

70

BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

Deelrapport 4

Morfologische

Structuur en Dynamiek



W

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde

BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde

Deelrapport 4

Morfologische

Structuur en Dynamiek

Werkgroep

Waterbeheer Westerschelde

April 1989

Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

Rijkswaterstaat Directie Zeeland
Postbus 5014, 4330 KA Middelburg

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

INHOUDSOPGAVE

1	Samenvatting	1
2	Inleiding	3
3	Beschrijving van de hydraulische situatie	
3.1	Het verticale getij	5
3.1.1	Hoog- en laagwaterstanden	5
3.1.2	Grenspeil	6
3.1.3	Vloed- en ebduur	6
3.2	Het horizontale getij	7
3.2.1	Getijvolumes en debieten	7
3.2.2	Stroomsnelheden	8
3.3	Rivierafvoer	9
3.3.1	De afvoer ter hoogte van Schaar van Ouden Doel	10
3.3.2	Verhouding tussen rivierafvoer en getijdebiet	11
4	Baggerwerkzaamheden	
4.1	De ontwikkeling van het onderhoudsbaggerwerk	13
4.2	Stortlocaties voor het huidige onderhoudsbaggerwerk	14
4.3	Baggerhoeveelheden bij de Verdieping 48'/43'	14
5	Zandwinning	
5.1	Mogelijkheden voor zandwinning in de Westerschelde	17
5.1.1	Inleiding	17
5.1.2	Zandwinning door de overheden	17
5.1.3	Zandwinning voor de zandhandel	17
5.1.4	Het zandwinbeleid	18
5.2	Mogelijkheden voor zandwinning in de kustzone	18
6	Morfologische ontwikkelingen in het estuarium	
6.1	Algemeen	21
6.2	Ontwikkelingen in de zandbalans	21
6.2.1	Doel en berekening van een zandbalans	21
6.2.2	De periode 1955-1971/1972	22
6.2.3	De periode 1971/1972-1980	22
6.2.4	De periode 1980-1984/1985	22
6.3	Ontwikkelingen van het zandtransport	23
6.3.1	Het zandtransport volgens metingen en modelberekeningen	23
6.3.2	Het zandtransport volgens inhoudsberekeningen	24
6.3.3	Resumé	26
6.4	Morfologische veranderingen per dieptezone	27
6.4.1	Omvang van de veranderingen in inhoud en oppervlakte	27
6.4.2	Analyse van de oppervlakteveranderingen per dieptezone	28
6.4.3	Morfologische ontwikkelingen in het intergetijdegebied	29

7 Morfologische ontwikkelingen in de kustzone

7.1	De buitendelta van de Westerschelde	31
7.1.1	Natuurlijke ontwikkelingen	31
7.1.2	Ingrepen in de ontwikkeling	31
7.2	De kust	32
7.2.1	Algemeen	32
7.2.2	De kust van Zeeuws-Vlaanderen	33
7.2.3	De zuidwestkust van Walcheren	34

8 Ecologische gevolgen van ingrepen in de morfologie

8.1	Algemeen	37
8.2	Ingrepen in de ruimtelijke structuur	37
8.2.1	Inpolderingen	37
8.2.2	Onderhoudsbaggerwerk	38
8.3	Ecologische effecten van baggeren en storten	39
8.3.1	Inleiding	39
8.3.2	Directe effecten van baggeren en storten	39
8.3.3	Gevolgen van morfologische en hydrografische veranderingen	44
8.3.4	Samenvatting van de ecologische gevolgen	48

9 Storten en bergen van baggerspecie

9.1	Sleepzuigers en steekzuigers	49
9.2	Mogelijkheden voor storting	49
9.2.1	Mogelijkheden bij de huidige stortmethode	49
9.2.2	Mogelijkheden bij opvulling tot de laagwaterlijn	51
9.2.3	Mogelijkheden bij opvulling tot boven de hoogwaterlijn	53
9.3	Mogelijkheden bij de verplaatsing van specie oost-west	54
9.4	Mogelijkheden bij de onttrekking van specie	55
9.4.1	Veranderingen in het hydraulisch regiem	55
9.4.2	Veranderingen in de morfologie van het estuarium	56

10 Stort- en bergingsscenario's voor baggerspecie

10.1	Algemeen	57
10.2	Storten in de huidige situatie	57
10.3	Stort- en bergingsscenario's na een verdieping 48'/43'	58
10.3.1	Inleiding	58
10.3.2	Scenario 1, verplaatsing west van overtollige specie	58
10.3.3	Scenario 2, maximale zandwinning	60
10.3.4	Scenario 3a, berging tot laagwaterniveau	61
10.3.5	Scenario 3b, berging tot hoogwaterniveau of hoger	62
10.3.6	Combinaties van scenario's	63
10.3.7	Scenario-beoordeling op ecologische en economische gronden	63

11 Beleidsontwikkeling

11.1 Inleiding	65
11.2 Het Nederlandse waterbeleid	65
11.3 Internationale afspraken	66
11.4 Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde	66
11.4.1 Algemeen	66
11.4.2 Doelen	66
11.4.3 Voorwaarden	68
11.4.4 Maatregelen	69
11.5 Onderzoek	70
Geciteerde literatuur	71
Overzicht van figuren	73
Overzicht van tabellen	75
Overzicht van bijlagen	75
Colofon	76
Bijlagen en figuren	

1 SAMENVATTING

De Westerschelde is één van de laatste twee estuariene systemen in Nederland. Dergelijke systemen ontleen een eigen, ecologische waarde aan de geleidelijke overgang van zoet naar zout milieu en de morfologische structuur van geulen, platen, slikken en schorren. In het zeewaartse deel en het midden van het dwarsprofiel bevinden zich geëxponeerde, relatief-grofzandige geul- en plaatgebieden; in het landinwaartse deel en langs de randen bevinden zich rustiger, afgeschermdde slikken en schorren. In de Westerschelde is nog een meervoudig geulenstelsel aanwezig met eb- en vloedscharen. Op de overgangen tussen eb- en vloedscharen bevinden zich drempels. Van een natuurlijke, morfologische ontwikkeling van geul- en plaatgebieden is in het oostelijk deel van de Westerschelde sinds de vijftiger jaren echter geen sprake meer.

De oppervlakte aan slikken en schorren is in dit oostelijk deel sinds 1969 afgenomen, voornamelijk door erosie en inpoldering. In Saeftinge echter is de oppervlakte van de intergetijde- en ondiepwatergebieden afgenomen als gevolg van doorgaande sedimentatie.

In verband met de scheepvaart op Antwerpen worden de drempels in de Zeeschelde en het oostelijk deel van de Westerschelde sinds het begin van deze eeuw op diepte gehouden. Daarnaast zijn enkele malen verdiepingen uitgevoerd. Bij de laatste verdieping, in de jaren 1970-1975, werden de drempels in het oostelijk deel van de Westerschelde met 3 à 4 m verdiept. Hierdoor nam het onderhoudsbaggerwerk met een factor drie toe ten opzichte van de situatie in 1950 en bedraagt momenteel 10 à 12 miljoen m³ specie per jaar.

Het grootste deel van de specie wordt teruggestort in het estuarium, waarvoor een aantal stortlocaties aangewezen zijn. De meeste locaties liggen in vloedscharen.

Als gevolg van de verdiepingen zijn de getijverschillen toegenomen. Daarnaast hebben de speciéstortingen in vloedscharen bijgedragen aan veranderingen in de verdeling van de debieten over eb- en vloedgeulen. Dit heeft ertoe geleid dat een aantal geulen niet in evenwicht is met de hydraulische situatie: Van sommige geulen is het doorstroomprofiel te nauw in verhouding tot het maximale debiet, van andere geulen is het doorstroomprofiel te ruim. Als resultaat treden omvangrijke zandtransporten op. Van de gestorte specie komt ongeveer éénderde deel weer terecht in de hoofdgeul. Gegevens wijzen op een vloeddominant zandtransport in de jaren 1980-1985. In de geulen ter hoogte van Terneuzen treedt ontzanding op als gevolg van de verdieping in het oostelijk deel.

Na een eventuele verdere verdieping (48"/43") zal het onderhoudsbaggerwerk ongeveer 17,5 miljoen m³ per jaar bedragen. De stortcapaciteit in het oostelijk deel, zo'n 7 miljoen m³ per jaar, is nu al ontoereikend om de opgebaggerde specie te bergen. Verplaatsing van specie naar het middengebied is in strijd met het advies van de Raad van de Waterstaat aan de Minister. Er zal dan ook gezocht moeten worden naar alternatieven. Eén van de mogelijkheden die in deze nota worden aangegeven is berging tot laagwater in het geulen- en plaatgebied ten noorden van het Zuidergat.

In de Westerschelde wordt specie onttrokken voor de zandwinning. Aan concessiehouders zijn vergunningen verleend die een onttrekking van in totaal ongeveer 1,5 miljoen m³ per jaar mogelijk maken. Door de overheden werd in 1980 nog ongeveer 4,5 miljoen m³ onttrokken ten behoeve van werken. Sindsdien is de jaarlijkse hoeveelheid sterk afgenomen. Het zandwinbeleid in de Westerschelde is gebaseerd op het uitgangspunt dat niet meer zand uit het estuarium onttrokken mag worden dan vanuit de Noordzee wordt aangevoerd. De zandbalans vertoonde over het tijdvak 1971/72-1980 een negatief saldo; over de periode 1980-1984/85 werd een positief saldo berekend.

In dit rapport zijn de gebruiksfuncties scheepvaart en zandwinning nader beoordeeld in relatie tot de ecologische kwaliteit en ontwikkelingsmogelijkheden van het estuarium. De mogelijkheden voor het optimaliseren van de aanpassing van deze functies in het watersysteem zijn verkend. Cruciaal hierbij is de oplossing van het probleem van de onderhoudsbaggerspecie; met name in het oostelijk deel van de Westerschelde is de huidige situatie verre van ideaal. Oplossingen worden voorgesteld die resulteren in een vermindering van het onderhoudsbaggerwerk en waarbij tevens een gunstiger uitgangssituatie gecreëerd wordt voor het nevengebied van de vaargeulen.

2 INLEIDING

Deze nota is opgesteld ter onderbouwing van het beleid voor de Westerschelde, met betrekking tot de morfologische structuur en dynamiek. Dit beleid is verwoord in het integrale beleidsplan Westerschelde.

De Westerschelde en het Eems-Dollard estuarium vormen de laatste twee estuariene systemen in Nederland. Dergelijke systemen ontleen een eigen ecologische waarde aan een tweetal hoofdkarakteristieken: De geleidelijke overgang van zoet naar zout milieu en de structuur van geulen, platen, slikken en schorren. De platen en intergetijdegebieden zijn rijk aan bodemdieren, waardoor deze systemen een essentiële rol spelen als pleisterplaats voor overwinterende en doortrekkende vogels en als kinderkamer voor Garnalen, Tong en Schol. De hogergelegen brakwaterschorren zijn qua vegetatie afwijkend van de zoutwaterschorren, die ook langs de Waddenzeekust nog veelvuldig voorkomen. Het Land van Saeftinge is het grootste, aanééngesloten brakwaterschorgebied van West-Europa.

Een estuarium is een dynamisch milieu. De dagelijkse getijbeweging is een dynamiek die voor organismen voorspelbaar is; in gedrag en morfologie zijn ze ingesteld op de veranderingen die met deze dynamiek gepaard gaan. De geleidelijke veranderingen in geulpatronen, hoogteligging en sedimentsamenstelling, voltrekken zich op een geheel andere tijdschaal. Deze processen gaan gepaard met een geleidelijke verandering van levensgemeenschappen.

Door inpolderingen zijn in de afgelopen eeuwen herhaaldelijk stukken van schorren en slikken verdwenen, zowel in het Eems-Dollard estuarium als in de Westerschelde. In recentere jaren zijn in beide gebieden omvangrijke ingrepen uitgevoerd die de morfologische structuur en dynamiek van de geulen- en platenstelsels hebben veranderd. Het belang van de scheepvaart-functie vroeg een toenemende inzet van baggermaterieel. Van een natuurlijke ontwikkeling is in het oostelijk deel van de Westerschelde al zo'n 15 jaar geen sprake meer. Hier doet zich een negatieve ontwikkeling voor in Saeftinge en de intergetijdegebieden en geulen. De geplande verdere verdieping van de ebgeulen zal in deze situatie geen verbetering brengen.

In het eerste deel van deze nota worden de karakteristieken en ontwikkelingen van de Westerschelde beschreven. Aandacht wordt besteed aan de buitendelta en het kustgebied, omdat het estuarium daar onlosmakelijk mee verbonden is.

In de komende jaren is het beleid voor de Westerschelde erop gericht de negatieve beïnvloeding in het oostelijk deel zoveel mogelijk om te zetten in een verbetering van de ecologische waarde. In hoofdstuk 11 zijn de doelen geformuleerd. Van fundamenteel belang is de wijze waarop in de toekomst omgegaan zal worden met de opgebaggerde specie. Tot dusver werd deze specie zoveel mogelijk gestort op oostelijk gelegen locaties. In de hoofdstuk 9 worden mogelijkheden voor specieberging onderzocht, wat resulteert in een aantal scenario's (hoofdstuk 10). De keuze voor een scenario zal bepalen in hoeverre de doelen gerealiseerd kunnen worden.

Verantwoording van de rapportage

Deze nota maakt deel uit van een rapportage van onderzoek waarin de ecologische ontwikkeling van de Westerschelde wordt beschreven ter onderbouwing van het beleid voor dit estuarium. Om praktische redenen is de rapportage opgesplitst in vier deelnota's, getiteld :

- 1 Zuurstof- en nutriëntenhuishouding
- 2 Microverontreinigingen
- 3 Slibhuishouding en bodemkwaliteit
- 4 Morfologische structuur en dynamiek

Deze nota's zijn vervaardigd door de Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, een samenwerkingsverband tussen de Dienst Getijdewateren en de Directie Zeeland van de Rijkswaterstaat.

Samenstelling van de Werkgroep Waterbeheer Westerschelde

Directie Zeeland :	L. Bijlsma (voorzitter)
	W. Iedema
	J.P. Swart
Dienst Getijdewateren :	J. Coosen
	A.M.B. Holland
	T. Pieters (vanaf juni 1988)
	F. Steyaert (tot juni 1988)
	J. Stronkhorst
	T. Walhout (<i>secretaris</i>)
	C.J. van Westen

RDD Aquatic Ecosystems : R. Bijkerk (*redactionele ondersteuning*; vanaf augustus 1988)

3 BESCHRIJVING VAN DE HYDRAULISCHE SITUATIE

3.1 Het verticale getij

De getijbeweging in de Westerschelde wordt opgewekt door de getijbeweging op de Noordzee. De binnenkomende getijgolf wordt vervormd tijdens de voortplanting in het Westerscheldebekken, door de weerstand die zij van de bodem ondervindt. Daarnaast treedt opstuwing op als gevolg van de geometrische vorm van het bekken; hoe verder stroomopwaarts, hoe groter de opstuwing. Deze processen leiden tot een toename van het getijverschil van Vlissingen naar Antwerpen. Het gemiddelde getijverschil te Vlissingen bedraagt 3,82 m, dat te Antwerpen 4,90 m.

3.1.1 Hoog- en laagwaterstanden

De gemiddelde hoog- en laagwaterstanden variëren in de tijd. In de Westerschelde is deze variatie gedeeltelijk van natuurlijke aard en gedeeltelijk een effect van de uitgevoerde verdiepingswerken.

De natuurlijke schommelingen zijn het gevolg van de cyclus van de maandeclinatie, met een duur van gemiddeld 18,6 jaar. In de loop van deze cyclus varieert het gemiddelde getijverschil te Vlissingen met 14 cm. Een geleidelijke toename van de gemiddelde waterhoogten wordt veroorzaakt door de relatieve stijging van het zeeniveau, die gemiddeld 22 cm per eeuw bedraagt. Door de voortgaande verdieping van de drempels in de Zeeschelde (op Belgisch grondgebied) is er te Antwerpen al langere tijd sprake van een toename van het getijverschil. Pas in de laatste tien jaar is het getijverschil óók in het oostelijk deel van de Westerschelde tot aan Hansweert, sterk toegenomen [2]. Sinds 1970 zijn de drempels in dit deel met 3 à 4 m verdiept. De bescheiden verdieping die vóór 1970 in het oostelijk deel was uitgevoerd (tot ca. 1 m), had nauwelijks invloed op het getij.

De toename van het getijverschil door verdieping

De invloed op de waterstand uit zich vooral in een sterke verlaging van de laagwaters. Dit wordt duidelijk wanneer de ontwikkeling van de waterhoogten te Antwerpen en Bath vergeleken wordt met die te Vlissingen. In figuur 1 zijn de waterhoogten over de periode 1900-1980 uitgezet ten opzichte van de trendlijn van het getijmeetstation Vlissingen. Hierdoor kan de invloed van de gemiddelde zeespiegelrijzing geëlimineerd worden.

De gemiddelde hoogwaterstand neemt op alle drie de punten gelijkmatig toe in deze periode. De ontwikkeling van de laagwaterstand vertoont duidelijke verschillen tussen de locaties. Bij Vlissingen en Bath is sprake van een verhoging van de laagwaters. Bij Antwerpen echter, neemt de gemiddelde laagwaterstand over de hele periode gestaag af. Dit resulteert in een sterke toename van het getijverschil ter plaatse; met name in de periode 1970-1980 is deze toename zeer sterk.

In tabel 1 zijn de veranderingen gekwantificeerd, op basis van de slotgemiddelden en de tienjaarlijkse gemiddelden. Geconcludeerd kan worden dat de verdiepingswerken geleid hebben tot een verlaging van de laagwaters te

Antwerpen en Bath met ruim 1,5 dm over de periode 1970-1980. De gemiddelde hoogwaterstand nam in deze periode met enkele centimeters toe.

TABEL 1 *Verandering in de gemiddelde standen van hoog- en laagwater.*

Meetstation	Stand	Periode	Verhoging (cm)	Verlaging (cm)
Vlissingen	hoogwater	1900-1980	33	
	laagwater	1900-1980	19	
Bath	hoogwater	1900-1980	44	
	laagwater	1900-1970	14	
		1970-1980		16
Antwerpen	hoogwater	1910-1980	42	
	laagwater	1910-1970		6
		1970-1980		17

3.1.2 Grenspeil

In de Westerschelde treden de laatste jaren vaker stormvloeden op dan vroeger. De oorzaak moet gezocht worden in de relatieve zeespiegelrijzing in combinatie met de toename van het getijverschil. Deze ontwikkeling is aanleiding geweest het oude grenspeil te herzien. Met het grenspeil wordt de waterstand bedoeld die gemiddeld 0,5 keer per jaar wordt overschreden. Het oude grenspeil te Vlissingen dateerde uit 1938 en bedroeg NAP + 3,27 m. In 1984 is dit peil vastgesteld op NAP + 3,40 m. Voor Bath is het grenspeil met 25 cm verhoogd tot NAP + 4,30 m.

Overigens blijkt uit onderzoek dat de sluiting van de Oosterscheldekering een verwaarloosbare invloed heeft op de waterstanden in de Schelde en Westerschelde [8].

3.1.3 Vloed- en ebduur

In de Westerschelde is de vloedduur korter dan de ebduur. De vloedduur neemt van Vlissingen tot Antwerpen af van 5 uur 55 min tot 5 uur 20 min. De ebduur daarentegen, neemt van Vlissingen tot Antwerpen toe van 6 uur 30 min tot 7 uur 7 min. Het verschil tussen vloed- en ebduur bedraagt dus ca. 30 min te Vlissingen en loopt op tot 1 uur 50 min te Antwerpen.

Dit betekent dat vanaf de mond stroomopwaarts gaande, het vloeddebiet in een steeds kortere tijd door een dwarsdoorsnede stroomt. Voor het ebdebiet neemt de tijd hiervoor juist toe.

3.2 Het horizontale getij

Het Westerschelde-estuarium is een relatief kort bekken. Het gevolg is dat het horizontale getij in grote lijnen gekarakteriseerd wordt door kombergings. Door de geringe afwijking van het ideale kombergingsverval vallen de stroomkenteringen niet precies samen met de tijdstippen van hoog- en laagwater; de kenteringen vallen ca. 1 uur na hoog- en laagwater.

Figuur 2 toont dat het vloedvolume slechts weinig lager is dan de kombergings. Hierdoor zal het horizontale getij in de Westerschelde zich voornamelijk gedragen als een vullings- en ledigingsstroom.

3.2.1 Getijvolumes en debieten

Naast een toename van de debieten is er in de laatste decennia een belangrijke verandering opgetreden in de verdeling van de debieten over eb- en vloedgeulen. De grootste veranderingen zijn opgetreden in de debietraaien Zuidergat - Schaar van Waarde (raai 5) en Middelgat - Gat van Ossensisse (raai 6); in figuur 8 zijn de debietraaien ingetekend. De vraag is of verdere veranderingen verwacht mogen worden. Inzicht hierin kan verkregen worden uit een analyse van de diverse getijkarakteristieken en de grootte van het doorstroomprofiel. Tussen het maximale debiet ($Q_{\max}$) en het doorstroomprofiel (A_c) bestaat een nauwe evenwichtsrelatie, die voor een willekeurige geul beschreven wordt door een rechte lijn (zie figuur 3 en 5) [12]. Verstoring van een evenwichtsituatie, door verdieping of speciëstorting, leidt tot een afwijking van deze rechte lijn. Morfologische processen zullen vervolgens tot een nieuw evenwicht kunnen leiden. Op veel plaatsen in de Westerschelde bestaat het doorstroomprofiel uit een eb- en een vloedgeul. In dit geval treedt een wisselwerking op tussen beide geulen.

Zuidergat - Schaar van Waarde (debietraai 5)

Omstreeks 1955 is het baggerwerk op de drempel van Hansweert (zie figuur 11) aanzienlijk toegenomen. De hierbij opgebaggerde specie is gestort in de Schaar van Waarde, waardoor sinds 1957 het doorstroomprofiel van deze vloodschaar kleiner is geworden. Als gevolg hiervan zijn de eb- en vloedvolumes in de Schaar van Waarde afgenomen, terwijl de getijvolumes in het Zuidergat, de ebgeul, zijn toegenomen (figuur 4). In de periode 1964-1970 heeft deze tendens zich voortgezet, hoewel de omvang van de speciëstortingen in deze jaren kleiner is geweest.

Na 1970 is de drempel bij Hansweert ongeveer 3 m verdiept, wat gepaard is gegaan met omvangrijke speciëstortingen in de Schaar van Waarde (tot $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar). Hierdoor zijn de getijvolumes in deze geul verder afgenomen. Deze verdieping heeft bovendien geleid tot een verlaging van de weerstand tijdens de ebfase. In het Zuidergat doet zich dan ook een sterke stijging voor van het ebvolume.

In de periode 1975-1980 zijn de stortingen teruggebracht tot 1 à $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar, waardoor het profiel van de Schaar van Waarde enigszins toeneemt. Ook de getijvolumes stijgen in geringe mate. Debietmetingen uitgevoerd in de periode 1970-1981, gaven aan dat het doorstroomprofiel in de Schaar van Waarde te klein was ten opzichte van het maximum

debiet (figuur 3). Uit de laatste debietmeting, in 1988, blijkt echter dat door verruiming het doorstroomprofiel momenteel te groot is in verhouding tot het maximum debiet. Ook in het Zuidergat is het profiel te ruim ten opzichte van het maximale debiet. Dit betekent dat beide geulen niet in evenwicht zijn met de hydraulische situatie. Zonder ingrijpen zullen zowel het Zuidergat als de Schaar van Waarde in deze situatie aanzanden.

Middelgat - Gat van Ossenis (debietraai 6)

Uit debietmetingen en lodingen blijkt dat de waterverdeling over het Middelgat (ebgeul) en het Gat van Ossenis (vloedschaar) sinds de jaren dertig belangrijk is gewijzigd (figuur 5). Het Middelgat vertoont een afname van de getijvolumes die gepaard gaat met verondieping, terwijl het Gat van Ossenis een toename van de getijvolumes laat zien waarbij verruiming van de geul optreedt (figuur 6). Als gevolg hiervan treedt een voortgaande ontwikkeling van de uitloop van het Gat van Ossenis op. In samenhang hiermee is de drempel van Baarland achteruitgegaan.

De drempel van Baarland vormde de overgang tussen het Middelgat en het Gat van Ossenis. Ondanks een voortdurende baggerinspanning op deze drempel en de baggerspeciëstoringen in de westelijk gelegen Ebschaar van de Everingen (om het debiet over de drempel van Baarland te stimuleren), kon deze drempel als verbinding tussen beide geulen niet in stand gehouden worden. Omstreeks 1970 was de ontwikkeling van het Gat van Ossenis in de richting van de Overloop van Hansweert zo ver gevorderd, dat een doorbraak geforceerd kon worden met een geringe baggerinspanning.

Sinds 1977 worden op de drempel van Baarland geen baggerwerken meer uitgevoerd. De diepteligging van deze drempel hangt overigens nauw samen met de ontwikkeling van de oostelijke uitloop van de Everingen; door deze ontwikkeling wordt een groter deel van de vloedstroom gericht op het Gat van Ossenis.

Uit de debietmeting van 1983 blijkt dat de eb- en vloedvolumes in het Gat van Ossenis in de periode 1978-1983 niet verder zijn toegenomen. Verder blijkt dat het doorstroomprofiel nog te klein is in verhouding tot het maximale debiet (figuur 5). Dit betekent dat het Gat van Ossenis de neiging heeft verder te verruimen. Het Middelgat echter, benadert volgens de debietmeting uit 1988, een evenwichtssituatie. Op korte termijn zijn voor deze geul geen grote veranderingen in de hydraulische situatie te verwachten.

3.2.2 Stroomsnelheden

De optredende stroomsnelheden zijn bepalend voor het zandtransport en de ligging van het geulensysteem in het estuarium. Wanneer een geul niet in evenwicht verkeert zal een netto zandtransport optreden in de eb- of de vloedrichting. Gezocht is naar een "kengetal" voor de stroomsnelheid waarmee aangegeven zou kunnen worden of een geul in evenwicht verkeert of niet. Een dergelijke evenwichtsstroomsnelheid is berekend uit het quotiënt van het maximum eb- of vloeddebiet en de oppervlakte van het doorstroomprofiel, waarbij gebruik is gemaakt van de evenwichtsrelatie tussen beide. De berekening is uitgevoerd in bijlage 1.

Voor de vloedgeulen in de Westerschelde is de evenwichtsstroomsnelheid bepaald op 1,05 m/s. Wanneer een onnauwkeurigheid van 10% verondersteld wordt, zullen de boven- en ondergrens respectievelijk 1,15 en 0,95 m/s bedragen. Voor de ebgeulen zijn deze grenzen respectievelijk 1,05 en 0,85 m/s.

Het meerjarig verloop van de maximale stroomsnelheden in de diverse eb- en vloedgeulen van de Westerschelde, berekend uit de verhouding tussen maximaal debiet en doorstroomprofiel, is weergegeven in figuur 7. Vrijwel steeds is de maximale snelheid van de vloedstroom hoger dan van de ebstroom; dat geldt zowel voor de vloedscharen als de ebgeulen. Van de ebgeulen heeft de Pas van Terneuzen de hoogste maximale ebstroom; deze ligt iets boven de evenwichtsstroomsnelheid. Voor de geulen die genoemd werden in paragraaf 3.2.1 geldt het volgende :

Schaar van Waarde

Door de afname van het doorstroomprofiel (door speciéstortingen) is in deze vloedschaar de laatste jaren een sterke toename van de maximale vloedstroom opgetreden, zodat de evenwichtsstroomsnelheid ruim overschreden wordt. De ebstroomsnelheden daarentegen liggen ver onder deze waarde. Dit betekent dat in de Schaar van Waarde een vloedtransport van zand resulteert.

Zuidergat

Door verruiming van het doorstroomprofiel (door baggerwerken) is in het westelijk deel van deze ebgeul al geruime tijd sprake van een afname van zowel de eb- als de vloedstroomsnelheden. Dit betekent dat de omstandigheden hier gunstig zijn voor een netto sedimentatie. In het oostelijk deel is de maximale ebstroomsnelheid sinds 1963 toegenomen, als gevolg van een toename van het maximale ebdebiet; omstreeks 1980 liggen de eb- en vloedstroomsnelheden op eenzelfde niveau.

Middelgat

In deze ebgeul liggen de maximale snelheden van zowel de eb- als de vloedstroom beneden de evenwichtsstroomsnelheid. Hier is door sedimentatie de laatste jaren het doorstroomprofiel afgenomen.

Gat van Ossenisse

Door het toegenomen getijvolume zijn de maximale stroomsnelheden in deze vloedgeul toegenomen. De vloedstroomsnelheden overschrijden sinds 1972 de evenwichtswaarde, maar vertonen de laatste jaren weer een afname. In de huidige situatie is nog steeds een vloedtransport van zand aanwezig.

Verloop van de maximale stroomsnelheid in de Westerschelde

Figuur 8 toont het verloop van de maximale stroomsnelheden langs de lengte-as van de Westerschelde, in vier perioden na 1930. Ook uit deze figuur blijkt dat de vloedmaxima in het bekken hoger zijn dan de ebmaxima. In het gebied oostwaarts van de Pas van Terneuzen is de maximale snelheid van de vloedstroom sinds 1975 hoger dan in de jaren ervoor.

3.3 Rivieraafvoer

3.3.1 De afvoer ter hoogte van Schaar van Ouden Doel

Op grond van de herkomst van het afgevoerde water moeten de Schelde en haar bijrivieren tot de zogenaamde regenrivieren gerekend worden. De oppervlakte van het afwateringsgebied bedraagt ongeveer 1.900.000 ha.

Sinds 1947 verrichten de Antwerpse Zeediensten metingen om de afvoer van de Schelde te bepalen. Figuur 9 geeft het jaargemiddelde debiet ter hoogte van Schelle over de periode 1950-1987. De gehanteerde berekeningsmethodiek [1] is in dit tijdvak vrijwel gelijk gebleven. Wel zijn werken uitgevoerd die verdere wijzigingen van het rivierregiem teweeg hebben gebracht, zoals de dijkwerken in de Kleine Nete in 1986, maar deze hebben niet geleid tot veranderingen in de afvoer.

De jaarafvoer te Schelle, gemiddeld over het tijdvak 1950-1987, bedraagt $3.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. De laagste afvoer, $1.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, werd gemeten in 1976, de hoogste, $6.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, in 1966. De periode 1980-1987 wordt gekenmerkt door relatief-hoge debieten (tabel 2). Deze kunnen toegeschreven worden aan het eveneens relatief-hoge neerslagoverschot.

Ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel overschrijdt de Zeeschelde de grens met Nederland. Vanaf dat punt wordt de rivier over het algemeen Westerschelde genoemd. Deze grensovergang heeft geen directe betekenis voor het estuarium, maar is van essentieel belang door verschillen in beleid die tussen België en Nederland met betrekking tot oppervlaktewater bestaan.

De afvoer te Schaar van Ouden Doel wordt als volgt berekend uit de gemeten afvoer te Schelle. Tot en met 1987 verhoogden zijdelingse belastingen op het traject Schelle-Schaar van Ouden Doel de afvoer met gemiddeld 12%. Hierin zijn de waterverliezen in het sluizensysteem van het Albertkanaal begrepen, waardoor ongeveer $8 \text{ m}^3/\text{s}$ aan Maaswater wordt afgevoerd naar het Scheldebekken. De afvoer te Schaar van Ouden Doel is dan ook berekend door die te Schelle met een factor 1,12 te vermenigvuldigen (tabel 2). Sinds medio 1988 wordt uit het Zoommeer gemiddeld ongeveer $6 \text{ m}^3/\text{s}$ zoetwater (Rijnwater) op de Schelde gebracht, via het systeem Kreekraksluizen-Antwerps Havenbekken-Zandvlietssluisen. Hierdoor kan deze factor toenemen tot maximaal 1,32.

TABEL 2 De afvoer van de Schelde te Schelle en Schaar van Ouden Doel, in de periode 1980 - 1987.

Locatie	Jaargemiddelde afvoer in m^3/s							
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Schelle	120	141	111	107	131	107	113	149
Schaar van Ouden Doel	134	158	124	120	147	120	127	167

Bron: Antwerpse Zeediensten.

3.3.2 Verhouding tussen rivierafvoer en getijdebiet

Het totale watervolume dat in een gemiddelde vloedperiode de diverse debietraaien passeert, is slechts weinig minder dan de totale inhoud tussen hoog- en laagwater (de komberging) van het gebied ten oosten van deze raaien (figuur 2). Het gemiddelde vloedvolume bij Vlissingen bedraagt ca. $1100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De rivierafvoer van de Schelde bedraagt per getij gemiddeld $4,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ($2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per getij in de droogste maand, $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per getij in de natste maand). Dit is 0,4 % van het getijdebiet ter hoogte van Vlissingen.

4 BAGGERWERKZAAMHEDEN

4.1 De ontwikkeling van het onderhoudsbaggerwerk

Voor zover bekend dateren de eerste baggerwerken op de drempel van Bath uit 1905. Het doel was zandwinning. Sinds 1925 is sprake van een jaarlijks programma voor onderhoudsbaggerwerk, opgesteld door de Belgische overheid. In het oostelijk deel van de Westerschelde wordt baggerwerk uitgevoerd op de drempels van Zandvliet, Bath, Valkenisse en Hansweert. Van tijd tot tijd wordt ook langs de rand van de Plaat van Walsoorden enig onderhoudsbaggerwerk verricht. Op de drempels van Baarland en Borsselle, in het westelijk deel van de Westerschelde, wordt sinds respectievelijk 1969 en 1972 gebaggerd.

De gewenste diepteligging van de drempels is in de loop der jaren aangepast aan de toenemende diepgang van de scheepvaart op Antwerpen. Met deze verdiepingen is het onderhoudsbaggerwerk toegenomen.

De toename van het onderhoudsbaggerwerk

Figuur 10 toont de toename van het onderhoudsbaggerwerk in de periode 1950 tot 1983. In de jaren 1950-1960 bedroeg het onderhoudsbaggerwerk op de drempels in de Zeeschelde en Westerschelde gemiddeld $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar. In de periode 1960-1970 nam dit onderhoudsbaggerwerk toe tot $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar. In de jaren 1970-1975 werden de drempels in het oostelijk deel van de Westerschelde met ca. 3 à 4 m verdiept. Hierdoor steeg het onderhoudsbaggerwerk in eerste instantie tot ruim $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar.

De verdieping van een drempel leidt tot een netto zandtransport van de aangrenzende geulgedeelten naar de verdiepte drempel. Hierdoor zal het onderhoudsbaggerwerk toenemen totdat een nieuw evenwicht is ontstaan tussen drempelligging, geulligging en getijdebieten. De benodigde tijd voor het bereiken van een nieuwe evenwichtssituatie kan globaal gesteld worden op vijf jaar. Dit betekent dat omstreeks 1980 in deze geulen van een hernieuwde evenwichtssituatie gesproken kan worden. Momenteel bedraagt het jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk 10 à $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Storting en onttrekking van baggerspecie

Het grootste deel van de gebaggerde specie wordt teruggestort in het estuarium op diverse stortlocaties. Relatief geringe hoeveelheden specie zijn aan het systeem onttrokken.

In de jaren 1939-1971 en 1972-1980 heeft België respectievelijk ca. $19 \cdot 10^6$ en $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie voor terreinophoging onttrokken aan de Westerschelde. Sinds 1980 is door België maximaal $0,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ voor dit doel gewonnen. Nederland heeft in de periode 1972-1980 ca. $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ aan het rivierbed onttrokken voor dijkversterkingen rond de Westerschelde en voor de zandhandel.

4.2 Stortlocaties voor het huidige onderhoudsbaggerwerk

Voor het storten van de onderhoudsbaggerspecie zijn stortlocaties aangewezen, die zo dicht mogelijk bij de te baggeren drempels liggen. De locaties bevinden zich in vloedscharen en in sommige gevallen langs uitschurende oevers. Figuur 11 toont de ligging van de huidige stortlocaties. Figuur 12 geeft een overzicht van de gestorte hoeveelheden op de locaties in de oostelijke Westerschelde.

Slechts een deel van de gestorte specie blijft op de locaties liggen; de rest verspreidt zich over een groter gebied. Op locaties in de vloedscharen overheerst het vloedtransport, op locaties langs uitschurende oevers het ebtransport. Door deze transporten wordt specie verplaatst in de richting van nabij gelegen platen of geulen. Deze verspreiding neemt enige tijd in beslag zodat de stortlocaties niet onbeperkt benut kunnen worden. Uit de stortstatistieken blijkt dan ook dat het gebruik van de locaties van jaar tot jaar verschilt.

Het gebruik van de stortlocaties is in principe gekoppeld aan de baggerlocaties. De keuze wordt bepaald door de meest-economische vervoersafstand binnen de technische mogelijkheden van het moment. In sommige gevallen zal de specie verder dan gebruikelijk verplaatst moeten worden. Op grond van hun oorspronkelijke diepteligging zijn de stortlocaties in het algemeen toegankelijk voor de grote sleepzuigers die voor het onderhoudsbaggerwerk in de Westerschelde worden ingezet.

Ontwikkeling van de stortcapaciteit

In het oostelijk deel van de Westerschelde is de stortcapaciteit de laatste jaren afgenomen, door de sterke toename van het onderhoudsbaggerwerk. Met name de meest-oostelijk gelegen locaties, Appelzak en Zimmermangeul, zijn sterk in diepteligging afgenomen en nog slechts in beperkte mate bruikbaar. De gemiddelde diepteligging van de Appelzak bedraagt thans NAP - 5,0 à 7,5 m. De locatie in de Zimmermangeul is door de aanwezige drempel op NAP - 4,0 m niet meer bereikbaar voor het stortmaterieel.

De huidige capaciteit van de stortlocaties in de oostelijke Westerschelde (de locaties 1 t/m 8 in figuur 11) is geschat op $7 \cdot 10^6$ m³ per jaar. Het onderhoudsbaggerwerk op de drempels in dit gebied bedraagt momenteel gemiddeld $9 \cdot 10^6$ m³ per jaar (inclusief de drempel van Zandvliet). Dit betekent dat een deel van de specie van de drempel van Hansweert en de Overloop van Hansweert, gestort moet worden op westelijker gelegen locaties: De ebschaar naar de Everingen en de linker geulrand van het Gat van Ossensisse. Het gaat hierbij om gemiddeld $2 \cdot 10^6$ m³ per jaar.

4.3 Baggerhoeveelheden bij de Verdieping 48'/43'

België wil de drempels in de Westerschelde verder verdiepen met ruim 1,5 m. Hierdoor kan de haven van Antwerpen bereikbaar worden voor schepen met een diepgang van 48' bij de opvaart en 43' bij de afvaart. Realisatie van deze verdieping zal leiden tot een verdere, sterke toename van de

baggerwerkzaamheden in de Westerschelde. In tabel 3 zijn de berekende hoeveelheden samengevat. De cijfers van het huidige onderhoudsbaggerwerk zijn gebaseerd op gemiddelden van de laatste jaren; de hoeveelheden tengevolge van verdieping zijn ontleend aan [24]. Wanneer wordt uitgegaan van de huidige diepteligging van de drempels zullen deze laatste hoeveelheden iets lager uitvallen. Bij de berekening van de jaarlijkse volumes is er vanuit gegaan dat de verdieping in één jaar gerealiseerd wordt. Voorts is verondersteld dat het in dat jaar uitgevoerde onderhoudsbaggerwerk, het gemiddelde is van het onderhoud vóór en na de verdieping.

TABEL 3 *Schatting van de baggerhoeveelheden vóór, tijdens en na de Verdieping 48'/43'.*

Drempels	Baggerspecie (beuninhoud) in 10 ⁶ m ³ /jaar			
	onderhoud	initiële verdieping	specieaanbod verdiepingsjaar	onderhoud na verdieping
Zandvliet (België)	1,1	1,1	2,3	1,4
Oostelijke W Schelde ¹⁾	8,1	7,1	17,6	12,9
Westelijke W Schelde	1,5	11,6	13,7	3,2
Totaal	10,7	19,8	33,6	17,5

1) De grens tussen oost en west is gelegd bij Hansweert.

Het zal duidelijk zijn dat de stortcapaciteit in het oostelijk deel van de Westerschelde ontoereikend zal zijn om de opgebaggerde specie te bergen. Dit wordt nog eens geïllustreerd in figuur 13. Gesteld is dat de specie die vrijkomt bij de verdieping geborgen zal kunnen worden in het westelijk deel [24]. Dit is in strijd met het advies van de Raad van de Waterstaat aan de Minister, waarin de verplaatsing van verontreinigde specie van oost naar west onaanvaardbaar geacht wordt. Wanneer wordt vastgehouden aan storten zullen alternatieve stortlocaties gezocht moeten worden. In hoofdstuk 9 wordt hierop teruggekomen.

5 ZANDWINNING

5.1 Mogelijkheden voor zandwinning in de Westerschelde

5.1.1 Inleiding

In de Westerschelde wordt al sinds het begin van deze eeuw specie onttrokken ten behoeve van de zandwinning. Op commerciële basis gebeurt dit door concessiehouders. In de periode 1956-1980 is de gebaggerde hoeveelheid specie voor de zandhandel toegenomen van 130.000 tot 1.500.000 m³ per jaar (beuninhoud). Daarnaast wordt zand gewonnen voor de uitvoering van werken, door de Nederlandse en Belgische overheid. In het tijdvak 1955-1980 is deze hoeveelheid toegenomen van 750.000 tot zo'n 4.500.000 m³ specie per jaar. Op basis van de recente ontwikkelingen in de Westerschelde worden de mogelijkheden voor toekomstige onttrekkingen aangegeven.

5.1.2 Zandwinning door de overheden

Figuur 14 geeft het verloop sinds 1955 van de hoeveelheid specie die jaarlijks door de Belgische en Nederlandse overheid onttrokken is. Het zand is gebruikt voor dijkversterking en terreinophoging.

België bezat tot 1985 een vergunning om 2.500.000 m³ specie per jaar te winnen. De negatieve zandbalans, die over de periode 1971-1980 geconstateerd werd, was aanleiding om de toegestane hoeveelheid terug te brengen tot 1.000.000 m³ per jaar. Sinds 1980 echter, onttrekt België slechts zeer geringe hoeveelheden specie aan het rivierbed: 0-200.000 m³.

Door Nederland is in de loop der jaren gemiddeld 1.000.000 à 4.500.000 m³ specie per jaar onttrokken. Ook deze onttrekkingen zullen in de toekomst sterk in omvang teruglopen, omdat vrijwel alle werken rond de Westerschelde gerealiseerd zijn. Alleen voor dijkversterkingen zal in 1989 nog ongeveer 1.000.000 m³ specie aan de Westerschelde onttrokken worden.

5.1.3 Zandwinning voor de zandhandel

Aan concessiehouders zijn vergunningen verleend, die een onttrekking van totaal ongeveer 1.500.000 m³ specie mogelijk maken. De zandwinning voor de zandhandel vindt uitsluitend plaats in een vijftal plaatgebieden (figuur 15). In deze gebieden treedt periodieke aanzanding op door natuurlijk zandtransport in het estuarium. Hierdoor hebben de platen de neiging op te schuiven in de richting van de vaargeul. Het onderhoudsbaggerwerk dat hieruit voortvloeit, is door de zandwinning op een aantal locaties nagenoeg overbodig geworden.

Voor de winvakken in de plaatgebieden is een maximale baggerdiepte vastgesteld, die ligt tussen GLWS -5 en -10 m. Aantasting van hogergelegen plaatgebieden dient hiermee voorkomen te worden. In verband met de afnemende onttrekkingen door de overheid zal het huidige zandwinbeleid worden bijgesteld, wat consequenties heeft voor de vergunningverlening aan concessiehouders. In de volgende paragraaf wordt dit beleid toegelicht.

5.1.4 Het zandwinbeleid

Het zandwinbeleid in de Westerschelde is gebaseerd op het uitgangspunt dat niet méér zand uit het estuarium verwijderd mag worden dan vanuit de Noordzee wordt aangevoerd. De gedachte hierachter is dat een inhoudstoename als gevolg van zandonttrekking door natuurlijke processen versterkt kan worden. Hierdoor zou de Westerschelde als geheel een eroderend bekken worden, wat als een ongewenste ontwikkeling beschouwd wordt.

Om de inhoudstoename ten gevolge van de zeespiegelrijzing (2,5 mm/jaar) te compenseren is een netto zandimport nodig van 600.000 m³/jaar. Een surplus aan gesedimenteerd zand komt in aanmerking voor zandwinning. Opgemerkt moet worden dat met name in perioden van verdieping (met veel specie-onttrekking) de berekende, natuurlijke zandimport of -export slechts een klein deel uitmaakt van de totale specie-onttrekking. Vooral wanneer de inhoudsberekeningen betrekking hebben op relatief-korte perioden zal de onnauwkeurigheid van de berekende netto import of export groot zijn (zie hoofdstuk 6).

Voor de periode 1955-1971/72 is een natuurlijke, netto zandimport van ca. 2.000.000 m³/jaar berekend. Voor de periode 1971/72-1980 (tijdens en na de verdieping) is een natuurlijke zandexport van 600.000 m³/jaar berekend. In verband hiermee is in de afgelopen jaren een voorzichtig zandwinbeleid gehanteerd.

De concessiehouders hebben in de afgelopen jaren aanvragen ingediend voor de onttrekking van extra hoeveelheden specie. Deze aanvragen zijn op bovenbeschreven gronden niet gehonoreerd.

De laatste inhoudsberekeningen over de periode 1980-1984/85 geven aan dat er weer sprake is van een netto import van 600.000 m³ per jaar. (figuur 16). Omdat de onttrekkingen door de Belgische en Nederlandse overheid ook in de toekomst gereduceerd zullen zijn, is er in principe ruimte om de toegestane hoeveelheid voor vergunninghouders te verruimen. Onder de huidige condities zal de totaal te onttrekken hoeveelheid echter niet mogen toenemen. Dit betekent dat de verruiming voor concessiehouders in samenhang met de vergunningverlening aan België moet worden beoordeeld. Door het uitvoeren van de Verdieping 48'/43' zal vermoedelijk een grotere hoeveelheid zand aan het systeem onttrokken kunnen worden. Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 9.5.

5.2 Mogelijkheden voor zandwinning in de kustzone

Voor de versterking van waterkeringen in het mondingsgebied van de Westerschelde is in de toekomst een toenemende hoeveelheid zand nodig. Onderzocht wordt of de bestaande zandwinlocaties in dit gebied uitgebreid kunnen worden. Dit onderzoek kan alleen in de zomermaanden verricht worden, zodat het onderzoeksprogramma over meerdere jaren gespreid is.

De ligging van de bestaande en potentiële zandwinlocaties is aangegeven in figuur 17. In tabel 4 zijn de tot dusver gewonnen hoeveelheden samengevat.

In totaal zullen jaarlijks enkele miljoenen m³ nodig zijn voor kustverdediging en oeversuppletie. Tabel 5 geeft de hoeveelheden die op dit moment bekend zijn.

TABEL 4 *Overzicht van zandwinning in het mondingsgebied.*

Tijdvak	Zandwinlocatie	Hoeveelheid 10 ⁶ m ³
1974-1977	Sardijngeul	1,2
1980	Sluische Hompels	0,7
1983-1986	Sardijngeul	1,0
1986	Bankje van Zoutelande	1,6
1986	Inloop Oostergat	0,3
1987-1988	Sluische Hompels	1,2

TABEL 5 *Zandhoeveelheden nodig voor kustverdediging en suppletie in het mondingsgebied, uitgesplitst naar locatie.*

Tijdvak	Locatie	Hoeveelheid 10 ⁶ m ³ /jaar	Hoeveelheid 10 ⁶ m ³ /5 jaar
1986	Domburg	0,3	
1987/1988	Nieuwersluis/Breskens-Cadzand	1,2	2,0
1987/1988	Cadzand	1,3	
1988	Zoutelande-Westkapelle	0,3	0,16
1989	Domburg	0,2	0,13
1989/1990	Noorderstrand	0,45	
1990	Oranjezon-Westhove	0,2	
1990	Cadzand (Zwartepolder)	0,5	

Het streven is om het benodigde zand zo dicht mogelijk bij de uit te voeren werken te winnen. Voor de werken langs de Zeeuwsch-Vlaamse kust zal het zand gewonnen worden op de Sluische Hompels, langs de rechter oever van de Wielingen. De kustvakken langs Schouwen en Walcheren zullen in de toekomst verdedigd worden met zand afkomstig van nabijgelegen wingebieden. Verder zullen nieuwe wingebieden aangeboord moeten worden in verband met de toenemende zandbehoefte.

De keuze voor zandwinlocaties wordt gebaseerd op technische, milieukundige en ecologische aspecten. Uit boorkerngegevens blijkt slechts een beperkt aantal locaties geschikt voor de winning van grof zand (fractie > 300 µm). Dit betekent dat het zand uit het mondingsgebied zoveel mogelijk gereserveerd moet worden voor de verdediging van de Zeeuwse kust. Op grond van deze schaarste aan grof zand moet overwogen worden om het bruikbare zand dat vrijkomt bij de eventuele verdieping van de Wielingen (48'/43'), te gebruiken voor strandsuppletie en/of suppletie van de onderzeese oevers langs de Zeeuwsch-Vlaamse kust. Bij deze verdieping is een hoeveelheid van ongeveer 38.000.000 m³ bruikbaar zand te winnen.

Onderzocht wordt de mogelijkheid om zand te winnen langs de begrenzing van de diepere Noordzee. Hierbij wordt met name gedacht aan het gebied ter hoogte van het Steendiep. Een probleem in dit gebied vormen de diverse kabels, die de zandwinning kunnen bemoeilijken.

Onttrekking van zand aan een eroderend gebied als de monding van de Westerschelde is morfologisch niet verantwoord. Omdat het zand door de overheid voornamelijk gebruikt wordt voor het uitvoeren van suppleties, blijft het gewonnen materiaal echter grotendeels in het kustgebied.

Onttrekking voor de zandhandel is op bovenstaande gronden niet mogelijk in het mondingsgebied.

6 MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN IN HET ESTUARIUM

6.1 Algemeen

Door de verdieping van de drempels en de toename van het onderhoudsbaggerwerk, is de hydraulische situatie in de Westerschelde gewijzigd. Van een aantal belangrijke geulen is het evenwicht tussen doorstroomprofiel en maximum debiet verstoord (zie hoofdstuk 3). Als gevolg daarvan is de natuurlijke uitwisseling van zand tussen verschillende gebieden in het estuarium veranderd. Deze wijzigingen en de onttrekking voor de zandwinning zijn van invloed op de zandbalans en de morfologie van de Westerschelde. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de veranderingen in de zandbalans en de zandtransporten in de afgelopen twee à drie decennia. Vervolgens worden de resulterende oppervlakteveranderingen per gebiedsdeel beschreven.

De genoemde processen kunnen over een langere termijn geanalyseerd worden aan de hand van de inhoudsveranderingen van het bekken. Voor de bepaling hiervan wordt de Westerschelde onderverdeeld in een aantal vakken (figuur 16 en 20); de westelijke begrenzing van het modelgebied wordt gevormd door de lijn Vlissingen-Breskens, de oostelijke valt min of meer samen met de Nederlands-Belgische grens. De inhoud van een bekken kan slechts met beperkte nauwkeurigheid bepaald worden. Om veranderingen vast te kunnen stellen zal de periode tussen de opnametijdstippen lang moeten zijn, of zal, bij een beschouwing van kortere perioden, het aantal waarnemingen voldoende groot moeten zijn om een trendanalyse te kunnen uitvoeren met behulp van daartoe ontwikkelde computerprogramma's.

6.2 Ontwikkelingen in de zandbalans

6.2.1 Doel en berekening van een zandbalans

De zandbalans van een systeem toont het resultaat van de natuurlijke zandtransporten naar binnen en naar buiten. Deze balans wordt berekend uit de inhoudsverandering van het bekken tussen twee opnametijdstippen en moet voor de Westerschelde verminderd worden met het saldo van de gebaggerde en de gestorte hoeveelheden specie. Deze laatste gegevens worden ontleend aan de bagger- en stortstatistieken. De gebaggerde specie bestaat hoofdzakelijk uit zand.

Voor een bepaling van de inhoudsveranderingen wordt de Westerschelde sinds 1955 onderverdeeld in negen modelvakken (figuur 16). De inhoudsbepalingen worden uitgevoerd volgens de zogenaamde raaienmethode. Hierbij wordt de inhoud van een vak bepaald uit het diepteverloop langs meetraaien en de afstand tussen deze raaien. De hoogteveranderingen van de boven NAP gelegen oevergedeelten zijn niet in de berekeningen betrokken.

Een positieve uitkomst van de zandbalans wijst op een netto import van zand vanuit de Noordzee. Dit komt tot uiting in een inhoudsvermindering van het bekken, tenzij de sedimentatie gecompenseerd wordt door een

baggeroverschot. Een negatieve balans betekent een netto export van zand naar de Noordzee (het grensoverschrijdend transport in de richting van België is verhoudingsgewijs klein). Deze erosie uit zich in een inhoudsvergroting, tenzij er sprake is van een minstens zo groot stortoverschot.

Voor de Westerschelde zijn over een aantal perioden inhoudsberekeningen uitgevoerd [15, 16]. De perioden die hier worden beschreven zijn de tijdvakken 1955-1971/72, 1971/72-1980 en 1980-1984/85. Over het tijdvak 1878-1931 was de zandbalans negatief, over de periode 1931-1952 was zij positief, wat betekent dat een periode van erosie gevolgd werd door een periode met een natuurlijke netto sedimentatie.

6.2.2 De periode 1955-1971/72

Ook de zandbalans over het tijdvak 1955-1971/72 is positief (figuur 16) en toont een natuurlijk importoverschot van ruim $35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie. Op jaarbasis trad een sedimentatie op van gemiddeld $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Voor werken werd in dit tijdvak bijna $27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie aan het estuarium onttrokken, zodat de inhoudsverkleining van het bekken beperkt bleef tot ca. $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Berekeningen geven aan dat er sprake was van een zandimport ter hoogte van Vlissingen, ter grootte van $2,5$ à $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar [15]. Verder werd $0,75$ à $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand per jaar over de grens richting België getransporteerd [26]. Sinds de aanleg van de leidam op de Ballastplaat, in de jaren 1968-1971, is dit grensoverschrijdend transport nog nauwelijks van betekenis.

6.2.3 De periode 1971/72-1980

In de jaren 1970-1975 werden de drempels in de Westerschelde ca. 3 à 4 m verdiept, ten behoeve van de toegenomen diepgang van de scheepvaart. Het onderhoudsbaggerwerk nam hierdoor toe tot 12 à $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Over de gehele periode 1971/72-1980 werd ruim $120 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie gebaggerd, waarvan het grootste deel, ca. $89 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, weer in het estuarium teruggestort werd. Uit lodingen blijkt dat de inhoud van het bekken over dit tijdvak toenam met bijna $37 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, waarvan ruim $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ toegeschreven kan worden aan zandonttrekking ten behoeve van werken en handel (figuur 16). Dit betekent dat er in deze periode een extra inhoudstoename van $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ plaatsvond.

De oorzaak hiervan kan niet met zekerheid worden aangegeven; een netto zandexport naar de Noordzee is een mogelijke verklaring, maar onnauwkeurigheden bij de inhoudsbepalingen of bij de vaststelling van de specie-onttrekkingen kunnen niet worden uitgesloten.

Voorzichtigheidshalve werd besloten om op grond van deze zandbalans de zandwinning in de eerstkomende jaren zoveel mogelijk te beperken.

6.2.4 De periode 1980-1984/85

Uit de inhoudsberekening over het tijdvak 1980-1984/1985 blijkt sprake te zijn van een inhoudstoename ter grootte van ca. $2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (figuur 16). Ruim $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie werd in deze jaren aan het bekken onttrokken, zodat een netto import van ruim $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ verondersteld moet worden.

6.3 Ontwikkelingen van het zandtransport

De opstelling van een zandbalans geeft inzicht in de globale zandhuishouding van het estuarium, maar niet in de zanduitwisseling tussen de verschillende geulvakken. Kennis van deze zandtransporten is nodig om de bodemveranderingen in deze vakken te kunnen begrijpen en berekenen. De zanduitwisseling kan bepaald worden door gedetailleerde zandtransportmetingen, of berekend met behulp van mathematische modellen.

6.3.1 Het zandtransport volgens metingen en modelberekeningen

In de afgelopen jaren zijn een aantal zandtransportmetingen uitgevoerd, die vergeleken zijn met de uitkomsten van verschillende ééndimensionale modellen. De metingen weken sterk af van de computerberekeningen, die bovendien verschillen vertoonden tussen de modellen onderling. Dit was aanleiding om in 1985 opnieuw een onderzoek te laten uitvoeren door het Waterloopkundig Laboratorium in Delft. In het kader van dit project NAUWES is de mate van nauwkeurigheid onderzocht, waarmee bodemveranderingen in een geulvak voorspeld kunnen worden met behulp van een mathematisch model [19]. Uit dit onderzoek blijkt de hoeveelheid zand die gedurende één getijfase (eb of vloed) de grens van een geulvak passeert, afgeschat te kunnen worden met een onnauwkeurigheid van 100%.

Zandtransport en bodemverandering in het Zuidergat

Voor het geulvak van het Zuidergat is het getij-geïntegreerd zandtransport bepaald via transportmetingen. Tevens is dit transport berekend met behulp van zandtransportformules (Morra-Kalinske). De resultaten van beide benaderingen liggen in dezelfde ordegrootte (tabel 6).

TABEL 6 *Berekende en gemeten zandtransporten voor het geulvak Zuidergat.*

Jaar	Methode	Getijfase	Totale transporten (10 ⁶ m ³ /jaar)		Netto transport (10 ⁶ m ³ /jaar)	
			In	Uit	In	Uit
1977	berekening	vloed	5,59	3,33		
		eb	3,19	5,50		0,05
1978	berekening	vloed	10,69	6,34		
		eb	6,38	11,09		0,36
1981	berekening	vloed	3,60	2,14		
		eb	2,06	3,57		0,05
1981	meting	vloed	2,58	1,43		
		eb	1,61	2,91		0,15

Per eb-vloedcyclus bedraagt de berekende netto zandexport uit het Zuidergat $0,1 \cdot 10^6$ kg, met een afwijking van $12,6 \cdot 10^6$ kg. Dit resulteert in een jaarlijkse verdieping van $0,3 \pm 35$ cm. Op basis van lodingen is in dit vak een erosie vastgesteld van 20 à 30 cm/jaar, over de periode 1971-1980. Geconcludeerd is dat de voorspellende waarde van een zandtransportmodel voor de Westerschelde op dit moment nihil is [19]. Met een toename van de kennis kunnen in de toekomst wellicht betrouwbaarder modellen ontwikkeld worden. Uit tabel 6 blijkt dat het in- en uitgaande zandtransport in de orde ligt van 1 tot $10 \cdot 10^6$ m³ per jaar. Per getij wordt 2.000 tot 20.000 m³ over de vakgrenzen verplaatst.

Zandtransport op andere locaties

Ook voor een aantal andere geulen zijn zandtransporten bepaald, waarbij gebruik is gemaakt van zowel zandtransportformules als metingen van zandgehalten in het water [19]. De absolute transporten tonen grote verschillen tussen de diverse locaties, die gedeeltelijk inherent zullen zijn aan de berekeningsmethoden. Wel kan de verhouding van de eb- en vloedtransporten tussen de locaties vergeleken worden :

Gat van Ossenis	Vloedtransport is tien maal groter dan het ebtransport;
Pas van Terneuzen	Ebtransport is vier maal groter dan het vloedtransport;
Schaar van Waarde	Vloedtransport is tien maal groter dan het ebtransport;
Vaarw. boven Bath	Ebtransport is gelijk aan tot twee maal zo groot als het vloedtransport;
Zuidergat	Het eb- en vloedtransport zijn ongeveer gelijk.

In de vloedscharen is het vloedtransport steeds vele malen hoger dan het ebtransport. De ebgeulen daarentegen vertonen een ebtransport dat in het algemeen slechts weinig hoger is dan het vloedtransport.

6.3.2 Het zandtransport volgens inhoudsberekeningen

Uit de berekende inhoudsveranderingen per modelvak, aangevuld met de specieverplaatsingen door baggerwerkzaamheden, kunnen de zandtransporten per geul- en plaatsysteem over een langere periode worden bepaald. Per modelvak is een sluitende balans gemaakt voor de perioden 1971/1972-1980 en 1980-1984/85. In de figuren 18 en 19 is door pijltjes op de vakgrenzen de grootte en richting van de netto zandtransporten aangegeven. De verdeling van het transport over eb- en vloedgeulen in eenzelfde vak is niet exact af te leiden. Daarom moeten de resttransporten door dergelijke geulen met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Periode 1971/1972-1980

De beschrijving is alleen gemaakt voor het oostelijk deel, waar in de jaren 1970-1975 de drempels met 3 à 4 m verdiept worden. Bij deze verdieping worden grote hoeveelheden specie verplaatst: Het baggerwerk op de drempels omvat ca. $120 \cdot 10^6$ m³, het storten ca. $89 \cdot 10^6$ m³ en er

wordt ca. $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie voor zandwinning onttrokken. Door deze specieverplaatsingen ondergaan de drempels, de aangrenzende geulgedeelten, de stortlocaties en de plaatgebieden grote diepteveranderingen.

Uit figuur 18 kan het volgende worden afgeleid :

In de Overloop van Valkenisse (B) en het Nauw van Bath (A) (drempels) treedt door specieverplaatsing en onttrekking in de geulen een inhoudstoename op. De netto specieverplaatsing naar elders is ongeveer twee maal zo groot als de inhoudstoename.

De Schaar van de Noord (C) (stortlocatie) vertoont een inhoudsafname. Deze afname bedraagt ca. $2/3$ van het volume van de speciestortingen in het gebied. Blijkbaar komt $1/3$ deel van de specie uiteindelijk weer in de hoofdgeul terecht.

Het Zuidergat (D) ter hoogte van Konijneschor (stortlocatie) ondergaat een inhoudstoename, ondanks de storting van specie afkomstig van bovenstrooms gelegen drempels. De gestorte specie wordt blijkbaar volledig naar aangrenzende geulvakken getransporteerd.

Op de drempel van Hansweert (G) treedt door specieverplaatsing een inhoudstoename op. De netto specieverplaatsing is ongeveer twee maal zo groot als de inhoudstoename.

In de Schaar van Waarde (E) (stortlocatie) gaan de speciestortingen gepaard met een inhoudsafname. Deze inhoudsafname kan geschat worden op $1/3$ van de totale hoeveelheid gestorte specie, wat betekent dat $2/3$ deel uit deze geul verdwijnt. Hiervan komt $1/3$ deel uiteindelijk terecht op de Platen van Valkenisse (F), terwijl $1/3$ getransporteerd wordt naar de hoofdgeul.

Het Gat van Ossensisse en de Overloop van Hansweert (H) vertonen een inhoudstoename, ondanks het storten van specie in deze geulen.

Het Middelgat (I) vertoont een sterke inhoudsafname, die ongeveer even groot is als de som van de speciestortingen in en de inhoudstoename van het Gat van Ossensisse en de Overloop van Hansweert. In paragraaf 3.2.1 is al vastgesteld dat er tussen het doorstroomprofiel van beide geulen een duidelijk verband bestaat.

Over de dwarsraaien ter hoogte van Baarland (I-I) en Hansweert-Perkpolder (II-II) treedt slechts een gering netto transport op van west naar oost.

Periode 1980-1984/85

In de meeste geulvakken zet de inhoudsverandering uit de voorgaande periode zich door. Alleen in het Vaarwater boven Bath, het Nauw van Bath en de Overloop van Valkenisse doet zich een tegengestelde ontwikkeling voor. Voor het oostelijk en westelijk deel van de Westerschelde kan uit figuur 19 het volgende worden afgeleid :

In het Vaarwater boven Bath (A) en het Nauw van Bath (B) is in deze periode sprake van een geringe inhoudsafname. Oorzaak is de afname van

het onderhoudsbaggerwerk op de drempels van Bath en Zandvliet. Ook in de Overloop van Valkenisse (C) en op de gelijknamige drempel treedt nu een geringe inhoudsafname op, terwijl het onderhoudsbaggerwerk nagenoeg constant blijft.

In het Zuidergat (D) ter hoogte van het Konijneschor wordt in deze jaren bijna evenveel specie gestort als in de gehele periode 1971/72-1980. In dit geulvak doet zich echter geen inhoudsverandering meer voor. Verruiming wordt blijkbaar door de stortingen gecompenseerd, terwijl het surplus aan specie uit het gebied getransporteerd wordt.

Op de drempel van Hansweert (F) blijft de omvang van het onderhoudsbaggerwerk vrijwel constant. De inhoudstoename zet zich voort en bedraagt nu 1/3 deel van het volume van de opgebaggerde specie.

In de Schaar van Waarde (E) wordt aanzienlijk minder specie gestort dan in de voorgaande periode, door de afname van het onderhoudsbaggerwerk. Toch blijft er in deze geul en op de Platen van Valkenisse sprake van een inhoudsafname. Het zandtransport van de stortlocatie naar de platen blijft doorgaan.

Van het Gat van Ossenis en de Overloop van Hansweert (G) blijft de inhoud toenemen.

Van het Middelgat (H) blijft de inhoud afnemen. De inhoudsvermindering is in dit tijdvak ongeveer twee keer zo groot als het volume van de hier gestorte specie. Het zand dat wordt aangevoerd kan in het Middelgat sedimenteren, omdat het debiet en daarmee de stroomsnelheden in deze geul, in de laatste decennia zijn afgenomen (zie paragraaf 3.2).

Het zandtransport vanuit het westelijk naar het oostelijk deel van het bekken neemt sterk toe. In het westelijk deel is in de jaren 1980-1984/85 sprake van een inhoudstoename in de Pas van Terneuzen (I) en de Everingen (J). Deze toename gaat gepaard met een verhoging van het oostwaartse zandtransport door de dwarsraai van Baarland. Verder treedt in de omgeving van de Schaar van Spijkerplaat en de Honte (K) een sterke inhoudstoename op. Vooral de Schaar van de Spijkerplaat ontwikkelt zich in recente jaren sterk. Het westelijk deel van de Honte en het gebied tussen Vlissingen en Breskens vertonen echter een inhoudsafname. Een groot deel van het zandtransport vanuit de kustzone sedimenteert in dit gebied.

6.3.3 Resumé

De ontwikkelingen over de tijdvakken 1971/72-1980 en 1980-1984/85 kunnen als volgt worden samengevat. In het oostelijk deel van de Westerschelde wordt na de verdiepingsperiode 1970-1975 een dynamisch evenwicht bereikt tussen drempels en geulen. Deze situatie wordt gekenmerkt door een vrijwel constante inhoud van de verschillende geulenstelsels. De inhoudsveranderingen die optreden in de periode 1971/72-1980 kunnen verklaard worden uit de baggeractiviteiten, specieverplaatsingen en zandonttrekkingen binnen dit oostelijke deel. Van een netto oostwaarts transport van zand door de dwarsraaien Baarland en Hansweert-Perkpolder is in deze periode nauwelijks sprake.

In de jaren 1980-1984/85 wordt er wel een aanzienlijk netto transport van west naar oost geconstateerd. In de geulen ter hoogte van Terneuzen (Everingen, Pas van Terneuzen) treedt ontzanding op. Deze geulen passen zich aan, aan de nieuwe diepteligging van de oostelijke geulen. Door de verdieping in het oostelijk deel nemen de vloedstroomsnelheden in de Everingen en de Pas van Terneuzen toe en overschrijden de kritische waarden waarboven erosie optreedt. Deze geulen verruimen en het overgrote deel van het zand wordt afgezet in het Middelgat. Daarnaast treedt in deze jaren een groot netto zandtransport op vanuit het gebied Gat van Ossenisse/Overloop van Hansweert naar het oostelijk deel van de Westerschelde.

6.4 Morfologische veranderingen per dieptezone

6.4.1 Omvang van de veranderingen in inhoud en oppervlakte

De zandbalans over de periode 1971/72-1980 toont een inhoudstoename van de Westerschelde (paragraaf 6.1.3). Uit de inhoudsveranderingen van de hierbij gebruikte modelvakken kan niet worden afgeleid op welke diepteniveau's een netto erosie optreedt. Deze informatie kan wel worden ontleend aan de inhoudsberekeningen die uitgevoerd zijn voor de debietraaivakken [7]. Figuur 20 toont de vakindeling van de Westerschelde volgens deze debietraaien. Voor deze vijf vakken laat figuur 21 de ontwikkeling zien van de oppervlakte per dieptezone, over de periode 1969-1981.

In tabel 7 zijn de inhoudsveranderingen samengevat voor de diep- en onderwatergebieden (de zones beneden het gemiddelde laagwaterniveau GLW) en de intergetijdegebieden (de zones tussen GLW en het gemiddelde hoogwaterniveau GHW). Uit deze tabel blijkt dat in vier van de vijf vakken de inhoud onder de laagwaterlijn is toegenomen. Alleen in het vak ter hoogte van Terneuzen is in deze periode sprake van een inhoudsafname. In alle vakken treedt een verondieping van het intergetijdegebied op. Deze verondieping is het sterkst in het oostelijk deel van de Westerschelde (de vakken 4 en 5).

TABEL 7 *Veranderingen in de inhoud van het intergetijdegebied en de daaronder gelegen gebieden, in de periode 1969-1981.*

Gebiedsbegrenzing	Inhoudsverandering in 10 ⁶ m ³						
	per debietraaivak					totaal	per jaar
	1	2	3	4 ¹⁾	5		
Intergetijdegebied	+1	+5	+2	+9	+7	+25	+2,1
Onderwatergebied	-10	+11	-5	-31	-9	-43	-3,6

+ = Inhoudsafname (verondieping)

- = Inhoudstoename (verdieping)

1) Inclusief het Land van Saeftinge

6.4.2 Analyse van de oppervlakteveranderingen per dieptezône

Met behulp van de dieptelijskaarten van 1963 en 1985 kunnen de morfologische veranderingen per dieptezône in de laatste twee decennia, nader beschreven en verklaard worden. De aangegeven diepten in meter zijn ten opzichte van NAP.

Vak 1 (Vlissingen - Ellewoutsdijk)

- < - -12 m Oppervlakte-toename, veroorzaakt door verdieping van de Schaar van Spijkerplaat.

Vak 1 (Vlissingen - Ellewoutsdijk) vervolg

- 12 - -4 m Oppervlakte-afname, als gevolg van de verdieping van de Schaar van Spijkerplaat en de verondieping van de vloed-schaar in het noordoostelijk deel van de Hooge Platen.
- 0 - +2 m Oppervlakte-toename, door de ophoging van het midden- en oostelijk deel van de Hooge Platen.
- +2 - > m Oppervlakte-afname, door havenaanleg in het Sloegebied.

Vak 2 (Terneuzen - Baarland)

- < - -15 m Oppervlakte-afname, door de verondieping van de Everingen.
- 15 - -5 m Oppervlakte-toename, als gevolg van de verondieping van de Everingen en de verdieping van het Straatje van Willem.
- 5 - 0 m Oppervlakte-afname, voornamelijk veroorzaakt door erosie langs de noordkant van het oostelijk deel van de Middelplaten, als gevolg van de verdieping van het Straatje van Willem. De toenemende hoogteligging van de Middelplaten en Lage Springer speelt een bescheiden rol.
- 0 - +2 m Oppervlakte-toename door ophoging van Middelplaten en Lage Springer.

Vak 3 (Ossensisse - Hansweert)

- < - -15 m Oppervlakte-toename, als gevolg van de verruiming van het Gat van Ossensisse.
- 15 - -10 m Oppervlakte-afname, door de verdieping van het Gat van Ossensisse en daarnaast door de verondieping van de zuidwestelijke uitloop van het Middelgat (Pas van Baarland).
- 10 - -5 m Oppervlakte-toename, door de verondieping van de Pas van Baarland.
- 5 - -1 m Oppervlakte-afname, door de verzanding van de vloed-scharen tussen de Rug van Baarland, de Brouwersplaat en de Molenplaat, door de uitbouw van deze beide platen en door de ophoging van de Plaat van Ossensisse.
- 1 - +2 m Oppervlakte-toename, als bijkomend gevolg van de verzanding van bovengenoemde vloed-scharen en de uitbouw en ophoging van genoemde platen.

Vak 4 (Waarde - Saeftinge)

< - -15 m	Oppervlakte-toename, veroorzaakt door de verdieping van het Zuidergat.
-15 - -10 m	Oppervlakte-afname door de verruiming van het Zuidergat en de verondieping van de Schaar van Waarde.
-10 - -5 m	Oppervlakte-toename, als bijkomend gevolg van de verondieping van de Schaar van Waarde.
-5 - -1 m	Oppervlakte-afname, door de uitbouw en sterke ophoging van de Platen van Valkenisse.
-1 - +2 m	Oppervlakte-toename, door deze ontwikkeling van de Platen van Valkenisse.

Vak 5 (Bath - Ouden Doel)

De oppervlaktetoename beneden NAP -15 m en de oppervlakte-afname boven NAP -15 m zijn het gevolg van de verdieping van het Nauw van Bath en het Vaarwater boven Bath. De oppervlakte-afname in de intergetijdezône is grotendeels het resultaat van de inpoldering van het schor van Ossendrecht.

6.4.3 Morfologische ontwikkelingen in het intergetijdegebied

De natuurlijke ontwikkeling van de platen in de Westerschelde wordt de laatste jaren sterk door de mens beïnvloed. Met name in het oostelijk deel zijn de effecten van de toegenomen onderhoudsbagger- en stortwerkzaamheden zichtbaar. De uitbouw van platen wordt gestimuleerd door speciéstortingen in de naaste omgeving. De zandwinning zal een negatieve invloed hebben op de ontwikkeling van sommige platen, ofschoon deze winning plaatsvindt op diepten beneden GLLWS -5 à -7,5 m. Een deel van de zandonttrekking wordt uitgevoerd om de vaargeul in stand te houden.

De Rijkswaterstaat Directie Zeeland heeft een inventarisatie gemaakt van de ontwikkeling van de platen sinds 1955 [23]. Figuur 22 toont de oppervlaktevveranderingen van de plaatgebieden en hun ligging in de Westerschelde.

Platen in het westelijk deel

In het westelijk deel van de Westerschelde ontwikkelen de platen zich nog grotendeels op natuurlijke wijze. Bij enkele platen, zoals de Suikerplaat, wordt deze ontwikkeling geremd door de zandwinning, die hier een rol speelt bij de instandhouding van de scheepvaartgeul.

De plaatgebieden in dit deel tenderen naar een gelijkblijvende tot licht-afnemende oppervlakte in de zône tussen NAP -5,0 en -2,5 m (figuur 22). Een uitzondering vormt de Middelpaat-Oost, waar een sterke afname plaatsvindt van de oppervlakte beneden NAP -2,5 m. Deze afname is het gevolg van de voortgaande ontwikkeling van het Straatje van Willem langs de noordzijde van deze plaat.

De plaatgedeelten boven NAP vertonen echter in alle gevallen een toename sinds de vijftiger jaren.

Platen in het oostelijk deel

Van een natuurlijke plaatontwikkeling kan in het oostelijk deel al enige tijd nauwelijks meer worden gesproken. Sinds 1950 zijn tal van kunstmatige ingrepen uitgevoerd en de specieverplaatsingen door baggerwerkzaamheden sterk in omvang toegenomen.

Door de aanleg van de leidam op de Ballastplaat (1968-1971) is de omvang van deze plaat volledig vastgelegd en van weinig betekenis meer.

De ontwikkeling van de Plaat van Saeftinge wordt sterk bepaald door de speciéstortingen in de Schaar van de Noord. Van het plaatgebied boven NAP -5 m is de oppervlakte sinds de vijftiger jaren gehalveerd (figuur 22).

De Platen van Walscoorden en Valkenisse vormen het belangrijkste platengebied in dit deel van de Westerschelde. De uitbreiding ervan gaat in eerste instantie gepaard met de aanzanding van de in dit gebied gelegen Schaar van Valkenisse. Door de toename van de baggerwerkzaamheden op de drempels nemen de speciéstortingen in de Schaar van Waarde vanaf 1970 sterk toe. Het doorstroomprofiel van deze vloedschaar wordt hierdoor verkleind wat leidt tot een stijging van de stroomsnelheden in de vloedfase. Door deze vloedtransporten wordt een belangrijk deel van de specie naar dit platengebied verplaatst. Als resultaat is de oppervlakte van het boven NAP gelegen gedeelte sinds 1970 met een factor drie toegenomen (figuur 22).

7 MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN IN DE KUSTZONE

7.1 De buitendelta van de Westerschelde

7.1.1 Natuurlijke ontwikkelingen

Uit hydrografische kaarten van het mondingsgebied van de Westerschelde, blijkt dat de noordwestelijke rand van de buitendelta in de periode 1800-1962 aan erosie onderhevig was [9]. Weliswaar verondiepten de Deurloo en de Vlake van de Raan, maar de geulen Wielingen en Oostgat namen in betekenis toe (figuur 23). In de periode 1869-1931 verdiepten deze gaten zich van tijd tot tijd meer dan twee meter [25]. De verruiming van de Wielingen ging gepaard met een verkleining van een aantal langgerekte banken, de Sluische Hompels, de Bol van Knokke, de Bol van Heist en de Paardenmarkt en het verdwijnen van het Bankje van Cadzand.

Men zou verwachten dat deze ontwikkeling van de Wielingen tot een toename van het getijdebiet heeft geleidt. Uit metingen is dit echter niet gebleken. Aangenomen wordt dat de bijdrage van het Oostgat in de totale in- en uitstroming groter is geworden. Mogelijk is hier nog sprake van een aanpassingsproces, dat nait op de veranderingen in het getij van de Westerschelde in de 18^e eeuw of daarvoor. Door de aanwezigheid van kleilagen in de bodem van de Wielingen zal een aanpassing traag kunnen verlopen. Uit boringen blijkt dat kleilagen uit het Tertiair nog veel voorkomen langs de noordelijke flank van de Wielingen, op een diepte van NAP -9 tot -12 m.

De verzanding van de Deurloo en de verdieping van de Wielingen zijn processen die lang vóór 1800 lijken te zijn begonnen. Uit 17^e eeuwse zeekaarten blijkt dat beide geulen in deze tijd ongeveer even diep waren. In de middeleeuwen waren op de plaats van de huidige Wielingen een aantal eilanden aanwezig. De voornaamste ebstroom uit het zeegat zal langs de noordzijde van de Droogte van Schooneveld hebben gelopen [13], hoogstwaarschijnlijk via een ebgeul waaruit zich de latere Deurloo ontwikkelde. In de loop der tijd zijn de eb- en vloedstromen steeds meer geconcentreerd langs de zuidelijke flank van de buitendelta, waarbij de kust van Zeeuws-Vlaanderen sterk aan erosie onderhevig werd [14]. In het zeegat draaide de as van de stroomrichting van WNW-OZO naar WZW-ONO, wat binnengaats heeft geleid tot sterke verdiepingen langs de rede van Vlissingen en een aanzienlijke uitbreiding van de Hooie Platen.

7.1.2 Ingrepen in de ontwikkeling

In de jaren na 1965 heeft België omvangrijke baggerwerken uitgevoerd om de vaargeulen in het Scheur en de Pas van het Zand te verdiepen en te onderhouden. Ook voor de uitbreiding en instandhouding van de haven van Zeebrugge zijn grote hoeveelheden specie verplaatst. Ten noorden van de Wielingen is zand gewonnen, voor omvangrijke strandsuppleties ten oosten van Zeebrugge in de jaren 1977-1979.

Voor de periode 1970-1984 geeft figuur 24 een overzicht van de gebaggerde en gestorte hoeveelheden per locatie. Bij lodingen blijken alle locaties als gebieden van verdieping of verondieping teruggevonden te kunnen worden. De morfologische ontwikkelingen in het Scheur en omgeving kunnen volledig toegeschreven worden aan deze kunstmatige sedimenttransporten.

De verdieping van het Scheur zelf stimuleert het natuurlijk proces van verruiming en verdieping in de Wielingen. Hierdoor wordt de ebstroom steeds meer in deze geul geconcentreerd. In samenhang met deze ontwikkeling draait de as van de Deurloo verder naar het noorden, waardoor de uitloop van deze geul voor de kop van Walcheren dicht langs het Oostgat komt te liggen (figuur 23). Het zand dat door de ebstroom via de Deurloo wordt meegevoerd, lijkt nu over een smalle drempel te worden gevoerd om te sedimenteren langs de westflank van het Oostgat. Dit is vermoedelijk de reden dat het Oostgat steeds dichter langs de kop van Walcheren komt te liggen. Door de voortgaande verzanding en de noordwaartse verdraaiing van de Deurloo breidt de Raan zich sterk in noordwaartse richting uit. Bij de opneming van 1978 vormden de Raan en de Rassen een aanéénge sloten ondiepte.

7.2 De kust

7.2.1 Algemeen

De Westerschelde maakt deel uit van het Deltagebied, waar de morfologie van de niet-afgesloten zeegaten gedomineerd wordt door het getij. Tijdens vloed worden de estuaria gevuld. Het water wordt als het ware een trechter ingezogen, waarbij de stroomsnelheid toeneemt. Hierdoor kan het water van meerdere zijden toestromen en ontstaan relatief-ondiepe vloedscharen langs de zijkanalen van de trechter. Bij de uitstroming van het estuarium tijdens eb, komt de waterstroom in een zich verbredend bekken. In zo'n situatie heeft de stroom de neiging als een straal rechtdoor te lopen en worden diepe, oost-west lopende ebgeulen gevormd. Met het meegevoerde sediment is in de loop van de eeuwen de Voordelta opgebouwd.

Kortsluitgeulen en brekerbanken

Als gevolg van de aardrotatie trekt de getijgolf de Noordzee rond: Van noord naar zuid langs de Engelse kust en van zuid naar noord langs de Belgische en Nederlandse kust. Dit leidt tot faseverschillen tussen de getijbewegingen in de opéénvolgende estuaria: Westerschelde, Oosterschelde en voorheen Grevelingen en Haringvliet. De hierdoor optredende vervallen hebben kortsluitgeulen doen ontstaan langs de koppen van de eilanden. Door de aanwezigheid van getijgeulen, met vrij steile oevers dicht onder de kust, komen brekerbanken nauwelijks voor op de vooroevers in het Deltagebied.

Erosie van de eilandkoppen

Terwijl door de ebstroom bodemmateriaal zeewaarts getransporteerd wordt, voeren de vloedstroom en de brandingsstroom sediment mee het zeegat in. De brandingsstroom transporteert zand langs de flanken van de eilandkoppen. Door het transportmechanisme van golven wordt zand getransporteerd over ondiepe plaatgebieden. Beide processen hebben een negatieve invloed op de stabiliteit van de eilandkoppen.

Door het zandtransport over de platen groeien deze in het algemeen aan de oostzijde aan. De getijstroom heeft hierdoor de neiging zich oostwaarts te verplaatsen, waardoor de stroming tegen de eilanden aangedrukt wordt. Mede door de invloed van de brandingsstroom kan als gevolg een aanzienlijke kustachteruitgang optreden. De aanwezigheid van stroomresistente lagen in de ondergrond kan deze erosie nog tegenspel bieden.

Zandgolven

De kustontwikkeling in het Deltagebied wordt tevens sterk beïnvloed door de zich verplaatsende sedimentatie- en erosiezones, die langs de kust naar voren komen als lopende golven met een periode van ruim een eeuw. Het ontstaan van deze zogenaamde zandgolven is nog niet duidelijk. Mogelijk bestaat er verband met astronomische cycli.

7.2.2 De kust van Zeeuws-Vlaanderen

Langs de Zeeuws-Vlaamse kust, in het mondingsgebied van de Westerschelde, zijn diverse polders verloren gegaan, mede als gevolg van de verruiming van de Wielingen in de afgelopen eeuwen. De verloren strijd komt tot uiting in de onregelmatige kustlijn met diverse dijkrestanten in de vorm van nollen. Zandaanvoer vanaf de Belgische kust en opwaaiend materiaal van het verloren gegane land, hebben de kust steeds meer het aanzien gegeven van een duinkust, met hier en daar ondergestoven dijken.

Het kustgedeelte tussen Nieuwesluis en Breskens ligt dicht langs de diepe geul de Wielingen. Bij Nieuwesluis kan niet van een zandkust worden gesproken. De stranden voor de zeedijk zijn zeer laag en de vooroever is plaatselijk bezonken. Hier zijn in het verleden meerdere malen oevervallen opgetreden.

In de omgeving van Cadzand ligt de diepe getijgeul op enkele kilometers uit de kust. Lange tijd is de kustontwikkeling hier beïnvloed door het nevengeultje de Appelzak.

Ontwikkeling van de kustgedeelten

Het gehele kustgedeelte tussen Breskens en Cadzand is verdedigd door middel van paalhoofden, met doorgaans tot grote diepte reikende, bestorte of bezonken koppen. De voornaamste functie van deze hoofden is het uit de oever houden van de getijstroom. De hoofden op het strand reduceren tevens het resttransport van de brandingsstroom in noordoostelijke richting. Als aanvullende maatregel ter verbetering van de stranden zijn zandsuppleties uitgevoerd. In 1971 is het strand bij Breskens opgehoogd met 206.000 m³

zand, afkomstig uit de verruimde veerhaven; in 1988 is op het strand en de vooroever bij Cadzand 940.000 m³ zand gespoten.

Het kustgedeelte tussen Breskens en Nieuwesluis heeft zich in de afgelopen honderd jaar vrij gunstig ontwikkeld. Alleen bij Nieuwesluis zijn diverse oevervallen opgetreden. Over grote lengten is sprake van een vrij stabiele kustligging. Slechts hier en daar vindt een lichte, doorgaande achteruitgang plaats van ongeveer 0,35 m per jaar.

Het kustgedeelte tussen Nieuwesluis en Cadzand vertoont echter grote fluctuaties. Door zandgolven (paragraaf 7.2.1) zijn afwisselend perioden van kusterosie en kustaanwas opgetreden. Hierbij heeft de kustlijn zich soms meer dan 150 m verplaatst (gemeten bij laagwater).

Daarnaast is in de afgelopen honderd jaar sprake geweest van een lichte, doorgaande achteruitgang. In het kustgedeelte tussen Nieuwesluis en de Geïnundeerde Zwartepolder bedraagt de achteruitgang per jaar ongeveer 0,2 m. Westelijk van de Geïnundeerde Zwartepolder varieert de doorgaande kustregressie tussen 0,5 en 0,8 m per jaar.

Het kustgedeelte tussen Zwartepolder en Cadzand is momenteel het sterkst aan erosie door zandgolven onderhevig. De kusterosie kan aan de duinvoet oplopen tot ca. 2,5 m per jaar, op de vooroever tot ca. 6 m per jaar. Daarentegen treedt ter hoogte van Nieuwvliet vooruitgang op, met een snelheid tot 2 m per jaar aan de duinvoet en ca. 4 m per jaar op de vooroever.

Invloed van Belgische kustsuppleties

De invloed van de Belgische kustsuppleties op de ontwikkeling van de Zeeuws-Vlaamse kust is tot dusver gering. Door extra zandaanvoer verplaatst de Zwingel zich de laatste jaren in oostelijke richting, zodat regelmatig duinafslag optreedt. Het stoppen van de vooroever-erosie bij het Zwin past geheel in het beeld van de zandgolven en lijkt daarom een natuurlijke oorzaak te hebben. Het verdwijnen van de Appelzak houdt mogelijk verband met de havenuitbreiding te Zeebrugge en zal zeker gestimuleerd zijn door het storten van baggerspecie op de rand van deze geul.

7.2.3 De zuidwestkust van Walcheren

De ontwikkeling van de Walcherse kust tussen Vlissingen en Westkapelle wordt sterk bepaald door de getijgeul het Oostgat. Deze geul heeft zich in de loop van de eeuwen in oostelijke richting verplaatst. Door de vrij resistente ondergrond en de intensieve kustverdediging met paalhoofden, gaat deze verplaatsing betrekkelijk langzaam. Met name ter hoogte van Westkapelle hebben de verdedigingswerken geleid tot een verdieping van het Oostgat tot NAP -40 m. De diepten nemen af in zuidoostelijke richting. Bij de overgang van het Oostgat in de Sardijngeul bevindt zich een drempel met een diepte van ongeveer NAP -11 m. Voor het Nollehoofd bij Vlissingen is een turbulentieput ontstaan met een grootste diepte van NAP -21 m. De stroomdruk op de Walcherse oever heeft zeer steile hellingen doen ontstaan; halverwege Westkapelle en Zoutelande is een verloop van 1:2.

In de omgeving van Vlissingen en tussen Zoutelande en Westkapelle bestaat de ondergrond uit stroomresistente, oude afzettingen (Calais). Deze kustvakken steken enigszins naar voren. De jongere afzettingen ten zuiden van Zoutelande zijn verder geërodeerd en geven een holle kustlijn te zien. Hier zijn de hoogste en breedste duinen gevormd. Wellicht daarom is dit kustvak lang onverdedigd gebleven.

Ontwikkeling van de kustgedeelten

De kustontwikkeling tussen Westkapelle en Vlissingen kan gekarakteriseerd worden als een geringe, doorgaande erosie van de vooroever met daarop gesuperponeerd een flauwe, langperiodieke zandgolfbeweging. In tegenstelling tot andere Zeeuwse kustvakken verplaatst deze golf zich nauwelijks in de lengterichting van de kust. De golfbeweging heeft een amplitude van 10 à 35 m. Hierdoor is in het begin van de eeuw de vooroever met zo'n 4 m per jaar achteruitgegaan. Geleidelijk is de erosie afgenomen en vertoont de vooroever op vele plaatsen een stabiele ligging of zelfs aanzanding. De doorgaande erosieve trend bedraagt in de omgeving van Vlissingen ongeveer 0,2 m per jaar en neemt in noordwestelijke richting toe tot 1 m per jaar bij Westkapelle.

Als gevolg van het overheersende brandingsstroomtransport in zuidoostelijke richting treedt lij-erosie op naast obstakels als de Westkapelse Zeedijk, de dijk met het strandhoofdenstelsel bij Zoutelande en het Nollehoofd bij Vlissingen. Alleen in de zône die door golven beïnvloed wordt, de zône boven NAP -5 m, vindt ontgroning plaats. De achteruitgang van de vooroever in de eerste helft van deze eeuw heeft tot minimale strandbreedten geleid. In kustvakken waar de vooroever-erosie gestopt is tendeert het strand naar een flauwere ligging, zodat de erosie van het bovenstrand en de duinafslag zich nog enige tijd voortzetten.

Ingrepen

In de directe omgeving van de zuidwestkust van Walcheren zijn geen grote werken uitgevoerd, die de kustontwikkeling kunnen hebben beïnvloed. De vaarwegverruiming in het Scheur en de stormvloedkering in de Oosterschelde, kunnen over een langere termijn mogelijk van invloed zijn.

8 ECOLOGISCHE GEVOLGEN VAN INGREPEN IN DE MORFOLOGIE

8.1 Algemeen

In Nederland komen nog twee systemen voor met een estuarien karakter: Het Eems-Dollardestuarium en de Westerschelde. Karakteristiek voor een estuarium is de dynamiek die veroorzaakt wordt door de overgang van zoet naar zout water en door de veranderlijkheid van de ruimtelijke structuur. Kenmerkend voor deze structuur is een stelsel van geulen met verschillende diepten, die gescheiden zijn door plaatgebieden. Aan de buitenranden bevinden zich hogergelegen slikken en schorren. In een dynamisch evenwicht met de waterbeweging is dit stelsel voortdurend aan geleidelijk-verlopende, vaak cyclische veranderingen onderhevig. De Westerschelde bestaat, binnen de door dijken vastgelegde begrenzing, nog uit een meervoudig geulensysteem met eb- en vloedscharen. De vorm van het geul-platensysteem bepaalt de omvang van diep- en onderwatergebieden, intergetijdegebieden, slikken en schorren. Elk van deze gebieden herbergt specifieke levensgemeenschappen die zich ontwikkelen in samenhang met de geleidelijke veranderingen in omgevingsfactoren. De diversiteit van deze gemeenschappen wordt bepaald door de amplitude en voorspelbaarheid van de dagelijkse variaties in omgevingsfactoren.

In de twintigste eeuw is de mens steeds sterker gaan ingrijpen in de morfologische structuur en dynamiek van de Westerschelde. Aanvankelijk via inpolderingen en in de laatste decennia via het verdiepen en op diepte houden van de vaargeulen. Hiermee zijn geleidelijke veranderingen gestabiliseerd of versneld, terwijl dagelijkse variaties zijn versterkt. Het storten van baggerspecie bijvoorbeeld, gaat gepaard met een plotselinge en aanzienlijke toename van het zwevend-stofgehalte en de sedimentatie. De effecten op de ecologie van het systeem worden in dit hoofdstuk besproken. Eerst wordt de omvang van de ingrepen beschreven, waarbij vooruit wordt gelopen op een toekomstige verdieping 43'/48'.

8.2 Ingrepen in de ruimtelijke structuur

8.2.1 Inpolderingen

De huidige begrenzing van de Westerschelde is het resultaat van inpolderingen die uitgevoerd zijn in de afgelopen twee eeuwen. Tabel 8 geeft een overzicht van de inpolderingen op Nederlands grondgebied vanaf 1800.

In totaal is sinds 1800 15.000 ha ingepolderd, terwijl de huidige oppervlakte van de Westerschelde, tussen de Belgisch/Nederlandse grens en de lijn Vlissingen-Breskens, ruim 30.000 ha beslaat. Rond 1800 zal het estuarium dus anderhalf maal groter zijn geweest.

TABEL 8 *Inpolderingen op het Nederlands deel van de Westerschelde.*

Periode	Oppervlakte in 10^4 m^2 per gebiedsdeel				Totaal
	Sloegebied	Braakman	Saeftinge	Bath e.o.	
1800-1860	388	4.651	2.073	-	7.112
1861-1905	147	1.118	627	951	2.843
1906-1931	-	1.069	316	257	1.642
1932-1952	481	1.525	-	319	2.325
1953-1960	075	-	-	-	75
1961-1970	200	-	-	680	880
1971-1980	-	151	-	210	361
Totaal	1.291	8.514	3.016	2.417	15.238

Bron: [24].

8.2.2 Onderhoudsbaggerwerk

Tot in de zestiger jaren is de natuurlijke diepte van de geulen vrijwel voldoende om de scheepvaart doorgang te verlenen. De scheepvaartroutes worden aangepast aan de geulontwikkelingen. Regelmatig veranderen hoofdvaargeulen in nevenvaargeulen en omgekeerd. Alleen om de overgangen van eb- naar vloedscharen (drempels) in het oostelijk deel op diepte te houden wordt onderhoudsbaggerwerk verricht. De opgebaggerde specie wordt meestal gestort in vloedscharen. In de vijftiger jaren bedraagt het baggerwerk $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar, in de zestiger jaren $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar. Een verdubbeling tot $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar treedt op wanneer de drempels in de jaren 1970-1975 met 3 à 4 m verdiept worden. In de periode daarna stabiliseert het onderhoudsbaggerwerk zich op een hoeveelheid van 10 à $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar. Verreweg het grootste deel van dit baggerwerk vindt plaats in het deel oostelijk van Hansweert.

De omvang van deze ingrepen wordt geïllustreerd door de volgende vergelijkingen. Met de jaarlijks gebaggerde hoeveelheid specie kan een geul van 10 km lengte en een bodembreedte van 200 m, met 5 m verondiept worden. De gebaggerde en gestorte hoeveelheden zijn ongeveer twee maal groter dan de totale omvang van de erosie, respectievelijk sedimentatie langs de gehele Nederlandse kust. Dit betekent niet alleen een enorme beïnvloeding van de ruimtelijke structuur, maar ook van de temporele variatie binnen het systeem.

8.3 Ecologische effecten van baggeren en storten

8.3.1 Inleiding

De ecologische effecten van baggeren en storten zijn in drie groepen onder te verdelen :

- 1) De directe effecten gedurende het baggeren en storten op en in de naaste omgeving van de locatie, inclusief de gevolgen van een langdurige verhoging van de sedimentatie;
- 2) De gevolgen van het in suspensie brengen en verspreiden van de fijne fractie, het slib;
- 3) De gevolgen van veranderingen van bodemligging en waterbeweging.

De fysisch-chemische implicaties van de onder 2) genoemde resuspensie zijn besproken in de deelrapporten 1, 2 en 3. Het gaat hierbij om de effecten van het zuurstof-, nutriënten- en zwevend-stofgehalte in de waterkolom, de totaalgehalten aan microverontreinigingen in de waterkolom en de ontwikkeling van de bodemkwaliteit in het estuarium. De morfologische aspecten worden beschreven in paragraaf 8.3.3, samen met de hydrografische veranderingen.

8.3.2 Directe effecten van bagger- en stortwerkzaamheden

De fijne fractie van het sediment (silt en detritus) resuspendeert snel en blijft lang in de waterkolom zweven. Tijdens het baggeren en vooral bij het storten leidt dit tot tijdelijke verhogingen van het zwevend-stofgehalte en de troebelheid. Een toename van het zwevend-stofgehalte kan fysieke gevolgen hebben voor vissen en voor bodemdieren die hun voedsel uit het water filteren. Een verhoging van de troebelheid beïnvloedt de voedselopname van vissen die hiervoor afhankelijk zijn van hun gezichtsvermogen. Een derde effect wordt veroorzaakt door de plotselinge bedekking van bodemdieren en visse-eieren, door grote hoeveelheden sedimenterende specie.

Effecten op vissen

Bij vissen wordt de kieuwfunctie beïnvloed door het zwevend-stofgehalte. Wanneer het gehalte langdurig boven een bepaalde waarde uitkomt verslechtert hun conditie en in het ergste geval treedt sterfte op. Vermoedelijk zullen vissen het gebied met verhoogde zwevend-stofgehalten mijden of onvluchten. Het is logisch te veronderstellen dat irritatie van kieuwen of huid, sterke prikkels zullen zijn om over te gaan tot dergelijk gedrag. Op korte termijn betekent vluchtgedrag een aanslag op het energiebudget van de dieren. Gebieden die dagelijks door stortingen beïnvloed worden, zullen als voedselgebied onaantrekkelijk worden voor vissen die bodemdieren eten. Dit kan op langere termijn een vermindering van de draagkracht van het systeem betekenen. In de praktijk zijn deze effecten vermoedelijk van groter belang voor de populaties, dan de fysieke gevolgen voor de individuen.

Uit literatuuronderzoek zijn de volgende conclusies getrokken met betrekking tot de effecten van verhoogde zwevend-stofgehalten en troebelheid [3].

(a) Verhoogde zwevend-stofgehalten

Resultaten van studies op populatie- of gemeenschapsniveau naar de gevolgen van een tijdelijk-verhoogd zwevend-stofgehalte, wijzen niet op significante lange-termijneffecten, tenzij de omgevingskarakteristieken structureel veranderden (qua waterdiepte, sedimentsamenstelling, aanwezigheid van macrofyten e.d.).

Uit de omgeving van baggerwerkzaamheden is nooit een aanzienlijke vissterfte gemeld. Wel is een enkele maal waargenomen dat vissen het troebele gebied ontweken. Experimenten waarbij kooien met vissen opgehangen werden in de directe omgeving van baggerlocaties hebben geen verhoogde sterfte kunnen aantcuen.

Laboratoriumexperimenten wijzen op soort-specifieke tolerantiegrenzen voor zwevend-stofgehalten. Sterfte treedt meestal op door een belemmering van de gasuitwisseling. Als oorzaken worden genoemd een beschadiging van de kieuwen, het samenplakken van kieuwlamellen en het verstopt raken van de kieuwholte. Subletale effecten vertonen overeenkomst met de symptomen van een acuut zuurstoftekort. De afweermechanismen zijn vergelijkbaar met die van de mens: Een verhoogde slijmproductie en een soort "kuchen", waarbij de vis een sterke waterstroom langs de kieuwen "hoest".

Typische estuariene vissoorten vallen in de hoogste tolerantieklasse. Bepalingen van de concentratie anorganisch zwevend-stof waarbij 10% van de proefdieren na 24 uur blootstelling is gestorven (de 24hLC10-waarde), laten gehalten zien van meer dan 10 g/l. Bij extreem-gevoelige, pelagische soorten zijn 24hLC10-waarden gevonden van minder dan 1 g/l. Subletale effecten zijn waargenomen bij gehalten van 1 à 3 g/l.

Vislarven blijken gevoeliger te zijn: Concentraties boven 100 mg/l zorgen bij sommige soorten al voor een verhoogde sterfte.

Gehalten tot ca. 1 g/l hebben geen effect op de ontwikkeling van op de bodem afgezette visse-eieren in een met zuurstof verzadigde omgeving. Een gehele of gedeeltelijke (> 50%) bedekking met een laagje sediment kan echter leiden tot een sterke verhoging van de sterfte van eieren en tot een vertraagde ontwikkeling van de embryo's.

(b) Verhoogde troebelheid

In de Nederlandse kustwateren komen een aantal vissoorten voor die met behulp van hun gezichtsvermogen voedsel moeten zoeken (figuur 25). Tot deze zogenaamde visuele predatoren behoren de platvissoorten Bot, Schol en Schar. De Tong vindt zijn voedsel met behulp van tast- en reukvermogen.

Deze vissoorten leven van verschillende soorten bodemdieren. De grotere individuen hebben in het algemeen ook diverse kleine vissen op hun menu staan, zoals grondels. Van Bot en Schar komen behalve één- tot tweejarige dieren ook volwassen exemplaren in de kustwateren voor.

De Westerschelde vervult een belangrijke rol als kinderkamer voor Tong en Schol. De jongste stadia leven van bewegelijke, kleine kreeftachtigen (copepoden), van borstelwormen en delen (sifons) van tweekleppige schelpdieren. De oudere jaarklassen leven van borstelwormen, tweekleppigen en soms grotere kreeftachtigen. Van de Schar is weinig bekend. Deze soort trekt in de winterperiode de kinderkamergebieden binnen en leeft vooral van bewegelijke, kleine kreeftachtigen, zoals copepoden en aasgarnalen.

Hoe deze platvissen fourageren is voor de Schar onderzocht. Deze vis ontdekt zijn prooi op ongeveer 20 cm afstand, benadert hem vervolgens stapsgewijs tot op enkele millimeters en hapt dan plotseling toe. Van Schol en Bot is geen gedetailleerde informatie bekend, alleen dat deze soorten bij daglicht actief op de bodem fourageren. Het is aannemelijk dat ook bij deze soorten het lichtklimaat een rol speelt bij de localisatie en herkenning van prooien.

Van belang is dat Schol en Bot bij hoogwater naar de platen trekken om voedsel te zoeken; de Schol blijft op de laaggelegen delen, de Bot trekt naar de hoogste delen. De Schar daarentegen vertoont geen getijmigratie, maar blijft in de geulen en langs de plaatranden fourageren. Vermoedelijk zal deze vissoort dan ook de meeste hinder ondervinden van een toename van de troebelheid door zwevend stof. In de troebele Westerschelde komt de Schar weinig voor. In het Eems-Dollardestuarium nemen de aantallen in de richting van de Dollard sterk af, terwijl de troebelheid toeneemt [21].

Effecten op bodemdieren

Dat baggerwerken invloed hebben op bodemdieren is evident. Met het sediment wordt de volledige gemeenschap van schelpdieren, wormen en kreeftachtigen op de schop genomen. Op de stortlocatie wordt de daar nog aanwezige fauna bedolven, terwijl over een groter gebied de sedimentatiesnelheid kan toenemen. Van de diersoorten die met de specie verplaatst worden, lijkt alleen de sterkste graver, de Zandzager (*Nephtys*) enige overlevingskansen te hebben. Hierbij vergeleken verbleken de gevolgen van een verhoogd zwevend-stofgehalte, waarvan Moore [17] een uitgebreid overzicht geeft.

(a) Verhoogde zwevend-stofgehalten

Bodemdieren die hun voedsel uit het water moeten filteren, zijn gebaat bij algen en in mindere mate bij anorganische deeltjes. Gesuggereerd is wel (bij mosselen) dat het slib in lage concentraties de vertering stimuleert, maar in hoge concentraties zal het de groei kunnen remmen. Uit onderzoek is gebleken dat mosselen bij de voedselopname gehinderd worden wanneer het slibgehalte hoger is dan 50 mg/l [20]. Toch blijft de Mossel beter dan de Kokkel in staat voedsel op te nemen in situaties met een toenemend gehalte aan anorganische partikeltjes [17]. Terwijl de Kokkel op een toename reageert door de opnamesnelheid te verlagen, handhaaft de Mossel zijn maximale opnamesnelheid en verhoogt de directe afscheiding van ongenietbaar materiaal in de vorm van pseudofaeces.

Gedragseffecten die niet direct samenhangen met voedselopname doen zich voor bij kleine kreeftachtigen zoals de Garnaal en de Slijkgarnaal [17]. De Garnaal graaft zich overdag oppervlakkig in en gaat voedsel zoeken wanneer het donker wordt; vermoedelijk dient dit gedrag om predatie te vermijden. In troebel water is de Garnaal echter ook overdag actief.

De Slijkgarnaal bouwt tunneltjes om langdurig in te leven. Het dier zwemt pas weg wanneer zijn woonbuis dreigt in te storten. Ook een toename van het zwevend-stofgehalte induceert dit zwemgedrag, vermoedelijk omdat dit vooraf gaat aan een verhoogde sedimentatie. Bij een hoog zwevend-stofgehalte blijven de dieren langer zwemmen dan in helder water.

(b) Bedekking door baggerspecie

Baggerwerkzaamheden en speciéstortingen gaan gepaard met een toename van de sedimentatie. Op de stortplaats zetten zich grote hoeveelheden sediment in korte tijd af. Bij frequente werkzaamheden, of een verandering van de hydraulische situatie, kan de sedimentatie over grotere gebieden min of meer permanent verhoogd worden.

Bodemdieren, zoals sedentaire wormen, kleine kreeftachtigen en schelpdieren, zijn relatief-weinig mobiel. De meeste raken spoedig begraven wanneer de sedimentatie plotseling sterk toeneemt. Juist in estuaria speelt deze fauna een belangrijke rol als voedselbron voor vogels en benthische vissen. Het herstel van de lokale bodemfauna zal in veel gevallen moeten plaatsvinden via de vestiging van jonge individuen van elders. Een volledig herstel kost op deze wijze al gauw enkele jaren. De overlevingskansen van de begraven dieren zijn namelijk beperkt, vooral wanneer de gestorte baggerspecie zich als een vloeibare modderlaag op de bodem afzet. Wat deze overlevingskansen betreft zijn uit literatuuronderzoek een aantal conclusies getrokken [6].

Met uitzondering van de soorten die permanent zijn vastgehecht aan het substraat (mossels, oesters), zijn bodemdieren in meer of mindere mate in staat om een plotselinge bedekking door sediment te overleven, door zich naar de oppervlakte terug te graven. Er is echter een maximale dikte die op deze wijze overwonnen kan worden; worden de dieren begraven tot op een diepte die groter is dan deze "fatale diepte", dan zijn de overlevingskansen nihil. De fatale diepte is per soort verschillend en wordt bepaald door de fysische eigenschappen van het sediment en de morfologische eigenschappen van de soort (figuur 26).

De overlevingskansen van dieren die op geringere diepten begraven raken nemen toe naarmate de dikte van de afgezette laag geringer is (figuur 27). Verschillen tussen soorten hangen samen met verschillen in uitgraafcapaciteiten. Tussen de individuen van een soort kunnen de overlevingskansen verschillen, afhankelijk van de fysiologische conditie en soms van de lichaamsgrootte. Van enkele soorten die in het volwassen stadium het graafvermogen verliezen (strandgaperachtigen), is bekend dat overleving kan plaatsvinden dankzij het vermogen om de sifonen (adembuizen) te verlengen totdat het contact met de waterkolom hersteld is. Voor beide strategieën geldt dat een succesvolle ontsnapping in meer of mindere mate afhankelijk is van de fysische eigenschappen van het nieuw-afgezette laag; de kans op succes is het grootst wanneer deze eigenschappen overeenkomen met die van het oorspronkelijke sediment. Ook het seizoen heeft invloed op de overlevingskansen via de watertemperatuur: Lagere temperaturen leiden tot lagere ontsnappingspercentages.

Een geringe maar langdurige verhoging van de sedimentatie, kan op langere termijn alsnog leiden tot een fatale bedekking, of op kortere termijn tot het vertrek van soorten. Maximale tolerantiegrenzen zijn op basis van literatuuronderzoek niet te geven. Wel kan een beeld geschetst worden van de relatieve tolerantie van bodemdiersoorten (figuur 28). Een verhoogde depositie van zand lijkt in het algemeen beter te worden getolereerd dan een verhoogde sedimentatie van slib. Slijkgarnaal en Wadpier kunnen in sediment met een hoog slibgehalte hun gangen niet in stand houden en zullen vertrekken. De Strandgaper kan in zandige afzettingen zijn sifonen verlengen, maar raakt verstopt bij een toenemende sedimentatie van slib.

Beoordeling van de directe beïnvloeding in de Westerschelde

De beschreven effecten zijn het meest omvangrijk wanneer slibrijke sedimenten gestort worden in niet al te diepe geulen. In de Westerschelde wordt hoofdzakelijk zand verplaatst met een kleine slibfractie. Als er in diepere geulen wordt gestort zal het directe effect op de organismen niet groot zijn, omdat de dichtheid van bodemdieren daar van nature laag is. De ervaring is echter dat door de grote omvang van de stortingen een aanzienlijk sedimenttransport optreedt. Vanaf de stortlocatie in de Schaar van Waarde bijvoorbeeld, worden grote hoeveelheden sediment naar de omliggende plaatgebieden getransporteerd. Omvangrijke zandtransporten worden eveneens in gang gezet door stortingen op plaatsen waar de achterliggende oever beschermd moet worden tegen erosie.

Het directe gevolg hiervan is een versterking van de natuurlijke dynamiek, waarbij gebieden ontstaan die op een kleine tijdschaal morfologisch instabiel zijn. De bodemdiergemeenschappen zullen op deze plaatsen niet volledig tot ontwikkeling kunnen komen. Het is voorstelbaar dat de afwezigheid van volwassen Strandgapers in het oostelijk deel, mede hierdoor veroorzaakt wordt. Ook de ruimtelijke structuur wordt beïnvloed, wat zich uit in relatief-snel verlopende oppervlakteveranderingen van ondiepwatergebieden en intergetijdegebieden. Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 8.3.3.

De invloed op organismen en levensgemeenschappen kan moeilijk gekwantificeerd worden. Bij de interpretatie van waarnemingen speelt voortdurend het gegeven dat ook de waterkwaliteit een grote invloed heeft op het ecologisch functioneren van de bentische levensgemeenschappen. Daarom wordt volstaan met een schatting van de omvang van het gebied waar jaarlijks diepteveranderingen van één tot enkele meters optreden, als gevolg van baggeren of storten (tabel 9).

TABEL 9 *Beïnvloed oppervlak door baggeren en storten in twee gebieds-
delen van de Westerschelde (situatie 1985)¹⁾.*

Omschrijving	Terneuzen - Hansweert	Hansweert - grens
	in 10 ⁴ m ²	in 10 ⁴ m ²
Totale oppervlakte gebiedsdeel	7000	8000
Oppervlak beïnvloed door baggeren	20	100
Oppervlak beïnvloed door storten	300	800
Beïnvloed oppervlak van totaal	5%	11%

1) Met "beïnvloed" zijn die gebieden bedoeld die jaarlijkse diepteveranderingen van één tot meerdere meters ondergaan als gevolg van baggerwerkzaamheden.

Met name het oostelijk deel van de Westerschelde vervult een kinderkamer-functie voor Garnalen en platvis, vooral Tong. De hoogste aantallen jonge Garnalen worden aangetroffen rond de Platen van Ossensisse en Valkenisse. Jonge Garnalen groeien op in ondiepe, slibrijke gebieden. Garnalen kleiner dan 3 mm leven voornamelijk van Slijkgarnalen (*Corophium*). Grotere dieren tot 3 à 4 cm, eten borstelwormen, copepoden en andere kleine kreeftachtigen [18]. Tengevolge van de sterke aanzanding en de morfologische instabiliteit zijn de Platen van Walsoorden en Valkenisse arm aan slib en worden er relatief weinig bodemdieren gevonden (figuur 29). De Slijkgarnaal is in de afgelopen jaren in aantal achteruit gegaan op de slikken in het oostelijk deel, als gevolg van deze verzanding. Het voedselaanbod voor jonge Garnalen zal hierdoor zijn afgenomen. Vermoed wordt dat hierdoor ook de aantallen overwinterende Bonte strandlopers en Tureluurs in de tachtiger jaren terug zijn gelopen; in het westelijk deel zijn de aantallen van Bonte strandloper veel minder sterk gedaald [22].

In de periode 1969-1978 verbleef gemiddeld 22% van de jonge Tongpopulatie van alle Nederlandse kinderkamergebieden, in het voorjaar in dit deel van de Westerschelde. Recentere gegevens ontbreken, zodat geen trends kunnen worden bepaald. Van de standvissoorten Puitaal en Bot zouden hogere aantallen in het oostelijk deel verwacht mogen worden, op grond van hun tolerantie voor zoetwater [4]. Beide vissoorten leven van bodemdieren.

8.3.3 Gevolgen van morfologische en hydrografische veranderingen

Baggerwerken beïnvloeden de morfologie en hydrografie van het estuarium. De ecologische gevolgen van een langdurige verhoging van de sedimentatie die hierdoor lokaal kan optreden, zijn aangegeven in de vorige paragraaf. Hieronder worden gevolgen beschreven die samenhangen met de fixatie van het geulenpatroon, de wijzigingen in de verdeling tussen intergetijde-, ondiepwater- en diepwatergebieden en de erosie van slikken en schorren.

Fixatie van het geulenpatroon

In het oostelijk deel van de Westerschelde vormt de vaargeul een scheiding tussen het natuurgebied Saeftinghe en de uitgebreide stortlocaties in het noorden. Door de aanleg van leidammen en door het onderhoudsbaggerwerk is de ruimtelijke variatie teruggebracht en worden geleidelijke, natuurlijke veranderingen onderdrukt. Wanneer de verdieping 48'/43' wordt uitgevoerd zullen de debieten door de hoofdgeulen toenemen. Om erosie te bestrijden zullen geulranden, oevers en schorranden met bestortingen vastgelegd moeten worden. De fixatie van het geulenpatroon zal hierdoor versterkt worden. Deze fixatie zal zich naar het westen uitbreiden wanneer het Gat van Ossensisse door de verdieping definitief hoofdvaarwater wordt.

Door de aanleg van een vaste oeververbinding (WOV), volgens kansrijke tracé's nabij Terneuzen, zal de onderdrukking van de dynamiek zich verder naar het westen uitbreiden. Langs dit tracé zal het doorstroomprofiel door damaanzetten, brugpijlers en een eventueel overgangseiland brug-tunnel, worden beperkt en strikt worden vastgelegd. Deze beperking van het profiel zal de sedimenthuishouding van het gehele systeem beïnvloeden, in wisselwerking met veranderingen in het onderhoudsbaggerwerk.

Verdeling tussen dieptezones

Het intergetijdegebied en de ondiepwatergebieden (tot NAP -5 m) vormen essentiële milieutypen binnen een estuarien systeem. In deze zones vindt men de grootste verscheidenheid en biomassa van bodemdieren [10] (figuur 30). Van de vogelsoorten die in het estuarium vóórkomen, is het grootste deel voor zijn voedsel afhankelijk van het intergetijdegebied. Veel vissoorten fourageren en paaien er; jonge Garnalen groeien er op.

Tussen 1969 en 1981 hebben zich belangrijke oppervlakteveranderingen in de Westerschelde voorgedaan (figuur 21). Voor het intergetijde- en ondiepwatergebied zijn deze veranderingen samengevat in tabel 10.

In het deel tussen Hoofdplaat-Borssele en de Nederlands/Belgische grens neemt de oppervlakte van beide gebieden algemeen af. Een uitzondering vormt het niveau tussen NAP 0 en +2 m; van deze zone neemt de oppervlakte toe, behalve in het meest-oostelijke deel.

In het westelijk deel zijn de veranderingen grotendeels als natuurlijke ontwikkelingen te beschouwen. Mogelijk is de ontwikkeling versneld door de verdieping van het Scheur (paragraaf 7.1). In het oostelijk deel zijn deze veranderingen toe te schrijven aan menselijke ingrepen, te weten inpoldering, vaargeulverdieping en vaargeulonderhoud. Het nautisch baggerwerk leidt tot verondiepingen op de stortplaatsen voor baggerspecie, tot aanzanding van plaatgebieden en, indirect, tot erosie op slikken en afslag van de randen van schorren, gelegen in de buitenbochten van geulen.

De totale afname van het oppervlak tussen NAP -5 en +3 m bedraagt ruim 1300 hectare, wat 12% van het in 1969 aanwezige areaal is (11.000 ha). Voor het oostelijk deel alleen, vanaf Waarde-Walsoorden, bedraagt de afname ruim 1000 hectare, wat 16% is van het in 1969 aanwezige oppervlak (6.500 ha).

De oppervlakte-afname van slikken en schorren

De morfologisch-instabiele platen in het oostelijk deel zijn relatief arm aan slib en bodemdieren (figuur 29; paragraaf 8.3.2). Vogels fourageren daarom voornamelijk op de slibrijkere en rustiger gelegen delen van het intergetijdegebied en op de slikken langs de randen van het estuarium.

In de Westerschelde komen een aantal van dergelijke gebieden voor. Deze gebieden zijn klein van omvang en de vogeldichtheden kunnen zeer hoog zijn. Op een aantal plaatsen gaan de slikken via een schorklif over in schorgebieden. In de Westerschelde komt nog zo'n 2800 hectare aan schor voor, waarvan het Land van Saeftinge ongeveer 1920 hectare beslaat. Dit gebied is daarmee het grootste, aaneengesloten brakwater-schorgebied in West-Europa. De overige 600 hectare is verdeeld over een aantal kleinere schorren, verspreid langs het gehele estuarium. Deze kleinere schorren weerspiegelen in hun karakteristieken de zoutgehalte-gradiënt: Van zoutwaterschor naar brakwaterschor.

Het oppervlak aan schorren en slikken neemt af, voornamelijk door inpolderingen en erosie. Wanneer een voorliggend slik door erosie versmalt, vermindert de golfdemping en neemt de aanval op de schorkliffen toe.

2685

2267

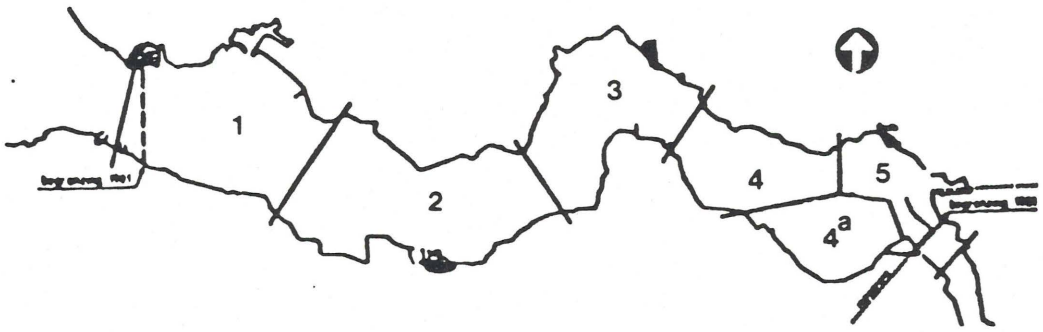
84%
v. totaal

418

vlgs

Dijk de Jans
2 Annen
geplannindrand

TABEL 10 *Veranderingen in de oppervlakte (in ha=10⁴ m²) van intergetijde- en ondiepwatergebieden in de Westerschelde tussen 1969 en 1981.*

						
vaknrs.						
niveau t.o.v. N.A.P.	2	3	4	4a	5	totaal
<u>+3,00 m en +2,00 m</u>						
opp. in 1969	70	20	210	1400	260	1960
opp. in 1981	50	10	170	1100	180	1510
toe-/afname	-20	-10	-40	-300	-80	-450
proc. toe-/afname	-29%	-50%	-19%	-21%	-31%	-23%
<u>+2,00 m en 0,00 m</u>						
opp. in 1969	560	520	680	620	510	2890
opp. in 1981	760	600	750	570	330	3010
toe-/afname	+200	+80	+70	-50	-180	+120
proc. toe-/afname	+36%	+15%	+10%	-8%	-35%	+4%
<u>0,00 m en -2,00 m</u>						
opp. in 1969	930	870	920	330	310	3360
opp. in 1981	730	850	930	240	200	2950
toe-/afname	-200	-20	+10	-90	-110	-410
proc. toe-/afname	-21%	-2%	+1%	-27%	-35%	-12%
<u>-2,00 m en -5,00 m</u>						
opp. in 1969	660	730	890	30	380	2690
opp. in 1981	460	630	660	10	360	2120
toe-/afname	-200	-100	-230	-20	-20	-570
proc. toe-/afname	-30%	-14%	-26%	-67%	-5%	-21%

De opgetreden erosie is daarom hoofdzakelijk een indirect gevolg van de toename van de stroomsnelheden in de buitenbochten van verdiepte vaargeulen. Een betrekkelijk geringe bijdrage wordt geleverd door de toename van de hoogwaterstanden, als gevolg van een vergroting van de getijvolumes. De vermindering van het areaal aan slikken en schorren wordt in tabel 10 uitgedrukt door de oppervlakte-afnamen tussen NAP +2 en +3 m. In Saeftinge en in de omgeving van Bath is erosie echter niet de hoofdoorzaak. De afname in de omgeving van Bath is grotendeels te wijten aan de inpoldering van de slikken van Ossendrecht, bij de aanleg van de Schelde-Rijnverbinding. Tabel 11 geeft op een andere wijze wel een indruk van de afname van schorren en slikken door erosie, over de periode 1950-1980.

TABEL 11 *Afname van de vooroevers van slikken en schorren tussen 1950 en 1980.*

Gebied	Afname vooroever in m
Platen van Hulst	75 - 125
Schorren bij Baalhoek-Paal (Speelmansgat)	100 - 200
Konijneschor	100 - 200
Morlemonsche Plaat	100
Ten westen van Bath	40 - 80
Bij Hedwiggpolder	40 - 80

Bron: Delta Dienst Milieu en Inrichting (DGW).

De oppervlakte-afname van de intergetijde- en ondiepwatergebieden van Saeftinge is voor het overgrote deel veroorzaakt door sedimentatie, niet door erosie. De schorgebieden in de Westerschelde nemen niet alleen een belangrijke plaats in vanwege hun natuurhistorische en ecologische waarden, het zijn ook de gebieden waar een snelle en grotendeels definitieve sedimentatie van slib plaatsvindt. Door de ligging vlak na de troebelheidszone in het systeem, speelt het Land van Saeftinge een belangrijke rol als slibvanggebied. Uit diverse gegevens is te reconstrueren dat het kombergingsvolume over de laatste honderd jaar met gemiddeld $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar afneemt (tabel 12). Gedeeld door de oppervlakte van dit gebied komt dit neer op een ophoging van gemiddeld 0,02 m per jaar.

Figuur 31 toont het verloop van de kombergingsoppervlakte per dieptezone vanaf 1931. De gegevens komen uit zeer verschillende bronnen, zodat geen sluitende reconstructie gemaakt kan worden. Het totale oppervlak vertoont verschillen tussen de diverse opnamen. De ontwikkeling is echter duidelijk zichtbaar. In de eerste decennia na 1931 treedt een sterke laterale uitbreiding op, die tot uiting komt in de oppervlakte-afname rond NAP +2 m. In de laatste decennia overheerst een verhoging van zowel de hoge delen, als de geulbodems. De dwarsprofielen in de figuren 32 en 33 illustreren dit duidelijker. Vooral het Konijneschor neemt in de periode 1931-1962 sterk in oppervlakte toe. Na 1962 verondiepen vooral de geulbodems.

TABEL 12 Afname van het kombergingsvolume van het Land van Saeftinge.

Jaartal	Eb/Vloedvermogen ¹⁾ in 10 ⁶ m ³	Periode	Jaarlijkse afname in 10 ⁶ m ³
1878	68		
1931	40	1878-1931	0,53
1949	30	1931-1949	0,56
1970	19	1949-1970	0,52
1980	14	1970-1980	0,50

1) Gemiddeld hoogwaterniveau (GWH) : NAP +2,38 m.

De doorgaande sedimentatie op het Land van Saeftinge kan slechts gedeeltelijk verklaard worden door de stijging van de hoogwaterstanden. Sinds de eeuwwisseling is de gemiddelde hoogwaterstand te Bath met ongeveer 0,35 m toegenomen, van NAP +2,25 tot NAP +2,60 m in 1980. Dit is een gemiddelde toename van ongeveer 0,5 cm per jaar. Uit de kombergingsafname is een opslibbing van ongeveer 2 cm per jaar berekend. Dit betekent dat de overspoelingsfrequentie van de hoge delen moet zijn afgenomen, terwijl er tot dusver geen afname van de opslibbingssnelheid is waar te nemen. Kennelijk is het sedimentaanbod zo groot dat het afgenomen aantal overspoelingen nog voldoende is om de opslibbingssnelheid te handhaven. Het materiaal waarmee de krekken zich vullen bestaat voor het grootste deel uit zand. Mogelijk is er een relatie met de omvangrijke speciéstortingen langs de geulrand ter plaatse. Bij het huidige tempo van opslibbing zal de komberging onder NAP +3 m in het jaar 2010 tot nul gereduceerd zijn en de komberging onder NAP +4 m in het jaar 2050.

8.3.4 Samenvatting van de ecologische gevolgen

Door ingrepen in de morfologische structuur van de Westerschelde is de ook de dynamiek in het estuarium beïnvloed, vooral in het oostelijk deel. Een aantal gevolgen met ecologische implicaties is opgetreden en zal zich naar verwachting in de toekomst blijven voordoen :

- Een onderdrukking van de geuldynamiek op macroschaal;
- Een zeer beperkte, ecologische waarde van het platengebied bij Valkenisse, als gevolg van de grote dynamiek op microschaal en de verzanding; gemeenschappen van bodemdieren komen niet tot volledige ontwikkeling, sommige soorten gaan in aantal achteruit, wat gevolgen heeft voor de kinderkamerfunctie voor garnalen, tong en schol en de functie als doortrek- en overwinteringsgebied voor vogels (steltlopers);
- Een afname van de oppervlakte aan ecologisch-belangrijke intergetijdegebieden en ondiepwatergebieden, door het steiler worden van geulwanden, speciéstortingen en, in het verleden, inpolderingen;
- Een afname van het areaal aan slikken en schorren door erosie in buitenbochten van geulen en, in het verleden, inpolderingen;
- Een voortgaande verlanding van het Land van Saeftinge.

9 STORTEN EN BERGEN VAN BAGGERSPECIE

9.1 Sleepzuigers en steekzuigers

Bij het onderhoudsbaggerwerk dat in opdracht van de Belgische overheid wordt uitgevoerd op de Westerschelde, maakt men gebruik van twee typen zuigers: Sleepzuigers en steekzuigers.

De sleepzuigers zijn zeewaardige zuigers met een beuninhoud van 2.500 à 4.000 m³ en een diepgang van 6 à 9 m in geladen toestand. Dit betekent dat de stortlocaties met deze zuigers tot maximaal NAP -7,5 à -8,5 m kunnen worden opgevuld.

De steekzuigers zijn kleine, verankerde zuigers, die bakken volpersen met een beuninhoud van 400 à 900 m³. Deze bakken hebben in geladen toestand een diepgang van gemiddeld 5 m. De laatste jaren wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de grotere, zeewaardige sleepzuigers.

9.2 Mogelijkheden voor storting

Bij de huidige stortmethode worden de stortlocaties opgevuld tot een diepte van NAP -5 à -7,5 m. De capaciteit van de bestaande stortlocaties kan hieruit afgeleid worden. Op dit moment is de capaciteit in de oostelijke Westerschelde al onvoldoende, om de specie die er wordt gebaggerd volledig in dit deel terug te storten. Met het oog op een eventuele verdieping 48'/43' betekent dit, dat de methode veranderd zal moeten worden, of, bij voortzetting van de huidige, dat nieuwe locaties gevonden zullen moeten worden. De potentiële capaciteit die hierbij ontstaat, is berekend uit kombergingsgrafieken van de diverse gebieden. Dit geeft dus een indicatie van de initiële capaciteit, maar niet van de capaciteit op jaarbasis over een langere termijn.

9.2.1 Mogelijkheden bij de huidige stortmethode

Capaciteit van de huidige stortlocaties

De ligging van de bestaande stortlocaties is weergegeven in figuur 11. Het huidige stortbeleid is erop gericht deze locaties ten volle te benutten. In de situatie van dit moment betekent dat opvullen tot NAP -5 à -7,5 m. Wanneer een locatie is opgevuld is deze niet meer bereikbaar. Pas na verloop van tijd is er weer voldoende diepte aanwezig voor het bagger- of stortmaterieel. De maximale bergingscapaciteit van de stortlocaties in het oostelijk deel van de Westerschelde, is bij deze methode geschat op $7,0 \cdot 10^6$ m³ per jaar (tabel 13).

De specie die momenteel in het oostelijk deel wordt gebaggerd is hoofdzakelijk afkomstig van de drempels van Zandvliet, Bath, Valkenisse en Hansweert. In totaal gaat het de laatste jaren om een hoeveelheid van gemiddeld 9 à $10 \cdot 10^6$ m³ per jaar. Een deel van deze specie, 2 à $3 \cdot 10^6$ m³ afkomstig van de drempel van Hansweert en de Overloop van Hansweert, wordt dan ook gestort op locaties ten westen van Hansweert: In de ebschaar naar de

Everingen en langs de linkeroever van het Gat van Ossensisse, grenzend aan de Platen van Hulst.

TABEL 13 *Jaarlijkse capaciteit van de huidige stortlocaties in het oostelijk deel van de Westerschelde, bij opvulling tot NAP -7,5 m.*

Stortlocatie		Capaciteit in 10^6 m^3 per jaar
(1)	Appelzak	0,2
(2)	Schaar van de Noord	0,5
(3)	Konijneschor/Boei 63	3,0
(4)	Zimmermangeul	0,2
(5)	Schaar van Walsoorden	0,1
(6,7,8)	Schaar van Waarde	3,0
Totaal		7,0

Capaciteit bij uitbreiding van het aantal stortlocaties

Een tweetal potentiële stortlocaties is onderzocht op hun geschiktheid en capaciteit: De Schaar van Valkenisse en het Middelgat (tabel 14).

(a) De Schaar van Valkenisse

Langs de noordkant van de Platen van Valkenisse bevindt zich een vloed-schaar, waarvan de oostelijke uitloper uitmondt in het platengebied (figuur 34). Deze vloed-schaar heeft zich de laatste jaren sterk ontwikkeld, in samenhang met de verondieping van de stroomopwaarts gelegen Zimmerman-geul.

Het diepere deel van de Schaar van Valkenisse heeft een gemiddelde diepte van NAP -13 m. Om dit deel te kunnen bereiken moet bij de inloop echter een drempel worden gepasseerd, die op NAP -5 m ligt. Dit betekent dat met bakken gestort zal moeten worden. Grotere sleepzuigers kunnen de locatie alleen bereiken als deze drempel eerst wordt opgeruimd. De initiële capaciteit van de Schaar van Valkenisse bij opvulling tot NAP -7,5 en NAP -5,0 m bedraagt respectievelijk 2,5 en $6,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (figuur 34).

(b) Middelgat

Het Middelgat bevindt zich ten westen van Hansweert (figuur 35). De laatste decennia is deze ebgeul aan sedimentatie onderhevig. Inhoudsberekeningen over een aantal perioden van 1955 tot 1985 geven aan dat de inhoud van het Middelgat afneemt met $1 \text{ à } 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Uit metingen blijkt dat de geul momenteel naar een evenwichtsligging tendeeft.

Hoewel het Middelgat een functie heeft als nevenvaargeul, biedt de aanwezigheid van diepe delen mogelijkheden voor speciéstortingen. De initiële capaciteit van deze diepe gebieden bij opvulling tot NAP -15,0 en -20,0 m is berekend op respectievelijk 38 en $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (figuur 35).

TABEL 14 *Initiële capaciteit van twee potentiële stortlocaties, gelegen in de omgeving van Hansweert.*

Stortlocatie	Opvulling	Capaciteit in 10^6 m^3
Schaar van Valkenisse Middelgat	NAP -7,5 m	2,5
	NAP -15,0 m	38,0
	NAP -20,0 m	20,0

9.2.2 Mogelijkheden bij opvulling tot de laagwaterlijn

Bij opvulling tot de laagwaterlijn worden de stortlocaties opgevuld tot een diepte van gemiddeld NAP -2,5 m. Tot een diepte van NAP -5,0 m kan de huidige methode van storting toegepast worden. Voor verdere opvulling moet de specie via leidingen getransporteerd worden. De mogelijkheden die met deze methode ontstaan zijn voor een aantal bestaande en potentiële locaties onderzocht (tabel 15). Als locaties komen in eerste instantie de bestaande gebieden in aanmerking die niet langs inscharende oevers liggen. In tweede instantie biedt het gebruik van pijpleidingen de mogelijkheid nieuwe locaties te benutten, in gebieden die bij de huidige methode niet bereikbaar zijn.

Mogelijkheden van bestaande locaties

(a) Schaar van Waarde

Bij opvulling tot NAP -2,5 m neemt de capaciteit van deze stortlocatie in eerste instantie toe tot ongeveer $23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (figuur 34). Het doorstroomprofiel ter hoogte van deze stortplaats wordt gevormd door het Zuidergat en de Schaar van Waarde (debietraai 5). Tussen het debiet van beide geulen bestaat een nauw verband. Bij opvulling tot de laagwaterlijn zal het doorstroomprofiel van de Schaar van Waarde gereduceerd worden van ca. 14.000 tot ca. 3.200 m^3 . Hierdoor zal het debiet door het Zuidergat sterk toenemen, wat leidt tot een stijging van de stroomsnelheden met 10 à 15%. Voor de scheepvaart lijkt dit aanvaardbaar. Langs de Zeeuws-Vlaamse oever zullen mogelijk enige extra verdedigingswerken moeten worden uitgevoerd.

(b) Appelzak

Deze stortplaats is momenteel niet bereikbaar voor het gebruikte bagger- en stortmaterieel; de diepte bedraagt slechts NAP -2,5 tot -5,0 m. Bij opvulling tot de laagwaterlijn met behulp van leidingen, kan nog een capaciteit van ongeveer $3,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ benut worden.

(c) Schaar van de Noord

Het deel dat voor opvulling tot NAP -2,5 m in aanmerking komt, biedt in eerste instantie een capaciteit van ongeveer $2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Mogelijkheden van potentiële locaties

(a) Schaar van Ossensisse

Deze geul is op dit moment een betond vaarwater voor de binnenscheepvaart. De gemiddelde diepte bedraagt NAP -5,0 m, terwijl zich in het westelijk deel van de geul een drempel bevindt op ca. NAP -3,0 m. Wanneer deze vloodschaar als stortlocatie gebruikt gaat worden zal de scheepvaartfunctie geheel verdwijnen. In verband hiermee is deze potentiële locatie niet opgenomen in tabel 15.

Het debiet door de Schaar van Ossensisse is ongeveer 10-15% van het debiet door de Overloop van Hansweert, het hoofdvaarwater. Dit betekent dat een afsluiting van de schaar tot een acceptabele toename van de stroomsnelheden in het hoofdvaarwater zal leiden.

De initiële capaciteit van deze potentiële locatie bij opvulling tot laagwater bedraagt ongeveer $7,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (figuur 36).

TABEL 15 *Initiële capaciteit van bestaande en potentiële stortlocaties in het oostelijk deel, bij opvulling tot de laagwaterlijn (NAP -2,5 m).*

Stortlocatie		Capaciteit in 10^6 m^3
Bestaand	Schaar van Waarde	23,0
	Appelzak	3,0
	Schaar van de Noord	2,3
Potentiëel	Schaar van Valkenisse	15,0
	Gebied ten noordoosten van de Schaar van Valkenisse, incl. Zimmermangeul	6,0
Totaal		49,3

In verband met de scheepvaartfunctie is de Schaar van Ossensisse niet opgenomen.

(b) Gebied ten noordoosten van de Schaar van Valkenisse

Tot dit gebied behoren de bestaande stortlocatie Zimmermangeul met als mogelijke uitbreidingen, de verbindingsgeul tussen Zimmermangeul en Schaar van Valkenisse en de aan deze geulen grenzende plaatgebieden (figuur 37).

De totale capaciteit van deze drie gebieden bij opvulling tot NAP -2,5 m bedraagt in eerste instantie ca. $6,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

(c) Schaar van Valkenisse

Bedoeld wordt de vloodschaar met de aan de zuidzijde hiervan gelegen Platen van Valkenisse (figuur 34). Bij opvulling tot de laagwaterlijn kan de totale capaciteit geschat worden op $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

9.2.3 Mogelijkheden bij opvulling tot boven de hoogwaterlijn

Bij deze methode moet gedacht worden aan het opspuiten van baggerspecie vanaf een diepte van NAP -5,0 m tot een hoogte van NAP +3,0 à +3,5 m. Naast het gebruik van leidingen vergt dit extra voorzieningen in de vorm van spuitkaden met aan de buitenzijde stroom- en golfbestendig materiaal. Dit alternatief zal daarom duurder zijn dan de vorige methode. Een belangrijk voordeel is echter, dat er geen rondstroming zal plaatsvinden van de gestorte specie. Van het gebied ten noorden van het Zuidergat is de capaciteit als stortplaats voor deze methode onderzocht. In deze gebieden liggen stortlocaties die nu nog volgens de traditionele methode benut worden. De omvangrijke afname van het kombergingsgebied door opvulling tot boven GHW, zal leiden tot een aantal hydrografische veranderingen.

Capaciteit van het gebied ten noorden van het Zuidergat

Dit gebied omvat een aantal geulen en platen en strekt zich uit over de Platen van Ossensisse, de Platen van Valkenisse en de geulen Schaar van Waarde, Schaar van Valkenisse en Zimmermangeul. De initiële capaciteit van het gehele gebied bedraagt bij opvulling tot NAP +3,0 à +3,5 m ongeveer $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Door de afname van het kombergingsgebied verandert de hydraulische situatie in het estuarium vrij ingrijpend. Dit zal gepaard gaan met wijzigingen van waterstanden en stroomsnelheden (tabel 16).

Hydraulische effecten

Om deze veranderingen te kunnen voorspellen is gebruik gemaakt van het ééndimensionale model IMPLIC. Bij de berekeningen is de komberging verminderd met het totale volume van de stortcapaciteit van het gebied. Verondersteld is dat het doorstroomprofiel van het Zuidergat constant zal blijven. In werkelijkheid zal deze geul zich na de verdieping (43'/48') gaan aanpassen aan de veranderde stroomsituatie. De geul zal zich gaan verruimen en wel hoofdzakelijk in de breedterichting van zijn profiel. Daarom zullen de resultaten gepresenteerd in tabel 16, met name wat de stroomsnelheden betreft, de situatie op langere termijn overschatten.

In ieder geval zal de vloedstroom sterk toenemen, waardoor erosie zal plaatsvinden. In eerste instantie zal deze erosie optreden in de buitenbochten: De bocht van Walsoorden, langs Baalhoek en langs het Land van Saeftinge. Het meegevoerde materiaal zal zich stroomafwaarts van deze gebieden gaan afzetten. Hierdoor zal met name de drempel van Valkenisse extra gaan aanzanden.

TABEL 16 *Verandering van de waterstanden (absoluut) en stroomsnelheden (procentueel) op enkele locaties, door storting tot boven GHW, in het gebied van de Platen van Valkenisse.*

Locatie	Waterstand (m)		Stroomsnelheid (%)	
	LW	HW	eb	vloed
Honte			- 10	- 1
Pas van Terneuzen	0	+ 0,2	- 15	- 10
Middelgat	0	+ 0,2	- 20	- 20
Overloop Hansweert	0	+ 0,2	- 20	- 20
Hansweert	0	+ 0,2	- 25	- 25
Zuidergat	+ 0,05	- 0,05	+ 15	+ 30
Bath	+ 0,05	- 0,10	- 2	- 1
Belgische grens	+ 0,05	- 0,10	- 2	- 2
Lillo	+ 0,05	- 0,10	- 2	- 2

+ = toename - = afname

9.3 Mogelijkheden bij de verplaatsing van specie oost-west

Afgezien van de kwaliteitsaspecten is de verplaatsing van specie van het oostelijk naar het westelijk deel van de Westerschelde een voorstelbaar alternatief. Als potentiële stortlocatie komt op de eerste plaats het Middelgat in aanmerking, omdat deze geul een aantal diepe gebieden heeft. Met betrekking tot de hydraulische aspecten bestaat de mogelijkheid dat deze verplaatsing van specie de evenwichtsligging van de geulen beïnvloedt en daarmee het zandtransport in het estuarium. Deze mogelijkheid wordt hieronder besproken.

Invloed op doorstroomprofiel en zandtransport

In het algemeen geldt dat een specieverplaatsing van ebgeul naar vloodschaar of omgekeerd binnen één traject, het totale doorstroomprofiel van dit traject niet wezenlijk verandert. Wanneer specie echter verplaatst wordt naar een ander vloodschaar/ebgeulstelsel stroomafwaarts, betekent dit een vergroting van het doorstroomprofiel in het deel waar gebaggerd wordt en een verkleining in het deel waar gestort wordt. Worden grote hoeveelheden op deze wijze verplaatst, dan nemen de stroomsnelheden in

het oostelijk deel af en die in het westelijk deel toe. Omdat in de Westerschelde de vloedstroommaxima domineren zal er een sterk zandtransport resulteren van west naar oost. Dit transport zal optreden totdat een nieuwe evenwichtssituatie is bereikt tussen de dwarsprofielen van west naar oost. Juist door de specieverplaatsingen zal een dergelijke evenwichtssituatie nooit bereikt worden. Hierbij maakt het niet uit of specie verplaatst zal worden van het oostelijk deel naar het Middelgat, of van het oostelijk deel naar een nog verder westelijk gelegen gebied in de Westerschelde.

Het oost-west verloop van het doorstroomprofiel in de Westerschelde (figuur 38) maakt duidelijk, dat bij een afname van dit profiel in het westen met bovenbeschreven ontwikkelingen rekening moet worden gehouden. Zo zal door storting in het westen van $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie in een 1 km lang gebied (evenwijdig aan de lengteas van de Westerschelde) met een doorstroomoppervlak van 70.000 m^2 , dit doorstroomprofiel met 10.000 m^2 , dus 14% verminderen. Bij storting in het Middelgat zullen de stroomsnelheden in het Gat van Ossensisse toenemen, waardoor deze vloedschaar zich zal verruimen. Dit betekent dat een dergelijke oost-west verplaatsing van specie geen oplossing biedt. Het zandtransport naar het oosten zal toenemen, waardoor de efficiëntie van het baggerwerk beduidend daalt.

9.4 Mogelijkheden bij de onttrekking van specie

De onttrekking van specie treedt als alternatief naar voren als de mogelijkheden van storten uitgeput raken. Voor een verbetering van de bodemkwaliteit is een onttrekking van specie aan de Zeeschelde en het oostelijk deel van de Westerschelde eveneens aantrekkelijk (zie deelrapport 3). De consequenties hiervan voor het getijregiem en de morfologische structuur en dynamiek in het estuarium, worden in deze paragraaf besproken.

9.4.1 Veranderingen in het hydraulisch regiem

Zoals al meerdere malen is opgemerkt gaat specie-onttrekking gepaard met een verruiming van het doorstroomprofiel ter plaatse. In eerste instantie leidt dit tot een verlaging van de stroomsnelheden in het gebaggerde gebied en/of een verhoging van de stroomsnelheden in de aangrenzende geulgedeelten. Uiteindelijk zal een netto sedimenttransport plaatsvinden van de aangrenzende geulen naar de drempels. Dit transport duurt voort totdat het profiel van de gehele geul in evenwicht is met het grotere getijvolume en de optredende stroomsnelheden gelijk zijn aan de oorspronkelijke stroomsnelheden, of lager.

De invloed van relatief-kleine onttrekkingen zoals bij de zandwinning, is alleen lokaal merkbaar.

Tijdens en na de verdieping 48'/43' zullen de ebgeulen zich aan de nieuwe drempelligging aanpassen. Hierbij verruimen deze geulen en wordt het weggeërodeerde zand naar de drempels verplaatst om daar te sedimenteren en vervolgens weer te worden weggebaggerd. In het kader van het voorbereidend onderzoek zijn diverse berekeningen gemaakt van de invloed van de

verdieping 48'/43' op het verticale en horizontale getij [24]. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met het ééndimensionale model IMPLIC, onder verschillende randvoorwaarden.

Onder meer is de variant onderzocht waarbij verondersteld wordt dat de vloedscharen in het oostelijk deel vol zijn en de gebaggerde specie onttrokken wordt aan het systeem. Ook de vrijkomende onderhoudsspecie van de oostelijk-gelegen drempels wordt in de loop der jaren aan het systeem onttrokken; deze hoeveelheid is hierbij begroot op totaal $64 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ [11].

De resultaten van deze berekening geven aan dat de veranderingen van het verticale getij gering zullen zijn [11]. Voor de plaatsen Bath en Antwerpen wordt de toename van de hoogwaterstanden berekend op respectievelijk +5 en +7 cm; de afname van de laagwaters op -14 en -16 cm.

Zowel de eb- als de vloeddebieten van de raaien Zuidergat-Schaar van Waarde en het Vaarwater boven Bath nemen in deze variant toe met respectievelijk 4,6 en 3,5%. Hierbij neemt het debiet in de ebgeulen toe ten opzichte van het debiet in de vloedgeulen. Een duidelijke faseverschuiving van de eb- en de vloedduur is niet uit de berekeningen af te leiden.

De gevolgen van de versterkte getij-indringing zijn volgens de berekeningen qua grootte gelijk aan de overeenkomstige effecten van de verdieping in de zeventiger jaren. Bij deze verdieping werd de specie wel aan de vaargeulen maar niet aan het systeem onttrokken, alleen verplaatst.

9.4.2 Veranderingen in de morfologie van het estuarium

Wordt de verruiming die optrad bij de verdieping in de zeventiger jaren geëxtrapoleerd, dan volgt voor de verdieping 48'/43' een maximale toename van het geulprofiel van ruim 30% (onder NAP); deze toename heeft betrekking op de ebgeul ter hoogte van de overgang tussen het Zuidergat en de Overloop van Valkenisse [11].

Ook de geulen in het aangrenzende middengebied van de Westerschelde worden beïnvloed door de verdieping van de drempels in het oostelijk deel. In het huidige middendeel zijn de geulen al te krap in verhouding tot de geulen in het oostelijk deel. Uitvoering van de verdieping 48'/43' zal deze discrepantie versterken, waardoor de erosie in dit middengebied verder toeneemt. Net als bij de verplaatsing van specie naar het westen (paragraaf 9.3) zal er een toename optreden van het zandtransport naar het oosten. Hierdoor blijft de intensiteit van het onderhoudsbaggerwerk in het oostelijk deel hoog, totdat een nieuwe evenwichtssituatie ontstaan is tussen getijvolume en doorstroomprofiel in het middengebied. In het estuarium als geheel is van een evenwichtssituatie sprake wanneer zowel het getijvolume, als de natte doorsneden van de geulen evenredig afnemen van het oostelijk naar het westelijk deel; het quotiënt van maximum debiet en stroomvoerend oppervlak in dwarsdoorsnede moet constant zijn.

Ook in de huidige situatie ondervindt het oostelijk deel een zandtoevoer vanuit het middengebied. Ter hoogte van Terneuzen treedt ontzanding op, waardoor de geulen in dit gebied naar een evenwichtssituatie neigen. Door een onttrekking van specie in het oostelijk deel zullen deze geulen aanvankelijk weer wat verder van een evenwichtssituatie gebracht worden, zodat rekening gehouden moet worden met een geringe, additionele verruiming. Inzicht in dergelijke veranderingen is van belang bij het bepalen en eventueel bijstellen van de omvang van de specie-onttrekkingen.

10 STORT- EN BERGINGSSCENARIO'S VOOR BAGGERSPECIE

10.1 Algemeen

In het oostelijk deel van de Westerschelde wordt de ontwikkeling van geulen en platen al ongeveer 15 jaar in sterke mate beïnvloed door het huidige bagger- en stortbeleid. De zandtransporten die veroorzaakt worden door het baggeren en storten, hebben een overheersend karakter gekregen. Als gevolg hiervan treedt een sterke aanzanding op van de intergetijdegebieden, de plaatgebieden en de vloedscharen. Vanwege het belang van de scheepvaartfunctie van de Westerschelde, is aan een zekere beïnvloeding door baggerwerkzaamheden niet te ontkomen. Het effect op de natuurfunctie is echter in sterke mate afhankelijk van de wijze waarop met de baggerspecie wordt omgegaan.

De voor onderhoud te baggeren hoeveelheid specie zal in de eerste jaren na een eventuele verdieping 48'/43', met ruim 60% verhoogd zijn. Na zo'n verdieping zullen de aangrenzende geulgedeelten en in mindere mate ook de nevengeulen, zich aan de nieuwe hydraulische situatie aanpassen. De hiervoor benodigde tijd ligt tussen de 5 à 7 jaar. Het volume van het onderhoudsbaggerwerk zal in deze eindsituatie nog zo'n 40% hoger zijn dan de huidige omvang.

Scenario's voor de toekomstige omgang met baggerspecie zijn in een beleidsplan voor de Westerschelde dus essentieel, ook wanneer met de huidige diepteliggingen volstaan zal worden.

De volgende scenario's zijn onderzocht op hun ecologische en economische implicaties :

- 1 Huidige stortbeleid en verplaatsing van overtollige specie oost-west
- 2 Huidige stortbeleid en maximale zandwinning
- 3a Berging in nevengeulen en op platen tot LW (NAP -2,5 m)
- 3b Berging in geulen en op platen tot HW of hoger (NAP +3,0 à 3,5 m)
- 2+3a Huidige stortbeleid met maximale zandwinning gevolgd door berging in nevengeulen en op platen tot LW

Allereerst wordt het huidige bagger- en stortbeleid kort gememoreerd.

10.2 Storten in de huidige situatie

Het huidige onderhoudsbaggerwerk op de oostelijke drempels exclusief de drempel van Zandvliet omvat ca. 8 miljoen m³ per jaar. De capaciteit van de hier aanwezige stortlocaties bedraagt bij de gehanteerde stortmethode ca. 6 à 7 miljoen m³ per jaar (zie hoofdstuk 9). Dit betekent dat ca. 1 à 2 miljoen m³ specie moet worden afgevoerd naar westelijker gelegen locaties. In het oostelijk deel wordt thans ca. 0,5 miljoen m³ specie op jaarbasis aan het systeem onttrokken.

Het huidige baggerbeleid is erop gericht niet méér baggerwerk op de drempels te verrichten dan strikt noodzakelijk is voor het in stand houden van de scheepvaartgeul. Bij het huidige stortbeleid moet rekening gehouden

worden met de bereikbaarheid van de bestaande stortlocaties in het gebied, in verband met de diepgang van het materi el. De troebelheid en rondstroming van specie binnen het oostelijke deel blijven bij dit huidige beleid hoog en constant. Volgens globale schattingen is bij de rondstroming van de stortlocaties naar de drempels, ca. 30% van de gestorte specie betrokken. Het overige deel zet zich af in de vloedgeulen en op de aangrenzende platen en intergetijdegebieden. Hier is in de afgelopen tijd dan ook een sterke sedimentatie opgetreden. Geleidelijk zullen de bestaande stortplaatsen volraken en met het huidige stortmateri el in de toekomst niet meer bereikbaar zijn. Dit perspectief dwingt om voor de langere termijn andere oplossingen te kiezen.

10.3 Stort- en bergingsscenario's na een verdieping 48'/43'

10.3.1 Inleiding

Bij het opstellen van deze bergingsscenario's is er van uitgegaan dat een afzonderlijke bergingsoplossing gezocht wordt voor de specie die vrijkomt bij de eventuele verdieping zelf. De scenario's hebben dus betrekking op het onderhoudsbaggerwerk na deze verdieping. De gevolgen kunnen op dit moment alleen nog maar kwalitatief en globaal aangegeven worden; nader onderzoek is dan ook gewenst.

De volgende doelen zijn bij deze scenario's richtgevend :

- De veiligheid van de scheepvaart in verband met stroom- en dwarsstroomhinder en de aanwezigheid van bagger- en stortmateri el;
- Een qua morfologische structuur en dynamiek zo natuurlijk mogelijk estuarium;
- De instandhouding van oevers en natuurgebieden;
- De ontwikkeling van nieuwe natuurgebieden;
- Een minimalisatie van het onderhoudsbaggerwerk, met als gevolg een afname van de kosten van het onderhoudsbaggerwerk. Bovendien zal een vermindering van het onderhoudsbaggerwerk lokaal tot een afname van de troebelheid kunnen leiden;
- Een verruiming van de mogelijkheden voor zandwinning, rekening houdend met het evenwicht tussen geulen en platen binnen het systeem en de zeespiegelrijzing.

10.3.2 Scenario 1 : Huidige stortbeleid (status-quo) en verplaatsing van overtollige specie naar het westen

Dit scenario wordt in het Verdiepingsrapport 48'/43' als oplossing gezien [24]. De specie die niet in het oostelijk deel gestort zal kunnen worden, wordt in deze visie verplaatst naar het westen (het middengebied van de Westerschelde). De huidige stortlocaties in het oosten worden hierbij maximaal benut en opgevuld tot NAP -5 à -7 m. De capaciteit van deze locaties bedraagt bij de voorgestelde aanpak 6 à 7 miljoen m³ op jaarbasis. Omdat een deel van de gestorte specie binnen de stortvakken en het aangrenzende gebied sedimenteert, zal de stortcapaciteit van de locaties

in de loop der tijd afnemen. In de eerste 5 à 7 jaar na de eventuele verdieping omvat het onderhoudsbaggerwerk 13 miljoen m³ per jaar. Dit betekent dat per jaar ongeveer 6 miljoen m³ naar het westen verplaatst zal moeten worden. De drempels worden in deze periode belast met het materiaal dat bij de verruiming van de stroomafwaarts gelegen geulgedeelten vrijkomt. De omvang van het onderhoudsbaggerwerk zal daardoor in eerste instantie nagenoeg gelijk blijven, waardoor ook de troebelheid in het gebied niet zal afnemen.

Na deze aanpassingsperiode van 5 à 7 jaar zal het onderhoudsbaggerwerk afnemen met ca. 2 miljoen m³, tot een omvang van ongeveer 11 miljoen m³ per jaar. In deze situatie zal de hoeveelheid die jaarlijks naar het westen verplaatst moet worden teruggebracht kunnen worden tot ca. 4 miljoen m³.

De stortingen langs de inscharende oevers (Land van Saeftinge en het Konijneschor/boei 63) blijven bij dit scenario ook in de eindsituatie noodzakelijk. Daarnaast blijft in dit scenario een versterkte discrepantie bestaan tussen de geuldoorsneden in het middengebied en het oostelijk deel. Het grootste deel van de gestorte specie zal hierdoor teruggetransporteerd worden naar het oosten, wat in strijd is met het doel het onderhoudsbaggerwerk te minimaliseren. Daarnaast verslechtert de bodemkwaliteit in het middengebied (zie deelrapport 3). Hieronder worden de effecten samengevat.

Scenario 1 Samenvatting effecten

Estuaria karakter/ecologische waarde :

De bestaande ebgeul in het oostelijk deel blijft bestaan, evenals de vloedscharen in het bestaande platengebied. Toch zal het stortbeleid tot een afnemende ontwikkeling van deze vloedscharen leiden.

Door de vloedstroom ontstaan op de stortplaatsen omvangrijke zandtransporten waardoor het gebied als kinderkamer voor Garnalen en platvis verder achteruit zal gaan.

Bodemkwaliteit :

In principe wordt zoveel mogelijk specie in de nevengeulen geborgen. Hierdoor zal de bodemkwaliteit in het stortgebied en de naaste omgeving niet verbeteren.

De specieverplaatsing naar het westen leidt tot een verslechtering van de bodemkwaliteit op de stortlocaties aldaar en in de directe omgeving.

Onderhoudsbaggerwerk :

Het onderhoudsbaggerwerk blijft na de periode van aanpassing aan de verdieping, nagenoeg constant. Ten opzichte van de huidige situatie stijgt de omvang van het onderhoudsbaggerwerk met een factor 1,5.

Door het storten op westelijker locaties neemt het retourtransport toe en vermindert de efficiëntie van het onderhoudsbaggerwerk.

De troebelheid zal in de omgeving van de stortlocaties in het oostelijk deel niet verminderen, omdat deze locaties ten volle benut worden. Door het storten in het middengebied zal de troebelheid daar plaatselijk toenemen.

10.3.3 Scenario 2 : Huidige stortbeleid (status-quo) en maximale zandwinning

Dit scenario komt overeen met scenario 1 met dit verschil, dat de niet in het oosten te storten specie zoveel mogelijk voor de zandwinning zal worden vrijgemaakt. In de eerste 5 à 7 jaar na de eventuele verdieping zal dit specie-overschot ongeveer 6 miljoen m³ bedragen, in de periode daarna ca. 3 à 4 miljoen m³.

De hoeveelheid specie die onttrokken zal kunnen worden voor zandwinning, wordt in feite bepaald door de zandbalans (zie hoofdstuk 6). De invloed die het onttrekken van grote hoeveelheden specie kan hebben op het getijregiem, is modelmatig onderzocht [11]. De uitkomsten laten zien dat de veranderingen acceptabel zijn (zie paragraaf 9.4). Het onderhoudsbaggerwerk zal door specie-onttrekking afnemen.

De zandbalans geeft aan in hoeverre in het estuarium sprake is van evenwicht tussen zandimport en zandonttrekking. Wanneer scenario 2 uitgevoerd wordt dient dit evenwicht van tijd tot tijd getoetst te worden, om het zandwin-beleid zonodig bij te kunnen stellen. Voor het volgen van de ontwikkelingen zullen in de toekomst dan ook de nodige onderzoeksprogramma's uitgevoerd moeten worden.

Scenario 2 Samenvatting effecten

Estuarien karakter/ecologische waarde :

De bestaande ebgeul in het oostelijk deel blijft bestaan, evenals de vloedcharen in het bestaande platengebied.

De vloedstroom wekt op de stortplaatsen omvangrijke zandtransporten op, waardoor dynamische zandribbels ontstaan en het gebied als kinderka-mer voor Garnalen en platvis verder achteruit zal gaan.

Bodemkwaliteit :

In principe wordt zoveel mogelijk specie in de nevengeulen geborgen.

Hierdoor zal de bodemkwaliteit in het stortgebied en de naaste omgeving niet verbeteren.

De specie die niet in het oosten gestort kan worden wordt zoveel mogelijk gebruikt voor zandwinning. Er wordt geen specie naar het westen verplaatst, waardoor de bodemkwaliteit aldaar niet door stortingen zal verslechteren.

Onderhoudsbaggerwerk :

Het onderhoudsbaggerwerk blijft na de periode van aanpassing aan de verdieping, nagenoeg constant. Ten opzichte van de huidige situatie neemt de omvang van het onderhoudsbaggerwerk met een factor 1,5 toe.

De troebelheid in het oostelijk deel zal in de omgeving van de stortlocaties niet verminderen, omdat deze locaties ten volle benut worden.

10.3.4 Scenario 3a : Berging in nevengeulen en op platen tot LW

In dit scenario wordt het geulen- en plaatgebied ten noorden van het Zuidergat opgevuld tot om en nabij de laagwaterlijn (NAP -2,5 m) (figuur 39). Hierdoor zullen de Schaar van Valkenisse en de Zimmermangeul verdwijnen en het debiet en de stroomsnelheid in het Zuidergat toenemen. De intensiteit van het baggerwerk in dit gebied zal afnemen, als gevolg van de verminderde aanzanding op de drempels in deze geul.

Omdat de baggerspecie min of meer definitief geborgen wordt, zal het onderhoudsbaggerwerk in zijn geheel afnemen ten opzichte van de hoeveelheden in de vorige scenario's. Een geringe rondstroming zal wel aanwezig blijven. Het jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk zal naar verwachting afnemen met een factor 0,5 ten opzichte van de huidige situatie. Van belang is dat deze feitelijke onttrekking aan het systeem niet blijvend mag leiden tot een verstoorde evenwichtssituatie tussen geulen en het getijdebiet.

Ter bescherming van het bergingsgebied zullen de nodige maatregelen getroffen moeten worden, met het oog op de stroom- en golfaanval. Gedacht kan worden aan een soort leidam. In dit gebied zal vervolgens een aanslibingsproces kunnen plaatsvinden. Dit betekent dat er bij een optimaal ontwerp een slik- en schorgebied kan ontstaan. Door sedimentatie boven laagwater zal de oppervlakte van de intergetijdezône in dit bergingsgebied toenemen. De komberging zal in het oostelijk deel als geheel afnemen, wat gunstige effecten heeft op de ontwikkeling van het stroomopwaarts gelegen gebied. Mogelijk zal het Land van Saeftinge hierdoor als sedimentatiegebied ontlast worden. Stroomafwaarts zou het effect negatief kunnen zijn, door een verhoging van de waterstanden. Volgens verkennende berekeningen blijven deze effecten ook bij volledige onttrekking van het gebied aan de komberging (scenario 3b), nog binnen aanvaarde normen (zie de paragrafen 9.2.2 en 9.2.3). De zout-zoetgradiënt zal naar het westen verschuiven. De noodzaak de inscharende oevers te beschermen blijft ook in dit scenario gehandhaafd.

Voor een optimaal ontwerp moet nader onderzoek verricht worden. Belangrijke aspecten zijn maximalisatie van de afname van het onderhoudsbaggerwerk en van de kansen op een gunstige morfologische en ecologische ontwikkeling. Stuurvariabelen zijn het niveau van opvulling, de mate van bescherming, de fasering van de aanpak en de wijze van uitvoering.

Scenario 3a Samenvatting effecten

Estuarien karakter/ecologische waarde :

- De structuur en dynamiek van de geulen zal in dit deel verdwijnen.
- Bij een goede inrichting kan er een groot slik- en schorgebied ontstaan.
- De ecologische waarde van dit gebied zal op grond van de morfologie groot kunnen zijn en uiterst geschikt als opgroeigebied voor Garnalen en platvis. De zout-zoetgradiënt zal in westelijke richting opschuiven.

Bodemkwaliteit :

- De verspreiding van verontreinigde specie uit het oostelijk deel beperkt zich nagenoeg tot het aangevulde gebied. De bodemkwaliteit van dit gebied zal niet verbeteren, wel die van de naaste omgeving, omdat er een vermindering van de rondstroming van specie optreedt.

Onderhoudsbaggerwerk :

Het onderhoudsbaggerwerk neemt af. In de opbouwfase van de bergingslocatie zal nog wel enige rondstroming van specie plaatsvinden, die de efficiëntie van het baggerwerk vermindert.

De troebelheid zal rond de stortlocaties in het oostelijk deel afnemen door een vermindering van het onderhoudsbaggerwerk. In de opbouwfase van de bergingslocatie zal nog wel enige rondstroming van specie plaatsvinden, die bijdraagt aan de troebelheid in het gebied.

10.3.5 Scenario 3b : Berging in geulen en op platen tot HW of hoger

In dit scenario wordt het geulen- en plaatgebied ten noorden van het Zuidergat opgevuld tot aan de hoogwaterlijn of hoger (NAP +3,0 à +3,5 m) (figuur 39). Hierdoor zal dit gebied, met de Schaar van Valkenisse en de Zimmermangeul, volledig aan de komberging onttrokken worden. Naar analogie van het vorige scenario zullen het debiet en de stroomsnelheid in het Zuidergat toenemen, waardoor de intensiteit van het baggerwerk in dit gebied zal afnemen.

Omdat de baggerspecie definitief geborgen wordt zal het onderhoudsbaggerwerk relatief snel afnemen ten opzichte van de hoeveelheden in de vorige scenario's. De bergingscapaciteit in dit scenario is zeer groot en bedraagt ongeveer 40 miljoen m³. Wel zal de bergingslocatie langs de rand gedeeltelijk of geheel verdedigd moeten worden tegen golf- en stroomaanval. Hiermee wordt de ontwikkeling van het gebied volkomen vastgelegd en de vaargeul gefixeerd. De troebelheid zal ter plaatse echter sterk verminderen, als gevolg van de afname van het onderhoudsbaggerwerk. De omvang van dit baggerwerk zal minimaal kunnen zijn en wordt geschat op 4 à 5 miljoen m³ op jaarbasis in de eindsituatie.

Door het onttrekken van dit gebied aan het doorstroomprofiel zullen de stroomsnelheden in het Zuidergat in de vloedfase toenemen met 20 à 30% (zie paragraaf 9.2.3, tabel 16). Voor de scheepvaart lijkt dit vooralsnog aanvaardbaar. Wel zullen de oevers extra worden aangestroomd. Door verruiming van het Zuidergat, via natuurlijke erosie of baggeren, kunnen deze effecten beperkt worden. Mogelijk zal de bestaande oeververdediging uitgebreid moeten worden, afhankelijk van de uitschuring van de geul ter plaatse. Dit moet nader onderzocht worden.

De effecten op de waterstanden blijven binnen aanvaardbare grenzen (zie paragraaf 9.2.3). De zout-zoetgradiënt zal naar het westen verschuiven.

Scenario 3b Samenvatting effecten

Estuarien karakter/ecologische waarde :

Bij ophoging van het gebied boven hoogwater vervalt het estuariene karakter volledig, evenals de ecologische waarde voor vissen, bodemdieren en vogels die van deze dieren leven. Er zal een duinlandschap ontstaan met mogelijke broedplaatsen voor bepaalde vogelsoorten, met name meeuwen; de ecologische waarde van dit deel van het estuarium neemt af. De zout-zoetgradiënt zal in westelijke richting opschuiven.

Bodemkwaliteit :

De bodemkwaliteit van het gebied zelf zal niet verbeteren, wel die van de naaste omgeving, omdat er geen rondstroming van specie uit de berging plaatsvindt.

Onderhoudsbaggerwerk :

Het onderhoudsbaggerwerk neemt sterk af.

De troebelheid in de omgeving van de stortlocaties in het oostelijk deel zal afnemen, door de vermindering van dit baggerwerk en de afwezigheid van rondstroming bij deze definitieve berging van de specie.

10.3.6 Combinatie van scenario's

Combinaties van bovenbeschreven scenario's zijn denkbaar en bieden aantrekkelijke oplossingen. Verder zouden bepaalde scenario's als interim-oplossing kunnen worden uitgevoerd, tot een definitieve keuze bepaald kan worden. Als voorbeeld wordt de combinatie van de scenario's 2 en 3a beschreven.

Combinatie van scenario's 2 en 3a

Een aantrekkelijke optie vormt de combinatie van de scenario's 2 (status-quo met maximale zandwinning) en 3a (berging in nevengeulen en op platen tot LW). Bij de aanpak zal eerst scenario 2 worden uitgevoerd, wat een tijdelijke verruiming van de zandwinning betekent. Hierdoor zullen de bestaande stortlocaties gedurende een langere periode benut kunnen worden. Na deze periode zal door constructie van een lage dam het gebied ten noorden van het Zuidergat worden afgeschermd en optimaal worden ingericht (scenario 3a). Onder reductie van het onderhoudsbaggerwerk is er een morfologische en ecologische ontwikkeling van dit gebied mogelijk, die past in de natuurlijke situatie en functie van het oostelijk deel van de Westerschelde. In het ondiepwatergebied is slik- en schorvorming in principe mogelijk, onder handhaving van de daarbij behorende dynamiek.

Door één en ander goed te dimensioneren kan de debiettoename in de hoofdgeul zodanig beperkt worden dat de oevererosie eveneens tot een minimum beperkt blijft.

10.3.7 Scenario-beoordeling op ecologische en economische gronden

De onderzochte scenario's zijn :

- 1 Huidige stortbeleid en verplaatsing van overtollige specie oost-west
- 2 Huidige stortbeleid en maximale zandwinning
- 3a Berging in nevengeulen en op platen tot LW (NAP -2,5 m)
- 3b Berging in geulen en op platen tot HW of hoger (NAP +3,0 à 3,5 m)
- 2+3a Huidige stortbeleid met maximale zandwinning gevolgd door berging in nevengeulen en op platen tot LW

In de scoringstabel 17 zijn de scenario's 2, 3a en 3b gewogen ten opzichte

van scenario 1. Tevens is de combinatie van scenario 2 en 3a beoordeeld. In de weging zijn een aantal ecologische en economische aspecten betrokken. Het scenario 3a en de combinatie van 3a en 2, scoren voor beide aspectcategorieën relatief goed.

TABEL 17 *Scoringstabellen voor de ecologische en economische aspecten van de stort- en bergingsscenario's: weging t.o.v scenario 1.*

Aspect	Score scenario ten opzichte van 1			
	2	3a	3b	2+3a
Behoud huidige nevengebied	0	--	--	--
Ecologische waarde nevengebied	0	++	-	++
Slik- en schorvorming	0	+	-	+
Hydraulisch-morfologisch evenwicht	+	++	++	++
Troebelheid rond stortlocaties	0	+	++	+
Bodemkwaliteit westelijk deel	+	+	+	+
Afname onderhoudsbaggerwerk	+	+	+	+
Veiligheid scheepvaart	0	+	++	+
Mogelijkheid zandwinning	++	+	+	++

11 BELEIDSONTWIKKELING

11.1 Inleiding

Bij de ontwikkeling van beleid inzake de morfologische structuur en dynamiek van de Westerschelde, moet rekening gehouden worden met de scheepvaartfunctie. Het behoud van deze functie bepaalt de randvoorwaarden voor dit beleid. De met de scheepvaart verbonden zeehaven- en industriële activiteiten stellen eisen aan de ontwikkeling van deze functie, waardoor de randvoorwaarden voor het beleid stringenter kunnen worden. Daarnaast moet het belang van de waterkeringen als buitenste begrenzing van het bekken, gewaarborgd worden.

Belangrijke toekomstige ontwikkelingen zijn de aanleg van de Westerschelde Oeververbinding (WOV) en de eventuele verdieping 48'/43'.

De beleidsvoorstellen die in dit hoofdstuk geformuleerd worden, zijn erop gericht om binnen deze randvoorwaarden de natuurfunctie van het estuarium te herstellen, potentiële natuurwaarden te ontwikkelen en een goede uitgangssituatie te creëren voor de ontwikkeling van visserij- en recreatiefuncties.

11.2 Het Nederlandse waterbeleid

In het beleid dat de Nederlandse overheid de komende decennia zal voeren zijn de verschillende aspecten van de waterhuishouding geïntegreerd. In de Derde Nota Waterhuishouding zullen watersysteemdooelstellingen worden ontwikkeld, die betrekking hebben op de gebruiksfuncties van het systeem, inclusief de natuurfunctie. Deze doelstellingen monden uit in een verzameling van eisen aan de fysische, chemische en biologische eigenschappen van een watersysteem, om de gewenste situatie op termijn zo goed mogelijk te kunnen benaderen. Onder watersysteem wordt het oppervlaktewater met inbegrip van oever, waterbodan en grondwater verstaan.

De Westerschelde vormt met het Eems-Dollardestuarium de laatste twee estuariene systemen in Nederland. De voor de Westerschelde gewenste ecologische situatie wordt daarom ontleend aan de hoofdkarakteristieken van dergelijke systemen: De overgang van zoet naar zout milieu en de natuurlijke structuur en dynamiek van geulen, platen en intergetijdegebieden. Het beleid inzake de morfologische aspecten zal gevoerd worden in samenhang met andere onderdelen van het watersysteembeleid voor de Westerschelde, zoals het water- en bodemkwaliteitsbeleid.

De nieuwe beleidskaders voor de zeeweringen, die momenteel ontwikkeld worden, zullen additionele randvoorwaarden stellen. In voorbereiding zijn de Wet op de Waterkeringen en de nota Kustbeleid. Relevante aspecten van dit beleid zijn de verdere overdracht van het waterkeringsonderhoud en -beheer naar lagere overheden, het tot handhaving van de kustlijn beperken van de taak van het Rijk en de toenemende voorkeur voor zachte, flexibele kustbeschermingsmethoden zoals suppleties, boven hardere ingrepen zoals de aanleg van hoofden.

11.3 Internationale afspraken

De Westerschelde heeft als verbinding tussen de Noordzee en een groot achterland in België en Frankrijk, meerdere functies in internationaal verband.

In 1984 is door de Belgisch-Nederlandse Technische Scheldec commissie de nota "Verdieping Westerschelde, programma 48'/43'" uitgebracht [24]. Deze nota heeft inmiddels de procedure via de Raad van de Waterstaat doorlopen.

De voorgestelde verdieping is door de Nederlandse overheid geaccepteerd; tussen Nederland en België bestaat een verdrag waarin de handhaving van de scheepvaartfunctie is geregeld. Wel zijn een aantal voorwaarden geformuleerd, die negatieve effecten moeten beperken. Zo werd in de genoemde nota verondersteld dat de overtollige baggerspecie vanuit het oostelijk deel naar het westen verplaatst zou kunnen worden. De Raad van de Waterstaat heeft hierover negatief geadviseerd, omdat deze verplaatsing gepaard zou gaan met een verslechtering van de kwaliteit van bodem en water in het westelijke deel. Dit advies is in overeenstemming met het Nederlandse standpunt over de werkingssfeer van het Verdrag van Oslo (zie ook deelrapport 3).

Naast de handhaving van de vaarweg aanvaardt de Nederlandse overheid ook de verantwoordelijkheid om de ecologische waarden die van internationaal belang zijn te beschermen en waar mogelijk te vergroten. Het gaat hierbij om de kinderkamerfunctie voor de Noordzee, de overwinterings- en doortrekfunctie voor vogels uit arctische en subarctische broedgebieden en het Land van Saeftinge als grootste, aanéengesloten brakwaterschorgebied van West-Europa.

11.4 Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde

11.4.1 Algemeen

Bij het formuleren van beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde is onderscheid gemaakt tussen doelen, voorwaarden en maatregelen. Bovendien is aangegeven welke aspecten nader onderzoek behoeven. Een duidelijk onderscheid tussen korte en middellange termijn is niet mogelijk, vanwege de overheersende invloed die een verdieping 48'/43' zal hebben. Wanneer deze verdieping uitgevoerd zal worden is op dit moment niet aan te geven. De doelstellingen hebben betrekking op de uiteindelijk te realiseren situatie na de verdieping.

11.4.2 Doelen

Om doelen te kunnen formuleren zal de huidige situatie in de Westerschelde geconfronteerd worden met het oorspronkelijke beeld van een estuarium.

In een natuurlijk estuarium ontwikkelen levensgemeenschappen zich in samenhang met een relatief-dynamisch abiotisch milieu. De dynamiek wordt veroorzaakt door het getij, de golven en getijstromen, met in het verlengde daarvan erosie- en sedimentatieprocessen. Binnen een estuarium levert dit

een tweetal soorten gebieden op, in een min of meer evenwichtige verdeling:

- (1) Relatief-grofzandige geul- en plaatgebieden onder de volle locale expositie van de hydraulische krachten.
Dit levert een "macro-dynamiek" op van zich geleidelijk en vaak cyclisch verplaatsende geulen en platen;
- (2) Rustiger, afgeschermd gebieden met resulterende sedimentatie van fijn zand en slib (platen, slikken en schorren), gekenmerkt door een geleidelijke "rijping" en de daarbij behorende successie van organismen, c.q. levensgemeenschappen.
In deze gebieden heerst een "micro-dynamiek" van kreken, prielen, wallen en een zekere beweeglijkheid van de bodem.

De eerste categorie gebieden bevindt zich overheersend in de zeewaartse delen en in het midden van het dwarsprofiel van een estuarium. De rustiger gebieden bevinden zich meer in het landinwaartse deel en langs de randen.

In het westelijk deel van de Westerschelde overheerst het natuurlijke, estuariene karakter, zoals dat hierboven geschetst is; uiteraard binnen de begrenzingen van de waterkeringen. In het oostelijk deel zijn er duidelijke afwijkingen :

- Via het zogenaamde rondpompen van zand, jaarlijks 5 à 10 miljoen m³, worden de hoofdgeul-nevengeulstelsel uit het evenwicht met de waterbeweging gehouden. De geuldynamiek op macroschaal wordt hierdoor onderdrukt, terwijl de dynamiek op meso- en microschaal versterkt wordt door de omvangrijke zandtransporten. De platen worden hoger en de geuloevers steiler, waardoor het areaal aan ecologisch-waardevol intergetijde- en ondiepwatergebieden afneemt;
- Door het rondstromen van specie en de inpolderingen in het verleden is het areaal aan rustiger, afgeschermd gebieden, waar invang van fijn zand en slib mogelijk is, eveneens afgenomen. In gebieden waar dit nog wel mogelijk is vindt een doorgaande opslibbing plaats: Het Land van Saeftinge zal binnen afzienbare tijd zijn verland.

Handhaving van een dynamisch, meervoudig geulensysteem is in het oostelijk deel niet mogelijk, wanneer er vanuit wordt gegaan dat de verdieping 48'/43' te zijner tijd zal worden uitgevoerd. Het verschil tussen natuurlijke geuldiepte en gewenste vaardiepte is daarvoor te groot. Wel is het mogelijk om maatregelen te treffen die de huidige ecologische waarde van dit deel kunnen vergroten (paragraaf 11.4.3).

De onderstaande doelen worden realiseerbaar geacht.

Doelen

- Instandhouding c.q. realisering (verdieping 48'/43') van een voldoende diepe vaarweg;
- Reductie van de kosten van vaarwegonderhoud;
- Veiligheid op de vaarroute, door minimalisatie van stroom- en dwarsstroomhinder;

Doelen (vervolg)

- Handhaving van het kerend vermogen en de stabiliteit van de waterkeringen;
- Verbetering van de bodemkwaliteit;
- Verlaging van de troebelheid in de omgeving van stortlocaties;
- Herstel van de kinderkamerfunctie voor vissen en garnalen;
- Herstel van de mogelijkheden in het oostelijk deel voor overwinterende en pleisterende vogels;
- Versterking van de aanwezigheid van milieutypen die de overgang van zoet naar zout milieu weerspiegelen (schorren, intergetijde- en ondiepwatergebieden);
- Herstel van het natuurlijke tempo van sedimentatie op de schorren (met name de versnelde verslibbing van Saeftinge en verzanding van het Zwin moeten voorkomen worden);
- Een dynamisch en meervoudig geulensysteem. Alleen in het oostelijk deel mag aan deze doelstelling een lagere prioriteit gegeven worden, ten gunste van de vier hierboven genoemde doelen;
- Een maximale benutting van baggerspecie voor de zandwinning, voor zover hiermee aan de voorgaande doelstellingen geen afbreuk gedaan wordt.

11.4.3 Voorwaarden

De conflicten tussen functies leiden vooral in het oostelijk deel tot problemen. Daarom zijn de voorwaarden die vervuld moeten worden om de doelen te bereiken sterk gericht op dit gebied :

- Het onderhoudsbaggerwerk moet worden teruggebracht, tot een niveau beneden het huidige; ook in de eindsituatie na de verdieping (met het oog op reductie van de onderhoudskosten, verhoging van de veiligheid, verbetering van de bodemkwaliteit, lokale verlaging van de troebelheid);
- Sterke stromen en dwarstromen moeten tegengegaan worden (met het oog op de veiligheid van de scheepvaart);
- Erosie van vooroevers van waterkeringen, slikken en schorren moet beperkt worden;
- Toename van het areaal aan morfologisch-stabiele en enigszins afgeschermd intergetijde- en ondiepwatergebieden; een verbetering van de slibkwaliteit en een het tegengaan van verzanding zijn hierbij belangrijke nevenvoorwaarden (met het oog op verbetering bodemkwaliteit, herstel vogel- en kinderkamerfunctie);
- Uitbreiding van het areaal aan sedimentatiegebieden en stabilisatie van de hoogwaterstanden tot op de natuurlijke tendens (met het oog op vertraging van de verlanding van schorren).

Opgemerkt kan worden dat de meeste voorwaarden meerdere doelen dienen. Reductie van het onderhoudsbaggerwerk bijvoorbeeld, heeft belangrijke voordelen voor de veiligheid en de kosten van de scheepvaart en tevens voor de ecologische waarden van het estuarium.

11.4.4 Maatregelen

Of de genoemde voorwaarden gecreëerd kunnen worden is vrijwel geheel afhankelijk van de wijze waarop met de baggerspecie omgegaan zal worden. In hoofdstuk 10 zijn hiervoor een aantal scenario's geschetst. Voortzetting van het huidige stortbeleid met onttrekking of oost-west verplaatsing van overtollige specie (scenario's 1 en 2), biedt geen uitzicht op een realisatie van de doelstellingen: In beide scenario's neemt het volume van het onderhoudsbaggerwerk met de verdieping toe en blijft nadien hoog. Dit betekent een verslechtering van de huidige situatie. Scenario 2, biedt alleen perspectieven als eerste fase in de uitvoering van scenario 3a (een tijdelijk-verhoogde onttrekking). Een gefaseerde uitvoering van scenario 3a is gewenst om in de praktijk de meest-optimale voorwaarden te bepalen, voor een reductie van het onderhoudsbaggerwerk en verhoging van de ecologische waarde. Deze voorwaarden zijn nog niet precies bekend, zodat een aantal maatregelen hier slechts globaal aangegeven kan worden :

Periode tot de eventuele verdieping

- Alle activiteiten en maatregelen worden getoetst aan de hiervoor geformuleerde beleidsdoelstellingen.

Verdieping en inrichting

- Het in de nota Programma 48'/43' [24] voorgestelde ontwerp voor de verdieping wordt getoetst aan en in overeenstemming gebracht met de geformuleerde doelstellingen van het beleid ten aanzien van structuur en dynamiek;
- Onderzoek wordt uitgevoerd naar de meest-optimale inrichting van het oostelijk deel, gemeten aan de mate waarin de voorwaarden vervuld worden;
- Onderzoek wordt uitgevoerd naar de fasering en wijze waarop deze optimale situatie kan worden gecreëerd in samenhang met de verdieping;
- Tot aan de realisatie van deze optimale situatie en de verdieping, wordt slechts zoveel specie gebaggerd en verplaatst als strikt noodzakelijk is voor de handhaving van het thans overeengekomen hoofdgeulprofiel;
- De hydraulisch-morfologische effecten van de Westerschelde Oeververbinding worden beoordeeld op de geformuleerde voorwaarden en doelstellingen. Het effectieve doorstroomprofiel mag ter plaatse van de WOV met niet meer dan 5% verminderd worden;

Zandwinning

- Niet in het oostelijk deel te storten onderhoudsspecie wordt in de fase tot de verdieping beschikbaar gesteld voor de zandwinning, tot een nog nader te bepalen maximumhoeveelheid per jaar; deze zandwinning wordt gecombineerd met het onderhoudsbaggerwerk;
- Na uitvoering van toetsing en onderzoek, c.q. realisering van verdieping en optimale situatie, worden de zandwinmogelijkheden bijgesteld voor de dan heersende situatie;

11.5 Onderzoek

Het in de vorige paragraaf genoemde onderzoek moet antwoord geven op tenminste de hieronder geformuleerde vragen :

- Op welk niveau van opvulling van de nevengeulen gaat de aanvankelijke toename van de baggerintensiteit (na de verdieping) over in een afname?
- Hoe ziet de totale zandbalans van de Westerschelde er momenteel uit en hoe zal hij veranderen bij de realisering van de verdieping in de voorgestelde richting?
- Hoe ziet het huidige patroon van waterbewegingen eruit en welke interactie met morfologische ontwikkelingen vindt plaats?
- Welk niveau van baggerintensiteit kan worden bereikt bij welk niveau van opvulling van het nevengeulengebied, in combinatie met welke aanvullende maatregelen als "erosierem"?
- In welke bochten zijn erosiebeperkende maatregelen nodig en hoe kunnen deze het best worden uitgevoerd (bestortingen, speciestortingen)?
- Moet het verruimen van de hoofdgeul door baggeren gefaseerd worden en zo ja, hoe?
- Wat is de optimale aanpak voor het afremmen van de verlanding van Saeftinge tot een natuurlijk tempo, in relatie tot bagger- en stortwerkzaamheden, erosiebestrijding en inrichting van het gebied?
- Wat is de optimale inrichting van het gebied in relatie tot de ecologische functie, met name de vogelfunctie en de kinderkamerfunctie?

GEciteerde literatuur

- 1 ANTWERPSE ZEEDIENSTEN (ongedateerd) Debiëten van het Scheldebekken, periode 1959-1972. Antwerpse Zeediensten, Antwerpen.
- 2 BAKKER WT en LOOFF D DE (1980) Onderzoek gevolgen verdieping Westerschelde met betrekking tot morfologie, zandhuishouding, stortplaatsen en stabiliteit oevers. Nota WWKZ 80.V265B, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.
- 3 BAVECO JM (1988) Vissen in troebel water. De effecten op visuele predatoren van een verhoogde troebelheid en zwevend-stofgehalte als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen. 61 p.
- 4 BEEK SA en RINK GJ (1987) Aantalsfluctuaties en verspreiding van enkele vissoorten in het Schelde-estuarium. Rapport 2F87-103, Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek.
- 5 BERG JH VAN DE (1987) Toelichting bij isallopatenkaart Voordelta 1975-1984. Nota ZL-87.0020, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 6 BIJKERK R (1988) Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen. 72 p.
- 7 BOLLEBAKKER P (1985) Inhoudsveranderingen Westerschelde 1952-1981. Nota WWKZ-85.V027, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.
- 8 BOLLEBAKKER P, JONG H DE en KAMER S VAN DE (1987) Een analyse van de stormvloedstanden bij Antwerpen (Prosperpolder), opgetreden in de periode 1971-1986. Nota GWWS-87.407, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 9 CAUWENBERGHE C VAN (1971) Hydrografische analyse van de Scheldemonding ten oosten van de meridiaan 3° 05' tot Vlissingen. *Ingenieurstijdingen* (Hydrografie Dienst der Kust) 20(4).
- 10 COOSEN J en SMAAL AC (1985) Jaargemiddelde biomassa en activiteit van bodemdieren in de Oosterschelde. Interimrapport BALANS 1985-2, Rijkswaterstaat DDMI, Middelburg/Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.
- 11 DEKKER L en BOLLEBAKKER GP (1981) Getijberekeningen in verband met het onderzoek naar de verdieping van de Westerschelde. Deel 1a. Matig springtij. Nota WWKZ-81.V008, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.
- 12 GERRITSEN F en JONG H DE (1983) Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Nota WWKZ-83.V008, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.

- 13 LEENDERS KAHW (1986) Tweeduizend jaar kustontwikkeling van Kaap Gris-Nez tot Hoek van Holland. Nota NZ-N-86.19, Rijkswaterstaat Directie Noordzee, Rijswijk. 44 p.
- 14 LIGTENDAG WA (1987) Van ijzer tot jade. Reconstructie van de zuidelijke Noordzeekust in de jaren 1600 tot 1750. Rapport Historisch-Geografisch Seminarium, Universiteit van Amsterdam.
- 15 LOOFF D DE (1983) Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde op basis van de resultaten van vroeger, over de periode 1878-1971/1972 en recent, over de periode 1971/1972-1980, uitgevoerde berekeningen. Nota WWKZ-83.V003, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.
- 16 LOOFF D DE (1986) Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde voor de periode 1980-1984/1985, aansluitend op eerdere berekeningen voor het tijdvak 1878-1980. Nota NXL-86.020, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 17 MOORE PG (1977) Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 15 : 225-363.
- 18 PLAGMANN J (1939) *Helgol wiss Meeresunters* 2 : 113-162.
- 19 RIJN LC VAN (1985) Zandtransportmodel Westerschelde, stochastisch onderzoek zandtransportformule. Onderzoekverslag S 582, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- 20 SMAAL AC red (1988) De kering en de kweek. Nota GWAO 88-1011, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren/Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek, Projektgroep MOKWE, Middelburg. 26 p.
- 21 STAM A (1984) De vissen, krabben en garnalen van het Eems-Dollard Estuarium. III. Kwantitatieve inventarisatie van de platvissen. *Publicaties en Verslagen 1984(2)*, Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium (BOEDE).
- 22 STUART JJ, MEIRE P EN MEININGER P (1988) Watervogels in de Westerschelde. Rijksuniversiteit, Gent/Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 23 SWART JP (1988) Ontwikkeling van de platen in de Westerschelde. Nota NXL-88.45, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 24 TECHNISCHE SCHELDECOMMISSIE (1984) Verdieping Westerschelde, Programma 48'/43'. Studierapport. Technische Scheldec commissie, Subcommissie Westerschelde, Antwerpen, Middelburg. (3 delen).
- 25 VEEN J VAN (1943) Verdieping Scheldemond. Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren.
- 26 WERKGROEP TECHNISCHE SCHELDECOMMISSIE (1976) Aanzanding en aanslibbing noordelijk bekken na realisering bochtafsnijding bij Bath. Nota 76.2, Rijkswaterstaat Studiedienst, Vlissingen.

OVERZICHT VAN FIGUREN

- 1 De ontwikkeling van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Vlissingen, Bath en Antwerpen, in de periode 1900-1980.
- 2 Kombergings- en getijvolumegrafiek van de Westerschelde.
- 3 Relatie tussen maximale debiet en doorstroomprofiel voor het Zuidergat en het Schaar van Waarde.
- 4 Debietontwikkeling in het Zuidergat en het Schaar van Waarde, in de periode 1937-1981.
- 5 Relatie tussen maximale debiet en doorstroomprofiel voor het Middelgat en het Gat van Ossensisse.
- 6 Debietontwikkeling in het Middelgat en het Gat van Ossensisse, in de periode 1932-1983.
- 7 Het meerjarig verloop van de maximale stroomsnelheid in eb- en vloedgeulen van de Westerschelde.
- 8 Het verloop van de maximale snelheden van de eb- en de vloedstroom langs de lengteas van de Westerschelde, in vier perioden sinds 1930.
- 9 De jaargemiddelde afvoer van de Schelde ter hoogte van Schelle in de periode 1950-1987.
- 10 Toename van het onderhoudsbaggerwerk in de periode 1950-1983.
- 11 Ligging van de huidige bagger- en stortlocaties.
- 12 Overzicht van de gestorte hoeveelheden specie op de stortlocaties in het oostelijk deel van de Westerschelde.
- 13 Vergelijking tussen de gebaggerde hoeveelheden en de stortcapaciteit bij realisatie van de Verdieping 48'/43'.
- 14 Jaarlijkse onttrekking van specie voor zandwinning, door de Belgische en Nederlandse overheid sinds 1955.
- 15 Ligging van de vijf zandwingebieden voor concessiehouders, met het verloop van de jaarlijkse specie-onttrekkingen sinds 1956.
- 16 Inhoudsberekeningen Westerschelde voor drie perioden.
- 17 Ligging van de huidige en potentiële zandwinlocaties in het mondingsgebied van de Westerschelde.
- 18 Zandtransporten in het oostelijk deel van de Westerschelde, afgeleid uit de inhoudsveranderingen over de periode 1971/72-1980.
- 19 Zandtransporten in de Westerschelde, afgeleid uit de inhoudsveranderingen over de periode 1980-1984/85.
- 20 Vakindeling Westerschelde volgens debietraaien.
- 21 Ontwikkeling van de oppervlakte per dieptezone in de periode 1969-1981.
- 22 Ligging en oppervlakteveranderingen sinds 1955 van de plaatgebieden in de Westerschelde.
- 23 Hydrografische situatie in het mondingsgebied van de Westerschelde, in de jaren 1829, 1863, 1921 en 1978.
- 24 Overzicht van gebaggerde en gestorte hoeveelheden specie in de buitendelta, in de periode 1970-1984.
- 25 Enkele Nederlandse vissoorten die gerekend worden tot de visuele predatoren, met een aanduiding van hun voornaamste voedsel.
- 26 Schatting van de "fatale diepte" voor enkele belangrijke bodemdiersoorten, bij een plotselinge bedekking door zand of slib.
- 27 Relatie tussen het percentage ontsnapte dieren en de diepte van begraving.

- 28 Tolerantie van enkele belangrijke bodemdiersoorten voor een permanente sedimentatie van zand of slib.
- 29 Globale dichtheden van bodemdieren in de Westerschelde.
- 30 Vergelijking van de gemiddelde biomassa van bodemdieren, tussen geulen, platen en plaatranden in de Oosterschelde.
- 31 Verloop van de kombergingsoppervlakte per dieptezône van Saeftinge vanaf 1931.
- 32 Dwarsprofiel van Saeftinge, periode 1931-1962.
- 33 Dwarsprofiel van Saeftinge, periode 1962-1987.
- 34 Situering en bergingscapaciteit Schaar van Waarde en Schaar van Valkenisse.
- 35 Situering en bergingscapaciteit Middelgat.
- 36 Situering en bergingscapaciteit Gat van Ossensisse.
- 37 Situering en bergingscapaciteit Zimmermangeul, verbindingsgeul Zimmermangeul-Schaar van Valkenisse en aangrenzende plaatgebieden.
- 38 Verloop van het doorstroomprofiel van de geulenstelsels in de Westerschelde.
- 39 Situering van het voorgestelde bergingsgebied op de Platen van Valkenisse.

OVERZICHT VAN TABELLEN

- 1 Verandering in de gemiddelde standen van hoog- en laagwater.
- 2 De afvoer van de Schelde te Schelle en Schaar van Ouden Doel, in de periode 1980-1987.
- 3 Schatting van de baggerhoeveelheden vóór, tijdens en na de Verdieping 48'/43'.
- 4 Overzicht van zandwinning in het mondingsgebied.
- 5 Zandhoeveelheden nodig voor kustverdediging en suppletie in het mondingsgebied, uitgesplitst naar locatie.
- 6 Berekende en gemeten zandtransporten voor het geulvak Zuidergat.
- 7 Veranderingen in de inhoud van het intergetijdegebied en de daaronder gelegen gebieden, in de periode 1969-1981.
- 8 Inpolderingen op het Nederlands deel van de Westerschelde.
- 9 Beïnvloed oppervlak door baggeren en storten in twee gebiedsdelen van de Westerschelde (situatie 1985).
- 10 Verandering in de oppervlakten van intergetijde- en ondiepwatergebieden tussen 1969 en 1981.
- 11 Afname van de vooroevers van slikken en schorren tussen 1950 en 1980.
- 12 Afname van het kombergingsvolume van het Land van Saeftinge.
- 13 Jaarlijkse capaciteit van de huidige stortlocaties in het oostelijk deel van de Westerschelde, bij opvulling tot NAP -7,5 m.
- 14 Initiele capaciteit van twee potentiële stortlocaties gelegen in de omgeving van Hansweert.
- 15 Initiele capaciteit van bestaande en potentiële stortlocaties in het oostelijk deel, bij opvulling tot de laagwaterlijn (NAP -2,5 m).
- 16 Verandering van de waterstanden en stroomsnelheden op enkele locaties, door storting tot boven de hoogwaterlijn (GHW).
- 17 Scoringstabellen voor de ecologische en economische aspecten van de stort- en bergingsscenario's.

OVERZICHT VAN BIJLAGEN

- 1 Berekening van de evenwichtsstroomsnelheid.

COLOFON

omslagfoto LANDSAT

drukwerk Pitman BV, Goes

**redactionele
ondersteuning
en lay-out** Bureau RDD *Aquatic Ecosystems*, Groningen

De evenwichtsstroomsnelheid, U^e , is een belangrijke parameter. Is de maximale stroomsnelheid in een geul, tijdens eb of vloed, gelijk aan deze evenwichtsstroomsnelheid, dan is het doorstroomprofiel van de geul "in evenwicht" met het maximale eb- respectievelijk vloeddebiet. Als de optredende maximale stroomsnelheid beneden deze evenwichtswaarde ligt, betekent dit dat de geul te ruim is voor het optredende maximale debiet en onderhevig zal zijn aan netto sedimentatie. Is de maximale stroomsnelheid hoger dan deze waarde, dan is de geul te nauw en zal per saldo erosie optreden. Deze aanzandings- of verruimingsprocessen zullen voortduren totdat een evenwichtssituatie bereikt is tussen het doorstroomprofiel en het maximale debiet.

Voor de vloedgeulen in de Westerschelde is uit debietmetingen de volgende regressie afgeleid tussen maximaal debiet, $Q_{\max}$ en het doorstroomprofiel, A_c , bij evenwicht :

$$Q_{\max} = 1,08 \cdot A_c - 1330 \quad (1)$$

De maximale stroomsnelheden in de eb- of vloedfase, $U_{\max}$, kunnen berekend worden uit de vergelijking :

$$U_{\max} = Q_{\max} / A_c \quad (2)$$

De maximale stroomsnelheid voor de evenwichtsligging kan vervolgens afgeleid worden door de leden van vergelijking (1) te delen door A_c :

$$U^e = 1,08 - 1330 / A_c \quad (3)$$

Voor de ebgeulen kan de vergelijking voor de evenwichtsstroomsnelheid op dezelfde wijze worden afgeleid uit de basisvergelijking :

$$Q_{\max} = 0,96 \cdot A_c - 4118 \quad (4)$$

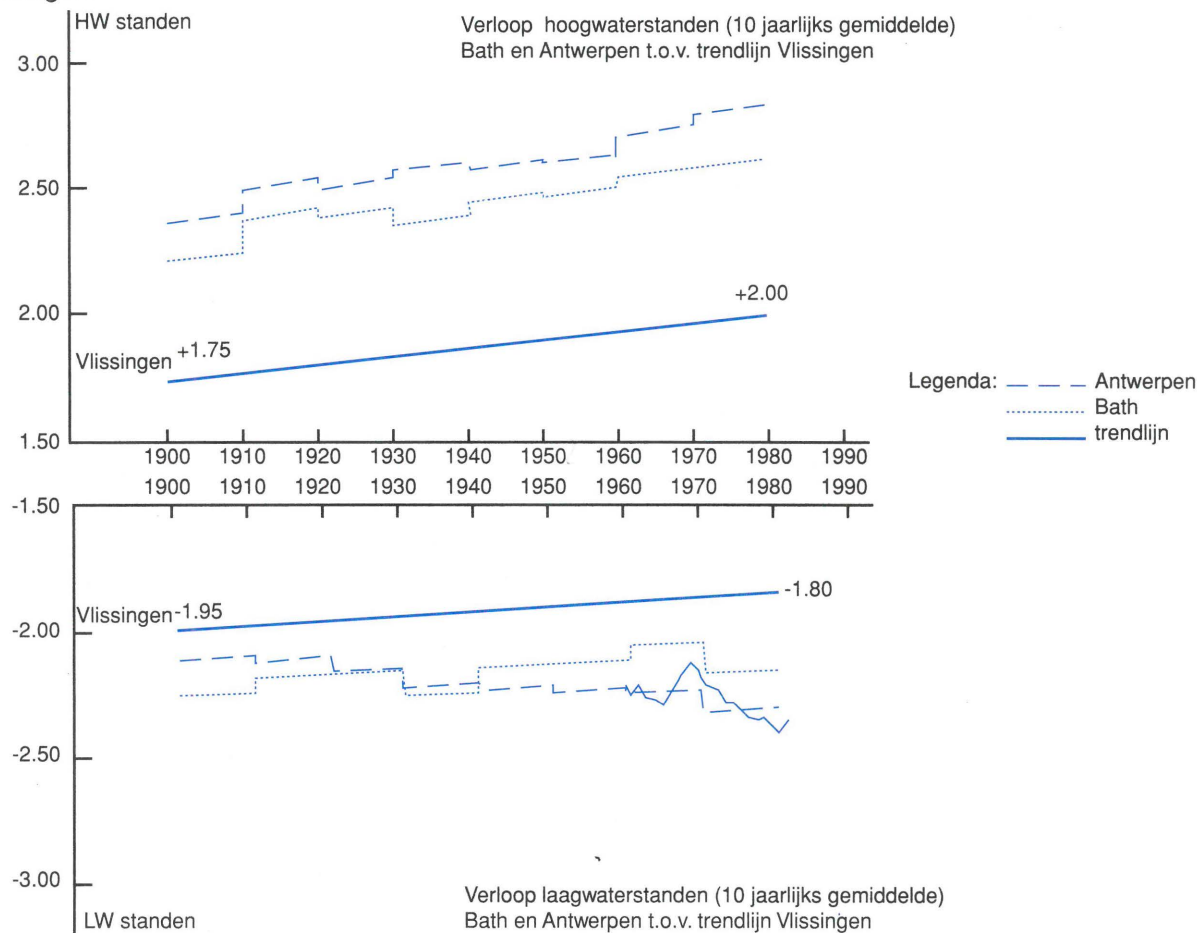
De maximale stroomsnelheid in een geul wordt bepaald uit metingen van het maximale debiet en het uit lodingen berekende doorstroomprofiel. De uitkomst kan vervolgens vergeleken worden met de evenwichtsstroomsnelheid om te bepalen of de geul in evenwicht verkeert, te ruim is, of te nauw.

Onderstaande tabel geeft de variabelen met hun dimensies.

Variabele	Omschrijving	Dimensie
A_c	Oppervlakte doorstroomprofiel	m^2
$Q_{\max}$	Maximale eb- c.q. vloeddebiet	m^3/s
$U_{\max}$	Maximale eb- of vloedstroomsnelheid	m/s
U^e	Evenwichtsstroomsnelheid	m/s

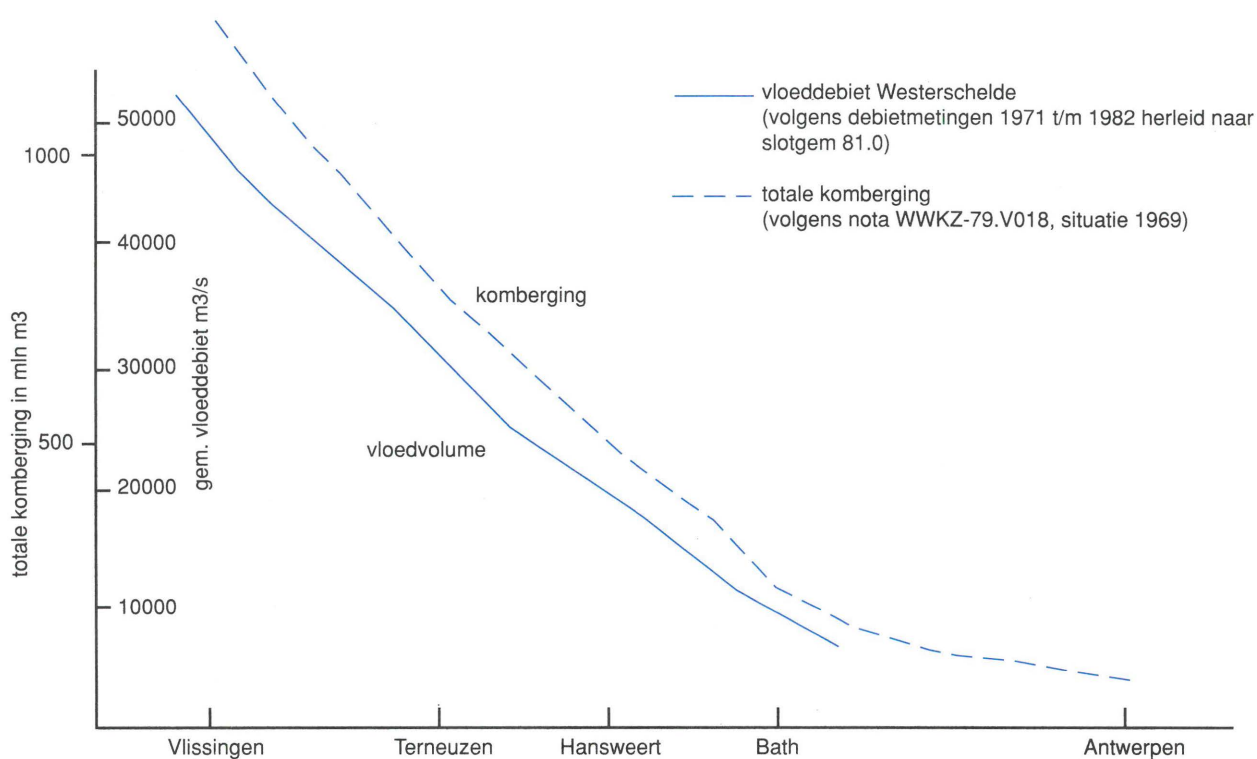
figuur 1 :

De ontwikkeling van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Bath en Antwerpen periode 1900-1980 t.o.v. trendlijn Vlissingen.

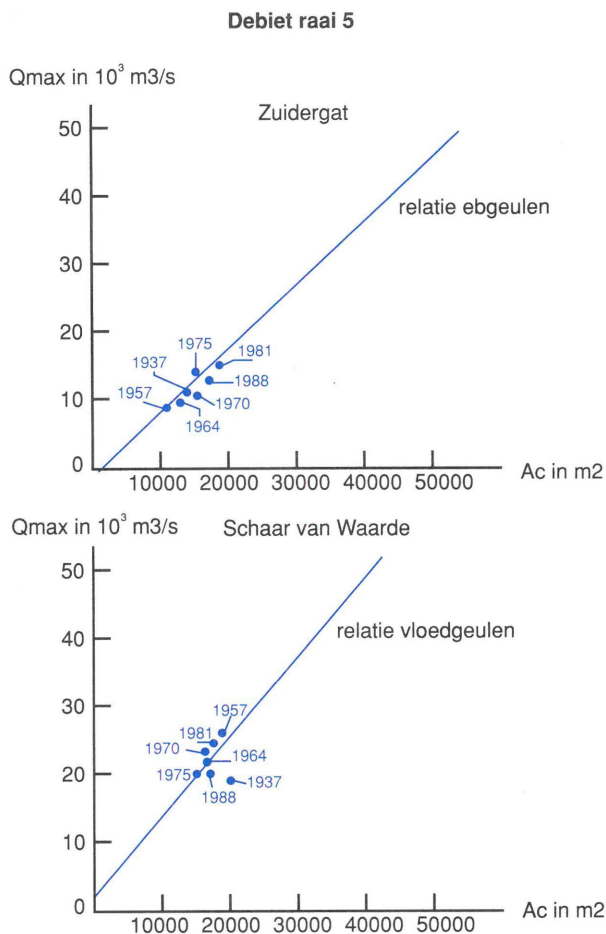


figuur 2 :

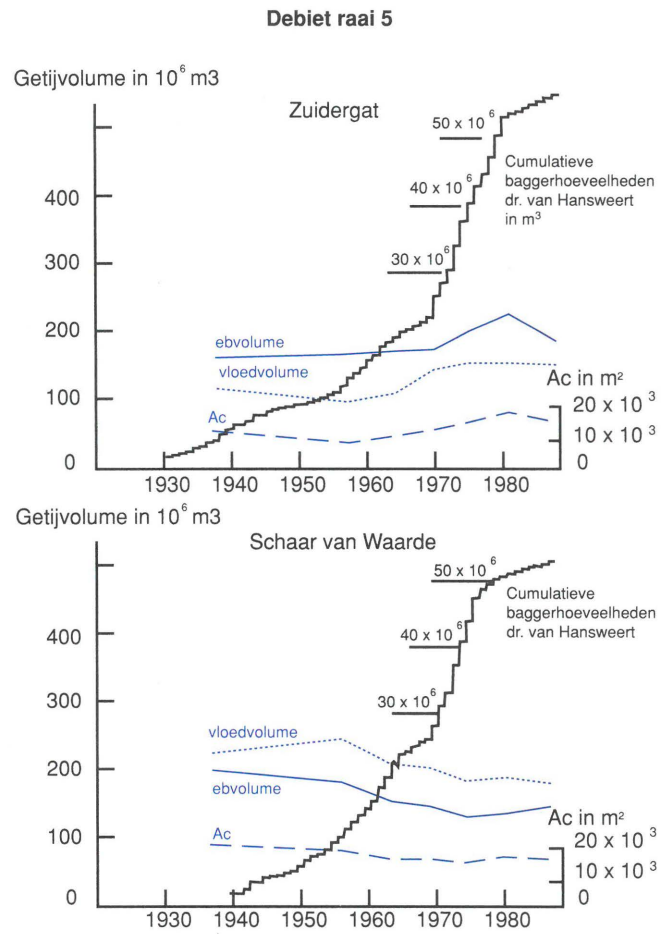
Kombergings- en getijvolumegrafiek van de Westerschelde.



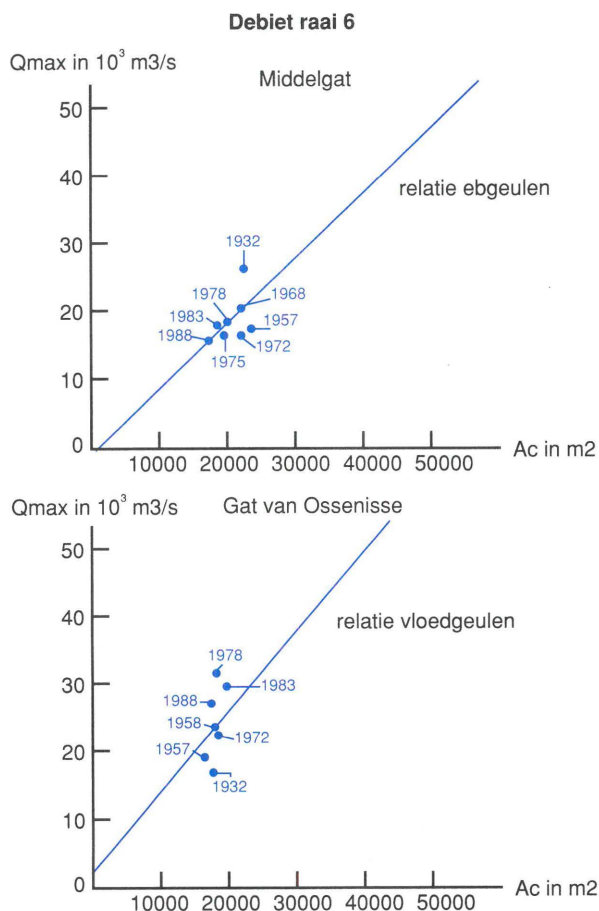
figuur 3 :
Relatie maximaal debiet-doorstroomprofiel.



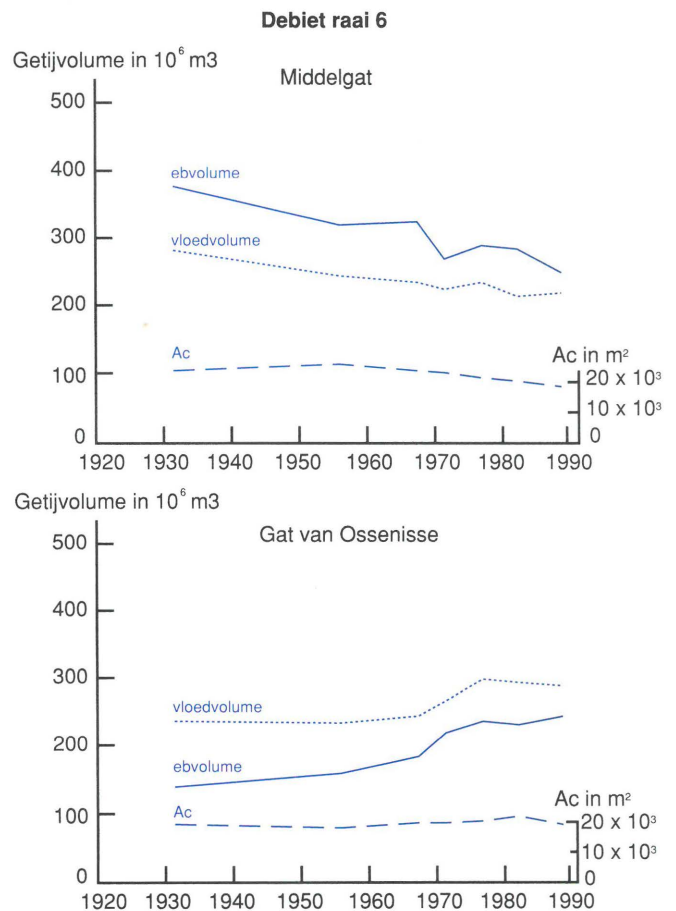
figuur 4 :
Debietontwikkeling Zuidergat - Schaar van Waarde



figuur 5 :
Relatie maximaal debiet-doorstroomprofiel.

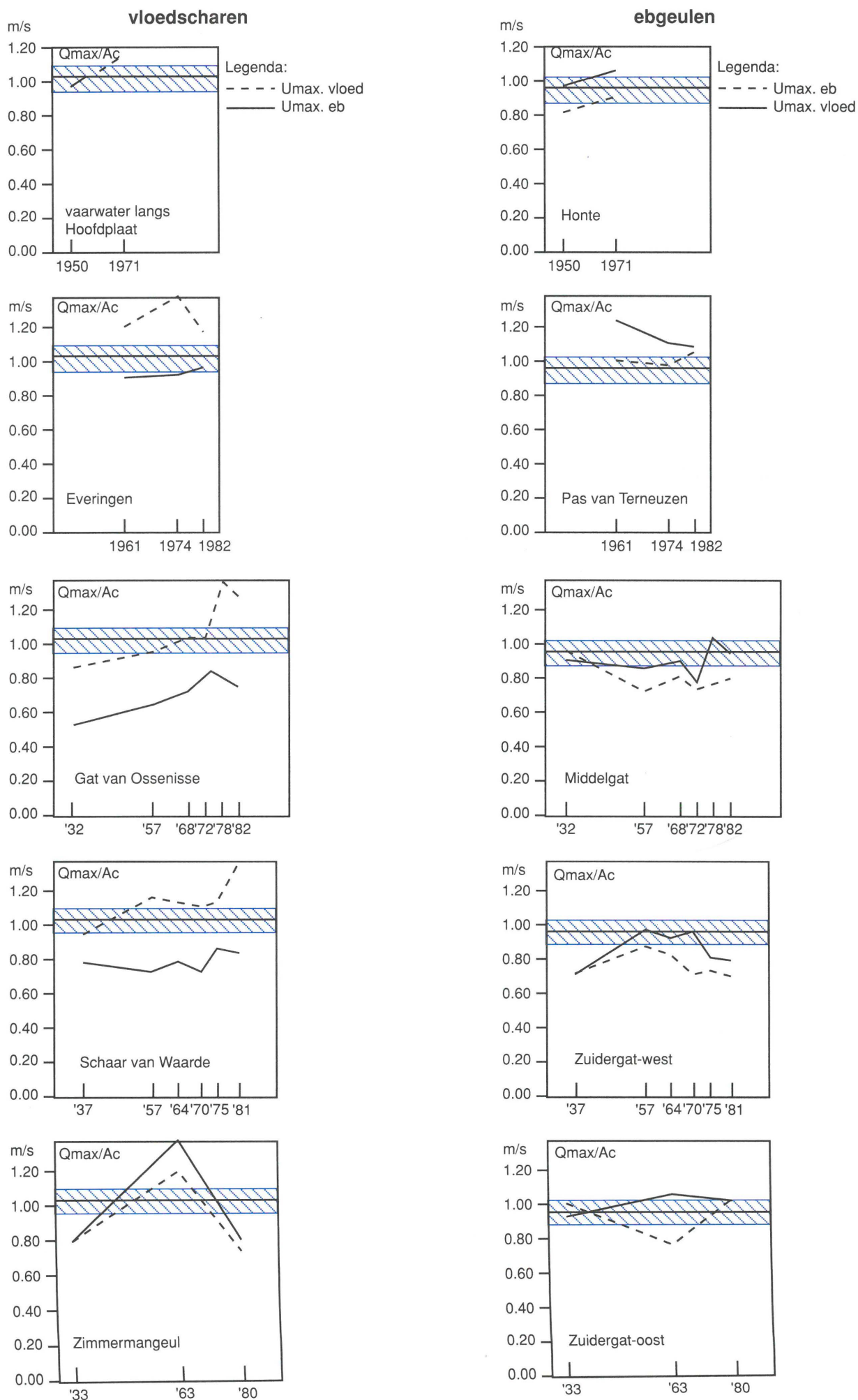


figuur 6 :
Debietontwikkeling Middelgat - Gat van Ossensisse



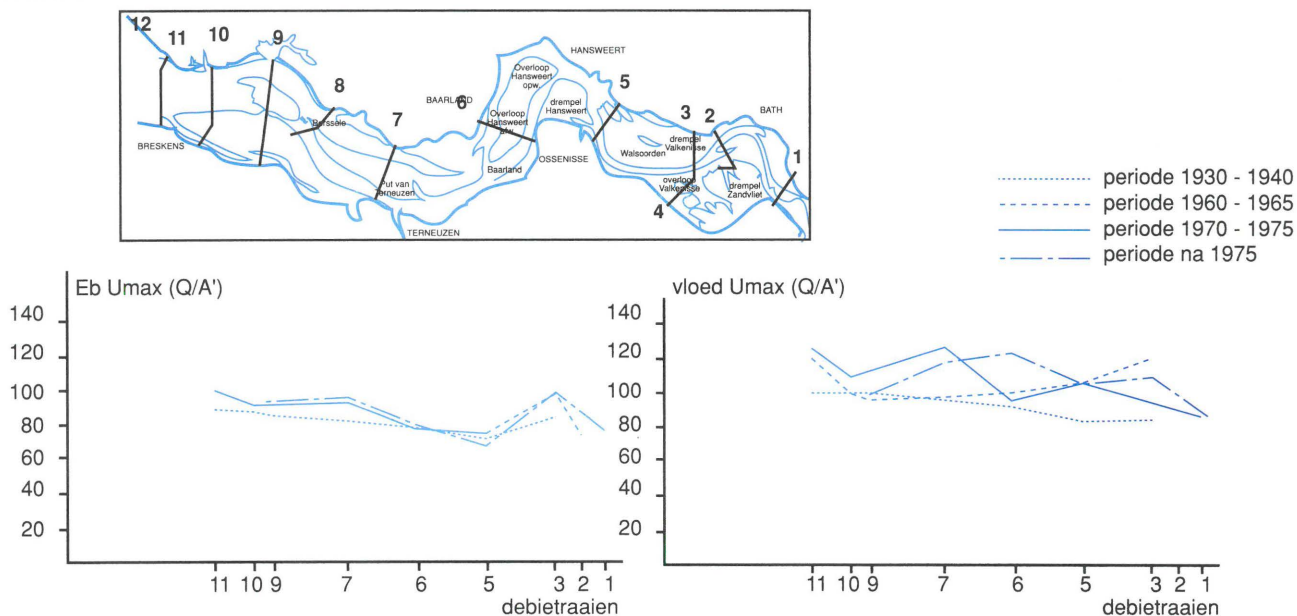
figuur 7 :

Meerjarig verloop maximale stroomsnelheden in eb- en vloedgeulen Westerschelde.



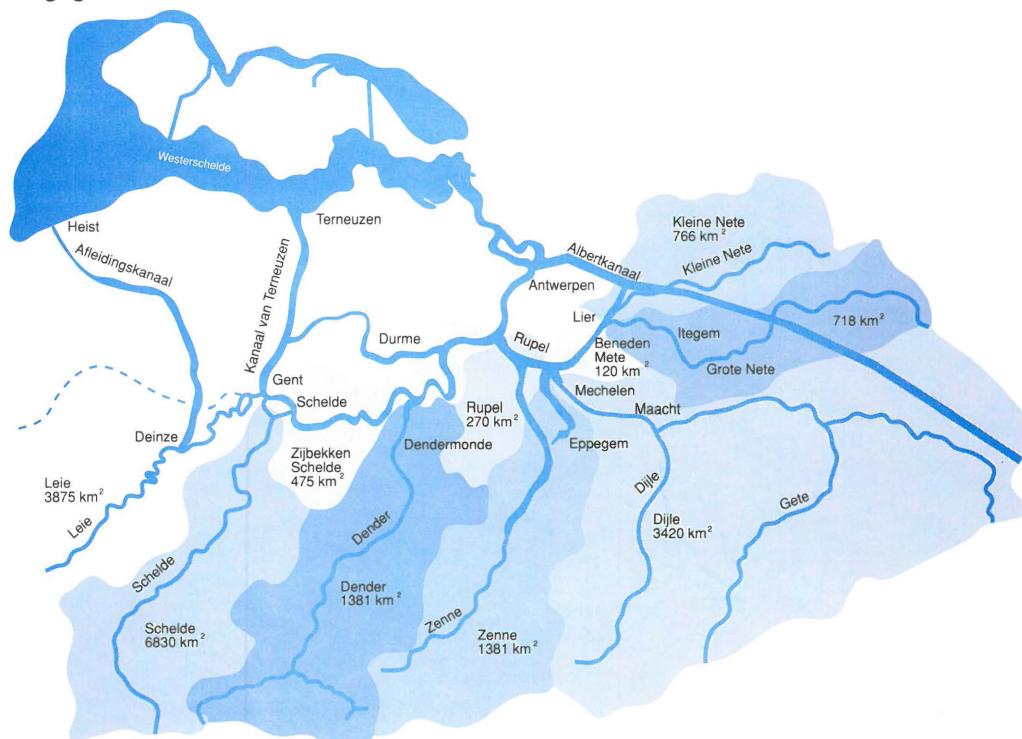
figuur 8 :

Verloop maximale snelheden eb- en vloedstroom langs de lengte as.



figuur 9 :

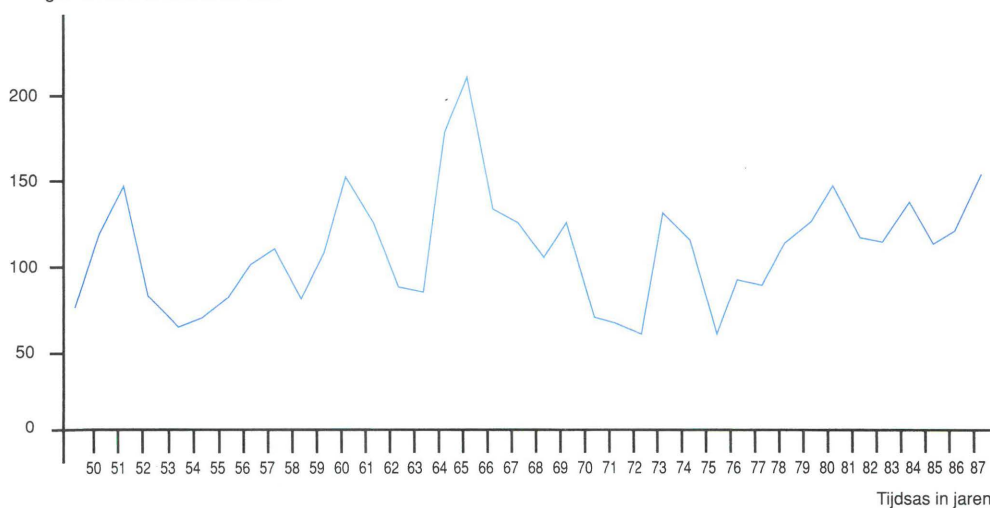
Afwateringsgebied van de Schelde



De jaargemiddelde afvoer van de Schelde nabij Schelle in m³/s, periode 1950-1987.

(gegevens Antwerpse Zeedienssten)

Jaargemiddelde afvoer in m³/sec

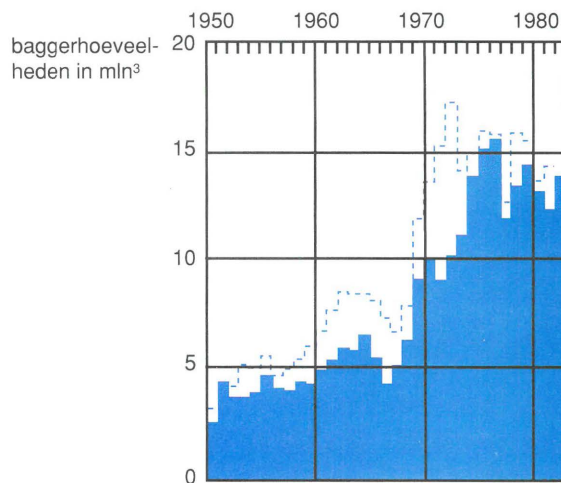


Tijdsas in jaren

figuur 10:

Toename onderhoudsbaggerwerk periode
1950-1983
(Belgische staat)

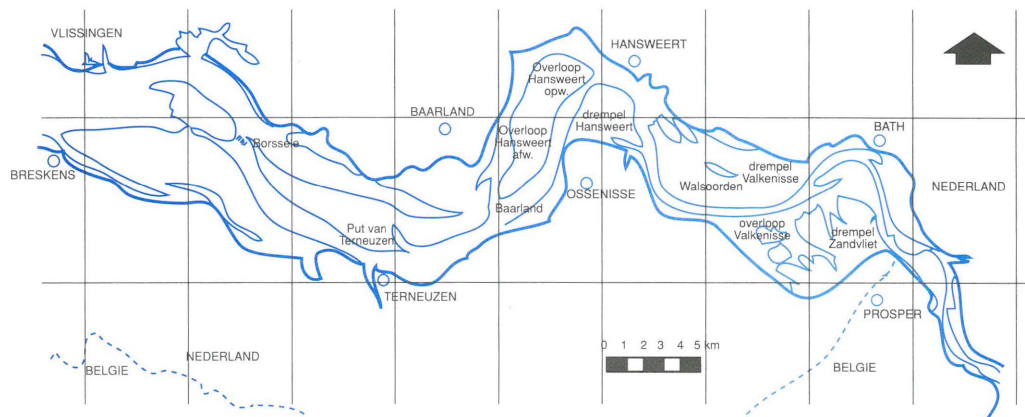
----- Westerschelde + Schelde
—— Westerschelde (Vlissingen - Zandvlietluis)



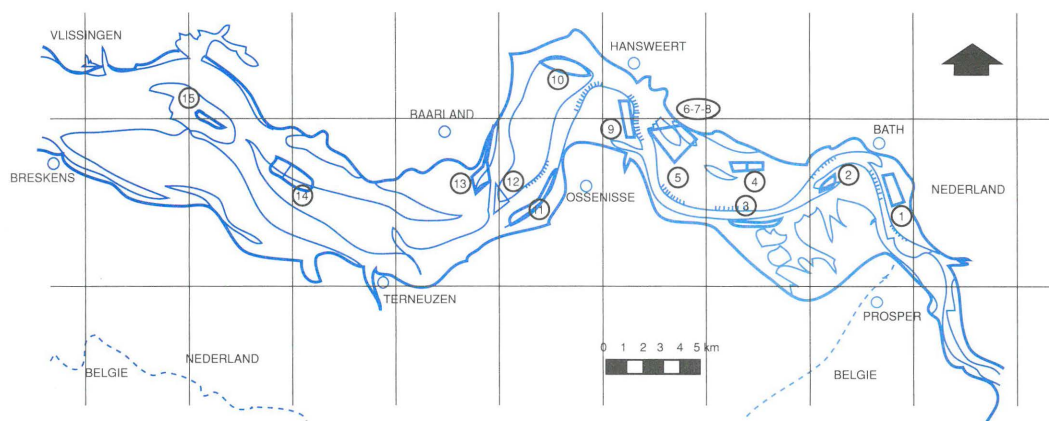
figuur 11:

Overzicht bagger- en stortlocaties Westerschelde

Westerschelde
baggerlocaties

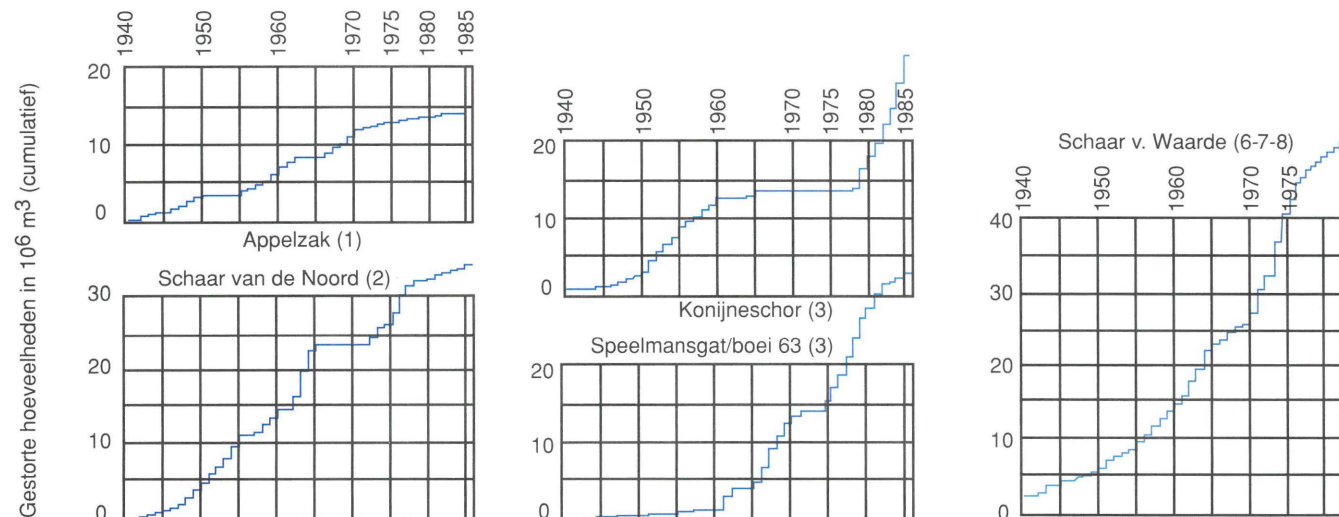


Westerschelde
stortlocaties
baggerspecie



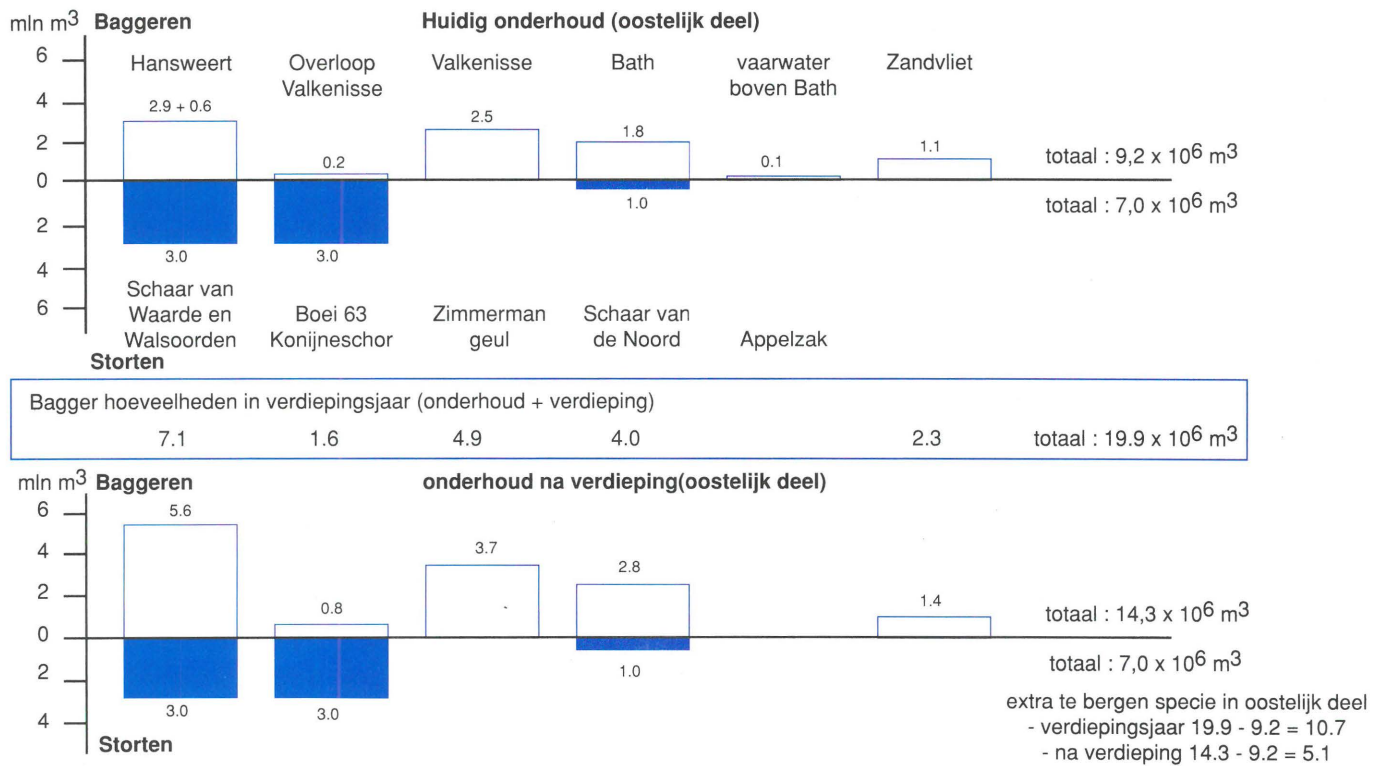
figuur 12:

Overzicht gestorte hoeveelheden stortlocaties oostelijk deel Westerschelde.



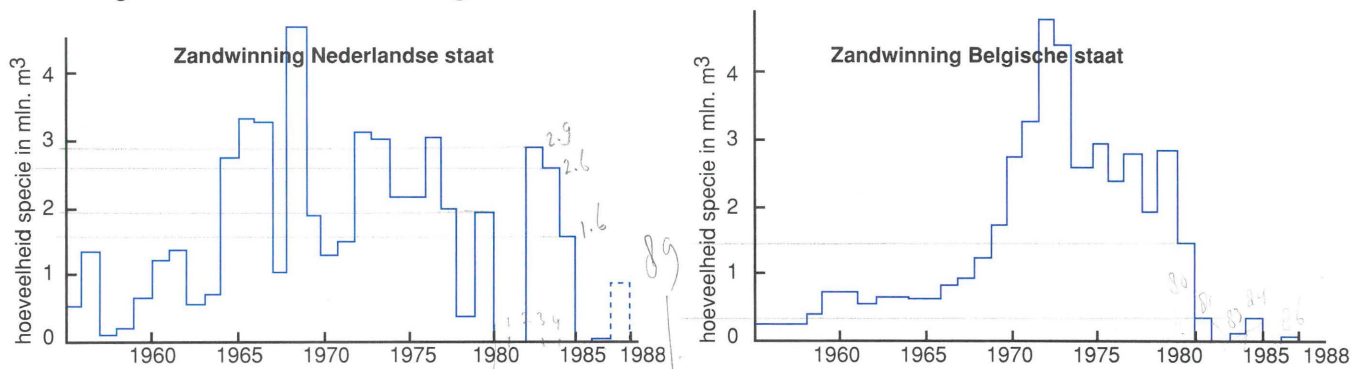
figuur 13:

Vergelijking gebaggerde hoeveelheden en stortcapaciteit bij realisatie verdieping '48/43'



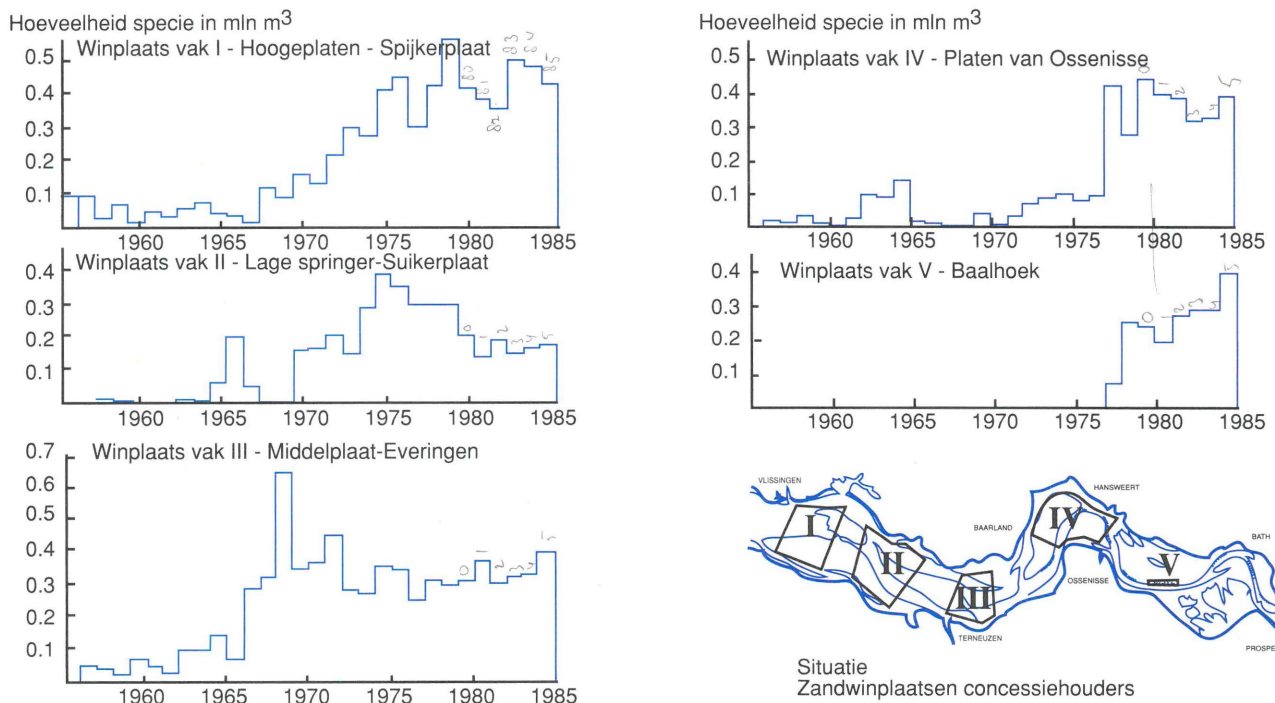
figuur 14:

Onttrekkingen door nederlandse en belgische overheid in de Westerschelde.



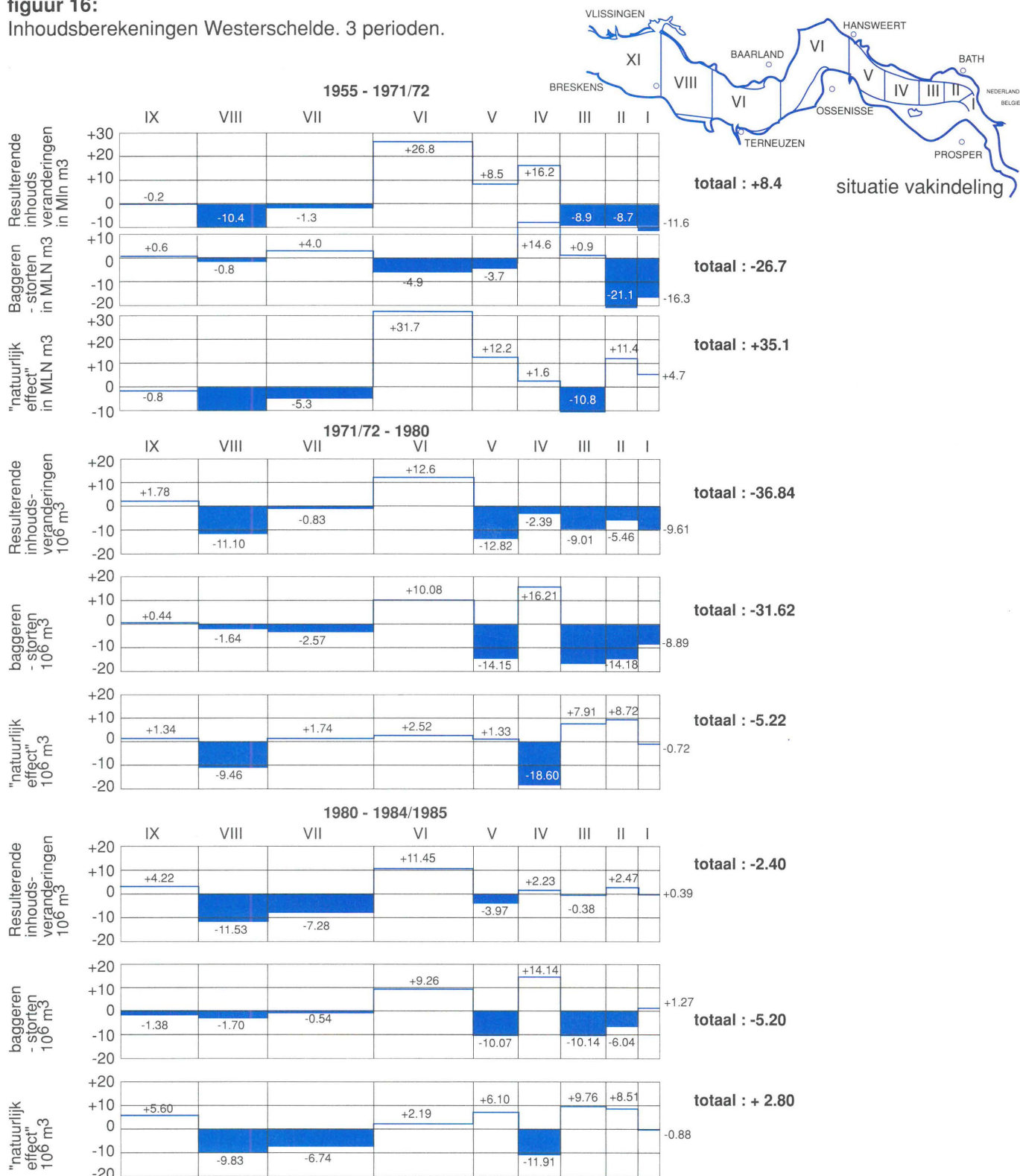
figuur 15:

Zandwinplaatsen voor concessiehouders en hun jaarlijkse onttrekkingen.



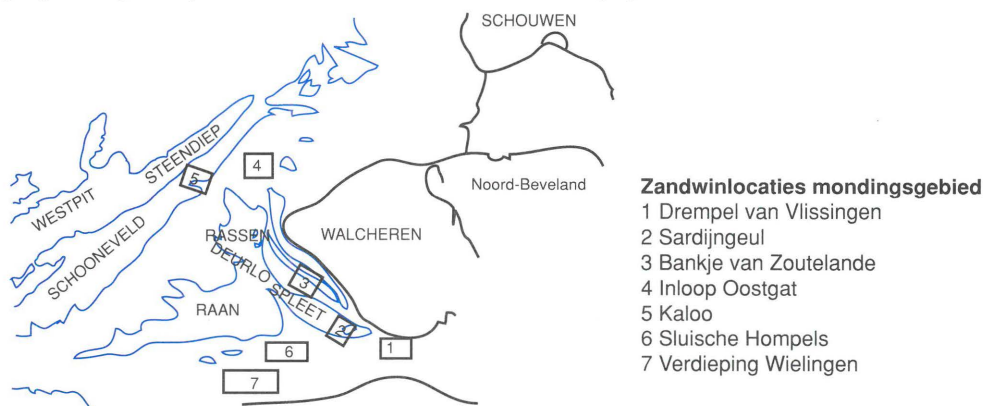
figuur 16:

Inhoudsberekeningen Westerschelde. 3 perioden.



figuur 17:

Ligging huidige en potentiële zandwinlocaties mondingsgebied Westerschelde.

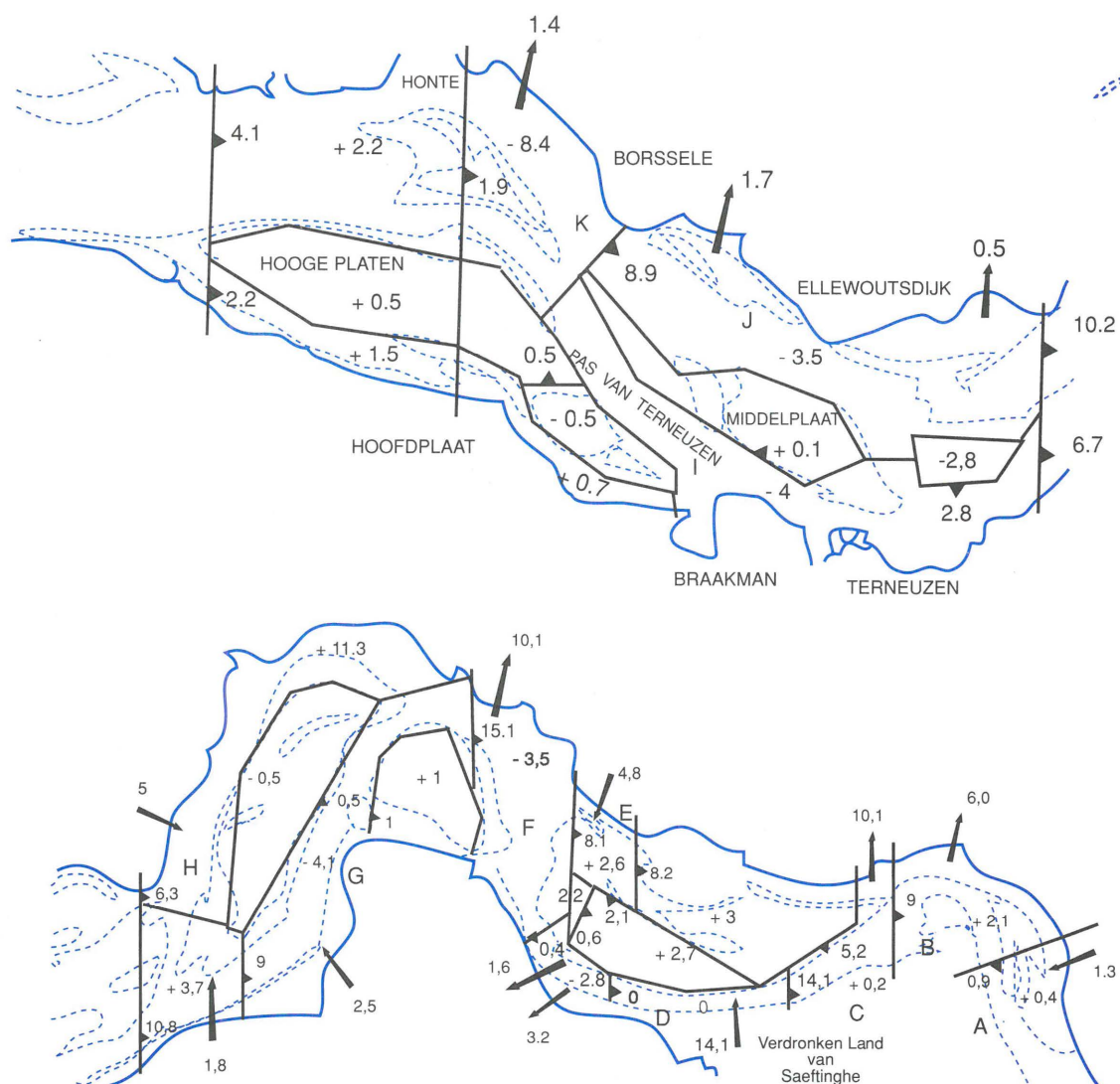


Zandtransporten afgeleid uit
inhoudsberekening (1971-1980)

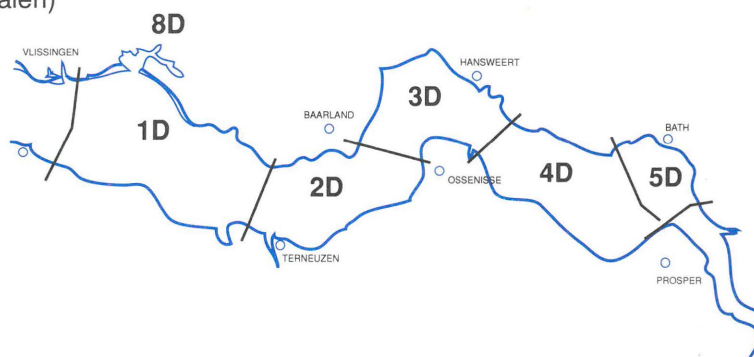
Zandtransporten afgeleid uit
inhoudsberekening (1971-1980)

Zandtransporten afgeleid uit
inhoudsberekening (1980-1984/85)
Oostelijk- en Westelijk deel Westerschelde

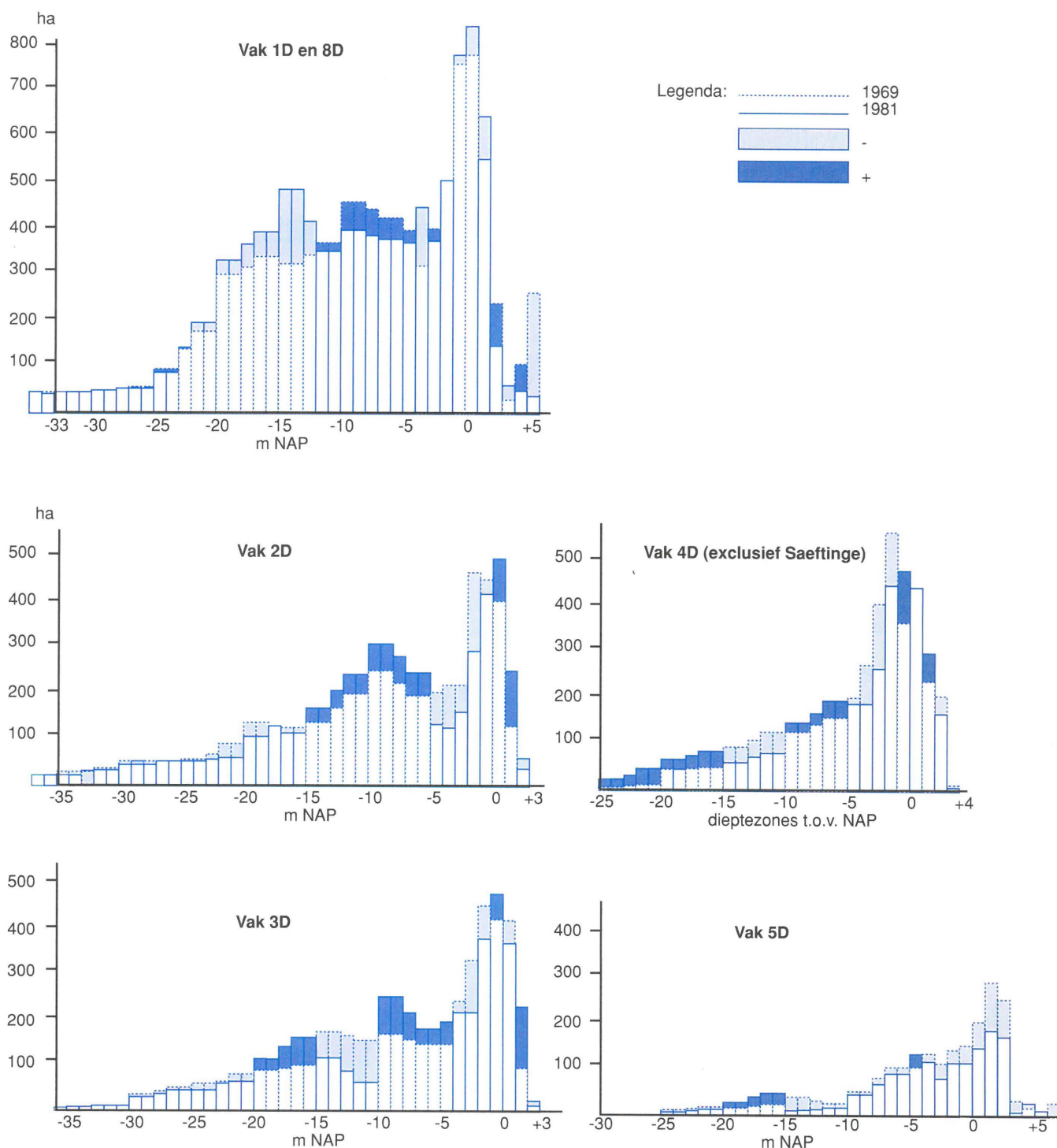
Zandtransporten afgeleid uit
inhoudsberekening (1980-1984/85)
Oostelijk- en Westelijk deel Westerschelde



figuur 20 :
Overzicht vakindeling dieptezones
(volgens debietraaien)

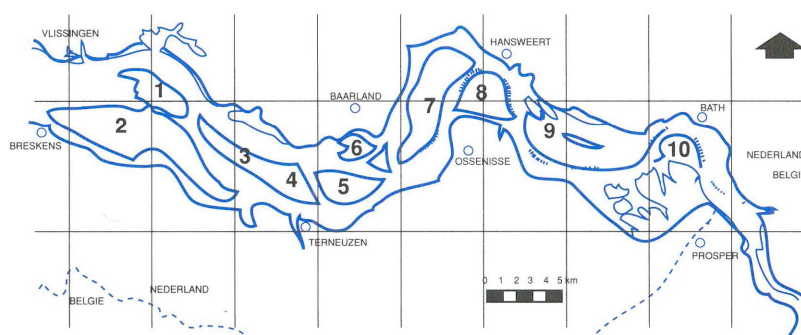
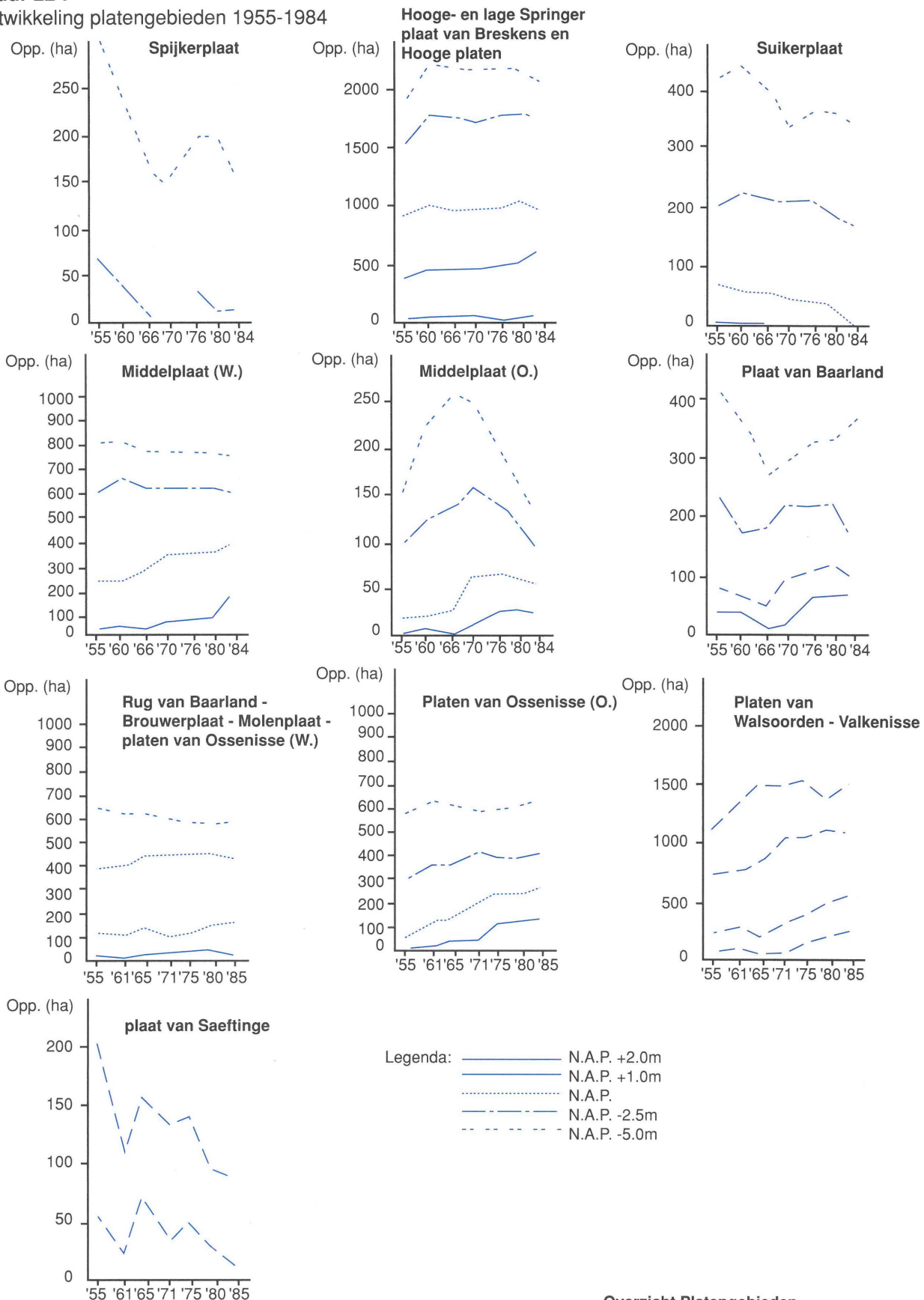


figuur 21 :
Ontwikkeling dieptezones 1969-1981



figuur 22 :

Ontwikkeling platengebieden 1955-1984



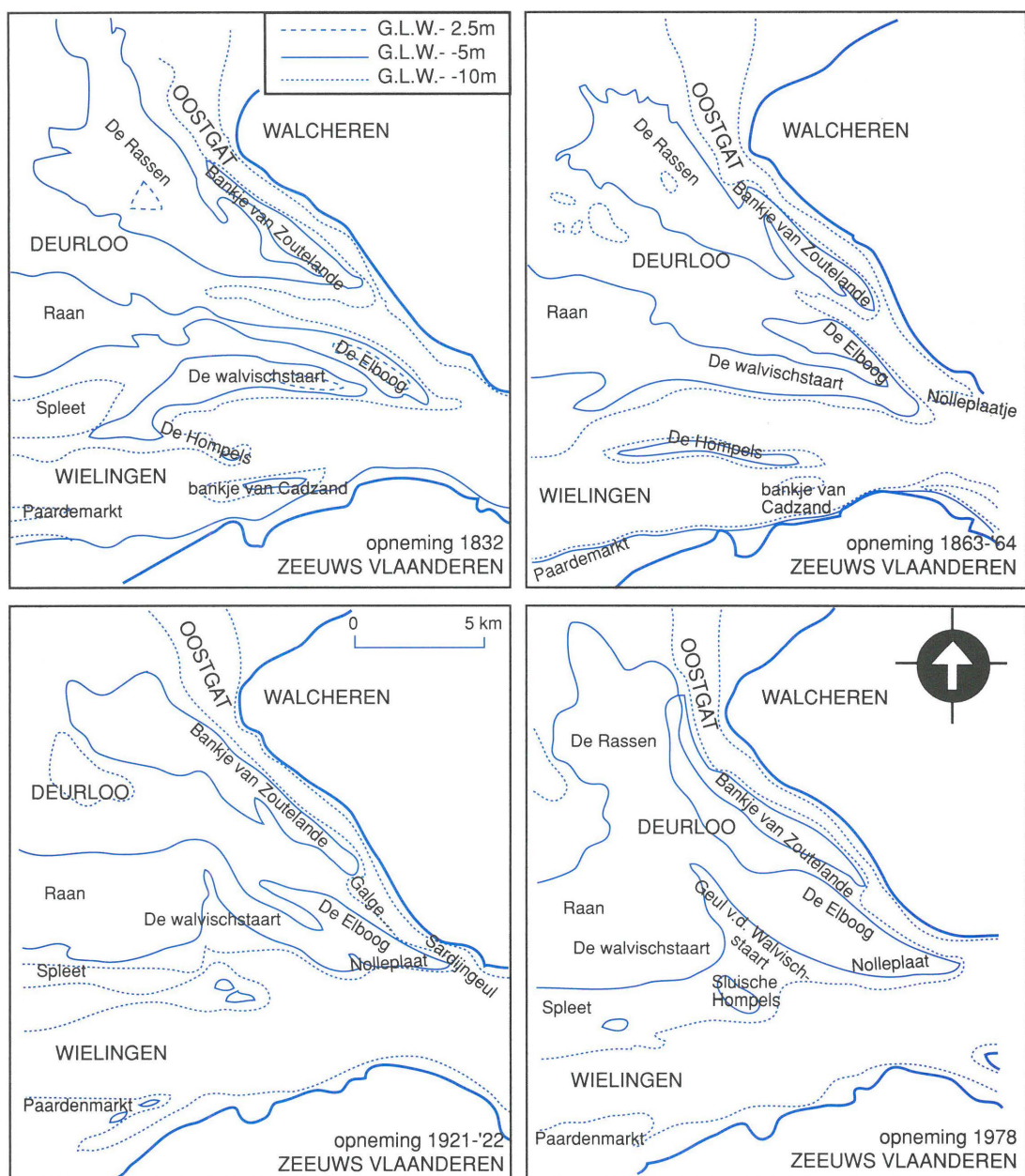
Overzicht Platengebieden

Legenda:

- 1 Spijkerplaat
- 2 Hooge en Lage Springer, Plaat van Breskens en Hooge platen
- 3 Suikerplaat
- 4 Middelpaat (West)
- 5 Middelpaat (Oost)
- 6 Plaat van Baarland
- 7 Rug van Baarland, Brouwersplaat, Molenplaat en Platen van Ossensisse (West)
- 8 Platen van Ossensisse (Oost)
- 9 Platen van Walsoorden en Valkenisse
- 10 Plaat van Saeftinge

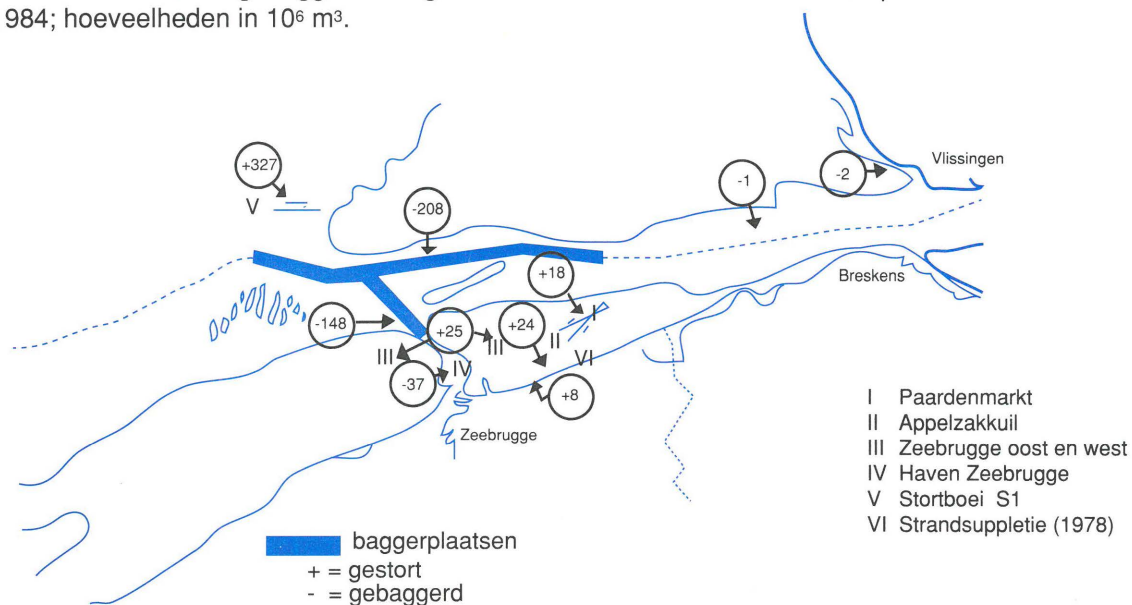
figuur 23 :

Hydrografie mondingsgebied Westerschelde 1829, 1963, 1921, 1978



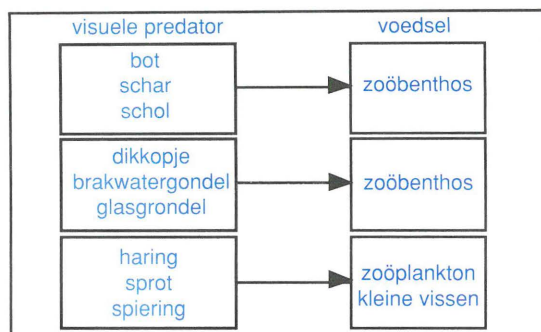
figuur 24 :

Buitendelta Westerschelde: gebaggerde en gestorte hoeveelheden sediment in de periode 1970 - 1984; hoeveelheden in 10^6 m^3 .



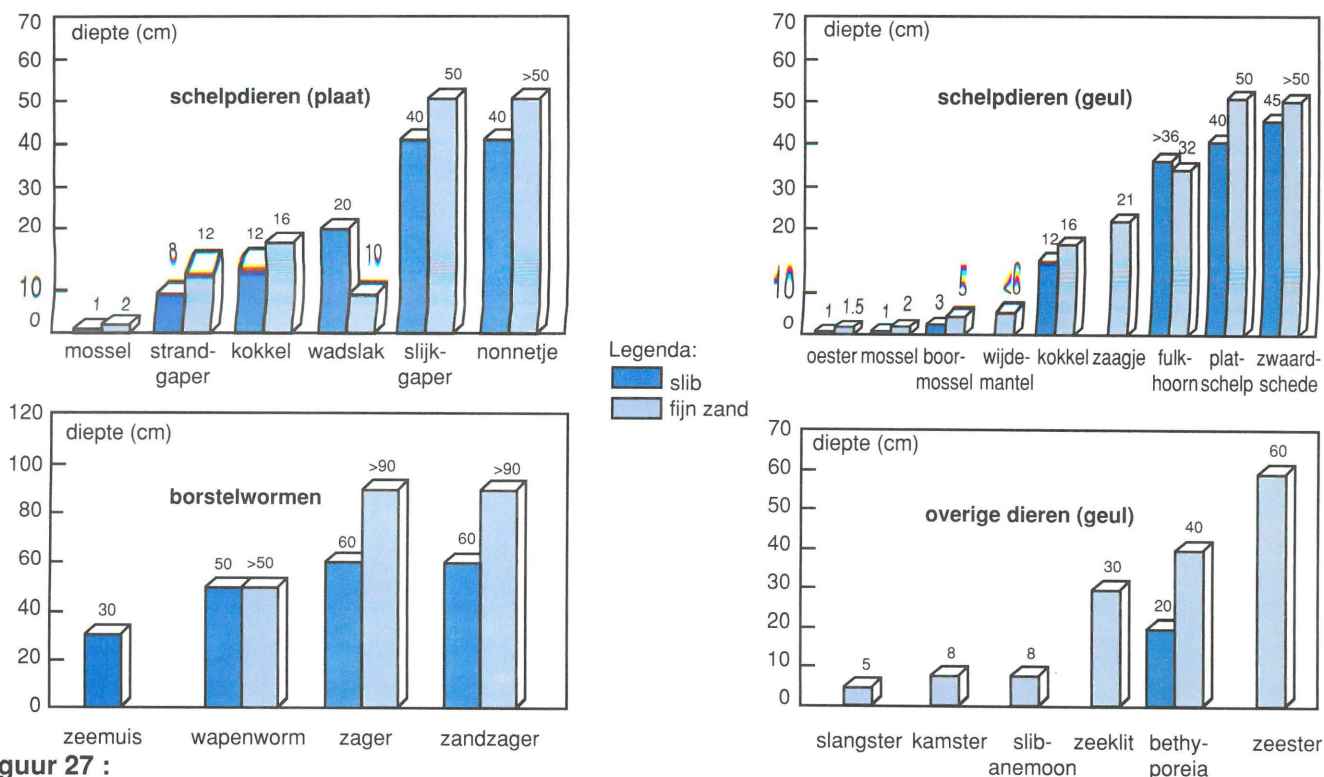
figuur 25 :

Enkele Nederlandse vissoorten die gerekend worden tot de visuele predatoren, met een aanduiding van hun voornaamste voedsel.



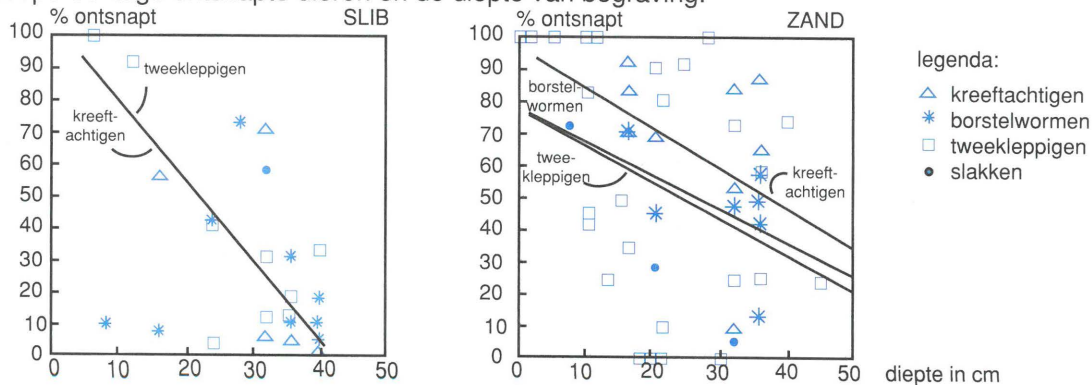
figuur 26 :

Schatting van de fatale diepte van enkele belangrijke macrobenthische soorten bij een plotselinge bedekking door zand of slib



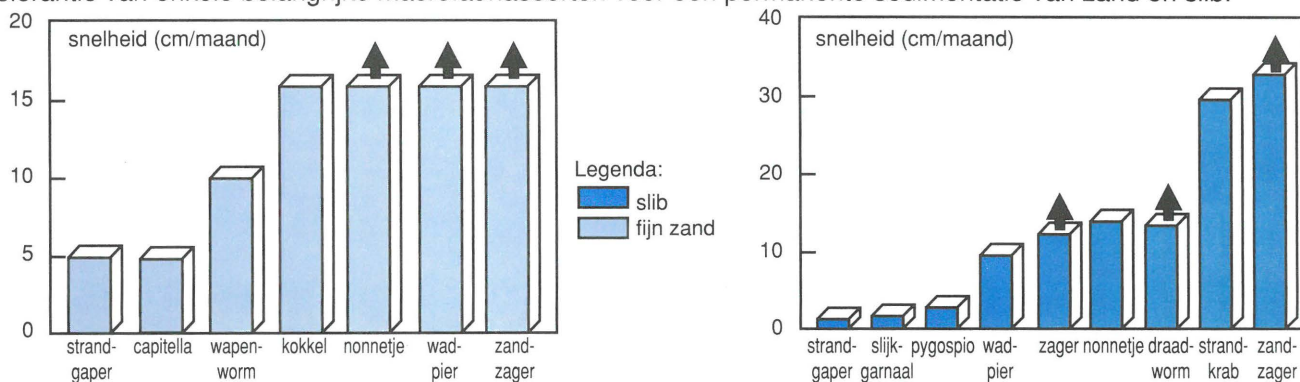
figuur 27 :

Relatie tussen het percentage ontsnapte dieren en de diepte van begraving.

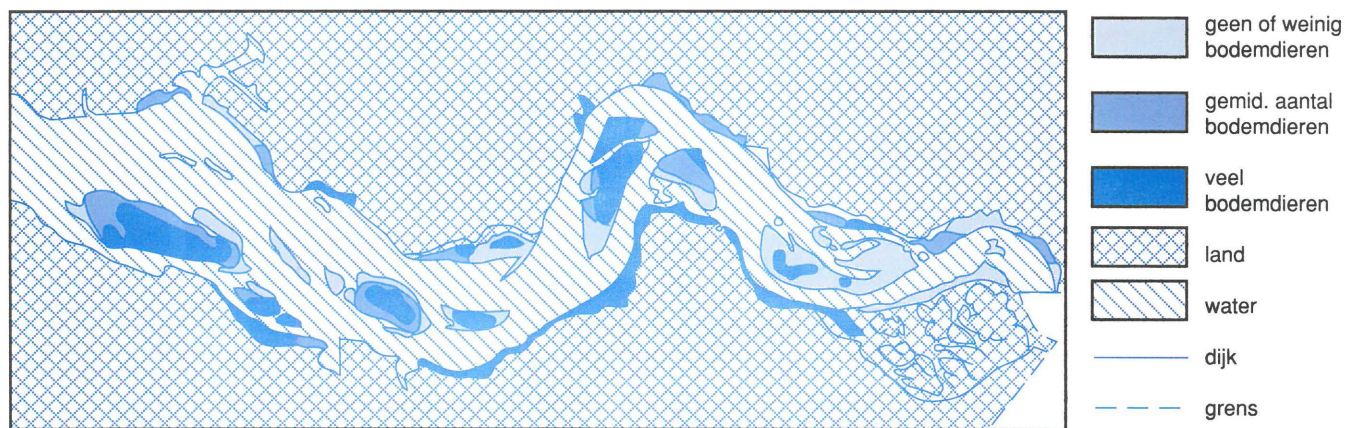


figuur 28 :

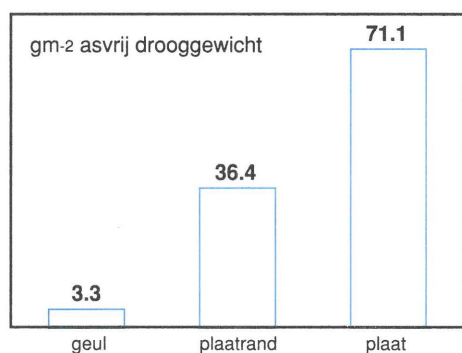
Tolerantie van enkele belangrijke macrofaunasoorten voor een permanente sedimentatie van zand en slib.



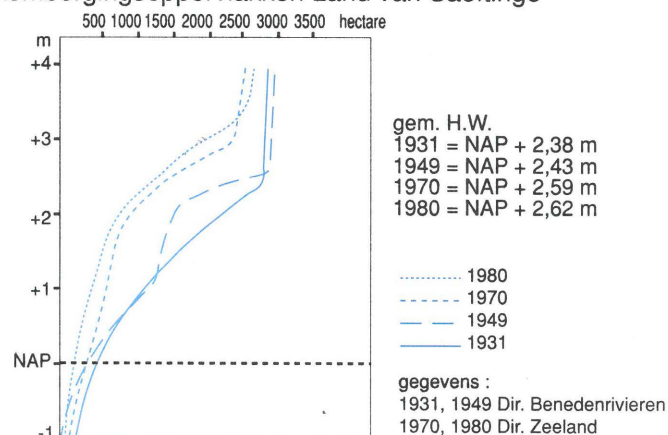
figuur 29 :
Bodemfauna Westerschelde.



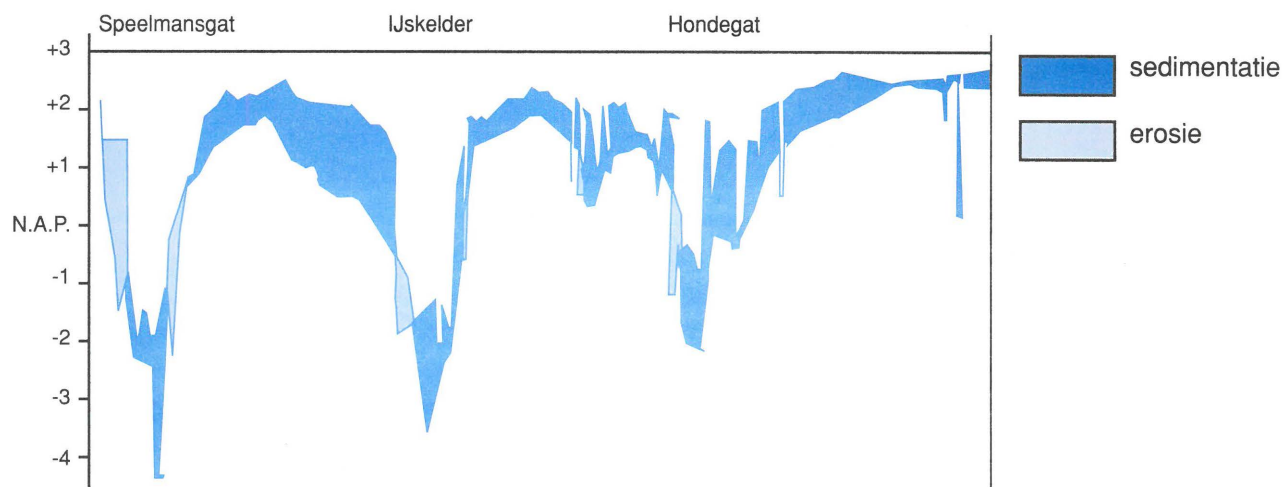
figuur 30 :
Vergelijking van de gemiddelde biomassa van bodemdieren, tussen geulen, platen en plaatranden in de Oosterschelde. Bron: [26]



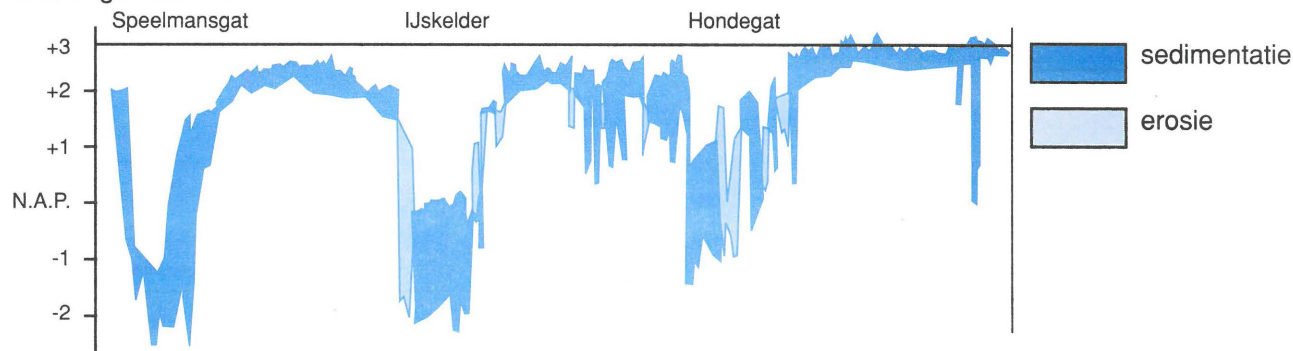
figuur 31 :
Kombergingsoppervlakken Land van Saeftinge



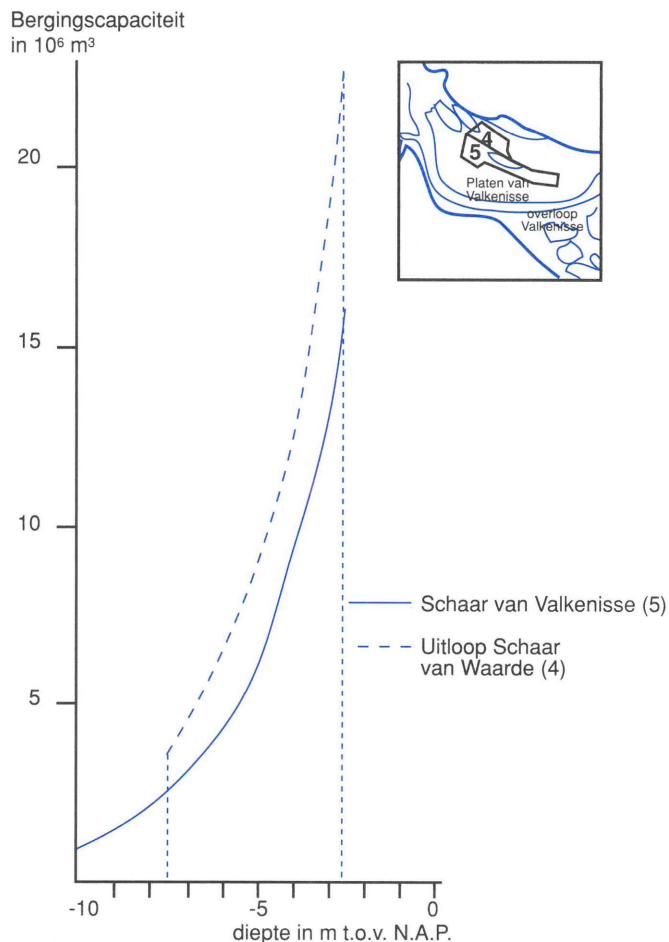
figuur 32 :
Profiel Saeftinge 1931-1962



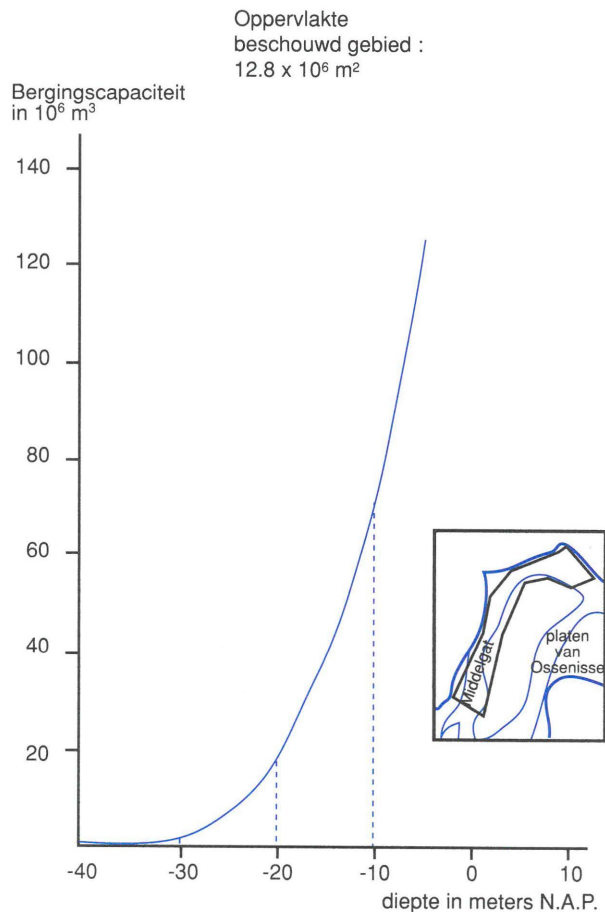
figuur 33 :
Profiel Saeftinge 1962-1987



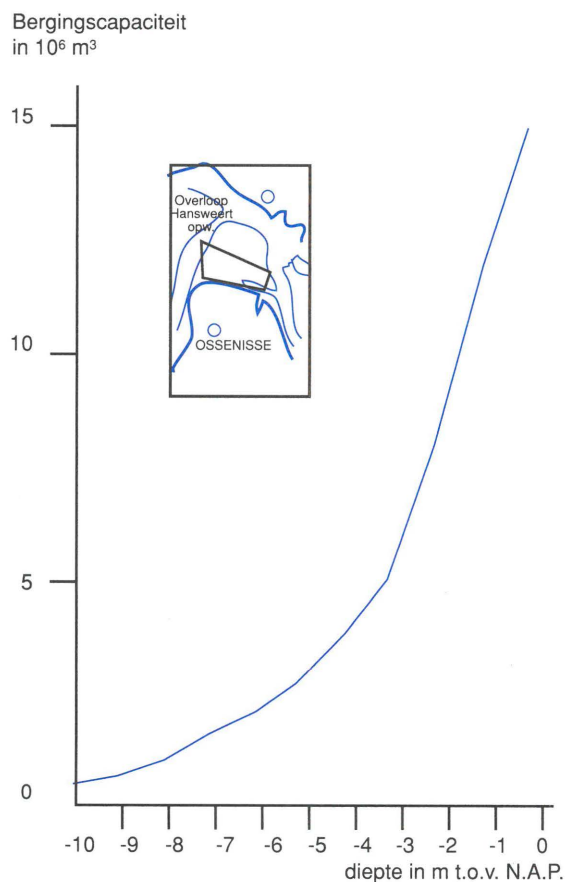
figuur 34 :
Kombergingsgrafiek
Schaar van Waarde en Schaar van Valkenisse.



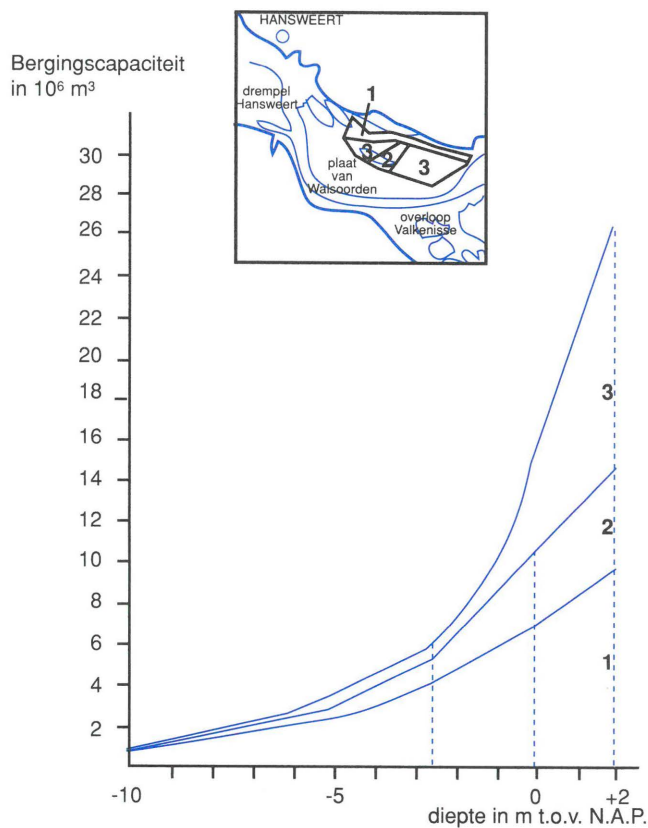
figuur 35 :
Kombergingsgrafiek
Middelgat



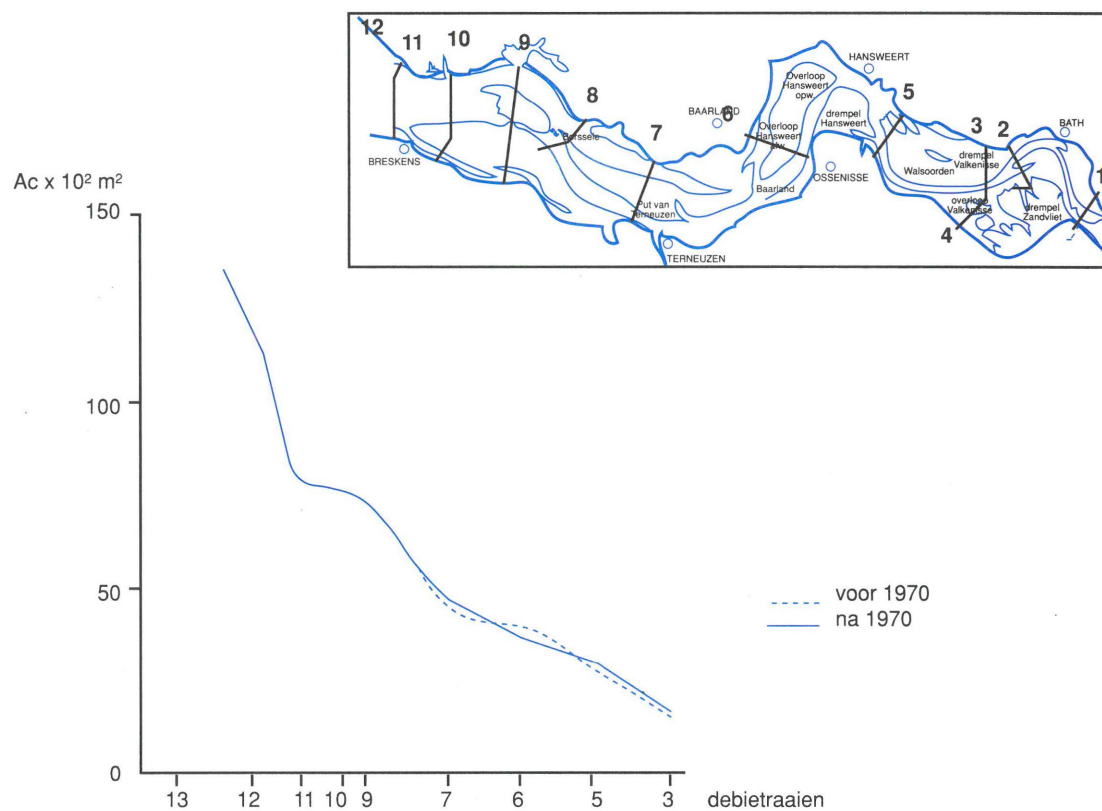
figuur 36 :
Kombergingsgrafiek
Schaar van Ossenisse.



figuur 37 :
Kombergingsgrafiek
Zimmermangeul, verbingsgeul Zimmermangeul en
Schaar van Valkenisse, aangrenzend platengebied.



figuur 38 :
Verloop doorstroomprofielen (Ac).



figuur 39 :
Bergingsgebied
scenario's 3a en 3b.

