

Advies flexibel storten

**Verbeteren van het Criterium Nevengeulen -
Voorstel voor het afleiden van koerslijnen en
ondergrenzen voor het watervolume van
(neven)geulen**



Advies flexibel storten

Verbeteren van het Criterium Nevengeulen - Voorstel voor het afleiden van koerslijnen en ondergrenzen voor het watervolume van (neven)geulen

Claire Jeuken (Deltares)
Julia Vroom (Deltares)
Zheng Bing Wang (Deltares)
Davy Depreiter (IMDC)
Gijsbert van Holland (IMDC)
Gerard Dam (Svasek Hydraulics)
Sanne Poortman (Svasek Hydraulics)
Jelmer Cleveringa (Arcadis)

1209395-000

Titel

Advies flexibel storten

Project	Kenmerk	Pagina's
1209395-000	1209395-000-ZKS-0001	186

Trefwoorden

Westerschelde, geulen, evaluatie, storten, morfologie, sedimenttransporten, debieten

Samenvatting

Sinds de vergunningverlening voor de derde verruiming van de vaargeul in de Westerschelde is er extra stortruimte bij een viertal plaatranden en is er ruimte voor 'flexibel storten'. Om de gevolgen op de voet te kunnen volgen en bijsturen, is voorzien in projectmonitoring en is het protocol 'voorwaarden voor flexibel storten' opgesteld. In het protocol staat onder meer beschreven dat de beleidsdoelstelling 'instandhouding meergeulenstelsel' geëvalueerd wordt via het criterium 'watervolume geulen'. Er is een berekeningswijze vastgesteld die onder meer het gebruik van de meetreeksen en de begrenzingen van de geulen vastlegt.

Het Overleg Flexibel Storten, welke als taak heeft de vergunning van de derde verruiming op te volgen en te besluiten over aanpassingen in het gebruik van de stortvakken, is tegen een beperking van het protocol en de uitwerking ervan aangelopen. De uitwerking van het protocol laat niet toe een onderscheid te maken tussen de veranderingen in het natte volume van de nevengeul en de invloed van de plaatrandstortingen hierop. Bij bespreking van een mogelijke oplossing hiervoor met de Commissie Monitoring Westerschelde (CMW) bleek dat een aantal kennisleemten moest worden ingevuld alvorens met een andere invulling van het protocol kaon worden ingestemd.

Voorliggende studie adresseert een aantal belangrijkste kennisleemten om te komen tot een voorstel ter verbetering van het bestaande evaluatiecriterium watervolume (neven)geul. De voorgestelde verbetering gaat uit koerslijnen en ondergrenzen waarin beleidskeuzen voor het beheer en opgetreden ontwikkelingstendensen in het geul-plaatsysteem expliciet worden meegenomen. Voordat deze verbeterde methode kan worden geïmplementeerd in het reguliere toetsingsproces is het noodzakelijk om per deelgebied (macrocel) van de Westerschelde operationele doelen te formuleren vanuit de functies Natuurlijkheid, Toegankelijkheid en Veiligheid.

Een uitgebreide samenvatting is opgenomen aan het begin van het rapport.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mrt. 2014	dr. M.C.J.L. Jeuken e.a.		ir. M.D. Taal			
	juni 2014	dr. M.C.J.L. Jeuken e.a.		ir. M.D. Taal			
	Dec 2014	Dr. M.C.J.L. Jeuken		ir. M.D. Taal		drs. F.M.J. Hoozemans	

Status

definitief

Titel

Advies flexibel storten

Project	Kenmerk	Pagina's
1209395-000	1209395-000-ZKS-0001	186

Disclaimer

Het voor u liggende rapport is een eerste stap is in het bepalen van een nieuw criterium voor de beoordeling van de ontwikkeling van het watervolume van de nevengeulen in de Westerschelde i.k.v. de vergunningen voor het onderhoud van de vaargeul van de Westerschelde.

Voordat in de praktijk van het Overleg Flexibel Storten het nieuwe criterium gebruikt kan worden zal echter nog een aantal beleidskeuzen gemaakt moeten worden aan de hand waarvan de koerslijnen en ondergrenzen uiteindelijk bepaald zullen worden. Deze zullen volgen uit het onderzoek dat momenteel in het kader van de Agenda voor de Toekomst wordt uitgevoerd. Daarin zullen concrete doelstellingen voor de fysieke kenmerken van het meergeulenstelsel vanuit de functies veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid worden bepaald.

Omdat dit rapport al een grote hoeveelheid informatie bevat, is er voor gekozen het rapport definitief te maken, zodat het beschikbaar is voor verdere discussie.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Probleem- en vraagstelling vanuit Overleg Flexibel Storten	2
2 Flexibel storten in de praktijk – probleemanalyse	5
2.1 De Vergunning voor het storten van baggerspecie 2010-2015	5
2.2 Monitoring en evaluatie	7
2.3 Het criterium nevengeulen	8
2.3.1 Definitie van de kwaliteitsparameter 'watervolume geulen'	8
2.3.2 Ondergrens voor het watervolume van nevengeulen	8
2.4 Sterke en zwakke punten van het criterium nevengeulen	9
2.5 Verbeteren van het criterium nevengeulen	10
3 Effecten van baggeren en storten in geulen en langs plaatranden	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Recente ontwikkelingstendensen en invloed ingrepen	16
3.3 Theoretische stortcapaciteit	21
3.3.1 Invloed kwalificatie en verandering van het geulvolume	22
3.3.2 Invloed bruto sedimenttransporten	23
3.4 Flexibel Storten langs plaatranden: Initiële fysische effecten – case Middelgat	23
3.5 Discussie	26
4 Definitie van het watervolume en aanvullende parameters	29
4.1 Inleiding	29
4.2 De keuze van het referentieniveau – een fysische onderbouwing	30
4.3 Aanvullende parameters	31
4.4 Discussie polygoonaanpassingen en referentieniveaus	32
5 Definitie van koerslijnen en ondergrenzen	35
5.1 Inleiding: uitgangspunten	35
5.2 Nieuw voorstel: koerslijnen en ondergrenzen	36
5.3 Implementatie van koerslijnen en ondergrenzen	37
5.4 Discussie	39
6 Conclusies en aanbevelingen	41
6.1 Beantwoording van de vragen van OFS	41
6.2 Aanvullende conclusies	43
6.3 Aanvullende aanbevelingen	44
7 Literatuur	47
 Appendices	
A Herkomst getallen vergunning	A-1
B Bepalen van trends en fluctuaties in het geulvolume	B-1

C	Opgetreden trends en kwalificatie ingrepen	C-1
D	Analyse volumeveranderingen Middelgat en Everingen	D-1
E	Bruto sedimenttransporten	E-1
F	Verificatie richtlijn stortcapaciteit geulen	F-1
G	Toepassen van de richtlijn stortcapaciteit	G-1
H	Analyse uitgevoerde plaatrandstortingen	H-1
I	Initiële fysische effecten van plaatrandstortingen in vergelijking tot geulstortingen – case Middelgat	I-1
J	Van bruto transporten naar transportcapaciteit	J-1
K	Invloed van het referentieniveau	K-1
L	Simulatie koerslijnen en ondergrenzen	L-1

Samenvatting

Aanleiding voor de studie

Sinds de vergunningverlening voor de derde verruiming is er extra stortruimte bij een viertal plaatranden en is er ruimte voor 'flexibel storten'. Om de gevolgen op de voet te kunnen volgen en bijsturen, is voorzien in projectmonitoring en is het protocol 'voorwaarden voor flexibel storten' opgesteld. In het protocol staat onder meer beschreven dat de doelstelling 'instandhouding meergeulenstelsel' geëvalueerd wordt via het criterium 'watervolume geulen'. Er is een berekeningswijze vastgesteld die onder meer het gebruik van de meetreeksen en de begrenzingen van de geulen vastlegt.

Het Overleg Flexibel Storten, welke als taak heeft de vergunning van de derde verruiming op te volgen en te besluiten over aanpassingen in het gebruik van de stortvakken, is tegen een beperking van het protocol en de uitwerking ervan aangelopen. De uitwerking van het protocol laat niet toe een onderscheid te maken tussen de veranderingen in het natte volume van de nevengeul en de invloed van de plaatrandstortingen hierop. Bij bespreking van een mogelijke oplossing hiervoor met de Commissie Monitoring Westerschelde (CMW) bleek dat een aantal kennisleemten moest worden ingevuld alvorens met een andere invulling van het protocol kon worden ingestemd. Hierom is aan de projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid gevraagd een studie uit te voeren en advies uit te brengen. Dit is gedaan via literatuuronderzoek, data-analyse, modelstudies en expert-discussies.

Deze samenvatting geeft eerst kort de antwoorden op de door het Overleg Flexibel Storten gestelde vragen. Daarna licht ze het voorgestelde nieuwe criterium 'watervolume geulen' toe, schetst de situatie per nevengeul in de Westerschelde en geeft adviezen over de implementatie. Er wordt afgesloten met een kort overzicht van de extra kennis die verkregen is tijdens het onderzoek.

Vragen en samengevatte antwoorden

Het Overleg Flexibel Storten heeft (in samengevatte vorm) het volgende gevraagd:

Vraag a. Moet de afbakening van de nevengeulen, zowel in de lengte- als breedterichting, periodiek worden aangepast?

ANTWOORD:

Aanpassingen van de geulpolygoon hangen samen met de keuze van het referentievlak. Het is niet wenselijk de geulpolygoon (steeds) aan te passen. De keuze tussen het referentieniveau NAP -5m of NAP -2m heeft weinig invloed op de trends in het geulvolume. Ook draagt de zone NAP-2m tot NAP-5m relatief weinig bij aan het totale debiet en sedimenttransport door de geul. Er is geen reden voor aanpassing en daarom is het advies om de grens van NAP-5m te blijven hanteren.

Vraag b1. Als enkel het watervolume van de geulen onvoldoende is om instandhouding meergeulenstelsel te kunnen waarborgen (opvolgen), welke andere parameters kunnen bijkomend gebruikt worden, bijvoorbeeld sedimenttransportcapaciteit en het debiet door de geulen? Hoe kunnen deze bepaald worden en welke basisgegevens zijn nodig?

ANTWOORD:

Uit deze studie volgt dat rapportage over het watervolume van de nevengeulen in principe voldoende is om ontwikkelingstrends in de nevengeulen te beoordelen. Het toetsen van de ingreepgegevens met de theoretische stortcapaciteit was tot nu toe besloten in de vergunde hoeveelheden. In principe kan deze werkwijze gehandhaafd blijven, ook met de in deze studie geactualiseerde sedimenttransportcapaciteiten. De te vergunnen hoeveelheden moeten in de toekomst volgen uit de uitwerking van het uitgangspunt 'behoud fysische systeemkenmerken'.

Vraag b2. In hoeverre zijn de ondiepere zones waar plaatrandstoringen plaatsvinden van belang voor de sedimenttransportcapaciteit van de nevengeulen?

ANTWOORD: Voor het Middelgat is modelmatig gekeken naar de zones waar de plaatrandstoringen zijn uitgevoerd (vaak dieper dan NAP-5m, vanwege de voorgeschreven methode van storten) en een vergelijkbare storing in een dieper deel van het dwarsprofiel van de nevengeul. De effecten op hydrodynamica en sedimenttransportcapaciteit waren iets kleiner bij de plaatrandstoring. Door de plaatrandstoring steekt een kleiner deel van de getijstroom tijdens vloed de Rug van Baarland over, wat een beoogd effect van de plaatrandstoring is. De uitgevoerde plaatrandstoring langs de Rug van Baarland verschilt qua uitvoering en effecten maar beperkt van een vergelijkbare storing in het diepere deel van het geulprofiel. Voor andere plaatrandstoringen kan dit echter weer anders liggen. Het zal per geval bekeken moeten worden.

Vraag c. Welke grenswaarden of trends dienen beschouwd te worden om de doelstellingen (vooral behoud meergeulenstelsel) te kunnen evalueren? Hoe verhouden deze zich dit tot de historische ontwikkeling (bv. 1980 tot 2010)?

ANTWOORD: Dit is uiteengezet in de paragraaf 'verbetering criterium', met de aantekening dat het uitgangspunt van de LTV van behoud fysische systeemkenmerken nader geoperationaliseerd moet worden om een goede evaluatie uit te kunnen voeren.

Vraag d. Geven de antwoorden aanleiding tot een verdere aanpassing van de afbakening om het watervolume van de geulen? Is het zinvol om transportcapaciteit op korte termijn op te volgen in het kader van de jaarlijkse toetsingen aan de kwaliteitsparameters?

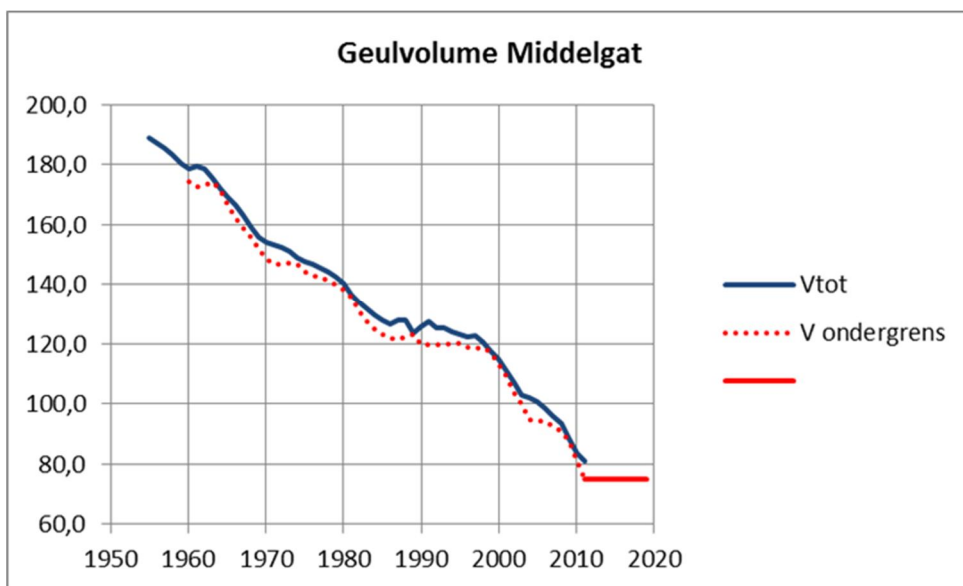
ANTWOORD: De antwoorden geven geen aanleiding tot verdere aanpassing van de afbakening van de geulen. Het is niet nodig de bruto sedimenttransporten steeds opnieuw te bepalen.

Verbetering Criterium 'watervolume geulen'

Het bestaande criterium is:

$$V_{tot,ondergrens} = V_{tot,min,5jr} - NV - V_{max_stort}$$

De ondergrens voor het volume van een nevengeul is het minimale volume van de voorafgaande vijf jaar ($V_{tot,min,5jr}$), met daarvan afgetrokken de standaarddeviatie van de voorafgaande vijf jaar (NV) en de stortruimte in de nevengeul volgens vergunning (V_{max_stort}). Sterke punten van deze formule zijn de relatieve eenvoud in bepaling en toetsing en de mogelijkheid ze toe te passen voor alle geulen. Ze blijkt ook een aantal zwakke punten te hebben, waarvan de belangrijkste is dat er geen onderscheid is tussen trends en standaarddeviatie in het geulvolume. Hierdoor kunnen ondergrenzen ook bereikt worden als gevolg van trends, c.q. de 'natuurlijke' ontwikkeling van de geulen, waarin overigens ook weer menselijk ingrijpen kan zijn besloten. Dit wordt duidelijk geïllustreerd door onderstaande figuur, waarin het geulvolume van het Middelgat afneemt in de tijd. Een ander bezwaar is dat er geen onderscheid is tussen een plaatrand- en geulstorting, hoewel deze een verschillend doel hebben (blijven liggen respectievelijk deels opgeruimd worden).



Er is een nieuw criterium voor de ondergrens ontworpen, waarbij getracht is de sterke punten te behouden en verbetering te zoeken voor de kritiekpunten. Dit leidt tot een criterium voor de ondergrens dat in de tijd verandert, volgens de formule:

$$Ondergrens(i, t) = Koerslijn(i, t) - 2 \cdot \text{standaarddeviatie } V_{net}(i) - SC_{plaatrand}(i)$$

Hierbij worden twee nieuwe begrippen geïntroduceerd.

Het stortcriterium voor de plaatrand ($SC_{plaatrand}$) is gebaseerd op het daadwerkelijk in de praktijk gestorte volume op de plaatrand en het stabiliteitscriterium (kwaliteitsparameter van het protocol flexibel storten). Het stabiliteitscriterium stelt welk percentage van het gestorte materiaal moet zijn blijven liggen na 1 jaar, 2 jaar etc, in een afnemende reeks. Deze

correctie (naar beneden) op de ondergrens is minder groot dan het volledige vergunde volume.

De ondergrens is om nog een tweede reden variabel in de tijd. Ze is gekoppeld aan een koerslijn, die (i) rekening houdt met de historisch vastgestelde ontwikkelingstrend van de geul, (ii) nog altijd rekening houdt met de spreiding in de data (door het in rekening brengen van de standaarddeviatie, wat voor de looptijd wel een constant getal is) en (iii) ook rekening houdt met de (dan wel te operationaliseren) visie/keuze op de ontwikkeling van de geul (in samenhang met het morfologisch beheer). De koerslijn wordt uitgedrukt als:

$$Koerslijn(i, t) = V_{tot,2009}(i) + trendV(i) \cdot t + Beleidskeuze(n)$$

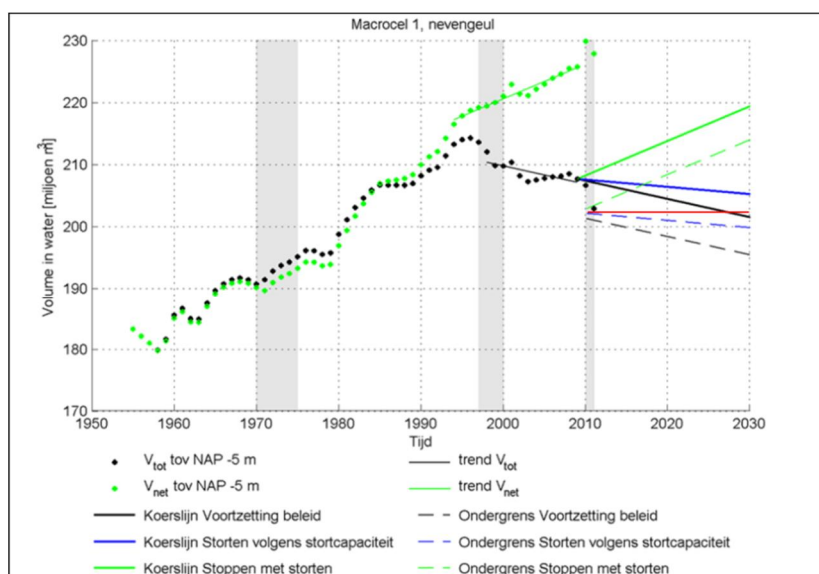
De koerslijn begint dus in het startjaar van de evaluatieperiode (dit rapport houdt hiervoor 2009 aan), met bijbehorend geulvolume. De richting van de lijn wordt bepaald door de gewenste ontwikkeling (de beleidskeuze), waar de historische trend een onderdeel van is. Er zijn twee historische trends te bepalen: de trend in de meetwaarden (V_{tot}) en de trend die is gecorrigeerd voor de uitgevoerde ingrepen (V_{net}). Afhankelijk van de beleidskeuze wordt uitgegaan van de trend in V_{tot} of de trend in V_{net} . Daarnaast kunnen er, afhankelijk van de beleidskeuze, andere correcties in rekening worden gebracht, zoals met de $SC_{plaatrand}$ in de ondergrens is gebeurd.

Als illustratie hiervan worden in het rapport drie koerslijnen berekend, volgend uit drie verschillende beleidskeuzes met een stortstrategie als uitgangspunt: 1. niet storten, 2. storten volgens historische praktijk en 3. 'defensief storten', met alleen de hoeveelheden die volgen uit de geactualiseerde sedimenttransportcapaciteiten en de geulontwikkelingstendenzen tot 2010. Er kunnen echter ook koerslijnen worden ontworpen op andere gronden, zoals een morfologisch ontwikkelingsbeeld (met bijbehorende geulinhoud).

Het principe van koerslijnen en nieuwe ondergrenzen wordt geïllustreerd in onderstaande figuur, voor de nevengeul van macrocel 1. De rode lijn is het vigerende criterium, de zwarte, groene en blauwe doorgetrokken lijnen zijn de drie berekende voorbeelden van koerslijnen. Merk op dat alle koerslijnen beginnen bij het gemeten geulvolume in 2009 en alle gestreepte lijnen voor de ondergrens lager liggen, namelijk minus 2 maal de standaarddeviatie en minus het volume volgens het stabiliteitscriterium voor de plaatrandstorting (voor zover deze ligt in de nevengeulpolygoon)¹².

¹ Merk op dat er géén dubbel telling in zit. De koerslijn is gebaseerd op de gewenste ontwikkeling voor de hele nevengeul (inclusief gebied voor plaatrandstorting). Wanneer er meer van een plaatrandstorting blijft liggen dan het stabiliteitscriterium voorschrijft brengt dit effectief de ondergrens naderbij (en zo hoort dat ook te zijn). Erodeert een plaatrandstorting dan zou dit kunnen betekenen dat de ondergrens minder snel bereikt wordt (tenzij al het geërodeerde sediment in de nevengeul is gekomen natuurlijk).

² In deze figuur is een voorbeeld gebruikt met een stabiliteitscriterium van 100%.



De kern van het invoegen van een beleidskeuze in het criterium is de noodzaak om vooraf een keuze te hebben over 'waar we naar toe willen met het meergeulenstelsel'. Dat is een serieuze opgave, waarvoor binnen de Agenda voor de Toekomst van de VNVC een onderzoeks- en adviestraject is voorzien dat aansluit op deze studie. Bij het vaststellen van de beleidskeuzen spelen de trends van de laatste decennia een rol, maar zij zijn niet de enige (zie hieronder: "Inhoudelijke overwegingen t.b.v. de te maken beleidskeuzen").

Totdat duidelijker is wat de beleidskeuzen zijn, vigeren uiteraard de huidige kaders (vergunningen, gemaakte keuzes in flexibel storten, adviezen CMW etc.). Een voor de hand liggende verbetering, vooruitlopend daarop, is het vervangen van de huidige constante ondergrens door de nieuwe ondergrens die gekoppeld is aan een koerslijn gebaseerd op de gemeten (waargenomen) volumeontwikkeling (beleidskeuze = 0, de zwarte lijn in voorafgaande figuur) en de storthoeveelheden in de huidige vergunning (voor geul en plaatrand). De mate waarin deze voorgestelde verbetering in de bestaande vergunningen past moet nog worden onderzocht.

Inhoudelijke overwegingen t.b.v. de te maken beleidskeuzen

Het rapport beschrijft de historische trends en duidt ze aan de hand van de volgende zaken:

- De gemeten (waargenomen) volumeontwikkeling (oftewel V_{tot})
- De, voor de in het gebied uitgevoerde onttrekkingen en stortingen, gecorrigeerde volumeontwikkeling (V_{net}). De fysische betekenis ervan is dat dit aangeeft wat de maximale ontwikkeling van het gebied had kunnen zijn.³
- Een geulclassificatie op basis van de ontwikkelingen van V_{tot} en V_{net} .
- De sedimenttransportcapaciteit en de daaruit (in combinatie met de geulclassificatie) voortvloeiende stortcapaciteit volgens de richtlijn van Jeuken en Wang (2010).

Op basis daarvan kunnen voor alle nevengeulen inhoudelijke overwegingen gegeven worden ten behoeve van de beleidskeuze. Deze zijn, samengevat, voor de nevengeulen waarvoor de beleidskeuze noodzakelijk is:

³ Het is echter aannemelijk dat door het uitgevoerde baggeren en storten er herverdeling van materiaal is geweest met de aangrenzende gebieden.

Macrocel 1 – Schaar van de Spijkerplaat

Deze nevengeul sedimenteert sinds midden jaren negentig, zeer waarschijnlijk mede als gevolg van stortingen. De hoofdgeul ruimt sindsdien uit. Het is niet duidelijk wat de doorslaggevend aandrijvende krachten zijn voor deze ontwikkelingen. Behalve het morfologisch beheer is er invloed door de autonome ontwikkelingen in het drempelgebied van de nevengeul. Het begin van de erosietrend in de hoofdgeul valt samen met de migratie van een kortsluitgeul van het drempelgebied van de nevengeul naar de hoofdgeul.

De nevengeul is momenteel nog altijd meer dan 10% ruimer dan een halve eeuw geleden. Dit feit suggereert dat er ruimte in de beleidskeuze is voor een kleiner volume van de nevengeul.

Macrocel 3 – Everingen

Deze nevengeul ruimt uit, ondanks stortingen, met mogelijk een trendbreuk rond de eeuwwisseling. De hoofdgeul is de laatste halve eeuw ook ruimer geworden, met mogelijk weer een afname van het watervolume sinds 2005 (ondanks netto baggeren). De variaties zijn binnen 5% van het geulvolume over de laatste halve eeuw.

Van belang is dat in het drempelgebied van de Everingen ook patroonveranderingen van kortsluitgeulen plaatsvonden. In 1999 is wederom een situatie ontstaan waarbij sediment efficiënt wordt afgevoerd richting het Middelgat. Hierdoor erodeert de nevengeul van macrocel 3, hoewel er binnen de nevengeul ook zones zijn waar sterke sedimentatie optreedt.

De volumeontwikkeling van de Everingen (erosie), en van de hele macrocel 3, geven ruimte in de beleidskeuze voor grotere storthoeveelheden, zeker zolang dit geen verhoogde aanvoer naar het Middelgat betekent. Hierbij kan gezocht worden naar mogelijkheden voor de creatie van ecologisch waardevol areaal (vergelijkbaar met plaatrandstortingen).

Macrocel 4 – Middelgat

De natuurlijke, trendmatige, verondieping van het Middelgat is na de tweede verruiming (tijdelijk) versneld met een factor 5. Dit is zeer waarschijnlijk vooral door stortingen veroorzaakt. Ook de patroonwisseling in het drempelgebied van de Everingen leidt tot aanvoer van sediment naar het Middelgat.

Een vergelijking van de trends voor en na de hervatting van de stortingen suggereert dat hiermee de verondieping meerdere decennia versneld is. Inmiddels zijn alle stortingen in deze nevengeul gestopt. Hiermee neemt de snelheid van verondieping weer iets af, maar niet de richting van de trend. Deze feiten onderstrepen de noodzaak een ontwikkelingsdoel voor deze macrocel te hebben. Het storten van specie in het Middelgat, ook dat ten behoeve van plaatranden, past nu niet in de enige norm die er voor deze geul bestaat: de ondergrens uit het protocol flexibel storten.

Macrocel 5 – Schaar van Waarde – Schaar van Valkenisse(en Zimmermangeul)

De ontwikkelingen van zowel hoofd- als nevengeul worden gestuurd door ingrepen. Opvallend is het opnieuw uitruimen van de nevengeulen na afname van de stortintensiteit in de jaren negentig. In de trends van de hoofdgeul is goed te zien dat de periode van de eerste en tweede verdieping (verlagen drempels) wordt gevolgd door een morfologische respons die de hoofdgeul verder uitruimt (mede met behulp van onderhoudsbaggerwerk).

Recentelijk is er opnieuw een trend van sedimentatie in het nevengeulen-gebied. Deze kan deels het gevolg zijn van de aanleg van strekdammen voor het schor van Waarde, maar dat

dient nader geanalyseerd te worden. Ook de sedimentatie in de Zimmermangeul draagt bij tot een kleiner volume van de nevengeul.

Advies over werkproces en te gebruiken nieuwe stortzones

Terugkijkend op de afgelopen jaren kan geconstateerd worden dat het 'flexibel storten' heeft gewerkt. Door monitoring en discussie over de resultaten met een groep van experts lijken steeds robuuste keuzes te zijn gemaakt en is tegelijkertijd de systeemkennis vergroot.

Dit werkproces, waarbij leren van monitoring en onderzoek zo'n belangrijke rol vervult, kan nog meer vrijheid gebruiken. Dit betreft de stortruimte (de vergunning sluit sommige stortgebieden uit, evenals het verplaatsen tussen macrocellen, zelfs als na inhoudelijke analyse dit als aantrekkelijke opties bestempeld moet worden). Het betreft ook de ruimte in de afweging die de beheerder kan maken op basis van de bijdrage aan de gebruiksfuncties (de ruimte nemen om op meer te toetsen dan het bestaand criterium, maar ook veel specifiek, per gebied, een 'gewenste ontwikkeling' op te stellen). Deze afweging per nevengeul is eigenlijk essentieel om het criterium op een juiste en robuuste manier aan te kunnen passen. Hiervoor loopt inmiddels het project 'uitwerking fysische systeemkenmerken'. Het is de intentie om pas op basis van die resultaten het criterium definitief aan te passen.

Concreet volgt uit de waarnemingen in dit rapport dat er meer gestort zou kunnen worden in de Everingen (macrocel 3)⁴ en in de hoofdgeulen.⁵

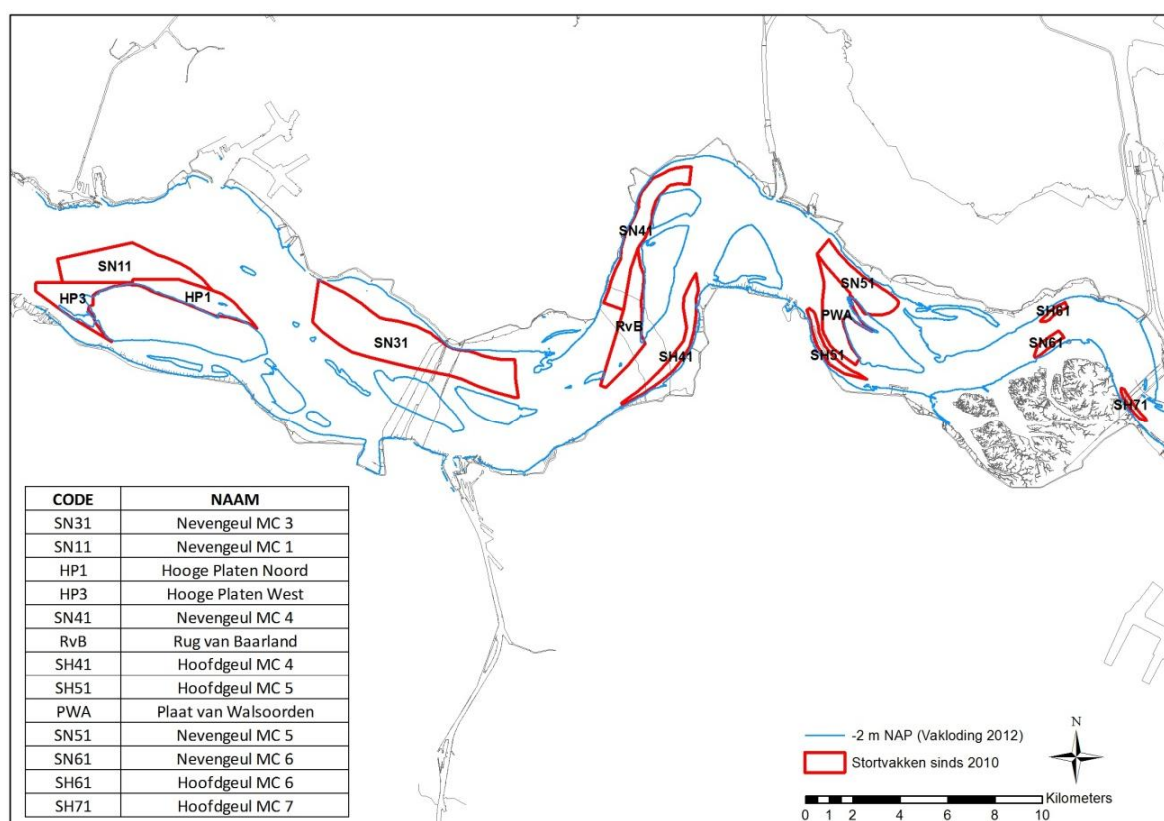
⁴ De suggestie is dat stortingen in de Everingen tijdens de tweede verruiming hebben geleid tot sedimentaanbod in de zones langs de oevers bovenstrooms daarvan en hebben bijgedragen aan de groei van het schor en slikken bij Baarland. Deze ontwikkeling zou weer afnemen nu het sedimentaanbod daar is beëindigd. Dit verband zou beter onderzocht kunnen worden.

⁵ Voor (proef)stortingen in de ondiepe geulzones langs plaatranden in de Everingen of het Gat van Ossensisse bieden de vergunde stortvakken ruimte. Voor (proef)stortingen in de hoofdgeulen van de Pas van Terneuzen (macrocel 3), de Honte (macrocel 1) en de Overloop van Valkenisse (macrocel 5) biedt de vergunning momenteel beperkt ruimte.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

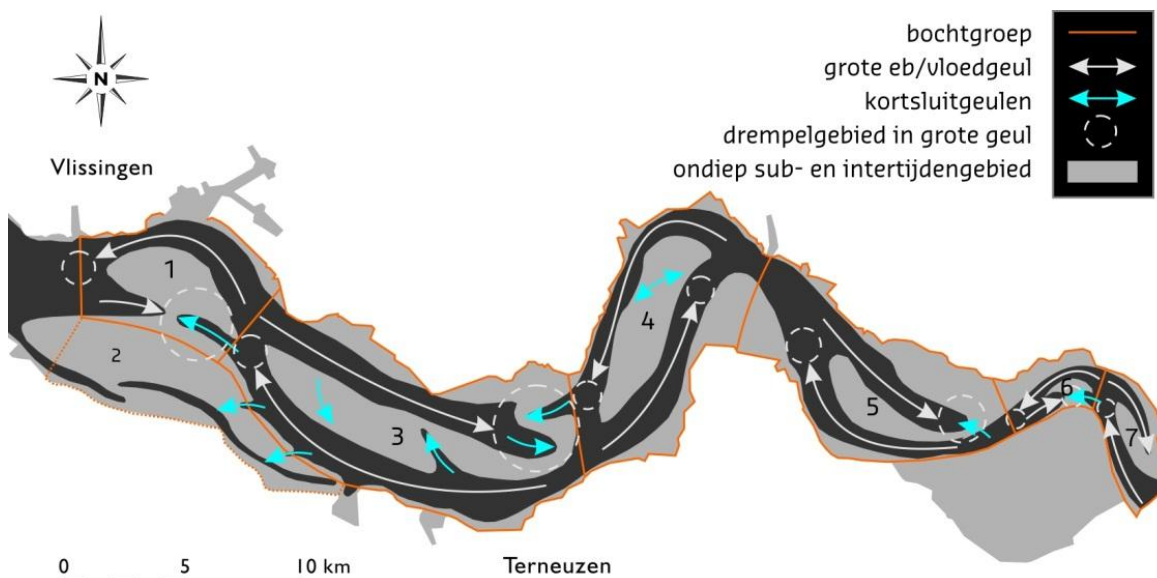
Met de vergunningverlening voor de derde verruiming (inclusief de eerste vijf jaar onderhoud) van de vaargeul in de Westerschelde is het mogelijk om baggerspecie niet alleen in hoofd- en nevengeulen maar ook langs plaatranden te storten (Figuur 1.1). De stortingen in de geulen dienen zodanig te worden uitgevoerd dat ze bijdragen aan instandhouding van de fysieke systeemkenmerken. Voor de Westerschelde gaat het om het systeem van hoofd- en nevengeulen met tussenliggende platen en ondiepwatergebieden, in alle deelgebieden van de Westerschelde (Figuur 1.2), veelal aangehaald als 'instandhouding meergeulenstelsel'.



Figuur 1.1 Overzicht met stortvakken conform de vergunning 2010-2015. Naast stortingen in geulen wordt er met ingang van de derde verruiming van de vaargeul in de Westerschelde ook langs plaatranden gestort (vakken HP3, HP1, RvB en PWA). De vakken voor plaatrandstortingen vallen deels in de geulen.

Plaatrandstortingen zijn bedoeld als een win-win ingreep. Door het storten van sediment dat vrijkomt tijdens baggerwerkzaamheden in ondiepere geuldelen langs plaatranden, wordt de ontwikkeling van ecologisch waardevol, laag-dynamisch ondiepwater- en intergetijdengebied beoogd op korte tot middellange termijn (jaren tot 1-2 decennia). Naast de extra stortruimte op de plaatranden biedt de vergunning ruimte om de stortstrategie bij te sturen ('flexibel storten') gedurende de looptijd van de vergunning. Om de gevolgen van de ingrepen op de voet te kunnen volgen en bijsturen, is voorzien in projectmonitoring en is het protocol 'voorwaarden voor flexibel storten' opgesteld. Een onderdeel van dit protocol is het 'Protocol kwaliteitsparameters'. De kwaliteitsparameters beogen de doelen van de stortstrategie te

bewaken, waaronder de creatie van nieuw ecologisch waardevol areaal en het behoud van de fysieke systeemkenmerken. Hierop moet jaarlijks worden getoetst. De vergunning en het protocol worden toegelicht in hoofdstuk 2.



Figuur 1.2 Schematische weergave van het morfologisch systeem in de Westerschelde en deelgebieden (ontleend aan Jeuken, 2000). De grote eb-en vloedgeul in iedere bochtgroep vormen een zogenoemde macrocel.

1.2 Probleem- en vraagstelling vanuit Overleg Flexibel Storten

Het protocol 'voorwaarden voor flexibel storten' schrijft o.a. voor hoe de stabiliteit van het meergeulenstelsel (criterium instandhouding meergeulenstelsel) geëvalueerd wordt met het criterium 'watervolume geulen'. In de praktijk en in deze rapportage wordt dit het 'criterium nevengeulen' genoemd, omdat vooral het watervolume in de nevengeulen aandacht behoeft. Het doel van dit criterium is het bewaken van het in stand houden van de nevengeulen en daarmee het meergeulenstelsel. Voor dit criterium is in het protocol (en in documenten die de uitwerking ervan verzorgen) een berekeningswijze opgenomen waarbij onder meer het gebruik van de meetreeksen en de begrenzingen van de geulen zijn bepaald. In 2013 constateerde het Overleg Flexibel Storten (OFS) bij het toetsen van het criterium 'nevengeulen' dat deze methode niet toelaat om een onderscheid te maken tussen de veranderingen in het natte volume van de nevengeul en de invloed van de plaatrandstortingen. Van plaatrandstortingen is het de bedoeling dat ze stabiel zijn. Het gevolg hiervan is dat ze het natte volume van de (neven)geul, waar de plaatrandstorting (deels) in ligt, daarmee verkleinen. Dit probleem speelt bij de nevengeulen waar plaatrandstortingen zijn toegepast: macrocel 1, 4 en 5 (HP3, HP1, RvB, PWA in Figuur 1.1).

Het Overleg Flexibel Storten stelde een oplossing voor, via afbakening van de nevengeul zonder de zone van de plaatrandstortingen. Deze oplossing is echter door de Commissie Monitoring Westerschelde (CMW), die als onderdeel van de vergunningsvoorwaarden toeziet op de besluiten van het Overleg Flexibel Storten, niet geaccepteerd. De motivatie daarvan is dat een dergelijke aanpassing van de methode beter onderbouwd moet worden, gezien het doel van het criterium "het bewaken dat de nevengeulen in stand blijven" is. Hierbij is gewezen naar de fysieke grondslag van het originele stortcriterium (Wang en Winterwerp,

2001; Jeuken & Wang, 2010), waarin de theoretische richtlijn voor de stortcapaciteit in de geulen gerelateerd is aan de sedimenttransportcapaciteit.

Naar aanleiding hiervan besloot het Overleg Flexibel Storten (zie toetsverslag 18/4/2013): *“Aan de projectgroep Veiligheid & Toegankelijkheid wordt gevraagd om naar aanleiding van het advies van de Commissie het huidige criterium nader te onderzoeken en te bepalen op welke wijze dit criterium eventueel aangepast kan worden, zodat op een betere manier rekening gehouden kan worden met de plaatrandstortingen langs de nevengeulen.”*

Het Overleg Flexibel Storten heeft de volgende onderzoeksvragen (en deelvragen) aan de projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid voorgelegd:

1. Hoe kan de afbakening van de nevengeulen/macrocellen verbeterd worden, zodat het criterium ‘nevengeulen’ op een betere manier bepaald wordt en de doelstelling van het criterium behouden blijft?
 - a. De afbakening van de nevengeulen valt op dit ogenblik niet meer goed samen met de huidige morfologie. Zowel in de lengte- als breedterichting van de nevengeulen dient hiervoor een voorstel gedaan te worden, waarbij wordt gedacht aan alternatieve afbakeningen van de nevengeul, gebaseerd op de waterscheidingslijn op de plaat en een bepaalde dieptelijn. Ook moet worden bepaald of het nodig is deze begrenzing dynamisch te maken (jaarlijks aanpassen o.b.v. de nieuwe bodem). De volumes van de nevengeulen dienen dan na acceptatie van de methode berekend te worden voor een nader te bepalen periode (terug in de tijd).
 - b. Indien analyse van enkel het watervolume onvoldoende blijkt om instandhouding van het meergeulenstelsel te kunnen waarborgen, welke andere parameters kunnen bijkomend gebruikt worden? Hierbij wordt gedacht aan de sedimenttransportcapaciteit en het debiet door de geulen. Bijkomende vragen zijn dan:
 - Hoe kan sedimenttransportcapaciteit o.b.v. beschikbare dwarsraaimetingen en berekende debieten bepaald worden? Geef daarbij een (kort) overzicht van de bepaling van de sedimenttransportcapaciteit zoals die in het kader van het MER is bepaald. Is deze methode makkelijker of betrouwbaarder dan berekeningen op basis van een model?
 - De vraag is tevens in hoeverre de ondiepere zones waarop plaatrandstortingen plaatsvinden van belang zijn voor de sedimenttransportcapaciteit van de nevengeulen (valt dit per nevengeul uit te drukken in een percentage en moet dit meegenomen worden in het criterium)?
 - Welke basisgegevens zijn nodig om de parameters te kunnen berekenen?
 - c. Welke grenswaarden of trends dienen beschouwd te worden om de doelstellingen (vooral behoud meergeulenstelsel) te kunnen evalueren? Hoe verhouden deze zich dit tot de historische ontwikkeling (bv. 1980 tot 2010)?
 - d. Geven de antwoorden op bovenstaande vragen aanleiding tot een verdere aanpassing van de afbakening om het watervolume van de geulen in het kader van het protocol te berekenen? Is het zinvol om transportcapaciteit op korte termijn op te volgen in het kader van de jaarlijkse toetsingen aan de kwaliteitsparameters?

In het kader van de ‘Agenda voor de Toekomst’ dienen door de projectgroep Veiligheid & Toegankelijkheid de volgende langere termijn vraag beantwoord te worden:

2. Wat wil je precies behouden op het gebied van het meergeulenstelsel om zo goed mogelijk de drie pijlers van de LTV (Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid) te

dienen? Wat is een goed fysisch systeem? Deze vraag dient volgens het Overleg Flexibel Storten samen met de projectgroep Natuurlijkheid te worden opgepakt.

De vervolgvraag die vervolgens op basis van het resultaat van de beantwoording van vraag 2 voor het Overleg Flexibel Storten relevant is, is:

3. Wat zijn de randvoorwaarden waarmee rekening dient gehouden te worden bij het toetsen van het criterium 'instandhouding meergeulenstelsel'?
 - Welke parameters dienen beschouwd te worden voor het definiëren van het criterium?
 - Welke grenswaarden dienen beschouwd te worden voor het toetsen van het criterium 'instandhouding meergeulenstelsel', rekening houdend met hierboven gestelde randvoorwaarden?
 - Welke basisgegevens zijn nodig om de parameters te kunnen berekenen?

Voorliggend rapport is het resultaat van de studie die ingaat op de eerste vraag. Een probleemanalyse (zie hoofdstuk 2) resulteerde in de keuze om de definitie van het criterium en de ondergrens te verbeteren, rekening houdend met de nog te beantwoorden langere termijn onderzoeksvragen. In hoofdstuk 3 wordt eerst gekeken naar de recente ontwikkelingstendensen in de geulvolumina en de invloed van ingrepen hierop. Vervolgens wordt gekeken wat het gevolg van deze ontwikkelingstendensen is op de debietverdelingen, de bruto sedimenttransporten en de theoretische richtlijn voor de stortcapaciteit van de geulen. De invloed van plaatrandstortingen ten opzichte van geulstortingen op de debietverdeling en het sedimenttransport komt eveneens aan de orde in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt gekeken naar de afbakening van het geulvolume, zowel in het horizontale vlak (polygoonafbakening) als het verticale vlak (referentieniveau). Ook wordt toegelicht welke aanvullende parameters beschouwd moeten worden om de instandhouding van het meergeulenstelsel zo goed mogelijk te kunnen bewaken. In hoofdstuk 5 worden, ter illustratie, koerslijnen en ondergrenzen voor beleid en beheer uitgewerkt aan de hand van verschillende beleidskeuzes. Als er operationele doelen per individuele macrocel zijn uitgewerkt (is voorzien in onderzoeksprogramma van de Agenda voor de Toekomst) kunnen er gebied-specifieke koerslijnen en grenzen worden uitgewerkt.

In deze rapportage zullen observaties, conclusies en adviezen veelal worden geïllustreerd aan de hand van figuren voor macrocel 4, omdat deze cel door de sterke sedimentatie vanuit het beheer speciale aandacht vraagt. Resultaten voor de andere cellen zijn beschikbaar in de bijlagen. In deze rapportage is wat betreft de ontwikkelingstendensen in de geulen gefocust op de laatste trendperiode, die start rond de tweede verruiming en eindigt in 2009. Eventuele effecten van Flexibel Storten, zoals vastgelegd in de vergunning die met ingang van 2010 van kracht is, zijn dus niet zichtbaar in de beschouwingen. Dit is ook niet de bedoeling, omdat de (onder)grenzen voor de geulvolumina zijn afgeleid om de effecten van de derde verruiming te evalueren. Logischerwijs wordt de ingreep zelf (de derde verruiming) dan niet meegenomen in het vaststellen van deze grenzen.

2 Flexibel storten in de praktijk – probleemanalyse

2.1 De Vergunning voor het storten van baggerspecie 2010-2015

Voor het baggeren en storten van sediment dat vrijkomt bij het verruimen en het onderhouden van de vaargeul in de Westerschelde is een vergunning nodig op grond van de Ontgrondingenwet en de Waterwet.

De huidige vergunning (Ministerie van Verkeer en Rijkswaterstaat, 2009) reguleert het storten van 66 miljoen m³ in situ bodensediment, afkomstig van de derde verruiming (7.7 miljoen m³) en het onderhouden van de vaargeul (58 miljoen m³) gedurende een periode van 5 jaar vanaf de start van de werkzaamheden. De vergunning is van kracht sinds 12 februari 2010 en loopt af op 12 februari 2015.

De vergunning kent strikte bepalingen over de herkomst van het sediment en waar, hoe en hoeveel van het materiaal er gestort mag worden: de stortstrategie.

Het sediment dat vrijkomt tijdens het verruimen en het onderhouden van de vaargeul in de Westerschelde moet in de Westerschelde worden teruggestort volgens een voorgeschreven strategie:

- 1 Het storten gebeurt in beginsel binnen de macrocel (zie Figuur 1.2) waaruit het sediment afkomstig is. Het benutten van stortlocaties in de macrocel is als volgt:
 - Eerst storten op eventuele stortlocaties langs plaatranden;
 - vervolgens in de nevengeul;
 - en in de hoofdgeul.
- 2 Als de stortcapaciteit binnen de macrocel niet toereikend is wordt gestort in de eerstvolgende, zeewaarts gelegen macrocel.

De vergunning reguleert de maximale hoeveelheden die volgens deze strategie gestort mogen worden, de stortruimte, zie Tabel 2.1. Deze hoeveelheden zijn tijdens de m.e.r. studie voor de derde vaargeulverruiming bepaald op basis van morfologische modelberekeningen (zie bijlage A voor de achtergrond en herkomst van deze getallen).

Tabel 2.1 Aanvangsverdeling van maximale stortruimte zoals opgenomen in de vergunning. De maximale jaarlijkse stortruimte houdt rekening met de aanleg van de derde verruiming.

Macro-cel	Maximale stortruimte over 5 jaar [miljoen m ³ , in situ] (Tabel 1 in de vergunning)				Maximale <i>jaarlijkse</i> stortruimte [miljoen m ³ , in situ]
	Plaatrand	Nevengeul	Hoofdgeul	Maximum macrocel	Nevengeul
1	8.2	5.5	0.0	13.7	3.0
3	0.0	6.0	0.0	6.0	3.2
4	5.0	2.0	15.5	22.5	2.4
5	6.5	7.0	3.5	17.0	3.8
6	0.0	1.5	3.5	5.0	1.0
7	0.0	0.0	2.0	2.0	0.0

In de vergunning, en het daaraan ten grondslag liggende Tracébesluit, is de mogelijkheid tot 'flexibel storten' opgenomen: de stortstrategie kan worden aangepast op basis van de resultaten van monitoring van kwaliteitsparameters, om te voorkomen dat het morfologische systeem te veel wordt aangetast. Er is daarvoor geen nieuwe vergunning nodig. Het bijsturen van de stortstrategie kan plaatsvinden binnen de maximale ruimte voor flexibel storten zoals opgenomen in de vergunning (zie Tabel 2.2). Tot op heden (periode 2010-2013) is gestort volgens de stortruimte van de aanvangsverdeling, er is nog geen gebruik gemaakt van de extra ruimte in Tabel 2.2. Een vergelijking van de totalen per macrocel volgens Tabel 2.1 en Tabel 2.2, laat zien dat de extra stortruimte voor flexibel storten 9 miljoen m³ in vijf jaar is (voor herkomst van de getallen in Tabel 2.2, zie bijlage A).

Tabel 2.2 Maximale ruimte voor Flexibel storten volgens tabel 2 in de vergunning.

Macrocel	Maximale ruimte voor Flexibel storten (Tabel 2 in de vergunning)				Maximum macrocel volgens Tabel 2.1
	Nevengeul	Nevengeul en Plaatrand	Hoofdgeul	Maximum macrocel	
1	6.5	13.7	0.0	13.7	13.7
3	8.0	8.0	0.0	8.0	6.0
4	2.5	7.0	19.0	26.0	22.5
5	11.5	13.5	4.5	18.0	17.0
6	2.0	2.0	5.5	7.5	5.0
7	0.0	0.0	2.5	2.5	2.0
Totaal				75.7	66.2

Bijlage 3 van de vergunning, 'Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters', beschrijft drie doelen waaraan de stortstrategie moet voldoen, inclusief een set kwaliteitsparameters waarmee het halen van de doelen wordt getoetst:

- Gewenste **instandhouding van het meergeulenstelsel** (ook wel criterium instandhouding meergeulenstelsel genoemd). De bijbehorende kwaliteitsparameter is het watervolume van de hoofd- en nevengeul in iedere macrocel, inclusief een onder- en waarschuwingsgrens voor het geulvolume van *alleen* de nevengeul (zie ook § 2.2). In de praktijk wordt de kwaliteitsparameter 'watervolume nevengeul' het criterium nevengeulen genoemd.
- Een toename van het laagdynamisch ondiepwater- en intergetijdengebied, zoals gedefinieerd in het Zoutwater Ecotopen Stelsel (Bouma et al., 2005), in de gebieden nabij de plaatrandstortingen. De stabiliteit van de gestorte baggerspecie is een aanvullende kwaliteitsparameter. Deze twee kwaliteitsparameters vallen samen onder het criterium **ecologische winst plaatrandstortingen**.
- **Behoud van de oppervlakte ecologisch waardevol gebied** in de Westerschelde. Hiervoor worden areaalveranderingen ten opzichte van de T0-Ecotopenkaart Westerschelde (2008) geëvalueerd. Daarnaast worden veranderingen in schorranden, hoogteligging en sediment-samenstelling van slikken en platen en stroomsnelheden op de plaatranden in de Westerschelde gemonitord en geëvalueerd.

Projectmonitoring (Schrijver en Plancke, 2008) wordt uitgevoerd om de effecten van vaargeulverruiming en -onderhoud te kunnen evalueren en toetsen. Kwartaal- en jaarrapportages van de kwaliteitsparameters en verklarende parameters vormen de basis voor evaluaties en toetsing ten behoeve van Flexibel Storten (zie ook § 2.2). Aanpassing van de stortstrategie naar aanleiding van de toetsing door het Overleg Flexibel Storten, vindt plaats volgens een beslisproces zoals vastgesteld in Bijlage 4 van de vergunning.

Deze studie richt zich uitsluitend op de toetsing van gewenste instandhouding van het meergeulensstelsel (criterium instandhouding meergeulensstelsel) op basis van monitoring en evaluatie van de kwaliteitsparameter watervolume (neven)geulen (criterium nevengeulen). De instandhouding van het meergeulensysteem in de Westerschelde is uitgangspunt van beheer en beleid volgens de langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium (RWS, 2001). Dit uitgangspunt is echter nog niet vertaald naar operationele doelen, die tot minimaal het niveau van een individuele macrocel zijn uitgewerkt. Een dergelijke operationalisering, die nodig is om generieke grenzen met gebied-specifieke uitwerkingen te kunnen definiëren, is onderdeel van het onderzoek voor 'Agenda voor de Toekomst'.

2.2 Monitoring en evaluatie

Het uitvoeringsplan voor de projectmonitoring Moneos-T (Schrijver en Plancke, 2008) voorziet in de mogelijkheid om de ontwikkeling van het meergeulensysteem nauwlettender te kunnen volgen. Schrijver (2010) en IMDC (2011) beschrijven hoe de monitorgegevens worden geanalyseerd om de ontwikkeling van het meergeulensysteem te kunnen evalueren en toetsen conform het Protocol kwaliteitsparameters van de vergunning.

Voor de geulen van het meergeulensysteem (de macrocellen in de Westerschelde) worden jaarlijkse toetsingsrapportages gemaakt (zie bijvoorbeeld Schrijver 2013). Hierin wordt de ontwikkeling van kwaliteitsparameter watervolume geulen sinds 1975 (einde eerste verdieping) in beeld gebracht. Daarnaast worden de volgende, meer verklarende, parameters bepaald en beschreven:

- de kantelindex, de verhouding tussen de diepte van de hoofdgeul en nevengeul;
- de verdeling van getijvolumina tussen hoofd- en nevengeul, zowel op basis van metingen als berekeningen (met Scalwest, een WAQUA model voor de Westerschelde);
- de uitgevoerde ingrepen in beunvolumina, uitgesplitst naar baggeren, storten en zandwinning;
- erosie- en sedimentatiekaarten ten opzichte van 2009, het jaar vóór de derde vaargeulverruiming in de Westerschelde; en
- stortintensiteitskaarten, waarin per stortvakje binnen de diverse stortgebieden de hoeveelheid gestorte specie (in situ) sinds het begin van de verruiming (februari 2010) is weergegeven.

De jaarlijkse toetsingsrapportages beschrijven de gebruikte methode, presenteren de grafieken en geven conclusies over het al dan niet onderschrijden van de ondergrens van het criterium nevengeulen. Vergelijkbare datarapportages van de kwaliteitsparameters worden door IMDC in opdracht van de Vlaamse overheid gemaakt (zie bijv. IMDC 2013).

Voor de toetsing van de ecologische winst van de plaatrandstortingen en het behoud van de oppervlakte ecologisch waardevol gebied, worden voor de gebieden met plaatrandstortingen per gebied elk kwartaal datarapportages samengesteld waarin onder andere de ontwikkeling van de lokale bodemligging, sedimentatiesnelheden, sedimentsamenstelling en stroomsnelheden op de plaatranden worden vastgelegd (zie bijv. RWS 2013a). Kwartaalrapportages voor alle plaatrandstortgebieden over een heel jaar worden samengevoegd tot een jaarlijkse datarapportage (zie bijv. RWS 2013b).

De jaarlijkse toetsingsrapportages voor de geulen en plaatrandstortgebieden worden door het Overleg Flexibel Storten gebruikt voor de toetsing van de kwaliteitsparameters. De resultaten van deze toetsing, inclusief voorgestelde aanpassingen in de stortstrategie, worden vastgelegd in een toetsingsverslag (OFS, 2013).

2.3 Het criterium nevengeulen

2.3.1 Definitie van de kwaliteitsparameter 'watervolume geulen'

De kwaliteitsparameter 'watervolume geulen' is gedefinieerd als het *watervolume* van de individuele hoofd- en nevengeul beneden NAP -5m. Het NAP -5m niveau is om twee redenen gekozen:

1. Dit referentieniveau sluit aan bij het Zoutwater Ecotopen Stelsel (Bouma et al., 2005), waar de NAP -5m contour de grens vormt tussen ondiep en diep sublitoraal gebied.
2. Het gebied beneden NAP -5m zit altijd in de reguliere lodingen, waardoor de bepaling van het watervolume niet afhankelijk is van de (meestal latere) beschikbaarheid van de diepte- en hoogtegegevens van het ondiepwater- en intergetijdengebied (gebieden boven NAP -3m worden in kaart gebracht met onder meer LiDAR gegevens).

Voor het bepalen van het watervolume worden inhoudsberekeningen uitgevoerd met:

- De gemeten vaklodingen die geïnterpoleerd zijn naar 20 x 20 m bodemroosters.
- De rekenpolygoon 'rvaksas3' (zie Figuur D.6), vast gedefinieerd voor alle jaren.
- Het NAP -5m niveau van het beschouwde jaar binnen de rekenvakken van rekenpolygoon; de vorm en locatie van de NAP -5m dieptelijn kan van jaar op jaar variëren.

De resultaten van de inhoudsberekeningen van individuele rekenvakken worden per jaar en per hoofd- en nevengeul bij elkaar opgeteld, zoals voor macrocel 1 weergegeven in Figuur C.2 van Bijlage C om het watervolume van de geul onder NAP -5m te bepalen. Het bepaalde geulvolume is dus afgeleid van de gemeten bodemligging, die het gevolg is van natuurlijke processen en ingrepen door de mens. Dit geulvolume wordt in deze studie aangeduid als V_{tot} .

2.3.2 Ondergrens voor het watervolume van nevengeulen

Voor de nevengeulen is een ondergrens voor het watervolume gedefinieerd. De maximaal toelaatbare verandering van het watervolume van een nevengeul vanaf 2010 tot tenminste het einde van de vergunningsperiode (2015), $\Delta V_{tot, max\ toelaatbaar}$, zoals gedefinieerd in het Protocol Kwaliteitsparameters, is:

$$\Delta V_{tot, max\ toelaatbaar}(i) = V_{tot, max}(i) - V_{tot, min}(i) + NV(i) + V_{tot, max\ stort}(i)$$

Met

i	macrocel (1, 3, 4, ... 7)
$V_{tot, max}$	maximaal watervolume over de periode 1/1/2006-1/1/2010
$V_{tot, min}$	minimaal watervolume over de periode 1/1/2006-1/1/2010
NV	standaarddeviatie van het watervolume over de periode 1/1/2006-1/1/2010
$V_{tot, max\ stort}$	maximale jaarlijkse stortruimte in de nevengeul zoals vastgelegd in de vergunning (zie Tabel 2.1)

De maximaal toelaatbare verandering van het watervolume ten opzichte van het grootst gemeten watervolume impliceert dat de ondergrens voor het watervolume in de nevengeul, OG, is gedefinieerd als (Schrijver, 2010):

$$\begin{aligned} OG(i) &= V_{\text{tot, max}}(i) - V_{\text{tot, max toelaatbaar}}(i) \\ &= V_{\text{tot, min}}(i) - NV(i) - V_{\text{tot, max stort}}(i) \end{aligned}$$

De ondergrens voor het nevengeulvolume (OG) ligt dus altijd onder het kleinste nevengeulvolume zoals gemeten tijdens de referentieperiode tussen 2006 en 2010 (of iedere andere referentieperiode).

De waarschuwingsgrens is gedefinieerd als 80% van deze maximaal toelaatbare verandering.

2.4 Sterke en zwakke punten van het criterium nevengeulen

De definitie van het criterium nevengeulen (en in bredere zin het criterium 'watervolume geulen') en de ondergrensdefinitie voor nevengeulen worden gekenmerkt door een aantal sterke punten en een aantal zwakke punten, zie Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sterke en zwakke punten van het criterium nevengeulen

Sterke punten	Zwakke punten
Het geulvolume en de ondergrens zijn eenduidig gedefinieerd.	De keuze voor het referentie niveau NAP -5m is niet fysisch onderbouwd.
De waarden zijn eenvoudig te bepalen.	De methode (focus op $V_{\text{tot, nevengeul}}$ en de definitie van de ondergrens), veronderstelt dat de autonome ontwikkeling overheerst: <ul style="list-style-type: none"> • Er wordt niet expliciet rekening gehouden met de invloed van ingrepen op de volumeverandering. • Er wordt geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen plaatrand- en geulstorting.
De bepaling is voor alle geulen hetzelfde (uniform).	Hoofdgeul: <ul style="list-style-type: none"> • De samenhang tussen de ontwikkeling van nevengeul en hoofdgeul blijft buiten beschouwing. • Voor de hoofdgeul zijn geen waarschuwings- en grenzen gedefinieerd.
De toetsing is rechttoe rechtaan; bestaat uit het vergelijken van twee getallen.	Trends en fluctuaties: <ul style="list-style-type: none"> • De vaste referentieperiode 2006-2010 is niet duidelijk onderbouwd vanuit de meetgegevens; lijkt arbitrair te zijn gekozen. • Door de korte duur van de referentieperiode en de definitie van de ondergrens wordt geen rekening gehouden met (lange-termijn) trends in de ontwikkeling van een geul. • In de definitie van de maximaal toelaatbare verandering van V_{tot} wordt zowel het bereik ($V_{\text{max}}(i) - V_{\text{min}}(i)$) als de standaarddeviatie ($NV(i)$) in rekening gebracht (=dubbeltelling), zonder rekening te houden met trends.

2.5 Verbeteren van het criterium nevengeulen

In deze studie worden, op basis van de geïdentificeerde sterke en zwakke punten en de vraagstelling vanuit OFS, de volgende verbeterpunten uitgewerkt, zie Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Verbeterpunten die in de huidige studie zijn verkend en uitgewerkt.

Verbetering	Plaats in dit rapport	Vraag OFS (§ 1.2)
Maak inzichtelijk hoe het debiet en bruto sedimenttransport variëren met de hypsometrie van de neven- en hoofdgeulen, als fysische onderbouwing van de keuze van het referentieniveau. Welk percentage blijft buiten beschouwing door te kijken naar het niveau onder NAP -5m of NAP -2m? Hoe gevoelig zijn de resultaten van de watervolumes (V_{tot} en V_{net}) voor het gekozen referentieniveau? Wat betekent dit voor het afbakenen, c.q. omgaan met de plaatrandstortingen in het criterium?	§ 4.2, bijlage K	1a, b, d
Verbeteringen gericht op het bepalen van grenzen:		
1 Maak expliciet onderscheid tussen de lange-termijn trends en fluctuaties op die trends. Bepaal hiervoor op een zo objectief mogelijke wijze (deel)trends in de ontwikkeling van het watervolume van de geulen.	bijlage B	1b
2 Bepaal hoe stortingen in geulen en langs plaatranden de ontwikkeling van geulen beïnvloeden, welke beleidskeuzen ze dienen, en houdt hier expliciet rekening mee bij het definiëren van grenzen. Uit verkennende analyses, uitgevoerd in het kader van deze studie, blijkt dat de plaatrandstortingen langs de Rug van Baarland de facto stortingen in de nevengeul zijn, maar met een andere beleidsdoelstelling en gewenst gedrag dan de stortingen in de geul. Het is transparanter om het gewenste gedrag expliciet tot uitdrukking te laten komen in de definitie van grenzen, dan in een aanpassing van de geulpolygoon.	§ 3.2, 3.3, bijlage C, H, I, L § 3.3, bijlage I	1b
3 Evalueer de theoretische stortcapaciteit van de (neven)geulen, aan de hand van de geverifieerde praktische richtlijn ten behoeve van de toetsing en eventuele aanpassing van de stortstrategie.	§ 5.2, 5.3, bijlage F, G	1b, 1d
4 Gebruik de meest recente trends in de ontwikkeling van de geulen als referentieperiode voor het implementeren van grenzen.	§ 3.2, bijlage B, F, G, L	1c
5 Definieer en visualiseer grenzen op basis van verschillende beleidskeuzen , en de daarbij behorende koers voor het beheer, als eerste voorzet voor het operationaliseren van beleid- en beheerdoelen per macrocel. De drie beleidskeuzen die in de deze studie ter illustratie (er zijn meer beleidskeuzen denkbaar) worden uitgewerkt zijn: 1) <i>Voortzetting van het beleid voor vaargeulbeheer</i> zoals tijdens de meest recente trendperiode, 2) <i>Stoppen met storten in de nevengeulen</i> , gericht op stimuleren / herstel van meer natuurlijke ontwikkelingen en 3) <i>maximaal benutten van de theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen</i> .	§ 5.2, 5.3, bijlage L	1c, voorzet 2 en 3

Rekening houdend met deze verbeterpunten wordt voorgesteld om de oorspronkelijke ondergrens definitie (zie 2.3.2):

$$OG = V_{\text{tot, min}}(i) - NV(i) - V_{\text{tot, max stort}}(i)$$

te vervangen door een nieuwe basisdefinitie die bestaat uit twee delen:

- 1 Een koerslijn die voor concrete beleidsdoelen en op basis van recente trends in de geulontwikkeling, de verwachte ontwikkeling van het watervolume van de geulen weergeeft.

$$Koerslijn(i, t) = V_{\text{tot, 2009}}(i) + \text{trend } V(i) \cdot t + \text{Beleidskeuze}(n)$$

- 2 Een ondergrens behorende bij de koerslijn

$$Ondergrens(i, t) = Koerslijn(i, t) - 2 \cdot \text{standaarddeviatie } V_{\text{net}}(i) - SC_{\text{plaatrand}}(i)$$

Met:

I	nummer van de macrocel
T	tijd in jaren sinds 2009
$V_{\text{tot, 2009}}$	het watervolume van de geul op 1/1/2009
Trend $V(i)$	de jaarlijkse volume af- of toename die trendmatig is
standaarddeviatie	de maat voor de variatie rond de trendlijn
SC_{geul}	de jaarlijkse theoretische stortcapaciteit in de geul volgens richtlijn (zie h.3)
$SC_{\text{plaatrand}}$	het totale stortvolume op de plaatrand in de betreffende (neven)geul. Dit betreft het daadwerkelijk gestorte volume, wat in de tijd afneemt volgens het stabiliteitscriterium.

De belangrijkste verschillen tussen de oude en nieuwe definitie kunnen als volgt worden samengevat:

- In plaats van de ondergrens te definiëren vanaf het minimum geulvolume over de periode 2006-2010 ($V_{\text{tot, min}}$) wordt geëxtrapoleerd vanaf het laatst gemeten geulvolume voor de derde verruiming, $V_{\text{tot, 2009}}$.
- De standaarddeviatie van het geulvolume over de periode 2006-2010, $NV(i)$, wordt vervangen door
 - de meest recente trend in het geulvolume, $\text{trend } V(i) \cdot t$ én
 - twee keer de standaarddeviatie (95% van de variatie valt hierbinnen) rond het 'natuurlijke' geulvolume V_{net} (dus zonder de invloed van ingrepen), $2 \cdot \text{standaarddeviatie } V_{\text{net}}(i)$.
- De theoretische stortcapaciteit van de geul, $SC_{\text{geul}}(i) \cdot t$, wordt voor bepaalde beleidskeuzen meegenomen in de koerslijn en bepaald als het product van het aantal jaren na start van de derde verruiming en de berekende theoretische, jaarlijkse stortcapaciteit.
- Voor het bepalen van de ondergrens behorend bij de koerslijn wordt, naast het meenemen van de standaarddeviatie, nog het deel plaatrandstorting dat mag/moet blijven liggen in mindering gebracht.
- De nieuwe basisdefinitie kan voor zowel nevengeulen als hoofdgeulen worden gebruikt. Naast een ondergrens kan op een vergelijkbare (eenvoudige) manier ook een bovengrens worden gedefinieerd.

De trend die in deze definitie wordt gebruikt, wordt objectief gekozen op basis van een analyse van de geulvolumina, die ook de trendbreuken objectief vast stelt (zie bijlage B). Met deze basisdefinitie worden in hoofdstuk 5 *ter illustratie* verschillende beleidskeuzen en samenhangende ondergrenzen uitgewerkt. Deze uitwerking is gebaseerd op resultaten uit de hoofdstukken 3 en 4. Diverse analyses liggen ten grondslag aan de uitwerking van de verbeterpunten. Een beschrijving van de aanpak en alle resultaten van deze analyses zijn opgenomen in 12 bijlagen, waar Tabel 2.5 samenvattend een overzicht van geeft.

Tabel 2.5 Overzicht van alle uitgevoerde analyses zoals opgenomen in de bijlagen en gebruikt voor de samenstelling van dit rapport.

Bijlage		Toelichting doel, belangrijkste conclusie en gebruik
A	Herkomst getallen vergunning	De waarden voor stortruimte in de vergunning (Tabel 2.1 en 2.2, §2.1) zijn ontleend aan de m.e.r. studie, maar zijn in de praktijk niet eenvoudig uit het MER te reconstrueren. De reconstructie is in deze bijlage vastgelegd.
B	Bepalen van trends en fluctuaties in het geulvolume	Een objectieve bepaling van knikpunten en deeltrends, inclusief fluctuaties, in de tijdreeksen van de geulvolumina, als basis voor het kiezen van referentieperioden en definiëren van generiek bepaalde referentieperioden per geul en macrocel. Uit een gevoeligheidsanalyse van de methode blijkt dat een periode van <i>minimaal</i> 5 jaar optimaal is voor het bepalen van knikpunten en trends. De resultaten van deze analyse vormen de basis voor bijlage C en daarmee bijlagen F, G en L.
C	Opgetreden trends en kwalificatie ingrepen	Een analyse en kwalificatie van de tendensen in geulontwikkeling op basis van gemeten volumeveranderingen van 1955 tot 2011. Deze analyse is qua methode vergelijkbaar met een eerdere publicatie (Jeuken & Wang, 2010) en is ook opgenomen in de Evaluatiemethodiek. Belangrijkste verschillen met de eerdere studies zijn: een langere meetreeks (1955 tot 2011) en het gebruik van een objectieve methode voor de bepaling van trends.
D	Analyse volumeveranderingen Middelgat en Everingen	Een specifieke analyse van de geulontwikkelingen in de drempelgebieden van het Middelgat en de Everingen illustreert het belang van meer toegespitste analyses om veranderingen in geulvolume te kunnen <i>begrijpen</i> . De analyseresultaten laat zien waarom de sedimentatie in het gebied van plastrandstortingen langs de Rug van Baarland zo veel sterker is dan in de andere gebieden met plastrandstortingen en dat de analyse van de nieuwe gegevens (sinds 1997) past in een bestaand conceptueel model voor het gedrag van kortsluitgeulen (Jeuken, 2000).
E	Bruto sedimenttransporten	Een analyse van de temporele en ruimtelijke variaties in het bruto sedimenttransport per macrocel. Deze analyse laat zien dat temporele variaties in het bruto sedimenttransport, tussen 2011, 2006, 1996, 1983 en 1973, in de meeste cellen klein zijn in vergelijking tot ruimtelijke variaties (in een geul, tussen geulen en tussen macrocellen). Alleen in macrocel 5 nemen de bruto transporten tussen 1980 en 2010 met een factor 2 à 3 af. Het is niet nodig om voor iedere vergunningsperiode voor alle macrocellen de bruto sedimenttransporten opnieuw te bepalen. Daarnaast zijn de opnieuw berekende bruto transporten vergeleken met de waarden bepaald tijdens de eerste LTV-studie (Winterwerp et al., 2000) en FINEL2d berekeningen: de nieuw berekende Delft3D transporten zijn tot 50% kleiner. Er zijn meerdere oorzaken voor dit verschil.
F	Verificatie	Verificatie van de praktische richtlijn voor de stortcapaciteit, op een

	richtlijn stortcapaciteit geulen	vergelijkbare wijze als in Jeuken & Wang (2010). De verificatie laat zien dat de praktische richtlijn gebruikt kan worden voor het bepalen van de theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen van de Westerschelde, ook als wordt gewerkt met de trends uit bijlage B en de nieuwe Delft3D transporten uit bijlage E. Hierbij is gewerkt met de transporten uit 2006, omdat dit jaar vóór de derde verruiming valt en dit model het beste gekalibreerd is. Belangrijke opmerking hierbij is dat de feitelijke stortruimte in de geulen, zoals opgenomen in de vergunningen, kan afwijken van de theoretische richtlijn voor de stortcapaciteit door gebruik te maken van aanvullende systeemkennis.
G	Toepassen van de richtlijn stortcapaciteit	Op basis van de resultaten in bijlage B, C, E en F is de theoretische stortcapaciteit van de nevengeulen bepaald en vergeleken met de gestorte volumes. Na de tweede verruiming zijn uitgevoerde stortingen veelal kleiner of gelijk geweest aan de theoretische stortcapaciteit, met uitzondering van nevengeul Middelgat in macrocel 4. De nieuw bepaalde theoretische stortcapaciteit wordt gebruikt voor het implementeren van de beleidskeuzescenario's in hoofdstuk 5 en bijlage L.
H	Analyse uitgevoerde plaatrandstortingen	Op basis van gedetailleerde peilingen en stortgegevens is nagegaan in welke dieptezone de plaatrandstortingen van Rug van Baarland en Hooge Platen Noord initieel zijn uitgevoerd. Qua dieptebereik worden deze plaatrandstortingen initieel uitgevoerd in een deel van de geul (aanlegdiepte NAP -7.5m en NAP -11m). Deze uitvoering heeft te maken met opgelegde operationele werkwijzen (geen rainbowen, minimale waterdiepte van 5m benodigd om te kunnen kleppen).
I	Initiële fysische effecten van plaatrandstortingen in vergelijking tot geulstortingen – case Middelgat	Analyses van hydrodynamische FINEL2d berekeningen waarin een bodem met en zonder uitgevoerde plaatrandstorting is gebruikt. Vervolgens is hetzelfde stortvolume niet in de plaatrandzone maar in het ernaast gelegen diepere geuldeel gestort. Analyses richten zich op het bepalen van effecten op de debietverdeling tussen geulen en binnen de geul waar gestort wordt en de bruto sedimenttransporten. Een plaatrandstorting langs Rug van Baarland verschilt niet wezenlijk van een vergelijkbare storting in het diepere geuldeel. Een aspect dat wel belang is, is dat de plaatrandstorting er voor zorgt dat de vloedstroom minder oversteekt over het intergetijdengebied en meer de nevengeul volgt (een beoogd effect).
J	Van brutotransporten naar transportcapaciteit	In deze bijlage worden de berekende bruto sedimenttransporten uit bijlage E en uit de eerste LTV-studie (Winterwerp et al. 2000) omgerekend naar een sedimenttransportcapaciteit. Bij deze omrekening wordt de porositeit en de representatieve korrelgrootte per macrocel in rekening gebracht om tot een transport in in-situ kuubs te komen.
K	Invloed van het referentieniveau	Om naast praktische en ecologische overwegingen ook een fysische overweging voor de keuze van het referentievlak te hebben, is nagegaan hoe verschillende dieptezones bijdragen aan het totale debiet en bruto sedimenttransport door een geul. Daarnaast zijn de tijdreeksen van het geulvolume en de gemiddelde diepte t.o.v. NAP -5m en NAP -2m met elkaar vergeleken; de verschillen in trends zijn gering, zo niet verwaarloosbaar.
L	Simulatie koerslijnen en ondergrenzen	Deze bijlage bevat een uitwerking van de nieuwe ondergrensdefinitie voor de nevengeulen met bijbehorende koerslijnen voor beleid. Een vergelijkbare uitwerking kan in principe ook worden gemaakt voor de hoofdgeulen.

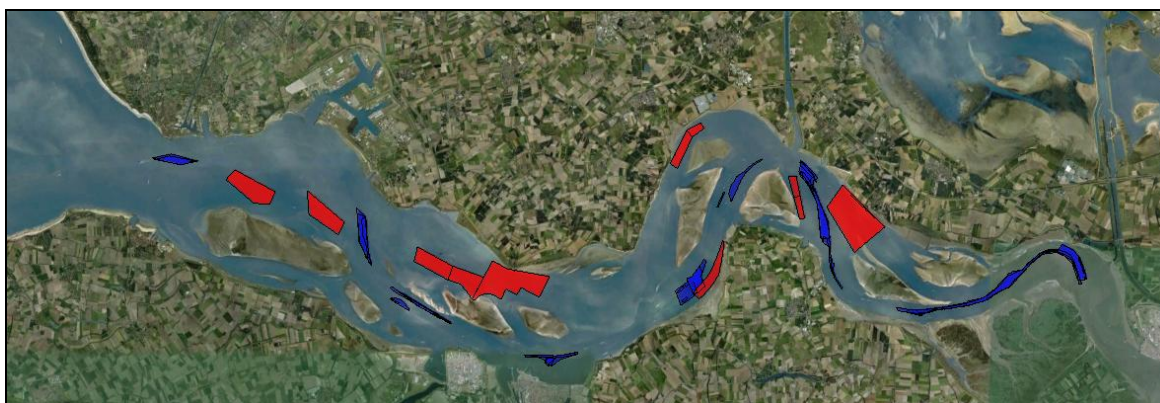
3 Effecten van baggeren en storten in geulen en langs plaatranden

3.1 Inleiding

Om de nieuwe definitie voor grenzen in de geulontwikkeling te kunnen implementeren, moeten trends en fluctuaties in de geulvolumina worden afgeleid. Ook moet duidelijk zijn wanneer de theoretische stortcapaciteit voor geulen en/of plaatranden moet worden meegewogen. Hiertoe moeten de volgende vragen worden beantwoord:

- 1 Wat zijn de meest recente ontwikkelingstendensen van het geulsysteem (tot 2010) en hoe zijn deze kwalitatief beïnvloed door storten en/of baggeren (§ 3.2 en Figuur 3.1)?
- 2 Wat is de invloed van deze ontwikkelingstendensen op de theoretische stortcapaciteit (§ 3.3)?
- 3 Is een storting langs een plaatrand vanuit fysisch oogpunt een ander type ingreep dan een storting in een geul (§ 3.4)?
- 4 Wat zijn de implicaties van de antwoorden op de vragen 1, 2 en 3 voor de invulling van Flexibel Storten (§ 3.5):

Om de eerste vraag te kunnen beantwoorden zijn gemeten volumeveranderingen tot 2010 van alle macrocellen in de Westerschelde geanalyseerd (bijlagen B, C). Vervolgens is gekeken wat de invloed van de recente ontwikkelingen is op de theoretische stortcapaciteit, door te kijken naar de kwalificatie van de ontwikkelingstendensen, waarmee de theoretische stortcapaciteit wordt afgeleid (bijlage F en G), en de bruto sedimenttransporten (bijlage E). Dit beantwoordt de tweede vraag. Voor de derde vraag is een verkennende modelstudie uitgevoerd gericht op de uitgevoerde plaatrandstortingen langs de Rug van Baarland in macrocel 4 (RvB in Figuur 1.1), zie bijlage I. De modelstudie bestaat uit hydrodynamische en sedimenttransport berekeningen (offline, dus geen dynamische morfologische berekeningen). Voorafgaand aan de modelstudie is een gerichte analyse van de gemeten bodemliggingen en stortgegevens in dit gebied uitgevoerd (bijlage D en H). De vierde vraag wordt beantwoord in de discussie die volgt in §3.5.



Figuur 3.1 Stortvakken (rood) en baggervakken in de vergunning 2006-2010. Voor verschillen met locaties volgens huidige vergunning, vergelijk met Figuur 1.1.

3.2 Recente ontwikkelingstendensen en invloed ingrepen

Deze paragraaf geeft een beknopt antwoord op de vraag: Wat zijn de meest recente ontwikkelingstendensen van het geulsysteem (tot 2010) en hoe zijn deze kwalitatief beïnvloed door storten en/of baggeren? De toegepaste methode, op basis van volumeveranderingen, is kort beschreven in het Intermezzo (voor een uitgebreider overzicht zie Bijlage C)

Intermezzo - Bepaling van de invloed van netto ingrepen op volumeveranderingen

Doel van de analyse is het vaststellen van de ontwikkeling van de geulen en de invloed van ingrepen hierop. De analyse richt zich op de lineaire (deel)trends in:

- het gemeten volume van de geulen, V_{tot} , zoals afgeleid uit de dieptekaarten;
- het cumulatieve netto volume van menselijke ingrepen ΣV_i (som van baggeren (+) en storten (-)) en
- het volume van de geulen gecorrigeerd voor de som van de menselijke ingrepen, V_{net} , als het ware de 'maximaal mogelijke natuurlijke' of 'netto' volumeontwikkeling. Het netto volume is gedefinieerd als het totale volume zoals dat volgt uit de vaklodingen minus de cumulatieve ingrepen: $V_{net} = V_{tot} - \Sigma V_i$.

Voor zowel V_{tot} als V_{net} en zowel voor de hoofd- als nevengeul wordt de volumeverandering tussen twee opeenvolgende jaren berekend (op basis van trends en de oorspronkelijke tijdreeksen). Als de volumeverandering een positief teken heeft, neemt het natte volume toe en is er sprake van erosie. Bij een negatieve volumeverandering is sedimentatie opgetreden. Als de absolute waarde van de volumeverandering kleiner is dan 0.1 miljoen m^3 , wordt het geulvolume als stabiel beschouwd (~ 0). Op basis van deze volumeveranderingen (+ voor erosie, - voor sedimentatie en 0 voor een absolute verandering kleiner dan 0.1 miljoen m^3), worden de trends in de hoofd- en nevengeulen als volgt geclassificeerd op basis van ΔV_{tot} en ΔV_{net} (zie Bijlage C, Figuur C.1 voor een principe schets):

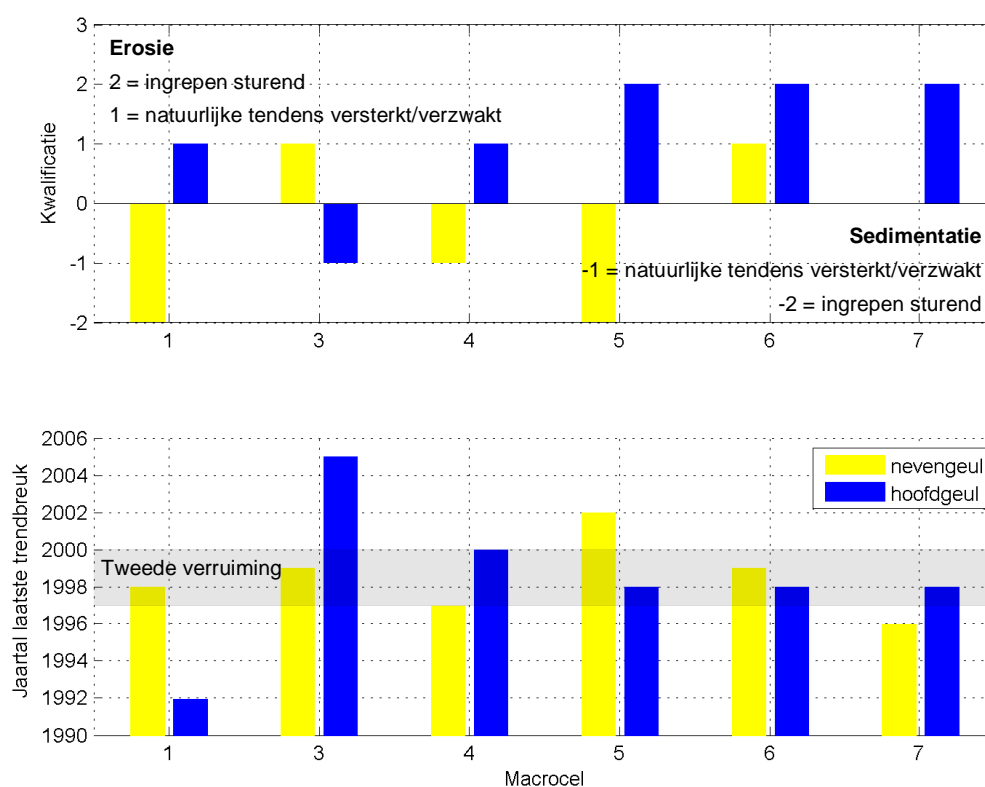
Code	Omschrijving van de kwalificatie	ΔV_{tot}	ΔV_{net}
0	Evenwicht (geen verandering, geen netto baggeren of storten)	0	0
3	Stabiel, ondanks/dankzij netto baggeren of storten	0	+ of -
-1	Natuurlijke tendens tot sedimentatie, versterkt/verzwakt door netto baggeren of storten	-	-
-2	Sedimentatie, gestuurd door storten	-	0 of +
1	Natuurlijke tendens tot erosie, versterkt/verzwakt door netto baggeren of storten	+	+
2	Erosie, gestuurd door netto baggeren	+	0 of -

Deze analyse wordt toegepast op de schaal van individuele hoofd- en nevengeulen en geeft inzicht in directe effecten van eventuele ingrepen in de geul. Indirecte effecten, als gevolg van ontwikkelingen en ingrepen in aangrenzende geulen volgen hier niet uit; dit vraagt om aanvullende analyses. Ook kan het voorkomen dat directe ingrepen op de schaal van de geul als geheel nog niet zichtbaar zijn maar op kleinere schaal wel; dit volgt uit aanvullende vergelijkbare analyses op kleinere schaal.

Recente algemene ontwikkelingstendensen

Figuur 3.2 geeft een kwalitatieve synthese van de meest recente ontwikkelingstendensen van de hoofd- en nevengeulen in alle macrocellen. Het volgend valt hierin op:

- In praktisch alle geulen, op de hoofdgeulen in macrocel 1 en 3 na, wordt een trendbreuk rond de tweede verruiming van de vaargeul in de Westerschelde tussen 1997 en 2000 vastgesteld (Figuur 3.2).
- (Voortgaande) uitruiming van de hoofdgeulen in de macrocellen 5, 6 en 7 in het oostelijk deel van de Westerschelde, gestuurd door netto baggeren.

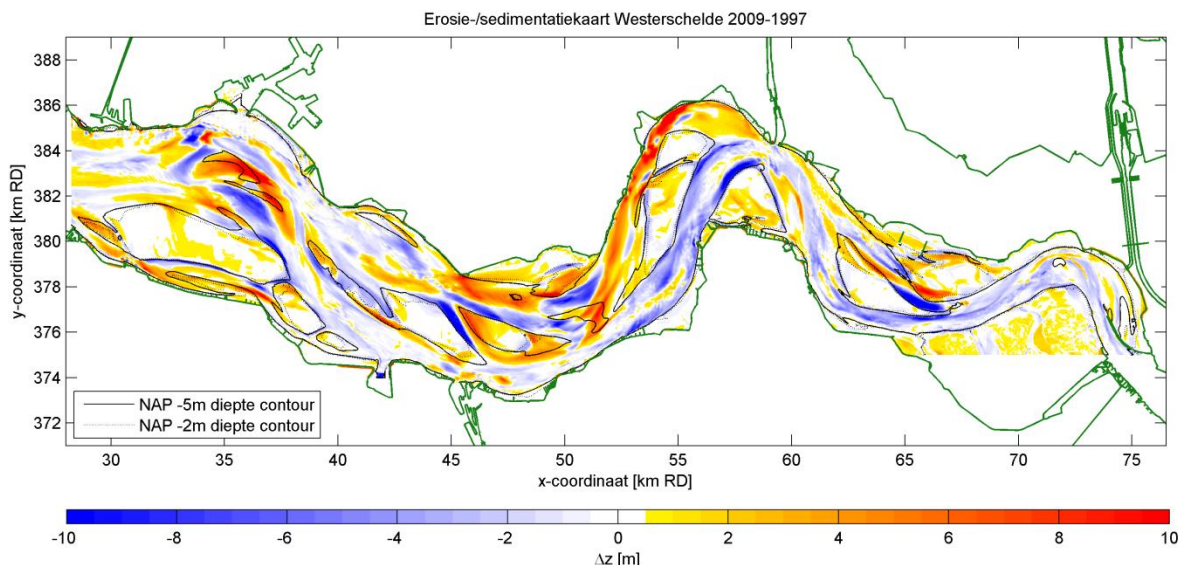


Figuur 3.2 Kwalitatieve samenvatting van de meest recente ontwikkelingstendensen van de hoofd- en nevengeul per macrocel. Bovenste figuur kwalificatie o.b.v. meest recente trend (uitleg getalscode in Intermezzo). Onderste figuur startjaar laatste trend in V_{tot} . Grijsce arcering heeft de tweede verzuivering aan.

- Verzwakking en versterking van 'natuurlijke' ontwikkelingstendensen in de neven- en hoofdgeulen van de macrocellen 3 en 4, sinds de tweede vaargeulverzuivering en invoering van de oost-west stortstrategie. Deze strategie houdt in dat baggerspecie uit de vaargeul in het oostelijk deel van de Westerschelde naar meer westelijk gelegen macrocellen wordt verplaatst.
- De historische tijdreeksen van V_{tot} en V_{net} duiden op een duidelijk zichtbare invloed van de oost-west strategie in de macrocellen 1, 3 en 4:
 - In de nevengeul van macrocel 1 is er sprake van een trendbreuk (tekenverandering van ΔV_{tot} , bijlage C, Figuur C.2) als gevolg van (intensiever) storten.
 - In de nevengeul van macrocel 3 gaan de incidenteel grote stortingen tijdens de tweede verzuivering, gepaard met een meetbare sedimentatie op geulniveau (Figuur 3.3, bijlage C, Figuur C.4).
 - Een forse versterking van de historisch, grotendeels natuurlijke, ontwikkeling in zowel de nevengeul als de hoofdgeul van macrocel 4; zie onder.
 - In macrocel 5 zou het logisch zijn geweest als de oostwest strategie gepaard zou zijn gegaan met een kleinere invloed van ingrepen (versterkend i.p.v. sturend). Nadere analyse van ingrepen suggereert dat de aanleg van de strekdammen voor de schorren van Waarde in 2003 heeft bijgedragen aan deopgetreden sedimentatietendens. Daarnaast lijkt ook de degeneratie van de Zimmermangeul te hebben bijgedragen aan de netto sedimentatie. Een nadere analyse van de volumeontwikkeling van alleen de schaar van Valkenisse en Zimmermangeul kan hierover uitsluitsel geven.

Een vergelijking van de volumeveranderingen met opeenvolgende series van diepte kaarten en erosie- en sedimentatiekaarten wijst op een samenhang tussen de dynamiek van kortsluitgeulen (zie Figuur 1.2) en de ontwikkeling van hoofd- en/of nevengeul op de volgende locaties:

- In het drempelgebied van de nevengeul in macrocel 1 en de ontwikkeling (geringe erosie) van de hoofdgeul van macrocel 1 tussen 1991 en 2003; Het begin van deze recente erosietrend van de hoofdgeul valt samen met het moment waarop de 'eerste' migrerende kortsluitgeul 'Ebschaar van de Spijkerplaat' (een drempelgeul waar gestort wordt) in 1993 vanuit het drempelgebied van de nevengeul, de hoofdgeul in migreert en volledig degenereert (in 2003).
- In het drempelgebied van de nevengeul Everingen in macrocel 3 en de sedimentatie in de nevengeul Middelgat van macrocel 4 (bijlage D). Veranderingen in het patroon van kortsluitgeulen in het drempelgebied van de nevengeul Everingen gaan gepaard met afwisselende perioden van sedimentatie en erosie. Vooral de perioden van erosie gaan gepaard met extra sedimentatie in het Middelgat. De recente erosietendens (sinds 1999) valt samen met het ontstaan van een nieuw, krachtig ontwikkeld patroon van kortsluitgeulen in de drempel van de Everingen, dat erosie en sediment afvoer richting het Middelgat bevordert (Bijlage D, Jeuken, 2000). Deze ontwikkelingen lijken gepaard te gaan met een afname van het doorstroomoppervlak van de kortsluitgeul Zuid-Everingen die het complex Middelplaat doorkruist.



Figuur 3.3 Erosie-/sedimentatiekaart 2009 minus 1997.

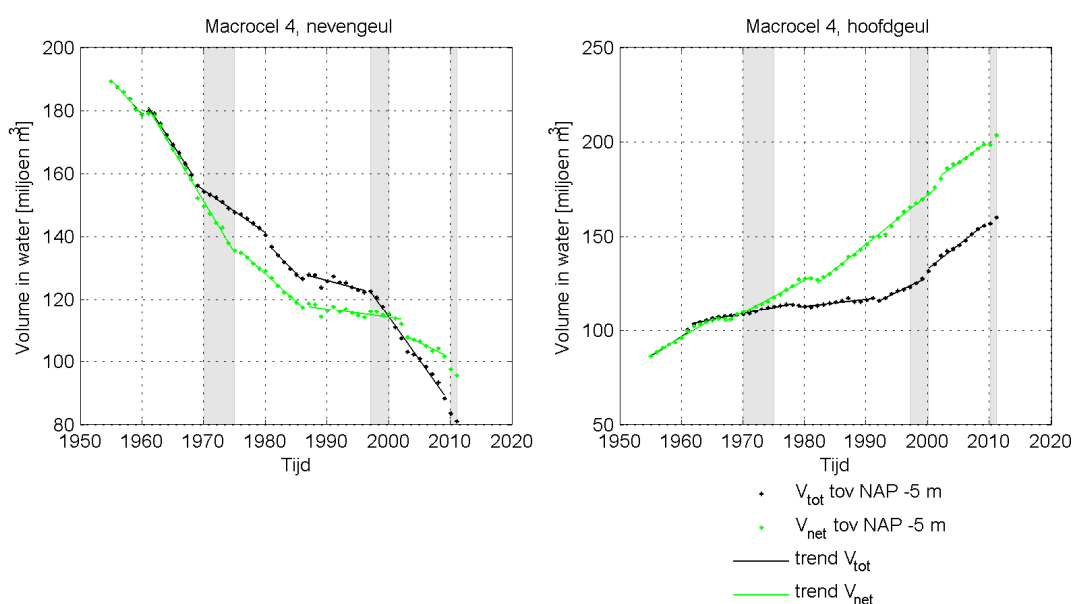
Macrocel 4 - uitgelicht

Figuur 3.4 en Figuur 3.5 tonen, ter aanvulling en ter illustratie, de complete set met analyse resultaten voor de nevengeul Middelgat en hoofdgeul Gat van Ossensisse in macrocel 4. De tijdreeksen van V_{tot} , ΣV_i en V_{net} en trendlijnen in Figuur 3.4, als basis analyse resultaat. Het bovenste deel van Figuur 3.5 geeft de kwalificatie van de ontwikkeling van de nevengeul weer; Ingrepen kunnen de ontwikkelingstendens versterken of afzwakken (kwalificatie ± 1), maar ook sturen (kwalificatie ± 2 , zie Intermezzo). De middelste twee figuren tonen de jaarlijkse veranderingen en trends. Het onderste figuur toont de theoretische stortcapaciteit in de nevengeul zoals die volgt uit de geverifieerde richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit samen met de jaarlijkse ingrepen.

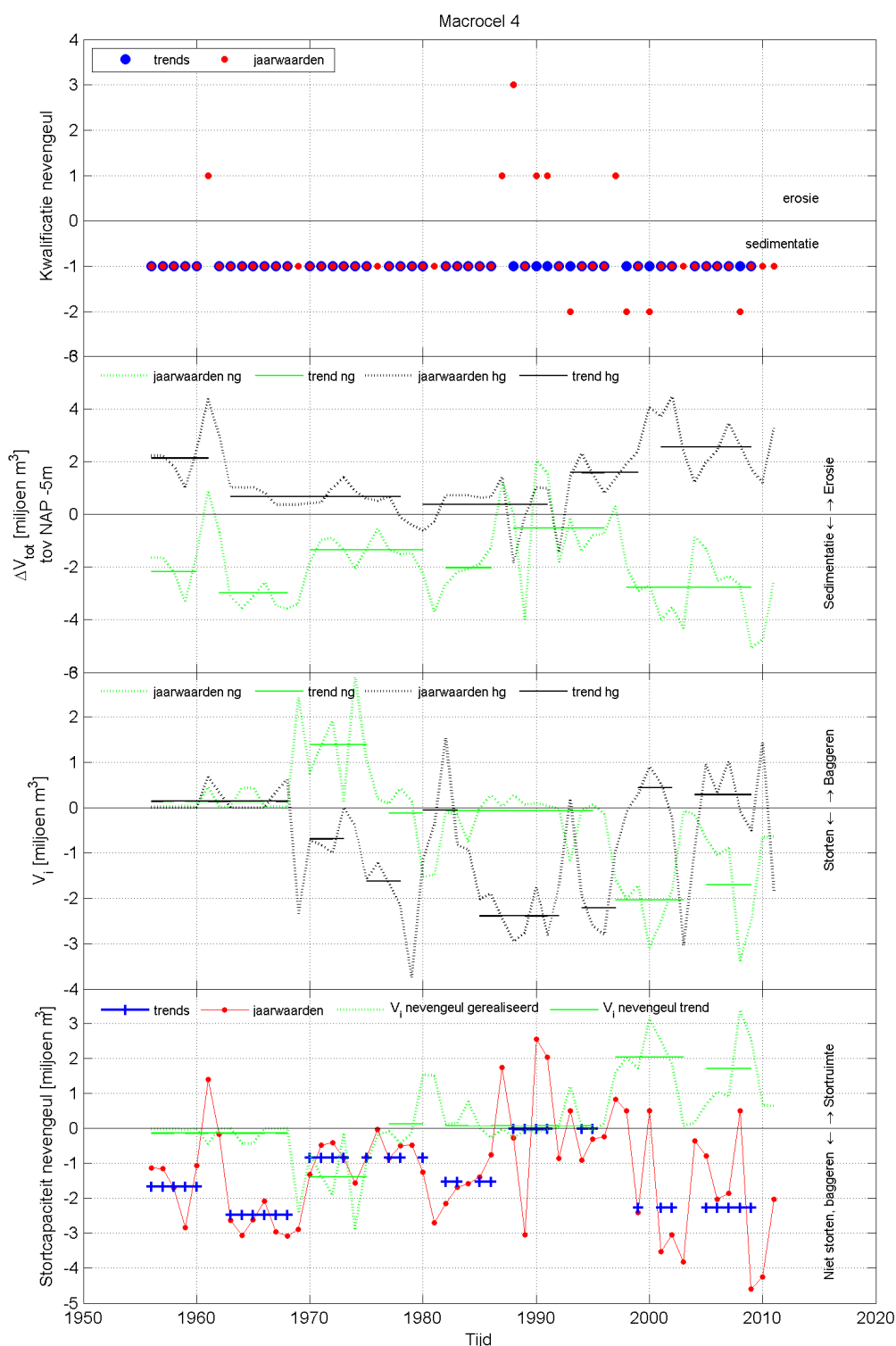
Meer specifiek kan de historische ontwikkeling van de geulvolumina en de ingrepen van de neven- en hoofdgeul in macrocel 4 als volgt worden geïnterpreteerd: Na de bochtafsnijding van de ebgeul Middelgat in 1951 zette de al langer optredende sedimentatie in het Middelgat (sinds 1981 de nevengeul) en de erosie van de vloedgeul (hoofdgeul) door, met relatief grote erosie- en sedimentatiesnelheden in de orde van 2-3 miljoen m^3 /jaar tot 1960. Wat de tijdreeksen van V_{tot} (Figuur 3.4) en de trends in ΔV_{tot} (Figuur 3.5) duidelijk laten zien is een geleidelijke afname van de erosie- en sedimentatiesnelheden tot circa 0.5 miljoen m^3 /jaar tussen 1955 en de eerste helft van de jaren negentig. Dit duidt op het ontstaan van een nieuwe evenwichtssituatie. Deze situatie verandert tussen 1997 en 2010 abrupt en sterk:

- De sedimentatie in de nevengeul heeft tussen 1997 en 2010 een forse nieuwe impuls gekregen door netto stortingen van in totaal 22 miljoen m^3 . De totale sedimentatie in die periode bedraagt een kleine 40 miljoen m^3 . De sedimentatiesnelheid is in de periode 1997-2010 met meer dan een factor 5 toegenomen ten opzichte van de voorlaatste trend periode 1986-1996. Lineaire extrapolatie van de trend over de periode 1986-1996 suggereert dat zonder deze stortingen het geulvolume anno 2010 vermoedelijk ergens rond 2080 zou zijn bereikt.
- De erosie van de vloedgeul neemt begin jaren negentig duidelijk toe, om vervolgens vanaf de tweede verruiming versterkt toe te nemen. Tussen 1997 en 2010 wordt gemiddeld netto gebaggerd, terwijl in de periode 1983-1997 juist veel netto gestort werd.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de tweede verruiming en het onderhoud van de vaargeul tussen 1997 en 2010 tot grote veranderingen (trendbreuken) in macrocel 4 hebben geleid: de ontwikkelingstendens waarbij halverwege de jaren negentig een nieuwe dynamische evenwichtssituatie was ontstaan is verstoord en ging gepaard met een sterke sedimentatie in de nevengeul en erosie van de hoofdgeul. Sinds de derde verruiming is er niet meer gestort in de nevengeulzone van het Middelgat, maar wel in de plaatrandzone. De tijdreeksen sinds 2010 zijn echter nog te kort om te kunnen beoordelen of de sedimentatie en erosiesnelheden in de geulen hierdoor weer veranderen.



Figuur 3.4 Tijdreeksen van V_{tot} (zwart) en V_{net} (groen) in de nevengeul (sinds 1981 Middelgat) en de hoofdgeul (sinds 1981 Gat van Ossensisse, Overloop van Hansweert). Trends toegevoegd voor de periode 1955-2009. Grijs arcering geeft de verdiepingsperioden aan.

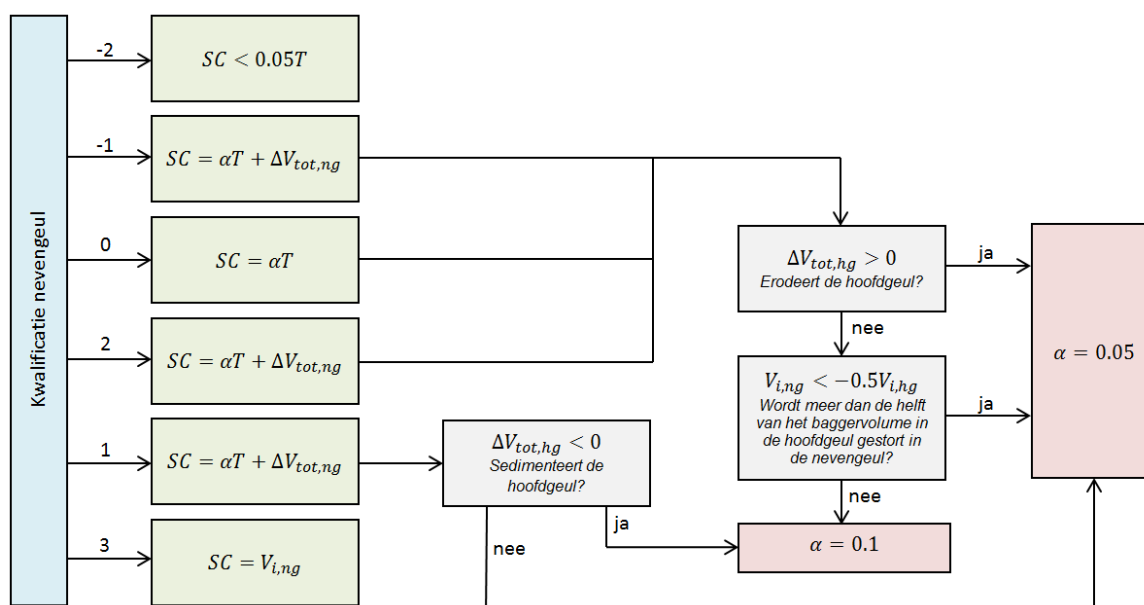


Figuur 3.5 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in ΔV_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), theoretische stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). De afleiding van de theoretische stortcapaciteit wordt toegelicht in § **Error!** Reference source not found..

3.3 Theoretische stortcapaciteit

Op basis van de kwalificatie van de geulen, de ontwikkelingen in V_{tot} en de sedimenttransportcapaciteit wordt een theoretische stortcapaciteit afgeleid, die is weergegeven in het onderste paneel van Figuur 3.5. Deze theoretische stortcapaciteit geeft het stortvolume aan, wat in één geul van een tweegeulensysteem kan worden gestort, waarbij beide geulen open blijven. De theoretische basis om dit te voorspellen is gelegd in Wang en Winterwerp (2001). De theorie is geverifieerd voor de Westerschelde door Jeuken en Wang (2010), waarbij ook richtlijnen zijn gegeven voor de praktische toepassing. In bijlage F is de praktische richtlijn voor storten in de nevengeul geverifieerd voor de gehele meetperiode 1955-2011. De meetgegevens die zijn gebruikt in Jeuken en Wang (2010) zijn daarmee met ca. een decennium uitgebreid. De verificatie is uitgevoerd voor zowel de originele tijdreeksen, als de gereconstrueerde tijdreeksen op basis van trends (t/m 2009). Hieruit volgt dat de praktische richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit uit Jeuken & Wang (2010) ook toepasbaar is als met trends wordt gewerkt.

De stortcapaciteit van een tweegeulensysteem wat in evenwicht is, is gerelateerd aan de sedimenttransportcapaciteit. De stortcapaciteit (Figuur 3.6, zie ook bijlage F en G) wordt bepaald door een percentage van de transportcapaciteit te nemen. Het percentage bedraagt 5 of 10%, afhankelijk van de ontwikkeling van de hoofdgeul en de rol van ingrepen: Als de hoofdgeul erodeert of als er in de nevengeul een volume wordt gestort wat meer dan de helft van het baggervolume in de hoofdgeul bedraagt, moet 5% worden aangehouden (Jeuken en Wang, 2010). In een 'van nature' eroderende geul is de stortcapaciteit groter, en in een 'van nature' sedimenterende geul is de stortcapaciteit kleiner. Dit wordt in rekening gebracht door de volumeverandering van de geul, ΔV_{tot} , op te tellen bij de theoretische stortcapaciteit.



Figuur 3.6 Stroomschema voor afleiding van de stortcapaciteit. Een stortcapaciteit afleiden voor een nevengeul met kwalificatie 2 (uitruiming als gevolg van baggeren) is een hypothetisch geval.

De theoretische stortcapaciteit wordt dus beïnvloed door de recente ontwikkelingstendensen. De theoretische stortcapaciteit die als achtergrond heeft gediend voor de huidige vergunning (zie Basisrapport Morfologie) was gebaseerd op trends in V_{tot} in de periode 1990-2002. Zoals eerder omschreven, is in de meeste geulen rond 1997 een trendbreuk opgetreden. Hierdoor verandert de theoretische stortcapaciteit in de geulen. De sedimenttransportcapaciteit bepaalt

mede de grootte van de theoretische stortcapaciteit en kan ook worden beïnvloed door ontwikkelingen in het geulvolume. Alle drie aspecten die van invloed zijn op de theoretische stortcapaciteit (kwalificatie/percentage, ΔV_{tot} en de sedimenttransportcapaciteit) worden in deze paragraaf besproken in relatie tot de meest recente ontwikkelingstendenzen (tot 2010) van de geulen.

3.3.1 Invloed kwalificatie en verandering van het geulvolume

Ten opzichte van de theoretische stortcapaciteit die de basis vormde voor de gedefinieerde stortruimte in de vorige vergunning (2010-2015), treden veranderingen op door de ontwikkelingen in macrocel 1, 3 en 5.

De meeste recente trend (1997-2009) laat zien dat de ontwikkeling in macrocel 1 gestuurd wordt door storten. Hierdoor is de theoretische stortcapaciteit 5% van de transportcapaciteit en moet het sedimentatievolume in mindering worden gebracht. In de periode hieraan voorafgaand was de theoretische stortcapaciteit groter, omdat de nevengeul (ondanks stortingen) erodeerde. Daarom mocht het erosievolume opgeteld worden bij de stortcapaciteit. Omdat zowel de hoofdgeul als de nevengeul erodeerde, was ook het 5%-criterium van kracht,

Voor macrocel 3 laat de meest recente trend (2004-1009) zien dat de nevengeul erodeert, ondanks stortingen. Hierdoor bedraagt de theoretische stortcapaciteit 10% van de transportcapaciteit, vermeerderd met het jaarlijks erosievolume. In de trendperiode hieraan voorafgaand erodeert de hoofdgeul, waardoor het 5%-criterium van kracht was. Hier hebben de recente morfologische ontwikkelingen er dus toe geleid dat de theoretische stortcapaciteit groter is geworden.

Tot ongeveer de millenniumwisseling erodeerde de nevengeul van macrocel 5. Omdat er gebaggerd werd in de hoofdgeul, mocht 5% van de transportcapaciteit in rekening worden gebracht, vermeerderd met het erosievolume. Omdat het nevengeulengebied tegenwoordig (weer) sedimenteert (onder invloed van storten en waarschijnlijk de aanleg van strekdammen), vervalt het erosievolume.

In macrocel 7 is de richtlijn voor stortcapaciteit eigenlijk niet van toepassing, omdat de macrocel wordt begrensd door een leidam, waardoor deze anders dan andere macrocellen functioneert. De theoretische stortcapaciteit is ook kleiner geworden, omdat de nevengeul in evenwicht is gekomen, terwijl de nevengeul eerst nog erodeerde. Daardoor mag het erosievolume niet meer bij de theoretische stortcapaciteit opgeteld worden. In de nevengeulen van macrocel 6 en 7 wordt om praktische redenen niet gestort, hoewel er volgens de richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit wel ruimte is om te storten. Alleen in macrocel 6 ligt een stortvak, dat nauwelijks gebruikt wordt omdat de zone relatief ondiep is. Bovendien is de inschatting dat daar gestort materiaal zich te snel weer naar de drempels verplaatst die onderhouden moeten worden.

Samenvattend kan worden gesteld dat de theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen van de meeste macrocellen kleiner is geworden door de recente trends in geulontwikkeling (tot 2010), behalve in macrocel 3 en 6. Volgens de richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit is en was er in macrocel 4 geen ruimte om (langdurig) te storten. De historische ontwikkeling van de theoretische stortcapaciteit wordt toegelicht in bijlage G.

3.3.2 Invloed bruto sedimenttransporten

Zoals eerder gesteld wordt de theoretische stortcapaciteit niet alleen direct beïnvloed door de ontwikkelingstendensen, maar ook via de sedimenttransportcapaciteit ofwel de bruto sedimenttransporten (zie bijlage E en J). In § 3.2 is toegelicht dat het oostelijk deel van de Westerschelde (macrocellen 5, 6 en 7) ruimer is geworden. Aan de ene kant kan hierdoor het getij verder doordringen in het estuarium, waardoor de stroomsnelheden en daarmee de bruto sedimenttransporten omhoog gaan. Aan de andere kant kunnen de geulen 'te ruim' zijn geworden voor het getijvolume, waardoor de stroomsnelheden en de transporten kunnen verkleinen. De verhouding tussen het getijvolume en het doorstroomoppervlak is de getijweglengte, en dit is een maat voor de stroomsnelheid. Deze is uitgerekend voor modelsimulaties met verschillende historische bodemliggingen. Hieruit blijkt dat de getijweglengte voor de hoofdgeul van macrocel 5 en 6 en de nevengeul van macrocel 5 is afgenomen in de tijd; de geulen zijn te ruim voor de hoeveelheid water die er per getij doorheen stroomt. De bruto sedimenttransporten in macrocel 5 zijn daarom ook afgenomen. In macrocel 6 zijn de bruto transporten redelijk constant de laatste decennia. In macrocel 4 is het bruto sedimenttransport iets afgenomen in de tijd, in macrocel 3 heel licht toegenomen en in macrocel 1 sterk toegenomen. Dit komt redelijk overeen met de ontwikkeling van de getijweglengte in de tijd. In de meeste gevallen leidt een toename van de getijweglengte dus tot een toename van het bruto sedimenttransport en andersom.

De bruto sedimenttransporten, en daarmee de transportcapaciteit, is toegenomen in het westelijk deel van de Westerschelde en afgenomen in het oostelijk deel. Hierdoor zal de theoretische stortcapaciteit ook navenant wijzigen.

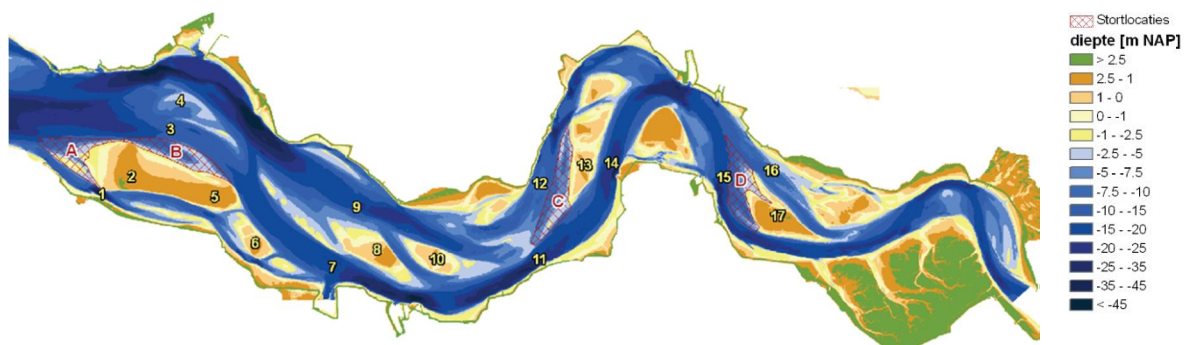
Voor de huidige studie zijn de sedimenttransporten opnieuw berekend, zowel met FINEL2d als met Delft3D. Toegenomen rekenkracht in het afgelopen decennium heeft ertoe geleid dat de sedimenttransporten kunnen worden berekend door extrapolatie van een volledige springtij-doodtij cyclus, terwijl in Winterwerp et al. (2000) extrapolatie vanaf een morfologisch getij werd gebruikt. Ook is de gevoeligheid van de sedimenttransportformulering (Van Rijn 2007 of Engelund-Hansen) getest. Bijlage E licht de verschillen in bruto sedimenttransporten uitgebreid toe. Het blijkt dat de bruto sedimenttransporten, berekend met de huidige bodem, met Delft3D, een factor 2 tot 3 kleiner zijn dan de transporten berekend in Winterwerp et al. (2000). De belangrijkste oorzaken hiervan zijn de extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus ten opzichte van een morfologisch getij en afname van de transporten in de tijd (geldt vooral voor macrocel 5). Daarnaast laten de berekeningen zien dat er grote ruimtelijke variatie zit in de bruto sedimenttransporten binnen een geul. Dit gegeven kan worden gebruikt om de stortstrategie en de stortruimte te optimaliseren.

3.4 Flexibel Storten langs plaatranden: Initiële fysische effecten – case Middelgat

Plaatrandstortingen worden op twee verschillende wijzen vorm gegeven: 1) stortingen in een bijna hoefijzervormig gebied waar plaatpunten eroderen en 2) langs de plaatrand in nevengeulen. De plaatrandstortingen langs de westpunt van de Hooge Platen en de Plaat van Walsoorden behoren tot de eerste categorie (gebieden A en D in Figuur 3.7). Deze stortingen richten zich op reduceren van de stroomsnelheden door het lokaal verhogen van de bodem. De plaatrandstortingen langs de noordkant van de Hooge Platen en de Rug van Baarland (aangeduid met B en C in Figuur 3.7) vallen in de tweede categorie, waarbij de

langgerekte stortzones samenvallen met vloedscharen. Het idee achter dit type stortingen is om de drempels van de relatief kleine vloedscharen in de nevengeul, ook wel aangeduid als sedimenttongen (WLB, 2008), te verlengen waardoor er buffers en stroomluwtezones worden gecreëerd achter de stortzones.

Een plaatrandstorting wordt aangelegd om te blijven liggen (weinig erosie). Dit in tegenstelling tot stortingen in geulen, waarvan de intentie juist is dat ze na verloop van tijd door de waterbeweging kunnen worden opgeruimd. Wordt er gekeken naar het diepteniveau waarop plaatrandstortingen worden uitgevoerd, dan verschillen ze niet wezenlijk van geulstortingen (zie bijlage H); het zwaartepunt van de aanvangsdiepten waarop de plaatrandstortingen langs de Rug van Baarland en Hooge Platen Noord zijn uitgevoerd ligt op NAP -7.5m en NAP -11m. De uiteindelijke aanlegdieptes van de plaatrandstortingen is nog ca. 1-3m hoger dan de aanvangsdiepte, dit is ook hoger dan de (neven)geulstortingen. De vraag die in deze paragraaf centraal staat is in hoeverre de plaatrandstortingen fysisch verschillen van stortingen in de geul (invloed op hydrodynamica) en wat ze betekenen voor de stabiliteit en theoretische stortcapaciteit van het systeem van hoofd- en nevengeulen.



Figuur 3.7 Gebieden met plaatrandstortingen in de Westerschelde. A=Hooge Platen West, B=Hooge Platen Noord, C=Rug van Baarland, D=Plaat van Walsoorden. (Ontleend aan Plancke et al., 2011.)

In principe zal een plaatrandstorting in een hoefijzervorm minder invloed hebben op de stabiliteit van het meergeulensysteem dan een storting die in één van beide geulen valt. Immers, een hoefijzer vorm, waarbij een deel van de storting in zowel de hoofdgeul als de nevengeul valt, zal gepaard gaan met kleinere veranderingen in de verdeling van de debieten en sedimenttransporten tussen de geulen dan een storting die geheel in één van beide geulen ligt. Daarom is voor deze studie vooral gekeken naar plaatrandstortingen in een nevengeul, de plaatrandstorting Rug van Baarland in het bijzonder, omdat deze in de verondiepende nevengeul van macrocel 4 ligt.

Het gebied van de plaatrandstorting Rug van Baarland is een complex gebied: het maakt deel uit van de zeewaarts gelegen drempel in de nevengeul Middelgat. De ontwikkeling van het gebied hangt samen met de ontwikkeling van de Everingen. Dit uit zich onder andere in de aanwezigheid van de vloedschaar die als stortzone voor plaatrandstortingen is aangewezen. Dit gebied ontwikkelt zich anders dan de andere gebieden met plaatrandstortingen (zie Figuur H.4 in bijlage H). De toename in sedimentvolume is veel groter dan het gestorte volume. Tussen 2010 en 2012 is er ruim 3 miljoen m³ sediment bijgekomen, terwijl circa 1.3 miljoen m³ is gestort. Ook na het stopzetten van de plaatrandstortingen in 2012 gaat de toename in sedimentvolume door, tot 6 miljoen m³ begin 2014 (ten opzichte van 2010, IMDC, 2014). Een nadere analyse laat zien dat deze sedimentatie nauw samenhangt met de ontwikkelingen van

de drempelgeulen in de nevengeul Everingen van macrocel 3 (zie bijlage D), conform een bestaand conceptueel model (Jeuken, 2000)⁶.

Om inzicht te krijgen in de initiële fysische effecten van de uitgevoerde plaatrandstorting en een even grote storting in het midden van het geulprofiel, zijn drie scenario's doorgerekend met FINEL2d:

- 1 Een scenario waarbij de plaatrandstorting langs de Rug van Baarland is uitgevoerd (realiteit).
- 2 Een scenario waarbij geen plaatrandstorting is uitgevoerd;
- 3 Een scenario waarbij de werkelijk uitgevoerde storting niet op de plaatrand, maar in het diepere deel van het geulprofiel is gestort.

De berekende effecten op de debietverdeling en bruto sedimenttransporten tussen de geulen en in de geul worden gerapporteerd in bijlage I. De belangrijkste conclusies zijn:

Initiële hydrodynamische effecten (zie Figuur I.3 in bijlage I):

- Beide stortingen leiden tot een beperkte herverdeling van de debieten tussen hoofd- en nevengeul (maximaal 1%).
- Het effect van de plaatrandstorting op de herverdeling van debieten lijkt beperkter. De beïnvloeding van getijvolume is lokaler dan bij de storting in de geul, waar het effect zich voordoet over een groter deel van de lengte-as van de geul. Dit suggereert dat door de plaatrandstorting vooral de vloedstroom minder oversteekt over het intergetijdengebied de Rug van Baarland (want de vloodschaar is veranderd) en meer de nevengeul volgt; een beoogd effect van de plaatrandstorting.
- De getijweglengte (gedefinieerd als getijvolume/doorstroomoppervlak) geeft aan dat de stroomsnelheden in de nevengeul, ter hoogte van de stortingen, iets toenemen, zowel bij een geulstorting als een plaatrandstorting.
- .

Effect op sedimenttransportcapaciteit:

- Zowel een storting op de plaatrand als een storting in de nevengeul leiden tot een initiële verhoging van de sedimenttransportcapaciteit van het Middelgat (gemiddeld 3-10%, Tabel I.1 in bijlage I).
- Deze toenames treden vooral op in het gebied waar de stortingen plaats vinden: het drempelgebied van de nevengeul. Dit houdt in dat de ruimtelijke gradiënten in het bruto sedimenttransport in de nevengeul toenemen langs de geul-as.
- Ook in het Gat van Ossensisse is er invloed. Zowel de plaatrandstorting als de storting in de nevengeul heeft een lichte toename (<2%) van de sedimenttransport-capaciteit van het Gat van Ossensisse tot gevolg. De storting in de geul heeft een groter effect dan de plaatrandstorting.
- In de nevengeul geldt dat de sedimenttransportcapaciteit ter plaatse van de storting toeneemt ten opzichte van de situatie zonder storting (Figuur I.10). Het effect voor de nevengeulstorting is ook hier wat groter dan voor de plaatrandstorting.

⁶ *Invloed van stortingen nabij Ellewoutsdijk (Figuur 3.1) sinds 1997 op de sterke ontwikkeling van het patroon van drempelgeulen in de Everingen en de sedimentatie in het Middelgat is waarschijnlijk, maar met de huidige data-analyses lastig te kwantificeren. Dit zou met morfologische modelberekeningen inzichtelijk kunnen worden gemaakt, mits deze het gedrag van de drempelgeulen in de Everingen kwalitatief kunnen reproduceren*

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de uitgevoerde plaatrandstorting langs de Rug van Baarland qua uitvoering en effecten op hydrodynamica en bruto sedimenttransporten maar beperkt verschilt van een vergelijkbare storting in het diepere deel van het geulprofiel. In hoeverre deze conclusie en bovenstaande observaties, afgeleid voor gerealiseerde stortingen, ook van toepassing zijn op grotere stortingen, is in de huidige studie niet onderzocht; De conclusies zullen niet zondermeer geëxtrapoleerd kunnen worden. Het wordt daarom aanbevolen om in vervolgstudies in het kader van o.a. Agenda van de Toekomst te onderzoeken of grotere stortingen, zoals opgenomen in de vergunning gepaard gaan met vergelijkbare effecten. De andere plaatrandstortingen (Hooge Platen West en Oost en Plaat van Walsoorden) zouden in een dergelijke studie op gelijke wijze geanalyseerd kunnen worden om ook voor deze plaatrandstortingen conclusies te kunnen trekken over effecten op hydrodynamica en sedimenttransporten en verschillen tussen plaat- en het verschil met geulstortingen.

3.5 Discussie

In bijna alle macrocellen zijn trendbreuken opgetreden als gevolg van de tweede verruiming, maar de kwalificatie van de geulontwikkeling is niet in alle macrocellen veranderd. In de macrocellen 1, 4 en 5 sedimenteert de nevengeul, versterkt (4) of gestuurd (1 en 5) door stortingen. De hoofdgeulen in deze macrocellen eroderen, eveneens versterkt (1 en 4) of gestuurd (5) door baggeren. De combinatie van veranderingen in het watervolume van de hoofdgeul en nevengeul betekent dat het geulsysteem kantelt; het verschil in de gemiddelde geuldiepte tussen hoofd- en nevengeul neemt toe. Macrocel 3 vormt een uitzondering, daar erodeert de nevengeul en sedimenteert de hoofdgeul; het geulsysteem kantelt (tijdelijk) de ander kant op. Deze ontwikkelingen in macrocel 3 worden verzwakt door de ingrepen. In macrocel 4 kan de ontwikkeling in de nevengeul volgens de kwalificatie niet worden gestuurd, omdat de 'natuurlijke' trend (V_{net}) ook sedimentatie laat zien. Het blijkt echter wel dat de stortingen gedurende 12 jaar een sedimentatie hebben opgeleverd die anders waarschijnlijk pas na 80 jaar bereikt zou zijn. In macrocellen 6 en 7 wordt niet gestort in de nevengeul, maar wel gebaggerd in de hoofdgeul. Deze recente ontwikkelingen leiden tot een afname van de theoretische stortcapaciteit voor de nevengeulen van de macrocellen 1 en 5.

Uit het onderzoek blijkt dat, hoewel de uitgevoerde plaatrandstortingen langs de plaatrand van de Rug van Baarland (nevengeul Middeltgat macrocel 4) een ander doel hebben dan geulstortingen, ze fysisch gezien een vergelijkbare invloed hebben op de getijvolumina en bruto sedimenttransporten als een even grote storting in het diepere deel van het geulprofiel. Dit maakt het logisch het effect van een plaatrandstorting op het watervolume van de (neven)geulen mee te nemen in de analyse; dus geen correctie van het gemeten geulvolume V_{tot} voor de uitgevoerde plaatrandstorting. In de ondergrens voor het watervolume kan indien van toepassing wel expliciet worden omgegaan met het accepteren van een afname van het geulvolume als gevolg van de plaatrandstorting.

De vergunning voor de derde verruiming biedt, vanwege de erin opgenomen flexibiliteit voor de uitvoering, relatief veel ruimte om materiaal in de nevengeulen (en op de plaatranden) te storten. De sedimentatie van de nevengeulen die hiervan het gevolg is, hoeft voor de instandhouding van het meergeulensysteem geen probleem te zijn. In combinatie met eroderende hoofdgeulen, is het systeem wel sneller aan het kantelen. Het is de vraag hoeveel de nevengeul mag verkleinen onder invloed van stortingen. De historische evolutie van macrocel 5 laat zien dat het proces omkeerbaar kan zijn. Het is dus een mogelijkheid de storthoeveelheden in de nevengeulen terug te brengen (of zelfs naar 0 te brengen), waardoor

het systeem de mogelijkheid krijgt eerdere stortingen op te ruimen. De historische evolutie van een autonoom verondiepende geul als het Middelgat laat echter een onomkeerbaarheid zien (de extra sedimentatie wordt niet weer opgeruimd als met storten wordt gestopt).

Stoppen of verminderen van stortingen bij plaatranden en in nevengeulen zullen ertoe leiden dat meer stortingen in de hoofdgeulen nodig zijn. Merk op dat, hoewel storten in de hoofdgeulen een onderdeel is van de stortstrategie in de huidige vergunning, er feitelijk alleen een beschikbaar stortvak in de hoofdgeul van macrocel 4 is. In macrocel 5, 6 en 7 is alleen zeer beperkte stortruimte in de hoofdgeul beschikbaar.

Een andere afweging voor het beleid en sedimentbeheer (flexibel storten) is de locatiekeuze voor plaatrandstortingen. Bijlage I geeft aan dat een plaatrandstorting bij de Rug van Baarland qua effecten op sedimenttransportcapaciteit en debiet weinig verschilt van geulstorting in het Middelgat. Het grote verschil zit in de doelstelling van de stortingen. Dit betekent extra zorg bij de planning van stortingen in de plaatrandzone van macrocel 4, aangezien in de nevengeul de stortingen juist zijn gestopt vanwege het nevengeulcriterium. Ook hebben natuurlijke ontwikkelingen (zie bijlage D) ertoe geleid dat er op een natuurlijke wijze al meer ondiep-water-gebied is gecreëerd. Stortingen bij Ellewoudsdijk hebben mogelijk ook bijgedragen aan de ontwikkelingen in het drempelgebied en de sedimentatie in het Middelgat. Het is nog niet duidelijk of en in welke mate stortingen in de nevengeul van macrocel 3, waar relatief veel stortruimte beschikbaar is, terecht komen in het Middelgat. Het is interessant te zoeken naar een plaatrandzone in macrocel 3, dus met de bedoeling dat het gestorte sediment er blijft liggen. De vergunning biedt mogelijkheden om op eenzelfde wijze plaatrandstortingen uit te voeren als het tot nu toe is gedaan, omdat het stortvak groot is.

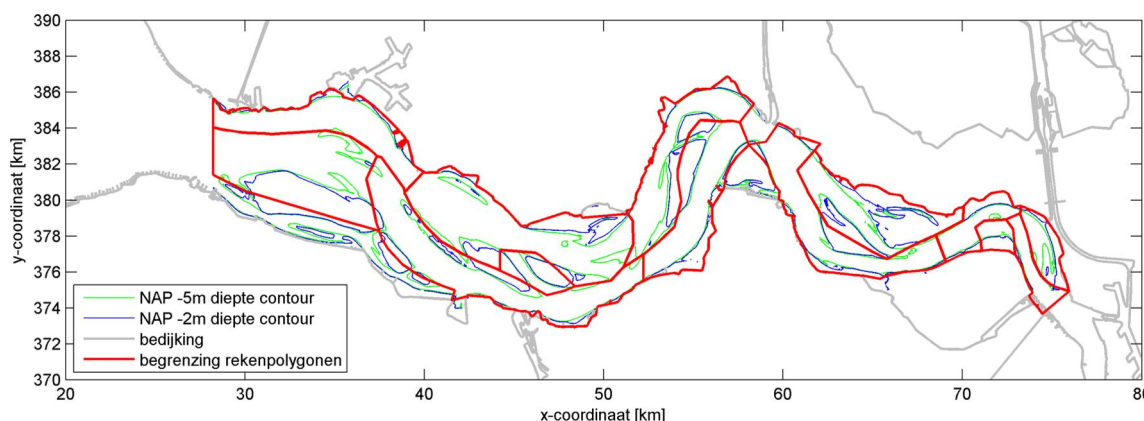
4 Definitie van het watervolume en aanvullende parameters

4.1 Inleiding

Toetsing van het criterium instandhouding meergeulenstelsel volgens het Protocol kwaliteitsparameters in de vergunning gebeurt aan de hand van het watervolume van de nevengeulen beneden NAP -5m. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de afbakening van het watervolume van de nevengeul en of enkel het toetsen van het watervolume van de nevengeulen voldoende is om de instandhouding van het meergeulenstelsel te kunnen waarborgen. Dit hoofdstuk richt zich daarmee op de volgende vragen:

- 1 Hoe kan de definitie en de bepaling van het watervolume fysisch worden onderbouwd? De volgende deelvragen worden hiervoor beantwoord:
 - Wat betekent de keuze van NAP -5m of NAP -2m vanuit fysisch oogpunt? Welk deel van het stroom- en sediment voerend deel van het profiel blijft buiten beschouwing?
 - Hoe gevoelig zijn de resultaten van de watervolumes (V_{tot} en V_{net}) voor het gekozen referentieniveau?
 - Is het nodig om de rekenpolygoon aan te passen?
- 2 Zijn er naast het watervolume van de nevengeul nog andere, aanvullende parameters nodig om de instandhouding van het meergeulensysteem te kunnen toetsen? Zo ja, welke?

Beantwoording van de eerste vraag gebeurt op basis van een analyse van FINEL2d modelresultaten en een data-analyse voor twee verschillende referentieniveaus (NAP -5m en NAP -2m, Figuur 4.1). Op basis van de resultaten worden in § 4.4 de voor- en nadelen van keuzes voor definitie en bepaling van het watervolume op een rij gezet, maar er wordt geen keuze gemaakt. Voor de beantwoording van de tweede vraag wordt gebruik gemaakt van de resultaten uit het voorgaande hoofdstuk en analyses in diverse bijlagen (C, F en G). De resultaten monden uit in een voorstel voor aanpassing van de toetsing in het kader van Flexibel Storten en de Evaluatiemethodiek (Holzhauer et al., 2011).



Figuur 4.1 Weergave van de NAP -5m (groen) en de NAP -2m diepte contour (blauw) voor de bodemligging van 2010, samen met de landwaartse begrenzing van de Westerschelde (grijs) en de polygoonen (rood).

4.2 De keuze van het referentieniveau – een fysische onderbouwing

Met behulp van FINEL2d is geanalyseerd wat de bijdrage van verschillende dieptezones is aan het debiet en het bruto sedimenttransport (zie bijlage K). Met deze uitkomsten is (offline) het sedimenttransport bepaald met de transportformule van Engelund-Hansen. Het effect van golven is niet meegenomen. Golven kunnen in ondiep gebied zorgen voor extra opwoeling van sediment, en daarmee het sedimenttransport vergroten. Het sedimenttransport in ondiep gebied kan in werkelijkheid dus groter zijn dan hier berekend. Uit de berekeningen blijkt dat door de zone tussen NAP -5m en NAP -2m lokaal minder dan 12% van het debiet wordt getransporteerd en minder dan 20% van het sedimenttransport. Gemiddeld voor de Westerschelde is het debiet door deze zone minder dan 5% en het sedimenttransport minder dan 10%. Veel ondiep gebied in het dwarsprofiel geeft procentueel ook meer debiet en sedimenttransport door deze zone, omdat het debiet en het sedimenttransport schaalt met de waterdiepte. Over het algemeen kan worden gesteld dat de beschouwde zone maar een klein aandeel heeft in de totale transporten door de geulen.

Een belangrijke parameter in deze studie is het watervolume van de hoofd- en nevengeul, zowel het gemeten volume (V_{tot}) als het volume gecorrigeerd voor cumulatieve ingrepen (V_{net}). Het effect van een ander referentieniveau op de historische volumeontwikkeling van de geulen moet ook gekend zijn. In § K.2 is te zien dat de trends in de volumes niet wijzigen als het volume onder de NAP -2m wordt berekend, ten opzichte van de trends in de volumes van de NAP -5m. Ook in de gemiddelde waterdiepte (uitgedrukt in m t.o.v. NAP) zitten geen grote verschillen tussen beide referentieniveaus. Dit betekent dat de kwalificatie van het geulgedrag en daarmee de theoretische stortcapaciteit ook niet beïnvloed wordt door het referentieniveau.

De vraag of de rekenpolygoon moeten worden aangepast aan de veranderende morfologie in de Westerschelde (vraag 1a uit § 1.2) is niet met analyses onderzocht. Voor consistentie en om discussie voor te zijn, verdient het de aanbeveling om de rekenpolygoon zo min mogelijk aan te passen. Mocht een deel van een geul buiten een polygoon vallen, dan kan met een analyse op het deelgebied altijd aanvullend worden bekeken hoe groot de invloed hiervan is op de berekende volumes. De verwachting is dat de invloed hiervan doorgaans klein is ten opzichte van veranderingen in de contourlijn van het referentieniveau, die van jaar tot jaar veranderen.

In hoeverre een plaatrandstorting binnen een polygoon valt is afhankelijk van de begrenzing door de polygoon zelf en het gehanteerde referentieniveau:

- De plaatrandstorting zit *volledig binnen* de polygoon en V_{tot} .
- De plaatrandstorting zit *volledig buiten* de polygoon en V_{tot} .
- De plaatrandstorting zit *deels binnen* de polygoon en V_{tot} .

Het aanpassen van de rekenpolygoon zodat een plaatrandstorting en daarmee het gehele plaatrandstortgebied buiten de polygoon valt, heeft als consequentie dat het moeilijk te toetsen is wat het effect van de plaatrandstorting is op de ontwikkeling van de nevengeul. In § 3.4 is toegelicht dat de plaatrandstorting bij de Rug van Baarland fysisch gezien niet wezenlijk verschilt van een geulstorting. Dit pleit ervoor het effect van de plaatrandstorting op de ontwikkeling van het geulvolume mee te nemen.

Aangezien een plaatrandstorting deels instabiel is, zou het toestaan van aanpassing van de rekenpolygoon kunnen leiden tot frequentere polygoonaanpassingen. Ook kunnen (natuurlijke) ontwikkelingen leiden tot volumeveranderingen die groter zijn dan de

plaatrandstorting zelf (zie de plaatrandstorting bij Rug van Baarland). Dit effect wordt bij aanpassing van de rekenpolygoon ook niet meegenomen in de volumeontwikkeling. Als op langere termijn de plaatrandstorting eventueel weer verdwijnt, wanneer wordt dan besloten om het betreffende gebied weer binnen de polygoon te laten vallen?

Bijlage H laat zien dat bij een referentieniveau van NAP -5m de plaatrandstorting bij Rug van Baarland deels binnen V_{tot} valt. Bij Hooge Platen Noord valt een klein deel erbuiten. Bij een referentieniveau van NAP -2m zouden beide plaatrandstortingen volledig binnen de polygoon vallen.

Met de huidige methoden van storten (kleppen) wordt in de praktijk beneden het niveau van NAP -4.5m (-2m LAT) gestort. Dit is de beperking in de diepgang bij tij-afhankelijk kleppen. Het is denkbaar dat in de toekomst de mogelijkheid van het rainbowen van specie in de vergunning wordt opgenomen en dat het sediment dan hoger in het profiel (max. NAP niveau) kan worden aangebracht. Dan zou een NAP -2m te laag in het profiel kunnen liggen om de hele plaatrandstorting in het geulvolume te kunnen meenemen. De ligging van het referentieniveau kan dan ook invloed hebben op de diepte waarop de plaatrandstorting zoveel als mogelijk wordt aangebracht. Als het referentieniveau bijvoorbeeld gehandhaafd blijft op NAP -5m, wordt het aantrekkelijk boven de NAP -5m te storten, omdat dit dan buiten V_{tot} valt. Hier is ook ruimte voor, omdat de stortvakken groter zijn dan noodzakelijk om in het kader van Flexibel Storten ruimte te hebben om de stortstrategie binnen de huidige vergunning aan te passen.

Als (een deel van) de plaatrandstorting binnen de geulpolygoon valt, kan er op verschillende manieren worden omgegaan met de verkleining van het geulvolume als gevolg van de plaatrandstorting. Het natte volume kan gecorrigeerd worden voor de uitgevoerde plaatrandstortingen. Het volgen van de ontwikkeling van het nevengeulvolume wordt hierdoor wel enigszins vertroebeld. Het effect van de plaatrandstorting kan ook expliciet worden meegenomen in het vaststellen van de ondergrens voor de volumeontwikkeling van de geul. De ondergrens wordt dan verlaagd met het volume van de plaatrandstorting dat is gestort in de betreffende periode. Het voordeel hiervan is dat er een striktere scheiding kan worden gemaakt tussen de fysische ontwikkeling van de geulvolumina (het natte volume van de geulen zoals dat volgt uit de lodingsgegevens) en de beheer- en beleidskeuzes (de toetsing van de geulvolumina aan grenswaarden). Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

4.3 Aanvullende parameters

Voor de *nieuwe* toetsing op basis van het criterium watervolume geulen zal het gemeten watervolume van de (neven)geul, V_{tot} , worden vergeleken en getoetst aan nieuwe koerslijnen en ondergrenzen die geconcretiseerde beleidsdoelen vertegenwoordigen, zie § 2.5 en hoofdstuk 5. In § 2.5 is al aangegeven dat de theoretische stortcapaciteit voor bepaalde beleidskeuzes nodig is voor de vertaling naar koerslijnen met bijbehorende ondergrenzen. Daarnaast is aanbevolen om de uitgevoerde netto stortingen apart te evalueren, door deze te vergelijken met de stortruimte volgens de vergunning en de waarde zoals die volgt uit de richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit en recent waargenomen ontwikkelingstendensen.

Samenvattend zijn de volgende (reken)parameters nodig voor toetsing van het watervolume (V_{tot}) van de nevengeulen en de uitgevoerde netto ingrepen (V_i) in het kader van Flexibel Storten:

- V_{tot} voor de hoofdgeul en de nevengeul: het watervolume van de geulen afgeleid van lodingsgegevens.
- V_i voor de hoofdgeul en de nevengeul: het watervolume van ingrepen (baggeren=positief, storten=negatief), afgeleid van bagger- en stortgegevens.
- V_{net} voor de hoofdgeul en de nevengeul: het 'natuurlijke' watervolume van de geulen, berekend door V_{tot} te corrigeren voor de cumulatieve ingreepgegevens.
- Stortcapaciteit van de (neven)geulen
 - Sedimenttransportcapaciteit per macrocel
 - > Bruto sedimenttransporten per macrocel
 - > Representatieve korrelgrootte per macrocel, om de bruto transporten die berekend zijn met uniforme korrelgrootte te schalen naar representatieve transporten per macrocel.
 - Volumeverandering in de (neven)geul, ΔV_{tot} , wordt berekend volgens de meest recente trend in de tijdreeks van V_{tot} .
- Plaatrandstortingen, zowel de vergunde volumes als de uitgevoerde stortingen.

Het nieuwe criterium kan zowel voor de nevengeulen als de hoofdgeulen worden gebruikt. In deze rapportage is enkel gefocust op de nevengeulen.

4.4 Discussie polygoonaanpassingen en referentieniveaus

Veranderende morfologie en plaatrandstortingen hebben de discussie over polygoonaanpassingen aangezwengeld. Er wordt geadviseerd om de begrenzing van de geulen, die in het horizontale vlak wordt gegeven door de rekenpolygonen en in het verticale vlak door het referentieniveau, zo weinig mogelijk aan te passen, omwille van een zo eenduidig mogelijk interpretatie en om een (terugkerende) discussie hierover te vermijden. De plaatrandstortingen kunnen het beste geheel meegenomen worden in de evaluatie van de ontwikkeling van de geulen: geen correctie van het gemeten geulvolume V_{tot} voor de uitgevoerde plaatrandstortingen. Bij de definitie van de ondergrens van V_{tot} kan vervolgens de uitgevoerde plaatrandstorting expliciet in rekening worden gebracht. Het feit dat de plaatrandstorting het geulvolume verkleint, is met de voorgestelde nieuwe berekening een expliciete beleidskeuze. Om de plaatrandstortingen volledig binnen V_{tot} te laten vallen, is het referentieniveau van NAP -5m waarschijnlijk te laag. Wordt het referentieniveau op NAP -2m gezet, dan wordt de discussie over de polygoonaanpassing m.b.t. de plaatrandstortingen vermeden. Trendontwikkeling van V_{tot} en V_{net} ten opzichte van NAP -5m en NAP -2m laten vergelijkbare resultaten zien. Het percentage debiet en sedimenttransport door de zone tussen NAP -5m en NAP -2m is relatief klein. Fysisch gezien is het niveau NAP -2m aantrekkelijk, omdat dit ongeveer gelijk is aan gemiddeld laag water. Het NAP -5m niveau is aantrekkelijk omdat hiervoor enkel lodingsgegevens nodig zijn en geen samengestelde lodings/LiDAR kaarten. De voor- en nadelen van de referentieniveaus NAP -5m en NAP -2m zijn opgenomen in Tabel 4.1.

Als aanvullende parameters dienen voor evaluatie van het watervolume van de nevengeul V_{tot} op z'n minst V_i en V_{net} te worden beschouwd. Daarnaast wordt geadviseerd om de gerealiseerde stortvolumes te vergelijken met de stortruimte volgens de vergunning en theoretische stortcapaciteit (die kleiner kan zijn dan de stortruimte), zodat kan worden getoetst of de theoretische stortcapaciteit niet (langdurig) wordt overschreden en daarmee de instandhouding van het meergeulenstelsel in gevaar komt.

Tabel 4.1 Voor- en nadelen van referentieniveau NAP -5m en NAP -2m.

Referentieniveau	Voordeel	Nadeel
NAP -5m	Alleen vaklodingsgegevens nodig	Relatie met empirische relatie geulontwikkeling (bv. (D)TV-A _c) ontbreekt.
	Aansluiting bij ecotopenkaarten	Geen relatie met het getij als aandrijvende kracht van het systeem
NAP -2m	Relatie met het getij als aandrijvende kracht van het systeem	Ook LiDAR gegevens nodig voor bepaling bodemligging, gegevens zijn half jaar later beschikbaar
	Discussie polygoonaanpassing wordt (voorlopig) vermeden, zoalng plaatrandstoringen d.m.v. kleppen worden uitgevoerd.	

5 Definitie van koerslijnen en ondergrenzen

5.1 Inleiding: uitgangspunten

In dit hoofdstuk wordt de nieuwe definitie voor het criterium (neven)geulen, zoals geïntroduceerd in § 2.4, uitgewerkt en toegelicht. Het doel van het criterium nevengeulen is het in stand houden van het meergeulenstelsel. Binnen de doelstelling 'instandhouding van het meergeulenstelsel' is verschillend beleid mogelijk. De 'behoudsdoelstelling meergeulen' zal daarom vanuit de diverse functies geconcretiseerd moeten worden naar operationele doelen, per individuele macrocel. Dit wordt met spoed opgepakt in de 'Agenda voor de Toekomst'.

Dit hoofdstuk spitst zich toe op de toetsing van het criterium nevengeulen. Ter illustratie wordt een aantal beleidskeuzen die binnen de 'behoudsdoelstelling meergeulen' kunnen worden gemaakt, uitgewerkt. De verwachte ontwikkeling van de nevengeul, die is gekoppeld aan elke beleidskeuze, wordt gereflecteerd door een koerslijn. Bij elke koerslijn kan een ondergrens in het nevengeulvolume worden gedefinieerd. Als de ondergrens wordt bereikt, betekent dit dat de ontwikkeling van de nevengeul te veel afwijkt van het vastgestelde beleid. De drie beleidskeuzen die hier als voorbeeld worden uitgewerkt zijn:

- 1 Voortzetting van het beleid en beheer voor vaargeulonderhoud zoals tijdens de meest recente trendperiode (tot 2010)
- 2 Stoppen met storten in de nevengeulen, gericht op stimuleren / herstel van meer natuurlijke ontwikkelingen
- 3 Maximaal benutten van de theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen volgens de praktische richtlijn en waargenomen recente trends (tot 2010) in geulontwikkeling.

Er zijn meer beleidskeuzen denkbaar. Deze worden niet hier, maar in VNSC-verband, vooral onder de 'Agenda voor de Toekomst', verder uitgewerkt.

In hoofdstuk 2 zijn verbeterpunten voor het criterium nevengeulen opgesteld. De verbeteringen die worden beschreven in dit hoofdstuk richten zich op de toepassing van de (lange termijn) trends en de fluctuaties rond die trend in de afleiding van de koerslijnen en ondergrenzen. Daarnaast wordt beargumenteerd wanneer bepaalde volumina (V_{tot} , V_{net} , $SC_{nevengeul}$, $SC_{plaatrand}$) in rekening moeten worden gebracht. De keuzes hierin reflecteren verschillende beleidskeuzes.

Bij de afleiding van de theoretische stortcapaciteit ($SC_{nevengeul}$) wordt de samenhang tussen de ontwikkeling van de hoofdgeul en de nevengeul meegenomen. In zowel het oude als het nieuwe criterium wordt geen rekening gehouden met de samenhang tussen verschillende macrocellen. Een voorbeeld hiervan is de sedimentatie in het Middellandse Zeegebied, die samenhangt met de ontwikkelingen in het drempelgebied van de Everingen. Implicaties van dergelijke ontwikkelingen voor het stortbeleid zal door middel van aanvullende analyses en expert beoordeling moeten worden vastgesteld.

5.2 Nieuw voorstel: koerslijnen en ondergrenzen

In het nieuwe criterium worden koerslijnen voor beleid gedefinieerd op basis van de trends in het geulvolume. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen trends als gevolg van de ingrepen tijdens de meest recente trendperiode (tot 2010) en trends die worden toegedicht aan de 'natuurlijke ontwikkeling', d.w.z. zonder de invloed van recente ingrepen. De gemeten volume-ontwikkeling, die mede bepaald is door ingrepen, is V_{tot} . Extrapolatie van deze trend kan dienen als indicatie voor de geulontwikkeling als het beleid tijdens de meest recente trendperiode (tot 2010) wordt voortgezet. De geschatte 'natuurlijke' volume-ontwikkeling, V_{net} , wordt berekend door correctie van V_{tot} voor de cumulatieve ingrepen. Extrapolatie van de trend in V_{net} zal daarom een indicatie zijn voor de maximaal mogelijke 'natuurlijke' volume-ontwikkeling in het geval er niet wordt ingegrepen. Voor het scenario 'storten volgens de theoretische stortcapaciteit' wordt de trend in de 'natuurlijke' volume-ontwikkeling gecorrigeerd voor de theoretische stortcapaciteit.

De koerslijnen die als voorbeeld zijn opgesteld voor beleid kunnen daarmee als volgt worden samengevat:

- 1 Extrapolatie van trend in V_{tot} vanaf het laatst gemeten geulvolume, als koerslijn voor het voortzetten van dit beleid over t jaren:

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2010}(i) + \text{trend } V_{tot}(i) \cdot t$$

- 2 Extrapolatie van trend in V_{net} vanaf het laatst gemeten geulvolume, als koerslijn voor het stoppen met storten over t jaren:

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2010}(i) + \text{trend } V_{net}(i) \cdot t$$

- 3 Extrapolatie van trend in V_{net} , gecorrigeerd voor de cumulatieve stortcapaciteit over de koersperiode, als koerslijn voor storten volgens de praktische richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit over t jaren:

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2010}(i) + \text{trend } V_{net}(i) \cdot t - SC_{geul}(i) \cdot t$$

In deze koerslijn wordt de trend bepaald op basis van V_{net} , die niet afhangt van de ingreepvolumina, waardoor er geen risico is dat het watervolume van de geul versneld afneemt door opeenvolgende actualisaties van het criterium.

Voor deze koerslijnen kunnen ook ondergrenzen worden gesteld ten behoeve van de toetsing:

$$ondergrens(i, t) = koerslijn(i, t) - 2\sigma_{V_{net}}(i) - SC_{plaatrand}(i)$$

Als de ondergrens wordt bereikt, wijkt het beheer teveel af van het uitgezette beleid. De ondergrenzen worden gevormd door de koerslijn te verminderen met twee keer de standaarddeviatie, die de maat (circa 90% betrouwbaarheidsinterval) vormt voor de fluctuatie rond de geselecteerde trend in V_{net} . Daarnaast kan de ondergrens worden verminderd met het volume van de plaatrandstorting, aangezien een plaatrandstorting mag blijven liggen en dus een beoogde verkleining van het geulvolume tot gevolg heeft. Het volume van de plaatrandstorting wat in mindering mag worden gebracht is het deel van het volume wat in de nevengeul ligt. Voor macrocel 1, 4 en 5 ligt respectievelijk 50%, 100% en 33% in de nevengeul.

Ad 1). Als er in de afgelopen trendperiode meer is gestort dan de richtlijn voor theoretische stortcapaciteit aangeeft, kan het zijn dat deze strategie niet strookt met het beleidsdoel 'instandhouding meergeulensysteem'. Daarom wordt aanbevolen om de gerealiseerde stortvolumes apart te toetsen met de theoretische stortcapaciteit die volgt uit de richtlijn.

Ad 2). De koerslijn voor de beleidskeuze 'stoppen met storten' wordt gevormd door de trend in het 'natuurlijke' geulvolume V_{net} te extrapoleren. V_{net} is het gemeten geulvolume gecorrigeerd voor de ingrepen. Eigenlijk is dit een grens voor de natuurlijke ontwikkeling: een bovengrens in geval van stortingen en een ondergrens in geval van baggeren. In werkelijkheid zal als er gestopt wordt met storten, het geulvolume tussen extrapolatie van V_{tot} en V_{net} in liggen.

Ad 3). Als er gestort wordt volgens de richtlijn voor de theoretische stortcapaciteit betekent dit dat het meergeulensysteem, in ieder geval theoretisch, in stand wordt gehouden. De geulen kunnen wel uitruimen of sedimenteren (de macrocel kan kantelen), maar dit zal niet tot degeneratie (sluiting) van de nevengeul leiden. Uiteindelijk zal de macrocel een nieuw evenwicht bereiken. Als koerslijn voor het geschatte geulvolume in dit scenario kan worden aangenomen dat de storting volgens de theoretische stortcapaciteit geheel blijft liggen ten opzichte van de 'natuurlijke' volume-ontwikkeling V_{net} , te meer omdat V_{net} al een bovengrens is. Het geulvolume ontwikkelt zich volgens de natuurlijke ontwikkelingstendens verminderd met de stortcapaciteit. Als de stortcapaciteit aangeeft dat er gebaggerd zou moeten worden, dan laat deze koerslijn de ontwikkeling zien waarbij dit baggervolume is meegenomen (zie Middelgat).

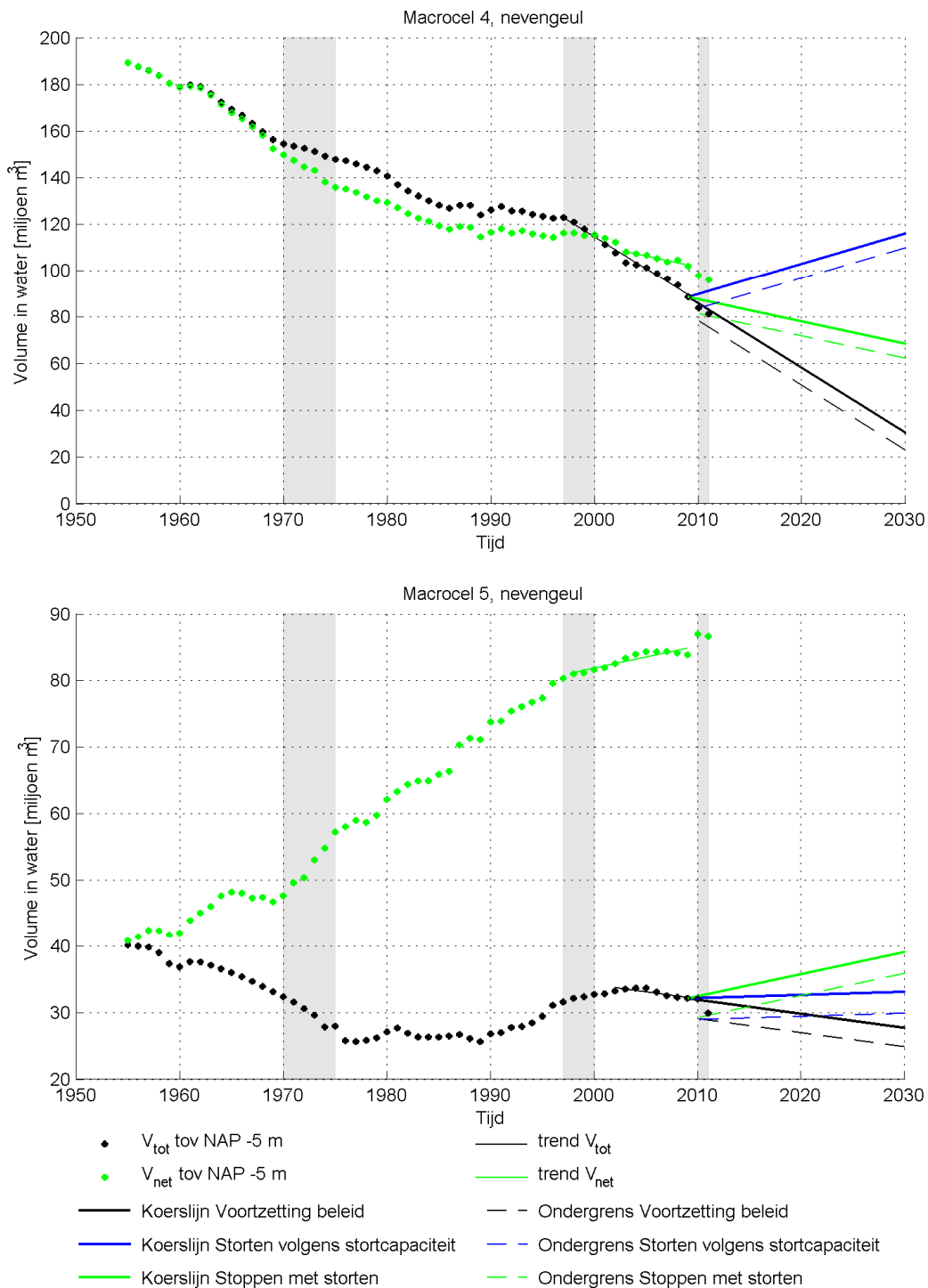
Zoals al aangegeven zijn er meer beleidskeuzes denkbaar dan de bovenstaande drie. Een beleidskeuze zou kunnen zijn het geulvolume van de nevengeulen vast te houden op het huidige niveau (de koerslijn loopt dan horizontaal).

5.3 Implementatie van koerslijnen en ondergrenzen

Voor de macrocellen 4 en 5 worden de koerslijnen uitgezet in

Figuur 5.1. De figuren voor de overige macrocellen zijn opgenomen in bijlage L. De koerslijnen zijn uitgezet voor de periode 2010-2030. Hoe verder in de toekomst, hoe groter de onzekerheid, omdat tussentijds trendbreuken kunnen optreden. Het beleid heeft invloed op de ontwikkelingstendensen en dus de trends in de volumina en daarmee de theoretische stortcapaciteit. De trends worden afgeleid voor een minimum periode van vijf jaar. Na een aantal jaar worden de trendlijnen dus al beïnvloed door eventueel gewijzigd beleid. De koerslijnen kunnen dus niet eendeloos geëxtrapolerd worden.

In de nevengeul van macrocel 4 is geen stortcapaciteit beschikbaar. Als hier gestort wordt zoals tijdens de meest recente trendperiode (1997-2009), zal de geul sneller sedimenteren dan als er niet gestort wordt. Omdat de 'natuurlijke' trend van de nevengeul ook een verkleining van het geulvolume is, neemt het geulvolume ook af als er wordt gestopt met storten. De afname gaat dan wel minder snel dan als er wel wordt gestort. Dit zou meer overeen moeten komen met het beleid tijdens de afgelopen 4 jaar, sinds de derde verruiming. Het scenario 'Storten volgens de richtlijn voor theoretische stortcapaciteit' betekent dat er volgens de richtlijn (theoretisch) gebaggerd zou moeten worden, aangezien de theoretische stortcapaciteit negatief is. Als dat volume ook daadwerkelijk gebaggerd zal worden, zal de nevengeul ruimer worden.



Figuur 5.1 Koerslijnen en ondergrenzen voor de drie verschillende beleidskeuzes voor macrocel 4 (boven) en macrocel 5 (onder).

In macrocel 5 zal de nevengeul hoogstwaarschijnlijk uitruimen als wordt gestopt met storten (groene lijn). Als het beleid van de laatste trendperiode (2002-2009) wordt voortgezet, zal sedimentatie in de nevengeul optreden, die wordt bepaald door stortingen en de aanleg van strekdammen. Bij het scenario 'Storten volgens richtlijn theoretische stortcapaciteit' blijft het geulvolume naar verwachting nagenoeg gelijk.

De volumes die kunnen worden gestort volgens de drie uitgewerkte beleidskeuzes zijn opgenomen in Tabel 5.1. De volumes zijn gebaseerd op de theoretische stortcapaciteit; gelet op de historische ontwikkelingstendensen kan worden overwogen om voor macrocel 1 af te wijken van dit criterium en een grotere stortruimte te hanteren door: i) het 10% criterium te gebruiken en ii) een deel van de sedimentatie toe te schrijven aan de natuurlijke dynamiek van de drempelgeulen. Dit betekent een stortruimte voor de nevengeul van orde 1-1.4 Mm³.

Tabel 5.1 Stortvolumina in de nevengeulen van de macrocellen volgens verschillende beleidskeuzes in miljoen m³/jaar. Het deel van het vergoed plastrandstoringvolume wat in de nevengeul valt in miljoen m³ voor een periode van 5 jaar.

Scenario \ Nevengeul macrocel	Voortzetting beleid tot 2009 (1)	Storten volgens theoretische SC (2)	Stoppen met storten (3)	Plaastrandstorting deel in nevengeul (vergoed)
	per jaar			per 5 jaar
1	0.68	0.7 → 1.0-1.4	0	4.1 (50% in nevengeul)
3	1.88	1.8	0	0
4	1.71	-2.3	0	5 (100% in nevengeul)
5	2.79	0.3	0	2.1 (33% in nevengeul)
6	0	0.6	0	0
7	0	0.2	0	0

5.4 Discussie

Het huidige beleid heeft de instandhouding van het meergeulenstelsel als uitgangspunt. Hierbinnen is echter nog een spectrum aan keuzes mogelijk, die in dit hoofdstuk aan de hand van drie concrete voorbeelden zijn geïllustreerd voor alleen de nevengeulen (de methode kan ook worden toegepast op de hoofdgeulen). Het nieuwe criterium voor het watervolume van de (neven)geulen bestaat dus uit een beleidskeuze, waaraan een verwachte ontwikkeling van de nevengeul, een koerslijn voor beheer, is gekoppeld. De mate waarin het geulgedrag wordt beïnvloed, en of de ontwikkeling wordt versterkt of zelfs veroorzaakt door het storten van baggerspecie en baggeren, is onderdeel van die beleidskeuze. In de 'Agenda voor de Toekomst' wordt aan de beleidskeuzes gewerkt en wordt meer richting gegeven aan de gewenste en haalbare ontwikkeling per bochtgroep (dus voor de nevengeul inclusief de samenhang met hoofdgeulen, platen en kortsluitgeulen) rekening houdend met de functies Natuurlijkheid, Veiligheid en Toegankelijkheid..

De beleidskeuze 'Voortzetting van het beleid tijdens de meest recente trendperiode' kan botsen met de instandhouding van de nevengeul en dus ook het meergeulenstelsel, als tijdens deze periode te veel is gestort. Hierin is de periode erg belangrijk, omdat bijvoorbeeld incidenteel grote stortingen binnen de geëxtrapoleerde trend kunnen zitten. De koerslijnen van de nevengeulen van macrocel 1, 4 en 5 laten zien dat bij voortzetting van het beleid tijdens de meest recente trendperiode, er meer gestort zal worden dan de theoretische stortcapaciteit. Bij de nevengeul van macrocel 1 komt dit doordat de stortingen van de tweede verruiming binnen de trendperiode vallen. In de nevengeulen van macrocel 4 en 5 is er tijdens de laatste trendperiode (resp. 1997-2009 en 2002-2009) meer gestort dan de theoretische stortcapaciteit. Daarom is het belangrijk om bij het nieuwe criterium ook steeds te kijken naar welke trendperiode wordt geëxtrapoleerd en welke ingrepen daarin zijn

meegenomen. Daarnaast verdient het aanbeveling om de gerealiseerde ingrepen te toetsen aan de theoretische stortcapaciteit, om te zien of deze niet (langdurig) wordt overschreden.

Gekoppeld aan de koerslijnen voor het beleid en beheer wordt een ondergrens afgeleid. De ondergrens wordt bepaald door twee keer de fluctuatie van het geulvolume rond de trend in het natuurlijk geulvolume V_{net} en het volume van de plaatrandstortingen van de koerslijn af te trekken. Hierdoor wordt de ondergrens pas bereikt als de ontwikkeling van de (neven)geul meer afwijkt dan 95% van de fluctuatie rond V_{net} in de afgelopen trendperiode, afgezien van verkleining van het geulvolume als gevolg van een eventuele plaatrandstorting.

Met betrekking tot de plaatrandstorting moet eigenlijk het volume in rekening gebracht worden wat daadwerkelijk in de betreffende geulpolygoon is gestort én is blijven liggen. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat er niet meer op de plaatrandzone wordt gestort dan is vergund. Op deze manier wordt de ondergrens voor het geulvolume verlaagd met dat deel van de plaatrandstorting wat daadwerkelijk aanwezig is en dus voor verkleining van het geulvolume mag zorgen. Om er ook rekening mee te houden dat een plaatrandstorting (deels) weer wordt opgeruimd, zou het stabiliteitscriterium kunnen worden gebruikt, om de bijdrage van de plaatrandstorting aan de ondergrens in de tijd te laten afnemen. Als ondergrens is in dit hoofdstuk het vergunde volume van de plaatrandstorting in rekening gebracht.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Beantwoording van de vragen van OFS

1. *Hoe kan de afbakening van de nevengeulen/macrocellen verbeterd worden, zodat het criterium 'nevengeulen' op een betere manier bepaald wordt en de doelstelling van het criterium behouden blijft?*

- a. *De afbakening van de nevengeulen valt op dit ogenblik niet meer goed samen met de huidige morfologie. Zowel in de lengte- als breedterichting van de nevengeulen dient hiervoor een voorstel gedaan te worden, waarbij wordt gedacht aan alternatieve afbakeningen van de nevengeul, gebaseerd op de waterscheidingslijn op de plaat en een bepaalde dieptelijn. Ook moet worden bepaald of het nodig is deze begrenzing dynamisch te maken (jaarlijks aanpassen o.b.v. de nieuwe bodem). De volumes van de nevengeulen dienen dan na acceptatie van de methode berekend te worden voor een nader te bepalen periode (terug in de tijd).*

De afbakening van de geulen wordt gevormd door de geulpolygoon en het gehanteerde referentieniveau. Er wordt afgeraden om de geulpolygoon steeds aan te passen, om de interpretatie van de veranderingen zo eenduidig mogelijk te houden en een terugkerende discussie te vermijden. De keuze tussen het referentieniveau NAP -5m of NAP -2m heeft weinig invloed op de trends in het geulvolume. Ook draagt de zone NAP-2m tot NAP-5m relatief weinig bij aan het totale debiet en sedimenttransport door de geul. Door het gebruik van NAP -5m als referentieniveau kan de geulontwikkeling sneller opgevolgd worden, omdat hiervoor enkel lodingsgegevens nodig zijn, en niet gewacht hoeft te worden tot gecombineerde lodings-LiDAR kaarten beschikbaar zijn.

- b. *Indien analyse van enkel het watervolume onvoldoende blijkt om instandhouding van het meergeulenstelsel te kunnen waarborgen, welke andere parameters kunnen bijkomend gebruikt worden?*

Om instandhouding van het meergeulenstelsel beter te kunnen waarborgen, wordt aanbevolen naast de ontwikkeling van de geulvolumina te kijken naar de gerealiseerde ingrepen ten opzichte van de theoretische stortcapaciteit.

Hierbij wordt gedacht aan de sedimenttransportcapaciteit en het debiet door de geulen. Bijkomende vragen zijn dan:

- *Hoe kan sedimenttransportcapaciteit o.b.v. beschikbare dwarsraaimetingen en berekende debieten bepaald worden? Geef daarbij een (kort) overzicht van de bepaling van de sedimenttransportcapaciteit zoals die in het kader van het MER is bepaald. Is deze methode makkelijker of betrouwbaarder dan berekeningen op basis van een model?*

De sedimenttransportcapaciteit is bepaald door de bruto sedimenttransporten te berekenen met Delft3D in een aantal raaien en deze vervolgens te middelen per macro-cel. Nieuwe Delft3D berekeningen van de bruto sedimenttransporten tonen aan dat de sedimenttransporten waarschijnlijk kleiner zijn dan berekend in de eerste LTV studie. Het morfologisch getij wat

voorheen is gebruikt is een gemiddeld springtij, waardoor de sedimenttransporten overschat worden. De ligging en het aantal raaien beïnvloedt de berekende sedimenttransportcapaciteit ook, omdat de transportcapaciteit ruimtelijk varieert. De sedimenttransportcapaciteit is ook offline bepaald, waarmee meer inzicht is verkregen in de ruimtelijke variatie van de transporten. Dit vormt het aanknopingspunt om de stortstrategie te optimaliseren door rekening te houden met de ruimtelijke variatie in de bruto sedimenttransporten.

Aanbevolen wordt om een directe vergelijking te maken tussen het berekende en gemeten sedimenttransport (voor dezelfde periode), om meer zekerheid te krijgen over de grootte van de bruto sedimenttransporten. De representatieve korrelgrootte per macrocel stamt uit 1991 en gezien waargenomen ontwikkelingen (verfijning van sediment op de drempels; Claessens, 1999) is het wenselijk de representatieve korrelgrootte per macrocel opnieuw vast te stellen.

- *De vraag is tevens in hoeverre de ondiepere zones waarop plaatrandstortingen plaatsvinden van belang zijn voor de sedimenttransportcapaciteit van de nevengeulen (valt dit per nevengeul uit te drukken in een percentage en moet dit meegenomen worden in het criterium)?*

De zone tussen NAP -5m en NAP -2m draagt weinig bij aan het totale sedimenttransport door de geul a.g.v. de getijbeweging. Golven kunnen het transport in de ondiepe zone wel vergroten, maar is in deze studie niet beschouwd. In het Middellgat is de plaatrandstorting vergeleken met een even grootte storting in het diepere deel van de geul. De verschillen waren in dit geval klein, maar dit kan voor andere plaatrandstortingen anders zijn, afhankelijk van de lokale hydrodynamiek.

- *Welke basisgegevens zijn nodig om de parameters te kunnen berekenen?*

Voor het volgen van de ontwikkelingen van de geulvolumina en de invloed van ingrepen, moet naast het gemeten geulvolume worden gekeken naar het volume van de ingrepen en het 'natuurlijke' geulvolume. Wat betreft de ingreepgegevens moet een onderscheid gemaakt worden tussen de plaatrandstortingen en de geulstortingen. Daarnaast is de sedimenttransportcapaciteit nodig voor het berekenen van de theoretische stortcapaciteit.

- c. *Welke grenswaarden of trends dienen beschouwd te worden om de doelstellingen (vooral behoud meergeulenstelsel) te kunnen evalueren? Hoe verhouden deze zich dit tot de historische ontwikkeling (bv. 1980 tot 2010)?*

De doelstelling van het behoud van het meergeulenstelsel biedt ruimte voor verschillende gewenste ontwikkelingstrends van de geulen. In de Agenda voor de Toekomst dienen operationele doelen per individuele geul te worden vastgesteld. Op basis van deze doelen, kan per geul een koerslijn en ondergrens worden uitgestippeld. In deze studie is een objectieve manier omschreven om trends en trendbreuken af te leiden. Hieruit blijkt dat voor de meeste macrocellen rond de tweede verruiming een trendbreuk is opgetreden. Welke trends (V_{tot} of V_{net}) beschouwd moeten worden, hangt af van het te kiezen beleid. Voor de

standaarddeviatie wordt gekeken naar de trend in het netto geulvolume V_{net} zodat de invloed van ingrepen hierin niet wordt meegenomen. (Anders zouden ingrepen door sterke jaarlijkse variatie kunnen leiden tot verlaging van de ondergrens.)

- d. *Geven de antwoorden op bovenstaande vragen aanleiding tot een verdere aanpassing van de afbakening om het watervolume van de geulen in het kader van het protocol te berekenen? Is het zinvol om transportcapaciteit op korte termijn op te volgen in het kader van de jaarlijkse toetsingen aan de kwaliteitsparameters?*

De afbakening van de geulen hoeft niet gewijzigd te worden. Modelberekeningen voor verschillende jaren (verschillende modelbodems) laten zien dat de bruto sedimenttransporten over het algemeen sterker variëren in ruimtelijke zin dan in temporele zin. Alleen in macrocel 5 is er een afname van de bruto sedimenttransporten in de tijd, als gevolg van een afname van de getijweglengte. De sedimenttransportcapaciteit hoeft dus niet jaarlijks te worden vastgesteld, maar kan opnieuw berekend worden als de getijweglengte of de representatieve korrelgrootte verandert.

6.2 Aanvullende conclusies

- De ondergrens zoals gedefinieerd in het Protocol Kwaliteitsparameters, maakt geen onderscheid tussen trends en de standaarddeviatie in het geulvolume. Hierdoor kunnen ondergrenzen ook bereikt worden als gevolg van 'natuurlijke' ontwikkeling van geulen. Daarnaast wordt er geen rekening gehouden met de invloed van ingrepen (hoe meer er in het verleden gestort is, hoe meer er in de toekomst gestort mag worden). Ook is er geen duidelijk onderscheid tussen plaatrand- en geulstortingen, hoewel deze een ander doel hebben (resp. blijven liggen en opgeruimd worden), en wordt er niet naar de samenhang tussen ontwikkelingen in de hoofd- en nevengeul gekeken. Het nieuwe voorstel voor de definitie van koerslijnen en ondergrens is op al deze punten verbeterd.
- De recente ontwikkelingstendensen laten zien dat er in bijna alle macrocellen een trendbreuk als gevolg van de tweede verruiming kan worden gedetecteerd. Het oostelijk deel van de Westerschelde ruimt uit, terwijl er in het westelijk deel meer gestort wordt als gevolg van de 'oost-west strategie'. Door grote stortingen in het Middelgat in macrocel 4 is de sedimentatie in deze nevengeul sterk versneld. Daarnaast wordt de laatste jaren netto sediment onttrokken uit de hoofdgeul van macrocel 4.
- Door de recente ontwikkelingstendensen, waarbij de sedimentatie in de meeste nevengeulen wordt versterkt of gestuurd door ingrepen, is de theoretische stortcapaciteit voor geulstortingen in de meeste macrocellen (m.u.v. macrocel 3 en 6) kleiner geworden ten opzichte van de voorlaatste trendperiode. In macrocel 3 lijkt meer stortruimte aanwezig te zijn dan wordt geboden volgens de theoretische stortcapaciteit.
- Plaatrandstortingen verschillen zowel qua diepte waarop ze uitgevoerd worden, als qua initiële fysische effecten weinig van geulstortingen. Het verschil tussen plaatrandstortingen en geulstortingen is dat de laatste opgeruimd dienen te worden, terwijl plaatrandstortingen stabiel moeten zijn en moeten blijven liggen. Daarom dient het effect van de plaatrandstorting wél worden meegenomen bij het opvolgen van de geulvolumina (de plaatrandstorting valt binnen de geulpolygoon), maar kan bij het afleiden van een ondergrens het volume van de plaatrandstorting worden afgetrokken.

6.3 Aanvullende aanbevelingen

Aanbevelingen voor Flexibel storten:

- Onderzoek de mogelijkheid van een pilot voor een plaatrandstorting in de ondiepe geulzones langs plaatranden in de Everingen of het Gat van Ossensisse. De vergunde stortvakken bieden hier ruimte voor.
- Zet het besluit (van OFS in 2010) te stoppen met storten in het Middelgat voort, tenminste zolang er geen concrete beleidsdoelen voor het Middelgat zijn opgesteld. Dit geldt ook voor de plaatrandstortingen.
- Gebruik het voorgestelde principe voor koerslijnen en ondergrenzen om per macrocel een koerslijn en ondergrens vast te leggen, zodra de beleidsdoelen per macrocel concreet zijn (resultaten Agenda voor de Toekomst). Pas nadat de resultaten uit de Agenda voor de Toekomst beschikbaar zijn, kan het criterium dus aangepast worden volgens het in deze studie gepresenteerde voorstel ('verbeterd criterium').
- Neem het deel van de plaatrandstorting wat volgens het stabiliteitscriterium moet blijven liggen mee in de correctie van de ondergrens in plaats van het volledige vergunde volume.
- Onderzoek of bij macrocel 5 (een deel van) de sterke toename in sedimentatie het gevolg is van de aanleg van strekdammen voor het schor van Waarde. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen de invloed van dergelijke ingrepen en de invloed van (geul)stortingen, door te kijken naar de locaties waar sedimentatie optreedt in erosie/sedimentatiekaarten.

Aanbevelingen voor het programma Agenda voor de Toekomst:

- Operationaliseer het uitgangspunt van het behoud van de fysische systeemkenmerken ('instandhouding meergeulensysteem') op het niveau van individuele macrocellen uitgaande van de functies:
 - Toegankelijkheid: hoe diep en breed moeten de nevengeul en hoofdgeul minimaal zijn voor scheepvaartfuncties?
 - Natuurlijkheid: welke aspecten van het ecologisch functioneren moeten worden behouden, hersteld / versterkt en welke morfologische habitatrandvoorwaarden zijn hier voor nodig.
 - Veiligheid: in hoeverre beïnvloeden de doelen vanuit toegankelijkheid en natuurlijkheid de rekenparameters voor veiligheid tegen overstromen?
 - Wat betekenen de mogelijkheden/scenario's voor een bepaald gebied voor aangrenzende gebieden? Zijn deze scenario's ook fysisch realistisch?
 - Begin concreet en gericht, door voor bijvoorbeeld macrocel 4 een beheervisie op te stellen. Het is dan mogelijk al doende een aanpak voor de operationalisering van beleidsdoelen te ontwikkelen. Accepteer dat dit een iteratief leerproces is wat tijd nodig heeft. Het is immers niet voor niets dat er 14 jaar na de eerste LTV-studies nog een gebrek is aan operationele beleids- en beheerdoelen die toetsbaar zijn.

Onderzoek de mogelijkheden van meer storten in de hoofdgeulen (Honte in macrocel 1, Pas van Terneuzen in macrocel 3, Overloop van Valkenisse in macrocel 5) en plaatrandstortingen in Everingen. Storten in de hoofdgeul is nu voornamelijk maar in één hoofdgeul mogelijk (macrocel 4), terwijl het in de vergunning een prominent onderdeel is van de stortstrategie. In macrocel 5, 6 en 7 zijn kleinere stortvolumina voor de hoofdgeul vergund.

- Onderzoek de mogelijkheden voor het optimaliseren van de stortingen in de nevengeulen van macrocel 1, 3 en 5. Hierbij moet rekening worden gehouden met andere belangen in de stortvakken (ankergebieden, kabel- en leidinggebieden), die er binnen de bestaande stortvakken al toe leiden dat bepaald gebieden niet kunnen worden gebruikt voor stortingen.
- Onderzoek de mogelijkheden voor het beter afstemmen van toetsingskaders binnen de Evaluatiemethodiek en tussen Flexibel Storten en de Evaluatiemethodiek.
- Maak een gedegen vergelijking tussen gemeten en berekende bruto sedimenttransporten. Gebruik hiervoor bij voorkeur goed gevalideerde metingen uitgevoerd tijdens verschillende getijcondities op verschillende locaties.

7 Literatuur

Arcadis, IMDC, Universiteit van Antwerpen, NIOZ, Imares (2013). T2009-rapport Schelde estuarium. 077257117:A – Definitief. C03041.002718.0400.

Bai, J. & Perron, P. (1998). Computation and Analysis of Multiple Structural-Change Models. Cahier 9807, Département de sciences économiques. Université de Montreal, Montréal, Canada. ISSN 0709-9231.

Bouma, H., D.J de Jong, F. Twisk, K. Wolfstein (2005). Zoute Wateren ecotopenstelsel (ZES.1), voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024 Middelbrug.

Claessens, J. (1999). De sturing van de baggerwerken in de Westerschelde. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde.

Consortium Arcadis – Technum, (2007). Hoofdrapport Milieueffectrapport. Antwerpen/Middelburg.

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, (2013). LTV V&T-rapport A-27: Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium.

Holzhauser, H., T. Maris, P. Meire, S. van Damme, A. Nolte, K. Kuijper, M. Taal, C. Jeuken, J. Kromkamp en B. van Wesenbeeck, G. Van Ryckegem, E. Van den Bergh en S. Wijnhoven (2011). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium – Fase 2. Consortium Deltares, Universiteit Antwerpen (Ecobe), NIOO en INBO.

IMDC (2011). Implementatie van het Protocol voorwaarden voor flexibel storten - Kwaliteitsparameters.

IDMC (2014). Monitoringprogramma Flexibel Storten: Maandrapport plaatrandstortingen februari-maart 2014. (I/RA/14.090/11353/MGO).

Jeuken, C., Tonnon, P. en Verploegh, D. (2007). Stortcapaciteit en stabiliteit van het meergeulensysteem in het Eems-Dollard estuarium. Operationalisering en toepassing van het Cellenconcept. Deltares rapport Z4344.

Jeuken, M.C.J.L. en Wang, Z.B. (2001). Advies aangaande de maximaal verantwoorde stortingen in de Westerschelde. WL|Delft Hydraulics. Memo d.d. 6 juli 2001.

Jeuken, M.C.J.L. en Wang, Z.B. (2005). Advies voor het storten van baggerspecie uit het vaargeulonderhoud in de Westerschelde op de huidige stortlocaties. Een bureaustudie. WL|Delft Hydraulics. Memo juni 2005.

Jeuken, M.C.J.L. en Wang, Z.B. (2010). Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. Coastal Engineering 57, pp. 553-566.

Kass, R.E. & Raftery, A.E. (1995). Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association* 90 (430), 773-795.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009). Beschikking 8500187272/D00994117 RWS-Zld. Westerschelde. Vergunning voor het storten van bodemmateriaal. 6 april 2009.

OFS (2013), Verslag vergadering 18 april 2013. Toetsing kwaliteitsparameters 2013

Plancke, Y., Vos, G., Taverniers, E. en Mostaert, F. (2011). Overleg Flexibel Storten: T0 morfologie plaatranden. Versie 2_0. WL Rapporten, 791_08. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

RWS (2013a). Opvolging Effecten Flexibel Storten, Kwartaalrapportage Rug van Baarland vierde kwartaal 2012. Rapportnr. 7210A/KR-RVB-4-2012. Rijkswaterstaat Dienst Zeeland, Meetadviesdienst, Middelbrug, 29-01-2013.

RWS (2013b). Opvolging effecten Flexibel storten - Data rapportage 2012. Rapportnr. 7210A/DR. Rijkswaterstaat Dienst Zeeland, Meetadviesdienst, Middelburg, 05-04-2013.

Schrijver M. en Plancke Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008-2018. Rapport MONEOS-T-2008-033/WL2008R791-3. RWS-Z, WLB

Schrijver, M. (2010). Monitoring meergeulensysteem Westerschelde, een overzicht van beschikbare data en methoden. RWS

Schrijver, M. (2013). Monitoring meergeulensysteem Westerschelde - Toetsing criteria nevengeulen. Rapportnr. 7210A/MMGW-2013-01. Rijkswaterstaat Dienst Zeeland, Meetadviesdienst, Middelburg, 08-04-2013.

Svasek (1994). Verklarend onderzoek drempels Westerschelde. Ingenieursbureau Svasek

Van Rijn (1993). Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas.

Wang, Z.B. en Jeuken, M.C.J.L. (2002). Baggerbezwaar vanwege vaargeulonderhoud en actualisering van de stortcapaciteit in de Westerschelde op basis van het onderbouwde Cellenconcept. WL|Delft Hydraulics. Memo d.d. 16 december 2002.

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

Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K. en Kleiber, C. (2002). "strucchange": An R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models. *Journal of Statistical Software*, 7(2), 1-38.

Zeileis, A., Kleiber, C., Krämer, W. en Hornik, K. (2003). Testing and dating of structural changes in practice. *Computational Statistics and Data Analysis* (44), 109-123.

A Herkomst getallen vergunning

A.1 Achtergrond

In deze bijlage wordt nagegaan hoe de stortvolumes uit de vergunning zijn afgeleid.

Voor het onderhoud van de vaargeul moet in veel macrocellen worden gebaggerd. Hiermee kan het voortbestaan van het meergeulenstelsel onder druk komen te staan, vooral als dit materiaal in de andere geul wordt gestort. In Wang & Winterwerp (2001) is een theoretische kritische waarde voor storten in één van de geulen van een tweegeulenstelsel afgeleid, waarbij beide geulen in stand worden gehouden. Deze theoretische waarde volgt uit een analytische oplossing, waarbij de stortcapaciteit zich verhoudt tot de bruto sedimenttransporten in elke macrocel. Dit theoretische concept is getoetst en verder verfijnd middels een historische analyse van de volume-ontwikkeling van geulen en de bagger- en stortvolumina (Jeuken & Wang, 2010). Hiermee is een praktische richtlijn voor het storten in geulen afgeleid: de theoretische stortcapaciteit. Sommatie van de theoretische stortcapaciteit voor alle nevengeulen en de hoofdgeul van macrocel 4 resulteert in een beschikbare theoretische stortcapaciteit van ongeveer 9 miljoen¹ m³ per jaar (dit zijn profielkuubs, kuubs met een poriëgehalte van 40%).

Voor de aanleg en het onderhoud voor derde verruiming van de vaargeul is meer stortruimte nodig (ca. 13 miljoen m³ per jaar gemiddeld voor de eerste vijf jaar, zie Tabel A.1). Dit volume bestaat uit een aanlegvolume van 7,7 miljoen m³ en een onderhoudsvolume van de verruimde vaargeul (voor Projectalternatief Plaatrand, zie verderop) van 11,7 miljoen m³ per jaar. Om met deze storthoeveelheden tot een optimale stortstrategie te komen, is het numerieke model Delft3D gebruikt. Hiermee is de stortstrategie iteratief geoptimaliseerd. Startpunt was een simulatie met stortingen in de nevengeulen, in vervolgsimulaties werd een deel in de hoofdgeul gestort, of in stroomafwaarts gelegen cellen. Op basis van voorspelde bagger- en storthoeveelheden, overschrijding van de stortcapaciteit, ontwikkeling van geulen, kantelindex, verhangindicator en zandhuishouding is gezocht naar een optimalisatie van de stortstrategie.

Om ecologisch waardevolle gebieden te creëren, is gekeken naar de mogelijkheid om te storten op plaatranden. In het Basisrapport Morfologie is gekeken naar de stabiliteit van de plaatrandstortingen en geconcludeerd dat deze stortingen niet in de geulen terecht komen en dus geen stortcapaciteit in de geulen souperen. Afhankelijk van de mobiliteit van de plaatrandstorting levert dit zowel eenmalig als structurele extra stortruimte op. Een ander aspect is hoe de plaatrandstortingen de bruto sedimenttransporten beïnvloeden. Dit is bekeken in bijlage I.

A.2 Stortgetallen

In de MER is gekozen voor de stortvariant met mogelijkheid tot stortingen op de plaatranden. Projectalternatief Plaatrand betekent zoveel mogelijk storten op de plaatranden. De aanlegbaggerspecie wordt alleen op de plaatranden gestort. De onderhoudsbaggerspecie wordt voor een deel in de hoofdgeul gestort (42%), voor een deel in de nevengeul (38%) en voor een deel op plaatranden (20%). De maximale storthoeveelheden voor een periode van vijf jaar (tabel 1 van de vergunning, tabel 4-6 van de MER) komen voort uit de Delft3D simulatie voor het projectalternatief Plaatrand (P4P2). Er zijn alleen plaatrandstortlocaties beschouwd in macrocel 1, 4 en 5. De storthoeveelheden zijn de som van de storthoeveelheden van de onderhoudsspecie (zoals geïtereerd met Delft3D) en de storthoeveelheden van de aanlegspecie.

¹ Maximum stortcapaciteit tabel A.1 van het Basisrapport Morfologie

Tabel A.1 geeft een overzicht van de storthoeveelheden uitgesplitst naar aanlegspecie en onderhoudsspecie. Het totaal van deze getallen per vijf jaar is terug te vinden in de vergunning en de MER. Dit is exclusief baggeren en zandwinning, als er gebaggerd wordt of zand wordt gewonnen, mag hetzelfde volume extra gestort worden.

Storthoeveelheden [miljoen m ³] voor een periode van 5 jaar (Projectalternatief Plaatrand P4P2)					Per jaar
Macrocel		Aanlegspecie	Onderhoudsspecie	Totaal per 5 jaar	Totaal per jaar
1	hoofdgeul			0	
	nevengeul		5,5	5,5	1,1
	plaatrand	3,15	5	8,2	1,6
3	hoofdgeul			0	
	nevengeul		6	6,0	1,2
4	hoofdgeul		15,5	15,5	3,1
	nevengeul		2	2,0	0,4
	plaatrand	2,55	2,5	5,1	1,0
5	hoofdgeul		3,5	3,5	0,7
	nevengeul		7	7,0	1,4
	plaatrand	2	4,5	6,5	1,3
6	hoofdgeul		3,5	3,5	0,7
	nevengeul		1,5	1,5	0,3
7	hoofdgeul		2	2,0	0,4
	nevengeul				
Totaal	Per 5 jaar	7,7	58,5	66,2	
Totaal	Per jaar	1,5	11,7	13,2	

Tabel A.1 Storthoeveelheden voor de eerste vijf jaar, totaal per 5 jaar zoals opgenomen in de vergunning (tabel 1) en de MER (tabel 4-6).

In de vergunning staan maximale storthoeveelheden per hoofdgeul, nevengeul en plaatrand van elke macrocel, die volgens bovenstaande methode zijn afgeleid. Daarnaast zijn er jaarlijkse maxima voor de nevengeulen gegeven en is aangegeven hoe groot de ruimte voor Flexibel Storten is. De berekening van de maximale jaarlijkse stortvolumina voor de nevengeulen, zie Tabel A.2, wordt niet toegelicht in deze bijlage.

Cel	Maximaal jaarlijks stortvolume (miljoen m ³ in situ)
1	3
3	3,2
4	2,4
5	3,8
6	1
7	0

Tabel A.2 Maximum stortvolume in de nevengeul per jaar (getallen uit vergunning).

De ruimte voor Flexibel Storten is een combinatie van de Projectalternatieven Plaatrand en Nevengeul. De maximale ruimte voor Flexibel Storten in de geulen (zowel nevengeul als hoofdgeul) is gedefinieerd als de stortvolumina van onderhoudsspecie in de geulen in Projectalternatief Nevengeul. De maximale ruimte voor Flexibel Storten in de nevengeul en op de plaatrand samen wordt gevormd door het optellen van het stortvolume van onderhoudsspecie in de nevengeul in Projectalternatief Plaatrand, het stortvolume van onderhoudsspecie op de plaatrand in Projectalternatief Plaatrand en het stortvolume van aanlegspecie op de plaatrand in Projectalternatief Plaatrand.

Samengevat:

Maximum nevengeul = onderhoudsvolume gestort in nevengeul in PA Nevengeul

Maximum hoofdgeul = onderhoudsvolume gestort in hoofdgeul in PA Nevengeul

Maximum nevengeul + plaatrand =

onderhoudsvolume gestort in nevengeul in PA Plaatrand +

onderhoudsvolume gestort op plaatrand in PA Plaatrand +

aanlegvolume gestort op plaatrand in PA plaatrand.

Ruimte voor Flexibel Storten [miljoen m ³] voor een periode van 5 jaar (Combo Projectalternatief Nevengeul en Plaatrand P4P2)				
Macrocel	Maximum nevengeul	Maximum nevengeul en plaatrand	Maximum hoofdgeul	Totaal
1	6,5	13,7	0	13,7
3	8,0	8,0	0	8,0
4	2,5	7,1	19	26,1
5	11,5	13,5	4,5	18,0
6	2,0	2,0	5,5	7,5
7	0	0	2,5	2,5
Totaal 5 jr	30,5	44,3	31,5	75,8
Totaal 1 jr	6,1	8,9	6,3	15,2

Tabel A.3 Ruimte voor Flexibel Storten, zoals opgenomen in de vergunning en de MER (tabel 4-7).

De stortvolumes uit de vergunning zijn geïtereerd met Delft3D, waarbij naar een optimale verdeling tussen stortingen in de hoofdgeulen, nevengeulen en plaatranden is gezocht. De totale volumes voor onderhoud van de vaargeul op basis van de stortstrategie, die worden berekend met Delft3D, waren niet wezenlijk anders voor PA Nevengeul en PA Plaatrand. Vanwege de ecologische winst van PA Plaatrand is voor dit alternatief gekozen. Daarnaast is gekeken hoe mobiel de plaatrandstortingen zijn en waar het immobiele deel terecht komt. Omdat dit niet in de nevengeulen terecht komt, souperen deze stortingen volgens het basisrapport Morfologie geen stortruimte in de nevengeulen.

In de vergunning is ook Ruimte voor Flexibel Storten opgenomen, zodat de stortstrategie kan worden aangepast om eventuele negatieve effecten van de plaatrandstortingen te mitigeren, zonder dat hiervoor een nieuwe vergunning moet worden aangevraagd. De ruimte voor Flexibel Storten is een combinatie van aanleg- en onderhoudsvolumes, en is daarom alleen geldig voor de eerste vergunningsperiode (van vijf jaar) na de derde verruiming.

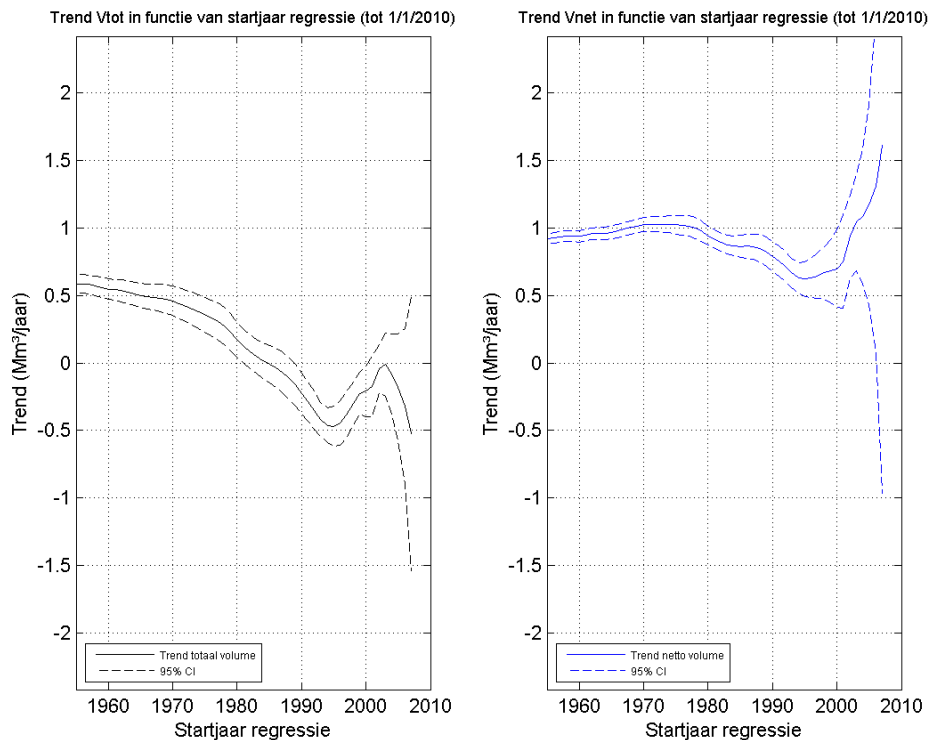
B Bepalen van trends en fluctuaties in het geulvolume

B.1 Methode

In deze bijlage wordt weergegeven hoe een objectieve en wiskundig onderbouwde trend in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} voor toepassing in het voorstel voor de nieuwe ondergrensdefinitie wordt afgeleid.

In de benadering van de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium (Holzhauer et al., 2011) wordt bij de evaluatie van (toekomstige) waarnemingen vaak een *vergelijking* uitgevoerd met een *verwachte trendontwikkeling*. De verwachte trendontwikkeling is gebaseerd op de (historische) ontwikkeling voorafgaand aan het referentiejaar waarbij trends en trendbreuken in rekening gebracht worden. Deze benadering wordt ook hier toegepast: de verwachte ontwikkeling van de geulvolumes na 1 januari 2010 wordt gebaseerd op een trendbepaling die rekening houdt met trendwijzigingen of knikpunten (i.e. de situatie voorafgaand aan de derde verruiming).

Het vastleggen van de verwachte trendmatige ontwikkeling wordt beïnvloed door het startpunt van de referentieperiode waarover de trend bepaald wordt. Om de *gevoeligheid* van het startjaar te illustreren, zijn de trends in V_{tot} en V_{net} van de nevengeul in macrocel 1 bepaald vanaf elk startjaar vanaf 1955 tot het jaar 2010. De waarde van de trend in het watervolume van de nevengeul is uitgezet als functie van het startjaar (Figuur B.1). Hieruit blijkt dat de afhankelijkheid voor een startjaar relatief groot is (de trend kan snel veranderen wanneer het startjaar weinig verandert), maar er bestaan ook omslagpunten waardoor de trend soms positief is, dan weer negatief. Dit wijst er op dat er over de langere termijn duidelijk verschillende trends aanwezig zijn, die ofwel geleidelijk veranderen, dan wel door knikpunten gescheiden zijn. Hiermee is aangetoond dat omzichtigheid geboden is bij de keuze van de referentieperiode.

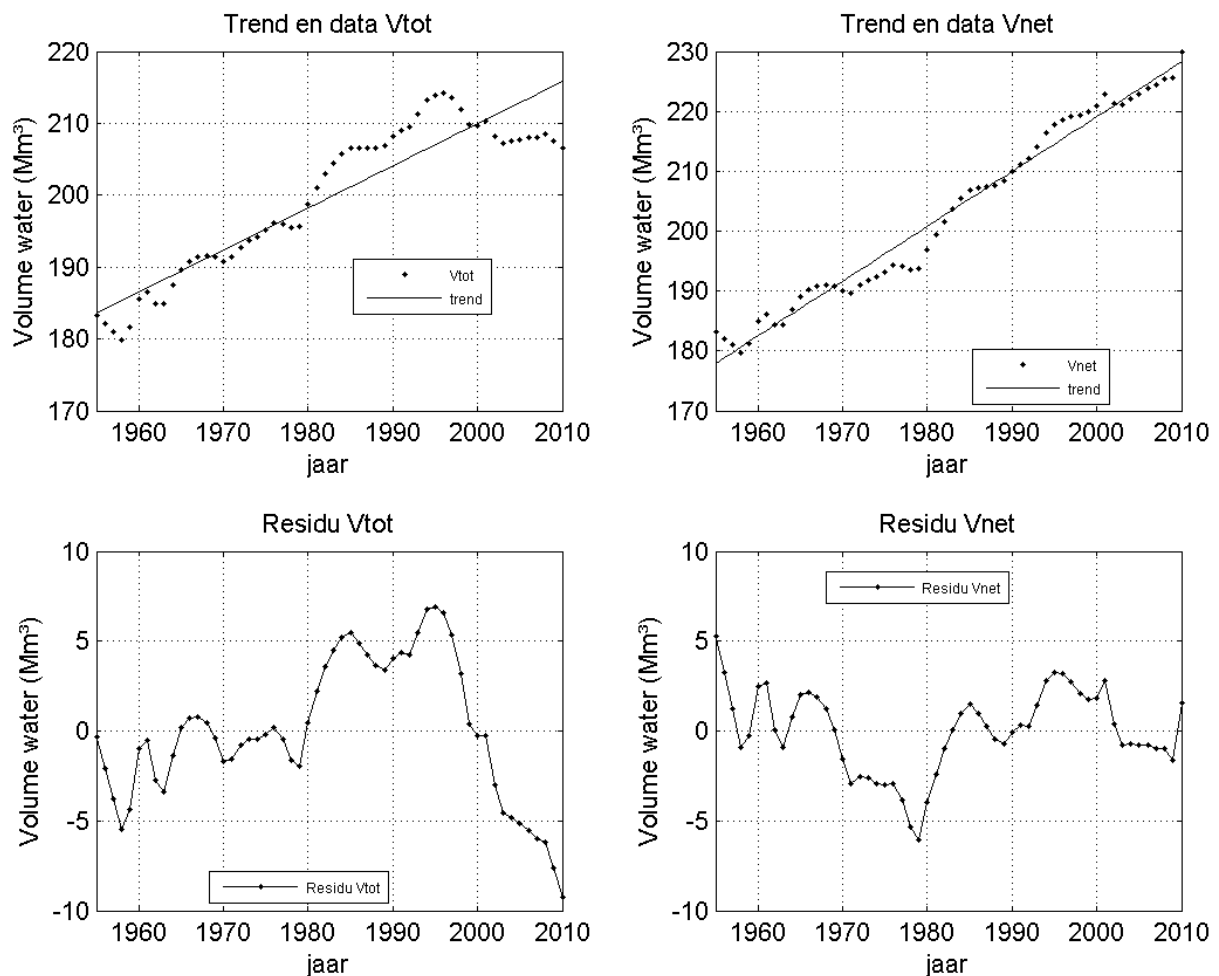


Figuur B.1 Variatie trend V_{tot} en V_{net} als functie van startjaar

Bij de *keuze van een referentieperiode* kunnen verschillende meningen of interpretaties bestaan. De keuze van het startjaar van de referentieperiode kan gestuurd worden door gekende veranderingen in beleid en beheer, ingrepen en autonome ontwikkelingen die langzame

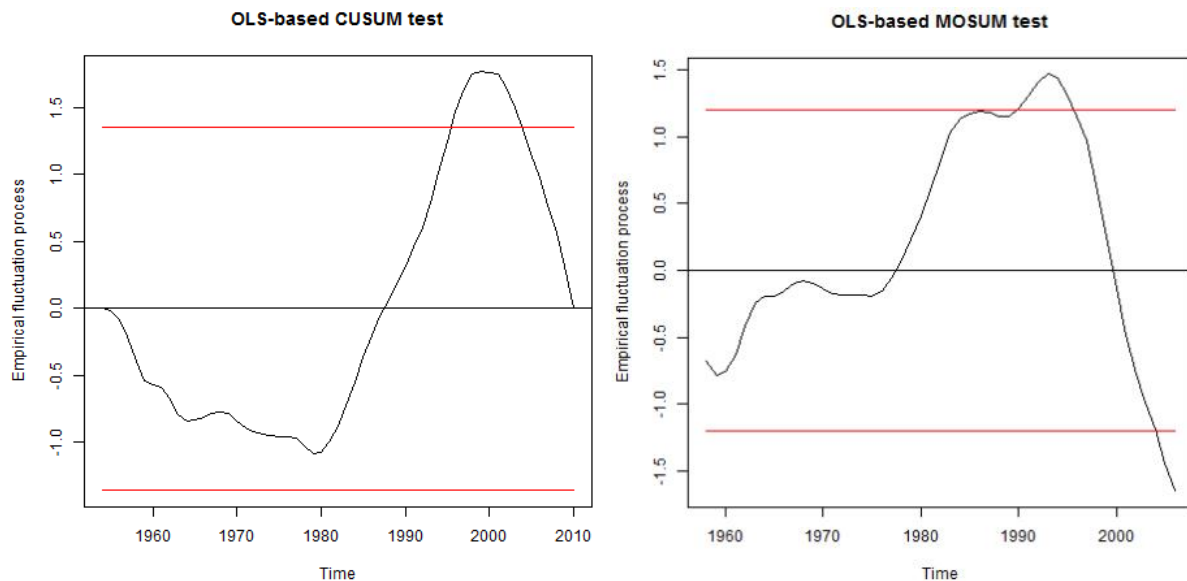
trendveranderingen of meer ingrijpende trendbreuken teweeg brengen. Het is daarom wenselijk om de keuze van de referentieperiode *op een objectieve wijze* te kunnen vaststellen. Hiertoe wordt een methode uit de tijdreeksanalyse uitgewerkt.

In Zeileis et al. (2002, 2003) worden methodes beschreven voor het vaststellen en dateren van veranderingen in regressiecoëfficiënten, of knikpunten en sprongen in de trendlijn. Het *vaststellen van trendwijzigingen of knikpunten* kan uitgevoerd worden door te kijken naar sterke veranderingen in de residuen van de gegevens ten opzichte van een lange termijn trend. In Figuur B.2 worden V_{tot} en V_{net} van de nevengeul in macrocel 1 weergegeven met een trendlijn door de volledige tijdreeks (1955-2010) getrokken. Daaronder staan de residuen ten opzichte van de trendlijn weergegeven. Hierin kan vastgesteld worden dat de residuen soms sterk (van sterk positief naar sterk negatief) en snel (binnen enkele jaren) wijzigen. Dit lijkt een ook een aanwijzing te zijn voor belangrijke veranderingen in het gedrag (of de trend) in de onderliggende data.



Figuur B.2 V_{tot} (links) en V_{net} (rechts) in de nevengeul van macrocel 1, lange termijn trend (boven) en residuen (onder).

Een andere manier om trendveranderingen vast te stellen, is door de cumulatieve residuen te beschouwen (in combinatie met de lineaire regressie wordt deze methode in de tijdreeksanalyse 'OLS-CUSUM' genoemd: ordinary least squares – CUMulative SUM of residuals). Een alternatief is een glijdende som (of gemiddelde) van de residuen te beschouwen ('OLS-MOSUM': ordinary least squares – MOving SUM of residuals). Figuur B.3 toont deze twee typen residuen voor dezelfde data als hierboven (V_{tot}).



Figuur B.3 Resultaat van een OLS-CUSUM (links) en OLS-MOSUM test (rechts) op V_{tot} van de nevengeul in macrocel 1.

De residuen tonen de veranderingen in het structureel gedrag van de onderliggende data. Uit de OLS-CUSUM test kan afgeleid worden dat minstens rond 1980 en rond 2000 wijzigingen zijn opgetreden. Uit de OLS-MOSUM test zou eerder rond 1965, 1978, 1985 en 1995 een verandering vermoed worden. De rode lijnen in bovenstaande grafieken stellen het 95% significantieniveau voor; omslagpunten die buiten deze band vallen zijn significant bij dit niveau. Dit betekent echter niet dat veranderingen binnen deze banden betekenisloos zijn, zeker omdat er meerdere veranderingen in de trend van de grafiek zijn. Aangezien we naar veranderingen in systeemgedrag op zoek zijn, dient vooral naar veranderingen in de richting van de cumulatieve of glijdende sommen van residuen gekeken te worden.

Uit bovenstaande voorbeeld kunnen we in ieder geval afleiden dat er veranderingen in de trends van volume-ontwikkelingen plaatsvinden. De omslagpunten zijn echter moeilijk eenduidig te bepalen, en lijken te variëren met de gebruikte methode. Als *dateringsmethode* wordt daarom de benadering van Bai & Perron (1998) (ook beschreven in Zeileis et al., 2003) toegepast. Deze wordt hierbij verder toegelicht:

Als in een tijdreeks m knikpunten voorkomen, dan zijn er $m + 1$ segmenten waaruit deze tijdreeks bestaat. Elk segment wordt gekenmerkt door een eigen regressievergelijking $y = x\beta_i + y_0$. Door het toevoegen van segmenten zal elk segment beter aansluiten op de data, maar ook een complexer model opleveren.

De Bai en Perron methode is een optimalisatieprocedure en houdt in dat er enerzijds wordt gestreefd naar een afname van de totale residuen (RSS, *residual sum of squares*) in combinatie met een minimalisatie van een informatiecriterium (BIC, *bayesian information criterion*) door het toevoegen van knikpunten (of segmenten) en verschuiven van het jaartal van de knikpunten. Eigen aan het BIC is dat de minimalisatie van de BIC niet eindeloos doorgedreven dient te worden ten koste van het steeds complexer worden van het model (i.e. het toevoegen van knikpunten). Algemeen wordt aangenomen dat het verschil tussen de BIC van een mogelijk model en de minimale BIC (BIC_0) als volgt te interpreteren valt (Kass & Raftery, 1995):

BIC(i) – BIC(i+1)	Bewijs tegen H_0 (model i)
0 → 2	Enkel een vermelding waard, m.a.w. model i kan even goed de waarneming beschrijven als model i+1.
2 → 6	Positief, of substantieel bewijs
6 → 10	Sterk bewijs
> 10	Beslissend, of zeer sterk bewijs

Tabel B.1 Interpretatie van het verschil tussen BIC van een mogelijk model en de minimale BIC.

De BIC is (na vereenvoudiging) gedefinieerd als volgt:

$$BIC = -2 \cdot \ln(\hat{L}) + k \cdot \ln(n)$$

Met: $\ln(\hat{L})$ de log-likelihood functie van de samengestelde regressievergelijkingen
 n aantal observatiepunten
 k aantal te verklaren regressiecoëfficiënten.

Omdat in de BIC definitie een penalty zit voor de complexiteit van het model (k), zal met toenemend aantal knikpunten in een model, de BIC vanaf een gegeven punt ook weer toenemen. Ondanks de objectieve opzet van de methode voor het bepalen van knikpunten, blijft er in de bovenstaande interpretatie (Tabel B.1) nog steeds een subjectief element in zitten, namelijk het al dan niet meetellen van een knikpunt op basis van de BIC verandering. Om dit subjectief element er uit te halen, wordt de relatieve verlaging van de RSS door het toevoegen van een knikpunt mee te nemen vastgelegd in de beoordeling. Er wordt aangenomen dat als reeds 95% van de totale RSS (ten opzichte van een lineair model, of dus zonder knikpunten) verklaard is door het voorgaande model (met $n-1$ knikpunten) in combinatie met een beperkte afname van het BIC (tussen 2 en 10), het model met een bijkomend knikpunt (n) geen wezenlijke verbetering zal opleveren.

De acceptatiecriteria voor een knikpunt n in deze toepassing worden dan vastgesteld als:

Regel 1: Het model met n knikpunten wordt aangenomen als de BIC afname ten opzichte van het model met $n-1$ knikpunten groter dan 10 is.

Regel 2: het model met n knikpunten wordt aangenomen als de BIC afname ten opzichte van model met $n-1$ knikpunten groter dan 2 is, en als het model met $n-1$ knikpunten minder dan 95% van de initiële RSS (lineair model, geen knikpunten) verklaart.

Anders uitgedrukt:

$$BIC_{n-1} - BIC_n > 10 \quad \text{[Regel 1]}$$

OF

$$\left\{ \begin{array}{l} BIC_{n-1} - BIC_n > 2 \quad \text{[Regel 2a]} \\ \frac{RSS_0 - RSS_{n-1}}{RSS_0} < 0.95 \quad \text{[Regel 2b]} \end{array} \right.$$

waarbij

BIC_{n-1} het Bayesian Information Criterion voor het model met $n-1$ knikpunten
 BIC_n het Bayesian Information Criterion voor het model met n knikpunten
 RSS_0 de *Residual Sum of Squares* van een lineair model (geen knikpunten)
 RSS_{n-1} de *Residual Sum of Squares* van een model met n segmenten ($n-1$ knikpunten)

De methode wordt hier geïllustreerd met de tijdreeks van V_{tot} van de nevengeul van macrocel 5 tussen 1955 en 2010. De statistieken met stijgend aantal knikpunten worden weergegeven in Tabel B.2, gevolgd door visualisatie van de knikpunten en trendlijnen in Figuur B.4.

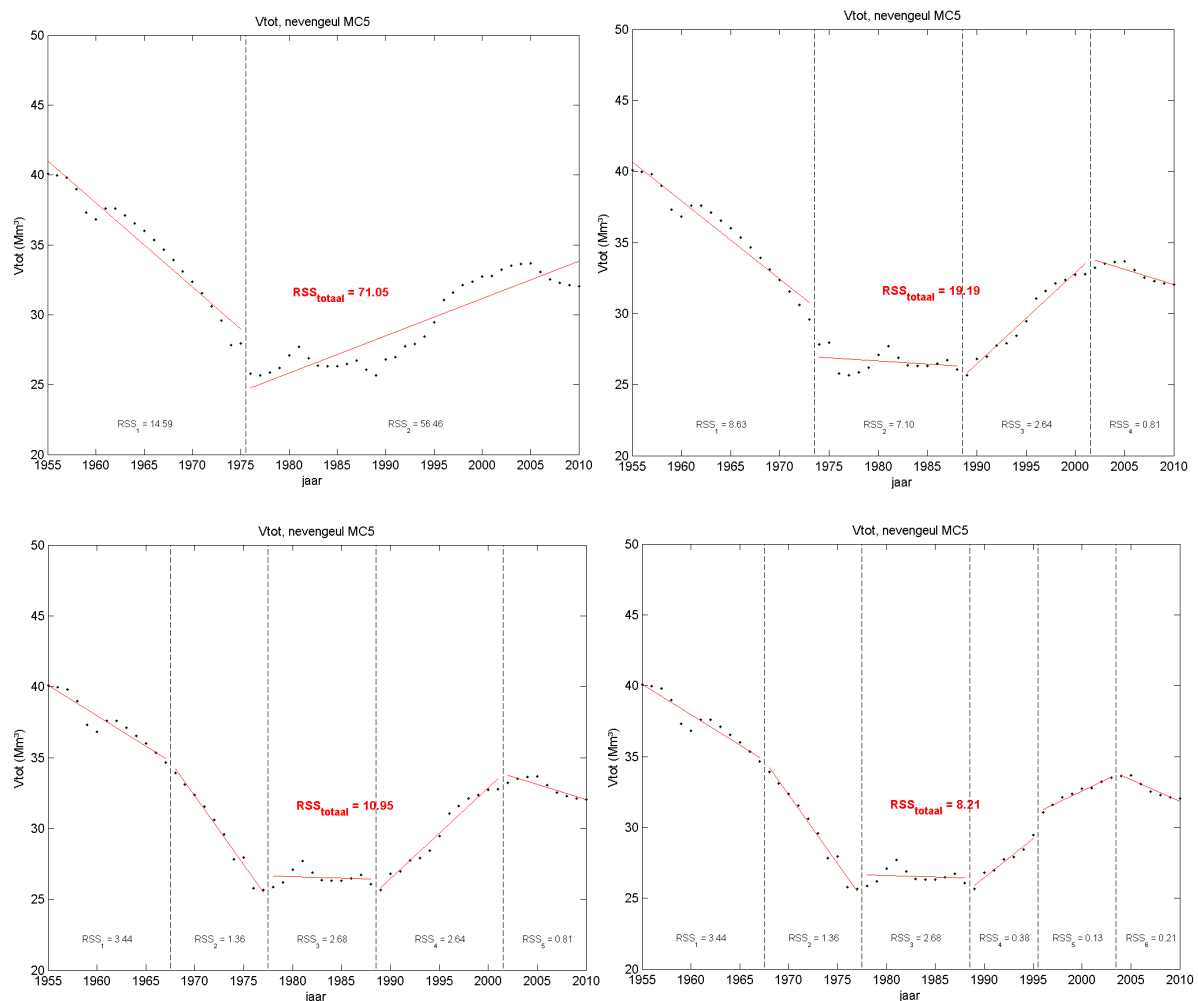
Er wordt gestart met een tijdreeks zonder knikpunten (1 segment). De totale RSS bedraagt 854 (Mm^3). Vervolgens wordt 1 knikpunt toegevoegd, zoals weergegeven in Tabel B.2. Elk segment geeft een partiële RSS, de som van beiden bedraagt nog 71. Dit betekent dat het toevoegen van 1 knikpunt 92% van de oorspronkelijke RSS helpt verklaren.

Wanneer een vijfde knikpunt wordt toegevoegd, blijkt het BIC slechts met 4 punten af te nemen. Omdat dit tussen 2 en 10 gelegen is, wordt gekeken of het model met 4 knikpunten reeds 95% van de oorspronkelijke RSS verklaarde. Dit is het geval, en om die reden is niet voldaan aan

Regel 2b en wordt het model met 5 knikpunten niet geaccepteerd. Meteen volgt dat het optimale model dit is met 4 knikpunten.

# knikpunten	RSS	$\frac{RSS_t - RSS_{n-1}}{RSS_t}$	BIC	$BIC_{n-1} - BIC_n$	Jaartallen
0	854	0%	324		-
1	71	92%	196	128	1975
2	32	96%	164	32	1975, 1995
3	19	98%	147	17	1973, 1988, 2001
4 (optimaal)	10	99%	128	19	1967, 1977, 1988, 2001
5	8	99%	124	4	1967, 1977, 1988, 1995, 2003
6	6	99%	116	8	1966, 1975, 1981, 1988, 1995, 2003

Tabel B.2 Optimalisatie van het aantal knikpunten en de jaartallen voor de knikpunten voor V_{tot} van de nevengeul van macrocel 5.



Figuur B.4 Visualisatie van de optimalisatie van het aantal knikpunten en de jaartallen voor de knikpunten voor V_{tot} van de nevengeul van macrocel 5. Eerst met 1 knikpunt (linksboven), dan met 3 knikpunten (rechtsboven), dan met 4 knikpunten (optimaal, linksonder) en tot slot met 5 knikpunten (rechtsonder).

De gebruikte dateringsmethode laat ook toe de *minimale duur/lengte van een segment* op te leggen. Het is niet wenselijk een te lange duur op te leggen omdat kort opeenvolgende knikpunten hierbij niet gevonden kunnen worden, en evenmin is het wenselijk een te korte duur op te leggen omdat teveel kort opeenvolgende knikpunten geen (fysische) betekenis meer hebben. Een gevoeligheidsanalyse waarbij de minimale duur op 3, 5, 7 en 10 jaar werd gelegd,

voor de nevengeulvolumes (V_{tot} en V_{net}) van macrocel 4 en 5 voor de periode 1955-2010, toont aan dat de duur van 5 jaar een goede keuze is, zonder dat een duur met een paar jaar minder of meer (3 of 7 jaar) al te sterk afwijkende resultaten geeft, zie Tabel B.3. Een langere periode (10 jaar) toont aan dat mogelijke knikpunten verloren gaan in de analyse. De jaartallen die weergegeven worden zijn telkens het laatste jaar van een segment.

Minimale duur segment	# knikpunten	jaartallen
V_{tot} – Macrocel 4 - Nevengeul		
3 jaar	5	1960, 1968, 1980, 1986, 1997
5 jaar	5	1960, 1968, 1980, 1986, 1997
7 jaar	5	1961, 1968, 1977, 1984, 1997
10 jaar	4	1966, 1976, 1986, 1997
V_{net} – Macrocel 4 - Nevengeul		
3 jaar	5	1961, 1968, 1973, 1985, 2001
5 jaar	5	1961, 1968, 1973, 1985, 2001
7 jaar	5	1961, 1968, 1975, 1986, 2001
10 jaar	3	1968, 1985, 2000
V_{tot} – Macrocel 5 - Nevengeul		
3 jaar	4	1967, 1977, 1988, 2001
5 jaar	4	1967, 1977, 1988, 2001
7 jaar	4	1967, 1977, 1988, 2001
10 jaar	4	1967, 1977, 1988, 2000
V_{net} – Macrocel 5 – Nevengeul		
3 jaar	2	1972, 1997
5 jaar	2	1972, 1997
7 jaar	2	1972, 1997
10 jaar	2	1972, 1997

Tabel B.3 Gevoeligheid van de bepaling van het aantal en de datering van de knikpunten in V_{tot} en V_{net} van de nevengeul in macrocel 4 en 5 als functie van de minimaal toegelaten duur van een segment.

B.2 Resultaten

Hieronder wordt per macrocel weergegeven wat het optimaal aantal trendbreuken m is (gekozen op basis van een weinig afnemend BIC) met bijbehorende jaren, in volgorde van afnemend belang. De weergegeven jaartallen zijn telkens het laatste jaar van een segment.

De analyseresultaten die vanaf hier worden weergegeven zijn gebaseerd op de periode 1955-2009. De gegevens gebaseerd op de vakloding van 2010 zijn niet meegenomen in de analyse omdat deze vakloding reeds invloeden van de derde verruiming in de geulvolumes vertoont.

Aangezien de gerapporteerde waarden watervolumes betreffen, zijn negatieve cumulatieve ingrepen gelijk aan 'netto storten', positieve gelijk aan 'netto baggeren'.

B.2.1 Macrocel 1

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	3	1959, 1980, 1997	-0.29 miljoen m^3/jr	0.54	0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	5	1959, 1964, 1979, 1985, 1993	0.56 miljoen m^3/jr	0.94	<0.01
I_{cum}	4	1970, 1981, 1995, 2000	-0.67 miljoen m^3/jr	1.00	<0.01

Tabel B.4 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 1

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	4	1959, 1965, 1981, 1991	0.58 miljoen m^3/jr	0.96	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	3	1965, 1981, 1992	0.73 miljoen m^3/jr	0.96	<0.01
I_{cum}	7	1963, 1968, 1974, 1981, 1991, 1998, 2004	0.02 miljoen m^3/jr	0.17	0.49 (n.s)

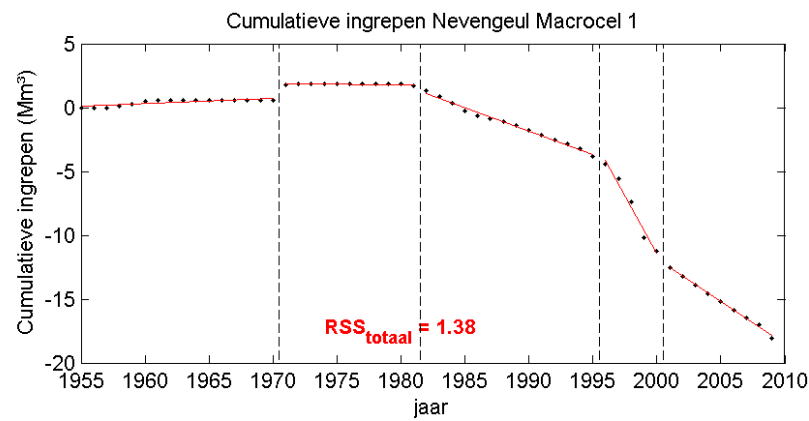
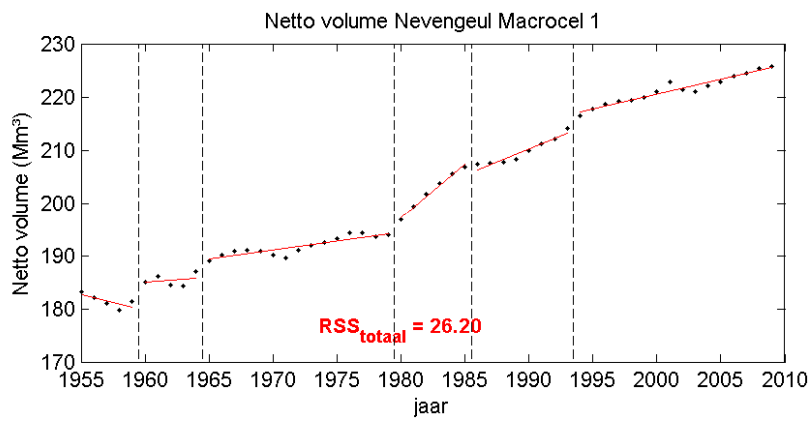
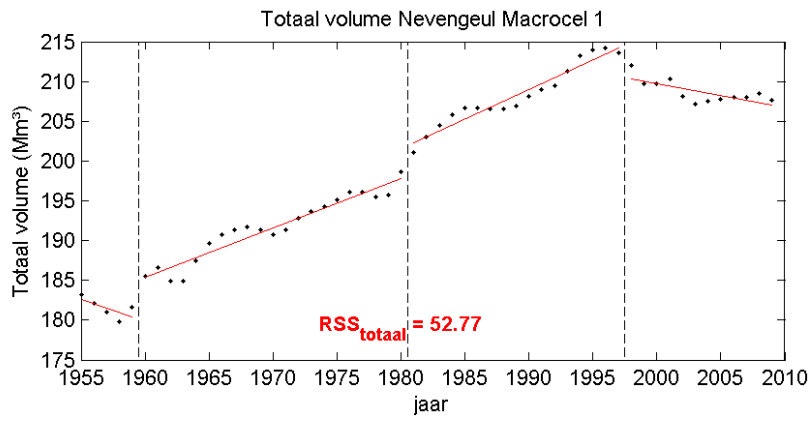
Tabel B.5 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 1. n.s. = niet significant. Trend in Mm^3/jr

De V_{tot} waarden van de nevengeul van macrocel 1 tonen een belangrijk knikpunt na 1980 en na 1997. Het eerste knikpunt stemt overeen met het begin van stortactiviteiten in de nevengeul, het tweede met de start van de oost-west strategie n.a.v. de tweede verruiming. De ingrepen worden vanaf dan ook sturend voor de ontwikkeling in het gebied.

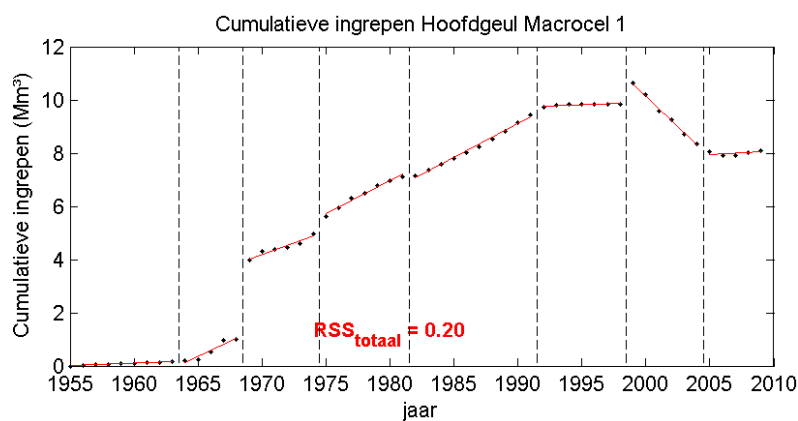
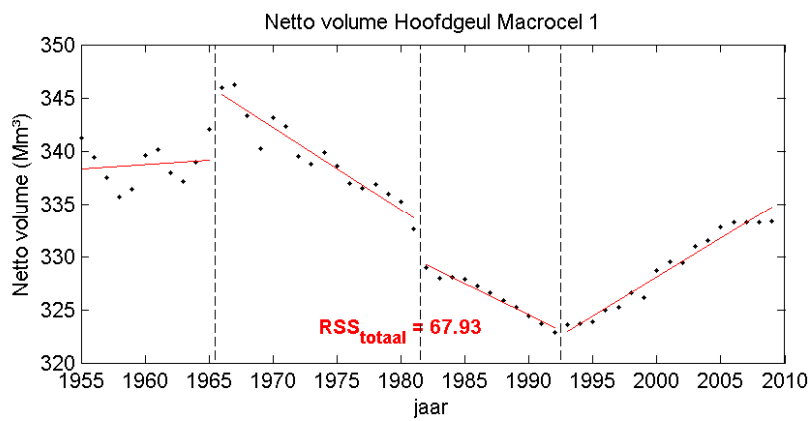
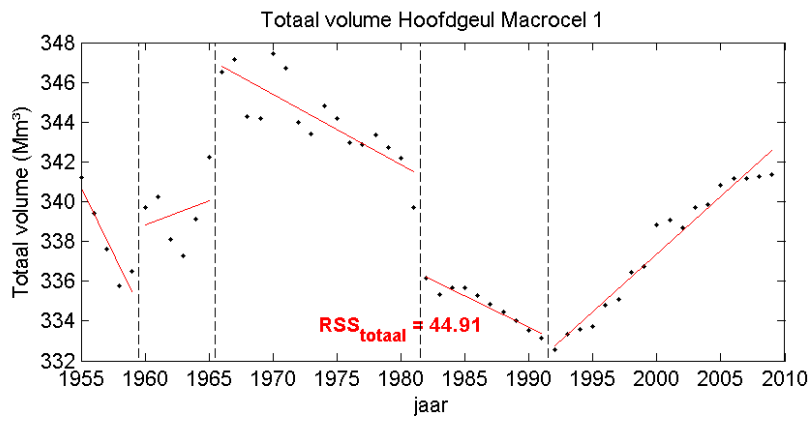
Een zwakker knikpunt in de ingrepen wordt in 2001 geplaatst. Het gaat hier om verzwakking van stortintensiteit, wat ook een knikje oplevert in V_{net} , maar niet in die mate dat er ook in V_{net} een knikpunt wordt geïdentificeerd.

In de hoofdgeul van macrocel 1 wordt geruime tijd (tot 1991) netto gebaggerd. Zo nu en dan wordt er een jaar intensiever gebaggerd (1968, 1974). De ontwikkeling van V_{tot} over lange termijn varieert relatief weinig ($\pm 15 \text{ Mm}^3$ p een totaal volume van bijna 350 Mm^3). Toch vertoont de parameter sterke trendwisselingen midden jaren '60 en '90 en een relatief grote sedimentatie begin jaren '80. Deze ontwikkelingen zijn ongetwijfeld gerelateerd aan autonome morfologische ontwikkelingen.

Gedurende enkele jaren (van de tweede verruiming tot 2004) is gestort; dit komt niet tot uiting in V_{tot} van de hoofdgeul (dus ook geen knikpunten). Vanaf de jaren '92-'93 is de trend opnieuw erosief (zowel in V_{net} als V_{tot}). De erosieve trend zwakt wel af vanaf 2005, samen met het stopzetten van de baggeractiviteit. In V_{net} en V_{tot} leidt dit echter nog niet tot significante knikpunten rond 2005.



Figuur B.5 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 1.



Figuur B.6 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 1.

B.2.2 Macrocel 3

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	4	1959, 1967, 1982, 1998	0.76 miljoen m^3/jr	0.83	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	5	1959, 1969, 1982, 1996, 2003	2.53 miljoen m^3/jr	0.97	<0.01
I_{cum}	4	1971, 1980, 1995, 2000	-1.88 miljoen m^3/jr	0.99	<0.01

Tabel B.6 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 3

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	7	1959, 1964, 1969, 1974, 1980, 1994, 2004	-0.88 miljoen m^3/jr	0.96	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	6	1959, 1964, 1969, 1976, 1981, 1992	-1.36 miljoen m^3/jr	0.98	<0.01
I_{cum}	6	1965, 1970, 1977, 1984, 1996, 2001	1.25 miljoen m^3/jr	1.00	<0.01

Tabel B.7 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 3. Trend in Mm^3/jr

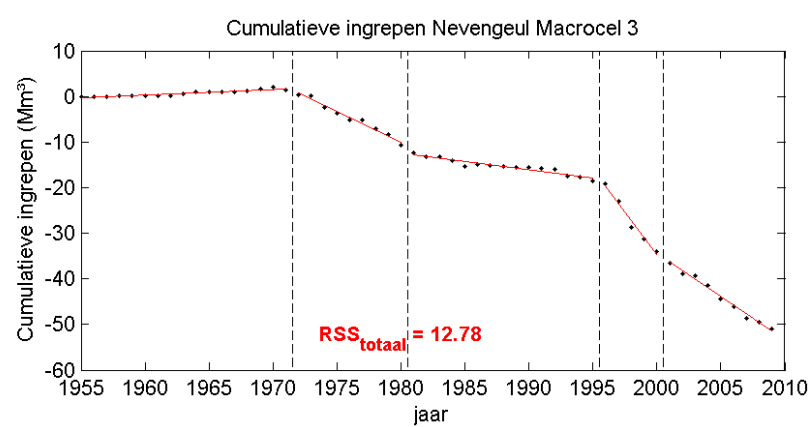
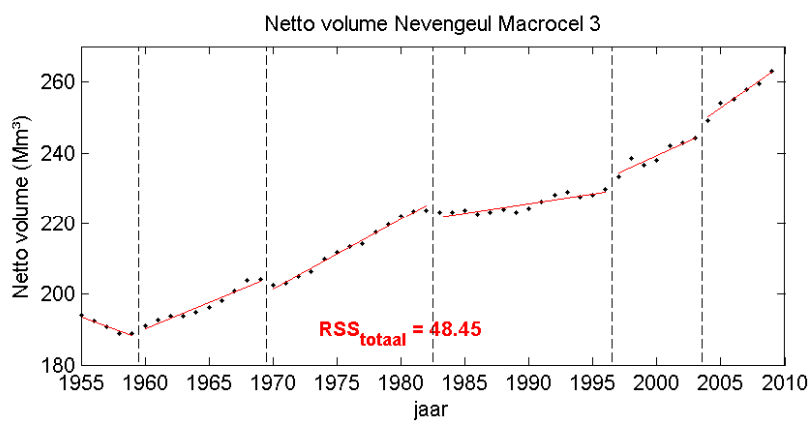
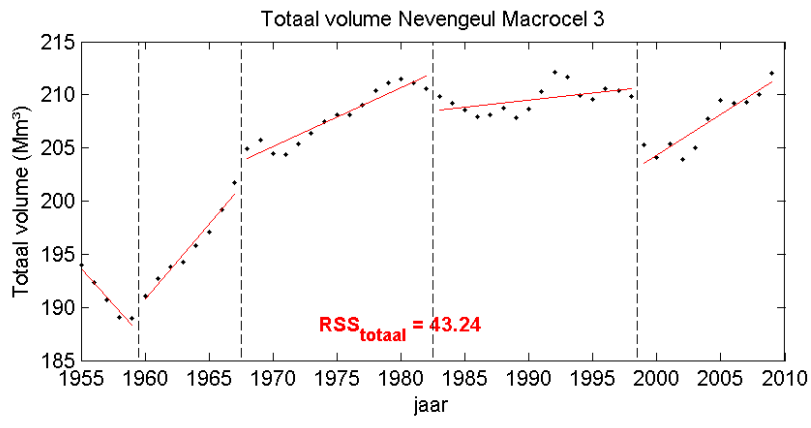
Tot 1972 zijn de ingrepen in de nevengeul van macrocel 3 beperkt. Tegelijk blijkt de geul ruimer te worden.

Vanaf de eerste verruiming, is de nevengeul als stortvak gebruikt en neemt de erosietrend licht af. De intensiteit varieerde van gemiddeld (1972-1980 en 2001-2009) tot laag (1981-1995) maar ook hoog (1996-1999, m.a.w. de tweede verruiming en kort erna). Na de tweede verruiming gaat de netto erosie niet verder. Door de sterke stortactiviteit rond de tweede verruiming treedt opnieuw een knikpunt op (gedateerd op 1998) om vervolgens weer een trendmatige toename van het watervolume te kennen, ondanks het verderzetten van het storten.

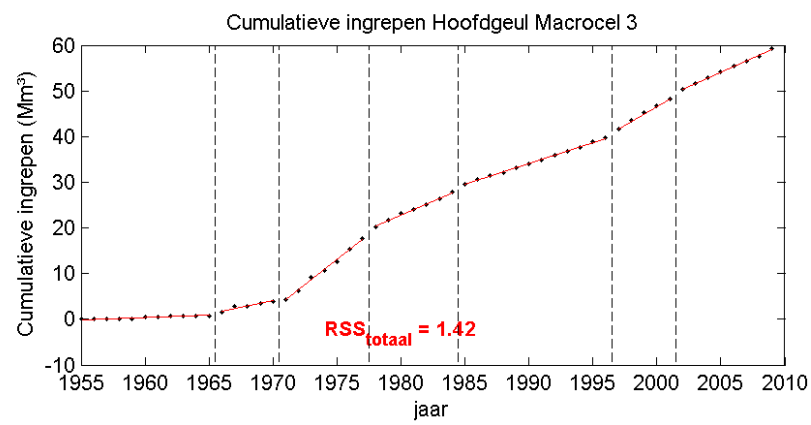
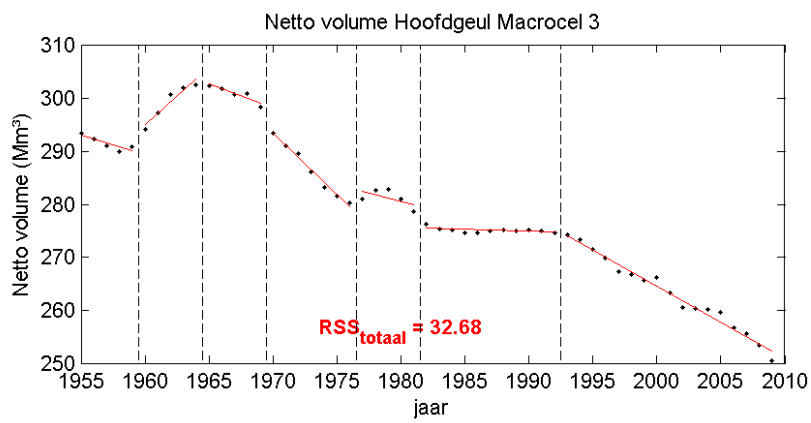
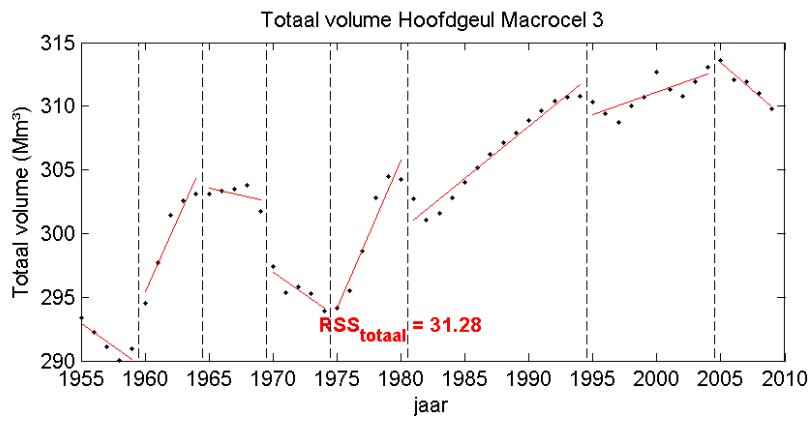
Het resultaat van deze waarnemingen is dat het netto volume doorheen de tijd (vanaf 1958) voortdurend is toegenomen, en het snelst wanneer intensiever gebaggerd werd.

In de hoofdgeul wordt sinds lange tijd gebaggerd. Op de cumulatieve curve worden vrij veel knikpunten aangeduid; de meest belangrijke zijn echter deze die overeenstemmen met een afname in baggerintensiteit na de eerste verruiming en een toename tijdens en kort na de tweede verruiming.

V_{tot} kent een zeer grillig verloop. Ondanks verder baggeren, blijkt de hoofdgeul zich echter maar in beperkte mate meer uit te ruimen sinds de tweede verruiming. Opvallend is wel dat sinds 2005 wel nog een significante en sterke erosietrend wordt waargenomen. Dit wijst er op dat in deze periode het baggeren geen sturende invloed meer heeft op de ontwikkeling van de hoofdgeul (en vermoedelijk meer te maken heeft met grotere morfologische veranderingen rond de Middelpaten).



Figuur B.7 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 3.



Figuur B.8 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 3.

B.2.3 Macrocel 4

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	5	1960, 1968, 1980, 1986, 1996	-2.77	0.99	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	4	1960, 1975, 1986, 2002	-0.96	0.93	<0.01
I_{cum}	5	1968, 1975, 1980, 1995, 2003	-1.71	0.91	<0.01

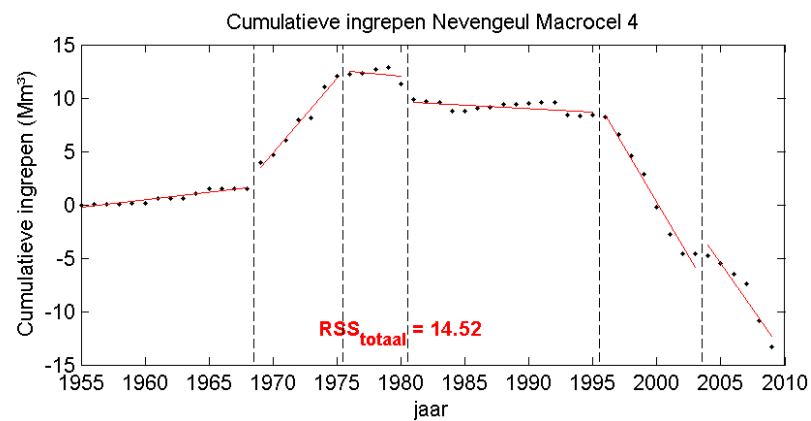
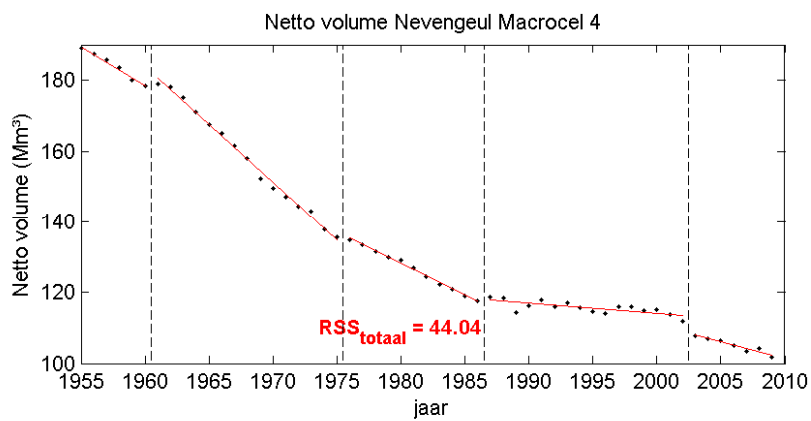
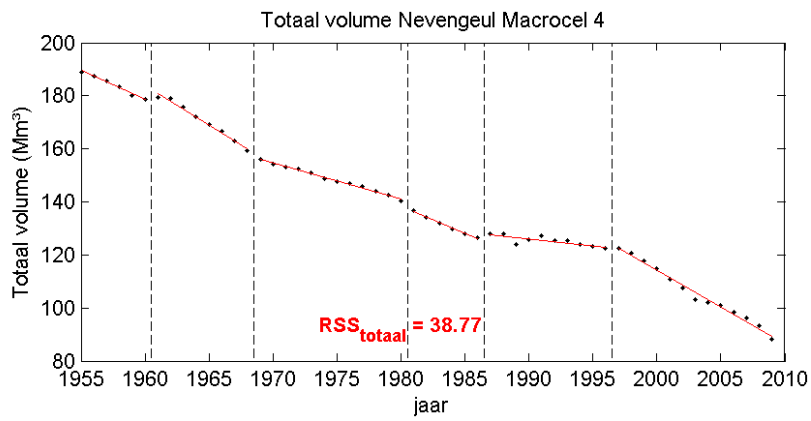
Tabel B.8 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 4

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	4	1961, 1978, 1991, 1999	2.55	0.99	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	3	1966, 1981, 2001	2.34	0.97	<0.01
I_{cum}	7	1968, 1973, 1978, 1983, 1992, 1997, 2002	0.29	0.60	0.04

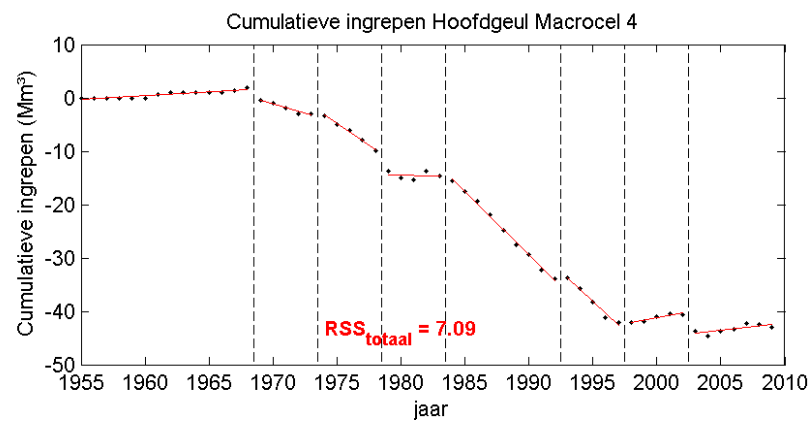
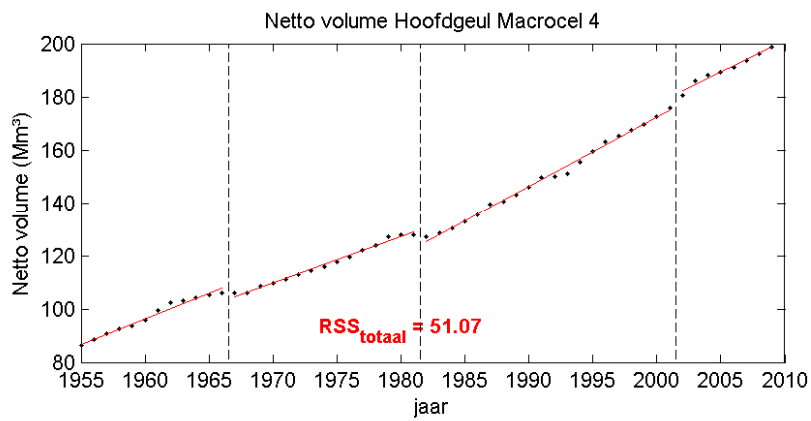
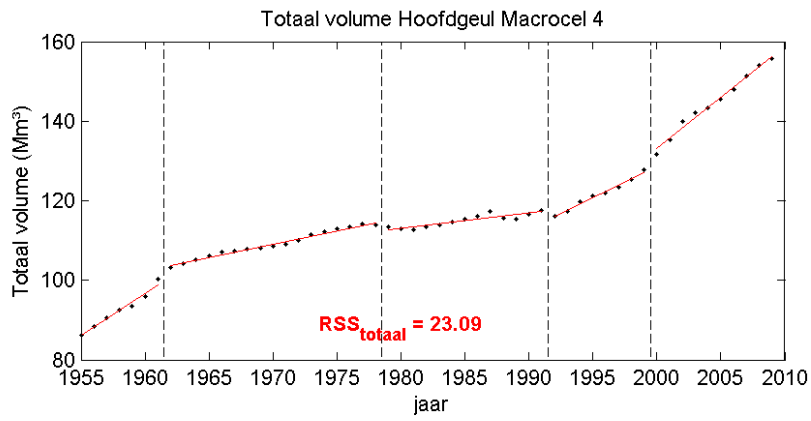
Tabel B.9 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 4. Trend in Mm^3/jr

In macrocel 4 gedragen de V_{tot} -tijdreeksen van de hoofdgeul en de nevengeul zich tegengesteld: de hoofdgeul ruimt uit terwijl de nevengeul sedimenteert. Hetzelfde geldt voor V_{net} . De ingrepen zijn niet sturend, want V_{tot} en V_{net} hebben in beide gevallen dezelfde richting.

Ondanks dat het volume van ingrepen in de hoofdgeul sinds tweede verruiming relatief klein is, ruimt de hoofdgeul verder uit (V_{net} en V_{tot} nemen toe in de hoofdgeul). De recentste trendbreuk in de nevengeul in V_{tot} wordt na 1996 gedetecteerd en na 2002 voor V_{net} . V_{net} en V_{tot} zijn beiden sterk dalend qua trend; de stortingen hebben voor een versterkte trend gezorgd.



Figuur B.9 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 4.



Figuur B.10 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 4.

B.2.4 Macrocel 5

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	4	1967, 1977, 1988, 2001	-0.21	0.70	0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	2	1972, 1997	0.33	0.84	<0.01
I_{cum}	3	1968, 1977, 1987	-0.28	0.94	<0.01

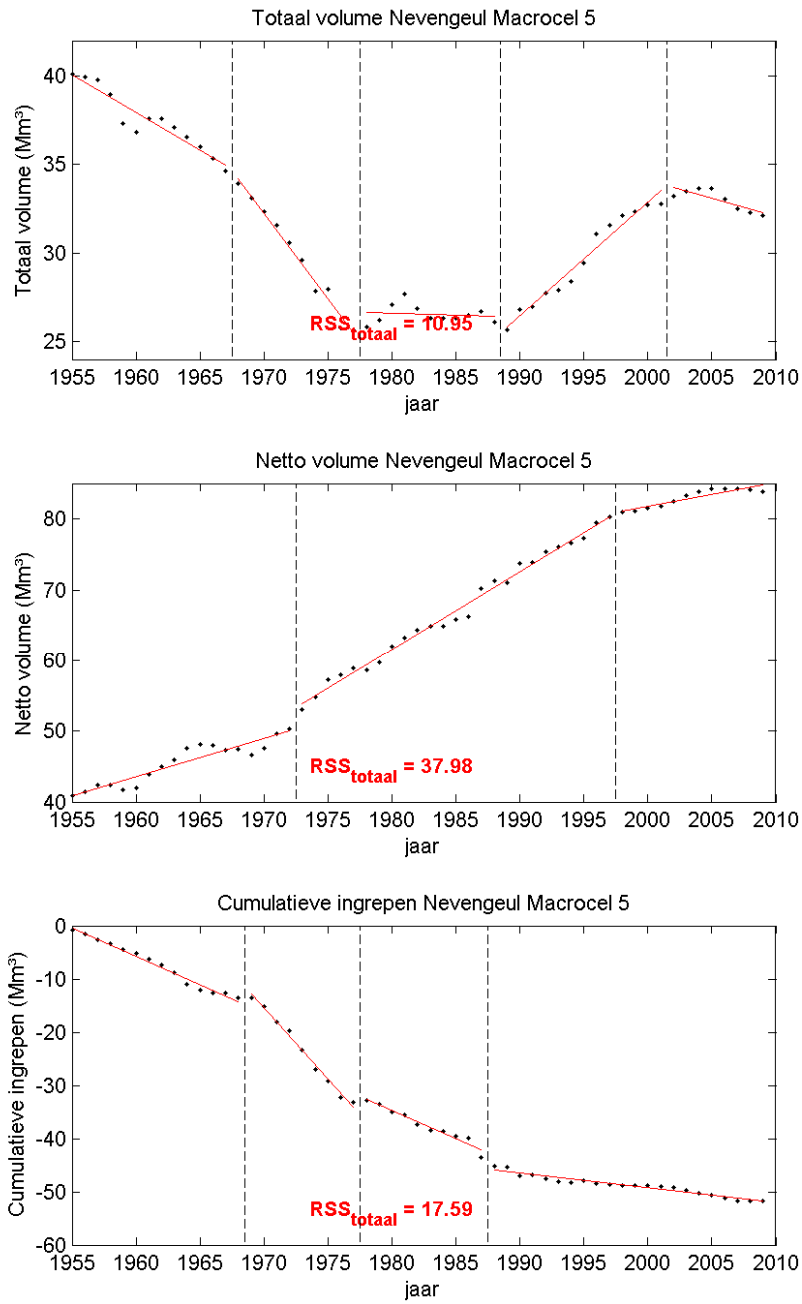
Tabel B.10 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 5

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	3	1969, 1983, 1997	1.65	0.96	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	3	1974, 1985, 1996	-2.07	0.98	<0.01
I_{cum}	6	1963, 1969, 1975, 1985, 1995, 2000	3.23	1.00	<0.01

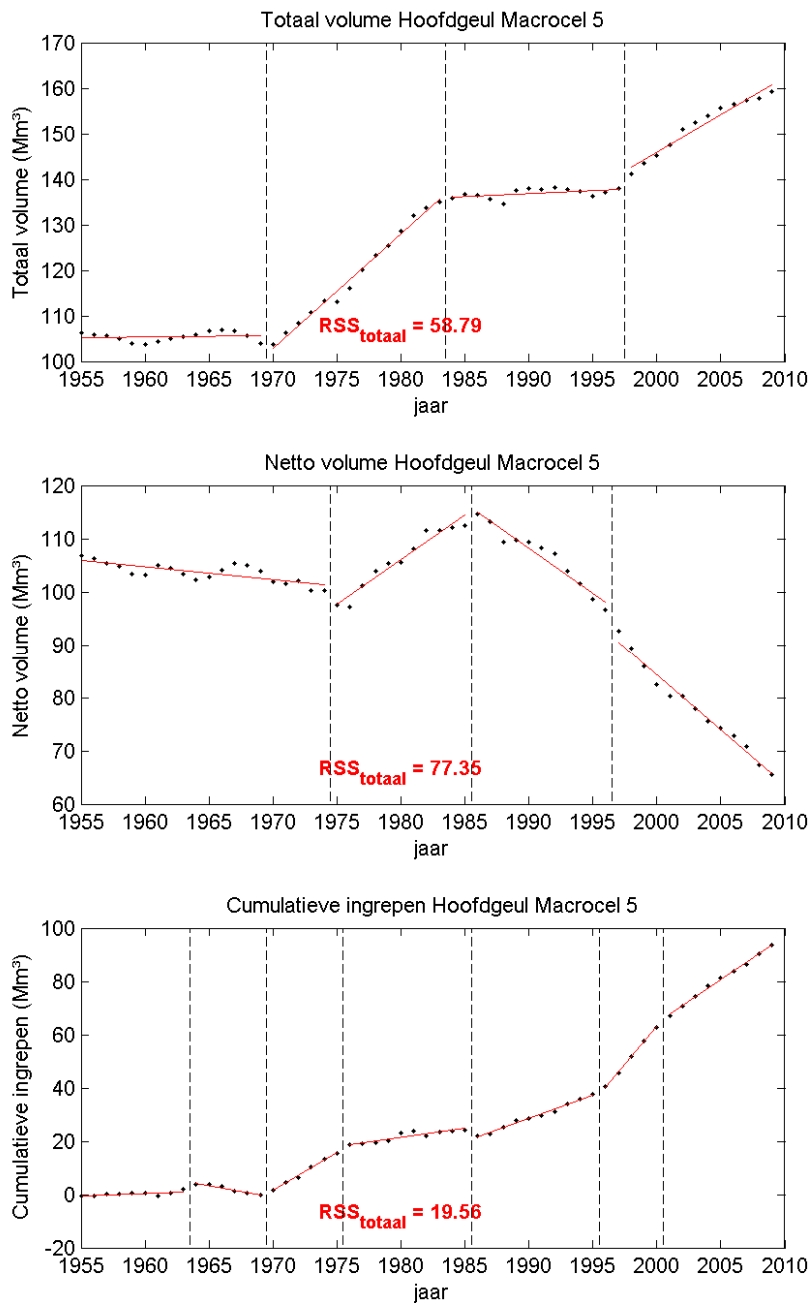
Tabel B.11 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 5. Trend in Mm^3/jr

Tussen 1955 midden jaren '70 neemt het nevengeulvolume in macrocel 5 vrij sterk af onder invloed van de stortactiviteiten die er plaats vinden. Dat het storten sturend is blijkt ook uit het samenvallen van de knikpunten in V_{tot} en V_{net} . Na de eerste verruiming blijft V_{tot} relatief stabiel ondanks verdere stortactiviteiten (die weliswaar minder intens zijn dan voorafgaand). Eind jaren '80 is een omslag zichtbaar: er wordt nog minder gestort en het watervolume gaat weer toenemen (met een maximum rond 2005). De laatste jaren wordt echter weer een volumeafname (sedimentatie) waargenomen wat een autonome ontwikkeling lijkt te zijn.

In de hoofdgeul is het watervolume in twee periodes toegenomen: van 1970 tot 1983 en van 1996 tot 2009. De oorzaak licht deels bij de baggeractiviteiten die sinds de tweede verruiming intenser geworden zijn dan voordien. Het nettovolume kent trendwisselingen: sinds 1985 neemt dit volume vrij sterk af.



Figuur B.11 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 5.



Figuur B.12 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 5.

B.2.5 Macrocel 6

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	5	1965, 1972, 1979, 1989, 1998	0.23	0.99	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	4	1964, 1972, 1985, 1998	0.23	0.99	<0.01
I_{cum}	4	1961, 1971, 1979, 1985	0.01	0.50	<0.01

Tabel B.12 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 6

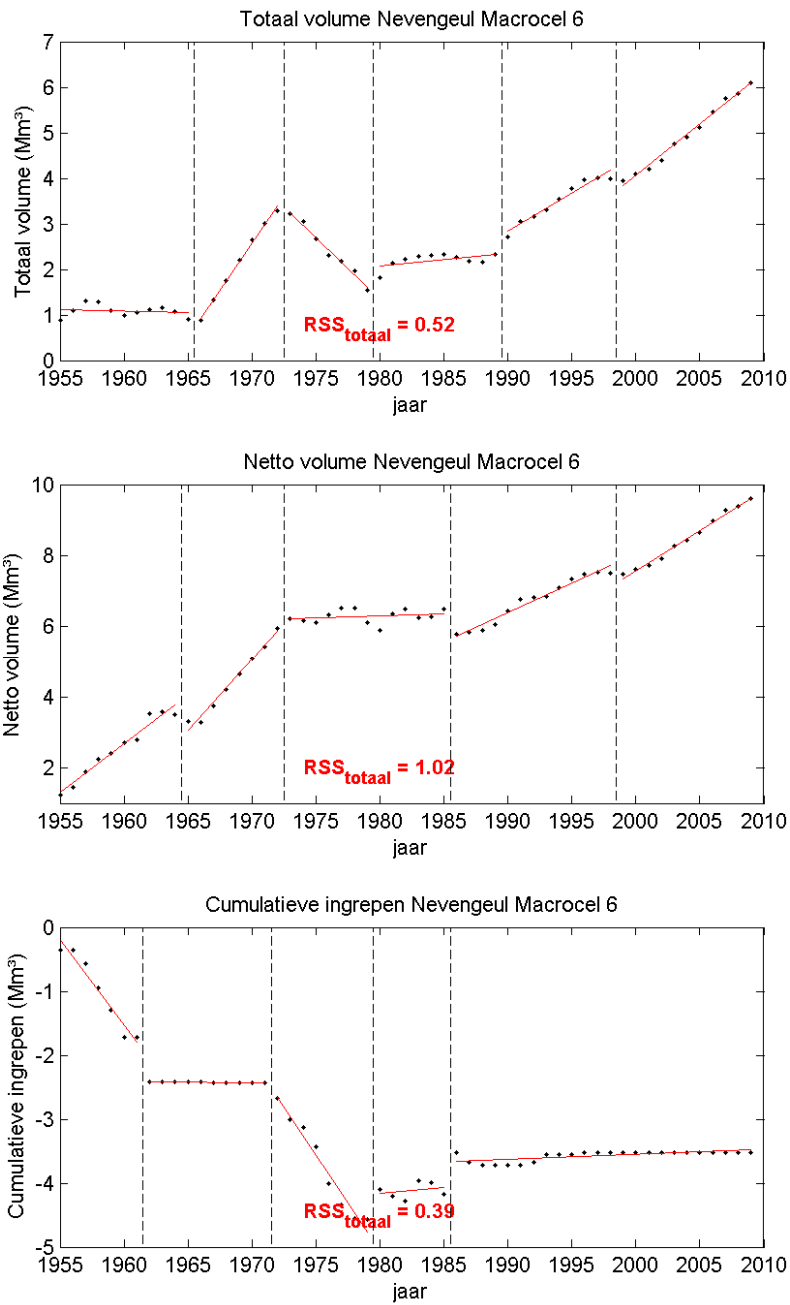
Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	5	1962, 1976, 1981, 1986, 1997	0.39	0.96	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	5	1960, 1966, 1975, 1986, 1998	-0.81	0.99	<0.01
I_{cum}	4	1963, 1976, 1981, 1988	1.25	1.00	<0.01

Tabel B.13 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 6. Trend in Mm^3/jr

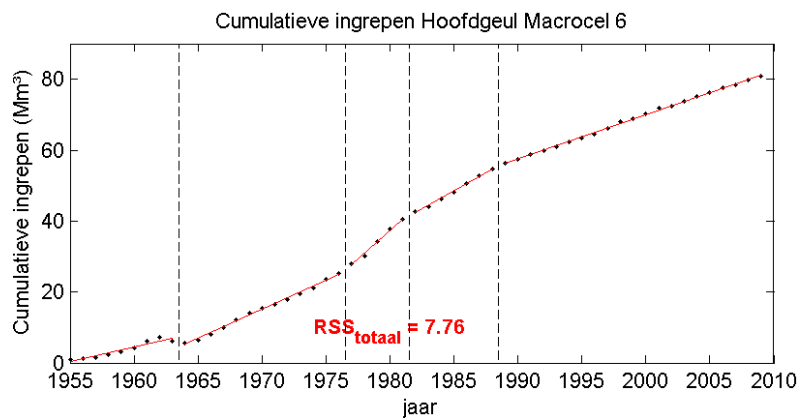
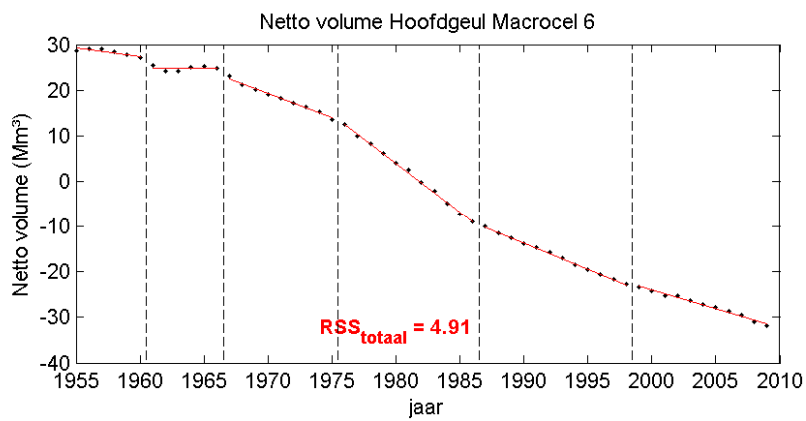
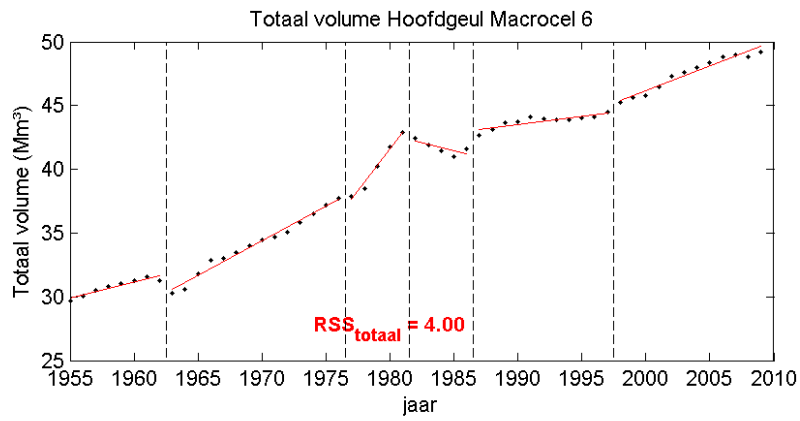
In de nevengeul van macrocel 6 is gestort in de tweede helft van de jaren '50 en de jaren '70. Op enkele ogenblikken is vervolgens gebaggerd in het gebied, maar sinds ca. 1985 zijn de ingrepen beperkt. De invloed van de oost-west strategie kan hier verder in herkend worden: in de nevengeul van macrocel 6 wordt helemaal niet meer gestort.

Het totaalvolume is vrij gevoelig voor de ingrepen: in periodes zonder stortingen (jaren '60 en vanaf 1990) zien we V_{tot} toenemen en anders afnemen of stabiel blijven.

In de hoofdgeul zijn de ingrepen sturend: het totaalvolume neemt toe terwijl er nog grotere volumes gebaggerd worden (wat leidt tot een bijna continue afname van het nettovolume). Sinds ca. 1988 is de gemiddelde baggerintensiteit afgenomen, deze was duidelijk hoger tijdens en kort na de eerste verruiming.



Figuur B.13 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 6.



Figuur B.14 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 6.

B.2.6 Macrocel 7

Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R ²	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	5	1960, 1966, 1978, 1987, 1995	0.02	0.33	0.03
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	3	1968, 1983, 1995	0.02	0.33	0.03
I_{cum}	4	1959, 1964, 1969, 1983	0.00	0.11	0.09

Tabel B. 14 Datering van trendbreuken in de nevengeul van macrocel 7

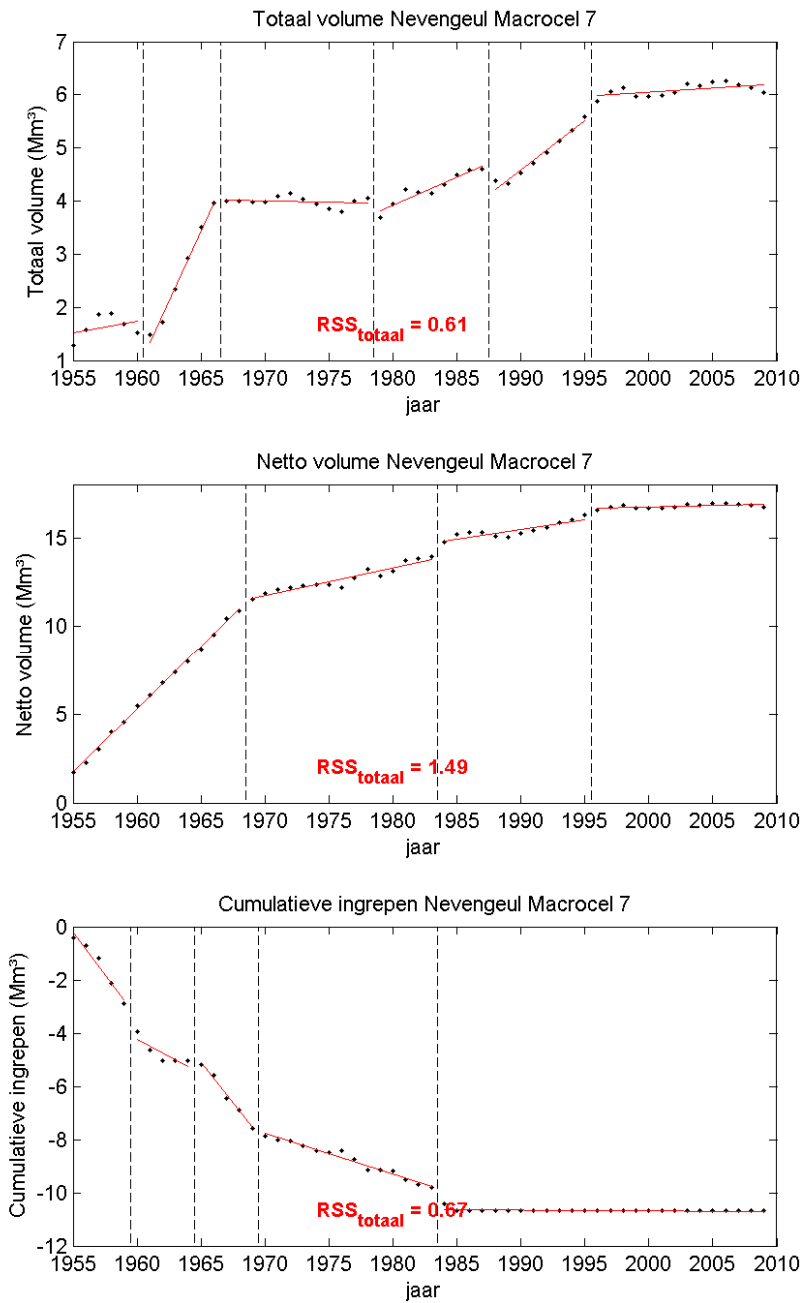
Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R ²	p
$V_{tot} (< -5 \text{ m})$	4	1959, 1970, 1979, 1997	0.29	0.96	<0.01
$V_{net} (< -5 \text{ m})$	5	1961, 1970, 1980, 1985, 1997	-0.23	0.93	<0.01
I_{cum}	5	1965, 1973, 1978, 1985, 2000	0.42	0.99	<0.01

Tabel B. 15 Datering van trendbreuken in de hoofdgeul van macrocel 7. Trend in Mm^3/jr

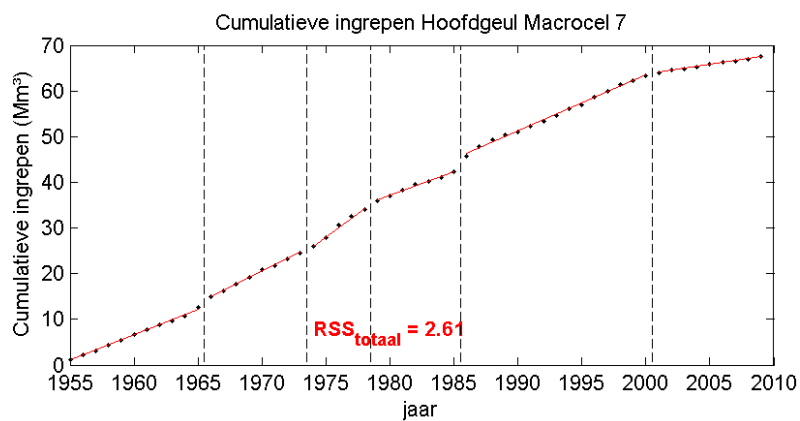
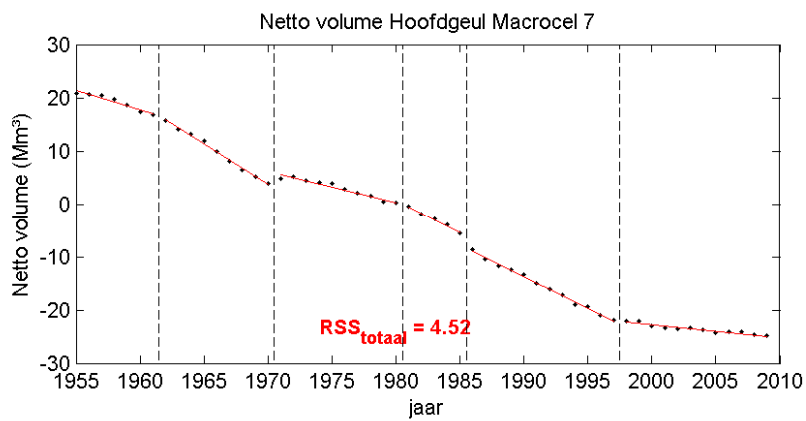
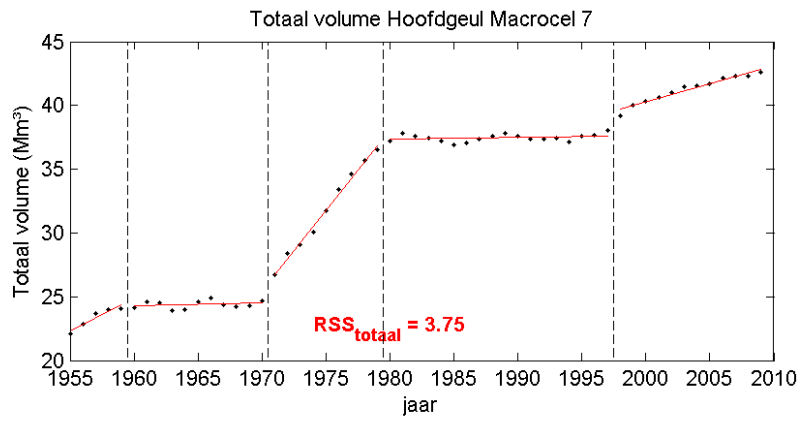
De ingrepen in de nevengeul van macrocel 7 tonen aan dat tussen 1955 en 1970 gemiddeld een half miljoen m^3 specie gestort werd in het gebied. In de periode 1968-1971 werd de stroomleidam aan de Ballastplaat gebouwd. Vanaf 1970 wordt ook een afname van de stortintensiteit waargenomen. Sinds 1985 worden geen betekenisvolle ingrepen meer uitgevoerd in het gebied.

De waargenomen volume-ontwikkeling (V_{tot}) van de nevengeul is in enkele periodes toegenomen: tussen 1960 en 1966, en midden jaren '80 tot aan de tweede verruiming. Dit zijn periodes met minder hoge stortintensiteit. Ook in de nevengeul van macrocel 6 (Schaar van de Noord) wordt tussen 1961 en 1973 niet gestort, wat mogelijk leidt tot een verlaagde sedimentaanvoer of -beschikbaarheid dan voorafgaand). Dit zou kunnen aantonen dat er een evenwicht bestaat tussen storten en erosie met beperkt netto effect, dat vervolgens omslaat in netto erosie wanneer er minder gestort wordt. Sinds de tweede verruiming is het volume niet verder toegenomen ondanks het feit dat er niet gestort wordt, wat suggereert dat een nieuwe maar verschillende evenwichtssituatie bestaat.

De omvang van de hoofdgeul neemt toe vanaf 1970, mogelijk onder invloed van de bouw van de leidam. Tussen 1974 en 1977 zijn de baggeractiviteiten iets verhoogd ten opzichte van de voorgaande periode. Tussen 1980 en 1997 (dus grofweg tussen de eerste en tweede verruiming) is het volume vrij stabiel. Sinds de tweede verruiming neemt het geulvolume weer enigszins toe, ondanks het feit dat er minder gebaggerd werd dan voor de tweede verruiming.



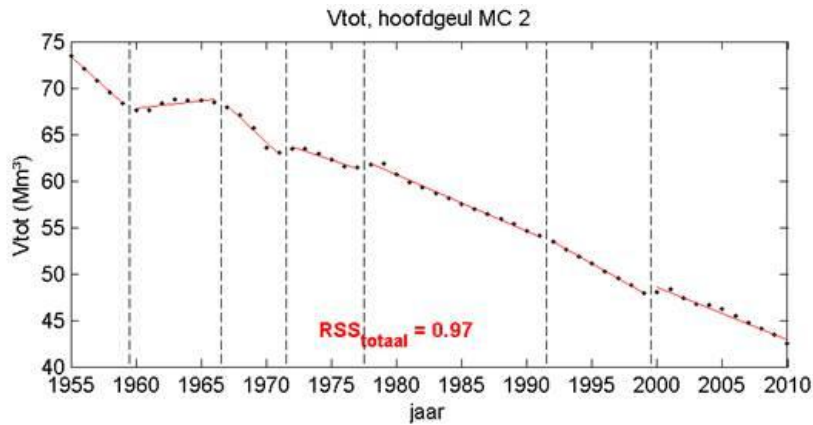
Figuur B.15 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de nevengeul van macrocel 7.



Figuur B.16 Knikpunten en regressielijnen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofdgeul van macrocel 7.

B.2.7 Meso-cel 2

Het gebied Vaarwater langs Hoofplaat kent een lange-termijn ontwikkelingstendens waarin het totale watervolume van de geul afneemt. Sinds eind van de jaren zeventig is de afname vrij constant met een lichte versnelling in de jaren negentig en een lichte erosie rond 2000, maar sindsdien volgens de voorgaande trend.



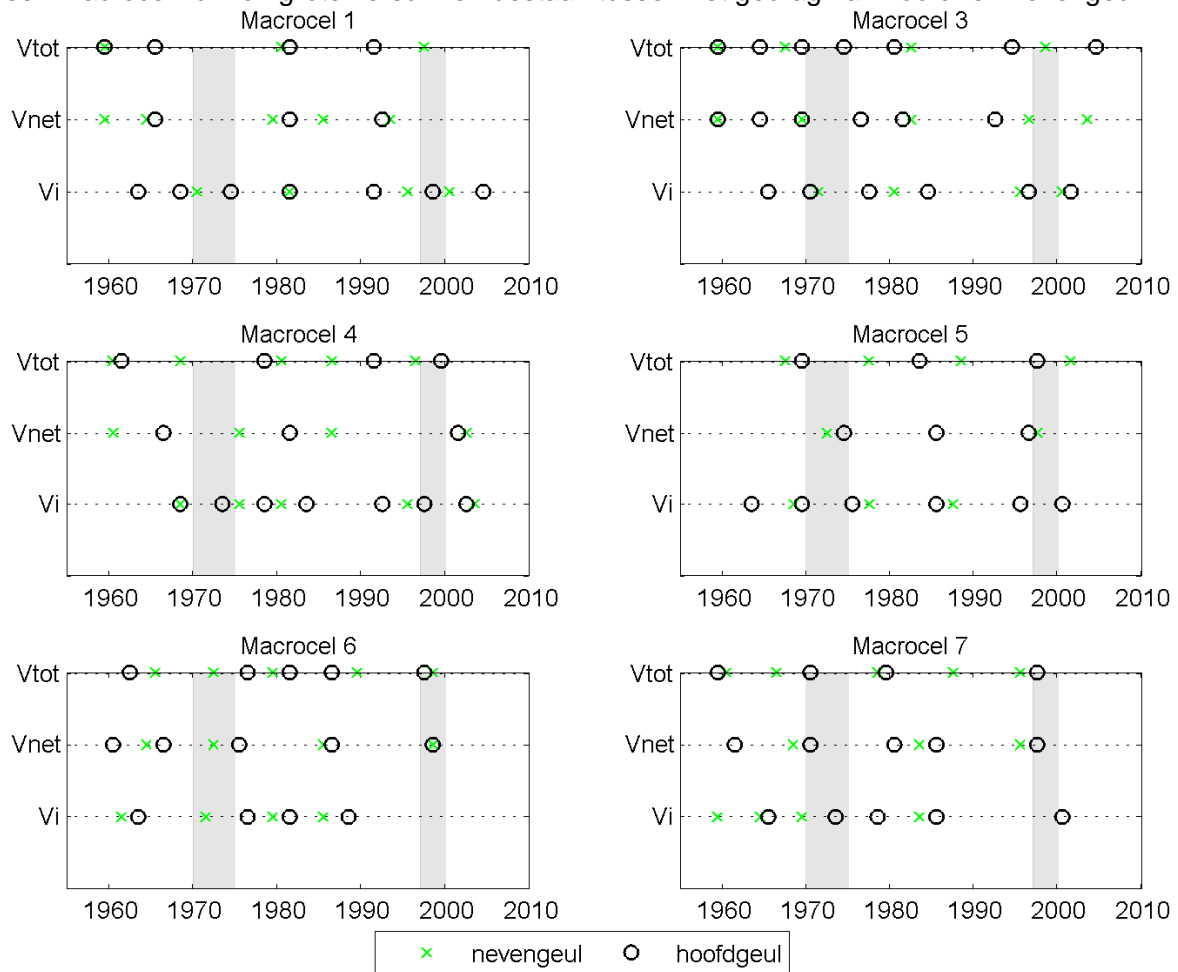
Tijdreeks	m	Trendbreuken	Trend segment $m + 1$	R^2	p
$V_{\text{tot}} (< -5 \text{ m})$	6	1959, 1966, 1971, 1977, 1991, 1999	-0.57	0.97	<0.01

Tabel B.16 Datering van trendbreuken in de 'hoofdgeul' van mesocel 2. Trend in Mm^3/jr

B.3 Conclusie

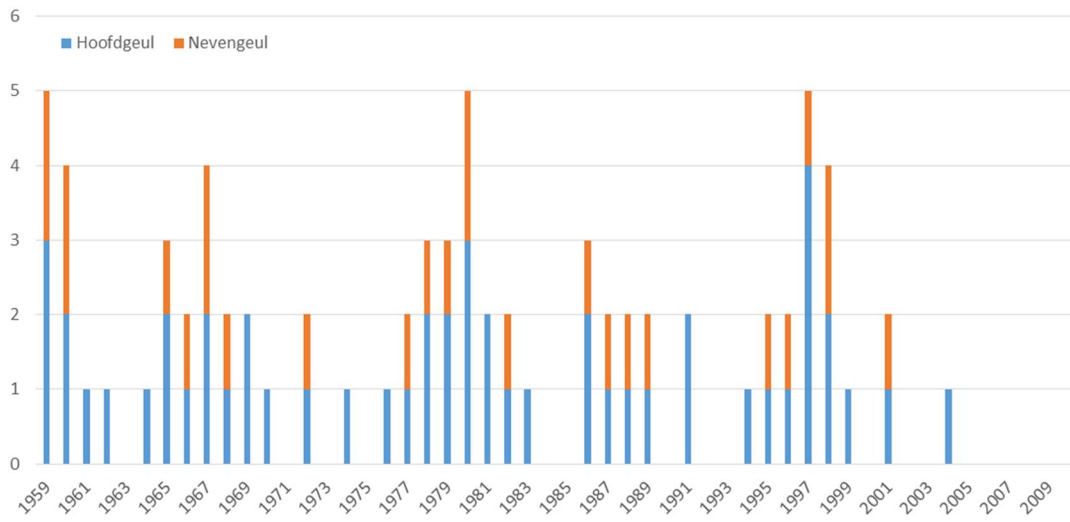
Op basis van een objectieve methode zijn knikpunten in de tijdreeksen bepaald voor V_{tot} , V_{net} en I_{cum} . De deeltijdreeks (segment) die volgt op het laatste knikpunt vormt de basis voor het bepalen van de waarde van de trend en variatie daarrond; deze waarden worden toegepast in de voorgestelde ondergrensdefinitie.

Uit de gegevens blijkt dat de knikpunten doorheen het estuarium niet samenvallen. Ook binnen een macrocel kunnen grote verschillen bestaan tussen het gedrag van hoofd- en nevengeul.



Figuur B.17 Gecombineerde weergave van knikpunttijdstippen in V_{tot} , V_{net} en I_{cum} in de hoofd- en nevengeulen.

Ondanks deze spreiding zijn er wel enkele periodes waarrond de knikpunten zich concentreren. In V_{tot} is een concentratie aan trendbreuken zichtbaar in de tweede helft van de jaren '60, vervolgens tussen 1977 en 1982 (volgend op de eerste verruiming), enigszins in de tweede helft van de jaren '80 en vervolgens weer duidelijk rond 1997-1998 (naar aanleiding van de tweede verruiming).



Figuur B.18 Aantal knikpunten in V_{tot} voor alle macrocellen bij elkaar opgeteld per jaar.

C Kwalificatie van trends in volumeveranderingen en de invloed van ingrepen

Om instandhouding van het meergeulensysteem na te streven, worden de morfologische ontwikkelingen van de hoofd- en nevengeulen van de verschillende macrocellen in het systeem gemonitord. Een belangrijke vraag daarbij is in welke mate de ontwikkelingen beïnvloed zijn door menselijke ingrepen en hoeveel er ingegrepen kan worden voordat één van beide geulen in een macrocel degenerereert. De theoretische basis om dit te voorspellen is gelegd in Wang & Winterwerp (2001) en de theorie is geverifieerd voor de Westerschelde door Jeuken & Wang (2010). De stortcapaciteit die volgt uit deze theorie is verder uitgewerkt in bijlage F en G.

Deze bijlage geeft een beknopt overzicht van de trendmatige veranderingen in het watervolume van de hoofd- en nevengeulen (in de zes macrocellen) en een kwalificatie van de invloed van baggeren en storten op deze ontwikkelingen. De analyse is in opzet vergelijkbaar met de analyses door o.a. Jeuken en Wang (2010), zij het uitgedrukt in watervolume en niet in sedimentvolume. Daarnaast is de analyse uitgebreider qua beschikbare dataset en objectiever qua methode voor trendbepaling (zie bijlage B). De methode is ook opgenomen in de Evaluatiemethodiek (Holzhauer et al., 2011). In de T2009 studie (Arcadis et al., 2013) is de methode wel toegepast in de evaluatieparagraaf, maar niet op basis van expliciet en volledig gepresenteerde resultaten; voor de macrocellen als geheel zijn tijdreeksen van V_{tot} , ΣV_i (de som van baggeren en storten in de tijd) en V_{net} gepresenteerd, maar dit is niet gedaan voor de individuele hoofd- en nevengeulen in de macrocellen¹. Daarnaast is vaak niet duidelijk op welke (deel)periode de evaluatie betrekking heeft. Een dergelijke analyse en interpretatie zijn wel nodig om optimaal invulling te kunnen geven aan flexibel storten en het verbeteren van het criterium watervolume geulen zoals voorgesteld in het vorige hoofdstuk. Daarom is een volledige analyse als onderdeel van deze studie uitgevoerd.

De analyse richt zich op de lineaire trends in:

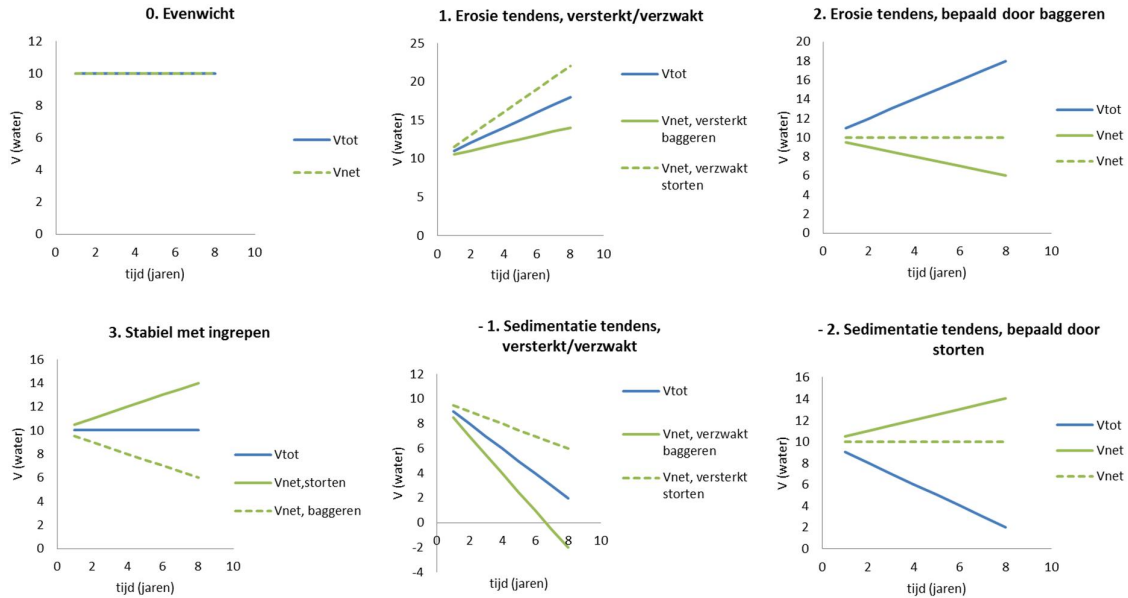
1. het gemeten volume van de geulen, V_{tot} , zoals afgeleid uit de dieptekaarten;
2. het cumulatieve netto volume van menselijke ingrepen ΣV_i (som van baggeren en storten) en
3. het volume van de geulen gecorrigeerd voor de som menselijke ingrepen, V_{net} , als het ware de 'natuurlijke' of 'netto' volumeontwikkeling. Het netto volume is gedefinieerd als het totale volume zoals volgt uit de vaklodingen minus de cumulatieve ingrepen: $V_{net} = V_{tot} - \Sigma V_i$.

Vervolgens wordt voor zowel V_{tot} als V_{net} en zowel voor de hoofd- als voor de nevengeul de volumeverandering tussen twee opeenvolgende jaren berekend (op basis van trends en de oorspronkelijke tijdreeksen). Als de volumeverandering een positief teken heeft, neemt het natte volume toe en is er sprake van erosie. Bij een negatieve volumeverandering is sedimentatie opgetreden. Als de absolute waarde van de volumeverandering kleiner is dan 0,1 miljoen m³, wordt het geulvolume als stabiel beschouwd. Op basis van deze volumeveranderingen (+ voor erosie, - voor sedimentatie en 0 voor een absolute verandering kleiner dan 0,1 miljoen m³), worden de trends in de hoofd- en nevengeulen als volgt geclassificeerd:

¹ De jaarlijkse toetsingsrapportages voor het geulensysteem bevatten veel nuttige informatie voor een evaluatie en toetsing, maar (ook) in deze rapportages ontbreken de grafieken met de ontwikkeling van de cumulatieve ingrepen (ΣV_i) en V_{tot} in combinatie met V_{net} en de interpretatie van de data-analyse.

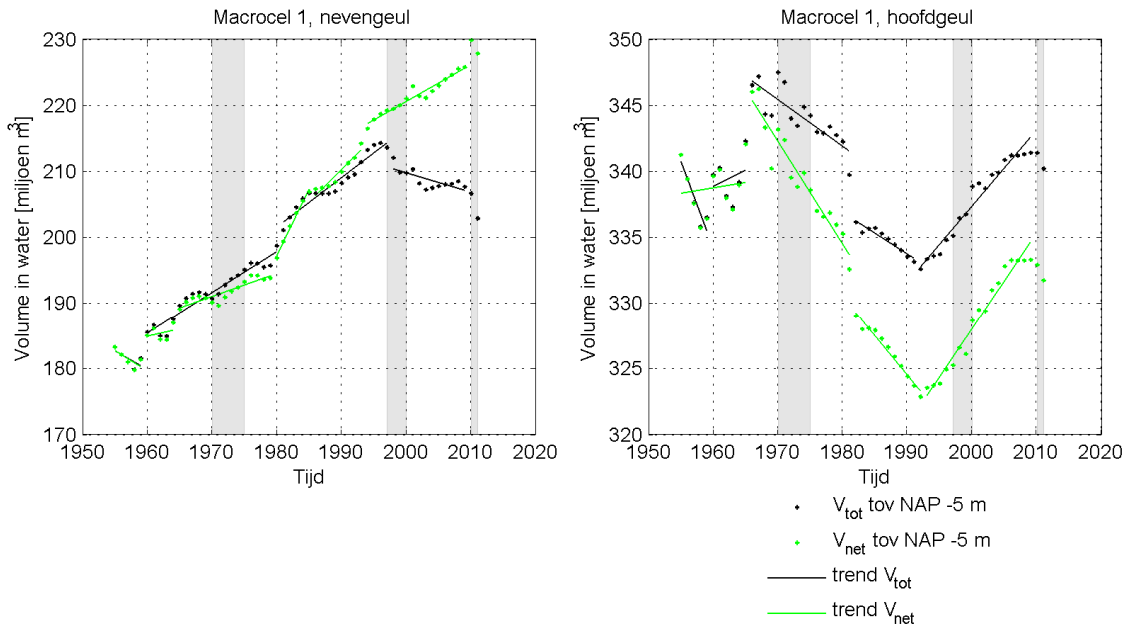
Tabel C.1 Kwalificatie geulgedrag op basis van volumeveranderingen in V_{tot} en V_{net} .

ΔV_{tot}	ΔV_{net}	Kwalificatie	Omschrijving
0	+ of -	3	Stabiel, ondanks/dankzij ingrepen
0	0	0	Evenwicht (geen verandering, geen ingrepen)
-	0 of +	-2	Sedimentatie, gestuurd door ingrepen
-	-	-1	Natuurlijke tendens tot sedimentatie, versterkt/verzwakt door ingrepen
+	0 of -	2	Erosie, gestuurd door ingrepen
+	+	1	Natuurlijke tendens tot erosie, versterkt/verzwakt door ingrepen

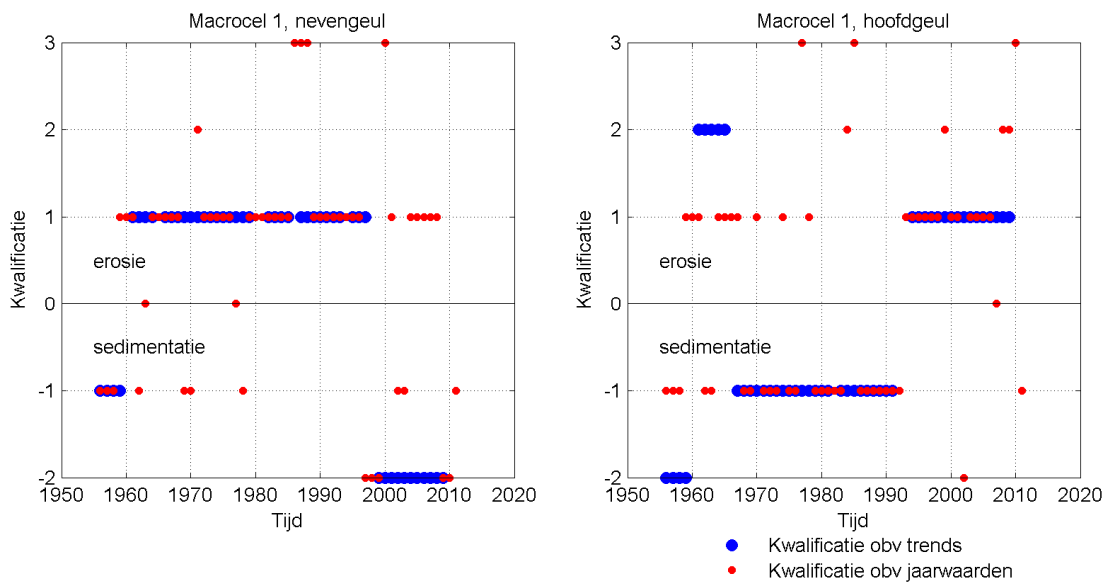


Figuur C.1 Schematische visualisatie van verschillende kwalificaties

Figuur C.2 t/m Figuur C.13 geeft voor elke macrocel de totale en netto volume-ontwikkelingen van de nevengeul en de hoofdgeul (meetwaarden en trends) en de kwalificatie van de geulontwikkeling volgens tabel C.1. De kwalificatie kan worden toegekend op basis van de jaarlijkse waarden van de volumes, en ook op basis van trendlijnen (uit bijlage B). Beide methoden zijn visueel weergegeven. Deze resultaten worden vervolgens gebruikt om de richtlijn voor de stortcapaciteit te verifiëren (bijlage F) en toe te passen voor de komende periode (Bijlage G en L). Bij elke macrocel wordt een korte toelichting gegeven op de ontwikkelingen en trendbreuken. De belangrijkste observaties zijn samengevat in Tabel C.2.



Figuur C.2 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 1. Trends aangegeven met dunne lijnen.



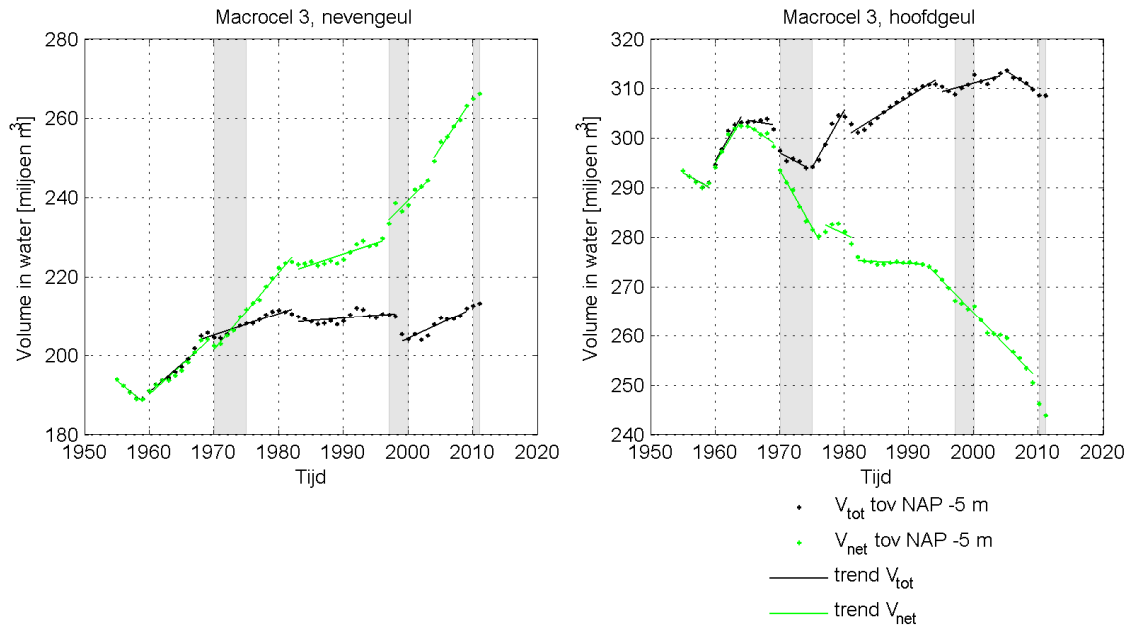
Figuur C.3 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 1.

Nevengeul macrocel 1:

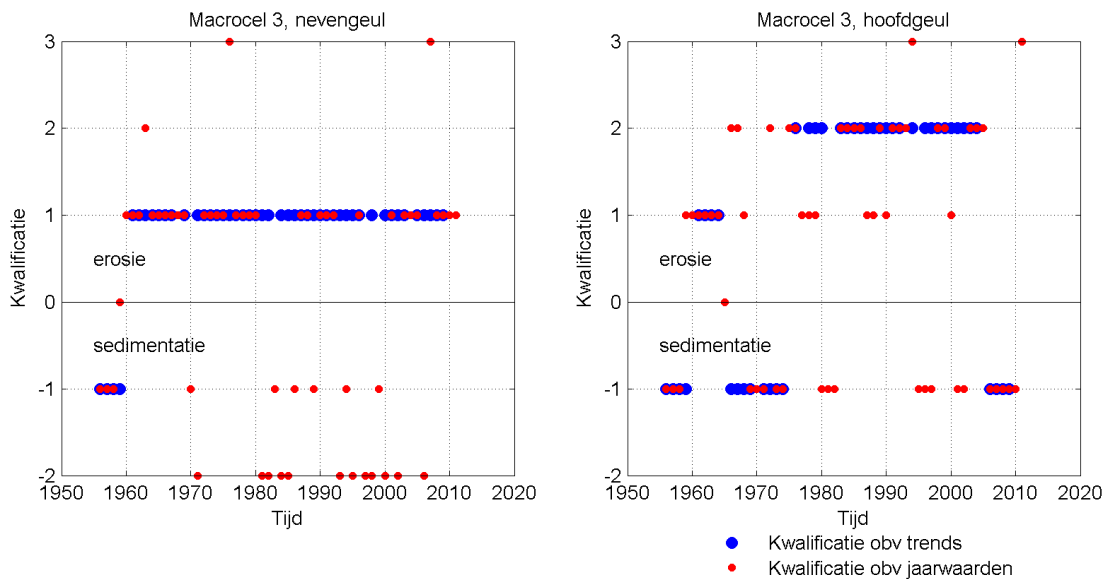
- Sedimentatie sinds '97; sturende invloed van storten.
- Tot '97 natuurlijke tendens tot erosie. Aanvankelijk licht versterkt door zandwinnen en sinds 1981 verzwakt door storten.

Hoofdgeul macrocel 1:

- Sinds '91 natuurlijke erosietendens aanvankelijk verzwakt door storten, later versterkt door baggeren.
- Afwisselende perioden van natuurlijke geringe erosie en sedimentatietendensen versterkt of verzwakt door baggeren en storten (2000-2006).



Figuur C.4 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 3. Trends aangegeven met dunne lijnen.



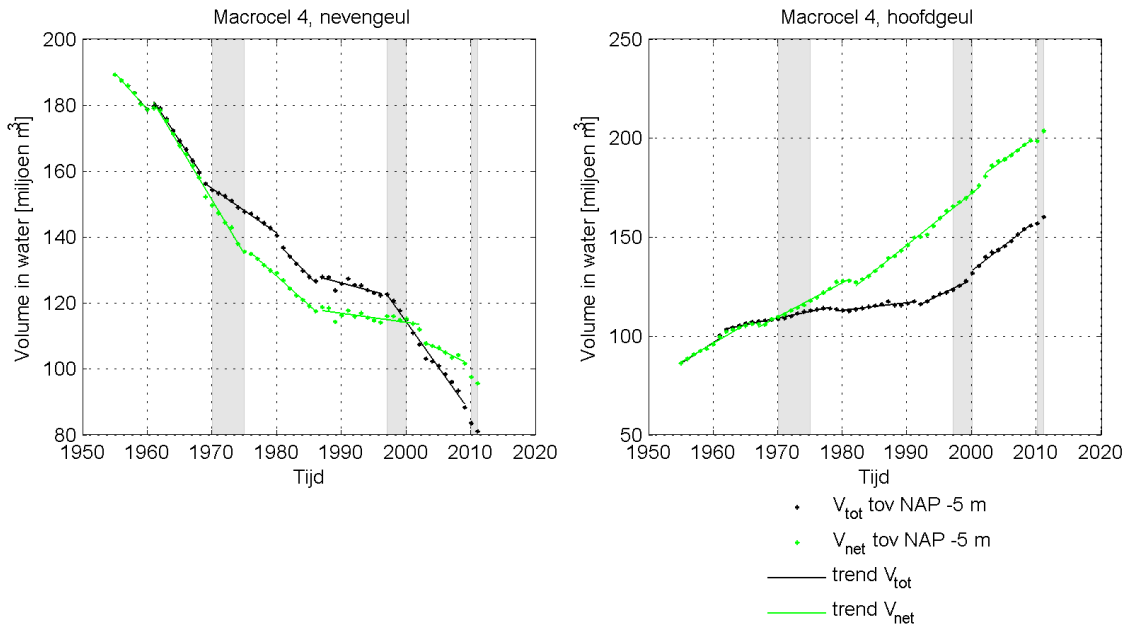
Figuur C.5 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 3.

Nevengeul macrocel 3:

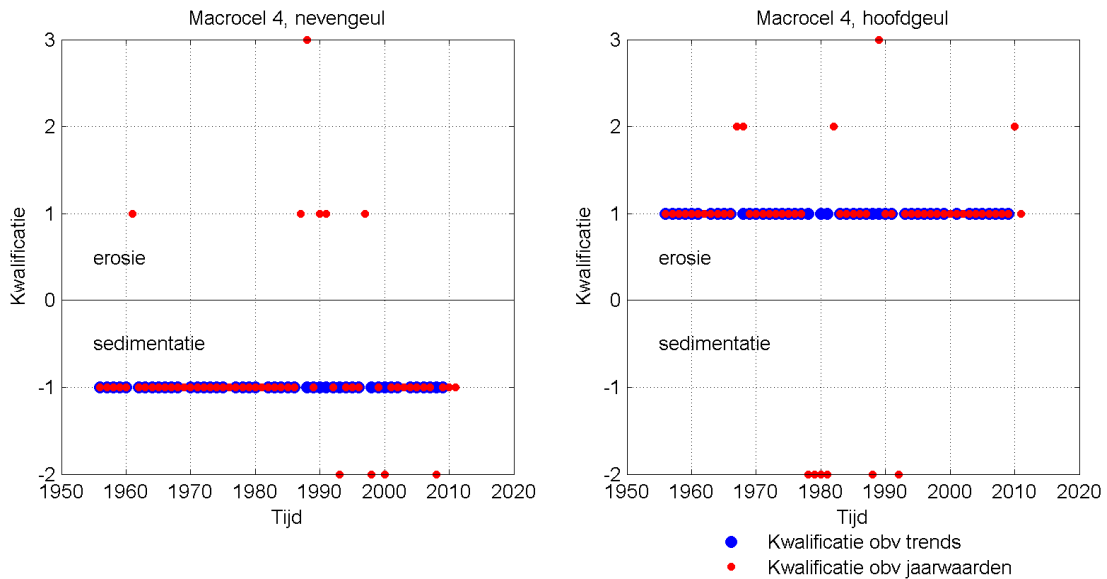
- Sinds 1960 een natuurlijke tendens tot erosie verzwakt door storten. Sinds '99 valt deze erosie samen met het ontstaan van een nieuw patroon van kortsluitgeulen in de drempel van de Everingen, dat erosie en sediment afvoer richting het Middelgat bevordert (zie Bijlage D).

Hoofdgeul macrocel 3:

- Sinds 2004 een geringe natuurlijke sedimentatietendens.
- Sinds de eerste verruiming van de vaargeul een tendens tot geringe erosie als gevolg van baggeren.



Figuur C.6 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 4. Trends aangegeven met dunne lijnen.



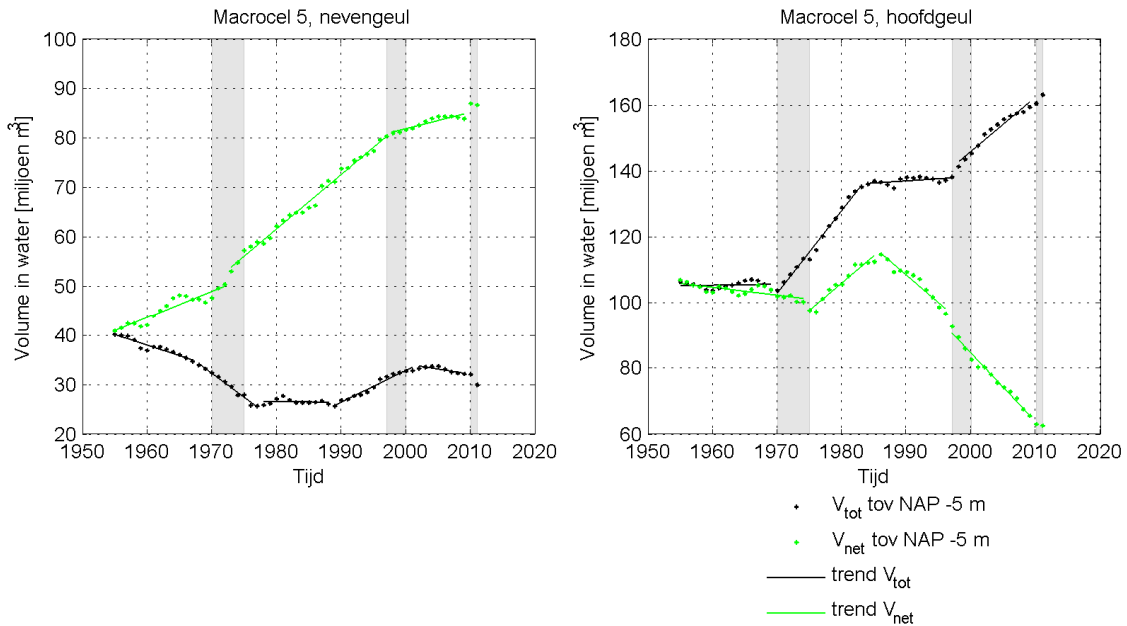
Figuur C.7 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 4.

Nevengeul macrocel 4:

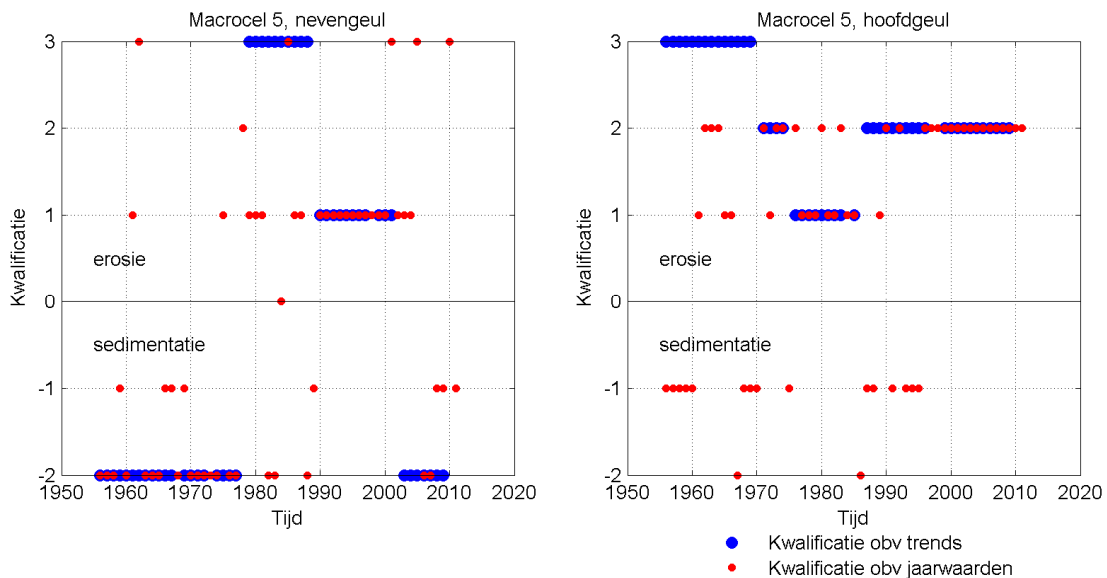
- Sinds 1997 een duidelijke versterking van de natuurlijke sedimentatietendens door stortens.
- Historische trend van natuurlijke sedimentatie, tot 1981 verzwakt door baggeren.

Hoofdgeul macrocel 4:

- Sinds 1999 een natuurlijke erosie versterkt door netto baggeren.
- Historische trend van natuurlijke erosie die tussen 1970 en 1997 werd verzwakt door stortingen.



Figuur C.8 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 5. Trends aangegeven met dunne lijnen.



Figuur C.9 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 5.

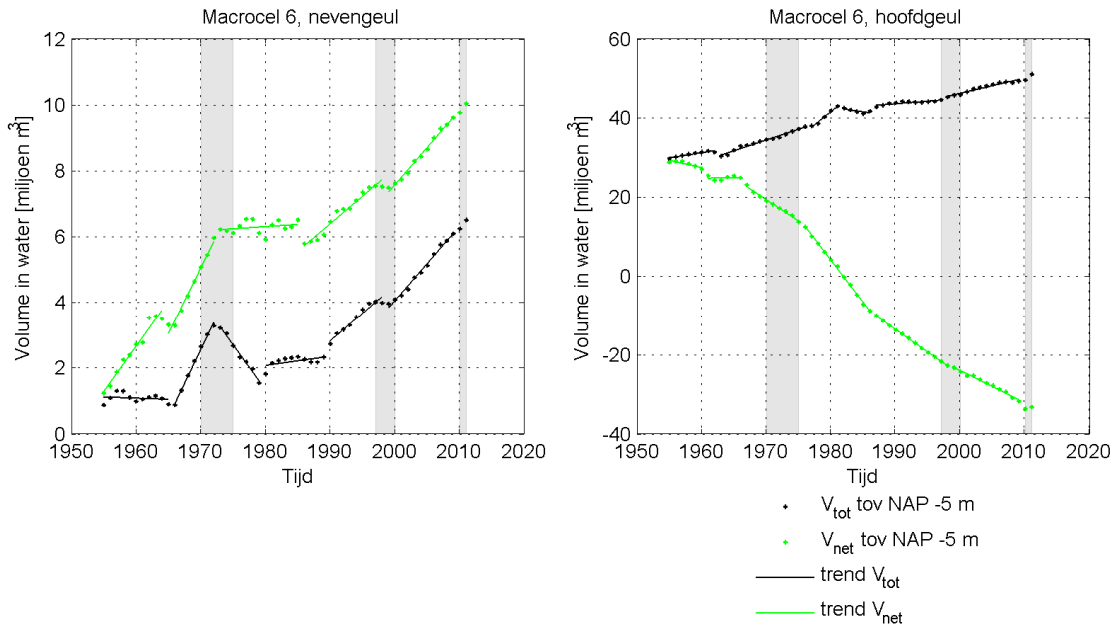
Nevengeul macrocel 5:

- Sinds 2001 een tendens tot sedimentatie die gestuurd lijkt te worden door relatief kleine stortingen (kleiner dan richtlijn stortcapaciteit). Extra sedimentatie als gevolg van de aangelegde strekdammen voor het schor van Waarde heeft vermoedelijk ook bijgedragen aan deze sedimentatie.
- De periode 1955 tot 2001 kenmerkt zich door een opeenvolging van i) sedimentatie als gevolg van storten, ii) stabiel ondanks storten en iii) natuurlijke erosie.

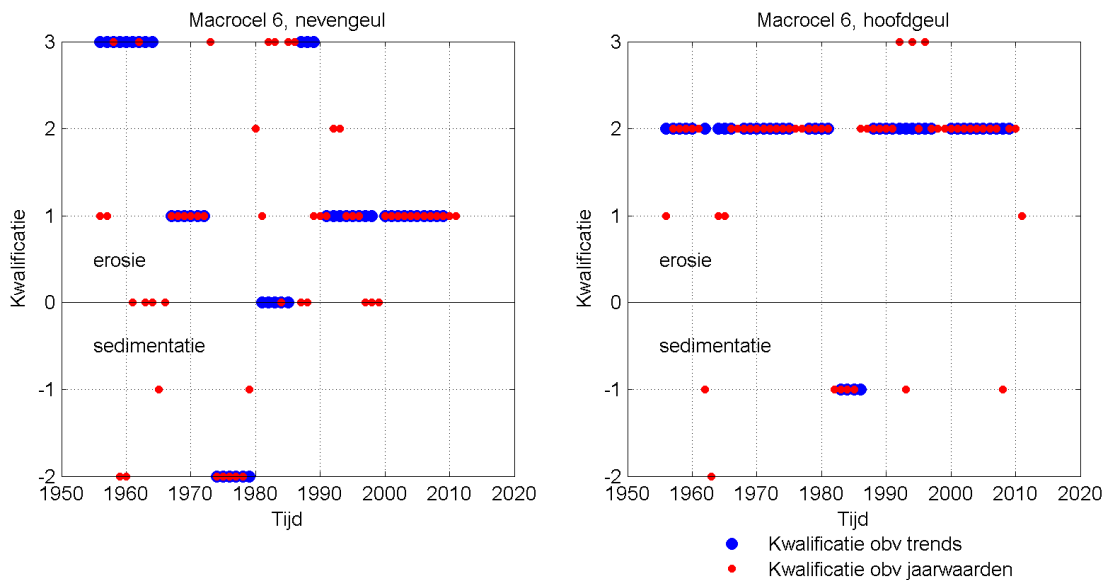
Hoofdgeul macrocel 5:

- Sinds 1994, met in 2001 het begin van de meest recente trend, erodeert de geul als gevolg van netto baggeren.

- In de periode 1982-1994 veranderde het geulvolume weinig; er werd netto ook minder gebaggerd.
- Tussen 1969 en 1975 is de geul voor het eerst verruimd. Na 1975 bleef de geul tot 1982 eroderen, vermoedelijk als reactie op:
 - Verdiepen van de drempels
 - Storten in de nevengeul
 - Het (tijdelijk) verdwijnen van kortsluitgeulen.
 - Toegenomen getijslag
 - Bochtafsnijding Middelgat.



Figuur C.10 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 6. Trends aangegeven met dunne lijnen.



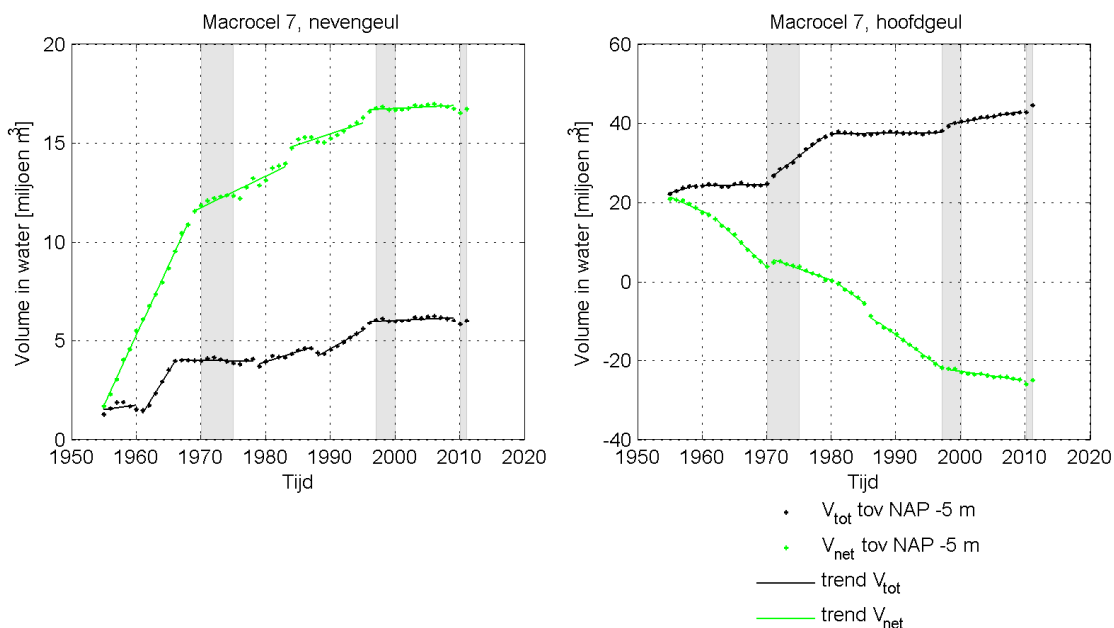
Figuur C.11 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 6.

Nevengeul macrocel 6:

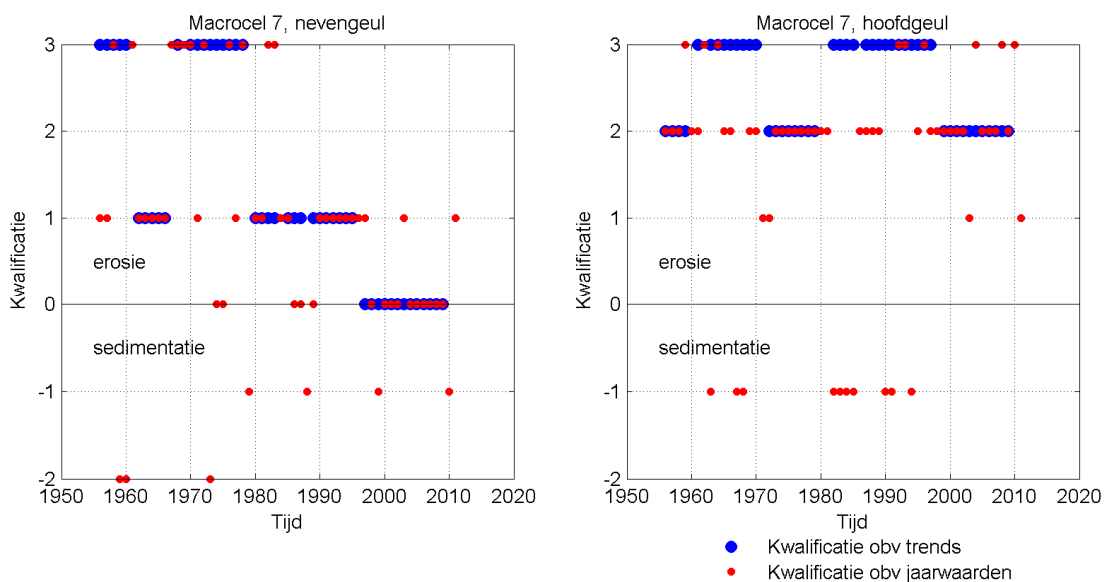
- De geul erodeert 'van nature' sinds 1989, met als meest recente trendperiode 1998-2010. Het geulvolume neemt toe; er wordt niet direct in de geul gestort of gebaggerd.

Hoofdgeul macrocel 6:

- De hoofdgeul kent een lange historie van erosie als gevolg baggeren t.b.v. vaargeulonderhoud. De meest recente trend bestaat de periode 2001-2010.



Figuur C.12 V_{tot} (zwarte stippen) en V_{net} (groene stippen) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 7. Trends aangegeven met dunne lijnen.



Figuur C.13 Kwalificatie van volume-ontwikkelingen op basis van jaarwaarden (rood) en op basis van trends (blauw) voor de nevengeul (links) en hoofdgeul (rechts) van macrocel 7.

Nevengeul macrocel 7:

- Sinds 1998 in evenwicht; geen ingrepen.
- Tot 1980 was de geul stabiel of vertoonde een tendens tot erosie die verzwakt werd door storten. In 1971 is een leidam aangelegd, waardoor hier geen normale macrocel meer is.

Hoofdgeul macrocel 7:

- Sinds 1996 erodeert de geul als gevolg van baggeren.
- De periode tot 1996 wordt qua volumetoename gedomineerd door de eerste verruiming van de vaargeul.

Tabel C.2 Samenvatting van de recente en historische ontwikkelingstendensen van de neven- en hoofdgeulen in de macrocellen. Vermelding van erosie en sedimentatie volgt uit V_{tot} . Kwalificatie van ingrepen (vet gedrukt blauw cijfer) op basis van teken ΔV_{tot} en ΔV_{net} in de meest recente trend.

Cel	V_{tot} Nevengeul	V_{tot} Hoofdgeul
1	-2. In 1997 is er een duidelijke trendbreuk, de tendens van natuurlijke erosie verandert in sedimentatie gestuurd door storten . Daarnaast wordt het geulvolume beïnvloed door quasi cyclisch gedrag van eb-gedomineerde kortsluitgeulen ('ebscharen') in het drempelgebied van de nevengeul. Kortsluitgeul cyclus 1: $\pm 1964 - 2003$. Cyclus 2: $\pm 1997 - \text{minimaal } 2012$	1. Sinds 1991 een geringe natuurlijke erosie tendens aanvankelijk verzwakt door storten , later versterkt door baggeren . Het begin van deze recente erosietrend valt samen met het moment waarop de 'eerste' migrerende kortsluitgeul Ebschaar van de Spijkerplaat (waar gestort wordt) in 1993 vanuit het drempelgebied van de nevengeul, de hoofdgeul in migreert en volledig degenereert (in 2003).
3	1. Sinds 1999 een natuurlijke erosie tendens verzwakt door storten , sinds 1997 ook stortingen ter hoogte van Ellewoutsdijk. De erosie valt samen met het ontstaan van een nieuw, krachtig ontwikkeld patroon van kortsluitgeulen in de drempel van de Everingen, dat erosie en sediment afvoer richting het Middelpgat bevordert (Bijlage D, Jeuken, 2000). Deze ontwikkelingen lijken gepaard te gaan met een afname van het doorstroomoppervlak van de kortsluitgeul Zuid-Everingen die het complex Middelpplaat doorkruist.	-1. Sinds 2004 een geringe natuurlijke sedimentatie tendens. De erosie tot 2004 wordt bepaald door netto baggeren.
4	-1. Sinds 1997 een duidelijke versterking van de historische natuurlijke sedimentatietendens door storten .	1. Sinds 1999 een natuurlijke erosie versterkt door netto baggeren . De historische trend van natuurlijke erosie werd tussen 1970 en 1997 verzwakt door netto stortingen.
5	-2. Sinds 2001 een tendens tot sedimentatie die gestuurd lijkt te worden door stortingen (kleiner dan richtlijn stortcapaciteit). De in 2003 aangelegde strekdammen voor het schor van Waarde hebben vermoedelijk bijgedragen aan deze sedimentatie; de proef plaatrandstortingen in 2004 en 2006 nauwelijks.	2. Sinds 1994 erodeert de geul als gevolg van netto baggeren.
6	1. De geul erodeert 'van nature' sinds 1989, met als meest recente trendperiode 1998-2010 . Het geulvolume neemt toe; er wordt in de geul niet gebaggerd of gestort.	2. De geul kent een lange historie van erosie als gevolg baggeren t.b.v. de vaargeul. De meest recente trend beslaat de periode 2001-2010 .
7	0. Sinds 1998 in evenwicht; geen ingrepen. De geul is sinds 1971 begrensd door een leidam waardoor hier geen normale macrocel meer is.	2 Sinds 1996 erodeert de geul als gevolg van baggeren . De periode tot 1996 wordt qua volumetoename gedomineerd door de eerste verruiming van de vaargeul.

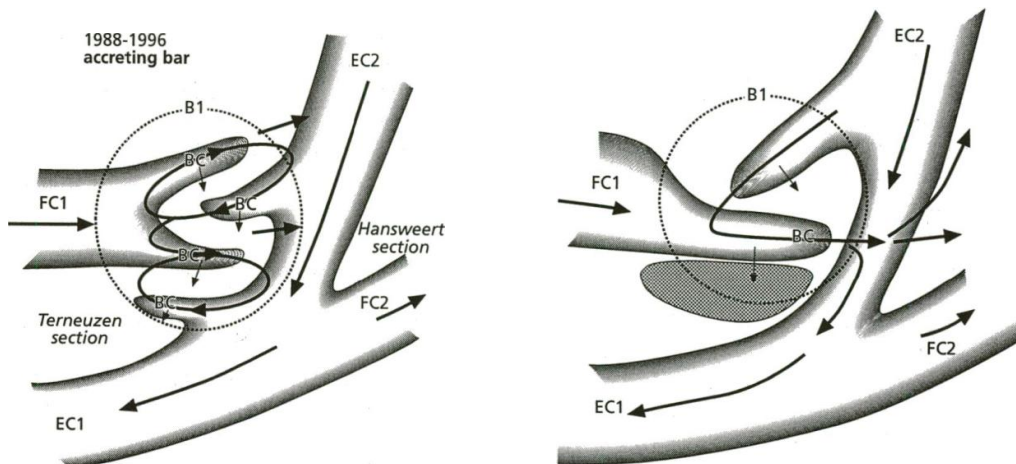
D Analyse volumeveranderingen Middeldgat en Everingen

D.1 Aanleiding

In bijlage H is te zien dat de plaatrandstorting bij het Middeldgat (Rug van Baarland) zich anders gedraagt dan andere plaatrandstortingen. Er treedt namelijk versterkte sedimentatie op, waardoor het volume van de bodemveranderingen veel groter is dan het volume wat gestort is op de plaatrand. Bij de andere plaatranden zien we geleidelijke erosie van het gestorte materiaal. De mate van erosie over de tijd is een maat voor de stabiliteit van de plaatrandstorting. Om het gedrag van de plaatrandstorting op de Rug van Baarland te kunnen verklaren, wordt in meer detail gekeken naar de morfologische ontwikkeling van het drempelgebied tussen de Everingen en het Middeldgat. De versterkte sedimentatie wordt namelijk gestuurd door quasi-cyclisch gedrag in dit drempelgebied.

D.2 Patroonwisselingen

In het drempelgebied tussen Everingen en Middeldgat is een sterke dynamiek van elkaar ontwijkende eb- en vloedscharen, gescheiden door ondieptes, aanwezig (bv. Jeuken, 2000). In het drempelgebied vinden quasi cyclische patroonveranderingen plaats, waarbij de patroonwisselingen elkaar in dezelfde volgorde, maar zonder vaste periode opvolgen. De patronen zijn bepalend voor de verschuiving en verheling van kleinere platen op het drempelgebied met de Middelplaat dan wel de Rug van Baarland. Kortweg kunnen er twee patronen onderscheiden worden, zie Figuur D.1.



Figuur D.1 Twee patroontypes in het quasi cyclische gedrag in het drempelgebied van de Everingen-Middeldgat. Links patroon 1: de ebscharen uit het Middeldgat en de vloedscharen uit de Everingen zijn klein en grijpen in elkaar. Rechts patroon 2: de vloedschaar uit de Everingen blokkeert de ebschaar uit het Middeldgat.

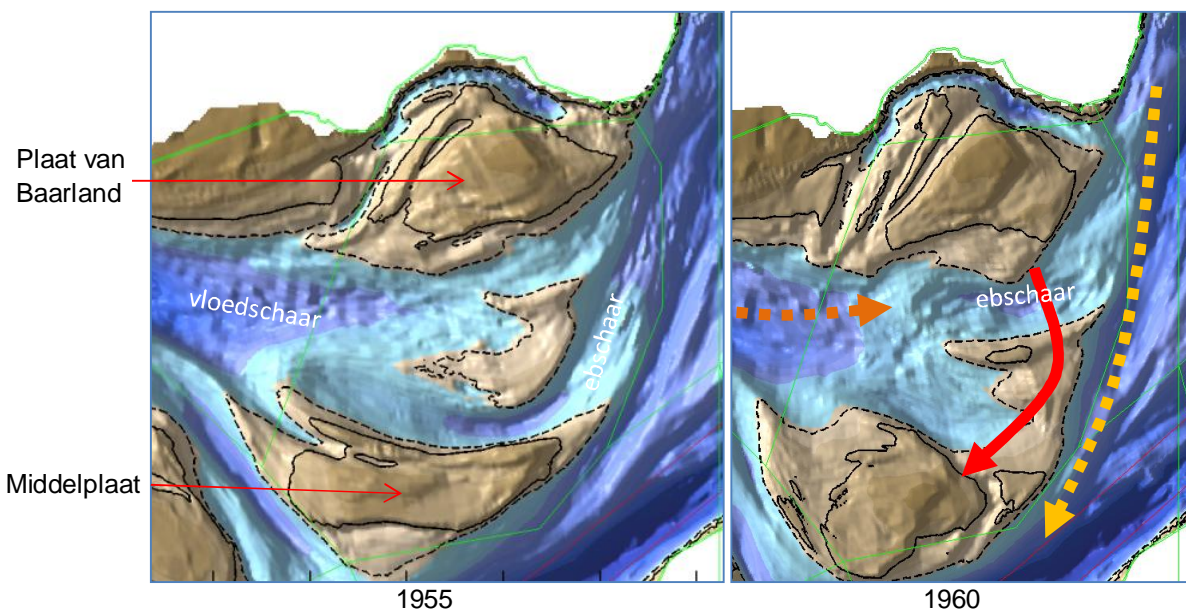
Bij patroon 1 zijn meerdere kleine eb- en vloedscharen aanwezig, die in elkaar grijpen. Doordat er kleine cellen met residueel transport actief zijn, wordt het sediment effectief vastgehouden in het drempelgebied van de Everingen (tussen de Plaat van Baarland en de Middelplaat), die daardoor sedimenteert. De drempel van het Middeldgat, gelegen tussen Rug van Baarland en de Middelplaat, erodeert.

Patroon 2 wordt gekenmerkt door een ebgeul uit het Middeldgat die ten noorden van de vloedgeul uit de Everingen ligt. Hierdoor wordt sediment dat aangevoerd wordt vanuit het Middeldgat direct teruggewerkt richting de Rug van Baarland. Het drempelgebied van de Everingen erodeert hierdoor, terwijl het drempelgebied van het Middeldgat juist aanzand.

Over de periode 1955 tot heden duurt de situatie met patroon 1 altijd korter dan de situatie met patroon 2.

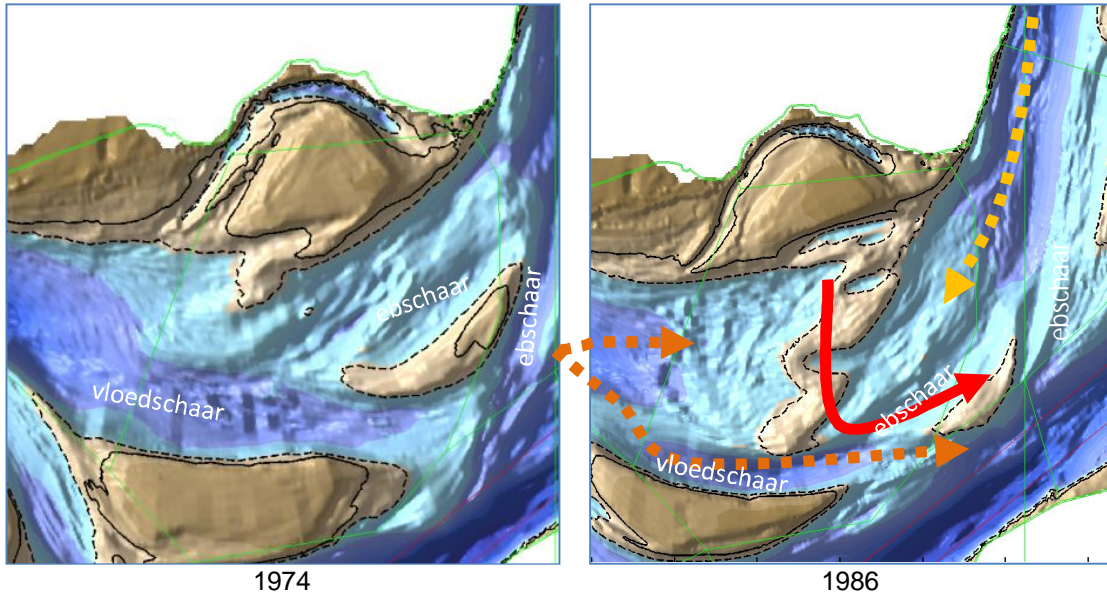
In 1955 bevindt het drempelgebied zich in patroon 1, er zijn verschillende ondieptes aanwezig in het gebied die gescheiden zijn door kleine eb- en vloedscharen, zie Figuur D.2. De ondieptes ontstaan onder meer door het insnijden van vloedscharen in de Plaat van Baarland die vervolgens afgesplitst worden en zuidwaarts gaan migreren. Er loopt één relatief diepe ebgeul vanuit het Middelgat naar het zuidwesten die uitmondt in de hoofdgeul. Ondieptes die zuidwaarts migreren, verhelen met de oostelijke helft van de Middelplaat.

Vanaf ca. 1960 is een belangrijke ebschaar aan het ontwikkelen die nauw aansluit tegen de Plaat van Baarland, zie Figuur D.2. Begin de jaren '70 verondiept deze opnieuw enigszins. Deze ebgeul is gelegen ten noorden van de vloedschaar die uit de Everingen komt: de configuratie van de belangrijkste scharen is dus omgeslagen van een vloedschaar die 'boven' een ebgeul ligt, naar een situatie waarbij de ebschaar boven een vloedschaar of vloedgeul ligt, oftewel patroon 2.

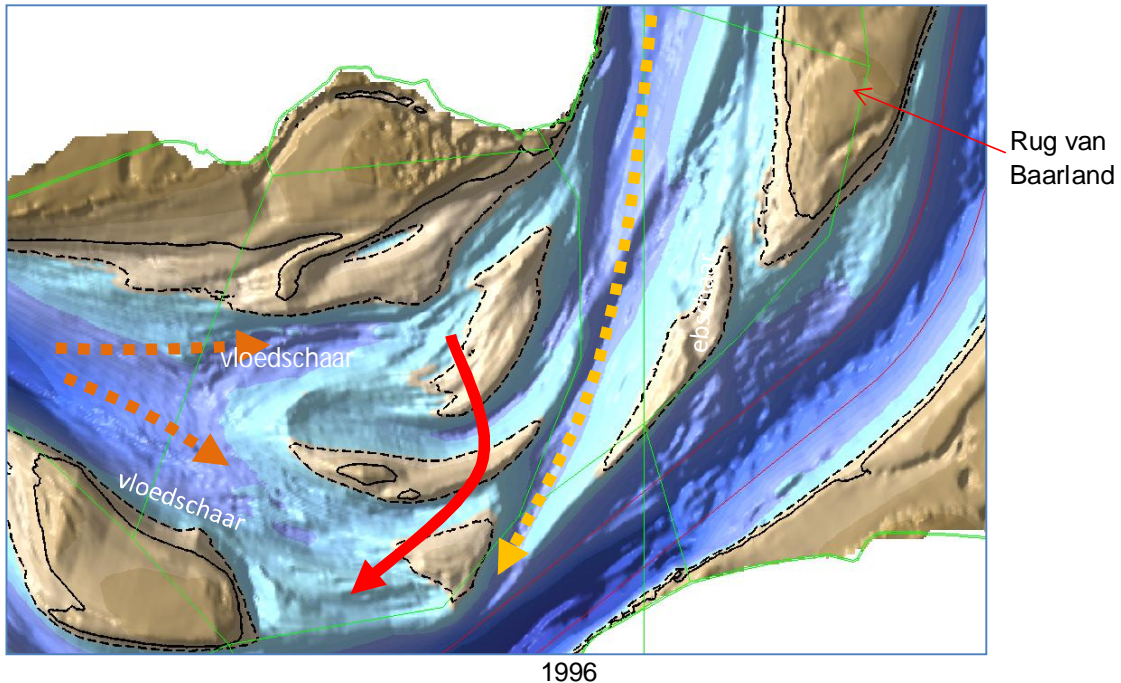


Figuur D.2 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 1955 en 1960.

Tussen 1976 en 1980 ruimt de noordelijke ebschaar zuidwaarts uit waardoor de eerste ebgeul geknepen wordt. De vloedgeul schuift mee zuidwaarts op waardoor enerzijds de Middelplaat westwaarts weggeduwd wordt en kleiner wordt. Anderzijds laat dit proces toe dat tussen 1981 en 1986 een ondiepte die zuidwaarts aan het migreren was, nu in zuidoostwaartse richting aansluiting vindt met de punt van de Rug van Baarland (ter hoogte van het huidige stortgebied), zie Figuur D.3. Met andere woorden, vanaf halverwege de jaren '80 bevindt het drempelgebied zich weer in patroon type 1. Rond 1995 ruimt de tweede ebgeul verder uit en neemt de positie van de eerste, oorspronkelijke ebgeul in terwijl de vloedgeul opnieuw ten noorden van deze tak komt te liggen, zie Figuur D.4. In de jaren '90 blijft de ebgeul diep en prominent aanwezig en ondieptes die tussen de elkaar ontwijkende kleinere vloed- en ebscharen ontstaan, migreren weer zuidwaarts en sluiten in zuidwestwaartse richting aan op de oostelijke Middelplaat. Vanaf ca. 1998 wordt de oostelijke Middelplaat weer groter door dit proces.

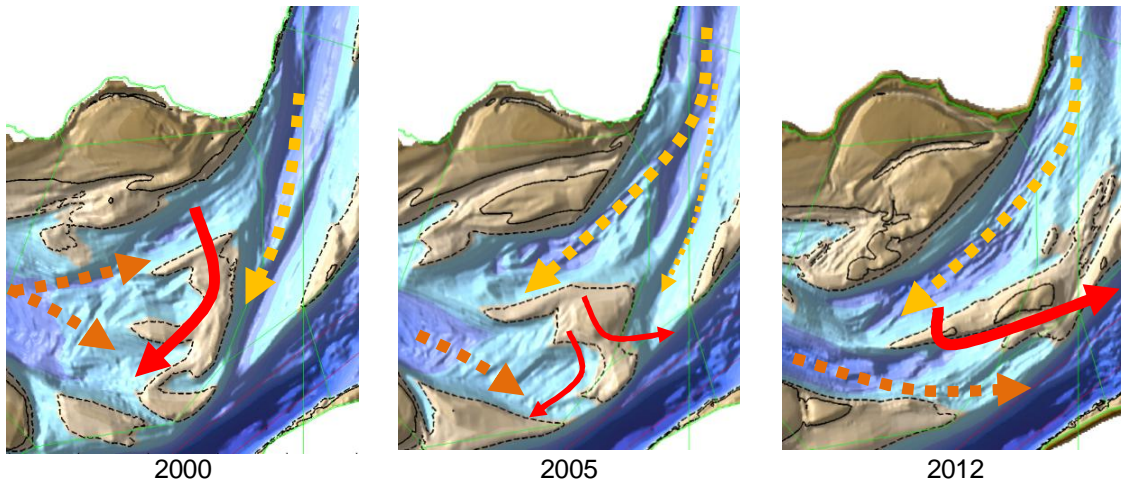


Figuur D.3 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 1974 en 1986.



Figuur D.4 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 1996.

Vanaf 2000 ontwikkelt zich opnieuw een meer noordelijke gelegen ebgeul die ten noorden van de hoofdtak van de vloedgeul ligt. De configuratie van de grote eb- en vloedgeulen van patroon 2 is een feit: vanaf 2008 migreren de ondieptes opnieuw in de richting van de zuidelijke punt van de Rug van Baarland. Vanaf 2011-12 nemen we waar dat een ondiepte het huidige stortvak van de plaatrand binnenkomt. Vermoedelijk is dit sedimentvolume voor een groot stuk verantwoordelijk voor de waargenomen sedimentatie in het stortvak.



Figuur D.5 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2000, 2005 en 2012.

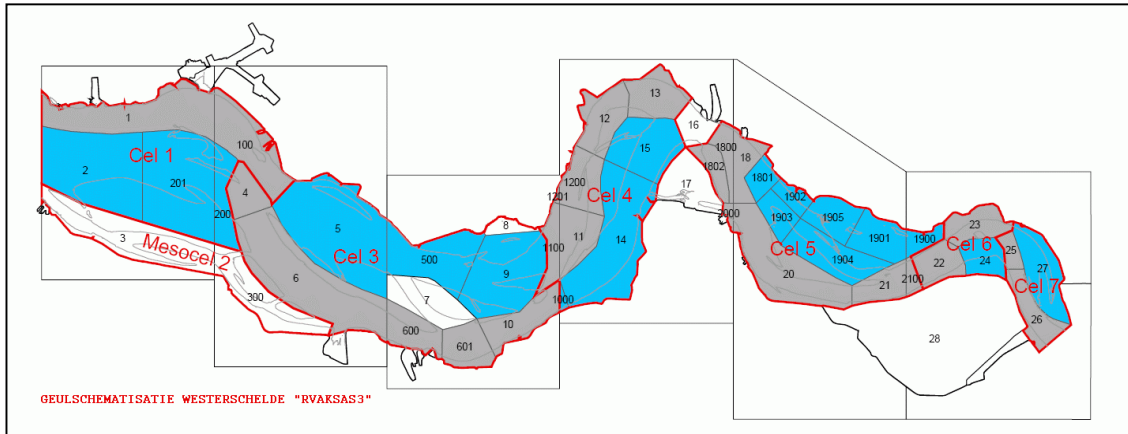
Samengevat stellen we vast dat er een patroon bestaat van elkaar ontwijkende eb- en vloedscharen gescheiden door ondieptes. Ten gevolge van de stroming schuiven de ondieptes zuidwaarts op. De configuratie van de belangrijkste eb- en vloedgeulen of -scharen bepalen of de ondieptes aansluiting vinden met de Middelplaat dan wel de Rug van Baarland.

Deze processen maken deel uit van een chaotisch systeem: patronen en configuraties keren terug in de tijd. (Ze kunnen in die zin ook quasi cyclisch genoemd worden). Typisch voor chaotische systemen is dat het niet mogelijk is om op basis van de huidige gekende toestand de toekomstige toestand te voorspellen (*butterfly effect*), of concreet voor deze situatie: het is niet mogelijk te bepalen wanneer een nieuwe ondiepte aansluiting zal vinden met de Rug van Baarland, dan wel de Middelplaat. Elke kleine verstoring aan de rand of in het systeem kan een configuratie langer of korter doen bestaan. De quasi periode die herkend wordt duurt 25 à 35 jaar, dus in ieder geval meerdere decennia.

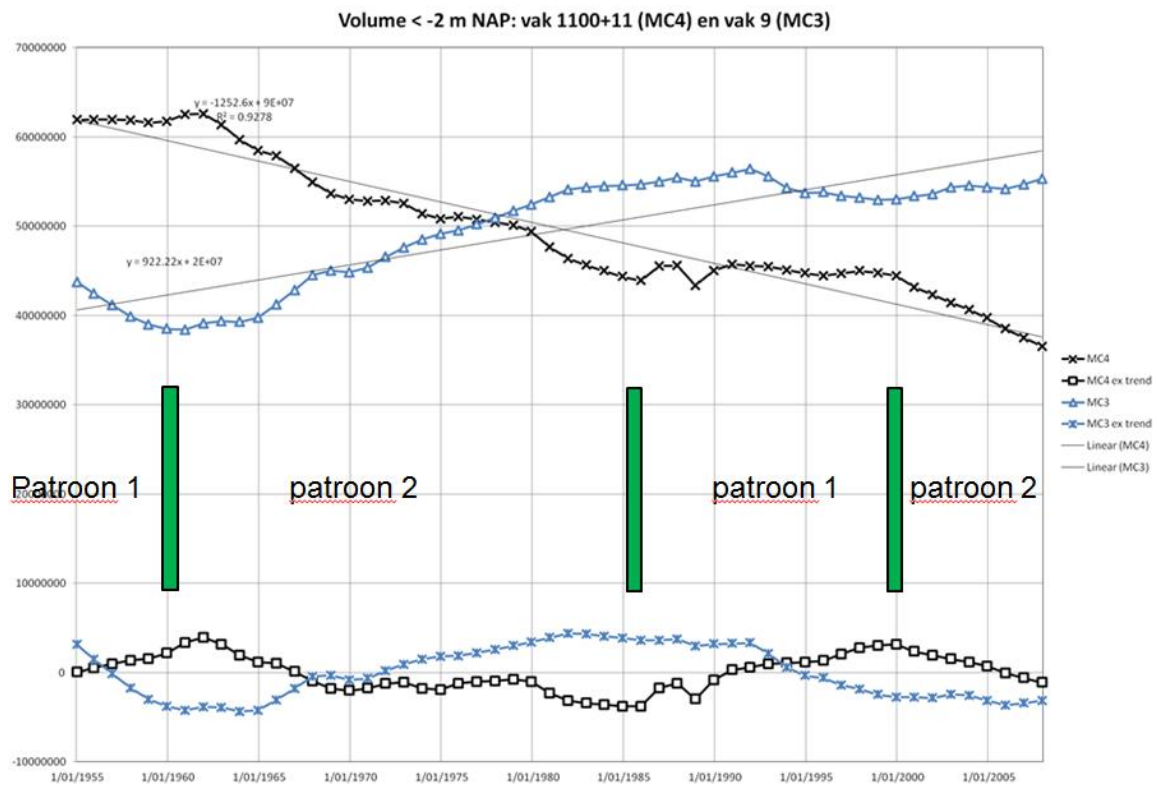
D.3 Watervolume nevengeul

De waargenomen patroonwisselingen zijn herkenbaar in de (netto¹) watervolumes (< -2 m NAP) van de deelvakken 9 (ten zuiden van Plaatje Baarland) en de som van vakken 11 en 1100 (zuidelijk deel van het Middelgat), zie Figuur D.6. In vak 11+1100 is een algemene volume-afname aanwezig tussen 1955 en 2009 (beschikbare data loopt tot 2009, Figuur D.7) van ca. 60 Mm³ tot 38 Mm³. Vak 9 neemt in watervolume toe van ca. 40 Mm³ tot 55 Mm³. Op beide grafieken is echter zichtbaar dat de volumes met een lange periode rond de trend variëren. Na detrending van beide curves zien we dat de residuen een tegengesteld patroon vertonen. De correlatiecoëfficiënten $r_1 = -0.89$ (watervolume onder -5 m NAP) en $r_2 = -0.86$ (watervolume onder -2 m NAP), wat inderdaad wijst op een zeer sterke negatieve correlatie.

¹ De ingrepen zijn niet per vak vermeld.



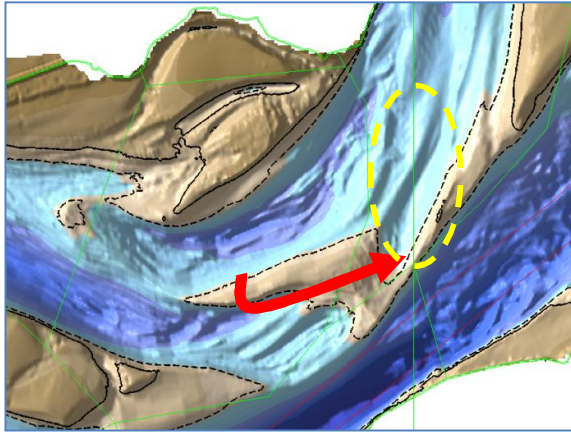
Figuur D.6 Vakindeling RVAKSAS3 Westerschelde.



Figuur D.7 Watervolumes vak 1100+11 en vak 9 t.o.v. NAP -2 m.

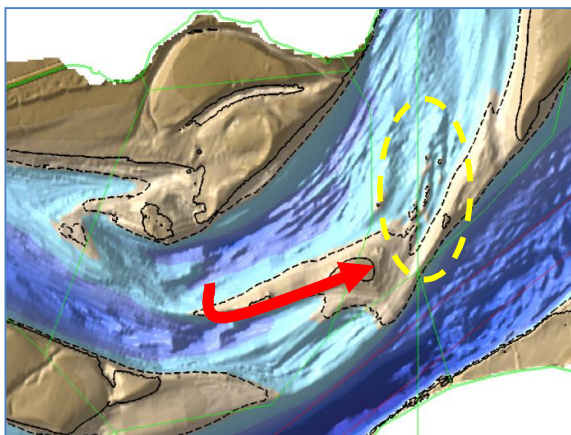
D.4 Sedimentvolume plaatrandstortvak

Naast het opschuiven van een ondiepte richting punt van de Rug van Baarland, zijn in de periode 2010-2012 plaatrandstortingen uitgevoerd. Het plaatrandstortgebied is met een gele cirkel aangeven in Figuur D.8 - Figuur D.10. Het volume van de totale plaatrandstorting bedraagt 1,3 miljoen m³ in situ. Tussen 12 februari 2010 en 6 juni 2013 is echter een sedimentvolumetoename van 4,8 miljoen m³ waargenomen in de peilingen. Om te kunnen vergelijken met de vakloding van 2012 wordt de peiling van 22 december 2011 genomen die een sedimentvolumetoename van 3,2 miljoen m³ weergeeft, of een verschil met het gestorte volume van ca. 2 miljoen m³.



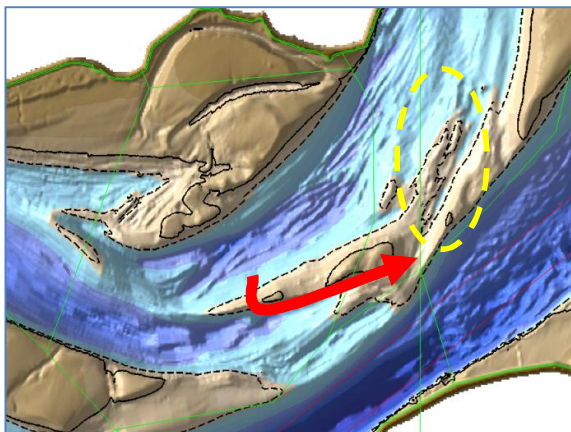
2010

Figuur D.8 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2010.



2011

Figuur D.9 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2011.



2012

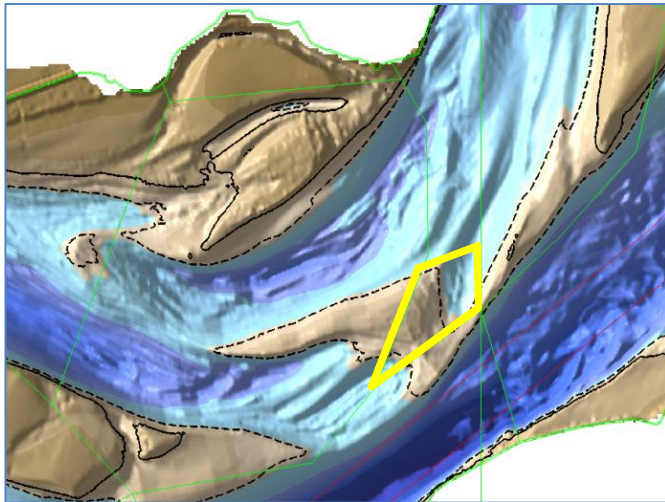
Figuur D.10 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2012.

Het afgebeelde gebied (gele polygoon in Figuur D.11 en Figuur D.12) heeft een oppervlakte van 75 ha of 750.000 m² meter. In 2010 ligt dit gebied niet hoger dan -2 m NAP (volle contourlijn) en voor ongeveer de helft onder -5 m NAP. In 2012 ligt het bijna volledig boven -5 m NAP en deels boven -2 m NAP.

De gemiddelde bodemhoogte in 2010 bedraagt -5.13 m; in 2012 -3.65 m. De gemiddelde verondieping is dus 148 cm. Over de gehele oppervlakte is het volumeverschil al meer dan 1 Mm³ en bijna even veel als wat gestort is in dezelfde periode. Dit illustreert wat de omvang is van het sedimentvolume dat in de vorm van de waargenomen ondieptes in de richting van de Rug van Baarland migreert.

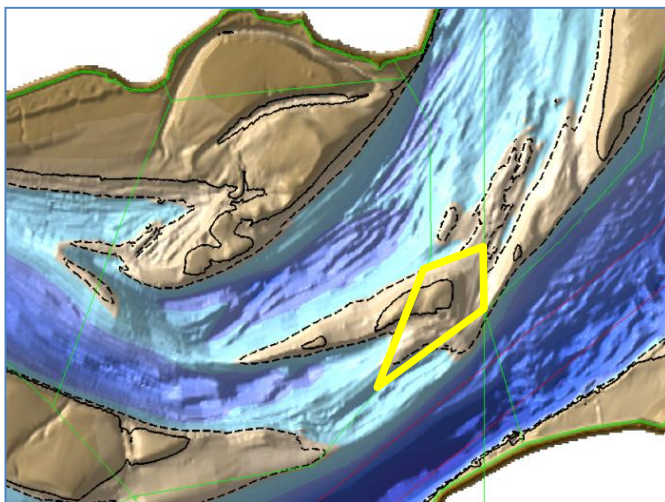
Bijkomende analyse in kleine deelgebieden van de stortpolygoon is dus mogelijk om na te gaan hoeveel van de waargenomen 2 miljoen m³ (eind 2011) autonome sedimentatie te wijten is aan migratie van ondieptes.

Het suggereert ook dat de aanpassing van de rekenpolygonen voor de watervolumes van de nevengeulen, waarbij rekening gehouden wordt met de stortpolygonen, niet noodzakelijk een oplossing zal bieden voor het gestelde probleem.



2010

Figuur D.11 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2010.



2012

Figuur D.12 Bodemligging in het drempelgebied Everingen-Middelgat in 2012.

E Bruto sedimenttransporten

E.1 Inleiding

De bruto sedimenttransporten worden gebruikt om de stortcapaciteit in de nevengeulen te bepalen volgens de richtlijn Stortcapaciteit. Deze stortcapaciteit is gebaseerd op het cellenconcept (Winterwerp & Wang, 2001; Jeuken & Wang, 2010) en instandhouding van het meergeulenstelsel. De bruto sedimenttransporten spelen hierin een rol, omdat het een maat is voor de sedimenttransportcapaciteit van de geulen en voor de mate waarin de geulen in staat zijn een storting op te ruimen. De bruto sedimenttransporten zijn berekend met behulp van Delft3D en FINEL2d. Tot nu toe zijn stortadviezen (Jeuken & Wang, 2001; Wang & Jeuken, 2002; Jeuken & Wang, 2005) en de stortcapaciteit voor de derde verruiming zoals opgenomen in de MER (Consortium Arcadis – Technum, 2007) berekend met bruto sedimenttransporten uit Winterwerp et al. (2000). In deze studie zijn de bruto sedimenttransporten per macrocel uitgerekend voor de bodem van 1996 en 1999. Vanuit Overleg Flexibel Storten is gevraagd om opnieuw naar de bruto sedimenttransporten te kijken. De bruto sedimenttransporten zijn opnieuw berekend om inzicht te krijgen in temporele variaties in de bruto sedimenttransporten. Daarnaast is het numerieke Delft3D model van de Schelde verder ontwikkeld en verbeterd en is de rekenkracht van computers toegenomen. Dit biedt de mogelijkheid om langere periodes door te rekenen (in dit geval een maand in plaats van enkele getijden) en ook in meer detail naar ruimtelijke variaties in de bruto sedimenttransporten (binnen macrocellen) te kijken. Deze aspecten komen in deze bijlage aan bod.

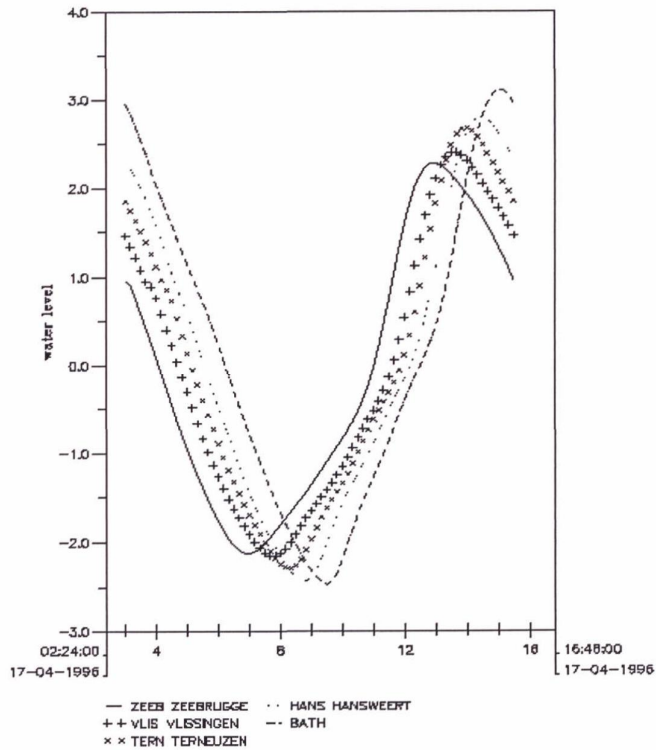
Eerst wordt beknopt uiteengezet hoe de bruto sedimenttransporten uit Winterwerp et al. (2000) zijn berekend. Vervolgens worden enkele gevoeligheden getest met de laatste versie Delft3D modellen die binnen de LTV-studies beschikbaar zijn (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013). Naast de invloed van verschillende bodemliggingen (temporele variatie), betreft dit het gebruik van de sedimenttransportformulering (van Rijn of Engelund-Hansen), extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus dan wel een morfologisch getij naar een periode van 1 jaar en enkele andere parameterinstellingen. Daarnaast wordt gekeken naar ruimtelijke verschillen binnen macrocellen, die in de studie van Winterwerp et al. (2000) niet zijn behandeld. Tot slot worden de nieuwe bruto sedimenttransporten uit Delft3D vergeleken met resultaten van FINEL2d. Modelinstellingen van FINEL2d zijn opgenomen in bijlage I.

De bruto sedimenttransporten worden uiteindelijk omgerekend naar een sedimenttransportcapaciteit. Om het bruto sedimenttransport om te rekenen naar transportcapaciteit wordt een toeslag voor poriën meegenomen, daarnaast wordt het transport opgeschaald naar de representatieve korrelgrootte in elke macrocel. Dit is uitgewerkt in bijlage J.

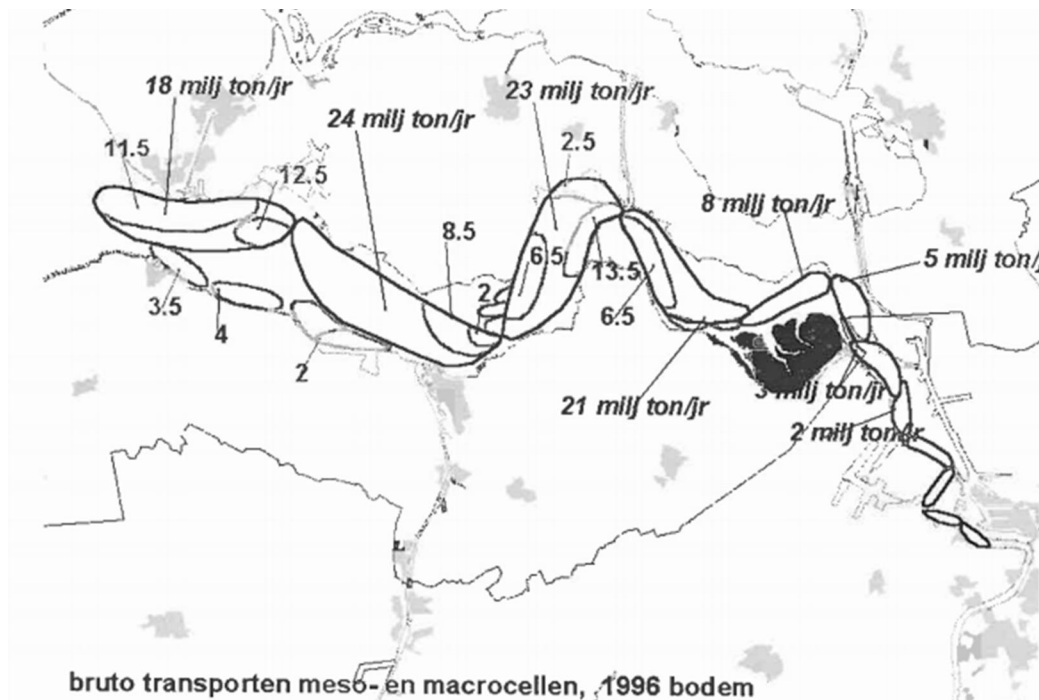
E.2 Bruto sedimenttransporten uit Winterwerp et al. (2000)

In Winterwerp et al. (2000) zijn de bruto sedimenttransporten uitgerekend met Delft3D-MOR, een voorloper van het huidige Delft3D-SED-Online. Vanwege de beperktere rekenkracht, waren de jaarlijkse bruto sedimenttransporten uitgerekend door extrapolatie van transporten tijdens een morfologisch getij. Het morfologisch getij wordt bij herhaald simuleren voor de duur van een springtij-doodtij cyclus geacht dezelfde morfologische veranderingen te geven als de simulatie met een gehele springtij-doodtij cyclus. Het morfologisch getij, met een duur van 12 uur en 30 minuten, is opgeschaald naar de periode van 1 jaar. De waterstanden voor het morfologisch getij zoals gekozen in Winterwerp et al. (2000) zijn weergegeven in Figuur E.1. Deze worden later gebruikt om ook het morfologisch getij voor de nieuwe berekeningen (zie paragraaf E.3) te kiezen. De sedimenttransporten zijn berekend met de formulering van Engelund-Hansen, met

een mediane korrelgrootte van $d_{50} = 240 \mu\text{m}$ en een Manning ruwheid n variërend tussen 0.022 en $0.026 \text{ s/m}^{1/3}$. Het ruimtelijk variërende ruwheidsveld is niet exact bekend. Het bruto sedimenttransport is berekend voor een aantal raaien per cel en vervolgens gemiddeld over de raaien om een waarde per cel te krijgen. De precieze ligging van de raaien was niet meer te achterhalen. De bruto sedimenttransporten zijn voor de bodem van zowel 1996 als 1999 uitgerekend. Bijvoorbeeld: het bruto sedimenttransport in 1996 voor macrocel 4 bedraagt 23 miljoen ton/jaar, zie Figuur E.2. Uitgaande van een dichtheid van 2650 kg/m^3 , is dat equivalent met 8.7 miljoen m^3/jaar .



Figuur E.1 Waterstanden voor het morfologisch getij uit Winterwerp et al. (2000).



Figuur E.2 Bruto transporten in miljoen ton per jaar uit Winterwerp et al. 2000 voor de bodem van 1996.

E.3 Bruto sedimenttransporten nieuwe berekeningen Delft3D

Met nieuwe, verbeterde modellen voor de Westerschelde (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013) zijn de bruto sedimenttransporten opnieuw uitgerekend. Per macrocel is een aantal raaien gedefinieerd, die inzicht geven in de ruimtelijke variatie van de bruto transporten binnen de macrocellen en de hoofd- en nevengeulen. Door de modellen te draaien voor de jaren 1973, 1983, 1996, 2006 en 2011 wordt inzicht verkregen in de temporele variatie in de transporten ofwel het effect van de bodemligging, aangezien de randvoorwaarden (hydrodynamisch forcering) voor alle jaren gelijk zijn. Daarnaast wordt de invloed van de sedimenttransportformulering en de extrapolatiemethode (morfologisch getij vs. springtij-doodtij cyclus) bekend. Dit resulteert in de volgende 4 berekeningen:

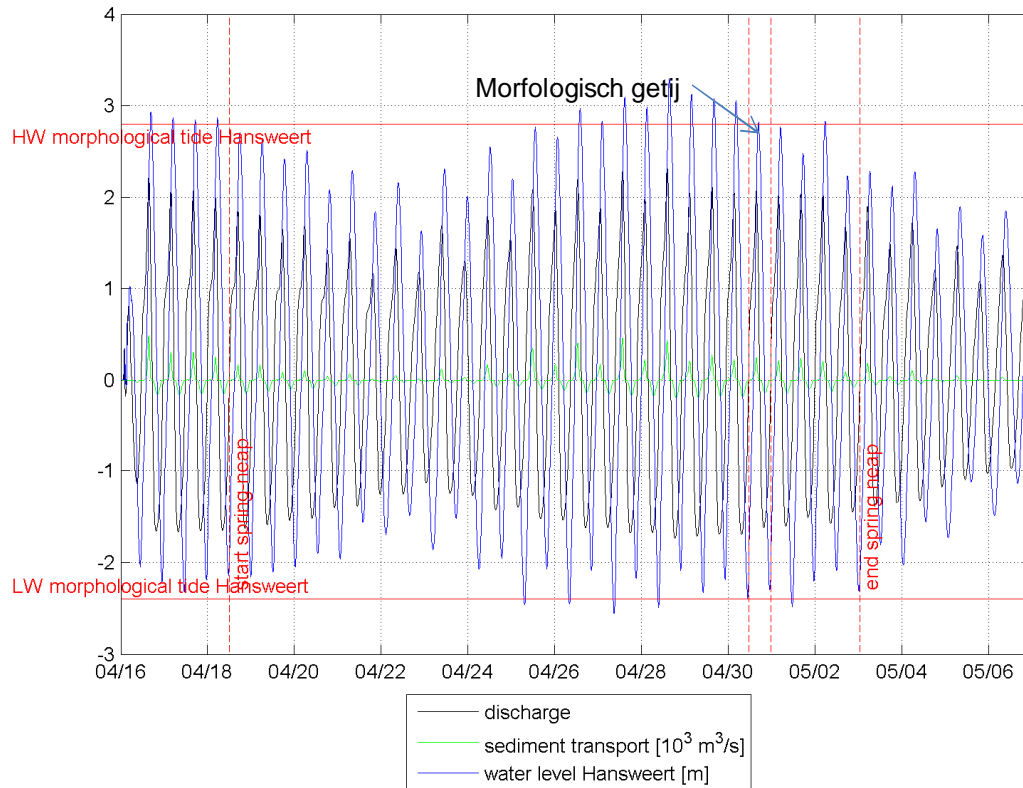
- 1) Het totale sedimenttransport tijdens een springtij-doodtij cyclus, opgeschaald naar een jaar (vermenigvuldigd met een factor 25.2).
- 2) Het sedimenttransport tijdens een representatief getij, het 'morfologisch getij', opgeschaald naar een jaar (vermenigvuldigd met een factor 701).
- 3) Sedimenttransport berekent met de formulering van van Rijn (2007).
- 4) Sedimenttransport berekent met de formulering van Engelund-Hansen.

Omdat er verschil bleek te zitten tussen de transporten uit Winterwerp et al. (2000), de huidige Delft3D berekeningen en de FINEL2d resultaten, is er ook in meer detail gekeken naar verschillen tussen Winterwerp et al. (2000) en de nieuwe Delft3D resultaten, zie § E.4.

E.3.1 Selectie morfologisch getij en springtij-doodtij cyclus

Figuur E.1 laat zien dat het morfologisch getij uit Winterwerp et al. (2000) bij Hansweert een laagwaterstand heeft van ongeveer -2.4 m NAP en een hoogwater van 2.8 m NAP. Deze waterstanden zijn ingetekend in Figuur E.3, waar de gemodelleerde waterstand bij Hansweert in 2006 is weergegeven. Op basis van deze waterstanden is het morfologisch getij gekozen, zoals

aangeduid met de rode verticale stippellijnen. Het morfologisch getij is vrij groot, en representatief voor gemiddelde springtijcondities (Jeuken et al., 2007). Deze periode is vervolgens ook voor de andere jaren (1973, 1983, 1996, 2011) gebruikt. De andere jaren wordt gesimuleerd met dezelfde randvoorwaarden, waardoor de springtij-doottij cyclus en dus de ordegrrootte van het morfologische getij op hetzelfde moment valt. Merk op dat het morfologisch getij uit Figuur E.1 uit 1996 stamt, terwijl het morfologisch getij van Figuur E.3 gebaseerd is op waterstanden in 2006. Het model van 2006 is het beste gekalibreerd en wordt daarom gebruikt voor selectie van het morfologisch getij. Doordat de rekenkracht van computers is toegenomen, kunnen de bruto sedimenttransporten ook geëxtrapoleerd worden vanaf een springtij-doottij cyclus. De gekozen springtij-doottij cyclus is ook aangegeven in Figuur E.3.

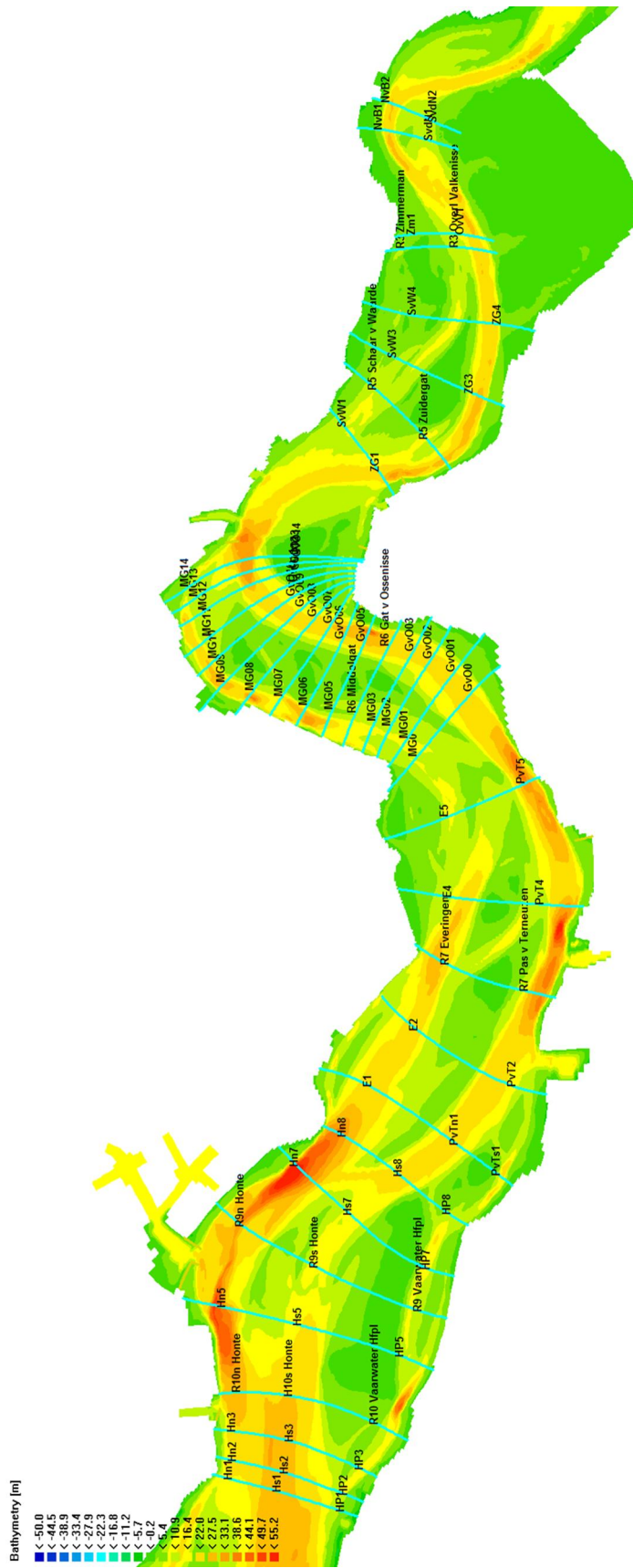


Figuur E.3 Waterstand bij Hansweert, debiet en sedimenttransport door GvO0, zoals gemodelleerd voor 2006. Met verticale rode lijnen is de springtij-doottij periode aangegeven, evenals het geselecteerde morfologische getij. Het morfologisch getij is geselecteerd op basis van de ingetekende hoogwater en laagwater lijnen (horizontale rode lijnen).

E.3.2 Overige instellingen

De berekeningen zijn uitgevoerd met een korrelgrootte d_{50} van 200 μm en een Manning ruwheid variërend tussen 0.017 en 0.028 $\text{s/m}^{1/3}$. Het model is enkel geforceerd met getij en wind in combinatie met rivierafvoer, dus zonder golfwerking. Verder is het model 2D, net als het model uit Winterwerp et al. (2000) en FINEL2d.

Voor elke raai (zie Figuur E.4) is het bruto sedimenttransport bepaald en vervolgens is dit gemiddeld over de raaien. Dit is analoog aan de methode van Winterwerp et al. (2000), hoewel het aantal raaien en de ligging van de raaien kan verschillen.



Figuur E.4 Raaien in het Delft3D model met de modelbodem van 2006.

E.3.3 Resultaten

Op de volgende pagina's worden de bruto sedimenttransporten (in m^3/jaar met een dichtheid van $2650 \text{ kg}/\text{m}^3$) per macrocel, per raai en per jaar weergegeven. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt in sedimenttransportformulering en extrapolatiemethode.

Voor elke macrocel zijn steeds de bruto sedimenttransporten per raai in de hoofdgeul (bovenste panelen) en per raai in de nevengeul (onderste panelen) weergegeven in kleur. De nummering van de raaien loopt steeds van 0 aan de meest westelijke zijde van de polygoon op naar het oosten. Het gemiddelde van de geul (hoofdgeul of nevengeul) is weergegeven in grijs. Het bruto sedimenttransport van de macrocel is berekend door de transporten voor een raai van oever tot oever te nemen, door de twee raaien die in elkaars verlengde liggen (hoofdgeul + nevengeul) bij elkaar op te tellen. Er is onderscheid gemaakt in sedimenttransport tijdens eb, vloed en het totaal (vloed + eb). Alle transporten zijn opgeschaald naar een periode van 1 jaar.

Vergelijking van Figuur E.5 en Figuur E.6 laat het verschil tussen een springtij-doodtij cyclus en het morfologisch getij als basis voor de extrapolatie zien voor macrocel 1. De bruto sedimenttransporten die met extrapolatie van het morfologisch getij worden gevonden zijn tot 50% hoger, voor alle macrocellen. Het verschil tussen raaien en jaren is niet steeds constant. Aangezien extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus betrouwbaar is dan extrapolatie van een morfologisch getij, wordt geadviseerd om te rekenen met extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Verschillen tussen de formulering van Engelund-Hansen en Van Rijn 2007 zijn veel kleiner, circa 10%. In de voorgaande LTV-studies (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013) is gerekend met de formulering van Van Rijn. Het heeft voor dit project echter de voorkeur met de formulering van Engelund-Hansen te werken, omdat de transporten die hiermee worden uitgerekend naderhand nog kunnen worden gecorrigeerd voor de representatieve korrelgrootte in elke macrocel. Dit wordt gedaan bij het berekenen van de sedimenttransportcapaciteit, zie bijlage J. Daarnaast maakt het een vergelijking met Winterwerp et al. (2000) en FINEL2d mogelijk, die beiden ook gebruik maken van de formulering van Engelund-Hansen.

Als we meer in detail naar de resultaten voor de formulering van Engelund-Hansen en extrapolatie van de springtij-doodtij cyclus kijken, zien we dat er grote variatie zit in de transporten tussen raaien en tussen de hoofd- en de nevengeul.

Het gemiddelde totale transport in de hoofdgeul van macrocel 1 bedraagt ongeveer 1,3-1,8 miljoen m^3/jr , met uitschieters naar 0,3 en 2,9 miljoen m^3/jr . In de nevengeul is het gemiddelde totale transport met 2,1-2,8 miljoen m^3/jr (uitschieters naar 1 en 4,6 miljoen m^3/jr) hoger dan in de hoofdgeul. Het transport in de nevengeul is groter dan in de hoofdgeul, omdat deze groter en ondieper is. Over de tijd zien we dat de bruto sedimenttransporten het afgelopen decennium zijn toegenomen, terwijl in de periode daarvoor de transporten weinig verschillen. Vooral in de hoofdgeul is het ebtransport veel groter dan het vloedtransport, in de nevengeul is het vloedtransport gemiddeld ongeveer even groot als het ebtransport.

In macrocel 3 is het gemiddelde totale transport in de hoofdgeul bijna twee keer zo groot als in de nevengeul. De totale transporten nemen in de nevengeul toe richting het drempelgebied van de Everingen (oranje), in de hoofdgeul zijn de transporten in het drempelgebied ook groot. De verschillen tussen eb- en vloedtransport zijn in de nevengeul klein, in de hoofdgeul is het ebtransport groter. De variatie over de tijd is marginaal.

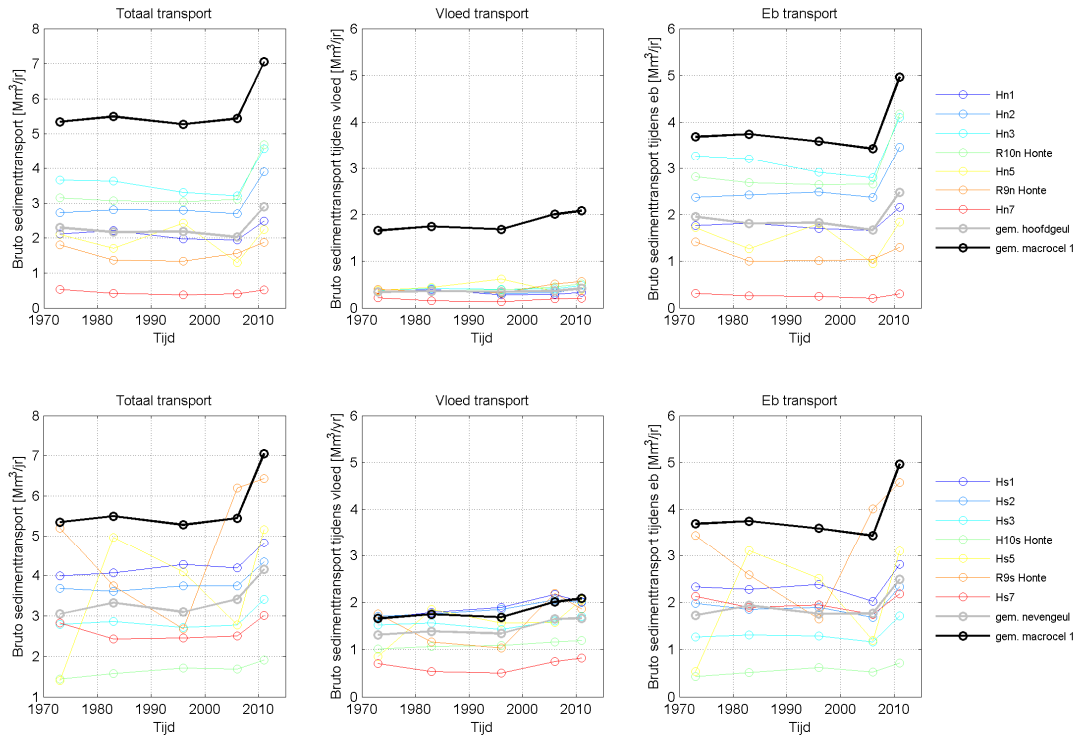
De totale transporten in de hoofdgeul van macrocel 4 zijn het grootst vlak voor de oostelijke begrenzing van de macrocel, omdat het geulvolume daar ook het grootst is. In de nevengeul zijn de transporten het grootst dichtbij het drempelgebied van de Everingen, en nemen in oostwaartse richting af. De transporten in de hoofdgeul zijn veel groter dan in de nevengeul. In

de nevengeul is het ebtransport groter dan het vloedtransport. De totale transporten in de macrocel zijn afgenomen sinds 1983, maar vertonen in 2011 weer een toename.

In macrocel 5 is de afname van de totale transporten gemiddeld over de macrocel in de tijd opvallend. Deze is sinds de jaren '70 gehalveerd. De transporten in de hoofdgeul zijn groter dan in de nevengeul en verschillen met een factor 2. Het ebtransport domineert de hoofdgeul, in de nevengeul is het verschil tussen eb en vloed marginaal. In het midden van de macrocel zijn de transporten het grootst.

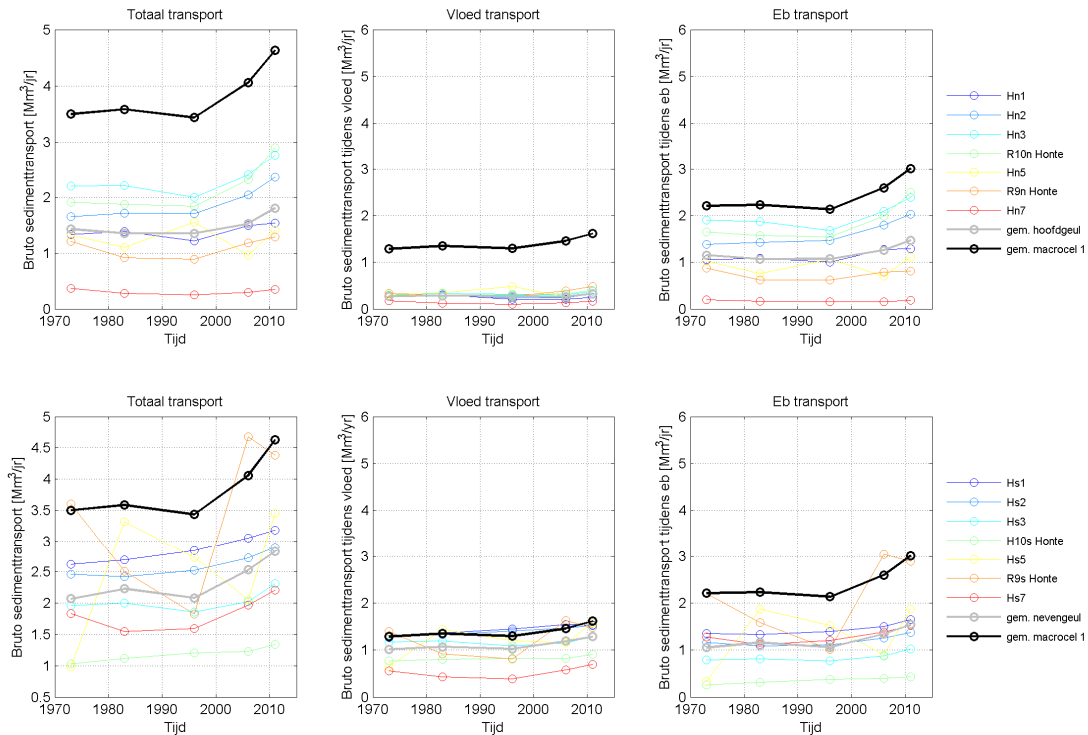
Het aantal raaien in macrocel 6 is helaas erg beperkt. Toch zien we ruimtelijke variatie. De transporten in de nevengeul zijn groter. Hoewel de transporten enorm zijn toegenomen ten opzichte van 1973, vertonen ze sinds de jaren '90 een dalende trend. De transporten zijn sinds 1996 met ongeveer 10% gedaald.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering Engelund-Hansen



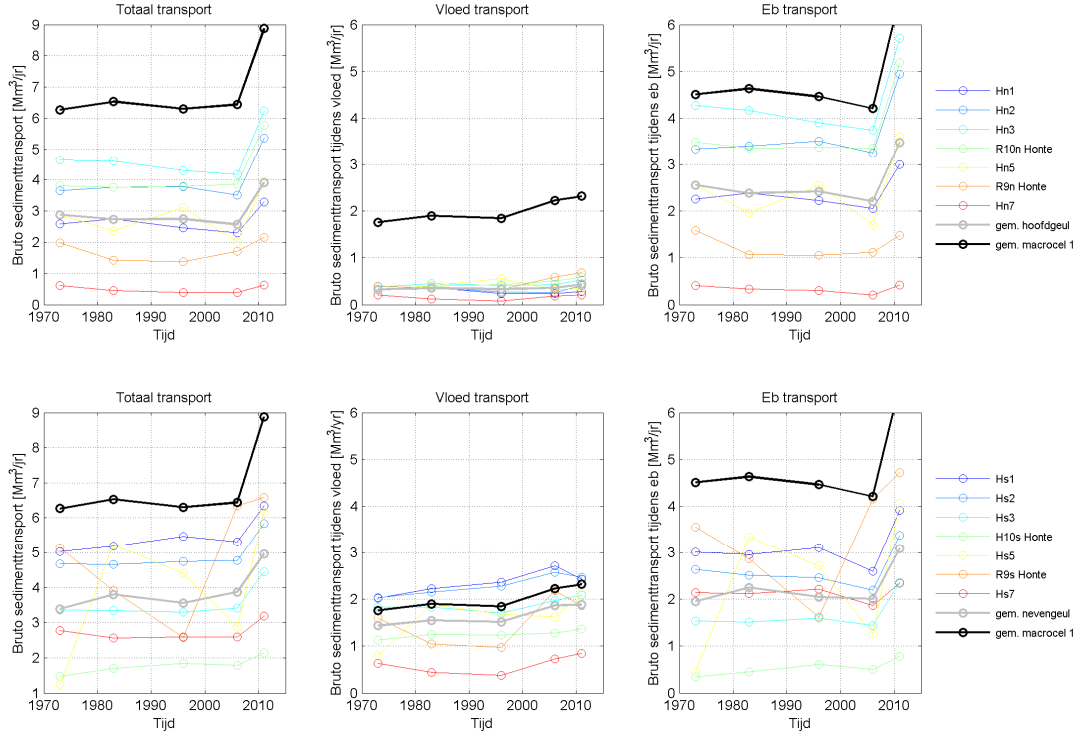
Figuur E.5 Bruto transporten voor macrocel 1 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij cyclus met formulering Engelund-Hansen



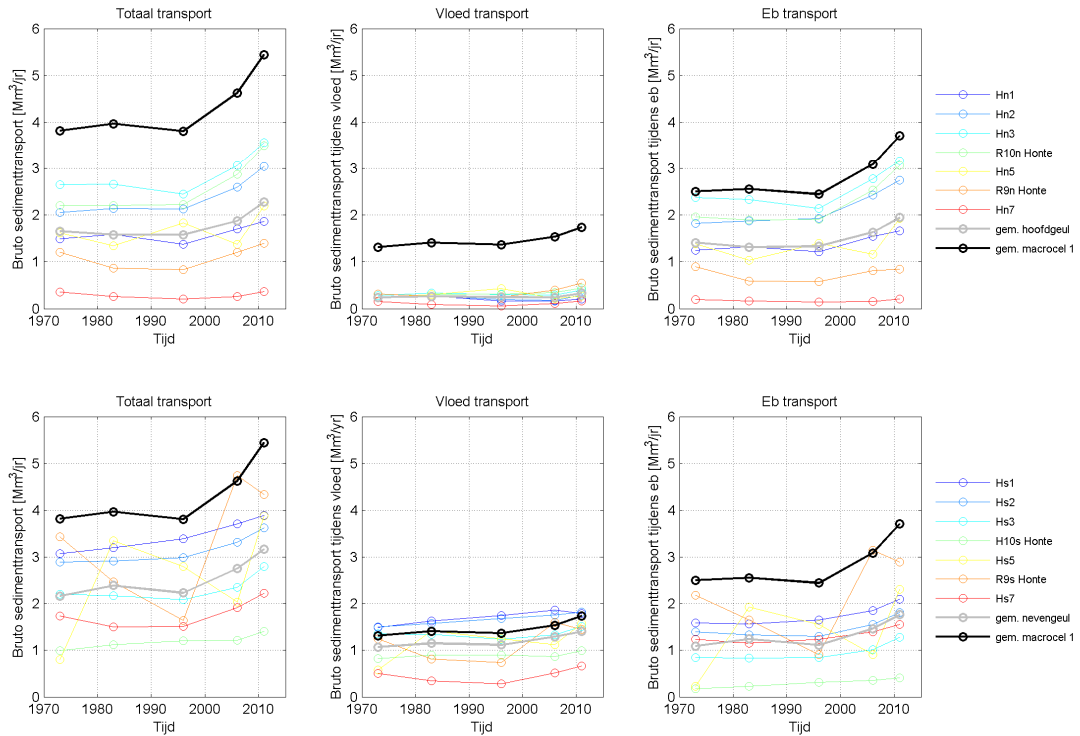
Figuur E.6 Bruto transporten voor macrocel 1 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering Van Rijn



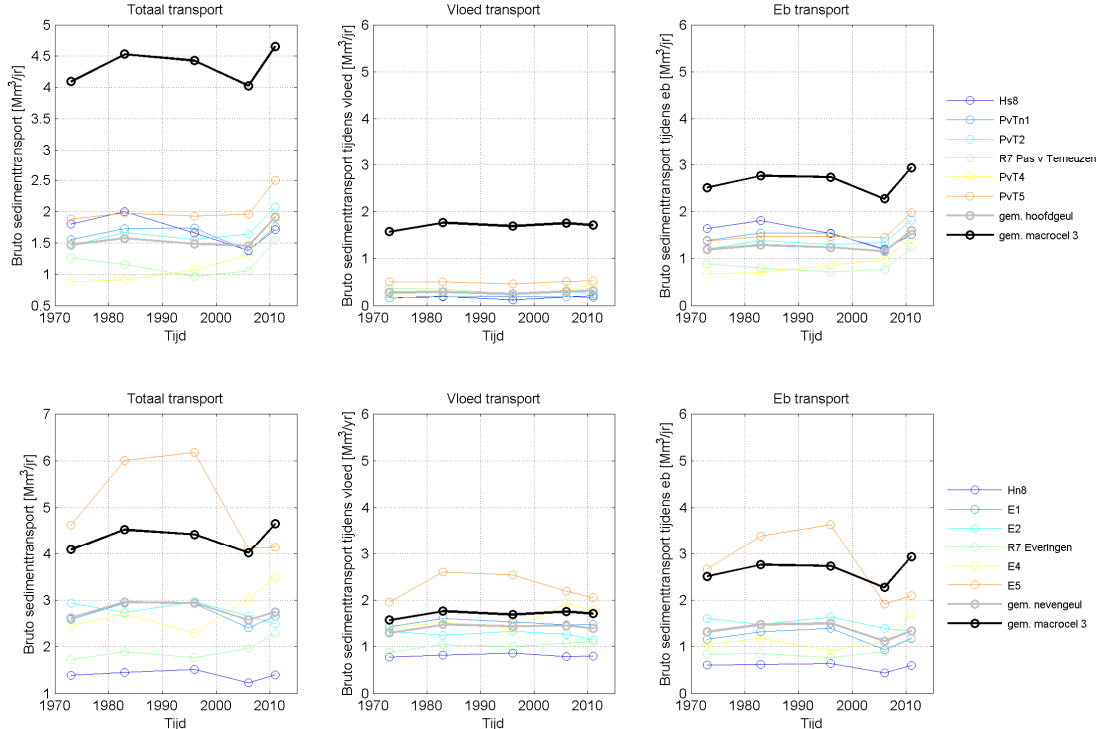
Figuur E.7 Bruto transporten voor macrocel 1 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij cyclus met formulering Van Rijn



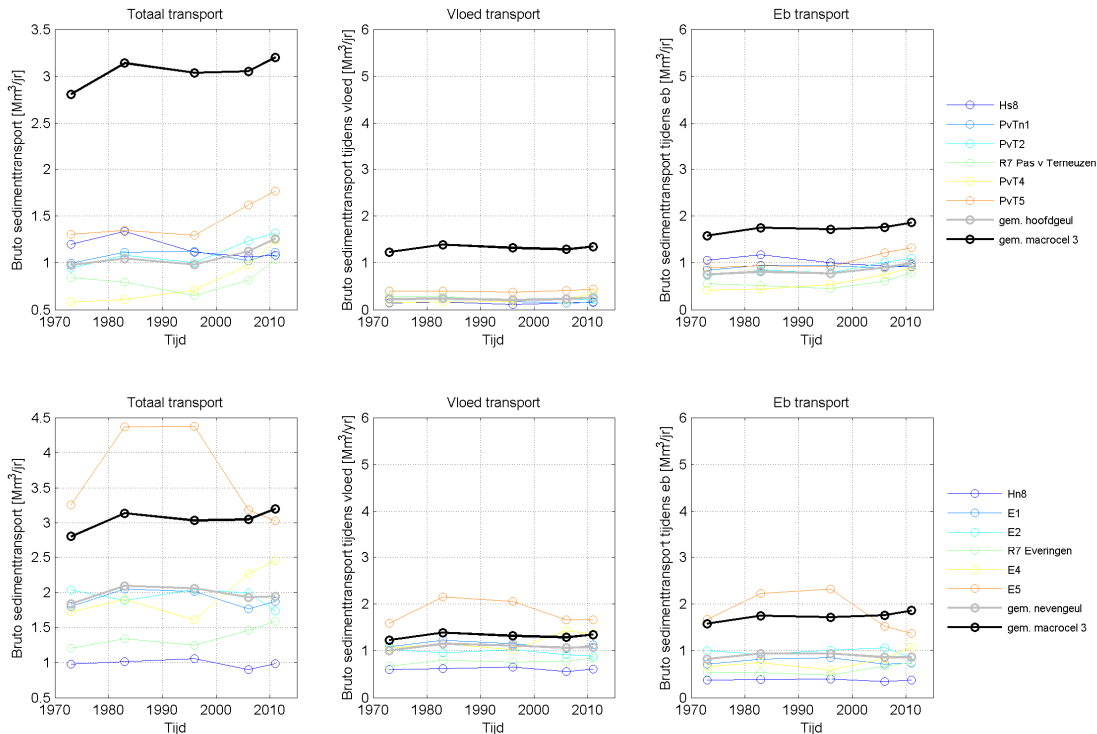
Figuur E.8 Bruto transporten voor macrocel 1 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering Engelund-Hansen



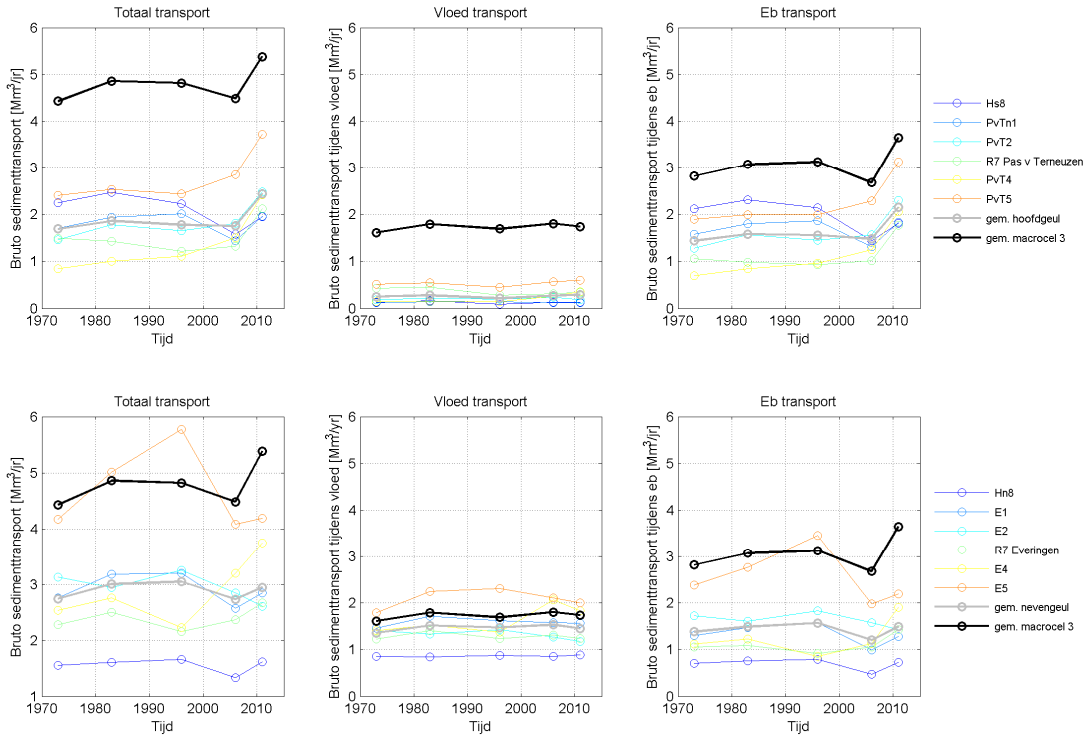
Figuur E.9 Bruto transporten voor macrocel 3 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij met formulering Engelund-Hansen



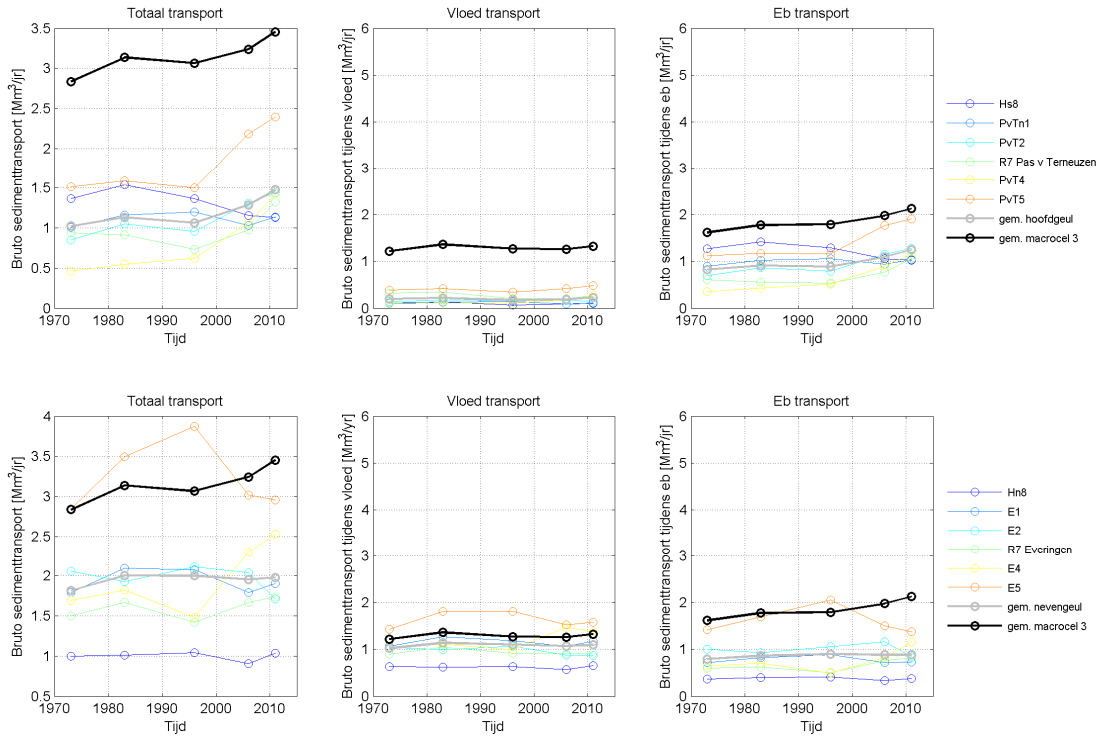
Figuur E.10 Bruto transporten voor macrocel 3 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering van Rijn



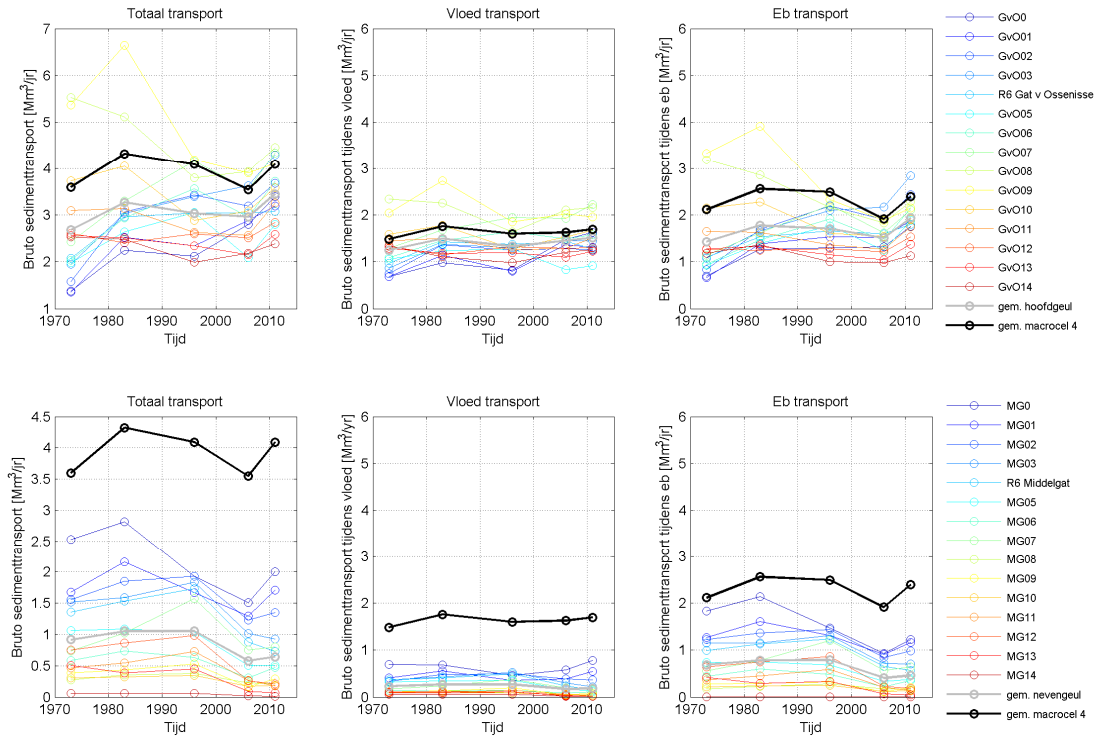
Figuur E.11 Bruto transporten voor macrocel 3 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij met formulering van Rijn



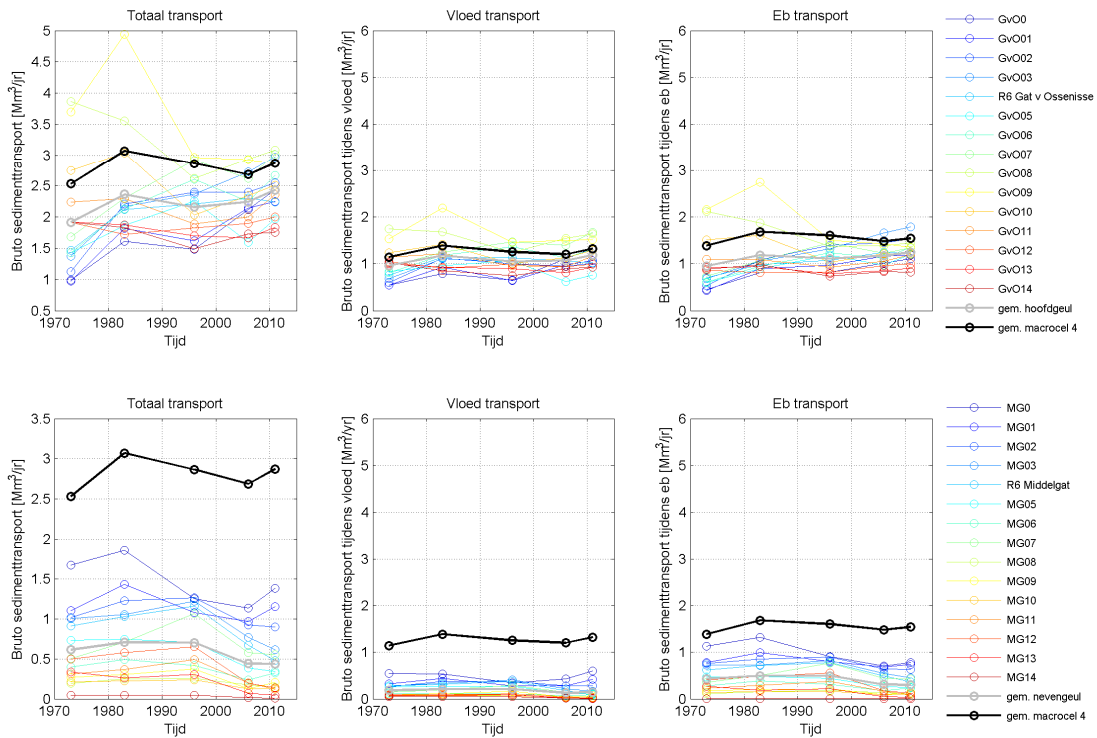
Figuur E.12 Bruto transporten voor macrocel 3 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering Engelund-Hansen

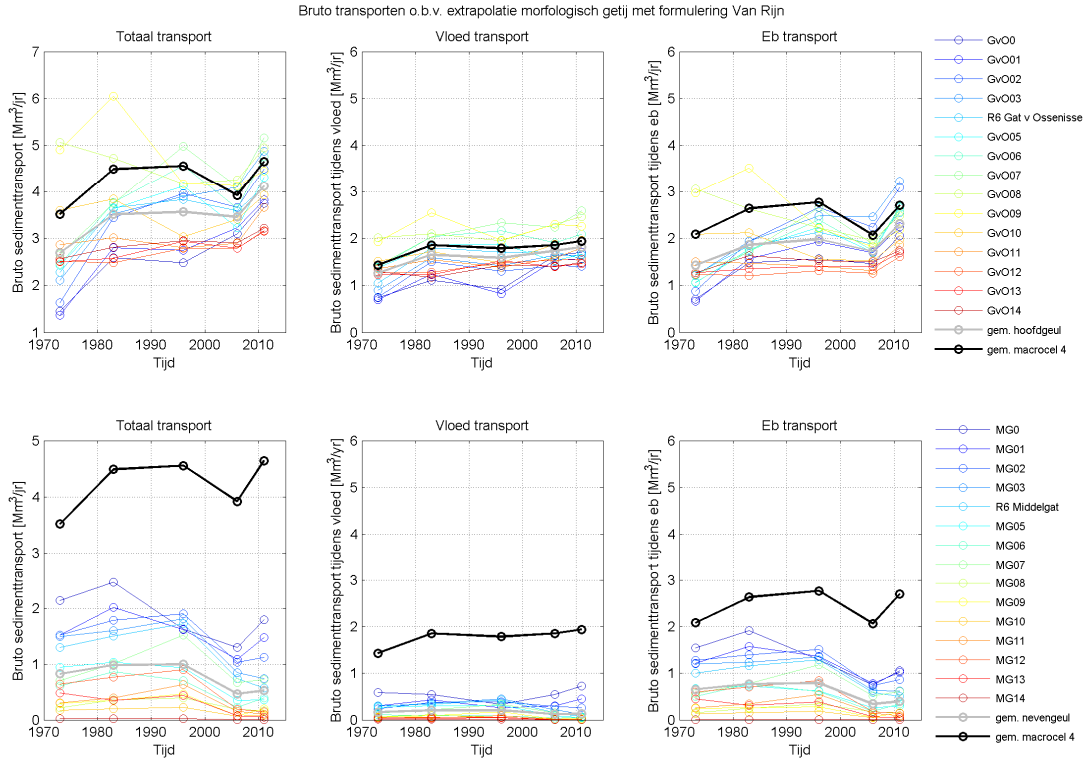


Figuur E.13 Bruto transporten voor macrocel 4 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

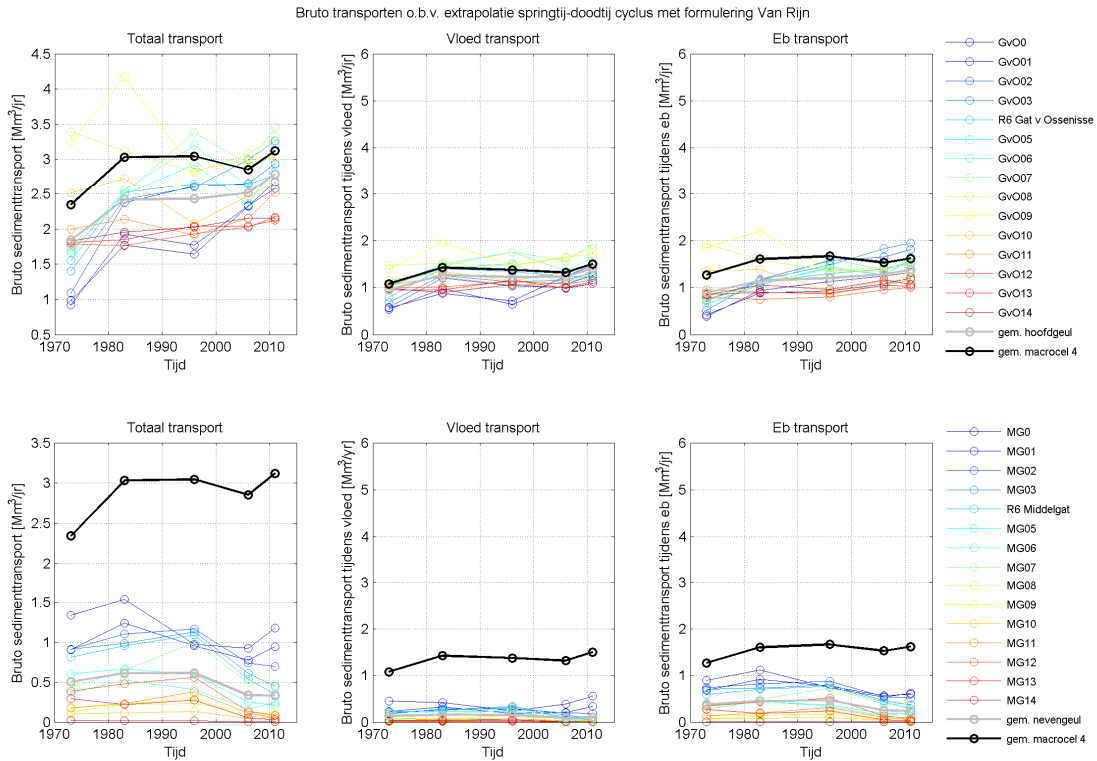
Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij cyclus met formulering Engelund-Hansen



Figuur E.14 Bruto transporten voor macrocel 4 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

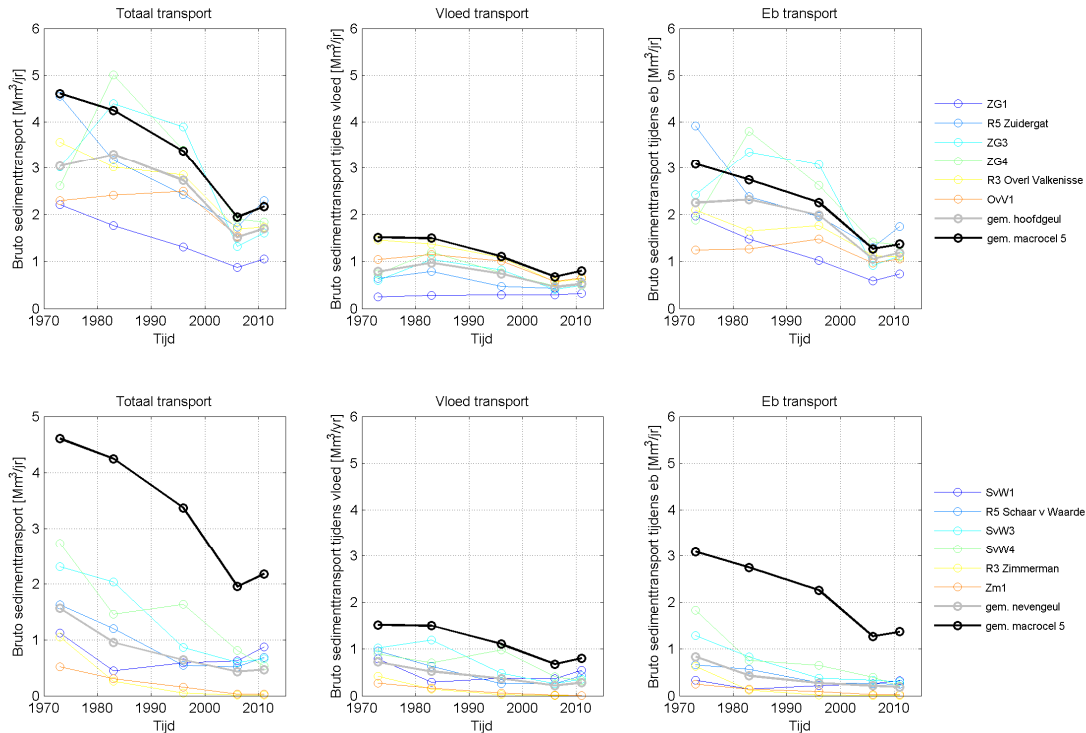


Figuur E.15 Bruto transporten voor macrocel 4 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.



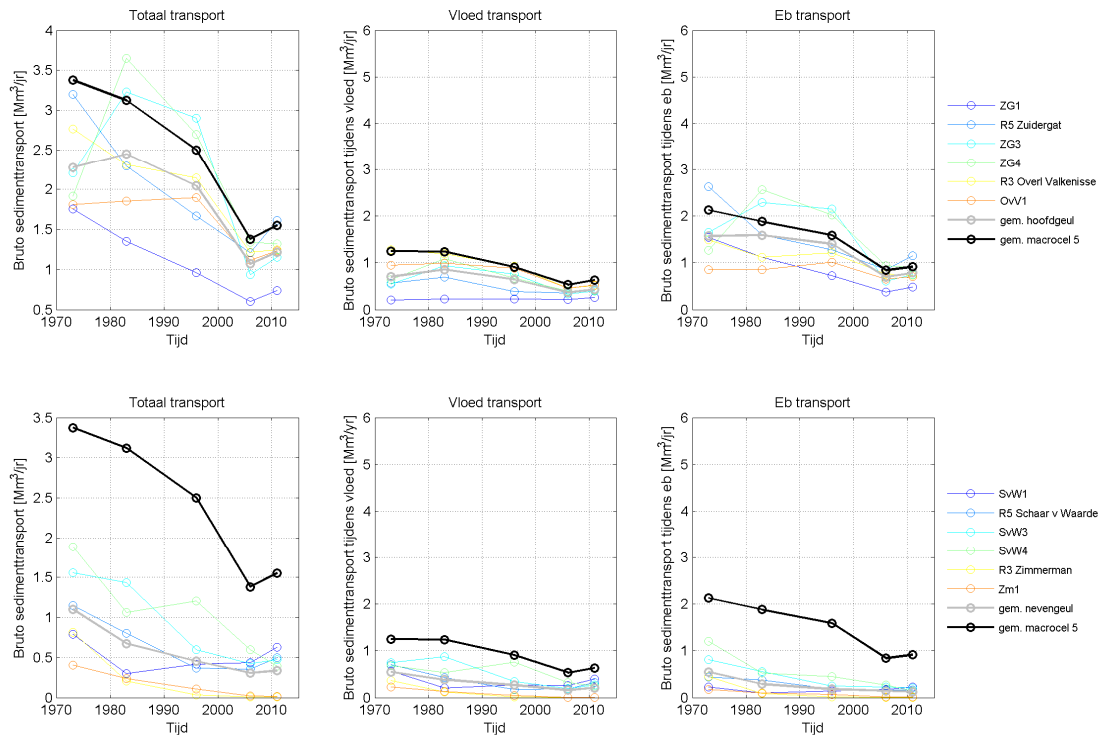
Figuur E.16 Bruto transporten voor macrocel 4 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

Bruto transporten o.b.v. extrapolatie morfologisch getij met formulering Engelund-Hansen

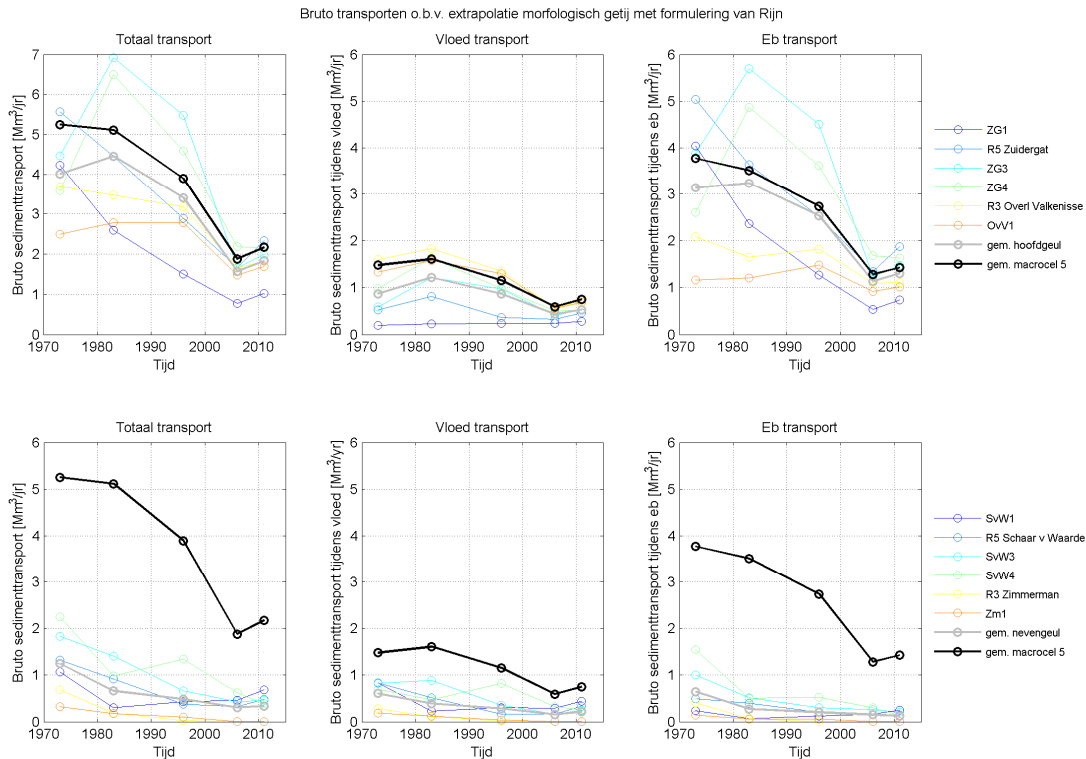


Figuur E.17 Bruto transporten voor macrocel 5 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.

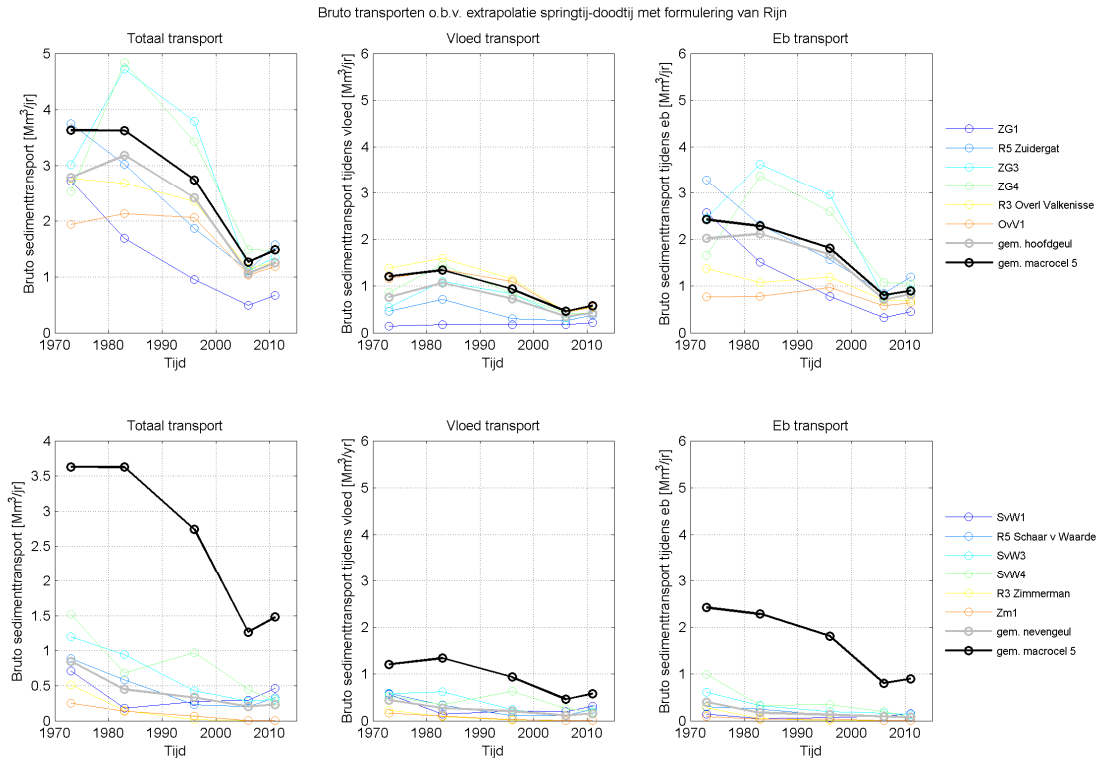
Bruto transporten o.b.v. extrapolatie springtij-doodtij met formulering Engelund-Hansen



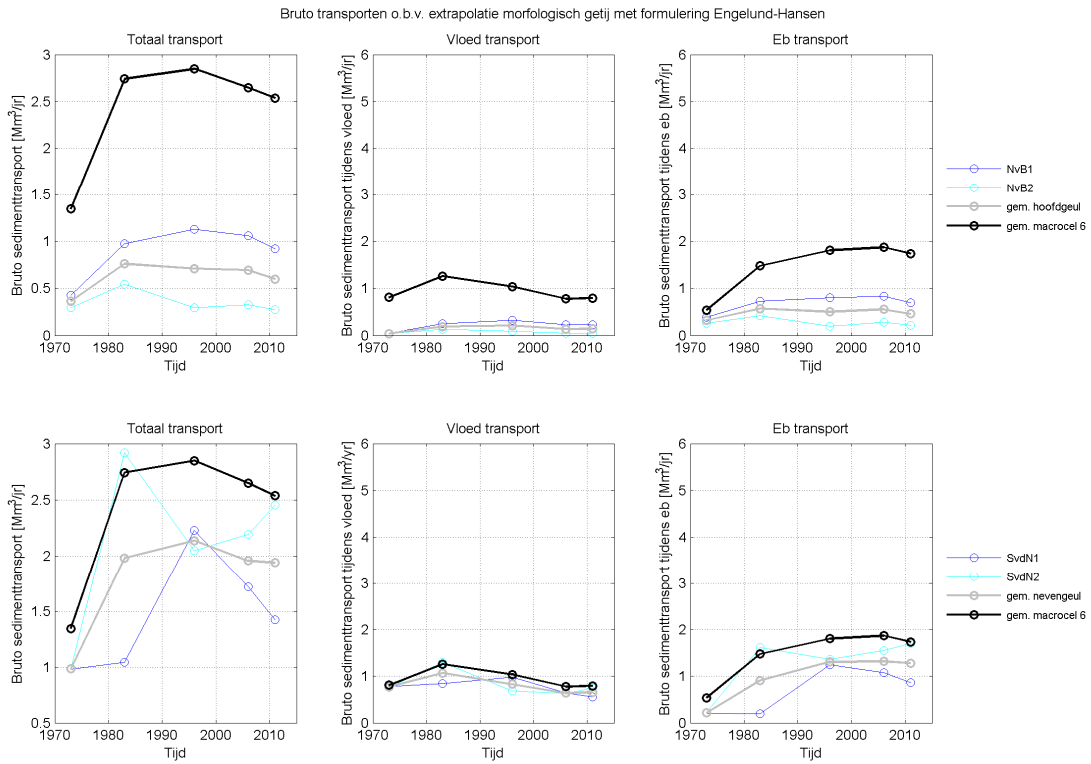
Figuur E.18 Bruto transporten voor macrocel 5 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.



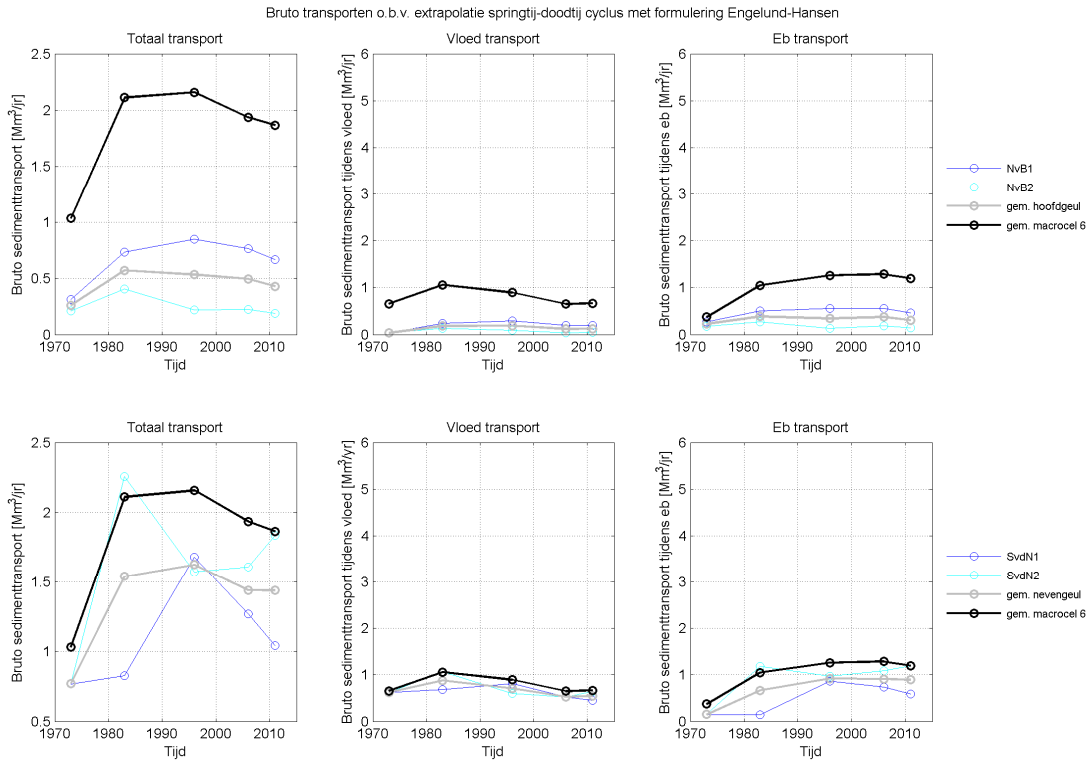
Figuur E.19 Bruto transporten voor macrocel 5 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.



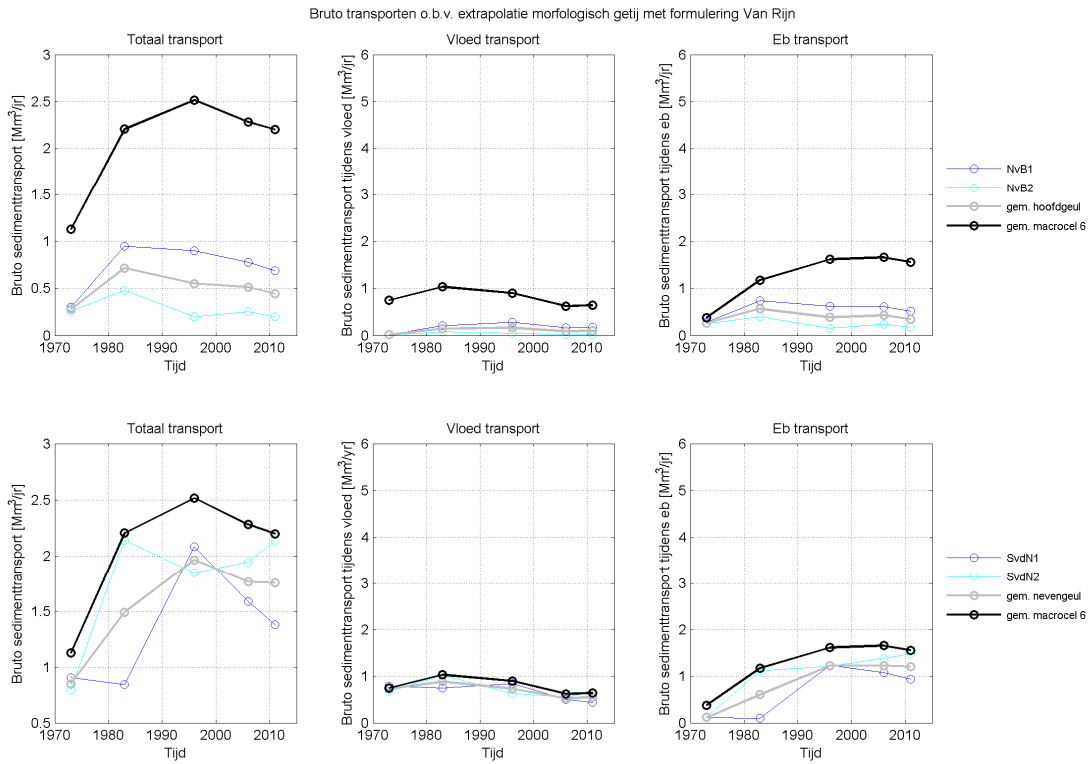
Figuur E.20 Bruto transporten voor macrocel 5 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.



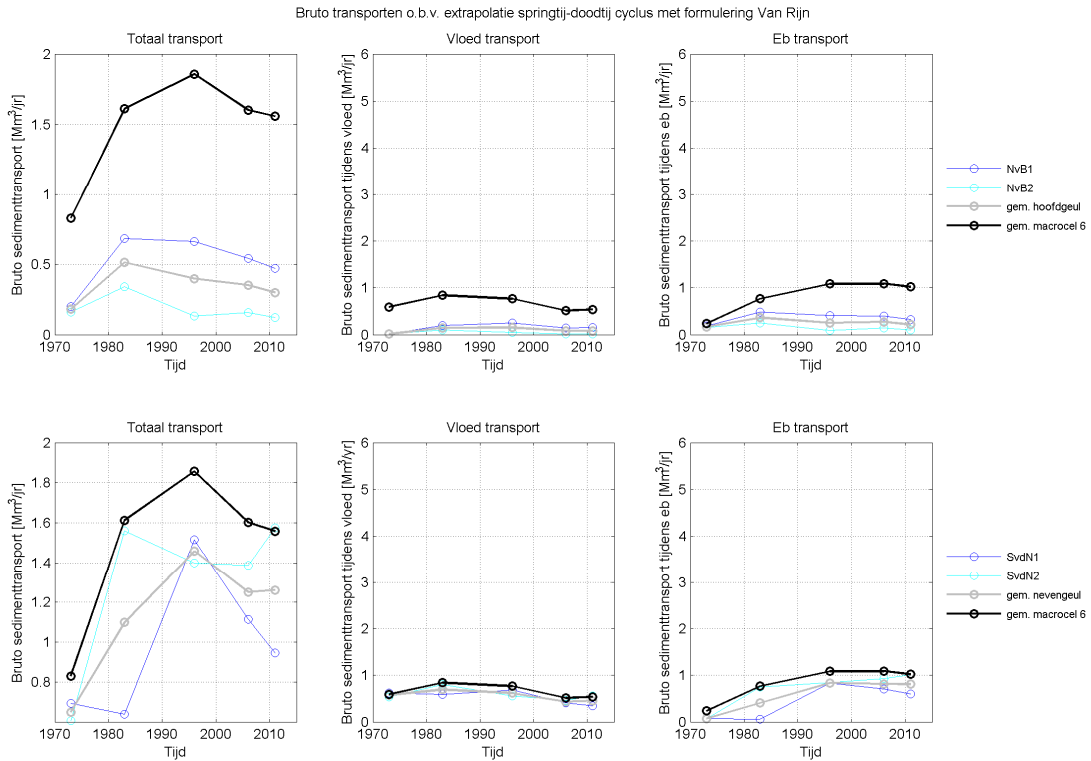
Figuur E.21 Bruto transporten voor macrocel 6 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.



Figuur E.22 Bruto transporten voor macrocel 6 berekend met de formulering van Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.



Figuur E.23 Bruto transporten voor macrocel 6 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij.



Figuur E.24 Bruto transporten voor macrocel 6 berekend met de formulering van Van Rijn, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus.

E.4 Vergelijking bruto sedimenttransporten

Tabel E.1 geeft de bruto sedimenttransporten per macrocel en per jaar voor de huidige studie en de resultaten van Winterwerp et al. (2000). Er zitten grote verschillen tussen beide studies, die veroorzaakt worden door verschillende parameterinstellingen, zie Tabel E.2. Daarnaast worden verschillen veroorzaakt door de extrapolatiemethode (morfologisch getij of springtij-doodtij cyclus).

Bij de parameterinstellingen, hebben de kalibratiefactoren op de transporten de grootste invloed op de verschillen tussen de huidige resultaten en de resultaten van Winterwerp et al. (2000). In de huidige modellen is een factor 0.5 op de transporten meegenomen. Dit is het resultaat van kalibratie van het model op sedimentatie- en erosiepatronen, baggerhoeveelheden en volumeveranderingen in de macrocellen. Het betreft dus voornamelijk een kalibratie van de netto sedimenttransporten, die niet direct tot een verbetering van de ordegrrootte van de bruto sedimenttransporten hoeft te leiden. De netto volumeveranderingen per macrocel zouden in elk geval een ordegrrootte kleiner moeten zijn dan de bruto sedimenttransporten. Voor macrocel 1 zijn de netto volumeveranderingen in de hoofdgeul en de nevengeul in de ordegrrootte van 1 miljoen m³/jaar. Dit is fors ten opzichte van de bruto sedimenttransporten die worden uitgerekend met kalibratiefactor van 0.5, die voor macrocel ongeveer 4 miljoen m³/jaar zijn. Vergelijking van de bruto sedimenttransporten met de netto transporten uit de sedimentbalans (T2009-rapport, 2013) en de bruto transporten uit de eerste LTV-studie (Winterwerp et al. 2000), doet vermoeden dat de kalibratiefactoren voor de berekening van bruto sedimenttransporten beter op 1 kunnen worden gezet. Dit is in Tabel E.1 dan ook gedaan. Om meer zekerheid te krijgen over de ordegrrootte van de sedimenttransporten, zouden de modelsimulaties vergeleken kunnen worden met metingen. Gezien de tijd is hier niet voor gekozen.

De korrelgrootte is in de studie van Winterwerp et al. (2000) groter, waardoor de transporten juist kleiner worden dan in de huidige resultaten. Het verschil is 20%. Achteraf kan hiervoor gecorrigeerd worden.

Bruto transport in miljoen m ³ ρ = 2650 kg/m ³	Winterwerp et al. (2000) Morfologisch getij d = 240 μm		Huidige resultaten o.b.v. Engelund-Hansen en extrapolatie springtij-doodtij cyclus zonder kalibratiefactoren d = 200 μm				
	1996	1999	1973	1983	1996	2006	2011
Macrocel							
1	6.8	7.2	7.0	7.2	6.9	8.1	9.3
3	9.1	9.8	5.6	6.3	6.1	6.1	6.4
4	8.7	8.3	5.1	6.1	5.7	5.4	5.7
5	7.9	6.4	6.8	6.2	5.0	2.8	3.1
6	3.0	3.2	2.1	4.2	4.3	3.9	3.7

Tabel E.1 Bruto transporten per macrocel en per jaar volgens Winterwerp et al. (2000) en volgens huidige berekeningen in miljoen m³, uitgaande van een dichtheid van 2650 kg/m³.

De sedimenttransporten die zijn gebruikt voor de berekening van de sedimenttransportcapaciteit zijn berekend met de formulering van Engelund-Hansen. De parameters in deze formule kunnen verschillen zijn gekozen in de verschillende modelsimulaties. De transportformulering van Engelund-Hansen luidt:

$$S = \frac{0.05 \cdot u^5}{\Delta^2 \cdot \sqrt{g} \cdot C^3 \cdot d_{50}}$$

Met:

u grootte van de stroomsnelheid

- Δ relatieve dichtheid (ρ_s/ρ_w-1)
- g gravitatieversnelling
- C Chezy coëfficiënt
- d_{50} mediane korrelgrootte

De formule van Engelund-Hansen laat zien dat naast de stroomsnelheid, de ruwheid van de bodem van invloed is. De precieze invloed hiervan is lastig te kwantificeren omdat het ruimtelijk variërende ruwheidsveld voor de studie van Winterwerp et al. (2000) niet bekend is. Daarnaast hangt de ruwheid met veel andere factoren samen die van invloed zijn op de transporten, zoals stroomsnelheden en waterdiepte. De relatie tussen de Chezy coëfficiënt, de Manning en Nikuradse ruwheid en de waterdiepte is weergegeven in Figuur E.26. Aangezien de Chezy coëfficiënt tot een derde macht meetelt in het sedimenttransport, kan het grote invloed hebben.

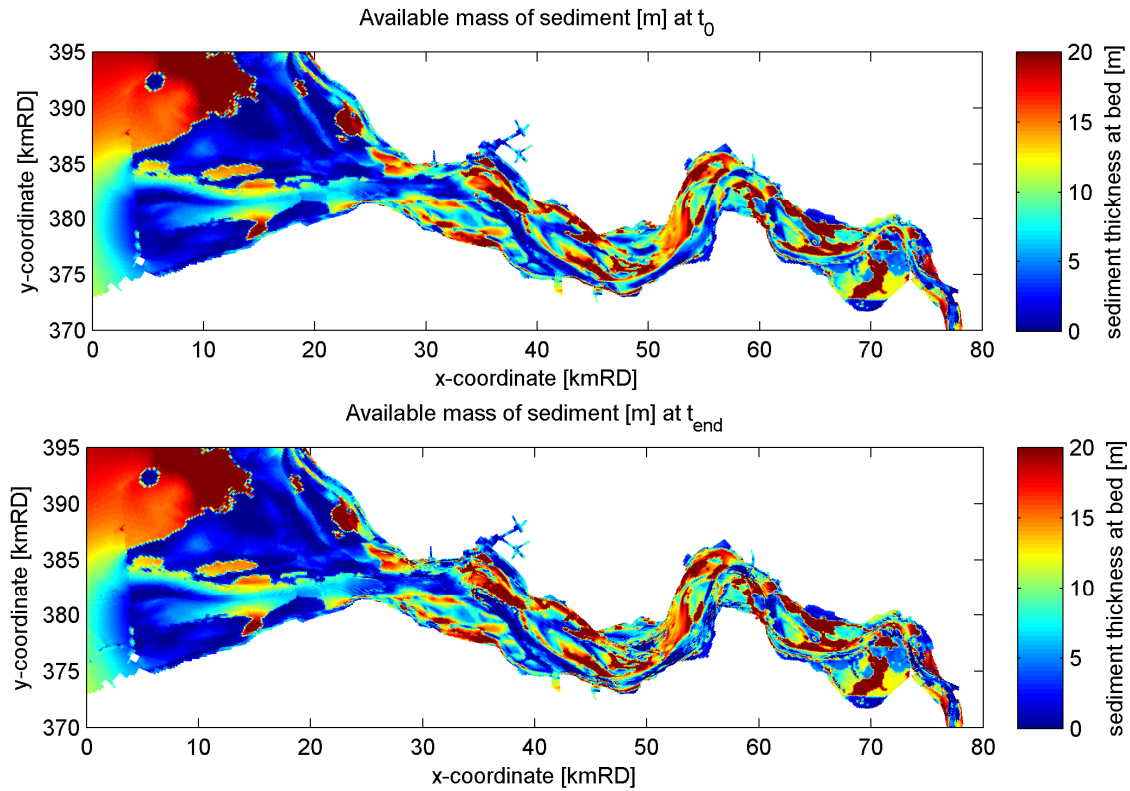
Tot slot kunnen de transporten in de huidige studie kleiner zijn omdat er gewerkt is met een bodemligging met harde lagen. Dit betekent dat niet overal sediment beschikbaar is om opgenomen te worden door de stroming. Daar waar wel sediment ligt is de toevoer onbeperkt. Figuur E.25 laat zien waar de harde lagen in het model zitten, zowel aan het begin als aan het einde van de berekening.

Daarnaast is er grote spreiding in sedimenttransporten tussen de raaien van een macrocel, deze kunnen ook tot verschillen leiden. Dit is alleen moeilijk na te gaan omdat de ligging van de raaien in de studie van Winterwerp et al. (2000) niet bekend is.

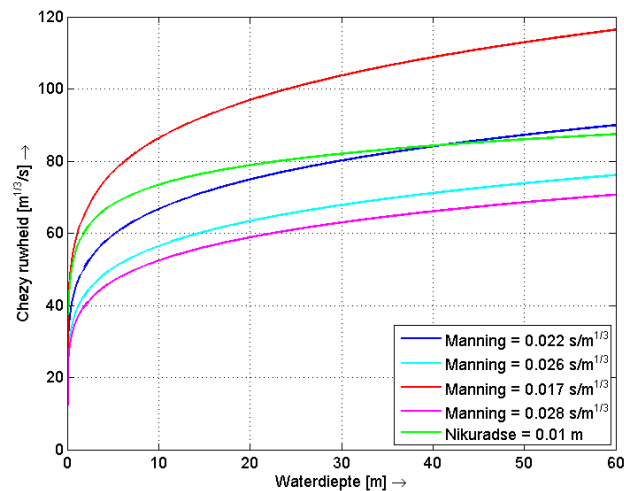
	Huidig	Winterwerp et al. (2000)	Vershil
Extrapolatiemethode	Springtij-doodtij cyclus	Gebaseerd op morf getij	Vershil tussen springtij-doodtij en morfologisch getij is max 50%.
Calibratiefactoren Engelund-Hansen	Factor voor bedslope in stroomrichting (α_{Bs}) 0 Factor voor bedslope in doorsnederichting (α_{Bn}) 10 Factor voor gesuspendeerd transport (Sus) 0.5 Factor voor bodemtransport (Bed) 0.5	? Factor voor gesuspendeerd transport (Sus) 1.0 (?) Factor voor bodemtransport (Bed) 1.0 (?)	50%
Bodemruwheid	0.017-0.028 s/m ^{1/3} $C = 12^{1/6}/0.017 = 89$ $S \sim 1.4 \cdot 10^{-6} \cdot S'$ $C = 12^{1/6}/0.028 = 54$ $S \sim 6.3 \cdot 10^{-6} \cdot S'$	0.022-0.026 s/m ^{1/3} $C = 12^{1/6}/0.022 = 68.8$ $S \sim 3.1 \cdot 10^{-6} \cdot S'$ $C = 12^{1/6}/0.026 = 58.2$ $S \sim 5.1 \cdot 10^{-6} \cdot S'$	$S \sim 1/C^3$ $C = H^{1/6}/n$ Zie ook Figuur E.26 Bv. Max. verschil bij waterdiepte van 12 m: $S_{\text{huidig}} = 45-120\%$ van $S_{\text{Winterwerp}}$ NB. C heeft ook invloed op u.
Korrelgrootte	200	240	$S \sim 1/d_{50}$ $S_{\text{huidig}} = 120\%$ van $S_{\text{Winterwerp}}$

Bodemligging/ geuldiepte/ ligging raaien	1973/1983/2006/2011 $\Delta(\text{jaren}) = 1 \text{ Mm}^3/\text{jr}$ $\Delta(\text{raaien}) = 2.5 \text{ Mm}^3/\text{jr}$	1996/1999 $\Delta(\text{jaren}) = 1 \text{ Mm}^3/\text{jr}$	$S \sim u^5/C^3$ Invloed diepte op Chezy coëfficiënt en stroomsnelheden
Sedimentbeschikbaarheid	Randen: 0 Bodem: zie Figuur E.25	? ?	Huidige berekeningen rekenen met harde lagen.

Tabel E.2 Parameterinstellingen voor huidige studie en Winterwerp et al. 2000.



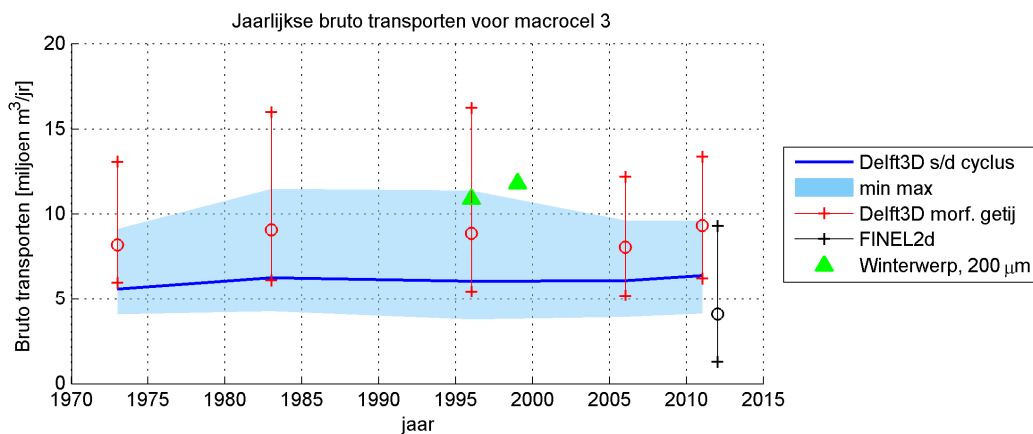
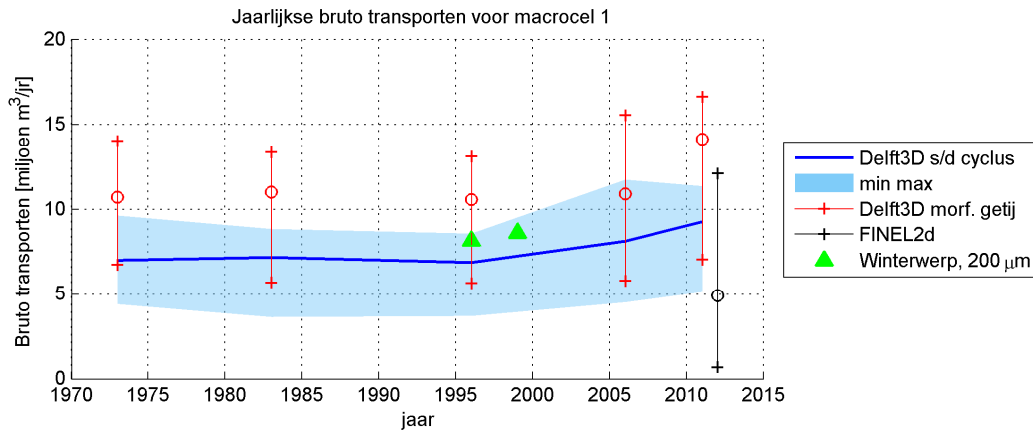
Figuur E.25 Hoeveelheid sediment [m] op de bodem van het model. Boven: aan het begin van de simulatie, onder: aan het einde van de simulatie. Simulatie van 2006 met transportformulering van Engelund-Hansen.

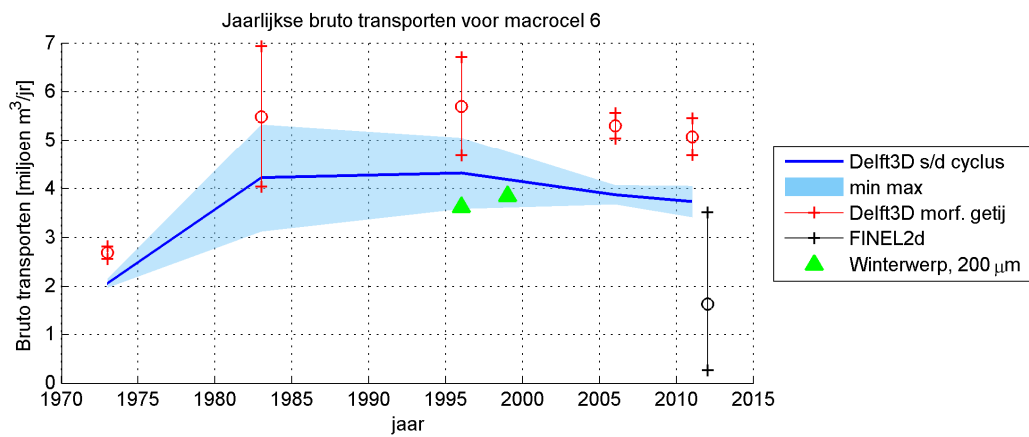
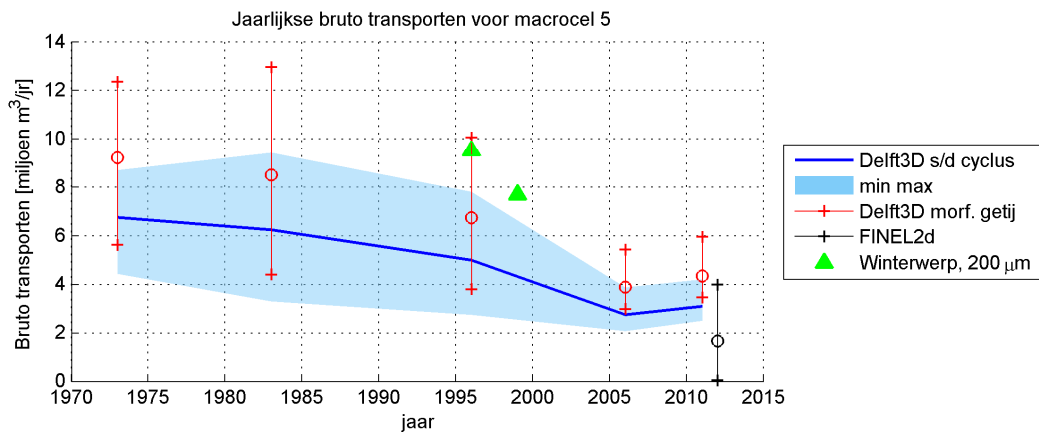
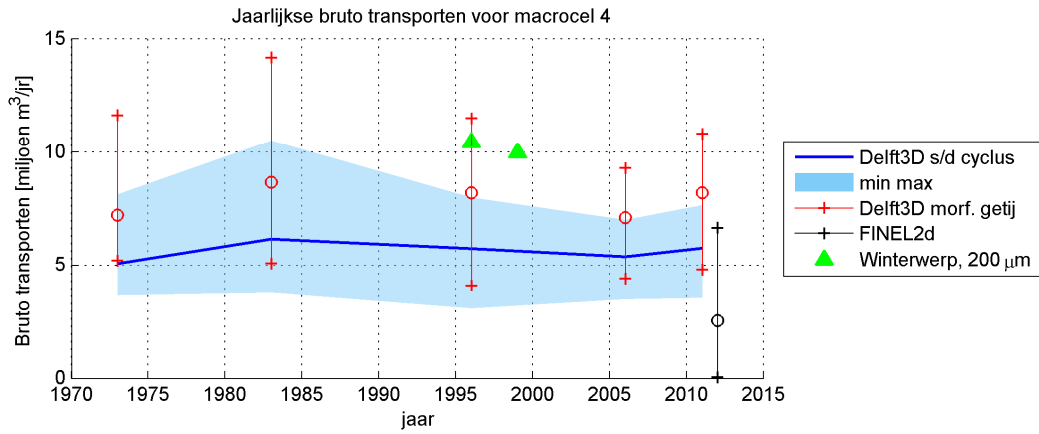


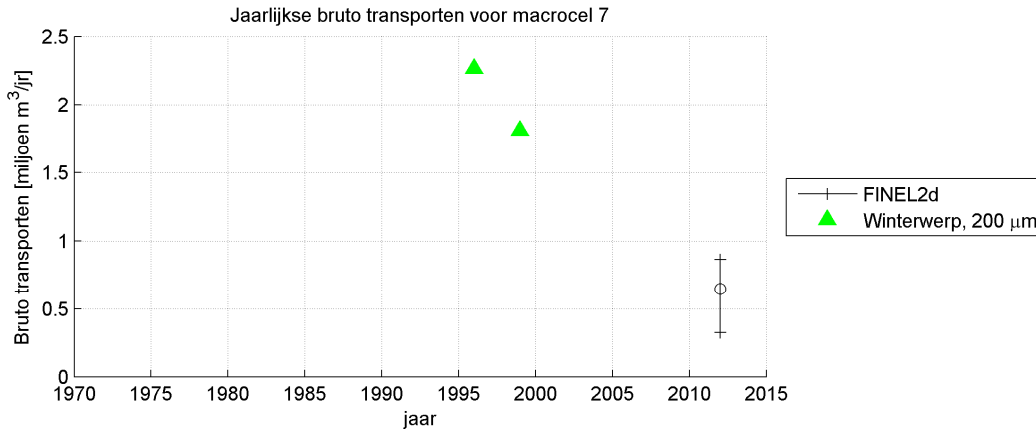
Figuur E.26 Chezy coëfficiënt afhankelijk van de waterdiepte bij verschillende waarden van de Manning en Nikuradse ruwheid.

Voor alle macrocellen zijn de resultaten van de huidige Delft3D berekeningen met Engelund-Hansen en zonder kalibratiefactoren weergegeven in Figuur E.27, samen met de resultaten van FINEL2d voor 2012 en de resultaten uit de eerste LTV-studie (Winterwerp et al. 2000). Voor de nieuwe Delft3D berekeningen is zowel de extrapolatie van de springtij-doottij cyclus (blauw) als de extrapolatie van het morfologisch getij (rood) weergegeven. De bruto sedimenttransporten uit Winterwerp et al. (2000) zijn opgeschaald naar 200 μm , analoog aan de andere berekeningen, waardoor ze 20% groter zijn geworden. Voor beide nieuwe Delft3D simulaties en voor de FINEL2d simulatie is ook de bandbreedte van de transporten tussen de raaien weergegeven, dus de raai met het kleinste transport en de raai met het grootste transport. De raaien die gehanteerd zijn in FINEL2d zijn weergegeven in Figuur E.28. Bij de bruto sedimenttransporten, die berekend zijn met FINEL2d, zit een grotere spreiding tussen de raaien. Dit komt waarschijnlijk doordat er meer raaien zijn opgenomen in FINEL2d. Waarschijnlijk is daardoor het gemiddelde van de raaien per macrocel ook kleiner.

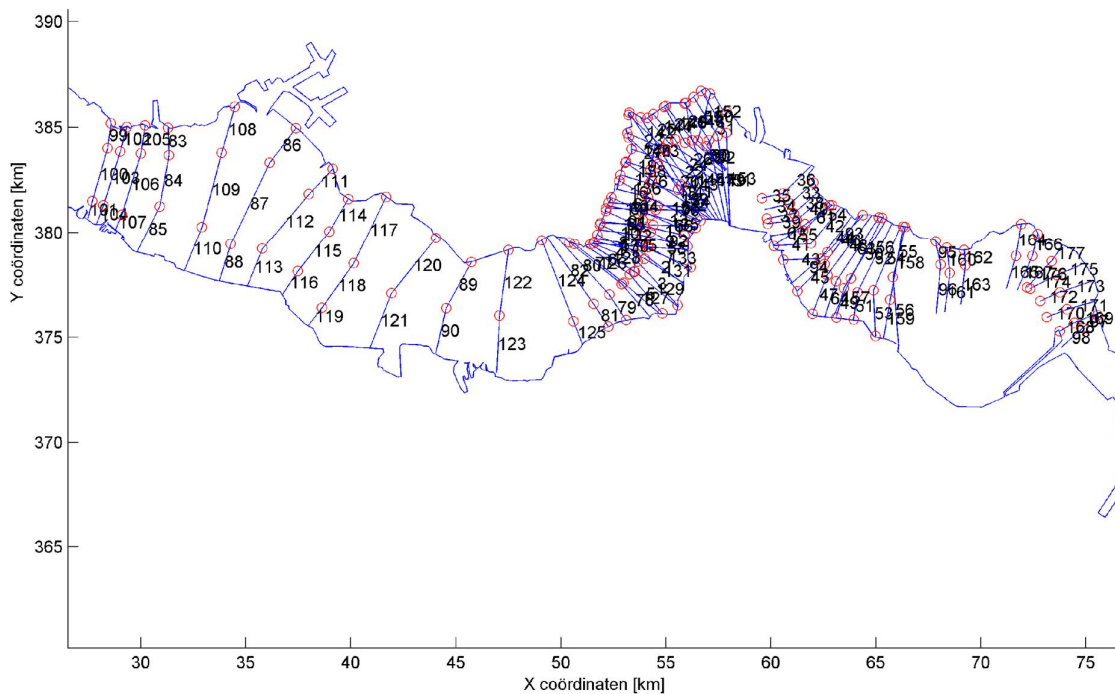
De figuren laten duidelijk zien dat de extrapolatie van het morfologisch getij tot grotere bruto sedimenttransporten leidt dan de extrapolatie van de springtij-doottij cyclus. Hierdoor zijn de transporten uit Winterwerp et al. (2000) over het algemeen ook iets hoger dan de nieuwe berekeningen. De transporten die berekend zijn met FINEL2d zijn relatief laag, maar de Delft3D berekeningen vallen wel binnen de bandbreedte van de FINEL2d berekeningen.







Figuur E.27 Jaarlijkse bruto sedimenttransporten per macrocel, gemiddeld en minimum en maximum; blauw: berekend met Delft3D en Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus en zonder kalibratiefactoren; rood: berekend met Delft3D en Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij en zonder kalibratiefactoren; zwart: berekend met FINEL2d offline met Engelund-Hansen en op basis van extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus; groen: uit Winterwerp et al., 2000, berekend met Delft3D en Engelund-Hansen, op basis van extrapolatie van een morfologisch getij, zonder kalibratiefactoren, opgeschaald naar een korrelgrootte van 200 μm . Spreiding geeft het minimum en maximum aan van verschillende raaien binnen de macrocel.



Figuur E.28 Raaien in het FINEL2d model met de modelbodem van 2006.

E.5 Conclusies

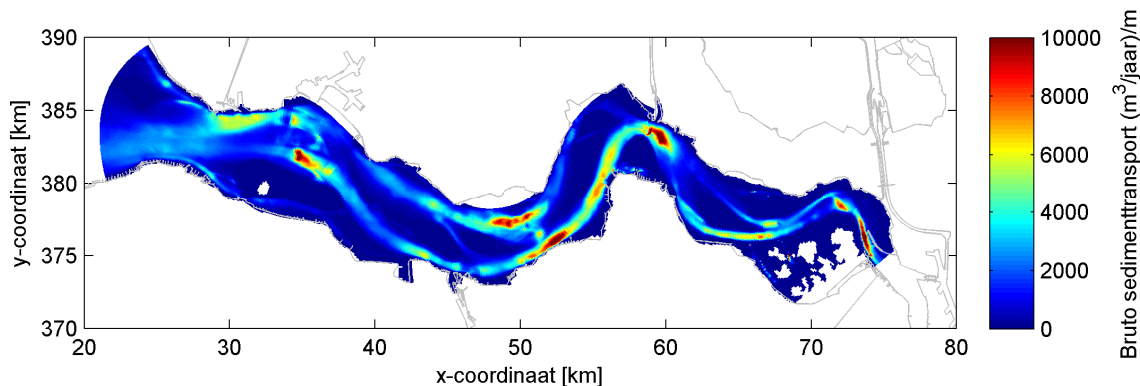
De aanleiding om opnieuw naar de bruto sedimenttransporten te kijken, was de vraag van het Overleg Flexibel Storten. Daarbij hebben we gekeken in hoeverre de transporten uit de jaren '90 zijn gewijzigd ten opzichte van nu. De verschillen tussen de jaren zijn gering, met uitzondering van macrocel 5. Het is dus niet nodig om voor elke vergunningsperiode de bruto sedimenttransporten opnieuw uit te rekenen.

Uiteindelijk zijn de gemiddelde transporten die zijn berekend met Delft3D, met de formulering van Engelund-Hansen, en op basis van de extrapolatie van de springtij-doodtij cyclus, gebruikt voor de berekening van de sedimenttransportcapaciteit in bijlage J. De kalibratiefactoren voor de transporten zijn achterwege gelaten (op 1 gezet) omdat deze zijn gekalibreerd op morfologische veranderingen, en omdat de bruto transporten anders onrealistisch klein worden ten opzichte van de netto transporten die volgen uit de sedimentbalans.

Een grotere invloed op de berekening van de bruto sedimenttransporten heeft wellicht de ontwikkeling van het modelinstrumentarium en de toenemende rekenkracht. Hierdoor is het tegenwoordig mogelijk een springtij-doodtij cyclus te extrapoleren, wat betrouwbaar is dan een morfologisch getij en dus de voorkeur heeft. Het verschil tussen extrapolatie van een morfologisch getij of een springtij-doodtij cyclus is groot. De transporten die volgen uit extrapolatie van een morfologisch getij zijn tot 50% hoger dan de transporten die volgen uit extrapolatie van een springtij-doodtij cyclus. Dit is eerder ook geconstateerd door Jeuken et al. (2007).

Aangezien verschillende modellen en modelinstellingen leiden tot verschillende waarden voor de bruto sedimenttransporten, zou een vergelijking met meetresultaten van sedimenttransporten waardevol kunnen zijn, om een beter gevoel te krijgen voor de orde van grootte van de transporten.

Daarnaast is het aantal raaien, waardoor de transporten zijn berekend toegenomen, wat goed inzicht geeft in de ruimtelijke variatie in de transporten. De ruimtelijke variatie is groot, zoals ook een offline berekening van het bruto sedimenttransport op basis van de stroomsnelheden laat zien (Figuur E.29). Met deze ruimtelijke verschillen wordt nu in de berekening van de stortcapaciteit geen rekening gehouden, omdat naar een gemiddelde van de macrocel wordt gekeken. Door op ruimtelijke schaal meer in detail naar de bruto transportcapaciteit te kijken, kan de stortstrategie geoptimaliseerd worden.



Figuur E.29 Ruimtelijke verdeling van de grootte van bruto sedimenttransporten, zoals offline berekend met de formulering van Engelund-Hansen, gebruik makend van de stroomsnelheden bij de modelbodem van 2006 en een korrelgrootte van 200 μm .

F Verificatie richtlijn stortcapaciteit in nevengeulen

F.1 Berekening stortcapaciteit

Aan de hand van de kwalificatie van de geulontwikkelingen, zie bijlage C, kan de stortcapaciteit per nevengeul worden afgeleid. Het criterium kan worden gebruikt om een stortcapaciteit voor de hoofdgeul af te leiden, maar dat is hier niet gedaan. Kortweg zijn er vijf hoofdsituaties met bijbehorende formule voor de stortcapaciteit gedefinieerd (Jeuken & Wang, 2010):

- 1) Als de nevengeul in evenwicht is (kwalificatie 0), is de stortcapaciteit 5 of 10% van de transportcapaciteit: $SC = \alpha T$.
- 2) Als het volume van de nevengeul nauwelijks verandert ondanks of dankzij ingrepen (kwalificatie 3), betekent dit dat het volume van de ingrepen kritisch is. Het volume van de stortingen is precies de stortcapaciteit: $SC = V_{i,nevengeul}$.
- 3) Als de volumeveranderingen in de nevengeul worden versterkt of verzwakt door ingrepen (kwalificatie 1 of -1), is de stortcapaciteit 5 of 10% van de transportcapaciteit plus de volumeverandering van V_{tot} in de nevengeul: $SC = \alpha T + \Delta V_{tot}$. Aangezien het totale volume hier een watervolume betreft, moet de volumeverandering van V_{tot} worden opgeteld bij de transportcapaciteit.
- 4) Als de sedimentatie in de nevengeul wordt gestuurd door ingrepen (kwalificatie -2), dan is de stortcapaciteit minder dan 5% van de transportcapaciteit: $SC < 0.05T$.
- 5) De situatie waarbij de nevengeul erodeert en dit gestuurd wordt door ingrepen (kwalificatie 2), doet zich enkel incidenteel voor bij de tijdseries van de jaarwaarden en niet bij de trends. In dit uitzonderlijke geval is de stortcapaciteit 5 of 10% van de transportcapaciteit plus de volumeverandering van V_{tot} in de nevengeul: $SC = \alpha T + \Delta V_{tot}$. Aangezien het totale volume hier een watervolume betreft, moet de volumeverandering van V_{tot} worden opgeteld bij de transportcapaciteit.

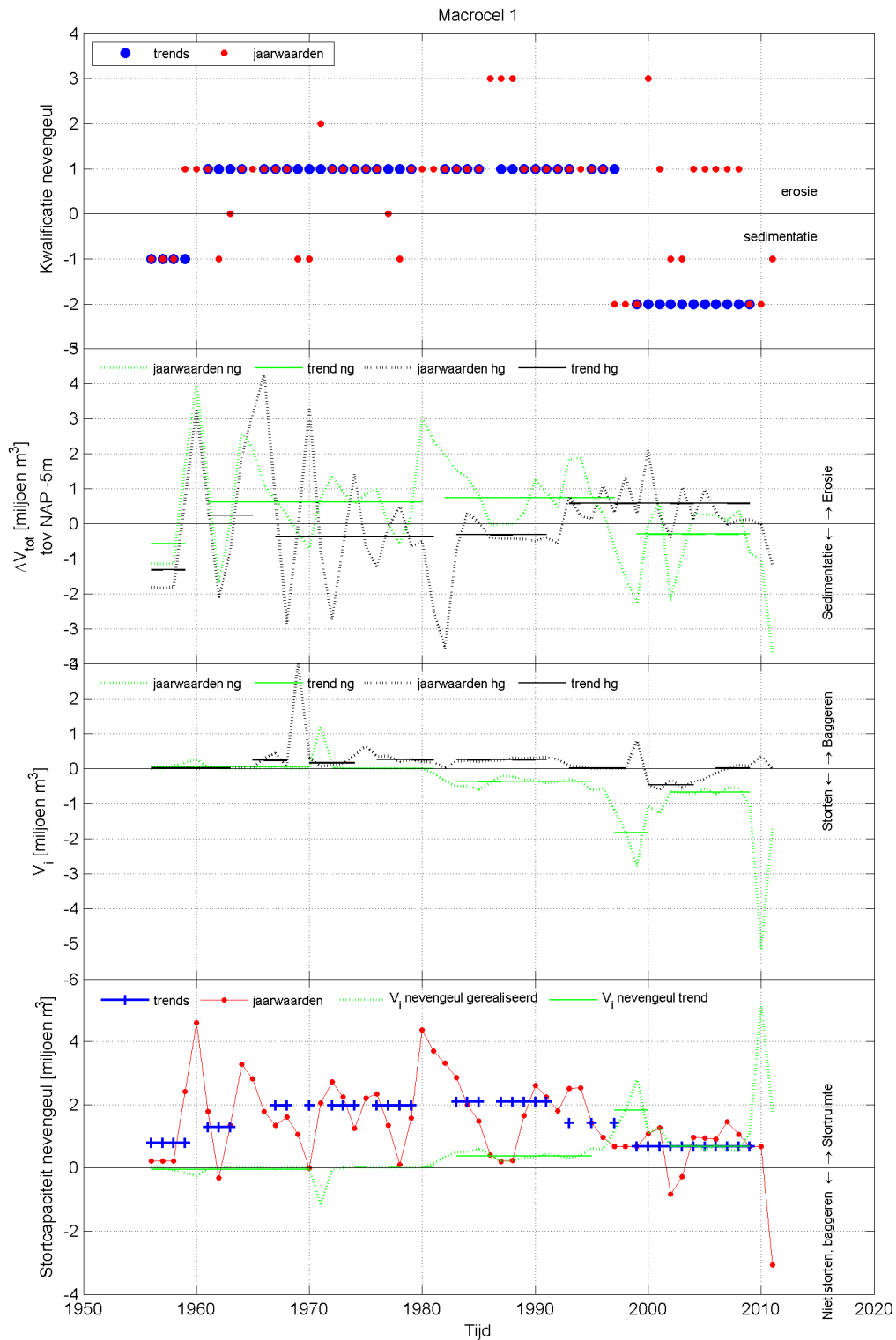
In situatie 1,3 en 5 wordt de stortcapaciteit berekend door 5 of 10% van de transportcapaciteit te nemen (en evt. ΔV_{tot} erbij op te tellen). In principe kan 10% worden aangehouden, tenzij:

- a) de storthoeveelheid in de nevengeul meer dan 50% van het baggervolume in de hoofdgeul bedraagt, of
- b) de hoofdgeul erodeert.

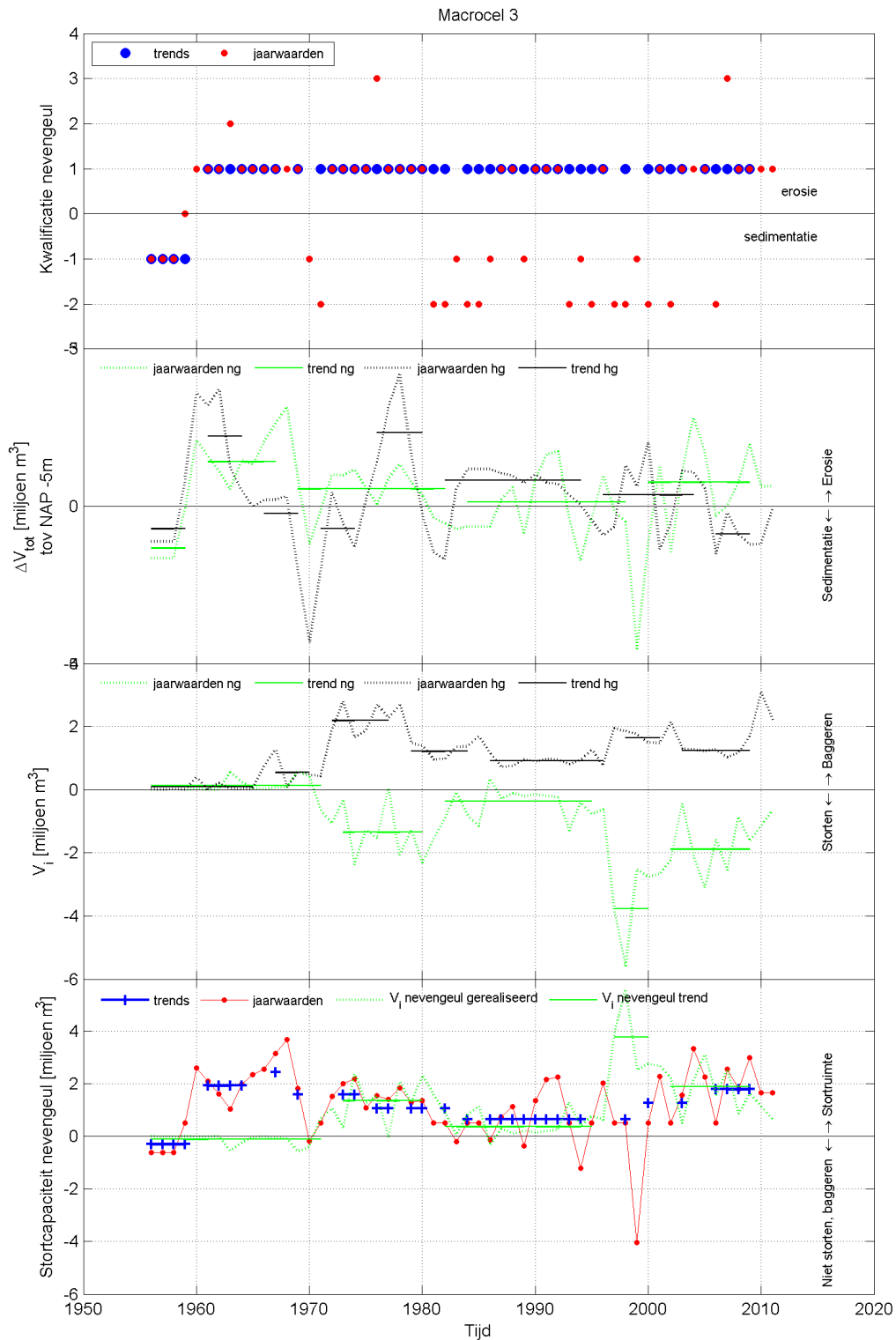
Als de nevengeul erodeert versterkt door ingrepen (kwalificatie 1) en de hoofdgeul sedimenteert, kan ook 10% worden aangehouden.

Deze exercitie wordt uitgevoerd voor de jaarwaarden en de trendlijnen. De sedimenttransportcapaciteit volgt uit bijlage E en J. De stortcapaciteit wordt uitgerekend voor de periode 1955 t/m 2011 voor de jaarwaarden en 1955 t/m 2009 voor de trends (voor de derde verruiming). Een positieve waarde voor de stortcapaciteit betekent dat er ruimte is om te storten in de nevengeul, een negatieve waarde betekent dat er theoretisch gezien gebaggerd zou moeten worden om te sterke degeneratie van de nevengeul tegen te gaan. Er zou in ieder geval niet in gestort moeten worden. De ingrepen hebben een positieve waarde als het om baggeren gaat (toename van het watervolume) en een negatieve waarde als er gestort is (afname van het watervolume), behalve in het onderste sub-figuur. Daar is het ingreepvolume negatief geplot (dus stortingen zijn positief), om een directe vergelijking met de stortcapaciteit mogelijk te maken.

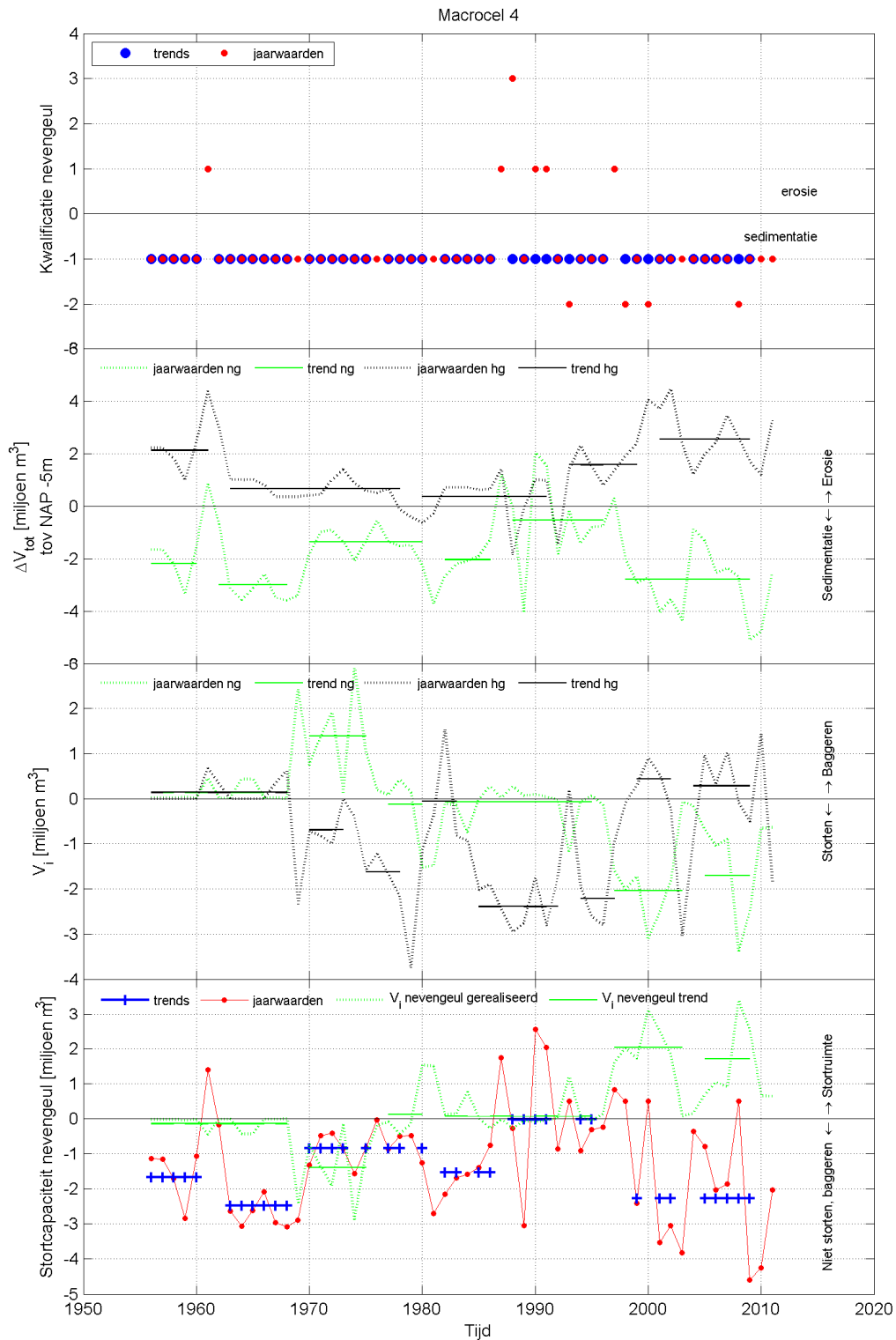
De verificatie van de stortcapaciteit is weergegeven in § F.2, en is op dezelfde manier uitgevoerd als in Jeuken & Wang (2010). Waar in Jeuken & Wang (2010) het 5 of 10%-criterium werd geverifieerd en een aanbeveling werd gedaan om ook ΔV_{tot} mee te nemen, is nu een verificatie van bovenstaande criteria opgenomen.



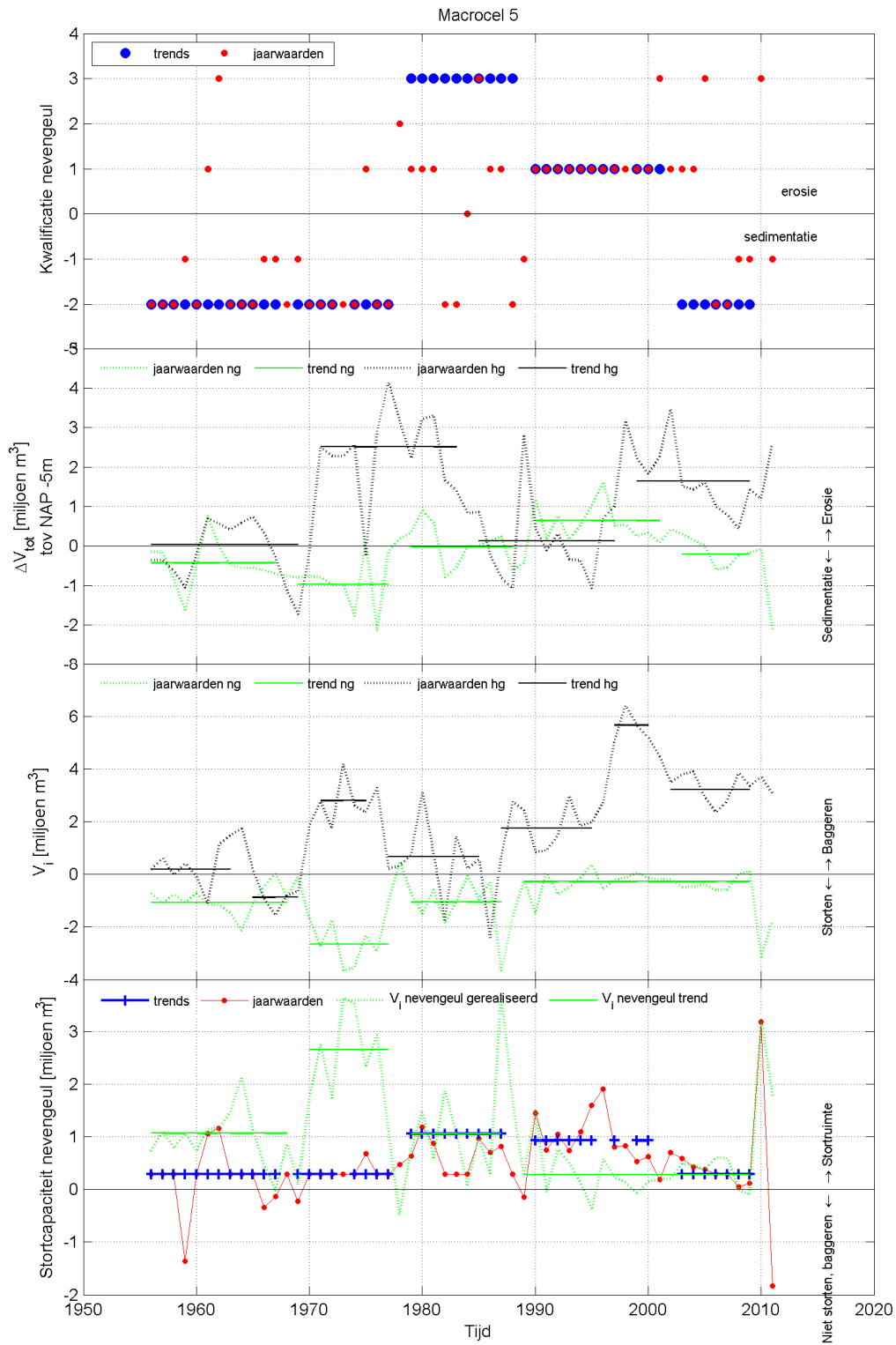
Figuur F.1 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 1.



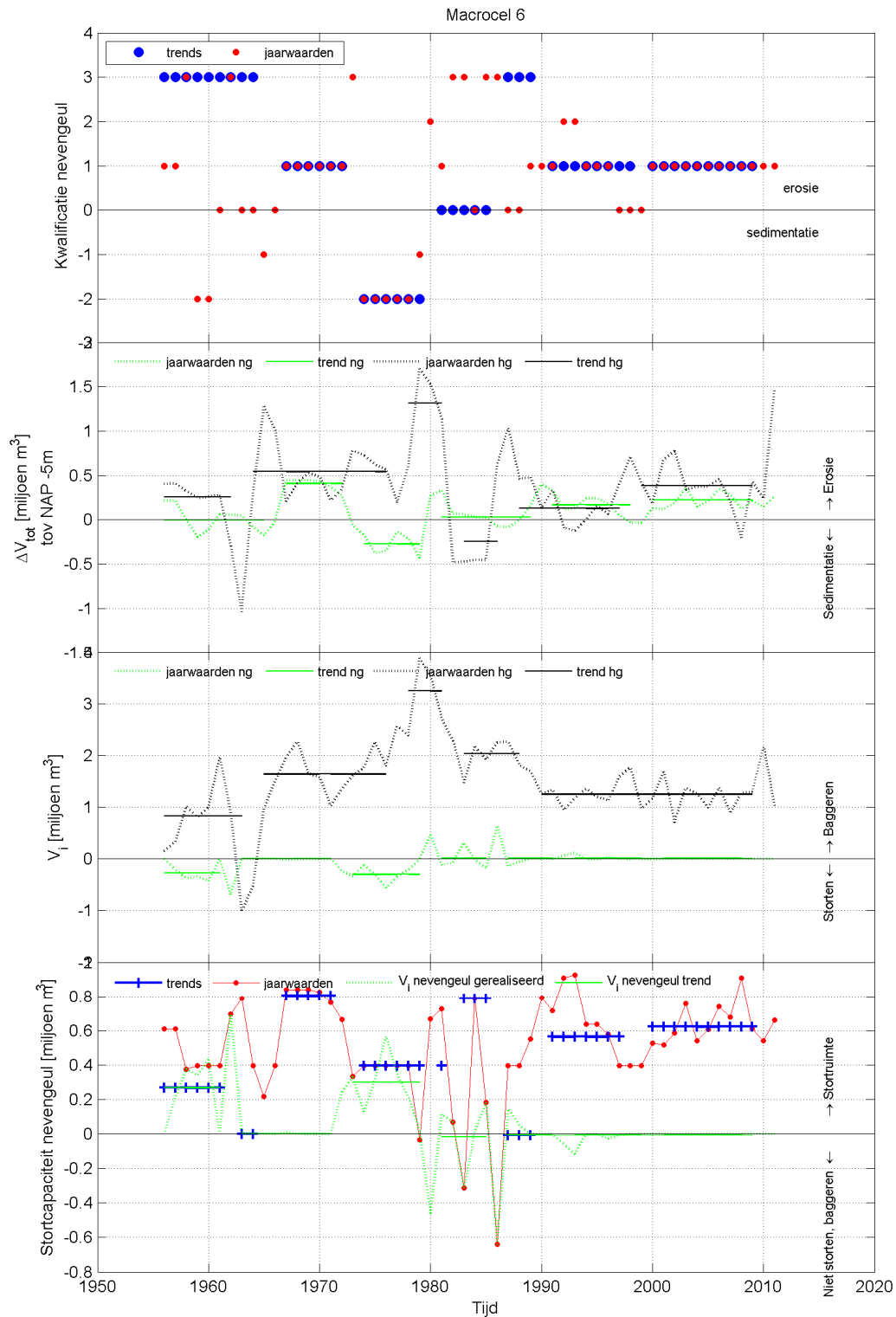
Figuur F.2 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 3.



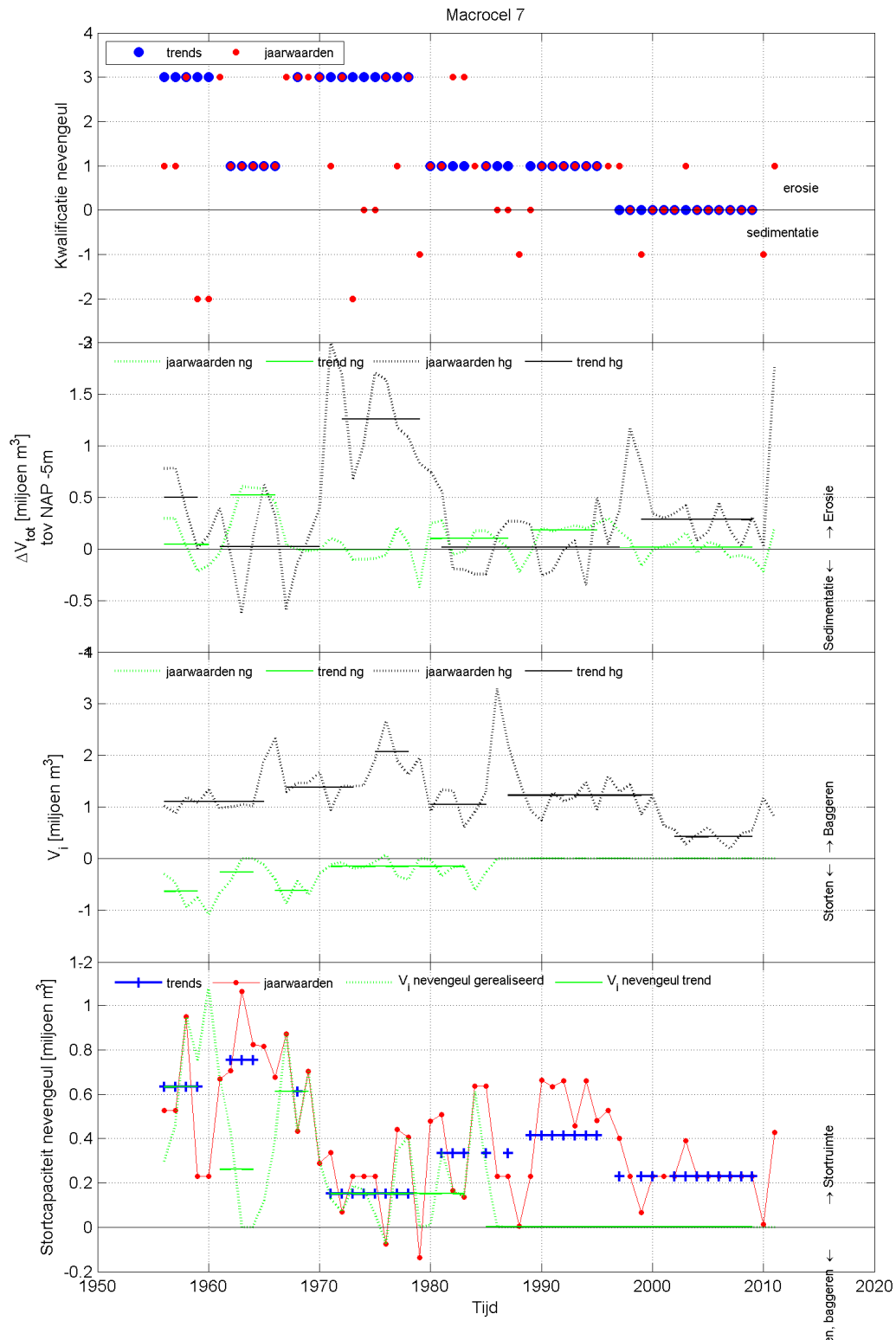
Figuur F.3 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 4.



Figuur F.4 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 5.



Figuur F.5 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 6.

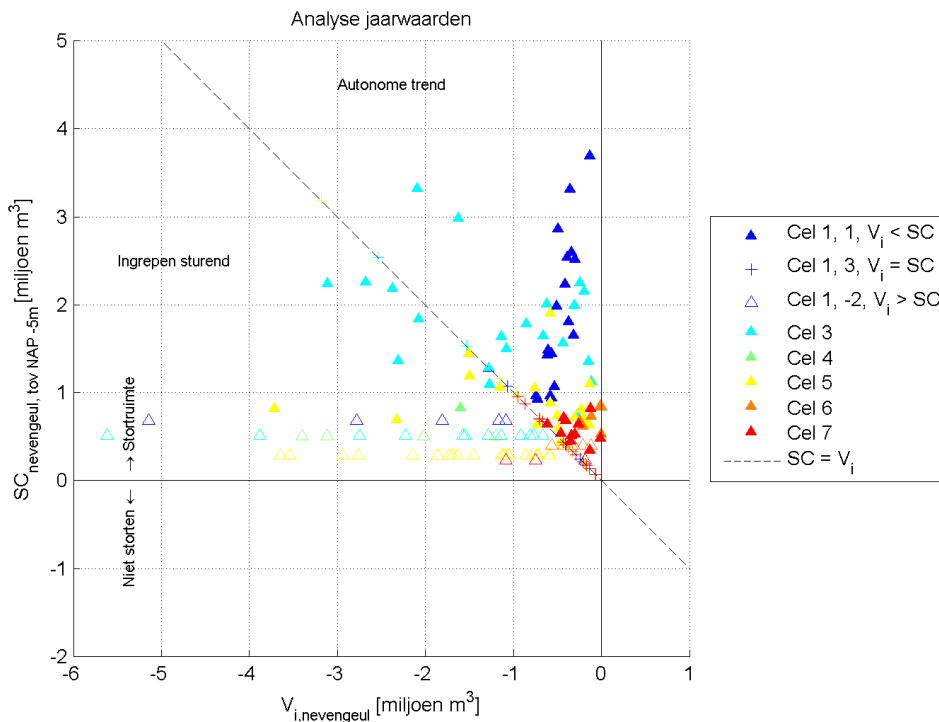


Figuur F.6 Van boven naar beneden: Kwalificatie van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood) en trends (blauw), veranderingen in V_{tot} voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), ingreepgegevens per jaar voor de nevengeul (groen) en de hoofdgeul (zwart) voor de jaarwaarden (gestippeld) en de trends (doorgetrokken lijnen), stortcapaciteit van de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (rood), trends (blauw) en uitgevoerde ingrepen in de nevengeul o.b.v. jaarwaarden (groen gestippeld) en o.b.v. trends (groen doorgetrokken). Deze figuur heeft betrekking op macrocel 7.

Uit de voorgaande figuren blijkt dat er in 2010 in alle macrocellen stortruimte is, behalve in macrocel 4. De theoretische stortcapaciteit op basis van jaarwaarden fluctueert sterk, door variaties in de helling van V_{tot} en V_{net} (die de kwalificatie beïnvloeden en V_{tot} heeft ook direct invloed op de stortcapaciteit) en door variaties in de helling van V_i (in geval van kwalificatie 3 voor de nevengeul). Bij de theoretische stortcapaciteit op basis van trends ontbreken er soms data in enkele jaren. Dit is het gevolg van de knikpunten, waarbij tussen het einde van het eerste segment en de start van het tweede segment geen helling wordt bepaald. Omdat de knikpunten in verschillende jaren kunnen liggen voor V_{tot} , V_{net} en V_i en voor de hoofd- en nevengeul, kan het zijn dat er soms veel 'gaten' in de tijdserie van de theoretische stortcapaciteit op basis van trends zitten.

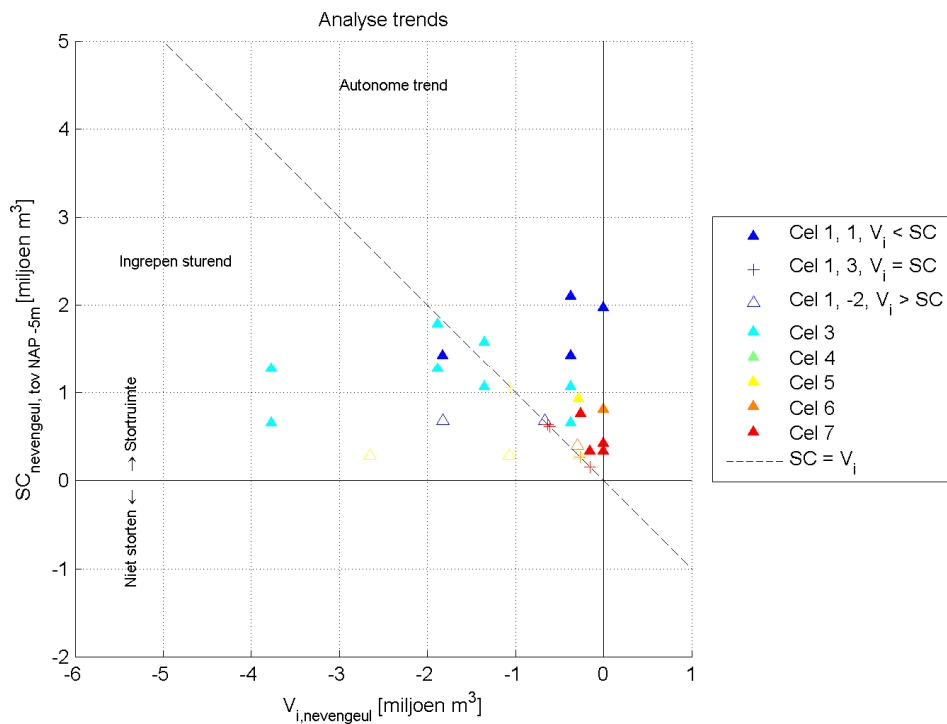
F.2 Verificatie richtlijn

In Figuur F.7 is de theoretische stortcapaciteit uitgezet tegen het volume van de stortingen in de nevengeul. Als de storting kleiner is dan de theoretische stortcapaciteit, zou de geul 'natuurlijk' moeten kunnen ontwikkelen en zou er een natuurlijke trend moeten zijn. Dit zou overeen moeten komen met geulgedrag waarbij de nevengeul erodeert, ondanks stortingen (kwalificatie 1). We zien dat in Figuur F.7 de gevulde symbolen, dat zijn de jaren met kwalificatie 1, inderdaad bijna allemaal in het vak liggen waar de theoretische stortcapaciteit groter is dan het volume van de stortingen. In macrocel 3 ('74, '78, '80, '01, '05) en macrocel 5 ('75, '80, '87) zijn er enkele jaren waarin de nevengeul erodeert ondanks stortingen, terwijl het stortingsvolume wel groter is dan de theoretische stortcapaciteit. Dit wordt veroorzaakt door incidentele pieken in de data.



Figuur F.7 Verificatie van de stortcapaciteit op basis van jaarwaarden.

Kijken we naar het figuur van de verificatie van de theoretische stortcapaciteit berekend op basis van trends, zie Figuur F.8, dan zijn er minder punten, omdat veel jaren op elkaar liggen door de lineaire trends. Twee uitschieters voor macrocel 3 zijn de jaren 1998 en 2000, waarbij de geul kwalificatie laat zien dat er erosie optreedt ondanks stortingen, maar de stortingen wel groter zijn dan de theoretische stortcapaciteit. Dit zijn de stortingen van de tweede verruiming, waarvan de ingrepen als een losse trendperiode (1996 t/m 2000) zijn opgenomen. Doordat in V_{tot} een trendbreuk valt in 1999, hebben 1998 en 2000 een verschillende positie in het SC- V_i vlak (Figuur F.8).



Figuur F.8 Verificatie van de stortcapaciteit op basis van trends.

Omdat de theoretische stortcapaciteit op basis van trends goede houvast biedt voor een langere periode en de verificatie laat zien dat het concept werkt, wordt verder gewerkt met de theoretische stortcapaciteit op basis van trends.

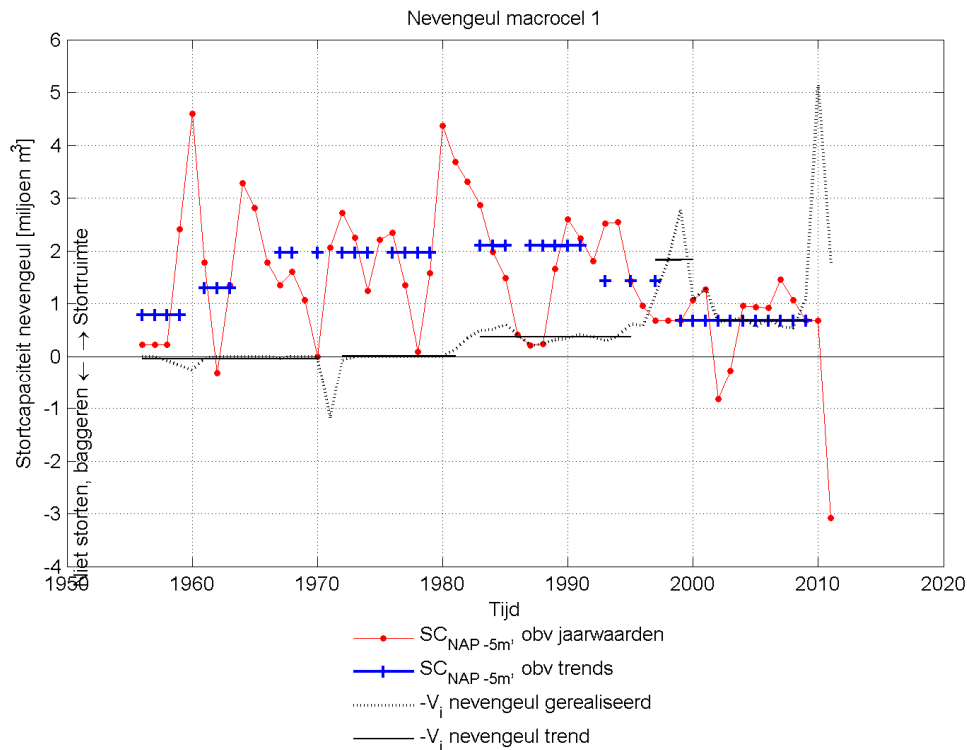
G Toepassen van de theoretische richtlijn stortcapaciteit

In de onderstaande figuren is de berekende stortcapaciteit volgens de theoretische richtlijn uitgezet tegen de gerealiseerde stortingen. De theoretische stortcapaciteit is berekend met de nieuwe transporten uit bijlage E en J, volgens de richtlijn in Jeuken en Wang (2010).

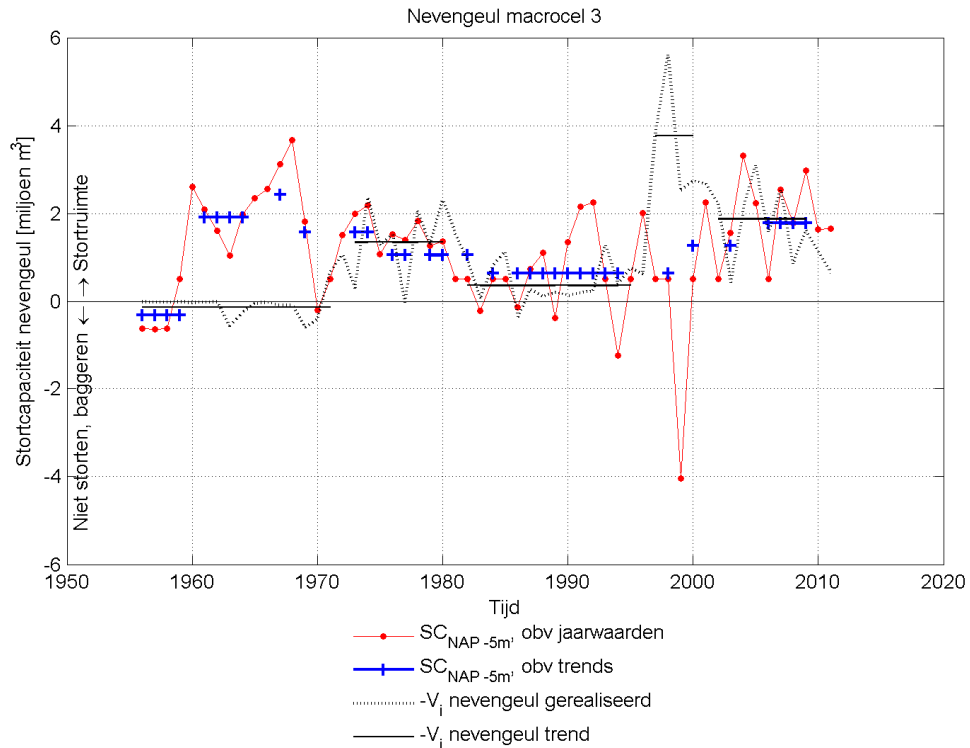
Let op dat m.b.t. de ingreepgegevens stortingen hier positief zijn gedefinieerd en baggeren negatief, om een makkelijkere vergelijking tussen de theoretische stortcapaciteit en de stortgegevens te maken.

Uit vergelijking van de theoretische stortcapaciteit en de gerealiseerde stortingen van macrocel 1 (Figuur G.1) blijkt dat het gerealiseerde stortvolume tijdens de tweede verruiming boven de theoretische stortcapaciteit o.b.v. trends ligt. In de periode tussen de tweede en derde verruiming wordt precies evenveel gestort als de theoretische stortcapaciteit (o.b.v. trends). Omdat de nevengeul hier sedimenteert en dit gestuurd wordt door stortingen, is de stortcapaciteit minder dan 5% van de transportcapaciteit. In Figuur G.1 is de 5% grens weergegeven, dit betreft dus een bovengrens. Voorafgaan aan de tweede verruiming, en dus voor de oost-west strategie, werd er weinig gestort.

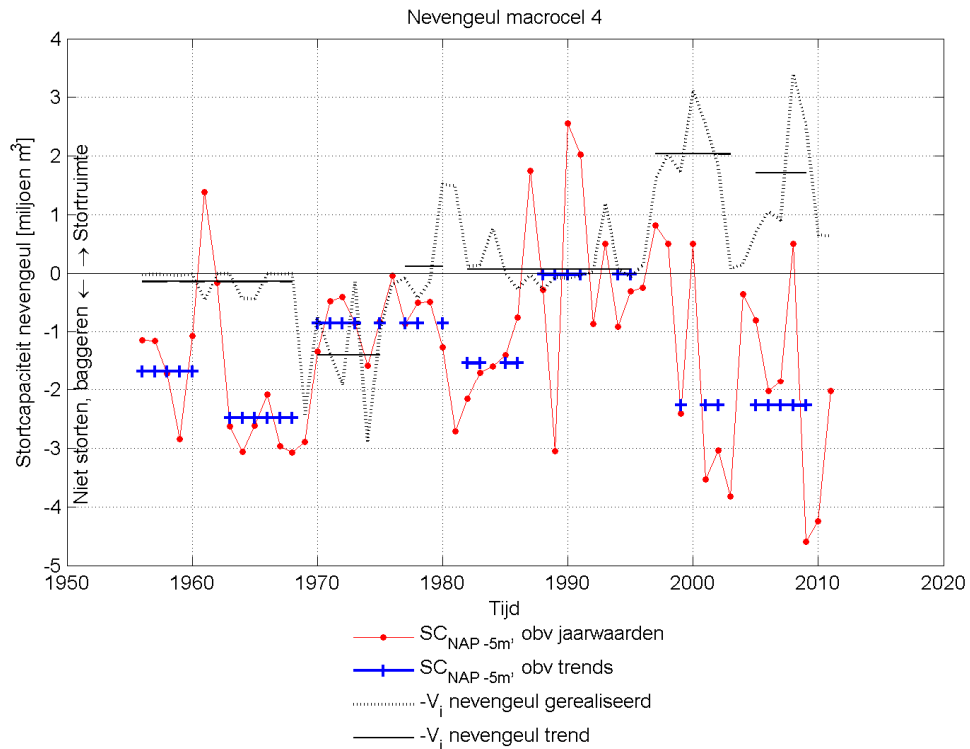
Het stortvolume ligt incidenteel boven de theoretische stortcapaciteit o.b.v. jaarwaarden, als de stortcapaciteit aangeeft dat er gebaggerd moet worden en tijdens de tweede verruiming. Dit heeft met verschillende kwalificaties en fluctuaties in V_{tot} te maken.



Figuur G.1 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 1.



Figuur G.2 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 3.



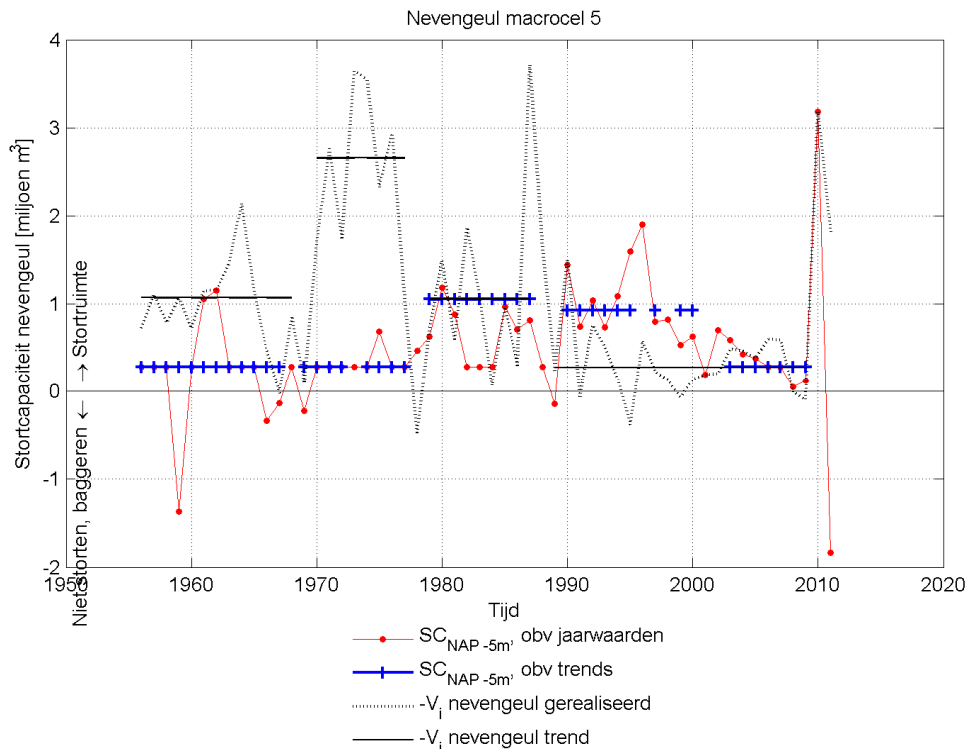
Figuur G.3 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 4.

In macrocel 3 is de theoretische stortcapaciteit na de tweede verruiming overschreden, maar vanaf 2005 nauwelijks meer. Desalniettemin erodeert de nevengeul. Deze erosie wordt verzwakt door stortingen. Omdat de hoofdgeul sedimenteert, is de stortcapaciteit 10% van de

transportcapaciteit vermeerderd met het geërodeerde volume in de nevengeul (ΔV_{tot}). Tot ca. 2005 trad er erosie op de hoofdgeul, hierdoor is tot 2005 het 5%-criterium geldig.

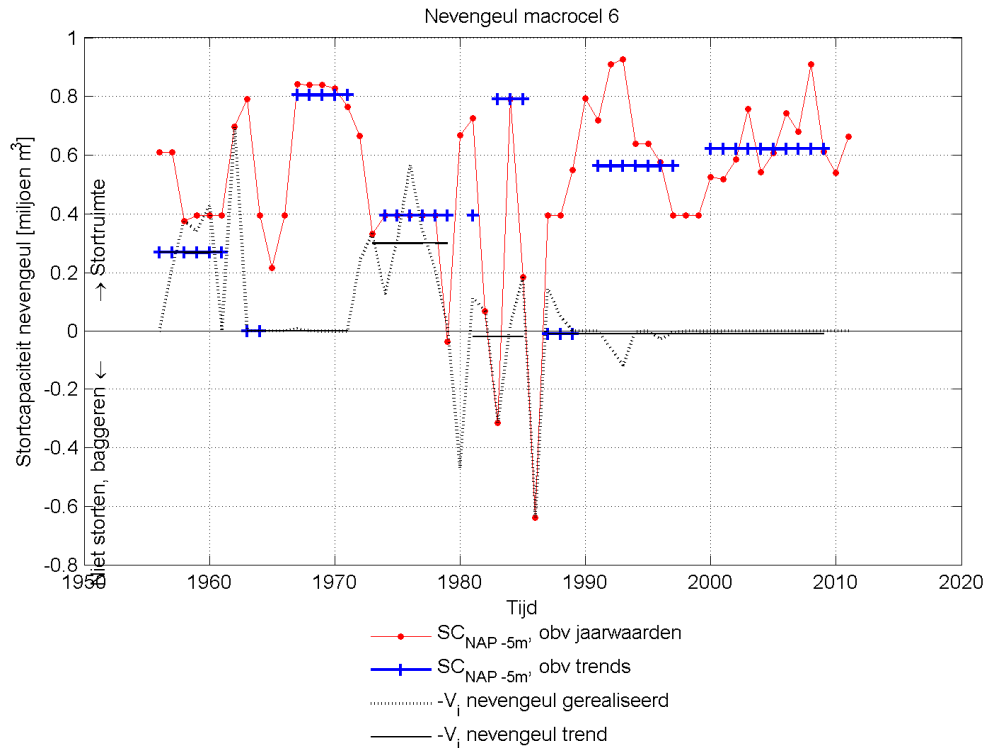
Macrocel 4 is sinds de jaren '80 een nevengeul geworden, waarin sedimentatie plaatsvindt die wordt versterkt door stortingen. De stortcapaciteit aan het begin van de jaren '80 geeft aan dat er gebaggerd had moeten worden, in plaats daarvan is er gestort. Sinds de tweede verruiming zou er ook niet gestort moeten worden, maar dit gebeurt wel. Omdat het volume van de ingrepen in de nevengeul sinds de tweede verruiming groot is ten opzichte van het volume van de ingrepen in de hoofdgeul, is het 5%-criterium van kracht. Daarnaast wordt de theoretische stortcapaciteit verminderd met het sedimentatievolume in de nevengeul, wat de laatste jaren zo groot is dat er geen theoretische stortcapaciteit overblijft, maar volgens de stortcapaciteit theoretisch gezien gebaggerd moet worden.

In macrocel 5 is tot de jaren '80 structureel meer gestort dan op basis van de theoretische stortcapaciteit wenselijk was geweest. Tot halverwege de jaren '70 werd de sedimentatie in de nevengeul dan ook gestuurd door stortingen, daarna was de situatie enige tijd stabiel, ondanks de ingrepen. In de jaren '90 erodeerde de nevengeul, ondanks (kleine) stortingen. In het afgelopen decennium wordt het gedrag weer gestuurd door ingrepen, en sedimenteert de nevengeul. Afgezien van het grote stortvolume als gevolg van de derde verruiming, is het stortvolume het afgelopen decennium ongeveer gelijk aan de theoretische stortcapaciteit. Dat de ontwikkeling in de nevengeul toch wordt gestuurd door stortingen, heeft wellicht te maken met aanleg van strekdammen bij het Schor van Waarde, die ook tot sedimentatie hebben geleid. Omdat de hoofdgeul aan het verruimen is, is het 5% criterium van kracht.

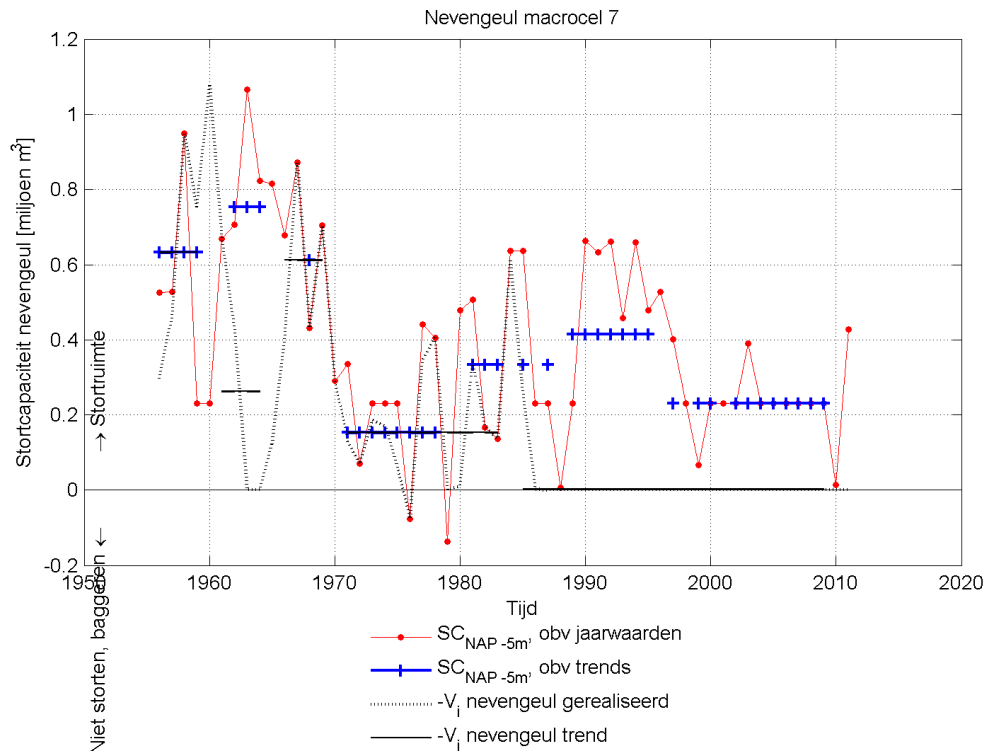


Figuur G.4 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 5.

In macrocel 6 en 7 is theoretische gezien stortcapaciteit beschikbaar, maar hier wordt sinds de jaren '90 om praktische redenen niet meer gestort. Alleen in macrocel 6 ligt een stortvak, dat nauwelijks gebruikt wordt omdat de stortzone relatief ondiep is. Bovendien is de inschatting dat daar gestort materiaal zich te snel weer naar de drempels verplaatst. De hoofd- en nevengeul van macrocel 6 eroderen, in macrocel 7 is de nevengeul de laatste jaren in evenwicht (weinig verandering, geen ingrepen) en verdiept de hoofdgeul.



Figuur G.5 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 6.



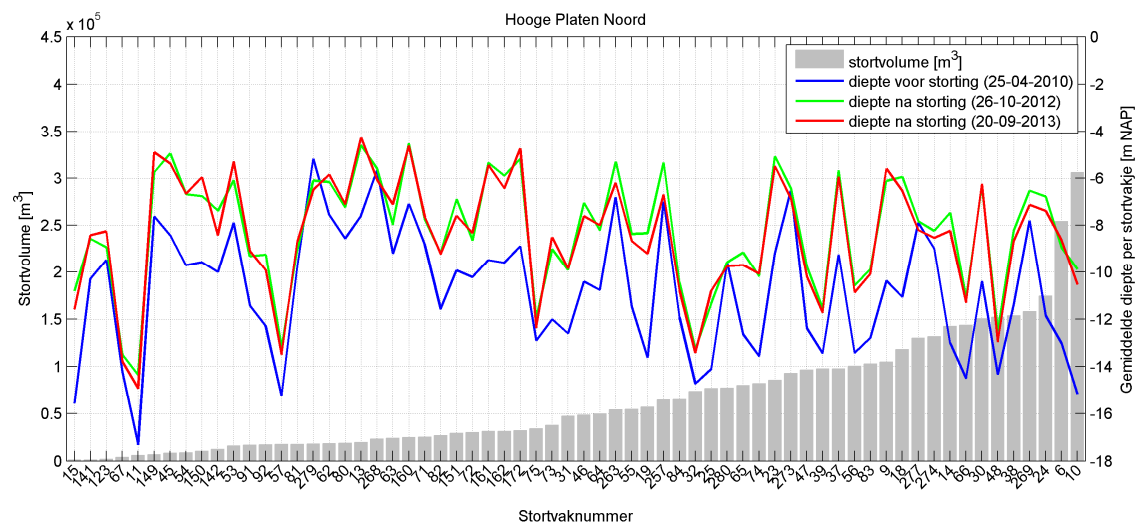
Figuur G.6 Stortcapaciteit en gerealiseerde stortingen macrocel 7.

H Analyse uitgevoerde plaatrandstortingen

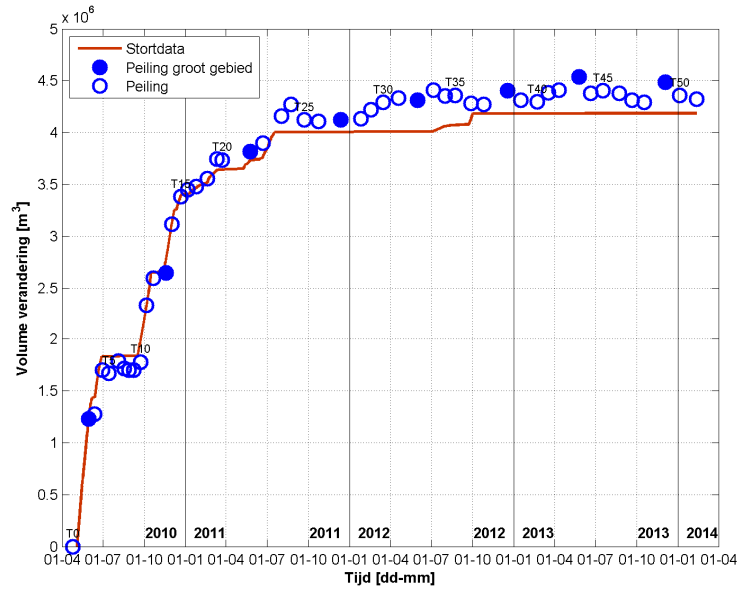
Voor de plaatrandstortingen is een gedetailleerd overzicht van het gestorte volume per stortvakje beschikbaar. De grootte van de stortvakjes is ongeveer 15.000 m².

Bij Hooge Platen Noord is een totaal volume van 4,18 miljoen m³ gestort, waarbij het zwaartepunt van de storting bij aanvang van het storten op de -11 m NAP contour ligt. Nadat de storting is uitgevoerd ligt de bodem gemiddeld 2 meter hoger. Dit verandert niet wezenlijk na verloop van tijd, zie de groene en rode lijn in Figuur H.1. Figuur H.2 laat zien dat het gestorte volume stabiel is, aangezien dat overeenkomt met de bodemveranderingen uit peilingen.

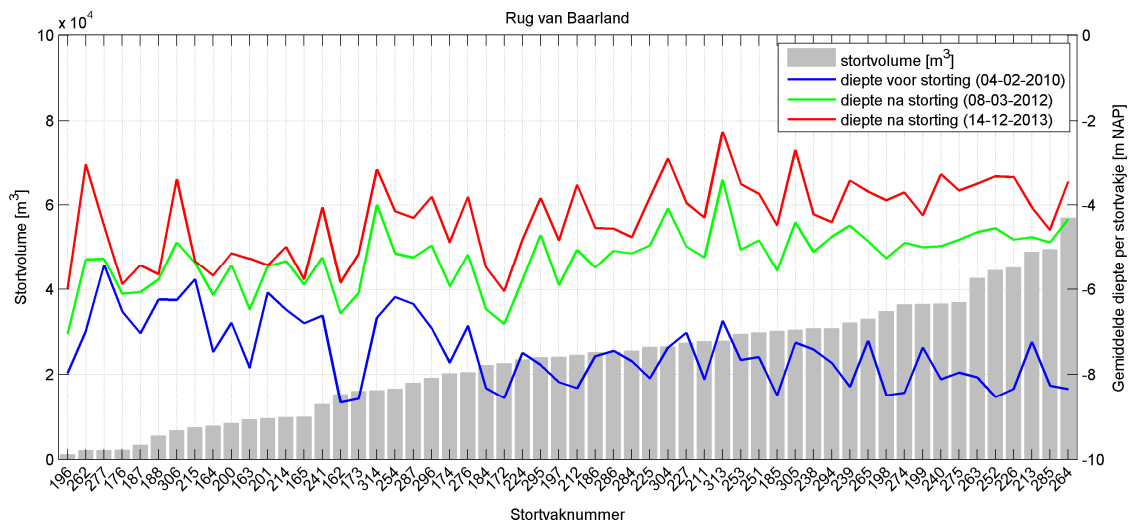
Bij de Rug van Baarland is het zwaartepunt van de plaatrandstorting op de -7,5 m NAP contour gelegd. Direct na de storting ligt de bodem van de plaatrand ruim 2 m hoger en na verloop van tijd zelfs 3 m hoger. In de stortvakken vindt meer sedimentatie plaats dan enkel aan de plaatrandstorting te wijten valt, zie Figuur H.4. In totaal is er 1,31 miljoen m³ gestort bij de Rug van Baarland en 6 miljoen m³ gesedimenteerd. Dit heeft te maken met het morfologisch gedrag op de drempel van de Everingen, waardoor sediment vanuit de Everingen wordt afgevoerd naar het Middellgat, zie bijlage D.



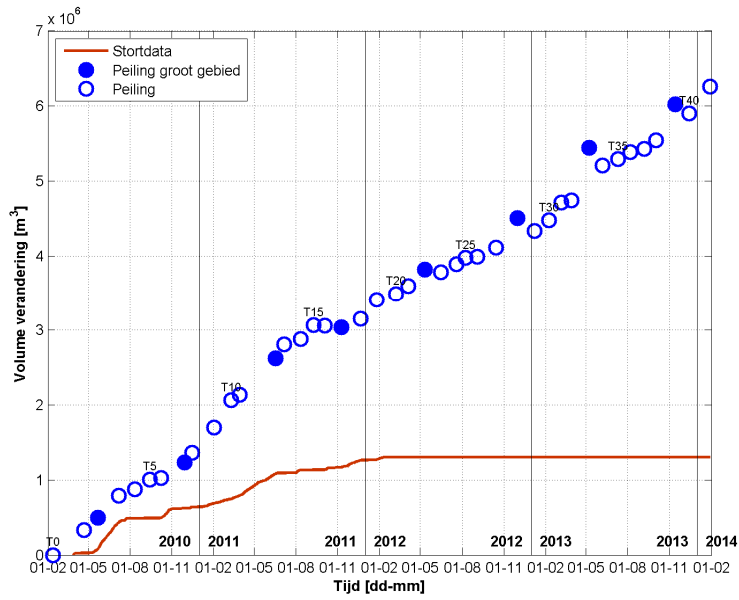
Figuur H.1 Stortvolume per stortvakje en diepteligging van het vak voor en na storting voor plaatrandstorting Hooge Platen Noord. Totaal stortvolume 4,18 miljoen m³.



Figuur H.2 Stortvolume en volumeverandering berekend op basis van peilingen voor plaatrandstorting Hooge Platen Noord (IMDC, 2014).



Figuur H.3 Stortvolume per stortvakje en diepteligging van het vak voor en na storting voor plaatrandstorting Rug van Baarland. Totaal stortvolume 1.31 miljoen m^3 .



Figuur H.4 Stortvolume en volumeverandering berekend op basis van peilingen voor plaatrandstorting Rug van Baarland (IMDC, 2014).

I Initiële fysische effecten van plaatrandstoringen in vergelijking tot geulstoringen – case Middelgat / Gat van Ossensisse

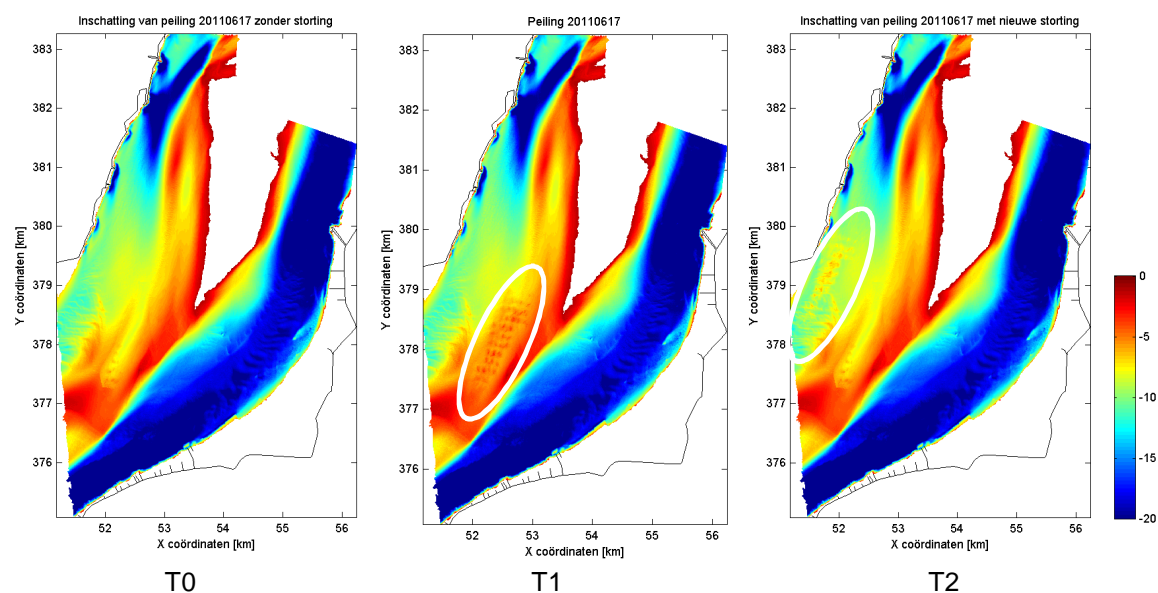
I.1 Introductie

Bij het vaargeulonderhoud in de Westerschelde worden plaatrandstoringen toegepast om zowel ecologisch waardevol gebied als extra stortruimte te creëren. Een toegevoegde waarde voor de ecologie ontstaat door het creëren van laagdynamisch gebied. De plaatrandstoringen dienen, afhankelijk van de locatie, tot creatie van ondiep subtidaal of intertidaal gebied, dan wel als buffer waar achter een luwtezone ontstaat. Bij een plaatrandstoring is het de bedoeling at deze zo veel mogelijk blijft liggen, hiervoor is ook een kwaliteitsparameter in het protocol opgenomen. Dit verschilt met storingen in geulen, waarvan de intentie juist is dat de bodem zich weer richting oude waarde kan herstellen. Bij analyse van het diepteniveau waarop plaatrandstoringen worden uitgevoerd blijkt dat ze weinig verschillen van geulstoringen (zie bijlage H). In deze bijlage wordt gekeken naar het verschil in invloed op getijvolumes en sedimenttransporten tussen een plaatrandstoring en een geulstoring. Hiervoor is een modelsimulatie uitgevoerd voor de Rug van Baarland, waar een plaatrandstoring in een vloedschaar is aangebracht.

Om inzicht te krijgen in het effect van de positie van een storing in het profiel van de geul op de getijvolumes en sedimenttransporten, zijn drie scenario's doorgerekend met FINEL2d, zie ook Figuur I.1:

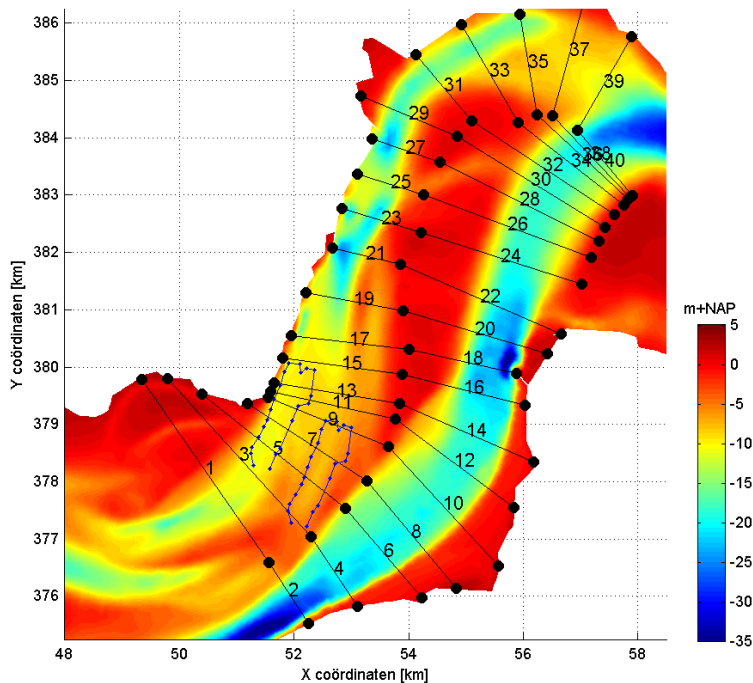
- Een scenario waarbij een plaatrandstoring op de Rug van Baarland is uitgevoerd. Dit is de autonome situatie in het jaar 2011 (T1);
- Een scenario waarbij geen plaatrandstoring is uitgevoerd (T0);
- Een scenario waarbij de werkelijk uitgevoerde storing niet op de plaatrand, maar in de geul van het Middelgat is gestort (T2).

De locatie van de storingen is wit omcirkeld, en ook met een lijn weergegeven in Figuur I.2.



Figuur I.1 Verschillende modelbodems voor het Middelgat: geen storing (links), storing op de plaatrand (midden) en storing in de geul (rechts).

Om inzicht te krijgen in de getijvolumes en transporten zijn raaien in het model gedefinieerd. Informatie met betrekking tot deze raaien is tijdens de berekening weggeschreven. Een overzicht van de raaien wordt gegeven in Figuur I.2. In de figuur is ook de globale locatie van de stortingen weergegeven.



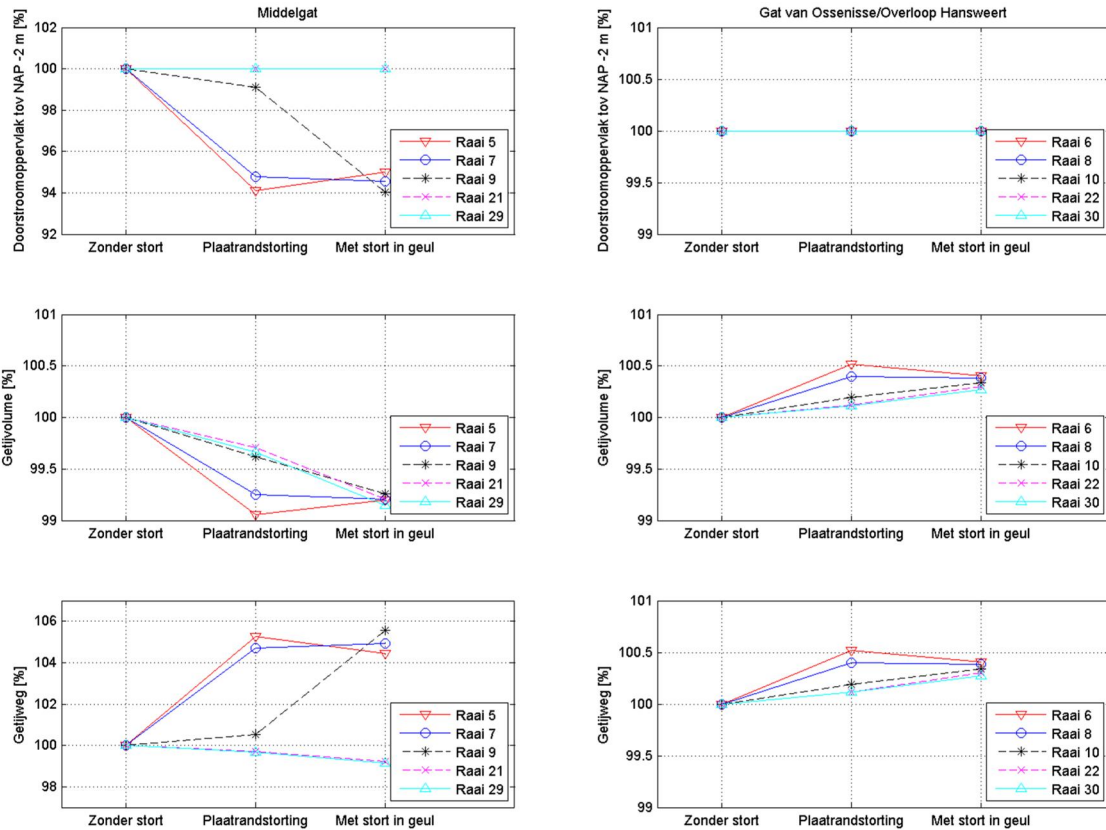
Figuur I.2 Overzicht van de raaien in het FINEL2d model. De raaien zijn weergegeven op de bodemligging van de Westerschelde in 2012. De donkerblauwe polygonen geeft weer waar de (plaatrand)stortingen op de plaatrand (rechter polygoon) en in de geul (linker polygoon) zijn uitgevoerd.

I.2 Resultaten getijvolume

De vergelijking van getijvolumes van verschillende raaien die zowel over de geulstorting als over de plaatrandstorting lopen, is sterk beïnvloed door lokale effecten. Dit is goed terug te zien in het natte doorstroomoppervlak. Het natte doorstroomoppervlak per raai geeft aan in welke mate de geulstorting of plaatrandstorting aanwezig is in de raai. Raaien 5 en 7 lopen over zowel de plaatrandstorting als de geulstorting. Bij raai 5 is het natte doorstroomoppervlak met de plaatrandstorting kleiner dan met de geulstorting. Voor raai 7 is het ongeveer gelijk. Hetzelfde geldt voor het getijvolume. Voor raaien verderop in de geul, waar de stortingen niet meer in de dwarsdoorsnede aanwezig is (raai 21 en 29), is te zien dat het getijvolume meer verkleind wordt door de geulstorting dan door de plaatrandstorting. De geulstorting heeft dus effect in een groter deel van de geul dan de plaatrandstorting, die een lokaal effect heeft. Dit komt waarschijnlijk doordat minder debiet via de vloedsgaar de Rug van Baarland oversteekt als de plaatrandstorting de vloedsgaar deels opvult.

Het is interessant om te kijken wat voor effect de plaatrand- of geulstorting heeft in de hoofdgeul, omdat dit effect minder lokaal is. Hierin is te zien dat voor zowel raai 6 als raai 8 het getijvolume voor een plaatrandstorting meer toeneemt dan voor een geulstorting. Voor raaien verderop in de hoofdgeul (raai 22 en 30) is het effect van de geulstorting weer groter dan de plaatrandstorting.

Er kan dus worden gesteld dat deze plaatrandstorting lokaal een sterk effect heeft op het getijvolume. De geulstorting heeft ter plaatse van de storting minder effect, maar het effect doet zich voor over een groter deel van de lengte-as van de geul.



Figuur I.3 Procentueel effect van plaatrandstorting en geulstorting t.o.v. geen storting voor verschillende raaien in de nevengeul (links) en de hoofdgeul (rechts) van macrocel 4.

I.3 Berekening sedimenttransport

Het sedimenttransport is offline bepaald met behulp van de formule van Engelund-Hansen. Uit het FINEL2d model wordt de snelheid (u_{absoluut}) en de waterstand ($z+h$) gebruikt als input voor de Engelund-Hansen formule (van Rijn, 1993):

$$S_{\text{absoluut}} = \frac{0.05U_{\text{absoluut}}^5}{(s-1)^2 g^{0.5} d_{50} C^3}$$

Waarbij geldt:

Mediane korreldiameter

$$d_{50} = 200\mu\text{m (conform bijlage E)}$$

Relatieve dichtheid

$$s = \rho_s / \rho_w = \frac{2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2.5728$$

Chézy ruwheid

$$C = 18 * \log_{10} \left(\frac{12*(z+h)}{k} \right)$$

Nikuradse ruwheid

$$k = 0.01 \text{ m (bepaald uit afgeregeld FINEL model)}$$

Waterstand

$$z + h$$

Het sedimenttransport is vervolgens bepaald door de S_{absoluut} te splitsen in een $S_{\text{loodrecht}}$ en een S_{parallel} op de gedefinieerde raaien. In de verdere analyse is verder gewerkt met de $S_{\text{loodrecht}}$.

$$S_{\text{absoluut}} = \sqrt{S_{\text{loodrecht}}^2 + S_{\text{parallel}}^2}$$

De sedimenttransportcapaciteit is vervolgens gedefinieerd als het absolute jaarlijkse sedimenttransport inclusief poriën en een toeslag van 10% om op een beunvolume te komen:

$$T = \frac{S_{\text{year.flood}} + |S_{\text{year.eb}}|}{0.6} \cdot \frac{1}{0.9}$$

In deze bijlage wordt verder gewerkt met de sedimenttransportcapaciteit.

Naast de totale sedimenttransportcapaciteit is ook de transportcapaciteit tijdens eb en de transportcapaciteit tijdens vloed bepaald. Dit is gedaan voor alle raaien uit Figuur I.2. Met de berekeningen is steeds een springtij-doottij cyclus doorgerekend. Om te komen tot de jaarlijkse volumes zijn de resultaten opgeschaald met een factor 24.75.

I.4 Resultaten sedimenttransportcapaciteit

Het verloop van de jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit over de raaien is voor de drie scenario's uitgezet in Figuur I.4, Figuur I.5 en Figuur I.6. Hierbij wordt in Figuur I.4 de jaarlijkse totale sedimenttransportcapaciteit weergegeven, in Figuur I.5 de jaarlijkse transportcapaciteit tijdens eb en in Figuur I.6 de jaarlijkse transportcapaciteit tijdens vloed. Daarbij presenteert het bovenste paneel van de figuren steeds de sedimenttransportcapaciteit in het Middelgat, en het onderste paneel steeds de sedimenttransportcapaciteit in het Gat van Ossensisse.

Het effect van de (plaatrand)storting op de transportcapaciteit van het Middelgat is duidelijk zichtbaar van raai 5 tot en met 13. Zowel een storting op de plaatrand als een storting in de geul verhoogt lokaal de transportcapaciteit van het Middelgat, maar de storting in de geul heeft een groter effect dan de plaatrandstorting. In het Gat van Ossensisse heeft zowel de plaatrandstorting als de storting in de geul een lichte toename van de sedimenttransportcapaciteit van het Gat van Ossensisse tot gevolg. Ook hier is het effect het grootst wanneer de storting in de geul plaatsvindt.

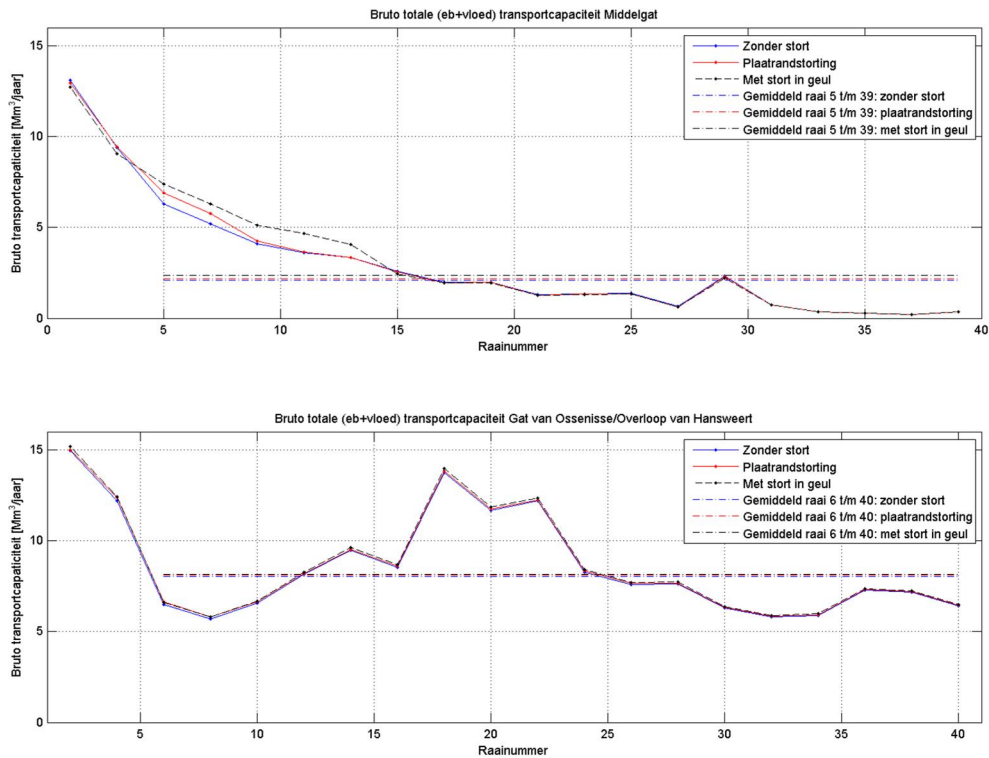
De sedimenttransportcapaciteit voor de verschillende scenario's en getijfasen is samengevat in Tabel I.1. Dit zijn andere getallen dan in bijlage E, omdat in bijlage E voor het FINEL2d model met veel meer raaien is gerekend.

	Middelgat			Gat van Ossensisse		
	Totaal	Eb	Vloed	Totaal	Eb	Vloed
Plaatrandstorting	2.09	1.35	0.74	8.10	3.19	4.91
Geen storting	2.03	1.32	0.71	8.04	3.17	4.88
Stort in M'gat	2.22	1.46	0.77	8.16	3.21	4.96

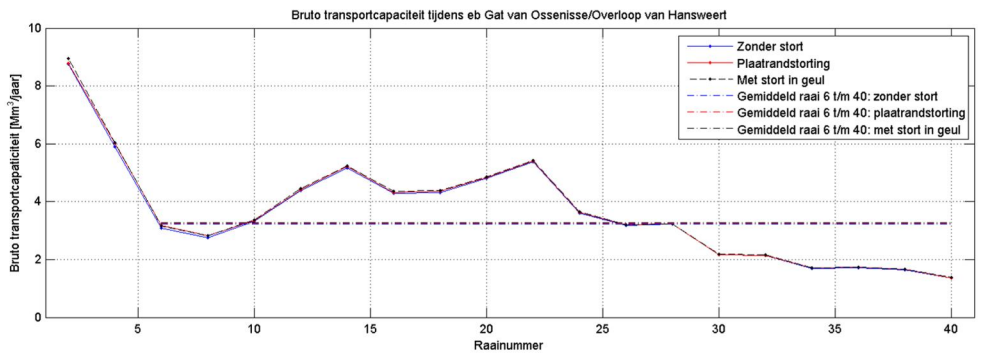
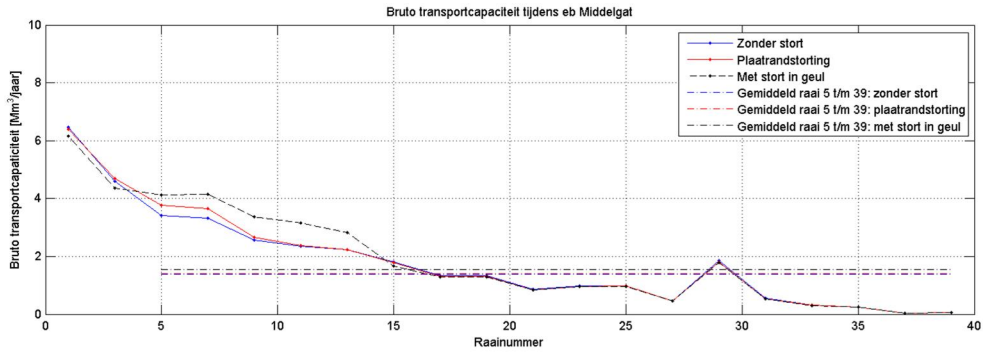
Tabel I.1 Overzicht van de bruto jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit [miljoen m³] in het Middelgat en Gat van Ossensisse.

Het effect van de storting op de transportcapaciteit wordt in Figuur I.7, Figuur I.8 en Figuur I.9 uitgelicht door het verschil in procenten ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd te geven. De figuren tonen dat in het Middelgat de sedimenttransportcapaciteit ter plaatse van de storting toeneemt, maar ter plaatse van de raaien waar geen storting wordt uitgevoerd de transportcapaciteit afneemt. Gemiddeld genomen neemt de transportcapaciteit toe door de stortingen. Ook in het Gat van Ossensisse neemt de sedimenttransportcapaciteit in de gehele geul toe. Bij een geulstorting neemt de transportcapaciteit in het Middelgat *gemiddeld over de raaien* meer toe dan bij een plaatrandstorting.

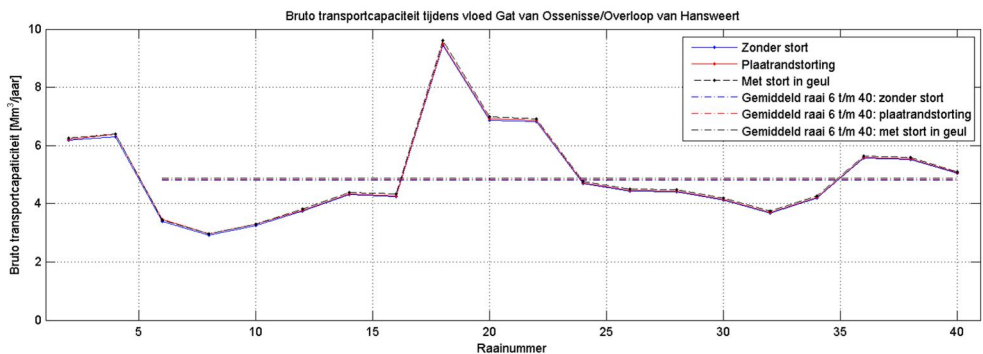
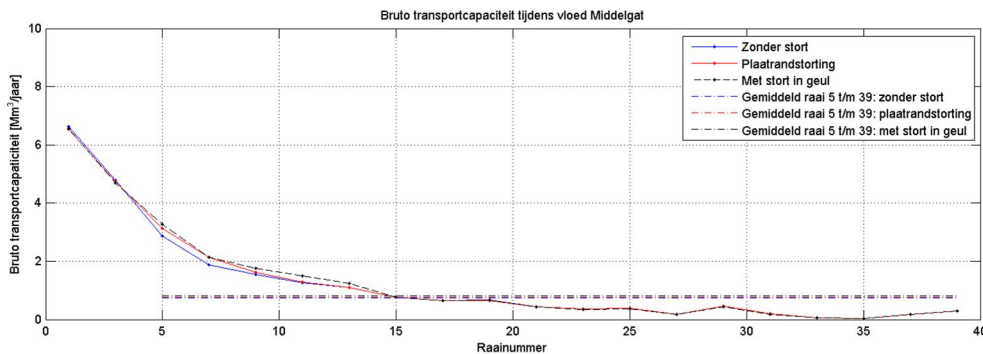
In Figuur I.10 tot en met Figuur I.13 wordt het verloop van de sedimenttransportcapaciteit over de doorsnede van enkele raaien in het Middelgat weergegeven. Hierbij presenteren Figuur I.10 en Figuur I.11 de absolute transportcapaciteit, en Figuur I.12 en Figuur I.13 de relatieve transportcapaciteit ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd. De figuren tonen dat de transportcapaciteit ter plaatse van de storting toeneemt ten opzichte van de situatie zonder storting. In de dwarsdoorsnede verder van de storting verwijderd is de toename lager dan ter plaatse van de storting. In de meest noordelijke raaien is bij de plaatrandstorting in delen van de dwarsdoorsnede een afname zichtbaar. Nog verder naar het noorden, zie Figuur I.7, is over de gehele dwarsdoorsnede sprake van een afname.



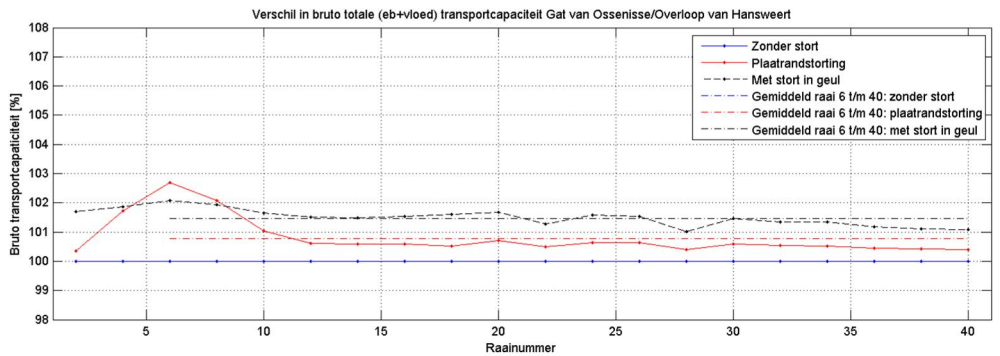
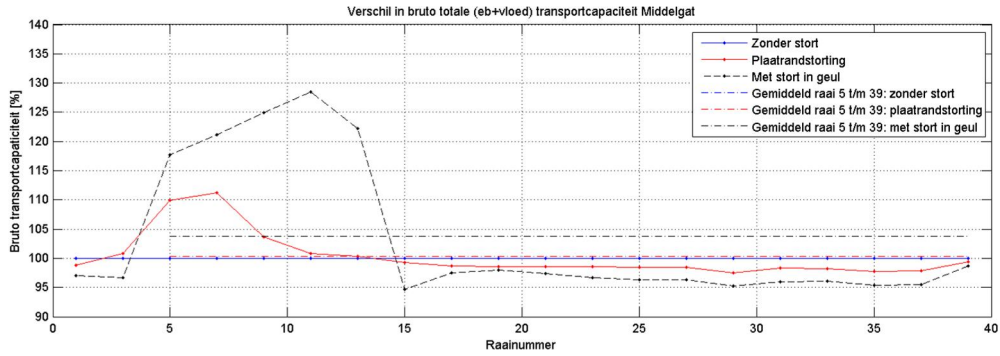
Figuur I.4 Totale jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) voor de drie verschillende scenario's. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



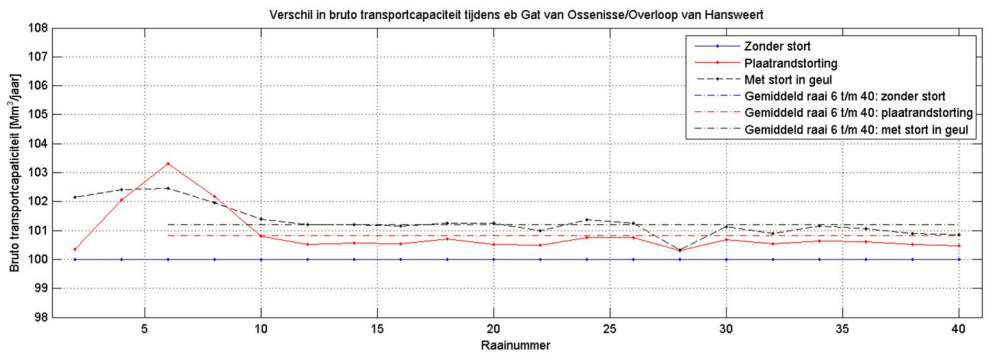
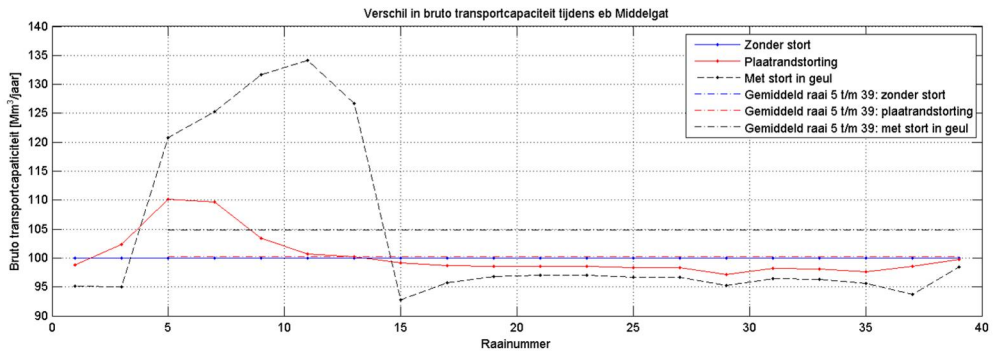
Figuur 1.5 Jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit tijdens eb in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) voor de drie verschillende scenario's. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



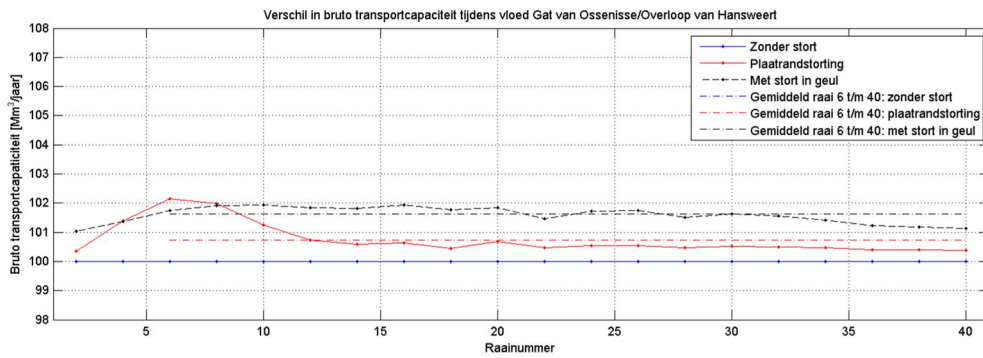
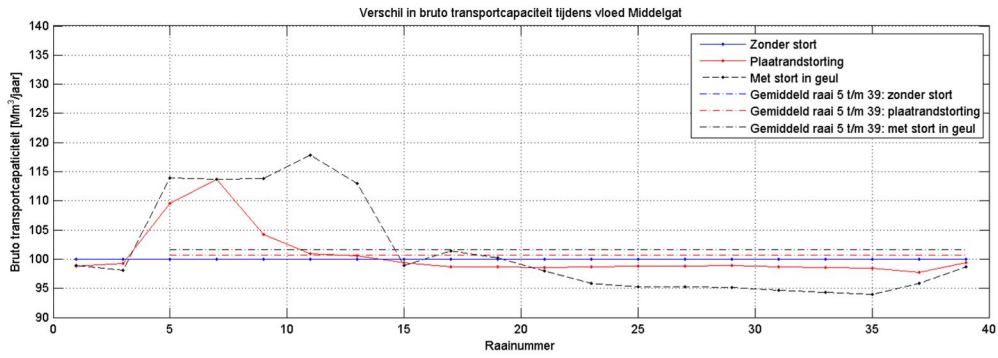
Figuur 1.6 Jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit tijdens vloed in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) voor de drie verschillende scenario's. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



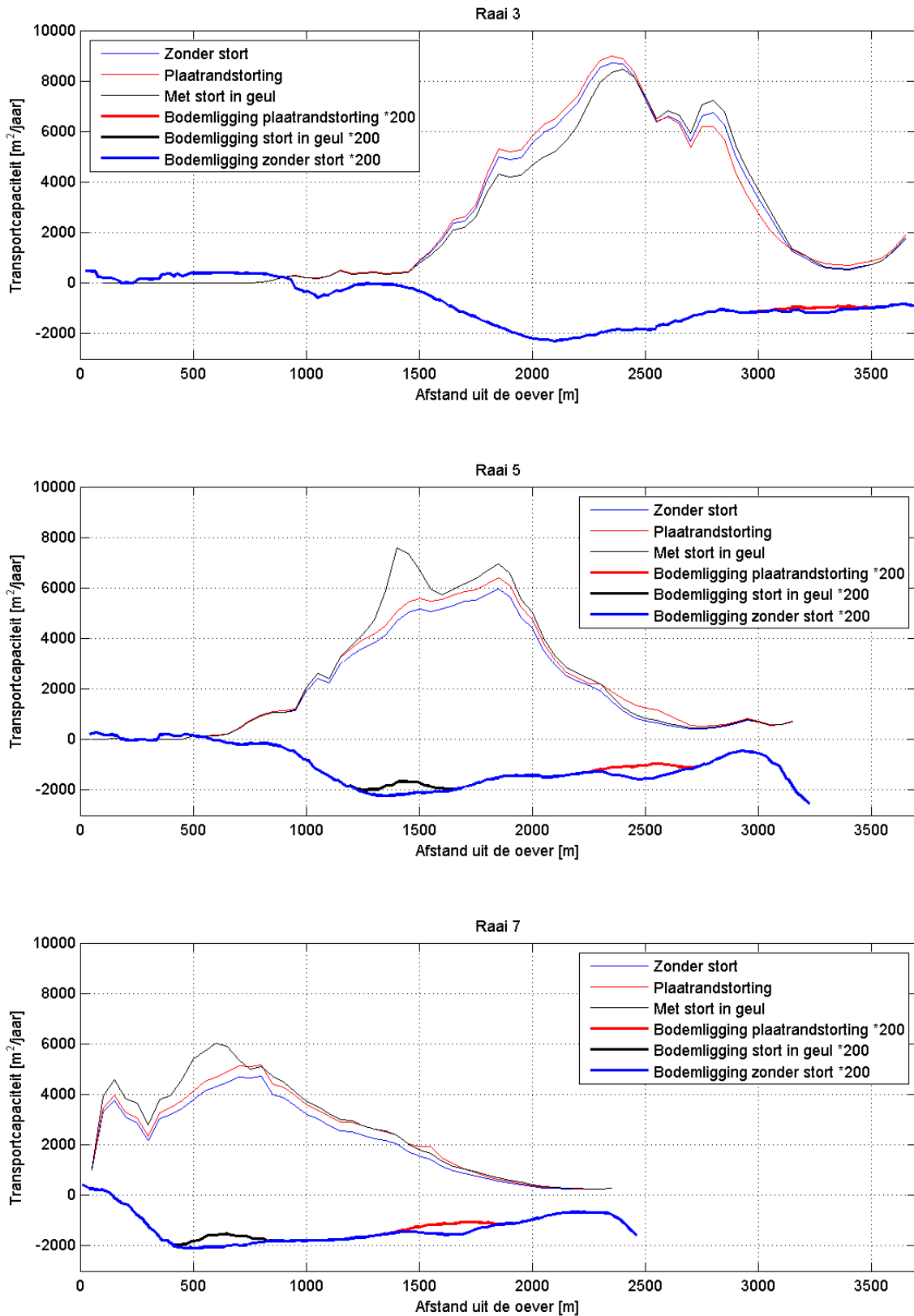
Figuur I.7 Verskil in procenten in de totale jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde verschil in procenten over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



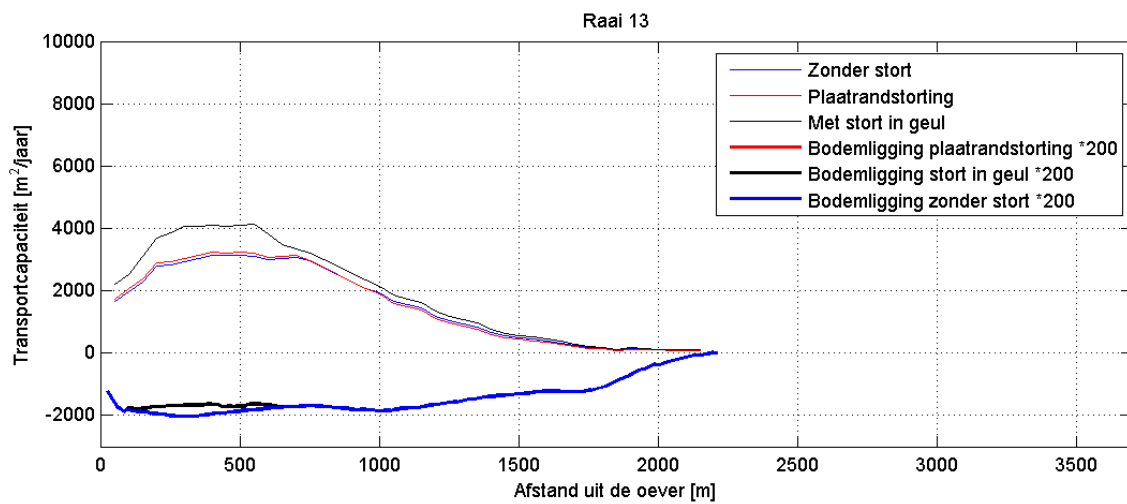
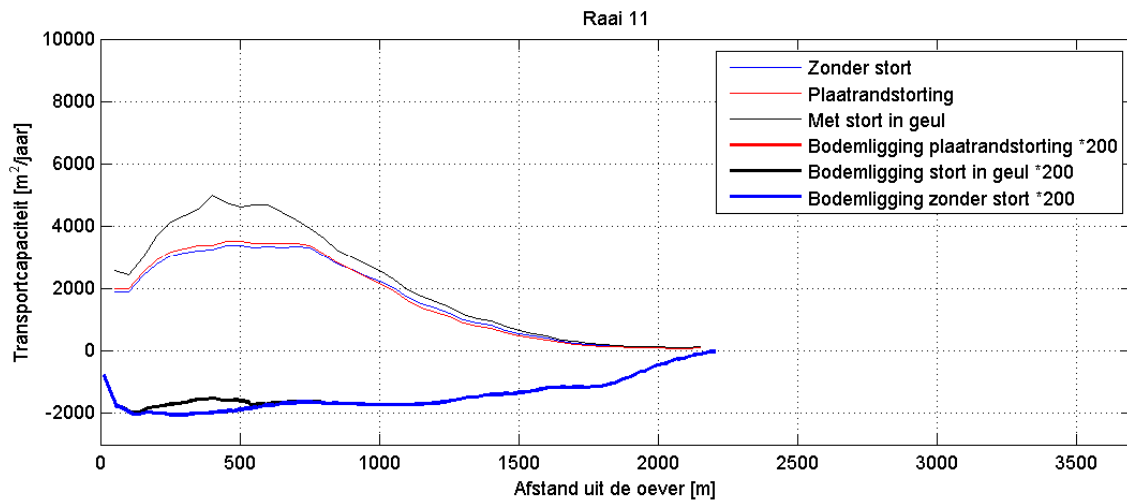
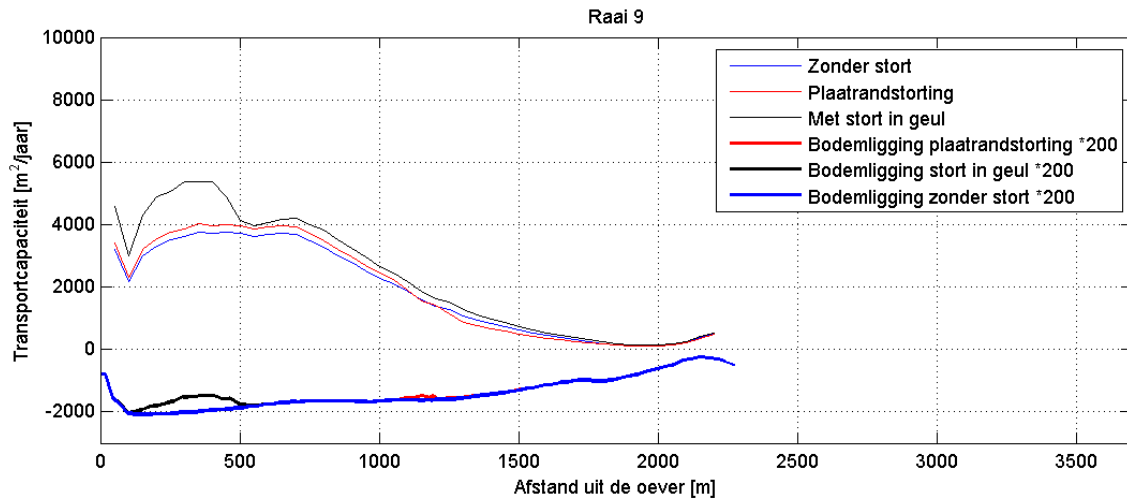
Figuur I.8 Verskil in procenten in de jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit tijdens eb in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde verschil in procenten over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



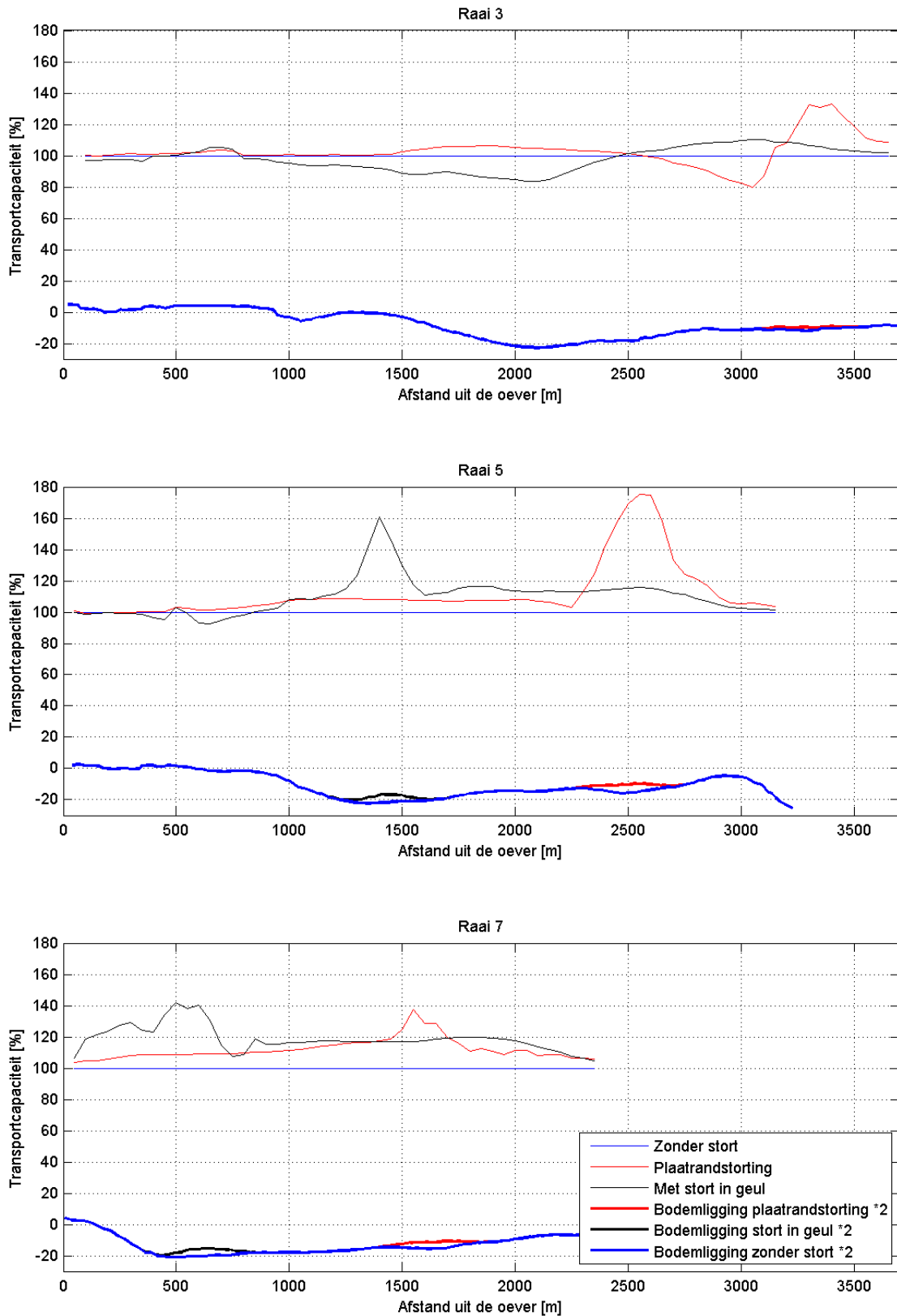
Figuur 1.9 Verschil in procenten in de jaarlijkse sedimenttransportcapaciteit tijdens vloed in het Middelgat (bovenste paneel) en het Gat van Ossensisse (onderste paneel) ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd. Voor elk van de scenario's is het gemiddelde verschil in procenten over raai 5 t/m 39 respectievelijk raai 6 t/m 40 eveneens weergegeven.



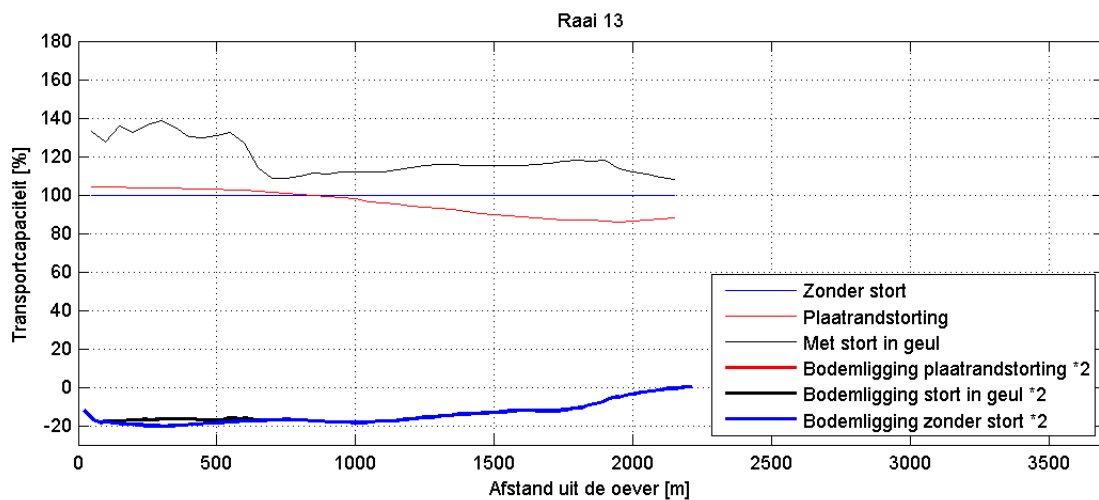
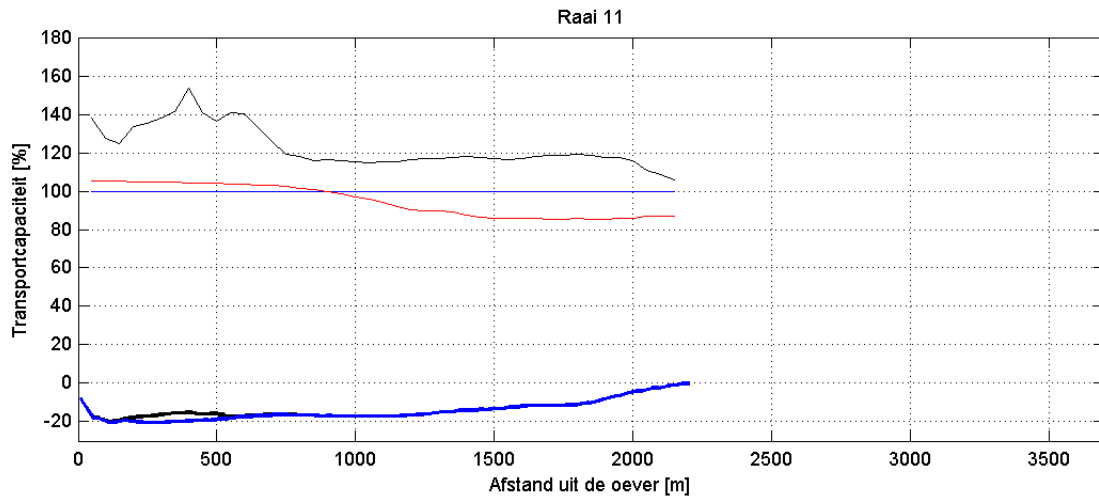
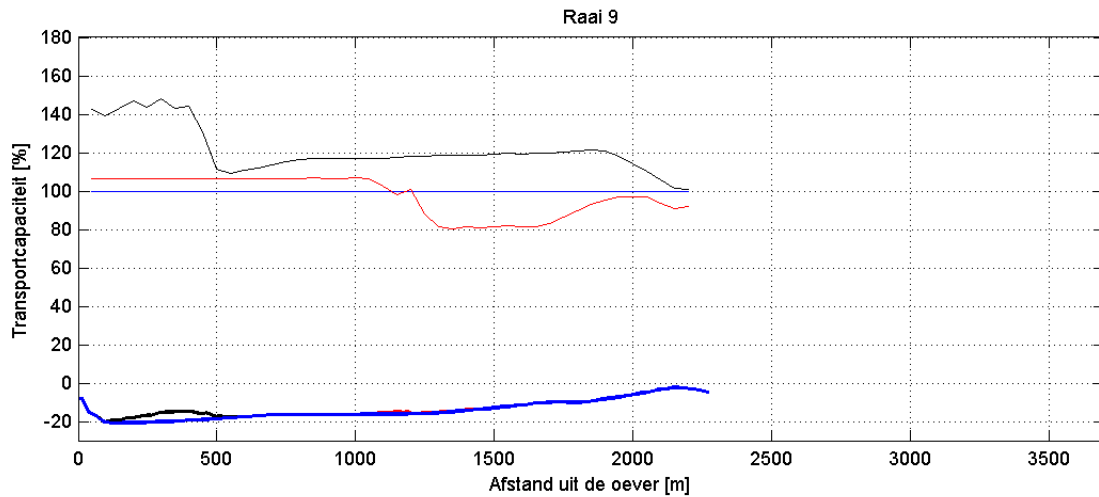
Figuur 1.10 Verloop van de jaarlijkse transportcapaciteit over de doorsnede van het Middelgat ter plaatse van raai 3 (bovenste paneel), raai 5 (middelste paneel) en raai 7 (onderste paneel) voor de drie scenario's. De bodemligging behorende bij de verschillende scenario's is eveneens in de figuur weergegeven.



Figuur I.11 Verloop van de jaarlijkse transportcapaciteit over de doorsnede van het Middelgat ter plaatse van raai 9 (bovenste paneel), raai 11 (middelste paneel) en raai 13 (onderste paneel) voor de drie scenario's. De bodemligging behorende bij de verschillende scenario's is eveneens in de figuur weergegeven.



Figuur I.12 Verschil in het verloop van de jaarlijkse transportcapaciteit over de doorsnede van het Middeltgat ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd, ter plaatse van raai 3 (bovenste paneel), raai 5 (middelste paneel) en raai 7 (onderste paneel) voor de drie scenario's. De bodemligging behorende bij de verschillende scenario's is eveneens in de figuur weergegeven.



Figuur I.13 Verschil in het verloop van de jaarlijkse transportcapaciteit over de doorsnede van het Middelpgat ten opzichte van het scenario waarin geen storting wordt uitgevoerd, ter plaatse van raai 9 (bovenste paneel), raai 11 (middelste paneel) en raai 13 (onderste paneel) voor de drie scenario's. De bodemligging behorende bij de verschillende scenario's is eveneens in de figuur weergegeven.

J Van bruto sedimenttransporten naar transportcapaciteit

De theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen is een functie van de sedimenttransportcapaciteit. In bijlage F zijn verschillende situaties toegelicht, waarvoor ook verschillende formules van toepassing zijn. De meeste situaties hebben een formule met de component αT ($SC_{nevengeul} = \alpha \cdot T + \Delta V_{tot}$). Hierin is T de sedimenttransportcapaciteit van de macrocel. Deze bijlage J vormt dus de schakel tussen bijlage E en F & G.

De sedimenttransportcapaciteit T wordt berekend op basis van de bruto sedimenttransporten S (in m^3/jr met een dichtheid van $2650 \text{ kg}/m^3$) en de representatieve korrelgrootte in de macrocel $d_{50, \text{representatief}}$. De korrelgrootte in het model is aangegeven met de parameter $d_{50, \text{model}}$. Daarnaast wordt de porositeit n in rekening gebracht. Voor n wordt een waarde van 0.4 aangehouden.

$$T = \frac{S}{(1-n)} \cdot \frac{d_{50, \text{model}}}{d_{50, \text{representatief}}}$$

Macrocel	Korrelgrootte [μm]
1	170-200 (in Jeuken, 2001: 190-210)
3	190-210
4	170-190
5	160-170
6	160-170
7	145-150

Tabel J.1 Representatieve mediane korreldiameter per macrocel (Jeuken & Wang, 2010)

De transportcapaciteit uit de eerste LTV-studie (Winterwerp et al. 2000) is gebaseerd op een modelsimulatie met een bodem voor het jaar 1996 en 1999. Hieruit volgen bruto sedimenttransporten S, waar vervolgens met bovenstaande formule en de korrelgroottes van Tabel J.1 een minimum en maximum transportcapaciteit is uitgerekend. De resultaten zijn opgenomen in Tabel J.2.

Macrocel nevengeul	S 1996 [miljoen m^3/jr]	S 1999 [miljoen m^3/jr]	Tmin [miljoen m^3/jr]	Tmax [miljoen m^3/jr]	ΔV_{tot} [miljoen m^3/jr]	α	SCmin [miljoen m^3/jr]	SCmax [miljoen m^3/jr]
1	6.8	7.2	12.9	15.1	-0.2	10%	1.5	1.7
3	9.1	9.8	17.3	20.7	0.1	ΔV_i	1.5*	1.5*
4	8.7	8.3	17.5	20.4	1.3	5%	0	0
5	7.9	6.4	15.1	19.8	-0.5	5%	1.3	1.5
6	3.0	3.2	7.1	8.0	-0.1	5%	0.5	0.5
7	1.9	1.5	4.0	5.2	-0.2	5%	0.4	0.5

* gebaseerd op een 'veilige' stortcapaciteit van $1.4 \text{ miljoen } m^3$.

Tabel J.2 Stortcapaciteit en Stortcriterium nagerekend van tabel A.1.

In het basisrapport morfologie (tabel A.1) zijn de volgende transportcapaciteiten en stortcapaciteit opgenomen:

Macrocel nevengeul	1996 [miljoen ton/jr]	1999 [miljoen ton/jr]	Tmin [miljoen m ³ /jr]	Tmax [miljoen m ³ /jr]	SCmin [miljoen m ³ /jr]	SCmax [miljoen m ³ /jr]
1	18	19	13	15	1.5	1.7
3	24	26	17	21	1.5	1.5
4	23	22	18	20	0	0
5	21	17	15	20	1.3	1.5
6	8	8.5	7	8	0.4	0.5
7	5	4	4	5	0.4	0.5

Tabel J.3 Stortcapaciteit en Stortcriterium uit tabel A.1 van het basisrapport morfologie.

De waarden in Tabel J.3 komen overeen Tabel J.2. De stortcapaciteit is geformuleerd als $SC = \alpha \cdot T - \Delta V_{tot}$, we gebruiken hier een minteken omdat in de vorige LTV studie het ingreepvolume positief was gedefinieerd voor stortingen.

Met de nieuwe bruto sedimenttransporten uit bijlage E kan vervolgens de sedimenttransportcapaciteit berekend worden. Hierbij gebruiken we de bruto sedimenttransporten uit het jaar 2006, omdat dit voor de derde verruiming is en omdat het model voor 2006 het beste gekalibreerd is. Voor macrocel 7 wordt het gemiddelde uit Winterwerp et al. (2000) genomen, omdat daar geen nieuwe transporten voor zijn afgeleid. Daarnaast wordt gerekend met de gemiddelde korrelgrootte uit Tabel J.1.

Macrocel nevengeul	2006 [miljoen m ³ /jr]	T [miljoen m ³ /jr]
1	8.1	13.5
3	6.1	10.2
4	5.4	10.0
5	2.8	5.7
6	3.9	7.9
7	2.0	4.6

Tabel J.4 Nieuwe bruto sedimenttransporten en bijbehorende transportcapaciteit.

K Invloed van het referentieniveau: NAP -5 m versus NAP -2 m

K.1 Inleiding

Deze bijlage beschrijft een aantal analyses om te bepalen welk referentieniveau gekozen moet worden. Hierbij is gekeken naar:

- Invloed van referentieniveau op volumeontwikkelingen in de macrocellen
- Percentage van het debiet en sedimenttransport per diepteklasse. Hierbij is de vraag hoeveel een zone, en in het bijzonder de zone NAP -5 m tot NAP -2 m, bijdraagt aan het totale debiet en sedimenttransport.
- Theoretische relatie van de debietverdeling vergeleken met modeluitkomsten.
- Debietverdeling en sedimenttransport van een aantal raaien bij de plaatrandstortingen van de Rug van Baarland en Walsoorden.

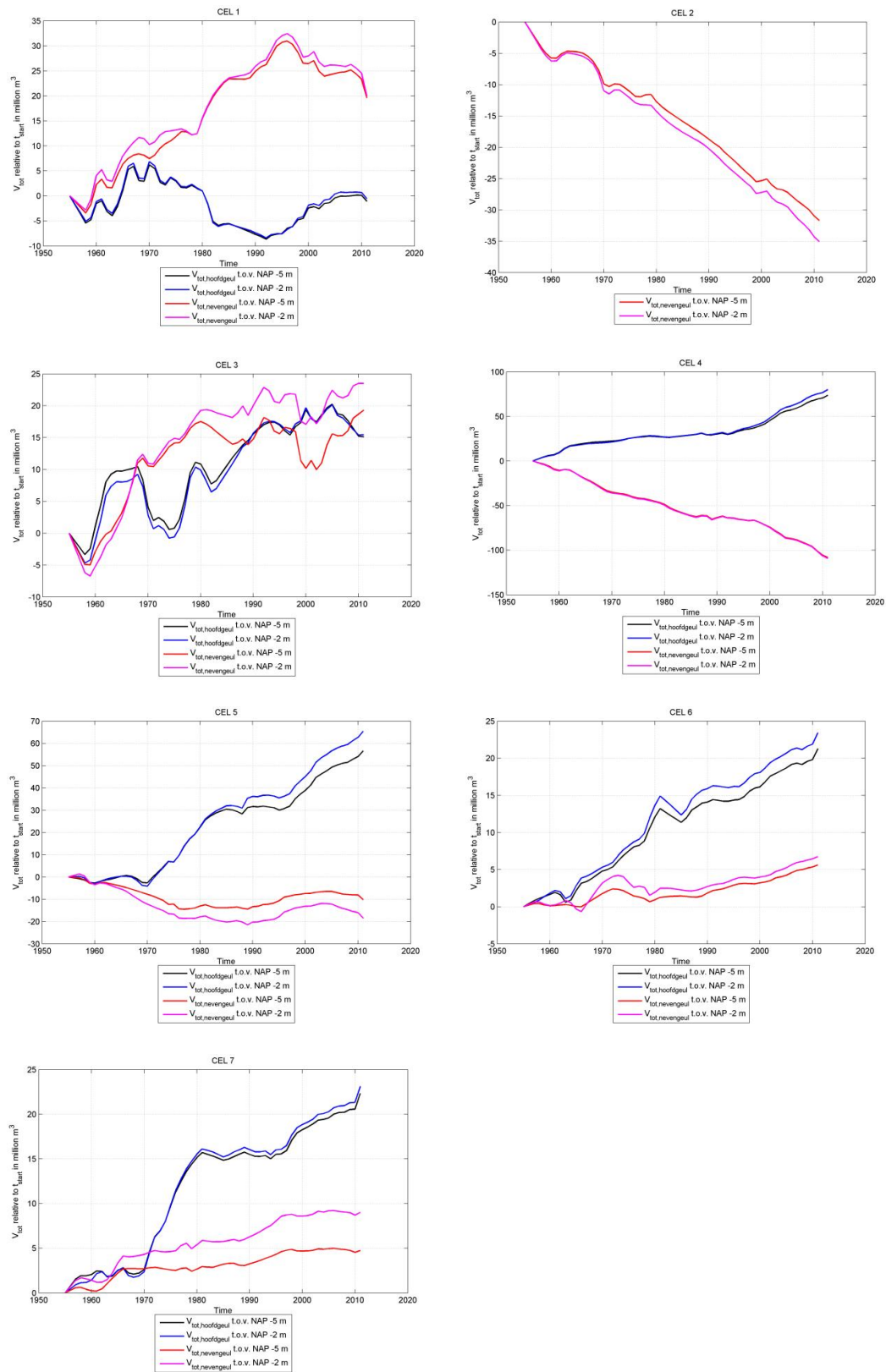
Uit de verschillende analyse blijkt dat verandering van het referentieniveau niet tot wezenlijke verschillen zullen leiden in de te detecteren trends. De veranderingen in de totale en netto geulvolumes ten opzichte van referentieniveau NAP -5 m en NAP -2 m vertonen dezelfde trends. Het absolute geulvolume is wel verschillend als men t.o.v. -2 m NAP of -5 m NAP kijkt. Bij het referentieniveau NAP -2 m duurt het bij een sedimenterende trend langer voordat de geul dicht is. Uit modelberekeningen blijkt dat het debiet per meter geulbreedte goed wordt benaderd door de theoretische relatie voor het specifiek debiet $q = h^{3/2}$, waarbij h de waterdiepte is. Dit betekent dat het debiet toeneemt met toenemende diepte. Het belang van de zone tussen -5 m en -2 m is daarmee afhankelijk van de oppervlakte van het gebied. Gemiddeld voor de Westerschelde is het debiet door deze dieptezone ongeveer 5%. De sedimenttransporten door deze dieptezone bedragen gemiddeld 9%, maar kunnen voor verschillende raaien variëren tussen de 0 en 16%.

Voordeel van het referentieniveau NAP -5 m is dat deze bodemdata met lodingen worden ingewonnen en zodoende eerder beschikbaar komen dan de volledige bodems. De volledige bodems beslaan ook hogere delen die worden ingewonnen met LiDAR. Er is nog een extra handeling nodig om de LiDAR dataset samen te voegen met de lodingsgegevens.

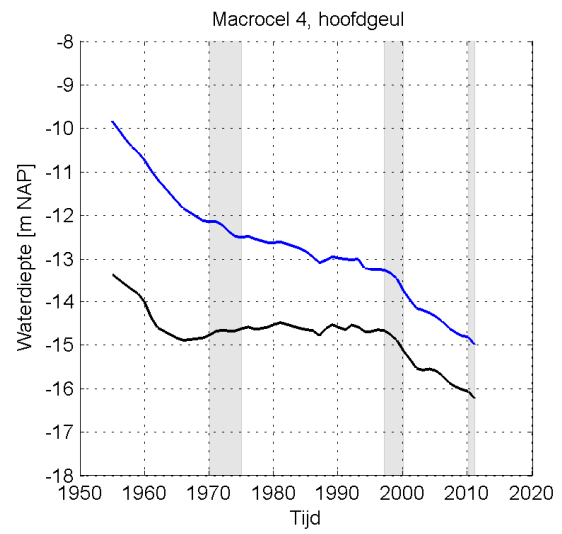
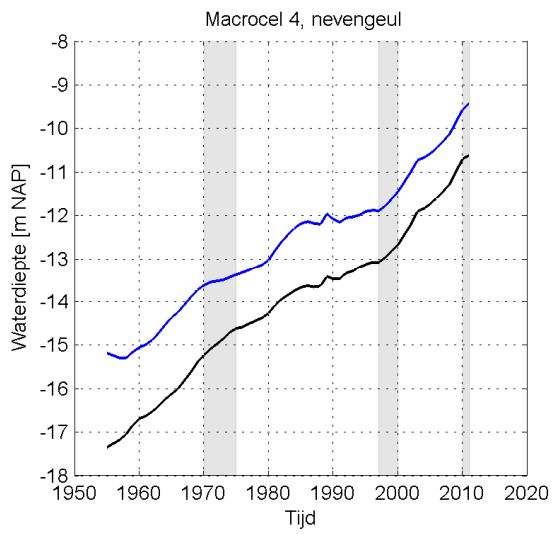
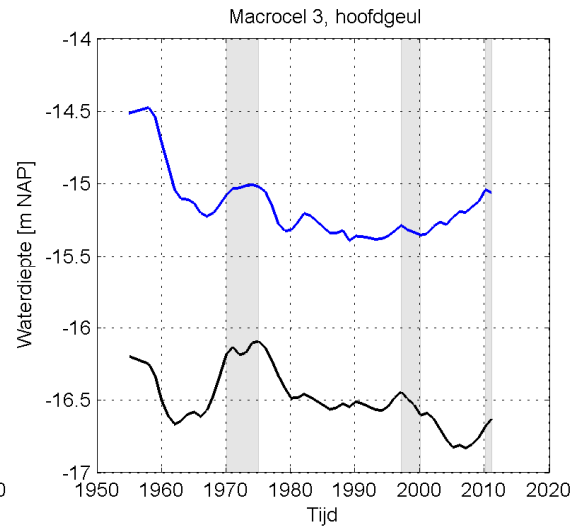
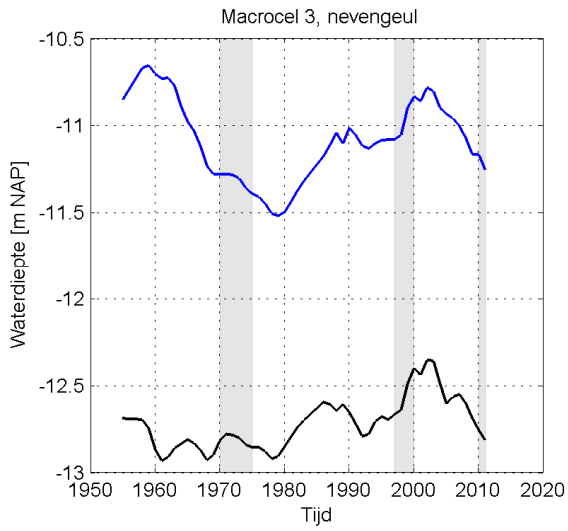
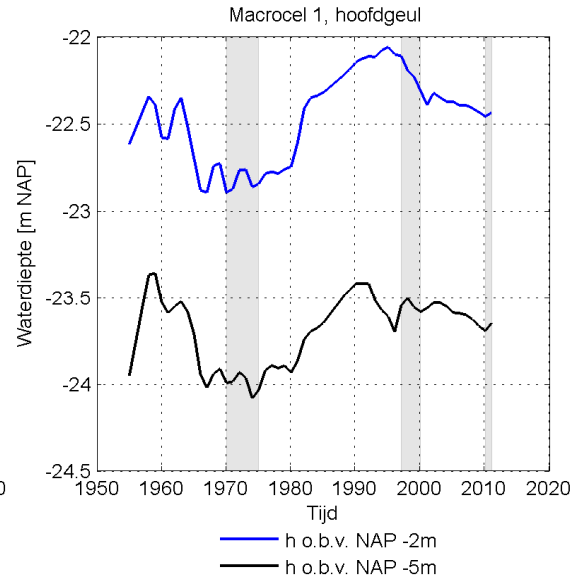
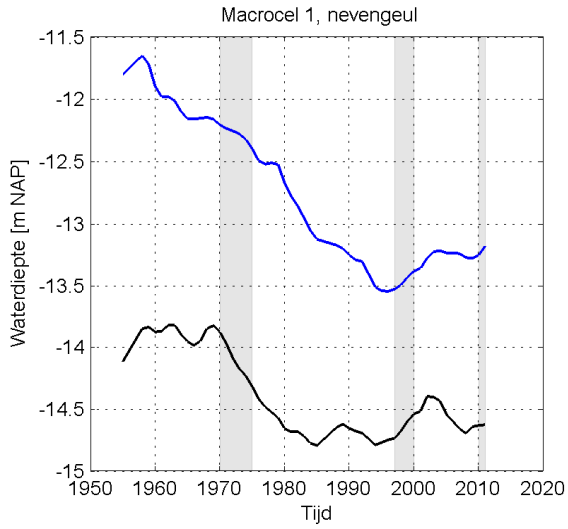
Nadeel van het referentieniveau NAP -5 m is dat plaatrandstortingen voor een deel binnen het geulvolume vallen en voor een deel erbuiten. Hierdoor ontstaat discussie over aanpassing van de polygoon om de hele plaatrandstorting buiten het volume te laten vallen. Nadelen van het aanpassen van de polygoon is dat dat min of meer arbitrair is. Morfologische ontwikkelingen kunnen vragen om steeds nieuwe polygoonaanpassingen. Deze discussie kan omzeild worden door referentieniveau NAP -2 m aan te houden en expliciet om te gaan met het feit dat de plaatrandstorting leidt tot een verkleining van het geulvolume. Dit is wat ook het fysische effect is van de plaatrandstorting. Het is echter een beleidskeuze of dit acceptabel is met het oog op winst van ecologisch waardevol gebied.

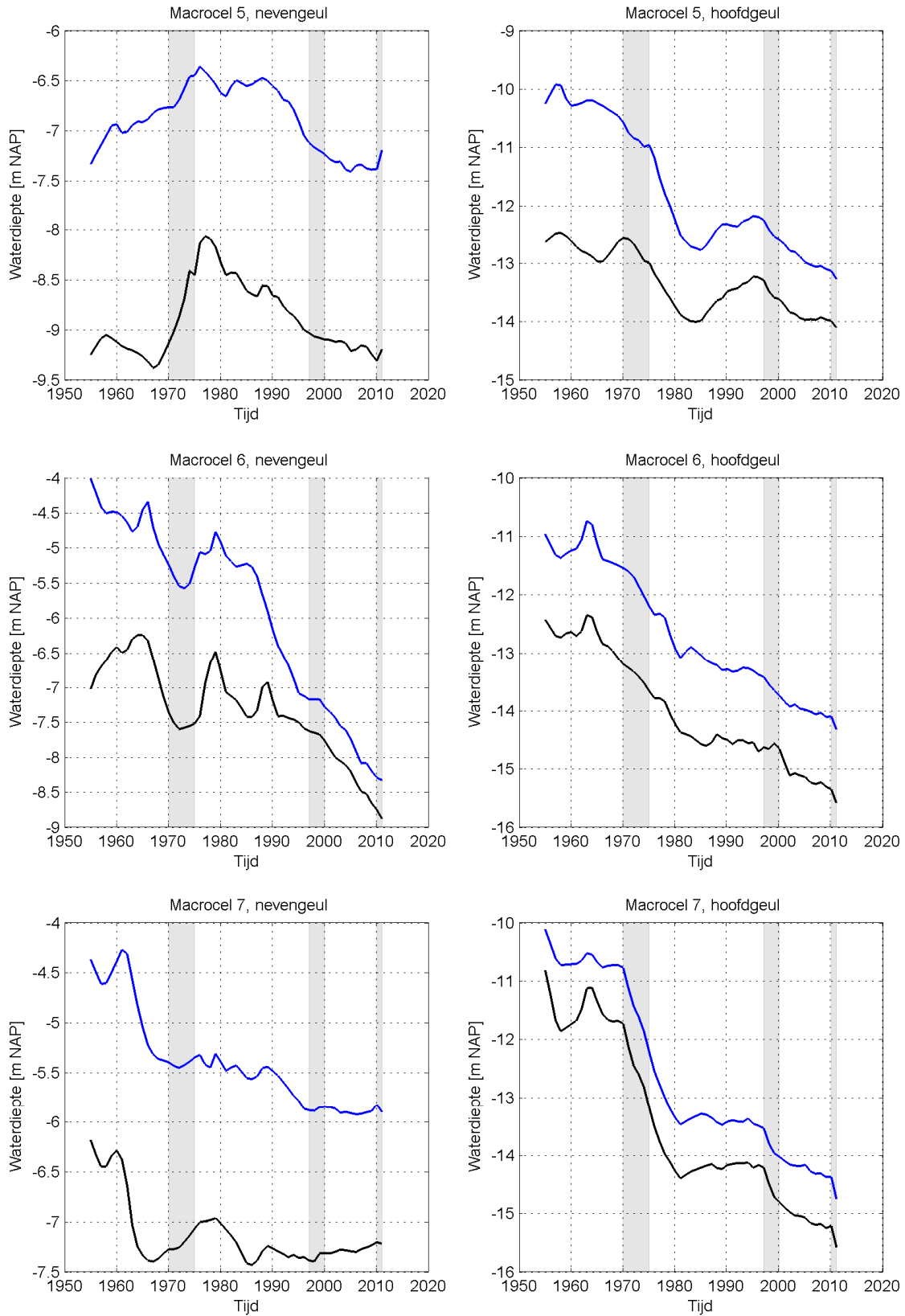
K.2 Invloed referentieniveau op volumeontwikkelingen in de macrocellen

In Figuur K.1 wordt het effect getoond op volumeontwikkelingen in de geul met het referentieniveau op NAP -2 m of NAP -5 m. Hierbij is te zien dat voor de algemene trends het niet veel uitmaakt of het niveau op NAP -2 m of NAP -5 m ligt. Voor de gemiddelde waterdiepte zijn de trends ook vergelijkbaar, zie Figuur K.2. De gemiddelde bodemhoogte wordt uitgerekend door het natte volume te delen door de oppervlakte binnen de NAP -2m of -5m contour. Als er dus relatief veel ondiepwatergebied bij komt, neemt de gemiddelde waterdiepte af.



Figuur K.1 Invloed van referentieniveau NAP -2 m of NAP -5 m op V_{tot} en V_{net} .





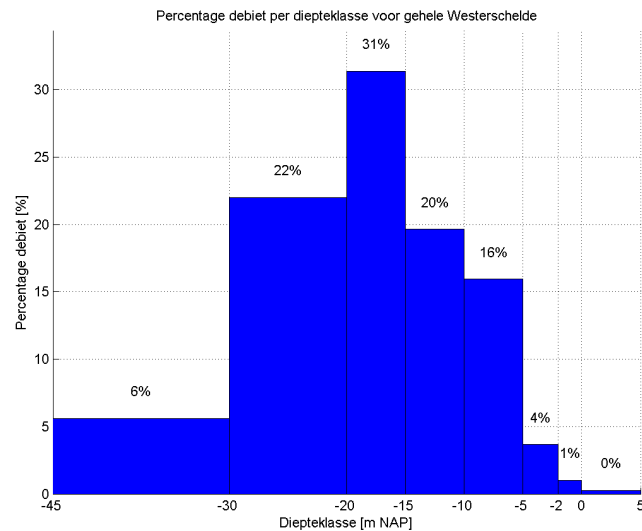
Figuur K.2 Invloed van referentieniveau NAP -2 m of NAP -5 m op de gemiddelde bodemhoogte.

K.3 Histogrammen met percentage debieten en sedimenttransport per diepteklasse

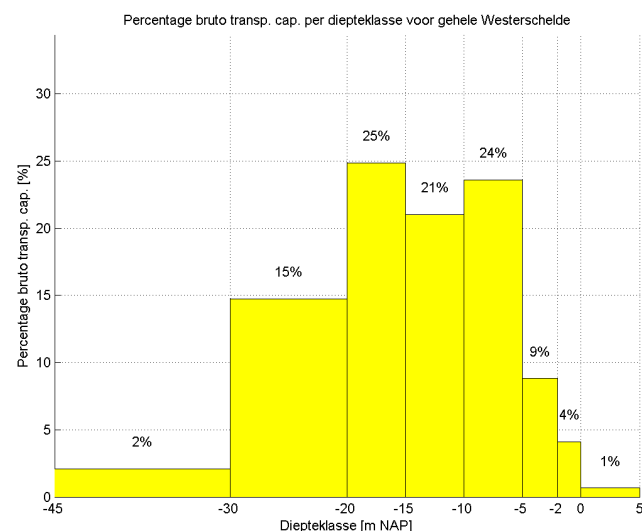
Zowel voor het afbakeningsvraagstuk ('Welk referentieniveau te hanteren?') als voor de plaatrandstortingen geeft de verdeling van het debiet en transport over de diepteklassen inzicht in de relevante dieptezones.

Met behulp van FINEL2d is een doortij-springtij cyclus hydrodynamisch doorgerekend met de 2011 bathymetrie. Per rekencel is berekend wat het specifieke debiet is ($q = u \times h$) en gesommeerd over de doortij-springtij cyclus. Deze data is vervolgens gebruikt voor onderstaande exercitie. Voor het berekenen van het zandtransport is de Engelund-Hansen formule gebruikt, zie ook bijlage E en I.

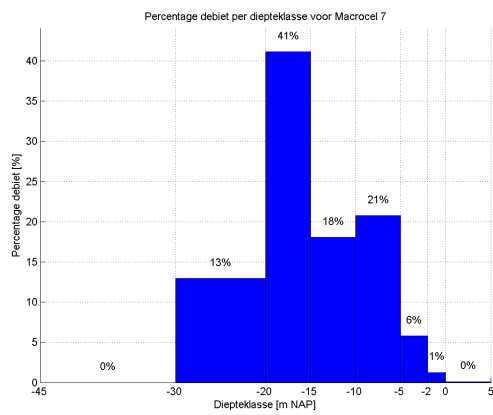
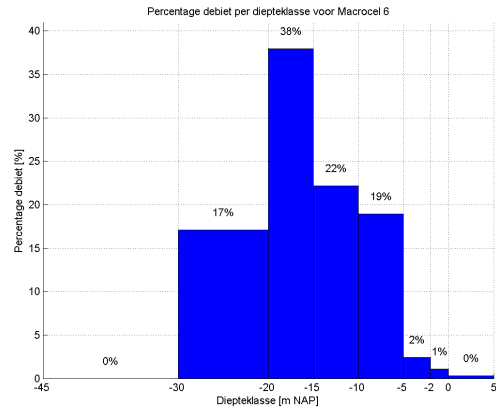
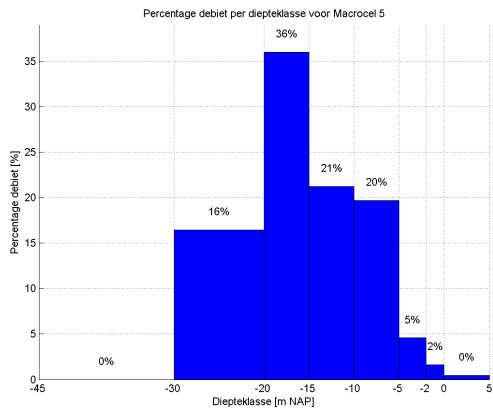
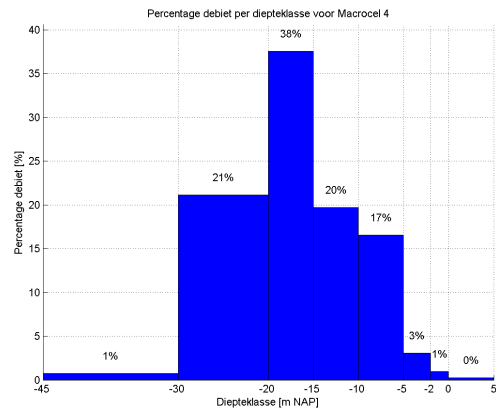
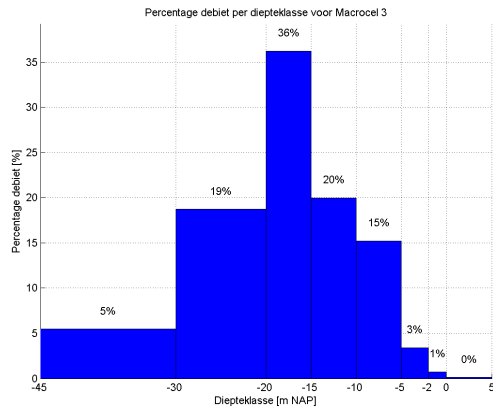
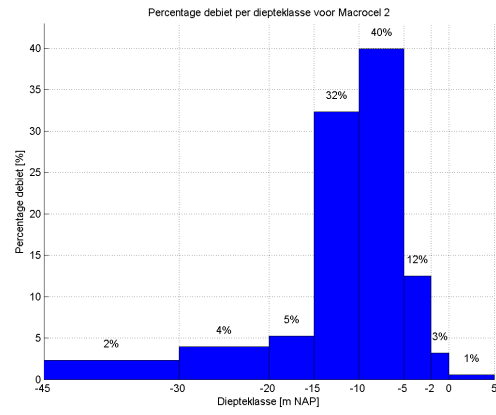
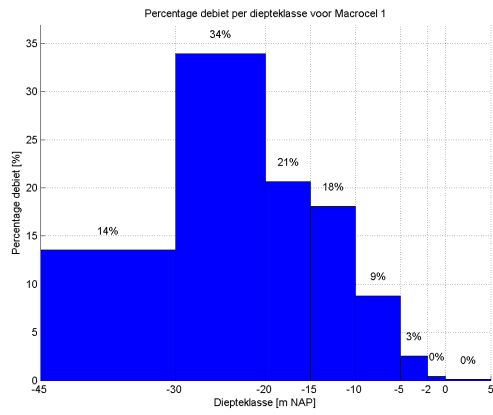
Als we kijken naar het debiet dat berekend is door FINEL2d over een doortij-springtij cyclus, zien we dat het merendeel van het debiet wordt getransporteerd in de diepteklassen -15 m tot -20 m NAP. In het natte volume begrensd door de NAP -5 m contour vindt 95% van het watertransport en 86% van het zandtransport plaats. In de diepteklasse -5 m tot -2 m NAP vindt 9% van het totale zandtransport plaats. De verschillen tussen de macrocellen zijn klein, alleen macrocel 2 en 6 zijn afwijkend in de verdeling van zandtransport over de diepteklassen en macrocel 1 heeft een afwijkende verdeling voor het debiet.



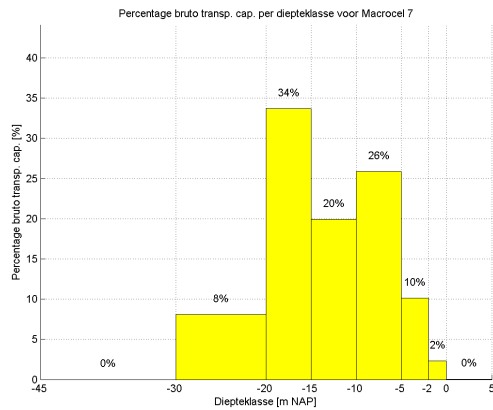
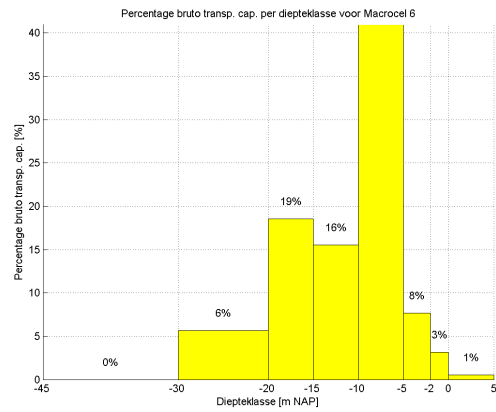
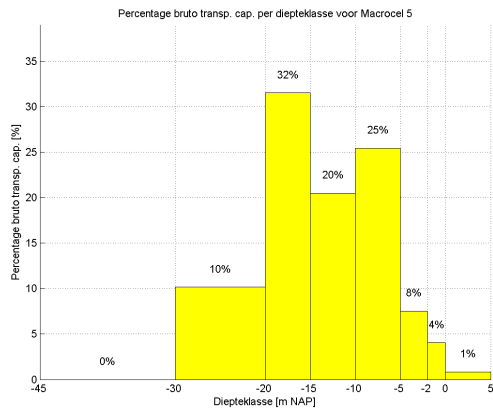
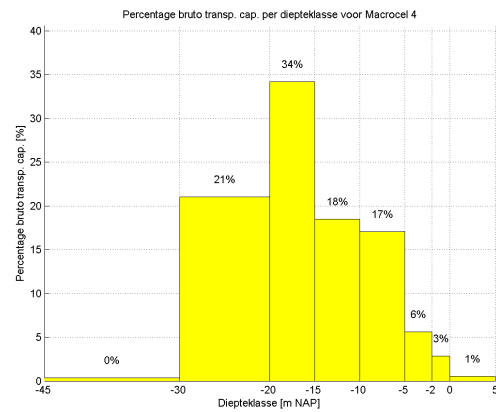
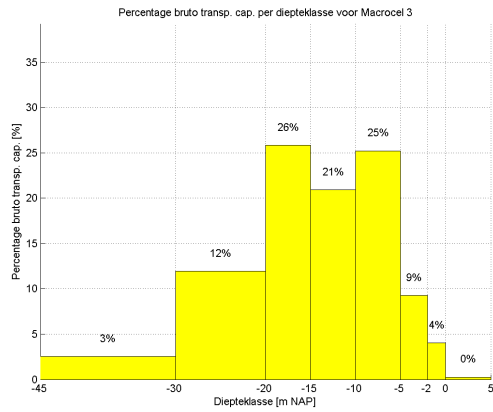
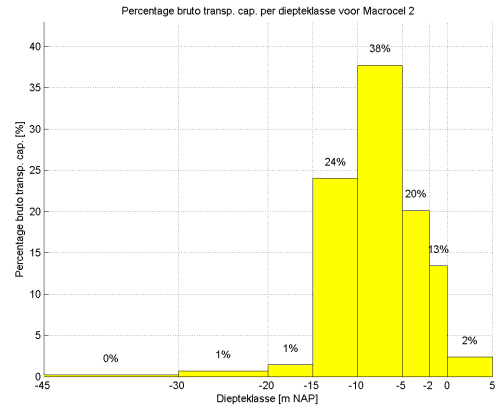
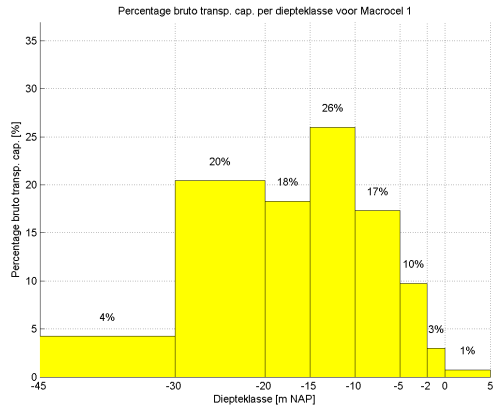
Figuur K.3 Verdeling van het debiet over de diepteklassen voor de hele Westerschelde



Figuur K.4 Verdeling van het zandtransport over de diepteklassen voor de hele Westerschelde



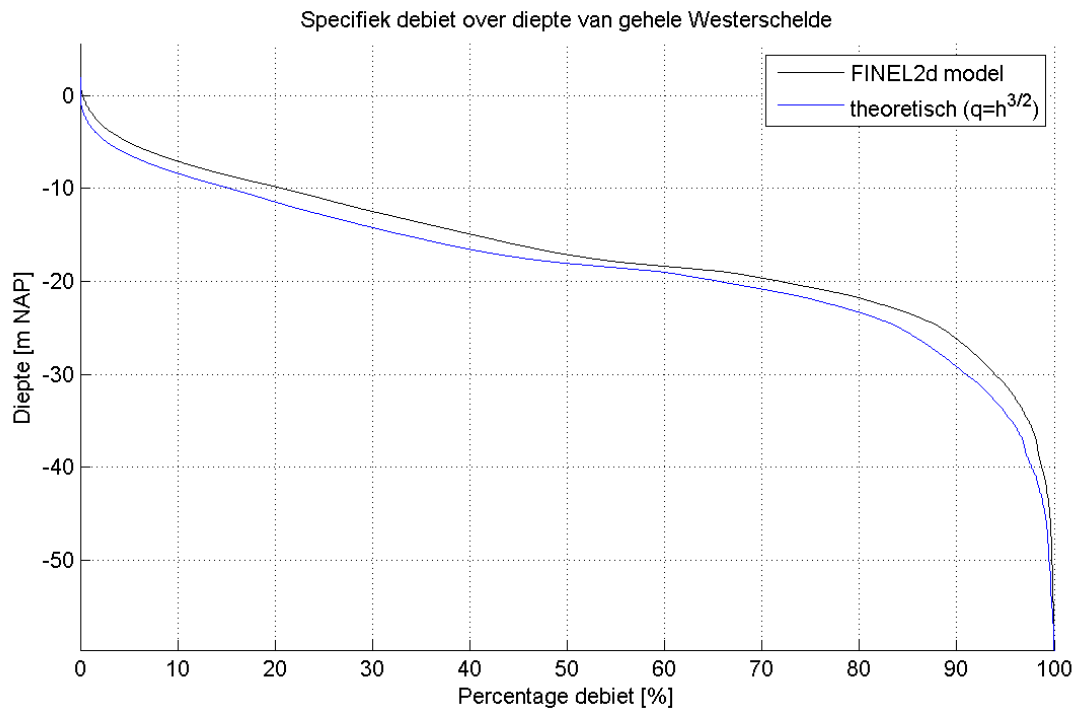
Figuur K.5 Verdeling van het debiet over de diepteklassen uitgesplitst per macrocel



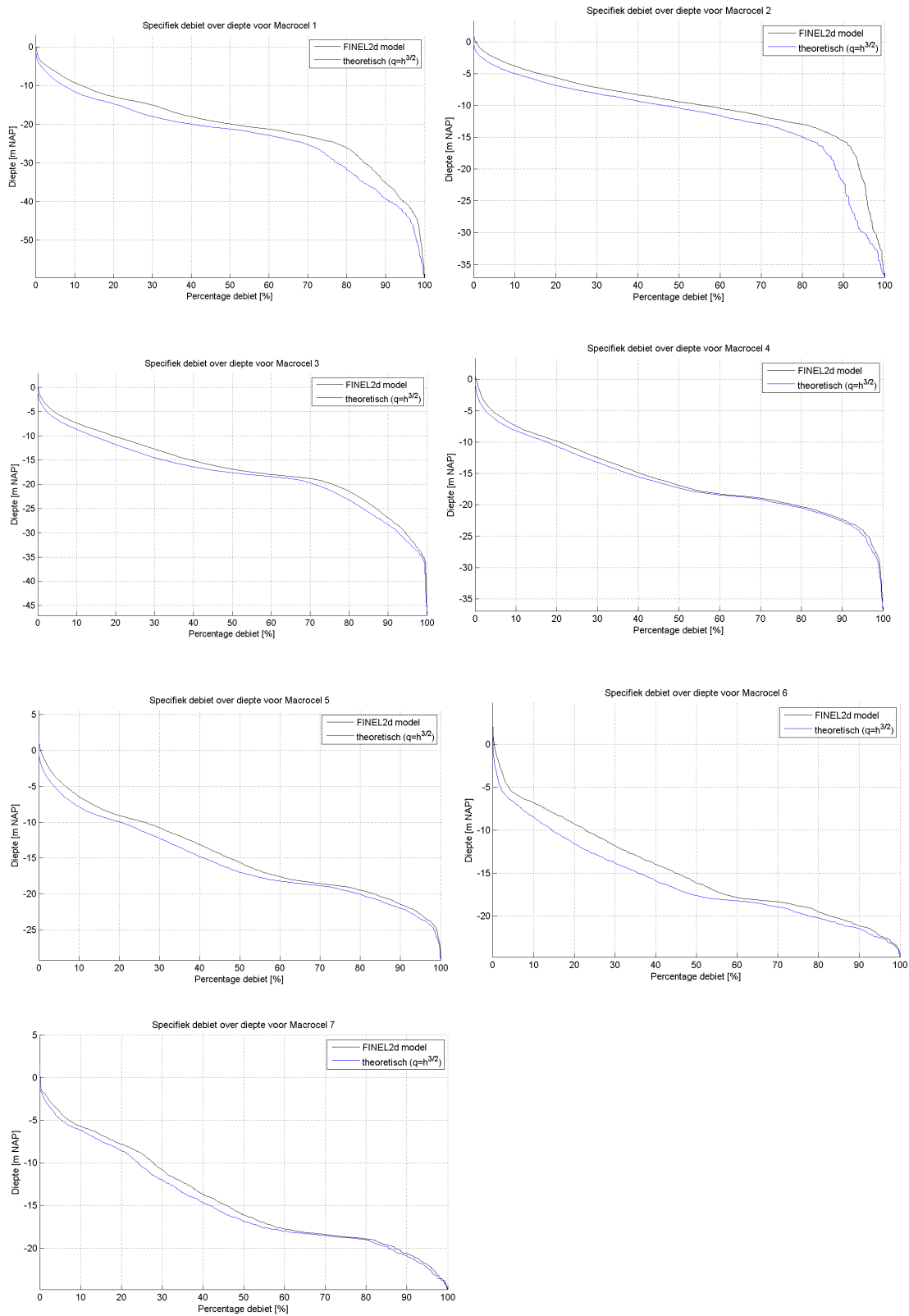
Figuur K.6 Verdeling van het sedimenttransport over de diepteklassen uitgesplitst per macrocel

K.4 Theoretische relatie van de debietverdeling

De resultaten van de debietverdeling volgen grotendeels de theoretische relatie $q = h^{3/2}$ (met h de waterdiepte). Dit volgt uit $q = u \cdot h$ en de formule van Chezy $u = C \sqrt{hi}$, met u stroomsnelheid en i het verhang (Svasek, 1994). Dit blijkt wanneer de roostercellen van FINEL gesorteerd worden op diepte en de debieten cumulatief uitgezet worden, vergelijkbaar met een hypsometrische curve. Gebruikt gemaakt is van de FINEL resultaten uit de vorige paragraaf. Onderstaande figuren laten zien dat de berekende FINEL2d resultaten en de theoretische relatie grotendeels overeenstemmen voor vrijwel elke macrocel, alhoewel de bodemligging per macrocel heel anders kan zijn. Geconcludeerd kan worden dat de debietverdeling sterk afhankelijk is van de hypsometrie (bodemligging) ter plekke (heb je veel of weinig intergetijdengebied ter plekke?) en dat deze grotendeels theoretisch verklaard kan worden met de relatie $q = h^{3/2}$.



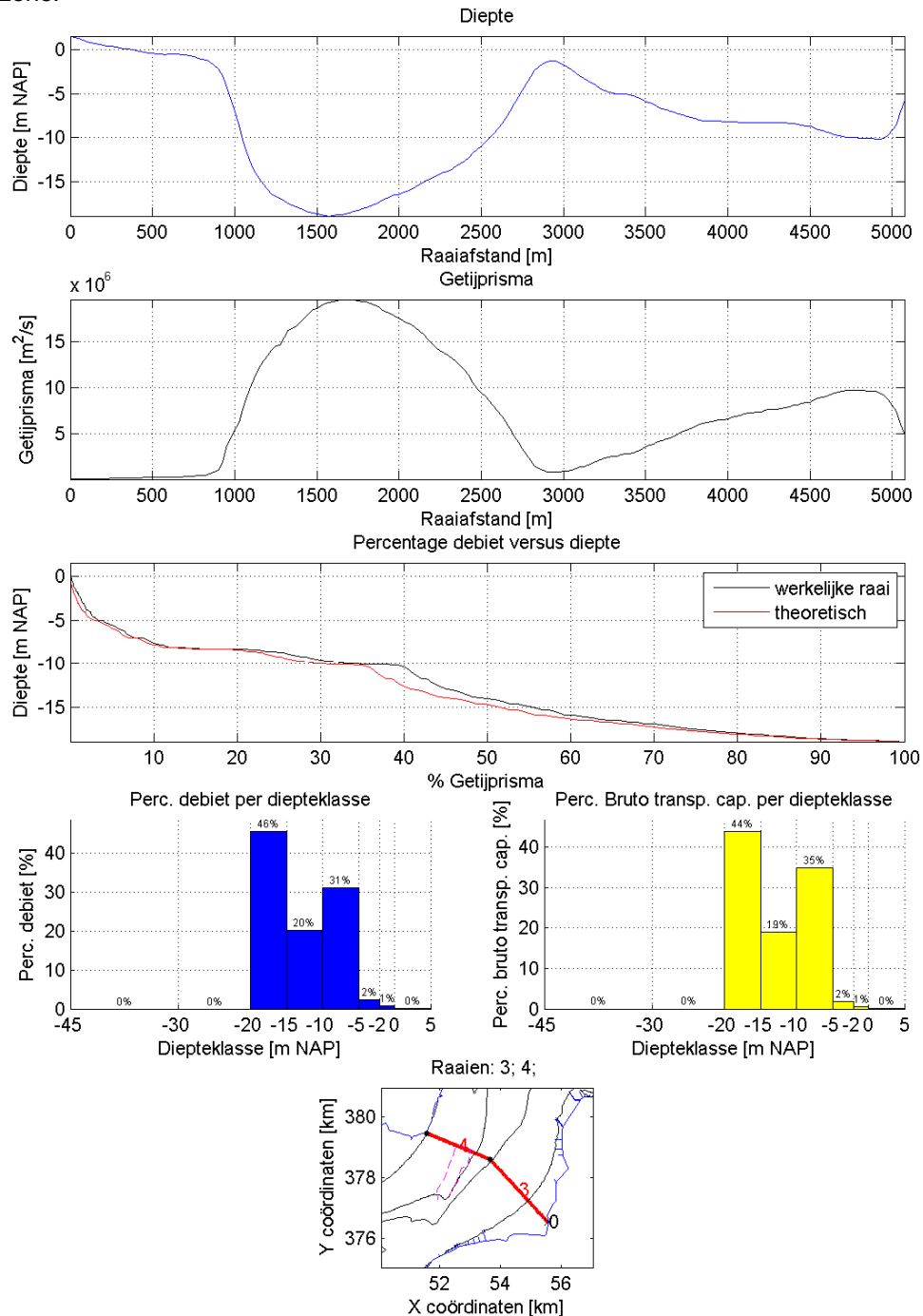
Figuur K.7 Verdeling van het debiet over de diepte voor gehele Westerschelde. Resultaten uit FINEL2d model en theoretisch



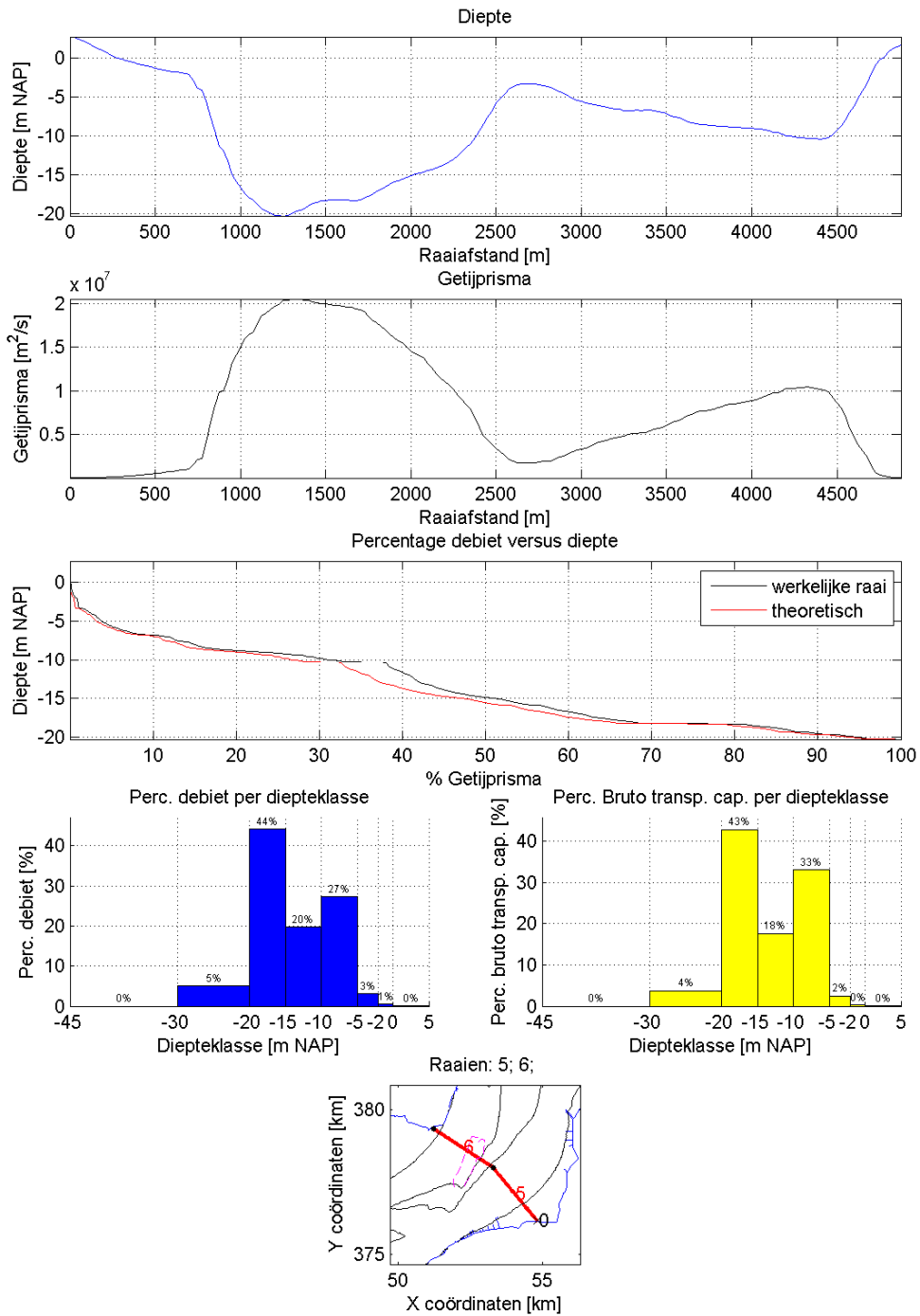
Figuur K.8 Verdeling van het debiet over de diepte per macrocel. Resultaten uit FINEL2d model en theoretisch.

K.5 Debietverdeling en sedimenttransport voor een aantal raaien bij plaatrandstortingen

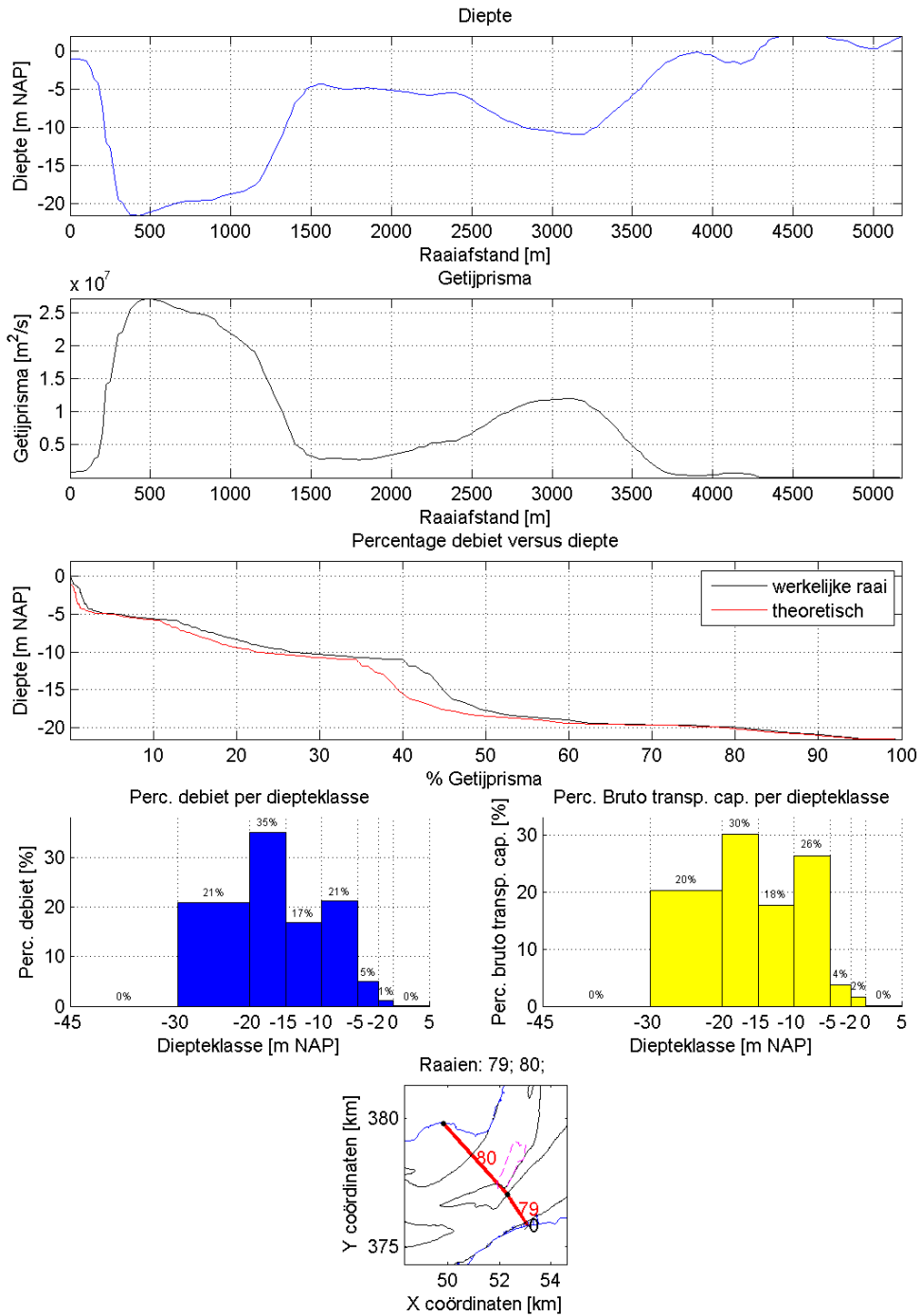
Onderstaande figuren laten voor een aantal raaien over de breedte van de Westerschelde de debietverdeling en het sedimenttransport zien. Een aantal raaien zijn geselecteerd ter hoogte van de plaatrandstorting bij de Rug van Baarland en bij de plaatrandstorting bij de Plaat van Valkenisse. Te zien is dat de debietverdeling sterk afhankelijk is van de bodemligging ter plekke, maar dat ook hier de debietverdeling over de raai grotendeels verklaard wordt aan de hand van de theoretische relatie $q = h^{3/2}$ (3^e sub-figuur). In de diepteklasse van -2 tot -5 m NAP vindt 0 tot 6% van het debiet plaats. Het sedimenttransport door deze raaien varieert van 0 tot 16% in deze dieptezone.



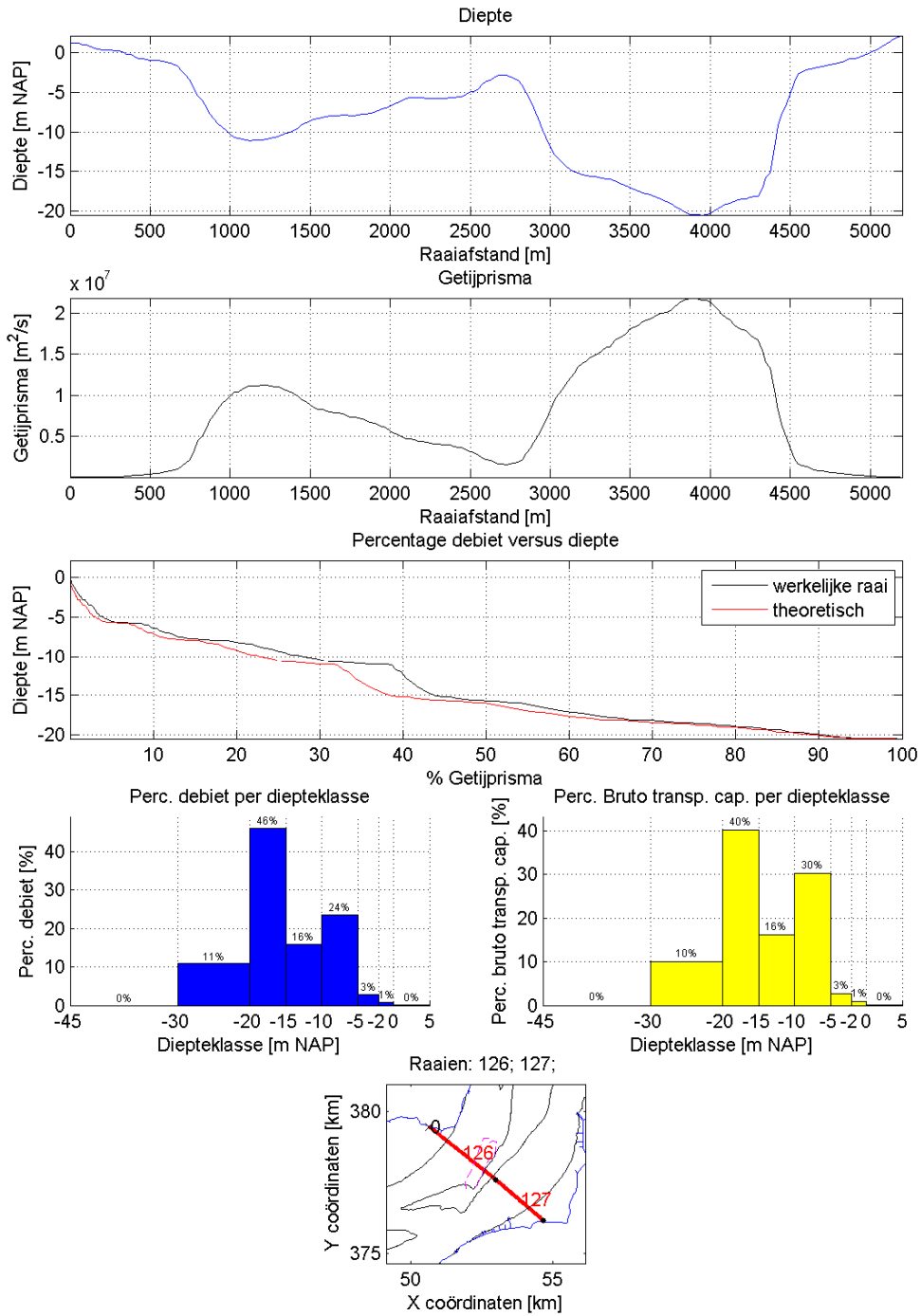
Figuur K.9 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plaatrandstorting Rug van Baarland



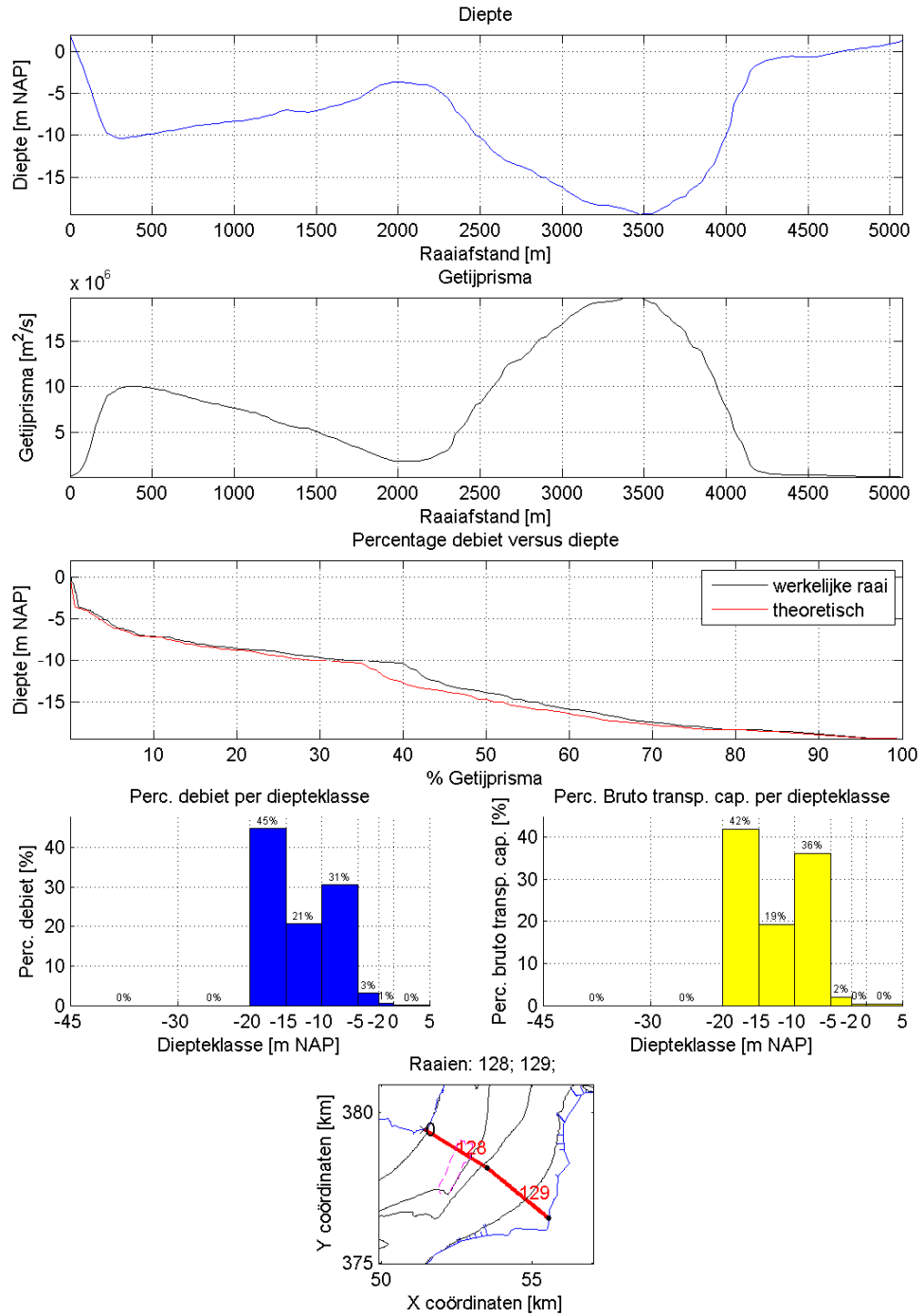
Figuur K.10 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Rug van Baarland



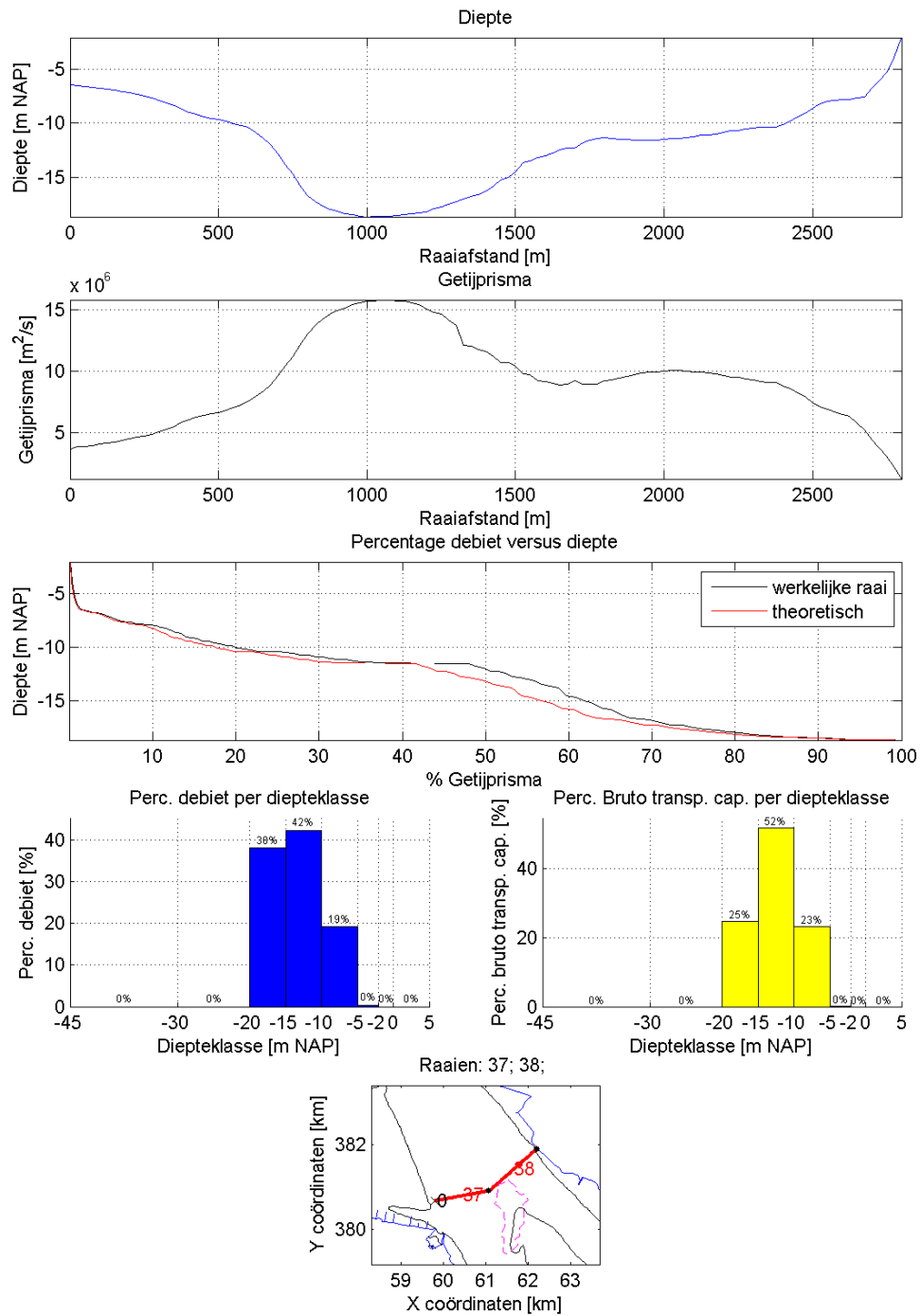
Figuur K.11 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plaatrandstorting Rug van Baarland



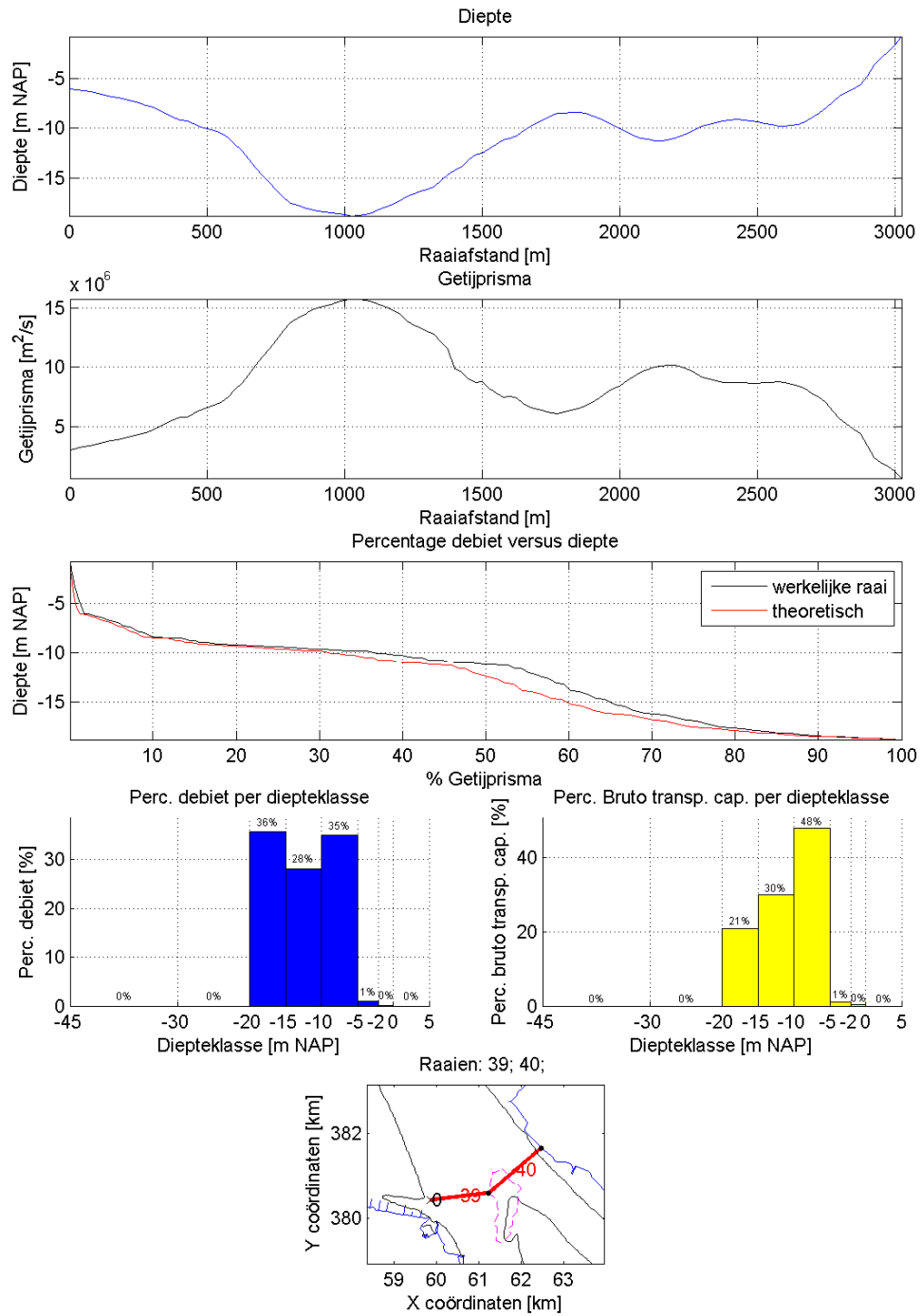
Figuur K.12 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Rug van Baarland



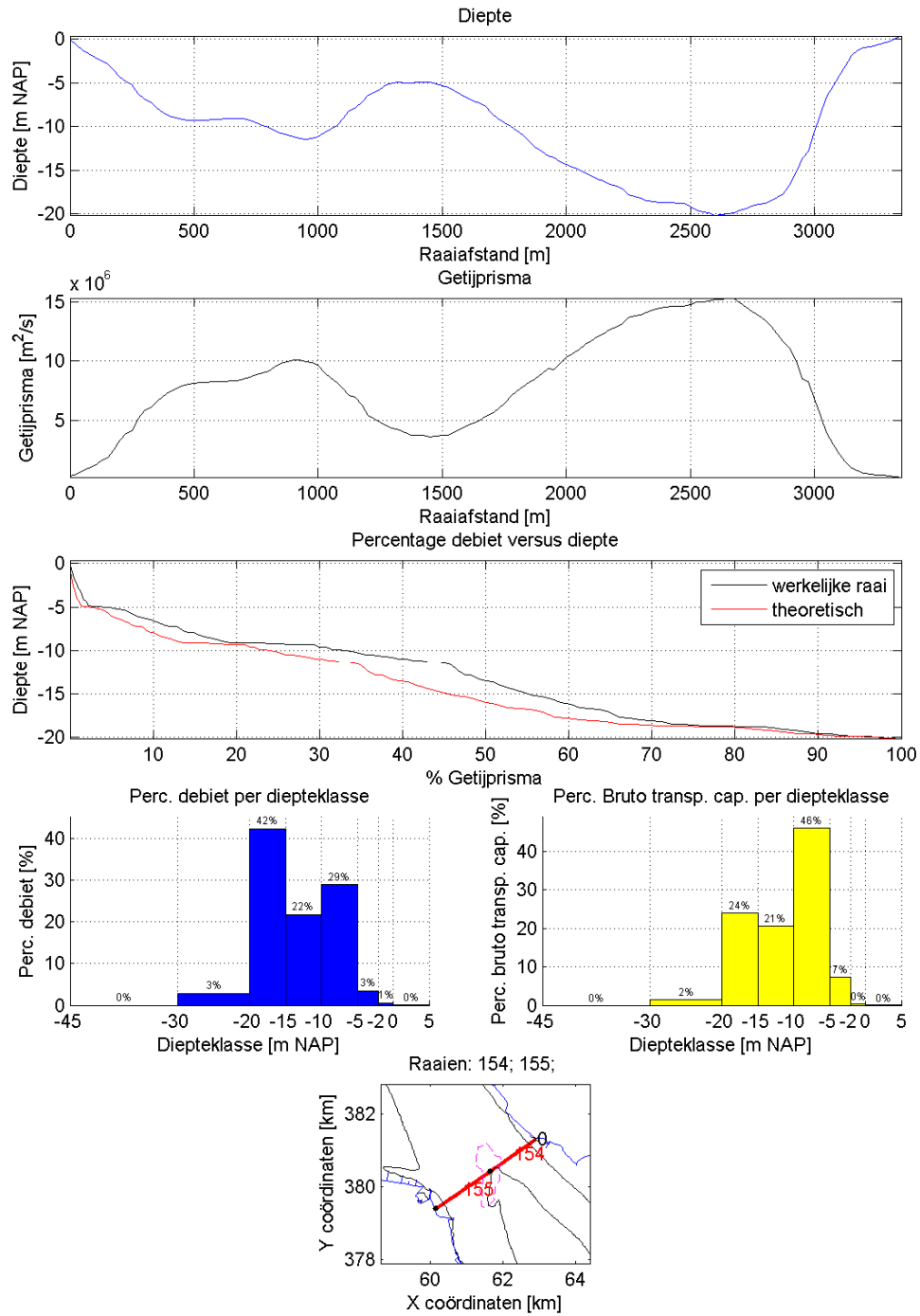
Figuur K.13 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Rug van Baarland



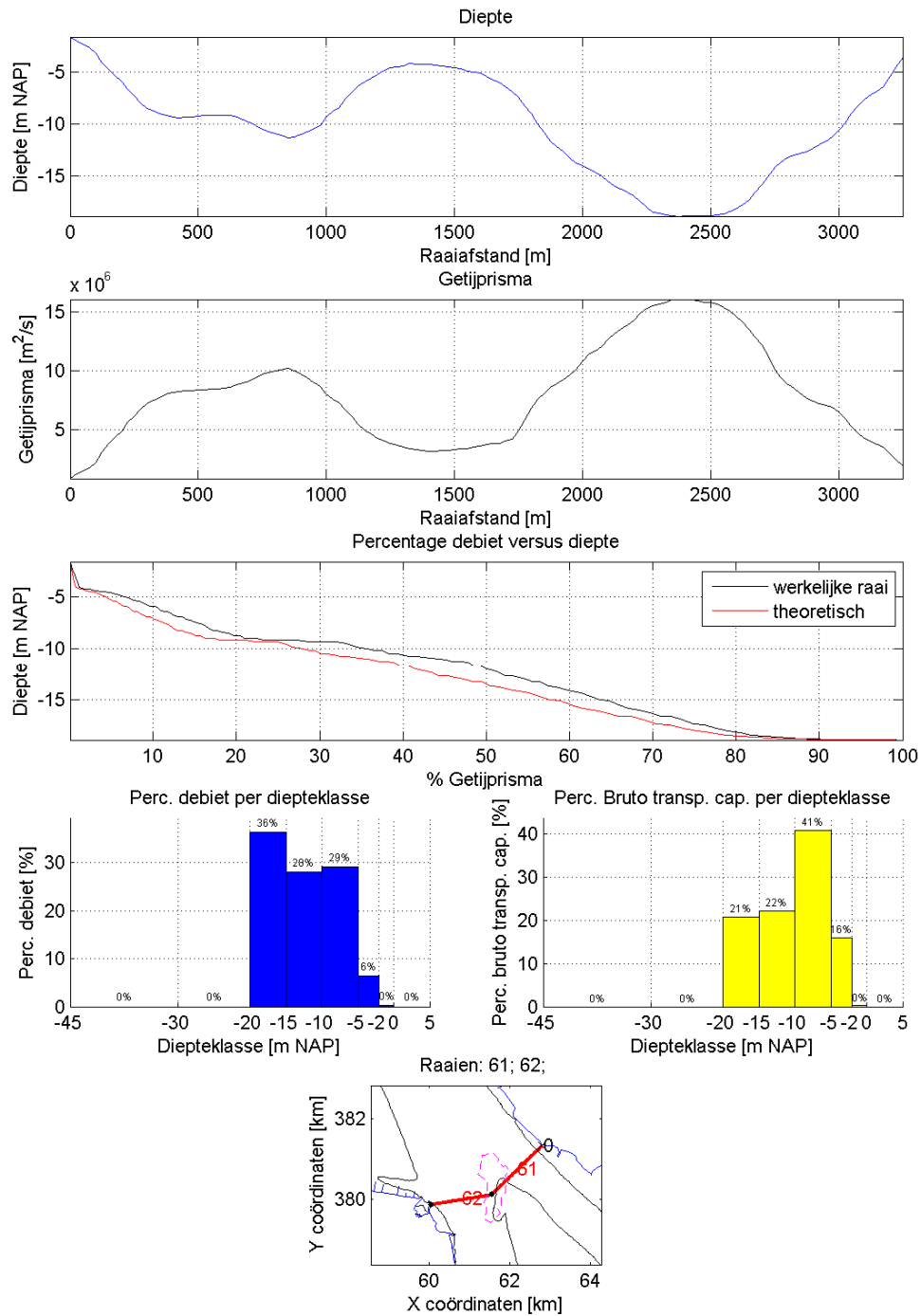
Figuur K.14 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Walsvoorden



Figuur K.15 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Walsoorden



Figuur K.16 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Walsoorden



Figuur K.17 Verdeling van het debiet en sedimenttransport bij plastrandstorting Walsoorden

L Simulatie koerslijnen en ondergrenzen

In deze bijlage worden de koerslijnen weergegeven volgens de drie beleidskeuzes die ter illustratie zijn uitgewerkt:

- 1 Voortzetting van het beleid en beheer voor vaargeulonderhoud zoals tijdens de meest recente trendperiode (tot 2010) over t jaren

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2009}(i) + trend V_{tot}(i) \cdot t$$

- 2 Stoppen met storten in de nevengeulen, gericht op stimuleren / herstel van meer natuurlijke ontwikkelingen over t jaren

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2009}(i) + trend V_{net}(i) \cdot t$$

- 3 Maximaal benutten van de theoretische stortcapaciteit in de nevengeulen volgens de praktische richtlijn en waargenomen recente trends over t jaren

$$koerslijn(i, t) = V_{tot,2009}(i) + trend V_{net}(i) \cdot t - SC_{geul}(i) \cdot t$$

De ondergrens voor elk scenario luidt:

$$ondergrens(i, t) = koerslijn(i, t) - 2\sigma_{V_{net}}(i) - SC_{plaatrand}(i)$$

In bovenstaande formules is

i	nummer van de macrocel
t	jaar t.o.v. 2009
$V_{tot,2009}(i)$	het gemeten geulvolume in 2009
$V_{net}(i)$	het gemeten geulvolume gecorrigeerd voor cumulatieve ingrepen
$\sigma_{V_{net}}(i)$	standaarddeviatie van de trend in V_{net}
$SC_{geul}(i)$	theoretische stortcapaciteit in de geul
$SC_{plaatrand}(i)$	stortvolume op de plaatrand

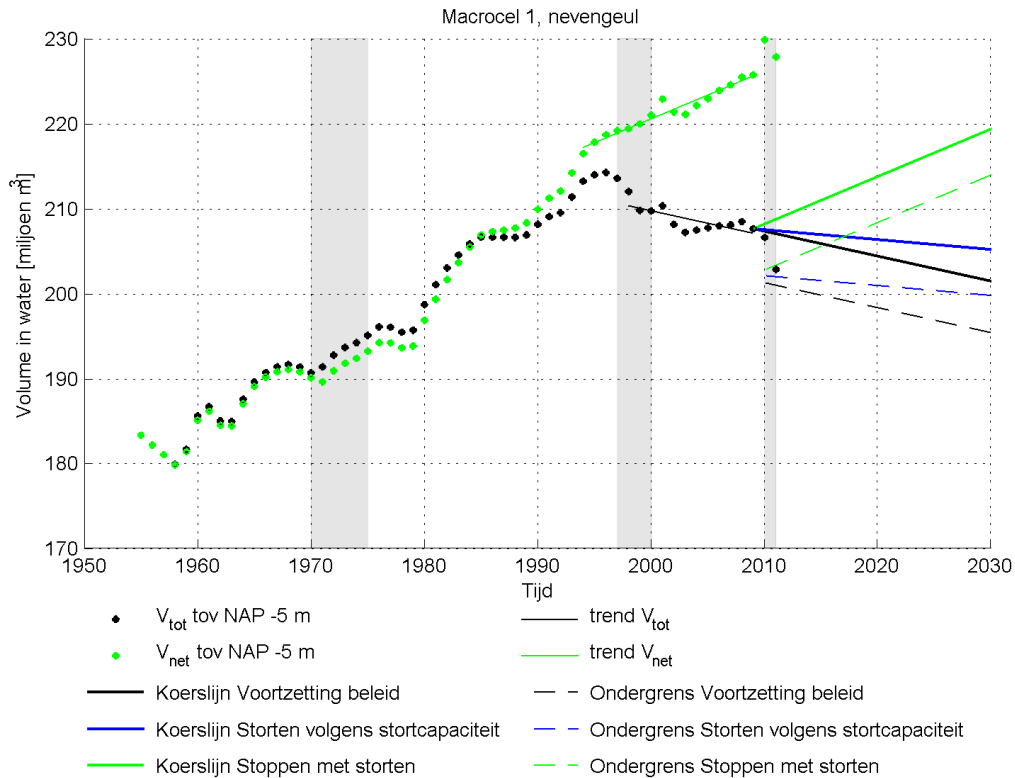
Voor de simulatie van de koerslijnen en ondergrenzen in deze bijlage wordt opgemerkt dat naarmate er wijzigingen optreden in de snelheid waarmee het geulvolume verandert, of er een trendbreuk optreedt in de geulvolumina, de theoretische stortcapaciteit kan wijzigen. De kans dat dit gebeurt is groter naarmate de voorspelhorizon verder weg ligt. Deze moeten gaandeweg zeker opnieuw geëvalueerd worden.

L.1 Macrocel 1

In macrocel 1 is de nevengeul zonder ingrepen eroderend (V_{net} , groene stippen, neemt toe) maar in werkelijkheid verondiepend door de stortingen die sturend zijn (V_{tot} , zwarte stippen). Bij voortzetting van het beleid tijdens de meest recente trendperiode (1998-2009) zal de geul verder verondiepen met ca. 0.3 miljoen m³/jaar. Deze verwachte geulontwikkeling is met een dikke zwarte lijn weergegeven. Tijdens deze periode is eerst meer gestort dan de theoretische stortcapaciteit (tijdens de tweede verruiming), en vervolgens ongeveer evenveel als de theoretische stortcapaciteit. Hierdoor zal als wordt gestort volgens de richtlijn voor theoretische stortcapaciteit de nevengeul iets minder snel verondiepen, met ruim 0.1 miljoen m³/jaar. Deze koerslijn is ingetekend met een blauwe lijn. Als wordt gestopt met storten, zal de nevengeul gaan eroderen, met hooguit 0.5 miljoen m³/jaar, zie de groene lijn.

De bijbehorende ondergrenzen (gestreepte lijnen) voor deze drie koerslijnen worden gevormd door de koerslijn te verminderen met 2x de fluctuatie rond de trend (standaarddeviatie van de residuen van de trend) afgetrokken. Daarnaast is een volume in rekening gebracht voor de plaatrandstortingen, aangezien geaccepteerd is dat het geulvolume van de nevengeul verkleind in ruil voor meer ecologisch waardevol gebied. In macrocel 1 mag 8.2 miljoen m³ gestort worden verspreid over twee plaatrandstortzones (Hooge Platen West en Hooge Platen Noord). Enkel

Hooge Platen Noord ligt in de nevengeul, de helft van het vergunde volume is in rekening gebracht (4.1 miljoen m³).

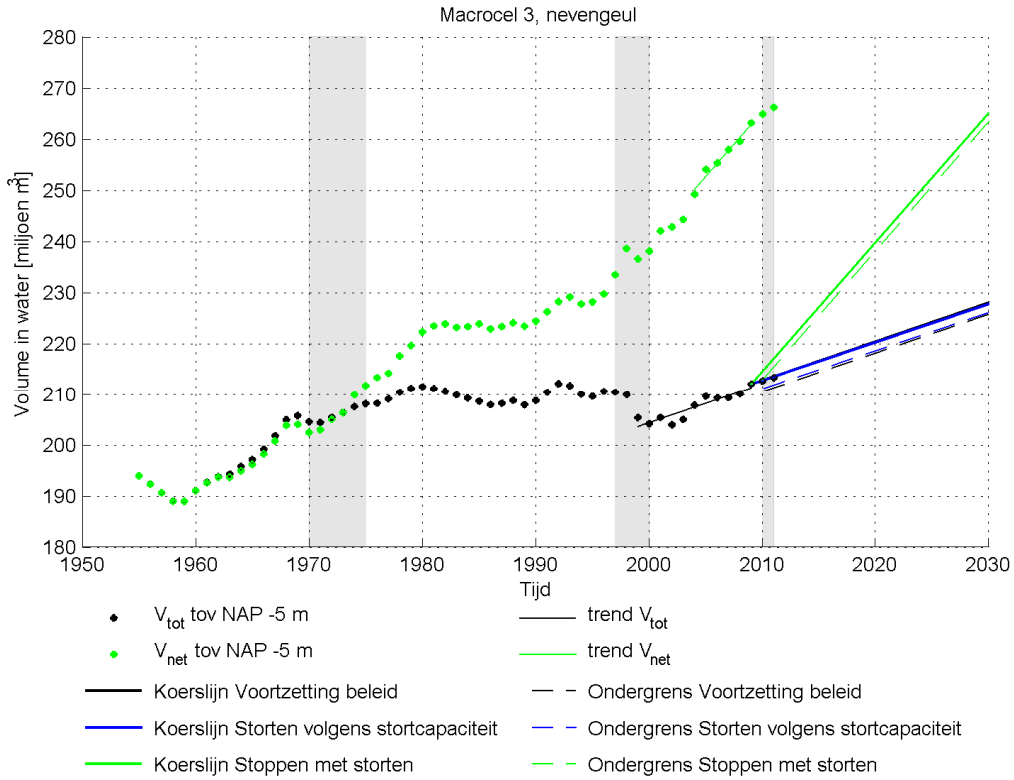


Figuur L.1 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 1 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

L.2 Macrocel 3

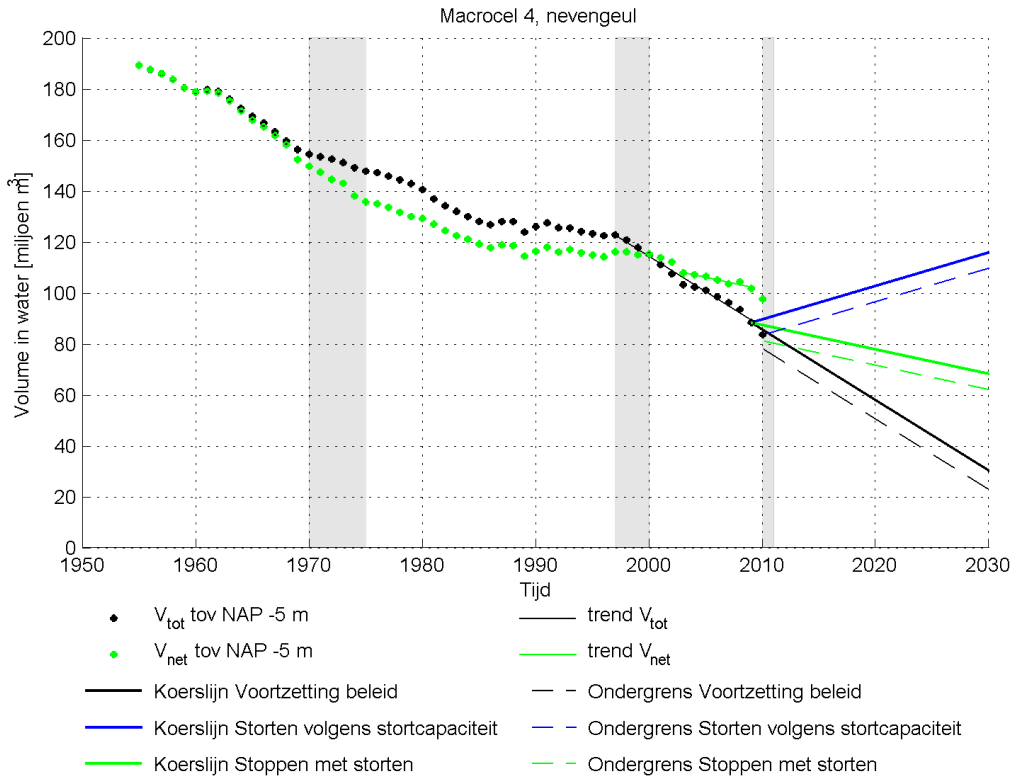
Zowel V_{net} als V_{tot} tonen een stijgende trend: het watervolume neemt toe, maar enigszins afgezwakt door stortingen. Zowel in V_{tot} als V_{net} komen trendbreuken voor, de meest recente trendbreuken treden op in resp. 1999 en 2004. Sinds 2004 is er ongeveer evenveel gestort als de theoretische stortcapaciteit, waardoor de lijnen van de scenario's 'Voortzetting beleid' en 'Storten volgens richtlijn stortcapaciteit' over elkaar vallen. Bij deze scenario's zal het geulvolume nog met ongeveer 0.8 miljoen kuub per jaar eroderen. Als wordt gestopt met storten, zal de nevengeul nog sneller eroderen.

In deze macrocel kan het aantrekkelijk zijn meer te storten dan volgens de theoretische richtlijn voor de stortcapaciteit, namelijk zoveel dat het nevengeulvolume meer of meer constant blijft. Kanttekening hierbij is dat als het stortvolume in macrocel 3 wordt verhoogd, er kans is dat een deel van dit stortvolume uiteindelijk in het Middellgat beland, waardoor de sedimentatie nog verder kan worden versneld. Een nadere studie zou daarom uit moeten wijzen of een vergroting van de vergunde stortvolumina in de nevengeul van macrocel 3 wenselijk is.



Figuur L.2 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 3 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

L.3 Macrocel 4



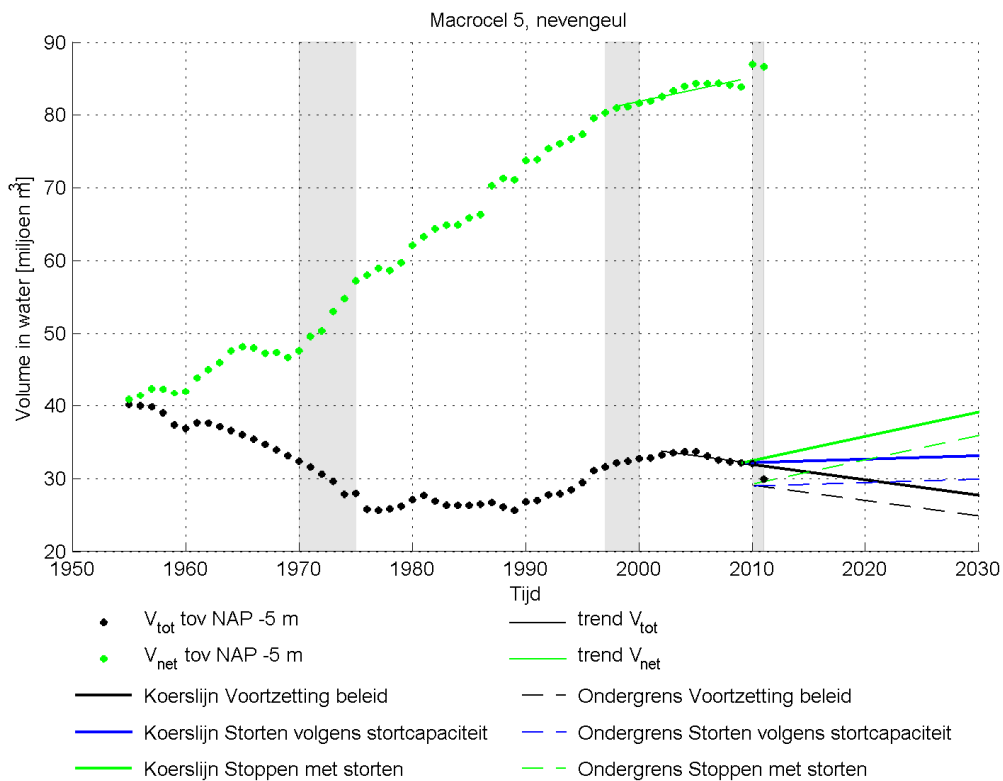
Figuur L.3 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 4 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

In macrocel 4 wordt in V_{tot} en V_{net} een trendbreuk waargenomen in 1997 resp. 2003. Het storten in de nevengeul versterkt de sedimenterende (natuurlijke) trend. De lange-termijn verwachting is dat de geul verder sedimenteert, zowel met als zonder storten. Bij voorzetting van het beleid tijdens de meest recente trendperiode (1997-2009) zal de geul sneller sedimenteren dan als gestopt wordt met storten, resp. met $2.8 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en maximaal 1 miljoen kuub per jaar. Wordt er ingegrepen volgens de theoretische stortcapaciteit, dan moet er worden gebaggerd en zal het geulvolume iets toenemen (blauwe lijn).

L.4 Macrocel 5

In macrocel 5 is de nevengeul aan het sedimenteren als gevolg van stortingen. De ‘natuurlijke’ trend wijst op een erosieve trend. In de ontwikkeling van V_{tot} ligt de laatste trendbreuk in 2002 en bij V_{net} in 1998. Als in de toekomst wordt gestort volgens de theoretische stortcapaciteit, zal het geulvolume ongeveer gelijk blijven. Wordt er niet meer gestort, dan zal de nevengeul naar verwachting iets uitruimen. Voorzetting van het beleid tijdens de meest recente trendperiode (2002-2009) leidt tot sedimentatie in de nevengeul. Dit komt doordat er over deze periode meer is gestort dan de theoretische stortcapaciteit.

Omdat de plaatrandstortingen op de punt van de plaat van Walsoorden grotendeels in het domein van de hoofdgeul worden uitgevoerd, wordt deze slechts voor 1/3 deel meegenomen in de ondergrensdefinitie.

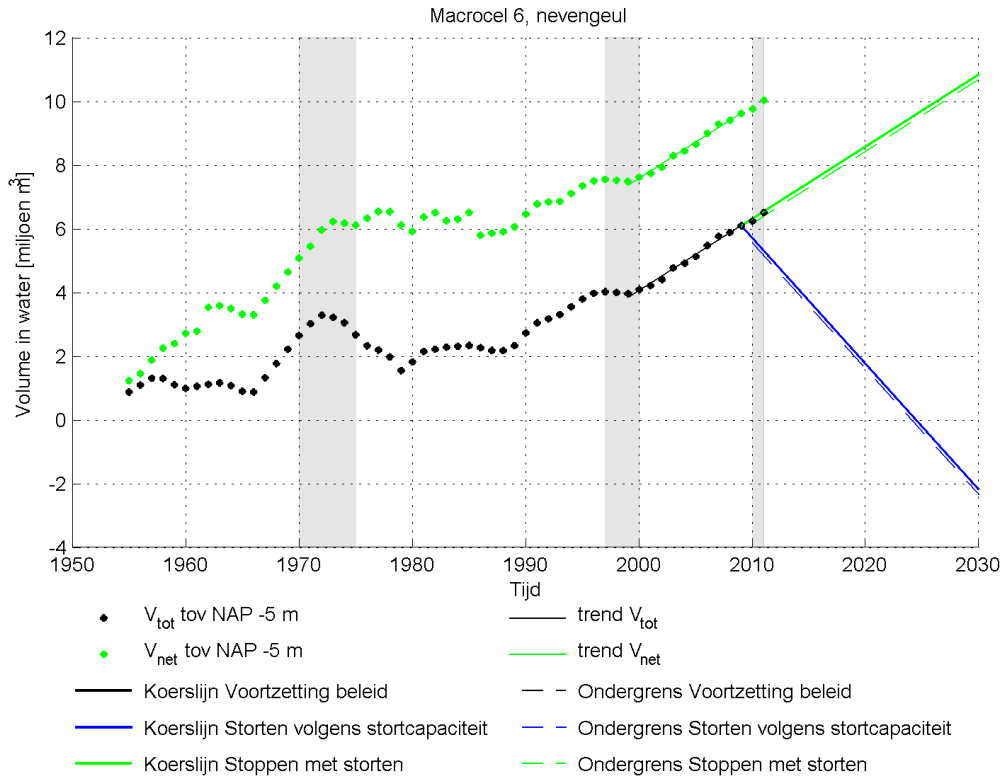


Figuur L.4 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 5 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

L.5 Macrocel 6

De ontwikkeling van V_{net} en V_{tot} zijn tijdens de laatste trendperiode (voor beide reeksen 1999-2009) gelijklopend omdat in de nevengeul geen ingrepen worden uitgevoerd. De koerslijnen voor ‘Voortzetting beleid’ en ‘Stoppen met storten’ liggen daarom over elkaar heen. De blauwe lijn laat

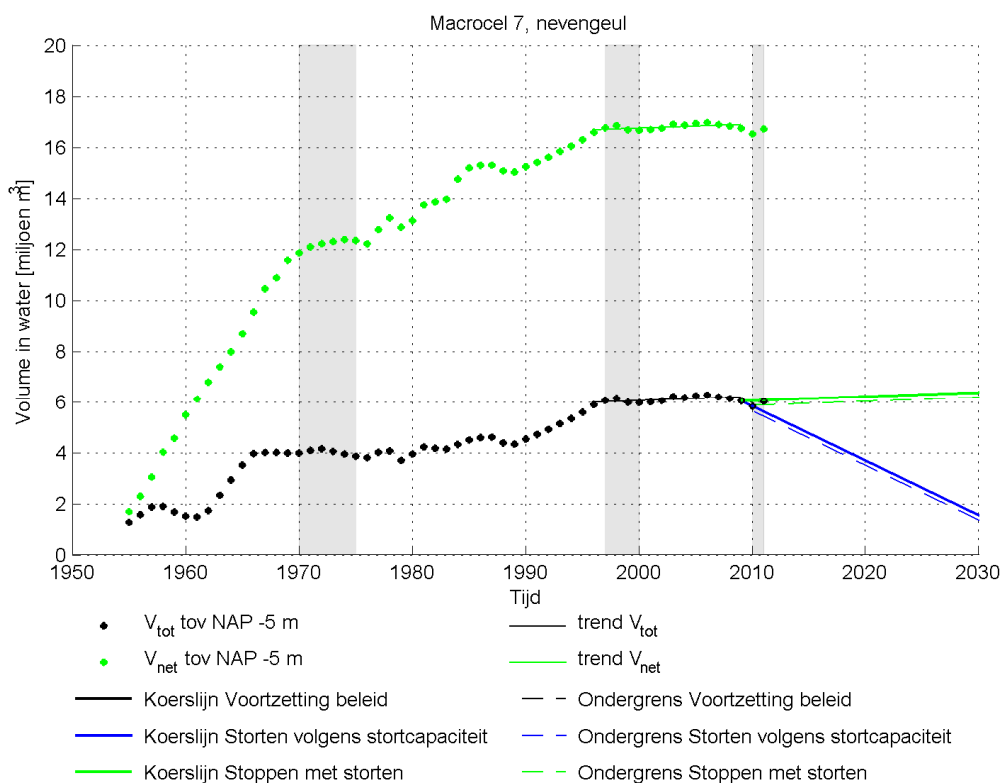
zien dat als er wel gestort wordt, de geul zal gaan sedimenteren en zelfs geen volume meer beneden de NAP -5m hebben in 2025. Na enige tijd zal de kwalificatie van de nevengeul en de volume-ontwikkeling echter dusdanig gewijzigd zijn dat een trendbreuk optreedt, waarna een nieuwe theoretische stortcapaciteit van kracht zal worden. Vandaar dat de blauwe lijn hier weinig betekenis heeft.



Figuur L.5 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 6 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

L.6 Macrocel 7

De nevengeul van macrocel 7 is in evenwicht, er zijn geen stortingen en het geulvolume verandert nauwelijks, daarom lopen de koerslijnen van de beleidskeuzes 'Voortzetting beleid' en 'Stoppen met storten' wederom over elkaar heen. Net als bij macrocel 6 laat de blauwe lijn een afname van het geulvolume zien, omdat als er gestort wordt volgens de theoretische stortcapaciteit er sedimentatie zal optreden. Ook hier geldt dat na enige tijd zal de kwalificatie van de nevengeul en de volume-ontwikkeling zodanig gewijzigd zal zijn dat een trendbreuk optreedt, waarna een nieuwe theoretische stortcapaciteit van kracht zal worden. Vandaar dat de blauwe lijn ook hier weinig betekenis heeft. Bovendien wordt de macrocel begrensd door een leidam, waardoor deze anders functioneert dan de macrocellen waarvoor de theoretische stortcapaciteit is afgeleid.



Figuur L.6 V_{tot} en V_{net} van de nevengeul van macrocel 7 over de periode 1955-2011, met visualisatie van de beleidskeuzes met doorgetrokken dikke lijnen en ondergrenzen in streeplijnen weergegeven tot 2030.

L.7 Vergelijking met huidige ondergrens

De ondergrenzen uit het huidige criterium nevengeulen en de nieuwe ondergrenzen (o.b.v. koerslijnen) voor het jaar 2015 worden vergeleken in Tabel L.1. Dit laat zien dat als volgens de richtlijn voor theoretische stortcapaciteit moet worden gestort, er een hogere ondergrens wordt afgeleid voor macrocel 3, 4 en 5 ten opzichte van de huidige ondergrens. De ondergrens wordt dus eerder bereikt, en is voor macrocel 3 en 4 zelfs al bereikt. In macrocel 3 moet het geulvolume nog toenemen, aangezien de nevengeul daar in alle scenario's erodeert, ook als er gestort wordt. Voor macrocel 1, 6 en 7 is de ondergrens volgens het scenario 'Storten volgens theoretische stortcapaciteit' lager dan de huidige ondergrens.

Tabel L.1 Vergelijking ondergrenzen. Volumina in miljoen m^3 .

Macro cel	V_{tot} nevengeul in 2009	Huidige ondergrens t/m 2015	Ondergrens 'Voortzetting beleid' in 2015 (1)	Ondergrens Storten volgens SC in 2015 (2)	Ondergrens Stoppen met storten in 2015 (3)
1	207.6	202.9	199.8	201.5	205.6
3	212.0	204.4	214.3	214.8	225.5
4	88.3	75.2	64.3	90.0	76.4
5	32.1	27.8	28.0	29.2	30.9
6	6.1	4.2	7.3	3.6	7.3
7	6.0	5.6	5.9	4.6	5.9