

Voorwoord	1
	C - 14055 430
1 Inleiding	2
1.1 Achtergronden van de studie	2
1.2 Opzet van de studie	2
1.3 Opbouw van het rapport	2
2 Achtergronden	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Fysische systeem	3
2.3 Verruiming 48'/43', baggerinspanning en aanpassing zandwin- en stortbeleid	5
2.4 Keuze stortlokaties	6
2.5 Effecten verruiming en bagger- en stortbeleid	7
2.6 Beoordeling veranderingen waterbeweging en morfologie	9
3 Veldwaarnemingen	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Bagger- en stortvolumes	10
3.3 Bodemligging	11
3.4 Synthese	12
4 Modelberekeningen (ESTMORF)	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Berekeningsresultaten	14
5 Verklaring waargenomen ontwikkelingen	15
5.1 Algemeen	15
5.2 Schaar van Spijkerplaat	15
5.3 Ontwikkeling ondiep watergebied	16
5.4 Baggerinspanning	18
5.5 Import/export van zand	19
6 Conclusies en aanbevelingen	20
Referenties	21

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een studie naar de effecten van baggeren en storten in de Westerschelde. De studie is uitgevoerd n.a.v. het opstellen van een nieuwe baggervergunning en bevat een tussentijdse evaluatie van de effecten van de in 1997 en 1998 uitgevoerde 48'/43' verruiming van de vaarweg.

Deze studie is in opdracht van het RIKZ Middelburg uitgevoerd door Bram Blik en Arie de Gelder van Ingenieursbureau Svašek bv. Onze dank gaat uit naar Aline Arends, Ad Langerak, Gerard Mol en Marijn van Helvert (Allen RIKZ Middelburg) voor hun begeleiding en assistentie bij het verzamelen en bewerken van de benodigde gegevens.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden van de studie

In juni 1997 is begonnen met de 48'/43' verdieping van de Westerschelde om de haven van Antwerpen beter bereikbaar te maken voor grotere en diepere schepen. Tegelijkertijd is een monitoringsprogramma opgezet om de effecten op de waterbeweging, morfologie en ecologie te kunnen volgen.

Door Directie Zeeland zijn de voortgang van de verdieping en de ontwikkelingen van het fysische, chemische en biologische systeem beschreven in een voortgangsrapportage. Aan het RIKZ is gevraagd om verklaringen te geven voor de waargenomen ontwikkelingen. Veldwaarnemingen zijn beschikbaar tot begin 1999. Omdat de waarnemingsperiode na de verruiming erg kort is, is voor het onderdeel fysica door het RIKZ het gedragsmodel ESTMORF ingezet. Met dit model is voor een aantal scenario's tot 2050 het effect op de geul- en plaatontwikkeling berekend.

Bij het voorspellen van de effecten van de in 1997 en 1998 uitgevoerde verruiming is gebruik gemaakt van een denkmodel. In opdracht van het RIKZ zijn de onderdelen waterbeweging en morfologie van dit denkmodel door ingenieursbureau Svašek verder uitgewerkt en getoetst. Hierbij is gebruik gemaakt van de recent beschikbaar gekomen meet- en modeldata.

Per 1 januari 2001 dient door Nederland een nieuwe baggervergunning te worden verleend aan Vlaanderen. Op basis van eventuele nieuwe inzichten kan worden overwogen om de huidige bagger- en stortstrategie te wijzigen. In verband hiermee dient het RIKZ voor 1 juli 1999 een evaluatierapportage af te ronden. Om deze reden was de looptijd van de in dit rapport beschreven studie kort (enkele weken).

1.2 Opzet van de studie

Het doel van de in dit rapport beschreven studie is om het inzicht in de effecten (veranderingsprocessen) van de verruiming te vergroten.

De studie is uitgevoerd in maart en april 1998 met behulp van bij RIKZ Middelburg beschikbare gegevens. Er zijn geen aanvullende data-analyses of modelberekeningen uitgevoerd.

Aan de volgende processen is aandacht besteed:

- Baggerinspanning (aanzandingssnelheid drempels)
- Herverdeling van zand
- Debietverdeling hoofd- en nevengeulen
- Geulaanpassingen
- Getijdoordringing

1.3 Opbouw van het rapport

In dit rapport wordt allereerst een overzicht en interpretatie van eerdere studies gegeven (hoofdstuk 2). Vervolgens worden recent beschikbaar gekomen meet- en modeldata beschreven en geëvalueerd (in resp. hoofdstuk 3 en 4).

Tenslotte zijn de veranderingsprocessen verder uitgewerkt in hoofdstuk 5. Dit is gedaan naar aanleiding van een aantal gesignaleerde ontwikkelingen. Conclusies en aanbevelingen van de studie zijn gegeven in hoofdstuk 6.

2 Achtergronden

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn informatie en argumentatie uit diverse bronnen samengevoegd. De volgende bronnen zijn gebruikt:

1. Ontwikkelingen in de Westerschelde, prognose voor de komende 25 jaar, Rijkswaterstaat, directie Zeeland/RIKZ, Nota AX-96.009/NWL-96.14/RIKZ-96.006, maart 1996
2. Baggerinspanning bij verdieping '48'/43, Rijkswaterstaat directie Zeeland, Notitie NWL-97-21
3. Westerschelde, stram of struis?, Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium, Rapport RIKZ-97.023, 1997
4. Milieu Aspecten Studie Baggerspeciëstort Westerschelde; Studie naar de effecten van het storten van specie, vrijkomend bij de 43/48 voet verruiming van de vaarweg in de Westerschelde, Directie Zeeland, januari 1998
5. De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43', rapport 1, RIKZ-97.049
6. Beoordeling van de effecten van de verdieping 48'-43', Plan van aanpak – rapport 2, Project Monitoring Verdieping Westerschelde, Rijkswaterstaat, directie Zeeland
7. Lange termijn gedrag Westerschelde, definitiestudie zeespiegelrijzing, Project verdieping, Bureau Svašek en bureau Getijdewateren, 6 mei 1998
8. Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43', Voortgangsrapportage periode 1997-1998, rapport 3, Project Monitoring Verdieping Westerschelde (MOVE), Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota AXW-99.005, April 1999

2.2 Fysische systeem

Het studiegebied, de Westerschelde is een onderdeel van het Schelde-estuarium. De oorsprong van de Schelde ligt in Frankrijk ca. 350 km van Vlissingen. 167 km van Vlissingen wordt de getij-invloed gestopt door een sluis bij Gentbrugge. Het Nederlandse deel van de Westerschelde is ongeveer 60 km lang en gemiddeld 5 km breed.

Het geulareaal (het oppervlak van het gebied beneden NAP-5m) bedraagt ongeveer 170 km². Het overige deel bestaat uit ondiep water (tussen NAP-2m en NAP-5m, ca. 30 km²), platen, slikken of schorren (boven NAP-2m, ca. 75 km²). De waterinhoud van alle geulen (onder NAP-2m) is ruim 2200 Mm³. Het zandvolume boven NAP-2m is ongeveer 100 Mm³.

Het vloedvolume bij Vlissingen is ruim 1000 Mm³ met een doottij/springtijvariatie van 20%. Bij de grens is het vloedvolume nog ruim 100 Mm³. De rivierafvoer bij Schelle schommelt tussen 180 m³/s in de winter en 50 m³/s in de zomer met een gemiddelde van 100 m³/s. Daarnaast wordt nog zo'n 50 m³/s in de Westerschelde afgewaterd. De zoetwaterafvoer tijdens een getij (maximaal 10 Mm³) is dus klein ten opzichte van de getijvolumina.

Het getijverschil neemt toe van ruim 3.8 m bij Vlissingen tot een maximum van ruim 5.2 m bij Schelle. Bovenstrooms van Schelle neemt het getijverschil snel af en bedraagt bij de sluis in Gentbrugge nog 1.9 m. Het water stijgt sneller dan het zakt en de maximale vloodsnelheden zijn hoger dan de maximale ebsnelheden.

Kenmerkend voor de Westerschelde is het repeterende patroon van twee parallelle geulen, waarvan de één tijdens eb meer stroom trekt en de ander tijdens vloed. Op de overgang van twee geulsystemen bevindt zich in veel gevallen een relatieve ondiepte, een drempel. Het overgrote deel van het onderhoudsbaggerwerk in de Westerschelde vindt op deze natuurlijke ondiepten plaats. Tussen de geulen bevinden zich plaatgebieden die onderbroken worden door kortsluitgeulen. Dit zijn geulen die ontstaan/bestaan omdat door de getijvoortplanting

waterstandsverschillen over de platengebieden ontstaan. Deze waterstandsverschillen veroorzaken een stromingsversnellende kracht. De resulterende stromingen houden de geul door het platengebied in stand.

De scheepvaart naar Antwerpen vindt voornamelijk plaats (van Vlissingen naar de grens) via de Honte, de Pas van Terneuzen, het Gat van Ossenis, de Overloop van Hansweert, het Zuidergat, de Overloop van Valkenisse, het Nauw van Bath en het vaarwater boven Bath. Dit worden daarom de hoofdgeulen genoemd, ter onderscheid van de parallelle 'neven'geulen. Om uitbocht van een aantal geulen tegen te gaan zijn geulwandverdedigingen aangelegd. In figuur 1 is een schematisch overzicht van de belangrijkste geul- en plaatgebieden gegeven. Hierin zijn ook de vaargeul en de belangrijkste bagger- en stortgebieden en geulwandverdedigingen aangegeven.

De drie geulsystemen die het meest op elkaar lijken zijn: Pas van Terneuzen/Everingen, Middelgat/Gat van Ossenis en Zuidergat/Schaar van Waarde. Waarbij Middelgat/Gat van Ossenis weer enigszins afwijkt omdat daar de vloedgeul als vaargeul wordt gebruikt, terwijl meestal de ebgeul als vaargeul wordt gebruikt.

De andere deelsystemen zijn om de volgende redenen iets anders weergegeven:

- Het systeem Honte/Schaar van Spijkerplaat/Vaarwater langs Hoofdplaat kent eigenlijk drie verschillende geulen. Verder is tussen de belangrijkste ebgeul (Honte) en vloedgeul (Schaar van Spijkerplaat) geen omvangrijk platengebied aanwezig. Tussen de Schaar van Spijkerplaat en Vaarwater langs Hoofdplaat liggen wel de Hooie Platen, maar het Vaarwater langs Hoofdplaat is veel minder belangrijk dan de andere twee geulen en heeft daardoor bijna het karakter van een kortsluitgeul
- Dit laatste geldt eigenlijk ook voor de Schaar van Ossenis, die geen doorgaande verbinding met het Gat van Ossenis heeft (door de bedijking) en daardoor ook een sterk kortsluitkarakter heeft.
- Nauw van Bath/Schaar van de Noord en Vaarwater boven Bath/Appelzak hebben in de loop der tijd eigenlijk steeds minder het karakter van eb- en vloodschaarsysteem verloren en lijkt bijna een ééngeulstelsel te zijn geworden.

De drempels (baggergebieden) bevinden zich meestal aan het einde van de ebgeul, waar deze de vloedgeul kruist. Doordat de ebstroom hier divergeert, is de eroderende kracht van de ebstroom te zwak om de vaargeul op diepte te houden. Omdat dit voor de scheepvaart onacceptabel is, worden de drempels door intensief baggerwerk kunstmatig op diepte gehouden.

De hoofd- en nevengeulen worden ook wel eb- en vloodscharen genoemd, omdat de ene geul tijdens eb het meeste water vervoert (meestal de vaargeul) en de andere geul vooral tijdens vloed een functie heeft. Er bestaat een sterke relatie tussen het doorstroomoppervlak van een geul en het dominante getijvolume in die geul (vloodvolume in vloodschaar en het ebvolume in de ebgeul). Als gevolg van de dominantie hebben de geulen daarom gezamenlijk een groter volume dan dat één geul zou hebben als die zowel het volledige eb- als het volledige vloodvolume zou transporteren.

De stortgebieden zijn vooral gekozen in de nevengeulen om via beïnvloeding van de debietverdeling de baggerinspanning te beperken. Dit werkt als volgt: De debietverdeling van de hoofd- en nevengeulen wordt voornamelijk bepaald door de weerstand van de beide geulen. Als de weerstand in één van de geulen toeneemt (bijvoorbeeld door stortingen in de nevengeul), zal er meer water gaan stromen door de andere geul. Als gevolg hiervan zal de andere geul gaan uitruimen. Over het algemeen zal dit de aanzanding op de drempel (en de bijbehorende baggerinspanning) beperken.

Het zandtransport bestaat voornamelijk uit suspensietransport en is tijdens springtij 10 tot 20 keer groter dan tijdens doottij. Kwalitatief bestaat het volgende beeld: het residueel zandtransport volgt het patroon van de eb- en vloodgedomineerde stroming en verloopt voornamelijk via circulatiecellen om de platen heen. Deze circulatiecellen wisselen zand uit, dit resulteerde de afgelopen honderd jaar in een netto landwaarts, vloodgedomineerd zandtransport.

De laatste decennia wordt de zandhuishouding sterk beïnvloed door grote hoeveelheden zand die ten behoeve van vaargeulonderhoud en zandwinning in de Westerschelde worden gebaggerd en (gedeeltelijk) teruggestort (voor de verruiming ca. 9 Mm³ per jaar).

2.3 Verruiming 48'/43', baggerinspanning en aanpassing zandwin- en stortbeleid

In de periode 1970-1975 vond al een verdieping van de drempels plaats. In 1997-1998 is op acht drempels de bodem met 1 tot 1,5 meter verder verlaagd. Daarnaast is op enkele plaatsen de vaargeul verbreed.

De verruimingswerken omvatten:

- Verwijderen van wrakken
- Baggeren
- Geulwandverdedigingen
- Natuurcompensatie

In totaal zullen circa 60 wrakken en andere obstakels uit de vaargeul worden verwijderd. In augustus t/m december 1998 zijn de eerste 8 wrakken verwijderd. Twee in de bocht van Bath, twee in de overloop van Hansweert, twee in de Pas van Terneuzen en twee op de Rede van Vlissingen.

De initiële baggerhoeveelheden zijn berekend door het vaargeulprofiel langs de hoofdgeul na de verdieping te vergelijken met de bodemligging van 1996. Uit deze berekeningen volgde een totale hoeveelheid van 14.5 Mm³, waarvan 20% ten westen van Vlissingen. Tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998 is de verruiming ten oosten van Vlissingen uitgevoerd.

Het onderhoudsbaggerwerk na de verruiming is gebaseerd op "expert judgement" (extrapolatie van de toename van het onderhoud na een vorige verlaging van de drempels) en is bepaald op 14 Mm³ per jaar met een marge van 2 Mm³.

Een overzicht van de verdeling van de bagger- en stortvolumes voor en na de verruiming wordt gegeven in tabel 1. Zowel het initieel baggerwerk als het onderhoudsbaggerwerk in de eerste maanden na de verruiming waren in werkelijkheid minder dan geraamd. In paragraaf 3.2 wordt hier verder op ingegaan.

Voor verruiming (ervaring)	West	Midden	Oost	Totaal
Baggeren	0.8	0.5	6.7	8.0
Storten	0.8	3.1	4.1	8.0
Na verruiming (prognose)				
Baggeren	2.0	1.5	10.5	14.0
Storten	10.0	3.0	1.0	14.0

Tabel 1 Verdeling van bagger- en stortvolumes (ervaring en prognose) in miljoenen m³

Tot 1997 werden de gebaggerde zandhoeveelheden voornamelijk in het oostelijk deel teruggestort. Vanaf 1997 wordt voornamelijk in het westelijk deel gestort, in plaats van in het oosten. Daarnaast is de zandwinning (ca. 1 Mm³ per jaar) verplaatst van het westen naar het oosten. Door deze bagger- en stortstrategie wordt aan het oostelijk deel netto sediment onttrokken en in het westelijk deel netto sediment toegevoegd. Het doel hiervan is:

- beperken van de baggerinspanning
- beperken van het verlies aan ondiep water areaal (door groei van platen)

In totaal zullen 6 geulwandverdedigingen worden aangelegd. Hiervan zijn reeds verdedigingen aangelegd langs het Nauw van Bath (2km, begin 1997), langs het Zuidergat tussen reeds eerder aangebrachte werken (3km, midden 1998) en ten noorden van de bestaande verdediging langs het Gat van Ossensisse (600 m, midden 1998).

Er zijn nog geen natuurcompensatiewerken uitgevoerd.

2.4 Keuze stortlocaties

In de huidige baggervergunning (geldig t/m 31 december 2000) zijn 13 locaties voor het storten van baggerspecie opgenomen. De keuze van deze locaties is gebaseerd op de volgende algemene overwegingen:

- Westwaarts verplaatsen van het zwaartepunt van de stortingen om het oostelijk deel van de Westerschelde te ontlasten
- Minimalisering van verstoring van het natuurlijke proces van sedimentatie en erosie van zand en slib
- Minimalisering retourstroom naar de baggergebieden
- Bijdrage aan stabiliteit vooroevers
- Minimale verstoring ecologie
- Minimalisering vaarafstanden en bereikbaarheid voor baggermaterieel
- Minimale verstoring scheepvaart, visserij en zandwinning

Concreet heeft dit geresulteerd in de volgende acties:

- Storten in nevengeulen om via de debietverdeling de hoofdgeul op diepte te houden (minder baggerinspanning). Deze actie wordt toegepast bij alle locaties in het oosten (Schaar van de Noord, Schaar van Waarde en Platen van Ossensisse (oostzijde), maar ook in het midden (Ebschaar naar de Everingen en Biezelingse Ham) en in het westen (Everingen en Ellewoutsdijk)
- Tegengaan erosie door storten van sediment. Dit wordt toegepast bij het Gat van Ossensisse (middendeel, ter behoud van de schorren en slikken ter hoogte van de platen van Hulst), de Schaar van Spijkerplaat (ter behoud van de Hoge Platen, een belangrijk broedgebied) en in het mondingsgebied om kusterosie bij Zeeuws Vlaanderen en bij Vlissingen tegen te gaan.
- Geulgeleiding (tegengaan inscharing Honte bij Schoone Waardin, alleen bij storten van brokken Boomse klei)
- I.v.m. geringe vaarafstand is uitsluitend voor onderhoudsbaggerwerk in het mondingsgebied een locatie bij de Wielingen aangewezen
- Om sedimentatie van zand op slikken tegen te gaan is de Biezelingse Ham onderverdeeld in een eb- en vloedlocatie. Op deze locaties mag alleen gestort worden als de stroomrichting zodanig is dat het sediment in suspensie niet op de slikken kan sedimenteren.

Een aantal oude stortlocaties wordt niet meer gebruikt. Deze locaties bevonden zich vooral in en rond het Zuidergat.

Verder is in de Vergunningwet bepaald dat jaarlijks in het oosten maximaal 1 Mm³ gestort mag worden, in het midden maximaal 5 Mm³ en in totaal ten hoogste 20 Mm³ gestort mag worden.

2.5 Effecten verruiming en bagger- en stortbeleid

De prognose van de effecten van de 48'-43' verruiming is grotendeels gebaseerd op de ervaringen die zijn opgedaan bij de verdieping in de periode 1970-1975. Daarnaast is veel gebruik gemaakt van modelberekeningen met ESTMORF en ASMITA. Dit zijn empirische morfologische modellen, waarvan de basis wordt gevormd door evenwichtsrelaties die op basis van waargenomen ontwikkelingen zijn vastgesteld. Bij zowel extrapolatie van meetdata als bij gebruik van de genoemde modellen wordt aangenomen dat de ontwikkelingen na de verruiming van 1997-1998 op een soortgelijke wijze zullen verlopen als na de verdieping van 1970-1975. De in dit rapport beschreven studie heeft ondermeer als doel om te bepalen in hoeverre dit uitgangspunt correct is.

De ontwikkelingen na de verdieping in 1970-1975 kunnen als volgt worden omschreven: De hoofdgeul is verdiept en verbreed. Het sediment dat hierbij vrijkomt en het sediment dat wordt gebaggerd om de drempels op diepte te houden, wordt voornamelijk opgeslagen in de nevengeulen en plaatcomplexen. De platen zijn hierdoor zowel in oppervlak als gemiddelde hoogte toegenomen. Ook zijn kortsluitgeulen door de platen opgevuld, hetgeen heeft bijgedragen aan de sterke achteruitgang van het areaal aan ondiep water gebieden. Door de verruiming van de hoofdgeul zijn slikken in de buitenbochten versmald en verlaagd. Doordat de geulen dieper werden is het binnendringen van het getij versterkt, zodat de getijverschillen m.n. in het oostelijk deel zijn toegenomen. Hierdoor is de kombergingsafname gecompenseerd.

De interactie tussen veranderende waterbeweging, morfologie en zandtransporten is een geleidelijk verlopend en continu proces. De effecten van vaargeulbeheer en stortstrategie kunnen daarom eigenlijk niet los worden gezien van andere ontwikkelingen zoals zeespiegelrijzing, getijslagtoename op de Noordzee, zandwinning en eventuele in- en ontpolderingen. Ter vereenvoudiging worden deze aspecten hier echter buiten beschouwing gelaten. De gevolgen van de verdere verruiming en de huidige stortstrategie zijn dan waarschijnlijk als volgt:

- Door het verminderen van de storthoeveelheden in het oosten een toename van de bergende breedte in het oostelijk deel. Door toename van de storthoeveelheden in het westen een afname van de bergende breedte in het westelijk deel en door baggeren (initieel slechts plaatselijk) diepere geulen.
- Door de diepere geulen zal de getijgolf zich nog sneller voorplanten. Een doorgaande verondieping van het westelijk deel zou echter ook de wrijvingsinvloed kunnen doen toenemen waardoor de getijgolf vertraagd wordt en getijamplitude en getijvolumina kleiner worden.
- Als netto de komberging in het oostelijk deel toeneemt, zullen de getijvolumina zeewaarts toenemen, waardoor de wrijvingsverliezen groter worden en verdere getijslagtoename wordt beperkt.
- Door de groter wordende getijvolumina zullen de geulen uitschuren. Ook de plaatgebieden zullen zich aanpassen (evenals de hoogwaters hoger worden) tot een nieuw evenwicht is bereikt.
- Storten in de nevengeulen kan resulteren in een afname van de bergende breedte. Door de diepere hoofdgeulen kan echter ook een versnelde getijdoordringing plaatsvinden en dus een vergroting van de berging plaatsvinden.
- Afhankelijk van de schaal waarop het storten in de nevengeulen gebeurt wordt het natuurlijk evenwicht verstoord en kan een meergeulensysteem veranderen in een ééngaalsysteem en zal een heel ander nieuw evenwicht ontstaan.

Uit deze beschrijving wordt duidelijk dat de ontwikkeling van de komberging en de bijbehorende hydraulische en morfologische toestand niet bij voorbaat is vast te stellen. De belangrijkste oorzaak van deze onzekerheid is de veranderde stortstrategie. Bij de stortstrategie tot 1997 is de bergende breedte in het oostelijk deel afgenomen doordat zand beschikbaar kwam uit de geulen (zowel door baggeren als door morfologische aanpassing, uitruiming). Met de huidige stortstrategie vindt de verwachte uitruiming van hoofdgeulen vooral in het oosten plaats en het

storten in de nevengeulen vooral in het westen. Daarom is onduidelijk of de bergende breedte in het oosten verder zal afnemen (verdere uitruiming hoofdgeulen), zal toenemen (stoppen storten) of gelijk zal blijven.

Bij het voorspellen van de effecten van de verruiming en het bagger- en stortbeleid zijn daarom belangrijke aannamen gedaan:

- Ten eerste dat in het westelijke deel als gevolg van het storten vergelijkbare morfologische effecten op zullen treden, als in het verleden zijn opgetreden in het oostelijk deel (dus verruiming van de geulen, oftewel een sterkere getijdoordringing: het effect van toename van de voortplantingssnelheid van de getijgolf overheerst over het effect van wrijvingstoename in het westelijk deel).
- Ten tweede dat bij storten in het oostelijk deel de ontwikkelingen in het verleden zich in dezelfde mate zullen blijven voortzetten, terwijl het stopzetten van de stortingen niet zal leiden tot een herstel van de oude situatie (dus dat de oude kortsluitgeulen door de plaatcomplexen niet opnieuw zullen ontstaan).

De voorspelde gevolgen over 25 jaar zijn dan als volgt (zie tabel 2 en 3 voor meer details):

- Toename debieten en geulvolume (5%) en geulareaal (250 ha)
- Toename van hoogwaterstanden (5 cm) en daling laagwaterstanden (10 cm)
- Opschuiving stroomopwaarts van de brakke zone
- Groei van plaatareaal (220 ha), dus versteiling en afname ondiepwater areaal (370 ha)
- Vermindering van de netto zandimport
- Toename van het netto zandtransport van westen/midden naar oosten.
- Het opleggen van een ééngeulstelsel

Hierbij dient ter **nuancering** het volgende te worden opgemerkt:

- In het oosten was sprake van storten in combinatie met baggeren, terwijl in het westen bij het nieuwe beleid nauwelijks wordt gebaggerd, zodat bagger- en stortlocaties verder uiteen komen te liggen. De baggerinspanning in het oostelijk deel zou hierdoor kunnen afnemen. Verder vindt in het oostelijk deel netto onttrekking van zand plaats, zodat de trend van plaatgroei zou kunnen worden afgebogen naar een netto afname in omvang en plaathoogte.
- Aangezien de geulen in het westelijke deel veel groter zijn dan in het oostelijke deel, zullen de zandstortingen in het westen minder invloed hebben dan ze in het oosten hadden.
- Ingrepen/morfologische veranderingen kunnen op verschillende manieren elders morfologische veranderingen tot gevolg hebben: herverdeling van zand van 'overschots-' naar 'tekort'gebieden, maar ook via een andere doordringing van de getijgolf. Een recent uitgevoerde getijreconstructie van de Westerscheldemonde heeft bijvoorbeeld aangetoond dat een verdieping in het oosten de debietverdeling van de geulen in het mondingsgebied kan beïnvloeden.
- Voor de ontwikkeling naar een ééngeulstelsel zijn enorme hoeveelheden zand vereist, omdat het gezamenlijke doorstroomprofiel van een eb- en vloedgeulstelsel veel groter is dan dat van één geul die zowel het totale eb- als het totale vloedvolume transporteert. Bij de verwachte vermindering van de zandimport is een ontwikkeling naar een één geul stelsel daarom niet waarschijnlijk. Afsterven van kleine nevengeulen is wel mogelijk. Bijvoorbeeld als de stortvolumes in een geul groot zijn t.o.v. de transportcapaciteit van die geul (Wang, 1997).

	West	Midden	Oost
Schorren	-25	0	-35
Slikken	-50	0	10
Ondiep water	-180	-75	-115
Platen	255	75	-110
Geulen	0	0	250

Tabel 2 Prognose areaalveranderingen in hectare (25 jaar)

	West	Midden	Oost
Platen (zand boven NAP -2)	5	4	-5
Hoofdgeulen (water onder NAP -2)	18	0	80
Nevengeulen (water onder NAP -2)	-37	-10	15

Tabel 3 Prognose volumeveranderingen in miljoenen m³ (25 jaar)

2.6 Beoordeling veranderingen waterbeweging en morfologie

Bij het beleid t.a.v. de Westerschelde wordt er vanuit gegaan dat de functies scheepvaart (vaarwegverruiming en onderhoud, dus baggerhoeveelheden) en veiligheid tegen overstromen gewaarborgd moeten worden. Binnen deze randvoorwaarden wordt de natuurfunctie zoveel mogelijk beschermd en versterkt.

Bij het evalueren van ingrepen zoals zandwinning en storten worden met name de effecten op de natuurfunctie bestudeerd. De natuurfunctie van de Westerschelde hangt nauw samen met de diversiteit van het estuarium: een ruimtelijke variatie in zoutgehalte en diepte. Een ongewenste ontwikkeling is daarom het verdwijnen of verkleinen van ondiep water, plaat-, slik- en schorarealen. Minder belangrijk is de exacte locatie van deze gebieden. Wel is van belang dat deze gebieden in alle delen van het estuarium (zout, brak en zoet) aanwezig blijven. Binnen de Westerschelde wordt daarom zowel de onderverdeling in westelijk deel, middendeel en oostelijk deel gehanteerd als de onderverdeling in geulen, ondiep water en platen.

Naast deze morfologische onderverdeling is ook de bodemsamenstelling en bodemdynamiek en de variatie daarvan binnen het estuarium van belang. Andere belangrijke kenmerken van de Westerschelde die behouden dienen te worden zijn de aanwezigheid van een meergeulenstelsel en de bewegingsvrijheid van geulen. Ook de huidige hoog- en laagwaterstanden dienen (afgezien van een acceptabele variatie van enkele decimeters) gelijk te blijven.

Met het oog op lange termijn ontwikkelingen wordt verder gesteld dat het beschikbare zand binnen het systeem moet blijven om de gevolgen van zeespiegelrijzing niet te versterken.

De aanwezigheid van ondiep water arealen is in verband met de kraamkamerfunctie van vis ook van economisch belang. In verband met de veiligheid tegen overstromen is een afname van de hoogwaterstanden gewenst. Vanuit kostenoverwegingen wordt gestreefd naar minimalisering van de baggerinspanning en vaarwegafstanden.

3 Veldwaarnemingen

3.1 Algemeen

In de Westerschelde beïnvloeden natuurlijke ontwikkelingen, menselijk ingrepen en hydrodynamica elkaar voortdurend. De monitoring van de 48'/43' verruiming bevat daarom zowel het registreren van de ingrepen (bagger- en storthoeveelheden) als lodingen, waterstandsregistraties en debietmetingen.

Tijdens deze studie zijn alleen bagger- en stortvolumes en lodingsgegevens geanalyseerd. De jaarlijkse variatie van de waterstands- en debietregistraties is te groot om de verschillen met voorliggende jaren te kunnen analyseren.

De lodingsgegevens zijn omgerekend naar arealen voor de verschillende gebieden (geulen, platen, ondiep water, schorren en slikken in west, midden en oost), omdat areaalveranderingen gevolgen kunnen hebben voor de ecologische en economische functies van de Westerschelde. De veranderingen in arealen worden veroorzaakt door zandverplaatsingen binnen het systeem. Om de ingrepen (baggeren, storten en zandwinning) en morfologische ontwikkelingen te kunnen koppelen zijn ook de veranderingen in geul- en plaatvolumes berekend.

Ook rond waargenomen trends in baggervolumes, areaal- en inhoudsveranderingen kan een ruime spreiding van de jaargemiddelden aanwezig zijn. Dit beperkt de evaluatie die is gebaseerd op metingen en gegevens t/m 1998.

Omdat de lodingen in het voorjaar worden uitgevoerd zijn er geen veldwaarnemingen van na de verruiming beschikbaar. De laatst beschikbare loding is van het voorjaar van 1998, terwijl de verruiming pas in juli gerealiseerd was. Omdat reeds in 1997 de nieuwe stortstrategie is toegepast (storten in westen i.p.v. het oosten), kunnen de waargenomen veranderingen in een aantal gevallen wel in verband worden gebracht met de gewijzigde stortstrategie.

Omdat de drempeldieptes vrijwel elke maand worden gecontroleerd en de baggerinspanning hierop wordt aangepast kon het onderhoudsbaggerwerk na de verruiming (5 maanden) wel worden geanalyseerd.

Binnen deze studie worden de baggerhoeveelheden als meetgegevens gezien, een indicatie voor de aanzandingssnelheid van de drempels. Als baggercijfers als indicator voor de *aanzandingssnelheid van drempels worden gezien, moet eigenlijk gecorrigeerd worden voor het effect op de vaargeul*. Een toename van de baggerhoeveelheid hoeft namelijk niet direct een toename van de aanzanding te betekenen. De geul kan ook dieper of breder zijn geworden. Dit geldt met name rond een aanpassing van het te onderhouden vaarwegprofiel, maar ook voor andere tussentijdse aanpassingen. De hiervoor benodigde gegevens zijn echter niet bij RIKZ beschikbaar, zodat er vooralsnog van moet worden uitgegaan dat voor en na de verruimingsperiode (juli 1997 t/m juli 1998) het geulprofiel ter plaatse van de drempels niet is gewijzigd.

3.2 Bagger- en stortvolumes

Voor de verruimingsperiode dient onderscheid te worden gemaakt tussen initieel- en onderhoudsbaggerwerk. Het initieel baggerwerk ten oosten van Vlissingen is uitgevoerd vanaf 1 juli 1997 t/m juli 1998 en bedroeg 7.5 Mm³. Dit was minder dan vooraf berekend (11,3 Mm³). Dit komt ondermeer, omdat niet alle vaarbreedten zijn aangepast.

Het werkelijke onderhoudsbaggerwerk voor en na de verruiming is gebaseerd op de baggerhoeveelheden in de 5 maanden na de verruiming (augustus t/m december 1998) en de 30 maanden voor de verruiming (januari 1996 t/m juni 1998). Hieruit zijn jaarlijkse bagger- en stortvolumes berekend (Mol, 1999). Een samenvatting van de resultaten is gegeven in tabel 4.

Voor verruiming	West	Midden	Oost	Totaal
Baggeren	1.2	1.3	6.9	9.4
Storten	1.9	4.2	3.0	9.1
Na verruiming*				
Baggeren	2.3	1.3	6.8	10.4
Storten	7.3	2.8	0.3	10.4

Tabel 4 Verdeling van bagger- en stortvolumes 1995-1998 in miljoenen m³ per jaar

* Op basis van 5 maanden gegevens

Opvallend is dat de baggervolumes in het oosten in de maanden na de verruiming vrijwel gelijk zijn aan de maanden daarvoor. De verwachting was dat de baggervolumes in het oosten met bijna 60% zouden toenemen (zie tabel 1). De baggervolumes in het westen daarentegen zijn iets hoger dan verwacht. In paragraaf 5.4 wordt hier verder op ingegaan.

Op geul- en plaatniveau zijn de belangrijkste veranderingen in stortbeleid:

- toename van de storthoeveelheden in de Everlingen (van minder dan 1 Mm³ per jaar tot meer dan 5 Mm³ per jaar sinds 1997)
- evenwichtiger storten in Middelgat en Ossensisse (voorheen 2 tot 5 Mm³ in het Gat van Ossensisse en minder dan 1 Mm³ in het Middelgat en nu ongeveer evenveel in het Gat van Ossensisse als in het Middelgat, elk ca. 2 Mm³ per jaar)
- afname van de storthoeveelheden in de Schaar van Waarde en het Zuidergat (van meer dan 5 Mm³ voor 1997 tot maximaal 1 Mm³ per jaar vanaf 1997).

3.3 Bodemligging

In analogie met tabel 2 en 3 zijn de areaal- en volumeveranderingen voor de periode 1996-1998 weergegeven in tabel 5 en 6. In Mol, 1997 wordt verder ingegaan op de areaal- en volumeveranderingen, waarbij ook aandacht wordt besteed aan de ontwikkelingen ten opzichte van de trends vanaf 1955.

	West		Midden		Oost	
	1996-1997	1997-1998	1996-1997	1997-1998	1996-1997	1997-1998
Schorren en slikken	5	-7	-5	-10	-15	-9
Ondiep water	-8	39	-5	-7	-28	17
Platen	-22	-12	0	4	20	-10
Geulen	17	-19	5	6	-5	19

Tabel 5 Waargenomen areaalveranderingen in hectare (1996-1998)

	West		Midden		Oost	
	1996-1997	1997-1998	1996-1997	1997-1998	1996-1997	1997-1998
Platen (zand boven NAP -2m)	-1	-2	0	1	1	0
Hoofdgeulen (water onder NAP -2m)	1	3	2	3	1	5
Nevengeulen (water onder NAP -2m)	-2	-4	-1	-2	1	1

Tabel 6 Waargenomen volumeveranderingen in Mm³ (1996-1998)

Met name de ontwikkeling van ondiep water arealen verdient aandacht. De prognose was namelijk dat in alle delen van de Westerschelde de ondiep water arealen zouden afnemen, terwijl de veldwaarnemingen in het oosten en in het westen een toename van ondiep water areaal laten zien. De vraag is of deze ondiep water areaal toenames tussenstadia zijn in ontwikkelingen van geul naar plaat of van plaat naar geul, of dat sprake is van een blijvende ondiep water areaaltoename. In dat geval dient de prognose te worden bijgesteld. Om dit te onderzoeken zijn twee gebieden geselecteerd die een belangrijke bijdrage leveren aan de waargenomen toename van het ondiep water areaal:

- de Everingen (van 1997-1998 een toename van bijna 40 hectare)
- de Schaar en Overloop van Valkenisse (van 1997-1998 een toename van 34 hectare)

Het algemene beeld van de volumeveranderingen in de Westerschelde is verruiming van de hoofdgeulen en afname van de nevengeulen. Een uitzondering op de algemene regel van afname van nevengeulen was tot 1996 de nevengeul Schaar van Spijkerplaat die wel ruimer werd. Een andere uitzondering, maar dan juist vanaf 1996 is de Schaar van Valkenisse, die sinds kort ruimer wordt.

3.4 Synthese

Omdat de bagger- en storthoeveelheden per jaar zijn gepresenteerd (januari tot januari) en de lodingen meestal in het voorjaar plaats vinden is onduidelijk welk gedeelte voor en welk gedeelte na de loding is gebaggerd en gestort. Ondanks deze beperkingen zijn de eerste gevolgen van het in 1997 veranderende stortbeleid mogelijk wel waarneembaar.

Door het veranderde stortbeleid wordt sinds 1997 aan het oosten netto sediment onttrokken. Dit zand wordt in het midden en oosten gestort. Uit de lodingen blijkt echter geen sterke afname van de geulinhoud in het westen en midden. De lodingen laten wel een sterke verruiming van het oostelijk deel zien. Dit betekent dat een deel van de gestorte zandhoeveelheden niet in het westen en midden geborgen worden, maar ook niet naar het oosten is teruggedaan. Daarom moet aangenomen worden dat dit zand naar het mondingsgebied is verplaatst.

Ook op geul- en plaatniveau kunnen de waargenomen ontwikkelingen in verband worden gebracht met het gewijzigde stortbeleid. Dit betreft met name ontwikkelingen rond de Everingen. Hier zijn de storthoeveelheden sterk toegenomen en wordt een toename van het ondiep water areaal waargenomen. In de Schaar en Overloop van Valkenisse is het ondiep water areaal ook sterk toegenomen. Hier zijn de storthoeveelheden in de nabijgelegen stortgebieden (Schaar van Waarde en het Zuidergat) juist sterk afgenomen.

In hoofdstuk 5 worden de ontwikkelingen in de genoemde gebieden verder uitgewerkt.

4 Modelberekeningen (ESTMORF)

4.1 Algemeen

ESTMORF is een gedragsgeoriënteerd morfologisch model van de Westerschelde van Vlissingen tot aan de grens (ca. 200 elementen) waarin op basis van evenwichtsrelaties, een bepaalde evenwichtssituatie en advectie- en diffusieparameters de effecten van verstoringen op de morfologie worden berekend op een tijdschaal van enkele decennia. Het model is gekoppeld aan het 1D waterbewegingsmodel DUFLOW.

De basis voor het model is (evenals bij het ASMITA-model dat uit minder elementen bestaat, maar een groter gebied beslaat) de overschots/tekort benadering. Bij deze benadering wordt er vanuit gegaan dat het systeem een bepaald evenwicht kent. Bij een verstoring van dit evenwicht ontstaan zandtekorten en/of zandoverschotten, waarna een herverdeling van zand optreedt en een nieuwe evenwichtssituatie ontstaat. Het model wordt gebruikt om de toestand van het estuarium tijdens deze aanpassingsperiode te beschrijven.

De kracht van ESTMORF is dat veranderingen van delen van het systeem (geulen en platen) op eenduidige wijze aan elkaar gekoppeld worden, zodat onderlinge beïnvloeding en het gedrag van het systeem als geheel berekend kunnen worden. De gebruikte versie van het model kent echter onder meer de volgende beperkingen waar bij de interpretatie van de modelresultaten rekening mee moet worden gehouden:

- De ingrepen (bagger- en storthoeveelheden) worden door de gebruiker ingevoerd. In werkelijkheid zullen de baggerhoeveelheden worden bepaald door de morfologische ontwikkelingen (breedte en diepte van de vaargeul). De bagger- en stortvolumes dienen dus eigenlijk tijdens de berekening te worden aangepast. Bij de beschikbare modelberekeningen is **geen** rekening gehouden met een mogelijke afname van de baggerhoeveelheden (zie paragraaf 3.2).
- Een aantal evenwichtsparameters zijn tijdens de calibratie van het model per geul aangepast om de natuurlijke ontwikkeling van die geulen (erosie of sedimentatie) te reproduceren. In een aantal gevallen is dit echter geen reproductie van de processen die deze erosie of sedimentatie veroorzaken. De sedimentatie van het Middelgat is waarschijnlijk een oorzaak van het uitbochten en langer worden van deze geul, zodat de geul te veel weerstand krijgt t.o.v. het Gat van Ossensisse. Beëindiging van dit proces zal dan ook nooit een uitkomst van het model kunnen zijn.
- Dit laatste geldt ook voor de processen *zeespiegelrijzing en externe getijslagtoename* die bij de in Van Helvert, 1999 beschreven berekeningen niet via de waterbeweging zijn gemodelleerd. De gevolgen worden wel via de evenwichtsparameters gemodelleerd. Dit betekent dat impliciet wordt aangenomen dat zeespiegelrijzing en getijslagtoename zich in de toekomst in hetzelfde tempo zullen voltrekken als dat in de laatste decennia het geval was.
- Bij transport van zand over de grenzen van het model moet worden gerealiseerd dat ervan wordt uitgegaan dat het buitengebied in evenwicht is. Als het mondingsgebied een overschots- of tekortgebied zou worden kan dit ook gevolgen hebben voor de berekende import of export.
- De ontwikkeling van plaatarealen wordt niet goed gereproduceerd
- Binnen ESTMORF worden verschillende processen en ingrepen gecombineerd gereproduceerd: baggeren, storten, herverdeling van zand, geulaanpassingen, plaatgroei, getijverandering. Er is echter onvoldoende inzicht in de bijdrage van elk van deze elementen aan het eindresultaat.

4.2 Berekeningsresultaten

In bijlage 3 zijn de resultaten van een aantal ESTMORF-berekeningen gegeven. De volgende scenario's zijn doorgerekend:

CALIBRATIE: ingrepen 1968-1993.

OOST: voortzetting bagger- en storthoeveelheden calibratieperiode (voor verruiming) tot 2050, baggeren en storten in het oosten en zandwinning in het westen

WEST: voortzetting bagger- en storthoeveelheden calibratieperiode (voor verruiming) tot 2050, baggeren in het oosten, storten en zandwinning in het westen

VERDIEP: Baggeren en storten volgens MOVE, werkelijke ingreep t/m juli 1998 en prognoses t/m 2050. Dit betekent t.o.v. WEST meer onttrekking in het oosten en meer storten in het midden.

De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in Van Helvert, 1999.

Een samenvatting van de modelresultaten is gegeven in tabel 8.

	Geul	Plaat	Totaal
CALIBRATIE	26	2	28
OOST	-23	6	-17
WEST	-194	24	-170
VERDIEP	-106	0	-106

Tabel 7 Modelresultaten ESTMORF: veranderingen tot 2050 zandhoeveelheden in Mm³

Deze modelresultaten ondersteunen in grote lijnen het in hoofdstuk 2 beschreven denkmodel.

Daarnaast vallen de volgende zaken op:

- Bij alle scenario's ontstaan in het oosten grote zandtekorten. Dit wijst er onder andere op dat de baggervolumes (modelinput) te hoog zijn
- Bij alle scenario's treedt export van zand op
- Verplaatsen van het storten naar het westen versterkt de export van zand
- Verplaatsen van het storten naar het westen vermindert de plaatgroei
- De omslag van import naar export ontstaat in het vak waar het meest gestort wordt

Gezien de beschreven beperkingen dienen de modelresultaten met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd. De belangrijkste aanvulling op de prognoses zoals die in hoofdstuk 2 zijn beschreven is dat de voorspelde vermindering van de import op termijn kan resulteren in export.

5 Verklaring waargenomen ontwikkelingen

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een aantal ontwikkelingen die in de vorige hoofdstukken zijn gesignaleerd verder uitgewerkt en waar mogelijk verklaard vanuit de fysische processen.

Om twee redenen is bij de analyse van de gegevens niet de onderverdeling west/midden/oost gehanteerd. Allereerst omdat de morfologische veranderingen worden veroorzaakt door processen die alleen op geul- en plaatniveau beschreven kunnen worden. Daarnaast omdat de tijdschaal waarover gegevens beschikbaar zijn erg kort is (orde 1 jaar na aanpassing van het stortbeleid). De effecten zullen dus vooral op kleine ruimteschaal zichtbaar zijn.

I.v.m. de beperkte looptijd van de in dit rapport beschreven studie was het niet mogelijk om systematisch voor alle stortgebieden de effecten van het storten te analyseren. Daarom zijn voor een beperkt aantal gebieden de morfologische ontwikkelingen verder uitgewerkt. Aandacht wordt besteed aan de ontwikkeling van de Schaar van Spijkerplaat en aan de ontwikkeling van het ondiep watergebied in de Everingen en de Schaar en Overloop van Valkenisse. Hierbij is gebruik gemaakt van bij het RIKZ beschikbare lodingsgegevens (GIS-atlas met dieptekaarten en erosie-sedimentatie kaarten) en berekende areaal- en volumeveranderingen (zie bijlage 1).

Tenslotte wordt stilgestaan bij de ontwikkeling van de baggerinspanning en drempelontwikkeling en de import/export van zand uit het estuarium.

5.2 Schaar van Spijkerplaat

In de voortgangsrapportage van Directie Zeeland wordt gesteld dat de laatste decennia in het westelijk deel verruiming van zowel hoofd- als nevengeulen is opgetreden. Dit in afwijking van het algemene beeld van verruiming van hoofdgeulen en afname van de nevengeulen. De belangrijkste bijdrage aan verruiming van de nevengeulen in het westelijk deel werd geleverd door de Schaar van Spijkerplaat. In 1997-1998 is in plaats van deze verruiming juist een volumeafname van ca. 3 Mm³ waargenomen. De storthoeveelheden bedroegen in 1997 en 1998 nog geen 2 Mm³ per jaar.

De langjarige trend van toename in de Schaar van Spijkerplaat ten koste van de Honte lijkt in elk geval voorlopig tot stilstand te zijn gekomen. De reden hiervoor is vermoedelijk als volgt: in de Schaar van Spijkerplaat is in feite sprake van een tweegeulensysteem: een vloodschaar die vanaf zee vrijwel in oostelijke richting loopt en die in omvang groeit en een ebgeul die vanaf de Pas van Terneuzen aansluiting zoekt bij deze vloodschaar (zie figuur 2). Deze ebgeul heeft het karakter van een kortsluitgeul die in het zuiden begint aan de linkeroever van de Pas van Terneuzen en die vervolgens naar het noorden verplaatst. In 1997-1998 is deze verplaatsing zover doorgezet dat de ebgeul door het platengebied van de Spijkerplaat loopt en aansluit op de linkerwand van de Honte. Door de sterk uitgebochte ligging verliest deze geul aan kracht en treedt ter plaatse sedimentatie op. In 1997-1998 is dit proces extra versterkt doordat in deze geul is gestort.

Inmiddels ontstaat een nieuwe ebgeul aan de linkeroever van de Pas van Terneuzen naar de vloodschaar van de Spijkerplaat. Deze geul is in de periode 1997-1998 sterk uitgeruimd. Het lijkt waarschijnlijk dat deze geul de aanzet vormt voor een nieuwe cyclus. De bodemligging in 1998 vertoont grote gelijkenis met die in 1972, met dat verschil dat de Pas van Terneuzen verder naar het westen is opgeschoven en dat de vloodschaar van de Spijkerplaat nu groter is.

Door de verdeling van het ebdebiet in de Schaar van Spijkerplaat over de oude en de nieuwe geul is de eroderende kracht van de ebstroom thans minder dan in voorgaande jaren. Hierdoor kan de netto sedimentatie worden verklaard. De verwachting is dat dit van tijdelijke aard is. Zodra de nieuwe ebgeul tot volle ontwikkeling komt zal een nieuwe fase van sterke erosie in de Schaar van Spijkerplaat intreden.

Voor het bagger- en stortbeleid heeft dit de volgende consequenties:

- Toenemende baggervolumes op de drempel van Borssele omdat het ebvolume op deze drempel afneemt doordat de nieuwe kortsluitgeul ebdebiet onttrekt aan de Pas van Terneuzen.
- Het storten van baggerspecie in de oude ebschaar van de Spijkerplaat heeft een versnellend effect op de geschetste ontwikkeling.

Om een drietal redenen wordt voorgesteld het stortgebied in de oude ebschaar te verplaatsen naar de vloodschaar in de Spijkerplaat:

- De geschetste ontwikkeling wordt hierdoor afgeremd.
- Het huidige beleid is erop gericht om het zand binnen de Westerschelde te houden. Bij storten in de vloodschaar is de dominante verplaatsingsrichting van de gestorte specie naar binnen gericht en dus importbevorderend. De huidige stortlocatie ligt in de ebgeul dicht bij de monding van het estuarium en is daardoor exportbevorderend.
- Een stortlocatie in de vloodschaar ligt dicht bij het uitgestrekte platengebied van de Hooge Platen, en kan ten goede komen aan de opbouw van deze platen (in 1997-1998 trad hier erosie op).

Om sedimentatie in bepaalde nabijgelegen gebieden tegen te gaan, kan overwogen worden om evenals bij de Biezelingse Ham een eb- en/of vloodlocatie aan te wijzen. Op deze locaties mag alleen gestort worden als de stroomrichting zodanig is dat het sediment in suspensie niet in de van belang zijnde gebieden kan sedimenteren.

5.3 Ontwikkeling ondiep watergebied

De veldwaarnemingen laten van 1997 tot 1998 een toename van het ondiep water areaal zien met ongeveer 40 hectare. De verwachting was juist dat de verruiming en stortstrategie een afname van het ondiep water gebied tot gevolg zou hebben. Om te kunnen bepalen of de prognose bijgesteld moet worden zijn de ontwikkelingen in twee gebieden waar het ondiep water areaal toenam verder geanalyseerd.

Zuid Everingen/Drempel van Everingen

De veldwaarnemingen in 1997/1998 laten voor het westelijk deel een toename van het ondiep water gebied zien. Dit is voornamelijk geconcentreerd in de kortsluitgeul "Zuid Everingen" en de drempel van Everingen (zie figuur 3).

Opvallend is dat beide gebieden direct ten oosten van de stortgebieden in de Everingen liggen. De stroming in de Everingen is vloedgedomineerd. Een verstoring van het morfologisch evenwicht zal zich in beide stroomrichtingen voortplanten, maar vooral in de richting van de getijresiduele stroming/zandtransporten. In dit geval naar het oosten.

Dit beeld wordt bevestigd door het erosie/sedimentatie beeld in dit gebied: ten oosten van de stortgebieden treedt een verondieping van de diepere geuldelen op. Blijkbaar resulteert dit in hogere snelheden, waardoor erosie optreedt in de ondiepere delen van de geulen en op de platen. De volumeveranderingen in Everingen en omgeving (2 Mm^3) zijn aanzienlijk minder omvangrijk dan de stortvolumes in dit gebied (10 Mm^3). De toename van het ondiep water areaal gaat voornamelijk ten koste van de Middelplaten (40 hectare).

In hoeverre sprake is van een blijvende verruiming van de Zuid-Everingen kan op basis van de korte waarnemingsperiode nog niet worden vastgesteld. Dit geldt ook voor de vraag in hoeverre de afname van het plaatareaal tijdelijk is of meer permanent. Er zijn echter ook geen aanwijzingen dat het hier een tussenstadium in de ontwikkeling van geul naar plaat betreft.

Schaar van Valkenisse

De veldwaarnemingen laten voor de Schaar van Valkenisse de volgende ontwikkelingen zien:
1996-1997: toename geulinhoud van 1 Mm³ en ondiep water areaal afname van 24 hectare
1997-1998: toename geulinhoud van 1 Mm³ en ondiep water areaal toename van 9 hectare

Opvallend is dat dit gebied direct ten oosten van het stortgebied in de Schaar van Waarde ligt. Evenals bij de Everingen zou er verband kunnen bestaan met de veranderde stortstrategie. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat de stortintensiteit in de Schaar van Waarde al langer op het huidige niveau is. Dat de nevengeul Schaar van Valkenisse zowel in 1996-1997 als in 1997-1998 ruimer is geworden, is des te verassender, omdat ook de hoofdgeulen Zuidergat en Overloop van Valkenisse ruimer zijn geworden (meer debiet door de hoofdgeul veroorzaakt normaliter minder debiet door de nevengeul en dus aanzanding). De oorzaak zou kunnen zijn dat de getijvolumina door de nevengeul zijn toegenomen of dat minder sediment wordt aangevoerd door verminderde opwoeling stroomopwaarts. Toename van de getijvolumina in de nevengeul kan veroorzaakt worden door een sterkere getijdoordringing, toename van de dominantie (ebvolume in ebgeul groter en/of vloedvolume in vloedgeul groter) of een sterkere kortsluitfunctie (veranderende getijdoordringing die resulteert in grotere vervallen over de nevengeul). Ook voor dit gebied geldt dat een verdere uitwerking momenteel niet mogelijk is, omdat er onvoldoende hydraulische gegevens beschikbaar zijn.

De ontwikkelingen in dit gebied dienen nauwlettend gevolgd te worden. Terugkeer van de natuurlijke dynamiek kan ook risico's met zich meebrengen. Bij de ontwikkeling van nieuwe kortsluitgeulen in de platen zouden dwarsstromen in de hoofdgeul kunnen ontstaan die hinderlijk zo niet gevaarlijk zijn voor de scheepvaart (Zimmermangeul ongeluk).

Conclusie

De ontwikkelingen van het ondiep water gebied worden sterk bepaald door lokale omstandigheden. De ontwikkelingen in 1997-1998 (toename ondiep water areaal met 40 hectare) lijken in tegenspraak met de verwachte ontwikkeling (afname ondiep water areaal van 1997-2020 met 370 hectare). De periode is echter te kort om harde conclusies te trekken. De vraag is of de bij de prognose gehanteerde aannames wel goed zijn. In paragraaf 2.5 zijn al een aantal nuanceringen genoemd. De volgende 2 nuanceringen kunnen daaraan worden toegevoegd.

Hoewel de geulensystemen Pas van Terneuzen/Everingen en Zuidergat/Schaar van Waarde sterke hydraulische en morfologische overeenkomsten vertonen, reageert de morfologie verschillend op toename van stortingen in de nevengeul. In de Schaar van Waarde direct afname van het ondiep water gebied (1970-1975) en in de Everingen in ieder geval het eerste jaar een toename van het ondiep water gebied (1997-1998). Dit wijst erop dat de ontwikkeling van de hoofdgeul (in 1970-1975 in oosten sterker verruimd dan in 1997-1998 in het westen) meer invloed heeft op de ontwikkeling van de nevengeul dan de omvang van de stortingen in de nevengeul. Verder kan het zo zijn dat het westen makkelijker zand uitwisselt met omliggende gebieden (de monding) dan het oosten (met het midden). De gevolgen van het storten in het westen kunnen dus anders zijn dan de waargenomen gevolgen van het storten in het oosten.

De geulinhoud in het oostelijk deel neemt toe (blijkt zowel uit veldwaarnemingen als uit de modelberekeningen). De vraag is hoe de hydraulica hierop reageert: andere getijdoordringing (door diepere geulen snellere voortplanting, door toenemende bergende breedte kan dit worden gekompenseerd), verandering in dominantie (debietverdeling). Afhankelijk hiervan is het goed denkbaar dat de oude situatie gedeeltelijk herstelt. De verruiming van de hoofdgeul blijft natuurlijk wel (kunstmatig) gehandhaafd. De nevengeulen, platen en kortsluitgeulen zouden echter wel een tegengestelde ontwikkeling kunnen gaan doormaken.

5.4 Baggerinspanning

De voorspelde toename van de baggerinspanning is gebaseerd op expert judgement (extrapolatie op basis van ervaringen na verdieping 1970/1975. De vraag is of bij de huidige stortstrategie zo'n extrapolatie wel te hanteren valt.

De veldwaarnemingen wijzen erop dat de baggerinspanning in het oosten zelfs zou kunnen afnemen in plaats van toenemen. Mogelijke oorzaken van de waargenomen vermindering van de baggervolumes zouden kunnen zijn:

- Natuurlijke fluctuatie van de aanzanding op de drempels
- Een grotere overdiepte op de drempels direct na de verruiming (augustus 1998) dan bij het einde van de veldwaarnemingen (december 1998): de aanzanding is dan wel hoog, maar de baggervolumes zijn laag omdat de drempeldiepte afneemt
- In de betreffende maanden is niet gebaggerd op locaties die niet maandelijks onderhouden hoeven te worden of het baggerwerk is uitgesteld tot 1999
- Verminderde retourstroom van zand van de stortlocaties naar de baggerlocaties (door het verplaatsen naar het westen)

De eerste drie redenen zijn waarschijnlijk. De fluctuatie van het baggerwerk kan aanzienlijk zijn. De laatste reden (verminderde retourstroom) is eveneens goed mogelijk. Daarbij is het denkbaar dat de retourstroom nog op gang moet komen. Het is echter ook mogelijk dat het zand ook in de toekomst niet naar het oosten terug zal keren, maar blijvend in het midden, westen of mondingsgebied geborgen wordt.

De modelberekeningen laten bij de opgelegde baggerinspanning van 14 Mm³ per jaar een combinatie van grote zandtekorten in het oosten zien en export naar het mondingsgebied. Ook dit wijst erop dat de voorspelde toename van het onderhoudsbaggerwerk met bijna 60% te hoog is.

Er zijn dus twee redenen om de prognose van de baggerinspanning in het oosten naar beneden bij te stellen:

- de minder dan verwachte toename van baggerwerk in het oosten gebaseerd op het verschil tussen het baggerwerk in de 5 maanden na de verruiming t.o.v. de 30 maanden ervoor
- de sterke verruiming van het oostelijk deel in de ESTMORF-berekeningen wijzen erop dat in het model te veel gebaggerd wordt.

De baggerinspanning in het westen zou echter juist kunnen toenemen. Ook hiervoor zijn twee aanwijzingen:

- de meer dan verwachte toename van baggerwerk in het westen gebaseerd op het verschil tussen het baggerwerk in de 5 maanden na de verruiming t.o.v. de 30 maanden ervoor
- de ontwikkelingen van de Schaar van Spijkerplaat

5.5 Import/export van zand

Vergelijking van de bodemligging in 1998 en 1997 wijst erop dat export van zand naar het mondingsgebied is opgetreden. De exacte hoeveelheid hiervan is echter niet te geven omdat onduidelijk is welke bagger- en stortactiviteiten tussen de lodingen zijn uitgevoerd en welke hoeveelheden voor de loding van 1997 en na de loding van 1998 zijn uitgevoerd. De loding van 1998 was in het voorjaar, terwijl de verruiming toen nog in volle gang was.

De ESTMORF-berekeningen laten de volgende resultaten zien:

- Bij alle scenario's treedt export van zand op.
- Verplaatsen van het storten naar het westen versterkt de export van zand
- De omslag van import naar export ontstaat in het vak waar het meest gestort wordt

Gezien de beschreven beperkingen dienen de modelresultaten met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd. Gezien de overeenkomsten met de veldwaarnemingen moet er echter wel rekening worden gehouden met een mogelijk omvangrijke export van zand.

Ter nuancering dient te worden opgemerkt dat ook bij voortzetting van de vroegere stortstrategie de komende jaren in toenemende mate export van zand op zou kunnen treden. Uit zandbalansen is gebleken dat sinds 1970 de import afneemt (Uit den Boogaart, 1995). Doordat het model op deze periode is gekalibreerd is het logisch dat ook de modelresultaten een voortzetting van deze trend laten zien.

Bij het huidige beleid wordt ervan uitgegaan dat het zand in het systeem moet blijven met het oog op de gevolgen van zeespiegelrijzing. De verkennende definitiestudie naar zeespiegelrijzing heeft duidelijk gemaakt dat naast zeespiegelrijzing ook een toename van het getij op de Noordzee wordt verwacht. Dit zal waarschijnlijk resulteren in uitruiming van de geulen, zodat voldoende zand beschikbaar komt om de ondiepwater-, plaat-, slik- en schorgebieden op te bouwen. Als de externe getijslagtoename achterwege blijft en er geen import van zand optreedt, zullen de geulen in plaats van uit te ruimen gaan aanzanden. In dat geval treedt verlaging van de ondiepwater-plaat-, slik- en schorgebieden op. Door toename van de bergende breedte zal de snelheidsafname en aanzanding van de geulen beperkt blijven. De natuurfunctie zal dus niet direct in gevaar komen.

6 Conclusies en aanbevelingen

Tegelijkertijd met de 48'/43' verruiming van de Westerschelde is de stortstrategie gewijzigd. Het zwaartepunt van de stortingen is verplaatst naar het westen. Het lijkt erop dat deze stortstrategie de volgende gevolgen heeft:

- vermindering van de baggerinspanning
- export van zand naar het mondingsgebied
- morfologische veranderingen in de directe omgeving van stortgebieden

De baggerinspanning in het oosten is ondanks de verruiming van de vaarweg niet merkbaar toegenomen, terwijl dit na de verdieping in 1970-1975 wel het geval was. Bij de prognose van het onderhoudsbaggerwerk is uitgegaan van een toename van 60%. Deze prognose dient naar beneden te worden bijgesteld. Een gedetailleerde analyse van de baggercijfers in combinatie met de gegevens over veranderde bodemligging ter plaatse is hierbij essentieel.

De omvang van het baggerwerk is een belangrijk gegeven bij het bepalen van maximale storthoeveelheden en is daarom ook van belang in het kader van een nieuwe bagger- en stortvergunning. Verder onderzoek naar de aanzandingssnelheid van de drempels en de invloed van het gewijzigde stortbeleid wordt aanbevolen.

Zowel de veldwaarnemingen als de modelresultaten wijzen erop dat export van zand naar het mondingsgebied kan optreden. Door het storten in het westen wordt deze export versterkt. Bij het huidige beleid wordt ervan uitgegaan dat het zand in het systeem moet blijven met het oog op de gevolgen van zeespiegelrijzing. Uit de recent uitgevoerde definitiestudie zeespiegelrijzing is gebleken dat de verwachte zeespiegelrijzing en getijverandering geen bedreiging van de natuurfunctie van de Westerschelde lijken te vormen. Maatregelen om het zand in het systeem te houden (stoppen met storten in het westen) zouden kunnen leiden tot een verhoogde baggerinspanning. Daarom dient overwogen te worden om de export van zand niet langer als negatief te beoordelen.

Ten aanzien van de morfologische veranderingen in de omgeving van stortgebieden kan worden opgemerkt dat de effecten die nu in het westen optreden anders zijn dan in de periode 1970-1975 in het oosten. Het zou kunnen dat de verwachte afname van het ondiep water gebied meevalt of zelfs in het geheel niet optreedt.

Bij het opstellen van prognoses van de effecten van de 48'/43' verruiming en de gewijzigde stortstrategie is vooral gebruik gemaakt van extrapolatie van ontwikkelingen na de verdieping in 1970-1975 en overschots/tekortbeschouwingen. Aanbevolen wordt om bij verder onderzoek meer aandacht te besteden aan de onderliggende processen. Een voorwaarde hiervoor is wel dat de veldwaarnemingen en modelresultaten op gedetailleerder niveau (geulen en platen) worden uitgewerkt. Met name voor de bagger- en stortvolumes geldt dat inzicht in de maandelijkse hoeveelheden per bagger- en stortgebied onontbeerlijk is.

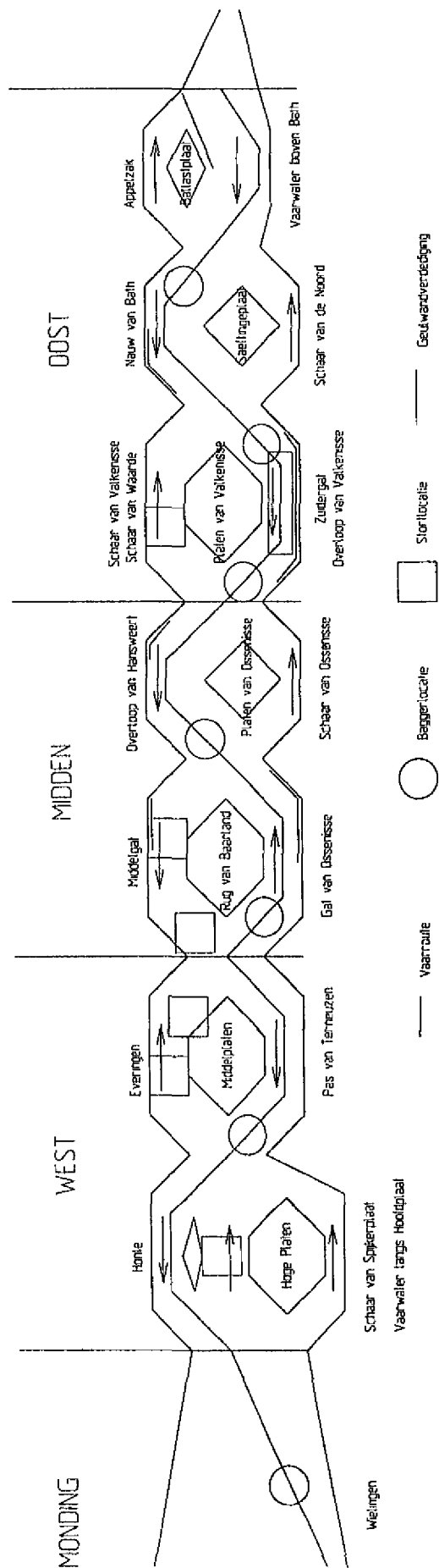
Ten aanzien van de stortlocaties en de bijbehorende volumes worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Oost: er is geen aanleiding om de huidige limiet van 1 Mm³ per jaar te wijzigen
- Middelgat/Gat van Ossenis: vooralsnog handhaven huidige strategie met de kanttekening dat overwogen kan worden (een deel van) de stortingen in het Gat van Ossenis over te hevelen naar het Middelgat als mocht blijken dat de stortingen in het Gat van Ossenis een verhogend effect hebben op de baggervolumes in de Overloop van Hansweert.
- Everingen: er is geen aanleiding om de huidige strategie te wijzigen
- Schaar van Spijkerplaat: verplaatsen stortlocatie van de ebgeul naar de vloed-schaar.

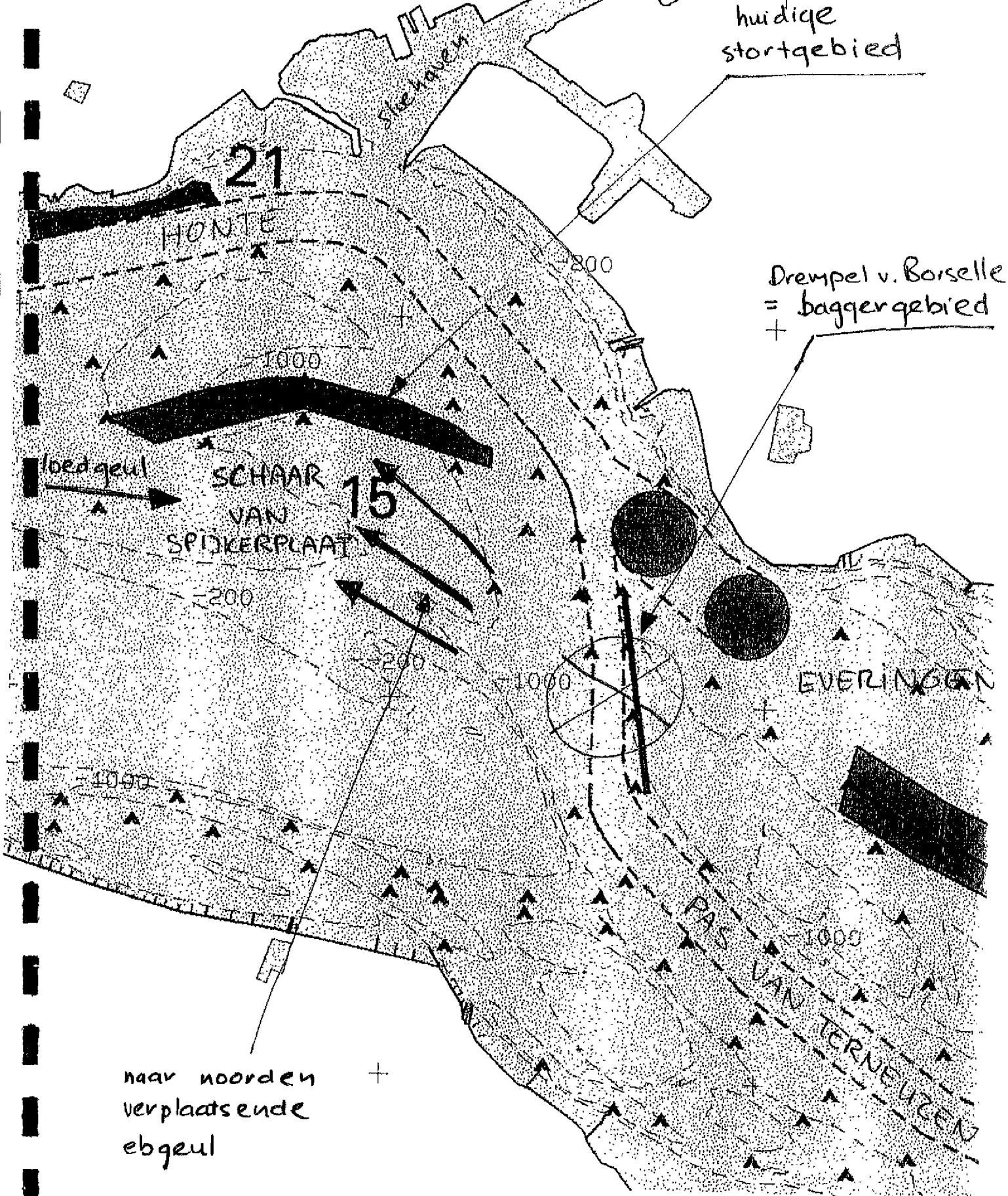
Referenties

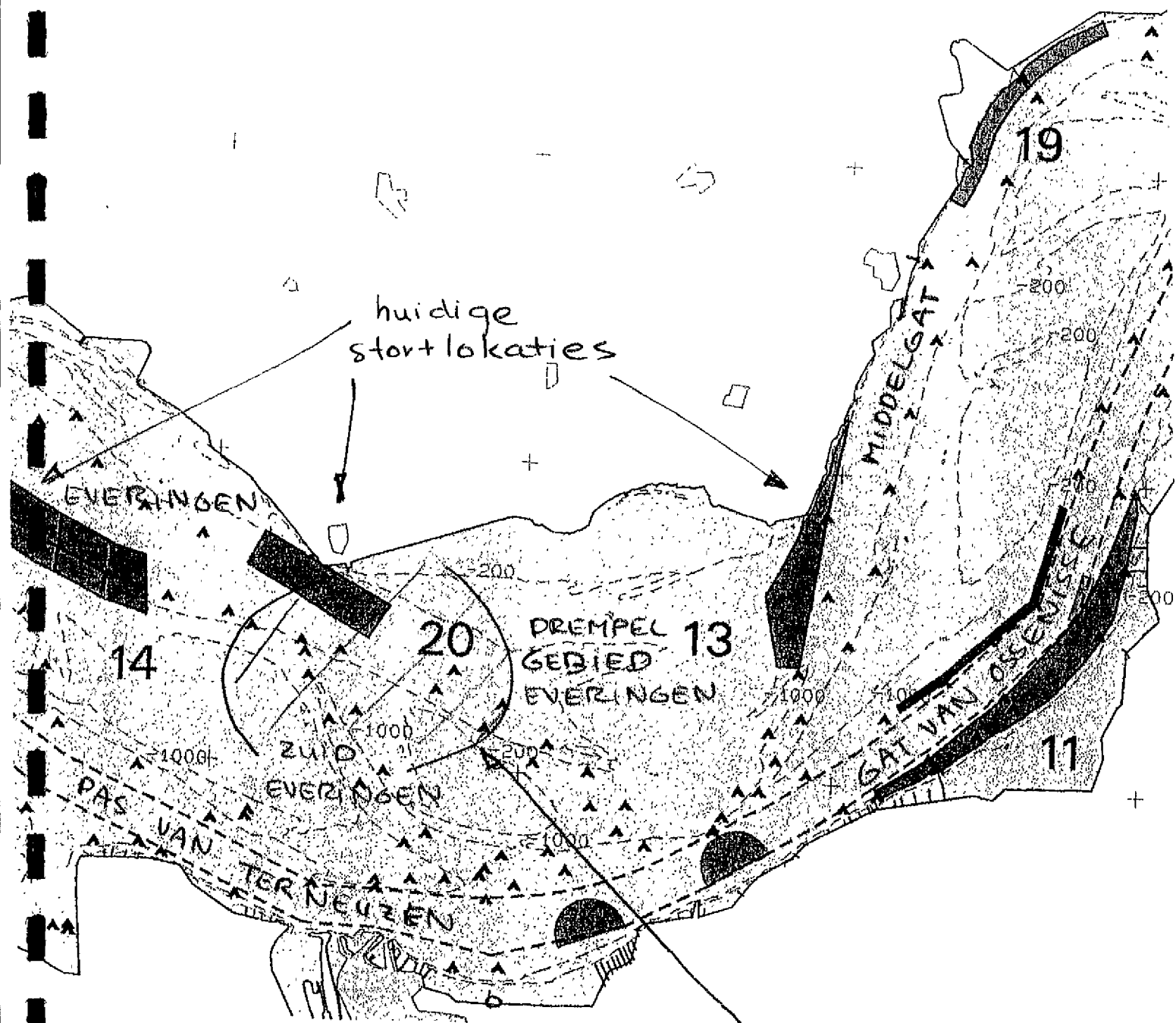
- Mol, 1999 G. Mol; De fysische toestand van de Westerschelde 1998; kort na de verdieping 48'/43'; concept 28-04-1999
- Van Helvert, 1999 M.A.G. van Helvert; Onderzoek naar de effecten van baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde m.b.v. het ESTMORF-model i.h.k.v. MOVE; werkdocument RIKZ/OS-99.817x; concept juni 1999
- Wang, 1997 Z.B. Wang, P.M.C. Thoolen en R.J. Fokkink; Studie naar morfologische effecten van storten en baggeren in de Westerschelde; Ten behoeve van MER storten gebaggerd materiaal; juli 1997
- Uit den Bogaart, 1995 L.A. Uit den Bogaard; Resultaten zandbalans Westerschelde 1955-1993; IMAU R95-08; februari 1995

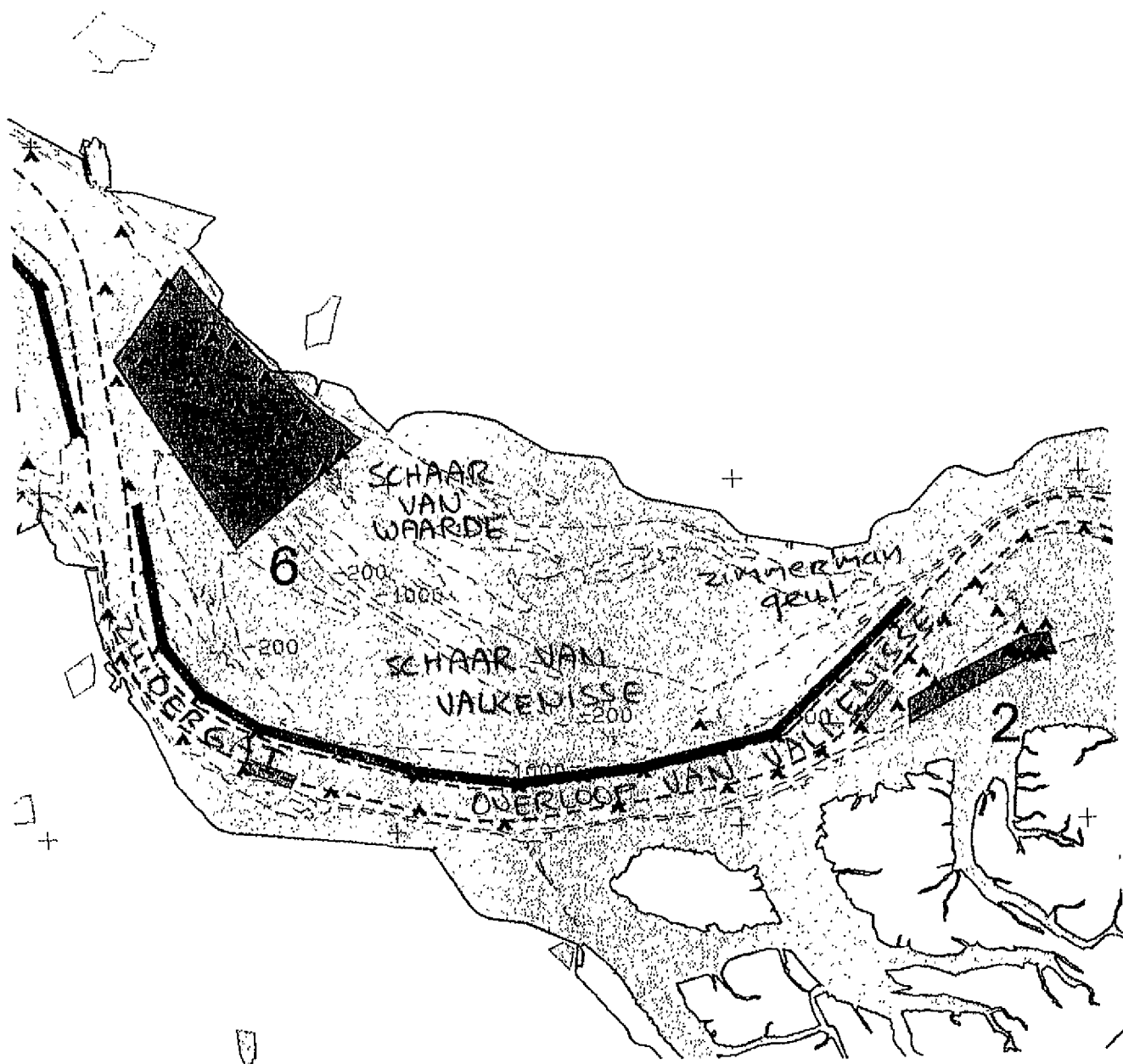
Schematisch overzicht geografie Westerschelde



FIGUUR 1
 99187/1111
 20-04-1999







Geulen Veranderingen t.o.v. 1996

Geulnaam	Hoofd- of Neven- Geul	Areaalverandering in ha.				Inhoudsverandering in Mm ³			
		NAP -5m		NAP-2m		< NAP -5m		< NAP-2m	
		1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Honte	H	27.6	28.8	3.5	1.1	0.2	1.8	0.7	2.5
Schaar van de Spijkerplaat	N	-7.5	-6.9	-4.8	-12.5	-1.1	-2.8	-1.2	-3.0
Vaarwater langs Hoofdplaat	N	-8.5	-14.1	6.7	11.1	-1.1	-1.6	-1.1	-1.5
Everingen	N	8.7	-8.5	5.9	28.4	-0.6	-2.1	-0.2	-1.3
Pas van Terneuzen	H	4.2	5.0	5.0	7.9	0.1	2.0	0.1	2.1
Gat van Ossensisse	H	6.0	3.8	9.6	12.7	-0.1	1.5	0.1	1.8
Middelgat	N	4.5	-7.2	4.3	-4.6	0.6	-2.9	0.7	-3.0
Overloop van Hansweert	H	0.3	13.6	11.5	17.0	1.8	4.7	2.0	5.2
Schaar van Ossensisse	N	0.7	-2.5	-20.1	-27.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5
Zuldergat	H	-3.7	-1.8	0.7	-0.7	0.3	2.2	0.3	2.2
Schaar van Waarde/Zimmermangeul	N	-9.0	-7.6	-7.7	-9.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.3
Schaar van Valkenisse	N	17.5	23.4	3.8	16.7	0.5	1.2	1.0	2.1
Overloop van Valkenisse	H	7.4	0.3	-3.8	6.4	0.1	2.1	0.2	2.3
Nauw van Bath	H	9.3	14.2	2.0	0.8	0.4	0.4	0.5	0.5
Vaarwater boven Bath	H	1.4	0.2	0.7	0.3	0.3	1.7	0.3	1.7
Schaar van de Noord	N	-0.4	-4.0	-0.7	-2.1	0.1	0.0	0.1	0.0
Totaal Geulen Westerschelde		58.5	36.7	16.6	48.1	1.4	7.9	2.9	10.8

Platen Veranderingen t.o.v. 1996

Plaatnaam	Areaalverandering in ha.				Inhoudsverandering in Mm ³			
	NAP -5m		NAP-2m		> NAP -5m		> NAP-2m	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Hoge Platen	-19.2	-21.2	-7.2	-6.7	-1.4	-2.7	-0.7	-1.8
Middelplaten	0.5	16.2	-14.9	-27.1	-1	-2.1	-0.8	-1.5
Rug van Baarland	-10.7	-10.1	-7.1	-7.2	0	-0.1	0.2	0.2
Platen van Ossensisse	2.9	-2.0	7.0	10.9	0.1	1	0.1	0.9
Platen van Valkenisse	-12.4	-13.8	19.9	9.8	0.8	0.8	0.9	1.4
Plaat van Saeflinge	-10.3	-15.7	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0	0
Totaal Platen Westerschelde	-49.2	-46.6	-2.3	-20.3	-1.6	-3.2	-0.1	-0.8