

63086

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

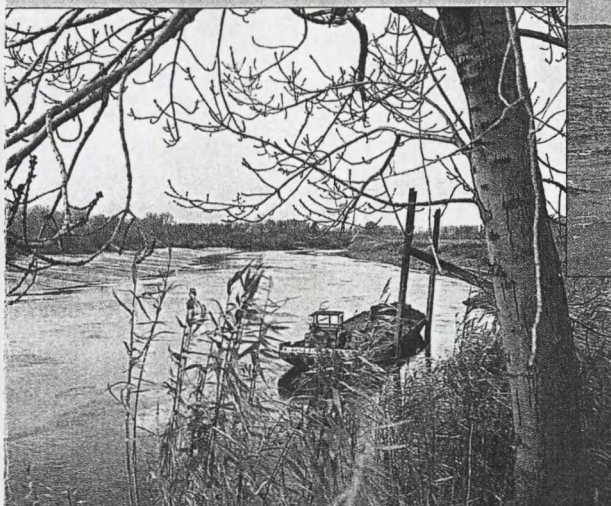
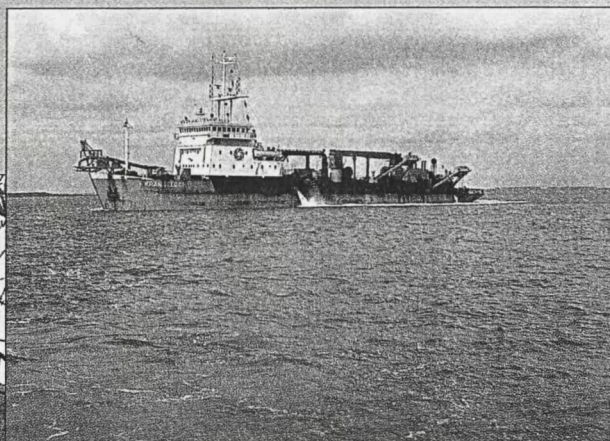
Directie Zeeland

Nummer: K1213

Bibliotheek, Koestr. 30, tel: 01180-86362,  
postbus 5014, 4330 KA Middelburg



# relde estuarium



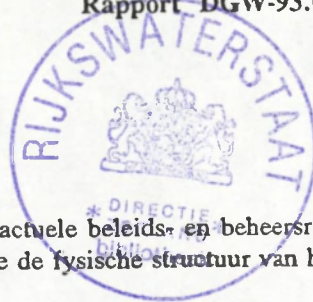
Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Getijdewateren  
Directie Zeeland



**HET SCHELDE-ESTUARIUM,  
BEHEREN OF BEHEERSEN ?**

**Rapport DGW-93.032**



Samenvatting van actuele beleids- en beheersrelevante inzichten uit het project OOSTWEST, betreffende de fysische structuur van het Schelde-estuarium, april 1993.

Project OOSTWEST

Auteur T. Pieters.

April 1993

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Getijdewateren

Directie Zeeland

Middelburg

## INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	Pag. 3
2	AANPAK EN UITGANGSPUNTEN OOSTWEST-STUDIES	Pag. 4
	2.1 ENKELE ALGEMENE CONCEPTEN EN AANPAK	Pag. 4
	2.2 REFERENTIEBEELD ONTWIKKELING SCHELDE-ESTUARIUM	Pag. 5
3	HISTORISCHE ANALYSE	Pag. 7
	3.1 ONTWIKKELING SCHELDE-ESTUARIUM TOT 1970	Pag. 7
	3.2 GEVOLGEN VAN INGREPEN IN HET VERLEDEN	Pag. 8
4	EFFECTEN HUIDIGE BEHEER	Pag. 10
	4.1 HET BAGGEREN	Pag. 10
	4.2 DE STORTSTRATEGIE	Pag. 11
	4.3 EFFECTEN BAGGER- EN STORTSTRATEGIE IN OOSTELIJKE DEEL	Pag. 12
	4.4 HET LAND VAN SAEFTINGE	Pag. 13
5	NADERE ANALYSES	Pag. 16
	5.1 ZANDBALANS WESTERSCHELDE: EROSIE- OF SEDIMENTATIEBEKKEN	Pag. 16
	5.2 INVLOED VERDIEPING 1970-1975 OP ZANDBALANS	Pag. 17
	5.3 SAMENHANG BAGGEREN, STORTEN, ZANDWINNEN EN KUSTEROSIE	Pag. 19
6	OPLOSSINGEN	Pag. 21
	6.1 MOGELIJKHEDEN MINIMALISERING BAGGEROMVANG	Pag. 21
	6.2 ONTWIKKELING BAGGEROMVANG WESTERSCHELDE	Pag. 22
	6.3 OPLOSSINGSRICHTINGEN	Pag. 24
	LITERATUURLIJST	Pag. 27
	FIGUREN 1 T/M 16	Pag. 31



## 1 INLEIDING

In het beleidsplan Westerschelde wordt geconstateerd dat als gevolg van het intensieve menselijke gebruik de fysische structuur van de Westerschelde sterk onder druk staat. Naar aanleiding van deze constatering is in opdracht van de directie Zeeland door de Dienst Getijdewateren de pilotstudie OOSTWEST uitgevoerd. In deze studie is de problematiek nader verkend en zijn globale oplossingsrichtingen aangedragen.

Uit de pilotstudie, gerapporteerd in de nota "het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg" (DGW nota GWWS-91.081), is duidelijk geworden dat de menselijke ingrepen in het estuarium een zodanig schaal en intensiteit hebben bereikt, dat de gevolgen ervan bepalend zijn geworden voor de ontwikkelingsmogelijkheden als estuarien ecosysteem én voor de vervulling van maatschappelijke functies in de toekomst. Dit betekent dat een integrale lange termijn visie op de gewenste fysische structuur van het systeem noodzakelijk is.

Het project OOSTWEST, dat inmiddels van start is gegaan als vervolg op de pilotstudie, heeft tot doel kennis en middelen te leveren voor de formulering van deze lange termijn visie en voor de toetsing van concrete ingrepen aan deze visie.

Hoe dit doel wordt verwezenlijkt en welke concrete producten dit oplevert staat vermeld in het projectplan OOSTWEST (DGW werkdocument GWWS 93.813x, lit. 24).

Na het verschijnen van de pilotstudie bleek er vanuit het beleid en beheer sterke behoefte aan onderwerpgerichte informatie. Dit rapport heeft tot doel in deze behoefte te voorzien. De belangrijkste analyses, hypothesen, inzichten en conclusies uit de pilotstudie, aangevuld met recente informatie worden in dit rapport besproken. De opzet van het rapport is dusdanig dat de paragrafen onafhankelijk van elkaar kunnen worden gelezen. Daardoor komen op een aantal plaatsen in de tekst herhalingen voor.

Dit rapport bevat geen volledige algemene beschrijving van het Schelde-estuarium. Uitgebreidere achtergrondinformatie is te vinden in lit. 1,4,9,20,30,35 en 36.

Het rapport is in nauwe samenwerking met de directie Zeeland tot stand gekomen. Gezien dit gegeven en gezien de sterke behoefte aan nieuwe informatie, kan de verwachting worden uitgesproken dat met dit rapport het tijdpad dat moet worden doorlopen om nieuwe inzichten in te passen in het vigerende beleid, zo kort mogelijk wordt gehouden. Dit is nodig gezien de problematiek waarmee de Westerschelde te maken heeft en krijgt.

Dit rapport is tot stand gekomen onder verantwoording van de projectgroep OOSTWEST, bestaande uit ir. T. Pieters (auteur, DGW), drs. J. Coosen (DGW), drs. O. van Kleef (dir. Zeeland), G. Mol (DGW), drs. R. Postma (dir. Zeeland), drs. C. Storm (DGW) en ir. J. Vroon (DGW).



## 2 AANPAK EN UITGANGSPUNTEN OOSTWEST-STUDIES

### 2.1 ENKELE ALGEMENE CONCEPTEN EN AANPAK

De actuele fysische structuur van het estuarium is een momentopname van het dynamisch evenwicht tussen waterbeweging en ruimtelijke structuur. Substantiële cyclische of doorgaande veranderingen als gevolg van natuurlijke processen of menselijke ingrepen kunnen daarom, en ook vanwege de huidige nog beperkte kennis, alleen worden onderscheiden, geanalyseerd of voorspeld, als een voldoende lange tijdsperiode van vaak meerder decennia wordt beschouwd. Aanvankelijk lokale veranderingen of gevolgen van ingrepen breiden zich via de getijbeweging uit in de ruimte. Daarom moet ook het hele getijsysteem in een dergelijke beschouwing worden betrokken. Bij de analyse van veranderingen of gevolgen van ingrepen in estuaria moeten derhalve ruime tijds- en ruimtedimensies in acht worden genomen.

Het leren uit het verleden, het tenminste kunnen voorspellen van de richting van de effecten van ingrepen en maatregelen én het nader kwantificeren van snelheid en omvang van de reacties van het systeem via een adequate monitoring zijn belangrijke uitgangspunten voor de aanpak van de OOSTWEST-studies.

De ruimtelijke structuur van het Schelde-estuarium (fig.1,2) heeft in de afgelopen twee eeuwen grote ingrepen en veranderingen ondergaan: de inpoldering van een derde deel (15000 ha) van de Westerschelde sinds 1800 en de scheiding met de Oosterschelde in de tweede helft van de vorige eeuw. In het recente verleden werden de doorgaande hoofdgeulen in de Beneden-Zeeschelde en het oostelijke deel van de Westerschelde door baggeren verdiept tot ongeveer anderhalf maal de natuurlijke diepten en in de afgelopen twintig jaar werd aan de Westerschelde 60 miljoen m<sup>3</sup> zand onttrokken voor infrastructurele werken en zandwinning (lit.20,30,36). De meeste van deze ingrepen waren veel groter dan in de toekomst nog aangebracht kunnen worden, althans wanneer als randvoorwaarde voor het toekomstig beheer wordt aangehouden dat het systeem niet fundamenteel van karakter en structuur mag veranderen. Daarom wordt er in het OOSTWEST-project relatief veel capaciteit besteed aan een zo volledig mogelijke analyse van de ontwikkeling van de structuur van het systeem in het verleden. Het gemis aan meer gedetailleerde en gekwantificeerde proceskennis, al of niet toegepast in voorspelmodellen, om de gevolgen van nieuwe ingrepen te bepalen, kan dan voor een belangrijk deel worden opgevangen door verstandig te interpoleren binnen in het verleden opgetreden ontwikkelingen. In feite vormen de historische ingrepen, mits voldoende gedocumenteerd, zo uitstekende veldexperimenten.

Belangrijke en op het ogenblik de meest duidelijke wetmatigheden, die de morfologische ontwikkelingen in estuaria bepalen, zijn de relaties tussen enerzijds de hoeveelheden water die het estuarium of delen ervan in- en uitstromen en anderzijds de inhouden van die gebieden en de doorstroomprofielen van de aan- en afvoergeulen (lit.1,10,28). Menselijke ingrepen en periodieke of doorgaande veranderingen in de natuurlijke randvoorwaarden veroorzaken afwijkingen van deze zogenoemde evenwichtsrelaties. Het systeem is min of meer continu bezig deze afwijkingen weg te werken om de evenwichten te herstellen.

Het voorgaande betekent zeker niet dat altijd terugkeer naar het oorspronkelijke evenwichtsniveau wordt nastreeft. Afhankelijk van de aard van de verandering in de betreffende component van de relatie, in de waterbeweging of de geometrie, wordt de verandering teniet gedaan óf past de andere component zich aan en wordt gestreeft naar een evenwicht op een nieuw niveau. Het is belangrijk rekening te houden met dit relatieve karakter van deze evenwichtsrelaties. De evenwichten worden overigens nooit exact en blijvend bereikt; het gaat om dynamische evenwichten, slingeren rond de evenwichtsrelatie.

Belangrijke onzekerheden bij de analyse en de voorspelling van ontwikkelingen en de gevolgen van ingrepen komen vooral voort uit het nog beperkte inzicht in de tijdschaal waarover veranderingen en aanpassingen zich voltrekken. Ook vertonen de empirisch bepaalde evenwichtsrelaties meestal nog een grote bandbreedte. Om deze redenen is het vaak niet duidelijk of er bijvoorbeeld op het moment van een nieuwe ingreep al weer wordt voldaan aan de evenwichtsrelatie, al of niet op het oorspronkelijke niveau, of dat er nog aanpassingen aan ingrepen uit het verleden werkzaam zijn.

Als duidelijk is dat de nieuwe ingreep, de evenwichtsverstoring, zó groot is dat ze nog lopende aanpassingen aan



vroegere verstoringen zal overheersen, is uit de evenwichtsrelaties de richting van de reactie van het systeem met meer zekerheid te bepalen. Een nauwkeurige en adequate monitoring en analyse van de ontwikkelingen is vervolgens noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in de omvang en de snelheid van de reactie van het systeem.

## 2.2 REFERENTIEBEELD ONTWIKKELING SCHELDE-ESTUARIUM

Bij estuaria met een relatief geringe bovenafvoer, zoals het Schelde-estuarium, zijn de veranderingen in komberging en getijvolume, door natuurlijke ontwikkelingen of menselijke ingrepen, de belangrijkste drijvende krachten voor de ontwikkelingen op systeemniveau op de lange termijn. Als vangers van sedimenten van mariene en/of fluviale oorsprong, waardoor komberging en getijvolume afnemen, zijn estuaria van nature geneigd op de lange duur te verlanden. Menselijke ingrepen, die substantiële afname van komberging en getijvolume veroorzaken en de getijbeweging in dezelfde zin beïnvloeden, kunnen dit proces sterk versnellen.

In de pilotfase van de OOSTWEST-studie is veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van de komberging en het vloedvolume van het estuarium (lit. 20). Het vloedvolume is in deze studie gedefinieerd als de maximale hoeveelheid water die per getij, in het hele estuarium of in het gebied bovenstrooms van een bepaalde doorsnede, tussen hoog- en laagwaterniveau geborgen wordt. Het dubbele van deze waarde of de som van eb- en vloedvolume is het getijvolume. De komberging is het volume tussen de meetkundige plaats van de hoogwaterstanden en de laagwaterstanden. Komberging, getijvolume en eb-en vloedvolume kunnen zowel voor het hele estuarium als voor delen ervan worden gedefinieerd.

Als het overal tegelijk hoog- en laagwater zou zijn, zouden getijvolume en komberging dezelfde waarde hebben. In een groot en langgerekt bekken als het Schelde-estuarium is dat niet het geval; daar is de komberging significant groter dan het vloedvolume.

De ontwikkeling van en de ontwikkelingen in het Schelde-estuarium (fig.1,2) zijn vergeleken met het volgende veel voorkomende ontwikkelingsbeeld van estuaria (lit. 20). De meeste estuaria zijn sedimentvangers. Daarom zijn estuaria van nature geneigd te verlanden, wat meestal relatief langzaam gaat. Deze natuurlijke verlanding treedt op door sedimentatie van marien en/of fluviaal materiaal in beschutte gebieden en in de hogere zones in het intergetijdegebied (fig.3). Daarmee neemt de komberging en vervolgens het vloedvolume af. Omdat de zee- en vaarwegen gelegen geulen minder water hebben aan en af te voeren, zullen hiervan volgens de genoemde evenwichtsrelaties ook het doorstroomprofielen door sedimentatie kleiner worden. Naast de primaire inhoudsafname neemt vervolgens dus ook het benedenstrooms gelegen geulvolume af. Dijkdoorbraken met overstromingen, die niet meteen worden hersteld, hebben het tegengestelde effect: de komberging en het getijvolume en vervolgens ook de inhoud van de zee- en vaarwegen gelegen geulen nemen weer toe. Ook zeespiegelstijging vertraagt in principe het verlandingsproces. Uiteraard moet voor het optreden van deze processen aan een aantal randvoorwaarden worden voldaan, zoals onder andere de beschikbaarheid en voldoende transportvermogen van sediment of de erodeerbaarheid van de bodem.

In veel estuaria hebben menselijke ingrepen het verlandingsproces sterk versneld. Om land te winnen werd op verschillende manieren de sedimentatie in de hoger gelegen gebieden bevorderd. De invloed van de inpolderingen zelf op het getijvolume was gering zolang gebieden werden ingepolderd, die door sedimentatie al vrijwel tot hoogwaterniveau waren opgevuld. Met het toenemen van de technische hulpmiddelen werden en worden steeds vaker gebieden ingepolderd op het moment dat ze nog een aanzienlijk waterbergend vermogen hebben, waardoor het getijvolume er wél substantieel door wordt beïnvloed.

In Noordwest-Europa zijn in de grotere estuaria de activiteiten om de vaarweg te handhaven, baggeren en reguleren, meestal overheersend geworden boven andere vormen van beïnvloeding. Het reguleren in estuaria heeft tot doel om meer water door de vaargeul te sturen, zodat die zichzelf beter op diepte houdt. Dit kan worden bereikt door uit deze geul gebaggerd materiaal in de nevengeulen te storten, zoals de opzet is in de Westerschelde, of door de aanleg van leidammen, die de nevengeulen afsluiten en zo meer water door de hoofdgeul leiden (lit.2,8,14,20). Min of meer per definitie worden echter op deze manier naast de hoofdgeul beschut-



te gebieden gecreëerd, waar versnelde sedimentatie gaat optreden. Door de kombergingsafname wordt vervolgens het natuurlijke dwarsprofiel van de zeewaarts gelegen geulen kleiner, waardoor daar meer baggerwerk of regulering nodig wordt. In veel estuaria moest de op deze manier begonnen regulering tot aan de zeemonding worden voortgezet. Bekende voorbeelden zijn het Seine-estuarium en het Lune-estuarium in Engeland (fig.4;lit.2,14).

Bij veranderingen van de geometrie van het estuarium verandert ook de mate van doordringing van de getijgolf in het estuarium en de vervorming die daarbij optreedt. Door inpoldering van laterale kombergingsgebieden bijvoorbeeld, kan de getijdoordringing sterker en het getijverschil groter worden. In zo'n geval wordt de initiële afname van het getijvolume gedeeltelijk gecompenseerd.

De voortplantingssnelheid van de getijgolf is afhankelijk van de waterdiepte. Daarom loopt de top van de golf, het hoogwater, sneller het estuarium binnen dan het dal, het laagwater, waardoor vervorming optreedt en de zogenaamde getij-assymmetrie ontstaat. Deze vervorming kan zo sterk worden en doorwerken in de stroomsnelheden dat over delen van het estuarium het sedimenttransporterende vermogen in landwaartse richting significant gaat overheersen over het zeewaarts gerichte (lit.2,18,22,23). De verondieping, die hiervan het gevolg is, versterkt weer de getij-assymmetrie; zo kunnen de interacties tussen geometrieveranderingen en waterbeweging resulteren in zichzelf versterkende processen, die bepalend worden voor de lange termijnontwikkeling van het systeem.



### 3 HISTORISCHE ANALYSE

#### 3.1 ONTWIKKELING SCHELDE-ESTUARIUM TOT 1970

De lange termijn ontwikkeling van het Schelde-estuarium kan, verdeeld in een aantal fasen volgens de grootschalige natuurlijke ontwikkelingen en de menselijke ingrepen, als volgt worden samengevat:

tot	1300	* afzonderlijke ontwikkeling zeearm Honte en rivier Schelde;
rond	1300	* afdamming Schelde bij Gent;
		* verbinding Schelde en Honte, begin van ononderbroken toename getij-involed op Zeeschelde;
1300 -	1650	* veel overstromingen en inundaties, grote uitbreiding kombergingsoppervlakte;
1650 -	1900	* inpolderingen, vooral vanaf rond 1800;
1900 -	1970	* voortzetting inpolderingen met geleidelijk in omvang toenemende baggerwerken;
1970 -	heden	* sterke intensivering baggerwerken;

De configuratie, die nu het Schelde-estuarium wordt genoemd, ontstond aan het einde van de Middeleeuwen, toen een verbinding tot stand kwam tussen de zeearm de Honte en de rivier de Schelde. Door het verruimen van deze verbinding en het verdiepen van de geulen is de sterkte van de getijbeweging op de Zeeschelde sindsdien onafgebroken toegenomen en neemt nog steeds toe. De getij-involed reikt tot Gent, waar al rond 1290 de Schelde en de Leye werden afgedamd.

Dat de Zeeschelde niet altijd een getijrivier is geweest blijkt ook uit de zogenoemde vloedkuil (lit. 31). Dit is het verschijnsel dat, na een toename vanaf bijna 4 meter bij Vlissingen, het getijverschil tussen Rupelmonde en Gent weer afneemt van 5.5 tot ongeveer 2 meter. Dit komt omdat de Beneden-Zeeschelde te nauw is, ofwel het landwaarts gelegen kombergingsgebied te groot is, om binnen een getijcyclus zoveel water door te laten, dat dit gebied tot dezelfde niveaus als het zeewaarts gelegen deel gevuld en geleegd kan worden.

De waterstanden in dit "vloedkuilgebied" zijn extra gevoelig voor veranderingen in de komberging ter plaatse én voor veranderingen in de doorstroomprofielen van de direct zeewaarts gelegen geulen, die de beperking veroorzaken. Dit verschijnsel is daarom een uiterst belangrijk aspect in de relatie tussen de vaargeulverdiepingen en de veiligheid tegen overstromingen langs de Zeeschelde.

Tussen de veertiende en de zeventiende eeuw breidde de komberging zich sterk uit door overstromingen en later door militaire inundaties. Vanaf het midden van de zeventiende eeuw kregen de inpolderingen de overhand en is de kombergingsoppervlakte tot op heden doorgaand verkleind. De oppervlakte van de Westerschelde nam af van ruim 45000 ha in 1800 tot ruim 30000 ha in 1980 (lit.20,30,36).

Volgens de beschikbare gegevens sedimenteerde tussen 1880 en 1950 in de nu vrijwel geheel ingepolderde grote schorgebieden, Sloe, Braakman, Land van Saeftinge en het Kreekrakgebied, ruim 100 miljoen m<sup>3</sup> materiaal (lit. 11). Bekend is ook dat de afdammingen van Kreekrak en Sloe, de afscheiding van de Oosterschelde rond 1870, initiële afnames van het vloedvolume veroorzaakten van elk ruim 30 miljoen m<sup>3</sup>. Vooral met de inpolderingen in deze eeuw, toen het steeds meer ging om gebieden met nog een substantieel waterbergend vermogen, moet de komberging aanmerkelijk verder zijn afgenomen.

Opmerkelijk is dat een eventuele getijvolume-afname als gevolg daarvan tot het midden van deze eeuw niet tot uitdrukking komt in een afname van de geulprofielen. Volgens de gegevens treedt tussen 1880 en 1950 in het gebied buiten de genoemde grote schorgebieden zelfs een geringe resulterende verruiming op van ongeveer 10 miljoen m<sup>3</sup> (fig.5;lit.11). De afname van de komberging is in het getijvolume mogelijk voor een substantieel deel gecompenseerd door de sterkere getijdoordringing en de toegenomen getijverschillen. In Antwerpen nam het getijverschil door de inpolderingen en het verdiepen van de vaargeul sinds ongeveer 1800 toe met 1.30 m, waarvan 0.80 m in de afgelopen eeuw (lit.5). In het vervolg van de OOSTWEST-studies wordt geprobeerd deze hypothese te verifiëren door een reconstructie van de ontwikkelingen uit historische gegevens, onder andere met behulp van mathematische modellen.



Mogelijk als reactie op vroegere ingrepen treden er rond het midden van deze eeuw wel significante veranderingen op in het systeem. Tenminste vanaf 1950 neemt de zandimport door de mond sterk toe, tot zeer hoge waarden aan het eind van de zestiger jaren (fig. 12). Deze waarden zijn zo hoog dat getwijfeld moet worden aan de nauwkeurigheid van de gegevens, maar de tendens van sterke import is significant. Het geïmporteerde materiaal veroorzaakt samen met uit het westelijke deel geërodeerd materiaal sterke verondiepingen in het midden en oostelijke deel van de Westerschelde tussen Hansweert en de grens. De import stopte abrupt toen omstreeks 1970 werd begonnen met de sterke verdieping van de hoofdvaargeul (fig.5). Hierop wordt nader ingegaan in de delen 5.1 en 5.2.

In ongeveer dezelfde periode treden er ook enkele opmerkelijke veranderingen op in de waterbeweging. Tussen 1935 en 1975 nemen de maximale vloodsnelheden in vrijwel alle geulen toe en worden groter dan de maximale ebsnelheden (fig. 6). In het Zuidergat in het oostelijke deel stijgen de maximale vloeddebieten over deze periode met meer dan 50 % en overtreffen sindsdien sterk de ebdebieten (fig. 7). In de parallelgeul de Schaar van Waarde was dit al het geval zolang er waarnemingen zijn (lit.20).

Een eenduidig oorzakelijk verband tussen deze ontwikkelingen en de vroegere ingrepen is nog niet gelegd. In de genoemde voorgenomen reconstructie zal ook hiernaar worden gezocht (lit.24). Het is belangrijk bij de afweging van nieuwe ingrepen te weten, dat het systeem in ongeveer de huidige configuratie kennelijk in staat is onder bepaalde omstandigheden grote hoeveelheden sediment uit de voordelta te importeren. Ingrepen tengevolge waarvan binnen het systeem substantiele aanzandingsgebieden ontstaan, zoals bijvoorbeeld achter leidammen, kunnen dit latent aanwezige vermogen activeren.

Samengevat ontwikkelde de sedimenthuishouding van de Westerschelde zich, volgens de nu beschikbare informatie en inzichten, over de laatste eeuw globaal als volgt (zie ook fig.5):

1880	- 1930/1950	* sedimentatie hoge delen, inpolderingen; * geringe toename geulvolume;
1930/1950	- 1970	* voortzetting inpolderingen; * sterk groeiende zandimport, sedimentatie/inhoudsafname in midden- en oostelijke deel;
1970	- heden	* sterke verruiming van de geulen, aangedreven door het baggeren op de drempels, met name in het oostelijke deel, en door onttrekking; * natuurlijke zandimport stopt, ook geen export; * sedimentatie op hoge delen.

Op de periode vanaf 1970 wordt gedetailleerder ingegaan in deel 5.1.

### 3.2 GEVOLGEN VAN INGREPEN IN HET VERLEDEN

Naast de directe invloed als ingreep hebben de bedijkingen, inpolderingen en afdammingen, in het verleden uitgevoerd om de veiligheid te waarborgen en om land te winnen, een aantal gevolgen gehad die belangrijk zijn voor het huidige functioneren van het systeem. Ze komen duidelijker naar voren en worden ook versterkt door het huidige intensieve gebruik van het estuarium.

De slibgehalten in het water zijn hoog, tenminste ten opzichte van de omringende watersystemen. In relatief beschutte gebieden vinden sterke slibaccumulaties plaats en lokaal treden hoge slibsedimentatiesnelheden op. Of de slibhuishouding van het systeem is beïnvloed door ingrepen is theoretisch waarschijnlijk, maar is nog niet rechtstreeks kwantitatief aangetoond.

Vrijwel alle natuurlijke sedimentatiegebieden van enige omvang zijn ingepolderd. Deze zogenoemde laterale overstromingsgebieden vormden de tijdelijke en blijvende buffers voor slib. Ook de antropogene slibbelasting is sterk toegenomen. Deze aspecten moeten van invloed zijn op de slibhuishouding van het systeem. Vanwege de



schaarse slibgegevens uit een wat verder verleden zijn veranderingen nog niet rechtstreeks kwantitatief aan te tonen.

Onder andere via lichtklimaat en primaire produktie zijn de slibgehalten in de waterfase van invloed op het ecologisch functioneren van het systeem. Ook vinden sterke slibaccumulaties plaats in enigszins beschutte gebieden, zoals haventoeegangen en havens. De aanvoer naar de weinige nog overgebleven natuurlijke sedimentatiegebieden van substantiele omvang is relatief hoog. Vooral in het oostelijke deel en plaatselijk op de Zeeschelde worden deze effecten verder versterkt door de bagger- en stortactiviteiten. Dit gebeurt zowel direct, ter plaatse van het baggeren en storten, als door de verhoogde sedimenttransporten, die worden opgewekt door het permanent over grote oppervlakten uit evenwicht houden van de bodem (lit.1). Het gaat hier weliswaar voornamelijk om zandtransporten, maar de fijnste fracties hiervan krijgen veel meer de kans dan elders om "uitgewassen" te worden en op de hogere delen te sedimenteren onder daarvoor gunstige omstandigheden.

**De extreme hoogwaterstanden bij hoge afvoeren en stormvloed**en zijn toegenomen door het afgenomen waterbergende vermogen van het systeem.

De laterale overstromingsgebieden fungeerden vóór de inpoldering ook als tijdelijke extra bergingsgebieden voor water, waardoor tijdens hoge afvoeren en stormvloed en de extreme hoogwaterstanden werden afgevlakt. Langs de Westerschelde waren dit gebieden zoals het Kreekrakgebied, delen van het Land van Saeftinge, de Braakman en het Sloegebied. Langs de Zeeschelde, vooral in het zogenoemde vloedkuilgebied (3.1 en lit.31), telden hiertoe naast de ingepolderde gebieden ook de afgesneden meanders en afgedamde zijrivieren mee. De verhoging van de hoogwaterstanden is versterkt door de verdiepingen van de vaargeul, waardoor het getij verder en sterker het estuarium binnendringt.

Met de inrichting van de zogenoemde potpolders, in het kader van het Belgische veiligheidsplan, het Sigmaphan, wordt geprobeerd deze functie voor een aantal gebieden weer te herstellen (lit.5).

**Een aantal voor estuaria karakteristieke habitatstructuren zijn zeer schaars geworden in het Schelde-estuarium.** Het gaat hierbij vooral om schorren in de mariene zone en ondiepe getijdgebieden, slikken en schorren in de zoete zone.

In de Westerschelde is nog slechts een, sterk versnipperd, areaal van ruim 200 ha aan zoutwaterschorren aanwezig. Met 0.6 procent van de totale oppervlakte is dit zeer weinig. Na het verdwijnen van grote arealen in het deltagebied met de uitvoering van de Deltawerken, is het belang ervan uit het oogpunt van natuurwaarden sterk toegenomen. Hetzelfde geldt, maar dan ook op westeuropese schaal, voor de nog overgebleven zoetwatergetijdgebieden langs de Zeeschelde. Na het vrijwel wegvallen van het getij in de Biesbos in Nederland zijn deze gebieden uniek geworden in West-Europa. Het Land van Saeftinge zorgt in de brakke zone, ondanks de omvangrijke inpolderingen die ook hier plaatsvonden, voor een substantieel areaal aan brakwaterschor. Door de sterke gradiënt in zoutgehalte zijn echter juist binnen de brakke zone deze gebieden onderling minder uitwisselbaar dan in de andere zones. De concentratie van bijna het gehele brakwaterschorareaal in het Land van Saeftinge betekent daarom tegelijk ook een zekere eenzijdigheid (fig.8).

**De ingrepen in het verleden in de geometrie van het systeem zijn bepalend voor de sterkte en de wijze van getijvoortplanting het bekken in en daarmee voor de sedimenttransportprocessen en de natuurlijke diepten van de geulen in de huidige situatie.** Hoe deze interactie zich concreet heeft ontwikkeld in het Schelde-estuarium wordt nog verder onderzocht.

De sterkte van de getijdoordringing bepaalt het getijvolume en daarmee de doorstroomprofielen van de geulen. De vervorming van de getijgolf bij het binnenlopen en uiteindelijk de doorwerking daarvan op de fase, de grootte en de duur van de eb- en vloedsnelheden zijn essentieel voor de sedimenttransportprocessen (zie ook 2.2 en lit.18). In het Schelde-estuarium hebben de ingrepen in de geometrie in het verleden een zodanige omvang gehad dat de waterbeweging ingrijpend is beïnvloed. De doorwerking ervan in de huidige geul afmetingen en het mogelijke verband met bijvoorbeeld de sterke sedimentimport en -verplaatsingen in het midden van deze eeuw (zie 3.1) moeten nog nader worden geanalyseerd.



## 4 EFFECTEN HUIDIGE BEHEER

### 4.1 HET BAGGEREN

In het Schelde-estuarium wordt gebaggerd omdat de scheepvaart grotere en vooral diepere geulprofielen nodig heeft dan het systeem zélf kan onderhouden. De toename van de baggeromvang wordt primair veroorzaakt door de steeds grotere vaardiepten, die gewenst worden.

Het geulprofiel stelt zich in op de hoeveelheid water die erdoor stroomt, het natuurlijke evenwichtsprofiel. Door doorlopend te baggeren wordt het geulprofiel ter plaatse uit evenwicht gehouden, waarop het systeem reageert met versterkte sedimentatie. Zo wordt er bij een ruimer geulprofiel een soort dynamisch evenwicht onderhouden tussen baggeren en sedimentatie.

Om een constante overdiepte ten opzichte van de natuurlijke diepte te handhaven moet er evenveel materiaal worden weggebaggerd als het systeem naar de betreffende locatie aanvoert. De baggeromvang is dus even groot als de aanzandingssnelheid ter plaatse. Deze aanzandingssnelheid is groter naarmate de afwijking uit het evenwicht, de overdiepte, groter is. Ook de beschikbaarheid van sediment en het sedimenttransporterende vermogen van het systeem zijn hierbij belangrijk.

Er wordt vooral gebaggerd op de zogenoemde drempels, de ondiepste delen van de geulen in de overgangen tussen de bochten. Op deze plaatsen volgen de bedvormende eb- en vloedstromen niet helemaal dezelfde baan, waardoor een breder maar ondieper profiel ontstaat. Dit effect wordt sterker naarmate de bochten verder uitmeanderen. Dus niet alleen de hoeveelheid water die door de geul gaat is belangrijk, ook de ruimtelijke horizontale geometrie ter plaatse speelt een belangrijke rol. Er wordt ook gebaggerd, maar in kleinere omvang, langs plaatranden waar die te ver opdringen naar de hoofdgeul.

Door te baggeren op de ondiepste en smalste plaatsen vermindert de weerstand en trekt de geul grotere debieten en getijvolumina. Daardoor nemen ook de tussenliggende geuldelen, waar niet wordt gebaggerd, een ruimer profiel aan, zodat de resulterende inhoudstoename van de geul veel groter is dan door alleen het baggeren (lit.20,36).

In het Schelde-estuarium wordt al vanaf het begin van deze eeuw gebaggerd, geruime tijd alleen op de drempel van Bath. De intensiteit nam daar toe tot rond 4 miljoen m<sup>3</sup> per jaar tegen het midden van deze eeuw. In de vijftiger en zestiger jaren verminderde de omvang op de drempel van Bath enigszins, maar het aantal baggerlocaties nam toe. Tussen 1965 en 1970 werd er op de Westerschelde rond 5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar gebaggerd, waarvan ruim de helft bij Bath en de rest voornamelijk op de drempels van Hansweert en Valkenisse (lit.20,30,31,36).

De huidige baggeromvang in het oostelijke deel, ongeveer 10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, werd bereikt na de vaargeulverdieping in de periode 1970-1975. Vanaf die tijd worden de drempels daar op een enkele meters dieper geleegen niveau onderhouden. Alleen het in eerste instantie verdiepen door baggeren van de drempelgebieden betekende een verruiming van rond 10 miljoen m<sup>3</sup>. Inclusief de aanpassing van de tussenliggende geuldelen bedroeg de inhoudstoename van de hoofdgeul over de periode 1970-1985 al 40 à 50 miljoen m<sup>3</sup> (fig.12).

In het begin van de tachtiger jaren is een door België gewenste volgende verdieping ontworpen en op effecten onderzocht, maar nog niet uitgevoerd. Berekend werd dat het baggerwerk in het oostelijke deel bij uitvoering van dit zogenoemde 48'/43'-programma zou toenemen tot 1.5 maal de huidige omvang (fig. 9). In 1991 werd een actualisatie gepresenteerd van dit plan, inhoudende een verdieping naar 50' (opvaart) en een verdieping ten behoeve van de getijongebonden vaart. Vooral voor laatstgenoemde deel van deze actualisatie zou de baggeromvang in het oostelijke deel 2.5 in plaats van 1.5 maal zo hoog moeten worden (lit.9). Realisering van het door België gewenste Baalhoekkanaal zou ook een sterke toename van de baggeromvang impliceren. Om de ingang bereikbaar te maken voor 55'-schepen zou vooral meer in het westelijke deel van de Westerschelde moeten worden gebaggerd. Zeer globale berekeningen hiernaar komen uit op een verdubbeling van de baggeromvang op de Westerschelde, naar rond 25 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, aan.

In de onderhandelingen met België is op dit moment overigens alleen het verdiegingsplan 48'/43' uit 1984 aan



de orde.

## 4.2 DE STORTSTRATEGIE

De huidige stortstrategie is bij de sterk toegenomen baggerintensiteit niet meer efficiënt. In het oostelijke deel is duidelijk sprake van het rondpompen van grote hoeveelheden zand over zeer korte afstanden: de blijvende berging is minimaal. De regulerende werking van het storten in de nevengeulen is gering. Het storten in de buitenbochten van de hoofdgeul is zeer inefficiënt. Ook de buitenbochterosie is ermee niet, zoals wordt beoogd, tot stilstand gebracht.

Om baggereconomische redenen wordt er zo dicht mogelijk bij de baggerlocaties gestort en uit kwaliteitsoverwegingen gaat er zo weinig mogelijk baggerspecie uit het oostelijke deel naar het relatief schone westelijke deel. Bij deze uitgangspunten wordt de volgende prioriteitsvolgorde bij het storten aangehouden (fig.10, lit.20,30):

- 1) in de nevengeulen, ook bedoeld om daarmee méér water door de hoofdgeul te sturen;
- 2) in de buitenbochten van de hoofdgeul, ook bedoeld om verdere bochterosie tegen te gaan;
- 3) op westelijker gelegen lokaties, wat niet meer in het oostelijke deel kan worden geborgen.

In de praktijk wordt er al sinds de tweede helft van de zeventiger jaren nog maar 20 % van het totaal in de als stortlokaties oorspronkelijk meest effectieve nevengeulen gestort, terwijl 40 à 50 % wordt teruggestort in dezelfde hoofdgeul, waaruit wordt gebaggerd. De overige 30 à 40 % wordt vanuit het oostelijke deel naar het midden-deel gebracht en ook daar in de hoofdgeul, het Gat van Ossensisse, gestort (fig.10).

De belangrijkste stortlokaties in de nevengeulen in het oostelijke deel, de Schaar van Waarde en Schaar van de Noord, bleken maar een zeer beperkte capaciteit te hebben. Bij het nu gebruikte baggermaterieel zijn ze bij hogere opvulling dan tot NAP -7 à -8 m niet meer bereikbaar. Deze situatie werd al snel bereikt met de berging van de initieel vrijkomende specie bij de verdieping van 1970/1975. Wanneer de geulen weer voldoende zijn uitgeruimd door erosie kunnen er enkele miljoenen m<sup>3</sup> worden gestort, waarna weer enkele jaren moet worden gewacht (lit.20). De aanvankelijk nog optredende blijvende berging in de geulen en via verhoging van de omliggende platen is nu nog gering.

Het storten in de Schaar van Waarde werkt niet duidelijk actief regulerend. De grootste complementaire veranderingen in Zuidergat en Schaar van Waarde traden al op vóór 1970 (fig.7). Ze werden waarschijnlijk niet aangedreven door de toen nog relatief geringe stortingen, maar door de eerder genoemde zandimport en zandverplaatsingen van west naar oost in de vijftiger en zestiger jaren. Ondanks de omvangrijke stortingen in de Schaar van Waarde en de verdiepingen van het Zuidergat zijn debieten en getijvolumes in de Schaar van Waarde ná 1970 nauwelijks veranderd.

Omdat de nevengeulen in het oostelijke deel vrijwel vol zijn, wordt sinds 1977 gemiddeld per jaar ruim 4 miljoen m<sup>3</sup> baggerspecie gestort op de stortplaatsen in de hoofdgeul het Zuidergat langs het Land van Saeftinge (fig. 10). Het terugstorten in de hoofdgeul op deze lokaties is in het verleden van verschillende kanten als zeer inefficiënt ontraden. Door Nederlandse deskundigen uitgaande van theoretische overwegingen (lit.15) en van Belgische zijde op grond van fysisch modelonderzoek (lit.35). Voorspeld werd dat het gestorte materiaal binnen enkele getijden weer op de nabijgelegen baggerlocaties terug te vinden zou zijn.

Ook de buitenbochterosie blijkt niet volgens de bedoeling door deze stortingen tot stilstand te zijn gebracht (lit.7). Uit nader onderzoek bleek geen vertragende werking van de stortingen aantoonbaar.

In het middendeel van de Westerschelde wordt jaarlijks ongeveer 3 miljoen m<sup>3</sup> baggerspecie uit het oostelijke deel eveneens in de hoofdgeul gestort. Ook hier is het nevendoeel het voorkómen van buitenbochterosie.

De nu toegepaste stortstrategie is al bij de huidige omvang niet meer efficiënt, is zéker ontoereikend om de gewenste verdieping 48'/43' mee te realiseren en heeft meerdere ongewenste effecten voor het systeem. Hierna in 4.3 en 4.4 wordt nader ingegaan op deze effecten; in hoofdstuk 6 worden alternatieven voor het huidige bagger- en stortbeleid aangegeven.



### 4.3 EFFECTEN BAGGER- EN STORTSTRATEGIE IN OOSTELIJKE DEEL

Binnen het estuarium vinden de meest intensieve bagger- en stortactiviteiten plaats in het oostelijke deel van de Westerschelde tussen Hansweert en de grens (fig.9,10). De gevolgen ervan strekken zich uit over verschillende tijd- en ruimteschalen. Te onderscheiden zijn:

- \* directe, lokale effecten door de activiteiten zelf;
- \* structurele effecten binnen het oostelijke deel;
- \* effecten met invloed buiten het oostelijke deel en op systeemniveau.

Over een oppervlakte van ruim 1000 ha, een derde deel van de totale oppervlakte onder GLW-niveau in het oostelijke deel van de Westerschelde, wordt de bodem min of meer permanent in beweging gehouden als direct gevolg van het ter plaatse baggeren of storten van materiaal. Ook de zwevend stofgehalten in het water liggen door deze activiteiten tot in een ruime omgeving van deze gebieden op een hoger niveau. De oppervlakte van de gebieden in het oostelijke deel waar zeer frequent wordt gebaggerd bedraagt ruim 300 ha. De stortgebieden hebben een totale oppervlakte van rond 800 ha (lit.20). Vanwege de noodzaak vrijwel doorlopend te baggeren hebben de effecten ervan, een min of meer permanent karakter. Zoals onder andere blijkt uit de beïnvloedde oppervlakten hebben vooral de stortactiviteiten een belangrijk aandeel in deze effecten. Op de bagger-en stortlocaties kan zich niet meer dan een zeer eenzijdige bevolking van bodemdieren van beperkte omvang handhaven. De verhoogde zwevend stofgehalten zijn bepalend voor de primaire productie, en voor de levensvoorwaarden voor andere organismen, die van het doorzicht in water afhankelijk zijn.

In het oostelijke deel wordt door het baggeren en storten de macrodynamiek, de natuurlijke ontwikkeling van hoofdgeulen en grotere nevengeulen, onderdrukt. De meso- en microdynamiek, respectievelijk de beweeglijkheid van kortsluitgeulen en van de bodem, zijn sterk verhoogd. Het intergetijde-areaal neemt snel af door de opzanding van platen en van de geulbodems in het Land van Saeftinge. Door laterale erosie staan ook slik- en schorarealen onder druk, onder andere langs de noordrand van het Valkenissegebied en langs het Land van Saeftinge. Het slikareaal voor het Land van Saeftinge neemt af door de doorgaande uitbocht van de hoofdgeul, wat op de duur zal leiden tot aantasting van de erachter liggende schorgebieden. Deze uitbocht veroorzaakt ook een toename van de baggeromvang op de aangrenzende drempel.

Via de vaarweghandhaving worden de afmetingen van en de waterverdeling over de hoofd- en nevengeulen zóver uit de natuurlijke evenwichtsverhoudingen gehouden, dat van natuurlijke morfodynamische ontwikkelingen geen sprake meer is. De normale cyclisch variërende onderlinge uitwisselingen tussen de vermogens van de hoofdgeulen en de grotere nevengeulen treden hier niet meer op.

De nevengeulen worden vernauwd door het storten van baggerspecie, waardoor de stroomsnelheden toenemen en er zeer dynamische bodemvormen ontstaan. Het doorlopend uit evenwicht houden van de bodem genereert sterke resulterende hydraulische zandtransporten tussen de stort- en baggerlocaties. De bodemdynamiek in het oostelijke deel is daardoor over grote oppervlakten, en met name in de voor bodemdieren, vissen en vogels belangrijke ondiepwater- en intergetijdegebieden, waarschijnlijk sterk verhoogd.(fig.8). De aanwijzingen nemen toe dat de invloed hiervan op bijvoorbeeld het bodemleven, tot nu toe sterk is onderschat ten opzichte van de effecten van de verontreinigingen. Er wordt nader onderzoek uitgevoerd naar deze aspecten.

Aangenomen moet worden dat de hoge bagger- en stortintensiteit en de toegepaste stortstrategie in het oostelijke deel een versterkte sedimentatie veroorzaken in de intergetijdegebieden. De speciestortingen in de nevengeulen, de vloedscharen, en in de hoofdgeul zorgen voor een hoge beschikbaarheid van materiaal voor sedimentatie in deze gebieden (lit. 1,36). Met name de oudere, al hoger liggende platen, zoals de platen van Walsoorden en Valkenisse, en de geulbodems van het Land van Saeftinge komen hierdoor snel omhoog. Het verhogen van de platen en het verdiepen en prononceren van vooral hoofdgeul en grotere nevengeulen veroorzaakt een versteiling van de gebieden ertussen. Naast de directe afname door sedimentatie en laterale erosie (zie hierna), treedt hierdoor ook areaalafname van de ecologisch belangrijke intergetijde- en ondiepwatergebieden op. Op het verzanden van de geulen in het Land van Saeftinge wordt in 4.4 nader ingegaan.

Het storten in het Zuidergat langs het Land van Saeftinge is ook bedoeld om het verder uitbochten van de hoofdgeul tegen te gaan. De effectiviteit ervan wordt momenteel nader onderzocht. De erosie van de slikken ter



plaatse gaat namelijk nog steeds door, hetgeen op de duur wanneer ze te smal worden, zal leiden tot erosie van de erachter liggende schorgebieden. Het op diepte houden van de drempel van Valkenisse zal, naarmate de vloedbedding op deze drempel zich door de uitbochtiging verder naar het zuidoosten verplaatst, steeds meer baggerwerk vergen.

De buitenbochtersie mag niet alleen als een door de vaargeulverdieping versterkt natuurlijk meanderproces worden verklaard. Ook de ontwikkelingen van de geulen en platen in het Valkenissegebied ten noorden van het Zuidergat spelen een belangrijke rol. De speciestortingen in dit gebied bevorderen het groeien van de afsluitingen van de vloedscharen vanuit het noordwesten de hoofdgeul in en drukken die naar het zuidoosten. Dit was heel duidelijk en in sterke mate het geval in de zeventiger jaren, toen de Schaar van Waarde werd volgestort. De ebstroom in de hoofdgeul neemt een deel van het materiaal mee en zet dat af langs de zuidrand van de platen van Valkenisse/Walsoorden. Zo wordt het Zuidergat tegen zijn zuidelijke oever gedrukt en wordt de uitbochtiging versterkt (lit.1).

Ook de mesodynamiek in het gebied, de beweeglijkheid van de kleinere nevengeulen en kortsluitgeulen, wordt door de stortingen vergroot. Dit resulteert in frequente sterke variaties in vermogen en positie van deze geulen, met onder andere gevolgen voor dwarsstromingen in de hoofdgeul of plaatselijke laterale erosie van slikken of schorren. Op het ogenblik wordt met name het Schor van Waarde, aan de noordzijde van het Valkenissegebied, door dergelijke ontwikkelingen bedreigd in de vorm van schorkliferosie na verlaging van de voorliggende beschermende slikken.

De gevolgen van de bagger- en stortactiviteiten in het oostelijke deel strekken zich uit over het hele systeem. Landinwaarts nemen de getijverschillen toe via de verhoging van de hoogwaterstanden en in de laatste decennia vooral de verlaging van de laagwaterstanden. De baggeromvang in de zeewaarts gelegen geulen wordt groter, omdat de sedimentatie in het intergetijdegebied de bovenstroomse komberging en daarmee de getijvolumes door deze geulen verkleint. De stortstrategie stuurt samen met de zandwinning de zandhuishouding van de Westerschelde en de uitwisseling met het mondingsgebied.

Door de verdieping van de hoofdgeulen in het oostelijke deel ondervindt de getijgolf minder weerstand bij het binnenlopen en dringt verder door. Het estuarium vult en ledigt zich gemakkelijker, waardoor de hoogwaterstanden hoger en de laagwaterstanden lager worden. Omdat het leeglopen vooral bij lagere waterstanden door de doorgaande ebgeulen gebeurt, is de invloed op de laagwaterstanden het grootst. De getijslag wordt groter en daarmee ook het vloedvolume. De sedimentatie in de intergetijdegebieden in het oostelijke deel betekent een rechtstreekse afname van de komberging ter plaatse en daarmee van de getijvolumes van de zeewaarts gelegen geulen. Volgens de eerdergenoemde evenwichtsrelaties zullen de doorstroomprofielen van deze geulen kleiner worden, waardoor er ter plaatse meer moet worden gebaggerd.

De invloed van de stortstrategie en de zandwinning op de zandhuishouding en de zandimport of -export van het systeem wordt afzonderlijk in hoofdstuk 5 besproken.

#### 4.4 HET LAND VAN SAEFTINGE

De oppervlakte en de hoogteligging van het Land van Saeftinge veranderen relatief snel. Het vloedvolume, de hoeveelheid water die per getij het gebied instroomt, nam af van 70 miljoen m<sup>3</sup> in 1880 tot 14 miljoen m<sup>3</sup> in 1990.

Een aanzienlijk deel van het gebied, met name het voorliggende slikgebied en de bodems van de geulen in het schor, verhoogt zich in hoog tempo door sedimentatie van zandig materiaal, waardoor het begroeide gebied zich uitbreidt en de getij-indringing afneemt. Bij voortzetting van dit proces in het huidige tempo zal het gebied over enkele decennia niet meer worden overspoeld.

De oever van de hoofdgeul langs het westelijke deel van het gebied, het Zuidergat, verplaatst zich al gedurende enkele decennia met een snelheid van meerdere meters per jaar in zuidelijke richting. De oppervlakte van het slikgebied tussen schor en geul is ter plaatse in deze periode met enkele honderden hectaren afgenomen. Mede door de hoge ligging tengevolge van de sterke opzanding beschermt dit gebied het achterliggende schor tegen eventuele laterale erosie. Als het gebied te smal wordt neemt deze beschermende werking af en kan het achterliggende schor worden aangetast.



Het op den duur verlanden van een schor is een natuurlijke ontwikkeling, die nog algemener geldig is als voor het hele estuarium. Schorren zijn binnen het systeem de relatief hooggelegen, laterale overstromingsgebieden. De verlanding wordt normaal aangedreven door de verhoging van de oeverwallen en de kommen, waar zich, in suspensie aangevoerd, fijner materiaal afzet. Omdat de "kom"-berging hierdoor afneemt, vernauwen vervolgens ook de wateraanvoerende schorgeulen en -kreeken zich. Dit proces voltrekt zich grotendeels op dezelfde manier - als het verlandingsproces van het estuarium als geheel, waaraan de vloedvolume-afname van het schor op haar beurt weer een bijdrage levert (zie 2.2).

Normaal vertraagt de verlandingsnelheid van het schor met het naderen van de eindfase. Met de hogere ligging nemen overspoelingsfrequentie en vloedvolume af en daarmee ook de aanvoer van sediment. In het Land van Saeftinge lijkt dit niet het geval te zijn: het vloedvolume blijft met een relatief hoge snelheid afnemen. Uit visuele waarnemingen en mondelinge mededelingen is de indruk ontstaan, dat vooral de geulbodems zich vanaf de mondingen relatief snel opvullen met voornamelijk zandig materiaal.

Naar de oorzaak van deze afwijkende ontwikkeling wordt onderzoek uitgevoerd. Volledig eenduidige oorzaak-gevolg relaties met de bagger- en stortactiviteiten in de nabije omgeving, die wel waarschijnlijk zijn, zijn vanwege het gebrek aan gegevens uit het verleden niet rechtstreeks kwantitatief aan te tonen en zonder aanzienlijke inspanningen zal dit ook in de toekomst moeilijk blijven. Het vastleggen van de hoogteligging van een gebied als het Land van Saeftinge is zeer arbeidsintensief. Daarom is het in het verleden met een lage frequentie en per keer meestal slechts gedeeltelijk gebeurd.

Er is als verklaring voor de waargenomen, relatief snelle afname van het vloedvolume wel een aannemelijke hypothese geformuleerd, die op het ogenblik nader wordt onderzocht:

De zwevend stofgehalten in het estuarium zijn hoog en het Land van Saeftinge wordt als enig overgebleven laterale overstromingsgebied van substantiële omvang relatief zwaar belast. De zwevend stofgehalten en de sedimentatie worden bovendien bevorderd door de intensieve baggeractiviteiten in de nabije omgeving. Aanvankelijk werd de getijvolume-afname dan ook vooral veroorzaakt door verhoging en laterale uitbreiding van de hogere begroeide delen, de kommen, waar relatief fijn materiaal sedimenteerde (lit.36). In de eerste helft van deze eeuw werden deze processen ook actief bevorderd door de aanplant van Engels slijkgras en de aanleg van de zogenoemde Rijksdam.

In de laatste decennia komen vooral de geulbodems en oeverwallen sterk omhoog, door sedimentatie met zandiger, grover materiaal (lit.36). Bovendien is volgens visuele waarnemingen langs de hoofdgeul, het Zuidergat, een relatief hoge zandige drempel ontstaan, die de monding van de beide meest westelijke van de drie aanvoergeulen naar het gebied verkleint. In elk geval is hierdoor de directe berging in de grote geulen relatief snel afgenomen. De bodems hiervan liggen namelijk al ruim boven laagwaterniveau. Door het vernauwen van de mondingen van de grote aanvoergeulen, het verondiepen van de geulen en het verhogen van de oeverwallen kan ook de getijdoordringing en de bereikbaarheid van de kommen voor water afnemen, waardoor de vullingsgraad van het gebied en dus het vloedvolume kleiner wordt.

De vertraging in de vloedvolume-afname door de "kom"-bergingsvermindering, de primaire natuurlijke oorzaak, lijkt te worden teniet gedaan door de relatief sterke bergings- en capaciteitsafname van de geulen. Daardoor treedt de bij het naderen van de eindfase te verwachten vertraging van het verlandingsproces niet op.

De begroeide schorgebieden worden nu tegen erosie door stroom en golven beschermd door de ervoor liggende slikken. Ook de zanddrempel die zich hier heeft gevormd draagt daar waarschijnlijk aan bij. Op meerdere plaatsen worden namelijk schorkliffen aangetroffen, waartegen zich nieuwe lagen zand hebben afgezet. Wanneer de slikerosie door het opdringen van de hoofdgeul doorgaat (zie 4.3), zal de beschermende werking echter afnemen en gaan ook de schorren eroderen.

In oktober en november is een uitgebreide opname van de huidige hoogteligging van het Land van Saeftinge uitgevoerd. De resultaten vormen belangrijke informatie voor het genoemde onderzoek. De huidige hoogteligging zal in eerste instantie worden vergeleken met de ligging in 1963, het jaar waarvan de voorlaatste volledige gedetailleerde hoogte-opname beschikbaar is. Ook zal voor beide situaties de getijdoordringing met een eendimensionaal mathematisch getijmodel worden gesimuleerd.



Deze werkzaamheden vormen een onderdeel van het integrale onderzoek naar de vraag of maatregelen nodig en mogelijk zijn, die zowel de toekomst als uniek, waardevol natuurgebied als de functievervulling van het gebied als deel van het estuarium veilig stellen. Daarin wordt gezocht naar samenhangende oplossingen voor de problemen van verzanding, kombergingsverlies, verlanding en verdroging én de problematiek van de verontreinigde bodem.

Eventueel noodzakelijke maatregelen kunnen zowel betrekking hebben op het terugdraaien of compenseren van opgetreden ongewenste ontwikkelingen binnen het gebied als op het wegnemen van externe oorzaken in de omgeving: naast uiteraard het beperken van de toevoer van verontreinigingen, waaraan op systeemniveau wordt gewerkt, het voorkomen van het verder opdringen van de hoofdvaargeul en het stoppen van de grote toevoer van zand naar het gebied. Laatstgenoemde maatregelen moeten deel uitmaken van de noodzakelijke aanpassing van de bagger-en stortstrategie (zie hst. 5 en 6).



## 5 NADERE ANALYSES

### 5.1 ZANDBALANS WESTERSCHELDE: EROSIE- OF SEDIMENTATIEBEKKEN

Gedurende de vijftiger en zestiger jaren vertoonde de Westerschelde een toenemende zandimport uit het mondingsgebied, samen met omvangrijke zandverplaatsingen in oostelijke richting binnen het systeem. De import stopte rond 1970, toen de vaargeulverdieping in uitvoering kwam. Sindsdien is er geen significante zandimport en ook geen natuurlijke zandexport meer opgetreden. In de huidige situatie kan de Westerschelde dus géén erosiebekken en óók geen sedimentatiebekken worden genoemd.

De toename van de inhoud van de Westerschelde met rond 60 miljoen m<sup>3</sup>, die optrad tussen 1970 en 1990, is helemaal veroorzaakt door de onttrekkingen van zand als commerciële zandwinning en voor infrastructurale werken. Sinds 1970 worden de grootschalige resulterende zandverplaatsingen in het midden en oostelijke deel van de Westerschelde gestuurd door het baggeren, storten en zandwinnen.

In het kader van het OOSTWEST-project zijn over de periode 1965-1990 met stappen van vijf jaar inhoudsberekeningen van de Westerschelde en het mondingsgebied uitgevoerd (fig.12;lit.3). De resulterende inhoudsveranderingen voor de delen van het systeem over de verschillende perioden werden berekend uit de zogenoemde overzichtslodingen (fig.12, derde cijferkolom). Ook zijn de onttrekkingen uit en stortingen in het systeem geadministreerd (fig.12, eerste cijferkolom). De natuurlijke in- of export en de uitwisseling van sediment tussen de delen van het systeem werden vervolgens berekend als sluitpost tussen inhoudsveranderingen en onttrekkingen/stortingen (fig.12, tweede cijferkolom). Eerder waren uit oudere gegevens dergelijke berekeningen uitgevoerd over de perioden 1878-1931 en 1931-1952 (lit.11,12) en over de perioden 1952-1971, 1971-1980 en 1980-1985 (lit.16,17).

Voor de beheerder van de Westerschelde vormen de resultaten van de inhoudsberekeningen de basis voor onder andere het zandwinbeleid. Als uitgangspunt daarvoor is altijd aangehouden dat niet méér aan het systeem mag worden onttrokken dan het systeem via natuurlijke import aanvult. Tot ongeveer 1970 leek dit ook het geval te zijn: er trad geen significante resulterende verruiming op (fig.5). Over de periode 1971-1980 leek wél verruiming op te treden, op grond waarvan er tot een terughoudend zandwinbeleid werd besloten (lit.16). Ook werd er rekening mee gehouden dat, wanneer inderdaad een "omslag van sedimentatiebekken naar erosiebekken" had plaatsgevonden, de zandwinning verder zou moeten worden afgebouwd. De vervolgens uitgevoerde berekeningen over 1980-1985 gaven echter weer een tegengesteld beeld: er werd een gering sedimentatie-overschot berekend (lit.17).

De inconsistenties en de indruk dat bij de gehanteerde berekeningsmethode met een grote onnauwkeurigheidsmarge rekening moest worden gehouden, waren onder andere aanleiding tot de nieuwste berekeningen over 1965-1990 met stappen van vijf jaar. Ook de resultaten van deze berekeningen blijken nog met de nodige voorzichtigheid te moeten worden gehanteerd. De belangrijkste bron van onnauwkeurigheden is nu echter waarschijnlijk niet meer de verwerkings- en berekeningsmethode, maar de nauwkeurigheid van de ingewonnen gegevens zelf. Duidelijke afwijkingen in vooral de oudere opnamen zijn niet meer te achterhalen en te corrigeren. Momenteel wordt een nadere nauwkeurigheidanalyse uitgevoerd. Op grond hiervan worden aanbevelingen gedaan, waar de nauwkeurigheid nog redelijkerwijs vergroot kan worden, én hoe de methodieken en het gebruik beter kunnen worden afgestemd op de mate van onnauwkeurigheid die geaccepteerd moet worden. Er wordt op deze manier gekeken naar het hele traject van inwinning tot interpretatie.

De resultaten van de nieuwe berekeningen zijn samengevat in fig.12, ontleend aan tabel 3.10 van de pilotnota OOSTWEST (lit.20). De berekeningen werden uitgevoerd voor een fijnere vakindeling. Voor conclusies op systeemniveau bleek een samenvoeging tot het westelijke, het midden- en het oostelijke deel van de Westerschelde beter werkbaar. Vanwege de beperkte nauwkeurigheid zijn uit deze tabel geen conclusies getrokken op basis van hoeveelheden kleiner dan enkele miljoenen m<sup>3</sup>. Ondanks deze beperkingen kon uit de gegevens toch een zeer aannemelijke hypothese met belangrijke praktische consequenties over de zandhuishouding van de Westerschelde worden ontwikkeld (zie ook 5.2 en 5.3).



Al na een globale analyse van de berekeningsresultaten kunnen een drietal belangrijke conclusies worden getrokken (zie fig.12). In de eerste plaats valt op de grote natuurlijke zandimport vóór 1970, met verruiming in het westelijke deel en sterke aanzandingen in het midden en oosten. De import is overigens zó groot, gemiddeld 7 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, dat getwijfeld moet worden aan de juistheid van deze gegevens. Het is anderzijds niet aannemelijk dat een eventuele fout zó groot is geweest, dat er niet van een aanzienlijke import gesproken zou kunnen worden. Op de mogelijke oorzaken en consequenties hiervan is al ingegaan in hoofdstuk 3.

In de tweede plaats kan worden geconcludeerd dat, over de volledige periode na 1970 én ook over de verschillende deelperioden, voor het hele systeem de resulterende inhoudsveranderingen vrijwel gelijk zijn aan de totale onttrekkingen van zand. De import stopte rond 1970 en er is er géén natuurlijke import en ook géén export van betekenis meer opgetreden. De verruiming van rond 60 miljoen m<sup>3</sup>, die optrad over 1970-1990, komt helemaal voor rekening van de kunstmatige onttrekkingen voor commerciële zandwinning en voor infrastructuurle werken. In de huidige situatie is de Westerschelde in feite géén sedimentatiebekken en géén erosiebekken. Het gedrag als sedimentatiebekken, zoals zich dat vóór 1970 manifesteerde, werd onderdrukt door de vaargeulverdieping van 1970-1975 met de daarbij toegepaste stortstrategie voor de baggerspecie. Hierop wordt in 5.2 gedetailleerder ingegaan.

Als derde conclusie komt uit de inhoudsberekeningen de grote invloed naar voren van de baggerspecieverplaatsingen op de zandhuishouding van de Westerschelde. Vanaf de tweede helft van de zeventiger jaren worden per jaar grote hoeveelheden baggerspecie uit het oostelijke deel in het middendeel gestort (eerste kolom fig. 12). Via hydraulisch transport wordt dit zand, in toenemende mate met het kennelijk "vol" raken, weer uit het gebied weggewerkt. Aanvankelijk werd het grotendeels teruggetransporteerd naar het oostelijke deel. In de laatste jaren heeft zich ook zand verplaatst naar het westelijke deel (fig. 12 tweede kolom). Op deze verschijnselen wordt uitgebreider ingegaan in de paragrafen 5.2 en 5.3.

## 5.2 INVLOED VERDIEPING 1970-1975 OP ZANDBALANS

De tot 1970 optredende import uit het mondingsgebied en de grootschalige verplaatsingen van zand in oostelijke richting stopten tengevolge van de in 1970-1975 in uitvoering genomen vaargeulverdieping. De kennelijk op verschillende niveau's aanwezige sedimenttekorten, die de zandverplaatsingen en de import aandreven, werden in korte tijd omgezet in overschotten. Deze overschotten ontstonden door de grote hoeveelheden zand, die vrijkwamen uit de initiële verdieping van de drempels en de daarop volgende verdere verruiming van de hoofdgeul in vooral het oostelijke deel. Dit zand werd getracht elders binnen het systeem te bergen, aanvankelijk vooral in het oostelijke deel en later ook in het middendeel.

De zandimporten en -verplaatsingen, zoals die vóór 1970 optraden, werden aangedreven door het bestaan binnen het systeem van gebieden met relatieve overschotten en tekorten aan zand. De verplaatsingen van west naar oost wijzen op een gradiënt met toenemende tekorten in oostelijke richting. In deze situatie werd in 1970 begonnen met de vooral voor het oostelijke deel ingrijpende vaargeulverdieping.

Bij deze verdieping werden eerst de drempelgebieden naar een enkele meters dieper gelegen niveau gebaggerd en vervolgens op dat niveau onderhouden. Na de drempelverdiepingen gingen ook de tussenliggende geuldelen verruimen, omdat de geul meer water ging trekken. Dit aanpassingsproces aan de nieuwe drempeldiepten verloopt met afnemende snelheid en duurt meerdere jaren, in deze situatie waarschijnlijk zelfs één tot twee decennia. De hoofdgeul in het oostelijke deel verruimde over 1970-1975 met gemiddeld 3 à 4 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en over 1975-1985 met gemiddeld 2.5 á 3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (fig. 13). Mogelijk kan de verruiming met 9 miljoen m<sup>3</sup> over 1985-1990, gemiddeld dus met bijna 2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, niet uitsluitend worden toegeschreven aan de drempelverdiepingen van 1970-1975. Voorzover nu is nagegaan lijkt namelijk de aanpassing van de getijbeweging al rond 1980 te zijn uitgewerkt. Dit wordt nader uitgezocht.

In totaal trad onder laagwaterniveau in het oostelijke deel een verruiming op van 40 á 50 miljoen m<sup>3</sup> over 1970-1985 en van 50 á 60 miljoen m<sup>3</sup> over 1970-1990. Belangrijk voor de zandhuishouding van het systeem was, dat met deze verruimingen uit de hoofdgeul evengrote hoeveelheden sediment vrijkwamen, die in eerste instantie elders binnen het systeem werden geborgen. De verruiming werd geïnitieerd en aangedreven en wordt onderhouden door jaarlijks gemiddeld 10 miljoen m<sup>3</sup> zand ter plaatse van de drempels uit de hoofdgeul te baggeren



(fig.15). Dit materiaal werd aanvankelijk zoveel mogelijk gestort in de nevengeulen in het oostelijke deel, de Schaar van Waarde en de Schaar van de Noord. Toen deze stortlocaties "vol" raakten werd steeds meer teruggestort in de hoofdgeul in het oostelijke deel én werden er steeds grotere hoeveelheden naar het middendeel gebracht (fig.10,14). Op deze manier werden achtereenvolgens in het oostelijke en het middendeel de zandtekorten, die tot rond 1970 de import en de verplaatsingen van west naar oost aandreven, binnen korte tijd omgezet in overschotten. Hierdoor stopten de import en de transporten in oostelijke richting abrupt.

De overschotten uit de hoofdgeulverruiming worden in tweede instantie, veel langzamer dan ze daaruit vrijkomen, in feite weggewerkt door de onttrekkingen uit het systeem voor de commerciële zandwinning en voor infrastructurele werken. Hierop wordt in 5.3 verder ingegaan.

Zoals in het voorgaande, en ook hierna in 5.3, is en zal worden beschreven blijkt het systeem met hydraulische zandtransporten te reageren op de grootschalige kunstmatige sedimentverplaatsingen en onttrekkingen. Jaarlijks relatief geringe onttrekkingen of stortingen van zand doen op langere termijn toch in delen van het systeem tekorten of overschotten ontstaan. Een significante reactie treedt kennelijk pas op als de omvang groot genoeg is en het gebied ver genoeg uit 'evenwicht' is gebracht én als er een voldoende grote gradiënt is ontstaan met de aangrenzende gebieden, die in eerste instantie sediment moeten leveren of ontvangen.

De onttrekking van 30 miljoen m<sup>3</sup> uit het westelijke deel over 1970 -1990 (fig.14) werd slechts gedeeltelijk en pas tussen 1985 en 1990 (fig.12) gecompenseerd door hydraulisch zandtransport van 10 miljoen m<sup>3</sup> uit het middendeel. Kennelijk waren de onttrekkingen en het resulterende 'tekort' van 20 miljoen m<sup>3</sup> in 1990 ten opzichte van 1970 niet voldoende om import uit het mondingsgebied in stand te houden of opnieuw op gang te brengen. De stortingen en verruiming van respectievelijk het middendeel en vooral het oostelijke deel lijken wel groot genoeg om significante hydraulische zandtransporten aan te drijven. Deze interpretatie wordt ondersteund wanneer als 'maat' voor de omvang van de ingrepen de erdoor veroorzaakte gemiddelde diepteverandering wordt beschouwd. De onttrekkingen en stortingen over 1970 - 1990 zouden zonder de compensatie door het systeem zelf, gemiddeld over het hele gebied onder GLW-niveau, een verdieping hebben veroorzaakt van 0.35 m in het westelijke deel, een verondieping van 0.50 m in het middendeel en een verdieping van 2.00 m in het oostelijke deel. Het systeem beperkte deze verdiepingen en verondiepingen door hydraulische retourtransporten tot respectievelijk 0.20 m, 0.15 m en 1.85 m. Deze waarden volgen uit de resulterende inhoudsveranderingen in 1990 ten opzichte van 1970. Te zien is dat de compensatie door het systeem in het oostelijke deel zeer gering is en dat ze in het middendeel groter is dan in het westelijke deel. Dit is heel goed verklaarbaar: in het westelijke deel was de initiële verstoring relatief klein en in het oostelijke deel wordt de compensatie volgens de bedoeling verhinderd door het intensieve baggeren.

Bij interpretaties van waarnemingen zoals in het voorgaande is het heel belangrijk de juiste gebieden als eenheden te kiezen en de veranderingen over de juiste tijdstappen te beschouwen. Ook moeten de veranderingen tegen de juiste referenties worden afgezet. De resulterende inhoudsveranderingen in 1990 ten opzichte van 1970 mogen niet in absolute zin als tekorten of overschotten ten opzichte van evenwichtssituaties worden geïnterpreteerd. Zoals eerder is naar voren gebracht is het namelijk meestal niet duidelijk in welke mate er sprake was van een evenwichtssituatie op het moment dat nieuwe ingrepen worden uitgevoerd.

Bovendien zijn ook de evenwichtssituaties in deze balansbeschouwingen zeker over langere perioden beschouwd geen onveranderlijke grootheden. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de invloed van een eventuele gemiddelde zeespiegelstijging. Ook blijkt volgens recente inzichten de interne vorm van het systeem een belangrijke rol te spelen in de relatie tussen getijvolume en inhoud van het systeem. Dit betekent dat ook interne vormveranderingen deze evenwichtsrelaties naar een ander niveau kunnen brengen en zo ten opzichte van het oude niveau 'tekorten' en 'overschotten' kunnen genereren. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij het verder uitmeanderen van de doorgaande hoofdgeul waardoor de inhoud ervan aanzienlijk kan toenemen.



### 5.3 SAMENHANG BAGGEREN, STORTEN, ZANDWINNEN EN KUSTEROSIE

Uit de vaargeulverdieping van 1970/1975 kwam tenminste rond 50 miljoen m<sup>3</sup> zand vrij. Dit "relatieve overschot" van zand binnen het systeem wordt geleidelijk afgebouwd door de zandwinning, hetgeen nu voor ruim de helft is gebeurd. De rest zal bij de huidige omvang van de zandwinning ongeveer in het komende decennium worden weggewerkt. Ten opzichte van 1970 heeft het systeem dan per saldo een zandtekort van orde 50 miljoen m<sup>3</sup>, gevormd door en ter omvang van de door baggeren sindsdien onderhouden extra overdiepte van de vaargeul.

Als na het wegwerken van het "relatieve overschot" wordt doorgegaan met zandwinnen, ontstaan, naast het kunstmatig onderhouden tekort in de hoofdvaargeulen, ook elders in het systeem weer substantiele tekorten. Het systeem zal dan, zoals in de zestiger jaren, weer zand gaan importeren uit het mondingsgebied, wat daar op de langere duur kan leiden tot kusterosie.

Zandimport zal óók gaan optreden als, om welke reden dan ook, zou worden gestopt met het onderhouden van de overdiepte van de hoofdgeul door baggeren. Het systeem zal dit kunstmatig onderhouden tekort uiteindelijk gaan compenseren door import uit het mondingsgebied. In eerste instantie zal deze zandhonger van de geulen echter intern leiden tot lokale onttrekking van zand aan intergetijdegebieden en platen.

Per saldo heeft het oostelijke deel op het ogenblik een zandtekort ten opzichte van 1970 van rond 50 miljoen m<sup>3</sup>, gevormd door de verruiming van 50 á 60 miljoen m<sup>3</sup> onder laagwaterniveau en sedimentatie van 5 á 10 miljoen m<sup>3</sup> in het intergetijdegebied (fig.12,14,16). De verruiming van 50 á 60 miljoen m<sup>3</sup> onder laagwaterniveau is weer het saldo van het door baggeren gegraven en instant gehouden "gat", de hoofdgeul, en overschotten in het nevengeulengebied. Het middendeel heeft een overschot van ongeveer 10 miljoen m<sup>3</sup> ten opzichte van 1970. Het werd opgebouwd door het storten van 30 miljoen m<sup>3</sup> zand uit het oostelijke deel, waarvan 10 miljoen m<sup>3</sup> naar het westelijke en 10 miljoen m<sup>3</sup> naar het oostelijke deel werd teruggetransporteerd.

Vanuit de "overschotgebieden", het middendeel en de nevengeulgebieden in het oostelijke deel, staat er een retourstroom van zand naar het "tekortgebied", de hoofdgeul in het oostelijke deel. Samen met het direct in de hoofdgeul teruggestorte materiaal wordt het met deze retourstroom aangevoerde materiaal als onderhoudsbaggerwerk, jaarlijks rond 10 miljoen m<sup>3</sup>, weer van de drempels weggehaald (fig.15,16).

Het middendeel en oostelijke deel hebben samen, afgezien van het "gat" in de vorm van de verruimde hoofdgeul, nu nog een overschot van naar schatting enkele tientallen miljoenen m<sup>3</sup>. Dit is minder dan de rond 50 miljoen m<sup>3</sup> zand die in totaal is vrijgekomen uit de verdieping. Dit komt omdat ongeveer de helft hiervan intussen wél aan het systeem is onttrokken via de zandwinning, die een omvang heeft van enkele miljoenen m<sup>3</sup> per jaar. Via de zandwinning wordt zo het door de vaargeulverdieping binnen het systeem gecreëerde "relatieve overschot" opgesoupeerd.

Het nu nog aanwezige relatieve overschot zal naar schatting over een tiental jaren zijn weggewerkt. Als wordt doorgegaan met onttrekken ontstaan ook buiten de verdiepte hoofdvaargeulen weer tekorten, zoals kennelijk in de zestiger jaren het geval was. Het systeem zal vervolgens weer zand gaan importeren uit het mondingsgebied, wat op de duur substantieel ten koste kan gaan van de zandvoorraad in dit gebied en kan leiden tot kusterosie. In de enkele jaren geleden uitgebrachte Kustbeleidsnota is de sedimentbehoefte van de zee-armen als een relevante factor meegenomen voor de toekomstige ontwikkeling van de zee-kust.

Import zou ook gaan optreden als bijvoorbeeld gestopt zou worden met baggeren. Het "gat" in het oostelijke deel zou zich weer vullen, maar het elders binnen het systeem nog aanwezige overschot is daarvoor niet meer voldoende. Het sediment zou van buiten het systeem moeten worden aangevoerd, maar in eerste instantie zal ook materiaal aan de platen en intergetijdegebieden in de directe omgeving worden onttrokken.

Een belangrijk onderbelicht aspect in het voorgaande is nog de invloed van de ingrepen op de getjebeweging en daarmee op het transporterende vermogen en de uiteindelijk resulterende transporten. Hiernaar zal nog nader onderzoek plaatsvinden.

Momenteel wordt er in het vervolg van het OOSTWEST-project gewerkt aan een nadere verificatie van bovengenoemde analyses en hypothesen. Wanneer ze houdbaar zijn, en daar ziet het er globaal bezien naar uit, kunnen er belangrijke richtinggevendende aanwijzingen voor het toekomstige beleid en beheer aan worden ontleend.



Wanneer binnen enkele jaren een nieuwe vaargeulverdieping in uitvoering zou komen, zouden er binnen het systeem weer nieuwe overschotten, relatief gezien, ontstaan. De snelheid, waarmee de overschotten worden weggewerkt door onttrekken voor zandwinning bijvoorbeeld, zijn van belang voor het bereiken van een minimale baggeromvang. Aan de andere kant brengt het volledig weggewerken van de overschotten het optreden van zandimport uit het mondingsgebied dichterbij, waardoor daar op de duur kusterosie kan gaan optreden. Met het concentreren van de zandwinning in het oostelijke deel en het volledig verplaatsen van de stortingen naar het westelijke deel kunnen toch minimalisering van de baggeromvang, optimalisering van de zandwinning en het voorkomen van omvangrijke import met elkaar in overeenstemming worden gebracht.

Het concentreren van de zandwinning in het oostelijke deel en het er beëindigen van de stortingen zullen de overschotten in dit gebied omzetten in tekorten en de baggeromvang minimaliseren (zie ook 6.1). Met het storten in het westelijke deel worden daar de overschotten geconcentreerd en wordt zandimport uit het mondingsgebied voorlopig voorkomen. Ook zal zich een retourstroom van zand van de overschotten in het westelijke deel naar de tekorten in het oostelijke deel ontwikkelen. Via de zandwinning worden jaarlijks enkele miljoenen m<sup>3</sup> zand aan deze circulatie en aan het systeem onttrokken, waardoor de overschotten geleidelijk worden afgebouwd. Door een adequate monitoring kunnen deze processen worden bewaakt en kan bijvoorbeeld tijdig het zandwinbeleid worden bijgesteld als de overschotten uitgeput raken en er zandimport uit het mondingsgebied of andere ongewenste ontwikkelingen op gang dreigen te komen. In dit verband wordt nogmaals gewezen op het feit dat "overschotten" of "tekorten" meestal alleen kwalitatief of hooguit in orde van grootte zijn vast te stellen. Ook zijn vanwege vertragingseffecten ongewenste ontwikkelingen niet direct waarneembaar en komen ze niet direct tot stilstand na bijstelling van het beheer.



## 6 OPLOSSINGEN

### 6.1 MOGELIJKHEDEN MINIMALISERING BAGGEROMVANG

Minimalisering van de baggeromvang betekent het verkleinen van de aanzandingssnelheid op de baggerlocaties. Dit kan worden bereikt door vergroting van de natuurlijke diepte en beperking van de sedimentbeschikbaarheid voor en de transportcapaciteit naar deze lokaties. Middelen hiervoor zijn respectievelijk vergroting van het getijvolume door regulering of kombergingsvergroting en een efficiënt en gericht stortbeleid, eventueel ondersteund door een ermee consistent zandwinbeleid. Voor effectieve toepassing is een zeer goede kennis nodig van de sedimenthuishouding, van de relatie geometrie-getijbeweging en van de bepalende sedimenttransportprocessen.

In het Schelde-estuarium wordt gebaggerd omdat op een aantal plaatsen de voor de scheepvaart gewenste diepte groter is dan de diepte die het systeem zelf kan onderhouden. Door doorlopend te baggeren wordt een overdiepte ten opzichte van de natuurlijke diepte in stand gehouden. De hiervoor noodzakelijke baggeromvang is gelijk aan de aanzandingssnelheid op de baggerlocaties. Deze aanzandingssnelheid wordt bepaald door de grootte van de overdiepte, de beschikbaarheid van sedimentatiemateriaal en het vermogen van het systeem dit materiaal naar de baggerlocaties te transporteren. Minimalisering van de baggeromvang moet dus gebeuren via beïnvloeding van deze factoren.

Het zo groot mogelijk maken van de natuurlijke diepte, waardoor de overdiepte wordt beperkt, vermindert de baggeromvang. Het kan worden gerealiseerd door de hoeveelheid water die door de betreffende geul moet te vergroten, via regulering of door vergroting van de bovenstroomse komberging. In het voorgaande is al aangegeven dat door regulering, zowel door het storten in nevengeulen als, en nog sterker, door de aanleg van leidammen, op termijn de noodzakelijke baggeromvang zeewaarts toeneemt, waardoor in feite de problemen worden verplaatst (lit.2,14,20).

Het vergroten van de bovenstroomse komberging heeft zeker ecologisch minder nadelen en meer voordelen en lijkt ook economisch aantrekkelijker. Met een investering van 50 miljoen gulden kan bijna 3.5 km leidam, á vijftien miljoen gulden per km, worden aangelegd. Er kan ook 500 ha landbouwgrond, á honderdduizend gulden per ha, voor worden aangekocht en ingericht als kombergingsgebied aan het systeem worden toegevoegd. Met toevoeging van 500 ha op de juiste plaats is aan de grens een getijvolumevergroting van bijvoorbeeld 5 á 10 procent realiseerbaar. De daardoor mogelijke besparing in de orde van grootte van een miljoen m<sup>3</sup> onderhoudsbaggerwerk, of 5 miljoen gulden per jaar, ligt in de orde van de rentelasten van de investering. Met 3.5 km leidam lijkt vooral door de cumulerende effecten zeewaarts dit rendement niet haalbaar.

Uit deze zeer globale afschatting blijkt dat er voldoende aanleiding is meer volledige en gedetailleerde berekeningen en kosten-baten analyses uit te voeren naar de mogelijkheden die er zijn de geulen zichzelf beter op diepte te laten houden. Daarin moeten dan ook de minder goed kwantificeerbare voor- en nadelen worden meegenomen.

De stortstrategie is belangrijk, soms bepalend, voor de beschikbaarheid en het transporterende vermogen van sedimentatiemateriaal naar de baggerlocaties. Dit geldt op zowel lokaal als systeemniveau. Op lokaal niveau gezien worden op de baggerlocaties sedimenttekorten en in de stortgebieden overschotten onderhouden, die als ze dicht bij elkaar liggen rechtstreekse retourstromen opwekken. Zo ontstaan sedimentcirculatiecellen, waarbinnen het materiaal als het ware wordt rondgepompt. Het terugstorten in de dezelfde geul waaruit is gebaggerd is hiervan het duidelijkste voorbeeld. In die situaties wordt waarschijnlijk zelfs grotendeels fysiek hetzelfde materiaal rondgepompt. Ruimere circulaties ontstaan door het storten in de nevengeulen binnen hetzelfde gebied. Hierdoor worden deze geulen significant vernauwd, gaan de stroomsnelheden en daarmee de transportcapaciteit omhoog en verplaatst het materiaal zich in korte tijd weer naar de hoofdgeul waaruit het is gebaggerd. Een stortstrategie als deze, waarbij de specie in principe zo dicht mogelijk bij de baggerlocaties wordt gestort, resulteert in minimale kosten per gebaggerde m<sup>3</sup> maar vergt een maximale baggeromvang bij de onderhouden overdiepte. Dit is de huidige praktijk in de Westerschelde.



Een afname van de baggeromvang kan hier worden bereikt, door gebaggerd materiaal tenminste buiten de primaire circulatiecellen te storten. Door het verder weg storten gaan de kosten per gebaggerde m<sup>3</sup> omhoog, maar de baggeromvang daalt. Een direct via de stortstrategie te verkrijgen minimum wordt bereikt door de gebaggerde specie ver buiten het baggergebied of het systeem te brengen, wat uiteraard weer maximale kosten per gebaggerde m<sup>3</sup> vergt. Een optimum uit economisch oogpunt, minimale totale kosten, ligt tussen dit uiterste en de huidige praktijk.

Wanneer gebaggerd materiaal aan de lokale circulaties wordt onttrokken en gedurende langere tijd consequent in een ander deel van het systeem wordt gestort, zullen ook op systeemniveau gebieden met tekorten en overschotten ontstaan (zie hoofdstuk 5). Omdat het systeem in principe zelf deze verschillen zal trachten te verkleinen door sedimenttransport van overschot- naar tekortgebieden, ontstaan ook op deze schaal circulaties van sediment. De tekortgebieden vormen relatief ruime, "zandarme" gebieden, waar de stroomsnelheden en zandtransporten relatief laag zijn. Veranderingen en aanzandingen op baggerlocaties verlopen hier daarom langzamer dan in de dynamische "volle" overschotgebieden, met hoge stroomsnelheden en zandtransporten. Gebaseerd op een voldoende inzicht in de zandbalans en de zandhuishouding van het hele systeem kan met een consequente stort- en eventueel zandwinstrategie ook op dit niveau de sedimentbeschikbaarheid en -transportcapaciteit naar de baggerlocaties worden beperkt en een lagere baggeromvang worden bereikt.

Het vermogen van het systeem, om met natuurlijke zandtransporten compenserend te reageren op grootschalige kunstmatige materiaalverplaatsingen, kan ook worden beïnvloed door de bagger- en stortactiviteiten. Het is mogelijk dat door de erdoor veroorzaakte geometrieveranderingen de getijkarakteristieken op systeemniveau zodanig worden beïnvloed, bijvoorbeeld via de getijassymmetrie, dat dominante resulterende sedimenttransport-richtingen binnen het systeem ontstaan. Het voorkomen van ongewenste ontwikkelingen in deze zin, of omgekeerd een actieve beïnvloeding van deze processen om de baggeromvang te minimaliseren, vergt een uitstekend inzicht in de relatie geometrie-getijbeweging én de erdoor bepaalde parameters, die verantwoordelijk zijn voor de resulterende sedimenttransporten.

## 6.2 ONTWIKKELING BAGGEROMVANG WESTERSCHELDE

De baggerkosten in het oostelijke deel kunnen bij de nu onderhouden diepten worden beperkt door het vervangen van de minst effectieve stortgebieden door verder weg gelegen lokaties. Door verdere optimalisatie van de stortstrategie, aangevuld met concentratie en opvoering van de zandwinning in het oostelijke deel en uitbreiding van de komberging, kan de huidige baggeromvang naar schatting met meerdere tientallen procenten worden verminderd. Bij verdere verdieping is toepassing van al deze maatregelen noodzakelijk om extreme stijging van omvang en kosten, en overeenkomstige toename en uitbreiding naar het westelijke deel van de effecten, te beperken. Door gecombineerde optimale toepassing van deze mogelijkheden kan naar schatting de verdieping 48'/43' worden gerealiseerd, zonder noemenswaardige toename van de baggeromvang ten opzichte van het huidige niveau.

De baggeromvang in het oostelijke deel van de Westerschelde, tussen Hansweert en de grens, bedraagt nu rond 10 miljoen m<sup>3</sup> gemiddeld per jaar. Hiervan worden 4 à 5 miljoen m<sup>3</sup> baggerspecie in de hoofdgeul teruggestort en rond 2 miljoen m<sup>3</sup> in de nevengeulen binnen het oostelijke deel. De resterende 3 à 4 miljoen m<sup>3</sup> worden gestort in de hoofdgeul in het middendeel. Het baggerwerk in het oostelijke deel omvat ruim de helft van de totale baggeromvang in mondingsgebied, Westerschelde en Beneden-Zeeschelde, die bijna 20 miljoen m<sup>3</sup> bedraagt. In 1989 bedroegen de totale jaarlijkse onderhoudskosten van de vaarweg, hoofdzakelijk het baggerwerk met de instandhouding van enkele ermee samenhangende infrastructurele voorzieningen, rond 80 miljoen gulden of wel gemiddeld ruim 4 gulden per gebaggerde m<sup>3</sup>.

Het zo dicht mogelijk storten bij de baggerlocaties is een bewust gekozen uitgangspunt voor de huidige stortstrategie, en gebeurt, volgens de nota uit 1984 "Verdieping Westerschelde, programma 48'/43'" (lit.30), uit "zowel financiële als rendementsoverwegingen". Bij deze strategie bereikt de verhouding baggeromvang/onderhouden overdiepte snel een traject, waarin een kleine vergroting van de overdiepte een zeer grote toename van het baggerwerk vergt (lit.1,20). Dit is zeker in het oostelijke deel al geruime tijd het geval. De stortomvang over-



schrijdt daar ruim het nog efficiënte deel van de capaciteit van de beschikbare stortlocaties. Ook de absolute grenzen van de capaciteit zijn hier overigens vrijwel bereikt. In hoofdstuk 4 is aangegeven dat de huidige baggeromvang, gecombineerd met de toegepaste stortstrategie, gepaard gaat met veel nadelige effecten op het ecosysteem én met effecten die op de duur de baggeromvang zeewaarts doen toenemen.

De huidige strategie resulteert dus wél in minimale kosten per gebaggerde  $m^3$ , maar vergt een maximale baggeromvang. Het gedeeltelijk of helemaal overgaan op verder weggelegen stortlocaties zal de omvang aanzienlijk verminderen. Ondanks de toenemende kosten per gebaggerde  $m^3$  kunnen naar verwachting, bij dezelfde te onderhouden diepte, de totale kosten op deze manier worden verminderd.

Bij realisering van de door België gewenste verdieping 48'/43' wordt, volgens het genoemde, tien jaar geleden opgestelde verdiepingsrapport, de omvang van het onderhoudsbaggerwerk op de Westerschelde 1.5 maal zo groot. Deze toename is berekend door een ongeveer lineaire, naar boven afgeronde extrapolatie van de huidige omvang. Als de huidige stortstrategie zoveel mogelijk wordt gehandhaafd en geïntensiveerd, waarvan bij deze extrapolatie in feite impliciet is uitgegaan, wordt de toename sterk onderschat. Volgens de huidige inzichten is in dat geval eerder een ongeveer exponentiële dan een lineaire toename van de baggeromvang te verwachten (lit. 1,20). Omdat ook de absolute grenzen van de capaciteit van de stortlocaties nu al vrijwel zijn bereikt, kan de verdieping 48'/43' echter in de praktijk niet worden gerealiseerd zonder grote hoeveelheden baggerspecie naar stortlocaties in het westelijke deel te brengen. Het verder weg storten zal de toename beperken en de onderschatting in bepaalde mate compenseren.

In het verdiepingsrapport werd berekend dat rond 10 miljoen  $m^3$ , van de na verdieping jaarlijks in het oostelijke deel te baggeren 15 miljoen  $m^3$ , in het westelijke deel zal moeten worden gestort. Vanwege de onderschatting van de toename en omdat de efficiënte stortcapaciteit in het oostelijke deel kleiner blijkt te zijn dan indertijd werd verwacht, zal de tenminste noodzakelijk naar het westen te brengen hoeveelheid bij realisering eerder groter dan kleiner worden.

De jaarlijks van het oostelijke deel naar het westelijke deel brengen hoeveelheid van 10 miljoen  $m^3$  is enkele groter dan tot nu toe kunstmatig binnen het systeem is verplaatst. De omvang is ook veel groter dan de hydraulische resulterende sedimentverplaatsingen, die tot nu toe in het systeem zijn waargenomen. Het is vrijwel zeker dat het westelijke deel een 'overschotgebied' zal worden met, zoals in 6.1 is beschreven, relatief hoge sedimentbeschikbaarheid, stroomsnelheden en zandtransporten. Naast de sterk toegenomen stortomvang, in eerste instantie uit het oostelijke deel, zal hierdoor de noodzakelijke baggeromvang in het gebied zelf ook toenemen, met als gevolg onder andere een beperking van de macrodynamiek, de natuurlijke beweeglijkheid van hoofd-en nevengeulen, en een toename van de meso- en microdynamiek zoals in het oostelijke deel. In het Beleidsplan Westerschelde is uitdrukkelijk uitgesproken dat het ontstaan van deze situatie in het westelijke deel moet worden voorkomen. Bij welke stortomvang dergelijke effecten gaan optreden moet nog nader worden uitgezocht. Een zorgvuldige monitoring in de praktijk is in elk geval nodig om hierover voldoende zekerheid te krijgen.

Ondanks de beperktere toename van de omvang, vergeleken met het zoveel mogelijk intensiveren van de huidige strategie, zullen toch de totale kosten sterk stijgen. Dat wordt bij deze strategie veroorzaakt door de hogere kosten per gebaggerde  $m^3$ , door het transport naar de verder weg gelegen stortlocaties. In het verdiepingsrapport 48'/43' uit 1984 werd de kostentoeename voor de Westerschelde geschat op rond 20 miljoen gulden en voor het mondingsgebied op rond 10 miljoen gulden. In 1989 bedroegen de kosten van het huidige baggerwerk rond 80 miljoen gulden per jaar. Na de verdieping zal er dus met het onderhoudsbaggerwerk minimaal, gezien de hantering van de prijspeilen van 1984 en 1989, een bedrag van 110 miljoen gulden gemoeid zijn.

Samengevat kan worden gesteld dat om de onderhoudsbaggerkosten en nadelige effecten te minimaliseren én om verdere verdieping en herstel en versterking van het ecologisch functioneren mogelijk te maken, het noodzakelijk is alle mogelijkheden te benutten de baggeromvang te minimaliseren.

Bij de nu onderhouden diepten kan een economisch gunstiger situatie, minimale totale kosten als optimum tussen kosten per gebaggerde  $m^3$  en baggervolume, dichter worden benaderd. De vermindering van de bagger- en stortactiviteiten die dit oplevert, is echter onvoldoende om ook ecologisch gezien de meest optimale situatie, minimale baggeromvang met minimale effecten, te realiseren. Om ook op lange termijn beschouwd een economisch optimalere situatie te benaderen, zouden die stortactiviteiten in het oostelijke deel, die de komberging daar



verkleinen en de baggeromvang zeewaarts op termijn vergroten, moeten worden gestaakt. De verdere vermindering van de bagger- en stortactiviteiten en de bijbehorende effecten die dit oplevert, is uiteraard ook positief voor het ecologisch functioneren van het gebied.

De meest gunstige situatie uit ecologische oogpunt, minimale bagger- en stortactiviteiten, wordt bereikt als alle gebaggerde specie naar het westen wordt gebracht, de zandwinning voorlopig geheel in het oostelijke deel wordt geconcentreerd en eventueel wordt opgevoerd en de bovenstroomse komberging zoveel mogelijk wordt vergroot. Met deze combinatie van maatregelen is bij de nu te onderhouden diepten, naar schatting een afname van de baggeromvang met meerdere tientallen procenten te bereiken.

Binnen de randvoorwaarden van het Beleidsplan Westerschelde is een verdere verdieping, zoals het gewenste 48'/43'-plan, niet realiseerbaar zonder maximale gebruikmaking van alle genoemde aanvullende mogelijkheden om de baggeromvang te beperken. Zonder beperking zal de dan noodzakelijk in het westelijke deel te storten omvang waarschijnlijk te groot zijn om een situatie als in het oostelijke deel te voorkomen.

Volgens zeer globale schattingen zal elk van de baggeromvang beperkende maatregelen, structurele aanpassing van de stortstrategie, concentratie en eventueel opvoering van de zandwinning in het oostelijke deel en vergroting van de bovenstroomse komberging, een besparing van de orde van 1 á 2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar aan onderhoudsbaggerwerk kunnen opleveren. Dit betekent dat, bij gecombineerde toepassing, de 48'/43'-verdieping gerealiseerd kan worden zonder toename van de baggeromvang én dat tegelijk de effecten op het ecologisch functioneren sterk kunnen worden beperkt.

### 6.3 OPLOSSINGSRICHTINGEN

Een duurzaam gebruik als vaarweg en een duurzame en gezonde ontwikkeling als ecosysteem van het Schelde-estuarium, overeenkomstig de doelstellingen van onder andere het Beleidsplan Westerschelde, is mogelijk als de volgende oplossingsrichtingen in samenhang worden ingeslagen:

- 1) Het beleid en het beheer van het Schelde-estuarium worden gevoerd vanuit een integrale benadering van alle functies en aspecten, gericht op de lange termijn ontwikkeling van het hele systeem.

De analyses van de ontwikkeling van het systeem vanuit het verleden en van de huidige situatie bewijzen de sterke onderlinge verwevenheid en afhankelijkheid van de verschillende functies en aspecten van het systeem. Ook het belang van een goed inzicht in de werking van het systeem werd ermee aangetoond.

Een belangrijke eerste aanzet kan worden gegeven in het vormen van een synthese tussen de nu vigerende sectorale en deelplannen zoals het Belgische veiligheidsplan (Sigma-plan), het plan Verdieping Westerschelde - programma 48'/43'-, het Milieubeleidsplan en Natuurontwikkelingsplan voor Vlaanderen (MINA-plan) met de planontwikkeling voor het Ecologisch Impulsgebied Schelde-Dender-Durme, de betreffende delen van het Nederlandse Natuurbeleidsplan, de derde Nota Waterhuishouding en het Beleidsplan Westerschelde.

- 2) Het bagger-, stort- en zandwinbeleid worden aangepast en worden gericht op het minimaliseren van de baggeromvang, het voorkomen van versnelde verlanding en kusterosie en het herstellen en versterken van de morfologische en ecologische kwaliteit van het estuarium.

De minimalisering van de baggeromvang is zowel belangrijk uit financieel oogpunt en vanwege de begrensde stortlocatiecapaciteit als ter beperking van de verschillende nadelige effecten op de morfologische en ecologische kwaliteit van het systeem. Het kan worden gerealiseerd door beperking van de sedimentbeschikbaarheid en- transportcapaciteit en door vergroting van de natuurlijke diepte ter plaatse van de baggerlocaties.

Het eerste kan worden bereikt door achtereenvolgens het terugstorten in de hoofdgeul en in de nevengeulen in het oostelijke deel af te bouwen en in het westelijke deel van de Westerschelde te concentreren, zodra de kwaliteit dat toelaat, en door de zandwinning juist alleen in het oostelijke deel te laten plaatsvinden.

Deze maatregelen moeten in de eerste plaats worden ondersteund door tenminste te voorkómen dat de komberging en getijvolumes en daarmee de natuurlijke geuldiepten verder afnemen. Het gaat daarbij om de directe inname van intergetijdegebieden door de aanleg van werken, én om het bevorderen van sedimentatie in deze gebieden, zoals nu gebeurt tengevolge van de toegepaste stortstrategie of door de aanleg van leidam-



men.

In de tweede plaats kunnen de natuurlijke gulddiepten juist op een aantal plaatsen worden vergroot met het terugwinnen van in het verleden verloren gegane komberging door het vergroten van het areaal aan natuurlijke overstromingsgebieden. Met deze maatregel wordt bovendien op meerder andere manieren belangrijk bijgedragen aan het herstel van de kwaliteit van de fysische en ecologische structuur van het systeem. Hierop wordt hierna onder 3) verder ingegaan.

Het belang en de maatregelen om een minimale baggeromvang te bereiken vallen helemaal samen met het voorkómen van een snelle verlanding van het estuarium. Ook de zandwinning speelt daarin een belangrijke rol door het in evenwicht houden van de totale zandbalans van het systeem, naast het beperken van de zandbeschikbaarheid voor sedimentatie op baggerlocaties en in het intergetijdegebied.

De omvang van de zandwinning moet worden afgestemd op het relatieve overschot aan zand binnen het systeem, dat vrijgekomen is uit de vorige vaargeulverdieping en vrij zal komen bij een eventuele volgende. Door dit overschot, zolang het niet is "verbruikt" voor de zandwinning, te "bewaren" in het westelijke deel van de Westerschelde, wordt import ten koste van de zandvoorraad in het mondingsgebied met kusterosie als gevolg voorkomen. Het opbouwen en onderhouden van het overschot in het westelijke deel wordt bereikt door de stortingen van baggerspecie uit het oostelijke deel.

Een belangrijk aspect, dat zeker nog intensief nader onderzoek nodig heeft, is de vraag of en hoe door interactie met de waterbeweging, de door ingrepen veranderde geometrie in het systeem of delen ervan dominante sedimenttransportrichtingen heeft veroorzaakt. Het antwoord is nodig om deze processen in de toekomst, via nog aan te brengen geometrieveranderingen voor de vaarweghandhaving en eventueel kombergingsvergroting, in de gewenste richting te kunnen beïnvloeden.

- 3) Het areaal aan natuurlijke overstromingsgebieden van het estuarium wordt uitgebreid, gericht op het vergroten van de komberging, het verlagen van de extreme hoogwaterstanden, het herstellen en verrijken van de estuariene gradiënt en het bereiken van een evenwichtiger slibhuishouding.

Het belang van de kombergingsvergroting voor de verlanding en de baggeromvang is al genoemd onder 2). Door de omvangrijke inpolderingen in het verleden is een tekort ontstaan aan laterale overstromingsgebieden, tijdelijke en blijvende bergingsgebieden voor sediment, vooral slib, en voor water bij hoge rivierafvoeren en stormvloeden. De sliboverlast op de Beneden-Zeeschelde en de hoge slibgehalten in het water langs het hele systeem zijn er het gevolg van, en van de hoge slibbelasting uiteraard. Het Land van Saeftinge is het eerste, van boven- naar benedenstrooms gaande, en ook enige overgebleven laterale overstromingsgebied van substantiele omvang.

De beste mogelijkheden tot realisering zijn aanwezig in de brakke en zoete zone en uit het oogpunt van komberging, hoogwaterberging en slibhuishouding zijn ze daar ook het meest nodig en effectief. In Nederland lijken mogelijkheden aanwezig nabij de belgisch-nederlandse grens. In België bieden de tot potpolder bestemde gebieden mogelijkheden. Als potpolder overstroomden deze gebieden slechts enkele keren per jaar via een verlaagd deel in de rivierdijk, waardoor de hoogwatergolf wordt afgetopt. Door ze weer volledig toe te voegen aan het estuarium vervullen ze permanent en voor meer functies een belangrijke rol in het systeem en vormen ze bovendien in meer opzichten waardevollere gebieden.

Een belangrijk punt van nader onderzoek is de invloed van kombergingsvergroting op de zout-zoetverdeling en de slibhuishouding, vooral op de Beneden-Zeeschelde.

- 4) De estuariene gradiënt wordt versterkt, gericht op uitbreiding van de arealen aan schorren in de zoute zone, laagdynamische intergetijde- en ondiepwatergebieden in de brakke zone en zoetwatergetijdegebieden in de zoete zone van het estuarium.

De schaarste aan schorren in de zoute en getijdegebieden in de zoete zone is een gevolg van de inpolderingen in het verleden. Door ontpoldering kunnen met name in de zoete zone weer, in West-Europa uniek geworden, zoete getijdegebieden ontstaan, zoals die daar horen in een estuarium.

In de brakke zone kunnen de belangrijkste problemen voor het gezond ecologisch functioneren, de zeer hoge dynamiek en de bedreiging van het Land van Saeftinge, worden opgelost door de in 2) voorgestelde aanpassing van de bagger- en stortstrategie. Ook de problemen rond de versteiling van het gebied en de laterale erosie, zoals bijvoorbeeld bij het schor van Waarde, kunnen hiermee worden opgelost.



Bij het huidige getijregiem is de ruimte voor schorontwikkeling in het westelijke deel buitendijks nog slechts marginaal. Waar dat in kleinere gebieden nog mogelijk is kunnen er met de in dit deel te concentreren baggerspeciestortingen gunstige omgevingsvoorwaarden worden gecreëerd. Substantiele uitbreiding van het areaal aan schorren in de mariene zone zal alleen door ontpoldering kunnen plaats vinden.



LITERATUURLIJST

1. ALLERSMA, E. (1992).  
Studie inrichting Oostelijk deel Westerschelde, Analyse van het fysische systeem.  
Waterloopkundig Laboratorium Delft, projectnr. Z368.
2. AVOINE, J., G.P. Allen, M. Nichols, J.C. Salomon en C. Larssonneur (1981).  
Suspended-sediment transport in the Seine estuary, France: Effect of man-made modifications on estuary-shelf sedimentology.  
Marine Geology, 40, 119-137.
3. BERG, J.H. van de, D. Schouten en C.J. van Westenbrugge (1991).  
Zandbalans Westerschelde, 1965, 1975, 1980, 1985.  
Rijkswaterstaat, directie Zeeland, Nota NWL-91.36.
4. BESTUURLIJK Klankbordforum Westerschelde (1991).  
Beleidsplan Westerschelde  
Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, Middelburg.
5. CASTELEYN, E. en P. Kerstens (1988).  
Het sigmaplan: Beveiliging van het Zeescheldebekken tegen stormvloeden op de Noordzee.  
Water, 43, 170-175.
6. COEN, I. (1988).  
Ontstaan en ontwikkeling van de Westerschelde.  
Water, 43: 156-162.
7. DAM, D. van (1991).  
Beschouwingen over de bodemveranderingen in de Westerschelde n.a.v. de in 1990 in de vakken 1,2 en 3 verrichte lodingen.  
Rijkswaterstaat, directie Zeeland, Notitie NWL-91.63.
8. FERGUSON, Ir. H.A. (1954).  
Mogelijkheden tot het verbeteren van het grootscheepvaartwater door de Westerschelde.  
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Afdeling Studiedienst Vlissingen, bibl.nr. 1269
9. GEMEENSCHAPSMINISTERIE van het Vlaamse Gewest (1990).  
De baggerwerken in de Schelde en de kwaliteit van water en bodem. Stand van zaken.  
Vlaams Gewest, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, België.
10. GERRITSEN, F. en H. de Jong (1983).  
Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde.  
Rijkswaterstaat, Directie Waterbeweging en Waterhuishouding, Nota WWKZ-83.V008.
11. HARING, J. (1949).  
Inhouds- en diepteveranderingen in de Westerschelde over de periode 1878-1931.  
Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren.
12. HARING, J. (1955).  
Inhouds- en diepteveranderingen in de Westerschelde over de periode 1931-1952.



- Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren.
13. HOUTEKAMER, N.L. (1991).  
**Inventarisatie erosieproblematiek van schorren in de Westerschelde.**  
Rijksuniversiteit Utrecht, Rapport Geopro 1991.024.
  14. INGLIS, Claude C. en F.J.T. Kestner (1958).  
**The long-term effects of training walls, reclamation and dredging on estuaries.**
  15. JANSEN, Ir. P.A. (1938).  
**Nota over een onderzoek naar de keuze van stortplaatsen voor baggerspecie in de Westerschelde.**  
Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren.
  16. LOOFF, D. de (1983).  
**Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde op basis van de resultaten van vroeger, over de periode 1878-1971/72 en recent over de periode 1971/72-1980, uitgevoerde berekeningen.**  
Rijkswaterstaat, Adviesdienst Vlissingen, Nota WWKZ-83.VOO3.
  17. LOOFF, D. de (1986).  
**Inhoudsberekeningen en zandbalans Westerschelde voor de periode 1980-1984/85, aansluitend op eerdere berekeningen voor het tijdvak 1878-1980.**  
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota NXL-86.020.
  18. NICHOLS, M.N. (1981).  
**Consequences of dredging.**  
Hydrodynamics of estuaries, vol II, chapter 17, 89-99.
  19. PETERS, J.J en A. Sterling (1976).  
**Hydrodynamique et transport des sédiments de L'estuaire de L' Escaut.**  
Projet Mer, Rapport final, vol 10, Bruxelles.
  20. PIETERS, T., C. STORM, T. WALHOUT en T. YSEBEART (1991).  
**Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Rapportage pilotstudie fysische structuur Schelde-estuarium.**  
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren / Directie Zeeland, project OOSTWEST, nota DGW GWWS-91.081.
  21. PIETERS, T. (1989).  
**Projectplan OOSTWEST (pilotstudie).**  
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, nota DGW GWWS-89.407.
  22. POSTMA, H. (1954).  
**Hydrography of the Dutch Wadden Sea.**  
Arch. Neerl. Zoöl, 10, 405-511.
  23. POSTMA, H. (1961).  
**Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea.**  
Netherlands Journal of Sea Research, 1, 148-190.
  24. PROJECTGROEP OOSTWEST (1993).  
**Projectplan OOSTWEST, fase 1993-1994.**



Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren / Directie Zeeland, Werkdocument  
DGW GWWS-93.813X

25. RUIG, J.H.M. de (1990).  
Versnelde zeespiegelstijging in de Westerschelde.  
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, notitie nr. NXL 90-29.
26. SCHOUWENAAR, A. (1991).  
Resultaten Implic berekeningen van een tiental varianten in het Schelde- estuarium.  
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Notitie GWWS-91.13011.
27. STERLING, A. en P. Roovers (1967).  
Modelstudies aangaande de verbetering van de bevaarbaarheid van de Westerschelde.  
De Ingenieur, Bouw- en Waterbouwkunde 4 en 5.
28. STIVE, M.J.F. en W.D. Eysink (1989).  
Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090, fase 3; deelrapport 3.1: een dynamisch model van het  
Nederlandse kuststelsel.  
Waterloopkundig Laboratorium Delft, M 285 deel IV.
29. STORM, C. en J.H.M. de Ruig (1990).  
Problematiek van het baggeren en storten in het oostelijk deel van de Westerschelde.  
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, deelrapportage OOSTWEST.
30. TECHNISCHE Scheldecommissie, (1984).  
Studierapport verdieping Westerschelde, programma 48'/43'.  
Technische Scheldecommissie, Subcommissie Westerschelde, delen 1 en 2.
31. VEEN, J. van (1944).  
Schelderegier en Schelderegie.  
Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren, R 677.
32. VEEN, J. van (1950).  
Eb- en vloodschaarsystemen in de Nederlandse getijdewateren.  
Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, 67, 303-325.
33. VERKEER en Waterstaat, ministerie van, ministerie van Landbouw en Visserij, ministerie van Volkshuisves-  
ting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1989).  
Water voor nu en later, Derde nota Waterhuishouding.  
Tweede Kamer 1988-1989, 21 250, nr 1-2.
34. WATERBOUWKUNDIG Laboratorium Borgerhout (1960).  
Proeven aangaande de stortplaatsen der baggerspecie; model der Schelde van Hansweert tot aan de toe-  
gangssluizen der Haven van Antwerpen (model 119).
35. WERKGROEP Waterbeheer Westerschelde (1989).  
Beleidsplan Westerschelde; Deelrapport 3, Slibhuishouding en bodemkwaliteit.
36. WERKGROEP Waterbeheer Westerschelde (1989).  
Beleidsplan Westerschelde; Deelrapport 4, Morfologische structuur en dynamiek.







FIGUREN

- FIG. 1 OVERZICHT VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM
- FIG. 2 FYSISCH STRUCTUUR VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM IN CIJFERS
- FIG. 3 INHOUDSAFNAME VAN ESTUARIA, VERLANDING, IN DE TIJD
- FIG. 4 VERLANDING VAN HET SEINE-ESTUARIUM
- FIG. 5 ZANDBALANS WESTERSCHELDE SINDS 1878
- FIG. 6 MAXIMUM EB-EN VLOEDSNELHEDEN IN 1935 EN 1975
- FIG. 7 ONTWIKKELING ZUIDERGAT EN SCHAAR VAN WAARDE
- FIG. 8 HABITATSTRUCTUREN SCHELDE-ESTUARIUM
- FIG. 9 BAGGEROMVANG SCHELDE-ESTUARIUM
- FIG.10 BAGGEREN EN STORTEN IN OOSTELIJKE DEEL WESTERSCHELDE
- FIG.11 VERLANDING LAND VAN SAEFTINGE
- FIG.12 STORTINGEN/ONTTREKKINGEN, EROSIE/SEDIMENTATIE EN INHOUDSVERANDERINGEN TUSSEN 1965 EN 1990
- FIG.13 SNELHEID VERRUIMING HOOFDGEUL OOSTELIJKE DEEL
- FIG.14 ZANDBALANS WESTERSCHELDE 1970 - 1990
- FIG.15 ZANDBALANS VERDIEPING VAARGEUL OOSTELIJKE DEEL 1970 - 1990
- FIG.16 TEKORTEN EN OVERSCHOTTEN WESTERSCHELDE, SITUATIE 1990



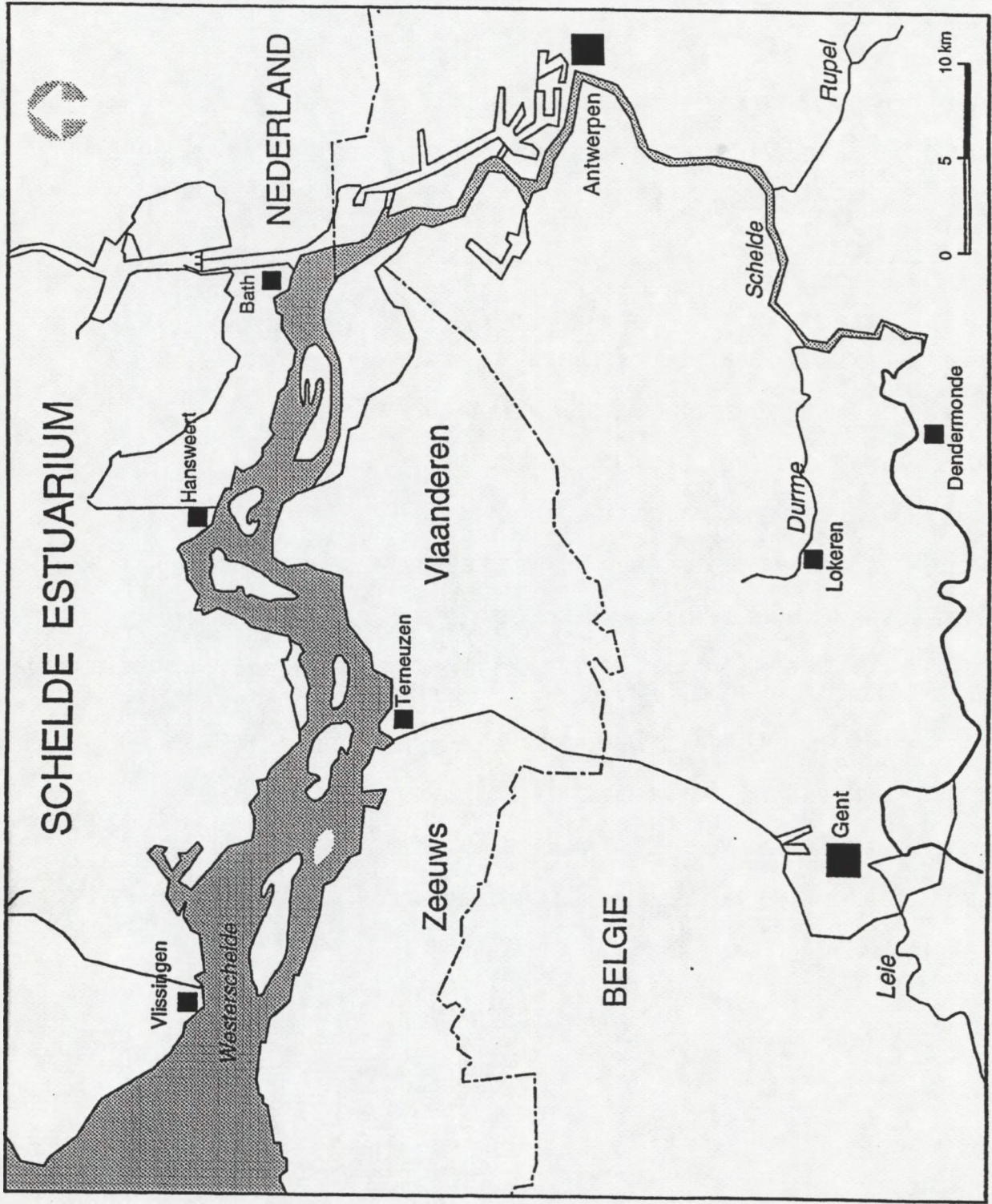


FIG. 1 OVERZICHT VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM



afstand, Vlissingen-Gent		160 km
oppervlakte		370 km <sup>2</sup>
inhoud op (NAP)		2800*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
gem. vloed volume, Vlissingen		1100*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
gem. getijverschil,	Vlissingen	3.85 m
	Antwerpen	5.15 m
	Gent	1.90 m
gemiddelde rivierafvoer		5*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /getijcyclus
gem. zoutgehalte,	Hansweert	11 g Cl-/l
	Antwerpen	4 g Cl-/l
	Gent	<0.5 g Cl-/l

FIG. 2 FYSISCH STRUCTUUR VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM IN CIJFERS

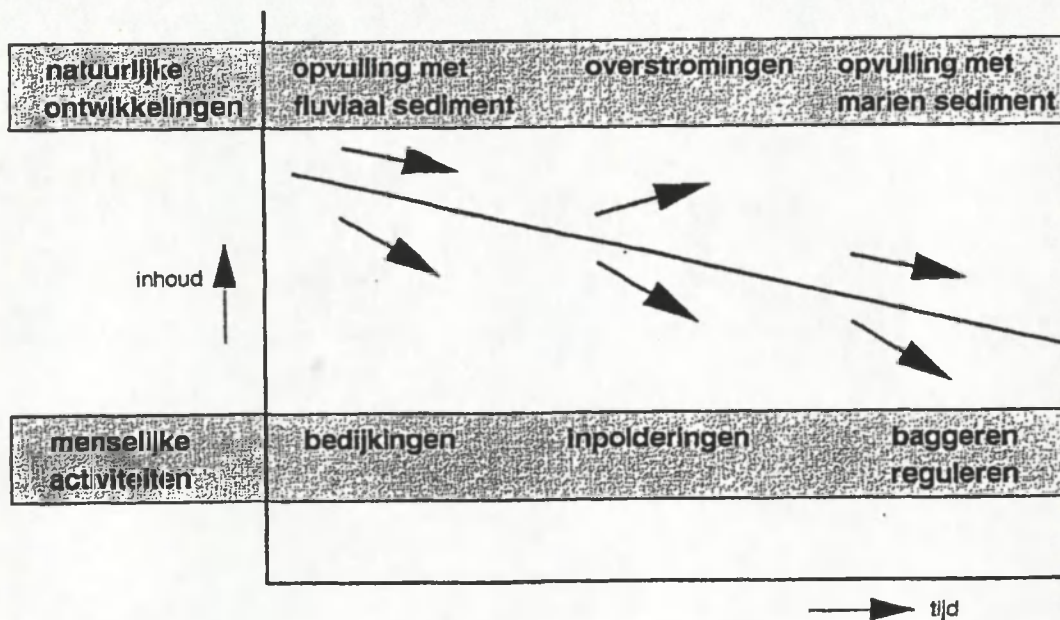


FIG. 3 INHOUDSAFNAMES VAN ESTUARIA, VERLANDING IN DE TIJD (lit. 20)



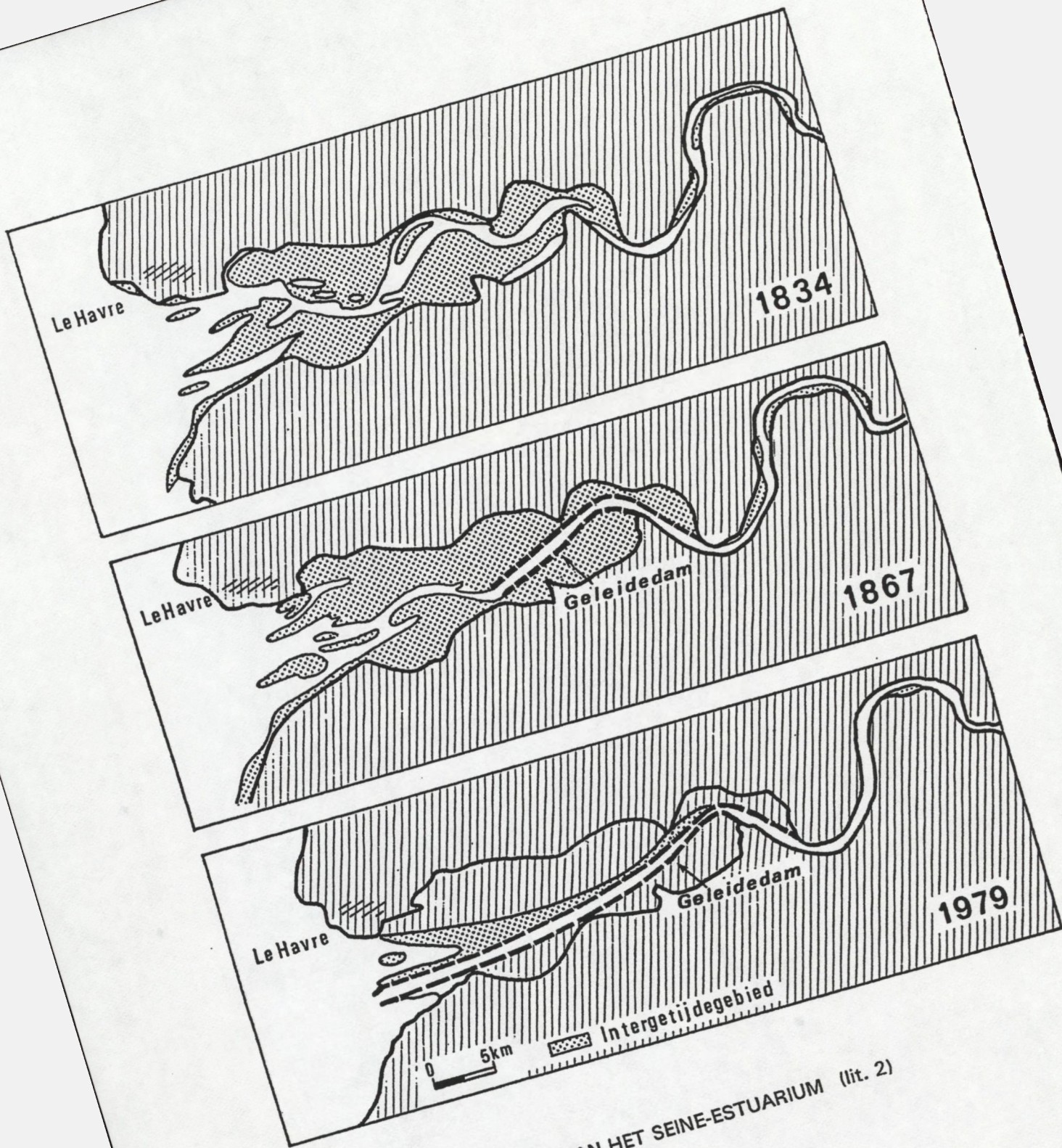


FIG. 4 VERLANDING VAN HET SEINE-ESTUARIUM (lit. 2)



hoeveelheden in milj. m <sup>3</sup>	storten/ onttrekken	erosie/ sedimentatie	inhouds- verandering
1878 - 1931	?	-13	-13
1931 - 1955	?	+6	+6
1955 - 1972	-27	+35	+8
1970 - 1975	-21	+2	-19
1975 - 1990	-40	0	-40

FIG. 5 ZANDBALANS WESTERSCHELDE SINDS 1878 (lit. 3,11,12,16,17)

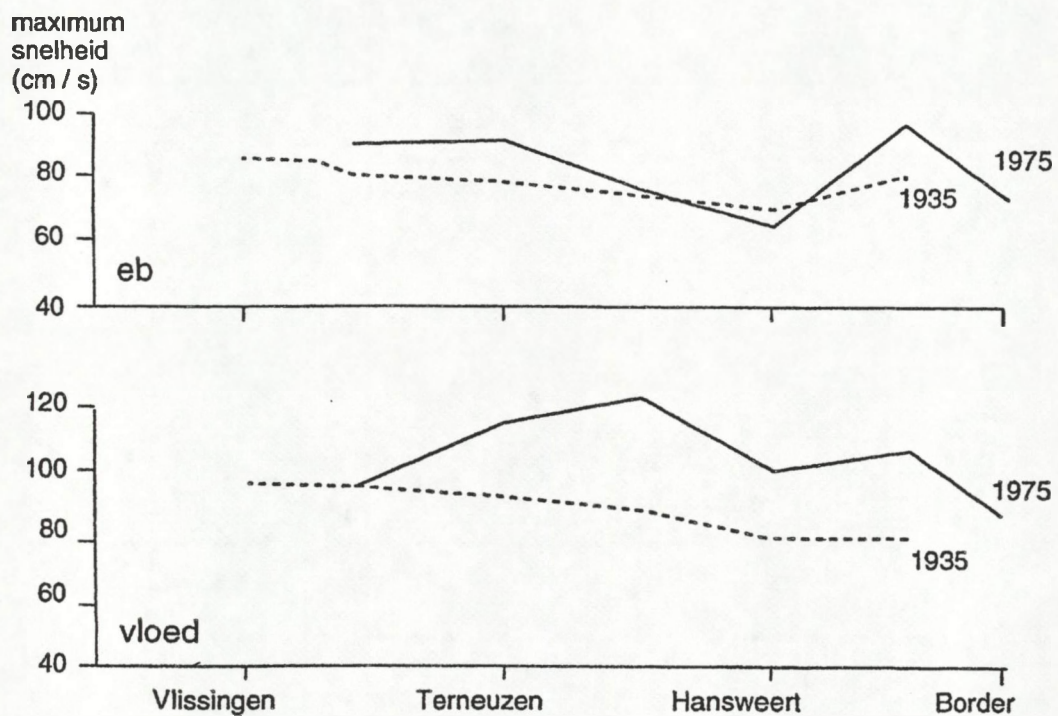


FIG. 6 MAXIMUM EB-EN VLOEDSNELHEDEN IN 1935 EN 1975 (lit. 36)



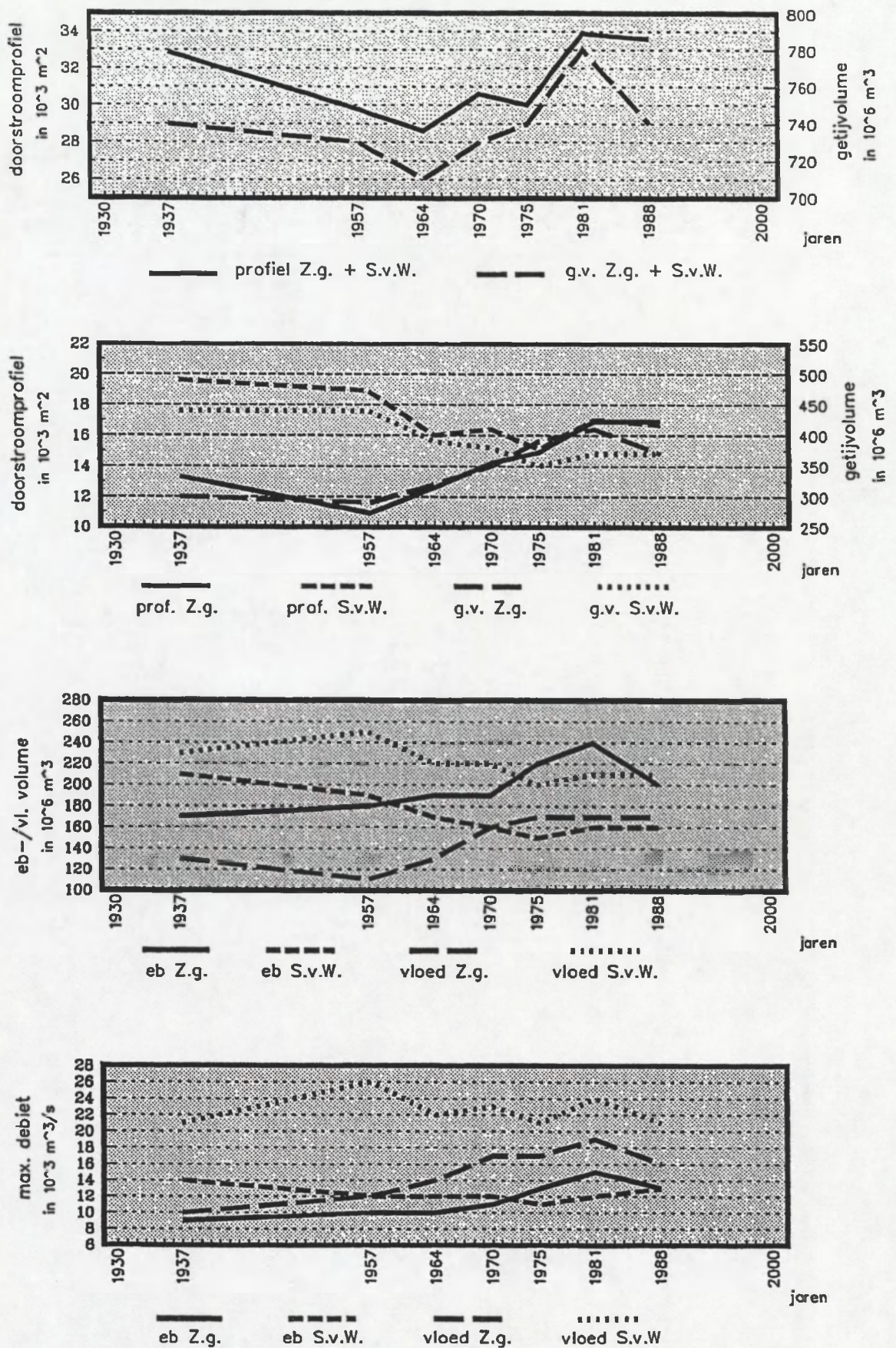


FIG. 7 ONTWIKKELING ZUIDERGAT EN SCHAAR VAN WAARDE (lit. 36)



HABITATSTRUCTUREN SCHELDE-ESTUARIUM

+ = veel 0 = normaal - = weinig	SCHORREN	SLIKKEN	PLATEN		ONDIEP WATER	
			DYNAMIEK		DYNAMIEK	
			HOOG	LAAG	HOOG	LAAG
MARIENE ZONE VLISSINGEN - HANSWEERT	-	0	0	0	0	-
BRASSE ZONE HANSWEERT - ANTWERPEN	+	0	+	-	+	-
ZOETE ZONE ANTWERPEN - GENT	-	-	-	-	-	-

FIG. 8 HABITATSTRUCTUREN SCHELDE-ESTUARIUM (lit. 20)

IN 10 <sup>6</sup> M <sup>3</sup> /J	SITUATIE 1990	PLAN 1984	ACTUALISATIE 1991
MONDING	6	7	7
WESTERSCHELDE	11	17	26
ZEESCHELDE	3	4	5
TOTAAL	20	28	38

FIG. 9 BAGGEROMVANG SCHELDE-ESTUARIUM (lit. 9)



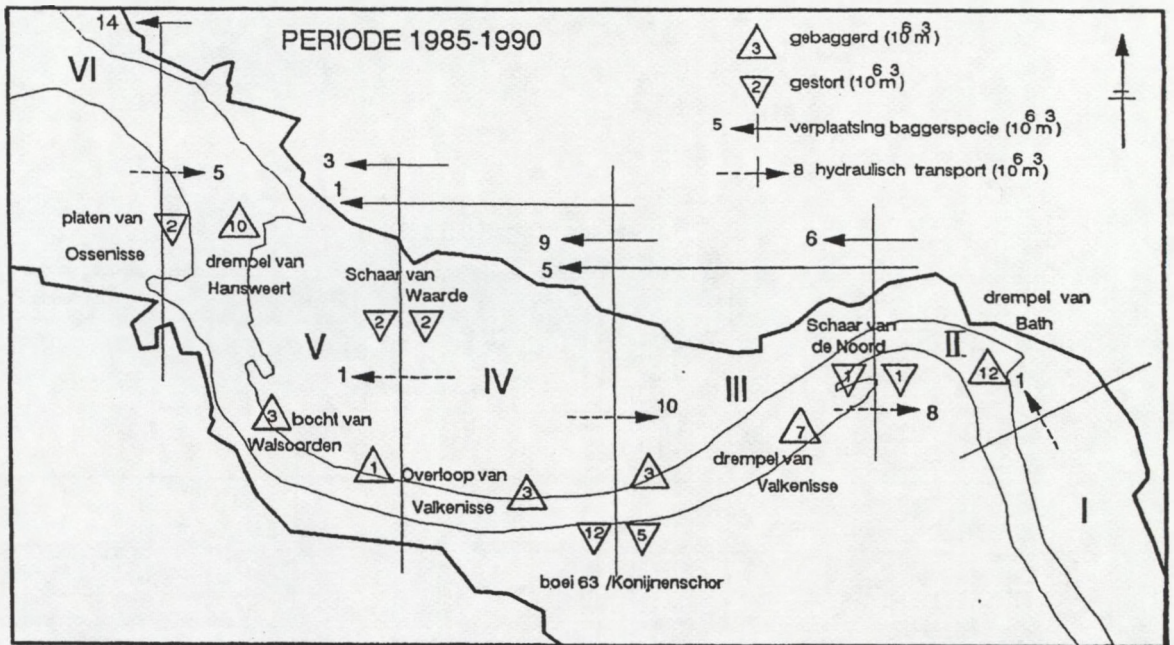


FIG.10 BAGGEREN EN STORTEN IN OOSTELIJKE DEEL WESTERSCHELDE 1985 - 1990 (lit.20)

### Verlandig Land van Saeftinge

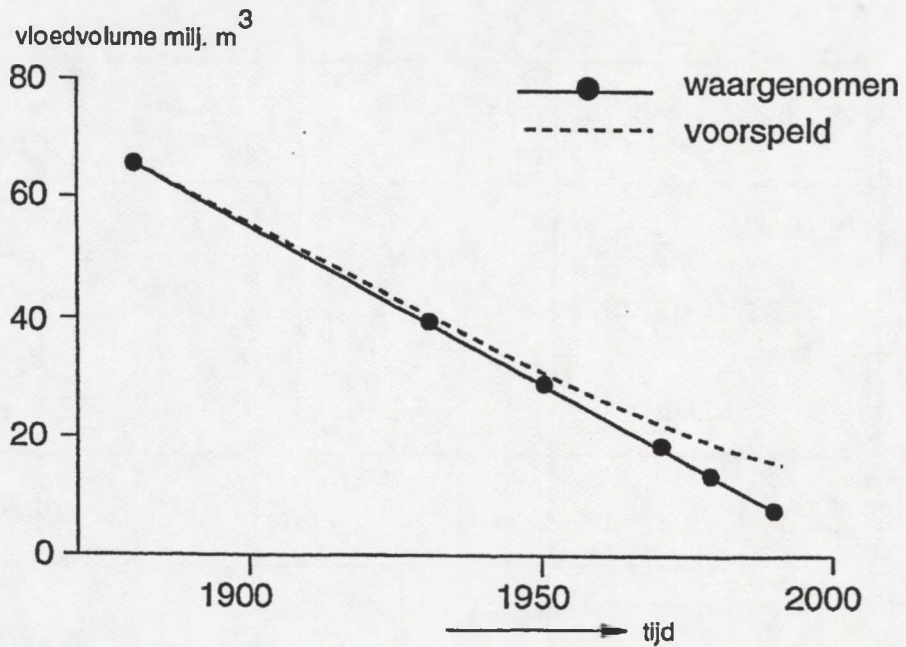


FIG.11 VERLANDING LAND VAN SAEFTINGE (lit. 1,36)



hoeveelheden in 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	storten (+)/ont- trekken (-)	erosie(-) /sedimen- tatie (+)	inhoudsveranderingen		
			totaal <sup>1</sup>	boven NAP-2,50m	onder NAP-2,50m
<u>1965 - 1970</u>					
Vlissingen-Terneuzen	- 9	- 5	-14	+ 6	-14
Terneuzen-Hansweert	- 2	+24	+22	+ 4	+19
Hansweert-grens	- 7	+16	+ 9	+ 3	+ 6
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vlissingen-grens	-18	+35	+17	+13	+ 11
<u>1970 - 1975</u>					
Vlissingen-Terneuzen	-10	+15	+ 5	0	+ 6
Terneuzen-Hansweert	- 1	- 5	- 6	0	- 5
Hansweert-grens	-10	- 8	-18	- 1	-17
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vlissingen-grens	-21	+ 2	-19	- 1	-16
<u>1975 - 1985</u>					
Vlissingen-Terneuzen	-13	-12	-25	+ 2	-25
Terneuzen-Hansweert	+18	+ 1	+19	+ 2	+17
Hansweert-grens	-33	+13	-20	+ 8	-28
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vlissingen-grens	-28	+ 2	-26	+12	-36
<u>1985 - 1990</u>					
Vlissingen-Terneuzen	- 8	+ 6	- 2	- 4	+ 2
Terneuzen-Hansweert	+12	-14	- 2	+ 1	- 3
Hansweert-grens	-16	+ 6	-10	0	- 9
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vlissingen-grens	-12	- 2	-14	- 3	-10
<u>1970 - 1990</u>					
Vlissingen-Terneuzen	-31	+ 9	-22	- 2	-17
Terneuzen-Hansweert	+29	-18	+11	+ 3	+ 9
Hansweert-grens	-59	+11	-48	+ 7	-54
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Vlissingen-grens	-61	+ 2	-59	+ 8	-62

1) Dit totaal is niet altijd de som van de vierde en vijfde kolom (zie tekst).

FIG.12 STORTINGEN/ONTTREKKINGEN, EROSIE/SEDIMENTATIE EN INHOUDSVERANDE-  
RINGEN TUSSEN 1965 EN 1990 (lit. 20)



hoeveelheden miljoenen m <sup>3</sup>	inhoudstoename beneden laagwaterniveau	
	hele periode	per jaar
1970 - 1975	17	3.4
1975 - 1985	28	2.8
1985 - 1990	9	1.8
-----	-----	-----
1970 - 1990	59	2.7

FIG.13 SNELHEID VERRUIMING HOOFDGEUL OOSTELIJKE DEEL

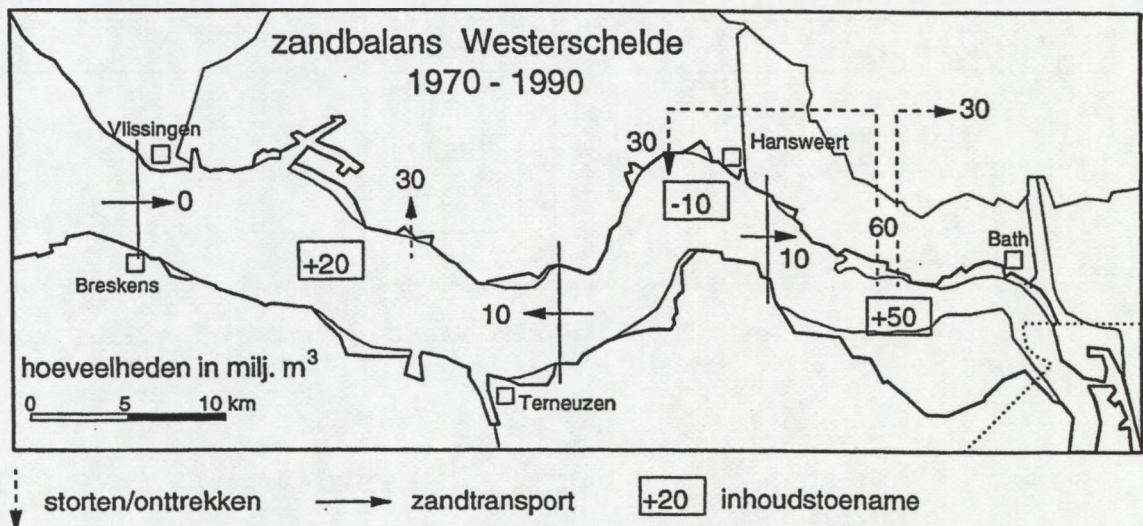


FIG.14 ZANDBALANS WESTERSCHELDE 1970 - 1990



zandverplaatsingen (milj. m <sup>3</sup> )		gemiddeld per jaar	resulterende bestemming
gestort in middendeel	30	0.7	middendeel
retourtransport	20		
resultierend	10		
zandwinning	20	1.3	uit het systeem
sedimentatie boven GLW	10	0.7	intergetijde-gebied
resulterende verruiming geul	40	2.7	
totaal gebaggerd	144	9.5	

FIG.15 ZANDBALANS VERDIEPING VAARGEUL OOSTELIJKE DEEL 1970 - 1990

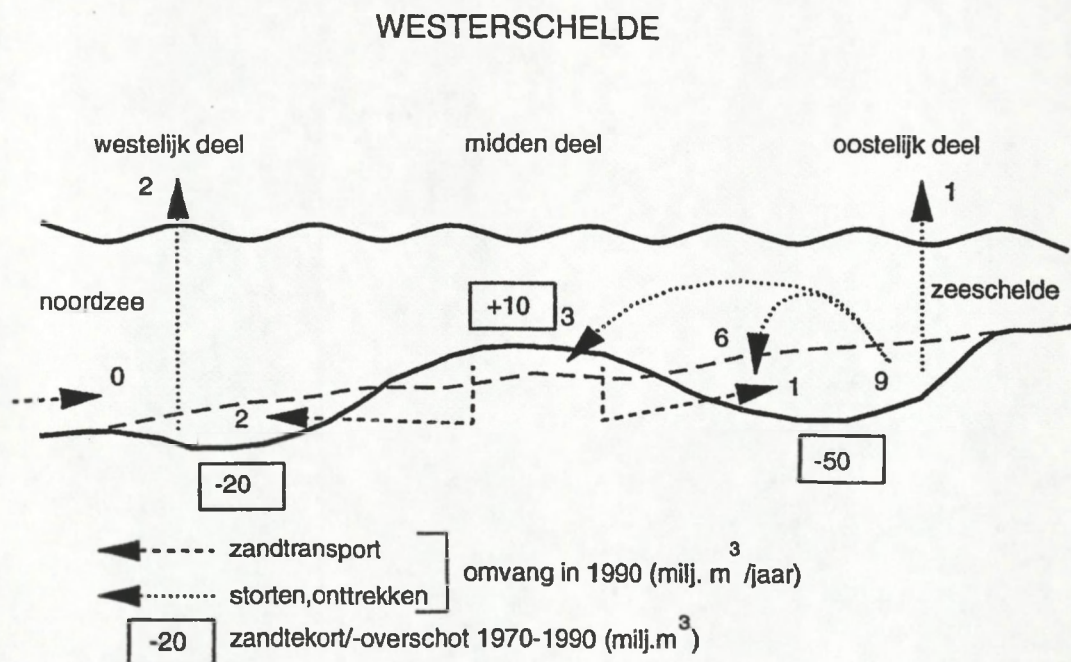


FIG.16 TEKORTEN EN OVERSCHOTTEN WESTERSCHELDE, SITUATIE 1990



