

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding

juni 2004

Gertjan Nederbragt
Gert-Jan Liek

Rapport RIKZ/2004.020

Samenvatting

Voor de beheerder van het Schelde estuarium, Rijkswaterstaat directie Zeeland, is het belangrijk om het bagger- en stortbeleid en het zandwinbeleid zo optimaal mogelijk in te richten. Hiertoe is inzicht in de zandhuishouding in zowel de Westerschelde als de monding gewenst. Een instrument om dat inzicht te verkrijgen is een historische zandbalans. In dit rapport wordt voor de Westerschelde en de monding (zowel het Nederlandse deel als het Belgische deel) de interne zandhuishouding opgesteld. Hieruit wordt vervolgens de zandbalans opgesteld, waarbij de 'natuurlijke' zanduitwisselingen tussen verschillende gebieden wordt bepaald, rekening houdend met de ingrepen (baggeren, storten en zandwinning) van de mens.

Met de zandbalans is de import of export van zand van de Westerschelde en de monding bepaald. Daarnaast zijn ook de invloed van zeespiegelstijging en de 18,6 jarige cyclus in het getij, de zogenaamde autonome ontwikkelingen, onderzocht. Gezien het belang van de uitkomsten van de studie voor het toekomstige beleid is tenslotte ook de invloed van onzekerheden in de gebruikte gegevens en in de gebruikte aannames op de die uitkomsten bepaald.

De studie toont aan dat de Westerschelde eind jaren '80 van de vorige eeuw omgeslagen is van een zandimporterend naar een zandexporterend systeem. Ook de monding is vanaf die periode exporterend, echter hebben onzekerheden in de gegevens in het Belgische deel van de monding kwantitatief invloed op deze conclusie. Daarnaast wijst de zandbalans sinds 1997 op een toenemende zandexport vanuit de Westerschelde en een toename van het sedimenttransport van het westelijke naar het oostelijke deel van de Westerschelde.

De autonome ontwikkelingen hebben geen aantoonbare invloed op de zandhuishouding in de Westerschelde: uit de lineaire trend kan geen duidelijke invloed op de zandbalans worden vastgesteld. Door middel van statistische analyse (bepaling van de correlatie) is geen significante relatie gebleken tussen de 18,6 jarige cyclus in het getij en de gemeten volumeveranderingen.

De invloed van onzekerheden van gegevens en aannames op de uitkomsten van de zandbalans zijn weliswaar aanwezig, maar brengen geen verandering in het beeld dat de Westerschelde exporterend is. Wel verschuift het moment waarop de omslag van import naar export optreedt.

Het rapport besluit met een aantal praktische aanbevelingen voor het verbeteren van de zandbalansen die in de volgende jaren gemaakt zullen worden. De meeste aanbevelingen hebben betrekking op het verbeteren van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van (historische en toekomstige) gegevens in het Belgische deel van de monding.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	7
1.1 Kader	7
1.2 Doel van dit rapport	8
1.3 Opzet van het rapport	8
2 Totstandkoming van de zandbalans	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Beschikbaarheid van gegevens	9
2.3 Vakindelingen	11
2.4 Berekeningen zandhuishouding	15
2.5 Opstellen zandbalans	16
2.6 Invloed onzekerheden	17
3 Zandhuishouding en zandbalans Westerschelde	19
3.1 Inleiding	19
3.2 De zandbalans in de periode 1960 t/m 1970	19
3.3 De zandbalans in de periode 1971 t/m 1980	20
3.4 De zandbalans in de periode 1981 t/m 1989	21
3.5 De zandbalans in de periode 1990 t/m 2001	22
3.6 Cumulatieve sedimentuitwisseling tussen de macrocellen	23
4 Zandhuishouding monding Westerschelde	31
4.1 Inleiding	31
4.2 Beschrijving per balansvak van het Belgische deel van de monding	32
4.3 Beschrijving per balansvak van het Nederlandse deel van de monding	34
4.4 Overzicht van de gehele monding	36
5 Zandbalans Westerschelde en monding	51
5.1 Inleiding	51
5.2 Zandbalans	51
5.3 Invloed van autonome ontwikkelingen	52
6 Nauwkeurigheid van de zandbalans	57
6.1 Inleiding	57
6.2 Nauwkeurigheid van de bodemdieptegegevens	57
6.3 Nauwkeurigheid van ingreepgegevens	58
6.4 Doorvertaling naar de zandbalans	59
7 Conclusies en aanbevelingen	63
7.1 Conclusies	63
7.2 Aanbevelingen	63
Referenties	65

Bijlage 1: Kwaliteitsborging

67

Colofon

69

1 Inleiding

1.1 Kader

In het MOVE evaluatierapport 2003 (Peters et al., 2003) is geconcludeerd dat de Westerschelde rond 1990 is omgeslagen van een zandimporterend naar een zandexporterend systeem en na de tweede verruiming (1997) is dit ook zo gebeven. In dat rapport werd ook geconstateerd dat het onduidelijk is of dit zand in het mondingsgebied blijft of dat het via het mondingsgebied verdwijnt naar de Noordzee.

Voor toekomstig beleid is kennis nodig over het importerend of exporterend zijn van het estuarium. De beheerder, Rijkswaterstaat, directie Zeeland, zal in 2006 een evaluatie uitvoeren van het huidige zandwinbeleid in de Westerschelde en zal in datzelfde jaar een nieuwe Wvo-vergunning voor vaargeulonderhoud door Vlaanderen worden gegeven. Daarnaast wordt door de projectdirectie Schelde estuarium (ProSes) een streefbeeld en een ontwikkelingsschets voor het Schelde-estuarium opgesteld. Voor het mondingsgebied is de landelijke introductie van het handhaven van het kustfundament van belang. De monding is aangemerkt als gebied waar de zandvoorraad op peil moet worden gehouden. Daarnaast heeft het gebied voor de kust van zuidwest Walcheren de aandacht, vanwege het opdringen van de getijgeul het Oostgat.

In de projecten ZEEKENNIS en K2005*WSmond wordt gewerkt aan de kennisopbouw voor respectievelijk de Westerschelde en de monding, om actuele en toekomstige beleids- en beheersvragen van Rijkswaterstaat, directie Zeeland te kunnen beantwoorden. Op morfologisch vlak spitsen deze vragen zich voornamelijk toe op het zo optimaal mogelijk inrichten van het bagger- en stortbeleid en het zandwinbeleid, waarbij ook de mogelijkheid van storten in de monding wordt onderzocht. In dat kader zijn eerder een tracerproef uitgevoerd in het Oostgat (Oosterhoff et al., 2003) en is storten in de monding onderzocht met behulp van modellen (Nederbragt, 2004). Daarnaast is inzicht in de zandhuishouding van het Schelde-estuarium (d.w.z. zandverplaatsingen door mens en natuur) op verschillende schaalniveau's gewenst.

Een middel om dit inzicht te verkrijgen is het opstellen van een zandbalans. Hierin worden de 'natuurlijke' zanduitwisselingen tussen verschillende gebieden bepaald, rekening houdend met de ingrepen (baggeren, storten en zandwinning) van de mens. De resultaten van de zandbalans vormen belangrijke input voor een volgend ZEEKENNIS product (produkt 2.6), wat adviezen zal bevatten voor het zo optimaal mogelijk inrichten van het bagger- en stortbeleid en het zandwinbeleid. Daarom is het relevant om de robuustheid van de getallen uit de zandbalans te onderzoeken.

In het kader van bovengenoemde projecten is daarom in 2003 begonnen met het opstellen van een historische zandbalans voor de Westerschelde en het mondingsgebied. Deze werd voorafgegaan door een uitgebreide inventarisatie van eerdere zandbalansstudies (Jeuken et al., 2002). Hieruit volgden enkele

aanbevelingen voor verbetering, zoals het opzetten van een morfologische vakindeling voor de monding en het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse van de resultaten. Deze zijn bij het opstellen van de huidige zandbalans opgevolgd. In november heeft dit geresulteerd in een werkdocument waarin de eerste resultaten van de zandbalans van de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding werden beschreven (Liek et al., 2003).

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van het vervolgtraject van het onderzoek, waarin ook de interne zandhuishouding voor de Westerschelde en de monding wordt gepresenteerd en waarin het mondingsgebied is uitgebreid met het Belgische deel. Er wordt ingegaan op de invloed van onzekerheden van gegevens en aannames op de uitkomsten van de zandbalans. Daarnaast wordt er gekeken naar de invloed van autonome ontwikkelingen (zeespiegelstijging en 18,6-jaarlijkse getijcyclus) op de zandhuishouding.

1.2 Doel van dit rapport

Het doel van het rapport is vierledig:

- €# Het geven van een ruimtelijk en temporeel overzicht van de zandhuishouding van de Westerschelde (periode 1960-2001) en monding (periode 1971-2001).
- €# Het opstellen van een zandbalans voor Westerschelde en monding en daarbij het bepalen van de import of export van de Westerschelde en van het mondingsgebied.
- €# Het onderzoeken van de invloed van autonome ontwikkelingen op de zandhuishouding.
- €# Het bepalen van de invloed van onzekerheden in gegevens en aannames op de uitkomsten van de zandbalans.

1.3 Opzet van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van hoe de zandbalansstudie is opgezet en uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de beschikbaarheid van lodingen en ingreepgegevens, de gebruikte vakindelingen, de opzet van de inhoudsberekeningen en het principe van het opstellen van de zandbalans en de daarbij gebruikte aannames behandeld.

In de daaropvolgende twee hoofdstukken worden de zandbalans en interne zandhuishouding van de Westerschelde (hoofdstuk 3) en de interne zandhuishouding van het mondingsgebied (hoofdstuk 4) gepresenteerd. De beschrijving van de Westerschelde vindt plaats aan de hand van de macrocellen en is ingedeeld in een aantal karakteristieke perioden. De monding wordt beschreven per balansvak, waarbij het gebied rondom het Oostgat in meer detail (kleinere balansvakken) wordt gepresenteerd.

In hoofdstuk 5 wordt de zandbalans voor Westerschelde en monding opgesteld en wordt de invloed van autonome ontwikkelingen nagegaan.

In hoofdstuk 6 wordt vervolgens de invloed van de nauwkeurigheid van lodingen en ingreepgegevens op de resultaten van de zandbalans besproken. Ook zal in dit hoofdstuk de invloed van de aannames voor sedimenttransporten naar Saeftinge en over de Belgisch-Nederlandse grens worden beschouwd.

Het rapport eindigt met de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

Daarnaast bevat het rapport een bijlage, waarin is weergegeven hoe de kwaliteitsborging van het rapport tot stand is gekomen en hoe met het commentaar op de conceptversie (op hoofdlijnen) is omgegaan.

2 Totstandkoming van de zandbalans

2.1 Inleiding

De hier gehanteerde definitie van een zandbalans bestaat uit het aangeven van de uitwisseling van sediment tussen verschillende balansvakken op basis van historische metingen van bodemdiepte en menselijke ingrepen, zoals baggeren, storten, zandwinning en suppleren. De huidige methode voor het opstellen van een zandbalans is voor het eerst geïntroduceerd door Uit den Bogaard (1995). Hij stelde een zandbalans op voor de Westerschelde. De Jong (2000) breidde voor het eerst de zandbalans uit met de monding. Deze balans was echter niet opgebouwd uit morfologische eenheden (zie paragraaf 2.3). Van de monding is ook een aantal balansen opgesteld (Van der Slikke, 1997, 1998; HAECON, 2000). Een goed overzicht van al deze balansstudies is te vinden in Jeuken et al. (2002). Geen van de eerder uitgevoerde studies is gebaseerd op een morfologische vakindeling van zowel de Westerschelde als de monding.

In de totstandkoming van de zandbalans van Westerschelde en monding is een aantal verschillende onderdelen te onderscheiden:

1. Het beschikbaar krijgen van de benodigde datasets (bodemdieptegegevens en menselijke ingrepen)
2. Het definiëren van de balansvakken voor de Westerschelde en de monding
3. Het berekenen van de zandhuishouding van de balansvakken in de tijd
4. Het opstellen van de zandbalans (het bepalen van de sedimentuitwisseling tussen de balansvakken)

2.2 Beschikbaarheid van gegevens

Voor het maken van een zandbalans is een groot aantal basisgegevens nodig. Naast gebiedsdekkende lodingskaarten moet tevens bekend zijn waar en wanneer er in het systeem ingrepen hebben plaatsgevonden.

Vaklodingen

Voor de Westerschelde zijn zeer veel gebiedsdekkende lodingskaarten digitaal beschikbaar (zie Figuur 2.1 en Tabel 2.1 afgeleid uit De Bok, 2002). In eerdere zandbalansstudies voor de Westerschelde is dit materiaal reeds geschikt gemaakt voor toepassing en tevens al gebruikt (Jeuken et al., 2003a). Deze studie maakt voor de Westerschelde gebruik van dezelfde gegevens.

Voor de monding zijn minder gebiedsdekkende lodingkaarten beschikbaar, aangezien de monding met een lagere frequentie wordt gelood dan de Westerschelde (zie Figuur 2.1 en Tabel 2.1). Bovendien gaat de beschikbare data minder ver terug in de tijd. Vanaf 1970 is lodingsdata digitaal beschikbaar, met uitzondering van vak 44, hiervan zijn sinds 1976 digitale data aanwezig.

.....
 Figuur 2.1
 Indeling van het beheersgebied van directie
 Zeeland in lodingsvakken, inclusief de
 lodingsvakken in het Belgische deel van de
 monding



.....
 Tabel 2.1
 Beschikbaarheid van lodingsgegevens (naar
 de Bok, 2002)

= Beschikbaar als kaart en
 arc-infogrid

= Beschikbaar als kaart

VAK	1	2	3	4	5	6	12	13	14	15	16	17	18	19	44
1931															
1950															
1951															
1952															
1953															
1954															
1955															
1956															
1957															
1958															
1959															
1960															
1961															
1962															
1963															
1964															
1965															
1966															
1967															
1968															
1969															
1970															
1971															
1972															
1973															
1974															
1975															
1976															
1977															
1978															
1979															
1980															
1981															
1982															
1983															
1984															
1985															
1986															
1987															
1988															
1989															
1990		2x													
1991		2x													
1992															
1993	2x	2x													
1994															
1995															
1996	2x	2x													
1997	2x	2x	2x												
1998	2x	2x	2x												
1999	2x	2x	2x												
2000	2x	2x	2x												
2001	2x	2x	2x												
2002	2x	2x	2x												

De digitaal beschikbare lodingen zijn eerst gebiedsdekkend gemaakt. Anders dan in de Westerschelde, waar de oevers allemaal bedijkt zijn, bestaan de oevers die het mondingsgebied begrenzen uit stranden en duinen, die in de vaklodingen niet zijn inbegrepen. Voor de zandbalansberekening moeten deze echter wel worden meegenomen. Daartoe zijn de bestaande lodingkaarten aangevuld met data uit JARKUS (jaarlijkse kustmetingen). Voor het Belgische deel van de monding is geen gebruik gemaakt van kustlodingen, enkel van vaklodingen. Dit betekent ook dat de Belgische kust buiten het balansgebied valt.

Ingreepgegevens

De ingrepen in de Westerschelde bestaan uit baggeren en storten van sediment, ten behoeve van vaargeulonderhoud, en zandwinning. Baggeren vindt met name plaats in het oostelijk deel van de Westerschelde. Het gebaggerde materiaal wordt in de Westerschelde teruggestort, voornamelijk in het midden en het westelijke deel. De bagger-, stort- en zandwinggegevens worden jaarlijks bijgehouden door de Meetinformatiedienst van directie Zeeland en zijn beschikbaar in datasets.

In het Nederlandse deel van de monding vinden minder bagger-, stort- en zandwinactiviteiten plaats dan in de Westerschelde. Er worden kustsuppleties uitgevoerd die moeten worden meegenomen in de berekening van de zandbalans. In het Belgische deel van de monding wordt wel veel onderhoudsbaggerwerk verricht, maar zandwinning vindt niet plaats.

Voor het Nederlandse deel van de monding zijn de bagger-, stort- en zandwinggegevens, alsmede de suppletiedata, beschikbaar en aanwezig bij het RIKZ. Voor het Belgische deel van de monding zijn deze gegevens geïnventariseerd door HAECON (2000). De beschikbare data loopt van 1960 tot en met 1996. Naast het feit dat deze dataset onvolledig is, wordt tevens getwijfeld aan de kwaliteit van de getallen (zie hoofdstuk 6).

2.3 Vakindelingen

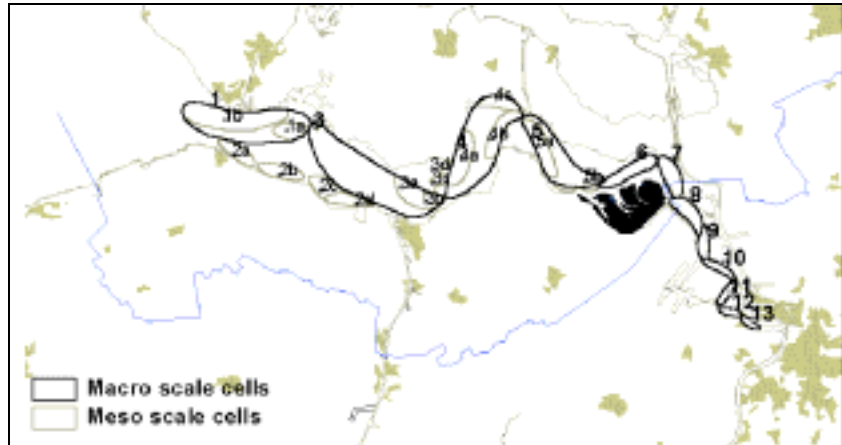
Voor de Westerschelde en de monding zijn vakindelingen opgesteld, waarbij rekening is gehouden met zowel morfologische eenheden als met de indeling in lodingsvakken. Gedachte hierachter is dat een morfologische analyse van de volumeveranderingen op verschillende schalen mogelijk is door aggregatie van vakken tot het gewenste niveau. Voor de zandbalans in deze studie zal de morfologische vakindeling geaggregeerd worden tot grotere vakken. In deze paragraaf zullen de vakindelingen van de Westerschelde worden gepresenteerd, alsmede de geaggregeerde vakken. De geaggregeerde vakken vormen de balansvakken waarmee in de zandbalans gewerkt wordt.

Westerschelde

Tot ca. 2000 werd een vakindeling voor de Westerschelde gehanteerd op basis van lodingsvakken en werd bij een zandbalans de sedimentuitwisseling tussen die vakken bepaald (bijvoorbeeld in het project Oostwest, Vroon et al., 1997). Tegenwoordig wordt een morfologische vakindeling gehanteerd, die is gebaseerd op de ligging van de morfologische cellen uit het cellenconcept (Jeuken et al., 2003a) en wordt bij de zandbalans de sedimentuitwisseling tussen de morfologische cellen bepaald. Een schematische weergave van de macro- en mesocellen in de Westerschelde is te zien in Figuur 2.2.

Figuur 2.2

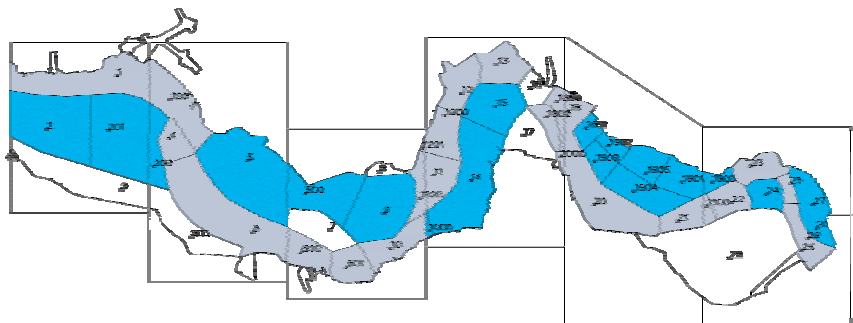
De macro- en mesocellen in de Westerschelde



Deze cellen zijn onder te verdelen in kleinere morfologische eenheden (hoofd- en nevengeulen en platen). Deze vormen het uitgangspunt voor de schematisatie van de Westerschelde. Dit houdt in dat er rekening gehouden is met de configuratie van het systeem van geulen en platen en de veranderingen daarvan in de tijd (Jeuken et al., 2002). Op basis hiervan is een geulgeoriënteerde morfologische vakindeling gemaakt, zie Figuur 2.3.

Figuur 2.3

Morfologische vakindeling van de Westerschelde. De vloedgeulen zijn donkerblauw weergegeven en de ebgeulen blauwgrijs (zie ook Figuur 2.4). De geulen omvatten ook het grootste deel van de plaatgebieden. De witte vakken maken geen deel uit van een macrocel (zie tekst). De rechthoekige vakken komen overeen met de grenzen van de lodingsvakken.



Voor de zandbalans in dit rapport is de vakindeling geaggregeerd tot het niveau van de eb- en vloedgeulen van de macrocellen door samenvoeging van verschillende vakken uit Figuur 2.3. Dit is samengevat in Tabel 2.2 en Figuur 2.4.

Tabel 2.2

Aggregatie van de vakken voor de afzonderlijke eb- en vloedgeulen in de macrocellen

Macrocel	Ebgeul	Aggregatie vakken ebgeul	Vloedgeul	Aggregatie vakken vloedgeul
1	Honte	1, 100	Schaar van de Spijkerplaat	2, 201, 200
3	Pas van Terneuzen	4, 6, 600, 601, 10	Everingen	5, 500, 9
4	Middelgat	1100, 11, 1201, 1200, 12, 13	Gat van Ossensisse	1000, 14, 15
5	Zuidergat / Overloop van Valkenisse	18, 1800, 1802, 2000, 20, 21, 2100	Schaar van Waarde / Schaar van Valkenisse	1801, 1903, 1904, 1902, 1905, 1901, 1900
6	Nauw van Bath	22, 23	Schaar van de Noord	24
7	Vaarwater boven Bath	25, 26	Appelzak	27

De vakken 3, 7, 8, 16, 17, 300 uit Figuur 2.3 maken zo geen deel uit van de eb- of vloedgeul van een macrocel. De vakken 3 en 300 vormen mesocel 2 (zie Figuur 2.2). Vak 16 en vak 17 liggen tussen macrocel 4 en macrocel 5. Vak 7 en 8 worden gerekend tot macrocel 3. Al deze vakken worden in de

zandbalansberekening van de gehele Westerschelde wel meegenomen (zie paragraaf 2.5).

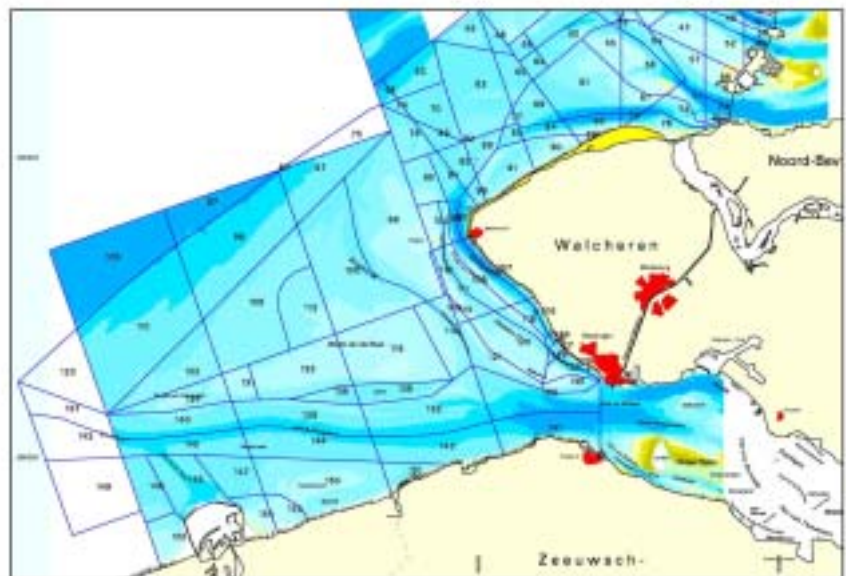
.....
Figuur 2.4
Geaggregeerde vakindeling van de Westerschelde. De cijfers komen overeen met de macrocellen uit Figuur 2.2 en Tabel 2.2.



Monding Westerschelde

Voor de monding is een nieuwe morfologische en zoveel mogelijk geulgeoriënteerde vakindeling gemaakt. Dit is door RIKZ gedaan, waarbij zoveel mogelijk de methodiek van de indeling van de Westerschelde is gevolgd. Er is rekening gehouden met een aansluiting van de vakken op de grenzen van de lodingsvakken. De vakindeling van de monding is weergegeven in Figuur 2.5.

.....
Figuur 2.5
Morfologische vakindeling van de monding van de Westerschelde.



Deze vakken zijn geaggregeerd tot grotere morfologische eenheden, waarbij er wel een onderscheid is gemaakt tussen het Belgische en het Nederlandse deel van de monding. De nummering van de op deze manier tot stand gekomen balansvakken is opgenomen in Tabel 2.3. Een overzicht van de balansvakken is te zien in Figuur 2.6.

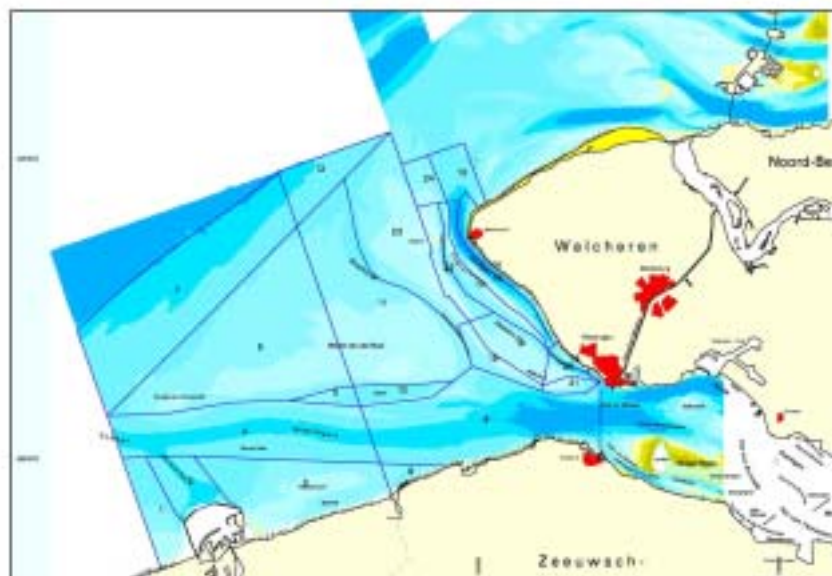
Tabel 2.3

Aggregatie van de vakken in de monding.

Balansvak	Benaming	Samengesteld uit vakken	Oppervlakte (km ²)
Belgisch deel van de monding			
1	Zeebrugge west	148, 155	15,78
2	Pas van het Zand	146	13,00
3	Paardenmarkt/Appelzak	147, 150, 154, 153	45,10
4	Scheur/Wielingen (B)	139, 140, 144, 145	59,18
5	Spleet (B)	138	3,41
6	Vlakte van de Raan (B)	106, 113, 122, 125, 131, 134	93,68
7	Vooroever (B)	98, 110	82,74
Nederlands deel van de monding			
8	Cadzand	151	4,46
9	Wielingen (NL)	132, 133, 141, 143	69,33
10	Spleet (NL)	136	6,57
11	Vlakte van de Raan (NL)	100, 114, 119	71,01
12	Vooroever (NL)	87	15,34
13	Oostgat noord	92, 94, 99	9,03
14	Walcheren	101, 107, 116, 124	6,83
15	Vlissingen	127, 128	2,29
16	Bankje van Zoutelande oost	102, 108, 117, 126	9,70
17	Bankje van Zoutelande west	103, 109, 118	9,60
18	Walvischstaart oost	120	12,24
19	Walvischstaart west	121	6,94
20	Nolleplaat noord	129, 130	3,06
21	Nolleplaat zuid	135	3,16
22	Rassen oost	104, 111, 112	9,59
23	Rassen west	88, 115, 156	42,62
24	Rassen noord	95	6,10

Figuur 2.6

Geaggregeerde vakindeling van de monding



Wat opvalt aan de vakindeling van Figuur 2.6 is dat lodingsvak 44 ontbreekt. Van dit vak is pas sinds 1976 digitale data beschikbaar, in tegenstelling tot de overige vakken waarvan vanaf 1970 data aanwezig is. In dit lodingsvak ligt echter wel (een deel) van een stortvak (zie verder hoofdstuk 4).

2.4 Berekeningen zandhuishouding

Op basis van de lodingsgegevens kan voor elk balansvak en voor elk jaar de sedimentvolumeverandering ($\div V_{\text{tot}}$) berekend worden. Hierbij worden alle beschikbare digitale lodingen gebruikt (dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld De Bok (2002), die iedere vier jaar een bodem samenstelt). De verschillende lodingsvakken worden verspreid over een jaar gelood en in verschillende jaren hoeft dit per lodingsvak niet altijd dezelfde maand te zijn. Er is dus als het ware een lappendeken (in ruimte en tijd) van lodingsgegevens beschikbaar. Om dit te uniformeren vindt synchronisatie plaats van de data. Hierbij wordt 1 januari van ieder jaar als vaste datum aangehouden. De dieptegegevens van twee opnames van een lodingsvak wordt omgerekend naar die datum, via lineaire interpolatie.

Alle berekeningen worden uitgevoerd ten opzichte van een referentievlak dat ligt op NAP+3,5m. Van twee opeenvolgende jaren wordt de waterinhoud berekend ten opzichte van het referentievlak. Uit het verschil volgt de sedimentvolumeverandering (deze is tegengesteld aan het verschil in waterinhoud).

Uit de bagger-, stort- en zandwinggegevens kunnen per jaar de netto ingrepen per balansvak ($\div V_i$) worden berekend (dit is het storten minus de som van baggeren en zandwinning). Voor de Westerschelde zijn deze berekeningen reeds eerder uitgevoerd het kader van eerdere studies (Jeuken et al., 2003a). Voor de monding zijn de berekeningen uitgevoerd in het kader van deze rapportage.

Het verschil tussen de gemeten sedimentvolumeverandering en de netto ingrepen vormt de 'natuurlijke' erosie of sedimentatie ($\div V_{\text{nat}}$) van een balansvak.

Samengevat kunnen bovenstaande termen $\div V_{\text{tot}}$, $\div V_i$ en $\div V_{\text{nat}}$ als volgt worden gedefinieerd:

$\div V_{\text{tot}}$ = de sedimentvolumeverandering van een balansvak op basis van lodingen (gemeten volumeverandering),

$\div V_i$ = de door de mens veroorzaakte netto volumeverandering van dat balansvak (door storten of onttrekken van sediment),

$\div V_{\text{nat}}$ = de gecorrigeerde sedimentvolumeverandering, ook wel natuurlijke volumeverandering genoemd,

waarbij $\div V_{\text{nat}} = \div V_{\text{tot}} - \div V_i$. Het betreft in alle gevallen veranderingen over de periode van een jaar. Erosie en netto baggeren worden als negatieve waarden vermeld en sedimentatie en netto storten als positieve waarden.

In de in dit rapport gepresenteerde grafieken staan de cumulatieve waarden van $\div V_{\text{tot}}$, $\div V_i$ en $\div V_{\text{nat}}$ uitgezet. Deze cumulatieve waarden worden respectievelijk aangeduid met V_{tot} , V_i en V_{nat} .

Voor de gecorrigeerde waarde (V_{nat}) is niet te achterhalen of dit ook daadwerkelijk het echte natuurlijke effect is. Wel geven Jeuken et al. (2003a)

een kwalitatieve methode om de invloed van het menselijk handelen op de volumeverandering in een gebied te bepalen. Zij onderscheiden 4 klassen:

- I. Wanneer V_{tot} en V_{nat} in een bepaalde periode dezelfde richting hebben en even groot zijn, komt dit omdat er geen ingrepen zijn gepleegd.
- II. Wanneer V_{tot} en V_{nat} dezelfde richting hebben, maar niet even groot zijn, hebben de ingrepen invloed.
- III. Wanneer V_{tot} en V_{nat} niet tegengesteld zijn aan elkaar hebben de ingrepen een kritische invloed.
- IV. Wanneer V_{tot} en V_{nat} een tegengestelde richting hebben betekent dit dat de ingrepen sturend zijn.

2.5 Opstellen zandbalans

De jaarlijkse volumeveranderingen ($\div V_{\text{tot}}$), de netto ingrepen ($\div V_i$) en de gecorrigeerde volumeveranderingen ($\div V_{\text{nat}}$) per balansvak vormen de zandhuishouding van een balansvak. Bij het opstellen van een zandbalans gaat het om het aangeven van de uitwisseling van sediment tussen de verschillende balansvakken. Zonder aanvullende informatie is dit alleen mogelijk door verschillende vakken te aggregeren tot grotere eenheden (Jeuken et al., 2002). Bovendien moet op één van de randen een aanname worden gedaan over de grootte van de sedimentuitwisseling op die rand.

Westerschelde

Voor de Westerschelde wordt in de zandbalans de uitwisseling tussen de macrocellen bepaald. Hiervoor worden de volgende aannames gedaan:

1. het zandtransport over de grens Nederland-België is gelijk aan 0. Deze aanname is conform alle eerder uitgevoerde zandbalansstudies.
2. Jaarlijks sedimenteert in Saeftinge $0,3 \text{ Mm}^3$. Voor het opstellen van de zandbalans wordt in deze studie conform Jeuken et al. (2003a) aangenomen dat dit sediment afkomstig is uit macrocel 5.
3. Het zand dat wordt afgezet in het mesocellengebied 2 (vak 3 en 300 uit Figuur 2.3) komt via het mondingsgebied binnen. De sedimentuitwisseling tussen de ebgeul Pas van Terneuzen (cel 3) en dit mesocellengebied wordt gelijk gesteld aan 0. Deze twee aannames zijn conform Jeuken et al. (2003a).

Met deze aannames kan de zanduitwisseling tussen de macrocellen in de Westerschelde worden bepaald en de zanduitwisseling tussen de Westerschelde en het mondingsgebied. Dit is een eendimensionale zandbalans die dus enkel iets zegt over de uitwisseling tussen de macrocellen. Wat er zich binnen een cel afspeelt kan niet worden bepaald zonder aanvullende informatie uit bijvoorbeeld (2D/3D) modellen.

De sedimentuitwisseling per jaar op de zeewaarts gelegen rand van een macrocel in de Westerschelde, S_{zr} , is gelijk aan de som van de sedimentuitwisseling per jaar op de landwaarts gelegen rand, S_{lr} , en de natuurlijke erosie/sedimentatie in het vak, $\div V_{\text{nat}}$ (Jeuken et al., 2003a). Oftewel:

$$S_{zr} = S_{lr} + \div V_{\text{nat}}$$

Voor de gehele Westerschelde zal de jaarlijkse import of export dus gelijk zijn aan de som van alle $\div V_{\text{nat}}$ van alle afzonderlijke cellen, inclusief de vakken die geen deel uitmaken van een macrocel (zie paragraaf 2.2)

Daarnaast zullen voor de Westerschelde ook volumeveranderingen van geulen, ondiepwatergebieden en platen afzonderlijk worden bekeken. Dit zal gebeuren

op het niveau van de macrocellen en geeft inzicht in de locaties waar het bagger en storten in de macrocellen plaatsvindt.

Monding Westerschelde

Uit de indeling van de balansvakken in het mondingsgebied is geen zandbalans op te stellen. Er zijn geen pijlen te tekenen van het ene vak naar het andere, omdat ieder vak grenst aan meerdere vakken (er zijn dus te veel vrijheidsgraden, waardoor het systeem onbepaald is). Dit heeft te maken met het tweedimensionale karakter van het mondingsgebied. Op het niveau van de balansvakken beperkt de zandbalans van de monding zich dus tot een beschrijving van de zandhuishouding (V_{tot} , V_i en V_{nat}).

Door de verschillende balansvakken samen te voegen tot één eenheid is het echter wel mogelijk om de uitwisseling van de monding met Belgische kust / Noordzee / Voordelta te kunnen vaststellen. Hierbij zal nog een onderscheid gemaakt worden tussen samenvoeging van de vakken in het Nederlandse deel van de monding en samenvoeging van alle vakken in de monding.

2.6 Invloed onzekerheden

Gezien de rol die de zandbalans in het beleid en beheer van het Schelde estuarium speelt, is het belangrijk de nauwkeurigheid van de getallen uit de zandbalans te kennen. Tijdens iedere fase van het opstellen van een zandbalans spelen fouten een rol. Daarom zal in hoofdstuk 6 een inventarisatie plaatsvinden van de fouten die op kunnen treden bij het inwinnen en verwerken van gegevens en zal worden onderzocht hoe deze fouten en de verschillende aannames doorwerken in de uitspraken die op basis van de zandbalans worden gedaan over import en export.

3 Zandhuishouding en zandbalans Westerschelde

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt niet alleen gekeken wordt naar de zandbalans van de gehele Westerschelde, waarbij de import/export met de monding wordt bepaald, maar ook wordt de sedimentuitwisseling tussen de verschillende macrocellen bepaald.

Eerst worden per macrocel de zandhuishouding (V_{tot} , V_i en V_{nat}) van de afzonderlijke macrocellen gepresenteerd vanaf 1955 (Figuur 3.1), gevolgd door de zandbalans van de gehele Westerschelde (Figuur 3.2). Met deze figuren wordt de invloed van de ingrepen op het systeem bepaald volgens de indeling uit paragraaf 2.3.

De V_{tot} van de macrocellen wordt in Figuur 3.3 vervolgens nog onderverdeeld naar verschillende morfologische eenheden. Naast de ebgeul en de vloedgeul zijn dit de eenheden "plaat" en "ondiep water" (zie voor de definitie Figuur 3.3).

Vervolgens wordt de interne zandbalans voor de Westerschelde voor een aantal karakteristieke perioden weergegeven in Figuur 3.4. Hiervoor zijn over de periode gemiddelde waarden berekend, waardoor de kortdurende fluctuaties in de transporten worden uitgemiddeld. De volgende perioden zijn gekozen:

- ## 1960 tot en met 1970, dit is globaal de periode vóór de eerste verruiming van de Westerschelde, tevens de periode van na de laatste inpoldering.
- ## 1971 tot en met 1980, globaal de periode van tijdens de eerste verdieping.
- ## 1981 tot en met 1989, de periode na de eerste verdieping, waarin import en zandwinning met elkaar in evenwicht zijn (zie Figuur 3.2).
- ## 1990 tot en met 2001, de periode waarvoor voor de Westerschelde export is geconstateerd.

De periode 1990 tot en met 2001 is vervolgens nog onderverdeeld in een periode vóór de tweede verruiming, namelijk 1990 tot en met 1996, en een periode tijdens en na de tweede verruiming, namelijk 1997 tot en met 2001.

In Figuur 3.5 worden tenslotte de tijdreeksen van de cumulatieve sedimentuitwisseling tussen de verschillende macrocellen vanaf 1955 gepresenteerd.

In dit hoofdstuk zal de zandbalans per karakteristieke periode beschreven worden met behulp van Figuur 3.1 tot en met Figuur 3.4. Daarna wordt nog een aparte paragraaf gewijd aan de sedimentuitwisseling tussen de verschillende macrocellen.

3.2 De zandbalans in de periode 1960 t/m 1970

Aangezien in deze periode voor de meest landwaarts gelegen cellen, 6 en 7, de V_{tot} gemiddeld dalend is en de V_{nat} gemiddeld stijgt (zie Figuur 3.1), zijn de ingrepen in deze cellen sturend voor de ontwikkelingen. Deze cellen verliezen dus sediment door het netto baggeren van de vaargeul (dit is ook te zien in de

volume ontwikkelingen van de geulen in Figuur 3.3). Deze cellen worden als geheel verruimd en daardoor ontstaat de import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cellen (zie Figuur 3.4).

Cel 5 wordt in deze periode gekenmerkt door een natuurlijke tendens van sedimentatie, welke wordt beïnvloed door het netto storten van sediment (V_{tot} en V_{nat} in Figuur 3.1 hebben hetzelfde teken maar zijn niet even groot, zie ook de toenemende volumes aan platen, ondiep water en vloedgeul in Figuur 3.3). Deze sedimentatie vindt hoofdzakelijk in de vloedgeul plaats, waar het van nature geïmporteerde sediment vanuit cel 4 wordt afgezet (zie Figuur 3.4).

Macrocel 4 sedimenteert in deze periode van nature en de ingrepen hebben nauwelijks invloed daarop gehad (stijgende V_{tot} en nagenoeg even sterk stijgende V_{nat} in Figuur 3.1). Figuur 3.3 laat zien dat deze sedimentatie zich voornamelijk voordoet in de ebgeul, terwijl de vloedgeul erodeert. Dit hangt nauw samen met de functiewisseling tussen deze ebgeul en vloedgeul. Het sediment dat in deze cel van nature wordt afgezet is voornamelijk afkomstig door import vanuit de zeewaarts gelegen cel 3 (zie Figuur 3.4).

In Figuur 3.1 is te zien dat er in cel 3 tot 1968 sprake is van een natuurlijke erosie (dalende V_{tot} en dalende V_{nat}), daarna is er tot 1970 natuurlijke sedimentatie (stijgende V_{tot} en stijgende V_{nat}). Gemiddeld genomen is er in deze periode natuurlijke erosie. Het grootste deel van de natuurlijke erosie wordt afgezet in de landwaarts grenzende cel 4 (zie Figuur 3.4).

Cel 1 laat in deze periode gemiddeld een natuurlijke erosie zien, waarop de zo goed als nihil netto ingrepen geen invloed hebben gehad (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} , zie Figuur 3.1). Deze erosie treedt in deze periode voornamelijk op in de eb- en vloedgeul, zie Figuur 3.3. Het van nature geërodeerde sediment wordt afgezet in de landwaarts gelegen eroderende cel 3 (zie Figuur 3.4).

De gehele Westerschelde vertoont in deze periode een gemiddelde natuurlijke import van $1,4 \text{ Mm}^3/\text{j}$ (zie Figuur 3.4). Opgemerkt moet worden dat in de periode 1960 tot en met 1966 een forse export heeft plaatsgevonden van circa $5,7 \text{ Mm}^3/\text{j}$ en in de periode daarna tot en met 1970 een import van gemiddeld $12 \text{ Mm}^3/\text{j}$.

3.3 De zandbalans in de periode 1971 t/m 1980

In cel 7 blijft het netto onttrekken van sediment (V_i) ongeveer gelijk, maar ruimt de cel als geheel toch meer uit dan in de voorgaande periode (sterker dalende V_{tot} dan in voorgaande periode, terwijl V_{nat} min of meer stabiel blijft, zie Figuur 3.1). De ingrepen blijven dus sturend voor de ontwikkelingen in deze cel. Figuur 3.3 laat zien dat in deze periode de ebgeul sterk verruimd is en dat de vloedgeul stabiel is gebleven. Er is in deze periode gemiddeld geen import of export van sediment in deze cel (zie Figuur 3.4).

In deze periode vertonen de volumes en transporten in cel 6 dezelfde ontwikkeling als in de voorgaande periode.

In cel 5 slaat in 1970 de natuurlijke tendens tot sedimentatie om in een natuurlijke erosie (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} , zie Figuur 3.1). Figuur 3.3 laat zien dat deze erosie voornamelijk bepaald wordt door de verruiming van de ebgeul. Het grootste deel van het daarbij vrijgekomen sediment wordt naar de landwaarts gelegen cel 6 getransporteerd, een klein deel wordt echter naar de zeewaarts gelegen cel 4 getransporteerd (zie Figuur 3.4).

De natuurlijke sedimentatie in cel 4 zet zich in deze periode voort (stijgende V_{tot} en stijgende V_{nat} in Figuur 3.1), maar minder sterk dan in de voorgaande periode. Vanaf 1975 wordt deze sedimentatie echter tamelijk sterk beïnvloed door het vanaf dan netto storten, aangezien de helling van V_{tot} in Figuur 3.1 vanaf dan toeneemt, terwijl de helling van V_{nat} juist afneemt. Figuur 3.3 laat zien dat deze sedimentatie zich voornamelijk voordoet in de ebgeul, terwijl de vloedgeul erodeert. Dit hangt nauw samen met de functiewisseling tussen deze ebgeul en vloedgeul. Het sediment dat in deze cel van nature wordt afgezet is in deze periode afkomstig door import vanuit zowel de zeewaarts gelegen cel 3 als vanuit de landwaarts gelegen cel 5 (zie Figuur 3.4).

In deze periode verruimt cel 3 (dalende V_{tot}) en vinden afwisselend dalingen en stijgingen plaats van de V_{nat} (zie Figuur 3.1). Over de periode gemiddeld treedt van nature erosie van sediment op, dat wordt afgezet in de zeewaarts gelegen cel 1 en voor een klein deel wordt getransporteerd naar cel 4 (zie Figuur 3.4).

De meest zeewaarts gelegen macrocel, cel 1, vertoont in deze periode een natuurlijke sedimentatie (stijgende V_{tot} en stijgende V_{nat} in Figuur 3.1), die nu wel beïnvloed wordt door het netto baggeren in deze cel. De sedimentatie wordt met name veroorzaakt door de verondieping van de ebgeul in deze cel (zie Figuur 3.3). Het sediment dat voor deze verondieping zorgt is afkomstig vanuit zowel het mondingsgebied als vanuit de landwaarts grenzende cel 3 (zie Figuur 3.4).

De totale Westerschelde verruimt in deze periode (dalende V_{tot}), gestuurd door het netto baggeren van sediment. Er vindt wel import plaats (stijgende V_{nat} in Figuur 3.2). Dit resulteert in een gemiddelde import van sediment vanuit het mondingsgebied van $0,9 \text{ Mm}^3/\text{j}$ (zie Figuur 3.4).

3.4 De zandbalans in de periode 1981 t/m 1989

De door de ingrepen gestuurde erosie (V_{tot}) van cellen 6 en 7 die in de voorgaande periode was ingezet, stabiliseert zich in deze periode, terwijl er netto ongeveer dezelfde hoeveelheid gebaggerd wordt (dalende V_{tot}), zie Figuur 3.1. Er is in deze periode import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 6 cel (zie Figuur 3.4).

In deze periode vertonen de volumes en transporten in cel 5 dezelfde ontwikkeling als in de voorgaande perioden.

Voor cel 4 laat Figuur 3.1 zien dat het netto storten in deze periode een sturende invloed krijgt. De stijgende tendens van V_{nat} slaat omstreeks 1985 namelijk om in een dalende, terwijl V_{tot} blijft stijgen (zie Figuur 3.1). Dit betekent dat de cel blijft sedimenteren ten gevolge van het netto storten. Figuur 3.3 laat zien dat de inhoud van de vloedgeul in deze periode min of meer stabiel is, maar dat de ebgeul nog steeds verondiept. Het sediment dat in deze cel wordt afgezet is, naast het storten, afkomstig uit de zeewaarts gelegen cel 3 (zie Figuur 3.4).

In deze periode zet de natuurlijke erosie in cel 3 zich voort (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} , zie Figuur 3.1). Het van nature geërodeerde sediment wordt in tegenstelling tot de voorgaande periode nu voornamelijk afgezet in de landwaarts gelegen cel 4 en wordt er geen sediment meer richting cel 1 getransporteerd (zie Figuur 3.4).

De netto volume veranderingen blijven in deze periode in cel 1 nagenoeg stabiel. Het netto storten heeft wel invloed op deze ontwikkeling (nagenoeg horizontale V_{tot} en dalende V_{nat} in Figuur 3.1). In Figuur 3.3 is dan ook te zien dat in deze periode de verruiming van de vloedgeul ongeveer even groot is als

de verondieping van de ebgeul, waardoor de totale geulinhoud nagenoeg constant is. De zandimport vanuit het mondingsgebied is dan ook ongeveer gelijk aan de export richting cel 3 (zie Figuur 3.4).

Wanneer de volumeontwikkelingen van de Westerschelde als totaal beschouwd worden valt op dat in deze periode onder invloed van het netto baggeren de totale volumeverandering nagenoeg constant blijven (nagenoeg horizontale V_{tot} in Figuur 3.2). De netto gebaggerde hoeveelheid is in deze periode wel iets minder dan in de voorgaande periode (minder sterk dalende V_i dan in voorgaande periode, zie Figuur 3.2). Het netto baggeren wordt gecompenseerd door de import van sediment vanuit het mondingsgebied van gemiddeld $2,9 \text{ Mm}^3/\text{j}$.

3.5 De zandbalans in de periode 1990 t/m 2001

In cel 7 blijven tot 1994 de netto volumeontwikkelingen stabiel en wordt er jaargemiddeld netto evenveel gebaggerd als in de voorgaande periode (dalende V_i en stabiele V_{tot} , zie Figuur 3.1). Na 1994 gaat de cel, gestuurd door het netto baggeren, weer eroderen, terwijl er jaargemiddeld netto evenveel gebaggerd blijft worden (dalende V_i en dalende V_{tot} , terwijl V_{nat} blijft stijgen, zie Figuur 3.1). Het baggeren zorgt voor een import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 6 (zie Figuur 3.4).

In deze periode vertonen de volumes en transporten in cel 6 dezelfde ontwikkeling als in de voorgaande perioden.

In cel 5 wordt vanaf 1990 netto gebaggerd, hetgeen een sturende invloed heeft op de ontwikkeling van de totale volumeveranderingen, welke vanaf 1995 een versterkte tendens tot erosie laat zien (dalende V_{tot} en juist stijgende V_{nat} in Figuur 3.1). Vanaf 1996 neemt het totale sedimentvolume zeer sterk af en wordt er ook veel meer netto gebaggerd. In Figuur 3.3 is goed te zien dat de vloedgeul vanaf 1990 licht erodeert maar dat de ebgeul na 1996 een zeer sterke erosie vertoont. De door het baggeren gestuurde netto verruiming van deze cel resulteert in een, ten opzichte van de voorgaande periode, verhoogde import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 4, terwijl tegelijkertijd de export van sediment naar de landwaarts gelegen cel 6 halveert (zie Figuur 3.4).

Het netto storten van sediment in cel 4 heeft in deze periode nog wel invloed, maar geen sturende invloed meer. De cel gaat van nu van nature weer verruimen (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} in Figuur 3.1). Figuur 3.3 laat zien dat de totale geul enigszins verruimt en dat de ebgeul na 1996 sterker gaat verondiepen dan in de jaren daarvoor, maar dat de vloedgeul juist sterker verruimt. Het van nature geërodeerde sediment wordt in de periode t/m 1996 voornamelijk afgezet in de landwaarts gelegen cel 5, maar een deel wordt ook getransporteerd naar de zeewaarts gelegen cel 3 (zie Figuur 3.4 voor periode 1990 t/m 1996). In de periode 1997 tot en met 2001 wordt het geërodeerde sediment enkel getransporteerd naar cel 5 (zie Figuur 3.4 voor periode 1997 t/m 2001).

In cel 3 zet tot en met 1992 de natuurlijke tendens tot erosie zich voort en erodeert de cel dan ook netto (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} in Figuur 3.1). In Figuur 3.3 is te zien dat zowel de eb- als de vloedgeul in deze periode eroderen. Van 1992 tot en met 1997 slaat deze tendens dan weer om naar sedimentatie en blijven de netto volumeveranderingen min of meer stabiel, hetgeen aangeeft dat het netto baggeren een kritische invloed heeft. Zowel de eb- als de vloedgeul sedimenteren nu (zie Figuur 3.3). Het in deze periode tot 1997 "van nature" geërodeerde sediment wordt afgezet in de zeewaarts gelegen cel 1 (zie Figuur 3.4 voor periode 1990 t/m 1996). Vanaf 1997 wordt er in deze cel netto gestort (in samenhang met het gewijzigde stortbeleid sinds

de tweede verruiming), hetgeen sturend is voor de netto ontwikkeling van de cel (licht stijgende V_{tot} en dalende V_{nat} in Figuur 3.1). Door deze netto stortingen sedimenteert de vloedgeul sterk, zoals te zien is in Figuur 3.3, terwijl de ebgeul gaat eroderen. Deze erosie resulteert in de periode na 1997 in een transport richting zowel de zeewaarts gelegen cel 1 als naar de landwaarts gelegen cel 4 (zie Figuur 3.4 voor periode 1997 t/m 2001).

Na de voorgaande periode van redelijk stabiele inhouden van cel 1, vertoont de cel vanaf 1992 de natuurlijke tendens tot erosie (dalende V_{tot} en dalende V_{nat} in Figuur 3.1). In Figuur 3.3 is te zien dat zowel de eb- als de vloedgeul tot 1997 erosie vertonen. Na 1997 nemen de netto storthoeveelheden in de cel toe, maar blijven de inhoudsontwikkelingen van nature bepaald door erosie (V_{tot} en V_{nat} blijven dalen, zie Figuur 3.1). In de inhoudsontwikkeling van de geulen in deze cel verandert echter wel wat: de ebgeul blijft eroderen, maar in de vloedgeul slaat de erosie om in sedimentatie. Het van nature geërodeerde sediment wordt in deze gehele periode getransporteerd naar het mondingsgebied (zie Figuur 3.4).

Vanaf 1990 vertoont de gehele Westerschelde een natuurlijke tendens tot erosie (dalende V_{tot} , zie Figuur 3.2), die enigszins beïnvloed wordt door het netto baggeren. In deze periode exporteert de Westerschelde dan ook, in tegenstelling tot alle voorgaande beschouwde perioden. Deze export bedraagt gemiddeld $1,5 \text{ Mm}^3/\text{j}$ (zie Figuur 3.4). In de periode voor de verruiming lijkt de export met gemiddeld $1,2 \text{ Mm}^3/\text{j}$ minder groot te zijn dan in de periode tijdens en na de verruiming, waarin de export gemiddeld $1,9 \text{ Mm}^3/\text{j}$ bedraagt. Uit toekomstige zandbalansstudies, bijvoorbeeld in het kader van het project MOVE, waarin meer waarnemingen van na de tweede verruiming verwerkt zijn, zal blijken of de toename van export vanuit de Westerschelde zich voortzet.

3.6 Cumulatieve sedimentuitwisseling tussen de macrocellen

In de tijdreeksen van Figuur 3.5 valt als eerste op dat de sedimentuitwisselingen tussen de verschillende cellen in het oostelijke deel van de Westerschelde (cellen 5, 6 en 7) in de tijd een onderling vergelijkbare ontwikkeling laten zien. Ditzelfde geldt ook voor de sedimentuitwisselingen tussen de cellen in het westelijke en middendeel van de Westerschelde (cellen 1, 3 en 4), die onderling ook een zelfde temporele ontwikkeling vertonen, die echter wel wezenlijk anders is dan die tussen de oostelijk gelegen cellen.

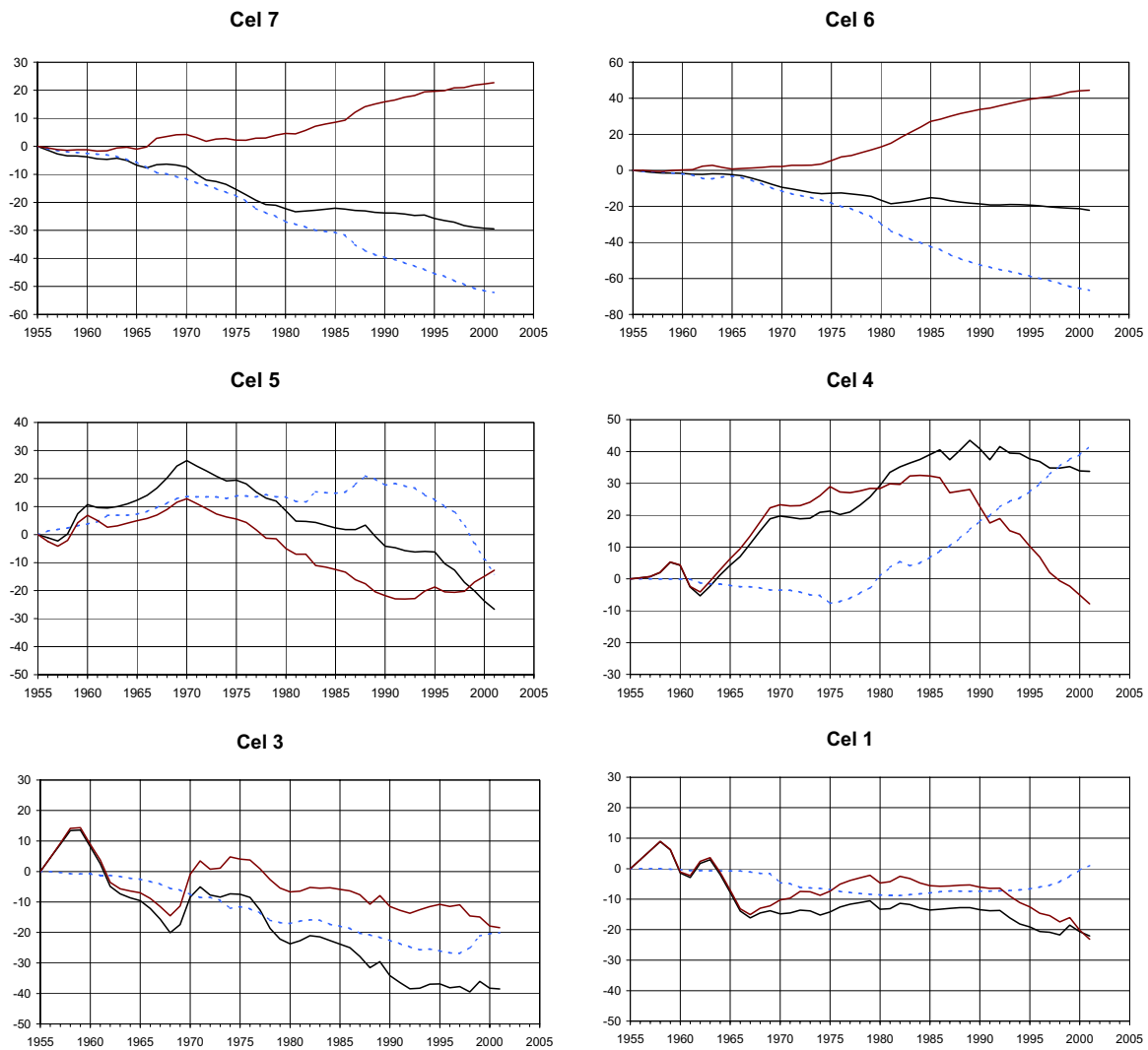
In de cellen in het oostelijke deel van de Westerschelde nemen in de periode 1955 tot en met 1958 de zeewaarts gerichte transporten toe. In de periode 1965 tot 1970 nemen dan juist de landwaarts gerichte transporten toe om in de periode 1970 tot en met 1972 te dalen. Na 1972 nemen de landwaarts gerichte transporten weer toe tot circa 1985 om daarna tot 2002 af te nemen (cel 6 en 7) of min of meer gelijk te blijven (cel 5).

Over de zeewaarts gelegen grenzen van de cellen in het westelijke deel van de Westerschelde nemen in de periode 1955 tot en met 1959 de landwaarts gerichte transporten toe om vervolgens tot 1962 om te slaan in zeewaarts gericht transport. In de periode 1963 tot en met 1970 is dan een zeer sterke stijging in de landwaarts gerichte transporten te zien, waarna de transporten weer afnemen. Omstreeks 1989 is een omslag te zien: de transporten zijn vanaf dan overwegend zeewaarts gericht en de Westerschelde slaat dan ook om van een importerend naar een exporterend systeem (zie Figuur 3.2). Opvallend is dat de tijdreeksen van de transporten fluctuaties vertonen, waarbij deze met een frequentie van circa 5 jaar van richting veranderen (Jeuken et al., 2003a).

Figuur 3.1

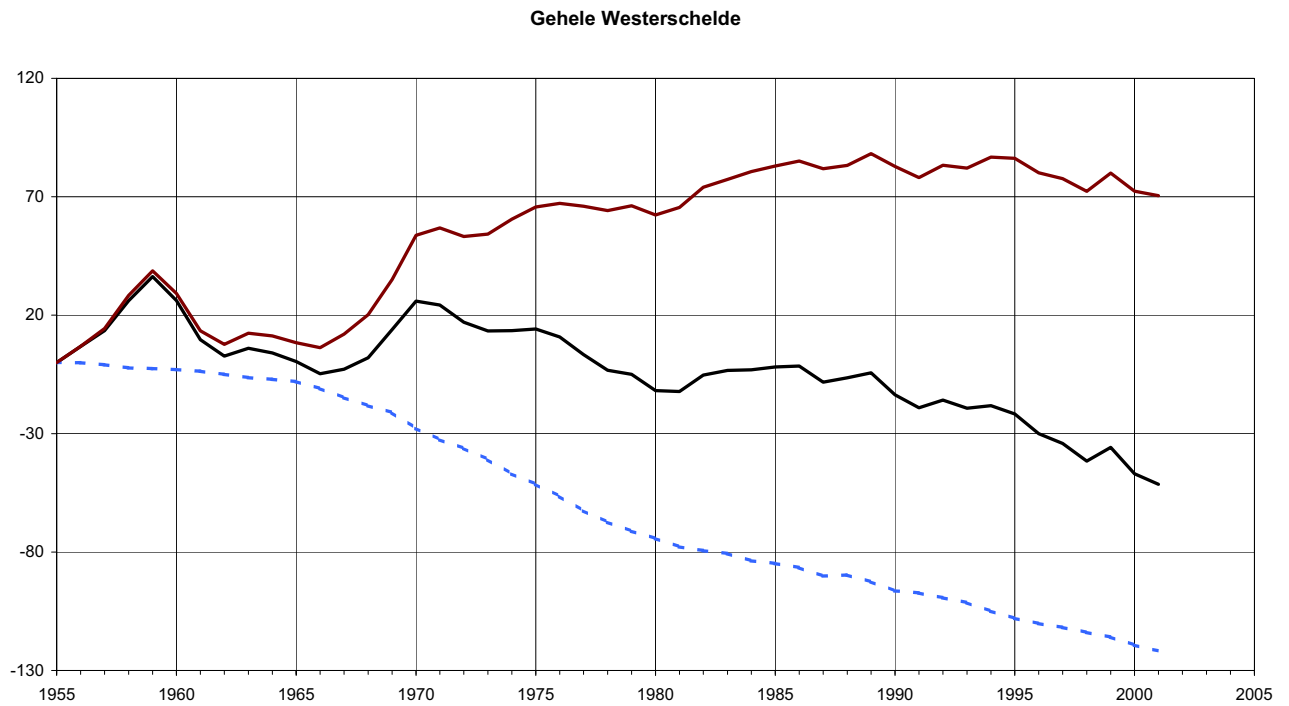
Cumulatieve zandvolumes vanaf 1955 in de macrocellen en de Westerschelde.

De volumes worden in Mm^3 weergegeven. De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}). Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.



.....
Figuur 3.2

Cumulatieve zandvolume vanaf 1955 in de Westerschelde.
De volumes worden in Mm^3 weergegeven. De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}). Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.



Figuur 3.3

Cumulatieve zandvolumes vanaf 1955 van de morfologische eenheden in de macrocellen van de Westerschelde.

De volumes worden in Mm^3 weergegeven.

De gele lijn geeft het volume van de **platen** (> NAP -2m) weer.

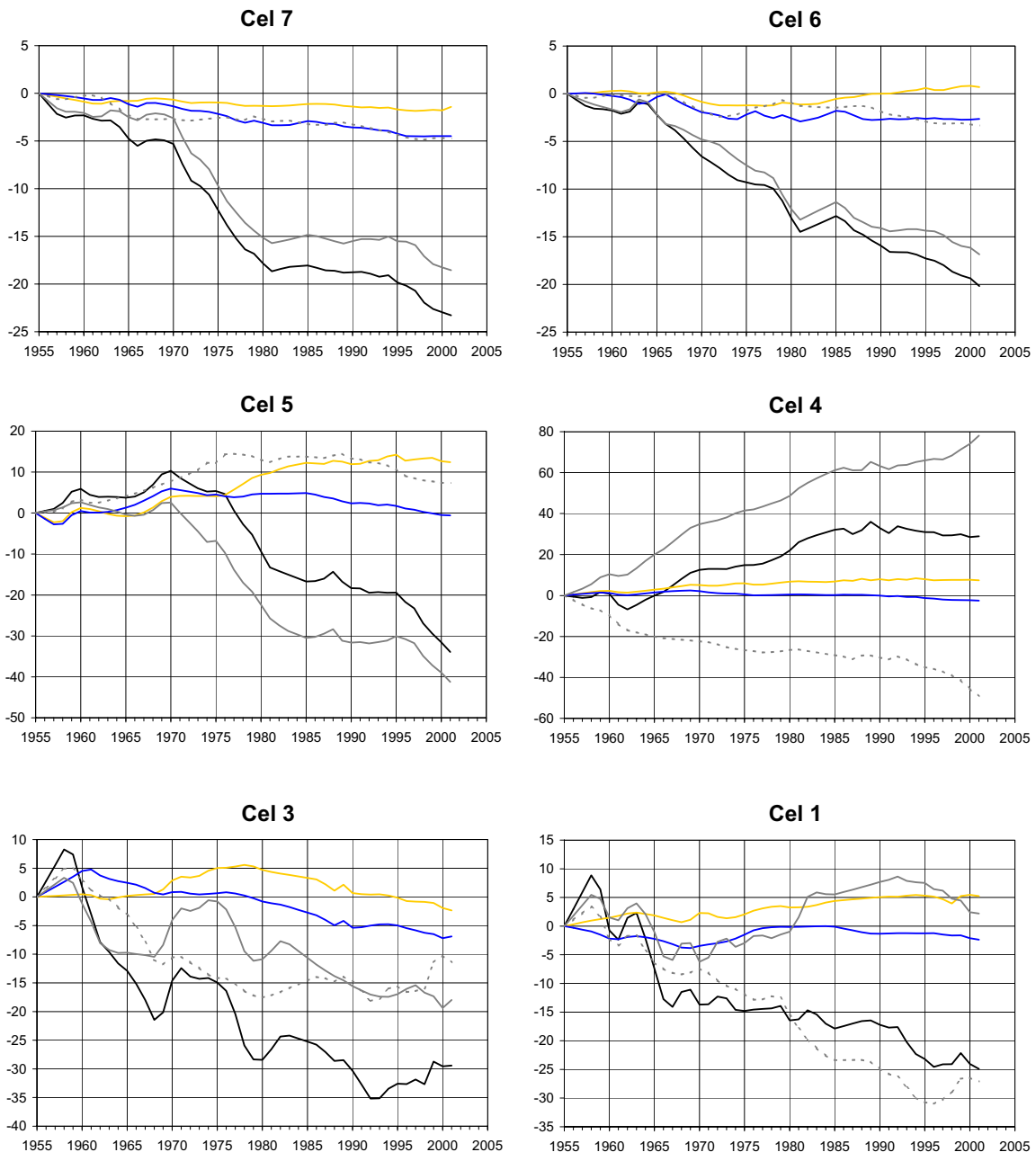
De blauwe lijn geeft het volume van het **ondiep water** (NAP -5m < x < NAP -2m) weer.

De grijze gestippelde lijn geeft het volume van de **vloedgeul** (< NAP -5m) weer.

De grijze doorgetrokken lijn geeft het volume van de **ebgeul** (< NAP -5m) weer.

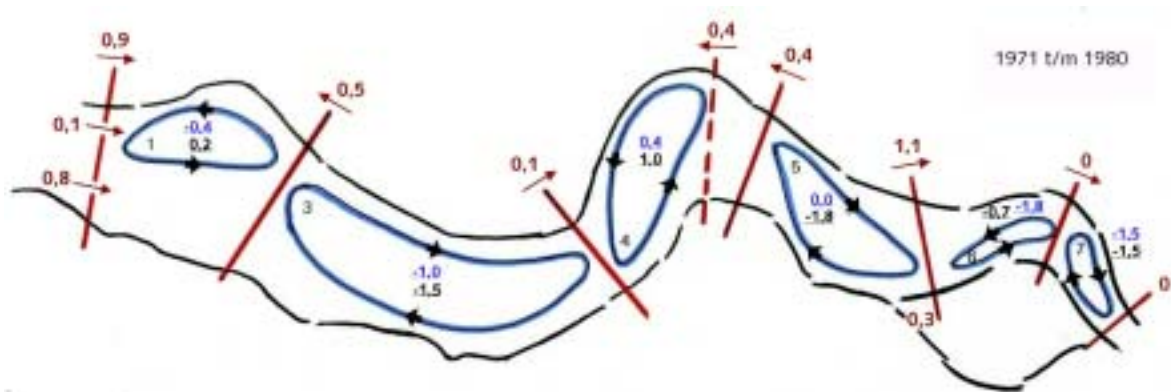
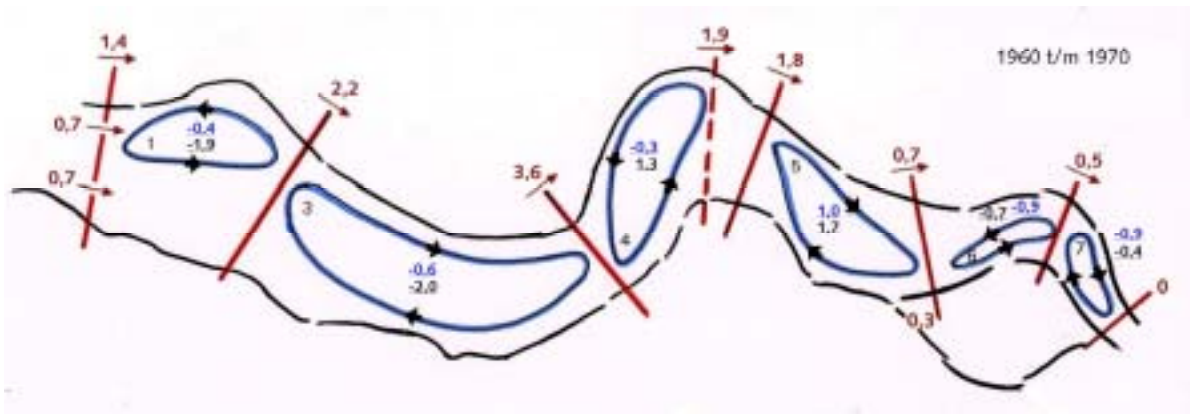
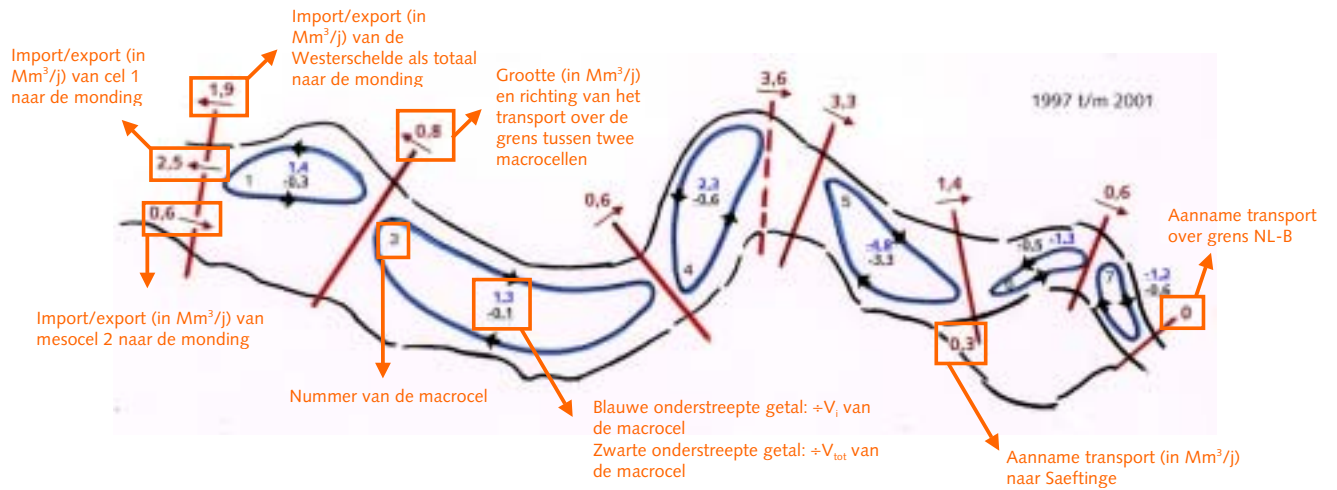
De zwarte lijn geeft het volume van de **totale geul** (< NAP -5m) weer.

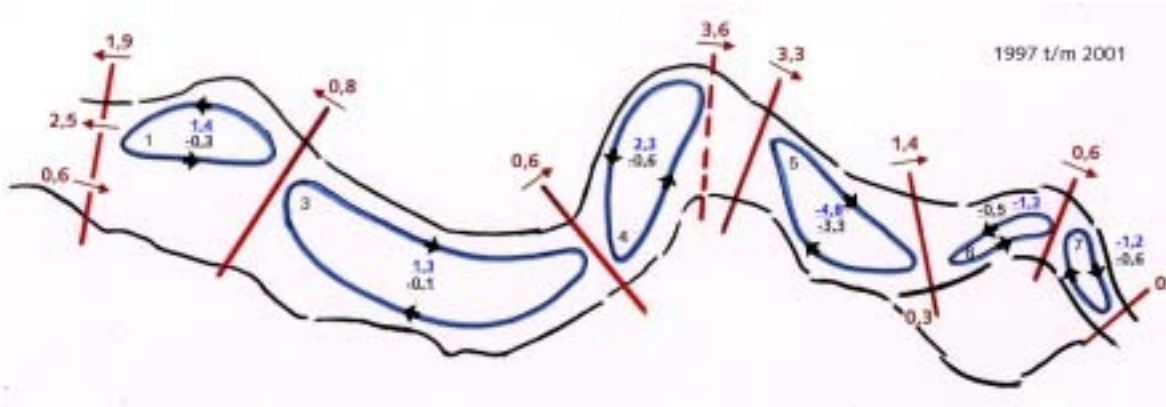
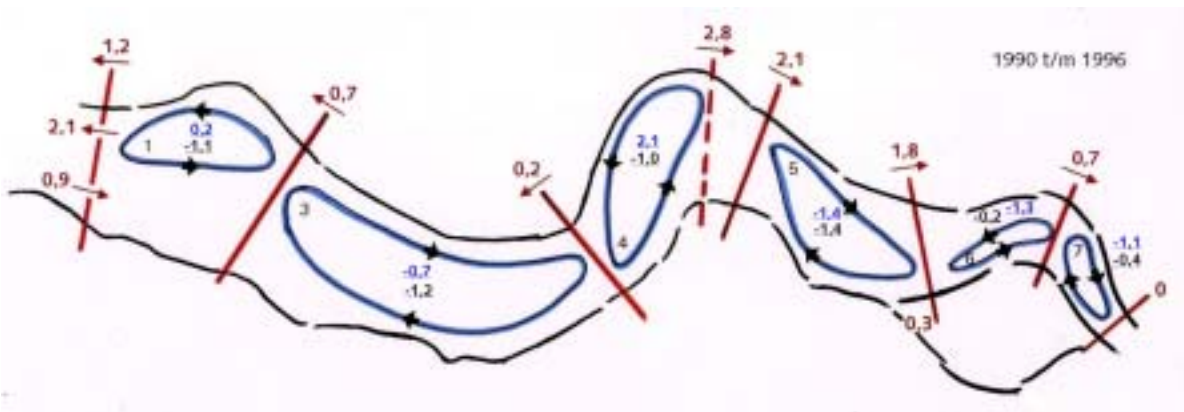
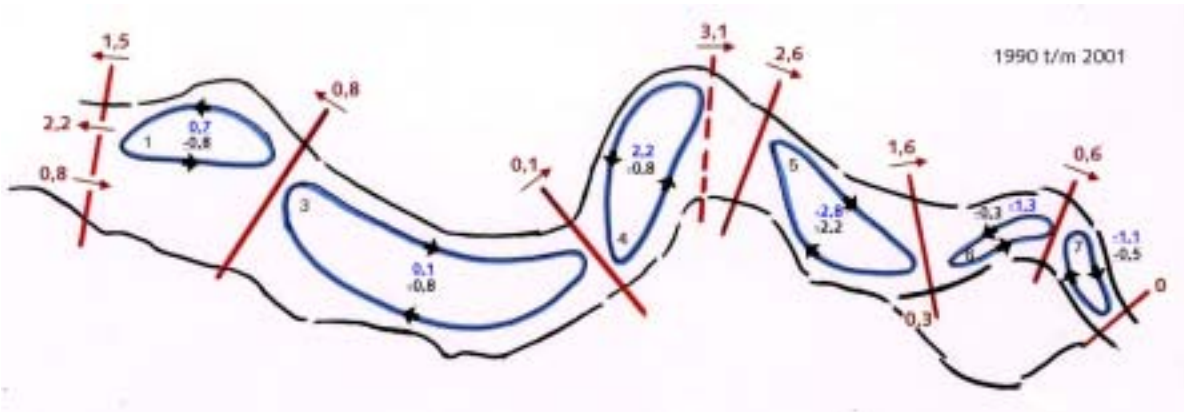
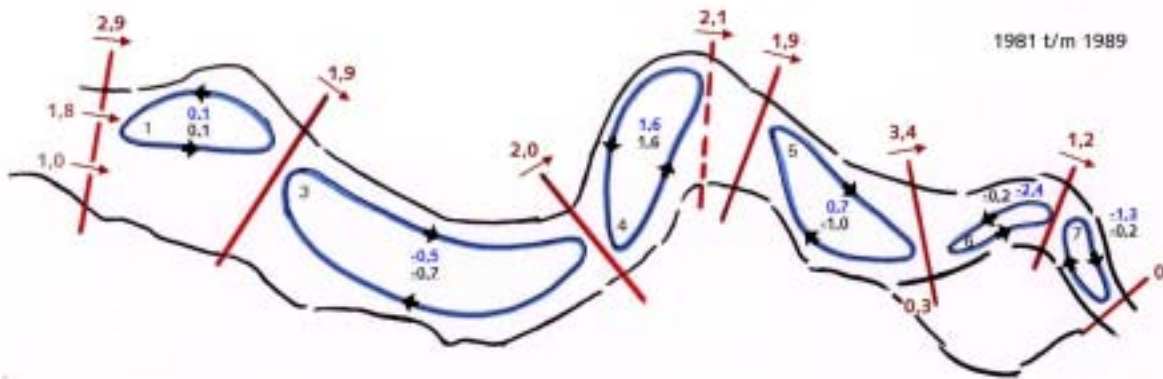
Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.



Figuur 3.4

Schematische weergave van de zandbalans van de Westerschelde voor een aantal karakteristieke perioden. In de bovenste figuur is ter illustratie in de balans van 1997 tot en met 2001 weergegeven waar de diverse getallen voor staan. Het betreft gemiddelden over de beschouwde periode. De stippellijn die in macrocel 4 te zien is, geeft de grens aan tussen macrocel 4 en het gebied tussen macrocel 4 en 5, dat niet behoort bij een macro- of mesocelengebied. Dit gebied is in het opstellen van de zandbalans van de Westerschelde wel meegenomen.

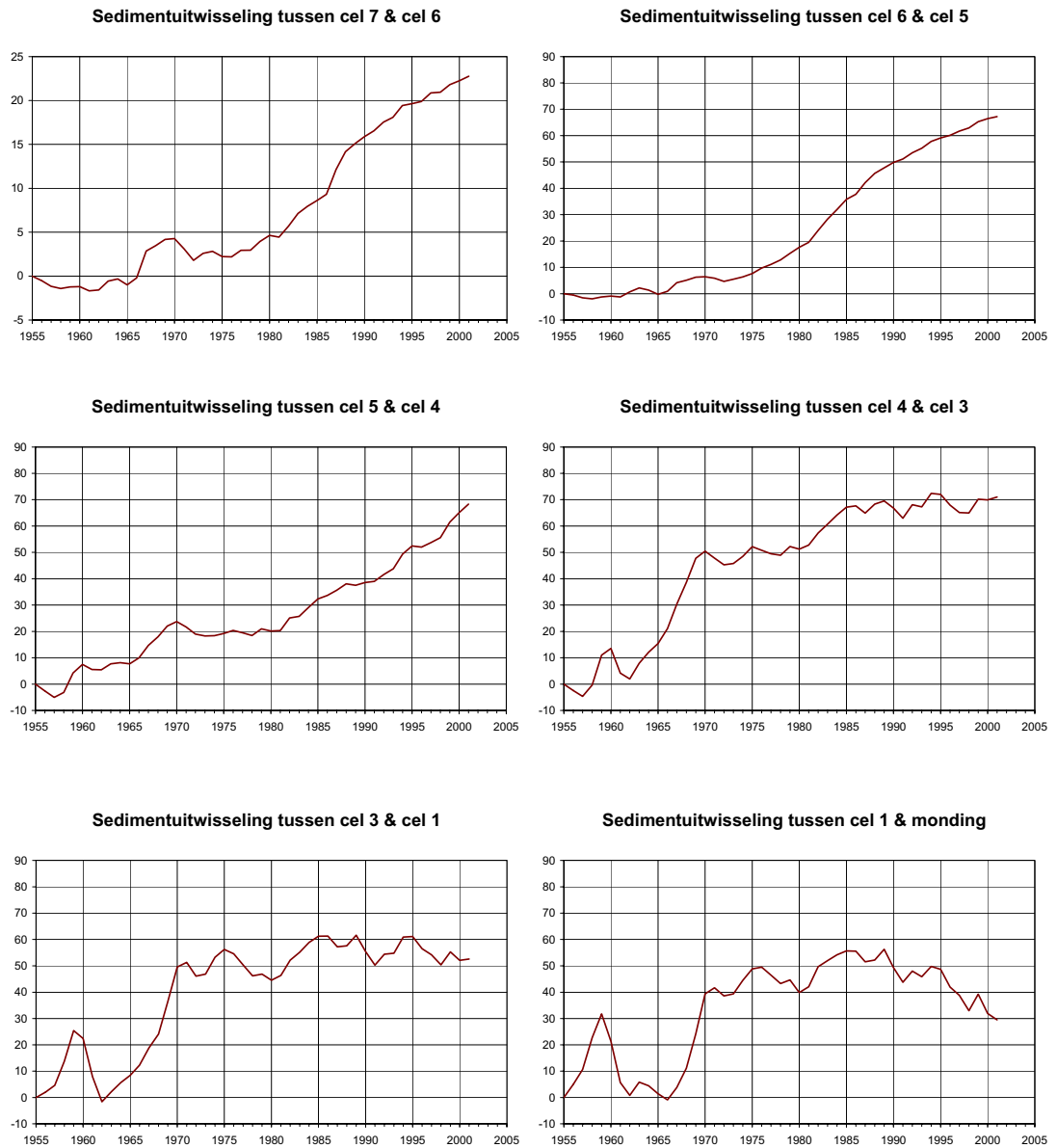




.....
Figuur 3.5

Cumulatieve sedimentuitwisseling tussen de verschillende macrocellen vanaf 1955.

De sedimentuitwisselingen worden in Mm^3 weergegeven. Een positieve richtingscoëfficiënt betekent landwaarts gericht transport (import), een negatieve zeewaarts gericht transport (export).



4 Zandhuishouding monding Westerschelde

4.1 Inleiding

In het werkdocument “resultaten zandbalans Westerschelde en monding” (Liek et al., 2003) zijn alleen de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding gepresenteerd, dus zonder het Belgische deel van de monding. Dit is gedaan vanwege de onzekerheid die bestond over de juistheid van de Belgische bagger- en stortgegevens en omdat de gegevens incompleet waren. Beide zaken zijn nog niet opgelost. Het Belgische deel van de monding (zie Figuur 4.1) zal daarom apart gepresenteerd worden van het Nederlandse deel. Voor een analyse over de gevolgen van deze onzekerheden in Belgische deel op de uitkomsten van de zandbalans wordt verwezen naar hoofdstuk 6 (nauwkeurigheid van de zandbalans). In dit hoofdstuk zullen echter de niet gecorrigeerde ingreepgegevens uit HAECON (2000) worden gehanteerd.

De in Figuur 4.1 weergegeven grens is niet de daadwerkelijke landsgrens, maar een grens op basis van lodingsvakken. De lodingsvakken 13 t/m 16 en 44 worden gemakshalve tot het Belgisch deel gerekend en de vakken 12 en 17 t/m 19 tot het Nederlands deel (zie ook Figuur 2.1).

Lodingsvak 44 maakt geen deel uit van de geaggregeerde vakindeling. Een compleet overzicht van de gehele monding inclusief lodingsvak 44 is pas mogelijk vanaf 1976, terwijl voor de rest van de monding data beschikbaar is vanaf 1970. Daarom zal in het opstellen van de zandbalans vanaf 1971 lodingsvak 44 niet worden meegenomen. Het vak zal wel worden gepresenteerd in dit hoofdstuk.

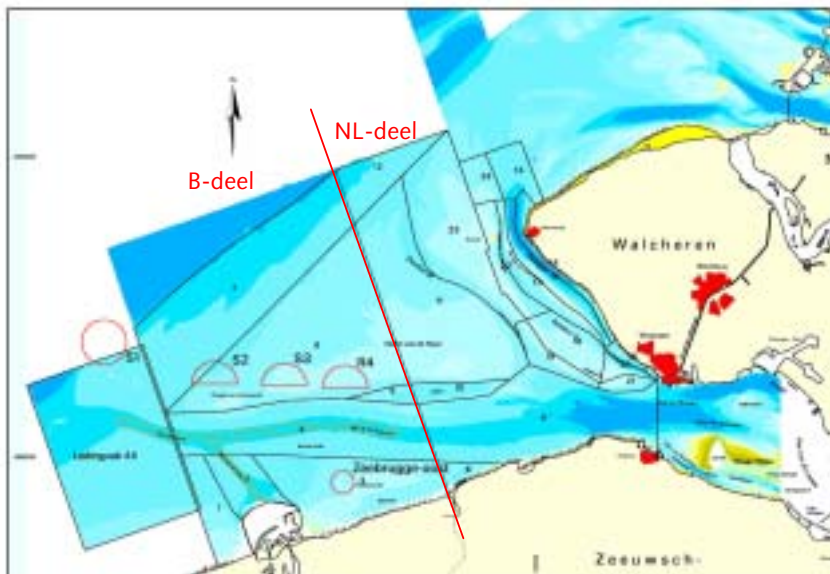
De zandbalans van de Westerschelde werd in het vorige hoofdstuk beschreven aan de hand van karakteristieke deelperioden, gebaseerd op de menselijke ingrepen in het gebied. Voor de monding van de Westerschelde is deze indeling in perioden minder voor de hand liggend. Daarnaast is een zandbalans op een niveau van dat van de macrocellen van de Westerschelde niet op te stellen, omdat het gebied een tweedimensionaal karakter heeft. Zonder aanvullende informatie uit bijvoorbeeld modellen is de uitwisseling tussen de vakken niet te bepalen.

In de paragrafen 4.2 en 4.3 zal de monding niet per periode maar per balansvak beschreven worden voor respectievelijk het Belgische en het Nederlandse deel van de monding. Om toch aan te kunnen sluiten bij de indeling zoals die voor de Westerschelde is gehanteerd, wordt in paragraaf 4.4 vervolgens een overzicht gepresenteerd van alle vakken in de monding. Hierbij is dezelfde indeling in perioden uit hoofdstuk 3 gehanteerd. Ook worden de balansvakken van het Nederlandse deel en het Belgische deel van de monding afzonderlijk en als geheel gesommeerd.

Figuur 4.1

Geaggregeerde vakindeling van de monding en lodingsvak 44, met aangegeven de in de in dit rapport aangehouden scheiding tussen het Nederlandse en het Belgische deel van de monding. N.B. Deze komt niet overeen met de daadwerkelijke landsgrens.

Tevens zijn aangegeven de baggerlocaties (geel) en stortlocaties (rood) in het Belgische deel van de monding.



4.2 Beschrijving per balansvak van het Belgische deel van de monding

Bagger- en stortgegevens voor het Belgisch deel van de monding zijn afkomstig uit HAECON (2000). Deze getallen lopen van 1960 tot en met het jaar 1996. Daarom worden V_i en V_{nat} ook slechts tot en met 1996 gepresenteerd. Na dit jaar zijn nog wel lodingsgegevens bekend, die zijn opgenomen in de figuren.

Hieronder volgt een beschrijving van de balansvakken in het Belgische deel van de monding, zoals weergegeven in Figuur 4.1. In deze figuur zijn tevens de bagger- en stortvakken in het Belgische deel van de monding opgenomen. De bijbehorende grafieken staan in Figuur 4.2.

Vak 1

Vak 1 is gelegen ten westen van de haven van Zeebrugge. In dit vak wordt niet gebaggerd of gestort. Tot 1980 vindt sedimentatie plaats van $6,5 \text{ Mm}^3$ (met uitzondering van 1979). Vanaf dat moment treedt erosie op, 11 Mm^3 over de periode 1983-2002.

Vak 2

In dit vak ligt de Pas van het Zand, de toegangsgeul tot de haven van Zeebrugge. Daarom vindt er constant onderhoudsbaggerwerk plaats (185 Mm^3 over de totale periode). Het onderhoudsbaggerwerk is het grootst in de periode 1986-1990, na de uitbreiding van de haven van Zeebrugge. In de lodingen is echter niet een zeer sterke afname van het volume (V_{tot}), als gevolg van de verdieping van de toegangsgeul, te zien. Tussen ca. 1990 en 1997 neemt V_i sterk af.

Uit de lodingen blijkt dat vanaf 1980 het volume (V_{tot}) van dit vak geleidelijk afneemt, terwijl V_{nat} toeneemt. De ingrepen zijn in dit vak dus sturend voor de morfologische ontwikkeling. Anders gesteld: in afwezigheid van de geul zou dit gebied geen natuurlijke aanzanding van 140 Mm^3 hebben laten zien.

Vak 3

Ten oosten van de haven van Zeebrugge bevindt zich één van de stortlocaties voor het onderhoudsbaggerwerk van Scheur/Wielingen en Pas van het Zand. V_i laat dit ook zien. Tot 1997 is er ruim 100 Mm^3 in het vak gestort. Uit de lodingen blijkt dat het gebied veel minder sterk aanzandt (24 Mm^3 in 1997). Kennelijk wordt veel materiaal op natuurlijke wijze weer uit het vak getransporteerd. Dit blijkt ook uit V_{nat} . Deze laat een eroderende trend zien (meer dan 80 Mm^3). Het is zeer aannemelijk dat dit materiaal verdwijnt naar de vakken 2 en 4, aangezien juist een natuurlijke aanzanding laten zien (V_{nat} neemt hier juist toe). De invloed van ingrepen in dit gebied is kritisch.

Vak 4

Dit is wederom een vak waar veel gebaggerd wordt. De geulen Scheur en Wielingen vormen de toegangsheuvelen tot de havens van Zeebrugge en Antwerpen. Het kwalitatieve beeld is dan ook vergelijkbaar met dat van vak 2 (Pas van het Zand), de ingrepen zijn ook hier sturend. Kwantitatief zijn er wel verschillen te zien. Hoewel vak 4 veel groter is dan vak 2, is er net zo veel onderhoudsbaggerwerk gepleegd (ca. 200 Mm^3). De verruiming is in vak 4 ongeveer twee keer zo groot.

Vak 5

Dit is het westelijk deel van de geul Spleet. Er zijn geen ingrepen gepleegd in het gebied en de volumeveranderingen zijn klein: in de periode 1970-1979 vindt er een aanzanding plaats van ca. $2,2 \text{ Mm}^3$. Daarna treedt een, gemiddeld, lichte erosie op.

Vak 6

Dit vak omvat het Belgisch deel van de Vlakte van de Raan, waarop een aantal stortvakken is gelegen (R4, S3 en 75% van S2). Tot 1997 wordt op deze locaties 66 Mm^3 sediment gestort. Vanaf 1986 is een toename te zien in het storten, die waarschijnlijk te maken heeft met de uitbreiding van de haven van Zeebrugge. Desondanks laat V_{tot} vanaf 1978 een afname van sediment in het gebied zien van 26 Mm^3 , waardoor V_{nat} een nog sterkere erosie weergeeft. De ingrepen hebben dus invloed, maar zijn niet sturend.

Vak 7

In dit vak ligt het overgangsgebied van het Belgische deel van de monding naar de Noordzee. Stortvak S2 ligt gedeeltelijk in dit vak (25%) en is vanaf 1985 in gebruik (de toename door storten tussen 1985 en 1997 is 13 Mm^3). V_{tot} en V_{nat} laten in 1979 een flinke toename zien. Vanaf 1980 treedt erosie op, maar vanaf 1997 is deze verdwenen.

Lodingsvak 44

Dit vak ligt op de westelijke rand van het mondingsgebied. Het omvat een gedeelte van het stortvak S1. Bij de in de grafiek aangegeven storthoeveelheden is er (conform HAECON, 2000) van uit gegaan dat S1 volledig binnen lodingsvak 44 valt. Ondanks de grote hoeveelheid gestort sediment (bijna 300 Mm^3 in de periode 1976-1997) blijft het volume (V_{tot}) nagenoeg gelijk (zie verder paragraaf 4.4).

4.3 Beschrijving per balansvak van het Nederlandse deel van de monding

Voor het Nederlandse deel van de monding worden de lodingen vanaf 1970 gebruikt. Het gebied Wielingen/Vlakte van de Raan/Vooroever (vakken 8 tot en met 12) is qua grootte opgedeeld in vergelijkbare eenheden als het Belgische deel van de monding. De omgeving van het Oostgat (vakken 13 tot en met 24) is in relatief kleinere morfologische eenheden opgedeeld, wat een gedetailleerde beschrijving van dit gebied mogelijk maakt. In dit gebied is voor de beschrijving tevens gebruik gemaakt van de balansen van nog kleinere vakken. Omwille van het overzicht worden deze echter niet afzonderlijk gepresenteerd. Indien van toepassing wordt wel op detail niveau informatie verschaft. De grafieken van de vakken 8 tot en met 24 zijn te vinden in Figuur 4.3.

Vak 8

Dit is een zeer klein vak, dat tezamen met vak 3 de morfologische eenheid Paardenmarkt/Appelzak vormt. Dit vak laat variaties zien in V_{tot} , die vele malen kleiner zijn dan die in vak 3, maar wel een vergelijkbaar beeld hebben. De natuurlijke ontwikkeling (V_{nat}) van vak 8 heeft een negatieve trend (4,5 Mm³ erosie over de periode 1978-2001). Opvallend aan de ingrepen is de invloed van suppleties (duidelijk te herkennen aan de sprongen in V_i), die sturend zijn voor de morfologische ontwikkeling.

Vak 9

Vak 9 omvat het Nederlandse deel van de Wielingen. Het onderhoudsbaggerwerk is in dit gebied aanzienlijk kleiner dan in het Belgische deel van de geul. Hier is maximaal 5 Mm³ verwijderd. De toename van V_i vanaf 1998 heeft te maken met suppleties die in het kustvak zijn uitgevoerd. Het verloop van de volumeontwikkeling (V_{tot}) is vrij grillig. Er zijn drie flinke 'dips' te zien in 1986, 1992 en 2000, waarbij die van 1986 waarschijnlijk het gevolg is van een lodingsfout van ca. 10 Mm³ (Marijs en Parée, 2004). De algemene trend is erosief.

Vak 10

Dit vak vormt samen met vak 5 (dat in het Belgische deel van de monding ligt) de morfologische eenheid Spleet. Ook in het Nederlandse deel zijn geen menselijke ingrepen gepleegd. De variatie in dit gebied is klein ($\pm 1,5$ Mm³) en een duidelijk trend is niet aan te geven.

Vak 11

Vak 11 is het Nederlandse deel van de Vlakte van de Raan, met als oostelijke begrenzing de Deurloo-West en de Geul van de Walvischstaart. Dit vak laat variaties zien van orde 10-20 Mm³, met een lichte trend van sedimentatie. Er zijn geen ingrepen gepleegd.

Vak 12

Dit vak vormt (een deel van) het Nederlandse deel van de vooroever. Opvallend is de sterke aanzanding van 9,5 Mm³ in 1976. Marijs en Parée (2004) geven aan dat dit een lodingsfout betreft. Deze piek buiten beschouwing gelaten is er in dit vak sprake van een lichte erosie. Deze trend is vergelijkbaar met die van vak 7.

Vak 13

Dit vak omvat de uitlopers van het Oostgat en een klein deel van de noordwestkust van Walcheren. Het wordt gekenmerkt door structurele erosie.

Vak 14

Het kustvak Walcheren (de zeevaartse grens ligt op de geulas van het Oostgat) laat vanaf 1976 een duidelijke erosie zien (ca. 12 Mm³) in V_{tot} . Uit de gedetailleerdere onderverdeling blijkt, dat deze erosie vooral wordt veroorzaakt in het noordelijk deel van het vak (rond de kop van Walcheren). Hier wordt niet structureel gesuppleerd, omdat geen BKL is gedefinieerd. Door suppleties (V_i) in de rest van het vak wordt de erosie grotendeels een halt toe geroepen: tussen 1990 en ca. 1995 loopt V_{tot} vlak, daarna neemt het volume weer af.

Vak 15

Het kustvak Vlissingen omvat het zuidelijkste deel van zuidwest Walcheren. In dit gebied treden weinig veranderingen op (variaties zijn klein). Duidelijk zichtbaar is de invloed van suppleties op de volume ontwikkeling van het vak. De volumeverandering in het jaar 1998 vertoont een rare sprong. Deze kan verklaard worden uit een fout in de loding van 1998 van ca. 1,1 Mm³ (Marijs en Parée, 2004).

Vak 16

Dit vak beslaat het oostelijke deel van het Bankje van Zoutelande, gelegen aan de zijde van het Oostgat. Dit gebied erodeert vanaf 1990 vrij sterk in relatie tot de eerdere periode (V_{tot} en V_{nat} nemen met 4,5-6 Mm³ af), in de periode daarvoor is geen duidelijke trend waarneembaar. De onttrekking van zand aan dit vak concentreert zich met name rond het gedeelte tussen Zoutelande en Dishoek en vindt hoofdzakelijk plaats tussen 1985 en 1995.

Vak 17

Dit vak omvat de westelijke zijde van het Bankje van Zoutelande. In dit gebied treden weinig veranderingen op. Opvallend is wel de sterke erosie vanaf 1998. Uit het bekijken van de deelvakken blijkt dat er binnen het vak wel variatie is: in het deel ten noorden van Zoutelande treedt erosie op, terwijl het zuidelijker deel (een iets minder grote) aanzanding laat zien. Er vinden in dit vak geen ingrepen plaats.

Vak 18

In het gebied 'Walvischstaart oost' treden slingeren op in het volume variërend van -1,5 Mm³ tot +2,5 Mm³ ten opzichte van 1970. Er is geen duidelijke trend waar te nemen over de periode, maar wel een min of meer regelmatige slinging. In 2000 laat V_{tot} een sterke dip zien. De netto onttrekking bestaat uit winning door derden en winning voor suppleties.

Vak 19

De westzijde van de Walvischstaart (tot de geulas van de Geul van de Walvischstaart) laat een lichte, maar structurele erosie zien van ca. 5 Mm³ over de periode 1975-2001. De netto onttrekking bestaat uit winning voor suppleties.

Vak 20

Aan de noordzijde van de Nolleplaat is in de periode 1986-1993 ca. 3,5 Mm³ sediment onttrokken. De gemeten volumeontwikkeling (V_{tot}) laat in de periode 1980-1990 erosie zien, daarna is het volume redelijk stabiel. V_{nat} laat netto aanzanding zien in de periode 1985-2001.

Vak 21

Het zuidelijk deel van de Nolleplaat wordt gekenmerkt door structurele aanzanding. Na correctie voor zandwinning (V_{nat}) bedraagt deze ca. 4 Mm³

Vak 22

Het vak 'Rassen oost' loop parallel aan vak 17, maar meer richting de Vlakte van de Raan. Dit vak laat een zeer constante aanzanding zien van ca. 15 Mm³ over de gehele periode. De netto onttrekking bestaat uit winning voor suppleties.

Vak 23

In dit vak ligt het grootste gedeelte van de Rassen. In de periode 1970-1978 treedt hier een aanzanding op van bijna 15 Mm³, in de periode hierna vindt erosie plaats (24 Mm³).

Vak 24

Dit vak is het noordoostelijk deel van de Rassen. Hier treedt in de periode 1970-1990 aanzanding op, daarna blijft het volume redelijk stabiel.

4.4 Overzicht van de gehele monding

In Figuur 4.4 is voor dezelfde perioden als gehanteerd in hoofdstuk 3 een overzicht gegeven van de gemiddelde volumeveranderingen in die perioden. In tegenstelling tot de Westerschelde is hier niet aan te geven hoe groot de sedimentuitwisseling tussen de verschillende vakken is.

Door optelling van verschillende vakken ontstaat een beeld van de cumulatieve zandvolumes van de monding. In Figuur 4.5 is dit weergegeven voor het Belgische deel van de monding (vakken 1 tot en met 7) het Nederlandse deel van de monding (vakken 8 tot en met 24) en voor de gehele monding (exclusief lodingsvak 44).

In het Belgische deel van de monding blijkt uit de lodingen (V_{tot}) dat er, op twee periodes van aanzanding na, sediment verdwijnt. Tot 1990 wordt 246 Mm³ sediment uit het Belgische deel van de monding verwijderd (V_i), hoofdzakelijk naar stortvak S1. De gecorrigeerde volume-ontwikkeling (V_{nat}) wordt dus zeer sterk beïnvloed door het niet meenemen stortvak S1 (zie het einde van de paragraaf).

Het Nederlandse deel van de monding laat allereerst een fluctuatie zien in het sedimentvolume (Figuur 4.5), die varieert tussen ca. +40 en -40 Mm³ ten opzichte van 1970, met een duidelijke piek in 1976-1978, een dal in 1986, een wat minder uitgesproken piek in 1994 en een dal in 2000. Afgezien van deze fluctuaties lijkt de algemene trend op erosie te duiden. Voor het Nederlandse deel van de monding hebben menselijke ingrepen wel invloed, maar ze zijn zeker niet sturend.

Bekijken we de gehele monding, dus het Belgische en het Nederlandse deel tezamen, dan is te zien dat het Belgische deel het beeld zwaar overheerst, voor zowel V_{tot} , V_i als V_{nat} . De bijdrage van het Nederlandse deel zorgt wel voor een versterking van de pieken en dalen die in beginsel ook in het Belgische deel te zien zijn. In het Nederlandse deel van de monding zijn de ingrepen zeer gering, in vergelijking met het Belgische deel, maar ook ten opzichte van de Westerschelde (zie ook hoofdstuk 5).

Invloed lodingsvak 44 en stortvak S1

De onttrekking van sediment (negatieve V_i) in het Belgische deel van de monding treedt in werkelijkheid niet op. Volgens HAECON (2000) wordt namelijk geen zand gewonnen in de monding. In Figuur 4.6 wordt daarom het Belgische deel van de monding inclusief lodingsvak 44 gepresenteerd voor de periode 1976-1997. Uit de figuur blijkt nu dat er netto gestort wordt in de monding (toename van V_i van ca 110 Mm³). Dit is te wijten aan de stortingen van sediment dat afkomstig is uit de haven van Zeebrugge, die als interne herverdeling van sediment moeten worden gezien. Indien hiervoor gecorrigeerd wordt (de tweede grafiek in Figuur 4.6) zijn de ingrepen (V_i) vrijwel gelijk aan 0 en vallen V_{tot} en V_{nat} samen. Bij deze afname van het sedimentvolume in het Belgische deel van de monding is de aanname van belang dat stortvak S1 volledig binnen lodingsvak 44 ligt (HAECON, 2000). In de onderste grafiek in Figuur 4.6 is aangenomen dat 75% van het stortvak buiten lodingsvak 44 ligt (gebaseerd op de ligging van stortvak S1 in Figuur 4.1). Kwalitatief gezien ontstaat zo een vergelijkbaar beeld van de zandbalans als wanneer lodingsvak 44 in het geheel niet wordt meegenomen.

Naar aanleiding van de grafiek in Figuur 4.6 dienen twee opmerkingen te worden gemaakt:

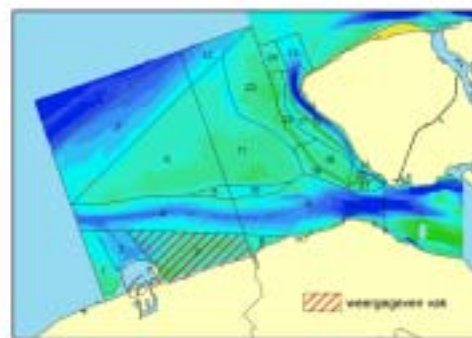
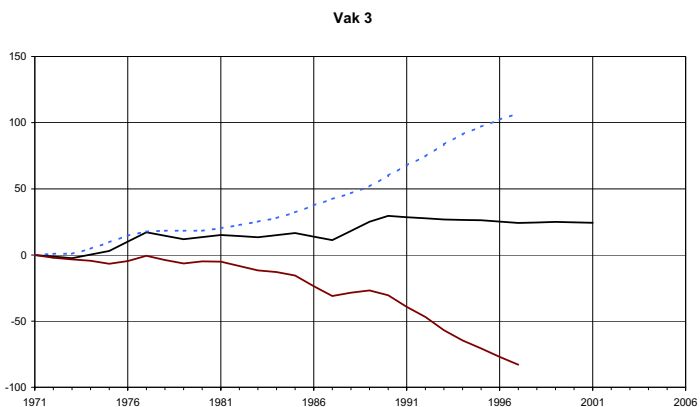
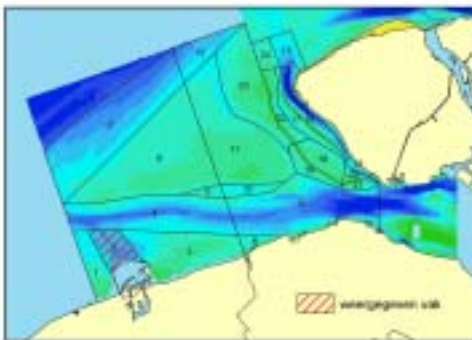
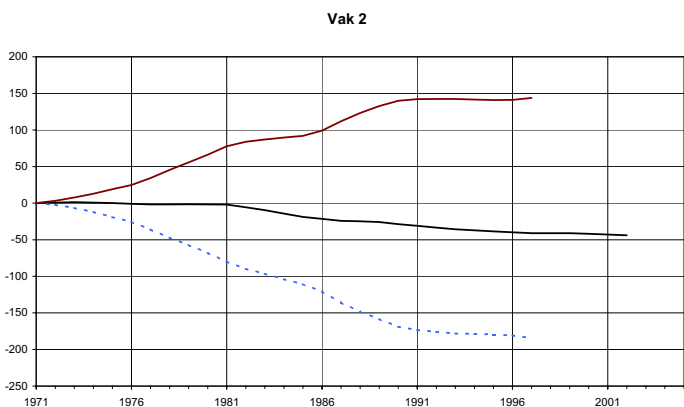
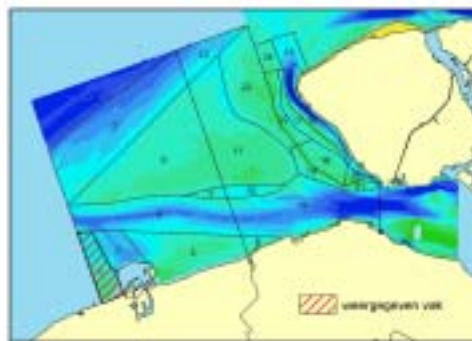
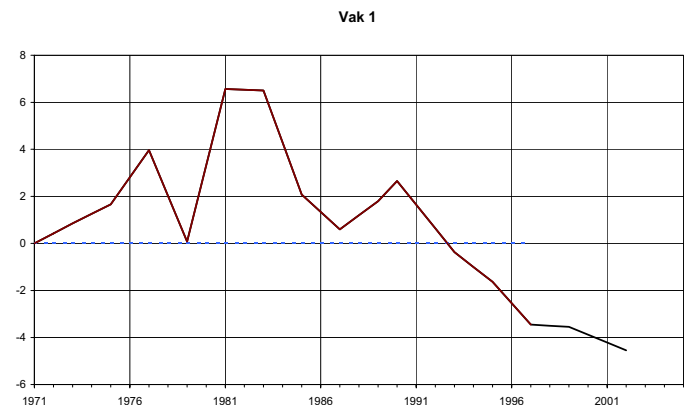
- €# Voor de grafieken in Figuur 4.5 (de monding zonder lodingsvak 44) zouden de ingreepgegevens (V_i) ook gecorrigeerd moeten worden voor de havenstortingen uit de haven van Zeebrugge, voor zover de stortingen plaatsvinden in de vakken 1 tot en met 7. Dit is echter nog niet gedaan, terwijl ook hier sprake is van een interne herverdeling. Correctie zal resulteren in een nog sterker dalende V_i (het baggerwerk in de scheepvaartgeulen blijft gelijk, terwijl het storten door de correctie afneemt).
- €# In alle gevallen dat stortingen buiten het balansgebied plaatsvinden speelt de onnauwkeurigheid van de Belgische bagger- en stortgegevens een rol. In hoofdstuk 6 wordt, voor de grafieken in Figuur 4.5, het effect hiervan op de nauwkeurigheid van de zandbalans geanalyseerd.

.....
 Figuur 4.2

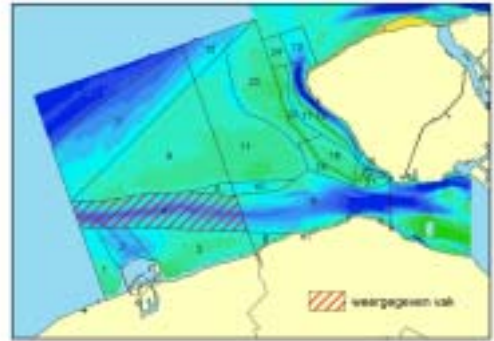
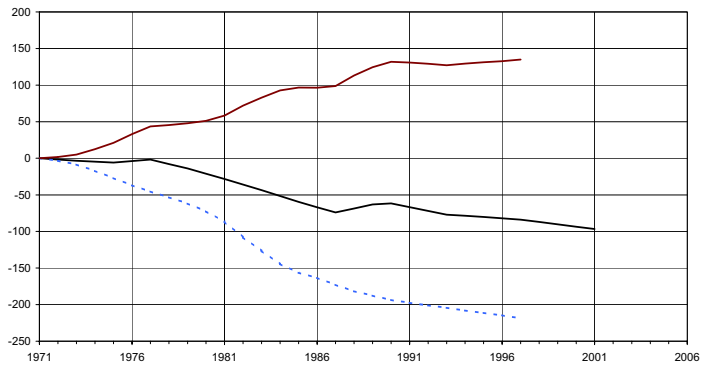
Cumulatieve zandvolumes per vak vanaf 1971 in het Belgische deel van de monding van de Westerschelde.

De volumes worden in Mm^3 weergegeven. De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}).

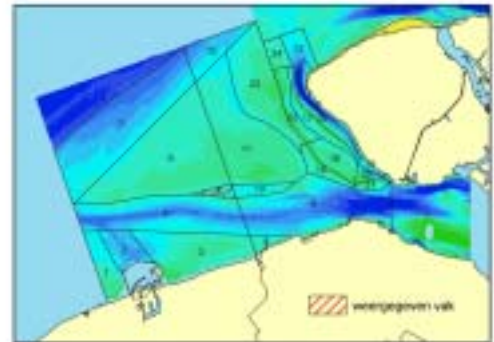
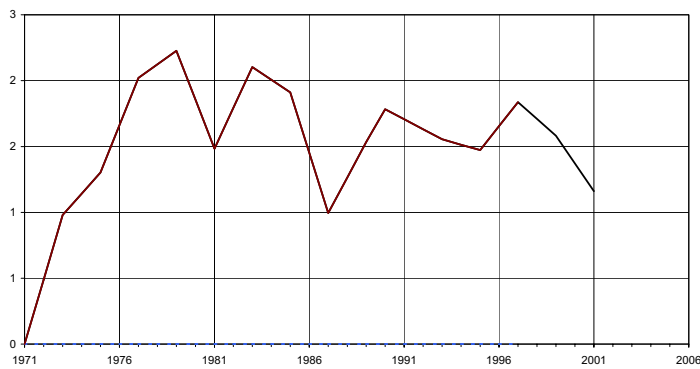
Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie. N.B. De weergegeven verticale schaalverdeling verschilt per grafiek.



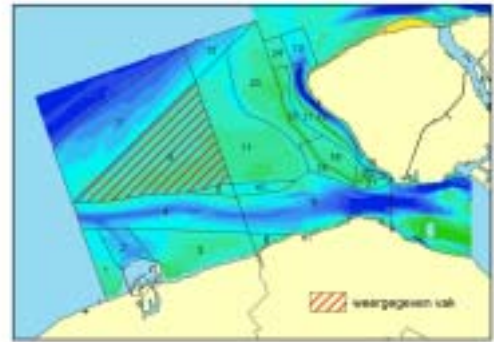
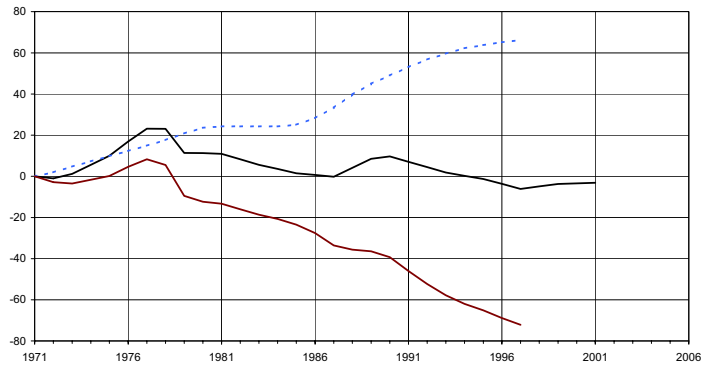
Vak 4



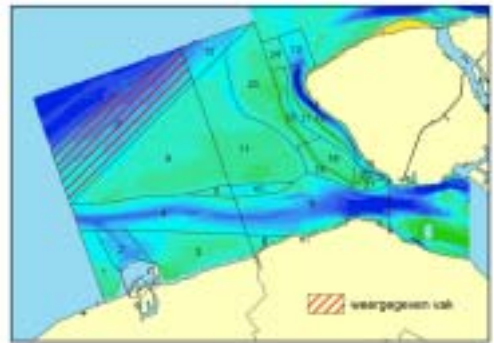
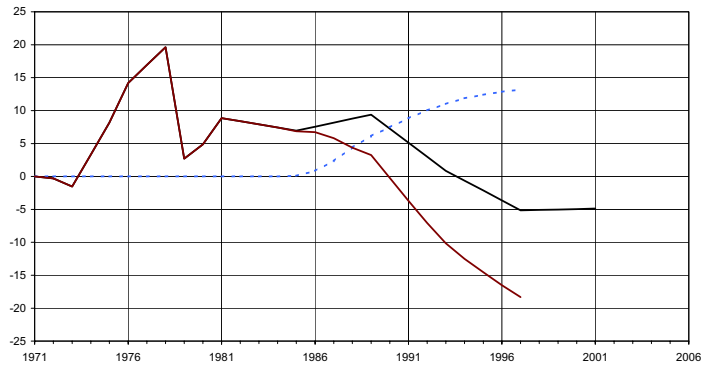
Vak 5



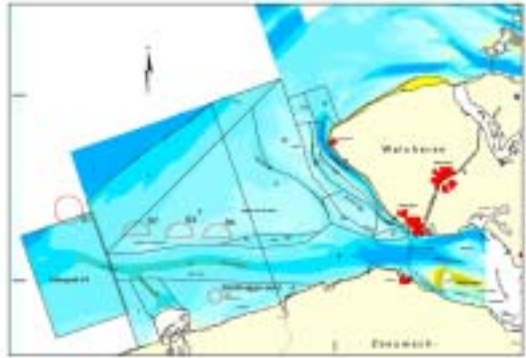
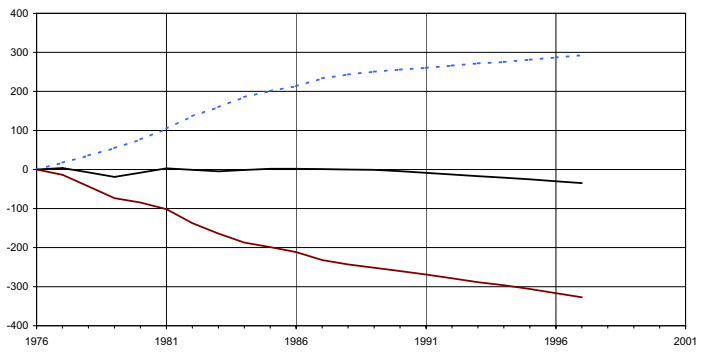
Vak 6



Vak 7



Lodingsvak 44

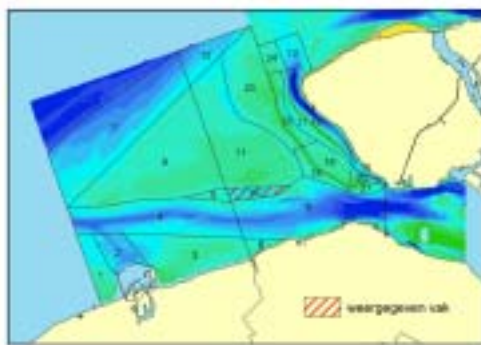
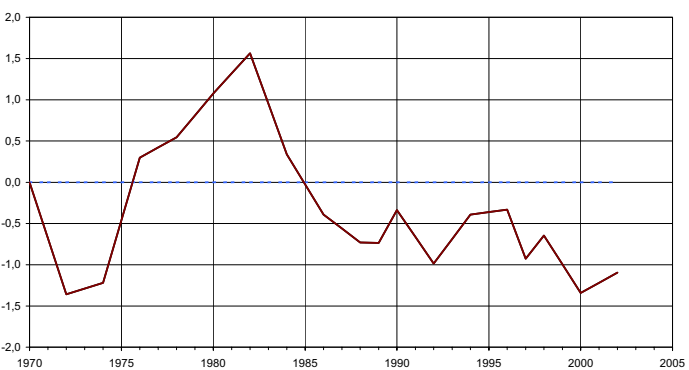
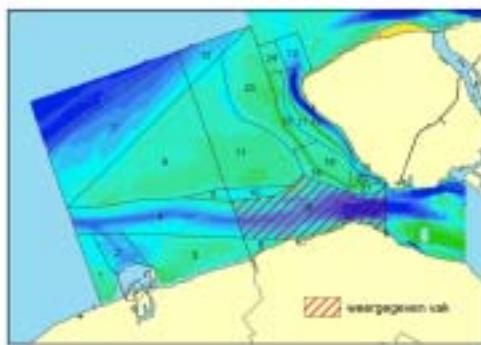
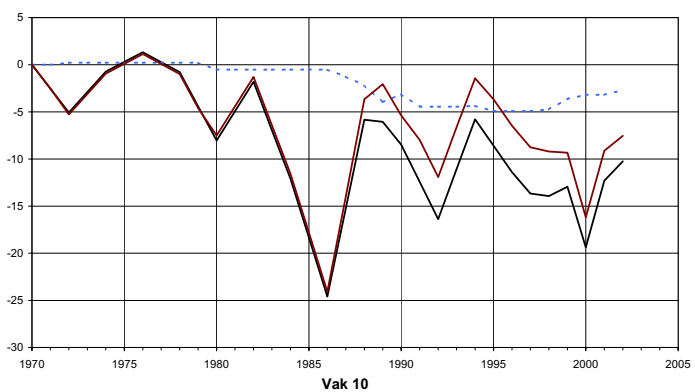
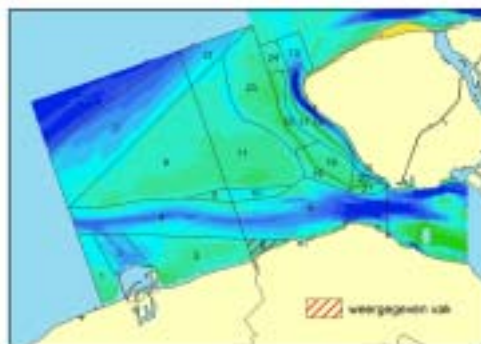
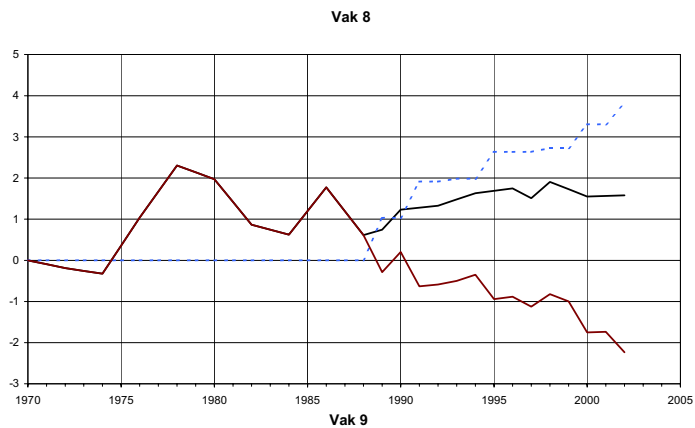


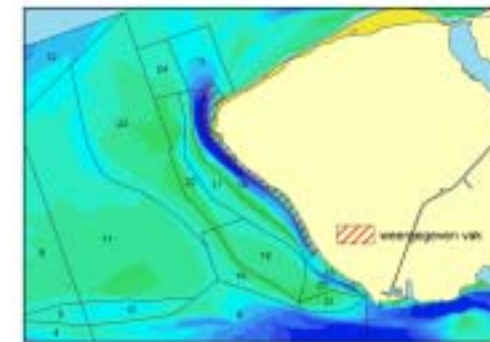
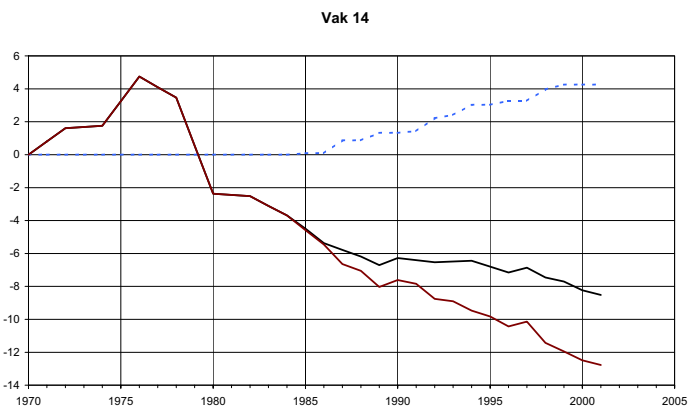
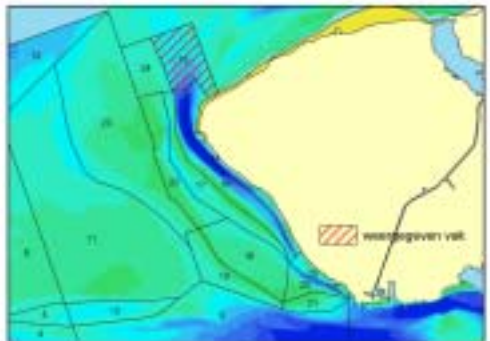
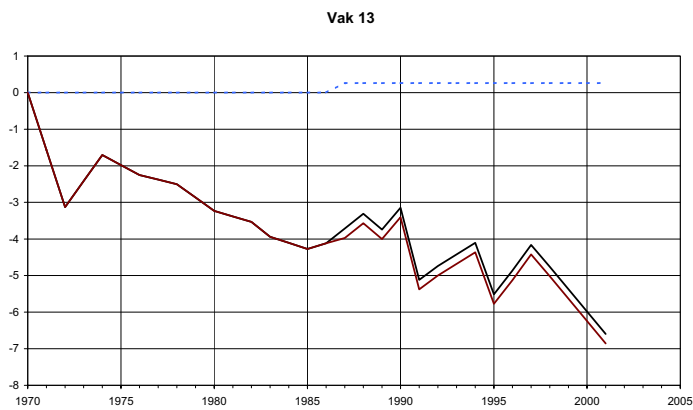
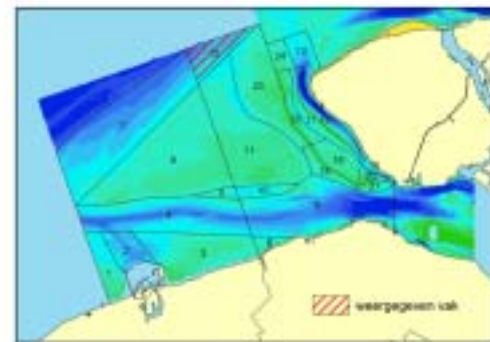
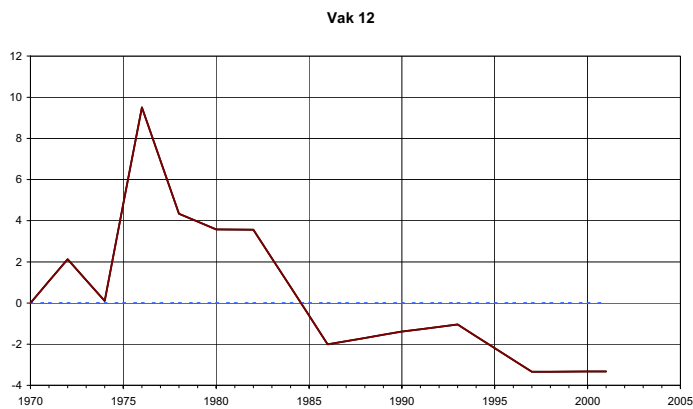
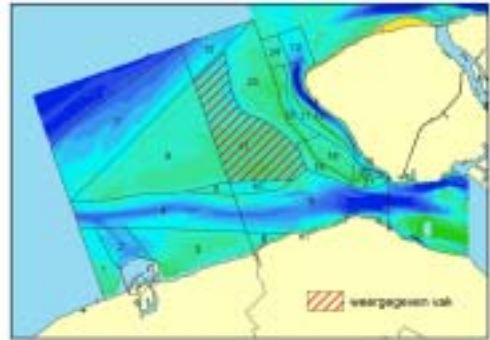
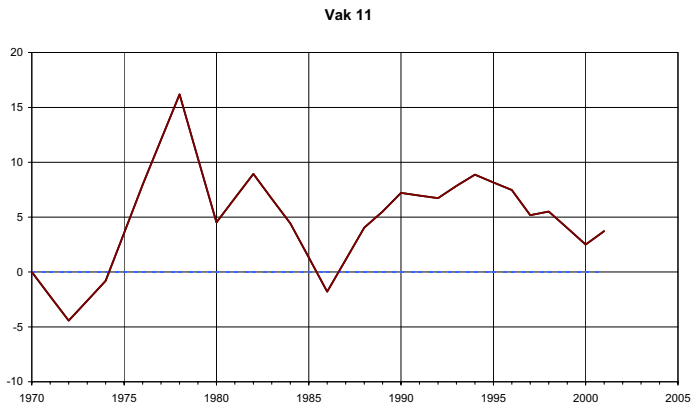
.....
 Figuur 4.3

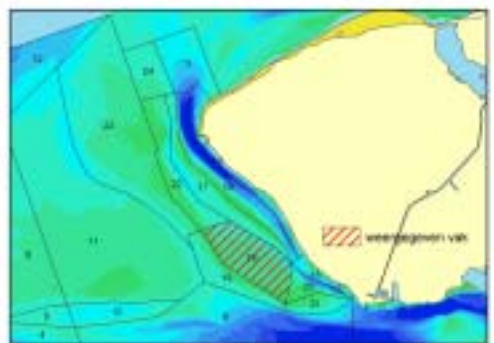
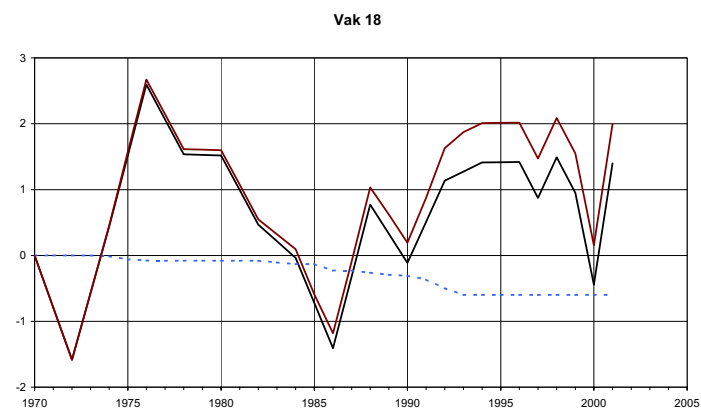
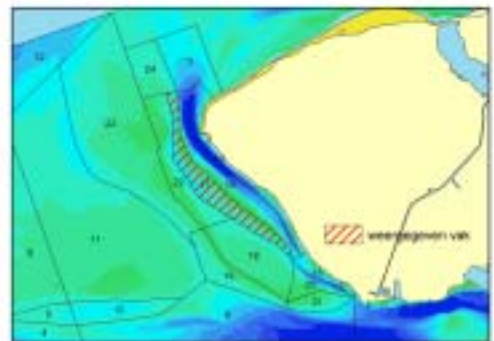
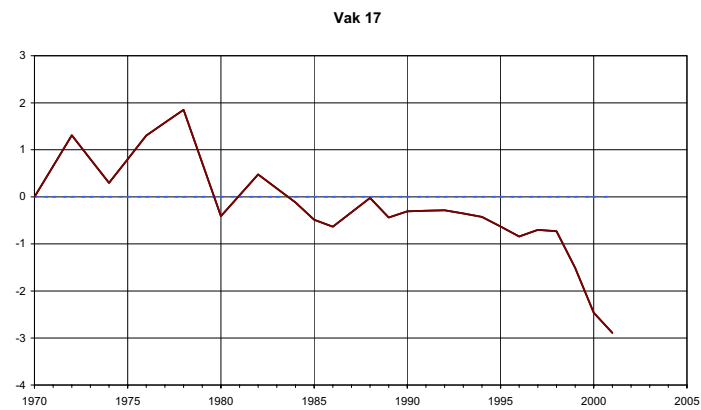
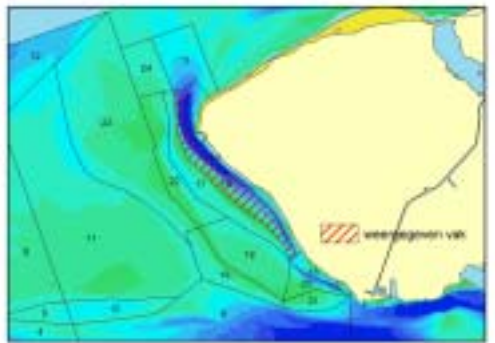
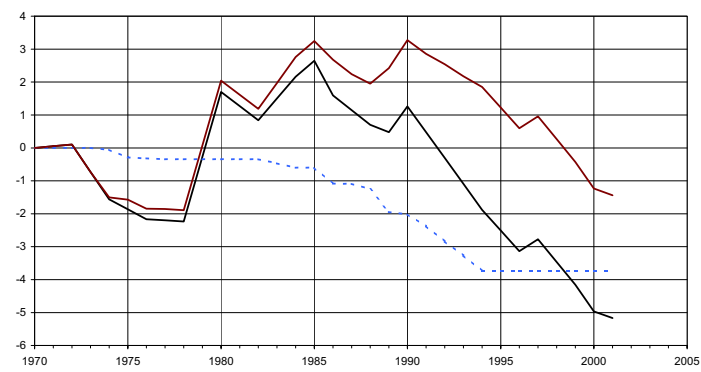
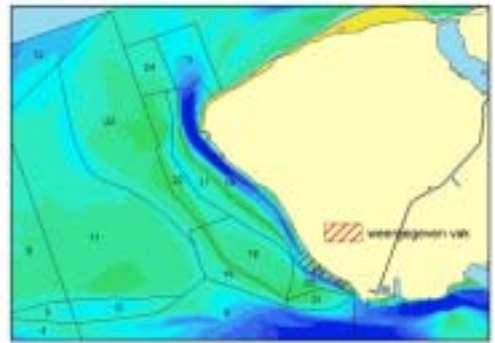
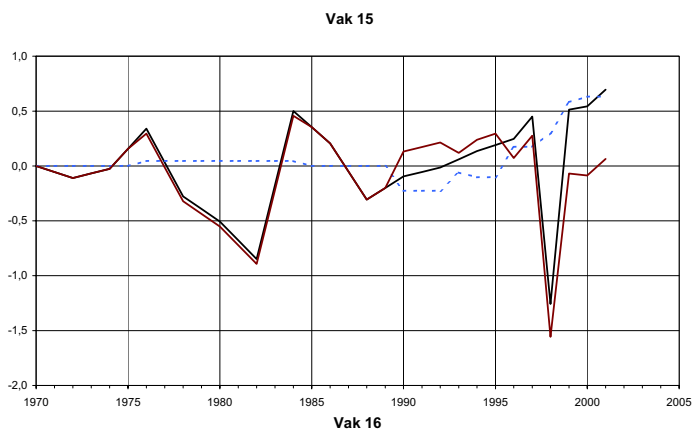
Cumulatieve zandvolumes per vak vanaf 1970 in het Nederlandse deel van de monding van de Westerschelde.

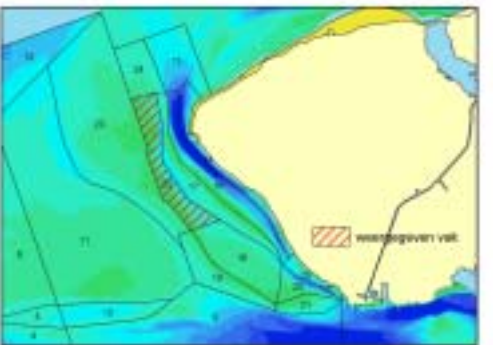
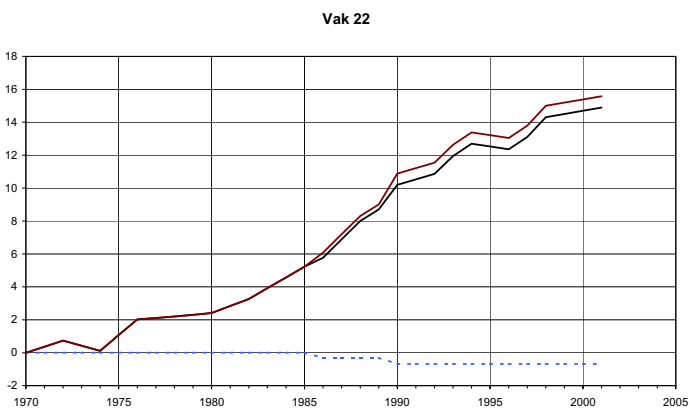
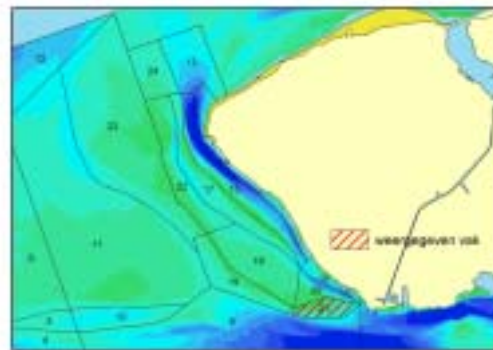
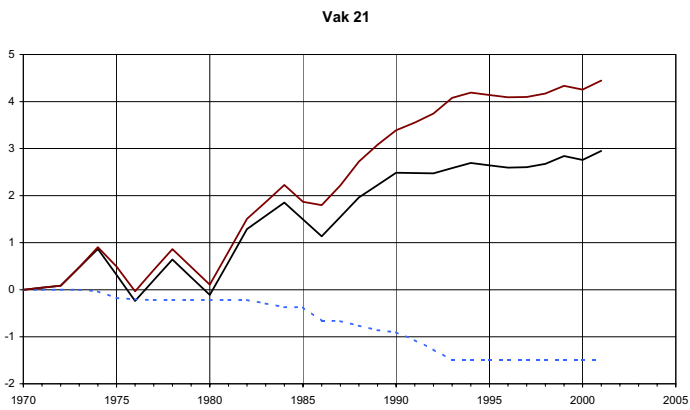
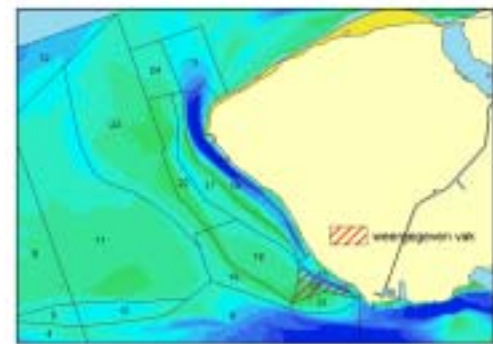
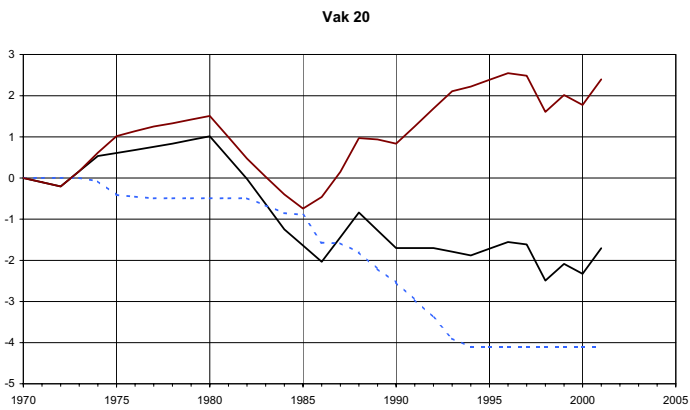
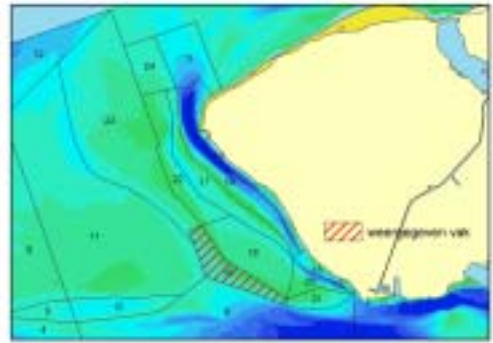
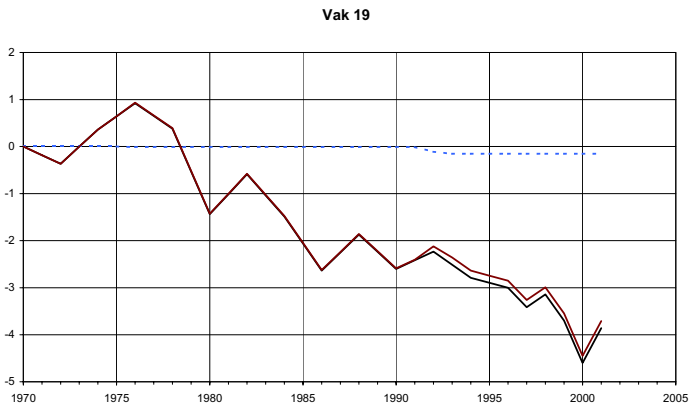
De volumes worden in Mm^3 weergegeven. De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}).

Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie. N.B. De weergegeven verticale schaalverdeling verschilt per grafiek.

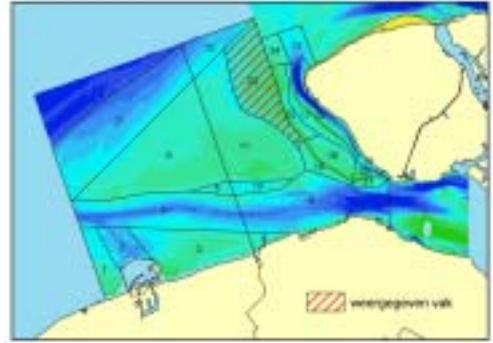
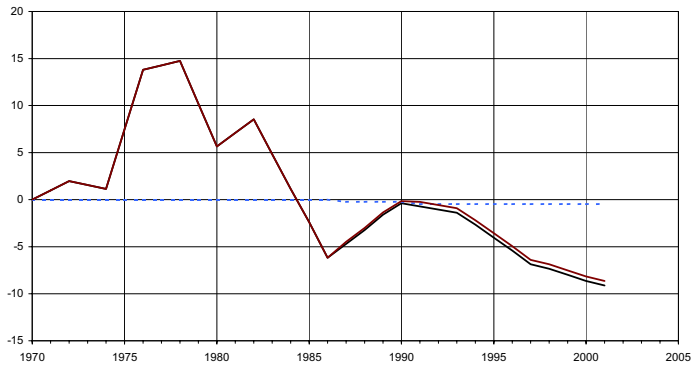




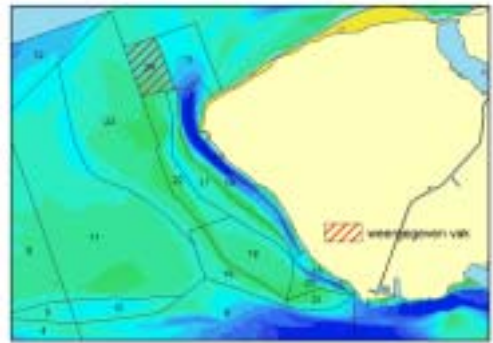
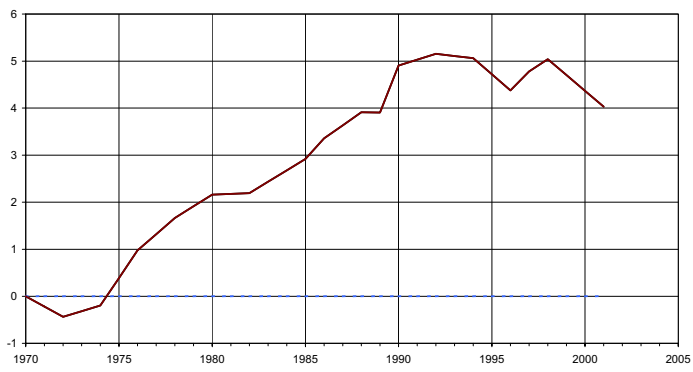




Vak 23



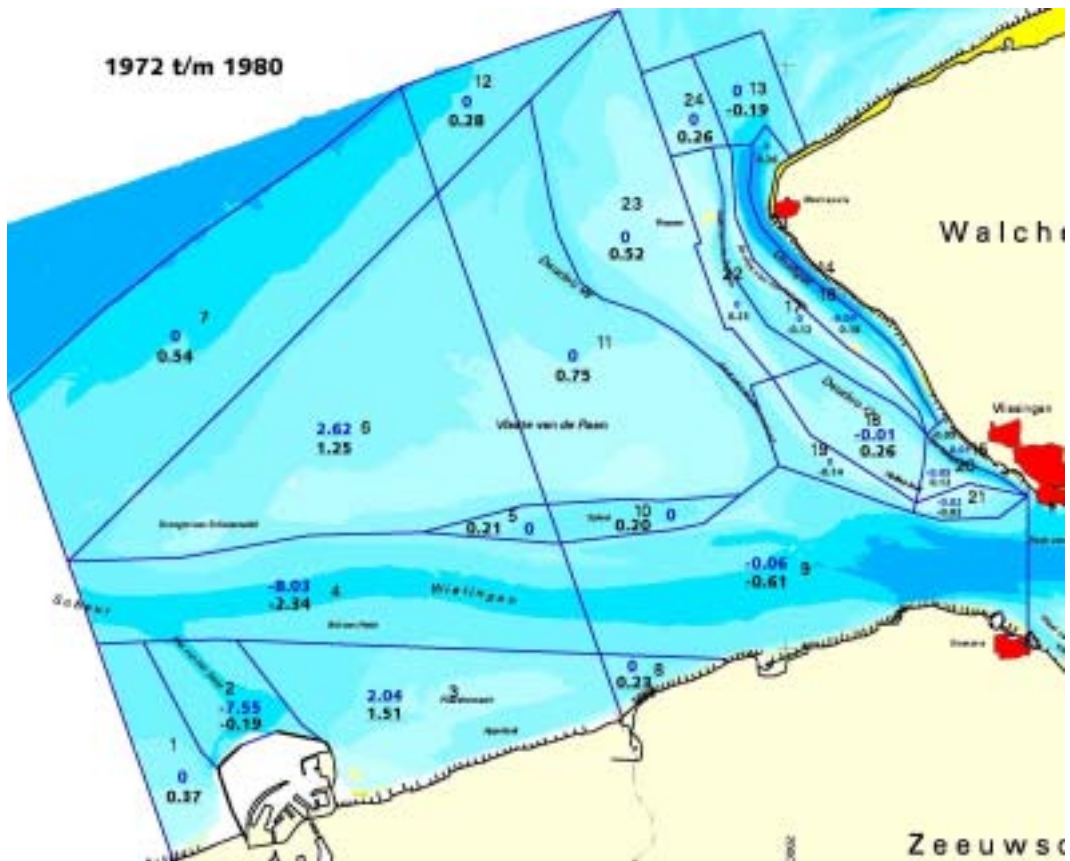
Vak 24

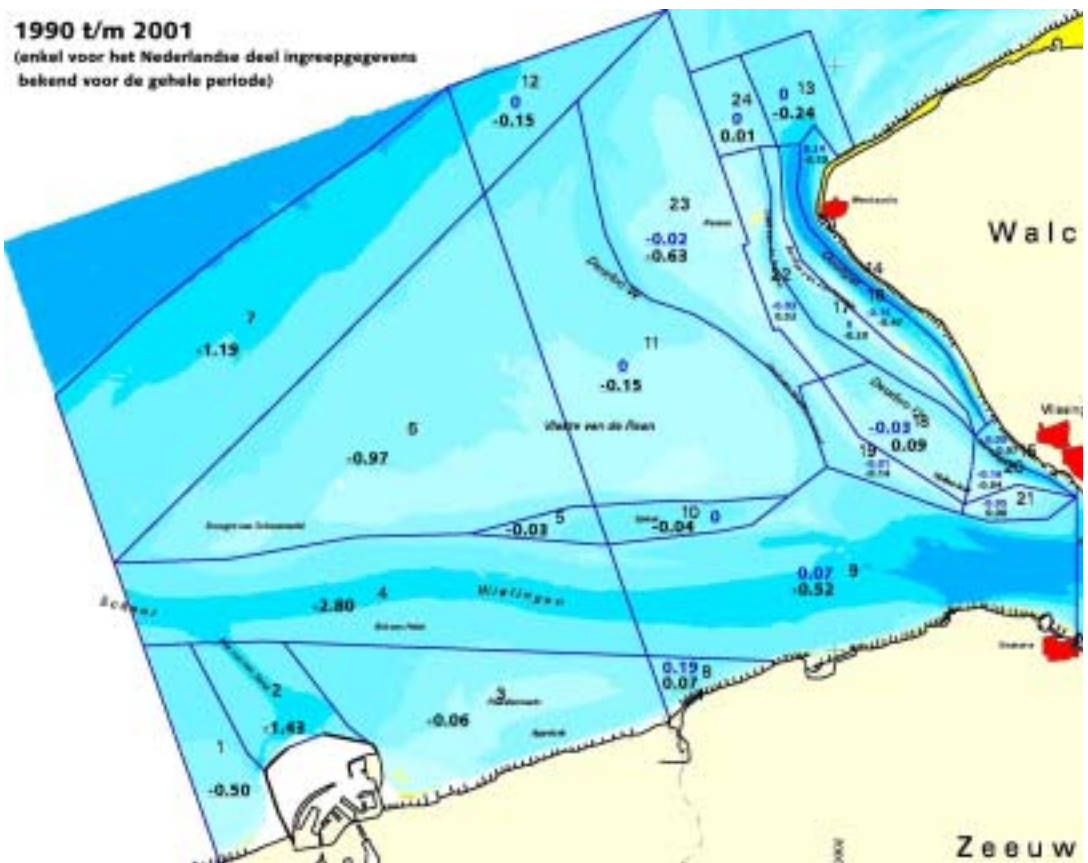
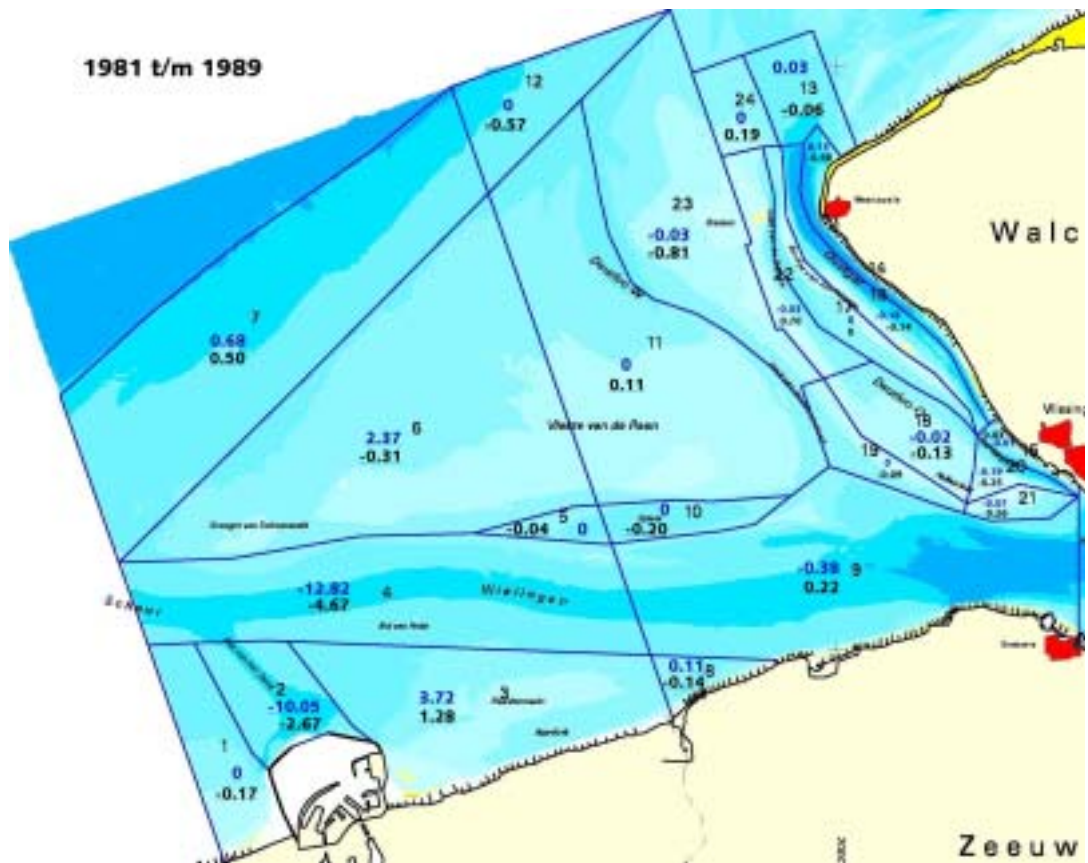


.....
Figuur 4.4

Volumeveranderingen (Mm^3/j) van de vakken in het mondingsgebied voor een aantal karakteristieke perioden. Het betreft gemiddelden over de beschouwde periode.

De zwarte getallen geven de totale volumeverandering van een vak weer (V_{tot}), de blauwe getallen staan voor de gemiddelde cumulatieve ingrepen (V) in een vak. De uitwisseling tussen de vakken is niet vast te stellen.

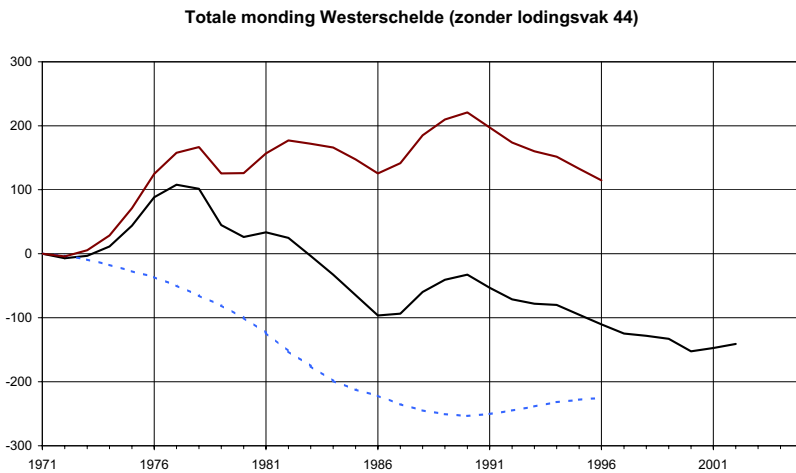
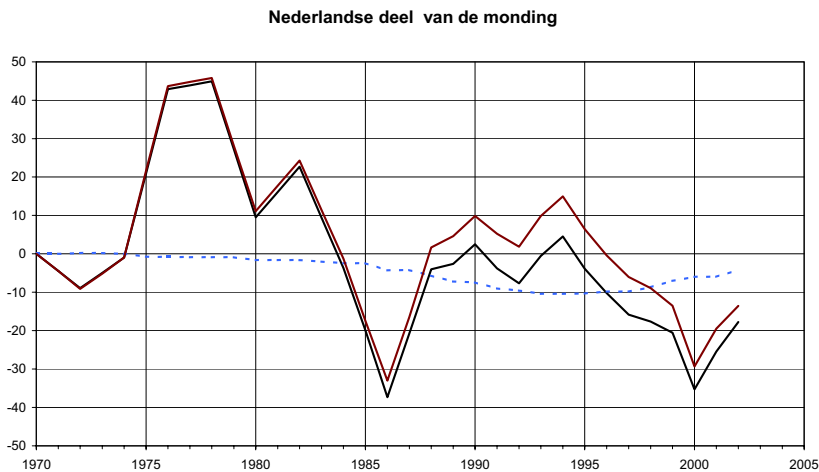
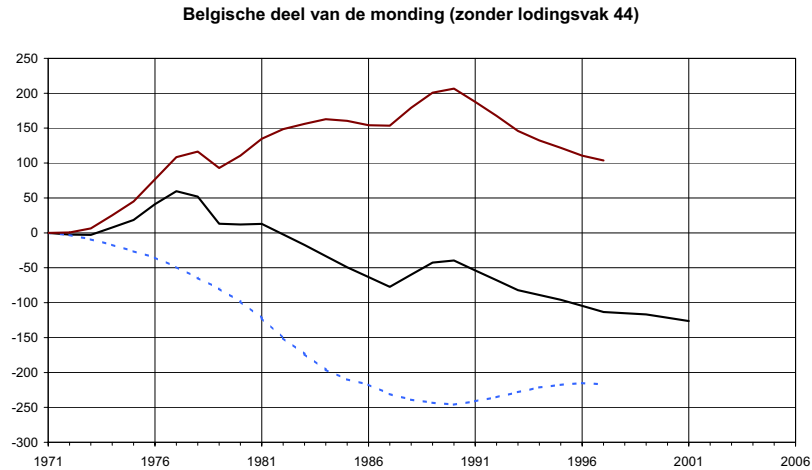




.....
Figuur 4.5

Cumulatieve zandvolumes van het Belgische deel van de monding (vanaf 1971, exclusief lodingsvak 44), het Nederlandse deel van de monding (vanaf 1970) en van de gehele monding van de Westerschelde (vanaf 1971).

De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}). Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.



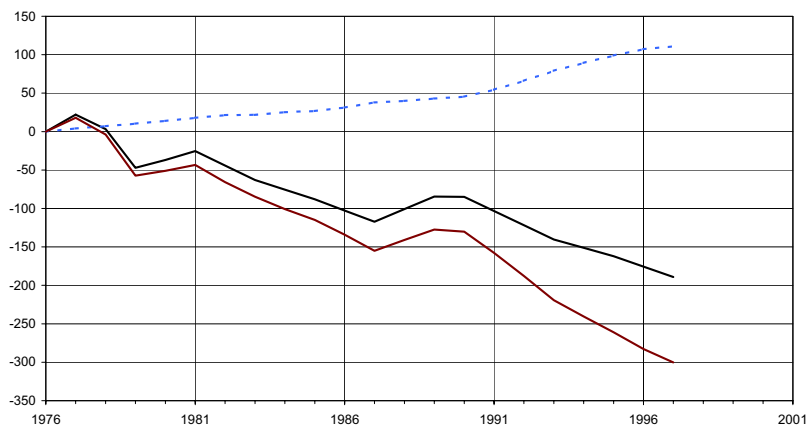
.....
Figuur 4.6

Cumulatieve zandvolumes van het Belgische deel van de monding (vanaf 1976), inclusief lodingsvak 44.

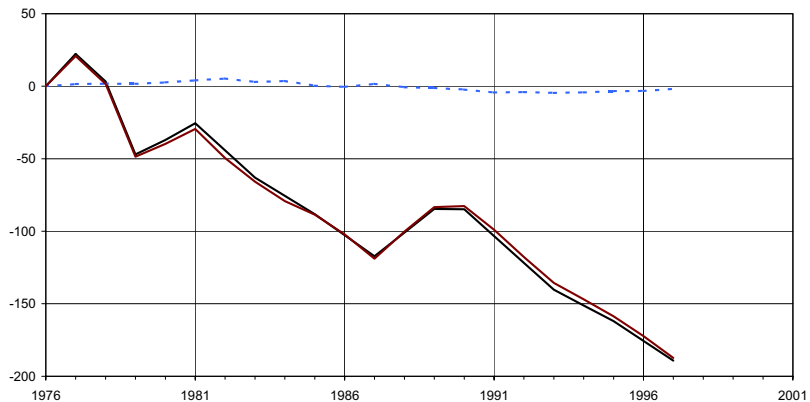
De bovenste grafiek is een optelling van de vakken 1 t/m 7 en lodingsvak 44. In de tweede grafiek is gecorrigeerd voor havenstortingen (deze kunnen worden beschouwd als interne herverdeling van sediment) en de derde is ook nog gecorrigeerd voor het deel van stortvak S1 dat niet binnen lodingsvak 44 ligt.

De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}). Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.

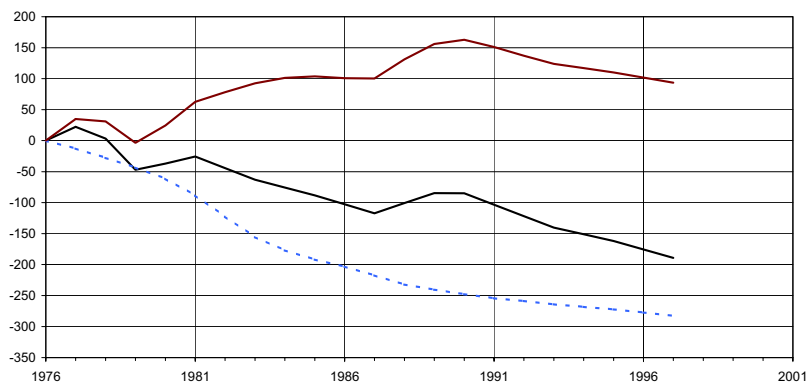
Belgische deel van de monding incl. lodingsvak 44



**Belgische deel van de monding incl. lodingsvak 44
excl. stortingen haven Zeebrugge**



**Belgische deel van de monding incl. lodingsvak 44
excl. stortingen haven Zeebrugge
Stortvak S1 voor 75% buiten lodingsvak 44**



5 Zandbalans Westerschelde en monding

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de zandbalans voor Westerschelde en monding opgesteld vanaf 1971. Dit gebeurt zowel voor de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding (periode 1971-2001), als voor de Westerschelde en de gehele monding (periode 1971-1996). Hierin is lodingsvak 44 niet meegenomen, omdat bodemdieptegegevens van dit vak pas vanaf 1976 beschikbaar zijn. In de uitspraken over import/export maakt dit echter geen verschil, aangezien stortvak S1 zich grotendeels buiten lodingsvak 44 bevindt.

5.2 Zandbalans

De Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding

Figuur 5.1 laat zien dat de ontwikkeling van de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding als geheel natuurlijk is, maar wel beïnvloed wordt door het netto baggeren in de Westerschelde (V_{tot} en V_{nat} hebben gedurende de gehele periode hetzelfde teken). De invloed van het netto baggeren is in de loop der jaren toegenomen, aangezien V_{tot} en V_{nat} steeds meer uit elkaar zijn gaan lopen. Het verloop van de volumina vertoont wel forse fluctuaties: perioden van sedimentatie worden opgevolgd door perioden van erosie. Deze fluctuaties worden voornamelijk bepaald door de volumeveranderingen van het Nederlandse deel van de monding.

In totaal is in de periode 1971 tot en met 2001 circa 100 Mm³ sediment verloren (V_{tot}), waarvan circa 75 Mm³ in de Westerschelde en 25 Mm³ in het Nederlandse deel van de monding, en is er in die periode netto ongeveer net zoveel sediment gebaggerd, waarvan het grootste deel zandwinning in de Westerschelde betreft. Alleen in de periode 1980-1989 lijken import en zandwinning in de Westerschelde met elkaar in evenwicht te zijn (V_{tot} loopt horizontaal).

In Figuur 5.2 is te zien dat Westerschelde en monding in de periode 1971 tot en met 1989 gemiddeld circa 2 Mm³/j sediment importeerde. In 1994 (zie Figuur 5.1) slaat het systeem om van importerend naar exporterend. In de periode 1990-2001 wordt gemiddeld 3,5 Mm³ sediment per jaar geëxporteerd. Tussen 1997 en 2001 bedraagt de export 5,7 Mm³ per jaar.

De Westerschelde en de totale monding

Wanneer de volumeontwikkeling van de Westerschelde en totale monding in Figuur 5.1 vergeleken wordt met de ontwikkeling van de totale monding afzonderlijk wordt duidelijk dat de laatste bepalend is voor het totaalbeeld. Voor de Westerschelde en de totale monding geldt dat de ontwikkelingen natuurlijk zijn, maar wel sterk beïnvloed worden door de netto ingrepen (V_{tot} en V_{nat} hebben gedurende vrijwel de gehele periode hetzelfde teken). Deze invloed wordt vanaf halverwege de jaren 70 steeds groter, aangezien V_{tot} en V_{nat} dan steeds meer uit elkaar gaan lopen. In totaal heeft er in de periode 1971 tot en

met 2001 een verruiming plaats gevonden van circa 220 Mm³, waarvan circa 75 Mm³ uit de Westerschelde en 145 Mm³ uit de totale monding afkomstig is. Terwijl voor de Westerschelde geldt dat de verruiming grotendeels veroorzaakt wordt door zandwinning, geldt voor de totale monding dat de netto onttrekking een gevolg is van het ontbreken van stortvak S1.

In Figuur 5.2 zijn voor verschillende perioden ook de zandbalansen voor Westerschelde en totale monding weergegeven. Kwantitatief hangen de uitspraken over import of export echter af van het meenemen van lodingsvak 44. Indien stortvak S1 geheel of gedeeltelijk wordt toebedeeld aan het lodingsvak, laat V_{nat} in het Belgische deel van de monding een dalende lijn zien en wordt dus erosie geconstateerd (zie Figuur 4.6). Deze erosie is wel van een andere orde dan die van het Nederlandse deel van de monding. Voor het Belgische deel van de monding zonder lodingsvak 44 is echter pas vanaf 1990 structurele erosie te zien, daarvoor vindt sedimentatie plaats.

5.3 Invloed van autonome ontwikkelingen

In de analyse die in deze paragraaf wordt uitgevoerd is gekeken in hoeverre de invloed van autonome ontwikkelingen (18,6-jaarlijkse getijcyclus en zeespiegelstijging) in de zandhuishouding van Westerschelde en monding is terug te vinden in de periode 1971-2001. Hierbij is gebruik gemaakt van eenvoudige analyse methoden. Zo is de lineaire trend bepaald en is gebruik gemaakt van correlatie.

Zeespiegelstijging

Tabel 5.1 toont de lineaire trends voor Westerschelde en monding over de periode vanaf 1971. Deze zijn zowel uitgedrukt in gemiddelde volumeveranderingen per jaar als gemiddelde bodemvariatie.

Tabel 5.1
Lineaire trends van V_{tot} en V_{nat} voor verschillende deelgebieden over de periode 1971-2001 in Mm³/jaar en m/jaar

Deelgebied	Trend V_{tot}		Trend V_{nat}	
	Mm ³ /jaar	cm/jaar	Mm ³ /jaar	cm/jaar
Westerschelde	-2,3	-0,75	0,4	0,14
Monding (NL-deel)	-1,3	-0,46	-1,0	-0,33
Monding (totaal)	-6,9	-1,14	5,5	0,92

Er van uit gaande dat het estuarium moet kunnen meegroeien met deze zeespiegelstijging is direct duidelijk uit de trend van V_{tot} , de parameter die het werkelijk aanwezige volume weergeeft, dat daar geen sprake van is. De lineaire trend voor de Westerschelde bedraagt -2,3 Mm³/jaar, hetgeen globaal overeenkomt met de zandwinning in het systeem van 2,6 Mm³/jaar. Voor de monding is de trend te verklaren met het netto onttrekken van sediment (het storten in stortvak S1, buiten het balansgebied van de totale monding). Correctie (V_{nat}) levert voor deze gebieden een positieve trend. Het Nederlandse deel van de monding, het minst door menselijke ingrepen gestoorde gebied, vertoont echter zowel voor V_{tot} als voor V_{nat} een negatieve trend.

18,6-jaarlijkse getijcyclus

De 18,6-jaarlijkse getijcyclus is een periodieke schommeling in de waterbeweging, die tot uitdrukking komt in variaties in de waterstand (ca 2% ten opzichte van het gemiddelde). Vanwege de koppeling tussen waterbeweging en morfologie vertoont ook de morfologie een periodiciteit (Jeuken et al., 2000). In de zandbalans kan dit tot uiting komen in variaties van het zandvolume in de Westerschelde en in de monding. Zowel de amplitude als

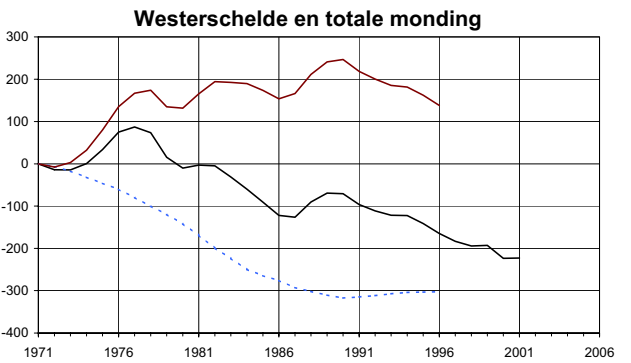
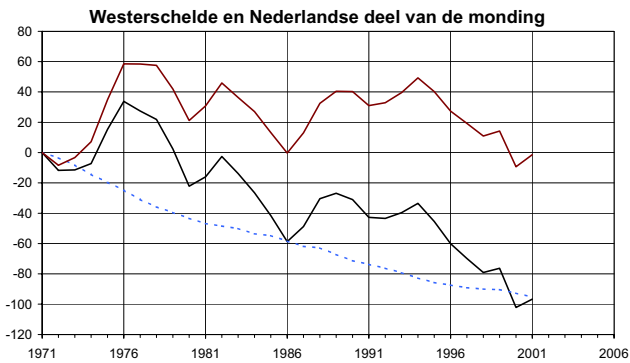
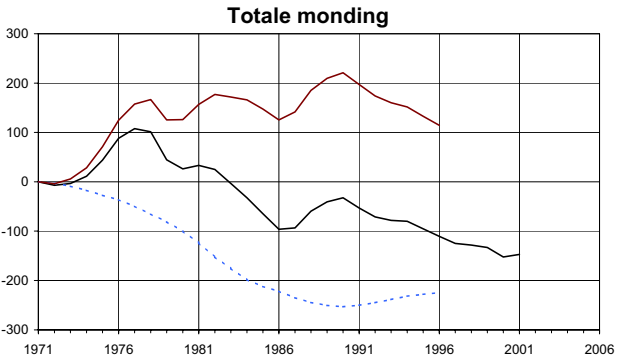
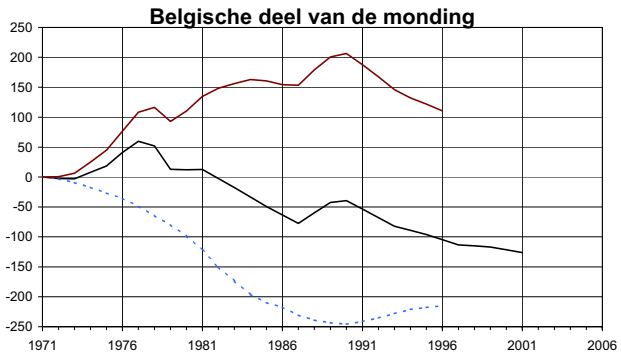
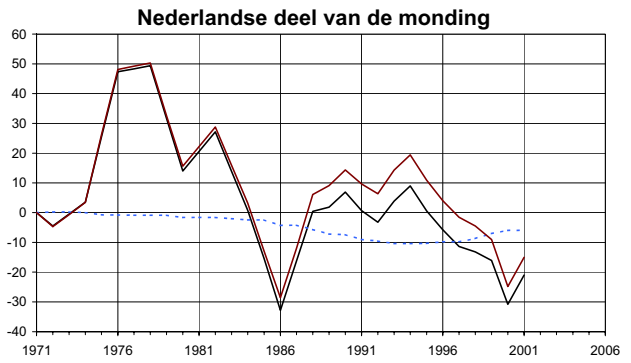
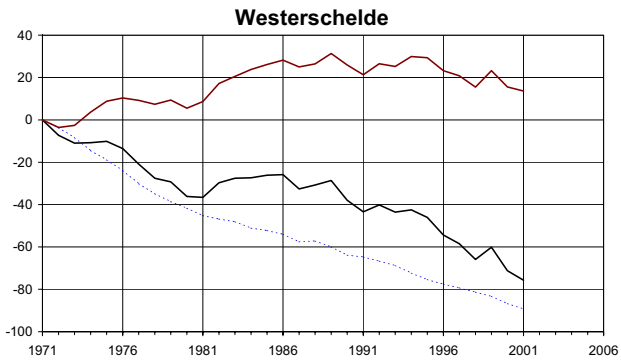
de faseverschuiving (ten opzichte van de waterbeweging) van deze variaties kan voor beide gebieden verschillen.

De periode 1971-2001 omvat ruim 1,5 maal de 18,6-jaarlijkse cyclus. Voor de Westerschelde en de monding is de variatie rond de lineaire trend van V_{tot} en V_{nat} bekeken en vergeleken met de 18,6-jaarlijkse periodiciteit (zie Figuur 5.3). De variatie rond de trend ligt (voor zowel V_{tot} als V_{nat}) in de Westerschelde in de orde van $\pm 10 \text{ Mm}^3$. In het Nederlandse deel van de monding is dit in de orde van $\pm 30 \text{ Mm}^3$. Voor de gehele monding bedraagt de variatie ca. $\pm 60\text{-}80 \text{ Mm}^3$.

Uit Figuur 5.3 is niet direct een duidelijk verband met de 18,6-jaarlijkse getijcyclus te herkennen. Voor de monding lijkt er een verband te bestaan voor de periode 1971-1986, maar in de opvolgende periode is deze minder duidelijk. Ook op basis van statistische analyses (bepaling van de correlatie tussen de lijnen in Figuur 5.3) is voor zowel de Westerschelde als de monding geen significante relatie gebleken tussen de 18,6-jaarlijkse getijcyclus en de variaties rond de trends. Het fitten van de lijnen om voor mogelijke faseverschuivingen te corrigeren brengt hier geen verandering in. Voor een goed onderbouwde uitspraak over een relatie tussen de variaties in de zandbalans en de 18,6-jaarlijkse getijcyclus is een langere tijdreeks noodzakelijk. Overigens schrijven Jeuken et al. (2003b) dat er voor de Westerschelde over de periode 1955-1999 wel een relatie aanwezig is. Zij onderbouwen dit echter niet statistisch.

.....
 Figuur 5.1

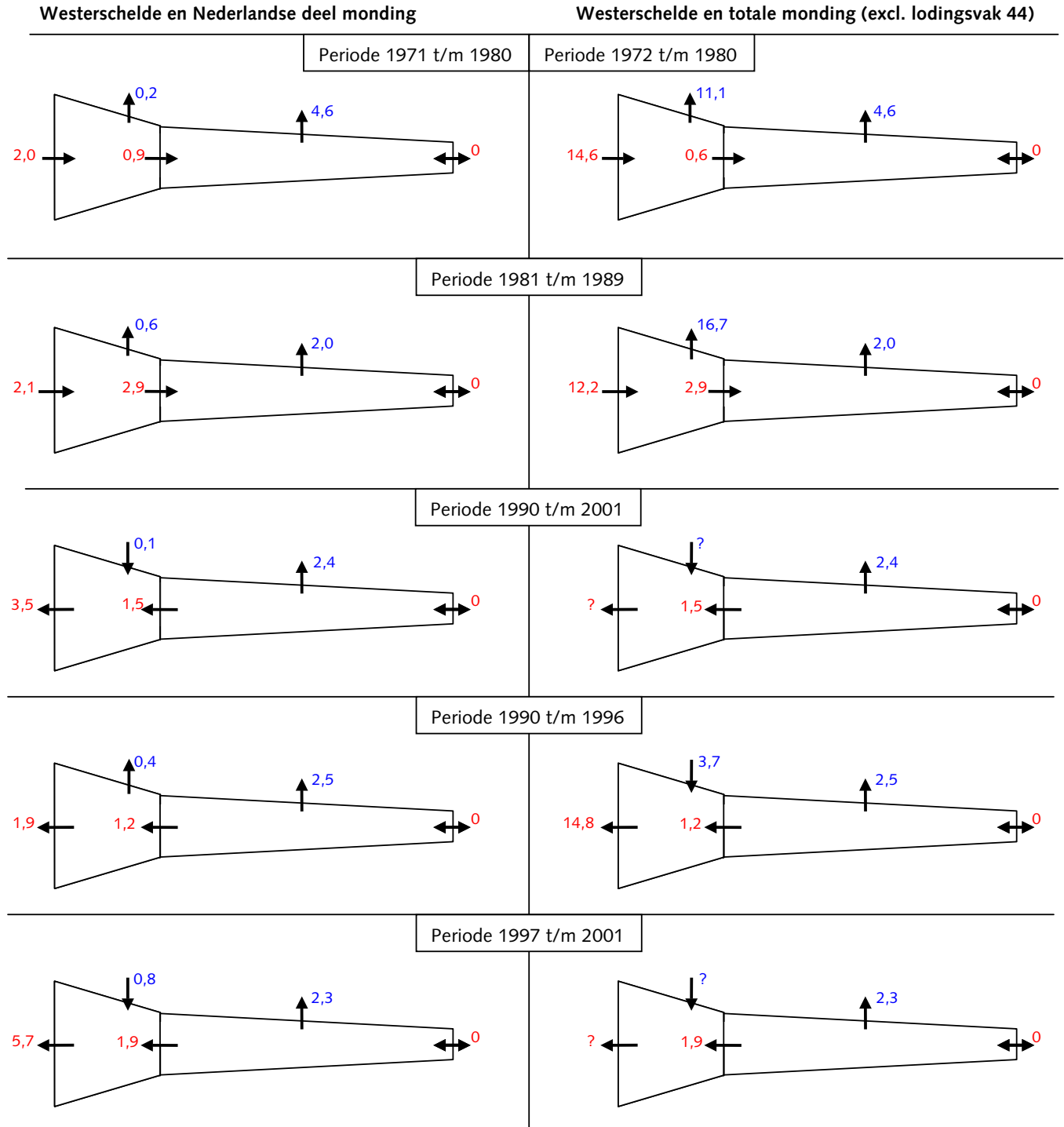
Cumulatieve zandvolumes vanaf 1971 in de Westerschelde en de monding.
 De volumes worden in Mm^3 weergegeven. De zwarte lijn geeft het totale volume weer (V_{tot}), de blauwe gestippelde lijn de cumulatieve ingrepen (V_i) en de rode lijn het "natuurlijke" volume (V_{nat}). Een stijgende lijn betekent sedimentatie, een dalende lijn erosie.



Figuur 5.2

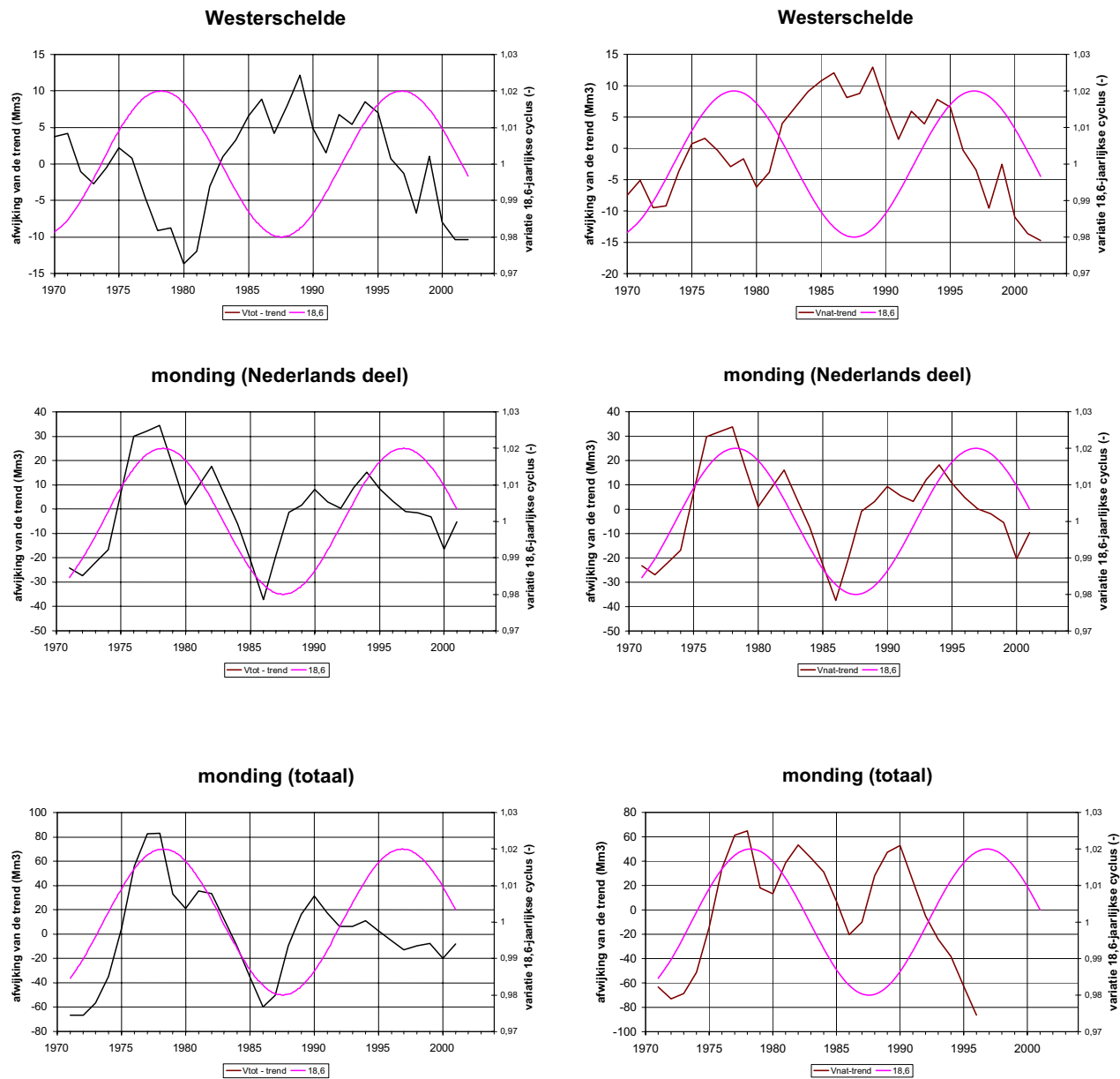
Zandbalans (in Mm^3/j) voor de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding vanaf 1971 (links) en voor de Westerschelde en de totale monding (excl. lodingsvak 44) vanaf 1972 (rechts). Het betreft gemiddelden over de beschouwde periode.

De blauwe getallen geven netto ingrepen (V.) weer en de rode getallen de uitwisseling van sediment over de betreffende grens. Waar vraagtekens staan kon geen waarde worden bepaald, in verband met het ontbreken van de Belgische bagger- en stortgegevens vanaf 1997.



Figuur 5.3

Cumulatieve zandvolumes voor V_{tot} (links) en V_{nat} voor de periode 1970-2001 na correctie voor de lineaire trend voor de Westerschelde, het Nederlandse deel van de monding en de gehele monding. Ook in de figuren opgenomen is de 18,6-jaarlijkse getijcyclus.



6 Nauwkeurigheid van de zandbalans

6.1 Inleiding

Een eerste analyse van de nauwkeurigheid van een zandbalans van de Westerschelde is gemaakt door Storm et al. (1994). Zij identificeren de fouten die in de verschillende stappen van het maken van een zandbalans kunnen optreden. In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de onderdelen nauwkeurigheid van bodemdieptegegevens (o.a. peilen en interpoleren) en de nauwkeurigheid van ingreepgegevens. Tot slot wordt voor deze aspecten en voor de invloed van de randvoorwaarden (zie paragraaf 6.4) een doorvertaling gemaakt naar de zandbalans. Het betreft dus niet een echte bepaling van de bandbreedte van de zandbalans.

6.2 Nauwkeurigheid van de bodemdieptegegevens

Bij het verkrijgen van een bodemdieptekaart bestaat een groot aantal mogelijke foutenbronnen. Storm et al. (1994) definiëren daarbij drie typen fouten die van invloed zijn op de zandbalans:

- €# Stochastische fout. Een fout die volkomen willekeurig is. Deze kan zowel positief als negatief zijn.
- €# Systematische fout. Een fout die altijd in dezelfde richting werkt. Deze is positief of negatief.
- €# Variabele systematische fout. Dit betreft bijvoorbeeld een menselijke fout. De fout is variabel omdat hij in grootte en richting sterk kan variëren en systematisch omdat hij een groot gebied kan beslaan (zie bijvoorbeeld het jaar 1998 van vak 15 in Figuur 4.3).

De grootte en het karakter van de fout (stochastisch of systematisch) hangt af van de grootte van het beschouwde gebied en van de morfologische eenheid (geulbodem/geulhelling/intergetijdengebied). Storm et al. (1994) geven voor de periode 1965-1990 de door hen berekende waarden aan op het niveau van individuele gridcellen in een digitaal terrein model. De stochastische fout wordt kleiner naarmate het balansgebied groter wordt (dus bij een toename van het aantal gridcellen). Op het niveau van een lodingsvak blijkt dat de fout te verwaarlozen is (Bollebakker en Van der Male, 1993). Systematische fouten spelen in een zandbalans een kleine rol. Omdat ze dezelfde kant op werken vallen, bij het bepalen van de verschillen tussen opeenvolgende lodingen, beide fouten netto tegen elkaar weg. De fout die het meest relevant is voor het bepalen van de nauwkeurigheid van een zandbalans is de variabele systematische fout.

Hoewel goed bruikbaar voor het bepalen van de nauwkeurigheid van de bodemdieptegegevens, is de analyse van Storm et al. (1994) niet volledig. Ten eerste bekijken zij enkel de Westerschelde, terwijl in deze studie de zandbalans voor Westerschelde én monding wordt gepresenteerd. Daarnaast zijn voor beide gebieden de lodingsvakken opgedeeld in meerdere kleinere (soms veel kleinere) vakken. Tot slot nemen zij aan dat de systematische fout in de tijd constant is en ontbreekt een inventarisatie van variabele systematische fouten.

In een studie van de Meetinformatiedienst Zeeland (Marijs en Parée, 2004) is aan deze aspecten aandacht geschonken. Daarbij zijn de drie typen fouten geïnventariseerd. Voor de stochastische fout kwam naar voren dat de grootte ervan varieert in de tijd en per gebied als gevolg van veranderende inwin- en verwerkingstechnieken. Zo blijkt dat deze fout in de monding hoger is dan in de Westerschelde, maar ook dat voor beide gebieden de stochastische fout in de loop der jaren afneemt.

Systematische fouten zijn het te ondiep peilen van geulhellingen als gevolg van de breedte van de echoloodbundel en de inzinking van het schip tijdens het varen (squat) (Storm et al., 1994). Squat komt tot en met 2001 altijd voor, zonder dat er voor gecorrigeerd wordt. In de zandbalans vallen deze fouten dus in de tijd tegen elkaar weg. Pas sinds 2002, met de invoering van een nieuw systeem voor plaats- en hoogtebepaling (LRK) wordt door de Meetinformatiedienst voor squat gecorrigeerd. Hier dient bij het opstellen van toekomstig zandbalansen rekening mee te worden gehouden.

De inventarisatie van variabele systematische fouten geeft een vrij goed beeld per lodingskaart van opgetreden fouten. Bij de beschrijving van de balansvakken in hoofdstuk 4 is hier ook al gebruik van gemaakt in de verklaring van een aantal pieken en dips in de grafieken. Globaal kan gesteld worden dat in de monding grotere fouten voorkomen dan in de Westerschelde (zie verder Marijs en Parée, 2004).

Het werk van de Meetinformatiedienst Zeeland (Marijs en Parée, 2004) moet beschouwd worden als een eerste vervolgstap op het werk van Storm et al. (1994). Een doorvertaling van de door hen gevonden ruimtelijke- en tijdsafhankelijke variatie van de stochastische fout op gridcelniveau naar het niveau van de kleinste balansvakken heeft nog niet plaats gevonden.

6.3 Nauwkeurigheid van ingreepgegevens

Ook over de fouten die optreden in de bagger-, stort- en zandwingegegevens doen Storm et al. (1994) een uitspraak. Zij stellen onder andere een uitleveringspercentage voor van 10%, een sindsdien toegepaste grootheid (voor die tijd werd altijd 20% aangehouden). Deze factor wordt gehanteerd, omdat het gemeten sedimentvolume in het beun losser is gepakt dan het gemeten volume in het profiel. Tevens melden ze een (onbekende) fout die geïntroduceerd wordt bij de verdeling van bagger- of storthoeveelheden over meerdere balansvakken. Daarnaast spelen wellicht grootschalige zandverplaatsingen bij de wrakopruiwingswerken een rol (pers. comm. Parée) en stortingen van havenslib, die beide niet in de zandbalans zijn verwerkt. Deze fouten verdwijnen echter tijdens aggregatie van de vakken tot het niveau van de gehele Westerschelde.

Een van de zaken die aan het licht is gekomen betreft de betrouwbaarheid van de bagger- en stortgegevens in het Belgische deel van de monding. De in deze studie gebruikte gegevens zijn afkomstig uit HAECON (2000). In het kader van ProSes (Jeuken et al., 2004) is echter duidelijk geworden dat deze cijfers niet correct zijn. AWZ (dhr. Mergaert, pers. comm.) geeft aan dat de genoemde getallen een factor 2,5 te hoog zijn en dat de werkelijke waarde waarschijnlijk moeilijk te achterhalen is. In studies uitgevoerd door WLIDelft Hydraulics voor ProSes wordt een factor 3 tot 4 genoemd (Jeuken et al., 2004).

6.4 Doorvertaling naar de zandbalans

Een van de belangrijke argumenten om naar de nauwkeurigheid van de zandbalans te kijken, is om enig gevoel te krijgen voor de invloed van de fouten in de gegevens en de gehanteerde randvoorwaarden op de import/export van de Westerschelde en de monding. De focus ligt in deze paragraaf dan ook op de schaal van Westerschelde en monding en op de vraag in hoeverre de uitspraken over import en export staande blijven met in acht neming van de nauwkeurigheden.

Invloed nauwkeurigheid van de bodemdieptegegevens

Op het niveau van de gehele Westerschelde is de stochastische fout verwaarloosbaar. Immers, de gehele Westerschelde beslaat alle 6 lodingsvakken. Ook op het niveau van de macrocellen is de fout te verwaarlozen (met uitzondering misschien van cel 6 en cel 7). Voor de grotere vakken van de monding geldt hetzelfde. Echter, voor de kleinere morfologische vakken zou de stochastische fout wel een rol kunnen spelen. Op dit moment is dat echter niet aan te geven.

Ook bij de onderverdeling in de Westerschelde naar geul/ondiep water/plaat en hoofd- en nevengeul zou de nauwkeurigheid wel eens van belang kunnen zijn. Dit betreft relatief kleine oppervlakken van de macrocellen.

Voor de systematische fouten geldt dat squatcorrectie pas sinds 2002 wordt toegepast. In deze zandbalans wordt data gebruikt tot en met 2001. Er wordt dus vanuit gegaan dat, volgens Storm et al. (1994), de systematische fouten in de zandbalans grotendeels tegen elkaar wegvallen.

Een variabele systematische fout werkt niet structureel door in de (cumulatieve) zandbalans. Immers, als een foute lading volgt op een correcte lading en tevens weer wordt gevolgd door een correcte lading zal dit eenmalig resulteren in een piek of een dip. Bij het doen van uitspraken over import/export is het dus van belang te kijken naar meerjarige trends.

Naar de invloed van de wijze van synchronisatie en het opvullen van ontbrekende data op de nauwkeurigheid van de zandbalans is geen onderzoek gedaan. Ook naar de gevoeligheid voor de keuze van de grenzen van de balansvakken is niet gekeken.

Invloed nauwkeurigheid van Belgische bagger- en stortgegevens

In Figuur 6.1 is voor het Belgische deel van de monding, voor de gehele monding en voor Westerschelde en monding (allen exclusief lodingsvak 44) aangegeven wat de invloed op de zandbalans (periode 1971-1996) is van het verminderen van de bagger- en stortgegevens met een factor 2,5 en een factor 4. De correctie is enkel op de bagger- en stortgegevens van het Belgische deel van de monding toegepast.

Met de oorspronkelijke data laat het Belgische deel van de monding een import zien (V_{nat}) tot 1990, gevolgd door export. Met de factor 2,5 treed er ook over de periode 1981-1987 export op en met de factor 4 is er globaal gesproken sprake van structurele export vanaf 1977 (dalende V_{nat}). Omdat de ingrepen (V_i) kleiner worden door toepassing van een correctiefactor wordt ook vanzelfsprekend het verschil tussen V_{tot} en V_{nat} kleiner en daarmee de invloed van het menselijk handelen.

Door een factor te kiezen wordt een keuzemogelijkheid geïntroduceerd, waarmee de objectiviteit van de gegevens verloren gaat. Hiermee verdwijnt tevens een deel van de objectiviteit die de methodiek van de zandbalans in zich heeft.

Voor alle figuren geldt dat de export in de periode vanaf 1990 in alle gevallen aanwezig is, ongeacht de toegepaste factor. Ook het meenemen van lodingsvak 44 brengt hier geen verschil in, zelfs als stortvak S1 volledig tot dit vak gerekend wordt.

Invloed uitleveringspercentage

Voor het Nederlandse deel van de monding is voor de bagger-, stort- en zandwinggegevens een correctiefactor gehanteerd van 10%, wat wil zeggen dat de in de zandbalans gepresenteerde getallen (V_i) 10% kleiner zijn dan de in het beun gemeten waarde. Om de invloed van deze 10% op de import/export te kunnen bepalen zijn in Figuur 6.2 drie uitleveringspercentages weergegeven, respectievelijk 0%, 10% (dit is dus de waarde die in eerder hoofdstukken ook gepresenteerd is) en 20%. De figuur toont dat het uitleveringspercentage vrij weinig invloed heeft op het beeld van import/export. De geconstateerde export komt in alle gevallen naar voren en het omslagpunt, waarop de import van de Westerschelde overgaat in een export, ligt in alle gevallen rond het eind van de jaren '80.

Invloed aannames

In paragraaf 2.5 zijn drie aannames gepresenteerd die nodig zijn om de zandbalans te kunnen opstellen:

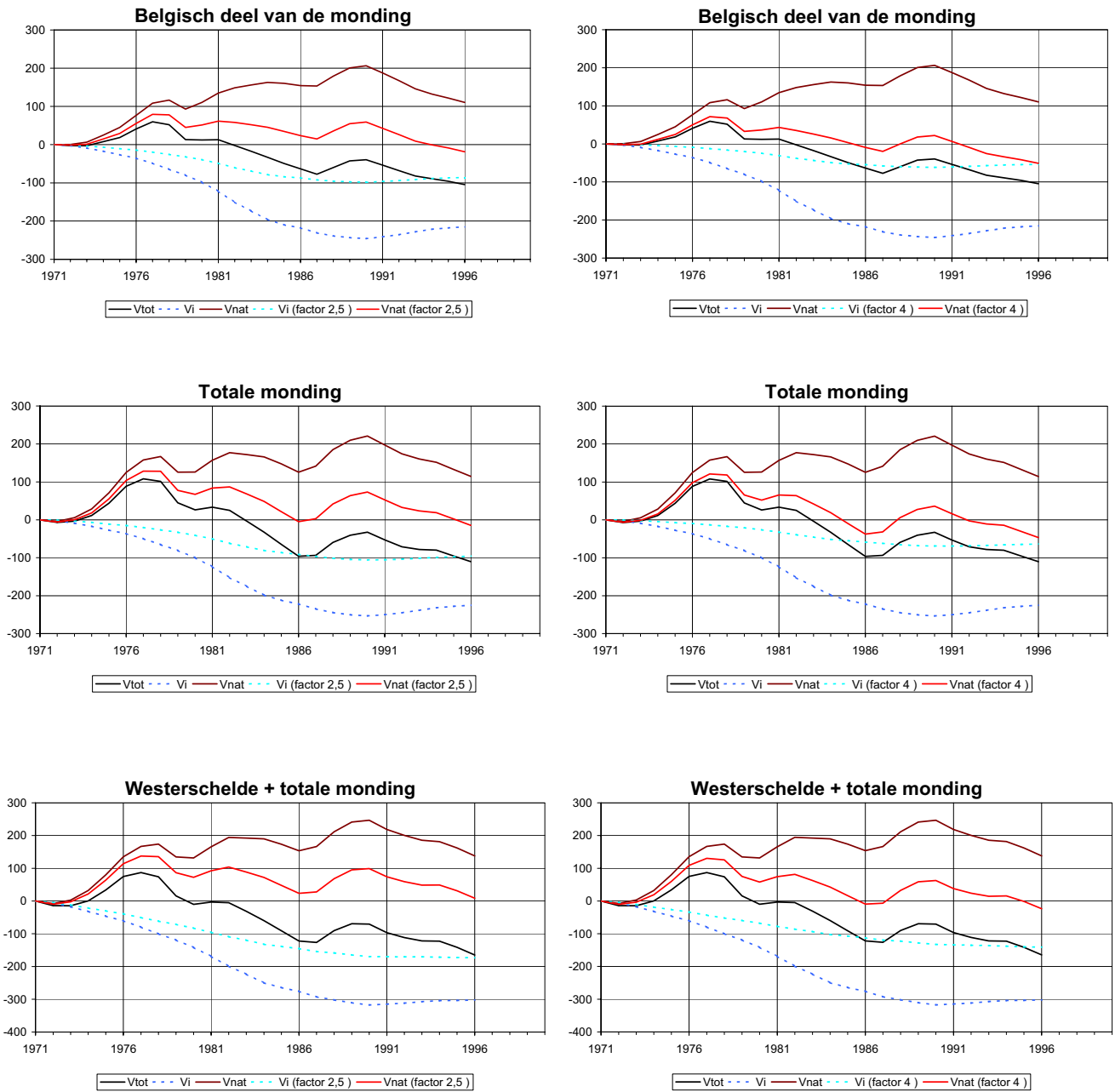
1. het zandtransport over de grens Nederland-België is gelijk aan 0.
2. Jaarlijks sedimenteert in Saeftinge $0,3 \text{ Mm}^3$.
3. Het zand dat wordt afgezet in het mesocellengebied 2 komt via het mondingsgebied binnen. De sedimentuitwisseling tussen de ebgeul Pas van Terneuzen (cel 3) en dit mesocellengebied wordt gelijk gesteld aan 0.

De derde aanname is voor de zandbalans op de schaal van de Westerschelde niet van belang, aangezien deze aanname te maken heeft met de interne verdeling van sediment. De andere twee aannames werken wel door in de zandbalans.

In Figuur 6.3 zijn twee alternatieve waarden weergegeven voor bovengenoemde aannames. In het ene geval is voor Saeftinge een sedimentatie van $0 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ aan gehouden (zonder zandtransport over de Belgisch-Nederlandse grens). Het andere geval betreft een transport over de grens van $0,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ richting België (met een sedimentatie van $0,3 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ voor Saeftinge). Het globale beeld wordt door de aanname over de sedimentatie van Saeftinge nauwelijks beïnvloed. De aanname van sedimenttransport over de grens Nederland-België geeft voor de periode 1989-1995 een stabiel beeld (geen erosie). Vanaf 1995 treedt wel erosie op.

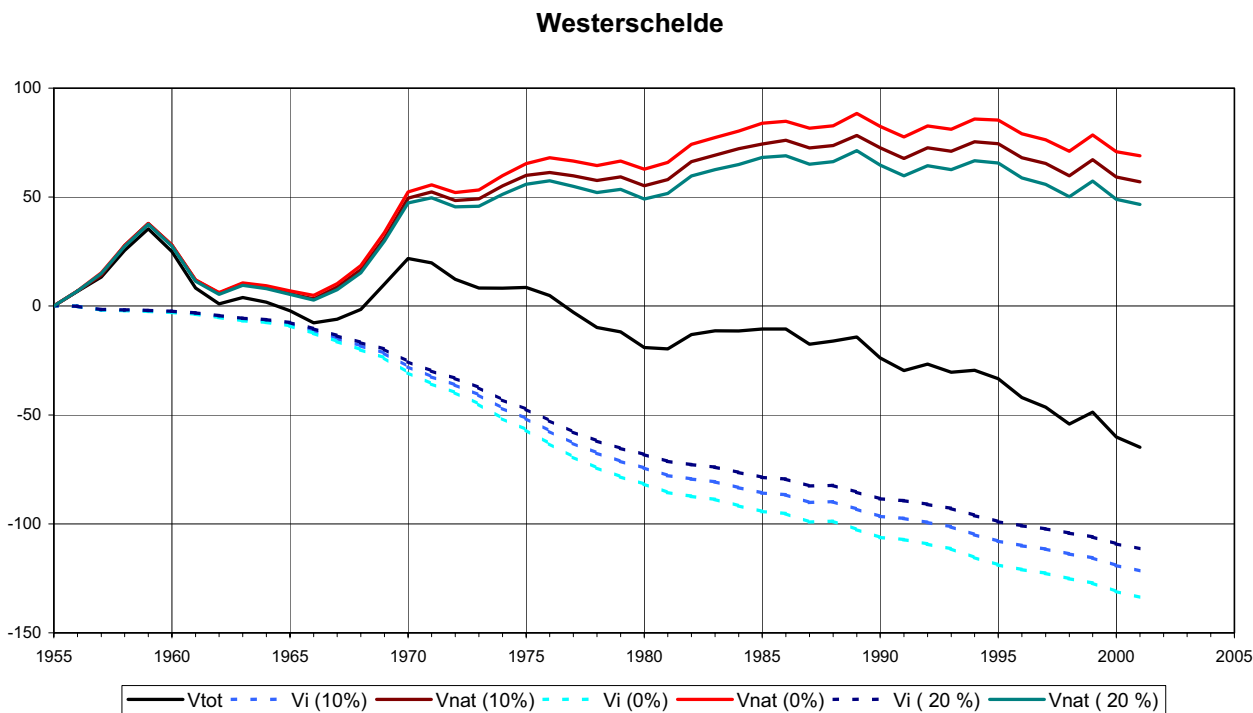
Figuur 6.1

Involed van de onzekerheid in de Belgische bagger- en stortgegevens op de zandbalans.
 V_i is verkleind met een factor 2,5 (links) en een factor 4 (rechts).



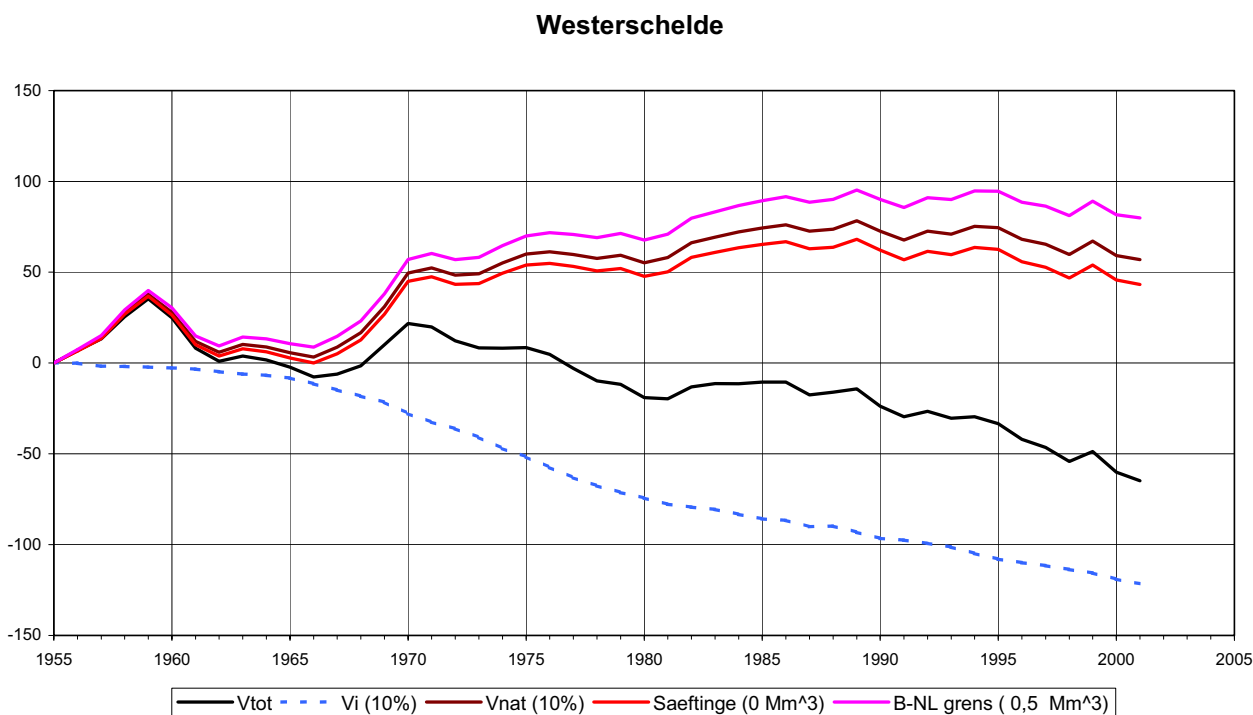
Figuur 6.2

Invloed van het 10% uitleveringspercentage op de zandbalans van de Westerschelde.
 Weergegeven zijn uitleveringspercentages van 0%, 10% en 20%.



Figuur 6.3

Invloed van de randvoorwaarden (geen uitwisseling Belgisch- Nederlandse grens en jaarlijkse sedimentatie van Saeftinge met 0,3 Mm³/jaar) op de zandbalans.
 Weergegeven zijn Saeftinge=0 (met B-NL=0) en B-NL=0,5 (met Saeftinge=0,3 Mm³/jaar).



7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

- €# Uit de zandbalans blijkt dat de Westerschelde sinds de jaren '90 van de vorige eeuw exporterend is (Figuur 3.2), gemiddeld bedraagt deze 1,5 Mm³/jaar over de periode 1990-2001.
- €# De zandbalans voor de Westerschelde wijst op een toegenomen export van de Westerschelde en een toename van sedimenttransport van west naar oost sinds 1997 (Figuur 3.4).
- €# De Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding laat een exporterende trend zien. Deze bedraagt gemiddeld 3,5 Mm³/jaar over de periode 1990-2001 (Figuur 5.2).
- €# In de Westerschelde en de totale monding treedt in de periode 1990-1996 export op (Figuur 5.2). Kwantitatief hebben echter de onzekerheden in de gegevens in het Belgische deel van de monding invloed op de uitspraken (hoofdstuk 6). Ook het ontbreken van informatie (niet geheel gebiedsdekkend zijn van de lodingen, waardoor een stortvak deels buiten het beschouwde balansgebied valt) speelt een rol.
- €# Uit lineaire trends voor de periode 1971-2001 kan geen duidelijke invloed van zeespiegelstijging op de zandbalans worden vastgesteld.
- €# Op basis van statistische analyses (bepaling van de correlatie) is voor zowel de Westerschelde als de monding geen significante relatie gebleken tussen de 18,6-jaarlijkse getijcyclus en de variaties rond de trends in volumeveranderingen.
- €# Op de schaal van de Westerschelde en de monding lijken fouten in lodingen geen invloed te hebben op de zandbalans. Voor uitspraken over import of export dient gekeken te worden naar meerjarige trends, omdat rekening moet worden gehouden met individuele (variabele stochastische) lodingsfouten.
- €# De invloed van de aanname voor de omrekenfactor van beunkuubs naar profielkuubs voor de ingreepgegevens in de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding (het uitleveringspercentage) en de aannames over transporten (betreffende de sedimentatie van Saeftinge en het sedimenttransport uit de Westerschelde over de grens) zijn weliswaar aanwezig, maar brengen geen verandering in het beeld dat de Westerschelde exporterend is. Wel verschuift het moment waarop de omslag van import naar export optreedt.

7.2 Aanbevelingen

- €# Voor een kwantitatieve uitspraak over import/export van de gehele monding moeten correcte cijfers van de bagger- en stortgegevens van het Belgische deel van de monding worden achterhaald en moeten deze worden aangevuld met de gegevens van 1997 en verder.
- €# Deze balans loopt tot en met 2001. Aanbevolen wordt om in het traject van besluitvorming altijd met de meest recente zandbalans te werken (eind 2004 kan een zandbalans opgesteld tot en met 2003). Dit komt neer op het uitbreiden van de huidige zandbalans met de jaren 2002 en 2003.

Door het jaarlijks bij te houden beschikt de directie altijd over de meest actuele zandbalans.

- €# Lodingsvak 44 omvat maar een klein deel van stortgebied S1. Het uitbreiden van de bodemdieptegegevens (zowel historisch als in de toekomst) met het gebied waarin dit stortvak zich bevindt verschaft beter inzicht in de zandhuishouding van het mondingsgebied.
- €# Voor lodingsvak 44 zou de opname van jaar 1973 nog gedigitaliseerd kunnen worden (zie Tabel 2.1), om een langere tijdsreeks te verkrijgen.
- €# Het mondingsgebied wordt ook door de Belgische overheid gelood. Door samenwerking, bijvoorbeeld via het project LTV O&M, zou extra (historische) informatie van dit gebied beschikbaar kunnen komen.
- €# Marijs en Parée (2004) geven een overzicht van variabele systematische fouten. In een aantal gevallen zijn deze fouten ook zichtbaar in de grafieken van de balansvakken. Het corrigeren van deze fouten verdient aanbeveling.
- €# Stortingen van specie uit de haven van Zeebrugge kunnen op een grote ruimteschaal opgevat worden als herverdelingen van sediment binnen een balansvak (mits deze binnen het balansvak plaatsvinden). Op een kleiner niveau worden deze gegevens wel verwerkt. Bij aggregatie moet dan echter wel een correctie uitgevoerd worden.
- €# Betrek de recentelijk ter beschikking gekomen stortgegevens van havenbaggerspecie in de zandbalans van de Westerschelde. Dit zijn relatief grote hoeveelheden sediment, met aanzienlijke hoeveelheden zand.
- €# Achterhaal of de aanname van 0 Mm³ over de Belgisch-Nederlandse grens (aan de Oostzijde) correct is. Dit kan met bijvoorbeeld Delft3D (Zeekennis), maar het kan ook door de balans uit te breiden met de Zeeschelde. Voer een zelfde actie uit voor de aanname over de sedimentatie van Saeftinge.

Referenties

De Bok, C., 2002. Zandbalans van het deelsysteem "Delta". Werkdocument RIKZ/OS/2002.114x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Bollebakker, P., C. van der Male, 1993. Invloed stochastische fout op inhoudsberekeningen. GWWS-93.831X. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

De Jong, J.E.A., 2000. Zandbalans Westerschelde en monding. Periode 1955-1999. Notitie NWL-00.16, Rijkswaterstaat, directie Zeeland.

HAECON, 2000. Zandbalans WS-Mond Belgisch gedeelte. Rapport NST2155-25. HAECON Harbour & Engineering Consultants.

Jeuken, C., G. Ruessink en Z.B. Wang, 2002. Adviezen voor het maken van een gezamenlijke zandbalans voor Westerschelde en monding. Rapport Z3213, WLIDelft Hydraulics, Delft.

Jeuken, M.C.J.L., I. Tanczos, Z.B. Wang, 2003a. Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde. Rapport Z3467. WLIDelft Hydraulics, Delft.

Jeuken, M.C.J.L., Z.B. Wang, D. Keiller, I. Townend, G.A. Liek, 2003b. Morphological response of estuaries to nodal tide variation. In: Proc. Int. Conf. Estuaries and Coasts, Hangzhou, China, pp. 166-173.

Jeuken, M.C.J.L., Z.B. Wang, T. van der Kaaij, M. van Ormondt, M. van Helvert, M. van Ormondt, R. Bruinsma, I. Tanczos, 2004. Morfologische ontwikkelingen in het Schelde estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde. Rapport Z3561, WLIDelft Hydraulics, Delft (onderdeel van consortium Arcadis/Technum)

Liek, G.A., G. Nederbragt, C. van der Male, 2003. Resultaten zandbalans Westerschelde en monding. Werkdocument RIKZ/OS/2003.163x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Marijs, K., Parée, E., 2004. Nauwkeurigheid vaklodgingen Westerschelde en monding; "de praktijk". Rapport ZLMD-04.N.004. Rijkswaterstaat, Meetinformatiedienst Zeeland.

Nederbragt, G., 2004. Verkenning van een aantal beheersscenario's in de monding van de Westerschelde, Een studie naar het effect op waterbeweging en morfologie in het mondingsgebied. Werkdocument RIKZ/OS/2004/109w. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Oosterhoff, E., R.L. Koomans, B.A. de Meijer, J.F. Nicolaas, 2003. Medusa metingen in het Oostgat, Synthese- en datarapportage t₄ meting. Rapport 2001-P-015-R5. Medusa Explorations BV.

Peters, B.G.T.M., G.A. Liek, J.W.M. Wijsman, M.W.M. Kuijper, G.Th. van Eck, 2003. Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43'. "Een verruimde blik op waargenomen ontwikkelingen". MOVE-rapport 8. Rapport RIKZ/2003.027, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Storm, C., P. Bollebakker, J. de Jong, G. Mol, 1994. Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 en aanbevelingen ter optimalisatie. Rapport RIKZ-94.008. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Uit den Boogaard, L.A., 1995. Resultaten zandbalans Westerschelde 1955-1993. IMAU Rapport R95-08. Universiteit Utrecht.

Van der Slikke, M.J., 1997. Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding. Een inventarisatie van de dieptegegevens (1800-1996). IMAU Rapport R97-18. Universiteit Utrecht.

Van der Slikke, M.J., 1998. Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969-1993). IMAU Rapport R98-05. Universiteit Utrecht.

Vroon, J., C. Storm, J. Coosen, 1997. Westerschelde stram of struis? Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van de fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Bijlage 1: Kwaliteitsborging

Bij de totstandkoming van dit rapport heeft externe kwaliteitsborging plaatsgevonden door de volgende personen:

€# Van de Kreeke (Universiteit Miami)

€# Jeuken (WLI Delft Hydraulics)

Daarnaast is er ook interne kwaliteitsborging geweest (John de Ronde, Piet Roelse en Jelmer Cleveringa; op hoofdlijnen door Daan Dunsbergen en Birgit Dauwe).

De kwaliteitsborging bestond uit het becommentariëren van een conceptversie van het rapport. Het betrof dus niet een audit in de zin dat er een oordeel over de definitieve versie van het rapport werd gevraagd. Het ontvangen commentaar is door de auteurs verwerkt in de definitieve versie. Deze is niet opnieuw ter inzage aan de kwaliteitsborgers aangeboden.

Hieronder volgt een korte samenvatting van het commentaar op hoofdlijnen. Tevens is aangegeven wat er met het commentaar is gedaan.

Inhoudelijke opmerking:

€# Het ontbreken van informatie van lodingsvak 44 en stortvak S1 in de conceptversie beperkt het overzicht. **Vak 44 is als geheel toegevoegd als apart vak in hoofdstuk 4. Het effect van het wel of niet meenemen van dit vak is gering. De hoofdstukken 5 en 6 zijn daarom niet aangepast.**

Opzet en indeling rapportage:

€# Volgorde van presentatie: in het rapport vindt de beschrijving van de zandhuishouding plaats van kleine naar grote morfologische eenheden (aggregatie neemt toe). Een aantal keer werd gesuggereerd om dit om te draaien. **Hiervoor hebben we niet gekozen, omdat het inzicht op een kleiner detailniveau naar onze mening bijdraagt aan de verklaringen op grotere schaal.**

€# De presentatie van de zandhuishouding gebeurt in hoofdstuk 3 per deelperiode en in hoofdstuk 4 per balansvak. Beter is dit te uniformeren. **Dit punt is niet aangepast. Wel is getracht duidelijk te maken waarom de gekozen indeling is gehanteerd en zijn voor de monding figuren toegevoegd met per periode gemiddelde waarden, zoals dat ook voor de Westerschelde is gebeurd.**

€# In de conceptversie is een hoofdstuk opgenomen, waarin onder andere een vergelijking van de resultaten van deze studie met die van het model ESTMORF wordt gemaakt. Dit komt nogal onverwacht. **Deze vergelijking en de onderdelen over menselijke ingrepen en zanddelend systeem zijn geschrapt. De analyse van autonome ontwikkelingen is verplaatst naar hoofdstuk 5. Daarmee is hoofdstuk 7 als zodanig komen te vervallen. Wij zijn van mening dat het rapport hierdoor een meer objectieve weergave geeft van de zandhuishouding.**

Colofon

Uitgave van het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Dit rapport werd opgesteld in het kader van de projecten KUST2005*WSmond en ZEEKENNIS in opdracht van Rijkswaterstaat, directie Zeeland.

Titel: Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding.

Auteurs: Gertjan Nederbragt en Gert-Jan Liek
GIS berekeningen: C. van der Male

Druk: Drukkerij Artoos Nederland B.V., Rijswijk

Rapportnummer: RIKZ/2004.020

Citatie: Nederbragt, G., G.A. Liek, 2004. Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding. Rapport RIKZ/2004.020. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Nadere informatie bij Gertjan Nederbragt
Tel. (+) 31 70 311 42 08
Fax (+) 31 70 311 42 00
g.nederbragt@rikz.rws.minvenw.nl
