

Z2253

opdrachtgever:

Rijkswaterstaat

RIKZ

Morfologische Interactie
Westerschelde Estuarium
en het Mondingsgebied

ASMITA-Westerschelde

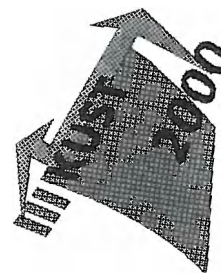
Een gedragsgeoriënteerde modellering



Mei 1997

Morfologische Interactie Westerschelde Estuarium en het Mondingsgebied

ASMITA-Westerschelde
Een gedragsgeoriënteerde modellering



Z.B. Wang



waterloopkundig laboratorium | WL



Inhoud

1	Inleiding	1
2	Basis theorie van ASMITA	3
2.1	Achtergrond	3
2.2	Basisvergelijkingen.....	3
2.3	Rekenprocedure	4
3	Opzet ASMITA-Westerschelde model.....	5
3.1	Schematisatie	5
3.2	Basis gegevens.....	6
3.3	Fysische en numerieke model parameters	8
3.4	Kalibratie en Verificatie	11
4	Uitgevoerde berekeningen.....	15
4.1	Definitie van de scenario's	15
4.2	Berekende resultaten.....	16
5	Conclusies en discussie	22
A	Literatuur	



I Inleiding

In het project K2000*KOP wordt kust-morfologisch onderzoek verricht, gerelateerd aan de erosieproblematiek rond eilandkoppert. Eén van de studiegebieden betreft de Westerscheldemonding waar aandacht wordt geschonken aan de vraag wat het effect is van zandwinning in de Westerschelde op de aangrenzende kuststroken van Zuidwest-Walcheren en Zeeuwsch-Vlaanderen nabij het mondingsgebied. De volgende vragen staan hierbij centraal:

- Wordt er (extra) import / export van sediment bij de monding (Vlissingen) veroorzaakt? Zo ja, waar komt dat zand vandaan of waar gaat dat zand naar toe?
- Hoe worden de verschillende delen in het binnengebied beïnvloed? Hoe zit het met de baggerbehoefte?
- Hoe worden de kustgebieden beïnvloed?
- Wat is de bijbehorende tijdschaal bij een bepaalde invloed?

Zowel de korte- als lange-termijn effecten zijn daarbij van belang. De huidige studie heeft vooral betrekking op de lange-termijn effecten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het ASMITA model, gebaseerd op een gedragsgeoriënteerde benadering.

In deze benadering staat centraal dat op ervaring en observaties gebaseerde kennis van morfologisch gedrag, in termen van gedrag rond een quasi-evenwicht, wordt betrokken bij de modellering van het gedrag van estuariene geulen en platen, en ASMITA, oorspronkelijk opgezet voor het gedrag van getijdebekkens, zeegaten en aanliggende kust. Het principe van het ASMITA model wordt nader beschreven in Hoofdstuk 2. Voor meer achtergrond-informatie over dit model wordt verwezen naar Stive e.a. (1996).

De huidige studie bestaat uit de volgende onderdelen:

(a) Opzetten van het ASMITA-Westerschelde model

Dit bevat de volgende sub-onderdelen:

- Aanpassing van het bestaande ASMITA-programma. Het bestaande ASMITA model is een adhoc FORTRAN programma, dat voor iedere toepassing een verandering in de source behoeft. Tijdens de huidige studie is het programma meer generiek gemaakt, zodat een nieuwe toepassing via de invoerfile opgezet kan worden.
- Schematisatie aan de hand van velddata. Dit onderdeel is in nauwe samenwerking met RIKZ uitgevoerd.
- Testen en calibratie. Na de opzet is het model getest en de coëfficiënten in het model zijn zodanig aangepast dat de modelresultaten zo goed mogelijk overeenkomen met het gedrag van het systeem.



Een uitgebreide beschrijving van de opzet van het ASMITA-Westerschelde model wordt gegeven in Hoofdstuk 3.

(b) Uitvoering van berekeningen

Berekeningen zijn uitgevoerd voor 10 scenario's. Deze scenario's zijn in overleg met RIKZ vastgesteld, waarbij rekening is gehouden met verschillende verdiepingsvarianten van de vaargeul, zeespiegelrijzing, toename van getijslag, verschillende bagger- en stortvarianten.

De scenario's en de uitgevoerde berekeningen zijn beschreven in Hoofdstuk 4.

(c) Interpreteren en beoordelen van de modelresultaten.

De modelresultaten zijn tijdens een aantal bijeenkomsten tussen de RIKZ- en WL-specialisten geïnterpreteerd en beoordeeld. Een samenvatting van de bevindingen uit de huidige studie is gegeven in Hoofdstuk 5.

De opdrachtgever is RIKZ. De resultaten zullen bijdragen aan de onderbouwing van het advies dat RIKZ opstelt voor RWS Directie Zeeland m.b.t. effect van zandwinning.

De huidige studie is uitgevoerd door Dr.ir.Z.B. Wang, Prof.dr.ir.M.J.F. Stive en Ir. H.A.H. Petit van WL in nauwe samenwerking met RIKZ specialisten Dr.D.W. Dunsbergen, Ir.M. Van Endt en Ing.P. Roelse. De bathymetrie data en de bagger- en stortcijfers zijn ter beschikking gesteld door drs.S. Huijs van RWS Directie Zeeland. Dit rapport is opgesteld door Z.B. Wang.



2 Basis theorie van ASMITA

2.1 Achtergrond

ASMITA staat voor "Aggregated Scale Morphological Interaction between a Tidal inlet system and the Adjacent coast" (Stive e.a., 1996). Het model is oorspronkelijk ontwikkeld voor zeegaten zoals die in de Waddenzee. Tot nu toe is het model in Nederland toegepast op Het Friesche Zeegat (Buijsman, 1997) en op het Haringvliet estuarium (Arends, 1997).

Het model werkt met sterk geaggregeerde morfologische eenheden. In het geval van een zeegat werkt het model met variabelen zoals het totale geulvolume in het getijdebassin, het totale plaatvolume in het getijdebassin, het totale volume van de buitendelta, en het volume van de aanliggende kust, etc. Het basisprincipe van het model is vergelijkbaar als in het ESTMORF model (Karssen en Wang, 1993, Wang e.a., 1996). De volgende basis aannamen zijn gemaakt:

- Voor ieder element in het model bestaat er een evenwichtssituatie als de hydrodynamische conditie is gegeven.
- Het netto sediment transport tussen de elementen kan beschreven worden door advectie-dispersie. Een gevolg hiervan is dat er een overall evenwichtskoncentratie bestaat, die aanwezig is in het hele modelgebied wanneer alle elementen in evenwicht zijn.
- Wanneer een element uit evenwicht is, ontstaat er zandvraag of zandaanbod. Dit komt tot uitdrukking via een lokaal aangepaste evenwichtskoncentratie. De uitwisseling tussen de bodem en het water, dus ook de morfologische verandering, is bepaald door het verschil tussen de lokale concentratie en de lokale evenwichtskoncentratie.

2.2 Basisvergelijkingen

Uitgaand van een modelgebied verdeeld in een aantal elementen wordt hier de basistheorie van het model in het kort uitgelegd.

Per element is er een variabele die de morfologische toestand beschrijft, bijvoorbeeld het natte volume V van een element. Verder is per element gedefinieerd een concentratie c , en een evenwichtskoncentratie c_e . De volgende vergelijkingen gelden per element:

Morfologisch evenwicht

$$V_e = f(\text{hydrodynamische parameters}) \quad (1)$$

Hierin: V_e = evenwichtsvolume.

Evenwichtskoncentratie



$$c_e = c_E \left(\frac{V_e}{V} \right)^n \quad (2)$$

Hierin: c_E = overall evenwichtskoncentratie,
 n = constante.

Massa-balans in de water fase

$$\sum_i T_i = w_s A (c_e - c) \quad (3)$$

Hierin: T_i = uitgaande transporten langs de randen van het element,
 A = horizontale oppervlakte van het element,
 w_s = uitwisselingssnelheid tussen water en bodem.

Morfologische verandering

$$\frac{dV}{dt} = w_s A (c_e - c) - I + A \frac{d\zeta}{dt} \quad (4)$$

Hierin I = ingreep (storten = positief);
 ζ = zeespiegelniveau.

De transporten in vergelijking (3) worden per verbinding tussen twee elementen gedefinieerd. Tussen twee elementen die in verbinding staan, treedt transport op als volgt:

$$T = \delta (c_1 - c_2) + Q (c_1 + c_2) / 2 \quad (5)$$

Hierin T = transport van element 1 naar element 2,
 δ = horizontale uitwisselingscoëfficiënt tussen de twee elementen t.g.v. dispersie,
 Q = debiet van reststroming van element 1 naar element 2.

Bij een open rand is het transport op dezelfde manier bepaald, waarbij de concentratie, die buiten het model als randvoorwaarde gegeven is, en meestal gelijk aan de overall evenwichtskoncentratie wordt verondersteld. Bij een gesloten rand is het transport nul.

2.3 Rekenprocedure

De rekenprocedure in het model is zoals weergegeven in Fig.2.1. Op elke tijdstap worden de evenwichtsvolumes van de elementen bepaald uit de hydrodynamische condities (1). Daaruit worden de evenwichtskoncentraties per element bepaald met vergelijking (2). De concentraties in de elementen worden bepaald door een stelsel vergelijkingen, dat ontstaat door vergelijking (5) in vergelijking (3) te substitueren, op te lossen. Daarna kunnen de morfologische veranderingen worden bepaald aan de hand van vergelijking (4).



3 Opzet ASMITA-Westerschelde model

3.1 Schematisatie

Bij het toepassen van het ASMITA model voor zeegat systemen (Stive e.a., 1996, Buijsman, 1997, Arends, 1997) wordt het getijbekken als één geheel beschouwd en in twee morfologische eenheden verdeeld, namelijk het geulgedeelte en het plaatgedeelte. Maar gezien de grootte (lengte) van het Westerschelde estuarium moet het estuarium verdeeld worden in een aantal secties om het model toepasbaar te maken voor het huidige probleem. Voorgesteld wordt om het estuarium in zes secties te delen (Fig.3.1), conform de manier waarop in eerdere studies de gegevens van morfologische ontwikkelingen zijn gedocumenteerd (zie bijv. Uit den Bogaard, 1995). Ieder vak wordt als één element in het model beschouwd en er is geen onderscheid meer gemaakt tussen plaat en geul. Dit is gedaan op basis van de volgende overwegingen:

- Het mondingsgebied is nog veel groter dan het estuarium zelf. Met vakken van dezelfde orde van grootte zijn er dan veel vakken nodig in het mondingsgebied. Bovendien is er relatief weinig bekend over evenwichten in het mondingsgebied, wat een erg gedetailleerde vakkenindeling niet rechtvaardigt.
- De zes vakken indeling in het binnengebied is gebaseerd op basis van lodingskaarten en niet op basis van de grenzen tussen de morfologische eenheden (Uit den Bogaard, 1995).
- Er is relatief weinig bekend over de morfologische veranderingen van de platen en geulen afzonderlijk.

Het mondingsgebied is in eerste instantie in 26 vakken verdeeld zoals weergegeven in Fig.3.2. Deze indeling is tot stand gekomen in overleg met RIKZ met de volgende overwegingen:

- Voor een gebalanceerde modellering van het binnengebied en het mondingsgebied mogen de grootte van de vakken in de twee gebieden niet te veel van elkaar verschillen.
- Voor de afstemming met de andere studies is het het beste om dezelfde vakkenverdelingen te gebruiken als in de andere studies. Daarom is de indeling in grote lijnen overeenkomstig de voorgestelde indeling door Van Enckevort (1996), waarin zoveel mogelijk rekening gehouden is met de aanwezige morfologische eenheden.

Opgemerkt wordt dat de huidige manier van indeling een nadeel heeft met betrekking tot het definiëren van het morfologische evenwicht omdat de vakken niet meer eenduidig gerelateerd zijn aan een bepaalde morfologische eenheid. Maar er is nu hoe dan ook weinig bekend over de morfologie van het mondingsgebied. Zelfs de hydrodynamica van dit gebied is nog onvoldoende bekend. Daarom is de huidige vakkenindeling gerechtvaardigd. Dit houdt wel in dat er rekening met de onzekerheden met betrekking tot het morfologische evenwicht moet worden gehouden tijdens de kalibratie van het model.



Per vak wordt de natte inhoud onder het referentie niveau NAP+2.5 m als morfologische toestandsvariabele gebruikt.

3.2 Basis gegevens

Voor de opzet van het model zijn de volgende basisgegevens vereist:

- Per vak de horizontale oppervlakte waarbinnen sedimentuitwisseling tussen water en bodem plaats kan vinden.
- Per vak de initiële waarde van de morfologische toestandsvariabele, hier het natte volume.
- Per vak de totale ingreep, of het netto resultaat van baggeren en storten, als functie van tijd.
- Gegevens over de morfologische ontwikkelingen in het verleden om het model te kalibreren.

Met betrekking tot de beschikbaarheid van de gegevens is er een groot verschil tussen het estuarium (het binnengebied) en het mondingsgebied (het buitengebied).

Voor het binnengebied zijn veel gegevens verzameld en geanalyseerd in voorgaande studies, zoals het OOSTWEST project. In de huidige studie zijn de gegevens gehaald uit het rapport van Uit den Bogaard (1995). De oppervlakten en de volumes in de periode 1955-1994 van de vakken 1 t/m 6 zijn samengevat in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 oppervlakte en volume onder NAP+2.5 m van de vakken in het binnengebied

vak	oppervl. (10^6 m^2)	Volume (10^6 m^3)								
		1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1994
1	20.2	182	187.4	192.8	202.5	215.1	222.9	225	227.1	228.8
2	37.2	348	342.2	336.4	330.6	330.5	335.4	340.3	345.2	349.2
3	55	650	643.4	636.8	630.2	623.6	617	610.4	603.8	598.5
4	42.7	530	529.5	529	528.5	528	527.5	532.4	540.3	546.6
5	58.7	816	818.6	821.2	823.8	826.5	829.1	831.7	834.3	836.4
6	55.5	762	761.8	761.6	761.4	761.2	761	760.8	760.6	760.5

Tabel 3.2 Ingrepen in het binnengebied van 1955 tot 1994

vak	ingreep (10^6 m^3 negatief = baggeren)							
	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90	90-94
1	-5.4	-5	-14.8	-14.1	-22.5	-19	-21.3	-10.5
2	4.1	4.1	6.6	5.3	6	5.7	8.5	1.5
3	-3	-3.8	-0.8	-5.2	3.2	-0.9	6.9	1.5
4	-0.8	-1	-5.8	-5.6	-2.4	5.9	-1.6	0.5
5	0	-0.8	-1.8	-3.8	-4.4	-3.1	-1.8	-1.2
6	-0.5	-0.5	-4.8	-2.7	-4.2	1	-3.2	-0.6



De gegevens van ingrepen en morfologische ontwikkelingen in de periode 1955-1994 zijn samengevat in het zandbalansplaatje uit het rapport van Uit den Bogaard (zie Fig.3.3). Met deze figuur zijn de netto ingrepen per vak bepaald en samengevat in Tabel 3.2. Opgemerkt wordt dat het land van Saefingen (vak 7 in Fig.3.3) niet is meegenomen in het model. De transporten van vakken 1 en 2 naar dit gebied zijn als ingreep gehanteerd en verwerkt in tabel 3.2.

Voor het buitengebied zijn veel minder gegevens beschikbaar. Er zijn binnen het kader van de huidige studie door RIKZ voor twee jaren (69/70 en 93/94) de volumes van de vakken bepaald uit de beschikbare lodingsgegevens (Fig.3.4 en Fig.3.5). De oppervlaktes en volumes zijn samengevat in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Gegevens buitengebied

vak	oppervl. (m ²)	Volumes (m ³)		ingreep (10 ⁶ m ³)	opmerking
		1969/1970	1993/1994		
7	6939500	93971341	95634866	-1.4	Sardijneul
8	20151874	1.89E+08	1.89E+08	0	
9	47378268	8.65E+08	8.65E+08	1.8	strand supl
10	8343545	1.41E+08	1.48E+08	-2.4	Zoutelande
11	6551048	59517389	59478277	0	
12	18624490	1.9E+08	1.81E+08	0	
13	11796648	1.7E+08	1.73E+08	0.23	strand supl.
14	22046624	2.13E+08	2.08E+08	0	
15	20160856	1.93E+08	1.9E+08	0	
16	17076462	1.41E+08	1.38E+08	0	
17	22748722	2.36E+08	2.36E+08	0	
18	25375000	3.96E+08	4.1E+08	0	
19	12736893	1.52E+08	1.41E+08	1.7	strand supl.
20	41425084	4.9E+08	4.89E+08	0	
21	31541714	3.41E+08	3.46E+08	0	
22	32741718	3.41E+08	3.35E+08	0	
23	26250000	3.76E+08	4.14E+08	0	
24	33512110	3.71E+08	3.13E+08	138	Zeebrugge oost
25	20615266	3.68E+08	3.71E+08	0	
26	33248748	5.83E+08	5.88E+08	0	
27	43386536	5.89E+08	5.78E+08	0	
28	24335938	3.35E+08	3.8E+08	-250	Scheur //loding niet compl.
29	47172372	3.88E+08	4.18E+08	-200	Pas van het zand/ niet compl.
30	36116084	1.87E+08	3.05E+08	484	Schooneveld / niet compleet
31	30068728	6579088	44622811	0	niet compleet /niet compleet
32	28002684	-9	10337373	0	niet compleet /niet compleet

Zoals in de tabel al is opgemerkt zijn de bathymetrische gegevens van de vakken 28 t/m 32 niet compleet, wat ook gezien kan worden in Fig.3.4 en Fig.3.5. Om het model op te zetten zijn de volumes van deze vakken bijgewerkt door te veronderstellen dat in het gedeelte waar geen gegevens beschikbaar zijn, de gemiddelde waterdiepte gelijk is aan de rest van het vak. Voor vak 32 is alleen het volume in 93/94 beschikbaar en dit wordt verondersteld ook geldig te zijn voor 69/70. Hiermee is het mogelijk om het model op te zetten, maar

voor deze vakken zijn er dan geen betrouwbare gegevens over de morfologische veranderingen, voornamelijk voor de vakken 30, 31 en 32.

De in Tabel 3.3 weergegeven ingreepgegevens zijn afgeleid uit gegevens gepresenteerd door Van Enckevort (1996). In dat rapport is een zo compleet mogelijk overzicht gegeven van de uitgevoerde strandsuppleties, baggeren en storten. Zoals in het rapport vermeld, zijn de gegevens niet compleet en soms zijn er inconsistenties tussen de gegevens uit verschillende bronnen. Daarom is het hier niet zinvol om de ingrepen te splitsen naar de verschillende perioden, ook vanwege het feit dat hier een grootschalig lange-termijn gedrag gemodelleerd wordt.

3.3 Fysische en numerieke model parameters

Het model bevat de volgende fysische parameters:

- de overall evenwichtsconcentratie c_E ,
- de uitwisselingssnelheid tussen water en bodem w_s ,
- de macht in de vergelijking voor de lokale evenwichtsconcentratie n ,
- de uitwisselingscoëfficiënten tussen de aangrenzende vakken δ .

De eerste drie parameters kunnen in principe per vak gegeven worden. Maar gezien de beschikbare gegevens is er besloten om één waarde per parameter te gebruiken voor alle vakken. Hierbij is gebruik gemaakt van het ESTMORF-Westerschelde model dat op een soortgelijke theorie is gebaseerd (Karssen, 1994). De gebruikte waarden zijn samengevat in de volgende tabel.

Tabel 3.4 Fysische parameters

c_E	w_s	n	D
0.00001	0.01 m/s	2	5000 m ² /s

De uitwisselingscoëfficiënten moeten per verbinding tussen de vakken worden bepaald. Per definitie geldt

$$\delta = \frac{DA_c}{L} \quad (6)$$

Hierin δ = uitwisselingscoëfficiënt tussen twee vakken,
 D = effectieve diffusiecoëfficiënt,
 A_c = oppervlakte van het dwarsprofiel bij de verbinding,
 L = afstand tussen de centra van twee vakken.

De diffusiecoëfficiënt kan worden uitgedrukt als het product van een snelheid en een lengte. Het gaat hier om intergetijde dispersie. Daarom zijn de gemiddelde getijstroomsnelheid en de getijweglengte (de afstand die een waterdeeltje aflegt tijdens vloed of eb) gekozen voor respectievelijk de snelheidschaal en de lengteschaal. Hieruit volgt dat de diffusiecoëfficiënt de orde van grootte van 5000 m²/s heeft. Voor de meeste verbindingen is dezelfde waarde (zie tabel 3.4) gebruikt. Alleen voor een aantal dwarsverbindingen in het buitengebied is een lagere waarde gebruikt (zie tabel 3.6), want de stroomrichting staat meer in de langsrichting.



Voor het binnengebied is de afstand L geschat uit de kaart. De gemiddelde oppervlakte van het dwarsprofiel is vervolgens bepaald als de verhouding tussen het volume en de lengte van het vak. Vervolgens wordt per verbinding de gemiddelde waarde van de twee aangrenzende vakken gebruikt voor A_c . Hiermee zijn de uitwisselingscoëfficiënten berekend en vervolgens afgerond zoals gegeven in tabel 3.5.

Tabel 3.5 uitwisselingscoëfficiënt in het binnengebied

Verbinding		uitwisselingscoëfficiënt δ	
van vak 1	naar vak 2	35000	m^3/s
2	3	65000	m^3/s
3	4	77500	m^3/s
4	5	87500	m^3/s
5	6	102500	m^3/s

Voor het buitengebied is A_c bepaald door de lengte van de verbinding te meten uit de kaart en de gemiddelde waterdiepte die afgeleid is uit de volumes en de horizontale oppervlakten van de twee aangrenzende vakken. De berekening van de uitwisselingscoëfficiënten is weergegeven in tabel 3.6.

Benedenstrooms, buiten het modelgebied, wordt de overall evenwichtsconcentratie opgelegd als randvoorwaarde. De uitwisselingscoëfficiënten tussen de rand en de vakken 13, 14, 25, 26, 30, 31 en 32 zijn op $100000 \text{ m}^3/\text{s}$ gezet.

Er is in het model geen rekening gehouden met reststroming. Met andere woorden, er is geen advectief transport tussen de vakken meegenomen in het model ($Q=0$).

Een ander belangrijk element in het model is de evenwichtsrelaties. Omdat er geen waterbewegingsmodel gebruikt is en omdat de vakkenindeling niet afgestemd is op de morfologische eenheden, wordt er niet gewerkt met evenwichtsrelaties maar met constante evenwichtsvolumes, die constant blijven als er geen verandering is van de getijslag. De evenwichtsvolumes worden als kalibratieparameter gebruikt zoals zal worden beschreven in 3.4.

Een toename van de getijslag leidt tot een toename van het getijvolume van ongeveer hetzelfde percentage. Voor het binnengebied heeft dit twee gevolgen. Ten eerste worden de evenwichtsvolumes van de geulen groter. Verondersteld wordt dat de toename met hetzelfde percentage plaatsvindt. Dit leidt tot dezelfde toename van het evenwichtsvolume van het vak. Ten tweede wordt de evenwichtshoogte van de platen groter. Aangenomen wordt dat de toename 0.7 keer de toename van de getijslag is omdat de plaathoogte ongeveer 0.7 maal het getijverschil boven het lage water is. Dit leidt tot een afname van het evenwichtsvolume van het vak (=plaatareaal maal toename evenwichtsplaathoogte). Beide effecten worden meegenomen in het model. Als illustratie worden de gevolgen van 4% getijslagtoename voor de 6 vakken in het binnengebied uitgewerkt in tabel 3.7. Hierbij wordt verondersteld dat de huidige getijslag 5 m is. De andere gegevens komen uit Uit den Bogaard (1995). Opgemerkt wordt dat de toename van het evenwichtsgaolvolume veel belangrijker is dan de groei van de plaat.



Tabel 3.6 Uitwisselingscoëfficiënt in het buitengebied

van	naar	lengte (m)	afstand (m)	diffusie (m ² /s)	diepte (m)	δ (m ³ /s)
6	7	1800	6000	5000	13.7	20550
6	8	250	9000	5000	11.5	1597
6	9	2400	9000	5000	16	21333
7	8	5900	3600	2500	11.5	47118
8	9	11350	3900	2500	13.5	98221
7	10	750	6430	5000	15	8748
7	12	1607	6430	5000	12	14995
10	11	7930	1607	2500	13	160376
11	12	7930	2143	2500	10	92510
8	12	6430	2790	2500	10	57616
10	13	1286	6430	5000	16	16000
11	14	1714	6430	5000	9	11995
12	15	3960	6430	5000	10	30793
8	16	2360	8570	5000	8.5	11703
9	17	2790	8500	5000	14	22976
9	18	3540	8500	5000	17	35400
13	14	4930	4290	5000	13	74696
14	15	3210	5360	2500	9.5	14223
15	16	7710	4290	2500	9	40437
16	17	9430	3210	2500	9	66098
17	18	9430	3750	2500	12.8	80469
18	19	9430	3210	2500	13.5	99147
15	20	5360	6430	5000	10	41679
16	21	5360	7500	5000	9.5	33946
17	22	3430	7500	5000	10.4	23781
18	23	3540	7500	5000	13.5	31860
19	24	3540	7500	5000	12	28320
14	20	6110	5360	5000	10	56996
20	21	7070	5360	5000	11	72546
21	22	7710	5300	5000	10.5	76372
22	23	7500	4290	5000	12	104895
23	24	7500	4290	2500	12.5	54632
20	25	6860	6430	5000	14.5	77348
21	26	5360	6430	5000	14.5	60435
22	27	5360	7500	5000	12	42880
23	28	3540	7500	5000	14	33040
24	29	5790	7500	5000	12	46320
25	26	4290	6430	5000	17.5	58378
26	27	7290	6500	5000	15.5	86919
27	28	6960	5360	5000	13.7	88947
28	29	6960	5360	2500	13	42201
27	30	7290	6430	5000	15	85031
28	31	3230	7500	5000	14	30146
29	32	7710	6430	5000	12	71944
30	31	10070	5360	5000	15.6	146541
31	32	7180	5300	5000	13	88056



Tabel 3.7 Gevolg van 4% getijslag toename voor het binnengebied

vak	A _{plaat}	V _{plaat}	V (1955)	A	V _{geul}	ΔV _{geul}	ΔV _{plaat}	ΔV
1	6.6	13	182	20.2	94	3.76	0.462	3.298
2	11.4	16	348	37.2	178	7.12	0.798	6.322
3	15.5	24.2	650	55	399.2	15.968	1.085	14.883
4	10.5	19.5	530	42.7	336	13.44	0.735	12.705
5	11.7	22.3	816	58.7	544.8	21.792	0.819	20.973
6	13.9	33	762	55.5	517.5	20.7	0.973	19.727

$$V_{\text{geul}} = V + V_{\text{plaat}} - AH \quad (H = \text{getijverschil})$$

$$\Delta V_{\text{geul}} = 0.04 V_{\text{geul}}$$

$$\Delta V_{\text{plaat}} = 0.7 \cdot 0.04 \cdot A_{\text{plaat}} H/2$$

$$\Delta V = \Delta V_{\text{geul}} - \Delta V_{\text{plaat}}$$

Voor het buitengebied wordt alleen een correctie op de evenwichtsvolumes van de geulvakken 7, 9, 10, 13, 18, 23, 28 en 31 toegepast. Het geulvolume is bepaald door van het volume van het vak het product van de oppervlakte van het vak en het getijverschil af te trekken.

Een ander effect is de zeespiegelrijzing. Er wordt verondersteld dat een zeespiegelrijzing geen verandering veroorzaakt in de evenwichtsvolumes. Immers, als de bodem de zeespiegelrijzing zal kunnen volgen, verandert er niets aan de waterbeweging. De zeespiegelrijzing wordt in het model meegenomen door een aanpassing te doen in de actuele volumes van de vakken (=A*zeespiegelstijging). Hierdoor ontstaat er een extra zandvraag in het systeem waarmee de morfologische ontwikkeling wordt beïnvloed.

De enige numerieke parameter in het model is de morfologische tijdstap. De waarde hiervan ($\Delta t = 1$ maand) wordt zodanig gekozen dat de nauwkeurigheid van de berekeningen gegarandeerd zijn, terwijl de vereiste rekeninspanning beperkt blijft.

3.4 Kalibratie en Verificatie

De strategie/wijze van de kalibratie van het model is gebaseerd op de volgende overwegingen:

- Voor het binnengebied zijn de morfologische veranderingen in de periode 1955-1994 goed gedocumenteerd (zie Fig.3.3). Maar voor het buitengebied is er alleen beperkte informatie over veranderingen in de periode 1970-1994. Daarom is bij de kalibratie van het model met nadruk gekeken naar de veranderingen in het binnengebied.
- Voor het goed weergeven van de interactie tussen het binnengebied en het buitengebied is het belangrijk om de sedimentimport bij de monding goed te reproduceren.
- De grootste onzekerheid in het model betreft de evenwichtstoestand. In het huidige model wordt niet gewerkt met evenwichtsrelaties, maar er wordt gewerkt met evenwichtsvolumes van de vakken in het model. Verder is het systeem voortdurend aan het veranderen, mede veroorzaakt door de voortdurende menselijke ingrepen, zoals het baggeren. Dit betekent dat er eigenlijk niet een tijdstip aan te wijzen is waarop het systeem ooit in evenwicht was.

De gekozen kalibratiemethodiek kan als volgt worden samengevat:

- De evenwichtsvolumes V_e van de vakken worden als kalibratieparameter gekozen.
- Om snel uit te zoeken of het gebruiken van de evenwichtsvolumes als kalibratieparameter wel of niet werkt, wordt eerst een eenvoudiger model opgezet. Dit eenvoudige model bevat 7 vakken, namelijk de 6 vakken in het binnengebied plus het hele buitengebied als één vak.
- De evenwichtsvolumes van de zes vakken in het binnengebied worden zodanig gekozen, dat de periode 1955-1960 goed gereproduceerd wordt. Hiermee wordt de periode 1955-1994 gesimuleerd en de resultaten vergeleken met de beschikbare data. Hiermee wordt geverifieerd dat het kalibreren met de evenwichtsvolumes werkt. Deze stap wordt hieronder nader uitgewerkt.
- De in het eenvoudige model gekozen parameters voor het binnengebied worden in het complete model toegepast, en simulaties worden uitgevoerd. De berekende resultaten worden vergeleken met de data zowel in het binnengebied als in het buitengebied. Daarna wordt er als laatste stap een finetuning gedaan met de evenwichtsvolumes van alle vakken in het model om de kwalitatief realistische resultaten te geven.

Het bepalen van de evenwichtsvolumes in het eenvoudige model aan de hand van de data in de periode 1955-1960 gaat als volgt:

- Er wordt verondersteld dat het buitengebied bijna in evenwicht is. Dit houdt eigenlijk in dat er oneindig veel sediment beschikbaar is in het buitengebied. Aangezien het buitengebied, dat als één vak wordt beschouwd, veel groter is dan de vakken in het binnengebied, is dit niet een echt beperkende aanname.
- Uit de via de zandbalans bepaalde sedimenttransporten tussen de vakken kunnen de sedimentconcentratiegradiënten tussen de vakken worden bepaald. Hiermee kunnen de concentraties in alle vakken worden bepaald.
- Uit de gegevens van ingrepen en de gegevens van de volumeveranderingen kunnen de netto sedimentatie/erosie snelheden in alle vakken worden bepaald. Uit de netto sedimentatie/erosie snelheid in een bepaald vak kan het verschil tussen de lokale evenwichtconcentratie en de aanwezige concentratie worden bepaald. Omdat de aanwezige concentratie bekend is, kan zo de lokale evenwichtconcentratie worden bepaald.
- Uit de lokale evenwichtconcentratie kan de verhouding tussen het evenwichtsvolume en het aanwezige volume (dus het initiële volume) worden bepaald, en daarmee dus het evenwichtsvolume.

De berekende verhouding tussen het evenwichtsvolume en het initiële volume is gegeven in tabel 3.7. Er blijkt dat vooral in de binnenste vakken de volumes te groot zijn ten opzichte van de evenwichtsvolumes. Dit komt overeen met de conclusies van Van den Berg (1991) dat de geulen in oostelijke deel van het estuarium te ruim zijn t.o.v. het morfologische evenwicht.

Tabel 3.7 Berekende verhouding tussen de evenwichts- en initiële volume

vak	1	2	3	4	5	6
V_e/V_0	0.8179	0.8161	0.8213	0.8818	0.9350	0.9657



De berekende evenwichtsvolumes worden gebruikt in het eenvoudige model voor de simulatie in de periode 1955-1994. Opgemerkt wordt dat de eerste periode van 5 jaar (1955-1960) in het model precies overeen komt met de data door de manier waarop de evenwichtsvolumes zijn bepaald. De laatste periode van 35 jaar kan worden gebruikt om te verifiëren of het zo gekalibreerde model werkt. De resultaten zijn te zien in Fig.3.6 t/m Fig.3.11. Uit deze figuren (vergelijken met Fig.3.3) blijkt dat het morfologische gedrag van het estuarium goed wordt gereproduceerd door dit eenvoudige model (kwantatieve vergelijking met de gemeten data is gedaan in Fig.3.14 t/m Fig.3.19 nadat het model definitief is gekalibreerd). Dit leidt tot de conclusie dat het gebruik van de evenwichtsvolumes als kalibratieparameters zinnig is. De gebruikte waarden van de evenwichtsvolumes zijn ook fysisch realistische waarden. Dit betekent dat er geen aanleiding is om ook de andere parameters in het model te veranderen.

Ten slotte wordt met het complete model van 32 vakken nog een fijn tuning gedaan op de evenwichtsvolumes van alle vakken om de rekenresultaten zoveel mogelijk af te stemmen op de data. Deze laatste stap is nodig omdat het niet mogelijk is de evenwichtsvolumes in het buitengebied op dezelfde manier te bepalen als in het binnengebied door ontbreken van zandbalans. Ook in het binnengebied zijn de waarden een klein beetje veranderd omdat de concentratie in de vakken bij de monding niet gelijk is aan de overall evenwichtsconcentratie in tegenstelling tot in het eenvoudig model.

Tabel 3.8 Evenwichtsvolumes van de vakken

vak	$V_e (10^6 \text{ m}^3)$	vak	$V_e (10^6 \text{ m}^3)$
1	147	17	222
2	290	18	400
3	515	19	131
4	480	20	483
5	750	21	345
6	697	22	335
7	90	23	405
8	180	24	320
9	820	25	375
10	145	26	585
11	56	27	572
12	173	28	321
13	174	29	411
14	203	30	670
15	183	31	430
16	140	32	370

De uiteindelijk gebruikte waarden van de evenwichtsvolumes zijn gegeven in Tabel 3.8. De vergelijking van de rekenresultaten en de data is gedaan in Fig.3.12 t/m Fig.3.19.



In Fig.3.12 zijn de berekende en gemeten totale verandering (positief=sedimentatie) in de periode 1970-1994 uitgezet als functie van de vaknummers. Opgemerkt wordt dat er geen gegevens over de veranderingen in vakken 30, 31 en 32 beschikbaar zijn door niet compleet "meetdata". In Fig.3.13 zijn de berekende en gemeten veranderingen tegen elkaar uitgezet. In het binnengebied zijn er meer gegevens beschikbaar, daarom zijn de berekende en gemeten volumes voor de vakken 1 t/m 6 vergeleken in Fig.3.14 t/m Fig.3.19. Gezien de beperkte beschikbaarheid van gegevens is er uit deze figuren geconcludeerd dat het model voldoende gekalibreerd is.



4 Uitgevoerde berekeningen

4.1 Definitie van de scenario's

De scenario's zijn gedefinieerd door RIKZ in overleg met Directie Zeeland. Hierbij is rekening gehouden met zeespiegelrijzing, vergroting van getijslag, verschillende bagger- en stort-scenario's en zandwinning. De gedefinieerde scenario's zijn in tabel 4.1 weergegeven.

Tabel 4.1 Scenario's

Scenario & Omschrijving	Netto bagger- stort volumes *miljoen m ³ per jaar								
	duur	zee- spie- gel- rijzing	getij- slag	vak 1	vak 2	vak 3	vak 4	vak 5	vak 6
1 huidige situatie	1997-2100	0.20	4%	-3.5	+1.2	+0.5	+0.2	-0.4	-0.3
2 huidige situatie, extra zeespiegelstijging	1997-2100	0.60	4%	-3.5	+1.2	+0.5	+0.2	-0.4	-0.3
3 huidige situatie, geen getijslagvergroting	1997-2100	0.20	0%	-3.5	+1.2	+0.5	+0.2	-0.4	-0.3
4 verdieping, wel zandwinning	1997-2000	0.20	4%	-9.0 - 2.6 = -11.6		+2.4		+6.6	
onderhoud, wel zandwinning	2000-2100	0.20	4%	-9.3 - 2.6 = -11.9		+1.7		+7.6	
5 verdieping, wel zandwinning	1997-2000	0.20	4%	-9.0 - 2.6 = -11.6		+2.4		+6.6	
geen onderhoud (wel zandwinning)	2000-2100	0.20	4%	0 - 2.6 = -2.6		0		0	
6 verdieping, geen zandwinning	1997-2000	0.20	4%	-9.0		+2.4		+6.6	
onderhoud, geen zandwinning	2000-2100	0.20	4%	-9.3		+1.7		+7.6	
7 verdieping, geen zandwinning	1997-2000	0.20	4%	-9.0		+2.4		+6.6	
onderhouds zand op land en voor handel	2000-2100	0.20	4%	-10.3		-2.3		-1.4	
8 Zandwinning door minder te storten in het westen	1997-2000	0.20	4%	-9.0		+2.4		+4.0	
	2000-1997	0.20	4%	-9.3		+1.7		+5.0	
9 Rekening houden met getijslag toename t.g.v. verdieping	1997-2000	0.20	*	-11.6		+2.4		+6.6	
	2000-2100	0.20	4%	-11.9		+1.7		+7.6	
10 Extra vak bij de monding	1997-2000	0.20	4%	-11.6		+2.4		+6.6	
	2000-2100	0.20	4%	-11.9		+1.7		+7.6	

* In de verdiegingsperiode wordt bij Scenario 9 de getijslag berekend als $H = H(1997) * (1 + 0.04 * t/100) * (1 + 0.03 * t/3)$, Hierbij t is tijd in jaren sinds 1997

In scenario 4 t/m 7 zijn de ingrepen in de vakken 1 en 2 en in de vakken 4, 5 en 6 samen genomen. In de berekeningen zijn ze gelijkmatig verdeeld over de betrokken vakken.



De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1970-2100. In de periode t/m 1994 zijn de invoergegevens hetzelfde als in de laatste kalibratierun. In de kalibratieberekeningen, die vóór de definitie van de scenario's zijn uitgevoerd, is geen rekening gehouden met de zeespiegelrijzing en getijslagvergroting. Dit houdt in dat in alle berekeningen de zeespiegelrijzing en getijslag toename is meegenomen vanaf 1997. In de interpretatie van de berekeningsresultaten moet hiermee rekening worden gehouden.

Scenario's 8, 9 en 10 zijn nader gedefinieerd naar aanleiding van een bespreking tussen de specialisten van Rijkswaterstaat (Directie Zeeland en RIKZ) en WL over de resultaten van de eerste 7 scenario's.

4.2 Berekende resultaten

Het model is gekalibreerd met beperkte data, vooral voor het buitengebied. Daarom wordt bij de interpretatie van de resultaten vooral de nadruk gelegd op de onderlinge verschillen tussen de runs, om daarmee de effecten van bepaalde natuurlijke ontwikkelingen en/of menselijke ingrepen te identificeren.

Bij het analyseren van de effecten staan steeds de volgende vragen centraal:

- Wordt er (extra) import / export van sediment bij de monding (Vlissingen) veroorzaakt? Zo ja, waar komt dat zand vandaan of waar gaat dat zand naar toe?
- Hoe worden de vakken in het binnengebied beïnvloed? Hoe zit het met de baggerbehoefte?
- Hoe worden de kustgebieden beïnvloed?
- Wat is de bijbehorende tijdschaal van een berekende invloed?

Effecten van zeespiegelrijzing en getijslagvergroting

De effecten van de zeespiegelrijzing en de getijslagtoename zijn geanalyseerd door de resultaten van de runs 1, 2 en 3 met elkaar te vergelijken.

In Fig.4.1 zijn de sediment transporten bij de monding en in het estuarium weergegeven. De volgende punten zijn geconstateerd:

- In de huidige situatie is de import bij de monding ongeveer 1.5 miljoen m³ per jaar. Als de huidige bagger- en stortactiviteiten voortgezet worden, de zeespiegelrijzing 20 cm per eeuw is en de getijslag met 4% per eeuw toeneemt (scenario 1), zal deze import op termijn van een eeuw geleidelijk gaan toenemen.
- Extra zeespiegelrijzing van 40 cm per eeuw (scenario 2) veroorzaakt een extra import bij de monding, die pas na 30 jaar begint en dan geleidelijk toeneemt tot ongeveer 0.1 miljoen m³ per jaar in 2100. De extra import is te verklaren door de zandvraag veroorzaakt door de extra zeespiegelrijzing. Dat het pas over 30 jaar te merken is, is te verklaren door het feit dat de extra zandvraag ook in het buitengebied ontstaat.



- Het wegvallen van de toename van de getijslag (scenario 3) vergroot de zandimport bij de monding. Met andere woorden, vergroting van de getijslag verkleint de import. Deze invloed is vanaf het begin merkbaar. Zoals in hoofdstuk 3 is uitgelegd veroorzaakt een toename van de getijslag een vergroting van de evenwichtsvolumes van de vakken in het estuarium. Hierdoor wordt de zandvraag verkleind, wat de verlaging van het import verklaart.
- Binnen het estuarium neemt de invloed van de zeespiegelrijzing en de getijslag verandering op het sediment transport af in oostelijke richting. Kennelijk wordt het sedimenttransport in het estuarium, vooral in het oostelijke deel, sterk beïnvloed door het baggeren en storten. (In de onderste twee grafieken staan het transport van vak 4 naar vak 3 en van vak 3 naar vak 2.)

De natte volumes van de verschillende gebieden buiten Vlissingen zijn weergegeven in Fig.4.2 t/m Fig.4.5. De volgende constatering is gedaan:

- Wanneer er extra import naar het estuarium is, komt dit vooral uit het ondiepe gebied, of wel de buitendelta (vakken 8, 11, 12, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 27) vandaan (zie Fig.4.2). Dit is vooral te zien in het geval van scenario 3. Als geulen in dit figuur worden gerekend de vakken 9, 18, 23 en 28.
- De invloeden van zeespiegelrijzing en de getijslagverandering op de zandhuishouding van de kustgebieden zijn relatief klein (Fig.4.3). Merk op dat de volumetoename van scenario 2 t.o.v. scenario 1 vooral het direkte gevolg is van de extra zeespiegelrijzing en dus weinig te maken heeft met erosie.
- Getijslagtoename veroorzaakt een erosie in de vakken (7, 10, 13) langs de kust van Walcheren en een sedimentatie in de vakken (19, 24) langs de kust van Vlaanderen (Fig.4.3). De erosie langs de kusten van Walcheren is te verklaren door het feit dat de vakken hier vooral geulen bevatten waarvan de evenwichtsvolumes toenemen t.g.v. getijslagvergroting. Om dezelfde reden veroorzaakt getijslagtoename erosie in de grote geulen Wielingen en Scheur (Fig.4.2). Kennelijk is een deel van het vrijgekomen sediment gesedimenteerd in de vakken langs de kust van Vlaanderen.
- De volumeverandering van de individuele vakken langs de kusten zijn weergegeven in Fig.4.4 en Fig.4.5. Opvallend is dat langs de kust van Walcheren de invloed van de zeespiegelrijzing toeneemt naar binnen, en de invloed van getijslagverandering afneemt.

In Fig.4.6 zijn de natte volumes van de drie gebieden binnen het estuarium (vakken 1 en 2, vak 3, vakken 4, 5 en 6) weergegeven. Hieruit blijkt:

- De volumes in alle gebieden nemen toe op lange-termijn. Dit betekent dat de import van sediment de gevolgen van sedimentonttrekking en de zeespiegelrijzing niet kan compenseren. Opgemerkt wordt dat in alle berekeningen een zeespiegelrijzing is meegenomen in tegenstelling tot in de kalibratieberekeningen.
- De verandering van de getijslag heeft vooral invloed in het westelijke deel van het estuarium. De extra import bij de monding, veroorzaakt door het wegvallen van de getijslagtoename in scenario 3, komt allemaal ten goede aan de vakken 4, 5 en 6.

- De aanpassing van het systeem op een versnelde zeespiegelrijzing duurt erg lang, veel langer dan de simulatietijd (ruim een eeuw). Dit betekent dat een versnelde zeespiegelrijzing een verruiming van het estuarium zal veroorzaken. Dit is positief voor het onderhoud van vaargeulen, maar het benodigde baggerwerk is in hoge mate afhankelijk van de uitwisseling tussen platen en geulen en van andere lokale verschijnselen zoals drempelvorming. Deze effecten zijn beide niet in het model verdisconteerd. Verruiming van het estuarium kan ook negatieve effecten geven voor het milieu door het verkleinen van de platen.

Verdiepen en onderhoudsbaggeren

De effecten van de verdieping en het onderhoud daarna zijn geanalyseerd door de runs 1, 4 en 5 met elkaar te vergelijken (Fig.4.7 t/m Fig.4.12).

In Fig.4.7 zijn de sedimenttransporten bij de monding en in het estuarium weergegeven. De volgende punten zijn geconstateerd:

- Ten gevolg van het verdiepen en voortdurend baggeren in het oostelijke deel en storten in het westelijke deel (scenario 4) slaat de import bij de monding na ongeveer 15 jaar om in een export, die geleidelijk toeneemt tot ruim 1 miljoen m^3 per jaar.
- Na ongeveer een eeuw is er een nieuw evenwicht m.b.t. de transporten bereikt. Van het in totaal 7.6 miljoen m^3 per jaar gestorte materiaal in het westelijk deel gaat ruim 1 miljoen m^3 naar het mondingsgebied, bijna 6 miljoen m^3 gaat naar het oosten en een klein deel blijft achter.
- Als er na de verdieping geen onderhoud meer wordt uitgevoerd, gaat het systeem weer geleidelijk toe naar een situatie die niet veel verschilt van de situatie met het huidige baggeren en storten (scenario 1). Dit geldt ook voor de volumeveranderingen, zowel in het binnengebied als in het buitengebied (Fig.4.8 t/m Fig.4.12).

Analyseren van de volumeveranderingen van de verschillende gebieden (Fig.4.8 t/m Fig.4.12) levert de volgende conclusies:

- De export van sediment vanuit het estuarium naar de monding, veroorzaakt door het storten in het westelijke deel van het estuarium, komt vooral ten goede aan de geulen en het ondiepe gebied (de buitendelta) in de monding. Bij de geulen is het voornamelijk vak 9 dat direct buiten de monding ligt (Fig.4.11). Blijkbaar gaat het grootste deel van het geëxporteerd sediment via vak 9 naar de buitendelta.
- Een relatief klein deel van het geëxporteerd sediment komt ten goede aan de kustgebieden. Er gaat meer naar de gebieden langs de kust van Walcheren dan naar de gebieden langs de kust van Vlaanderen. Merk wel op dat vak 9, dat vooral uit een geul bestaat en wel veel van het sediment ontvangt (Fig.4.11), niet is meegerekend voor het gebied langs de kust van Vlaanderen.
- De invloed van de sedimentexport bij de monding dat ten goede komt aan de kusten neemt af naar mate het kustvak verder van het estuarium verwijderd is. Dit is logisch vanwege het feit dat het sediment uit het estuarium komt.



- In het oostelijke deel van het estuarium neemt het natte volume sterk toe door het voortdurende baggeren (Fig.4.12, vergelijk scenario 4 met 1). Wat dit betekent voor de baggerbehoefte is niet helemaal duidelijk, omdat de baggerbehoefte ook van processen binnen de vakken (plaat-geul uitwisseling, drempelvorming, etc.) zelf afhankelijk is. Zeker is wel dat minstens een deel van de verruiming ten koste van de platen zal gaan, wat een negatief effect heeft op het ecologische systeem.
- In het westelijk deel neemt het natte volume af door het voortdurend storten (Fig.4.12). De afname na een eeuw is ongeveer 7.5% van het oorspronkelijke volume. Het baggerbezwaar dat hierdoor veroorzaakt is, zal waarschijnlijk meevallen. In dit deel zullen de platen dus uitbouwen, maar het kan het verlies aan platen in het oostelijke deel waarschijnlijk niet compenseren.

Effecten van zandwinning

Voor het analyseren van de effecten van zandwinning zijn de berekeningsresultaten van scenario's 4, 6 en 7 met elkaar vergeleken in Fig.4.13 t/m Fig.4.18. Uit de figuren zijn de volgende punten geconstateerd:

- Het verschil tussen scenario 4 en scenario 6 is relatief klein. Blijkbaar is de zandwinning een relatief kleine ingreep vergeleken met het verdiepen en het onderhoudsbaggerwerk.
- Alleen het volume in het oostelijke deel van het estuarium verandert wezenlijk door het al dan niet uitvoeren van de zandwinning. Zandwinning boven het normale baggerwerk vergroot het volume hier. Dit betekent dat het op lange-termijn ten koste zal gaan van de platen in dit gebied.
- Als er geen zandwinning bovenop het onderhoudsbaggeren zal zijn in het oostelijke deel van het estuarium, zal er iets meer export van sediment optreden bij de monding. Het transport van het westelijke deel van het estuarium naar het oostelijke deel zal iets minder worden (Fig.4.13). Dit is te verklaren door de verminderde zandvraag in het oostelijke deel.
- Onttrekken van het vrijgekomen zand bij het onderhoudsbaggeren uit het systeem (scenario 7) heeft op den duur grote invloed op het systeem. Het effect neemt toe op lange-termijn en zou dus blijvend zijn.
- De grote zandonttrekking in scenario 7 zou alle gebieden beïnvloeden. De invloed is het grootst in het westelijke deel en het middendeel van het estuarium (Fig.4.18), waar het onttrokken zand anders zou worden gestort. Op den duur is de invloed ook goed merkbaar in het buitengebied. Erosie treedt op in de geulen, het deltagebied en de kustgebieden.
- Bij de monding neemt de import van zand toe bij scenario 7. Na een eeuw bereikt het een nivo van ongeveer 3 miljoen m³ per jaar. Maar dit kan de zandonttrekking lang niet compenseren. Het transport van west naar oost binnen het estuarium wordt duidelijk kleiner t.o.v. scenario 4.

De scenario's 8, 9 en 10 zijn na de uitwerking van de resultaten van de eerste 7 scenario's gedefinieerd. De resultaten hiervan worden hieronder apart besproken.

In scenario 4 is de zandwinning gerealiseerd door extra te baggeren in het oostelijke deel van het estuarium. Geconstateerd wordt dat dit tot verruiming in dit deel leidt en dat het grootschalige storten in het westelijke deel van het estuarium op den duur tot export bij de monding leidt. Er is gesuggereerd dat het misschien beter is de zandwinning te realiseren



door in het westen minder te storten i.p.v. in het oostelijke deel meer te baggeren. Deze optie is onderzocht in scenario 8. De resultaten hiervan zijn vergeleken met die van scenario 4 en 6 in Fig.4.19 t/m Fig.4.24. De volgende conclusies zijn getrokken uit de figuren:

- De export die ontstaat bij de monding is wezenlijk (met ongeveer 1 miljoen m³ per jaar) afgenomen bij scenario 8 vergeleken met scenario 4 (Fig.4.19). Dit betekent dat het estuarium netto minder zand verliest in deze optie, hoewel de omvang van de zandonttrekking dezelfde is. De verklaring hiervan is dat er nu minder zandaanbod ontstaat in het westelijke deel van het estuarium.
- De afgenomen export komt vooral ten goede aan het oostelijke deel van het estuarium (Fig.4.24), waar volgens deze optie minder wordt gebaggerd. De ontwikkeling van de verruiming in dit deel komt ongeveer overeen met het geval zonder zandonttrekking (scenario 6). In het middendeel verandert er weinig t.o.v. scenario 4. In het westelijke deel blijft er minder zand achter door de verminderde storting. Verwacht wordt dat deze optie gunstiger is voor het behoud van platen in het estuarium, dus gunstiger voor het milieu, terwijl qua baggerbehoefte er geen wezenlijke nadeel is.
- In het buitengebied krijgen alle deelgebieden minder zand vergeleken met scenario's 4 en 6 door de verkleinde zandexport bij de monding (Fig.4.20 t/m Fig.4.23). Maar t.o.v. de huidige situatie (scenario 1) krijgen de kustgebieden nog steeds meer zand.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de verdieping van de vaargeul in het estuarium tot extra vergroting leidt van de getijslag van ongeveer 3%. Het effect hiervan op de morfologie is in scenario 9 onderzocht. Opgemerkt wordt dat volgens de berekeningsresultaten van bijv. scenario 4 het estuarium zal blijven verruimen, ook na de verdiepingsperiode. Maar er wordt niet verwacht dat de getijslag ook oneindig zal blijven toenemen. Daarom wordt er in dit scenario geen rekening gehouden met eventuele extra getijslagvergroting na de verdiepingsperiode. De resultaten van scenario 9 zijn vergeleken met die van de scenario's 1 en 4. De volgende conclusies zijn getrokken:

- De verschillen tussen de resultaten van scenario 4 en die van scenario 9 zijn klein. Dit betekent dat de invloed van de extra 3% getijslagtoename beperkt is.
- Bij de monding is de export een klein beetje groter geworden door het extra zandaanbod dat de toegenomen getijslag veroorzaakt (Fig.4.25).
- In het buitengebied veroorzaakt de extra getijslagtoename erosie in de geulgebieden en sedimentatie in de ondiepe gebieden (Fig.4.26). Dit vormt een negatief effect voor de kust van Walcheren (Fig.4.27), maar vergeleken met de huidige situatie is de totale invloed van de ingrepen nog steeds positief.
- In het binnengebied is de invloed van de extra getijslagtoename erg klein (Fig.4.30).

Vak 9 (het grote vak net buiten Vlissingen) bevat voornamelijk een diepe geul, maar het bevat ook de kuststrook van Vlaanderen. Hierdoor is het moeilijk om conclusies te trekken m.b.t. de ontwikkeling van de kustgebied van Vlaanderen. Daarom is er een extra berekening (scenario 10) uitgevoerd waarin vak 9 in twee vakken verdeeld is (Fig.4.31). De invoergegevens van deze berekening komen overeen met scenario 4. In de berekening is een extra verbinding gemaakt, namelijk die tussen de twee nieuwe vakken 9.1 en 9.2. De



resultaten van de berekening m.b.t. het beschouwde gebied zijn weergegeven in Fig.4.32 en Fig.4.33. De volgende punten worden opgemerkt:

- Qua algemene modelresultaten verschilt scenario 10 weinig van scenario 4, zie Fig.4.32, waarin de volumes van vak 9 uit de twee berekeningen met elkaar zijn vergeleken in de bovenste plot.
- Het door vak 9 ontvangen sediment dat uit het estuarium is geëxporteerd, komt zowel ten goede aan het geulgebied (9.1) als aan het kustgebied (9.2) (zie Fig.4.32).
- De sedimentexport uit het estuarium t.g.v. grootschalig storten in het westelijke deel van het estuarium heeft een positief effect voor de kust van Vlaanderen.



5 Conclusies en discussie

In de huidige studie is het ASMITA-Westerschelde model, gebaseerd op een gedragsgeoriënteerde benadering, opgezet voor het analyseren van de morfologische interactie tussen het Westerschelde estuarium en het aangrenzende mondingsgebied. Nadruk is gelegd op het identificeren van effecten van natuurontwikkelingen en menselijke ingrepen op het estuarium zelf en op de aanliggende kusten. De resultaten van de studie zijn in detail beschreven in de vorige hoofdstukken. De belangrijkste conclusies uit de studie zijn samengevat als volgt:

Met betrekking tot natuurlijke ontwikkeling:

- De buitendelta (het ondiepe gebied buiten de monding) functioneert als een buffer voor sediment bij de uitwisseling tussen het estuarium en het mondingsgebied. Dit gebied reageert direct op de (extra) import of export bij de monding.
- Zeespiegelrijzing veroorzaakt zandvraag in zowel het estuarium als in het buitengebied. De extra zandvraag in het binnengebied t.g.v. een mogelijk versnelde zeespiegelrijzing wordt niet meteen gecompenseerd door extra import bij de monding. Het systeem heeft lange tijd nodig (eeuwen) om een nieuw dynamisch evenwicht in te stellen. Combinatie met zandonttrekking zal dus leiden tot verruiming van het estuarium, waardoor negatieve milieueffecten zoals achteruitgang van de platen kunnen optreden.
- Getijslagtoename die samengaat met de zeespiegelrijzing verkleint de import van sediment bij de monding, wat een extra verruiming van het estuarium betekent. Voor het buitengebied leidt de getijslagtoename tot verruiming van de diepe geulen en sedimentatie van de ondiepe gebieden. Voor de kust van Walcheren is dit waarschijnlijk een negatief effect vanwege de diepe geulen die er dichtbij liggen.

Met betrekking tot verdiepen, onderhoud en storten in het westen:

- Door het grootschalige storten in het westelijke deel van het estuarium van het vrijgekomen sediment bij de geplande verdieping en het onderhoudsbaggeren daarna, zal de import bij de monding afnemen en op den duur (na ongeveer 15 jaar) zal het omslaan in een export, die geleidelijk gaat toenemen tot ruim 1 miljoen m³ per jaar na ongeveer een eeuw.
- De export van sediment bij de monding, veroorzaakt door het storten van gebaggerd materiaal in het westelijke deel van het estuarium, is gunstig voor de bestrijding van erosie langs de kusten in het mondingsgebied. Hierdoor zullen negatieve effecten voor de kusten, veroorzaakt door de zandwinning van 2.6 miljoen m³ per jaar, niet merkbaar zijn voor tenminste een eeuw.

- Voor het binnengebied veroorzaakt het storten in het westelijke deel van het estuarium verruiming in het oostelijke deel en aanzanding in het westelijke deel. Het effect op de baggerbehoefte is moeilijk te schatten omdat het ook afhankelijk is van lokale verschijnselen zoals plaat-geul uitwisseling en drempelvorming. Maar het baggerbezwaar dat hierdoor ontstaat in het westelijke deel zal waarschijnlijk meevallen vanwege de beperkte omvang van de aanzanding. Het grootste deel van het gestorte sediment wordt weer in oostelijke richting getransporteerd en een deel wordt geëxporteerd naar het mondingsgebied. Als geheel zal het estuarium verruimen door de export bij de monding. Dat kan een negatief effect (verlies van platen) hebben op het ecologische systeem.

Met betrekking tot zandwinning:

- Zandwinning (van 2.6 miljoen m³ per jaar) in combinatie met storten van gebaggerd sediment in het westelijke deel van het estuarium zal zowel op korte als op lange termijn geen negatieve effecten veroorzaken voor de kusten in het buitengebied. Ten opzichte van de huidige situatie komt er zand ten goede aan het buitengebied.
- Voor het binnengebied zal zandwinning altijd tot verruiming en de daarmee samenhangende negatieve effecten leiden. Deze effecten zullen blijvend zijn voor het systeem vanwege de lange tijd die het systeem nodig zal hebben om weer te herstellen. De extra zandvraag kan moeilijk gecompenseerd worden door de beperkte (netto) transportcapaciteit van het estuarium.
- Zandwinning door minder te storten in het westelijke deel lijkt voor het estuarium zelf in alle opzichten beter dan zandwinning door extra in het oostelijke deel te baggeren. De export bij de monding wordt weliswaar verkleind maar vergeleken met de huidige situatie is het netto effect voor het buitengebied inclusief de kusten nog steeds positief.
- Het onttrekken van al het zand dat vrijkomt bij het onderhoudsbaggeren voor handel zal in alle opzichten grote negatieve effecten veroorzaken op het systeem.

De huidige studie heeft laten zien dat het gedragsgeoriënteerde model ASMITA een nuttig hulpmiddel is bij het analyseren van grootschalige lange-termijn effecten van natuurlijke ontwikkelingen en menselijke ingrepen. Het model is met beperkte inspanning gekalibreerd en geverifieerd met de beschikbare data. De resultaten van het model zijn achteraf goed te begrijpen.

Het gebruikte model heeft ook beperkingen, waarover de volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt:

- De beschikbare data voor de kalibratie was beperkt. Vooral in het buitengebied was er relatief weinig bekend. In het kader van de huidige studie zijn de digitale lodingsgegevens sinds 1970 verzameld voor het buitengebied, maar zijn alleen de gegevens uit twee jaren (1970 en 1994) gebruikt. De model resultaten moeten meer vergelijkenderwijs dan als absoluut beschouwd worden. Aanbevolen wordt om meer analyses uit te voeren op de gegevens en de daarmee verworven kennis in het ASMITA model te verwerken.



- Het model simuleert alleen grootschalige effecten. In het binnengebied is er bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt tussen platen en geulen. Hierdoor zijn er slechts beperkte conclusies te trekken m.b.t. de baggerbehoefte. Het laatste kan het beste bestudeerd worden met het ESTMORF-Westerschelde model, dat wel de vereiste details bevat. Aanbevolen wordt dat in toekomstige studies de twee modellen in combinatie gebruikt worden.
- In de huidige studie is er een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd m.b.t. de modelparameters. Hoewel voor de meeste parameters theoretisch goed bekend is wat de invloeden van de parameters zijn op de resultaten kan een uitgebreide systematische gevoeligheidsstudie tot beter inzicht van de betrouwbaarheid van de modelresultaten leiden. Ook wordt aanbevolen om de effecten van de ingrepen systematisch te analyseren door de ingrepen iedere keer alleen tot één vak te beperken. Zo kan ook onderzocht worden in hoeverre de verschillende invloeden gesuperponeerd mogen worden.
- Het model kan voortdurend verbeterd worden door er meer data en kennis in te verwerken. Dit biedt de mogelijkheid om via bijvoorbeeld data model integratie (DMI) van het model een operationeel voorspellend model te maken.
- In de modellering is geen waterbewegingsmodel meegenomen. Hierdoor ontbreekt een deel van de morfologische effecten van de ingrepen die invloed hebben op de getijvolumina. In de huidige studie zijn voornamelijk de ingrepen in de geulen bekeken. Daarom zijn de achterwege gelaten effecten beperkt. Het model kan verbeterd worden door een eenvoudig één-dimensionaal 1-tak model mee te nemen.
- Het model geeft nuttige informatie over het morfologische gedrag van het systeem, maar het moet niet beschouwd worden als vervanging van de op processen gebaseerde modellen. Integendeel, de proceskennis is juist van belang om de gedragsgeoriënteerde modellen goed te laten functioneren. De verschillende typen modellen zijn complementair aan elkaar. Daarom wordt ook aanbevolen om proces-modellering uit te voeren, vooral voor het buitengebied, om meer inzicht te krijgen in de hydrodynamica en het sediment transport in het gebied. De verworven kennis kan vervolgens geïntegreerd worden in het huidige model door bijvoorbeeld een betere schatting te geven over de coëfficiënten in het model.



A Literatuur

Arends, A.A., 1997, Toepassing van evenwichtsrelaties op de Haringvlietmond, RIKZ, maart 1997.

Berg, J.H. van den, D. Schouten en C.J. van Westenbrugge, 1991, Zandbalans Westerschelde, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota NWL-91.36.

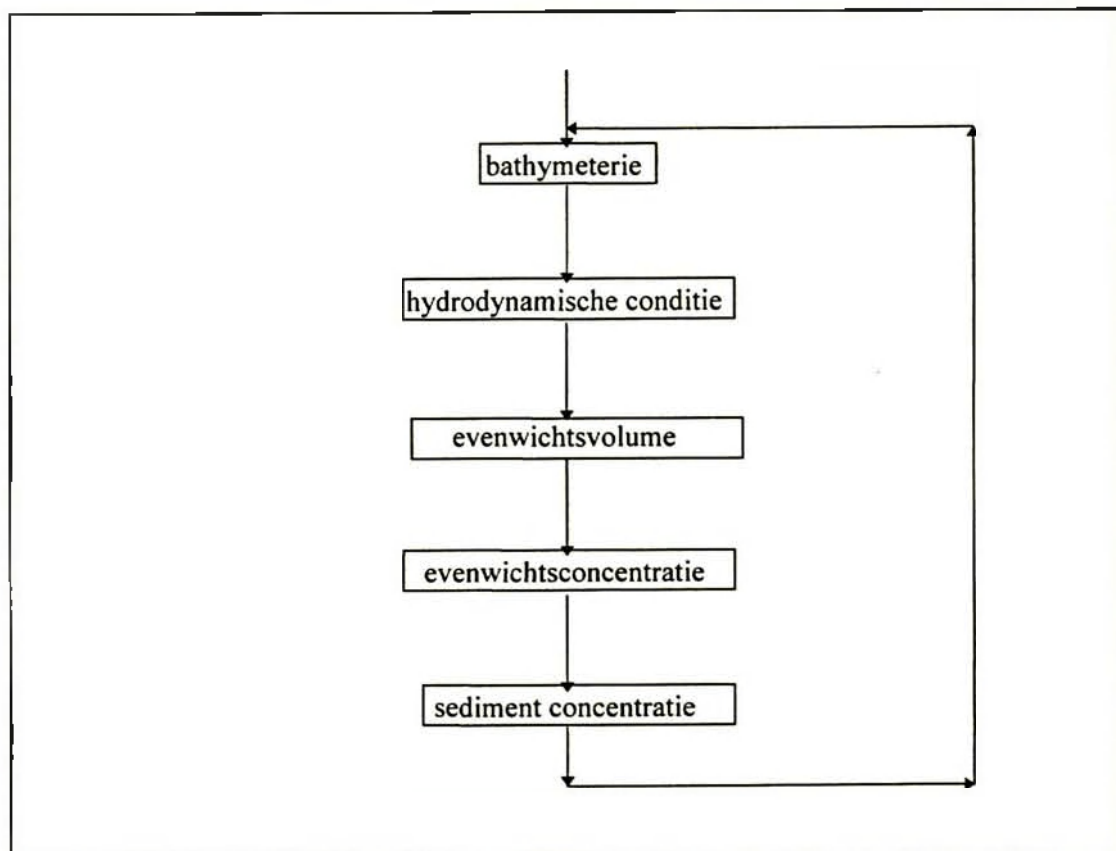
Bogaard, L.A. Uit den, 1995, Resultaten zandbalans Westerschelde, IMAU, Rapport R 95-08.

Buijsman, M., 1997, Afstudeerrapport in voorbereiding.

Enckevort, I. van, 1996, Morfologisch onderzoek Westerschelde monding, IMAU, Rapport R96-21, deel 1+2

Stive, M.J.F., Capobianco, M., Wang, Z.B. and P. Ruol, 1996, The dynamics of microtidal lagoons and adjacent coasts, 8th international biennial conference on Physics of estuaries and coastal seas, September 1996, The Hague.

Wang, Z.B., Karssen, B., Fokkink, R.J. and A. Langerak, 1996, A dynamic/empirical model for long-term morphological development of estuaries, 8th international biennial conference on Physics of estuaries and coastal seas, September 1996, The Hague.



Rekenprocedure

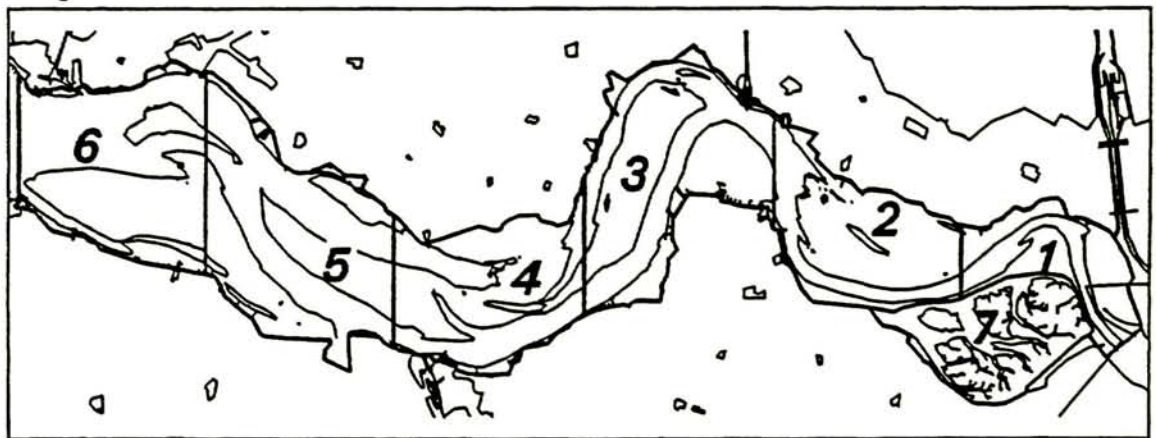
ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.2.1



Vakindeling in het estuarium
[Uit den Boogaard, 1995]

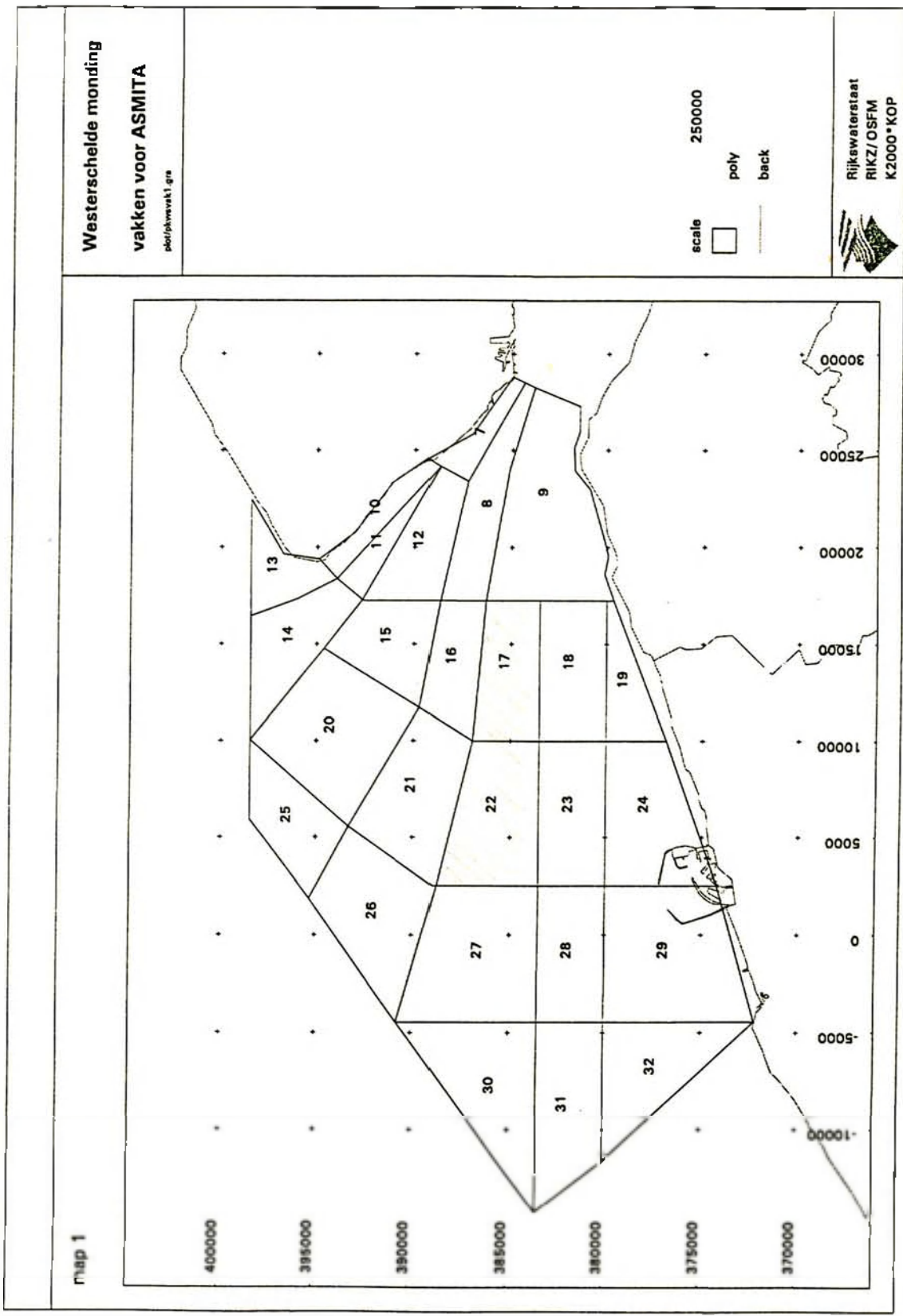
ASMITA

Maart
1997

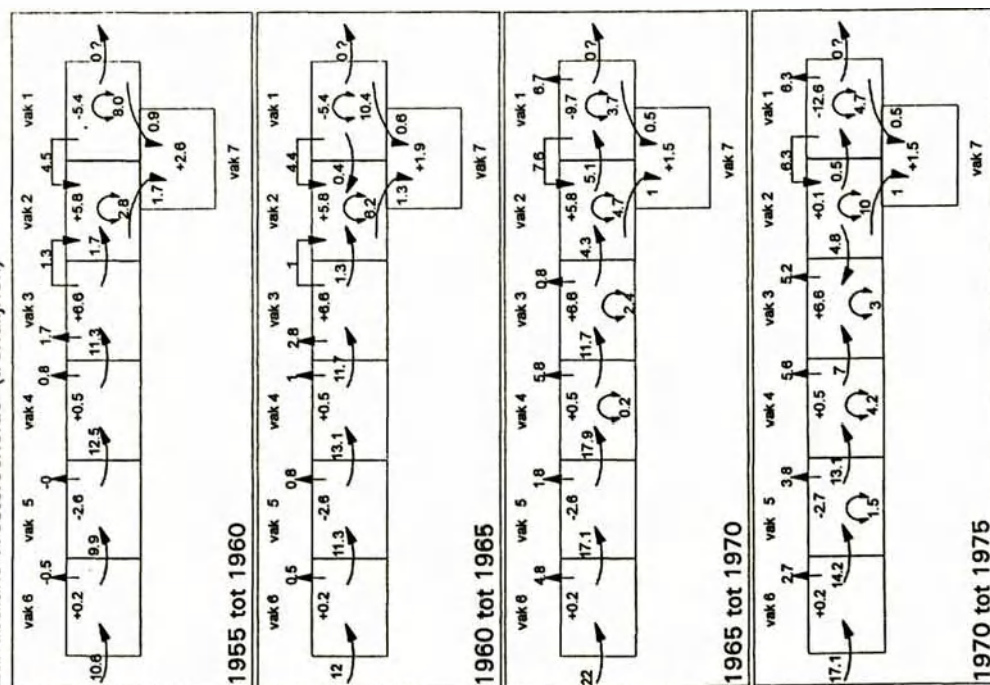
Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

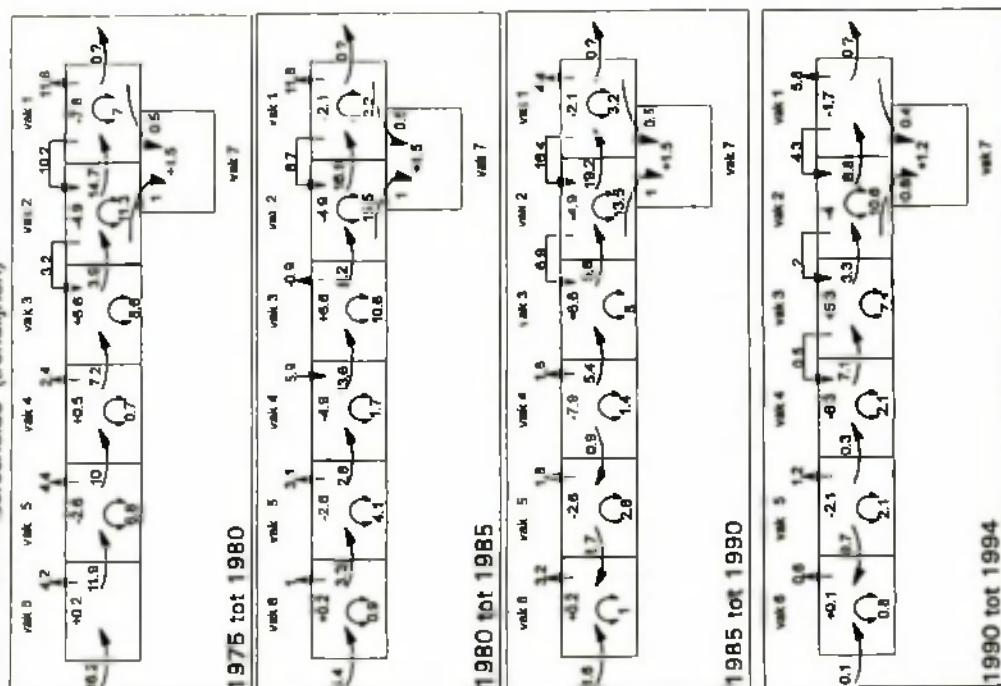
Fig.3.1



Zandbalans Westerschelde (trendlijnen)



Zandbalans Westerschelde (trendlijnen)



Zandbalans volgens Uit Den Boogaard [1995]
Ingrepen, transporten en morfologische
veranderingen in de periode 1955 - 1994.

ASMITA

Maart
1997

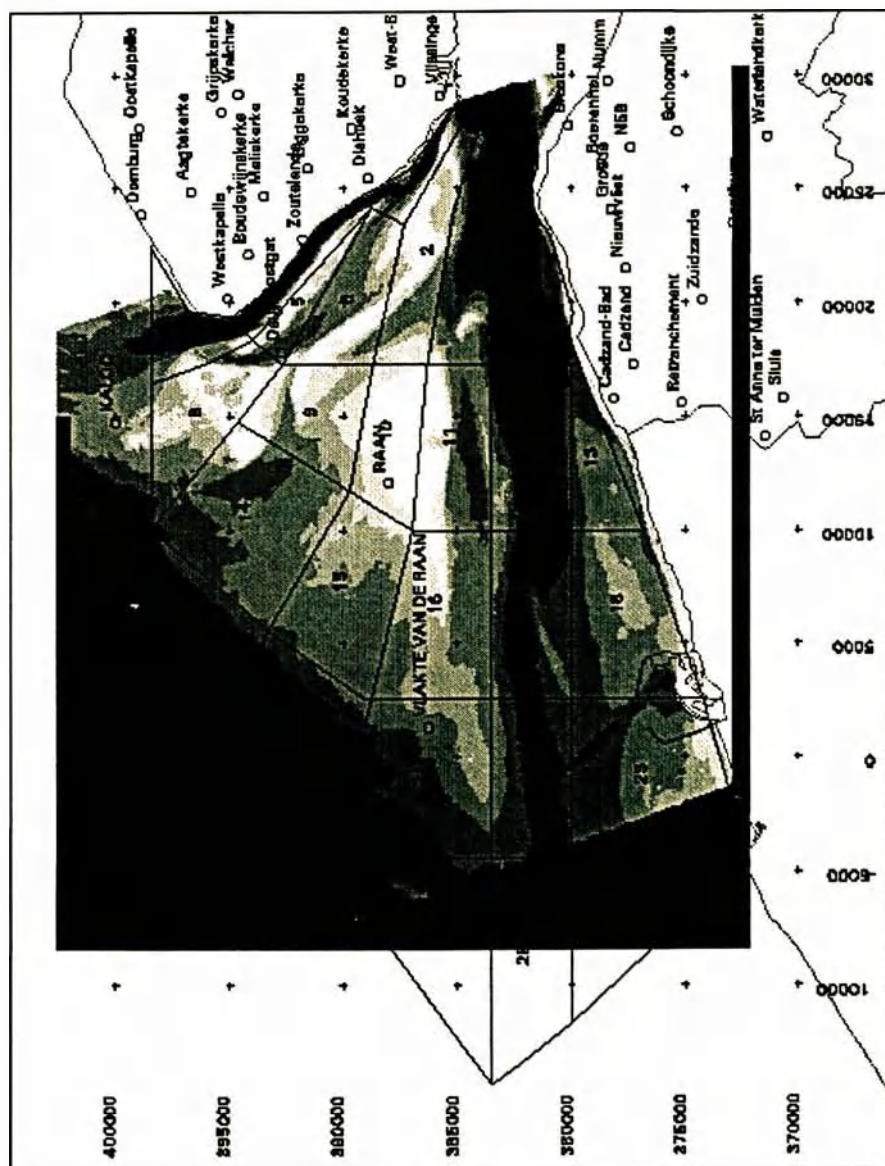
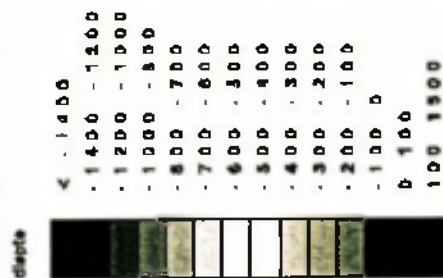
Westerschelde

Marin van Endt 4/3/1997

map 1

Waterschelde monding
bodem set 1969-1970
+ velden voor ASMITA

19970702



Rijksverkeerswet
Nieuw OBFM
K2000-KOP

Bathymetrie 1969-1970

ASMITA

Maart
1997

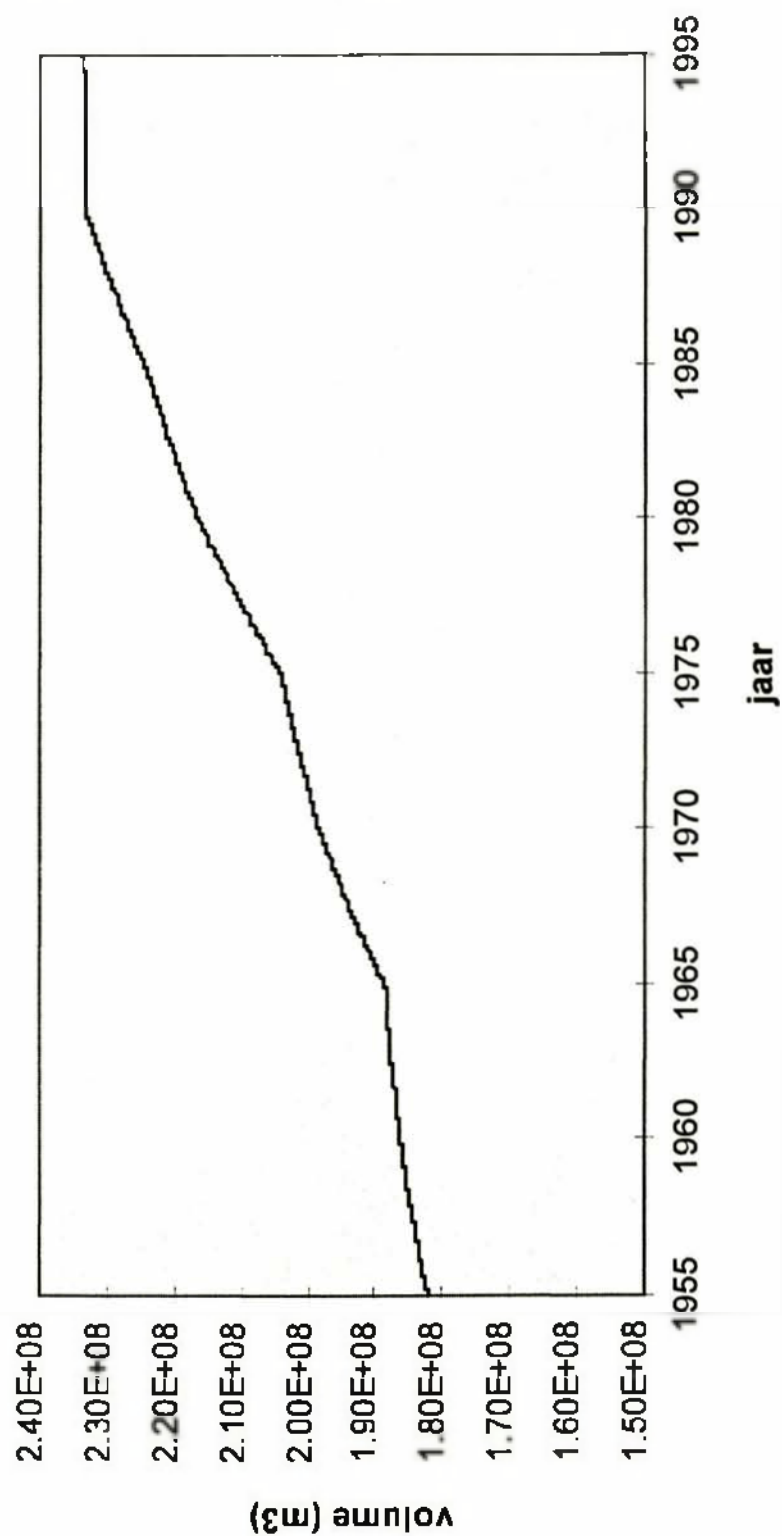
Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.4



vak 1



Berekend Volume Vak 1
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

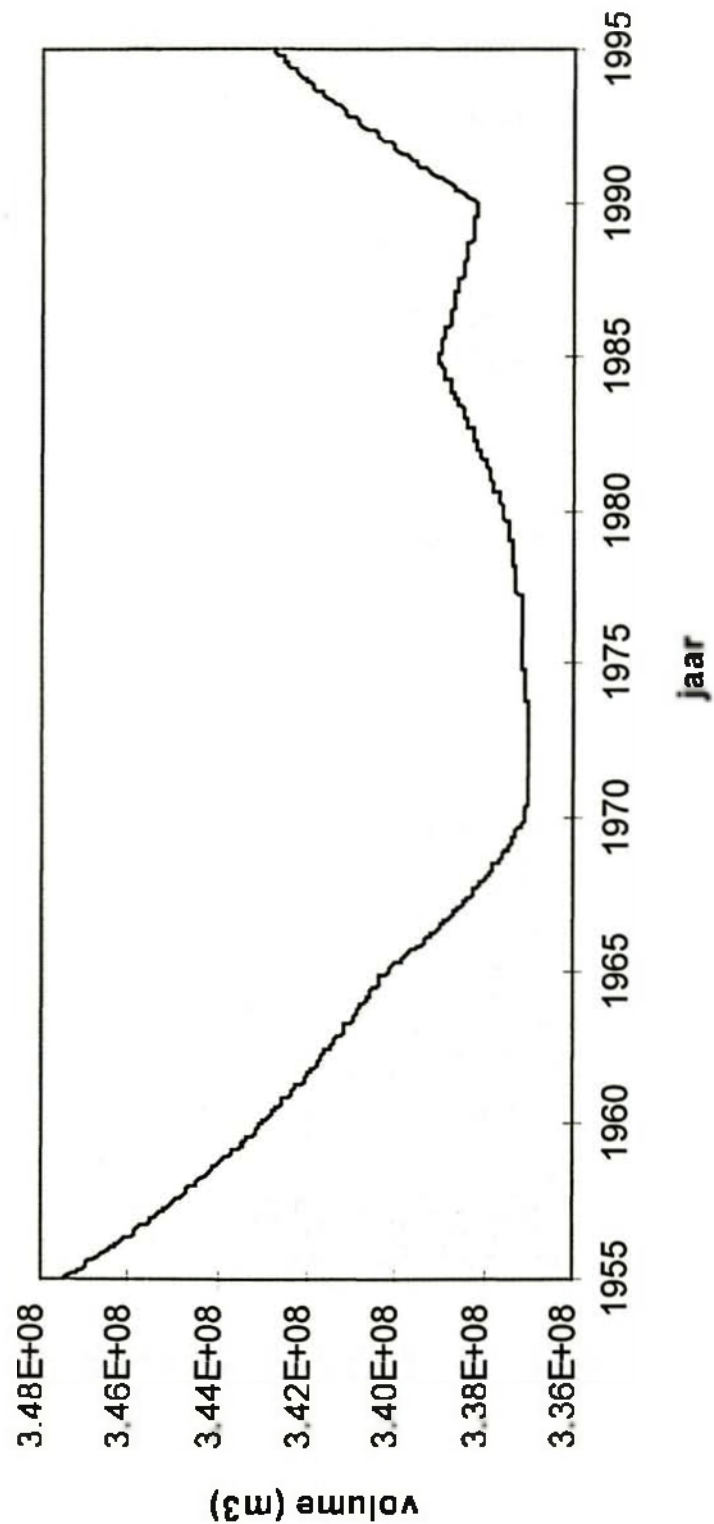
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.6

vak 2



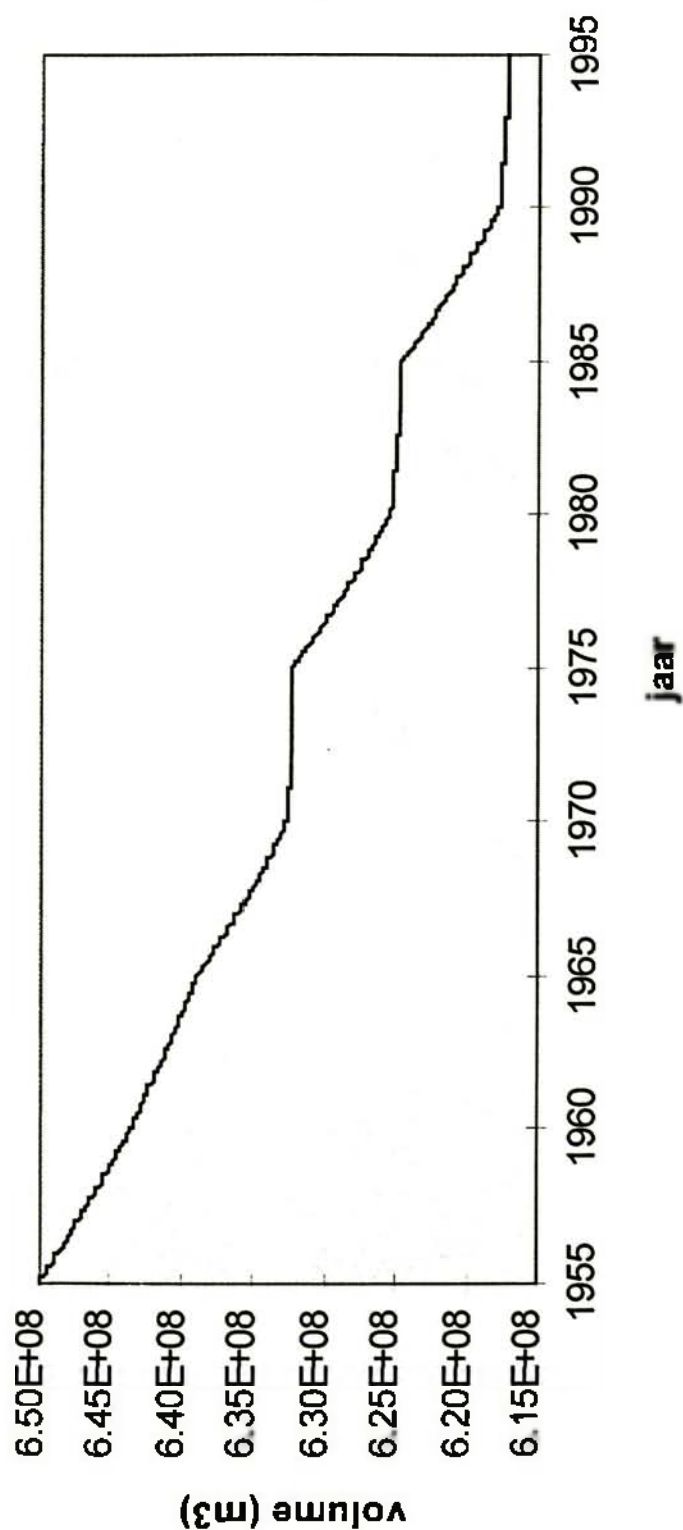
Berekend Volume Vak 2
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 3



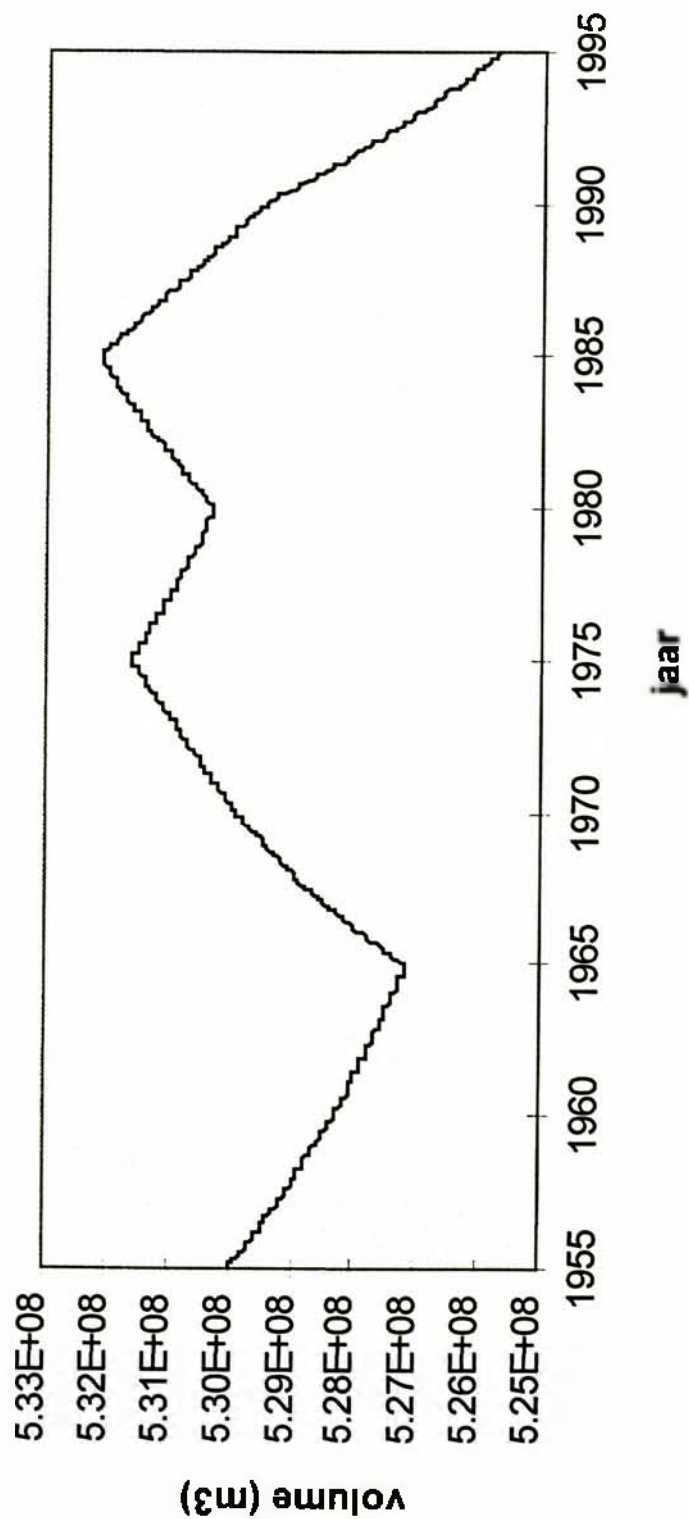
Berekend Volume Vak 3
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 4



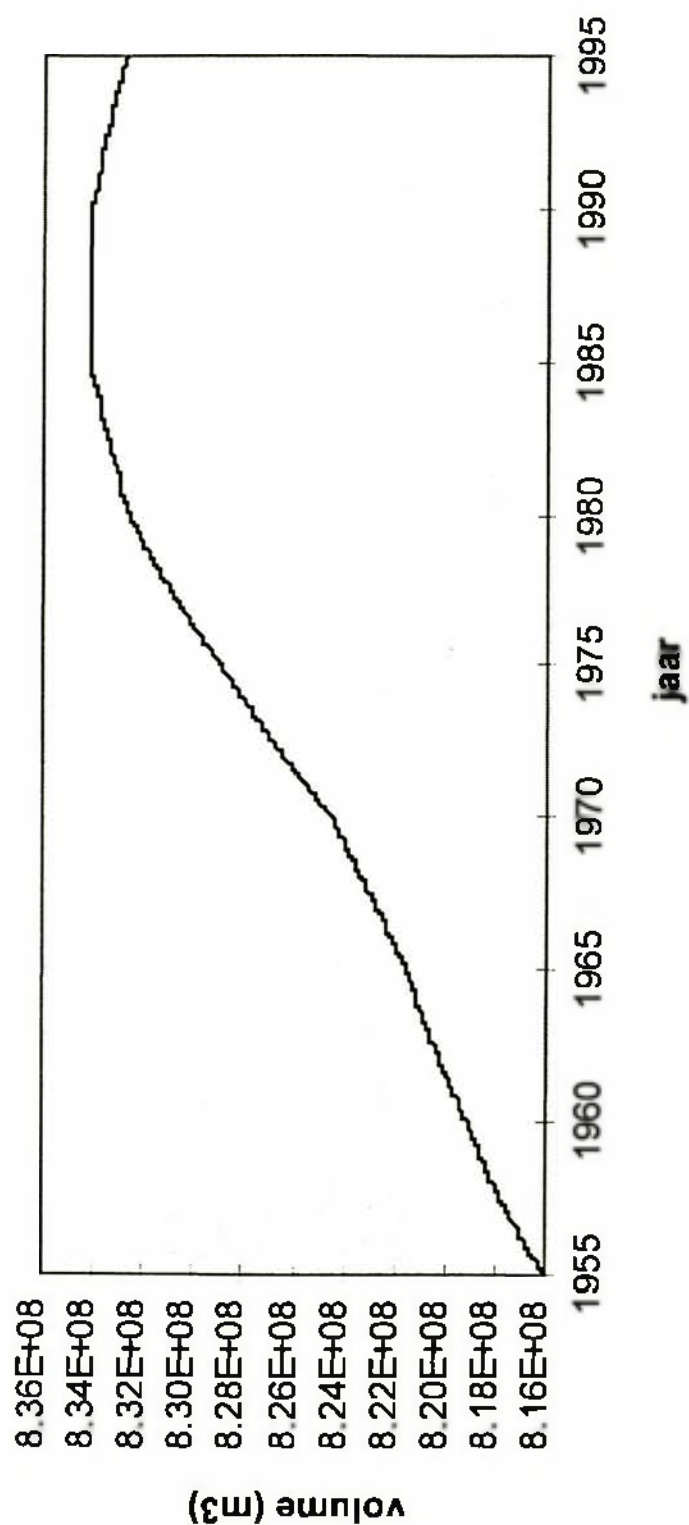
Berekend Volume Vak 4
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 5



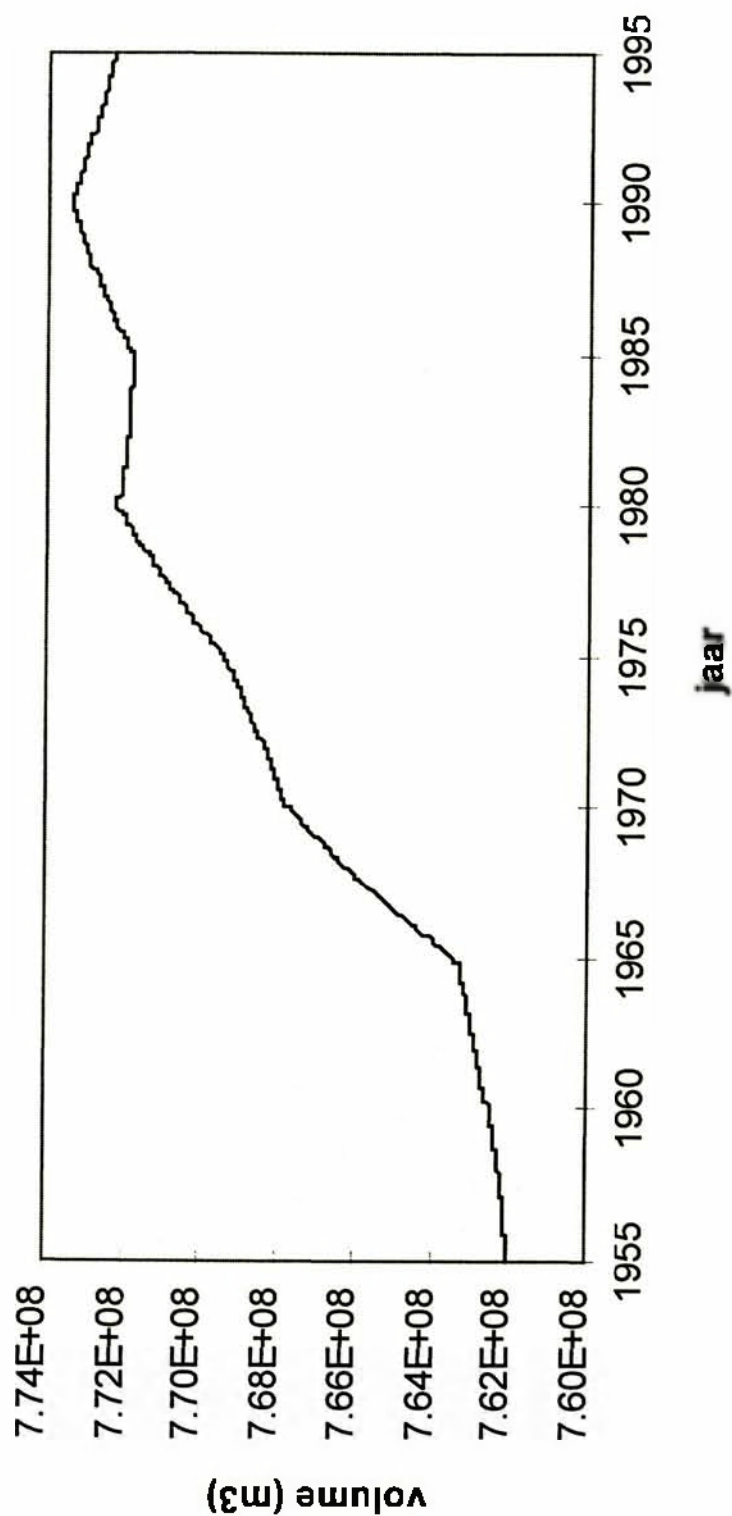
Berekend Volume Vak 5
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 6



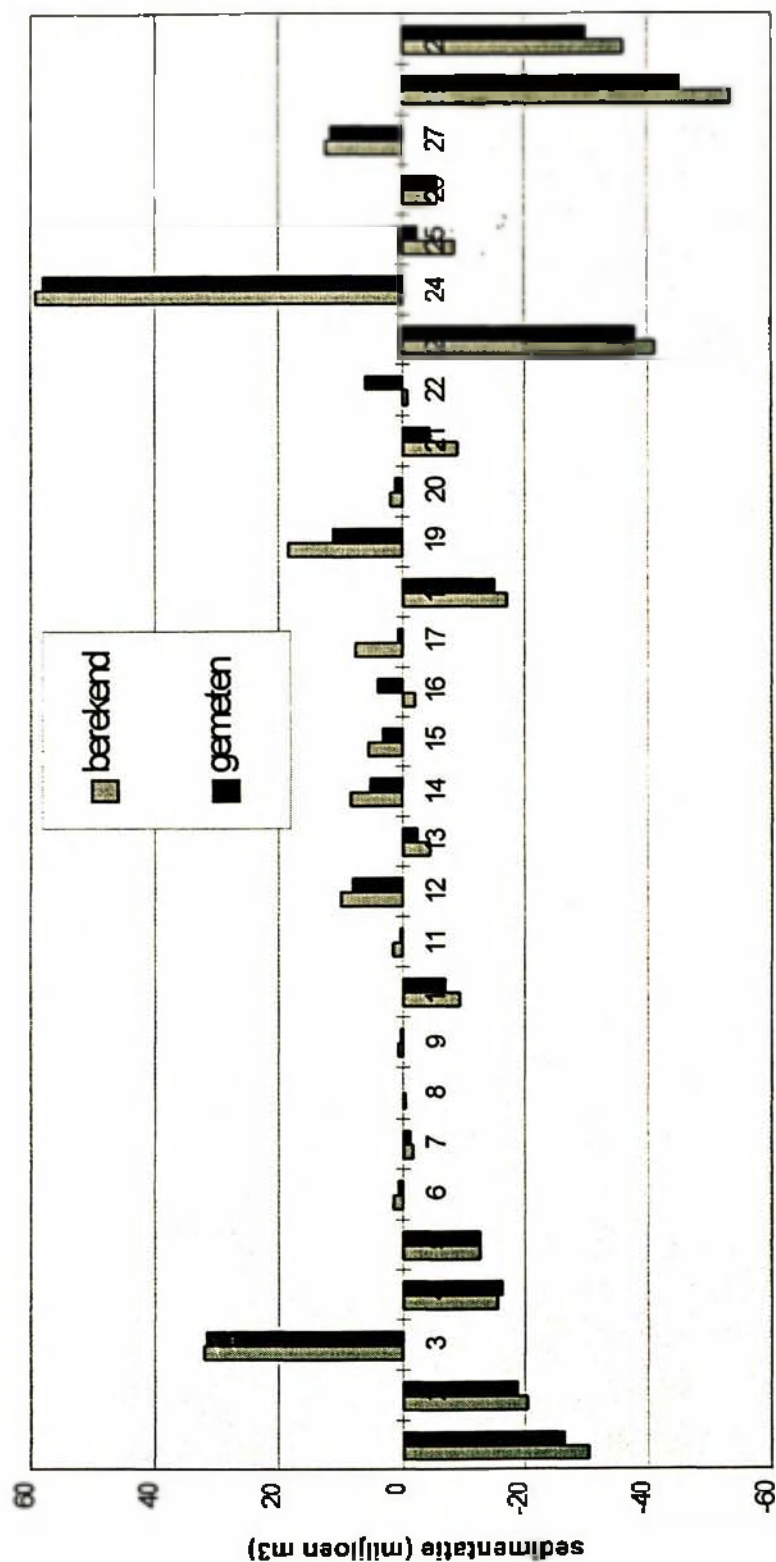
Berekend Volume Vak 6
Eenvoudig model met 7 vakken

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

berkende en gemeten veranderingen



Berekende en gemeten totale verandering₃ per vak
in de periode 1970 - 1994 (* 1000000 m³).

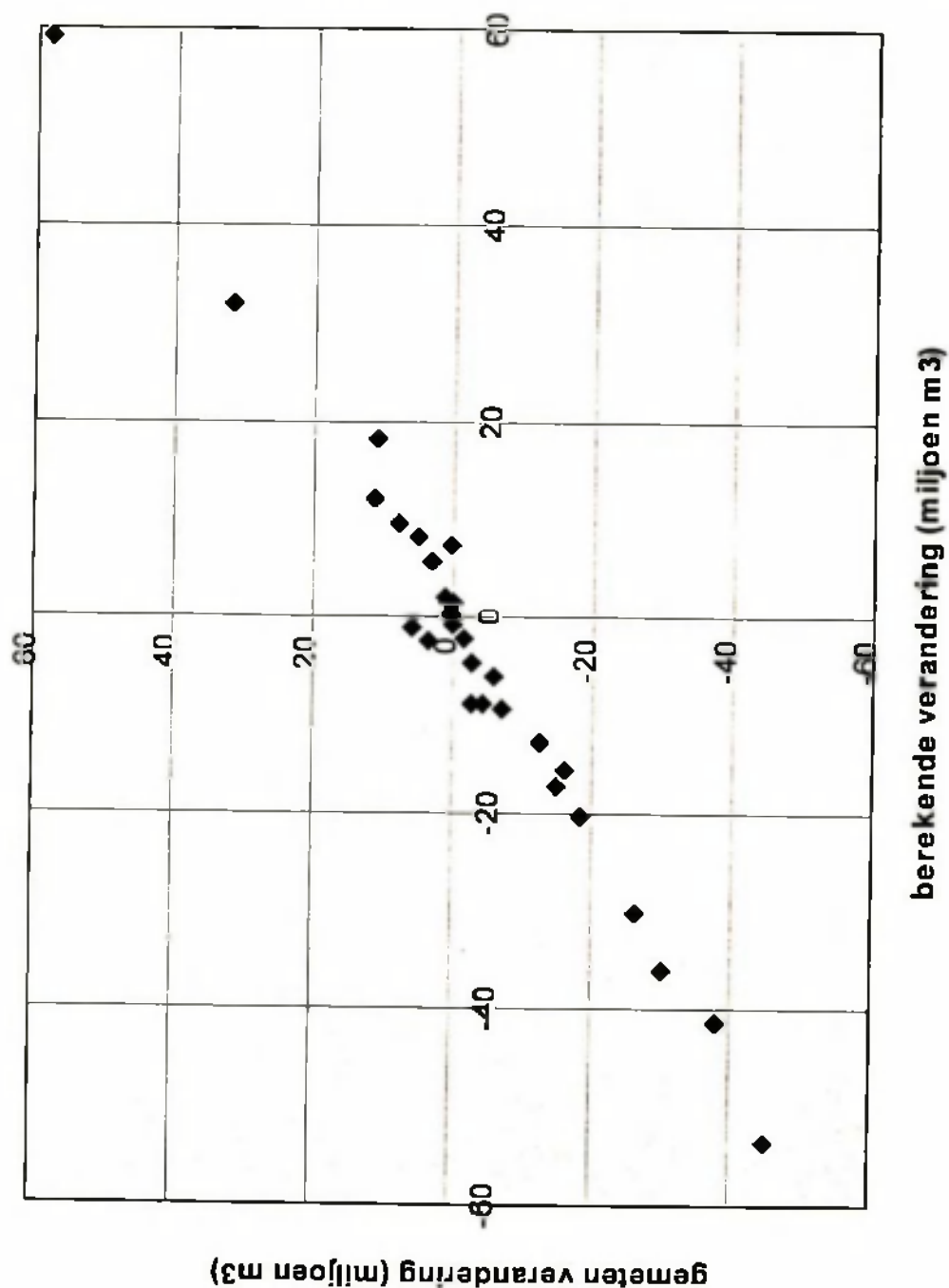
ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.12



Vergelijking van gemeten en berekende
verandering in de periode 1970 - 1994
in miljoen m³.

ASMITA

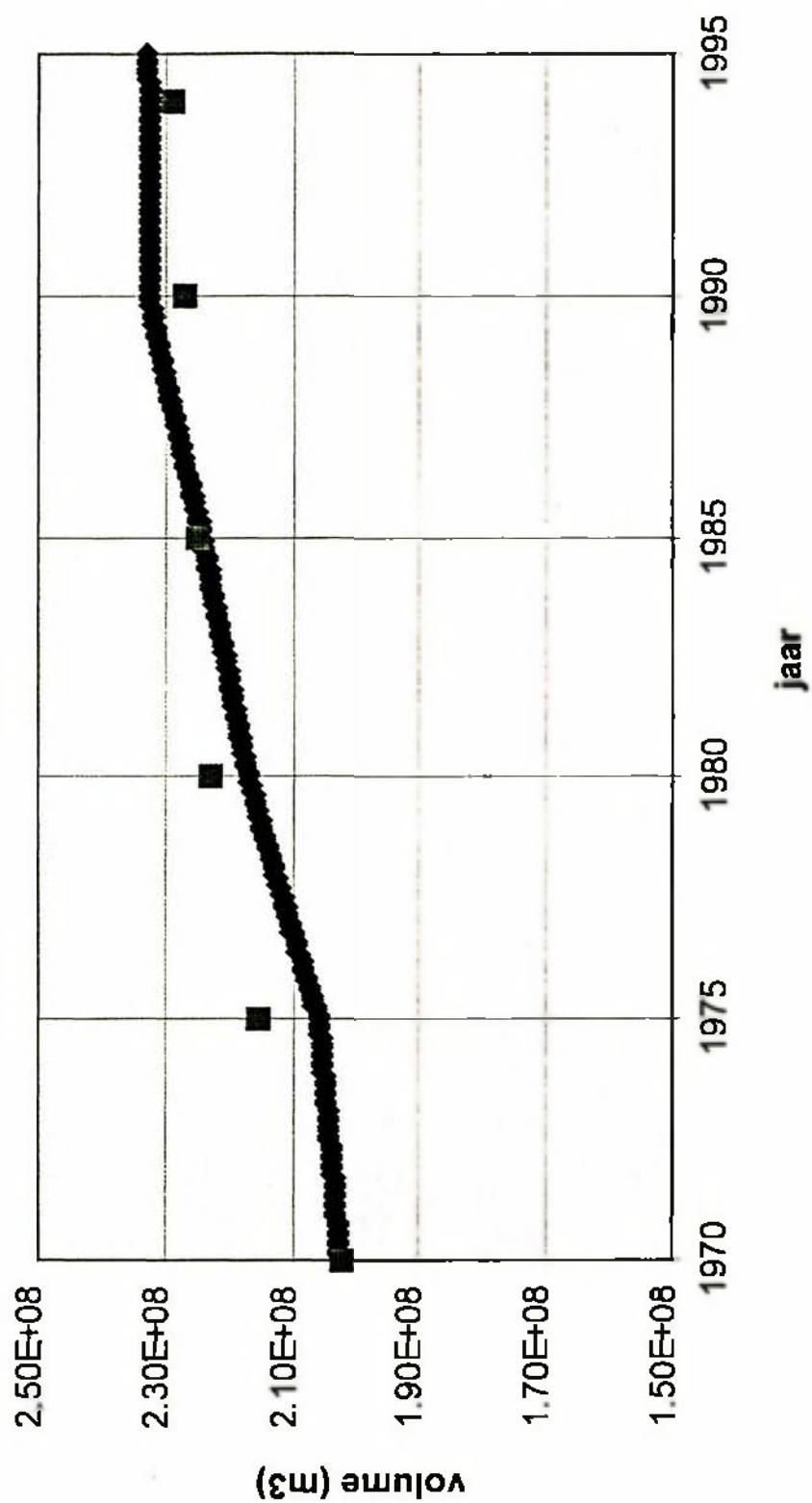
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.13

vak 1



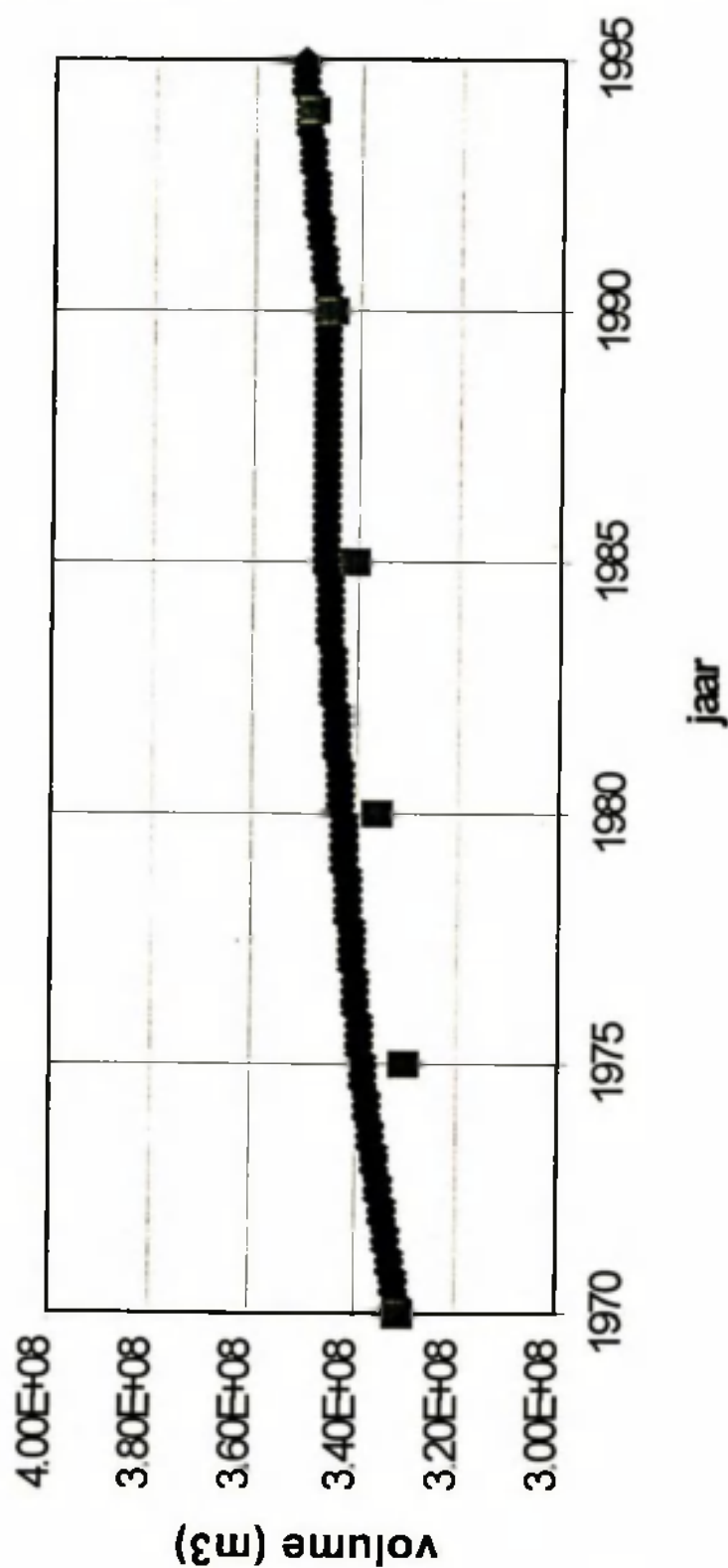
Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 1
als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 2



Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 2 als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

ASMITA

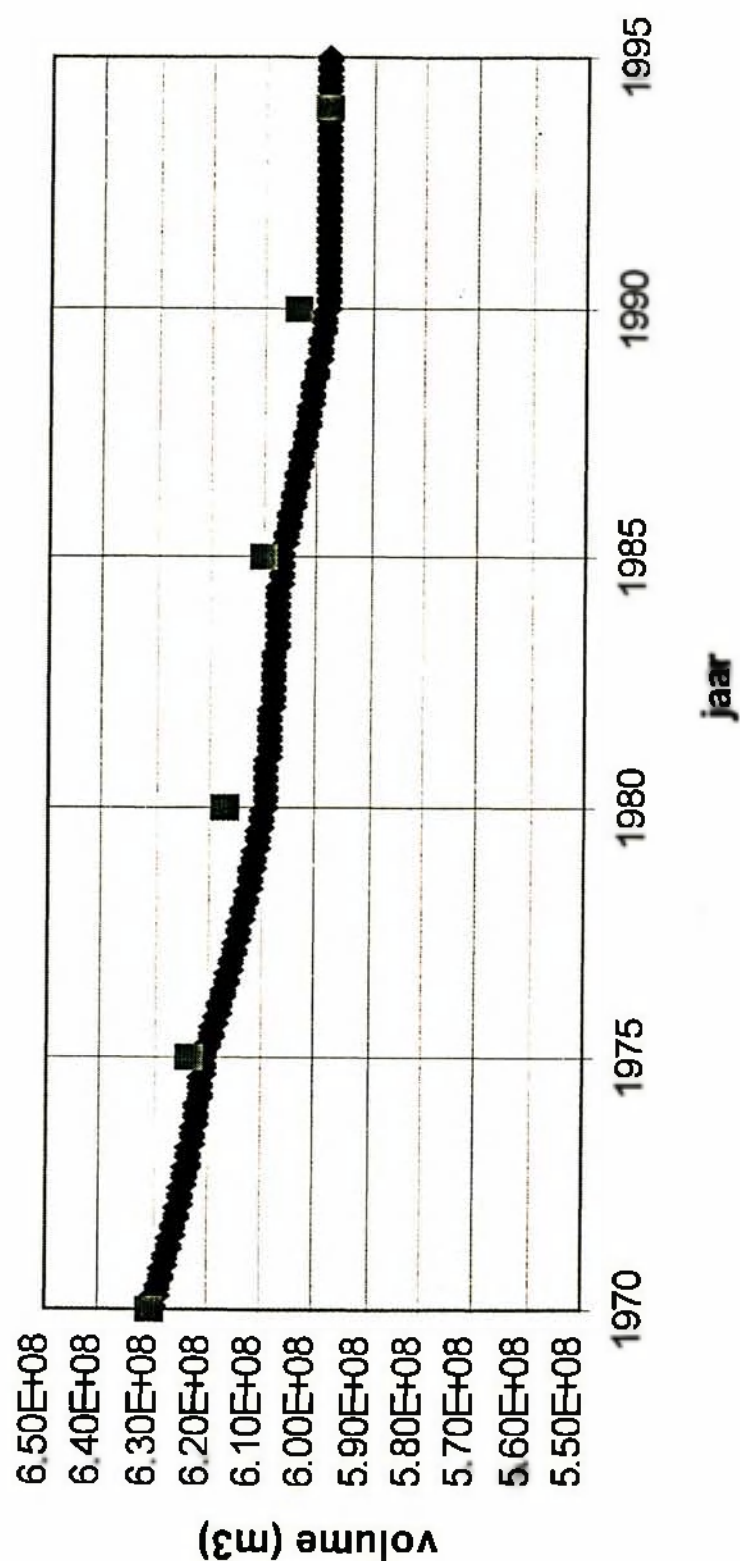
Maart 1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.15

vak 3



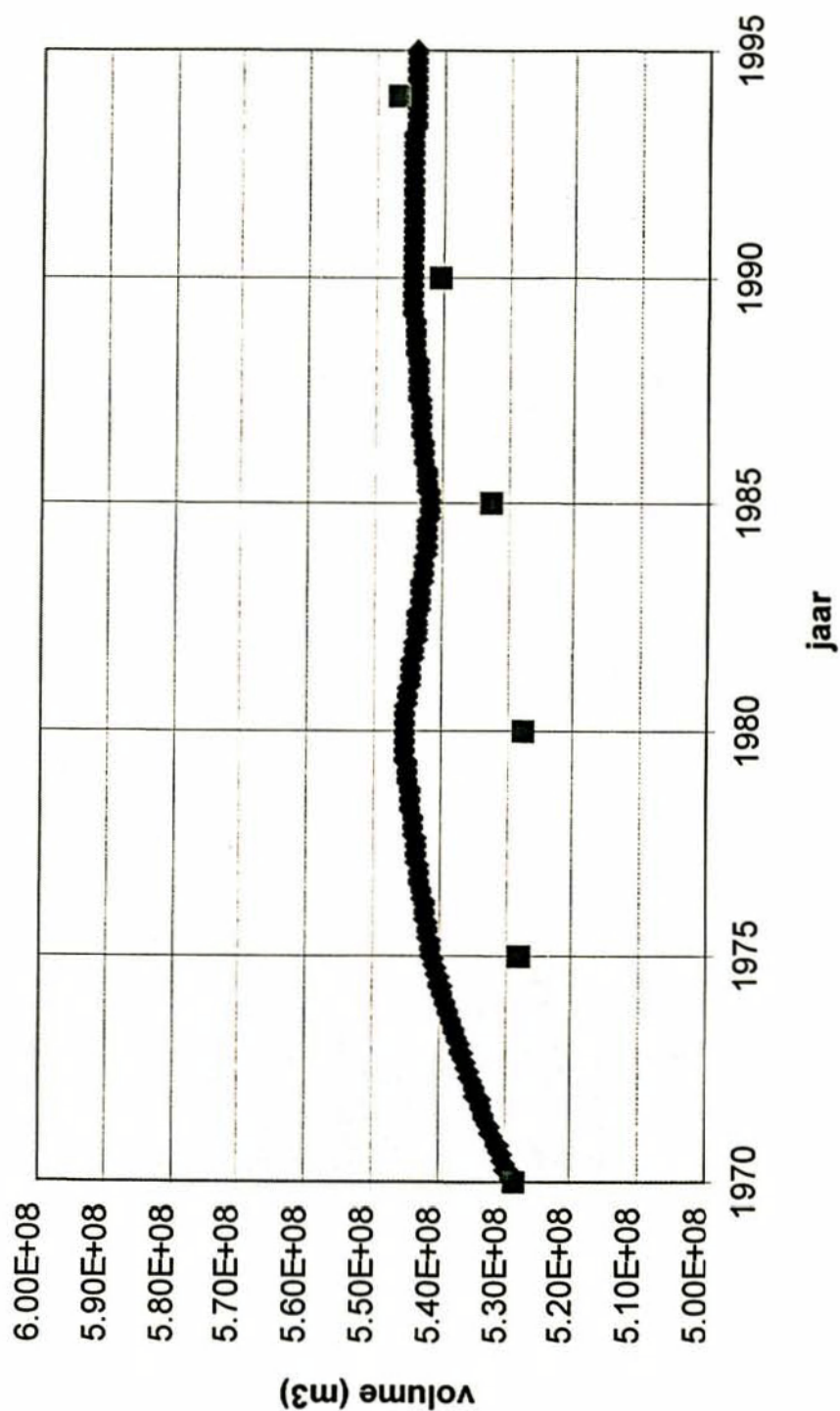
Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 3
als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

vak 4



Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 4
als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

ASMITA

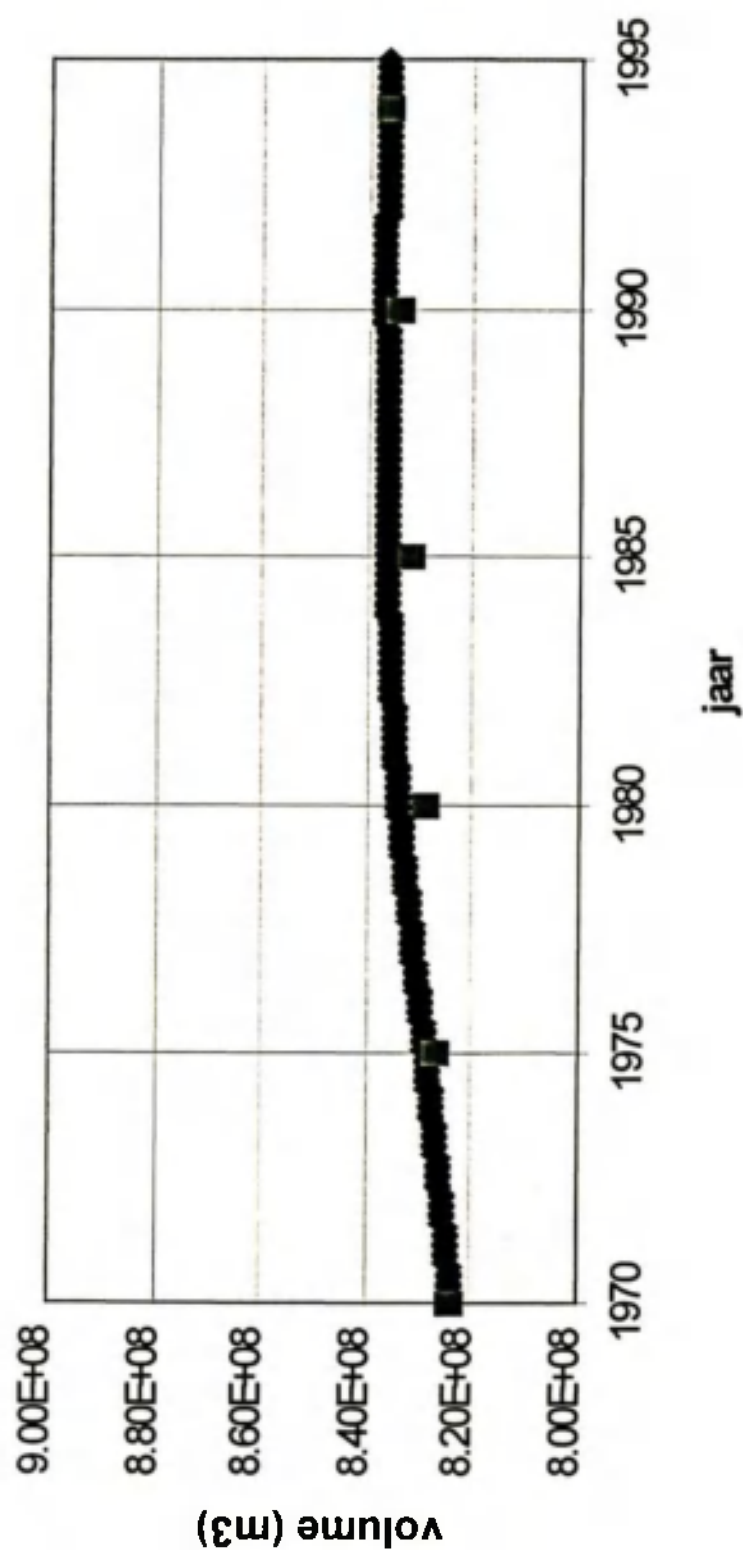
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.17

vak 5



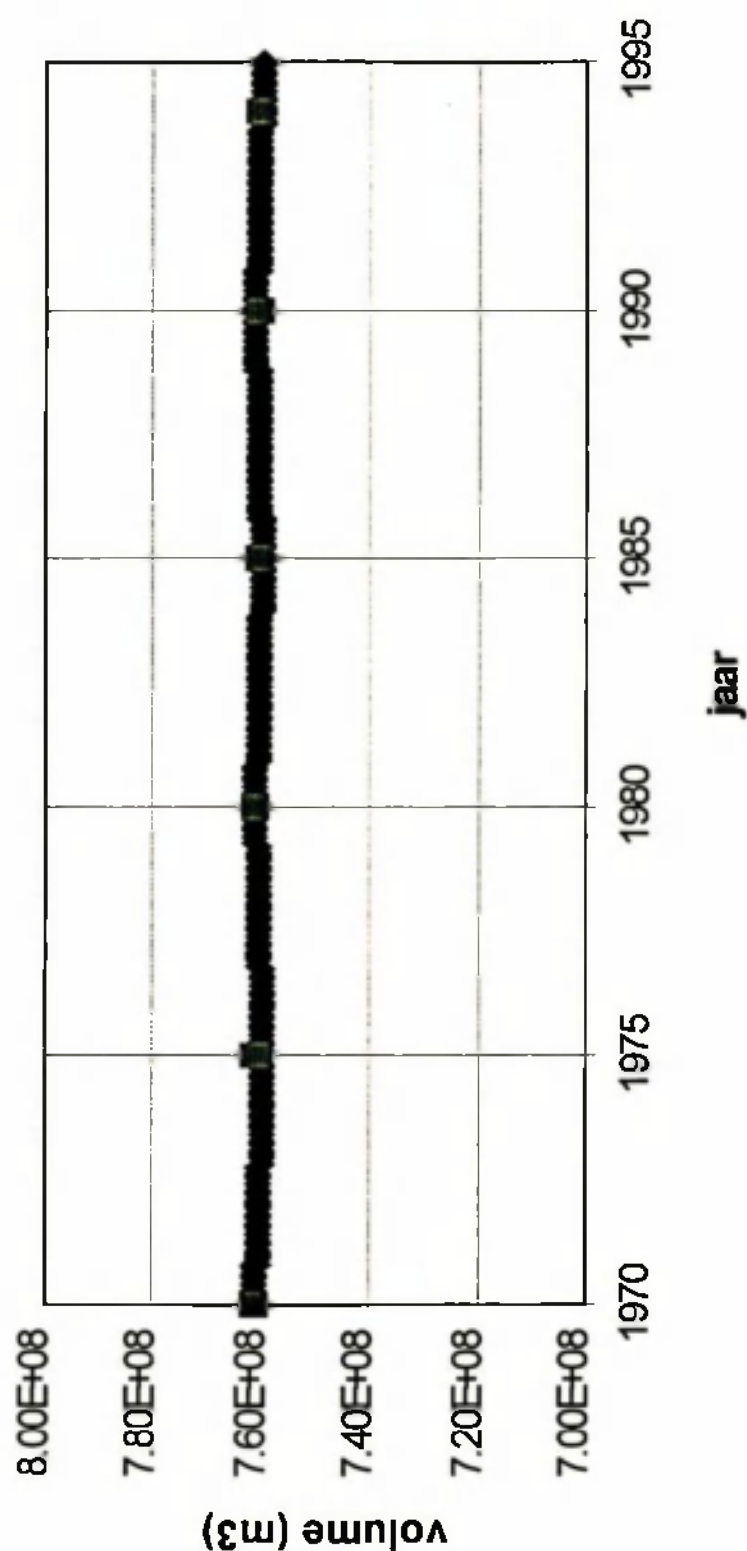
Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 5 als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

ASMITA

Maart 1997

Westerschelde

vak 6



Berekend [lijn] en gemeten [punten] Volume Vak 6 als functie van de tijd in jaren vanaf 1970

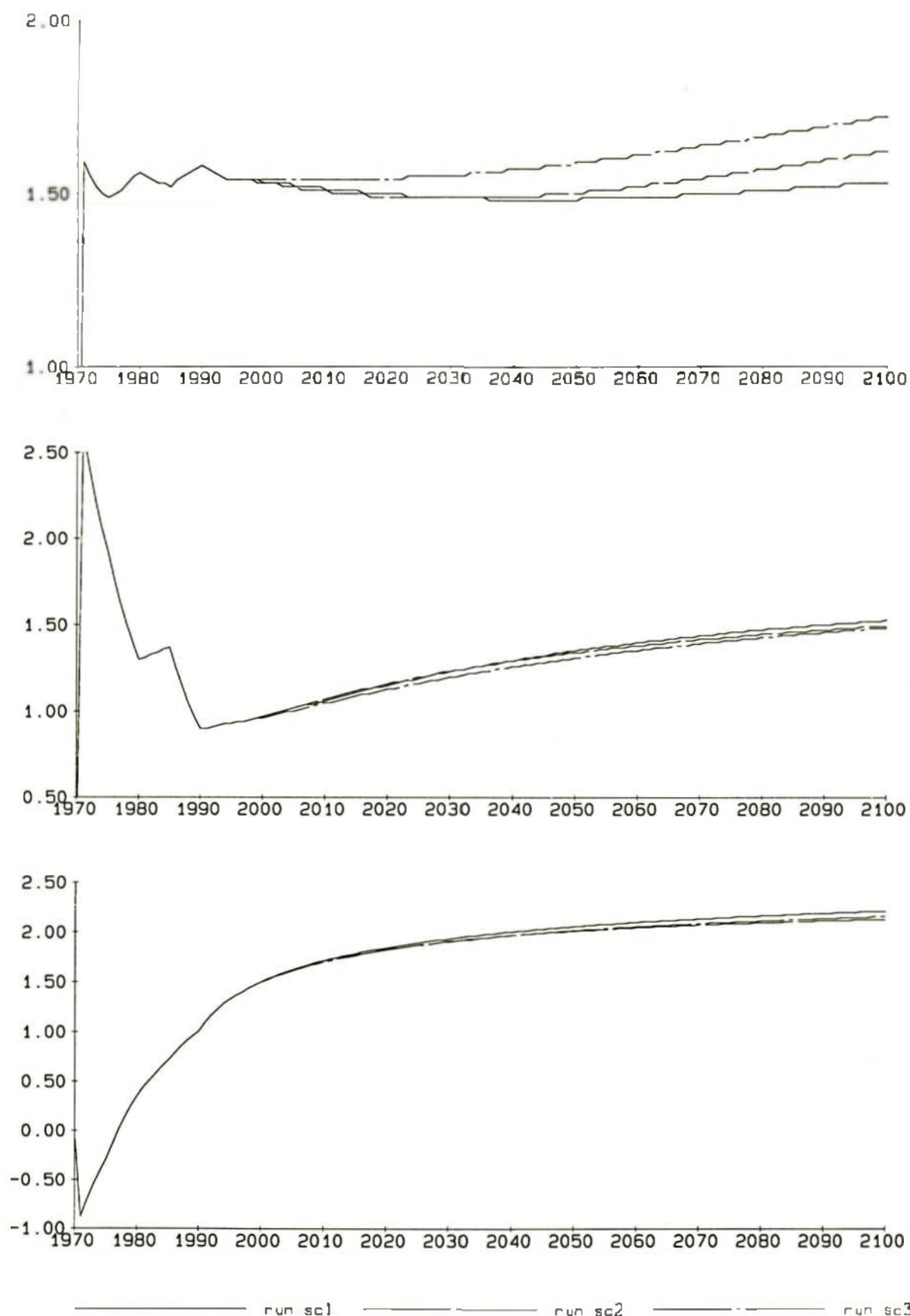
ASMITA

Maart 1997

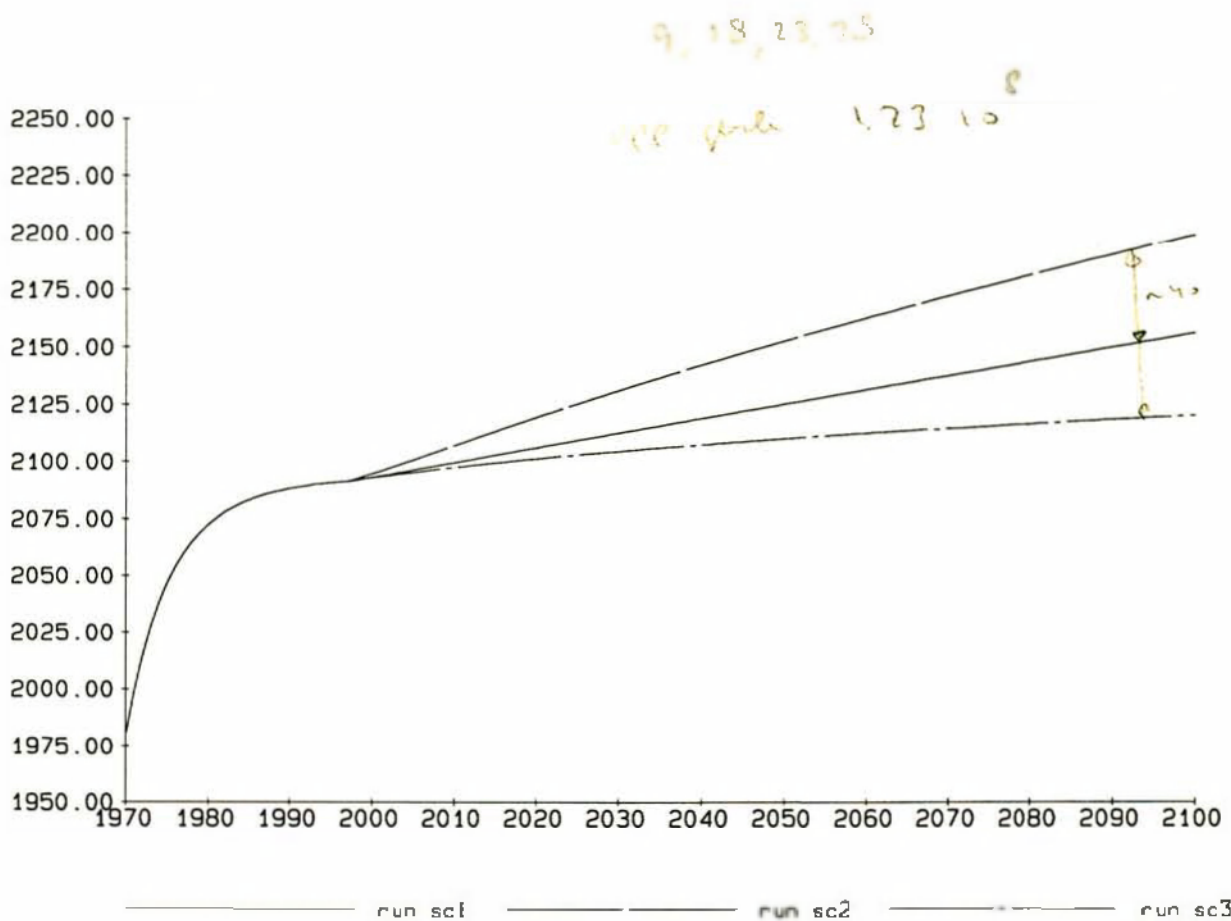
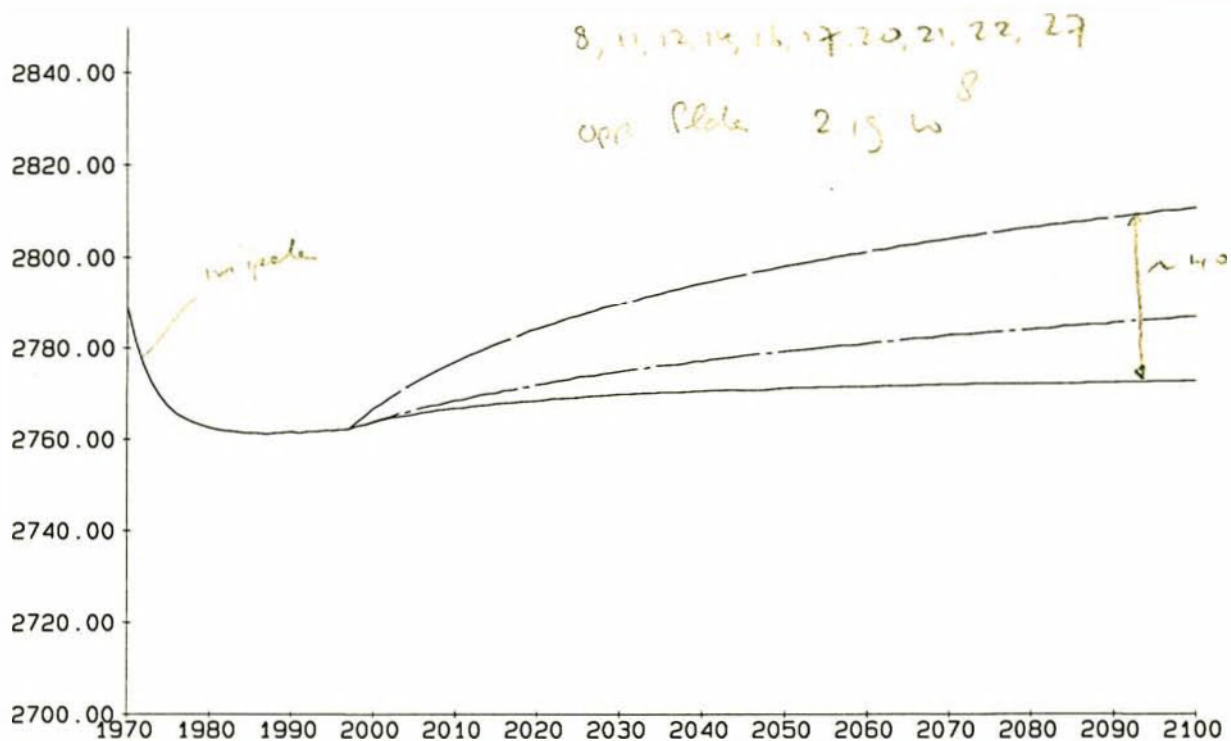
Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Fig.3.19



Sediment transport in million kub. per jaar	ASMITA	Maart 1997
boven: van monding naar west, midden: van west naar midden onder: van midden naar oost	Westerschelde	
DELFT HYDRAULICS	Z 2253	Fig.4.1



Natte volume in million kub., Delta en geulen
 boven:Delta[Raan,Rassen,] onder:Geulen[Wielingen,Scheur]
 Run 1,2,3: Zeespiegelrijzing en getijslag toename

ASMITA

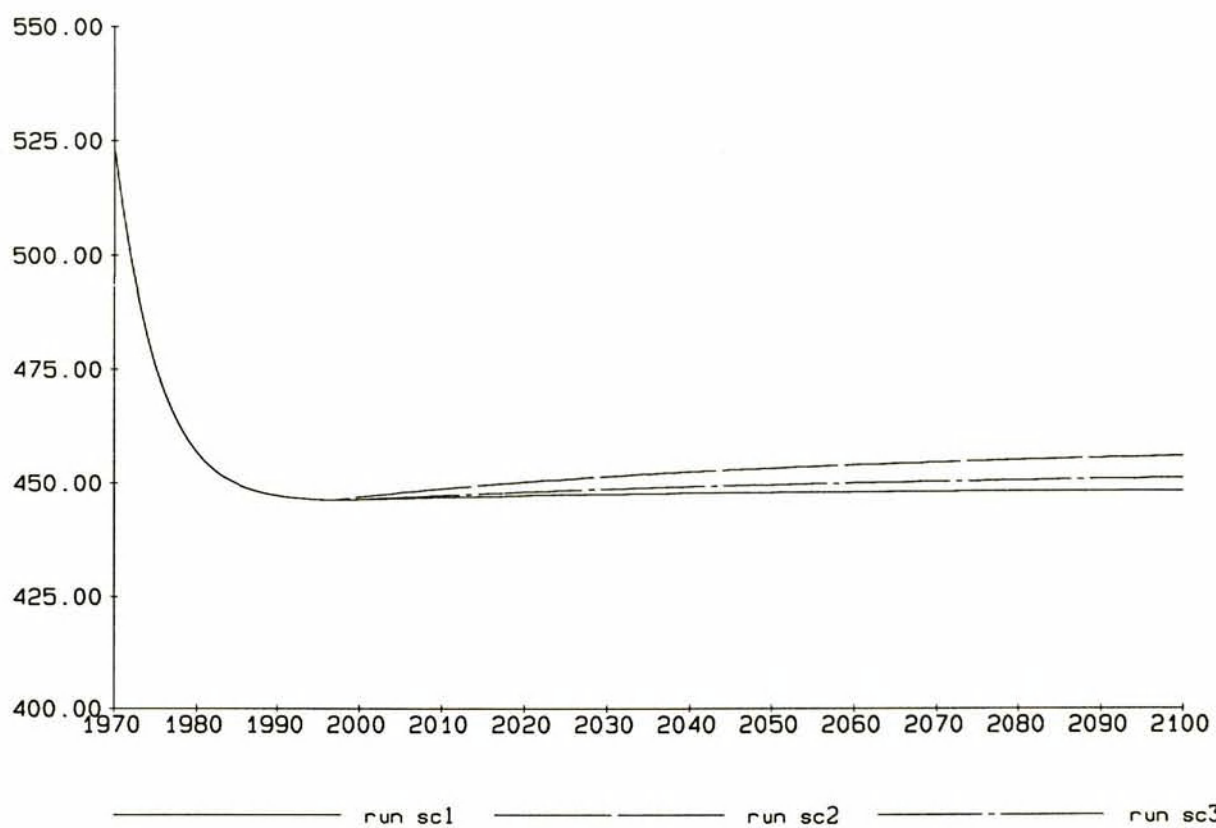
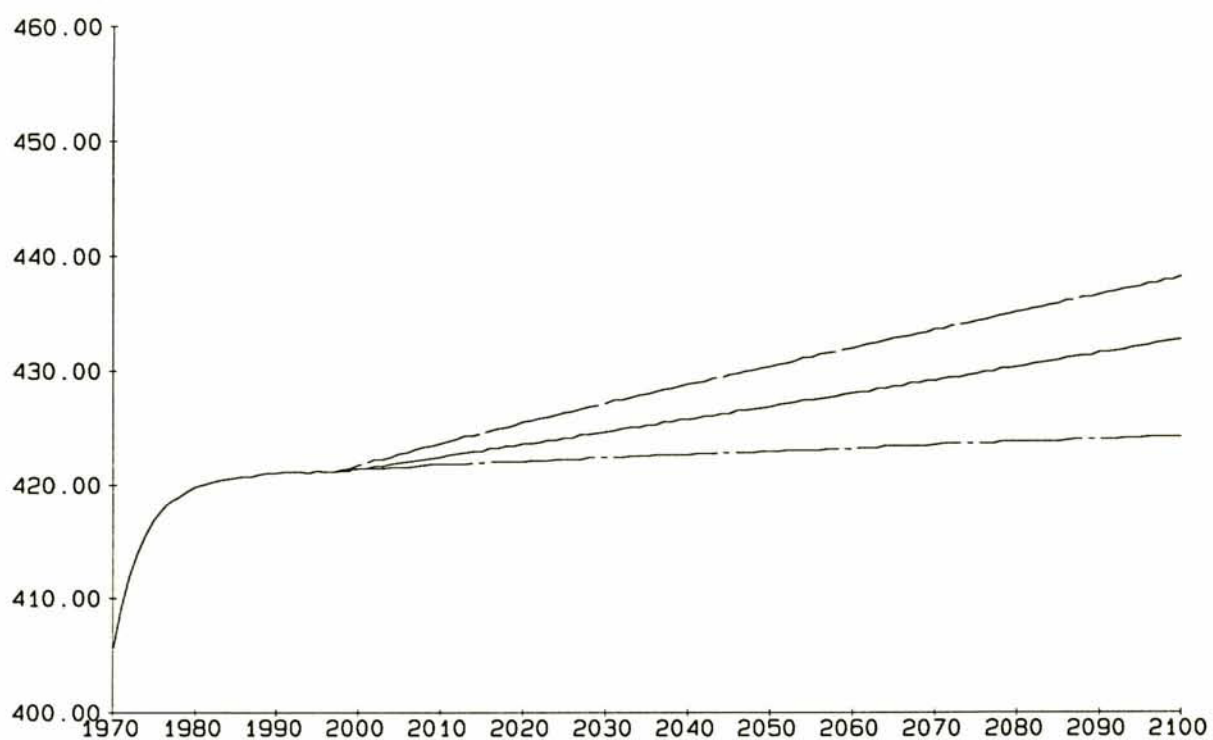
Maart
1997

Westerschelde

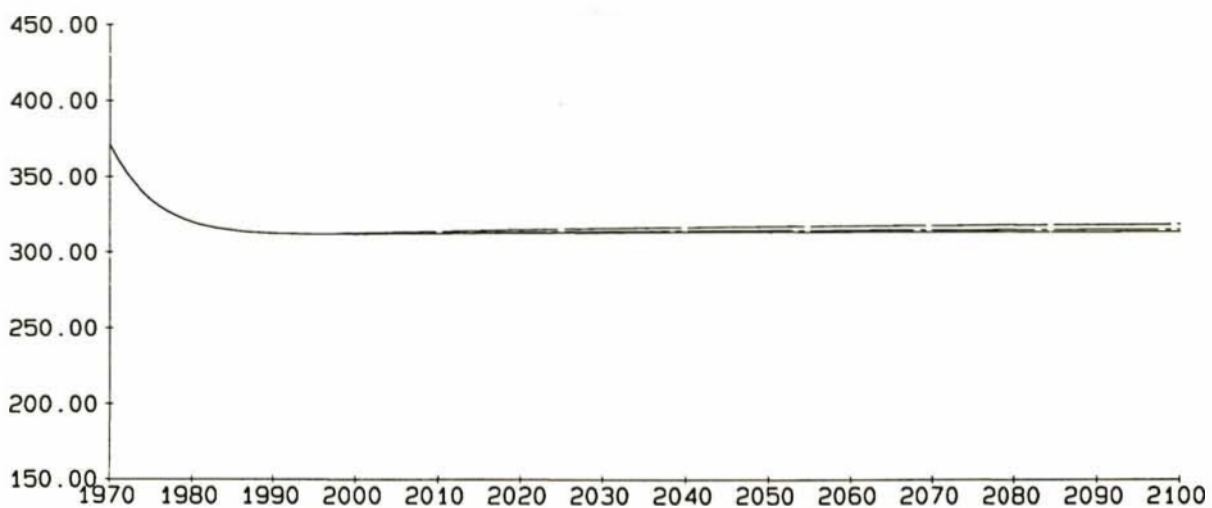
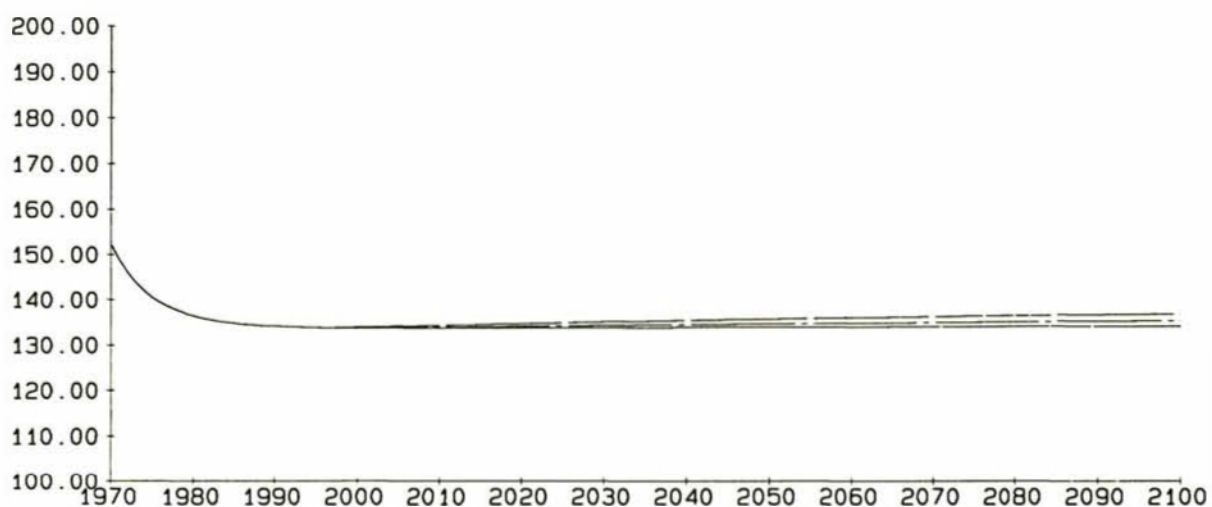
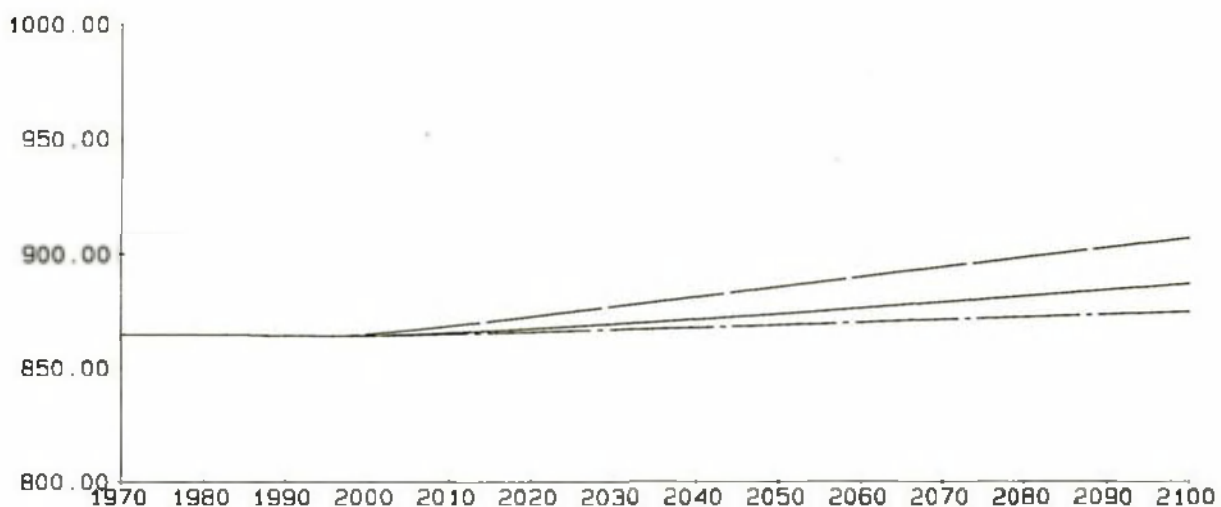
DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.2



Natte volume in million kub., Kusten boven: Walcheren[vak7,10,13] onder: Vlaanderen[vak19,24] Run 1,2,3: Huidige situatie	ASMITA	Maart 1997
	Westerschelde	
DELFT HYDRAULICS	Z 2253	Fig.4.3



run sc1 run sc2 run sc3

Natte volume in million kub., Vlaanderen
 boven: vak 9, midden: vak 19, onder: vak 24
 Run 1,2,3: Huidige situatie

ASMITA

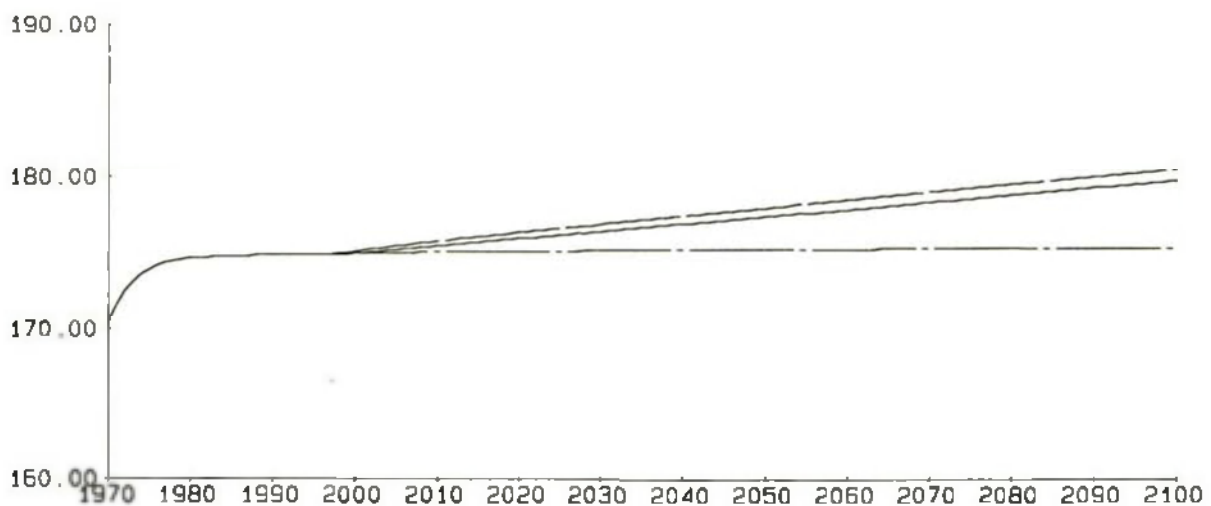
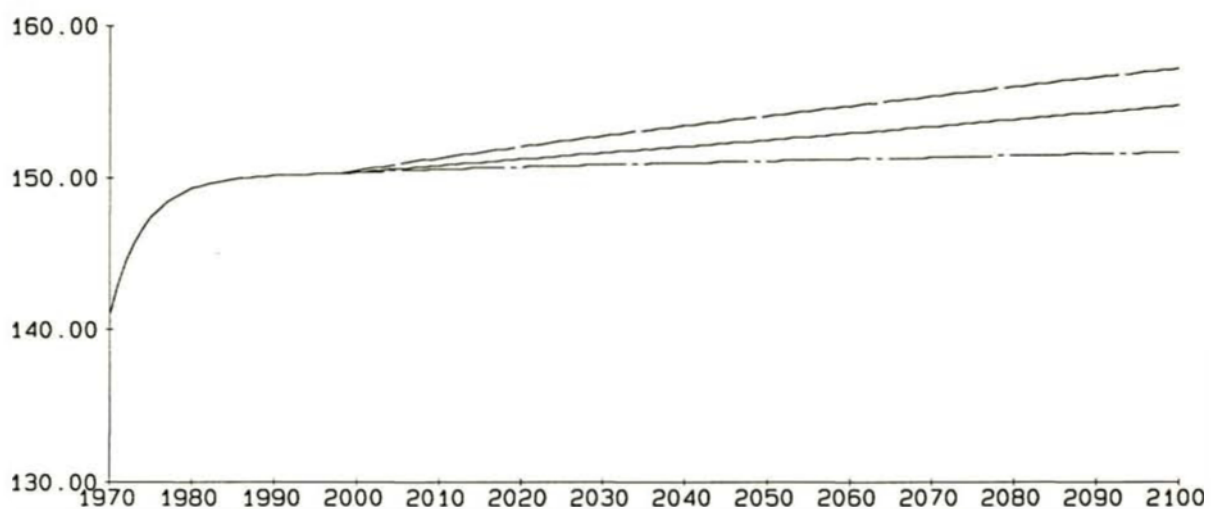
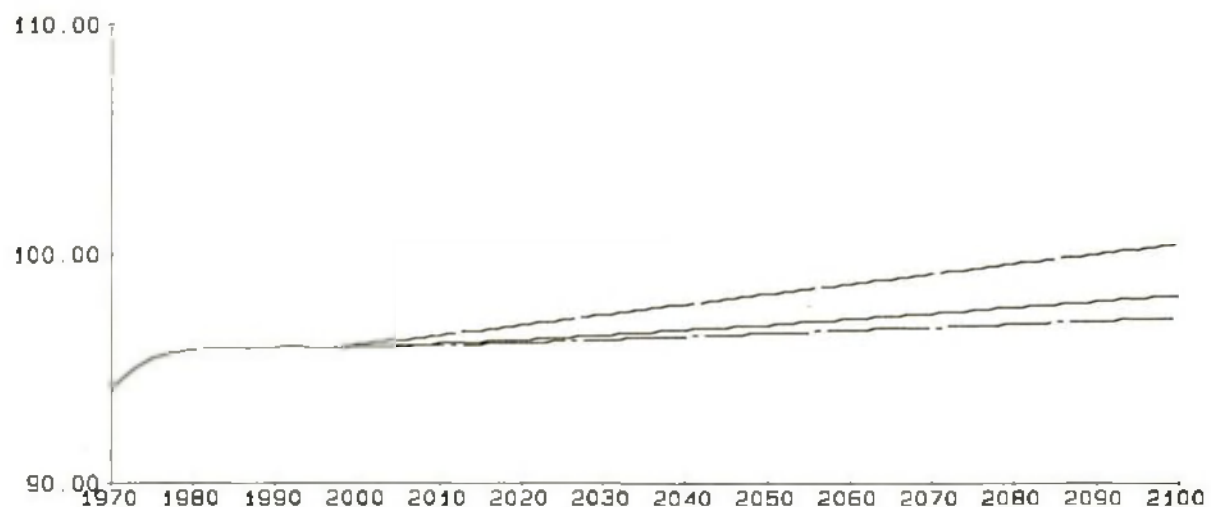
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.4



run sc1 run sc2 run sc3

Natte volume in million kub., Walcheren
 boven: vak 7, midden: vak 10, onder: vak 13
 Run 1,2,3: Huidige situatie

ASMITA

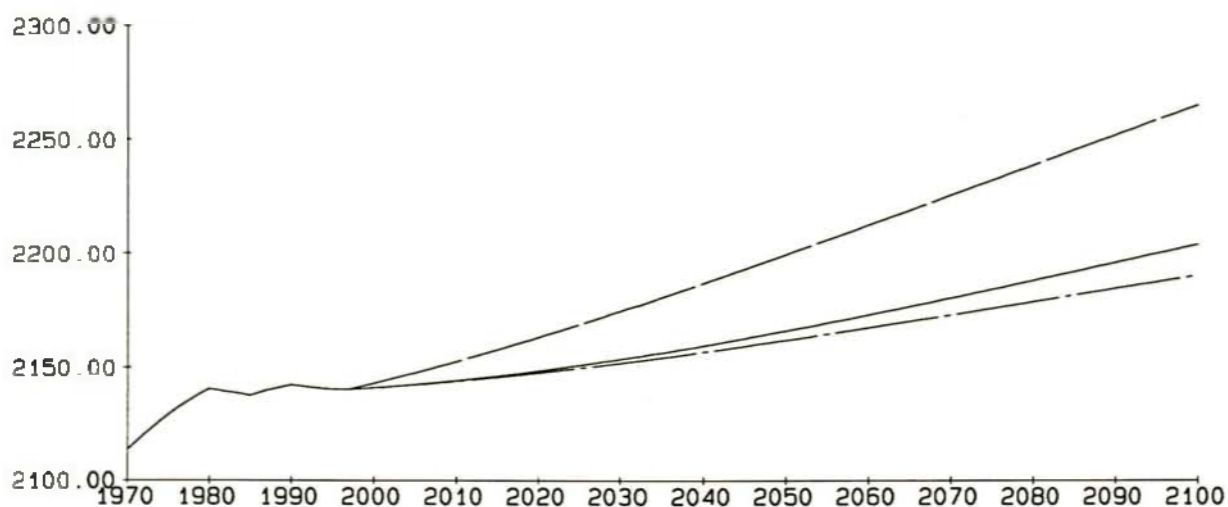
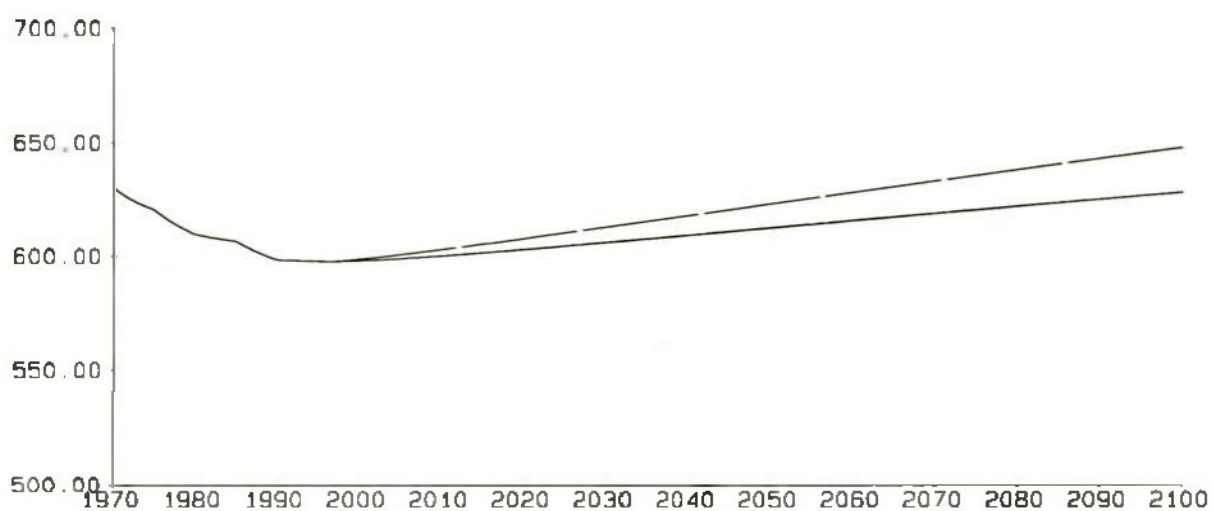
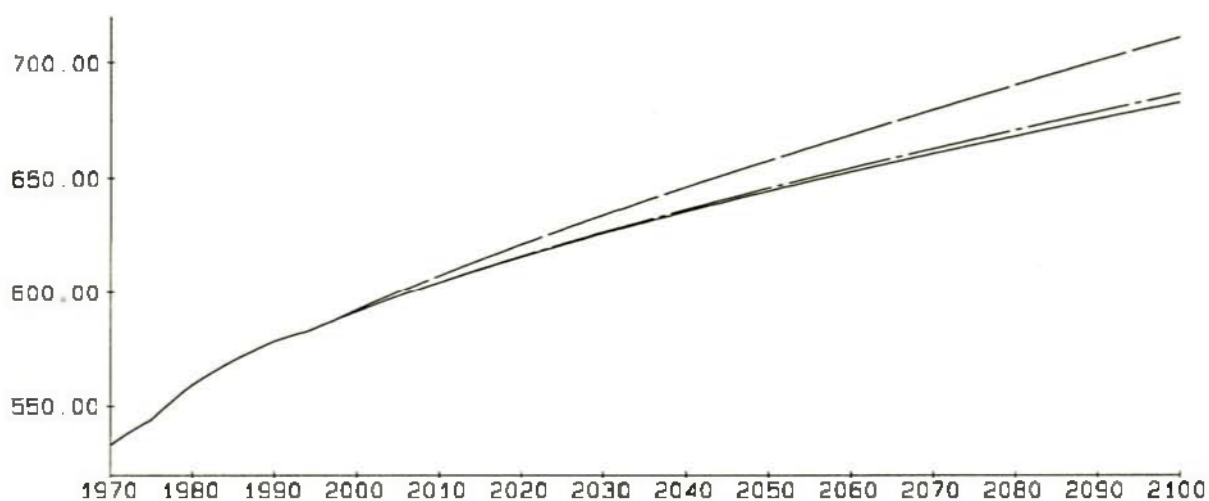
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.5



— run sc1 - - - run sc2 - . - run sc3

Natte volume in million kub.

boven: oost, midden: midden, onder: west

Run 1,2,3: Huidige situatie

ASMITA

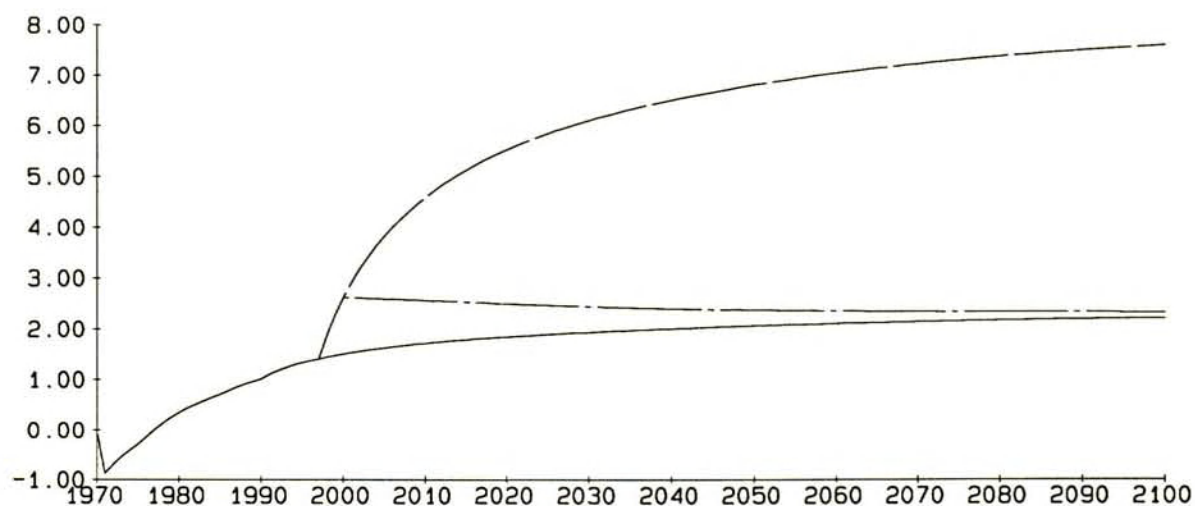
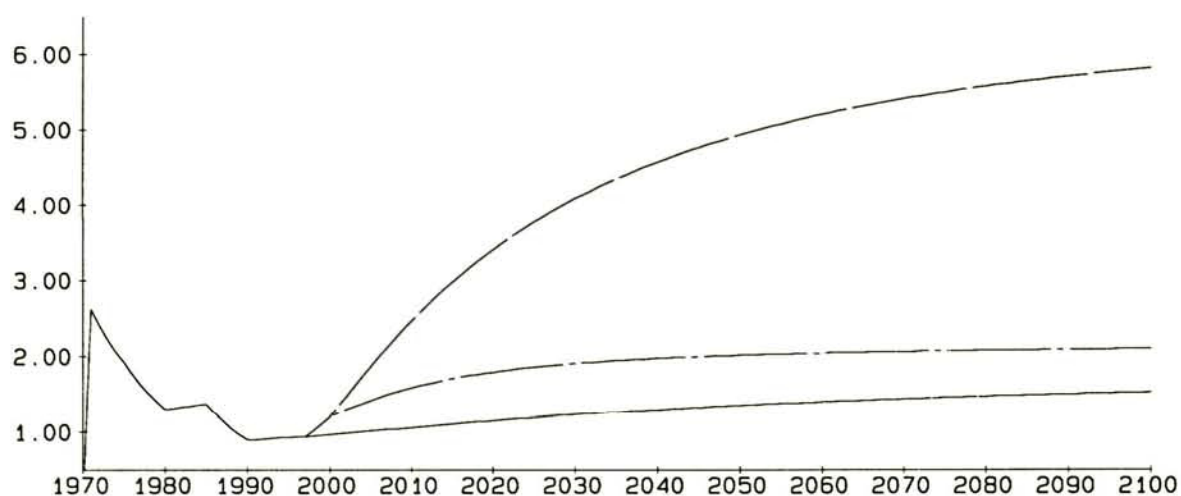
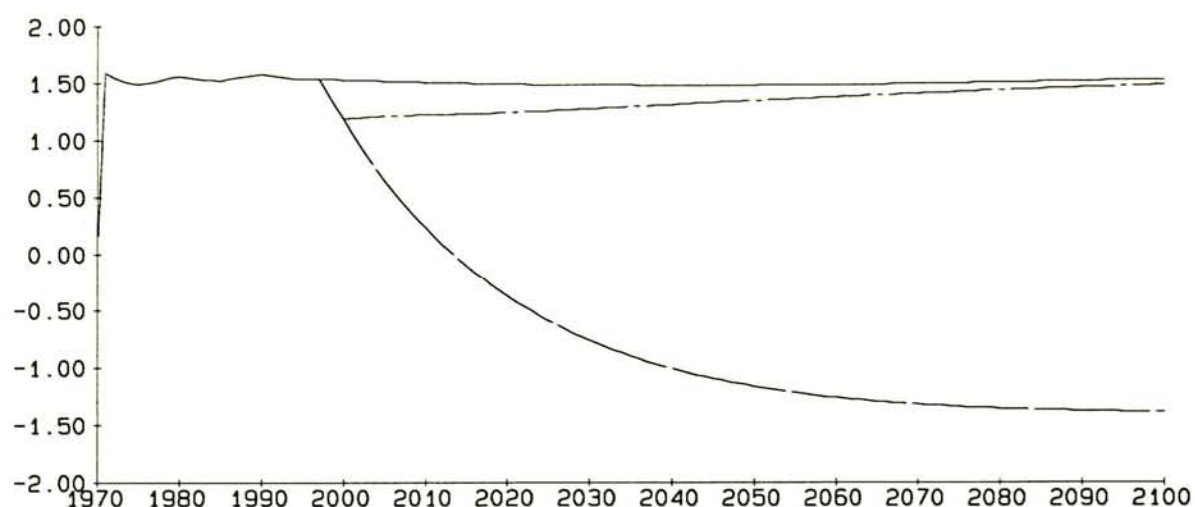
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.6



— run sc1 - - - run sc4 - . - run sc5

Sediment transport in million kub. per jaar

boven: van monding naar west, midden: van west naar midden
 onder: van midden naar oost

ASMITA

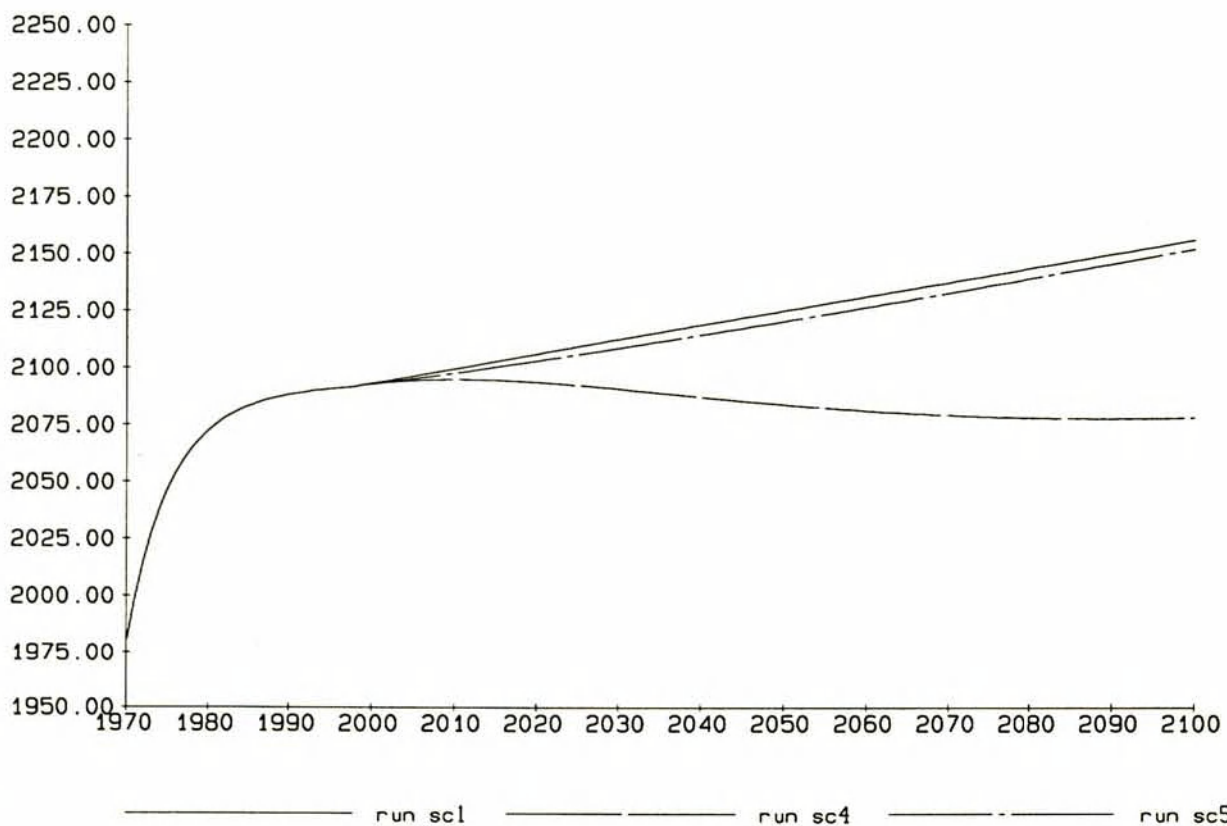
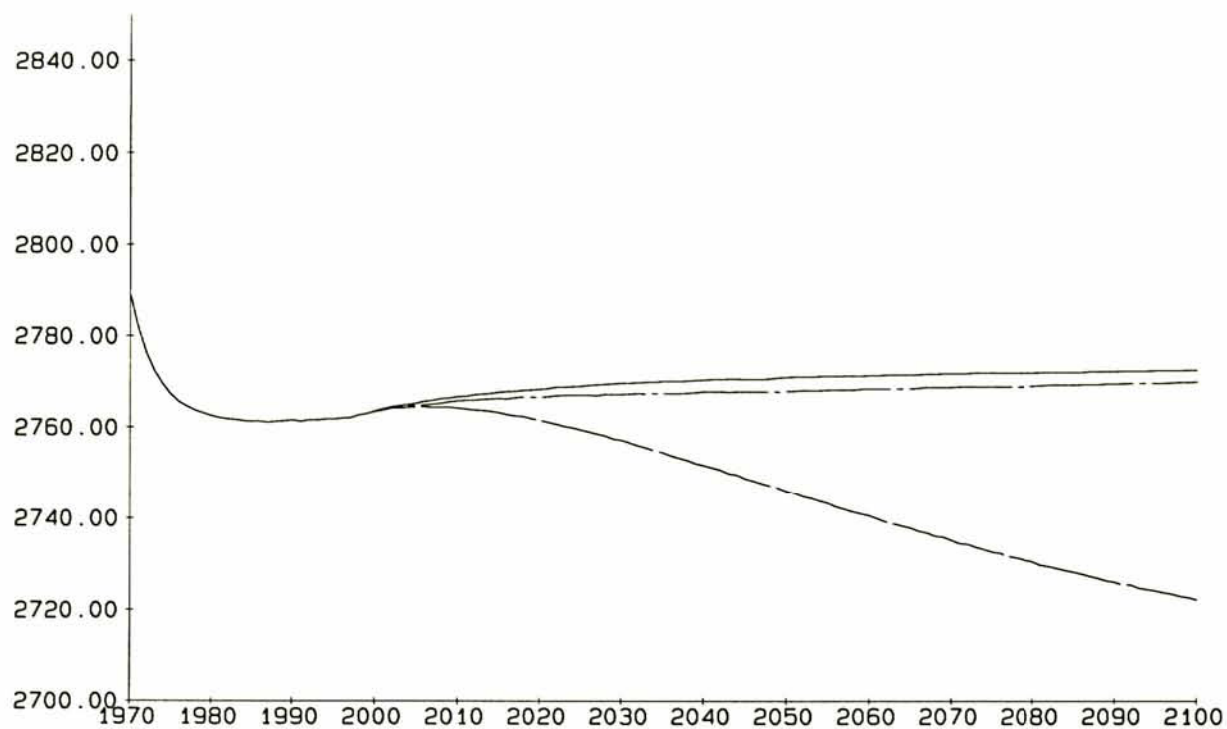
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.7



Natte volume in million kub., Delta en geulen
 boven:Delta[Raan,Rassen,] onder:Geulen[Wielingen,Scheur]
 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

DELFT HYDRAULICS

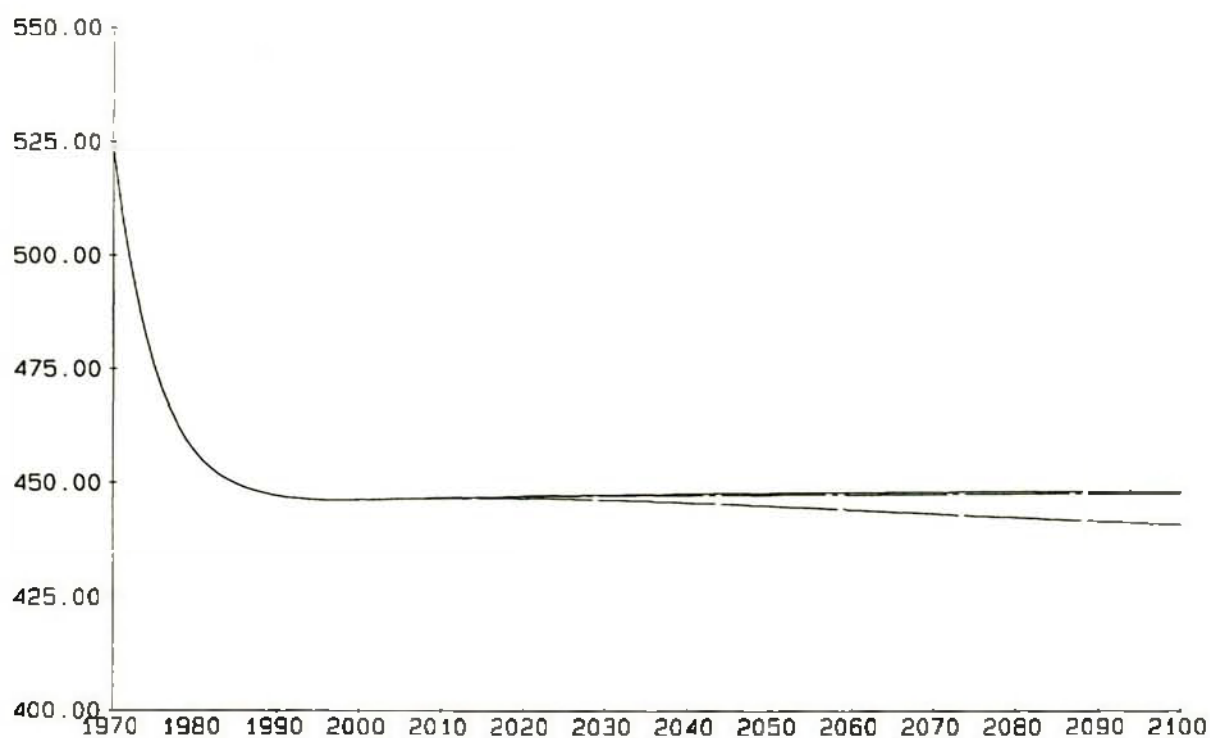
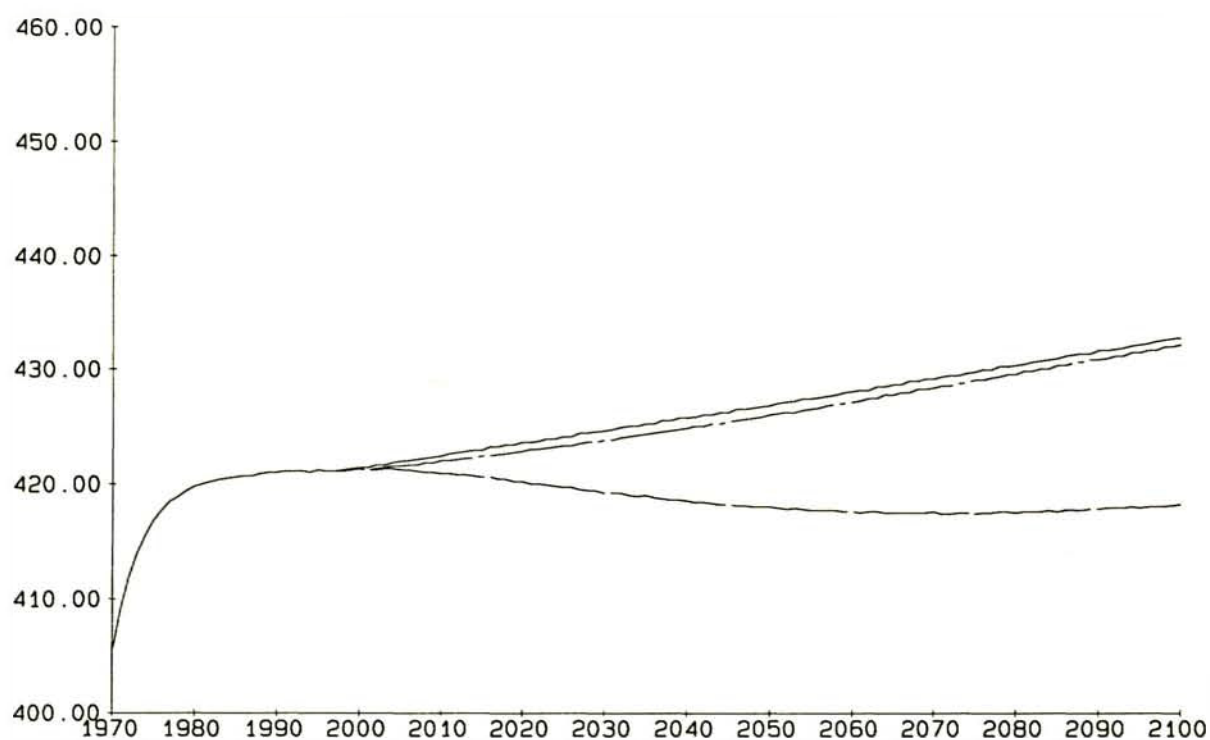
ASMITA

Maart
1997

Westerschelde

Z 2253

Fig.4.8



run sc1 run sc4 run sc5

Natte volume in million kub., Kusten

boven: Walcheren[vak7,10,13] onder: Vlaanderen[vak19,24]

Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

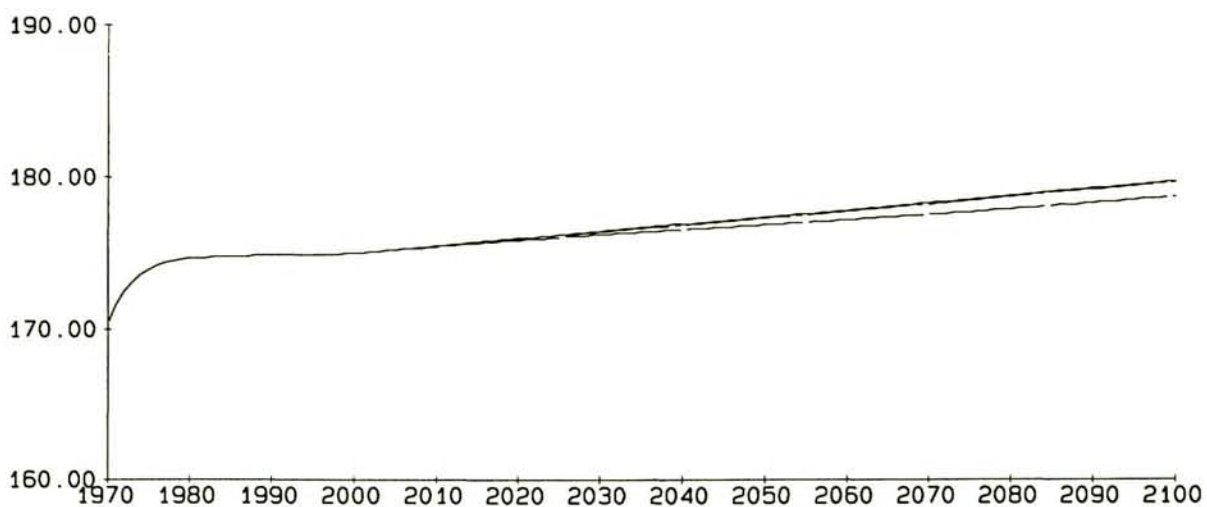
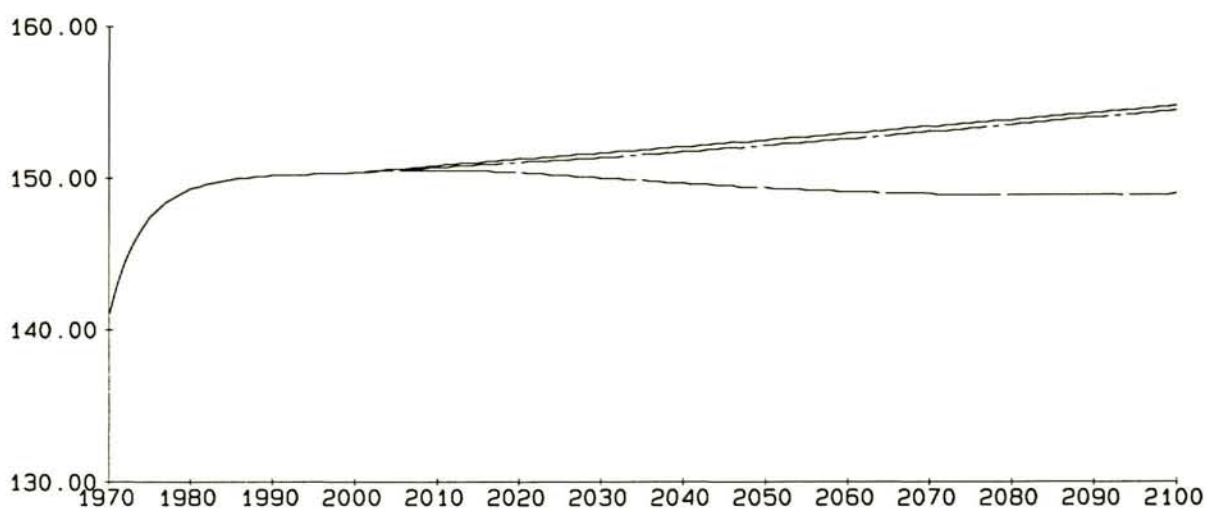
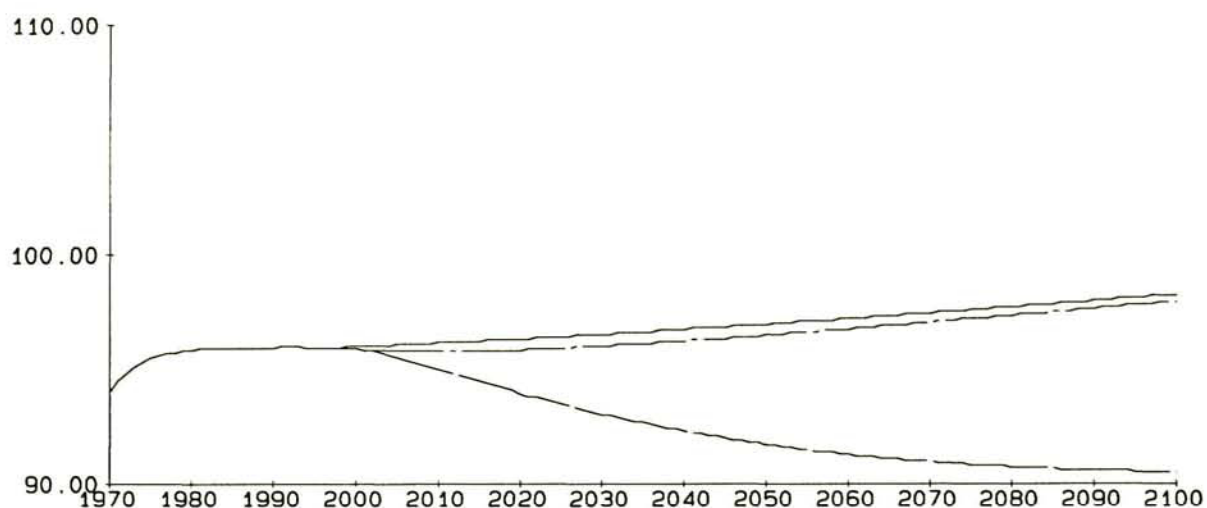
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.9



— run sc1 - - - run sc4 - . - run sc5

Natte volume in million kub., Walcheren
 boven: vak 7, midden: vak 10, onder: vak 13
 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

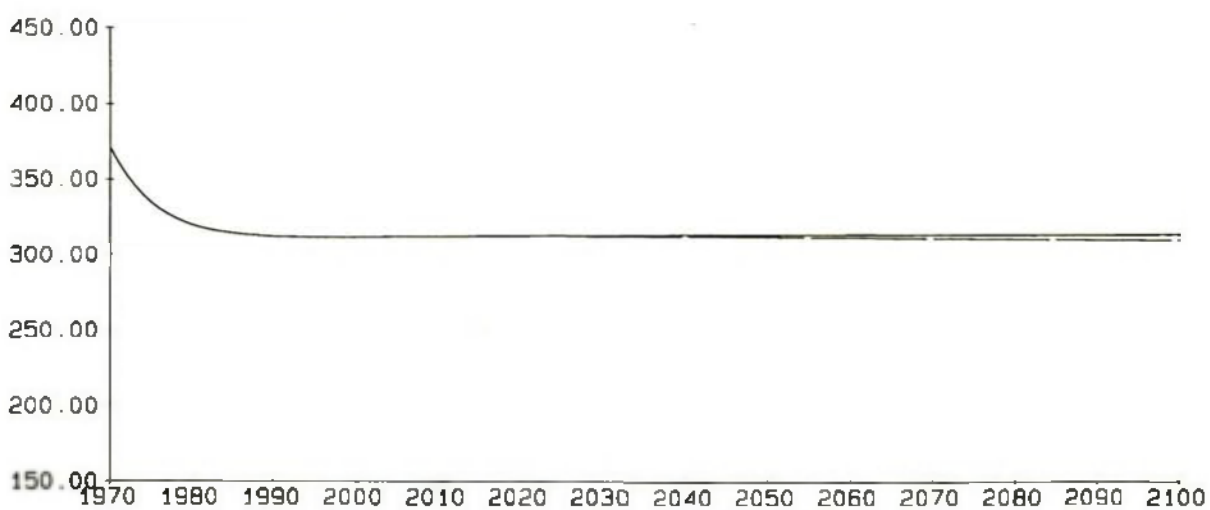
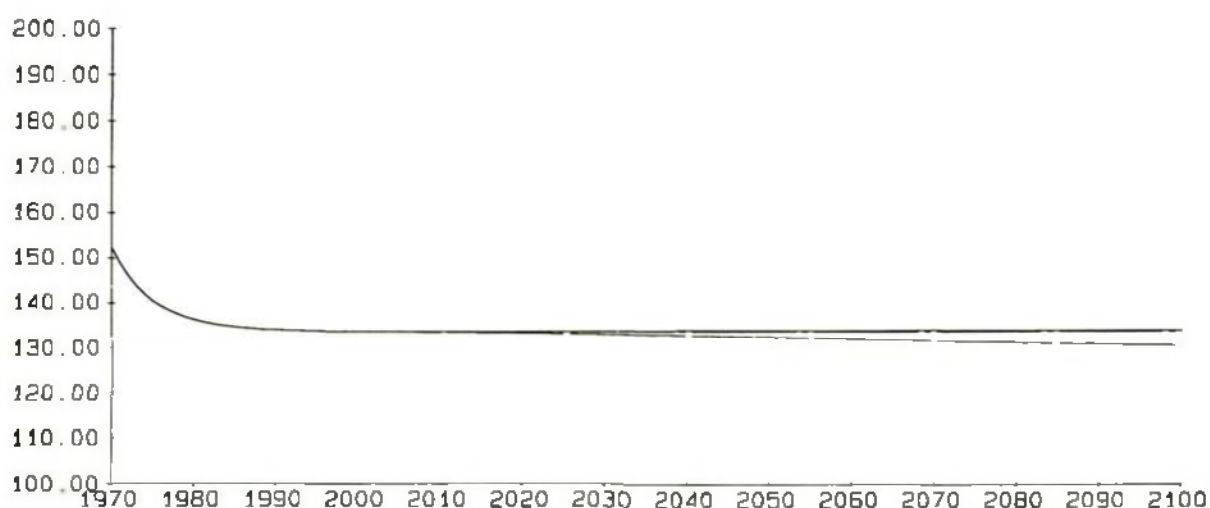
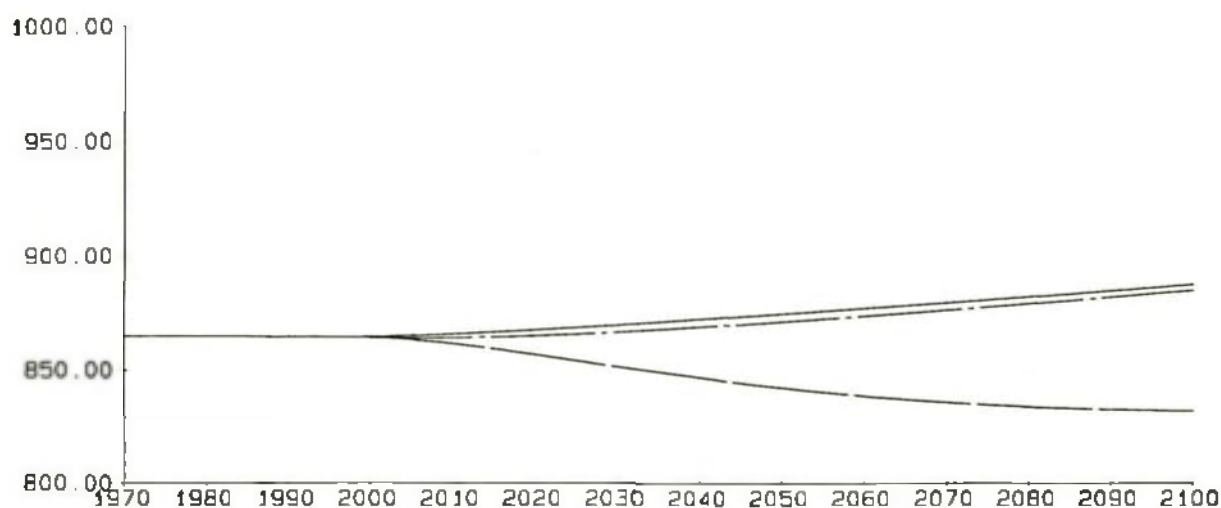
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.10



run sc1 run sc4 run sc5

Natte volume in million kub., Vlaanderen
 boven: vak 9, midden: vak 19, onder: vak 24
 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

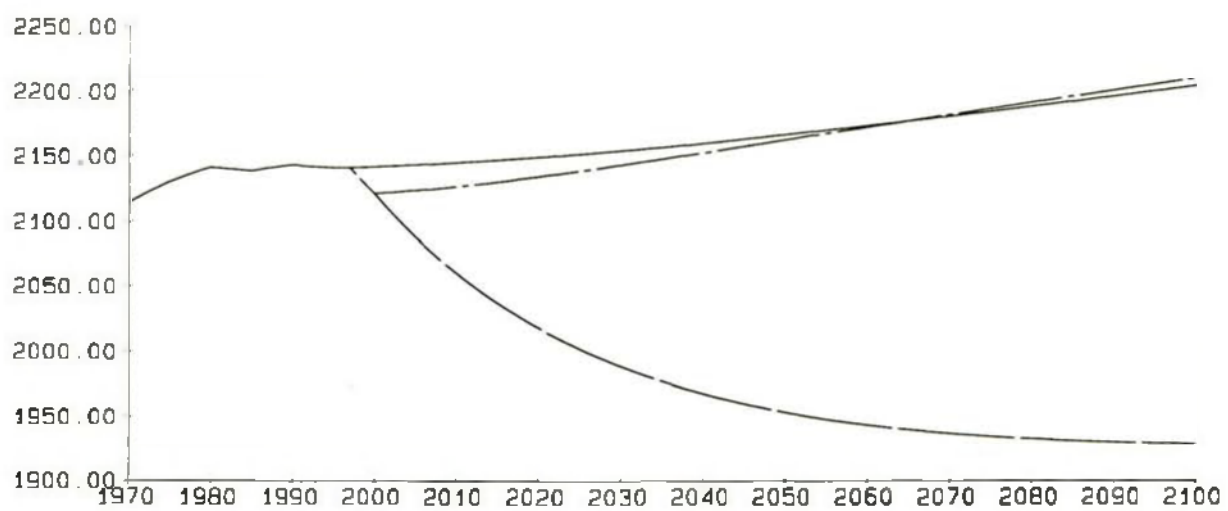
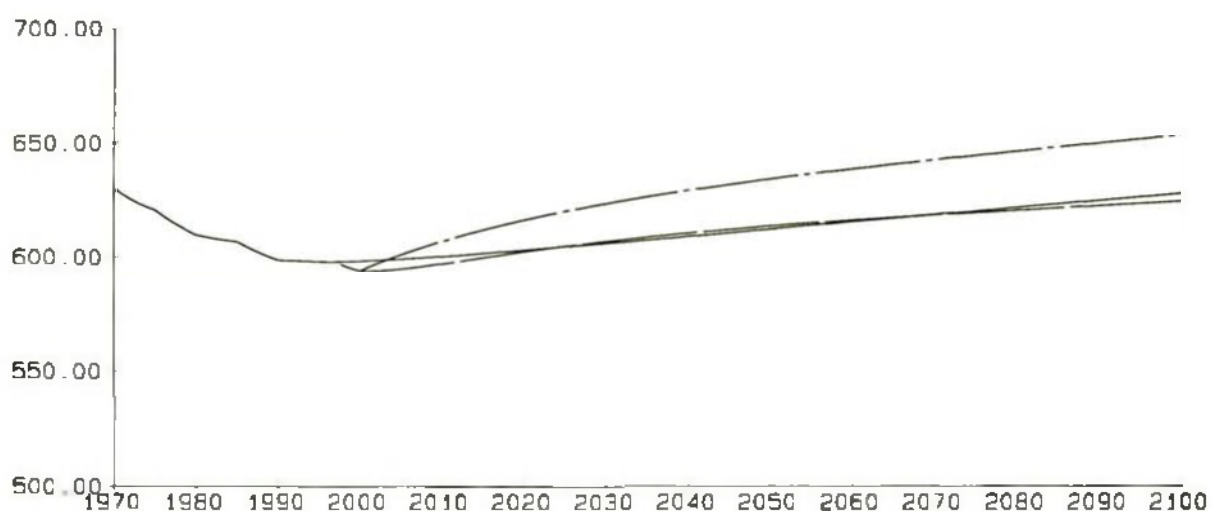
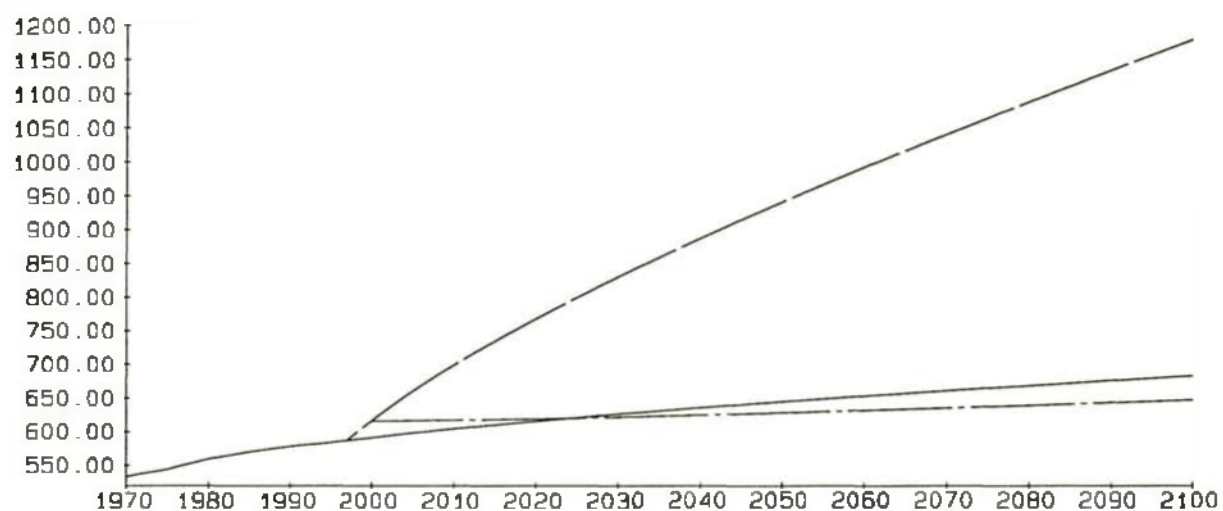
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.11



run sc1 run sc4 run sc5

Natte volume in million kub.

boven: oost, midden: midden, onder: west

Run 1,4,5: Invloed verdieping en onderhoud

ASMITA

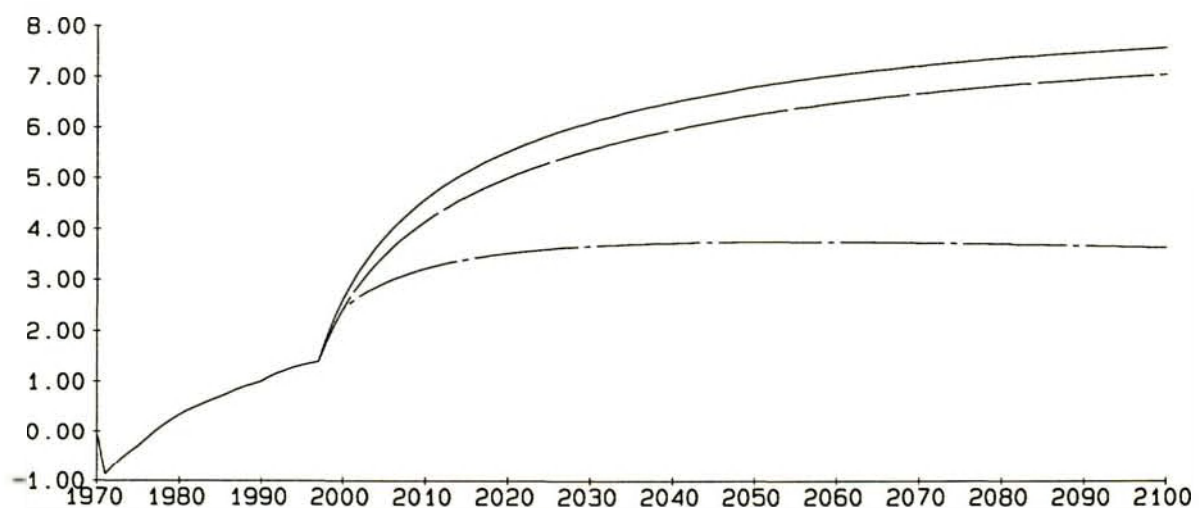
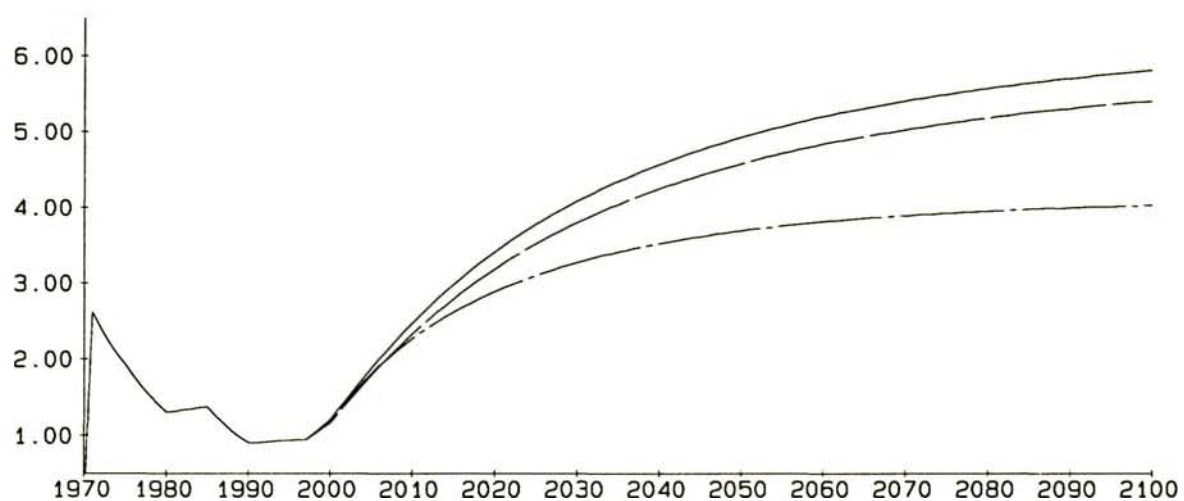
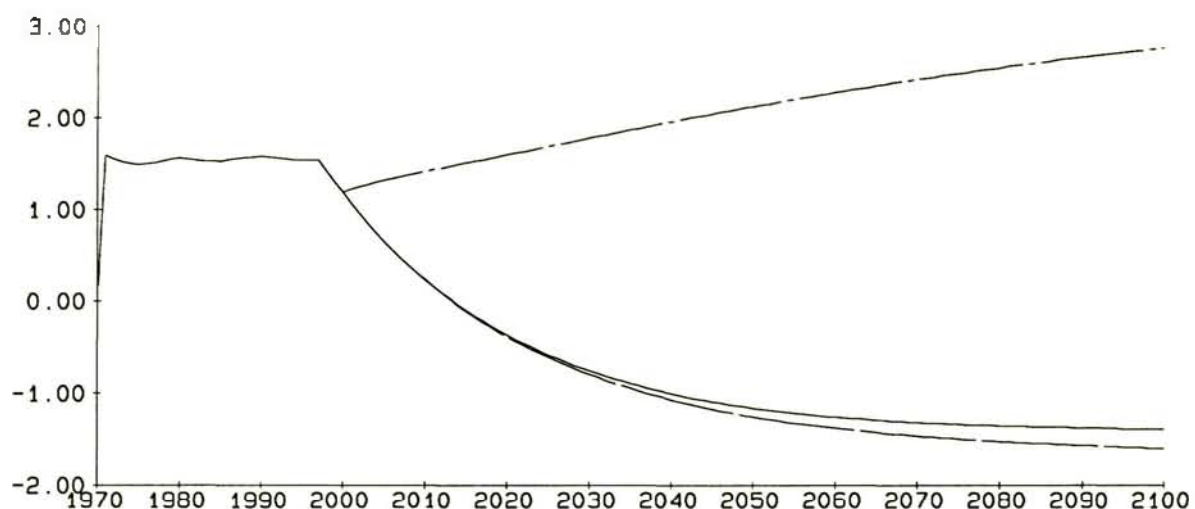
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.12



— run sc4 - - - run sc6 - . - run sc7

Sediment transport in million kub. per jaar

boven: van monding naar west, midden: van west naar midden

onder: van midden naar oost

ASMITA

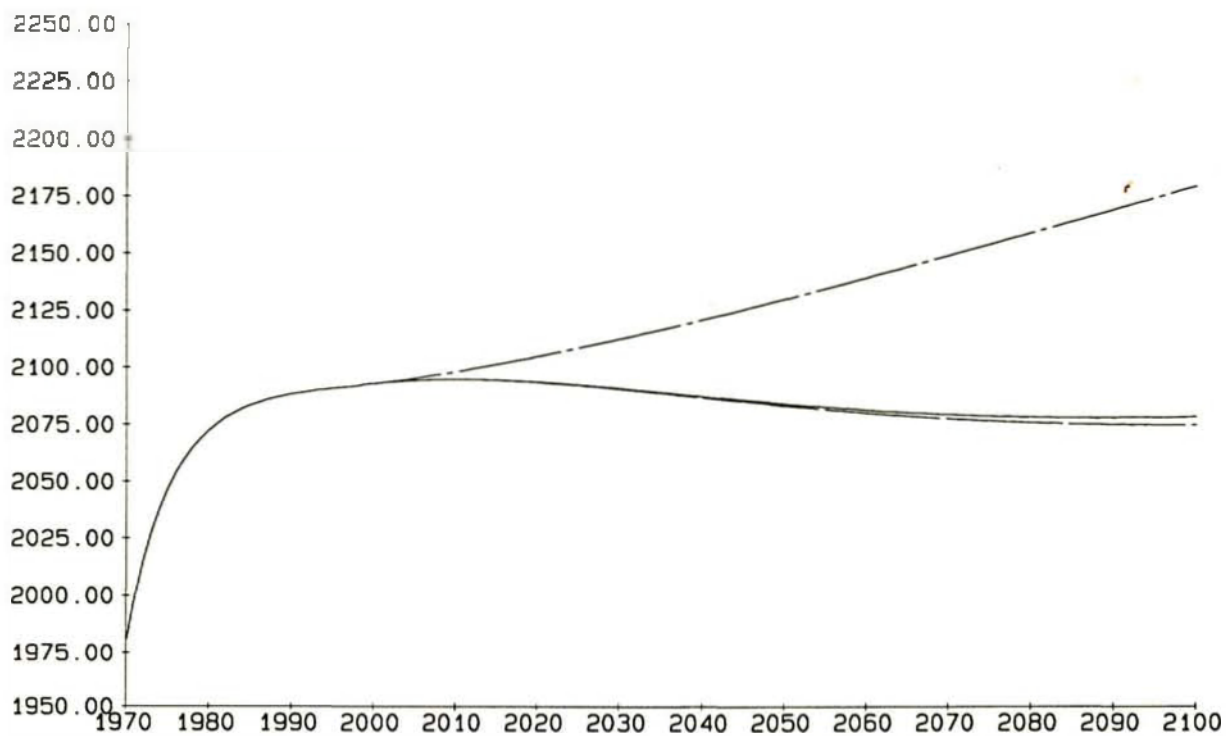
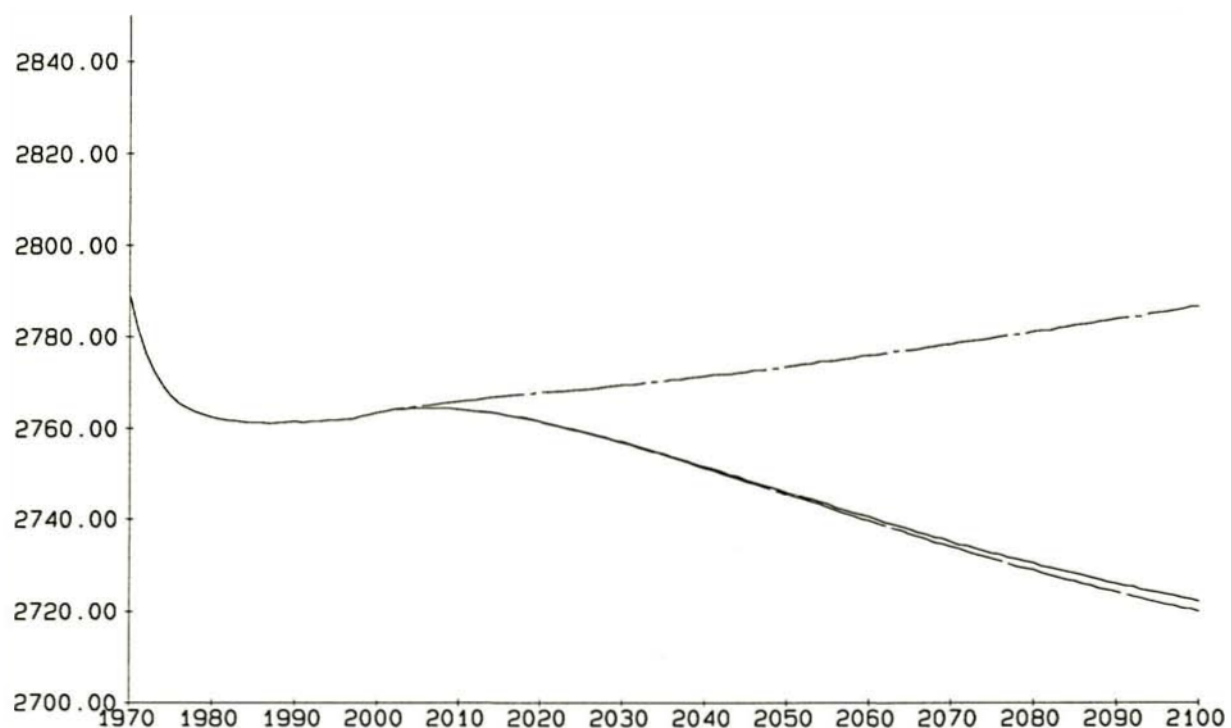
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.13



run sc4 run sc6 run sc7

Natte volume in million kub., Delta en geulen
 boven:Delta[Raan,Rassen,] onder:Geulen[Wielingen,Schaar]
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

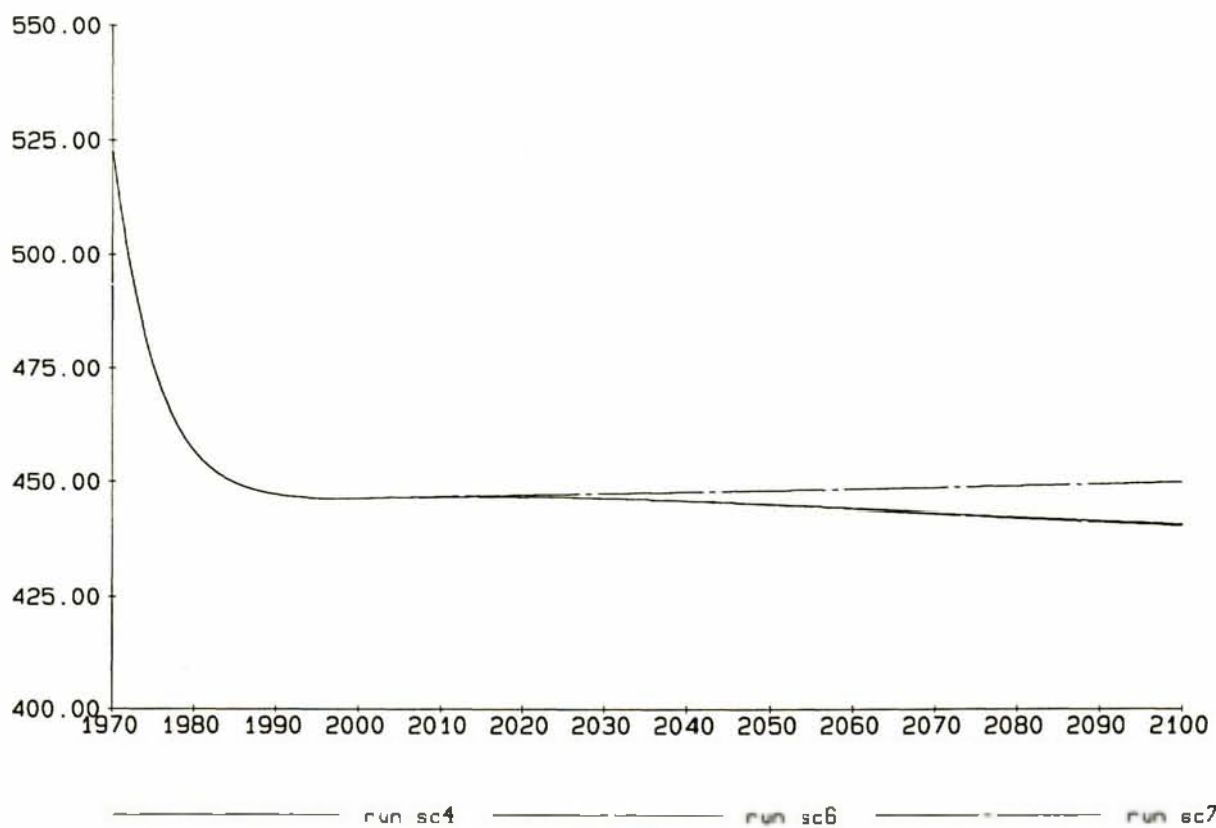
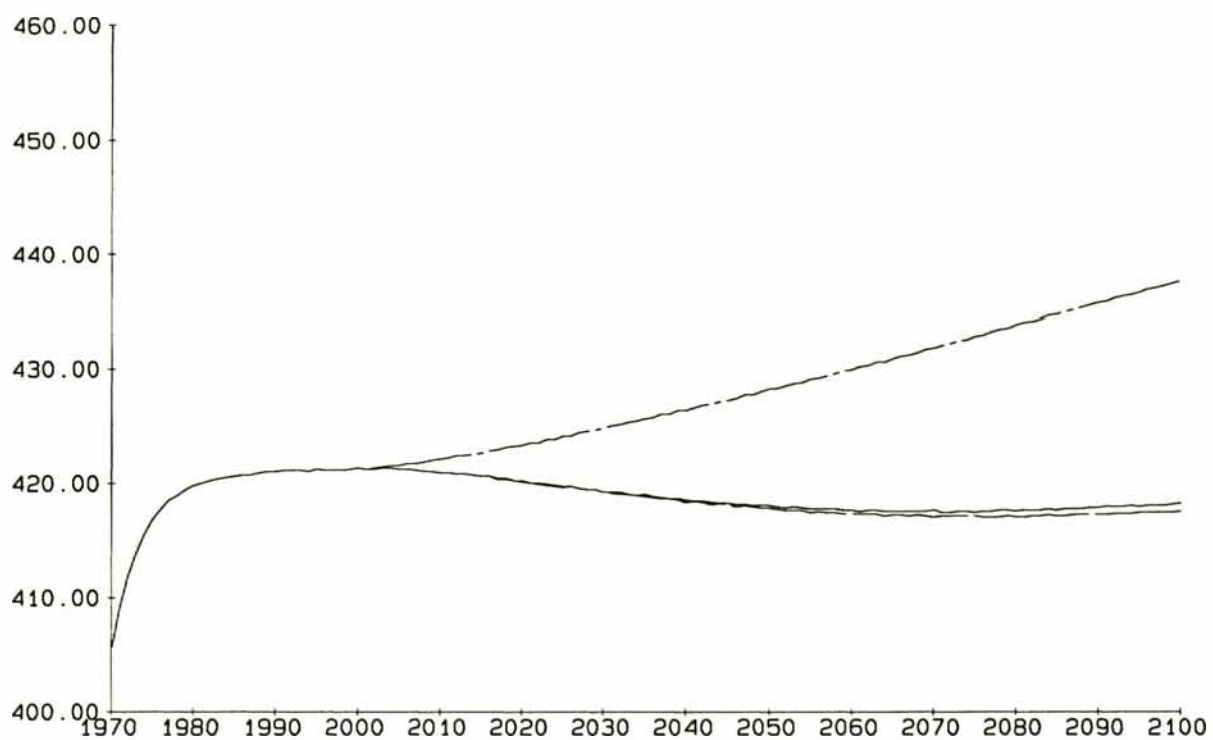
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.14



Natte volume in million kub., Kusten

boven: Walcheren[vak7,10,13] onder: Vlaanderen[vak19,24]

Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

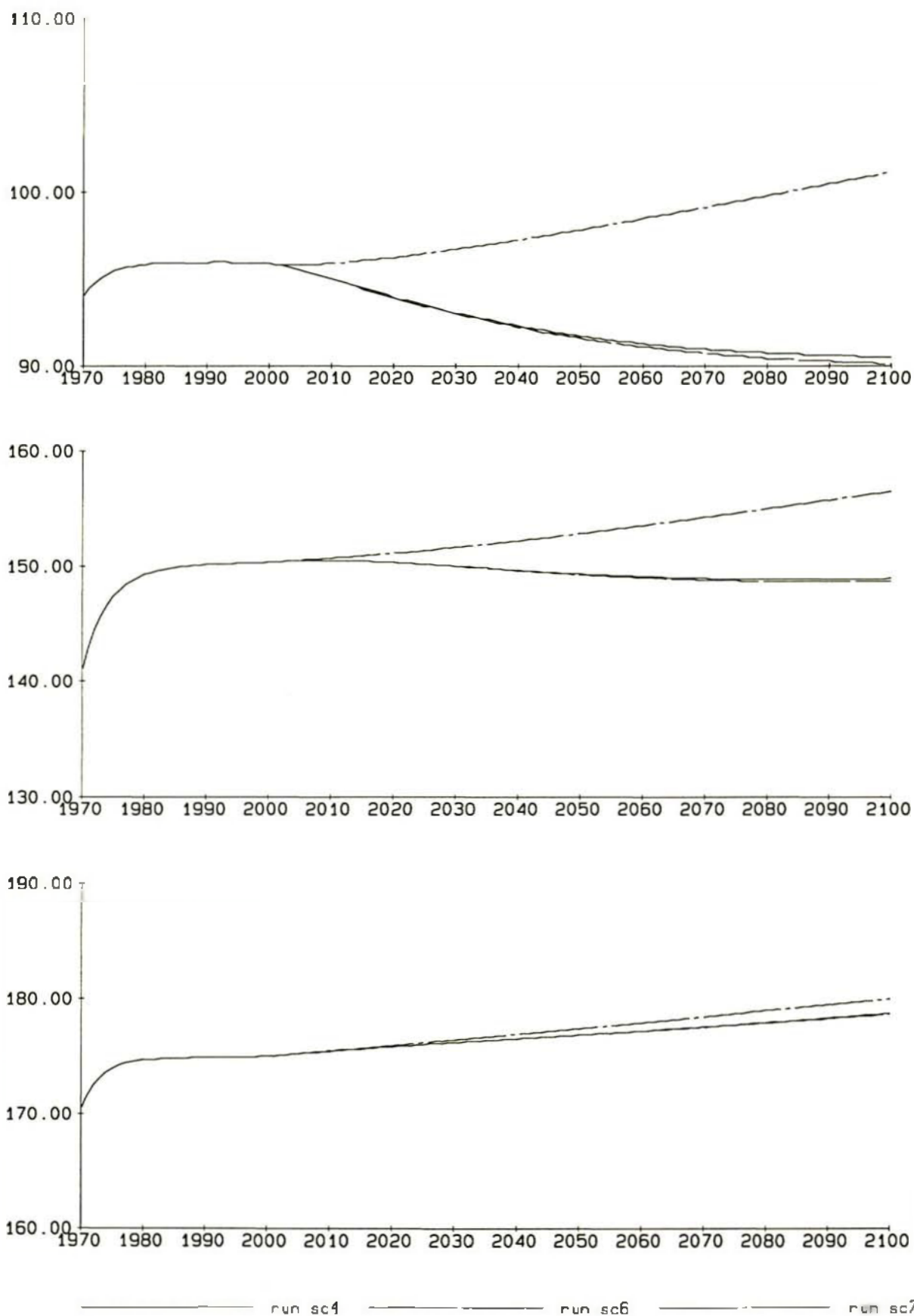
Maar-L
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.15



Natte volume in million kub., Walcheren
 boven: vak 7, midden: vak 10, onder: vak 13
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

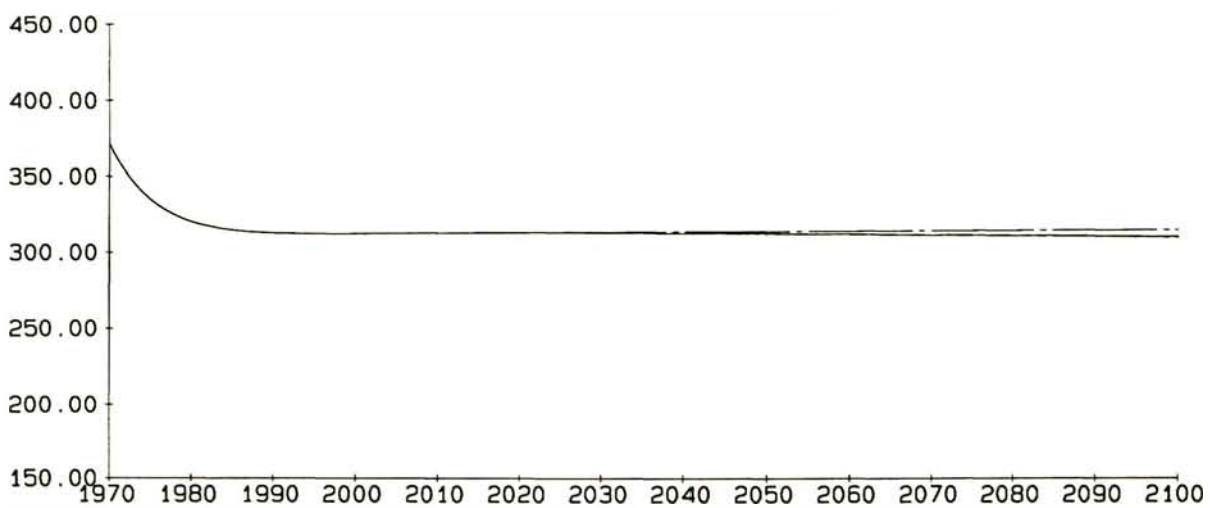
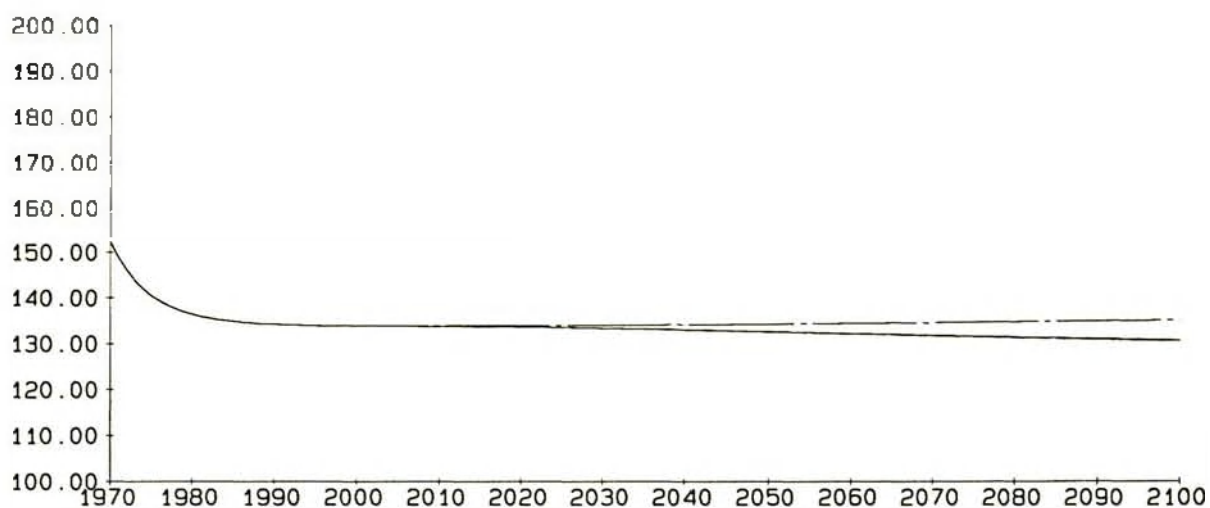
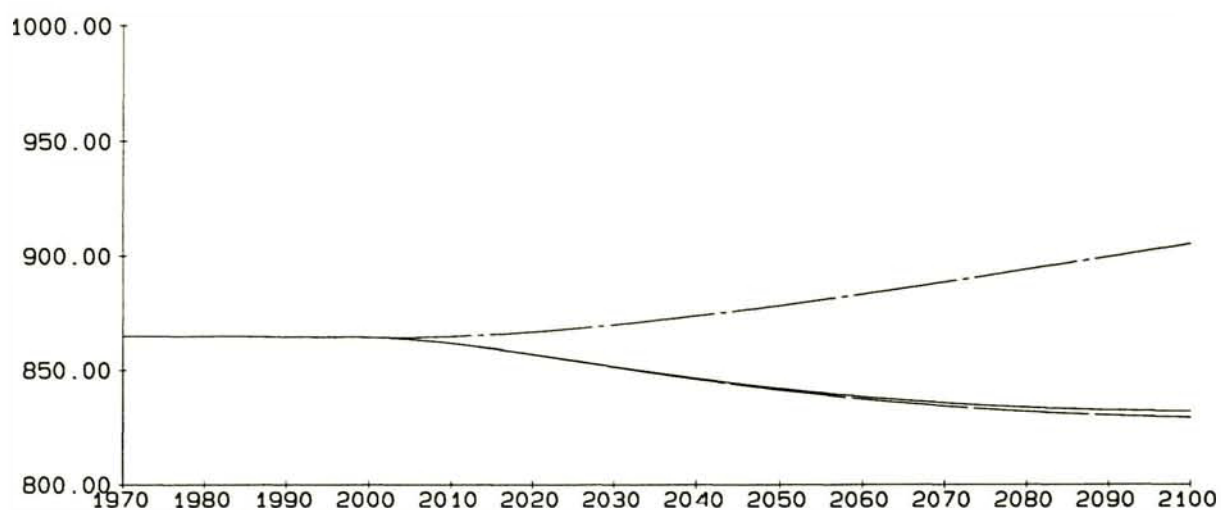
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.16



run sc4 run sc6 run sc7

Natte volume in million kub., Vlaanderen
 boven: vak 9, midden: vak 19, onder: vak 24
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

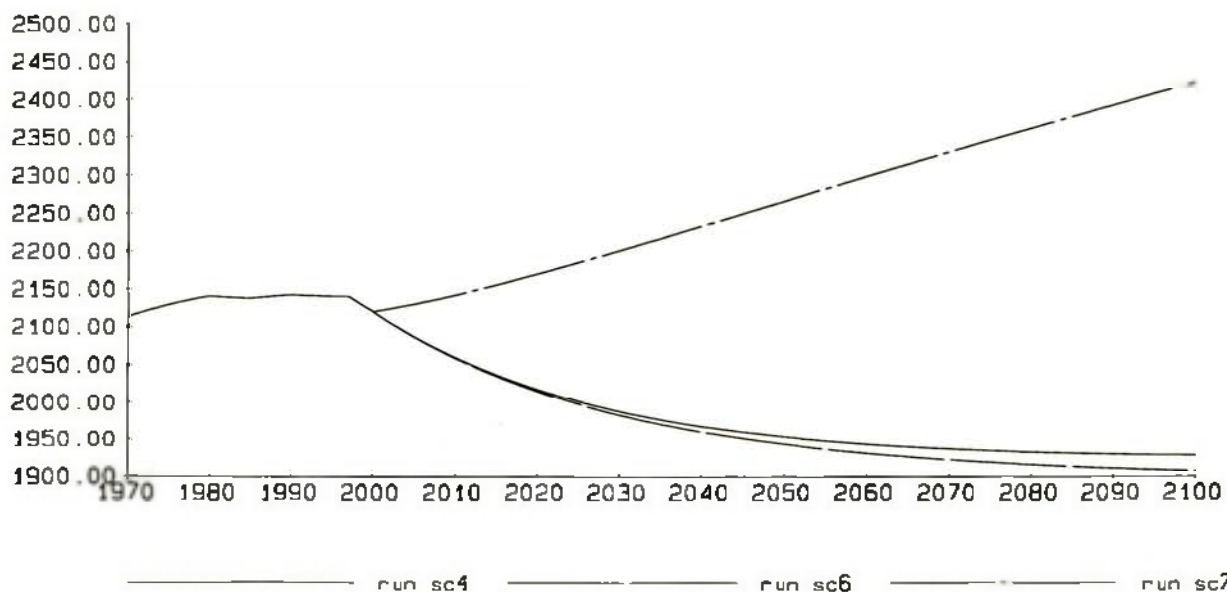
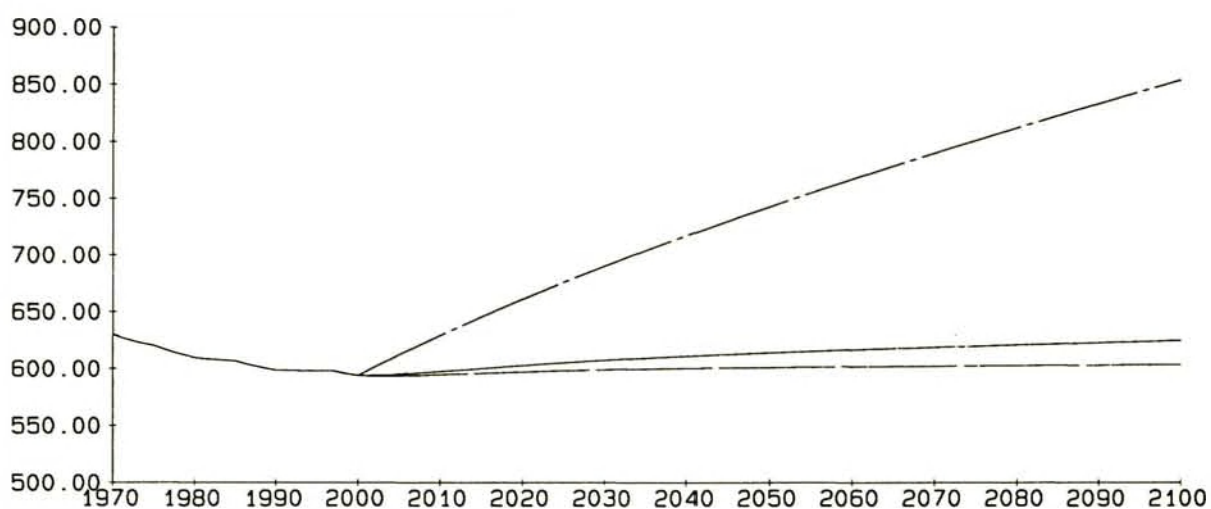
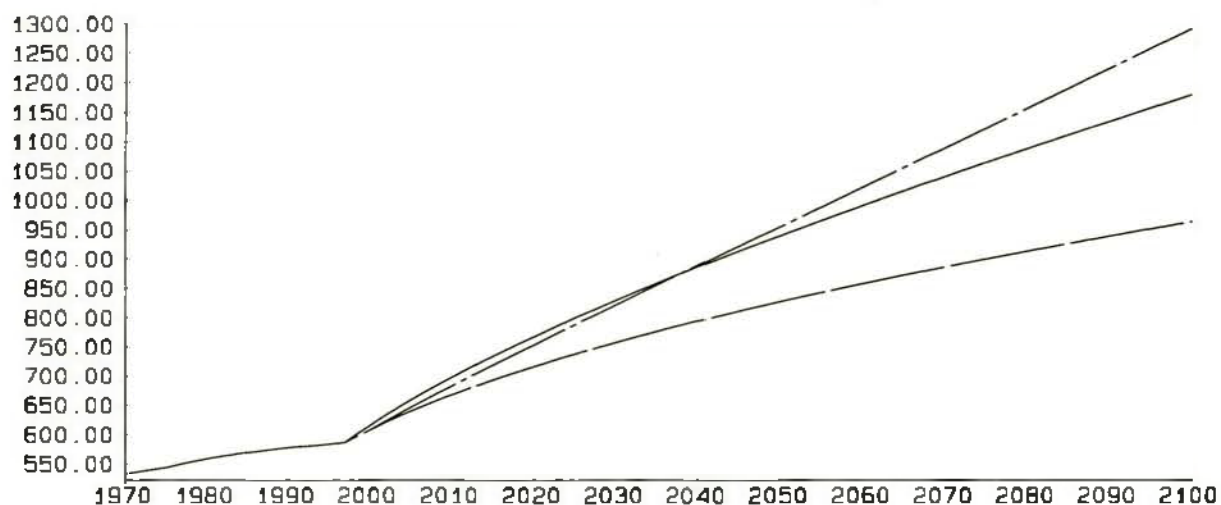
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.17



Natte volume in million kub.

boven: oost, midden: midden, onder: west

Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

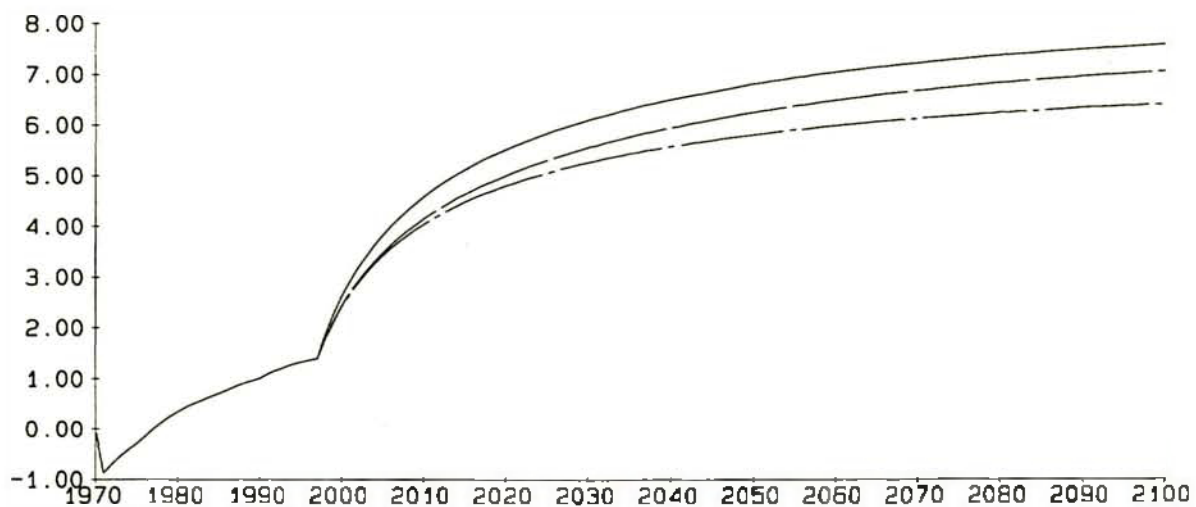
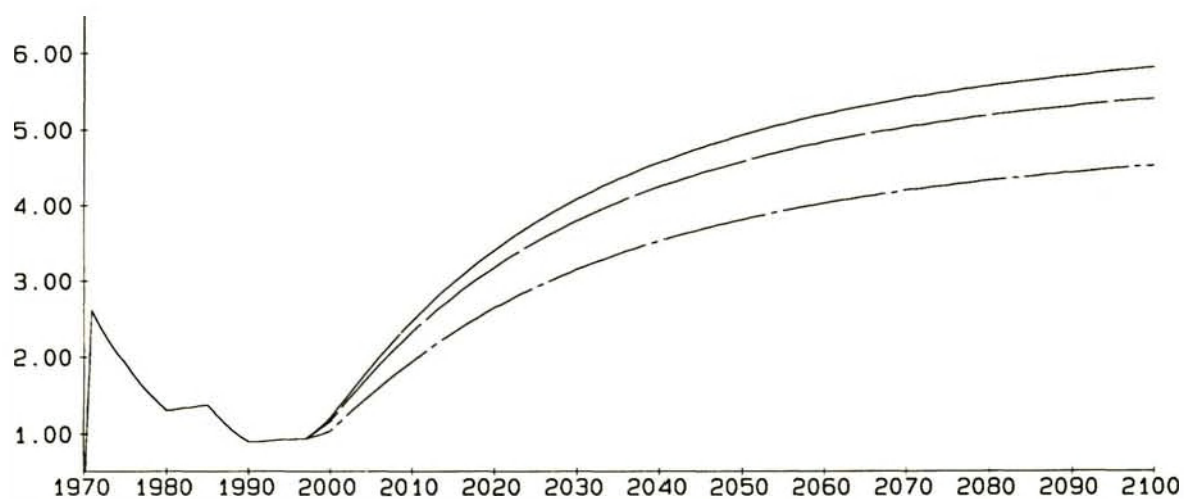
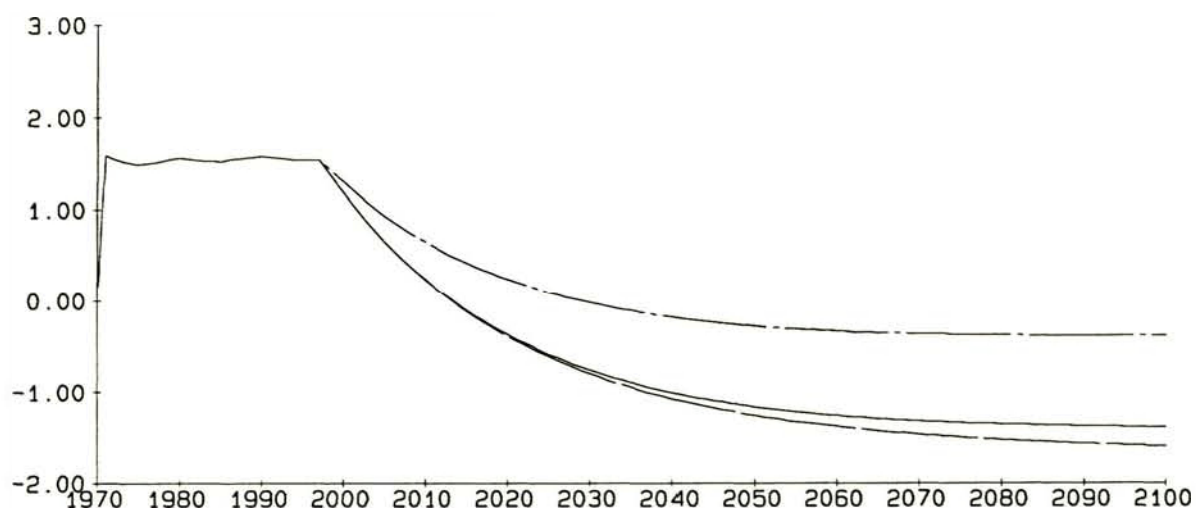
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.18



— run sc4 — run sc6 — run sc8

Sediment transport in million kub. per jaar
 boven: van monding naar west, midden: van west naar midden
 onder: van midden naar oost

ASMITA

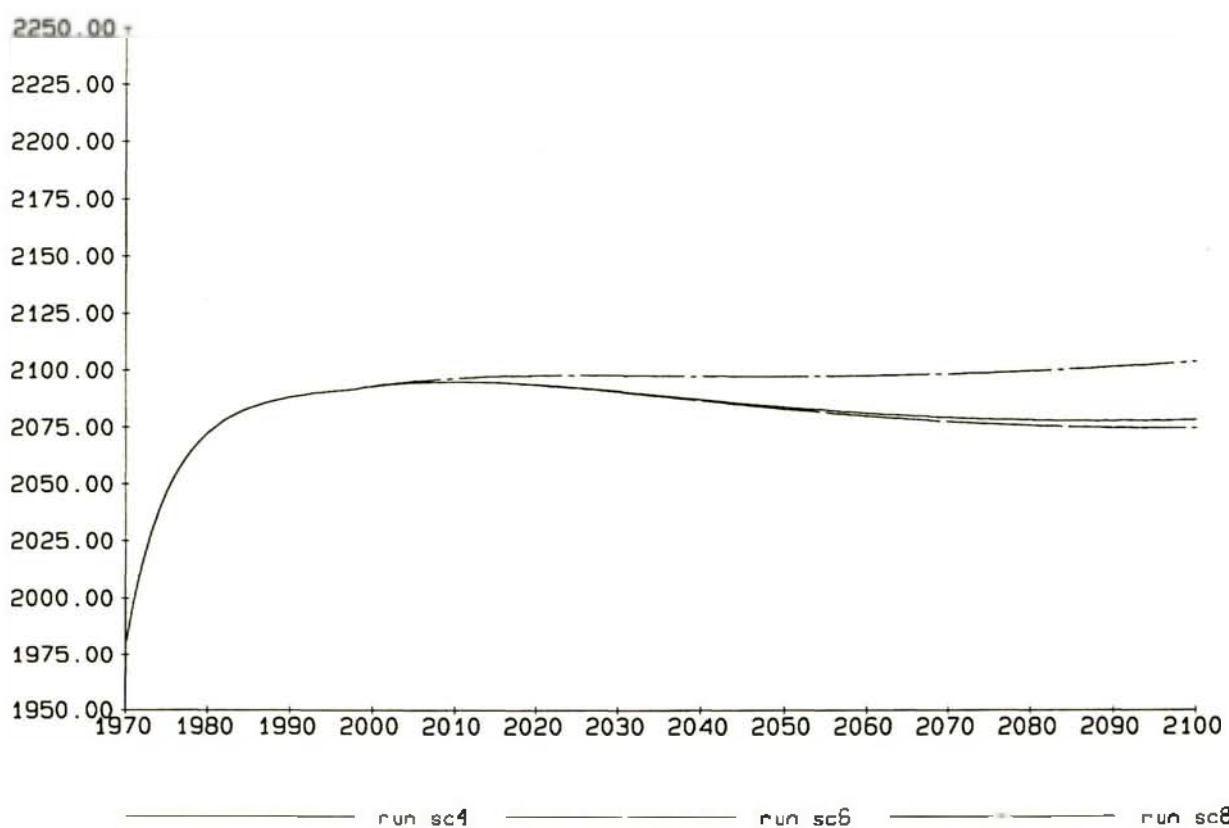
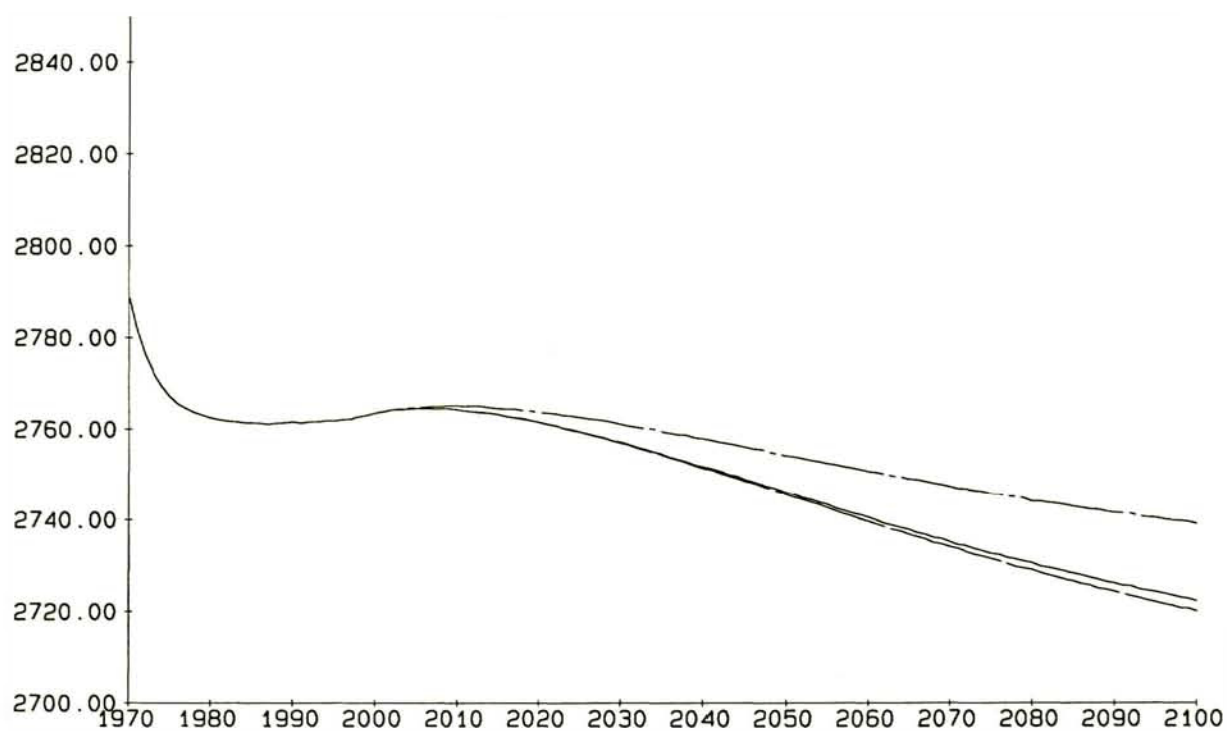
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.19



Natte volume in million kub., Delta en geulen
 boven:Delta[Raan,Rassen,] onder:Geulen[Wielingen,Scheur]
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

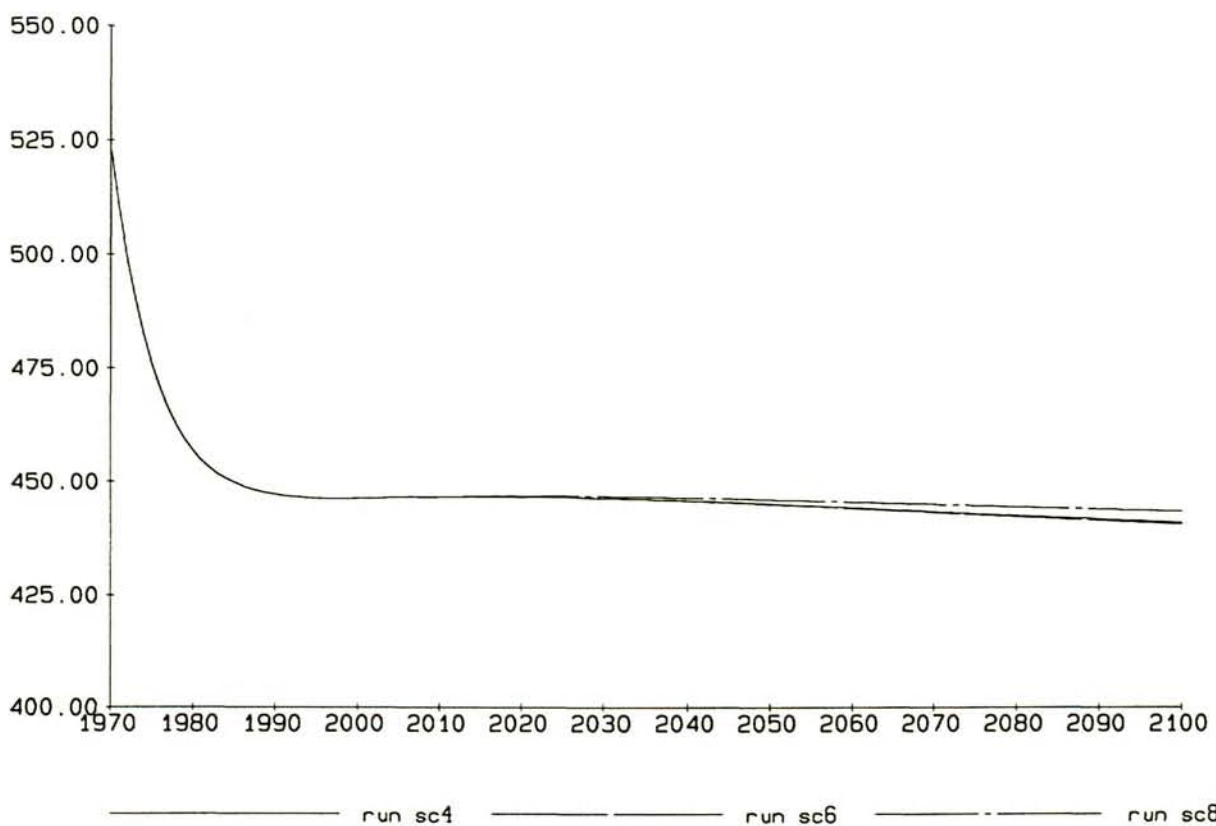
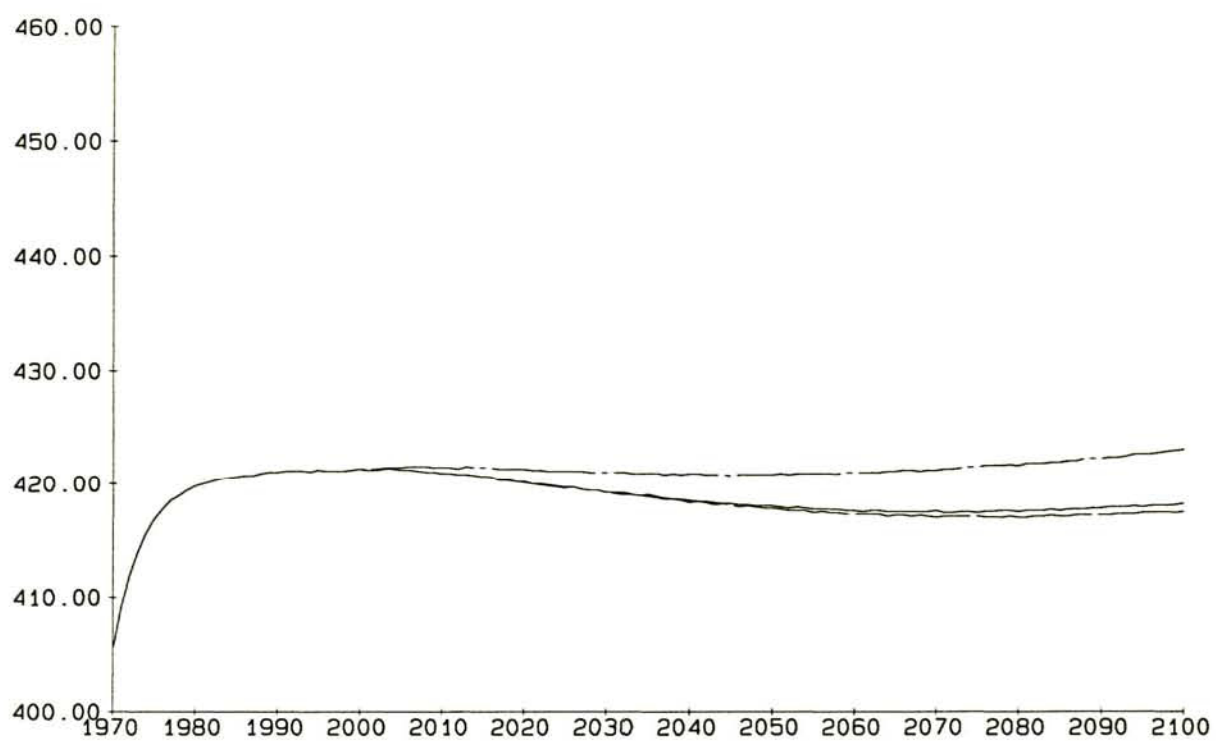
Maart
1997

Westerschelde

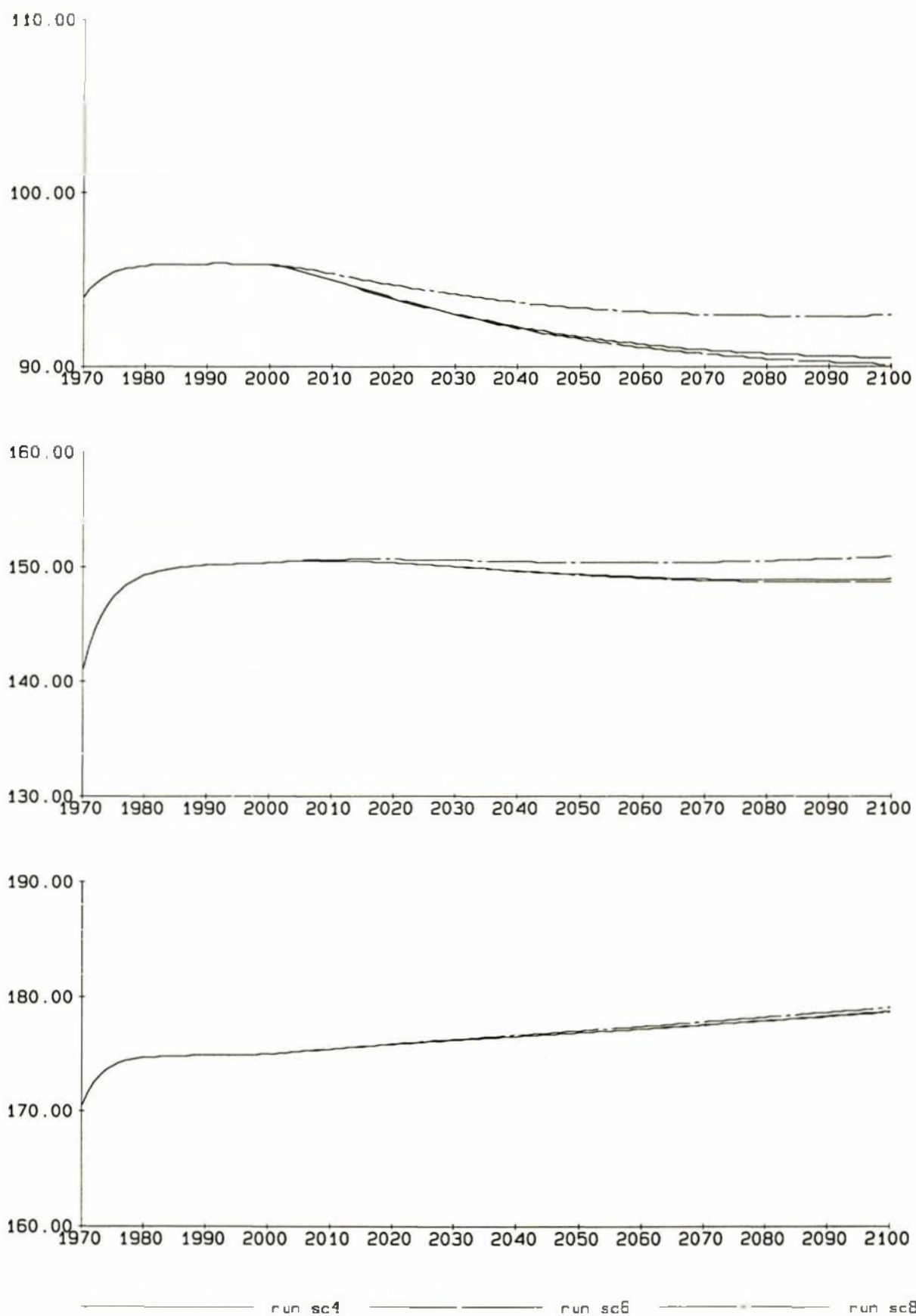
DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.20



Natte volume in million kub., Kusten boven: Walcheren[vak7,10,13] onder: Vlaanderen[vak19,24] Run 4,6,7: Invloed zandwinning	ASMITA	Maart 1997
	Westerschelde	
DELFT HYDRAULICS	Z 2253	Fig.4.21



Natte volume in million kub., Walcheren
 boven: vak 7, midden: vak 10, onder: vak 13
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

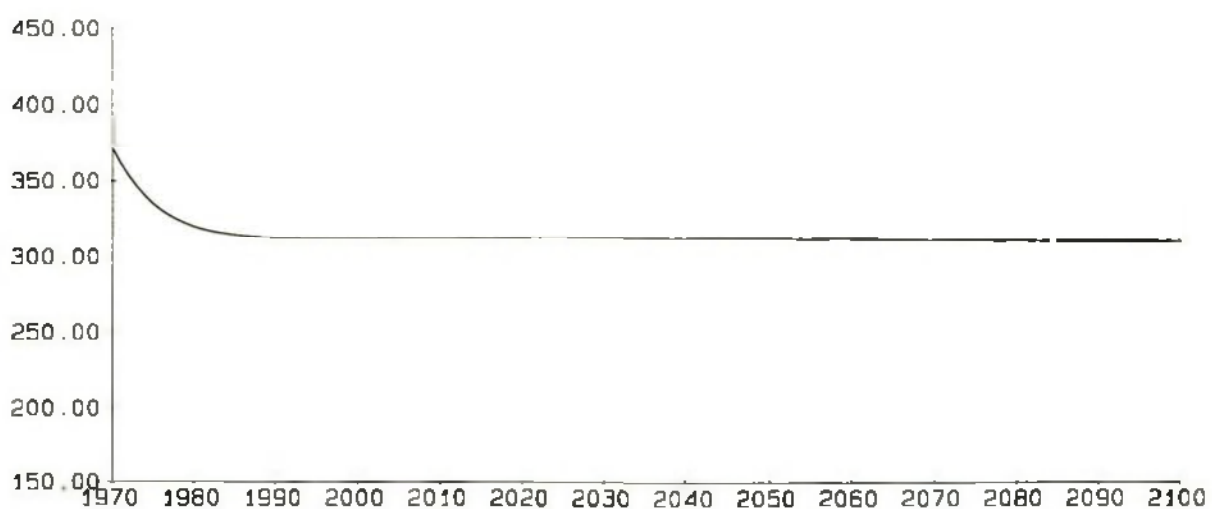
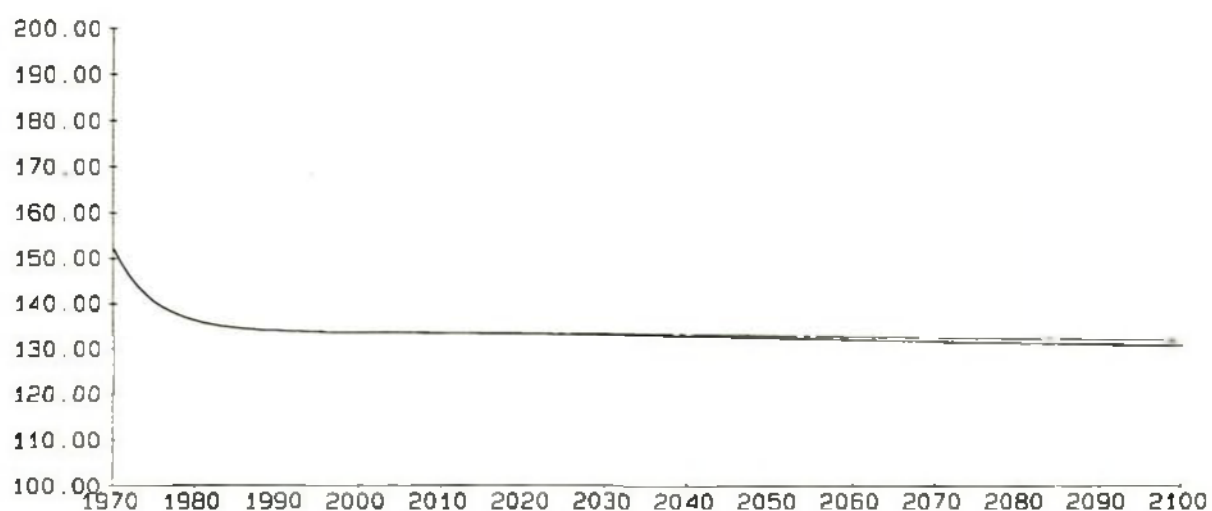
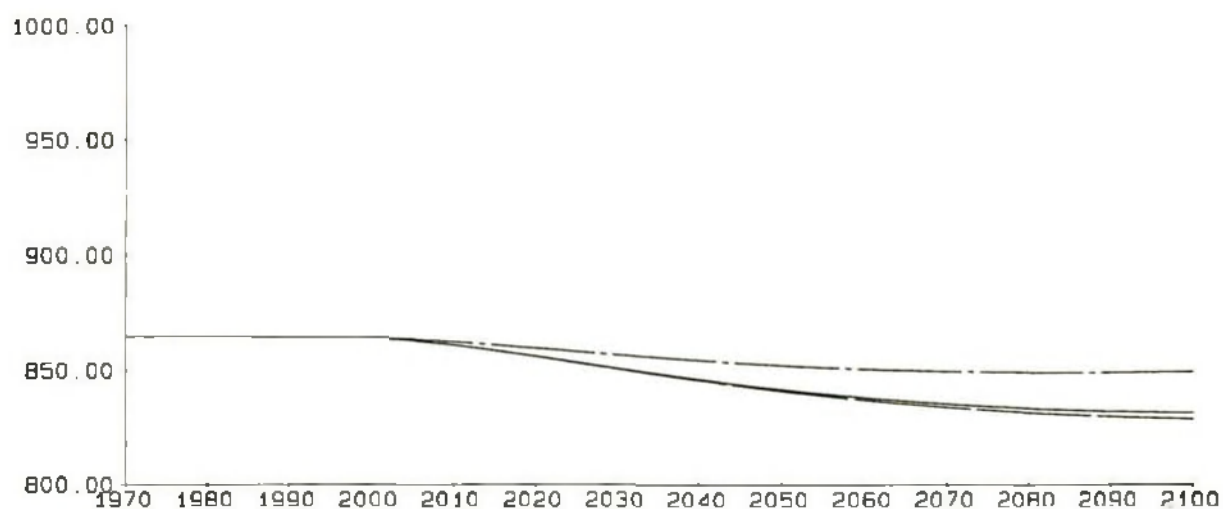
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.22



run sc4 run sc6 run sc8

Natte volume in million kub., Vlaanderen
 boven: vak 9, midden: vak 19, onder: vak 24
 Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

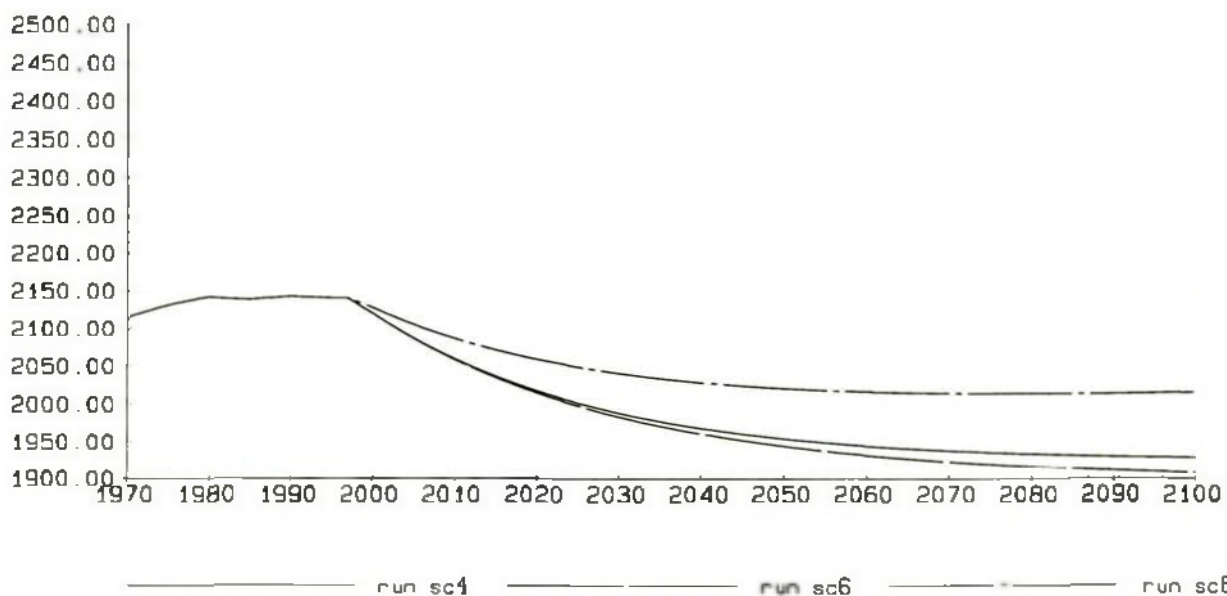
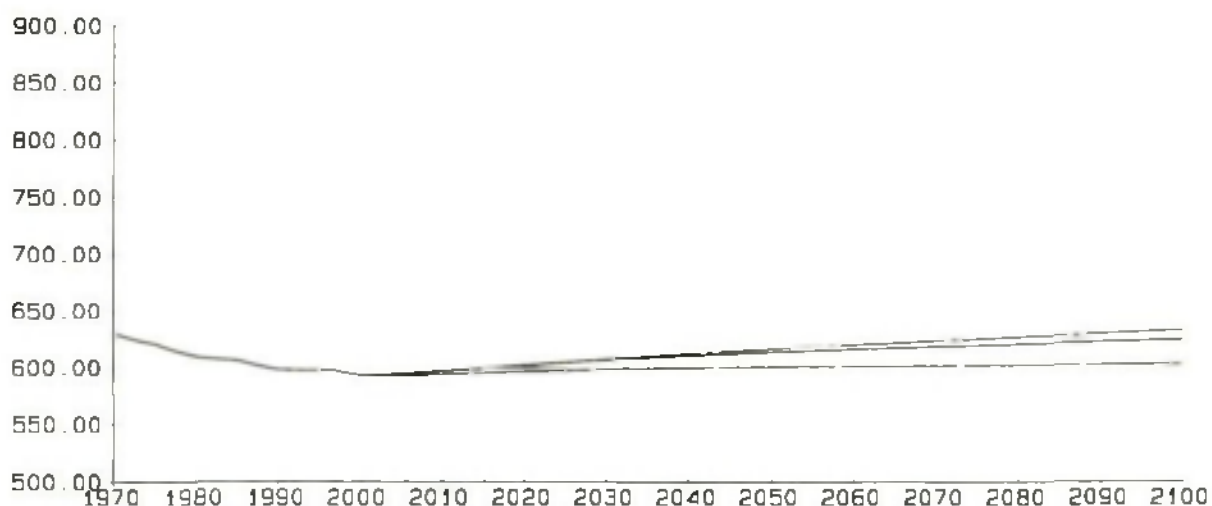
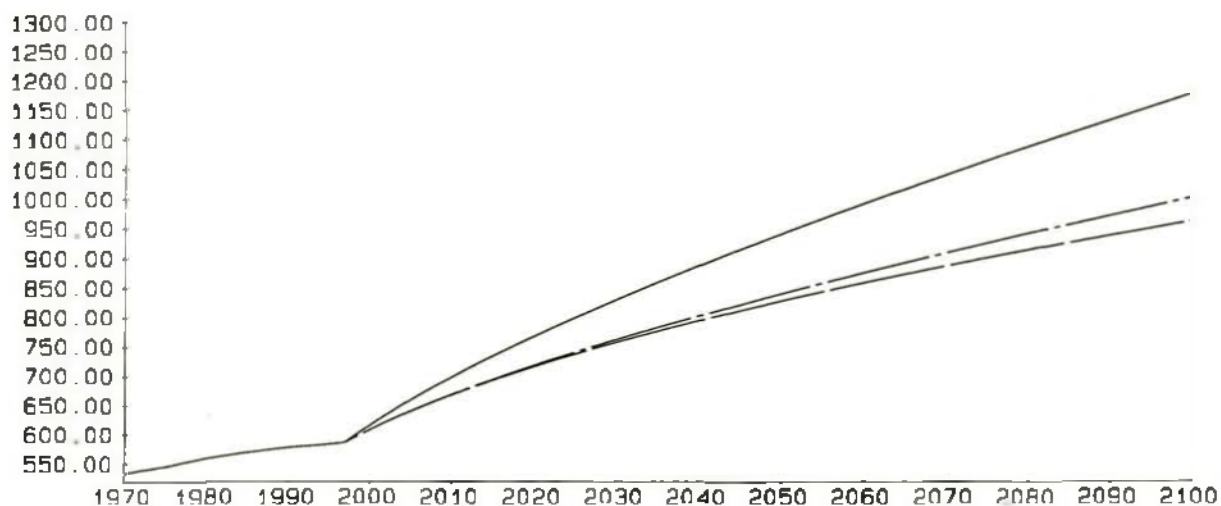
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.23



Natte volume in million kub.

boven: oost, midden: midden, onder: west

Run 4,6,7: Invloed zandwinning

ASMITA

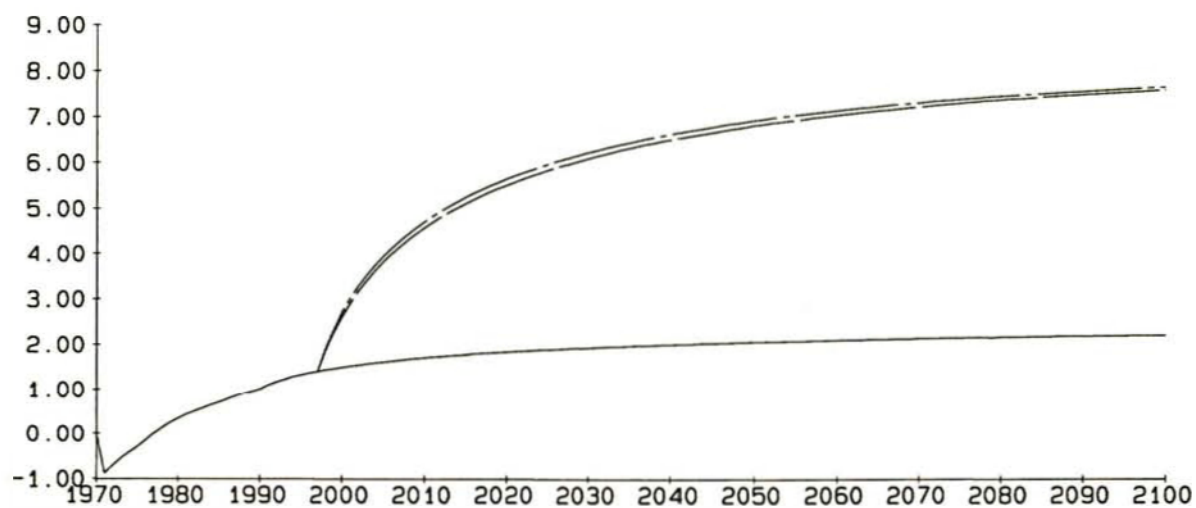
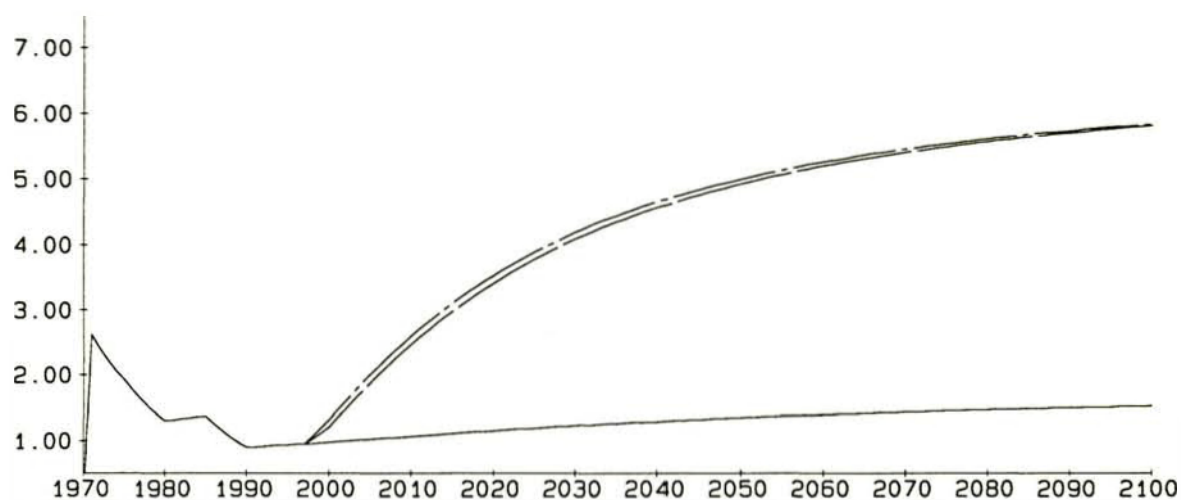
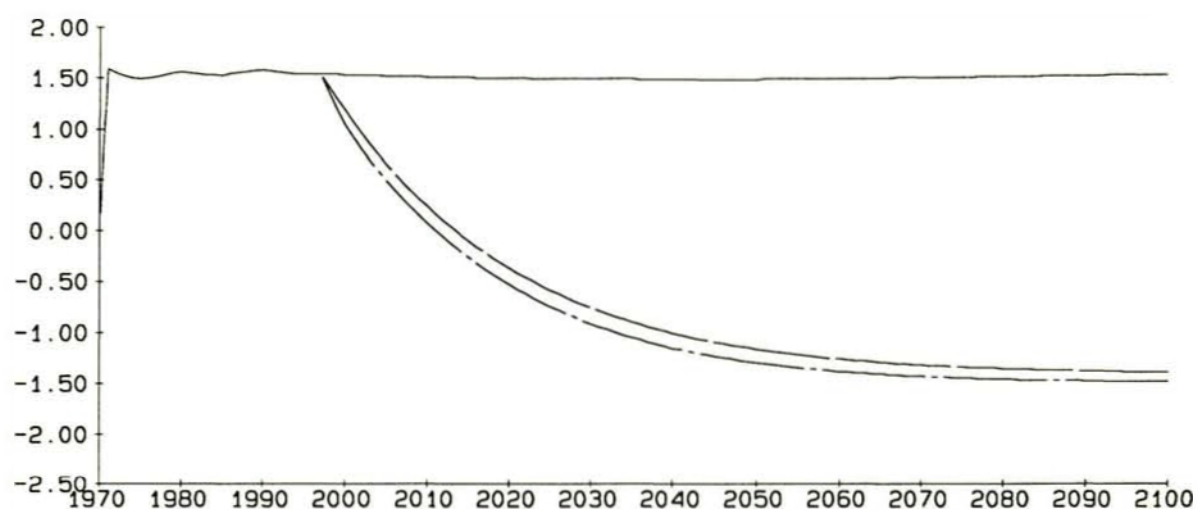
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.24



run sc1 run sc4 run sc9

Sediment transport in million kub. per jaar

boven: van monding naar west, midden: van west naar midden
 onder: van midden naar oost

ASMITA

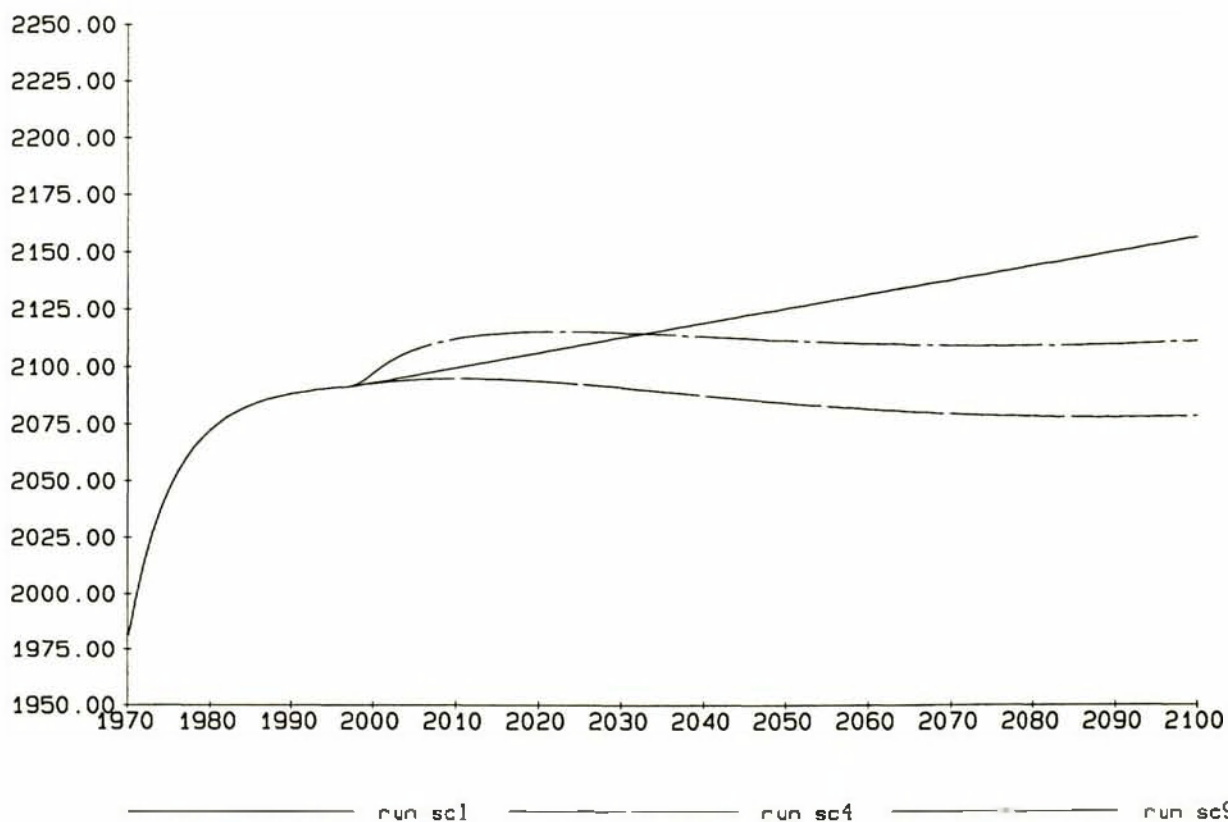
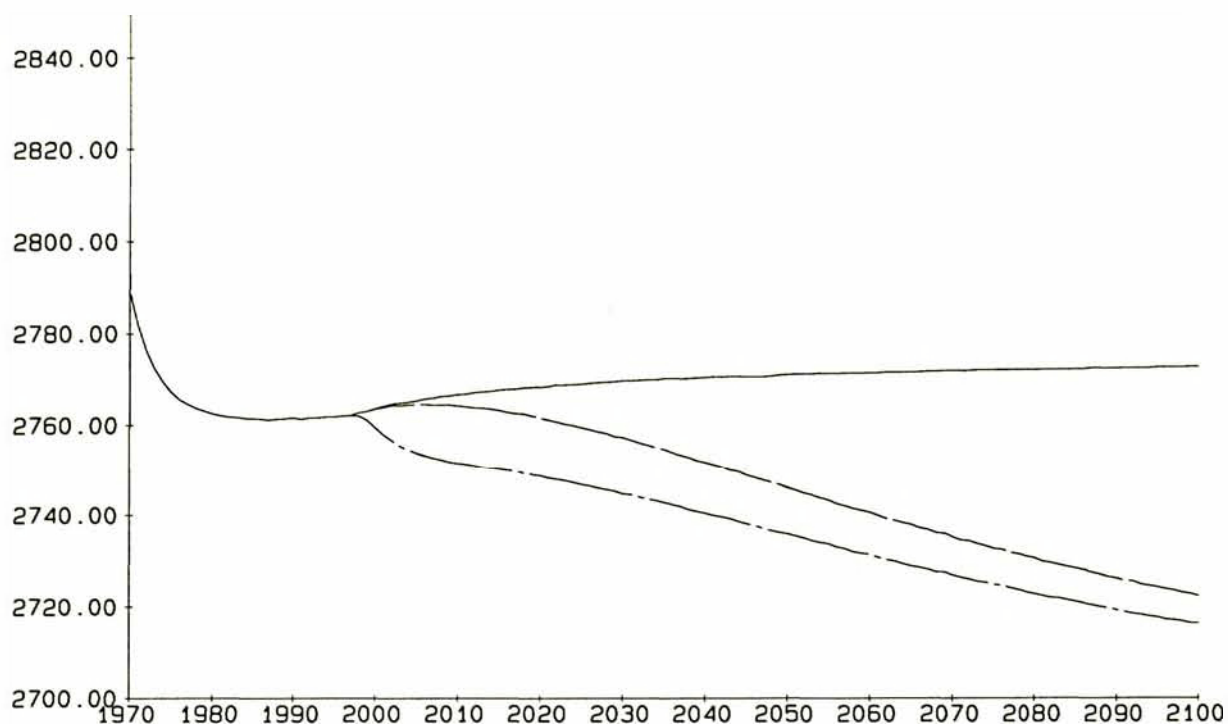
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.25



Natte volume in million kub., Delta en geulen
 boven:Delta[Raan,Rassen,] onder:Geulen[Wielingen,Scheur]
 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

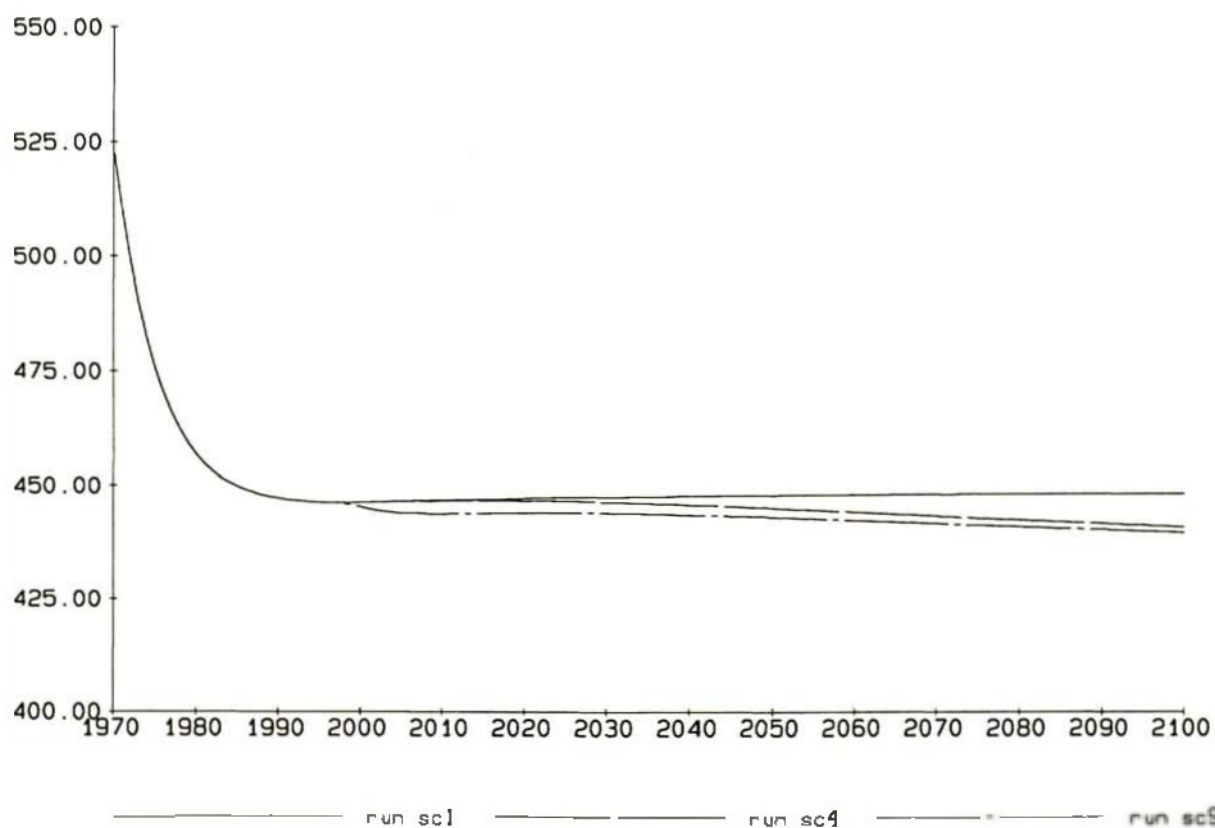
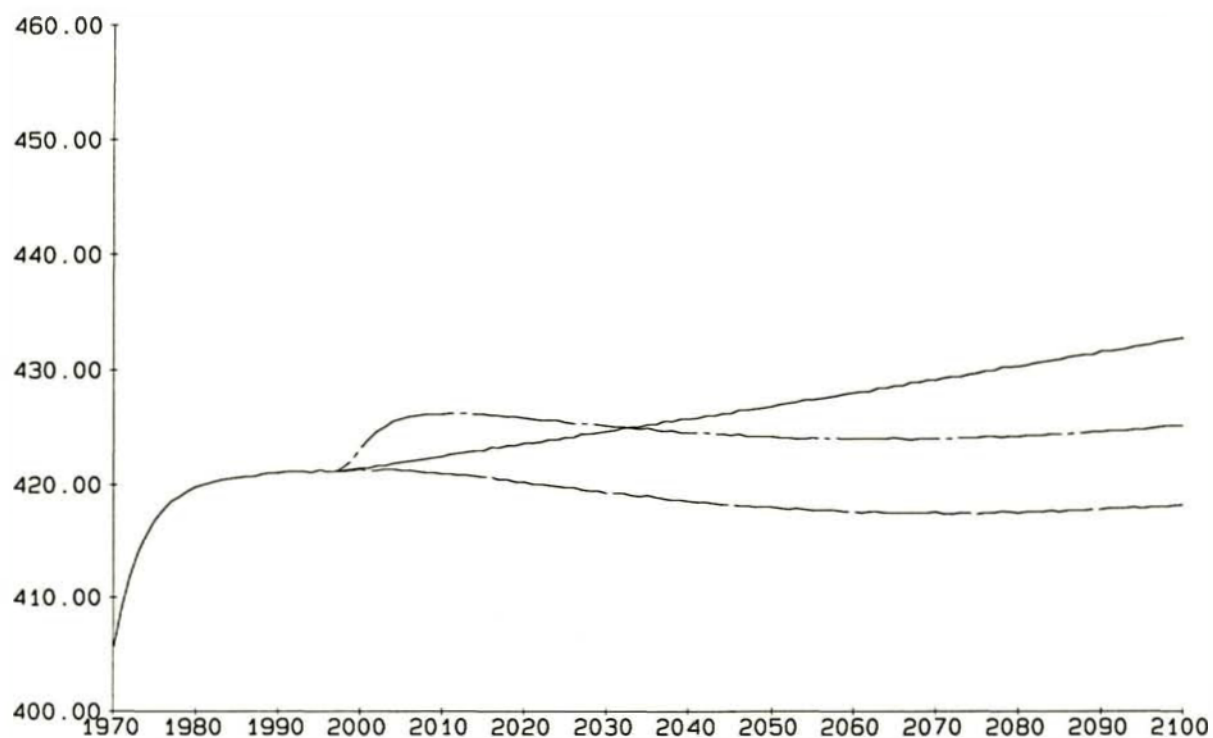
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.26



Natte volume in million kub., Kusten

boven: Walcheren[vak7,10,13] onder: Vlaanderen[vak19,24]

Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

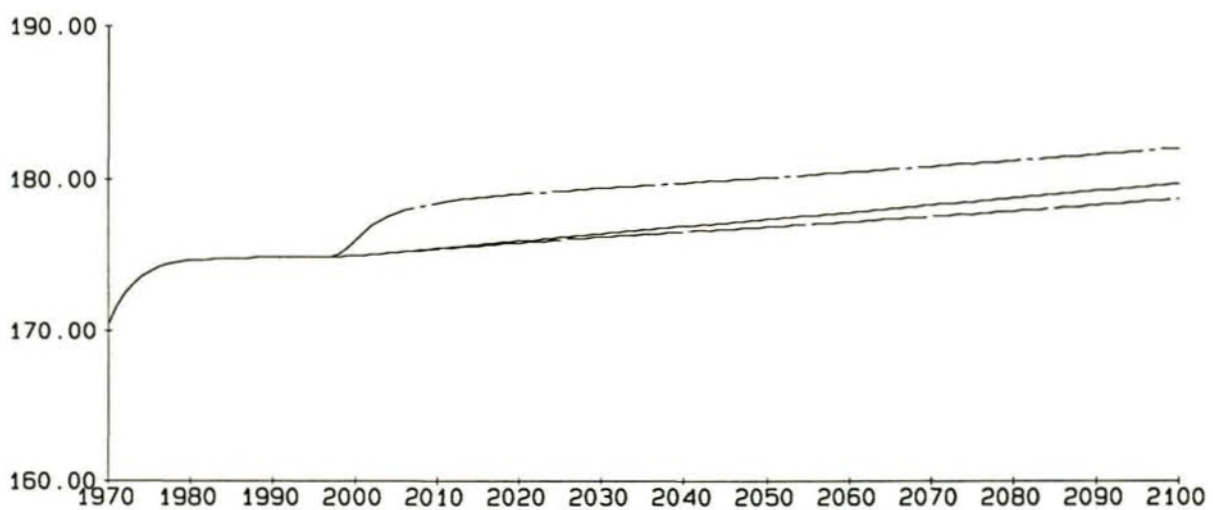
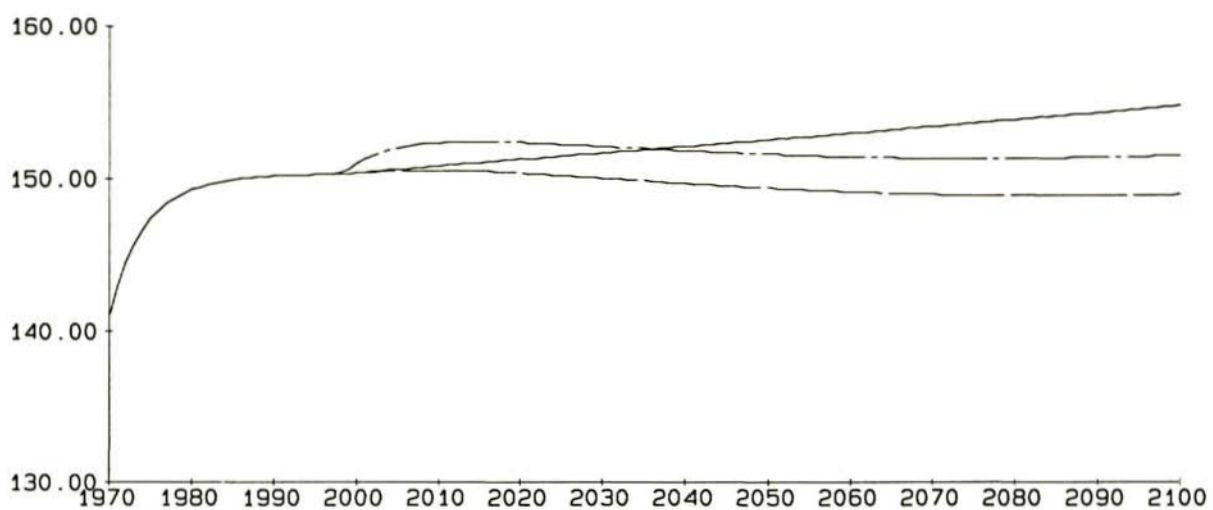
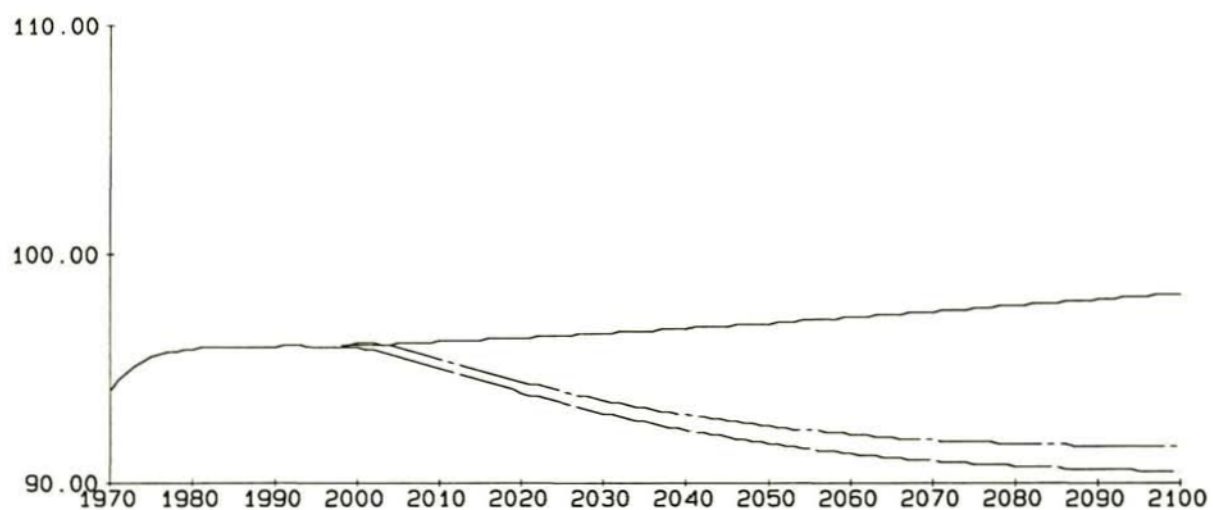
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

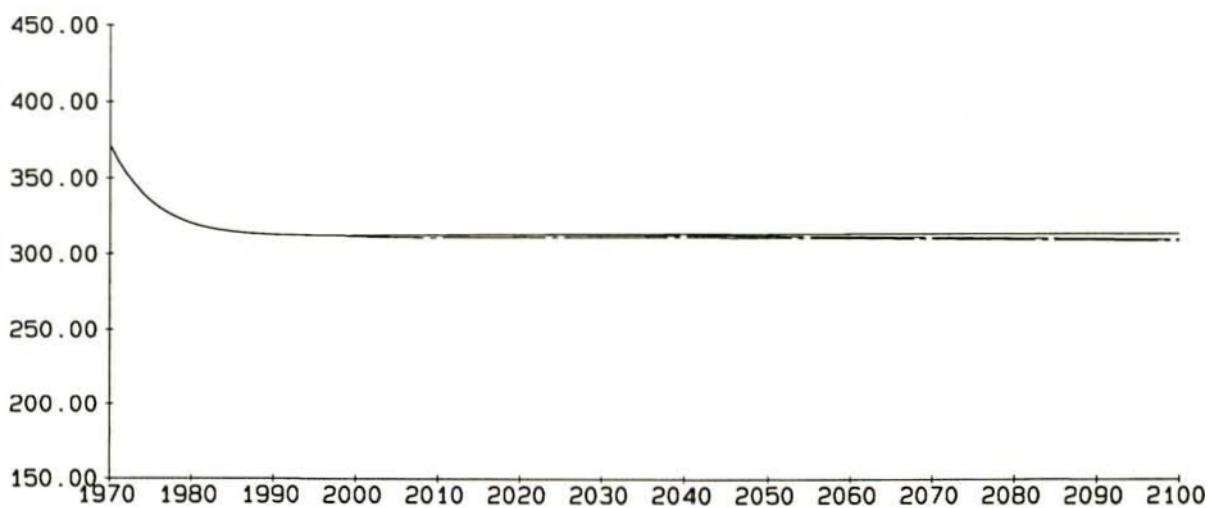
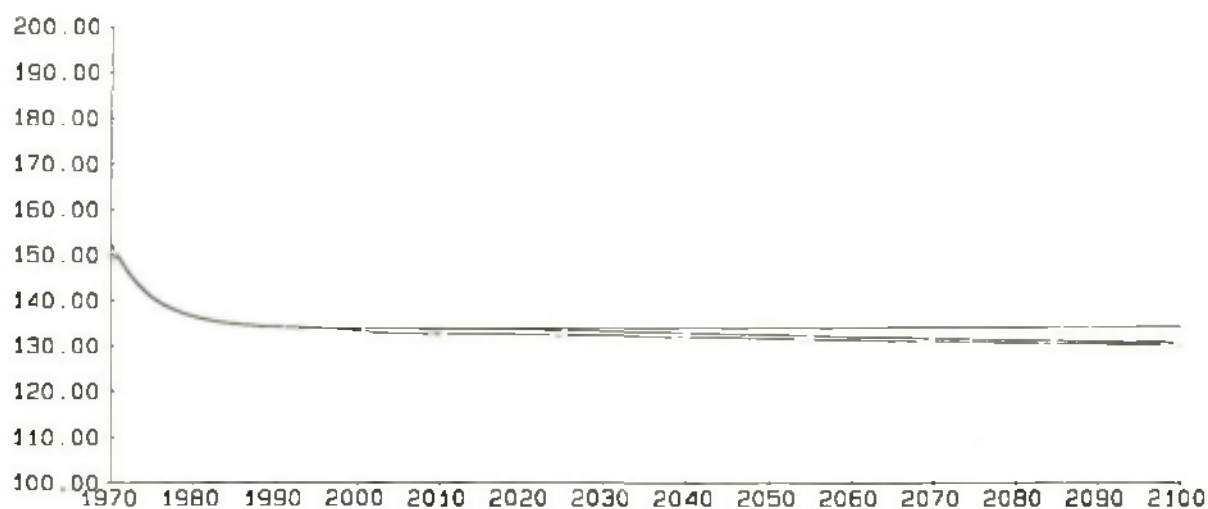
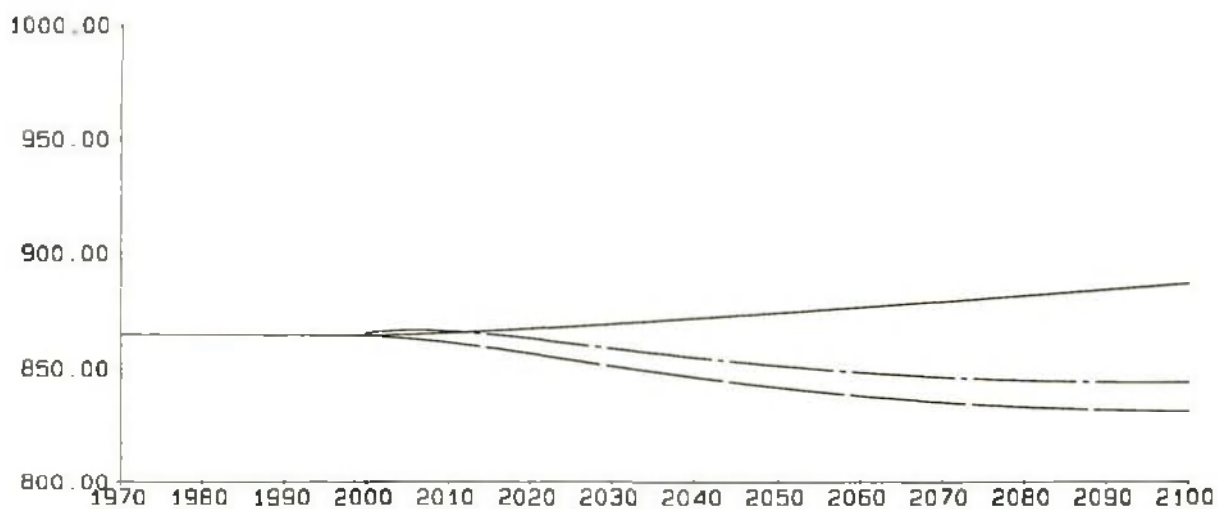
Z 2253

Fig.4.27



— run sc1 - - - run sc4 - . - run sc9

Natte volume in million kub., Walcheren boven: vak 7, midden: vak 10, onder: vak 13 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud	ASMITA	Maart 1997
	Westerschelde	
DELFT HYDRAULICS	Z 2253	Fig.4.28



run sc1 run sc4 run sc9

Natte volume in million kub., Vlaanderen
 boven: vak 9, midden: vak 19, onder: vak 24
 Run 1,4,5: Verdieping en onderhoud

ASMITA

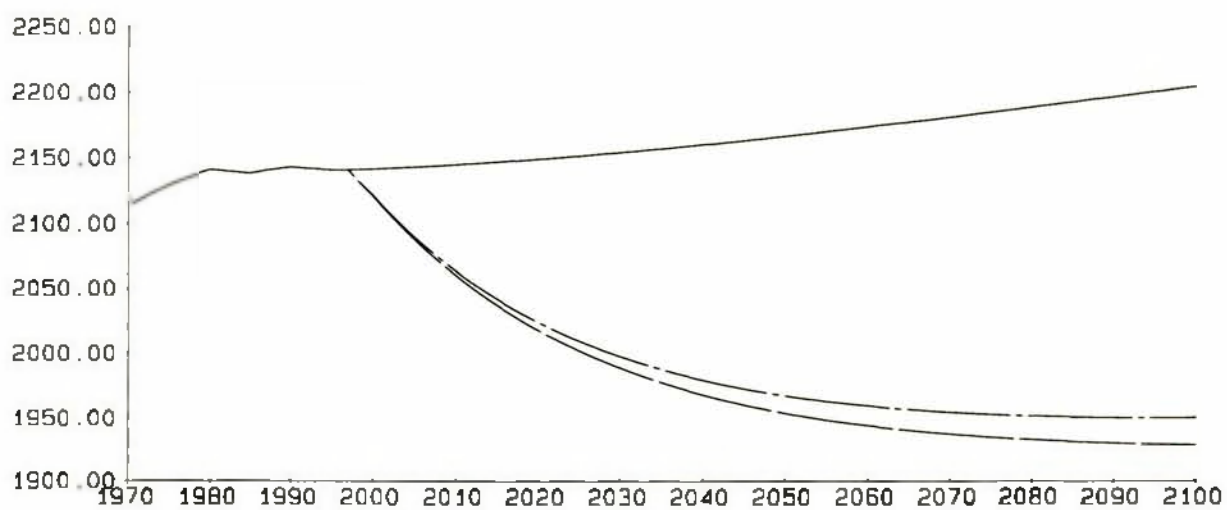
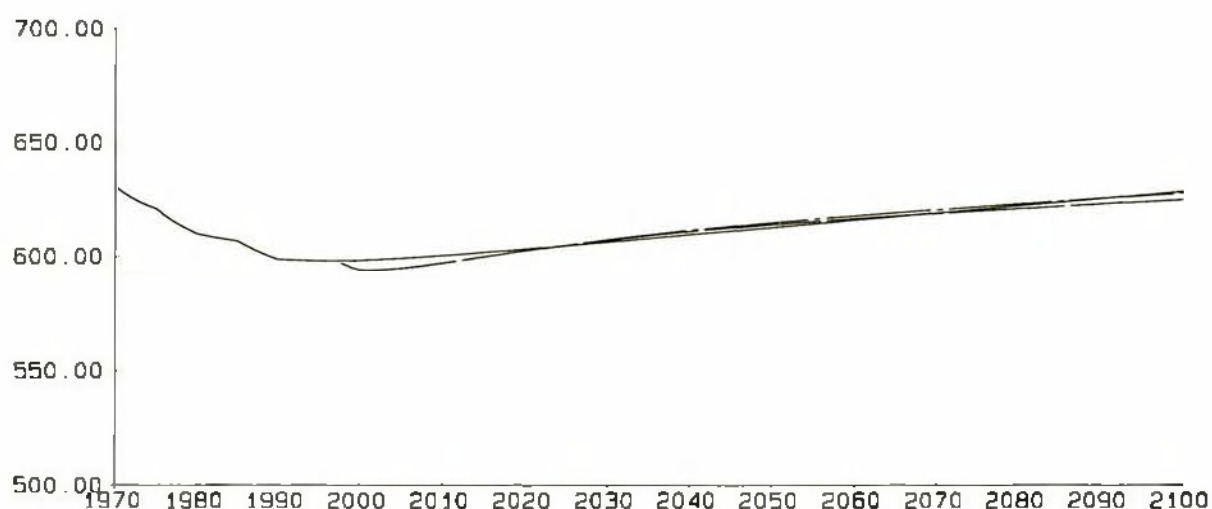
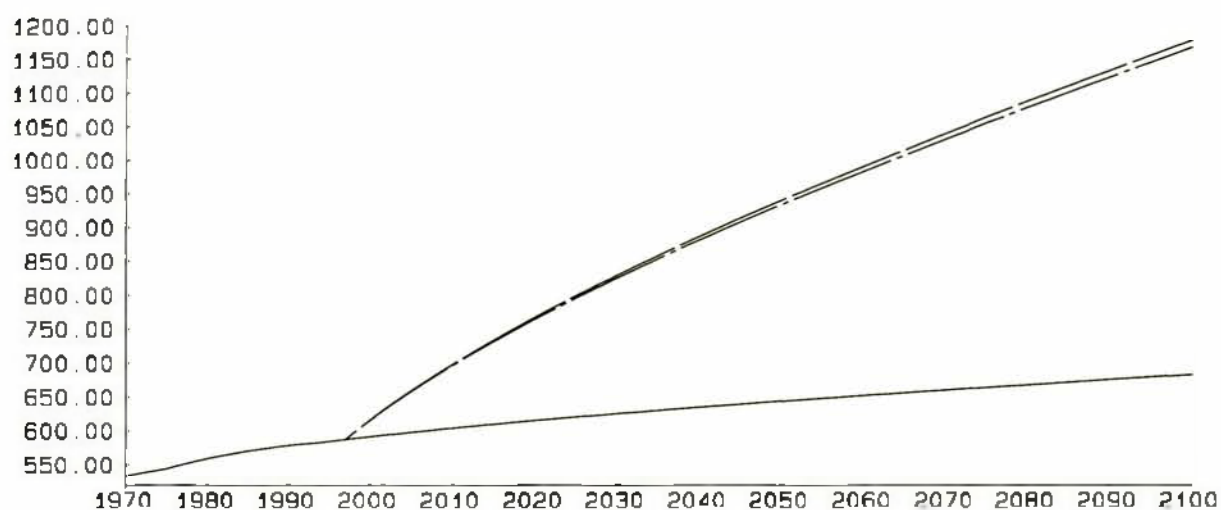
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.29



run sc1 run sc4 run sc9

Natte volume in million kub.

boven: oost, midden: midden, onder: west

Run 1,4,5: Invloed verdieping en onderhoud

ASMITA

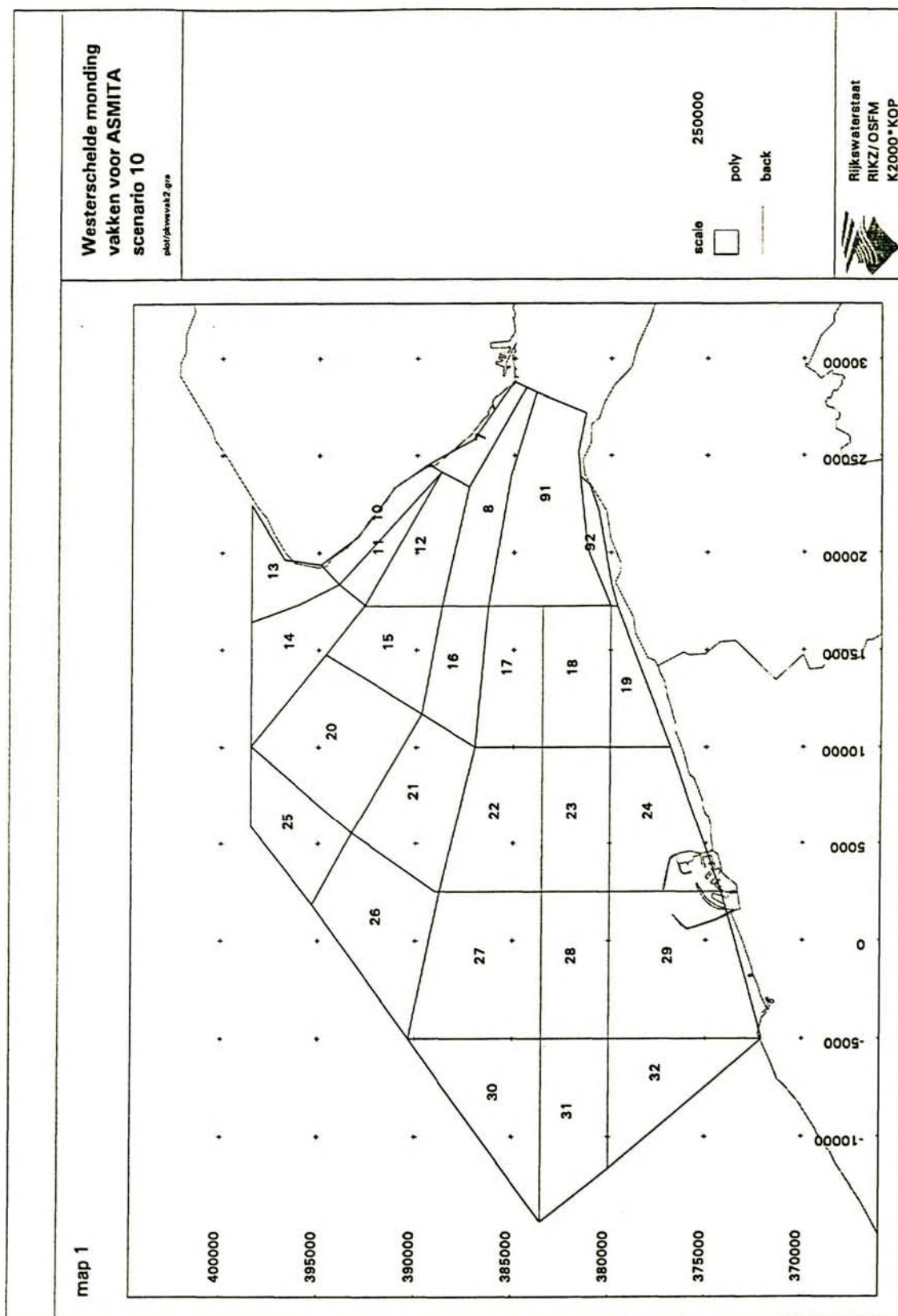
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.30



Nieuwe vakindeling bij scenario 10

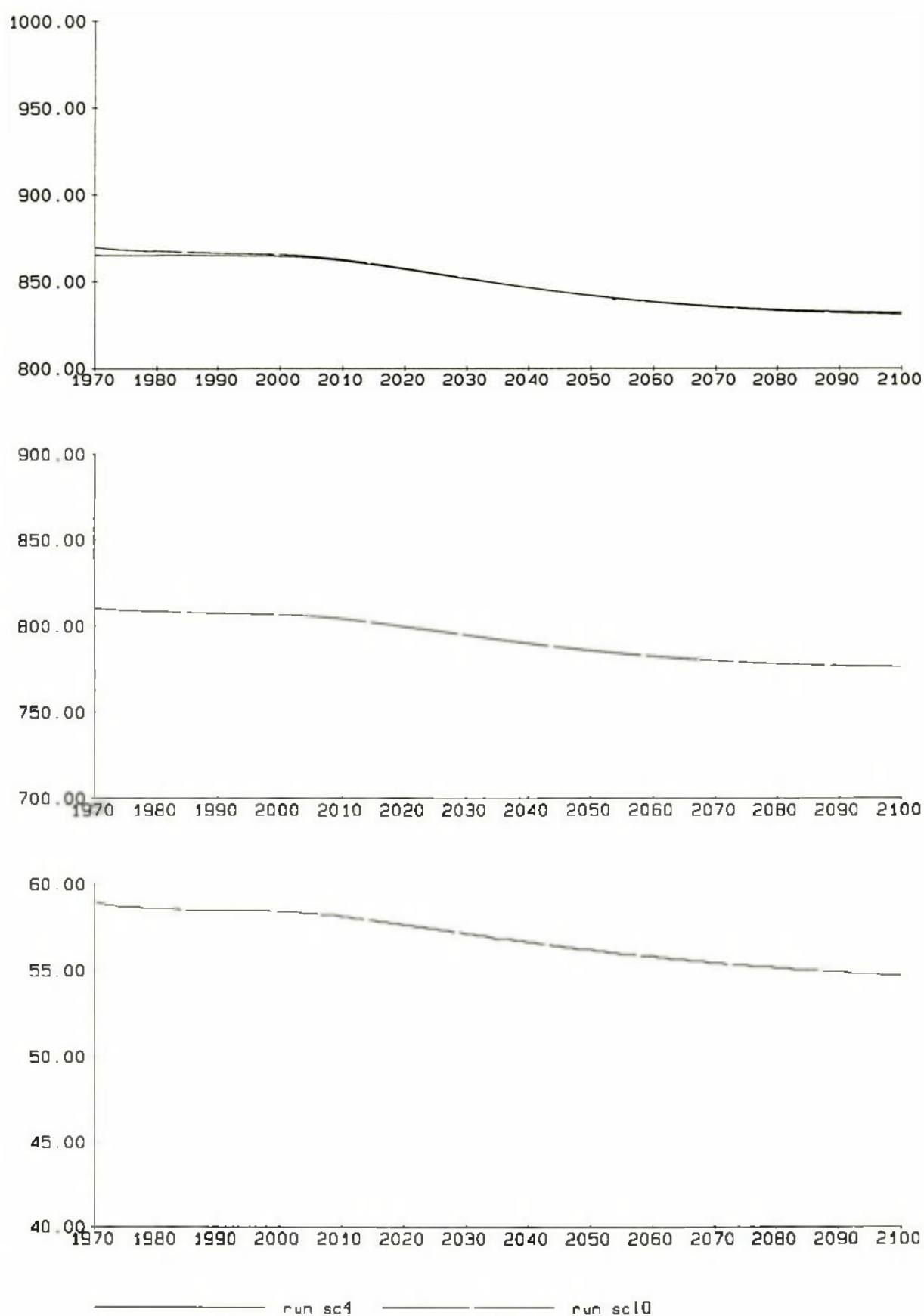
ASMITA

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Flg.4.31



Natte volume in million kub., Vlaanderen

boven: vak 9, midden: vak 9.1, onder: vak 9.2

Run 4,10: Vak 9 verdeeld in 9.1 [geul] en 9.2 [kust]

ASMITA

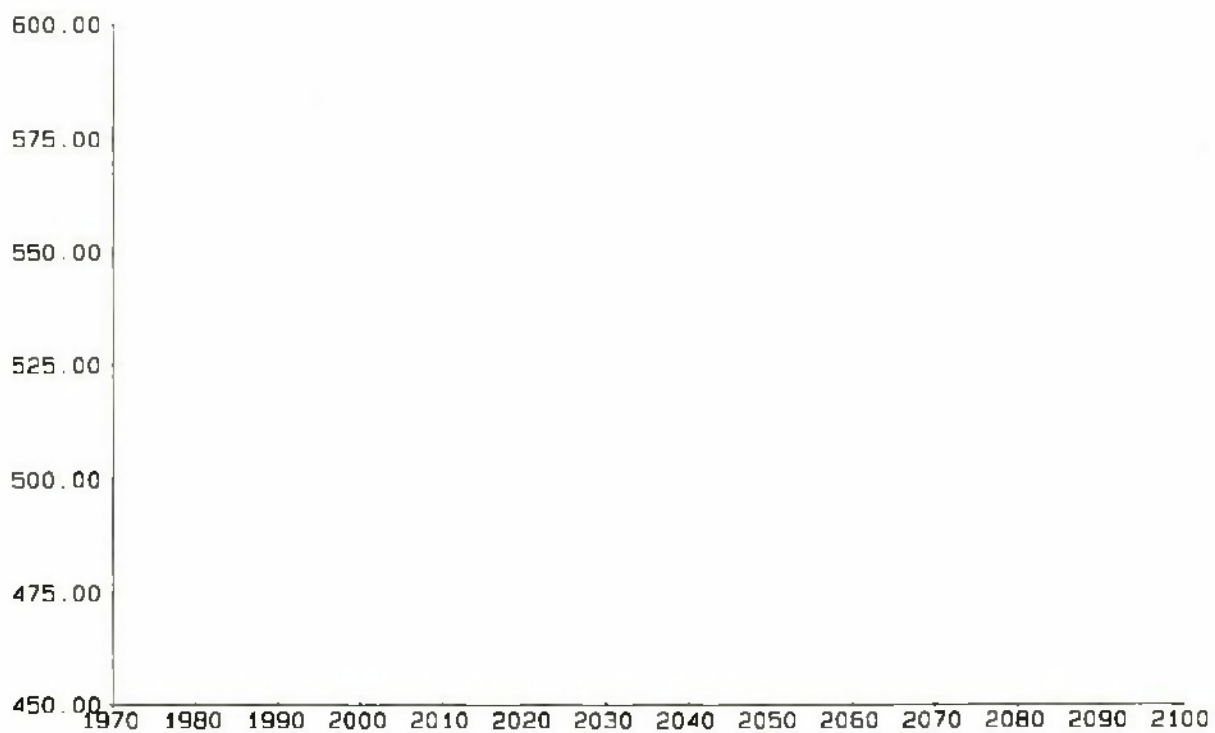
Maart
1997

Westerschelde

DELFT HYDRAULICS

Z 2253

Fig.4.32



Natte volume in million kub. Kustgebied Vlaanderen(vak9.2,19,24) Run 10: Verdieping, onderhoud en zandwinning	ASMITA	Maart 1997
	Westerschelde	
DELFT HYDRAULICS	Z 2253	Fig.4.33



• Delft

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
telex 38176 hydel-nl
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

