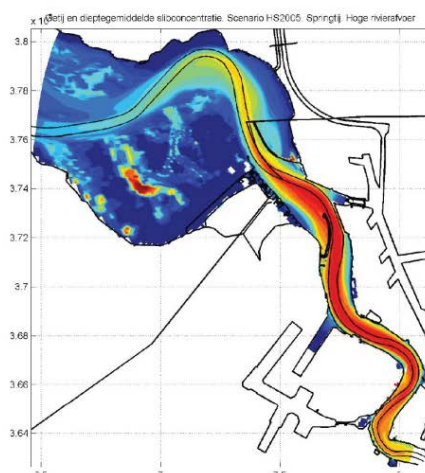


Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid

Analyse havenstortvak W13

Basisrapport specifieke beheervragen B-21

01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

☎: + 32 3 270 92 95

📠: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

☎: + 31 (0)88 335 8273

📠: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

☎: +31 10 467 13 61

📠: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Arnhem, Nederland

☎: +31 (0)26 377 89 11

📠: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Analyse havenstortvak W13
Project	Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.108/GVH
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\B-21 - Analyse stortvak W13_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	23/05/12	FINAAL	Dr. Ir. T. van Kessel. et al	M. Taal	T. Schilperoort
1.1	31/03/13	Klaar voor revisie	Dr. Ir. T. van Kessel. et al	M. Taal	T. Schilperoort
2.0	01/10/13	Finaal	Dr. Ir. T. van Kessel. et al	M. Taal	T. Schilperoort

Verdeellijst

1	Analoog	Youri Meersschaut
1	Digitaal	Youri Meersschaut

Analyse stortvak W13

dr. ir. T. van Kessel
dr. ir. J.J. van der Werf
A. Giardino Ph.D.

1204409-000

Titel

Analyse stortvak W13

Opdrachtgever

Waterdienst & Vlaamse
overheid

Project

1204409-000

Pagina's

34

Trefwoorden

zand slib verspreidingsmodel gegevensanalyse stortvak W13 Sloehaven Westerschelde

Samenvatting

De werkzaamheden aan stortvak W13 bestaan uit de volgende onderdelen:

- Gegevens-analyse van waargenomen morfologische ontwikkeling rondom stortvak W13 (zowel bodemhoogte als bodemsamenstelling)
- Berekening van slibverspreiding vanuit stortvak W13 en alternatieve locaties
- Berekening van zandverspreiding vanuit stortvak W13 en alternatieve locaties

Deze onderdelen komen in dit rapport achtereenvolgens aan bod. Tenslotte worden de conclusies van alle drie onderdelen verwoord.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	sep. 2011	dr. ir. T. van Kessel		ir. M.D. Taal		ir. T. Schilperoort	
		dr. ir. J.J. van der Werf					
		A. Giardino Ph.D.					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Morfologische gegevensanalyse rondom stortvak W13	2
2.1 Gegevens	2
2.2 Gegevensanalyse	4
3 Slibverspreiding vanaf stortvak W13	16
3.1 Hoe snel verspreidt het slib zich?	16
3.2 Waar gaat het slib uiteindelijk naartoe?	18
4 Zandverspreiding vanaf stortvak W13	21
4.1 Beschrijving Delft3D model	21
4.2 Modelsimulaties	22
4.3 Resultaten	23
5 Conclusies	32
6 Referenties	34

1 Inleiding

De werkzaamheden aan stortvak W13 bestaan uit de volgende onderdelen:

- 1 Gegevens-analyse van waargenomen morfologische ontwikkeling rondom stortvak W13 (zowel bodemhoogte als bodemsamenstelling)
- 2 Berekening van slibverspreiding vanuit stortvak W13
- 3 Berekening van zandverspreiding vanuit stortvak W13

Het eerste onderdeel is gebaseerd op een recent uitgevoerde bredere gegevensanalyse van de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde. Een specifieke beschouwing van stortvak W13 was echter nog niet uitgevoerd, deze is daarom in dit rapport opgenomen.

Het onderdeel over slibverspreiding is, in algemene zin, eerder aan de orde geweest in het onderzoek LTV-slib. De rapportage heeft betrekking op de resultaten voor de stortlocatie W13 en maakt gebruik van het modelinstrumentarium ontwikkeld in het kader van LTV-slib.

Van het derde onderdeel, namelijk zandtransport, worden in dit rapport de eerste resultaten gepresenteerd. Naast referentieberekeningen met $d_{50} = 200 \mu\text{m}$ worden ook berekeningen gerapporteerd voor een fijne zandfractie ($d_{50} = 100 \mu\text{m}$) die meer representatief is voor de onderhoudsspecie uit het Sloegebied dan de gemiddelde korreldiameter in de Westerschelde ($d_{50} = 200 \mu\text{m}$).

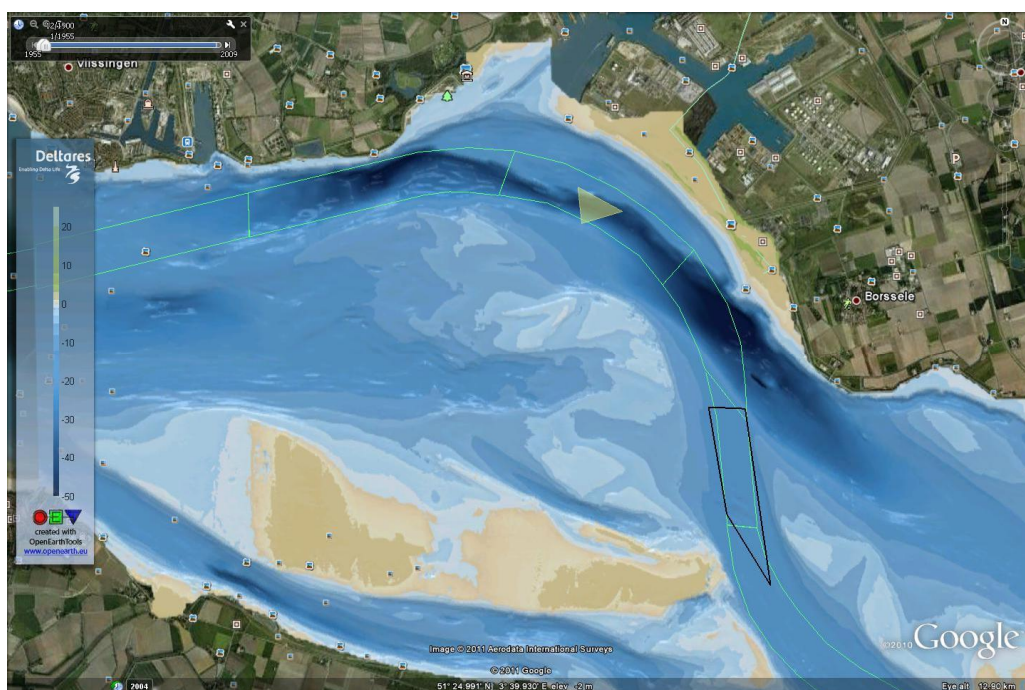
Tenslotte worden de integrale conclusies van alle drie onderdelen verwoord. De waargenomen ontwikkelingen zijn hierbij leidend, maar de interpretatie hiervan wordt ondersteund door de uitgevoerde verspreidingsberekeningen voor zand en slib. Onderzoek naar mogelijke alternatieve locaties voor stortvak W13 is niet opgenomen in het huidige rapport, maar zal in een volgend stadium aan bod komen.

2 Morfologische gegevensanalyse rondom stortvak W13

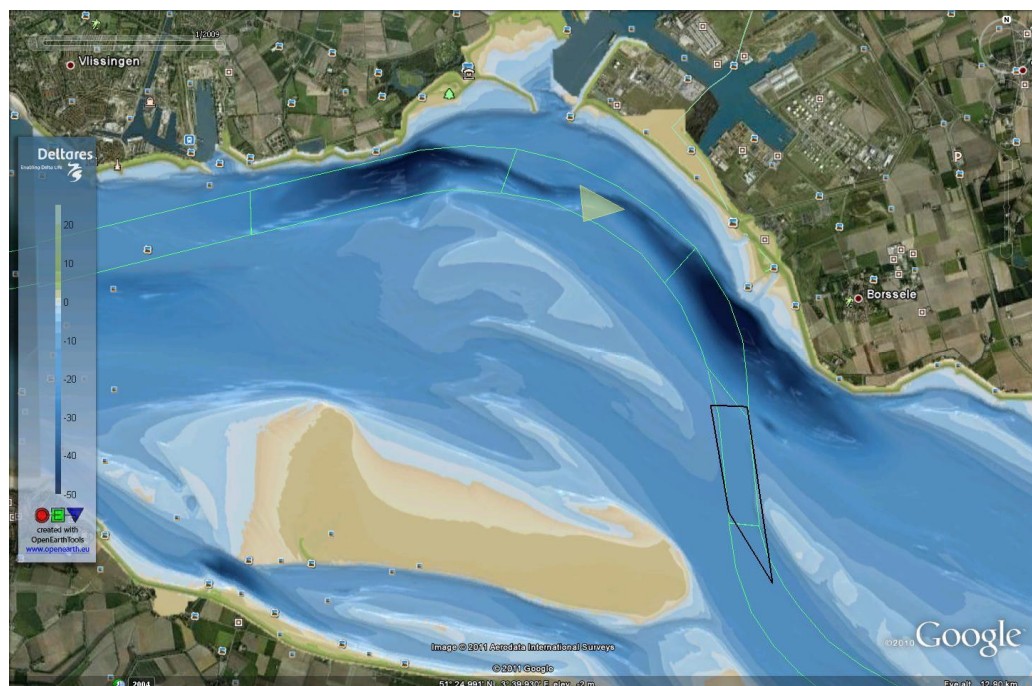
2.1 Gegevens

De langetermijn morfodynamica is bestudeerd op basis van vaklodingen data. Deze bodemliggingsgegevens zijn beschikbaar op een 20×20 m rooster. In het gebied van het stortvak W13 zijn gegevens beschikbaar tussen 1955 en 2009, in het begin elke drie jaar en recentelijk jaarlijks. Figuur 2.1 en Figuur 2.2 tonen de bodemligging [m NAP] voor de jaren 1955 en 2009, respectievelijk.

Bodemvolumeveranderingen zijn vergeleken met gestorte volumes in het stortvak W13 (gegevens zijn afkomstig Zeeland Seaports). Stortvolumes zijn beschikbaar vanaf 1985 (Tabel 2.1). Oudere data zijn op dit moment nog niet beschikbaar, maar het is aannemelijk dat er vanaf 1963, toen de haven Vlissingen-Oost (Sloehaven) geopend werd, gebaggerd sediment gestort werd in de Westerschelde. De vraag is of dit plaatsvond in stortvak W13, of dat er op andere locaties gestort werd.



Figuur 2.1 Vaklodingen van het jaar 1955. De driehoek geeft de positie van het stortvak W13 weer en de zwarte polygoon het baggergebied bij de drempel van Borssele. De vaargeul is aangegeven in groen.



Figuur 2.2 Vaklodingen van het jaar 2009. De driehoek geeft de positie van het stortvak W13 weer en de zwarte polygoon het baggergebied bij de drempel van Borssele. De vaargeul is aangegeven in groen.

Tabel 2.1 Volumes gestort tussen 1985 and 2010 in locatie W13 (zand +slib). Het betreft profielkuubs. Bron: Zeeland Seaports.

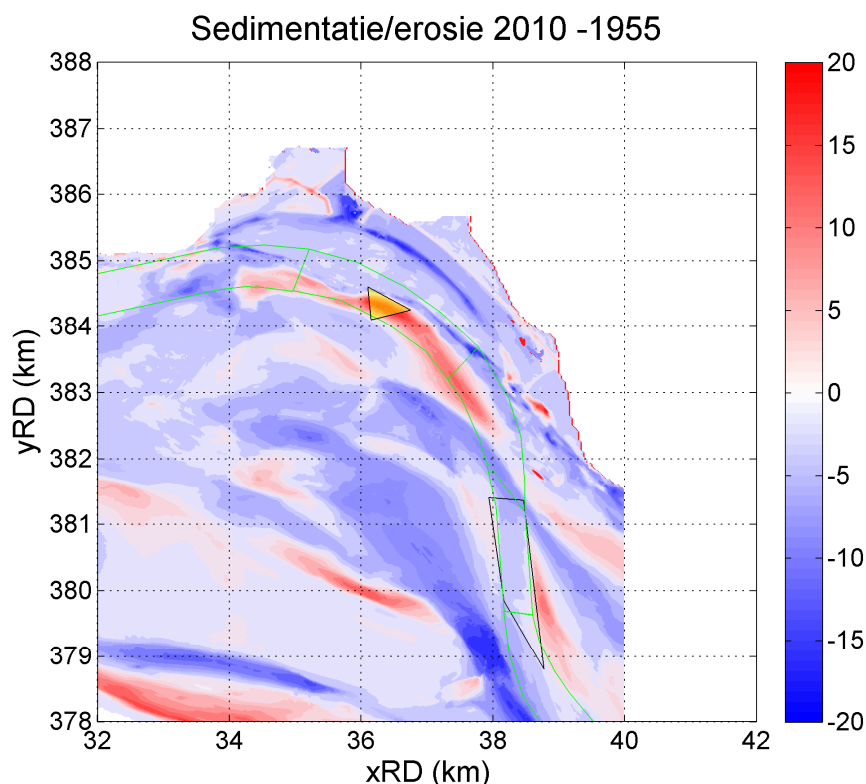
Jaar	Gestort volume(x 10 ⁶ m ³)
1985	1.00
1986	1.13
1987	0.78
1988	3.15
1989	0.81
1990	0.83
1991	1.28
1992	0.55
1993	0.91
1994	1.08
1995	0.73
1996	0.75
1997	1.76
1998	0.27
1999	1.63
2000	1.57
2001	2.61
2002	2.21
2003	0.82
2004	2.00
2005	0.42
2006	0.82
2007	1.54
2008	1.85
2009	1.29
2010	1.03
Gemiddeld	1.26
Totaal	33

Tabel 2.1 toont dat er tussen 1985 en 2010 in totaal 33 Mm³ sediment gestort is in W13 (gemiddeld 1.3 Mm³/jaar). In 1988, 2001, 2002 en 2004 werd er meer dan 2 Mm³ sediment gestort, met 3.2 Mm³ in 1988 als maximum. In 1998 en 2005 werd er minder dan 0.5 Mm³ gestort, met 0.3 Mm³ in 1998 als minimum.

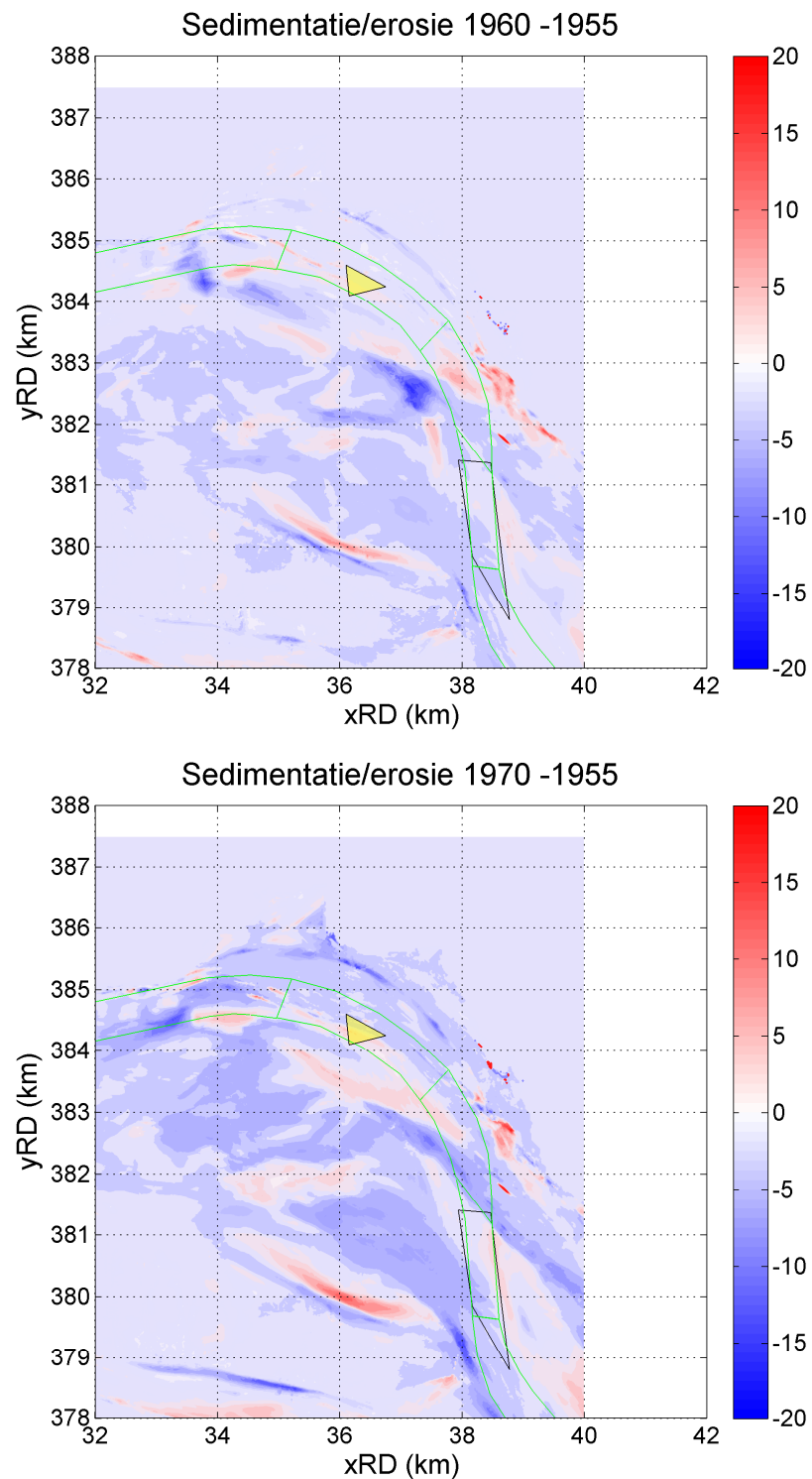
2.2 Gegevensanalyse

Figuur 2.3 tot en met Figuur 2.5 tonen sedimentatie-/erosiepatronen met 1955 als referentiejaar. Rood duidt op sedimentatie, blauw op erosie. Er zijn contourlijnen geplot met een interval van 2 m. Een maximale sedimentatie van meer dan 20 m in 2009 is zichtbaar in het stortvak en in het gebied ten noordwesten en zuidoosten hiervan, tot een afstand van ongeveer 2 km van het stortvak. De resultaten van het numerieke model laten een soortgelijk patroon zien (zie Hoofdstuk 4).

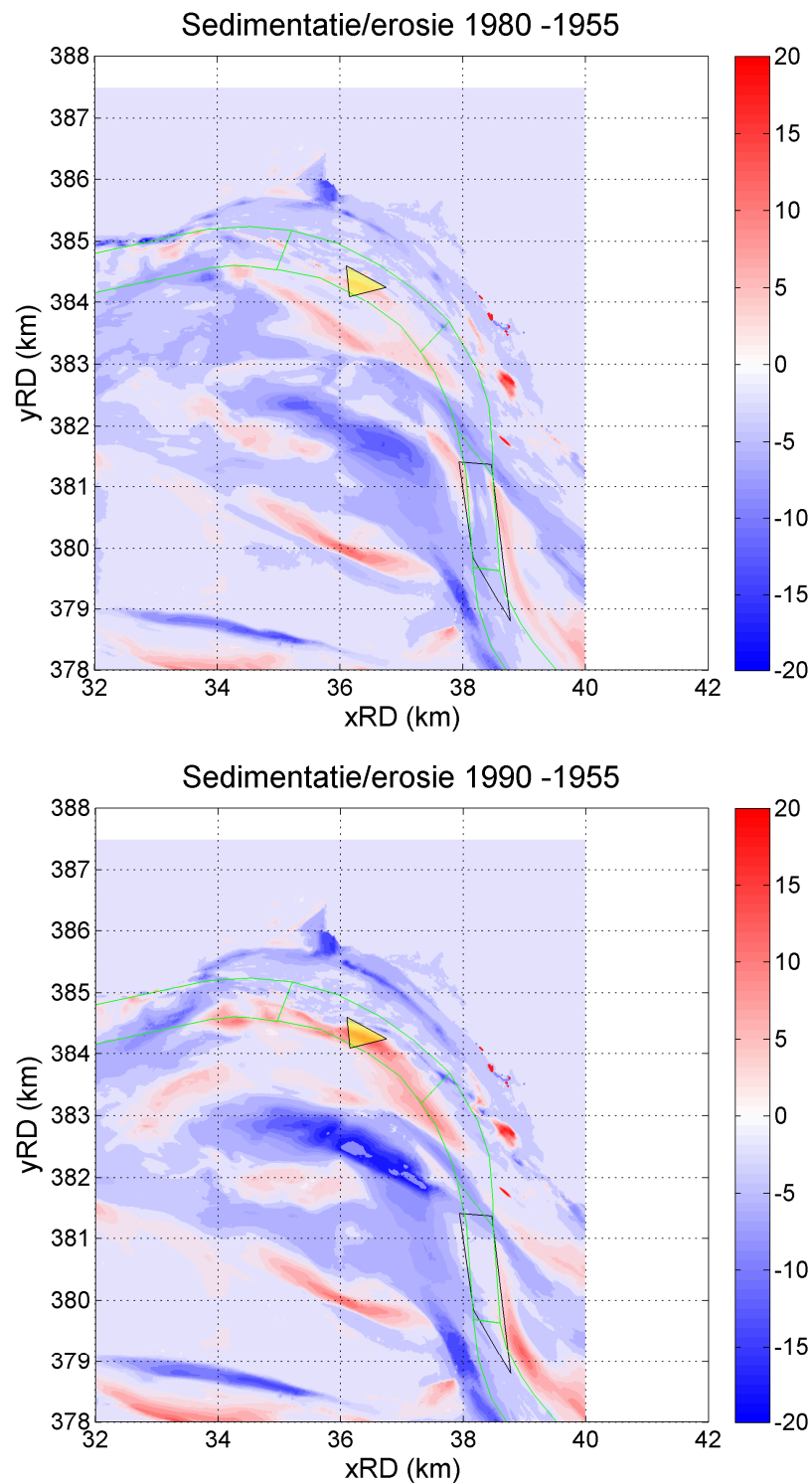
Het sedimentatieproces in het stortvak treedt op sinds het begin van de metingen, maar is sterker geworden vanaf de jaren '80. Dit kan mogelijk gerelateerd zijn aan een toename in de stortvolumes in die jaren, maar kan ook een natuurlijke oorzaak hebben. Een verdere analyse kan uitgevoerd worden zodra de historische stortgegevens (voor 1985) beschikbaar komen.



Figuur 2.3 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 2009 en 1955 (boven). De driehoek geeft de positie van het stortvak W13 weer en de zwarte polygoon het baggergebied bij de drempel van Borssele. De vaargeul is aangegeven in groen.



Figuur 2.4 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 1960 en 1955 (boven) en tussen 1970 en 1955 (onder). De driehoek toont de positie van het stortvak W13.



Figuur 2.5 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) tussen 1980 en 1955 (boven) en tussen 1990 en 1955 (onder). De driehoek toont de positie van het stortvak W13.

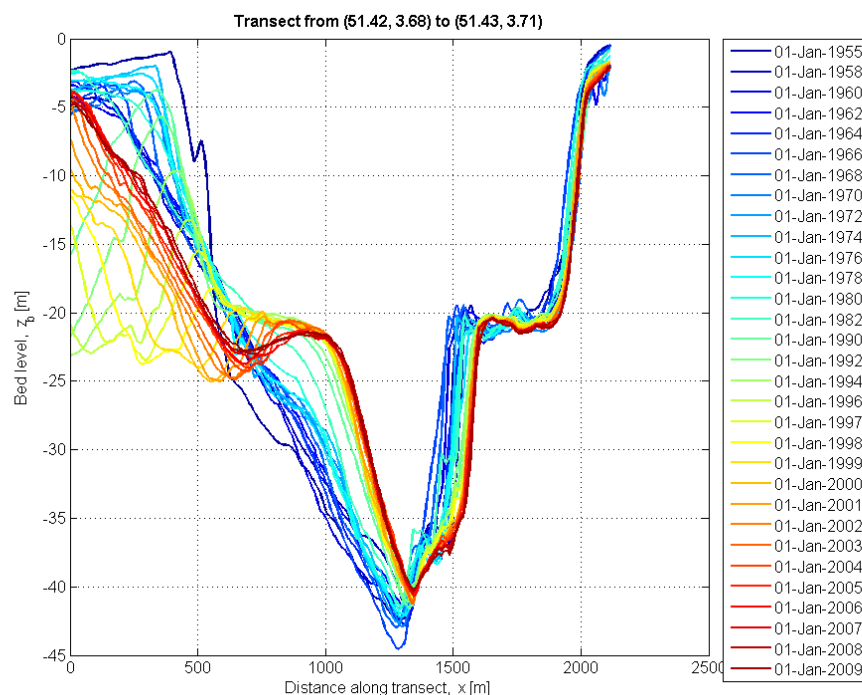
Met Figuur 2.7 tot en met Figuur 2.10 bestuderen we de morfologische ontwikkeling in verschillende raaien. De ligging van de raaien wordt getoond in Figuur 2.6. Vier raaien liggen dwars op de getijgeul (Tr_1, Tr_2, Tr_3, en Tr_4) en één raai langs de geul ("Long_trans").

Opvallend is de sedimentatietrend in het deel van stortvak W13 gelegen in de vaargeul, met een toename in bodemhoogte van ongeveer 20 m. In de jaren '50 (voor de constructie van de Sloehaven) was de sedimentatietrend in de vaargeul al zichtbaar, maar klein. Deze is waarschijnlijk gerelateerd aan de natuurlijke noordelijke migratie van de bank ten zuiden van het stortvak (zie ook Cleveringa, 2007). Deze trend is sneller geworden in de jaren '80, mogelijk door het storten van materiaal uit de haven. Plaatselijk bereikt de meest recente bodem -18 m NAP $\approx$ -16 m LAT (Figuur 2.10). Dat is ondieper dan de bovengrens voor het storten van materiaal in W13 (-20 m LAT) die sinds 2009 geldt. Bovendien is in de raaien tussen 1998 en 2009 een verdere toename zichtbaar in de bodemligging tussen $x = 0$ en $x = 400$ m (b.v. Tr_2, Tr_3). Dit is mogelijk gerelateerd aan het storten van materiaal in het stortvak ten zuiden van W13, afkomstig van vaargeulonderhoud (Figuur 2.13).

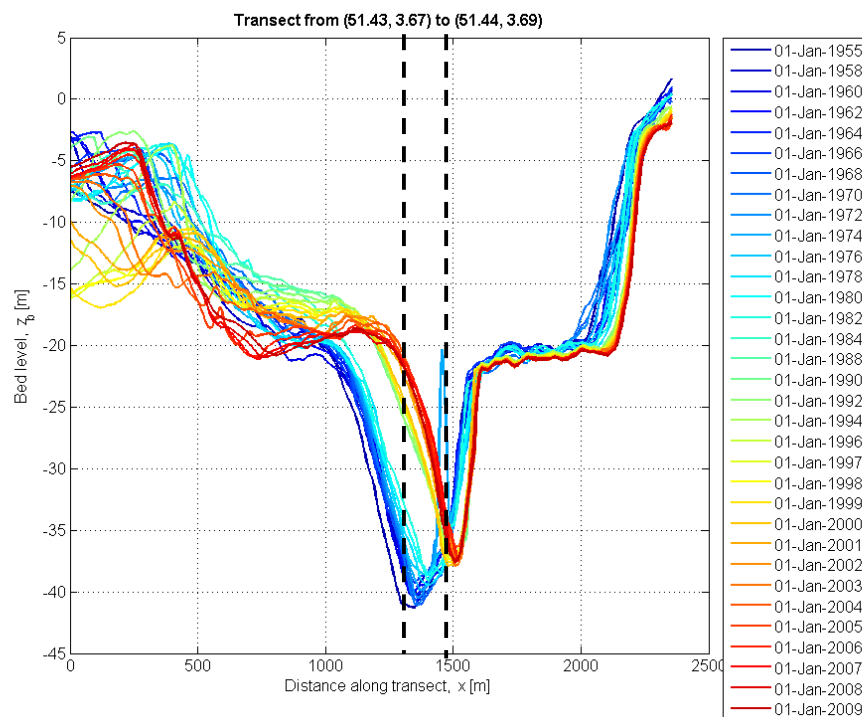
De verandering in bodemligging kan ook worden gerelateerd aan de stortvolumes in Tabel 2.1. Zo is het grote stortvolume in 2004 ($\approx 2 \text{ Mm}^3$) herkenbaar aan een grote toename in bodemhoogte binnen het stortvak in hetzelfde jaar (Figuur 2.9 en Figuur 2.11). Verder is net ten noorden van de vaargeul in de dwarsraaiplots de moeilijk erodeerbare laag duidelijk zichtbaar.



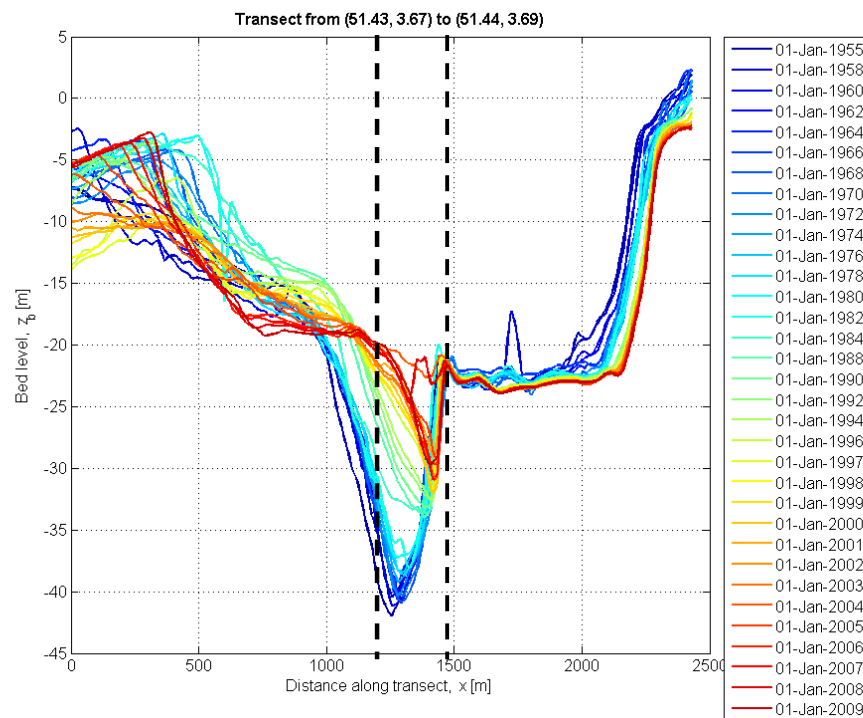
Figuur 2.6 Verschillende raaien die in het meer detail worden geanalyseerd. De driehoek toont de positie van het stortvak W13.



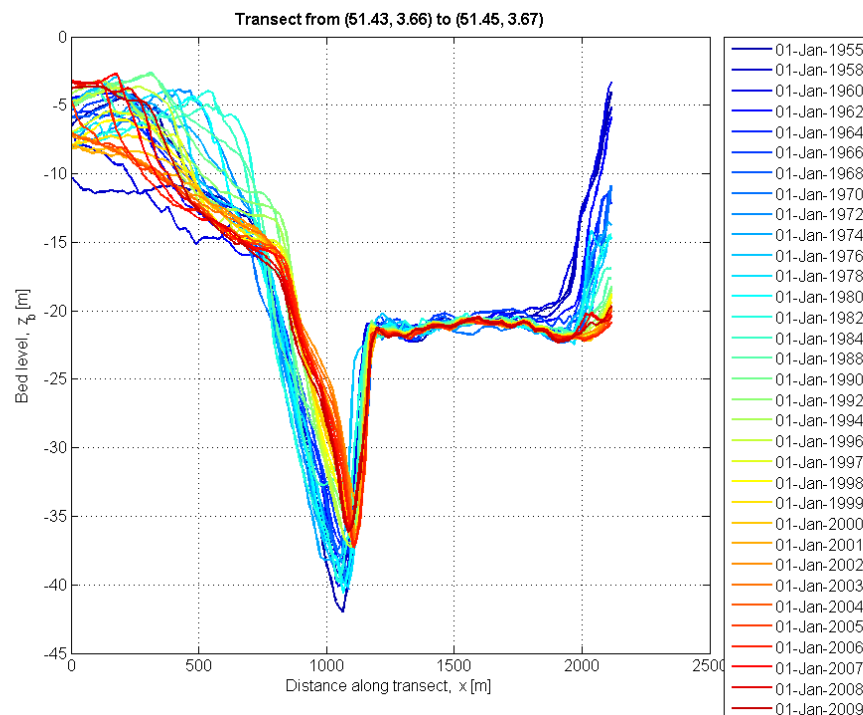
Figuur 2.7 Morfologische ontwikkeling in dwarsraai "Tr_1" van 1955 tot en met 2009. Bodem in m (NAP).



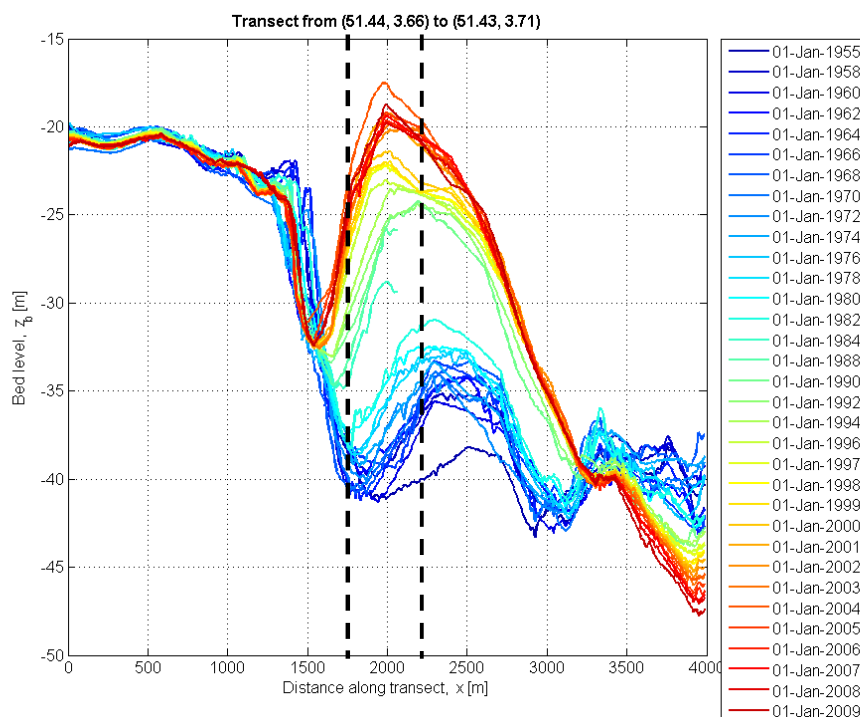
Figuur 2.8 Morfologische ontwikkeling in dwarsraai "Tr_2" van 1955 tot en met 2009. De gestippelde lijn geeft de ligging van het stortvak W13. Bodem in m (NAP).



Figuur 2.9 Morfologische ontwikkeling in dwarsraai "Tr_3" van 1955 tot en met 2009. De gestippelde lijn geeft de ligging van het stortvak W13. Bodem in m (NAP).



Figuur 2.10 Morfologische ontwikkeling in dwarsraai "Tr_4" van 1955 tot en met 2009. Bodem in m (NAP).

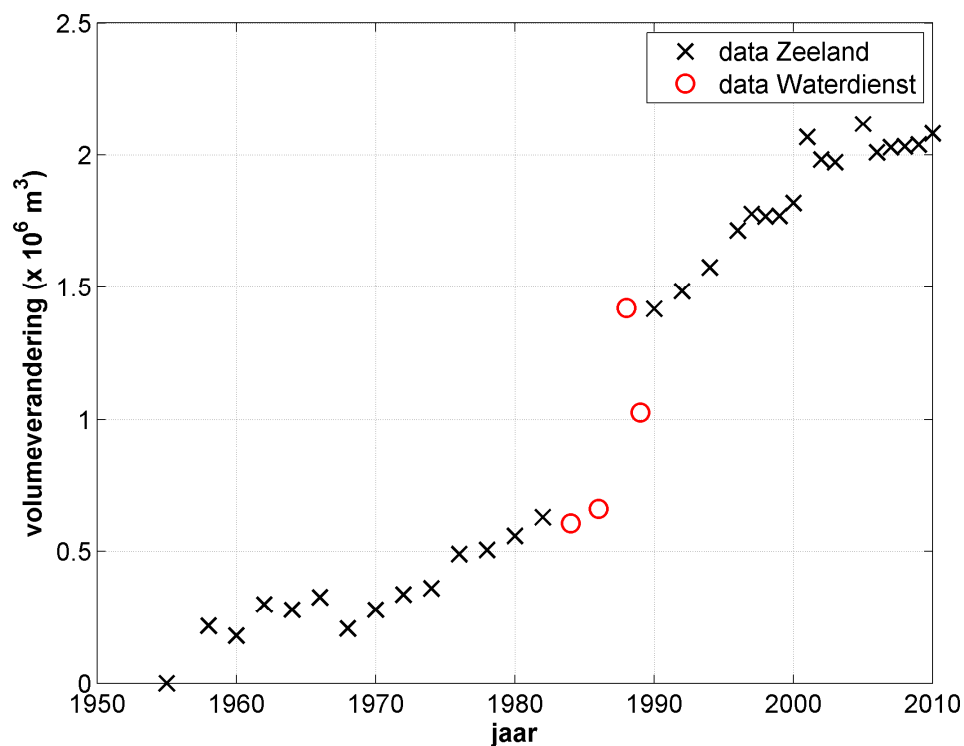


Figuur 2.11 Morfologische ontwikkeling in langssraai "Long_trans" van 1955 tot en met 2009. De gestippelde lijn geeft de ligging van het stortvak W13. Bodem in m (NAP).

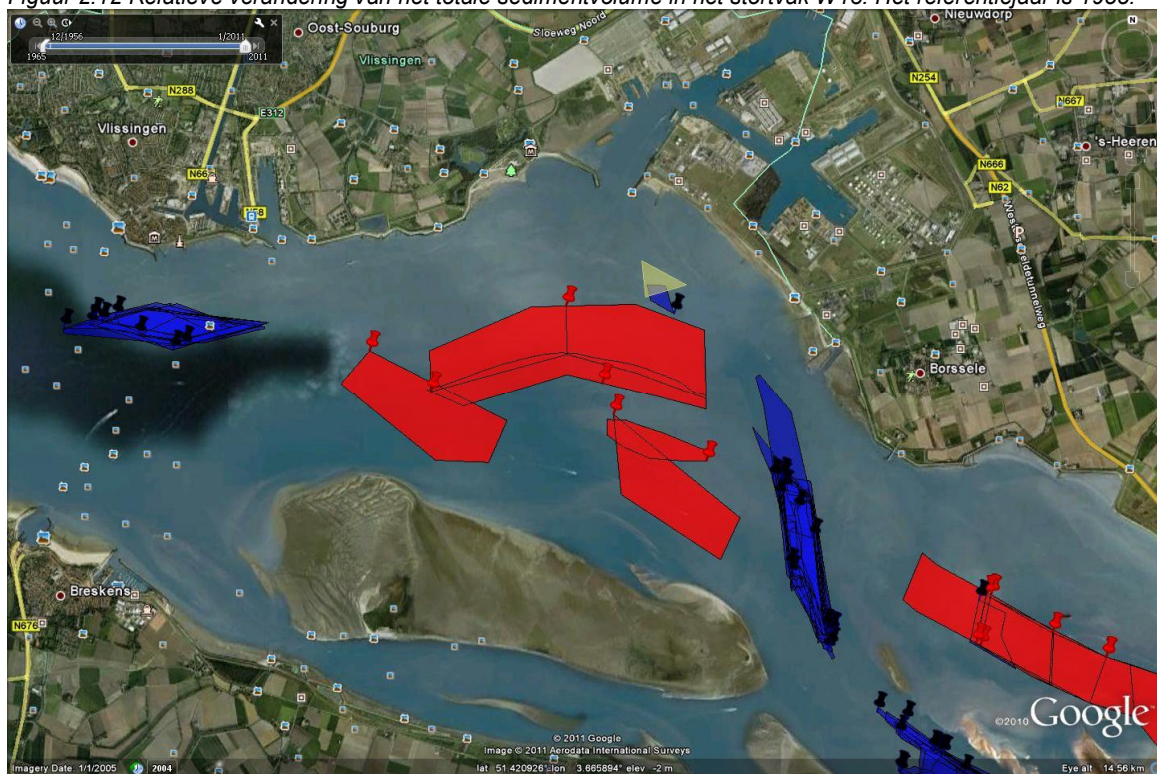
Figuur 2.12 toont de ontwikkeling in de tijd van het sedimentvolume in het stortvak. Hierbij zijn de Waterdienst-data gebruikt voor de jaren 1984, 1986, 1988 en 1989, aangezien de Zeeland data van deze jaren niet het gehele stortvak beslaan. Deze figuur toont een toename in sedimentvolume van ongeveer 2 Mm^3 tussen 1955 en 2009 ($\approx 40 \times 10^3 \text{ m}^3$ per jaar gemiddeld). Dat betekent dat het grootste deel van het gestorte sediment (gemiddeld $\approx 1.3 \text{ Mm}^3$ per jaar; Tabel 2.1) niet in het stortvak achterblijft, maar wordt geërodeerd en verspreidt in de nabije omgeving.

De grote hoeveelheden die gestort zijn in 1988, 2001 en 2004 zijn duidelijk herkenbaar als sprongen in de figuur. In de eerste jaren na de grote storting van 2004 is een afname van sedimentvolume zichtbaar in het stortvak (mede gerelateerd aan de relatief kleine hoeveelheden die gestort zijn in 2005 en 2006), gevolgd door drie jaar met redelijk stabiele volumes, ondanks de jaarlijkse stortingen. Dit geeft aan dat de verspreiding van sediment rond het stortvak in de laatste jaren is toegenomen door een afname van de diepte en een toename van de stroomsnelheid. Bovendien is er een recente toename in onderhoudsbaggerwerk op de nabijgelegen drempel (drempel van Borssele, zie Figuur 2.13) die waarschijnlijk de bodemligging van stortvak W13 beïnvloedt (en vice versa).

De gemiddelde diepte in het stortvak wordt getoond in Figuur 2.14. De gemiddelde afname in diepte is 13 m vanaf 1955. De gemiddelde diepte aan het einde van de periode ($\approx 23 \text{ m}$) geeft aan dat er in het stortvak nog maar weinig ruimte bestaat voor verdere storting van materiaal. Dit wordt bevestigd in Figuur 2.15 die het volume water onder de NAP -22.6 m toont; de huidige bovengrens voor de diepte tot waar gestort mag worden. In 2009 was er nog maar $\sim 350 \times 10^3 \text{ m}^3$ aan "stortruimte".



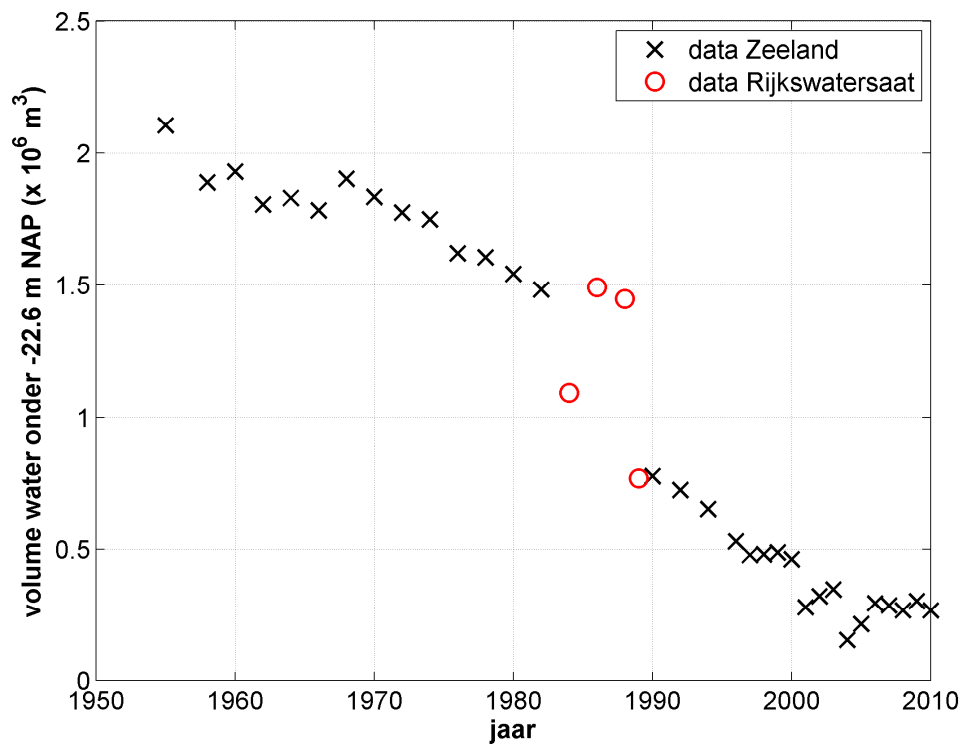
Figuur 2.12 Relatieve verandering van het totale sedimentvolume in het stortvak W13. Het referentiejaar is 1955.



Figuur 2.13 Overzicht van de W13 stortlocatie (gele driehoek), andere stortlocaties (rode polygoenen), en baggerpolygoenen (blauw).



Figuur 2.14 Relatieve verandering van de gemiddelde waterdiepte ter plekke van stortvak W13.

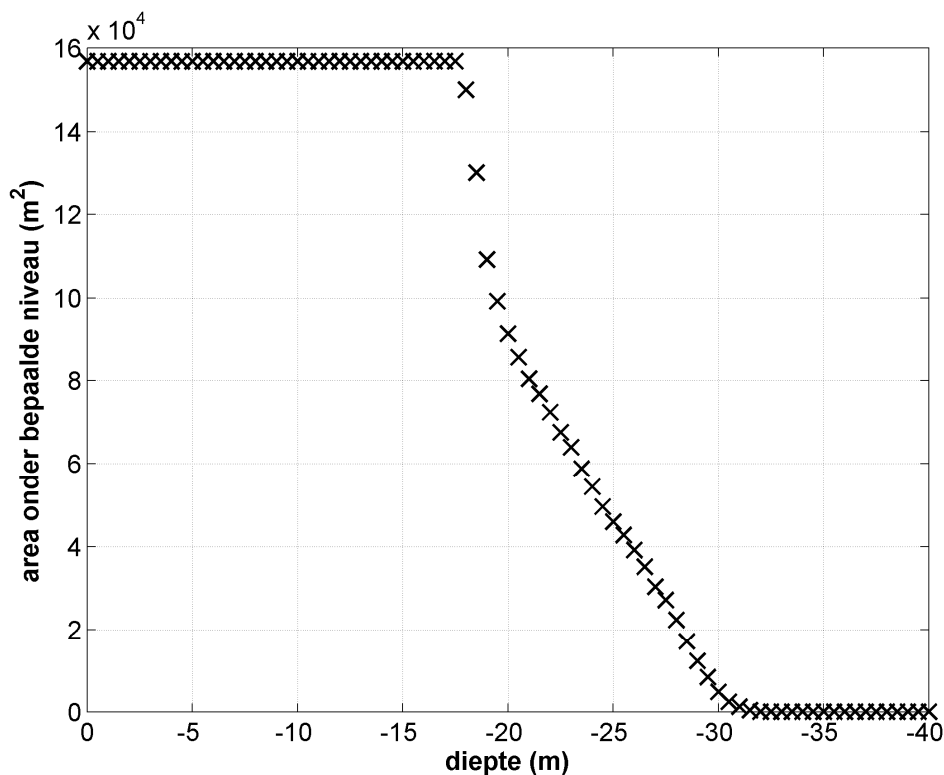


Figuur 2.15 Volume water onder NAP -22.6 m ter plekke van stortvak W13.

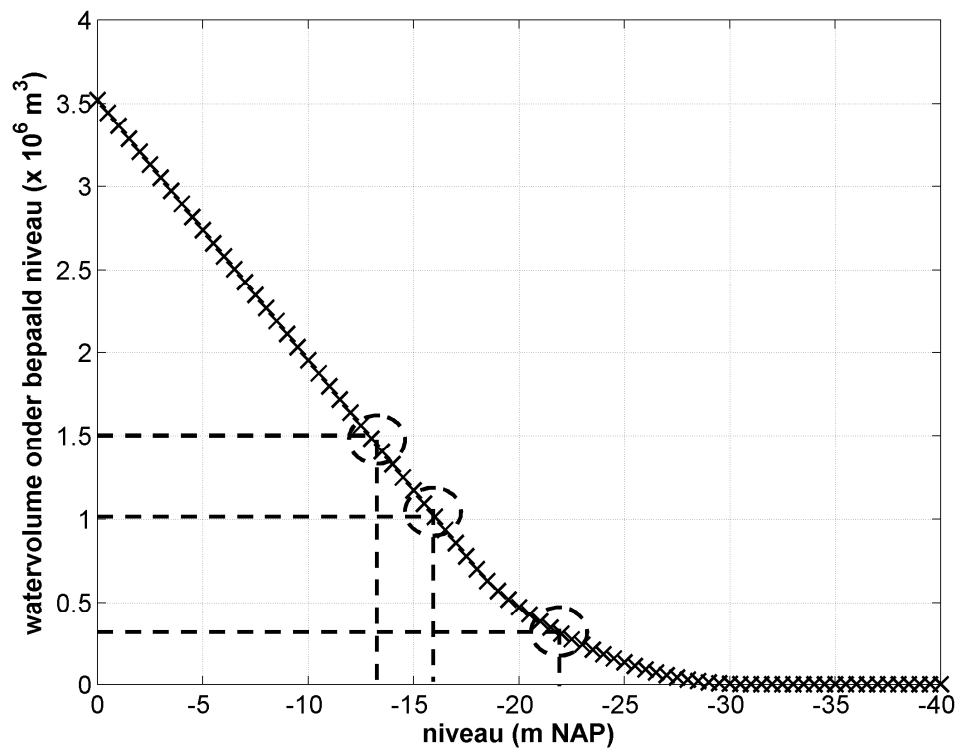
Een andere manier om de hoeveelheid sediment die gestort kan worden als functie van de gestelde bovengrens van de bodemligging inzichtelijk te maken is middels hypsometrische curves, zie Figuur 2.16 en Figuur 2.17. De eerste figuur toont het areaal van het deel van stortvak W13 dat dieper is dan een gegeven verticaal niveau, de tweede het watervolume dat onder dit niveau ligt (de "stortruimte"). Hiervoor zijn de vaklodingen data uit 2009 gebruikt.

Deze figuren tonen dat de totale oppervlakte van het stortvak 15.4 ha bedraagt. De helft hiervan is dieper dan NAP -22.3 m. De oppervlakte die dieper gelegen is dan de huidige bovengrens voor storten (NAP -22.6 m) bedraagt 7.5 ha. Figuur 2.17 toont dat gegeven deze bovengrens er in 2009 ruimte is in stortvak W13 voor een instantane verspreiding van ca. $350 \times 10^3 \text{ m}^3$. Een instantane verspreiding van 1 miljoen m^3 zou de lokale waterdiepte tijdelijk doen afnemen tot ca. NAP -16 m.

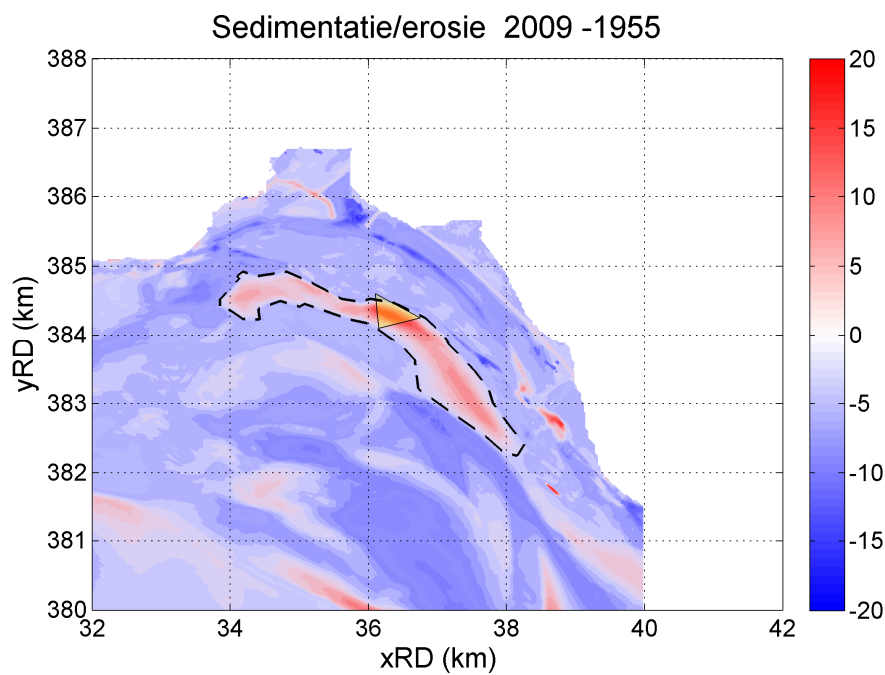
In de praktijk zal de stortruimte groter zijn, doordat de lokale waterdiepte ten gevolge van jaren van stort kleiner is dan de evenwichtsdiepte. Indien een jaar niet wordt gestort, neemt de waterdiepte weer toe door de verdere verspreiding van nog in het stortvak aanwezige eerder gestorte materiaal. Om het nog aanwezige buffervolume van ca. $350 \times 10^3 \text{ m}^3$ niet verder te laten afnemen, mag jaarlijks maximaal een hoeveelheid worden gestort die gelijk is aan het resttransport vanaf de 'stortbult'. Deze hoeveelheid kan met verspreidingsberekeningen worden bepaald, zie Hoofdstuk 4. Anderzijds wordt de stortruimte beperkt doordat in het stortvak van nature al aanzanding plaatsvindt.



Figuur 2.16 Hypsometrische curve (oppervlakte) ter plekke van stortvak W13.



Figuur 2.17 Hypsometrische curve (water volume) ter plekke van stortvak W13.

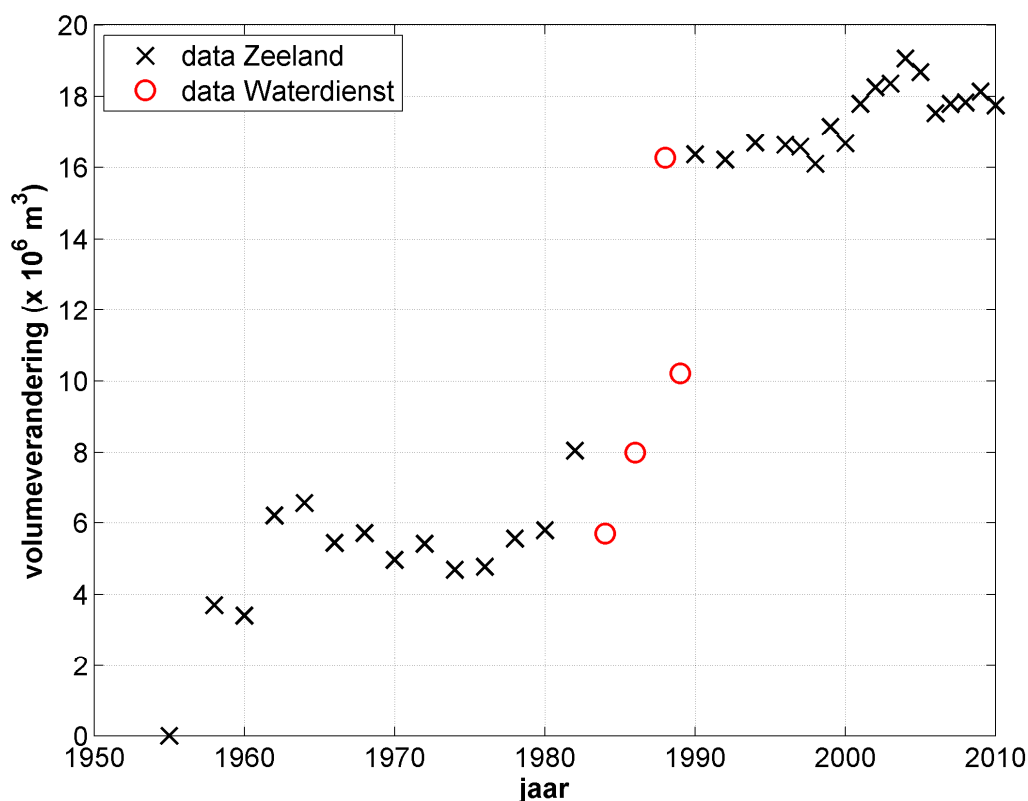


Figuur 2.18 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) patroon tussen 1955 en 2009, met de definitie van een groter gebied (stippellijn) met netto sedimentatie in de genoemde periode.

Om de stortvolumes te kunnen correleren aan de verandering in bodemligging binnen het stortvak en in het nabijgelegen gebied, worden de volumeveranderingen in het gebied rondom stortvak W13 getoond in Figuur 2.18. De grenzen van dit gebied (weergegeven met een stippellijn) zijn gedefinieerd als de overgang rondom W13 tussen netto depositie en erosie in de periode 1955 – 2009.

De relatieve verandering van het sedimentvolume in deze grotere regio wordt getoond in Figuur 2.19. Deze figuur toont een toename in sedimentvolume van ongeveer 18 Mm^3 tussen 1955 en 2009 en ca. 10 Mm^3 tussen 1985 en 2009. Dit laatste volume is kleiner dan het totaal gestorte volume in dezelfde periode. Zoals getoond in Tabel 2.1 is er in deze periode namelijk ca. 33 Mm^3 sediment gestort in stortvak W13, waarvan ca. 20 Mm^3 (60%) zand (korrelgrootte groter dan $64 \mu\text{m}$) en 13 Mm^3 (40%) slib (korrelgrootte kleiner dan $64 \mu\text{m}$).

De fijne fractie van het materiaal gestort in W13 wordt snel verspreid over een grotere afstand van het stortvak door het getij (getijweglengte bedraagt 5 tot 10 km) en het is dus niet direct te vinden in deze grotere polygoon. Dit wordt ondersteund door de korrelgrootteanalyse van de nabije Drempel van Borssele, die een sterke variatie in de tijd laat zien van de korrelgrootte en het percentage fijn materiaal. Deze variatie is mogelijk te relateren aan met het storten van materiaal in W13 (Plancke, 2010). Pieken in slibpercentage zijn duidelijk zichtbaar, maar ze verdwijnen snel (binnen enkele dagen). Verder onderzoek is nodig om dit precies te relateren aan de meest recente stortgegevens. Hiervoor zijn wel daggegevens van specieverspreiding in W13 nodig.



Figuur 2.19 Ontwikkeling van het totale sedimentvolume in een grotere regio rond W13.

3 Slibverspreiding vanaf stortvak W13

Er zijn verschillende deelvragen:

- Hoe snel verspreidt het slib zich vanaf de stortlocatie (of blijft een deel permanent achter)?
- Waar gaat het slib uiteindelijk naartoe?
- Hoe groot is het effect op de naburige drempel?
- Hoe groot is de retourstroming naar de haven?
- Hoe groot is de vertroebeling van de waterkolom (plaats- en tijdgebonden)?
- Hoe groot is de lokale opslibbing of verandering van bodemsamenstelling van naburige platen?

Deze vragen worden achtereenvolgens beantwoord met behulp van resultaten van het numerieke LTV-slibmodel en ondersteund door verdere analyse.

3.1 Hoe snel verspreidt het slib zich?

De verspreidingssnelheid vanaf de stortlocatie wordt bepaald door de lokale waterbeweging (met name getij) en de eigenschappen van de specie in de waterkolom (met name valsnelheid w_s) en op de bodem (met name kritische schuifspanning voor erosie τ_{crit} en erosieconstante M).

De resuspensie E in kg/s vanaf de bodem van het stortvak bedraagt:

$$E = A M \int_t \max(0, (\tau(t)/\tau_{crit} - 1)) dt$$

waarin A de oppervlakte van het stortvak is (zie Figuur 2.16) en τ de in de tijd variërende bodemschuifspanning. Voor vak W13 kan de integraal over periode T van de exces bodemschuifspanning $\tau_E = (1/T) \int_0^T \max(0, (\tau(t)/\tau_{crit} - 1)) dt$ worden bepaald met behulp van het numerieke model voor verschillende waarden voor τ_{crit} (typisch 0.1 tot 0.4 Pa). Samen met schattingen voor A en M (constant verondersteld) volgt hieruit een schatting van E . Dit is in Tabel 3.1 verder uitgewerkt.

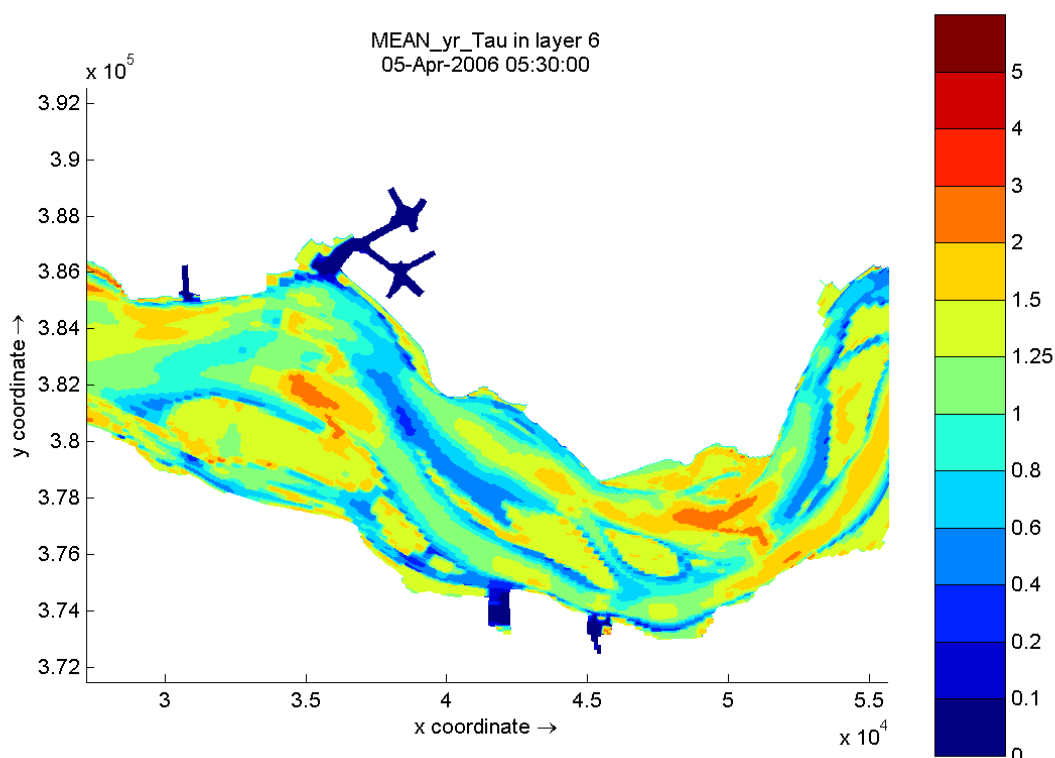
Tabel 3.1: Resuspensie (in kton/jaar) vanaf stortlocatie W13 (Sloehaven) voor diverse parameter-instellingen.

τ_{crit} (Pa)	τ_E (-)	M (kg/m ² /s)	A (ha)	E (kton/jaar)
0.1	7.1	10 ⁻⁴	10	2240
0.2	3.1	10 ⁻⁴	10	980
0.4	1.2	10 ⁻⁴	10	380
0.1	7.1	10 ⁻⁵	10	224
0.2	3.1	10 ⁻⁵	10	98
0.4	1.2	10 ⁻⁵	10	38
0.1	7.1	10 ⁻⁶	10	22
0.2	3.1	10 ⁻⁶	10	9.8
0.4	1.2	10 ⁻⁶	10	3.8

Uit Tabel 3.1 blijkt dat de maximale resuspensie sterk kan variëren, afhankelijk van de gekozen instellingen. De in het huidige LTV-model gebruikte instellingen (vet gedrukt in Tabel 1) leiden tot een volledige verspreiding van de (slibrijke) specie uit het stortvak. Permanente accumulatie van slib in het stortvak is verwaarloosbaar. Indien de gestorte specie veel moeilijker erodeerbaar is, of deze over een veel kleiner areaal dan 10 ha wordt verspreid, is het echter mogelijk dat een deel van de specie permanent achterblijft en het stortvak geleidelijk ondieper wordt (er geldt nu immers erosieflux < depositieflux specie).

Figuur 3.1 toont de gemiddelde bodemschuifspanning over een periode van 3 maanden rondom het Sloegebied. Verspreiding van slib vanuit stortvakken die in een gele of oranje zone liggen, zal aanmerkelijk sneller verlopen dan verspreiding vanuit licht- of donkerblauwe zones. De keuze van een alternatief stortvak kan mede op basis van Figuur 3.1 plaatsvinden.

Een vergelijking met de waargenomen morfologische ontwikkeling in en rondom vak W13 zal leren in hoeverre de in het slibmodel gebruikte instellingen realistisch zijn. Deze zijn weliswaar gekalibreerd voor een zo goed mogelijke weergave van de waargenomen slibconcentratie in de Westerschelde, maar deze wordt voornamelijk door de natuurlijke achtergrondconcentratie van slib bepaald. Het zou kunnen dat havenslib zich in de eerste periode na verspreiding afwijkend gedraagt. Op basis van de beperkte beschikbare waarnemingen van slibpercentage in de bodem (zie Hoofdstuk 2) is er vooralsnog geen aanleiding om de gebruikte instellingen van het slibmodel aan te passen.



Figuur 3.1: Gemiddelde bodemschuifspanning in de omgeving van de Sloehaven.

3.2 Waar gaat het slib uiteindelijk naartoe?

Na resuspensie vanuit het stortvak (en gedeeltelijk direct vanuit de waterkolom) zal het slib zich verder verspreiden over de omgeving. De vraag is hoe snel dit gaat en waar het slib uiteindelijk terechtkomt.

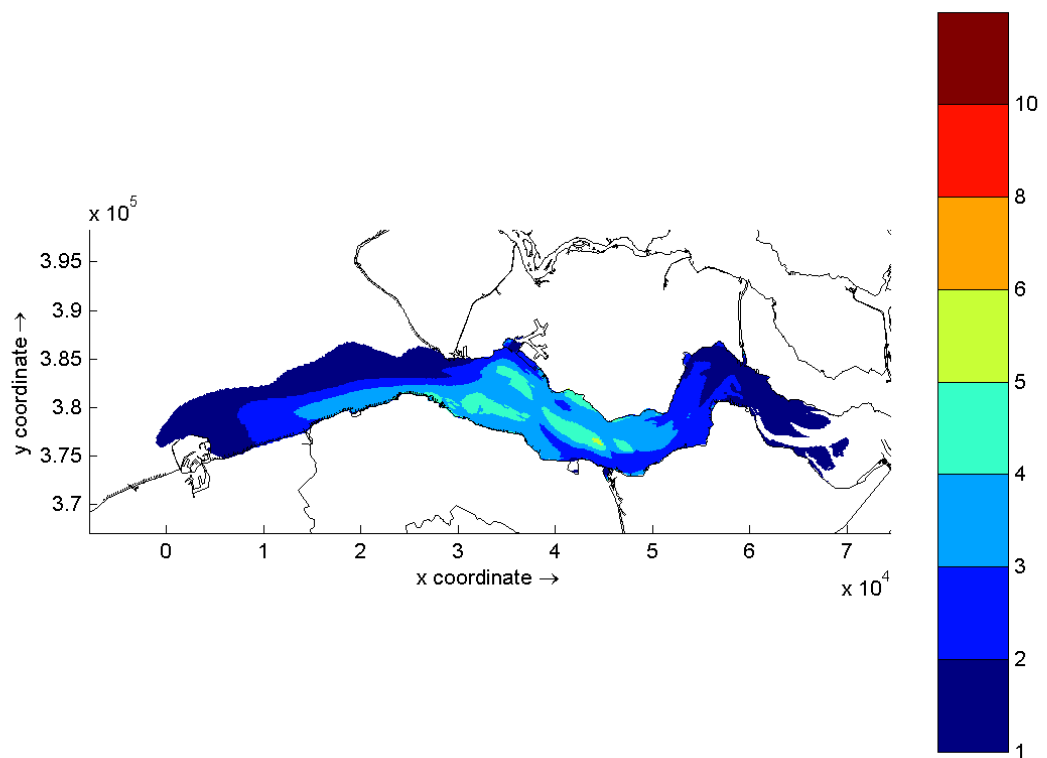
De verspreiding van slib verloopt wezenlijk anders dan die van zand omdat

- a) transport van slib typisch aanbod-gelimiteerd is en transport van zand typisch transport-gelimiteerd;
- b) bodemtransport van slib typisch een te verwaarlozen bijdrage heeft ten opzichte van suspensietransport (tenzij in het geval van fluid mud).

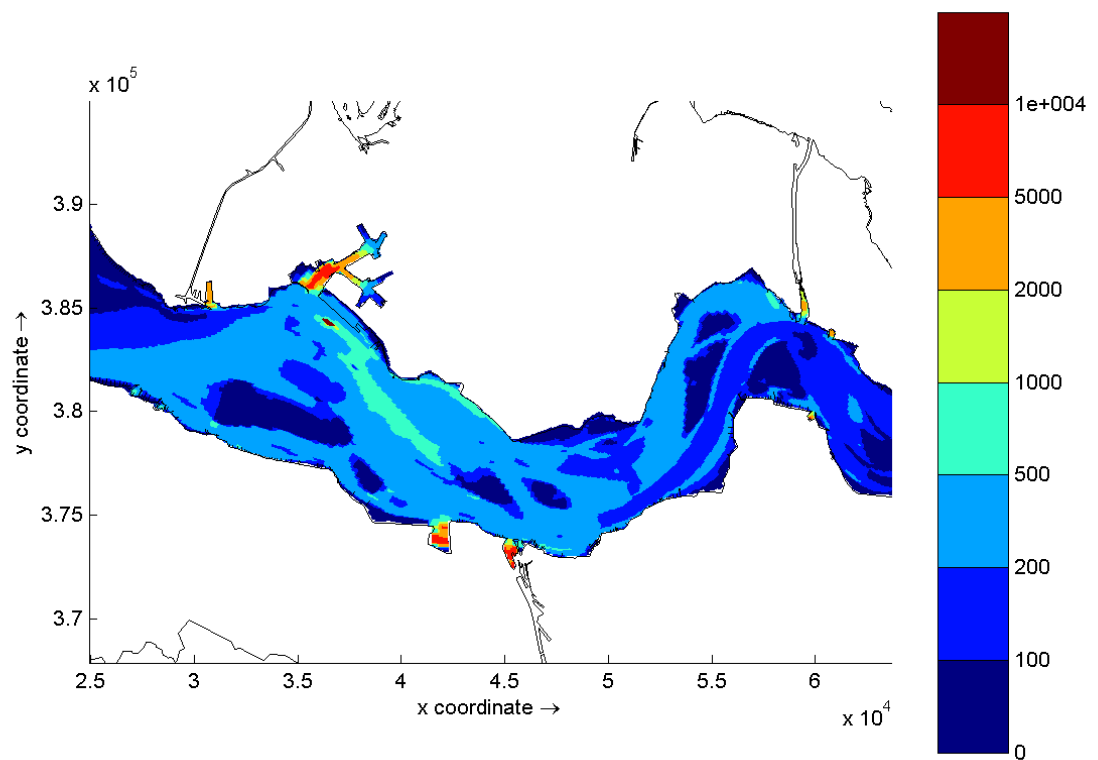
Omdat suspensietransport van slib dominant is er de meeste resuspensie vanuit het stortvak zal plaatsvinden tijdens de perioden met de hoogste eb- en vloedsnelheid, verspreidt slib zich binnen een getij typisch over een getijweglengte (5 tot 10 km). De verspreiding verloopt daarom snel en het beïnvloedingsgebied rondom een stortvak is typisch groot. Daar staat tegenover dat een snelle 'verdunding' van effecten optreedt. Een hoeveelheid slib van $100 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ verdeeld over een stortvak van 10 ha geeft een laagdikte van 1 m, dezelfde hoeveelheid slib verspreid over een getijweglengte van 10 km en over een breedte van 1 km (d.w.z. 1000 ha) geeft een laagdikte van slechts 1 cm. Na een beperkt aantal getijden is het verspreidingsgebied zelfs nog groter geworden.

Het antwoord op de vraag waar het slib uiteindelijk wordt afgezet is afhankelijk van de beschouwde tijdschaal. Slib dat vanuit het stortvak is geresuspendeerd, zet zich typisch rond kentering weer af binnen een getijweglengte. Als dit een laagdynamische zone is zoals een haven of een beschutte plaat, kan de afzetting permanent zijn. Typisch zal het slib echter weer resuspenderen en zich verder verspreiden en herhaalt deze cyclus zich totdat het wordt afgezet in een laagdynamisch gebied. Hoogdynamische gebieden in de omgeving van de stortlocatie kunnen daarom weliswaar tijdelijk slibrijker worden, maar niet permanent. Voor laagdynamische gebieden in de omgeving van de stortlocatie mag een verhoogde accumulatie van slib worden verwacht. Soortgelijke maar kwantitatief veel kleinere effecten treden op in gebieden verder weg van de stortlocatie (> getijweglengte). Directe effecten van specieverspreiding zijn verder weg typisch moeilijk meetbaar, omdat de natuurlijke variaties van de slibconcentratie in de waterkolom en de bodem groot zijn en het effect van verspreiding wegvalt in de natuurlijke 'ruis'.

Deze kwalitatieve beschouwing wordt onderbouwd door resultaten van het LTV-slibmodel. Figuur 3.2 toont de gemiddelde slibconcentratie bovenin de waterkolom tijdens de simulatieperiode van 3 maanden ten gevolge van specieverspreiding vanuit vak W13. Figuur 3.3 toont de cumulatieve aanslibbing in beide bodemlagen over een periode van 3 maanden ten gevolge van slibverspreiding in vak W13. Het blijkt dat door de snelle verspreiding van het slib in de waterkolom een deel hiervan uiteindelijk terechtkomt in laagdynamische gebieden op grote afstand. Zo belandt een deel van het slib verspreid vanaf stortlocatie W13 in de havens bij Terneuzen en zijn in het model effecten zichtbaar tot aan Zeebrugge en Antwerpen. Dit zal later in het kader van het lopende project LTV V&T nader worden gekwantificeerd.



Figuur 3.2: Concentratieverhoging (mg/l) gemiddeld over de simulatieperiode ten gevolge van specieverspreidingen in vak W13, instrumentarium LTV-slib 2010 (3D).



Figuur 3.3: Aanslibbing in g/m² over simulatieperiode ten gevolge van specieverspreiding in vak W13, instrumentarium LTV-slib 2010 (3D).

Het effect van stortvak W13 op de nabijgelegen drempel is beperkt wat betreft de verspreiding van slib. Deze drempel ligt tijdens vloedstroming weliswaar in de directe invloedssfeer van van W13, maar de bodemschuifspanning op deze drempel is gemiddeld hoog. Dit betekent dat er geen slib permanent kan worden afgezet. Wel kan het slibpercentage in de zandige bodem wat verhoogd zijn als gevolg van de door de specieverspreiding verhoogde slibconcentratie in de waterkolom. Uit het LTV-slibmodel volgt een toename van 0.5 tot 1 kg/m², het equivalent van een sliblaagje van enkele mm. Indien de slib-eigenschappen van de baggerspecie sterk afwijken van de in het slibmodel gehanteerde instellingen, kan het effect mogelijk toch groter zijn. De morfologische gegevensanalyse in de omgeving van vak W13 (zie Hoofdstuk 2) geeft echter geen aanleiding tot andere instellingen. Het waargenomen slibpercentage op de Drempel van Borssele varieert sterk in de tijd, hetgeen indicatief is voor een snelle verspreiding.

4 Zandverspreiding vanaf stortvak W13

4.1 Beschrijving Delft3D model

In het kader van de projecten ZEEKENNIS en Lange Termijn Visie (LTV) Schelde estuarium is door Kuijper et al. (2004, 2006) een morfologisch Delft3D model van het Schelde estuarium ontwikkeld. Het betreft een 2DH (dieptegemiddeld) model, wat inhoudt dat dichtheidsstromingen en effecten van secundaire stroming in bochten niet door het model worden beschreven.

Het modeldomein beslaat de Westerschelde, inclusief de Voordelta en de Beneden-Zeeschelde tot aan Schelle nabij Rupelmonde (zie Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Modeldomein van morfologisch model voor de Schelde.

Het rekenrooster bevat ongeveer 12.500 actieve rekencellen. De celgrootte varieert van $800 \times 800 \text{ m}^2$ in open zee tot $150 \times 150 \text{ m}^2$ in het estuarium. Het debiet dat wordt gebruikt ter plekke van de bovenstroomse rand nabij Schelle is ontleend aan NEVLA modelberekeningen door het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout (WLB).

Het model rekent met een morfologisch getij (tweemaal 12.5 uur), een morfologische versnellingsfactor van 120 en een morfologische inspeeltijd van 1 jaar. De wind- en golf forcing wordt meegenomen voor één representatieve conditie (golven uitgerekend met de SWAN software). De bodem van de Westerschelde bestaat uit afwisselend erodeerbare en niet- of slecht erodeerbare lagen. Dit is meegenomen in de modelschematisatie. Verder wordt rekening gehouden met baggeren, storten en zandwinning, alsmede oeverbeschermingen door middel van niet-erodeerbare roostercellen.

Het model is door Kuijper et al. (2004, 2006) gekalibreerd en gevalideerd aan de hand van gemeten waterstanden (zowel tijdseries als amplitudes en fases van enkele belangrijke getijcomponenten), debieten met een onderscheid tussen de eb- en vloedgeulen en stroomsnelheden in de geul en het 3D snelheidsveld op basis van drijfvermetingen.

Het morfologische model is gekalibreerd voor de periode 1998-2002 (gedurende en na afloop van de twee vaargeulverruiming). Hierbij zijn de modelresultaten vergeleken met metingen in termen van (i) sedimentatie-erosie patronen, (ii) veranderingen in sedimentvolumes van de macrocellen, (iii) veranderingen in areaal voor zeven verschillende diepteklassen, (iv) gebaggerde volumes en (v) netto sedimenttransporten.

4.2 Modelsimulaties

Er zijn in totaal vijf modelsimulaties uitgevoerd. Tabel 4.1 toont de belangrijkste kenmerken van deze modelsommen.

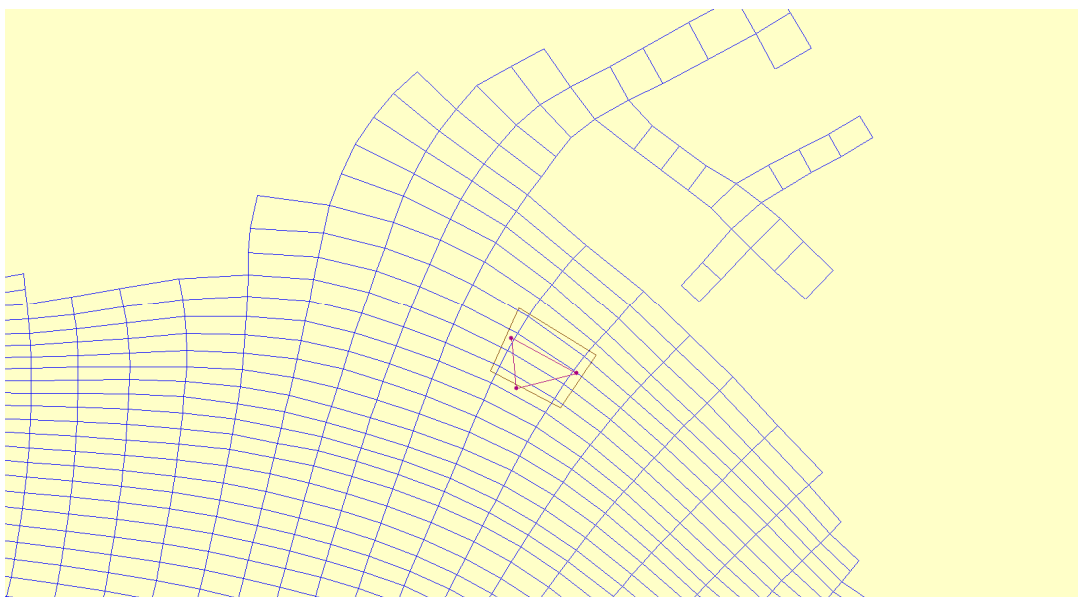
Tabel 4.1 Kenmerken van de uitgevoerde modelsimulaties.

Code simulatie	D50 (mm)	Stort volume (x 10 ³ m ³)	Stort frequentie	Simulatieperiode (jaren)
119H_00	0.20	0	-	5
119H_00-100mu	0.10	0	-	5
119H_01	0.20	700	1x per jaar	5
119H_08-100mu	0.10	700	1x per jaar	5
119H_13-100mu-05-10	0.10	350	2x per jaar	5

Het betreft twee referentiesommen: 119H_00 en 119H_00-100mu. Bij beiden zijn de modelinstellingen zoals afgeleid door Kuijper et al. (2004, 2006) gebruikt. De beginbodem correspondeert met de bodemligging in 1998. Het verschil tussen de twee sommen is de korrelgrootte. Deze is 0.2 mm in 119H_00 (dezelfde als gehanteerd door Kuijper et al.) en 0.1 mm in de andere som. Hiermee onderzoeken we het effect van de korreldiameter op de morfologische ontwikkeling van het kustvak en zijn omgeving. Naar verwachting is een D50 van 0.1 mm meer conform de werkelijkheid; voornamelijk het zeer fijne zand sedimenteert in de Sloehaven (naast het slib).

In som 119H_01 en 119H_08-100mu wordt 1x per jaar 0.7 Mm³ (ca. 60% van het gemiddelde jaarlijkse stortvolume, zie Tabel 2.1) gestort in stortvak W13. De overige instellingen zijn gelijk aan som 119H_00 en 119H_00-100mu, respectievelijk. In som 119H_13-100mu-05-10 wordt in plaats van 1 storting van 700 x 10³ m³/jaar, 2x per jaar 350 x 10³ m³ gestort om het effect van de stortfrequentie te bestuderen. De simulatieperiode is 5 jaren voor alle sommen.

In het model storten we het zand in 3 roosterzellen, waarbij de bovenste ten noorden van W13 ligt (zie Figuur 4.2). Dit grotere oppervlakte was nodig omdat anders een te grote, onrealistische aanpassing van de bodem noodzakelijk was om 0.7 Mm³ zand “kwijt te kunnen”. Desondanks was het niet altijd mogelijk om onder de bovengrens van LAT -20.0 m te blijven (corresponderend met NAP -22.6 op basis van LAT bij Vlissingen).



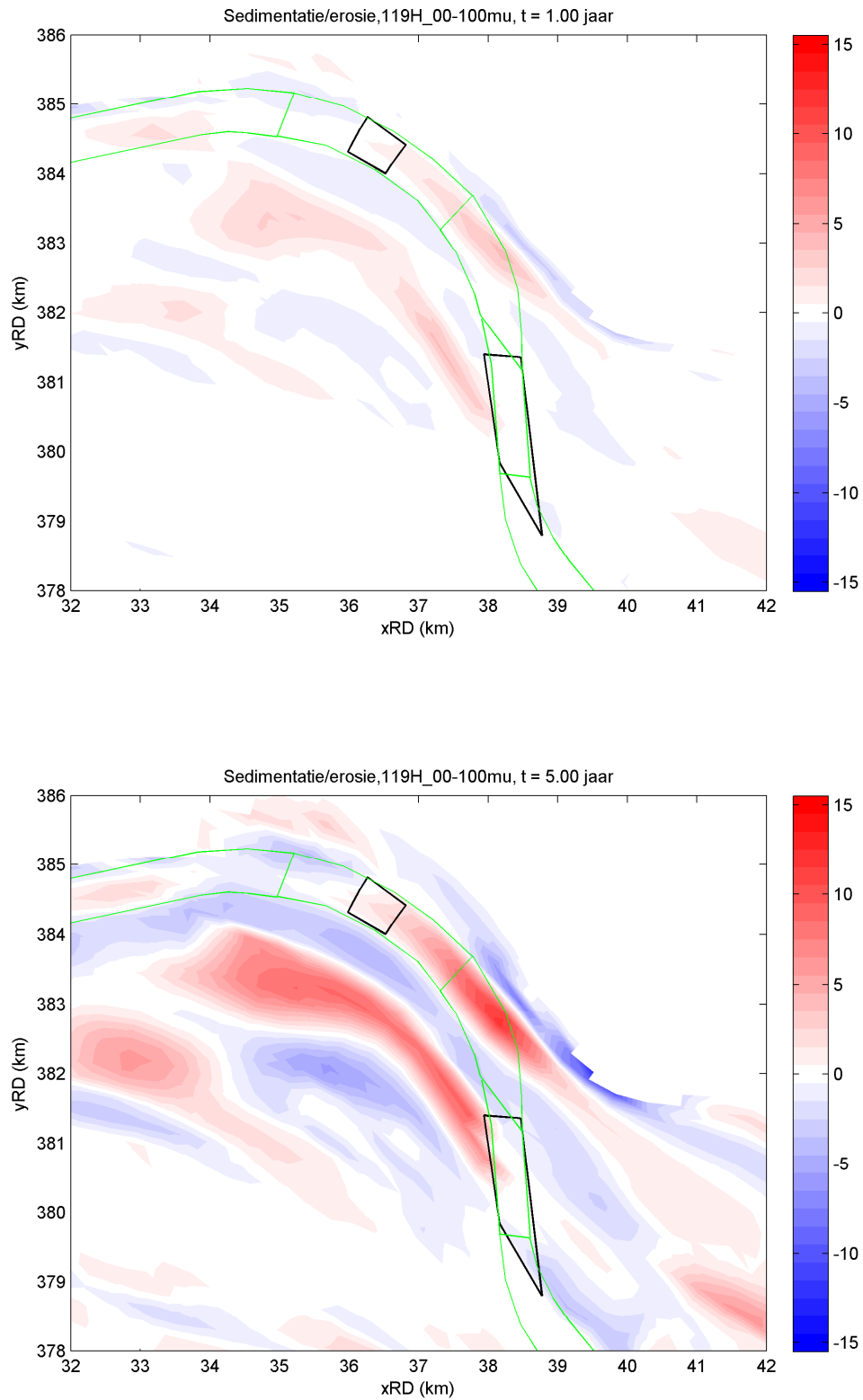
Figuur 4.2 Roosteruitsnede rondom stortplaats W13 (paarse driehoek).

4.3 Resultaten

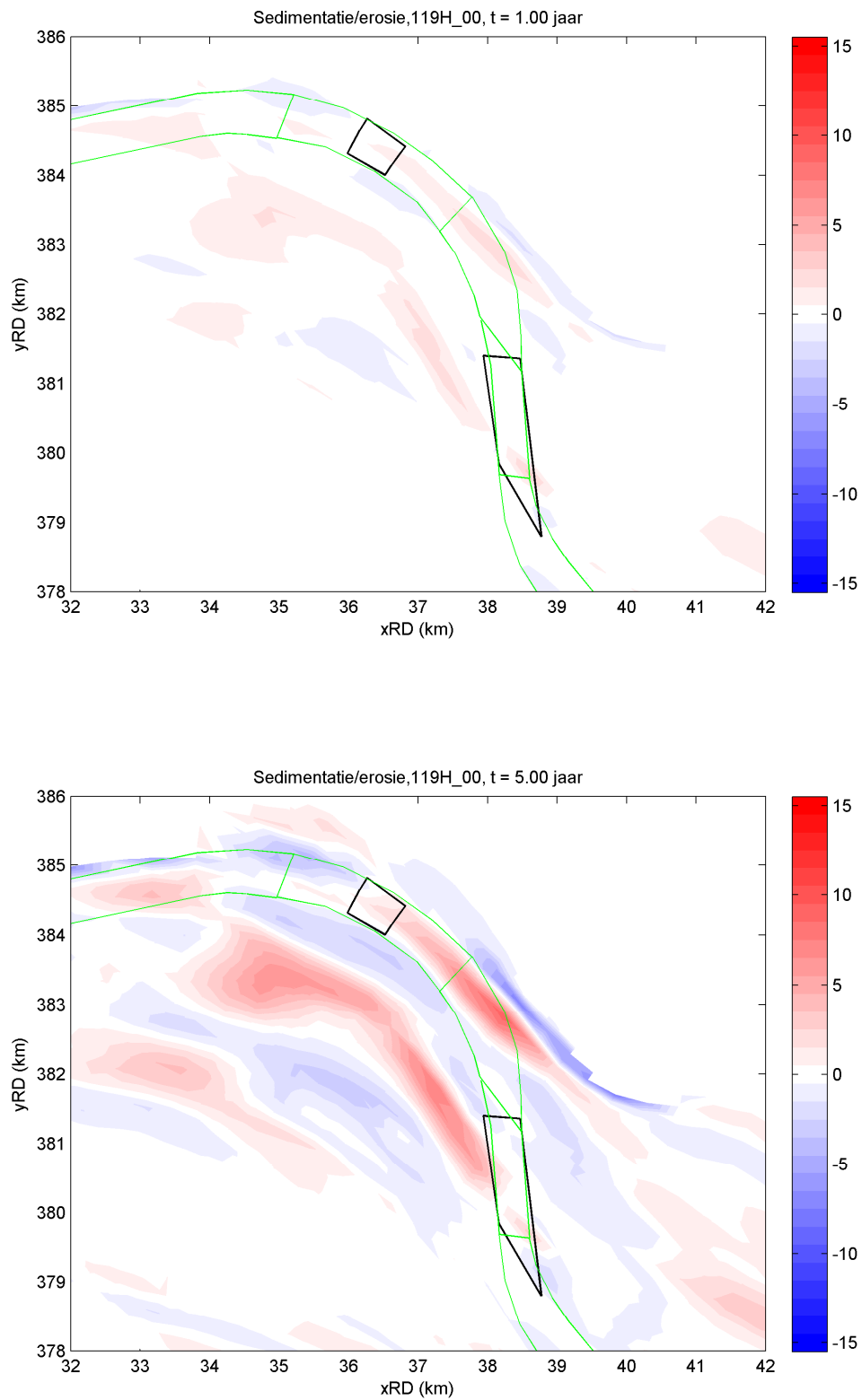
Figuur 4.3 en Figuur 4.4 tonen de sedimentatie/erosie na 1 en 5 jaar voor de referentiesommen met een D50 van 0.2 mm (119H_00) en 0.1 mm (119H_00-100mu). De zwarte polygonen geven de ligging van het gehanteerde stortpolygoon in het model en de Drempe van Borsele weer. De vaargeul is aangeduid middels de groene lijnen.

De resultaten van de verspreidingsberekeningen dienen ter ondersteuning en interpretatie van de waargenomen bodemontwikkelingen. De berekeningen geven een goede indicatie over de snelheid waarmee zand zich initieel verspreid door het systeem en over de grootte van het invloedsgebied van stortvak W13. Een precieze vergelijking met de waargenomen bodemontwikkelingen is echter niet mogelijk omdat in werkelijkheid meer ingrepen in de omgeving hebben plaatsgevonden dan uitsluitend verspreiding in W13 (zoals gemodelleerd) en omdat in werkelijkheid de korrelgrootte niet uniform is.

De berekende sedimentatie-/erosiepatronen voor de referentiesom komen niettemin kwalitatief redelijk goed overeen met de gemeten waarden voor de periode 1955-2009 (zie Figuur 2.3). De resultaten van de simulaties met een korrelgrootte van 0.1 en 0.2 mm zijn kwalitatief zeer vergelijkbaar. Dit duidt erop dat de transportgradiënten overeenkomen. Echter, de sedimentatie en erosie zijn aanzienlijk sterker in de 0.1 mm som, aangezien de magnitude van de sedimenttransporten groter is.



Figuur 4.3 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in [m] over een periode van 1 jaar (bovenste figuur) en 5 jaar (onderste figuur) voor de referentiesom met een korrelgrootte van 0.1 mm (119H_00-100mu).



Figuur 4.4 Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) in [m] over een periode van 1 jaar (bovenste figuur) en 5 jaar (onderste figuur) voor de referentiesom met een korrelgrootte van 0.2 mm (119H_00).

Om de morfologische impact van de stortingen in vak W13 te bestuderen, analyseren we de bodemontwikkeling volgens de modelsimulatie met storting (119H_08-100mu) relatief ten opzichte van de referentiesom (119H_00-100mu), zie Figuur 4.6. De relatieve sedimentatie en erosie die hiermee getoond wordt, is dan puur het gevolg van de directe (aanleg) en indirecte effecten van het storten van het zand. De natuurlijke, autonome ontwikkeling wordt hiermee weggefilterd. We richten ons met name op de simulaties met een D50 van 0.1 mm, aangezien dit naar verwachting het meest overeenkomt met de werkelijke korrel diameter van het gestorte zand. De figuur toont de situatie na 1 en 5 jaar. Ten opzichte van de simulatie met een D50 van 0.2 mm (zie Figuur 4.5) is de lokale bodemverandering ten gevolge van stort aanmerkelijk kleiner, doordat het materiaal zich sneller en verder verspreidt. Op grotere afstand van de stortlokale is de bodemverandering ten gevolge van stort van fijner materiaal juist iets groter.

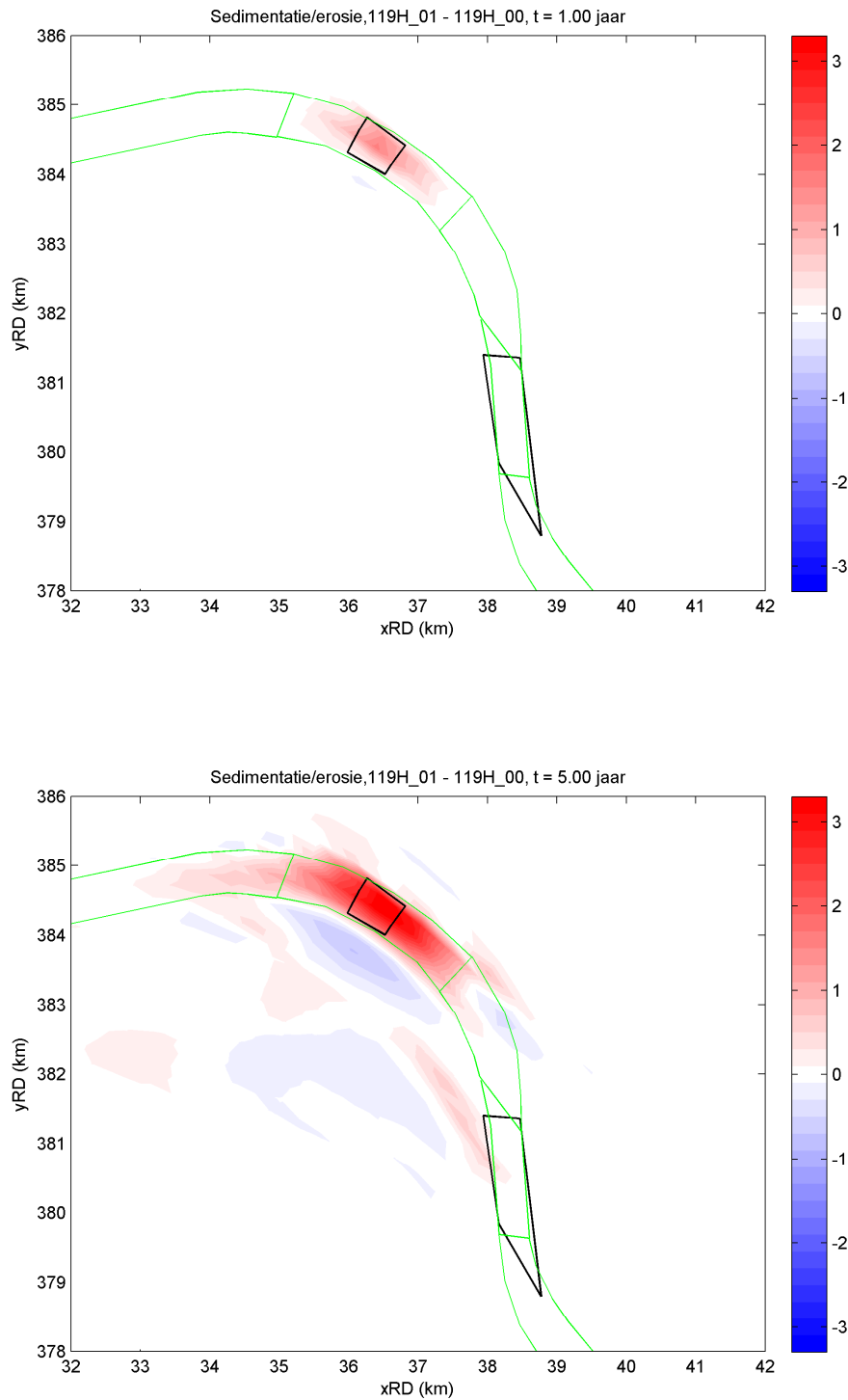
Deze figuren tonen dat na 1 jaar een deel van het gestorte zand in noordoostelijke (eb) en zuidwestelijke (vloed) richting getransporteerd is, maar dat het merendeel nog in het stortpolygoon ligt. Het sedimentatiegebied breidt zich langzaam uit als gevolg van de jaarlijkse zandstortingen. Na 5 jaar is het zand tot een afstand van 4-5 km verspreid en met name in de richting van de getijgeul. Ten zuiden van het stortvak W13 ontstaan er gebieden met afwisselend (relatief) lichte sedimentatie en erosie.

De impact van het storten wordt duidelijker als we de verandering van de gemiddelde bodemligging en zandvolumes in het stortpolygoon en de eerste rij roosterzellen ten westen en ten oosten bestuderen (zie Figuur 4.7 en Figuur 4.8); zwarte getrokken lijnen: referentiesom 119H_00-100mu, rode onderbroken lijnen: som 119H_08-100mu). In deze figuur is het zandvolume vergeleken met het initiële zandvolume in de referentiesom. De jaarlijkse stortingen zijn, net zoals in de vaklodingen data, duidelijk herkenbaar als sprong in de bodemligging en zandvolume ter plekke van het stortgebied, gevolgd door een geleidelijke afname (zaagtandpatroon).

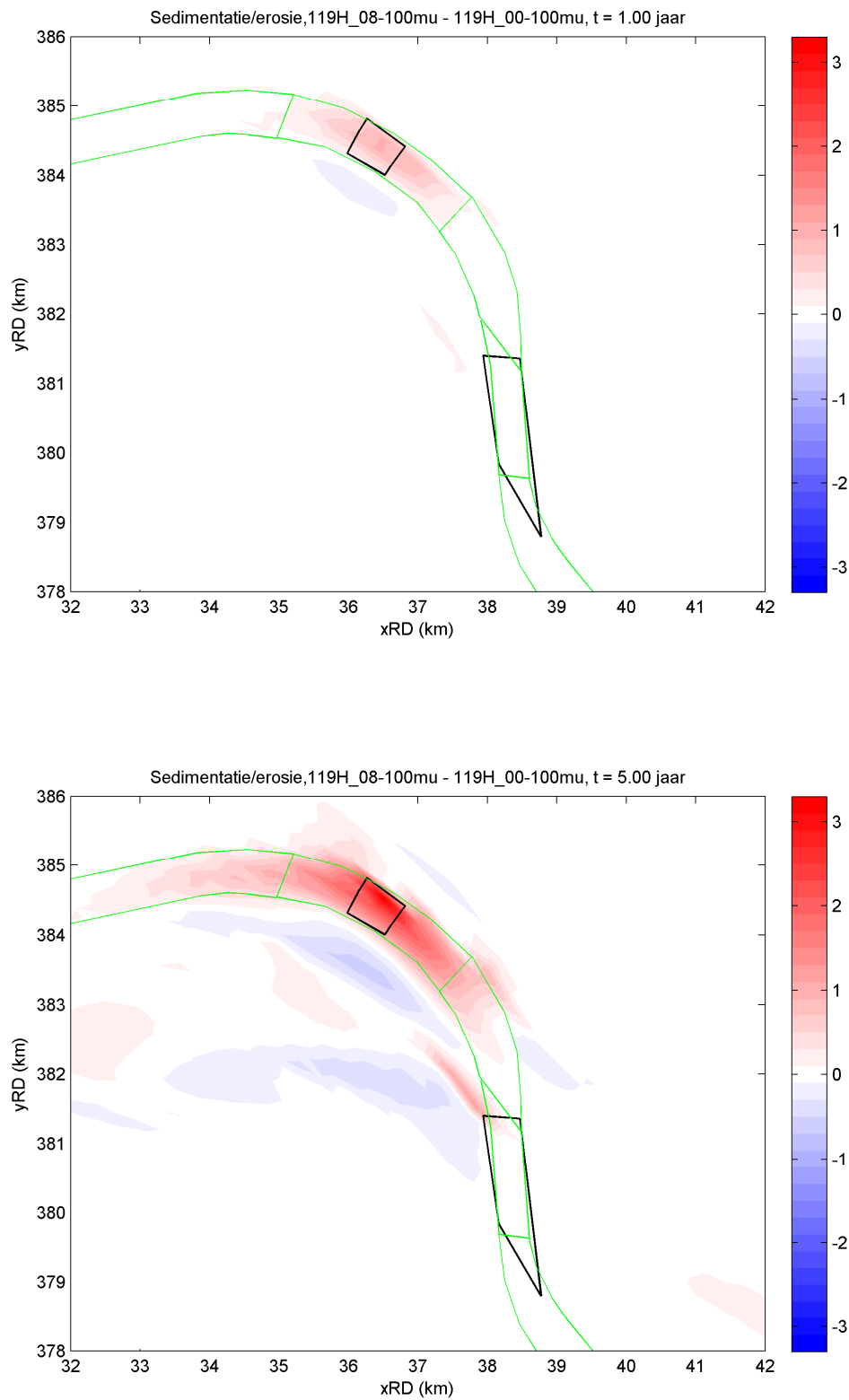
“Van nature” (referentiesom) sedimenteert het stortpolygoon (1.2 m in 5 jaar), alsmede het gebied ten zuidoosten hiervan (2.9 m in 5 jaar). Het gebied ten noordwesten laat een lichte erosie zien (0.6 m in 5 jaar). De bodemontwikkeling volgens de modelsom met de jaarlijkse stortingen is het gevolg van deze “natuurlijke” autonome trend en de stortingen zelf. De autonome trend kan verwijderd worden door het verschil tussen de twee sommen te beschouwen. De additionele aanzanding in het stortvak door het storten bedraagt 0.8 m na 1 jaar en 2.3 m na 5 jaar. Voor het gebied ten zuidoosten is dit 0.7 m na 1 jaar en 1.7 m na 5 jaar en voor het gebied ten noordwesten is dit 0.5 m en 1.5 m, respectievelijk (omslag van lichte erosie naar sedimentatie).

Na 1 jaar (vlak voor de storting in het 2^e jaar) is de volumetoename in het stortvak 0.4 Mm³ (54% van de gestorte 0.7 Mm³). Het leeuwendeel van het geërodeerde zand wordt in noordoostelijke-zuidwestelijke richting getransporteerd en dan het meeste naar het zuidwesten. Na 5 jaar is dit 1.3 Mm³, oftewel 36% van de in totaal gestorte hoeveelheid van 3.5 Mm³. De afname van dit percentage wijst erop dat door de afgenomen diepte de transportcapaciteit is toegenomen (toename in stroomsnelheid), waarbij het gestorte zand sneller wordt verspreid. Echter, de gemiddelde bodemligging in het stortvak neemt nog steeds toe in de tijd. Er is dus nog geen sprake van een dynamisch morfologisch evenwicht waarbij al het gestorte zand in 1 jaar wordt opgeruimd.

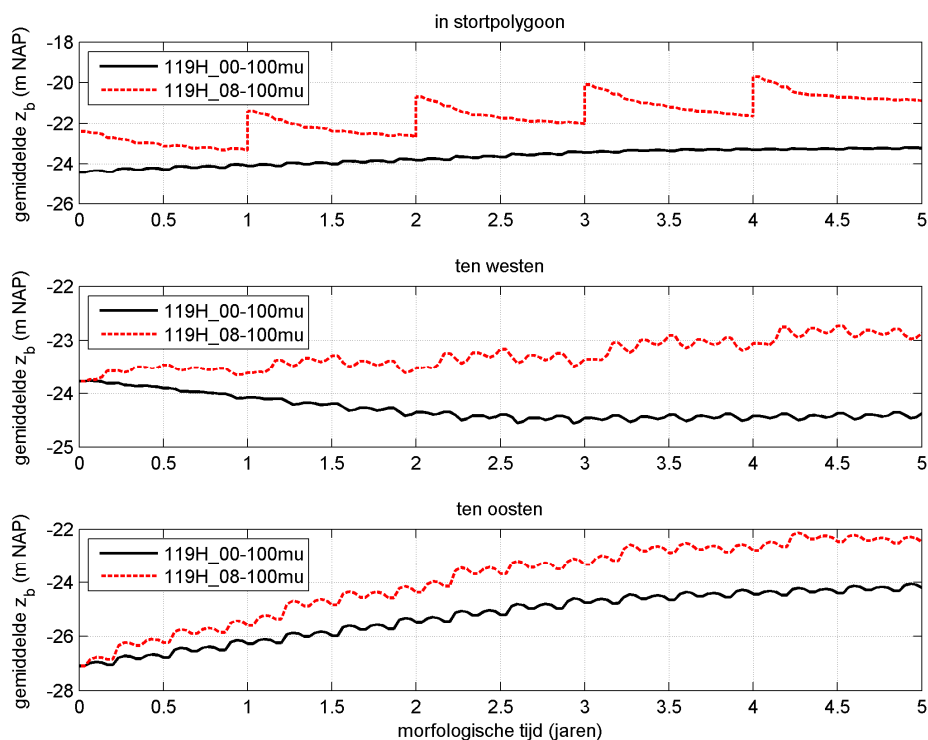
Over de gehele periode van 5 jaar is gemiddelde bodemligging in het stortvak afgenomen van -24.4 m NAP naar -20.9 m NAP. Het grootste deel van deze sedimentatie is het gevolg van de stortingen.



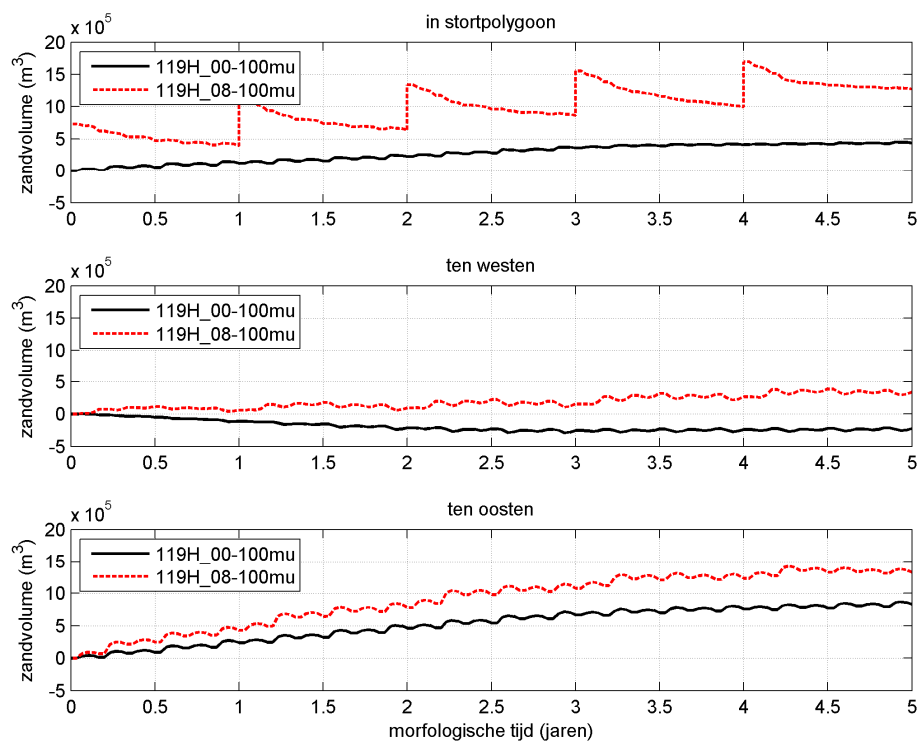
Figuur 4.5 Verschil in berekende bodemverandering in [m] met en zonder storten van zand in vak W13 na een periode van 1 jaar (bovenste figuur) en 5 jaar (onderste figuur) $d_{50} = 200 \mu\text{m}$.



Figuur 4.6 Verskil in berekende bodemverandering in [m] met en zonder storten van zand in vak W13 na een periode van 1 jaar (bovenste figuur) en 5 jaar (onderste figuur). $d_{50} = 100 \mu\text{m}$



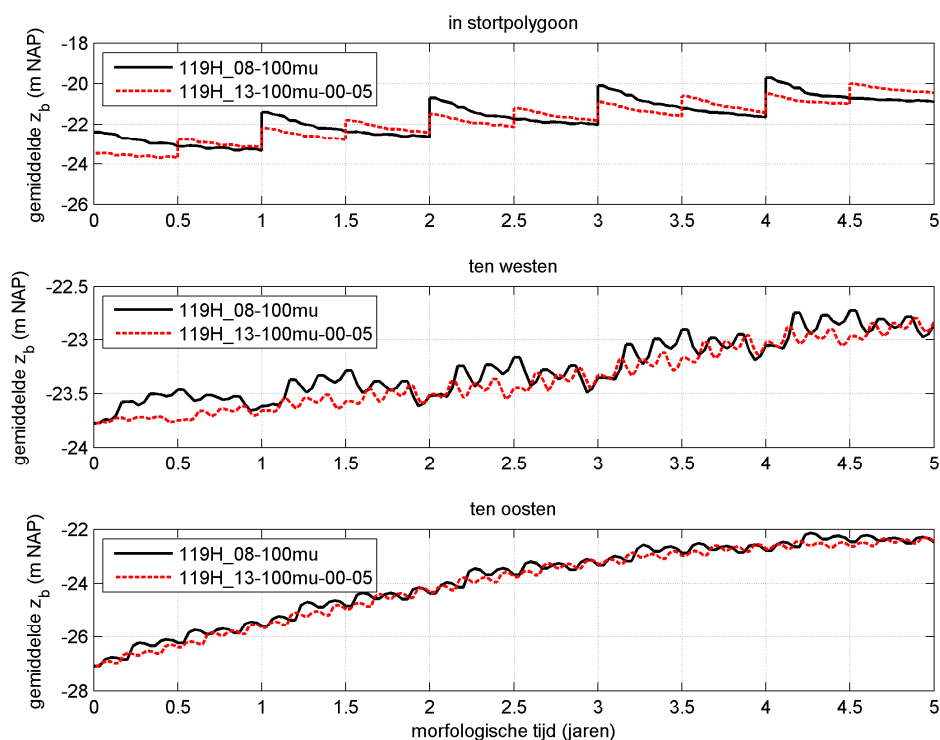
Figuur 4.7 Verloop van de gemiddelde bodemligging (m NAP) in stortpolygoon en ten oosten en westen hiervan gedurende de simulatieperiode van 5 jaar.



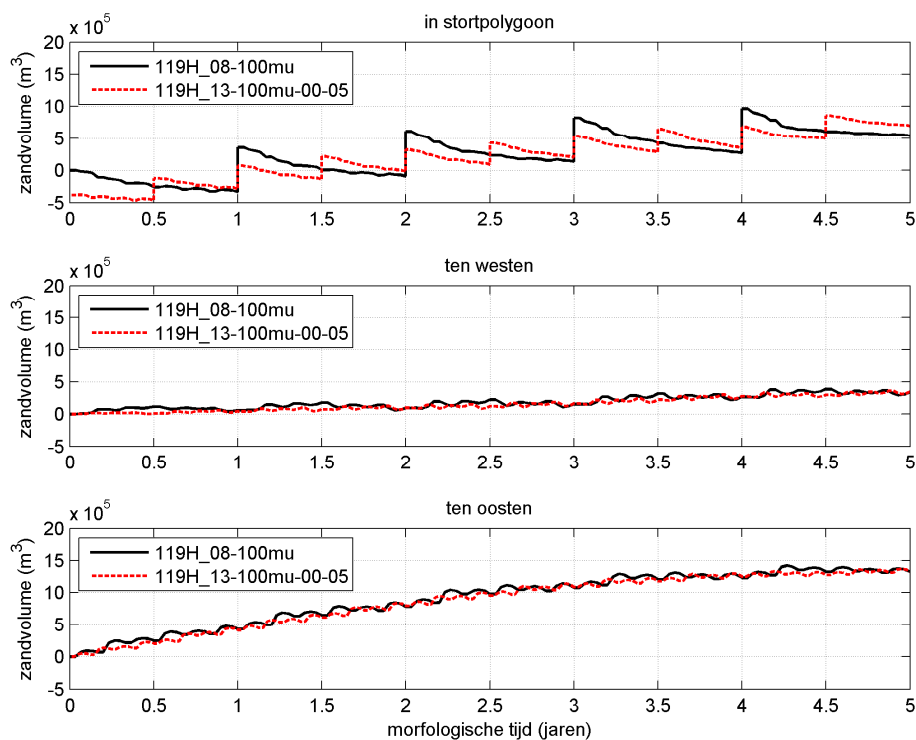
Figuur 4.8 Verloop van het zandvolume (m^3) in stortpolygoon en ten oosten en westen hiervan gedurende de simulatieperiode van 5 jaar.

Tot slot maken we een vergelijking tussen 1x per jaar storten (som 119H_08-100mu) en 2x per jaar storten (119H_13-100mu-05-10). De totale hoeveelheid zand die gestort wordt is hetzelfde in beide simulaties, i.e. $700 \times 10^3 \text{ m}^3$ per jaar. Figuur 4.9 en Figuur 4.10 tonen het verloop van de bodemligging en het zandvolume (relatief ten opzichte van $t = 0$ jaar in referentiesom 119H_08-100mu) in de tijd.

Initieel ligt er ongeveer $350 \times 10^3 \text{ m}^3$ minder zand (en meer water) in het stortvak voor de som waarbij 2x per jaar wordt gestort (rode onderbroken lijn). De initiële bodemligging is dan ook ca. NAP -23.5 m in plaats van ca. NAP -22.4 m. Na een half jaar wordt er wederom $350 \times 10^3 \text{ m}^3$ zand gestort in de 119H_13-100mu-05-10 som. Om dat moment ligt er meer zand in het stortvak dan voor de som met de jaarlijkse stortingen (zwarte getrokken lijn). Na 1 jaar is te zien dat de verschillen tussen beide simulaties klein zijn, zowel in het stortvak als in de directe aanpalende gebieden in de noordwestelijke en zuidoostelijke richting. In het geval van de halfjaarlijkse stortingen ligt er in het stortvak dan wat meer zand en de nabijgelegen gebieden zanden dientengevolge wat minder aan. Het verschil tussen beide simulaties groeit gestaag en na 5 jaar resteert er ongeveer $150 \times 10^3 \text{ m}^3$ (28%) meer zand in het stortvak. Dit duidt erop dat de verspreiding van gestort zand niet helemaal lineair verloopt, maar enigszins afhangt van de hoeveelheid gestort zand per keer: hoe groter de storthoeveelheid, hoe sneller het (relatief) verdwijnt. Dit effect is echter klein ten opzichte van de totale hoeveelheid gestort zand van $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Figuur 4.9 Verloop van de gemiddelde bodemligging (m NAP) in stortpolygoon en ten oosten en westen hiervan gedurende de simulatieperiode van 5 jaar.



Figuur 4.10 Verloop van het zandvolume (m^3) in stortpolygoon en ten oosten en westen hiervan gedurende de simulatieperiode van 5 jaar.

5 Conclusies

Data-analyse

- De Spijkerplaat migreert al sinds lange tijd naar het noorden, waardoor de diepte in stortvak W13 trendmatig afneemt.
- In de jaren '80 heeft deze trend zich versterkt, mede onder invloed van stortingen in vak W13 en in het ten zuiden hiervan gelegen stortvak t.b.v. vaargeulonderhoud.
- De huidige bodemligging van W13 overschrijdt lokaal de stortlimiet van LAT –20 m, waardoor een deel van het vak niet bruikbaar is.
- In recente jaren is de trendmatige verondieping afgezwakt, waarschijnlijk door toegenomen stroomsnelheid en naburige onttrekking van sediment vanwege vaargeul onderhoud bij de drempel van Borssele. De lokale diepte is nu ongeveer gelijk aan die van de omringende schelpenbanken (op circa -22 m NAP), d.w.z. de diepe put in de bredere geul is zo goed als opgevuld.
- Jaren met hoge stortvolumes (zoals 2004) zijn duidelijk zichtbaar in de bodemdata: het sedimentvolume piekt ook in deze jaren.
- Uiteindelijk verspreid het merendeel van het gestorte materiaal zich vanuit het stortvak. Voor zand vergt dit een tijdschaal van jaren, voor slib gaat dit veel sneller.
- De afgelopen jaren lijkt aan- en afvoer van sediment redelijk met elkaar in evenwicht te zijn bij een stortvolume van circa 1 Mm³ per jaar, d.w.z. het lokale sedimentvolume neemt dan niet meer wezenlijk toe.

Modelresultaten slibverspreiding

- Slib resuspendeert volgens berekeningen met het LTV-slibmodel voldoende snel vanaf stortvak W13, zodat geen permanente accumulatie van slib en een hierdoor veroorzaakte verondieping optreedt.
- Op de nabijgelegen drempel vindt volgens het slibmodel ook geen permanente accumulatie van slib plaats: hiervoor is de gemiddelde bodemschuifspanning te hoog. Wel wordt de bodem tijdelijk aangerijkt met slib, maar deze hoeveelheid is beperkt (orde 1 kg/m²).
- De bevindingen uit het slibmodel worden ondersteund door veldgegevens over de lokale morfologische ontwikkeling van deze drempel (wat betreft bodemhoogte en bodemsamenstelling), maar deze zijn wel beperkt in omvang.
- Na resuspensie verspreidt slib zich snel door de waterkolom over een afstand van orde de getijweglengte (5 tot 10 km).
- Het verspreide slib zet zich uiteindelijk af in laagdynamische gebieden zoals luw gelegen platen en havens. Vanuit vak W13 verspreid slib bereikt o.a. de havens van Terneuzen.

Modelresultaten zandverspreiding

- In de referentieberekening zonder zandverspreiding wordt de stortlocatie W13 ondieper (~1.2 m in 5 jaar). Dit geldt ook voor het gebied ten oosten hiervan (~2.9 m in 5 jaar). Het gebied ten westen wordt echter dieper (~0.6 m in 5 jaar).
- De storting van zandig sediment in locatie W13 heeft op de tijdschaal van 1 tot 5 jaar alleen lokaal een significant effect.
- Na 1 jaar is 46% van het gestorte zand in noordoostelijke (eb) en zuidwestelijke (vloed) richting getransporteerd en ligt 54% nog in het stortpolygoon. Na 5 jaar is dit

respectievelijk 36% en 64%, hetgeen impliceert dat de transportsnelheid toeneemt naarmate er meer wordt gestort.

- Over de gehele periode van 5 jaar is gemiddelde bodemligging in het stortvak afgenomen van -24.4 m NAP naar -20.9 m NAP. Het grootste deel van deze sedimentatie is het gevolg van de stortingen.

Integraal

- De berekende sedimentatie-/erosiepatronen voor de referentiesom voor zandtransport komen kwalitatief redelijk goed overeen met de gemeten waarden voor de periode 1967-2004.
- Zowel de data-analyse als de zandtransportberekeningen laten zien dat in stortvak W13 verspreid materiaal leidt tot een bodemverhoging in de nabije omgeving. Indien in de nabije omgeving vaargeulonderhoud moet worden gepleegd, is het aannemelijk dat het baggervolume wordt beïnvloed door specieverspreiding in W13, met name wat betreft de zandfractie. De Drempel van Borssele ligt echter op een dusdanige afstand van het stortvak (circa 5 km) dat de toename van de baggerinspanning hier over een tijdschaal van 5 jaar gering is (zie Figuur 4.6).
- Naast de mogelijke invloed van stortvak W13 vindt er al lange tijd een autonome ontwikkeling plaats waarbij de Spijkerplaat naar het noorden opschuift en de diepte van W13 afneemt. Gezien de huidige bodemhoogte en de waargenomen trend lijkt de toekomstbestendigheid van stortvak W13 daarom beperkt, met name indien het grote stortvolumes betreft. Op de korte termijn is verspreiding van de huidige hoeveelheden onderhoudsspecie echter niet problematisch: het stortvak biedt hiervoor nog voldoende capaciteit onder LAT -20 m.

6 Referenties

- Cleveringa, 2007. MER verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergrondsonderzoek morfologische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op meso-schaal.
- Kuijper, C., Steijn, R., Roelvink, D., Van der Kaaij, T., Olijslagers, P. (2004). Morphological modelling of the Western Scheldt. Report Z3648/A198, WL | Delft Hydraulics & Alkyon, The Netherlands.
- Kuijper, C., Van der Kaaij, T., De Goede, E. (2006). LTV-O&M actieplan voor morfologisch onderzoek modelinstrumentarium. Rapport Z3950, WL | Delft Hydraulics, Nederland.
- Planke, Y, 2010. Korrelgrootte-analyse sedimentstalen baggerschepen. Memo. Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, Belgium.