalhoek	-7	6	3	4	0	2
Bath	-9	6	2	4	0	2
Antwerpen	-10	6	3	5	1	3

Sommen middellange termijn analyse:

- Ber7 = Huidige bagger- en stortstrategie (60 Mm³ van oosten naar westen):
- Ber8 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen oosten, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber9 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing. Deze som kan gezien worden als combinatie van 7 en 8 (verruiming met huidige bagger- en stortstrategie).
- Ber10 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging – zandwinning (60 Mm³) in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber11 = 10 cm zeespiegelrijzing
- Ber12 = 10 cm zeespiegelrijzing en 1% getijslagtoename

Bijlage 3.6: Berekende nuldoorgangen

Korte termijn

Verschiltijden nuldoorgangen in seconden (positief is later, negatief is eerder)

station\berekening	Pas v. Terneuzen (1)	Everingen (2)	Overl. Hansweert (3)	Middelgat (4)	Zuidergat (5)	Schaar v. Waarde (6)
Cadzand	-3	0	0	-4	5	2
Vlissingen	-4	-2	0	-3	11	2
Terneuzen	-51	-55	-32	0	13	1
Hansweert	-26	-38	-59	-38	21	8
Baalhoek	-22	-38	-55	-32	-41	-36
Bath	-16	-30	-48	-25	-106	-58
Antwerpen	-36	-57	-72	-41	-121	-70

Middellange termijn

Verschiltijden nuldoorgangen in seconden (positief is later, negatief is eerder)

station\berekening	Ber7	Ber8	Ber9	Ber10	Ber11	Ber12
Cadzand	36	11	17	18	23	22
Vlissingen	67	-52	-20	-25	-18	-13
Terneuzen	101	-142	-74	-110	-77	-65
Hansweert	269	-212	-87	-147	-53	-31
Baalhoek	196	-315	-188	-259	-57	-27
Bath	140	-394	-267	-333	-54	-29
Antwerpen	81	-373	-258	-353	-39	-14

Sommen middellange termijn analyse:

- Ber7 = Huidige bagger- en stortstrategie: gelijkmatig verdeelde ontrekking oosten (60 Mm³) = gelijkmatig verdeelde berging in midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber8 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen oosten, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber9 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing. Deze som kan gezien worden als combinatie van 7 en 8 (verruiming met huidige bagger- en stortstrategie).
- Ber10 = Verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm³) en berging – zandwinning (60 Mm³) in nevengeulen, ondiep water en platen, midden, westen en deel monding + 10 cm zeespiegelrijzing.
- Ber11 = 10 cm zeespiegelrijzing
- Ber12 = 10 cm zeespiegelrijzing en 1% getijslagtoename

Bijlage 3.7a: Berekende Eb- en vloedvolumina

		Ebvolume Referentie berekening (Mm ³)	Toename ebvolumina t.o.v. Referentieberekening (%)					
Debietraailaangepaste geul:			Pas v. Terneuzen (1)	Everingen (2)	Overl. Hansweert (3)	Middelgat (4)	Zuidergat (5)	Schaar v. Waarde (6)
R1 Vw b. Bath	-188	0.15	0.13	0.27	0.03	0.83	0.21	
R2 Nauw van Bath	-184	0.19	0.21	0.29	0.14	0.58	0.31	
R5a Zuidergat	-266	0.22	0.25	0.37	0.19	2.32	-1.51	
R5a Schaar v. Waarde	-140	0.13	0.19	0.23	0.10	-1.42	3.67	
R6a Overl. Hansweert	-452	0.21	0.26	0.48	0.25	0.91	0.31	
R6 Middelgat	-282	0.17	0.17	-2.73	3.06	0.93	0.39	
R6 Gat van Ossensisse	-323	0.20	0.27	3.21	-2.35	0.88	0.35	
R7 Pas v. Terneuzen	-387	1.99	-1.75	0.16	0.08	0.65	0.24	
R7 Everingen	-436	-1.38	2.00	0.54	0.26	0.69	0.35	
R9 Vw I Hoofdpl	-122	-0.05	-0.19	0.23	0.08	0.35	0.15	
R9 Sch Spykerpl	-432	0.36	0.35	0.32	0.15	0.38	0.19	
R9 Honte	-532	0.10	0.31	0.37	0.17	0.57	0.27	
R12 Wielingen	-1139	0.19	0.27	0.27	0.13	0.34	0.18	
R12 Deurloo	-216	0.17	0.21	0.15	0.09	0.29	0.09	
R12 Oostgat	-114	0.20	0.31	0.28	0.14	0.34	0.09	

		Vloedvolume Referentie berekening (Mm ³)	Toename vloedvolumina t.o.v. Referentieberekening (%)					
Debietraailaangepaste geul:			Pas v. Terneuzen (1)	Everingen (2)	Overl. Hansweer (3)	Middelgat (4)	Zuidergat (5)	Schaar v. Waarde (6)
R1 Vw b. Bath	186.69	0.13	0.14	-0.46	-0.52	0.15	0.11	
R2 Nauw van Bath	122.50	0.18	0.22	0.30	0.16	2.84	0.38	
R5a Zuidergat	247.66	0.19	0.27	0.25	0.12	3.87	-2.74	
R5a Schaar v.Waarde	162.47	0.15	0.24	0.30	0.14	-3.39	4.86	
R6a Overl.Hansweert	472.64	0.19	0.26	0.45	0.12	0.93	0.36	
R6 Middelgat	242.13	0.17	0.51	-5.25	2.73	0.90	0.35	
R6 Gat van Ossensisse	371.76	0.20	0.05	4.06	-1.53	0.84	0.34	
R7 Pas v.Terneuzen	318.01	2.20	-2.26	0.54	0.21	0.75	0.38	
R7 Everingen	518.48	-1.03	1.75	0.21	0.13	0.60	0.26	
R9 Vw I Hoofdpl	113.58	-0.41	-0.62	-0.19	-0.27	0.42	-0.17	
R9 Sch Spykerpl	489.30	0.21	0.28	0.31	0.14	0.43	0.21	
R9 Honte	501.42	0.25	-0.01	0.37	0.17	0.52	0.29	
R12 Wielingen	1085.68	0.16	0.26	0.26	0.13	0.32	0.17	
R12 Deurloo	218.35	0.24	0.33	0.28	0.18	0.46	0.12	
R12 Oostgat	193.33	0.09	0.20	0.16	0.04	0.16	0.08	

: Aangepaste geul (10 Mm³ onttrokken)

Bijlage 3.7b: Berekende Eb- en vloedvolumina

	Ebvolumen Referentie berekening (Mm ³)	Toename ebvolumina t.o.v. Referentieberekening (%)					
Debietraai		Ber7	Ber8	Ber9	Ber10	Ber11	Ber12
R1 Vw b. Bath	-187.51	0.94	2.82	2.50	2.78	0.96	1.53
R2 Nauw van Bath	-184.41	0.04	5.07	3.83	4.19	0.70	1.38
R5a Zuidergat	-266.27	1.22	3.93	3.57	4.14	0.80	1.55
R5a Schaar v.Waarde	-139.90	16.49	-5.59	1.61	1.93	2.97	3.57
R6a Overl.Hansweert	-451.92	6.18	1.29	4.53	3.95	1.01	1.70
R6 Middelgat	-282.00	4.09	-5.27	-5.33	-1.82	1.70	2.43
R6 Gat van Ossensisse	-323.20	4.43	6.53	8.91	7.81	1.04	1.73
R7 Pas v.Terneuzen	-386.87	2.33	5.61	7.08	6.68	0.86	1.59
R7 Everingen	-435.68	2.49	-3.38	-3.96	-0.88	1.39	2.14
R9 Vw I Hoofdpl	-121.79	-1.25	-3.45	-5.38	-0.40	1.88	2.48
R9 Sch Spykerpl	-432.45	-0.80	-0.96	-2.34	1.45	1.54	2.10
R9 Honte	-532.12	2.40	2.64	3.87	3.04	0.40	1.35
R12 Wielingen	-1138.89	0.26	1.43	1.43	1.03	1.16	1.61
R12 Deurloo	-216.50	-1.44	-2.56	-2.56	-3.88	0.85	2.32
R12 Oostgat	-114.35	-0.64	-1.45	-1.56	-0.02	-0.77	0.93

	Vloedvolumen Referentie berekening (Mm ³)	Toename vloedvolumina t.o.v. Referentieberekening (%)					
Debietraai		Ber7	Ber8	Ber9	Ber10	Ber11	Ber12
R1 Vw b. Bath	186.69	0.59	2.19	1.89	2.25	0.30	1.45
R2 Nauw van Bath	122.50	-2.27	8.49	4.91	5.35	0.24	0.65
R5a Zuidergat	247.66	1.42	6.58	5.59	6.04	0.63	1.24
R5a Schaar v.Waarde	162.47	16.03	-7.80	-0.11	0.41	3.06	3.86
R6a Overl.Hansweert	472.64	6.98	1.87	4.31	4.16	1.11	1.79
R6 Middelgat	242.13	4.48	-6.63	-6.34	-3.19	1.46	2.17
R6 Gat van Ossensisse	371.76	4.67	5.76	7.74	7.43	1.27	1.94
R7 Pas v.Terneuzen	318.01	2.58	5.61	6.69	6.85	1.30	2.09
R7 Everingen	518.48	2.26	-2.56	-2.47	-0.32	1.03	1.73
R9 Vw I Hoofdpl	113.58	-0.03	-4.51	-6.06	-1.17	1.32	2.36
R9 Sch Spykerpl	489.30	0.70	-2.31	-3.05	0.37	1.04	2.24
R9 Honte	501.42	1.27	4.05	4.90	4.01	0.46	1.11
R12 Wielingen	1085.68	0.35	0.88	0.83	1.67	0.42	1.37
R12 Deurloo	218.35	0.23	-1.32	-2.92	0.87	2.62	2.97
R12 Oostgat	193.33	-2.05	-0.85	-2.66	0.61	1.77	1.69

123456 : gestort

123456 : onttrokken

Bijlage 4.1: Indeling box-modellen

Bijlage 4.2: Arealen en inhouden Westerschelde

box.nr.	Geulen	Areaal in ha NAP -5 m	Nat volume in Mm3 NAP -5 m	Areaal in ha NAP -2m	Nat volume in Mm3 NAP -2m
2	Vaarwater boven Bath	301	32	318	42
3	Nauw van Bath	186	21	212	27
5	Schaar van de Noord	149	4	171	9
7	Schaar van Waarde/Schaar van Valkenisse	621	21	1008	45
9	Zuidergat/Overloop van Valkenisse	1331	121	1522	164
10	Overloop van Hansweert	1374	130	1526	173
12	Schaar van Ossenissee	58	1	135	4
13	Middelgat	1511	120	1729	169
14	Gat van Ossenissee	1376	158	1493	200
16	Everingen	2950	219	3641	319
18	Pas van Terneuzen	2233	244	2479	315
19	Honte	1819	337	1942	393
20	Schaar van Spijkerplaat	2192	211	2451	281
22	Vaarwater langs Hoofdplaat	884	49	1172	80

box.nr.	aangrenzende gebieden	Areaal NAP in ha	Volume NAP in Mm3
1		2500	240
6		3500	p.m.
23,24,25	Mondingsgebied	69300	7700

box.nr.	Platen	Areaal in ha NAP -5 m	Zandvolume in Mm3 NAP -5 m	Areaal in ha NAP -2m	Zandvolume in Mm3 NAP -2m
4	Saeftingeplaat	17.5	0	0	0
8	Platen van Valkenisse	1332.4	58	954	24
11	Platen van Ossenissee	654.8	32	541	14
14	Rug van Baarland	1085.4	42	801	15
17	Middelplaten	1427.6	47	829	14
21	Hoge platen	2126.1	93	1636	37

Bijlage 4.3a: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Pas van Terneuzen (1)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32	10	0.15	0.13	0.05
Nauw van Bath	21		0.19	0.18	0.04
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		0.22	0.19	0.27
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		0.13	0.15	0.03
Overloop van Hansweert	130		0.21	0.19	0.24
Middelgat	120		0.17	0.17	0.21
Gat van Ossenis	158		0.20	0.20	0.32
Pas van Terneuzen	244		1.99	2.20	-5.14
Everingen	219		-1.38	-1.03	-2.25
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-0.05	-0.41	-0.03
Schaar van Spijkerplaat	211		0.36	0.21	0.44
Honte	337		0.10	0.25	0.33
Wielingen	1000		0.19	0.16	1.86
Deurloo	500		0.17	0.24	1.21
Oostgat	500		0.20	0.09	0.47
		Zandoverschot Westerschelde:			-5.48
		Zandoverschot mondingsgebied:			3.54

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818	10.00	0.36
Nevengeulen oosten	770		0.03
Hoofdgeulen midden/westen	6802		-4.24
Nevengeulen midden/westen	7592		-1.63
monding	5830		3.54
	Westerschelde:		-5.48
	Monding:		3.54

Bijlage 4.3b: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Everingen (2)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32	10	0.13	0.14	0.04
Nauw van Bath	21		0.21	0.22	0.04
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		0.25	0.27	0.30
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		0.19	0.24	0.05
Overloop van Hansweert	130		0.26	0.26	0.34
Middelgat	120		0.17	0.51	0.21
Gat van Ossenis	158		0.27	0.05	0.08
Pas van Terneuzen	244		-1.75	-2.26	-4.26
Everingen	219		2.00	1.75	-6.17
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-0.19	-0.62	-0.09
Schaar van Spijkerplaat	211		0.35	0.28	0.58
Honte	337		0.31	-0.01	1.03
Wielingen	1000		0.27	0.26	2.65
Deurloo	500		0.21	0.33	1.64
Oostgat	500		0.31	0.20	1.00
		Zandoverschot Westerschelde:			-7.84
		Zandoverschot mondingsgebied:			5.30

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818	10.00	0.39
Nevengeulen oosten	770		0.05
Hoofdgeulen midden/westen	6802		-2.80
Nevengeulen midden/westen	7592		-5.47
monding	5830		5.30
Westerschelde:			-7.84
Monding:			5.30

Bijlage 4.3c: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Overloop van Hansweert (3)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		0.27	-0.46	0.09
Nauw van Bath	21		0.29	0.30	0.06
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		0.37	0.25	0.44
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		0.23	0.30	0.06
Overloop van Hansweert	130	7	0.48	0.45	-6.42
Middelgat	120		-2.73	-5.25	-3.27
Gat van Ossenis	158	3	3.21	4.06	3.41
Pas van Terneuzen	244		0.16	0.54	0.40
Everingen	219		0.54	0.21	0.46
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		0.23	-0.19	0.11
Schaar van Spijkerplaat	211		0.32	0.31	0.65
Honte	337		0.37	0.37	1.24
Wielingen	1000		0.27	0.26	2.70
Deurloo	500		0.15	0.28	1.40
Oostgat	500		0.28	0.16	0.81
		Zandoverschot Westerschelde:			-2.77
		Zandoverschot mondingsgebied:			4.90

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818		0.59
Nevengeulen oosten	770		0.06
Hoofdgeulen midden/westen	6802	10.00	-1.37
Nevengeulen midden/westen	7592		-2.05
Monding	5830		4.90
Westerschelde:			-2.77
Monding:			4.90

Bijlage 4.3d: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Middelgat (4)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32	10	0.03	-0.52	0.01
Nauw van Bath	21		0.14	0.16	0.03
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		0.19	0.12	0.23
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		0.10	0.14	0.03
Overloop van Hansweert	130		0.25	0.12	0.15
Middelgat	120		3.06	2.73	-6.33
Gat van Ossenis	158		-2.35	-1.53	-2.41
Pas van Terneuzen	244		0.08	0.21	0.20
Everingen	219		0.26	0.13	0.28
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		0.08	-0.27	0.04
Schaar van Spijkerplaat	211		0.15	0.14	0.29
Honte	337		0.17	0.17	0.57
Wielingen	1000		0.13	0.13	1.35
Deurloo	500		0.09	0.18	0.91
Oostgat	500		0.14	0.04	0.19
		Zandoverschot Westerschelde:			-6.92
		Zandoverschot mondingsgebied:			2.44

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818	10.00	0.26
Nevengeulen oosten	770		0.03
Hoofdgeulen midden/westen	6802		-1.49
Nevengeulen midden/westen	7592		-5.72
Monding	5830		2.44
Westerschelde:			-6.92
Monding:			2.44

Bijlage 4.3e: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Zuidergat/Overloop van Valkenisse (5)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32	10	0.83	0.15	0.27
Nauw van Bath	21		0.58	2.84	0.12
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		2.32	3.87	-7.19
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		-1.42	-3.39	-0.71
Overloop van Hansweert	130		0.91	0.93	1.21
Middelgat	120		0.93	0.90	1.12
Gat van Ossenis	158		0.88	0.84	1.33
Pas van Terneuzen	244		0.65	0.75	1.59
Everingen	219		0.69	0.60	1.32
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		0.35	0.42	0.17
Schaar van Spijkerplaat	211		0.38	0.43	0.91
Honte	337		0.57	0.52	1.90
Wielingen	1000		0.34	0.32	3.38
Deurloo	500		0.29	0.46	2.28
Oostgat	500		0.34	0.16	0.81
		Zandoverschot Westerschelde:			2.05
		Zandoverschot mondingsgebied:			6.47

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818	10.00	-6.80
Nevengeulen oosten	770		-0.71
Hoofdgeulen midden/westen	6802		6.04
Nevengeulen midden/westen	7592		3.52
Monding	5830		6.47
Westerschelde:			2.05
Monding:			6.47

Bijlage 4.3f: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 10 Mm3 onttrekking in Schaar van Waarde/Valkenisse (6)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	Mm3
Vaarwater boven Bath	32	10	0.21	0.11	0.07
Nauw van Bath	21		0.31	0.38	0.07
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		-1.51	-2.74	-1.83
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		3.67	4.86	-8.98
Overloop van Hansweert	130		0.31	0.36	0.47
Middelgat	120		0.39	0.35	0.47
Gat van Ossenis	158		0.35	0.34	0.53
Pas van Terneuzen	244		0.24	0.38	0.59
Everingen	219		0.35	0.26	0.56
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		0.15	-0.17	0.07
Schaar van Spijkerplaat	211		0.19	0.21	0.45
Honte	337		0.27	0.29	0.90
Wielingen	1000		0.18	0.17	1.79
Deurloo	500		0.09	0.12	0.59
Oostgat	500		0.09	0.08	0.42
		Zandoverschot Westerschelde:			-6.63
		Zandoverschot mondingsgebied:			2.80

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)
Hoofdgeulen oosten	1818	10.00	-1.70
Nevengeulen oosten	770		-8.98
Hoofdgeulen midden/westen	6802		2.50
Nevengeulen midden/westen	7592		1.55
Monding	5830		2.80
Westerschelde:			-6.63
Monding:			2.80

Bijlage 4.3g: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met 60 Mm³ verplaatst van oosten naar midden, westen en deel monding en 10 cm zeespiegelrijzing (7)

Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte toename
	Mm3	Mm3	%	%	Mm3
Vaarwater boven Bath	32		0.94	0.59	0.30
Nauw van Bath	21		0.04	-2.27	0.01
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		1.22	1.42	1.48
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		16.49	16.03	3.37
Overloop van Hansweert	130		6.18	6.98	9.07
Middelgat	120		4.09	4.48	4.90
Gat van Ossenis	158		4.43	4.67	7.39
Pas van Terneuzen	244		2.33	2.58	5.69
Everingen	219		2.49	2.26	4.95
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-1.25	-0.03	-0.61
Schaar van Spijkerplaat	211		-0.80	0.70	1.48
Honte	337		2.40	1.27	8.08
Wielingen	1000		0.26	0.35	2.64
Deurloo	500		-1.44	0.23	1.14
Oostgat	500		-0.64	-2.05	-10.24

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Diepte- ver. (m)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.63	11.45	1.79	-9.67
Nevengeulen oosten	770	21	0.63	4.85	3.37	-1.49
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	-0.12	-8.09	30.22	38.32
Nevengeulen midden/westen	7592	599	-0.12	-9.03	10.72	19.76
Monding	5830	2000	-0.12	-6.94	-6.45	0.48
Westerschelde:						46.92
Monding:						0.48

Bijlage 4.3h: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm3) en berging in aangrenzende gebieden en 10 cm zeespiegelrijzing (8)

Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte toename
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		2.82	2.19	0.90
Nauw van Bath	21		5.07	8.49	1.07
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		3.93	6.58	4.75
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		-5.59	-7.80	-1.64
Overloop van Hansweert	130		1.29	1.87	2.43
Middelgat	120		-5.27	-6.63	-6.32
Gat van Ossenis	158		6.53	5.76	9.11
Pas van Terneuzen	244		5.61	5.61	13.69
Everingen	219		-3.38	-2.56	-5.62
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-3.45	-4.51	-1.69
Schaar van Spijkerplaat	211		-0.96	-2.31	-4.87
Honte	337		2.64	4.05	8.89
Wielingen	1000		1.43	0.88	14.33
Deurloo	500		-2.56	-1.32	-6.59
Oostgat	500		-1.45	-0.85	-4.23

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Dieptever. (m)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.10	28.12	6.72	-21.40
Nevengeulen oosten	770	21	-0.20	-1.57	-1.64	-0.07
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	0.10	39.40	34.12	-5.28
Nevengeulen midden/westen	7592	599	-0.20	-15.49	-18.49	-3.01
Monding	4839	2000	-0.20	-21.42	3.51	17.91
Westerschelde:						-29.75
Monding:						-17.91

Bijlage 4.3i: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm3) en berging in aangrenzende gebieden uitgezonderd oosten en 10 cm zeespiegelrijzing (9)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte toename
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		2.50	1.89	0.80
Nauw van Bath	21		3.83	4.91	0.80
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		3.57	5.59	4.32
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		1.61	-0.11	-0.02
Overloop van Hansweert	130		4.53	4.31	5.60
Middelgat	120		-5.33	-6.34	-6.40
Gat van Ossenis	158		8.91	7.74	12.22
Pas van Terneuzen	244		7.08	6.69	17.27
Everingen	219		-3.96	-2.47	-5.41
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-5.38	-6.06	-2.64
Schaar van Spijkerplaat	211		-2.34	-3.05	-6.44
Honte	337		3.87	4.90	13.03
Wielingen	1000		1.43	0.83	14.33
Deurloo	500		-2.56	-2.92	-14.62
Oostgat	500		-1.56	-2.66	-13.28

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Diepte- ver. (m)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.10	28.12	5.92	-22.20
Nevengeulen oosten	770	21	0.10	0.77	-0.02	-0.79
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	0.10	39.40	48.13	8.73
Nevengeulen midden/westen	7592	599	-0.33	-25.21	-20.89	4.32
Monding	4839	2000	-0.33	15.03	-13.58	-28.62
Westerschelde:						-9.94
Monding:						-28.62

Bijlage 4.3j: Berekende morfologische reacties

Evaluatie SCALWEST-berekening met verruiming hoofdgeul (ca. 90 Mm3) en berging in aangrenzende gebieden uitgezonderd oosten – 60 Mm3 zandwinning en 10 cm zeespiegelrijzing (10)

Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte toename
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		2.78	2.25	0.89
Nauw van Bath	21		4.19	5.35	0.88
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		4.14	6.04	5.01
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		1.93	0.41	0.09
Overloop van Hansweert	130		3.95	4.16	5.41
Middelgat	120		-1.82	-3.19	-2.18
Gat van Ossenisse	158		7.81	7.43	11.75
Pas van Terneuzen	244		6.68	6.85	16.30
Everingen	219		-0.88	-0.32	-0.71
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		-0.40	-1.17	-0.20
Schaar van Spijkerplaat	211		1.45	0.37	0.79
Honte	337		3.04	4.01	10.26
Wielingen	1000		1.03	1.67	10.28
Deurloo	500		-3.88	0.87	4.34
Oostgat	500		-0.02	0.61	3.03

Pos=uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Diepte- ver. (m)	Ingrep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.10	28.12	6.78	-21.33
Nevengeulen oosten	770	21	0.10	0.77	0.09	-0.68
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	0.10	39.40	43.72	4.32
Nevengeulen midden/westen	7592	599	-0.04	-3.34	-2.30	1.04
Monding	4839	2000	-0.04	-28.97	17.65	-11.32
Westerschelde:						-16.66
Monding:						-11.32

Bijlage 4.3k: Berekende morfologische reacties

10 cm zeespiegelrijzing (11)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		0.96	0.30	0.31
Nauw van Bath	21		0.70	0.24	0.15
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		0.80	0.63	0.97
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		2.97	3.06	0.64
Overloop van Hansweert	130		1.01	1.11	1.44
Middelgat	120		1.70	1.46	2.04
Gat van Ossenis	158		1.04	1.27	2.01
Pas van Terneuzen	244		0.86	1.30	2.10
Everingen	219		1.39	1.03	2.25
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		1.88	1.32	0.92
Schaar van Spijkerplaat	211		1.54	1.04	2.19
Honte	337		0.40	0.46	1.34
Wielingen	1000		1.16	0.42	11.64
Deurloo	500		0.85	2.62	13.12
Oostgat	500		-0.77	1.77	8.83

Pos = uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Diepte ver. (m)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.10	1.82	1.42	-0.40
Nevengeulen oosten	770	21	0.10	0.77	0.64	-0.13
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	0.10	6.80	6.90	0.09
Nevengeulen midden/westen	7592	599	0.10	7.59	7.40	-0.19
Monding	5830	2000	0.10	5.83	33.59	27.76
Westerschelde:						-0.62
Monding:						27.76

Bijlage 4.3I: Berekende morfologische reacties

10 cm zeespiegelrijzing +1% getijslagtoename (12)					
Gebied	Nat volume NAP -5 m	Zandwinning	Toename ebvolumina	Toename vloedvolumina	Verwachte aanzanding
	Mm3	Mm3	%	%	NAP -5 m
Vaarwater boven Bath	32		1.53	1.45	0.49
Nauw van Bath	21		1.38	0.65	0.29
Zuidergat/Overloop van Valkenisse	121		1.55	1.24	1.87
Schaar van Waarde/Valkenisse	21		3.57	3.86	0.81
Overloop van Hansweert	130		1.70	1.79	2.33
Middelgat	120		2.43	2.17	2.91
Gat van Ossenisse	158		1.73	1.94	3.07
Pas van Terneuzen	244		1.59	2.09	3.89
Everingen	219		2.14	1.73	3.79
Vaarwater langs Hoofdplaat	49		2.48	2.36	1.22
Schaar van Spijkerplaat	211		2.10	2.24	4.72
Honte	337		1.35	1.11	4.56
Wielingen	1000		1.61	1.37	16.05
Deurloo	500		2.32	2.97	14.84
Oostgat	500		0.93	1.69	8.43

Pos = uitruiming, Neg = aanzanding

	Areaal (ha)	Inhoud (Mm3)	Dieptever. (m)	Ingreep (Mm3)	Verw. Toename geulinhoud (Mm3)	Morf. Reactie
Hoofdgeulen oosten	1818	174	0.10	1.82	2.65	0.83
Nevengeulen oosten	770	21	0.10	0.77	0.81	0.04
Hoofdgeulen midden/westen	6802	869	0.10	6.80	13.85	7.05
Nevengeulen midden/westen	7592	599	0.10	7.59	12.64	5.05
Monding	5830	2000	0.10	5.83	39.32	33.49
Westerschelde:						12.97
Monding:						33.49