

Zandbalans Westerschelde en monding periode 1955-1999

Notitie NWL - 00.16

Augustus 2000

Rijkswaterstaat
Directie Zeeland
Afdeling NWL
Morfologie Watersystemen



J.E.A. de Jong

Inhoudsopgave

1 INLEIDING	6
Intermezzo 1 : Samenstelling en berekeningsmethodiek van de zandbalans	8
Intermezzo 2 : Invloed methodiek op analyse resultaten zandbalans	10
2 UITGANGSPUNTEN EN METHODIEKEN	13
2.1 Basisdata	13
2.2 Begrippenlijst	13
2.3 Nauwkeurigheden	14
2.4 Methodieken	15
3 RESULTATEN	16
3.1 Algemeen	16
3.2 Totale inhoudsveranderingen Westerschelde en Monding	17
3.2.1 Totale inhoudsveranderingen Westerschelde	17
3.2.2 Totale inhoudsveranderingen Monding	22
3.3 Inhoudsveranderingen tgv.ingrepen	30
3.3.1 Inhoudsveranderingen tgv.ingrepen in de Westerschelde	30
3.3.2 Inhoudsveranderingen tgv.ingrepen in de Monding	36
3.4 Zandbalans	38
3.4.1 Algemeen	38
3.4.2 Zandbalans Westerschelde	38
3.4.3 Zandbalans van de Monding	44
3.5 Samenvatting resultaten	48
3.5.1 Westerschelde Periode 1955-1999	48
3.5.2 Monding Periode 1964 -1998	49
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	50
5 LITERATUURLIJST	51

OVERZICHT TABELLEN

TABEL 1 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud in geulen van de Westerschelde	18
TABEL 2 : Inhoudsveranderingen van geulen in de Westerschelde gedurende periode 1990-1999	18
TABEL 3 : Cumulatieve verandering van waterinhoud boven plaat/slik/schor van de Westerschelde	19
TABEL 4 : Waterinhoudsverandering boven plaat/slik/schor in de Westerschelde - periode 1990-1999	19
TABEL 5 : Cumulatieve verandering van waterinhoud in geulen van de monding van de Westerschelde	23
TABEL 6 : Waterinhoudsverandering van de geulen in de monding van de Westerschelde - periode '90/98	23
TABEL 7 : Cum. waterinhoudsverandering beneden nap +3.5 m in de mondingvakken 12 t/m 16 + 44	24
TABEL 8 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. zandwinning in de Westerschelde	30
TABEL 9 : Veranderingen in waterinhoud tgv. zandwinning in de Westerschelde in de periode '90/99	31
TABEL 10 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. baggeren in de Westerschelde	32
TABEL 11 : Veranderingen in waterinhoud tgv. baggeren in de Westerschelde in de periode '90/99	33
TABEL 12 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. storten in de Westerschelde	34
TABEL 13 : Veranderingen in waterinhoud tgv. storten in de Westerschelde in de periode 1990-1999	35
TABEL 14 : Cumulatieve verandering van waterinhoud tgv. zandwinning in de mond van de Westerschelde	36
TABEL 15 : Verandering waterinhoud tgv. zandwinning in de mond van de Westerschelde periode '90/98	37
TABEL 16 : Totalen inhoudsverandering(<+3,5 m) in de Westerschelde in de periode '90/99	41
TABEL 17 : Totalen ingrepen in de Westerschelde in de periode 1990-1999	41
TABEL 18 : Totalen export in de Westerschelde in de periode 1990-1999	42
TABEL 19 : Cumulatieve waarden van export, ingrepen en inhoudsveranderingen in de Westerschelde	42

TABEL 20 : Cumulatieve waarden van export, ingrepen en inhoudsveranderingen in de mond van de Westerschelde	46
TABEL 21 : Export in de mond van de Westerschelde in de periode 1990-1999	46
TABEL 22 :Inhoudsveranderingen beneden nap +3.5 m in de mond van de Westerschelde periode 1990-1999	47
TABEL 23 : Ingrepen in de mond van de Westerschelde in de periode 1990-1999	47

OVERZICHT GRAFIEKEN

GRAFIEK 1 : Cumulatieve waterinhoudsveranderingen geulen(< -2) in de Westerschelde	17
GRAFIEK 2 : Cumulatieve waterinhoudsveranderingen plaat/slik/schor (> -2) in de Westerschelde	17
GRAFIEK 3 : Cumulatieve waterinhoudsveranderingen geulen in de mond van de Westerschelde	22
GRAFIEK 4 : Cumulatieve waterinhoudsveranderingen plaat/slik/schor in de Monding	22
GRAFIEK 5a t/m o : Waterinhouden < nap + 3.5 meter van de Westerschelde en de Monding	25
GRAFIEK 6a : Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Westerschelde periode 1995-1999	30
GRAFIEK 6b : Cumulatieve waarden van baggeren in de Westerschelde periode 1995-1999	32
GRAFIEK 6c : Cumulatieve waarden van storten in de Westerschelde periode 1995-1999	34
GRAFIEK 7 : Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Monding periode 1964-1998	36
GRAFIEK 8a : Totale inhoudsverandering in de Westerschelde. Periode 1955-1999	38
GRAFIEK 8b : Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen in de Westerschelde periode 1955-1999	39
GRAFIEK 8c : Veranderingen export en import in de Westerschelde. Periode 1955-1999	39
GRAFIEK 8d : Gemiddelde export in de Westerschelde. Periode 1955-1999	40
GRAFIEK 8e : Zandbalans Westerschelde. Periode 1955-1999	40
GRAFIEK 9 : Cumulatieve waarden van waterinhoud, export en ingrepen in de Monding	45
GRAFIEK 10 : Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Monding van de Westerschelde	45

OVERZICHT FIGUREN

FIGUUR 1 : Ruimtelijke begrenzingen zandbalans	12
FIGUUR 2 : Gebruikte lodingen en waterpassingen	15
FIGUUR 3a t/m c : Schema's van zandtransporten van de Westerschelde per rekenvak en voor de perioden 1990-'99; 1970-'99 en 1994-'99	44

OVERZICHT BIJLAGEN

1. Inhoudsveranderingen
2. Ingrepen
3. Zandbalans
4. Situatiekaarten
Verschilkaarten periode 1990-1998

1 Inleiding

Kader

In het kader van het zandwinbeleid en het geven van morfologisch advies betreffende de Westerschelde in de toekomst, is door de afdeling NWL een zandbalans-studie uitgevoerd.

In dit rapport zijn de resultaten weergegeven van deze studie. Om een betere interpretatie te kunnen maken van deze resultaten is de analyse uitgebreid met een zandbalans voor de monding van de Westerschelde.

De resultaten van een zandbalans kunnen sterk bepaald worden door de gebruikte analyse methodieken en de kwaliteit en de hoeveelheid van de basisdata. Doordat in de loop der jaren daarbij veel is veranderd, wordt in dit rapport hier extra aandacht aan besteed.

Randvoorwaarden

Bij het opstellen van de zandbalans zijn de volgende randvoorwaarden aangehouden:

Tijd : - Voor de Westerschelde wordt een periode aangehouden van 1955 tot 1999

Voor de monding wordt een periode aangehouden van 1964 tot 1998

De keuze van beide perioden hangt samen met het beschikbaar zijn van basisdata

Ruimte: - Voor de Westerschelde is een zandbalans opgesteld voor een gebied wat de vaklodingbladen 1 t/m 6 omvat.

De oostelijke grens wordt gevormd door de grens België-Nederland en door een theoretische lijn die de grens vormt met het Land van Saefinge. De westelijke grens wordt gevormd door de lijn Vlissingen - Breskens

- Voor de monding is een zandbalans opgesteld voor een gebied wat de vakbladen 17,18a en 19 omvat.

In **figuur 1** zijn de ruimtelijke begrenzingen weergegeven.

Wat is een zandbalans?

Een zandbalans is een berekening waarbij binnen een bepaalde ruimte en tijd vastgesteld wordt wat het verschil is tussen de zandonttrekking door menselijke ingrepen en de gemeten verdieping of verondieping. Onder de zandonttrekking door menselijke ingrepen wordt verstaan het baggeren, storten en zandwinnen. Met deze gegevens kan vastgesteld worden wat de import of export van zand van/naar het analysegebied is geweest. Voorbeeld: Er is vastgesteld dat het verschil tussen de totale waterinhoudsverandering en de inhoudsverandering door zandonttrekking 1 Mm³ bedraagt. Het gebied is dus meer verdiept dan alleen door zandonttrekking. Vastgesteld kan worden dat het analysegebied door natuurlijke export verdiept is met 1 Mm³.

In **Intermezzo 1** wordt nader ingegaan op de berekeningsmethodiek en de samenstelling van de zandbalans welke is gebruikt voor de analyseresultaten in dit rapport.

In **Intermezzo 2** wordt nader ingegaan op de verschillen tussen de gebruikte methodieken tot nu toe en wat de invloed is van de methodiek op het analyse resultaat.

Analyse producten

In dit rapport zijn voor de zandbalans van de Westerschelde en de monding de volgende analyse producten beschreven:

1. Westerschelde

Voor de periode 1955 tot 1999 zowel voor de totale Westerschelde als voor de systeemdelen Oost, Midden en West:

- Totale inhoudsveranderingen (geulen en slik/plaat/schor)
- Inhoudsveranderingen door baggeren, storten en zandwinnen
- Zandbalans met import en export
- Zandtransporten voor de perioden 90/99; 70/99 en 94/99

2. Monding

Voor de periode 1964 tot 1998 :

- Totale inhoudsverandering (geulen en plaat/slik/schor). Hierbij is ook gekeken naar de inhoudsveranderingen in het aangrenzend mondingsgebied welke de vaklodingsbladen 12 t/m 16 + 44 omvat
- Inhoudsveranderingen door zandwinnen
- Zandbalans met import en export

Leeswijzer

- In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten en methodieken beschreven. Onderwerpen hierbij zijn: gebruikte basisdata; begrippen; nauwkeurigheden en methodieken
- In hoofdstuk 3 worden de analyseresultaten beschreven (zie hiervoor Analyse producten)
- In de hoofdstukken 4 en 5 worden de conclusies en aanbevelingen beschreven
- Hoofdstuk 6 omvat een literatuurlijst.
- Voor de detail informatie zijn vier bijlagen gemaakt:
 - Bijlage 1 t/m 3 voor resp. inhoudsveranderingen, ingrepen en zandbalans
 - Bijlage 4 met:
 - situatiekaarten van rekenvakken en bagger/stort/zandwinlokaties
 - verschilkaarten van de periode 1990-1998.

Intermezzo 1

Samenstelling en berekeningsmethodiek van de zandbalans

Samenstelling

Om een zandbalans van een bepaald gebied samen te stellen dient men de inhoudsverandering tgv. ingrepen en de totale inhoudsverandering in een bepaalde periode en tijd vast te stellen.

De inhoudsveranderingen tgv. ingrepen(zandwinnen/baggeren/storten) worden in de Westerschelde en monding bepaald uit gegevens die door de Dienstkring NMZ van de Directie Zeeland beschikbaar gesteld worden. De totale inhoudsveranderingen in de Westerschelde en de monding worden bepaald uit Iodingen en waterpassingen van resp. de Meet - en Informatiedienst van de Directie Zeeland en de Meetkundige Dienst. Deze metingen worden uitgevoerd per vakblad. Uit oogpunt van synchronisatie (zie Methodiek) worden de inhoudsveranderingen bepaald per rekenvak, welke overeenkomt met een vakblad. In **figuur 2** zijn deze rekenvakken(vakbladen) weergegeven.

Na bepaling per rekenvak van de inhoudsveranderingen(zie Methodiek) kan vastgesteld worden hoeveel de import of export van zand uit dit rekenvak is geweest. De formule hiervoor is:

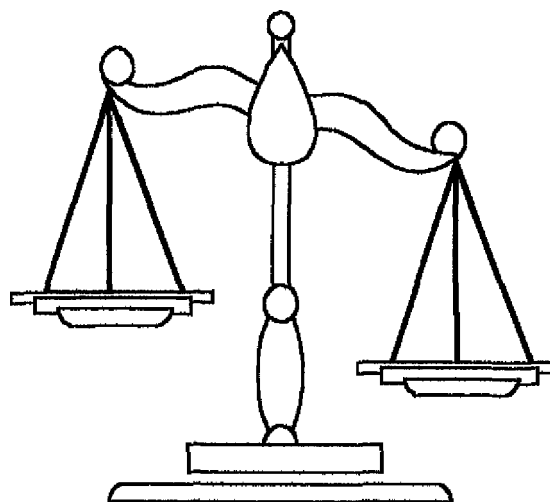
Totale inhoudsverandering* = (inhoudsverandering tgv. ingrepen) + export

* inhoudsverandering = waterhoud

Voorbeeld:	Totale (water)inhoudsverandering	=	1 Mm ³
	(Water)inhoudsverandering tgv. ingrepen	=	0.5 Mm ³
	(Water)inhoudsverandering tgv. export	=	0.5 Mm ³

Grafisch is de samenstelling van de zandbalans:

natuurlijke export
baggeren
zandwinnen



natuurlijke import
storten

Methodiek

Alvorens inhoudsveranderingen voor de Westerschelde te kunnen bepalen dienen een aantal bewerkingen op de basisdata te worden uitgevoerd. In het algemeen komt het neer op synchronisatie

A. Synchronisatie van de hoogte- en dieptegegevens per vakblad(=rekenvak)

Om volumeberekeningen te kunnen maken, is het noodzakelijk dat de rekenvakken (vakbladen) evenveel datacellen bevatten. Bij metingen per vakblad zijn deze aantallen veelal ongelijk. Dit is het geval bij het

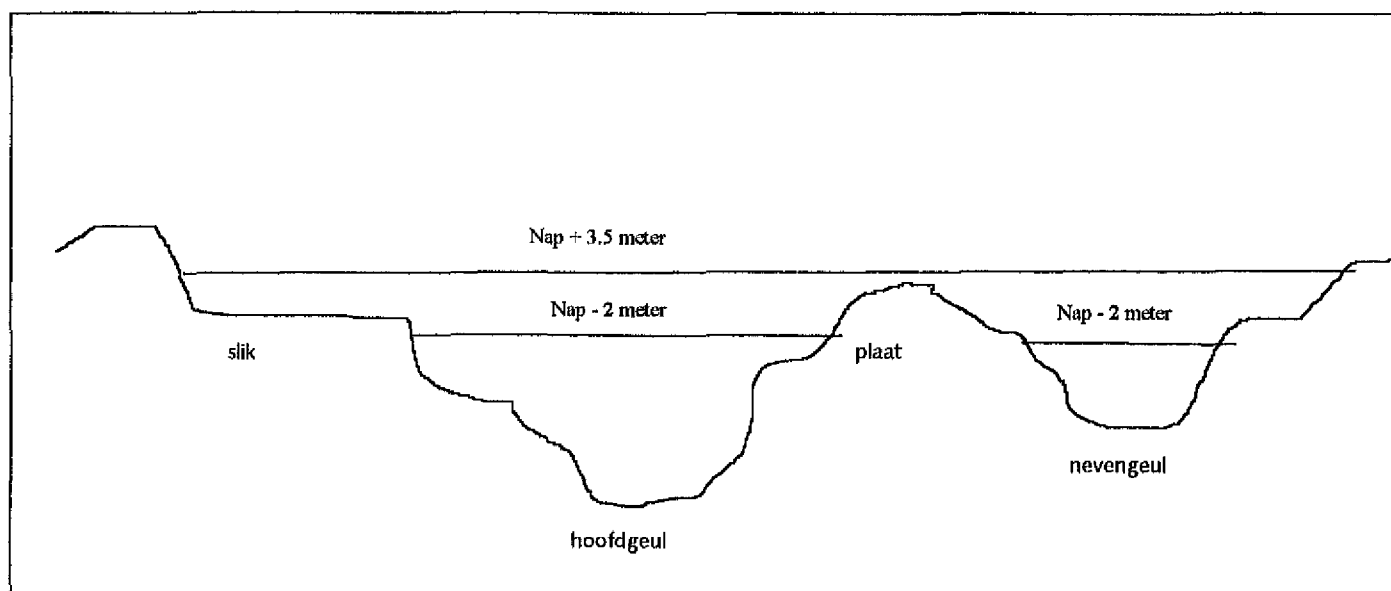
ontbreken van data en bij ondiepe oevers waardoor metingen - afhankelijk van het getij - meer of minder data bevatten. Met behulp van een ARCINFO(GIS) macro worden alle vakbladen gelijk gemaakt vwb. het aantal datacellen

B. Synchronisatie van de ingreepgegevens

De gegevens van zandwinnen, baggeren en storten zijn bij aanlevering ongelijk. Sommige gegevens zijn berekend in het beun van het schip; andere direct in het veld. Alle gegevens worden mbv. een GIS macro omgezet in profielkuubs (zie begrippenlijst). Deze synchronisatie is ook nodig om de gegevens later te gebruiken voor de zandbalans. Hierbij worden inhoudsveranderingen van hoogte-en dieptegegevens en ingrepen gecombineerd.

De totale inhoudsveranderingen en de inhoudsveranderingen tgv. ingrepen worden berekend met GIS macro's. Alles wordt berekend per vakblad(rekenvak) en als verandering van de waterinhoud tov. een bepaald niveau. (n.b. ingreepgegevens worden niet per niveau berekend maar alleen per rekenvak) Voor berekening van geulinhouden wordt een bovenniveau aangehouden van NAP - 2m.; voor plaat/slik/schor wordt een bovenniveau aangehouden van NAP +3,5 m. en een onderniveau van NAP - 2 m.

Schematisch is dit in onderstaand overzicht weergegeven



*Om inhoudsveranderingen van de Westerschelde ; Oost;Midden;West;Monding te kunnen vaststellen dient men rekenvakken(vakbladen) samen te voegen. Hiervoor dient men weer een **synchronisatie** uit te voeren:*

A. Voor alle rekenvakken wordt voor elk jaar de waterinhouden en ingrepen op 1 januari berekend.

B. De synchronisatie per vakblad/rekenblad geschiedt mbv. lineaire interpolatie. Extrapolaties moeten zoveel mogelijk vermeden worden.

Vervolgens kunnen de rekenvakken voor elk jaar van de beschouwde periode (bv. 55/99) bij elkaar gevoegd worden.

Voor de Westerschelde is dat vak 1 t/m 6; Oost: vak 1+ 2 ; Midden: vak 3 ; West: vak 4 t/m 6

Voor de Monding: vak 17,18a en 19

Deze gesynchroniseerde en geïnterpoleerde gegevens worden vervolgens gebruikt voor berekening van inhoudsveranderingen.

*Door de formule : **totale inhoudsverandering = inhoudsverandering ingrepen + export** toe te passen kunnen we een zandbalansberekening maken, waarbij import en export van zand uit het analysegebied is vast te stellen*

Intermezzo 2

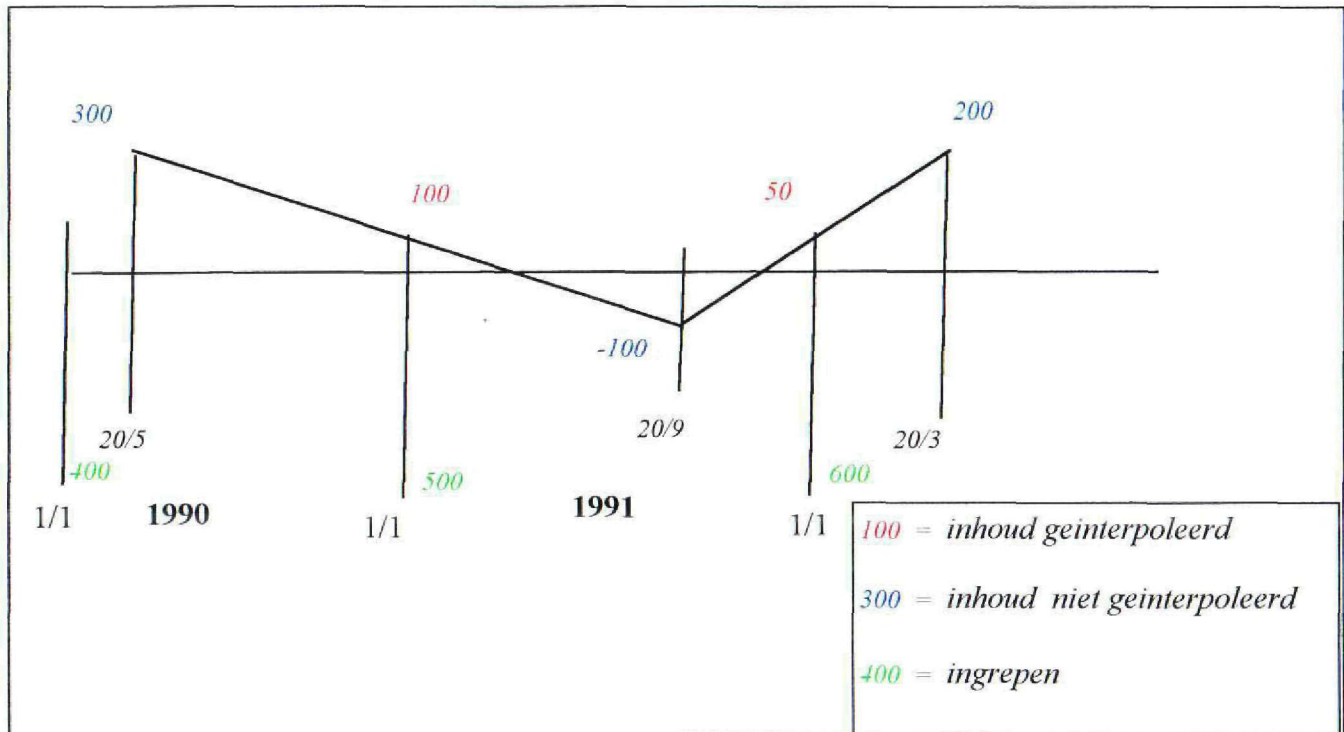
Invloed methodiek op analyse resultaten zandbalans

*Zoals in **Intermezzo 1** al is beschreven wordt tegenwoordig voor het samenstellen van een zandbalans gebruik gemaakt van GIS modules. Deze zijn ontwikkeld en gebruikt door UitdenBogaard(lit. 3). Voor 1990 werden schematisaties opgesteld voor het verzamelen van data (bodkar schematisaties). Deze schematisaties werden vervolgens gebruikt voor berekeningen waarbij morfologische schematisatie werden aangehouden. Er was echter een probleem dat meerdere opname data in een rekenvak waren. Tevens waren er weinig opnamen beschikbaar voor de berekeningen en maakte men (noodgedwongen) gebruik van vensters. Toen zandbalans berekeningen mbv. GIS werden uitgevoerd(1990) zijn alle onnauwkeurigheden die op kunnen treden bij inwinning, verwerking en bewerking van data geïnventariseerd. Deze zijn voor wat betreft inwinning en verwerking beschreven in Storm (lit. 6). Voor de bewerking en analyse heeft UitdenBogaard(lit. 3) een nieuwe methodiek ontwikkeld. Synchronisatie staat hierbij centraal. In **Intermezzo 1** zijn deze nader beschreven.*

*In dit **Intermezzo 2** wordt met onderstaand voorbeeld aangegeven wat de invloed kan zijn van de methodiek op de analyse resultaten. Het betreft het verschil in resultaat bij gebruik van resp. gesynchroniseerde en niet-gesynchroniseerde data.. Er moet wel bij vermeld worden dat het toepassen van synchronisatie zonder GIS mogelijkheden niet goed mogelijk is.*

Voorbeeld : Berekening volume verandering 1991

Vak 1: Inhoudsverandering 1991



Berekening (getallen zijn bedoeld als voorbeeld en niet reeel)

A. Niet gesynchroniseerd: *Toename waterinhoud tussen 1992 en 1991 : $200 - (-100) = 300 \text{ m}^3$
Ingrepen op 1/1/92 = 600 m³. Hieruit volgt dat er door natuurlijke import 300 m³ zand bijgekomen is in vak 1.*

B. Gesynchroniseerd: *Afname waterinhoud tussen 1992 en 1991 : $50 - 100 = 50 \text{ m}^3$
Ingrepen op 1/1/92 = 600 m³. Hieruit volgt dat er door natuurlijke import 650 m³ zand er bijgekomen is in vak 1*

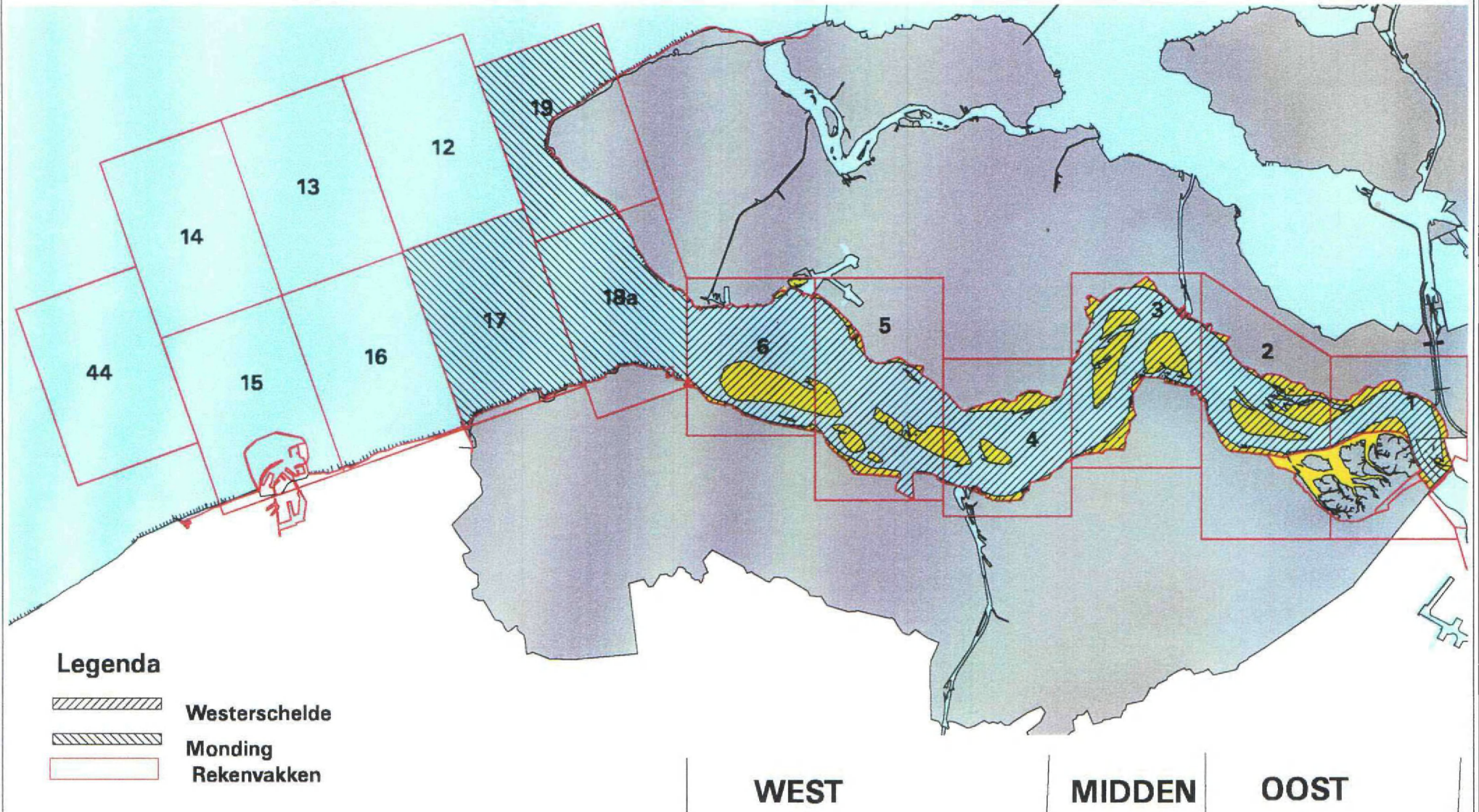
Doordat het resultaat van de ingrepen pas bekend is op 1 januari, is er per vak al een verschil in resultaat tussen inhoudsveranderingen met wel en niet gesynchroniseerde data. Dit verschil wordt nog groter als de data van verschillende vakken worden samengevoegd. De opnamedata per vak zijn per jaar ook soms heel verschillend.

In UitdenBogaard(lit. 3) is ook een synchronisatie beschreven mbv. trendlijnen i.p.v. lineaire interpolaties (intermezzo 1).

Deze methodiek is in deze analyse niet meegenomen.

Figuur 1 : Westerschelde en Monding

rekenvakken en watersysteemdelen



2 Uitgangspunten en methodieken

2.1 Basisdata

Als basisdata kunnen we onderscheiden:

1. Data van lodingen en waterpassingen: In **figuur 2** is weergegeven welke lodingen en waterpassingen zijn gebruikt. De aanbevelingen in Israel/Huijs (lit. 8) om bepaalde onbetrouwbare opnamen niet mee te nemen in de berekeningen zijn zoveel mogelijk overgenomen. De data is opgeslagen in ARCINFO grids.
2. Data van ingrepen : zandwinnen, baggeren en storten. De gegevens van zandwinnen zijn afkomstig van de Dienstkring NMZ. De bagger- en stortgegevens zijn afkomstig van de afdeling Maritieme Schelde van de Vlaamse Gemeenschap.
Voor verdere informatie: zie Begrippenlijst
3. GIS kaarten: Deze zijn gemaakt door de afdeling NWL en betreffen schematisaties en overzichten.

2.2 Begrippenlijst

Ingreep	Zandwinnen, baggeren en storten
Baggeren	Het op diepte houden van de vaargeul naar Antwerpen mbv. baggervaartuigen
Storten	De hoeveelheden zand die vrijkomen bij baggeren van de vaargeul en ontgra-ontgravingen op het land (terugstort) en die in de Westerschelde worden gestort. Stortingen uit havens tbv. onderhoud en aanleg zijn niet meegenomen. Vaak betreft het hier in hoofdzaak slib
Zandwinnen	De hoeveelheden zand die vrijkomen door zandwinnen voor de handel (concessiehouders) en voor uitvoering van werken(derden)
Westerschelde	Watergebied van de Schelde tussen Vlissingen en de oostgrens met België en overeenkomt met de vakbladen 1 t/m 6
West	Watergebied in de Westerschelde wat overeenkomt met de vakbladen 4 t/m 6
Middengebied	Watergebied in de Westerschelde wat overeenkomt met vaklodingblad 3
Oost	Watergebied in de Westerscheldewat overeenkomt met de vakbladen 1 en 2
Monding	Watergebied benedenstrooms van de Westerschelde wat overeenkomt met de vakbladen 12 t/m 19 en 44. Voor de berekening van de zandbalans worden alleen de vakbladen 17, 18a en 19 bedoeld.
Ondiepwater	Watergebied tussen NAP -2 meter en NAP - 5 meter.
Geul	Watergebied beneden NAP - 2 meter. N.B. In het mondingsgebied is de scheiding geul-plaat niet zo relevant omdat hier geen platen voorkomen. Toch is indeling ook hier aangehouden om een koppeling met de resultaten van de Westerschelde mogelijk te maken.
Plaat/slik/schor	Watergebied tussen NAP +3.5 meter en NAP -2 meter welke zowel schorren als slikken en platen omvat. Voor de zandbalans is hier geen verdere indeling in aangebracht. Voor de monding betreft dit watergebied vooral de zandige kust.
Hoofdgeul	Vaargeul naar Antwerpen
Nevengeul	Alle geulen in de Westerschelde behalve de hoofdgeul
Inhoud	Indien niet anders genoemd wordt hiermee het watervolume bedoeld.
Profielkuub	Aantal m ³ wat overeenkomt met het volume in de bodem. Veelal worden de hoeveelheden zand die door ingrepen vrijkomen of gestort worden gemeten in het schip(beunkuubs). Voor vergelijking met inhoudsveranderingen is het noodzakelijk deze om te rekenen in profielkuubs. Hierbij wordt een uitleveringspercentage aangehouden van 10%.
Uitlevering	Het procentuele verschil tussen het gemeten zandvolume en het zandvolume in

situ. Voor de berekeningen is hiervoor 10 % aangehouden. Het verschil wordt veroorzaakt door vergroting van het poringehalte bij ontgraving.

Cumulatieve waarde Waarden die in een bepaalde periode opgeteld worden en waarbij de beginwaarde op nul wordt gesteld.

2.3 Nauwkeurigheden

Bij de berekeningen en de analyse van de zandbalans moet men zich steeds rekenschap geven van de onnauwkeurigheden die in verschillende fasen kunnen optreden. Deze fasen zijn: Gegevensinwinning, -verwerking en -bewerking. In Storm et al (lit. 6) is al een studie gedaan naar de mogelijke foutenbronnen. De voornaamste zijn:

- Menselijke fouten; variabele systematische fouten tijdens inwinning en verwerking.
- Berekening van uitlevering. Aangehouden is voorlopig 10 %

In UittenBogaard(lit. 3) is een nieuwe methodiek beschreven voor analyses van een zandbalans. Alle berekeningen worden nagenoeg uitgevoerd in ARCINFO(GIS). Deze methodiek is voor een belangrijk deel ook gebruikt voor deze analyses. De fouten die door het gebruik van ARCINFO macro's gemaakt worden zijn procentueel klein : kleiner dan 0,1 %. Door het analyseren te beperken tot grootschalige ruimtelijke eenheden worden deze onnauwkeurigheden geminimaliseerd. Bij detailanalyse moet men bedacht zijn op deze onnauwkeurigheden. Nader onderzoek is misschien gewenst op welk detailniveau dit kan zijn.

Het gebruik van vensters voor het analyseren van een zandbalans en voor het zichtbaar maken van zandtransporten dient met de nodige omzichtigheid te geschieden. Een verkeerde keuze van begin- en eindmoment kan leiden tot onjuiste conclusies. Vooraf is een goede analyse op lange termijn noodzakelijk.

2.4 Methodieken

De volgende methodieken kunnen worden onderscheiden:

- Gegevensinwinning/verwerking: Lodingen worden uitgevoerd met DGPS en gecombineerd met waterpassingen. De gegevens worden gevalideerd en opgeslagen in RWSLOD. Met behulp van DIGIPOL worden de raaigegevens omgezet in grids met een celgrootte van 20x20 meter. Deze worden omgezet in ARCINFO format.
- Gegevensbewerking: Met behulp van macro's in ARCINFO worden inhoudsberekeningen gemaakt. Tevens worden ingreepgegevens in ARCINFO omgezet en verdeeld per jaar en per rekenvak. De resultaten worden in EXCELL verder gesynchroniseerd.

Overzicht opnamen gebruikte lodingen en waterpassingen																
jaar							rekenvakken									
	1	2	3	4	5	6	18a	17	19	12	13	14	15	16	44	
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	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	
1991	•	•	•													
1992	•	•	•	•	•	•		•	•							
1993	•	•	•							•	•	•	•	•	•	
1994	•	•	•	•	•	•		•	•							
1995	•	•	•			•							•	•	•	
1996	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
1997	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1998	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
1999	•	•	•	•	•	•										

Figuur 2: Gebruikte lodingen en waterpassingen

3 Resultaten

3.1 Algemeen

In de loop der jaren is de methodiek voor het samenstellen van een zandbalans nogal gewijzigd. Voor 1990 werd geen gebruik gemaakt van GIS (ARC/INFO). Het verzamelen van gegevens en het rangschikken (bewerken) tot goede kaarten was veelal handwerk en kostbaar. Het aantal kaarten (Bodkar schematisaties) was daardoor beperkt en van synchronisatie van data was toen veelal nog geen sprake. Na 1990 heeft Uitdenbogaard (lit. 3) een GIS applicatie ontwikkeld voor het berekenen van een zandbalans. Deze applicatie is nog steeds het uitgangspunt voor deze zandbalans analyses. Inmiddels zijn er al zoveel veranderingen aangebracht dat gedacht wordt aan de bouw van een nieuwe applicatie. In de Intermezzo's 1 en 2 is uitgelegd wat de uitgangspunten zijn en in hoeverre de analyse resultaten beïnvloed worden door de keuze van methodiek (bv. wel of niet synchroniseren; lineaire interpolatie of trendlijn). In algemene zin kan gesteld worden dat de analyse resultaten sterk bepaald kunnen worden door de methodiek.

In dit hoofdstuk 3 worden de resultaten weergegeven van de berekeningen van de zandbalans volgens de methodiek zoals beschreven in Intermezzo 1. De volgende analyse producten kunnen worden onderscheiden:

1. Totale inhoudsveranderingen (3.2)
2. Inhoudsveranderingen tgv. Ingrepen (3.3)
3. Zandbalans (3.4)

Alle resultaten tenslotte zijn samengevat in 3.5

Bij de analyses zijn de volgende detailleringen in tijd en ruimte gemaakt:

1. Voor de Westerschelde zijn berekeningen uitgevoerd voor de geulen en voor plaat/slik/schor. Tevens is hierbij ook nog onderscheid gemaakt tussen de systeemdelen West, Midden en Oost. In de tijd is onderscheid gemaakt tussen de perioden 1995-1999 en 1990-1999.
2. Voor de Monding zijn ook berekeningen gemaakt voor geul en plaat/slik/schor. Deze splitsing is gemaakt om een goede vergelijking met de Westerschelde mogelijk te maken. In de tijd is onderscheid gemaakt tussen de perioden 1964-1998 en 1990-1998.
3. Voor alle rekenvakken zijn figuren samengesteld van ongesynchroniseerde waterinhouden per opnamedatum. Dit is gedaan om een algemeen beeld te verkrijgen van de totale inhoudsveranderingen inclusief de vakken 12 t/m 16 + 44.

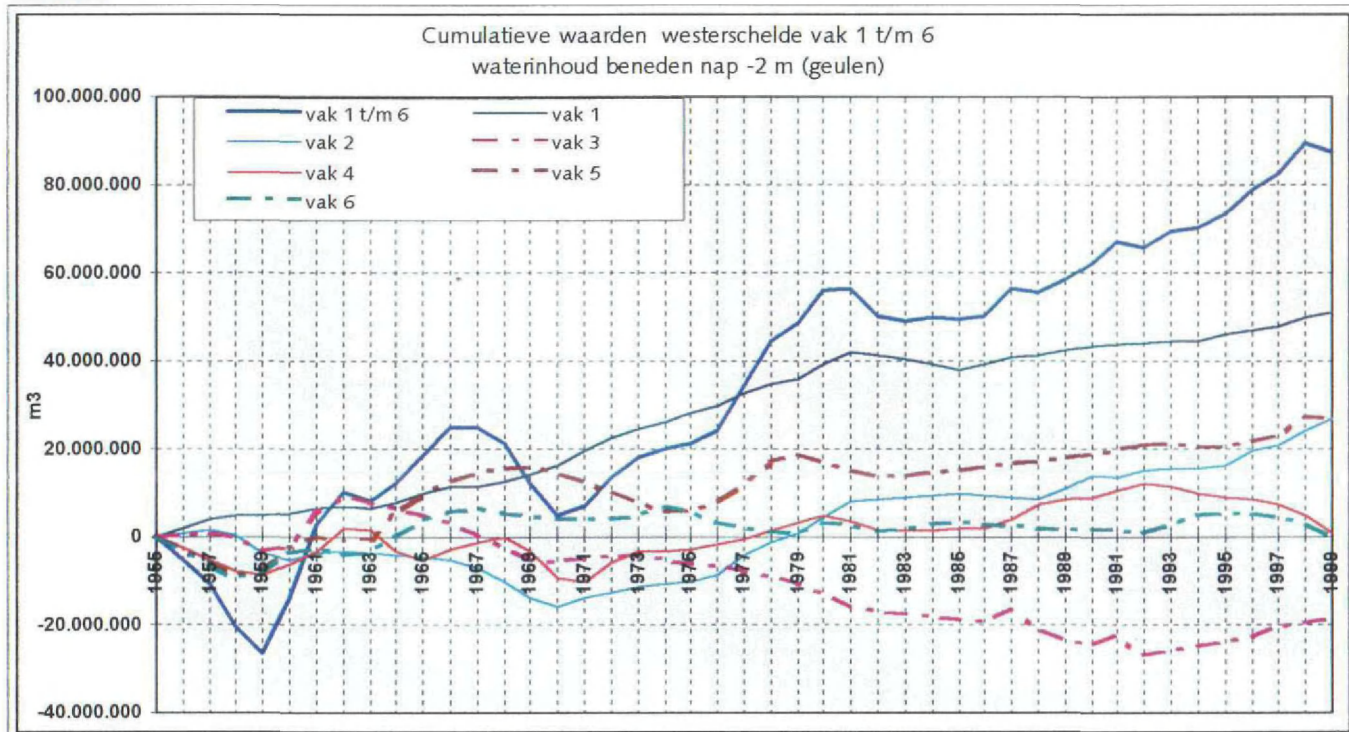
De analyses zijn uitgevoerd per rekenvak (vakblad) en samengevoegd voor bepaalde systeemdelen. De resultaten zijn voldoende om globale morfologische ontwikkelingen te beschrijven. Om processen die daaraan ten grondslag te kunnen verklaren is het noodzakelijk om meer analyse uit te voeren met behulp van morfologische schematisaties. Dit zou naderhand nog kunnen geschieden. (zie Conclusie en aanbevelingen). De verkregen resultaten en de bewerkte basisdata kunnen dienen voor verder procesonderzoek.

De resultaten worden gepresenteerd in grafieken en tabellen. Om morfologische ontwikkelingen goed te kunnen beschrijven zijn de veranderingen cumulatief weergegeven tov. 1955/1964. Dit geldt uiteraard niet voor figuur 5 waarin waterinhouden per opnamedatum zijn weergegeven.

3.2 Totale inhoudsveranderingen Westerschelde en Monding

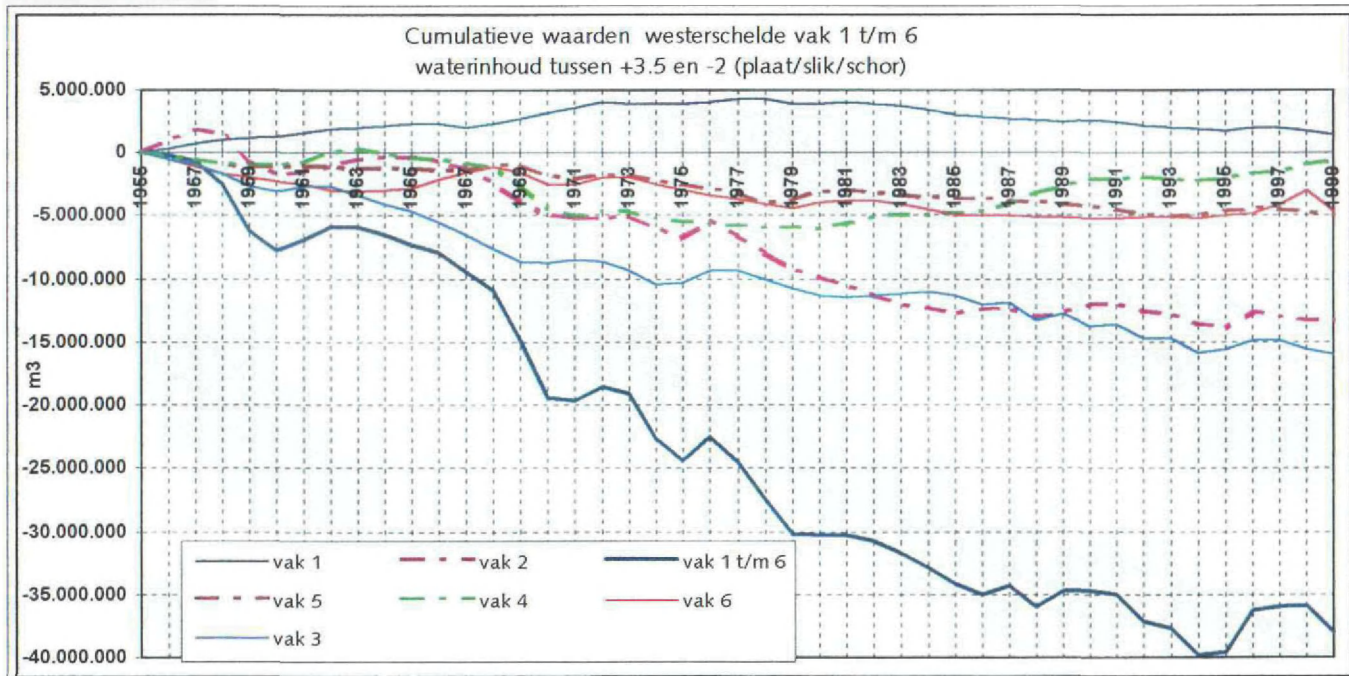
3.2.1 Totale inhoudsveranderingen Westerschelde

Geulen



Grafiek 1: Cumulatieve waterinhoudsveranderingen geulen(<-2) in de Westerschelde vanaf 1955

Plaat/slik/schor



Grafiek 2: Cumulatieve waterinhoudsveranderingen plaat/slik/schor (>-2) in de Westerschelde vanaf 1955

Geulen Westerschelde

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
periode 55-99	51,1	27,1	78,2	-18,7	0,9	26,6	0,08	27,5	87
periode 55-90	43,1	13,9	57,0	-24,5	9,0	18,7	1,78	29,4	61,9
periode 90-99	8	13,2	21,2	5,8	-8,1	7,9	-1,7	-1,9	25,1

Tabel 1 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud in geulen van de Westerschelde in Mm³

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
1990	0,6	-0,2	0,4	2,3	1,4	1,0	-0,3	2,1	4,8
1991	0,3	1,4	1,7	-4,5	1,5	1,1	-0,9	1,6	-1,2
1992	0,5	0,4	0,9	1,2	-0,7	0,4	2,0	1,7	3,8
1993	0,1	0,2	0,3	0,6	-1,4	-0,9	2,1	-0,2	0,7
1994	1,5	0,7	2,2	1,3	-1,0	0,1	0,5	-0,4	3,1
1995	0,8	3,1	3,9	0,7	-0,5	1,2	0,3	1,0	5,6
1996	1,1	1,4	2,5	2,4	-1,4	1,1	-0,9	-1,2	3,7
1997	2,1	3,3	5,4	0,8	-2,4	4,8	-1,9	0,5	6,7
1998	1,2	2,9	4,1	1,1	-3,8	-0,9	-2,7	-7,4	-2,2
totaal	8,2	13,2	21,4	5,9	-8,3	7,9	-1,8	-2,3	25,0

Tabel 2 : Inhoudsveranderingen van geulen in de Westerschelde gedurende periode 1990-1999 in Mm³

Opmerking: Door afrondingen kunnen verschillen in totalen voorkomen van ca. 0.1 - 0.4 Mm³

Plaat/slik/schor Westerschelde

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
periode 55-99	1,4	-13,2	-11,8	-16,0	-0,6	-4,9	-4,7	-10,2	-38,0
periode 55-90	2,5	-12	-9,5	-13,8	-2,2	-4,2	-5,2	-11,6	-34,9
periode 90-99	-1,1	-1,2	-2,3	-2,2	1,6	-0,7	0,5	1,4	-3,1

Tabel 3 : Cumulatieve verandering van waterinhoud boven plaat/slik/schor van de Westerschelde in Mm³.

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
1990	-0,1	0	-0,1	0,1	0,1	-0,3	0	-0,2	-0,2
1991	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1	0	-0,4	0,1	-0,3	-2,3
1992	-0,1	-0,1	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	-0,3	-0,5
1993	-0,2	-0,8	-1,0	-1,2	-0,2	0,2	0	0	-2,2
1994	-0,1	-0,4	-0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3
1995	0,3	1,3	1,6	0,7	0,5	0,3	0,2	1,0	3,3
1996	0	-0,5	-0,5	0	0,1	-0,1	0,6	0,6	0,1
1997	-0,3	-0,2	-0,5	-0,7	0,6	-0,3	1,1	1,4	0,2
1998	-0,4	0	-0,4	-0,3	0,4	-0,1	-1,7	-1,4	-2,1
totaal	-1,2	-1,3	-2,5	-2,3	1,6	-0,7	0,5	1,4	-3,4

Tabel 4 : Waterinhaltsverandering boven plaat/slik/schor in de Westerschelde - periode 1990-1999 in Mm³.

- Opmerkingen:
1. Verschillen door afrondingen kunnen optreden
 2. Negatieve waterinhaltsverschillen = toename zandinhoud

ANALYSE totale inhoudsveranderingen Westerschelde(3.2.1)

Uit de grafieken 1 en 2 en de tabellen 1 t/m 4 kan het volgende geconcludeerd worden :

1. Totale Westerschelde (vak 1 t/m 6)

geulen

- De geulinhoud is vanaf 1955 toegenomen met 87 Mm³ (= 4 %)
- Vanaf 1955 zijn er perioden te onderscheiden waarin deze geultoename sterker of zwakker is geworden:
 - sterke toename van de geulinhoud: 1959-1961; 1963-1965; 1976-1980
 - minder sterke toename/lichte afname van de geulinhoud: 1982-1987
 - In 1998 is een afname van de geulinhoud in de westelijke rekenvakken opgetreden. Waarschijnlijk door het veranderde stortbeleid.

plaat/slik/schor

- De zandinhoud van plaat/slik/schor is vanaf 1955 toegenomen met 38 Mm³ (= 30,2%)
- Vanaf 1955 zijn er perioden te onderscheiden waarin deze zandinhoud sterker of zwakker is geworden:
 - sterke toename van de zandinhoud: 1957-60; 1968-1970; 1976-1979
 - minder sterke toename van de zandinhoud: 1986-1991
 - afname van de zandinhoud: 1994-1998. Dit lijkt op een trendbreuk

2. Oostelijk deel Westerschelde (vak 1 + 2)

geulen

- In dit systeemdeel is de geulinhoud het sterkst toegenomen; vanaf 1955 met ca. 78 Mm³ (= 27,3 %)
- In rekenvak 1 is de sterkste toename geweest; ca. 51 Mm³ (= 53 %)
 - periodieke fluctuaties : - sterke toename 1963-1981;
- minder sterke toename: 1982-1999
- In rekenvak 2 is vanaf 1994 is de toename het sterkst
 - periodieke fluctuaties : - gemiddelde afname geulinhoud 1955-1970
- toename geulinhoud 1970 -1999

plaat/slik/schor

- In dit systeemdeel is de zandinhoud toegenomen met 11,8 Mm³ (= 30,3%)
- In vak 2 is de zandinhoud toegenomen met 13,2 Mm³ (= 67,7%)
- In vak 1 is de zandinhoud afgenomen met 1,4 Mm. (= 7,2%)
 - periodieke fluctuaties : - 1955-1972 : afname van de zandinhoud
- 1972-1983: nauwelijks veranderingen
- 1983-1999: toename van de zandinhoud

3. Middendeel Westerschelde (vak 3)

geulen

- In dit systeemdeel is de geulinhoud vanaf 1955 tot 1990 constant afgenomen met ca 24,5 Mm³ (= 6%)
- Van 1990 tot 1999 is de geulinhoud toegenomen met ca 6 Mm³ (= 1,5 %). Dit is een trendbreuk

plaat/slik/schor

- Vanaf 1955 is de zandinhoud in dit systeemdeel toegenomen met 16 Mm³. (= 77 %)
 - periodieke fluctuaties : - 1955-1969 : sterke toename
 - 1969-1999 : minder sterke toename

4. Westelijk deel Westerschelde (vak 4 t/m 6)

geulen

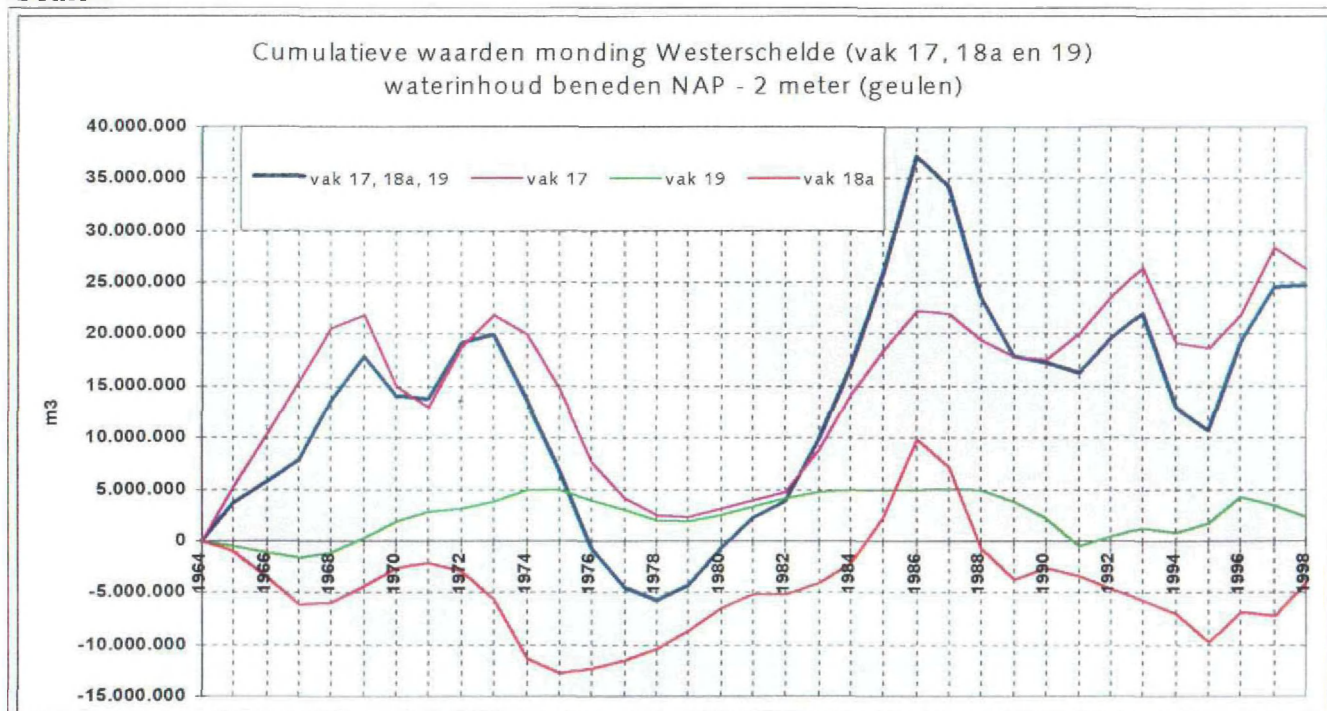
- In dit systeemdeel is de geulinhoud vanaf 1955 tot 1999 toegenomen met 27,5 Mm³ (= 1,9 %)
- De toename is voornamelijk opgetreden in vak 5: 26,6 Mm³ (= 4,7 %)
 - periodieke fluctuaties : - toename geulinhoud: 1955-1992
 - afname geulinhoud : 1992-1998; vnl. in de vakken 4 en 6
 - sterke afname geulinhoud: 1998-1999; waarschijnlijk tgv. verdieping

plaat/slik/schor

- Vanaf 1955 is in dit systeemdeel de zandinhoud gering toegenomen met 10,2 Mm³ (= 15,4%)
- In vak 4 is de toename nagenoeg nihil
- In de vakken 5 en 6 is de toename gelijk
 - periodieke fluctuaties in vak 4 : - 1955-1970 : toename van zandinhoud
 - 1970-1980: weinig verandering van zandinhoud
 - 1980-1999: afname van zandinhoud

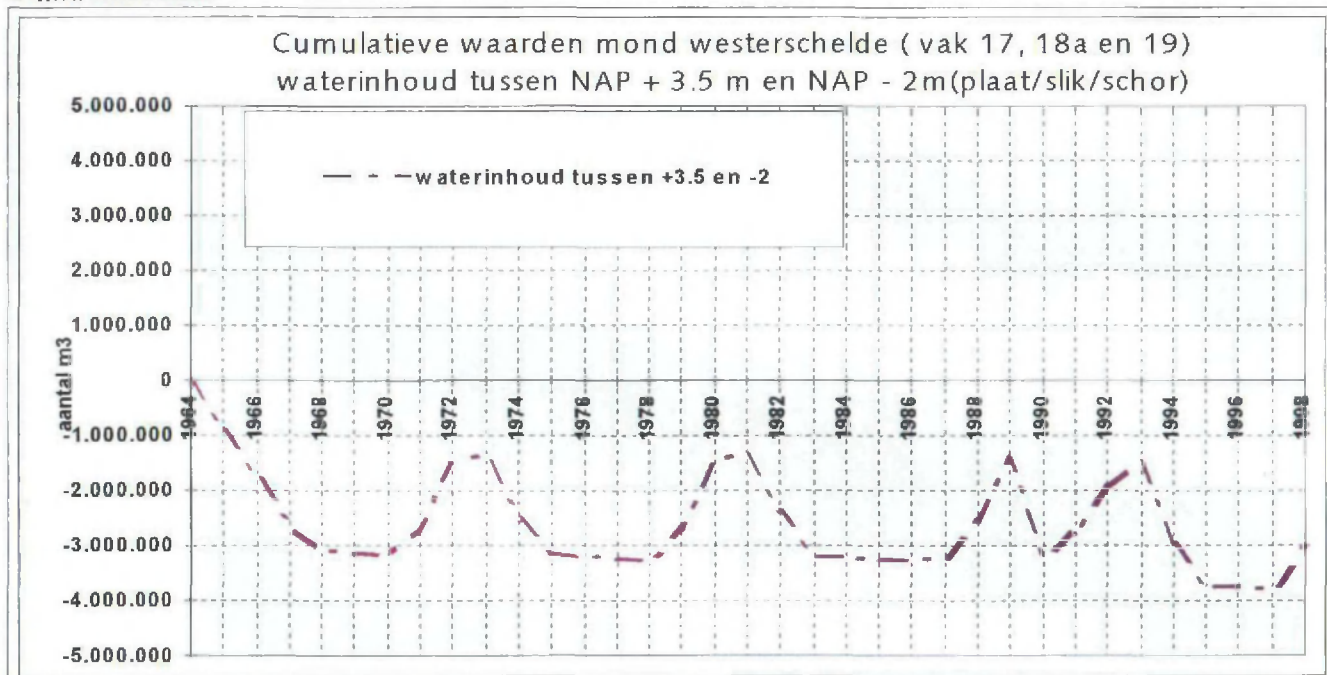
3.2.2 Totale inhoudsveranderingen Monding

Geulen



Grafiek 3: Cumulatieve waterinhaltsveranderingen geulen (<-2) in de mond van de Westerschelde vanaf 1964

Plaat/slik/schor



Grafiek 4: Cumulatieve waterinhaltsveranderingen Monding tussen NAP + 3.5 m en NAP - 2 m.

Geulen Monding

Rekenvak	17	18a	19	totaal monding (vakken 17, 18a en 19)
periode 64-98	26,2	-4,0	2,4	24,6
periode 90-98	8,7	-1,4	0,2	7,5

Tabel 5 : Cumulatieve verandering van waterinhoud in geulen van de monding van de Westerschelde in Mm³

rekenvak	17	18a	19 (1+2)	totaal monding (vakken 17, 18a, 19)
1990	2,5	-0,7	-2,7	-0,9
1991	3,5	-1,2	1	3,3
1992	2,8	-1,2	0,8	2,4
1993	-7,4	-1,2	-0,5	-9,1
1994	-0,5	-2,8	1,0	-2,3
1995	3,2	2,8	2,5	8,5
1996	6,6	-0,3	-0,8	5,5
1997	-2,1	3,2	-1,1	0
totaal	8,6	-1,4	0,2	7,4

Tabel 6 : Waterinhoudsverandering van de geulen in de monding van de Westerschelde periode 1990-1998 in Mm³

Opmerking: Perioden tot uiterlijk 1998(1/1/98) omdat opnamen monding in 1999 niet beschikbaar waren.

ANALYSE totale inhoudsveranderingen Monding Westerschelde(3.2.2) rekenvakken 17.18a en 19

Uit de grafieken 3 en 4 en de tabellen 5 en 6 kan het volgende geconcludeerd worden:

geulen

- Tussen 1964 en 1998 is de inhoud van de geulen toegenomen met 24,6 Mm³ (= 1,4 %)
- In die periode zijn er grote variaties geweest in toe- en afname van de geulinhoud
- Variaties stemmen misschien overeen met variaties geulinhouden in de Westerschelde. Nader onderzoek is gewenst.
- In de rekenvakken 17 en 18a zijn de variaties in de geulinhouden het grootst. In rekenvak 19 zijn de veranderingen gering.

plaat/slik/schor

- De zandinhoud verandert sedert 1964 niet veel; minder dan 4 Mm³ (zie grafiek 4). Ten opzichte van de zandinhoud in 1964 (= 3,45 Mm³) is dat procentueel wel veel : 110 %.

ANALYSE totale inhoudsveranderingen van overige rekenvakken in de Monding

Monding totaal

Rekenvak	12	13	14	15	16	44	totaal 1989-97
periode 1990-97	10			33	15	30	
periode 1989-97		23	11				
totaal							122 Mm³

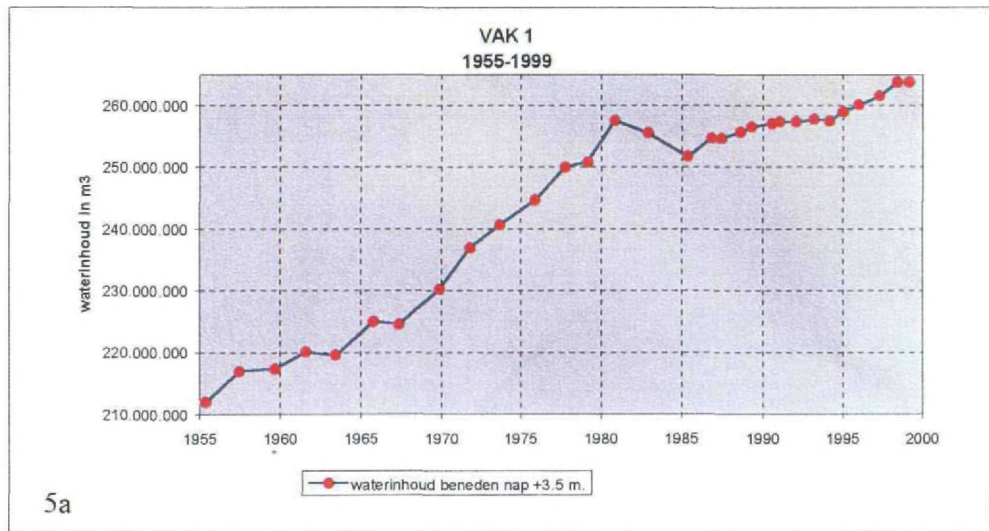
Tabel 7 : Cumulatieve waterinhaltsverandering beneden nap +3.5 m in de mondingvakken 12 t/m 16 + 44 in Mm³ Waarden zijn indicatief en niet geïnterpoleerd

In de overige rekenvakken van het totale mondingsgebied van de Westerschelde zijn in de periode 1964 - 1998 ook grote inhoudsveranderingen geconstateerd. Hiervan kon geen balans gemaakt worden omdat de ingreepgegevens van deze gebieden onvolledig en onbetrouwbaar waren. De resultaten van de totale inhoudsveranderingen van deze rekenvakken zijn echter wel van belang om de veranderingen in het mondingsgebied (vakken 17, 18a en 19) beter te kunnen interpreteren. De resultaten van de inhoudsberekeningen voor deze vakken tw. 12 t/m 16 + 44 weergegeven in de grafiek 5 en tabel 7. De waterinhouden zijn niet geïnterpoleerd; het zijn de gemeten waarden op de meetdata. Om een goed totaalbeeld te krijgen zijn in grafiek 5 ook de resultaten gevoegd van de Westerschelde (vak 1 t/m 6) en de Monding (17,18a en 19).

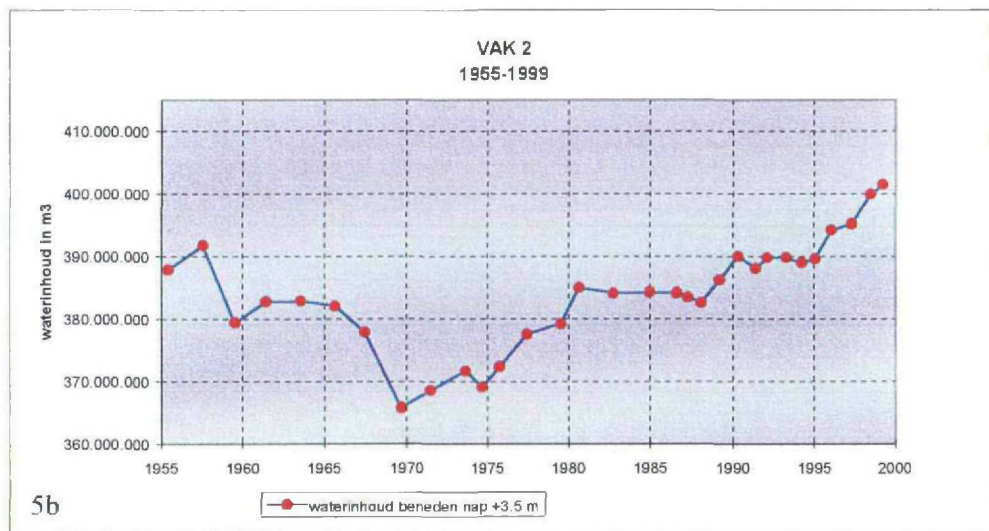
Opmerking:

De relatief grote hoeveelheden zand (122Mm³) die in de monding van de Westerschelde in 8 jaar zijn verdwenen (zie tabel 7) moeten in het juiste perspectief worden bekeken! Het betreft een hoeveelheid over een groot oppervlak en het is niet bekend in welk morfologisch systeemdeel deze erosie heeft plaatsgevonden.

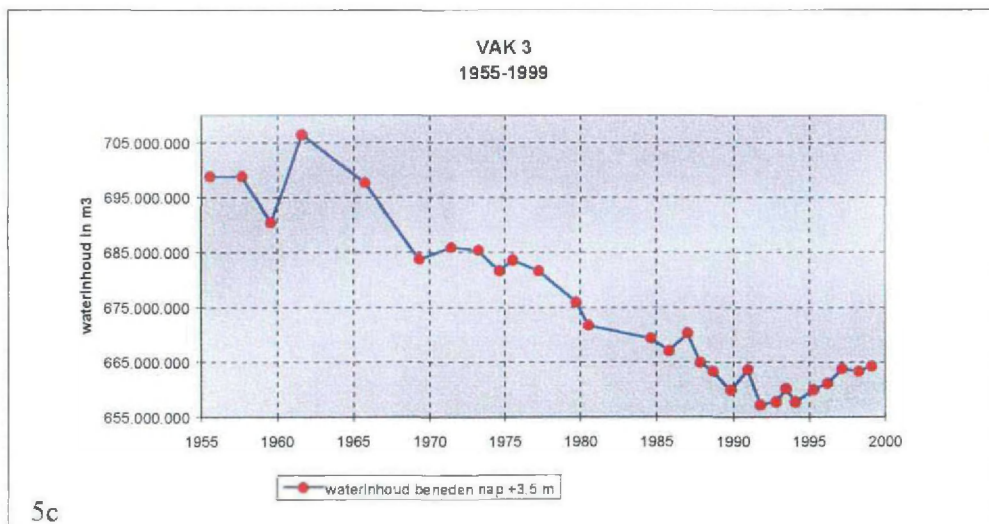
Grafiek 5



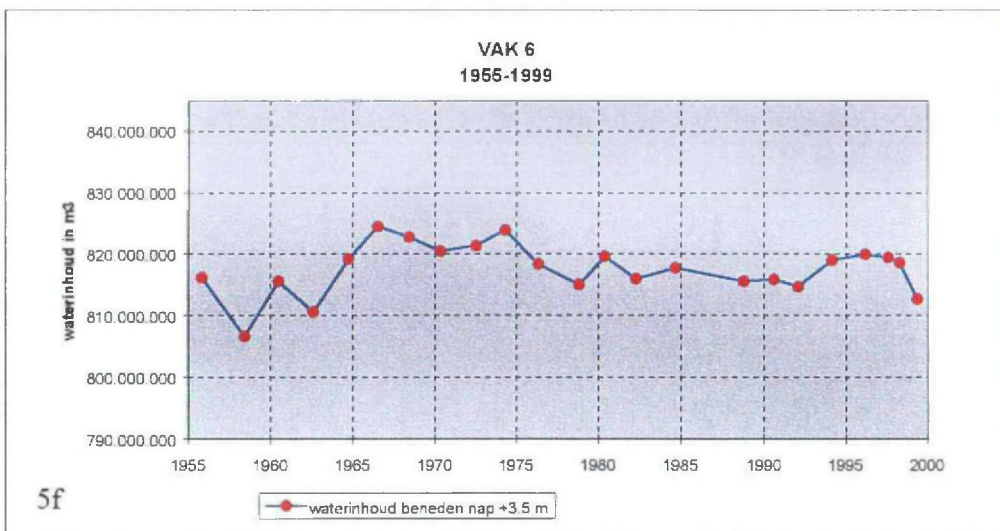
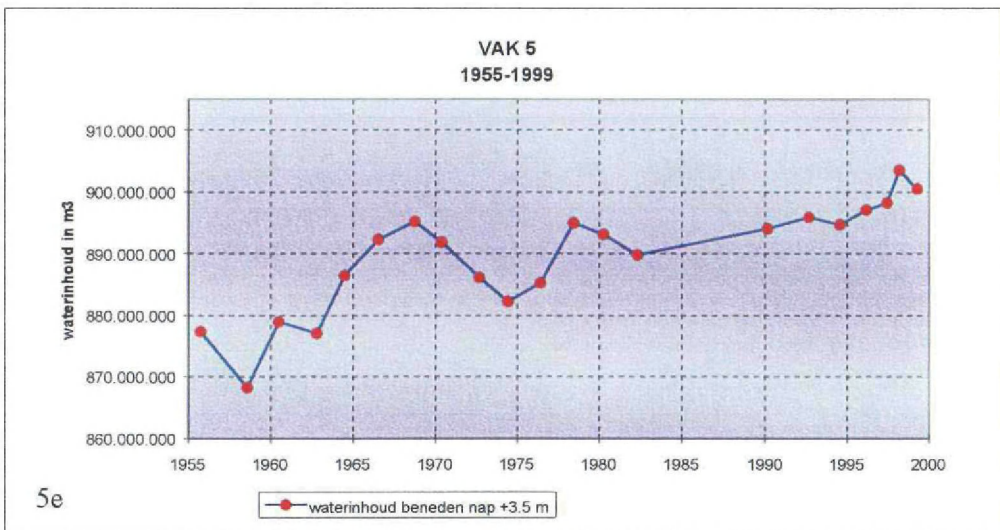
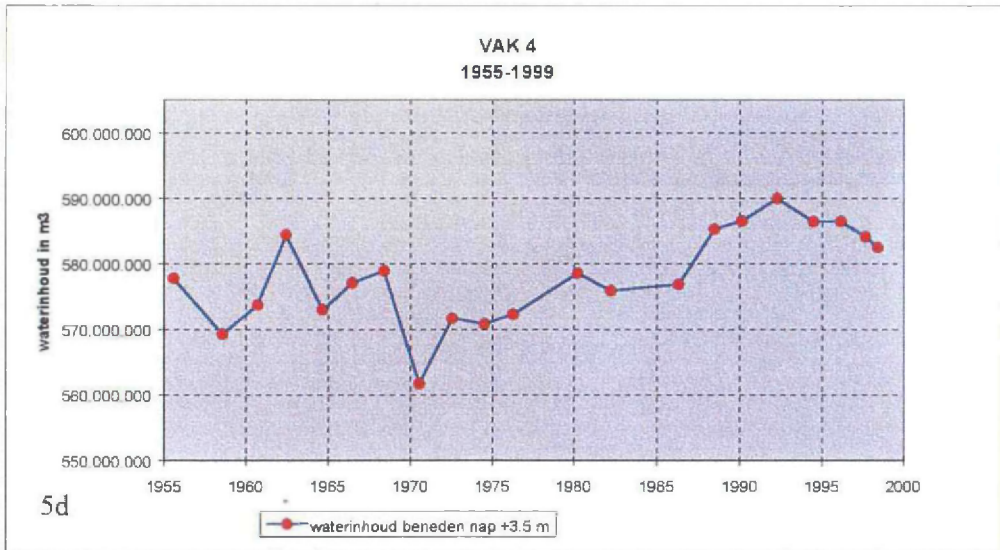
5a

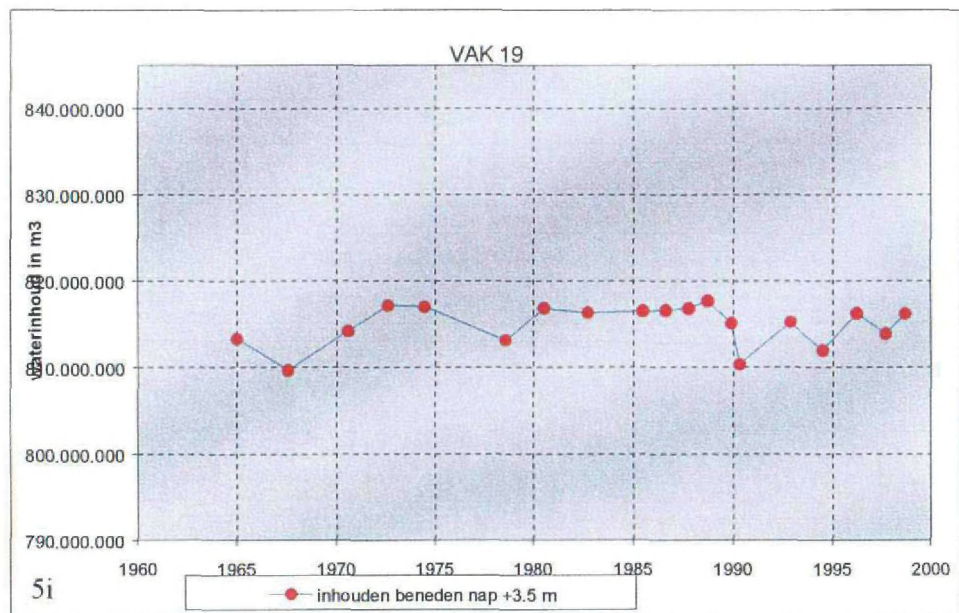
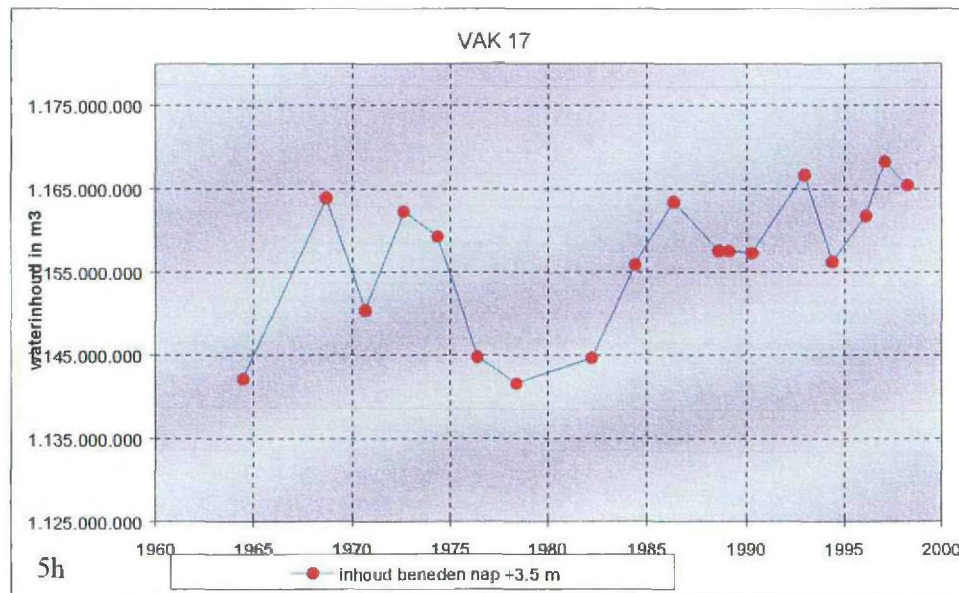
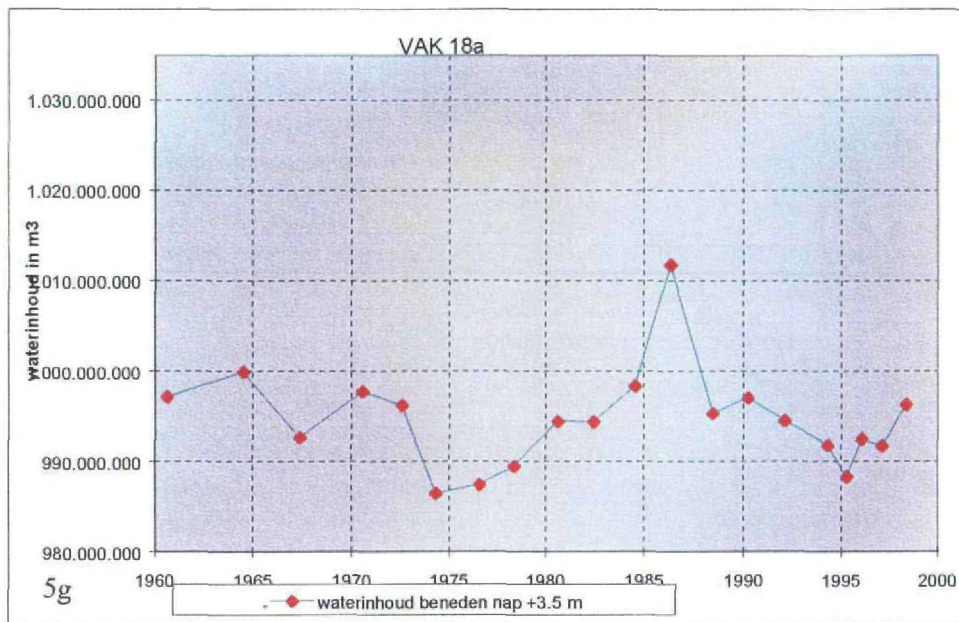


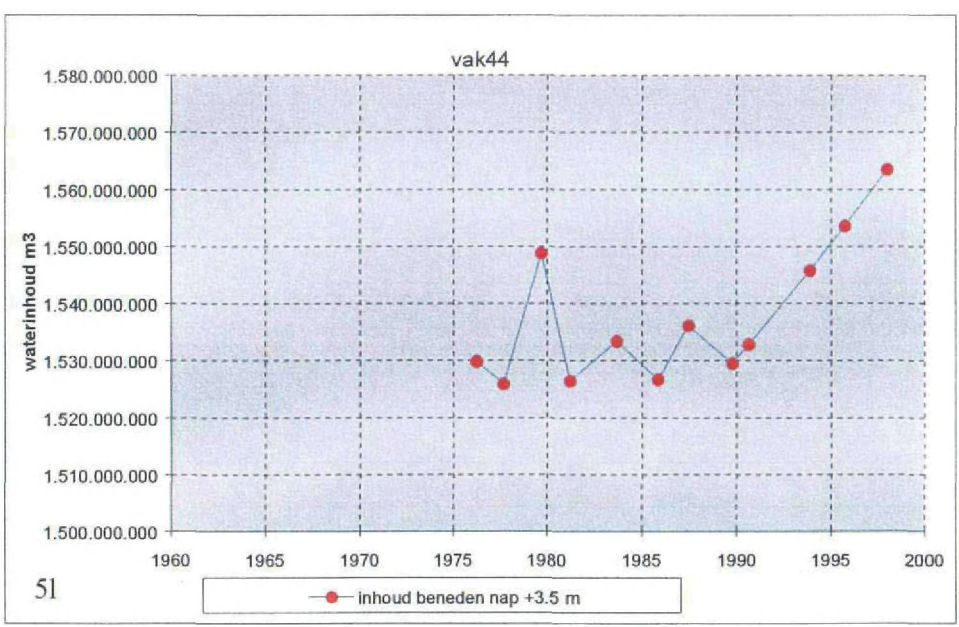
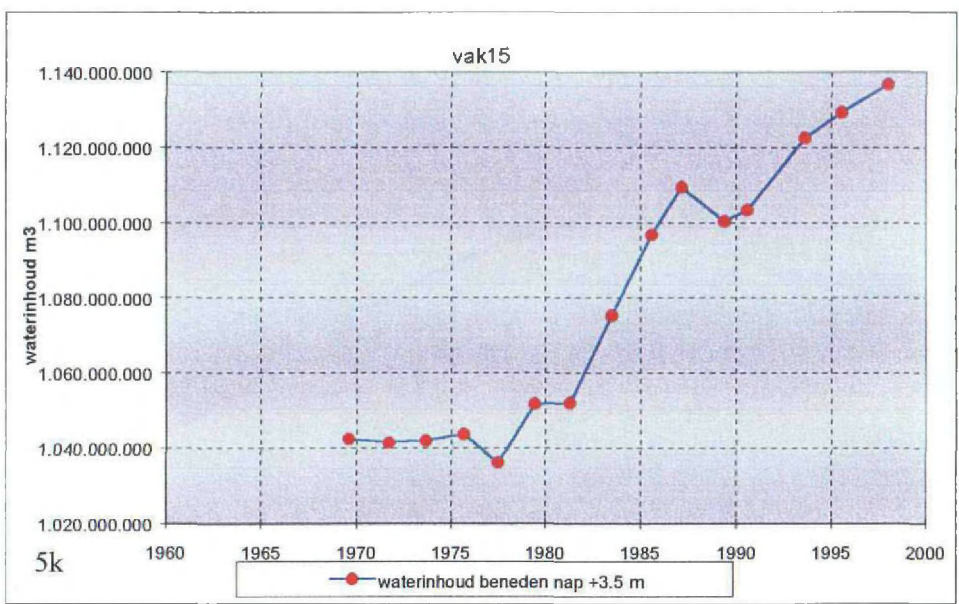
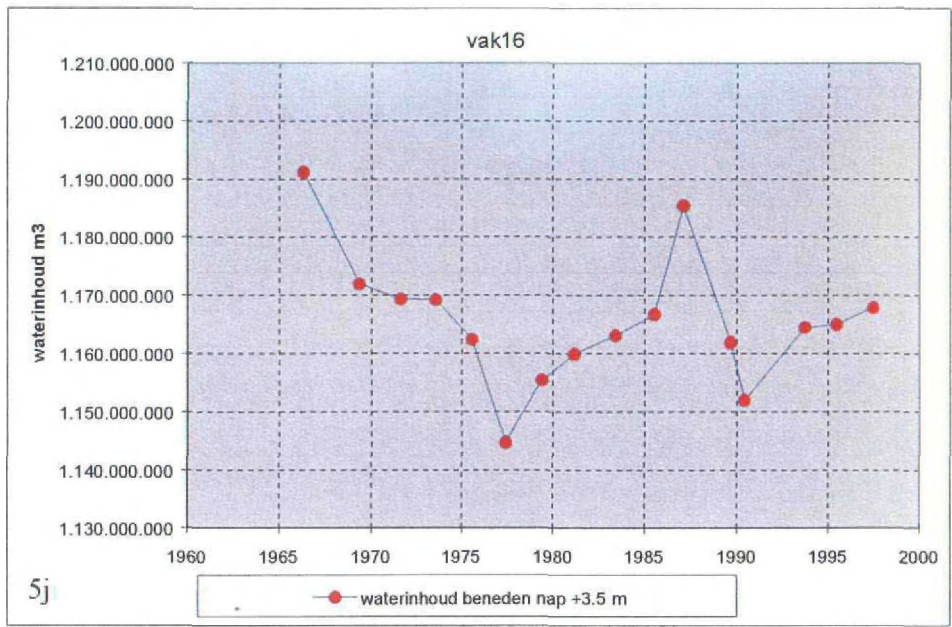
5b

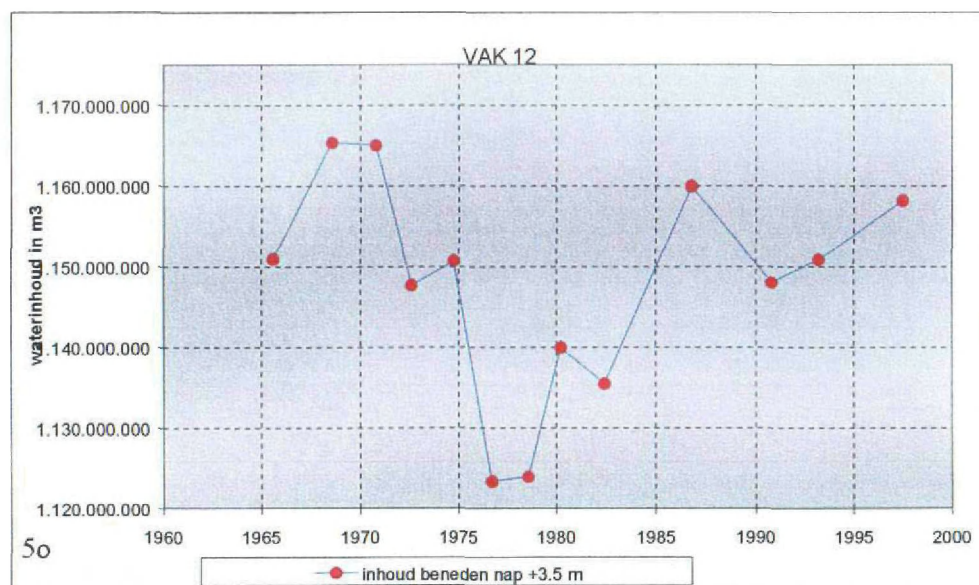
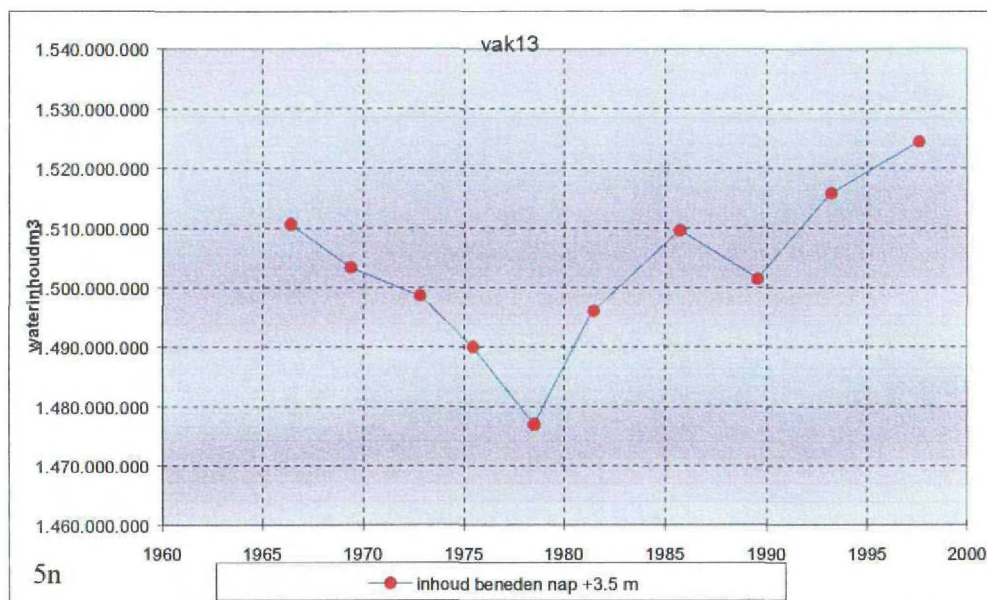
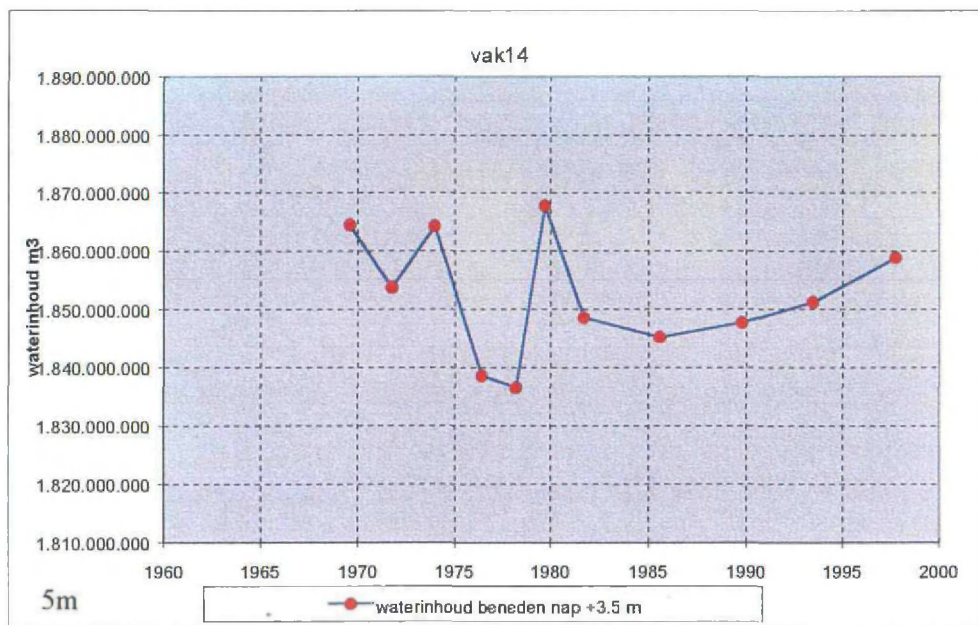


5c







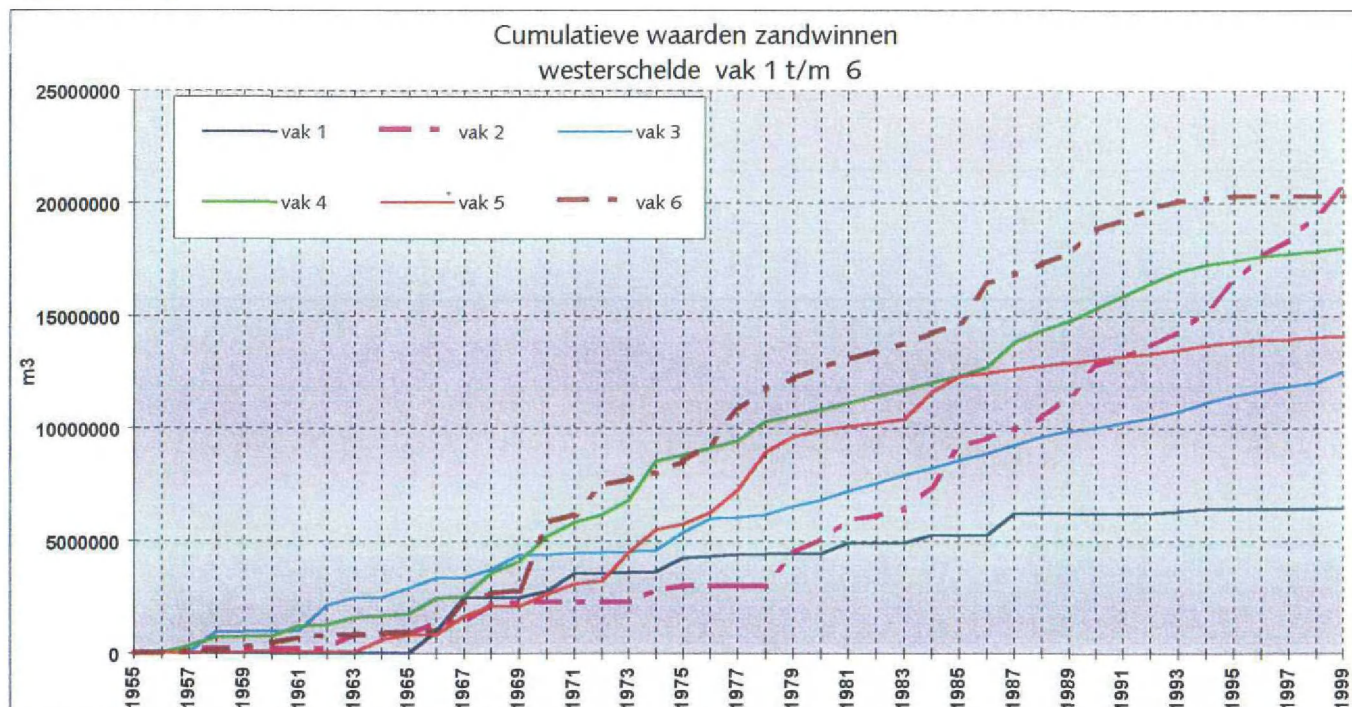


Grafiek 5 a t/m o : Waterinhouden < NAP + 3.5 meter van de Westerschelde en de Monding

3.3 Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen

3.3.1 Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen in de Westerschelde

Zandwinnen



Grafiek 6a: Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Westerschelde Periode 1955-1999

zandwinnen

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
periode 55-99	6,4	20,7	27,1	12,5	18	14,1	20,2	52,3	91,9
periode 55-90	6,2	12,8	19	10	15,3	13,1	18,7	47,1	76,1
periode 90-99	0,2	7,9	8,1	2,5	2,7	1,0	1,5	5,2	15,8

Tabel 8 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. zandwinning in de Westerschelde in Mm3

zandwinnen

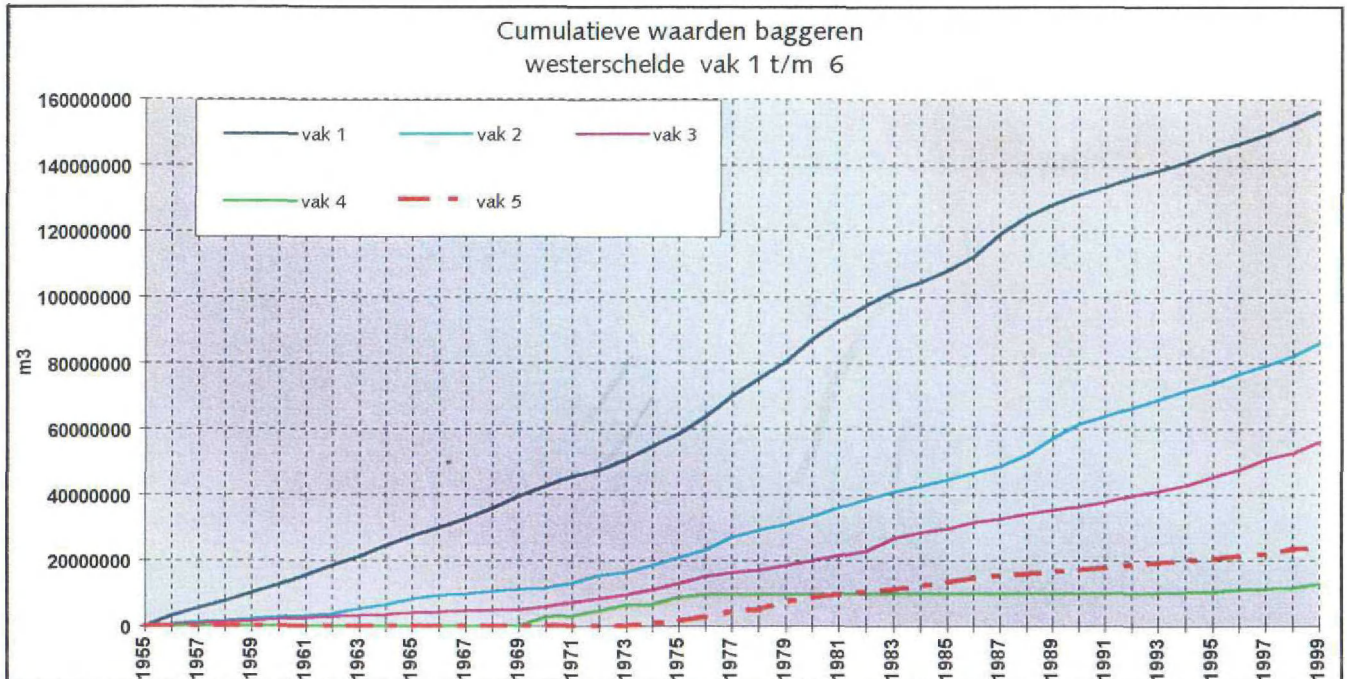
rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
1990	0	0,4	0,4	0,2	0,6	0,1	0,4	1,1	1,7
1991	0	0,5	0,5	0,2	0,6	0,1	0,5	1,2	1,9
1992	0,1	0,6	0,7	0,3	0,5	0,2	0,3	1	2
1993	0,1	0,9	1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,6	2,0
1994	0	1,3	1,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	2,1
1995	0	1,1	1,1	0,2	0,2	0,1	0	0,3	1,6
1996	0	0,7	0,7	0,2	0,1	0	0	0,1	1,0
1997	0	1,1	1,1	0,2	0,1	0,1	0	0,2	1,5
1998	0	1,2	1,2	0,5	0,1	0,1	0	0,2	1,9
totaal	0,2	7,8	8	2,5	2,7	1,1	1,4	5,2	15,7

**Tabel 9 : Veranderingen in waterinhoud tgv. zandwinning in de Westerschelde
Periode '90/99 in Mm3**

ANALYSE inhoudsverandering Westerschelde tgv. zandwinnen

- De waterinhoud is tgv. zandwinning vanaf 1955 toegenomen met ca 92 Mm3(= 2,6 %)
- Tot 1995 is de zandwinning vooral geconcentreerd in het westen.(ca. 60 %)
- Na 1995 is de zandwinning vooral in het oostelijk deel; hoofdzakelijk in rekenvak 2

Baggeren



Grafiek 6b : Cumulatieve waarden van baggeren in de Westerschelde Periode 1955-1999 in Mm3

baggeren

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
periode 55-99	156,2	85,8	242	56,1	12,6	24,2	0	36,7	334,8
periode 55-90	131,0	61,4	192,4	36,3	9,9	16,5	0	27,0	255,8
periode 90-99	25,2	24,4	49,6	19,8	2,7	7	0	9,7	79

Tabel 10 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. baggeren in de Westerschelde in Mm3

baggeren

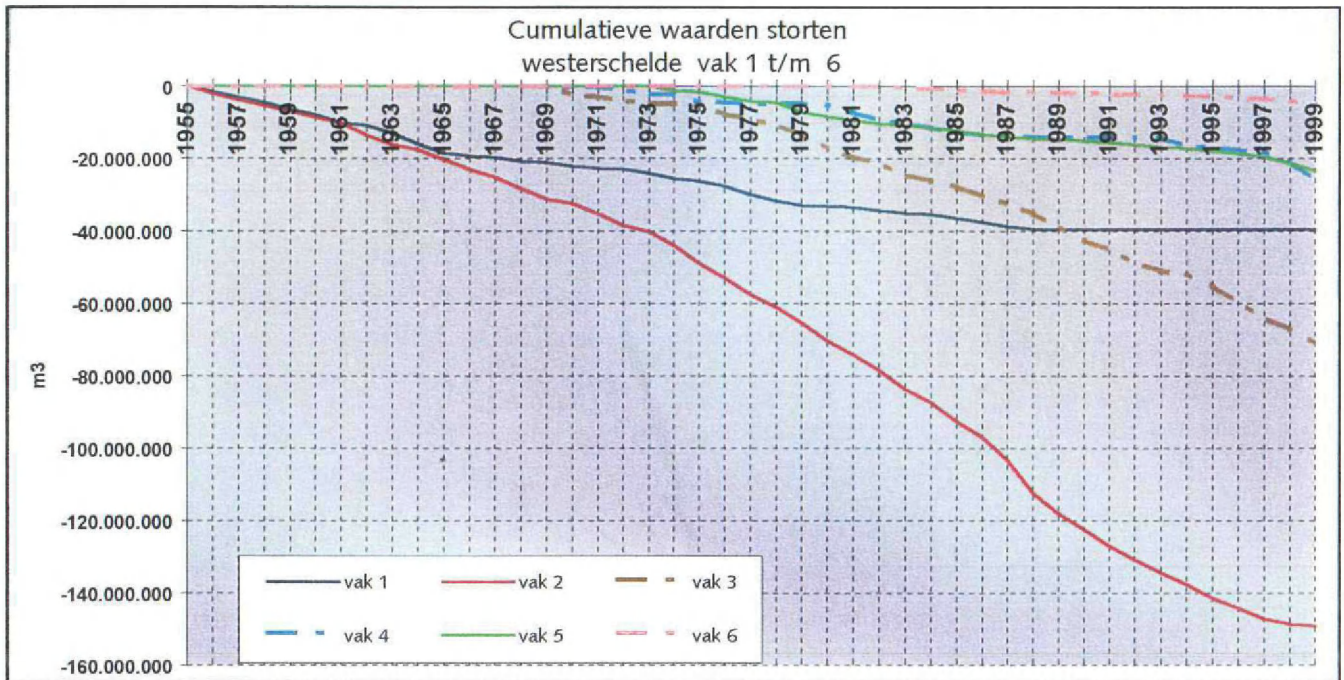
rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
1990	2,2	2,2	4,4	1,4	0	0,7	0	0,7	6,5
1991	2,9	2,6	5,5	1,9	0	0,8	0	0,8	8,2
1992	2,2	2,7	4,9	1,3	0,1	0,6	0	0,7	7
1993	2,6	2,6	5,2	1,7	0,1	0,5	0	0,6	7,6
1994	3,1	2,2	5,3	2,4	0,1	0,6	0	0,7	8,5
1995	2,4	2,8	5,2	2,5	0,7	0,9	0	1,6	9,2
1996	2,9	2,6	5,5	3	0,1	0,6	0	0,7	9,2
1997	3,3	3	6,3	2	0,4	1,4	0	1,8	10,2
1998	3,7	3,7	7,4	3,4	1,1	0,7	0	1,8	12,6
totaal	25,2	24,4	49,6	19,8	2,6	6,8	0	9,4	79

**Tabel 11 : Veranderingen in waterinhoud tgv. baggeren in de Westerschelde
Periode 1990-1999 in Mm3**

ANALYSE inhoudsverandering Westerschelde tgv. baggeren

- De waterinhoud is tgv. baggeren vanaf 1955 toegenomen met ca. 335 Mm3 (= 9,4 %)
- Het merendeel (72%) is gebaggerd in het oostelijk deel en met name in rekenvak 1(46%)
- De jaarlijkse baggerhoeveelheden zijn tussen 1990 en 1999 opgelopen van ca. 7 Mm3 tot 12,5 Mm3. Vanaf 1997 is tgv. de verdieping 48/43" de baggerinspanning 10-12 Mm3 per jaar (profielkuubs).

Storten



Grafiek 6c : Cumulatieve waarden van storten in de Westerschelde Periode 1955-1999 in Mm³

storten

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
periode 55-99	-39,7	-149,2	-188,9	-71,3	-26	-23,5	-5,0	-54,5	-314,7
periode 55-90	-39,7	-122,4	-162,1	-42,7	-14,2	-15,2	-1,9	-31,3	-236,1
periode 90-99	0	-26,8	-26,8	-28,6	-11,8	-8,3	-3,1	-23,2	-78,6

Tabel 12 : Cumulatieve veranderingen van waterinhoud tgv. storten in de Westerschelde in Mm³

storten

rekenvak	1	2	oost (1+2)	midden (3)	4	5	6	west (4+5+6)	totaal westerschelde (1 t/m 6)
1990	0	-4,6	-4,6	-2,4	0	-0,5	-0,2	-0,7	-7,7
1991	0	-3,7	-3,7	-3,7	0	-0,6	-0,2	-0,8	-8,2
1992	0	-3,9	-3,9	-2,2	-0,1	-0,6	-0,2	-0,9	-7
1993	0	-3,1	-3,1	-0,8	-2,5	-0,4	-0,2	-3,1	-7
1994	0	-3,9	-3,9	-3,5	-0,2	-0,6	-0,2	-1	-8,4
1995	0	-2,6	-2,6	-4,4	-0,8	-0,8	-0,3	-1,9	-8,9
1996	0	-3,0	-3,0	-4,4	-0,3	-0,8	-0,3	-1,4	-8,8
1997	0	-1,4	-1,4	-3,1	-3	-1,8	-0,6	-5,4	-9,9
1998	0	-0,5	-0,5	-4,0	-5	-2,2	-0,9	-8,1	-12,6
totaal	0	-26,7	-26,7	-28,5	-11,9	-8,3	-3,1	-23,3	-78,5

**Tabel 13 : Veranderingen in waterinhoud tgv. storten in de Westerschelde
Periode 1990-1999 in Mm3**

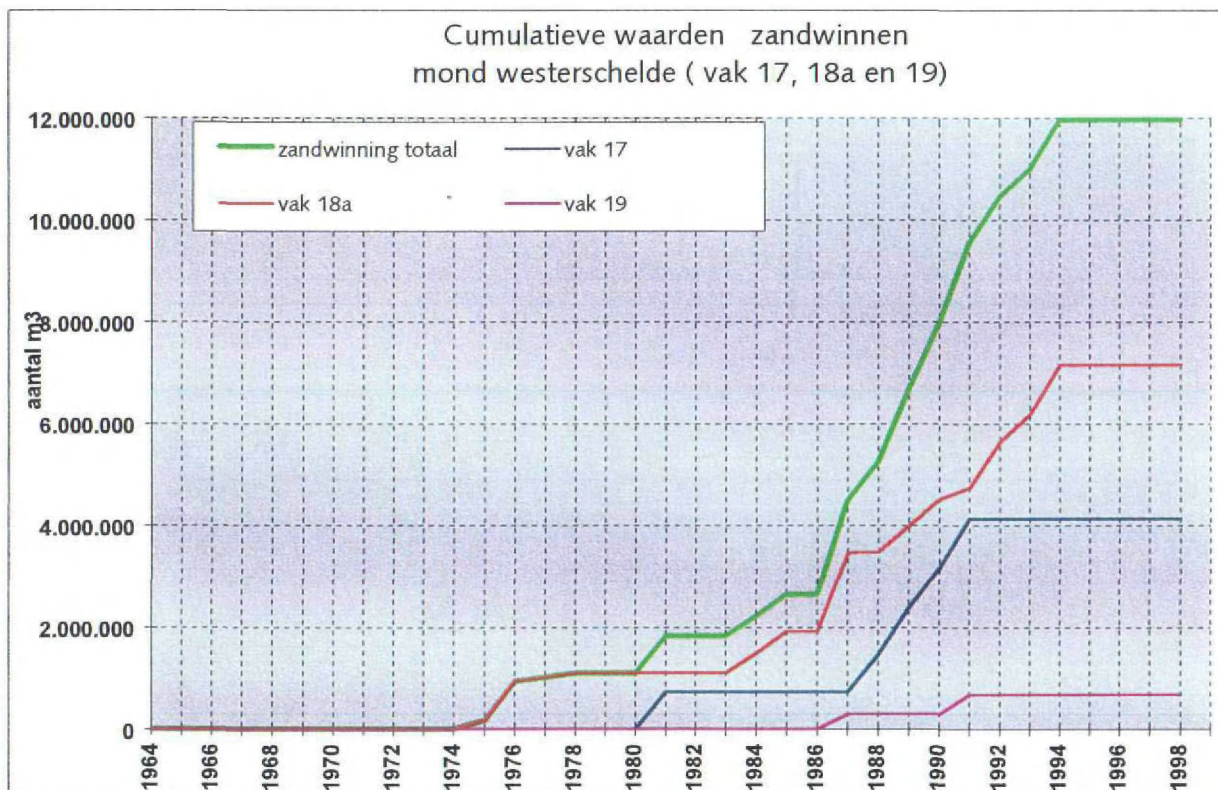
ANALYSE resultaat inhoudsverandering Westerschelde tgv. storten

- De waterinhoud is tgv. storten vanaf 1955 afgenomen met ca 315 Mm3 (= 8,9 %)
- De stortingen waren vooral in het oostelijk deel(60%) en hoofdzakelijk in rekenvak 2(47%)
- Sinds 1990 is de storthoeveelheid opgelopen van ca. 7 Mm3 tot 12,5 M3
- De storthoeveelheden komen vanaf 1990 nagenoeg overeen met de baggerhoeveelheden
- Vanaf 1955 is er ca 20 Mm3 minder gestort dan gebaggerd; deze hoeveelheden zijn extra afgevoerd tussen 1970 en 1980

3.3.2 Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen in de Monding

De ingrepen in de monding zijn alleen zandwinning. In de volgende grafiek en tabellen zijn de analysesresultaten weergegeven.

Zandwinnen



Grafiek 7 : Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Monding Periode 1964-1998

zandwinnen

rekenvak	17	18a	19	totaal monding (17 t/m '19)
periode 64-98	4,1	7,2	0,7	12
periode 70-98	4,1	7,2	0,7	12
periode 90-98	1	2,6	0,4	4

Tabel 14 : Cumulatieve verandering van waterinhoud tgv. zandwinning in de mond van de Westerschelde in Mm3 Periode 1964-1998

zandwinnen

rekenvak	17	18a	19	totaal monding (17 t/m 19)
1990	1	0,2	0,4	1,6
1991	0	0,9	0	0,9
1992	0	0,5	0	0,5
1993	0	1	0	1
1994	0		0	
1995	0		0	
1996	0		0	
1997	0		0	
totaal	1	2,6	0,4	4

**Tabel 15 : Verandering in waterinhoud tgv. zandwinning in de mond van de Westerschelde
Periode 1990-1998 in Mm3**

ANALYSE inhoudsverandering Monding tgv. zandwinnen

- De waterinhoud is tgv. zandwinnen vanaf 1964 toegenomen met 12 Mm3 (= 0,05 %)
- Zandwinning is gestart na 1970
- In het vak 18a is het meeste zand gewonnen (= 65%).

3.4 Zandbalans

3.4.1 Algemeen

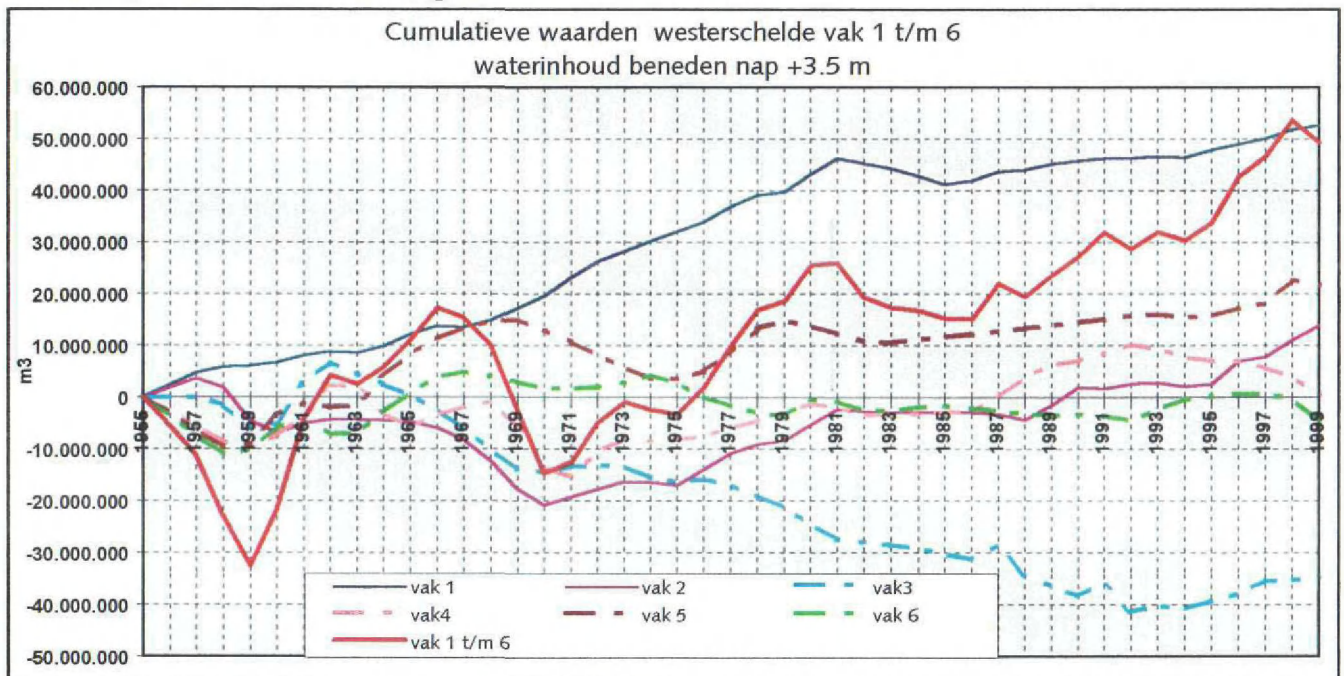
Na berekening van de inhoudsveranderingen kan voor de Westerschelde en de Monding een zandbalans worden opgesteld. De formule hiervoor is:

totale inhoudsverandering = (inhoudsverandering tgv. ingrepen) + export (zie intermezzo)

Onder inhoudsverandering wordt hier verstaan: de waterinhoudsverandering. Per systeem en per rekenvak kan dan met deze formule de zand-export bepaald worden. Een negatieve export betekent dus een import van zand in een watersysteem of rekenvak. Ook is het mogelijk voor een watersysteem een zandtransportvenster samen te stellen voor bepaalde periodes. In de volgende paragrafen worden de analyse resultaten weergegeven van de zandbalans van de Westerschelde en de Monding

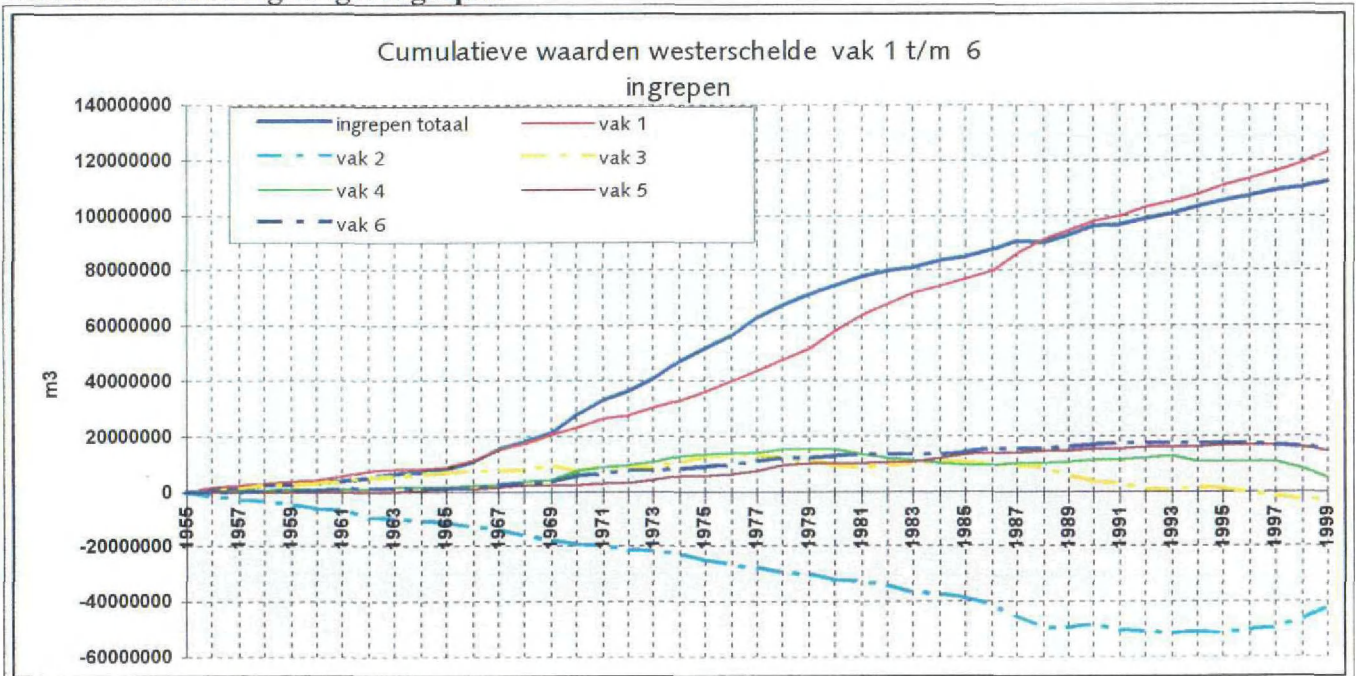
3.4.2 Zandbalans Westerschelde

Totale waterinhoudsveranderingen



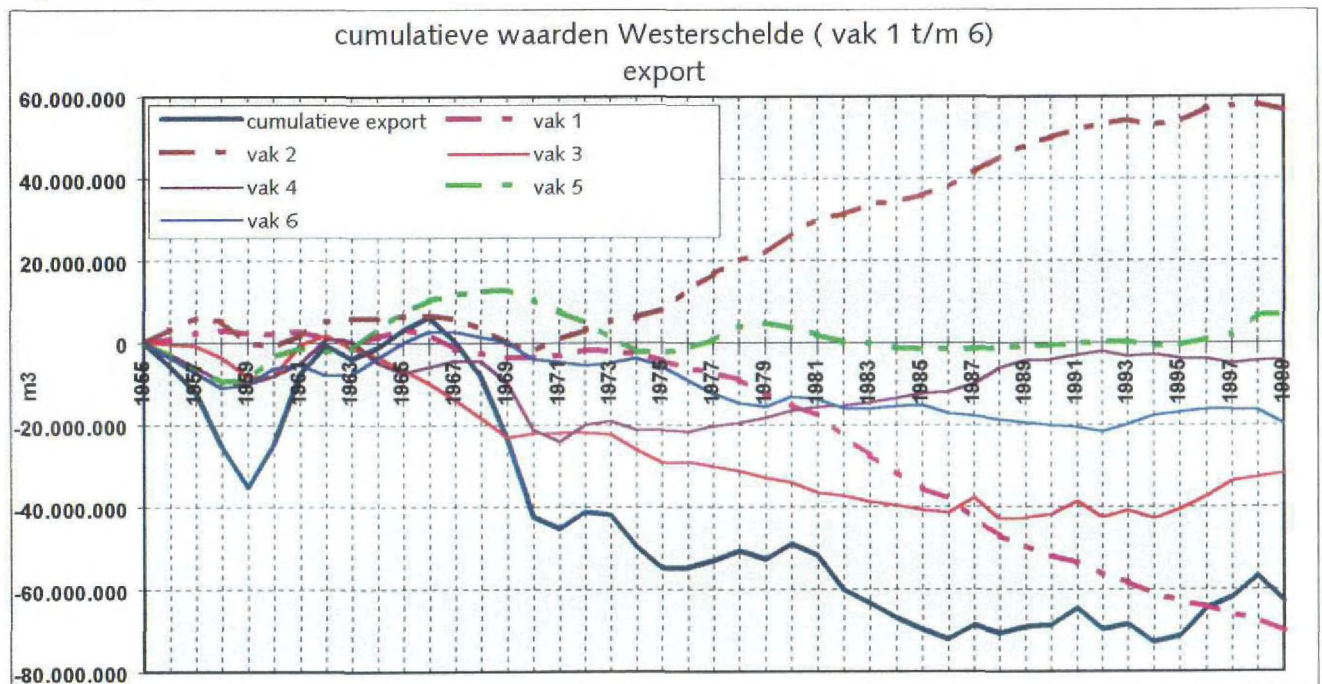
Grafiek 8a : Totale inhoudsverandering in de Westerschelde. Periode 1955-1999

Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen



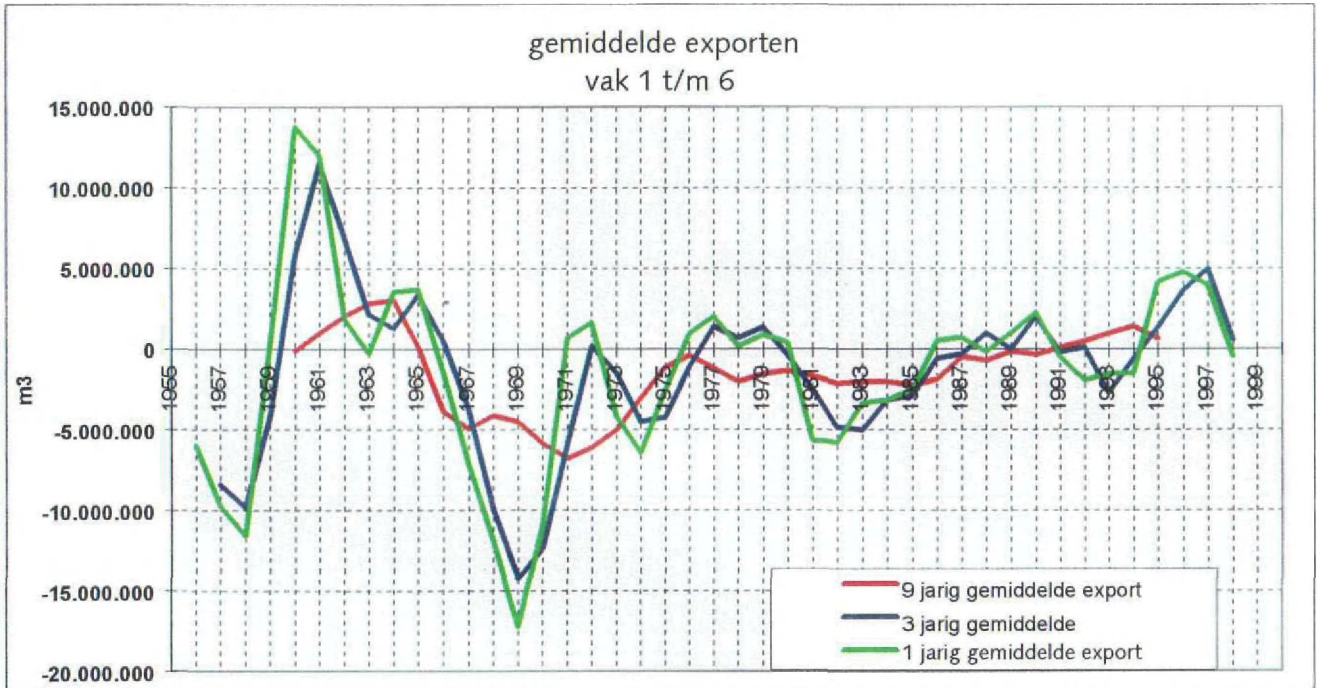
Grafiek 8b : Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen in de Westerschelde Periode 1955-1999

Export/Import



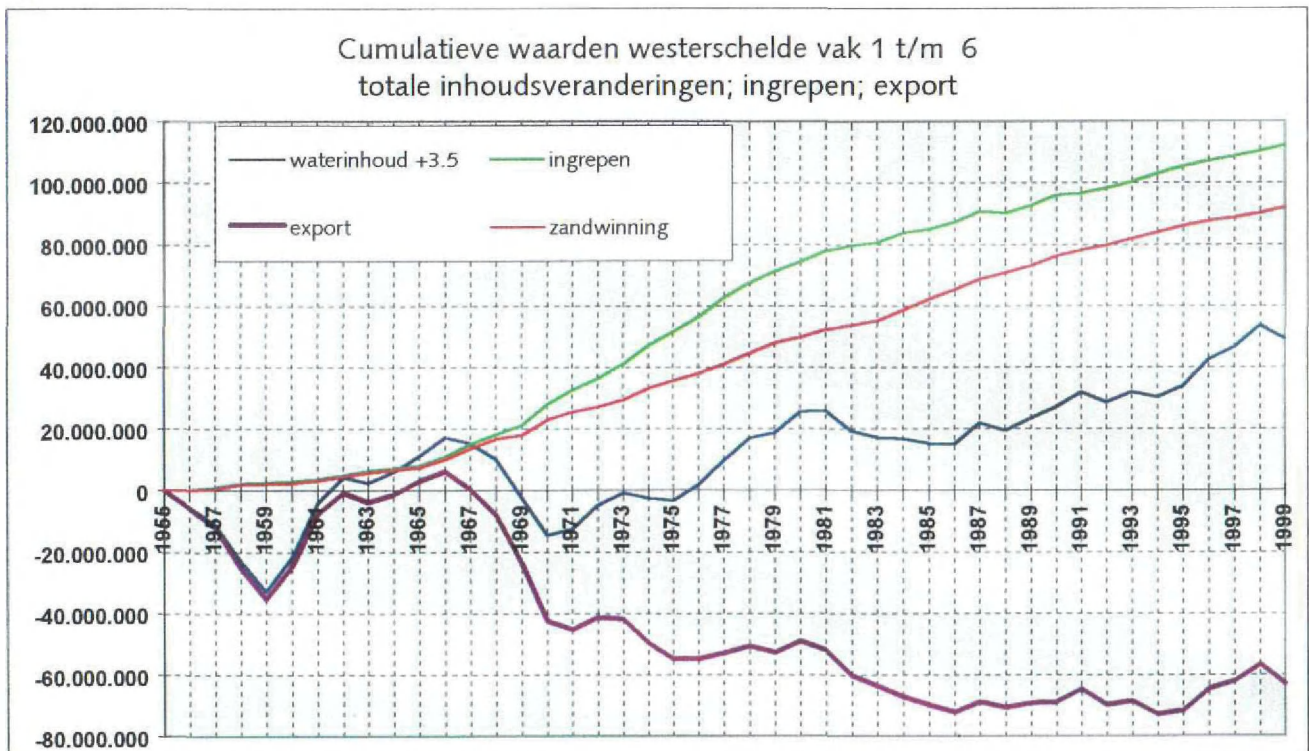
Grafiek 8c : Veranderingen export en import in de Westerschelde Periode 1955-1999

Gemiddelde exporten



Grafiek 8d : Gemiddelde export in de Westerschelde Periode 1955 -1999

zandbalans



Grafiek 8e : Zandbalans Westerschelde . Periode 1955-1999

Inhoudsveranderingen

rekenvak	1	2	3	4	5	6	totaal inhoudsverandering
1990	0,5	-0,2	2,4	1,5	0,7	-0,3	4,6
1991	0	0,8	-5,5	1,6	0,7	-0,8	-3,2
1992	0,3	0,3	1,2	-0,8	0,2	2	3,2
1993	-0,1	-0,7	-0,6	-1,6	-0,6	2	-1,6
1994	1,4	0,4	1,5	-0,8	0,3	0,6	3,4
1995	1,1	4,4	1,4	0	1,5	0,5	8,9
1996	1,1	0,9	2,4	-1,3	1	-0,3	3,8
1997	1,8	3,2	0,1	-1,7	4,5	-0,7	7,2
1998	0,8	2,9	0,8	-3,5	-1	-4,4	-4,3
totaal	6,9	12	3,7	-6,6	7,3	-1,4	22

Tabel 16 : Totalen inhoudsverandering (< +3.5 m) in de Westerschelde in Mm3 periode 1990-1999

Opmerking: Door afrondingen kunnen verschillen optreden tussen totalen in verschillende tabellen

Ingrepen

rekenvak	1	2	3	4	5	6	totaal ingrepen
1990	2,2	-2,0	-0,8	0,5	0,3	0,2	0,4
1991	2,9	-0,7	-1,5	0,6	0,3	0,2	1,8
1992	2,3	-0,6	-0,6	0,5	0,3	0,1	2
1993	2,7	0,5	1,4	-2,1	0,3	0	2,8
1994	3,1	-0,4	-0,7	0,2	0,2	-0,1	2,3
1995	2,4	1,3	-1,7	0	0,2	-0,3	1,9
1996	2,9	0,3	-1,2	0	-0,2	-0,3	1,5
1997	3,3	2,7	-0,9	-2,4	-0,3	-0,6	1,8
1998	3,7	4,5	-0,1	-3,8	-1,4	-0,9	2
totaal	25,5	5,6	-6,1	-6,5	-0,3	-1,7	16,5

Tabel 17 : Totalen ingrepen in de Westerschelde in Mm3 in de periode 1990-1999

Export

rekenvak	1	2	3	4	5	6	totaal export
1990	-1,6	1,8	3,2	1	0,4	-0,5	4,3
1991	-2,9	1,4	-4,0	1	0,4	-1,1	-5,2
1992	-1,9	0,8	1,8	-1,3	0	1,8	1,2
1993	-2,8	-1,1	-2	0,5	-0,9	2,1	-4,2
1994	-1,7	0,8	2,3	-0,9	0,1	0,8	1,4
1995	-1,3	3,1	3,1	-0,1	1,2	0,8	6,8
1996	-1,8	0,7	3,6	-1,2	1,2	0,1	2,6
1997	-1,5	0,5	1,0	0,7	4,8	-0,1	5,4
1998	-2,8	-1,6	0,9	0,3	0,4	-3,5	-6,3
totaal	-18,3	6,4	9,9	0	7,6	0,4	6

Tabel 18: Totalen export in de Westerschelde in Mm3 in de periode 1990-1999 in Mm3

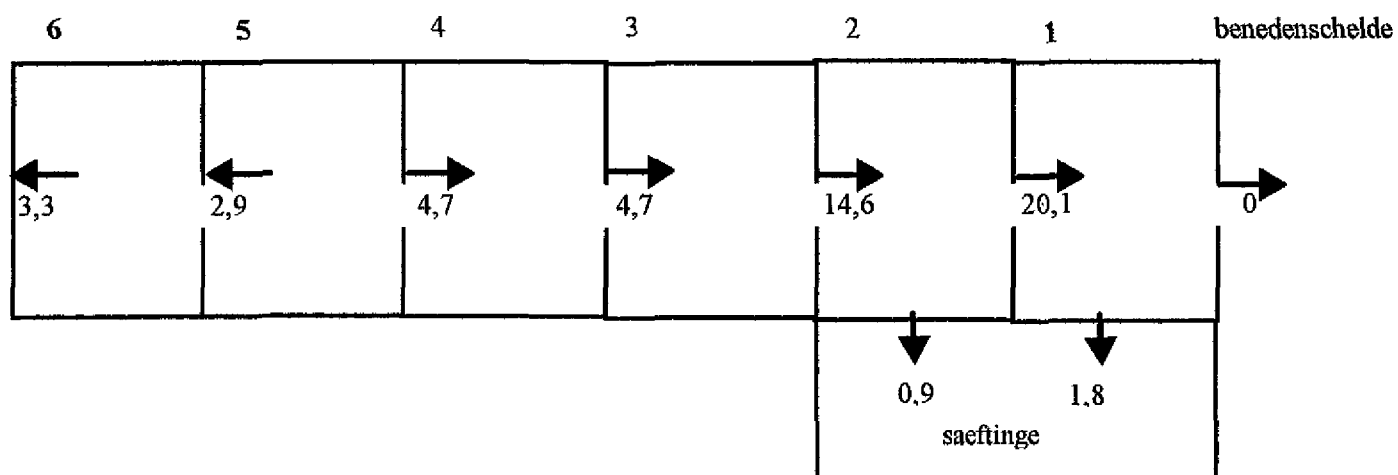
Zandbalans Westerschelde

Totalen	inhoudsverandering beneden nap +3.5m.	ingrepen	export negatief = import
periode 55-99	49,2	112,2	-63
periode 70-99	63,9	84,3	-20,5
periode 80-85	-10,2	10,7	-20,9
periode 85-90	12	11	1,0
periode 90-99	22,0	16,3	5,8

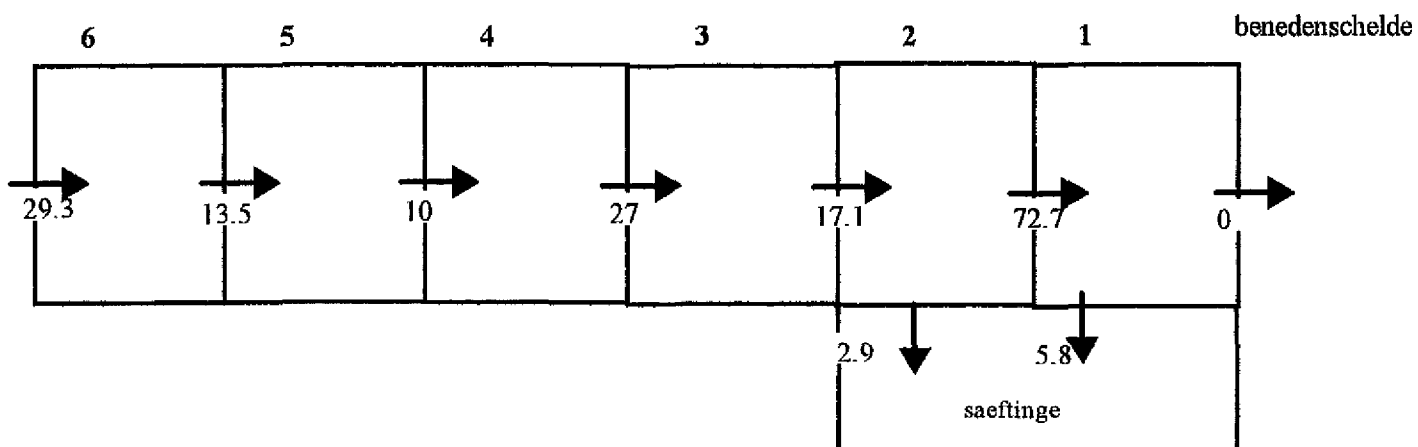
Tabel 19 : Cumulatieve waarden van export, ingrepen en inhoudsveranderingen in de Westerschelde in Mm3

Zandtransporten in de Westerschelde

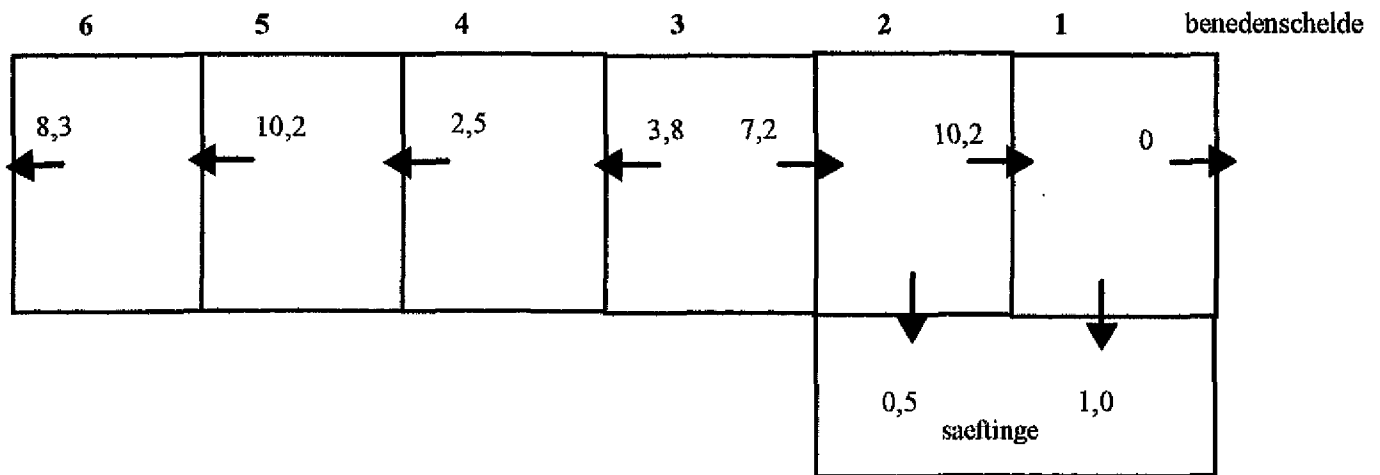
Figuur 3a : Zandtransport in de periode 1990- 1999 per rekenvak en in Mm3



Figuur 3b : Zandtransport in de periode 1970- 1999 per rekenvak en in Mm3



Figuur 3c : Zandtransport in de periode 1994- 1999 per rekenvak en in Mm3



Figuur 3 a t/m c : Schema's van zandtransporten van de Westerschelde per rekenvak en voor de perioden 1990-'99; 1970-'99 en 1994-'99

Opmerkingen bij de figuren 3a t/m 3c:

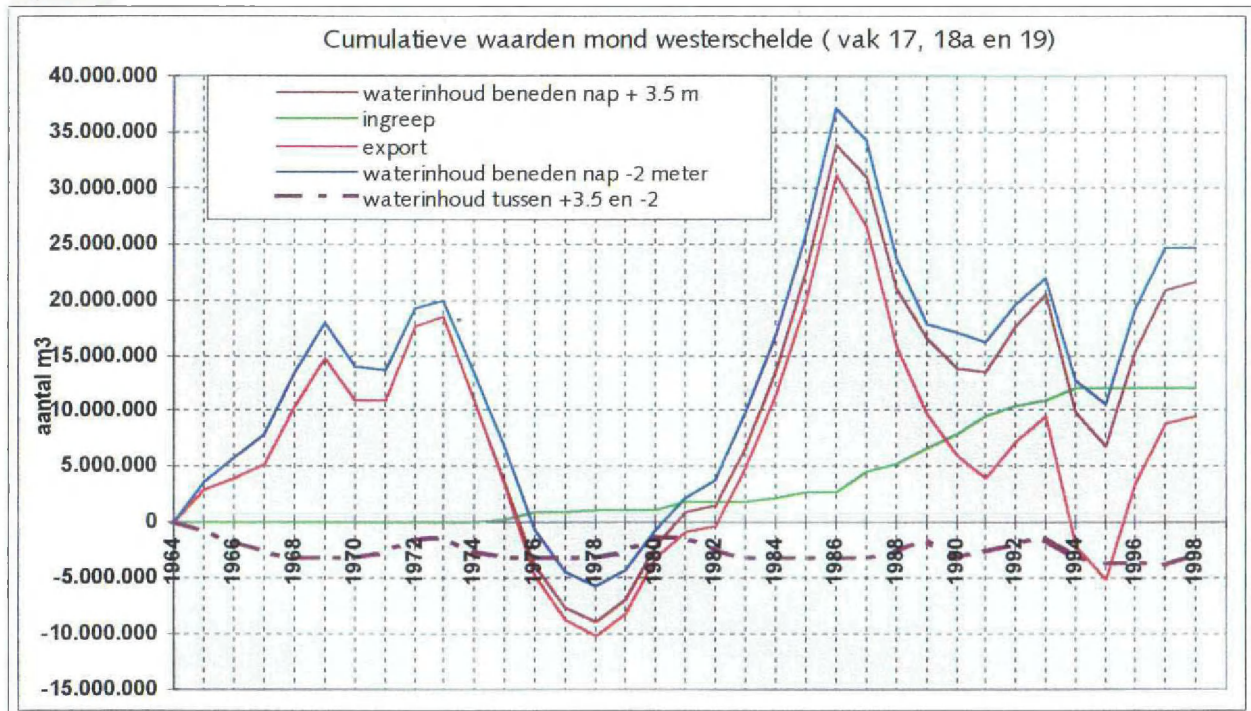
- Het zandtransport naar de Benedenschelde is nul. Dit is een aanname nav onderzoek door van de Male (lit. 7)
- Het jaarlijkse zandtransport naar het Land van Saeftinge bedraagt 0,3 Mm3, waarvan 0,2 Mm3 uit vak1 en 0,1 Mm3 uit vak 2. Dit is een aanname gebaseerd op onderzoek door Huijs/Israel (lit. 8)

ANALYSE resultaten tav. de zandbalans voor de Westerschelde:

- Vanaf 1955 bedraagt de zandimport van de Westerschelde 63 Mm3. (1,8 %)
Totaal is er echter door ingrepen ruim 112 Mm3 zand uit de Westerschelde verdwenen. Netto resultaat: een verruiming van de Westerschelde sinds 1955 van ca. 49 Mm3
- Vanaf 1990 tot 1999 is de Westerschelde exporterend; totaal 6 Mm3. Hierbij wordt aangenomen dat er in die periode 2, 7 Mm3 geexporteerd is naar het Land van Saeftinge en 3,3 Mm3 naar de Monding.
- In 1998 is de export negatie: er wordt weer zand geïmporteerd in de Westerschelde . Hier kan nog geen duidelijke oorzaak voor aangegeven worden.

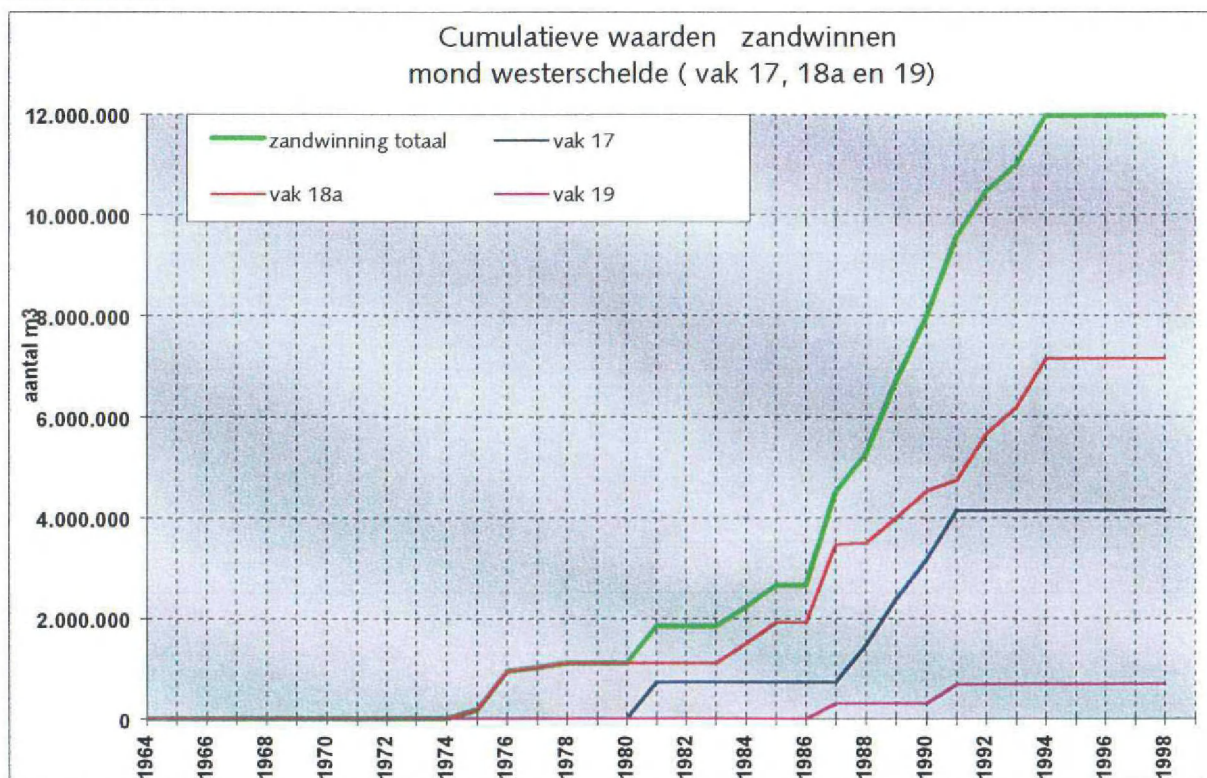
3.4.3 Zandbalans van de Monding

Totalen



Grafiek 9: Cumulatieve waarden van waterinhoud , export en ingrepen in de Monding van de Westerschelde

Zandwinnen



Grafiek 10 : Cumulatieve waarden van zandwinnen in de Monding van de Westerschelde

Zandbalans monding

Totalen	inhoudsverandering beneden nap +3.5m.	ingrepen	export negatief = import
periode 64-98	21,6	12	9,6
periode 64-90	13,9	8	5,9
periode 90-98	7,7	4	3,7

Tabel 20 : Cumulatieve waarden van export, ingrepen en inhoudsveranderingen in de monding van de Westerschelde in Mm3

Export

rekenvak	17	18a	19	totaal export mond
1990	1,5	-1,1	-2,4	-2
1991	3,5	-2,2	1,9	3,2
1992	2,8	-1,8	1,3	2,3
1993	-7,4	-2,2	-2	-11,6
1994	-0,5	-2,8	0,3	-3
1995	3,2	2,8	2,5	8,5
1996	6,6	-0,3	-0,8	5,5
1997	-2,1	3,2	-0,3	0,8
totaal	7,6	-4,4	0,5	3,7

Tabel 21 : Export in de monding van de Westerschelde in Mm3 in de periode 1990-1999

Opmerking: Door afrondingen kunnen verschillen optreden tussen totalen in verschillende tabellen

Inhoudsveranderingen

rekenvak	17	18a	19	totaal inhoudsverandering beneden nap +3.5 m mond
1990	2,5	-0,9	-2	-0,4
1991	3,5	-1,3	1,9	4,1
1992	2,8	-1,2	1,3	2,9
1993	-7,4	-1,2	-2	-10,6
1994	-0,5	-2,8	0,3	-3
1995	3,2	2,8	2,5	8,5
1996	6,6	-0,3	-0,8	5,5
1997	-2,1	3,2	-0,3	0,8
totaal	8,6	-1,7	0,8	7,7

Tabel 22 : Inhoudsveranderingen beneden nap +3.5 m in de mond van de Westerschelde in Mm3 in de periode 1990 - 1999

Zandwinnen

rekenvak	17	18a	19	totaal ingrepen (zandwinnen) mond
1990	1	0,3	0,4	1,7
1991	0	0,9	0	0,9
1992	0	0,5	0	0,5
1993	0	1	0	1
1994	0	0	0	0
1995	0	0	0	0
1996	0	0	0	0
1997	0	0	0	0
totaal	1	2,7	0,4	4,1

Tabel 23 : Ingrepen in de monding van de Westerschelde in Mm3 in de periode 1990-1999

ANALYSE tav. zandbalans van de Monding van de Westerschelde

- Vanaf 1964 tot 1998 is de mond van de Westerschelde exporterend: De monding verruimd met 9,6 Mm3
- Export en import wisselen in de periode 1964-1998 sterk af.

3.5 Samenvatting resultaten

3.5.1. WESTERSCHELDE Periode 1955 - 1999

1. Totale inhoudsveranderingen

Totale Westerschelde

De waterinhoud in de Westerschelde is toegenomen met 49 Mm³

In het oostelijk deel is de inhoud toegenomen met 66,4 Mm³

In het middendeel is de inhoud afgenomen met 34,7 Mm³

In het westelijk deel is de inhoud toegenomen met 17,3 Mm³

Geulen

De geulinhouden zijn vanaf 1955 toegenomen met 87 Mm³ (4%).

Er zijn perioden te onderscheiden met sterke toename tot lichte afname

In het oostelijk deel is de toename het sterkst geweest (78,2 Mm³). Die is voornamelijk opgetreden in rekenvak 1. In het middendeel is de geulinhoud tot 1990 afgenomen met 24,5 Mm³ (6%). Daarna weer toename. Dit lijkt op een trendbreuk.

In het westelijk deel is de geulinhoud toegenomen met 27,5 Mm³ (1,9%). Dit is in hoofdzaak opgetreden in rekenvak 5

Plaat/slik /schor

De zandinhouden zijn toegenomen met 38 Mm³ (30,2%). Ook hier zijn perioden te onderscheiden met sterke toename en lichte afname.

In het oostelijk deel is de zandinhoud toegenomen met 11,8 Mm³ (30,3%). De grootste toename treedt op in rekenvak 2. De zandtoename in rekenvak 1 treedt pas op na 1983.

In het middendeel is de zandinhoud toegenomen met 16 Mm³ (77%). De grootste toename trad op tussen 1955 en 1969.

In het westelijk deel is de zandinhoud gering: 10,2 Mm³ (1,9%). Deze is vooral in de vakken 5 en 6 opgetreden.

2. Inhoudsveranderingen tgv. ingrepen

Door zandwinning is de waterinhoud toegenomen met 92 Mm³ (2,6%). Tot 1995 vooral in het westelijk deel; daarna in het oostelijk deel.

Door baggeren is de waterinhoud toegenomen met 335 Mm³ (9,4%). Dit was vooral in het oostelijk deel (72%) en met name in rekenvak 1.

Door storten is de waterinhoud afgenomen met 315 Mm³ (8,9%). Ook hier zijn deze vooral in het oostelijk deel (47%) en met name in rekenvak 2.

De totale toename van de waterinhoud tgv. ingrepen bedraagt 112 Mm³

3. Export/import

Vanaf 1955 bedraagt de zandimport 63 Mm³ (1,8%).

Vanaf 1990 tot 1999 is de Westerschelde exporterend: totaal 6 Mm³

Vanaf 1998 is er weer import

De import naar het Land van Saeflinge wordt aangehouden op 0,3 Mm³ per jaar.

De export over de oostelijke grens met België wordt op nul aangehouden

3. 5. 2 Monding Periode 1964 - 1998

1. Totale inhoudsveranderingen

Totale monding (17,18a , 19)

De waterinhoud is toegenomen met 21,6 Mm³

Totale monding inclusief vakken 12 t/m 16 + 44

In de periode 1989 tot 1997 is de waterinhoud toegenomen met 122 Mm³

Geulen

De geulinhoud is toegenomen met 24,6 Mm³ (1,4 %)

Er zijn grote fluctuaties geweest in toe- en afname van de inhoud. In rekenvak 19 zijn deze gering.

Plaat/slik/schor

De zandinhoud is toegenomen met ca 3 Mm³

2. Inhoudsverandering tgv. ingrepen(zandwinnen) in monding

De waterinhoud is toegenomen met 12 Mm³ (0,05 %). Het meeste zand is gewonnen in rekenvak 18a.

3. Export/import

Vanaf 1964 bedraagt de zandexport 9,6 Mm³

Import en export wisselen elkaar sterk af.

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Naar aanleiding van de resultaten (hoofdstuk 3) kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

Algemeen

- Vanaf 1955 is er door menselijke ingrepen meer zand uit de Westerschelde gehaald dan er door natuurlijke processen is bijgekomen. Daardoor is de Westerschelde verruimd . Na 1990 is naast de menselijke ingrepen de natuurlijke import van zand veranderd in een natuurlijke export .
- De monding van de Westerschelde is in de periode 1964 - 1998 ruimer geworden. Deze verruiming is in de periode 1989-1997 te constateren als men de monding samen met de "belgische kustvakken" bekijkt.

Zandverdeling

- Vanaf 1955 is de zandverdeling in de Westerschelde tussen geulen enerzijds en plaat/slik/schor anderzijds sterk veranderd. Bij een voortgaande verruiming van het watersysteem zijn de geulen ook verruimd, maar het plaat/slik/schor complex is in zandvolume toegenomen. Niet bekend is of dat een versteiling of een verhoging van plaat/slik/schor heeft veroorzaakt.

Methodiek

- Analyse resultaten van inhoudsveranderingen en zandbalansen zijn gevoelig voor de keuze van de methodiek. Dit is in de intermezzo's 1 en 2 nader beschreven. Synchronisatie van gegevens is een vereiste om rekenvakken te kunnen samenvoegen.
- Door fluctuaties in toe- en afname van inhoud in tijd en ruimte is het risicovol om een zandbalans met behulp van periode vensters samen te stellen.

Aanbevelingen

Zoals in de conclusies al is vastgesteld is het resultaat van analyses voor zandbalansen gevoelig voor de keuze van methodiek. Daarnaast is vastgesteld dat er in de tijd en ruimte grote veranderingen kunnen optreden in de zandverdeling. Voor een goede interpretatie van de analyse gegevens lijkt het gewenst om deze verdeling in aanvullende analyses nader uit te werken. Te denken valt aan een analyse per morfologische verdelingen voor de Monding en voor de Westerschelde. Van der Slikke (lit. 4) heeft voor de monding een schematisatie gemaakt. In het kader van het project MOVE is er al een plaat- en geulschematisatie gemaakt voor de Westerschelde. Deze schematisaties zouden hiervoor kunnen dienen. Ook een analyse van de zandverdeling tussen hoofdgeulen en nevengeulen lijkt wenselijk voor een goede interpretatie van de morfologische ontwikkelingen. Samenvattend kunnen de volgende aanbevelingen geformuleerd worden :

- Standaardisatie van methodieken tbv. zandbalansberekeningen
- Uitbreiding analyses tbv. beter inzicht in zandverdeling tussen morfologische eenheden en hoofd- en nevengeulen.

Het zal duidelijk zijn dat voor realisatie van deze aanbevelingen een goede samenwerking tussen de diverse instellingen en diensten noodzakelijk is.

5 Literatuurlijst

1. Van Dam : Zandwinning in de Westerschelde door concessiehouders in 1992 en daarna
Notitie NWL 91.53
2. Postma/Meulblok: Strategie voor de keuze van stortlokaties van baggerspecie en zandwinlokaties in de
Westerschelde Memo AX 94.035
3. Uit den Bogaard: Resultaten zandbalans Westerschelde 1955-1993 RU 95-08.
4. Van der Slikke: Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding 1969-1993 R97-18
5. Van der Slikke: Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding 1969-1993 R98-05
6. Storm et al.: Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 RIKZ -94.008
7. Van der Male: De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961-1992 RIKZ 97.049
8. Israel/Huijs: Zandbalans Westerschelde 1994-1997 Notitie NWL-98.15