

Z3246

concept

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat / RIKZ

ESTMORF Westerscheldeberekeningen
2002, fase 2


Verslag

augustus 2002

Z3246

WL | delft hydraulics

concept

Project: 177-2-09-011-000
65673
Z 3246
WL Delft Hydraulics

C 148988

Opdrachtgever:

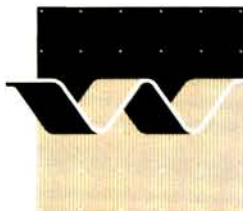
Rijkswaterstaat / RIKZ

ESTMORF Westerscheldeberekeningen
2002, fase 2

Marijn van Helvert, Z.B. Wang

Verslag

augustus 2002



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat / RIKZ

TITEL: ESTMORF Westerscheldeberekeningen 2002, fase 2

SAMENVATTING:

REFERENTIES: Contract No. RKZ-1141

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
	M. van Helvert	13 augustus 2002		Z.B. Wang	A. Roelfzema

PROJECTNUMMER Z3246.30

TREFWOORDEN: Estuariene morfologie, Westerschelde

AANTAL BLADZIJDEN 25

VERTROUWELIJK JA, tot (datum) NEE

STATUS: VOORLOPIG CONCEPT DEFINITIEF

Dit document is een concept rapport, niet een definitief rapport, en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1	Inleiding.....	1
1.1	Algemeen.....	1
1.2	Doel en belang.....	1
1.3	Nadere omschrijving achtergrond en werkzaamheden fase twee.....	2
1.3.1	Calibratie strategie-functionaliteit.....	2
1.3.2	Cluster twee.....	2
1.3.3	Cluster drie.....	3
2	Opzet berekeningen fase twee	4
2.1	ESTMORF in vogelvlucht.....	4
2.1.1	Geschiedenis.....	4
2.1.2	Modelprincipe ESTMORF	4
2.1.3	Beperkingen ESTMORF 3.0	5
2.2	Kalibratie strategie-functionaliteit	5
2.2.1	Opzet	5
2.2.2	Kalibratieparameter.....	6
2.3	Herberekening tweede verdieping.....	8
2.4	Berekening derde verdieping.....	9
2.4.1	Algemeen.....	9
2.4.2	Aanbrengen verdieping	9
2.4.3	Onderhouden verdieping	10
2.5	Berekening zeespiegelstijging.....	11
2.6	Berekening 18,6-jarige getijcyclus.....	11
3	Modelresultaten	12
3.1	Opzet presentatie resultaten	12
3.2	Kalibratie strategie-functionaliteit	12
3.3	Herberekening tweede verdieping.....	13
3.3.1	Zandbalans	13
3.3.2	Sedimentatie/erosie	13
3.3.3	Vergelijking met MOVE-studie.....	14

3.4	Derde verdieping	15
3.4.1	Aanbrengen derde verdieping	15
3.4.2	Onderhouden derde verdieping	16
3.4.3	Zandbalans	16
3.4.4	Sedimentatie/erosie	16
3.5	Zeespiegelstijging.....	17
3.5.1	Zandbalans	17
3.5.2	Sedimentatie/erosie	18
3.6	18,6-Jarige getijcyclus.....	18
3.6.1	Zandbalans	18
3.6.2	Sedimentatie/erosie	19
4	Conclusies.....	20
4.1	Kalibratie strategie-functionaliteit	20
4.2	Herberekening tweede verdieping.....	20
4.3	Derde verdieping	21
4.4	Zeespiegelstijging.....	21
4.5	18,6-Jarige getijcyclus.....	21
4.6	Slotconclusies interactie.....	22
5	Aanbevelingen.....	23
5.1	Strategie-functionaliteit en de derde verdieping	23
5.2	Herberekening tweede verdieping.....	23
5.3	Zeespiegelstijging.....	23
5.4	18,6-Jarige getijcyclus.....	23

Bijlagen

A	ESTMORF-model	A-1
B	ESTMORF dwarsprofiel	B-1
C	Bagger- en stortlocaties.....	C-1

D	Attribute file data9929.ca1	D-1
E	Attribute file strt9929.ca9.....	E-1
F	Bagger, stort en zandwinning 1999, 2000 en 2001	F-1
G	Principe zandbalans	G-1
H	Aggregatie nivea hoofd(vaar)geul, nevengeul, westen, midden en oosten	H-1
I	Bagger- en storthoeveelheden onderhoud derde verdieping.....	I-1

I Inleiding

I.1 Algemeen

De projecten ZEEKENNIS en KUST2005 van de Rijkswaterstaat/RIKZ hebben tot doel morfologische effecten te onderzoeken en te voorspellen als gevolg van grootschalige ingrepen en natuurlijke forceringen in de Westerschelde. Om een deel van de onderzoeksvragen die voortkomen uit ZEEKENNIS en KUST2005, zo goed mogelijk te beantwoorden en/of te onderbouwen, wordt o.a. gebruik gemaakt van ESTMORF 3.0. Er zijn hiervoor drie clusters gecreëerd:

- WVH*
- Cluster 1: baggeren en storten in de monding van de Westerschelde.
 - Cluster 2: doorrekenen verdiepingen in de Westerschelde.
 - Cluster 3: autonome morfologische ontwikkeling als gevolg van natuurlijke forcering.

Het WL | Delft Hydraulics heeft van Rijkswaterstaat/RIKZ (25 april 2002, Overeenkomst RKZ-1141) opdracht gekregen om de effecten van de grootschalige ingrepen en natuurlijke forceringen uit de clusters 1 t/m 3, met ESTMORF 3.0 te onderzoeken.

Voor het project 'ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002' zijn de drie clusters verdeeld in twee fasen:

- Fase één heeft betrekking op KUST2005 en bestaat uit cluster 1.
- Fase twee heeft betrekking op ZEEKENNIS en bestaat uit cluster 2 en 3.

Dit rapport gaat over fase twee van het project.

I.2 Doel en belang

Van de 'verdiepingswerken' wil de opdrachtgever weten wat de morfologische effecten zijn op de lange termijn. Met name de interactie (1) tussen Westerschelde en de monding en (2) tussen de monding en de Noordzee is uit oogpunt van beheer belangrijk.

Van de natuurlijke forceringen, zoals zeespiegelstijging en de 18,6-jarige getijcyclus, is het doel om de zandbehoefte en het effect op het baggerbezwaar te onderzoeken.

De belanghebbende is de beheerder. Deze kan op grond van de modelresultaten en interpretatie ervan mogelijk het bagger- en stortbeleid aanpassen.

1.3 Nadere omschrijving achtergrond en werkzaamheden fase twee

*- achtergrond
reken vooruit
planning.*

1.3.1 Calibratie strategie-functionaliteit

In voorgaande versies van ESTMORF konden alleen scenario-berekeningen worden uitgevoerd met een opgelegd baggerbezwaar. Onder baggerbezwaar wordt verstaan het te baggeren en vervolgens te storten sediment; een opgelegd baggerbezwaar betekent dat ieder jaar evenveel wordt gebaggerd en gestort.

De strategie-functionaliteit is in 1999 in ESTMORF geïmplementeerd. Deze functionaliteit houdt in, dat aan de hand van een vereiste en/of te handhaven vaargeulafmeting het baggerbezwaar wordt berekend. Het voordeel van de strategie-functionaliteit is, dat pas wordt gebaggerd, als een baggerlocatie sedimenteert. De strategie-functionaliteit zal worden gebruikt in deze fase van het project. Maar, voordat deze functionaliteit kan worden toegepast, moet deze worden gekalibreerd. ESTMORF 3.0 kan met beide opties morfologische berekeningen uitvoeren.

1.3.2 Cluster twee

1. *Herberekening tweede verdieping.*

- afkomstig kopie.

De tweede verdieping wordt ook wel de 48'/43'-verruiming genoemd. Dit houdt in, dat de vaargeul in de Westerschelde wordt verdiept, zodat schepen met een diepgang van 43 tot 48 voet getijonafhankelijk de haven van Antwerpen kunnen bereiken. Deze tweede verdieping is van medio 1997 tot medio 1998 uitgevoerd. In de studie MOVE (MONitoring VERdieping uit 1999) is met ESTMORF het effect van deze tweede verdieping berekend (Helvert, 1999). Het toegepaste baggerbezwaar was afkomstig uit het MAS-document (Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1997). Deze bedroeg 14 Mln m³/jaar. Nu, na ruim drie jaar onderhoud aan de vaargeul, blijkt het baggerbezwaar tussen de 10 en 11 Mln m³/jaar te liggen.

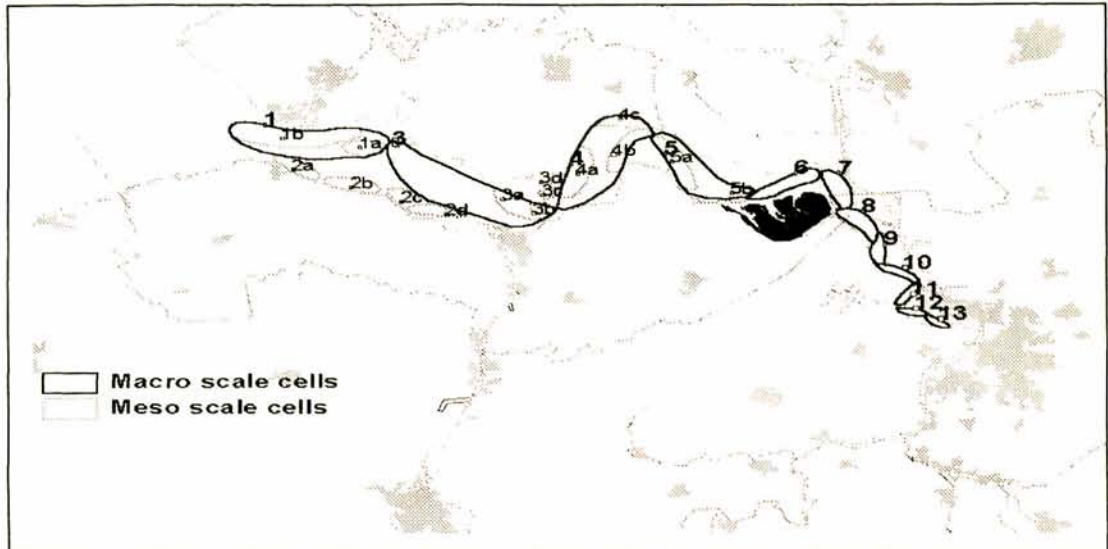
De herberekening houdt in, dat de tweede verdieping opnieuw wordt berekend over een periode van 30 jaar met een opgelegd baggerbezwaar dat is gebaseerd op het gemeten baggerbezwaar van 1999 t/m 2001.

U

revisie.

2. *Derde verdieping.*

Een mogelijke derde verdieping ligt in het verschiet. De wens van de Belgische autoriteiten is om de vaargeul in de Westerschelde minimaal naar 13,1 m getijonafhankelijk te verdiepen. De derde verdieping moet vanuit het macro-cellen-concept worden uitgevoerd. Dit betekent, dat 10% van de transportcapaciteit van een macrocel kan worden benut als stortcapaciteit.



Figuur 1.1: Macro-cel indeling Westerschelde.

Al het gebaggerde sediment moet worden teruggestort in het systeem. Wanneer de stortcapaciteit van een macrocel wordt bereikt, kan uitgeweken worden naar het Nederlandse deel van de Kust van Zeeuws Vlaanderen. Als gevolg van een diepere vaargeul in de Westerschelde moet de aansluitende geul Wielingen-Scheur in de monding op diepte worden gebaggerd. De derde verdieping wordt in ESTMORF met de strategie-functionaliteit berekend.

Handwritten notes:
 Het aansluitingsgebied (bereikt in de berekening)
 ...
 Het nu berekend met de op de een scenario

1.3.3 Cluster drie

1. Zeespiegelstijging.

Vanuit de herberekening van de tweede verdieping wordt de zeespiegelstijging berekend. Hierbij wordt uitgegaan van een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw.

2. 18,6-Jarige Getijcyclus.

Vanuit de kalibratieberekening waarmee ESTMORF 3.0 is gekalibreerd (Wang, 2001), wordt de 18,6-jarige getijcyclus berekend. In deze kalibratieberekening wordt uitgegaan van een gemeten astronomische M2-component van de 18,6-jarige getijcyclus over de periode 1968 – 1980.

2 Opzet berekeningen fase twee

2.1 ESTMORF in vogelvlucht

2.1.1 Geschiedenis

In 1992 is begonnen met het ontwikkelen en bouwen van het ESTMORF-model. WL-Delft heeft ESTMORF ontwikkeld in opdracht van het RIKZ. Een eerste versie van ESTMORF is in 1998 opgeleverd aan het RIKZ in Middelburg (Fokkink, 1998).

Vanuit ervaringen met ESTMORF (opgedaan in de projecten MOVE en LTV) zijn er vanaf 1998 enkele aanpassingen uitgevoerd. Deze aanpassingen bestaan uit een verbeterde software en toegevoegde nieuwe functionaliteiten, zoals de strategie-functionaliteit (Wang, 1999) en het storten van sediment op helling van de geulwand (Wang, 2000 en 2001).

Vervolgens is het ESTMORF-Westerscheldemodel uitgebreid met de monding van de Westerschelde. De eerste aanzet voor de uitbreiding is uitgevoerd in 1999 (Jeuken, 1999). De eerste versie van de monding was gebaseerd op het oude IMPLIC-model die de gehele waterbeweging in ESTMORF omvatte. Intussen is IMPLIC vervangen door SOBEK (Wang, 1999). In 2001 is het ESTMORF-Westerschelde-model inclusief de monding gekalibreerd en operationeel gemaakt (Wang, 2001).

Het nieuwe ESTMORF-Westerschelde-model is versie 3.0 geworden. Deze versie zal worden gebruikt voor het berekenen van de scenario's in dit project.

2.1.2 Modelprincipe ESTMORF

ESTMORF is een 1D-morfologie model waarmee op de lange termijn (aantal decenia) morfologische berekeningen kunnen worden uitgevoerd. ESTMORF maakt gebruik van empirische relaties die streven naar evenwicht. De waterbeweging in ESTMORF wordt uitgevoerd door SOBEK.

Een ESTMORF dwarsprofiel maakt onderscheid in drie morfologische eenheden. Deze zijn:

- de geul, bestaat uit de dwarsdoorsnede tussen bodem en laag water;
- de lage platen, deze bevinden zich tussen laag water en MSL;
- de hoge platen, deze bevinden zich tussen MSL en hoog water.

De lage platen en de hoge platen kunnen worden beschouwd als het intergetijdengebied. Het model en een ESTMORF-dwarsprofiel zijn afgebeeld in respectievelijk bijlage A en B.

2.1.3 Beperkingen ESTMORF 3.0

De voornaamste beperking van ESTMORF is de weergave van het intergetijdengebied of plaatarealen. Dit heeft te maken met de volgende twee oorzaken:

- Is dit relevant?*
1. Toen IMPLIC nog deel uitmaakte van ESTMORF, is een kalibratie uitgevoerd voor het intergetijdengebied (Wang 2000). In deze studie zijn de evenwichtswaarden voor de lage en de hoge platen aangepast. Enige verbetering was merkbaar, maar gaf nog niet het gewenste resultaat. Intussen is IMPLIC vervangen door SOBEK. Het is niet bekend of de eerder aangepaste evenwichtswaarden die zijn bepaald met ESTMORF/IMPLIC, toegepast kunnen worden in ESTMORF/SOBEK. Bij het kalibreren van ESTMORF 3.0 is dit niet uitgevoerd.
 2. Bij de oorspronkelijk opzet van de vakkenschematisatie van het model (zie bijlage A) waren hydrodynamische berekeningen het voornaamste doel. Deze vakkenindeling is niet gunstig voor de weergave van de plaatarealen. Het zal de weergave van het plaatareaal ten goede komen, wanneer een morfologische schematisatie zal worden opgezet.

2.2 Kalibratie strategie-functionaliteit

2.2.1 Opzet

De strategie-functionaliteit is over de periode van 1999 t/m 2001 gekalibreerd. In deze periode speelt de gehanteerde stortstrategie na de tweede verdieping namelijk een belangrijke rol.

De resultaten zijn vergeleken met de gemeten bagger- en stort hoeveelheden uit dezelfde periode. Zandwinning wordt meeberekend, echter niet met de strategie-functionaliteit maar opgelegd. Deze zijn afkomstig uit metingen van dezelfde periode.

Voor de kalibratie zijn de volgende bagger- en stortlocaties in de Westerschelde gebruikt gemaakt. Deze staan afgebeeld in bijlage C.

Tabel 2.1: Gebruikte bagger- en stortlocaties t.b.v. kalibratie strategie-functionaliteit.

Baggerlocaties	Stortlocaties
Drempel van Bath	Schaar van de Noord eb & vloed
Drempel van Valkenisse	Schaar van Waarde eb & vloed
Overloop van Valkenisse	Platen van Ossenisse
Platen van Valkenisse	Biezelingse Ham eb & vloed
Platen van Walsoorden	Gat van Ossenisse eb
Drempel van Hansweert	Gat van Ossenisse vloed
Overloop van Hansweert	Ebschaar Everingen
Platen van Ossenisse	Ellewoutsdijk eb & vloed
Drempel van Baarland	Vloedschaar Everingen eb
Put van Terneuzen	Vloedschaar Everingen vloed
Drempel van Borssele	Schaar van de Spijkerplaat eb & vloed

De drempel van Vlissingen, die net buiten de Westerschelde in de monding ligt, is niet gebruikt voor de kalibratie van de strategie-functionaliteit. Het gebaggerde sediment in 1999 van de drempel van Vlissingen is niet teruggestort in de Westerschelde maar langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. In 2000 en 2001 is het gebaggerde sediment van de drempel van Vlissingen wel teruggestort in stortlocaties in de Westerschelde. Dit betekent dat het totaal gestort sediment in de sedimentbalans over de periode 1999 – 2001 groter is dan dat van het gebaggerde. De reden dat het gestorte sediment afkomstig van de drempel van Vlissingen van 2000 en 2001 wel is meegenomen in de kalibratie van de strategie-functionaliteit, is de eis dat al het gebaggerde sediment terug moet worden gestort in het systeem.

Voor de stortcapaciteiten van de stortlocaties zijn de jaarlijkse gemeten storthoeveelheden uit 1999, 2000 en 2001 aangehouden. De stortcapaciteiten uit de vergunning zijn niet gebruikt juist om de werkelijkheid zo goed mogelijk te reproduceren.

? De te handhaven baggerdiepte varieert van GLLWS - 13,90m in het westen tot GLLWS - 13,30m in oosten van de Westerschelde.

De gehanteerde stortstrategie is die van de kortste vaarafstand t.o.v. een baggerlocatie. Ook wel de meest economische genoemd. Dat wil zeggen dat vanaf de baggerlocatie naar de dichtstbijzijnde stortlocatie wordt gevaren. Wanneer de stortcapaciteit van een stortlocatie wordt bereikt, moet naar de volgende dichtstbijzijnde stortlocatie gevaren worden.

De baggercapaciteit (Mln m³/maand) is afgeleid van de gebaggerde hoeveelheden uit 1999, 2000 en 2001. Als overdiepte is 0 m aangehouden. Er is rekening gehouden met een uitleveringspercentage van 10%.

Al deze gegevens zijn in twee attribute-files ingevoerd. Te weten data9929.ca1 en str9929.ca9. Deze staan afgebeeld in bijlage D en E.

2.2.2 Kalibratieparameter

Uit eerdere berekeningen uit het LTV project is gebleken, dat ESTMORF het baggerbezwaar te laag voorspelt, wanneer de strategie-functionaliteit van het model is gebruikt. Dit heeft hiermee te maken, dat de ESTMORF-modelvakken veel breder zijn dan de vaargeul. Het model hanteert bij het berekenen van de baggerbezwaar de product van de sedimentatiesnelheid in het model vak en de horizontale oppervlakte van de vaargeul binnen het vak. Naarmate het modelvak relatief groter is t.o.v. de vaargeul binnen het vak, veroorzaakt een verdieping van de vaargeul een kleinere storing op het morfologische evenwicht van het vak, die dus tot lagere gemiddelde sedimentatie snelheid in het vak leidt. Dit betekent dat in het geval dat de ESTMORF-modelvakken veel breder zijn, dan de vaargeul, zoals het geval is bij het Westerschelde model, het baggerbezwaar niet berekent moet worden door de sedimentatie snelheid met de breedte van de vaargeul en de lengte van het vak te vermenigvuldigen, maar met een grotere effectieve breedte. Daarom is de invoer parameter "breedte van vaargeul" als kalibratieparameter gekozen.

Voor nelt met om bijlage.

Om de invloed van de resolutie van de model-schematisatie (breedte modelvak t.o.v. vaargeul breedte) op de sedimentatie snelheid verder te illustreren wordt een schematisch

*Dit alles
is in de
opnamen
helermt.*

geval beschouwd. Neem een estuarium dat in morfologisch evenwicht is, waarin een vaargeul bevindt met de breedte B . De vaargeul wordt met een overdiepte Δh t.o.v. het evenwicht onderhouden. Voor het berekenen van de sedimentatiesnelheid in de vaargeul wordt een één-vak model gehanteerd. Beschouw eerst het geval waarbij het model vak even breed is als de vaargeul. De evenwicht concentratie in het vak is volgens ESTMORF formulering:

$$c_e = c_E \left(\frac{h}{h + \Delta h} \right)^n \quad (1)$$

De massa-balans vergelijking voor sediment in het vak is

$$w_s BL(c - c_e) = \delta(c_E - c) \quad (2)$$

Hieruit volgt

$$c = \frac{w_s BLc_e + \delta c_E}{w_s BL + \delta} \quad (3)$$

De gemiddelde sedimentatie snelheid in het vak is dus

$$w_s(c - c_e) = \frac{\delta}{w_s BL + \delta}(c_E - c_e) \quad (4)$$

Beschouw nu het geval waarbij het model vak breder is dan de vaargeul, dus $B_v > B$. De evenwicht concentratie in het vak wordt nu:

$$c_e = c_E \left(\frac{B_v h}{B_v h + B \Delta h} \right)^n = c_E \left(\frac{h}{h + \frac{B}{B_v} \Delta h} \right)^n \quad (5)$$

Voor de gemiddelde sedimentatie snelheid in het vak geldt nu

$$w_s(c - c_e) = \frac{\delta'}{w_s B_v L + \delta'}(c_E - c_e) \quad (6)$$

In het algemeen geldt dat voor een groter vak de horizontale uitwisselingscoëfficiënt δ ook groter wordt. De breuken buiten de haakjes in (4) en (6) zijn gelijk als dit coëfficiënt evenredig is met de breedte van het vak (wat volgens de ESTMORF-formulering het geval is). Het verschil tussen de twee vergelijkingen zit tussen de haakjes, en wel in de uitdrukking voor c_e die moet worden gebruikt. Voor het eerste geval moet men (1) gebruiken, dus

$$c_E - c_e = c_E \left[1 - \left(\frac{h}{h + \Delta h} \right)^n \right] \quad (7)$$

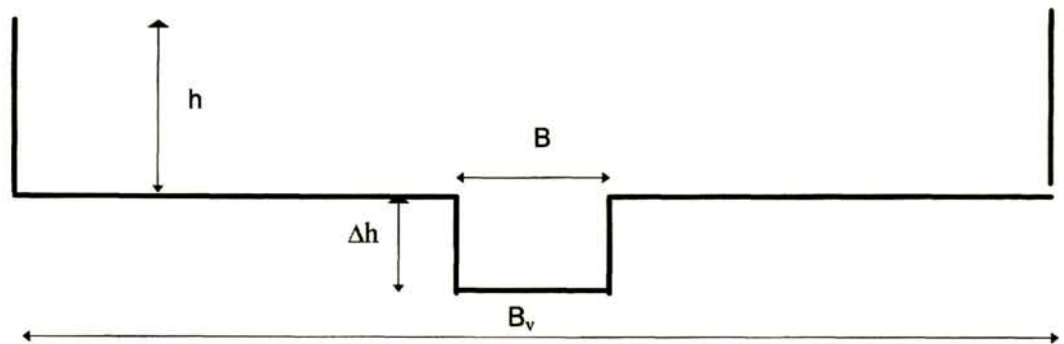
In het tweede geval is (5) te gebruiken, dus

$$c_E - c_e = c_E \left[1 - \left(\frac{h}{h + \frac{B}{B_v} \Delta h} \right)^n \right] \quad (8)$$

Hiermee is de invloed van de verhouding B/B_v duidelijk geworden. Naarmate de modelschematisatie grover is wordt de sedimentatiesnelheid lager voorspeld. Om dit te compenseren moet een een grotere effectieve breedte worden ingevoerd bij het bepalen van de baggerbezwaar. Voor de breedte zal daarom een vermenigvuldigingsfactor worden toegepast.

Fysisch gezien gebeurt er binnen het modelvak ook ontwikkelingen, als het vak groter is dan de vaargeul zelf. De vaargeul zal sediment trekken vanuit de directe omgeving, dus het overige deel van het vak. Het gebruiken van een grotere effectieve breedte kan men dus ook zien als het meenemen van dit sub-grid effect.

Voor de kalibratie van de strategie-functionaliteit zijn de breedtes van de baggerlocaties genomen die aan het eind van de ESTMORF 3.0 kalibratieberekening zijn ontstaan/berekend.



Figuur 2.1: Verduidelijking effectieve breedte in ESTMORF-modelvakken.

Antropogeen invloeden → subparmacoon tussen van de rivier

2.3 Herberekening tweede verdieping

De herberekening van de tweede verdieping begint vanaf januari 1999 en duurt tot 2030. De herberekening wordt uitgevoerd met een opgelegd baggerbezwaar. Dit baggerbezwaar is uit twee delen opgebouwd.

1. Van 1999 t/m 2001 is het gemeten baggerbezwaar gebruikt.
2. Vanaf 2002 t/m 2030 is het gemiddelde baggerbezwaar van 1999 t/m 2001 toegepast.

eerste halfjaar was de parameter met rekening naar de afname van de hoeveelheid en de aanwezigheid van de bagger bezwaar

Het baggerbezwaar in het Belgische deel van de Monding is meegenomen in de herberekening. Maar de gemeten waarden over de periode 1999 t/m 2001 niet bekend. Daarom is voor het baggerbezwaar voor het Belgische deel van de monding het gemiddelde over de periode 1990 t/m 1997 bepaald. In Bijlage F staan alle, in de herberekening, gebruikte hoeveelheden in tabellen weergegeven.

Uit het gemeten baggerbezwaar blijkt, dat in 1999 niet al het gebaggerde sediment is teruggestort in de Westerschelde. Het verschil van 1,07 Mln m³ (13.333.779 – 12.262.027, afkomstig van de Drempel van Vlissingen) is mogelijk gebruikt voor kustsuppletie langs het Nederlandse deel van de kust van Zeeuws Vlaanderen. In 2000 en 2001 is geen gebaggerd sediment gebruikt voor suppleties; alles is teruggestort.

Op het gemeten baggerbezwaar is een uitleveringspercentage van 10% toegepast. Hiermee wordt het volume van sediment in situ gesimuleerd.

De herberekening begint met de modelschematisatie die aan het eind van de kalibratieberekening, die van 1968 t/m 1998 duurt, is ontstaan.

2.4 Berekening derde verdieping

2.4.1 Algemeen

→ met hierin worden vermeld dat met de strategie-functionaliteit het focht crant door de bagger capaciteit uitgaat de rivier

De derde verdieping wordt met ESTMORF in twee berekeningen gesplitst. De eerste berekening is het aanbrengen van de verdieping en de tweede berekening is aansluitend het onderhouden van de verdieping. In de volgende paragrafen wordt per berekening de specificaties beschreven.

2.4.2 Aanbrengen verdieping

Hierin vermeld dat het mogelijk is met diepte mogelijk met water gehanteerd bij op gelede bagger c- skal scenario

Het aanbrengen van de derde verdieping wordt m.b.v. de ESTMORF strategie-functionaliteit in twee jaar uitgevoerd. Het uitvoeren van de verdieping begint in 2002 en is klaar eind 2003. Het aanbrengen van de verdieping ^{gebeurt} aansluitend aan de kalibratie van de strategie-functionaliteit van 1999 t/m 2001 eerder beschreven in dit rapport.

Moet het focht crant 1/3 verrijpen worden beschreven?

In tegenstelling tot de eerder aangewezen bestaande baggerlocaties moet nu de hele vaargeul voldoen aan de wens van 13,1 m getijonafhankelijk. Dit betekent dat de hele vaargeul wordt verdiept naar 15,77 m t.o.v. GLLWS.

Bij het aanbrengen van de verdieping moet al het gebaggerde sediment worden teruggestort in de Westerschelde. Hierbij moeten de stortcapaciteiten worden aangehouden die zijn afgeleid uit het macro-cellen-concept. Dit betekent dat 10% van de transportcapaciteit per macrocel kan worden benut als stortcapaciteit. In tabel 2.2 zijn per stortlocatie de jaarlijkse stortcapaciteiten gegeven. Deze zijn gebruikt uit de memo 'Advies aangaande de maximaal verantwoorde stortingen in de Westerschelde' (Jeuken 2001).

3
Tabel 2.2: Stortcapaciteiten Westerschelde.

Controleren met 500.000 zij

Stortlocatie		Code	Stortcapaciteit in [m ³ /jaar]	
oosten	Schaar van Waarde Eb & Vloed	Ss4	1.550.000	
	Plaat van Osseniss	Ss5	250.000	
	Totaal oosten			1.800.00
midden	Biezelingse Ham Eb & Vloed	Ss6	50.000	
	Gat van Ossenisse Eb	Ss7	2.350.000	
	Gat van Ossenisse Vloed	Ss8	2.350.000	
	Ebschaar Everingen	Ss9	900.000	
	Totaal midden			5.650.000
westen	Ellewoutsdijk Eb & Vloed	Ss10	625.000	
	Vloedschaar Everingen Eb	Ss11	312.500	
	Vloedschaar Everingen Vloed	Ss12	312.500	
	Schaar van de Spijkerplaat	Ss13	1.950.000	
	Totaal westen			3.200.000
Totaal Westerschelde				10.650.000

Uit aangeleverde data van de opdrachtgever blijkt de geschatte hoeveelheid sediment wat vrijkomt a.g.v. de derde verdieping 14,2 Mln m³ is. Dit betekent dat de totale stortcapaciteit in de Westerschelde niet toereikend is voor al het gebaggerde sediment vanwege het aanbrengen van de verdieping. Voor het verschil van 3,55 Mln m³ (14,2 – 10,65) is het Nederlands deel langs de kust van Zeeuws Vlaanderen door de opdrachtgever aangewezen als stortlocatie voor het overgebleven sediment.

U
o { Bij het aanbrengen van de verdieping is voor de effectieve breedte van de baggerlocaties, in tegenstelling tot de kalibratieberekening, een vermenigvuldigingsfactor van 1 aangehouden (zie paragraaf 2.2.2 Kalibratieparameter).

Voor de zandwinning en het baggerbezwaar in het Belgische deel van de monding zijn de gegevens uit de herberekening van de tweede verdieping gebruikt. Deze worden dus opgelegd en niet met de strategie-functionaliteit berekend.

2.4.3 Onderhouden verdieping

~~pre~~
Voor het onderhoud aan de vaargeul zal met ESTMORF een periode van 30 jaar worden berekend. De onderhoudsperiode begint in 2004 (aansluitend na het aanbrengen van de verdiepingen) en duurt tot 2034. Tijdens deze periode zullen dezelfde stortcapaciteiten en locaties worden aangehouden als tijdens het aanbrengen van de verdieping, m.a.w. het macro-cellen-concept zal worden gehandhaafd. Volgens het macro-cellen-concept mag geen sediment worden afgevoerd. Al het gebaggerde sediment moet worden teruggestort in het systeem. Dit betekent dat bij het gebruik van de strategie-functionaliteit in ESTMORF de totale stortcapaciteit en baggercapaciteit gelijk moeten zijn. Daarom wordt gedurende de onderhoudsperiode een minimale baggercapaciteit van 14 Mln m³/jaar aangehouden.

U
o { Voor de effectieve breedte van de baggerlocaties ~~wordt~~ zal ~~een~~ als uitgangspunt ^{worden} gehanteerd waarmee de strategie-functionaliteit is gekalibreerd.

Bij het gebruik van de strategie-functionaliteit in ESTMORF is het mogelijk om een overdiepte aan te brengen. Deze overdiepte moet worden gezien als een bagger onnauwkeurigheid. Tijdens de onderhoudsperiode is een overdiepte van 0,30 m aangehouden.

Ook voor de zandwinning en het baggerbezwaar in het Belgische deel van de monding zijn de gegevens uit de herberekening van de tweede verdieping gebruikt. Deze worden dus opgelegd en niet met de strategie-functionaliteit berekend.

2.5 Berekening zeespiegelstijging

Voor de berekening van de zeespiegelstijging kan worden uitgegaan van de herberekening van de tweede verdieping. De zeespiegelstijging is 60 cm/eeuw. De berekening wordt over een periode van 40 jaar uitgevoerd. Dit betekent dat aan het eind de MSL met 24 cm is gestegen.

2.6 Berekening 18,6-jarige getijcyclus

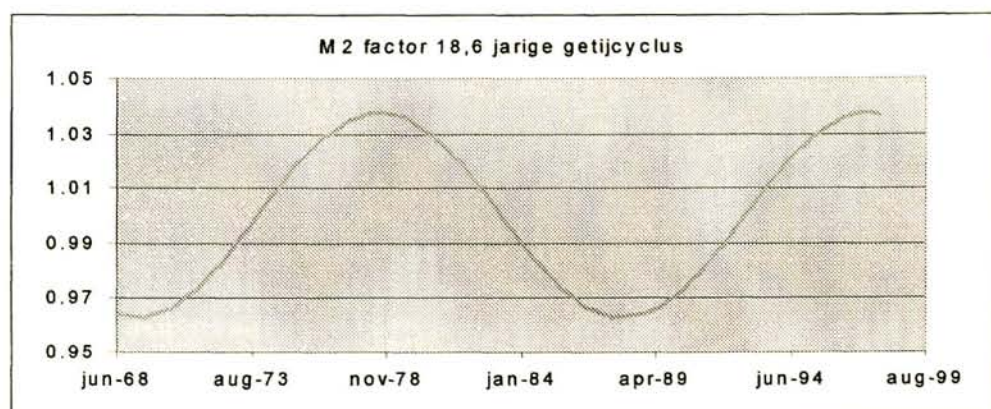
Als basis wordt de kalibratieberekening genomen waarmee ESTMORF 3.0 is gekalibreerd (Wang, 2001). In de kalibratieberekening wordt het gemeten astronomische M2-component van de 18,6-jarige getijcyclus over de periode 1968 – 1980 ingevoerd. In tabel 2.2 zijn de knooppunten van de M2-componenten gegeven die zijn toegepast.

Tabel 2.3: M2-component 18,6-jarige getijcyclus.

Jaar	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
M2	0,964	0,963	0,966	0,973	0,983	0,995	1,008	1,02	1,029	1,035	1,038	1,036	1,030

De ontbrekende waarden zijn geïnterpoleerd. De cyclus wordt d.m.v. ~~extrapolatie~~ volledig gemaakt. In figuur 2.2 is de M2-component van de 18,6 jarige getijcyclus geplot.

*Sinus met
CCx periode
van 18,6 jaar*



Figuur 2.2: M2-component van de 18,6-jarige getijcyclus

3 Modelresultaten

*Opm.
overgenomen kelder. een
uitwisselende kelder. H2O re
* kelder volumes.*

3.1 Opzet presentatie resultaten

Zandbalansen met daarin de export/import (interactie) van Westerschelde naar de monding en van de monding naar de Noordzee enerzijds en tussen het totale profiel en de geul anderzijds, worden gepresenteerd. Het verschil tussen het gehele profiel (zie bijlage B, t.o.v. de hoogwaterlijn NAP +2m) en de geul (t.o.v. laag water, NAP -2m) zegt iets over de erosie/sedimentatie van het plaat-areaal (intergetijdengebied). Het principe van de zandbalans wordt in bijlage G nader verklaard. Zowel de totale zandbalans als de zandbalans van de hoofd(vaar)geul en de nevengeulen worden gepresenteerd.

Sedimentatie/erosie van het ESTMORF-profiel worden gepresenteerd in grafieken met cumulatieve volumeveranderingen. Het gehanteerde aggregatieniveau in de Westerschelde is West, Midden en Oost. De monding wordt geaggregeerd tot een gebied.

In bijlage H is de vaargeul en het aggregatieniveau voor de Westerschelde aangegeven.

3.2 Kalibratie strategie-functionaliteit

Uiteindelijk leveren effectieve breedtes van de baggerlocaties die met een factor ^{1,6}~~2,5~~ zijn vermenigvuldigd en een baggercapaciteit van ^{1,6}~~850.000~~ m³/tijdstep, het beste resultaat. In bijlage I zijn de resultaten nader gespecificeerd. In de onderstaande tabel is een samenvattend overzicht van de resultaten gegeven.

Tabel 3.1: Samenvattend overzicht kalibratie strategie-functionaliteit.

(11,15 - 9,58) / 9,58

Rok ja	Baggeren [Mln m ³ /jaar]			Storten [Mln m ³ /jaar]			Stortcap [Mlnm ³ /jr]
	meting	Cal.run	% verschil	Meting	Cal.run	% verschil	
1999	11,15	9,58 ^{6,53}	16,38 % ^{2,77}	11,15	9,58 ^{6,53}	16,38 % ^{2,77}	11,15
2000	9,17	10,20 ^{9,6*}	-10,10 % ^{-9,6*}	9,48	10,20 ^{9,61}	-7,05 % ^{-1,92}	9,49
2001	9,45	10,20 ^{9,90}	-7,35 % ^{6,14}	9,80	10,20 ^{9,9}	-3,92 % ^{1,320}	9,80
Totaal	29,77	29,98 ^{25,04}	-0,70 %	30,43	29,98 ^{25,04}	1,51 %	30,44

10,89

Uit de totale gemeten waarden in tabel 3.1 is te zien dat er meer is gestort dan gebaggerd (resp. 30,43 Mln m³ tegen 29,77 Mln m³ verschil is 0,66 Mln m³).

In 2000 en 2001 is meer gestort is dan de stortcapaciteit toelaat. Dit komt doordat de stortcapaciteit van 1999 niet volledig is benut. Het overschot wordt gebruikt voor de jaren erna (zie stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat in bijlage I). Uit de totale waarden in tabel 3.1 valt op te maken dat de stortcapaciteit niet is overschreden en dat al het gebaggerde sediment weer is teruggestort in het systeem. De baggercapaciteit bepaalt of er sediment wordt afgevoerd of dat er sediment blijft liggen. Bij een te hoge baggercapaciteit moet er sediment worden afgevoerd, omdat de stortcapaciteit niet voldoende is. Bij een te lage baggercapaciteit kan niet op alle plaatsen worden gebaggerd waar sedimentatie heeft opgetreden. In tabel 3.1 is te zien dat alles wat is gebaggerd, is teruggestort en dat de stortcapaciteit nagenoeg volledig is benut.

In bijlage I is te zien, dat niet in alle baggerlocaties wordt gebaggerd. Alleen op de drempel van Baarland, de put van Terneuzen en de drempel van Borssele wordt gebaggerd. In de overige locaties wordt niet gebaggerd, terwijl dit wel nodig is. Dit komt omdat de baggercapaciteit is uitgeput. Het gevolg is dat niet alles kan worden verwijderd en dus blijft liggen. De stortlocaties worden wel allemaal benut.

De resultaten van de morfologie zijn achterwege gelaten. De periode van drie jaar is kort en metingen van deze periode zijn nog niet voorhanden.

3.3 Herberekening tweede verdieping

3.3.1 Zandbalans

Tabel 3.2 is de zandbalans gepresenteerd a.g.v. de herberekening van de tweede verdieping. Uit de tabel valt af te leiden, dat er in de monding, t.o.v. hoogwater, sedimentatie optreedt. Vanuit de Westerschelde wordt er 1,53 Mln m³/jaar (46/30) naar de monding geëxporteerd en vanuit de Noordzee is dit een 0,5 Mln m³/jaar (15/30).

De export van sediment uit de Westerschelde gebeurt voornamelijk door de nevengeulen. En de import van sediment in de monding gebeurt voornamelijk door de hoofd- of vaargeul. De erosie van platen is klein net zoals het erosieverschil tussen laagwater en hoogwater.

Tabel 3.2: Zandbalans herberekening tweede verdieping (- = export, + = import).

Run id tv1	Westerschelde			Monding		
	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]
t.o.v. HW	156	-202	-46	374	-359	15
t.o.v. LW	156	-200	-44	373	-357	16
Platen	0	-2	-2	1	-2	-1

In de figuren 3.1a t/m 3.1c staan de uitgebreide zandbalansen gepresenteerd. De getallen in tabel 3.2 zijn de export of import waarden uit de zandbalansen. Voor alle duidelijkheid zijn de getallen in tabel 3.2 voorzien van een minteken om de export aan te duiden.

3.3.2 Sedimentatie/erosie

In de figuren 3.1d en 3.1e worden respectievelijk de cumulatieve volumeverandering in de monding, het westen, midden en het oosten van de Westerschelde gepresenteerd.

Uit de cumulatieve volumeverandering blijkt dat er in de monding sedimentatie optreedt. De plotselinge volumetoename in het eerste jaar en de afname in de jaren erna is mogelijk een reactie van het systeem vanwege de omslag van exporterend naar importerend. Namelijk over de periode 1968-1998 was de monding exporterend. De omslag van een exporterend naar importerend systeem gebeurt al snel, namelijk vanaf 2000. Ondanks het baggeren van sediment uit de monding treedt er sedimentatie op.

Handwritten note:
 NG. Export
 naar TERNEUZEN
 ANGEVEN.

Wat uit de cumulatieve volumeverandering in het westen van de Westerschelde val af te leiden, is dat ondanks het storten het volume wel afneemt maar dat een deel van het gestorte sediment door erosie verdwijnt. Dit komt omdat het getijvolume niet is afgenomen door het storten. Daardoor wordt een deel van het gestorte sediment verwijderd door erosie, in dit geval richting monding en het middendeel van de Westerschelde. Na dertig jaar is het volume wel afgenomen. Het lijkt er zelfs op, dat de lijn afvlakt, wat erop duidt, dat een nieuw evenwicht bereikt kan worden.

*Formulering
getijvolume
beveiligen.*

In het middendeel van de Westerschelde neemt in de eerste tien jaar het volume af door storten. Na 2010 wordt het gestorte materiaal uit dit deel van de Westerschelde verwijderd, in dit geval naar het oosten (zie zandbalans). Ondanks het aanhoudende storten eroderen de geulen, omdat het getijvolume in dit deel weer toeneemt ondanks het storten.

In het oosten van de Westerschelde wordt veel gebaggerd. Het gevolg is dat door erosie de geulen in volume toenemen. Echter neemt het volume van de geul niet in die mate toe vanwege het baggeren, omdat de toename van het getijvolume achterblijft op de toename van het volume vanwege het baggeren. De ESTMORF-lijn in de grafiek neigt zelfs te gaan afbuigen. Het gevolg is, dat er een geringe sedimentatie optreedt. Het is immers te zien aan de zandbalans, dat er sediment vanuit het middendeel van de Westerschelde als het ware aangetrokken wordt.

3.3.3 Vergelijking met MOVE-studie

De herberekening van de tweede verdieping is een nuttige exercitie. In tabel 3.3 staan de resultaten van het verdiepscenario uit de MOVE-studie (Helvert, 1999) naast *re* herberekening.

Tabel 3.3: Vergelijk resultaten tweede verdieping Westerschelde MOVE en herberekening.

Tweede verd.	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³ /jaar]		Nevengeulen [Mln m ³ /jaar]		Totaal [Mln m ³ /jaar]	
	MOVE	Herber.	MOVE	Herber.	MOVE	Herber.
t.o.v. HW	6,64	5,20	-8,53	-6,73	-1,89	-1,53
t.o.v. LW	6,64	5,20	-8,53	-6,67	-1,89	-1,47
Platen	0	0	0	-0,07	0	-0,07

Het verdiepscenario uit de MOVE-studie is over een periode van 56 jaar berekend. Omdat deze herberekening over een periode van dertig jaar gaat, kunnen alleen de jaarlijkse gemiddelde export/import getallen met elkaar worden vergeleken. Bovendien was het ESTMORF-model toegepast in de MOVE-studie niet voorzien van de monding.

o Het (gedeeltelijk) gemeten baggerbezwaa ^{is} ~~is~~ ongeveer 3,5 Mln m³/jaar ~~is~~ minder t.o.v. het baggerbezwaa uit het verdiepscenario van de MOVE-studie. (Deze ontwikkeling uit deze hernieuwde berekening kan echter niet zonder meer worden vergeleken met het verdiepscenario uit de MOVE-studie, omdat het toen gebruikte ESTMORF-model niet was voorzien van de monding.) *? correct*

Volgens de grafieken verschilt de ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde vanwege de herberekening niet veel van die van de morfologie uit het 'verdiepscenario' uit de MOVE-studie. Voornaamste conclusie uit de MOVE-studie was het ontstane tekort van

sediment in het oosten van de Westerschelde door erosie. Uit het verdiepscenario bleek, dat de erosie in het oosten gemiddeld 5,09 Mln m³/jaar (285/56) was. De zandbehoefte (dat is de import van sediment in oosten vanwege van baggeren en erosie in het oosten) was 4,52 Mln m³/jaar (253/56).

De herberekening toont aan dat de erosie is afgenomen tot 4,23 Mln m³/jaar (127/30). De zandbehoefte is aanzienlijk afgenomen van 4,52 naar 2,6 Mln m³/jaar, een afname van 42%. In tabel 3.4 worden de getallen nog eens uiteengezet.

Tabel 3.4: Overzicht baggeren, erosie en zandbehoefte in oosten van de Westerschelde.

Ber. 2 ^e verdieping	Baggeren [Mln m ³ /jaar]	Erosie [Mln m ³ /jaar]	Zandbehoefte (import) [Mln m ³ /jaar]
MOVE-studie	9,61	5,09	4,52
Herberekening	6,83	4,23	2,60
% afname	29%	17%	42%

De voornaamste oorzaak van deze afname is de afname van het baggerbezwaar in het oosten van de Westerschelde.

3.4 Derde verdieping

3.4.1 Aanbrengen derde verdieping

Het aanbrengen van de verdieping vertoont hetzelfde beeld als bij de kalibratie van de strategie-functionaliteit. Uit het totaaloverzicht kloppen de getallen met de geschatte hoeveelheid van 14,2 Mln m³ wat gebaggerd moet worden voor het aanbrengen van de derde verdieping. Maar wanneer de resultaten nader worden bekeken, blijkt dat er maar uit één baggerlocatie is gebaggerd en deze (volgens de stortstrategie) is verdeeld over de stortlocaties in de Westerschelde.

Samen met de hoeveelheden is in tabel 3.5 aangegeven welke locaties dit zijn.

Tabel 3.5: Overzicht locaties van bagger- en storthoeveelheden aanbrengen derde verdieping in Mln m³/jaar.

Run id	Baggeren [Mln m ³ /jaar]	Storten [Mln m ³ /jaar]							
		Ss7	Ss8	Ss9	Ss10	Ss11	Ss12	Ss13	Tot.
2002	7,10	1,24	2,14	0,82	0,57	0,28	0,28	1,77	7,10
2003	7,10	1,24	2,14	0,82	0,57	0,28	0,28	1,77	7,10
Tot.	14,20	2,48	4,28	1,64	1,14	0,56	0,56	3,54	14,20

In de vaargeul met de vaknummers 1, 184, 2, 3 en 4 (zie bijlage H) is de vaargeul verruimd met 14,2 Mln m³ de. In het overige deel van de vaargeul is niet gebaggerd. Dit is te wijten aan de uitgeputte baggercapaciteit.

Het effect op de morfologie is achterwege gelaten omdat de periode van twee jaar kort is.

3.4.2 Onderhouden derde verdieping

Ook tijdens het onderhoud aan de vaargeul worden de baggeractiviteiten beperkt tot alleen in het westen van de Westerschelde. Er wordt in het midden en oosten van de Westerschelde niet gebaggerd, doordat de baggercapaciteit is uitgeput. Opvallend is dat de vaknummers 1 en 184 van de vaargeul geen baggeronderhoud is berekend. Blijkbaar is het aanbrengen van de verdieping al voldoende.

Tijdens de onderhoudsperiode zijn er uit meer vaknummers gebaggerd, met name de vakken 30, 33, 34, 35 en 36. Na tien jaar wordt daar niet meer gebaggerd. Het baggerbezwaar ligt voornamelijk in de vakken 2 t/m 5. Daar moet veel worden verwijderd. Het overgrote deel van de baggercapaciteit wordt daaraan besteed. Vervolgens wordt het te storten sediment verdeeld over de stortlocaties. In bijlage J staan in tabellen de bagger- en storthoeveelheden gepresenteerd. Voor een overzicht van de locaties wordt naar bijlage C verwezen.

3.4.3 Zandbalans

Tabel 3.6 is de zandbalans gepresenteerd vanwege het onderhoud van de derde verdieping. Uit de tabel valt af te leiden dat er in de monding, t.o.v. hoogwater, sedimentatie optreedt, doordat er vanuit de Noordzee sediment met 2,4 Mln m³/jaar (72/30) wordt geïmporteerd. Vervolgens exporteert de monding sediment naar de Westerschelde. Dit is 2,2 Mln m³/jaar. Er wordt dan 0,2 Mln m³/jaar afgezet in de monding.

De import van sediment vanuit de Noordzee gebeurt voornamelijk door de hoofd(vaar)geul in de monding. En de import van sediment in de Westerschelde gebeurt ook door de hoofd(vaar)geul.

De erosie van platen is klein net zoals het erosieverschil tussen laagwater en hoogwater.

Tabel 3.6: Zandbalans onderhoud derde verdieping (- = export, + = import).

Run id d2o	Westerschelde			Monding		
	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]
t.o.v. HW	127	-61	66	237	-165	72
t.o.v. LW	124	-61	63	234	-165	69
Platen	3	0	3	3	0	3

In de figuren 3.2a t/m 3.2c staan de uitgebreide zandbalansen gepresenteerd. De getallen in tabel 3.6 zijn de export of import waarden uit de zandbalansen. Voor alle duidelijkheid zijn de getallen in tabel 3.6 voorzien van een minteken om de export aan te duiden.

3.4.4 Sedimentatie/erosie

De grafieken 3.2d en 3.2e waarin de sedimentatie/erosie aan de hand van cumulatieve volumeveranderingen worden gepresenteerd, bevestigen de zandbalans.

In de monding wordt gestort, met name langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. Het resultaat is dat de monding sedimenteert.

In het westen van de Westerschelde wordt voornamelijk het baggerbezwaar uitgevoerd. Het effect is dat het volume toeneemt, maar deze toename is niet zoveel als gevolg van het baggeren. Dit komt, omdat de toename van het getijvolume achterblijft op de toename van het volume vanwege het baggeren. Het effect is, dat er een geringe sedimentatie plaatsvindt. In de zandbalans is dit ook te zien. Het baggeren in het westen creëert een tekort.

In het midden wordt veel gestort. Het resultaat is dan ook dat het volume afneemt. Tot 2015 gaat storten en de afname van het volume gelijk op. Na 2015 neemt het volume niet verder af door storten. Dit komt omdat het getijvolume niet verder afneemt. Een deel van het gestorte sediment wordt verwijderd. Uit de zandbalans is te zien, dat een groot deel verdwijnt naar het westen en een klein deel naar het oosten. Door het tekort in het westen ontstaat een stroom van het midden naar het westen.

In het oosten is te zien, dat door het storten het volume afneemt door sedimentatie. Door het storten wordt het getijvolume nog kleiner, waardoor het volume nog meer afneemt wegens sedimentatie.

3.5 Zeespiegelstijging

3.5.1 Zandbalans

Tabel 3.7 is de zandbalans gepresenteerd als resultaat van zeespiegelstijging. Zoals hiervoor al is geschreven, is de herberekening van de tweede verdieping als basis gebruikt. Er zou 40 jaar berekend moeten worden. Na 38 jaar is de berekening afgebroken.

Uit de tabel valt af te leiden, dat er in de monding, t.o.v. hoogwater, sedimentatie optreedt. Vanuit de Westerschelde wordt er 1,71 Mln m³/jaar (65/38) naar de monding geëxporteerd en vanuit de Noordzee is dit 0,58 Mln m³/jaar (22/38).

De import van sediment vanuit de Noordzee gebeurt voornamelijk door de hoofd(vaar)geul in de monding. De export van sediment uit de Westerschelde loopt via de nevengeulen. De erosie van platen is klein. Opvallend is dat in de nevengeulen de erosie van platen het grootst is. Het erosieverschil tussen laagwater en hoogwater is klein.

Tabel 3.7: Zandbalans zeespiegelstijging (- = export, + = import).

Run id zs1	Westerschelde			Monding		
	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]	Hoofd(vaar)geul [Mln m ³]	Nevengeul [Mln m ³]	Totaal [Mln m ³]
t.o.v. HW	202	-266	-65	480	-457	22
t.o.v. LW	201	-261	-61	478	-452	25
Platen	1	-5	-4	2	-5	-3

In de figuren 3.3a t/m 3.3c staan de uitgebreide zandbalansen gepresenteerd. De getallen in tabel 3.7 zijn de export of import waarden uit de zandbalansen. Voor alle duidelijkheid zijn de getallen in tabel 3.7 voorzien van een minteken om de export aan te duiden.

Om het effect van zeespiegelstijging te kunnen beoordelen is het beste om deze berekening te vergelijken met de import/export-hoeveelheden uit de zandbalans van de herberekening

van de tweede verdieping. Omdat de berekening met zeespiegelstijging 38 jaar heeft geduurd en de herberekening 30 jaar, kan dit het best worden gedaan met de jaarlijkse gemiddelde waarden.

Transporte naar Oosterschelde
Tabel 3.8: ~~Import/export van de Noordzee naar oosten van de Westerschelde.~~

	Noordzee → monding [Mln m ³ /jaar]	Monding → westen [Mln m ³ /jaar]	Westen → midden [Mln m ³ /jaar]	Midden → oosten [Mln m ³ /jaar]
Herber. tv1	0,50	-1,53	1,16	2,60
Zeespgst. zsl	0,58	-1,71	1,24	2,89
% toename	16%	12%	7%	11%

Het resultaat is dat de interactie (export) van de Westerschelde naar de monding is toegenomen met 12%. In het oosten is de interactie toegenomen met 11%.

3.5.2 Sedimentatie/erosie

In de figuren 3.3d en 3.3e worden respectievelijk de cumulatieve volumeverandering in de monding en van de Westerschelde het westen, midden en in het oosten gepresenteerd.

De cumulatieve volumeverandering van de herberekening van de tweede verdieping zijn in de grafieken van de zeespiegelstijging afgebeeld. Hierdoor is te zien, dat het sedimentatie/erosie verloop vanwege de zeespiegelstijging weinig verschil vertoont t.o.v. de herberekening van de tweede verdieping.

3.6 18,6-Jarige getijcyclus

3.6.1 Zandbalans

Tabel 3.9 is de zandbalans gepresenteerd a.g.v. 18,6-jarige getijcyclus. Omdat deze berekening vergeleken moet worden met de kalibratieberekening van ESTMORF 3.0 is de zandbalans alleen opgesteld voor de geulen (t.o.v. laagwater). Het aggregatieniveau is die van de lodingsvakken zoals die door Rijkswaterstaat, Directie Zeeland worden toegepast.

volume verandering
Tabel 3.9: Zandbalans 18,6 Jarige getijcyclus (- = export, + = import).

t.o.v. LW	Lod.vak 1 [Mln m ³]	Lod.vak 2 [Mln m ³]	Lod.vak 3 [Mln m ³]	Lod.vak 4 [Mln m ³]	Lod.vak 5 [Mln m ³]	Lod.vak 6 [Mln m ³]	Monding [Mln m ³]
ESTMORF 3.0	57	42	18	11	17	33	-161
18,6 jar.cyc1s	55	49	23	7	-12	3	-225
% toe-afname	-4%	17%	28%	-36%	-170%	-91%	40%

In figuur 3.4a staan de uitgebreide zandbalansen gepresenteerd. De getallen in tabel 3.9 zijn de export of import waarden uit de zandbalansen. Voor alle duidelijkheid zijn de getallen in tabel 3.9 voorzien van een minteken om de export aan te duiden.

Uit tabel 3.6 is te zien dat door de 18,6-jarige getijcyclus de export van sediment uit de monding is toegenomen met 64 Mln m³ (-161- -225) over een periode van 30 jaar (1968 –

1998). Deze toename komt voornamelijk door de toegenomen erosie in de monding (van 181 Mln m³ naar 215 Mln m³, zie zandbalans in figuur 3.4a).

De import van sediment naar de Westerschelde is met 30 Mln m³ afgenomen. In de Westerschelde verandert er niet veel vanwege de 18,6-jarige getijcyclus. Afgezien van lodingsvak 5, die is omgeslagen van importerend (17) naar exporterend (-12), blijven de overige lodingsvakken sediment importeren. De verschillen met de kalibratieberekening is klein.

3.6.2 Sedimentatie/erosie

In de figuren 3.4b t/m 3.4d worden in grafieken de ontwikkeling van het geulvolume van de lodingsvakken gepresenteerd van beide berekeningen. De volumeontwikkeling a.g.v. de 18,6-jarige getijcyclus verschilt niet veel met die van de kalibratie van ESTMORF 3.0. De grootste verschillen zijn te zien in de grafieken van lodingsvak 5 en 6 in figuur 3.4d. Deze zijn ook te zien in de zandbalans van deze lodingsvakken.

De volumeontwikkeling vanwege de 18,6-jarige getijcyclus 'beweegt' als het ware om de lijn die de volumeontwikkeling weergeeft van de kalibratieberekening zonder de cyclus. In figuur 3.4e, waarin de ontwikkeling van het geulvolume van de hele Westerschelde is afgebeeld, is dit duidelijk te zien. In figuur 3.4e is ook het M2-component van de 18,6-jarige getijcyclus afgebeeld. Samen met de volumeverandering van de geulen in de Westerschelde kan hieruit het volgende worden afgeleid:

- Vanaf 1968 t/m 1976 is de volumeverandering vanwege de cyclus kleiner dan de volumeverandering van de kalibratieberekening. T.o.v. de kalibratieberekening betekent dit een extra sedimentatie vanwege de 18,6-jarige getijcyclus.
- Vanaf 1976 t/m 1984 is de volumeverandering vanwege de cyclus groter dan de volumeverandering van de kalibratieberekening. T.o.v. de kalibratieberekening betekent dit een extra erosie vanwege de 18,6-jarige getijcyclus.
- Vanaf 1984 t/m 1993 is de volumeverandering vanwege de cyclus kleiner dan de volumeverandering van de kalibratieberekening. T.o.v. de kalibratieberekening betekent dit een extra sedimentatie vanwege de 18,6-jarige getijcyclus.
- En vanaf ongeveer 1993 is de volumeverandering vanwege de cyclus weer groter dan de volumeverandering van de kalibratieberekening. T.o.v. de kalibratieberekening betekent dit een extra erosie vanwege de 18,6-jarige getijcyclus.

4 Conclusies

4.1 Kalibratie strategie-functionaliteit

Het resultaat van de kalibratie van de strategie-functionaliteit kan op twee manieren worden geïnterpreteerd. Vanuit het totaal overzicht kloppen de berekende bagger- en storthoeveelheden met de gemeten waarden. De vermenigvuldigingsfactor van 2,5 voor de effectieve breedtes van de baggerlocaties in het ESTMORF-model zouden in het vervolg voor alle onderhoudsbaggerwerk-berekeningen toegepast kunnen worden.

Maar wanneer specifiek de baggerlocaties worden belicht, is er een behoorlijke afwijking te zien t.o.v. het gemeten baggerbezwaar, doordat de baggercapaciteit is uitgeput. Door de eis dat er geen gebaggerd sediment mag worden afgevoerd, moet de baggercapaciteit minimaal gelijk zijn aan de stortcapaciteit. Er kan geconcludeerd worden dat de stortcapaciteit bij zo'n eis limiterend/bepalend is.

In de gebruikte strategie-attribute-file (zie bijlage E) wordt voor iedere tijdstap vanuit het westen gecontroleerd of er gebaggerd moet worden. Wanneer een baggerlocatie na iedere tijdstap sedimenteert, wordt het sediment verwijderd. Als er veel moet worden gebaggerd vanwege sedimentatie raakt de baggercapaciteit snel uitgeput. Baggerlocaties verder naar het oosten komen niet meer aan de beurt. Dit is wat zich in de kalibratie van de strategie-functionaliteit afspeelt. Eerst wordt er op de drempel van Borssele gebaggerd; vervolgens de Put van Terneuzen en op de drempel van Baarland, waar overigens volgens de meting niet hoeft worden gebaggerd. In 1999 is ook nog op de overloop van Hansweert gebaggerd. Vervolgens is de baggercapaciteit uitgeput en komen de baggerlocaties verder naar het oosten niet meer aan de beurt.

De conclusie is, dat de strategie-functionaliteit wel werkt en zeker een nuttige functionaliteit is, maar dat er voor het hierboven beschreven probleem een oplossing moet komen. De optie om de baggercapaciteit te verhogen heeft als bezwaar, dat er teveel wordt gebaggerd en bovendien moet dit sediment worden afgevoerd, omdat de stortcapaciteit dit niet toelaat. Vervolgens heeft dit ook behoorlijke (ongewenste) gevolgen op de morfologie.

4.2 Herberekening tweede verdieping

Uit de vergelijking van het gemeten baggerbezwaar uit het verdiepscenario van de MOVE-studie en deze herberekening, kan wel worden geconcludeerd, dat de export (interactie) van sediment vanuit de Westerschelde in richting van de monding is afgenomen met 0,36 Mln m³/jaar (1,89 – 1,53) ofwel met zo'n 20%. De lagere export is veroorzaakt door het mindere baggerbezwaar.

From the 1st time via here.

Vanuit de Noordzee wordt er sediment geïmporteerd naar de monding. De monding is omgeslagen van een exporterend systeem naar een importerend systeem.

Lineair kan er dan geconcludeerd worden, dat door een afname van het baggerbezwaar van ongeveer 30% de export van sediment uit de Westerschelde met een kleine 20% is afgenomen. De erosie in het oosten van de Westerschelde is ongeveer met 17% afgenomen en de zandbehoefte in het oosten met 42%. Volgens ESTMORF heeft een afname van het baggerbezwaar een gunstig effect op de morfologie van de Westerschelde.

4.3 Derde verdieping

Het probleem in de kalibratie van de strategie-functionaliteit, namelijk de snel uitgeputte baggercapaciteit, speelt ook in de berekening van de derde verdieping een rol. Het verdiepen/verruimen conform de gestelde eisen wordt alleen maar in het westen uitgevoerd. Daarna is de baggercapaciteit uitgeput. Vervolgens wordt het onderhoud aan de vaargeul voornamelijk in het westen uitgevoerd. Het resultaat is, dat in het westen van de Westerschelde netto veel sediment wordt onttrokken en dat het midden en het oosten niets wordt gebaggerd.

Een hogere baggercapaciteit is een mogelijkheid, maar om de derde verdieping aan te brengen moet deze met een factor 10 worden verhoogd. Dit betekent dat volgens de eis van het macro-cellen-concept, het overschot in de monding moet worden gestort. De enige plaats hiervoor is langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen. Echter een overschot van enkele tientallen miljoenen kubieke meters sediment is geen realistische optie.

De conclusie is, dat er vanuit de huidige resultaten geen goede analyse is te maken. De conclusie dat een derde verdieping niet uitvoerbaar is, omdat de baggercapaciteit niet op te brengen is, is geen realistische.

4.4 Zeespiegelstijging

Het is moeilijk te concluderen of de veranderingen die te zien zijn, ontstaan door de zeespiegelstijging of doordat de periode is verlangd. Wanneer de jaarlijkse gemiddelde waarden tussen de herberekening van de tweede verdieping en de berekening met zeespiegelstijging met elkaar worden vergeleken, zou dit effect mogelijk verdwenen moeten zijn. Mogelijke conclusie is dat een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw de zandbehoefte gemiddeld over het hele systeem met 11,5% toeneemt. De interactie (export) tussen de Westerschelde en de monding is met 12% (0,18 Mln m³/jaar) toegenomen.

4.5 18,6-Jarige getijcyclus

Uit de resultaten van de berekening met de 18,6-jarige getijcyclus kan geconcludeerd worden, dat de export richting de Noordzee is toegenomen met 40%. De interactie tussen monding en Westerschelde is afgenomen met 91%. Dit is te wijten door de toegenomen erosie in de monding. Het geërodeerde sediment verdwijnt naar de Noordzee en niet naar de Westerschelde.

Uit figuur 3.4e is te concluderen dat de volumeontwikkeling van de geulen afneemt of kleiner is en er sedimentatie optreedt, wanneer de 18,6-jarige getijcyclus zich in een dal bevindt. Dit zou kunnen betekenen, dat er in die periode extra gebaggerd moet worden. In dit geval zou dat geweest moeten zijn in de periode 1968 t/m 1976 en van 1984 t/m 1993.

Maar het tegenovergestelde is ook te herkennen. Wanneer namelijk de cyclus zich in de top bevindt, treedt er extra erosie op vanwege een grotere volumeontwikkeling van de geulen. Er zou dan minder gebaggerd hoeven te worden. Dit speelt zich af in de periode 1976 t/m 1984 en vanaf 1993.

Uit figuur 3.4e zou geconcludeerd kunnen worden, dat de 18,6-jarige getijcyclus invloed heeft op het baggerbezwaar.

4.6 Slotconclusies interactie

Alle resultaten kunnen voor de interactie tussen de Westerschelde en de monding in een tabel worden geplaatst. Gezien de beheersvraag, is het moeilijk om daar één conclusie uit te trekken. De berekeningen zijn niet allemaal onder dezelfde condities uitgevoerd, zoals met name de factor periode. In tabel 4.3 worden de berekeningen die met elkaar mogelijk vergeleken kunnen worden, nog eens bij elkaar geplaatst.

Tabel 4.3: Overzicht van de jaarlijkse gemiddelde interactie waarden (- = export, + = import).

	Run id	Interactie in Mln m ³ /jaar	
		Westerschelde / monding	Monding / Noordzee
Herber. Tweede verd.	tv1	-1,53	0,50
Zeespiegelstijging	zsl	-1,71	0,58
Onderhoud derde verd.	d ₃ o	2,20	2,4 -0,76
18,6-jarige getijcyclus	gal	0,10	-5,37
Calibratie ESTMORF 3.0	cal	1,10	-7,50

De getallen in tabel 4.3 zijn de jaarlijkse gemiddelde export of import waarden. Deze zijn afgeleid uit de zandbalansen. Voor alle duidelijkheid zijn de getallen in tabel 4.3 voorzien van een minteken om de export aan te duiden.

De voornaamste conclusie is, dat zowel de monding als de Westerschelde zijn omgeslagen in export en import van sediment. Was de monding over de periode 1968 – 1998 een exporterend systeem; de beide herberekening van de tweede verdieping en die van de zeespiegelstijging laten zien, dat de monding importerend is geworden over de periode 1999 – 2030.

De Westerschelde was over de periode 1968 – 1998 een importerend systeem; de beide herberekening van de tweede verdieping en die van de zeespiegelstijging laten zien, dat de Westerschelde exporterend is geworden over de periode 1999 – 2030.

Uit de berekening met de derde verdieping kan worden afgeleid, dat deze niet representatief is. Verwacht wordt dat door een toename van het baggerbezwaar a.g.v. de derde verdieping, er ook export zou moeten ontstaan van de Westerschelde naar de monding.

5 Aanbevelingen

5.1 Strategie-functionaliteit en de derde verdieping

De strategie-functionaliteit is nog niet vaak gebruikt. Deze functionaliteit is in deze fase van het project voor het eerst getest. Gezien de conclusie is nog niet duidelijk, wat precies de oorzaak is van het probleem van de snel uitgeputte baggercapaciteit.

Voorstel is dat eerst uitgezocht moet worden, wat de oorzaak van het probleem is waardoor de baggercapaciteit zo snel is uitgeput. Een mogelijke oorzaak is de aanpak en/of uitvoering van de berekening. Een andere mogelijke oorzaak van het probleem is de software. (Na de vakantie van Wang wordt het uitgezocht. Bij de bespreking van het concept rapport op 4 september aanstaande wordt het verder besproken en vervolgens in het definitief rapport verwerkt).

5.2 Herberekening tweede verdieping

Het verdient de aanbeveling om deze exercitie over vijf jaar wederom te herhalen. De bagger- en storthoeveelheden zijn dan over een langere periode bekend. Bovendien kan voor het extrapoleren van de bagger- en storthoeveelheden, rekening worden gehouden met een mogelijk tendens zoals die die kan blijken uit het gemeten baggerbezwaar. Nu is zo'n tendens nog niet te ontdekken, met als gevolg dat gedurende de dertig jaar, ieder jaar hetzelfde baggerbezwaar wordt uitgevoerd. Het effect hiervan is, dat er mogelijk teveel wordt gebaggerd, met nadelige gevolgen voor de morfologie. Met name in het oosten waar een tekort ontstaat vanwege het vele baggeren.

Een mogelijke oplossing voor dit effect is de stortstrategie te wijzigen. Meer sediment storten in het oosten zou ervoor kunnen zorgen, dat de zandbehoefte in het oosten afneemt.

5.3 Zeespiegelstijging

In voorgaande ESTMORF-berekeningen voor de Westerschelde is zeespiegelstijging niet meegenomen. Gezien de toename van de zandbehoefte van 11,5% in de hele Westerschelde en 11% in het oosten bij een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw, is zeespiegelstijging een autonome morfologische ontwikkeling waar rekening mee gehouden moet worden. De aanbeveling is dan ook om representatief zeespiegelstijgingsscenario te bepalen voor de Westerschelde en deze mee te nemen in toekomstige ESTMORF-berekeningen. Mogelijk is het dan ook nodig om nieuwe randvoorwaarden voor ESTMORF te bepalen waartoe het effect van zeespiegelstijging niet behoort.

5.4 18,6-Jarige getijcyclus

Uit de gemeten bagger- en storthoeveelheden zou onderzocht moeten worden of in de perioden 1968 t/m 1976 en 1984 t/m 1993 het baggerbezwaar hoger is geweest vanwege de 18,6-jarige getijcyclus. Als dit een verband zou opleveren, dan zou het bagger- en

stortbeleid hierop aangepast kunnen worden. Bijvoorbeeld zou het dan de overweging verdienen om een nieuwe ~~een-nieuwe~~ verdieping uit te voeren in de periode dat er extra erosie wordt verwacht vanwege de 18,6-jarige getijcyclus.

Referenties

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland 1997;

Milieu Aspecten Studie (MAS) Baggerspeciestort Westerschelde, Studie naar de effecten van het storten van specie, vrijkomend bij de 43/48 voet verruiming van de vaarweg in de Westerschelde, RWS Directie Zeeland.

Fokkink, R, juni 1998;

Final version of the ESTMORF-model final version, WL|Delft Hydraulics, Z2262

Helvert, M.A.G. van, juli 1999;

Onderzoek naar de effecten van baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde m.b.v. het ESTMORF-model in het kader van MOVE, RIKZ Rijkswaterstaat, werkdocument RIKZ/OS-99.817x

Jeuken, M.C.J.L en Weck, A.W. van de, december 1999;

Uitbreiding ESTMORF-model Westerschelde; Afregelen van het waterbewegingsmodel IMPLIC, WL|Delft Hydraulics, Z2701.

Jeuken, M.C.J.L en Wang, Z.B. juli 2001;

Advies aangaande de maximaal verantwoorde stortingen in de Westerschelde, memo.

Wang, Z.B. en Bruinsma, R., december 1999;

Verbetering ESTMORF, WL|Delft Hydraulics, Z2760.

Wang, Z.B. en Helvert, M.A.G. van, november 2000;

Verbetering intergetijdengebied in ESTMORF; implementatie van diverse maatregelen, WL|Delft Hydraulics, Z3002

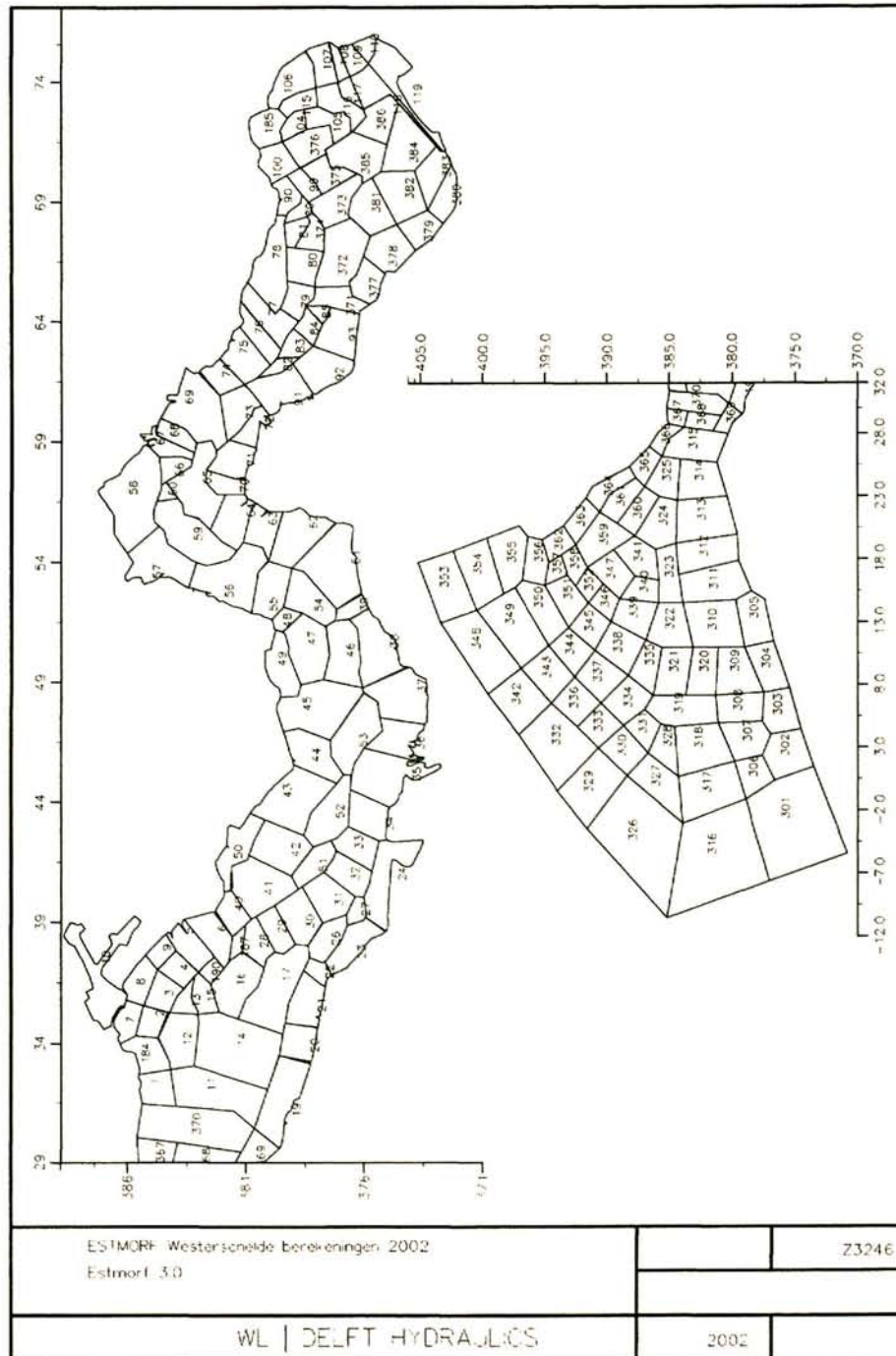
Wang, Z.B. en Helvert, M.A.G. van, september 2001;

ESTMORF-model voor de Westerschelde inclusief de monding; Verbeteringen software en uitbreiding/kalibratiemodel, WL|Delft Hydraulics, Z3105.

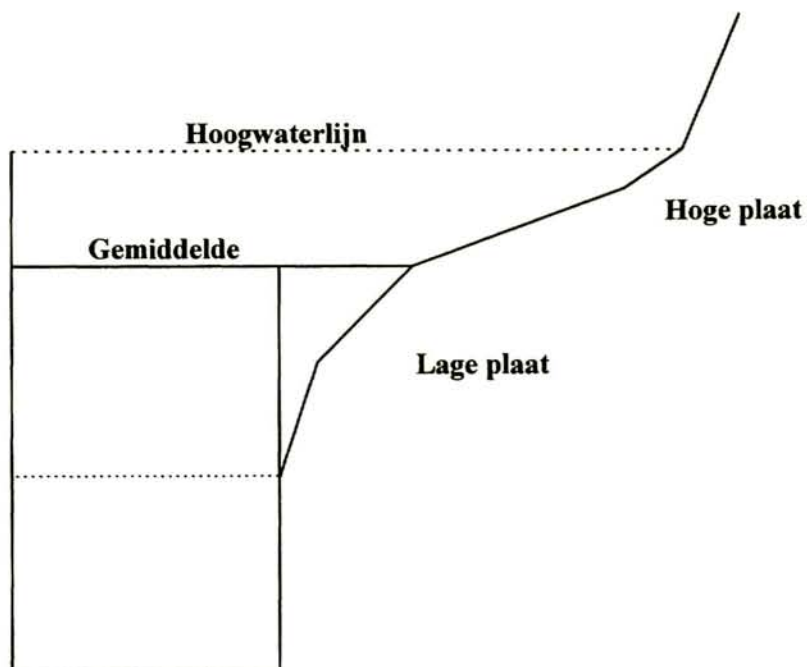
Wang, Z.B. en Helvert, M.A.G. van, november 2001;

ESTMORF, a model for long term morphological development of estuaries and tidal lagoons, WL|Delft Hydraulics, Z3105.

A ESTMORF-model

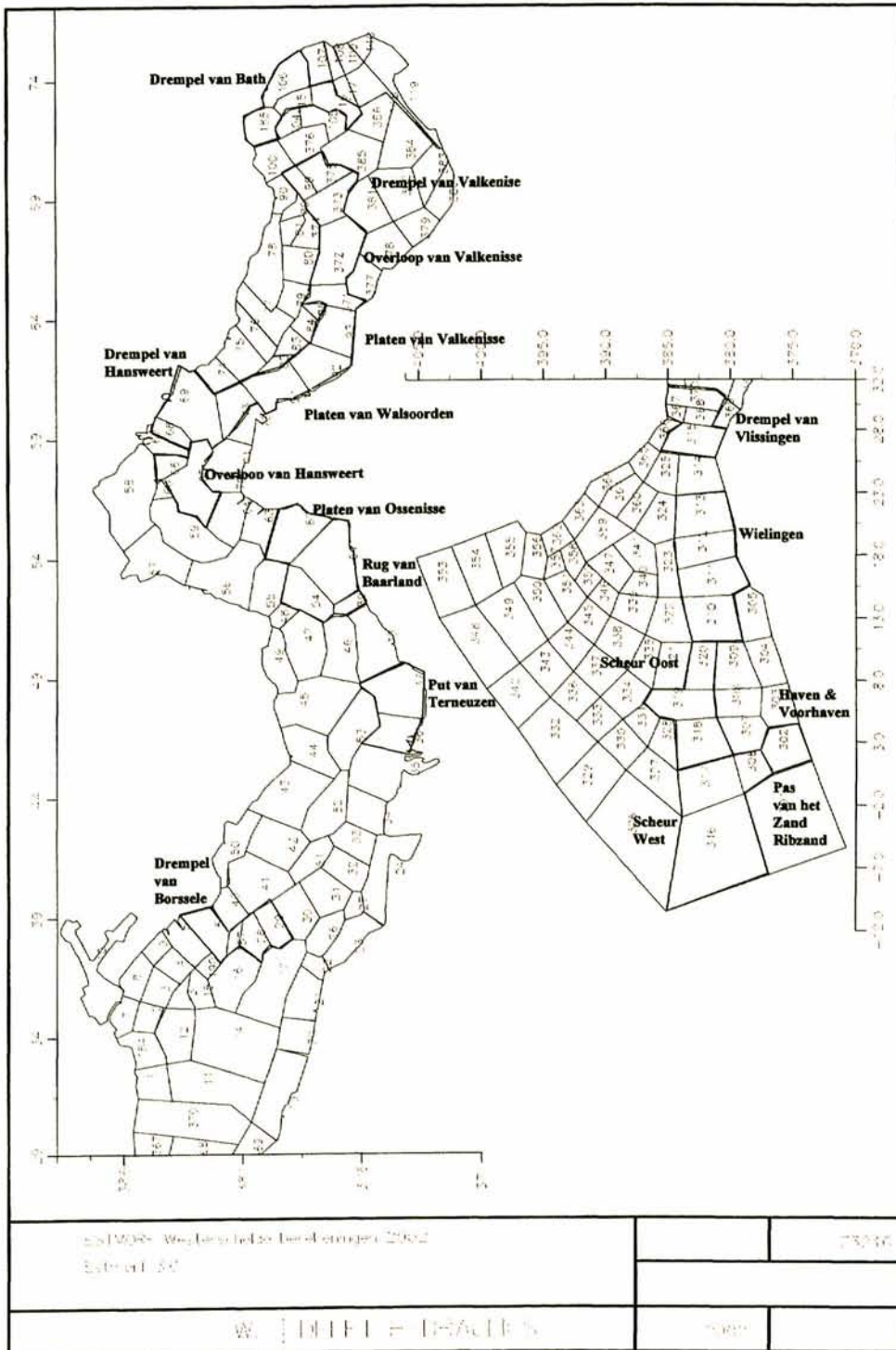


B ESTMORF dwarsprofiel

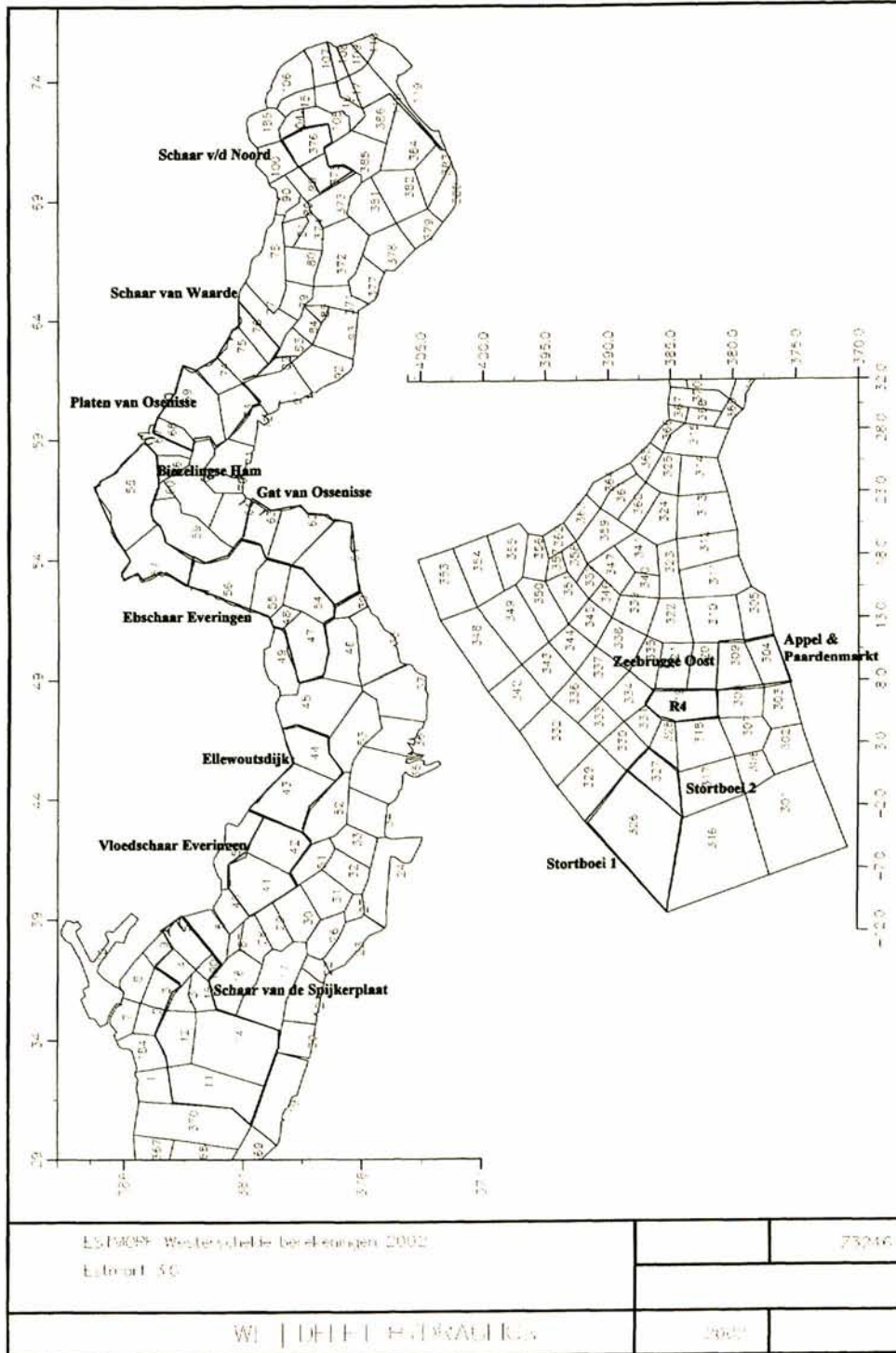


C Bagger- en stortlocaties

Baggerlocaties



Stortlocaties



D Attribute file data9929.ca I

Plaats afhankelijke invoer in volgorde van oost naar west.
Baggeren

locatie% Overlapping met SOB EK-schematisatie

11			
Bs1	Drempel van Baath		
	106	115	116 185
	1.58	75.1	7.43 15.89
Bs2	Drempel van Valkenisse		
	372	373	99 375
	5.9	44.78	47.81 1.52
Bs3	Overloop van Valkenisse		
	372		
	100		
Bs4	Platen van Valkenisse		
	92	93	371 372
	8.96	48.55	32.18 10.3
Bs5	Platen van Walsoorden		
	91	92	
	89.3	10.7	
Bs6	Drempel van Hansweert		
	68	69	73 91
	7.77	50.48	34.59 7.15
Bs7	Overloop van Hansweert		
	65	66	
	69.17	30.83	
Bs8	Platen van Ossensisse		
	61	62	
	58.89	41.11	
Bs9	Drempel van Baarland		
	39	54	61
	12.56	85.68	1.76
Bs10	Put van Terneuzen		
	36	37	
	19.62	80.38	
Bs11	Drempel van Borssele		
	6	28	29 40 187
	13.74	43.1	12.39 0.1 30.68
Storten			
	locatie% Overlapping met SOB EK-schematisatie		
11			
Ss1	Schaar van de Noord eb & vl		

	376	375	
	52.8	47.2	
Ss2	Schaar van Waarde eb & vloed		
	69	73	74 75 76
	1.44	0.71	32 55.28 10.56
Ss3	Plaat van Ossensisse		
	68	69	73
	3.41	73.91	22.68
Ss4	Biezelingse Ham eb & vloed		
	58	57	
	27.4	72.6	
Ss5	Gat van Ossensisse eb		
	61	62	63
	18.52	69.51	11.97
Ss6	Gat van Ossensisse vloed		
	61		
	100		
Ss7	Ebschaar Everingen		
	47	48	54 55 56
	51.43	31.19	0.93 14.64 1.8
Ss8	Ellewoutsdijk eb & vloed		
	44	43	
	45.05	54.95	
Ss9	Vloedschaar Everingen eb		
	41	42	
	16.58	83.42	
Ss10	Vloedschaar Everingen vloed		
	41		
	100		
Ss11	Schaar van de Spijkerplaat		
	4	5	11 12 13 14 15 190
	0.54	0.52	0.09 52.57 25.63 4.38 15.16 1.12
Zandwinning			
locatie%	Overlapping met SOBEK-schematisatie		
21			
ZWs1	1a		
	1	2	12 184
	14.43	25.47	0.01 60.1
ZWs2	1b		
	19		
	61.81		
ZWs3	11a		
	28	29	187
	85.09	13.35	1.56
ZWs4	11b		
	29	30	
	62.45	37.55	

ZWs5 IIc	30	31	32
	15.9	82.4	1.7
ZWs6 IId	23	26	
	93.58	6.42	
ZWs7 IIIf	53		
	100		
ZWs8 IIIf	53		
	100		
ZWs9 IIIf	37	38	
	34.26	65.74	
ZWs10 IIIf/IIIf/IIIf/IIIf	45	46	
	31.96	68.04	
ZWs11 IVa	57	58	
	26.78	73.22	
ZWs12 IVb	65	66	
	99.79	0.21	
ZWs13 Va	74		
	100		
ZWs14 Vb	75		
	100		
ZWs15 Vc	76		
	100		
ZWs16 VI	77		
	100		
ZWs17 VII	77		
	100		
ZWs18 VIIIf	93	371	
	43.9	56.1	
ZWs19 VIIIf/VIIIf	371	372	
	0.48	99.52	
ZWs20 Radargeul Saeflinge	54	61	

E Attribute file strt9929.ca9

0 overdiepte

850000 Baggercapaciteit voor het hele gebied per tijdstap.

6	4348	-13.90	-13.90	10	9	11	8	7	6	5	4	3	2	1
187	2590	-13.90	-13.90	10	9	11	8	7	6	5	4	3	2	1
28	3458	-13.90	-13.90	10	9	11	8	7	6	5	4	3	2	1
29	4295	-13.90	-13.90	10	9	11	8	7	6	5	4	3	2	1
40	3695	-13.90	-13.90	10	9	11	8	7	6	5	4	3	2	1
36	3485	-13.40	-13.40	8	6	5	7	9	10	4	11	3	2	1
37	3805	-13.40	-13.40	8	6	5	7	9	10	4	11	3	2	1
39	3080	-13.40	-13.40	7	6	5	8	4	9	10	3	2	11	1
54	3293	-13.40	-13.40	7	6	5	8	4	9	10	3	2	11	1
61	4213	-13.30	-13.30	6	5	7	4	8	3	2	9	10	1	11
62	3348	-13.30	-13.30	6	5	7	4	8	3	2	9	10	1	11
65	2348	-13.30	-13.30	4	3	6	5	2	7	1	8	9	10	11
66	2205	-13.30	-13.30	4	3	6	5	2	7	1	8	9	10	11
68	3355	-13.30	-13.30	3	2	4	1	6	5	7	8	9	10	11
69	4530	-13.30	-13.30	3	2	4	1	6	5	7	8	9	10	11
73	3398	-13.30	-13.30	3	2	4	1	6	5	7	8	9	10	11
91	2600	-13.30	-13.30	2	3	1	4	5	6	7	8	9	10	11
92	2120	-13.30	-13.30	2	3	1	4	5	6	7	8	9	10	11
93	2120	-13.30	-13.30	2	3	1	4	5	6	7	8	9	10	11
371	1950	-13.30	-13.30	2	3	1	4	5	6	7	8	9	10	11
372	2053	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
373	2448	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
99	1603	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
375	1543	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
106	2128	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
115	1620	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
116	1598	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
185	1468	-13.30	-13.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Overzicht hoeveelheden zandwinning

Westerschelde		Monding					Lodingsvak 17		Lodingsvak 18a		Lodingsvak 19		Tot Monding	
jaar	lib	lic	lifa	lilb	lilc	Vb	Va	Vc	Villa	Vilb	Vilc	Tot Wscheld	Tot Wscheld	Tot Monding
1998	7571	0	11592	18120	18360	20965	17020	17315	46718	159861	159861	159861	159861	7917
1999	7571	0	11592	18120	18360	20965	17020	17315	46718	159861	159861	159861	159861	7917
2000	7571	0	11592	18120	18360	20965	17020	17315	46718	159861	159861	159861	159861	7917
2001	7571	0	11592	18120	18360	20965	17020	17315	46718	159861	159861	159861	159861	7917
2002	7571	0	11592	18120	18360	20965	17020	17315	46718	159861	159861	159861	159861	7917
Totaal	38648	0	57984	90720	91800	104890	68420	70950	187332	639486	639486	639486	639486	39885
2000	4105	2886	14352	17018	15625	13905	21254	19732	34596	143774	143774	143774	143774	7917
2001	4105	2886	14352	17018	15625	13905	21254	19732	34596	143774	143774	143774	143774	7917
2002	4105	2886	14352	17018	15625	13905	21254	19732	34596	143774	143774	143774	143774	7917
Totaal	12315	8658	43056	51054	46875	41715	63762	59218	103788	431322	431322	431322	431322	23851
2001	11422	3841	4426	24119	15640	12229	8312	963	22232	103383	103383	103383	103383	7917
2002	11422	3841	4426	24119	15640	12229	8312	963	22232	103383	103383	103383	103383	7917
Totaal	22844	7682	8852	48238	31280	24458	16624	1926	44464	206766	206766	206766	206766	15834
2001	11422	3841	4426	24119	15640	12229	8312	963	22232	103383	103383	103383	103383	7917
2002	11422	3841	4426	24119	15640	12229	8312	963	22232	103383	103383	103383	103383	7917
Totaal	22844	7682	8852	48238	31280	24458	16624	1926	44464	206766	206766	206766	206766	15834
2001	13708	46987	53114	288429	180076	146743	87142	11554	261778	1240598	1240598	1240598	1240598	95001
2002	7899	2742	10724	20086	16708	15700	15529	12670	34515	130272	130272	130272	130272	7917
Totaal	21607	54409	63838	308515	196784	162443	102671	12824	296393	1370870	1370870	1370870	1370870	102918
Jaartijds versaf 2002	92392	29399	121483	241028	200495	180395	180344	152042	41182	1622270	1622270	1622270	1622270	95001

G Principe zandbalans

Schets en berekening erosie/sedimentatie proces per vak.

De relatie tussen transport en sedimentatie kan als volgt worden omschreven:

$$\Delta V = \sum_i T_i$$

waarin de volgende termen zijn te verklaren:

T = Netto transport sediment verplaatsing door de grens van de vakken;

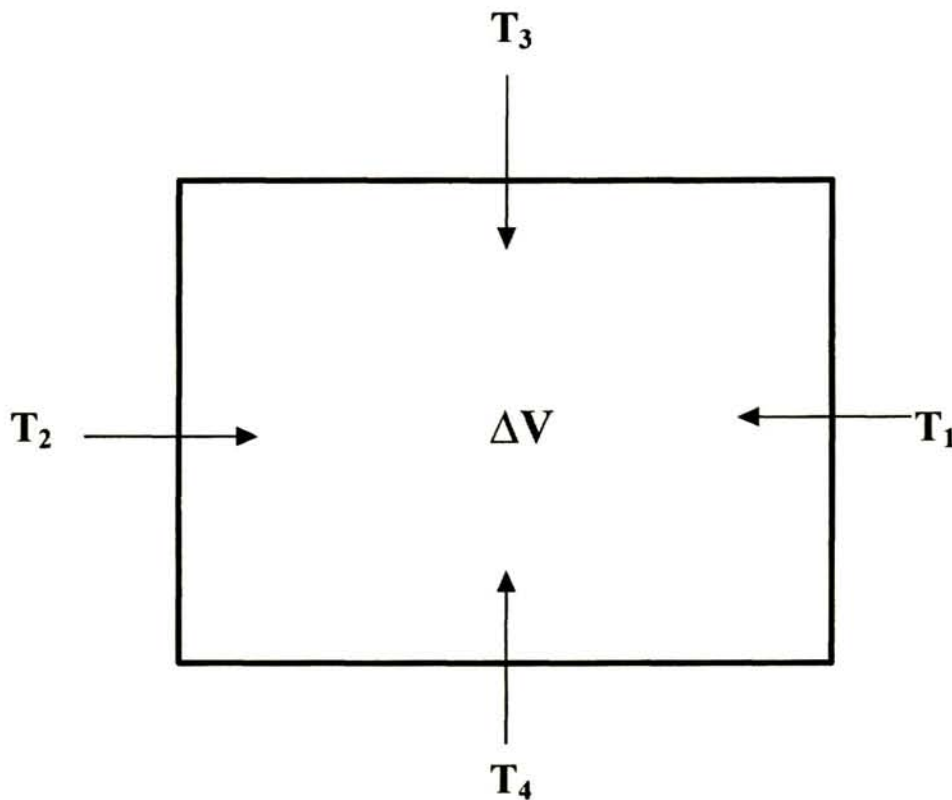
ΔV = Natuurlijke volumeverandering kan ook berekend worden door $\Delta V = I - E$

waarin I de ingreep voorstelt (baggeren/zandwinning -storten) en E de volumeverandering (+ = erosie, - = sedimentatie) berekend door ESTMORF

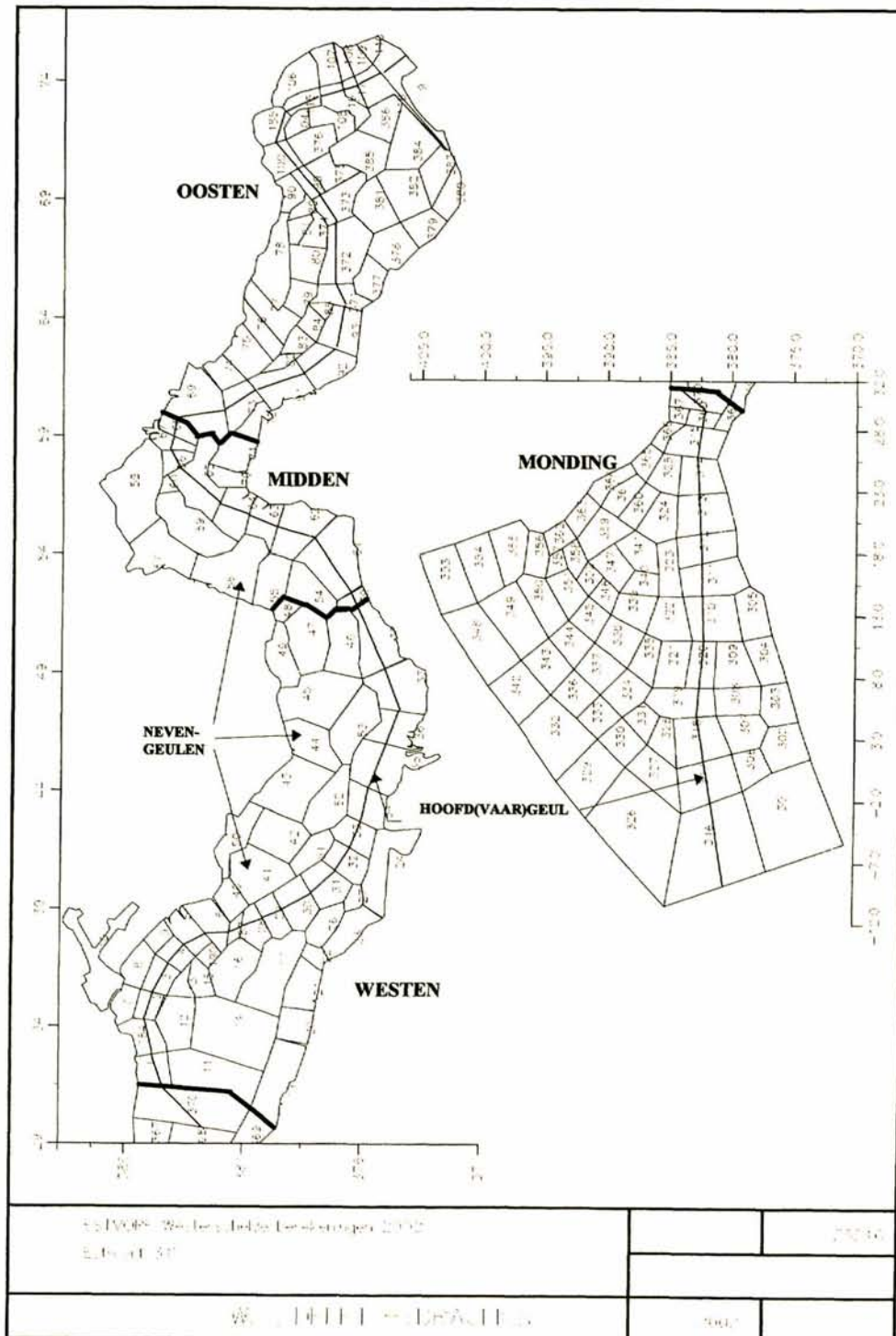
De relatie kan als volgt worden beschreven:

$$(\Delta V) = I - E$$

T_i = positief als het naar het vak toegericht is.



H Aggregatie nivea hoofd(vaar)geul, nevengeul, westen, midden en oosten



I Resultaten kalibratie strategie-functionaliteit

Locaties meting/ber.	BAGGEREN [m ³]											Totaal	
	Dr van Bath	Dr van Valkenisse	Dr van Valkenisse	Ovl van Valkenisse	Plt van Valkenisse	Plt van Walsoord.	Dr van Hansw.	Ovl van Hansw.	Plt van Ossenisse	Dr van Baarland	Put van Terneuzen		Dr van Borssele
Meting 1999	1.017.169	1.259.487	1.166.490	0	1.166.490	559.408	2.897.507	1.509.066	692.275	0	747.903	1.297.991	11.147.297
Ber. 1999	0	0	0	0	0	0	0	635.889	0	0	3.752.825	1.408.163	9.578.456
Meting 2000	816.464	1.291.765	69.428	1.998.237	69.428	176.112	2.330.315	1.091.249	0	0	396.365	997.004	9.166.939
Ber. 2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.254.188	2.416.208	10.199.970
Meting 2001	810.648	2.038.642	230.104	1.590.289	230.104	220.816	1.869.808	243.535	914.611	226.500	334.704	968.089	9.447.745
Ber. 2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.442.977	5.064.157	2.692.836	10.199.970

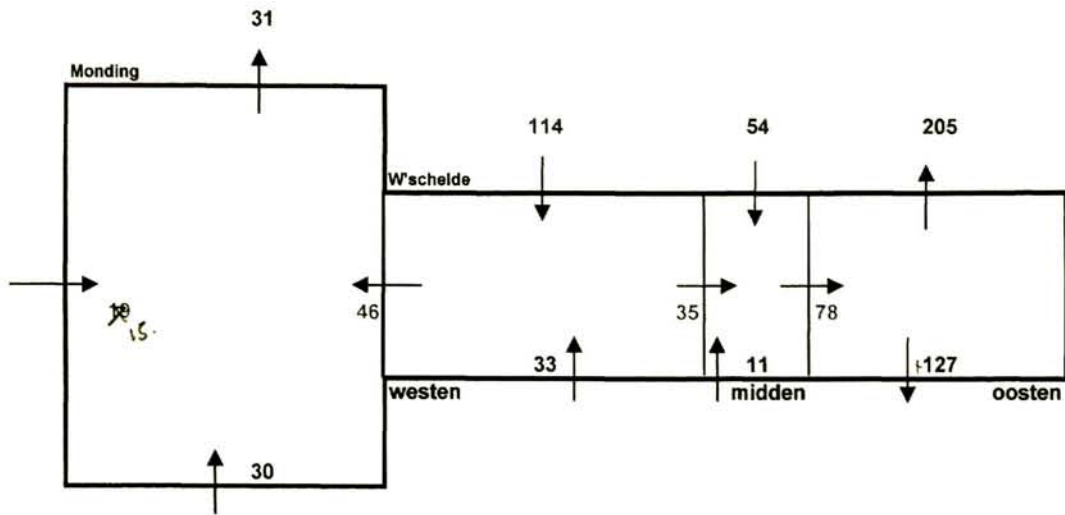
Tabel vergelijk gemeten en berekende baggerhoeveelheden van 1999 t/m 2001, kalibratie strategie-functionaliteit

Locaties meting/ber.	STORTEN [m ³]											Totaal
	Schr vd Noord E&V	Schr van Waarde E&V	Plt van Ossenisse	Biezel. Ham E&V	Gat van Ossenisse Eb	Gat van Ossenisse Vloed	Ebschr Everingen	Ellewouts- dijk E&V	Vloedschr Everingen Eb	Vloedschr Everingen Vld	Schr vd Spijkerpl E&V	
Meting 1999	0	546.064	276.138	1.547.986	1.301.729	760.858	507.507	80.710	1.279.109	1.568.666	3.278.529	11.147.297
Ber. 1999	0	546.060	276.132	1.548.000	1.301.724	760.844	507.504	80.700	1.279.103	1.568.661	1.709.750	9.578.478
Meting 2000	613	634.975	271.144	2.481.776	627.308	552.346	537.282	1.370.995	3.820	1.160.056	1.836.110	9.476.425
Ber. 2000	0	634.979	271.140	2.481.780	627.300	552.335	537.276	1.370.998	3.816	1.160.052	2.560.315	10.199.991
Meting 2001	0	587.965	223.439	2.339.444	854.534	687.752	504.935	904.406	154.395	1.332.691	2.219.992	9.809.552
Ber. 2001	0	475.782	223.440	2.339.448	854.532	687.744	504.936	904.398	154.392	1.332.684	2.722.630	10.199.986

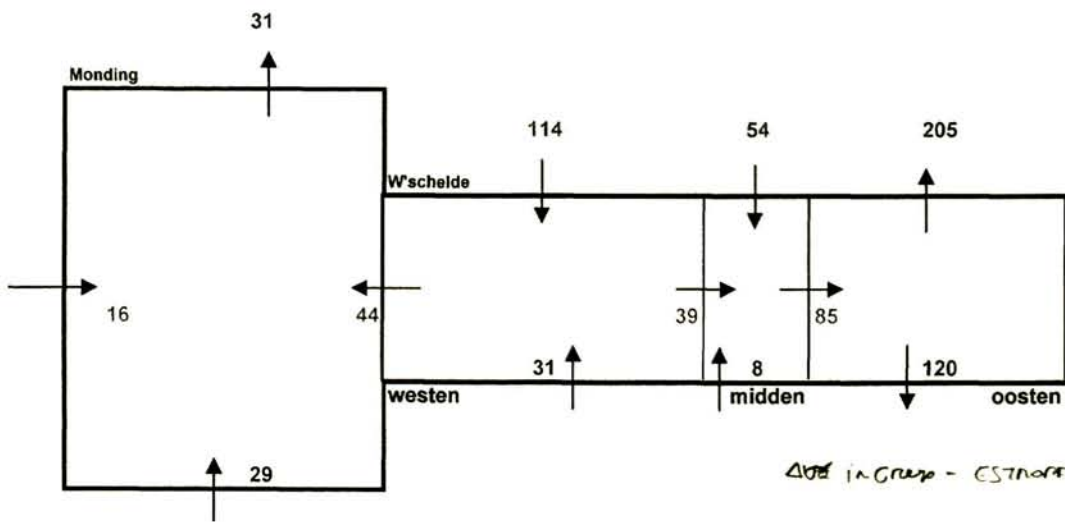
Tabel vergelijk gemeten en berekende storthoeveelheden van 1999 t/m 2001, kalibratie strategie-functionaliteit

J Bagger- en storthoeveelheden onderhoud derde verdieping

dZo	Baggeren			Storten			Verschil			Cumulatief
	Bonddig	Westen W'schelde	Costen W'schelde	Bonddig	Westen W'schelde	Costen W'schelde	Midden W'schelde	Costen W'schelde	Totaal	
2004	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2005	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2006	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2007	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2008	0	1366969	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2009	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2010	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2011	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2012	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2013	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2014	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2015	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2016	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2017	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2018	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2019	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2020	0	1400004	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2021	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2022	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2023	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2024	0	1400001	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2025	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2026	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2027	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2028	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2029	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2030	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2031	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2032	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2033	0	1400003	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0
2034	0	1400002	0	4318212	3659060	448126	1628906	1400004	0	0



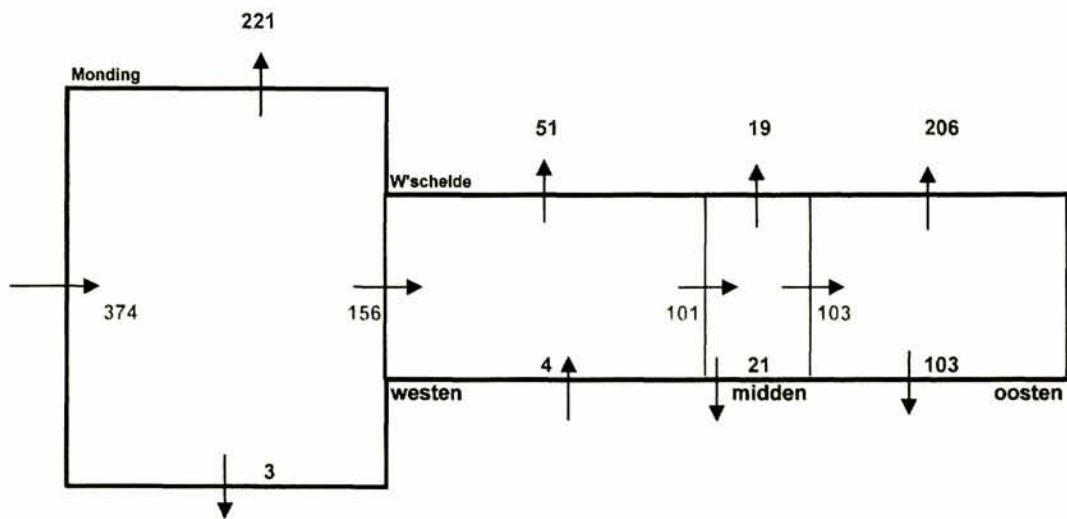
Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



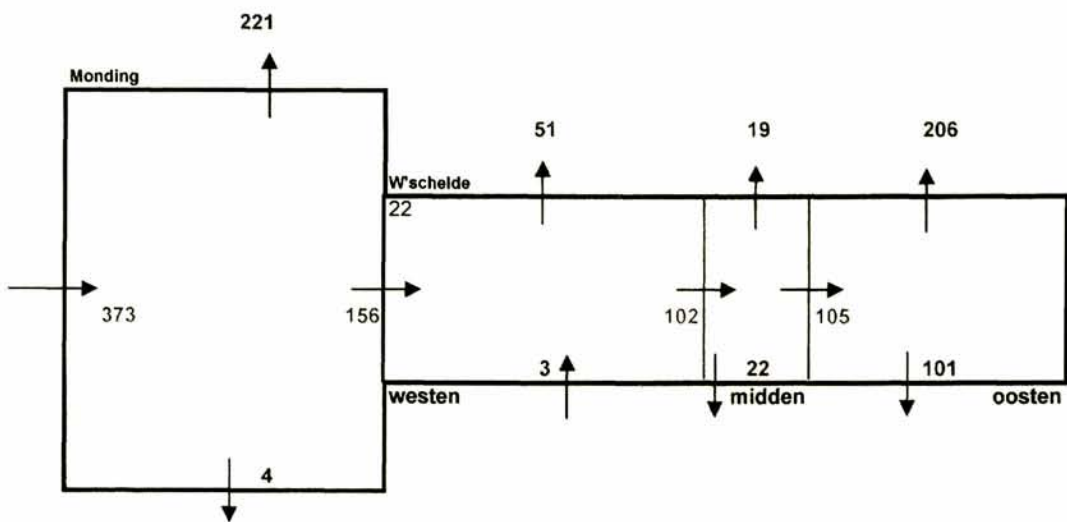
Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren *en negatieve waarde voor sedimentatie*
 ↓ = negatieve waarde voor storten *en sedimentatie*
 ← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)
En positieve waarde voor erosie

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002 Zandbalans, boven t.o.v. HW onder t.o.v. LW Run tv1: Herberekening tweede verdieping.	Z3246	
	2002	
WL DELFT HYDRAULICS	Fig. 3.1a	



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

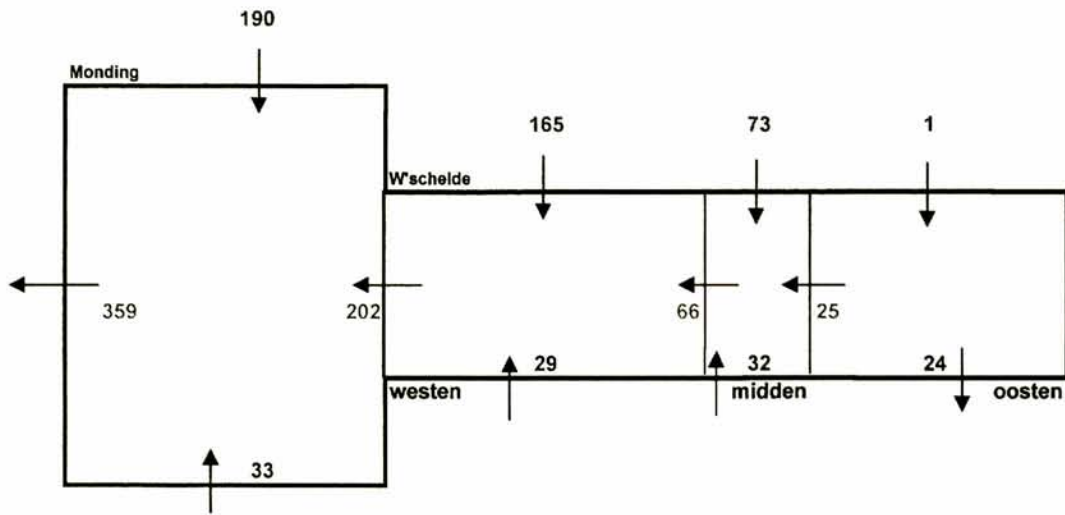
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Hoofdgeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run tvI: Herberekening tweede verdieping.

Z3246

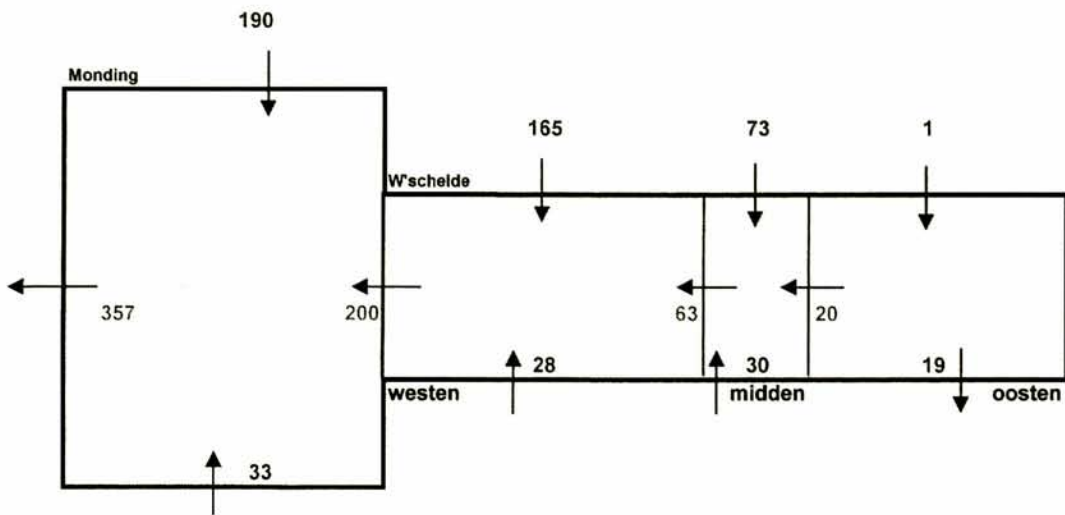
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.1b



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Nevengeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run tv I: Herberekening tweede verdieping.

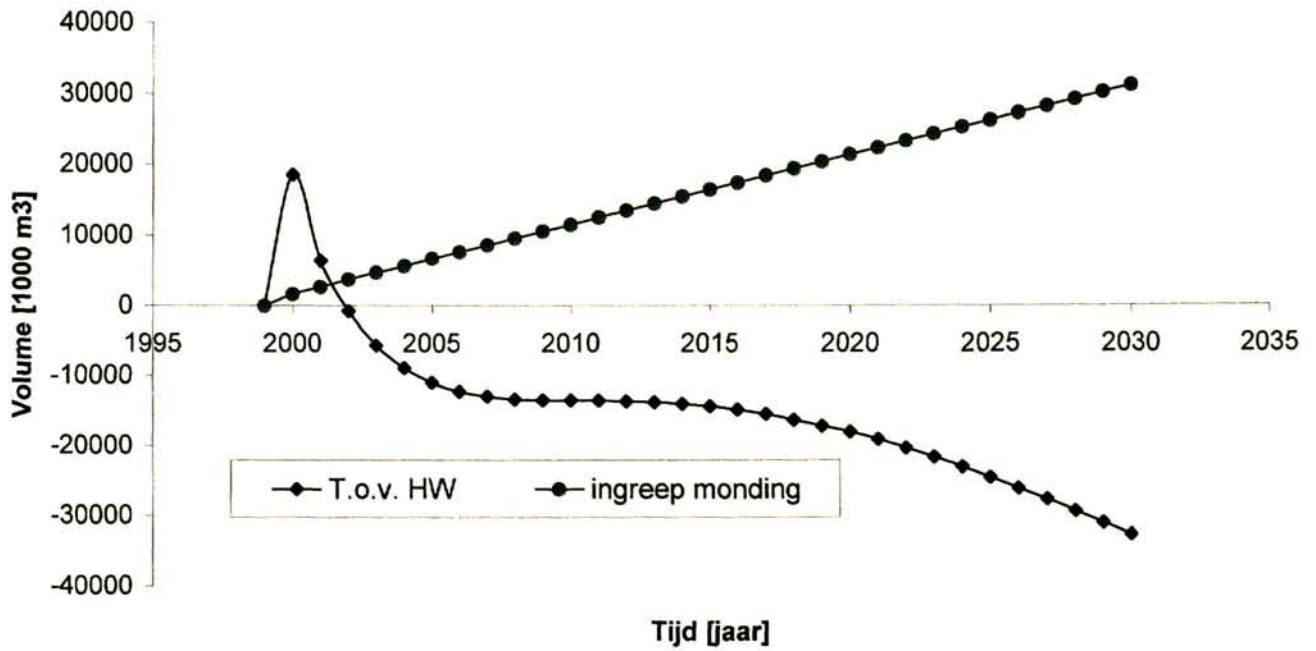
Z3246

2002

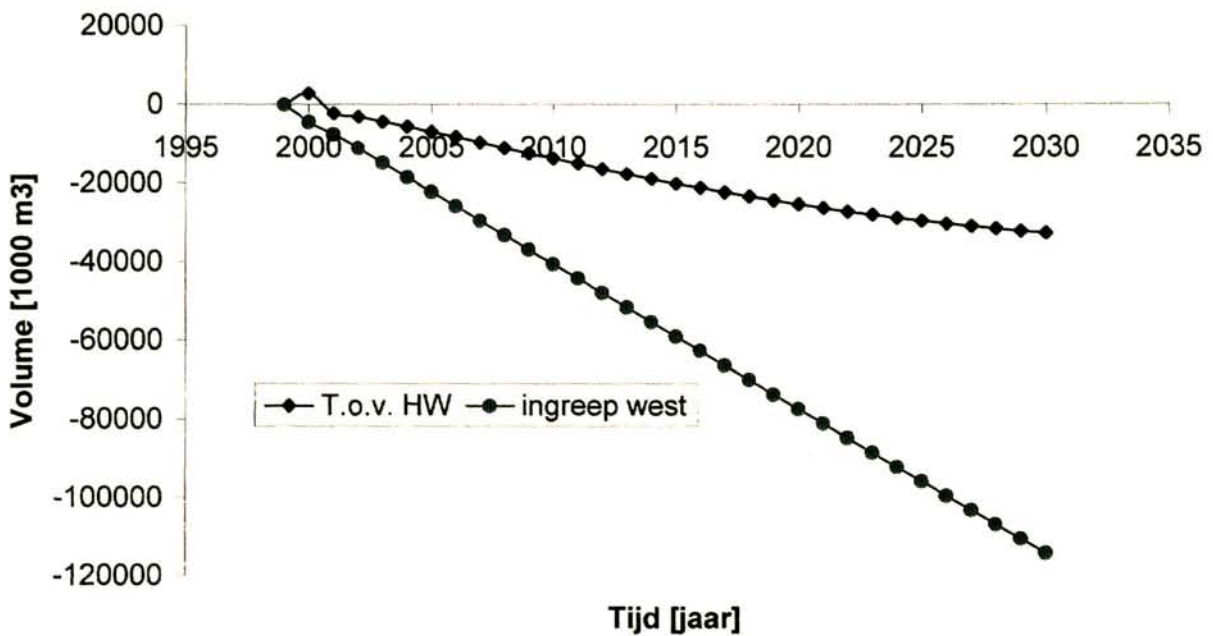
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.1c

Cumulative volume verandering in de monding



Cumulative volume verandering in westen estuarium



ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
 Run tv I: Herberekening tweede verdieping.

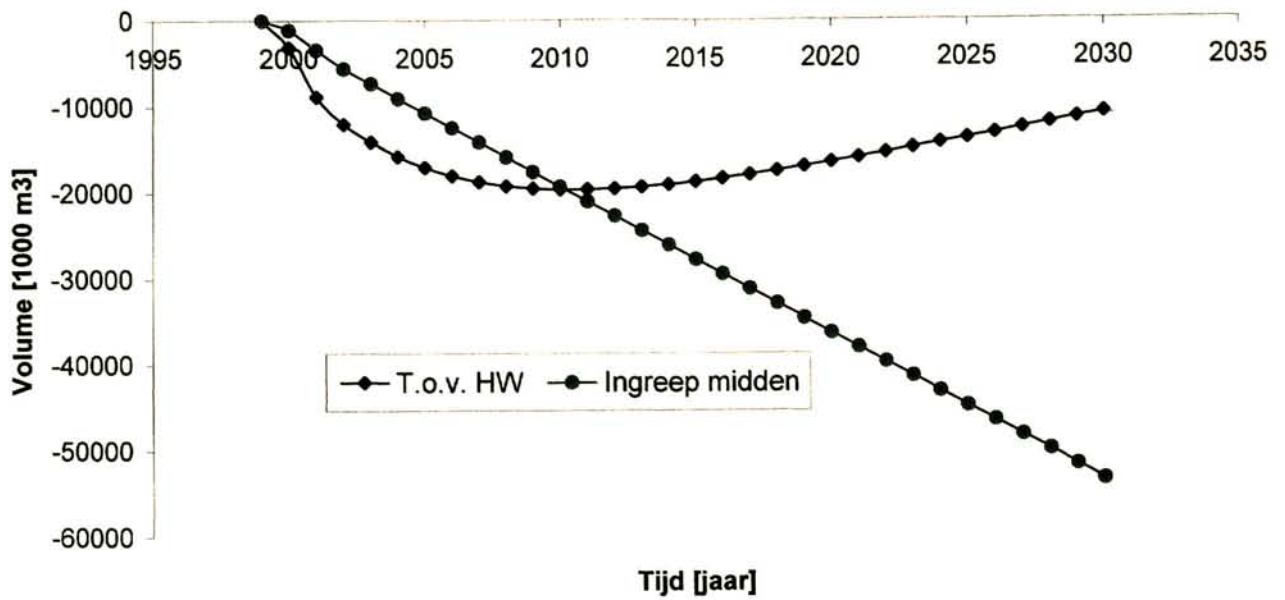
Z3246

2002

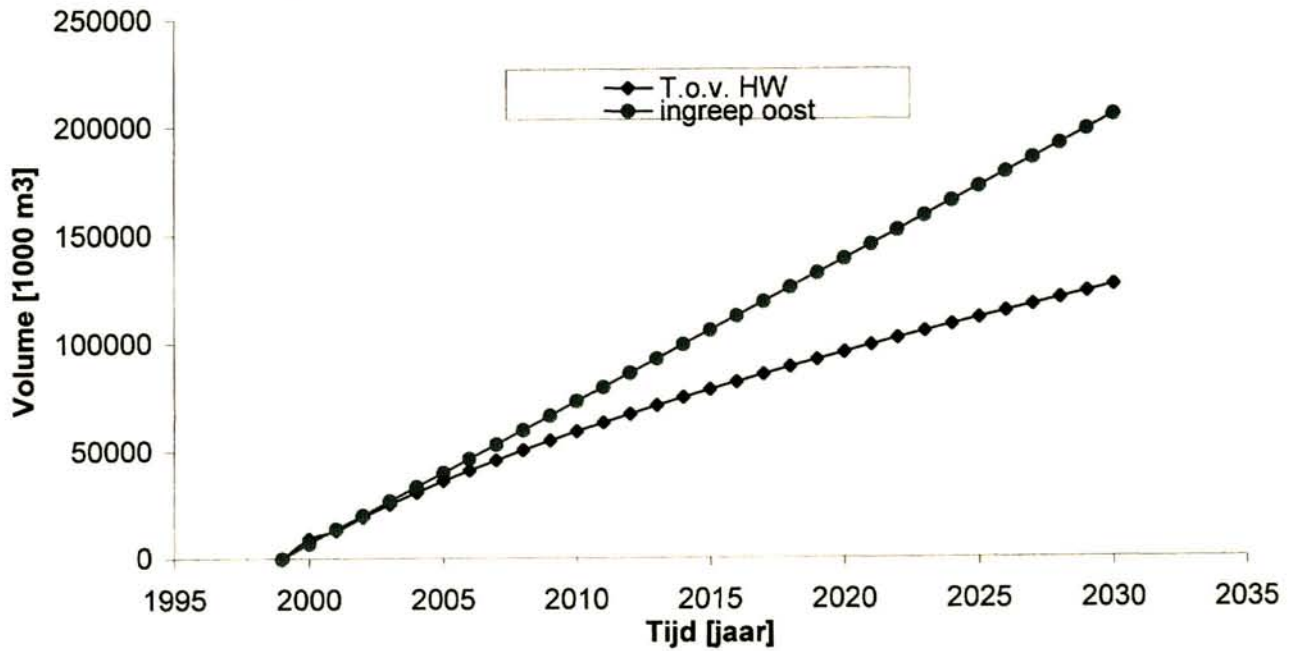
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.1d

Cumulatieve volume verandering midden estuarium



Cumulatieve volume verandering in oosten estuarium



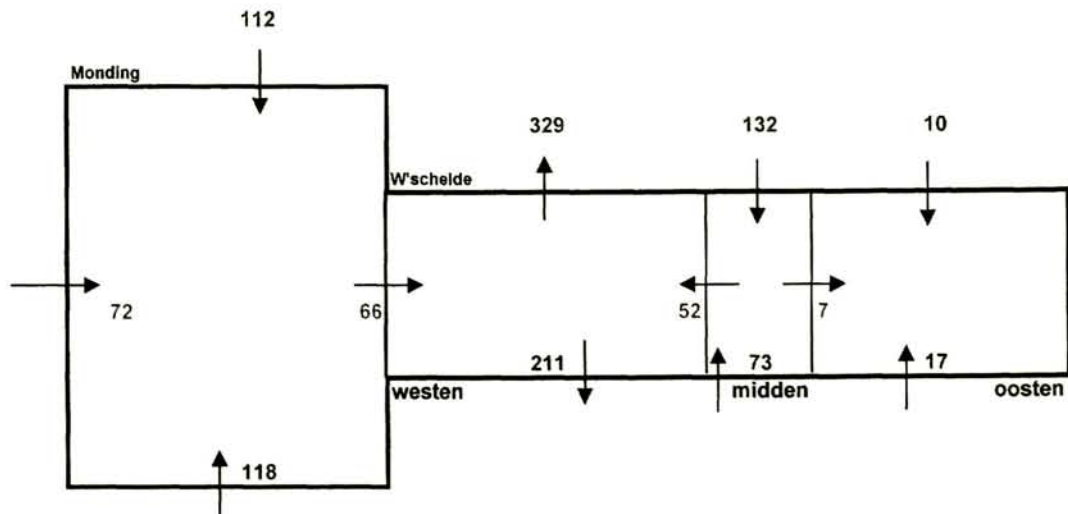
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
 Run tv I: Herberekening tweede verdieping.

Z3246

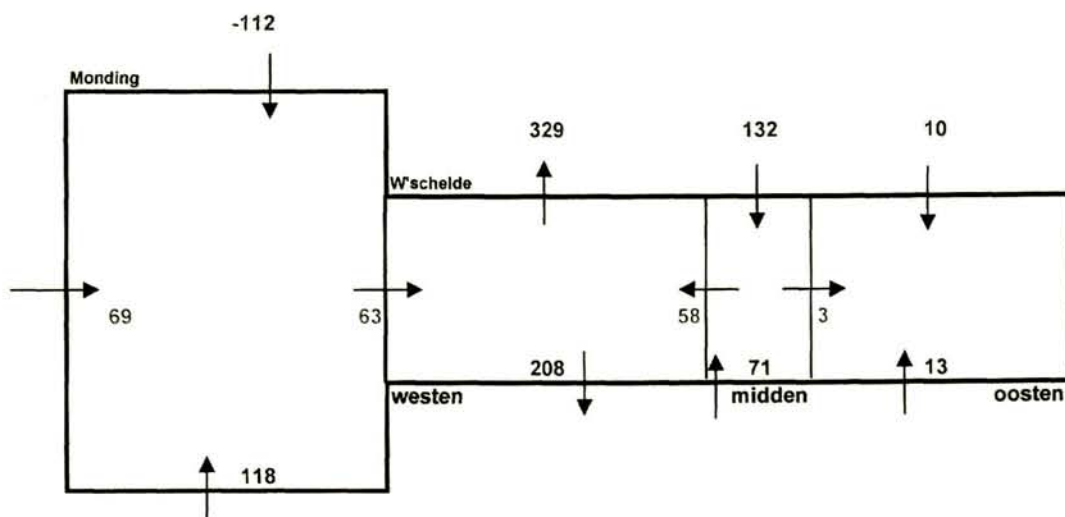
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.1e



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

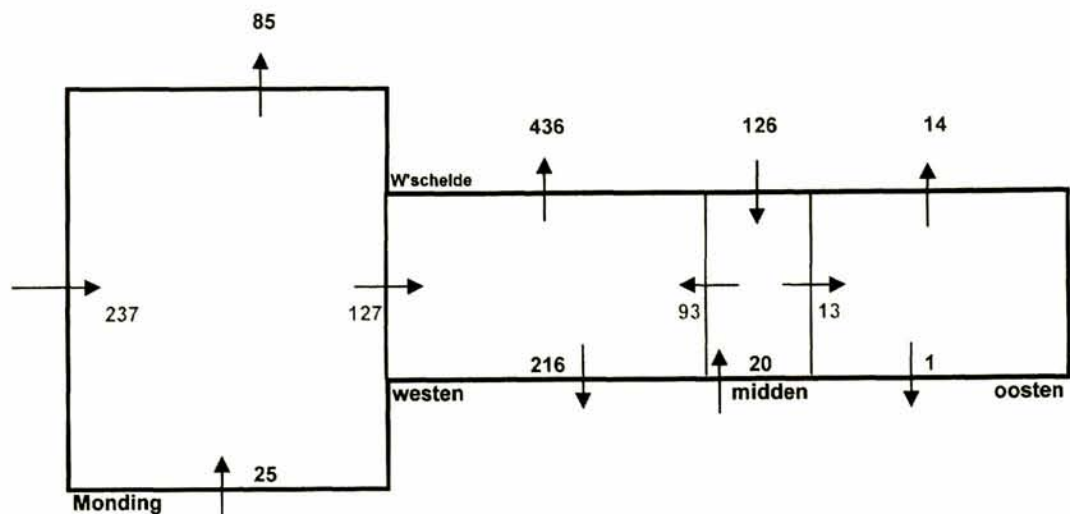
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans, boven t.o.v. HW onder t.o.v. LW
 Run d2o: Onderhoud derde verdieping, baggercapaciteit 14 Mln m³/jaar.

Z3246

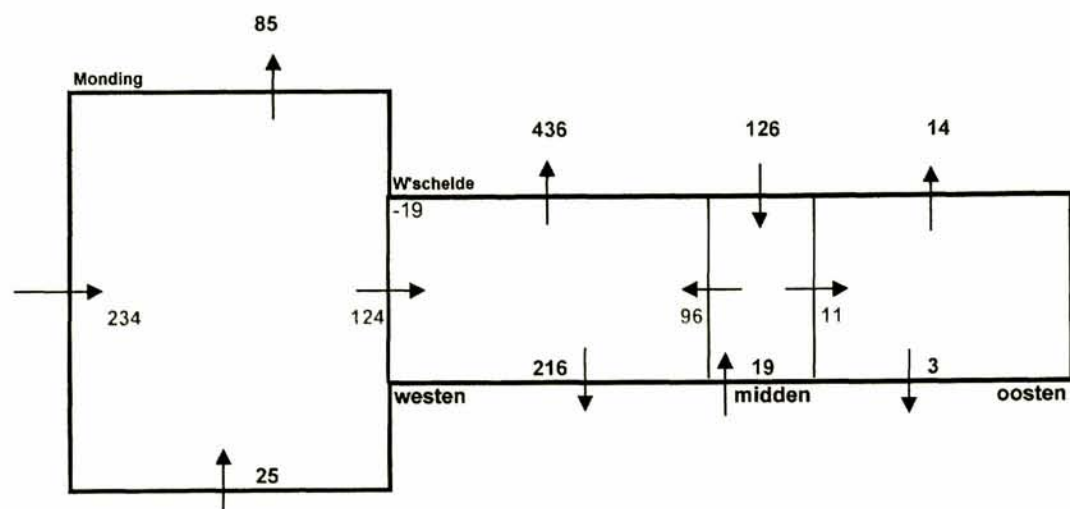
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.2a



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

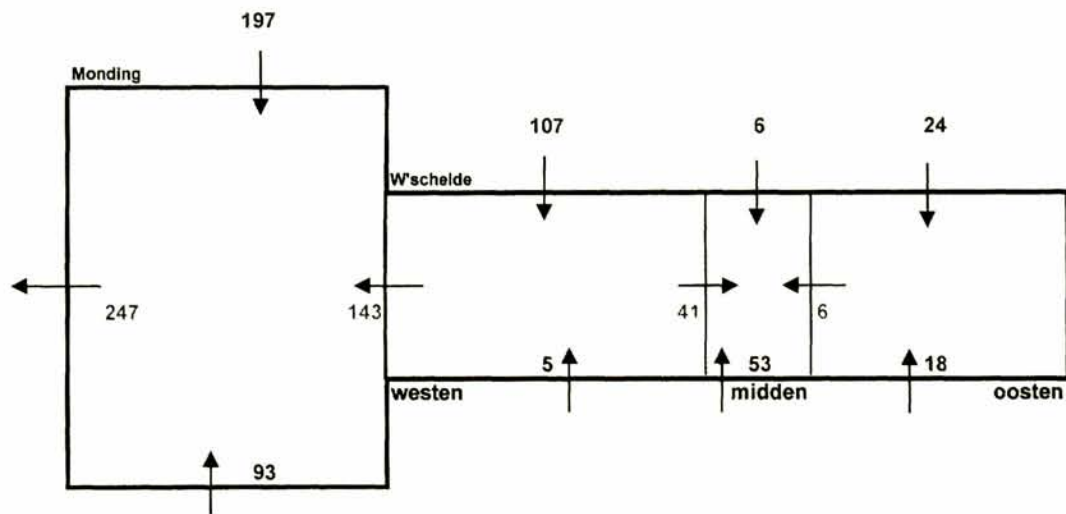
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Hoofdgeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run d2o: Onderhoud derde verdieping, baggercapaciteit 14 Mln m³/jaar.

Z3246

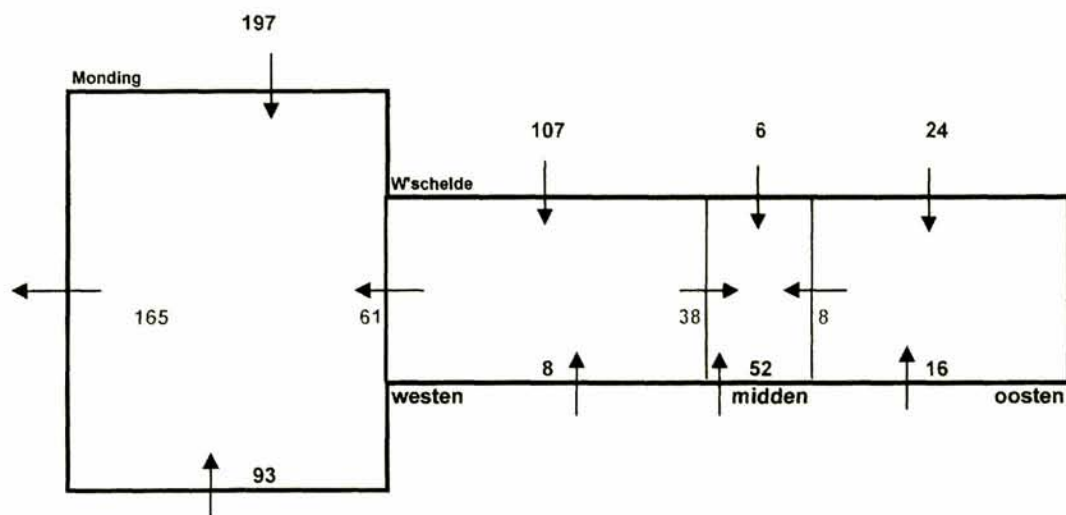
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.2b



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Nevengeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run d2o: Onderhoud derde verdieping, baggercapaciteit 14 Mln m³/jaar.

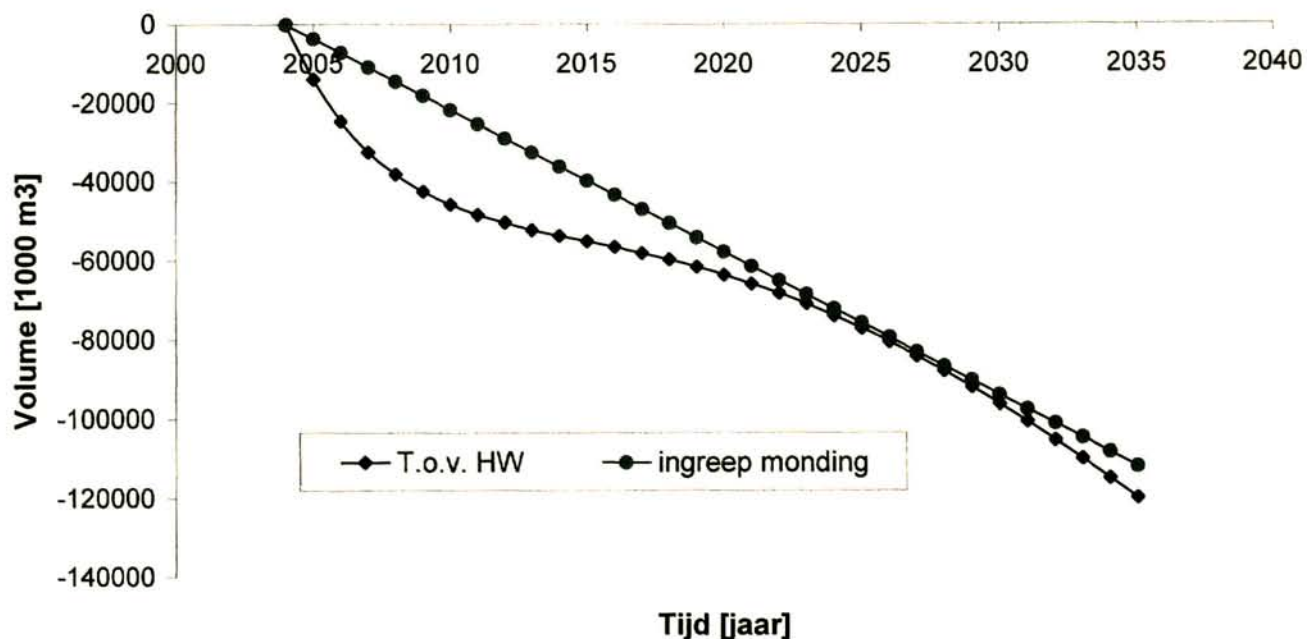
Z3246

2002

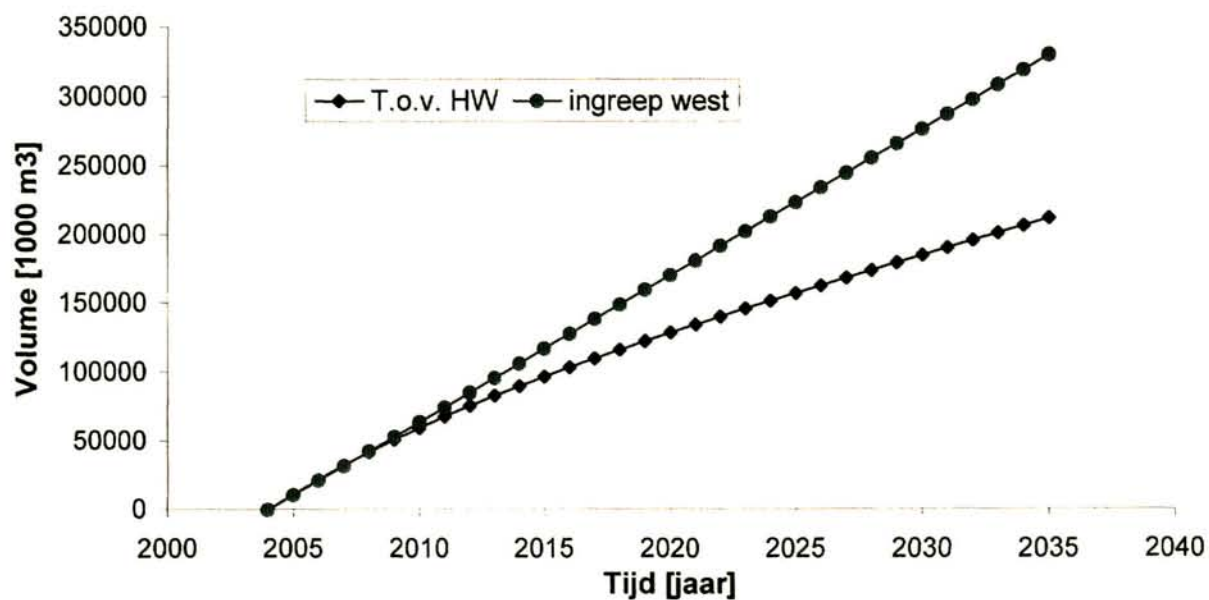
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.2c

Cumulatieve volume verandering in de monding



Cumulatieve volume verandering in westen estuarium

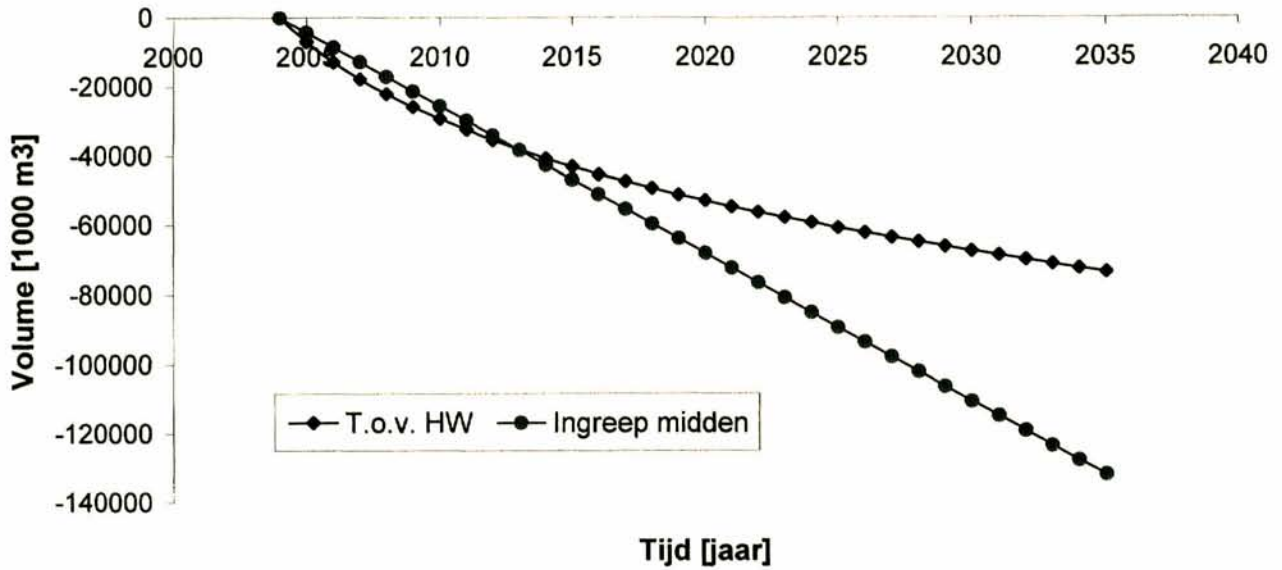


ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
 Run d2o: Onderhoud derde verdieping, bagcapaciteit 14Mlnm3/jr.

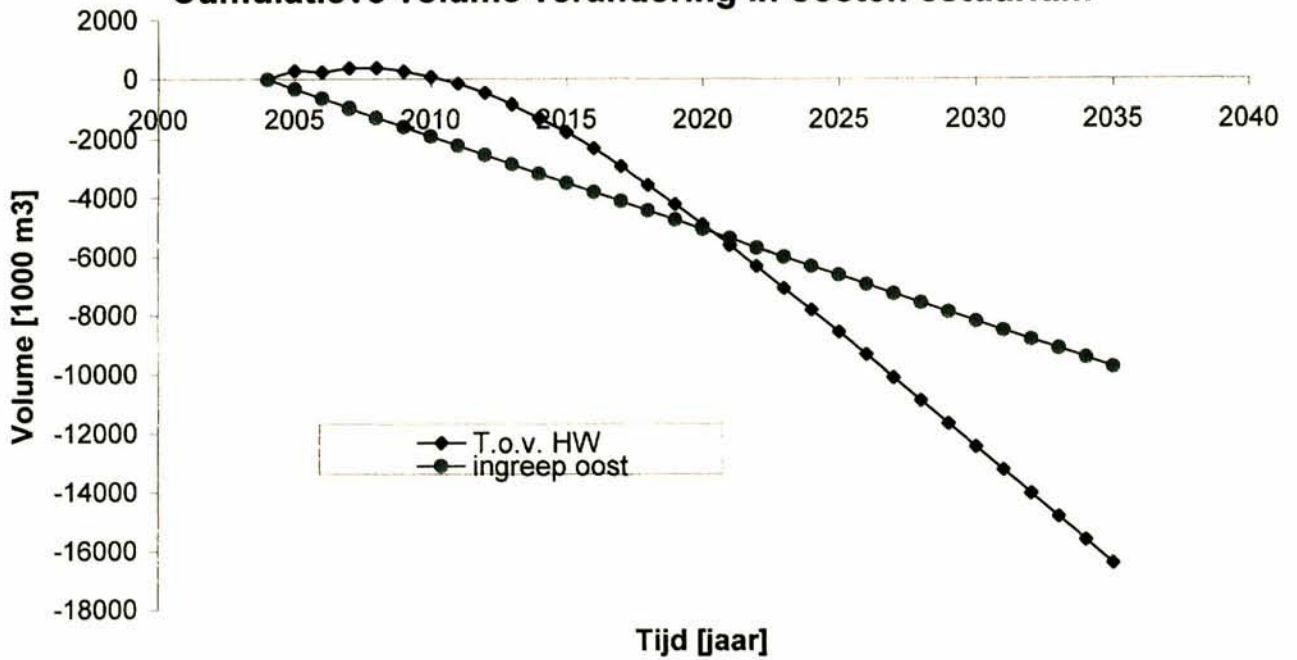
Z3246

2002

Cumulatieve volume verandering midden estuarium



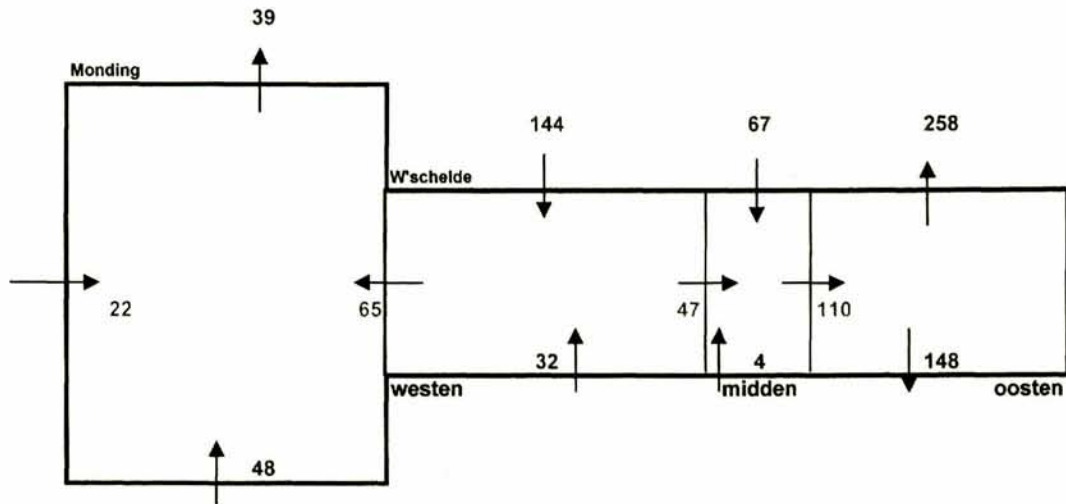
Cumulatieve volume verandering in oosten estuarium



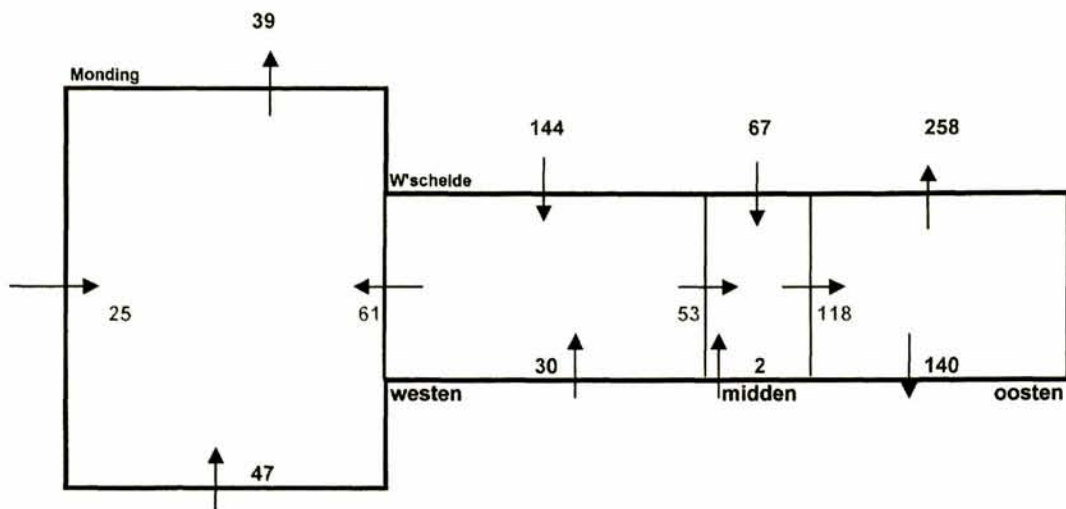
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
 Run d2o: Onderhoud derde verdieping, bagcapaciteit 14Mlnm3/jr.

Z3246

2002



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. laag water

- ↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
- ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie
- ← = export van sediment (-)
- = import van sediment (+)

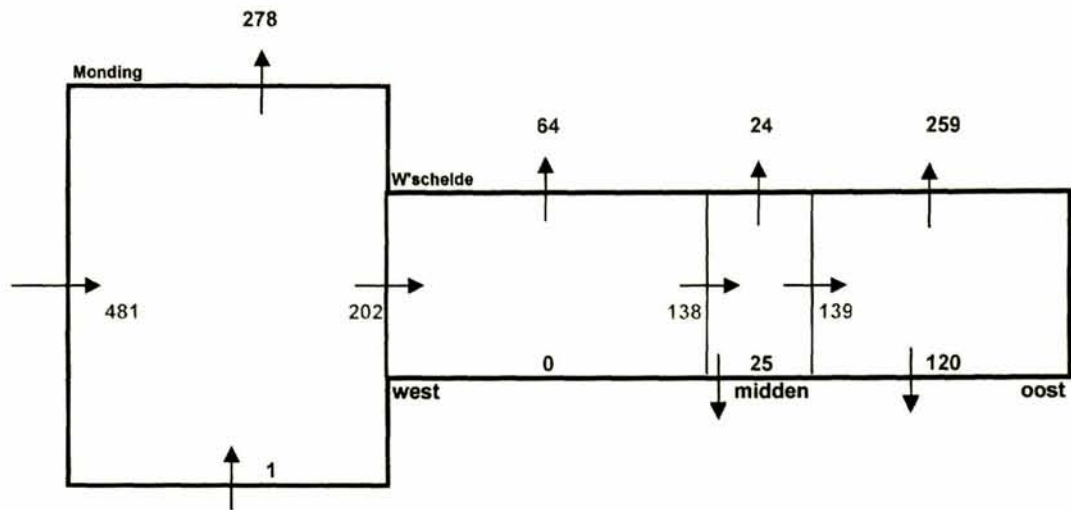
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans, boven t.o.v. HW onder t.o.v. LW
 Run tvI: Herber. tweede verdieping zeespiegelstijging 60 cm/eeuw.

Z3246

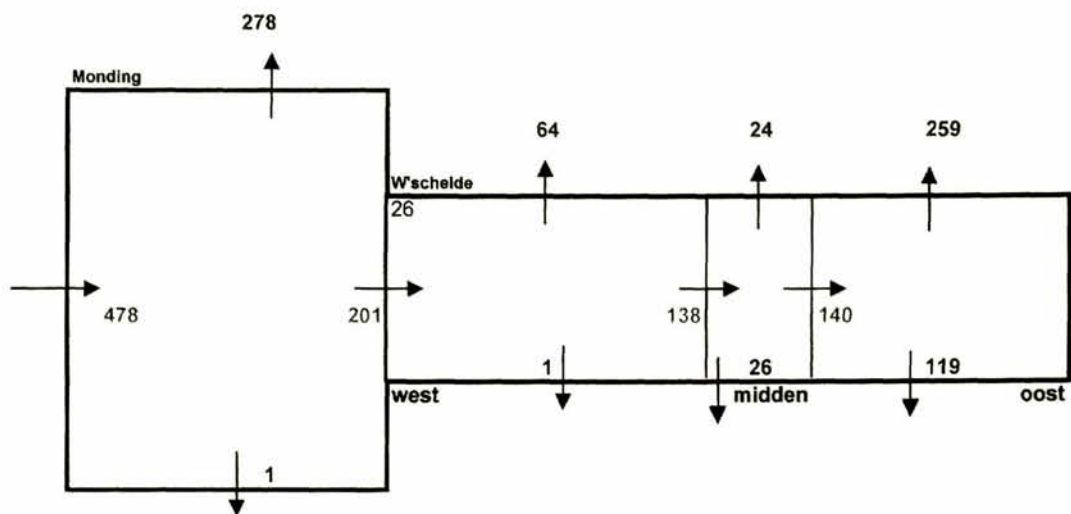
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.3a



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Monding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

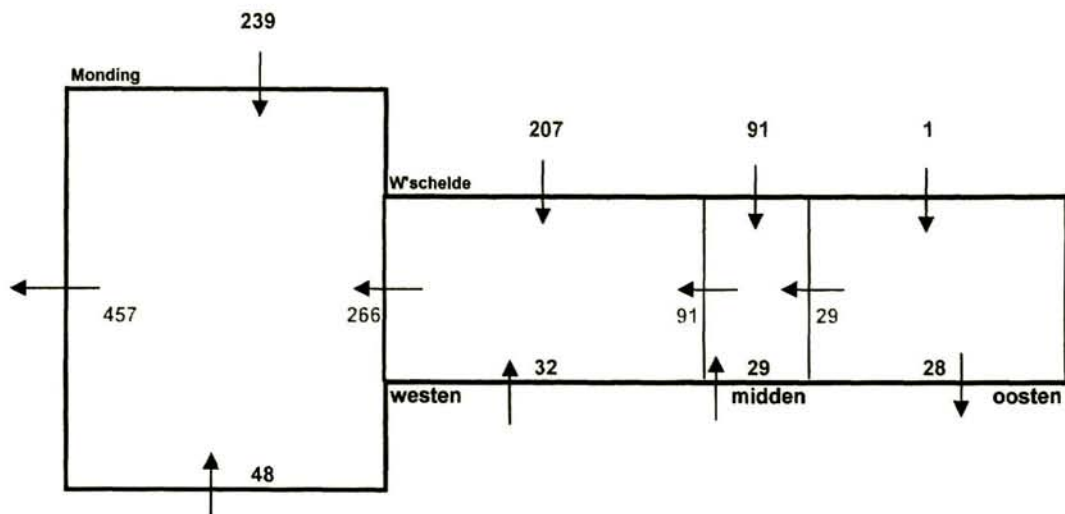
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Hoofdgeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run tvI: Herber. tweede verdieping zeespiegelstijging 60 cm/eeuw.

Z3246

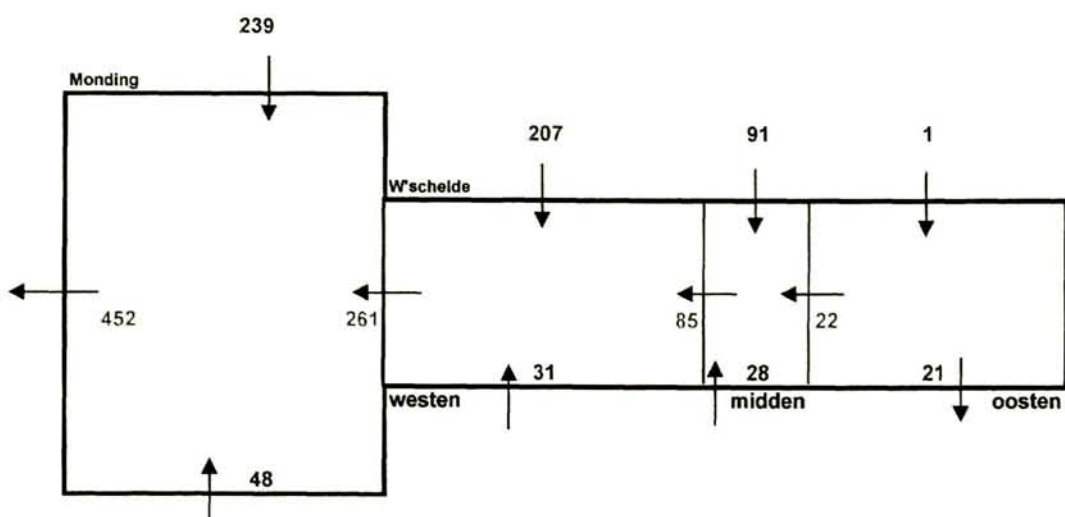
2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.3b



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. hoog water



Zandbalans Munding en de Westerschelde t.o.v. laag water

↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie

← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans Nevengeulen boven t.o.v. HW en onder t.o.v. LW
 Run tvI: Herber. tweede verdieping zeespiegelstijging 60 cm/eeuw.

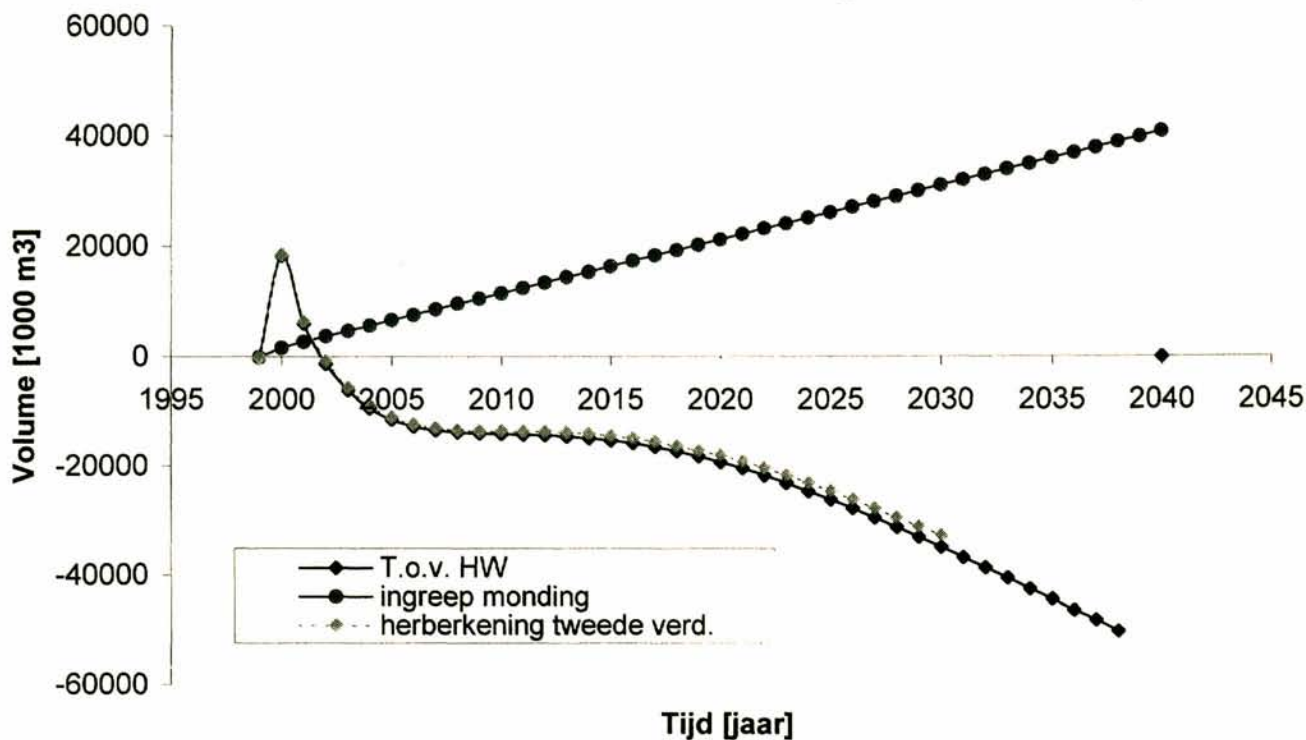
Z3246

2002

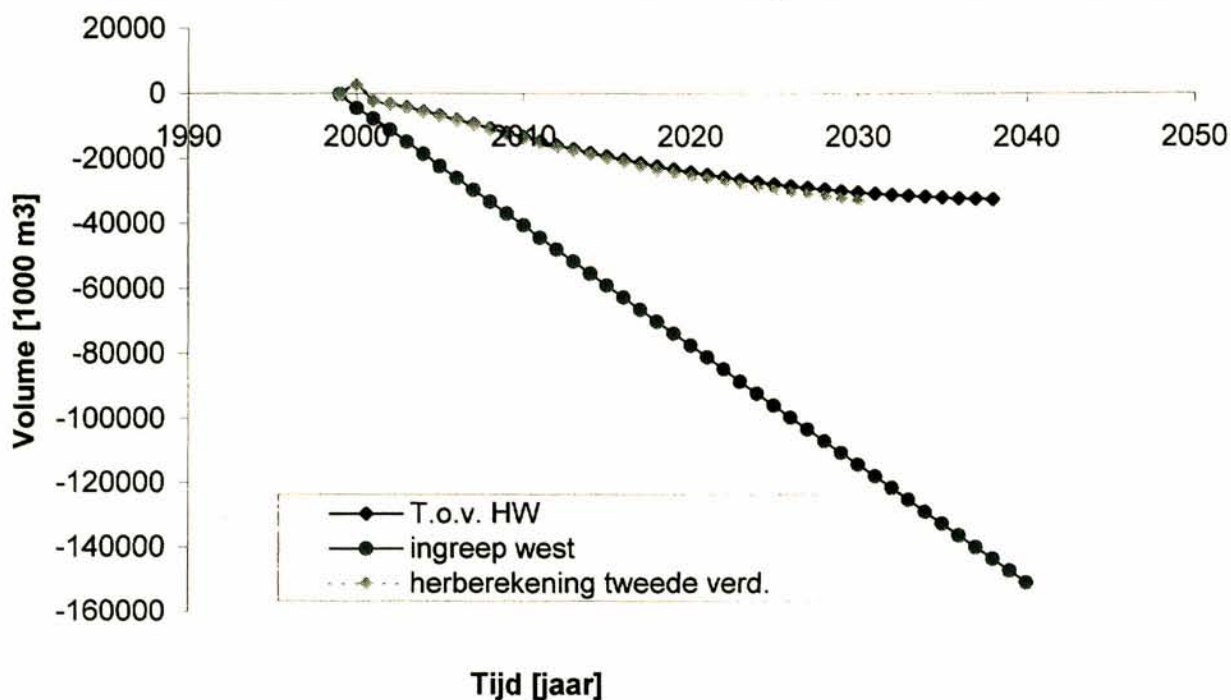
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.3c

Cumulatieve volume verandering in de monding



Cumulatieve volume verandering in westen estuarium

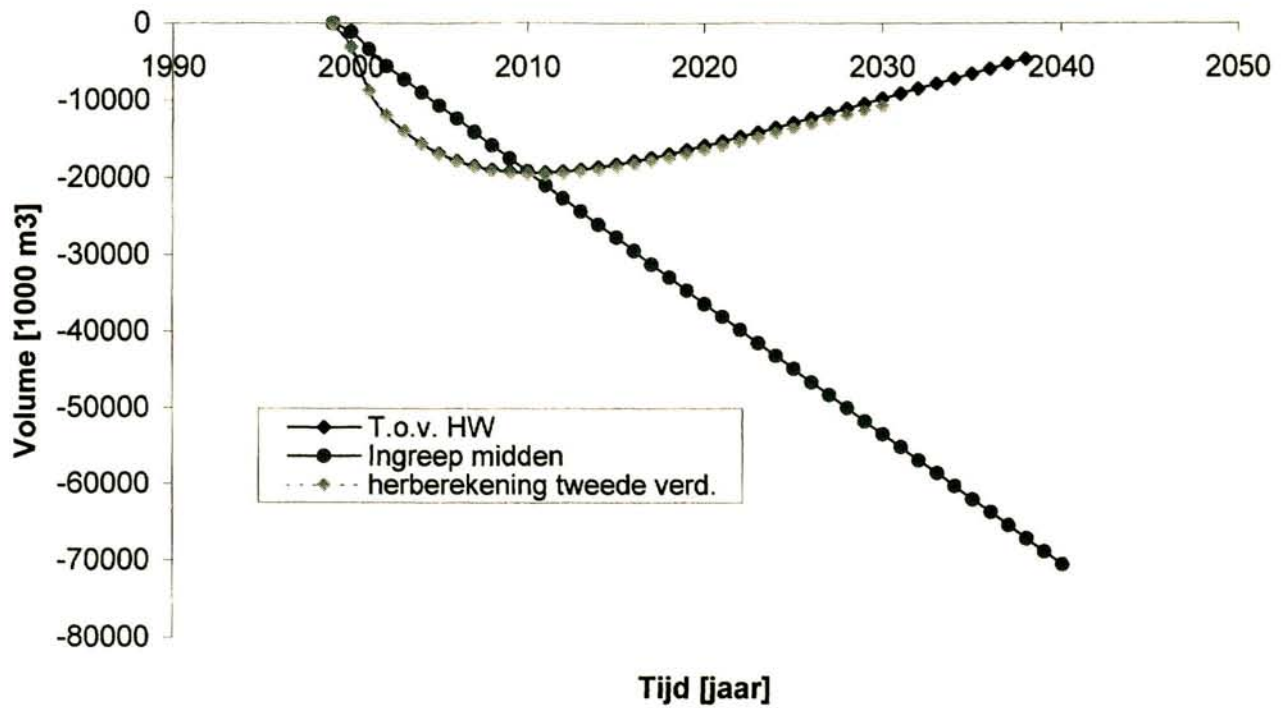


ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
 Run zs I: Herber. tweede verdieping zeespiegelstijging 60 cm/eeuw.

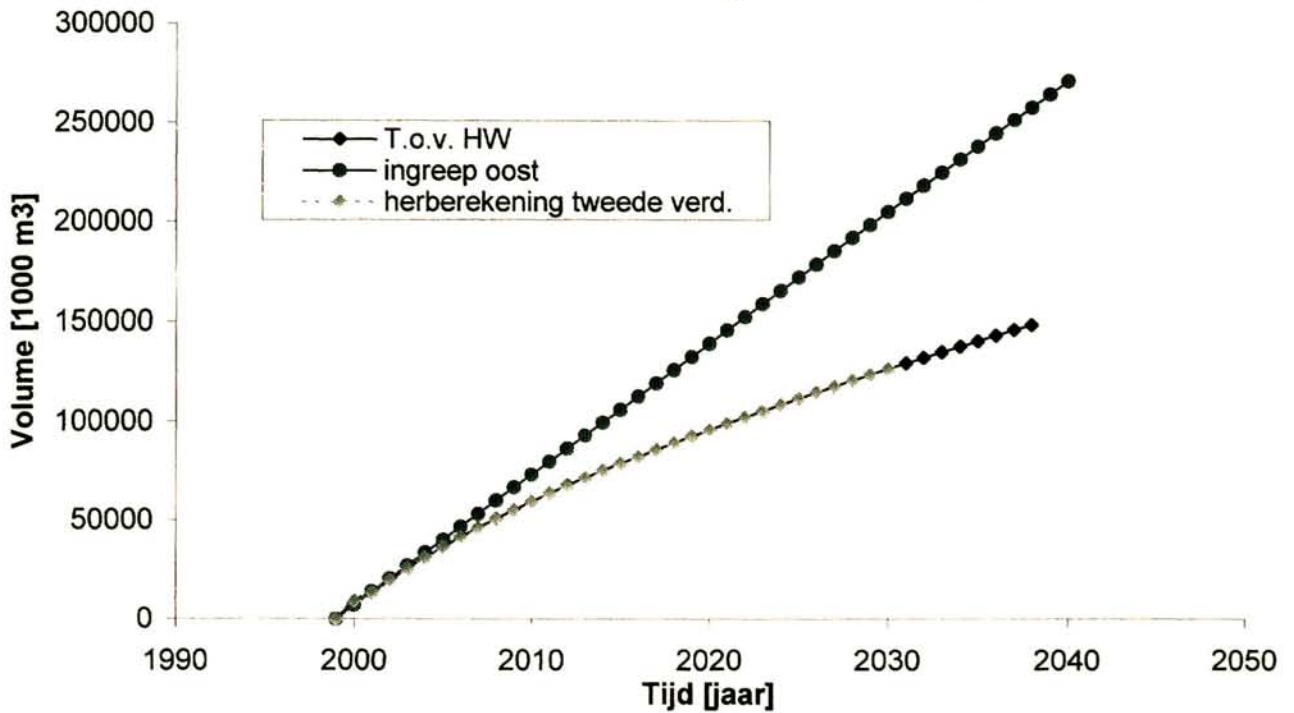
Z3246

2002

Cumulatieve volume verandering midden estuarium



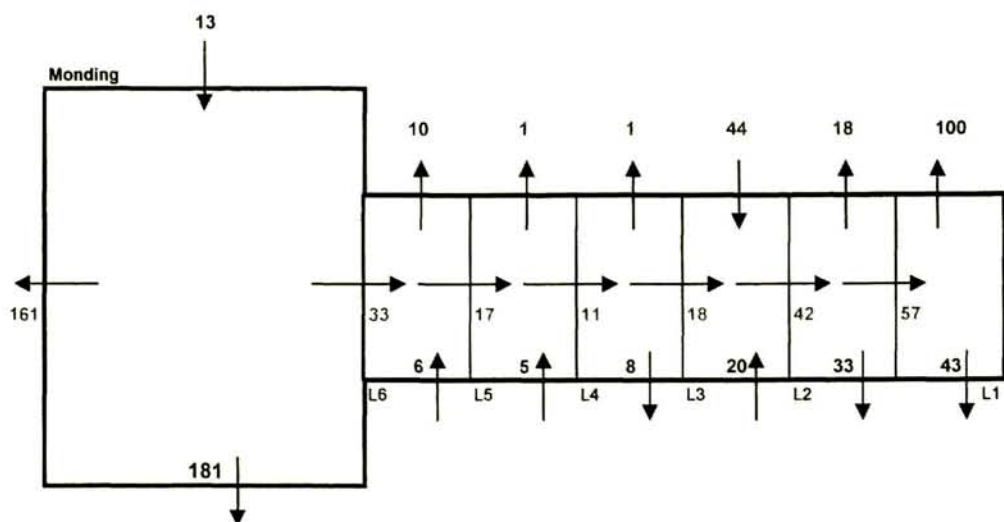
Cumulatieve volume verandering in oosten estuarium



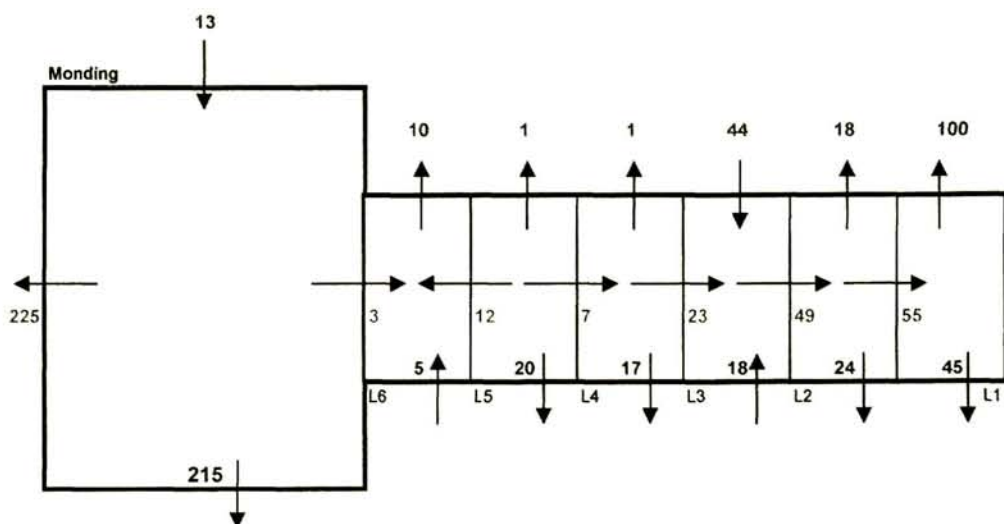
ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
 Run zs I: Herber. tweede verdieping zeespiegelstijging 60 cm/eeuw.

Z3246

2002



**Zandbalans Monding en de Lodingsvakken Westerschelde
Calibratie ESTMORF 3.0**



**Zandbalans Monding en de Lodingsvakken Westerschelde
18,6 Jarige getijcyclus**

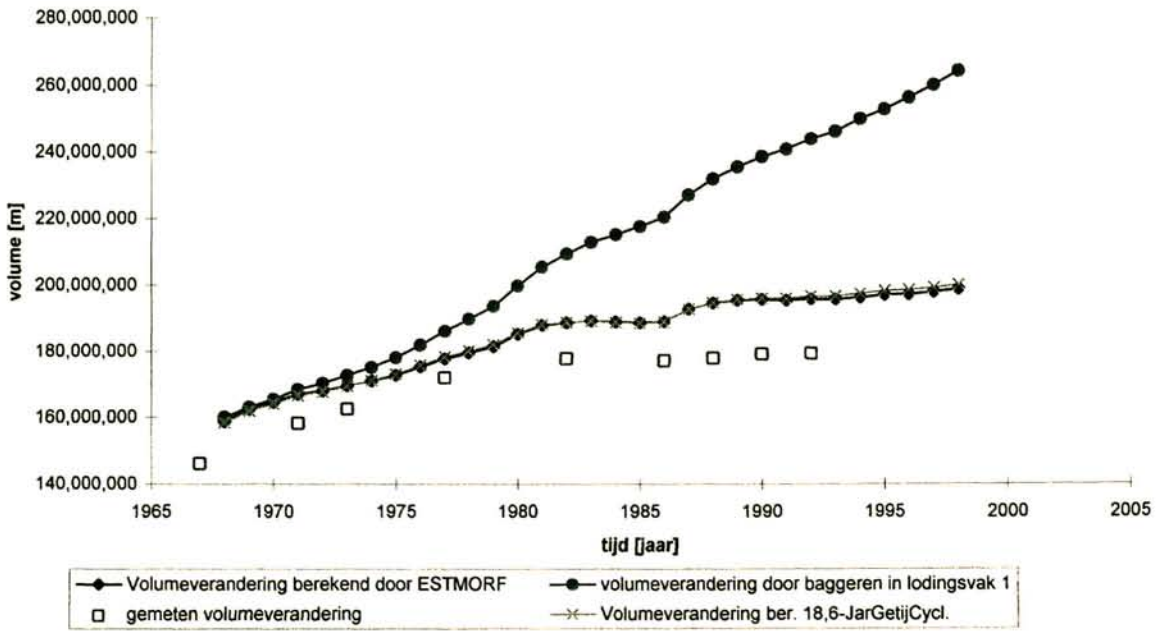
↑ = positieve waarde voor baggeren en erosie
 ↓ = negatieve waarde voor storten en sedimentatie
 ← = export van sediment (-)
 → = import van sediment (+)

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Zandbalans geulen t.o.v. LW, monding en de Lodingsvakken
 Run ga I: Calibratieberekening met 18,6-jarige getijcyclus.

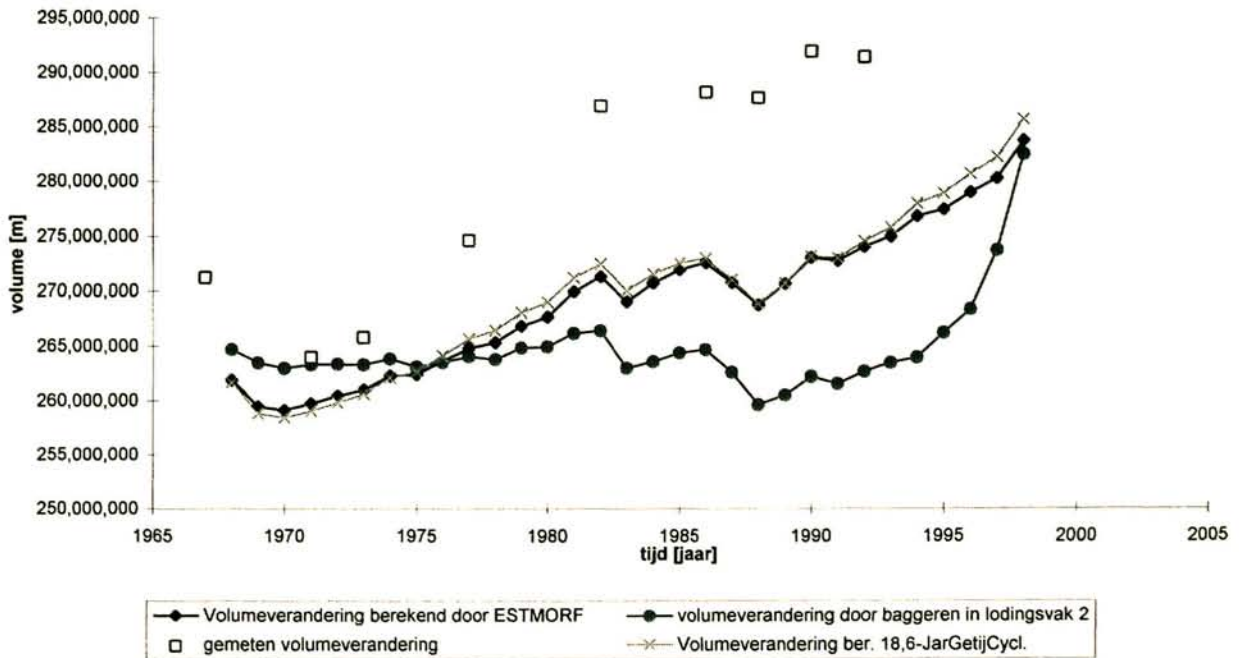
Z3246

2002

Totaaloverzicht volumie verandering lodingsvak 1
1968 t/m 1998



Totaaloverzicht volumie verandering lodingsvak 2
1968 t/m 1998

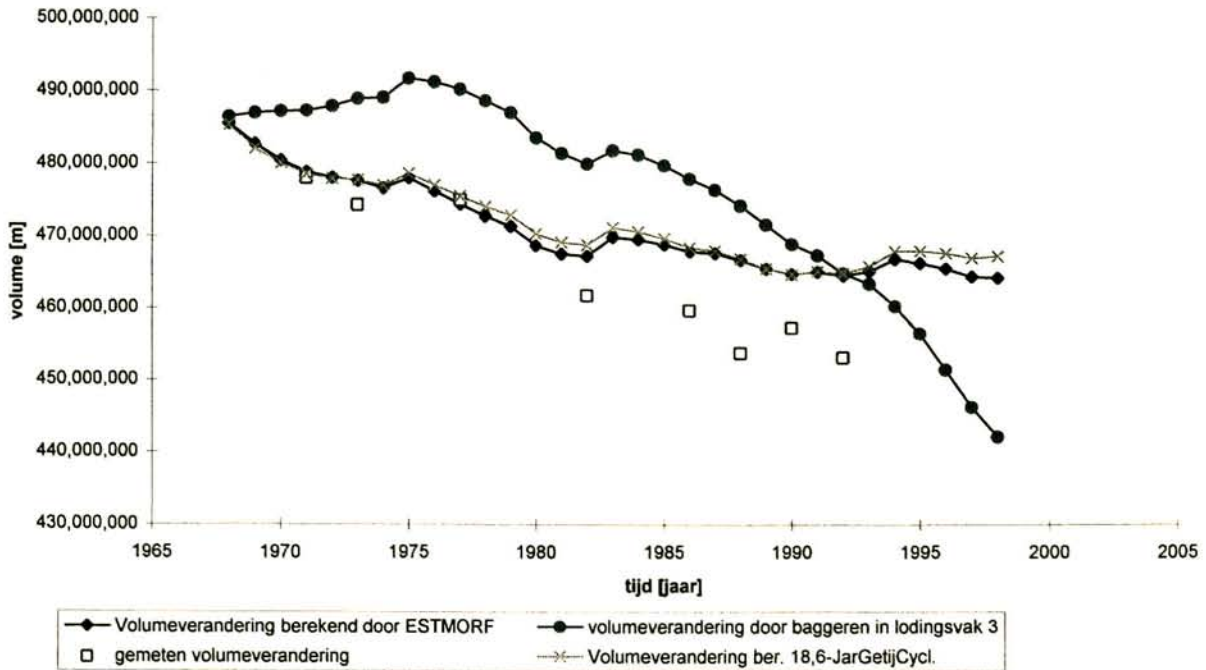


ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
Ontwikkeling geul t.o.v. LW, Lodingsvak 1 en 2
Run gal: Calibratieberekening met 18,6-jarige getijcyclus.

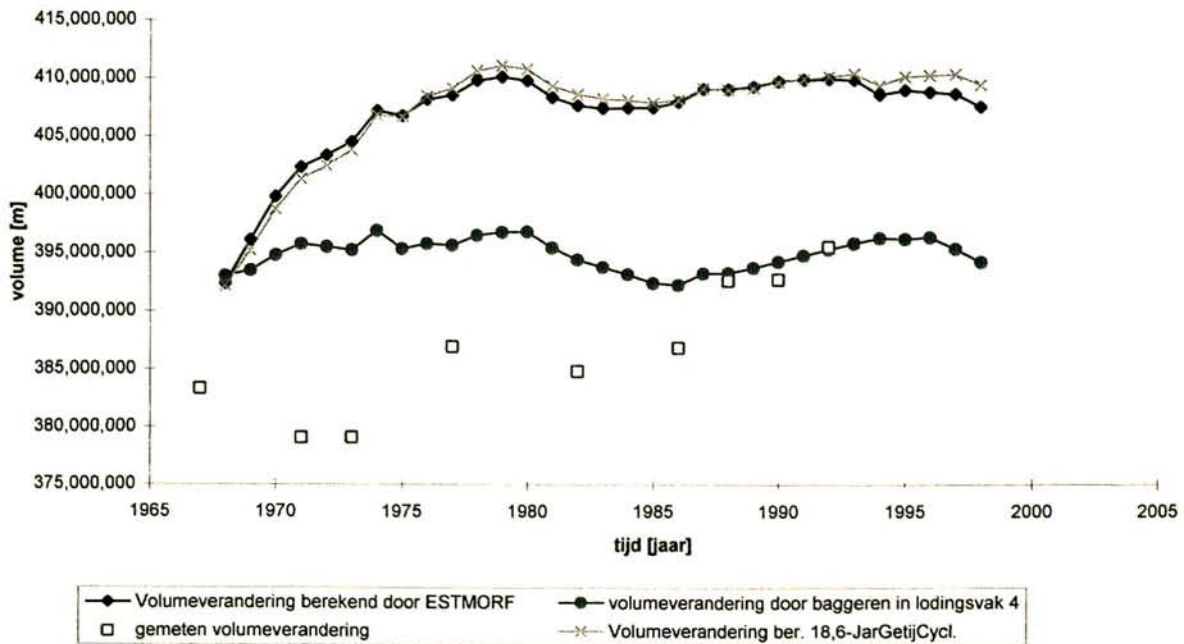
Z3246

2002

Totaaloverzicht volmume verandering lodingsvak 3
1968 t/m 1998



Totaaloverzicht volmume verandering lodingsvak 4
1968 t/m 1998

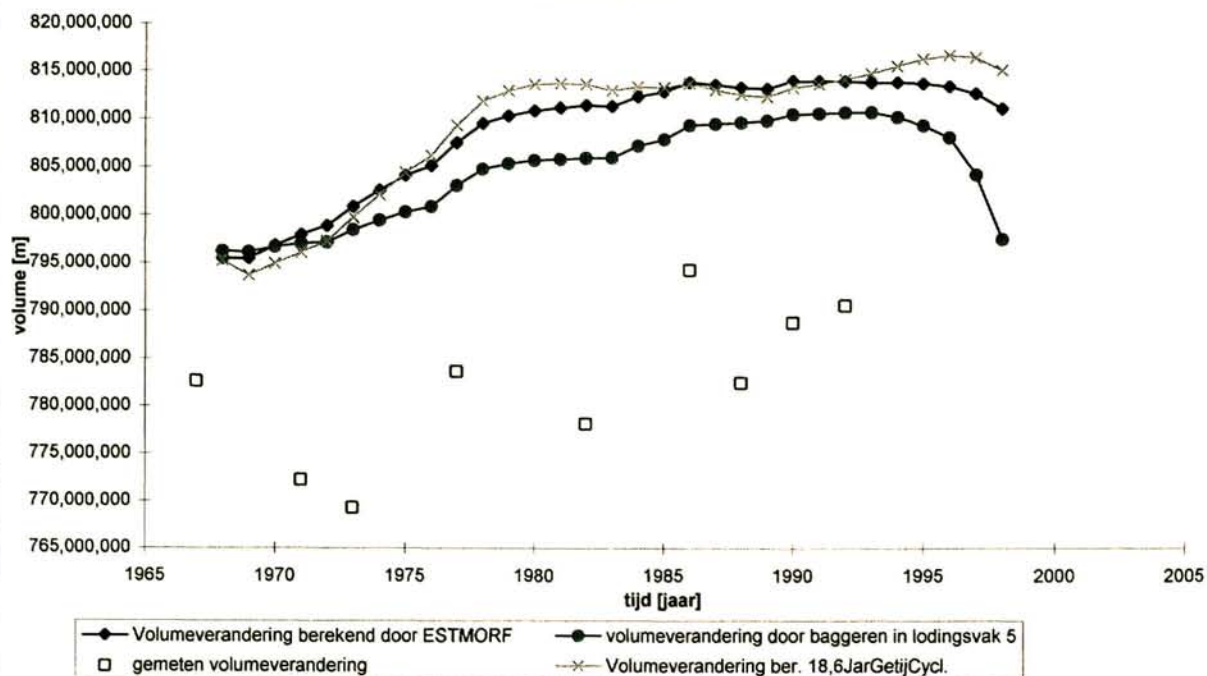


ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
Ontwikkeling geul t.o.v. LW, Lodingsvak 3 en 4
Run gal : Calibratieberekening met 18,6-jarige getijcyclus.

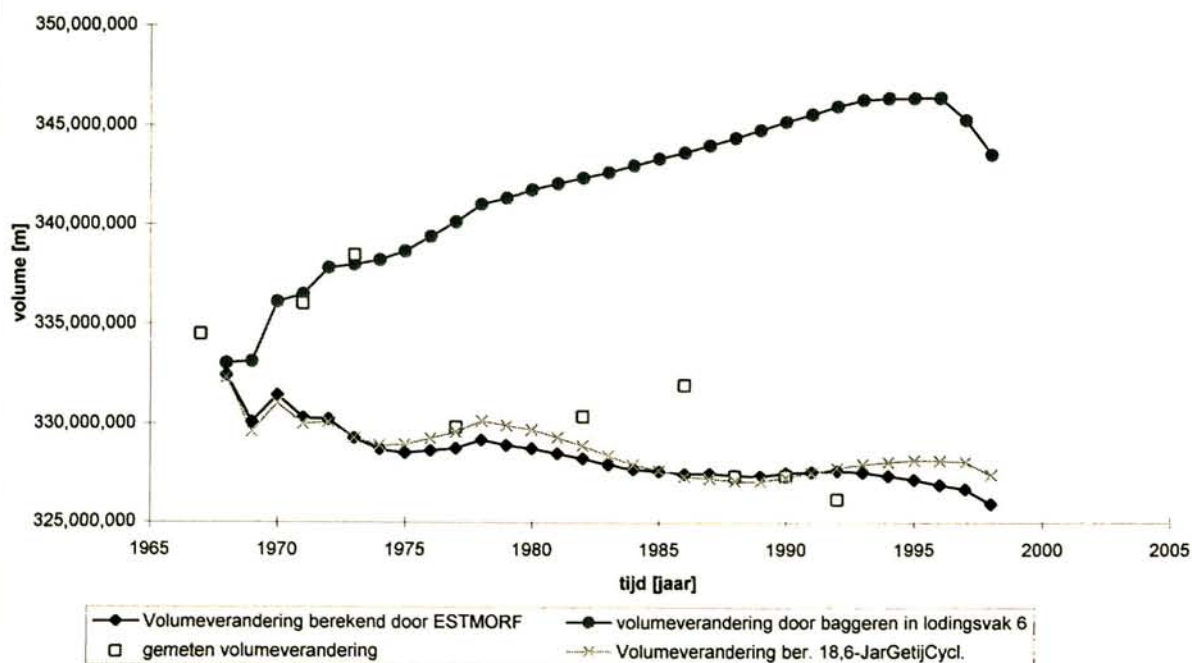
Z3246

2002

Totaaloverzicht volumie verandering lodingsvak 5
1968 t/m 1998



Totaaloverzicht volumie verandering lodingsvak 6
1968 t/m 1998



ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
Ontwikkeling geul t.o.v. LW, Lodingsvak 5 en 6
Run gal: Calibratieberekening met 18,6-jarige getijcyclus.

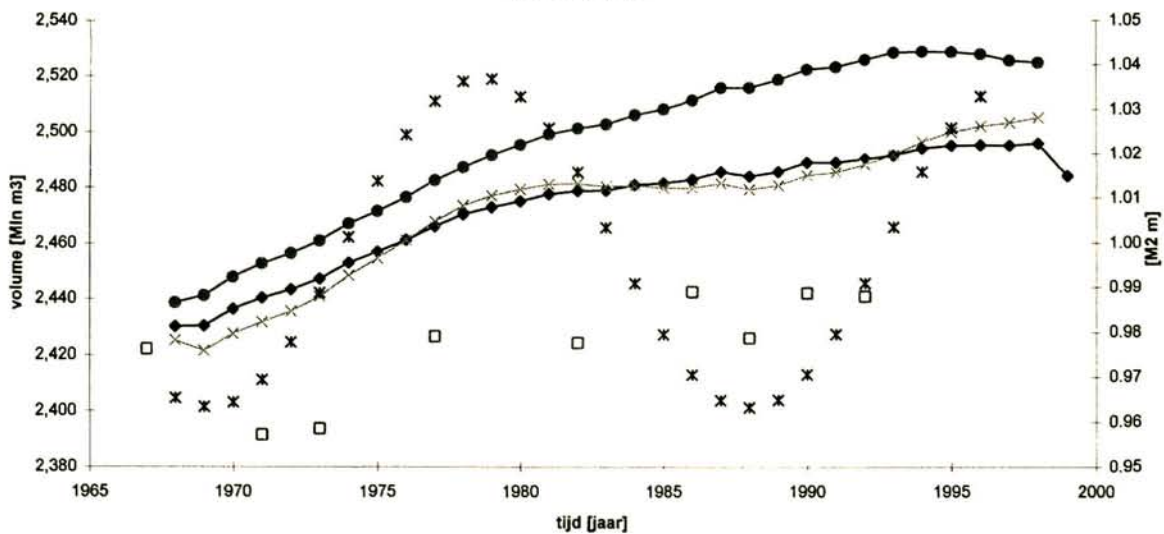
Z3246

2002

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.4d

Volume verandering in gehele Westerschelde
1968 t/m 1998

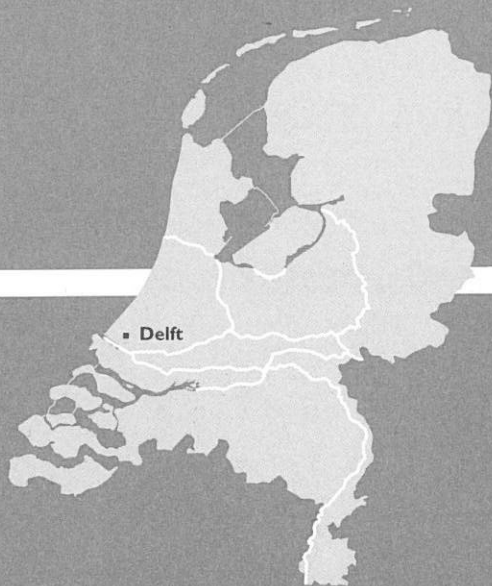


- Volumeverandering ESTMORF
- Gemeten volumeverandering
- * M2 component 18,6 jarige getijcyclus
- Volumeverandering baggeren
- x- Volumeverandering ber. 18,6JarGetijCycl

ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002
 Volumeverandering geulen t.o.v. LW, hele westerschelde
 Run ga I: Calibratieberekening met 18,6-jarige getijcyclus.

Z3246

2002



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

