PAXA 26

MOVE

Onderzoek naar de effecten van baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde met behulp van het ESTMORF-model in het kader van MOVE

Project Monitoring Verruiming Westerschelde 48'/43'

Werkdocument RIKZ/OS-99.817x

M.A.G. van Helvert

Ministerie van verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/*RIKZ*

Memo

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Aan
Directie Zeeland
Waterloopkundig Laboratorium
Aline Arends, Piet Roelse, Jacques Vroon,
Harm Verbeek, Ad Langerak, Bart
Kornman, Gerard Mol, Ben de Winder

Van
M.A.G. van Helvert

Doorkiesnummer
0118-672347

Datum
15 juli 1999

Bijlage(n)
1

Onderwerp
Werkdocument berekeningen met ESTMORF voor MOVE

Hierbij ontvangt u het werkdocument met de ESTMORF-berekeningen ten behoeve van het project MOVE.

Dit document beschrijft de effecten van baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde bij de 48'/43' voet verruiming berekend met het gedragsmodel ESTMORF.
Met het ESTMORF-model zijn 3 scenario's berekend.

- oost: voortzetting van het beleid voor de verdieping 43'/48';
- west: zelfde beleid uit scenario oost, maar het stortregime voor verdieping 43'/48' aangehouden (bagger en storthoeveelheden zijn hetzelfde als in scenario oost);
- verdiep: beleid verdieping 43'/48'.

De resultaten van de berekeningen zijn als volgt:

- Bij alle scenario's treedt export op van sediment;
- De hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk van 14 miljoen m^3/jaar als gevolg van de 43'/48' verdieping is teveel, er ontstaat verruiming met als gevolg dat op den duur de platen kunnen gaan eroderen;
- Export van sediment bij west scenario is groter dan bij verdiep-scenario terwijl in het verdiep scenario meer materiaal wordt gebaggerd en gestort. Juist doordat in het verdiep-scenario meer wordt gebaggerd, ontstaat in het oosten een grote 'kuil' die mogelijk een retourstroom van sediment genereert;
- De platen in ESTMORF zijn nog niet optimaal gemodelleerd waardoor een rechtstreekse presentatie ervan achterwege is gelaten.

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

Op 20 minuten loopafstand vanaf station Middelburg richting industriegebied Arnestein of met treintaxi bereikbaar

Tot slot kan worden geconcludeerd dat het baggerbeleid conform de 43'/48' verdieping, volgens het ESTMORF-model, leidt tot verruiming van het systeem met daarin het mogelijk eroderen van de platen en mogelijk meer baggerwerk.

Met vriendelijk groet,
de projectleider MOVE,
namens deze,

M.A.G. van Helvert

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding 3
1.1 Leeswijzer 3
2. ESTMORF het model 4
2.1 Algemeen 4
2.2 Waterbeweging 4
2.3 Schematisatie Westerschelde 4
2.4 Evenwichtsprofielen en evenwichtsrelaties 5
2.5 Model invoer 6
2.6 Model uitvoer 6
3. Scenario's 8
3.1 Algemeen 8
3.2 Calibratie 8
3.3 Oost 8
3.4 West 9
3.5 Verdiep 9
3.6 Beperking ESTMORF-model 10
4. Resultaten 11
4.1 Algemeen 11
4.2 Grafieken en zandbalansen 11
4.3 Resultaat calibratieperiode 12
4.4 Oost 12
4.5 West 13
4.6 Verdiep 13
4.7 Trends 14
4.7.1 Tekort in het oosten 14
4.7.2 Platen 14
4.7.3 HG en NG, importerend of exporterend? 14
4.7.4 Splitsing 15
4.7.5 Retourstroom 15
4.7.6 Varianten op verdiep 16
5. Conclusies 17
5.1 Algemeen 17
5.2 Verruiming 17
5.3 Retourstroom sediment 17
5.4 Slotconclusie 17
Referenties

Lijst van figuren

Figuur 1: ESTMORF-profiel

Lijst van tabellen

Tabel 4.1: Resultaat calibratieperiode
Tabel 4.2: Resultaat oost
Tabel 4.3: Resultaat west
Tabel 4.4: Resultaat verdiep
Tabel 4.5: Resultaten verdiep zonder zandwinning
Tabel 4.6: Resultaten verdiep gehalveerde bagger- en storthoeveelheden.

Lijst van bijlagen

Bijlage 1a: IMPLIC schematisatie Westerschelde
Bijlage 1b: ESTMORF invoer
Bijlage 2a: Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario oost
Bijlage 2b: Overzicht baggerlocaties t.b.v. scenario oost
Bijlage 2c: Overzicht stortlocaties t.b.v. scenario oost
Bijlage 2d: Overzicht zandwinlocaties t.b.v. scenario oost
Bijlage 3a: Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario west
Bijlage 3b: Overzicht baggerlocaties t.b.v. scenario west
Bijlage 3c: Overzicht stortlocaties t.b.v. scenario west
Bijlage 3d: Overzicht zandwinlocaties t.b.v. scenario west
Bijlage 4a: Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario verdiep
Bijlage 4b: Overzicht baggerlocaties t.b.v. scenario verdiep
Bijlage 4c: Overzicht stortlocaties t.b.v. scenario verdiep
Bijlage 4d: Overzicht zandwinlocaties t.b.v. scenario verdiep
Bijlage 5: Principe berekening volumeverandering
Bijlage 6a: Zandbalans calibratieperiode
Bijlage 6b: Grafieken geulen calibratieperiode
Bijlage 6c: Grafieken totaal calibratieperiode
Bijlage 7a: Zandbalans oost
Bijlage 7b: Grafieken geulen oost
Bijlage 7c: Grafieken totaal oost
Bijlage 8a: Zandbalans west
Bijlage 8b: Grafieken geulen west
Bijlage 8c: Grafieken totaal west
Bijlage 9a: Zandbalans verdiep
Bijlage 9b: Grafieken geulen verdiep
Bijlage 9c: Grafieken totaal verdiep

1. Inleiding

In het kader van het project MOVE (Monitoring Verdieping), worden metingen verricht in de Westerschelde die de gevolgen van de verruimingswerken moeten vastleggen.
Het doel van MOVE is het evalueren en rapporteren van de effecten t.g.v. de verruimingswerken.

Ten behoeve van het project MOVE wordt het ESTMORF-model ingezet. ESTMORF is één van de hulpmiddelen voor de evaluatie.

Het doel van de ESTMORF-berekeningen is om een indruk te krijgen welke gevolgen het bagger- en stortbeleid heeft op de morfologie van de Westerschelde. Evaluatie volgt o.a. uit interpretatie van de metingen samen met de resultaten uit de ESTMORF-berekeningen. Verder kan met ESTMORF de effecten van het bagger- en stortbeleid in toekomst bestudeerd worden. Wel moet in acht worden genomen dat met ESTMORF geen voorspellingen gedaan kunnen worden maar dat de toekomstige berekeningen alleen een extra inzicht geven.

1.1 Leeswijzer

Dit werkdocument beperkt zich tot het rapporteren van de resultaten die verkregen zijn met het ESTMORF-model. Vergelijking tussen meet- en modelresultaten en evaluatie ervan, wordt niet in dit werkdocument beschreven.

De opbouw van het werkdocument is als volgt:

- Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van het model. Wat is ESTMORF? Hoe ziet de invoer en uitvoer eruit en hoe wordt het rekenproces uitgevoerd;
- In hoofdstuk 3 worden de scenario's die in het kader van het MOVE-project zijn berekend beschreven;
- Vervolgens worden er in hoofdstuk 4 de resultaten gepresenteerd. Dit wordt gedaan in tabellen eventueel met verwijzingen naar bijlagen;
- Tot slot wordt in hoofdstuk 5 op basis van de resultaten de conclusie getrokken.

2. ESTMORF het model

2.1 Algemeen

Het model ESTMORF is ontwikkeld door het RIKZ en het WL Delft. In de zomer van 1998 is het model geïnstalleerd bij het RIKZ in Middelburg (Fokkink 1998).

ESTMORF is een dynamisch-empirisch model. Dynamisch betekent dat er een wisselwerking/terugkoppeling is tussen waterbeweging en het berekenen van de morfologie. Empirisch betekent dat de morfologie wordt bepaalt met evenwichtsrelaties, die uit metingen zijn afgeleid.

De basis van het model vormt het 1-dimensionale waterbewegingsmodel IMPLIC. ESTMORF maakt gebruik van de geschematiseerde bodemligging van de Westerschelde in IMPLIC. Deze schematisatie is gebaseerd op lodingen uit eind jaren zestig. In paragraaf 2.3 wordt verder ingegaan op de schematisatie van de Westerschelde.
In feite is het morfologisch deel qua structuur een extra applicatie aan IMPLIC. Totaal heet het ESTMORF. Met ESTMORF kan op de lange termijn berekeningen worden gemaakt.

2.2 Waterbeweging

Het ESTMORF-model heeft drie randen of begrenzingen. Voor de waterbeweging is de begrenzing in het westen de lijn Vlissingen-Breskens en in het oosten de stuw bij Gent. Voor het morfologische deel is de grens in het westen ook de lijn Vlissingen-Breskens maar in het oosten de Belgisch-Nederlandse grens. Op die randen bevinden zich de randvoorwaarden. Voor de waterbeweging is dit in het westen een getij en in het oosten een afvoer. Voor het morfologische gedeelte is de rand in het oosten gesloten, d.w.z. dat er geen transport plaats vindt tussen de rivier de Schelde en het estuarium. In het westen, de lijn Vlissingen-Breskens en daarbuiten, wordt veronderstelt dat er morfologisch evenwicht heerst.

Voor de waterbeweging in het westen bestaat de randvoorwaarde uit een matig springtij van 11 mei 1971 van 0840 t/m 2100 uur (Bollebakker 1998). Met dit getij is IMPLIC afgeregeld.
In het oosten is er als randvoorwaarden een afvoer van totaal 29 m^3/s. Dit is opgebouwd uit de volgende afvoeren:

- Schelde met 3 m^3/s;
- Nete met 7 m^3/s;
- Dijle met 13 m^3/s;
- Zenne met 6 m^3/s.

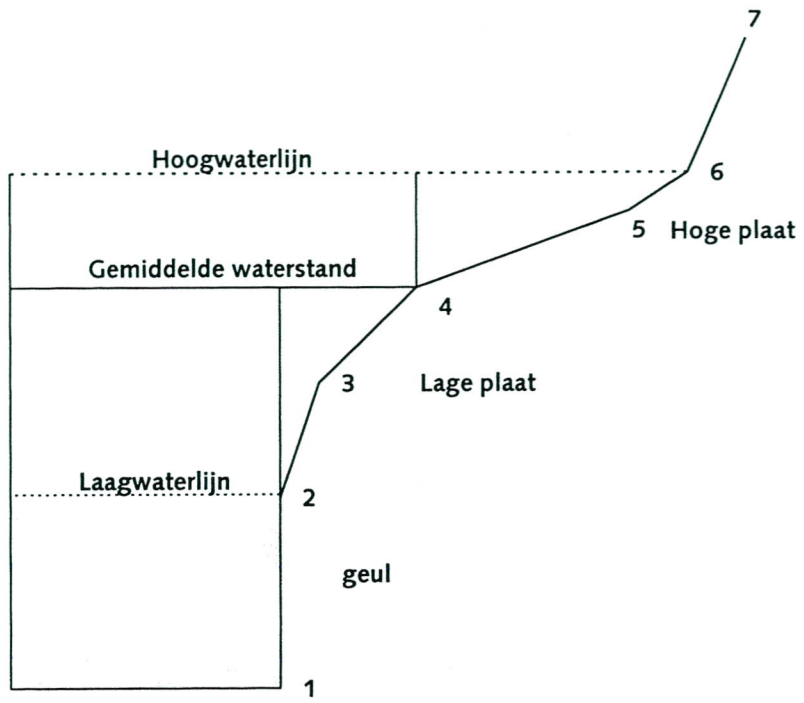
ESTMORF maakt voor de hele berekening gebruik van het zelfde getij en afvoer.

2.3 Schematisatie Westerschelde

ESTMORF maakt gebruik van de IMPLIC schematisatie gebaseerd op lodingen uit eind jaren zestig.
De berekeningen die zijn gemaakt t.b.v. MOVE zijn een voortzetting van de calibratieberekening 1968-1993. Aan het eind van de calibratieberekening heeft ESTMORF een morfologische aangepaste schematisatie berekend. Deze wordt weer gebruikt voor de berekeningen t.b.v. het project MOVE. Hiermee wordt de ontwikkeling van de Westerschelde vanaf 1968 voortgezet in de toekomst.

In de Westerschelde zijn de meeste geulen verdeeld in een aantal secties (zie bijlage 1a) die representatief zijn voor een bepaald deelgebied. Elke sectie heeft een begin- en een eindknooppunt. Door middel van deze knooppunten worden secties aan elkaar gekoppeld. Op die manier worden geulen en stelsels van geulen in de schematisering geïntroduceerd.

Het morfologisch gedeelte is later aan IMPLIC gekoppeld. Tijdens de berekening maakt ESTMORF gebruik van de geschematiseerde IMPLIC-profielen. Daarbij worden de IMPLIC-profielen, die uit 20 niveaus bestaan, omgezet naar 7 niveaus zoals in figuur 1 is weergegeven.



Figuur 1: ESTMORF profiel

Bij de vertaal slag van IMPLIC naar ESTMORF ontstaat er een half profiel. Dit is wel een symmetrisch profiel waarvan de andere helft niet getekend is. De punten 1-2 vertegenwoordigen de geul, punten 2-3-4 de lage plaat en de punten 4-5-6 de hoge plaat. Verder vertegenwoordigt punt 2 het gemiddeld laag water, punt 4 MSL en punt 6 het gemiddeld hoog water. Punt 7 is een referentie punt die gedurende de berekening vast staat. De punten 1-3-5 zijn gerelateerd aan de morfologie waarin punt 1 de diepte van de geul weergeeft en 3 en 5 de hoogte van de platen.
Bij een ESTMORF berekening bewegen de punten 2-4-6 naar gelang het waterniveau verandert. De punten 1-3-5 bewegen ook zodat de volgorde van het profiel klopt.
IMPLIC gebruikt een andere schematisatie. In IMPLIC wordt om de 0,50 m vanaf NAP - 2,50 m een breedte en het stroomvoerende oppervlak gegeven.

ESTMORF berekent de ontwikkeling van de doorsnede van de geul, de lage plaat en de hoge plaat. Dit zijn A_C, A_L en A_H.

2.4 Evenwichtsprofielen en evenwichtsrelaties

ESTMORF berekent de A_C, A_L en A_H niet rechtstreeks maar doet dit via andere grootheden die de geulen en de platen beschrijven. Deze grootheden zijn:

- A_{MSL} (de geuldoorsnede beneden de gemiddelde waterstand);
- de hoogte van de lage plaat h_l;
- de hoogte van de hoge plaat h_h.

Het model streeft naar evenwicht in de geuldoorsnede en de hoogte van de platen.

De evenwichtsdoorsnede $A_{MSL,e}$ is gerelateerd aan het getijvolume V. De evenwichtsplaathoogten zijn gerelateerd aan de getijamplitude Δh, wat het verschil is tussen gemiddeld hoog water en gemiddeld laag water.

ESTMORF zal er op lange termijn naar streven om naar deze evenwichten toe te rekenen. Gedurende de berekening wordt er telkens een evenwichts doorsnede beneden de gemiddelde waterstand bepaald. Het model tracht de verschillen met de actuele doorsnede te vereffenen. Zo ook voor de platen.

Aan de basis van deze berekeningen ligt de concentratie in de doorsneden. Uit het verschil tussen de evenwichtsconcentratie en de actuele concentratie vermenigvuldigd met de uitwisselingsnelheid van het sediment wordt de sedimentatie flux S berekend (S in kg/m^2s is de sedimentatie- erosiesnelheid van een hoeveelheid sediment per oppervlakte-eenheid).

2.5 Model invoer

ESTMORF heeft bestanden met invoer gegevens nodig om de berekening te kunnen uitvoeren. Er zijn de volgende bestanden nodig:

1. ingrepen bestand;
2. dispersie bestand;
3. areaal bestand;
4. equiarea bestand.

Het grootste bestand bevat de ingrepen invoer waarin per morfologische tijdstap (= 1 mnd) per vak de activiteiten worden gegeven. Er zijn drie soorten ingrepen namelijk baggeren, storten en zandwinning van sediment. ESTMORF ziet een negatief getal als baggeren en zandwinning en een positief getal als storten.

De invoer voor de dispersie bestaat uit een bestand met daarin drie kolommen met getallen. De getallen in de eerste kolom zijn de dispersie getallen voor de geulen. De tweede en de derde resp. de dispersie getallen voor de lage plaat en de hoge plaat.
Met deze invoer kan het relatieve belang van de parameters vastgesteld worden door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse.
Het dispersiegetal geeft in de advectie-diffusie vergelijking de mate van uitvlakking weer van een stof in water. Hoe hoger dit getal des te sterker is deze vervlakking.

Het volgende invoer bestand areaal.out bevat de empirische constanten om het evenwichtsprofiel voor de platen te berekenen. Dit bestand heeft twee kolommen. De eerste kolom heeft betrekking op de lage plaat. De tweede op de hoge. Deze constanten zijn belangrijk omdat ze gebiedsafhankelijk zijn.

Het bestand equiqrea.out bevat eveneens empirische constanten maar dan voor de geulen.

Verder zijn er nog bestanden mogelijk met invoer om het effect van zeespiegelstijging te berekenen, bodemdaling en de amplitude van het getij met een factor te vergroten (of verkleinen). En als laatste zijn er bestanden met gegevens nodig voor de randvoorwaarden in IMPLIC.
Vanuit het bestand estmorf.inp (zie bijlage 1b) worden al deze invoer bestanden bestuurt.

2.6 Model uitvoer

Nadat de berekening is uitgevoerd en is afgerond wordt de belangrijkste uitvoer weggeschreven in het bestand estmorf.map. In dit bestand wordt per jaar per vak de ontwikkeling van de morfologie weggeschreven. Met behulp van een postprocessing pakket kan de informatie uit dit bestand worden verwerkt in excel.
Andere uitvoer zoals het verloop van de GLW, GHW en MSL staan in de IMPLIC-uitvoer bestanden.
Verdere uitvoer wordt wel gegenereerd maar is binnen het project MOVE niet gebruikt.

Voor meer informatie betreffende de werking van het ESTMORF-model wordt verwezen naar het WL-rapport 'Final version of the ESTMORF model' (Fokkink 1998).

3. Scenario's

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke drie scenario's er zijn doorberekend.
Bij het eerste scenario is er vanuit gegaan dat eerst het bagger- en stortbeleid uit de calibratieperiode wordt voortgezet, zonder verdere verdieping. Het tweede scenario geeft de verandering van het stortregime weer bij voortzetting van het beleid uit de calibratieperiode. Het derde scenario wordt het effect van de verdieping 43'/48' berekend.

Het verschil tussen de scenario's zijn niet alleen de baggerhoeveelheden maar ook de stortplaatsen. Aangezien er in het verdiepingsscenario meer wordt gebaggerd en gestort, is er een soort van een tussenliggend, tweede, scenario bedacht dat uitgaat van de bagger en storthoeveelheden uit de calibratieperiode en storten op de plaatsen die zijn aangewezen voor de verdieping 43'/48'.

Ook de zandwinning is in het geheel meegenomen. Aangezien het om een relatief kleine hoeveelheid gaat t.o.v. wat gebaggerd en gestort wordt zal de invloed ervan klein zijn.

Kort samengevat kunnen de drie scenario's worden aangeduid als:
- scenario oost, voortzetting bagger en stortbeleid uit calibratieperiode;
- scenario west, zelfde bagger- en stort hoeveelheden uit de calibratie periode maar met het stortregime voor de verdieping 43'/48';
- scenario verdiep, verdieping 43'/48'.

Door het baggeren treden er volumeveranderingen op. Er wordt gesproken van netto en bruto hoeveelheden. De hoeveelheden die worden gehanteerd in ESTMORF zijn netto hoeveelheden d.w.z. hoeveelheden in situ. De hoeveelheden die door de DZL zijn aangeleverd zijn bruto hoeveelheden. Dit is het volume uitgeleverd sediment wat in de beun van de hopperzuiger (baggerschip) is gemeten. Door deze te delen door 1,1 krijgt men de netto hoeveelheid. Veronderstelt wordt dat dit de situ hoeveelheid is, dus het volume voordat het werd gebaggerd. De factor 1,1 wordt het uitleveringspercentage genoemd (10%) en wordt algemeen gebruikt voor de Westerschelde. De volumes in het ingrepen bestand zijn netto waarden.

De scenario's zullen beginnen vanaf januari 1994. Dit sluit aan, aan het einde van de calibratieperiode namelijk december 1993. De scenario's zijn doorberekend t/m 2050.
Bij het samenstellen van de ingrepen file is voor de jaren 1994, 1995 en 1996 gebruik gemaakt van de werkelijke gemeten bagger- stort en zandwinhoeveelheden (Nijsse 1998). Voor 1997 en verder is gebruik gemaakt van hoeveelheden uit het verleden en de geplande hoeveelheden uit het verdiepscenario.
Dit wordt in de onderliggende paragrafen verder beschreven.

3.2 Calibratie

De calibratieperiode is niet een scenario wat is doorberekend voor het project MOVE. In de calibratieperiode, van 1968 t/m 1993, is het model afgeregeld aan de hand van de meetresultaten over de periode. De berekende schematisatie van de Westerschelde aan het eind van de berekening wordt gebruikt als initiële waarde voor de scenario's oost, west en verdiep.

3.3 Oost

In dit scenario wordt het baggerbeleid uit de calibratieperiode 1968 t/m 1993 voortgezet. Dit betekent alleen dat het onderhoudsbaggerwerk a.g.v. de verdieping uitgevoerd tussen 1970 en 1975 voortgezet wordt tot 1993 en vervolgens doorgerekend wordt tot 2050.

Voor de periode vanaf 1996 is gebruikt gemaakt van de gemiddelde hoeveelheden uit 1989 t/m 1996. Deze hoeveelheid is ook door de DZL gebruikt bij het maken van de scenario's in het MAS document (DZL 1997). Uit de periode 1989-1996 zijn per bagger- stort en zandwinlocatie de hoeveelheden gemiddeld en deze vanaf 1997 t/m 2050 gebruikt.

In het eerste scenario wordt grotendeels gebaggerd en gestort in oosten. De zandwinning is verspreid over de hele Westerschelde. Het doel is om een indruk te krijgen wat er gebeurt als het huidige stort beleid wordt voortgezet.
Een overzicht van de bagger en stortlocaties en de bijbehorende hoeveelheden staan vermeldt in bijlage 2a t/m 2d.

3.4 West

In dit tussen scenario, worden dezelfde bagger- stort- en zandwinhoeveelheden gebruikt als in het vorige scenario oost. Het enige verschil zijn de stortlocatie's. Namelijk in west worden stortlocaties gebruikt die tijdens en na de verdieping 43'/48' gebruikt gaan worden. Dus baggeren in het oosten en storten in het westen, vandaar de naam west.
Een overzicht van de bagger en stortlocaties en de hoeveelheden staat in bijlage 3a t/m 3d.

Doel van dit scenario is een indruk krijgen wat de verandering van stortlocaties voor een effect heeft op het systeem. Dit kan dan vergeleken worden met oost omdat dezelfde hoeveelheden worden toegepast en met verdiep omdat voor dezelfde locaties afwijkende hoeveelheden worden toegepast. Het verschil tussen west t.o.v. oost en verdiep is dat west geen scenario is wat volgens een beleid wordt uitgevoerd of gehandhaafd. West past precies tussen het voorgaande beleid en het nieuwe beleid. Met west is het mogelijk om de effecten van oost en verdiep beter te kunnen analyseren.

3.5 Verdiep

In dit scenario wordt de verdieping 43'/48' met de onderhoudsbagger periode doorberekend. Er wordt gebaggerd in het oosten en gestort in het westen. Het scenario verdiep is een wezenlijke verandering t.o.v. het vroegere beleid.
Vanaf 1996 wordt er verder geen zand meer gewonnen in het uiterste westen. De totale hoeveelheden voor zandwinning zijn minder. Het aantal stortlocaties is ook afgenomen t.o.v. oost en west. Stortlocaties als Konijnschor, Boei 63 en Baalhoek zijn verdwenen.

Bij het verdiepscenario zijn er drie perioden te onderscheiden. Deze zijn:
1. de periode waar nog onderhoudsbaggerwerk wordt verricht uit het voorgaande beleid, dit is vanaf januari 1994 t/m juni 1997;
2. de tweede periode is waarin de drempels in de vaargeul op diepte worden gebracht conform het nieuwe beleid, van juli 1997 t/m juli 1998;
3. de achterliggende periode is het onderhoudsbaggerwerk a.g.v. de verdieping vanaf augustus 1998.

De plaatsen en de bagger- en stort hoeveelheden in de eerste periode zijn dezelfde als die in scenario oost.
Voor het op diepte brengen van de vaargeul, de tweede periode, is gebruik gemaakt van de bagger- en stort hoeveelheden aangeleverd door DZL. De derde periode de onderhoudsperiode, is gebruik gemaakt van de hoeveelheden uit het MAS-document, alternatief E.

Uit alternatief E uit het MAS-document is af te lezen dat het op diepte brengen van de drempels in de vaargeul in 4 jaar uitgevoerd zal worden. Echter blijkt uit de metingen dat het op diepte brengen van de vaargeul in 1 jaar is uitgevoerd. Voor dit scenario is uitgegaan van de werkelijk gemeten bagger en stort hoeveelheden voor de verdieping.
Voor de hoeveelheden van het onderhoudsbaggerwerk is wel van het MAS-document uitgegaan (notitie Huijs 1998).

Tijdens en na de verdiepingsperiode wordt er meer gebaggerd en gestort t.o.v. de scenario's oost en west. Bij scenario verdiep wordt het gebaggerde materiaal geheel teruggestort in het systeem. Dit in tegenstelling bij de voorgaande scenario's waar een deel van het gebaggerde materiaal, uit het onderhoudsbaggerwerk, wordt gebruikt voor doeleinden op het land. Dit betekent dat bij de scenario's oost en west per saldo meer onttrokken wordt dan bij scenario verdiep. Wat er uiteindelijk wordt onttrokken uit de Westerschelde bij scenario verdiep is a.g.v. de zandwinning.

Doel van dit scenario is een indruk krijgen wat het nieuwe beleid voor een effect heeft.

In bijlage 4a staan de bagger- stort en zandwinhoeveelheden vermeldt per locatie. In de bijlage 4b t/m 4d zijn de locaties in de IMPLIC-schematisatie geplot.

3.6 Beperking ESTMORF-model

Voordat de resultaten worden besproken is het belangrijk dat de beperkingen van het ESTMORF-model worden geschetst.

- De baggerscenario's worden opgelegd en kunnen tijdens de berekening niet meer worden aangepast. In werkelijkheid wordt het bagger- en stort beleid bepaald door de morfologische ontwikkelingen. In ESTMORF is dit niet mogelijk.
- Om de natuur zo goed mogelijk te reproduceren is tijdens de calibratie de evenwichtsparameters voor sommige geulen zo aangepast/vervormt tot het gewenste resultaat zichtbaar werd. Het gevolg is dat bij deze geulen het in gang gezette proces moeilijk afgeremd kan worden. Terwijl dit in werkelijk wel gebeurt.
- De ontwikkeling van de plaatarealen wordt niet goed gereproduceerd. Daarom is besloten om de platen voor wat betreft concrete presentatie in dit rapport buiten beschouwing te laten. Met de postprocessing kunnen de volumes en de verandering van het intergetijde gebied gepresenteerd worden op verschillende niveaus zoals is weergegeven in figuur 1. Door de volume-(verandering) in de geulen (niveau 4) te verminderen met de totale volume verandering (niveau 7) kan iets worden gezegd over de ondiep water gebieden in het hele systeem. Het is mogelijk om per plaat een overzicht te geven van de verandering maar omdat de ontwikkeling van de platen in ESTMORF niet klopt is deze achterwege gelaten.
- De menselijk ingrepen worden alleen via diepte ingrepen in ESTMORF verwerkt terwijl in de werkelijkheid ook op de hellingen van de geulen wordt gebaggerd en gestort.

4. Resultaten

4.1 Algemeen

De meest gedetailleerde presentatie is mogelijk op het niveau van de IMPLIC-vak indeling. Voor ieder vak kan in een grafiek worden weergegeven wat er gebeurt en wat de ingrepen zijn. Aangezien de Westerschelde is verdeeld in 111 IMPLIC-vakken en er drie scenario's zijn met de nodige varianten, wordt het onoverzichtelijk om de resultaten per vak te presenteren zoals is gedaan in het WL-rapport 'Final version of the ESTMORF-model'. Bovendien is het doel van de nu te bespreken scenario's anders dan in het hiervoor genoemde rapport. Daarom is er gekozen voor een abstractere gebiedsindeling.

Er is gekozen om de gebiedsindeling west-midden-oost te gebruiken. Dit betekent dat per gebied de volumes van de IMPLIC-vakken worden opgeteld. Er wordt dus een totaal volume per gebied gepresenteerd. Per gebied wordt er nog onderscheidt gemaakt tussen hoofdgeul (HG of vaargeul) en nevengeulen (NG).

Verder worden de resultaten gepresenteerd op het niveau van de geulvolumes (dus tot niveau 4 zie figuur 1) en het totale volume (tot punt 7 in figuur 1). Aangezien de reproduktie voor de platen matig is, wordt een gedetailleerde presentatie hiervan achterwege gelaten. Er kan alleen iets gezegd worden of de platen groeien of slinken door het totale volume te verminderen met het geulvolume.

4.2 Grafieken en zandbalansen

De resultaten worden gepresenteerd in grafieken en zandbalansen.

In de grafieken worden twee lijnen weergegeven namelijk de ingrepen en de ESTMORF lijn. In beide gevallen zijn het cumulatieve volumes die een doorsnede verandering weergeven. Zo krijgt men in feite de doorsnede verandering. Een stijgende lijn is een doorsnede toename en een dalende lijn een doorsnede afname.

Het hier voorgaande is een directe presentatie. Daarnaast is er nog een afgeleide presentatie in de vorm van zandbalansen. De zandbalansen worden bepaald met het principe:

Verruiming/Vernauwing = Ingreep - Transport $\rightarrow$ V = I - T

In bijlage 5 wordt dit proces nader toegelicht.
Aangezien ESTMORF de verruiming/vernauwing berekent en de ingrepen via de bagger- en stortcijfers bekend zijn, kan het transport berekend worden en de richting ervan bepaald.

De getallen in de zandbalansen van baggeren/storten en erosie/sedimentatie zijn netto getallen. Dat zijn de resulterende volumen van baggeren en storten in een vak en van sedimentatie en erosie in dat vak. Alle resultaten uit de scenario's worden onderling en met elkaar vergeleken, d.w.z. ze worden relatief geanalyseerd.
Met deze vorm van presentatie wordt getracht om er achter te komen wat gebeurt met het sediment wanneer er in het oosten wordt gebaggerd en in het westen wordt gestort. Belangrijk is of er een retourstroom ontstaat van sediment van het westen naar het oosten.

Voordat de resultaten van de scenario's oost, west en verdiep worden besproken, wordt eerst de calibratieperiode behandeld.

4.3 Resultaat calibratieperiode

Zoals al eerder is beschreven is de calibratieperiode van 1968 t/m 1993. Uit metingen blijkt dat in die 25 jaar het systeem zand geïmporteerd heeft met 1 a 1,5 miljoen kuub per jaar over de periode waarin de eerste verdieping is uitgevoerd. Dit geldt voor het totale systeem.

Uit de berekening (zie tabel 4.1) is er totaal 28 Mm^3 in het systeem geïmporteerd. Dit is meer dan 1 miljoen m^3/jaar. 26 Miljoen kubieke meter is er via de geulen in het systeem gekomen. Hieruit kan men concluderen dat er 2 miljoen kuub op de platen is afgezet.

Met de HG (hoofdgeul) en NG (nevengeul) per gebied kan de volgende tabel worden gegeven.

Tabel 4.1: Resultaat calibratieperiode: sedimentatie in Mln m^3.

Calibratie	HG	NG	netto
totaal	83	-55	**28**
geulen	62	-36	**26**
platen	21	-19	**2**

In bijlage 6a is voor de calibratieperiode een gedetailleerde zandbalans weergegeven voor de geulen en het totaal. In de bijlagen 6b (geulen) en 6c (totaal) zijn de grafieken afgebeeld zodat er een beeld gegeven kan worden van het verloop over de beschouwde periode.

Uit de tabel blijkt dat de platen langs de HG netto zijn gegroeid met 21 Mm^3. Terwijl de platen in de NG zijn afgenomen met 19 Mm^3. Per saldo levert dit een groei op van 2 Mm^3 voor de platen.
De geulen hebben de meeste veranderingen ondergaan. De platen hebben volgens ESTMORF een lichte groei doorgemaakt in de calibratieperiode.

De grafieken kunnen over de beschouwde periode een specifieker beeld weergeven dan de presentatie in de zandbalans. Als voorbeeld kan naar het verloop van het geul volume in het westen worden genomen. Vanaf 1968 tot 1990 ligt de berekende lijn, of ESTMORF lijn, boven de ingrepen lijn. Dit geeft aan dat er meer sediment uit de geul is verdwenen dan er aanhankelijk is verwijderd door baggeren. Echter na 1990 draait dit om. De ingrepen lijn ligt vanaf 1990 boven de ESTMORF lijn. ESTMORF berekend dat er niet zoveel sediment uit de geul verdwijnt als er in eerste instantie wordt onttrokken door baggeren. Dit duidt op sedimentatie.

4.4 Oost

Zoals al eerder is vermeld is scenario oost een voortzetting van het onderhoudsbaggerwerk van de verdieping uitgevoerd begin jaren zeventig (zie paragraaf 3.3). Bij dit scenario blijkt dat het systeem exporterend is geworden en wel met 0,304 Mm^3/jaar (17 gedeeld door 56 jaar, 2050-1996). In tabel 4.2 zijn de resultaten vermeldt.

Tabel 4.2: Resultaat oost: erosie in Mln m^3 van 1996 - 2050.

Oost	HG	NG	netto
totaal	100	-117	**-17**
geulen	98	-121	**-23**
platen	2	4	**6**

In bijlage 7a is voor Oost een gedetailleerde zandbalans weergegeven.

Totaal, of netto, is er 17 Mm^3 verdwenen uit systeem. Al het verdwenen sediment is uit de geulen afkomstig want de platen zijn gegroeid. Over het algemeen ruimt het systeem uit.

De geulen ondervinden de grootste volumeveranderingen. Het westen, wat eerst nog in evenwicht was, is exporterend geworden.

In bijlage 7b (geulen) en 7c (totaal) zijn de grafieken afgebeeld die het verloop van de volumeveranderingen weergeven.

4.5 West

In dit scenario wordt er gebaggerd in het oosten en gestort in het westen met de hoeveelheden uit het oostscenario. In dit scenario zijn de baggerhoeveelheden voor de verdieping 43'/48' nog niet verwerkt. De resultaten zijn als volgt.

Tabel 4.3: Resultaat west: erosie in Mln m^3 van 1996 - 2050.

West	HG	NG	netto
totaal	247	-417	**-170**
geulen	246	-440	**-194**
platen	1	23	**24**

In bijlage 8a is voor West een gedetailleerde zandbalans weergegeven.

De gevolgen van het storten van sediment in het westen zijn meteen zichtbaar. Het systeem is ook hier exporterend en wel met 3,03 Mm^3/jaar. Dit is vermoedelijk te wijten aan het storten van sediment in het westen. T.o.v. het oostscenario wordt er in het westscenario zo'n 4,5 maal meer gestort.

De groei van de platen in scenario west is een factor vier groter t.o.v. scenario oost. Deze groei vindt voornamelijk plaats in het westen van scenario west. De groei van de platen in het oosten in scenario west is van dezelfde orde als in scenario oost. Ondanks de groei van de platen, wordt het systeem in scenario west ruimer.
Het tekort aan sediment in het oosten in scenario west is beduidend hoger dan bij scenario oost.
De volumeveranderingen in dit scenario zijn beduidend hoger, ondanks dat er niet meer wordt gebaggerd t.o.v. scenario oost.
Opvallend is dat bij een grote stort hoeveelheid zoals in het westen, de richting van de volumeverandering tegengesteld wordt.

In de bijlage 8b (geulen) en 8c (totaal) zijn de grafieken afgebeeld die het verloop van de volumeveranderingen weergeven.

4.6 Verdiep

In het scenario verdiep wordt gebaggerd in het oosten en gestort in het westen. Het grote verschil t.o.v. west is dat de verdieping 43'/48' in dit scenario is meegnomen. De resultaten zijn als volgt.

Tabel 4.4: Resultaat verdiep: erosie in Mln m^3 van 1996 - 2050.

West	HG	NG	netto
totaal	372	-478	**-106**
geulen	372	-478	**-106**
platen	0	0	**0**

In bijlage 9a is voor verdiep een gedetailleerde zandbalans met de resultaten weergegeven.

Opvallend is dat er enerzijds meer wordt gebaggerd en gestort t.o.v. het scenario west en dat anderzijds het systeem minder sediment exporteert, namelijk 106 Mm^3 dit is 1,89 Mm^3/jaar (106/56). Dit is zo'n 38% minder als bij scenario west.

Opvallend uit de tabel 4.4 is dat de platen helemaal niet meer groeien. Uiteindelijk zijn ze gelijk gebleven. Al het verplaatste sediment is door de geulen gegaan. Dit is een netto resultaat. In de doorlooptijd van scenario verdiep is het mogelijk dat platen zijn gegroeid en geslonken.
Het tekort in het oosten is in dit scenario toegenomen. Ook de volumeveranderingen zijn toegenomen. Ook in dit scenario is te zien dat in een gebied waarin veel wordt gestort de richting van de volumeverandering wordt gesplitst. Dit is te zien in het westen (zie bijlage 9a).

In de bijlage 9b (geulen) en 9c (totaal) zijn de grafieken afgebeeld die het verloop van de volumeveranderingen weergeven.

4.7 Trends

Op basis van deze resultaten is het mogelijk om een paar trends te ontdekken. Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar de totale zandbalans weergave in de bijlage 7a t/m 9a (eerste tabel).

4.7.1 Tekort in het oosten

Een zichtbaar resultaat is dat vanaf het calibratie scenario en de periode erna t/m het verdiepscenario, het tekort aan sediment in het oosten is toegenomen. Netto was dit in de calibratieperiode 41 Mm^3. Bij oost is dit 128 Mm^3, west 185 Mm^3 en verdiep 253 Mm^3. Hierbij moet worden opgemerkt dat de rekenperiode van de scenario's oost, west en verdiep twee keer zolang is als de calibratie som.
Het stijgende tekort is voornamelijk te wijten aan de netto onttrekking van sediment die per scenario toeneemt. In het scenario oost wordt er nog gestort in het oosten. Dat brengt de netto onttrekking in het oosten omlaag. In scenario west wordt er gestort in het westen i.p.v. het oosten. Dit heeft tot gevolg dat in scenario west de netto onttrekking in het oosten groter wordt of een groter effect heeft.

In scenario verdiep wordt er t.o.v. scenario oost en west meer gebaggerd. Al is de netto onttrekking in het hele systeem voor het onderhoudsbaggerwerk nul. Naast het baggeren is er een doorgaande erosie in het oosten. Ook deze wordt groter naarmate er meer wordt gebaggerd (oost 72, west 181 en verdiep 285). Door het baggeren in de hoofdgeul (HG) neemt de diepte toe en de ruwheid af. Er gaat een groter debiet door de ruimere geul heen waardoor de stroomsnelheid zal toenemen. Dit zou de oorzaak kunnen zijn voor de toenemende erosie in het oosten.

4.7.2 Platen

Ondanks dat uit de berekeningen blijkt dat de Westerschelde verruimt, groeien de platen. In scenario oost met 6 Mm^3, scenario west zelfs met 24 Mm^3. Bij verdiep verandert er per saldo over de hele periode niets met de platen.
De platen langs de HG groeien zeer weinig. Dit is te verklaren doordat uit de HG het meeste sediment wordt onttrokken door baggeren. Het getijvolume door de HG neemt daardoor toe waardoor de stroomsnelheid toeneemt en er meer sediment uit de HG verdwijnt. Bovendien is het plaatareaal in de HG erg klein.
In de nevengeulen (NG) groeien de platen wel veel t.o.v. de HG. De NG in dit geval is het hele gebied binnen west-midden-oost, buiten de HG. Het plaatareaal is ook aanzienlijk hoger. De belangrijkste plaatgebieden bevindt zich ook in het gebied van de NG. In de NG wordt voornamelijk sediment gestort. Echter is de verandering aan platen alleen bij west groot, namelijk 23 Mm^3. Bij verdiep is dit weer 0. Eigenlijk is hier geen relatie te herkennen dan uiteindelijk alleen dat de platen per saldo minimaal gelijk blijven.

4.7.3 HG en NG, importerend of exporterend?

Opvallend is de tegenstrijdigheid die de HG en de NG vertonen. De HG of de vaargeul, is een ebgeul. Men zou dus verwachten dat deze exporterend zou zijn, dus dat er sediment via de HG uit het systeem zou verdwijnen. Echter bij alle scenario's ook de calibratie is te zien dat dit niet zo is. In alle scenario's komt er een behoorlijk hoeveelheid sediment het systeem binnen via de HG. Dit neemt per scenario toe.

Ook het uiteindelijk resultaat per gebied blijft hetzelfde. In het westen blijft sediment achter, in het midden verdwijnt er meer dan erin komt en in het oosten ontstaat een enorm tekort. Een mogelijk verklaring is doordat er constant sediment wordt onttrokken uit de HG deze dus groter en dieper worden. Hierdoor neemt de ruwheid af en het getijvolume door de HG neemt toe (er vindt een herverdeling plaats van het debiet door de HG). Doordat het getijvolume toe neemt, neemt de stroomsnelheid toe waardoor er nog extra sediment verdwijnt.
In het middengebied van scenario oost is dit duidelijk te herkennen doordat het toegenomen getijvolume in het westen zich verder verplaatst naar het oosten. Meer water wilt zich verplaatsen door geulen die worden vernauwt door storten in de HG van het middengebied. Er zal weer een herverdeling plaatsvinden van het debiet ondanks het gestorte sediment wordt verwijderd.
In scenario oost is te zien dat er in het midden 101 Mm^3 wordt gestort. Dit keert in z'n geheel weer terug naar het oosten. Daarboven erodeert het gebied ook nog. Het inkomend sediment van 53 Mm^3 wordt met een factor 3 groter want het uitgaande sediment naar oost is 166 Mm^3. Bij scenario oost is dit verschil het grootst. Dit komt omdat erin de HG wordt gestort (Gat van Ossenisse, overigens alleen in scenario oost).

De NG zijn vloedgeulen. Men zou dus verwachten dat deze importerend zouden zijn, dus dat er sediment via de NG in het systeem terecht komt. Uit de resultaten blijkt dit beeld tegengesteld. De NG zijn exporterend geworden. Een mogelijke verklaring hiervoor is doordat er wordt gestort in de NG de doorsnede afneemt, toch de hoeveelheid water door de geulen heen verplaatst moet worden. Het gestorte sediment wordt afgevoerd. Alle gebieden zijn exporterend. Eigenlijk verandert erin de NG niet veel. Al het gestorte sediment in de NG verdwijnt uit de NG. Wat er extra erodeert is gezien het oppervlak van de NG t.o.v. de HG weinig.

4.7.4 Splitsing

Opvallend uit de resultaten is dat in gebieden waar veel gestort wordt de richting van het transport tegengesteld wordt. Dit is te zien in scenario west en verdiep. Netto wordt erin het westelijk gebied veel gestort. Dit sediment wordt afgevoerd via de NG (zie paragraaf 4.7.3). Uit de tabellen in de bijlagen van west en verdiep, is te zien dat dit verschijnsel optreedt wanneer erin een gebied matig gebaggerd wordt en veel sediment gestort wordt. Het netto resultaat is storten en dit is relatief veel t.o.v. andere gebieden. Wanneer het omslag punt is (hoeveel moet worden gestort om de richting tegengesteld te laten worden) van dit verschijnsel is niet bekend. Dit varieert van geval tot geval.

4.7.5 Retourstroom

Het doel van het veranderde stortbeleid (storten in het westen i.p.v. het oosten) is om de baggerinspanning t.b.v. het onderhoudsbaggerwerk te verminderen. Doordat de afstand van west naar oost groot is, zou het gestorte sediment er mogelijk langer over doen om terug te keren naar het oosten. In het gunstigste geval zou een deel ervan helemaal niet meer terug keren naar het oosten.

In het westscenario is het tekort aan sediment in het oosten zo'n 185 Mm^3 (zie bijlage 8a). In het verdiepscenario is dit 253 Mm^3 (zie bijlage 9a) m.a.w. ongeveer 37% meer t.o.v. west. Bij het verdiepscenario verdwijnt er minder sediment uit het systeem dan bij het westscenario. Respectievelijk 106 Mm^3 en 170 Mm^3 sediment. Bij verdiep is dit 36% minder t.o.v. west. Hieruit kan geconcludeerd worden dat sediment terugkeert naar het oosten ofwel er is een retourstroom gegenereerd. Ondanks er meer wordt gestort in het westen in het verdiepscenario dan in het westscenario (ruim 63% meer), verdwijnt er minder sediment uit het systeem bij het verdiepscenario.
Dit is te verklaren door het baggerwerk in het oosten in het verdiepscenario. De 'kuil' die in het verdiepscenario gebaggerd wordt genereert mogelijk deze retourstroom.

4.7.6 Varianten op verdiep

Naar aanleiding van de verdiep som zijn er twee aanvullende sommen gedraaid. Eén variant is een som waarin dezelfde bagger en stort hoeveelheden worden aangehouden maar zonder zandwinning en één som met gehalveerde bagger- en stort hoeveelheden en wel zandwinning.

De resultaten zijn als volgt.

Tabel 4.5: Resultaten verdiep zonder zandwinning: erosie in Mln m^3 van 1996 - 2050.

West	HG	NG	netto
totaal	371	-479	**-108**
geulen	371	-481	**-110**
platen	0	2	**2**

Tabel 4.6: Resultaten verdiep gehalveerde bagger- en storthoeveelheden: erosie in Mln m^3 van 1996 - 2050.

West	HG	NG	netto
totaal	207	-260	**-53**
geulen	205	-262	**-57**
platen	2	2	**4**

De resultaten zijn niet veel anders dan de verdiep som. De zandwinning heeft weinig invloed. Het grote verschil is dat de platen in de NG ligt zijn gegroeid.
Bij de halvering som zijn de uiteindelijke resultaten ook gehalveerd t.o.v. verdiep. De platen zijn wel gegroeid.
Een bijlage zoals bij verdiep is voor deze twee extra sommen niet bijgevoegd. Deze twee sommen tonen geen spectaculair verschil met de verdiepscenario. Bij de som zonder zandwinning zijn de getallen en resultaten nauwelijks verandert en bij halvering van de bagger- en storthoeveelheden zijn deze getallen en resultaten gehalveerd. Ook de richtingen van de volumeveranderingen zijn onveranderd t.o.v. het scenario verdiep.

Voornaamste resultaat uit deze twee extra berekeningen is dat zandwinning relatief weinig of geen invloed heeft. Dit komt omdat de hoeveelheid gebaggerde sediment wat voor zandwinning wordt onttrokken t.o.v. de hoeveelheid sediment voor het verdiepen van de vaargeul klein is. Bij het scenario verdiep is dit 8,5% (1,2 Mln gedeeld door 14 Mln, zie bijlage 4a).

5. Conclusies

5.1 Algemeen

Nu de resultaten zijn beschreven en zijn gepresenteerd kunnen daaruit de conclusies worden getrokken.

Deze conclusies worden gebaseerd op het vergelijk van de drie scenario's oost, west en verdiep met de calibratieberekening.

5.2 Verruiming

Uit alle scenario's blijkt dat de Westerschelde, na aanvankelijk aan het vernauwen te zijn, aan het uitruimen is. Het systeem is omgeslagen van import naar export. Zowel bij handhaving van het huidige bagger- en stortbeleid als bij de verdieping.
De hoeveelheid sediment die verdwijnt uit het systeem wordt groter wanneer er meer wordt gestort in het westen.
Waar het omslagpunt ligt van import naar export is niet uit de scenario's te herkennen. Vermoedelijk ligt dit tussen 1994 en 1997.

Uit de scenario's oost en west blijkt dat ondanks het ruimere systeem de platen maar licht groeien. Dit betekent dat de overgang van geul naar plaat steiler wordt. Dit verschijnsel is ook al geconstateerd uit metingen van de laatste jaren. Uit het verdiepscenario blijkt echter dat die trend niet doorzet. Uiteindelijk blijft daarin het plaatareaal gelijk, terwijl het systeem wel ruimer wordt.

Gevolg van het steiler worden van de overgang van plaat naar geul, is dat op den duur de platen zullen gaan afkalven. De kans is groot dat het sediment wat van de platen in de geul terecht komt, dan uit het systeem verdwijnt.

5.3 Retourstroom sediment

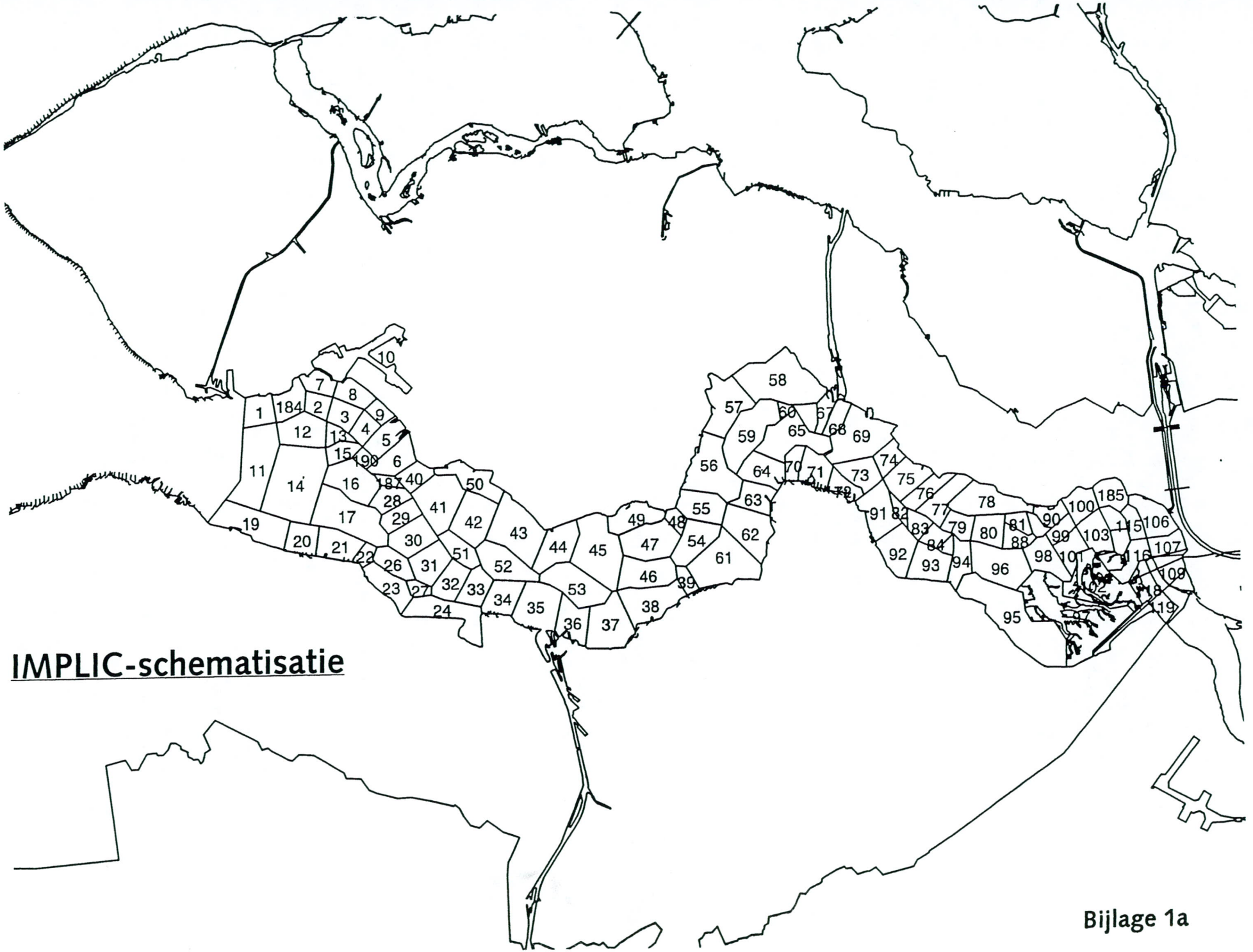
De kans is groot dat het baggeren in het oosten een retourstroom genereert die voor extra baggerwerk kan zorgen. Wanneer het verdiepscenario wordt vergeleken met het westscenario dan blijkt dat er minder sediment het systeem verlaat. Dit kan gezien worden dat het op diepte brengen van de vaargeul in het oosten, op lange termijn voor meer onderhoudsbaggerwerk zorgt. Uit oogpunt van reductie van baggerwerk lijkt het verdiepscenario minder gunstig. Er zou minder gebaggerd kunnen worden. Wat het ideale baggerscenario dan wel is, is met ESTMORF moeilijk te bepalen (zie paragraaf 3.6).

5.4 Slotconclusie

Tenslotte kan geconcludeerd worden dat op de lange termijn meer baggeren en storten volgens het bagger- en stortbeleid van de 43'/48' verdieping zou kunnen lijden tot ongunstige effecten zoals het afkalven van platen en meer baggerwerk.

Referenties

Fokkink R juni 1998; Final version of the ESTMORF-model, final version 4.0, Z2262, WL-Delft
Bollebakker P januari 1998; Eén-dimensionaal model IMPLIC-Scheldebekken met bodemligging 1969, NWL-98.04, RWS Directie Zeeland Afdeling Rivierkunde (NWL)
Nijsse L augustus 1998; Bagger-, stort- en zandwinhoeveelheden in de Westerschelde 1955-1996, NWL-98.36, RWS Directie Zeeland Afdeling Rivierkunde (NWL)
DZL 1997, Milieu Aspecten Studie (MAS); Baggerspeciestort Westerschelde, Studie naar de effecten van het storten van specie, vrijkomend bij de 43/48 voet verruiming van de vaarweg in de Westerschelde, RWS Directie Zeeland
Huijs 1998; notitie extrapolatie huidige verdieping met ESTMORF
DZL, Plan van aanpak MOVE, Beoordeling van de effecten van de verdieping 48'-43', Plan van aanpak - rapport 2, Project MOnitoring Verdieping Westerschelde, RWS Directie Zeeland



Bijlage 1a

BIJLAGE 1b

INPUT USER

2592000	= Het aantal seconden in 1 morfologische tijdstap	1E6-1E7
xxx	= Het aantal morfologische tijdstappen in de run	100-1000
1	= Het aantal stappen dat wordt genomen voor een nieuwe implic berekening	1-10
0	= Dummy staat standaard op nul	0
10	= Iteraties in de concentratiemodule	10-50
44700	= Aantal seconden in 1 getijperiode	44700 of 89400
3	= Afstemmingsslagen voor Implic-Estmorf bathymetrie	3-30
FILE ingreep.xxx		
FILE		
0.	= zeespiegelstijging (cm) als constante	
FILE		
1.0	= factor over de getijamplitude als constante	
FILE		
0.0	= bodemdaling (m) als constante	
1.0	= reststroom factor, waarmee de advectie eventueel kan worden uitgezet (factor 0)	
FILE		
0	= macht voor de splitsingspuntrelatie; 0=splitsingspuntrelatie staat uit	
FILE dispers.inp		
2500	= Dispersie in de geulen (als constante)	(m2/s)
500	= Dispersie geul-lage plaat (als constante)	(m2/s)
500	= Dispersie lage plaat - hoge plaat (als constante)	(m2/s)
0.001	= Valsnelheid (m/s)	
FILE		
0.00005	= beginconcentratie in de geul (als constante)	(-) = volume percentage
0.00005	= beginconcentratie op de lage plaat	
0.00005	= beginconcentratie op de hoge plaat	
0.00005	= Evenwichtsconcentratie	(-)
4.	= Macht van de transportformule in de geul	
4.	= Macht van de transportformule op de lage plaat	
4.	= Macht van de transportformule op de hoge plaat	
1.	= Dummy coefficient, op 1 laten staan	
1.	= Dummy coefficient, op 1 laten staan	
100.	= Minimaal toegelaten volume van een geul, default 100 m3	
START =		
1	= Dummy coefficient, op 1 laten staan	
FILE areaal.out		
0.73	= Evenwichtscoefficient voor de hoge plaat als constante	0.5-1
0.31	= Evenwichtscoefficient voor de lage plaat als constante	0-0.5
FILE equiarea.out		
0.0000389	= Evenwichtscoefficient 1 voor de geul (als reststroom > breekpunt)	
0.0	= Dummy coefficient, default op 0 laten staan	
1.0	= Dummy coefficient, default op 1 laten staan	
1000000	= breekpunt voor het netto volume van transport, default 0 ! (onderscheid tussen eb/vloedgeul)	
0.0000389	= Evenwichtscoefficient 2 voor de geul (als reststroom < breekpunt)	
0.0	= Dummy, default 0	
1.0	= Dummy, default 1	
0.5	= numerieke parameters, niet veranderen	
10.		
10.		
10.		
0.		
1.0	= verhouding zand op de geulwand / geulbodem (qua dikte)	

OUTPUT HISTORY

0 0 0	=uitvoer in history, begin, interval, eind; liever niet gebruiken

OUTPUT MAP

0 12 0 0 0	= uitvoer in mapvelden (Estmorf.map) ; begin - interval - eind (als nul dan eind van de run)

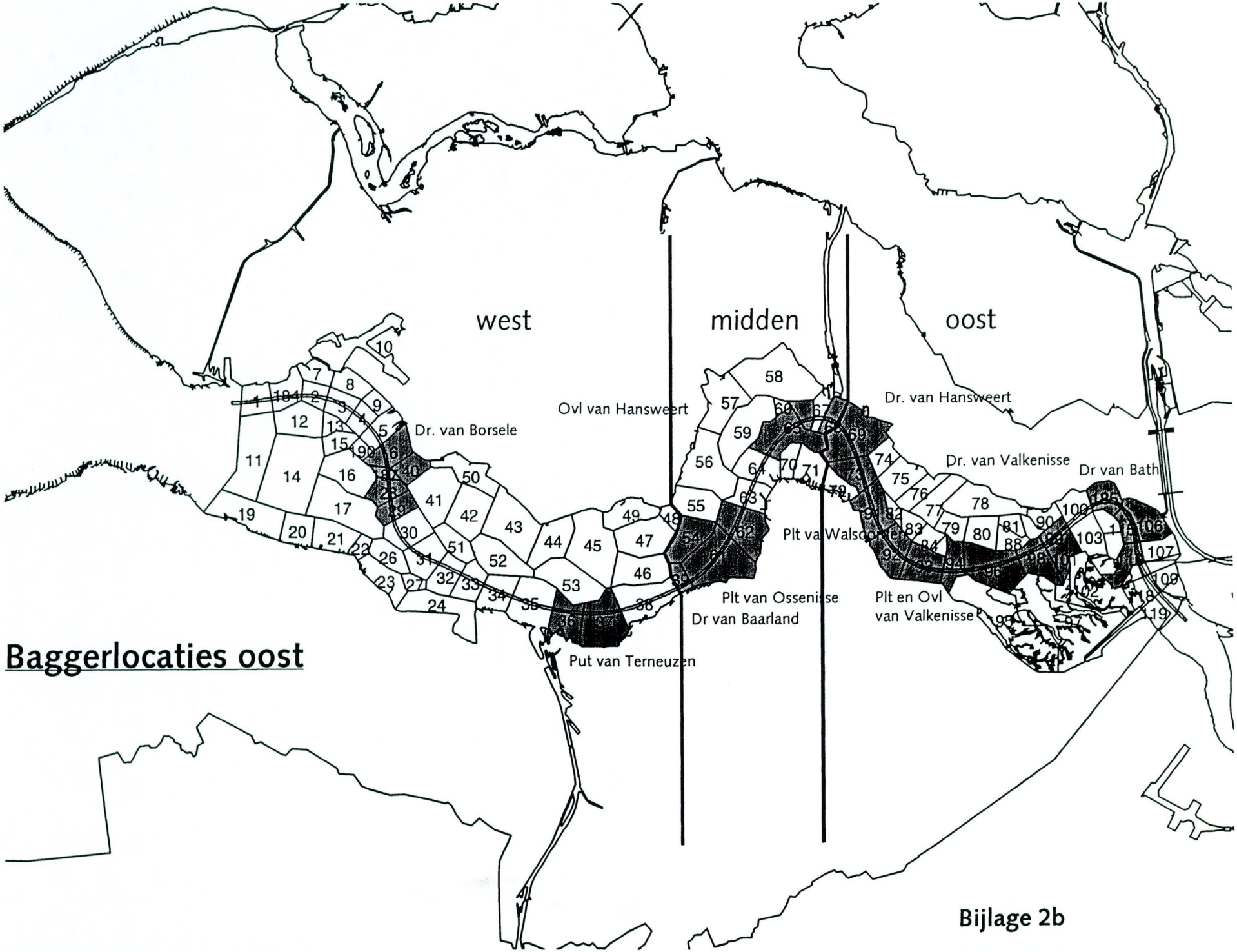
Bijlage 2a

Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario oost

Baggeren		
locatie	bruto	netto 1997- 2050
Dr Bath	1607220	1461109
Dr Valken.	1442424	1311295
Ovl Valken.	717376	652160
Plt Valken.	237147	215588
Plt Walsoo.	700611	636919
Dr Hanswrt	2566353	2333048
Totaal oost	**7271131**	**6610119**
Ovl Hanswrt	768548	698680
Plt Ossen.	12680	11527
Dr Baarland	78846	71678
Totaal midd.	**91526**	**83205**
Pt Terneuzen	95205	86550
Dr Borssele	746625	678750
Totaal west	**841830**	**765300**
Totaal	**8973033**	**8157303**

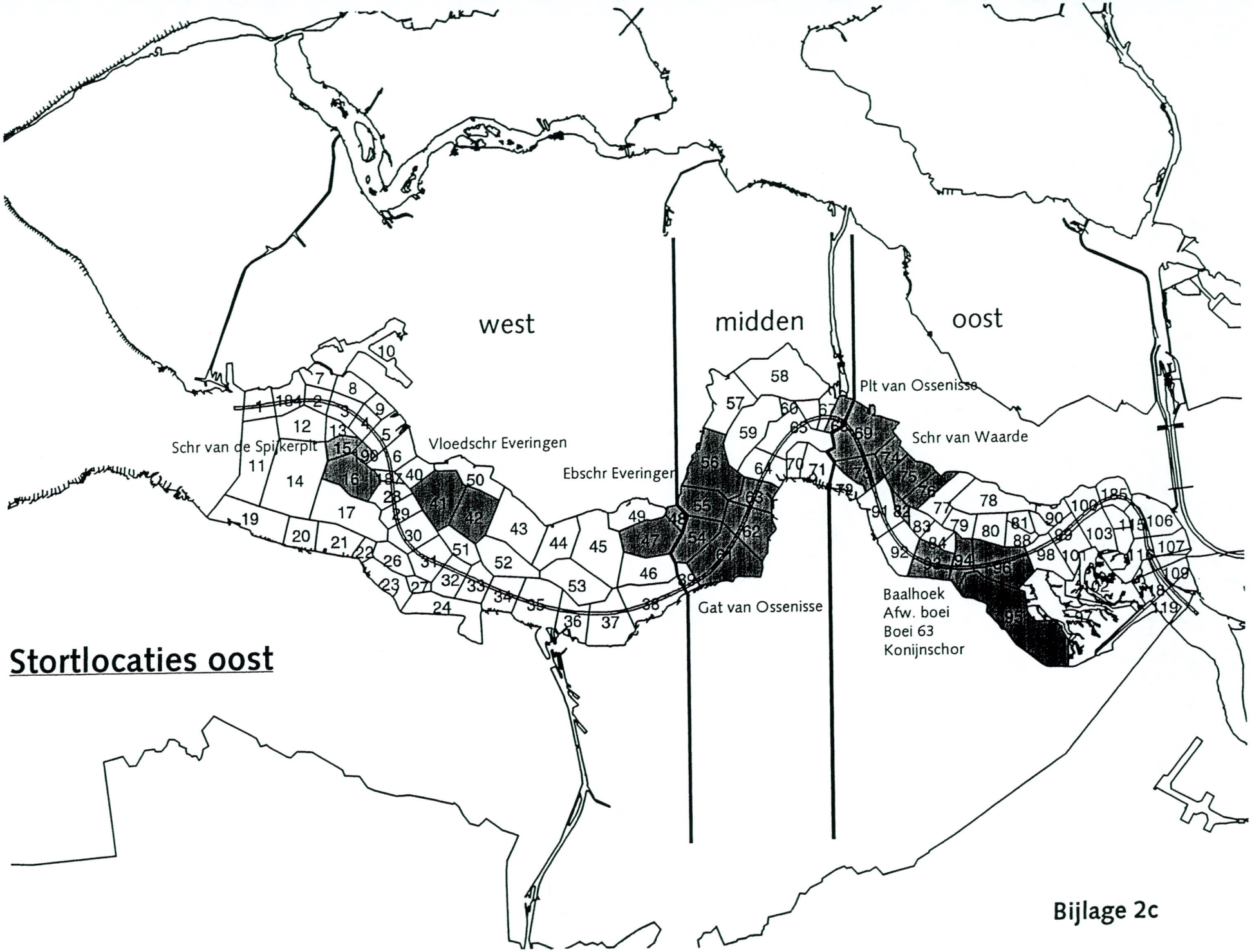
storten		
locatie	bruto	netto 1997-2050
Konijenschor	1484597	1349633
Baalhoek	435927	396297
Boei 63	1143270	1039336
Schr Wrd EB	360515	327741
Schr Wrd Vld	299037	271851
Plt Ossenisse	304694	276995
Totaal oost	**4028040**	**3661854**
Gt Osse EB	1612669	1466062
Gt Osse Vld	1473588	1339625
Ebschr Ever.	535477	486797
Totaal midd.	**3621734**	**3292484**
Vld Ever EB	116040	105491
Vld Ever Vld	332208	302007
Schr Spijk EB	442228	402025
Schr Spijk Vld	12948	11771
Totaal west	**903424**	**821295**
Totaal	8553197	7775633

zandwinning		
locatie	bruto	netto 1997-2050
Ia	183633	166939
Ib	87976	79979
IIa	12668	11517
IIb	56940	51764
IIc	71360	64873
IId	949	863
IIIb	13154	11958
IIIc	204668	186062
IIId	53694	48813
IIIe	45214	41103
IIIf	49548	45044
IIIg	13509	12281
IIIh	21622	19656
IVa	73369	66699
IVb	200333	182121
Va	87750	79773
Vb	70065	63695
Vc	66915	60831
VI	25198	22907
VII	208957	189961
VIIIa	223539	203217
VIIIb	110618	100561
VIIIc	45057	40961
Totaal	1926735	1751577



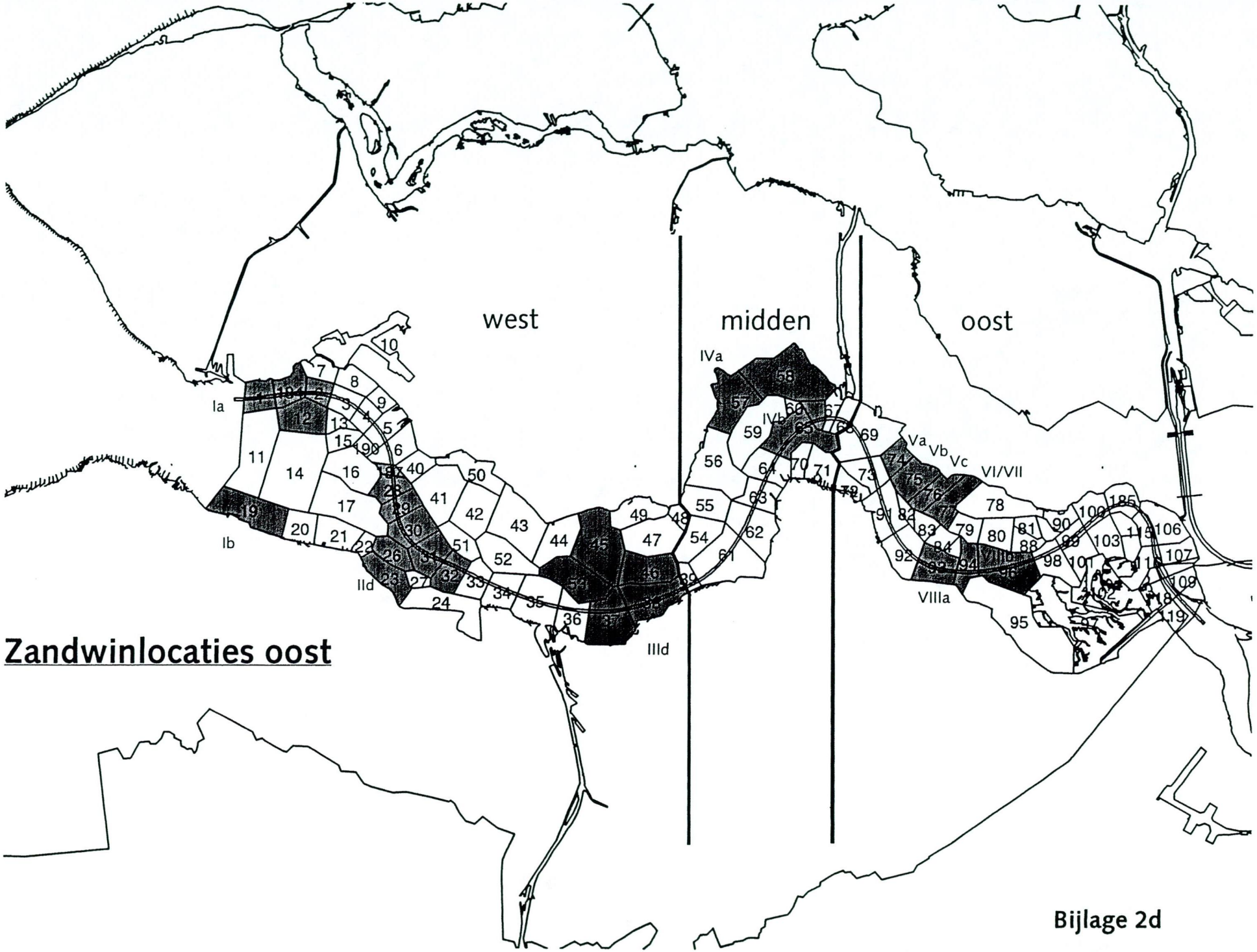
Baggerlocaties oost

Bijlage 2b



Stortlocaties oost

Bijlage 2c



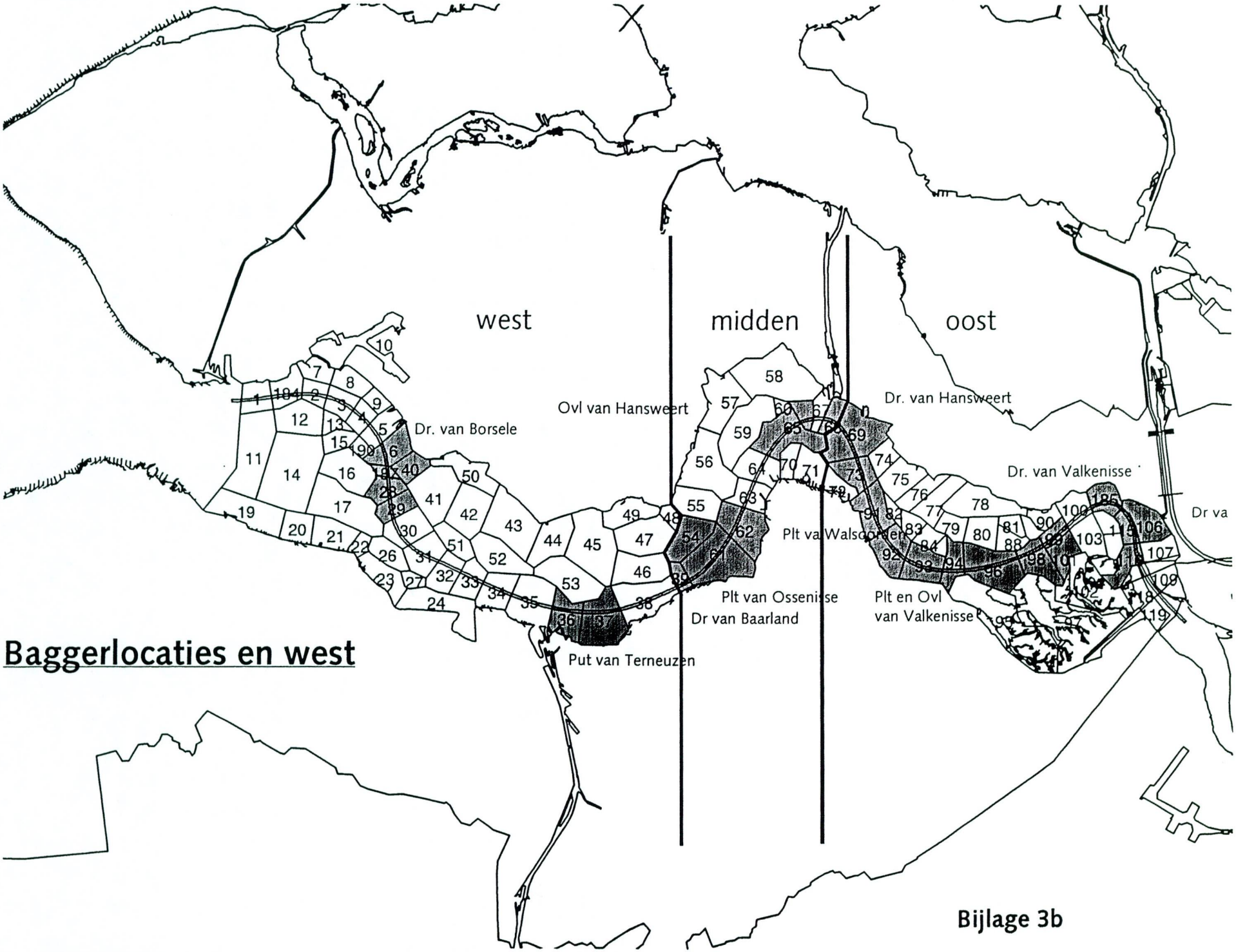
Zandwinlocaties oost

Bijlage 2d

Bijlage 3a

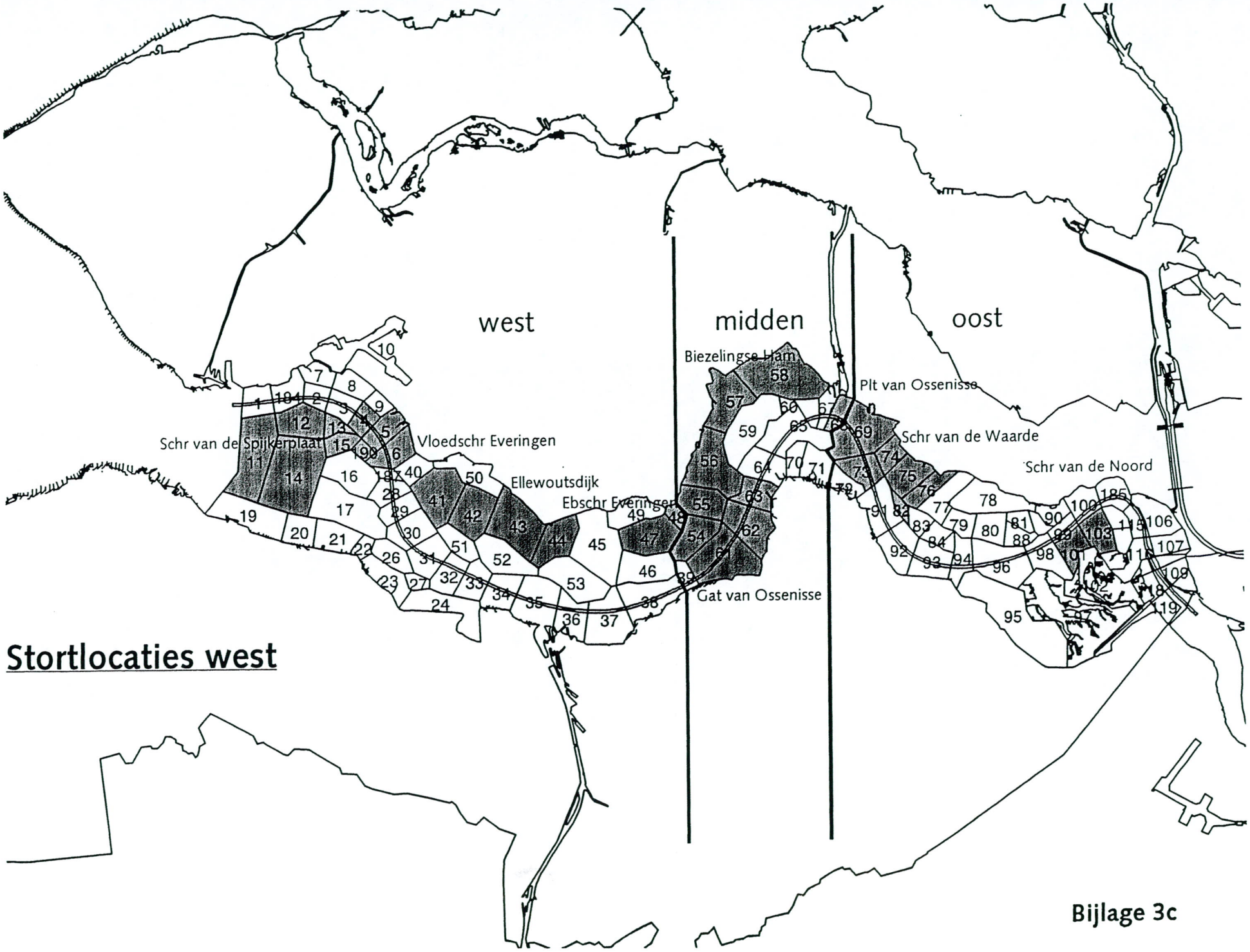
Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario west

Baggeren			storten			zandwinning		
locatie	bruto	netto 1997- 2050	locatie	bruto	netto 1997-2050	locatie	bruto	netto 1997-2050
Dr Bath	1607220	1461109	Konijenschor	0	0	Ia	183633	166939
Dr Valken.	1442424	1311295	Baalhoek	0	0	Ib	87976	79979
Ovl Valken.	717376	652160	Boei 63	0	0	IIa	12668	11517
Plt Valken.	237147	215588	Schr Nrd EB	30547	27770	IIb	56940	51764
Plt Walsoo.	700611	636919	Schr Nrd Vld	30547	27770	IIc	71360	64873
Dr Hanswrt	2566353	2333048	Schr Wrd EB	183283	166621	IId	949	863
Totaal oost	**7271131**	**6610119**	Schr Wrd Vld	183283	166621	IIIb	13154	11958
Ovl Hanswrt	768548	698680	Plt Ossenisse	183283	166621	IIIc	204668	186062
Plt Ossen.	12680	11527	**Totaal oost**	**610943**	**555403**	IIId	53694	48813
Dr Baarland	78846	71678	Gt Osse EB	519300	472091	IIIe	45214	41103
Totaal midd.	**860074**	**781885**	Gt Osse Vld	519300	472091	IIIf	49548	45044
Pt Terneuzen	95205	86550	Biezl Ham EB	458207	416552	IIIg	13509	12281
Dr Borssele	746625	678750	Biezl Ham Vld	458207	416552	IIIh	21622	19656
Totaal west	**841830**	**765300**	Ebschr Ever.	610943	555403	IVa	73369	66699
Totaal	**8973033**	**8157303**	**Totaal midd**	**2565957**	**2332689**	IVb	200333	182121
			Vld Ever EB	885867	805334	Va	87750	79773
			Vld Ever Vld	885867	805334	Vb	70065	63695
			Schr Spijk EB	916414	833104	Vc	66915	60831
			Schr Spijk Vld	916414	833104	VI	25198	22907
			Ellew. Dijk EB	885867	805334	VII	208957	189961
			Ellew. Dijl Vld	885867	805334	VIIIa	223539	203217
			Totaal west	**5376296**	**4887544**	VIIIb	110618	100561
			Totaal	**8553196**	**7775633**	VIIIc	45057	40961
						Totaal	**1926735**	**1751577**



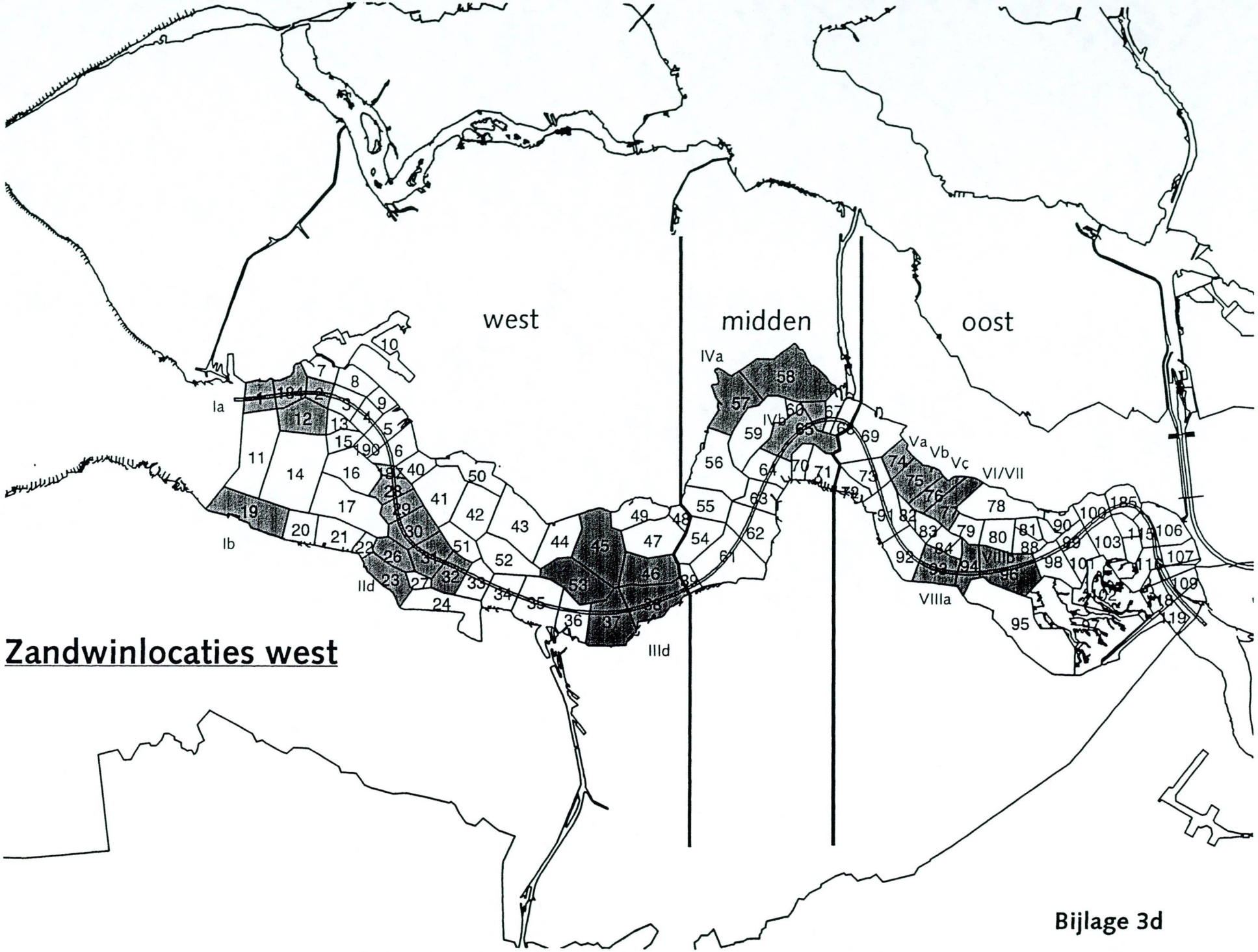
Baggerlocaties en west

Bijlage 3b



Stortlocaties west

Bijlage 3c



Zandwinlocaties west

Bijlage 3d

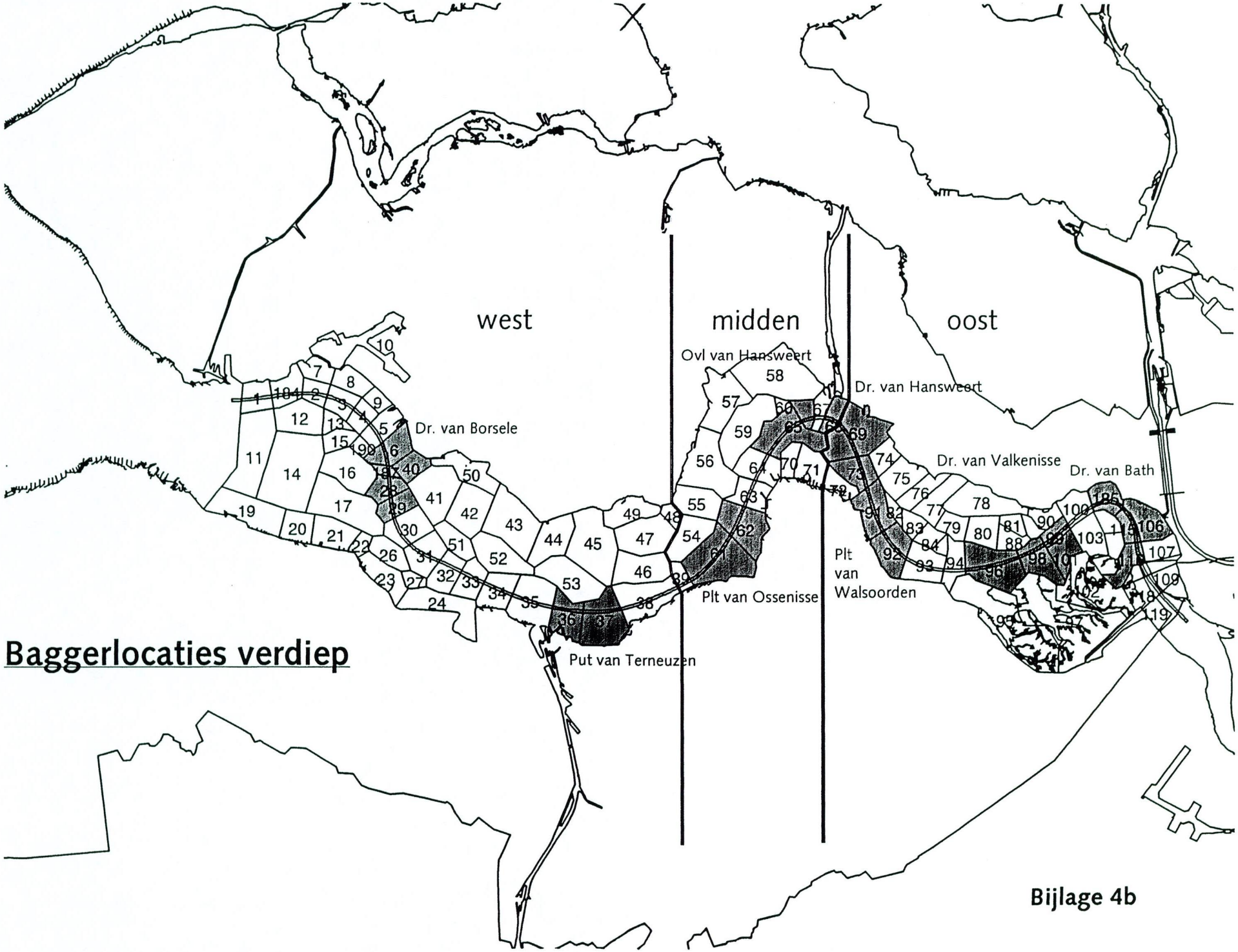
Bijlage 4a

Overzicht hoeveelheden bagger, stort en zandwinning t.b.v. scenario verdiep

Baggeren		
locatie	bruto	netto 1998- 2050
Dr Bath	2200000	2000000
Dr Valken.	2200000	2000000
Ovl Valken.	0	0
Plt Valken.	0	0
Plt Walsoo.	2700000	2454545
Dr Hanswrt	4200000	3818182
Totaal oost	**11300000**	**10272727**
Ovl Hanswrt	1200000	1090909
Plt Ossen.	100000	90909
Dr Baarland	0	0
Totaal midd.	**1300000**	**1181818**
Pt Terneuzen	200000	181818
Dr Borssele	1200000	1090909
Totaal west	**1400000**	**1272727**
Totaal	**14000000**	**12727273**

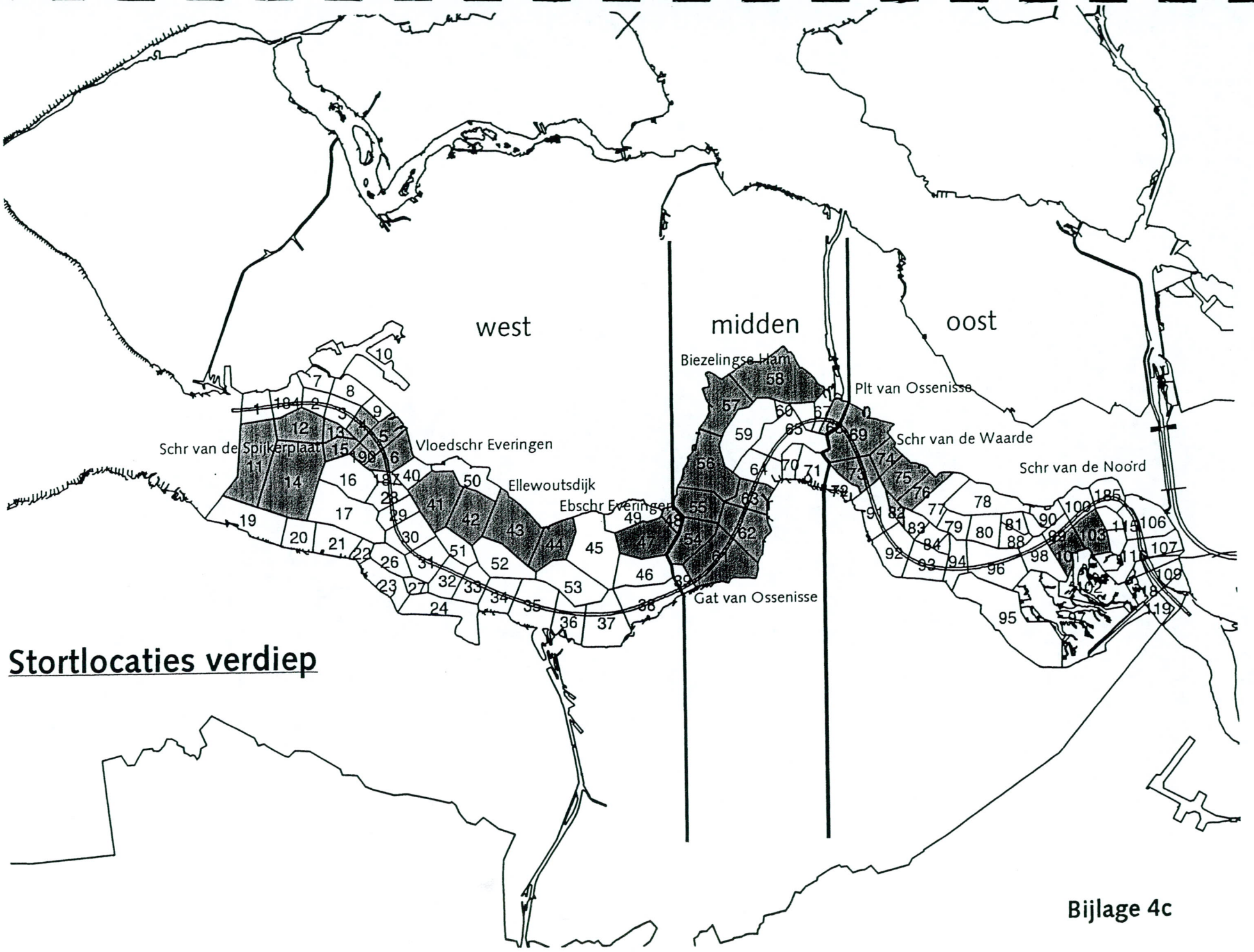
storten		
locatie	bruto	netto 1998-2050
Konijenschor	0	0
Baalhoek	0	0
Boei 63	0	0
Schr Nrd EB	50000	45455
Schr Nrd Vld	50000	45455
Schr Wrd EB	300000	272727
Schr Wrd Vld	300000	272727
Plt Ossenisse	300000	272727
Totaal oost	**1000000**	**909091**
Gt Osse EB	850000	772727
Gt Osse Vld	850000	772727
Biezl Ham EB	750000	681818
Biezl Ham Vld	750000	681818
Ebschr Ever.	1000000	909091
Totaal midd	**4200000**	**3818181**
Vld Ever EB	1450000	1318182
Vld Ever Vld	1450000	1318182
Schr Spijk EB	1500000	1363636
Schr Spijk Vld	1500000	1363636
Ellew. Dijk EB	1450000	1318182
Ellew. Dijl Vld	1450000	1318182
Totaal west	**8800000**	**8000000**
Totaal	**14000000**	**12727273**

zandwinning		
locatie	bruto	netto 1998-2050
Ia	0	0
Ib	0	0
IIa	0	0
IIb	56940	51764
IIc	71360	64873
IId	0	0
IIIb	0	0
IIIc	0	0
IIId	0	0
IIIe	0	0
IIIf	49548	45044
IIIg	13509	12281
IIIh	0	0
IVa	0	0
IVb	200333	182121
Va	87750	79773
Vb	70065	63695
Vc	66915	60831
VI	0	0
VII	208957	189961
VIIIa	223539	203217
VIIIb	110618	100561
VIIIc	45057	40961
Totaal	**1204590**	**1095081**



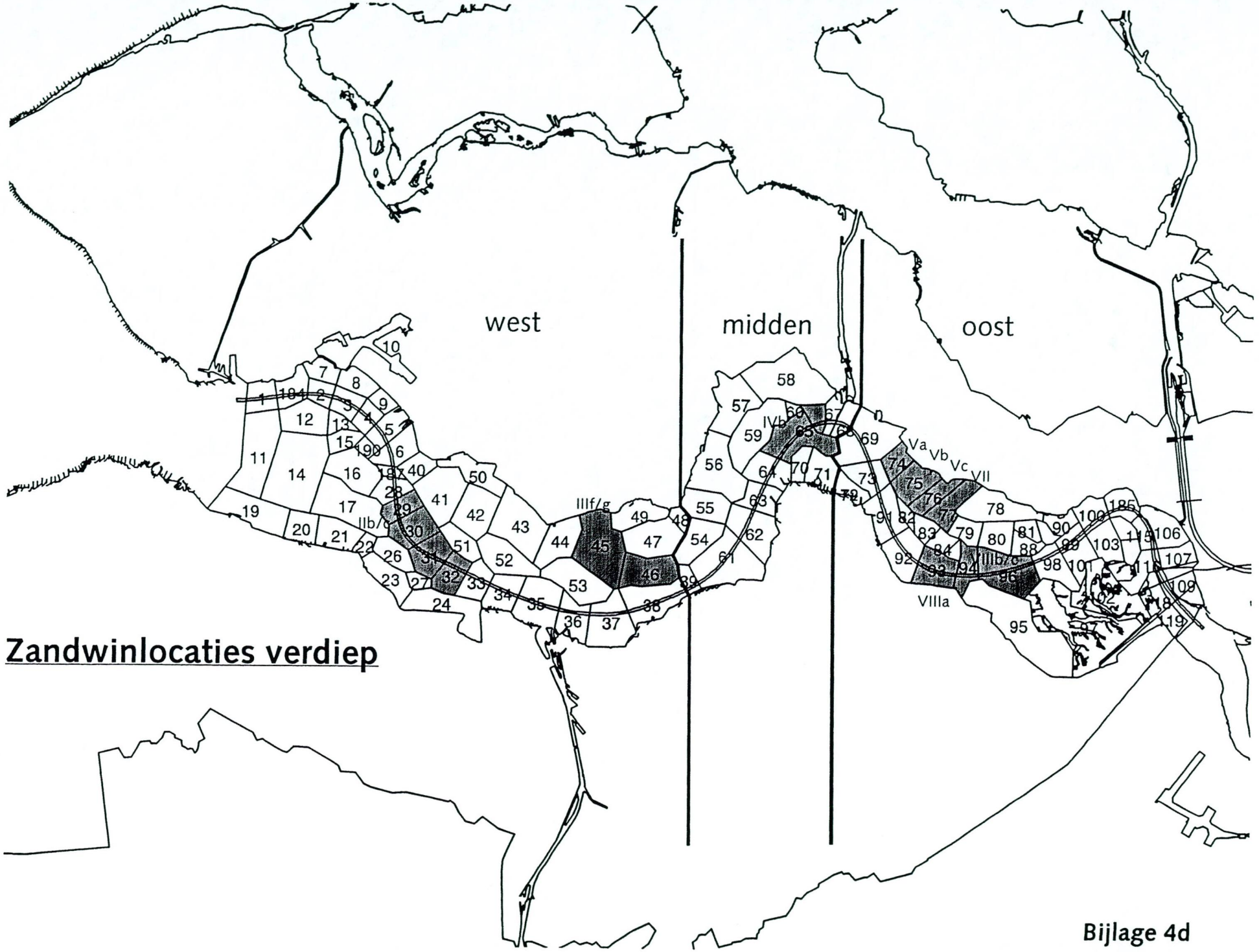
Baggerlocaties verdiep

Bijlage 4b



Stortlocaties verdiep

Bijlage 4c



Zandwinlocaties verdiep

Bijlage 4d

Bijlage 5

Schets en berekening erosie/sedimentatie proces per vak.
De relatie tussen transport en sedimentatie kan als volgt worden omschreven:

$$S = \Sigma_i T_i$$

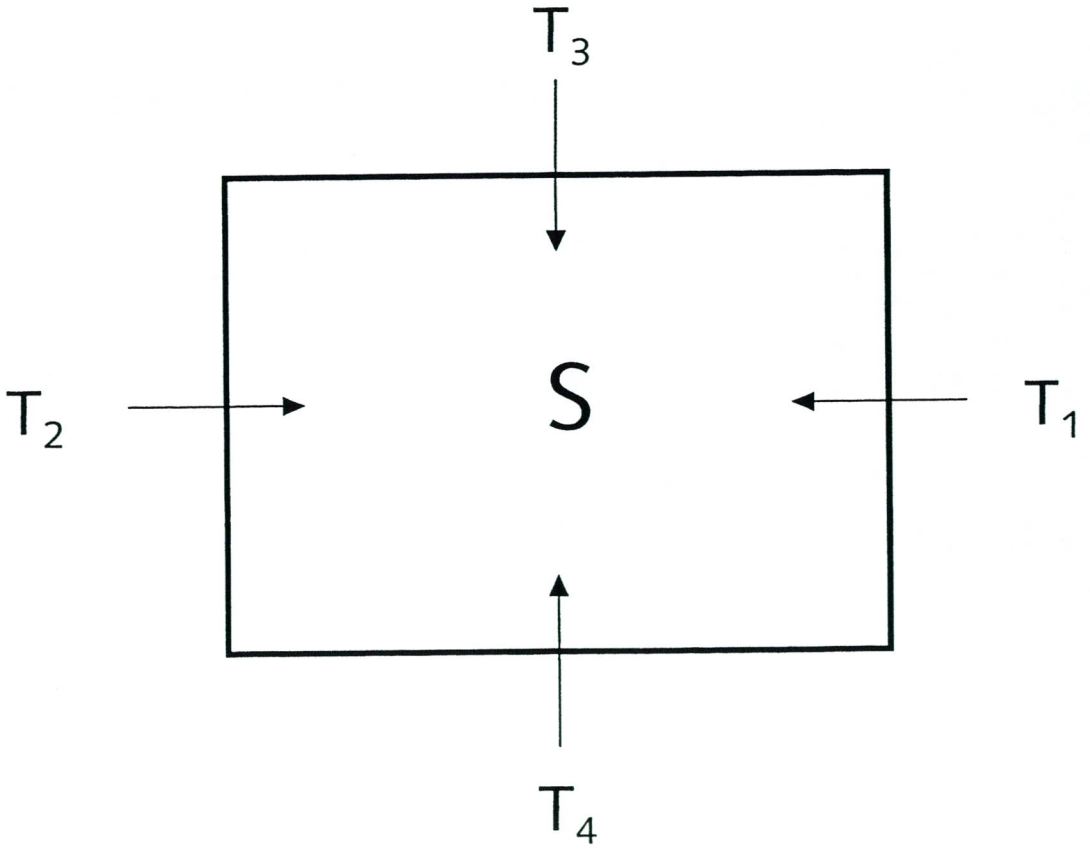
waarin de volgende termen zijn te verklaren:

- T = Netto transport sediment verplaatsing door de grens van de vakken;
- S = Natuurlijke sedimentatie kan ook berekend worden door S = I - V
  waarin I de ingreep voorstelt (baggeren/zandwinning -storten)
  en V de volumeverandering (+ = erosie, - = sedimentatie) berekend door ESTMORF

De relatie kan als volgt worden beschreven:

$$I - V = \Sigma_i T_i \rightarrow V = I - \Sigma_i T_i$$

T_i = positief als het naar het vak toegericht is.



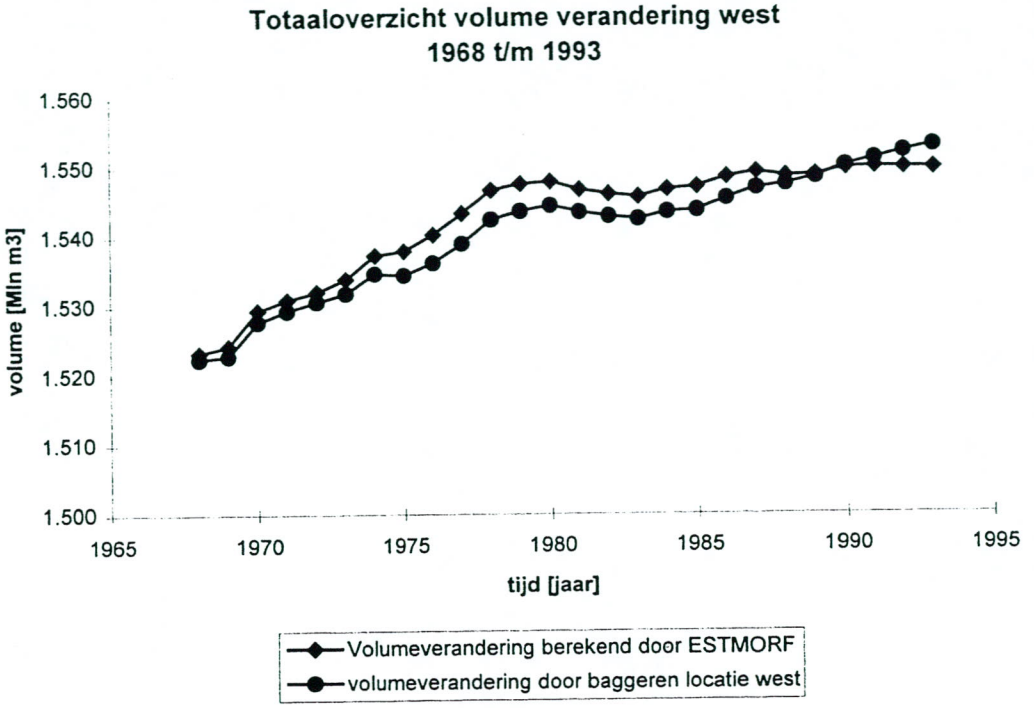
Bijlage 6a

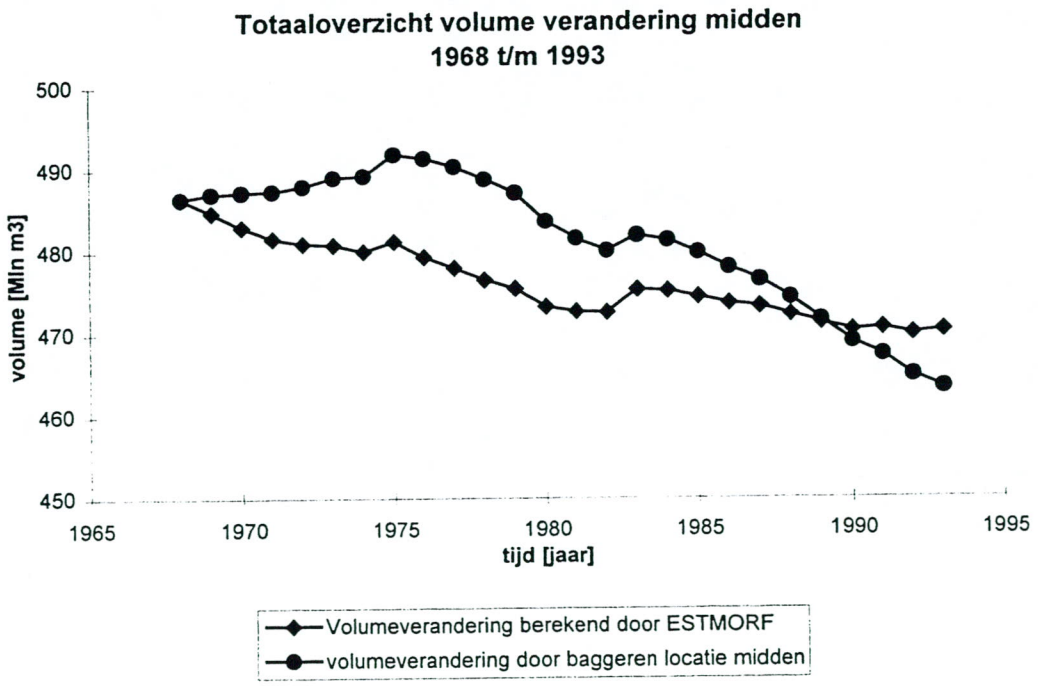
Calibratie periode, totaal

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	baggeren 31 **EW** T=28 erosie 31	storten -23 **EXP** T=28 sedimentatie -10	baggeren 82 **IMP** T=41 erosie 42
HG	baggeren 40 **IMP** T=83 erosie 14	storten -34 **EXP** T=57 erosie 2	baggeren 130 **IMP** T=93 erosie 37
NG	storten -10 **EXP** T=-55 erosie 17	baggeren 11 **IMP** T=-29 sedimentatie -12	storten -48 **EXP** T=-52 erosie 5

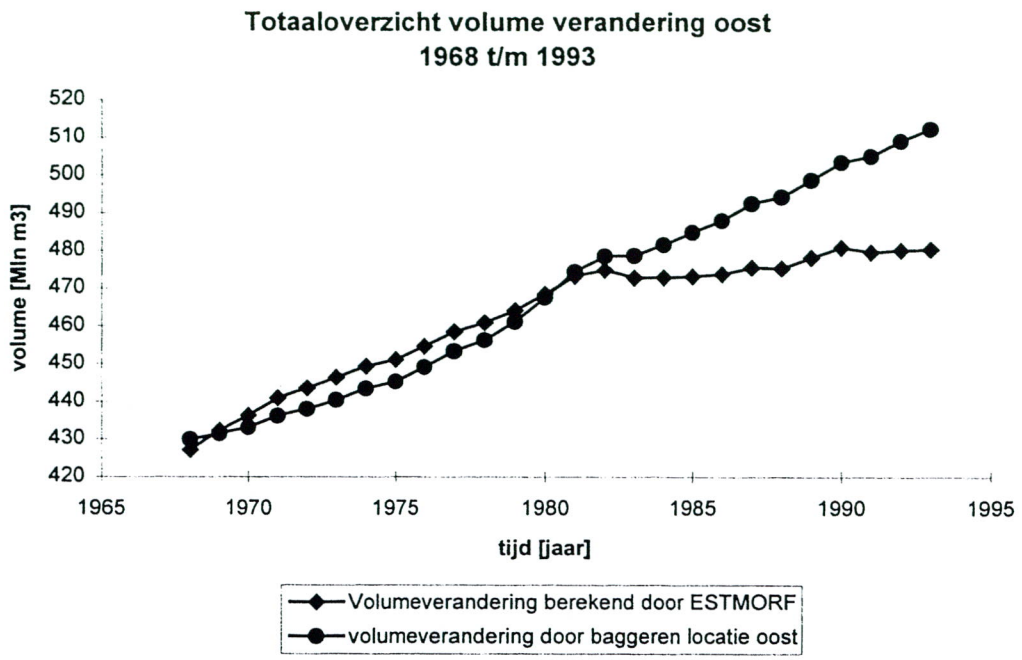
Calibratie periode, geulen

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	baggeren 31 **IMP** T=26 erosie 26	storten -23 **EXP** T=22 sedimentatie -16	baggeren 82 **IMP** T=29 erosie 53
HG	baggeren 40 **IMP** T=62 erosie 12	storten -34 **EXP** T=33 erosie 7	baggeren 130 **IMP** T=75 erosie 55
NG	storten -10 **EXP** T=-36 erosie 15	baggeren 11 **IMP** T=-11 sedimentatie -24	storten -48 **EXP** T=-46 sedimentatie -2

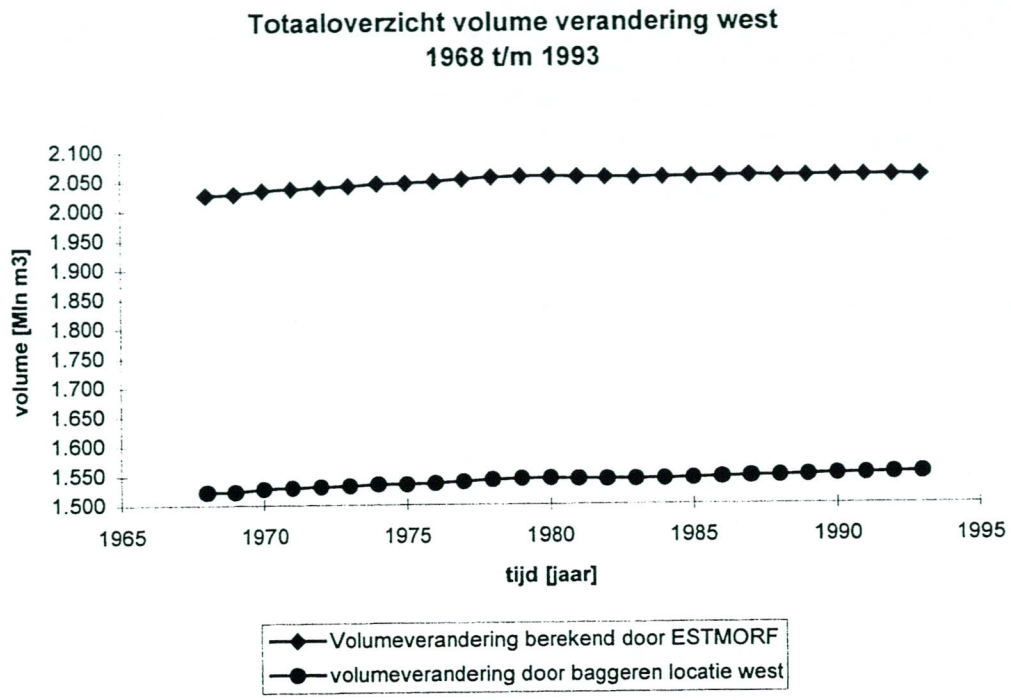


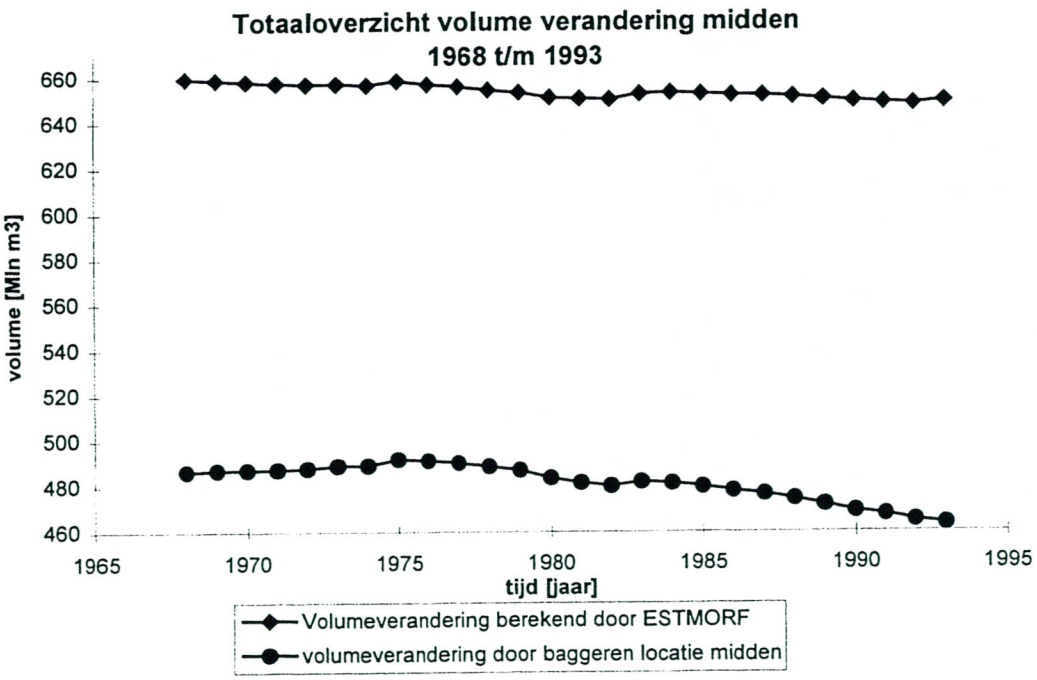


ESTMORF: Calibratie run 1968-1993, geul	Bijlage 6b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

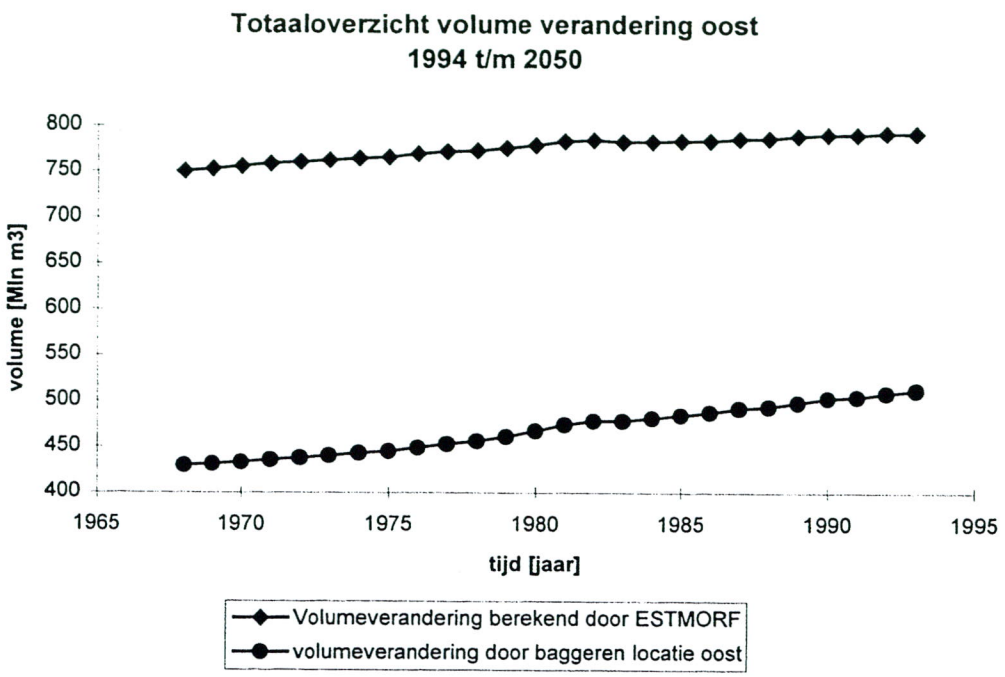


ESTMORF: Calibratie run 1968-1993, geul	Bijlage 6b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x





ESTMORF: Calibratie, totaal	Bijlage 6c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x



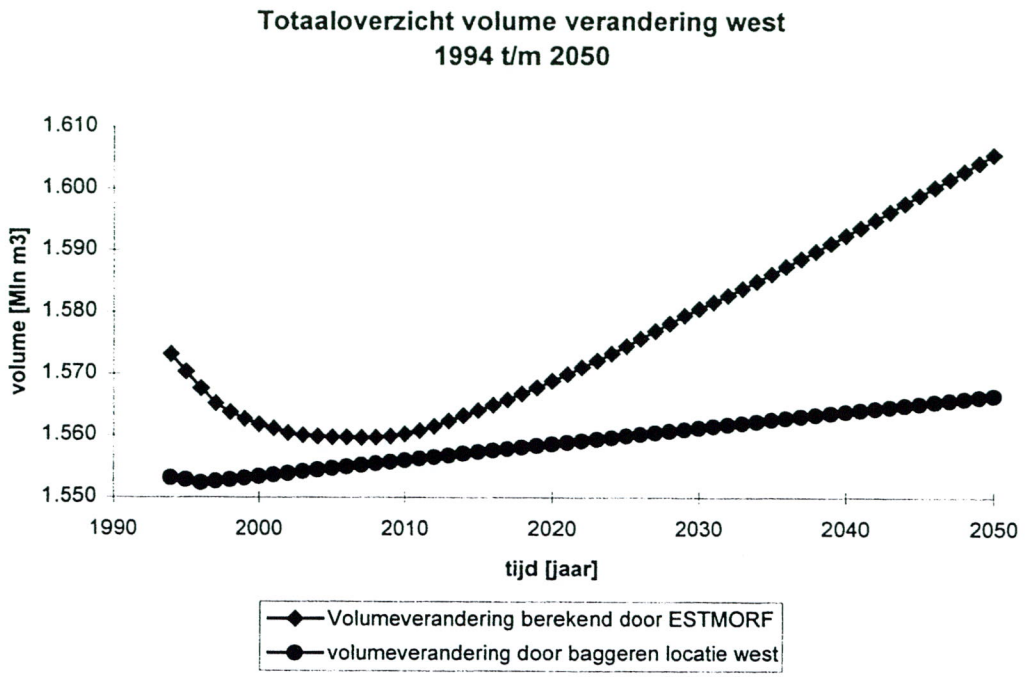
ESTMORF: Calibratie, totaal	Bijlage 6c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

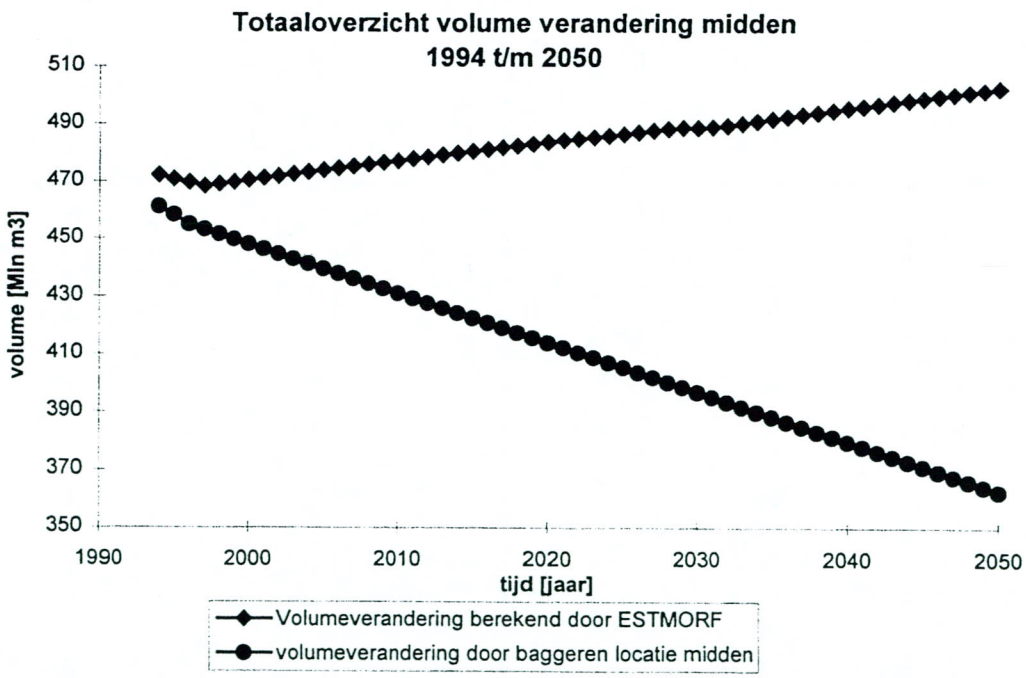
Bijlage 7a
OOST totaal

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	baggeren 13 **EXP** T=-17 erosie 31	storten -99 **EXP** T=0 erosie 29	baggeren 200 **IMP** T=128 erosie 72
HG	baggeren 62 **IMP** T=100 erosie 15	storten -101 **EXP** T=53 erosie 12	baggeren 218 **IMP** T=166 erosie 52
NG	storten -49 **EXP** T=-117 erosie 16	baggeren 3 **EXP** T=-52 erosie 17	storten -18 **EXP** T=-38 erosie 20

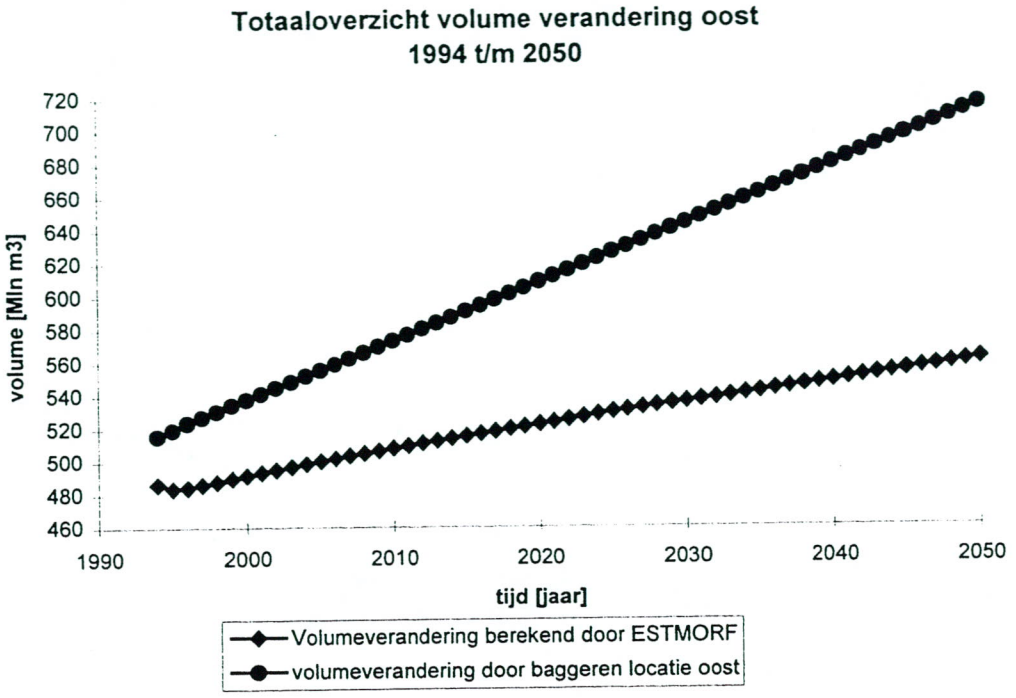
OOST geul

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	baggeren 13 **EXP** T=-23 erosie 32	storten -99 **EXP** T=-4 erosie 30	baggeren 200 **IMP** T=125 erosie 75
HG	baggeren 62 **IMP** T=98 erosie 15	storten -101 **EXP** T=50 erosie 13	baggeren 218 **IMP** T=164 erosie 54
NG	storten -49 **EXP** T=-121 erosie 18	baggeren 3 **EXP** T=-54 erosie 18	storten -18 **EXP** T=-39 erosie 21



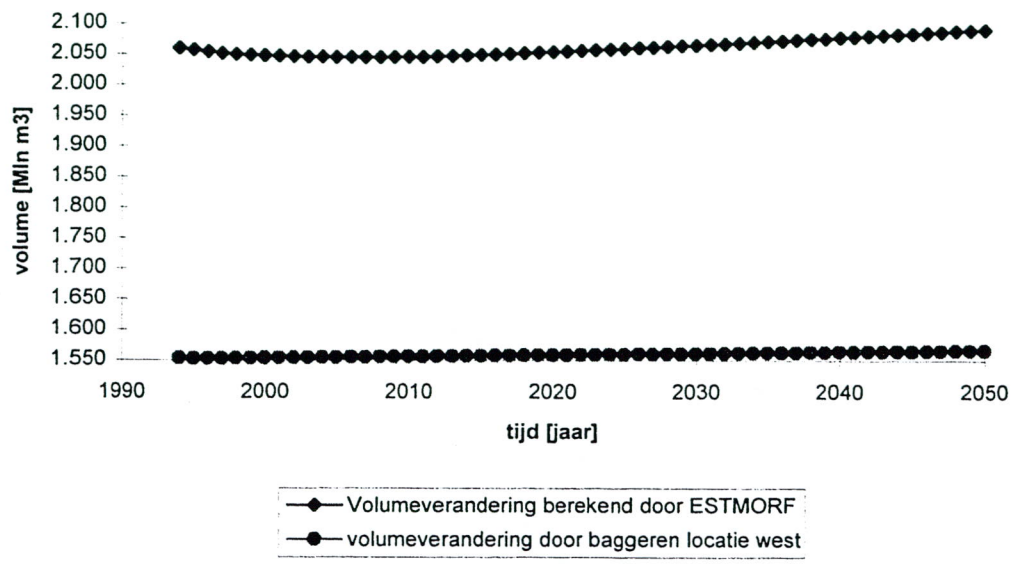


OOST: geulen	Bijlage 7b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

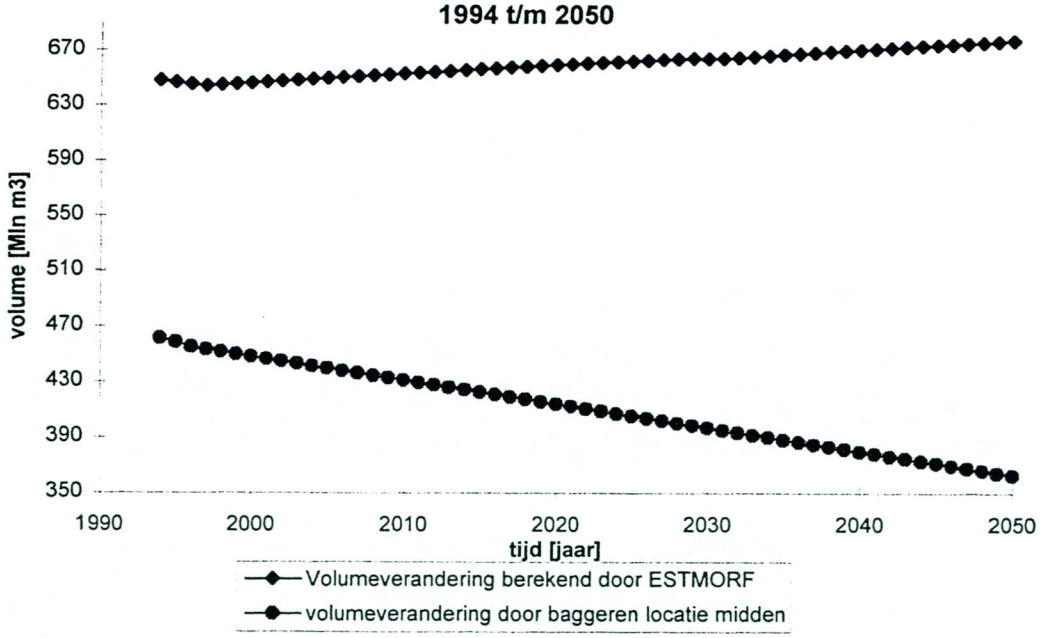


OOST: geulen	Bijlage 7b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

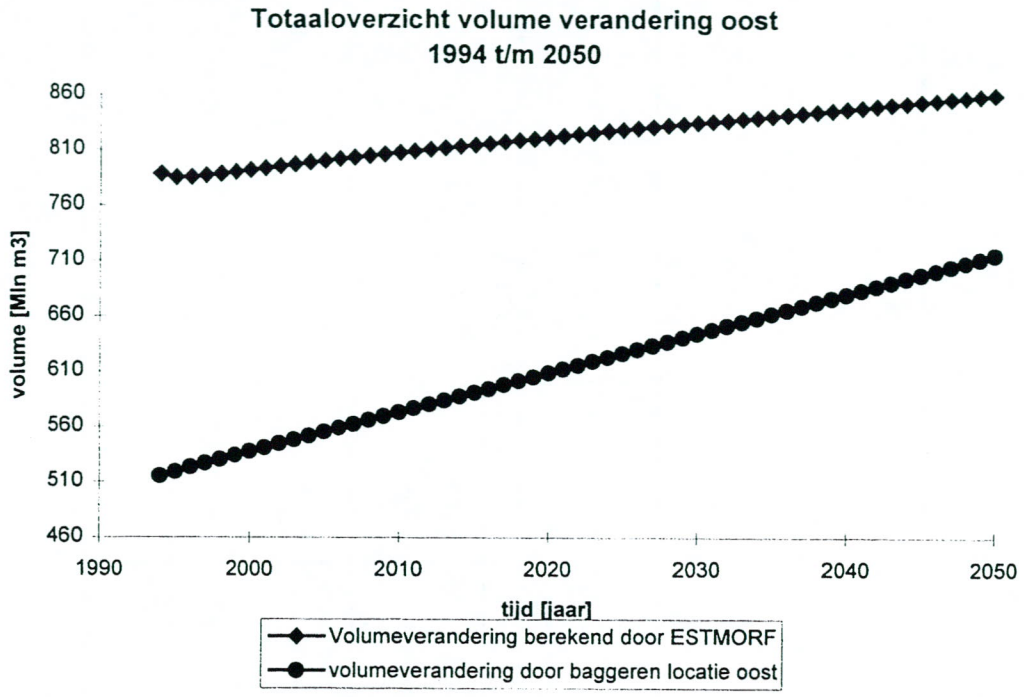
Totaaloverzicht volume verandering west
1994 t/m 2050



Totaaloverzicht volume verandering midden
1994 t/m 2050



OOST: totaal	Bijlage 7c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x



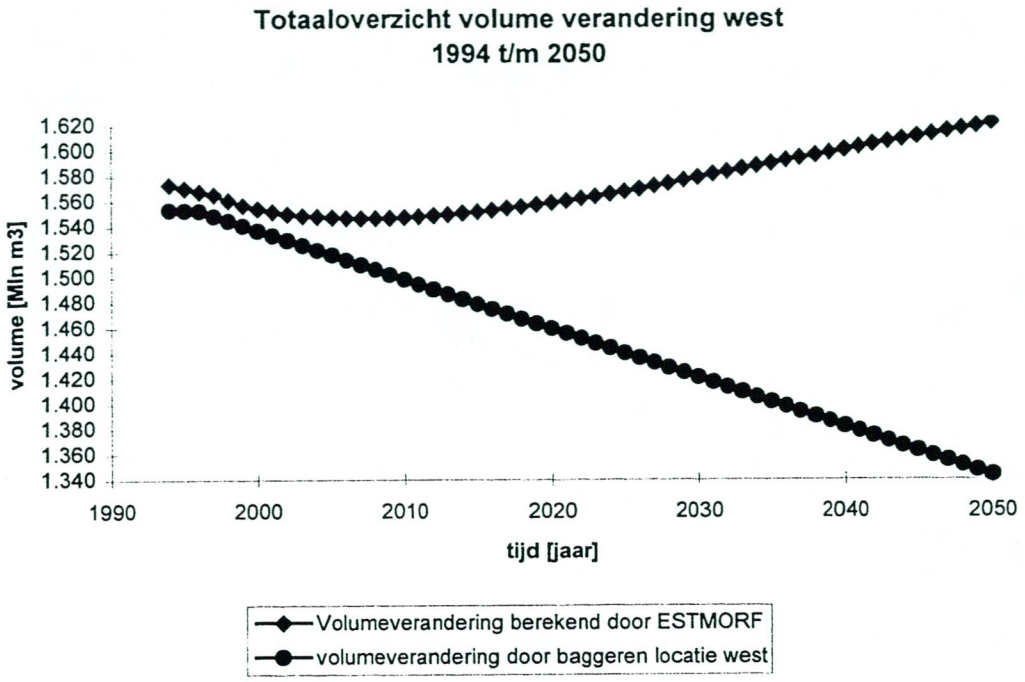
OOST: totaal	Bijlage 7c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

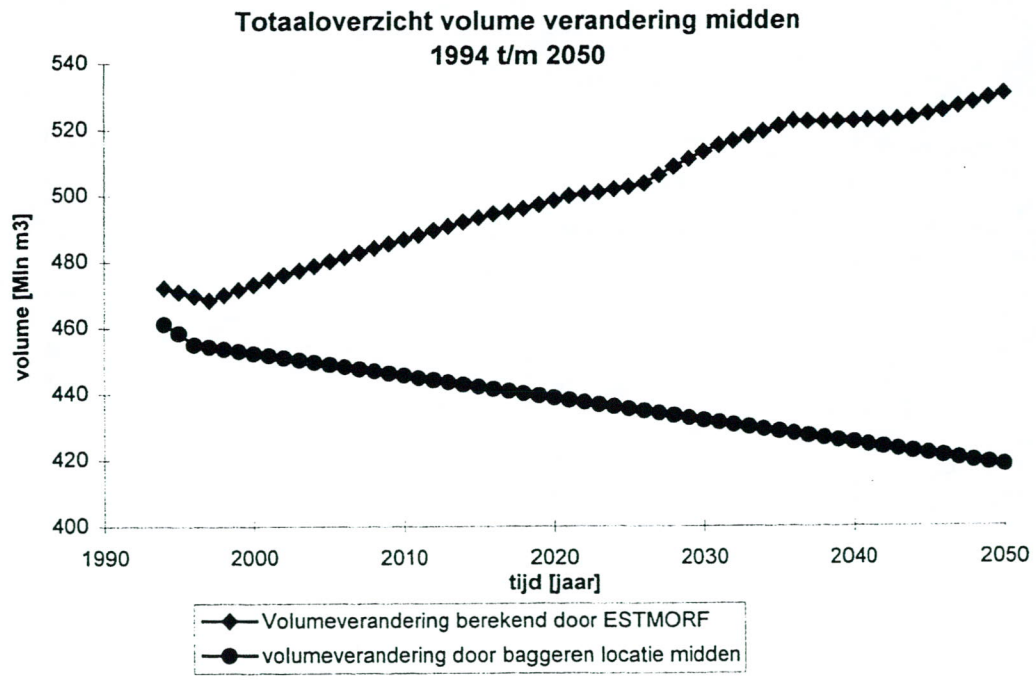
Bijlage 8a
WEST totaal

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	storten -209 **EXP** T=-170 erosie 47	storten -43 **EXP** T=86 erosie 57	baggeren 367 **IMP** T=185 erosie 181
HG	baggeren 61 **IMP** T=247 erosie 24	0 **EXP** T=210 erosie 27	baggeren 362 **IMP** T=237 erosie 125
NG	storten -271 **EXP** T=-417 erosie 22	storten -43 **EXP** T=-124 erosie 29	baggeren 4 **EXP** T=-52 erosie 56

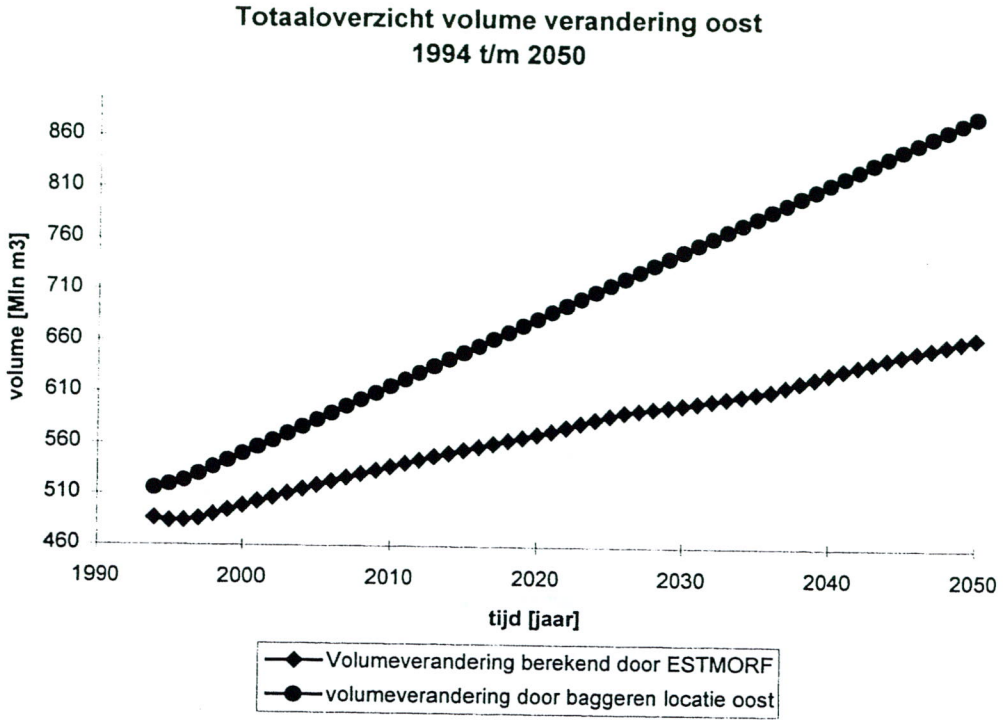
WEST geul

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	storten -209 **EXP** T=-194 erosie 71	storten -43 **EXP** T=86 erosie 58	baggeren 367 **IMP** T=187 erosie 180
HG	baggeren 61 **IMP** T=246 erosie 24	0 **EXP** T=209 erosie 28	baggeren 362 **IMP** T=237 erosie 125
NG	storten -271 **EXP** T=-440 erosie 45	storten -43 **EXP** T=-124 erosie 30	baggeren 4 **EXP** T=-51 erosie 55

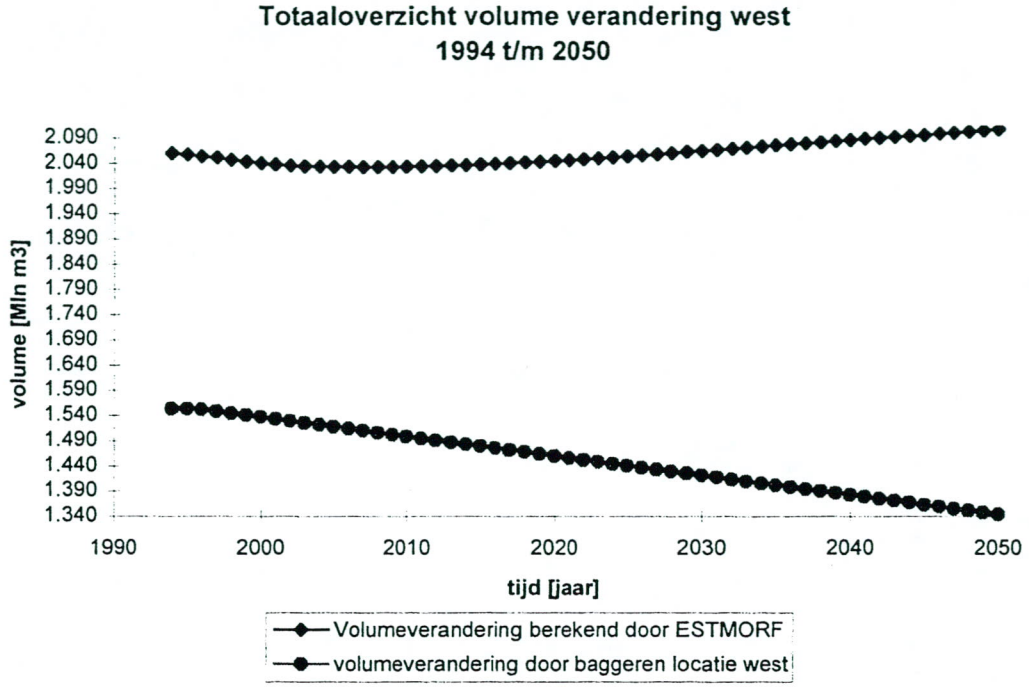


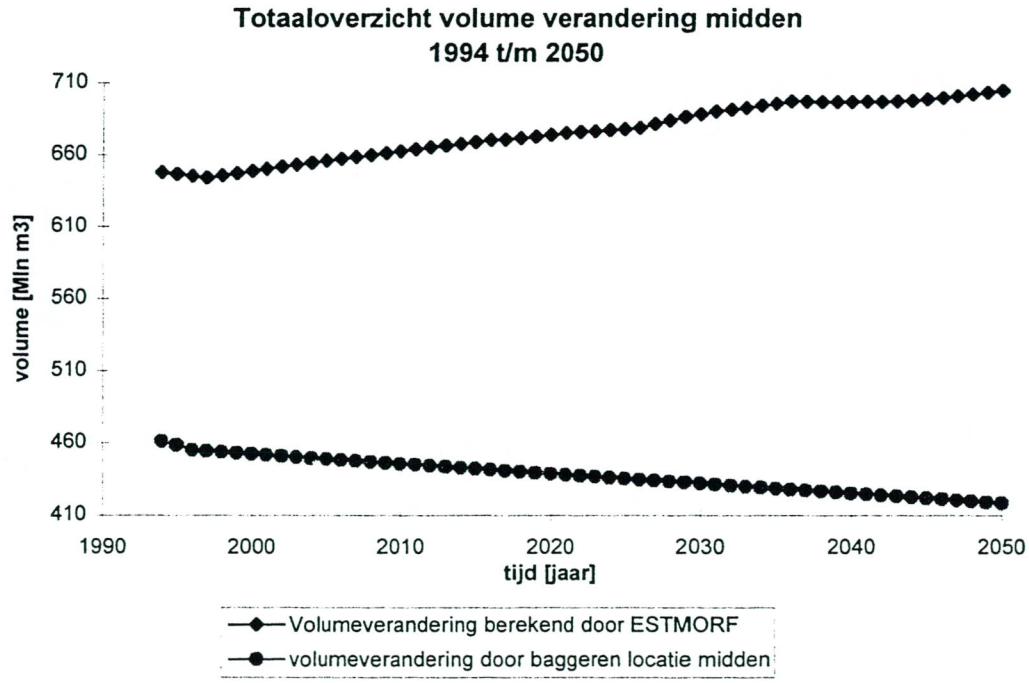


WEST: geulen	Bijlage 8b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

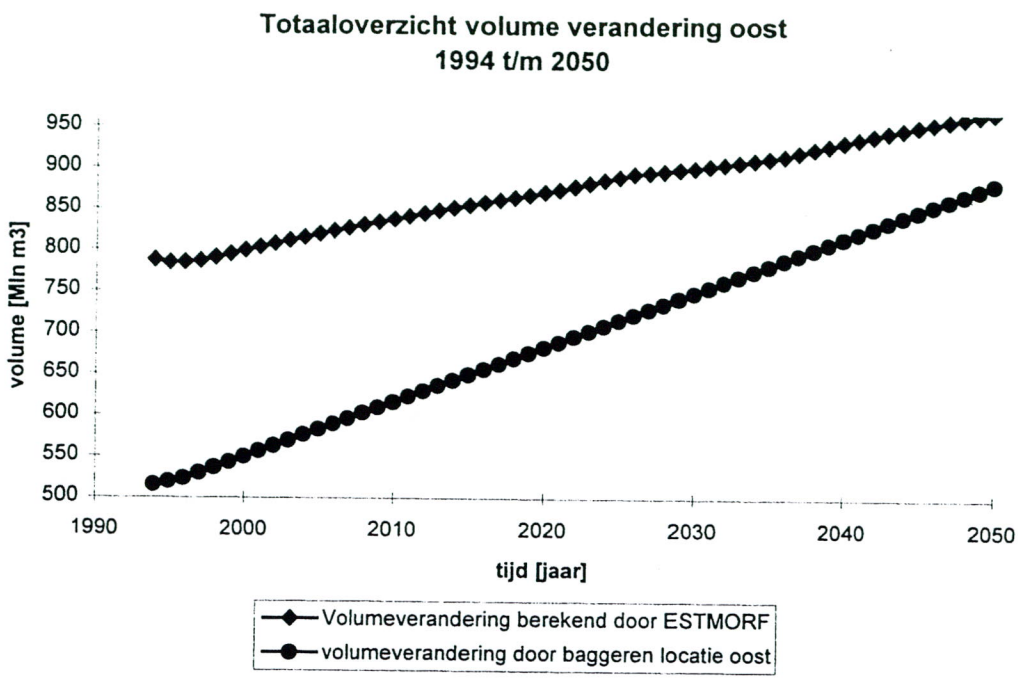


WEST: geulen	Bijlage 8b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x





WEST: totaal	Bijlage 8c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x



WEST: totaal	Bijlage 8c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

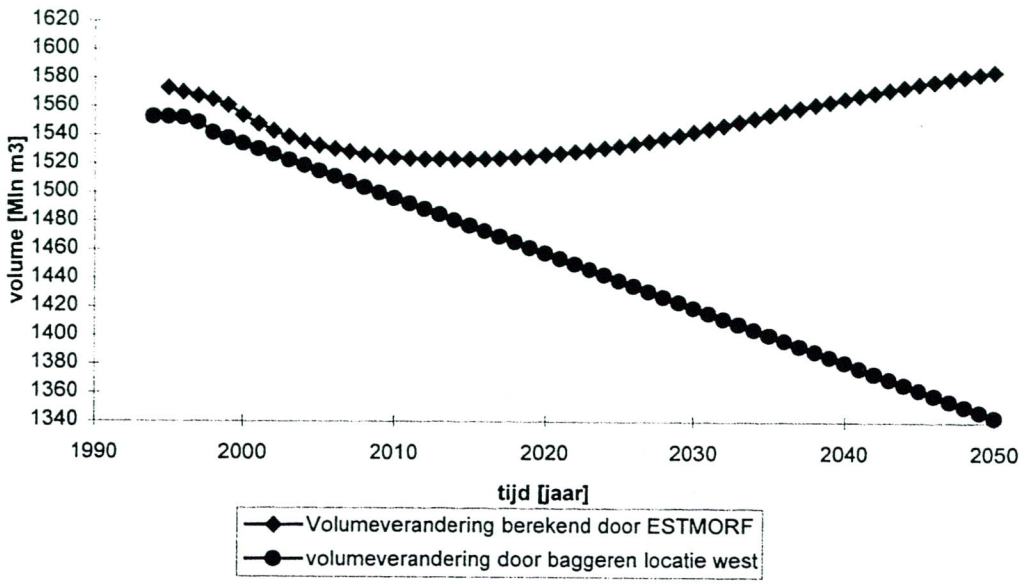
Bijlage 9a
VERDIEP totaal

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	storten -210 **EXP** T=-106 erosie 12	storten -85 **EXP** T=115 erosie 53	baggeren 538 **IMP** T=253 erosie 285
HG	baggeren 78 **IMP** T=372 erosie 12	storten -3 **EXP** T=306 erosie 25	baggeren 544 **IMP** T=334 erosie 210
NG	storten -287 **EXP** T=-478 0	storten -82 **EXP** T=-191 erosie 28	storten -6 **EXP** T=-81 erosie 75

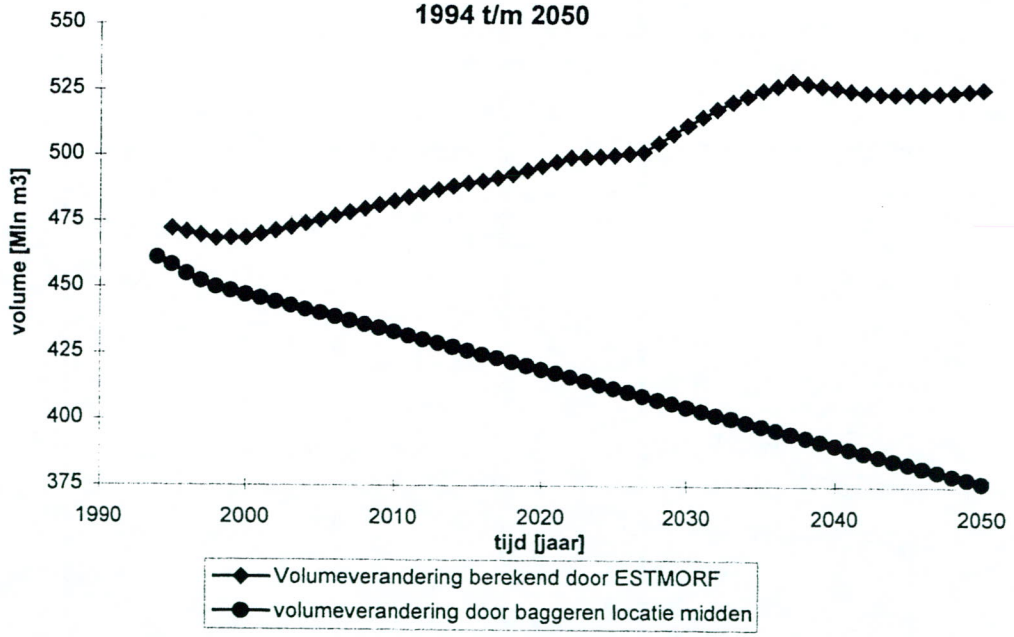
VERDIEP geul

	WEST	MIDDEN	OOST
netto	storten -210 **EXP** T=-106 erosie 14	storten -85 **EXP** T=118 erosie 54	baggeren 538 **IMP** T=257 erosie 281
HG	baggeren 78 **IMP** T=372 erosie 12	storten -3 **EXP** T=313 erosie 26	baggeren 544 **IMP** T=335 erosie 209
NG	storten -287 **EXP** T=-478 erosie 2	storten -82 **EXP** T=-189 erosie 28	storten -6 **EXP** T=-79 erosie 72

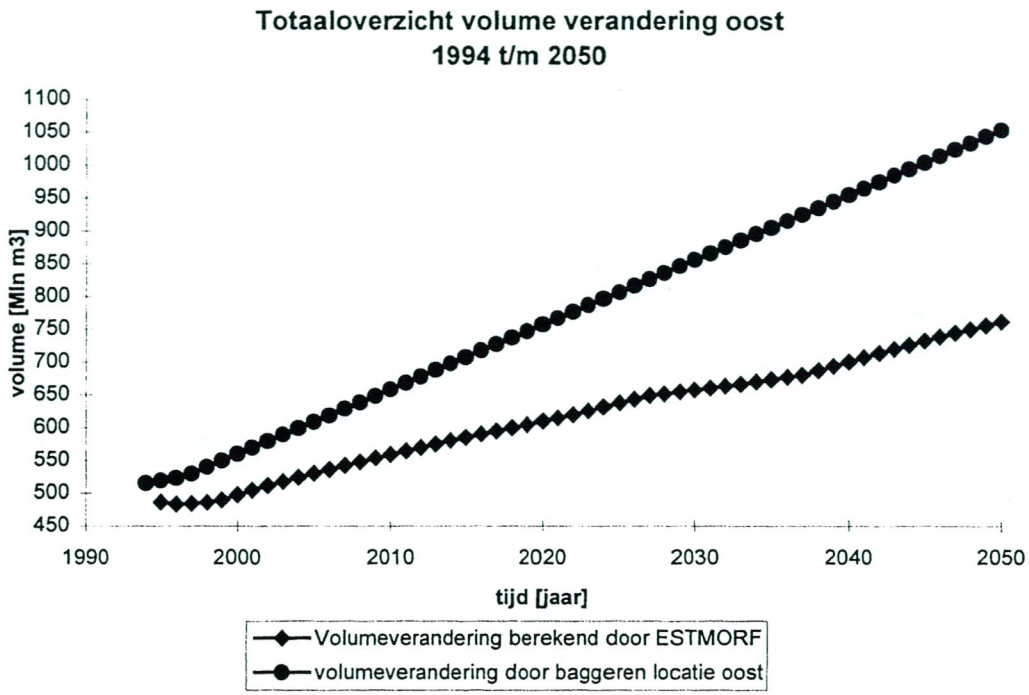
Totaaloverzicht volume verandering west
1994 t/m 2050



Totaaloverzicht volume verandering midden
1994 t/m 2050

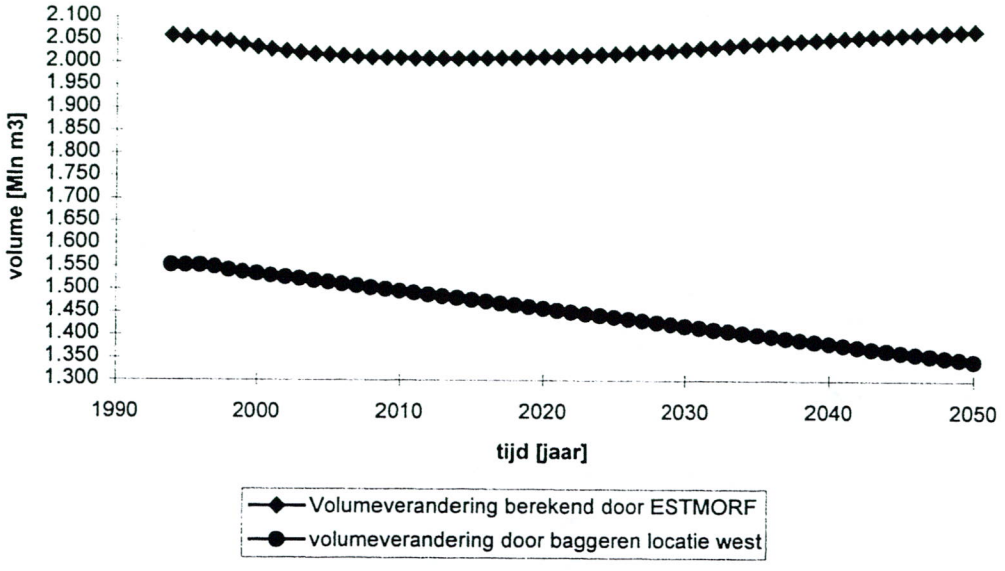


VERDIEP: geulen	Bijlage 9b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

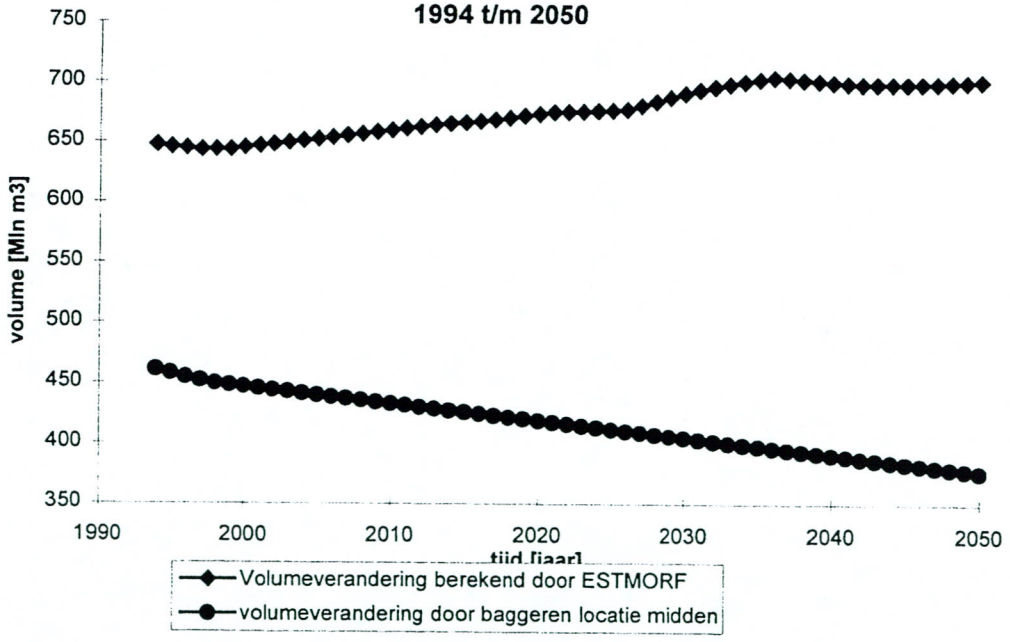


VERDIEP: geulen	Bijlage 9b
RIKZ Middelburg	OS-99.817x

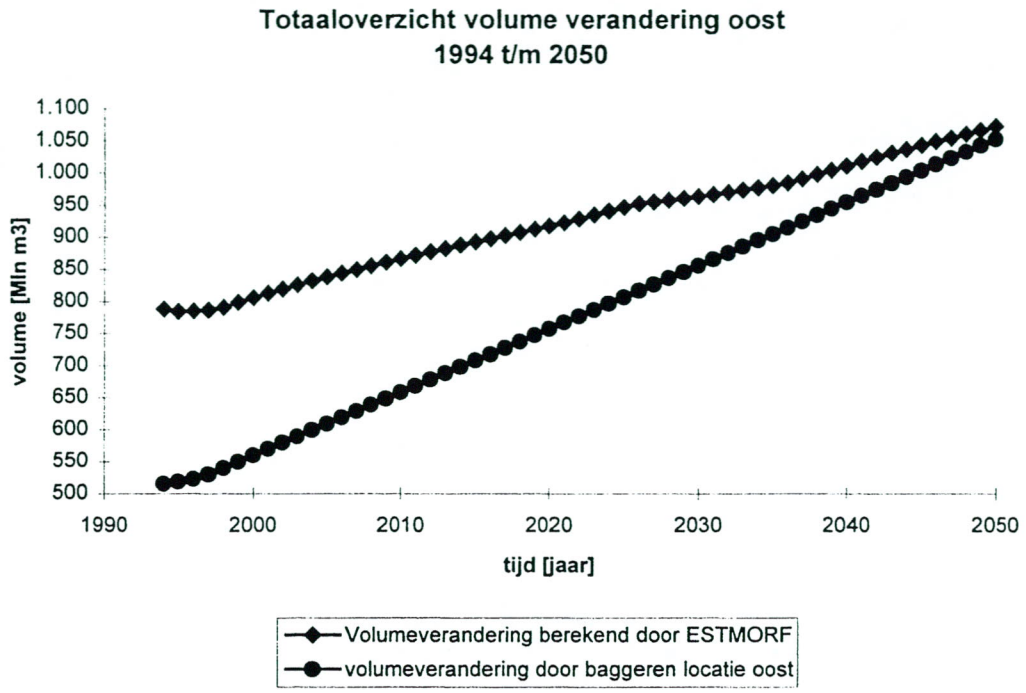
Totaaloverzicht volume verandering west
1994 t/m 2050



Totaaloverzicht volume verandering midden
1994 t/m 2050



VERDIEP: totaal	Bijlage 9c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x



VERDIEP: totaal	Bijlage 9c
RIKZ Middelburg	OS-99.817x