Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde

Basisrapport Morfologie

Kwaliteitscontrole

Gezien door m.e.r.-coördinator (P.A. Weijers):		Gezien door projectdirecteur (H.B. van Essen):	
Handtekening:	Datum:	Handtekening	Datum:

Colofon

Uitgave	Dit Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde is een uitgave van het project Verruiming vaargeul van RWS Zeeland en MOW Maritieme Toegang.
Opdrachtgever	Technische Scheldecommissie
Opdrachtnemer	Consortium ARCADIS - Technum
Titel	Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Basisrapport Morfologie
Auteur(s)	Ankie Bruens, Arjan van der Weck, Kees Kuijper, Claire Jeuken, Ben de Sonneville, Theo van der Kaaij
Status	Versie 3.4
Datum	21 september 2007
Bestandsnaam	070921 Basisrapport Morfologie versie 3.4.pdf

Inhoudsopgave

Leeswijzer dossier "Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde" **7**

1 Inleiding **11**
1.1 Het milieueffectrapport 11
1.1.1 Context en doel 11
1.1.2 Voorgenomen activiteit 11
1.1.3 Alternatieven 17
1.2 Dit basisrapport 20
1.2.1 Doel en afbakening 20
1.2.2 Opzet 21

2 Aanpak **22**
2.1 Inleiding 22
2.2 Uitwerking van alternatieven en varianten 22
2.2.1 Basisuitgangspunten en hoofdkeuzes 22
2.2.2 Onderzoeksvarianten en projectalternatieven 24
2.3 Autonome ontwikkeling 27
2.3.1 Zeespiegelrijzing 27
2.3.2 Bovenafvoer 27
2.3.3 Deurganckdok 28
2.3.4 Sigmaplan 28
2.3.5 Hedwige- en Prosperpolder 29
2.3.6 Natuurontwikkeling Middengebied Westerschelde 29
2.3.7 Zandwinning 30
2.3.8 Verruiming Scheur en Pas van 't Zand 30
2.3.9 Overige ontwikkelingen 30
2.4 Beoordelingskader 31
2.5 Studiegebied 31
2.6 Referentiejaren 32
2.7 Specifieke aspecten inzake aanpak voor dit basisrapport 32
2.7.1 Globale aanpak 32
2.7.2 Begripsomschrijving en onderzoeksparameters 32
2.7.3 Middelen 37
2.7.4 Presentatie van resultaten 38
2.7.5 Bepalen aangepaste stortstrategieën; een iteratiemethode 42

3 Verbetering van kennis en modelinstrument **44**
3.1 Inleiding 44
3.2 Beschrijving modellen 45
3.2.1 Delft3D 45
3.2.2 Estmorf 48
3.3 Opzet model voor milieueffectrapport 51
3.4 Delft3D: De proef op de som 1990-2005 51
3.4.1 Inleiding 51

3.4.2 Uitgevoerde stortstrategie 52
3.4.3 Iteratie flexibele stortstrategie 56
3.4.4 Kwantitatieve resultaten 57
3.4.5 Conclusies 60
3.5 Kracht en beperkingen van de modellen 61
3.5.1 Inleiding 61
3.5.2 Baggerhoeveelheden 61
3.5.3 Diepteontwikkeling geulen, kantelindex en verhangindicator 62
3.5.4 Zandhuishouding 62
3.5.5 Arealen 63
3.5.6 Verschilkaarten (erosie en sedimentatie) 64
3.5.7 Bandbreedte 65
3.5.8 De kracht en beperkingen van de modellen; hoe gaan we hier mee om? 65

4 Verkennend onderzoek: stortstrategieën 67
4.1 Inleiding 67
4.2 Het bepalen van een stortstrategie: een iteratief proces 67
4.2.1 Iteratie met de stortverdeling: proef op de som 67
4.2.2 Effectiviteit plaatrandstortingen 68
4.2.3 Aanlegspecie in de monding 70
4.3 Flexibel storten 71
4.3.1 Stortvakken 71
4.3.2 Invulling van een flexibele stortstrategie 76

5 De varianten en alternatieven 80
5.1 Inleiding 80
5.2 Beschrijving alternatieven en varianten 80
5.2.1 Nulalternatief 80
5.2.2 Varianten en projectalternatieven met verruiming 80
5.2.3 Nulplusalternatief en projectalternatief min 83
5.3 Kwantitatieve voorspellingen 84
5.3.1 Totale bagger- en storthoeveelheden 84
5.3.2 Bagger- en storthoeveelheden per macrocel 85
5.3.3 Stortcriterium 87
5.3.4 Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator 94
5.3.5 Zandhuishouding 98
5.3.6 Conclusies kwantitatieve modelresultaten 102
5.4 Kwalitatieve beoordeling 103
5.4.1 Inleiding 103
5.4.2 Resultaten nulalternatief 104
5.4.3 Resultaten projectalternatieven 105
5.5 Variatie stortstrategie in de tijd 107
5.5.1 Inleiding 107
5.5.2 Gekozen scenario 108
5.5.3 Beschouwing diepte ontwikkeling geulen 109
5.5.4 Beschouwing zandhuishouding 110
5.5.5 Conclusies 112
5.6 De Beneden-Zeeschelde 112
5.6.1 Inleiding 112
5.6.2 Gedrag van putten 113

5.6.3 Stabiliteit schorren en slikken 114

6 Zandwinning 122
6.1 Inleiding 122
6.2 Resultaten 122
6.2.1 Stortcriterium 122
6.2.2 Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator 124
6.2.3 Zandhuishouding 124
6.3 Conclusies 126

7 Morfologische effecten van de vaargeulverruiming 127
7.1 Inleiding 127
7.2 Te verwachten omvang van het onderhoudsbaggerwerk 128
7.3 Effecten op de zandhuishouding 129
7.4 Evaluatie van de bergingscapaciteit van onderhoudsbaggerspecie 130
7.5 Effecten op het meergeulenstelsel 132
7.5.1 Verhouding tussen de diepte van de ebgeul en de vloedgeul 132
7.5.2 Vóórkomen van kortsluitgeulen 134
7.5.3 Arealen 134
7.5.4 Conclusie 135
7.6 Effecten op de Beneden-Zeeschelde 136
7.6.1 Ontwikkeling putten 136
7.6.2 Ontwikkeling schorren 136

8 Literatuur 138

Appendix A: Beschrijving indicatoren 143

Appendix B: Hindcast 1998-2002 152

Appendix C: De proef op de som - iteratieprocedure 163

Appendix D: De proef op de som - modelresultaten 167

Appendix E: Baggeren en storten voor alle alternatieven 176

Appendix F: Geuldiepte voor alle alternatieven 184

Appendix G: Kantelindex en verhangindicator voor alle alternatieven 194

Appendix H: Zandhuishouding voor alle alternatieven 203

Appendix I: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het nulalternatief 209

Appendix J: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het projectalternatief Nevengeul (P4N) 217

Appendix K: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het projectalternatief Plaatrand (P4P2) 226

Appendix L: Variatie stortstrategie in de tijd; Zandhuishouding. 234

Appendix M: Ontwikkeling volgestorte putten in de Beneden-Zeeschelde 236

Appendix N: Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator bij verschillende zandwinscenario's 245

Appendix O: Zandhuishouding bij verschillende zandwinscenario's 248

Appendix P: Huidige toestand Galgenschor 251

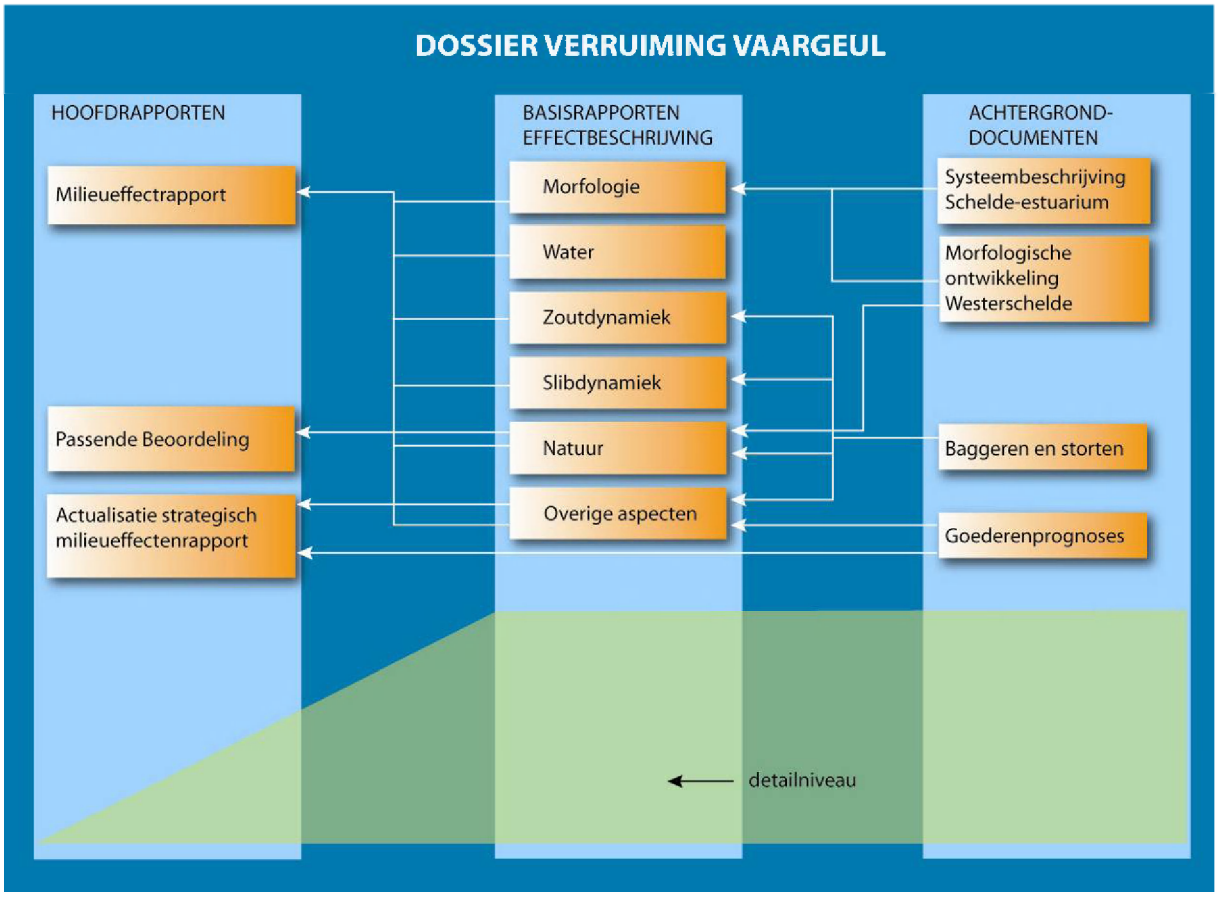
Appendix Q: Effect verruiming op Galgenschor 259

Appendix R: Reproductie morfologische parameters 266

Appendix S: Bandbreedte morfologische parameters 276

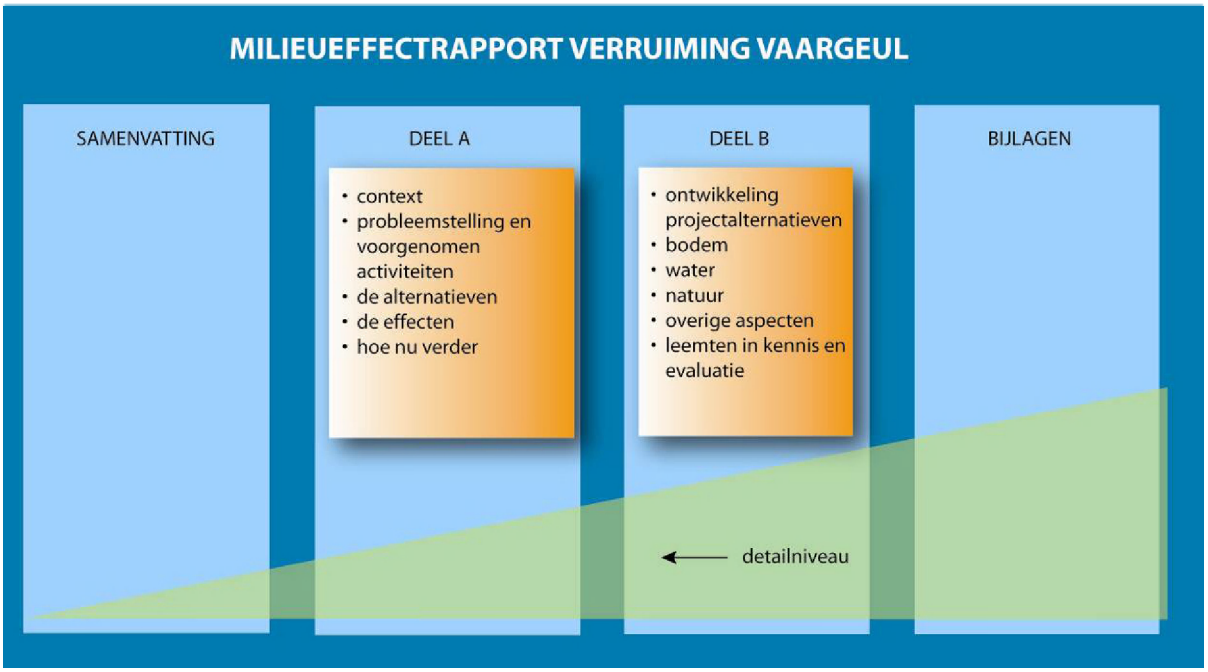
Leeswijzer dossier “Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde”

Het dossier Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde bevat het Milieueffectrapport, een Passende Beoordeling en een Actualisatie van het strategisch milieueffectenrapport. Deze hoofdrapporten worden nader onderbouwd en toegelicht in verschillende basisrapporten en achtergronddocumenten. De samenhang tussen deze documenten wordt toegelicht in onderstaande figuur.



Hoofdrapport Milieueffectrapport (MER)
Het Milieueffectrapport bestaat uit een samenvatting, deel A en deel B en bijlagen. De *samenvatting* geeft snel inzicht in het dossier en de resultaten van het onderzoek. *Deel A* van het milieueffectrapport beschrijft het ‘waarom’ van het project, de problemen, de oplossingen en hoe de oplossingen ten opzichte van elkaar scoren. In deel A staat alle relevante informatie voor bestuurders en de besluitvorming. Een abstractieniveau dieper gaat *deel B* van het milieueffectrapport. In deze hoofdstukken worden de onderzoeken voor bodem, water, natuur en overige aspecten samengevat. Dit is een onderbouwing van deel A.
De bijlagen (achter in dit milieueffectrapport) geven extra informatie, ondermeer een overzichtskaart, een begrippenlijst en achtergrondinformatie.

Navolgend wordt de opbouw van deel A en B nader toegelicht.



Deel A

Hoofdstuk 1 *Context* beschrijft het kader waarbinnen het milieueffectrapport is opgesteld.
In Hoofdstuk 2 *Probleemstelling en voorgenomen activiteiten* worden de voorgenomen ingrepen beschreven. Waarom moet de vaargeul verruimd worden en waar moet bij de uitvoering van het project op gelet worden?
Voor het milieueffectonderzoek is de voorgenomen activiteit vertaald in alternatieven voor de uitvoering van de verdieping en verbreding van de vaargeul. Deze hebben betrekking op het bergen van de vrijkomende aanleg- en onderhoudsbaggerspecie. Hoofdstuk 3 *De alternatieven* beschrijft deze alternatieven.
In hoofdstuk 4 *De effecten* worden de effecten van de alternatieven beoordeeld. Uit deze beoordeling volgt het Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA): het alternatief dat de minst nadelige gevolgen heeft voor natuur en milieu. Ook wordt het beoordelingskader, de omvang van het studiegebied en het tijdsdomein in jaren waarop de effecten worden geïnterpreteerd en beoordeeld beschreven.
In Hoofdstuk 5 *Hoe nu verder* wordt de procedure van deze milieueffectrapportage beschreven. Hier vindt u informatie over de betrokken partijen, besluitvorming en inspraakmogelijkheden.

Deel B

Hoofdstuk 6 *Ontwikkeling van projectalternatieven* beschrijft de resultaten van het onderzoek om te komen tot de projectalternatieven die in hoofdstuk 3 beschreven zijn.
Hoofdstukken 7, 8, 9 en 10 bevatten de onderzoeksresultaten op hoofdlijnen per discipline. De onderzoeksresultaten bevatten een beschrijving van de huidige toestand en van de verwachte ontwikkelingen in het Schelde-estuarium en de effecten van de alternatieven.
Hoofdstuk 11 *Leemten in kennis en evaluatie* beschrijft de kennisleemten en onzekerheden in het onderzoek en de betekenis daarvan voor de interpretatie van de resultaten.

Hoofdrapport Passende Beoordeling
De Passende Beoordeling beschrijft de gevolgen van de verruiming van de vaargeul voor de volgende Natura 2000-gebieden:

- Westerschelde en Saeftinge;
- Schelde- en Durme-estuarium;
- Durme en Middenloop van de Schelde;
- schorren en polders van de Beneden-Schelde;
- Kuifeend en Blokkersdijk.

De Passende Beoordeling bevat de volgende onderdelen:

- Beschrijving van het project;
- Beschrijving van de van belang zijnde vogel- en habitatrichtlijngebieden;
- Beschrijving van de effecten;
- Effectbeoordeling;
- Mitigerende maatregelen;
- Alternatievenonderzoek;
- Redenen van groot openbaar belang en compenserende maatregelen.

Hoofdrapport Actualisatie strategische milieueffectenrapport
De Actualisatie van het strategisch milieueffectenrapport beschrijft de effecten van de gewijzigde scheepvaartstromen over de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde als gevolg van de verruiming, uitgaande van de meest recente goederenprognoses.

Het rapport beschrijft:

- de belangrijkste conclusies op hoofdlijnen uit het strategisch milieueffectenrapport en of deze nog gelden na actualisatie van het onderzoek;
- hoe de uitgangspunten voor de goederenvervoersstromen opnieuw werden bepaald;
- de milieueffecten van deze bijgestelde goederenprognoses en de beoordeling ervan.
- de effecten van de scheepvaartstromen als gevolg van de verruiming (scenario met en zonder WCT);

Basisrapporten en achtergronddocumenten
De basisrapporten en achtergronddocumenten zijn technische en specialistische rapporten waarin de methode, resultaten en conclusies van het uitgevoerde (modelmatige) onderzoek zijn weergegeven. De basisrapporten onderbouwen de effecten en conclusies uit het hoofdrapport. De achtergronddocumenten bieden aanvullende informatie.

Bij het milieueffectrapport horen de volgende basisrapporten:

- Basisrapport Morfologie
- Basisrapport Water
- Basisrapport Slibdynamiek
- Basisrapport Zoutdynamiek
- Basisrapport Natuur
- Basisrapport Overige Aspecten

De volgende achtergronddocumenten zijn onderbouwend aan de basisrapporten:

- Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op de macro-morfologische ontwikkeling
- Morfologische ontwikkeling Westerschelde, fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op mesoschaal
- Baggeren en storten
- Goederenprognoses

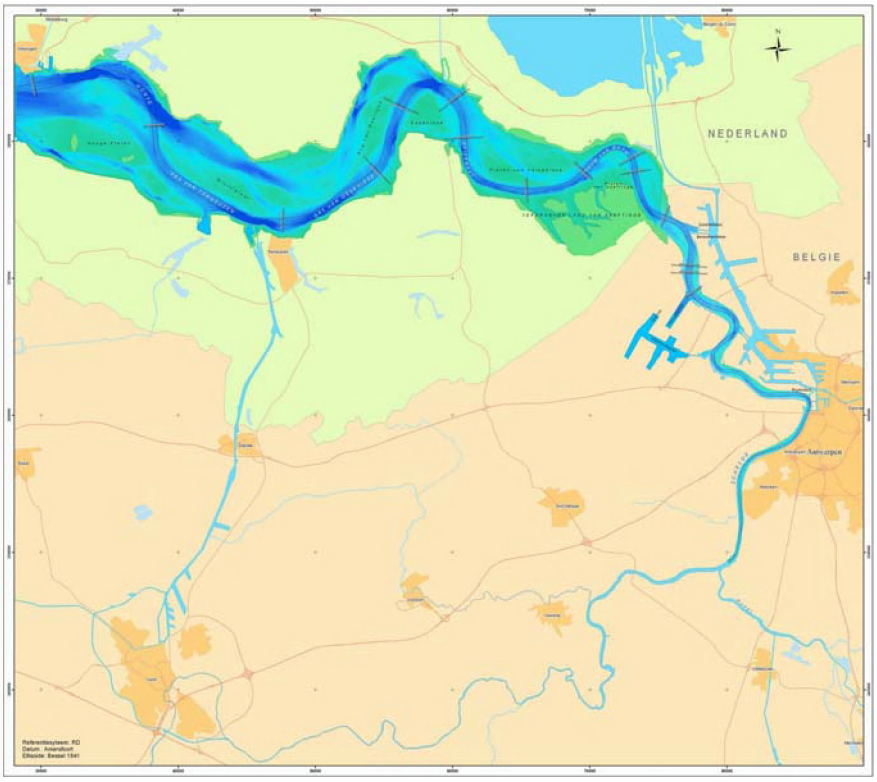
Beschikbaarheid van informatie
Alle rapporten uit het dossier verruiming vaargeul inclusief de literatuur uit bijlage 2 van dit milieueffectrapport zijn opgenomen op de website **www.verruimingvaargeul.nl** / ~.be.

1 Inleiding

1.1 Het milieueffectrapport

1.1.1 Context en doel

Ontwikkelingsschets
De afgelopen jaren voerden Nederland en Vlaanderen een strategische verkenning uit naar een duurzame toekomst van het Schelde-estuarium: de *Ontwikkelingsschets*.



Figuur 1-1: *Het Schelde-estuarium*

Op basis hiervan namen de regeringen van beide landen (politieke) besluiten over projecten en maatregelen voor:
- de veiligheid tegen overstromen;
- de toegankelijkheid van de Scheldehavens;
- en de natuurlijkheid van het estuarium.

Eén van de voorgenomen projecten is de ***"verruiming van de vaargeul"***, die de haven van Antwerpen beter toegankelijk moet maken.

Te nemen besluiten
Voor dit project moeten ondiepe gedeelten in de vaargeul dieper worden uitgebaggerd en in een deel van de Beneden-Zeeschelde moet de vaargeul ook breder worden gemaakt. De vrijkomende baggerspecie moet elders in het estuarium worden teruggestort. Om aanzanden te voorkomen, moet de vaargeul permanent op diepte en breedte worden gehouden.

Baggeren en storten is dus niet alleen nodig bij de aanleg, maar ook voor het onderhoud. Hoe kan dit baggeren en storten het beste worden uitgevoerd? Daarover moeten in Vlaanderen en Nederland besluiten worden genomen: in Nederland in het Tracébesluit en in Nederland én Vlaanderen de vergunningverlening. In de voorbereiding en onderbouwing van die besluiten vormt het doorlopen van de procedure van de milieueffectrapportage een centrale stap. De besluitvormingsprocedures in Nederland en Vlaanderen verschillen weliswaar van elkaar, maar er is gekozen om gezamenlijke documenten op te stellen gebaseerd op dezelfde informatie. Deze documenten kunnen in beide procedures worden gebruikt. Waar mogelijk kunnen daardoor de procedures parallel worden doorlopen.

Procedure van de milieueffectrapportage
De Startnotitie / Kennisgeving Verruiming vaargeul (RWS en AWZ, 2006) is in februari 2006 gepubliceerd en heeft in het voorjaar van 2006 ter inzage gelegen ten behoeve van inspraak en advisering. Hierin staat onder meer de voorgenomen verruiming van de Scheldevaargeul beschreven en hoe de milieueffecten onderzocht zullen worden.
Dit gecombineerde Vlaams – Nederlandse Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde vormt de volgende stap.

Inhoud en doel Milieueffectrapport
Dit milieueffectrapport brengt de belangrijkste effecten van verschillende uitvoeringen (alternatieven en varianten) van de verruiming van de vaargeul in beeld. Voor water, bodem (morfologie), natuur, landschap, ruimtegebruik en mobiliteit, lucht, geluid en trillingen, externe veiligheid, nautische veiligheid en mens en gezondheid.

Zo kunnen de verschillende alternatieven en varianten voor de uitvoering goed met elkaar worden vergeleken. Zodat de beslissingsbevoegde overheidsinstanties bij het Tracébesluit in Nederland en de vergunningverlening in Nederland en Vlaanderen een afgewogen en verantwoorde beslissing kunnen nemen over:
- het (eenmalig) storten van de aanlegbaggerspecie;
- het jaarlijks storten van de onderhoudsbaggerspecie.

Daarbij gaat het er om de werkzaamheden zo uit te voeren dat er geen ongewenste milieueffecten verwacht mogen worden. Dus heeft dit milieueffectrapport ook tot doel te bepalen óf en waar mitigerende en eventueel compenserende maatregelen nodig zijn voor het voorkomen of compenseren van (negatieve) milieueffecten.

1.1.2 Voorgenomen activiteit

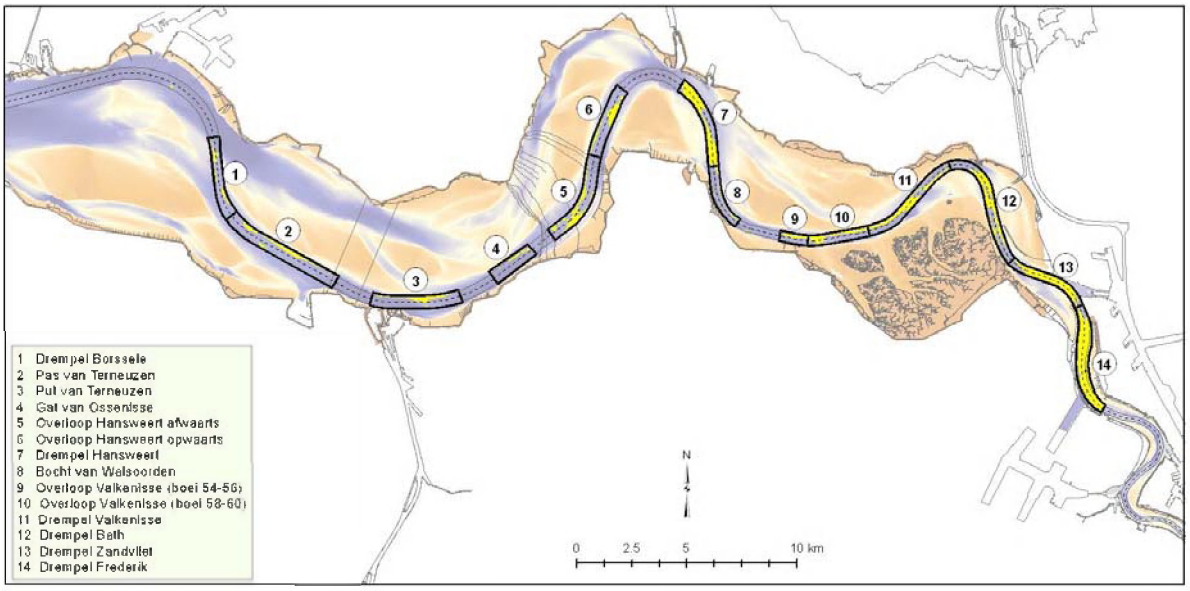
Op dit moment is in de Westerschelde een getijonafhankelijke vaart van schepen met een diepgang van 11,85 meter mogelijk. De verruiming moet een getijonafhankelijke vaart van schepen met een diepgang van 13,10 meter mogelijk maken, uitgaande van een kielspeling van 12,5 procent. Dit betekent een minimale gewaarborgde waterdiepte van GLLWS-14,7 meter.

De verruiming van de vaargeul bestaat als voorgenomen activiteit uit drie onderdelen:
1. verdiepen van de vaargeul;
2. verbreden van de vaargeul inclusief aanleg van de zwaaizone;
3. het storten van de baggerspecie (aanleg en onderhoud).

De aanlegwerkzaamheden zullen plaatsvinden in twee jaar (voorzien voor 2008 en 2009) zodat vanaf 2010 de verruimde vaargeul in gebruik zal zijn. Als gevolg van de voorgenomen activiteiten zullen eventueel ook afgeleide activiteiten nodig zijn: berging van wrakken en obstakels, geulwandverdediging en en verplaatsing en/of bescherming van kabels en leidingen.

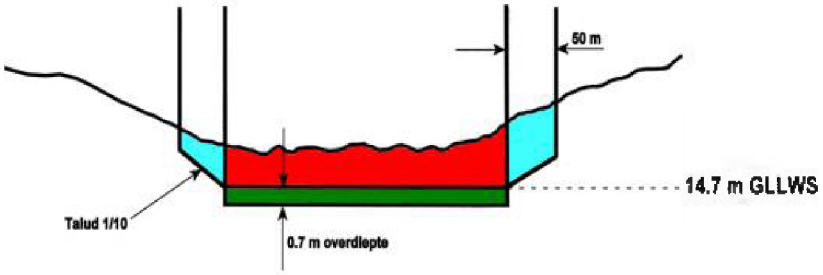
a. Verdieping van de vaargeul

Het is niet nodig om over de hele lengte van de vaargeul baggerwerkzaamheden uit te voeren. Uitbaggeren is alleen nodig op veertien lokaal ondiepe gedeelten, de elf drempels zoals aangegeven in de Startnotitie / Kennisgeving en op enkele aan platen grenzende randen van de vaargeul (zie *Figuur 1-2*).



Figuur 1-2: *Locaties van de ondiepe gedeelten in de vaargeul*

Concreet betekent dit dat de vaargeul ter plaatse van de ondiepe gedeelten uitgebaggerd wordt tot de gewenste diepte en breedte volgens het schema in *Figuur 1-3*.



Figuur 1-3: *Schematische weergave van het principe van het baggerwerk in de vaargeul*

b. Verbreding van de vaargeul inclusief aanleg van de zwaaizone
Stroomafwaarts van Hansweert is de vaargeul in de huidige situatie 500 of 520 meter breed en tussen Hansweert en de Europaterminal nabij Zandvliet 370 meter. Stroomopwaarts van de Europaterminal is de breedte beperkt tot 250 meter. Verder zijn er in de Westerschelde enkele vernauwingen: bij de drempel van Borssele (330 meter), de bocht van Walsoorden (300 meter) en het Nauw van Bath (300 meter).
De vaargeul wordt verbreed tot 370 meter breed op het traject vanaf de Europaterminal tot 500 meter stroomopwaarts van het Deurganckdok. Uitzondering hierop is de leidam van Doel (tegenover de Europaterminal). Daar blijft de breedte 300 meter. Ook de genoemde vernauwingen in de Westerschelde blijven ongewijzigd. Opwaarts van de Europaterminal wordt ter verbetering van de nautische veiligheid een ellipsvormige zwaaizone aangelegd die een maximale breedte heeft van 500 meter en een maximale lengte van 800 meter.

c. Storten van de baggerspecie (aanleg en onderhoud)
Er wordt onderscheid gemaakt in baggerspecie die vrijkomt bij de (eenmalige) aanleg van de verdiepte en verbrede vaargeul en de baggerspecie die vrijkomt bij het onderhoud daarna. De vaargeul zal door de getijdenwerking en de afvoer van rivierwater aanzanden (en in de Beneden-Zeeschelde ook aanslibben) waardoor (jaarlijks) onderhoudsbaggerwerk noodzakelijk is om de vaargeul op het gewenste peil te houden.

Hoeveelheid aanlegbaggerspecie
Bij het baggeren van de ondiepe en te verbreden plaatsen in de vaargeul komt aanlegbaggerspecie vrij (zie *Figuur 1-3*). Deze specie moet worden geborgen. Het uitgangspunt bij het bergen van de opgebaggerde specie is terugstorten in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. Daarbij wordt de Vlaamse specie geborgen op Vlaams grondgebied en de Nederlandse specie op Nederlands grondgebied, behalve als hierover andere afspraken gemaakt worden.

Voor het in eerste aanleg realiseren van een getijonafhankelijke vaart van schepen naar Antwerpen met een diepgang van 13,1 meter is het effectief te baggeren volume ongeveer 14 miljoen m^3. In *Tabel 1-1* staat hoeveel baggerspecie bij aanleg in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde vrijkomt. Het project in de Beneden-Zeeschelde zonder zwaaizone zou een baggerinspanning van 5,25 miljoen m^3 vragen.

Totaal	Beneden-Zeeschelde	Westerschelde		
		Oostelijk deel	Midden deel	Westelijk deel
	6,35	5,15	1,15	1,40
14,05	**6,35**	**7,70**		

Tabel 1-1: *Baggervolumes bij aanleg van de verruimde vaargeul (in miljoenen m3 in situ, inclusief de overdiepte).*

Hoeveelheid onderhoudsbaggerspecie
De precieze hoeveelheid onderhoudsbaggerspecie is op voorhand niet bekend. De wijze van verdiepen en de berging van de aanlegbaggerspecie is hierop van invloed. De berekende gemiddelde hoeveelheid onderhoudsbaggerspecie voor de eerste vijf jaar varieerd bij de in dit

milieueffectrapport onderzochte verdiepingsalternatieven van jaarlijks 15,5 tot 16,2 miljoen m^3. In paragraaf 1.1.3 worden de alternatieven toegelicht.

Jaarlijks, dus structureel, moet er in de huidige situatie ook onderhoudsbaggerspecie uit de Schelde gebaggerd worden tussen Vlissingen en 500 meter opwaarts van het Deurganckdok. Dit wordt voor het grootste deel teruggestort in het estuarium. Tot en met 2001[1] is de jaarlijkse hoeveelheid onderhoudsbaggerspecie in de Westerschelde ongeveer 10 à 11 miljoen m^3. Na 2001 neemt de jaarlijkse hoeveelheid in de Westerschelde af tot 6,4 miljoen m^3 in 2006. De hoeveelheid in de Beneden Zeeschelde varieert over de hele periode tussen de 2,8 en 4,1 miljoen m^3.

In de Westerschelde is vrijwel uitsluitend zandige specie aanwezig. De specie in de Beneden-Zeeschelde bevat meer slib dan in de Westerschelde.

Stortstrategie onderhoudsbaggerspecie

Verbeterde stortstrategie
Uit het strategisch milieueffectenrapport voor de Ontwikkelingsschets is gebleken dat door het rigide voortzetten van de op dat moment toegepaste stortstrategie voor onderhoudsbaggerspecie (vergunning van 1998 tot 2006) het meergeulensysteem van de Westerschelde gevaar loopt: het systeem van hoofd- en nevengeulen met tussenliggende platen en ondiepwatergebieden, met een grote diversiteit aan schorren slikken en platen. De met het oog op het behoud van deze fysieke systeemkenmerken van het estuarium ontwikkelde '*verbeterde stortstrategie*' voor onderhoudsbaggerspecie is gebruikt bij de vergunning voor de periode van 2006 tot 2011. In de verbeterde stortstrategie wordt minder gestort in de nevengeulen.

Aangepaste stortstrategie
Sinds de strategische verkenningsfase is de beschikbare systeemkennis en het beschikbare modelinstrumentarium aanzienlijk verbeterd. In dit milieueffectrapport is met behulp hiervan de '*verbeterde stortstrategie*' voor onderhoudsbaggerspecie uit de vergunning voor 2006 verder geoptimaliseerd en aangepast aan de verruiming van de vaargeul. In dit milieueffectrapport wordt dit de '***aangepaste stortstrategie***' genoemd. In dit basisrapport Morfologie zijn op iteratieve wijze meerdere ***concrete invullingen*** van de aangepaste stortstrategie voor onderhoudsbaggerspecie onderzocht voor de periode tot aan 2030, in samenhang met verschillende manieren van berging van de aanlegbaggerspecie van de verruiming. Hierbij is de stortverdeling over zowel de gehele Westerschelde als de verdeling over het storten in nevengeulen en de hoofdgeul gevarieerd waarbij ook het storten op plaatranden is onderzocht. Het zoeken naar een concrete invulling van de aangepaste stortstrategie maakt deel uit van het morfologisch onderzoek, terwijl de resultaten ervan het uitgangspunt vormen voor het onderzoek over waterbeweging, zout- en slibdynamiek.

Fexibel storten
In de Ontwikkelingsschets is een mogelijke maatregel beschreven om niet verwachtte negatieve effecten van de verruiming van de vaargeul te voorkomen of te verminderen, een zogenoemde mitigerende maatregel: '*het concept van het flexibel storten*'. Hieronder wordt verstaan het bijsturen van het storten van onderhoudsbaggerspecie op basis van (voortschrijdend) inzicht, monitoring van effecten en praktische uitvoeringsaspecten zonder dat hiervoor een nieuwe vergunning nodig is. Hierdoor kan steeds accuraat worden geanticipeerd op de meest recente kennis en inzichten. Om dit mogelijk te maken is een ***meer flexibele invulling van de onderhoudsvergunning*** nodig. In het milieueffectrapport is de vrijheid voor flexibiliteit onderzocht en zo groot mogelijk gehouden, Bij de

[1] gebaseerd op baggervolumes onderhoud van de verruimde vaargeul 1997-2006

ontwikkeling van de projectalternatieven (zie paragraaf 1.1.3) heeft selectie alleen plaatsgevonden vanuit de primaire doelstelling van het project en de harde randvoorwaarden vanuit wet- en regelgeving. Zo zijn op voorhand alleen gebieden afgevallen als stortvak waar negatieve effecten voor morfologie en/of ecologie worden verwacht en geen gebieden die om andere redenen of belangen minder gewenst zijn. Er is gekozen om binnen de vastgestelde uitgangspunten met de onderzoeksvarianten de uitersten te onderzoeken en voor twee duidelijk onderscheidende projectalternatieven zodat meer inzicht is ontstaan in de potentieel beschikbare speelruimte voor flexibiliteit op het niveau van de hele Westerschelde. Ook is er afzonderlijk morfologisch onderzoek verricht (zie dit basisrapport Morfologie) naar specifieke vrijheden voor een flexibele invulling van de onderhoudsvergunning:

- Wanneer? Enkele verkennende berekeningen geven aan dat het inderdaad mogelijk is om met het aanpassen van de stortstrategie in de tijd negatieve ontwikkelingen bij te sturen.
- Waar? Voor de mate van erosie blijkt het niet uit te maken of de baggerspecie geconcentreerd of verspreid binnen een nevengeulstortvak wordt gestort.
- Hoe vaak? Het in één keer benutten van de stortcapaciteit van een plaatrandstortvak geeft per saldo minder erosie dan het benutten van deze stortcapaciteit in een aantal kleinere stappen.

De concrete invulling van de aangepaste stortstrategie is ontwikkeld voor de periode vanaf de aanleg van de verruiming tot aan 2030. Gedurende deze periode worden de morfologische en ecologische ontwikkelingen zorgvuldig gemonitord en geëvalueerd. De eerste vijf jaar na aanleg is alleen detaillering van de inrichting en bijsturing op basis van lokale monitoring mogelijk. Bijvoorbeeld om de natuurpotenties op de plaatranden optimaal te benutten of omdat de plaatranden eerder 'vol' zijn dan verwacht. De wijze van storten op de plaatranden kan hierop worden aangepast, maar ook de verdeling over de stortvakken op de plaatranden, nevengeulen en hoofdgeul binnen de betreffende macrocel (morfologische eenheid). Bijsturing van de verdeling over de gehele Westerschelde op basis van monitoring is minimaal 5 jaar na aanleg mogelijk.onder andere door de stortvakken zo groot mogelijk te maken. De eerste vijf jaar na aanleg - gedurende de looptijd van de vergunning voor de periode 2008 tot 2013 - is alleen detaillering van de inrichting en bijsturing op basis van lokale monitoring mogelijk. De wijze van storten kan hierop worden aangepast, maar ook de aanvangsverdeling over de stortvakken op de plaatranden, nevengeulen en hoofdgeul binnen de betreffende macrocel (morfologische eenheid). Bijsturing van de aanvangsverdeling over de gehele Westerschelde op basis van monitoring is minimaal 5 jaar na aanleg mogelijk.

d. Afgeleide activiteiten

Berging van wrakken en obstakels is nodig als deze een vlotte en veilige vaart belemmeren. Wrakken en obstakels die zich bevinden in de vaargeul tot 3 meter onder de te realiseren bodem, moeten worden geruimd. Ook wrakken en obstakels gelegen in de natuurlijke ontstane helling tussen de gerealiseerde verdieping en de oorspronkelijke bodem buiten de vaargeul zullen geruimd moeten worden. De gebieden die worden gebaggerd zijn onderzocht. Tijdens dit onderzoek zijn een aantal mogelijke obstakels ontdekt. Tijdens de tweede fase zullen deze locaties nader worden onderzocht. Deze informatie is niet in dit milieueffectrapport opgenomen, maar wordt wel gebruikt bij het Ontwerp Tracébesluit en bij de vergunningaanvragen.

Geulwandverdediging is nodig als ter plaatse de ontwikkeling van de geul een bedreiging vormt voor de stabiliteit van de waterkering en/of andere elementen (bijvoorbeeld schorren). In dit milieueffectrapport is onderzocht of de stroomsnelheden in de geulen als gevolg van de verruiming veranderen en of aanvullende maatregelen nodig worden geacht op het vlak van geulwandverdediging.

Uit een uitgebreide inventarisatie is gebleken dat **verplaatsen en/of beschermen van kabels en leidingen in de vaargeul** niet nodig is. In de baggerzone en stortzone afwaarts van de Overloop van Hansweert dient wel speciale aandacht gegeven te worden aan het baggeren en storten boven een aantal nutsleidingen. Daar lopen twee actieve 50 kV-kabels door de voornoemde aanlegbaggerzone en stortzone. Op basis van een onlangs uitgevoerd onderzoek wordt geconcludeerd dat de kabels kunnen blijven liggen en dat bescherming voor wat betreft de vaargeul niet nodig is. Of bescherming daarbuiten nog nodig is, wordt nog nagegaan. Deze informatie is niet in dit milieueffectrapport opgenomen, maar wordt wel gebruikt bij het Ontwerp Tracébesluit en bij de vergunningaanvragen.

1.1.3 Alternatieven

a. Projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand

De effecten van twee projectalternatieven (Nevengeul en Plaatrand) zijn beoordeeld ten opzichte van het nulalternatief: de huidige situatie met gestuurde en niet gestuurde autonome ontwikkelingen. Het verruimen van de vaargeul en het storten van de baggerspecie (de voorgenomen activiteit) impliceert twee belangrijke veranderingen ten opzichte van het nulalternatief (de referentiesituatie):

- Het verruimen van de vaargeul zelf (verdiepen en verbreden inclusief zwaaizone en afgeleide activiteiten) van eind 2007 tot eind 2009. En het storten van de aanlegbaggerspecie.
- Het onderhouden van de verruimde vaargeul en het storten van de onderhoudsbaggerspecie conform een aangepaste stortstrategie met voldoende vrijheid in de vergunning om in te kunnen spelen op voortschrijdend inzicht en monitoring (flexibel storten).

De ligging van de vaargeul (het tracé) en de benodigde verdieping en verbreding inclusief zwaaizone staan vast. Waar en hoe de aanlegbaggerspecie wordt gestort is nog niet bepaald. Dit geldt ook voor de invulling van de aangepaste stortstrategie en het flexibel storten van de onderhoudsbaggerspecie. In theorie zijn ontelbare combinaties van locatie, hoeveelheid, technieken en tijd mogelijk. In vijf selectiestappen is het aantal mogelijkheden ingeperkt tot twee concrete projectalternatieven:

1. Uitgangspunten vaststellen
2. Uitsluiten van gebieden met negatieve effecten
3. Ontwikkelen van onderzoeksvarianten
4. Toetsing van de onderzoeksvarianten
5. Kiezen van projectalternatieven

De ontwikkeling van de projectalternatieven is uitgebreid beschreven in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport van het Milieueffectrapport. De onderbouwing voor de bovenstaande stappen maakt integraal deel uit van de basisrapporten Morfologie, Water en Natuur.

Op basis van de conclusies van de morfologische en ecologische toetsing van de onderzoeksvarianten is besloten om twee projectalternatieven te onderzoeken. De morfologische effecten bleken niet onderscheidend en dus is de keuze gemaakt op basis van de ecologische toetsing:

1. Projectalternatief Nevengeul: in de Westerschelde naast storten in de hoofdgeul zoveel mogelijk storten van de aanleg- en onderhoudsbaggerspecie in de nevengeulen en niet op de plaatranden. Bij dit alternatief worden de risico's op negatieve effecten vanuit de ecologische instandhoudingdoelen zoveel mogelijk beperkt.
2. Projectalternatief Plaatrand: in de Westerschelde naast storten in de hoofdgeul en nevengeulen zoveel mogelijk storten van de aanleg- en onderhoudsbaggerspecie op de plaatranden. Dit is een alternatief met extra natuurpotenties.

In de Beneden-Zeeschelde wordt in beide alternatieven voor de aanlegbaggerspecie uitgegaan van een combinatie van storten in de vaargeul en berging op het land en in de Schaar van Ouden Doel en voor de onderhoudsbaggerspecie vormt de bestaande stortstrategie de basis.

In de paragrafen 6.7 en 6.8 van het hoofdrapport van het Milieueffectrapport worden de beide projectalternatieven nader uitgewerkt. De effecten van beide projectalternatieven zijn in dit Milieueffectrapport vanuit een breed scala van milieuaspecten beschreven. In dit basisrapport staat een deel van de daarvoor benodigde informatie.

	Westerschelde Projectalternatief Nevengeul	**Westerschelde Projectalternatief Plaatrand**	**Beneden-Zeeschelde**
Vaargeul	Verruimen	Verruimen	Verruimen
Storten aanlegbagger-specie	Volledig in de nevengeulen	Volledig op plaatranden	Combinatie van storten in de vaargeul en berging op land en in de Schaar van Ouden Doel
Storten onderhouds-baggerspecie	Aangepaste stortstrategie zonder stort op plaatranden* Concrete invulling: jaarlijks 12,4 miljoen m^3 waarvan 6,1 in de nevengeulen en 6,3 in de hoofdgeul	Aangepaste stortstrategie met stort op plaatranden* Concrete invulling: jaarlijks 11,7 miljoen m^3 waarvan 2,4 op plaatranden, 4,4 in nevengeulen en 4,9 in de hoofdgeul	Huidige stortstrategie
Technieken voor baggeren, transporteren en storten	Sleephopperzuiger en kleppen.	Sleephopperzuiger en kleppen. Op plaatranden: ook rainbowen en sproeiponton.	Sleephopperzuiger en kleppen. Bij berging aan land: walpersen.

Tabel 1-2: *Overzicht van de alternatieven*

Uit de afweging, zoals beschreven in de bovengenoemde rapporten, bleek dat het onderscheidende karakter van de verschillende projectalternatieven gering is. Er is daarop besloten de afweging niet uit te voeren voor zout en slib, aangezien deze parameters een afgeleide vormen van de morfologie en de waterbeweging. A posteriori blijkt uit een vergelijking van de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand dat deze aanname correct was.

b. Referentiealternatieven

Om de effecten van de projectalternatieven te meten, zijn ze in dit milieueffectonderzoek vergeleken met de huidige situatie en autonome ontwikkelingen. Dit is het nulalternatief.

Daarnaast is onderzocht welke effecten kunnen worden toegeschreven aan de aangepaste stortstrategie en welke aan het verruimen van de vaargeul. Hiervoor zijn het nulplusalternatief en het

projectminalternatief gebruikt. Dit zijn referentiealternatieven, die niet zijn te verkiezen als uitkomst van dit milieueffectrapport.

De referentiealternatieven: een overzicht

	Huidige situatie en autonome ontwikkelingen *(nulalternatief)*	***Effecten van aangepaste stortstrategie*** *(nulplus alternatief)*	***Effecten van verruimen*** *(projectmin alternatief)*
Verruimen	*Niet verruimen*	*Niet verruimen*	*Verruimen*
Stortstrategie	*Huidige stortstrategie*	*Aangepaste stortstrategie*	*Huidige stortstrategie*

Figuur 1-4: *Overzicht van de referentiealternatieven*

Nulalternatief: gestuurde en niet-gestuurde autonome ontwikkeling
Bij het nulalternatief wordt de vaargeul niet verruimd. Het nulalternatief bestaat daarom uit de huidige situatie en de autonome ontwikkelingen die voor de toekomst te verwachten zijn. Het nulalternatief vormt de referentiesituatie. Dat wil zeggen dat de milieueffecten van de overige alternatieven worden bepaald en beoordeeld door vergelijking met het nulalternatief[2]. In dit milieueffectrapport wordt onderscheid gemaakt in de zogenaamde gestuurde en niet-gestuurde autonome ontwikkelingen.

De gestuurde ontwikkelingen zijn die beleidsontwikkelingen of geplande projecten waarvan met voldoende zekerheid vaststaat dat ze ook daadwerkelijk zullen plaatsvinden. Om in dit milieueffectrapport als onderdeel van de autonome ontwikkeling te kunnen worden beschouwd moeten deze ontwikkelingen ook voldoende concreet zijn geformuleerd en gevolgen hebben voor het zelfde studiegebied en dezelfde tijdshorizon hebben als de verruiming.

Niet-gestuurde autonome ontwikkelingen zijn het gevolg van natuurlijke veranderingen of zijn normale maatschappelijke ontwikkelingen. Een belangrijke niet gestuurde autonome ontwikkeling is de verandering van het klimaat met onder andere zeespiegelrijzing als gevolg.

In paragraaf 2.3 van dit basisrapport zijn de relevante gestuurde en niet-gestuurde ontwikkelingen beschreven.

Nulplus en projectmin
Het milieueffectonderzoek maakt ook duidelijk welke effecten zijn toe te schrijven aan de verruiming (projectminalternatief) en welke aan de aangepaste stortstrategie (nulplusalternatief).
Deze veranderingen zijn niet onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Uit de strategische verkenning bleek dat een verbeterde stortstrategie nodig is voor de instandhouding van systeemkenmerken, ongeacht of de vaargeul verruimd wordt of niet. Daarom is het van belang om in dit milieueffectrapport niet alleen inzicht te krijgen in de gezamenlijke effecten maar ook in de afzonderlijke effecten van de beide veranderingen. Daarmee wordt ook duidelijk of de effecten van beide veranderingen elkaar versterken of verzwakken. Dit inzicht in de relatie tussen de ingrepen en de effecten is van groot belang om in de toekomst daadwerkelijk te kunnen bijsturen op basis van de resultaten van monitoring.

[2] Voor de Passende Beoordeling zijn de instandhoudingdoelen de referentie.

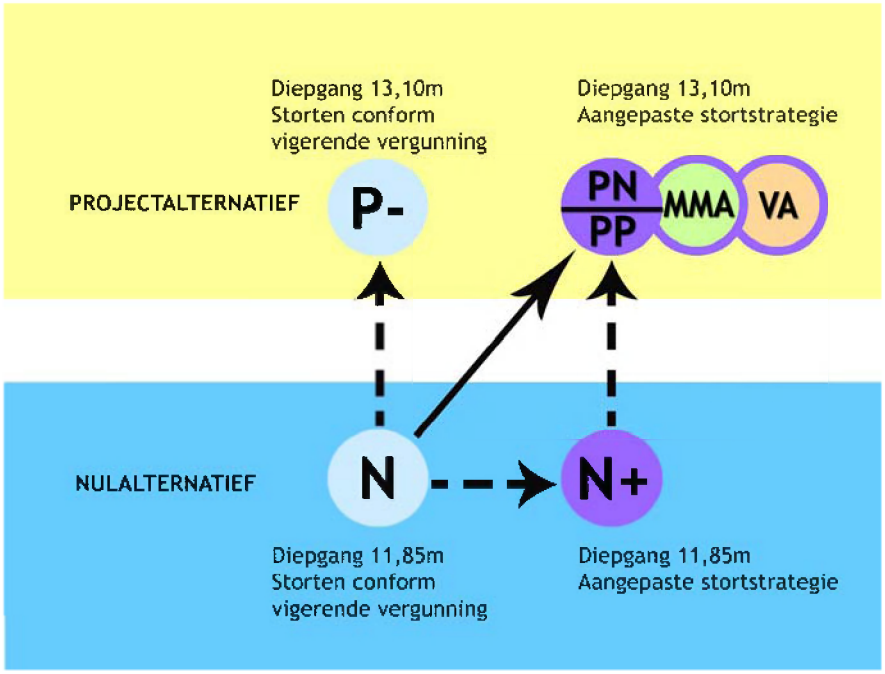
Om inzicht te krijgen in de afzonderlijke effecten van de beide veranderingen en de interactie tussen deze effecten zijn twee extra alternatieven onderzocht:

- Het nulplusalternatief: het nulalternatief, maar dan met een aangepaste stortstrategie. Dit alternatief geeft een beeld van de effecten van alleen het wijzigen van de huidige stortstrategie zonder dat verruiming plaats vindt. Door dit alternatief te vergelijken met de projectalternatieven worden de extra 'opgetelde' effecten als gevolg van de verruiming duidelijk.
- Het projectminalternatief: één van de projectalternatieven, maar dan met de huidige stortstrategie. Dit geeft een beeld van de effecten van de verruiming zonder dat de stortstrategie wordt aangepast. Door dit alternatief te vergelijken met het betreffende projectalternatief worden de extra 'opgetelde' effecten als gevolg van aanpassing van de stortstrategie duidelijk.

Deze alternatieven vormen aanvullende referentiesituaties bij het onderzoek naar de effecten van de projectalternatieven. Deze alternatieven zijn in dit milieueffectrapport daarom ook wel referentiealternatieven genoemd.

c. Overzicht alternatieven

Het geheel van de alternatieven en hun onderlinge relaties is voorgesteld in onderstaande figuur, waarin tevens het meest milieuvriendelijke alternatief en het voorkeursalternatief zijn opgenomen (zie paragraaf 3.5 van het hoofdraport voor een toelichting).



Figuur 1-5: *Samenvattend schematisch overzicht van de alternatieven*

1.2 Dit basisrapport

1.2.1 Doel en afbakening

Het onderhavige basisrapport Morfologie levert toe aan de Vlaams-Nederlands milieueffectrapportage. Doelstelling van de morfologische studie is het in beeld brengen van de effecten van de verruiming van de vaargeul en varianten van het storten van de aanlegbaggerspecie en het storten van de onderhoudsbaggerspecie op de morfologische ontwikkeling van het estuarium,

toegespitst op de systeemattributen van het meergeulenstelstel en hun inherente globale configuratie.

In de morfologische studie worden de effecten op morfologische parameters in beeld gebracht. De effecten van de voorgenomen ingrepen op de waterbeweging, op de ecologische parameters en een ecologische toetsing in het kader van de Natuurbeschermingswetgeving vinden elders in het milieueffectonderzoek plaats (zie basisrapport Water, basisrapport Natuur en Passende Beoordeling).

1.2.2 Opzet

De morfologische studie rust op twee pijlers:

1. Een *systeemanalyse* waarin op basis van waarnemingen uit het verleden het gedrag van het systeem wordt verklaard. In het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling, wordt de werking van het morfologisch systeem van de Westerschelde en Zeeschelde uitgebreid beschreven. Op basis van deze systeemanalyse wordt een deskundig oordeel opgesteld betreffende de verwachte effecten van de verruiming en stortstrategie.
2. *Morfologische Modellen* waarmee de morfologische veranderingen van het systeem met en zonder verruimde vaargeul en met verschillende varianten van stortstrategieën worden berekend. Op basis van deze resultaten en het deskundig oordeel worden conclusies getrokken met betrekking tot de verwachte effecten van de verruiming en de stortstrategie.

In het tweede hoofdstuk wordt de aanpak van de studie verder toegelicht. Nadat in het derde hoofdstuk het toegepaste (model)instrumentaria geïntroduceerd en beschreven zijn, worden in de daarop volgende hoofdstukken de voorspelde effecten gepresenteerd.

2 Aanpak

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt, ten bate van de navolgbaarheid, eerst een (kort) overzicht en een beschrijving van de bestudeerde alternatieven en varianten gegeven (zie paragraaf 2.2), alsmede een overzicht van de autonome ontwikkelingen (zie paragraaf 2.3), een toelichting op het toegepaste beoordelingskader (zie paragraaf 2.4), waarin de beoordelingscriteria en onderzoeksparameters geïntroduceerd worden (de parameters welke gehanteerd worden om de effecten in uit te drukken). Vervolgens wordt ingegaan op het studiegebied (zie paragraaf 2.5) en de referentiejaren (zie paragraaf 2.6) en tenslotte op de aanpak (zie paragraaf 2.7) met betrekking tot het onderdeel morfologie. In de eerste subparagraaf wordt de aanpak globaal uiteengezet. In de daarop volgende subparagrafen worden de middelen die ingezet worden om de effecten in beeld te brengen beschreven (te weten *expert judgement* en de morfologische numerieke modellen).

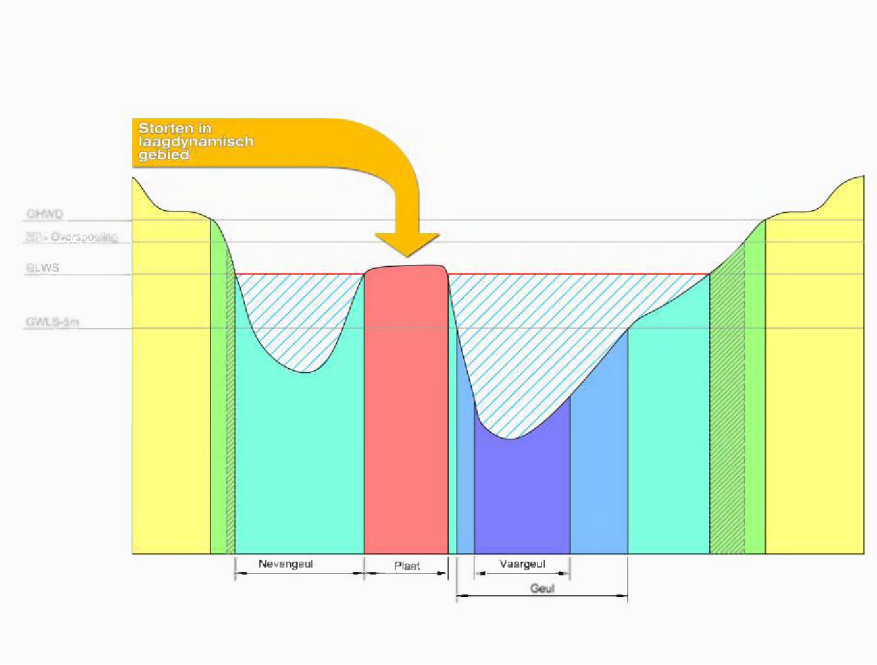
2.2 Uitwerking van alternatieven en varianten

2.2.1 Basisuitgangspunten en hoofdkeuzes

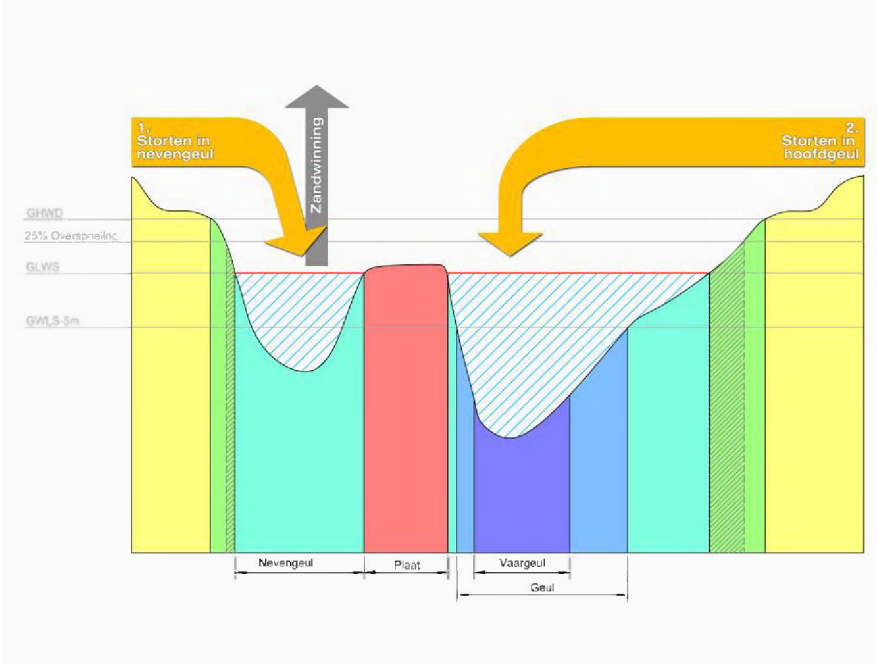
Zowel de aanlegbaggerspecie als de onderhoudsbaggerspecie kunnen worden geborgen in het mondingsgebied, de hoofdgeul en de nevengeulen en op de plaatranden en het land. Op basis van de aanwezige kennis en ervaring zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd en hoofdkeuzes gemaakt:

- Centraal staat het voorkomen van negatieve milieueffecten. De doelstelling van de voorgenomen activiteit richt zich immers op het verbeteren van de toegankelijkheid door verruiming van de vaargeul (dit project) en niet op verbetering van de natuurlijkheid van het systeem door natuurontwikkeling. Hiervoor zijn in de Ontwikkelingsschets vanuit de natuurlijkheidsdoelstelling aparte natuurontwikkelingsprojecten gedefinieerd.
- Alleen die varianten zijn onderzocht waarvan door de deskundigen op voorhand wordt verwacht dat de stortwijze een neutraal of positief effect heeft op de morfologie én de ecologie. Het Schelde-estuarium moet bij voorkeur als systeem benaderd worden, waarbij ecologie en morfologie hand in hand gaan en waarbij het fysische systeem een belangrijke, onmisbare drager is voor de ecologie.
- Belgisch/Vlaamse specie wordt geborgen op Belgisch/Vlaams grondgebied en Nederlandse specie op Nederlands grondgebied, tenzij hierover tussen Vlaanderen en Nederland andere afspraken worden gemaakt.
- Het verdient de voorkeur om de baggerspecie in het estuarium (en dus in het systeem) te houden en zoveel als mogelijk in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde terug te storten. Zeker in Vlaanderen is echter berging van alle aanleg- en onderhoudsbaggerspecie in de Beneden-Zeeschelde door de beperkte capaciteit niet mogelijk.
- De afstand tussen baggeren en storten moet liefst zo klein mogelijk zijn om de milieueffecten beperkt te houden. Beperking van de vaarafstand minimaliseert de uitstoot van schadelijke stoffen en de nautische risico's.
- Er is steeds gezocht naar bergingslocaties die het morfologisch systeem (systeem van platen, geulen, kortsluitgeulen, ondiep water gebieden) zo robuust mogelijk houden en waarbij de milieueffecten minimaal en bij voorkeur positief zijn (ecologische meerwaarde).

- Berging van aanlegbaggerspecie op morfologisch laag dynamische plaatsen wordt aanbevolen (voorbeeld: Plaat van Walsoorden) zodat recirculatie naar de baggerlocaties (op de drempels) geminimaliseerd wordt. Vanuit dit gezichtspunt heeft de berging op plaatranden de voorkeur boven berging in de nevengeulen en de berging in nevengeulen de voorkeur boven berging in de hoofdgeul (zie figuur 2-1 en figuur 2-2).



Figuur 2-1: *Storten in laagdynamisch gebied*



Figuur 2-2: *Storten in nevengeul en hoofdgeul*

2.2.2 Onderzoeksvarianten en projectalternatieven

Om binnen de vastgestelde uitgangspunten de naar verwachting uitersten aan milieueffecten in beeld te brengen zijn meerdere onderzoeksvarianten ontwikkeld (dit is selectiestap 3 zoals beschreven in paragraaf 1.1.3). Belangrijkste variabele daarbij is de mate van morfologische activiteit oftewel de omvang van de sedimenttransporten ter plaatse van de stortlocatie. Dit bepaald hoe lang de gestorte baggerspecie blijft liggen en kan daarmee ondermeer van invloed zijn op de onderhoudsinspanning. De onderzoeksvarianten zijn in twee stappen ontwikkeld. De locaties voor het storten van de aanlegbaggerspecie vormen de basis voor de varianten. Vervolgens is per onderzoeksvariant een concrete invulling van de aangepaste strategie voor het storten van de onderhoudsbaggerspecie ontwikkeld.

De mogelijkheden voor het storten van aanlegbaggerspecie zijn voor de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde duidelijk verschillend. Daarom worden eerst drie concrete opties voor de Beneden-Zeeschelde uitgewerkt en drie concrete opties voor de Westerschelde. Vervolgens zijn door het maken van logische combinaties drie onderzoekvarianten samengesteld.

Berging aanlegbaggerspecie in de Westerschelde

Op basis van de bovenvermelde uitgangspunten zijn er voor berging van aanlegbaggerspecie uit de Westerschelde de volgende opties mogelijk (en onderzocht):

W1. *Berging in het mondingsgebied en op plaatranden*. In deze variant wordt de bij aanleg vrijkomende baggerspecie zo veel mogelijk geborgen in morfologisch inactieve gebieden (plaatranden als de Rug van Baarland, Plaat van Walsoorden en de Ballastplaat) of gestort in de monding in de vorm van een geulwandsuppletie in het Oostgat. Op deze manier ontstaat naar verwachting een minimaal retourtransport en blijven voldoende mogelijkheden over voor berging van de onderhoudsbaggerspecie.

W2. *Berging in het mondingsgebied en in nevengeulen*. Hierbij wordt een zo groot mogelijk deel van de aanlegbaggerspecie gestort in de nevengeulen van dezelfde of aanliggende macrocellen (richting de monding). Een eventueel overschot wordt in het mondingsgebied gestort (geulwandsuppletie Oostgat). De storting van aanlegbaggerspecie in de nevengeulen wordt beperkt door de mogelijkheden om later ook onderhoudsbaggerspecie te kunnen storten. Voor deze variant (en ook voor W3) geldt dat de exacte hoeveelheden aanlegbaggerspecie die geborgen kunnen worden niet op voorhand te bepalen zijn. Deze zullen volgen uit de resultaten van de modelberekeningen. Aan de hand van een aantal criteria zal worden bepaald of de maximale bergingscapaciteit op een bepaalde locatie en een bepaald tijdstip al dan niet wordt overschreden. De restspecie zal vervolgens verder naar het westen worden gebracht.

W3. *Berging op de Hooge Platen en in nevengeulen*. Deze variant is gelijk aan variant W2, met als enig verschil dat de reststorting niet in het mondingsgebied plaatsvindt maar op de Hooge Platen (om zodoende ecologisch interessant areaal te creëren). Het is evident dat het bepalen van de juiste locatie, de vorm en de omvang van de speciestorting voor ecologisch beheer zal gebeuren in nauw overleg met de ecologische experts.

Berging aanlegbaggerspecie in de Beneden-Zeeschelde
Rekening houdend met de geschatte bergingsmogelijkheden in de Schelde en aan land worden drie concrete varianten voor de berging van aanlegbaggerspecie uit de Beneden-Zeeschelde geformuleerd:

B1. *Berging in de Schaar van Ouden Doel en op land*.
In deze variant wordt zo veel mogelijk sediment aan de Schelde onttrokken door berging aan land of opgeslagen in morfologisch inactieve gebieden door berging in de Schaar van Ouden Doel, normaliter ten behoeve van zandwinning. Voor de berging aan land wordt enkel overwogen om specie te bergen in het havengebied op de linkeroever, in de vorm van ophoging op het gedempte Doeldok of in ophogingen in de onmiddellijke omgeving van het Doeldok.

B2. *Berging in de Beneden-Zeeschelde.*
In deze variant wordt een groot deel van het sediment gestort in de vaargeul van de Beneden-Zeeschelde, tussen het Deurganckdok en Schelle. Het restant wordt gestort in de Schaar van Ouden Doel, ten behoeve van zandwinning.

B3. *Berging in de Schaar van Ouden Doel, Beneden-Zeeschelde en op land.*
Deze optie vormt een realistische combinatie van beide voorgaande opties. Enerzijds is het niet gewenst om een groot deel van de aanlegspecie in de vaargeul te storten door de verwachte toename van de onderhoudsinspanning. Anderzijds is het niet gewenst de aanlegspecie volledig op het land en in de Schaar van Ouden Doel te bergen omdat dit in strijd is met de beleidsdoelstelling om het zand primair in het systeem te houden. Het sediment dat vrijkomt bij de aanleg wordt verspreid over alle drie de mogelijkheden: de Beneden-Zeeschelde, de Schaar van Ouden Doel en het land.

Praktische invulling varianten en alternatieven
De uiteindelijk door te rekenen varianten en alternatieven voor het storten van aanlegbaggerspecie bestaan uit een combinatie van aanlegvarianten voor de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde. Om te voorkomen dat alle mogelijke combinaties moeten worden geanalyseerd, is een aantal voor de hand liggende combinaties gekozen. De keuze is zodanig gemaakt dat vergelijkbare varianten aan elkaar gekoppeld worden. Om naar verwachting de uitersten aan mogelijke effecten binnen de vastgestelde uitgangspunten (minimale of maximale invloed) in beeld te brengen is ervoor geopteerd om het projectalternatief P4 op te splitsen in een projectalternatief met zoveel mogelijk storten in de nevengeulen (P4N) en een projectalternatief met zo maximaal als realistisch mogelijk storten op de plaatranden (P4P).

De gekozen combinaties zijn:

Variant	Combinatie	Karakter
P1	B1 met W1	Zo veel mogelijk storten op morfologisch inactieve gebieden of onttrekken van sediment.
P2	B2 met W2	Storten in morfologisch dynamische gebieden buiten de vaarroute.
P3	B3 met W3	Storten in morfologisch dynamische gebieden buiten de vaarroute, optimalisatie van het gebruik van baggerspecie ten behoeve van ecologische doelen.
Alternatief		**Karakter**
P4		Optimale variant op basis van de onderzoeksresultaten.
P4N		*Zoveel mogelijk stort van aanleg- en onderhoudsbaggerspecie in de nevengeulen en **niet** op de plaatranden*
P4P		*Aanleg- en onderhoudsbaggerspecie worden zo maximaal als realistisch mogelijk gestort op de plaatranden*

Tabel 2-1: *Varianten (aanlegstort) en de projectalternatieven*

Aangepaste stortstrategie onderhoudsbaggerspecie
Per onderzoeksvariant en projectalternatief is voor de Westerschelde een concrete invulling van de aangepaste stortstrategie voor de onderhoudsbaggerspecie ontwikkeld. In de aangepaste stortstrategie zijn steeds eerst de stortvakken op de kortste afstand van de baggerlocatie benut (en vervolgens verder in westelijke richting) en van deze locaties eerst de morfologisch minst actieve. De zo verkregen stortverdeling is met morfologische modellen doorgerekend voor een periode van vijf jaar, geoptimaliseerd op basis van de resultaten en vervolgens opnieuw doorgerekend. Dit net zo lang totdat een stortverdeling is ontstaan met een aanvaardbare morfologische ontwikkeling op macroschaal. Het benodigde aantal optimalisatieslagen varieerde van twee tot maximaal zeven afhankelijk van de betreffende onderzoeksvariant/projectalternatief.

In de Beneden-Zeeschelde vormt voor alle onderzoeksvarianten en projectalternatieven de huidige stortstrategie voor onderhoudsbaggerspecie het uitgangspunt. Dit omdat er voor de Beneden-Zeeschelde geen reële afwijkende strategieën mogelijk zijn en omdat het uitgangspunt is dat er geen te storten baggerspecie over de Vlaams - Nederlandse grens wordt getransporteerd (zie basisuitgangspunten). Volgens de huidige strategie wordt het zandrijke deel gestort in de Schaar van Ouden Doel ten behoeve van de zandwinning en de slibrijke deel op enkele vergunde locaties in de Beneden-Zeeschelde buiten de vaargeul.

2.3 Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling wordt bepaald door verschillende factoren: enerzijds globale klimaatsveranderingen zoals zeespiegelstijging, anderzijds zijn de uitvoering van het Sigmaplan in de Zeeschelde en de aanleg van nieuwe buitendijks gelegen natuurgebieden in de Westerschelde (Hedwige- en Prosperpolder) hierop van invloed, evenals zandwinning op de Westerschelde. Het zandwinbeleid in Nederland wordt momenteel geëvalueerd en mogelijk aangepast.

Voor het onderzoek en het geheel van de milieueffectrapportage moeten de projecten die beschouwd worden voldoen aan een aantal voorwaarden:
- Het te beschouwen project moet voldoende concreet geformuleerd zijn
- Het te beschouwen project moet gevolgen hebben op hetzelfde studiegebied
- Het te beschouwen project moet beleidsmatig beslist zijn en
- Het te beschouwen project moet een zelfde tijdshorizon hebben.

Voor het huidige onderzoek zijn deze ontwikkelingen meegenomen zoals onderstaand beschreven.

2.3.1 Zeespiegelrijzing

De zeespiegelrijzing is een belangrijke autonome ontwikkeling als gevolg van de klimaatverandering. De toegepaste cijfers komen overeen met het middenscenario zoals recent gerapporteerd in Klimaat in de 21^{e} eeuw (Hurk et al, 2006). Deze cijfers zijn tevens in overeenstemming met de in het strategische milieueffectenrapport aangenomen waarden van de zeespiegelstijging.

Tabel 2-2 geeft naast de zeespiegelstijging ook de gemiddelde waterstanden in de te beschouwen jaren ten opzichte van NAP.

Jaar	Zeespiegelstijging ten opzichte van 2001 (ten opzichte van 2005) (meter)	Gemiddelde waterstand* (meter ten opzichte van NAP)
2001	-	NAP - 0,017
2005	0,0136 (-)	NAP - 0,0035
2010	0,035 (+0,0214)	NAP + 0,018
2015	0,060 (+0,0464)	NAP + 0,043
2030	0,150 (+0,1364)	NAP + 0,133

* middenstanden op de zeerand van het model dat gebruikt wordt voor de generatie van randvoorwaarden; deze liggen 3 centimeter lager ten opzichte van Vlissingen (zie basisrapport Water)

Tabel 2-2: *Zeespiegelstijging als functie van de tijd*

Het effect van zeespiegelrijzing is verdisconteerd in de randvoorwaarden die zijn aangeleverd vanuit de deelstudie Water (zie basisrapport Water).

2.3.2 Bovenafvoer

Ten aanzien van de bovenafvoer van de rivieren die op de Schelde uitkomen, wordt in de autonome ontwikkeling geen rekening gehouden met een verandering.

De bovenafvoer is verdisconteerd in de randvoorwaarden die vanuit de deelstudie Water zijn toegeleverd (zie basisrapport Water). Er worden berekeningen uitgevoerd voor hoge en voor lage afvoer om zodoende een beeld te krijgen van de effecten voor de verschillende seizoenen.

Voor de afvoeren van de Schelde en haar zijrivieren zijn de resultaten gebruikt van een hydrologische analyse (zie ook hoofdstuk 3 van het basisrapport Zoutdynamiek).

	gemiddelde afvoer (m^3/s)	hoge afvoer (m^3/s)	lage afvoer (m^3/s)
Scheldebekken te Schelle	111	407	24
Spuisluis te Bath	11	63	0,0
Totaal	122	471	24

Tabel 2-3: *Bovenafvoeren in het Scheldebekken*

2.3.3 Deurganckdok

In het jaar 2005 (huidige situatie) is het Deurganckdok voor circa tweederde van de finale lengte afgewerkt. De lengte van het dok bedraagt 1.550 meter (gemeten langs de noordzijde van het dok).

In 2010 zal het Deurganckdok voltooid zijn en een lengte hebben van 2.750 meter (gemeten langs de noordzijde van het dok, de zuidkade is 300 meter korter). De bodem wordt voorzien op –19,00 meter TAW (-21,35 meter NAP). Langs de kades wordt over een breedte van 100 meter een diepte van –17,00 meter TAW (-19,35 meter NAP) voorzien.

2.3.4 Sigmaplan

Het hoofddoel van het Vlaamse Sigmaplan is de beveiliging van het Zeescheldebekken tegen stormvloeden. Het oorspronkelijke Sigmaplan werd opgesteld in 1977 naar aanleiding van een overstromingsramp in januari 1976.

Door de Vlaamse regering is in 2005 het herziene Sigmaplan goedgekeurd (RA - IMDC, 2005). Rekening houden met de besluiten van de Langetermijnvisie Schelde-estuarium is in het plan voorgesteld om voor wat de effectieve uitvoering betreft niet allen de verdere realisatie van het Sigmaplan van 1977 zonder stormvloedkering tot stand te brengen, maar ook een aantal deelprojecten prioritair op te starten. Bij de realisatie zal rekening worden gehouden met aangepaste streefwaarden voor de dijkhoogtes (11,00 meter TAW op de Zeeschelde tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Oosterweel, 9,25 meter TAW op de Zeeschelde tussen Oosterweel en Hoboken, 8,35 meter TAW op de Zeeschelde tussen Hoboken en Temse en 8,00 meter TAW in de rest van het Zeescheldebekken stroomopwaarts van Temse). De prioritaire deelprojecten maken deel uit van het meest wenselijk alternatief (aangevuld met Roggeman ter compensatie omwille van het feit dat het GOG Grote Wal - Kleine Wal - Zwijn niet met estuariene natuur ingevuld wordt maar met wetland) en werden op 1 juli 2005 opgestart.

In het plan zijn ondermeer gecontroleerd overstromingsgebieden (GOG), gecontroleerd gereduceerd getijgebieden (GGG), ontpolderingen en wetlands voorzien.

Aangezien in deze studie geen extreme hoogwaterstanden zullen worden berekend, zullen de GOG's, GGG's en wetlands in de voorziene simulaties niet onderlopen. Daarom zullen uit het Sigmaplan alleen de ontpolderingen worden meegenomen.

In de verschillende modelbodems zijn die ingrepen opgenomen waarvan de aanleg volgens het Sigmaplan circa 5 jaar voordien zijn gestart:

- tegen 2010 zullen nog geen ontpolderingen zijn gerealiseerd,
- tegen 2015 zijn gerealiseerd: de Potpolder van Lillo, De Bunt en de Uiterdijk en eveneens de Hedwigepolder, en de Prosperpolder (zie hieronder),
- tegen 2030 zijn gerealiseerd: Groot Schoor (Bornem), Stort van Hingene en Potpolder 1.

2.3.5 Hedwige- en Prosperpolder

In het kader van de natuurontwikkeling Schelde-estuarium (zoals vastgelegd in de Ontwikkelingsschets), zullen de Hertogin Hedwigepolder en de Prosperpolder ontwikkeld worden als natuurgebied (ongeveer 481 hectare). De voorgenomen activiteit, te weten de inrichting van een (inter-)getijdengebied in de Hedwige- en Prosperpolder, bestaat uit de volgende ingrepen:

- het aanleggen van een waterkerende dijk langs de zuidelijke begrenzing van het projectgebied,
- het handhaven of (geheel of gedeeltelijk) verwijderen van de dijken die daardoor geen waterkerende functie meer vervullen, en
- het inrichten van het plangebied door middel van grondverzet, alsmede door het verwijderen van opstallen, kabels en leidingen, bomen, wegen en dergelijke.

De belangrijkste gevolgen van deze activiteiten voor de grootschalige ontwikkelingen in het Schelde-estuarium, zullen het gevolg zijn van de toegenomen komberging en het directe effect op het areaal intergetijdengebied (zie basisrapport Water). Het hydrodynamisch ontwerp voor het realiseren van het ecologisch streefbeeld is beschreven in (IMDC et al, 2006), het effect van het nieuwe getijgebied op de getijvoortplanting in de Schelde is onderzocht in (Waterbouwkundig Laboratorium, 2005) en (ARCADIS et al, 2004). In dit laatste onderzoek is ook nagegaan wat de effecten zijn van de aanleg van HPP op de stroomsnelheden ter hoogte van de stortlocatie in de Schaar van Ouden Doel en in de vaargeul. Het geheel van de verwachte milieueffecten is beschreven in (Soresma et al, 2007).
De Hedwige- en Prosperpolders worden gereed verondersteld in 2015.

2.3.6 Natuurontwikkeling Middengebied Westerschelde

Zoals in de Ontwikkelingsschets is vastgelegd, zal voor de versterking van de natuurlijkheid van het estuarium het zogenaamde Natuurpakket Westerschelde worden gerealiseerd. Het Natuurpakket Westerschelde bestaat uit realisatie van minimaal 600 hectare nieuwe estuariene natuur langs de Westerschelde op Nederlands grondgebied. Deze 600 hectare is als volgt verdeeld over drie ecologische zones: het Zwin (ongeveer 10 hectare), de Hertogin Hedwigepolder (ongeveer 295 hectare) en het Middengebied (minimaal 295 hectare, nader te lokaliseren).

Voor het Middengebied is een pre-selectie van vier combinaties van gebieden gemaakt. Het zijn:

- Eendragt- en Hellegatpolder (356 hectare)
- Everinge-/ van Hattumpolder met Hellegatpolder (327 hectare)
- Everinge-/ van Hattumpolder met Eendragtpolder (333 hectare)
- Everinge-/ van Hattum-/ Zuidpolder met een kleinere variant van de Hellegatpolder (330 hectare; nader te begrenzen).

Deze mogelijke combinaties zijn onderwerp van een milieueffectrapportage die gedeeltelijk parallel aan de huidige studie wordt uitgevoerd. Mogelijk kan er op basis van de inspraak en dit nader onderzoek een nieuwe (optimale) combinatie worden toegevoegd.
Vanwege de onzekerheid over de besluitvorming rond de natuurontwikkeling in het Middengebied zijn in het onderzoek geen simulaties uitgevoerd om de invloed van verschillende scenario's inzake natuurontwikkeling in het Middengebied te onderzoeken.

2.3.7 Zandwinning

Het huidige beleid voor zandwinning in de Westerschelde wordt thans onderworpen aan een kritische analyse. Dit zou kunnen resulteren in een afbouw van de zandwinning, om de invloed ervan op de grootschalige zandbalans van de Westerschelde te beperken, waarbij zou gestreefd worden naar een afbouw van de zandwinning tegen 2011.

Een gezamenlijk Vlaams/Nederlands besluit hierover is nog niet genomen. Geconstateerd kan worden dat zandwinning een belangrijke rol speelt bij de langetermijnontwikkeling van de Scheldebodem (zie onderhavig basisrapport Morfologie) en het beoordelen van de veranderingen ten gevolge van de autonome ontwikkeling.

Het effect van de zandwinning is verdisconteerd in de bodemveranderingen die vanuit de Morfologische studie zijn toegeleverd (zie onderhavig basisrapport Morfologie) en die gebruikt zijn om de bodems voor 2030 (en 2015) te construeren. Bij de morfologische berekeningen van de autonome ontwikkeling is het huidige zandwinningbeleid doorgezet. Het betreft een winning van 2 miljoen m^3 zand per jaar in de Westerschelde en nog eens 1 tot 2 miljoen m^3 zand per jaar in de Beneden-Zeeschelde, meer bepaald in de Schaar van Ouden Doel. Het morfologische effect van een verandering of afbouw van de zandwinning in de Westerschelde op de verruiming is onderdeel van de studie.

2.3.8 Verruiming Scheur en Pas van 't Zand

Om de nautische toegankelijkheid op een veilige manier te kunnen garanderen, zowel naar de haven van Zeebrugge als naar de Westerscheldehavens, is eind 2006 een programma van baggerwerken gerealiseerd, waarbij in de Pas van 't Zand en het Scheur volgende baggerdieptes worden nagestreefd (van west naar oost): Geul I (west en oost) – 164 decimeter, Scheur West – 162 decimeter, Pas van 't Zand – 162 decimeter, Scheur Oost I – 155 decimeter en tenslotte Scheur Oost II en III – 154 decimeter.

Gelet op de beperkte verruiming zijn de vaargeulen in het mondingsgebied niet opgenomen in de bodems van het morfologische model Delft3D en evenmin in het hydrodynamische model. De onderzoeksdeskundigen zijn, na bestudering van deze autonome ontwikkeling, van oordeel dat de verruiming zo marginaal is en dat de invloed daarvan op de modellen verwaarloosbaar is.

2.3.9 Overige ontwikkelingen

Van een aantal overige ontwikkelingen zoals de aanpak van de zwakke schakels in de nabijgelegen kustzone, de ontwikkeling van het Zwin en de mogelijke aanleg van de Westerschelde Container Terminal, wordt een zeer geringe invloed op de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde verwacht of is nog onvoldoende bekend hoe die ontwikkeling precies vorm zal krijgen. Deze ontwikkelingen zijn bij dit onderzoek dan ook verder niet betrokken.

In de Westerschelde wordt jaarlijks een totaal van circa 4,2 miljoen m^3 baggerspecie gestort uit de Westerscheldehavens, conform de huidige stortvergunningen. Deze specie is afkomstig van meerdere havens langsheen de Westerschelde (met als voornaamste Terneuzen Braakmanhaven, Terneuzen Westbuitenhaven, Vlissingen, Hansweert Buitenhaven, Breskens). De gestorte specie uit de havens wordt gekarakteriseerd als 50 procent slib (< 63 µm) en 50 procent zand (>63 µm). Voor het storten van deze havenspecie zijn evenwel geen specifieke modelsimulaties uitgevoerd. In onderzoek ten behoeve van de habitattoets inzake de effecten van bagger- en stortactiviteiten t.b.v. het havenonderhoud in Zeeuwse wateren is uitvoerig ingegaan op de morfologische gevolgen van de zandstortingen (WL, 2006a en 2006b).

Hierin werd besloten:

- Op het schaalniveau van het hele estuarium wordt het effect van de beschouwde stortactiviteiten op de zandbalans verwaarloosbaar klein geschat;
- Voor de macrocellen worden geen negatieve effecten met betrekking tot de stabiliteit van het meergeulensysteem verwacht.
- In mesocel 2 is de hoeveelheid van storten dichtbij het stortcriterium. Maar de netto ingreep in dit gebied is een onttrekking vanwege de zandwinning, waardoor de effecten van het beschouwde storten worden verminderd.

Bij de beoordeling van de effecten van de verruiming is in het morfologisch onderzoek ingegaan op de interactie tussen de stortactiviteiten ten behoeve van het onderhoud in de Westerschelde enerzijds en de stortactiviteiten voor de havens anderzijds (zie onderhavig basisrapport Morfologie). Ten aanzien van de gestorte volumes slib uit de havens langs de Westerschelde wordt aangenomen dat de stortingen (en de retourstroom van sedimenten naar de havens) een intern proces vormen in de Westerschelde dat bijdraagt tot het globaal beeld inzake slibconcentratie in het gebied.

Voor de Beneden-Zeeschelde wordt rekening gehouden met de ontwikkelingen in het kader van het compensatieplan naar aanleiding van de bouw van het Deurganckdok, verankerd in het Nooddecreet en aangevuld met compensaties voor eerdere ingrepen tussen 1981 en 2001 (het Historisch Passief). Meer specifiek impliceert dit de realisatie van het slik-schorgebied de Brakke Kreek en het historische Paardenschor en anderzijds de inrichting van Doelpolder Noord. Het geheel van maatregelen moet leiden tot robuuste natuur en is beschreven in de Achtergrondnota Natuur (Afdeling Natuur et al, 2006). De meer concrete invulling van de natuurontwikkeling in het havengebied op linkeroever zal vorm krijgen na uitwerking van het Milieueffectrapport Strategisch Plan Haven van Antwerpen dat in voorbereiding is (RA et al, 2007).

2.4 Beoordelingskader

Het beoordelingskader is uitgewerkt in hoofdstuk 4 van het milieueffectrapport. De beoordelingsaspecten voor de milieueffectbeoordeling zijn uitgewerkt in hoofdcriteria. Deze hoofdcriteria zijn rechtstreeks gekoppeld aan de zogenaamde *onderzoeksparameters*. Voor het specifieke overzicht van de onderzoeksparameters wordt verwezen naar paragraaf 2.7.2 van dit basisrapport.

2.5 Studiegebied

Het projectgebied is het gebied waarbinnen de projectactiviteiten zullen worden uitgevoerd: de vaargeul en de stortlocaties. Ten gevolge van de activiteiten wordt een gebied beïnvloed. Dit gebied heet het studiegebied.
In het algemeen bestaat het studiegebied uit het estuarium van de Westerschelde in Nederland, inclusief het mondingsgebied en de Zeeschelde en de eventuele landbergingsplaatsen in Vlaanderen die voorzien worden voor het bergen van baggerspecie. Voor de meeste aspecten zal het effect beperkt zijn naar stroomopwaarts toe tot de Rupelmonding. Inzake waterbeweging, zout-en slibdynamiek wordt het studiegebied uitgebreid tot de grenzen van het getijgebied (dit is tot Gent en de bovenlopen van de Rupel). Dit impliceert niet dat alle modellen expliciet tot deze grenzen reiken, maar dat expert judgement zal ingezet worden voor de beoordeling van de effecten op basis van de modelresultaten en modelbeperkingen voor het volledige studiegebied.

2.6 Referentiejaren

In het milieueffectrapport wordt er gekeken naar de effecten in de toekomst. Het verruimingsproject wordt mogelijk in de periode 2007-2009 uitgevoerd. Verwacht wordt dat het project in 2010 gerealiseerd is. Na 2010 zullen onderhoudswerkzaamheden nodig zijn om de gewenste diepte in de vaargeul te behouden.

In het onderzoek is uitgegaan van een effecthorizon voor de korte termijn van 2015 en een effecthorizon op (middel)lange termijn van 2030. Hiermee is een (maximale) uitwerktijd van korte termijn effecten van 5 jaar na de ingreep aangenomen.
Voor een verdere detaillering van deze referentiejaren wordt verwezen naar hoofdstuk 4 van het milieueffectrapport.

2.7 Specifieke aspecten inzake aanpak voor dit basisrapport

2.7.1 Globale aanpak

De analyse zoals in dit basisrapport wordt gepresenteerd rust op twee belangrijke pijlers: het inzicht in het functioneren van het morfologische systeem van het Scheldebekken (zoals vastgelegd in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium) en de resultaten van uitgebreide modelexercities. Juist de interactie tussen deze systeemkennis (waarvan een deskundigenoordeel over de te verwachten effecten van de verruiming van de vaargeul een onderdeel is) en modelberekeningen is noodzakelijk om de effecten van de verruiming van de vaargeul op de morfologische ontwikkeling in beeld te brengen.

2.7.2 Begripsomschrijving en onderzoeksparameters

Inleiding

Beoordeling van de morfologische effecten van de verruiming van de vaargeul zal plaatsvinden aan de hand van het beoordelingskader dat voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde is opgesteld. In dit beoordelingskader is een aantal hoofdcriteria opgenomen aan de hand waarvan de beoordeling voor de discipline morfologie zal plaatsvinden: de bergingscapaciteit voor baggerspecie in de verschillende deelgebieden (macrocellen), de stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde en de zandhuishouding van het Scheldebekken (Westerschelde en Beneden-Zeeschelde). Het bestaan van het meergeulensysteem is om meerdere redenen van belang. Ten eerste draagt het bij aan de veiligheid door toename van de dissipatie van de getijgolf. Ten tweede is een meergeulenstelsel gunstig voor de navigatie doordat de hoofdgeul en nevengeul gescheiden zijn, de diepte van de vaargeul groter is en er stortcapaciteit aanwezig is in de nevengeulen. Daarnaast heeft een meergeulensysteem een grote waarde voor natuur, aangezien er een groot areaal intergetijdegebied en ondiepwatergebied aanwezig is. Het meergeulensysteem is dan ook aangewezen als één van de fysieke systeemkenmerken die gehandhaafd moet blijven.

Aangezien er in de Beneden-Zeeschelde geen sprake is van een meergeulensysteem wordt er voor dit gebied ingezoomd op de stabiliteit van schorren en de stabiliteit van putten in de vaargeul (die in de projectalternatieven volgestort worden met aanlegbaggerspecie). Naast de in het beoordelingskader genoemde hoofdcriteria zal ook aandacht worden geschonken aan de voorspelling van de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk dat zal worden uitgevoerd in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. In dit basisrapport Morfologie wordt daarbij gekeken naar de zandrijke baggerspecie. Daarnaast dient in de Beneden-Zeeschelde slibrijke baggerspecie verwijderd te worden (met een huidig totaal volume van circa 1,7 miljoen m^3/jaar). Deze slibrijke specie wordt in dit basisrapport Morfologie buiten beschouwing gelaten.

Bergingscapaciteit
In het beoordelingskader is het hoofdcriterium bergingscapaciteit (stortcriterium van geulen) in de Westerschelde opgenomen. Het stortcriterium wordt bepaald voor de nevengeulen en de van nature verdiepende hoofdgeulen. Voor de onderhouden vaargeulen is geen criterium op te stellen: gestort sediment dat niet van nature erodeert zal hier middels baggerwerkzaamheden immers uit de vaargeul verwijderd worden en kan niet leiden tot degeneratie in een één-geulsysteem. De bergingscapaciteit in deze hoofdgeulen is dus weliswaar aanzienlijk, maar storten in de hoofdgeul resulteert in een toename van de baggerinspanning. In de Beneden-Zeeschelde zijn geen nevengeulen aanwezig.
Daarnaast wordt de zandrijke onderhoudsbaggerspecie middels zandwinning aan het systeem onttrokken. Derhalve is er voor de Beneden-Zeeschelde geen bergingscapaciteit bepaald.

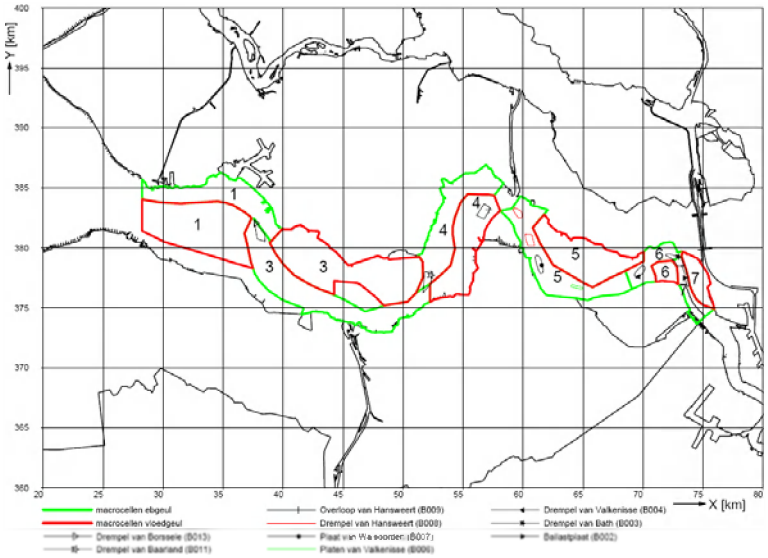
Langdurige overschrijding van het stortcriterium in de nevengeulen kan leiden tot sedimentatie en verondieping van de geul en uiteindelijk (na decennia) leiden tot degeneratie van een tweegeulensysteem naar een één-geulsysteem. De bergingsgcapaciteit van het geulsysteem wordt gekwantificeerd met behulp van de *maximale bergingscapaciteit (stortcriterium) per geul* en v*olumeveranderingen van de grote eb- en* vloedgeul (respectievelijk parameter P15 en P16 uit het beoordelingskader in het Onderzoeksplan Milieueffectrapport Verruiming vaargeul). Het stortcriterium wordt in beginsel bepaald op basis van de sedimenttransportcapaciteit (eb- en vloedtransport) door de twee grote geulen van een macrocel. Bij het bepalen van de bergingscapaciteit wordt verdieping in de andere geul (al dan niet als gevolg van baggeren) in rekening gebracht. Het verloop van de volumeverandering van de geulen zelf is eveneens van belang voor de bepaling van de bergingscapaciteit, omdat in van nature eroderende geulen de bergingscapaciteit groter is terwijl in verondiepende geulen deze capaciteit juist kleiner is. In de huidige studie wordt het stortcriterium per macrocel bepaald en bekeken in hoeverre dit criterium in de bestudeerde alternatieven overschreden wordt.

Stabiliteit van het meergeulensysteem
In de Westerschelde wordt het estuarium gekarakteriseerd door het zogenaamde meergeulensysteem. Dit systeem bestaat uit de grote eb- en vloedgeulen, kleinere kortsluitgeulen, intergetijdengebieden (platen en slikken) en ondiep watergebieden. Deze elementen van het meergeulensysteem manifesteren zich in een regelmatig patroon van zes zogenoemde bochtgroepen (Jeuken, 2000).

Iedere bochtgroep bestaat uit een grote gekromde ebgeul met daarnaast een kortere rechte vloedgeul. Deze geulen worden meestal gescheiden door langgerekte inter- of subgetijdengebieden en met elkaar verbonden door de kleinere kortsluitgeulen. In het kader van de Langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium is het systeem van bochtgroepen verder geschematiseerd als een ketting van zogenoemde macrocellen en mesocellen (Winterwerp et al, 2001; Wang et al, ingezonden). De macrocellen (zie figuur 2.2) bestaan uit de grote gekromde ebgeulen en rechte vloedgeulen. De kortsluitgeulen vormen de mesocellen.

In het beoordelingskader is het hoofdcriterium stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde opgenomen. Het waarborgen van een meergeulensysteem in de Westerschelde is een uitgangspunt voor het beleid; het systeem mag niet degenereren naar een één-geulsysteem als gevolg van menselijk handelen. Storten van baggerspecie kan leiden tot een degeneratie van het meergeulensysteem. Echter, de tijdschaal waarop een degeneratie van een macrocel zich manifesteert bedraagt decennia tot een eeuw. Voor een degeneratie van het gehele meergeulensysteem is deze tijdschaal nog veel groter (eeuwen).

De instandhouding van het meergeulensysteem betekent dat de aanwezigheid van de verschillende systeemattributen van het meergeulensysteem en hun inherente globale configuratie gewaarborgd moeten worden. Het beoordelingskader voor de morfologische diversiteit kent verschillende parameters die eveneens terugkomen in het beoordelingskader voor het milieueffectrapport (zie onderzoeksplan).



Figuur 2.2: *De macrocelindeling van de Westerschelde.*

De *verhouding tussen de gemiddelde diepte van de grote eb- en vloedgeulen* (de kantelindex) en het *vóórkomen van kortsluitgeulen* (respectievelijk parameter P13 en P14 uit het Onderzoeksplan Milieueffectenrapport Verruiming vaargeul) kwantificeren de toestand dan wel aanwezigheid van de geulen van het meergeulensysteem. De kantelindex en de diepte van de geulen geven aan hoe het evenwicht van het geulsysteem op macroschaal verandert. Een langdurige (decennia) kanteling van het geulsysteem in een bepaalde richting wijst op structurele veranderingen in het evenwicht van het geulsysteem die waarschijnlijk moeilijk omkeerbaar is en op lange termijn zou kunnen leiden tot een degeneratie van de Westerschelde in een één-geulsysteem. Het verval tussen eb- en vloedgeul binnen een macrocel wordt uitgedrukt in de verhangindicator. Het verloop van deze verhangindicator is van belang, omdat hiermee de potentiële aanwezigheid van kortsluitgeulen in beeld wordt gebracht.
Naast deze parameters voor de geulen zijn ook het relatieve areaal intergetijdengebied (in beoordelingskader voor het milieueffectrapport is deze aangewezen als een tussenparameter, zie onderzoeksplan) en de zandhuishouding (parameter P17 uit het beoordelingskader van het milieueffectrapport) van belang. De ontwikkeling van de parameters P13, P14 en P17 in de bestudeerde alternatieven wordt in het onderhavige basisrapport Morfologie besproken. De ontwikkeling van de arealen wordt besproken in het basisrapport Water en het basisrapport Natuur.

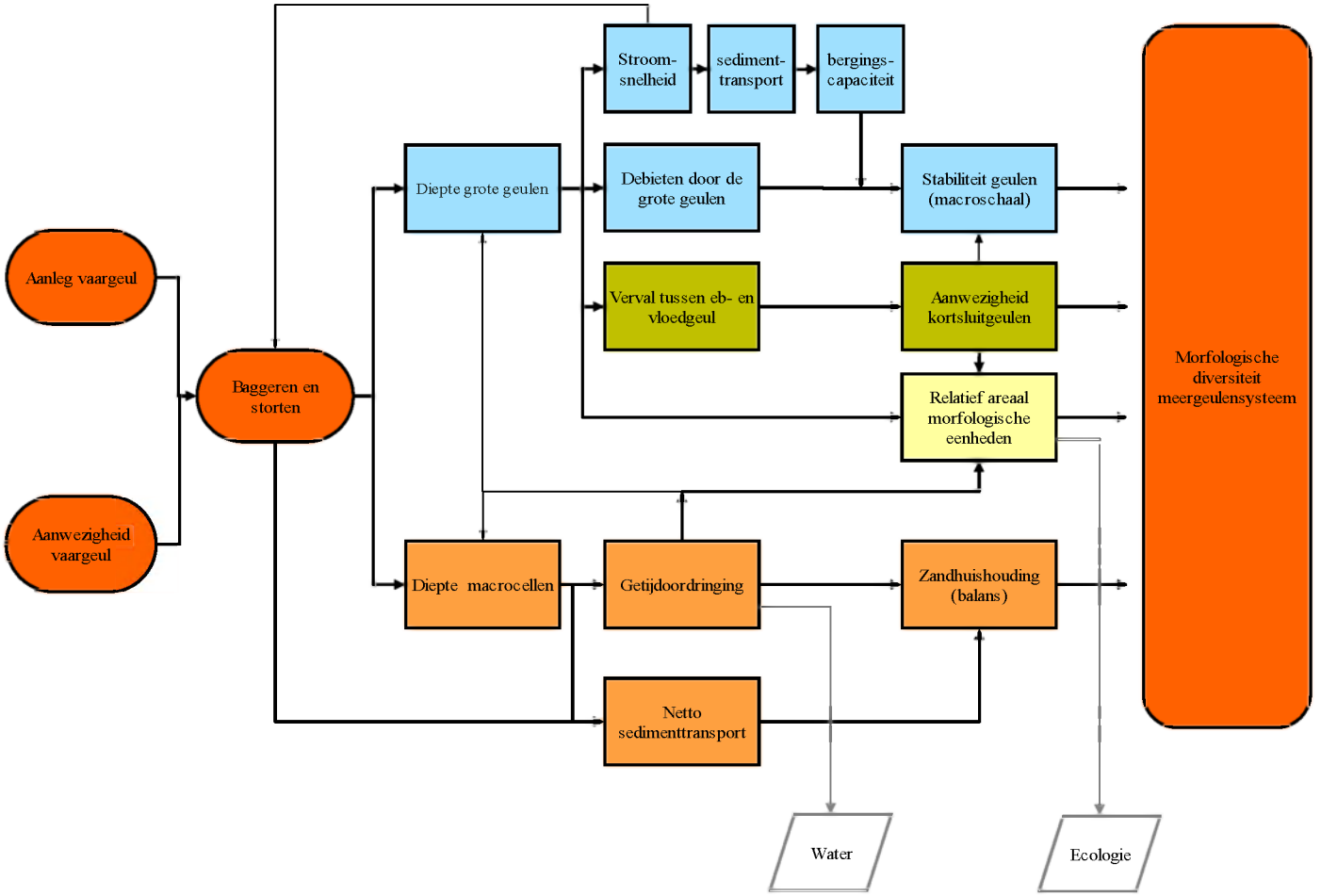
Ingreep-effect keten
In figuur 2.3 staat de ingreep-effect keten voor baggeren en storten op de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem weergegeven. De verschillende kleuren geven de verschillende schaalniveaus aan (blauw de macroschaal, oranje de megaschaal, groen en geel de mesoschaal). Als op macroschaalniveau de parameter stortcriterium langdurig overschreden wordt, verandert de stabiliteit van de geulen, gaat het systeem kantelen en komt het behoud van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem in geding.

Als op mesoschaal het verhang tussen eb- en vloedgeul sterk afneemt, verdwijnen kortsluitgeulen en komt de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem in het geding. Door verandering op macroschaal kan ook getijdoordringing op megaschaal veranderen, hetgeen de zandhuishouding kan wijzigen en waardoor de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem in het geding kan komen.

Bij de analyse van de resultaten wordt in deze studie gebruik gemaakt van de ingreep-effectketen uit figuur 2.3. De stabiliteit van de geulen, de aanwezigheid van kortsluitgeulen, de arealen en de zandhuishouding kunnen met behulp van morfologische modellen kwantitatief voorspeld worden. Op basis van die voorspelling wordt een kwalitatieve uitspraak gedaan over de verandering van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem (in de afwezigheid van kwantitatieve normen). Bij deze kwalitatieve beoordeling wordt naast modelresultaten gebruik gemaakt van expert judgement (inzicht in de werking van het morfologische systeem van de Westerschelde, zoals beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling).

Tijd- en ruimteschaal
Om de alternatieven te beoordelen op effecten op het meergeulensysteem is het niet nodig om resultaten op kleiner schaalniveau dan weergegeven in figuur 2.3 te analyseren. De relevante tijdschaal van deze ingreep-effect keten is eveneens van belang: het mogelijke effect van overschrijding van het stortcriterium is pas in de loop van enkele jaren zichtbaar.

De Beneden-Zeeschelde
De effecten van de vaargeulverruiming zijn voor de Beneden-Zeeschelde niet eenvoudig te beschrijven op dezelfde wijze als voor de Westerschelde. Het kenmerkende meergeulenkarakter van de Westerschelde is grotendeels afwezig in de Beneden-Zeeschelde. Om deze reden is voor de Beneden-Zeeschelde het effect op de parameters kantelindix en verhangindicator niet relevant. Wel relevant voor de Beneden-Zeeschelde is de stabiliteit van de vaargeul na het storten van aanlegstort in de vaargeul en de stabiliteit van schorren. In de Beneden-Zeeschelde wordt een deel van de aanlegbaggerspecie gestort in een aantal diepe putten van de vaargeul, gelegen in de bocht bij de Boudewijn en Van Cauwelaertsluis. In deze morfologische studie wordt het gedrag van deze storting in beeld gebracht. Daarnaast is voor de Beneden-Zeeschelde schorranderosie relevant. Om de verwachte evolutie in beeld te brengen is een expert werksessie georganiseerd. De resultaten worden in dit basisrapport gepresenteerd.



Figuur 2.3: *Ingreep-effect keten voor effect van baggeren en storten op de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem.*

2.7.3 Middelen

Expert judgement
Kennis van het gedrag van het Schelde-estuarium is vereist om tot een bepaling te komen van de te verwachten effecten. Idealiter zouden hiermee al de mogelijke effecten van de verruiming en de hiermee gepaard gaande natuurlijke en kunstmatige transporten, het baggeren en storten, aangegeven worden. De complexiteit van de geometrie, de processen en vooral hun interacties maken het echter niet eenvoudig de eventuele effecten te kwantificeren. Modellen kunnen hierbij een belangrijke rol vervullen, mits zij de relevante processen adequaat beschrijven (zie *Intermezzo*). De resultaten van deze modellen dienen dan ook getoetst te worden aan de verwachte respons van het morfologische systeem op de ingrepen.

Als onderdeel van het milieueffectrapport is een achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling opgesteld met als doel een raamwerk te presenteren, waarbinnen deze toets dient plaats te vinden. Het betreft de visie van het consortium op de morfologische ontwikkeling van het Schelde-estuarium.

Intermezzo: Morfologische modellering

Als onderdeel van de milieueffectrapportage voor de derde verruiming van het Schelde-estuarium worden simulaties uitgevoerd met morfologische modellen. Deze simulaties dienen als ondersteuning voor het vaststellen van mogelijke effecten van de verruiming op de morfologie van het systeem. De afgelopen jaren is een grote inspanning gestoken in de ontwikkeling en validatie van morfologische modellen binnen de algemene onderzoekskaders ZEEKENNIS van RIKZ (Kuijper et al, 2004) en de Langetermijnvisie Schelde-estuarium van de Nederlandse en Vlaamse overheden (Kuijper et al, 2006, Wang en Jeuken, 2006, Cohen en Jeuken, 2006, IMDC, 2006 a en b). Het uiteindelijke doel is te beschikken over een modelleninstrumentarium, waarmee beheers- en onderzoeksvragen voor het Schelde-estuarium kunnen worden beantwoord. Met de genoemde studies zijn de mogelijkheden, maar ook de beperkingen, van de modellen vastgesteld. De huidige kennis van morfologische processen schiet op een aantal terreinen nog te kort, vooral waar het *lokale* voorspellingen betreft op *grote tijdschalen*. In het algemeen kan worden gesteld, dat aggregatie van resultaten op grotere ruimteschalen leidt tot een toename van de betrouwbaarheid van de voorspellingen op grotere tijdschalen. Hierbij kan een parallel worden getrokken met weers- of. klimaatvoorspellingen. In het geval van weersvoorspellingen kan in relatieve grote mate van detail worden aangegeven hoe het weer (zon, regen, temperatuur, wind) er op de korte termijn uit zal zien. Echter, voorspellingen hebben een horizon van slechts 5 tot 10 dagen. Met klimaatmodellen worden uitspraken gedaan op termijnen van decaden. Deze hebben echter betrekking op geaggregeerde grootheden, zoals de gemiddelde jaartemperatuur, gemiddelde seizoensneerslag, enzovoort voor grote gebieden (delen van continenten).

Bovenstaande heeft ertoe geleid, dat voor morfologische modellering verschillende typen modellen worden ontwikkeld. Procesmodellen, zoals Delft3D, volgen een 'bottom-up' benadering, waarbij de lokale processen op een rekenrooster met grote resolutie (orde 100 x 100 m^2) worden beschreven en vervolgens ruimtelijk worden geaggregeerd. Deze wijze van modellering vertoont een grote overeenkomst met de genoemde modellen voor weersvoorspellingen. Bij gedragsmodellen, zoals Estmorf, vindt de ruimtelijke schematisatie al op een geaggregeerd niveau plaats en worden processen voor een deel of geheel met semi-empirische vergelijkingen beschreven, welke zijn gebaseerd op kennis en waarnemingen. Deze benadering kan worden vergeleken met voorspellingen, zoals die worden uitgevoerd met klimaatmodellen. Op dit moment zijn voorspellingen met morfologische procesmodellen mogelijk met een horizon van 5 à 10 jaren.

Onderzoek richt zich momenteel vooral op het verkleinen van onzekerheden en het vergroten van de voorspelhorizon. Daarbij geldt als vraag of de nauwkeurigheid van voorspellingen met procesmodellen op langere tijdschalen een principiële beperking heeft, gelet op de vele niet-lineaire interacties tussen de deelprocessen en het vrije gedrag, dat een systeem kan vertonen. Estmorf kan vooral worden ingezet, om op langere tijdschalen (decennia tot eeuwen) de morfologische veranderingen te beschrijven. Kennis van de mogelijkheden én beperkingen van de modellen is essentieel bij de analyse van de modeluitkomsten. De resultaten van de studies, waarbij de modellen zijn gevalideerd aan de hand van waarnemingen, vormen hierbij het uitgangspunt.

Morfologisch modelinstrumentarium Delft3D en Estmorf
De morfologische effectbepaling in deze studie richt zich op de mega- en macroschaal, de voorspelkracht is op deze schaal aanzienlijk groter dan op meso- en microschaal. Voor de effectbepaling is gebruikt gemaakt van state-of-the-art morfologische modellen. Bij de beoordeling van de effecten is inzicht in de bandbreedte van de voorspelling van belang. Het bepalen van bandbreedte bij een effectvoorspelling op de ruimteschaal van estuaria is nog geen onderdeel van de alledaagse praktijk.

Een morfologisch model, dat alle relevante processen op alle relevante ruimte- en tijdschalen betrouwbaar beschrijft, is nog niet beschikbaar (proceskennis is nog onvolledig en ook zijn er praktische beperkingen, zoals rekentijd). Het modelinstrumentarium voor de effectbepaling zal derhalve bestaan uit twee aanvullende modellen:

- Delft3D(dieptegemiddeld), zowel met een relatief grof als een verfijnd rekenrooster en
- Estmorf

Het huidige Sobekmodel wordt onvoldoende betrouwbaar geacht voor toepassing in dit milieueffectrapport: calibratie- en verificatieresultaten blijken onvoldoende consistent te zijn.

De bestudeerde varianten en alternatieven worden voor een periode van 5 jaar doorgerekend met Delft3D (2010-2015). Daarbij wordt de totale baggerhoeveelheid, de stabiliteit van de geulen (de kantelindex) en de aanwezigheid van kortsluitgeulen (verhangindicator) berekend. De resultaten van Delft3D in termen van bagger- en storthoeveelheden worden vervolgens als invoer voor Estmorf gebruikt (deze gegevens kunnen niet met Estmorf berekend worden). Met Estmorf wordt een periode van 20 jaar doorgerekend (2010-2030) om de zandhuishouding (zandbalans) te bepalen. In het hoofdstuk 3 worden de modellen, alsmede hun kracht en beperkingen, verder toegelicht.

2.7.4 Presentatie van resultaten

Westerschelde
Om zeker te zijn dat het onderzoek voor het milieueffectrapport de gewenste informatie levert om later de afweging goed onderbouwd te krijgen, worden de resultaten gepresenteerd in termen van de in paragraaf 2.7.2 beschreven parameters. De ingreep-effect keten (zie figuur 2.3) wordt gebruikt als leidraad bij de analyse van de modelresultaten.
Aan de linkerzijde (de start van de keten) staat het baggeren en storten. Als eerste wordt telkens de relatieve stortverdeling (de stortstrategie) die als modelinvoer voor de betreffende variant gediend heeft gepresenteerd. In tabel 2.3 staat een voorbeeld van een dergelijke tabel. In de kolommen staan de macrocellen waarin gebaggerd is weergegeven, in de rijen staan de macrocellen waarin gestort is weergegeven. De rijen zijn onderverdeeld in vaargeul en nevengeul.

In de cellen kan nu het percentage van het gebaggerde materiaal uit betreffende macrocel (kolom) dat in de desbetreffende nevengeul of vaargeul van de macrocel (rij) gestort wordt afgelezen worden. Het getal 90 in de kolom voor macrocel 4 op de rij voor de vaargeul van macrocel 4 betekent bijvoorbeeld dat 90 procent van de te baggeren onderhoudsbaggerspecie uit macrocel 4 (kolom) gestort wordt in de vaargeul van macrocel 4 (rij). Het getal 100 in de cel ernaast betekent dat 100 procent van de onderhoudsbaggerspecie uit macrocel 5 (kolom) gestort wordt in de vaargeul van macrocel 4 (rij). De som van de kolommen is altijd gelijk aan 100 (alle gebaggerde hoeveelheden worden teruggestort).

storten \ Baggeren		1	3	4	5	6	7
1	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg	100					
3	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg		100				
4	vaargeul/vg			90	100		
	nevengeul/eg			10			
5	vaargeul/eg					20	20
	nevengeul/vg					80	80
6	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg						
7	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg						

Tabel 2.3: *Voorbeeld van een relatieve (procent) stortverdeling voor de macrocellen 1 tot en met 7.*

Deze verdeling dient zoals gezegd als invoer voor het model. Nadat de berekening uitgevoerd is kan bekeken worden tot welke absolute bagger- en storthoeveelheden per macrocel deze strategie geleid heeft (de absolute hoeveelheden worden door het model zelf berekend). Tabel 2.4 is een voorbeeld van een tabel met absolute berekende baggerhoeveelheden per macrocel. In dit voorbeeld is door het model berekend dat in totaal 6,8 miljoen m^3 sediment gebaggerd moet worden, waarvan bijvoorbeeld 3 miljoen m^3 uit macrocel 5.

1	3	4	5	6	7	Totaal gebaggerd
0	0,8	1,2	3,0	1,0	0,8	6,8

Tabel 2.4: *Voorbeeld van absolute baggerhoeveelheden (miljoenen m^3/jaar) per macrocel.*

In tabel 2.5 staat vervolgens weergegeven tot welke absolute storthoeveelheden dit per macrocel (onderverdeeld in vaargeul en nevengeul) dit geleid heeft.

		Gestort
1	vaargeul/eg	
	nevengeul/vg	0,0
3	vaargeul/eg	
	nevengeul/vg	0,8
4	vaargeul/vg	4,1
	nevengeul/eg	0,1
5	vaargeul/eg	0,4
	nevengeul/vg	1,4
6	vaargeul/eg	
	nevengeul/vg	
7	vaargeul/eg	
	nevengeul/vg	
	Totaal gestort	**6,8**

Tabel 2.5: *Voorbeeld van absolute storthoeveelheden (miljoenen m^3/jaar) per macrocel.*

In de vaargeul van macrocel 4 wordt in dit voorbeeld 4,1 miljoen m^3 gestort. Uit tabel 2.3 en tabel 2.4 is dit getal af te leiden:

- 90 procent van de onderhoudsbaggerspecie uit macrocel 4 (1,2 miljoen m^3) wordt teruggestort in de vaargeul van macrocel 4, absoluut wordt dit 1,1 miljoen m^3.
- 100 procent van de onderhoudsbaggerspecie uit macrocel 5 (3,0 miljoen m^3) wordt teruggestort in de vaargeul van macrocel 4, absoluut is dit 3,0 miljoen m^3.

Dit levert een totale storthoeveelheid van 4,1 miljoen m^3 in de vaargeul van macrocel 4.

Bij het presenteren van de resultaten in de volgende hoofdstukken zijn de gegevens uit de tabellen 2.4 en 2.5 samengevoegd in één tabel. Tabel 2.6 geeft een voorbeeld van een dergelijke tabel. In de eerste 6 *kolommen* staan de baggerhoeveelheden per macrocel, in de eerste 6 *rijen* de storthoeveelheden per macrocel (onderverdeeld in vaargeul en nevengeul). In de laatste *kolom* staat de totale storthoeveelheid per macrocel (onderverdeeld in vaargeul en nevengeul), in de onderste *rij* de totale baggerhoeveelheid per macrocel. In de laatste cel (rechtsonder) staat de totale baggerhoeveelheid, welke per definitie gelijk is aan de totale storthoeveelheid (de som van de cellen in de laatste kolom is gelijk aan de som van de cellen in de laatste rij). Ten opzichte van tabel 2.5 is uit deze tabel direct te herleiden welke hoeveelheid gestort materiaal in de vaargeul van macrocel 4 (4,1 miljoen m^3) afkomstig is uit vaargeul 5 (3,0 miljoen m^3) en welk deel uit vaargeul 4 (1,1 miljoen m^3). Dergelijke informatie is van belang bij het analyseren van de resultaten, maar meer nog bij het iteratieproces om te komen tot een flexibele stortstrategie (dit iteratieproces wordt verder toegelicht in de volgende paragraaf).

storten \ baggeren		1	3	4	5	6	7	Per macrocel gestort
1	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg	0,0						**0,0**
3	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg		0,8					**0,8**
4	vaargeul/vg[3]			1,1	3,0			**4,1**
	nevengeul/eg			0,1				**0,1**
5	vaargeul/eg					0,2	0,2	**0,4**
	nevengeul/vg					0,8	0,6	**1,4**
6	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg							
7	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg							
Per macrocel gebaggerd		**0,0**	**0,8**	**1,2**	**3,0**	**1,0**	**0,8**	**Totaal 6,8**

Tabel 2.6: *Voorbeeld van absolute bagger- en storthoeveelheden (miljoen m^3/jaar) per macrocel.*

Na het presenteren van de bagger- en storthoeveelheden kan nu per berekening nagegaan worden of de storthoeveelheid in een geul het stortcriterium voor de betreffende geul overschrijdt. De bepaling van het stortcriterium wordt in appendix A toegelicht, de waarden van het stortcriterium voor de nevengeulen en de van nature eroderende hoofdgeul in macrocel 4 staan in tabel 2.7. In de overige hoofdgeulen kan een aanzienlijke hoeveelheid sediment gestort worden, maar aangezien deze geulen onderhouden worden zal storten resulteren in een toename van het baggerbezwaar.

Macrocel	Geul	Stortcriterium (miljoen m^3/jaar)
1	Vloed	1,7
3	Vloed	1,5
4	Vloed	3,3
4	Eb	0
5	Vloed	1,5
6	Vloed	0,5
7	Vloed	0,5
Totaal		**9,0**

Tabel 2.7: *Stortcriterium per macrocel (miljoen m^3/jaar).*

[3] In tegenstelling tot de andere macrocellen is in macrocel 4 de vaargeul de vloedgeul

Na het presenteren van de modelresultaten wordt de effectketen doorlopen. De stabiliteit van de geulen, de aanwezigheid van kortsluitgeulen, de arealen en de zandhuishouding worden met behulp van de morfologische modellen kwantitatief voorspeld, de berekende ontwikkeling van deze parameters wordt in tabel- en grafiekvorm gepresenteerd. Aanvullend op deze kwantitatieve modelvoorspellingen wordt gebruik gemaakt van waarnemingen en expert-judgement (zie achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium) om eindconclusies betreffende de effecten van de ingreep op te stellen.

Beneden-Zeeschelde
Voor de Beneden-Zeeschelde wordt de hoeveelheid zandrijke baggerspecie bepaald. Zowel de totale bagerhoeveelheid als de baggerhoeveelheid voor drie deelgebieden wordt bepaald. De drie deelgebieden zijn:

- BZ1 – drempel van Zandvliet (vak BZ120 in figuur 3.4b)
- BZ2 – drempel van Frederik (vak BZ121 in figuur 3.4b) en
- BZ3 – stroomopwaarts van Deurganckdock (vakken BZ122, 123 en 124 in figuur 3.4b).

In tabel 2.8 staat een voorbeeld van de baggerhoeveelheden in de Beneden-Zeeschelde.

BZ1	BZ2	BZ3	totaal gebaggerd
0	0,8	1,2	6,8

Tabel 2.8: *Voorbeeld van absolute baggerhoeveelheden (miljoen m^3/jaar) per deelgebied in de Beneden-Zeeschelde.*

Volgens de vigerende stortstrategie wordt deze zandrijke baggerspecie gestort in de Schaar van Ouden Doel (BZ1) en later verwijderd via zandwinning. Deze stortstrategie wordt als modelinvoer gebruikt voor alle bestudeerde varianten en alternatieven, hetgeen betekent dat de zandwinning in alle gevallen even groot is als de gebaggerde hoeveelheid (zandrijke specie). Aangezien de gebaggerde zandrijke specie middels zandwinning aan het systeem wordt onttrokken en het kenmerkende meergeulenkarakter van de Westerschelde grotendeels afwezig is in de Beneden-Zeeschelde, is het aanpassen van de stortstrategie en overschrijding van stortcriterium niet relevant en wordt derhalve voor de Beneden-Zeeschelde niet uitgewerkt. Wel relevant voor de Beneden-Zeeschelde is de stabiliteit van de vaargeul na het storten van aanlegstort in de vaargeul en de stabiliteit van schorren (zie paragraaf 2.7.3). Voor de analyse van deze aspecten wordt geen gebruik gemaakt van modelresultaten (de benodigde ruimtelijke schaal voor de analyse is kleiner dan het schaalniveau waarop de modelnauwkeurigheid voldoende is, zie paragraaf 3.5), maar van expert-judgement.

2.7.5 Bepalen aangepaste stortstrategieën; een iteratiemethode
In het nulalternatief en het projectalternatief min wordt de onderhoudsstortstrategie gebaseerd op de WVO vergunning 2006 voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde. In de overige alternatieven en varianten wordt de stortstrategie aangepast. Op voorhand is niet vast te stellen welke stortstrategie voor onderhoudsbaggerspecie het meest geschikt is. Met andere woorden: er moet gezocht worden naar onderhoudsstrategieën waarbij de morfologische diversiteit zo veel mogelijk behouden blijft.

Bij de iteratieprocedure om te komen tot een aangepaste stortstrategie worden de uitgangspunten uit paragraaf 2.1.2 toegepast. Eén van de uitgangspunten is dat aanlegbaggerspecie het best geborgen kan worden op morfologisch laagdynamische plaatsen, bijvoorbeeld plaatranden. In eerste instantie is voor het storten van *onderhouds*baggerspecie niet gekeken naar plaatranden. In de iteratie worden de volgende stappen doorlopen:

1. Storten in de nevengeul van de macrocel waar gebaggerd wordt
2. Storten in de vaargeul van de macrocel waar gebaggerd wordt
3. Storten in de nevengeul van aanliggende macrocellen
4. Storten in de vaargeul van aanliggende macrocellen

Als eerste stap wordt een stortstrategie waarbij zoveel mogelijk baggerspecie teruggestort wordt in de nevengeul van dezelfde macrocel doorgerekend met Delft3D (voor een periode van vijf jaar). Zoals beschreven in paragraaf 2.3 is het niet nodig om de strategie op een tijdschaal kleiner dan vijf jaar aan te passen, vandaar dat in deze berekeningen een constante strategie wordt toegepast. Op basis van de berekende totale bagger- en storthoeveelheden wordt gekeken of het stortcriterium (P15) overschreden wordt. Eveneens wordt de ontwikkeling van de parameters P13 en P14 berekend om het effect van de onderhoudsstortstrategie op de morfologische diversiteit vast te stellen. Op basis van eventuele negatieve effecten wordt de stortstrategie aangepast (stap 2, een bepaald percentage van de baggerspecie wordt teruggestort in de hoofdgeul in plaats van de vaargeul). De effecten worden wederom bepaald en op basis hiervan wordt, indien nodig, de stortstrategie opnieuw aangepast (stap 3 en 4, waarbij mogelijk een percentage baggerspecie wordt gestort in een andere macrocel dan waar het gebaggerd is). Dit iteratieproces wordt doorlopen totdat een stortstrategie is gevonden waarbij geen of minimale negatieve effecten zichtbaar zijn.

Vervolgens wordt deze stortstrategie doorgerekend met Estmorf (voor een periode > 5 jaar) om de ontwikkeling van de zandhuishouding (P17) te berekenen en het effect op de morfologische diversiteit te bepalen. Indien het een negatief effect betreft dient de stortstrategie opnieuw aangepast te worden. De stortstrategie in de Beneden-Zeeschelde wordt niet aangepast. De verwachting is dat aanpassing van de stortstrategie in de Westerschelde geen effect heeft op de Beneden-Zeeschelde, dit zal in de huidige studie bekeken worden.

3 Verbetering van kennis en modelinstrument

3.1 Inleiding

Deze morfologische studie rust op twee pijlers, namelijk systeemkennis en numerieke morfologische modellen. Sinds het strategische milieueffectenrapport zijn beide pijlers verbeterd. De toename in systeemkennis is verwoord in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op morfologische ontwikkeling. In dit achtergronddocument is een systeemanalyse opgesteld waarin op basis van waarnemingen uit het verleden het gedrag van het systeem nader wordt verklaard en een deskundig oordeel opgesteld betreffende de verwachte effecten van de verruiming en stortstrategie. In het kader van de projecten ZEEKENNIS en LTV zijn de numerieke morfologische modellen Delft3d en Estmorf verder ontwikkeld (Kuijper et al, 2004 en 2006, Wang en Jeuken, 2006). Alhoewel de kennis is toegenomen, is deze nog niet toereikend om het gedrag van het systeem op alle tijd- en ruimteschalen te verklaren, laat staan met grote zekerheid te voorspellen. Naarmate de ruimteschaal groter is, neemt de voorspelkracht echter toe. De morfologische effectbepaling in deze studie richt zich op de mega- en macroschaal (aangezien dit de relevante schalen zijn voor het behoud van de morfologische diversiteit, zie paragraaf 2.7.2), de voorspelkracht is op deze schaal aanzienlijk groter dan op meso- en microschaal. Voor de effectbepaling is zowel gebruik gemaakt van state-of-the-art systeemkennis als state-of-the-art morfologische modellen. Bij de beoordeling van de effecten is inzicht in de bandbreedte van de voorspelling van belang. De ontwikkeling in systeemkennis en modellen is tot op heden gericht geweest op het uitbreiden van de proceskennis en de vertaling hiervan in modellen. Ontwikkeling in inzicht in bandbreedte van voorspellingen is vooralsnog beperkt. Het bepalen van bandbreedte bij een effectvoorspelling op de ruimteschaal van de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde is dan ook nog geen onderdeel van de alledaagse praktijk. Desalniettemin wordt op basis van de bestaande kennis in dit hoofdstuk zo goed mogelijk aangegeven wat de nauwkeurigheid en bandbreedte zijn van het morfologische modelinstrumentaria die ingezet zijn voor deze milieueffectrapportage. Verder wordt toegelicht waar resultaten van het modelinstrumentarium worden bijgesteld op basis van expert judgement en waar dit niet nodig is.

In de eerstvolgende paragrafen volgt een beschrijving van de modellen (paragraaf 3.2, 3.3 en 3.4). Voordat gestart wordt met het vaststellen en doorrekenen van varianten van een aangepaste stortstrategie voor de periode na de derde verruiming, is nagegaan of met hulp van de modellen voor de periode 1990-2005 een aangepaste stortstrategie opgesteld kan worden. Deze zogenaamde “proef op de som” wordt beschreven in paragraaf 3.5. Op basis van onder andere een vergelijking tussen modelresultaten en waarnemingen (op verschillende schaalniveaus) wordt in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk (paragraaf 3.6) aangegeven wat de nauwkeurigheid en bandbreedte van de modellen, en daarmee de kracht en beperkingen, zijn.

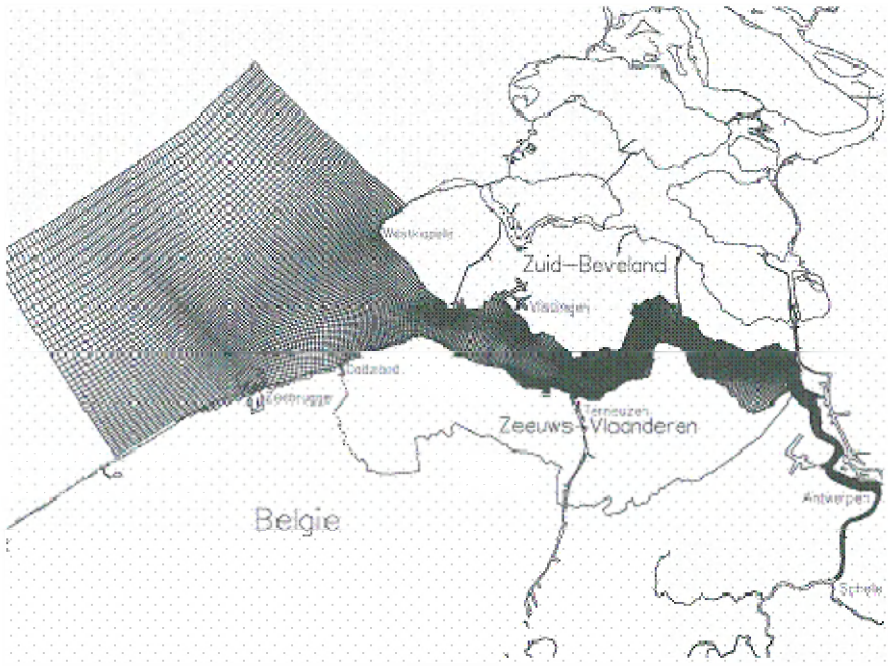
De modelresultaten voor de verschillende alternatieven en varianten worden in hoofdstuk 6 gepresenteerd en besproken.

3.2 Beschrijving modellen

3.2.1 Delft3D

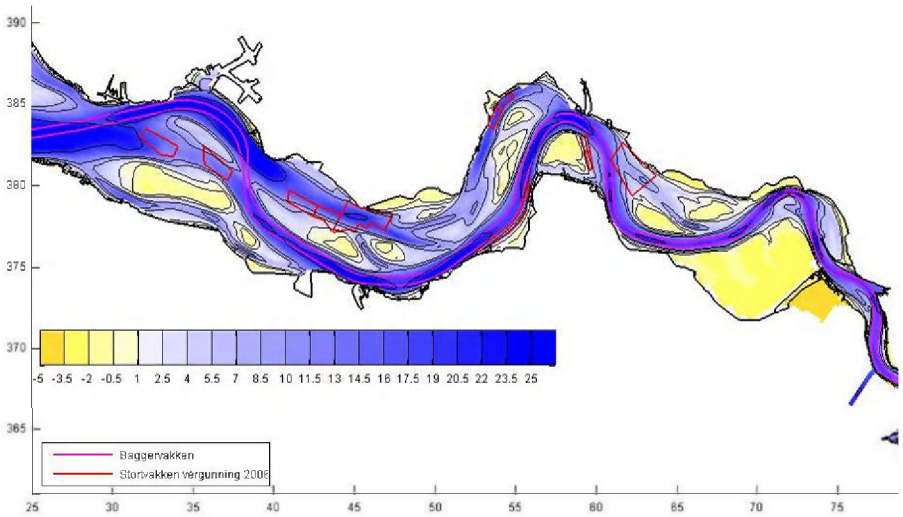
Algemeen
Het morfologische procesmodel Delft3D is in voorgaande projecten veelvuldig toegepast (onder andere in de Strategische Millieueffectenrapportage Westerschelde). Een gedetailleerde beschrijving van het model is onder andere te vinden in *Morphological modelling of the Westernscheldt; Validation of Delft 3D* (WL|Delft Hydraulics en Alkyon Hydraulic consultancy and research, 2004). Voor de huidige rapportage is derhalve gekozen voor een beknopte beschrijving van de algemene modules van het model. De bagger- en stortmodules die voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul met name van belang zijn en tevens zijn aangepast voor dit project, worden in meer detail beschreven.

De Delft3D modelberekeningen worden uitgevoerd op basis van twee rekenroosters. Het grove rekenrooster (zie figuur 3.1) heeft afmetingen van circa 800 x 800 m^2 op zee en 150 x 300 m^2 in de Westerschelde. Dit rooster is geschikt voor berekeningen op grotere tijd- en ruimteschaal (bijvoorbeeld de ontwikkeling van macrocellen gedurende 5 jaar). Het fijne rekenrooster is in zowel x- als y-richting driemaal fijner en geschikt voor berekeningen op kleinere tijd- en ruimteschaal (bijvoorbeeld de detailontwikkeling van plaatrandstortingen gedurende 1 jaar). In de Beneden-Zeeschelde zijn de afmetingen voor beide roosters ongeveer 50 x 400 m^2.



Figuur 3.1 *Het rekenrooster voor Delft3D.*

Beschrijving bagger en stortmodule
In de Delft3D simulatie wordt baggeren en storten meegenomen. De bagger- en stortlocaties worden in het estuarium aangegeven door polygonen. De baggerpolygoon ligt vast door de ligging van de vaargeul, de stortpolygonen kunnen per simulatie verschillen (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2: *Dieptekaart (in meters) met daarop aangegeven de baggervakken en de stortvakken volgens WVO vergunning 2006 voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde.*

De baggermodule binnen Delft3D werkt als volgt: van tevoren wordt er binnen de baggerpolygoon een te onderhouden vaardiepte aangegeven. Als tijdens de simulatie de diepte in een baggerpolygoon ondieper wordt dan de opgegeven vaardiepte, wordt het volume verwijderd en gerekend tot het baggervolume. Als de simulatie is voltooid kan de totaalhoeveelheid van het berekende baggervolume worden vergeleken met het daadwerkelijk gemeten baggervolume.

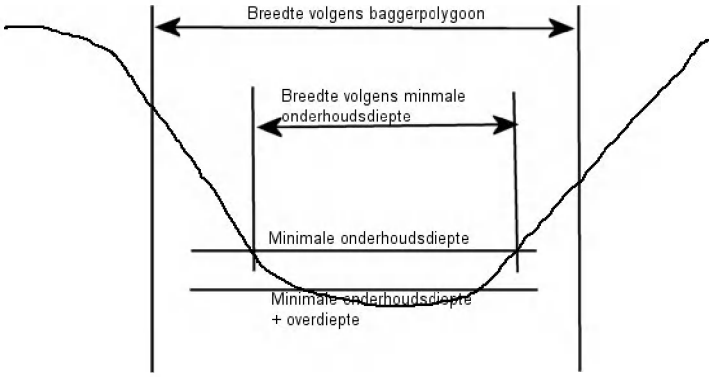
Tijdens de calibratie van het morfologische Delft3D model van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde in eerdere onderzoeksprojecten (WL|Delft Hydraulics en Alkyon, 2004; WL|Delft Hydraulics 2006) is deze vergelijking uitgevoerd voor de totale baggerhoeveelheden en de hoeveelheden per baggervak. De belangrijkste conclusies uit deze voorgaande studies waren:

- Het berekende totale baggervolume stemt voor de Westerschelde goed overeen met het gemeten baggervolume (voor dezelfde periode), voor de Beneden-Zeeschelde is de afwijking groter.
- Per baggervak (in de baggerpolygoon) kan het berekende baggervolume circa een factor 2 afwijken van de gemeten baggervolume.
- De overeenstemming tussen berekende en gemeten waarden is beter als er een bovenop de te onderhouden diepte een overdiepte wordt gebaggerd van 0,7 meter. In realiteit wordt door de baggerschepen namelijk ook een overdiepte gehanteerd.

Het baggervolume wordt vervolgens door het model gestort in de stortpolygonen. De verdeling hiervan is onderdeel van de modelinvoer: per baggervak wordt procentueel de verdeling over de stortvakken aangegeven. Het aangegeven percentage van het baggervolume van het baggervak wordt dan in het model gelijkmatig verdeeld over de oppervlakte van de desbetreffende stortpolygoon, waardoor de diepte afneemt.

Gedurende de afregeling van het model in het kader van deze milieueffectrapportage, zijn aan aantal tekortkomingen van deze bagger en stortmodule duidelijk geworden:

- Bepaalde stortvakken lopen vol. In een aantal gevallen stijgt de bodem van (relatief kleine) stortvakken tot boven de HW-grens. Aangezien de berekende stortvolumes wel goed overeenstemmen met de metingen, betekent dit dat in het model het gestorte zandvolume onvoldoende wordt afgevoerd. Dit duidt erop dat de berekende transporten in vollopende vakken te klein zijn.
- De baggerpolygonen zijn te groot. Onderzoek (door middel van hypsometrieën) laat zien dat binnen de baggerpolygonen met name de flanken van de vaargeul ondieper zijn dan de te onderhouden diepte (zie onderstaand figuur). In het model wordt gedurende de eerste rekentijdstap direct het verschil tussen de initiële modelbodem en de opgegeven onderhoudsdiepte “weggebaggerd”. In werkelijkheid worden de flanken van de geul niet weggebaggerd.



- Tijdens de afregeling van het model in voorgaande studies, waarbij historische perioden zijn nagerekend, gold dat de bagger/stort gebieden op voorhand bekend waren. Voor berekeningen om de gevolgen van de verruimde vaargeul vast te stellen geldt dit niet.

Derhalve is voor deze studie de bagger- en stortmodule aangepast op de volgende punten:

- In de aangepaste baggermodule wordt voor de gebieden die ondieper zijn dan de onderhoudsdiepte (bijvoorbeeld de flanken van de vaargeul) de begindiepte gebruikt als baggerdiepte. In de overige gebieden (waar het initieel wel dieper is dan de onderhoudsdiepte) wordt gebaggerd tot de onderhoudsdiepte + overdiepte.
- Voor de huidige studie is de gehele vaargeul als baggergebied gedefinieerd in tegenstelling tot eerdere modelstudies waar alleen bepaalde delen van de vaargeul tot baggergebied waren benoemd. Binnen 1 macrocel is het vaargeul (bagger) polygoon verdeeld in 2–4 deelpolygonen. De vaargeul in de Beneden-Zeeschelde is verdeeld in 8 deelgebieden.

Na aanpassing van de bagger- en stortmodule is er een hindcast voor de periode 1998-2002 uitgevoerd. De nieuwe modelresultaten worden vergeleken met waarnemingen en met resultaten uit de voorgaande Langetermijnvisie studie (definitieve calibratieberekening 119h uit Langetermijnvisie-studie).

Daartoe zijn een aantal simulaties uitgevoerd voor de periode 1998-2002. De sedimenttransporten zijn berekend volgens de formulering van Engelund-Hansen, vermenigvuldigd met een factor 0,5. In deze controlefase zijn een aantal instellingen gevarieerd om het effect op de modelresultaten in beeld te brengen. Het betreft met name de volgende instellingen:

- Bagger- versus vaargeulpolygoon
- Overdiepte 1,2 versus 0,7
- Vaste overdiepte versus plaatsafhankelijke overdiepte
- Reductiefactor sedimenttransport 0,75 versus 0,5
- Vaargeulpolygoon zonder verruiming versus vaargeulpolygoon met 50 meter verruiming
- Ruwheid 0,016 versus 0,02 in de stortvakken
- Wel zandwinning en stort in de Schaar van de oude Doel versus geen zandwinning en stort.

Ter verkenning van de effecten van een andere stortstrategie is er tevens gevarieerd in stortrategie (de zogenaamde Oost-West strategie versus storten volgens de WVO 2006 voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde). De uitgevoerde berekeningen (T1 tot en met T11) worden in tabel B.1 in bijlage B beschreven. De resultaten van de definitieve simulatie, bijvoorbeeld de simulatie waarmee de waarnemingen het best gereproduceerd worden, in termen van het beoordelingskader worden in deze bijlage gegeven.

Aanvullend is voor de periode 1990-2005 een hindcast uitgevoerd (in het kader van een proef op de som met aanpasing van stortstrategie), de resultaten daarvan worden in paragraaf 3.4 gepresenteerd.

3.2.2 Estmorf

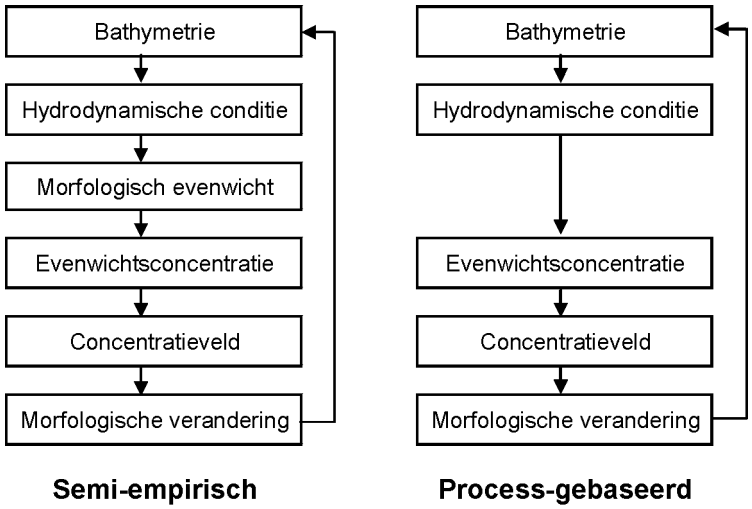
Ook het Estmorf model is bij onder andere de Strategische Millieueffectenrapportage Westerschelde ingezet. Derhalve volgt in deze rapportage een korte beschrijving van dit model, met verwijzing naar literatuur waar een uitgebreidere beschrijving te vinden is.

Estmorf is een wiskundig model voor langetermijn(decennia)morfologische ontwikkeling van estuaria. Het model is ontwikkeld door WL | Delft Hydraulics in samenwerking met Rijkswaterstaat RIKZ. Het model is speciaal ontworpen om langetermijn morfologische ontwikkelingen van estuaria en getijdenbekkens onder invloed van natuurlijke ontwikkelingen, zoals zeespiegelrijzing en menselijke invloeden, zoals landwinning / ontpoldering en baggeren / storten te voorspellen.

Estmorf is een semi-empirisch model, dat in de literatuur ook als een hybride model wordt aangeduid. Het combineert de beschrijving van fysische processen (hydrodynamica en sedimenttransport) en de empirische relaties voor morfologisch evenwicht, om langetermijn morfologische ontwikkelingen te simuleren. Het model gebruikt een eendimensionaal netwerk hydrodynamisch model (Sobek) om getijstroming te simuleren. De berekende stromingsgegevens worden gebruikt om morfologisch evenwicht van zowel de geulen als de intergetijdengebieden te definiëren aan de hand van empirische relaties. De afwijkingen van de aanwezige morfologische toestand ten opzichte van het morfologische evenwicht, samen met de kenmerken van de getijstroming, bepalen het sedimenttransport en de morfologische veranderingen.

Het model berekent morfologische veranderingen van zowel de geulen als de intergetijdengebieden. Het dwarsprofiel van een tak in het netwerk wordt in drie delen verdeeld, het geuldeel, het lage intergetijdengebied (tussen laagwater en gemiddeld waterniveau) en het hoge intergetijdengebied (tussen gemiddeld waterniveau en hoogwater). Voor het geuldeel wordt het evenwicht van de dwarsdoorsnede gerelateerd aan het getijvolume.

Voor de twee delen van het intergetijdengebied wordt het evenwicht van de hoogte ten opzichte van laagwater gerelateerd aan het getijverschil. De sedimentatie / erosie van de drie delen van het profiel wordt apart berekend.



Figuur 3.3: *Het principe van een semi-empirisch- en proces model.*

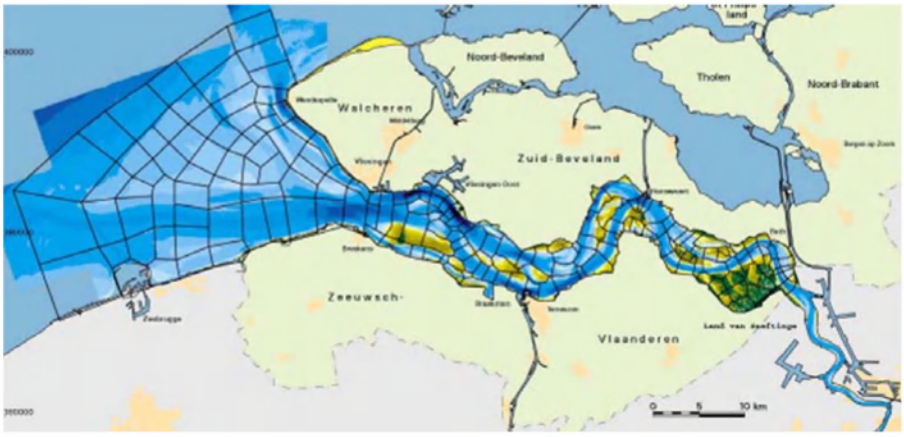
De rekenprocedure van het semi-empirische Estmorf model is schematisch weergegeven in figuur 3-3. Ter vergelijking is die van een proces-gebaseerd model (zoals Sobek en Delft3D) ook weergegeven in het model. Het belangrijkste verschil tussen de twee typen modellen is dat bij een semi-empirisch model het sedimenttransport niet direct uit waterbewegingsgegevens wordt berekend, zoals bij proces-gebaseerd model, maar gerelateerd wordt aan het morfologische evenwicht.

Door de aanwezig morfologische toestand met het morfologische evenwicht te vergelijken, wordt bepaald of een gebied in evenwicht is, of het wil sedimenteren (sedimenttekort), of dat het gebied wil eroderen (sedimentoverschot). In een gebied waar een sedimenttekort is hoeft geen sedimentatie op te treden. Dat hangt af van de toestand van de omgeving.

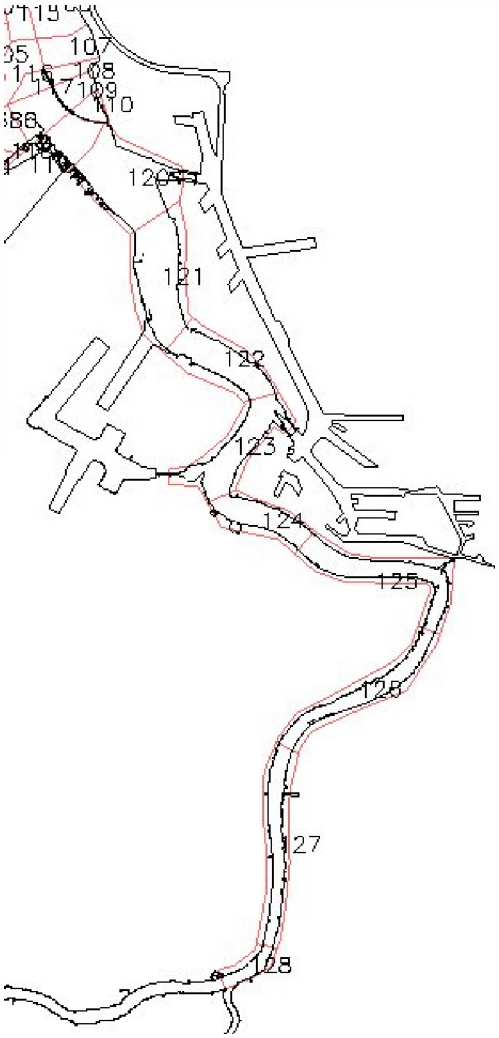
Als de omgeving een nog groter sedimenttekort heeft moet het gebied juist eroderen om sediment aan de omgeving te kunnen leveren. In Estmorf is het netto sedimenttransport in de richting van de gradiënt van het sedimenttekort. Het semi-empirische model berekent direct het netto sedimenttransport terwijl in een proces-gebaseerd model het sedimenttransport per tijdstap binnen een getijperiode wordt berekend. Het Estmorf model is verder zodanig geformuleerd dat in geval van rivierstroming zonder getij de twee typen modellen in principe hetzelfde worden.

Meer informatie over de modelformulering en de toepassingen van het model kan men vinden in het overall overview rapport van Estmorf (Wang en Van Helvert, 2001) en de diverse publicaties (Wang et al, 1998, 1999, Wang en Roelfzema, 2001, Jeuken et al, 2003, Shi et al, 2003)

Figuur 3.4a en 3.4b toont de netwerkschematisatie van het Estmorf model. Voor dit hele gebied wordt de waterbeweging en de morfologie gesimuleerd.



Figuur 3.4a: *Estmorf schematisatie voor de Westerschelde.*



Figuur 3.4b*: Estmorf schematisatie voor de Beneden-Zeeschelde.*

3.3 Opzet model voor milieueffectrapport

Berekende perioden
Voor de controle van het aangepaste Delft3D model, is de periode 1998-2002 doorgerekend. De gemeten bodem 1998 wordt als start gebruikt. De resultaten kunnen vergeleken worden met waarnemingen alsmede met berekende resultaten uit de voorgaande studie.

Aangezien het Estmorf model voor de huidige studie niet is aangepast, heeft er geen nieuwe controle voor het model plaats gevonden.

Om aan te geven of met de modelinstrumenten Delft3D en Estmorf aangepaste stortstrategieën bepaald kunnen worden voor de periode 2010-2030, is als proef op de som de periode 1990-2005 doorgerekend met verschillende strategieën. De berekeningen zijn in twee delen gesplitst: 1990-1998 en 1998-2005. Als startbodem voor het eerste deel wordt de gemeten bodem 1990 gebruikt, het tweede deel wordt gestart met de gemeten bodem 1998 (na de tweede verdieping).
De berekende resultaten van verschillende strategieën kunnen onderling vergeleken worden alsmede met de waarnemingen.

Voor het bepalen van effecten van de projectalternatieven en varianten zijn met Delft3D berekeningen uitgevoerd voor een periode van 5 jaar. Hierbij wordt de gemeten bodem 2005, met voor het projectalternatief daaraan toegevoegd de verruiming, gebruikt als startbodem.
Gebruikmakend van de resultaten van de Delft3D berekening aangaande baggeren en storten is vervolgens met Estmorf een periode van 20 jaar doorgerekend. In de Estmorf berekeningen wordt in de eerste twee jaar (2008-2010) de verruiming uitgevoerd (het is niet mogelijk om de verruiming initieel op te leggen). Er is gekozen om de veranderingen voor de periode 2010-2030, dat wil zeggen ná de verruiming, te beoordelen om zo de *effecten* van de verruiming en niet ook de verruiming zelf aan te geven.

3.4 Delft3D: De proef op de som 1990-2005

3.4.1 Inleiding
Voordat gestart wordt met het vaststellen en doorrekenen van varianten van een aangepaste stortstrategie voor de periode na de derde verruiming, is nagegaan of met hulp van de modellen voor de periode 1990-2005 een aangepaste stortstrategie opgesteld kan worden: Een zogenaamde proef op de som. Doelstelling van deze proef op de som is tweeledig:
- Uitvoeren van een hindcast zodat modelresultaten vergeleken kunnen worden met waarnemingen (om inzicht te verschaffen in de modelnauwkeurigheid).
- Nagaan of met de modellen een aangepaste stortstrategie gedefinieerd kan worden waarbij de morfologische diversiteit van het systeem niet of nauwelijks in het geding wordt gebracht. De resultaten van de simulatie met een aangepaste stortstrategie worden vergeleken met resultaten van de simulatie gebaseerd op de uitgevoerde stortstrategie.

De uitgevoerde stortstrategie wordt beschreven in paragraaf 3.5.2. De iteratieprocedure om te komen tot een aangepaste stortstrategie wordt in paragraaf 3.5.3 beschreven. Met de morfologische modellen Delft3D en Estmorf zijn de verschillende stortstrategieën doorgerekend. De kwantitatieve voorspelling van de bagger- en storthoeveelheden, overschrijding van het stortcriterium, ontwikkeling van geulen, kantelindex, verhangindicator en zandhuishouding worden in paragraaf 3.5.4 beschreven. De conclusies volgen in paragraaf 3.5.5.

3.4.2 Uitgevoerde stortstrategie

In tabel 3.1 staan de uitgevoerde baggerwerkzaamheden voor de periode 1990-2004 (data afkomstig uit het rapport *Actualisatie van de Zee- en Westerschelde*, Haecon 2006). De tweede verdieping is in de periode 1997-2001 uitgevoerd. In deze periode betreft het dus zowel aanleg- als onderhoudsbaggerwerk. Het aandeel aanlegbaggerwerk is in kaart gebracht (zie ook paragraaf 3.5.4) en in tabel 3.1 zijn de waarnemingen hiervoor gecorrigeerd. In de laatste kolom staat het gemiddelde voor de periode 1990-1997 (voor de tweede verdieping) en de periode 1998-2005 (na de tweede verdieping). In figuur 3.5 staan deze baggerhoeveelheden in grafiek vorm weergegeven. Tot de tweede verruiming werd vanuit economische motieven zo dicht mogelijk bij de baggerlocaties gestort, en uit kwaliteitsoverwegingen werd zo weinig mogelijk specie naar het westen gebracht. De volgorde voor het storten was (Kornman et al, 2002): (i) storten in de nevengeulen om de stroming zoveel mogelijk te concentreren in de ebgeul, (ii) storten in de buitenbochten van de hoofdebgeul om bochterosie tegen te gaan en (iii) storten op westelijker gelegen locaties indien de bergingscapaciteit in het oosten te klein bleek te zijn. Door de gevolgde stortstrategie trad een vermindering van natuurlijke dynamiek op en een verlies aan diversiteit van ecotopen (Vroon et al, 1997).

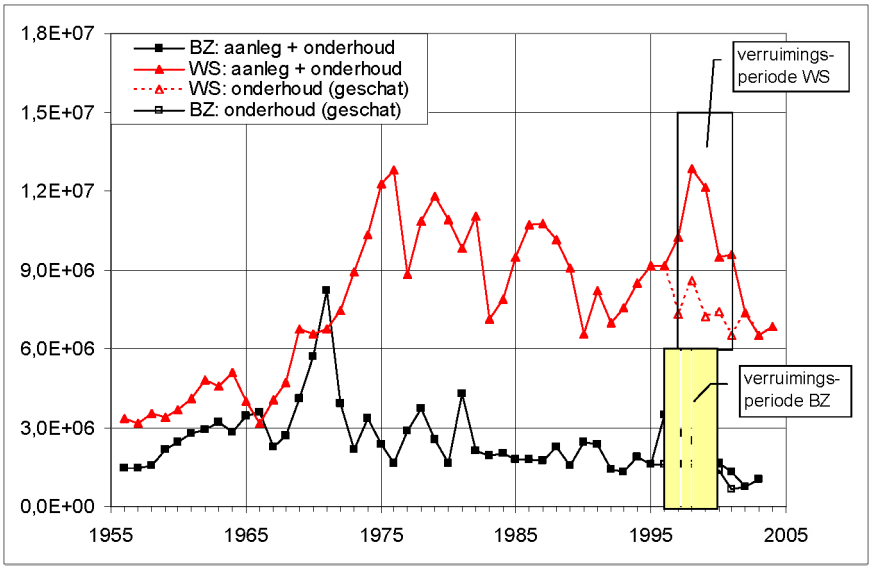
Verder werd verwacht, dat door de tweede verruiming de stortcapaciteit in het oostelijke deel onvoldoende zou zijn. Dit heeft ertoe geleid, dat na de tweede verruiming het onderhoudsbaggervolume grotendeels in het midden en westen werd gestort. De doelstellingen van deze nieuwe strategie waren: (i) herstel van de dynamiek in het oosten en (ii) vermindering van het onderhoudsbaggerwerk in het oosten. Als gevolg van het verder weg storten van de baggerlocatie is de verwachting dat deze strategie resulteert in een afname van baggerhoeveelheden. Uit tabel 3.1 blijkt dat de uitgevoerde (ongecorrigeerde) baggerhoeveelheden in de periode 1998-2004 juist zijn toegenomen ten opzichte van de periode 1990-1997, de netto onderhoudsbaggerhoeveelheden (gecorrigeerd voor aanlegbaggerwerk) vertonen een geringe afname.

Westerschelde	Waarnemingen	Netto onderhoudsbaggerhoeveelheden	Gemiddeld
1990	7,1	7,1	
1991	8,9	8,9	
1992	7,7	7,7	
1993	8,3	8,3	
1994	9,2	9,2	**8,6**
1995	9,8	9,8	
1996	9,8	9,8	
1997	11,2	8,3	
1998	14	9,7	
1999	13,4	8,5	
2000	10,5	8,4	
2001	10,7	7,6	**8,1**
2002	8	8	
2003	7,2	7,2	
2004	7,6	7,6	

Tabel 3.1a: *Jaargemiddelde baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) voor de periode 1990-2004 voor de Westerschelde (Haecon, 2006), gecorrigeerd voor aanlegbagger en gemiddelde waarde voor de periode 1990 tot en met 1997 en 1998 tot en met 2004.*

Beneden-Zeeschelde	Waarnemingen	Gecorrigeerd	Gemiddeld
1990	2,4	2,4	
1991	2,4	2,4	
1992	1,4	1,4	
1993	1,3	1,3	
1994	1,9	1,9	**2,0**
1995	1,6	1,6	
1996	3,5	3,5	
1997	2,8	1,6	
1998	2,5	1,6	
1999	2,1	1,6	
2000	1,7	1,4	
2001	1,3	0,6	**1,2**
2002	0,8	0,8	
2003	1,0	1,0	
2004			

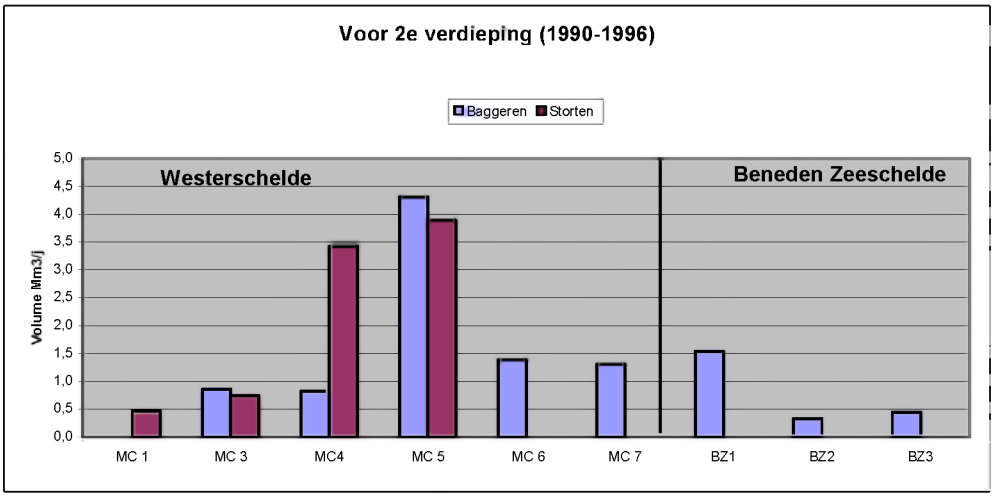
Tabel 3.1b: *Jaargemiddelde baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) voor de periode 1990-2004 voor de Beneden-Zeeschelde (Haecon, 2006), gecorrigeerd voor aanlegbagger en gemiddelde waarde voor de periode 1990 tot en met 1997 en 1998 tot en met 2004.*



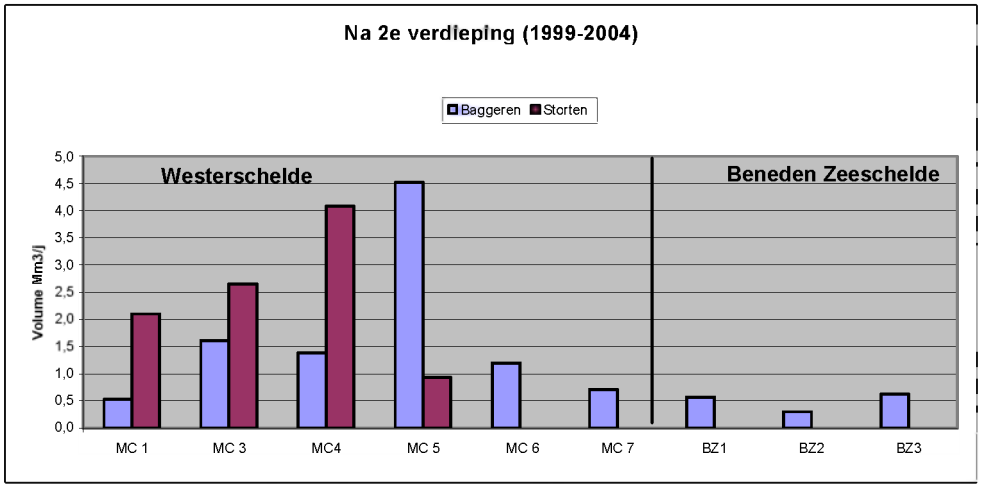
Figuur 3.5: *Gemeten baggerhoeveelheden voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. In de grafiek staan tevens de netto onderhoudsbaggerhoeveelheden (gecorrigeerd voor aanlegbagger).*

In onderstaande grafieken (figuur 3.6 en 3.7) staan de gemeten (niet gecorrigeerde) bagger- en storthoeveelheden per macrocel weergegeven. In deze grafieken is de verandering in stortstrategie te zien: Na de tweede verruiming wordt er minder gestort in het oosten (macrocel 5) en meer in het Westen (met name toename in macrocel 1 en 3, geringe toename in macrocel 4). Uit de waarnemingen zijn de effecten van verdiepen en aanpassen van stortstrategie niet afzonderlijk af te leiden (mede doordat de aanleg van de verruiming verspreid over een aantal jaar heeft plaats gevonden). Het effect van aanpassen van de stortstrategie en verruiming lijken elkaar op te heffen.

Over een langere periode (vanaf midden jaren zeventig, zie ook het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium) is de algemene tendens een afname in baggerhoeveelheid. De waargenomen export in de periode na 1990 kan volgens experts een invloed hebben gehad op (de afname van) baggerhoeveelheden. Zandwinning (vanaf 1990 vindt deze meer in het oosten plaats) heeft mogelijk ook invloed op de baggerhoeveelheden.



Figuur 3.6: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1990-1996 (Haecon, 2006).*



Figuur 3.7: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1999-2004 (Haecon, 2006).*

De data uit grafieken 3.6 en 3.7 zijn gebruikt als basis voor een modelsimulatie die deze uitgevoerde stortstrategie representeert. De simulatie is opgedeeld in twee perioden: 1990-1997 de periode voor de tweede verruiming, 1998-2005 de periode na de tweede verruiming. Deze referentie simulaties worden aangeduid met F03 en D00. In tabel 3.2 staan de jaargemiddelde baggerhoeveelheden voor deze simulaties. Het betreft een gemiddelde over 5 jaren, de baggerhoeveelheden vertonen een afname in de tijd.

Westerschelde	1990-1997	1998-2004
Metingen onderhoudsbaggerwerk	8,6	8,1
Berekening (F03/D00)	9,0	8,1

Tabel 3.2a: *Jaargemiddelde berekende (Delft3D-simulatie) en (voor aanleg gecorrigeerde) gemeten baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) voor de twee perioden voor de Westerschelde.*

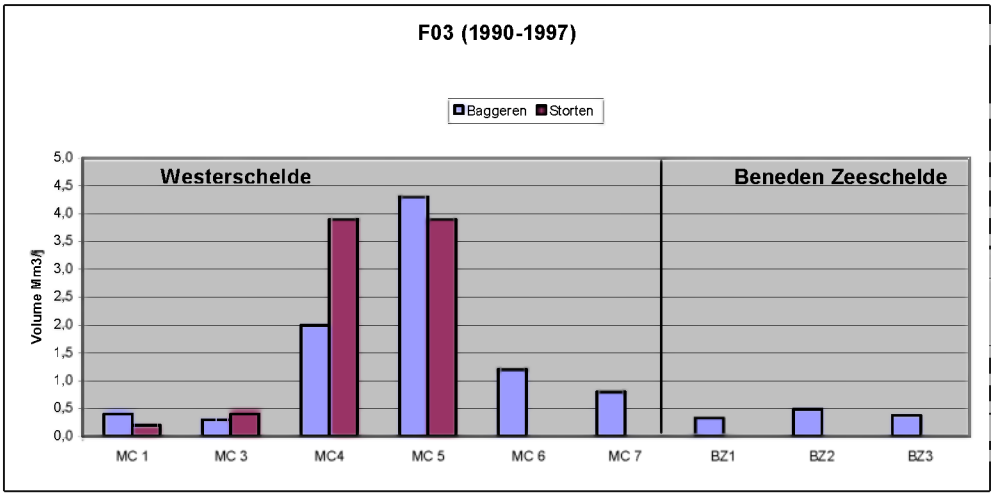
Beneden-Zeeschelde	1990-1997	1998-2004
Metingen onderhoudsbaggerwerk	2,0	1,2
Berekening (F03/D00)	1,2	1,7

Tabel 3.2b: *Jaargemiddelde berekende (Delft3D-simulatie) en (voor aanleg gecorrigeerde) gemeten baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) voor de twee perioden voor de Beneden-Zeeschelde.*

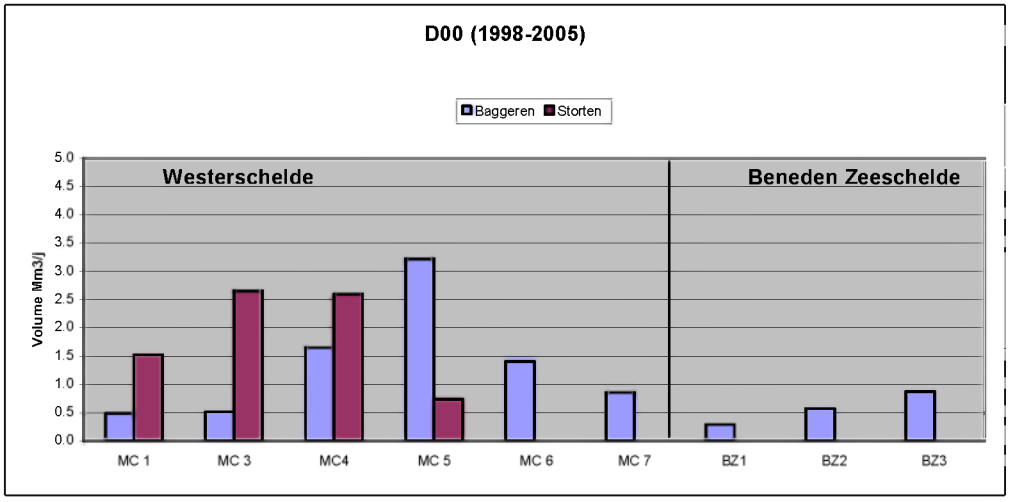
Gemiddeld over deze 5 jaar resulteert het aanpassen van de stortstrategie en verruiming in het model tot een afname van de baggerhoeveelheden met een factor 0,9 in de Westerschelde. Hieruit blijkt dat de stortstrategie na de tweede verruiming (Oost-West strategie) in het model resulteert in een afname van de baggerhoeveelheid ten opzichte van de stortstrategie vóór de tweede verruiming (terugstorten in het Oosten). Het effect van verruimen en aanpassen van de stortstrategie heffen elkaar bijna op. Initieel neemt de baggerhoeveelheid met een factor 1,18 toe. In de Beneden-Zeeschelde nemen de berekende hoeveelheden toe met een factor 1,4. De gecorrigeerde metingen nemen daarentegen af.

Op schaalniveau van de Westerschelde worden de totale baggerhoeveelheden voor de Westerschelde door het model goed gereproduceerd. Voor de Beneden-Zeeschelde komen de waarnemingen en de berekeningen voor de totale hoeveelheden minder goed met elkaar overeen. In de eerste periode is er sprake van een onderschatting, in de tweede periode van een overschatting.

De bagger- en storthoeveelheden voor simulaties F03 en D00 staan in figuren 3.8 en 3.9 in grafiekvorm weergegeven. De wijziging van stortstrategie na de tweede verruiming zichtbaar: er wordt meer baggerspecie in het Westen gestort.



Figuur 3.8: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1990-1998 (Delft3D-simulatie F03).*



Figuur 3.9: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1990-1998 (Delft3D-simulatie D00).*

3.4.3 Iteratie flexibele stortstrategie

In de huidige milieueffectrapportstudie wordt gezocht naar een invulling van een aangepaste stortstrategie, de stabiliteit van het meergeulenstelsel is daarbij een eerste vereiste. Voor de periode 1990-2005 worden een aantal varianten voor stortstrategieën van onderhoudsbaggerspecie bekeken. Bij het bepalen van stortvarianten wordt het uitgangspunt gebruikt dat gestart wordt met een variant waarbij een zo groot mogelijk deel van de baggerspecie gestort wordt in de nevengeulen van dezelfde macrocel. Vervolgens worden er varianten bekeken waarbij er achtereenvolgens meer gestort wordt in de hoofdgeul van dezelfde macrocel, in de nevengeul van aanliggende macrocellen en uiteindelijk varianten waarbij gestort wordt in verder verwijderde macrocellen. De te nemen iteratiestappen worden bepaald op basis van mate van overschrijding van het stortcriterium; de doelstelling van de iteratie was het definiëren van stortvarianten waarbij dit criterium minimaal overschreden wordt. In appendix C staat een overzicht van de uitgevoerde iteraties.

In deze appendix worden de iteratiestappen en geleerde lessen beschreven. In de volgende paragraaf worden de kwantitatieve resultaten van de uiteindelijk aangepaste stortstrategie gepresenteerd en vergelijken met de referentiesimulaties (met daadwerkelijk toegepaste strategieën, F03 en D00).

3.4.4 Kwantitatieve resultaten

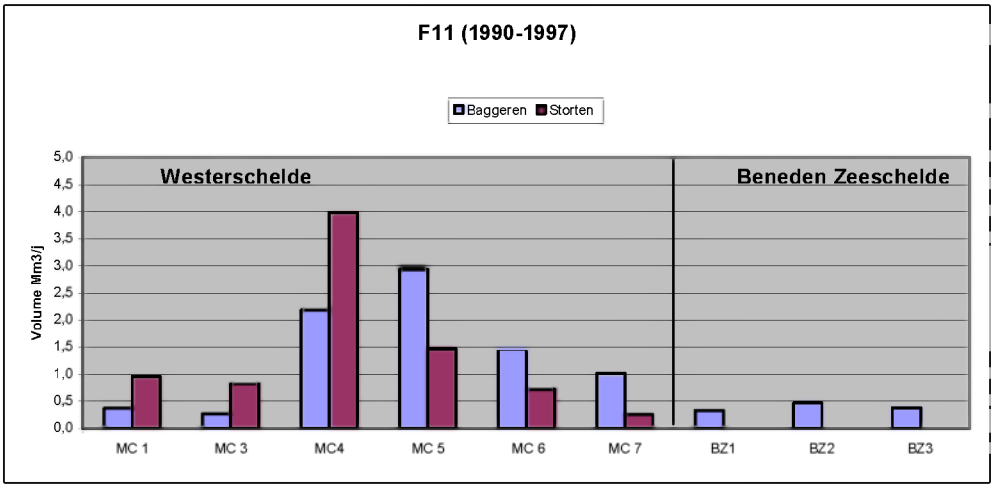
Bagger- en storthoeveelheden
De relatieve stortverdeling uit tabel C.1 in Appendix C is als invoer gebruikt voor de simulatie F11 (1990-1998) en D11 (1999-2005) en resulteert in de absolute bagger- en storthoeveelheden weergegeven in tabel C.3 en C.4 in Appendix C (voor uitleg over de tabel zie toelichting tabel 2.9 in paragraaf 2.9). De bagger- en storthoeveelheden voor alle simulaties staan samengevat in tabel 3.3 en 3.4. In figuur 3.10 en 3.11 staan de bagger- en storthoeveelheden in een grafiek weergegeven.

	1990-1997	1998-2004
Metingen onderhoudsbaggerwerk	8,6	8,1
Berekening (F03/D00) waargenomen stortstrategie	9,0	8,1
Berekening (F11/D11) aangepaste stortstrategie	8,2	9,9

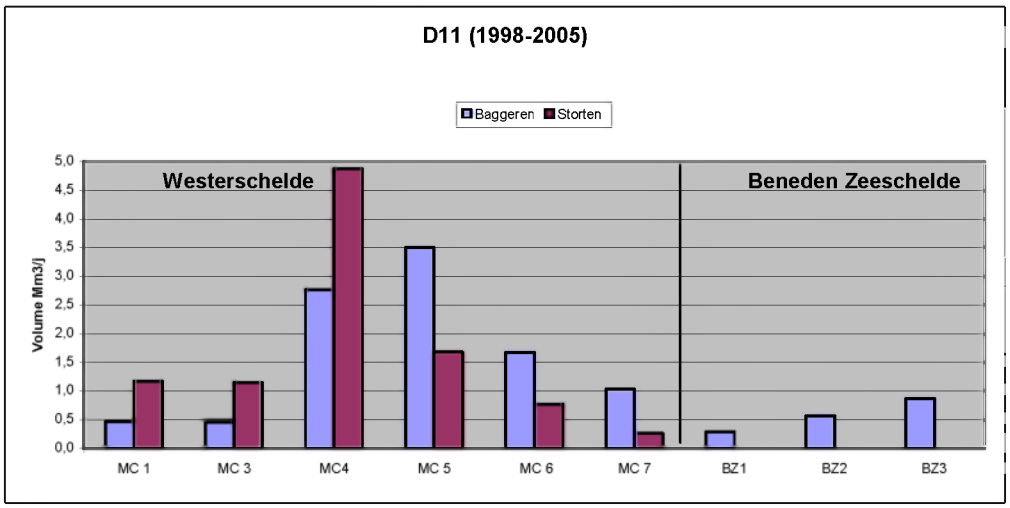
Tabel 3.3: *Baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor de (Delft3D-referentiesimulaties F03 en D00 (stortstrategie gebaseerd op waargenomen stortstrategie) en Delft3D-simulaties F11 en D11 (met aangepaste stortstrategie). F03 en F11 hebben betrekking op de periode 1990-1997, D00 en D11 op de periode 1998-2004. In de eerste rij staan de gecorrigeerde metingen.*

Storten								
Macrocel	geul		F03	F11	F03-F11	D00	D11	D00-D11
1	vaargeul	eg				0,5		
	nevengeul	vg	0,2	1,0	-0,7	1,1	1,2	-0,1
3	vaargeul	eg						
	nevengeul	vg	0,4	0,8	-0,4	2,7	1,1	1,5
4	vaargeul	vg	3,1	2,8	0,3	1,1	3,5	-2,4
	nevengeul	eg	0,8	1,2	-0,4	1,5	1,4	0,1
5	vaargeul	eg	1,5	0,3	1,2	0,2	0,3	-0,1
	nevengeul	vg	2,4	1,2	1,2	0,5	1,4	-0,9
6	vaargeul	eg		0,2	-0,2		0,3	-0,3
	nevengeul	vg		0,5	-0,5		0,5	-0,5
7	vaargeul	eg		0,3	-0,3		0,3	-0,3
Totaal			9,0	8,2	0,8	8,1	9,9	-1,8

Tabel 3.4: *Storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor alle Delft3D-simulaties. F03 en D00 zijn de referentiesimulaties, F11 en D11 zijn simulaties met aangepaste stortstrategie. F03 en F11 hebben betrekking op de periode 1990-1997, D00 en D11 op de periode 1998-2004.*



Figuur 3.10: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1990-1998 (Delft3D-simulatie F11). F03 is de referentiesimulaties, F11 de simulatie met aangepaste stortstrategie.*



Figuur 3.11: *Jaarlijks gemiddelde bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel in de periode 1999-2005 (Delft3D simulatie D11). D00 is de referentiesimulaties, D11 de simulatie met aangepaste stortstrategie*

In de periode 1990-1997 wordt in de aangepaste stortstrategie (F11) in vergelijking met de waargenomen stortstrategie (F03) meer gestort in het Westen (macrocel 1), minder gestort in vaargeulen (macrocel 4 en 5) en gestort in macrocellen 6 en 7. Dit resulteert in een *afname* van de totale baggerhoeveelheden. In de periode na de tweede verruiming wordt in de aangepaste stortstrategie daarentegen minder gestort in het Westen (macrocel 3), aanzienlijk meer in de vaargeul van macrocel 4 en gestort in macrocellen 6 en 7. Deze aangepaste stortstrategie resulteert in een *toename* van de totale baggerhoeveelheid. Gemiddeld over 5 jaar, resulteert verruiming bij de aangepaste stortstrategie F11 en D11 in een toename van de baggerhoeveelheden met een factor 1,2. Initieel neemt de baggerhoeveelheid met een factor 1,7 toe.

De berekeningen na de tweede verruiming worden gestart met de gemeten bodem van 1998 (dit is dus hoogst waarschijnlijk een bodem waarop de verruiming nog niet compleet gerealiseerd is), de bodem wordt wel onderhouden op de nieuwe onderhoudsdiepte. Dit vermoeilijkt de interpretatie van het effect van verruiming op de baggerhoeveelheden.

Stortcriterium
In tabel 3.5 wordt de netto ingreep (storthoeveelheden min de baggerhoeveelheden en zandwinning) voor de simulaties gegeven en vergeleken met het stortcriterium uit tabel A.1. In de nevengeul (ebgeul) van macrocel 4 is er geen stortcapaciteit (maximaal Sc is 0), deze wordt in alle simulaties overschreden.

Netto Ingreep							
Macrocel	geul		F03	F11	D00	D11	max Sc
1	vaargeul	eg	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	
	nevengeul	vg	0,1	0,8	1,1	1,2	1,7
3	vaargeul	eg	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	
	nevengeul	vg	0,3	0,7	2,6	1,1	1,5
4	vaargeul	vg	0,9	0,4	-0,7	0,6	3,3
	nevengeul	eg	0,7	1,1	1,5	1,4	0,0
5	vaargeul	eg	-3,3	-3,1	-3,7	-3,9	
	nevengeul	vg	2,0	0,8	0,2	1,0	1,5
6	vaargeul	eg	-1,2	-1,2	-1,4	-1,4	
	nevengeul	vg	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5
7	vaargeul	eg	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	0,5
Totaal			-2,4	-1,7	-2,0	-1,4	

Tabel 3.5: *Stortcriterium (max Sc) uit tabel A.1 en netto ingreep (miljoen m3/jaar) voor Delft3D-simulaties. Met rood is aangegeven waar het stortcriterium overschreden wordt.*

Diepte geulen, kantelindex, verhangindicator
In figuur D.1, D.2, D.3 en D.4 in appendix D staan respectievelijk de ontwikkeling van de diepte van de ebgeul, de ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul, de kantelindex en de verhangindicator. In de figuren staan de metingen en de simulaties (F03, F11, D00 en D11).

De metingen geven het volgende beeld met betrekking tot de ontwikkeling van de vaargeul (vloedgeul voor macrocel 4 en ebgeul voor overige macrocellen): de diepte voor macrocel 1 en 3 is ongeveer constant in de tijd, in macrocellen 4, 5, 6 en 7 verdiept de geul. De metingen geven het volgende beeld met betrekking tot de ontwikkeling van de nevengeul (ebgeul voor macrocel 4 en vloedgeul voor overige macrocellen): de diepte voor macrocel 1 en 3 is ongeveer constant in de tijd, in macrocel 4 vindt er een grote verondieping plaats, in macrocellen 5, 6 en 7 vindt er in de eerste periode een zeer geringe verondieping plaats, daarna volgt een periode waarin enigszins sprake is van een verdieping. Op basis van de metingen van de diepte van de geulen is de kantelindex berekend. Over de periode 1990-2005 vertoont macrocel 4 een afname in de kantelindex (voor macrocel 4 betekent dat kanteling, voor de overige macrocellen betekent een *toename* van de kantelindex kanteling). Voor de macrocellen 1,3 en 5 is de kantelindex ongeveer constant in de tijd. Voor macrocel 6 en 7 is de variatie iets groter, maar wisselen toename en afname elkaar af en is er geen sprake van een eenduidige trend in deze periode. Voor de verhangindicator is het, zoals verwacht, macrocel 4 waar we een duidelijke trend in de tijd zien.

De ontwikkeling van de diepte van de geulen is het gevolg van ingrepen (baggeren, storten en zandwinning) en natuurlijke transporten (natuurlijke erosie en sedimentatie). In tabel D.1 staan de netto ingrepen gedeeld door het oppervlakte van de betreffende geul in de betreffende macrocel, oftewel de toe-/afname van de diepte (in meters) als direct gevolg van de netto ingreep.

Zandhuishouding
De zandhuishouding voor de periode 1990-2005 is met Estmorf berekend. In Estmorf wordt de verruiming gerealiseerd door de afgeleide aanlegbaggerhoeveelheden per Estmorf -vak op te geven. Het aanlegvolume voor deze periode is geschat op basis van de waargenomen baggerhoeveelheden voor ieder baggervak in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde. Een significante toename in het jaarlijkse baggervolume (het totaal van onderhoud en eventuele aanleg) is beschouwd als het baggervolume ten gevolge van de verruiming. In figuur D.5 staan voorbeelden voor Estmorf -vak 116 (Vaarwater boven Bath) en voor vak 120 (Beneden-Zeeschelde, direct opwaarts van de grens). Het verschil tussen het totale baggervolume en het geschatte onderhoudsvolume is dus het baggervolume ten gevolge van de verruiming. In tabel D.2 staan de berekende aanlegbaggervolumes voor de tweede verruiming 1996-2001. Uit deze analyse blijkt dat de tweede verruiming tussen 1997 en 2001 is gerealiseerd. De hoge baggerhoeveelheden in de periode 1997-2001 zijn dus geen effect van de verruiming, maar de aanleg van de verruiming zelf.

In Estmorf wordt het aanlegbaggervolume vervolgens meegestort met het door Delft3D berekende onderhoudstortvolume door dit stortvolume evenredig te vergroten. Met Estmorf wordt aldus de gehele periode 1990 tot 2005 met één berekening gesimuleerd. Dit is in tegenstelling tot Delft3D, waarbij eerst de periode 1990 tot 1998 en vervolgens de periode 1998 tot 2005 wordt gesimuleerd.

In figuur D.6 en D.7 wordt de zandbalans voor respectievelijk de periode 1990-1998 en 1998-2005 gegeven voor de referentieberekening (F03/D00, stortstrategie gebaseerd op uitgevoerde stortstrategie). In de periode 1990 tot 1998 is er een geringe netto export naar de monding van 0,17 miljoen m^3/jaar. Gedurende de periode na de tweede verruiming, 1998 tot 2005, is de export naar de monding toegenomen tot gemiddeld 1,15 miljoen m^3/jaar, terwijl het netto transport ter plaatse van de Nederlands-Belgische grens vrijwel niet is veranderd. Deze toename van de export lijkt het gevolg van het grotere stortvolume in het westen van de Westerschelde na 1998.

In figuur D.8 en D.9 wordt de zandbalans voor respectievelijk de periode 1990-1998 en 1998-2005 gegeven voor de aangepaste stortstrategie (F11/D11). Vergelijken we figuur D.6 met D.8 dan zien we dat de aangepaste stortstrategie in vergelijking met de referentie stortstrategie (in dit geval storten in het Oosten) resulteert in een toename van de export. Dit lijkt het gevolg van het grotere stortvolume in het Westen in de aangepaste stortstrategie. Vergelijken we figuur D.7 met D.9 dan zien we dat de aangepaste stortstrategie in vergelijking met de referentie stortstrategie (in dit geval de Oost-West strategie) resulteert in een afname van de export. Dit lijkt het gevolg van het grotere stortvolume in het Oosten in de aangepaste stortstrategie. Ten opzichte van de uitgevoerde stortstrategie voor de tweede verruiming (storten in oosten) is de export wel toegenomen.

3.4.5 Conclusies
De stortstrategie beïnvloedt de baggerhoeveelheden. Meer storten in het oosten en in de vaargeul resulteert in een toename van de baggerhoeveelheid. De stortstrategie beïnvloedt eveneens de zandhuishouding. Meer storten in het Westen resulteert in een toename van de export naar de monding.
Door bij het bepalen van de stortstrategie het stortcriterium in acht te nemen (geen of minimale overschrijding), blijft de morfologische diversiteit gewaarborgd.
Het model is toepasbaar om de iteratieprocedure te doorlopen en een stortstrategie te definiëren.

3.5 Kracht en beperkingen van de modellen

3.5.1 Inleiding

Naarmate de ruimteschaal groter is, neemt de voorspelkracht toe. De morfologische effectbepaling in deze studie richt zich op de mega- en macroschaal (i.e. het hele estuarium en de bocht-, c.q. celgroepen aangezien dit de relevante schalen zijn voor het behoud van de morfologische diversiteit), de voorspelkracht is op deze schaal aanzienlijk groter dan op meso- en microschaal. In deze paragraaf wordt ingegaan op de reproductiekwaliteit, bandbreedte en daarmee samenhangend de kracht en beperkingen van de modellen voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul. De conclusies zijn gebaseerd op de huidige resultaten, alsmede op basis van resultaten in voorgaande studies. Na afronding van het strategische milieueffectenrapport zijn de modellen in Langetermijnvisie-kader verder ontwikkeld; de schematisatie van de Beneden-Zeeschelde is verfijnd waardoor de resultaten zijn verbeterd (Wang en Jeuken, 2006, Kuijper et al, 2004 en 2006).

De reproductiekwaliteit van het model verschilt voor de verschillende morfologische parameters en voor de verschillende ruimtelijke schalen. In de volgende subparagrafen wordt per criterium uit het beoordelingskader aangegeven wat de reproductiekwaliteit van de ingezette modellen is. Ten eerste de baggerhoeveelheden op de megaschaal (totale baggerhoeveelheden voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde), vervolgens de diepte ontwikkeling van de hoofd- en nevengeul (en de daarvan afgeleide kantelindex en verhangindicator) op macroschaal (in deze studie wordt de gemiddelde diepte per macrocel bekeken), de ontwikkeling van arealen op de megaschaal (totaal voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde) en de macroschaal (ontwikkeling per macrocel). Vervolgens wordt in paragraaf 3.5.7 ingegaan op de bandbreedte en in paragraaf 3.5.8 wordt de kracht en beperking van de modellen samengevat en aangegeven hoe hier in de huidige studie mee omgegaan wordt.

3.5.2 Baggerhoeveelheden

In paragraaf 3.4 zijn de resultaten van de hindcast voor de periode 1990-2005 gepresenteerd. In onderstaande tabellen 3.6a en 3.6b staan voor respectievelijk de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde de waargenomen (eerste rij) en berekende (tweede rij) baggerhoeveelheden.

Westerschelde	1990-1997	1998-2004
Metingen onderhoudsbaggerwerk	8,6	8,1
Berekening	9,0	8,1

Tabel 3.6a: *Gemeten en berekende baggerhoeveelheden voor de Westerschelde.*

Beneden-Zeeschelde	1990-1997	1998-2004
Metingen onderhoudsbaggerwerk	2,0	1,2
Berekening	1,2	1,7

Tabel 3.6b: *Gemeten en berekende baggerhoeveelheden voor de Beneden-Zeeschelde. .*

De totale baggerhoeveelheden, zoals die door het model voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde worden berekend, zijn voor de Westerschelde in goede overeenstemming met de waarnemingen, voor de Beneden-Zeeschelde is de overeenstemming kleiner. De berekende baggerhoeveelheden voor de individuele baggerlocaties kunnen gemiddeld een factor twee worden over- of onderschat.

Het model is hierdoor met name inzetbaar voor relatieve effectvoorspelling (effect ten opzichte van referentiesimulaties). in In de huidige studie worden de modelresultaten dan ook gebruikt voor relatieve effectbepaling.

3.5.3 Diepteontwikkeling geulen, kantelindex en verhangindicator

In figuur D.1 en D.2 (Appendix D) staan de waargenomen en berekende diepteonwikkeling voor respectievelijk de eb- en vloedgeul (per macrocel) voor de periode 1990-2005 weergegeven. De verdieping van de ebgeul wordt in macrocel 5 en 7 door het model overschat. In macrocel 5 laten de waarnemingen een verdieping van de vloedgeul zien, het model voorspelt hier een verondieping. In de overige macrocellen komt de waargenomen verdieping of verondieping aanzienlijk beter overeen met de berekeningen.

In figuur D.3 en D.4 (Appendix D) staan de waargenomen en berekende ontwikkeling voor respectievelijk de kantelindex en verhangindicator (per macrocel) voor de periode 1990-2005 weergegeven. De toename van de kantelindex wordt in macrocel 5 en 7 door het model overschat. De toename van de verhangindicator wordt in macrocel 5 en in mindere mate in macrocel 7 door het model overschat. In de overige macrocellen komt de waargenomen verdieping of verondieping aanzienlijk beter overeen met de berekeningen.

Voor de macrocellen waar de berekeningen minder goed overeenkomen met de waarnemingen kan het modelresultaat enkel gebruikt worden voor relatieve effectbepaling. Bij de interpretatie van modelresultaten (paragraaf 5.4, Appendix I) wordt rekening gehouden met de reproductiekwaliteit en indien nodig meer gebruik gemaakt van waarnemingen en expert judgement (inzicht in de werking van het morfologische systeem van de Westerschelde, zoals beschreven in het Achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling).

3.5.4 Zandhuishouding

In het achtergrondrapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op de macro-morfologische ontwikkeling worden op basis van een recent opgestelde zandbalans (Haecon, 2006) export gegevens genoemd. In tabel 3.7a En 3.7b worden deze vergeleken met de met ESTMORF berekende export uit de huidige studie (figuur D.6 en D.7 in Appendix D). In tabel 3.8 Wordt de waargenomen volumeverandering voor de Westerschelde vergeleken met de in de huidige studie berekende volumeveranderingen.

Waarnemingen		Berekeningen	
Periode	**Gemiddelde export monding**	**Periode**	**Gemiddelde export monding**
1990-1996	0,8 miljoen m^3/jaar	1990-1998	0,17 miljoen m^3/jaar
1997-2004	0,6 miljoen m^3/jaar		
1999-2004	3,2 miljoen m^3/jaar	1999-2005	1,15 miljoen m^3/jaar

Tabel 3.7a: *Gemeten en berekende export naar de monding.*

Waarnemingen		Berekeningen	
Periode	**Gemiddelde export Belgisch-Nederlandse grens**	**Periode**	**Gemiddelde export Belgisch-Nederlandse grens**
1955-2004	1,1 miljoen m^3/jaar	1990-1998	0,12 miljoen m^3/jaar
1999-2004	0,7 miljoen m^3/jaar	1999-2005	0,04 miljoen m^3/jaar

Tabel 3.7b: *Gemeten en berekende export over de Belgisch-Nederlandse grens. .*

Waarnemingen		Berekeningen	
Periode	**Gemiddelde volumeverandering**	**Periode**	**Gemiddelde volumeverandering**
1990-2004	3,9 miljoen m^3/jaar	1990-1998	2,1 miljoen m^3/jaar
1999-2004	4,2 miljoen m^3/jaar	1999-2005	3,0 miljoen m^3/jaar

Tabel 3.8: *Gemeten en berekende volumeverandering van de Westerschelde.*

De export en vervolgens ook de volumeverandering wordt in de berekeningen onderschat. Bij de interpretatie van modelresultaten (paragraaf 5.4, Appendix I) wordt rekening gehouden met de reproductiekwaliteit en indien nodig meer gebruik gemaakt van waarnemingen en expert judgement.

Voor de Beneden-Zeeschelde is de volumeverandering gelijk aan de import over de landsgrens en de baggerhoeveelheden (welke middels zandwinning aan het gebied onttrokken wordt). De berekende en waargenomen hoeveelheden van deze baggerhoeveelheden en import worden in respectievelijk tabel 3.6b en 3.7b weergegeven.

3.5.5 Arealen

De reproductiekwaliteit van de morfologische modellen voor arealen zijn beschreven in Wang en Jeuken, 2006 en Kuijper et al, 2004 en 2006. Ondanks dat het bepalen van de arealen boven de laagwaterlijn onzeker blijft, komen de ontwikkelingen in tegenstelling tot in het strategische milieueffectenrapport in deze studies beter overeen met de verwachting. De berekening van arealen komt niet in dit basisrapport Morfologie aan de orde, maar in het basisrapport Water van deze milieueffectrapportage. In deze paragraaf wordt wel de reproductiekwaliteit uit bovengenoemde studies samengevat, aangezien dit de basis vormt voor verdere analyses in het basisrapport Water.

In figuur R.1a en R.1b in appendix R worden de met Estmorf berekende arealen intergetijdengebieden vergeleken met waarnemingen (vergelijking van de kalibratie run in rood met de waarnemingen in zwart, voor de periode 1980-1996). Net als in voorgaande studies wordt in Wang en Jeuken (2006) geconstateerd dat de ontwikkelingen van de intergetijdengebieden, zowel qua areaal als qua hoogte minder goed worden weergegeven door het model dan de totale volumeveranderingen per macrocel (weergegeven in figuur R.2a en R.2b). De trend van areaalveranderingen in vijf van de zes macrocellen wordt goed weergegeven, alleen in macrocel 3 is de ontwikkeling tegengesteld aan de waarnemingen. In macrocel 6 en 7 is zelfs de reproductie goed (voor deze periode binnen 10 procent nauwkeurigheid). Voor macrocel 1 wordt de toename in areaal met ongeveer 30 procent onderschat, in macrocel 4 wordt de afname met bijna 50 procent onderschat en in macrocel 5 wordt de afname overschat met ongeveer 50 procent. Voor de voorspelde hoogte is de trend van verandering in twee van de zes macrocellen goed. In de kalibratie werd echter de hoogteverandering beter gereproduceerd dan de areaalverandering. Voor de Beneden-Zeeschelde zijn de arealen niet berekend, wel de volumeveranderingen (zie figuur R.2b).

In een voorgaande studie (Kuijper et al, 2006) zijn de met Delft3D berekende areaalveranderingen voor een drietal diepteklassen afgeleid. In figuur R.3 staan de berekende en waargenomen areaalveranderingen per macrocel, in figuur R.4 voor de gehele Westerschelde. Voor de Beneden-Zeeschelde zijn in de studie de arealen voor een zevental diepteliggingen bepaald, de berekende en waargenomen areaalveranderingen staan in figuur R.5.

De waargenomen ontwikkeling in intergetijdengebied (in de betreffende studie weergegeven door de klasse >-2 meter NAP) worden de waarnemingen in macrocellen 1, 4, 5, en 7 gereproduceerd met een verschil kleiner dan 100 10^4 m^2 (50 tot 100 procent). Voor de ondiepwatergebieden (tussen -5 en -2 meter NAP) reproduceert het model de ontwikkelingen voor de macrocellen 3, 4 en 7. Voor het areaal tussen -7 en -2 meter NAP wordt de ontwikkeling in macrocel 1, 5 en 7 gereproduceerd. Voor de overige gevallen treden grote verschillen op tussen waarnemingen en berekeningen. Wordt geaggregeerd naar het niveau van de hele Westerschelde, dan reproduceert het model de waarnemingen in areaalontwikkeling aanzienlijk beter. Voor de periode 1975-1995 reproduceert het model de trend voor de diepteklasse >-2 meter, de waargenomen toename wordt met ruim 30 procent overschat. De initieel waargenomen trend voor de diepteklasse tussen -5 en -2 meter NAP wordt door het model niet gereproduceerd, de afname sinds midden jaren tachtig wordt wel gereproduceerd, de waargenomen afname wordt met ongeveer 50 procent onderschat. Voor de diepteklasse tussen -7 en -2 meter NAP wordt de afname beter gereproduceerd (geringe overschatting van 25 procent). Voor de gehele Beneden-Zeeschelde geldt dat de areaalverandering op -5 meter, -7 meter en -10 meter NAP kwalitatief en kwantitatief redelijk goed worden gereproduceerd als naar de periode 1980-2002 wordt gekeken (de afwijkingen ligt binnen een marge van 25 procent). Op -2 meter NAP berekent het model een toename, terwijl de metingen vrijwel geen verandering tonen. Geagregeerd voor de gehele Beneden-Zeeschelde wordt het areaal beneden -10 meter NAP redelijk goed gereproduceerd, het areaal beneden -2 meter, -5 meter en -7 meter NAP wordt door het model aanzienlijk overschat (vaak orde 100 procent) voor de periode 1980-1990. De resultaten in appendix R hebben betrekking op de periode 1976-1995, voor de resultaten uit de periode 1955-1976 wordt verwezen naar Kuijper et al, 2006.

3.5.6 Verschilkaarten (erosie en sedimentatie)

Voor de morfologische effectbepaling in dit basisrapport morfologie worden de berekende ontwikkelingen van bovenstaande parameters op macro- en megaschaal beoordeeld. Daarnaast worden verschilkaarten, berekend met behulp van Delft3D en Estmorf, gebruikt om bodemliggingen in respectievelijk 2015 en 2030 te bepalen welke vervolgens in de discipline Water en Natuur gebruikt worden (de resultaten worden daar op macro- en megaschaal gebruikt). In deze paragraaf wordt op basis van voorgaande studies de reproductiekwaliteit van de verschilkaarten aangegeven (dit vormt de basis voor verdere analyses in het basisrapport Water).

In figuur R.6 staat de gemeten en met Estmorf berekende bodemligging aan het eind van de verificatieperiode 1990-2002 uit Wang en Jeuken, 2006. In figuur R.7 staan de bijbehorende gemeten en berekende verschilkaarten (erosie en sedimentatie).

In figuur R.8 staat de gemeten en met Delft3D berekende verschilkaart aan het eind van de verificatieperiode 1990-2002 uit Kuijper et al, 2006.

De variatie in gemeten bodems tussen opeenvolgende jaren is aanzienlijk als gevolg van meetonnauwkeurigheid en variaties in hydrodynamische condities. Een vergelijking tussen modelresultaten en gemeten erosie en sedimentatie kan daardoor beter uitgevoerd worden voor de gemiddelde sedimentatie en erosie over een periode van meerdere jaren. Op de schaal van macrocellen (eb- en vloedgeul) leidt een dergelijke vergelijking tot de conclusie dat grootschalige patronen door het model gereproduceerd worden.

In de morfologische modellen wordt alleen gerekend met een zandfractie. De waargenomen erosie en sedimentatie wordt daarentegen bepaald door zowel zand als slib, met name in de Beneden-Zeeschelde speelt de slibfractie een grote rol en kan de waargenomen verschilkaart hierdoor afwijken van de berekende.

De kleinste ruimtelijke schaal waarop metingen en berekeningen van erosie/sedimentatie met elkaar vergeleken kunnen worden is die van het rekenrooster. Tussen de ruimtelijke schalen van de macrocellen en de rekencellen wordt de onzekerheid in de modeluitkomsten groter naargelang meer in detail de sedimentatie en erosie wordt geanalyseerd. Voor de milieueffectrapportstudie kunnen de resultaten in termen van erosie en sedimentatie dan ook alleen op voldoende groot aggregatieniveau geanalyseerd worden. Voor het reproduceren van sedimentatie en erosiehoeveelheden, alsmede van de erosie en sedimentatiedynamiek, is het noodzakelijk gebleken om de transporten berekend met Engelund-Hansen te vermenigvuldigen met een factor 0,5.

3.5.7 Bandbreedte

In morfologische studies is het bepalen van bandbreedte van voorspellingen nog geen alledaagse praktijk. De complexiteit van morfologische voorspellingen en de vaak lange modelsimulaties maken het bepalen van bandbreedtes niet eenvouding. In Kuijper et al (2006) is de bandbreedte van Delft3D-resultaten geschat (voor de Westerschelde). De bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie en als gevolg van modelbeperkingen is in deze studie in beeld gebracht. Voor dit tweede type bandbreedte is gebruik gemaakt van resultaten uit de calibratieperiode (welke op basis van expert judgement vertaald zijn naar bandbreedtes). De geschatte bandbreedte is hierdoor niet geheel van toepassing op de huidige studie, waar de voorspellingen gebruikt worden voor een relatieve effectbepaling. De geschatte bandbreedte geeft wel een indicatie voor de kracht en beperkingen van de modellen en wordt derhalve in Appendix R samengevat.

De tot op heden uitgevoerde Estmorf studies waren gericht op modelontwikkeling en modeltoepassing en niet expliciet op het bepalen van bandbreedtes. Het is daarom moeilijk om een uitspraak te doen over de bandbreedte van modelvoorspellingen. De enige indicatie is de afwijking tussen modelresultaten en waarnemingen zoals gepresenteerd in voorgaande paragrafen.

3.5.8 De kracht en beperkingen van de modellen; hoe gaan we hier mee om?

Door verdere ontwikkeling van de beide pijlers systeemkennis en morfologische modellen is de voorspelkracht sinds het strategische milieueffectenrapport toegenomen. In dit basisrapport Morfologie wordt met name gebruik gemaakt van de effectvoorspelling in termen van parameters en ruimteschalen waarvoor de voorspelkracht het grootst is.

Samenvattend geldt dat de voorspelkracht van Delft3D toeneemt, naargelang het aggregatieniveau, waarop de beoordeling plaatsvindt, groter wordt. Dit impliceert, dat de onzekerheid kleiner is, indien wordt beoordeeld op:

1. de baggervolumes voor de gehele Westerschelde en Beneden-Zeeschelde (mega- en macroschaal) in plaats van individuele baggerlocaties (mesoschaal)
2. de volume- en diepteontwikkeling (en kantel- en verhangindex) op schaal van de gehele macrocel (macroschaal) in plaats van individuele locaties (mesoschaal).
3. de areaalontwikkeling voor de gehele Westerschelde en Beneden-Zeeschelde (megaschaal) in plaats van individuele platen (mesoschaal)

In algemene zin geldt voor procesmodellen, zoals Delft3D, dat de onzekerheid van voorspellingen toeneemt op langere tijdschalen. Dit is inherent aan de niet-lineaire processen, waarbij kleine initiële “verstoringen” na verloop van tijd kunnen leiden tot grote verschillen. Dit beperkt vooralsnog de toepasbaarheid van Delft3D tot een tijdschaal van ongeveer 10 jaar. In de huidige studie worden de effecten op een tijdschaal van 5 jaar met Delft3D in beeld gebracht.

Samenvattend geldt dat Estmorf kan worden gebruikt voor het bepalen van veranderingen in de zandbalans van deelgebieden (macrocellen en individuele geulen) voor grote tijdschalen (enkele jaren tot decennia). In de huidige studie wordt het model de effecten op een tijdschaal van 20 jaar in beeld gebracht. Voor het voorspellen van de ontwikkeling van de intergetijdengebieden in absolute zin (autonome ontwikkeling) kan het model niet worden ingezet. Dit geldt met name voor de hoogte van de intergetijdengebieden. Wel kan het model worden toegepast in relatieve zin, waarbij de effecten van ingrepen worden vergeleken. Een expert beoordeling van de resultaten is dan essentieel.

De voorspelbeperkingen worden geminimaliseerd door zowel gebruik te maken van expert judgement als van numerieke modellen. De modelresultaten worden hiervoor getoetst aan de verwachte (expert judgement) respons van het morfologische systeem op de ingrepen. Als onderdeel van deze milieueffectrapportage is een rapport Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling opgesteld met als doel een raamwerk te presenteren, waarbinnen deze toets dient plaats te vinden. Het betreft de visie van het consortium op de morfologische ontwikkeling van het estuarium en bevat de state-of-the-art kennis met betrekking tot zowel systeemkennis als modelkennis. Hierin wordt de historische ontwikkeling van de relevante parameters, de systeemkennis (verklaring van de waargenomen ontwikkeling) en de verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem beschreven (op basis van expert judgement). In dit Basisrapport Morfologie wordt een kwalitatieve beoordeling opgenomen die de modelvoorspellingen, de nauwkeurigheid van de modellering, de waarnemingen èn de systeemkennis integreert om tot eindconclusies te komen over de effecten van de verruiming.

De voorspelkracht van zowel morfologische modellen als expert judgement kent zijn beperkingen. Naarmate de effecten van ingrepen kleiner zijn, neemt de voorspelbaarheid toe. De omvang van de bestudeerde ingreep ligt binnen het toepassingsbereik van de gebruikte modellen en expert judgement. Als uit de huidige studie blijkt dat de effecten van de projectalternatieven ten opzichte van het nulalternatief beperkt zijn, verschuift de onzekerheid van de voorspelling van onzekerheid in effectvoorspelling naar onzekerheid in voorspelling van de autonome ontwikkeling.

Intermezzo - Areaalvoorspellingen, casus de Mississippi-delta

In morfologische studies is het bepalen van de bandbreedte rond voorspellingen op de ruimteschaal van de gehele Westerschelde en Beneden-Zeeschelde én op de tijdschaal van jaren tot decennia nog geen alledaagse praktijk. Het geeft enig vertrouwen dat de bevindingenvoor de Westerschelde in deze studie in lijn zijn met recent onderzoek inzake voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen in de Mississippi-delta (Kemp et al, 2004). Daarin wordt gesteld: “De grootste beperking ligt in het voorspellen van opbouw van land (dat een relatief langzaam proces is) op een kleine schaal (dit is een hoge resolutie) over lange tijdschalen (decades)”. Realistische voorspellingen werden verkregen voor een periode van 50 jaar door gebruik te maken van hydride modellen waarin op grote schaal (de volledige delta) berekeningen werden uitgevoerd op een resolutie die niet fijner is dan 1km2. Tevens werd een inschatting gemaakt van de onderzekerheid op de areaalvoorspellingen die resulteerden in een waarde van 50 tot 70 procent.

4 Verkennend onderzoek: stortstrategieën

4.1 Inleiding

Om in de Westerschelde tot een verantwoorde stortstrategie te komen dienen diverse stappen te worden doorlopen. Het is een iteratief proces waarbij de stortverdeling over de stortvakken wordt aangepast totdat het op macroschaal voldoet aan de gestelde eisen (zie paragraaf 2.6). Een verkenning van dit iteratieve proces wordt besproken in paragraaf 4.2.

Zodra de stortstrategie op macroschaal is bepaald vormt het een randvoorwaarde die ingevuld dient te worden op kleinere tijd- en ruimteschalen. Hier komt de term flexibel storten aan bod. Flexibel storten is het op een flexibele manier invullen van een stortstrategie om in te kunnen spelen op fysische en ecologische ontwikkelingen op kleinere tijd- en ruimteschalen. Een verkenning en invullingen van flexibel storten worden nader toegelicht in paragraaf 4.3.

4.2 Het bepalen van een stortstrategie: een iteratief proces

Het bepalen van stortvakken vormt de basis voor de iteratie (zie paragraaf 4.3.1). De startiteratie (een eerste verdeling over de stortvakken) wordt bepaald op basis van de uitgangspunten die gedefinieerd zijn in paragraaf 2.2 (eerst storten in de nevengeul, dan in de hoofdgeul). De gekozen verdeling wordt dan doorgerekend in een Delft3D simulatie, waarna de resultaten worden beoordeeld op de gestelde criteria. Als er niet wordt voldaan aan de criteria wordt de verdeling aangepast totdat er wel wordt voldaan in aan de gestelde criteria.

Deze aanpak is de basis van het iteratieproces. Om te verzekeren dat deze methode daadwerkelijk resultaten oplevert zijn respectievelijk in paragraaf 4.2.1 en 4.2.2 de volgende twee zaken nader verkend:

- Is het modelmatig mogelijk om iteratief tot een stortverdeling te komen die de morfologische diversiteit waarborgt?
- Is storten op plaatranden effectief?

Verder is in paragraaf 4.2.3 onderzocht of berging van aanlegspecie in de monding noodzakelijk is.

4.2.1 Iteratie met de stortverdeling: proef op de som

Om meer inzicht te verkrijgen in de iteratie van stortverdelingen met betrekking tot de Westerschelde zijn er een aantal modelsimulaties bestudeerd. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.4 (Flexibel storten 1990-2005; de proef op de som). In dit hoofdstuk worden alleen de conclusies gepresenteerd. In de verkennende simulaties is nagegaan of met hulp van de modelsimulaties voor de periode 1990-2005 een aangepaste stortstrategie opgesteld kan worden. Doel was het definiëren van een stortstrategie waarbij de morfologische diversiteit van het systeem niet of nauwelijks in het geding wordt gebracht. De periode is in tweeën gedeeld, de periode 1990-1998 voor de tweede verdieping en de periode 1998-2005 na de tweede verdieping. De resultaten van de simulatie met een aangepaste stortstrategie worden vergeleken met resultaten van de simulatie gebaseerd op de uitgevoerde stortstrategie.

De voornaamste conclusies zijn:

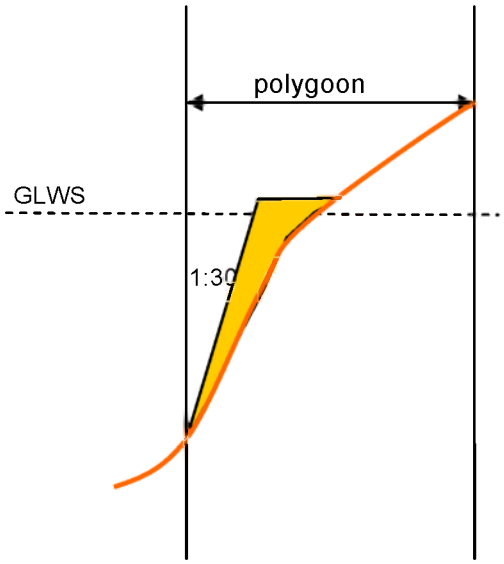
- De stortstrategie beïnvloedt de baggerhoeveelheden. Meer storten in het in het oosten en in de vaargeul resulteert in een toename van de baggerhoeveelheid. De stortstrategie beïnvloedt eveneens de zandhuishouding. Meer storten in het westen resulteert in een toename van de export naar de monding.
- Door bij het bepalen van de stortstrategie het stortcriterium in acht te nemen (geen of minimale overschrijding), blijft de morfologische diversiteit gewaarborgd.
- Het model is toepasbaar om de iteratieprocedure te doorlopen en een stortstrategie te definiëren.

4.2.2 Effectiviteit plaatrandstortingen

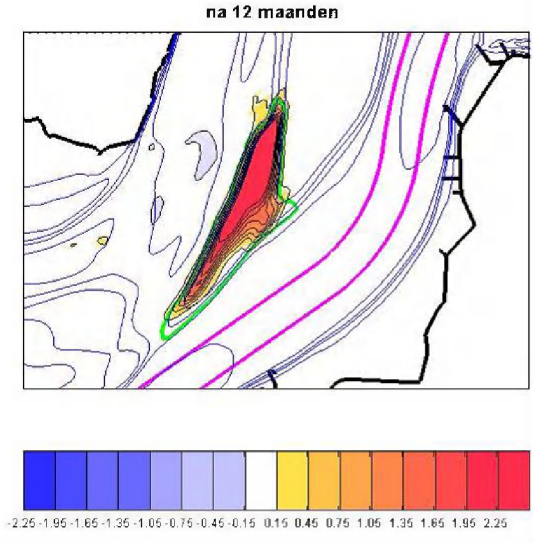
Uit waarnemingen is gebleken dat het areaal ondiepwatergebied (plaatranden) afneemt. Om deze afname te compenseren is bekeken of storten op plaatranden haalbaar is. Er zijn een aantal modelsimulaties gedraaid om het morfologische gedrag van stortingen op deze locaties te bestuderen. De analyse focust op volumeafname om te beoordelen of de plaatranden een stabiele omgeving kunnen vormen ten behoeve van de ecologie. In het basisrapport Passende Beoordeling wordt het effect van plaatrandstortingen op arealen in het hele gebied meegenomen.

In de huidige studie wordt gestort op locaties waar de bodem voor de ingreep (verruiming en storten van aanlegbaggerspecie) voor een aanzienlijk deel onder GLWS ligt. Door het storten van aanlegbaggerspecie en/of vervolgens het storten van onderhoudsbaggerspecie wordt het ondieper en komt de bodem lokaal boven GLWS. Deze verondieping is het directe gevolg van storten.

Een plaatrandstorting wordt schematisch in Delft3D aangebracht met hellingen van 1:30 tot de bestaande bodemligging (zie figuur 4.1). Let wel, dit betreft de *model*geometrie van plaatrandstortingen. In de praktijk wijkt de vorm enigszins af. Een realistischer schematisatie is voor de doelstelling in dit basisrapport (het illustreren van de morfologische stabiliteit) niet noodzakelijk.



Figuur 4.1: *Modelgeometrie plaatrandstortingen*



Figuur 4.2: *Diepteontwikkeling Rug van Baarland Delft3D-simulatie*

In de eerste Delft3D simulatie is berekend hoeveel het initiële volume na 12 maanden is afgenomen. Als voorbeeld staat in figuur 4.2 voor de Rug van Baarland de berekende plaatrand-ontwikkeling ten opzichte van een berekening zonder plaatrandstorting weergegeven. Berekeningen geven aan dat in deze periode 0-5 procent van het initieel gestorte volume uit het stortvak verdwijnt. Voor de Hooge Platen en Walsoorden ligt dit percentage iets hoger (respectievelijk 10-15 procent en 10 procent). Hieruit kan geconcludeerd worden dat een groot percentage van het gestorte materiaal niet (direct) erodeert. Morfologisch gezien leveren de plaatranden dus tijdelijk stortcapaciteit op. Zodra de plaatrand 'vol' is zal er slechts circa 10 procent per jaar eroderen. Hierdoor kunnen de plaatranden wel ecologische ontwikkelingsmogelijkheden bieden.

De volgende simulatie is gedraaid om inzicht te krijgen in de invloed van storten op plaatranden op het onderhoudsbaggerwerkvolume. In deze simulatie is 25 procent van het onderhoudsbaggerwerk op de plaatranden gestort en vergeleken met een simulatie waarbij niet op de plaatranden wordt gestort.

De modelresultaten (zie tabel 4.1) geven aan dat het onderhoudsbaggerwerk voor beide simulaties vergelijkbaar is (circa 10 miljoen m³/j). Het baggervolume neemt (zoals verwacht) licht af door het storten op de morfologisch laagdynamische plaatranden, maar deze afname wordt niet significant geacht binnen de grenzen van de modelbetrouwbaarheid (zie paragraaf 3.4 en 3.5).

Baggeren		
Macrocel	(0 procent op plaatranden)	(25 procent op plaatranden)
1	0,1	0,1
3	2,3	2,2
4	0,4	0,4
5	4,2	4,1
6	1,9	1,8
7	1,4	1,2
Totaal	10,2	9,8

Tabel 4.1: *Baggerhoeveelheden (miljoen m³/j) Delft3D-simulaties.*

4.2.3 Aanlegspecie in de monding

Om de noodzaak voor aanlegstort in het mondingsgebied te beoordelen is een simulatie met storting in de monding vergeleken met een simulatie zonder storting in de monding. In de simulatie zonder storting in de monding is het volume gelijkmatig verdeeld over de overige nevengeulstortvakken (zie tabel 4.2). Als gevolg wordt het stortcriterium in een aantal macrocellen overschreden.

Ingreep				
Macrocel		Aanlegstort in monding	Geen aanlegstort in monding	Stortcriterium
Monding		2,9	0,0	
1	vg	0,8	1,4	1,7
3	vg	1,1	2,2	1,5
4	eg	1,0	1,6	0
5	vg	0,9	1,4	1,5
6	vg	0,4	0,4	0,5
7	eg	0,0	0,0	0,5

Tabel 4.2*: Aanlegstorthoeveelheden (miljoen m³)*

Het doel van deze simulatie is om te bepalen of de variant zonder aanlegstort in de monding een negatief effect heeft op het onderhoudsvolume en het morfologische beoordelingskader (zie paragraaf 2.3).

De modelresultaten geven voor beide varianten een gelijkwaardige ontwikkeling aan, zowel voor het onderhoudsvolume als met betrekking tot de criteria van het beoordelingskader. Berging van aanlegstort in het mondingsgebied is op basis van deze criteria dus niet benodigd. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat een eenmalige overschrijding van het stortcriterium (in macrocel 3) niet leidt tot negatieve effecten.

4.3 Flexibel storten

Flexibel storten is in paragraaf 2.2 gedefinieerd als het in de vergunning aanbrengen van een bepaalde vrijheid in de locatie, hoeveelheid, methode en tijdstip van storten. Met deze vrijheden kan mitigerend worden ingegrepen om de instandhouding van het natuurlijke systeem te waarborgen. Alvorens op deze vrijheid in storten in te gaan worden eerst in paragraaf 4.3.1 de stortvakken gepresenteerd. Ook de overwegingen op basis waarvan deze vakken zijn bepaald komen aan bod. Daarna wordt in paragraaf 4.3.2 op basis van deze stortvakken de invulling van een flexibele stortstrategie toegelicht.

4.3.1 Stortvakken

Het bepalen van de ligging en omvang van de stortvakken is ook tot stand gekomen in een iteratief proces. In dit proces is op basis van uitgangspunten een voorstel bedacht, waarna deze in besprekingen met de betrokken partijen is geoptimaliseerd.

De volgende uitgangspunten hebben een rol gespeeld om tot een eerste voorstel te komen voor de stortvakken:

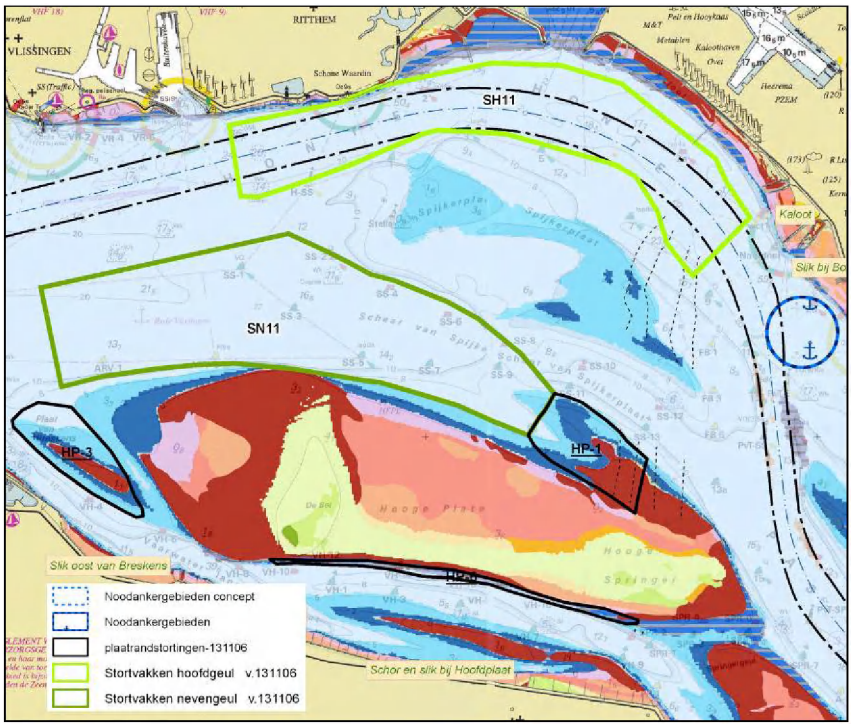
- Per macrocel wordt één stortvak in de nevengeul en één stortvak in de hoofdgeul gedefinieerd
- Daarnaast worden vakken gedefinieerd op enkele geschikte plaatranden
- De stortvakken dienen zo groot mogelijk te zijn
- De minimale diepte van de vakken dient circa NAP -7 meter te zijn[4] (vanuit uitvoeringstechnisch oogpunt)
- In de vaargeul worden de stortvakken op aanwezigheid van diepere geulen (NAP -20 meter) afgestemd
- De stortvakken mogen niet nabij ecologisch of morfologisch kwetsbare gebieden liggen
- De retourstoming naar baggergebieden dient minimaal te zijn

Ligging en aandachtspunten per macrocel

Per macrocel wordt een afbeelding gegeven van de stortvakken met (indien van toepassing) een korte toelichting naar aanleiding van commentaar van de betrokken partijen.

[4] Dit geldt niet voor de plaatrandstortvakken

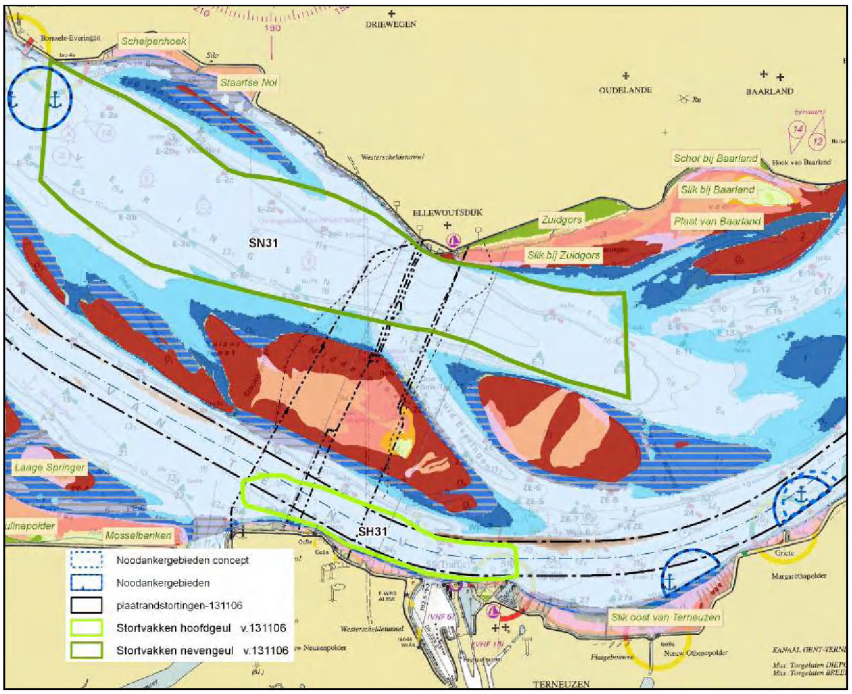
Macrocel 1



Figuur 4.3: *Stortvakken macrocel 1*

- Stortvak nevengeul: SN11
- Stortvak hoofdgeul: SH11
- Stortvakken plaatrand (HP-1, HP-3): na commentaar van onder andere RIKZ zijn verschillende plaatrandvakken bij de Hooge Platen nader onderzocht. Uiteindelijk is gekozen voor vakken HP-1 (Noordoost rand Hooge Plaat) en HP-3 (Plaat van Breskens). Storten in deze gebieden is baggertechnisch eenvoudig en daarnaast worden er natuurkansen gecreëerd. Een verhoging van deze gebieden leidt namelijk tot een vergroting van de arealen laagdynamisch (hydrodynamica) litoraal gebied en hoogdynamisch sublitoraal gebied. Een uitbreiding van deze ecotopen is gunstig voor bodemdieren. Daarnaast worden foerageergebieden voor steltlopers gecreëerd. Een aandachtpunt is wel dat monitoring dient plaats te vinden om te controleren of er geen zandtransport op de plaat plaatsvindt (wat overigens niet wordt verwacht in dit laagdynamische (hydrodynamica) gebied). Een eventuele beheersmaatregel zou in dat geval kunnen zijn om de plaatrand tijdelijk niet als stortlocatie te gebruiken.

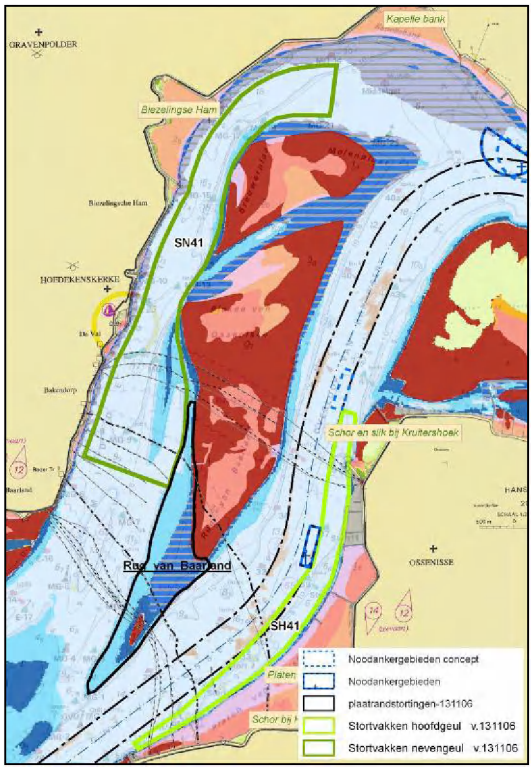
Macrocel 3



Figuur 4.4: *Stortvakken macrocel 3*

- Stortvak nevengeul (SN31): dit vak is enigszins aangepast op basis van de ecotopenkaart. Een aandachtspunt is dat monitoring dient te voorkomen dat er teveel zandtransport plaatsvindt naar de slik van Ellewoutsdijk.
- Stortvak hoofdgeul: SH31

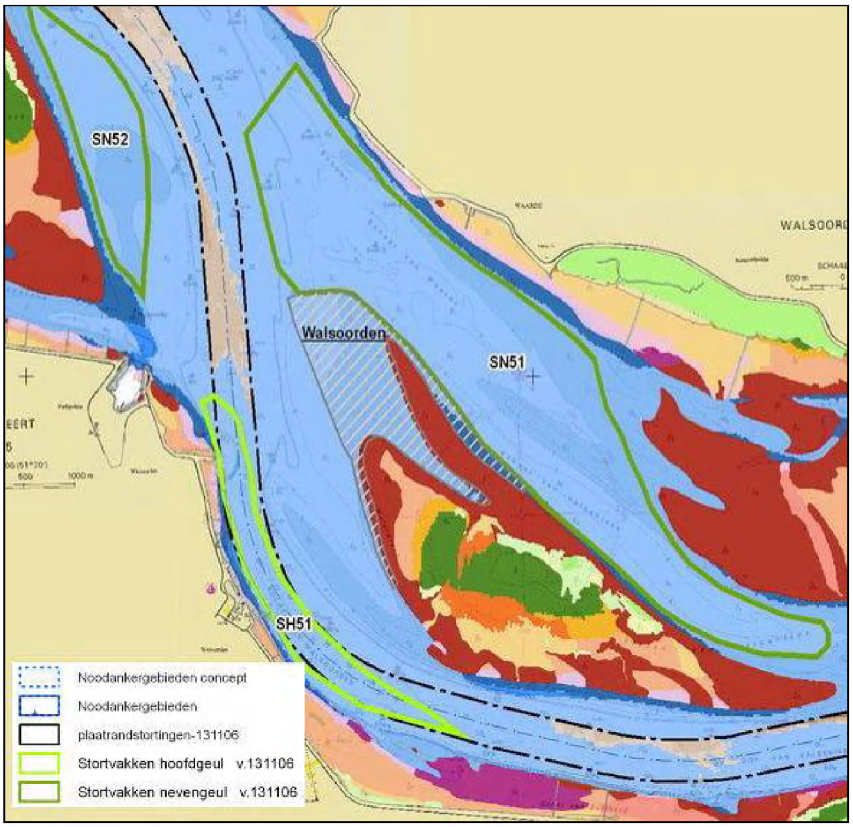
Macrocel 4



Figuur 4.5: *Stortvakken macrocel 4*

- Stortvak nevengeul (SN41): in onder andere de tussenevaluatie van MOVE zijn problemen onderkend met het storten in deze geul. De polygoon is niet aangepast, maar de storting in dit vak moet worden geminimaliseerd.
- Stortvak hoofdgeul (SH41): een aandachtpunt is dat monitoring nodig is om te voorkomen dat grote hoeveelheden sediment uit de vaargeul het slik opgaan.
- Stortvak plaatrand (Rug van Baarland): ook bij deze plaatrand dient in de gaten gehouden te worden dat er niet teveel sediment op de plaat wordt getransporteerd. Sedimentatie in de vaargeul is overigens niet verwacht (zie figuur 4.2). Verder is de aanbeveling om te storten in de sublitoraal zodat er achter het stortgebied een laagdynamisch (hydrodynamica), slibrijk gebied ontstaat. Een aandachtspunt is dat de ondiepte ten zuiden van de plaat van Baarland wordt gebruikt door de relatief kleinere scheepvaart.

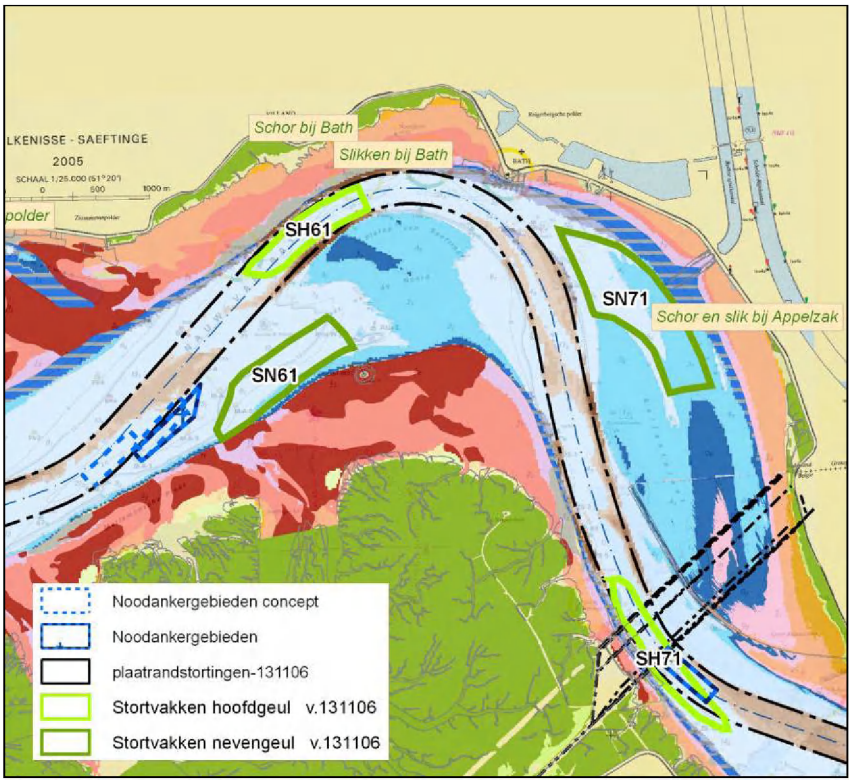
Macrocel 5



Figuur 4.6: *Stortvakken macrocel 5*

- Stortvakken nevengeul (SN51, SN52): voor deze geul is een extra vak aangegeven door IMDC (SN52). Een aandachtspunt is dat gemonitord dient te worden dat de geul tussen Walsoorden en Zuid-Beveland niet (weer) dichtslibt.
- Stortvak hoofdgeul: SH51
- Stortvak plaatrand: Walsoorden (proefgebied, proeven uitgevoerd in 2004 en 2006)

Macrocel 6 en 7



Figuur 4.7: *Stortvakken macrocel 7*

- Stortvakken nevengeul: SN61, SN71
- Stortvakken hoofdgeul: SH61, SH71

Let op: tijdens de daadwerkelijke invulling van de stortstrategie (zie paragraaf 4.3.2) zal ook rekening gehouden moeten worden met nautische randvoorwaarden (ankergebieden, vaardiepten) en andere voorwaarden zoals kabels en leidingen.

In de Beneden-Zeeschelde wordt het gebaggerde sediment gestort in de Schaar van Ouden Doel. Vervolgens wordt hier weer zand gewonnen. In de modelsimualties is (op basis van de huidige praktijk) de hoeveelheid zandwinning gelijk gesteld aan de baggerhoeveelheid. Het effect van storten op deze locatie op aanzanding in belangrijke gebieden is niet op basis van modelsimulaties in beeld gebracht, maar tijdens een expert werksessie welke resultaten in de Passende Beoordeling verwerkt zijn.

4.3.2 Invulling van een flexibele stortstrategie

In de definitie van paragraaf 2.4 werd flexibel storten omschreven als het in de vergunning aanbrengen van vrijheid in (1) locatie, (2) hoeveelheid, (3) methode en (4) tijdstip van storten.

De stortstrategie waarin in dit basisrapport Morfologie vorm wordt gegeven levert de randvoorwaarden op de ruimtelijke schaal van macrocellen. Als de stortstrategie binnen deze randvoorwaarde blijft wordt de afname van morfologische diversiteit beperkt.

Binnen deze randvoorwaarde kan op kleiner schaalniveau invulling worden gegeven aan de flexibele stortstrategie. De keuze voor verdere invulling kan op basis van ecologische (basisrapport Natuur) of fenomenologie op mesoschaal (achtergronddocument Morfologische ontwikkeling Westerschelde) gemaakt worden.

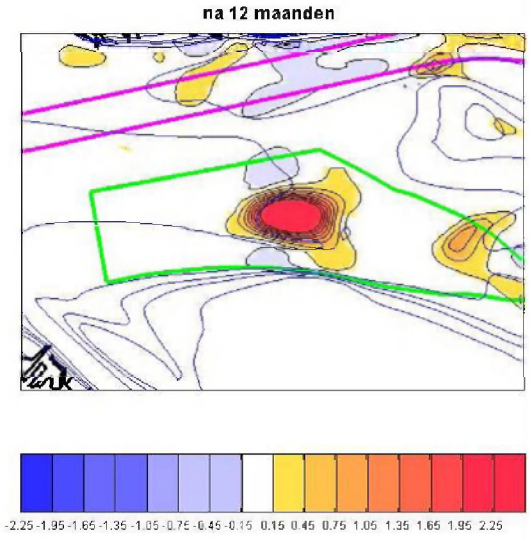
De verschillende vrijheden worden in deze paragraaf verkend. Voor een aantal ervan zijn modelsimulaties gedraaid met Delft3D. Ze worden hierna achtereenvolgens behandeld.

Vrijheid in de locatie
Deze vrijheid heeft betrekking op de vrijheid die bestaat om binnen de stortvakken een locatie te kiezen om te storten. Aangezien de omvang van de stortvakken relatief groot is (dit was een belangrijk uitgangspunt) is er aanzienlijke speling aanwezig binnen de grenzen van het stortvak. De keuze kan gebaseerd worden op grond van morfologische en/of ecologische ontwikkelingen of op grond van nautische en/of uitvoeringstechnische aspecten.
Als concrete voorbeelden hiervan kunnen genoemd worden: het ontzien van bepaalde zones binnen een stortvak als monitoring aangeeft dat er hierdoor ongewenste aanzanding plaatsvindt op platen. Of het lokaal verhogen van plaatranden om beschutting te bieden tegen geconstateerde ontwikkelende ecologie. Ook kan binnen een nevengeul bijvoorbeeld een lokale vaargeul voor de kleinere scheepvaart worden ontzien.

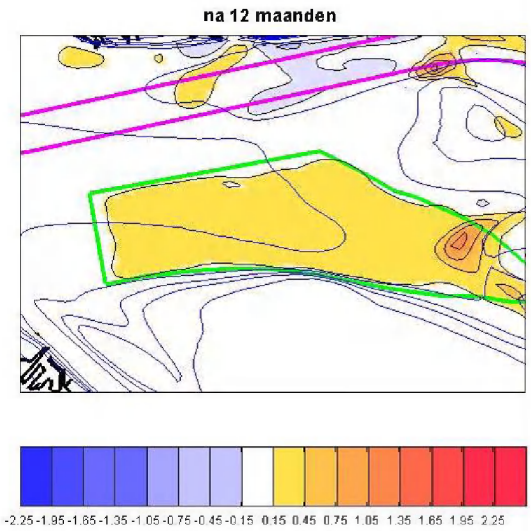
Vrijheid in de hoeveelheid
Deze vrijheid heeft betrekking op de vrijheid om te variëren in hoeveelheid. Het variëren van de storthoeveelheid kan op macroschaal, wat in paragraaf 4.2 aan bod is gekomen. In het kader van flexibel storten worden kleinere tijd en ruimteschalen beschouwd.

Vrijheid in de methode
Deze vrijheid heeft betrekking op de stortmethode. De stortingen zullen uit financieel-uitvoeringstechnisch oogpunt zoveel mogelijk worden uitgevoerd door middel van het zogenaamde kleppen van baggerschepen. Met deze randvoorwaarde bestaat de vrijheid uit het aanbrengen van een geconcentreerde storting of een verspreide storting. Om de effectiviteit van de twee methoden te verkennen is hiervoor een modelstudie gedaan. De resultaten worden hieronder samengevat:

In de huidige studie is een gelijkmatige verdeling over de stortpolygoon vergeleken met een geconcentreerde storting. Als voorbeeld staat in figuur 4.3 de berekende ontwikkeling van de geconcentreerde storting in de vorm van een bult ten opzichte van een berekening zonder storting weergegeven. In figuur 4.4 staat de berekende ontwikkeling van een verspreide storting ten opzichte van een berekening zonder storting. Figuur 4.3 geeft weer dat de geconcentreerde storting zijdelings uitvlakt, vooral naar de oostkant door de overheersende stroomrichting (vloedgeul). De sedimentatiegrens bereikt de polygoonrand niet binnen het gesimuleerde jaar. In figuur 4.4 is te zien dat de verspreid gestorte suppletie afkalft aan de randen. Beiden vertonen sedimentatie in het oostelijke deel. Uit de berekeningen blijkt dat de effectiviteit (de hoeveelheid zand die direct weer erodeert) voor beide type stortingen vergelijkbaar is.



Figuur 4.3: *Diepteontwikkeling puntstorting (bult) (Delft3D-simulatie)*



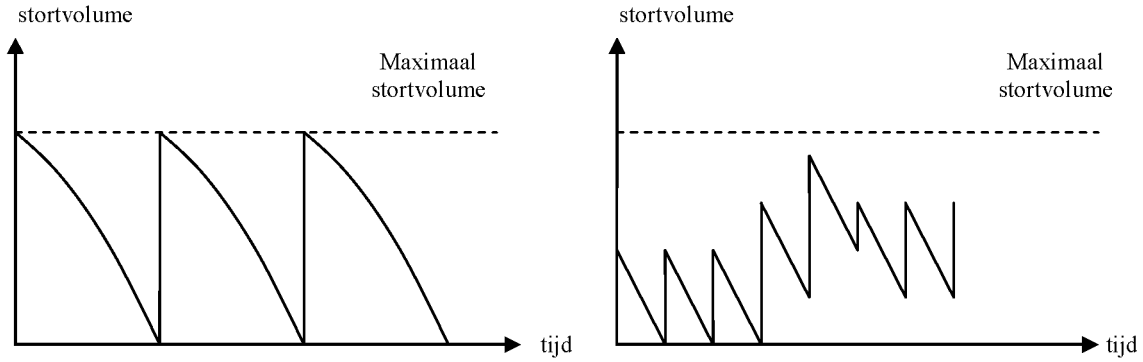
Figuur 4.4: *Diepteontwikkeling verspreide storting (Delft3D-simulatie)*

De keuze tussen de stortmethoden kan dus op ecologische, nautische of uitvoeringstechnische gronden worden gemaakt.

Vrijheid in het tijdstip
Tenslotte wordt ook de vrijheid in de tijd besproken. Met een constante storthoeveelheid als uitgangspunt is er vrijheid met betrekking tot de keuze van het tijdstip. De storting kan verspreid plaatsvinden over meerdere tijdstippen of worden gestort binnen beperkte tijd. Om de effectiviteit in relatie tot het tijdstip van storting te analyseren is er een studie gedaan. In deze studie zijn twee opties vergeleken:

1. Storting waarbij in één keer de maximale stortcapaciteit wordt gebruikt, gevolgd door een relatief langere periode waarin niet wordt gestort;
2. Meerdere kleinere stortingen waarbij slechts een deel van de stortcapaciteit wordt gebruikt.

In beide gevallen wordt het gestorte volume gelijkmatig verdeeld binnen de stortpolygoon (aanname).



Figuur 4.5: *Verschillende stortscenario's*

Het eerste scenario leidt tot een gemiddelde afname van de gestorte hoeveelheden op de plaatranden van 0 tot 15 procent per jaar. Het tweede scenario leidt tot een hoger afvoerpercentage van het gestorte volume, namelijk 15 tot 30 procent per jaar. In het tweede scenario neemt ook het onderhoudsbaggerwerk toe.

Het verdelen van een bepaalde storthoeveelheid over meerdere tijdstippen leidt dus tot een grotere afvoer van zand en daardoor een grotere stortcapaciteit. Verder neemt de baggerhoeveelheid hierdoor wel toe. Per situatie zal moeten worden afgewogen welk aspect meer belang heeft.

5 De varianten en alternatieven

5.1 Inleiding

In dit basisrapport morfologie wordt een *projectalternatief* (alternatief met verruiming) en een *nulalternatief* (alternatief zonder verruiming) bekeken. Om de effecten van een aangepaste stortstrategie ten opzichte van de huidige strategie goed in beeld te krijgen wordt bij het nulalternatief ook een situatie bekeken waarbij uitgegaan wordt van de aangepaste stortstrategie. Ter onderscheiding wordt dit het nulplusalternatief genoemd. Bij het projectalternatief wordt om dezelfde reden ook gekeken naar een situatie waarbij storten niet wordt aangepast, maar de huidige stortstrategie wordt toegepast, het zogenaamde projectalternatief min. De milieueffecten van de overige alternatieven en varianten worden beoordeeld door vergelijking met het nulalternatief. Voor het projectalternatief worden verschillende varianten met betrekking tot het storten van aanlegbaggerspecie bestudeerd (zie paragraaf 2.2, tabel 2.1). Per aanlegvariant wordt vervolgens een aantal varianten voor stortstrategieën van onderhoudsbaggerspecie bekeken. De alternatieven en varianten worden in paragraaf 5.2 verder beschreven.

Met de morfologische modellen Delft3D en Estmorf zijn de alternatieven en varianten doorgerekend. De kwantitatieve voorspelling van de bagger- en storthoeveelheden, overschrijding van het stortcriterium, ontwikkeling van geulen, kantelindex, verhangindicator en zandhuishouding worden in paragraaf 5.3 gepresenteerd. De resultaten van de alternatieven en varianten worden vergeleken met het nulalternatief, hierdoor wordt het relatieve effect in beeld gebracht. Er worden conclusies getrokken met betrekking tot het effect van verruiming, het effect van aanlegstort en het effect van onderhoudsstort.

In paragraaf 5.4 worden door middel van expert judgement conclusies getrokken betreffende het instandhouden van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem. In de afwezigheid van kwantitatieve normen betreft het een kwalitatieve analyse. Bij deze kwalitatieve beoordeling wordt naast modelresultaten uit paragraaf 5.3 gebruikt gemaakt van het inzicht in de werking van het morfologische systeem van de Westerschelde, zoals beschreven in het Achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, een visie op macro-morfologische ontwikkeling.

5.2 Beschrijving alternatieven en varianten

5.2.1 Nulalternatief

In het nulalternatief (alternatief zonder verruiming) voldoet de stortstrategie aan de huidige stortvergunning (WVO vergunning 2006 voor terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde). De vergunning geeft randvoorwaarden voor de stortstrategie, de stortstrategie die in het nulalternatief wordt toegepast is daarmee één van de mogelijke invullingen van de vergunning. Volgens de vergunning mag niet gestort worden in macrocel 6 en 7, in het nulalternatief moet daarom meer sediment over de andere macrocellen verdeeld worden.

5.2.2 Varianten en projectalternatieven met verruiming

De verruimde vaargeul is identiek voor alle varianten en projectalternatieven. De varianten (P1, P2 en P3) en de projectalternatieven (P4N en P4P) verschillen met betrekking tot het storten (locatie en hoeveelheid) van *aanlegbaggerspecie*. De uitgangspunten voor de verdeling van aanlegstort voor de varianten P1, P2 en P3 worden in paragraaf 2.2 beschreven, in tabel 5.1 staat de uiteindelijke verdeling van aanlegbaggerspecie weergegeven.

Op basis van de resultaten van de onderzoeksvarianten P1-P2-P3 is geconcludeerd dat deze varianten niet of nauwelijks onderscheidend zijn op basis van het morfologische beoordelingskader (de resultaten worden verder toegelicht in paragraaf 5.3).

Aanvullend is gekeken of het storten van baggerspecie op plaatranden effect heeft op de onderhoudsbaggervolumes, dit bleek een niet significant effect te hebben (zie hoofdstuk 4). Een keuze voor invulling van het projectalternatief P4 kan derhalve niet gemaakt worden op morfologische gronden. De effecten van de aanleg op de arealen (initieel effect) zijn daarom indicatief bepaald en afgewogen op basis van de instandhoudingdoelen voor natuur. Hieruit is geconcludeerd dat voor de Westerschelde variant P2 (met een beperkt initieel effect) de beste variant vormt.

Projectalternatief P4 is derhalve voor een groot deel identiek aan variant P2, maar er zijn een aantal wijzigingen ten opzichte van de variant P2 gemaakt. In de Beneden-Zeeschelde is geen sprake van initiële verschillen in arealen en hoeft derhalve niet op basis van deze argumenten voor de P2 variant gekozen te worden. De aanlegstort voor het de grote storthoeveelheden in de vaargeul van de Beneden-Zeeschelde zijn onwenselijk in verband met spiraalstroming en mogelijke effecten op aanwezige schorren en slikken. Daarom is voor de Beneden-Zeeschelde gekozen voor de verdeling van variant P3. Verder wordt in de variant P2 wordt een deel van de aanlegbaggerspecie van de Westerschelde gestort in de monding. Gezien de grotere transportafstanden vormt dit echter de laatste terugvaloptie. Aanleiding voor het storten in de monding is de overschrijding van het stortcriterium in de nevengeulen (de hoeveelheid aanlegbaggerspecie overschrijdt dit criterium). Aangezien het echter een eenmalige overschrijding betreft, is bekeken of deze eenmalige overschrijding negatieve morfologische effecten heeft op de macroschaal. Uit de verkennende berekening (zie hoofdstuk 4) is geconcludeerd dat op termijn van 5 jaar een initiële overschrijding van het stortcriterium nauwelijks effect heeft op zowel de macromorfologische ontwikkeling als de totale baggerhoeveelheden. In het projectalternatief P4 is daarom gekozen voor overschrijding van het stortcriterium en niet voor het storten van aanlegbaggerspecie in de monding.

Aangezien in de variant P2 (en dus in het projectalternatief P4) geen aanlegbaggerspecie op plaatranden gestort wordt, zou de gewenste integrale milieueffecten van storten op de plaatranden niet beschreven worden. Om hier wel zorg voor te dragen is besloten om twee projectalternatieven te bestuderen. In de eerste variant projectalternatief Nevengeul (P4N) wordt zoveel mogelijk aanleg- en onderhoudsbaggerspecie op de nevengeulen gestort, in de tweede variant projectalternatief Plaatrand (P4P) wordt een deel van zowel de aanleg- als de onderhoudsbaggerspecie op plaatranden gestort.

In tabel 5.1 staat per variant en alternatief de stortverdeling van *aanlegbaggerspecie* weergegeven.

Stortlocatie	variant aanlegstort P1	variant aanlegstort P2	variant aanlegstort P3	Project-alternatief Plaatrand P4P	Project-alternatief Nevengeul P4N
Nevengeul macrocel 1		0,75	0,75		0,70
Nevengeul macrocel 3		1,05	1,05		1,35
Nevengeul macrocel 4		1,00	1,00		2,40
Nevengeul macrocel 5		0,95	0,95		3,25
Nevengeul macrocel 6		0,40	0,40		
Oostgat (monding)	2,70	3,55			
Plaat Rug van Baarland (macrocel 4)	3,00			2,55	
Plaat van Walsoorden (macrocel 5)	2,00			2,00	
Plaat Hooge plaate 1 (macrocel 1)			3,55	1,70	
Plaat Hooge plaate 2 (macrocel 1)					
Plaat Hooge plaate 3 (macrocel 1)				1,45	
Schaar van Ouden Doel	3,50	2,00	2,00	2,00	2,00
Vaargeul Beneden-Zeeschelde		4,35	2,35	2,35	2,35
Aan wal	2,85		2,00	2,00	2,00

Tabel 5.1: *Stortverdeling (miljoen m3) van aanlegbaggerpecie voor de verschillende varianten.*

Voor de varianten aanlegstort P1-P2-P3 is een aantal varianten voor stortstrategieën van *onderhoudsbaggerspecie* bestudeerd. Bij het bepalen van deze stortvarianten gold het uitgangspunt dat gestart werd met een variant waarbij een zo groot mogelijk deel van de baggerspecie gestort wordt in de nevengeulen. Vervolgens zijn er varianten bekeken waarbij er achtereenvolgens meer gestort wordt in de hoofdgeul van dezelfde macrocel, in de nevengeul van aanliggende macrocellen en uiteindelijk varianten waarbij gestort wordt in verder verwijderde macrocellen. Bij deze iteratieprocedure is gebruik gemaakt van de geleerde lessen uit de periode 1990-2005 (zie Appendix D).

Het doel van de iteratie was het definiëren van een stortstrategie waarbij de morfologische diversiteit van het systeem maximaal gewaarborgd is. Om de rapportage overzichtelijk te houden worden niet van alle iteratieslagen resultaten getoond. De resultaten van de eerste iteratieslag (P0, 100 procent storten in de nevengeul, aanlegstort is gelijk aan de aanlegstort van P4N) staan in de rapportage. Bij deze stortstrategie wordt voor een aantal macrocellen het stortcriterium ver overschreden. Deze stortstrategie is daardoor geen realistische variant. Deze resultaten geven wel aan welk effect een dergelijke overschrijding heeft op het systeem (en de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem): het geeft een bovengrens van te verwachten effecten aan.

De resultaten van een onderhoudstortstrategie waarbij de iteratie nog niet geheel voltooid is (het stortcriterium wordt nog enigszins overschreden) worden eveneens gepresenteerd in de rapportage. Voor deze stortstrategie worden de resultaten voor de eerste drie varianten aanlegstort gepresenteerd (bijvoorbeeld P1, P2, P3).

De laatste iteratieslag is toegepast op projectalternatief Nevengeul (P4N). In dit alternatief wordt de aanlegbaggerspecie en een zo groot mogelijk deel van de onderhoudsbaggerspecie gestort in de nevengeulen. In het projectalternatief Plaatrand (P4P) komt de stortverdeling voor het onderhoudsbaggerspecie grotendeels overeen met de stortverdeling van P4N, per macrocel wordt echter een percentage van de onderhoudsbaggerspecie gestort op plaatranden. Vervolgens zijn twee onderhoudsvarianten van het projectalternatief Plaatrand (P4P) bestudeerd: in P4P2 wordt 20 procent van de onderhoudsbaggerspecie op plaatranden gestort, in P4P1 slechts 10 procent. Ook de resultaten van deze drie projectalternatieven (P4N, P4P1 en P4P2) worden in de rapportage gepresenteerd. De baggerhoeveelheden nemen toe bij grotere storthoeveelheden in de vaargeul (zie tabel 5.5 in de volgende paragraaf).

5.2.3 Nulplusalternatief en projectalternatief min

De stortstrategie voor het nulplusalternatief is identiek aan de stortstrategie van het projectalternatief Nevengeul. In het projectalternatief min (alternatief met verruiming) is de aanlegstort identiek aan de aanlegstort voor het projectalternatief Nevengeul en is de stortstrategie uit het nulalternatief toegepast (WVO vergunning 2006 voor terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde).

In tabel 5.2 staan de alternatieven en varianten samengevat.

Alternatief/ variant	Verruiming	Aanlegstrategie	Onderhoudsstrategie
Nulalternatief	Nee	geen	Vergunning 2006
Nulplusalternatief	Nee	geen	Aangepast
Projectalternatief min	Ja	P4N	Vergunning 2006
Eerste iteratie P0	Ja	P4N	eerste iteratie - 100 procent nevengeul
Variant aanlegstort P1	Ja	P1	Tusseniteratie
Variant aanlegstort P2	Ja	P2	Tusseniteratie
Variant aanlegstort P3	Ja	P3	Tusseniteratie
Projectalternatief Nevengeul P4N	Ja	P4N	Aangepast (laatste iteratie)nevengeul
Projectalternatief Plaatrand P4P1	Ja	P4P	Aangepast plaatrand
Projectalternatief Plaatrand P4P2	Ja	P4P	Aangepast plaatrand

Tabel 5.2: *Overzicht van de projectalternatieven en varianten*

In de volgende paragraaf worden de resultaten van al deze varianten en alternatieven integraal gepresenteerd. Door het onderling vergelijken van alternatieven kunnen conclusies getrokken worden met betrekking tot de effecten van verruiming en effecten van aanpassen van de onderhoudsstortstrategie. Het effect van verruiming wordt verkregen door de volgende alternatieven met elkaar te vergelijken: nulalternatief met het projectalternatief min en het nulplusalternatief met het projectalternatief Nevengeul. Het effect van aanpassen van de onderhoudsstortstrategie wordt verkregen door de volgende alternatieven met elkaar te vergelijken: het nulalternatief met het nulplusalternatief en het projectalternatief min met het projectalternatief Nevengeul. Het effect van verschillende verdeling van aanlegstort wordt verkregen door de varianten P1, P2 en P3 met elkaar te vergelijken.

5.3 Kwantitatieve voorspellingen

5.3.1 Totale bagger- en storthoeveelheden

In tabel 5.3 staan de totale baggerhoeveelheden voor alle projectvarianten, berekend met Delft3D. Het betreft zandrijke baggerspecie (de slibrijke baggerspecie die in de Beneden-Zeeschelde gebaggerd wordt niet met de morfologische modellen berekend).

Totaal	Nul	Nul+	P-	P0	P1	P2	P3	P4N	P4P1	P4P2
WS	6,3	8,0	9,7	12,5	11,9	11,8	11,8	12,4	12,1	11,7
BZ	1,8	1,8	2,1		1,8	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1

***Tabel 5.3**: Baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) voor alle alternatieven en projectvarianten voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde (resultaten van Delft3D-simulaties).*

De hoeveelheden betreffen een gemiddelde over 5 jaar. De baggerhoeveelheden vertonen een (steeds geringere) afname gedurende deze 5 jaar. Voor de effectbepaling (op de beoordelingscriteria) is wel gerekend met de jaargemiddelde baggerhoeveelheden; het effect van de afname in baggerhoeveelheden wordt dus wel meegenomen in effectbepaling van de morfologische indicatoren.

Vergelijken we het nulalternatief met de hindcast 1990-2005 dan zien we in de Westerschelde, in lijn met de waarnemingen, een afname van berekende baggerhoeveelheden in de tijd (in de periode 1990-1997 een gemiddelde van 9,0 miljoen m^3/jaar, in de periode 1998-2004 8,1 miljoen m^3/jaar en in de periode 2010-2015 6,3 miljoen m^3/jaar, de waarneming voor 2004 is 7,6 miljoen m^3/jaar). In de Beneden-Zeeschelde zien we een toename in de tijd (in de periode 1990-1997 een gemiddelde van 1,2 miljoen m^3/jaar, in de periode 1998-2004 1,7 miljoen m^3/jaar en in de periode 2010-2015 1,8 miljoen m^3/jaar). De waarnemingen laten daarentegen een afname zien in de tijd, in 2003 was de hoeveelheid zandrijke baggerspecie afgenomen tot ruim 1 miljoen m^3/jaar.

Vergelijken we het nulalternatief met het projectalternatief min en het nulplusalternatief met het projectalternatief Nevengeul, dan resulteert de verruiming in een toename van de baggerhoeveelheden met een factor 1,5 voor de Westerschelde en met een factor 1,2 voor de Beneden-Zeeschelde (gemiddelde toename over 5 jaar). De initiële toename ligt iets hoger (1,6 à 1,7). De berekende toename in baggerhoeveelheid is voor de derde verruiming groter dan voor de tweede verruiming, hierbij dient opgemerkt te worden dat de startbodem voor de projectalternatieven voor de derde verruiming de gemeten bodem 2005 betreft waarin de verruiming instantaan is uitgevoerd. In het strategische milieueffectenrapport werd een geringere toename voorspeld. In appendix E wordt verder op deze toename ingegaan, de huidige voorspelling wordt als realistischer beoordeeld dan de voorspelling uit het strategische milieueffectenrapport. Vergelijken we het nulalternatief met het nulplusalternatief en het projectalternatief min met het projectalternatief Nevengeul dan resulteert het aanpassen van de stortstrategie in een toename van de baggerhoeveelheden in de Westerschelde met een factor 1,3. Deze toename is iets groter de voorspelde toename in het strategische milieueffectenrapport. Vergelijken we variant P0, variant P3, het projectalternatief Nevengeul en het projectalternatief Plaatrand met elkaar dan zien we dat voor variant P0, waar dicht bij de baggerlocatie wordt gestort (in de nevengeul van dezelfde macrocel) de baggerhoeveelheden in de Westerschelde het grootst zijn.

Vergelijken we de aanlegvarianten P1C, P2C en P3C met elkaar dan zien we dat in de Beneden-Zeeschelde de aanlegstort een gering effect heeft op de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk. Vergelijken we het projectalternatief Min en het projectalternatief Nevengeul en Plaatrand voor de Beneden-Zeeschelde dan zien we dat het aanpassen van de onderhoudsstortstrategie in de Westerschelde geen effect heeft op de onderhoudshoeveelheden in de Beneden-Zeeschelde.

5.3.2 Bagger- en storthoeveelheden per macrocel

Voor de Beneden-Zeeschelde worden de baggerhoeveelheden voor de volgende drie deelgebieden bepaald:

- BZ1 – drempel van Zandvliet (vak BZ120 in figuur 3.4b)
- BZ2 – drempel van Frederik (vak BZ121 in figuur 3.4b) en
- BZ3 – stroomopwaarts van Deurganckdock (vakken BZ122, 123 en 124 in figuur 3.4b).

In tabel 5.4 staan de baggerhoeveelheden per deelgebied voor alle alternatieven en varianten samengevat. Volgens de vigerende stortstrategie wordt deze zandrijke baggerspecie gestort in de Schaar van Ouden Doel (BZ1) en later verwijderd via zandwinning. Deze stortstrategie wordt als modelinvoer gebruikt voor alle bestudeerde varianten en alternatieven, hetgeen betekent dat de zandwinning in alle gevallen even groot is als de gebaggerde hoeveelheid (zandrijke specie).

	Baggeren									
Deelgebied	Nulalt	Nul+	P-	P0	P1C	P2C	P3C	P4N	P4P1	P4P2
BZ1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
BZ2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
BZ3	0,9	0,9	1,1	1,1	0,8	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Totaal	1,8	1,8	2,1	2,1	1,8	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1

Tabel 5.4: *Baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) per deelgebied van de Beneden-Zeeschelde voor alle alternatieven en projectvarianten (resultaten van Delft3D-simulaties).*

Voor de Westerschelde staan de toegepaste relatieve stortverdelingen van de varianten in appendix E (voor uitleg over de relatieve stortverdeling zie toelichting in paragraaf 2.7.4). In deze appendix staan eveneens de absolute bagger- en storthoeveelheden per variant waartoe de relatieve stortverdeling geleid heeft (voor uitleg over de tabellen zie toelichting in paragraaf 2.7.4). In tabel 5.5a en 5.5b staan respectievelijk de bagger- en storthoeveelheden (onderhoudsbaggerwerk) per macrocel voor alle alternatieven en varianten samengevat. In figuur 5.1 staan de bagger- en stortverdelingen van een aantal alternatieven en varianten in grafiekvorm weergegeven (de verschillende stortverdelingen zijn in deze grafieken beter zichtbaar dan in tabelvorm). Op de x-as staan de macrocellen van west (links) naar oost (rechts). Verticaal staan de bagger- en storthoeveelheden per macrocel.

Voor de varianten met een stortstrategie volgens de WVO-vergunning (het nulalternatief en projectalternatief min) wordt er niet gestort in macrocellen 1, 6 en 7. In deze macrocellen wordt wel gestort voor het nulplusalternatief met een aangepaste stortstrategie. Voor de projectalternatieven Plaatrand (P4P1 en P4P2) wordt onderhoudsbaggerspecie gestort op de plaatranden (respectievelijk 10 en 20 procent), daardoor wordt er minder gestort in de vaargeulen (respectievelijk 7 en 22 procent minder). In het projectalternatief Min wordt er aanzienlijk minder gestort in de vaargeul (omdat hier in de nevengeulen het stortcriterium overschreden wordt, is storten in de vaargeul niet nodig) dan in P4N en P4P, dit heeft effect op de baggerhoeveelheden (deze zijn lager voor het projectalternatief Min).Uit tabel 5.5a en 5.5b blijkt dat de baggerhoeveelheden beïnvloed worden door de storthoeveelheden in de vaargeul, de storthoeveelheden op de plaatrand en de Oost-West locatie.

Baggeren

Macrocel	Nulalt	Nul+	P-	P0	P1/2/3	P4N	P4P1	P4P2
1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	0,8	0,7	2,3	2,1	2,2	2,1	2,1	2,1
4	0,9	1,4	1,4	1,0	2,3	2,3	2,3	2,1
5	3,0	3,3	3,9	4,3	4,2	4,6	4,5	4,4
6	0,8	1,4	1,1	1,9	1,9	2,1	1,9	1,7
7	0,8	1,1	0,9	3,2	1,2	1,3	1,3	1,2
Totaal	6,3	8,0	9,7	12,5	11,8	12,4	12,1	11,7

Tabel 5.5a: *Baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor de Westerschelde voor alle alternatieven en projectvarianten (resultaten van Delft3D-simulaties). De baggerhoeveelheden voor P1C, P2C en P3C zijn gelijk en worden in één kolom weergegeven.*

Storten

Macrocel	geul	Nulalt	Nul+	P-	P0	P1/2/3C	P4N	P4P1	P4P2
1	vaargeul								
	nevengeul		0,5	0,1	0,1	0,9	1,3	1,2	1,1
	hoogeplaten1							0,2	0,5
	hoogeplaten3							0,2	0,5
3	vaargeul								
	nevengeul	2,7	0,8	4,9	2,1	2,7	1,6	1,4	1,2
4	vaargeul	1,8	2,6	2,5		3,4	3,8	3,6	3,1
	nevengeul	0,1	0,3	0,1	1,0	1,7	0,5	0,5	0,4
	rugvbaarland							0,2	0,5
5	vaargeul	0,3	0,6	0,4		0,3	0,9	0,9	0,7
	nevengeul	1,3	1,5	1,6	4,3	1,6	2,3	1,6	1,4
	walsoorden							0,5	0,9
6	vaargeul		0,8			0,3	1,1	0,8	0,7
	nevengeul		0,3		1,9	0,6	0,4	0,4	0,3
7	vaargeul		0,4		3,2	0,3	0,5	0,5	0,4
Totaal		6,3	8,0	9,7	12,5	11,8	12,4	12,1	11,7

Tabel 5.5b: *Storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor alle alternatieven en projectvarianten (resultaten van Delft3D-simulaties). De storthoeveelheden voor P1C, P2C en P3C zijn gelijk en worden in één kolom weergegeven. Een negatieve waarde betekent zandonttrekking.*

5.3.3 Stortcriterium

In de Beneden-Zeeschelde zijn geen nevengeulen aanwezig. Daarnaast wordt de zandrijke baggerspecie middels zandwinning aan het systeem onttrokken. Derhalve is voor de Beneden-Zeeschelde het aanpassen van de stortstrategie en overschrijding van stortcriterium niet relevant en worden deze parameters niet voor de Beneden-Zeeschelde uitgewerkt.

In tabel 5.6 wordt de netto ingreep in de macrocellen van de Westerschelde (onderhoudsstorthoeveelheden min de onderhoudsbaggerhoeveelheden en zandwinning, de aanlegbagger- en storthoeveelheden zijn niet in rekening gebracht) voor de simulaties vergeleken met het stortcriterium uit tabel 2.4. In het *Intermezzo Plaatrandstortingen en stortcriterium* wordt ingegaan op de vraag in hoeverre plaatrandstortingen een deel van de stortruimte in de geulen (stortcriterium) benutten. Uit het *Intermezzo* blijkt dat het grootste deel van het zandvolume dat op de plaatranden wordt gestort geen stortruimte in de nevengeulen benut (de getallen in tabel 5.6 voor de betreffende macrocellen (1, 4 en 5) en de betreffende alternatieven (projectalternatief plaatrand P4P1 en P4P2) zijn gecorrigeerd voor de resultaten uit het *Intermezzo*). Plaatrandstortingen kunnen hierdoor resulteren in een ontlasting van de nevengeulen (minder verondieping en dus minder druk op de kantelindicator). In de projectalternatieven Plaatrand (P4P1 en P4P2) is echter materiaal dat in het projectalternatief Nevengeul zowel in de nevengeul als in de vaargeul gestort wordt op plaatranden gestort. Deze aanpak resulteert hierdoor niet in een maximale ontlasting van de nevengeulen. Zoals uit tabel 5.6 blijkt, wordt het stortcriterium nog licht overschreden. In de verdere analyse (bepaling kantelindicator en verhangindicator) is de conservatieve benadering gevolgd; in de bepaling van de diepteontwikkeling van de nevengeulen zijn de plaatrandstortingen in rekening gebracht. In het kader van mitigerende maatregelen ten bate van de morfologie (bijvoorbeeld stabiliteit meergeulenstelsel) is een beperkte verdere optimalisatie ten opzichte van de huidige projectalternatieven Plaatrand mogelijk. Let wel, dit betreft een tijdelijke ontlasting (storten op de plaatranden geeft een tijdelijke extra stortruimte, zie ook het *Intermezzo*). In dit basisrapport Morfologie wordt de randvoorwaarde voor de stortstrategie op macroschaalniveau aangegeven
(de ontwikkeling van de morfologische diversiteit is op deze ruimteschaal geoptimaliseerd). Er is gekozen voor twee projectalternatieven, Nevengeul en Plaatrand, die als uitersten gezien kunnen worden waarbinnen op basis van ecologie (zie basisrapport Natuur) of fenomenologie op mesoschaal (zie achtergronddocument Morfologische ontwikkeling Schelde-estuarium) keuzen gemaakt kunnen worden voor invulling flexibele stortstrategie op kleinere tijd- en ruimteschaal. Een eventuele beperkte verdere optimalisatie van de projectalternatieven Plaatrand (bijvoorbeeld 20 procent van de baggerspecie die in het projectalternatief Nevengeul in de Nevengeul gestort wordt op de plaatranden storten, de storthoeveelheden in de vaargeulen gelijk houden) heeft geen effect op de ontwikkeling van de plaatrandstortingen en de verdere analyses in het milieueffectrapport (basisrapport Natuur).

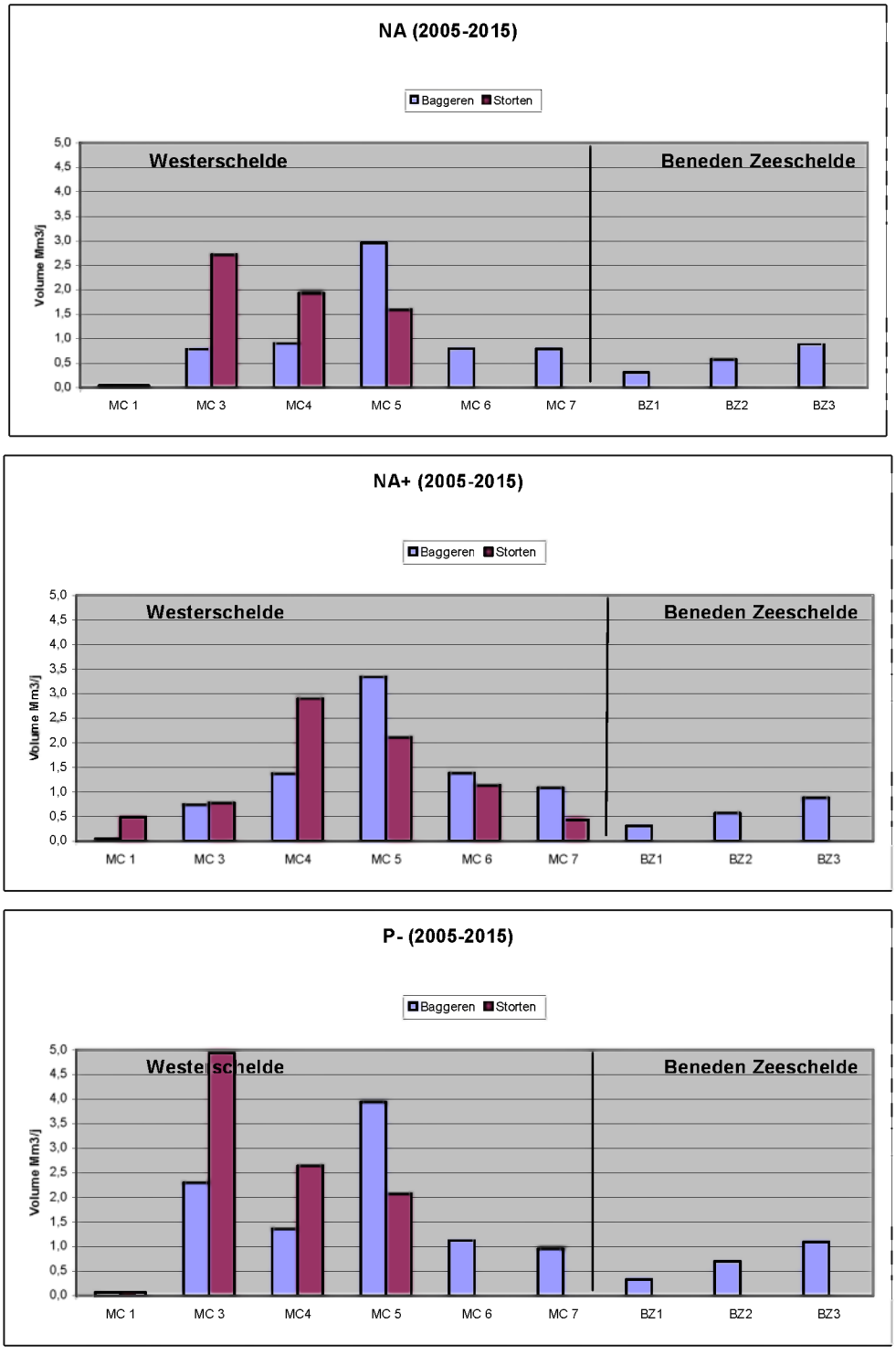
In de eerste iteratie P0 wordt het stortcriterium in macrocel 3, 4, 5 en 6 aanzienlijk overschreden. Voor de varianten met verschillende aanlegstort P1 tot en met P3 wordt het stortcriterium in macrocel 3 en 4 ook nog overschreden. De stortverdeling voor de projectalternatieven P4 zijn zodanig aangepast dat in macrocel 3 het stortcriterium niet meer overschreden wordt en in macrocel 4 in aanzienlijke mindere mate. In het projectalternatief Nevengeul wordt in macrocel 5 het stortcriterium beperkt overschreden, in de projectalternatieven Plaatrand P4P1 en P4P2 wordt in macrocel 5 niet overschreden. Het langdurig voortzetten van een overschrijding (> 5 jaar) leidt tot meetbare verondieping. Op basis van het stortcriterium is er in de nevengeulen ruimte om 9 miljoen m^3 per jaar te storten. Door de verruiming neemt de baggerhoeveelheid toe en is gelijk of groter dan deze totale stortcapaciteit in de nevengeulen. Om het effect van de verdieping op de baggerhoeveelheden in beeld te brengen wordt de gemiddelde baggerhoeveelheid over 5 jaar gepresenteerd.

Aangezien de baggerhoeveelheden over deze periode een geringe afname vertonen, wordt een overschrijding van het stortcriterium in het eerste jaar mogelijk onderschat en in het laatste jaar overschat.

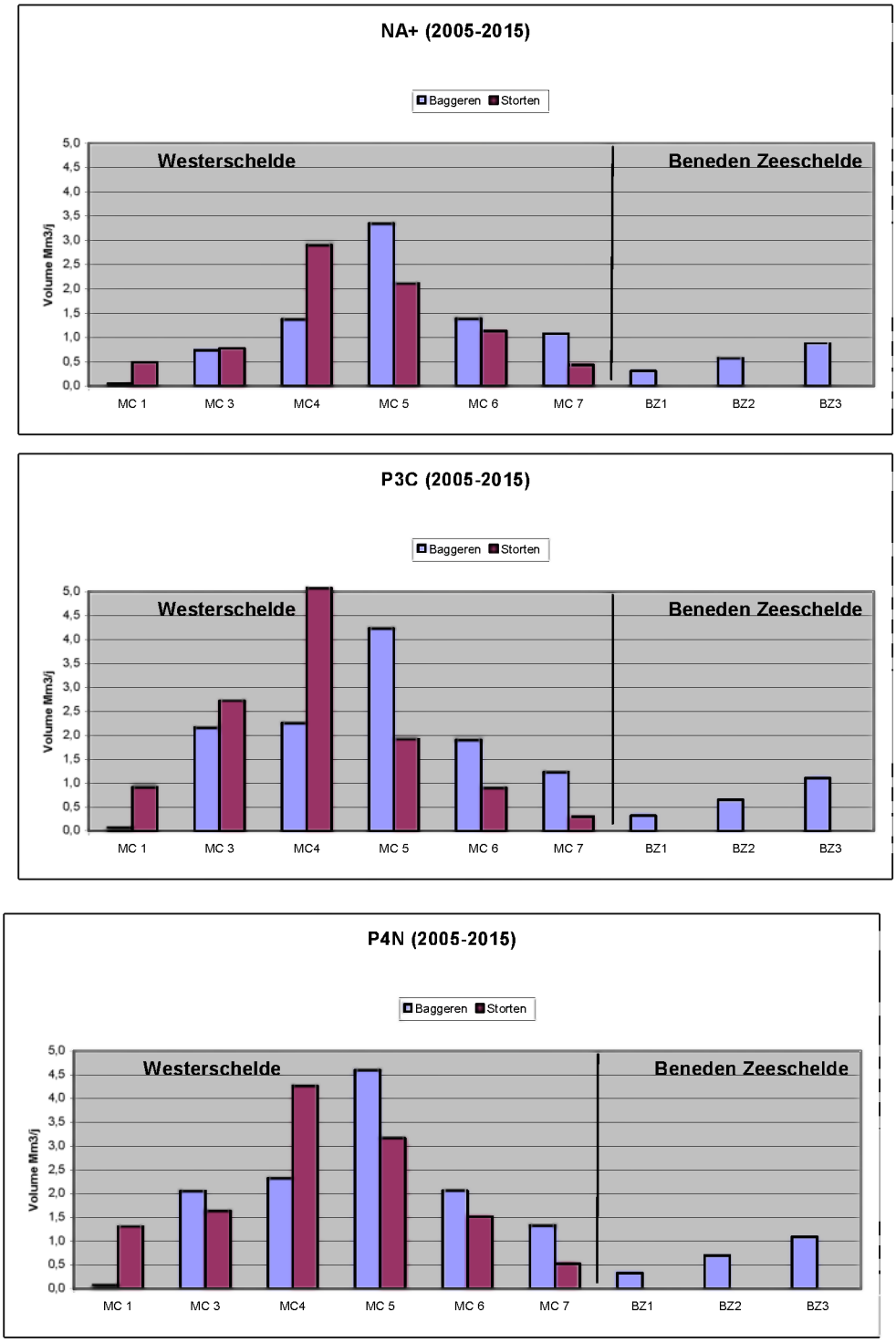
Netto Ingreep

Macrocel	geul		Nulalt	Nul+	P-	P0	P1/2/3C	P4N	P4P1	P4P2	Max Sc
1	vaargeul	eg			-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
	nevengeul	vg		0,5	0,1	0,1	0,9	1,3	1,3	1,0	1,7
3	vaargeul	eg	-0,8	-0,7	-2,3	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	
	nevengeul	vg	2,5	0,6	4,7	1,9	2,5	1,4	1,2	1,0	1,5
4	vaargeul	vg	0,6	0,9	0,8	-1,3	0,8	1,2	1,0	0,7	3,3
	nevengeul	eg	0,1	0,3	0,1	1,0	1,7	0,5	0,5	0,4	0
5	vaargeul	eg	-3,5	-3,6	-4,3	-5,1	-4,8	-4,5	-4,4	-4,5	
	nevengeul	vg	0,8	1,0	1,1	3,8	1,1	1,8	1,3	1,3	1,5
6	vaargeul	eg	-0,8	-0,6	-1,1	-1,9	-1,6	-0,9	-1,1	-1,1	
	nevengeul	vg		0,3		1,9	0,6	0,4	0,4	0,3	0,5
7	vaargeul	eg	-0,8	-0,6	-0,9		-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	
	nevengeul	vg									0,5

Tabel 5.6: *Stortcriterium uit tabel 2.4 en netto ingreep (miljoen m3/jaar) voor alle alternatieven en varianten (resultaten van Delft3D-simulaties). Met rood is aangegeven waar het stortcriterium overschreden wordt.*



Figuur 5.1a: *Bagger- en stortverdelingen (miljoen m3/jaar) voor het nulalternatief, het nulplusalternatief en het projectalternatief min (resultaten van Delft3D-simulaties).*



Figuur 5.1b: *Bagger- en stortverdelingen (miljoen m3/jaar) voor de verschillende alternatieven (resultaten van Delft3D-simulaties).*

Intermezzo - Plaatrandstortingen en stortcapaciteit

Algemeen

Het uitvoeren van plaatrandstortingen betreft het storten van baggerspecie (aanleg en onderhoud) in intergetijdengebieden ('plaatpunten'), op locaties waar de bodem voor in de ingreep beneden de GLWS lijn ligt. De hoeveelheden en de vorm van de storting is hierbij zodanig gekozen dat het merendeel van het sediment blijft liggen. Deze stortstrategie staat in tegenstelling tot het gebruik van stortcriterium volgens het Cellenconcept, waarbij gezocht wordt naar storthoeveelheden die nog net door het systeem kunnen worden opgeruimd. De vraag is dan ook in hoeverre en op welke wijze deze plaatstortingen van invloed zijn op de stortcapaciteit in de geulen volgens het Cellenconcept. Met andere woorden wordt met het storten op plaatranden een deel van de stortruimte in de geulen benut (conservatieve benadering, zoals toegepast in de analyse van effectbepaling) of kunnen de stortingen op de plaatranden als extra stortruimte, boven op de stortcapaciteit volgens het stortcriterium, worden beschouwd.

Vermoedelijk zal de invloed van de plaatrandstortingen op de stortcapaciteit van de geulen afhangen van de mobiliteit van het gestorte sediment. Het immobiele deel, dat op een termijn van meerdere jaren blijft liggen, kan in de praktijk als extra stortruimte worden gezien. Let wel dat het een eenmalige stortruimte betreft. Het mobiele deel kan afhankelijk van de plaats waar het terecht komt een deel van de stortcapaciteit in een geul op souperen. Het mobiele dat niet terecht komt in de nevengeul levert aanvullende (niet eenmalige) stortruimte. De mate waarin dit het geval is zal moeten worden geschat op basis van een expert beoordeling van de historische waarnemingen en de indicatieve resultaten van het Delft3D model. In het navolgend wordt per locatie van plaatrandstortingen een afschatting gemaakt omtrent welk deel (storthoeveelheid) als extra stortruimte gezien kan worden.

Hooge Plate 1 (zie figuur 4.3)

Deze plaatpunt erodeert vooral sinds het begin van de jaren negentig onder invloed van het migratiegedrag van een kleine vloedgedomineerde kortsluitgeul in het aangrenzende ondiepwatergebied. Dit betekent dat stortingen op deze locatie hoogst waarschijnlijk niet van invloed zullen zijn op de stortcapaciteit in de nevengeul van macrocel 1. Afhankelijk van de mobiliteit van het gestorte zand kan een deel van het gestorte materiaal wel terechtkomen in het Vaarwater langs de Hoofdplaat. Het deel dat immobiel is en op een termijn van meerdere jaren op de stortlocatie blijft liggen zou als extra stortruimte kunnen worden aangemerkt. In het morfologische Delft3D-model wordt er op deze locatie een (eenmalige) aanleghoeveelheid van 1,45 miljoen m³ gestort en een onderhoudsvolume 0,2 en 0,5 miljoen m³ per jaar voor respectievelijk P4P1 en P4P2. De jaarlijkse afname in hoeveelheid gestort onderhoudsvolume bedraagt 10-15 procent, dat betekent dat circa 0,9 en 2 miljoen m³ voor respectievelijk P4P1 en P4P2 immobiel is en gedurende 5 jaar blijft liggen. Per jaar neemt dus respectievelijk 0,2 en 0,4 miljoen m³ in ieder geval geen stortruimte in de geulen in. Deze cummulatieve hoeveelheid betreft een eenmalige stortruimte die na 5 jaar niet meer beschikbaar is. Het verkleinde doorstroomoppervlak veroorzaakt (ten opzichte van een berekening zonder plaatrandstorting) een in ebrichting (zeewaarts) gericht transportverschil op het verhoogde deel van de plaat. Sedimentatie van het mobiele deel vindt plaats in het Vaarwater langs Hoofdplaat. Hierdoor gebruikt ook het immobiele deel geen stortruimte in de nevengeul van macrocel 1. Voor P4P1 levert dit een verwaarloosbare capaciteit op, voor P4P2 een extra capaciteit van 0,1 miljoen m³.

Hooge Plate 3 (zie figuur 4.3)

Het stortgebied omvat een deel van een kleine vloedschaar die al decennia lang in het plaatcomplex ligt en sinds de jaren zeventig geleidelijk verzandt. Het verzanden van het vloedschaartje heeft vermoedelijk vooral een natuurlijke oorsprong die op de lange termijn samenhangt met de grotendeels natuurlijke degeneratie van het Vaarwater langs Hoofdplaat (sinds 19e eeuw). Daarnaast kan op een termijn van decennia ook de erosie van het noordelijk gelegen drempelgebied in de vloedgeul van macro-cel 1, onder invloed van het quasi-cyclische gedrag van de kortsluitgeul Ebschaar van de Spijkerplaat, bijgedragen aan het verzanden van deze vloedschaar. Op basis hiervan is de verwachting dat, bij volstorten tot de GLWS lijn, het merendeel van het gestorte sediment zal blijven liggen zodat het merendeel van deze storting (het immobiele gedeelte) als extra stortruimte kan worden beschouwd. In het morfologische Delft3D-model wordt er op deze locatie een (eenmalige) aanleghoeveelheid van 1,7 miljoen m³ gestort en een onderhoudsvolume 0,2 en 0,5 miljoen m³ per jaar voor respectievelijk P4P1 en P4P2. De jaarlijkse volumeafname is 15 procent. Circa 85 procent van het gestorte onderhoudsvolume (circa 1 en 2 miljoen m³ voor respectievelijk P4P1 en P4P2) is immobiel en blijft gedurende 5 jaar liggen (respectievelijk 0,2 en 0,4 miljoen m³ per jaar gebruikt in ieder geval geen ruimte in de geulen). Sedimentatie van het mobiele deel vindt lokaal plaats op de Spijkerplaat, hierdoor gebruikt ook het immobiele deel geen stortruimte in de nevengeul van macrocel 1. Voor P4P1 levert dit een verwaarloosbare extra stortruimte op, voor P4P2 een extra stortruimte van 0,1 miljoen m³.

Rug van Baarland (zie figuur 4.5)

Dit deel van het ondiepwatergebied in macrocel 4 erodeerde vooral tussen 1955 en 1985 (vooral de vloedstroom is verantwoordelijk voor de erosie in dit gebied). Tussen 1985 en 2004 lijkt het beoogde stortgebied weinig te eroderen. Sinds 2004 wordt het drempelgebied in de Everingen weer gekenmerkt door een patroon van kortsluitgeulen zoals aanwezig in de periode 1964-1985. Dit suggereert dat de gemiddelde diepte op de drempel en de vloeddebieten opnieuw aan het toenemen zijn, wat zou kunnen betekenen dat de Rug van Baarland weer een periode van erosie ondergaat. Voorgaande betekent dat er een reële kans bestaat dat een deel van de plaatrandstorting weer zal eroderen. De mate waarin dat gebeurt zal afhangen van de grootte van de nieuwe hoogteligging in het stortgebied en de ontwikkelingen in het drempelgebied van de Everingen. Dit betekent dat met de plaatrandstorting een deel van de stortcapaciteit in geulen wordt gebruikt en dat er een beperkte extra stortcapaciteit wordt gecreëerd. In het morfologische Delft3D-model wordt er op deze locatie een (eenmalige) aanleghoeveelheid van 2,6 miljoen m³ gestort en een onderhoudsvolume 0,2 en 0,5 miljoen m³ per jaar voor respectievelijk P4P1 en P4P2. De jaarlijkse volumeafname van het onderhoudsstortvolume is in tegenstelling tot de verwachting maar 5 procent. Circa 95 procent van het gestorte onderhoudsvolume (circa 1 en 2,2 miljoen m³ voor respectievelijk P4P1 en P4P2) is immobiel en blijft gedurende 5 jaar liggen. Sedimentatie van het mobiele deel vindt plaats ten zuidwesten van de Rug van Baarland op het verlengde deel van de plaat. Hierdoor gebruikt ook het mobiele deel geen stortruimte in de nevengeul (voor P4P1 en P4P2 levert dit een verwaarloosbare extra stortruimte op). Op basis van expert interpretatie van de modelresultaten wordt geadviseerd om een percentage van 20 procent te beschouwen als immobiel. Dat betekent dat voor P4P1 en P4P2 respectievelijk 0,8 en 2 miljoen m3 (0,2 en 0,4 miljoen m³ per jaar) extra eenmalige stortruimte beschikbaar. Het mobiele deel levert voor P4P1 een verwaarloosbare stortcapaciteit en voor P4P2 een extra stortcapaciteit van 0,1 miljoen m³ per jaar.

Walsoorden (zie figuur 4.6)

Dit voormalige intergetijdengebied is tussen 1976 en 1997 veranderd in ondiepwatergebied. Deze erosie is waarschijnlijk veroorzaakt door een veranderde richting van aanstromen van vloedstroom, getuige de geleidelijke migratie en kloksgewijze rotatie van de vloedgeul Schaar van Valkenisse sinds 1955. Deze verandering in aanstroming heeft vermoedelijk twee oorzaken: de bochtafsnijding in de zeewaarts gelegen macrocel 4 en de eerste verdieping van de vaargeul. Sinds de tweede verdieping erodeert de plaatrand nog wel enigszins, maar beduidend minder dan tussen 1976-1997. De mate waarin gestort materiaal blijft liggen wordt vermoedelijk sterk bepaald door de vorm en grootte van de storting. Het zand op de stortlocatie is mogelijk minder mobiel dan op de Rug van Baarland. Ook hier zal mobiel zand zich vermoedelijk verspreiden over de hogere delen van de platen en over de ebgeul en vloedgeul (50-50). In het morfologische Delft3D-model wordt er op deze locatie een (eenmalige) aanleghoeveelheid van 2 miljoen m³ gestort en een onderhoudsvolume van 0,5 en 0,9 miljoen m³ per jaar voor respectievelijk P4P1 en P4P2. De jaarlijkse volumeafname is 10 procent. Circa 90 procent van het gestorte onderhoudsvolume (circa 2,2 en 4,2 miljoen m³ voor respectievelijk P4P1 en P4P2) is immobiel en blijft gedurende 5 jaar liggen. Sedimentatie van het mobiele deel vindt plaats aan weerszijden in zowel de eb- als de vloedgeul. Een dergelijk hoog percentage immobiel volume is in overeenstemming met de waarnemingen tijdens een evaluatie van de proefstortingen op Walsoorden in 2004 en 2006 (Waterbouwkundig Laboratorium, 2006). Dat betekent dat voor P4P1 en P4P2 respectievelijk 2,2 en 4,2 miljoen m3 (0,2 en 0,4 miljoen m³ per jaar) extra stortruimte beschikbaar is (NB dit betreft wederom een eenmalige stortruimte). Het immobiele deel levert voor P4P1 een verwaarloosbaar en voor P4P2 extra stortcapaciteit van 0,1 miljoen m^3 per jaar op.

In de volgende tabel staat de afgeleide extra stortruimte (miljoen m^3 per jaar) per macrocel voor P4P1 en P4P2 weergegeven. In totaal is er voor P4P1 sprake van 0,8 miljoen m^3/jaar extra stortruimte, voor P4P2 van 2,0 miljoen m^3/jaar extra stortruimte. Het immobiele deel betreft een eenmalige stortruimte. Als de maximale stortruimte gebruikt is vervalt deze extra stortruimte. Op basis van P4P2 wordt geconcludeerd dat deze maximale stortruimte minimaal gelijk is aan 9 miljoen m^3 (gedurende 5 jaar 1,6 miljoen m^3/jaar levert geen morfologisch problemen). Als na verloop van tijd een gedeelte van de gestorte 9 miljoen m^3 weer erodeert, is er weer eenmalige stortruimte beschikbaar die gelijk is aan de geërodeerde hoeveelheid.

	Macrocel 1	Macrocel 4	Macrocel 5
P4P1 Immobiel (eenmalig)	0,4	0,2	0,2
P4P1 Mobiel	0,0	0,0	0,0
P4P2 Immobiel (eenmalig)	0,8	0,4	0,4
P4P2 Mobiel	0,2	0,1	0,1

Intermezzo - Schematisatie plaatrandstortingen in de Morfologische modellen

De plaatrandstortingen vinden plaats op locaties waar de bodem voor de ingreep (verruiming en storten van aanlegbaggerspecie) voor een aanzienlijk deel onder GLWS ligt. Door het storten van aanlegbaggerspecie en/of vervolgens het storten van onderhoudsbaggerspecie wordt het ondieper en komt de bodem lokaal boven GLWS. Deze verondieping is het directe gevolg van storten.

Een plaatrandstorting wordt schematisch in Delft3D aangebracht. Het merendeel van het gestorte sediment is immobiel, in de Delft3D-simulaties erodeert slechts een klein percentage (zie intermezzo Plaatrandstortingen en stortcapaciteit). Voor de storting van aanlegbaggerspecie wordt een helling van 1:30 aangehouden. Het onderhoud wordt vervolgens verdeeld over de initiële aanlegstort waardoor in het model deze helling enigszins kan toenemen in de tijd.

De nauwkeurigheid van de voorspelling van sedimenttransport boven GLWS is kleiner dan voor diepere gedeelten. Ondanks dat hierdoor het bepalen van arealen boven de laagwaterlijn onzeker blijft, blijkt uit een hindcast (Kuijper, 2006) dat in tegenstelling tot in de strategische milieueffectenrapportage in de huidige versie van Delft3D de berekeningen beter overeen komen met de waarnemingen. Desalniettemin wordt voor individuele macrocellen de toe- of afname met meer dan 50 procent over/onderschat. Uit een evaluatie van de proefstorting Walsoorden (Waterbouwkundig laboratorium, 2006 en Kuijper et al, 2006) blijkt dat Delft3D de erosie op deze locatie onderschat: De berekende volumeafname (binnen een nauw omsluitend polygoon) tijdens het eerste jaar is circa 10 procent, wat een onderschatting is van ongeveer 5 procent ten opzichte van de gemeten waarde. De verwachting is dan ook dat de voorspelde hoogteligging als gevolg van plaatrandstortingen een overschatting is.

De plaatrandstortingen vinden voor het Estmorf model op een dergelijk kleine ruimteschaal plaats dat in het model geen onderscheid gemaakt kan worden tussen een plaatrandstorting en een nevengeulstorting. De lokale bodemontwikkeling als gevolg van de plaatrandstortingen kan dan ook niet met Estmorf in beeld gebracht worden.

De stortruimte op plaatranden betreft tijdelijke stortruimte (zie Intermezzo Plaatrandstortingen en stortcapaciteit), voor het projectalternatief Plaatrand wordt uitgegaan van het storten van de aangegeven hoeveelheid gedurende de eerste 5 jaar. In de daarop volgende jaren wordt maximaal het gedeelte dat erodeert aangevuld met nieuwe plaatrandstortingen. Dit heeft als gevolg dat de bodem na 2015 niet hoger ligt dan de bodem 2015. De berekende Delft3D bodem voor 2015 is daardoor reprentatief voor de maximale bodemligging ter plaatse van de plaatrandstortingen in 2030, de berekende Estmorf bodem is representatief voor de minimale bodemligging in 2030.

5.3.4 Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator

Het kenmerkende meergeulenkarakter van de Westerschelde is grotendeels afwezig in de Beneden-Zeeschelde. De ontwikkeling van de diepte van de geulen, de kantelindex en verhangindicator zijn voor de Beneden-Zeeschelde niet relevant en worden voor dit gebied niet verder uitgewerkt.

In appendix F staat voor de Westerschelde de ontwikkeling van de geuldiepte voor alle alternatieven en varianten in grafiekvorm weergegeven. In tabel F.3 (appendix F) staat voor alle alternatieven en projectvarianten de afname/toename in diepte per jaar, met andere woorden de richtingscoëfficiënt van de helling van de grafieken in appendix F. De diepte van de geulen betreft een gemiddelde diepte (bijvoorbeeld van de hele geul in de macrocel). De ontwikkeling van de diepte wordt beïnvloed door de netto ingreep en de natuurlijke transporten. De grenzen van de nevengeulen van de macrocellen staan in figuur 2.2, de plaatrandstortingen vallen binnen de grenzen van de nevengeul van de macrocellen en worden derhalve meegenomen in de bepaling van de gemiddelde diepte (in *Intermezzo Plaatrandstortingen en stortcapaciteit* wordt dit als conservatieve benadering aangeduid).

In tabel 5.7 wordt de ontwikkeling voor de verschillende alternatieven en varianten ten opzichte van het nulalternatief beschreven (de informatie is gebaseerd op tabel F.3). In de eerste kolom, het nulalternatief, staat per macrocel de ontwikkeling (gemiddelde verdieping/verondieping in meters per jaar voor de periode 2010-2015). In de daaropvolgende kolommen staat de relatieve afwijking daarvan in kleur weergegeven. Onder de tabel staat de klassenindeling van de kleuren weergegeven, deze klassenindeling is tot stand gekomen door de range aan waarden (tussen minimale en maximale waarden) in 7 klassen te verdelen. Een positieve (groter dan nul) ontwikkeling betekent verdieping, een negatieve (kleiner dan nul) een verondieping[5].

In appendix G staat de ontwikkeling van de kantelindex en verhangindicator voor alle alternatieven en varianten in grafiekvorm weergegeven. Voor de definitie van deze twee parameters wordt verwezen naar paragraaf 2.4.3 en appendix A. In tabel G.1 en G.2 (appendix G) staat voor alle alternatieven en projectvarianten de afname/toename van respectievelijk de kantelindex en de verhangindicator per jaar, met andere woorden de richtingscoëfficiënt van de grafieken in deze appendix.

[5] In macrocel 6 is de ontwikkeling niet lineair (zie bijlage G), de analyse op basis van gradiënten is voor deze macrocel niet relevant.

Macrocel		Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3	P4N	P4P2
1	ebgeul	0,042						
	vloedgeul	-0,017						
3	ebgeul	-0,007						
	vloedgeul	-0,050						
4	vloedgeul	0,037						
	ebgeul	-0,045						
5	ebgeul	0,107						
	vloedgeul	-0,060						
6	ebgeul	0,062						
	vloedgeul	-0,023						
7	ebgeul	0,165						

Schaal			
minder	-	-0,07	zware relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,07	-	-0,04	matige relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,04	-	-0,01	lichte relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,01	-	0,01	relatief neutraal
0,01	-	0,04	lichte relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
0,04	-	0,07	matig relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
0,07	-	meer	zware relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
NB		MC4	Vaargeul is vloedgeul, nevengeul is ebgeul

Tabel 5.7: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de diepteontwikkeling (resultaten van Delft3D-simulaties). Een positief getal voor het nulalternatief betekent toename van de diepte (verdieping in m/j), een negatief getal een afname van de diepte (verondieping in m/j). Voor macrocel 4 is (in tegenstelling tot de andere macrocellen) de vloedgeul de vaargeul en de ebgeul de nevengeul. Derhalve is de schaal tegengesteld; groen is verdieping en blauw verondieping.*

In tabel 5.8 en 5.9 wordt de ontwikkeling voor de verschillende alternatieven en varianten ten opzichte van het nulalternatief voor respectievelijk de kantelindex en de verhangindicator gegeven. In de eerste kolom, het nulalternatief, staat per macrocel de ontwikkeling (gemiddelde toename/afname per jaar voor de periode 2010-2015). In de daaropvolgende kolommen staat de relatieve afwijking daarvan. Onder de tabel staat de klassenindeling van de kleuren weergegeven, deze klassenindeling is tot stand gekomen door de range aan waarden (tussen minimale en maximale waarden) in 7 klassen te verdelen.

Macrocel	Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3	P4N	P4P2
1	0,003						
3	0,004						
4	0,008						
5	0,019						
6	0,007						
7	0,006						

Schaal			
minder	-	-0,010	zware relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,010	-	-0,006	matige relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,006	-	-0,002	lichte relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,002	-	0,002	relatief neutraal
0,002	-	0,006	lichte relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
0,006	-	0,010	matig relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
0,010	-	meer	zware relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
NB		MC4	Vaargeul is vloedgeul, nevengeul is ebgeul

Tabel 5.8: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de kantelindex (resultaten van Delft3D-simulaties). Een positief getal voor het nulalternatief betekent toename van de kantelindex, een negatief getal een afname. Voor macrocel 4 is (in tegenstelling tot de andere macrocellen) de vloedgeul de vaargeul en de ebgeul de nevengeul. Derhalve is de schaal tegengesteld; groen is toename en blauw afname.*

Macrocel	Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3	P4N	P4P2
1	0,0034						
3	0,0041						
4	0,0077						
5	0,0185						
6	0,0070						
7	0,0060						

Schaal			
minder	-	-0,0015	zware relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,0015	-	-0,0010	matige relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,0010	-	-0,0005	lichte relatieve afname (mc 1,3,5,6,7) toename (mc4)
-0,0005	-	0,0005	relatief neutraal
0,0005	-	0,0010	lichte relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
0,0010	-	0,0015	matig relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
0,0015	-	meer	zware relatieve toename (mc 1,3,5,6,7) afname (mc4)
NB		MC4	Vaargeul is vloedgeul, nevengeul is ebgeul

Tabel 5.9: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de verhangindicator (resultaten van Delft3D-simulaties). Een positief getal voor het nulalternatief betekent afname van de verhangindicator (m/jaar), een negatief getal een toename (m/jaar). Voor macrocel 4 is (in tegenstelling tot de andere macrocellen) de vloedgeul de vaargeul en de ebgeul de nevengeul. Derhalve is de schaal tegengesteld; groen is toename en blauw afname.*

De kantelindex geeft aan hoe (in welke richting[6]) het evenwicht van een tweegeulensysteem verandert. Deze verandering kan alleen op lange termijn (decennia) leiden tot verandering in stabiliteit als het strotcriterium ook duidelijk wordt overschreden.

Voor macrocellen 1, 3, 4 en 5 betekent een afname in verhangindicator een afname in de dynamiek van het systeem en een potentiële afname van de aanwezigheid van kortsluitgeulen. Voor macrocel 4 betekent een toename in verhangindicator juist een potentiële afname van de aanwezigheid van kortsluitgeulen. Het verschil tussen macrocel 4 en de overige macrocellen wordt veroorzaakt door de definitie van verhangindicator (zie appendix A): In macrocel 4 is de vloedgeul de vaargeul, voor de overige macrocellen is de vloedgeul de nevengeul.

In het nulalternatief vindt in alle nevengeulen verondieping plaats. In alle vaargeulen, met uitzondering van macrocel 3, treedt verdieping op. Dit resulteert in een toename van de kantelindicator (macrocel 4 afname) en een afname van de verhangindicator (macrocel 4 toename).

Het aanpassen van de stortstrategie in het nulplusalternatief (tweede kolom) heeft geen effect op de verdieping van de vaargeul. Door de aangepaste stortstrategie wordt er in het nulplusalternatief minder gestort in macrocel 3 waardoor de verondieping hier afneemt en meer gestort in de overige macrocellen, waardoor de verondieping daar enigszins toeneemt. Dit effect werkt door in de kantelindex en verhangindicator.

De verruiming van de vaargeul in het projectalternatief min (derde kolom) leidt tot een toename in verdieping van de vaargeul. Door de toename in baggerhoeveelheden wordt er ook meer gestort hetgeen resulteert in een toename van de verondieping van nevengeulen. Deze effecten werken door in de kantelindex en verhangindicator. In de stortstrategie van het projectalternatief min (de WVO vergunning 2006) wordt er met name gestort in macrocel 3, het effect van verruiming is dan ook met name in deze macrocel zichtbaar.

Door het aanpassen van de stortstrategie (P0, P3, P4N, P4P) varieert de macrocel waarin de effecten van verruiming zichtbaar zijn: in P0 worden macrocellen 4, 5 en 6 belast, in P1/2/3 met name macrocel 4 welke in de projectalternatieven P4 ontlast wordt. In vergelijking met het projectalternatief min verschuift voor de projectalternatieven P4 de belasting van macrocel 3 naar macrocel 5.

Vergelijking van het projectalternatief Nevengeul met het projectalternatief min geeft eveneens het effect van aanpassing van de stortstrategie weer. Uit deze vergelijking (zie tabellen in appendix F en G) blijkt dat ook hier in het alternatief met stortstrategie WVO2006 leidt tot belasting van met name macrocel 3 en P4N tot belasting van met name macrocel 5.

Vergelijking van het projectalternatief Nevengeul met het nulplusalternatief geeft het effect van verruiming weer. Ook hieruit blijkt dat verruiming leidt tot toename in verdieping van de vaargeul en verondieping van nevengeulen in een aantal macrocellen (in het geval van stortstrategie van het projectalternatief Nevengeul dus met name macrocel 5).

[6] Voor macrocellen 1, 3, 5, 6 en 7 betekent een toename van kantelindix kanteling in de richting van de vaargeul, voor macrocel 4 betekent een afname van kantelindex kanteling in de richting van de vaargeul.

De plaatrandstortingen vallen binnen de grenzen van de nevengeul van de macrocellen en worden derhalve meegenomen in de bepaling van de gemiddelde diepte (in *Intermezzo Plaatrandstortingen en stortcriterium* wordt dit als conservatieve benadering aangeduid), de effecten op de ontwikkeling van diepte nevengeul, kantelindex en verhangindicator voor het projectalternatief Plaatrand (P4P2) worden hierdoor in zeer geringe mate overschat.

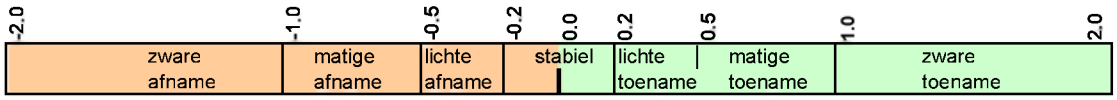
5.3.5 Zandhuishouding

Zandvolumeverandering op macroschaal

De zandhuishouding is berekend (met Estmorf) voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min, het projectalternatief Nevengeul en het projectalternatief Plaatrand. In Appendix H worden de netto jaarlijkse transporten en volumeverandering voor alle alternatieven gepresenteerd. In tabel 5.10 worden veranderingen in de zandvolumes van de zes macrocellen en de drie secties van de Beneden-Zeeschelde beschouwd ten opzichte van het nulalternatief. In tabel 5.10 worden in de grijze kolom de zandvolumeveranderingen voor het nulalternatief vermeld.

Hierbij is uitgegaan van een onderverdeling in een aantal klassen, waarbij de jaarlijks-gemiddelde zandvolumeveranderingen *voor het nulalternatief* als volgt worden gedefinieerd:

Neutraal:	verandering tussen -0,2 +0,2 miljoen m^3/jaar.
Lichte afname:	verandering tussen -0,5 en -0,2 miljoen m^3/jaar.
Matige afname:	verandering tussen -1,0 en -0,5 miljoen m^3/jaar.
Zware afname:	verandering tussen -2,0 en -1,0 miljoen m^3/jaar.
Lichte toename:	verandering tussen +0,2 en +0,5 miljoen m^3/jaar.
Matige toename:	verandering tussen +0,5 en +1,0 miljoen m^3/jaar.
Zware toename:	verandering tussen +1,0 en +2,0 miljoen m^3/jaar.



De klassenindeling is niet-equidistant en zo gekozen, dat er een onderscheidend vermogen is tussen de grootte van de jaarlijks-gemiddelde veranderingen van de verschillende macrocellen en secties en ook tussen de beschouwde alternatieven. Opgemerkt wordt, dat een als stabiel gekwalificeerde macrocel of sectie op een termijn van 20 jaar toch een toe- of afname van het zandvolume van maximaal 4 miljoen m^3 kan vertonen. Indien dit voor alle 6 macrocellen en 3 secties van de Beneden-Zeeschelde zou gelden, leidt dit tot een niet te verwaarlozen toe- of afname van het zandvolume ter grootte van 36 miljoen m^3 gedurende 20 jaren ofwel ±1,8 miljoen m^3/jaar.

Macrocel					
	Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P4N	P4P2
1	neutraal	geen verschil	geen verschil	geen verschil	lichte rel. toename
3	neutraal	matige rel. afname	geen verschil	matige rel. afname	matige rel. afname
4	matige afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
5	zware afname	lichte rel. toename	lichte rel. afname	lichte rel. toename	lichte rel. toename
6	lichte afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
7	lichte afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
BZ-1	lichte afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
BZ-2	matige afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
BZ-3	lichte afname	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil

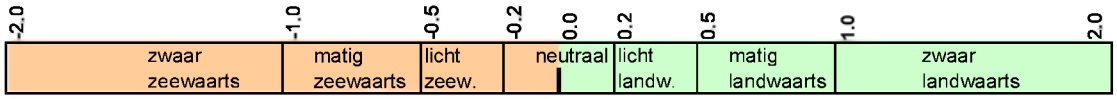
Tabel 5.10: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de zandvolumeverandering per macrocel (resultaten van Estmorf-simulaties).*
Zandbalans op macro- en megaschaal

Uit de netto ingrepen en de netto volumeveranderingen van de macrocellen van de Westerschelde en secties van de Beneden-Zeeschelde volgen de netto transporten tussen de macrocellen en de secties. Deze netto transporten zijn het gevolg van de getijbeweging en karakteriseren het gedrag van het systeem. In het bijzonder het netto zandtransport ter plaatse van de zeewaartse rand vormt een belangrijke grootheid, omdat de import cq. export mede bepalend is voor het zandvolume van het estuarium. Het is daarbij van belang niet uitsluitend het netto transport door slechts één raai te beschouwen, omdat deze grootheid belangrijk kan variëren met de locatie van de raai. Om tot een samenhangend beeld te komen van de zandhuishouding van het Schelde-estuarium worden de netto transporten tussen alle macrocellen en secties geanalyseerd. In appendix H staan de transporten tussen alle macrocellen voor alle varianten en alternatieven.

In tabel 5.11 worden veranderingen in de zandbalans van de zes macrocellen en de drie secties van de Beneden-Zeeschelde beschouwd ten opzichte van het nulalternatief.

Hierbij is, evenals voor de netto volumeveranderingen, uitgegaan van een onderverdeling in een aantal klassen, waarbij de jaarlijks-gemiddelde netto zandtransporten *voor het nulalternatief* als volgt worden gedefinieerd:

Neutraal:	netto transport tussen -0,2 en +0,2 miljoen m^3/jaar.
Licht zeewaarts:	netto transport tussen -0,5 en -0,2 miljoen m^3/jaar.
Matig zeewaarts:	netto transport tussen -1,0 en -0,5 miljoen m^3/jaar.
Zwaar zeewaarts:	netto transport tussen -2,0 en -1,0 miljoen m^3/jaar.
Licht landwaarts:	netto transport tussen +0,2 en +0,5 miljoen m^3/jaar.
Matig landwaarts:	netto transport tussen +0,5 en +1,0 miljoen m^3/jaar.
Zwaar landwaarts:	netto transport tussen +1,0 en +2,0 miljoen m^3/jaar.



Macrocel		Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P4N	P4P2
Van:	Naar:					
monding	1	zwaar zeewaarts	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
1	3	zwaar zeewaarts	matige rel. toename landwaarts	lichte rel. toename zeewaarts	matige rel. toename landwaarts	zware rel. toename landwaarts
3	4	licht landwaarts	lichte rel. toename zeewaarts	geen verschil	lichte rel. toename zeewaarts	matige rel. toename zeewaarts
4	5	zwaar landwaarts	geen verschil	geen verschil	lichte rel. toename landwaarts	lichte rel. toename landwaarts
5	6	matig landwaarts	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
6	7	licht landwaarts	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
7	BZ-1	neutraal	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
BZ-1	BZ-2	neutraal	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil
BZ-2	BZ-3	licht zeewaarts	geen verschil	geen verschil	geen verschil	geen verschil

Tabel 5.11: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de zandtransporten tussen macrocellen (resultaten van Estmorf-simulaties).*

Uit de figuren in appendix H lijkt het transport naar de monding te worden beïnvloed door de storthoeveelheid in het Westelijke gedeelte. Een toename van stortingen in het Westen resulteert in een toename van de export richting monding. In het nulplusalternatief en de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand wordt er (meer) in macrocel 1 gestort. Dit resulteert aanvankelijk in een grotere export naar de monding dan voor het projectalternatief min (met name voor het projectalternatief Plaatrand waar een grote hoeveelheid gestort wordt in macrocel 1, zie tabel 5.5). Na verloop van tijd neemt het zandtransport naar de monding voor het projectalternatief min toe en wordt groter dan voor het projectalternatief Nevengeul. In het nulalternatief, maar met name in het projectalternatief min wordt er niet tot nauwelijks in macrocel 1 gestort maar wel een aanzienlijke hoeveelheid in macrocel 3. Als gevolg treedt er een groot natuurlijk transport van macrocel 3 naar macrocel 1 op. Dit is de oorzaak van toename van het transport naar de monding in de loop van de tijd. Er is een aanvullende berekening uitgevoerd waaruit blijkt dat de toename in zandtransport naar de monding in het projectalternatief min zich na 2030 verder voort zet en de export ten opzichte van het projectalternatief Nevengeul dus verder toeneemt.

In het nulplusalternatief en de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand wordt er in macrocel 6 en 7 gestort. Hierdoor ligt het natuurlijke transport over de Nederlands-Belgische grens richting België hoger.

Door vergelijking van het projectalternatief min met het nulalternatief en de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand met het nulplusalternatief blijkt dat de verruiming van de vaargeul in het model resulteert in een toename van transport naar de monding en over de Nederlands-Belgische grens richting België met een factor 1,1 a 1,3. Door vergelijking van het nulplusalternatief met het nulalternatief en de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand met het projectalternatief min blijkt dat aanpassing van de stortstrategie in het model resulteert in een afname van transport naar de monding met een factor 0,8 a 1,0 en een toename over de grens richting België met een factor 1,4.

In tabel 5.12 staat de totale volumeverandering voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. Voor het nulalternatief is sprake van zandverlies van het estuarium (Westerschelde en Beneden-Zeeschelde). Voor de Westerschelde is dit zandverlies het gevolg van de netto zandonttrekking door zandwinning en de netto export ter plaatse van de zeewaartse begrenzing van het estuarium nabij Vlissingen-Breskens en een klein gedeelte over de Nederlands-Belgische grens. Voor de Beneden-Zeeschelde is het zandverlies voor het merendeel toe te schrijven aan zandwinning.

Door vergelijking van het projectalternatief min met het nulalternatief en de projectalternatieven Nevengeulen Plaatrand met het nulplusalternatief blijkt dat de verruiming van de vaargeul in het model resulteert in een toename van zandverlies in de Westerschelde met een factor 1,1. Voor Beneden-Zeeschelde resulteert verruiming eveneens in een toename van het zandverlies met een factor 1,1. Door vergelijking van het nulplusalternatief met het nulalternatief en de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand met het projectalternatief min blijkt dat aanpassing van de stortstrategie in het model niet of nauwelijks resulteert in een toe- of afname van zandverlies in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde.

	Totale zandverlies Westerschelde	Totale zandverlies Beneden-Zeeschelde
Nulalternatief	-3,2	-1,2
Nulplusalternatief	-3,1	-1,1
Projectalternatief min	-3,4	-1,3
Projectalternatief Nevengeul	-3,3	-1,2
Projectalternatief Plaatrand	-3,4	-1,2

Tabel 5.12: *Zandvolumeveranderingen (miljoen m3/jaar) van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde voor de periode 2010-2030 (resultaten van Estmorf-simulaties).*

5.3.6 Conclusies kwantitatieve modelresultaten

Door het onderling vergelijken van de modelresultaten kunnen verschillende conclusies getrokken worden met betrekking tot de effecten van verruiming, een verschillend aanlegstort en een verschillende stortstrategie. Het effect van verruiming wordt verkregen door de volgende alternatieven met elkaar te vergelijken: nulalternatief met het projectalternatief min en het nulplusalternatief met het projectalternatief Nevengeul en projectalternatief Plaatrand. Het effect van aanpassen van de onderhoudsstortstrategie wordt verkregen door de volgende alternatieven met elkaar te vergelijken: het nulalternatief met het nulplusalternatief en het projectalternatief min met het projectalternatief Nevengeul en projectalternatief Plaatrand. Het effect van verschillende verdeling van aanlegstort wordt verkregen door de varianten P1, P2 en P3 met elkaar te vergelijken.

Effect verruiming

Verruiming in het model resulteert in een toename van de baggerhoeveelheden met een factor 1,5 voor de Westerschelde en een factor 1,2 voor de Beneden-Zeeschelde.

Verruiming resulteert in een toename van de verondieping van de nevengeulen. In welke nevengeulen deze verondieping toeneemt is afhankelijk van de toegepaste stortstrategie. Het verdiepen van de vaargeul en het verondiepen van nevengeulen leidt tot een toename in kantelindex en afname in verhangindicator.

Verruiming van de vaargeul resulteert voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde in een toename van het totale zandverlies met een factor 1,1 gedurende de periode 2010-2030.

Effect aanpassen onderhoudsstortstrategie

Vergelijken we de alternatieven met een stortstrategie conform WVO 2006 met de alternatieven met een aangepaste stortstrategie, dan resulteert de aanpassing in een toename van de baggerhoeveelheden in de Westerschelde.

Voor de alternatieven met een stortstrategie conform WVO 2006 (het nulalternatief en projectalternatief min) wordt er niet gestort in macrocellen 1, 6 en 7. In deze macrocellen wordt wel gestort voor de alternatieven met een aangepaste stortstrategie. Door gebruik van stortcapaciteit in deze oostelijk gelegen cellen worden de overige cellen minder belast.

Gezien de geringe stortcapaciteit in de nevengeulen is het onvermijdelijk om deze capaciteit te benaderen. Voor de alternatieven met een stortstrategie conform WVO 2006 vindt overschrijding en verondieping met name plaats in de nevengeul macrocel 3, waardoor de kantelindex voor deze cel toeneemt en de verhangindicator afneemt. In de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand, met aangepaste stortstrategie, vindt overschrijding en verondieping met name plaats in macrocel 5, waardoor de kantelindex voor deze cel toeneemt en de verhangindicator afneemt.

De keuze tussen storten in nevengeulen of op plaatranden is niet te maken op basis van de berekende parameters diepte, kantelindex en verhangindicator. De afweging moet derhalve op basis van andere parameters (arealen) en de passende beoordeling genomen worden.

De aanpassingen van de stortstrategie die in de huidige studie zijn bestudeerd leidt op termijn van 20 jaar nauwelijks tot een toe- of afname van het totale zandverlies. De export naar de monding blijkt wel afhankelijk van de storthoeveelheid in het westen (een hogere storthoeveelheid zorgt voor toename transport over de monding, een kleinere storthoeveelheid voor afname). De effecten van verruiming en minder storten in het westen zijn tegengesteld aan elkaar. De stortstrategie bepaalt waar in het estuarium volumeveranderingen optreden. Voor de Beneden-Zeeschelde resulteert aanpassing van stortstrategie niet in een toename van het totale zandverlies.

Effect aanlegstort
De aanlegstort heeft geen effect op de baggerhoeveelheden in de Westerschelde en een gering effect (toename met een factor 1,2) op de baggerhoeveelheden in de Beneden-Zeeschelde.

De aanlegstort heeft een verwaarloosbaar effect op de ontwikkeling van de diepte van de geulen, de ontwikkeling van de kantelindex, de ontwikkeling van de verhangindicator en de ontwikkeling in de zandhuishouding.

5.4 Kwalitatieve beoordeling

5.4.1 Inleiding
In de voorgaande hoofdstukken en paragrafen van dit basisrapport Morfologie zijn modelresultaten gepresenteerd. Aanvullend op dit basisrapport morfologie is een achtergronddocument Systeembeschrijving Westerschelde, opgesteld. Hierin wordt de historische ontwikkeling van de relevante parameters gegeven, de systeemkennis beschreven (verklaring van de waargenomen ontwikkeling) en worden verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem geven (op basis van expert judgement). In deze paragraaf 5.4 *Kwalitatieve beoordeling* worden de modelvoorspellingen, de nauwkeurigheid van de modelresultaten, de waarnemingen èn de systeemkennis geïntegreerd om tot eindconclusies te komen betreffende de effecten van de verruiming van de vaarroute van zee naar Antwerpen (de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul).

Deze eindconclusies zijn gericht op het beoordelingskader voor het milieueffectrapport. Daarin is een aantal hoofdcriteria opgenomen aan de hand waarvan de beoordeling voor de discipline morfologie uitgevoerd wordt, namelijk de stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde, en de zandhuishouding van het Scheldebekken (Westerschelde en Beneden-Zeeschelde). De stabiliteit van het meergeulensysteem betekent dat de aanwezigheid van de verschillende systeemattributen van het meergeulensysteem en hun inherente globale configuratie (de morfologische diversiteit zoals beschreven in figuur 2.3) gewaarborgd moeten worden.

De systeemattributen zijn:
- Verhouding tussen de gemiddelde diepte van de grote eb- en vloedgeulen (kantelindex).
- Vóórkomen van kortsluitgeulen (de verhangindicator geeft een beeld van de potentiële aanwezigheid van kortsluitgeulen).
- Relatief areaal morfologische eenheden.
- Zandhuishouding.

Voor ieder systeemattribuut wordt per macrocel de verkregen informatie betreffende modelvoorspelling, modelnauwkeurigheid, waarneming en systeemkennis geïntegreerd. In de volgende subparagraaf wordt deze integratie beschreven, in subparagraaf 5.4.3 worden de eindconclusies gepresenteerd.

5.4.2 Resultaten nulalternatief

Per systeemattribuut staat in appendix I een tabel met daarin de waargenomen historische ontwikkeling (tweede kolom), de relevante systeemkennis over het gedrag van desbetreffende parameter (derde kolom), de verwachte effecten van ingrepen op basis van expert judgement (vierde kolom), de resultaten van de hindcast met de toegepaste morfologische modellen (indicatie van de modelnauwkeurigheid, vijfde kolom) en de modelvoorspelling voor het nulalternatief (zesde kolom). Op basis van al deze informatie wordt in de laatste kolom (zevende kolom) de eindconclusie getrokken met betrekking tot verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief (autonome ontwikkeling). In het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium is de achterliggende informatie met betrekking tot de waarnemingen en systeemkennis terug te vinden, de hindcast is gerapporteerd in paragraaf 3.4 van dit basisrapport en de modelvoorspelling zijn te vinden in paragraaf 5.3 van dit basisrapport. De eindconclusie betreft een kwalitatieve beoordeling met betrekking tot het handhaven van de fysieke systeemkenmerken:

++	zeer gunstig voor handhaving
+	gunstig voor handhaving
+/0	gunstig tot neutraal voor handhaving
0/+	neutraal tot gunstig voor handhaving
0	neutraal voor handhaving
0/-	neutraal tot ongunstig voor handhaving
-/0	ongunstig tot neutraal voor handhaving
-	ongunstig voor handhaving
--	zeer ongunstig voor handhaving

In onderstaande tabel 5.13 zijn voor het nulalternatief de eindconclusies per systeemattribuut per macrocel voor het nulalternatief samengevat. Op basis van deze eindconclusies wordt in de onderste rij een kwalitatieve uitspraak gedaan over de verandering van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem (in de afwezigheid van kwantitatieve normen).

Systeemattribuut	Totaal	MC1	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
Verhouding diepte grote geulen	-	0/-	-/0	--	-	-	nvt
Aanwezigheid kortsluitgeulen	-	0/-	-/0	nvt	-	nvt	nvt
Arealen	-	0/-	-/0	-	-	-	-
Zandhuishouding ΔV Westerschelde	-						
Zandhuishouding ΔV Beneden-Zeeschelde	-						
Transport over zeewaartse grens	-						
Overall Morfologische Diversiteit	-	0/-	-/0	-	-	-	-

Tabel 5.13: *Kwalitatieve beoordeling van de ontwikkeling van de systeemattributen per macrocel voor het nulalternatief.*

Voor zowel de Westerschelde als de Beneden-Zeeschelde treedt er in de periode 1955-heden een afname van zandvolume op. Zandwinning heeft een grote invloed op deze volumeverandering. In de Beneden-Zeeschelde treedt er een natuurlijke toename van zandvolume op. In de Westerschelde is tot eind jaren tachtig een autonome toename van zandvolume zichtbaar, in de jaren 90 lijkt dit echter te zijn omgeslagen in een afname. Mogelijk heeft inpoldering in de periode voor 1960 invloed gehad op de natuurlijke import. Sinds 1985 neemt het getijvolume in Westen weer toe, hetgeen samenhangt met de verruiming van de geulen en natuurlijke export van sediment. Daarnaast vindt sinds 1991 de zandwinning met name in het Oosten plaats (tot 1991 voornamelijk in het Westen), dit heeft mogelijk de afname van de import beïnvloed. Ook de 18,6 jarige cyclus kan effect hebben op het zandvolume: De waarnemingen vertonen bovenop een langetermijn trend in zandvolumeverandering een cyclische variatie met een periode van ongeveer 18 jaar en een amplitude van ongeveer 7 miljoen m^3. De variatie in zandvolume vertoont een faseverschil met de cyclus in het verticale getij van ongeveer 2 jaar. Het verticale getij was in 1998 maximaal, dat betekent dat de recent waargenomen grote natuurlijke export niet verklaard kan worden door de 18,6 jarige cyclus, de verwachting is juist dat de fase waarin de cyclus zich nu bevindt resulteert in een afname van de export. Naast zandwinning kunnen ook vaargeulverdiepingen effect hebben op het import/export gedrag van estuaria. Er zijn dus een aantal mogelijke oorzaken voor de waargenomen natuurlijke export te benoemen. De waarneming is echter nog deels onbegrepen en dit maakt het gedrag van de Westerschelde deels onvoorspelbaar. De recent waargenomen trend leidt echter wel tot een achteruitgang in de morfologische diversiteit van het systeem.

Uit de kwalitatieve beoordeling in tabel 5.13 worden op basis van de waarnemingen, de systeemkennis en de modelresultaten de volgende conclusies getrokken: In de autonome ontwikkeling (nulalternatief) neemt de stabiliteit van grote geulen af, evenals de potentiële aanwezigheid van kortsluitgeulen, het areaal intergetijdengebied en het totale zandvolume. Dit resulteert in een afname van de morfologische diversiteit van het systeem. Het betreft een voortzetting van de huidige waargenomen trend. In de autonome ontwikkeling (nulalternatief) wordt hiermee wellicht niet voldaan aan het handhaven van de fysieke systeemkenmerken.

5.4.3 Resultaten projectalternatieven

Per systeemattribuut staat in appendix J en K een identieke tabel als in appendix I opgesteld, maar met respectievelijk de modelvoorspelling en eindconclusie voor het projectalternatief Nevengeul (zesde en zevende kolom appendix J) en het projectalternatief Plaatrand (zesde en zevende kolom appendix K). In het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium is de achterliggende informatie met betrekking tot de waarnemingen en systeemkennis terug te vinden, de hindcast is gerapporteerd in paragraaf 3.4 van dit basisrapport en de modelvoorspelling zijn te vinden in paragraaf 5.3 van dit basisrapport. De eindconclusies voor deze projectalternatieven betreffen een relatieve ontwikkeling *ten opzichte van* het nulalternatief. Een ongunstige ontwikkeling voor het handhaven betekent in dit geval dus een ongunstig ten opzichte van de ontwikkeling in het nulalternatief.

In onderstaande tabel 5.14 en 5.15 zijn voor respectievelijk het projectalternatief Nevengeul en het projectalternatief Plaatrand de eindconclusies per systeemattribuut per macrocel samengevat. Op basis van deze eindconclusies wordt in de onderste rij wederom een kwalitatieve uitspraak gedaan over de verandering van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem (in de afwezigheid van kwantitatieve normen, wederom ten opzichte van het nulalternatief).

Systeemattribuut	Totaal	MC1	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
Verhouding diepte grote geulen	-	-	+/0	-	--	-/0	nvt
Aanwezigheid kortsluitgeulen	-	-	+/0	nvt	-	nvt	nvt
Arealen	0	0	-	0	+	0	0
Zandhuishouding ΔV Westerschelde	0						
Zandhuishouding ΔV Beneden-Zeeschelde	0						
Transport over zeewaartse grens	0						
Overall Morfologische Diversiteit	0/-	-/0	0	-/0	-	0/-	0

Tabel 5.14: *Relatieve toe- of afname van de systeemattributen per macrocel relatief ten opzichte van het nulalternatief voor projectalternatief Nevengeul.*

Systeemattribuut	Totaal	MC1	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7
Verhouding diepte grote geulen	-	-	+/0	--	-	0	nvt
Aanwezigheid kortsluitgeulen	-	-	+/0	nvt	-	nvt	nvt
Arealen	0	0	-	0	+	0	0
Zandhuishouding ΔV Westerschelde	0						
Zandhuishouding ΔV Beneden-Zeeschelde	0						
Transport over zeewaartse grens	0/-						
Overall Morfologische Diversiteit	0/-	-/0	0	-	-/0	0	0

Tabel 5.15: *Relatieve toe- of afname van de systeemattributen per macrocel relatief ten opzichte van het nulalternatief voor projectalternatief Plaatrand.*

Door de verruiming van de vaargeul en de toename van het onderhoudsbaggerwerk nadien verdiept de vaargeul en/of verondiept de nevengeul voor enkele macrocellen. Dit werkt ongunstig voor het handhaven van het fysieke systeemkenmerk ten opzichte van het nulalternatief. Meer storten in het Westen beïnvloedt de export over de zeewaartse grens. Ten opzichte van het nulalternatief neemt in de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand de export in zeer geringe mate toe in de periode 2010-2030 (na verloop van tijd wordt echter de export voor het projectalternatief Nevengeul en projectalternatief Plaatrand kleiner dan voor het projectalternatief min). Door de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul zal de afname van de morfologische diversiteit ten opzichte van het nulalternatief versterkt worden. Deze versterking is zeer gering, mits bij het bepalen van de stortstrategie de storthoeveelheid per macrocel beperkt blijft (het stortcriterium in acht wordt genomen). Voor de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand is dit laatste het geval. De afname in morfologische diversiteit blijft hierdoor beperkt.

Het doel van een dynamisch sedimentbeheer (stortstrategie) is het minimaliseren van de effecten van de verruiming. In deze studie is een stortstrategie gevonden waarbij de effecten ten opzichte van de autonome ontwikkeling beperkt blijven. In deze studie is er echter geen strategie gevonden die de afname in morfologische diversiteit (inclusief het exporterende gedrag van de zandbalans) keert in de richting van een stabiel gedrag (inclusief minimalisatie van de export / omslag naar import).

De voorspelkracht van zowel morfologische modellen als expert judgement kent zijn beperkingen. Naarmate de effecten van ingrepen kleiner zijn, neemt de voorspelbaarheid toe. De omvang van de bestudeerde ingreep ligt binnen het toepassingsbereik van de gebruikte modellen en expert judgement. Uit de huidige studie blijkt dat de effecten van de projectalternatieven ten opzichte van het nulalternatief beperkt zijn. De onzekerheid van de voorspelling verschuift hiermee van onzekerheid in effectvoorspelling naar onzekerheid in voorspelling van de autonome ontwikkeling.

Intermezzo - Meer storten in de vaargeul

In deze Milieueffectrapportage is de mogelijkheid om meer te storten in de vaargeul niet expliciet bestudeerd. Aanleiding hiervoor is dat storten in de vaargeul niet direct effect heeft op de "verhouding diepte grote geulen", maar wel resulteert in grotere baggerhoeveelheden. Uit de analyse blijkt echter dat de storthoeveelheden in de nevengeulen (voor de projectalternatieven P4) resulteren in effecten in deze nevengeulen (verondieping ten opzichte van de autonome ontwikkeling). Deze effecten kunnen worden geneutraliseerd door meer in de vaargeul te storten. Voor het projectalternatief Nevengeul betekent dat respectievelijk 1,3, 0,4 1,0 en 0,4 Mm^3/jaar minder storten in de nevengeul van macrocel 1, 4, 5 en 6 (in totaal 3,1 Mm^3/jaar minder in de nevengeul). Voor het projectalternatief Plaatrand betekent dat respectievelijk 1,1, 0,3, 0,1 en 0,3 Mm^3/jaar minder in de nevengeul van macrocel 1, 4, 5 en 6 (in totaal 1,8 Mm^3/jaar minder in de nevengeul). Echter, de toename in baggerhoeveelheden door het storten van deze hoeveelheden in de vaargeul is in de huidige studie niet berekend.

5.5 Variatie stortstrategie in de tijd

5.5.1 Inleiding

Een langdurige overschrijding van het stortcriterium van een geul zal leiden tot degeneratie van de betreffende geul. De duur van de overschrijding moet in relatie worden gezien tot de tijdschaal van de morfologische aanpassing. Verondersteld wordt, dat een overschrijding van het stortcriterium pas op een termijn van orde vijf jaren merkbaar wordt. Indien degeneratie optreedt, zal dus in de betreffende geul tijdelijk minder gestort moeten worden en elders in het systeem meer. Indien in de nieuwe stortlocatie het stortcriterium eveneens wordt overschreden, zal ook daar na verloop van tijd het stortvolume moeten worden gereduceerd. In dat geval kan weer in de oorspronkelijke locatie worden gestort, als ter plaatse door erosie van de geul ruimte is ontstaan. Op deze wijze kan door de aanpassing van de stortstrategie in de tijd gebruik worden gemaakt van het zelfregulerende vermogen van het systeem.

Het maximale stortvolume wordt bepaald op basis van het stortcriterium. Voor de gehele Westerschelde is het maximaal te storten volume in de nevengeulen 9 miljoen m^3/jaar. De daadwerkelijke totale hoeveelheid te storten sediment, bepaald met Delft3D en gemiddeld over een periode van 5 jaren, bedraagt ongeveer 12 miljoen m^3/jaar voor de projectalternatieven P4. Dit impliceert, dat de beschikbare stortcapaciteit in de Nevengeulen wordt overschreden of een aanzienlijke hoeveelheid in de hoofdgeul teruggestort dient te worden. Het overschrijden van het stortcriterium in de nevengeulen betekent dat het nodig kan zijn de stortstrategie na verloop van een aantal jaren aan te passen.

Zandwinning in het estuarium resulteert in een afname van het totale sedimentvolume. Lokaal levert het in de nevengeulen daarentegen aanvullende stortcapaciteit (de zandwinning kan bij de stortcapaciteit in de betreffende geul opgeteld worden).

Opgemerkt wordt, dat tijdens de simulatie een geleidelijke afname van het onderhoudsbaggervolume optreedt, waardoor de overschrijding van het stortcriterium kleiner wordt. Op een langere termijn kan dan een situatie ontstaan, waarbij sprake is van een onderschrijding van het stortcriterium.
De gevolgen van een overschrijding van het stortcriterium volgen uit de Delft3D simulaties. Hiervoor wordt de geulontwikkeling beschouwd op basis van de volgende kenmerken:

- De diepteontwikkeling van de geulen;
- De kantelindex;
- De verhangindicator.

De zandhuishouding wordt mede beïnvloed door de stortstrategie. Meer storten in het Westen van de Westerschelde resulteert op een termijn van één tot enkele decennia in een groter transport naar de monding. Meer storten in het Oosten resulteert op deze termijn in een groter transport naar de Beneden-Zeeschelde. De effecten van het aanpassen van de stortstrategie op de zandhuishouding worden beschouwd op basis van Estmorf-simulatie.

Door verschillende stortstrategieën in de tijd met elkaar af te wisselen, kunnen de verschillende effecten van deze stortstrategieën afgewisseld worden waarmee tevens de effecten beperkt kunnen worden. Het variëren van de stortstrategie in de tijd betekent een dynamisch sedimentbeheer van de Westerschelde. In de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk is geconcludeerd dat de uitgewerkte projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand, met een constante stortstrategie, op de beschouwde termijn slechts minimale negatieve effecten vertonen en aangezien het stortcriterium in het merendeel van de macrocellen benaderd wordt er weinig ruimte is om op macroschaalniveau te variëren in de tijd. Op kleiner schaalniveau (locatie van stortingen binnen het stortvak en het ontwerp van stortingen) kan op basis van ecologische argumenten of fenomenologische ontwikkelingen op de mesoschaal wel aanleiding zijn om invulling te geven aan de flexibele stortstrategie (grotere variatie in de tijd). Voor de noodzaak hiervoor wordt verwezen naar het basisrapport Natuur en het achtergronddocument Morfologische ontwikkeling Westerschelde.

In de volgende paragrafen wordt een Estmorf-simulatie beschreven, waarbij de stortstrategie op macroschaalniveau in de tijd gevarieerd wordt. Doelstelling van deze beschouwing is aan te geven of door variatie in de tijd de effecten beïnvloed worden (en zo mogelijk lokaal de geringe negatieve effecten worden beperkt).

5.5.2 Gekozen scenario

Uitgangspunt voor de definitie van de simulatie, waarbij het storten in de tijd wordt gevarieerd, vormt tabel 5.6, waar de netto ingrepen voor de macrocellen in samenhang met het stortcriterium worden beschouwd. Uit deze tabel volgt dat in de projectalternatief P4 slechts in een beperkt aantal macrocellen het stortcriterium overschreden wordt. In het vervolg wordt uitgegaan van projectalternatief Nevengeul, waarbij alleen in de nevengeulen van macrocel 4 (ebgeul) en macrocel 5 (vloedgeul) sprake is van een overschrijding van het criterium: respectievelijk 0,5 miljoen m^3/jaar en 0,3 miljoen m^3/jaar ofwel na vijf jaren een te groot stortvolume van 2,5 miljoen m^3 en 1,5 miljoen m^3. Indien na vijf jaren wordt overgeschakeld op de stortverdeling volgens variant aanlegstort P3C zal in de genoemde macrocellen herstel kunnen optreden; het stortcriterium wordt immers niet meer overschreden.

Echter, in de nevengeul van macrocel 3 wordt in deze variant P3C 1 miljoen m^3/jaar teveel gestort, zodat na de tweede periode van vijf jaren weer wordt overgegaan op de stortverdeling volgens het projectalternatief Nevengeul. Voor beide strategieën wordt in de nevengeul van macrocel 4 het stortcriterium overschreden.

In figuur 5.1b staan de stortverdelingen voor de variant aanlegstort P3C en het projectalternatief Nevengeul in staafdiagram weergegeven. Hierin is duidelijk zichtbaar dat in de variant P3C meer gestort wordt in macrocel 3 en minder in macrocel 1, in totaal wordt er in macrocel 1 en 3 meer gestort dan in het projectalternatief Nevengeul. Door in de Estmorf simulatie in de tijd af te wisselen tussen deze twee stortstrategieën wordt het effect op de zandhuishouding in beeld gebracht.

5.5.3 Beschouwing diepte ontwikkeling geulen

In tabel 5.16 (zie ook tabel 5.7) wordt de diepteontwikkeling van de geulen ten opzichte van het nulalternatief gegeven. De in rode tekst aangegeven geulen vertonen een verschillende ontwikkeling voor de beide stortstrategieën. Uit deze tabel volgt dat de vloedgeul van macrocel 3 minder zal verdiepen ten opzichte van het nulalternatief, indien na vijf jaren de stortverdeling volgens variant aanlegstort P3C wordt gebruikt in plaats van de verdeling volgens het projectalternatief Nevengeul. Op deze wijze zal een 'gemiddelde' situatie ontstaan, welke ligt tussen die volgens beide afzonderlijke varianten. Daarentegen zal, bij toepassing van de stortstrategie volgens variant aanlegstort P3C, de vloedgeul van macrocel 4 meer gaan verdiepen, terwijl de ebgeul sterker gaat verondiepen. De kanteling in deze macrocel neemt in dat geval toe ten opzichte van het nulalternatief . De geringere verondieping van de vloedgeul van macrocel 5 voor stortstrategie P3C ten opzichte van het projectalternatief Nevengeul leidt tot een geringere kanteling. Voor macrocel 6 is, ten opzichte van het nulalternatief, sprake van een geringe verdieping van zowel de eb- als de vloedgeul voor stortstrategie P3C, terwijl voor het projectalternatief Nevengeul de beide geulen in geringe mate verondiepen ten opzichte van het nulalternatief. Deze verschillende ontwikkelingen in diepte van P3C en P4N resulteren in een verschillende ontwikkeling van de kantelindex. Tabel 5.8 presenteert de toe- en afname van de kantelindex voor de alternatieven en varianten ten opzichte van verandering van de kantelindex volgens het nulalternatief gedurende een periode van vijf jaren. Voor macrocel 1 en macrocel 5 zal de kantelindex ten opzichte van het nulalternatief minder toenemen, indien na vijf jaren de stortstrategie volgens variante aanlegstort P3C in plaats van het projectalternatief Nevengeul wordt toegepast. De kantelindex in macrocel 4 zal eveneens afnemen, omdat de diepte van de vloedgeul toeneemt en tegelijkertijd de diepte van de ebgeul afneemt. Ook voor deze indicator geldt, dat de toepassing van een afwisselende stortverdeling zal resulteren in een 'gemiddelde' toestand.

Deze verschillende ontwikkelingen in diepte van P3C en P4N resulteren eveneens in een verschillende ontwikkeling van de verhangindicator. De veranderingen van de verhangindicator voor de alternatieven en varianten ten opzichte van het nulalternatief zijn weergegeven in tabel 5.9. In macrocel 4 zal de verhangindicator in sterkere mate toenemen, indien na vijf jaren wordt overgegaan van stortstrategie van het projectalternatief Nevengeul naar stortstrategie van variant aanlegstort P3C. Daarmee zal de potentiële aanwezigheid van kortsluitgeulen verminderen. In macrocel 5 zal de afname van de verhangindicator reduceren (er is dan sprake van een toename ten opzichte van de voorafgaande periode van vijf jaren). Het dynamische gedrag van kortsluitgeulen zal hierdoor in mindere mate afnemen.

Macrocel		Nul (referentie)	P1/2/3	P4N
1	ebgeul	0,042		
	vloedgeul	-0,017		
3	ebgeul	-0,007		
	vloedgeul	-0,050		
4	vloedgeul	-0,037		
	ebgeul	0,045		
5	ebgeul	0,107		
	vloedgeul	-0,060		
6	ebgeul	0,062		
	vloedgeul	-0,023		
7	ebgeul	0,165		

Schaal			
minder	-	-0,07	zware relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,07	-	-0,04	matige relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,04	-	-0,01	lichte relatieve verondieping (mc 1,3,5,6,7) verdieping (mc4)
-0,01	-	0,01	relatief neutraal
0,01	-	0,04	lichte relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
0,04	-	0,07	matig relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
0,07	-	meer	zware relatieve verdieping (mc 1,3,5,6,7) verondieping (mc4)
NB		MC4	Vaargeul is vloedgeul, nevengeul is ebgeul

Tabel 5.16: *Relatieve (ten opzichte van nulalternatief) effect van de alternatieven en varianten op de diepteontwikkeling (resultaten van Delft3D-simulaties). Een positief getal voor het nulalternatief betekent toename van de diepte (verdieping in m/j), een negatief getal een afname van de diepte (verondieping in m/j). Voor macrocel 4 is (in tegenstelling tot de andere macrocellen) de vloedgeul de vaargeul en de ebgeul de nevengeul. Derhalve is de schaal tegengesteld; groen is verdieping en blauw verondieping.*

5.5.4 Beschouwing zandhuishouding

Opzet van de Estmorf-simulatie

Voor de uitgevoerde Estmorf-simulaties over een periode van 22 jaar (2008-2030) met een onveranderlijke stortverdeling is voor de eerste 5 jaren het onderhoudsbaggervolume ontleend aan Delft3D. Gedurende de resterende 17 jaren blijft het onderhoudsvolume gehandhaafd op het niveau van het vijfde jaar. Voor het projectalternatief Nevengeul zijn de jaarlijkse baggervolumes weergegeven in tabel 5.17.

P4N	2008	2009	2010	2011	2012	> 2012	2008-2013	2010-2030
Totaal WS	14,5	13,1	12,2	11,5	10,9	10,9	12,4	11,0

Tabel 5.17: *Jaarlijkse onderhoudsbaggervolume voor de gehele Westerschelde, berekend met Delft3D, en gemiddelden voor de perioden 2008-2013 en 2010-2030.*

Hieruit blijkt, dat het gemiddelde onderhoudsbaggerwerk voor de periode 2010-2030 (dat is na de verruiming) 11,0 miljoen m^3/jaar bedraagt. Alhoewel dit in combinatie met een zandwinning van 1,9 miljoen m3/jaar bijna gelijk is aan de totale stortcapaciteit in de Nevengeulen, kan in afzonderlijke macrocellen echter wel sprake zijn van een overschrijding (zie tabel 5.6), waardoor een tussentijdse aanpassing van de stortverdeling nodig is.

Schematisch verloopt het tijdsafhankelijk storten op basis van de strategieën volgens variant aanlegstort P3C en het projectalternatief Nevengeul als weergegeven in tabel 5.18.

	2008-2010	2010-2013	2013-2018	2018-2023	2023-2030
Duur:	2 jaar	3 jaar	5 jaar	5 jaar	7 jaar
Storten volgens:	aanleg+P4N	P4N	P1/2/3C	P4N	P1/2/3C
Overschrijding stortcriterium per geul:		mc 4 eg: 0,5 mc 5 vg: 0,3	mc 3 vg: 1,0 mc 4 eg: 1,7 mc 6 vg: 0,1	mc 4 eg: 0,5 mc 5 vg: 0,3	mc 3 vg: 1,0 mc 4 eg: 1,7 mc 6 vg: 0,1
Overschrijding stortcriterium totaal:		0,8	2,8	0,8	2,8

Tabel 5.18: *Tijdsafhankelijke variatie van de stortstrategie op basis van P3C en P4N.*

Gedurende de eerst 5 jaren (2008-2013) worden de bagger- en storthoeveelheden voor elk jaar ontleend aan het projectalternatief Nevengeul, dat wil zeggen deze hoeveelheden verschillen voor elk afzonderlijk jaar, waarbij voor de meeste macrocellen sprake is van een afname van de volumes. Voor de tijdvakken 2013-2018 en 2023-2030 zijn de bagger- en stortvolumes van het vijfde jaar van P3C gebruikt, dat wil zeggen de volumes blijven onveranderd gedurende deze periode. Evenzo zijn voor het tijdvak 2018-2023 de volumes gebruikt van het vijfde jaar van het projectalternatief Nevengeul. Deze aanpak is gebaseerd op de overweging, dat momenteel nog geen bevredigende verklaring voorhanden is voor de berekende afname van het baggervolume, en dus ook het stortvolume, in de tijd. Met een constant bagger- en stortvolume per tijdvak na 2013 wordt daarom een pragmatische aanpak gevolgd, waarbij de effecten van een tijdsafhankelijke variatie van het bagger- en stortvolume voor opvolgende perioden van 5-7 jaar eveneens kunnen worden getoond. Het totale jaarlijkse baggervolume voor de Westerschelde gedurende de periode 2010-2030 bedraagt voor P3C 9,7 miljoen m^3/jaar en is daarmee 10 procent lager dan voor P4N.

Resultaten Zandbalans 2010-2030
De zandbalans voor de simulatie met tijdsafhankelijk storten volgens het projectalternatief Nevengeul en variant aanlegstort P3C is weergegeven in figuur L.1 in appendix L. De zandbalans voor het projectalternatief Nevengeul wordt getoond in figuur L.2. De tijdsafhankelijke variatie van het baggeren en storten uit zich als een verandering van de ruimtelijke verdeling van de netto ingrepen ten opzichte van het projectalternatief Nevengeul. Hierdoor worden de netto transporten ter plaatse van de raai Vlissingen-Breskens en de Nederlands-Belgische grens eveneens beïnvloed. Uit de figuren L.1 en L.2 volgt, dat het effect echter gering is; de getallen staan in tabel 5.19 samengevat (in beide scenario's wordt er 1,9 miljoen m^3/jaar zand gewonnen).

	Natuurlijk transport naar monding	Natuurlijk transport over Ned-Belg grens	Totale Volumeverandering Westerschelde
Variatie P3c/P4N	1,4	0,2	3,4
P4N	1,2	0,3	3,5

Tabel 5.19: *Resultaten zandhuishouding (miljoen m3/jaar) voor de variant met afwisseling stortstrategie P3C-P4N en het projectalternatief Nevengeul (resultaten van Estmorf-simulaties).*

In de variant P3C wordt meer gestort in macrocel 3 en minder in macrocel 1. In totaal wordt er in macrocel 1 en 3 meer gestort dan in het projectalternatief Nevengeul, dit resulteert over de periode 2010-2030 in een toename van het gemiddelde jaarlijkse transport naar de monding. In het projectalternatief Nevengeul wordt er meer gestort in de oostelijke macrocellen 6 en 7 waardoor het transport over de Nederlands-Belgische grens over deze periode groter is.

5.5.5 Conclusies

Op basis van de Estmorf resultaten wordt de conclusie gesteld dat aanpassen van de stortstrategie de export mede beïnvloedt (meer storten in het westen resulteert in toename van de export). Deze hypothese betekent dat door aanpassen van de stortstrategie *in de tijd* invulling kan worden gegeven aan dynamisch sediment beheer. Door monitoring van het systeem (opstellen van zandbalans) kan op negatieve effecten gereageerd worden.

Na de tweede verdieping is men over gegaan op meer storten in het westen. Waarnemingen geven aan dat vanaf deze periode de netto export optreedt (Haecon, 2006 zie achtergronddocument Systeembeschrijving Scheldep-esturarium, tabel 2.8). Deze omslag naar export is tot op heden nog niet geheel verklaard. Uit bovenstaande volgt dat een wijziging in stortstrategie kan hebben bijgedragen aan deze omslag. Hierbij wordt opgemerkt dat de verschillen in stortstrategie tussen de hier bestudeerde varianten (P3C en projectalternatief Nevengeul) vele malen kleiner zijn dan het verschil tussen de Ooststrategie en de Oost-Weststrategie.

5.6 De Beneden-Zeeschelde

5.6.1 Inleiding

De effecten van de vaargeulverruiming zijn voor de Beneden-Zeeschelde niet eenvoudig op dezelfde wijze te beschrijven als voor de Westerschelde. Het kenmerkende meergeulenkarakter van de Westerschelde is grotendeels afwezig in de Beneden-Zeeschelde. Om deze reden is voor de Beneden-Zeeschelde het effect op de parameters kantelindix en verhangindicator niet relevant. Wel relevant voor de Beneden-Zeeschelde is de stabiliteit van de vaargeul na het storten van aanlegstort in de vaargeul. In de Beneden-Zeeschelde wordt een deel van de aanlegbaggerspecie gestort in een aantal diepe putten van de vaargeul, gelegen in de bocht bij de Boudewijn en Van Cauwelaertsluis. In paragraaf 5.6.2 wordt het gedrag van deze storting in beeld gebracht: is de verwachting dat de aanlegstort erodeert, zo ja, op welke tijdschaal en is daarbij aan te geven in welke richting het geërodeerde sediment getransporteerd wordt? De analyse in deze paragraaf is voornamelijk gebaseerd op waarnemingen (gemeten bodemontwikkeling), gedetailleerde stromingberekeningen (uitgevoerd door IMDC, gerapporteerd in het basisrapport Slibdynamiek) en expert judgement.

Daarnaast is voor de Beneden-Zeeschelde schorranderosie relevant: Wat is de te verwachten schor-evolutie in het Schelde-estuarium in relatie tot de verruiming van de vaargeul? Om de verwachte evolutie in beeld te brengen is een expert werksessie georganiseerd. In paragraaf 5.6.3 wordt hier verder op ingegaan.

5.6.2 Gedrag van putten

In appendix M staat in figuur M.1 staat de gemeten bodem 2005 waarop de putten zichtbaar zijn (met een diepte van ruim 25 meter). In figuur M.2 staat een verschilkaart na de stort van aanlegbaggerspecie op deze locatie. In figuur M.3 en M.4 staan respectievelijk de gemeten bodem 1990 en 1998. In 1990 waren de putten reeds aanwezig, in de periode 1990 – 2005 heeft er een verdieping (natuurlijke erosie) van de putten en omliggende geul plaats gevonden. In figuur M.5 en M.6 staat de erosie/sedimentatiekaart (meters per jaar, gebaseerd op metingen) voor respectievelijk de periode 1990-1998 en de periode 1998-2005. De waargenomen erosie ter plaatse van de putten is gelijk aan de erosie in de omliggende geul. In de tweede periode is de waargenomen erosie iets groter en is op de locatie van de putten maximaal 1 meter per jaar. Het grove Delft3D model (met een relatief lage resolutie) dat in de huidige milieueffectrapportstudie wordt toegepast voor de morfologische berekeningen voor een periode van vijf jaar is niet in staat om deze erosie te modelleren; in het nulalternatief voorspelt Delft3D sedimentatie in de putten.

De verwachting is dat na het storten van de aanlegbaggerspecie in de putten de erosiesnelheid minimaal gelijk is aan de waargenomen erosie in figuur M.6. Mogelijk zal het systeem zich weer ontwikkelen richting twee putten. Aangezien het natuurlijke putten betreft kan de erosie na volstorten aanzienlijk hoger zijn. In 1997 is in de omgeving van Ellewoutsdijk een dieper gedeelte van de vaargeul volgestort. In de eerste jaren na het volstorten is er een zeer hoge erosie waargenomen aan de westkant, resulterend in een sedimentatie ten oosten van de stortlocatie (in dit geval betrof het een vloedgeul in de Westerschelde). Uit de beschikbare kaarten valt slechts af te leiden dat de erosie minimaal 1 meter per jaar betrof in een gebied waar voor de storting een geringe sedimentatie optrad.

In het kader van de milieueffectrapportstudie wordt door IMDC een gedetailleerd Delft3D waterbewegingsmodel toegepast. Daarin wordt de waterbeweging 3 dimensionaal op een fijn rooster berekend. In figuur M.7 staat de bodemligging (met de putten) weergegeven. In figuur M.8 en M.9 staat de bodemschuifspanning tijdens vloedstroming weergegeven en in figuur M.10 en M.11 de de bodemschuifspanning tijdens ebstroming. In de linkerfiguur staat de simulatie voor het nulalternatief, wat betekent dat de putten niet volgestort zijn. In de rechterfiguur staat het projectalternatief Nevengeul, wat betekent dat de putten volgestort zijn. Uit deze figuren kan geconcludeerd worden dat de putten zicht bevinden op een locatie waar de bodemschuifspanningen groot zijn en dat de bodemschuifspanning groter is na volstorten (in tabel 5.20 staat de toename in bodemschuifspanning).

	Vloed spring	Eb spring	Vloed dood	Eb dood
Nul (niet volgestort)	3,7 N/m^2	3,7 N/m^2	2 N/m^2	2,5 N/m^2
P4N (volgestort)	4,2 N/m^2	4,7 N/m^2	2,3 N/m^2	3,2 N/m^2
Toename factor	1,14	1,27	1,15	1,28

Tabel 5.20: *Bodemschuifspanningen tijdens springtij en doodtij en tijdens vloed- en ebstroming voor het nulalternatief (waarin de putten niet volgestort zijn) en het projectalternatief Nevengeul (waarin de putten volgestort zijn) (resultaten van Delft3D-simulaties).*

De modelsimulaties geven derhalve sterke aanwijzing dat het natuurlijke putten betreft en de verwachting is dan ook een grote erosie na volstorten. Indien de aanlegbaggerspecie voor een (groot) deel uit slib bestaat, is de verwachting dat het materiaal erodeert voor het kan consolideren. De putten bevinden zich in de zone van de Beneden-Zeeschelde waar het turbiditeitsmaximum zich bevindt, de richting waarin het sediment getransporteerd zal worden is derhalve mede afhankelijk van de positie van dit maximum ten tijde van erosie. Aangezien de ebschuifspanningen groter zijn dan de vloedschuifspanningen is de verwachting dat de erosie het grootst is tijdens eb en het sediment derhalve merendeels in zeewaartse richting getransporteerd zal worden.

Op basis van de huidige informatie kan worden geconcludeerd dat:
- De erosie minimaal de waargenomen erosie in de periode 1990-2005 (ongeveer 1 meter per jaar) zal bedragen.
- Het natuurlijke putten betreft en de bodemschuifspanning aanzienlijk toeneemt na volstorten. De verwachting is dat de erosie na volstorten dan ook aanzienlijk hoger ligt dan 1 meter per jaar. De verwachting is dat het gestorte sediment (8 meter dikke laag) over een periode van enkele jaren (2 tot 4) zal zijn verdwenen.
- Het sediment zal met name in zeewaartse richting getransporteerd worden.

5.6.3 Stabiliteit schorren en slikken

Inleiding
De morfologische dynamiek van schorren en in mindere mate van slikken wordt in het morfologisch instrumentarium niet geschematiseerd. Dit impliceert dat voorspellingen inzake de ontwikkeling van het schorareaal en de interactie tussen slikken en schorren dient te gebeuren op basis van expert judgement, eerder dan op basis de macro-morfologische modellen, zoals Delft3D, Estmorf, of het waterbewegingsmodel. De expertkennis voor deze analyse is samengebracht in een werksessie, waarin de experts, rekening houdend met de abiotische kenmerken van het slik-schorsysteem enerzijds en de modelresultaten inzake hydro- en morfodyanmiek anderzijds een interpretatie hebben opgesteld van de te verwachten autonome ontwikkeling en de te verwachten effecten van de vaargeulverruiming.

Speciale aandacht is besteed aan de omgeving van het Galgeschoor. Een beschrijving van de huidige toestand, zowel inzake bodemligging, schorrandverdediging, stroomsnelheden is opgenomen in Bijlage P. In Bijlage Q wordt ingegaan op de effecten van de vaargeulverruiming in het beschouwde gebied.

Mogelijke morfologische en ecologische effecten
De stabiliteit en de kwaliteit van schorren in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde wordt mogelijk beïnvloed door menselijk ingrijpen in het estuarium. Mogelijke beïnvloeding zou kunnen bestaan uit verandering van het schorareaal door veranderende waterstanden (waardoor de overstromingsduur van de schorren zal veranderen). Hierdoor kan het schor verlanden of verdrinken. Veranderingen in de overstromingsduur kunnen zowel het gevolg zijn van veranderingen in de waterstand (stijging of daling) als van een stijgende of dalende bodem (onder andere het gevolg van netto erosie of sedimentatie van sediment). Daarnaast kan schorranderosie optreden door toegenomen belasting door golven of stroomsnelheden. Erosie van schorranden gaat direct ten koste van het areaal schorgebied. Een laatste hier genoemd effect is de afname van het succes van pioniervegetatie als gevolg van grotere belasting (golven, waterstanden, stroomsnelheden, veranderingen in sedimentaanbod, veranderende zoutgehalten of veranderende waterkwaliteit). Door deze afname van het succes van de pioniervegetatie kan ook de omvang van het schorareaal als de kwaliteit van de schorvegetatie veranderen.

Aanpak
Veel van de hierboven genoemde processen treden in meer of minder sterke mate op in een zich op natuurlijke wijze ontwikkelend estuarium. Relevant voor de huidige studie is mogelijke beïnvloeding van deze processen door de voorgestelde ingreep. Om deze beïnvloeding te kunnen analyseren en zo mogelijk te kunnen kwantificeren, is een expert sessie bijeengeroepen waaraan een aantal experts op het gebied van de morfologie, de waterbeweging en de ecologie (met name de ontwikkeling van schorren) heeft deelgenomen. Deze experts hebben in eerste instantie geïnventariseerd welke relevante processen mogelijk door de voorgestelde ingrepen kunnen worden beïnvloed. Vervolgens hebben ze beoordeeld welke gevolgen dit zou kunnen hebben voor de stabiliteit van schorren en slikken in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde. In het navolgende worden de belangrijkste conclusies van de werksessie weergegeven en nader uitgewerkt.

Relevante processen
De volgende processen zijn relevant voor de (morfologische en ecologische) ontwikkeling van schorren en slikken èn kunnen mogelijk significant worden beïnvloed door de voorgestelde ingrepen:

- Veranderingen in de zoutverdeling. Door veranderingen in de waterbeweging van het estuarium (veranderingen in de getijvoortplanting door de verdieping het storten van sediment), kan de verhouding tussen zout water van zee en zoet water van de rivier op een specifieke locatie veranderen. Het gevolg hiervan is een mogelijk veranderend zoutgehalte. Het zoutgehalte heeft een belangrijke invloed op de ecologie van slikken en schorren, onder andere op de soortensamenstelling van bodemorganismen op slikken, en vegetatie op schorren. Overigens wordt in de modelberekeningen die zijn uitgevoerd voor deze studie een maximale variatie van het zoutgehalte tussen varianten op een locatie waargenomen van 0,1 gram per liter. Waarnemingen in het veld geven waarden voor de lokale saliniteitsvariatie binnen 1 getij van 3,5 tot 5 g/l in de omgeving van Prosperpolder (zoals beschreven in het basisrapport Zoutdynamiek). Op basis hiervan kan worden gesteld dat het zoutgehalte geen bepalend element is in de verandering van het schorareaal in deze studie en bijgevolg niet verder dient besproken te worden bij de evaluatie van de veranderingen in de verschillende deelgebieden van het estuarium.

- Veranderingen in de waterstanden. Door relatieve veranderingen in de waterstanden (stijgend water of verandering van hoogteligging van de schorren) kan een schor of slik verlanden of verdrinken. Veranderingen in de waterstanden kunnen het gevolg zijn van veranderingen in de getijdoordringing in het estuarium ten gevolge van de verdieping. Andere mogelijke oorzaken van veranderende waterstanden zijn (versnelde) zeespiegelstijging of natuurlijke veranderingen in de morfologie van het estuarium (in interactie met waterbeweging en ecologische ontwikkeling).
- Veranderingen in de bodemligging, meer bepaald in de steilheid van de gradiënt tussen het diepwater en het schor over het slikgebied heen. Door verandering in de bodemligging kan de overgang van ondiepwater naar schor te steil worden (het slik gebied wordt te smal). Hierdoor verdwijnt de normale gradiënt in energie, waardoor de natuurlijke toename van slib naar de schorren toe eveneens onder druk komt (Dijkema et al, 2005). Van nature doorlopen ondiepe waterzones, slikken en schorren een cyclus van ontwikkeling en degeneratie (Van Braeckel et al, 2006), doorgaans vanaf de slik/schorrand. Wanneer de steilheid van het slik te groot wordt, start het proces van afkalving (Van de Koppel et al, 2005). Dit proces van versteiling is een zorgpunt ter hoogte van de zwaaizone.
- Veranderingen in de beschikbaarheid van sediment. Om een eventuele verhoging van waterstanden bij te houden, is sediment (voor schorren met name slib, voor slikken ook zand) nodig. Indien er onvoldoende sediment beschikbaar is om een verhoging van de waterstanden bij te houden, zal het schor of slik verdrinken. Indien daarentegen meer sediment wordt aangevoerd dan voor het bijhouden van een waterstandsverandering nodig is (bijvoorbeeld ten gevolge van speciestortingen in de directe omgeving van een schor of slik), kan er verlanding optreden. Zoals beschreven in het basisrapport Slibdynamiek is er in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde voldoende slib voorhanden om een relatieve stijging van de waterstanden van 1 centimeter per jaar bij te houden (Temmerman et al, 2004). Zand zal niet hoog op de schorren terecht komen. Zand kan wel de geulen verstoppen en daarmee negatief werken, een effect dat redelijk goed is bestudeerd (onder andere op basis van de ervaringen met Saeftinge onder invloed van speciestortingen voor het Konijnenschor en de Marlemonsche Plaat). Verhoging in gebieden waar al vegetatie staat zal geen probleem zijn. Nieuwe aanwas of ophoging van geërodeerde locaties zal veel lastiger zijn. Overigens leidt verhoging van het schor (ook als gevolg van zeespiegelstijging) tot versteiling van de vooroever en daarmee toenemende gevoeligheid voor erosie. Ook dit legt beperkingen op aan de snelheid waarmee een schor een eventueel stijgende waterstand kan bijhouden en de maximale verhoging die kan worden bereikt.
- Veranderingen in de effecten van golfwerking. Bij het bepalen van de effecten van golfwerking kan onderscheid worden gemaakt tussen windgolven en golven die worden opgewekt door scheepsbewegingen. Over de effecten van veranderingen in golfbelasting is weinig bekend (relevant onderzoek van Paul Klaassen loopt nu). Kwalitatief kan worden vastgesteld dat toenemende golfbelasting zal leiden tot meer kans op erosie of versnelde erosie. Er is hierbij sprake van cyclisch gedrag: een schor en slik worden samen uitgebouwd onder invloed van sedimenttoevoer, waardoor versteiling optreedt. Op een gegeven moment wordt het systeem zo steil, dat de gevoeligheid voor erosie toeneemt. Een momentaan optredende gebeurtenis (storm, menselijke ingreep) kan dan aanzet zijn voor erosie (ontstaan klif) (Van de Koppel et al, 2005). Deze cyclus kan zich goed ontwikkelen als er voldoende ruimte is tussen geul en schor. Deze voor een goede ontwikkeling benodigde afstand kan dus management opties beïnvloeden: als er meer ruimte is kan na erosie ook weer sedimentatie ontstaan.

- Veranderingen in stroomsnelheden. Veranderingen in de lokale stromingscondities lijken niet direct een grote rol te spelen bij de beoordeling van de effecten van de verdieping en verbreding van de vaargeul. De stroomsnelheden in ondiepe gebieden zijn van nature laag waardoor kleine veranderingen geen grote effecten zullen hebben. Wellicht wel relevant is het effect van eventueel toenemende zuiging van scheepvaart en de hiermee samenhangende mogelijk toenemende stroomsnelheden. Dit zou lokaal tot versterkte erosie kunnen leiden als scheepvaart in de nieuw aan te leggen situatie dichter in de buurt van kwetsbare schorren en slikken vaart of met hogere snelheid vaart.
- Veranderingen in de bodemsamenstelling. Cruciale factor bij de ontwikkeling van gezonde ecosystemen is het slibgehalte in de bodem. Mogelijke veranderingen in de bodemsamenstelling kunnen dus leiden tot veranderingen in het ecosysteem en (daardoor) veranderingen in de morfologische ontwikkeling. Verdieping en verbreding van de vaargeul kan mogelijk een effect hebben op de bodemsamenstelling door verandering in dynamiek of sedimentaanbod.

Beschrijving van effecten per deelgebied of macrocel
In het navolgende wordt aan de hand van een eerste inschatting van mogelijke veranderingen in de processen (zie hierboven) bekeken of er effecten zijn te verwachten op de ligging van schorren en slikken. Opgemerkt moet worden dat de experts die tijdens de werksessie aanwezig waren hebben vastgesteld dat met de huidige kennis beschikbare gegevens nauwelijks kwantitatieve uitspraken zijn te doen over mogelijke effecten. Niettemin is getracht een “best estimate” te geven van een aantal effecten op een tijdshorizon korte termijn (2015) of middellange termijn (2030).

Rupelmonding tot aan Antwerpen – vak BZ128 tot BZ124
Uit de uitgevoerde analyses (met name op basis van modelberekeningen) blijkt dat de gemiddelde hoogwaterstanden in dit deel van de Zeeschelde licht kunnen veranderen als gevolg van de voorgestelde ingreep. De veranderingen zijn in de orde van 2 centimeter verhoging initieel (minder later in de tijd). De autonome ontwikkeling is 4 centimeter verhoging (netto effect van zeespiegelstijging en aanleg ontpolderingen, tegengestelde effecten, genoemde getallen hebben betrekking op de periode van 2005 tot 2030) (basisrapport Water, tabel 4.2a). We merken hier op dat deze autonome verhoging van 4 centimeter over de periode 2005-2030 (bijvoorbeeld gemiddeld 0,16 centimeter per jaar) bijzonder weinig is in vergelijking met de verhoging die in deze zone werd waargenomen in de periode 1930-2000, met name gemiddeld 0,7 tot 1 centimeter per jaar (Temmerman et al, 2004). Vooral de geplande ontpolderingen (bijvoorbeeld Hedwige-Prosperpolder) en resulterende toename in waterberging zijn hiervoor verantwoordelijk. Door afnemende stijgingsnelheid van de hoogwaterstanden zal de opslibbingsnelheid van de schorren ook dalen, maar er mag verwacht worden dat de schorren toch hoger zullen opslibben ten opzichte van de hoogwaterstanden dan voorheen. Door de sterk afnemende stijgingsnelheid van de hoogwaterstanden zullen de schorren op termijn dus minder vaak en hoog overspoeld worden, zodat er een reële kans is op toenemende verlanding en verruiging van de schorren (autonome ontwikkeling). Schorren zijn dus gebaat bij doorgaande stijging van de hoogwaterstanden, waardoor de effecten van de ingreep niet als negatief hoeven te worden beoordeeld.
Golven door toenemende scheepvaart worden in deze zone als niet relevant beschouwd, aangezien dit gebied ver bovenstrooms ligt van de zone waar de ingreep zal plaatsvinden. Geconcludeerd kan worden dat er waarschijnlijk nauwelijks of geen effecten op de ligging en omvang van de schorren in dit deel van de Zeeschelde zal optreden als gevolg van de ingreep, mede gezien het feit dat ook de zoutindringing nauwelijks verandert.

Kallo tot Deurganckdok - vakken BZ123 en 122

De gemiddelde (hoog)waterstanden in dit deel van de Beneden-Zeeschelde kunnen ongeveer 1 centimeter toenemen als gevolg van de aanleg van de verdiepte en verbrede vaargeul. Door het volstorten van de diepere delen van de Beneden-Zeeschelde kunnen de bodemschuifspanningen initieel toenemen met een factor 1,15 tot 1,30 (toename 15 tot 30 procent). Dit zou theoretisch kunnen resulteren in grotere belasting op het slik. De modelberekeningen met het slibtransportmodel geven voor dit deelgebied dat er een lichte afname is in de slibdepositie, maar dat er niettemin nog steeds een slibafzetting plaatsvindt. Dit impliceert dat er door de verruiming geen verandering in het slikareaal dient verwacht te worden.

Anderzijds is er potentieel de beschikbaarheid van zand, met name een deel van de aanlegspecie die geborgen wordt in het diepe vaargeul ter hoogte van de Boudewijnsluis, dat door resuspensie vrijkomt van de bodem. Dit zou aanleiding kunnen geven tot versterkte sedimentatie op slikken en schorren. Het is evenwel niet waarschijnlijk dat dit sediment zal worden afgezet op de hogere delen van het dwarsprofiel (slikken en schorren) omdat zand voornamelijk via bodemtransport wordt getransporteerd en derhalve niet zal opwervelen tot bodem de laagwaterlijn. Een aandachtspunt is de Ketenissepolder, een recent aangelegd schor (afgegraven buitendijks gebied). De ontwikkeling zou richting schor moeten gaan en wordt nauwgezet gevolgd door het INBO (Instituut voor Natuur en Bosonderzoek). Doorgaande intensieve monitoring is nodig om mogelijke effecten en ontwikkelingen in een vroeg stadium te kunnen herkennen.

Galgeschoor - vak BZ121

Te verwachten veranderingen in de waterstanden als gevolg van de aanleg van de verdieping (verschil tussen autonoom en projectalternatief) liggen in de orde van 1 centimeter (over 25 jaar). Dit is een verandering die met het huidige slibaanbod wel bij te houden is. Door de aanleg van de vaargeul en de zwaaikom, wordt de afstand van de vaargeul tot aan het schor aanzienlijk (25 procent) kleiner. Uit de geometrie van de nieuwe dwarsdoorsneden (in bijlage 2) en rekening houdend met het geotechnisch ondezoek dat werd uitgevoerd (zie basisrapport Baggeren en Storten) mag worden afgeleid dat ter hoogte van de zwaaizone, het onderwatertalud van de vaargeul behouden blijft. Dit impliceert dat weliswaar een deel van het ondiepwatergebied verdwijnt of ten minste versteilt, maar dat het slikareaal niet rechtstreeks wordt ingenomen door de zwaaizone . Dit leidt tot versteiling van de vooroever, wanneer hierin het ondiepwatergebied betrokken wordt, maar niet tot versteiling van de slikken.. Dit gebeurt ter plaatse van de zwaaikom, maar ook ter hoogte van de Plaat van Lillo (in iets mindere mate). Naast de versteiling van de vooroever als gevolg van de aanleg van de vaargeul en de zwaaikom, is er een bezorgdheid met betrekking tot versterkte scheepvaartbelasting op het slik. Specifiek literatuuronderzoek dienaangaande (IMDC, 2007a) illustreert dat de scheepsbelasting enerzijds bestaat uit golfwerking van voorbijvarende schepen en anderzijds uit schroefwerking van sleepboten tijdens het zwaaimanoeuver van een schip dat op dat moment geen scheepsgolven veroorzaakt. In het beschouwde gebied mag worden aangenomen dat de containerschepen varen met een snelheid die beduidend lager ligt dan 10 knopen (orde 4 tot 5 knopen). Van Torre (2004) geeft aan in onderzoek met betrekking tot de invloed van scheepvaartverkeer dat voor containerschepen van 8000 TEU de scheepsgolven beperkt zijn in hoogte. Deze golfhoogte neemt af met de afstand ten opzichte van het schip. Gezien de verbreding van de vaargeul, zal de afname ter hoogte van de slikken en schorren in de toekomst enigermate beperkter zijn dan in de huidige toestand. Tenslotte wordt erop gewezen dat er in 2030 een vermindering van het aantal schepen wordt verwacht, zoals beschreven in de Actualisatie strategisch milieueffectenrapport. Dit alles kan leiden tot enige erosie van het slik (0 – 10 procent, zeer grote onzekerheden), zoals ook in het verleden is waargenomen na eerdere ingrepen (INBO, 2007).

De effecten op het hoger gelegen Galgeschoor zijn waarschijnlijk beperkt omdat het schor wordt verdedigd door een zware steenbestorting van meer dan 2 meter hoog (zie figuur 5-2). In situaties met hoge waterstanden waarbij de verdediging diep is ondergelopen, zodat golven niet geheel breken, kan er sprake zijn van enige versterkte golfbelasting op de schorrand. De golfwerking als gevolg van scheepvaartbewegingen zal waarschijnlijk toenemen door de aanwezigheid van de zwaaizone (boeg- en hekschroeven, activiteiten van sleepboten).



Figuur 5.2: *Links: Schorrandverdediging Galgeschoor ter hoogte van de zwaaizone (foto's Mindert de Vries. Rechts: Hoogteverschil schor en slik. Let op de hoogte van de verdediging, vergelijk met lengte personen.*

Uit een analyse tijdens de werksessie (met name op basis van satellietopnamen, foto's en luchtopnamen op video) en uit een analyse van historische ontwikkelingen (INBO, 2007) komt naar voren dat het Galgeschoor in ontwikkeling beperkt lijkt te worden door golfenergie op de klifranden. Afname van de afstand tot de diepe geul zou verdere toenemende erosie tot gevolg kunnen hebben. Tijdens het uitgevoerde veldbezoek werd overigens wel duidelijk dat de aangebrachte verdediging effectief lijkt te zijn, dat scheepvaartgolven het schor nauwelijks bereiken en dat de te verwachten effecten daarom waarschijnlijk klein zijn (afname areaal Galgeschoor 0 tot 5 procent, zeer grote onzekerheden). Overigens is tijdens het veldbezoek maar een klein deel van het schor bezocht. Uit veldwaarnemingen die zijn gerapporteerd in INBO (2007) komt naar voren dat op andere locaties wel degelijk sprake is van erosie. Verondersteld wordt dat de steenbestorting daar juist een negatieve rol speelt door grotere turbulentie (INBO, 2007).

Zandvliet met inbegrip van het Paardenschor – vak BZ120

De te verwachten verschillen in de waterstanden (hoogwater) tussen het nulalternatief en projectvarianten bedraagt orde 1 centimeter in 2015 en 2030. De autonome ontwikkeling is naar verwachting 9 centimeter (basisrapport Water, tabel 4.2a). Samen met de waarneming dat voldoende sediment aanwezig is om een waterstandverhoging van 1 centimeter per jaar bij te houden, kan geconcludeerd worden dat er geen significante effecten (verdrinken of verlanden ten gevolge van waterstandveranderingen) te verwachten zijn op dit punt. Door de ontpoldering van de Hertogin Hedwigepolder en de Prosperpolder zullen er geulen worden aangelegd, verbreed of ontstaan doorheen het Paardenschor (autonome ontwikkeling). Dit gaat vrijwel zeker ten koste van een klein deel van het huidige schor. Daarnaast zal er in de toekomst (net als in de huidige situatie) sediment worden gestort in de Schaar van Ouden Doel. Deze stortingen worden overigens gecompenseerd door even grote zandwinning. De aanleg en het onderhoud van de verdiepte en verbrede vaargeul zal extra stortingen en onttrekkingen tot gevolg hebben.

Het is belangrijk dat in dit opzicht er geen grote wijzigingen in de bodemligging optreden, wat impliceert dat de zandwinning en de zandstortingen op elkaar afgestemd dienen te blijven, zodat er geen grote transporten van zand naar de uitwisselingsgeulen tussen de Schelde en de ontpolderde gebieden moet worden verwacht. Onderzoek inzake de te verwachten turbiditeit (zie basisrapport Slibdynamiek) geeft aan dat door de aanleg van de vaargeul er globaal geen sterke verschillen in slibconcentratie en turbiditeit te verwachten zijn en bevestigt verder dat tijdens het baggeren, zoals dit thans al gebeurt, er tijdelijk en lokaal een verhoogde slibconcentratie in de vaargeul is te verwachten in de orde van 50mg/l. Gezien de locatie dicht in de buurt van het troebelheidsmaximum (turbiditeit is al erg hoog) ligt het niet voor de hand dat daardoor extra effecten zullen optreden op slikken en schorren. De schorrand van het Paardenschor lijkt erosief te zijn. Delen ervan zijn beschermd door stortsteen, aanliggend aan de schorrand, zoals blijkt op basis van een analyse van videobeelden en satellietwaarnemingen). Aangenomen mag worden dat door de toenemende belasting, die evenwel kleiner zal zijn dan in het galgenschoor gezien de ligging achter de leidam van Doel, versterkte erosie op zal treden (afname schorareaal 0 tot 2,5 procent, zeer grote onzekerheden).

Westerschelde

In de Westerschelde is weinig of geen directe invloed van waterstandveranderingen te verwachten (de voorspelde waterstandveranderingen zijn nihil). Toenemende golfbelasting door langsvarende scheepvaart kan van invloed zijn op schorren die dicht in de buurt van de vaargeul liggen (Hellegatspolder, Baalhoek). Kwantificering van dit effect is op basis van de huidige kennis en gegevens nauwelijks mogelijk, doch naar verwachting is er door de verruiming geen directe areaalafname van de schorren in de Westerschelde te verwachten.
Storting van aanleg- en onderhoudsspecie in de buurt van slikken en schorren zou met name nabij de Hellegatspolder kunnen leiden tot veranderingen in de beschikbaarheid van sediment voor slik- en schoropbouw. Recht voor het slik (de Platen van Hulst) wordt langsheen de rand van het vaarwater een grote hoeveelheid sediment gestort (3 – 4 miljoen m3) voor het onderhoud van de vaargeul. Een scenario als bij Saeftinge in de jaren negentig (te grote toevoer van sediment naar het slik/schorgebieden mogelijke verstopping van de geulen) is in dit geval minder waarschijnlijk. Dit kan verklaard worden doordat in het beschouwde gebied er slechts korte geultjes zijn en niet een aantal hoofdgeulen die een volledig gebied dienen te bevloeien en ontwateren (komberging) zoals in Saeftinge. Hierdoor is de vrees voor het meevoeren van grote hoeveelheden zand ongegrond al is een enigermate versterkte toevoer van (relatief grof) sediment zeker niet uit te sluiten. Mogelijk is er hier ook een positief effect op de schorontwikkeling te verwachten : door de toevoer van sediment kan het kleine schor wellicht sneller uitbreiden (hetgeen op deze locatie dan wel onvermijdelijk ten koste gaat van het areaal slikken). Kwantificering van dit lokale effect is op basis van de huidige kennis en gegevens niet goed mogelijk.

Vertaling naar arealen

De hierboven gepresenteerde resultaten zijn voor het doel van de huidige milieueffectrapportstudie vertaald naar arealen. Deze arealen zijn eerder in de studie bepaald aan de hand van modelberekeningen. Geconstateerd kan worden dat de opzet van deze modelberekeningen (het resultaat van een specifieke combinatie van modelopzet, keuze van randvoorwaarden, beschikbaarheid van bodemgegevens en de beschikbare procesbeschrijvingen) zich minder goed leent voor het beschrijven van de morfologische ontwikkeling van hoog gelegen schorren en slikken. Zo wordt bijvoorbeeld de invloed van ecologie op sedimentatie en erosie niet meegenomen in de modellering en wordt niet specifiek aandacht besteed aan de morfologische invloed van slibafzettingen (twee processen die juist op slikken en schorren een belangrijke rol spelen).

Om deze reden zijn de modelresultaten aan de hand van de resultaten van de expertsessie slik- en schorontwikkeling op de volgende manier vertaald naar arealen:

- De areaalveranderingen als gevolg van de aanleg, zeker voor het alternatief met de plaatrandstortingen, worden berekend in het hydrodynamische model voor elk referentiejaar.
- Daar waar de modelberekeningen een negatieve ontwikkeling van het schorareaal voorspelden in de autonome situatie, is die ontwikkeling op 0 gezet (constant areaal: de schorren volgen de waterstandveranderingen). Dit omdat het model ophoging onder invloed van sedimentaanvoer niet kan simuleren en op basis van de waarneming dat er voldoende sediment aanwezig is in het estuarium om een matige stijging van de zeespiegel bij te houden.
- De te verwachten effecten op de arealen in de verschillende deelgebieden worden in het natuurrapport aan de hand van de hierboven genoemde getallen (en op basis van de hierboven genoemde motivatie) aangepast.

6 Zandwinning

6.1 Inleiding

Zandwinning is een belangrijk element dat ingrijpt op het morfologische systeem en interacteert met het terugstorten van baggerspecie. Om meer inzicht te verkrijgen in het effect van zandwinning op het systeem zijn de volgende twee (extreme) simulaties uitgevoerd:

- Een scenario zonder zandwinning
- Een scenario met dubbele zandwinning

In de volgende analyse worden de resultaten hiervan vergeleken met die van het huidige zandwinningsbeleid (in dit geval toegepast op projectalternatief Nevengeul). Het huidige zandwinbeleid in de simulaties is als volgt:

- 0,20 miljoen m3/jaar in de vloedgeul van macrocel 3
- 0,33 miljoen m3/jaar in de vloedgeul van macrocel 4
- 0,50 miljoen m3/jaar in de vloedgeul van macrocel 5
- 0,84 miljoen m3/jaar in de ebgeul van macrocel 5
- 1,40 miljoen m3/jaar in het gebied tussen de Nederlands-Belgische grens en het Deurgangckdock

In totaal wordt er in het scenario met de huidige zandwinning in de Westerschelde 1,9 miljoen m3/jaar zand gewonnen. In het scenario zonder zandwinning wordt de zandwinning op 0 gesteld, in de simulatie met dubbele zandwinning zijn bovengenoemde zandwinhoeveelheden per macrocel verdubbeld en wordt er in totaal 3,8 miljoen m3/jaar gewonnen in de Westerschelde. In totaal wordt er in het scenario met de huidige zandwinning gedurende de eerste vijf jaar in de Beneden-Zeeschelde 1,8 miljoen m3/jaar zand gewonnen. In de simulaties is de totale baggerhoeveelheid als zandwinning beschouwd (de baggerhoeveelheden worden gestort in de Schaar van Ouden Doel en vervolgens wordt dit weer gewonnen, zodat er netto niets wordt gestort). Dit is ook het geval in de alternatieven zonder en met dubbele zandwinning aangezien de geul/sectie in de Schaar van Ouden Doel snel zal degeneren en tot onrealistische resultaten leidt als het gestorte sediment ook niet gewonnen wordt. Voor de Beneden-Zeeschelde zijn derhalve alle scenario's aan elkaar gelijk.

In de volgende paragraven worden eerst de bagger en storthoeveelheden besproken. Daarna worden de simulaties beoordeeld op basis van het stortcriterium, verhouding tussen de gemiddelde diepte van de grote eb- en vloedgeulen (kantelindex), vóórkomen van kortsluitgeulen (de verhangindicator geeft een beeld van de potentiële aanwezigheid van kortsluitgeulen) en de zandhuishouding.

6.2 Resultaten

6.2.1 Stortcriterium

De zandwinning in het huidige beleid is circa 1,9 miljoen m^3/j en vindt plaats in macrocellen 3, 4 en 5. Uit tabel 6.1 blijkt dat in het scenario zonder zandwinning het baggeronderhoudsvolume toeneemt in macrocellen 4 en 5. In het scenario met dubbele zandwinning neemt het juist af in deze cellen. Het stopzetten van de winning heeft een beperkt effect op het totale onderhoudsvolume: als er 1,9 miljoen m^3/j minder wordt gewonnen (zandwinning is 0) wordt er slechts 0,6 miljoen m^3/j meer gebaggerd.

Baggeren			
Macrocel	P4N	Zandwinning 0	Zandwinning dubbel
1	0,1	0,1	0,1
3	2,1	2,0	2,1
4	2,3	2,4	2,2
5	4,6	5,1	4,2
6	2,1	2,1	2,1
7	1,3	1,3	1,3
Totaal	12,4	13,0	11,9

***Tabel 6.1**: Baggerhoeveelheden per macrocel voor de zandwinalternatieven (resultaten van Delft3D-simulaties).*

De toe/afname van de baggervolumes komt ook tot uiting in de stortcijfers (zie tabel 6.2). Let wel: Voor deze simulaties is overigens de stortstrategie van P4N is hiervoor als uitgangspunt gebruikt.

Storten

Macrocel	geul		P4N	Zandwinning 0	Zandwinning dubbel
1	vaargeul	eg			
	nevengeul	vg	1,3	1,3	1,3
	hoogeplaten1	pr			
	hoogeplaten3	pr			
3	vaargeul	eg			
	nevengeul	vg	1,6	1,7	1,6
4	vaargeul	vg	3,8	4,1	3,5
	nevengeul	eg	0,5	0,5	0,4
	rugvbaarland	pr			
5	vaargeul	eg	0,9	1,0	0,8
	nevengeul	vg	2,3	2,4	2,2
	walsoorden	pr			
6	vaargeul	eg	1,1	1,1	1,1
	nevengeul	vg	0,4	0,4	0,4
7	vaargeul	eg	0,5	0,5	0,5
Totaal			12,4	13,0	11,9

***Tabel 6.2:** Storthoeveelheden per macrocel voor de zandwinalternatieven (resultaten van Delft3D-simulaties).*

Uit tabel 6.2 is af te leiden dat hogere baggervolumes leiden tot grotere stortvolumes in macrocellen 3, 4 en 5 en vice versa. De stortvolumes beïnvloeden ook rechtstreeks de netto ingreep (storthoeveelheden min de baggerhoeveelheden en zandwinning).

Netto Ingreep

Macrocel	Geul		P4N	Zandwinning 0	Zandwinning dubbel	Max Sc
1	Vaargeul	eg	-0,1	-0,1	-0,1	
	nevengeul	vg	1,3	1,3	1,3	1,7
3	Vaargeul	eg	-2,1	-2,0	-2,1	
	nevengeul	vg	1,4	1,7	1,2	1,5
4	Vaargeul	vg	1,2	1,7	0,6	3,3
	nevengeul	eg	0,5	0,5	0,4	0
5	Vaargeul	eg	-4,5	-4,1	-5,0	
	nevengeul	vg	1,8	2,4	1,2	1,5
6	Vaargeul	eg	-0,9	-1,0	-0,9	
	nevengeul	vg	0,4	0,4	0,4	0,5
7	Vaargeul	eg	-0,8	-0,8	-0,8	0,5
Totaal			-1,9	0,0	-3,7	9,0

Tabel 6.3: *Netto ingreep per macrocel (resultaten van Delft3D-simulaties) in vergelijking met het stortcriterium.*

Tabel 6.3 laat zien dat in het scenario zonder zandwinning het stortcriterium beperkt wordt overschreden in de nevengeulen van macrocellen 3,4 en 5 (de rode cijfers). Met dubbele zandwinning is er meer ruimte om te storten en wordt beter voldaan aan het stortcriterium.

6.2.2 Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator

In appendix N is voor beide scenario's de diepteontwikkeling, kantelindex en verhangindicator gegeven. Het stopzetten van de zandwinning geeft in de vloedgeulen van macrocel 3 en 5 een relatieve verondieping, doordat er geen zand meer uit deze geulen gewonnen wordt. Dit leidt met name in macrocel 5 tot een vergroting van de kantelindex en verhangindicator. In macrocel 4 daarentegen wordt de verondieping in de vloedgeul (vaargeul voor deze macrocel) waargenomen, omdat hier de zandwinning plaatsvindt. In dit geval heeft het afbouwen van de zandwinning een positief effect op de kantelindex en de verhangindicator.

6.2.3 Zandhuishouding

Uit de simulaties met Delft3D blijkt dat een verandering van zandwinning een gering effect heeft op de baggerhoeveelheden. Deze effecten op de bagger- en storthoeveelheden betekenen een interne herverdeling van sediment is (dit in tegenstelling tot zandwinning, waarbij het sediment uit het systeem verwijderd wordt). Met het Estmorf model is de zandhuishouding voor de periode 2008-2030 doorgerekend voor het scenario zonder zandwinning en het scenario met dubbele zandwinning. Hierbij zijn de baggerhoeveelheden niet aangepast (bijvoorbeeld gelijk aan het projectalternatief Nevengeul P4N gehouden) om het effect van enkel wijzigen zandwinning te isoleren.

Ongeveer 72 procent van de zandwinning vindt plaats in macrocel 5. De grootste effecten van het stopzetten en verdubbelen van de zandwinning zijn dus in deze macrocel te verwachten. In het westelijke deel vindt ongeveer 10 procent van de totale zandwinning plaats en de effecten zullen daar dus in eerste instantie gering zijn. In appendix O staan de berekende zandhuishouding voor het scenario zonder zandwinning (figuur O.1) en het scenario met dubbele zandhuishouding (figuur O.2).

Uit de modelsimulaties met Estmorf blijkt dat de macrocellen 3, 4 en vooral 5 minder verruimen in het scenario zonder zandwinning en meer verdiepen in het scenario met dubbele zandwinning (in vergelijking met het projectalternatief Nevengeul met het huidige zandwinbeleid). Voor de overige macrocellen en de Beneden-Zeeschelde treden er geen tot nauwelijks effecten op. In het scenario zonder zandwinning neemt de verruiming voor de gehele Westerschelde met 40 miljoen m^3 minder af, ofwel 1,8 miljoen m^3/jaar gedurende 22 jaar (en is daarmee bijna gelijk aan de zandwinning van 1,9 miljoen m^3/jaar). Dit geeft al aan, dat de transporten over de grenzen van de Westerschelde niet veel veranderen. Het netto transport naar de monding neemt af met 0,03 miljoen m^3/jaar. Het netto transport richting de Beneden-Zeeschelde neemt toe met 0,03 miljoen m^3/jaar. Het netto resultaat voor de Westerschelde is dus een netto transport over de grenzen van 0,0 miljoen m^3/jaar. Geconcludeerd kan worden, dat het stopzetten van de zandwinning dus nauwelijks effect heeft op dit transport. Dit is onder meer het gevolg van het feit, dat de zandwinning vooral in het centrale deel van de Westerschelde plaatsvindt. Veranderingen hierin hebben nauwelijks effect op de netto transporten ter plaatse van de randen (op een tijdschaal van 22 jaar). Wel lijken de effecten van het stopzetten van de zandwinning aan het einde van de beschouwde periode wat toe te nemen, zodat op de langere termijn de transporten over de grenzen wel meer beïnvloedt zal worden, zie Figuur O.3. De afname van het transport naar de monding na stopzetten van de zandwinning wordt mede bepaald door effecten op de waterbeweging. Stopzetten van de zandwinning leidt tot een geringere getijbeweging (zowel vertikaal als horizontaal). Dit heeft tot gevolg dat geulen minder gaan verruimen dan voorheen en dus tot een relatieve afname van de export.

Voor het scenario met dubbele zandwinning neemt het netto transport naar de monding toe met 0,03 miljoen m^3/jaar. Het netto transport richting de Beneden-Zeeschelde neemt af met 0,03 miljoen m^3/jaar. Het resultaat voor de Westerschelde is dus een netto transport van 0,0 miljoen m^3/jaar. Ook hiervoor wordt geconcludeerd dat het verdubbelen van de zandwinning op de beschouwde termijn van 22 jaar een aanzienlijk effect heeft op het totale zandverlies (70 procent van het totale zandverlies is zandwinning) nauwelijks effect heeft op de zandhuishouding. Hier geldt dat door de toename van zandwinning de getijbeweging toeneemt. Aanvullend op deze twee scenario's is met Estmorf een derde scenario bekeken waarbij alle zandwinning geconcentreerd in macrocel 1 plaats vindt. De verwachting hierbij is dat door de zandwinning te concentreren in macrocel 1 plaatselijk, nabij de rand, zandhonger te creëren, waardoor het transport naar de monding zal afnemen. Ten opzichte van het projectalternatief Nevengeul P4N met het huidige zandwinbeleid neemt het netto transport naar de Beneden-Zeeschelde toe met 0,03 miljoen m^3/jaar (zoals bij de situatie zonder zandwinning). Het transport naar de monding neemt echter af met 0,7 miljoen m3/jaar. De volledige zandwinning in macrocel 1 leidt dus tot een afname van de export; omgekeerd zal een verplaatsing van de zandwinning van west naar oost hebben geleid tot een toename van de export. De concentratie van alle zandwinning in de vloedgeul van macrocel 1 is overigens een 'extreme' variant. Door de zandwinning in macrocel 1 te concentreren neemt de (horizontale) getijbeweging af. Deze afname zal in principe de import hebben bevorderd.

6.3 Conclusies

- De afbouw van zandwinning leidt slechts tot een beperkte toename van het baggerbezwaar.
- De afbouw van zandwinning leidt ertoe dat er netto per jaar minder stortruimte beschikbaar is in de Nevengeulen. Bij de in de projectalternatieven toegepaste stortstrategie zal het stortcriterium meer overschreden worden of moet er meer gestort worden in de hoofdgeul. Overschrijding van het stortcriterium en de toename van de kantelindex voor een aantal nevengeulen geeft aan dat het natuurlijke systeem door de afbouw van zandwinning bij de stortstrategie afgeleid voor de projectalternatieven in toenemende mate onder druk kan komen te staan. Intensieve monitoring tezamen met flexibel inspelen op morfologische ontwikkelen zijn in geval van overschrijding cruciaal om aantasting van het systeem te voorkomen. Bij afbouw van zandwinning moet bekeken worden of de stortstrategie voor de projectalternatieven in deze Milieueffectrapportage optimaal zijn.
- Zandwinning heeft een aanzienlijk effect op het totale zandverlies van de Westerschelde. Recente waarnemingen tonen een totaal zandverlies van 4,2 miljoen m3/jaar bij een zandwinning van 1,9 miljoen m3/jaar. Afbouw van zandwinning leidt tot een afname in zandverlies die van dezelfde grootte is als de zandwinning. Toename van zandwinning leidt tot een toename in het zandverlies.
- Afbouwen van zandwinning resulteert (bij de in deze studie toegepaste stortstrategie) in een geringe afname van het transport richting de monding en een toename van het transport richting de Beneden-Zeeschelde (hetgeen elkaar opheft). De af-/toename in transport over de grenzen is zeer minimaal (0,03 miljoen m3/jaar) in vergelijking met de afname van het totale zandverlies (1,8 miljoen m3/jaar).
- Verdubbelen van zandwinning resulteert (bij de in deze studie toegepaste stortstrategie) in een geringe toename van het transport richting de monding en een afname van het transport richting de Beneden-Zeeschelde (hetgeen elkaar opheft). De af-/toename in transport over de grenzen is zeer minimaal (0,03 miljoen m3/jaar) in vergelijking met de toename van het totale zandverlies (1,8 miljoen m3/jaar).

7 Morfologische effecten van de vaargeulverruiming

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten van de verruiming van de vaarroute van zee naar Antwerpen beschouwd. Deze ingreep bestaat uit een tweetal sterk samenhangende maatregelen: een initiële verruiming (verdieping en verbreding van de vaargeul tot een getij-onafhankelijke diepgang van 13,10 meter en aanleg van een zwaaizone in de Beneden-Zeeschelde) en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul en de zwaaizone op de gewenste breedte en diepte. Beide maatregelen gaan gepaard met het baggeren en terugstorten van relatief grote hoeveelheden sediment.

De analyse zoals in dit hoofdstuk wordt gepresenteerd rust op twee belangrijke pijlers: het inzicht in het functioneren van het morfologische systeem van het Scheldebekken (zoals vastgelegd in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium) en de resultaten van de uitgebreide modelexercities die in de voorafgaande hoofdstukken zijn gepresenteerd. Juist de interactie tussen deze systeemkennis (waarvan een deskundigenoordeel over de te verwachten effecten van de vaargeulverdieping een onderdeel is) en modelberekeningen heeft geleid tot de inzichten die in het navolgende zijn opgenomen.

Beoordeling van de morfologische effecten van deze vaargeulverruiming zal in dit hoofdstuk plaatsvinden aan de hand van het beoordelingskader dat voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde is opgesteld. In dit beoordelingskader is een aantal hoofdcriteria opgenomen aan de hand waarvan de beoordeling voor de discipline morfologie zal plaatsvinden: de stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde, de bergingscapaciteit voor baggerspecie in de verschillende deelgebieden (macrocellen) en de zandhuishouding van het Scheldebekken (Westerschelde en Beneden-Zeeschelde). Aangezien er in de Beneden-Zeeschelde geen sprake is van een meergeulensysteem is er voor dit gebied ingezoomd op de stabiliteit van schorren en de stabiliteit van putten in de vaargeul (die in het projectalternatief volgestort is met aanlegbaggerspecie). Naast de in het beoordelingskader genoemde hoofdcriteria zal ook aandacht worden geschonken aan de voorspelling van de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk dat zal worden uitgevoerd in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde.

Zoals in de voorafgaande hoofdstukken is toegelicht, is voor het uitvoeren van de morfologische effectbeoordeling een aantal projectalternatieven bekeken. Deze alternatieven onderscheiden zich van elkaar door het wel of niet verruimen (nulalternatief en nulplusalternatief zonder verruiming versus projectalternatief min en projectalternatief met verruiming) en de manier waarop wordt omgegaan met de onderhoudsbaggerspecie (nulalternatief en projectalternatief min met de huidige stortstrategie versus nulplusalternatief en projectalternatief met een geoptimaliseerde stortstrategie). Door de verschillende alternatieven consequent met elkaar te vergelijken kan het effect van de verdieping zo veel mogelijk worden losgekoppeld van het effect van een aanpassing van de stortstrategie van onderhoudsbaggerspecie. Deze vergelijking geeft inzicht in de mate van interactie tussen de vaargeulverruiming en de stortstrategie voor onderhoudsbaggerspecie: is het totale effect een optelsom van deeleffecten of is er sprake van versterking dan wel verzwakking van effecten waardoor een slimme combinatie van verruiming en storten van onderhoudsspecie mogelijk is?

Bij de ontwikkeling van het projectalternatief zijn een aantal varianten geanalyseerd. Deze varianten onderscheiden zich primair door de manier waarop de aanlegbaggerspecie wordt gestort in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde en secundair door de wijze waarop het storten van de onderhoudsspecie is geoptimaliseerd.

7.2 Te verwachten omvang van het onderhoudsbaggerwerk

In de Westerschelde is de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk in de loop van de tijd sinds de jaren veertig sterk toegenomen als gevolg van de opeenvolgende verruimingen van de vaargeul. Opmerkelijk is dat na de eerste en tweede grote verruimingen (respectievelijk in de eerste helft van de jaren zeventig en de tweede helft van de jaren negentig) volgens de waarnemingen de initieel zeer hoge baggercijfers in enkele jaren afnamen tot een omvang die slechts beperkt hoger is dan voor de verdieping. Deze baggerhoeveelheden betreffen veelal zowel aanleg- als onderhoudsbaggerwerkzaamheden. Hierdoor is het effect van aanleg op onderhoudsbaggervolumina moeilijk aan te geven. Met name op de drempels lijkt de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk na een verdieping in enkele jaren af te nemen (zie achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, paragraaf 2.5.2). Geconstateerd wordt dat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk in 2005 in de Westerschelde ongeveer 6,5 miljoen m^3 omvatte, niet zeer veel hoger dan de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk aan het einde van de jaren zestig, voorafgaand aan de eerste grote verdieping. De oorzaken van de waargenomen afname zijn niet goed bekend. Wellicht dat voor de drempels in de Westerschelde aanpassing aan een nieuwe evenwichtssituatie een rol speelt. Overigens is uit deze waarnemingen niet zonder meer af te leiden dat een dergelijke afname van initieel hoge onderhoudscijfers ook na de komende, derde grote verruiming zal optreden. Het is mogelijk dat nog andere factoren hierbij een rol spelen. In dit verband is het tevens van belang te wijzen op de mening van sommige experts die het werk aan de huidige studie hebben beoordeeld. Zij zijn van mening dat de waargenomen afname van de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk op de drempels (overigens samen met andere tot dusver onvoldoende verklaarde waarnemingen) kan duiden op nog onbegrepen en dus onvoorspelbaar gedrag van de Westerschelde.

In de Beneden-Zeeschelde is een vergelijkbare afname van de omvang van de baggerhoeveelheden minder goed herkenbaar. Vanaf de jaren tachtig tot aan 2005 is de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk toegenomen van ongeveer 2,5 miljoen m^3 tot aan 3,5 miljoen m^3, met een kleine afname in de eerste helft van de jaren negentig (zie achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, paragraaf 2.5.3). Opgemerkt moet worden dat het onderhoudsbaggerwerk in de Beneden-Zeeschelde een aanzienlijk deel slib omvat, veel meer dan in de Westerschelde. De hoeveelheid gebaggerd zand neemt af van ruim 2 miljoen m^3 in 1990 tot ongeveer 1 miljoen m^3 in 2004.

Met behulp van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses en met inachtneming van het bovenstaande, wordt voorspeld dat de omvang van het onderhoudsbaggerwerk na de nu voorgestelde, derde verruiming in de Westerschelde zal toenemen met een factor 1,5 tot 1,9 en in de Beneden-Zeeschelde met een factor 1,2. De variatie in de toename van de onderhoudshoeveelheden in de Westerschelde hangt samen met de te kiezen stortstrategie: de kleinste toename is te verwachten bij voortzetting van de stortstrategie zoals sinds 2006 wordt gehanteerd (projectalternatief min), een iets grotere toename kan worden verwacht bij toepassing van een vanuit het morfologisch beoordelingskader geoptimaliseerde stortstrategie (projectalternatief Nevengeul en projectalternatief Plaatrand, met echter minder risico's voor de stabiliteit van het meergeulenstelsel.

Geconstateerd wordt, dat deze voorspelde toename in de onderhoudsbaggerhoeveelheden voor de Westerschelde aanzienlijk groter is dan wat eerder in het strategische milieueffectenrapport werd voorspeld. De verschillen tussen beide studies kunnen zowel samenhangen met de lage waargenomen onderhoudscijfers in de laatste jaren (niet meegenomen in het Strategisch Milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010, de absolute omvang van de voorspelde toekomstige baggerhoeveelheden is wel vergelijkbaar) als met de verbeterde methode waarmee in de huidige studie de voorspellingen zijn uitgevoerd (waarbij naar het onderhoud van de gehele vaargeul is gekeken, niet alleen naar het onderhoud op de drempels zoals in het Strategisch Milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010 het strategische milieueffectenrapport het geval was). Zie voor een uitgebreide analyse van de verschillen tussen beide studies Appendix E.

7.3 Effecten op de zandhuishouding

Op lange termijn (meer dan tientallen jaren), wordt de stabiliteit van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde mede bepaald door het totale volume zand en slib dat aanwezig is in het estuarium. Een afname van dit sedimentvolume zal resulteren in mogelijk verdrinking (toename van de gemiddelde diepte) van het Schelde-estuarium, terwijl een doorgaande toename zal leiden tot verondieping en mogelijke verlanding. Deze ontwikkelingen worden ook beïnvloed door zeespiegelstijging: een stijgende zeespiegel leidt eveneens tot vergroting van de gemiddelde diepte (verdrinking) als de bodem van het estuarium het stijgende water niet kan bijhouden. Voor een stabiel estuarium is bij stijging van de zeespiegel dus structurele import van sediment noodzakelijk. Zowel verdrinking als verlanding worden in de Langetermijnvisie Schelde-estuarium als ongewenst betiteld omdat ze bedreigend zijn voor de instandhouding van de fysieke systeemkenmerken van het estuarium. Verandering van het sedimentvolume kan worden veroorzaakt door netto onttrekking van sediment (bijvoorbeeld ten behoeve van zandwinning) of transport van sediment (door natuurlijke of menselijke oorzaken) over de boven- en benedenstroomse randen van het estuarium. De verhouding tussen deze onttrekkingen en natuurlijke transporten wordt beschreven in een zandbalans.

In het verleden zijn veranderingen opgetreden in deze zandbalans van het Schelde-estuarium. Eerder uitgevoerd onderzoek (samengevat in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, zie onder andere paragraaf 2.11) toont aan dat sinds de jaren vijftig (maar vooral sinds 1985) de natuurlijke import van sediment in de Westerschelde is afgenomen. In de jaren negentig heeft er zelfs een omslag plaatsgevonden naar export van sediment uit de Westerschelde. Samen met de doorgaande zandwinning in de Westerschelde leidt dit tot verruiming van het estuarium (achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium). Mogelijke oorzaken van deze veranderingen in de zandbalans worden gezocht in natuurlijke reactie van het estuarium op menselijke ingrepen als inpolderingen, ontpolderingen, zandwinning, baggeren en storten, maar ook op natuurlijke fluctuaties van de getijdebeweging zoals de 18,6 jarige cyclus (achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium, paragraaf 3.4). Overigens is de exacte bijdrage van deze mogelijke oorzaken niet geheel bekend en is het mogelijk dat nog andere (wellicht zelfs onbekende) aspecten een rol spelen.

Voor de huidige milieueffectrapport studie is geëvalueerd in hoeverre de voorgestelde verdieping en de daarmee samenhangende stortingen van aanleg- en onderhoudsbaggerspecie van invloed zijn op de zandhuishouding van het estuarium. Hierbij is niet alleen gekeken naar de totale volumeverandering van het estuarium, maar ook naar de veranderingen per macrocel en het verloop in de tijd van de veranderingen. Uit de uitgevoerde analyses is gebleken dat er een relatie ligt tussen de verdeling van de storthoeveelheden en de grootschalige zandbalans van de Westerschelde: naarmate er dichter bij de zeewaartse rand of dichter bij de Nederlands – Belgische grens wordt gestort, nemen de transporten over de randen van de Westerschelde aanvankelijk toe.

De gevolgen voor de grootschalige zandbalans van het estuarium zijn op deze manier afhankelijk van de gekozen stortstrategie, naast uiteraard de zandwinning.

De onderzochte stortstrategieën onderscheiden zich van elkaar door de manier waarop de stortspecie over het estuarium wordt verdeeld. In de huidige situatie en het projectalternatief Min (zonder geoptimaliseerde stortstrategie) wordt relatief veel specie in macrocellen 3 en 4 gestort. In de geoptimaliseerde strategieën (zowel voor de stortingen in de nevengeulen als op de plaatranden) wordt de specie meer over het estuarium verspreid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van alle macrocellen, ook de dichter bij de zeewaartse rand en de Nederlands – Belgische grens gelegen cellen. Dit leidt in eerste instantie tot een licht toenemend verlies van specie uit deze cellen over de randen van de Westerschelde. Echter, door de grotere spreiding van de baggerspecie over de Westerschelde, zijn de natuurlijke sedimenttransporten bij de geoptimaliseerde stortstrategie over een groter gebied oostwaarts gericht dan wanneer van de huidige stortstrategie gebruik wordt gemaakt. Op langere termijn is de verwachting dat dit dan ook in een vermindering van het zandverlies over de zeewaartse rand van de Westerschelde (niet geoptimaliseerde strategie vs geoptimaliseerde strategie).

Op basis van de uitgevoerde analyses wordt voorspeld dat in alle alternatieven export optreedt (voortzetting van de huidig waargenomen trend). De effecten van de projectalternatieven Plaatrand en Nevengeul ten opzichte van de autonome ontwikkeling (nulalternatief) zijn minimaal.

Overigens moet worden vastgesteld dat zandwinning een belangrijke rol speelt in de zandbalans van het Scheldebekken. Door zandwinning wordt direct door menselijk handelen een hoeveelheid sediment onttrokken die van gelijke ordegrootte is als het resterende zandverlies in de Westerschelde (recente waarnemingen laten een totaal zandverlies van 4,2 miljoen m^3/jaar zien en een zandwinning van 1,9 miljoen m^3/jaar). Aanpassen van de zandwinning leidt dus direct tot aanpassing van het totale zandverlies. Aanpassen van de zandwinning leidt overigens niet onmiddellijk tot belangrijke veranderingen in het transport richting de monding en richting België, met name omdat de zandwinning in de centrale delen van de Westerschelde plaatsvindt. Er lijken wel aanwijzingen te zijn dat op langere termijn (meer dan 20 jaar) er enige verandering (afname) in natuurlijke transporten over de zeewaartse rand optreedt bij het volledig stilleggen van de zandwinning.

7.4 Evaluatie van de bergingscapaciteit van onderhoudsbaggerspecie

In het beoordelingskader voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul is het hoofdcriterium bergingscapaciteit (stortcriterium van geulen) in de Westerschelde opgenomen. Langdurige overschrijding van de het stortcriterium kan leiden tot sedimentatie en verondieping van de geul en uiteindelijk (na decennia) leiden tot degeneratie van een twee-geulensysteem naar een één-geul systeem. De bergingscapaciteit van het geulsysteem wordt in het beoordelingskader gekwantificeerd met behulp van de parameters *maximale bergingscapaciteit (stortcriterium) per geul* en *volumeveranderingen van de grote eb- en vloedgeul*.

De bergingscapaciteit van geulen (het stortcriterium) wordt in beginsel bepaald op basis van de sediment transportcapaciteit (eb- en vloedtransport) van de gehele macrocel. Bij het bepalen van de bergingscapaciteit wordt verdieping in de andere geul (al dan niet als gevolg van baggeren) in rekening gebracht. Het verloop van de volumeverandering van de geulen is eveneens van belang voor de bepaling van de bergingscapaciteit omdat in reeds eroderende geulen de bergingscapaciteit groter is terwijl in verondiepende geulen deze capaciteit juist kleiner is. Storten in de vaargeul is alleen interessant als de vaargeul van 'nature' erodeert of in de vaargeul zand wordt gewonnen.

De stortcapaciteit is dan maximaal gelijk aan deze erosie of zandwinning. Het storten in de vaargeul in alle andere situaties zal leiden tot een toename van het onderhoudsbaggerwerk. De bergingscapaciteit in deze onderhouden hoofdgeulen is dus weliswaar aanzienlijk, maar storten in de hoofdgeul resulteert in een toename van het baggerbezwaar. In de Beneden-Zeeschelde zijn geen nevengeulen aanwezig. Daarnaast wordt de zandrijke baggerspecie via zandwinning aan het systeem onttrokken. Voor de Beneden-Zeeschelde is dan ook geen bergingscapaciteit bepaald.

De huidige totale bergingscapaciteit in de Westerschelde is bepaald op maximaal 9 miljoen m^3/jaar (Appendix A). Zandwinning in de geulen waar wordt gestort, vergroot de absolute bergingscapaciteit van deze geulen met het volume van de zandwinning. De huidige zandwinning bedraagt 0,7 miljoen m^3/jaar in de nevengeulen.

Met behulp van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses wordt voorspeld dat door het aanpassen van de huidige stortstrategie de overschrijding van het stortcriterium afneemt (nulplusalternatief). Voor de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul wordt voorspeld dat de baggerhoeveelheden toenemen (zie paragraaf 7.2). De totale storthoeveelheid zal daardoor de totale bergingscapaciteit in de nevengeulen benaderen dan wel overschrijden. Bij het toepassen van de huidige stortstrategie na verruiming wordt het stortcriterium aanzienlijk overschreden (projectalternatief min). Door het aanpassen van de stortstrategie en/of meer storten in de vaargeul (hetgeen resulteert in een toename van de baggerhoeveelheid) is de overschrijding beperkt (projectalternatief Plaatrand en projectalternatief Nevengeul). Ten opzichte van de autonome ontwikkeling (Nulalternatief) neemt de overschrijding weliswaar af, maar wordt in meer macrocellen het stortcriterium benaderd. De toename in storthoeveelheid en het aanpassen van de stortstrategie heeft effect op het verloop van de volumeverandering van de geulen en daarmee de toekomstige bergingscapaciteit.

In het verleden werd baggerspecie volledig teruggestort in geulen. Voor de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul is de mogelijkheid bekeken om baggerspecie (zowel aanleg als onderhoud) te storten op de punten van een aantal plaatcomplexen (Hooge Platen, Rug van Baarland en Plaat van Walsoorden). Het betreffen morfologisch inactieve gebieden, zodat verwacht wordt dat het sediment voor een lange periode ter plaatse geborgen zal kunnen worden. Deze stortstrategie staat in tegenstelling tot het gebruik van stortcriterium volgens het Cellenconcept, waarbij gezocht wordt naar storthoeveelheden die nog net door het systeem kunnen worden opgeruimd. In tegenstelling tot het stortcriterium betreft deze stortruimte op plaatranden een eenmalige stortruimte. Als de stortruimte volledig gebruikt is vervalt deze extra stortruimte. In dit basisrapport Morfologie is de morfologische stabiliteit van plaatrandstortingen vastgesteld (op basis van een schematisch *model*geometrie van plaatrandstortingen, in de praktijk zal de vorm enigszins afwijken dit heeft echter geen effect heeft op de afgeleide stabiliteit). Door het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse overheid is eind 2004 een proefstorting uitgevoerd op de Plaat van Walsoorden. De resultaten van deze proefstorting geven aan dat een groot deel van het gestorte sediment gedurende een waarnemingsperiode van een jaar op de plaat wordt vastgehouden.

Op basis van de huidige analyse wordt geconcludeerd dat de stortruimte op plaatranden minimaal gelijk is aan 5 miljoen m^3 op de Hooge Platen en 2 miljoen m^3 op zowel de Rug van Baarland als Walsoorden. In het Projectalternatief Plaatrand wordt deze storthoeveelheid verspreid over 5 jaar aangebracht: 1 miljoen m^3/jaar onderhoudsbaggerspecie op de Hooge Platen, op Walsoorden 0,5 miljoen m^3/jaar en op de Rug van Baarland 0,9 miljoen m^3/jaar.

7.5 Effecten op het meergeulenstelsel

In het beoordelingskader voor het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul is het hoofdcriterium stabiliteit van het meergeulensysteem in de Westerschelde opgenomen. Dit hoofdcriterium is opgenomen omdat storten op de lange termijn kan leiden tot een degeneratie van het meergeulensysteem. Echter, de tijdschaal waarop een degeneratie van een macrocel zich manifesteert bedraagt decennia tot een eeuw. Voor een degeneratie van het gehele meergeulensysteem is deze tijdschaal nog veel groter (eeuwen).

De instandhouding van het meergeulensysteem betekent dat de aanwezigheid van de verschillende systeemattributen van het meergeulensysteem en hun inherente globale configuratie gewaarborgd moeten worden.

Het beoordelingskader voor de morfologische diversiteit kent verschillende parameters die terugkomen in het beoordelingskader voor het milieueffectrapport: de parameters *verhouding tussen de gemiddelde diepte van de grote eb- en vloedgeulen* (de kantelindex) en *vóórkomen van kortsluitgeulen* kwantificeren de toestand dan wel aanwezigheid van de geulen van het meergeulensysteem. De kantelindex en de diepte van de geulen geven aan hoe het evenwicht van het geulsysteem op macroschaal verandert. Een langdurige (decennia) kanteling van het geulsysteem in een bepaalde richting wijst op structurele veranderingen in het evenwicht van het geulsysteem die waarschijnlijk moeilijk omkeerbaar zijn en op lange termijn zou kunnen leiden tot een verandering in een één-geulsysteem. Het verval tussen eb- en vloedgeul binnen een macrocel wordt uitgedrukt in de verhangindicator. Het verloop van deze verhangindicator is van belang, omdat hiermee de potentiële aanwezigheid en dynamica van kortsluitgeulen in beeld wordt gebracht.

Naast deze parameters voor de geulen zijn ook het relatieve areaal intergetijdengebied en de zandhuishouding van belang. De effecten op de zandhuishouding zijn in paragraaf 7.3 besproken. In deze paragraaf wordt ingegaan op de verhouding tussen eb- en vloedgeul, het vóórkomen van kortsluitgeulen en het areaal intergetijdengebied. Per onderdeel wordt de historische ontwikkeling kort weergegeven (op basis van de systeembeschrijving) en de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief en de projectalternatieven op basis van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses. In de laatste paragraaf wordt de eindconclusie met betrekking tot het effect van de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul op het waarborgen van de morfologische diversiteit en het behouden van het meergeulenstelsel gegeven.

7.5.1 Verhouding tussen de diepte van de ebgeul en de vloedgeul

Uit de historische waarnemingen (achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium paragraaf 2.9) blijkt dat op hoofdlijn in de macrocellen 1, 3 en 7 de diepteverhouding tussen de eb- en vloedgeul in de afgelopen periode (sinds 1990) min of meer stabiel is gebleven. Voor de macrocellen 4, 5 en 6 moeten we constateren dat er een voortgaande tendens is waarbij de diepte van de vaar geul (ebgeul in macrocel 5 en 6, vloedgeul in macrocel 4) in de macrocellen toeneemt ten opzichte van de nevengeul. In meer detail zijn de volgende ontwikkelingen zichtbaar: De ebgeulen in het oostelijk deel (macrocellen 5, 6 en 7) verdiepen, in het westelijk deel (macrocellen 1 en 3) blijven ze stabiel. De ebgeul in macrocel 4 verondiept. De vloedgeul in macrocel 3 en in mindere mate macrocel 5 is stabiel, in de overige macrocellen verdiept de vloedgeul. De verdieping van de vloedgeul in macrocel 1 wordt door stortingen na de tweede verruiming tegengegaan, waardoor kanteling wordt tegengehouden. Voor macrocel 3 is de kantelindex min of meer stabiel. Sinds 1980 is de kantelindex voor macrocel 4 negatief, wat betekent dat de vloedgeul dieper is dan de ebgeul.

In deze macrocel 4 is sprake van een doorgaande kanteling in de richting van de vloedgeul (deze verruimt en de ebgeul neemt in betekenis af. Let wel: in deze macrocel is in tegenstelling tot de overige macrocellen de vloedgeul de vaargeul). De tweede verruiming heeft de van oorsprong natuurlijke historische kanteling in macrocel 4 een nieuwe impuls gegeven. Ook de ontwikkelingen van de ebgeul in macrocel 5, 6 en 7 zijn beïnvloed door de verruiming. In de macrocellen 6 en 7, en in mindere mate macrocel 5, vindt een natuurlijke erosie van vloedgeulen plaats. Naast verruiming heeft zandwinning effect op de diepteontwikkeling van de geul en daarmee op de ontwikkeling van de kantelindex.

Als gevolg van vaargeulverruiming kan dynamische koppeling optreden (zie achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), in de Westerschelde heeft de eerste verruiming geleid tot een verdere verdieping van de vaargeul. Mogelijk heeft de afname van de hydraulische ruwheid en het storten van baggerspecie in de nevengeul hiertoe geleid (in macrocel 5 is dit proces waargenomen). In de systeembeschrijving wordt geconcludeerd dat de effecten van een verruiming op de verdere diepteontwikkeling van de vaargeul op voorhand moeilijk te bepalen zijn.

Naast verruiming van de vaargeul heeft storten van baggerspecie in de nevengeul effect op de verhouding tussen de diepte- van de ebgeul en vloedgeul, dit is beschreven in paragraaf 7.4. Zandwinning leidt eveneens tot verdieping van de geul en beïnvloedt daardoor de verhouding tussen de diepte- van de ebgeul en de vloedgeul.

Met behulp van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses wordt voorspeld dat door de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul op de gewenste breedte en diepte er niet alleen sprake is van een initiële verdieping, maar in het oostelijk deel ook van een toename van de erosie (verdieping) van de vaargeul in de periode na de verruiming. De totale bagger- en storthoeveelheid zal toenemen ten opzichte van de huidige baggerhoeveelheid, waardoor de totale bergingscapaciteit in de nevengeulen wordt benaderd dan wel wordt overschreden. In de loop der tijd zal de baggerhoeveelheid (als gevolg van de verdere erosie van de vaargeul) mogelijk weer enigszins afnemen. Een langdurige overschrijding van het stortcriterium leidt op termijn van enkele jaren tot een meetbare verondieping van de nevengeul. Als bij het bepalen van de stortstrategie het stortcriterium van de nevengeulen dus niet in acht wordt genomen (oftewel aanzienlijk wordt overschreden) neemt de kanteling aanzienlijk toe. Als bij de bepaling van de stortstrategie het stortcriterium echter in acht wordt genomen is de verwachting dat de kanteling slechts minimaal toeneemt. Monitoring van de macrocellen waar het stortcriterium benaderd dan wel overschreden wordt dient frequent plaats te vinden. Bij toenemende verondieping kan tijdig (op een tijdschaal van 5 jaar) uitgeweken worden na een stortlocatie elders.

In het projectalternatief Nevengeul wordt zoveel mogelijk aanleg- en onderhoudsbaggerspecie in de nevengeulen gestort, in het projectalternatief Plaatrand wordt de aanleg- en een deel van de onderhoudsbaggerspecie op plaatranden gestort. In beide alternatieven wordt het stortcriterium slechts zeer beperkt overschreden. De toename in de verondieping van de nevengeulen ten opzichte van de autonome ontwikkeling (nulalternatief) blijft hierdoor beperkt. Plaatrandstortingen kunnen resulteren in een ontlasting van de nevengeulen (minder storten en dus minder verondieping in nevengeulen). In het projectalternatief Plaatrand wordt weliswaar minder in de nevengeul gestort, maar deze vermindering is dermate beperkt (doordat een deel van de baggerspecie die op de plaatrand wordt gestort in het projectalternatief Nevengeul in de vaargeul wordt gestort) dat het nauwelijks effect heeft op de verhouding tussen de diepte van de geulen.

Een verdere (geringe) optimalisatie van het projectalternatief Plaatrand waarmee gerekend is, kan overwogen worden, waarbij dezelfde volumes onderhoudsspecie als voor het projectalternatief Nevengeul in de hoofdgeul worden gestort: op deze wijze wordt een tijdelijke ontlasting van de nevengeulen bekomen (storten op de plaatranden levert tijdelijke extra stortruimte).

7.5.2 Vóórkomen van kortsluitgeulen

In samenhang met de reeds beschreven tendens in de macrocellen 4, 5 en 6 (waar de vaargeul toeneemt ten opzichte van de nevengeul) is de aanwezigheid van kortsluitgeulen afgenomen (al sinds 1900). Drempelgebieden met dynamische kortsluitgeulen worden momenteel aangetroffen in de macrocellen 1, 3 en 5. In macrocel 4 zijn de kortsluitgeulen op het drempelgebied verdwenen, terwijl in macrocellen 6 en 7 de aanwezigheid van de geulen beperkt is door het onderhoudsbaggerwerk en door de aanwezigheid van de geleidingsdam. In het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium wordt aangegeven dat door een initiële verdieping van de vaargeul het waterstandsverschil tussen de eb- en vloedgeul zal afnemen. Volgens een empirische relatie (beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium) zal het stroomvoerend oppervlak van de kortsluitgeulen afnemen en in het uiterste geval kunnen kortsluitgeulen verdwijnen. De verwachting is dat voor de voorgestelde verruiming van de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde de initiële verdieping niet direct zal leiden tot het verdwijnen van kortsluitgeulen, alleen macrocel 5 is kritisch.

Aansluitend resulteert het onderhoud van de verruimde vaargeul (baggeren en storten) in een kanteling van de hoofdgeul, hetgeen het waterstandsverschil ter plaatse van het drempelgebied van de vloedgeul reduceert en de kortsluitgeulen in omvang doet afnemen. In macrocel 7 zijn de kortsluitgeulen ten gevolge van eerdere verdieping (vrijwel) verdwenen. Het onderhouden van de verruimde vaargeul (met name de stortstrategie) kan op langere termijn effect hebben op de aanwezigheid van kortsluitgeulen in vooral macrocel 3 en 5 (in macrocel 1 zal de aanwezigheid minder snel afnemen.)

Met behulp van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses wordt voorspeld dat in de autonome ontwikkeling (nulalternatief) de verhangindicator afneemt waardoor een potentiële afname van de aanwezigheid van kortsluitgeulen optreedt die zich manifesteert in de macrocellen 3 en 5. Door de initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul zal deze afname niet of nauwelijks toenemen, mits bij het bepalen van de stortstrategie de storthoeveelheid per macrocel beperkt blijft (het stortcriterium in acht wordt genomen).

7.5.3 Arealen

In het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium is op basis van metingen de areaalveranderingen bepaald op de ruimteschaal van de macrocellen. Hieruit komt het volgende ontwikkelingsbeeld naar voren: in de Westerschelde als geheel neemt het areaal ondiepwatergebied af; vooral tussen 1960 en 1980. Een deel van het ondiepwatergebied is hierbij omgezet in intergetijdengebied. Het resterende deel van de afname (ongeveer de helft) wordt veroorzaakt door erosie van de diepere geuldelen. Sinds 1980 neemt het ondiepwatergebied nog slechts weinig af door voortgaande erosie van de diepere geuldelen. Het areaal intergetijdengebied neemt sinds 1980 echter ook af. Het gevolg van deze ontwikkelingen op megaschaal is, dat het oppervlak van het voor de ecologie potentieel interessante gebied boven NAP-5 meter sinds tenminste 1955 afneemt (10 procent gedurende 50 jaar). De afname van het areaal ondiepwatergebied is relatief groot (35 procent in 50 jaar). Deze afname van het areaal boven NAP-5 meter treedt in alle macrocellen op. Baggerwerkzaamheden beïnvloeden de stabiliteit van het geulenstelsel niet.

Netto onttrekking van sediment uit de macrocel beïnvloedt wel het grootschalige transportpatroon en er kan degeneratie van intergetijdengebied optreden indien het onttrokken sediment afkomstig is uit deze gebieden.

Met behulp van de voor de huidige studie uitgevoerde analyses wordt voorspeld dat de waargenomen achteruitgang in de ondiepwatergebieden zich voortzet in de autonome ontwikkeling (nulalternatief). De initiële verruiming en het langjarig onderhouden van de vaargeul zal deze achteruitgang in geringe mate versterken. Aanpassen van de stortstrategie (meer storten in het oosten) kan deze achteruitgang te niet doen.

7.5.4 Conclusie

De waargenomen afname in de stabiliteit van grote geulen, het verdwijnen van kortsluitgeulen en de afname van de arealen ondiepwatergebied en intergetijdengebied betekenen een afname van de morfologische diversiteit van het meergeulensysteem. Deze historische afname van de morfologische diversiteit zet zich in de toekomst (nulalternatief) naar alle waarschijnlijkheid voort. De voorgenomen initiële verruiming en het vervolgens langjarig onderhouden van de vaargeul op de gewenste breedte en diepte zal deze afname van de morfologische diversiteit enigszins versterken. Het effect is klein ten opzichte van de autonome ontwikkeling, mits de stortstrategie zodanig wordt aangepast dat het stortcriterium niet of nauwelijks wordt overschreden Bij toepassen van de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand wordt het stortcriterium nauwelijks overschreden en is de afname in de fysieke systeemkenmerken (morfologische diversiteit) ten opzichte van de autonome afname minimaal.

De stortstrategie voor de projectalternatieven Nevengeul en Plaatrand geven randvoorwaarden op de ruimtelijke schaal van macrocellen. Als de stortstrategie binnen deze randvoorwaarde blijft wordt de afname van morfologische diversiteit beperkt. Binnen deze randvoorwaarde kan op kleiner schaalniveau gevarieerd worden in de stortlocatie binnen het baggervak en het stortontwerp. De keuze voor verdere invulling kan op basis van ecologische (basisrapport Natuur) of fenomenologie op mesoschaal (achtergronddocument Morfologische ontwikkeling Westerschelde) gemaakt worden.

In de alternatieven voor deze milieueffectrapportage is uitgegaan van het huidige zandwinbeleid (in totaal 1,9 miljoen m3/j in de Westerschelde en 1,40 miljoen m3/j in de Beneden-Zeeschelde). Er is een beknopte analyse uitgevoerd van het effect van verhogen (verdubbeling van zandwinning) en verlagen (geen zandwinnning). Voor het projectalternatief Nevengeul, met een geoptimaliseerde strategie voor het huidige zandwinbeleid, leidt afbouw van zandwinning tot een beperkte toename van het baggerbezwaar. Doordat er echter netto minder stortruimte over is, leidt afbouw bij de stortstrategie van het projectalternatief Nevengeul tot een toename van overschrijding van het stortcriterium en daardoor een afname in de stabiliteit van grote geulen. Toename van zandwinning leidt tot meer netto stortruimte en minder druk op de stabiliteit van grote geulen. Afbouw van zandwinning leidt tot een afname in zandverlies die van dezelfde grootte is als de zandwinning. Toename van zandwinning leidt tot een toename in het zandverlies. Bij de stortstrategie van het projectalternatief Nevengeul resulteert toe- of afname van de zandwinning slechts in een beperkt effect op het zandtransport richting de monding (respectievelijk toe- en afname).
In het projectalternatief Plaatrand wordt er ten opzichte van het projectalternatief Nevengeul minder gestort in de nevengeul en de vaargeul (en meer op plaatranden). Aangezien de storthoeveelheden op plaatranden minder gevoelig zijn voor de afbouw van zandwinning, is de druk op het behoud van de morfologische diversiteit bij afbouwen van zandwinning voor het projectalternatief Plaatrand kleiner.

Bij het aanpassen van het zandwinbeleid wordt aanbevolen om het geheel van het morfologische beheer in de Westerschelde te onderzoeken en afstemming na te streven tussen de projecten en plannen die ingrijpen op de stabiliteit van het meergeulenstelsel en de grootschalige zandhuishouding.

7.6 Effecten op de Beneden-Zeeschelde

7.6.1 Ontwikkeling putten

In de Beneden-Zeeschelde wordt een deel van de aanlegbaggerspecie gestort in een aantal diepe putten van de vaargeul, gelegen in de bocht bij de Boudewijn-Van Cauwelaertsluis. De analyse in deze milieueffectrapportage is gebaseerd op waarnemingen, gedetailleerde stromingberekeningen en expert judgement. De verwachting is dat het gestorte sediment (ongeveer 2,4 miljoen m3) over een periode van enkele jaren zal eroderen en in zeewaartse richting zal getransporteerd worden. Dit zal echter geen onderscheidend criterium zijn voor de vergelijking van de alternatieven.

7.6.2 Ontwikkeling schorren

De stabiliteit en de kwaliteit van schorren in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde wordt mogelijk beïnvloedt door menselijk ingrepen in het estuarium. De morfologische dynamiek van schorren en in mindere mate van slikken wordt in het morfologische instrumentarium niet geschematiseerd. Dit impliceert dat voorspellingen inzake de ontwikkeling van het schorareaal en de interactie tussen slikken en schorren dient te gebeuren op basis van expert judgement, eerder dan op basis de macro-morfologische modellen, zoals Delft3D, Estmorf, of het waterbewegingsmodel. De expertkennis voor deze analyse is samengebracht in een werksessie, waarin de experts, rekening houdend met de abiotische kenmerken van het slik-schorsysteem enerzijds en de modelresultaten inzake hydro- en morfodyanmiek anderzijds een interpretatie hebben opgesteld van de te verwachten autonome ontwikkeling en de te verwachten effecten van de vaargeulverruiming. Daarbij is speciale aandacht besteed aan de omgeving van het Galgeschoor. De experts hebben in eerste instantie geïnventariseerd welke relevante processen mogelijk door de voorgestelde ingrepen kunnen worden beïnvloed. Vervolgens hebben ze beoordeeld welke gevolgen dit zou kunnen hebben voor de stabiliteit van schorren en slikken in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde.

Naar verwachting is er in de Westerschelde door de verruiming geen directe areaalafname van de schorren in de Westerschelde te verwachten. In de zone Rupelmonding tot Antwerpen worden eveneens nauwelijks tot geen effecten of de ligging en omvang van de Zeeschelde verwacht. In de zone van Kallo tot Deurganckdock is de verwachting dat er een lichte afname in slibdepositie plaatsvindt, maar dat er nog steeds voldoende slibafzetting zal zijn en de verruiming geen verandering in slikareaal tot gevolg zal hebben. In deze zone is het daarnaast niet waarschijnlijk dat er meer zand afgezet zal worden op slikken en schorren. Een aandachtspunt in deze zone is de Ketenissepolder, een recent aangelegd schor. Doorgaande intensieve monitoring van de ontwikkeling op dit schor is nodig om mogelijke effecten en ontwikkelingen in een vroeg stadium te herkennen. Voor het Galgenschoor kan de verruiming leiden tot enige erosie van het slik (0-10 procent, zeer grote onzekerheden), zoals ook al in het verleden is waargenomen naar eerdere ingrepen. De effecten op het hoger gelegen Galgeschoor zijn waarschijnlijk beperkt (afname areaal 0-5 procent, zeer grote onzekerheid).

Onder hoge waterstanden is er mogelijk sprake van enige versterkte golfbelasting op de schorrand en ook de golfwerking als gevolg van scheepvaartbewegingen zal waarschijnlijk toenemen door de aanwezigheid van de zwaaizone. Voor Zandvliet met inbegrip van het Paardenschor neemt de belasting enigszins toe. De toename is evenwel kleiner dan voor het Galgenschoor gezien de ligging achter de leidam van Doel. De verwachting is dat het schorareaal zal afnemen met 0-2,5 procent (zeer grote onzekerheden).

8 Literatuur

Afdeling Natuur, Aeolus, UA, 2006, Achtergrondnota Natuur Haven van Antwerpen

ARCADIS, Technum, Alkyon, 2004. Strategische Milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010 Schelde Estuarium, Onderzoek effecten van ontwikkelingen op de waterparameters

Baptist, H, et al. (2006), Habitattoets: Effecten baggeren en stortactiviteiten ten behoeve van havenondehoud in de Zeeuwse wateren. WL|Delft Hydraulics rapport Z4112

Boon, J.D., R.J. Byrne, (1981), On basis hypsometry and the morphodynamic response of coastal inlet systems. Marine Geology, pp. 27-48.

Bray, R.N., A.D. Bates, J.M. Land (1997), Dredging. A handbook for engineers. New York, John Wiley.

Claessens J., Meyvis L. (1994), Overzicht van de getijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990. Antwerpen, Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst.

Cohen. A. B., M.C.J.L. Jeuken, 2006, Langetermijnvisie O&M, Verbetering van het 1D morfologisch model Sobek, Z3949, WL | Delft Hydraulics.Essen, E., et al (2006). Onderzoeksplan Milieueffectenrapport verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde

Dijkema, K. S., de Jong, D.J., Vreeken-Buijs, M.J., van Duin, W.E., 2005, Kwelders en Schorren in de Kaderrichtlijn Water, Ontwikkeling van Potentiële Referenties en van Potentiëlel Goede Ecologische Toestanden, RIKZ/2005.020

Gruijters S.H.L.L., J. Schokker, J.G. Veldkamp (2004), Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde-estuarium, TNO-rapport 03-213-B1208.

Fokkink, R.J., Z.B. Wang, M.H.I. Schropp (1995), On 1D morphodynamic network models, 6th IAHR conference in London.

Friedrichs, C.T., D.R. Lynch, D.G. Aubrey (1992), Velocity asymmetries in frictionally dominated tidal embayments: longitudinal and lateral variability. In: Prandle, D. ed., Dynamics and Exchanges in Estuaries and the coastal Zone. AGU, Washington, DC, pp. 277-312.

Graveland, J. (2005), Flexibel storten voor het Fysisch en Ecologisch milieu van de Westerschelde, definitiestudie en verkenning van mogelijkheden.

Graveland, J. (2005), Fysische en Ecologische kennis en modellen voor de Westerschelde. Wat is beleidsmatig nodig en wat is beschikbaar voor de Milieueffectenrapport Verruiming vaargeul? RIKZ/2005.18

Haecon (2006), Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde, rapport 1249760008/lvp

Hurk, B. van den, Albert Klein Tank, Geert Lenderink, Aad van Ulden, Geert Jan van Oldenborgh, Caroline Katsman, Henk van den Brink, Franziska Keller, Janette Bessembinder, Gerrit Burgers, Gerbrand Komen, Wilco Hazeleger and Sybren Drijfhout, (2006) KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, Scientific Report WR 2006-01, May 22, 2006, De Bilt, The Netherlands.

IMDC-Soresma-Resource Analysis (2006). Case study Durmevallei en Prosperpolder, Deelopdracht 5: Procesondersteunende tools, Volume 3: Hydrodynamische en morfologische studies

IMDC, 2006a, Langetermijnvisie O&M Actieplan 2004 voor morfologisch Modelinstrumentarium MIKE11, Hydrodynamic model, I/RA/11278/06.014/FPE

IMDC, 2006b, Langetermijnvisie O&M Actieplan 2004 voor morfologisch Modelinstrumentarium MIKE11, Morphologic model, I/RA/11278/06.015/FPE

IMDC, 2007a, Scheepsbelastingen op de oever ter hoogte van het Galgenschoor, I/NO/11282/07.143/MSA

IMDC, 2007b, Uitbreiding studie densiteitsstromingen in de Beneden-Zeeschelde in het kader van Langetermijnvisie, Meetcampagne naar hooggeconcentreerde slibsuspensies, Deelrapport 5.3: Omgevingscondities januari-juni2006, I/RA/11291/06.088/MSA.

INBO, 2007. Impact van de verdieping /verbreding vaargeul en aanleg zwaaizone ter hoogte van het natuurgebied Galgenschoor. INBO rapport A.2007.70, Instituut voor Natuur en Bosonderzoek.

ontpoldering Noordelijke Gebieden. Report I/RA/11258/06.042/FTO v2.1.

Jeuken, M.C.J.L. (2000), On the morphologic behavior of tidal channels in the Westerschelde estuary. Proefschrift, Universiteit Utrecht.

Jeuken, M.C.J.L. (2001), Verificatie van het cellen-concept Westerschelde op basis van historische gegevens. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z3078.

Jeuken, M.C.J.L., I. Tánczos, P.M.C. Thoolen, M.A.G. van Helvert, M. Rozemeijer, Z.B. Wang (2002), Onderbouwing van het Cellenconcept Westerschelde als instrument voor beleid en beheer. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z2838/Z3288.

Jeuken M.C.J.L. (2002), Adviezen voor het maken van een gezamenlijke zandbalans van Westerschelde en monding, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z3213.

Jeuken, M.C.J.L., I.C. Tánczos, Z.B. Wang (2003a), Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z3467.

Jeuken M.C.J.L., Z.B. Wang, D. Keiller, I. Townend, G.A. Liek (2003b), Morphological response of estuaries to nodal tide variation. Proceedings of the International Conference on Estuaries and Coasts, 9-11 Nov., 2003, Hangzhou, China, pp. 166-174.

Jeuken M.C.J.L. (2004), Deelovereenkomst 3 Milieueffectenrapport-fase Morfologie, 'Vooronderzoek naar het voorspellen van het onderhoudsbaggerwerk en het verbeteren van de stortstrategie in de Westerschelde'.

Jeuken M.C.J.L., et al. (2004), Morfologische ontwikkelingen in het Schelde-estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde. Deelovereenkomst 2 en 3 Morfologie.

Jeuken M.C.J.L. (2005), Advies voor het storten van baggerspecie uit het vaargeul onderhoud in de Westerschelde op de huidige stortlocaties, een bureaustudie, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z4013.

Kemerink, J.S. (2004), Ontpolderen: wel of niet? Effect van ontpolderen op natuurontwikkeling in het Schelde-estuarium. Afstudeerproject TU Delft. WL|Delft Hydraulics, Rapport nr Z3561.

Koppel, J. van de, Wal, D. van der, Bakker, J.P., Herman, P. J. M.,2005. Self-Organization and Vegetation Collapse in Salt Marsh Ecosystems. The American Naturalist, Volume 165, No. 1.

Kornman. B.A., A. Arends, D. Dunsbergen, (2000), Westerscheldemond 1970-2020, een morfologische blik op de toekomst. RIKZ/200.030.

Kornman B.A., G.A. Liek, H.K. Schippers (2003), Baggeren en storten in de Westerschelde, een nieuwe kijk op het onderhoudsbaggerwerk. Werkdocument RIKZ/AB/2002.840x.

Kuijper, C., Steijn, R., Roelvink, D., Kaaij, T. van der, Olijslagers, P., 2004, Morphological modelling of the Western Scheldt. Validation of Delft3D, Z3648/A1198, WL | Delft Hydraulics / Alkyon.

Kuijper, C., T. van der Kaaij, E. de Goede, 2006, Langetermijnvisie O&M actieplan voor morfologisch onderzoek modelinstrumentarium. Delft3D, Z3950, WL | Delft Hydraulics.

Nederbragt, G., G. A. Liek (2004), Beschrijving Zandbalans Westerschelde en monding, Rijkswaterstaat RIKZ/2005.020

Nederbragt, G. (2005), Zandvoorraden van het kustsysteem. RIKZ/2005.033

Peters J.J., R.H. Meade, R. Parker, M.A. Stevens, Westerschelde – Port of Antwerp expert team baseline **draft** report.

Peters J.J. (2001), Improving navigation conditions in the Westerscheldt and managing its estuarine environment; how to harmonize accessibility, safetyness and naturalness?'.

Peters, B.G.T.M., G.A. Liek, J.W.M. Wijsman, M.W.M. Kuijper, G.Th. van Eck (2003), Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43', een verruimde blik op waargenomen ontwikkelingen. MOVE Evaluatierapport. Rapport RIKZ/2003.027; deel A: Samenvatting en deel B: Hoofdrapport. Rijksinstituut voor Kust en Zee/ RIKZ Middelburg 16 juni 2003.

RA - IMDC, (2005), Geactualiseerd Sigmaplan voor veiligheid en natuurlijkheid in het bekken van de Zeeschelde, Synthesenota, in opdracht van Waterwegen en Zeekanaal NV, Afdeling Zeeschelde

RA, IMDC, Aeolus, Sum, Tritel, Technum (2007), Mer strategisch Plan Haven van Antwerpen (in voorbereiding)

Rijkswaterstaat (1998), Milieuaspectenstudie Baggerspeciestort Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

RWS Zeeland en AWZ Maritieme Toegang (2006), Startnotitie / Kennisgeving Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, Antwerpen, Middelburg, februari 2006

RWS & MVG (2001), Langetermijnvisie Schelde Estuarium. RWS Directie Zeeland en het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Shi, Y.B., Z.B. Wang, Z.C. Han (2003), Long-term morphological modelling for Feiyun Estuary with Estmorf. Proceedings for the International Conference of Estuaries and Coasts, 9-11 Nov., 2003, Hangzhou, China, pp. 968-975.

Soresma-IMDC-Resource Analysis (2007). Ontwikkeling van een intergetijdengebied in Hedwige- en Prosperpolder: Concept MER. Rapport 124215188 v2.

Spek, A.J.F. van der (1997), De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. Rapport NITG 97-284-B, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Haarlem, 46 pp.

Swinkels, C.M, Jeuken, M.C.J.L, Wang, Z. B., Nicholls, R. J. (2007) Presence of connecting channels in the Western Scheldt Estuary, a morphological relationship between main and connecting channels (in preperation)

Startnotitie / Kennisgeving (2006), Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde.

Stijn Temmerman, Geert Govers, Stan Wartel en Patrick Meire, 2004. Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. Marine Geology, 212, 1-19.

Torenga, E. (2001), Stabiliteit van twee-geulensysteem in estuaria. Afstudeerrapport, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Aardewetenschap.

Torre, M. van, 2004, De invloed van scheepvaartverkeer op afgemeerde binnenschepen, Universiteit Gent, Afdeling Maritieme Technologie

Uit den Bogaard (1993), Resultaten zandbalans Westerschelde. Universiteit Utrecht.

Van Veen, J. (1950), Eb- en vloedschaar systeem in de Nederlandse Getijdenwateren. Tijdschrift Koninklijk Aardrijkskundige Genootschap, pp. 303-325.

Van den Berg, J.H., M.C.J.L. Jeuken, A.J.F. van der Spek (1996), Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of Westerschelde estuary. In: Nordstorm, K.F. and Roman, C.T, eds., Estuarine shores: Evolution, Environments and Human Alteration London, John Wiley, pp 157-184.

Van der Male,C. (1996), De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961 – 1992. Werkdocument RIKZ/ABD 96.837.

Van der Spek, A.J.F. (1994), Large-scale evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands. Utrecht, Utrecht University (PhD Thesis).

Van der Spek, A.J.F. (1997), Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basis in the Netherlands: simulation of paleo-tides in the Schelde estuary. Marine geology, pp. 71-90.

Vos, P.C., R.M. van Heeringen, (1997). Holocene geology and occupation history of the Province of Zeeland. In: M.M. Fischer (red.), Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands), Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 59: 5-109.

Vroon, J., C. Storm, en J. Coossen (1997), Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rijkswaterstaat, rapport RIKZ-97.023.

Wang, Z.B., M.C.J.L. Jeuken, 2006, Langetermijnvisie O&M, Verbetering van het Estmorf model voor het Schelde-estuarium. Uitbreiding van het model met de Beneden-Zeeschelde en een verificatie van het model op basis van waarnemingen voor de periode 1990-2002, Z3949, WL | Delft Hydraulics.

Wang, Z.B. and I.H. Townend,(submitted) Influence of nodal tide on long-term morphological development of estuaries, Continental Shelf Research.

Wang, Z.B., Th. van der Kaaij (1994), Morphodynamic development of secondary channel systems along Rhine branches in The Netherlands. Rapportnr. Q1963, WL | Delft Hydraulics.

Wang Z.B., M.B. de Vries, R.J. Fokkink, A. Langerak (1995), Stability of river bifurcations in 1D morphodynamic models. Journal of Hydraulic research, Vol 33, No 6.

Wang Z.B., P.M.C. Thoolen, R.J. Fokkink (1997), Studie naar de morfologische effecten van storten en baggeren in de Westerschelde. Ten behoeve van Milieueffectenrapport storten gebaggerd materiaal. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr Z2310.

Wang, Z.B., M.A.G. van Helvert, (2000), Verbetering weergave intergetijdengebied in Estmorf; Implementatie van diverse maatregelen. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z3002.

Wang, Z.B., M.A.G. van Helvert (2000). Verbetering weergave intergetijdengebied in Estmorf. Implementatie van diverse maatregelen. Delft, WL|Delft Hydraulics. Rapportnr Z3002.

Wang, Z.B., M.A.G. van Helvert (2001), Estmorf, A model for long-term morphological development of estuaries and tidal lagoons. Overall review of the development of the model. Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z3105.

Wang Z.B., J.C. Winterwerp, (2001), Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. In Proceedings of 2nd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Sept. 2001, Obihiro, Japan, pp. 515-524.

Wang Z.B., M.C.J.L. Jeuken, H. Gerritsen, H.J. de Vriend, B.A. Kornman, (2002), Morphology and asymmetry of vertical tide in the Westerschelde Estuary, Continental Shelf Research, Volume/Issue 22/17, pp. 2599-2609.

Wang, Z.B., P.M.C. Thoolen, I. Tánczos (2002), Onderbouwing van het Cellenconcept Westerschelde als instrument voor beleid en beheer. Toetsing van aannames met Sobek berekeningen. WL | Delft Hydraulics rapport Z3325, cofinanciering doelsubsidie Z3288 door RIKZ.

Wang, Z.B. (2003). A validation and improvement of the cell-concept: the influence of a flood-ebb circulation on the dumping capacity. WL | Delft Hydraulics. Rapportnr Z3288.

Wang Z.B., M.C.J.L. Jeuken, B.A. Kornman (2003), A model for Predicting Dredging Requirements in the Westerschelde. Proceedings of the International Conference of Estuaries and Coasts, 9-11 Nov., 2003, Hangzhou, China, pp. 429-436.

Waterbouwkundig Laboratorium, 2006. Alternatieve stortstrategie Westerschelde proefstorting Walsoorden, eindevaluatie monitoring.

Waterbouwkundig Laboratorium, (2005). Zeeschelde, Hydraulische effecten van een ontpoldering van Hedwigepolder, Prosperpolder en Doelpolder langsheen de linkeroever. Rapport MOD 713/14

Winterwerp, J.C., M.C.J.L. Jeuken, M.A.G. van Helvert, C. Kuijper, A. van der Spek, M.J.F. Stive, P.M.C. Thoolen, Z.B. Wang (2000), Lange Termijnvisie Schelde-estuarium cluster morfologie (2 delen). Delft, WL | Delft Hydraulics. Rapportnr. Z2878.

Winterwerp, J.C., Z.B. Wang, M.J.F. Stive, A. Arends, C. Jeuken, C. Kuijper, P.M.C. Thoolen, (2001), A new morphological schematization of the Western Scheldt Estuary. The Netherlands. In Proceedings of 2nd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Sept. 2001, Obihiro, Japan, pp. 525-533.

Winterwerp, J.C., Z.B. Wang, J.A. van Pagee, F. Mostaert, Y. Meersschaut, T. de Mulder, J. Claessens (2002), Morphological changes in the Scheldt Estuary and its consequences on hydrodynamics. Keynote speech at ESCA meeting (Ecological structure and functions in the Scheldt Estuary), Antwerp, Belgium.

Winterwerp, J.C., M.C.J.L. Jeuken (2004), Morfologisch onderzoek in het kader van de S-M.E.R. en de Ontwikkelingsschets SE 2010. Executive summary. Delft, WL|Delft Hydraulics.

WL (2006a). Habitattoets: effecten bagger- en stortactiviteiten. Bijvoorbeeld havenonderhoud in Zeeuwse wateren. Westerschelde. Henk Baptist, Sharon Tatman, Thijs van Kessel, Godfried van Moorsel, Zheng-Bing Wang, Paul Erftemeijer, Z4112.00 Report, juni, 2006. In opdracht van het RIKZ Middelburg, NL

WL (2006b). Passende Beoordeling stortactiviteiten ten behoeve van baggerwerkzaamheden in het Kanaal van Gent naar Terneuzen,. Sharon Tatman, Henk Baptist, Thijs van Kessel, Zheng-Bing Wang, Z4248.00 Report, augustus 2006. In opdracht van het RWS Zeeland, NL

Appendix A: Beschrijving indicatoren

A.1 Kantelindex

De verhouding tussen gemiddelde diepte van de grote eb- en vloedgeul kan bepaald worden aan de hand van de zogenaamde kantelindex:

$$K(t) = Ln\left(\frac{diepte_ebgeul(t)}{diepte_vloedgeul(t)}\right)$$

Een toename van de kantelindex betekent ofwel een toename van de gemiddelde diepte in de ebgeul, een afname van de gemiddelde diepte in de vloedgeul of een combinatie van deze twee mogelijkheden.

A.2 Verhangindicator

Er bestaat een empirische relatie tussen de verhangindicator en het voorkomen van kortsluitgeulen (P14). De verhangindicator is het verschil in waterstand tussen eb- en vloedgeul binnen een macrocel. Deze wordt bepaald aan de hand van de lengte van de geulas (deze zal doorgaans stabiel blijven) en de diepte van de geul.

$$\Delta h_{wp} = a\Delta t\frac{2\pi}{T}$$

waarin:

a	getijamplitude	[m]
T	getijperiode	[s]
Δt	verschil in looptijd van de getijgolf door de ebgeul en de vloedgeul	[s]

$$\Delta t = \frac{L_{eg}}{C_{vg}} - \frac{L_{vg}}{C_{eg}}$$

waarin:

L	geullengte [m] van de ebgeul (eg) en de vloedgeul (vg)
C	voortplantingssnelheid [m/s] van het getij door de ebgeul (eg) en de vloedgeul (vg)

$$C = \sqrt{gh_{av}}$$

waarin

g	zwaartekrachtsversnelling [m/s^2]
h_{av}	gemiddelde diepte [m ten opzichte van NAP 0,0 m]

A.3 Stortcriterium

Inleiding – achtergrond van het stortcriterium
Een degeneratie van het meergeulensysteem kan optreden wanneer de storthoeveelheden een zekere kritische waarde, ook aangeduid als stortcapaciteit of stortcriterium, langdurig overschrijden wordt. In het *Intermezzo – Stortcapaciteit* wordt de achtergrond van deze stortcapaciteit toegelicht. Schattingen van de grootte van het stortcriterium kunnen worden gebruikt bij het evalueren van het vaargeulbeheer en het vormgeven aan een stortstrategie op het niveau van gehele geulen (is op hoofdlijnen). In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag hoe groot het te hanteren stortcriterium is.

Intermezzo - Stortcapaciteit

De stabiliteitsanalyse die ten grondslag ligt aan het stortcriterium is gebaseerd op de volgende stappen, c.q. principes (Wang, 1998; Wang en Winterwerp, 2001):

1. Een stabiel geulsysteem is een systeem met 2 geulen, al dan niet gescheiden door intergetijdengebieden, die beiden open blijven. Een van beide geulen wordt gebruikt als vaargeul (de hoofdgeul). De andere geul is nevengeul.
2. Er bestaat een evenwichtssituatie waarin het geulsysteem in een macrocel een zand transportcapaciteit T_e heeft.
3. Om na te gaan hoeveel er in een geul van een stabiele macrocel in evenwicht gestort kan worden, wordt de ingreep gerelateerd aan T_e. Uit de analyse van de stabiliteit van een dergelijk systeem blijkt dat er een kritische grens bestaat voor de hoeveelheid sediment die langdurig in een geul kan worden gestort zonder dat het 2 geulensysteem degenereert ('instabiel wordt') naar een één-geul systeem. De grootte van deze stortcapaciteit in een stabiel geulsysteem in evenwicht, het stortcriterium SC_0, bedraagt ongeveer:
   - SC_0is5 procent.T_e wanneer in de vaargeul wordt gebaggerd en het sediment in de nevengeul van dezelfde cel wordt gestort.
   - SC_0is10 procent.T_e wanneer er niet in de vaargeul wordt gebaggerd. Het sediment dat in de nevengeul wordt gestort is afkomstig uit een ander gebied.

   Door het storten van hoeveelheden sediment beneden deze kritieke waarde verandert de diepte van de geul wel (neemt af), maar verzandt de geul niet (blijft openis stabiel, maar niet in evenwicht).

Uit een aanvullende studie (Wang et al, ingezonden) zijn de aannamen die ten grondslag liggen aan deze stabiliteitsanalyse onderbouwd. Hieruit is onder andere gebleken dat een (stabiel) geulsysteem dat morfologisch wel verandert, c.q. niet in evenwicht is, een andere waarde voor de kritische stortcapaciteit heeft: in een van 'nature' eroderende geul is deze capaciteit groter dan 5-10 procent van het bruto sedimenttransport. In een sedimenterende geul is deze kritische waarde juist kleiner. De kritische stortcapaciteit van geulen die niet in evenwicht zijn kan worden benaderd met:
SC_Mis5-10 procentT_e - $\Delta V_{tot.}$ Wanneer het geulsysteem niet in evenwicht is (geweest), is T_e in principe niet bekend. In die gevallen moet het evenwichtstransport worden benaderd door het bruto transport voor een gegeven situatie T, bij voorkeur met onzekerheidsmarge. Analyses van historische waarnemingen bevestigen het bestaan en de globale grootte van het stortcriterium (Jeuken et al, 2003, Jeuken et al, in voorbereiding).

Toepassen – het schatten van de absolute grootte van de stortcapaciteit
Het meergeulensysteem van de Westerschelde is zelden gedurende langere tijd in evenwicht (geweest). Dit is inherent aan onder andere de ingrepen in het systeem door de mens en het optreden van morfodynamische interacties tussen de verschillende morfologische elementen van het meergeulensysteem. Het praktisch ontbreken van een evenwichtssituatie maakt het bepalen van de grootte van de te hanteren stortcapaciteit voor de nabije toekomst (5 jaar) tot een lastig vraagstuk.

Voor het bepalen van de stortcapaciteit van de geulen ten behoeve van een stortstrategie (voor circa vijf jaar) die de stabiliteit van het meergeulensysteem waarborgt, wordt een onderscheid gemaakt tussen storten in de nevengeul en storten in de vaargeul. Het te storten materiaal (zand) kan hierbij afkomstig zijn uit de vaargeul en uit de havens die langs de Westerschelde liggen.

Storten in de nevengeul
Om de te hanteren stortcapaciteit te kunnen bepalen zijn de volgende twee vragen van belang:
1. *Wat was de recente ontwikkelingstendens van de nevengeul waarin gestort moet worden gedurende de afgelopen 5-10 jaar?*
   De ontwikkelingstendens en de kwalitatieve invloed van ingrepen wordt bepaald op basis van volumeveranderingen in de geulen (zand volumina, zie bijvoorbeeld Jeuken et al, 2004).
   Vier verschillende ontwikkelingtendensen kunnen zich voordoen:
   1. Evenwicht
   2. Natuurlijke ontwikkeling al dan niet versterkt door baggeren / storten
   3. Ontwikkeling bepaald door baggeren / storten
   4. Kritische invloed van ingrepen.
2. *Wordt er (in de toekomst) in de naastliggende vaargeul wel of niet gebaggerd?*

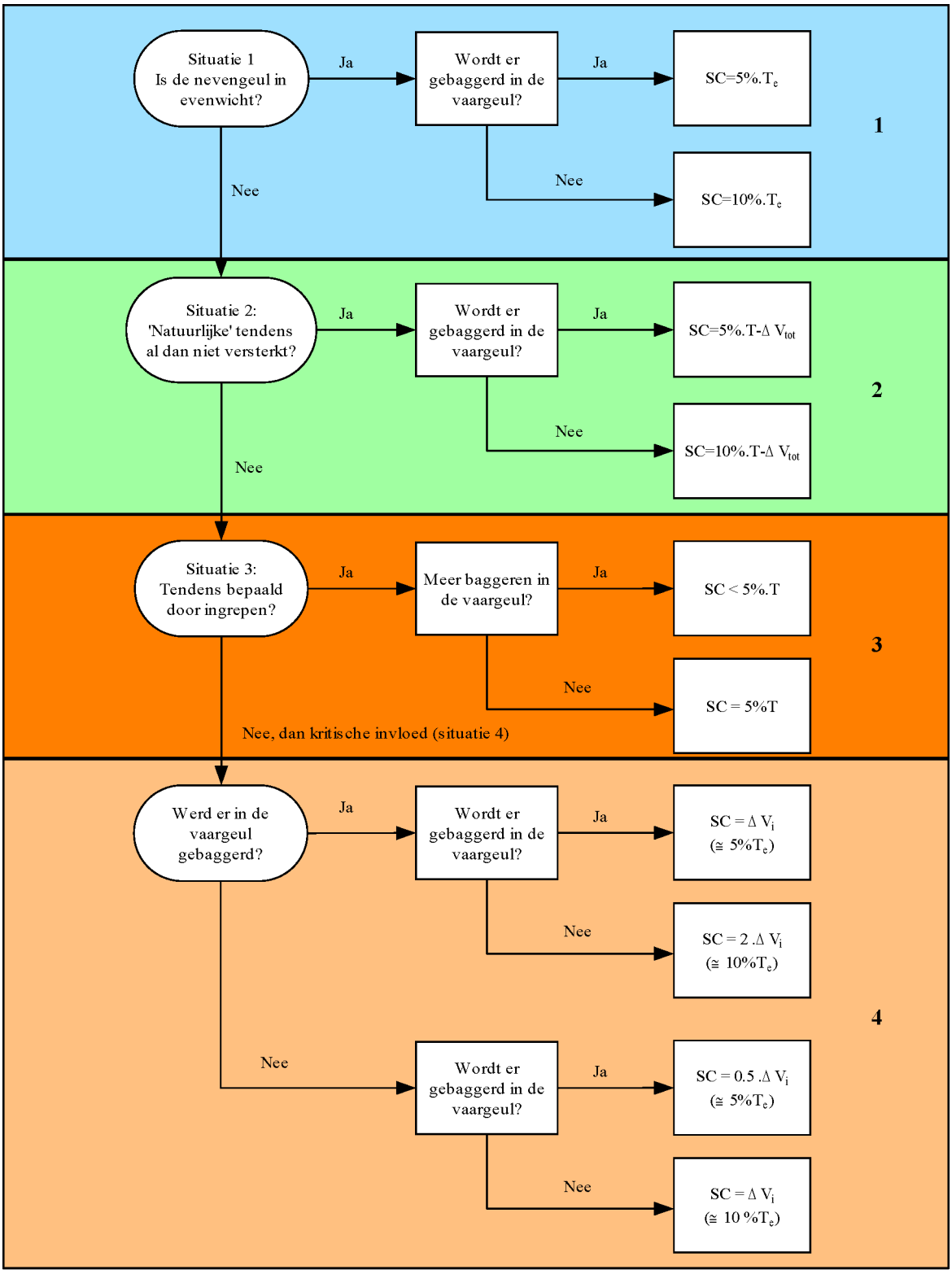
Voor het beantwoorden van de vragen kan gebruik worden gemaakt van waarnemingen en gevalideerde voorspellingen. Met de antwoorden op deze vragen kan de grootte van de maximale stortcapaciteit in de nevengeul (niet vaargeul) worden bepaald volgens het stroomschema in figuur A.1. Situatie 1 sluit aan bij de theorie, maar doet zich in de praktijk weinig voor. Situatie 4 heeft zich in het verleden in sommige geulen voorgedaan en levert daarmee een validatie van de theorie. De situaties 2 en 3, die afwijken van de oorspronkelijke theoretische uitgangspunten (voor een evenwichtssituatie), doen zich in de praktijk het meeste voor en zijn het moeilijkste in te schatten. Voor beide situaties zijn veilige benaderingen voor de te hanteren stortcapaciteit geformuleerd (met de theorie voor situatie 1 en de historische waarnemingen als referentie).

De stortcapaciteit die met behulp van figuur A.1 kan worden bepaald is de netto stortcapaciteit, dat wil zeggen wat er effectief als gevolg van storten, baggeren en eventueel zandwinning in de geul mag worden gestort. Een getallenvoorbeeld ter illustratie:

De vloedgeul van macrocel 5, de Schaar van Valkenisse, erodeert sinds 1990 van 'nature' met ΔVtot = 0,6 m^3/jaar. In de vaargeul van cel 5 wordt gebaggerd. T≈16-22miljoen m^3/jaar. Het te hanteren stortcriterium is dan:

SCM = 5 %T-ΔVtot = 1,4-1,7 miljoen m^3/jaar.

Dit is de netto stortcapaciteit. Om de bruto stortcapaciteit te kunnen bepalen (voor de vergunning vaak nodig) mag het in de geul gebaggerde volume zand ten behoeve van zandwinning bij de netto stortcapaciteit worden opgeteld. Stel dat er in dezelfde geul 0,5 miljoen m^3/jaar zand wordt gewonnen, dan is de bruto stortcapaciteit 1,9-2,3 miljoen m^3/jaar. In de praktijk betekent de zandwinning dan ook extra ruimte voor het storten voor baggerspecie uit het vaargeulonderhoud.



Figuur A.1: *Stroomschema voor het bepalen van (toekomstige) stortcapaciteit in de nevengeul van een macrocel. Voor elk van de vier situaties waarin de stortgeul kan verkeren is een set criteria voor de bepaling van de maximale stortcapaciteit gedefinieerd.*

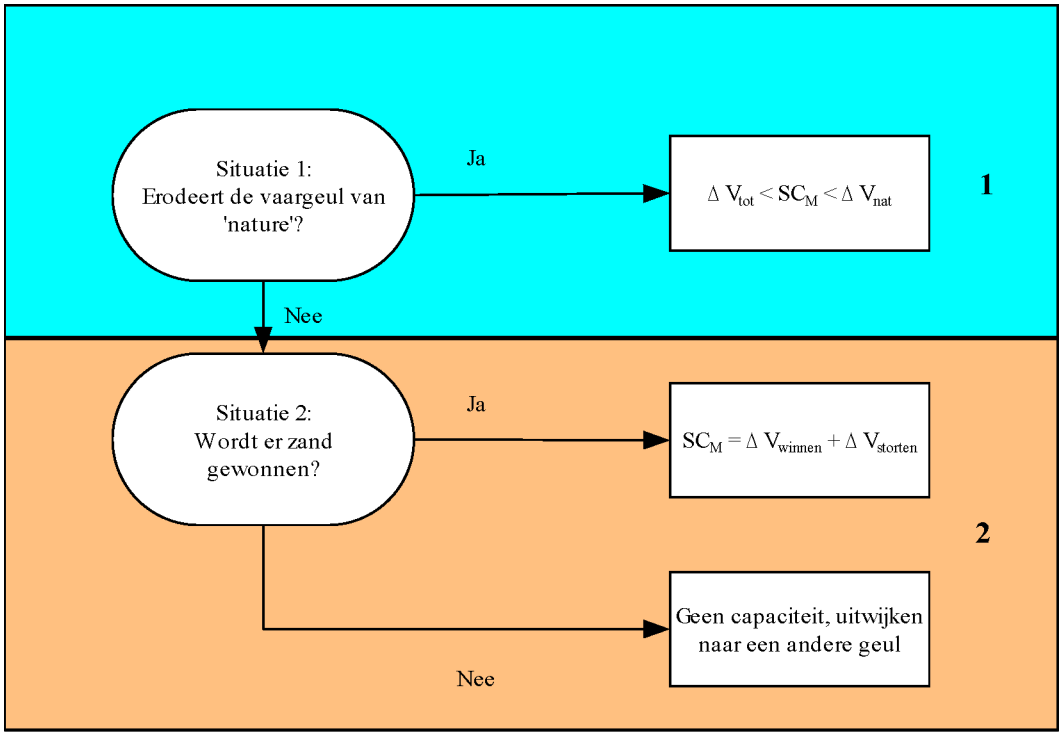
Storten in de vaargeul

Storten in de vaargeul is alleen interessant in 2 situaties (zie figuur A.2):

1. De vaargeul erodeert van 'nature'. Voor de stortcapaciteit geldt dan $\Delta V_{tot} < SC_M < \Delta V_{nat}$. ΔV_{tot} is een ondergrens. ΔV_{nat} is een bovengrens.
2. In de vaargeul wordt zand gewonnen en de som van deze zandwinning en eventuele stortingen betekent een onttrekking van zand.

Het storten in de vaargeul in alle andere situaties zal leiden tot een toename van het onderhoudsbaggerwerk. Hiervoor is geen stortcriteria op te stellen: het sediment dan niet van nature erodeert zal middels baggerwerkzaamheden uit de vaargeul verwijderd worden.

De eerste situatie doet zich voor in de vaargeul van macrocel 4 (Gat van Ossenisse / Overloop Hansweert). De tweede situatie doet zich voor in de vaargeul van macrocel 5 (Overloop van Valkenisse, sinds de tweede verdieping) en in de vaargeul van macrocel 3 (Pas van Terneuzen).



Figuur A.2: *Stroomschema voor het bepalen van stortmogelijkheden in de vaargeul.*

Toepassing – bepaling van de stortcapaciteit voor de huidige situatie

Met behulp van historische gegevens en de stroomschema's in figuren A.1 en A.2 is het mogelijk om een advies uit te brengen voor de maximaal te storten hoeveelheden baggerspecie per geul van iedere macrocel. Per geul is een *veilige* stortcapaciteit bepaald op basis van een analyse van de historische waarnemingen over de periode 1955-2002 (Jeuken et al, in voorbereiding). Bij stortingen van deze omvang is in het verleden in de betreffende geul nagenoeg geen sedimentatie opgetreden (zeer geringe diepteverandering). In tabel A.1 staat deze *veilige* stortcapaciteit per geul vermeld.

Verder is per geul de totale volumeverandering ($\otimes V_{tot}$) berekend op basis van waarnemingen in de periode 1990-2002 voor macrocel 1, 3, 4 (nevengeul) 6 en 7, de periode 1997-2002 voor macrocel 5 en de maximale stortcapaciteit voor de vaargeul van macrocel 4 en de periode 1990-1996 voor de minimale stortcapaciteit voor de vaargeul van macrocel 4 (zie ook toelichting in *Intermezzo- eerdere stortadviezen*).

Aanvullend is voor iedere nevengeul het stroomdiagram in figuur A.1 doorlopen en voor iedere vaargeul het stroomdiagram in figuur A.2. Voor iedere geul is de bruto sedimenttransportcapaciteit bepaald (op basis van modelberekeningen. Zie Jeuken, 2001). Er is een maximale en een minimale transportcapaciteit uitgerekend, aangezien het een transportcapaciteit van een geul die niet in evenwicht is en dus een onzekerheidsmarge gewenst is (zie ook *Intermezzo – stortcapaciteit*). Vervolgens is met deze gegevens de minimale en maximale stortcapaciteit berekend. Voor deze berekeningen zijn de formules in de figuren A.1 en A.2 toegepast, de waarden zijn weergegeven de laatste twee kolommen van tabel A.1. Alleen voor macrocel 5 is niet het stroomschema aangehouden omdat de storthoeveelheden voor de van nature eroderende geul dan zo groot worden dat, in combinatie met de grote baggerhoeveelheden en de erosie van ebgeul, de aanwezigheid van kortsluitgeulen in het geding kan komen. Als voor macrocel 3 het stroomschema uit figuur A.1 doorlopen wordt, komen we uit op situatie 4 en is de stortcapaciteit gelijk aan het volume van de ingreep (ΔV_i).

De *veilige* stortcapaciteit is in alle geulen, behalve in de ebgeul van cel 4, kleiner dan de *maximale stortcapaciteit* zoals vermeld in de laatste twee kolommen. Wanneer de maximale stortcapaciteiten gedurende langere tijd (>5-10 jaar) worden benut zal een duidelijk grotere sedimentatie (afname van de diepte) in de betreffende geul optreden dan wanneer de 'veilige' stortcapaciteit wordt gehanteerd. Langdurig *overschrijden* van de *maximale* stortcapaciteit kan leiden tot een proces van sedimentatie waarbij op een tijdschaal van decennia tot twee eeuwen de geul kan afsluiten (instabiel wordt). Uit tabel A.1 kan worden geconcludeerd dat in de betreffende geulen van het meergeulensysteem van de Westerschelde in ieder geval ruim 6 miljoen m^3/jaar (in profiel, dit is circa 6,8 in het beun) kan worden gestort zonder dat dit gepaard gaat met duidelijke verondiepingen van de geulen. Wanneer rekening wordt gehouden met 'natuurlijke' tendensen van erosie en sedimentatie sinds 1990-2002, kan worden uitgegaan van een maximale *netto* stortcapaciteit van 6,2 tot 9,0 miljoen m^3/jaar in de huidige situatie. Zandwinhoeveelheden[7] kunnen in principe bij deze netto stortcapaciteit worden opgeteld (nu effectief circa 2 miljoen m^3/jaar), waardoor de totale maximale stortcapaciteit in de huidige situatie 8,2-11 miljoen m^3/jaar bedraagt. Wanneer deze maximale stortruimte gedurende meer dan 5-10 jaar wordt benut zullen de geulen waarin gestort wordt niet verzanden, maar de diepte zal wel meetbaar afnemen. Hierdoor kan de aanwezigheid van kortsluitgeulen in de macrocellen waar deze geulen (nog) voorkomen veranderen. Langdurig overschrijden van deze waarden kan leiden tot een instabiele situatie.

In deze morfologische studie, onderdeel van de milieueffectrapportage, worden de berekende storthoeveelheden na verdieping getoetst aan het stortcriterium voor de huidige situatie, kortom aan de waarden uit tabel A.1.

Zoals eerder vermeld maakt het praktisch ontbreken van een evenwichtssituatie het bepalen van de grootte van de te hanteren stortcapaciteit voor de nabije toekomst (5 jaar) tot een lastig vraagstuk.

[7] Het is echter niet duidelijk in hoeverre zandwinning in de vaargeul in de praktijk als een niet gegarandeerde of preventieve vorm van vaargeulonderhoud wordt ingezet. Daarom zou een veilige benadering kunnen zijn om zandwinning in de vaargeul voor ongeveer de helft te laten meetellen in de ruimte voor storten.

De waarden uit tabel A.1 wijken enigszins af van eerdere adviezen met betrekking tot het stortcriterium (adviezen in het kader van de stortvergunning). In het *Intermezzo – eerdere stortadviezen* wordt op deze afwijkingen ingegaan.

Stortingen uit havens
In een aantal macrocellen wordt tevens zand gestort dat gebaggerd wordt uit havens. In de modellen wordt het baggeren uit havens en het vervolgens storten van sediment niet in rekening gebracht. In tabel A.2 staan de storthoeveelheden van havensediment per macrocel weergegeven (afkomstig uit Habitattoets: effecten bagger- en stortactiviteiten ten behoeve van havenonderhoud in Zeeuwse wateren, WL|Delft Hydraulics).

Macrocel	1	3	4	5
ebgeul	1,01	1,20	0,11	0,12
vloedgeul	0,28	0,00	0,01	0,00

Tabel A.2: *Hoeveelheden gestort havensediment.*

Op schaalniveau van het hele estuarium wordt het effect van de beschouwde storthoeveelheden op de zandbalans verwaarloosbaar klein geschat. Het gebaggerde materiaal uit de havens is immers ooit van het estuarium vandaan gekomen. Er wordt ook voornamelijk gestort in de beurt van de havens. Dit betekent dat de effecten op de zandbalans op het schaalniveau van de verschillende bochtgroepen (macrocellen) ook klein zijn. Bij het beoordelen van de berekende storthoeveelheden op basis van het stortcriterium dient wel rekening te worden gehouden met de storthoeveelheden in tabel A.2, met name daar waar het stortcriterium (bijna) wordt overschreden. In macrocel 1 en in macro cel 4 wordt in de nevengeul gestort. De hoeveelheden zijn dermate klein dat er geen negatieve effecten met betrekking tot de stabiliteit van het meergeulensysteem verwacht worden als gevolg van havenstortingen.

Intermezzo – eerdere stortadviezen

In het recente verleden heeft WL Directie Zeeland een paar keer geadviseerd over de te hanteren maximale storthoeveelheden in de vergunningen voor het vaargeulonderhoud in de Westerschelde. In de huidige rapportage is gebruik gemaakt van de voortschrijdende inzichten over het toepassen van de stortcapaciteit van geulen. Wanneer de huidige inzichten en het laatste advies voor de vergunningen 2006 worden getoetst aan de hand van de stroomschema's in Figuur A.1 en A.2 komen enkele verschillen naar voren:

- De definitie van de stortcapaciteit in de vaargeul in macrocel 4 (Gat van Ossenisse). In de eerdere adviezen wordt het 5-10 procent criterium wel gebruikt voor de vaargeul. In de huidige milieueffectstudie wordt gesteld dat dit omwille van het beperken van het onderhoudsbaggerwerk beter niet kan worden toegepast en dat in plaats daarvan moet worden gekeken naar de opgetreden 'natuurlijke' erosie. De absolute waarden van de te hanteren maximale netto storthoeveelheden zijn volgens beide benaderingen wel van de zelfde orde van grootte (bovengrens van 3 a 4 miljoen m^3/jaar).
- Door het hanteren van betere vakindelingen wijkt ΔV_{tot} enigszins af. In de hierboven genoemde vaargeul van macrocel 4 wordt voor de bepaling van de minimale stortcapaciteit ΔV_{tot} uit de periode 1990-1996 (bijvoorbeeld. -1,1 miljoen m3/jaar) gebruikt aangezien deze waarde representatief is voor het lange termijn gedrag. Voor de bepaling van de maximale stortcapaciteit wordt ΔV_{tot} uit de periode 1997-2002 (bijvoorbeeld -3,3 miljoen m3/jaar) gebruikt aangezien in deze periode tijdens de verdieping hier anders gebaggerd en gestort werd (de waargenomen hoge erosiesnelheid wordt als representatief voor de bovengrens genomen).
- Voor de geulsystemen in de macrocel 1 (Vlissingen, Terneuzen) geldt dat in de vaargeul gebaggerd wordt, waardoor het 5 procent-criterium van toepassing is.
- Als voor macrocel 3 het stroomschema uit figuur A.1 doorlopen wordt, komen we uit op situatie 4 en is de stortcapaciteit gelijk aan het volume van de ingreep (ΔV_i).
- Voor wat betreft de verwachte toekomstige ontwikkeling van de geul wordt in het voorgaande advies geen onderscheid gemaakt tussen de situatie waarin ingrepen een natuurlijke ontwikkeling versterken of verzwakken (situatie 2) en een situatie waarin de ingrepen de tendens bepalen (situatie 3).

In het advies aan Directie Zeeland kwam de totale netto stortcapaciteit uit op 7,1 tot 9,6 miljoen m^3/jaar. In de huidige studie wordt geadviseerd de netto stortcapaciteit bij te stellen tot 6,2 tot 9,0 miljoen m^3/jaar.

Macrocel	geul	veilige stortcapaciteit	Waarnemingen $\otimes V_{tot}$	situatie	5 procent of 10 procent	T min	T max	min. stortcapaciteit	max. stortcapaciteit
1	vloed	1,0	-0,2	2	10 procent	13	15	1,5	1,7
3	vloed	1,4	0,1	4	nvt V_i toegepast	17	21	1,5	1,5
4	vloed	2,0	-1,1 minimaal -3,3 maximaal	2	nvt V_{tot} toegepast	nvt	nvt	1,1	3,3
4	eb	0,3	1,3	2	5 procent	18	20	0,0	0,0
5	vloed	1,0	-0,5	2	5 procent	15	20	1,3	1,5
6	vloed	0,2	-0,1	2	5 procent	7	8	0,4	0,5
7	vloed	0,3	-0,2	2	5 procent	4	5	0,4	0,5
totaal		6,2						6,2	9,0

Tabel A.1: *Overzicht van de waargenomen veilige stortcapaciteit (storthoeveelheden die in verleden,1955-2002, niet tot sedimentatie geleid hebben), de totale volumeverandering ΔVtot bepaald aan de hand van waarnemingen in de periode 1990-2002 (voor macrocel 5 de periode 1997-2002), de toegepaste situatie (resultaat van het schema in figuur A.1 (voor nevengeulen) of figuur A.2 (voor vaargeulen)), het percentage dat toegepast is (5 of 10 procent van de transportcapaciteit), een minimale en maximale transportcapaciteit en uiteindelijk de berekende minimale en maximale stortcapaciteit (op basis van alle voorgaande, de toegepaste formules staan in figuur A.1 en A.2).*

Appendix B: Hindcast 1998-2002

Werkwijze
Na aanpassing van het bagger- en stortalgoritme, zoals beschreven in paragraaf 3.2.1, dient te worden nagegaan of de resultaten overeenkomen met voorgaande berekeningen (definitieve calibratieberekening 119h uit Langetermijnvisie-studie) en met waarnemingen. Daartoe zijn een aantal simulaties uitgevoerd voor de periode 1998-2002. De sedimenttransporten zijn berekend volgens de formulering van Engelund-Hansen, vermenigvuldigd met een factor 0.5. In deze controlefase zijn een aantal instellingen gevarieerd om het effect op de modelresultaten in beeld te brengen. Het betreft met name de volgende instellingen:

- Bagger- versus vaargeulpolygoon
- Overdiepte 1,2 versus 0,7
- Vaste overdiepte versus plaatsafhankelijke overdiepte
- Reductiefactor sedimenttransport 0,75 versus 0,5
- Vaargeulpolygoon zonder verruiming versus vaargeulpolygoon met 50 m verruiming
- Ruwheid 0,016 versus 0,02 in de stortvakken
- Wel zandwinning en stort in de Schaar van de oude Doel versus geen zandwinning en stort.

Ter verkenning van de effecten van een andere stortstrategie is er tevens gevarieerd in stortstrategie (de zogenaamde Oost-West strategie versus storten volgens de WVO 2006 voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde). De uitgevoerde berekeningen (T1 tot en met T11) worden in tabel B.1 beschreven.

De resultaten van de simulaties zijn op verschillend schaalniveau geanalyseerd. Zowel de sedimentatie en erosiepatronen en dynamiek, als de ontwikkeling in termen van de morfologische parameters uit het milieueffectrapport beoordelingskader zijn bij de analyse betrokken. Ten bate van een overzichtelijke presentatie is voor deze milieueffectrapportrapportage gekozen om de resultaten van de definitieve simulatie, bijvoorbeeld de simulatie waarmee de waarnemingen het best gereproduceerd worden, in termen van het beoordelingskader te geven. Waar nodig worden conclusies met betrekking tot andere beoordelingscriteria (zoals erosie- en sedimentatiepatronen) wel in de tekst toegelicht. Voor een gedetailleerde beschrijving van modelresultaten met betrekking tot waterbeweging en sedimentatie- en erosiepatronen wordt verwezen naar voorgaande Langetermijnvisiestudies waarin het model is ontwikkeld, gekalibreerd en gevalideerd.

Berekening	Omschrijving
T01	Als definitieve calibratie berekening (119h) maar met aangepaste bagger stort methode. Storten volgens de zogenaamde Oost-west strategie
T03	Als T01, overdiepte van 1,2 m in plaats van 0,7 meter
T04	Als T03, reductiefactor transporten 0,75 in plaats van 0,5
T05	Als T01, baggeren volgens het vaargeulpolygoon, storten volgens de ontwerp beschikking 2006 – 2011
T06	Als T05, baggeren volgens vaargeulpolygoon 50 meter verruimd, overdiepte van 1,2 meter
T07	Als T06, overdiepte van 0,7 meter
T08	Als T07, storten volgens stortbeleid 1998 - 2002, bijvoorbeeld de Oost-west strategie, baggerdiepten bovenstrooms Krankeloon laten afnemen van 10,8 naar 8,7 meter bij de Ruppelmonding. Baggervak toegang naar Kallosluis verwijderd (wordt alleen slib gebaggerd).
T09	Als T08, ruwheid van 0,016 in de stortvakken
T10	Als T08, plaatsafhankelijke overdiepte, overdiepte in de Beneden-Zeeschelde variërend tussen de 0,35 en 0 meter. Stort van materiaal gebaggerd bovenstrooms van Krankeloon in zee.
T11	Als T10, geen zandwinning en geen stort in de Schaar van de oude Doel (de zandwinhoeveelheid is hetzelfde als de storthoeveelheid).

Tabel B.1: *Overzicht uitgevoerde simulaties*

Resultaat
In tabel B.2 staan de waargenomen en berekende baggerhoeveelheden voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. De simulaties T01 tot en met T11 resulteerden in de volgende bevindingen:

- Zowel een grotere overdiepte als een vergrote transportfactor geeft grotere baggerhoeveelheden
- Een grotere transportfactor geeft te veel dynamiek
- Het storten volgens vaargeulpolygoong en vergunning 2006-2011 geeft voor de Westerschelde zelfde baggerhoeveelheden als voor storten volgens Oost-West strategie, mits niet in of direct naast de vaargeul gestort wordt. Voor de Beneden-Zeeschelde worden wel veel te hoge baggerhoeveelheden.
- Verruiming van de vaargeulpolygoon met 50 meter levert hogere (meer realistische) baggerhoeveelheden
- Voor de Beneden-Zeeschelde levert de plaatsafhankelijke overdiepte een aanzienlijke verbetering

- Er zijn twee stortvakken (1 en 2) 'gladder' gemaakt (de ruwheid op 0,016 gezet). Dit heeft twee effecten: 1) door grotere snelheden nemen transporten en de afvoer van sediment toe, 2) afname van transporten, want functie van 1/C2 en c neemt toe. Op voorhand is niet aan te geven welke van de twee effecten overheerst. Uit simulatie T09 blijkt dat in vak 1 de afvoer van sediment toe neemt en voor vak 2 afneemt. De totale baggerhoeveelheden nemen enigszins toe.

Berekening	Baggerhoeveelheid Westerschelde (miljoen m^3/jaar)	Baggerhoeveelheid Beneden-Zeeschelde (miljoen m^3/jaar)
Waargenomen	7,4* miljoen m^3/jaar	1,2* miljoen m^3/jaar
119h	10,3 miljoen m^3/jaar	2,2 miljoen m^3/jaar
T01	7,1 miljoen m^3/jaar	2,2 miljoen m^3/jaar
T03	8,0 miljoen m^3/jaar	2,0 miljoen m^3/jaar
T04	10,8 miljoen m^3/jaar	2,7 miljoen m^3/jaar
T05	7,1 miljoen m^3/jaar	4,8 miljoen m^3/jaar
T06	10,5 miljoen m^3/jaar	4,9 miljoen m^3/jaar
T07	8,9 miljoen m^3/jaar	4,8 miljoen m^3/jaar
T08	8,6 miljoen m^3/jaar	3,3 miljoen m^3/jaar
T09	8,9 miljoen m^3/jaar	3,4 miljoen m^3/jaar
T10	8,6 miljoen m^3/jaar	2,5 miljoen m^3/jaar
T11	8,7 miljoen m^3/jaar	2,5 miljoen m^3/jaar

* Het betreft de waarnemingen gecorrigeerd voor aanlegbaggerhoeveelheden voor de tweede verdieping (zie paragraaf 3.5), de oorspronkelijk ongecorrigeerde waarnemingen zijn respectievelijk 10,9 en 1,8 miljoen m^3/jaar. Ten tijde van uitvoering van deze controle zijn deze oorspronkelijke waarnemingen gebruikt, de bepaling van aanleghoeveelheden is later uitgevoerd.

Tabel B.2: *Overzicht berekende (Delft3D-simulaties) totale bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar).*

Met gebruik van de nieuwe algoritme en toepassing van de Oost-West stortstrategie leverden de volgende instellingen het beste resultaat:

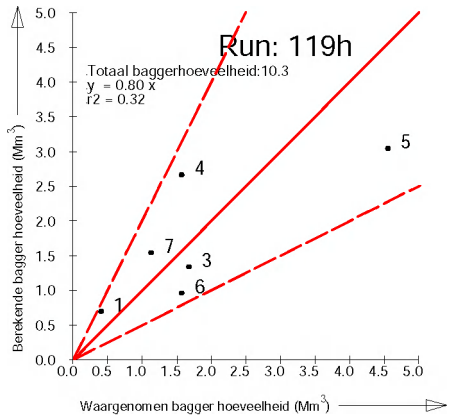
- vaargeulpolygoon 50 meter verruimd
- overdiepte van 0,7 meter
- baggerdiepten bovenstrooms Krankeloon laten afnemen van 10,8 naar 8,7 bij de Rupelmonding. Baggervak toegang naar Kallosluis verwijderd (hier wordt alleen slib gebaggerd)
- ruwheid van 0,016 in de stortvakken
- plaatsafhankelijke overdiepte, in de Beneden-Zeeschelde variërend tussen de 0,35 en 0 meter. Stort van materiaal gebaggerd bovenstrooms van Krankeloon in zee
- geen zandwinning en geen stort in de Schaar van de Oude Doel (de zandwinhoeveelheid is hetzelfde als de storthoeveelheid).

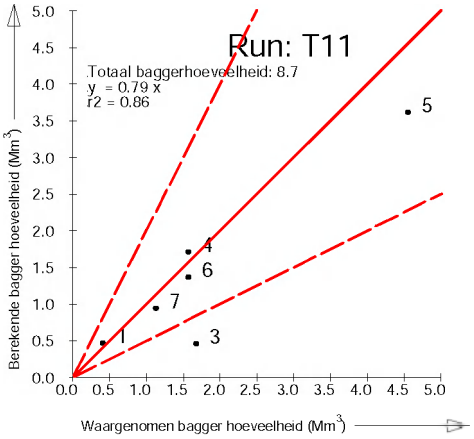
In een poging om de *erosie en sedimentatie* te kwantificeren staan in tabel B.3 de waargenomen en berekende sedimentatievolumes, erosievolumes en de som van beiden (als maat voor de dynamiek van het systeem).

	Sedimentatie (miljoen m^3/jaar)	Verschil (procent)	Erosie (miljoen m^3/jaar)	Verschil (procent)	Sedimentatie + Erosie (miljoen m^3/jaar)	Verschil (procent)
Waargenomen	26,0		26,7		53,3	
119h	28,8	8,4	30,7	15,2	59,5	11,8
t01	27,8	4,6	28,9	8,2	56,7	6,4
t03	28,0	5,5	29,3	9,7	57,3	7,6
t04	35,5	33,5	36,8	37,9	72,3	35,7
t05	28,8	8,5	27,9	4,6	56,7	6,6
t06	30,2	13,8	29,8	11,8	60,1	12,8
t07	29,2	10,1	28,7	7,6	58,0	8,8
t08	27,9	4,9	28,8	7,9	56,7	6,4
t09	29,5	10,9	30,3	13,5	59,8	12,2
t11	27,7	4,1	28,7	7,5	56,4	5,8

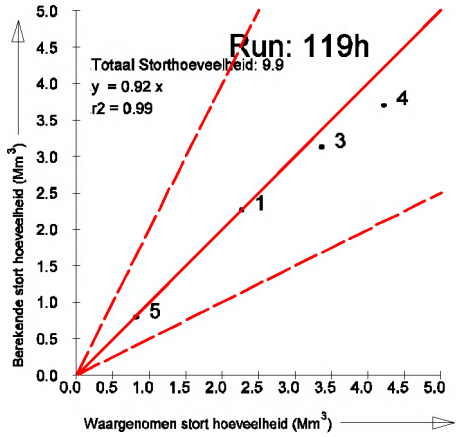
***Tabel B.3**: Waargenomen en berekende (resultaten van Delft3D-simulaties) sedimentatie en erosievolumes (miljoen m3/jaar).*

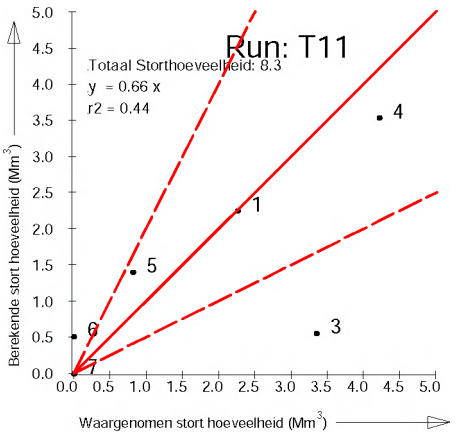
De waargenomen versus berekende bagger- en storthoeveelheden per individueel baggervak in de Westerschelde staan in figuur B.1a en B.1b. De waargenomen versus berekende baggerhoeveelheden per individueel baggervak in de Beneden-Zeeschelde staan in figuur B.2. Het betreft een vergelijking met de waarnemingen die niet gecorrigeerd zijn voor aanlegbaggerhoeveelheden, dat betekent dat de waarnemingen een overschatting van het onderhoudsbaggervolume betreffen.



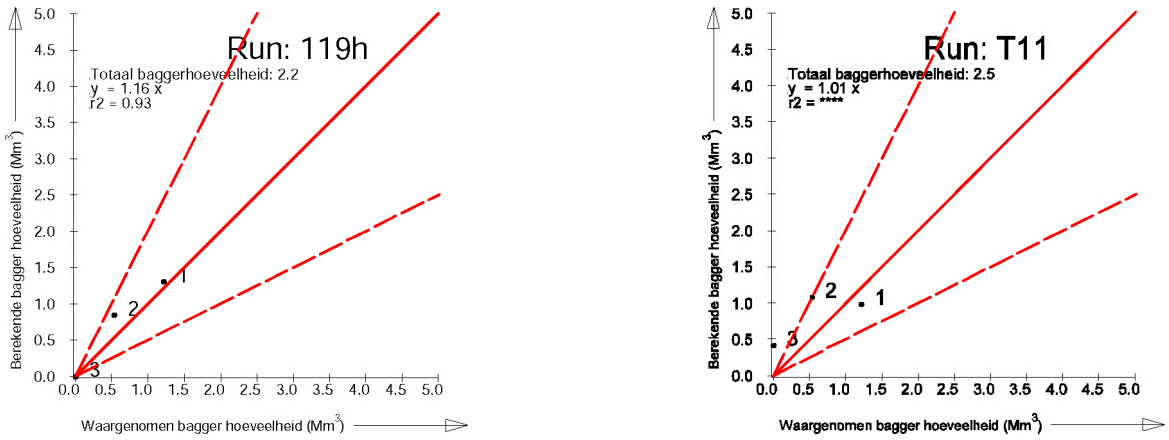


Figuur B.1a: *Waargenomen en berekende (Delft3D-simulaties) baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) in de Westerschelde (1998-2002). De getallen geven het nummer van de betreffende macrocel weer.*





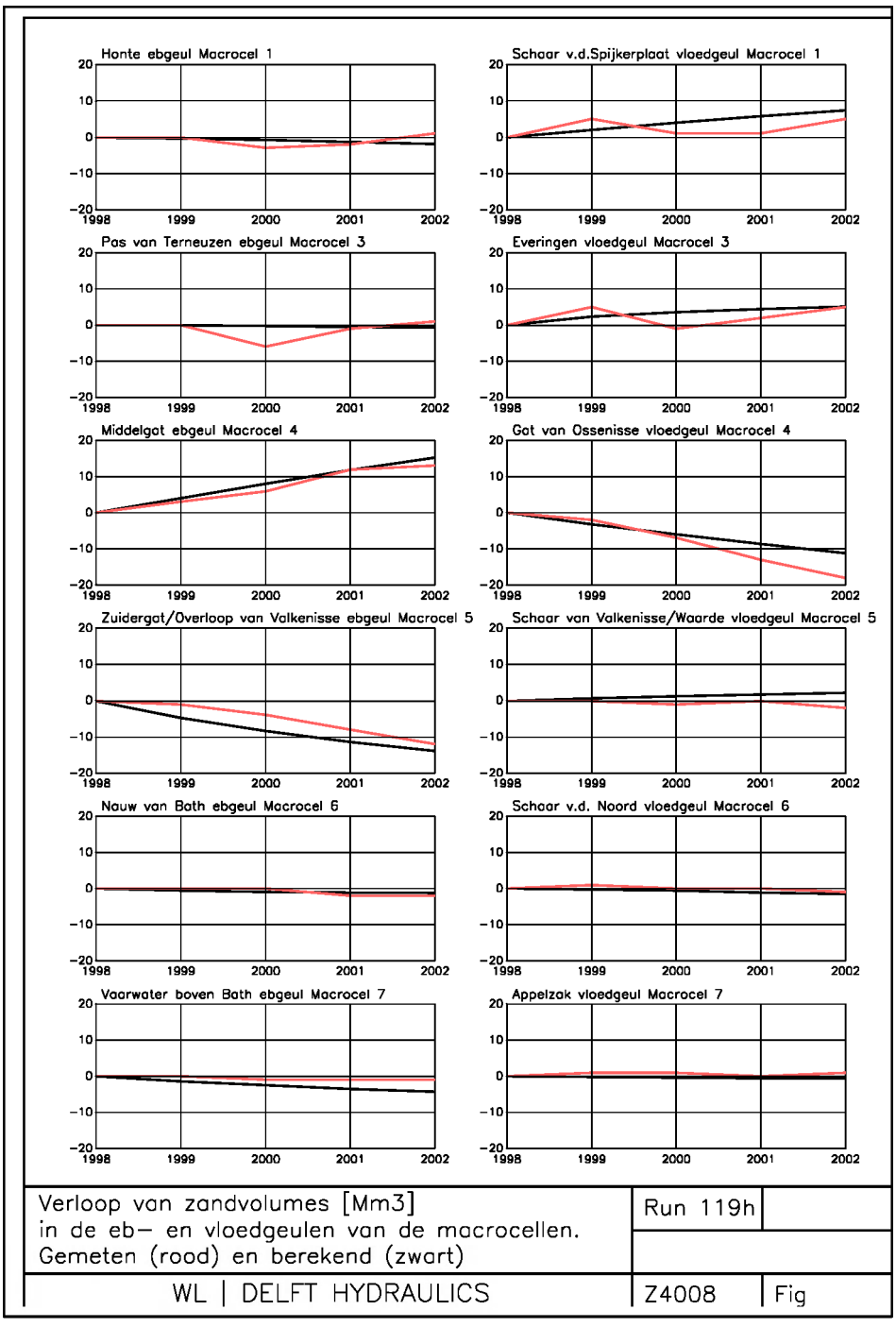
Figuur B.1b: *Waargenomen en berekende (Delft3D-simulaties) storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) in de Westerschelde (1998-2002). De getallen geven het nummer van de betreffende macrocel weer.*



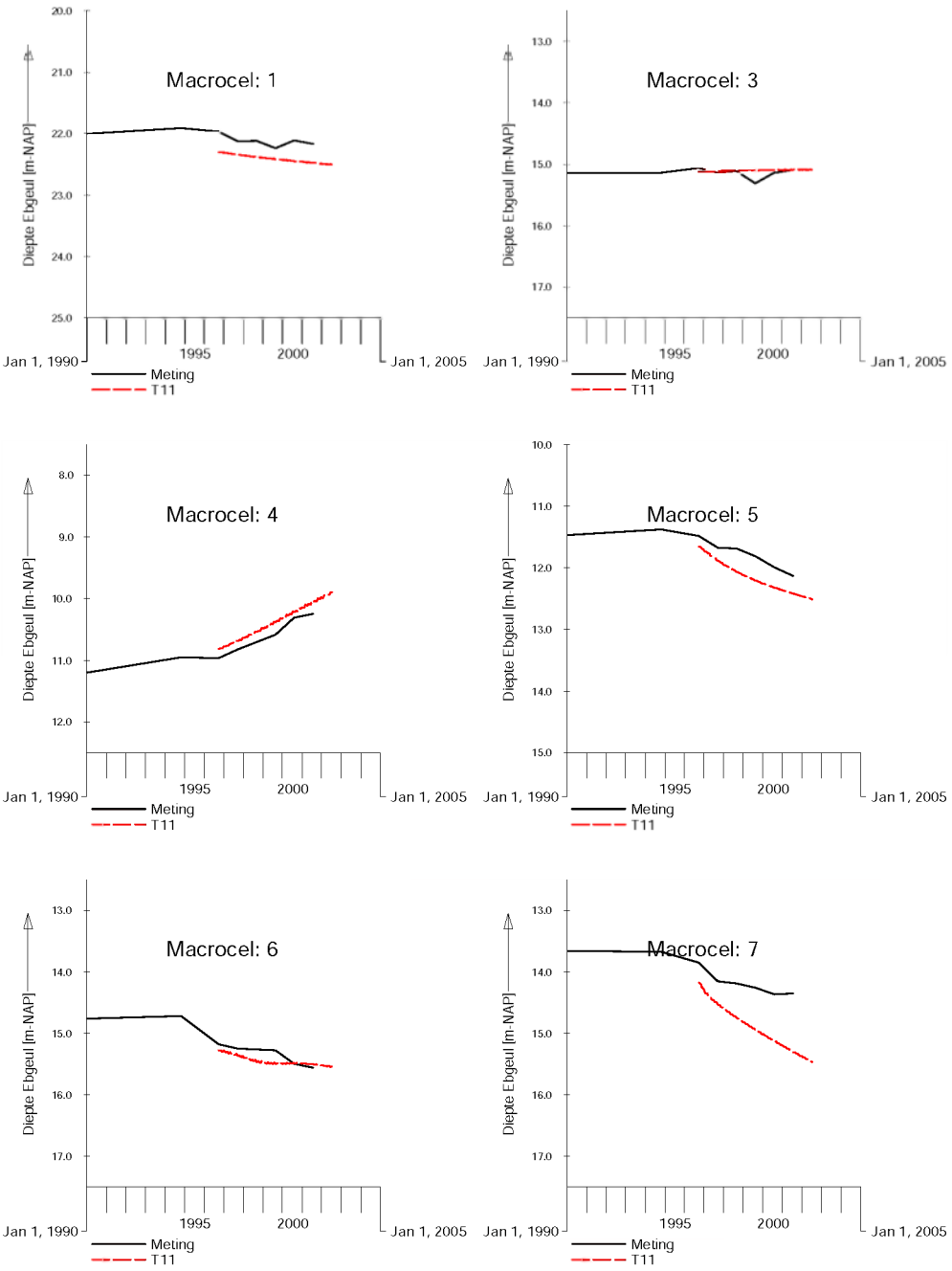
Figuur B.2: *Waargenomen en berekende (Delft3D-simulaties) baggerhoeveelheden (miljoen m3/jaar) in de Beneden-zeeschelde (1998-2002). Het gebied is opgedeeld in drie delen 1 tot en met 3.*

De totale baggerhoeveelheid in de Westerschelde wordt voor T11 overschat. De baggerhoeveelheid in de Beneden-Zeeschelde (figuur B.3) wordt voor T11 eveneens overschat. Dit komt met name door te veel baggeren in deelgebied 2, nabij het Deurgangckdock. Gezien de overschatting van de absolute baggerhoeveelheden zullen de resultaten in termen van baggerhoeveelheden in de huidige milieueffectstudie in relatieve zin (relatieve toe- of afname ten opzichte van referentiesimulatie) toegepast worden.

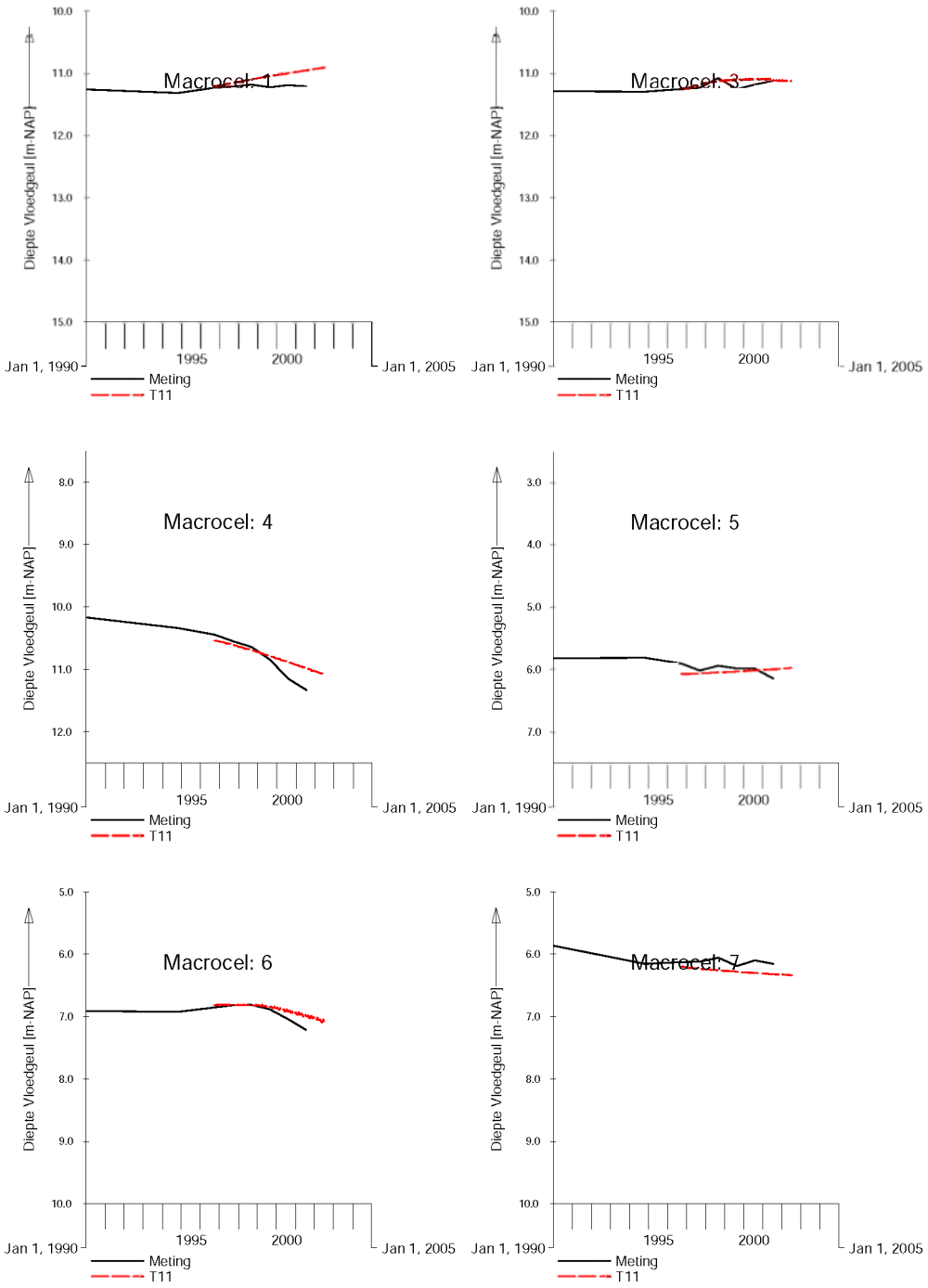
In figuur B.3 en B.4 staat het verloop van de berekende en gemeten zandvolumes voor de ebgeul en de vloedgeul per macrocel weergegeven (figuur B.3 de berekening in het kader van Langetermijnvisie, 199h, in figuur B.4 de berekening voor de huidige milieueffectrapport studie, T11.). In figuur B.5 en B.6 staan de verhangindicator en de kantelindex. De afwijkingen voor macrocel 1 en 5 zijn het grootst, het model voorspelt hier een grotere afname van de verhangindicator en een grotere toename van de kantelindex dan gemeten.
Voor deze macrocellen kunnen de modelresultaten slechts relatief toegepast worden. Bij de kwalitatieve beoordeling van de modelvoorspellingen (paragraaf 5.4) wordt deze mindere reproductie meegenomen. Bij het voorspellen van de absolute ontwikkeling wordt voor deze macrocellen meer gebruik gemaakt van de gemeten historische ontwikkeling en expert judgement. Voor de overige macrocellen wordt de trend goed berekend en liggen de berekende en waargenomen waarden dicht bij elkaar.



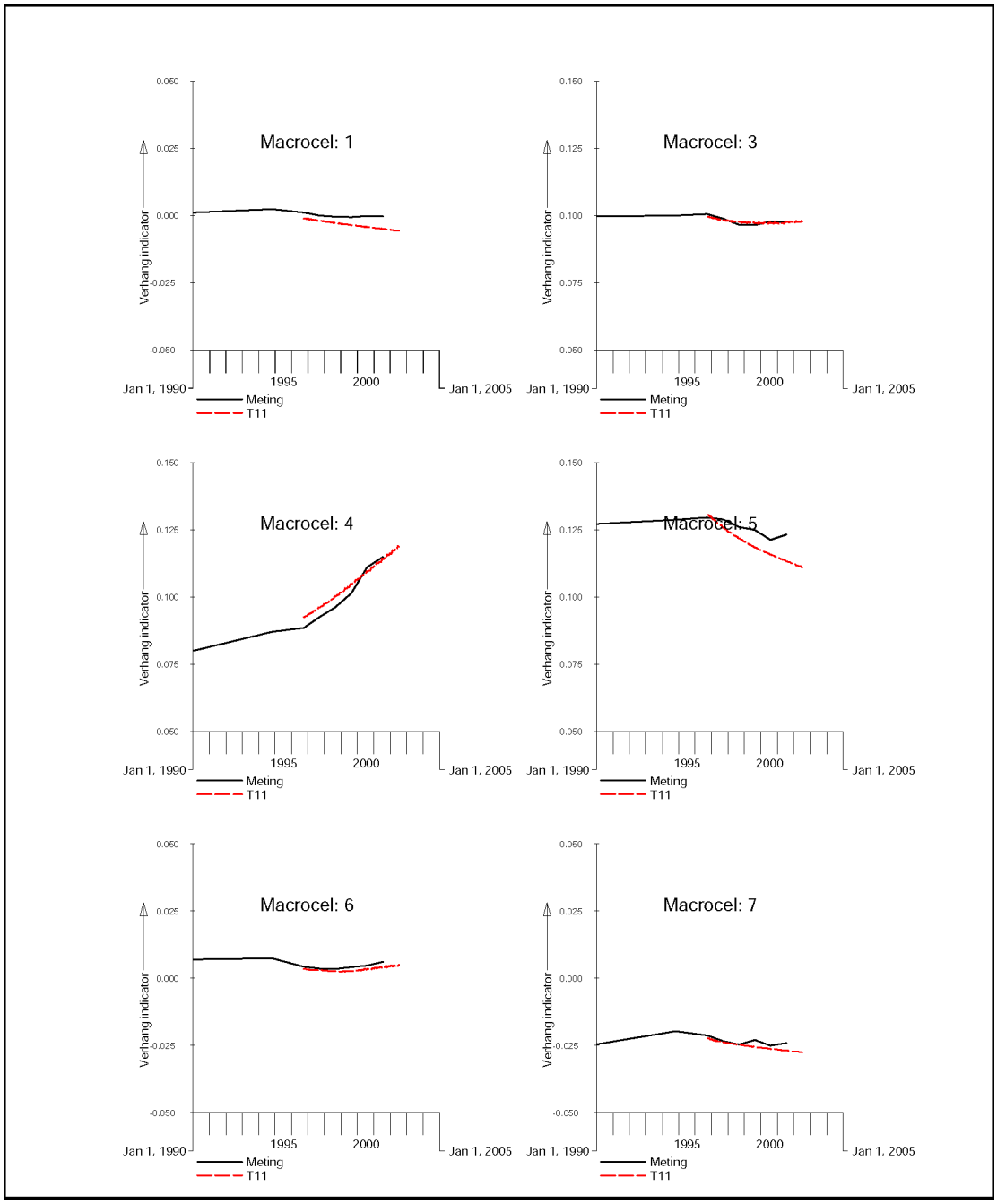
Figuur B.3: *In Langetermijnvisie-kader (119h) berekende (Delft3D-simulaties) en de gemeten ontwikkeling van de zandvolumes (miljoen m3)voor de vloed- en ebgeul per macrocel.*



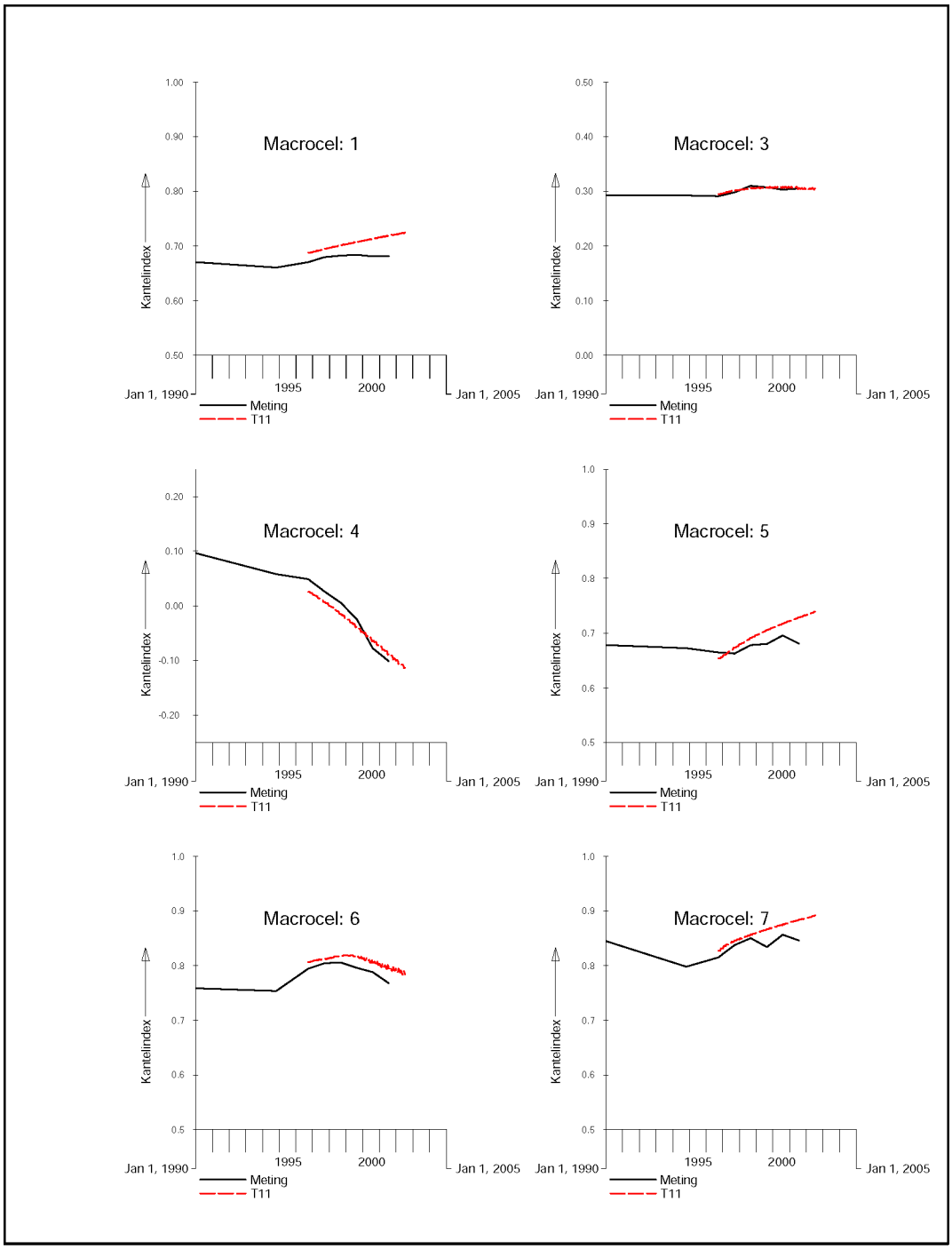
Figuur B.4a: *Voor de huidige milieueffectrapport (T11) berekende (Delft3D-simulaties) en de gemeten ontwikkeling van de diepte (meter) voor de ebgeul per macrocel.*



Figuur B.4b: *Voor de huidige milieueffectrapport (T11) berekende (Delft3D-simulaties) en de gemeten ontwikkeling van de diepte (meter) voor de vloedgeul per macrocel.*



Figuur B.5: *Voor de huidige milieueffectrapport (T11) berekende (Delft3D-simulaties) en de gemeten ontwikkeling van verhangindicator per macrocel.*



Figuur B.6: *Voor de huidige milieueffectrapport (T11) berekende (Delft3D-simulaties) en de gemeten ontwikkeling van kantelindex voor iedere macrocel.*

Appendix C: De proef op de som - iteratieprocedure

In deze appendix wordt de iteratie om te komen tot een aangepaste stortstrategie beschreven. Om de rapportage overzichtelijk te houden worden niet van alle iteratieslagen de resultaten weergegeven. De conclusies en geleerde lessen worden wel beschreven. In de volgende tabel staat het overzicht van alle simulaties die uitgevoerd zijn.

Berekening	Omschrijving
F03	Referentieberekenening. Opzet volgend uit T11. Baggeren volgens het verruimde vaargeulpolygoon. Overdiepte 0,7 meter in de Westerschelde, tussen de 0,35 en 0 meter in de Beneden-Zeeschelde. Storten volgens de stortgegevens. Geen baggeren en zandwinning in Schaar van oude Doel.
F01	Als F03; Storten in de nevengeulen van de macrocellen
F02	Als F03, Storten in de hoofdgeulen van de macrocellen
F04	Als F02, Storten in de hoofdgeulen, niet meer baggeren in stortvakken
F05	Als F02, Storten naast de hoofdgeul
F06	Als F01, Storten in de nevengeul van de westelijk gelegen macrocel
F07	Stortenverdeling nevengeulen en hoofdgeulen op basis van maximale stortvolume
F08	Verbetering F07 op basis van stortcriterium
F09	Als F08, niet meer baggeren in de vaargul van macrocel 5
F10	Stortverdeling van P1C
F11	Als F10, stortvakken aangepast zoals voor de projectalternatieven (groter gedeelte van de vaargeul)
Berekening	Omschrijving
D00	Referentieberekening, 1998 bodem, baggeren en storten volgens metingen 1998-2002
D03	Referentieberekenening, doorstart met eindbodem van F03, baggeren en storten volgens metingen 1998-2002
D10	1998 bodem, stortverdeling zoals F10
D11	Als D10, stortvakken aangepast zoals voor de projectalternatieven (groter gedeelte van de vaargeul)

Zoals gezegd wordt gestart met een variant waarbij een zo groot mogelijk deel van de baggerspecie gestort wordt in de nevengeul. De daarbij behorende relatieve stortverdeling staat weergegeven in tabel D.1 (voor uitleg over relatieve stortverdeling zie toelichting tabel 2.6 in paragraaf 2.9).

In lijn met de verwachting levert een dergelijke verdeling van 100 procent terugstorten in de nevengeul van dezelfde macrocel problemen met de stortcapaciteit: in de macrocellen 5 en 6 wordt zodanig veel gestort dat het stortcriterium ver overschreden wordt.

Als volgende variant is de extreme situatie doorgerekend waarbij 100 procent van de gebaggerde specie teruggestort wordt in de vaargeul van dezelfde macrocel. Uit de resultaten bleek dat als gevolg van het niet voldoende afvoeren van gestort sediment (onderschatting van sedimenttransport) enkele stortvakken vollopen. Aangezien dergelijke stortvakken zich binnen de vaargeulpolygoon bevinden, wordt een deel van het gestorte materiaal ook weer gebaggerd. Het terugstorten in de vaargeul en tegelijkertijd baggeren volgens het vaargeulpolygoon levert op een aantal locaties dus problemen. Om dit op te lossen zijn een aantal vakken binnen het vaargeulpolygoon verwijdert. Op deze locaties wordt in het model niet langer gebaggerd. Op de uitvoer vindt wel een controle plaats; de bodemontwikkeling in deze vakken wordt in beeld gebracht. Als de bodem op deze locaties boven het wateroppervlak (droog) komt te liggen, kan het gestorte materiaal niet meer in de vaargeul sedimenteren en nemen als gevolg de baggerhoeveelheden onrealistisch af in de tijd.

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 berekent het model de grootschalige erosie- en sedimentatie patronen redelijk goed. Op kleinere ruimteschaal is het model echter minder goed in staat om de exacte lokatie van erosie- en sedimentatiegebieden te berekenen. Op een aantal locaties leverde het terugstorten in de vaargeul dan ook problemen, hier werd gestort op locaties waar het model een niet realistische recirculatie van gestort materiaal richting baggergebied berekent. Om dit op te lossen is besloten om baggerspecie terug te storten naast de vaargeul, op locaties waar in het model nauwelijks tot geen recirculatie richting baggergebied optreedt.

Uit de eerste twee stortverdelingen is gebleken dat het niet haalbaar is om in het oosten alle gebaggerde specie in dezelfde macrocel terug te storten. Vandaar dat in de volgende iteratieslag in de nevengeul van de naastgelegen macrocel gestort wordt. Als eerste is de extreme situatie bekeken waarbij 100 procent gestort wordt in de nevengeul van de naastgelegen macrocel. Uit het resultaat blijkt dat het onvermijdbaar is om een combinatie van storten in de nevengeul en vaargeul van dezelfde macrocel èn storten in de nevengeul en vaargeul van de naastgelegen macrocel toe te passen. Zonder een dergelijke combinatie wordt er teveel gestort in de nevengeulen in het oosten.

In de volgende iteratieslagen zijn de stortverdelingen beoordeeld op overschrijding van het stortcriterium en het kantelen van het geulsysteem. In één van de berekende varianten wordt er bijvoorbeeld teveel gestort in de nevengeulen van macrocel 4 en 5 en wordt besloten meer te storten in de vaargeulen van deze macrocellen.

Voor de nevengeulen zijn de stortgebieden zodanig gedefinieerd dat ze bijna de gehele nevengeul beslaan. Voor de vaargeul was dit oorspronkelijk niet het geval. Om het vollopen van stortvakken en (te) grote recirculatie te voorkomen is in het iteratieproces besloten om ook de gehele vaargeul als stortgebied te definieren. Dit sluit tevens beter aan bij de eerdere bevinding dat het model op groter schaalniveau beter presteert dan op kleiner schaalniveau. Door deze aanpassing is het niet langer noodzakelijk om bepaalde vakken van de vaargeul uit te sluiten van baggeren.

De iteratieprocedure leidt uiteindelijk tot de relatieve stortverdeling zoals weergegeven in tabel D.2. In tabel D.3 en D.4 staan de bijbehorende absolute bagger- en storthoeveelheden per macrocel voor respectievelijk F11 (periode 1990-1998) en D11 (1998-2005).

Storten \ Baggeren		1	3	4	5	6	7
1	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg	100					
3	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg		100				
4	vaargeul/vg						
	nevengeul/eg			100			
5	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg				100		
6	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg					100	
7	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg						100

Tabel C.1: *Relatieve stortverdeling van de eerste doorgerekende variant waarbij 100 procent van de gebaggerde specie teruggestort wordt in de nevengeul van dezelfde macrocel.*

Storten \ Baggeren		1	3	4	5	6	7
1	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg	100			20		
3	vaargeul/eg						
	nevengeul/vg		100	25			
4	vaargeul/vg			75	40		
	nevengeul/eg				40		
5	vaargeul/eg						25
	nevengeul/vg					85	
6	vaargeul/eg					15	
	nevengeul/vg						50
7	vaargeul/eg						25
	nevengeul/vg						

Tabel C.2: *Relatieve stortverdeling na uitvoeren van de iteratieprocedure.*

baggeren / storten		1	3	4	5	6	7	Per macrocel gestort
1	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg	0,4			0,6			**1,0**
3	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg		0,3	0,5				**0,8**
4	vaargeul/vg[8]			1,6	1,2			**2,8**
	nevengeul/eg				1,2			**1,2**
5	vaargeul/eg						0,3	**0,3**
	nevengeul/vg					1,2		**1,2**
6	vaargeul/eg					0,2		**0,2**
	nevengeul/vg						0,5	**0,5**
7	vaargeul/eg						0,3	**0,3**
	nevengeul/vg							
Per macrocel gebaggerd		**0,4**	**0,3**	**2,2**	**2,9**	**1,4**	**1,0**	**Totaal 8,2**

Tabel C.3: *Absolute bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor Delft3D-simulatie F11.*

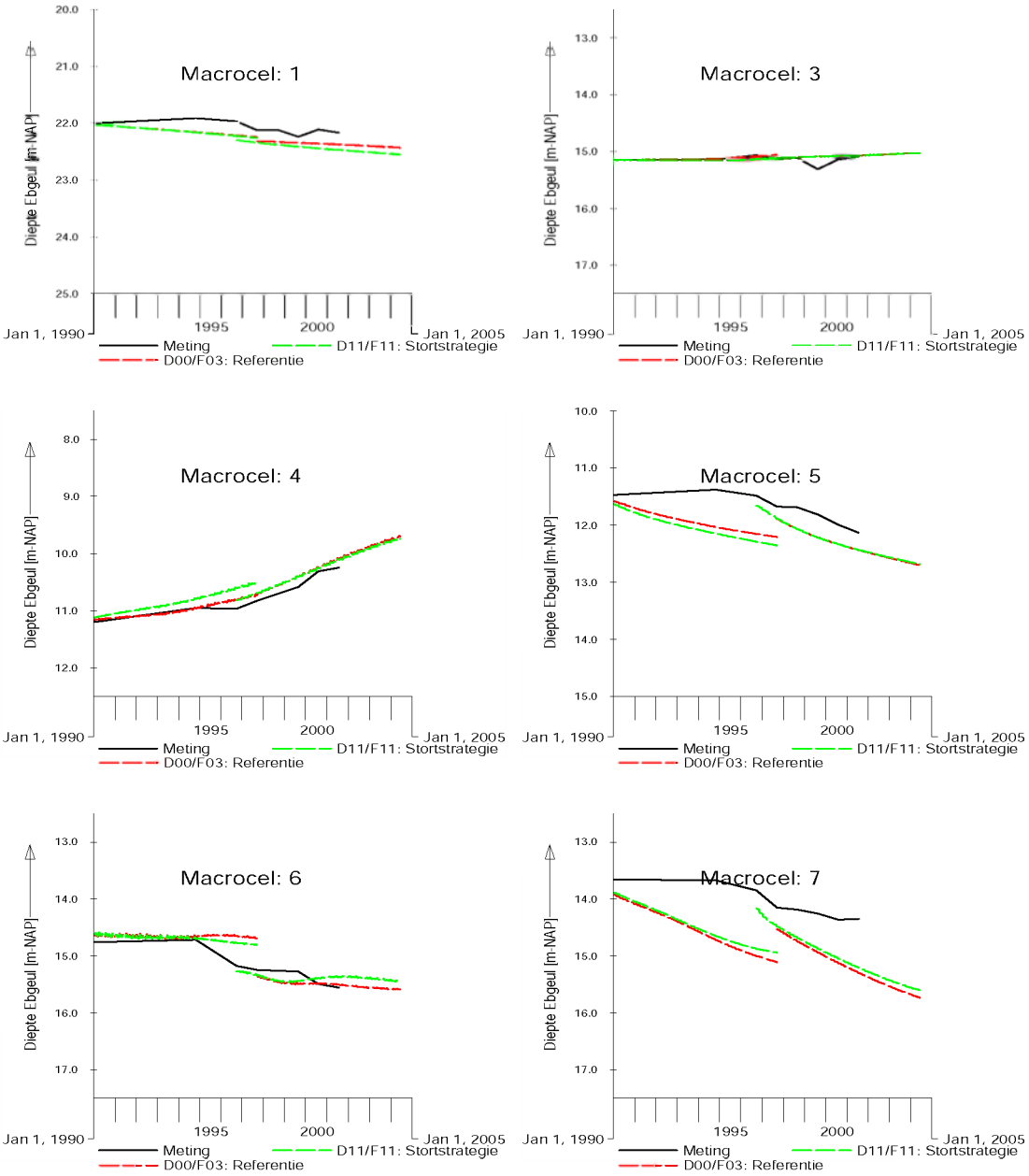
baggeren / storten		1	3	4	5	6	7	Per macrocel gestort
1	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg	0,5			0,7			**1,2**
3	vaargeul/eg							
	nevengeul/vg		0,5	0,7				**1,1**
4	vaargeul/vg[9]			2,1	1,4			**3,5**
	nevengeul/eg				1,4			**1,4**
5	vaargeul/eg						0,3	**0,3**
	nevengeul/vg					1,4		**1,4**
6	vaargeul/eg					0,3		**0,3**
	nevengeul/vg						0,5	**0,5**
7	vaargeul/eg						0,3	**0,3**
	nevengeul/vg							
Per macrocel gebaggerd		**0,5**	**0,5**	**2,8**	**3,5**	**1,7**	**1,0**	**Totaal 9,9**

Tabel C.4: *Absolute bagger- en storthoeveelheden (miljoen m3/jaar) per macrocel voor Delft3D-simulatie D11.*

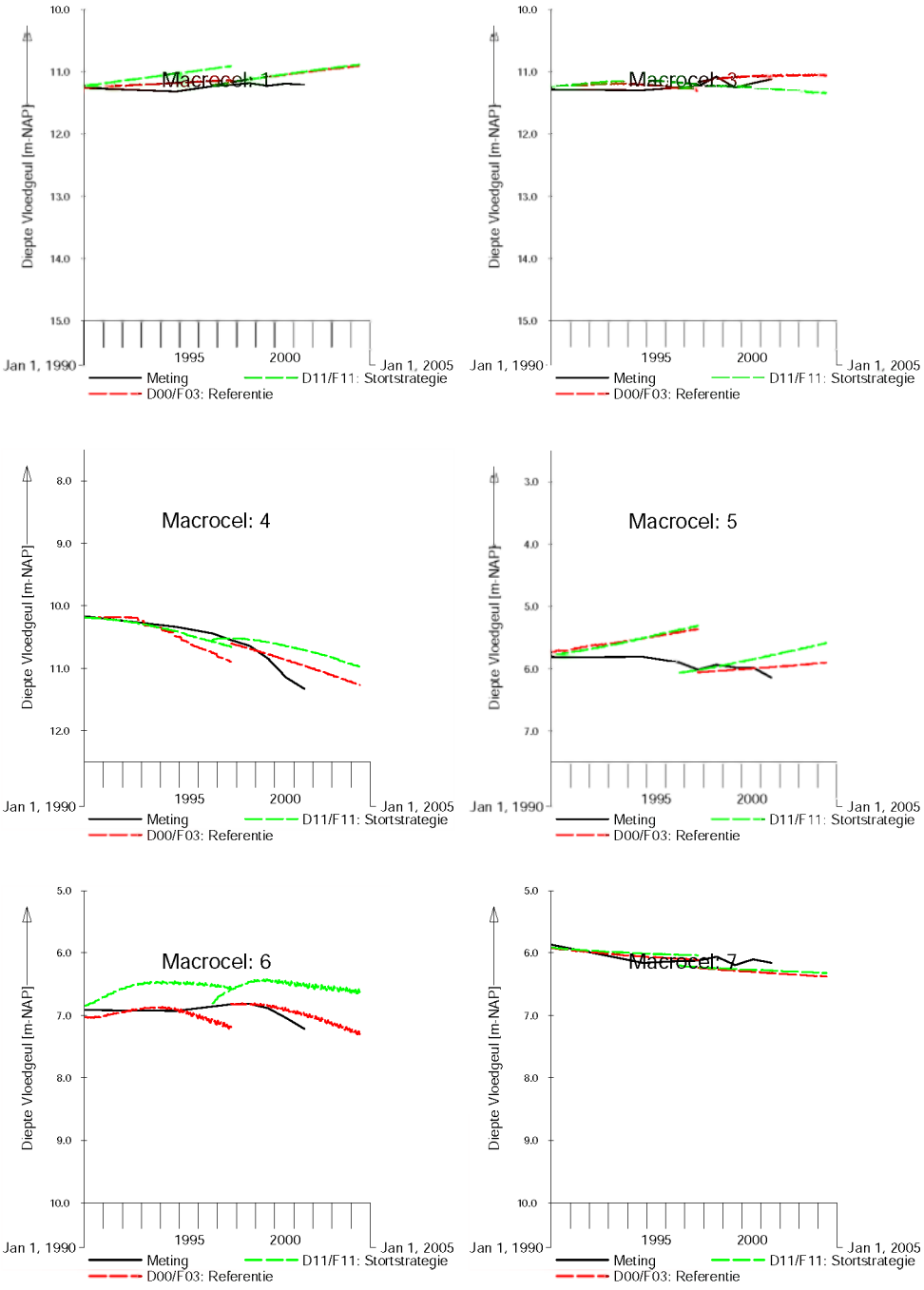
[8] In tegenstelling tot de andere macrocellen is in macrocel 4 de vaargeul de vloedgeul

[9] In tegenstelling tot de andere macrocellen is in macrocel 4 de vaargeul de vloedgeul

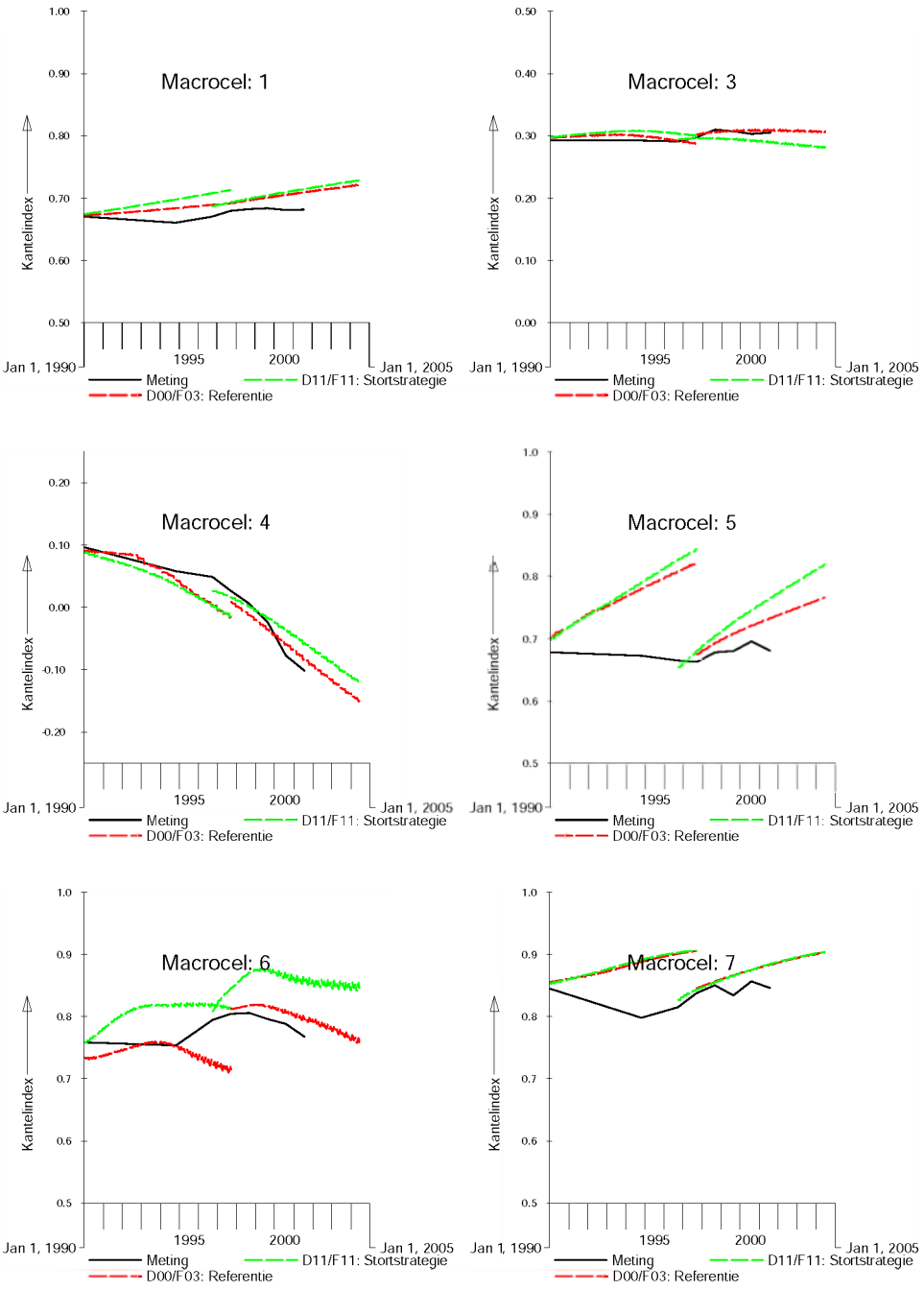
Appendix D: De proef op de som - modelresultaten



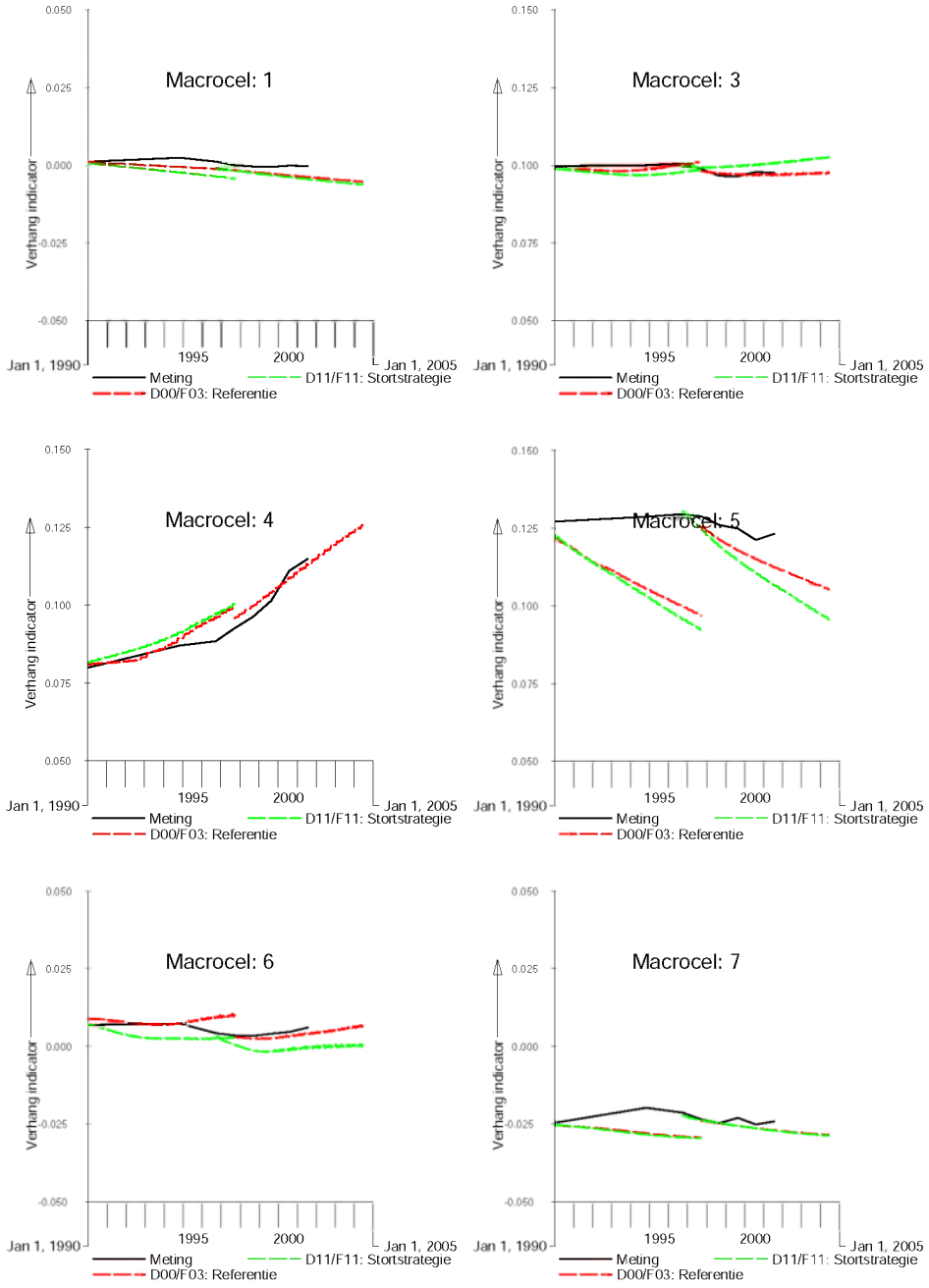
Figuur D.1: *Ontwikkeling diepte ebgeul (meter), metingen en berekeningen 03, F11, D00 en D11 (Delft3D-simulaties).*



Figuur D.2: *Ontwikkeling diepte vloedgeul (meter), metingen en berekeningen F03, F11, D00 en D11(Delft3D-simulaties).*



Figuur D.3: *Ontwikkeling kantelindex, metingen en berekeningen F03, F11, D00 en D11 (Delft3D-simulaties).*

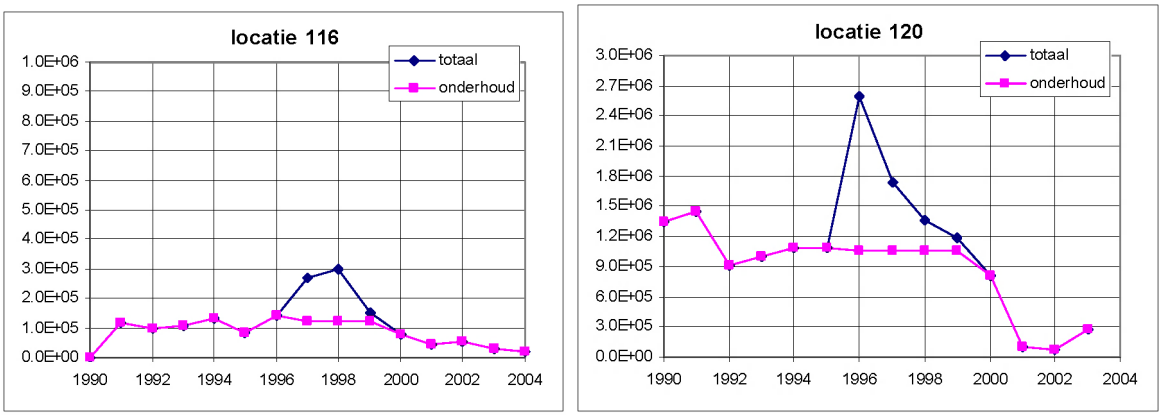


Figuur D.4: *Ontwikkeling verhangindicator, metingen en berekeningen F03, F11, D00 en D11 (Delft3D-simulaties).*

Netto Ingreep / oppervlak

Macrocel	geul		F03	F11	D00	D11
1	vaargeul	eg	-0,02	-0,02	0,00	-0,02
	nevengeul	vg	0,00	0,02	0,03	0,03
3	vaargeul	eg	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
	nevengeul	vg	0,01	0,02	0,06	0,03
4	vaargeul	vg	0,04	0,02	-0,03	0,02
	nevengeul	eg	0,03	0,05	0,07	0,06
5	vaargeul	eg	-0,13	-0,13	-0,15	-0,16
	nevengeul	vg	0,09	0,03	0,01	0,05
6	vaargeul	eg	-0,16	-0,16	-0,19	-0,19
	nevengeul	vg	-0,01	0,15	0,00	0,17
7	vaargeul	eg	-0,16	-0,14	-0,16	-0,15

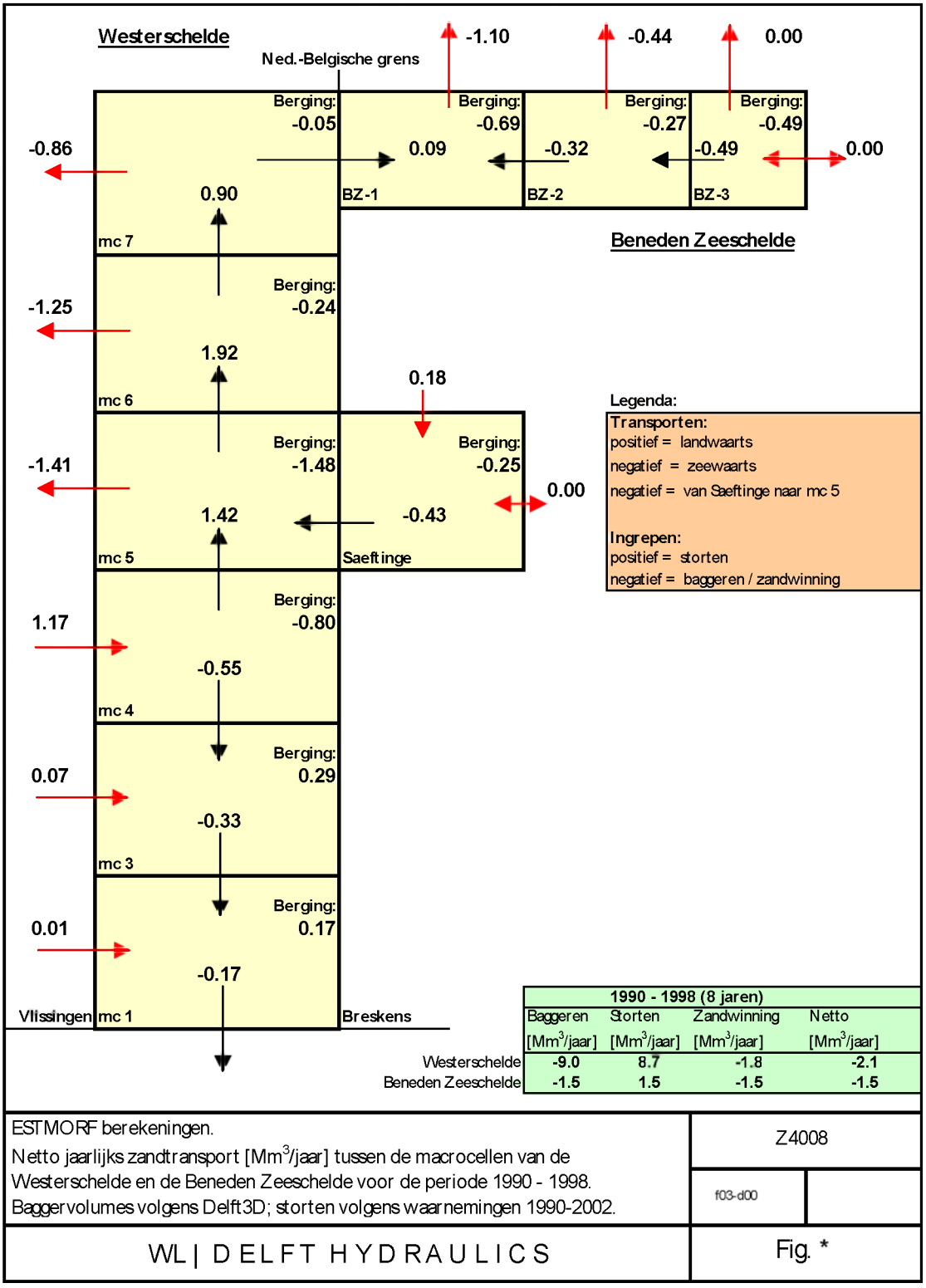
Tabel D.1: *Netto ingrepen gedeeld door het oppervlakte van de betreffende geul in de betreffende macrocel, oftewel de toe-/afname van de diepte (in meters) als direct gevolg van de netto ingreep (resltaten Delft3D-simulaties).*



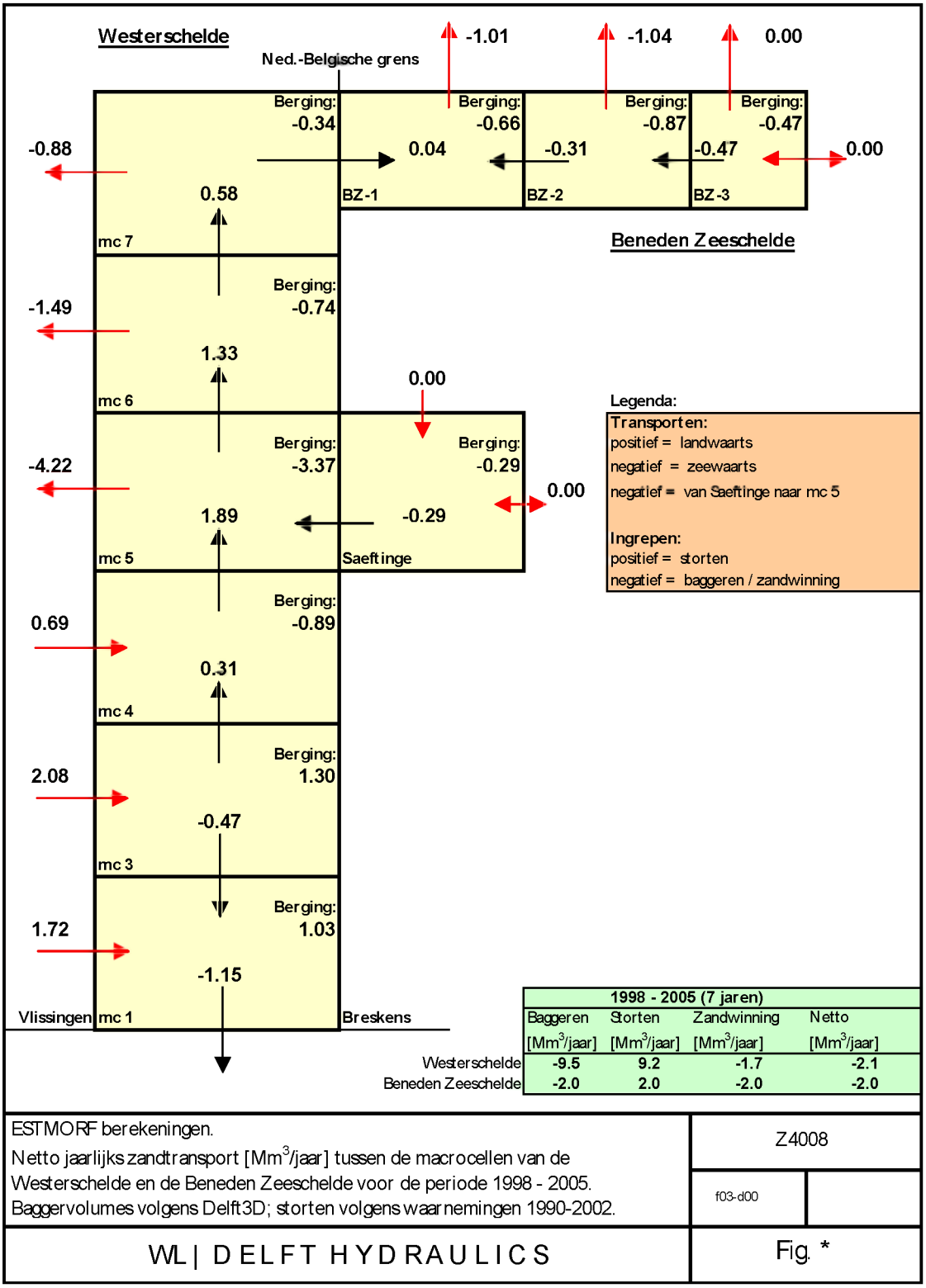
Figuur D.5: *Voorbeeld van het totale baggervolume (miljoen m3) en het geschatte onderhoudsvolume voor Estmorf -vak 116 en 120.*

	WS	BZ	Totaal
1996	0	1,9	1,9
1997	2,9	1,2	4,1
1998	4,3	0,9	5,2
1999	4,9	0,5	5,4
2000	2,1	0,3	2,4
2001	3,1	0,7	3,7
Totaal	17,2	5,4	22,6

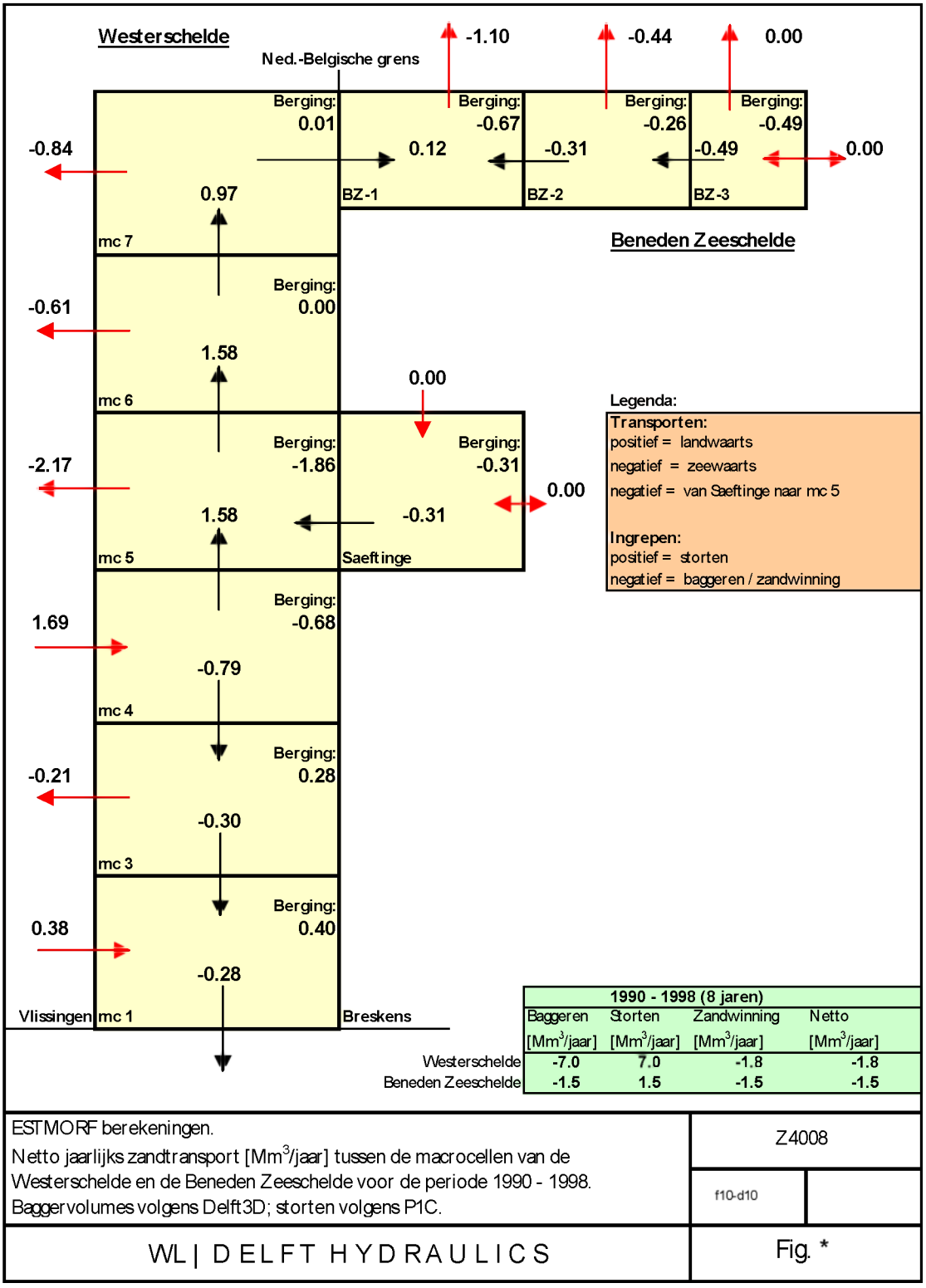
Tabel D.2: *Geschatte aanlegbaggervolumes (miljoen m3) ten behoeve van de tweede verruiming*



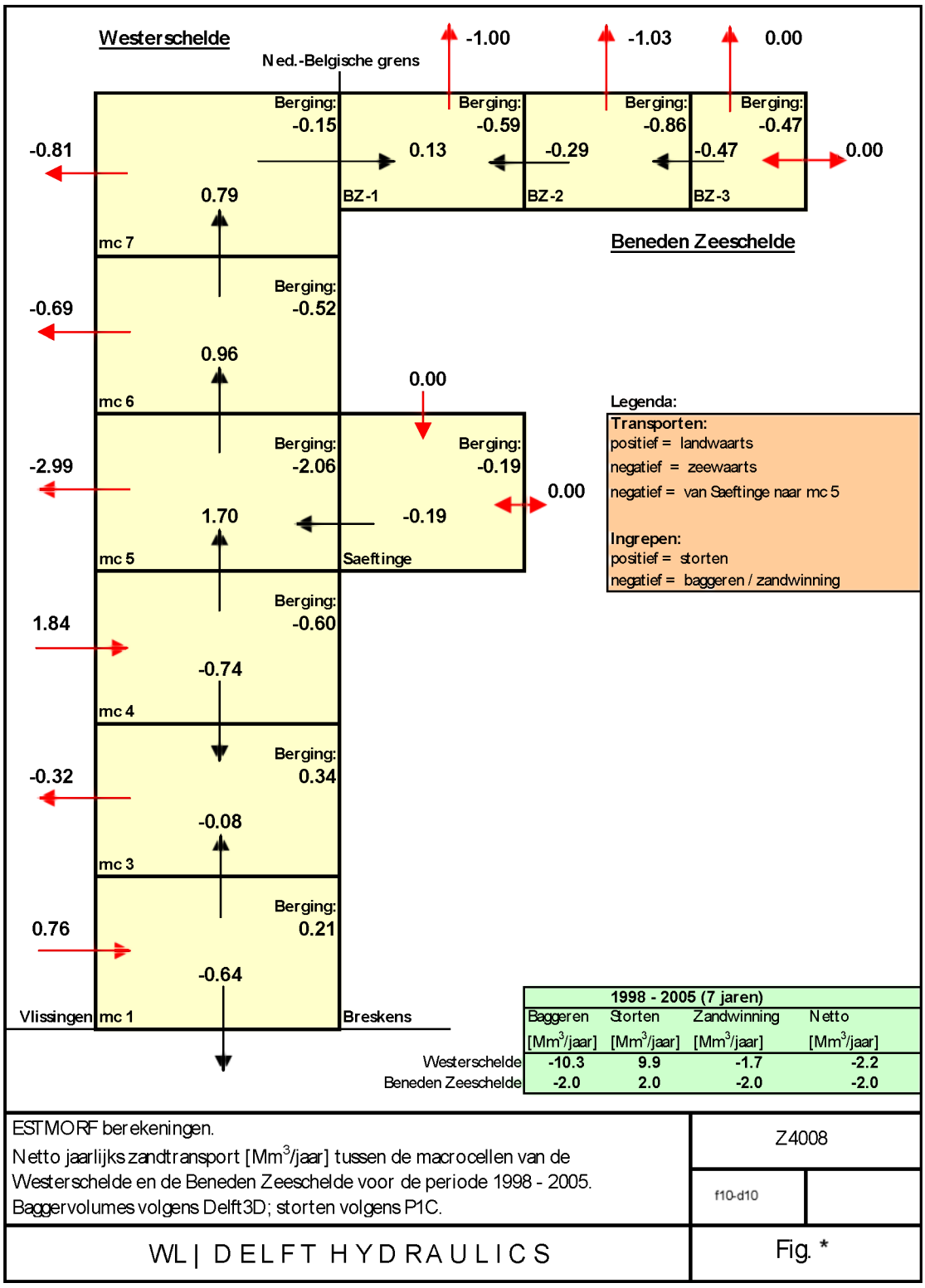
Figuur D.6: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor de Estmorf-referentiesimulatie F03 (1990-1998)*



Figuur D.7: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor de Estmorf-referentiesimulatie D00 (1999-2005)*



Figuur D.8: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor de Estmorf-simulatie met aangepaste stortstrategie F11 (1990-1998)*



Figuur D.9: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor de Estmorf-simulatie met aangepaste stortstrategie D11 (1999-2005)*

Appendix E: Baggeren en storten voor alle alternatieven

E.1. Inleiding

De Delft3D berekeningen zoals uitgevoerd in het kader van het Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde geven aan dat de verruiming en de daarbij behorende verdieping resulteren in een forse toename van de berekende baggerhoeveelheden in de Westerschelde. Voor de situatie zonder verruimde vaargeul wordt een baggerhoeveelheid berekend van ruim 6 miljoen m^3 terwijl met verruiming de berekende baggerhoeveelheid gelijk is aan ongeveer 10 miljoen m^3. Deze toename van meer dan 70 procent is vele groter dan de toename in baggerhoeveelheid zoals geschat in het kader van het strategische milieueffectenrapport (orde 10 à 20 procent).

Gedurende het strategische milieueffectenrapport is de toename van de baggerhoeveelheid geschat met het zogenaamde 1-element model. Om de met Delft3D berekende baggerhoeveelheden te valideren, is de verwachte toename in baggerhoeveelheden opnieuw uitgerekend met het 1-element model. Echter, het uitgangspunt is ditmaal de bodem behorend bij het jaar 2005, met en zonder verruimde vaargeul, in plaats van de bodem behorend bij 2002 zoals gebruikt in eerdere berekeningen met het 1-element model. In de analyse die uitgewerkt wordt in deze appendix worden baggerhoeveelheden bepaald met het 1-element model, er wordt hierbij geen gebruik gemaakt van waargenomen baggerhoeveelheden en/of Delft3D resultaten.

E.2. Het 1-element model

Voor het voorspellen van het onderhoudsbaggerwerk wordt een baggergebied beschouwd als één element. Van het gebied wordt verondersteld dat er een evenwichtsdiepte is die te klein is voor scheepvaart zodat er door baggeren een te grote diepte wordt gecreëerd. Deze te grote diepte heeft tot gevolg dat er een zandhonger ontstaat en er sedimentatie optreedt in het gebied. De hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk wordt bepaald door de snelheid waarmee dit gebeurt. De formule voor de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk, volgend uit de massabalans voor het sediment in de waterfase van een baggervak, luidt:

$$S = \frac{w_s A \delta c_E}{w_s A + \delta}\left(1 - \left(\frac{h_e}{h}\right)^n\right) \qquad (2.1)$$

Waarin:

S	is	Baggerhoeveelheid (m^3/jaar)
w_s	is	verticale uitwisselingssnelheid (m/s)
δ	is	horizontale uitwisselingscoëfficiënt (m^3/s)
c_E	is	sediment concentratie in de omgeving is volume bodem / volume water (-)
n	is	Calibratieconstante (-)
h_e	is	Evenwichtsdiepte (meter)
A	is	oppervlakte van het te baggeren gebied (m^2)
h	is	lokale baggerdiepte (-)

Het principe van het 1-element model is vergelijkbaar met het principe van Estmorf. Een aantal van de coëfficiënten kunnen dan ook uit de Estmorf schematisatie van de Westerschelde worden afgeleid:

- δ is **117810** **(m^3/s)**
- c_E is **0,00005** **(-)**
- n is 4 (-)

Bij gegeven oppervlakte van het te baggeren gebied en gegeven baggerdiepte kan de te verwachten baggerhoeveelheid berekend worden mits de lokale evenwichtsdiepte (he) en verticale uitwisselingssnelheid (ws) bekend zijn. Gedurende het strategische milieueffectenrapport zijn de waarden van deze parameters voor alle vergunningsbaggervakken bepaald op basis van calibratie met historische baggergegevens voor de periode 1955 – 2001.

E.3. Toename in oppervlakte te baggeren gebied

Niet het gehele oppervlak van een baggergebied wordt onderhouden blijkt uit hypsometrieën van de baggervakken. Een deel van het baggervak is voldoende diep en hoeft dus niet onderhouden te worden. Een deel van het baggervak wordt blijkbaar niet onderhouden omdat de diepte minder is dan de onderhoudsdiepte. In het kader van het strategische milieueffectenrapport zijn de te onderhouden oppervlakten geschat op basis van door de opdrachtgever toegeleverde hypsometrische curves van de baggervakken voor zowel de huidige situatie als de toekomstige, verruimde, situatie. In het kader van het strategische milieueffectenrapport was de huidige situatie gebaseerd op de bodemligging van de Westerschelde behorend bij het jaar 2002.

Het bleek niet triviaal het te onderhouden oppervlak te schatten op basis van de hypsometrische curves van de baggervakken voor 2005 met en zonder verruimde vaargeul. De volgende, subjectieve, procedure is gehanteerd om toch de te onderhouden oppervlakten te kunnen bepalen:

- Voor de huidige situatie wordt het snijpunt van de hypsometrische curve met de huidige baggerdiepte bepaald.
- Vervolgens wordt het snijpunt van de hypsometrische curve met de huidige baggerdiepte en een extra diepte van 1 meter bepaald.
- Het verschiloppervlak wordt gezien als het te onderhouden oppervlak voor de huidige situatie.
- Voor de toekomstige, verruimde, situatie wordt als eerste het snijpunt bepaald van de hypsometrische curve voor de verruimde situatie met de huidige baggerdiepte bepaald
- Vervolgens wordt het snijpunt van de hypsometrische curve voor de toekomstige, verruimde situatie met de toekomstige onderhoudsdiepte + een extra diepte van 0,5 meter bepaald.
- Het verschiloppervlak wordt gezien als het te onderhouden oppervlak voor de toekomstige, verruimde, situatie.

De procedure wordt verduidelijkt met een tweetal figuren, één figuur voor een baggervak waar overduidelijk verdiept en verruimd wordt en één figuur voor een baggervak waar dat niet het geval is.

E.4. Baggerhoeveelheden volgens het 1-element model voor de 2005 bodem met en zonder verruiming

Op basis van de geschatte te onderhouden oppervlakten zijn de verwachte baggerhoeveelheden bepaald volgens formule 2,1. Voor de calibratieparameters zijn de waarden zoals bepaald in het strategische milieueffectenrapport gebruikt zonder verdere aanpassing. De onderstaande tabel geeft het resultaat van deze berekening.

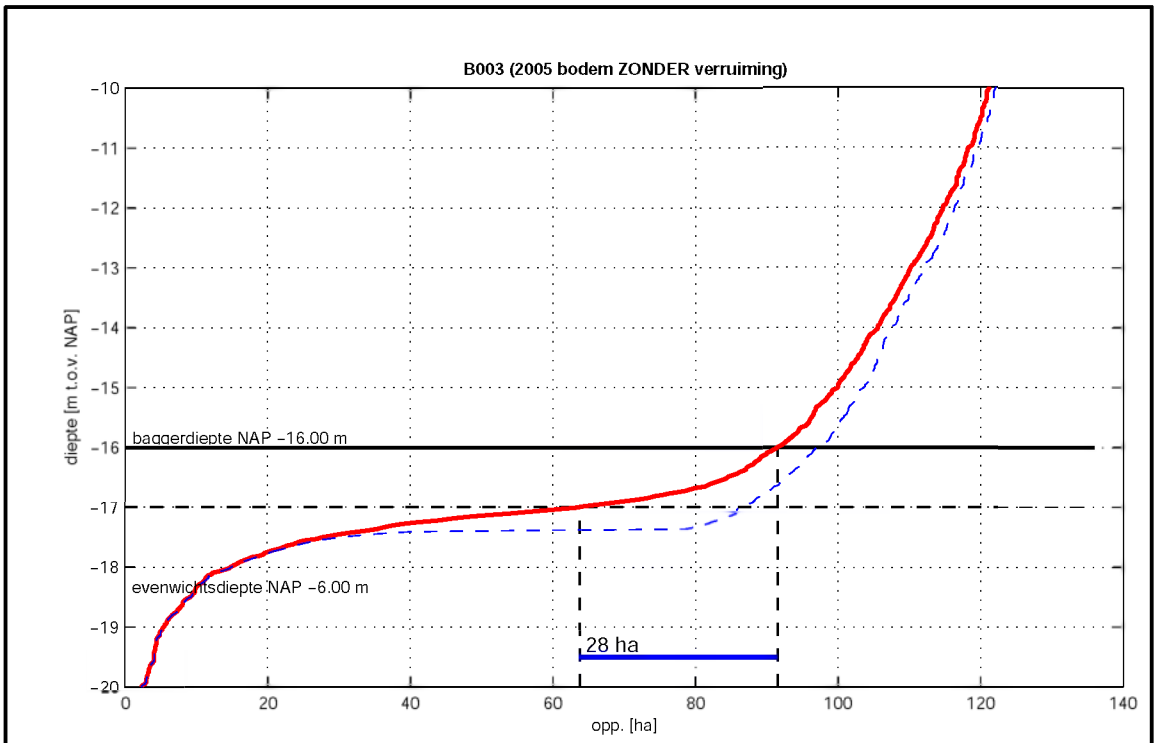
Baggervak:	baggerdiepte		te onderhouden oppervlakte (ha)				S (miljoen m^3/jaar)			
	voor verruiming	na verruiming	voor verruiming	na verruiming	toename abs	toename proc	voor verruiming	na verruiming	toename abs	toename proc
B014	16,00	17,20	0	2	2	0 procent	0,0	0,0	0,0	
B009	15,90	17,10	33	77	45	136 procent	0,6	1,5	0,9	146 procent
B008	16,00	17,20	114	151	37	33 procent	1,7	2,2	0,6	35 procent
B013	16,30	17,50	24	67	43	179 procent	0,3	0,9	0,6	189 procent
B010	16,10	17,30	32	60	28	88 procent	0,4	0,8	0,4	95 procent
B003	16,00	17,20	28	75	47	170 procent	0,9	2,3	1,4	169 procent
B007	15,90	17,10	8	14	6	74 procent	0,2	0,3	0,1	76 procent
B004	16,00	17,20	49	73	24	49 procent	1,0	1,5	0,5	51 procent
BL12	16,80	18,00	42	65	23	55 procent	0,5	0,8	0,3	68 procent
B006	15,90	17,10	12	21	10	83 procent	0,2	0,4	0,2	92 procent
B005	15,90	17,10	13	35	22	165 procent	0,3	0,7	0,5	168 procent
BR12	16,80	18,00	25	50	25	101 procent	0,3	0,6	0,3	118 procent
Totaal Westerschelde :			380	692	313	82 procent	6,3	12,2	5,9	94 procent

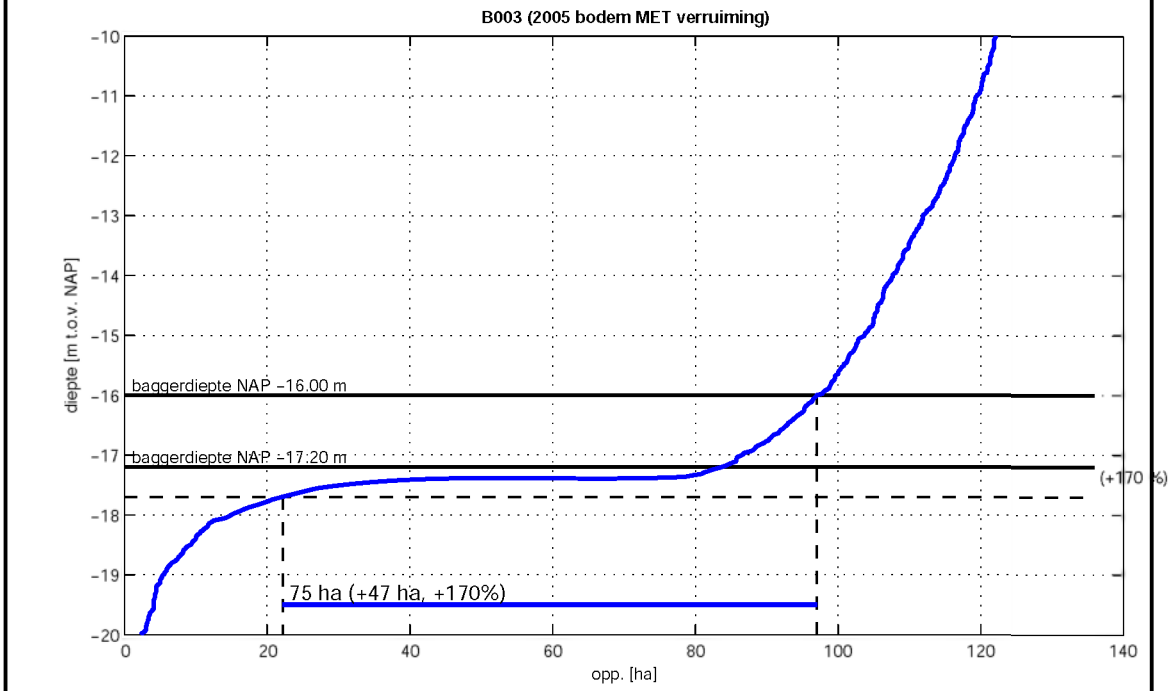
Tabel E.1: *Geschat jaarlijks onderhoudsbaggerwerk*

Voor de situatie zonder verruimde vaargeul wordt een onderhoudsbaggerwerk van ongeveer 6 miljoen m^3/jaar geschat. Met verruimde vaargeul neemt dit toe tot ongeveer 12 miljoen m^3/jaar. De toename wordt voor een groot deel veroorzaakt door de, subjectief bepaalde, toename in het te onderhouden oppervlak.

E.5. Conclusies

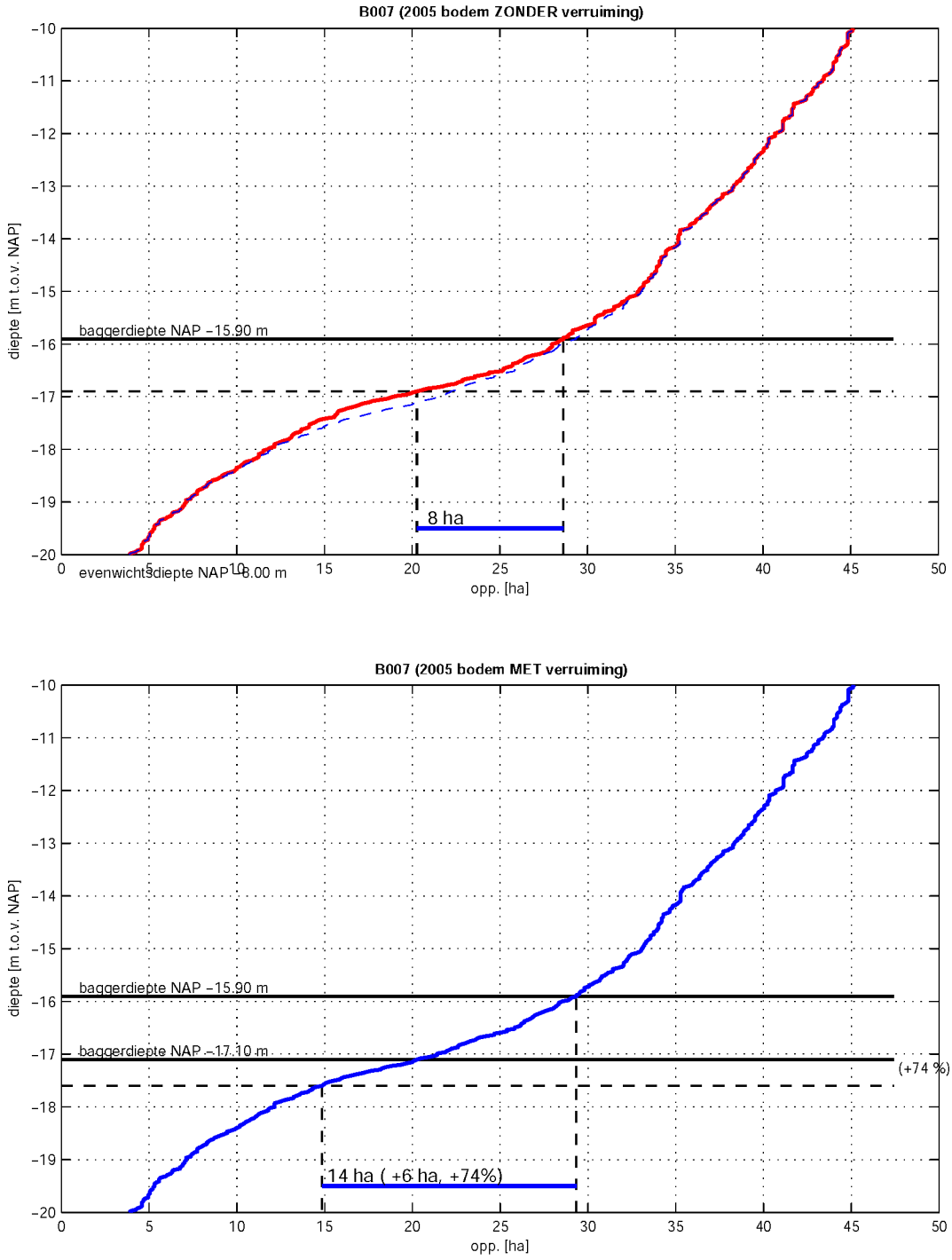
De grote toename in onderhoudsbaggerwerk zoals voorspelt met Delft3D wordt onderschreven door berekeningen met het 1-element model. Dit is vooral een gevolg van de lage baggercijfers behorend bij de 2005 bodem zonder verruimde vaargeul. Voor deze bodem geldt dat in de baggervakken de diepte, ten opzichte van de onderhoudsdiepte, relatief groot is. Dit heeft een klein te onderhouden oppervlak, en dus lage baggercijfers, tot gevolg. Dit is in overeenstemming met de geringe baggerhoeveelheden van de afgelopen jaren (in 2004 7,6 miljoen m^3, Haecon 2006) . Bij de analyse die uitgewerkt is in deze appendix, zijn de baggerhoeveelheden bepaald met het 1-element model, hierbij is geen gebruik gemaakt van waargenomen baggerhoeveelheden en/of Delft3D resultaten.





hypsometrische curve baggervak B003		28−Dec−2006
WL | Delft Hydraulics & Alkyon	Z4008	Fig. X.X

evenwichtsdiepte NAP –8.00 m



hypsometrische curve baggervak B007		28-Dec-2006
WL | Delft Hydraulics & Alkyon	Z4008	Fig. X.X

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100						0,0						0,0
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		100	50	50				0,8	0,5	1,5			2,7
	4	vaargeul	vg			40	50					0,4	1,5			1,8
		nevengeul	eg			10						0,1				0,1
	5	vaargeul	eg					20	20					0,2	0,2	0,3
		nevengeul	vg					80	80					0,6	0,6	1,3
	6	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg													0,0
	7	vaargeul	eg													0,0
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,0	0,8	0,9	3,0	0,8	0,8	6,3

Tabel E.2: *Stortverdeling nulalternatief (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100	60					0,0	0,4					0,5
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		40	35					0,3	0,5				0,8
	4	vaargeul	vg			65	50					0,9	1,7			2,6
		nevengeul	eg				10						0,3			0,3
	5	vaargeul	eg				20						0,6			0,6
		nevengeul	vg				20	65					0,6	0,9		1,5
	6	vaargeul	eg					35	30					0,5	0,3	0,8
		nevengeul	vg						30						0,3	0,3
	7	vaargeul	eg						40						0,4	0,4
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,0	0,7	1,4	3,3	1,4	1,1	8,0

Tabel E.3: *Stortverdeling nulplusalternatief (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling)*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100						0,1						0,1
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		100	50	50				2,3	0,7	2,0			4,9
	4	vaargeul	vg			40	50					0,5	2,0			2,5
		nevengeul	eg			10						0,1				0,1
	5	vaargeul	eg					20	20					0,2	0,2	0,4
		nevengeul	vg					80	80					0,9	0,8	1,7
	6	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg													0,0
	7	vaargeul	eg													0,0
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,1	2,3	1,4	3,9	1,1	0,9	9,7

Tabel E.4: *Stortverdeling projectalternatief min (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100						0,1						0,1
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		100						2,1					2,1
	4	vaargeul	vg													0,0
		nevengeul	eg			100						1,0				1,0
	5	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg				100						4,3			4,3
	6	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg					100						1,9		1,9
	7	vaargeul	eg						100						3,2	3,2
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,1	2,1	1,0	4,3	1,9	3,2	12,5

Tabel E.5: *Stortverdeling P0 (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100			20			0,1			0,8			0,9
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		100	25					2,2	0,6				2,7
	4	vaargeul	vg			75	40					1,7	1,7			3,4
		nevengeul	eg				40						1,7			1,7
	5	vaargeul	eg						25						0,3	0,3
		nevengeul	vg					85						1,6		1,6
	6	vaargeul	eg					15						0,3		0,3
		nevengeul	vg						50						0,6	0,6
	7	vaargeul	eg						25						0,3	0,3
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,1	2,2	2,3	4,2	1,9	1,2	11,8

Tabel E.6: *Stortverdeling P1/2/3C (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	100	60					0,1	1,2					1,3
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		40	35					0,8	0,8				1,6
	4	vaargeul	vg			65	50					1,5	2,3			3,8
		nevengeul	eg				10						0,5			0,5
	5	vaargeul	eg				20						0,9			0,9
		nevengeul	vg				20	65					0,9	1,3		2,3
	6	vaargeul	eg					35	30					0,7	0,4	1,1
		nevengeul	vg						30						0,4	0,4
	7	vaargeul	eg						40						0,5	0,5
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,1	2,1	2,3	4,6	2,1	1,3	12,4

Tabel E.7: *Stortverdeling P4N (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

				Baggeren						Baggeren						
				1	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7	totaal
Storten	1	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg	80	50					0,1	1,0					2,0
		hoogeplaten1	pr	4	4	4	4	4	4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	
		hoogeplaten3	pr	4	4	4	4	4	4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	
	3	vaargeul	eg													0,0
		nevengeul	vg		30	25					0,6	0,5				1,2
	4	vaargeul	vg			55	45					1,2	2,0			3,1
		nevengeul	eg				10						0,4			0,9
		rugvbaarland	pr	4	4	4	4	4	4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	
	5	vaargeul	eg				15						0,7			0,7
		nevengeul	vg				10	55					0,4	1,0		2,3
		walsoorden	pr	8	8	8	8	8	8	0,0	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	
	6	vaargeul	eg					25	20					0,4	0,2	0,7
		nevengeul	vg						25						0,3	0,3
	7	vaargeul	eg						35						0,4	0,4
	Totaal			100	100	100	100	100	100	0,1	2,1	2,1	4,4	1,7	1,2	11,6

Tabel E.3: *Stortverdeling P4P2 (zowel relatieve (links) als absolute (rechts) stortverdeling).*

Appendix F: Geuldiepte voor alle alternatieven

In figuren F.1 tot en met F.4 staat de ontwikkeling van de diepte van de ebgeul, in figuren F.5 tot en met F.8 staat de ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul. Aangezien de grafieken onoverzichtelijk worden als alle varianten in één grafiek worden getoond, worden ze in meerdere grafieken vertoont. Het effect van verruiming wordt verkregen door het nulalternatief te vergelijken met het projectalternatief min en het nulplusalternatief te vergelijken met P4N. In figuur F.1 en F.5 staan de resultaten voor deze varianten. Het effect van aanlegstort wordt verkregen door de varianten P1C, P2C en P3C met elkaar te vergelijken. In figuur F.2 en F.6 staan deze varianten met daarbij het nulalternatief als referentie. Het effect van aanpassen van de onderhoudsstortstrategie wordt verkregen door de varianten P0, P3C, P4N, P4P1 en P4P2 met elkaar te vergelijken. In figuren F.3, F.4, F.7 en F.8 staan deze varianten weergegeven.

De diepte van de geulen betreft een gemiddelde diepte (bijvoorbeeld van de hele macrocel). Het verschil in aanlegstort uit tabel 5.1 kan resulteren in een verschil in begindiepte (offset van lijnen in figuren F.1 tot en met F.8) van de nevengeulen. In tabel F.1 staat de aanlegstort per macrocel gedeeld door het oppervlak van de betreffende geul van de macrocel, oftewel de initiële verondieping (in meters) als gevolg van aanlegstort.

Aanlegstort/oppervlak	P1	P2	P3	P4P	P4N
1 vloedgeul	0,00	0,02	0,12	0,09	0,02
3 vloedgeul	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04
4 ebgeul	0,09	0,03	0,03	0,07	0,07
5 vloedgeul	0,06	0,03	0,03	0,06	0,09
6 vloedgeul	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
7 vloedgeul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel F.1: *Aanlegstort gedeeld door het oppervlak van de macrocel; de initiele verondieping (meter).*

Het verschil in begindiepte van de vaargeul tussen het nulplusalternatief en de projectalternatieven P1/2/3C en P4 wordt veroorzaakt door de aangebrachte verdieping. Deze is in het Oosten aanzienlijk groter dan in het Westen.

Het verschil in onderhoudsstrategie, bijvoorbeeld het verschil in netto ingrepen uit tabel 5.6, kan resulteren in een verschil in diepteontwikkeling van de geulen (de helling van de lijnen in figuren F.1 tot en met F.8). In tabel F.2 staat de netto ingreep gedeeld door het oppervlakte van de betreffende geul in de betreffende macrocel, oftewel de toe-/afname van de diepte (in meters) als direct gevolg van de netto ingreep. De ontwikkeling van de diepte van de geulen wordt bepaald door deze ingreep en de natuurlijke transporten.

Netto Ingreep / oppervlak

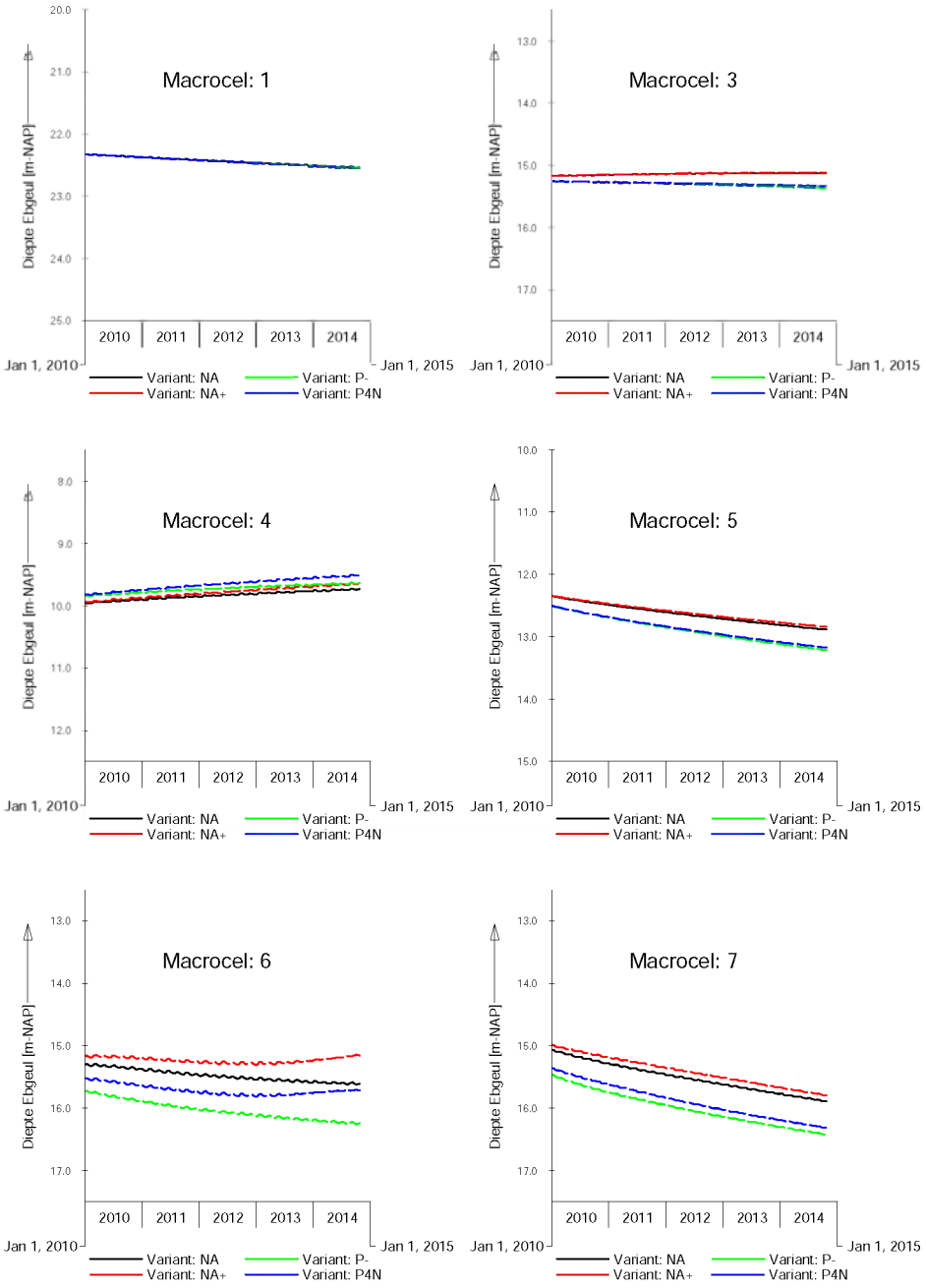
Macrocel	geul		Nulalt	Nul+	P-	P0	P1/2/3C	P4N	P4P1	P4P2
1	vaargeul	eg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	nevengeul	vg	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06
3	vaargeul	eg	-0,02	-0,02	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06
	nevengeul	vg	0,06	0,01	0,12	0,05	0,06	0,04	0,03	0,02
4	vaargeul	vg	0,03	0,04	0,03	-0,06	0,03	0,05	0,04	0,03
	nevengeul	eg	0,00	0,01	0,01	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04
5	vaargeul	eg	-0,14	-0,15	-0,18	-0,21	-0,19	-0,18	-0,18	-0,19
	nevengeul	vg	0,03	0,04	0,05	0,17	0,05	0,08	0,07	0,08
6	vaargeul	eg	-0,11	-0,08	-0,15	-0,25	-0,21	-0,13	-0,14	-0,14
	nevengeul	vg	0,00	0,10	0,00	0,60	0,20	0,13	0,13	0,10
7	vaargeul	eg	-0,15	-0,12	-0,18	0,00	-0,17	-0,15	-0,15	-0,15

Tabel F.2: *Netto ingreep gedeeld door het oppervlak van de macrocel; de ver(on)dieping (m/jaar) als direct gevolg van ingreep (resultaten Delft3D-simulaties).*

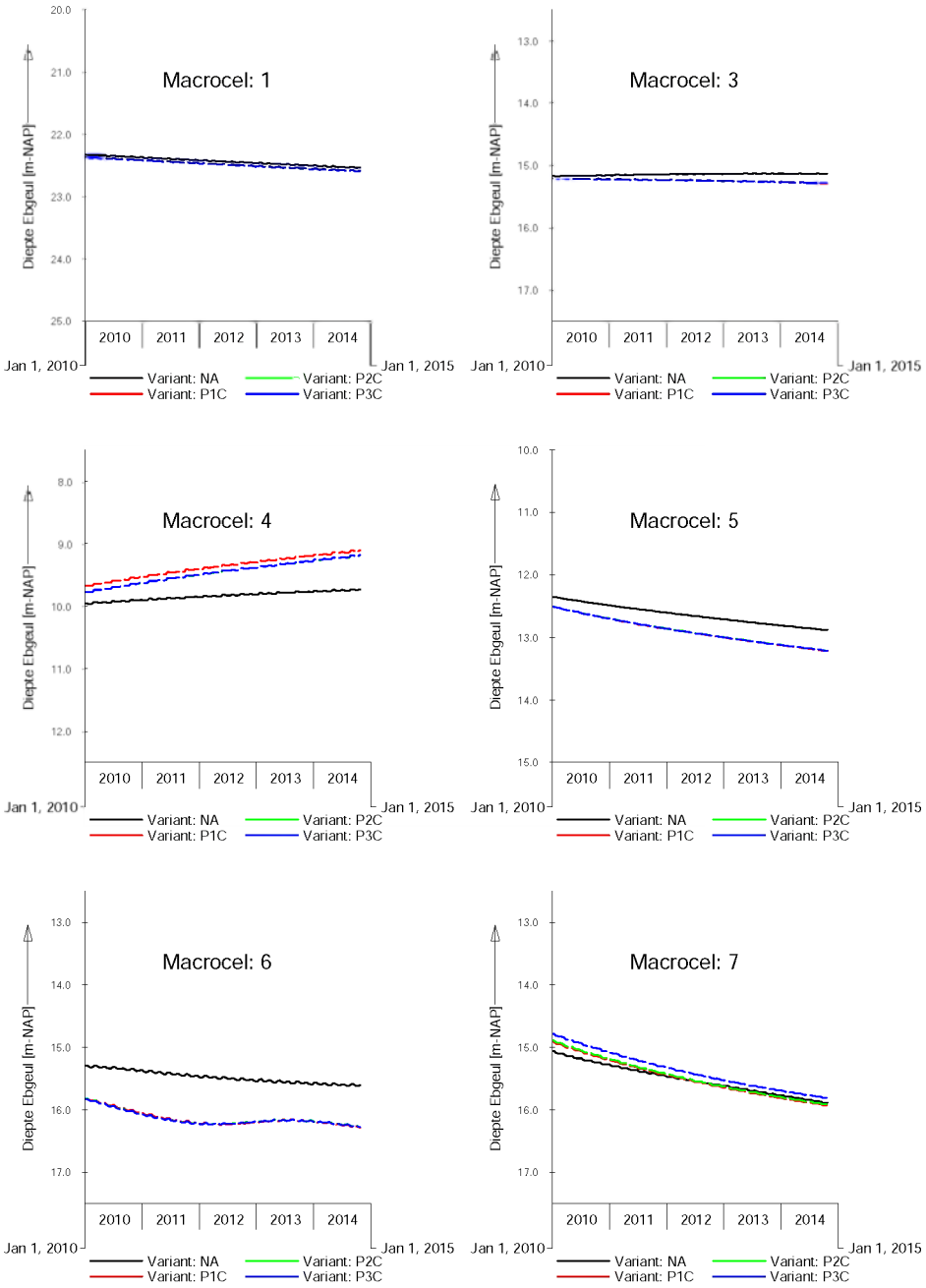
In tabel F.3 staat de gradiënt van de lijnen in figuren F.1 tot en met F.8, oftewel de diepteontwikkeling per jaar.

Macrocel		Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3/C	P4N	P4P2
1	ebgeul	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
	vloedgeul	-0,02	-0,03	-0,01	-0,01	-0,04	-0,05	-0,05
3	ebgeul	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	vloedgeul	-0,05	0,00	-0,09	-0,03	-0,05	-0,02	-0,02
4	vloedgeul	0,04	0,04	0,05	0,12	0,06	0,04	0,05
	ebgeul	-0,04	-0,06	-0,04	-0,08	-0,12	-0,06	-0,08
5	ebgeul	0,11	0,10	0,14	0,16	0,14	0,13	0,13
	vloedgeul	-0,06	-0,08	-0,07	-0,19	-0,07	-0,10	-0,08
6	ebgeul	0,06	0,00	0,10	0,15	0,09	0,04	0,06
	vloedgeul	-0,02	-0,06	0,00	-0,02	0,01	-0,04	-0,02
7	ebgeul	0,17	0,16	0,19	0,14	0,21	0,19	0,20

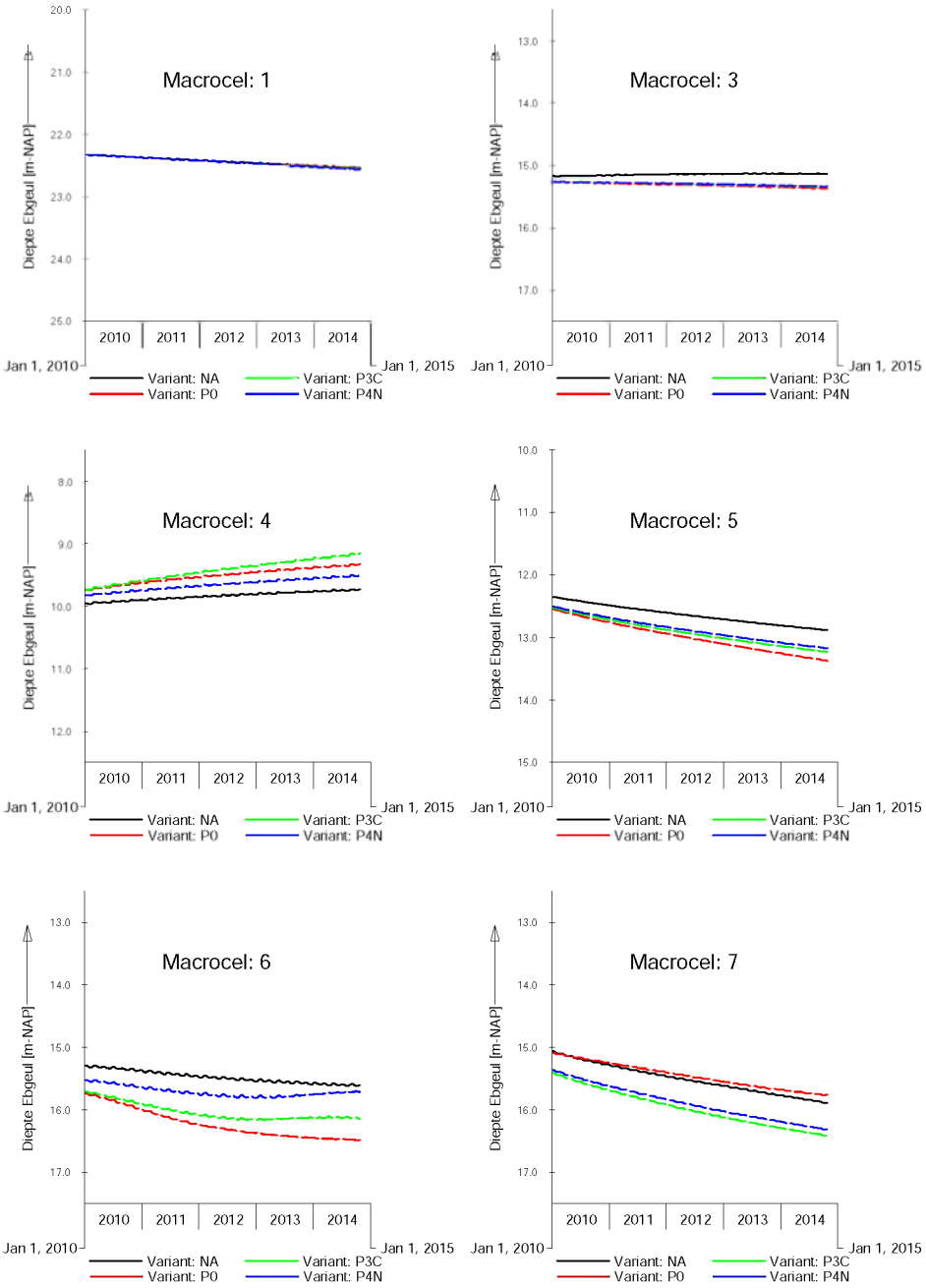
Tabel F.3: *Berekende diepteontwikkeling (m/jaar) voor alle alternatieven en varianten (resultaten Delft3D-simulaties).*



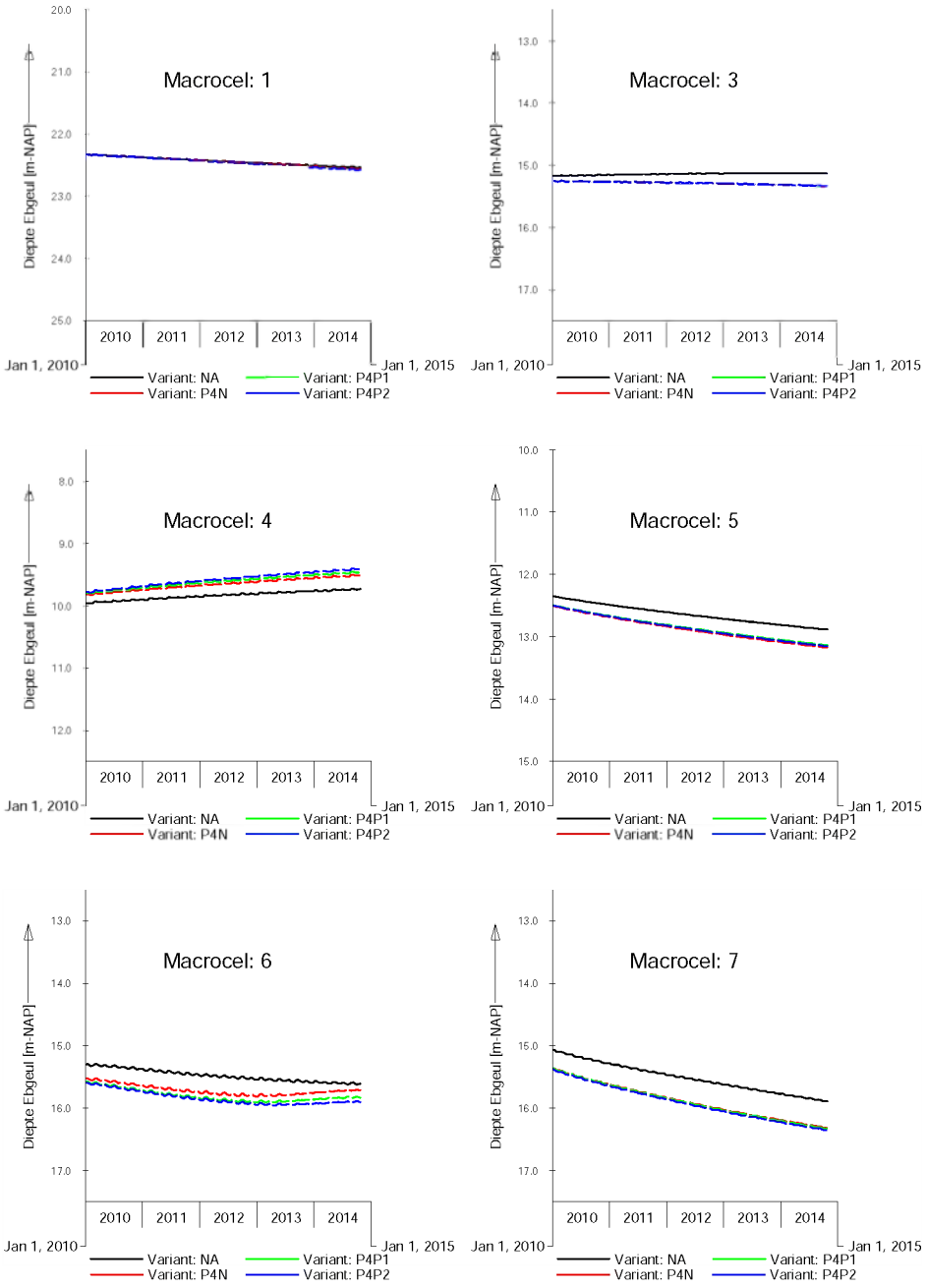
Figuur F.1: *Ontwikkeling van de diepte van de ebgeul voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min en P4N (resultaten Delft3D-simulaties)..*



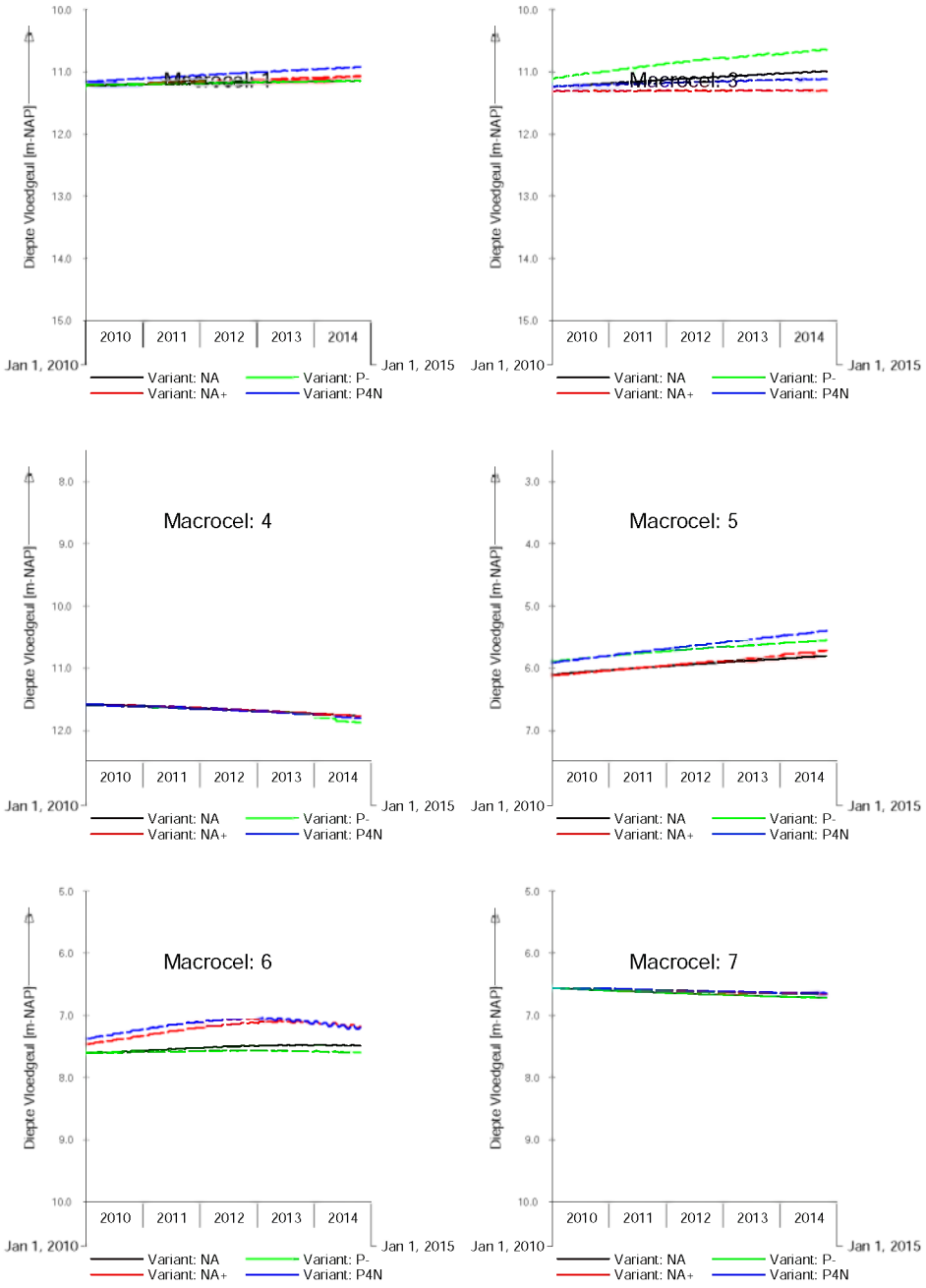
Figuur F.2: *Ontwikkeling van de diepte van de ebgeul voor het nulalternatief, P1C, P2C en P3C (resultaten Delft3D-simulaties).*



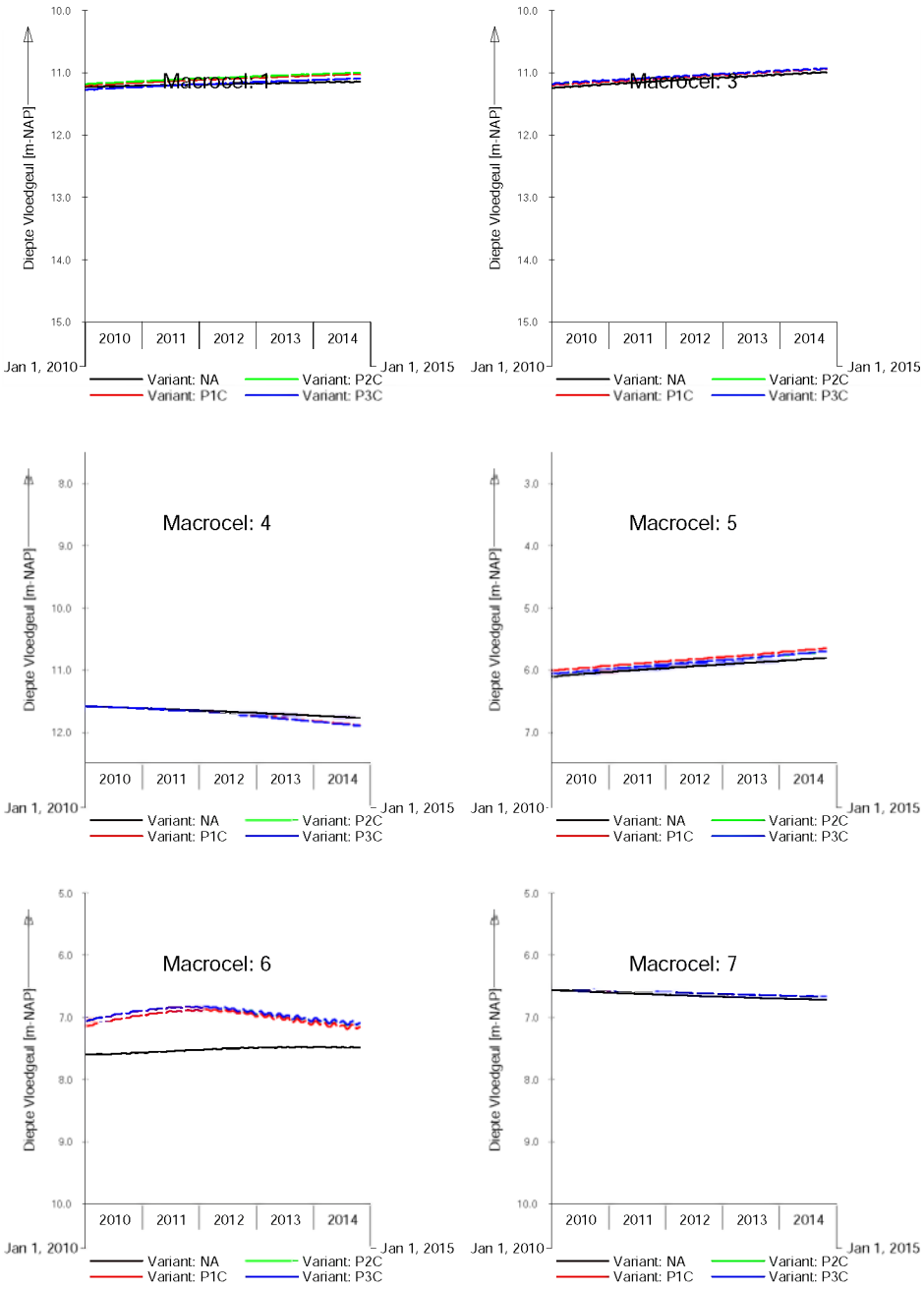
Figuur F.3: *Ontwikkeling van de diepte van de ebgeul voor het nulalternatief, P0, P3C en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



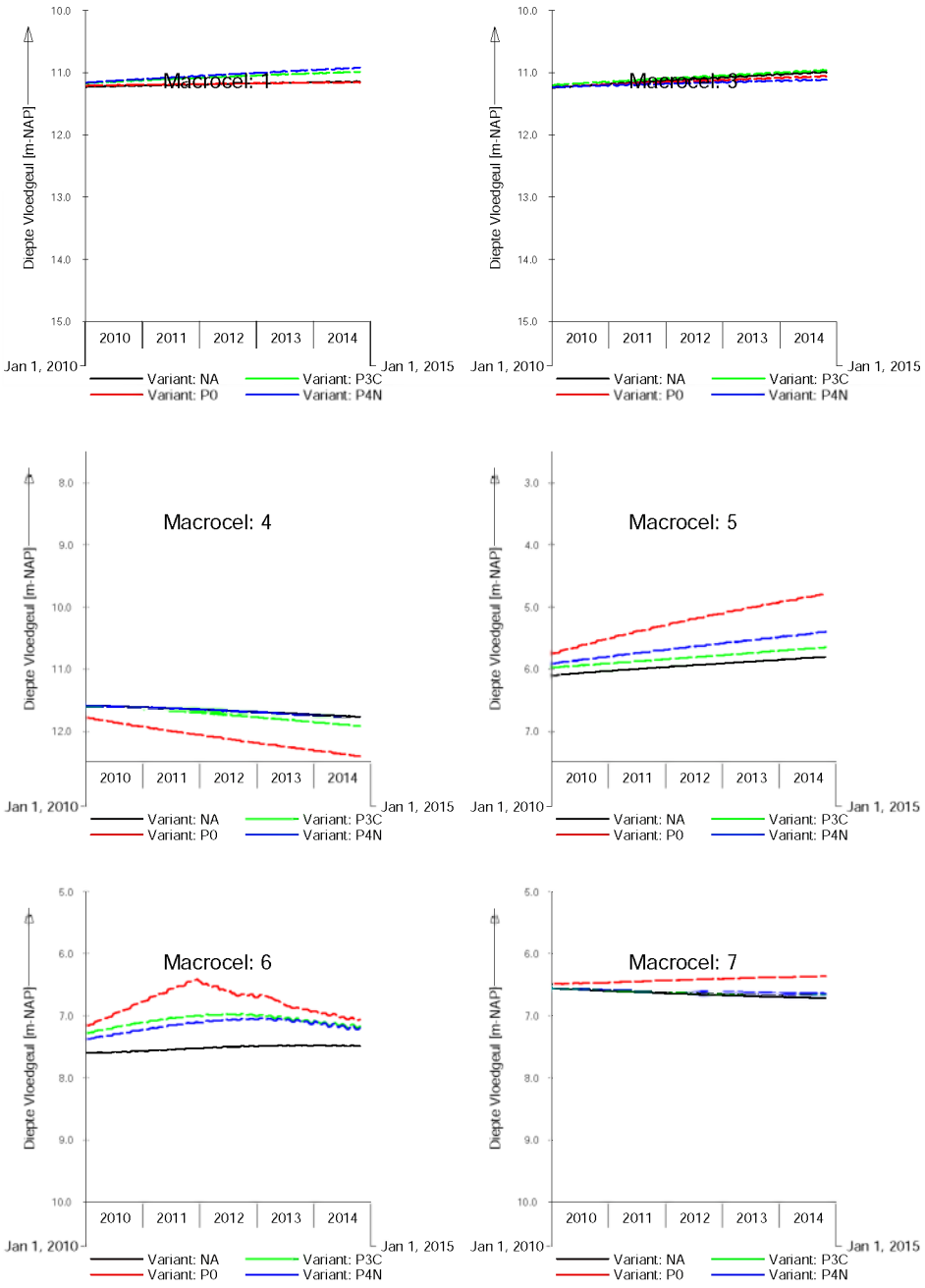
Figuur F.4: *Ontwikkeling van de diepte van de ebgeul voor het nulalternatief, P, P4N, P4P1 en P4P2 (resultaten Delft3D-simulaties).*



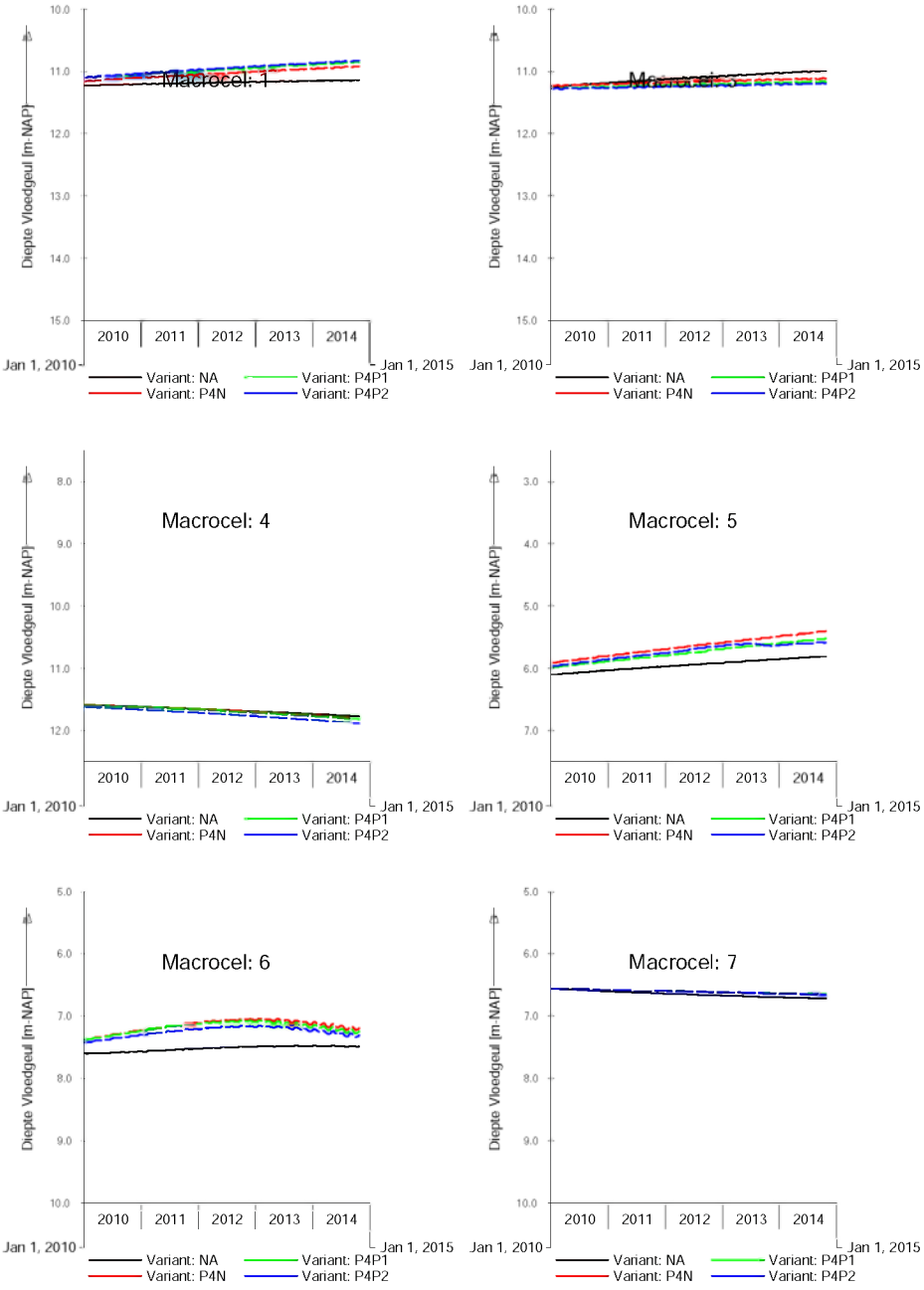
Figuur F.5: *Ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



Figuur F.6: *Ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul voor het nulalternatief, P1C, P2C en P3C (resultaten Delft3D-simulaties).*



Figuur F.7: *Ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul voor het nulalternatief, P0, P3C en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



Figuur F.8: *Ontwikkeling van de diepte van de vloedgeul voor het nulalternatief, P4N, P4P1 en P4P2 (resultaten Delft3D-simulaties).*

Appendix G: Kantelindex en verhangindicator voor alle alternatieven

In figuren G.1 tot en met G.4 staat de ontwikkeling van de kantelindex, in figuren G.5 tot en met G.8 staat de ontwikkeling van de verhangindicator. Aangezien de grafieken onoverzichtelijk worden als alle varianten in één grafiek worden getoond, worden ze in meerdere grafieken vertoont. Het effect van verruiming wordt verkregen door het nulalternatief te vergelijken met het projectalternatief min en het nulplusalternatief te vergelijken met P4N. In figuur G.1 en G.5 staan de resultaten voor deze varianten. Het effect van aanlegstort wordt verkregen door de varianten P1C, P2C en P3C met elkaar te vergelijken. In figuur G.2 en G.6 staan deze varianten met daarbij het nulalternatief als referentie. Het effect van aanpassen van de onderhoudsstortstrategie wordt verkregen door de varianten P0, P3C, P4N, P4P1 en P4P2 met elkaar te vergelijken. In figuren G.3, G.4, G.7 en G.8 staan deze varianten weergegeven.

In tabel G.1 staat de gradiënt van de lijnen in figuren F.1 tot en met F.4 (de kantelindex), oftewel de toe-/afname van de kantelindex per jaar.

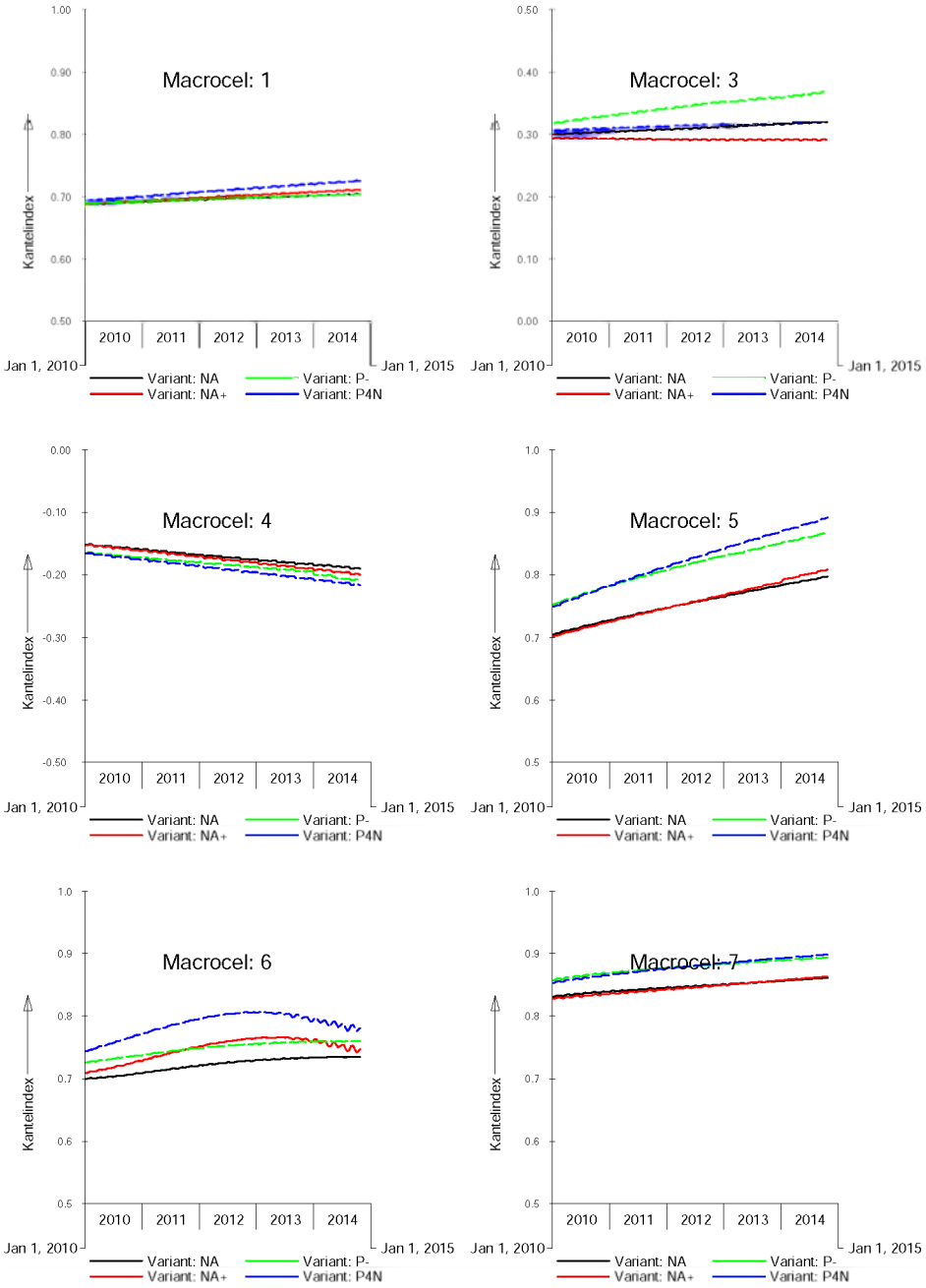
In tabel G.2 staat de gradiënt van de lijnen in figuren F.1 tot en met F.4 (de kantelindex), oftewel de toe-/afname van de kantelindex per jaar.

Macrocel	Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3/C	P4N	P4P2
1	0,003	0,005	0,003	0,003	0,005	0,006	0,007
3	0,004	-0,001	0,010	0,004	0,005	0,003	0,003
4	-0,008	-0,009	-0,009	-0,019	-0,018	-0,010	-0,012
5	0,019	0,021	0,023	0,049	0,023	0,029	0,023
6	0,007	0,008	0,007	0,012	0,005	0,008	0,007
7	0,006	0,007	0,007	0,013	0,009	0,009	0,009

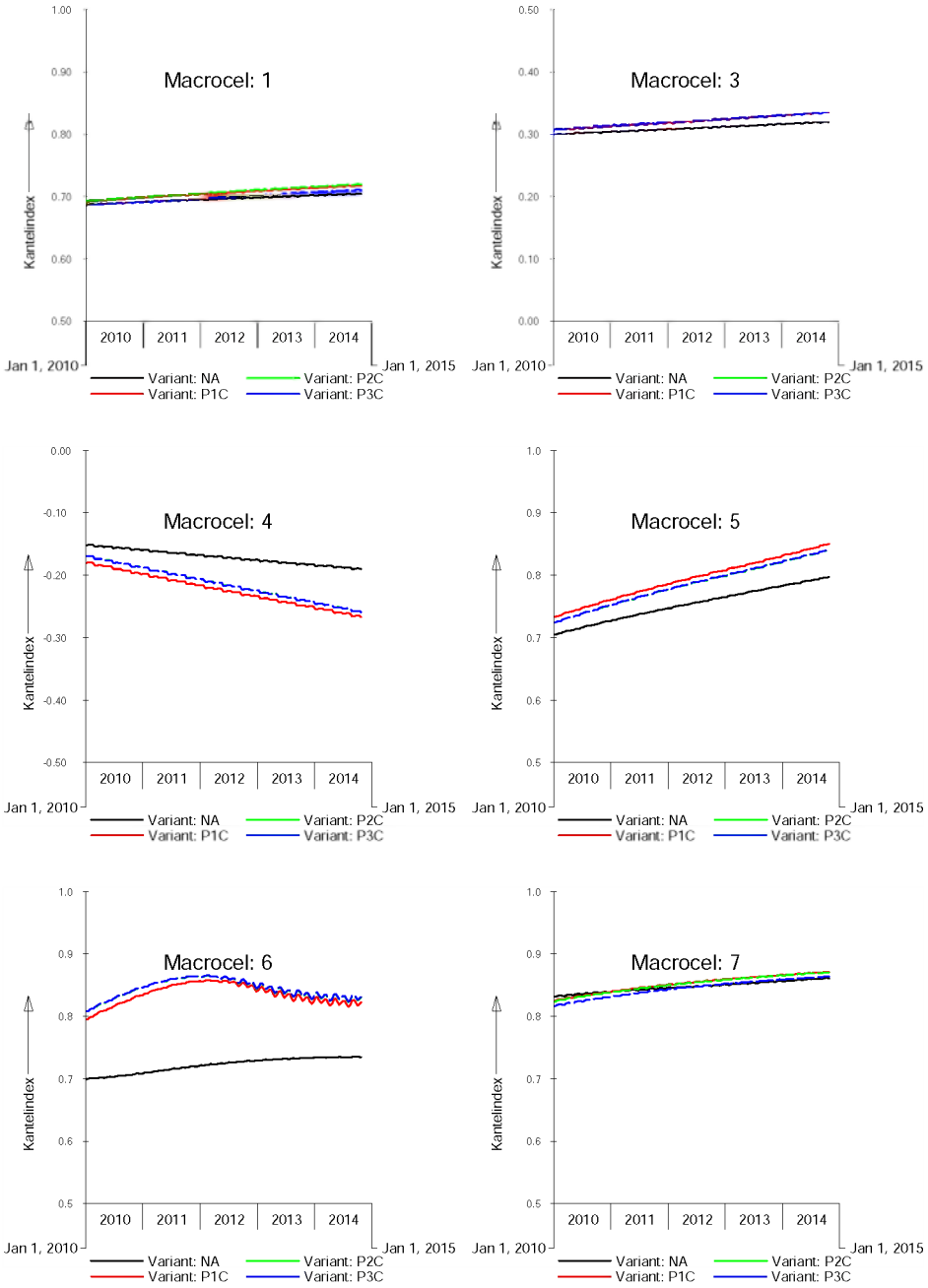
Tabel G.1: *Berekende ontwikkeling (toename/afname per jaar) van de kantelindex voor alle alternatieven en varianten (resultaten Delft3D-simulaties).*

Macrocel	Nul (referentie)	Nulplus	Pmin	P0	P1/2/3/C	P4N	P4P2
1	-0,0004	-0,0006	-0,0004	-0,0004	-0,0007	-0,0008	-0,0009
3	-0,0008	0,0001	-0,0021	-0,0009	-0,0011	-0,0007	-0,0006
4	0,0014	0,0018	0,0016	0,0034	0,0035	0,0020	0,0024
5	-0,0038	-0,0043	-0,0047	-0,0099	-0,0048	-0,0057	-0,0048
6	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0009	-0,0004	-0,0005	-0,0005
7	-0,0005	-0,0006	-0,0005	-0,0011	-0,0008	-0,0007	-0,0007

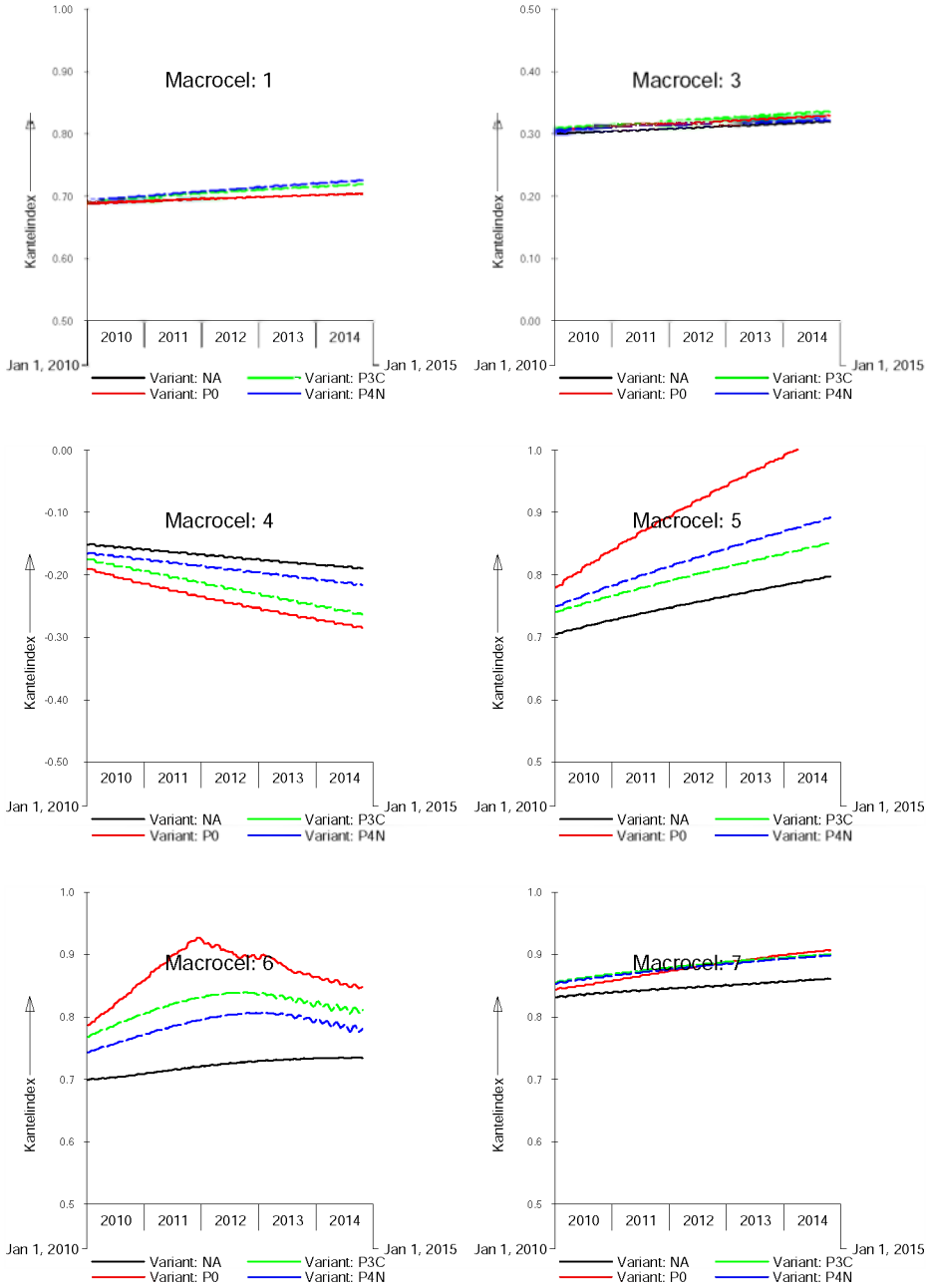
Tabel G.2: *Berekende ontwikkeling (toename/afname per jaar) van de verhangindicator voor alle alternatieven en varianten (resultaten Delft3D-simulaties).*



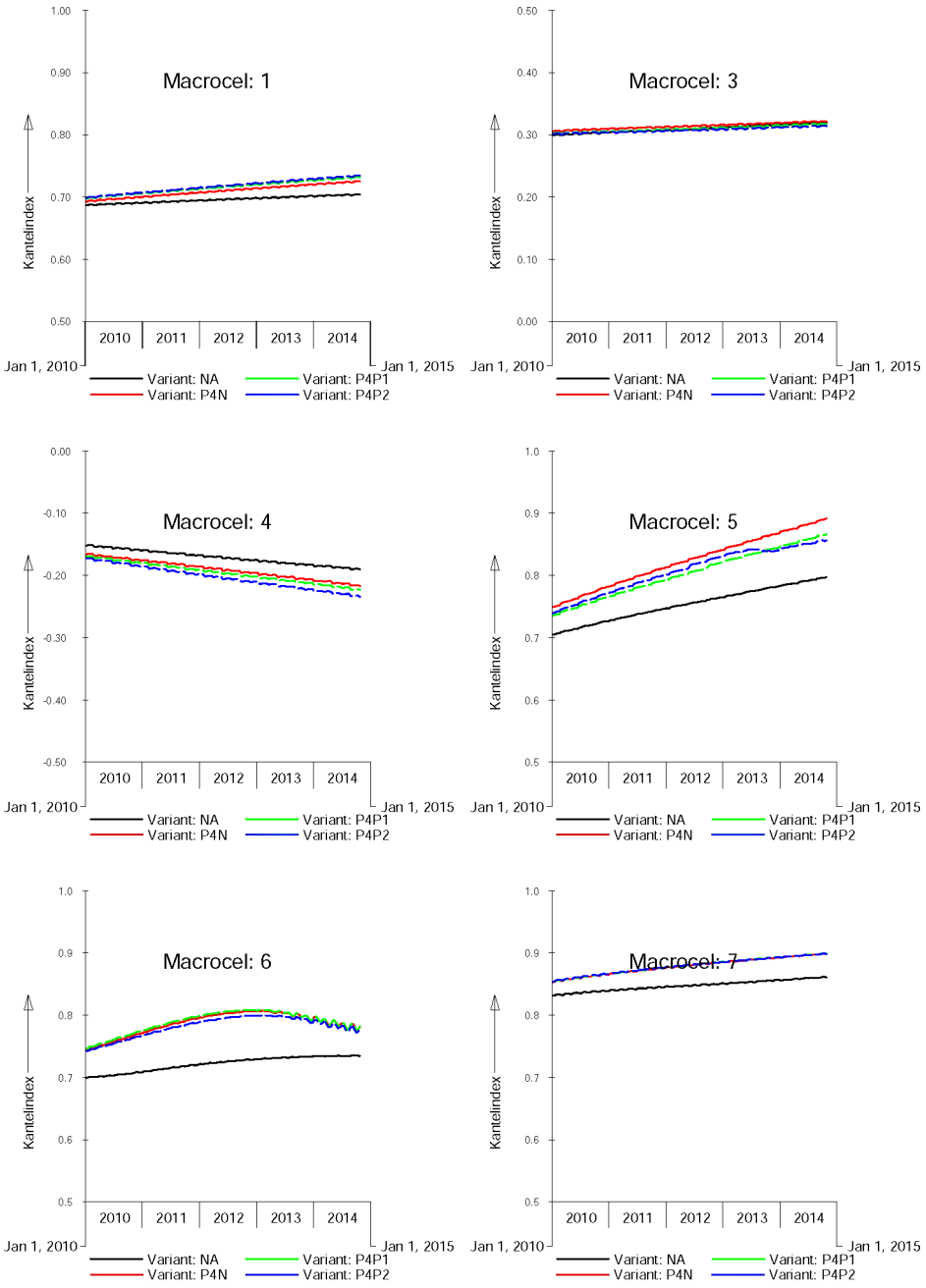
Figuur G.1: *Ontwikkeling van de kantelindex voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



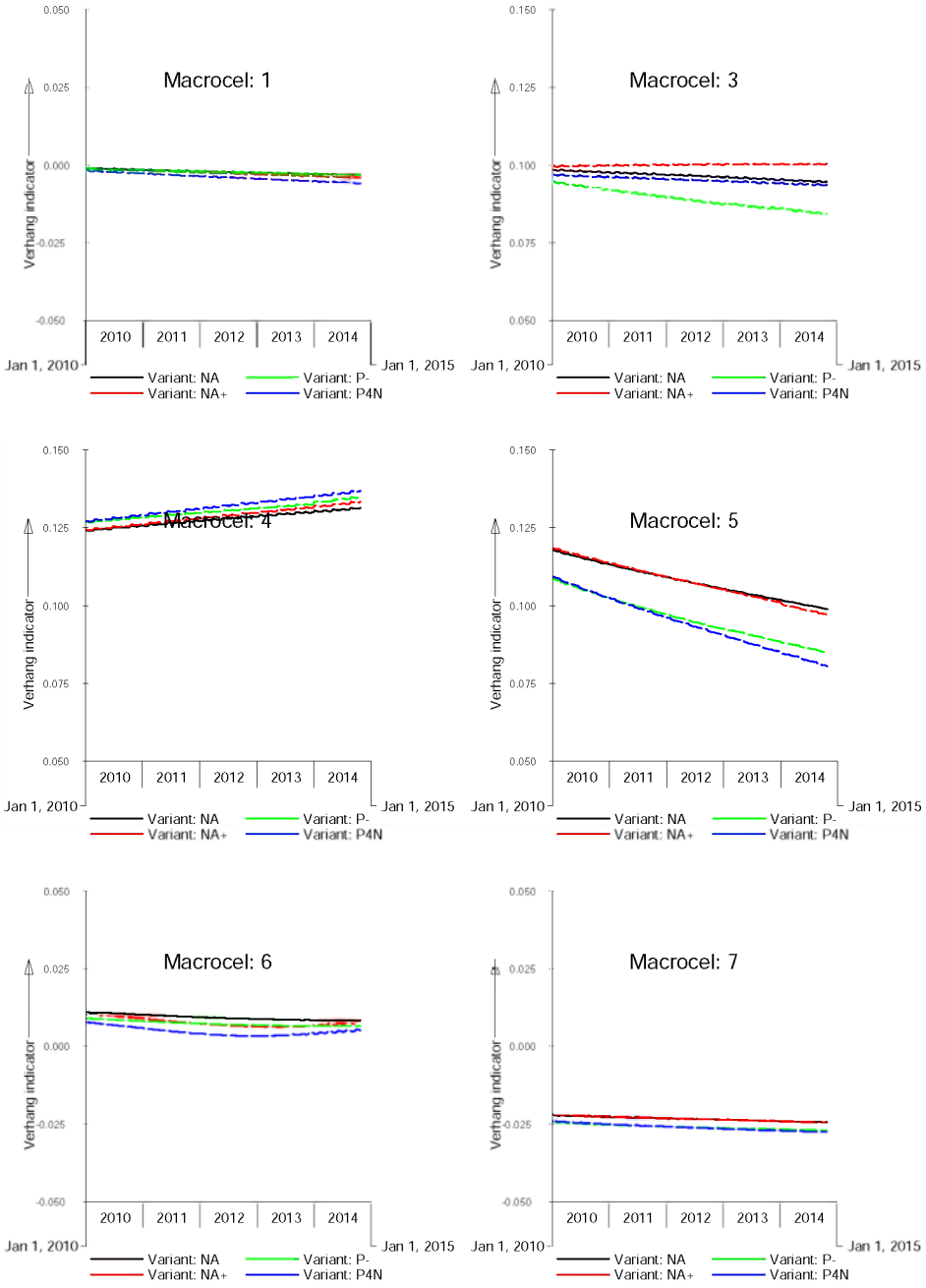
Figuur G.2: *Ontwikkeling van de kantelindex voor het nulalternatief, P1C, P2C en P3C (resultaten Delft3D-simulaties).*



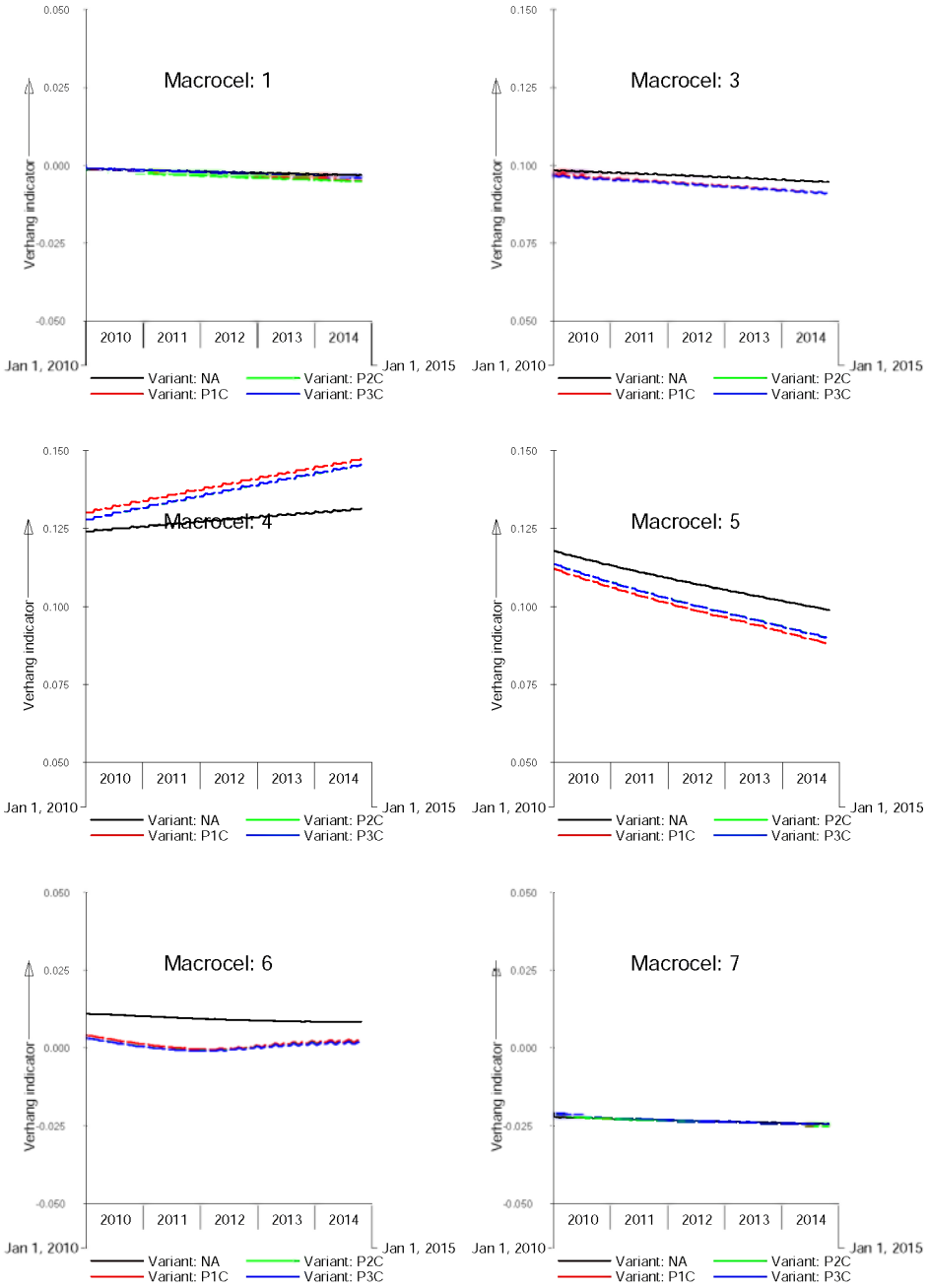
Figuur G.3: *Ontwikkeling van de kantelindex voor het nulalternatief, P0, P3C en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



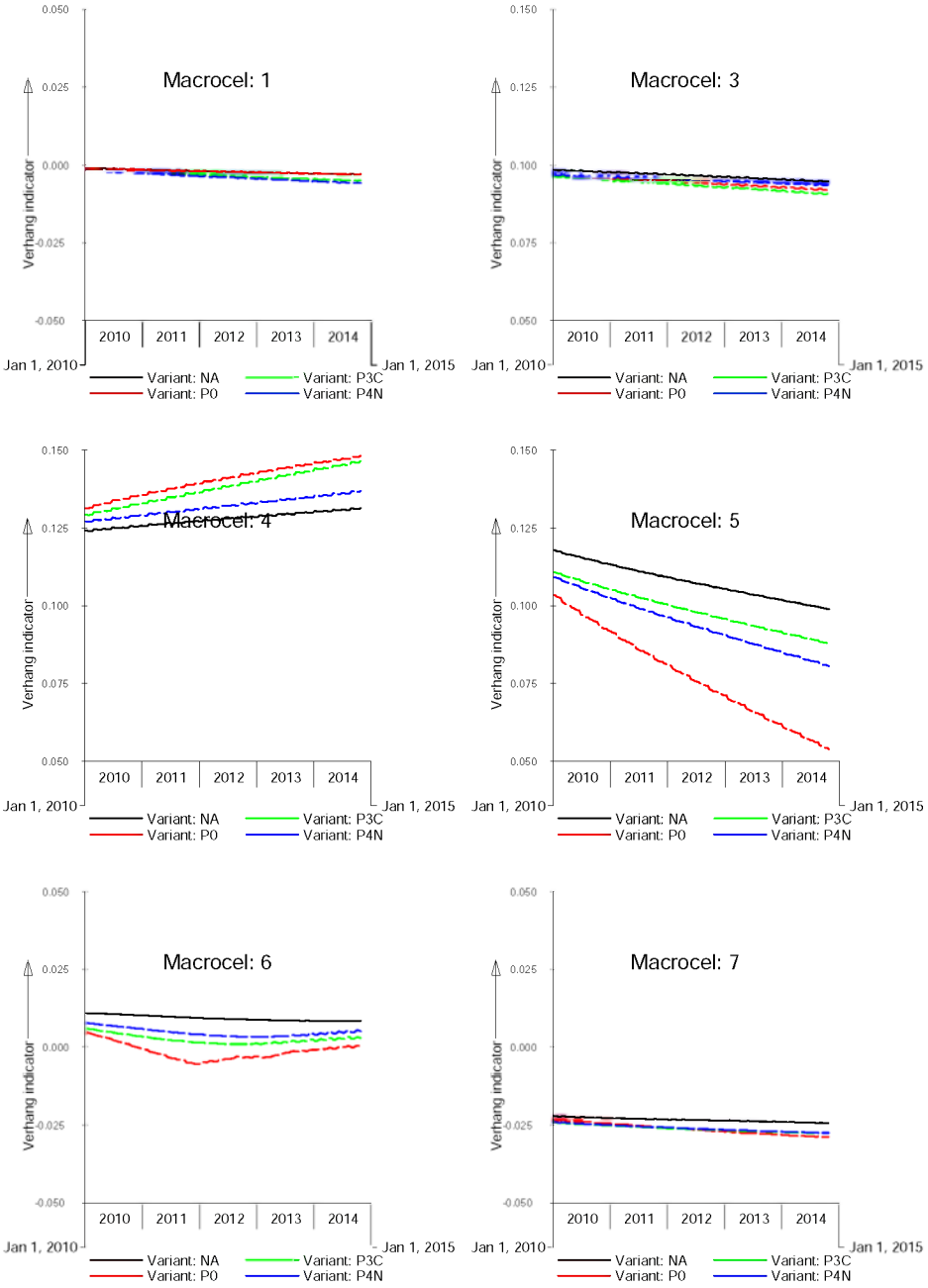
Figuur G.4: *Ontwikkeling van kantelindex voor het nulalternatief, P, P4N, P4P1 en P4P2 (resultaten Delft3D-simulaties).*



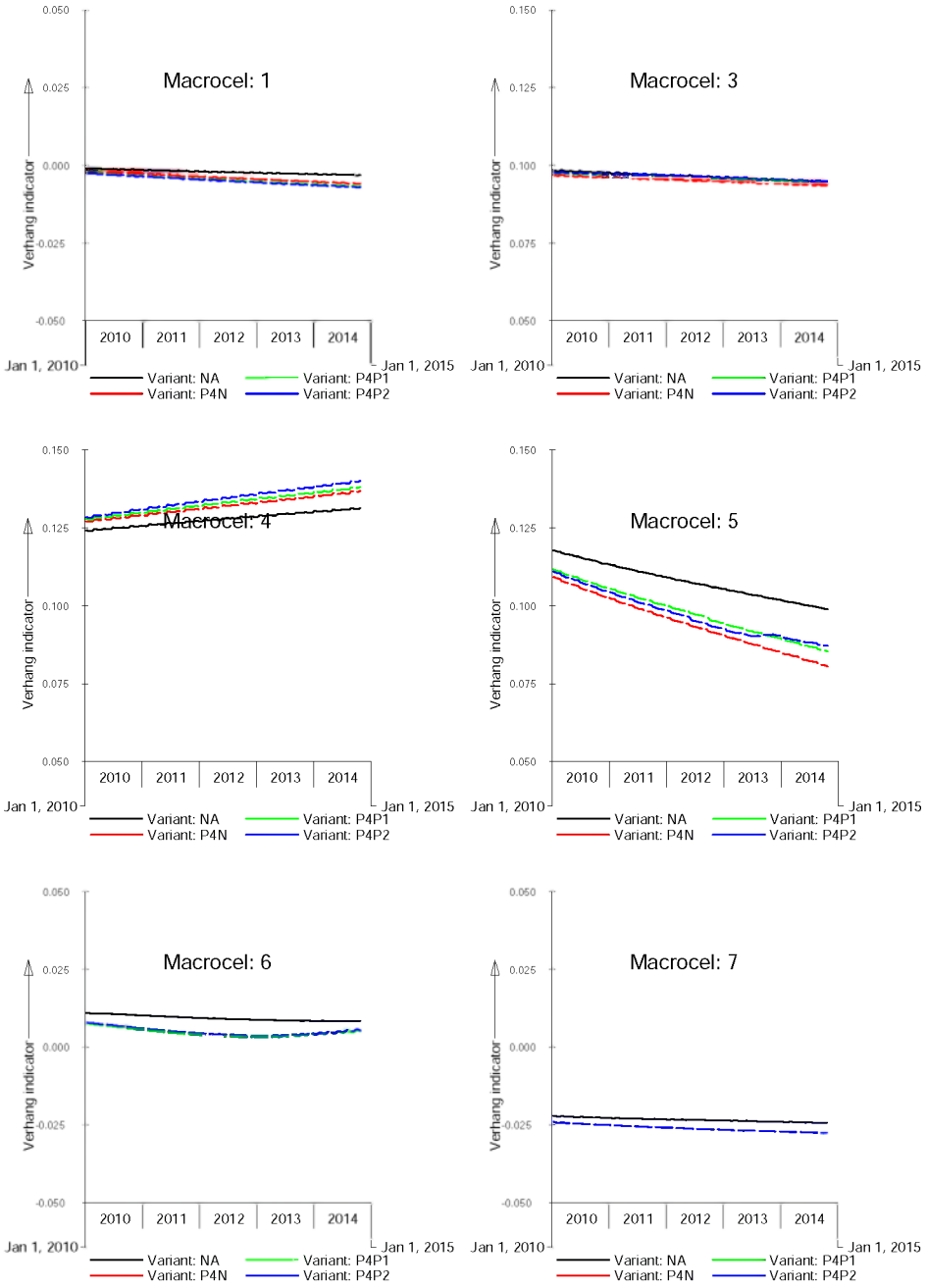
Figuur G.5: *Ontwikkeling van de verhangindicator voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



Figuur G.6: *Ontwikkeling van de verhangindicator voor het nulalternatief, P1C, P2C en P3C (resultaten Delft3D-simulaties).*



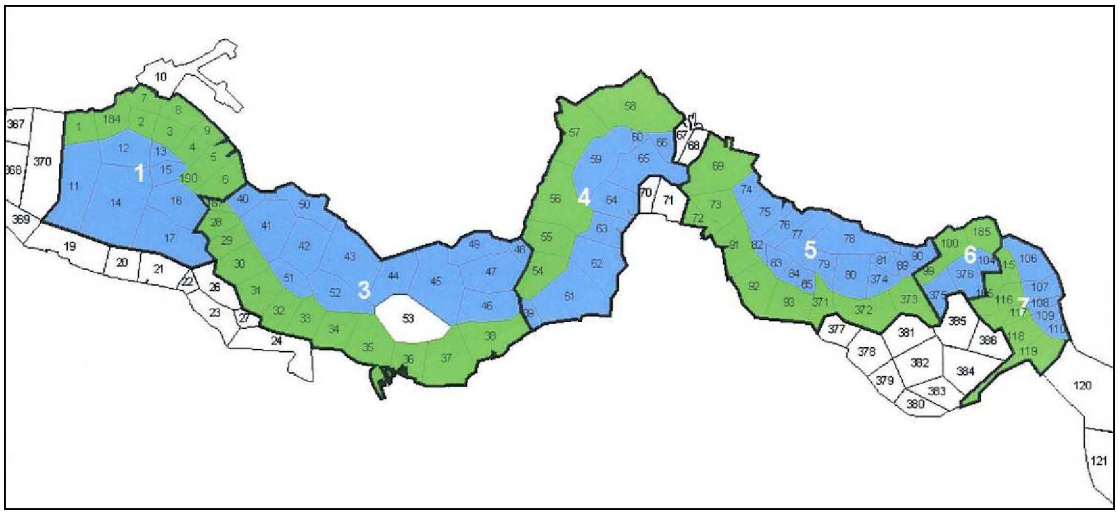
Figuur G.7: *Ontwikkeling van de verhangindicator voor het nulalternatief, P0, P3C en P4N (resultaten Delft3D-simulaties).*



Figuur G.8: *Ontwikkeling van de verhangindicator voor het nulalternatief, P, P4N, P4P1 en P4P2 (resultaten Delft3D-simulaties).*

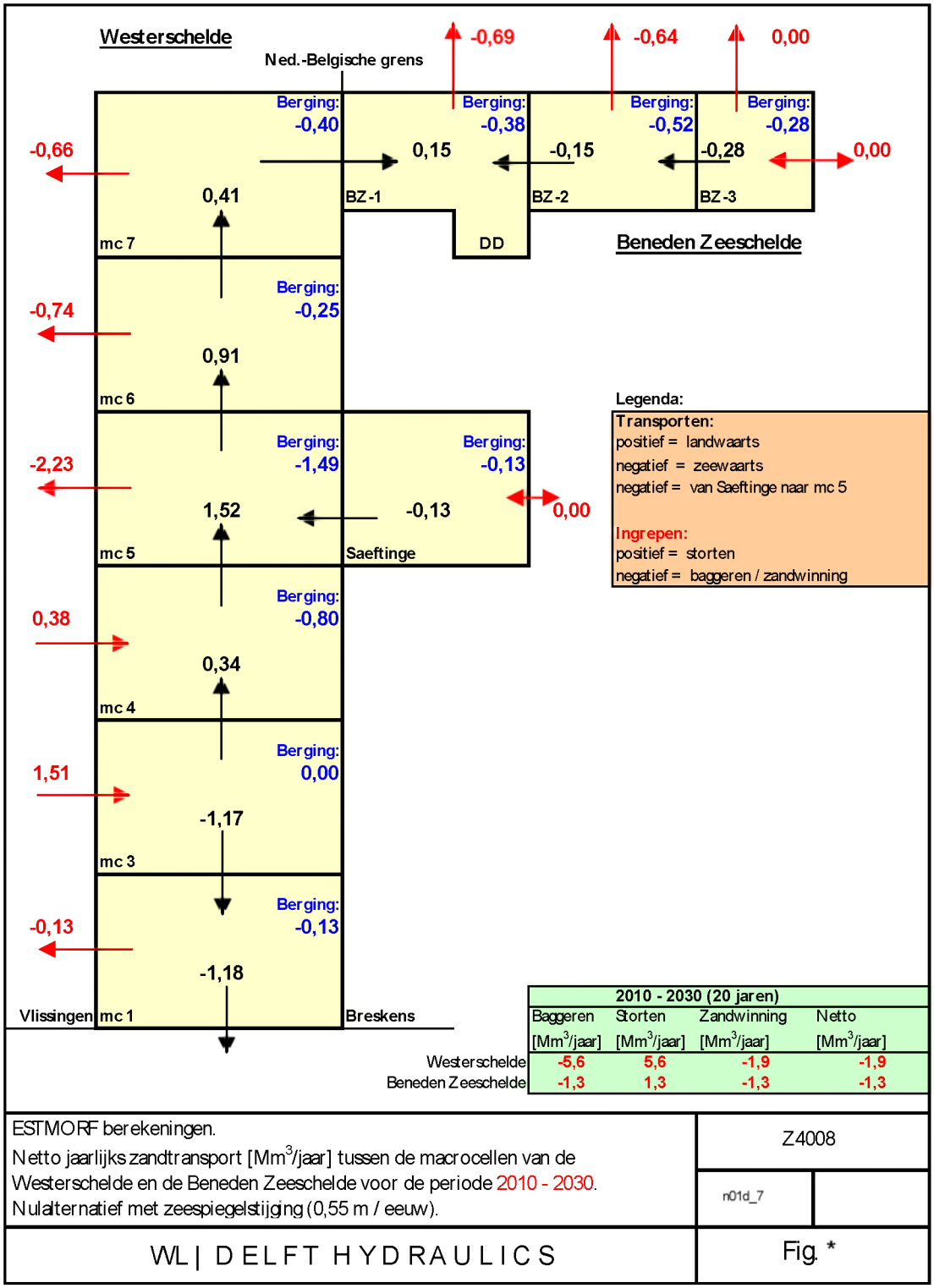
Appendix H: Zandhuishouding voor alle alternatieven

In figuren H.1 tot en met H.10 worden voor het berekend voor het nulalternatief, het nulplusalternatief, het projectalternatief min, P4N en P4P2 de netto jaarlijkse transporten voor alle alternatieven en varianten gepresenteerd. Daarbij is de volgende indeling in macrocellen gebruikt:



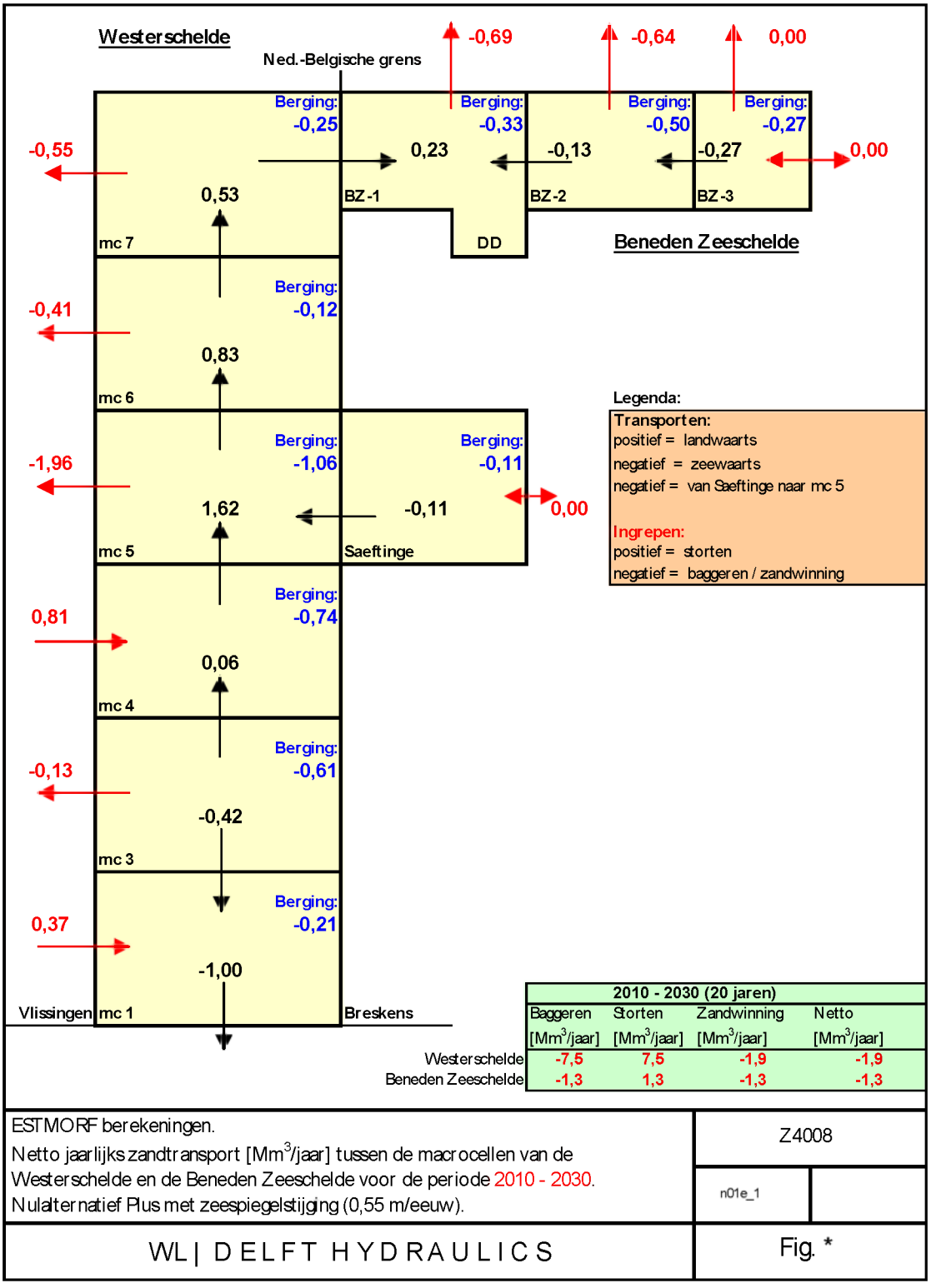
Schematisatie van de macrocellen in Estmorf en onderscheid tussen de ebgeulen (groen) en vloedgeulen (blauw). Witte vakken in macrocellen 3, 4 en 5, het Land van Saeftinge en de mesocel zuidelijk van macrocellen 1 en 3 worden eveneens meegenomen in de zandbalans.

Nulalternatief



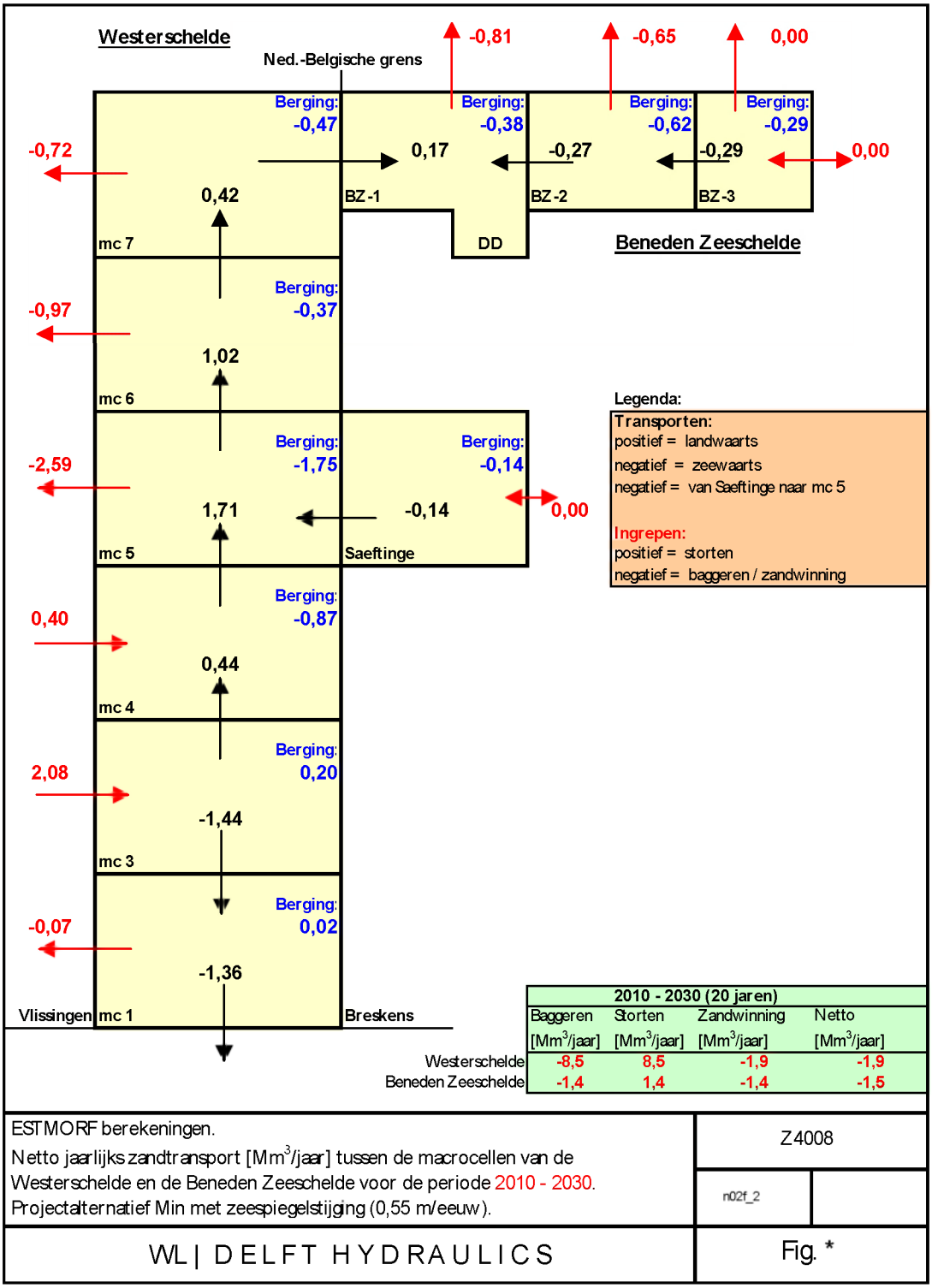
***Figuur H.1**: Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor nulalternatief (2010-2030) , resultaten Estmorf-simulatie.*

Nulplusalternatief



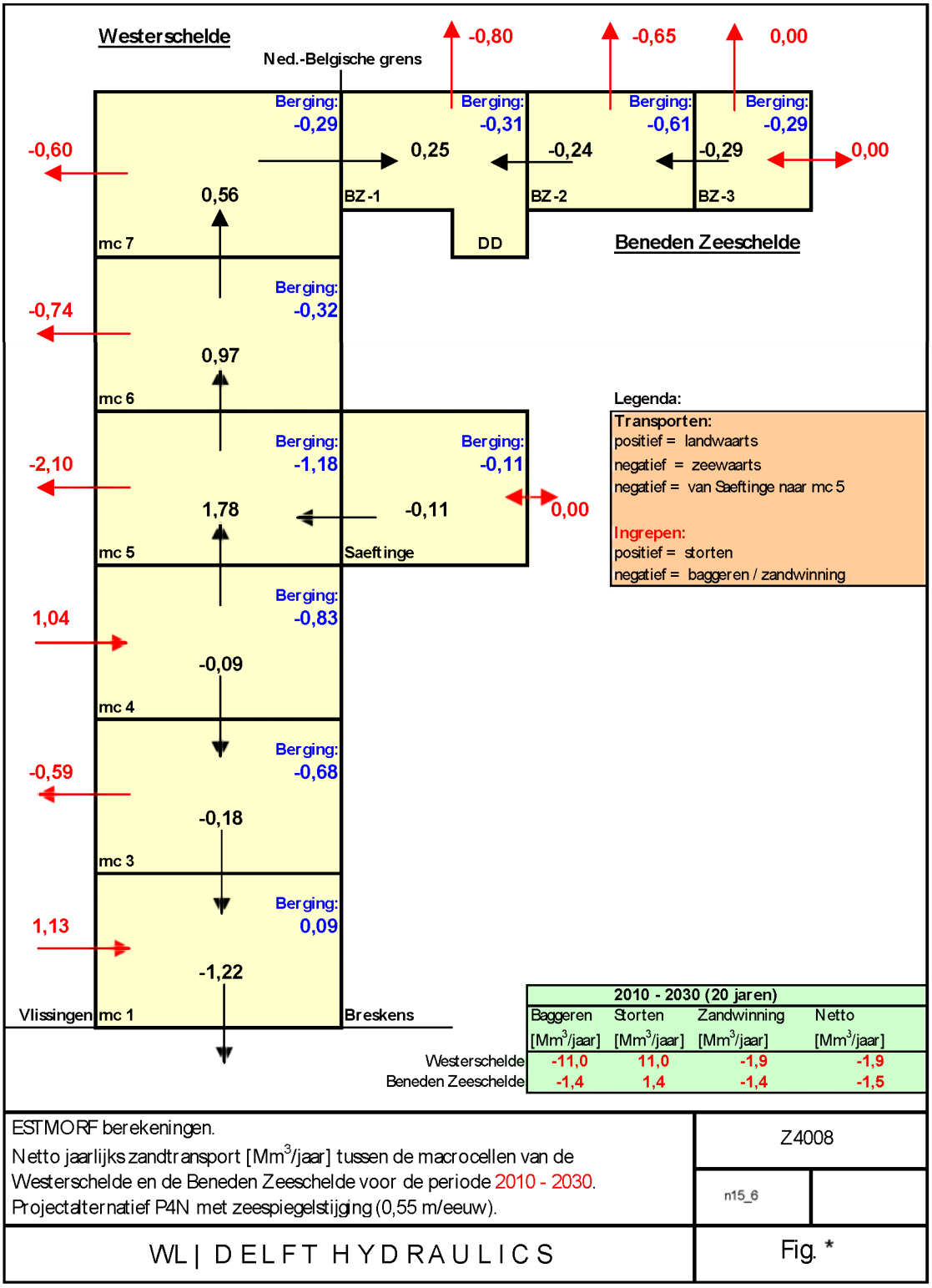
Figuur H.2: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor nulplusalternatief (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

Projectalternatief min



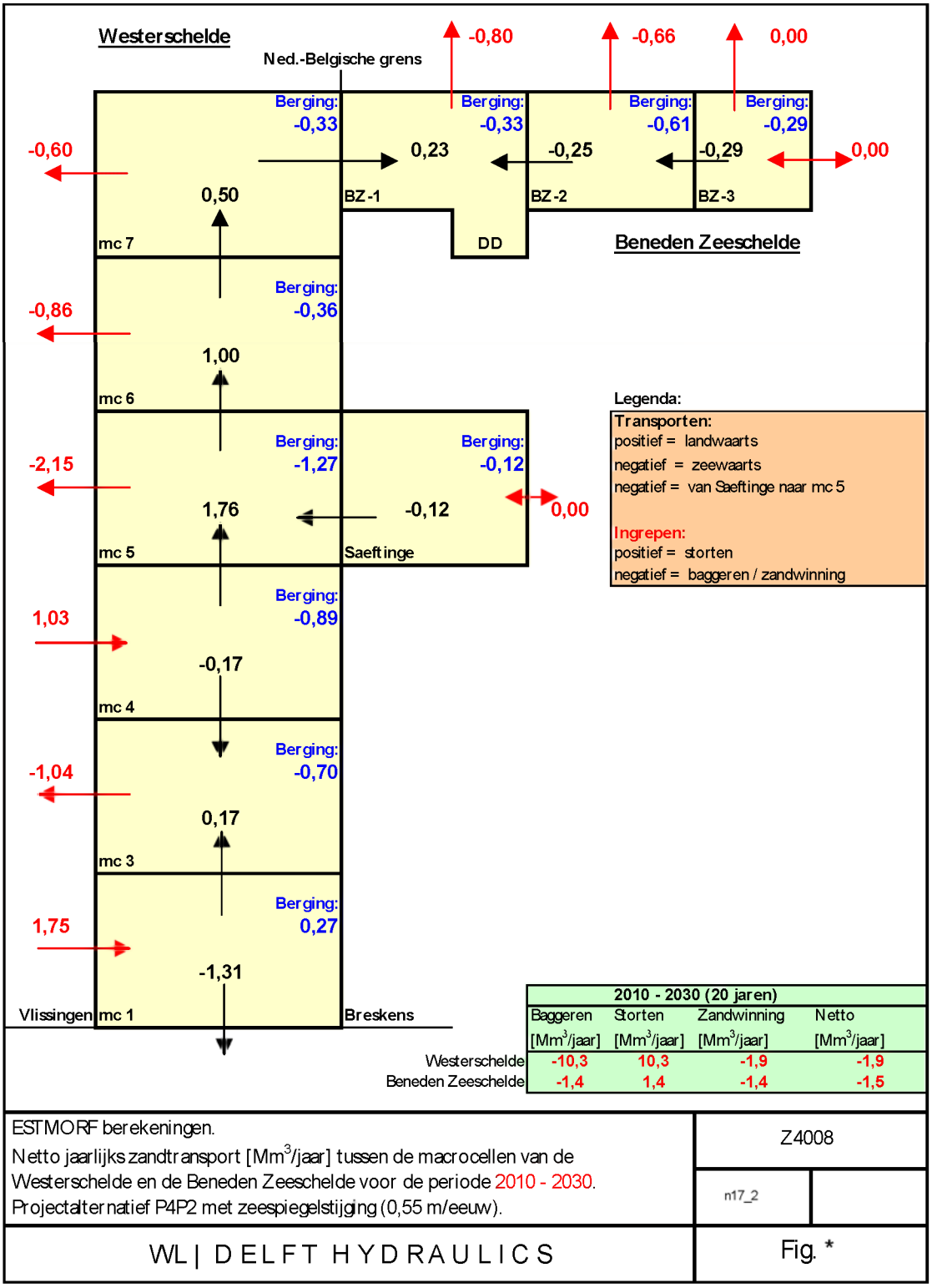
Figuur H.3: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief min (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

Projectalternatief Nevengeul P4N



Figuur H.4: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief Nevengeul (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

Projectalternatief P4P2



Figuur H.5: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief Plaatrand (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

Appendix I: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het nulalternatief

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie
1	1955-2002: Stabiel 0,00 1990-2002: 0,01			Kleine overschatting verdieping 1990-1997: 0,03 0,02 1998-2004: 0,02 0,01	verdieping 0,04	Geringe verdieping ~ 0,02 0/-
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: 0,00			Goede verondieping/stabiel 1990-1997: -0,01 -0,01 -0,01 -0,01	geringe verondieping -0,01	Stabiel 0
4	1955-2002: Verondieping-0,08 1990-2002: -0,08			Overschatting Verondieping 1990-1997: -0,06 0,02 -0,14 -0,06	verondieping -0,04	Verondieping ~ 0,04 -
5	1955-2002: Verdieping 0,04 1990-2002: 0,06	Met name verdieping als gevolg van eerste en tweede verruiming		Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,09 0,03 0,12 0,06	verdieping 0,11	Verdieping ~ 0,06 -
6	1955-2002: Verdieping 0,09 1990-2002: 0,06	Gevolg van baggeren, zonder baggeren zou verondieping optreden.		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: 0,01 -0,05 0,03 -0,03	verdieping 0,06	Verdieping ~ 0,06 -
7	1955-2002: Verdieping 0,08 1990-2002: 0,06			Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,17 0,09 0,17 0,09	verdieping 0,17	Verdieping ~ 0,06 -
Totaal	m.u.v. macrocel 4 verdiepen of stabiel Zie tabel 2.4 sinds 1922 bijna alle kritische drempels dieper	Door eerste en tweede verruiming in het bijzonder ebgeul dieper Theoretisch zou dynamische koppeling kunnen optreden. Dit is niet waargenomen in de Westerschelde. Mogelijk heeft het storten in vloedgeul effect gehad.	Effect verdieping moeilijk te voorspellen (treedt dynamische koppeling op of juist toename stroomsnelheden als gevolg van afname ruwheid?). Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul (verdieping).			-

Tabel I.1: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de ebgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie
1	1955-2002: Verdieping 0,01 1990-2002: 0,00	Stortingen na tweede verruiming verkleinen de natuurlijke verdieping		Overschatting verondieping 1990-1997: -0,02 -0,02 1998-2004-0,03 -0,03	Verondieping -0,02	Stabiel 0
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: -0,01			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,00 0,01 1998-2004-0,02 -0,01	Verondieping -0,05	Verondieping/stabiel ~ 0,04 tot 0,00 -/0
4	1955-2002: Verdieping 0,05 1990-2002: 0,10			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,10 0,00 1998-20040,09 -0,01	Verdieping 0,04	Verdieping ~ 0,05 -
5	1955-2002: Verondieping -0,02 1990-2002: 0,03			Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,05 -0,08 1998-2004-0,02 -0,05	Verondieping -0,06	Stabiel? 0
6	1955-2002: Verdieping 0,02 1990-2002: 0,03	Natuurlijk proces		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,02 -0,05 1998-2004-0,07 -0,1	Verondieping -0,02	Verdieping/Stabiel ~ 0,03 0/+
7	1955-2002: Verdieping 0,03 1990-2002: 0,02	Natuurlijk proces		Redelijk goede verdieping 1990-1997: 0,03 0,01 1998-20040,02 0,00	nvt	nvt
Totaal			Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul.			

Tabel I.2: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de vloedgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie
1	1955-2002: afname -0,001 1990-2002: 0,001	Stortingen na tweede verruiming gaan kanteling tegen		Overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-2004: 0,004 0,003	Toename 0,003	Stabiel/toename 0/-
3	1955-2002: stabiel 0,000 1990-2002: 0,001			Redelijk goede schatting 1990-1997: -0,001 0,002 1998-20040,001 0,000	Toename 0,004	Toename/stabiel -/0
4	1955-2002: afname -0,011 1990-2002: -0,016	Tweede verdieping heeft kanteling versneld		Kleine overschatting afname 1990-1997: -0,015 0,01 1998-2004-0,020 0,04	Afname -0,008	Afname --
5	1955-2002: toename 0,007 1990-2002: 0,000	Morfologische ontwikkeling mede bepaald door macrocel 4		Grote overschatting toename 1990-1997: 0,017 0,017 1998-20040,013 0,013	Toename 0,019	Toename -
6	1955-2002: toename 0,004 1990-2002: 0,001			Grote overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-20040,008 0,007	Toename 0,007	Toename -
7	1955-2002: stabiel 0,002 1990-2002: 0,000			Grote overschatting toename 1990-1997: 0,007 0,007 1998-20040,008 0,008	Toename 0,006	Stabiel 0
Totaal/ algemeen			Verdieping resulteert in toename kantelindex. Bij overschrijding van het stortcriterium neemt hydraulische ruwheid toe, de stroomsnelheid en transportcapaciteit neemt af → zichzelf versterkend effect wat resulteert in toename van kantelindex.			

Tabel I.3: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de kantelindex: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie
1	1955-2002: toename 0,0001 1990-2002: -0,0001			Overschatting afname 1990-1997: -0,0004 -0,0003 1998-2004-0,0005 -0,0004	Afname -0,0004	Stabiel/afname 0/-
3	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: -0,0001	Meest dynamische drempelgebied met kortsluitgeulen		Geringe overschatting afname 1990-1997: 0,0003 0,0004 1998-2004-0,0001 0,0000	Afname -0,0008	Afname/stabiel -/0
4	1955-2002: toename 0,0021 0,0029	Drempelgebied volledig geërodeerd, er zijn geen kortsluitgeulen meer		Geringe overschatting toename 1990-1997: 0,0026 -0,0003 1998-20040,0042 0,0013	Toename 0,0014	Toename --
5	1955-2002: afname -0,0014 1990-2002: -0,0003	Als gevolg van eerste verdieping kortsluitgeulen verdwenen Op dit moment zijn kortsluitgeulen gevoelig voor verandering in waterstandsverschillen, verdere verdieping/verondieping zal grote invloed op gedrag kortsluitgeulen hebben.		Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0036 -0,0033 1998-2004-0,0029 -0,0026	Afname -0,0038	Afname -
6	1955-2002: afname -0,0003 1990-2002: 0,0000	Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen		Overschatting toename 1990-1997: 0,0002 0,0002 1998-20040,0005 0,0005	Afname -0,0005	Afname/stabiel -/0
7	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: 0,0000	Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen		Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0006 -0,0007 1998-2004-0,0007 -0,0007	Afname -0,0005	Stabiel 0
totaal/ algemeen		Voortplantingstijd in ebgeul kleiner dan vloedgeul (met uitzondering vna mc 6 en 7) → waterstandsverschillen, m.n. in drempelgebied aan landwaartse zijde van vloedgeul. Verder veroorzaken bochtstroming en coriolis versnellingen. Als gevolg van wijzigingen in dieptes van hoofdgeulen verandert de getijvoortplanting en daardoor het waterstandsverschil. Verdieping vloedgeul en verondieping ebgeul resulteert in toename waterstandsverschil. Te grote toename kan leiden tot bochtafsnijding en erosie van drempelgebied (is in mc 4 opgetreden).	Verdieping leidt tot toename getijvoortplanting in ebgeul. Waterstandsverschil zal hierdoor afnemen. Grote stortingen in nevengeul leidt tot afname getijvoortplanting in deze geul en afname van waterstandsverschil.			

Tabel I.4: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de verhangindicator: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

MC	Waarnemingen 1955-2004	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeem-beschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie
monding-1	Tot en met midden jaren 90 import, in 1990 tot en met 1996 0,8 miljoen m^3/jaar, in 1997 tot en met 2004 export van 0,6 miljoen m^3/jaar, in 1999 tot en met 2004 export van 3,2 miljoen m^3/jaar	Afname sedimenttransporten Minder Oostwaarts/meer westwaarts		Onderschatting export 1990-1998 -0,17 0,63 1999-2005 -1,15 2,05	Export 1,2	Export vergelijkbaar met waarneming laatste jaren (ruim 3 miljoen m3/jaar) -
1-3	Vanaf 1965 tot 2000 van 1→3, in 2002 van 3→1 van bijna 2 miljoen m^3/jaar			van 3→1, richting deels tegengesteld 1998-2005 0,47 meer dan 1	van 3→1 1,17	
3-4	Vanaf 1965 van 3→4, afname in hoeveelheid in 2002 iets meer dan 0,5 miljoen m^3/jaar			1990-1998 van 4→3 tegengestelde richting 1998-2005 van 3→4 0,31 0, 2	van 3→4 0,34	
4-5	Sinds 1965 voornamelijk van 4→5, in 2002 iets meer dan 3 miljoen m^3/jaar	Vanuit 4 grote toename oostwaarts transport, natuurlijke volume met 40 miljoen m^3 afgenomen.		Van 4→5, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,42 meer dan 2 1998-2005 1,89 meer dan 1,5	van 4→5 1,52	
5-6	Sinds 1965 van 5→6, in 2002 iets meer dan 1 miljoen m^3/jaar	Verloop minder uitgesproken dan in Westen, maar er lijkt een geringe toename (meer oostwaarts transport)		Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,92 ongeveer 1 1998-2005 1,33 bijna 0,5	van 5→6 0,91	
6-7	Vanaf 1965 transport van 6→7, in 2002 bijna 1 miljoen m^3/jaar			Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 0,9 iets minder dan 1 1998-2005 0,58 bijna 0,5	van 6→7 0,41	
Over grens	Sinds 1955 export van 1,1 miljoen m3/jaar over Belgisch Nederlandse grens, Recentelijk 1999-2004 export 0,7 miljoen m^3/jaar over Belgische-Nederlandse grens			Van Nederland→Belgie, richting goed, onderschatting 1990-1998 0,09 1998-2005 0,04 bijna 0,3	Van Nederland→Belgie 0,15	Export, mogelijk iets meer dan huidige export (bijvoorbeeld meer dan 0,7 miljoen m3/jaar) -

Tabel I.5: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (zandtransport): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde transporten (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

	Waarnemingen 1955-2004	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2004) in Westerschelde cumulatief afgenomen met bijna 90 miljoen m^3 (gemiddeld 1,8 miljoen m^3/jaar) Eerst afwisselend toe- en afname, sinds 1989 afname (verruiming), in periode 1990-2004 afname van bijna 55 miljoen m^3 (gemiddeld 3,9 miljoen m^3/jaar in periode 1999-2004 4,2 miljoen m^3/jaar) **Natuurlijk cumulatief** Gemiddelde natuurlijke import 0,7 miljoen m^3/jaar Periode 1970 tot en met 1988 import van 1,8 miljoen m^3/jaar Sinds 1989 export in periode 1990-1996 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1997-2001 -1,5 miljoen m^3/jaar,	Voor 1960 resulteerde inpoldering mogelijk tot import. Na 1960 inpoldering minimaal en wordt het effect van toename getijslag en zeespiegelstijging groter. Dit resulteert mogelijk in export. In totaal ruim 120 miljoen m^3 aan zand gewonnen, gemiddelde totale bodemdaling 0,4 m en een gemiddeld van ,4 miljoen m^3/jaar,. Tot 1991 voornamelijk in Westen, daarna meer in Oosten. Sinds 1991 in Oosten dus netto onttrekking en in Westen suppletie → effect op import/export van de Westerschelde. Mogelijk verband tussen deze verschuiving en omslag naar export, maar al voor wijziging stortstrategie omslag van import naar export. Natuurlijke import lijkt eind jaren 90 te zijn veranderd in natuurlijke export De 18,6 jaars variatie in getij heeft in het laatste decennium waarschijnlijk bijgedragen aan export van zand naar monding. De relatief grote export gedurende de laatste jaren kan hierdoor echter niet verklaard worden. In ondiepe getijdebekkens met beperkt intergetijdengebied treedt vloeddominantie en import op. In diepe getijdebekkens en groot areaal intergetijdengebied ebdominantie en export. Door vaargeulverdieping en zandwinning dus vermindering import of toename export mogelijk. In Westerschelde echter nog steeds vloeddominantie zichtbaar,	Kunstmatig transport als gevolg van Oost-West stortstrategie leidt tot voortdurende suppleties in Westen. De eb- en vloedgeulen zullen weer naar evenwicht gaan en het gestorte volume zal dus naar elders getransporteerd worden. Een deel wordt mogelijk getransporteerd naar de monding (export). Als zandwinning resulteert in verruiming en afname van snelheden treedt als gevolg sedimentatie in geulen en erosie van intergetijdengebieden op. Hierdoor kan de vloeddominantie toenemen en leiden tot extra import. Als echter de snelheden toenemen treedt het tegengestelde op, geulen eroderen, intergetijdengebieden sedimenteren en systeem wordt ebdominant, resulterend in export. Verdieping kan om bovengenoemde reden resulteren in import of export.	1990-1998 afname van 2,1 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 3 miljoen m^3/jaar Onderschatting van ruim 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 3,2 miljoen m^3/jaar	Afname, maximaal even groot als recente waarnemingen (bijvoorbeeld maximaal 4 miljoen m^3/jaar). -

Tabel I.6: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Westerschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief.*

MC	Waarnemingen 1955-2000 (fig 1)	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindonclusie
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2002) cumulatief afgenomen met 34 miljoen m^3, gemiddeld met 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1990-2002 gemiddeld met 0,93 miljoen m^3/jaar	Ondanks natuurlijke import, ingrepen groot effect (bijna 90 miljoen m^3 in totaal) In tachtiger jaren toename zandwinning to 1 miljoen m3, in 1996 piek van 2 miljoen m^3, daarna afname tot 0,2 miljoen m^3 in 2005.		1990-1998 afname van 1,4 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 2,0 miljoen m^3/jaar Overschatting van ongeveer 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 1,2 miljoen m^3/jaar	Afname, maximaal evengroot als recente waarnemingen (bijvoorbeeld maximaal 1 miljoen m^3/jaar). -

Tabel I.7: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Beneden-Zeeschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte ontwikkeling voor het nulalternatief*

Appendix J: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het projectalternatief Nevengeul (P4N)

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: Stabiel 0,00 1990-2002: 0,01			Kleine overschatting verdieping 1990-1997: 0,03 0,02 1998-2004: 0,02 0,01	verdieping 0,05	stabiel 0
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: 0,00			Goede verondieping/stabiel 1990-1997: -0,01 -0,01 -0,01 -0,01	geringe verdieping 0,02	stabiel/verdieping 0/+
4	1955-2002:Verondieping-0,08 1990-2002: -0,08			Overschatting Verondieping 1990-1997: -0,06 0,02 -0,14 -0,06	verondieping -0,06	verondieping -
5	1955-2002: Verdieping 0,04 1990-2002: 0,06	Met name verdieping agv eerste en tweede verruiming		Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,09 0,03 0,12 0,06	verdieping 0,13	verdieping -
6	1955-2002: Verdieping 0,09 1990-2002: 0,06	Gevolg van baggeren, zonder baggeren zou verondieping optreden.		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: 0,01 -0,05 0,03 -0,03	verdieping 0,04	verondieping/stabiel +/0
7	1955-2002: Verdieping 0,08 1990-2002: 0,06			Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,17 0,09 0,17 0,09	verdieping 0,19	stabiel/verdieping 0/-
Totaal	m.u.v. macrocel 4 verdiepen of stabiel Zie tabel 2.4 sinds 1922 bijna alle kritische drempels dieper	Door eerste en tweede verruiming in het bijzonder ebgeul dieper Theoretisch zou dynamische koppeling kunnen optreden. Dit is niet waargenomen in de Westerschelde. Mogelijk heeft het storten in vloedgeul effect gehad.	Effect verdieping moeilijk te voorspellen (treedt dynamische koppeling op of juist toename stroomsnelheden als gevolg van afname ruwheid?). Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul (verdieping).			

Tabel J.1: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de ebgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: Verdieping 0,01 1990-2002: 0,00	Stortingen na tweede verruiming verkleinen de natuurlijke verdieping		Overschatting verondieping 1990-1997: -0,02 -0,02 1998-2004-0,03 -0,03	Verondieping -0,05	-
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: -0,01			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,00 0,01 1998-2004-0,02 -0,01	Verondieping -0,02	+
4	1955-2002: Verdieping 0,05 1990-2002: 0,10			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,10 0,00 1998-20040,09 -0,01	Verdieping 0,04	0
5	1955-2002: Verondieping -0,02 1990-2002: 0,03			Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,05 -0,08 1998-2004-0,02 -0,05	Verondieping -0,10	-
6	1955-2002: Verdieping 0,02 1990-2002: 0,03	Natuurlijk proces		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,02 -0,05 1998-2004-0,07 -0,1	Verondieping -0,04	-
7	1955-2002: Verdieping 0,03 1990-2002: 0,02	Natuurlijk proces		Redelijk goede verdieping 1990-1997: 0,03 0,01 1998-20040,02 0,00	nvt	nvt
Totaal			Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul.			

Tabel J.2: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de vloedgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindonclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: afname -0,001 1990-2002: 0,001	Stortingen na tweede verruiming gaan kanteling tegen		Overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-20040,004 0,003	Toename 0,006	-
3	1955-2002: stabiel 0,000 1990-2002: 0,001			Redelijk goede schatting 1990-1997: -0,001 0,002 1998-20040,001 0,000	Toename 0,003	+/0
4	1955-2002: afname -0,011 1990-2002: -0,016	Tweede verdieping heeft kanteling versneld		Kleine overschatting afname 1990-1997: -0,015 0,01 1998-2004-0,020 0,04	Afname -0,010	-
5	1955-2002: toename 0,007 1990-2002: 0,000	Morfologische ontwikkeling mede bepaald door macrocel 4		Grote overschatting toename 1990-1997: 0,017 0,017 1998-20040,013 0,013	Toename 0,029	--
6	1955-2002: toename 0,004 1990-2002: 0,001	wijkt af van kolom 1 (pag 2.22)		Grote overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-20040,008 0,007	Toename 0,008	-/0
7	1955-2002: stabiel 0,002 1990-2002: 0,000			Grote overschatting toename 1990-1997: 0,007 0,007 1998-20040,008 0,008	Toename 0,009	-
Totaal/ algemeen			Verdieping resulteert in toename kantelindex. Bij overschrijding van het stortcriterium neemt hydraulische ruwheid toe, de stroomsnelheid en transportcapaciteit neemt af → zichzelf versterkend effect wat resulteert in toename van kantelindex.			

Tabel J.3: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de kantelindex: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeem beschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: toename 0,0001 1990-2002: -0,0001	Meest dynamische drempelgebied met kortsluitgeulen		Overschatting afname 1990-1997: -0,0004 -0,0003 1998-2004-0,0005 -0,0004	Afname -0,0008	-
3	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: -0,0001			Geringe overschatting afname 1990-1997: 0,0003 0,0004 1998-2004-0,0001 0,0000	Afname -0,0007	+/0
4	1955-2002: toename 0,0021 0,0029	Drempelgebied volledig geërodeerd, er zijn geen kortsluitgeulen meer		Geringe overschatting toename 1990-1997: 0,0026 -0,0003 1998-20040,0042 0,0013	Toename 0,0020	-
5	1955-2002: afname -0,0014 1990-2002: -0,0003	Als gevolg van eerste verdieping kortsluitgeulen verdwenen Op dit moment zijn kortsluitgeulen gevoelig voor verandering in waterstandsverschillen, verdere verdieping/verondieping zal grote invloed op gedrag kortsluitgeulen hebben.		Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0036 -0,0033 1998-2004-0,0029 -0,0026	Afname -0,0057	--
6	1955-2002: afname -0,0003 1990-2002: 0,0000	Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen Voortplantingstijd in ebgeul kleiner dan vloedgeul (met uitzondering van mc 6 en 7) → waterstandsverschillen, m.n. in drempelgebied aan landwaartse zijde van vloedgeul. Verder veroorzaken bochtstroming en coriolis versnellingen. Als gevolg van wijzigingen in dieptes van hoofdgeulen verandert de getijvoortplanting en daardoor het waterstandsverschil. Verdieping vloedgeul en verondieping ebgeul resulteert in toename waterstandsverschil. Te grote toename kan leiden tot bochtafsnijding en erosie van drempelgebied (is in mc 4 opgetreden).		Overschatting toename 1990-1997: 0,0002 0,0002 1998-20040,0005 0,0005	Afname -0,0005	0
7	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: 0,0000			Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0006 -0,0007 1998-2004-0,0007 -0,0007	Afname -0,0007	-
totaal/ algemeen			Verdieping leidt tot toename getijvoortplanting in ebgeul. Waterstandsverschil zal hierdoor afnemen. Grote stortingen in nevengeul leidt tot afname getijvoortplanting in deze geul en afname van waterstandsverschil.			

Tabel J.4: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de verhangindicator: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeem beschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
monding-1	Tot en met midden jaren 90 import, in 1990 tot en met 1996 0,8 miljoen m^3/jaar, in 1997 tot en met 2004 export van 0,6 miljoen m^3/jaar, in 1999 tot en met 2004 export van 3,2 miljoen m^3/jaar	Afname sedimenttransporten Minder Oostwaarts/meer westwaarts		Onderschatting export 1990-1998 -0,17 0,63 1999-2005 -1,15 2,05	Export 1,2	0
1-3	Vanaf 1965 tot 2000 van 1→3, in 2002 van 3→1 van bijna 2 miljoen m^3/jaar			van 3→1, richting deels tegengesteld 1998-2005 0,47 meer dan 1	van 3→1 0,18	
3-4	Vanaf 1965 van 3→4, afname in hoeveelheid in 2002 iets meer dan 0,5 miljoen m^3/jaar			1990-1998 van 4→3 tegengestelde richting 1998-2005 van 3→4 0,31 0,02	van 4→3 0,09	
4-5	Sinds 1965 voornamelijk van 4→5, in 2002 iets meer dan 3 miljoen m^3/jaar	Vanuit 4 grote toename oostwaarts transport, natuurlijke volume met 40 miljoen m^3 afgenomen.		Van 4→5, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,42 meer dan 2 1998-2005 1,89 meer dan 1,5	van 4→5 1,78	
5-6	Sinds 1965 van 5→6, in 2002 iets meer dan 1 miljoen m^3/jaar	Verloop minder uitgesproken dan in Westen, maar er lijkt een geringe toename (meer oostwaarts transport)		Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,92 ongeveer 1 1998-2005 1,33 bijna 0,5	van 5→6 0,97	
6-7	Vanaf 1965 transport van 6→7, in 2002 bijna 1 miljoen m^3/jaar			Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 0,9 iets minder dan 1 1998-2005 0,58 bijna 0,5	van 6→7 0,56	
Over grens	Sinds 1955 export van 1,1 miljoen m3/jaar over Belgisch Nederlandse grens, Recentelijk 1999-2004 export 0,7 miljoen m^3/jaar over Belgische-Nederlandse grens			Van Nederland→België, richting goed, slechts kleine onderschatting 1990-1998 0,09 1998-2005 0,04 bijna 0,3	Van Nederland→België 0,25	Toename transport over grens, model voorspelt toename met factor 1,7, toegepast op de maximale export van nulalternatief van 0,7 miljoen m3/jaar betekent dat een export van ongeveer 1,2 miljoen m3/jaar -

Tabel J.5: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (zandtransport): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde transporten (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

	Waarnemingen 1955-2004	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2004) in Westerschelde cumulatief afgenomen met bijna 90 miljoen m^3 (gemiddeld 1,8 miljoen m^3/jaar) Eerst afwisslend toe- en afname, sinds 1989 afname (verruiming), in periode 1990-2004 afname van bijna 55 miljoen m^3 (gemiddeld 3,9 miljoen m^3/jaar in periode 1999-2004 4,2 miljoen m^3/jaar) **Natuurlijk cumulatief** Gemiddelde natuurlijke import 0,7 miljoen m^3/jaar Periode 1970 tot en met 1988 import van 1,8 miljoen m^3/jaar Sinds 1989 export in periode 1990-1996 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1997-2001 -1,5 miljoen m^3/jaar,	Voor 1960 resulteerde inpoldering mogelijk tot import. Na 1960 inpoldering minimaal en wordt het effect van toename getijslag en zeespiegelstijging groter. Dit resulteert mogelijk in export. In totaal ruim 120 miljoen m^3 aan zand gewonnen, gemiddelde totale bodemdaling 0,4 m en een gemiddeld van ,4 miljoen m^3/jaar,. Tot 1991 voornamelijk in Westen, daarna meer in Oosten. Sinds 1991 in Oosten dus netto onttrekking en in Westen suppletie → effect op import/export van de Westerschelde. Mogelijk verband tussen deze verschuiving en omslag naar export, maar al voor wijziging stortstrategie omslag van import naar export. Natuurlijke import lijkt eind jaren 90 te zijn veranderd in natuurlijke export De 18,6 jaars variatie in getij heeft in het laatste decennium waarschijnlijk bijgedragen aan export van zand naar monding. De relatief grote export gedurende de laatste jaren kan hierdoor echter niet verklaard worden. In ondiepe getijdebekkens met beperkt intergetijdengebied treedt vloeddominantie en import op. In diepe getijdebekkens en groot areal intergetijdengebied ebdominantie en export. Door vaargeulverdieping en zandwinning dus vermindering import of toename export mogelijk. In Westerschelde echter nog steeds vloeddominantie zichtbaar,	Kunstmatig transport agv Oost-West stortstrategie leidt tot voortdurende suppleties in Westen. De eb- en vloedgeulen zullen weer naar evenwicht gaan en het gestorte volume zal dus naar elders getransporteerd worden. Een deel wordt mogelijk getransporteerd naar de monding (export). Als zandwinning resulteert in verruiming en afname van snelheden treedt als gevolg sedimentatie in geulen en erosie van intergetijdengebieden op. Hierdoor kan de vloeddominantie toenemen en leiden tot extra import. Als echter de snelheden toenemen treedt het tegengestelde op, geulen eroderen, intergetijdengebieden sedimenteren en systeem wordt ebdominant, resulterend in export. Verdieping kan om bovengenoemde reden resulteren in import of export.	1990-1998 afname van 2,1 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 3 miljoen m^3/jaar Onderschatting van ruim 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 3,4 miljoen m^3/jaar	Afname iets groter dan in het nulalternatief, namelijk factor 1,1. Toegepast op de absolute waargenomen afname van 4 miljoen m^3/jaar betekent dat een afname van 4,4 miljoen m^3/jaar. 0

Tabel J.6: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Westerschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul*

MC	Waarnemingen 1955-2000 (fig 1)	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindonclusie (ten opzichte van nulalternatief)
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2002) cumulatief afgenomen met 34 miljoen m^3, gemiddeld met 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1990-2002 gemiddeld met 0,93 miljoen m^3/jaar	Ondanks natuurlijke import, ingrepen groot effect (bijna 90 miljoen m^3 in totaal) In tachtiger jaren toename zandwinning to 1 miljoen m3, in 1996 piek van 2 miljoen m^3, daarna afname tot 0,2 miljoen m^3 in 2005.		1990-1998 afname van 1,4 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 2,0 miljoen m^3/jaar Overschatting van ongeveer 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 1,3 miljoen m^3/jaar	Grotere afname, model voorspelt factor 1,1, toegepast op de afname van nulalternatief van 0,93 miljoen m3/jaar betekent dat een een maximale afname van ongeveer 1 miljoen m3/jaar, dit is ongeveer gelijk aan het nulalternatief 0

Tabel J.7: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Beneden-Zeeschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Nevengeul.*

cel	Historie, laatste 20 jaar.	Voorspelling nulalternatief, tot 2030	kwalificatie	Voorspelling P4p (plaat)	P4n (nevengeul)	kwalificatie **(ten opzichte van nulalternatief)**
1+2	geringe afname 20 ha.	geen verandering, zou onderschatting kunnen zijn.	0 tot -	Initieel een toename als gevolg van aanlegstort. Lange termijn geen effect	geen effect	0
3	forse afname van circa 150 ha (10 procent) als gevolg van migratie van kortsluitgeulen.	Rare begin-offset buiten beschouwing gelaten. Verder geen echte verandering (marginale toename?, 1 procent). Er wordt wel veel gestort in Nul. Ten opzicht van historie. Stabilisatie areaal niet uitgesloten. Invloed migratie kortsluitgeulen wordt niet meegenomen.	- tot 0	Afname van het areaal (30 ha); effect van minder storten.	Afname van het areaal (30 ha); effect van minder storten.	-
4	forse afname van ca 150 ha. (7 procent) door erosie grote geulen (m.n. vloedgeul/vaargeul)	Geringe afname 15 ha (1 procent), vermoedelijk een onderschatting	-	Initieel een toename als gevolg van aanlegstort?. Lange termijn geen effect	Initieel een toename. Oorzaak? Lange termijn geen effect	0
5	afname (6 procent) ca 100 ha door erosie van de 2 grote geulen	afname van circa 2,5 procent (40 ha)	-	Toename van 20 ha (ruim 1 procent).	Toename van 30 ha. Opmerkelijk verschil met P4P (bijna 2 procent)	+
6	forse afname van ca 100 ha (25 procent). Door algehele erosie o.i.v. van netto baggeren in dit deel van de WS en de Zeeschelde	geringe afname van 5-10 ha (2 procent).	-	geen effect	geen effect	0
7	forse afname van ca 100 ha (25 procent). Door algehele erosie o.i.v. netto baggeren in dit deel van de WS en de Zeeschelde	afname van ca 15 ha. (3-4 procent).	-	geen effect	geen effect	0

Tabel J.8: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van het intergetijdengebied. De ontwikkeling van arealen vormt onderdeel van het basisrapport Natuur. Aangezien het areaal intergetijdengebied een systeemattribuut van de morfologische diversiteit vormt, wordt in dit basisrapport Morfologie in deze tabel de resultaten samengevat. In de eerste kolom staat de waargenomen ontwikkeling in de laatste 20 jaar. In de derde kolom staat de modelvoorspelling, de modelnauwkeurigheid en systeemkennis voor het nulalternatief samengevat en in de vierde kolom wordt de kwalificatie van de verwachte ontwikkeling gegeven. In de vijfde en zesde kolom staat respectievelijk de voorspelling voor het projectalternatief Plaatrand en het projectalternatief Nevengeul, in de laatste kolom staat de kwalificatie van de verwachte ontwikkeling voor deze twee projectalternatieven.*

Appendix K: Integratie modelresultaten, waarnemingen, systeemkennis voor het projectalternatief Plaatrand (P4P2)

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: Stabiel 0,00 1990-2002: 0,01			Kleine overschatting verdieping 1990-1997: 0,03 0,02 1998-2004: 0,02 0,01	verdieping 0,05	stabiel 0
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: 0,00			Goede verondieping/stabiel 1990-1997: -0,01 -0,01 -0,01 -0,01	geringe verdieping 0,02	stabiel/verdieping 0/+
4	1955-2002:Verondieping-0,08 1990-2002: -0,08			Overschatting Verondieping 1990-1997: -0,06 0,02 -0,14 -0,06	verondieping -0,08	verondieping -
5	1955-2002: Verdieping 0,04 1990-2002: 0,06	Met name verdieping als gevolg van eerste en tweede verruiming		Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,09 0,03 0,12 0,06	verdieping 0,13	verdieping -
6	1955-2002: Verdieping 0,09 1990-2002: 0,06	Gevolg van baggeren, zonder baggeren zou verondieping optreden.		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: 0,01 -0,05 0,03 -0,03	verdieping 0,06	stabiel 0
7	1955-2002: Verdieping 0,08 1990-2002: 0,06			Grote overschatting verdieping 1990-1997: 0,17 0,09 0,17 0,09	verdieping 0,20	verdieping -
Totaal	m.u.v. macrocel 4 verdiepen of stabiel Zie tabel 2.4 sinds 1922 bijna alle kritische drempels dieper	Door eerste en tweede verruiming in het bijzonder ebgeul dieper Theoretisch zou dynamische koppeling kunnen optreden. Dit is niet waargenomen in de Westerschelde. Mogelijk heeft het storten in vloedgeul effect gehad.	Effect verdieping moeilijk te voorspellen (treedt dynamische koppeling op of juist toename stroomsnelheden als gevolg van afname ruwheid?). Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul (verdieping).			-

Tabel K.1: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de ebgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: Verdieping 0,01 1990-2002: 0,00	Stortingen na tweede verruiming verkleinen de natuurlijke verdieping		Overschatting verondieping 1990-1997: -0,02 -0,02 1998-2004-0,03 -0,03	Verondieping -0,05	-
3	1955-2002: Stabiel 0,01 1990-2002: -0,01			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,00 0,01 1998-2004-0,02 -0,01	Verondieping -0,02	+
4	1955-2002: Verdieping 0,05 1990-2002: 0,10			Redelijk goede verondieping 1990-1997: 0,10 0,00 1998-20040,09 -0,01	Verdieping 0,05	0/-
5	1955-2002: Verondieping -0,02 1990-2002: 0,03	wijkt af van kolom 1 (pag 2.23)		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,05 -0,08 1998-2004-0,02 -0,05	Verondieping -0,08	-
6	1955-2002: Verdieping 0,02 1990-2002: 0,03	Natuurlijk proces		Grote onderschatting verdieping 1990-1997: -0,02 -0,05 1998-2004-0,07 -0,1	Verondieping -0,02	0
7	1955-2002: Verdieping 0,03 1990-2002: 0,02	Natuurlijk proces		Redelijk goede verdieping 1990-1997: 0,03 0,01 1998-20040,02 0,00	nvt	nvt
Totaal			Storten in vloedgeul heeft effect op weerstand en leidt dus mogelijk tot toename stroming in ebgeul.			

Tabel K.2: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de vloedgeulen: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde ver(on)dieping (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, ver(on)dieping in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindonclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: afname -0,001 1990-2002: 0,001	Stortingen na tweede verruiming gaan kanteling tegen		Overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-20040,004 0,003	Toename 0,007	-
3	1955-2002: stabiel 0,000 1990-2002: 0,001			Redelijk goede schatting 1990-1997: -0,001 0,002 1998-20040,001 0,000	Toename 0,003	+/0
4	1955-2002: afname -0,011 1990-2002: -0,016	Tweede verdieping heeft kanteling versneld		Kleine overschatting afname 1990-1997: -0,015 0,01 1998-2004-0,020 0,04	Afname -0,012	--
5	1955-2002: toename 0,007 1990-2002: 0,000	Morfologische ontwikkeling mede bepaald door macrocel 4		Grote overschatting toename 1990-1997: 0,017 0,017 1998-20040,013 0,013	Toename 0,023	-
6	1955-2002: toename 0,004 1990-2002: 0,001	wijkt af van kolom 1 (pag 2.22)		Grote overschatting toename 1990-1997: 0,003 0,002 1998-20040,008 0,007	Toename 0,007	0
7	1955-2002: stabiel 0,002 1990-2002: 0,000			Grote overschatting toename 1990-1997: 0,007 0,007 1998-20040,008 0,008	Toename 0,009	-
Totaal/ algemeen			Verdieping resulteert in toename kantelindex. Bij overschrijding van het stortcriterium neemt hydraulische ruwheid toe, de stroomsnelheid en transportcapaciteit neemt af → zichzelf versterkend effect wat resulteert in toename van kantelindex.			

Tabel K.3: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de kantelindex: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (meters per jaar) over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname in meters per jaar, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
1	1955-2002: toename 0,0001 1990-2002: -0,0001			Overschatting afname 1990-1997: -0,0004 -0,0003 1998-2004-0,0005 -0,0004	Afname -0,0009	-
3	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: -0,0001	Meest dynamische drempelgebied met kortsluitgeulen		Geringe overschatting afname 1990-1997: 0,0003 0,0004 1998-2004-0,0001 0,0000	Afname -0,0006	+/0
4	1955-2002: toename 0,0021 0,0029	Drempelgebied volledig geërodeerd, er zijn geen kortsluitgeulen meer		Geringe overschatting toename 1990-1997: 0,0026 -0,0003 1998-20040,0042 0,0013	Toename 0,0024	--
5	1955-2002: afname -0,0014 1990-2002: -0,0003	Als gevolg van eerste verdieping kortsluitgeulen verdwenen Op dit moment zijn kortsluitgeulen gevoelig voor verandering in waterstandsverschillen, verdere verdieping/verondieping zal grote invloed op gedrag kortsluitgeulen hebben.		Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0036 -0,0033 1998-2004-0,0029 -0,0026	Afname -0,0048	--
6	1955-2002: afname -0,0003 1990-2002: 0,0000	Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen		Overschatting toename 1990-1997: 0,0002 0,0002 1998-20040,0005 0,0005	Afname -0,0005	0
7	1955-2002: stabiel 0,0000 1990-2002: 0,0000	Baggeractiviteiten gaan vorming van kortsluitgeulen tegen		Grote overschatting afname 1990-1997: -0,0006 -0,0007 1998-2004-0,0007 -0,0007	Afname -0,0007	-/0
totaal/ algemeen		Voortplantingstijd in ebgeul kleiner dan vloedgeul (m.u.v. mc 6 en 7) → waterstandsverschillen, m.n. in drempelgebied aan landwaartse zijde van vloedgeul. Verder veroorzaken bochtstroming en coriolis versnellingen. Als gevolg van wijzigingen in dieptes van hoofdgeulen verandert de getijvoortplanting en daardoor het waterstandsverschil. Verdieping vloedgeul en verondieping ebgeul resulteert in toename waterstandsverschil. Te grote toename kan leiden tot bochtafsnijding en erosie van drempelgebied (is in mc 4 opgetreden).	Verdieping leidt tot toename getijvoortplanting in ebgeul. Waterstandsverschil zal hierdoor afnemen. Grote stortingen in nevengeul leidt tot afname getijvoortplanting in deze geul en afname van waterstandsverschil.			

Tabel K.4: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de verhangindicator: waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname over de periode 1955-2002 (eerste rij) en de periode 1990-2002 (tweede rij)), systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, toe-/afname, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

MC	Waarnemingen 1955-2002 1990-2002	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeem-beschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
monding-1	Tot en met midden jaren 90 import, in 1990 tot en met 1996 0,8 miljoen m^3/jaar, in 1997 tot en met 2004 export van 0,6 miljoen m^3/jaar, in 1999 tot en met 2004 export van 3,2 miljoen m^3/jaar	Afname sedimenttransporten Minder Oostwaarts/meer westwaarts		Onderschatting export 1990-1998 -0,17 0,63 1999-2005 -1,15 2,05	Export 1,6	-
1-3	Vanaf 1965 tot 2000 van 1→3, in 2002 van 3→1 van bijna 2 miljoen m^3/jaar			van 3→1, richting deels tegengesteld 1998-2005 0,47 meer dan 1	van 1→3 0,17	
3-4	Vanaf 1965 van 3→4, afname in hoeveelheid in 2002 iets meer dan 0,5 miljoen m^3/jaar			1990-1998 van 4→3 tegengestelde richting 1998-2005 van 3→4 0,31 0,02	van 4→3 0,17	
4-5	Sinds 1965 voornamelijk van 4→5, in 2002 iets meer dan 3 miljoen m^3/jaar	Vanuit 4 grote toename oostwaarts transport, natuurlijke volume met 40 miljoen m^3 afgenomen.		Van 4→5, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,42 meer dan 2 1998-2005 1,89 meer dan 1,5	van 4→5 1,76	
5-6	Sinds 1965 van 5→6, in 2002 iets meer dan 1 miljoen m^3/jaar	Verloop minder uitgesproken dan in Westen, maar er lijkt een geringe toename (meer oostwaarts transport)		Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 1,92 ongeveer 1 1998-2005 1,33 bijna 0,5	van 5→6 1,00	
6-7	Vanaf 1965 transport van 6→7, in 2002 bijna 1 miljoen m^3/jaar			Van 5→6, richting goed, onderschatting 1990-1998 0,9 iets minder dan 1 1998-2005 0,58 bijna 0,5	van 6→7 0,50	
Over grens	Sinds 1955 export van 1,1 miljoen m3/jaar over Belgisch Nederlandse grens, Recentelijk 1999-2004 export 0,7 miljoen m^3/jaar over Belgisch-Nederlandse grens			Van Nederland→Belgie, richting goed, slechts kleine onderschatting 1990-1998 0,09 1998-2005 0,04 bijna 0,3	Van Nederland→ Belgie 0,23	Toename tranpsort over grens, model voorspelt toename met factor 1,5, toegepast op de maximale export van nulalternatief van 0,7 miljoen m3/jaar betekent dat een een export van ongeveer 1,1 miljoen m3/jaar -

Tabel K.5: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (zandtransport): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde transporten (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

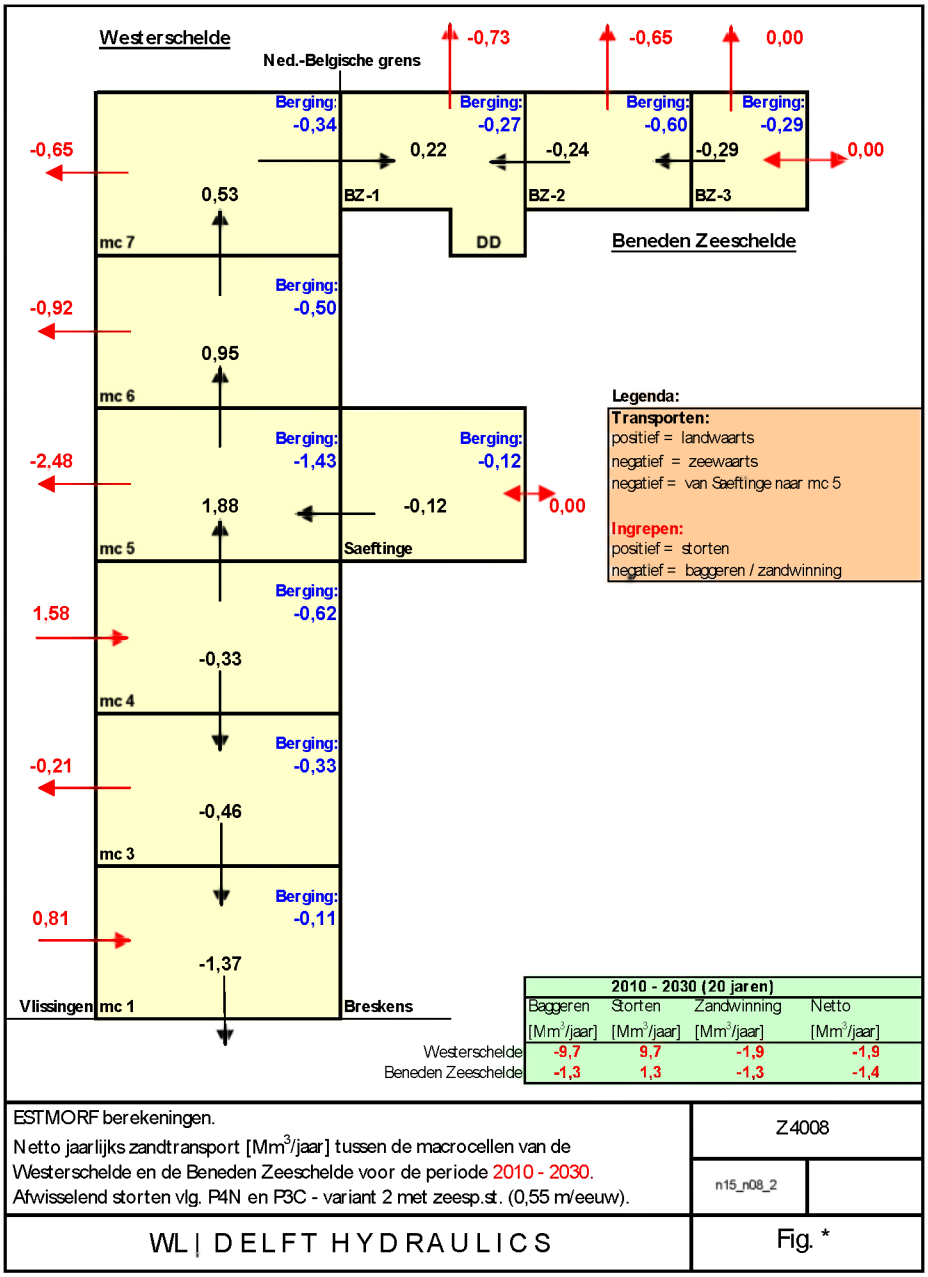
	Waarnemingen 1955-2004	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Model-voorspelling	Eindconclusie (ten opzichte van nulalternatief)
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2004) in Westerschelde cumulatief afgenomen met bijna 90 miljoen m^3 (gemiddeld 1,8 miljoen m^3/jaar) Eerst afwisselend toe- en afname, sinds 1989 afname (verruiming), in periode 1990-2004 afname van bijna 55 miljoen m^3 (gemiddeld 3,9 miljoen m^3/jaar in periode 1999-2004 4,2 miljoen m^3/jaar) **Natuurlijk cumulatief** Gemiddelde natuurlijke import 0,7 miljoen m^3/jaar Periode 1970 tot en met 1988 import van 1,8 miljoen m^3/jaar Sinds 1989 export in periode 1990-1996 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1997-2001 -1,5 miljoen m^3/jaar,	Voor 1960 resulteerde inpoldering mogelijk tot import. Na 1960 inpoldering minimaal en wordt het effect van toename getijslag en zeespiegelstijging groter. Dit resulteert mogelijk in export. In totaal ruim 120 miljoen m^3 aan zand gewonnen, gemiddelde totale bodemdaling 0,4 m en een gemiddeld van ,4 miljoen m^3/jaar,. Tot 1991 voornamelijk in Westen, daarna meer in Oosten. Sinds 1991 in Oosten dus netto onttrekking en in Westen suppletie → effect op import/export van de Westerschelde. Mogelijk verband tussen deze verschuiving en omslag naar export, maar al voor wijziging stortstrategie omslag van import naar export. Natuurlijke import lijkt eind jaren 90 te zijn veranderd in natuurlijke export De 18,6 jaars variatie in getij heeft in het laatste decennium waarschijnlijk bijgedragen aan export van zand naar monding. De relatief grote export gedurende de laatste jaren kan hierdoor echter niet verklaard worden. In ondiepe getijdebekkens met beperkt intergetijdengebied treedt vloeddominantie en import op. In diepe getijdebekkens en groot areal intergetijdengebied ebdominantie en export. Door vaargeulverdieping en zandwinning dus vermindering import of toename export mogelijk. In Westerschelde echter nog steeds vloeddominantie zichtbaar,	Kunstmatig transport agv Oost-West stortstrategie leidt tot voortdurende suppleties in Westen. De eb- en vloedgeulen zullen weer naar evenwicht gaan en het gestorte volume zal dus naar elders getransporteerd worden. Een deel wordt mogelijk getransporteerd naar de monding (export). Als zandwinning resulteert in verruiming en afname van snelheden treedt als gevolg sedimentatie in geulen en erosie van intergetijdengebieden op. Hierdoor kan de vloeddominantie toenemen en leiden tot extra import. Als echter de snelheden toenemen treedt het tegengestelde op, geulen eroderen, intergetijdengebieden sedimenteren en systeem wordt ebdominant, resulterend in export. Verdieping kan om bovengenoemde reden resulteren in import of export.	1990-1998 afname van 2,1 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 3 miljoen m^3/jaar Onderschatting van ruim 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 3,8 miljoen m^3/jaar	Geringere afname, model voorspeld afname met factor 1,2, toegepast op de afname van nulalternatief van 4 miljoen m3/jaar betekent dat een een maximale afname van ongeveer 4,8 miljoen m3/jaar -/0

Tabel K.6: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Westerschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

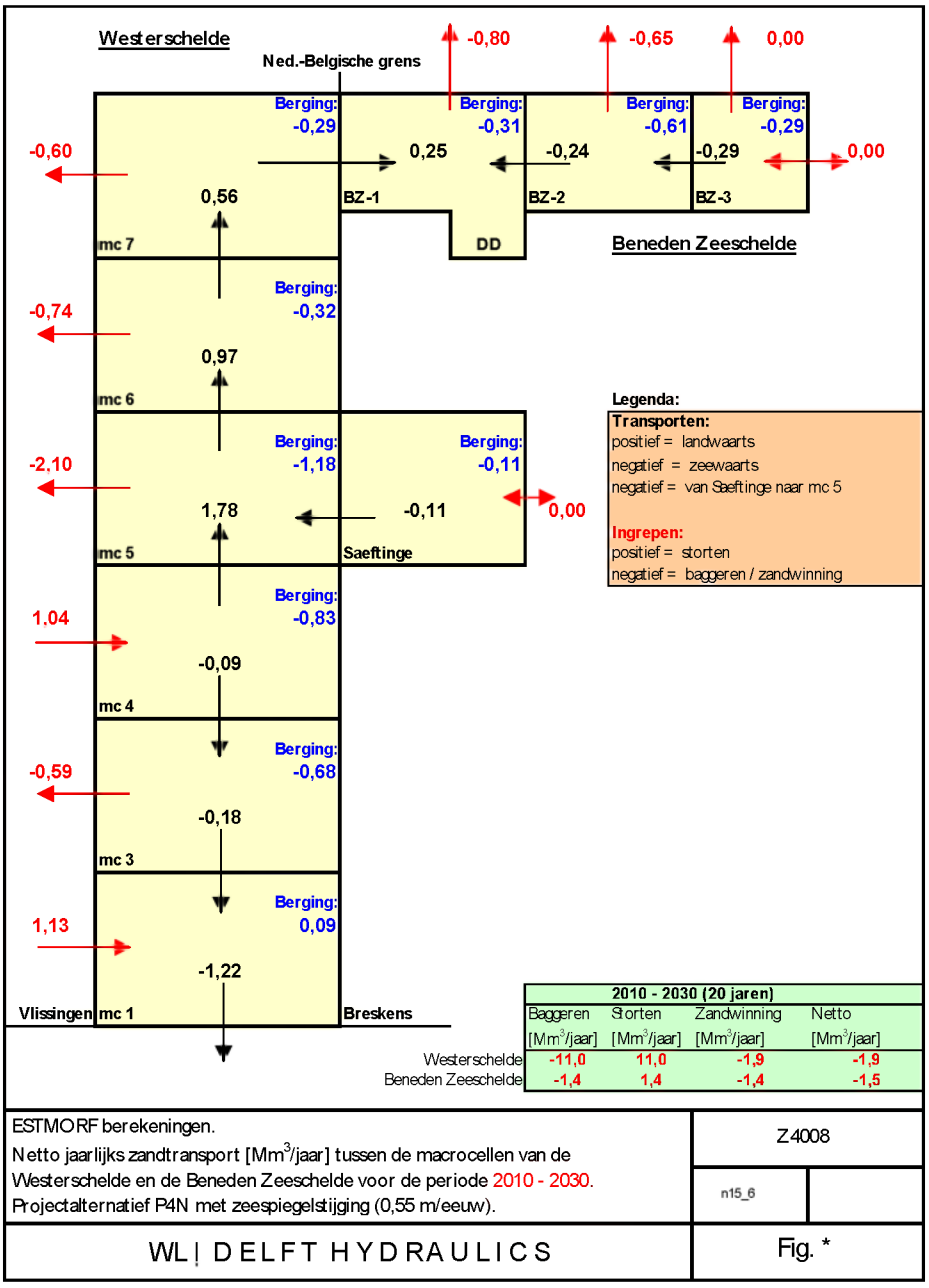
MC	Waarnemingen 1955-2000 (fig 1)	Systeemkennis (systeembeschrijving)	Verwachting (systeembeschrijving)	Hindcast model	Modelvoorspelling	Eindonclusie (ten opzichte van nulalternatief)
Totaal	**Totaal cumulatief** Sinds 1955 (tot en met 2002) cumulatief afgenomen met 34 miljoen m^3, gemiddeld met 0,7 miljoen m^3/jaar, in periode 1990-2002 gemiddeld met 0,93 miljoen m^3/jaar	Ondanks natuurlijke import, ingrepen groot effect (bijna 90 miljoen m^3 in totaal) In tachtiger jaren toename zandwinning to 1 miljoen m3, in 1996 piek van 2 miljoen m^3, daarna afname tot 0,2 miljoen m^3 in 2005.		1990-1998 afname van 1,4 miljoen m^3/jaar 1999-2004 afname van 2,0 miljoen m^3/jaar Overschatting van ongeveer 1 miljoen m^3/jaar	Afname van 1,3 miljoen m^3/jaar	Grotere afname, model voorspelt factor 1,1, toegepast op de afname van nulalternatief van 0,93 miljoen m3/jaar betekent dat een een maximale afname van ongeveer 1 miljoen m3/jaar, dit is ongeveer gelijk aan het nulalternatief 0

Tabel K.7: *Integratie van kennis over de ontwikkeling van de zandhuishouding (volumeverandering Beneden-Zeeschelde): waarnemingen (kolom 2, gemiddelde toe-/afname (miljoen m3/jaar) in de periode 1955-2002, systeemkennis (kolom 3, verklaring van de waargenomen ontwikkeling beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), verwachte effecten van voorgenomen ingrepen op het systeem (kolom 4, op basis van expert judgement beschreven in het achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium), resultaten modelhindcast (kolom 5, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 3, in rood staat het verschil met waarnemingen uit kolom 1), de modelvoorspellingen voor het nulalternatief (kolom 6, resultaten afkomstig uit hoofdstuk 6). In de laatste kolom (kolom 7) wordt de eindconclusie getrokken betreffende de verwachte relatieve (ten opzichte van het nulalternatief) ontwikkeling voor het projectalternatief Plaatrand.*

Appendix L: Variatie stortstrategie in de tijd; Zandhuishouding.

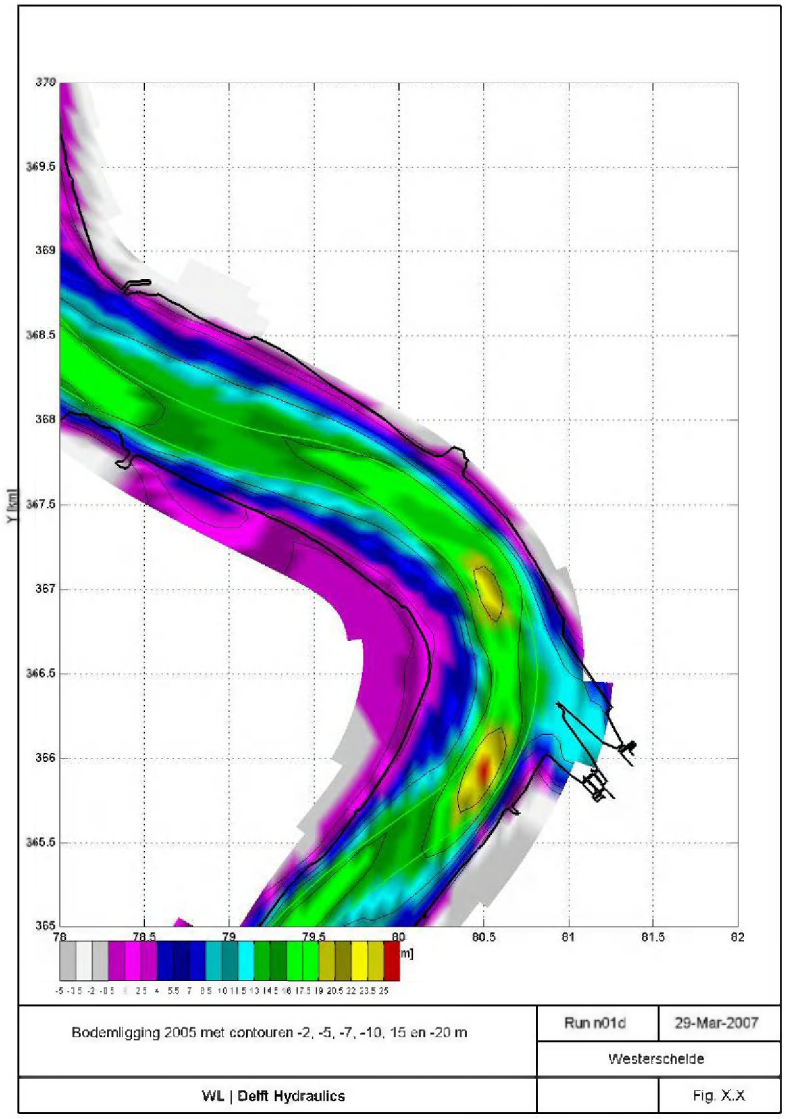


Figuur L.1: *Zandbalans (miljoen m^3/jaar) voor de simulatie met afwisselend stortstrategie P3C en P4N (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

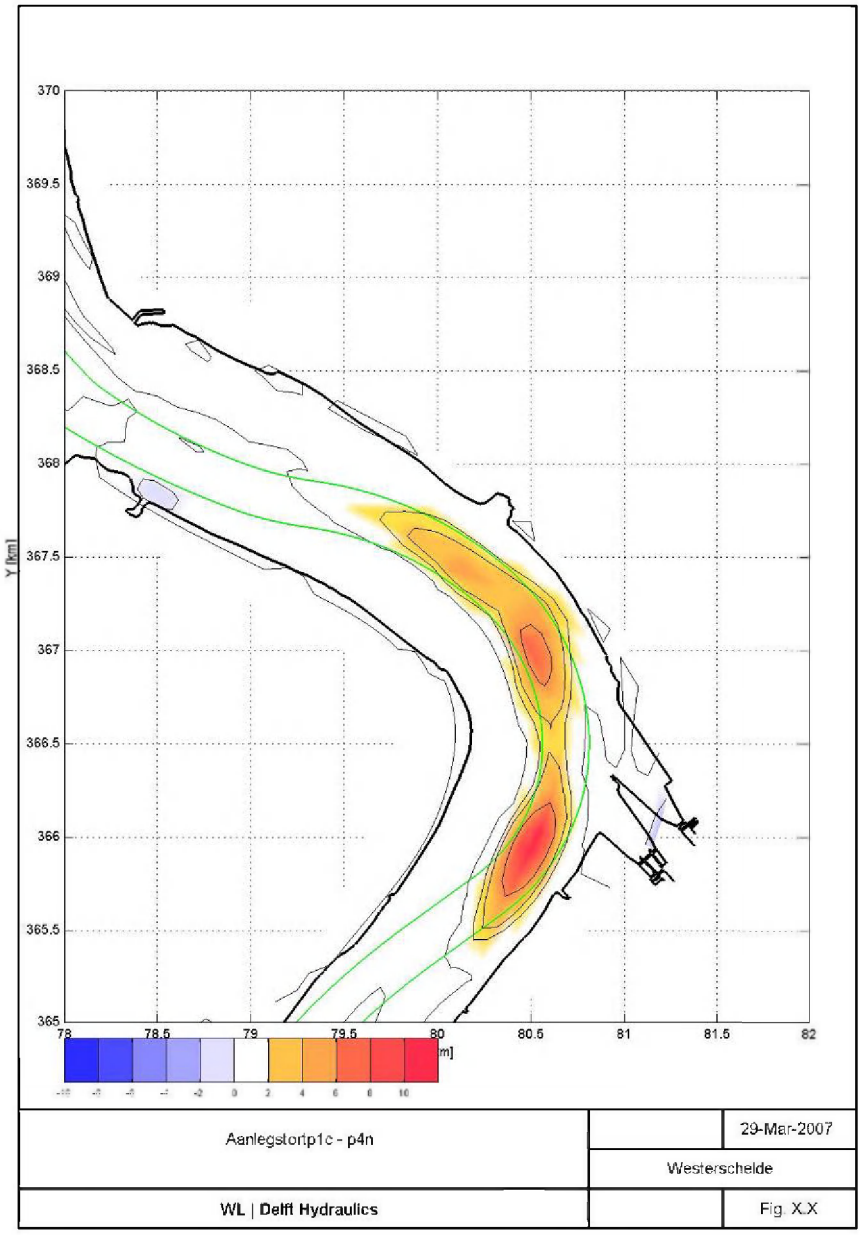


Figuur L.2: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor P4N (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

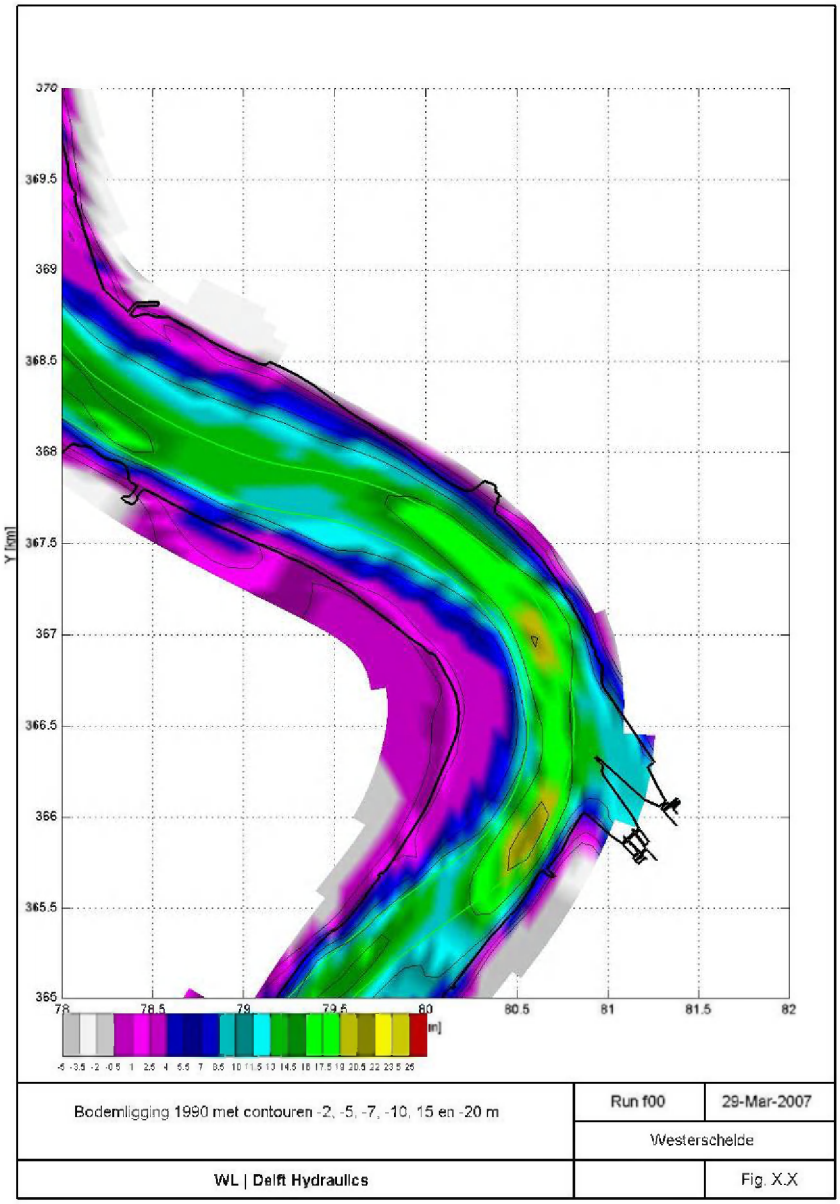
Appendix M: Ontwikkeling volgestorte putten in de Beneden-Zeeschelde



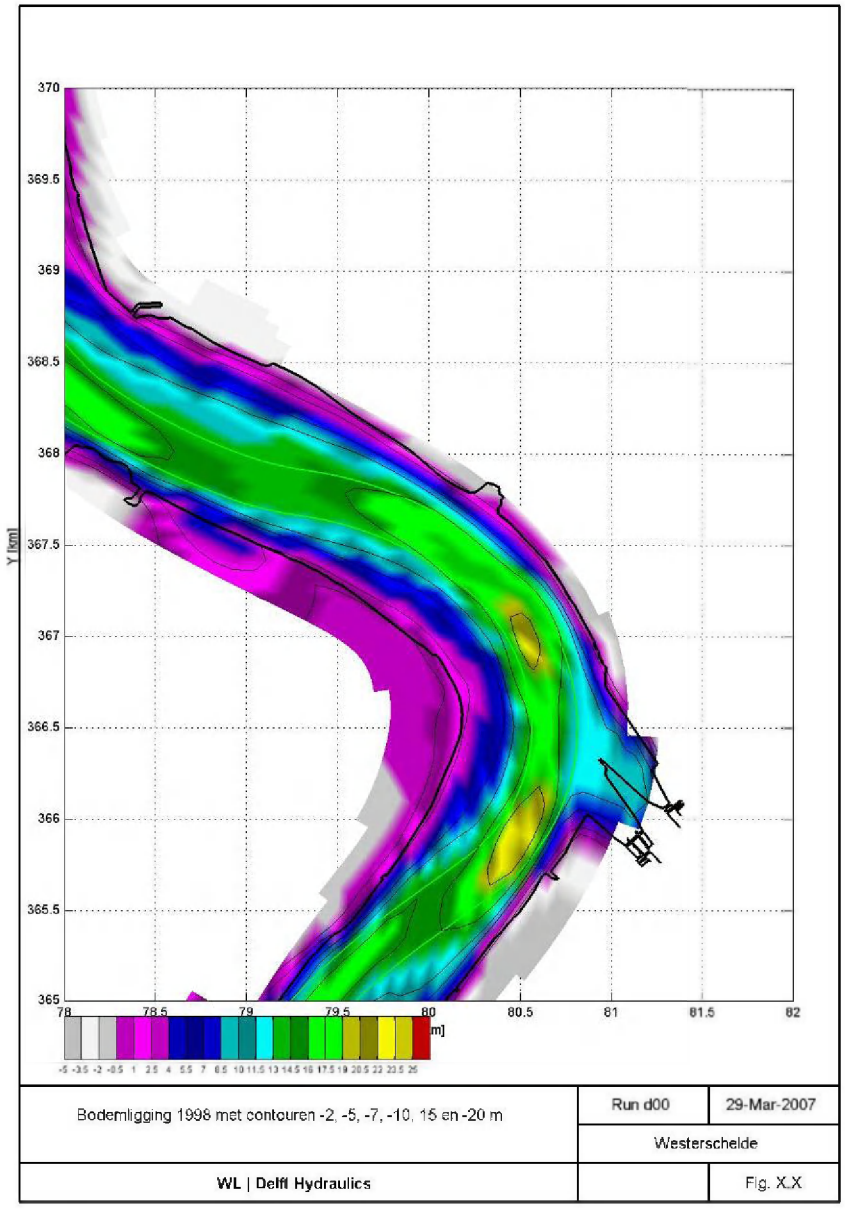
Figuur M.1: *Gemeten bodem 2005*



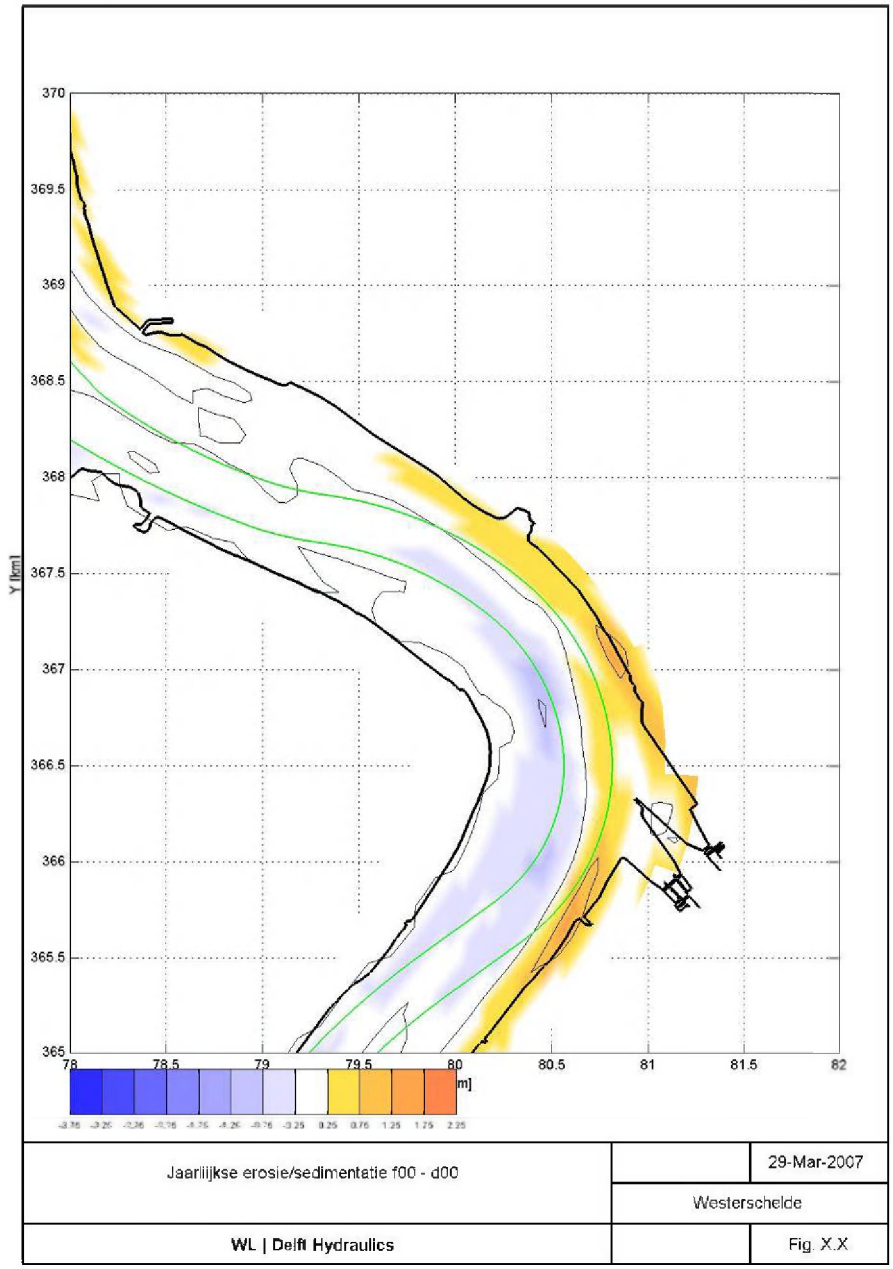
Figuur M.2: *Verschilkaart na storten van aanlegbaggerspecie in de diepe putten.*



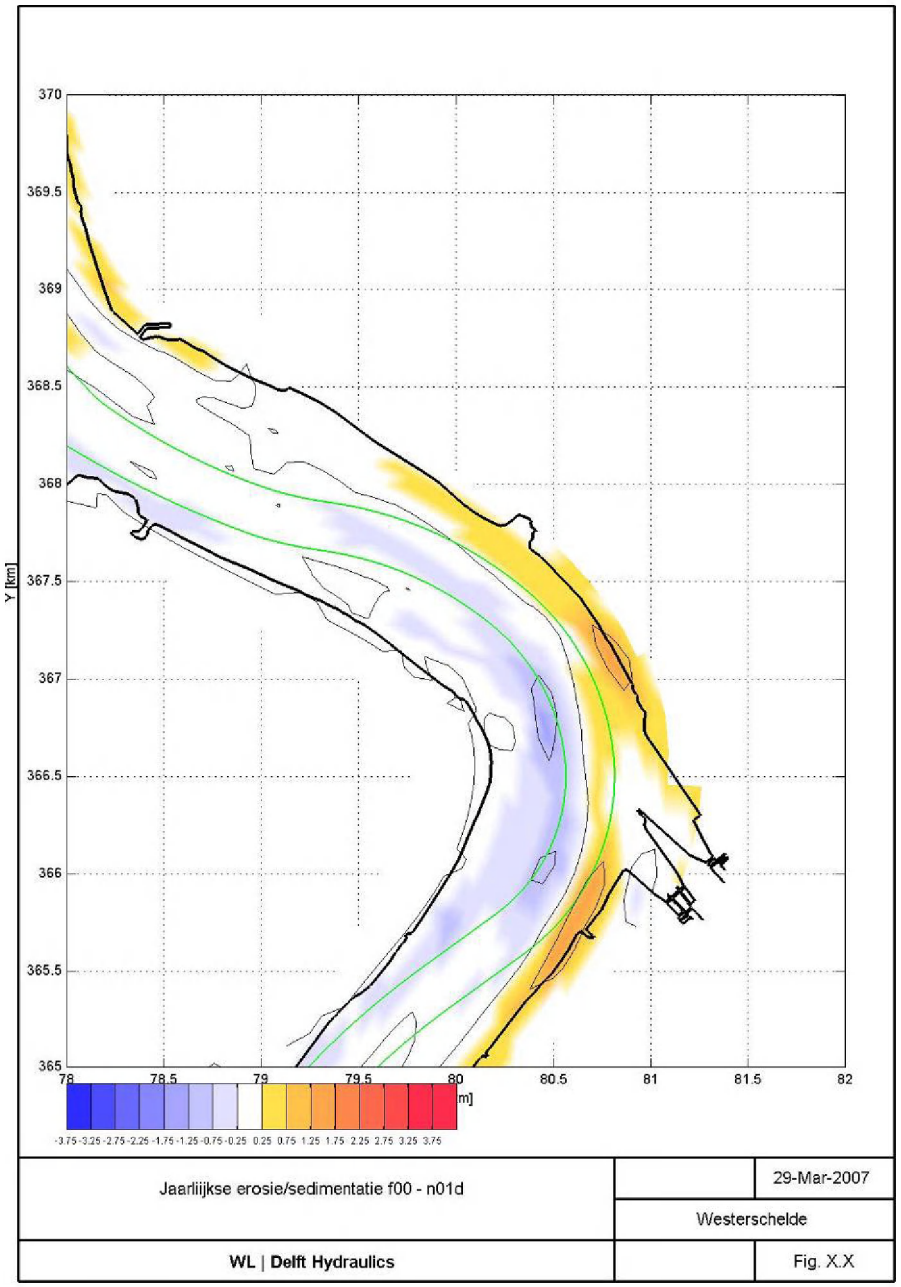
Figuur M.3: *Gemeten bodem 1990*



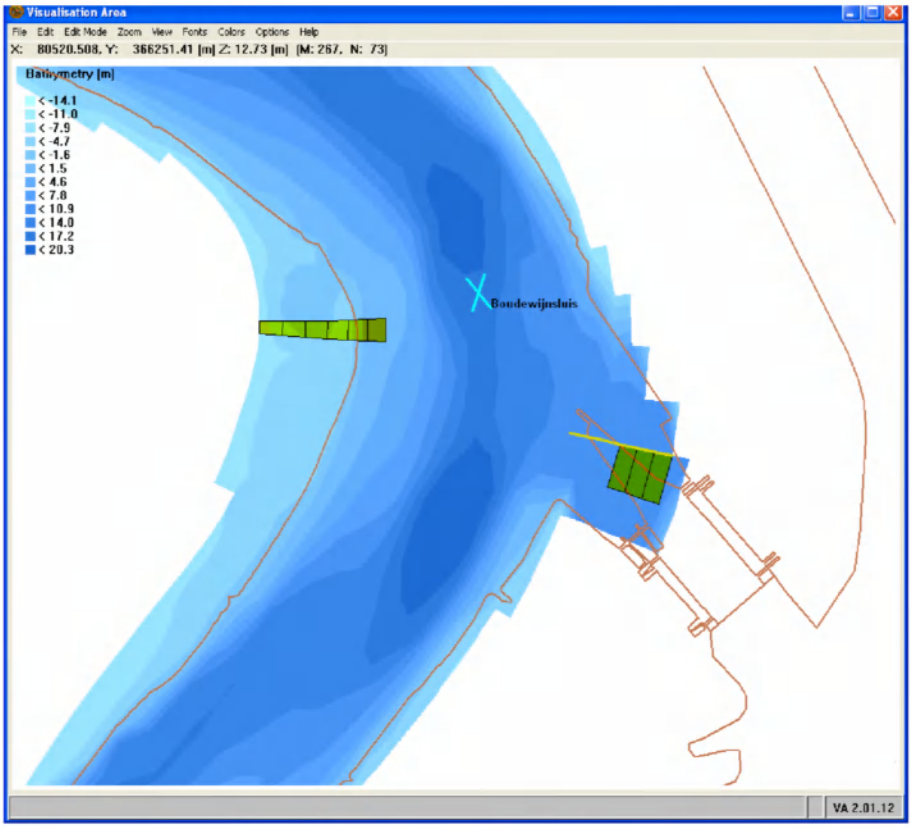
Figuur M.4: *Gemeten bodem 1998*



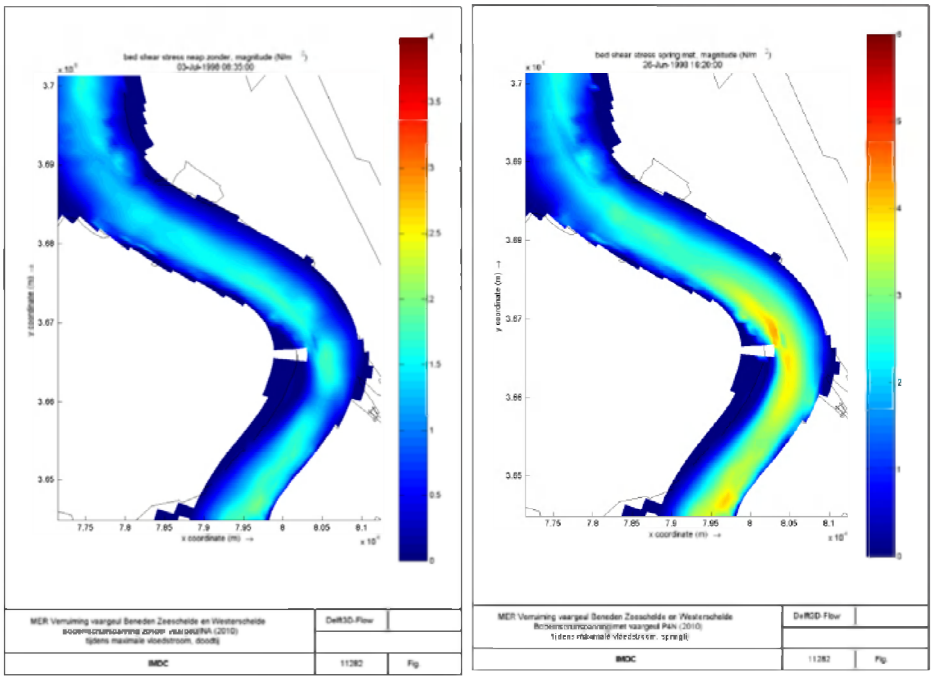
Figuur M.5: *Sedimentatie/erosiekaart (meters per jaar) voor de periode 1990-1998.*



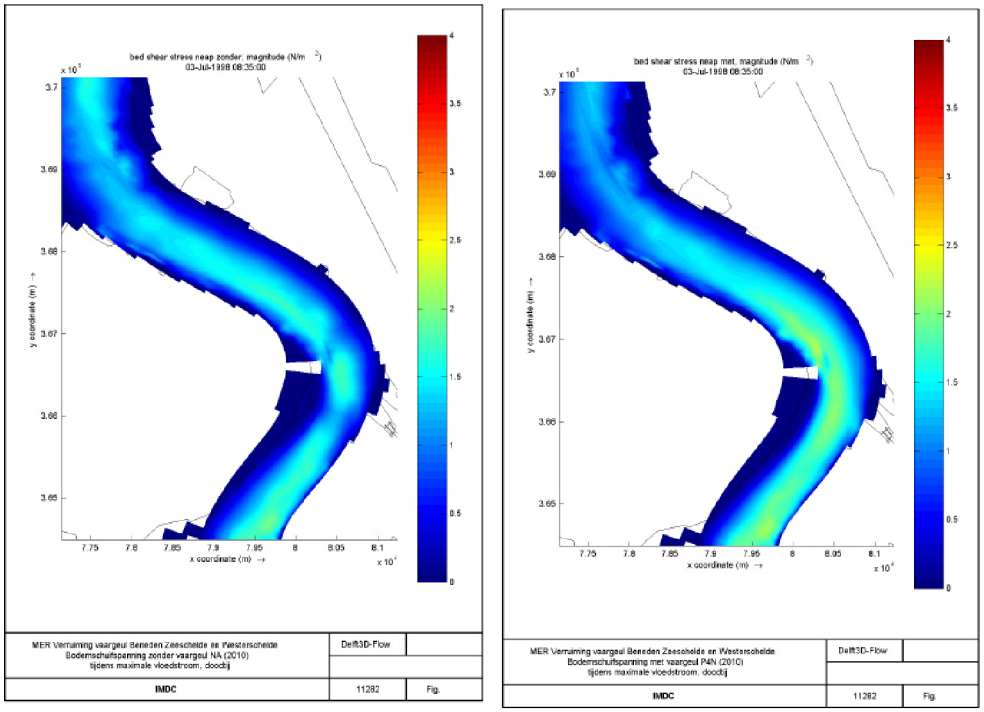
Figuur M.6: *Sedimentatie/erosiekaart (meters per jaar) voor de periode 1998-2005.*



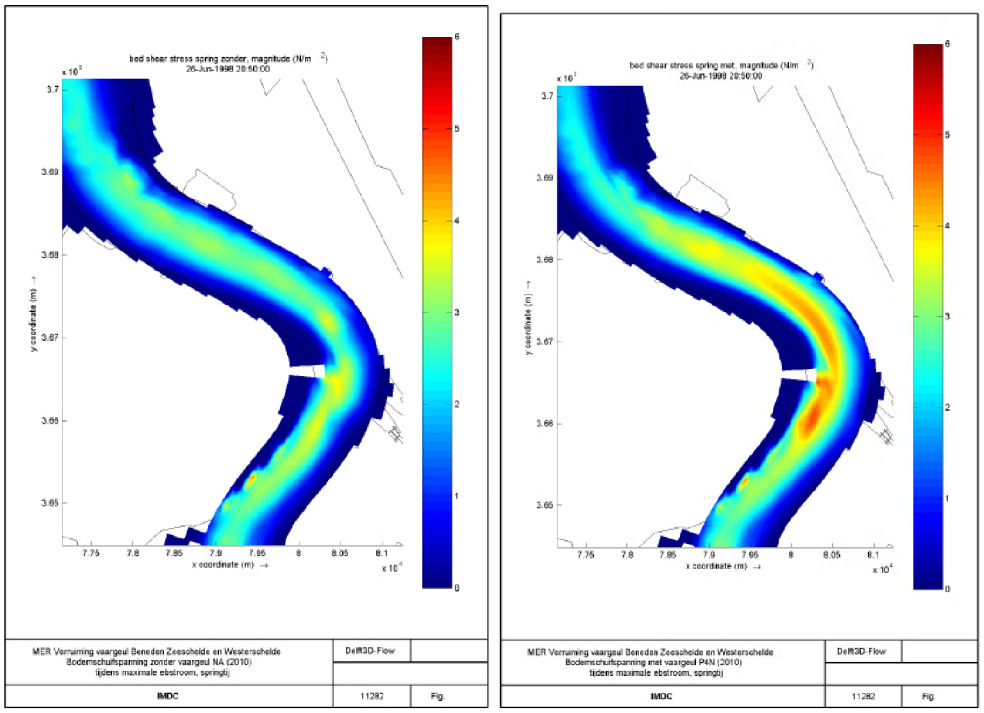
Figuur M.7: *Bodemligging voor het gedetailleerde Delft3D model.*



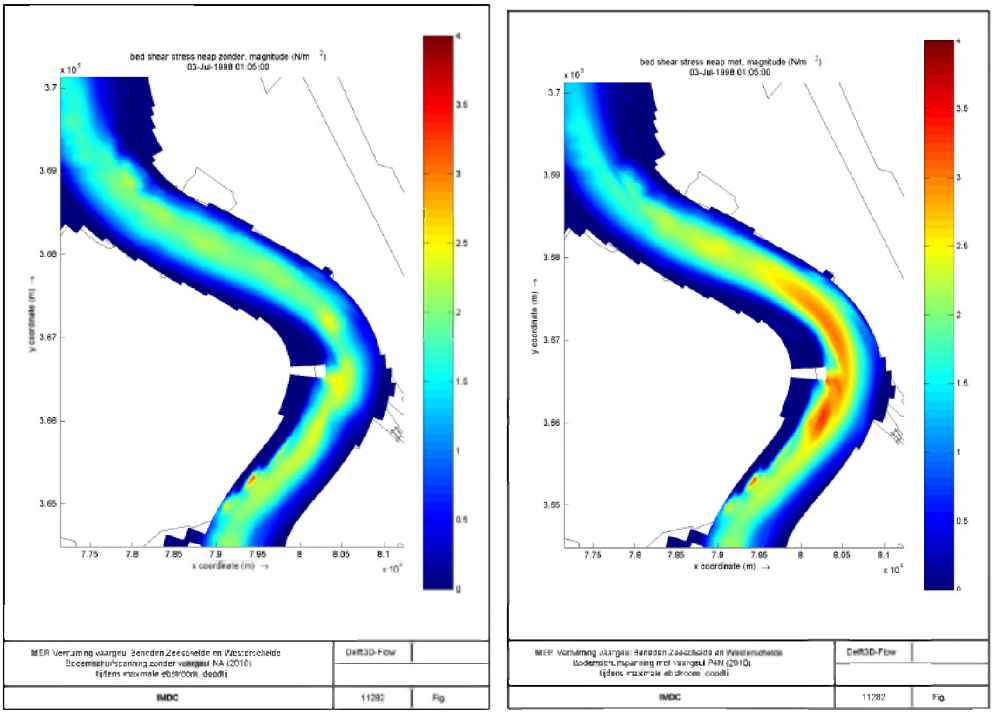
Figuur M.8: *Bodemschuifspanningen tijdens vloed bij springtij, links het nulalternatief zonder volgestorte putten, rechts het nulalternatief met volgestorte putten, resultaten Delft3D-simulaties.*



Figuur M.9: *Bodemschuifspanningen tijdens vloed bij doodtij, links het nulalternatief zonder volgestorte putten, rechts het nulalternatief met volgestorte putten, resultaten Delft3D-simulaties.*

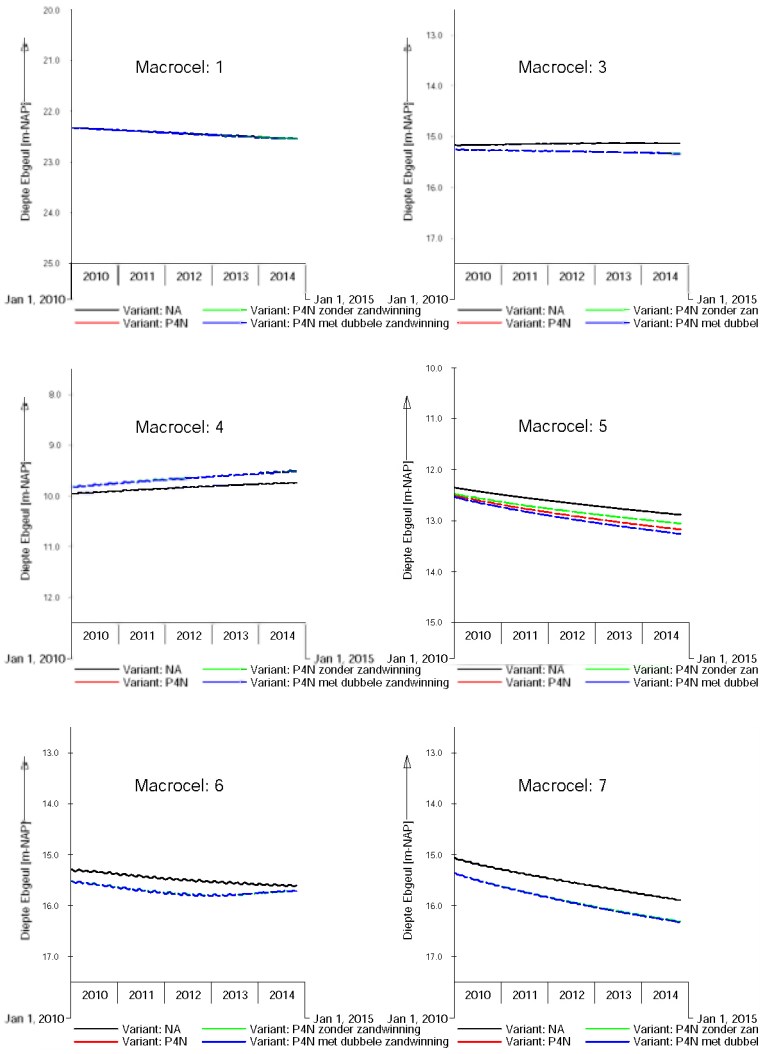


Figuur M.10: *Bodemschuifspanningen tijdens eb bij springtij, links het nulalternatief zonder volgestorte putten, rechts het nulalternatief met volgestorte putten, resultaten Delft3D-simulaties.*

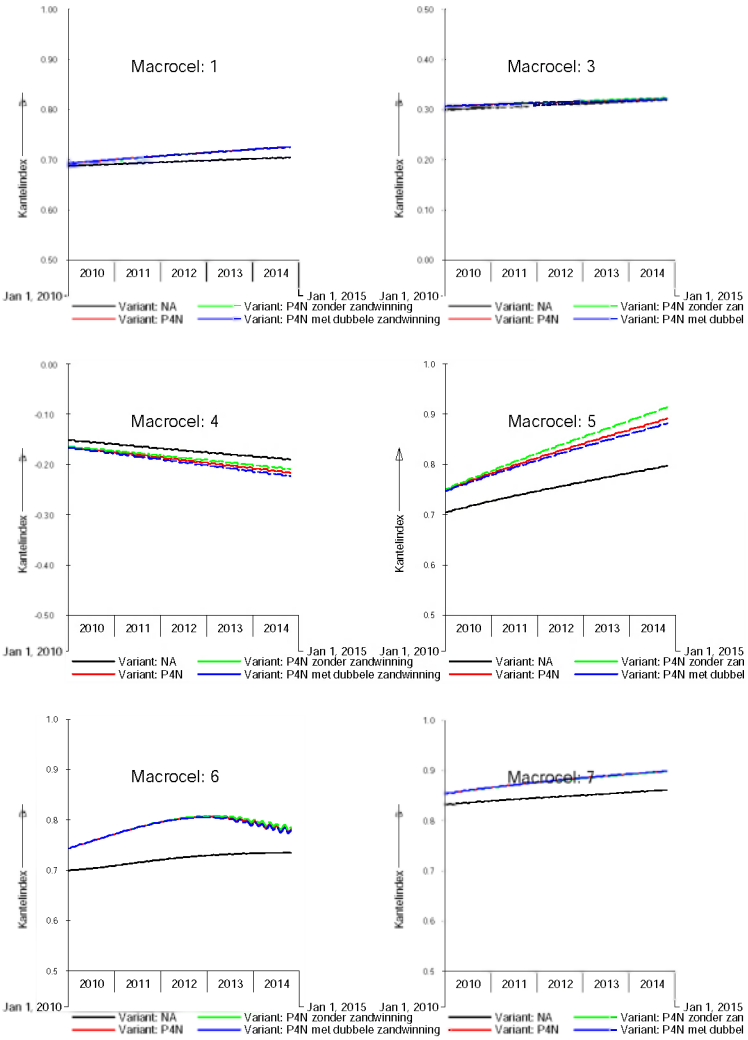


Figuur M.11: *Bodemschuifspanningen tijdens eb bij doodtij, links het nulalternatief zonder volgestorte putten, rechts het nulalternatief met volgestorte putten, resultaten Delft3D-simulaties.*

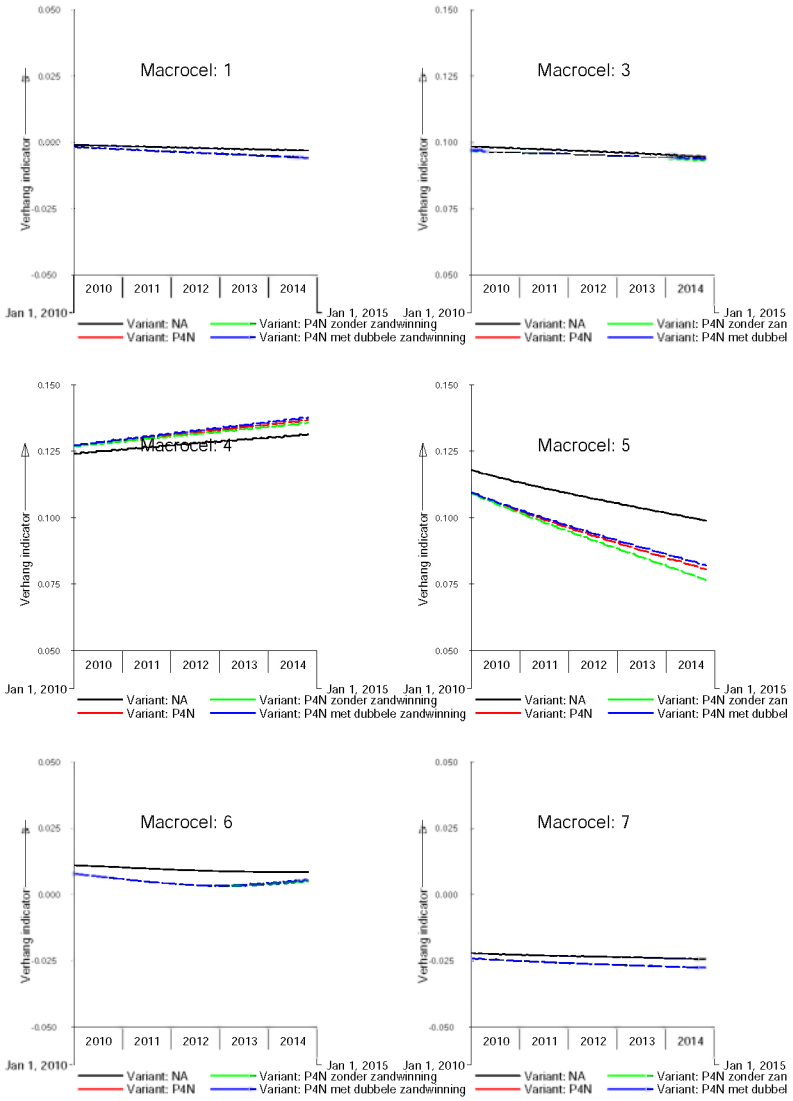
Appendix N: Diepte geulen, kantelindex en verhangindicator bij verschillende zandwinscenario's



Figuur N.1: *Ontwikkeling diepte ebgeul (in meters) voor het projectalternatief P4N met huidige zandwinning, zonder zandwinning en dubbele zandwinning (resultaten Delft3D-simulaties).*

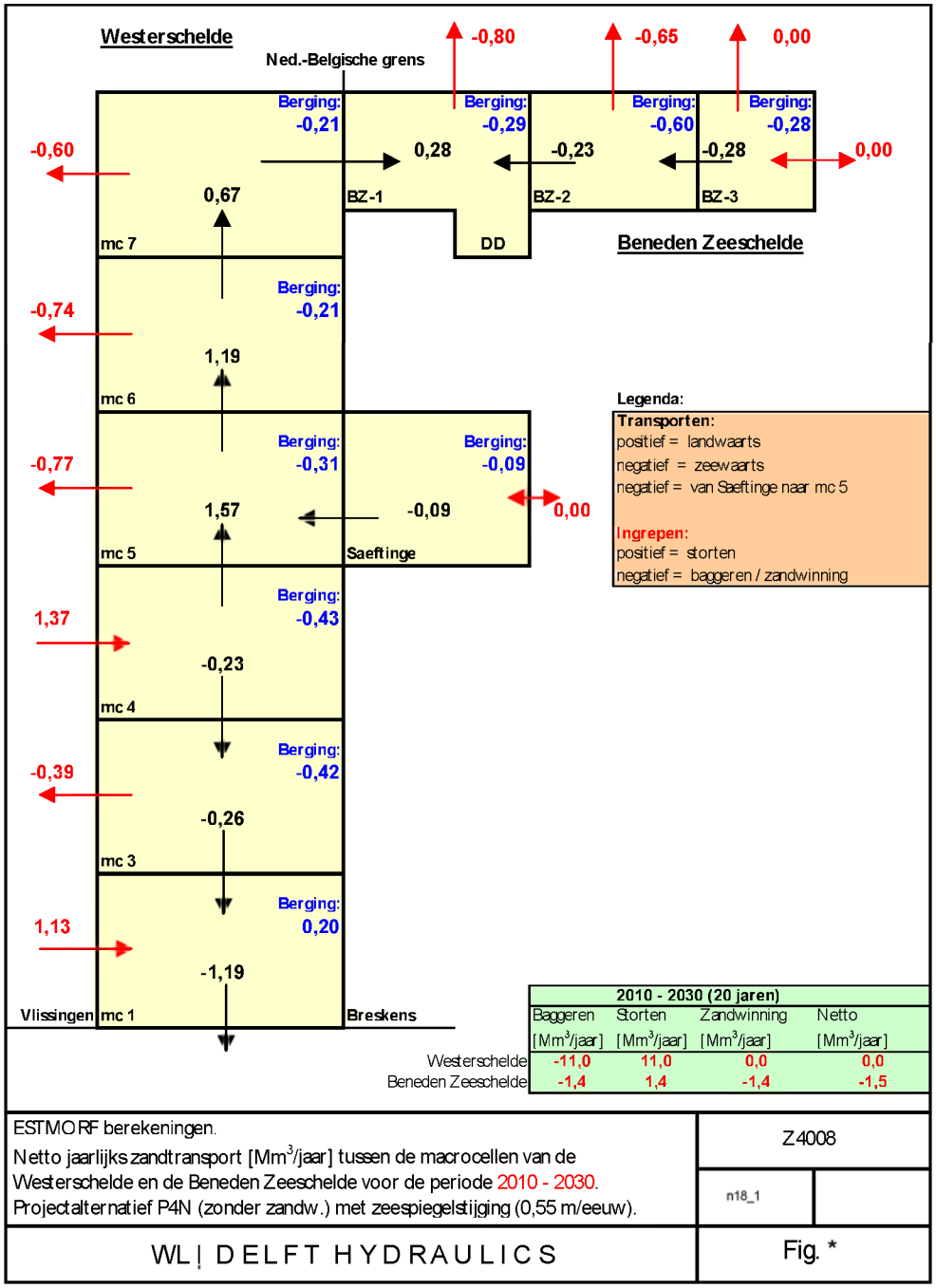


Figuur N.2: *Ontwikkeling kantelindex voor het projectalternatief P4N met huidige zandwinning, zonder zandwinning en dubbele zandwinning (resultaten Delft3D-simulaties).*

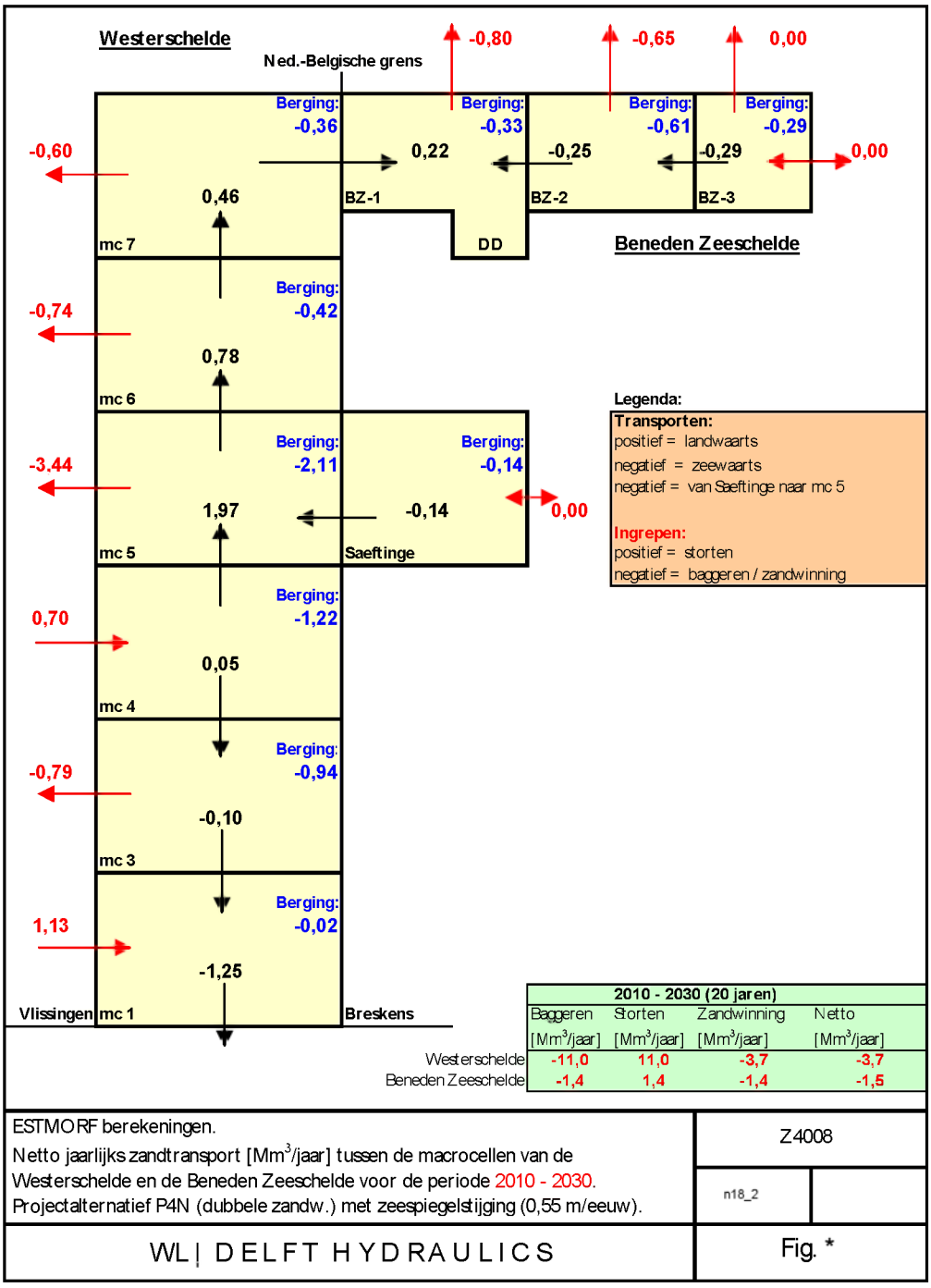


Figuur N.3: *Ontwikkeling verhangindicator voor het projectalternatief P4N met huidige zandwinning, zonder zandwinning en dubbele zandwinning (resultaten Delft3D-simulaties).*

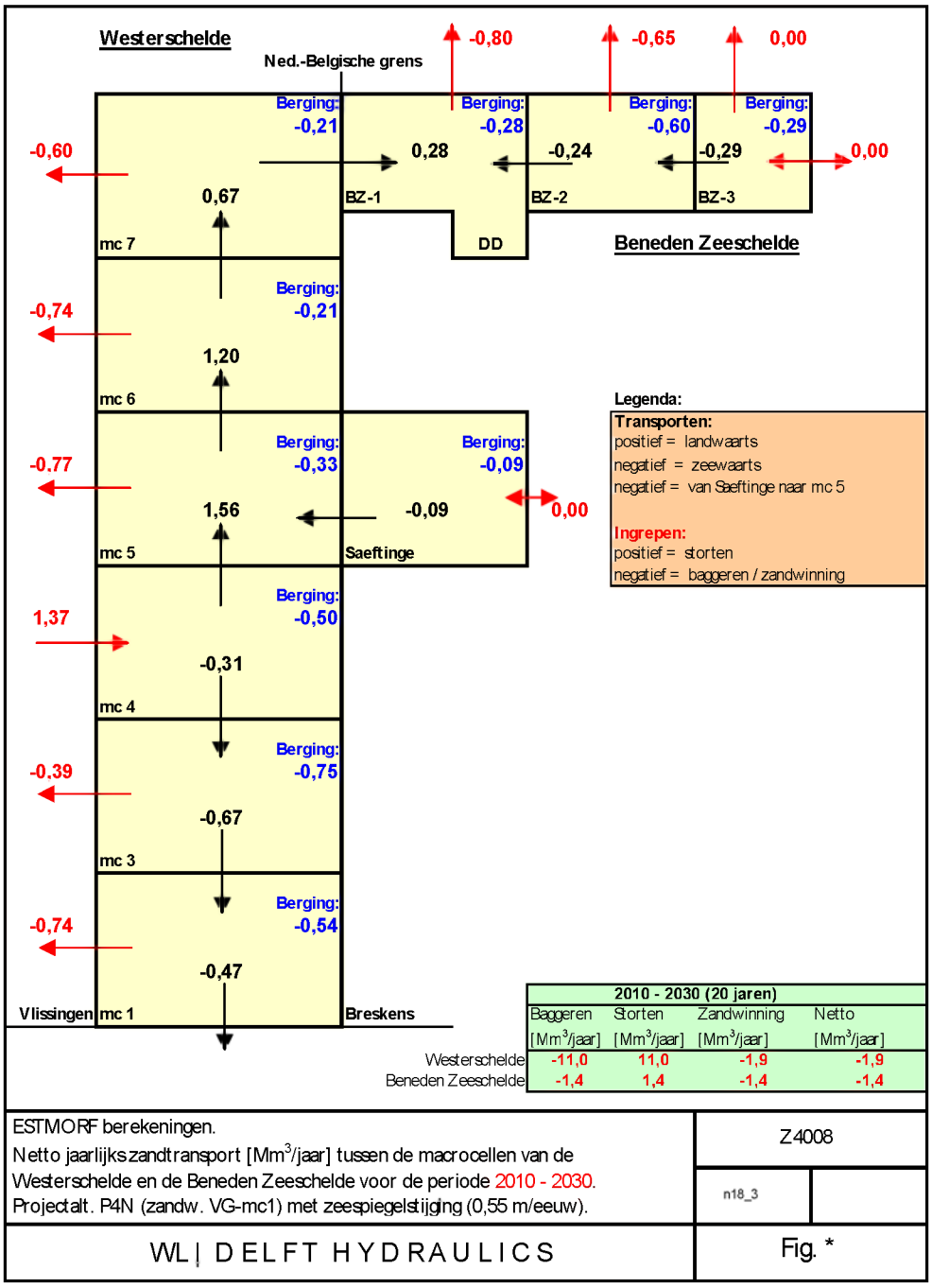
Appendix O: Zandhuishouding bij verschillende zandwinscenario's



Figuur O.1: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief Nevengeul zonder zandwinning (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*



Figuur O.2: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief Nevengeul met dubbele zandwinning (2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*



Figuur O.1: *Zandbalans (miljoen m3/jaar) voor projectalternatief Nevengeul met zandwinning geconcentreerd in macrocel 1(2010-2030), resultaten Estmorf-simulatie.*

Appendix P: Huidige toestand Galgenschor

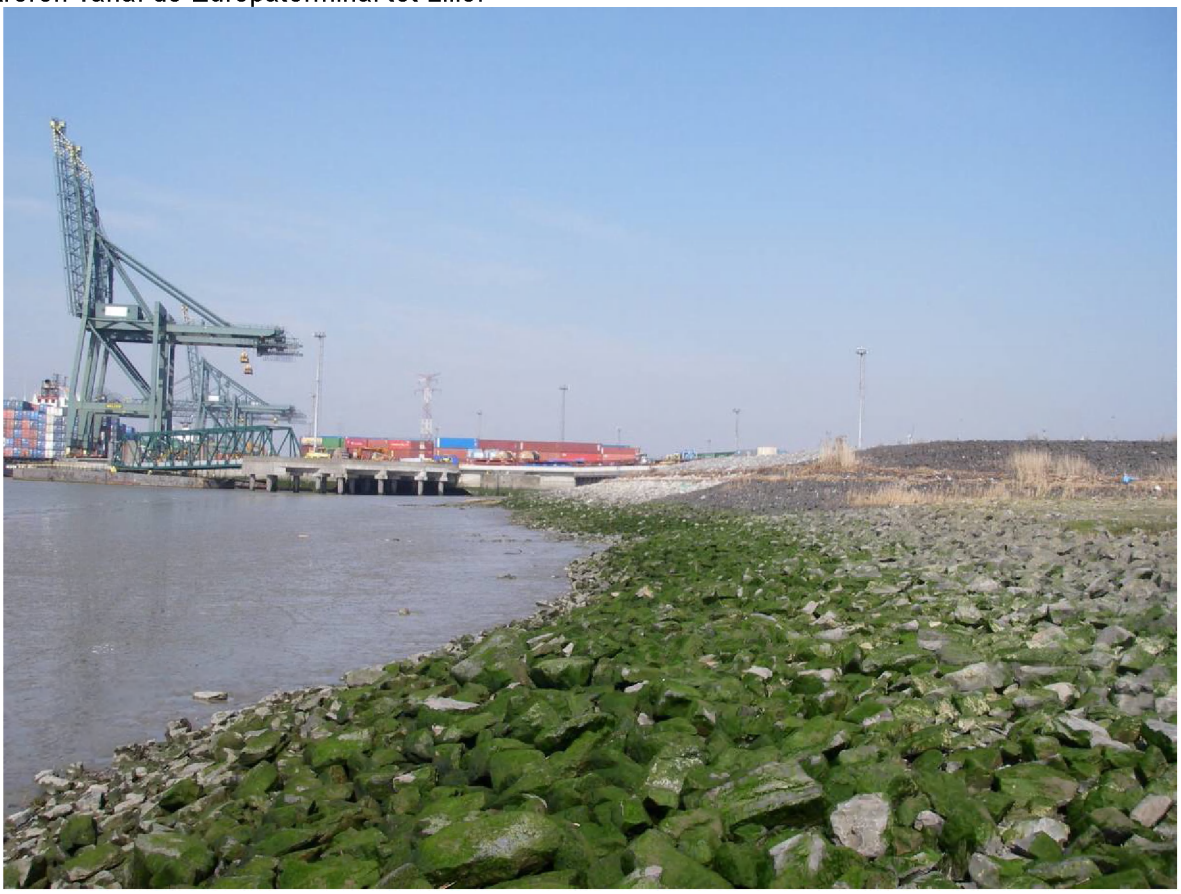
Illustraties van de schorrand langsheen het Galgenschoor

Op 27 maart 2007 is door het studieteam een foto opname gemaakt langsheen de schorrandverdediging van het Galgenschoor. De locatie van de opnames is weergegeven in P.1.



Figuur P.1: *Locatie van de opnames*

Uit het geheel van de beelden zijn een 10-tal illustraties genomen om de bestaande toestand te illustreren vanaf de Europaterminal tot Lillo.



Figuur P.2: *Locatie 1626*



Figuur P.3: *Locatie 1629*



Figuur P.4: *Locatie 1635*



Figuur P.5: *Locatie 1639*



Figuur P.6: *Locatie 1649*



Figuur P.7: *Locatie 1656*



Figuur P.8: *Locatie 1664*



Figuur P.9: *Locatie 1668*



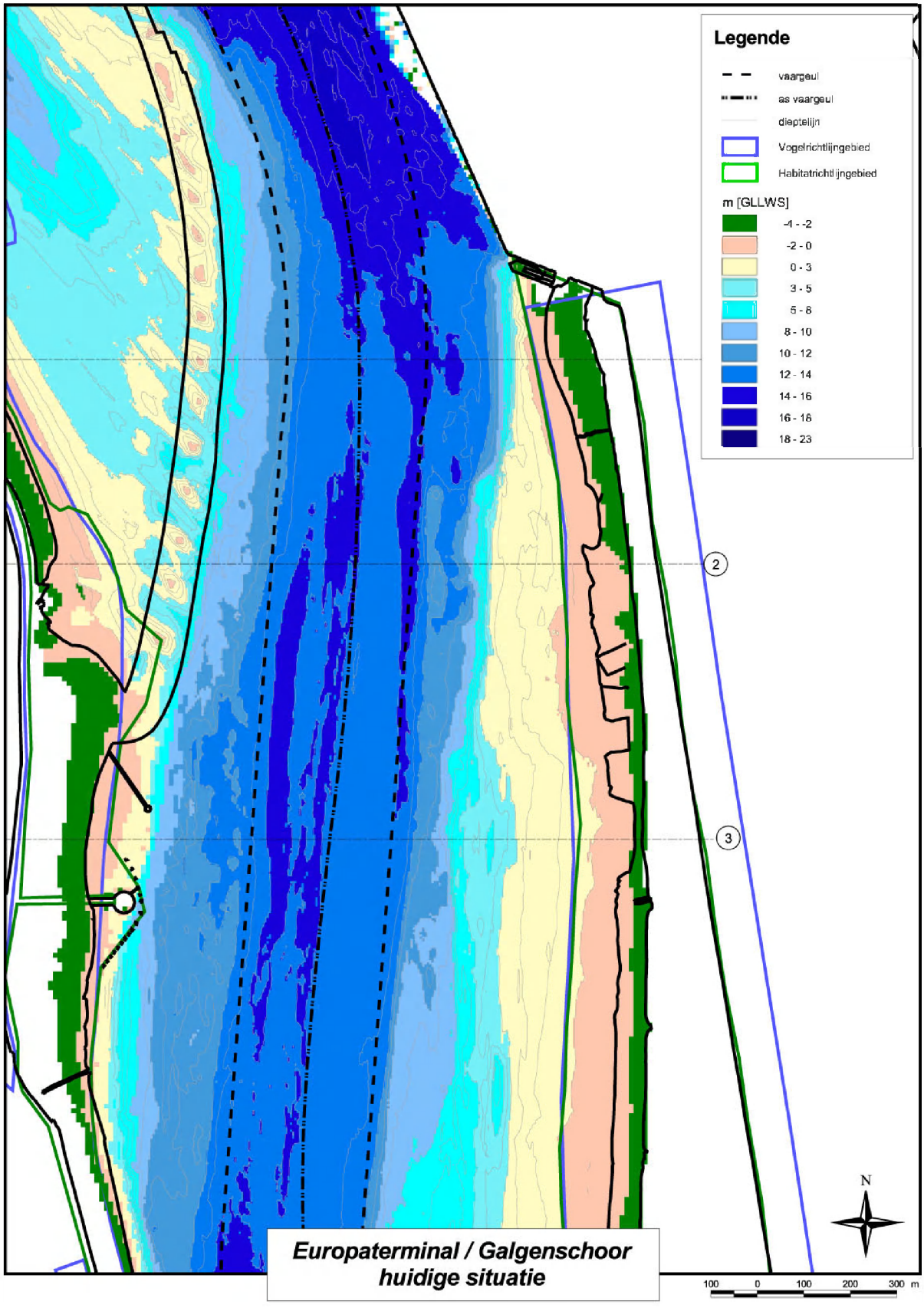
Figuur P.10: *Locatie 1672*



Figuur P.11: *Locatie 1673*

Bodemligging

De bodemligging van het gebied ter hoogte van het Galgeschoor en de zwaaizone is opgenomen in figuur P.12.

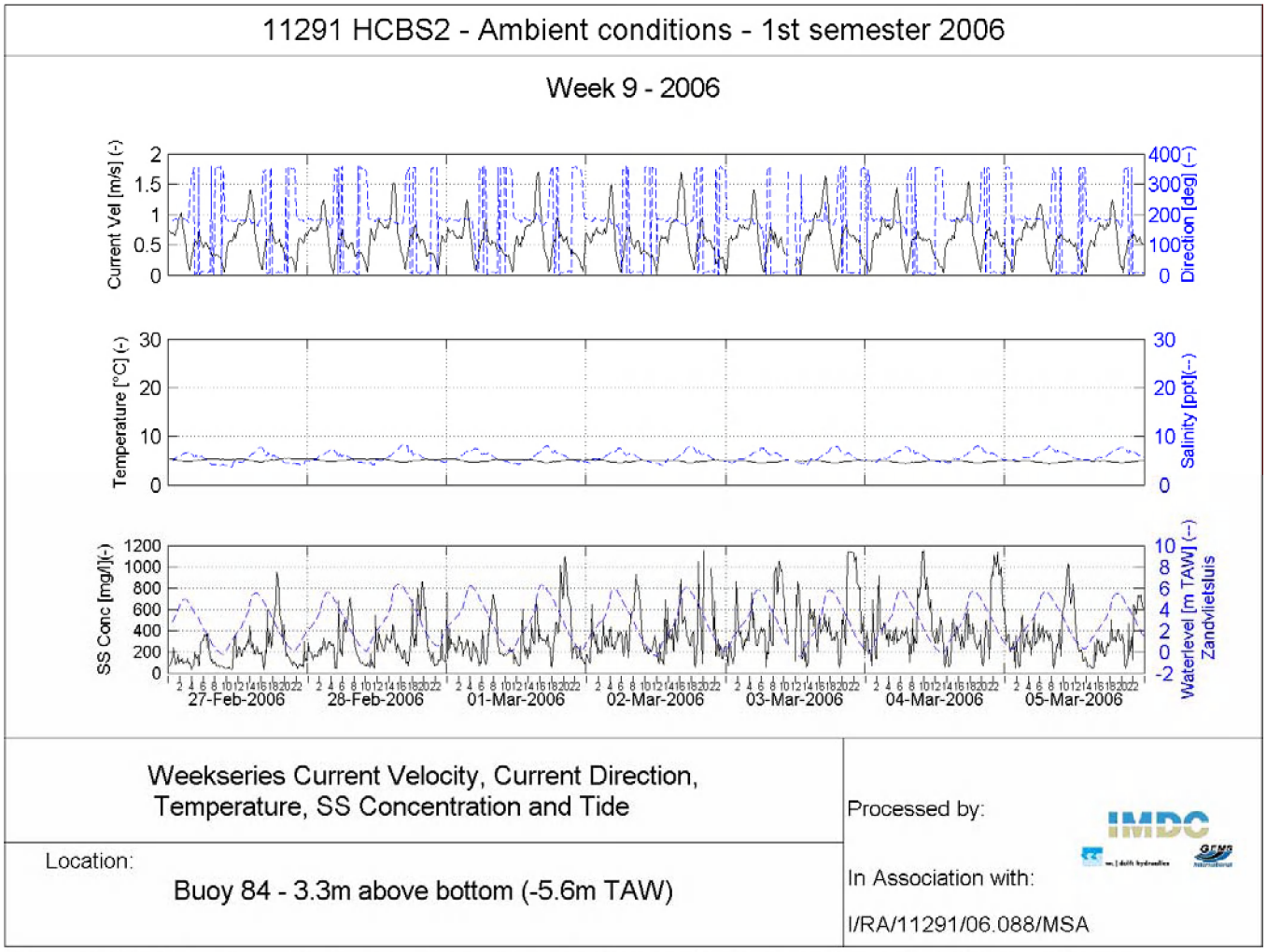


Figuur P.12: *Bodemligging*

Stroomsnelheden

Ter hoogte van het Galgeschoor wordt sinds geruime tijd, middels een vaste meetopstelling de stroomsnelheid continu opgevolgd, meer bepaald ter hoogte van Boei 84, in het kader van de opvolging van de Deurganckdok (IMDC, 2007b).

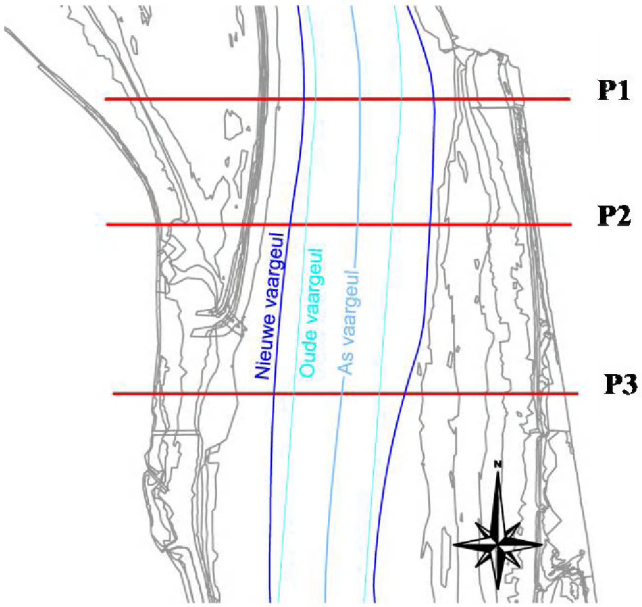
Ter illustratie worden onderstand de stroomsnelheden in een periode met springtijen weergegeven, waaruit korte piekstroomsnelheden blijken tussen 1,5 en 1,7 m/s. De langdurig gemiddelde stroomsnelheid bedraagt circa 0,55m/s.



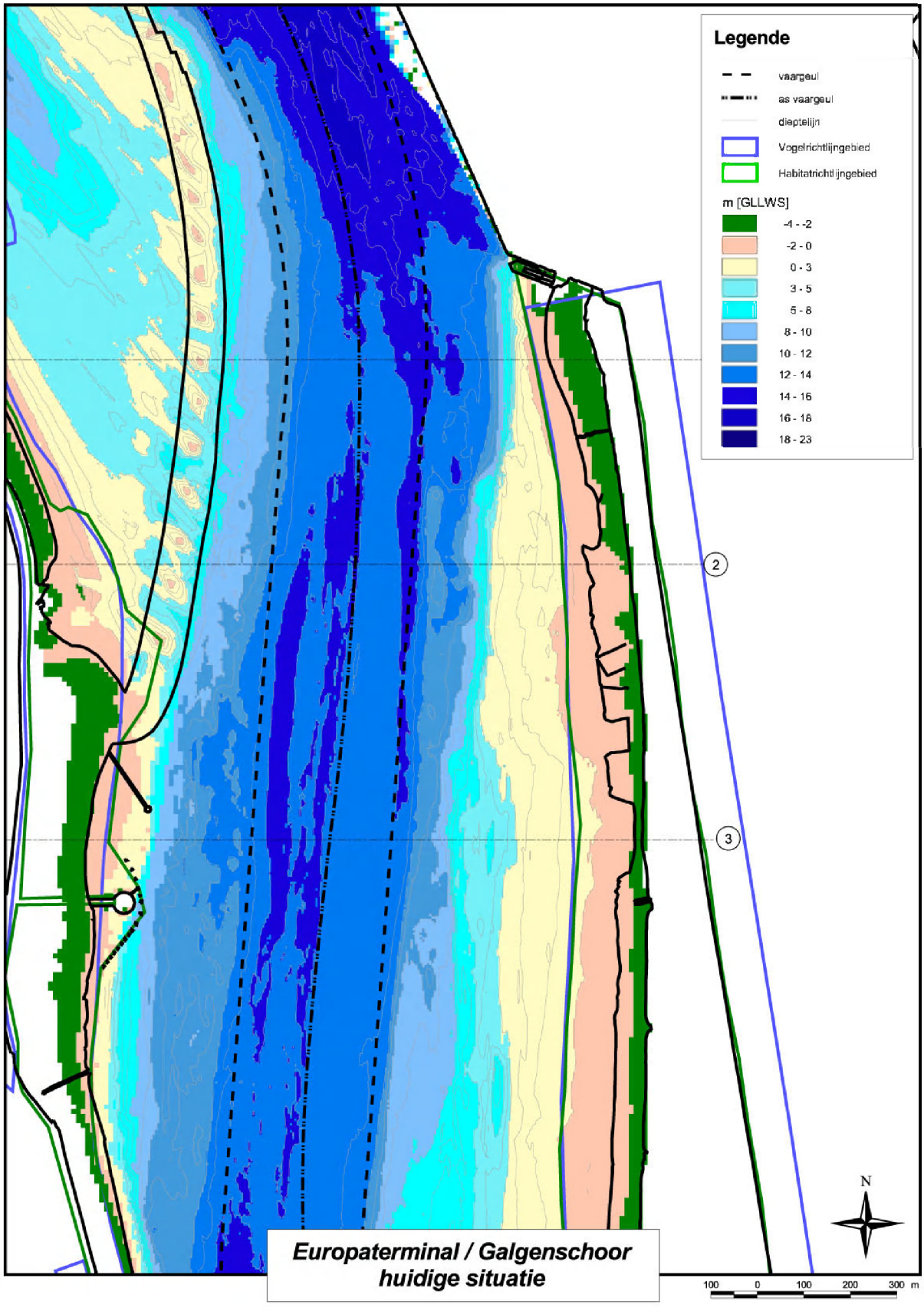
Figuur P.13: *Stroomsnelheden aan de rand van het vaarwater ter hoogte van het Galgenschoor*

Appendix Q: Effect verruiming op Galgenschor

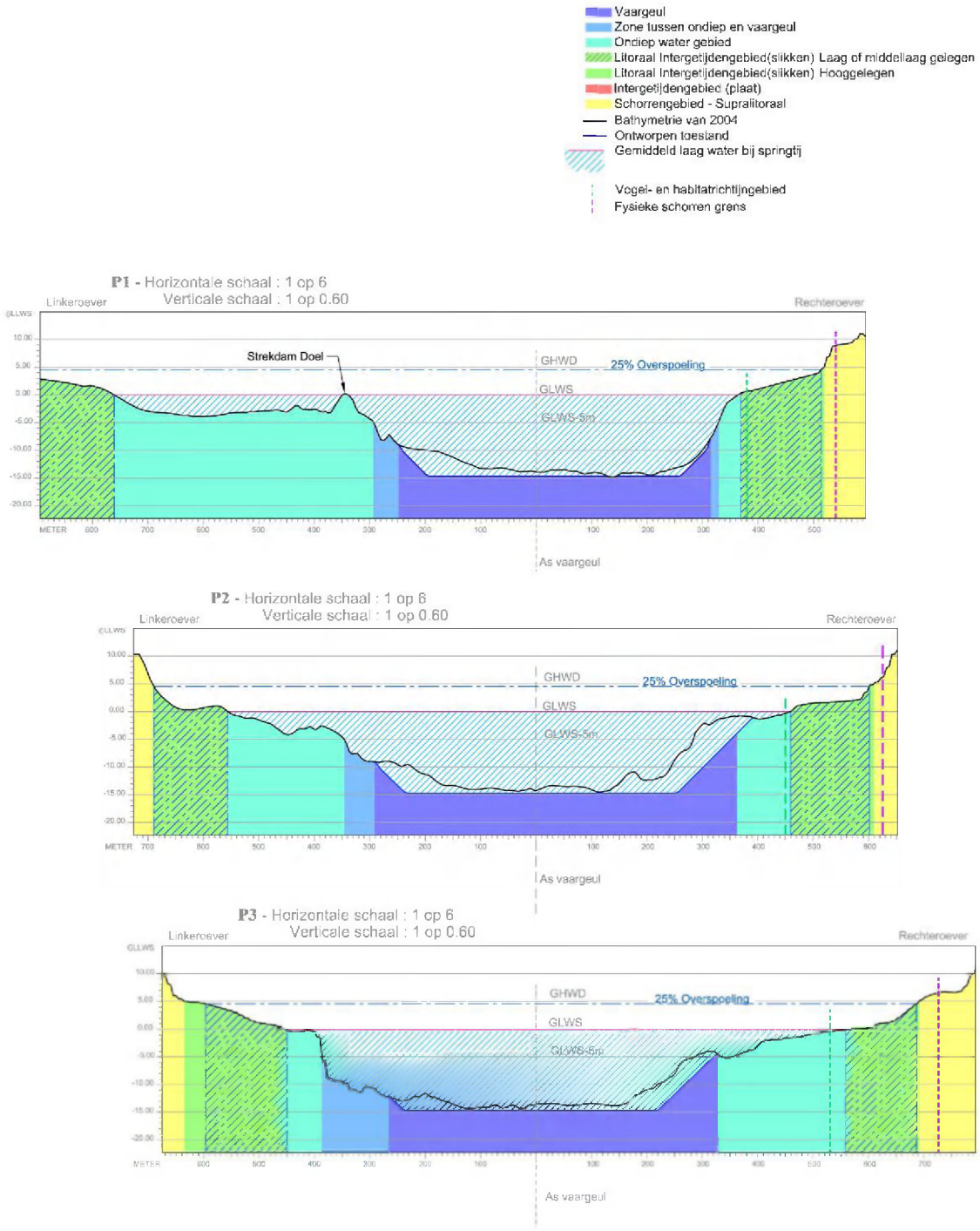
Omwille van de nautische veiligheid met betrekking tot het uitvoeren van zwaaibewegingen ter hoogte van de Europaterminal is besloten om een zwaaizone uit te baggeren, die een breedte heeft van 500 meter en een lengte van 800 meter. Het zwaartepunt van de zone is 500 meter meer stroomopwaarts gelegen dan het nautische optimum om minimale interferentie met het Galgenschoor te kunnen nastreven.
De resulterende taluds van de vaarweg schuiven door de Zwaaizone op naar de dijken toe vooral onder de rechteroever. Uit geotechnisch onderzoek en bijhorende stabiliteitsberekeningen is gebleken dat de onderwatertaluds, gelet op de geotechnische eigenschappen van de ondergrond stabiel zijn, als ze worden uitgegraven onder een helling van 1/10 (MOW-Geotechniek, 2006). Dit is een helling die overeenstemt met de huidige helling van het onderwatertalud.
Ter verduidelijking worden onderstaand de volgende figuren getoond: de vaargeul inclusief de diepte-informatie ter hoogte van de zwaaizone (figuur Q.2), de ligging van de bestaande en de nieuwe vaargeul (figuur Q.1) en 3 dwarsprofielen respectievelijk aan de afwaartse grens (P1), centraal in (P2) en aan de opwaartse grens (P3) van de zwaaizone (figuur Q.3).



Figuur Q.1: *Ligging van de bestaande en de nieuwe vaargeul*

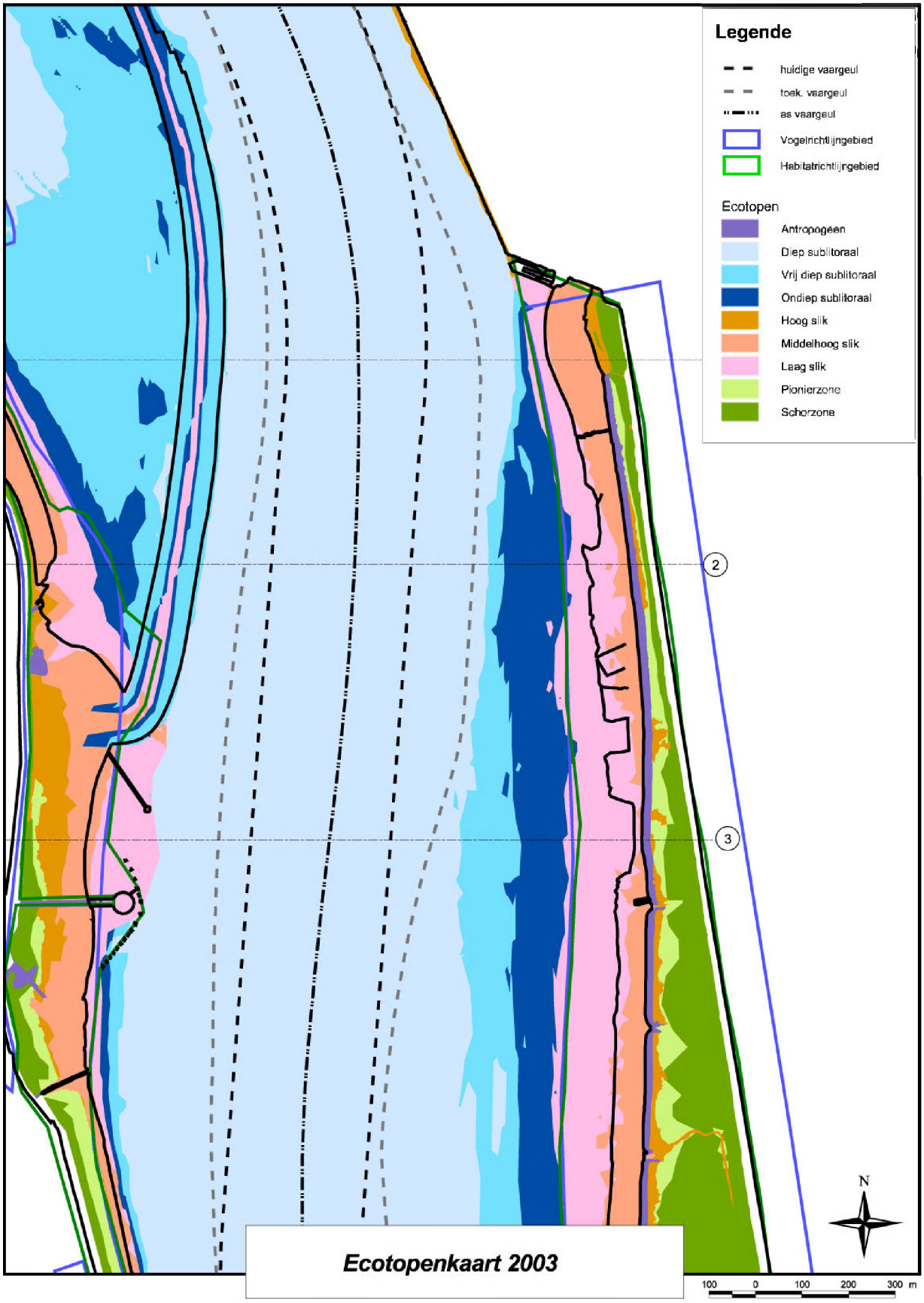


Figuur Q.2: *Vaargeul in de buurt van de nieuwe zwaaizone*

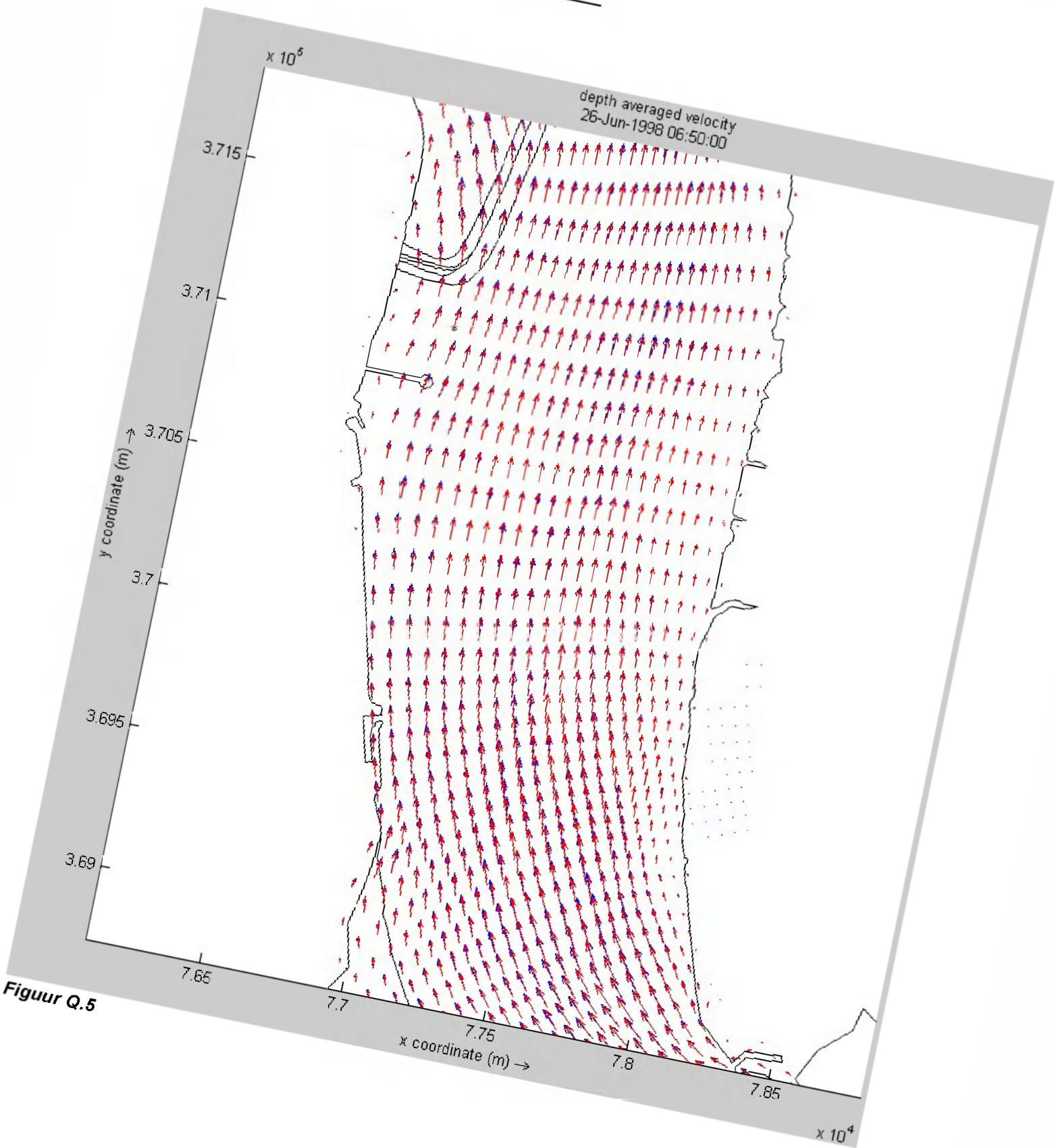


Figuur Q.3: *Dwarsprofielen respectievelijk aan de afwaartse grens (P1), centraal in (P2) en aan de opwaartse grens (P3) van de zwaaizone*

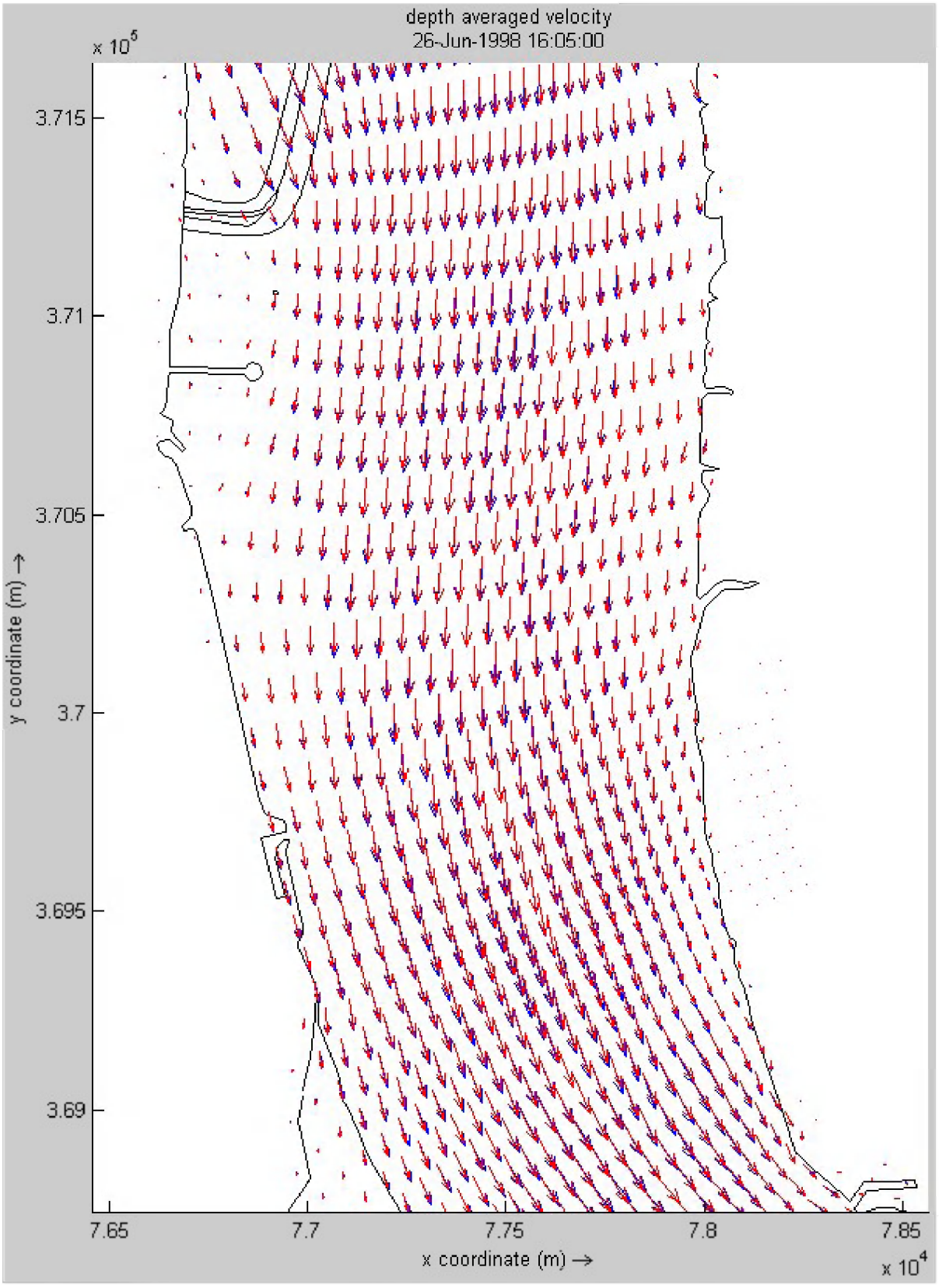
Aanvullend wordt de nieuwe vaargeul en de zwaaizone ingetekend in de meest recente ecotopenkaart voor het gebied. Tenslotte worden 2 figuren toegevoegd waarin de dieptegemiddelde stroomsnelheden worden geïllustreerd in de huidige toestand (blauwe vectoren) en na realisatie van de vaargeulverruiming, inclusief de zwaaizone (rode snelheidsvectoren) tijdens zowel de eb- als de vloedfase.



Figuur Q.4: *Ecotopenkaart 2003*

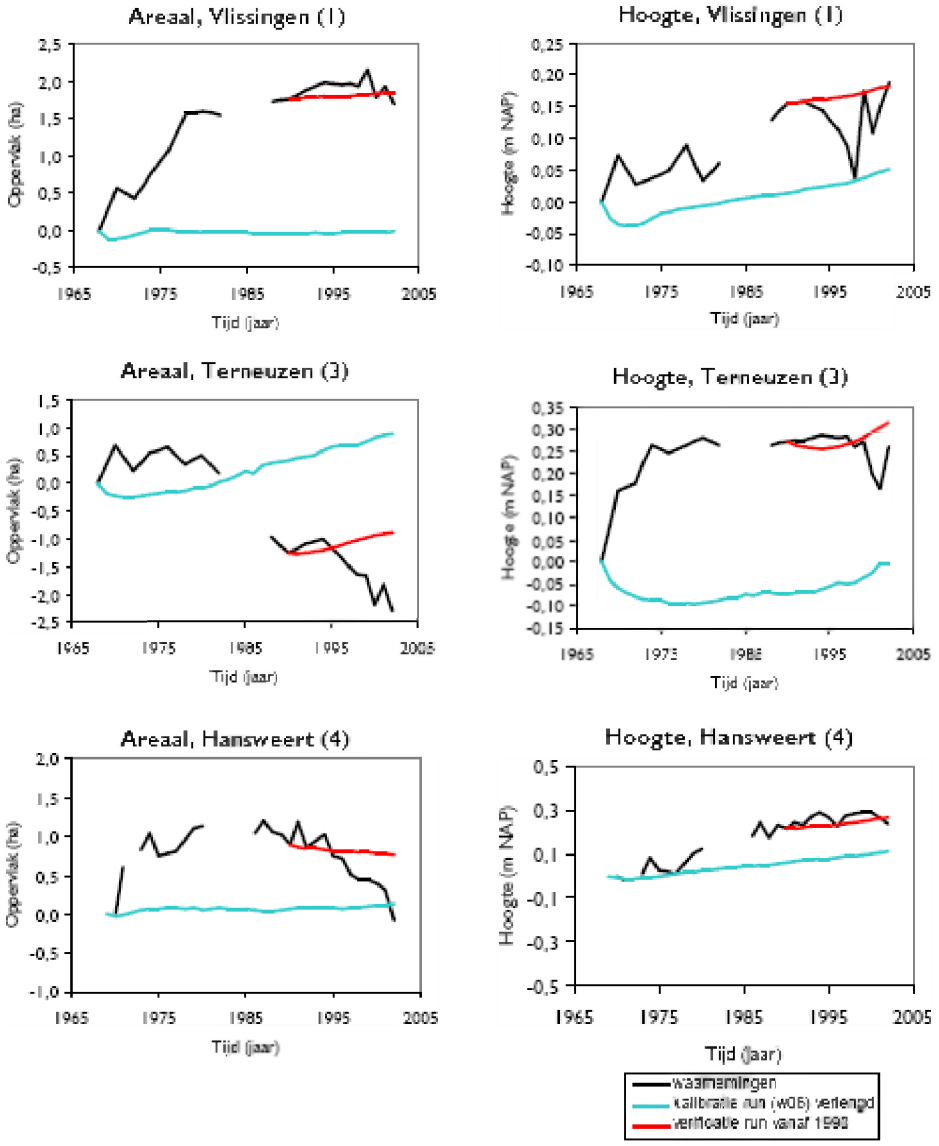

depth averaged velocity
26-Jun-1998 06:50:00
x 10^5
3.715
3.71
3.705
3.7
3.695
3.69
y coordinate (m) →
7.65
7.7
7.75
7.8
7.85
x coordinate (m) →
x 10^4

Figuur Q.5

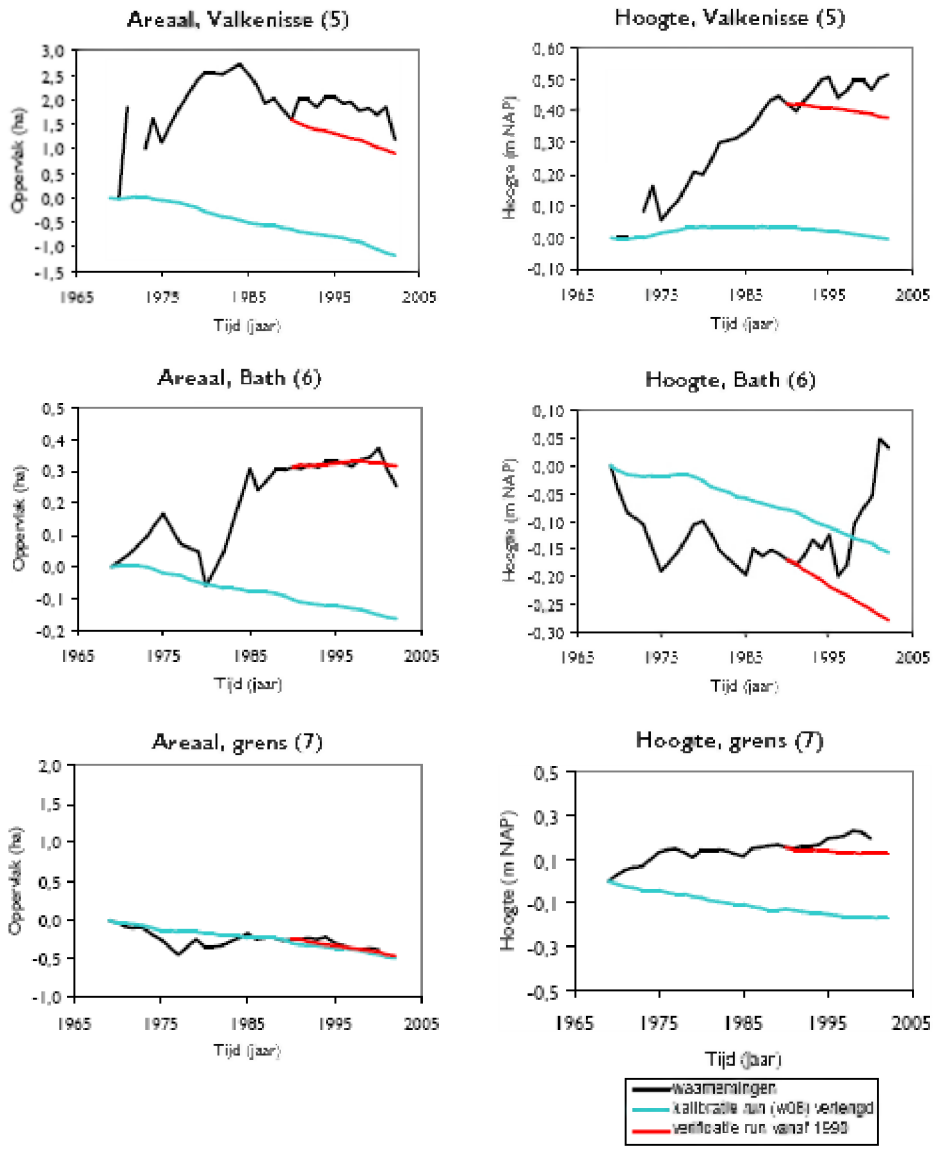

depth averaged velocity
26-Jun-1998 16:05:00
x 10^5
3.715
3.71
3.705
3.7
3.695
3.69
y coordinate (m) →
7.65
7.7
7.75
7.8
7.85
x coordinate (m) →
x 10^4

Figuur Q.6

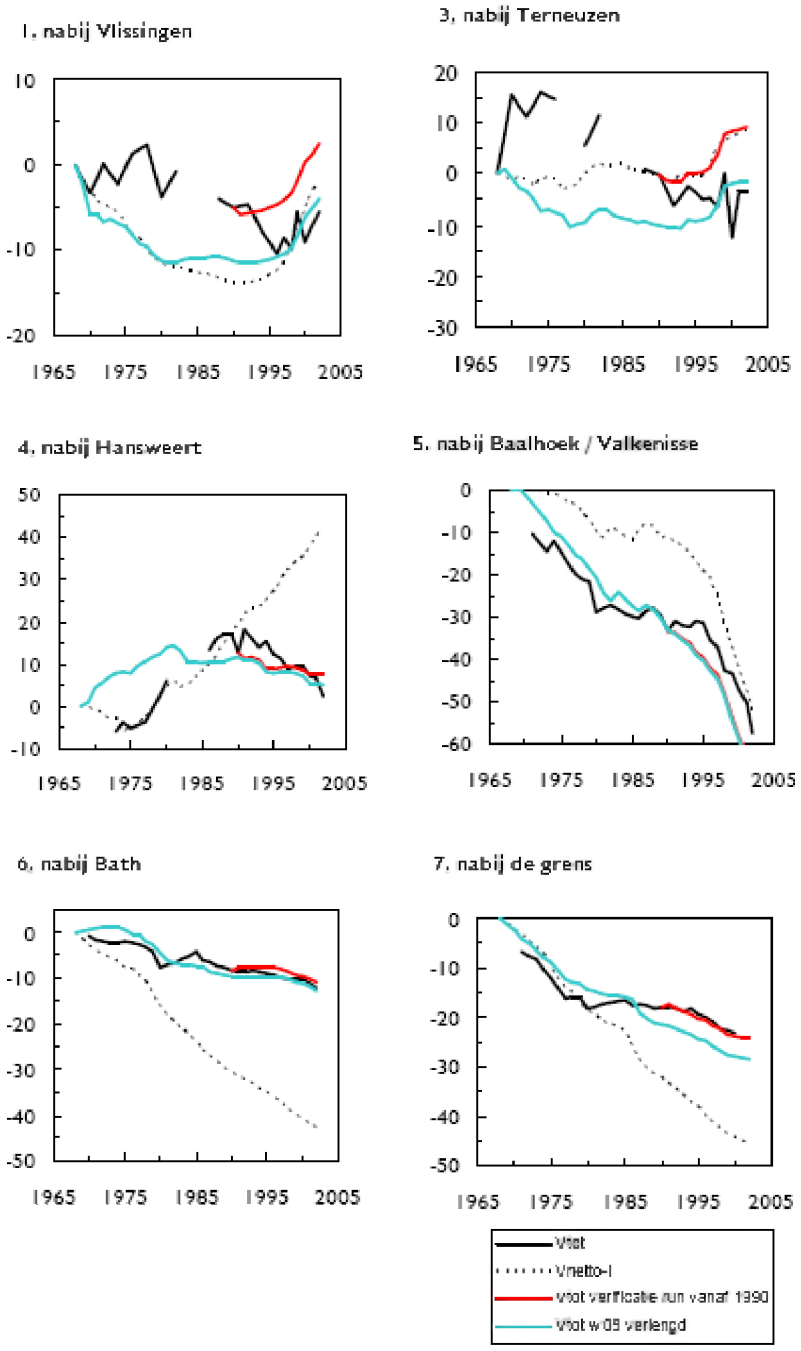
Appendix R: Reproductie morfologische parameters



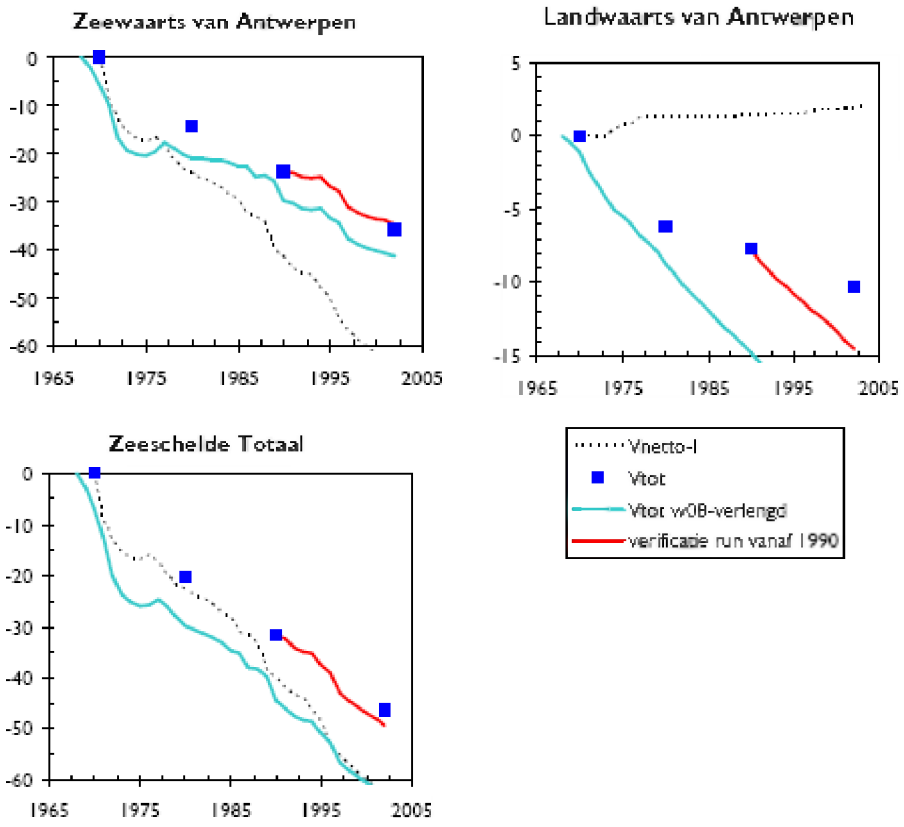
Figuur R.1a: *Waargenomen en met Estmorf-berekend areaal en hoogte intergetijdengebieden voor macrocel 1, 3 en 4 (uit Wang en Jeuken, 2006). De rode lijn geeft de reproductiekwaliteit weer (de blauwe lijn betreft een doorgestarte calibratiesimulatie, zie Wang en Jeuken, 2006).*



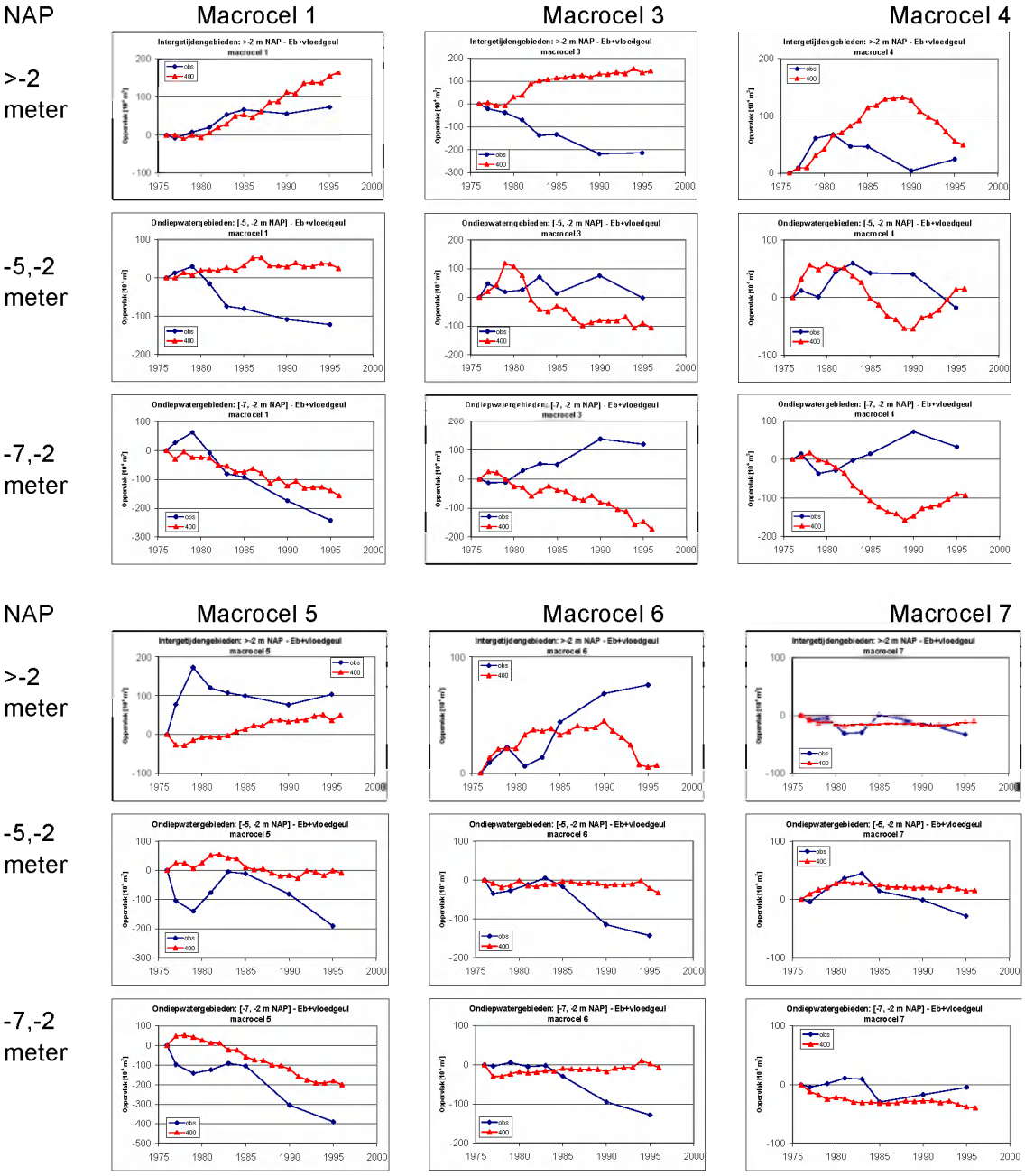
Figuur R.1b: *Waargenomen en met Estmorf-berekende areaal en hoogte intergetijdengebieden voor macrocel 5, 6 en 7 (uit Wang en Jeuken, 2006). De rode lijn geeft de reproductiekwaliteit weer (de blauwe lijn betreft een doorgestarte calibratiesimulatie, zie Wang en Jeuken, 2006).*



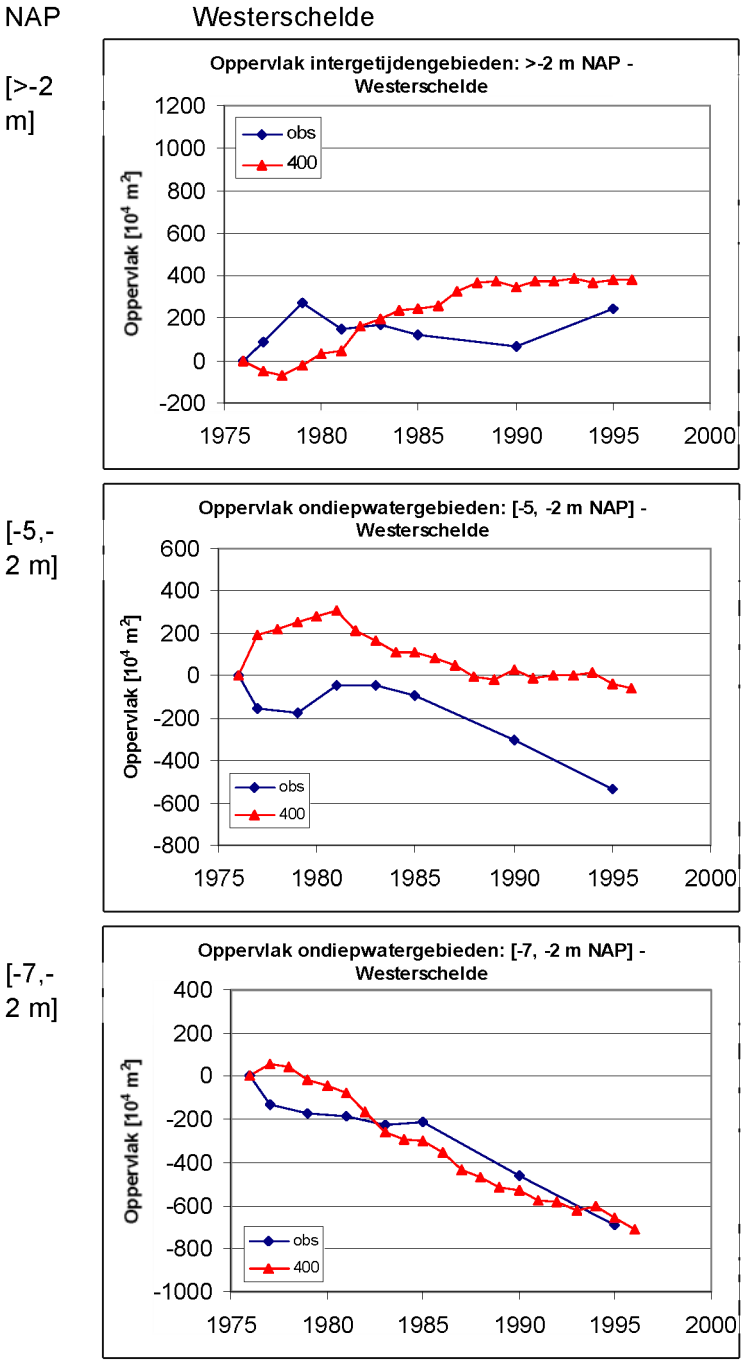
Figuur R.2a: *Waargenomen en met Estmorf-berekende volumeverandering (miljoen m^3) per macrocel (uit Wang en Jeuken, 2006). De rode lijn geeft de reproductiekwaliteit weer (de blauwe lijn betreft een doorgestarte calibratiesimulatie, zie Wang en Jeuken, 2006).*



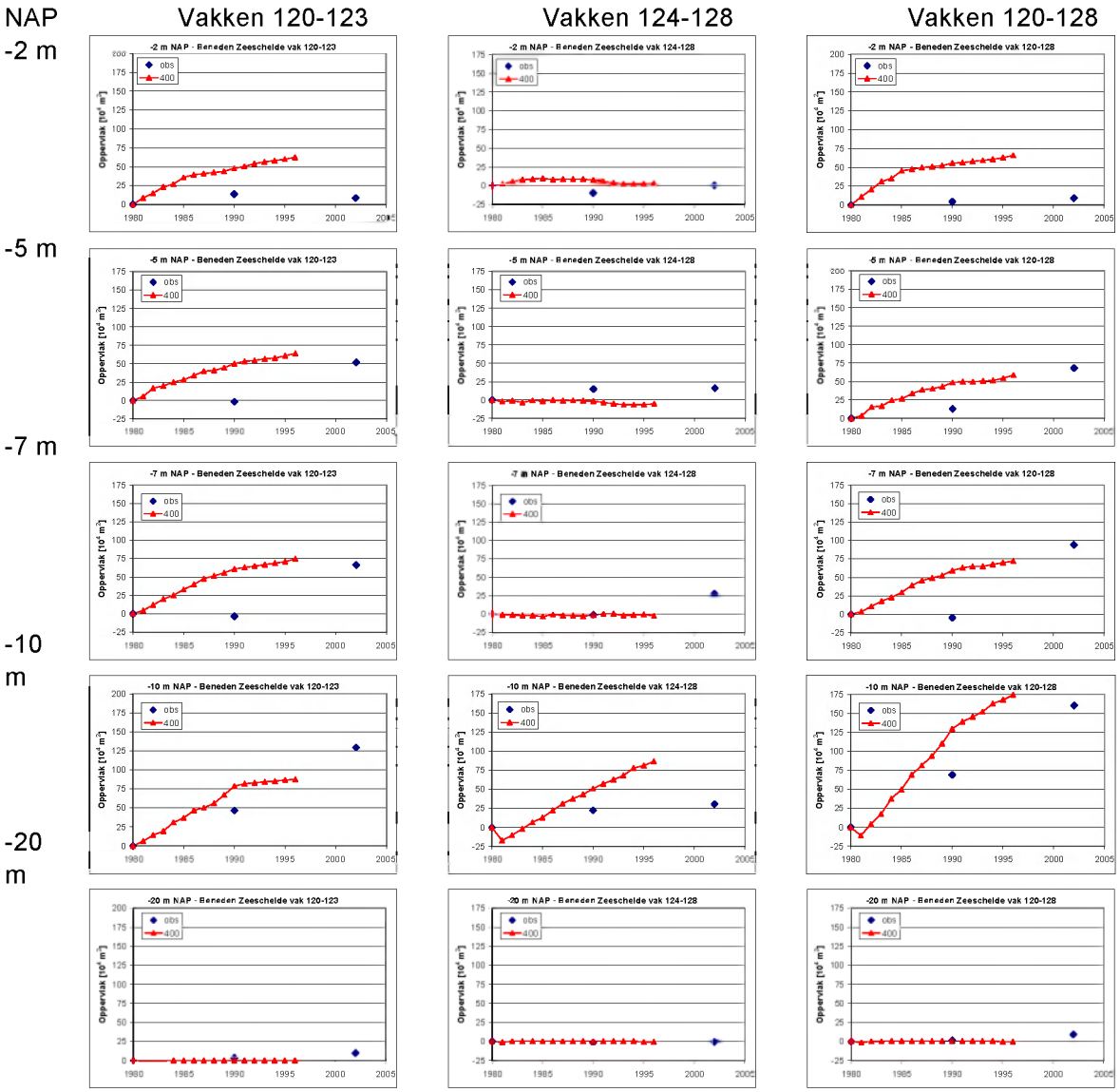
Figuur R.2b: *Waargenomen en met Estmorf-berekende volumeverandering (miljoen m^3) voor de Beneden-Zeeschelde (uit Wang en Jeuken, 2006). De rode lijn geeft de reproductiekwaliteit weer (de blauwe lijn betreft een doorgestarte calibratiesimulatie, zie Wang en Jeuken, 2006).*



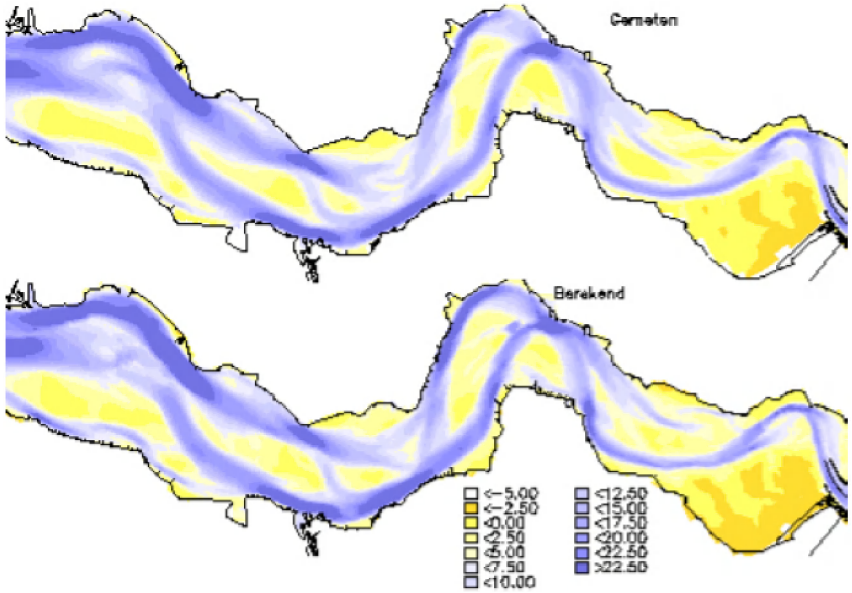
Figuur R.3: *Waargenomen en met Delft3D-berekende arealen (hectare) voor verschillende diepteklassen per macrocel (uit Kuijper et al, 2006).*



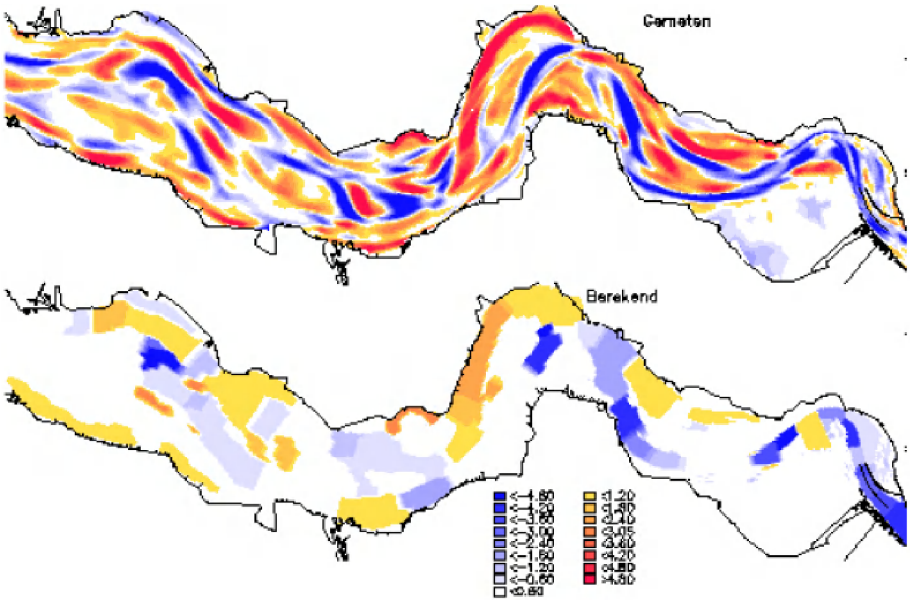
Figuur R.4: *Waargenomen en met Delft3D-berekende arealen (hectare) voor verschillende diepteklassen voor de gehele Westerschelde (uit Kuijper et al, 2006).*



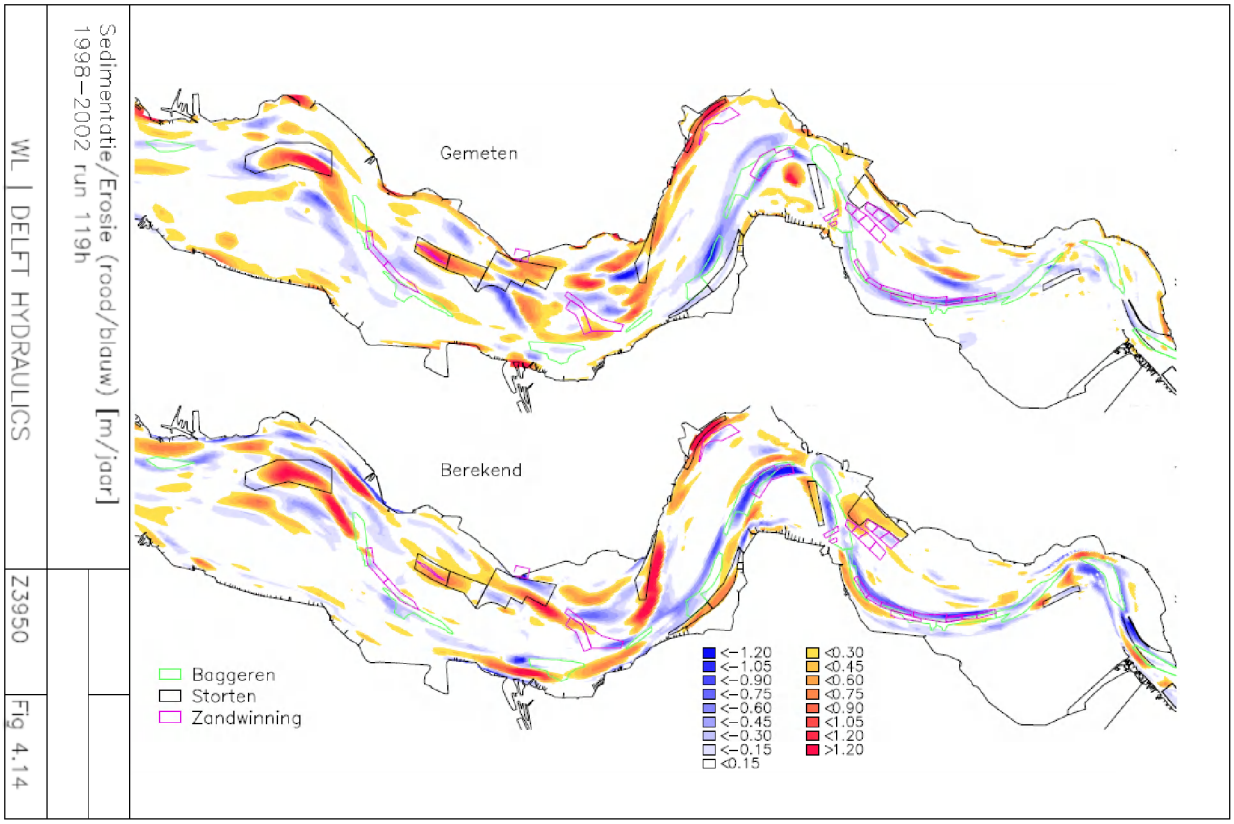
Figuur R.5: *Waargenomen en met Delft3D-berekende arealen (hectare) voor verschillende diepteklassen voor de Beneden-Zeeschelde (uit Kuijper et al, 2006).*



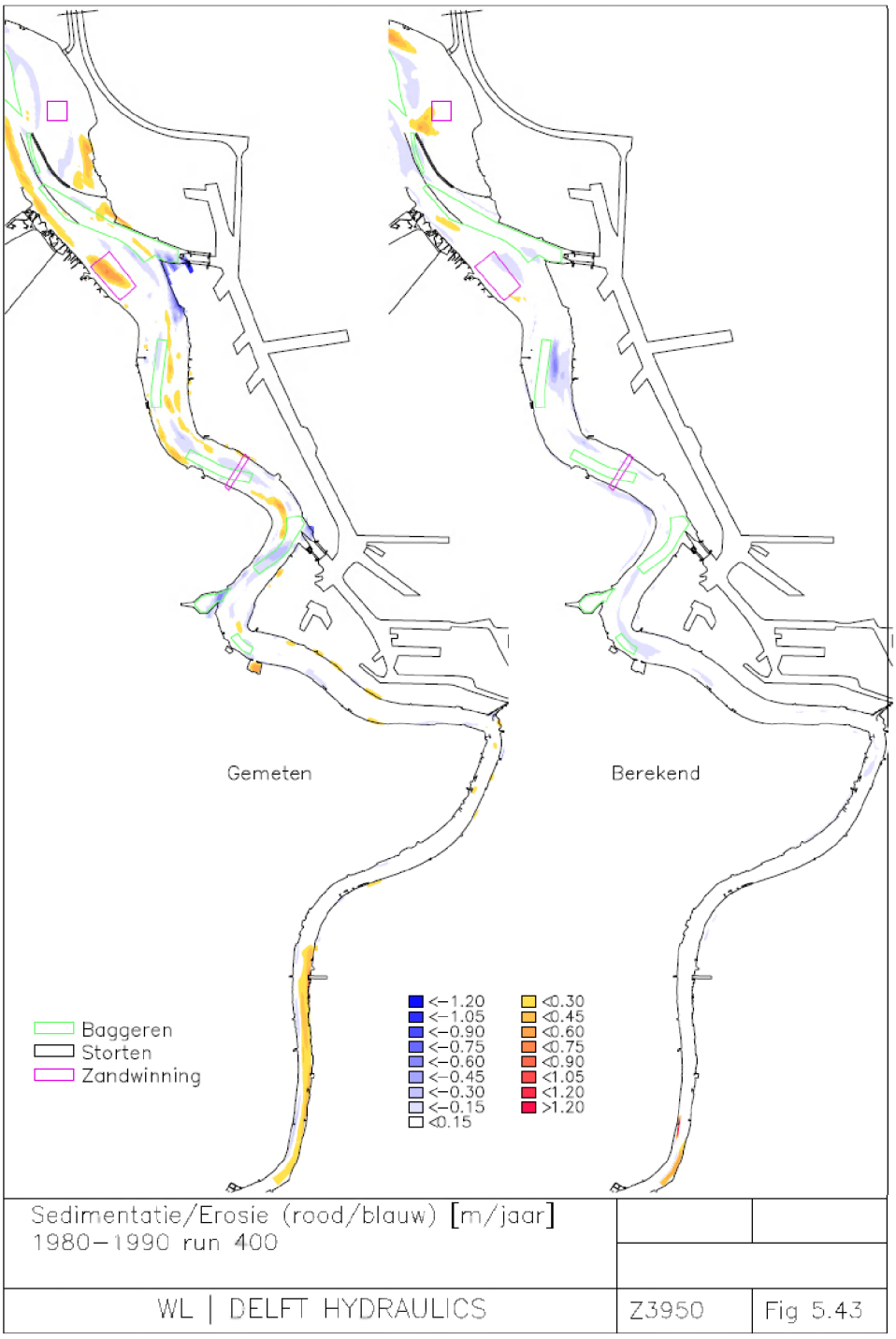
Figuur R.6: *Waargenomen en met Estmorf-berekende bodemligging aan het einde verificatieperiode 1990-2002 (uit Wang en Jeuken, 2006).*



Figuur R.7: *Waargenomen en met Estmorf-berekende verschilkaarten aan het einde verificatieperiode 1990-2002 (uit Wang en Jeuken, 2006).*



Figuur R.8a: *Waargenomen en met Delft3D-berekende verschilkaarten voor de Westerschelde aan het einde van de verificatieperiode 1998-2002 (uit Kuijper et al, 2006).*



Figuur R.8b: *Waargenomen en met Delft3D-berekende verschilkaarten voor de Beneden-Zeeschelde aan het einde van de verificatieperiode 1998-2002 (uit Kuijper et al, 2006).*

Appendix S: Bandbreedte morfologische parameters

Baggerhoeveelheden

In Kuijper et al, 2006 is de bandbreedte van Delft3D-resultaten geschat. De bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie en als gevolg van modelbeperkingen is in beeld gebracht. Voor de periode 1991-2001 wordt voor de totale baggerhoeveelheden in de Westerschelde een bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie afgeleid van [-0,5 miljoen m^3, +0,5 miljoen m^3], voor individuele baggerlocaties wordt een bandbreedte van 5 procent tot 25 procent afgeleid. Voor de periode 1998-2002 wordt voor de totale baggerhoeveelheden in de Westerschelde een bandbreedte als gevolg van modelbeperkingen afgeleid van [-4 miljoen m^3, +7 miljoen m^3].

Geulvolume

In tabel S.1 en tabel S.2 wordt respectievelijk de geschatte bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie en de bandbreedte als gevolg van modelbeperkingen voor de periode 1998-2002 weergegeven (Kuijper et al, 2006).

macro cell	Ebb channels	Flood channels	Ebb+flood channels
1	[-0.2,0.2]	[-0.1,0.1]	[-0.3,0.3]
3	[-0.1,0.1]	[-1.4,1.4]	[-1.5,1.5]
4	[-1.1,1.1]	[-0.1,0.1]	[-1.2,1.2]
5	[-1.5,1.5]	[-1.8,1.8]	[-0.3,0.3]
6	[-2.1,2.1]	[-1.3,1.3]	[-2.4,2.4]
7	[-1,1]	[-0.2,0.2]	[-1.1,1.1]
Average	[-1,1]	[-0.8,0.8]	[-1.1,1.1]

Tabel S.1: *Bandbreedte (als gevolg van natuurlijke variatie) van sediment volume in de afzonderlijke geulen van de Westerschelde (in miljoen m^3).*

Macro cell	Ebb	Flood	Ebb+flood
1	[-3 , 5]	[-3 , 3]	[-3 , 1]
3	[-2 , 5]	[-3 , 3]	[-1 , 2]
4	[-5 , 2]	[-3 , 1]	[-3 , 1]
5	[-5 , 2]	[-1 , 2]	[-1 , 1]
6	[-1 , 1]	[-1 , 1]	[-1 , 1]
7	[-1 , 1]	[0 , 1]	[-1 , 1]

Tabel S.2: *Bandbreedte (als gevolg van modelbeperkingen) van sediment volume in de afzonderlijke geulen van de Westerschelde (in miljoen m^3).*

Arealen

De geschatee bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie (bijvoorbeeld gebaseerd op gemeten bathymetrie) is per diepteklasse, per macrocel per eb- en vloedgeul bepaald (zie tabel S.3). In tabel S.4 staan de bandbreedtes voor de gehele Westerschelde. Voor de periode 1998-2002 is tevens de bandbreedte als gevolg van modelbeperkingen afgeleid, zie tabel S.5 voor de bandbreedte per diepteklasse in de gehele Westerschelde (zie tabel S.6a en S.6b voor bandbreedte per diepteklasse, per macrocel per eb- en vloedgeul).

In figuur S.1 staan de waargenomen en gemeten areaalveranderingen per diepteklasse met de bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie en als gevolg van modelbeperkingen weergegeven. De bandbreedte als gevolg van de natuurlijke variatie en modelbeperkingen is aanzienlijk, voor het merendeel van de dieptenklassen meer dan 100 procent. Voor de Beneden-Zeeschelde is de bandbreedte niet bepaald.

Depth	Ebb channels						Flood channels					
class	**1**	3	4	5	6	7	1	3	4	5	6	7
>0	[-2, 2]	[-5, 5]	[-6, 6]	[-4, 4]	[-1, 1]	[-1, 1]	[-33,33]	[-17,17]	[-14,14]	[-10,10]	[-3, 3]	[-2, 2]
0/-2	[-23,23]	[-3, 3]	[-3, 3]	[-7, 7]	[-3, 3]	[-1, 1]	[-27,27]	[-11,11]	[-13,13]	[-9, 9]	[-5, 5]	[-3, 3]
-2/-5	[-25,25]	[-15,15]	[-8, 8]	[-4, 4]	[-1, 1]	[-1, 1]	[-7, 7]	[-59,59]	[-4, 4]	[-7, 7]	[-2, 2]	[-4, 4]
-5/-7	[-6, 6]	[-13,13]	[-10,10]	[-5, 5]	[-2, 2]	[-1, 1]	[-6, 6]	[-40,40]	[-3, 3]	[-10,10]	[-1, 1]	[-1, 1]
-7/-10	[-13,13]	[-16,16]	[-13,13]	[-7, 7]	[-1, 1]	[-1, 1]	[-28,28]	[-21,21]	[-7, 7]	[-10,10]	[-3, 3]	[-1, 1]
-10/-20	[-11,11]	[-18,18]	[-16,16]	[-7, 7]	[-2, 2]	[-2, 2]	[-26,26]	[-9, 9]	[-3, 3]	[-8, 8]	[-3, 3]	[0, 0]
<-20	[-3, 3]	[-8, 8]	[-1, 1]	[-10,10]	[-3, 3]	[-1, 1]	[-6, 6]	[-5, 5]	[-11,11]	[0, 0]	[0, 0]	[0, 0]

Tabel S.3: *Bandbreedte (als gevolg van natuurlijke variatie) van arealen per geul per macrocel in de Westerschelde (in hectare).*

Depth class	Ebb	Flood	Ebb+flood
>0	[-7, 7]	[-72,72]	[-79,79]
0/-2	[-21,21]	[-54,54]	[-75,75]
-2/-5	[-36,36]	[-69,69]	[-104,104]
-5/-7	[-11,11]	[-57,57]	[-56,56]
-7/-10	[-9, 9]	[-44,44]	[-38,38]
-10/-20	[-30,30]	[-15,15]	[-16,16]
<-20	[-1, 1]	[-14,14]	[-14,14]

Tabel S.4: *Bandbreedte (als gevolg van natuurlijke variatie) van arealen per eb- en vloedgeul voor de gehele Westerschelde (in hectare).*

Depth class	Ebb	Flood	Ebb+flood
> 0	[-30,40]	[-100,120]	[-110,160]
0/-2	[-120,30]	[-120,100]	[-190,160]
-2/-5	[-170,190]	[-150,310]	[-310,450]
-5/-7	[-10,150]	[-370,120]	[-280,150]
-7/-10	[-180,70]	[-60,140]	[-210,150]
-10/-20	[-260,350]	[-280,330]	[-500,630]
<-20	[-180,190]	[-190,180]	[-370,340]

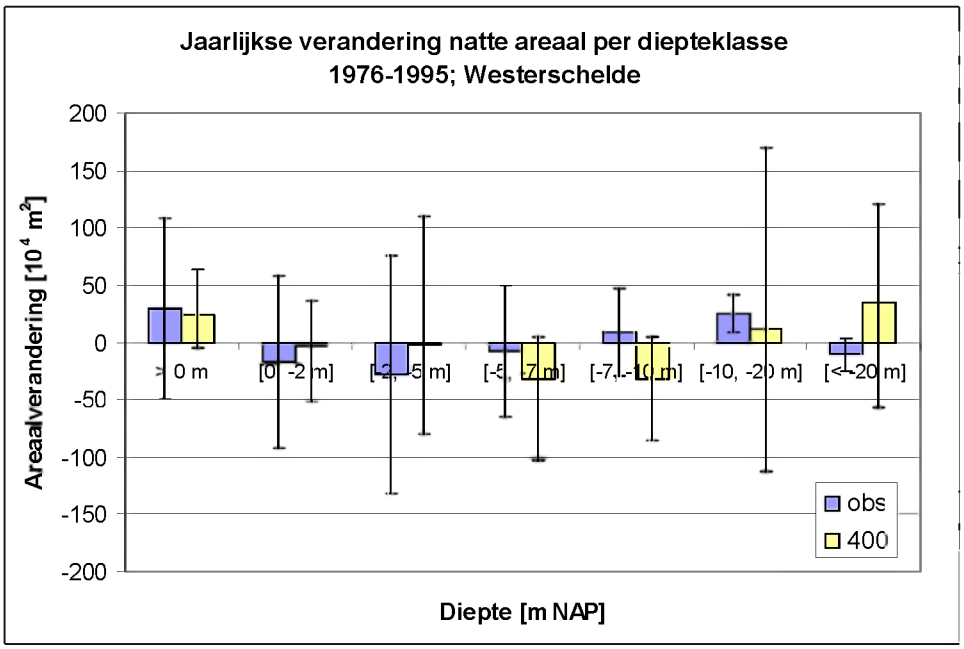
Tabel S.5: *Bandbreedte (als gevolg van modelbeperkingen) van arealen per eb- en vloedgeul voor de gehele Westerschelde (in hectare).*

Depth class	Ebb channels					
	1	3	4	5	6	7
> 0	[-10,10]	[-30,10]	[-20,40]	[-10,10]	[0,10]	[-10,0]
0/-2	[-30,0]	[-40,40]	[-20,20]	[-40,20]	[-10,10]	[-30,0]
-2/-5	[-30,40]	[-80,70]	[-60,50]	[-10,60]	[-10,20]	[-40,10]
-5/-7	[-10,40]	[-10,60]	[-30,40]	[-10,40]	[-10,10]	[-10,20]
-7/-10	[-50,10]	[-60,10]	[-90,60]	[-60,10]	[-20,10]	[-30,50]
-10/-20	[-20,50]	[-100,70]	[-70,40]	[-140,180]	[-10,50]	[-20,40]
<-20	[-40,30]	[-30,40]	[-70,60]	[-120,90]	[-20,10]	[-20,20]

Tabel S.6a: *Bandbreedte (als gevolg van modelbeperkingen) van arealen per ebgeul per macrocel in de Westerschelde (in hectare).*

Depth class	Flood channels					
	1	3	4	5	6	7
> 0	[-60,60]	[-20,30]	[-40,100]	[-10,50]	[-10,20]	[-10,0]
0/-2	[-60,70]	[-40,70]	[-80,20]	[-20,20]	[-20,10]	[-70,10]
-2/-5	[-90,110]	[-40,140]	[-20,40]	[-20,30]	[-30,10]	[-30,40]
-5/-7	[-130,40]	[-220,70]	[-30,40]	[-50,10]	[-10,30]	[-30,30]
-7/-10	[-110,120]	[-50,70]	[-30,20]	[-50,90]	[-20,10]	[-10,30]
-10/-20	[-40,50]	[-60,100]	[-160,210]	[-100,60]	[-20,10]	[0,170]
<-20	[-30,40]	[-70,70]	[-180,130]	[0,0]	[0,0]	[-130,0]

Tabel S.6b: *Bandbreedte (als gevolg van modelbeperkingen) van arealen per vloedgeul per macrocel in de Westerschelde (in hectare).*



Tabel S.7: *Waargenomen (obs) en berekende (400) areaalveranderingen voor de verschillende diepteklassen in de Westerschelde. In het figuur is voor de waarnemingen de bandbreedte als gevolg van natuurlijke variatie weergegeven, voor de modelberkeningen de bandbreedte als gevolg van modelbeperkingen.*