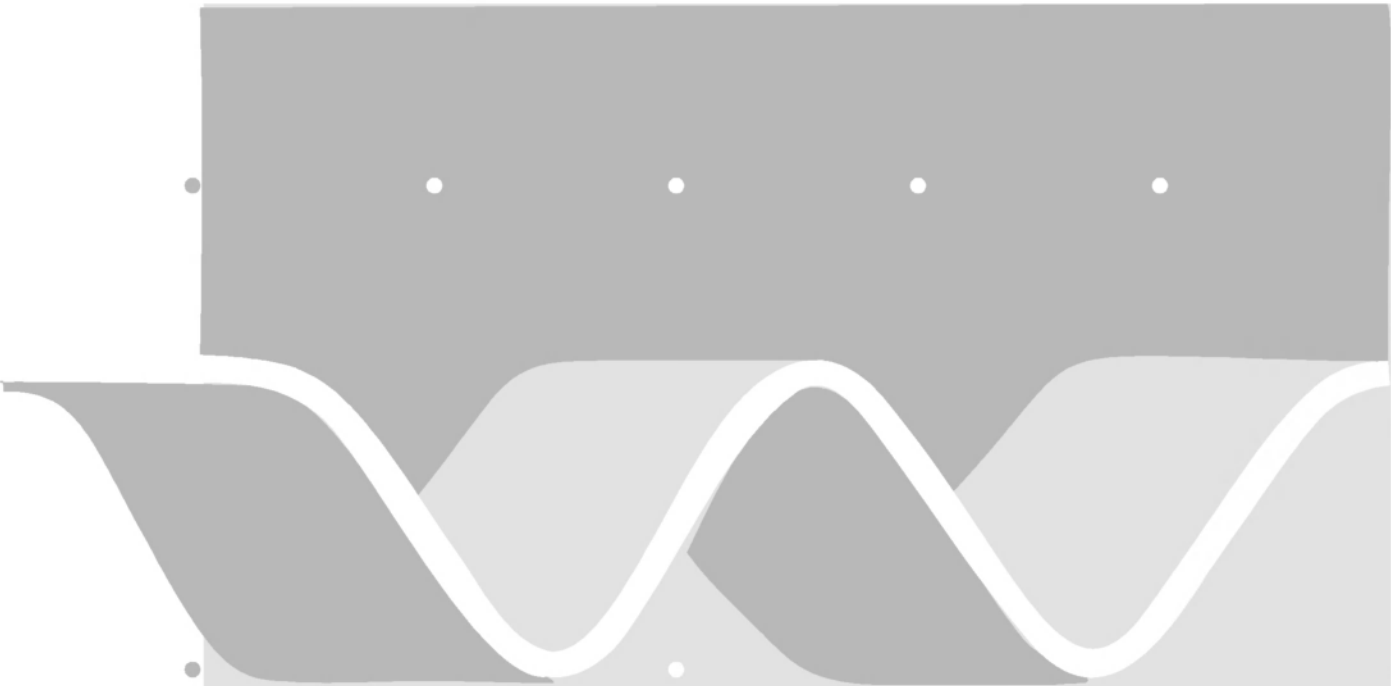




Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIKZ

Invloed van ingrepen in het mondinggebied van de Westerschelde

Evaluatie aan de hand van ESTMORF berekeningen

Z.B. Wang

Verslag

Mei 2003

Invloed van ingrepen in het mondinggebied van de Westerschelde

Zheng Bing Wang

mei 2003

Inhoud

1	Inleiding.....	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Aanpak	2
2	Opzet modelberekeningen	3
2.1	Algemeen	3
2.2	Beschouwde ingrepen	4
2.3	Gesimuleerde scenario's.....	4
3	Analyse modelresultaten	6
3.1	Inleiding.....	6
3.2	Resultaten referentie berekening	6
3.2.1	Grootschalige ontwikkeling.....	6
3.2.2	Waterbeweging mondinggebied	8
3.2.3	Morfologische ontwikkeling mondinggebied.....	9
3.3	Evaluatie invloed van ingrepen	10
3.3.1	Invloed op grootschalige ontwikkeling	10
3.3.2	Invloed op waterbeweging	12
3.3.3	Invloed op morfologische ontwikkeling mondinggebied	13
4	Samenvatting conclusies.....	15
4.1	Samenvatting bevindingen.....	15
4.2	Relevantie voor de beheerder	17
4.3	Aanbevelingen.....	18
5	Referenties.....	19

I Inleiding

I.1 Achtergrond

De voorliggende studie is uitgevoerd in het kader van de RWS-projecten ZEEKENNIS en KUST2005*WSMOND. Deze projecten zijn onderdeel van de Raamovereenkomst tussen Directie Zeeland en het RIKZ. De projecten richten zich op de kennisontwikkeling op het gebied van hydrodynamica, morfologie, biologie en de samenhang daartussen ten behoeve van de ondersteuning van beleid en beheer.

Een belangrijk doel van het project bestaat uit het genereren van kennis en middelen waarmee de zandinhoud en -verdeling, de zandhuishouding, van de Westerschelde en het mondinggebied, onder invloed van natuurlijke processen en menselijke ingrepen, kan worden bepaald/voorspeld en gestuurd en/of gewaarborgd zodat de gebruiksfuncties veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid optimaal op elkaar kunnen worden afgestemd. Deze doelstelling hangt samen met het streven van Directie Zeeland naar een integraal zandbeheer. Integraal zandbeheer betekent dat getracht wordt alle kunstmatige zandverplaatsingen en/of onttrekkingen dusdanig uit te voeren dat, samen met de natuurlijke zandverplaatsingen, een zo optimaal mogelijke zandhuishouding kan worden verkregen in relatie tot de gebruiksfuncties en beleidsdoelstellingen.

Voor de monding van de Westerschelde zijn voornamelijk veiligheid en toegankelijkheid belangrijk voor het beheer. Voor de veiligheid is de erosie van de kust van Walcheren en van Zeeuwse Vlaanderen een probleem. Voor de verdediging van de kust van Walcheren wordt overwogen de geulwandhelling van het Oostgat te verflauwen. Voor het verbeteren van de toegankelijkheid voor scheepvaart wordt overwogen de geulen Walvischstaart en Wielingen te verdiepen. Drie beheermaatregelen in de monding van de Westerschelde, t.b.v. kustverdediging en verbetering van vaargeulen, zijn voorgenomen:

- Het verflauwen van de oostelijke geulwandhelling van het Oostgat door storten.
- Het verdiepen van de Walvischstaart.
- Het verdiepen van de geul Wielingen – Scheur.

De effecten van deze ingrepen, zowel positief als negatief, zijn van belang voor de beslissing tot wel of niet uitvoeren ervan. Voor het beheer is het ook belangrijk om te weten hoe lang de maatregelen effectief zullen zijn, en hoe ze eventueel kunnen worden onderhouden.

I.2 Doelstelling

Het doel van de huidige studie is het evalueren van de effecten van de drie ingrepen (beheermaatregelen) in de monding van de Westerschelde. Het gaat om het beantwoorden van de volgende vragen:

1. Wat zijn de invloeden van de ingrepen op de grootschalige morfologische ontwikkelingen? Hiermee wordt bedoeld de veranderingen in de grootschalige

sedimentbalans waarbij een onderscheid is gemaakt in het mondinggebied, westelijk deel WS, midden deel WS en oostelijk deel WS.

2. Wat zijn de invloeden van de ingrepen op de waterbeweging, de debietverdeling in het bijzondere, in het mondinggebied, initieel en op lange termijn?
3. Wat zijn de invloeden van de ingrepen op de morfologische ontwikkeling van het mondinggebied, in het bijzonder de gebieden waar de ingrepen zijn gepland?
4. Hoe lang blijven de ingrepen effectief? Of met andere woorden, wat is het vereiste onderhoud om de beoogde effecten te handhaven?

1.3 Aanpak

Voor het beantwoorden van de vragen wordt gebruik gemaakt van het gekalibreerde ESTMORF-model waarin de Westerschelde inclusief het mondinggebied worden gemodelleerd (versie 3.0, Wang en van Helvert, 2001). De vakindeling van het model is weergegeven in Fig.1.1.

De effecten van de voorgenomen ingrepen worden gemodelleerd door berekeningen over een periode van 30 jaar in de toekomst uit te voeren. Om de invloeden van de ingrepen relatief te kunnen beschouwen wordt behalve de scenario's van verschillende combinaties van ingrepen eerst ook de referentie situatie gesimuleerd. Bij de referentie situatie wordt het huidige beleid t.a.v. vaargeulonderhoud en zandwinning voortgezet in de toekomst. De uitgevoerde berekeningen zijn beschreven in Hoofdstuk 2.

In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de berekeningen geanalyseerd. Eerst worden de resultaten van de referentie berekening beschreven. Daarna worden de effecten van de voorgenomen ingrepen geëvalueerd door de resultaten van de verschillende scenario's met die van de referentie berekening te vergelijken. Daarbij staan de onderzoeksvragen zoals beschreven in 1.2 centraal. De conclusies uit de studie zijn samengevat in Hoofdstuk 4.

2 Opzet modelberekeningen

2.1 Algemeen

De uitgevoerde ESTMORF berekeningen hebben als doel de effecten van de potentiële ingrepen in de monding van de Westerschelde te evalueren. Deze ingrepen worden meer in detail beschreven in 2.2. De gesimuleerde scenario's betreffen de afzonderlijke ingrepen en combinaties van ze en zijn beschreven in 2.3.

Dezelfde combinaties van ingrepen zijn ook eerder beschouwd (Van Helvert, 2002). De huidige studie verschilt echter van de vorige met betrekking tot de gebruikte referentie situatie:

- In tegenstelling tot de vorige studie wordt het huidige beheer voor vaargeulonderhoud en zandwinning in het mondinggebied wel voortgezet in de hele simulatie periode. in de voorliggende studie wordt verondersteld dat de locaties en hoeveelheden van baggeren, storten en zandwinning hetzelfde zullen blijven als in de periode 1999 t/m 2001.
- Verder is de morfologische beginvoorwaarde van de berekeningen anders dan in de vorige studie. In de vorige studie is de bodem van 1968 gebruikt als beginvoorwaarde hoewel het de bedoeling was de eindsituatie van de calibratie berekening voor de periode 1968-1998 zou worden gebruikt. Dit is verbeterd in de berekeningen in de huidige studie.

De belangrijkste algemene aspecten met betrekking tot de invoer en opzet van de berekeningen zijn samengevat in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Invoer en opzet van de berekeningen.

<i>Aspect</i>	<i>Referentie run rf2</i>	<i>Andere scenario's</i>
Berekeningsperiode	1999-2030	1999-2030
Begin bodem	Berekende 1998-bodem uit het voor de periode 1968-1998 gekalibreerde model.	idem
Bagger- en stortgegevens	Voor de periode ^{1, 2} : • 1999-2001 gemeten baggerhoeveelheden 2002-2030 per locatie de gemiddelde gemeten waarde uit de periode 1999-2001.	Zoals referentie run + extra ingrepen volgens scenario in het eerste jaar

¹ Voor het baggerbezwaar in het Belgische deel van de monding zijn geen gemeten waarden over de periode 1999 t/m 2001 bekend. Daarom is gebruik gemaakt van het waargenomen gemiddelde baggerbezwaar (per locatie) gedurende de periode 1990 t/m 1997.

² Uit de waargenomen bagger-, stort- en zandwinhoeveelheden 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 alles teruggestort.

2.2 Beschouwde ingrepen

De beschouwde ingrepen hebben betrekking op de voorgenomen beheermaatregelen in de Westerschelde monding, t.b.v. kustverdediging (van Walcheren) en vaargeulverbetering. Drie basis ingrepen worden beschouwd:

1. *Het verflauwen van de oostelijke geulwandhelling van het Oostgat.*

Over de gehele lengte verflauwen van de oostelijke geulwandhelling van het Oostgat van 1:3 naar 1:13. Voor het creëren van een verflauwing langs de oostelijke geulwand is 14,3 Mln m³ zand nodig. In het model worden dit beschouwd als gewoon storten in het eerste jaar van de simulatie periode. Deze hoeveelheid sediment is als volgt verdeeld over de modelvakken (zie Fig.1.1).

Tabel 2.1: Aan te vullen storthoeveelheden op de geulwandhelling.

modelvak	362	363	364	365	366	totaal
hoeveelheid (m ³)	5.911.742	4.971.053	1.989.368	511.428	965.520	14.349.109

2. *Het verdiepen van de Walvischstaart.*

Het verdiepen van de geul Walvischstaart van NAP -7m naar NAP -10m (voor alle duidelijkheid de geul Walvischstaart ligt op de Vlake van de Raan. Deze ingreep kan ook opgevat worden als het doorsteken van de vlakte van Raan). Het gebaggerde materiaal (9.4 Mm³) dat vrijkomt kan eventueel worden gebruikt voor het verflauwen van de geulwandhelling van het Oostgat (ingreep 1), en anders onttrokken aan het systeem. De verdeling over de modelvakken is als volgt.

Tabel 2.2: Verdeling over modelvakken Walvischstaart

modelvak	343	344	351	352	347	341	324	Totaal
percentage	15,84%	13,30%	16,80%	10,30%	13,53%	13,12%	17,10%	100%

3. *Het verdiepen van de geul Wielingen – Scheur.*

Het verdiepen van de vaargeul Wielingen - Scheur (ten zuiden van de vlakte van de Raan) met 3 m. Het bij de verdieping vrijkomende materiaal (10.4 Mm³ wordt uit het systeem onttrokken. De verdeling over de modelvakken is als volgt.

Tabel 2.3: Verdeling over modelvakken Wielingen - Scheur

modelvak	310	311	312	313	Totaal
percentage	22,10%	24,78%	22,21%	30,92%	100%

Deze ingrepen kunnen individueel en in combinaties worden uitgevoerd, zoals beschreven in de volgende paragraaf.

2.3 Gesimuleerde scenario's

Het doel van de huidige studie is het effect van de hierboven beschreven ingrepen en verschillende combinatie daarvan te analyseren. Hiervoor zijn in totaal zes ESTMORF berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen verschillen onderling alleen met betrekking tot de gesimuleerde ingrepen. De kenmerken van de zes berekeningen zijn samengevat in de volgende tabel.

Tabel 2.4 Gesimuleerde scenario's

CODE	Beschrijving scenario	Eenmalige ingrepen
rf2	Referentie run voor het analyseren van de modelresultaten.	geen
og1	Evalueren effect van het verflauwen van geulwandhelling van het Oostgat	storten Oostgat
wa1	Evalueren effect van verdiepen van Walvischstaart	verdiepen Walvischstaart
wa2	Evalueren effect van de combinatie van verdiepen Walvischstaart en verflauwen geulwandhelling Oostgat	verdiepen Walvischstaart storten Oostgat
ws1	Evalueren effect van verdieping Wielingen	verdiepen Wielingen
cb1	Evalueren effect van alle drie ingrepen samen	verdiepen Walvischstaart storten Oostgat verdiepen Wielingen

Voor ieder van de drie beschouwde ingrepen is dus een simulatie uitgevoerd (og1, wa1, en ws1). De referentie berekening rf2 is uitgevoerd om de resultaten van de andere berekeningen relatief te kunnen beschouwen, zodat de effecten van de ingrepen kunnen worden geïdentificeerd. De andere twee berekeningen (wa2 en cb1) hebben betrekking op combinaties van verschillende ingrepen. De achtergrond van scenario wa2 is dat combineren van verdiepen van Walvischstaart en verflauwen van geulwandhelling van Oostgat gunstig is omdat het zand dat bij het verdiepen van Walvischstaart vrijkomt kan worden gebruikt in het Oostgat. Bij scenario cb1 zijn alle beschouwde ingrepen gecombineerd.

3 Analyse modelresultaten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de modelresultaten geanalyseerd om de gestelde onderzoeksvragen te beantwoorden. Eerst worden in 3.2 de resultaten van de referentie berekening beschreven, daarna worden in 3.3 de resultaten uit de andere berekeningen vergeleken met de referentie berekening om de effecten van de voorgenomen ingrepen te bepalen. In beide paragrafen worden drie aspecten beschouwd: de grootschalige morfologische ontwikkeling, de waterbeweging in het mondinggebied met name de debietverdeling door de verschillende geulen, en de morfologische ontwikkeling van het mondinggebied op kleinere schalen met name in de gebieden waar de voorgenomen ingrepen zijn gepland.

3.2 Resultaten referentie berekening

3.2.1 Grootschalige ontwikkeling

Resultaten

Figuur 3.1 toont de zand- / waterbalans over de *totale* periode ten opzichte van NAP+2m. Figuur 3.2 toont de tijdreeksen met daarin de cumulatieve veranderingen in de waterinhoud ten gevolge van het vaargeulonderhoud en zandwinning, V_i en de door ESTMORF berekende cumulatieve veranderingen in de totale waterinhoud $V_{tot,E}$ voor de vier deelgebieden, monding, westelijk deel, midden deel en oostelijk deel.

Beschouwen we de berekende erosie en sedimentatietendensen op grote schaal dan kan het volgende worden geconstateerd met betrekking tot de veranderingen in de zandhuishouding:

Het mondinggebied wordt gekenmerkt door een totale sedimentatie van 106 Mm^3 (Fig. 3.1, 3.2). Deze hangt samen met de depositie van geërodeerd zand afkomstig uit de Westerschelde (zie hierna) en een import van zand vanuit de Noordzee (Fig. 3.1). De sedimentatie snelheid neemt in de eerste periode toe en aan het eind van de berekening lijkt deze weer af te nemen. Deze temporele variatie heeft te maken met de veranderingen van de van de waterbeweging (zie 3.2.2).

De Westerschelde wordt gekenmerkt door een totale erosie van 92 Mm^3 (Fig. 3.1, 3.2, 3.3). Deze erosie is het gevolg van enerzijds het netto winnen van 40 Mm^3 zand en anderzijds het ontstaan van een export van 53 Mm^3 zand naar het mondinggebied (Fig. 3.1). Het onderste paneel van Fig. 3.1 laat zien dat de export bij de monding van het estuarium min of meer constant is over de hele periode. Kijken we meer in detail naar de Westerschelde dan blijken er grote ruimtelijke verschillen op te treden:

Het westelijke deel wordt gekenmerkt door een sedimentatie onder invloed van storten. Een substantieel deel van het gestorte zand erodeert weer en verdwijnt direct of indirect richting middendeel en mondinggebied. Het licht afvlakken van het algehele sedimentatieproces in het westelijk deel na ca. 20 jaar (fig. 3.2) suggereert het ontstaan van een nieuwe evenwichtssituatie.

Het midden deel erodeert in de beschouwde periode (Fig.3.1, 3.3), ondanks het continue en omvangrijke storten en het transport vanuit het westelijke deel naar het middendeel. Het geërodeerde materiaal wordt richting het oostelijk deel getransporteerd. Deze erosie is een gevolg van de sterke zandhonger door de verdieping en onderhouden daarvan in het oostelijke deel.

Het oostelijke deel erodeert onder invloed van het netto baggeren (zie Fig. 3.1, 3.3). De erosiesnelheid vakt na ca 15 jaar iets af. De totale erosie in het oostelijk deel is echter beduidend kleiner dan de netto baggerinspanning (Fig.3.3). Er is sprake van een aanzienlijke natuurlijke sedimentatie waarbij er zand vanuit het middendeel naar het oostelijke deel wordt getransporteerd (Fig. 3.3).

Discussie

Deze referentie berekening is praktisch hetzelfde als de ESTMORF berekening gerapporteerd door Jeuken e.a. (2002) onder de naam “tweede verdieping”. De modelopzet van de huidige en destijds uitgevoerde berekening verschilt echter op twee punten: i) de berekening voor de huidige studie start met de berekende modelbodem van 1998 en niet met die van 1968; ii) het onderhoudsbaggerwerk voor de vaargeul in de huidige berekening is $0.2 \text{ Mm}^3/\text{jr}$ groter. Vraag is dan ook in hoeverre de bevindingen van de huidige studie met betrekking tot veranderingen in de zandhuishouding verschillen met de resultaten uit de eerdere studie. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn de resultaten van beide studies met elkaar vergeleken. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- De richting van de sedimentuitwisseling tussen de verschillende deelgebieden is in beide studies hetzelfde. De absolute grootte van deze uitwisseling is in de huidige studie groter dan in de eerdere studie (Jeuken e.a., 2002). De hoofdconclusies getrokken in de eerdere studie m.b.t. de tweede verdieping zijn hetzelfde: 1) de export van zand vanuit de Westerschelde naar de monding, 2) het eroderen in het oosten en 3) de sedimentuitwisseling van het midden deel naar het oostelijk deel.
- De berekening in de huidige studie laat een grotere sedimentatie in het mondinggebied zien, totaal over 30 jaar 106 miljoen m^3 i.p.v. 30 miljoen m^3 . De extra sedimentatie komt voornamelijk door meer import vanuit de Noordzee. De import vanuit de Westerschelde is maar met 7 miljoen m^3 groter (53 i.p.v. 46 Mm^3). Het verschil in de import vanuit de Noordzee lijkt groot (83 i.p.v. 19 Mm^3), maar verdeeld over 30 jaar en gezien de grootte van het mondinggebied is het wel verklaarbaar door de verschillende beginvoorwaarden.
- Dat er sedimentatie in het mondinggebied optreedt wordt verklaard door de verandering in de waterbeweging. Het getijvolume in vooral het buitenste deel van het gebied is in de tijd afgenomen (zie 3.2.2 en Fig.3.29). De afname hangt samen met een afname van het getijverschil vanaf het westelijke deel van het estuarium (Fig.3.29).

- De ontwikkeling in het middendeel van de Westerschelde is anders. In de vorige studie is een totale sedimentatie van 11 miljoen m³ berekend. De huidige berekening geeft een erosie van 25 miljoen m³. Wel is ook in de vorige studie waargenomen dat aan het eind van de berekening dit deel van het estuarium aan het eroderen is. De berekende sedimentatie aan het begin van de eerdere berekening komt door de andere beginbodem.
- De niet verklaarde trendbreuk in de temporele ontwikkeling in verschillende delen van het systeem, zoals waargenomen in de eerdere studie, treedt niet meer op in de huidige berekening. Blijkbaar heeft dit te maken met het gebruik van de bodem van 1998 als beginvoorwaarde in de huidige berekening.

3.2.2 Waterbeweging mondinggebied

Voor wat betreft de waterbeweging in het mondinggebied is men vooral geïnteresseerd in de verdeling van de getijvolumina tussen de verschillende geulen. Een verandering van het debiet door bijvoorbeeld het Oostgat kan namelijk gevolg hebben voor de erosie van de kust van Walcheren.

Zoals Fig.1.1 laat zien is het mondinggebied geschematiseerd tot een vrij ingewikkeld netwerk in het model. Het is dan ook niet gemakkelijk dwarsprofielen te definiëren waarbij de debieten door de verschillende geulen eenvoudig uit de uitvoer van het model te bepalen zijn. Bij twee dwarsprofielen is het redelijk goed mogelijk. De eerste raai ligt net zeewaarts van Vlissingen en omvat de modelvakken 315 en 366 (Fig.1.1). Het debiet door Vak 366 kan worden beschouwd als het debiet naar het Oostgat, en die door Vak 315 naar de rest van het gebied (Genoemd als Wielingen omdat het grootste deel door Wielingen stroomt). De tweede raai loopt over de vakken 314 (Wielingen), 325 (Walvischstaart) en 365 (Oostgat). De getijvolumina door de verschillende geulen in deze twee raaien, aan het begin en aan het eind van de berekening, zijn gegeven in Tabel 3.1 en Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Verdeling van getijvolume bij Raai 1 (in Miljoen m³).

	Oostgat (vak 366)	Wielingen (vak 315)	totaal
Begin	444	2231	2675
Eind	462	2263	2724

Tabel 3.2 Verdeling van getijvolume bij Raai 2 (in Miljoen m³).

	Oostgat (vak 365)	Walvischstaart (vak 325)	Wielingen (vak 314)	totaal
Begin	469	579	1940	2988
Eind	486	595	1932	3013

De totale getijvolumina door beide raaien zijn iets toegenomen gedurende de simulatieperiode. In de periode na de eerste verdieping van de vaargeul is het getijvolume bij de monding ook toegenomen (Vroon e.a., 1997). Volgens de berekening zal deze waargenomen trend van de toename van het getijvolume bij de monding dus voortzetten. Opvallend is wel dat bij Raai 1 de toename door het Oostgat relatief sterker is dan bij Wielingen. Bij Raai 2 is het bij de Wielingen zelfs spraak van een kleine afname. Deze veranderingen hangen samen met de morfologische ontwikkelingen in het mondinggebied (zie 3.2.3).

Opmerkelijk is verder dat het verschil tussen de getijvolumina door de twee raaien aan het eind van de berekening (289 mm³) kleiner dan aan het begin van de berekening (313 mm³)

is geworden. Dit betekent dat de komberging en dus ook het getijverschil in het gebied tussen deze twee raaien is afgenomen in de tijd. Figuur 3.29 laat de ontwikkeling van het getijverschil in 4 stations in het estuarium zien. In het oostelijke deel is het getijverschil toegenomen en in het westelijke deel is het afgenomen. Het omslagpunt is ongeveer bij Hansweert. Op basis hiervan kan men ook verwachten dat het getijvolume verder benedenstrooms kan zijn afgenomen in de tijd. Dit blijkt ook uit het onderste figuur in Fig.3.29 dat de ontwikkeling van het getijvolume bij de zeerland weergeeft. Dit is dan meteen ook de verklaring waarom er in het mondinggebied sedimentatie optreedt. Deze verandering van de waterbeweging betekent wel een trend breuk t.o.v. de historische ontwikkelingen waarbij het getijverschil in het hele estuarium toenam in de tijd, met wel de grootste toename in het oostelijke deel. Dit kan te maken hebben met de veranderde stortstrategie: meer storten in het west.

3.2.3 Morfologische ontwikkeling mondinggebied

Zoals hierboven beschreven wordt het mondinggebied als geheel gekenmerkt door sedimentatie in de simulatie periode. Op kleinere schalen zijn vooral de ontwikkelingen van de drie geulgebieden waar de voorgenomen ingrepen zijn gepland van belang. Hoe deze drie gebieden zijn gerelateerd aan de modelvakken is beschreven in hoofdstuk 2 (zie Fig.1.1, Tabellen 2.2, 2.3 2.4). De ontwikkelingen van deze gebieden zijn van belang voor de evaluatie van de effecten van de drie voorgenomen ingrepen. Verder hangen de berekende morfologische veranderingen in deze gebieden ook sterk samen met de veranderingen van de debietverdeling over de verschillende geulen zoals beschreven in 3.2.2.

De cumulatieve veranderingen van de natte volumes onder NAP+2.5 m van de drie gebieden zijn weergegeven in Fig.3.4 en Fig.3.5, samen met de verandering t.g.v. baggeren, storten en zandwinning.

In het Oostgat gebied vindt eerst erosie (als gevolg van baggeren) plaats, maar na ongeveer 10 jaar verandert dit in een sedimentatie (Fig.3.4, boven). Aan het eind van de berekening is de totale verandering praktische nul geworden. Dit ondanks de continue zandwinning van in totaal 20 Mm^3 in het gebied. Er is volgens de berekening dus een natuurlijke sedimentatie in dit gebied.

Ook in het Walvischstaart gebied worden kleine hoeveelheden zand gewonnen (minder dan 1 Mm^3 in de hele periode). In de eerste paar jaar erodeert het gebied, daarna treedt er sedimentatie op. De totale sedimentatie is bijna 5 Mm^3 in de hele periode.

In het Wielingen gebied vinden er geen ingrepen plaats gedurende deze berekening. Over bijna de hele periode treedt er sedimentatie op in het gebied. Alleen in het eerst jaar is er sprake van een geringe erosie. De totale sedimentatie in het gebied na 30 jaar bedraagt bijna 25 Mm^3 .

Samengevat vindt er in alle drie beschouwde gebieden 'natuurlijke' sedimentatie op. Relatief is de sedimentatie in het Wielingen gebied het sterkst. Dit komt overeen met de veranderingen in de verdeling van de getijvolumina door de verschillende geulen, zoals beschreven in de vorige subparagraaf.

Dat in het mondinggebied als geheel sedimentatie optreedt wordt verklaart door de afname van getijvolume in het buitendeel van het mondinggebied.

3.3 Evaluatie invloed van ingrepen

3.3.1 Invloed op grootschalige ontwikkeling

De invloed van de voorgenomen ingrepen op de grootschalige morfologische ontwikkeling is geanalyseerd door te kijken naar de zandbalans en de ontwikkelingen van de vier deelgebieden beschouwd in de zandbalans. De resultaten van de vijf scenario's, zoals in hoofdstuk 2 zijn beschreven, zijn in Fig.3.6 tot en met Fig.3.20 weergegeven. Van iedere berekening zijn er drie figuren, één figuur voor de zandbalans en het verloop van de sedimentuitwisseling tussen het estuarium en de monding, en twee figuren voor de ontwikkelingen van de vier deelgebieden (Monding, West, Midden en Oost van het estuarium) samen met de totale ingrepen daarin. De drie figuren van iedere berekening moeten worden vergeleken met Fig.3.1 tot/met Fig.3.3 van de referentie berekening (rf2).

Uit de vergelijkingen van de resultaten uit de verschillende berekeningen is gebleken dat de voorgenomen ingrepen in het mondinggebied weinige invloed hebben op de grootschalige morfologische ontwikkeling van het systeem. Dit blijkt al door de berekende zandbalansen van de verschillende scenario's met elkaar te vergelijken. Deze zijn samengevat in de volgende tabel.

Tabel 3.3 Overzichtstabel alle berekeningen. Totale verandering in waterinhoud (in Mm^3) voor de periode 1999-2030. $V_{\text{tot},E}$ = totale inhoudsverandering zoals berekend met ESTMORF, - = sedimentatie (afname waterinhoud), + = erosie (toename waterinhoud). V_i = totaal aan ingrepen, - = storten (afname waterinhoud), + = baggeren. V_{nat} = natuurlijke verandering in waterinhoud ($V_{\text{tot},E} - V_i$), + = erosie, - = sedimentatie. I/E = import (-) of export (+) op de zeewaartse rand van het beschouwde gebied.

		Nap+2m $V_{\text{tot}, E}$	V_i	V_{nat}	I/E zeerand
Ren rf2	monding	-106	31	-136	-83
	Westerschelde	93	40	53	53
	<i>west</i>	<i>-35</i>	<i>-114</i>	<i>79</i>	<i>53</i>
	<i>midden</i>	<i>25</i>	<i>-57</i>	<i>82</i>	<i>-26</i>
	<i>oost</i>	<i>102</i>	<i>211</i>	<i>-109</i>	<i>-108</i>
Run og1	monding	-114	17	-130	-78
	Westerschelde	92	40	52	52
	<i>west</i>	<i>-36</i>	<i>-114</i>	<i>81</i>	<i>52</i>
	<i>midden</i>	<i>25</i>	<i>-57</i>	<i>82</i>	<i>-26</i>
	<i>oost</i>	<i>102</i>	<i>211</i>	<i>-109</i>	<i>-108</i>
Run wa1	monding	-102	40	-143	-89
	Westerschelde	94	40	54	54
	<i>west</i>	<i>-34</i>	<i>-114</i>	<i>80</i>	<i>54</i>
	<i>midden</i>	<i>25</i>	<i>-57</i>	<i>82</i>	<i>-26</i>
	<i>oost</i>	<i>102</i>	<i>211</i>	<i>-109</i>	<i>-108</i>
Run wa2	monding	-110	26	-136	-83
	Westerschelde	93	40	53	53
	<i>west</i>	<i>-36</i>	<i>-114</i>	<i>78</i>	<i>53</i>

	<i>midden</i>	25	-57	82	-26
	<i>oost</i>	102	211	-109	-108
<i>Run ws1</i>	monding	-93	41	-134	-79
	Westerschelde	95	40	55	55
	<i>west</i>	-33	-114	81	55
	<i>midden</i>	25	-57	82	-26
	<i>oost</i>	102	211	-109	-108
<i>Run cb1</i>	monding	-96	37	-133	-78
	Westerschelde	95	40	55	55
	<i>west</i>	-34	-114	80	55
	<i>midden</i>	25	-57	82	-26
	<i>oost</i>	102	211	-109	-108

Kijken wij naar de totale volume veranderingen in de hele periode dan zijn de verschillen alleen te zien in het mondinggebied zelf en in het westelijke deel van het estuarium. De voorgenomen ingrepen hebben dus geen invloed op de ontwikkelingen in het midden en het oostelijke deel van het estuarium. Ook de invloeden op de ontwikkeling van het westelijke deel van het estuarium zijn erg klein, hoogstens enkele Mm^3 in 30 jaar tijd, wat in de praktijk niet meetbaar is. In de grafieken voor de ontwikkelingen van de drie deelgebieden in het estuarium is er ook geen verschil te zien tussen de verschillende scenario's. Zij zijn, volledigheidshalve, wel allemaal uitgewerkt (Figuren 3.2, 3.3, 3.7, 3.8, 3.10, 3.11, 3.13, 3.14, 3.16, 3.17, 3.19, 3.20).

De verschillen tussen de verschillende scenario's kunnen het best worden bekeken door de natuurlijke verandering V_{nat} , in het mondinggebied, van de verschillende scenario's met extra ingrepen te vergelijken met het referentiegeval. In de volgende tabel zijn de verschillen tussen V_{nat} uit de verschillende berekeningen en de referentie berekening samengevat. Dit verschil geeft aan wat voor effect de betreffende ingreep op de sedimentatie-erosie van het mondinggebied als geheel heeft. Het verschil in sedimentatie-erosie kan alleen optreden als de sedimentuitwisseling met de zee en/of met het estuarium ook anders worden. De tabel geeft ook aan dat het verschil is opgebouwd uit de twee bijdragen: een sedimentuitwisseling met de Noordzee en een sedimentuitwisseling met de Westerschelde. Neem run **og1** als voorbeeld, dan geeft de tabel aan dat door het storten in de Oostgat (van 14.4 Mm^3) er een totale erosie (c.q. minder sedimentatie) in het mondinggebied van 6 Mm^3 optreedt. Dit komt tot stand door 5 Mm^3 minder import vanuit de zee en 1 Mm^3 minder import vanuit het westelijke deel van het estuarium.

Tabel 3.4 Samenvatting verschillen tussen de verschillende scenario's met de referentie run (+=erosie, -=sedimentatie).

scenario	Netto ingreep in het mondinggebied	Relatief verschil in natuurlijke ontwikkeling van de monding als geheel	vanuit open Zeerand	vanuit westelijk deel Westerschelde
og1	-14.4 Mm^3	6 Mm^3	5 Mm^3	1 Mm^3
wa1	9.4 Mm^3	-7 Mm^3	-6 Mm^3	-1 Mm^3
wa2	-5 Mm^3	0 Mm^3	0 Mm^3	0 Mm^3
ws1	10.4 Mm^3	2 Mm^3	4 Mm^3	-2 Mm^3
cb1	5.4 Mm^3	3 Mm^3	5 Mm^3	-2 Mm^3

De volgende waarnemingen / constateringingen zijn gedaan:

- De effecten van alle beschouwde combinaties van de voorgenomen ingrepen op de zandbalans van het mondinggebied als geheel zijn klein. De invloeden op de morfologische verandering in het estuarium zijn nog kleiner, praktisch nihil.
- Storten in het Oostgat (og1) leidt tot erosie van het mondinggebied en verdiepen van de geul Walvischstaart (wa1) leidt tot sedimentatie van dezelfde orde in het mondinggebied. Als beide ingrepen tegelijk zullen worden uitgevoerd (wa2) dan compenseren de effecten van de twee ingrepen elkaar.
- Opvallend is dat verdiepen van de geul Wielingen (ws1), niet tot sedimentatie, maar tot erosie van het hele mondinggebied leidt. Dit is het gevolg van een export (c.q. minder import van 4 Mm^3) naar zee. Vanuit het estuarium is wel extra sediment geïmporteerd van 2 Mm^3 . De extra import vanuit het estuarium is goed te begrijpen gezien de zandhonger die in het verdiepte gebied is gecreëerd. De export naar de zee is te verklaren door het feit dat de verdieping van Wielingen tot grotere debiet door de geul Wielingen – Scheur leidt, wat weer tot erosie van de Scheur leidt.
- Het effect van alle drie voorgenomen ingrepen tegelijk uitvoeren (cb1) is ongeveer hetzelfde als het verdiepen van Wielingen (ws1). Dit is logisch aangezien de effecten van de andere twee ingrepen elkaar compenseren, zoals hierboven is geconcludeerd.

3.3.2 Invloed op waterbeweging

Het temporele verloop van de getijvolumina door de twee geulen in Raai 1 is voor alle 6 berekeningen weergegeven in Fig.3.21. In Fig.3.22 zijn de relatieve verschillen van de scenario's t.o.v. de referentie berekening rf2 gepresenteerd. Voor het Oostgat in deze raai geldt dat er een onderscheid kan worden gemaakt tussen de scenario's waarbij wel en niet de eenmalige storting in het Oostgat is uitgevoerd. Voor de scenario's met storting in het Oostgat (og1, wa2 en cb1) is het getijvolume door het Oostgat in deze raai met ongeveer 2.5% afgenomen, direct na het aanbrengen van de ingreep, i.e. na 1 jaar in de berekening. Voor de andere twee scenario's is er nauwelijks verschil t.o.v. de referentie situatie. Voor de geul Wielingen in deze raai is het beeld globaal omgekeerd: storten in het Oostgat leidt tot een toename van getijvolume door deze geul. Opvallend is dat ook voor deze geul het storten in het Oostgat de grootste invloed heeft. Het verdiepen van de Wielingen (ws1) heeft wel tot gevolg dat het getijvolume door deze geul toeneemt maar de toename is kleiner dan de toename door het storten in het Oostgat (og1). Dit komt door het feit dat in deze raai deze geul eigenlijk een combinatie van de Wielingen en de Walvischstaart is. Om een beter beeld te krijgen van de verandering in de getijvolumina in de Walvischstaart en de Wielingen wordt raai 2 beschouwd (Fig.3.23 en Fig.3.24). In deze figuren is te zien dat het verdiepen van Wielingen (ws1) grotere toename veroorzaakt voor het getijvolume in de Wielingen dan bij raai 1 maar tegelijk ook een afname veroorzaakt voor het getijvolume in de Walvischstaart. Voor het Oostgat is het beeld hetzelfde als in Raai 1. Voor de Walvischstaart heeft, zoals verwacht, het verdiepen van deze geul de grootste invloed (toename) op het getijvolume. Het storten in het Oostgat veroorzaakt een afname van het getijvolume in deze geul en het verdiepen van Wielingen.

Globaal kan worden geconcludeerd dat verdiepen in een bepaalde geul tot toename van getijvolume in dezelfde geul leidt, en een afname in de getijvolumina door de andere geulen,

wat logisch is. Storten heeft precies het omgekeerde effect als verdiepen. Verder is te zien dat de invloed van de ingrepen het grootst is direct na het voltooien ervan, dus na 1 jaar in de berekeningen. In de volgende tabel worden de invloeden van de scenario's op de getijvolumina samengevat.

Tabel 3.5 Verschil in getijvolume (Mm^3) t.o.v. de referentie berekening na 1 jaar

	Raai 1		Raai 2		
	Oostgat	Wielingen	Oostgat	Walvischstaart	Wielingen
og1-rf2	-11.9	10.3	-11.9	1.5	8.0
wa1-rf2	0.6	-1.8	0.6	3.8	-3.7
wa2-rf2	-11.7	9.2	-11.6	5.5	4.6
ws1-rf2	-0.4	3.9	-0.4	-1.8	8.1
cb1-rf2	-12.4	13.6	-12.3	3.8	13.2

Over het algemeen wordt opgemerkt dat de verschillen t.o.v. de referentie situatie relatief zo klein zijn dat ze in de praktijk moeilijk te meten zullen zijn. Na ongeveer 15 jaar zijn de invloeden van de ingrepen praktisch verdwenen. Dit geeft een indicatie van de tijdschaal van de morfologische ontwikkelingen t.g.v. de ingrepen.

In Fig.3.25 is het getijvolume door alle modelvakken over een raai meer zeewaarts (Vak305 – Vak362) weergegeven. De conclusies zoals hierboven zijn getrokken voor Raaien 1 en 2 zijn ook voor deze raai geldig (vak310 representeert Wielingen, vak 352 representeert Walvischstaart en vak 362 representeert Oostgat). Wel is te zien dat bij deze raai het verdiepen van Walvischstaart iets grotere invloed heeft dan bij de twee eerder beschouwde raaien.

3.3.3 Invloed op morfologische ontwikkeling mondinggebied

In Fig.3.26 – Fig.3.28 zijn de morfologische ontwikkelingen van de drie gebieden waarin de voorgenomen drie ingrepen zijn gepland gepresenteerd. De berekende cumulatieve veranderingen van het natte volume onder NAP+2.5 m samen met de ingrepen zijn geplot als functie van tijd. Analyse van de ontwikkelingen in deze gebieden is bedoeld om de volgende vragen te beantwoorden:

1. Hoe lang zal een bepaalde ingreep effectief blijven als het eenmalig wordt uitgevoerd?
2. Wat voor werkzaamheden zijn vereist om de uitgevoerde ingrepen te onderhouden?

Voor het Oostgat (Fig.3.26) is er een duidelijk onderscheid tussen de scenario's (og1, wa2, cb1) met de ingreep in dit gebied (storten van 14.3 Mm^3 voor het verflauwen van de geulwandhelling) en de scenario's zonder extra ingreep in dit gebied (rf2, wa1, ws1). Tussen de scenario's binnen een van deze twee groepen is er weinig verschil in de ontwikkeling van dit gebied. Hieruit kan worden geconcludeerd dat van de drie beschouwde ingrepen alleen de ingreep in dit gebied zelf van belang is voor de ontwikkeling van het gebied. De verschillen tussen de twee groepen zijn na 15 jaar praktisch verdwenen. Dit betekent dat de effecten van de ingreep in dit gebied, als het eenmalig wordt uitgevoerd, alleen binnen 15 jaar tijd na de uitvoering merkbaar zullen zijn. Deze tijdschaal geeft al een indicatie voor de vereiste onderhoudswerkzaamheden, als het beoogde effect blijvend moet zijn. Voor het onderhoud is het echter ook van belang om te kijken naar de initiële veranderingen. In

Fig.3.26 is te zien dat het verschil tussen de twee genoemde groepen scenario's na ongeveer 4 jaar zou zijn verdwenen als de ontwikkeling van het eerst jaar na de ingreep wordt doorgetrokken. Dit betekent echter niet dat men iedere 4 jaar dezelfde hoeveelheden moet storten om de ingreep te onderhouden, omdat de snelheid van erosie na verloop van tijd zal afnemen als men blijft storten. Als eerste schatting voor het onderhoud kan het gemiddelde van de twee genoemde tijdschalen worden gebruikt: $(15+4)/2 =$ ongeveer 10 jaar. Voor het onderhoud betekent dit dus ongeveer 1.5 Mm^3 per jaar bijstorten.

De ontwikkeling van het Walvischstaart gebied is weergegeven in Fig.3.27. Ook hier zijn de scenario's globaal in twee groepen te verdelen: met (wa1, wa2, cb1) en zonder (rf2, og1, ws1) ingrepen in het gebied zelf (verdiepen door 9.4 Mm^3 te baggeren). Op basis van dezelfde beschouwingen van de verschillen tussen de twee groepen, zoals hierboven voor het Oostgat is gedaan, kan men concluderen dat het verdiepen van de geul ongeveer 15 jaar zichtbaar blijft na eenmalige uitvoering, dat de tijdschaal m.b.t. de initiële verandering 3-4 jaar is en dat de vereiste onderhoud ongeveer 1 Mm^3 per jaar baggeren is. Voor dit gebied blijken de ingrepen in de andere twee gebieden wel merkbare invloeden te hebben. Het storten in het Oostgat veroorzaakt een extra sedimentatie en het verdiepen van Wielingen een erosie in dit gebied. De bijbehorende tijdschalen van deze invloeden zijn veel groter (meer dan 30 jaar).

De ontwikkeling van het Wielingen gebied is weergegeven in Fig.3.28. Hier zijn de scenario's goed in twee groepen te verdelen: met (ws1, cb1) en zonder (rf2, og1, wa1, wa2) ingrepen in het gebied zelf (verdiepen door 10.4 Mm^3 te baggeren). De tijdschalen m.b.t. het verdwijnen van het effect van de ingreep blijken hier groter te zijn dan in de andere twee gevallen. Op basis van dezelfde beschouwingen van de verschillen tussen de twee groepen, zoals hierboven is gedaan voor de andere twee gebieden, kan men concluderen dat het verdiepen van de geul ongeveer 30 jaar zichtbaar blijft na eenmalige uitvoering, dat de tijdschaal m.b.t. de initiële verandering ongeveer 10 jaar is en dat het vereiste onderhoud ongeveer 0.5 Mm^3 per jaar baggeren bedraagt. De andere twee ingrepen hebben relatief weinige invloed op de ontwikkeling in dit gebied.

Samengevat kan worden geconcludeerd dat de invloeden van de beschouwde ingrepen zich voornamelijk beperken tot het gebied zelf en de directe omgeving. Van de drie beschouwde gebieden blijkt alleen het Walvischstaart gebied ook merkbaar te worden beïnvloed door de ingrepen in de andere twee gebieden. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de centrale ligging van dit gebied.

4 Samenvatting conclusies

4.1 Samenvatting bevindingen

Grootschalige morfologische ontwikkeling

De referentie berekening is praktisch hetzelfde als de berekening gerapporteerd door Jeuken e.a. (2002) onder de naam “tweede verdieping”. Het grootste verschil tussen de twee berekeningen heeft betrekking op de gebruikte beginvoorwaarde. In de huidige berekening is de goede beginvoorwaarde, namelijk de berekende bodem van 1998, gebruikt. De belangrijkste conclusies met betrekking tot: 1) de export van zand vanuit de Westerschelde naar de monding, 2) het eroderen van de platen in het oosten en 3) de sedimentuitwisseling van het midden deel naar het oostelijk deel, zoals getrokken door Jeuken et al (2002) blijken overeen te blijven. Verdere conclusies met betrekking tot grootschalige morfologische ontwikkelingen zijn:

- De richting van de sedimentuitwisseling tussen de verschillende deelgebieden is in beide studies hetzelfde. De absolute grootte van deze uitwisseling is in de huidige studie groter dan in de eerdere studie (Jeuken e.a., 2002).
- De berekening in de huidige studie laat een grotere sedimentatie in het mondinggebied zien, totaal over 30 jaar 106 miljoen m³ i.p.v. 30 miljoen m³. De extra sedimentatie komt voornamelijk door meer import vanuit de openzee. Vanuit de Westerschelde is de import maar met 7 miljoen m³ in 30 jaar toegenomen.
- De ontwikkeling in het middendeel van de Westerschelde is anders. In de vorige studie is een totale sedimentatie van 11 miljoen m³ berekend. De huidige berekening geeft een erosie van 25 miljoen m³. Wel is ook in de vorige studie waargenomen dat aan het eind van de berekening dit deel van het estuarium aan het eroderen is. De berekende sedimentatie aan het begin van de eerdere berekening komt door de foute beginvoorwaarde.
- De niet verklaarde trendbreuk in de temporele ontwikkeling in verschillende delen van het systeem, zoals waargenomen in de eerdere studie, treedt niet meer op in de huidige berekening. Blijkbaar heeft dit te maken met het gebruik van de juiste beginvoorwaarde in de huidige berekening.
- Dat er sedimentatie in het mondinggebied optreedt wordt verklaard door de verandering in de waterbeweging. Het getijvolume in vooral het buitenste deel van het gebied is in de tijd afgenomen. De afname hangt samen met een afname van het getijverschil vanaf het westelijke deel van het estuarium.

Met betrekking tot de effecten van de verschillende scenario's van ingrepen zijn de volgende conclusies getrokken:

- De effecten van alle beschouwde combinaties van de voorgenomen ingrepen op de morfologische ontwikkeling van het mondinggebied als geheel zijn klein. De invloeden op de morfologische verandering in het estuarium zijn nog kleiner, praktisch nihil.
- Storten in het Oostgat leidt tot erosie in het mondinggebied en verdiepen van de geul Walvischstaart (wa1) leidt tot sedimentatie van dezelfde orde in het mondinggebied. Als beide ingrepen tegelijk zullen worden uitgevoerd dan worden de effecten van de twee ingrepen van elkaar gecompenseerd.
- Verdiepen van de geul Wielingen leidt, niet tot sedimentatie, maar tot erosie van het hele mondinggebied. Dit is het gevolg van een export (c.q. minder import van 4 Mm^3 in 30 jaar) naar de zee. Vanuit het estuarium is wel extra sediment geïmporteerd van 2 Mm^3 . De extra import vanuit het estuarium is goed te begrijpen gezien de zandhonger die in het verdiepte gebied is gecreëerd. De export naar de zee is te verklaren door het feit dat de verdieping van Wielingen tot grotere debiet door de geul Wielingen – Scheur leidt, wat weer tot erosie van de Scheur leidt.
- Het effect van alle drie voorgenomen ingrepen tegelijk uitvoeren is ongeveer hetzelfde als het verdiepen van Wielingen. Dit is logisch aangezien de effecten van de andere twee ingrepen elkaar compenseren, zoals hierboven is geconcludeerd.

Waterbeweging mondinggebied

Met betrekking tot de waterbeweging in het mondinggebied zijn de debieten (getijvolumes) door de verschillende geulen bekeken. De belangrijkste constatering bij de referentie situatie is dat het totale getijvolume in de monding toeneemt in de tijd. Deze trend is waargenomen na de eerste verdieping (Vroon e.a., 1997). Volgens de berekening zal deze trend dus voortzetten na de tweede verdieping.

Met betrekking tot de invloed op de debietverdeling in de verschillende geulen in het mondinggebied zijn de volgende conclusies getrokken:

- De effecten van de beschouwde ingrepen op de debietverdeling over de verschillende geulen in het mondinggebied zijn relatief klein. De maximale toename / afname van het getijvolume door een geul is minder dan 15 Mm^3 . Dit is ongeveer 2.5% van het getijvolume door het Oostgat, 1.5% van dat door de Walvischstaart en minder dan 1% van dat door de Wielingen. Zulke verschillen zijn in de praktijk moeilijk te meten.
- De effecten van de ingrepen op de debietverdeling is het grootst direct na het voltooiën ervan, i.e. 1 jaar na het begin van de simulaties. De effecten dempen daarna uit en na ongeveer 15 jaar zijn ze praktisch verdwenen.
- Globaal kan worden geconcludeerd dat verdiepen in een bepaalde geul tot toename van het getijvolume in dezelfde geul leidt, en een afname van getijvolumes in andere geulen. Storten heeft precies omgekeerde effecten.

Morfologische ontwikkeling mondinggebied

Voor de morfologische ontwikkeling op kleinere schaal zijn de drie gebieden in de monding waar de voorgenomen ingrepen zijn gepland beschouwd. Het algemene beeld is dat in alle gebieden volgens de referentieberekening sedimentatie zal optreden. In het Oostgatgebied

wordt dit aan het eind van de berekeningsperiode van 30 jaar ongeveer gecompenseerd door de continue zandwinning daar. In het Walvischstaart gebied en in de Wielingen gebied resulteert de sedimentatie tot een verondieping. De gesimuleerde sedimentatie is een gevolg van de verandering in de waterbeweging. Door het meer storten in het westelijke deel van het estuarium is er een trendbreuk in de verandering van het getijverschil veroorzaakt: Het getijverschil in het westelijke deel (ongeveer Hansweert) gaat afnemen i.p.v. toenemen. In het oostelijke deel blijft het getijverschil toenemen. Voor het getijvolume is ook zo een beeld te zien maar het omslag punt is veel meer benedenstrooms, ergens in het mondinggebied.

Met betrekking tot de effecten van de ingrepen zijn de volgende conclusies getrokken:

- Voor alle drie voorgenomen ingrepen geldt dat de invloeden op de morfologische ontwikkeling vooral optreden in het gebied zelf en de directe omgeving daarvan. Sedimentatie van een verdiepte geul leidt tot erosie in de omgeving, en erosie van gestort materiaal tot sedimentatie in de omgeving. Alle drie beschouwde gebieden merken weinig van de ingrepen in de andere twee gebieden. Relatief gezien merkt de Walvischstaart meer van de ingrepen in de andere twee gebieden.
- Alle beschouwde ingrepen zijn eenmalig. De effecten van deze ingrepen nemen af na verloop van tijd. Van het storten in het Oostgat en van het verdiepen van de Walvischstaart zijn de effecten praktisch verdwenen na ongeveer 15 jaar. De effecten van het verdiepen van de Wielingen blijven langer aanwezig en zijn na ongeveer 30 jaar praktisch verdwenen.
- Voor het bepalen van de benodigde bagger / stort hoeveelheden voor het onderhoud van de ingrepen zijn ook de snelheden van de initiële veranderingen van de drie gebieden beschouwd. Op basis hiervan is de tijdschaal voor het verdwijnen van het beschouwde storten in het Oostgat bepaald op 4 jaar, voor het verdiepen van Walvischstaart 3-4 jaar, voor het verdiepen van Wielingen ongeveer 10 jaar. Samen met de hierboven genoemde tijdschalen waargenomen bij de lange-termijn ontwikkeling zijn de onderhoudswerkzaamheden voor de ingrepen als volgt bepaald: Oostgat: 1.5 Mm^3 per jaar storten, Walvischstaart: 1 Mm^3 per jaar baggeren, Wielingen: 0.5 Mm^3 per jaar baggeren.
- De invloeden van de ingrepen op andere gebieden zijn beperkt in grootte. De bijbehorende tijdschalen zijn echter groot. De ingrepen leiden dus wel tot grootschalige en lange-termijn ontwikkelingen, maar de groottes ervan zijn zo klein dat zij in de praktijk nauwelijks te meten zullen zijn.

4.2 Relevantie voor de beheerder

De onderzoeksvragen zoals in Hoofdstuk 1 zijn geformuleerd zijn met de bevindingen hierboven beantwoord. Door deze vragen te beantwoorden is de studie eigenlijk bedoeld voor het ondersteunen bij de beslissingen van wel dan niet tot overgaan tot uitvoeringen van de voorgenomen ingrepen. Voor dit doel kunnen de resultaten van de huidige studie worden samengevat als volgt:

- Door de beperkte omvang van de beschouwde ingrepen hebben ze weinig invloed op de grootschalige morfologische ontwikkeling. Ook de invloeden op de debietverdeling over de verschillende geulen in het mondinggebied zijn beperkt. De invloeden van de ingrepen beperken zich dus tot hun directe omgeving. Volgens de resultaten van de

berekeningen hoeft men zich dus weinige zorgen te maken over eventuele negatieve bijeffecten van de maatregelen.

- Onderhoud van de ingrepen is nodig als de beoogde effecten ervan behouden moeten blijven. Zonder onderhoud zullen de effecten van de ingrepen verdwijnen na verloop van tijd (ongeveer 15 jaar in voor het Oostgat en de Walvischstaart, ongeveer 30 jaar in de Wielingen). De benodigde onderhoudswerkzaamheden zijn geschat op 1.5 Mm³ storten in het Oostgat, 1 Mm³ baggeren in de Walvischstaart, en 0.5 Mm³ baggeren in de Wielingen.
- Gecombineerde uitvoering van twee ingrepen tegelijk is aan te bevelen als het tot kosten besparing leidt, zoals in het geval van verdiepen van de Walvischstaart samen met het verflauwen van de geulwandhelling van het Oostgat.

Verder suggereert het model (referentie run) dat de veranderde stortstrategie (meer in het west storten) een trendbreuk in de verandering van waterbeweging kan leiden. Dit heeft weer tot gevolg dat er in het mondinggebied meer sedimentatie optreedt.

4.3 Aanbevelingen

De huidige studie is uitgevoerd met een grootschalig lange-termijn model. Gedetailleerde kleinschalige morfologische veranderingen zijn dus niet beschouwd. Daarom kan een vraag zoals hoe de verflauwde geulwandhelling van het Oostgat zich precies gaat gedragen niet worden beantwoord. Voor het beantwoorden van zulke vragen is een meer gedetailleerde studie met behulp van bijvoorbeeld Delft3D nodig.

In alle berekeningen in de huidige studie zijn de ingrepen als eenmalig beschouwd. De effecten van de onderhoudswerkzaamheden zijn daardoor niet beschouwd. Meer berekeningen met daarin de onderhoudswerkzaamheden meegenomen zijn aanbevolen om het vereiste onderhoud beter te bepalen, en om er achter te komen of er significante bijeffecten van de ingrepen zijn als ze worden onderhouden.

Een van de mogelijke effecten van het onderhouden van de voorgenomen ingrepen is de invloed op de stabiliteit van de meergeulen systeem in het mondinggebied. Dit kan men bestuderen met het cellenconcept zoals al is toegepast in het Westerschelde estuarium.

Meer aandacht moet worden besteed aan de trendbreuk in de verandering van de waterbeweging t.g.v. de veranderde stortstrategie. Verder wordt ook voorgesteld aandacht te besteden aan het verloop van het getijvolume door het Oostgat: waarom neemt het in het begin veel sneller toe?

5 Referenties

- Jeuken, C., Van Helvert, M., Wang, Z.B., 2002, ESTMORF berekeningen naar de invloed van ingrepen en natuurlijke forceringen op de zandhuishouding van Westerschelde en monding, Rapport Z3246, Fase 2, WL | Delft Hydraulics.
- Van Helvert, M., 2002, ESTMORF Westerschelde berekeningen 2002, Baggeren en storten in de monding, fase 1, Rapport Z3246 I, WL | Delft Hydraulics.
- Vroon, J., C. Storm en J. Coossen, 1997. Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rijkswaterstaat, report RIKZ-97.023.
- 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.

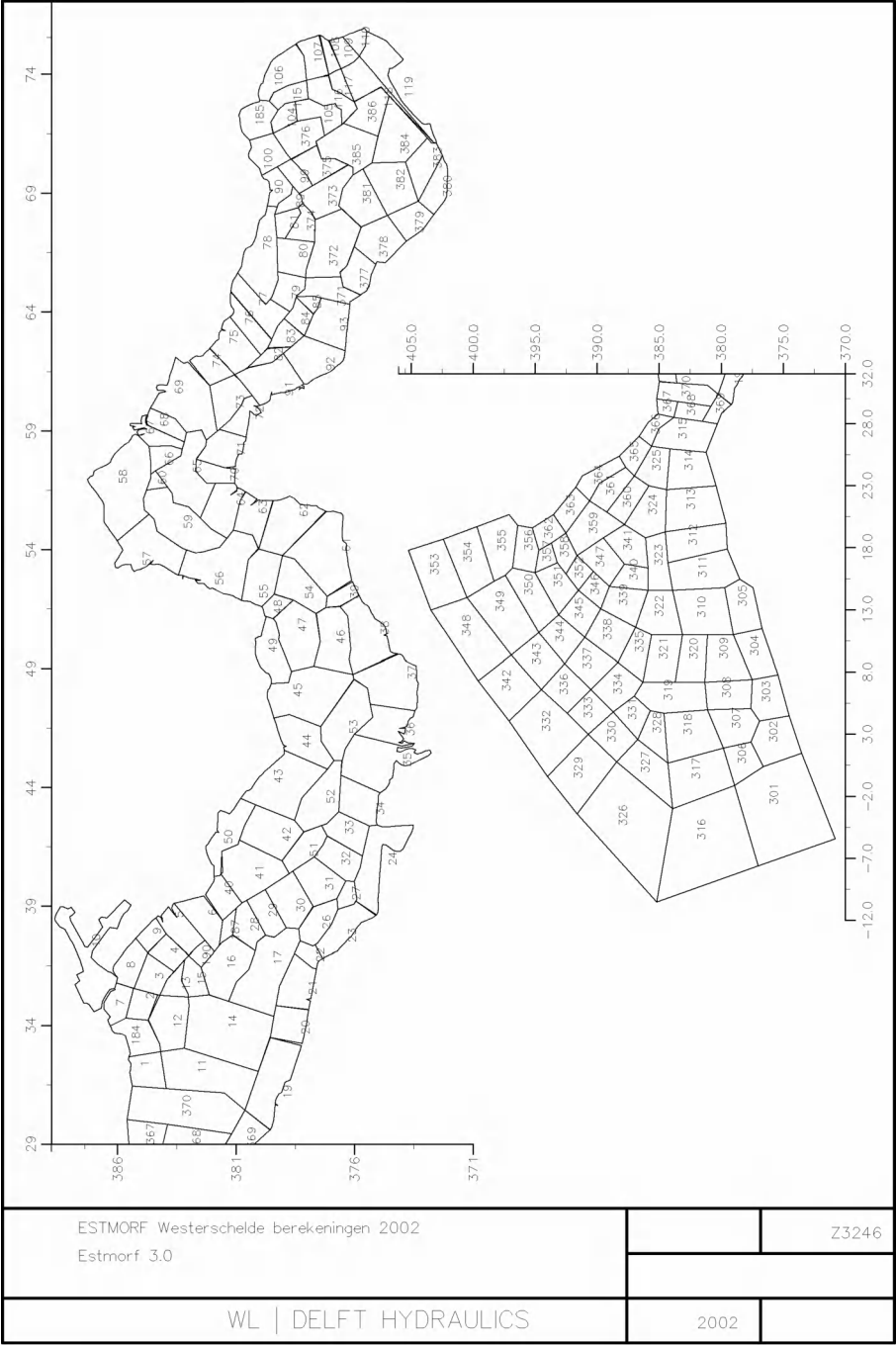
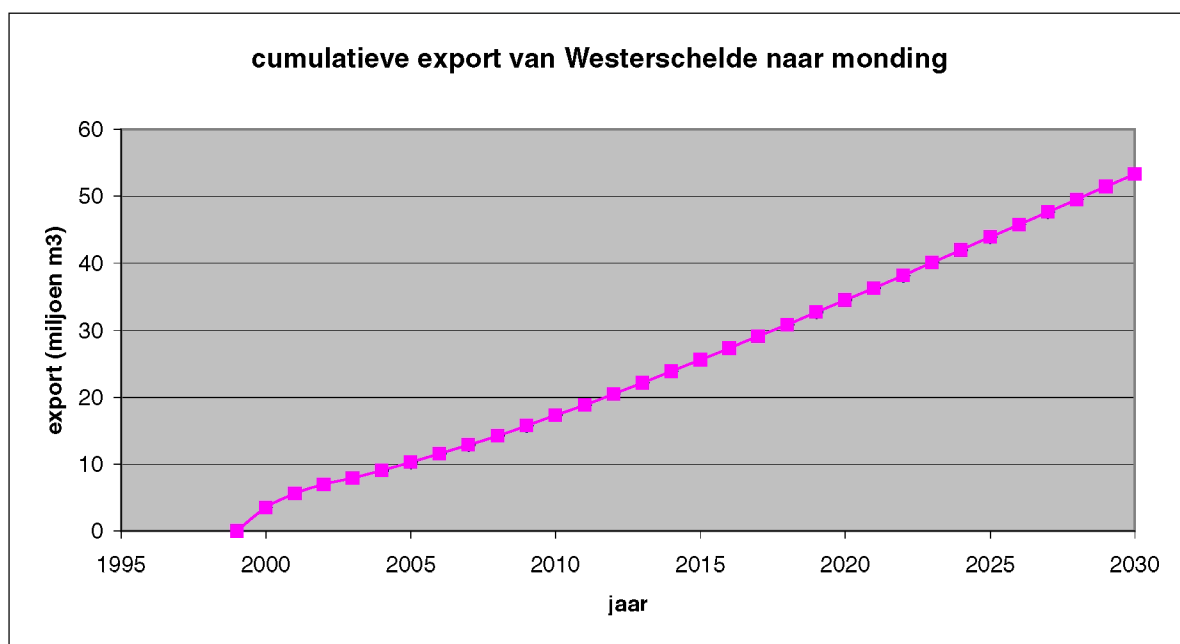
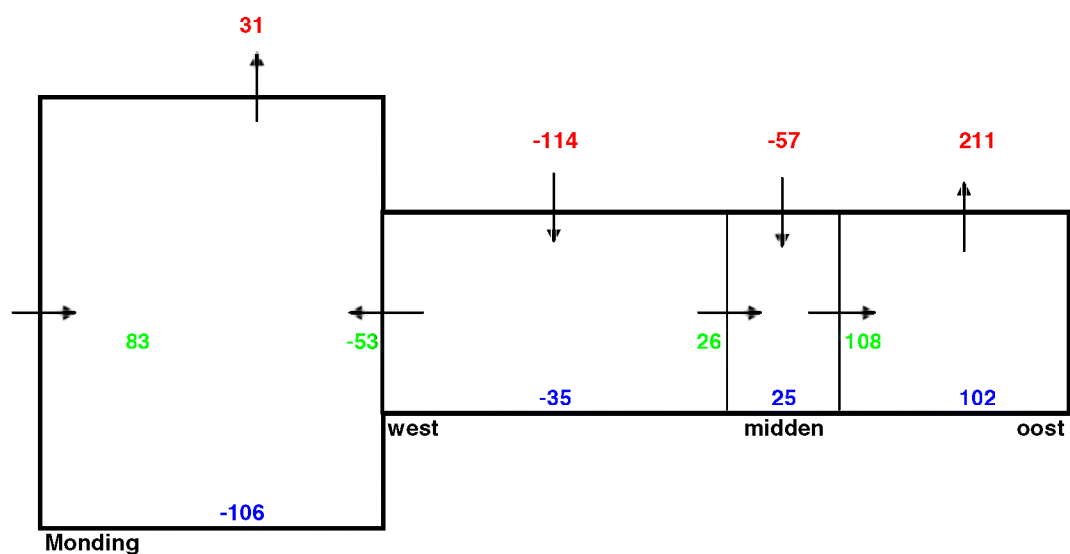


Fig.1.1



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run rf2: Referentie berekening

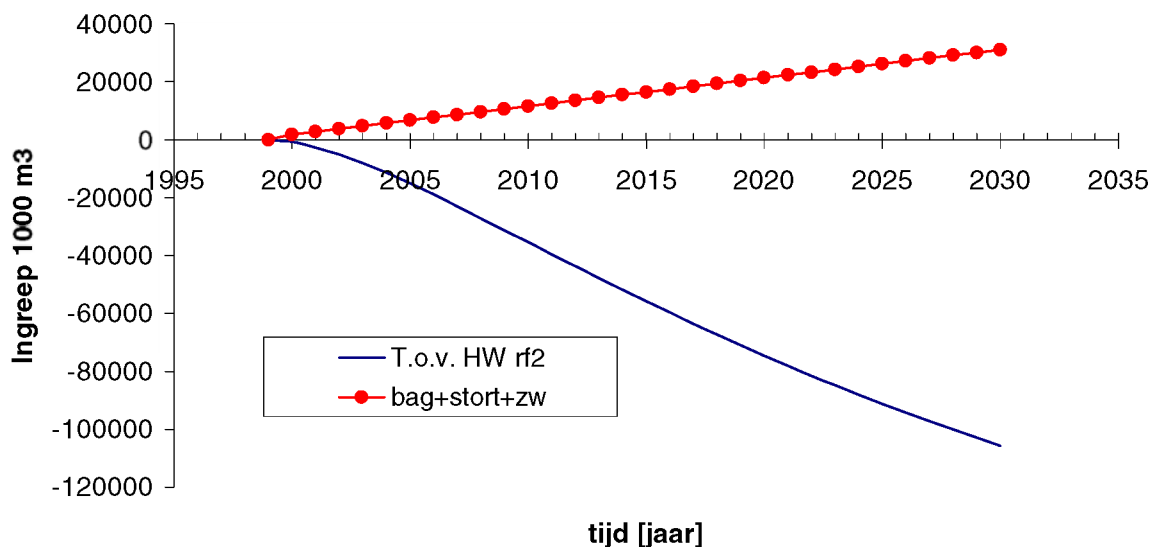
Z3562

mei 03

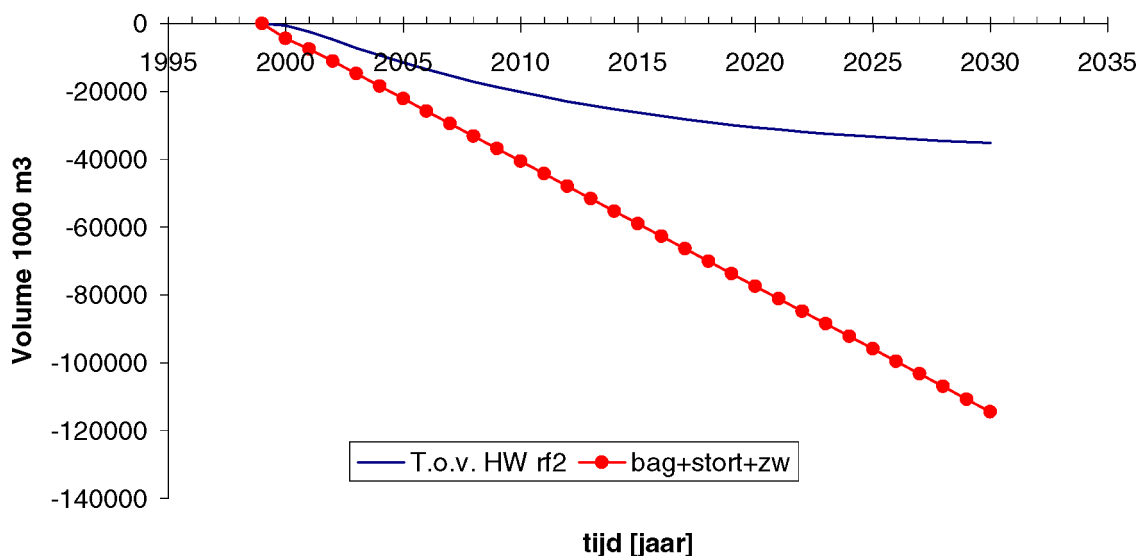
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.1

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
Run rf2: Referentie berekening

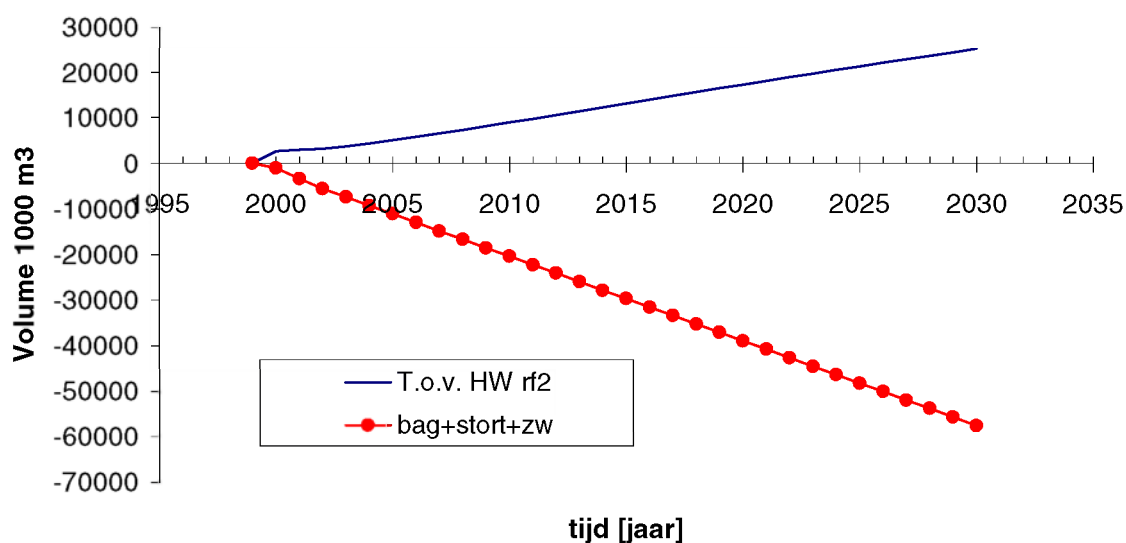
Z3562

mei 03

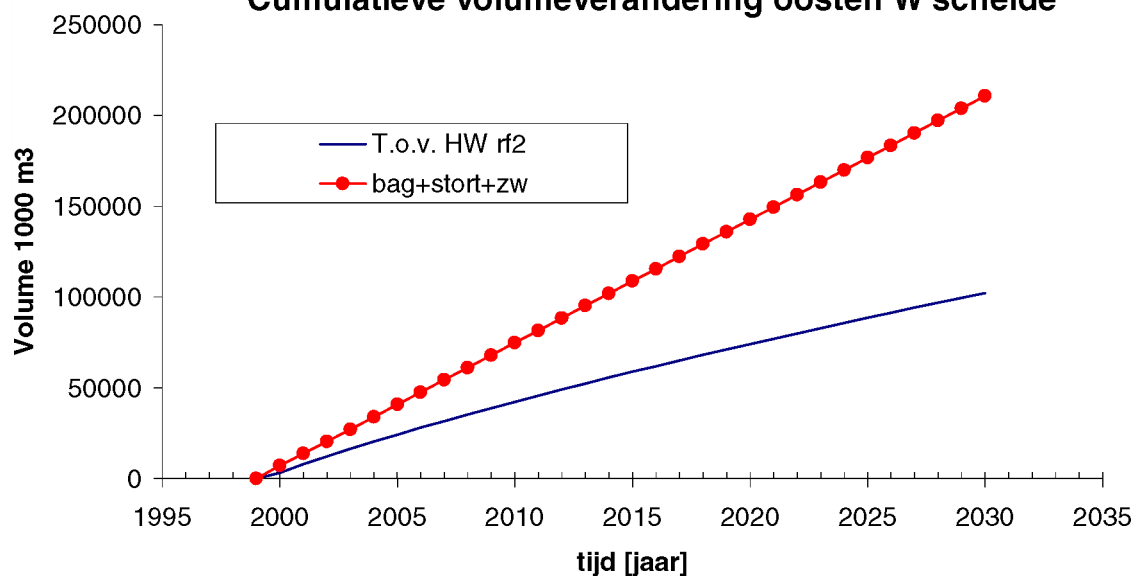
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.2

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



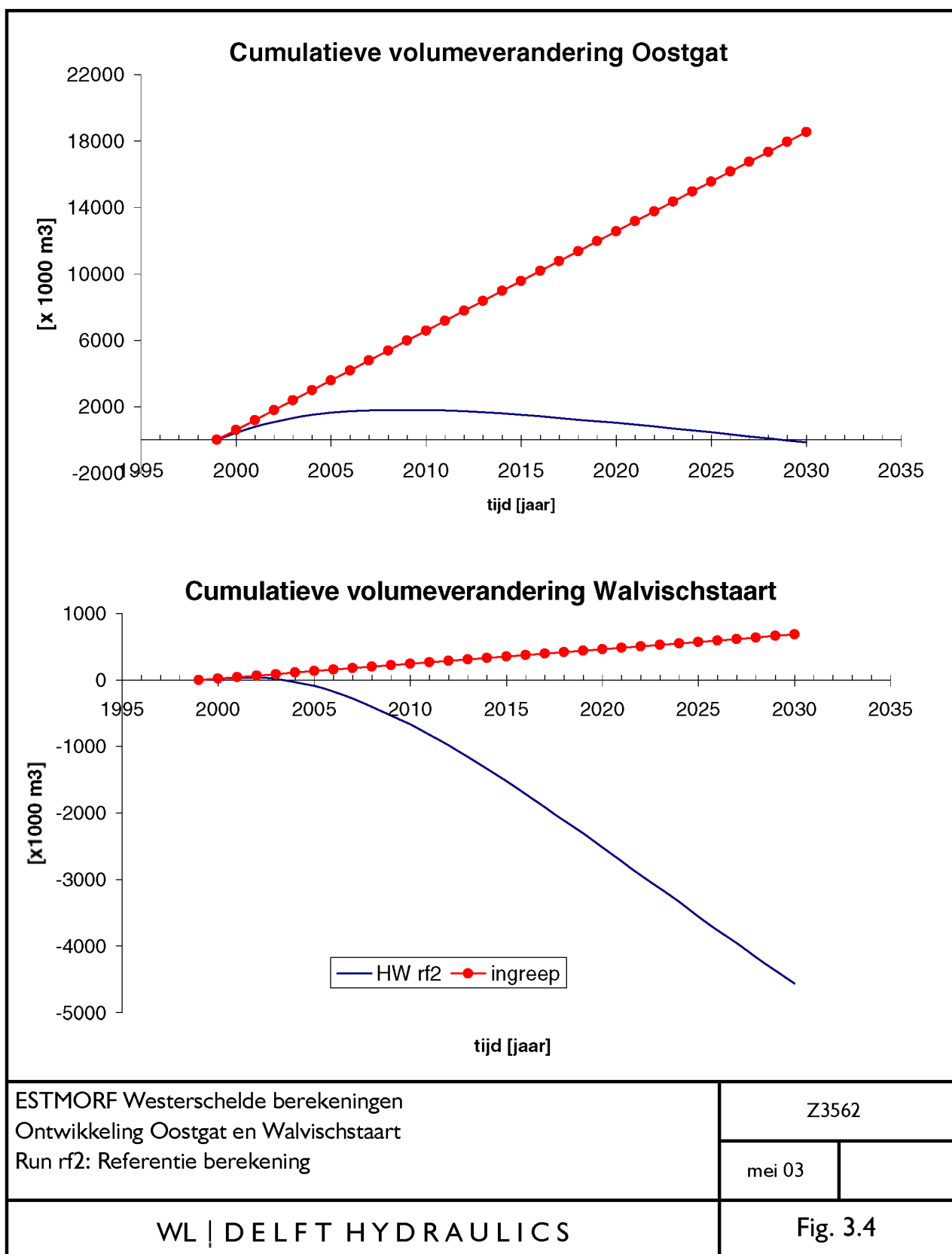
ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
Run rf2: Referentie berekening

Z3562

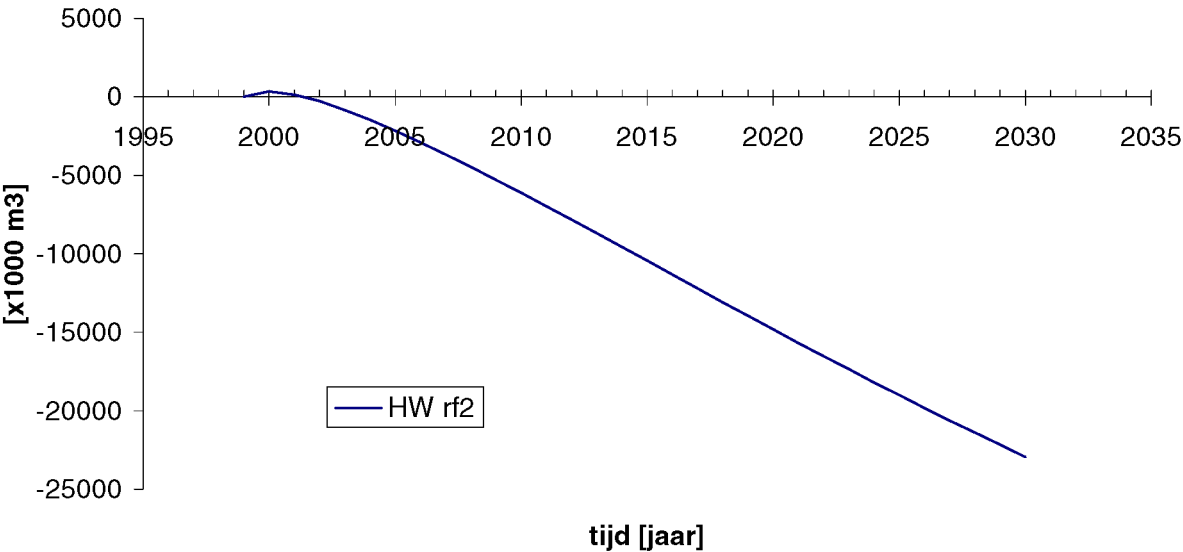
mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.3



Cumulative volume change Wielingen



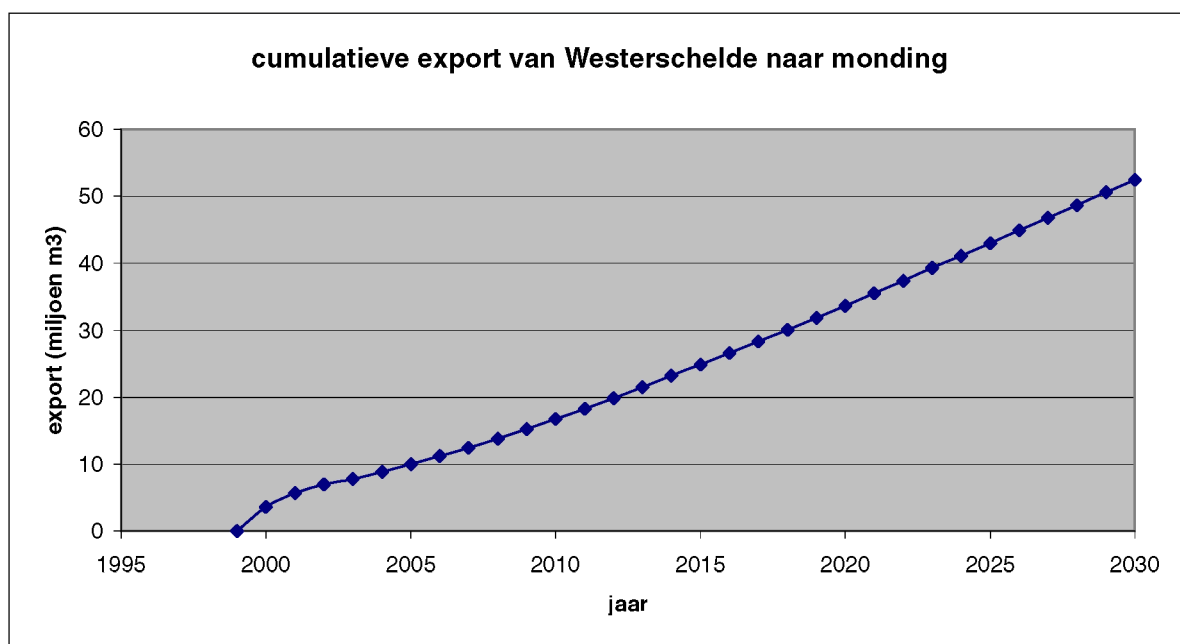
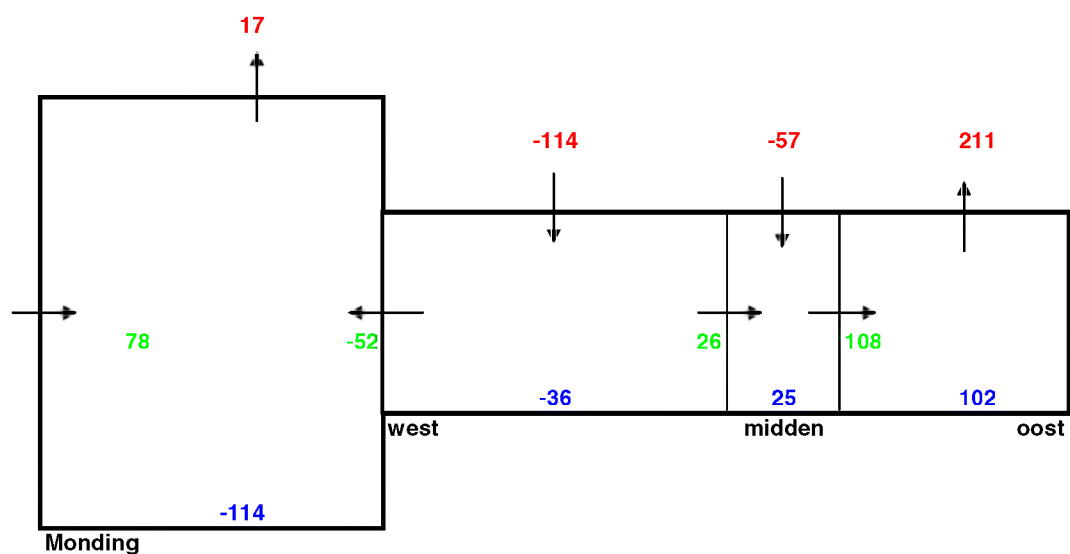
ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Wielingen
Run rf2: Referentie berekening

Z3246

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.5



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run og I: Berekening Oostgat

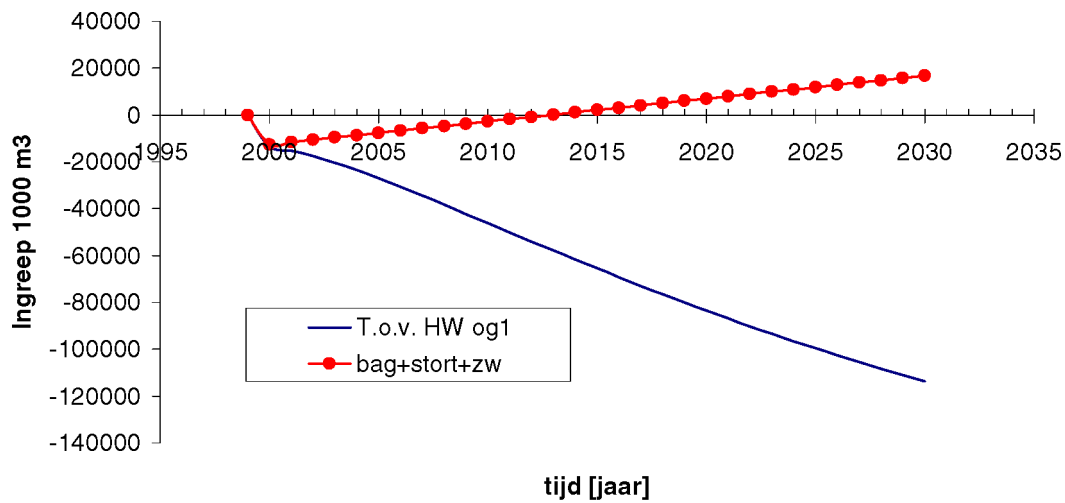
Z3562

mei 03

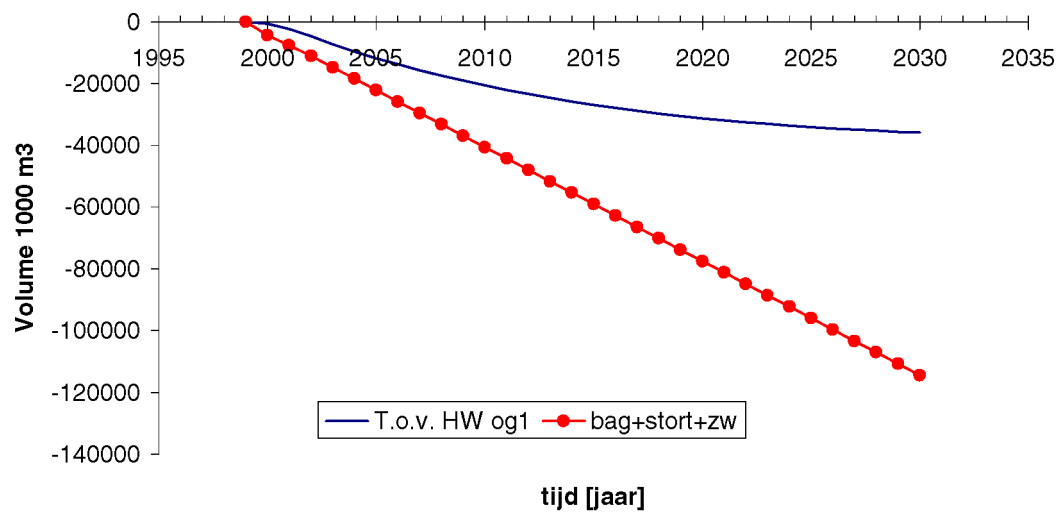
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.6

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
 Run og1: Berekening Oostgat

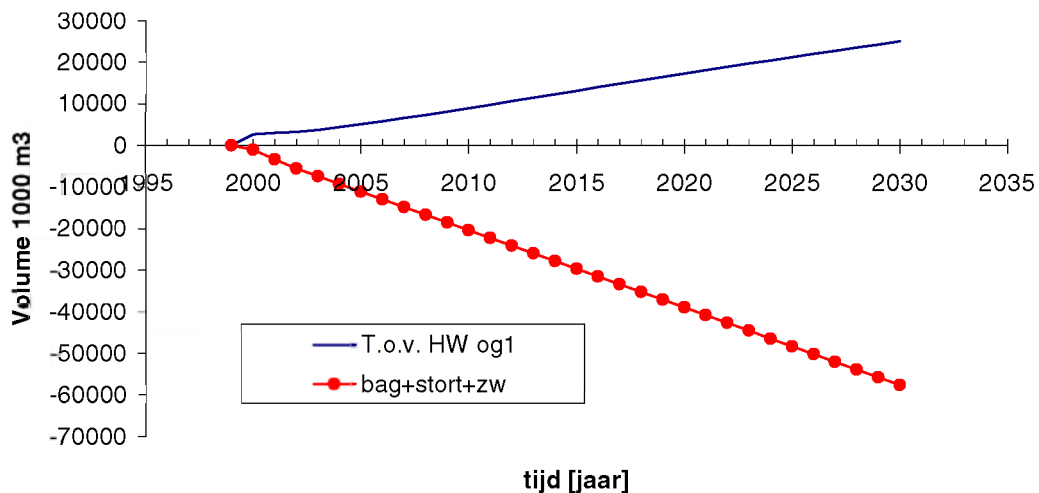
Z3562

mei 03

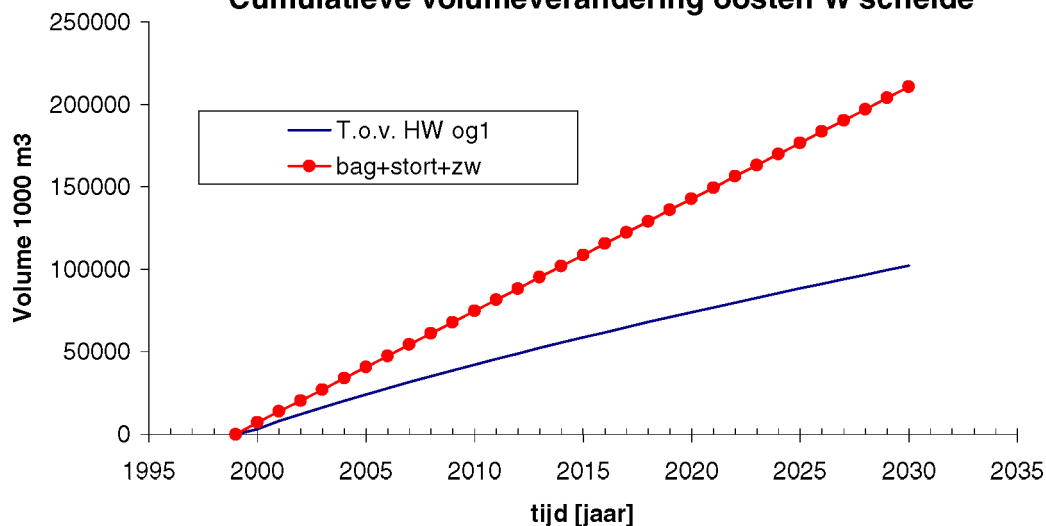
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.7

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



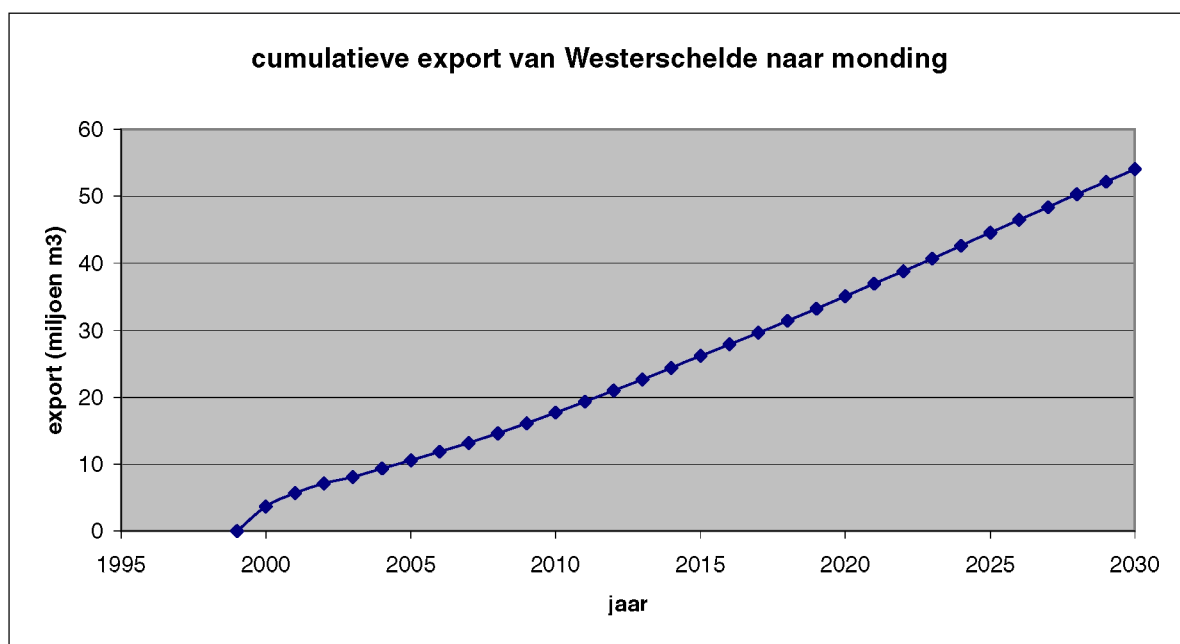
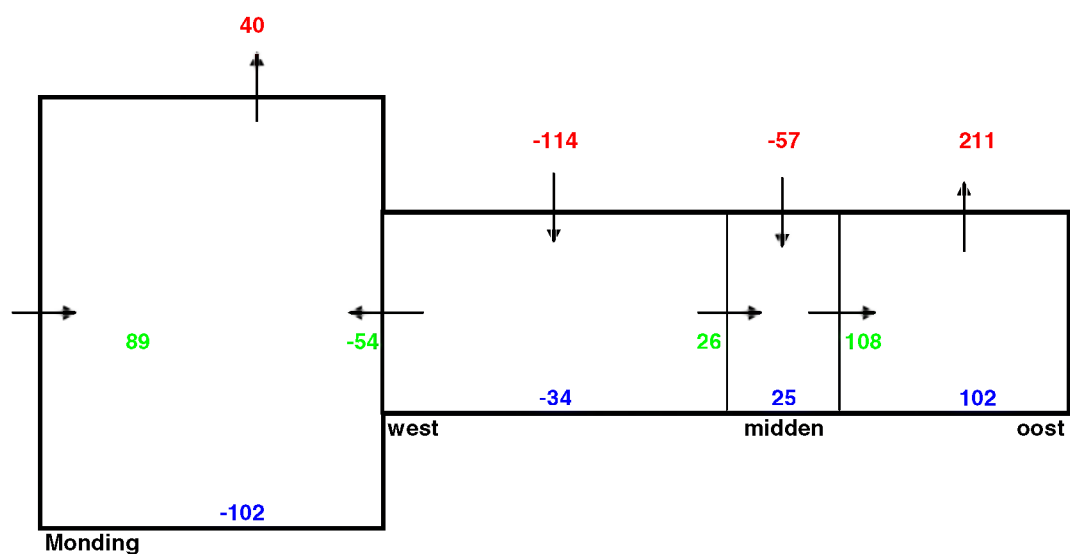
ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
Run og1: Berekening Oostgat

Z3562

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.8



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run wal: Berekening Walvischstaart

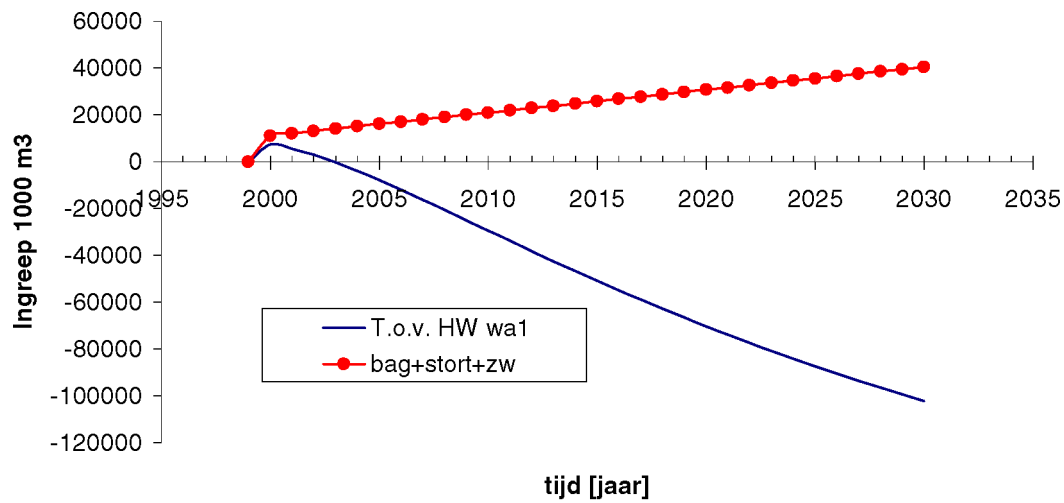
Z3562

mei 03

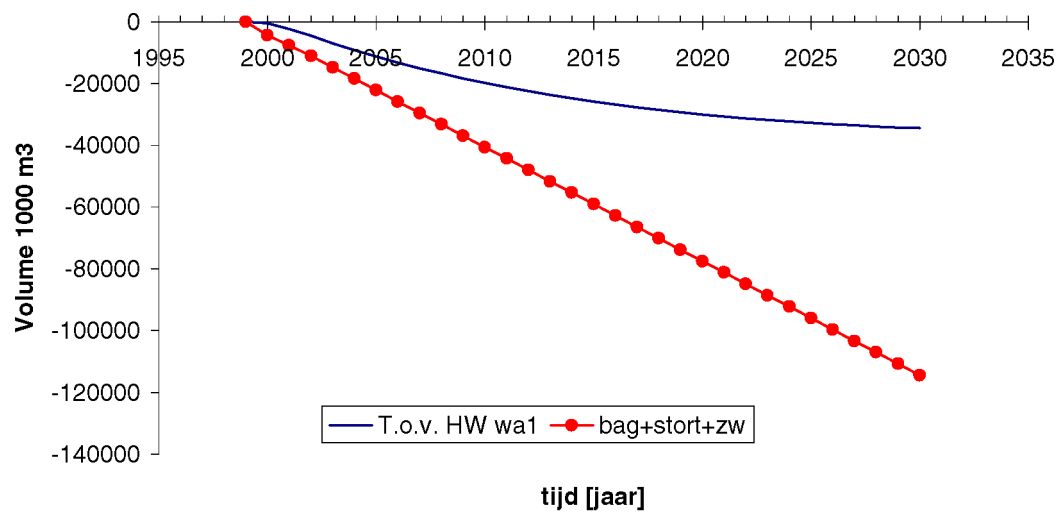
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.9

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
Run wal : Berekening Walvischstaart

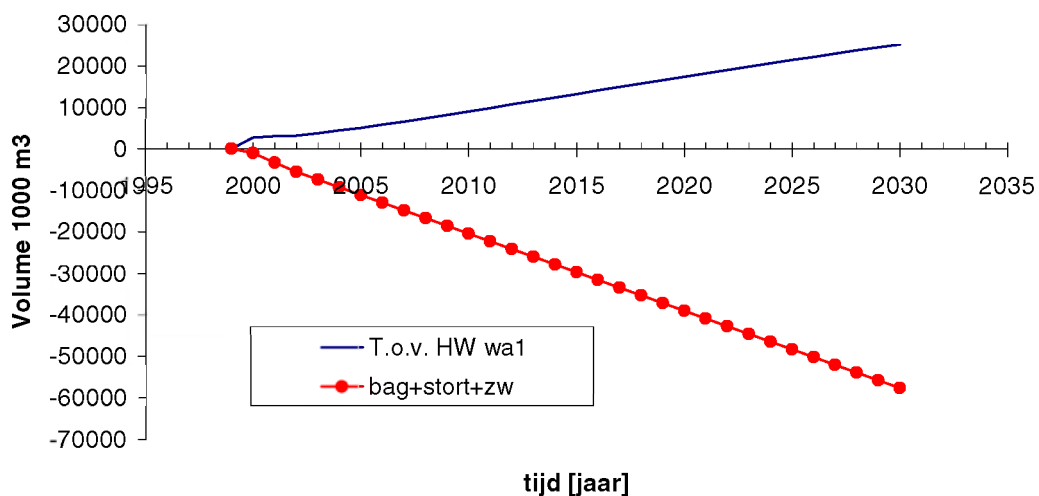
Z3562

mei 03

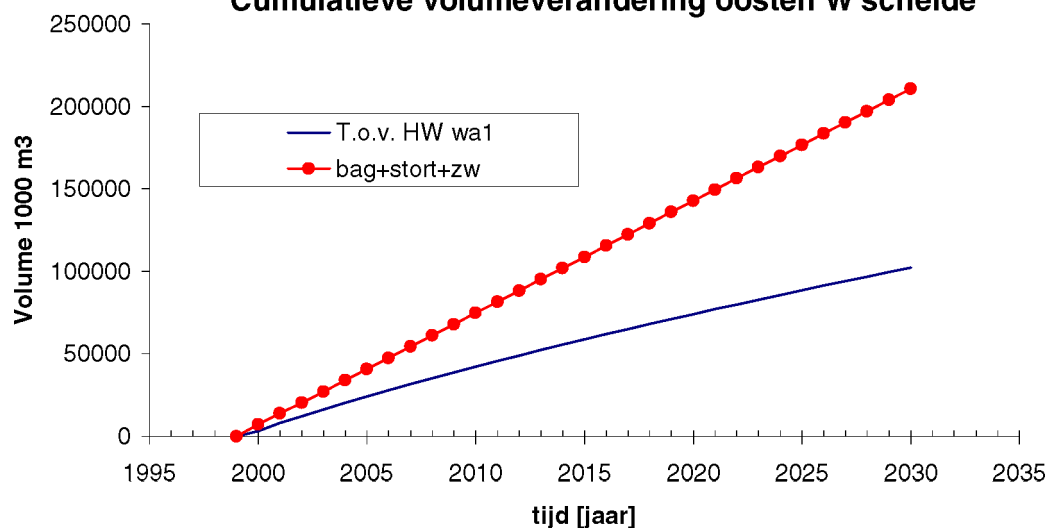
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.10

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



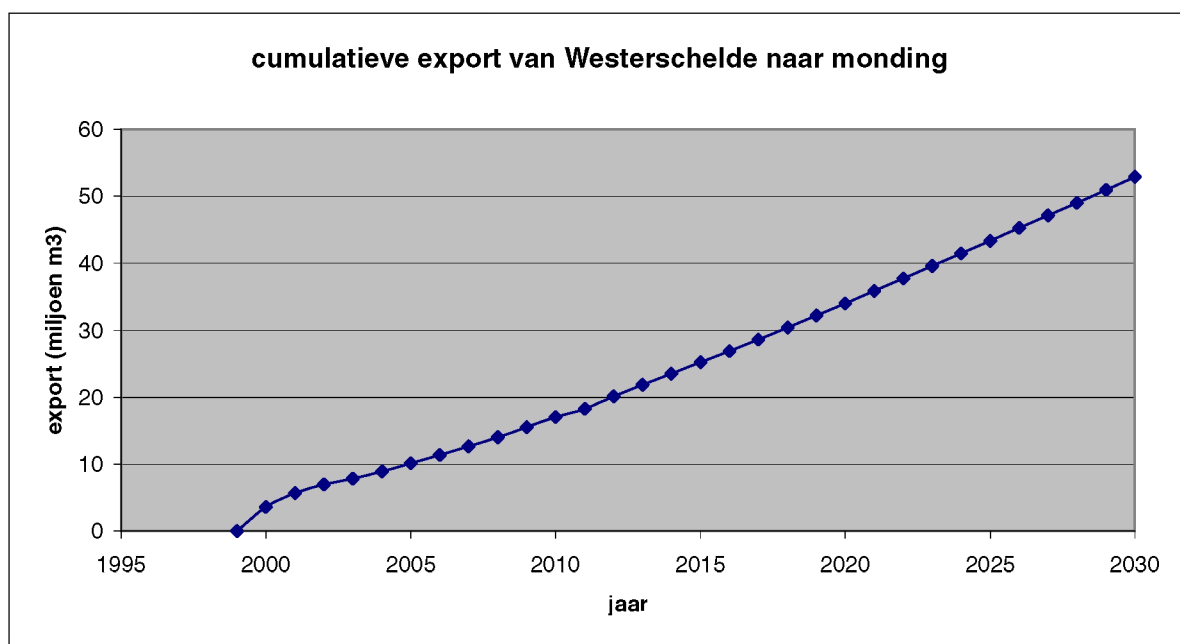
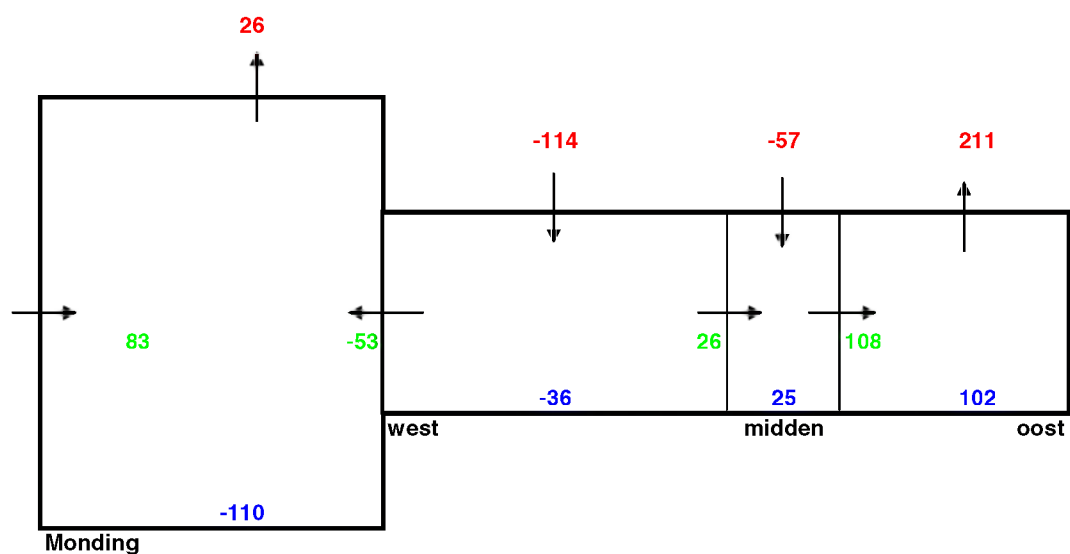
ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
Run wal : Berekening Walvischstaart

Z3562

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.11



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run wa2: Berekening comb. verdiepen Walvischstaart storten Oostgat

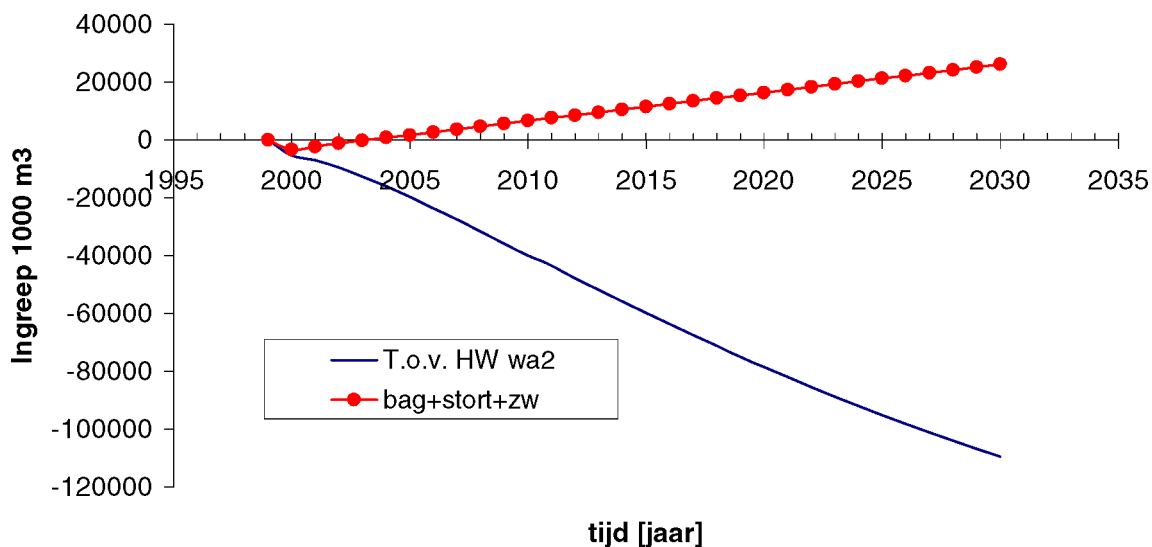
Z3562

mei 03

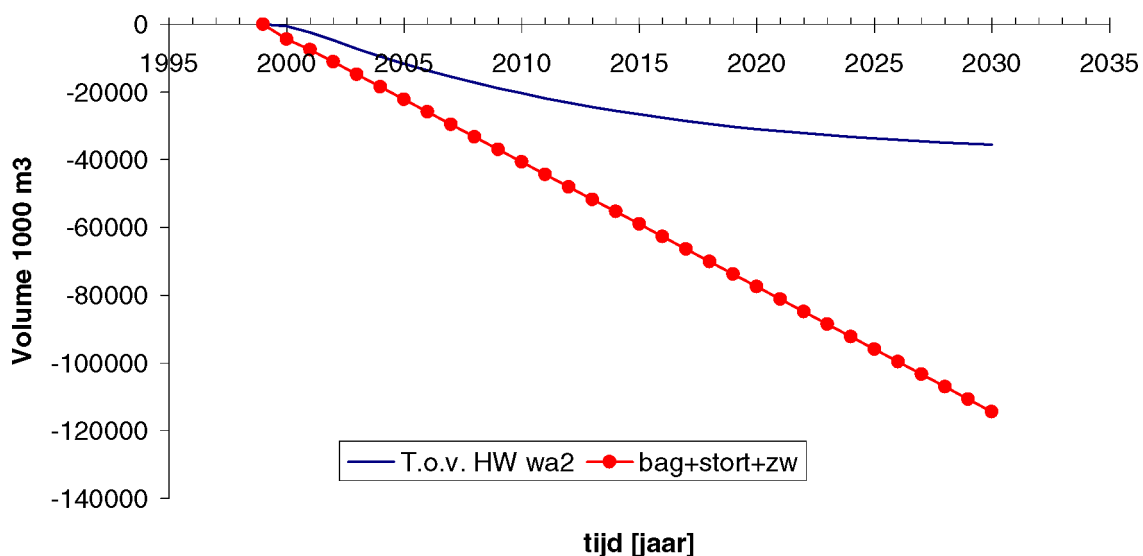
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.12

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
Run wa2: Berekening comb. verdiepen Walvischstaart storten Oostgat

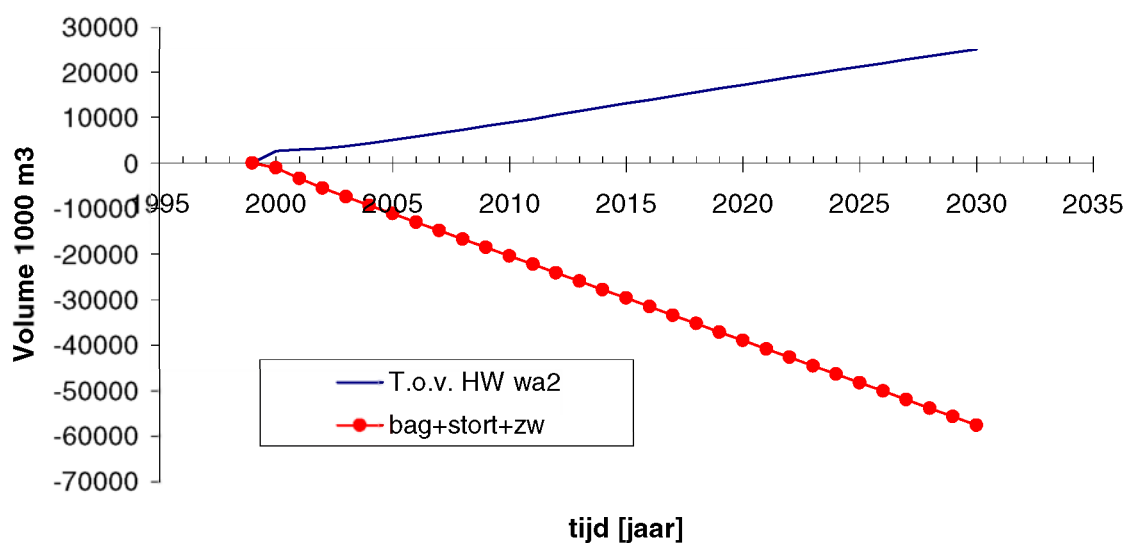
Z3562

mei 03

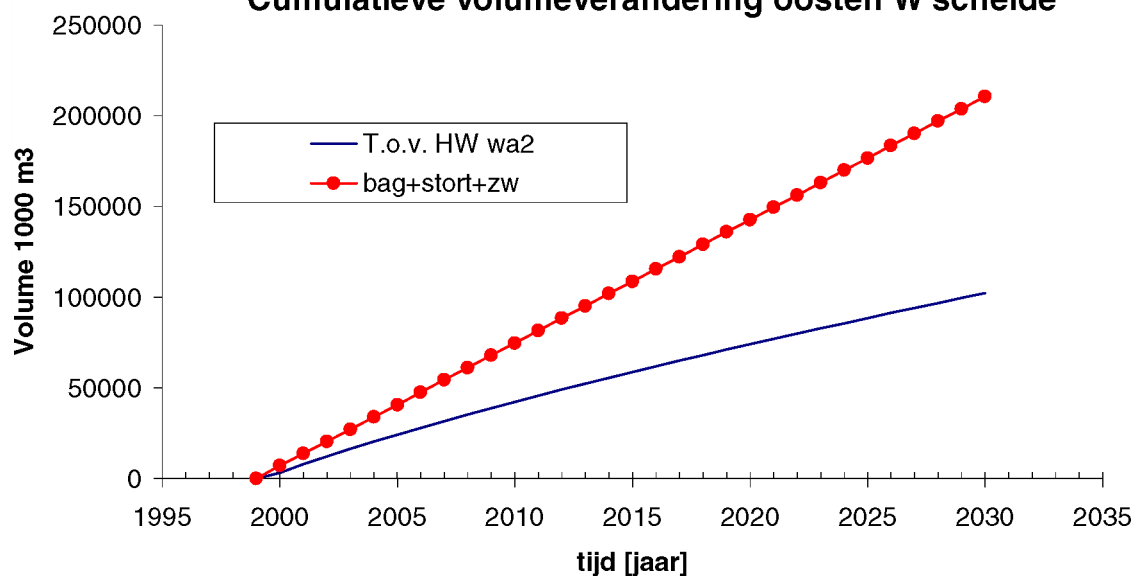
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.13

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



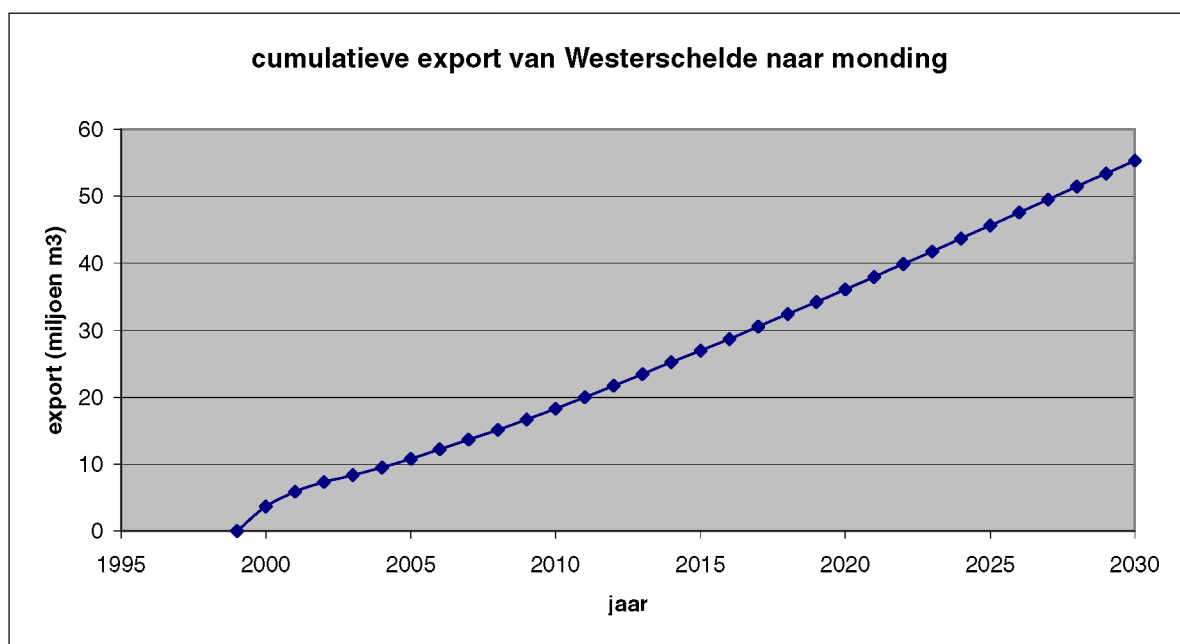
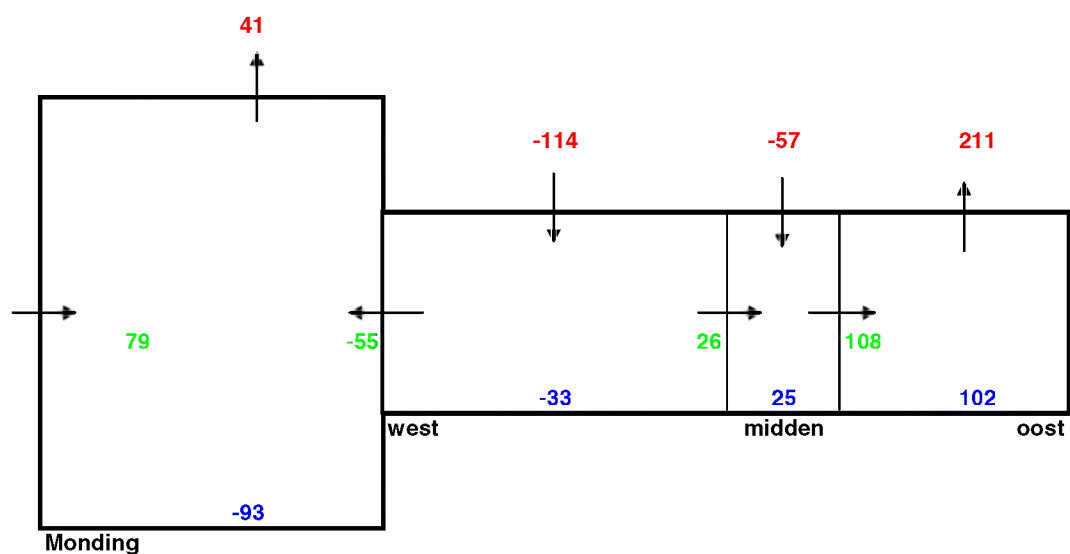
ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
 Run wa2: Berekening comb. verdiepen Walvischstaart storten Oostgat

Z3562

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.14



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run ws I: Berekening Wielingen

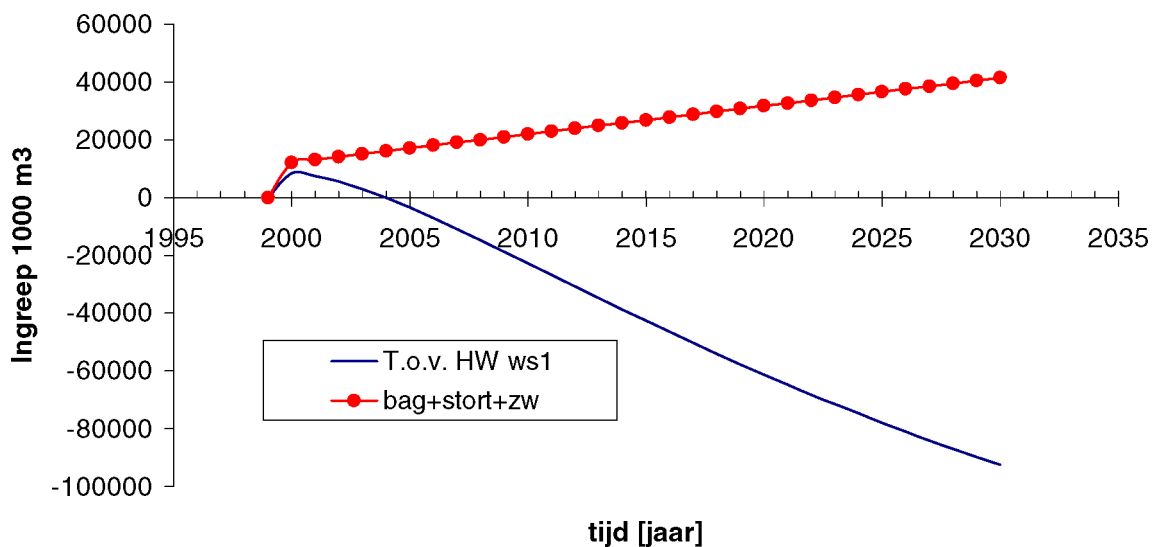
Z3562

mei 03

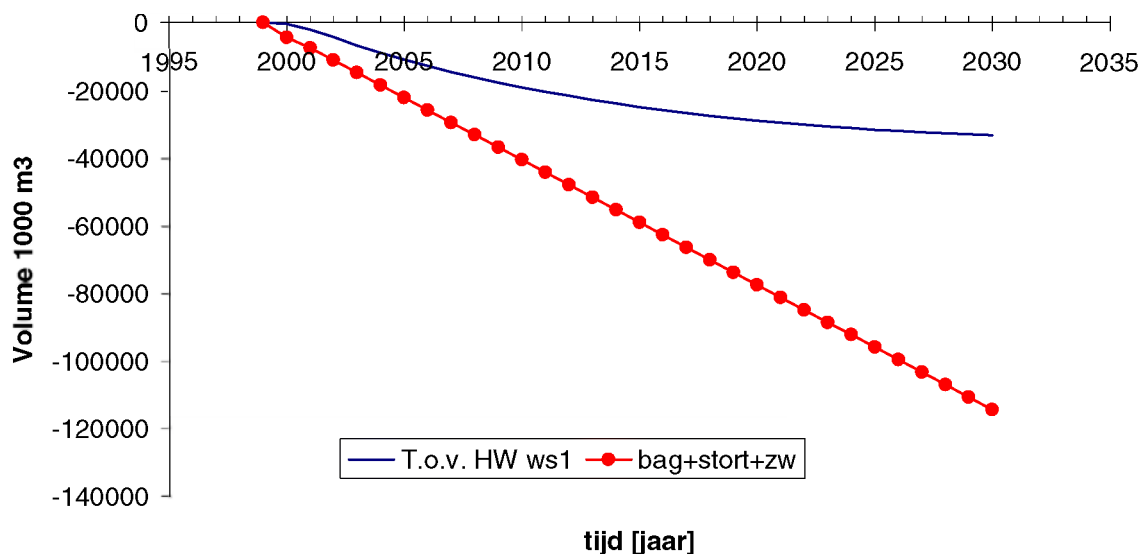
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.15

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
Run ws I: Berekening Wielingen

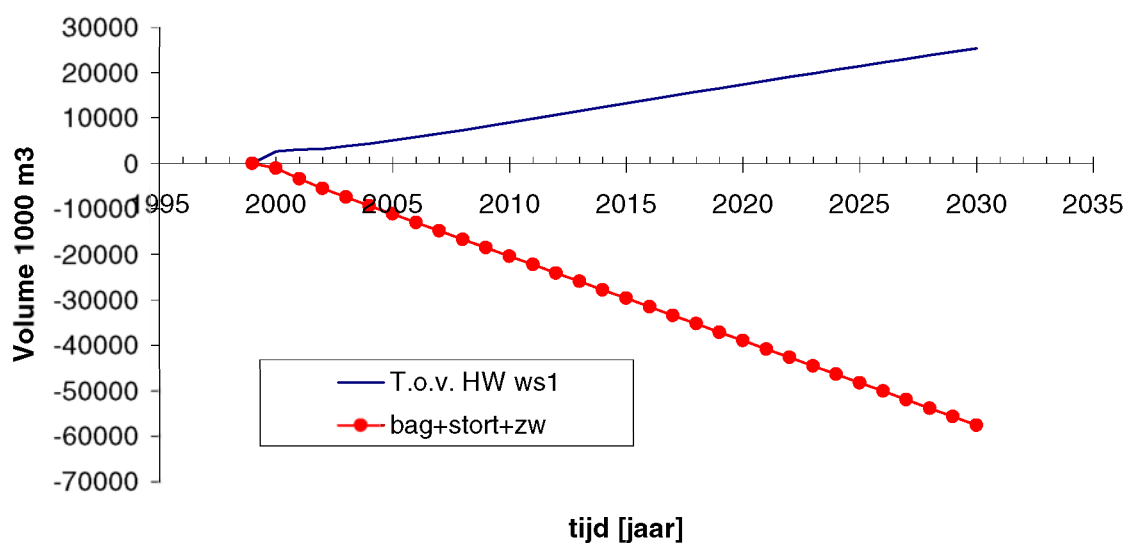
Z3562

mei 03

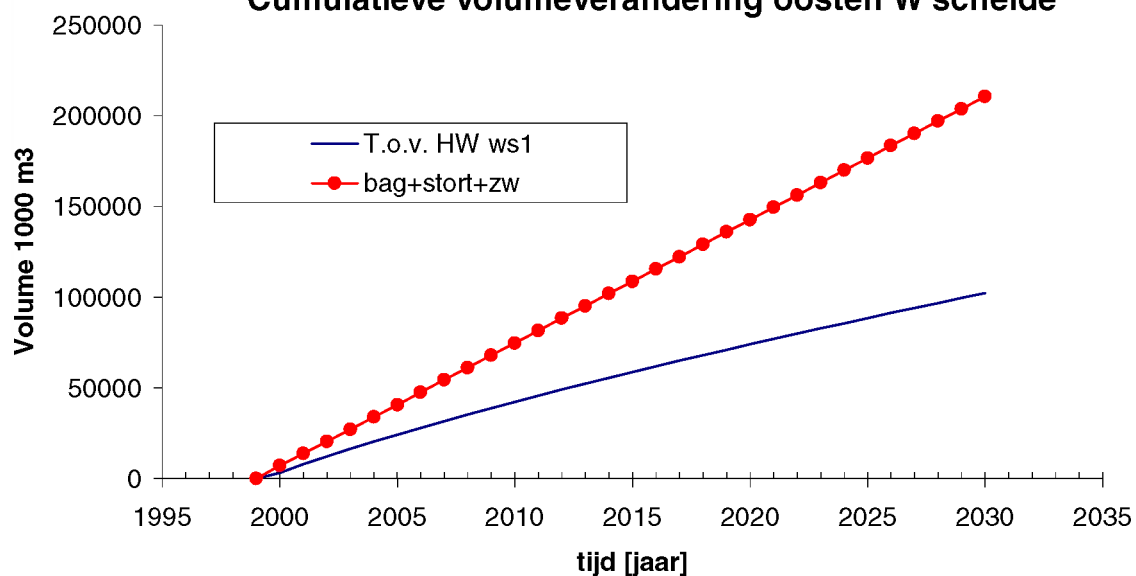
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.16

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



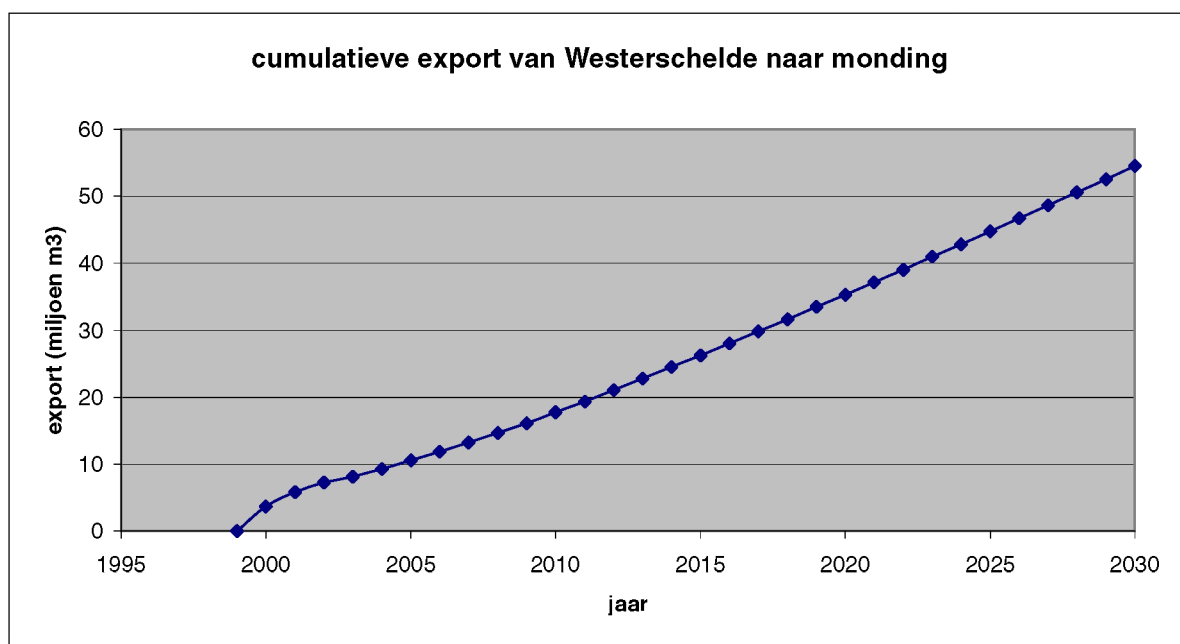
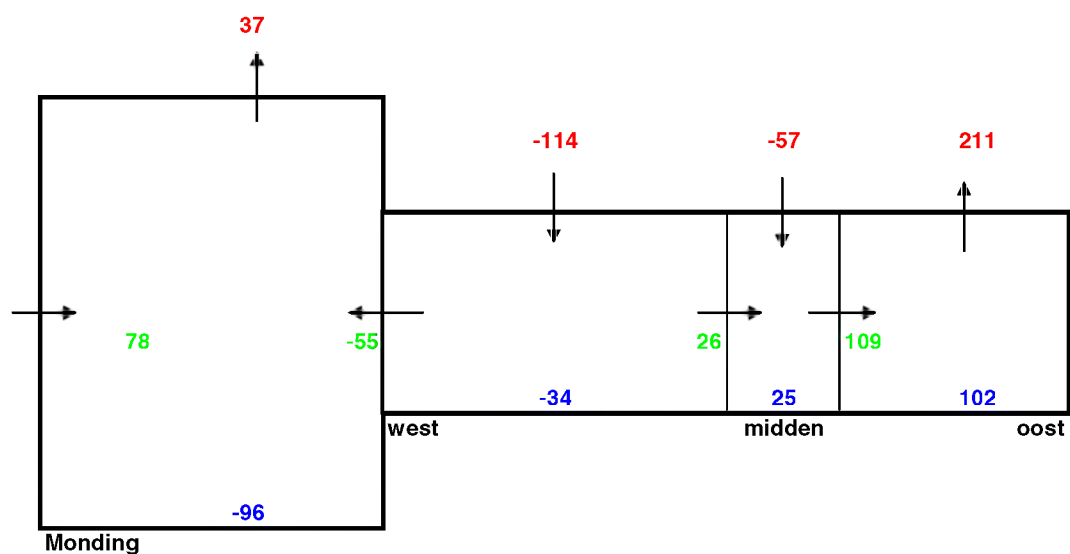
ESTMORF Westerschelde berekeningen
Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
Run ws I: Berekening Wielingen

Z3562

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.17



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Boven: Zandbalans, Onder: Verloop cumulatieve export bij de monding

Run cbI: Combinatieber., Oostgat, Walvischstaart en Wielingen

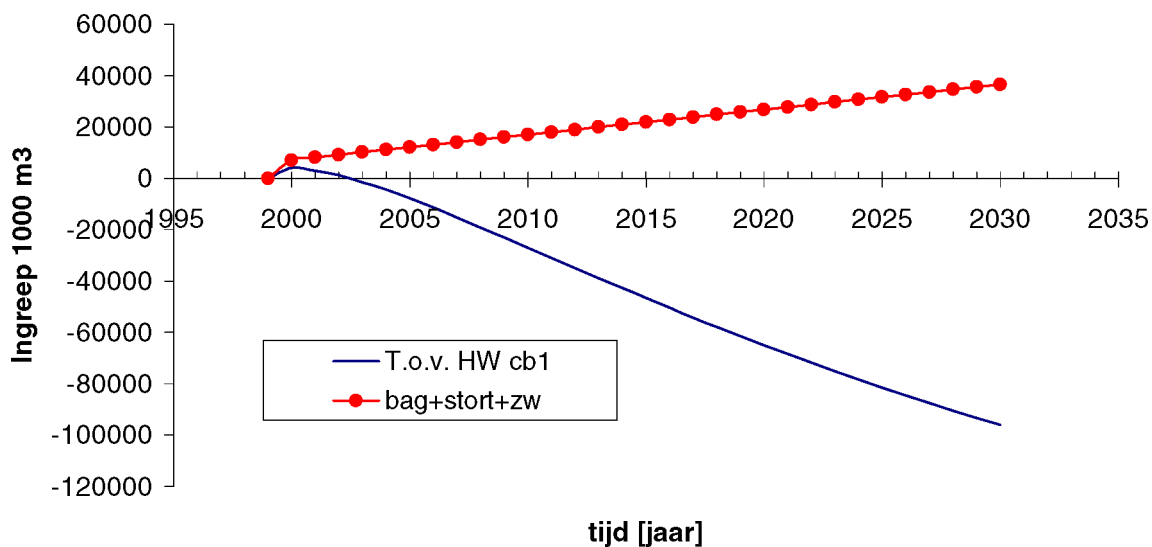
Z3562

mei 03

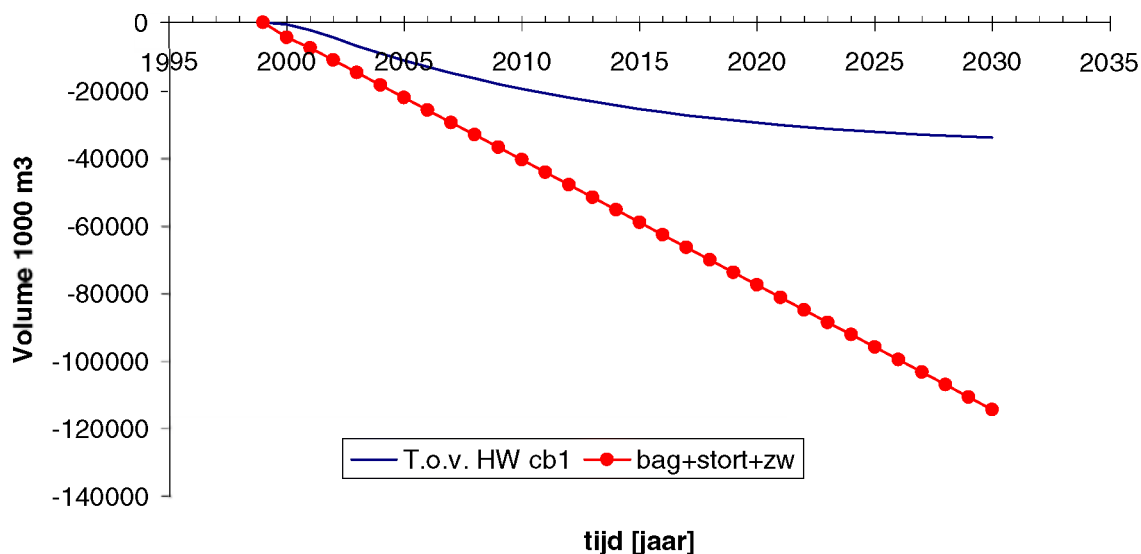
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.18

Cumulatieve volumeverandering in de monding



Cumulatieve volumeverandering westen W'schelde



ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Ontwikkeling Monding en Westen van estuarium
 Run cb1: Combinatieber., Oostgat, Walvischstrt en Wielingen

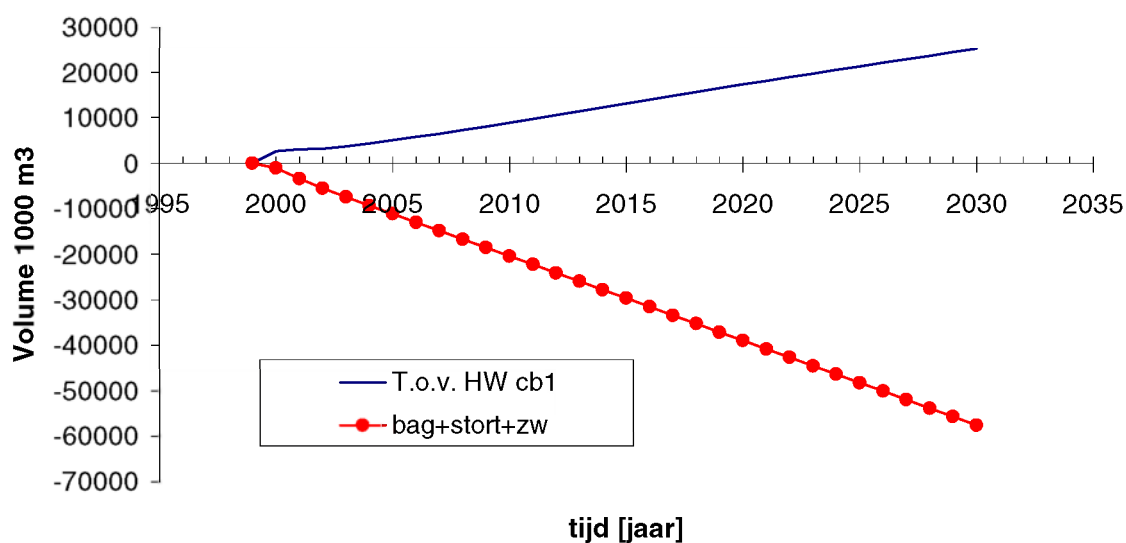
Z3562

mei 03

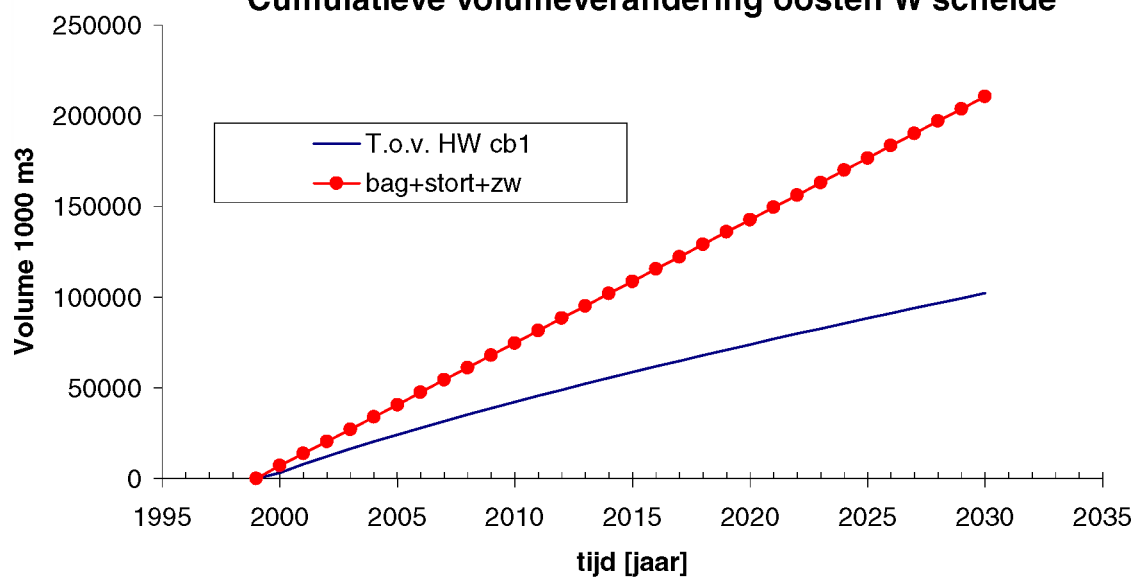
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.19

Cumulatieve volumeverandering midden W'schelde



Cumulatieve volumeverandering oosten W'schelde



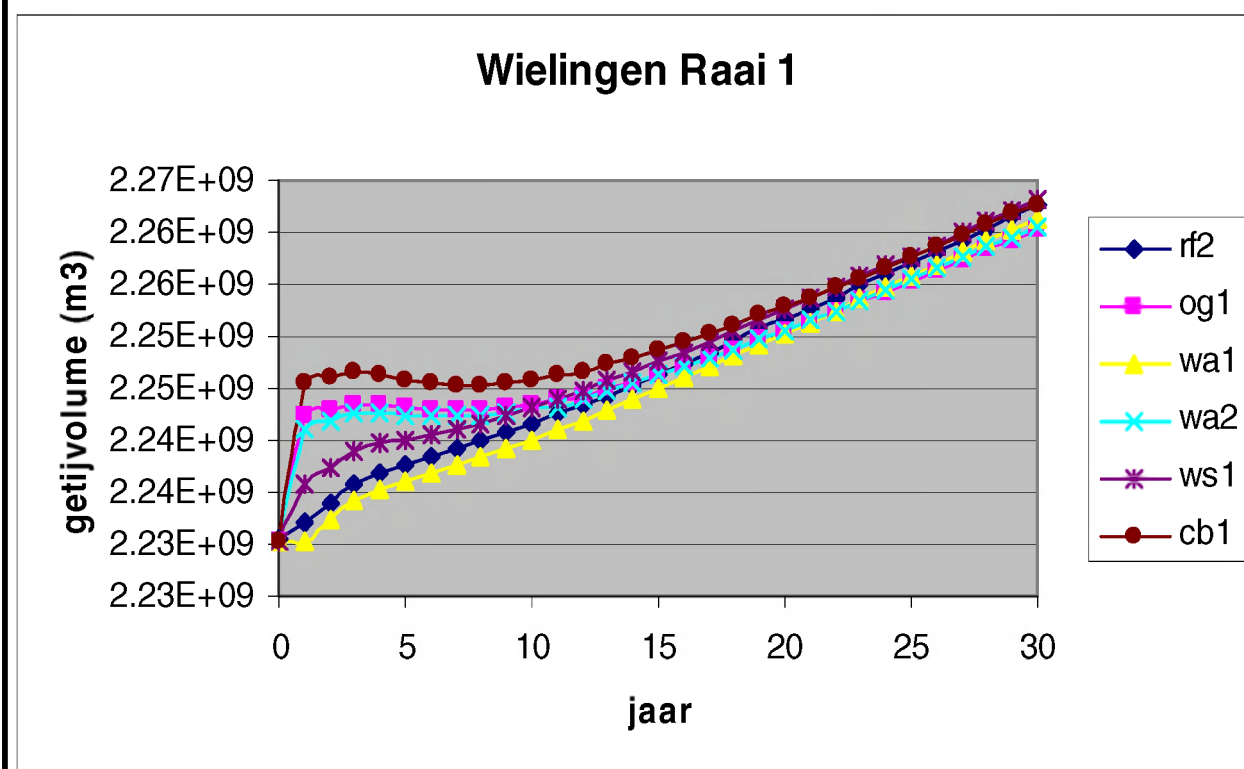
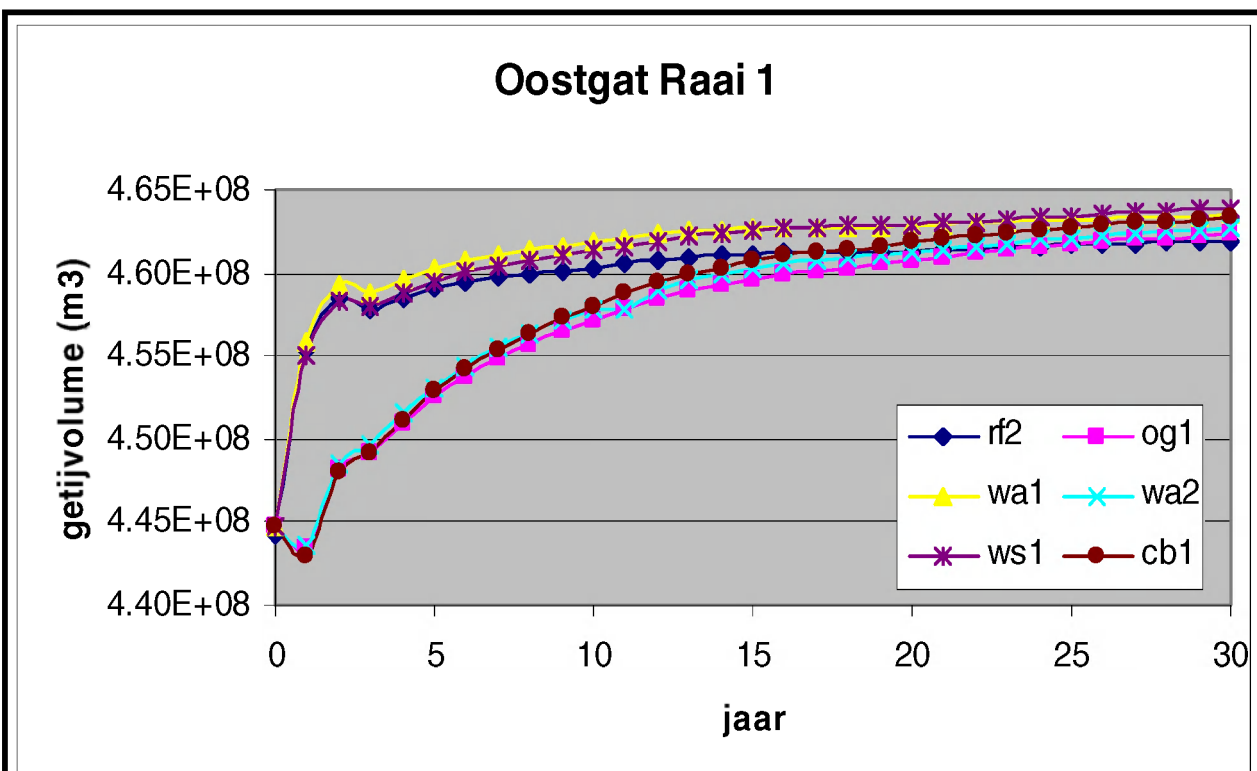
ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Ontwikkeling Midden en Oosten estuarium
 Run cb1: Combinatieber., Oostgat, Walvischstrt en Wielingen

Z3562

mei 03

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.3.20



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Getijvolume

Raai I, alle berekeningen

Z3562

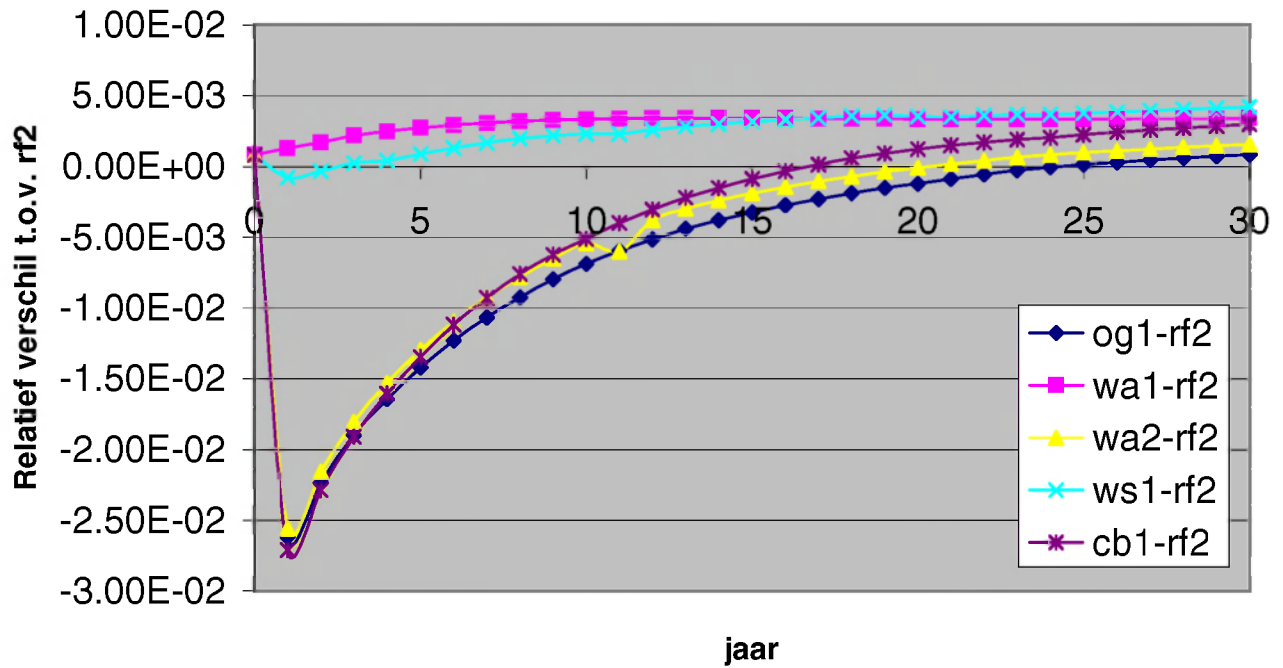
mei

2003

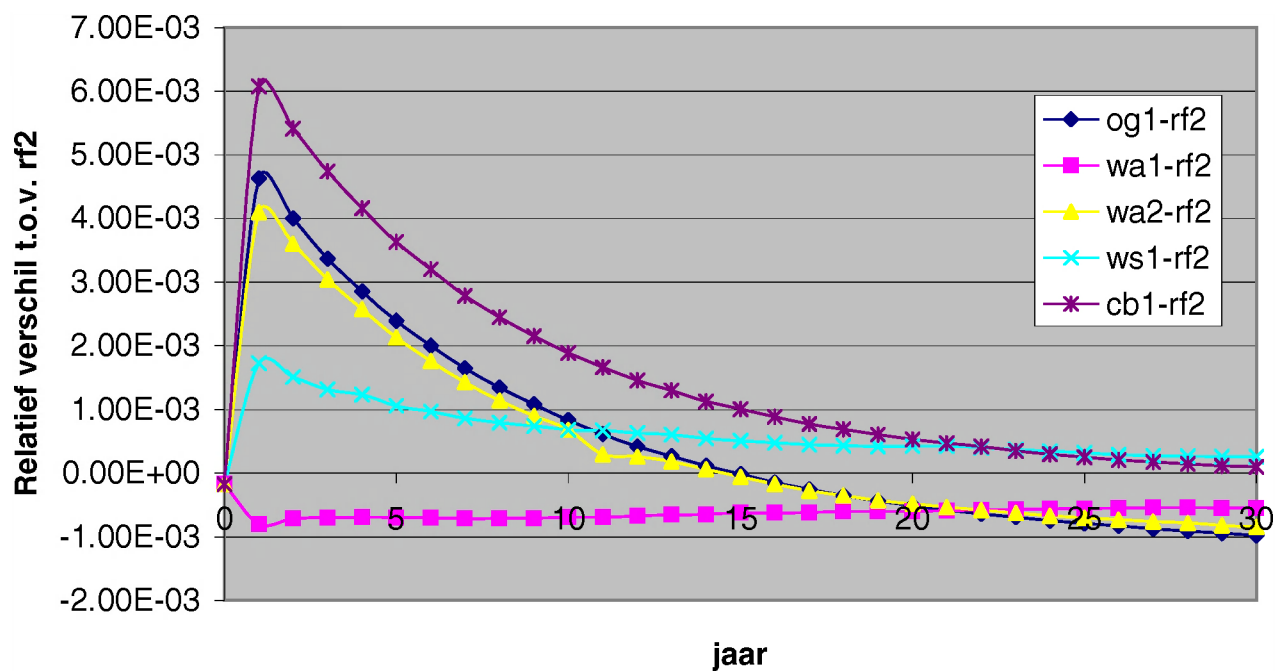
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.2I

Oostgat Raai 1



Wielingen Raai 1



ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Relatieve verandering van het getijvolume
 Raai I

Z3562

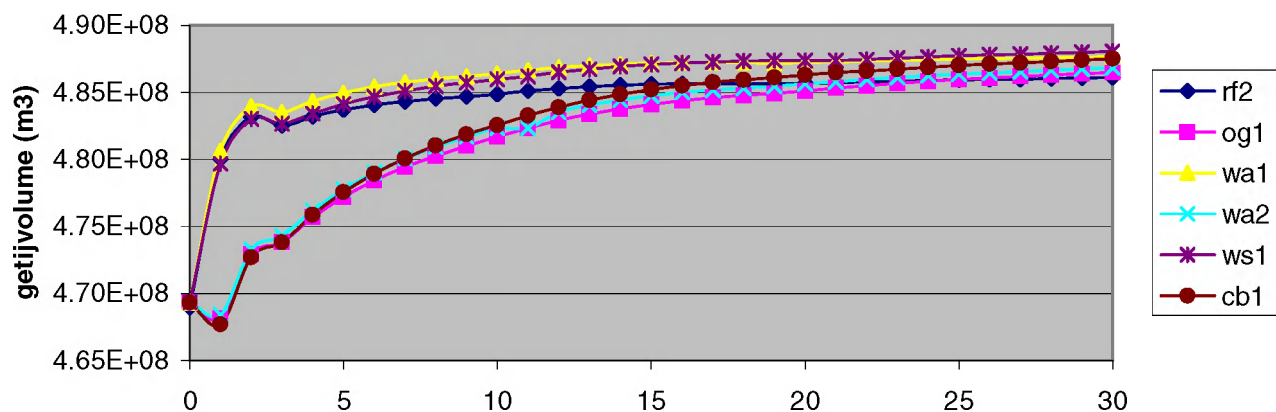
mei

2003

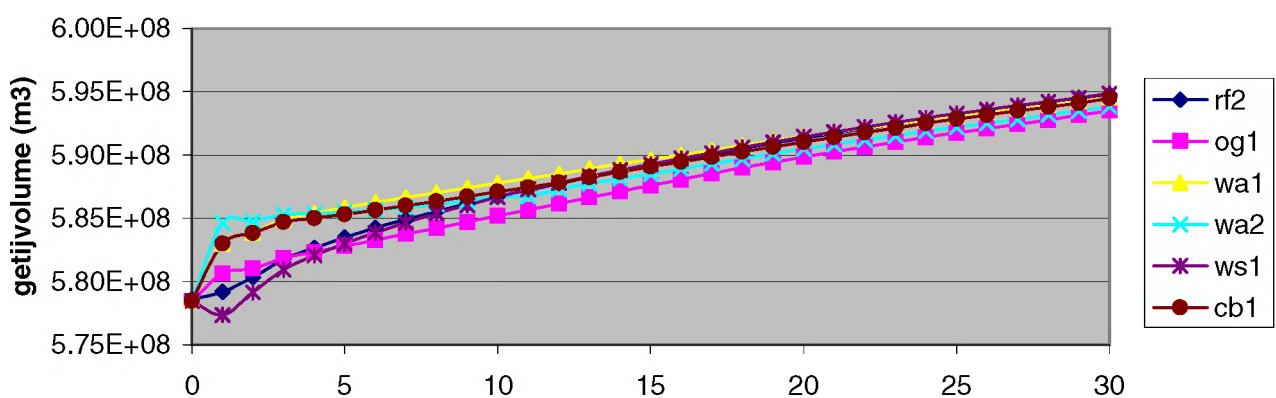
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.22

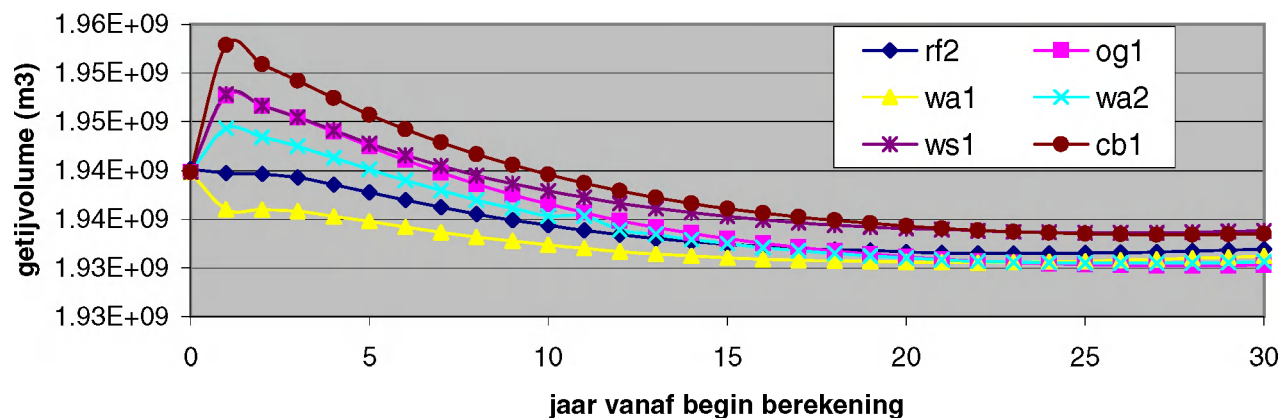
Oostgat Raai 2



Walvischstaart Raai 2



Wielingen Raai 2



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Getijvolume

Raai 2, alle berekeningen

Z3562

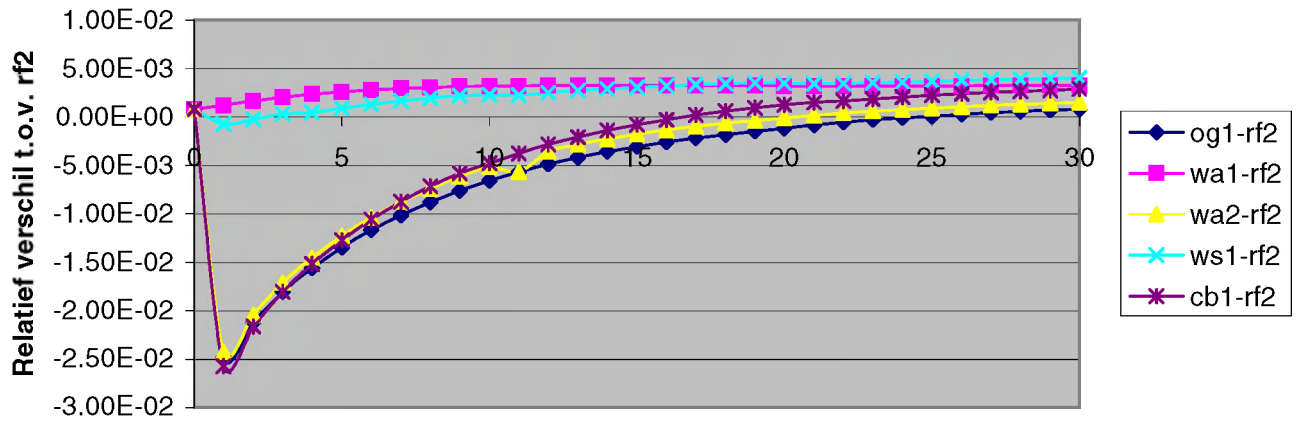
mei

2003

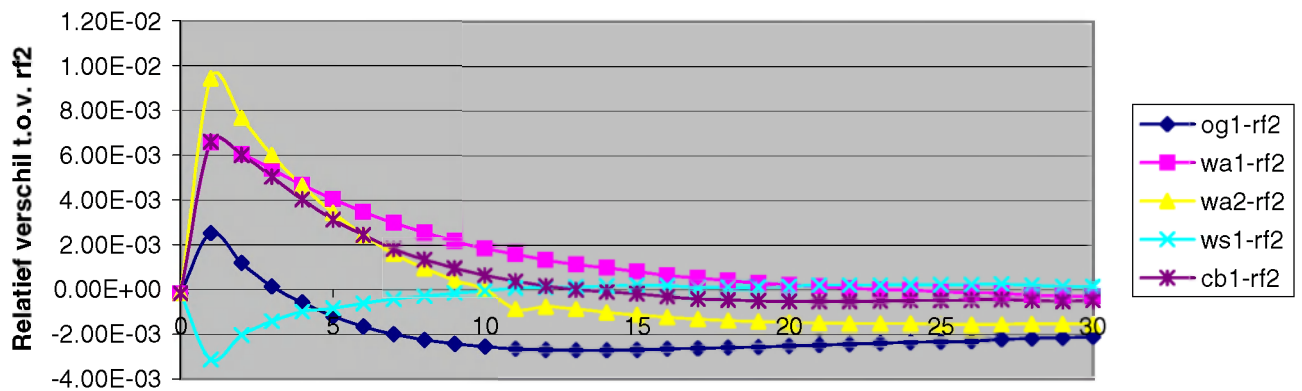
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.23

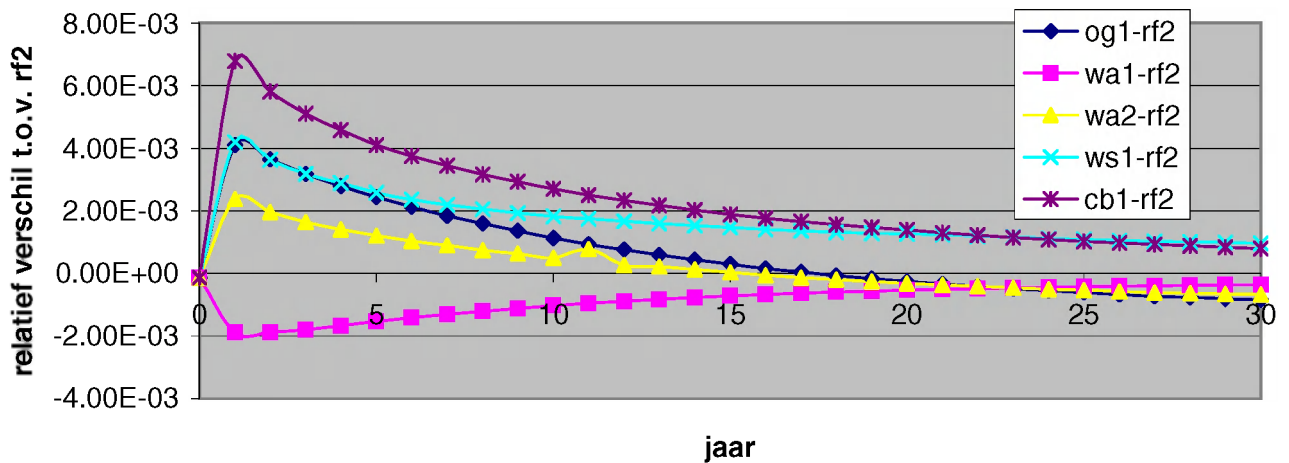
Oostgat Raai 2



Walvischstaart Raai2



Wielingen Raai 2



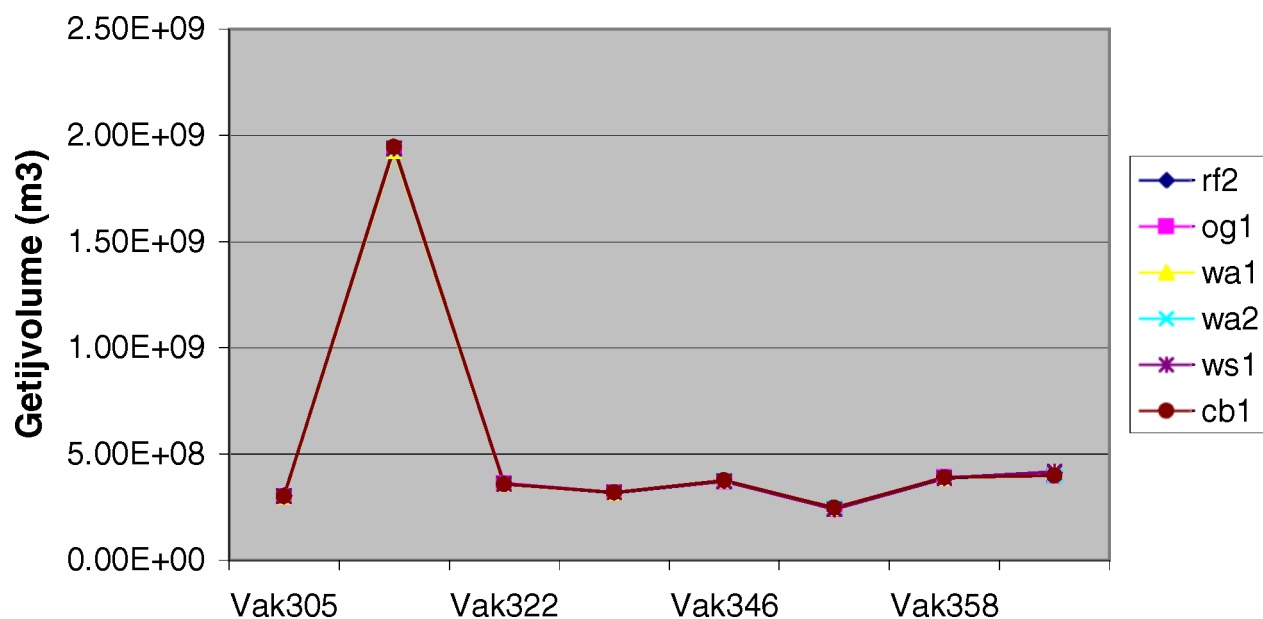
ESTMORF Westerschelde berekeningen
 Relatieve verandering van het getijvolume
 Raai 2 Alle scenario's

Z3562

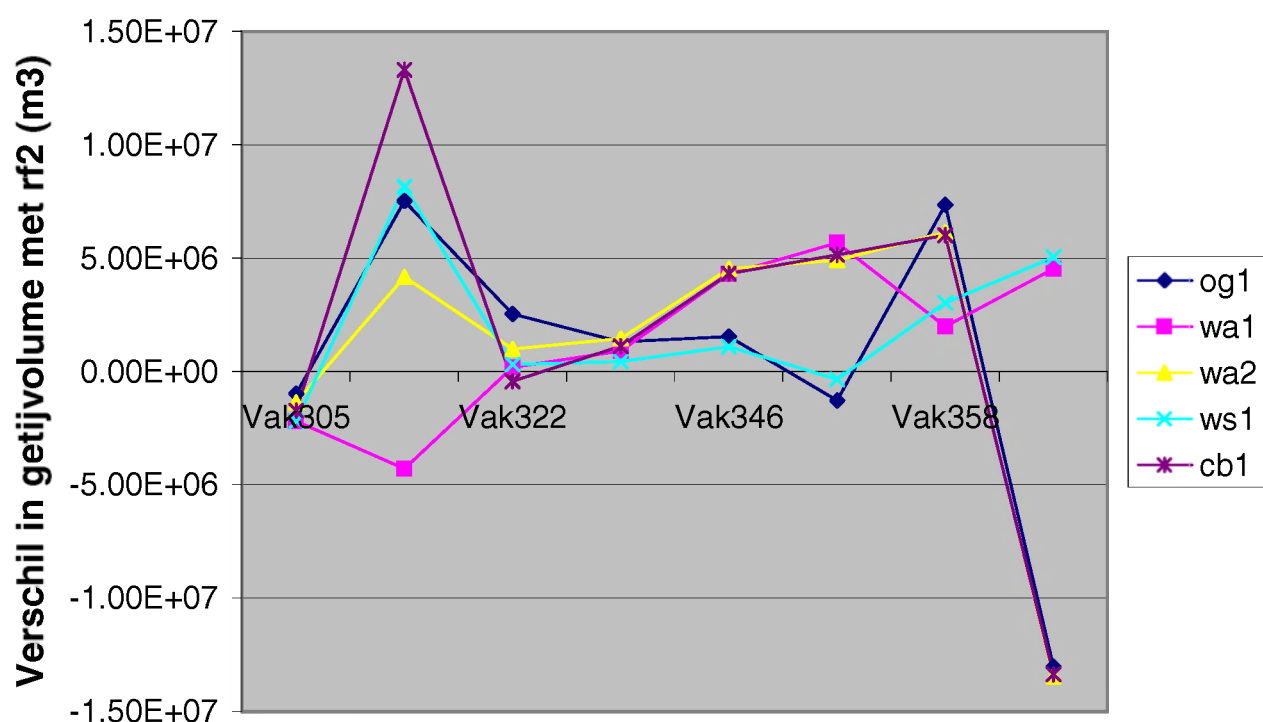
mei

2003

Raai vak305-vak362 Na 1 jaar



Raai Vak305-Vak362 Na 1 jaar



ESTMORF Westerschelde berekeningen

Getijvolume

Raai Vak305 - Vak362

Z3562

mei

2003

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.25

Fig.3.26 Cumulatieve volume ontwikkeling Oostgat o.i.v. andere scenario's.

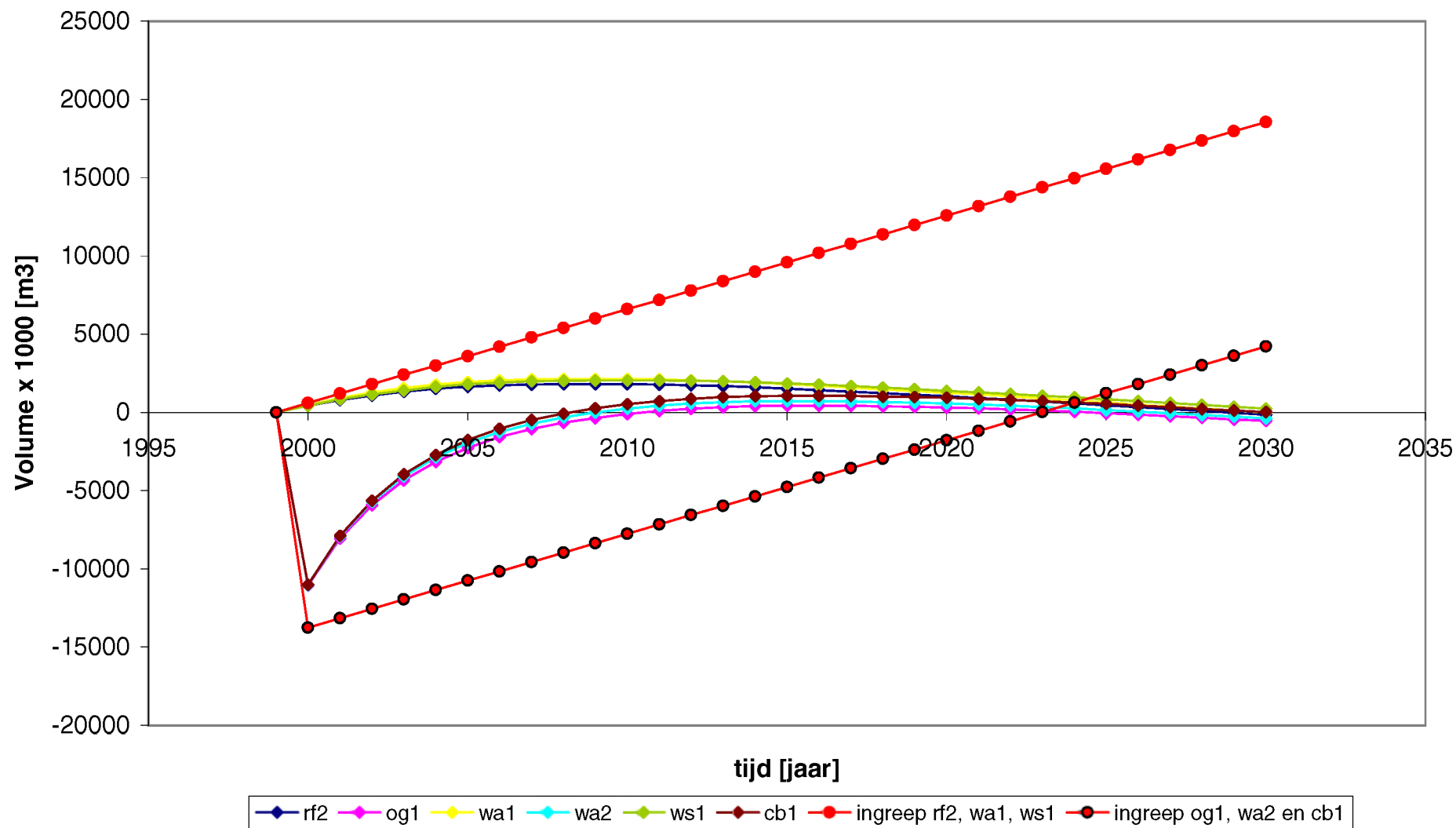
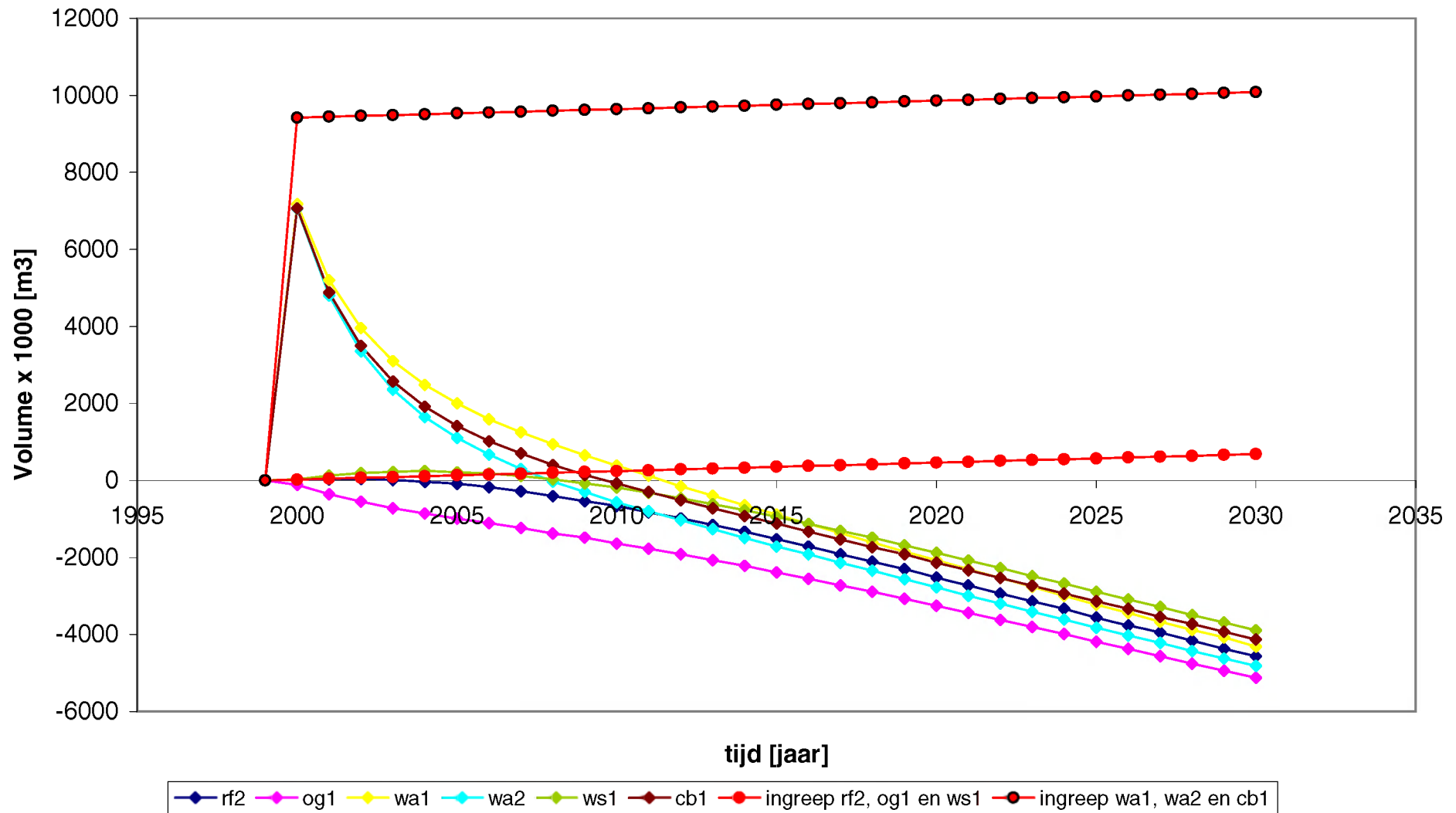


Fig.3.27 Cumulatieve volume ontwikkeling Walvischstaart o.i.v. andere scenario's.



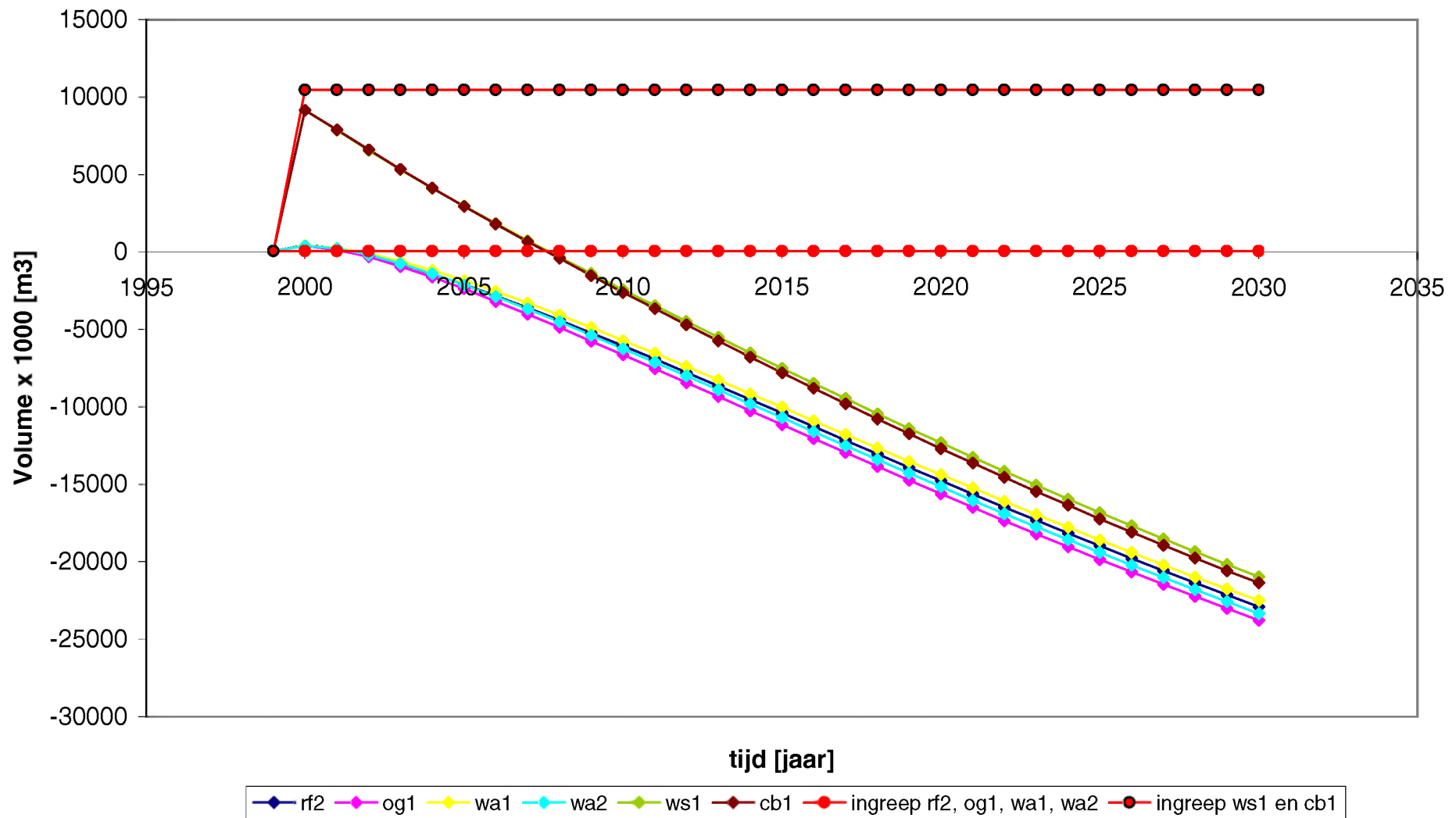
index

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

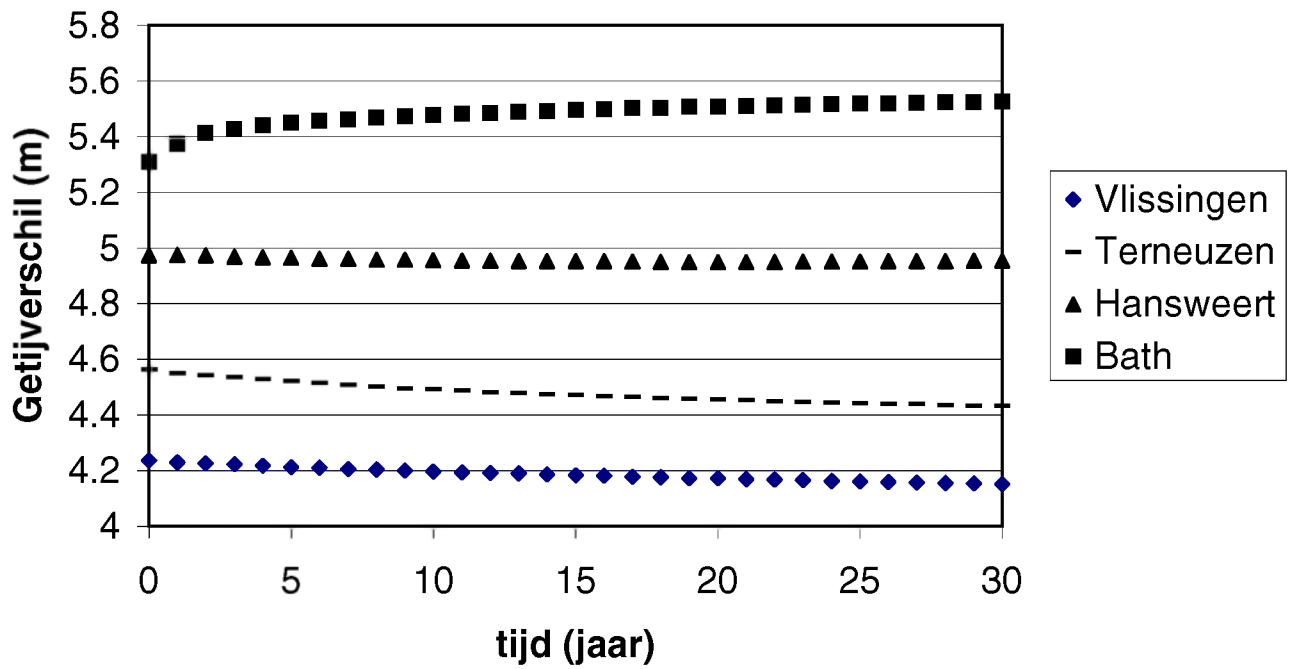
2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030

tijd [jaar]

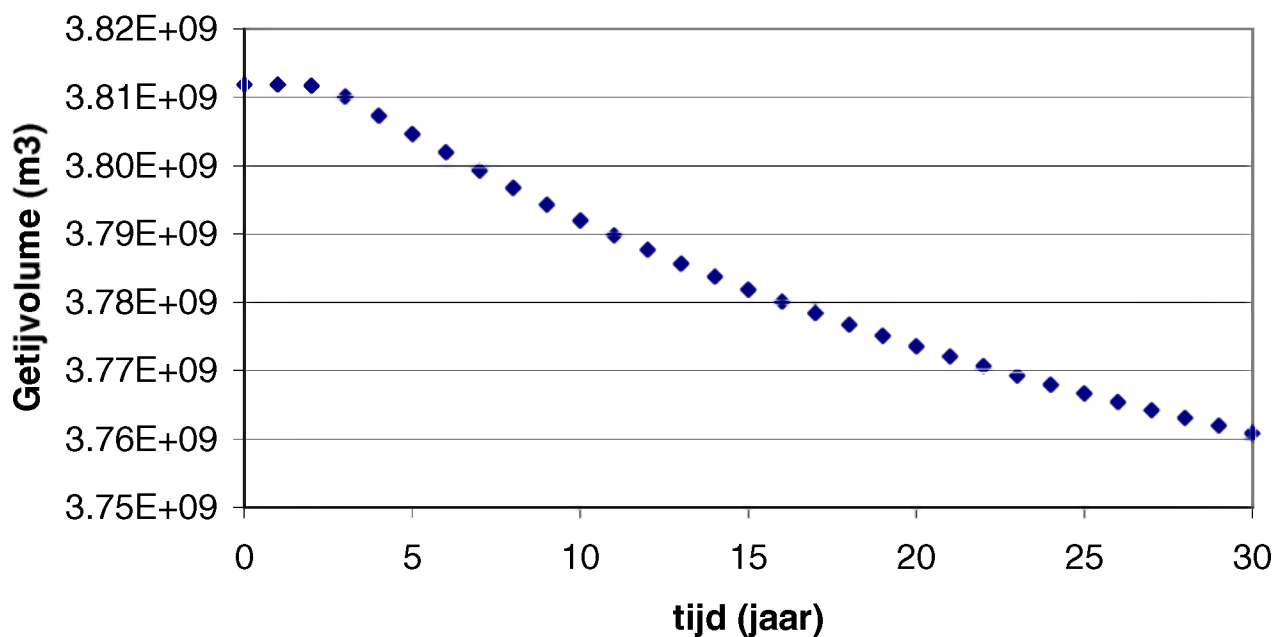
rf2 og1 wa1 wa2 ws1 cb1 ingreep rf2, og1, wa1, wa2 ingreep ws1 en cb1



Rf2



Raai vak 301-353 Run rf2



ESTMORF Westerschelde berekeningen, run RF2

boven: getijverschil

onder: getijvolume bij de open-zee-rand

Z3562

mei

2003

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 3.29