



Vlaanderen
is wetenschap

20_091_2
WL rapporten

Complex Project ECA – Extra Containercapaciteit Antwerpen

Deelrapport 2 – Inschatting van de verandering in SSC
met behulp van een multivariaat model

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Complex Project ECA – Extra Containercapaciteit Antwerpen

Deelrapport 2 – Inschatting van de verandering in SSC met behulp van een multivariaat model

Plancke, Y.; Smolders, S.; Vanlede, J.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2024
D/2024/3241/075

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Smolders, S.; Vanlede, J. (2024). Complex Project ECA – Extra Containercapaciteit Antwerpen: Deelrapport 2 – Inschatting van de verandering in SSC met behulp van een multivariaat model. Versie 2.0. WL Rapporten, 20_091_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DMOW – Maritieme Toegang	Ref.:	WL2024R20_091_2
Trefwoorden (3-5):	Sediment, Schelde-estuarium, scenario-analyse, CP ECA		
Kennisdomeinen:	Sediment > Cohesief sediment > Literatuur- en desktoponderzoek Sediment > Baggeren en storten > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	2
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Smolders, S.	Getekend door:Sven Smolders (Signature) Getekend op:2024-05-06 10:00:46 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Vanlede, J.	Getekend door:Joris Vanlede (Signature) Getekend op:2024-05-08 14:52:48 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op:2024-05-03 13:29:29 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	--

Abstract

In het kader van het Complex project ECA dient het effect van de stortingen voor het onderhouden van het getijdendok ingeschat te worden. Om het effect op de primaire productie te kunnen inschatten, dient de verandering in de zwevende stof concentratie (SSC) langsheen het Schelde-estuarium gekend te zijn. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een multivariaat model (MVM), waarbij op basis van verklarende parameters de SSC wordt ingeschat.

In voorliggend rapport wordt het MVM toegepast dat in het kader van de Agenda voor de Toekomst werd opgemaakt. Het MVM is opgemaakt op basis van de periodieke SSC-metingen, uitgevoerd in het kader van het OMES-project. Dit basismodel werd in het kader van deze studie op 2 vlakken uitgebreid: enerzijds werd een spatiale uitbreiding gemaakt voor de Westerschelde, anderzijds werd een werkwijze geïmplementeerd waarbij het effect op de verandering in SSC van alternatieve stortlocaties kan worden ingeschat.

De sterkste toename ten gevolge van de extra stortingen ten behoeve van het onderhoud van het 2^e getijdendok, is voor de verschillende alternatieven terug te zien nabij de stortlocaties. In absolute waarden treedt de sterkste toename op in het segment KM70-80, waarin de verschillende stortlocaties (Oosterweel en Punt van Melsele) gelegen zijn. In relatieve zin, treedt de sterkste toename op in het segment KM60-70 of KM70-80, afhankelijk van de beschouwde periode. Het spatiale patroon langsheen het estuarium is identiek voor de verschillende inrichtingsalternatieven, enkel de grootte van de verandering verschilt. Dit verschil kan één op één toegeschreven worden aan de verschillen in extra onderhoudsvolumes die berekend werden voor de verschillende inrichtingsalternatieven.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Inrichtingsalternatieven	1
2 Methodologie	2
2.1 Doelstelling.....	2
2.2 Extra sedimentatie t.g.v. getijdedok.....	2
2.3 Verandering in SSC t.g.v. extra sedimentatie	2
2.4 Ecologische verandering t.g.v. verandering in SSC.....	3
3 Multivariaat model	4
3.1 Basismodel.....	4
3.2 Uitbreiding 1 – Westerschelde	6
3.2.1 Getij	6
3.2.2 Verblijftijd	7
3.2.3 Stortingen	8
3.2.4 Snijpunt.....	9
3.3 Uitbreiding 2 – Alternatieve stortlocaties	10
3.3.1 Methode A: o.b.v. numerieke simulaties	10
3.3.2 Methode B: o.b.v. schaling van de lineaire coëfficiënt van het basismodel	11
3.3.3 Methode C: o.b.v. een geschaalde normale verdeling.....	12
3.3.4 Vergelijking methodes.....	13
4 Resultaten.....	15
4.1 Variant 1 - BOEMERANG.....	15
4.2 Variant 2 – WINKELHAAK.....	16
4.3 Variant 3 - DUPLEX.....	17
4.4 Vergelijking varianten.....	18
5 Conclusies en aanbevelingen	19
5.1 Conclusies.....	19
5.2 Aanbeveling	19
6 Referenties	20
Bijlage 1 Coëfficiënten MVM (OMES)	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht parameters multivariate model o.b.v. periodieke metingen (OMES)	5
Tabel 2 – Overzicht waarden snijpunt δ voor de uitbreiding naar Westerschelde	9

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Inrichtingsalternatief Boemerang (links), Winkelhaak (midden) en Duplex (rechts).....	1
Figuur 2 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor het getij (incl. uitbreiding Westerschelde)....	6
Figuur 3 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de verblijftijd (incl. uitbreiding Westerschelde)	7
Figuur 4 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen (incl. uitbreiding Westerschelde)	8
Figuur 5 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. numerieke simulaties Rood = storting te Oosterweel blauw = storting te Ballastplaat	10
Figuur 6 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. multivariaat model Rood = storting te Oosterweel blauw = storting te Ballastplaat	11
Figuur 7 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. normale verdeling Rood = storting te Oosterweel blauw = storting te Ballastplaat	12
Figuur 8 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de verschillende methodes Boven = storting te Oosterweel Onder = storting te Ballastplaat.....	14
Figuur 9 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Boemerang Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 rechter as: relatieve verschil	15
Figuur 10 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Winkelhaak Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 rechter as: relatieve verschil	16
Figuur 11 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Duplex Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 rechter as: relatieve verschil	17
Figuur 12 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen voor verschillende varianten Relatieve verschil van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018	18
Figuur 13 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): getijfactor Grijs balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is	B1
Figuur 14 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): verblijftijd Grijs balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is	B2
Figuur 15 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): stortingen Grijs balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is	B2

1 Inleiding

Op 31 januari 2020 stelde de Vlaamse Regering het Voorkeursbesluit van het complex project ‘Realisatie van extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen’ (CP ECA) definitief vast en rondde hiermee de onderzoeksfase conform het decreet complexe projecten af. Hiermee werden de locaties vastgelegd voor het bewerkstelligen van de extra containercapaciteit. Uiteraard is een essentieel onderdeel daarvan de Containercluster Linker Scheldeoever.

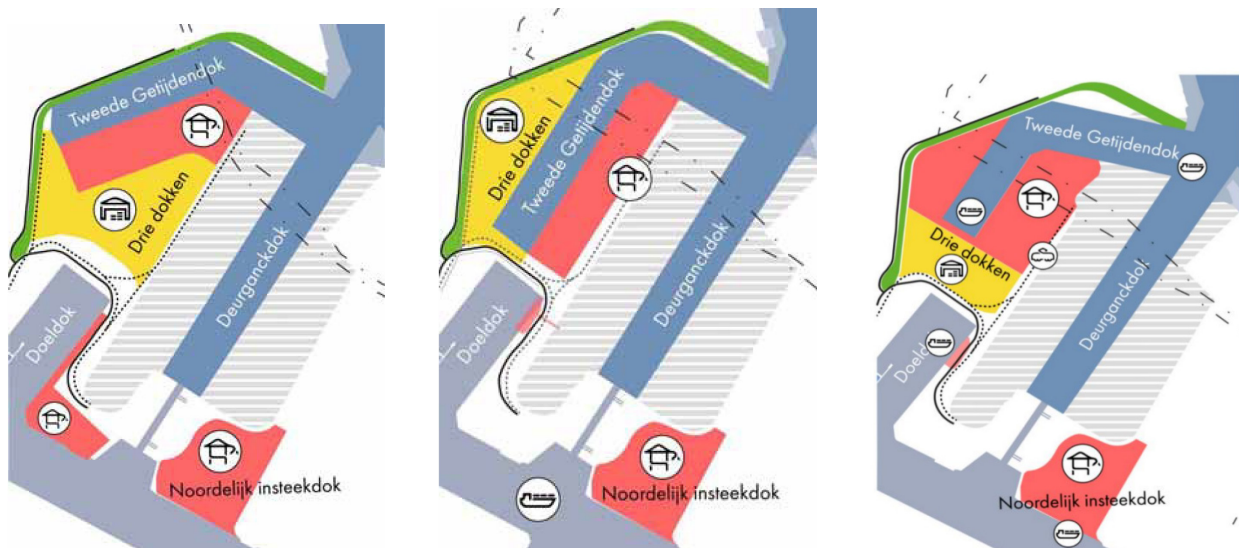
In de uitwerkingsfase (huidige fase) wordt het voorkeursbesluit verder geconcretiseerd tot realiseerbare en vergunbare projecten waarbij ook de uitvoeringswijze bepaald wordt. De projectonderzoeksnota (PON) (SHIP, 2020) vormt het startpunt van de uitwerkingsfase. In het kader van voorliggend project wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) een bijdrage geleverd aan het inschatten van de effecten van een 2^e getijdendok (2GTD) op de water- en sedimenthuishouding in het Schelde-estuarium. Hierin worden 2 onderzoeksvragen beantwoord:

- 1) Wat is de bijdrage van de processen in de wateruitwisseling tussen Schelde en het 2GTD?
- 2) Wat is de verwachte toename in SSC ten gevolge van de bijkomende stortingen voor de verschillende inrichtingsalternatieven, ingeschat door middel van een multivariaat model?

De eerste onderzoeksvraag wordt behandeld in (Smolders *et al.*, 2022). Voorliggend rapport gaat in op de tweede onderzoeksvraag.

1.1 Inrichtingsalternatieven

Inrichtingsalternatieven zijn alternatieven die binnen de indicatief vastgelegde grenslijnen van het gekozen locatiealternatief vallen. Het voorkeursbesluit laat binnen de indicatief vastgelegde grenslijn dan ook een aantal vrijheidsgraden toe om een optimale invulling van het projectgebied te bekomen. Binnen deze vrijheidsgraden zijn twee verschillende inrichtingsalternatieven gedefinieerd: (1) de “Boemerang” en (2) de “Winkelhaak” (zie Figuur 1). Daarnaast is er ook de “Duplex” variant onderzocht.



Figuur 1 – Inrichtingsalternatief Boemerang (links), Winkelhaak (midden) en Duplex (rechts)

2 Methodologie

2.1 Doelstelling

In het kader van het CP ECA zal naast een beoordeling van de hydro-morfologie tevens een ecologische beoordeling moeten plaatsvinden van de verschillende varianten. Er zal ook onderzocht worden welke mitigerende maatregelen mogelijk en effectief zijn.

Om deze ecologische effecten in te kunnen schatten zal per scenario eerst de wateruitwisseling tussen het dok en de Schelde moeten berekend worden. Hieruit kan vervolgens de extra sedimentatie berekend worden. In de volgende stap kan het effect van de extra storthoeveelheden op de sedimentconcentratie doorheen het estuarium ingeschat worden, waarna tenslotte de ecologische doorvertaling kan gebeuren. De verschillende stappen worden hierna kort toegelicht.

2.2 Extra sedimentatie t.g.v. getijdedok

De uitwisselingsstromen (getijvulling, neer en denseitsstroming) bepalen de sedimentatie die in het 2GTD zal optreden. In de PON wordt voorzien dat de aanslibbing van het 2GTD zal worden ingeschat met een empirisch aanslibbingsmodel dat is afgeregeld voor DGD en dat de uitwisselingsstromen als input heeft. De in- en uitwateringsvolumes van het DGD en het 2GTD werden bepaald aan de hand van het SCALDIS-model (Smolders *et al.*, 2016). De horizontale en verticale componenten van de uitwisseling worden ontbonden volgens de geometrische methode van Vanlede *et al.* (2014) om de verschillende componenten te bepalen. De resultaten zijn te vinden in (Smolders *et al.*, 2022).

Vervolgens wordt door Witteveen+Bos aan de hand van het empirisch aanslibbingsmodel de (extra) sedimentatie voor de verschillende inrichtingsvarianten bepaald. Deze sedimentmassa's (TDS/jaar) vormen de basis voor de berekening van de te verwachten verandering in SSC.

2.3 Verandering in SSC t.g.v. extra sedimentatie

De extra sedimentatie in het 2GTD zal aanleiding geven tot bijkomende onderhoudsbaggerwerken. Het uitgangspunt is om de gebaggerde specie op dezelfde manier terug te storten als de huidige stortstrategie. Deze stortingen zullen aanleiding geven tot veranderingen in de sedimentconcentratie doorheen het estuarium. Zowel International Marine and Dredging Consultants (2017) als Plancke *et al.* (2020) maken gebruik van een multivariate analyse om op basis van invloedsfactoren de veranderingen in sedimentconcentratie in de Schelde in te schatten. De drie belangrijkste verklarende factoren in deze studies zijn:

- Bovenafvoer of de verblijftijd
- Getijfactor
- Storthoeveelheden slib

Dit levert volgend model:

$$SSC = \alpha_{stort} \cdot STORT + \alpha_{VBT} \cdot VERBLIJFTIJD + \alpha_{GF} \cdot GETIJFACTOR + \delta \quad (1)$$

Met: SSC: de sedimentconcentratie [mg/l]

STORT: de wekelijkse hoeveelheid slib gestort in de Beneden-Zeeschelde [$m^3 V'$]

VERBLIJFTIJD: de verblijftijd van een waterdeeltje in de Boven-Zeeschelde [dagen]

GETIJFACTOR: de getijfactor [-]

α_i : een lineaire coëfficiënt die de bijdrage van elke factor beschrijft

Het multivariate model laat toe de bijdrage van de verschillende verklarende factoren in te schatten. Met behulp van de coëfficiënten (één coëfficiënt per bijdrage via meervoudige lineaire regressie) kan dan ook de invloed van één of meer factoren bestudeerd worden. Voor een uitgebreide beschrijving van het model wordt verwezen naar § 3.

In het kader van voorliggend onderzoek wordt de toename in de verwachte onderhoudsbaggerwerken (uit § 2.2) doorvertaald naar extra stortingen in het multivariaat model. Hieruit volgt de bijhorende verandering in sedimentconcentratie. De toename in sedimentconcentratie zorgt voor een bijkomende sedimentatie ter hoogte van baggerzones. Deze vertaalt zich lineair door. Op basis van eerder onderzoek (Plancke *et al.*, 2016) is gebleken dat deze 2^e orde effecten op de toename in sedimentconcentratie klein (< 1%) zijn. In de huidige analyse worden deze 2^e orde effecten niet meegenomen.

2.4 Ecologische verandering t.g.v. verandering in SSC

In de laatste stap zal het effect van de verandering sedimentconcentratie op de ecologie bestudeerd worden. Dit onderdeel wordt door de UAntwerpen uitgevoerd. De werkwijze is gelijkaardig aan eerdere studies waarin het effect van het terugstorten van baggerspecie op de ecologie bestudeerd werd (Cox & Meire, 2015; Plancke *et al.*, 2016).

3 Multivariaat model

3.1 Basismodel

Het multivariaat model uit International Marine and Dredging Consultants (2016, 2017) voorspelt de sedimentconcentratie aan de hand van verschillende (9) invloedsfactoren. Op basis van de resultaten uit deze studie werd in het kader van de Agenda voor de Toekomst (Plancke *et al.*, 2020) een gelijkaardige analyse uitgevoerd waarbij slechts 3 verklarende parameters beschouwd werden: (1) de wekelijkse storthoeveelheid, (2) de verblijftijd en (3) de getijfactor. Deze parameters bleken uit de eerdere studie de belangrijkste bijdrage te leveren. In tegenstelling tot de studie van IMDC, werden naast de OMES-dataset ook bijkomende gegevens gebruikt uit metingen van het Waterbouwkundig Laboratorium (schepstalen en HTE-vaarten).

In deze studie werd een eerste analyse uitgevoerd waarin op basis van data over een periode van 3 jaar (voortschrijdend venster met tussenstap van één jaar) de lineaire coëfficiënten werden bepaald en er nagegaan werd of er in de periode 1999-2018 een trendbreuk aanwezig is. Voor de verblijftijd bleek er in het merendeel van de locaties een trendbreuk aanwezig te zijn in 2004-2005. Voor de getijfactor was dit meer gespreid, al bleek dit voor een aantal locaties eveneens in 2004-2005 te zijn. Voor de wekelijkse storthoeveelheden was dit sterk gespreid over verschillende jaren. Op basis hiervan werd besloten de analyse verder uit te voeren voor de data uit de periode 2005 tot en met 2018.

Een tweede analyse betrof de uitwisselbaarheid van de data uit verschillende meetcampagnes. De verschillende lineaire coëfficiënten vertonen een gelijkaardig patroon voor de verschillende meetcampagnes. De coëfficiënten voor de verschillende verklarende parameters bepaald voor de data van de HTE-vaarten bleek systematisch hoger te liggen dan deze uit de OMES-metingen. Dit kan toegeschreven worden aan het verschil in meetmethode, waar tijdens de HTE-vaarten een pompstaal ca. 1m onder het wateroppervlak wordt genomen, wordt bij een OMES-vaart een schepstaal genomen nabij het wateroppervlak. Desalniettemin wijken de waarden van de coëfficiënten voor de verschillende meetcampagnes weinig af wat de onderlinge uitwisselbaarheid bevestigt.

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten van de eerdere analyse. Per segment wordt voor elk van de 3 verklarende parameters aangegeven of deze een al dan niet significante bijdrage levert. Daarnaast wordt ook de regressiecoëfficiënt (R^2) gepresenteerd van het MVM voor het bepaalde segment en het aantal beschikbare SSC-metingen waarmee de analyse is uitgevoerd. Bijlage 1 Coëfficiënten MVM (OMES) geeft daarnaast het verloop weer van de verschillende lineaire coëfficiënten en de significantie waarde (p-waarde) langsheen het estuarium voor respectievelijk het getij, de verblijftijd en de storthoeveelheden. De schaal is zo gekozen dat wanneer de p-waarde groter is dan 0,05 (niet-significant), deze balk overlapt met de waarde van de lineaire coëfficiënt waardoor deze niet zichtbaar is. Voor een uitvoerige beschrijving wordt verwezen naar (Plancke *et al.*, 2020).

Tabel 1 – Overzicht parameters multivariate model o.b.v. periodieke metingen (OMES)

Zone	Stort	Verblijftijd	Getijfactor	R ²	# metingen
KM0-10				0,17	432
KM10-20				0,35	144
KM20-30	GEEN METINGEN BESCHIKBAAR				
KM30-40				0,20	582
KM40-50				0,16	152
KM50-60				0,20	482
KM60-70				0,27	340
KM70-80				0,30	678
KM80-90				0,22	398
KM90-100				0,25	679
KM100-110				0,33	196
KM110-120				0,47	195
KM120-130				0,37	589
KM130-140				0,24	194
KM140-150				0,04	388
KM150-160				0,09	222

Legende:

R² = regressie-coëfficiënt voor multivariaat model

Getijfactor: **groen** = p-waarde < 0,05 | **rood** = p-waarde > 0,05

Verblijftijd: **groen** = p-waarde < 0,05 | **rood** = p-waarde > 0,05

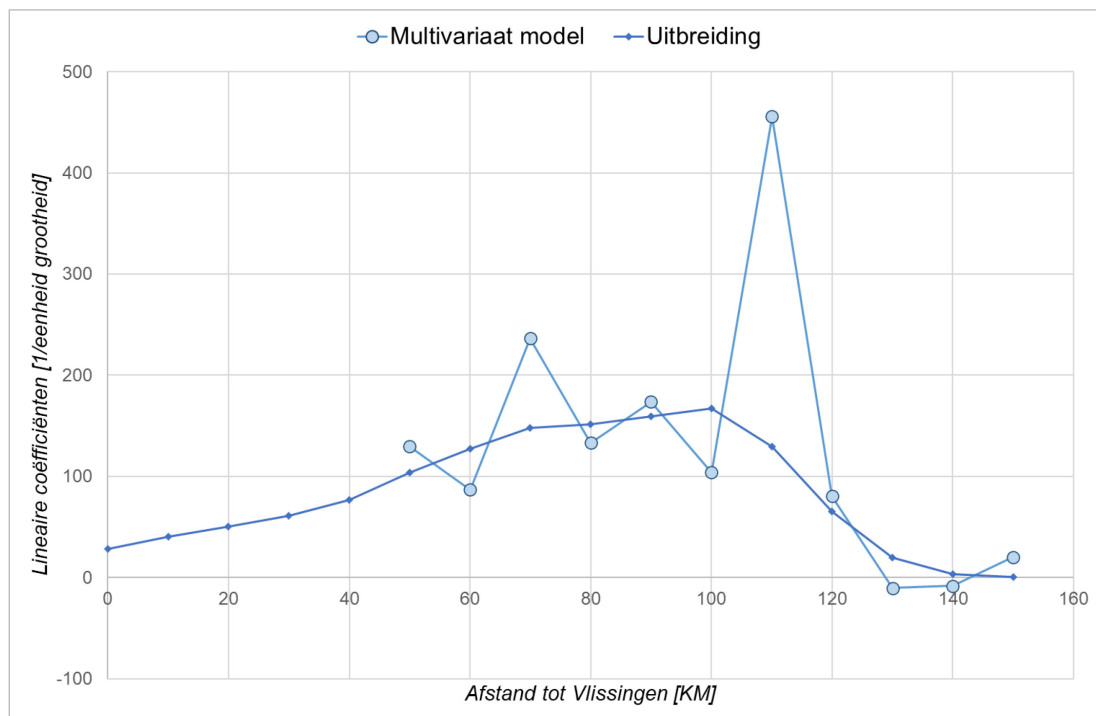
Stort = storthoeveelheid “slib” per week: **groen** = p-waarde < 0,05 | **rood** = p-waarde > 0,05

3.2 Uitbreiding 1 – Westerschelde

Om de effecten op de sedimentconcentratie in het Schelde-estuarium van de stortstrategie in het kader van het CP ECA in te schatten, zullen ook de veranderingen in de Westerschelde in beeld gebracht moeten worden. Doordat de dataset van de gemeten sedimentconcentratie zich concentreert in de Zeeschelde, was het onmogelijk om de coëfficiënt van het multivariaat model te bepalen in de Westerschelde. In de volgende paragrafen wordt de methode toegelicht die toegepast is om het model uit te breiden naar de Westerschelde.

3.2.1 Getij

Figuur 2 geeft het ruimtelijk verloop van de lineaire coëfficiënten langsheen het estuarium weer voor het getij. Wanneer dit verloop vergeleken wordt met het verloop van het getijverschil, vertoont het patroon sterke gelijkenissen. Wanneer de uitschieter op KM110 buiten beschouwing gelaten wordt, is er een lichte toename in de lineaire coëfficiënt tussen KM50 en KM100, waarna de coëfficiënt geleidelijk afneemt naar KM150. Dit verloop komt overeen met de verwachting en het getijverschil: een groter getijverschil leidt tot een sterke dynamiek (o.a. hogere stroomsnelheden), waardoor de sedimentconcentratie evenredig is met het getijverschil. Voor de uitbreiding naar de Westerschelde wordt dan ook het relatieve verloop van het getijverschil als uitgangspunt gehanteerd. Dit verloop wordt geschaald zodat de overeenstemming optimaal is (Figuur 2) voor de bestaande coëfficiënten (KM50-KM150). De alzo berekende waarden voor KM0 tot KM40 worden gecombineerd met de coëfficiënten uit het basismodel. De bestaande coëfficiënten worden niet aangepast, met uitzondering van de piekwaarde op KM110 waar een lineair geïnterpoleerde waarde wordt gehanteerd.

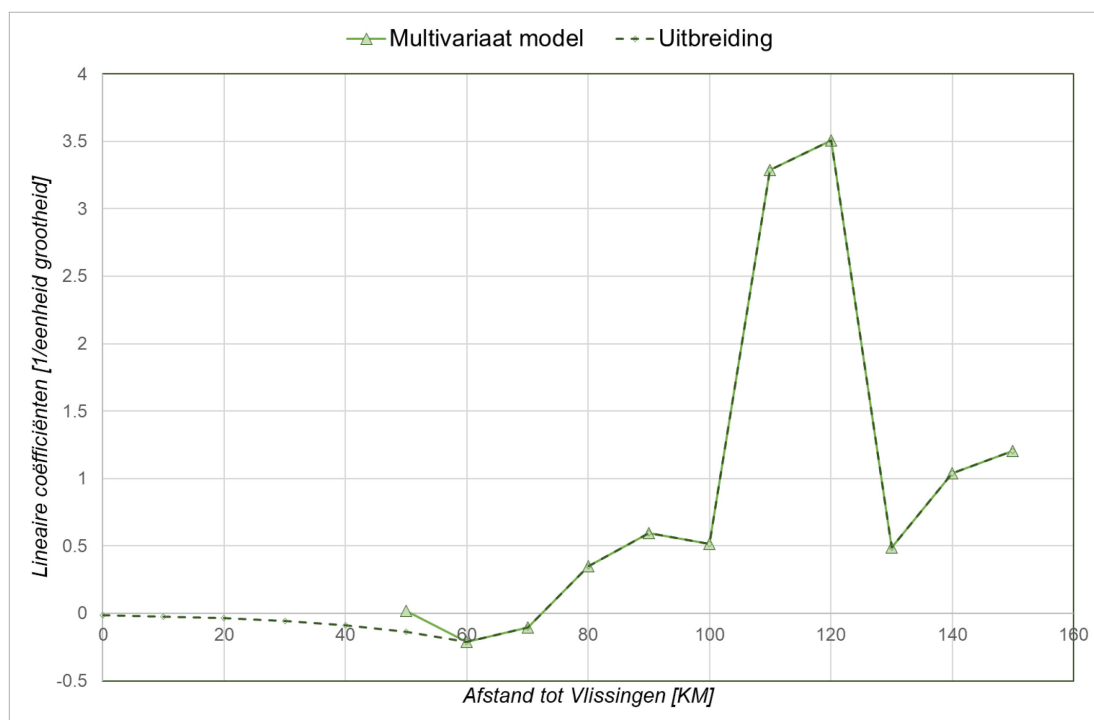


Figuur 2 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor het getij (incl. uitbreiding Westerschelde)

3.2.2 Verblijftijd

Figuur 3 geeft het ruimtelijk verloop van de lineaire coëfficiënten langsheen het estuarium weer voor de verblijftijd. Dit verloop kent positieve waarden opwaarts KM80 en negatieve waarden tussen KM50 en KM80. De achterliggende verklaring hiervoor is dat bij een lange verblijftijd (i.e. periode van lage bovenafvoer) het estuarien turbiditeitsmaximum (ETM) zich naar opwaarts verplaatst, terwijl in het afwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde minder sedimentrijk water uit de Westerschelde zich aandient. Bij een korte verblijftijd (i.e. hoge bovenafvoer) zal het sediment uit de Boven-Zeeschelde “uitgespoeld” worden, waardoor deze term een beperktere bijdrage levert in de Boven-Zeeschelde in vergelijking met een periode met hoge verblijftijd. Het sediment zal bij hoge bovenafvoer de Beneden-Zeeschelde (en de Westerschelde) bereiken, waardoor in afwaartse deel de Beneden-Zeeschelde de reductie van de sedimentconcentratie kleiner (i.e. hogere SSC-waarde) wordt in vergelijking met een periode met hoge verblijftijd.

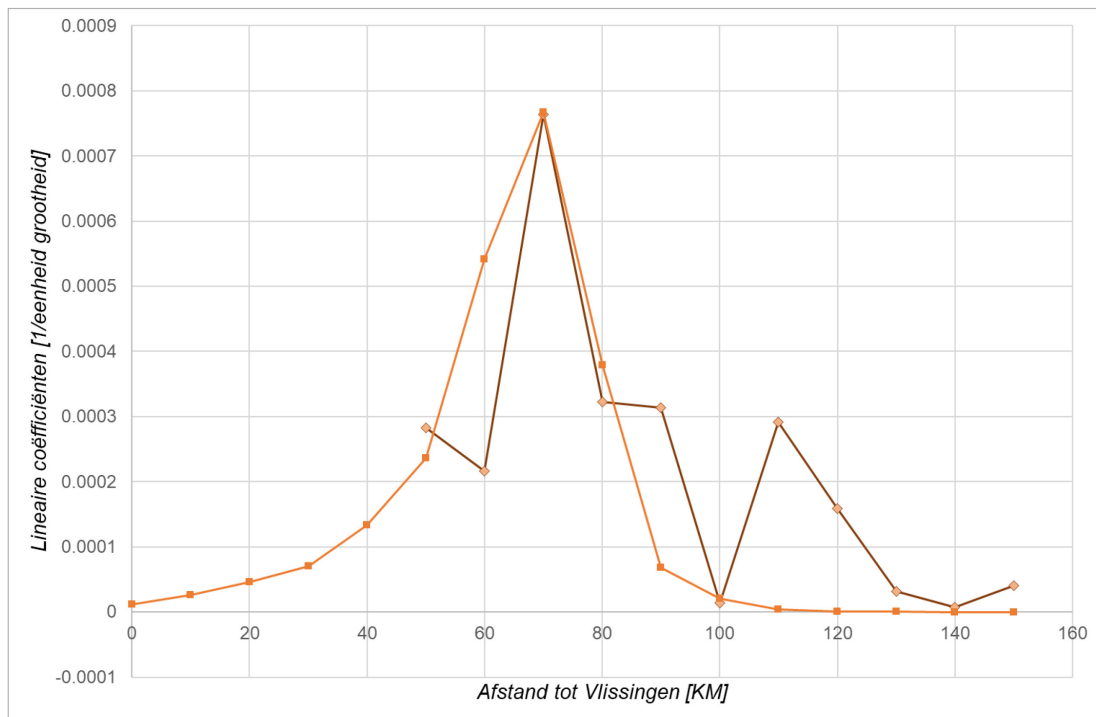
Ook in de Westerschelde zal dit fenomeen optreden. Daarom wordt de extrapolatie naar de Westerschelde uitgevoerd door de lineaire coëfficiënt voor KM60 te schalen met het watervolume voor het betreffende segment in de Westerschelde. Deze verscaling is gekozen omwille van het verdunningseffect dat zich in de Westerschelde voordoet: 1 ton sediment zal een kleinere verhoging van de SSC opleveren in het westelijk deel van de Westerschelde in vergelijking met het oostelijke deel door het verschil in watervolume. De alzo berekende waarden voor KM0 tot KM40 worden gecombineerd met de coëfficiënten uit het basismodel (Figuur 3).



Figuur 3 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de verblijftijd (incl. uitbreiding Westerschelde)

3.2.3 Stortingen

Figuur 4 geeft het ruimtelijk verloop van de lineaire coëfficiënten langsheen het estuarium weer voor de stortingen. Dit verloop kent logischerwijze een piek ter hoogte van de stortlocaties Oosterweel en Punt van Melsele (KM70). Zowel op- als afwaarts neemt de invloed van de stortingen af. In het kader van het onderzoeksprogramma Agenda voor de Toekomst, werden numerieke modelsimulaties (Stark *et al.*, 2022) uitgevoerd waarbij de stortingen in de Beneden-Zeeschelde werden gesimuleerd. Het effect van de stortingen op de sedimentconcentratie kan uit de gesimuleerde SSC-waarden berekend worden. Het patroon vertoont sterke gelijkenissen met de lineaire coëfficiënten van het multivariaat model. Voor de uitbreiding naar de Westerschelde wordt dan ook de uit de modelsimulaties afgeleide respons gehanteerd. De also berekende waarden voor KM0 tot KM40 worden gecombineerd met de coëfficiënten uit het basismodel. De bestaande coëfficiënten worden niet aangepast, met uitzondering van de “dalwaarde” op KM100 waar een linear geïnterpoleerde waarde wordt gehanteerd.



Figuur 4 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen (incl. uitbreiding Westerschelde)

3.2.4 Snijpunt

Om de uitbreiding van het multivariaat model naar de Westerschelde af te ronden, dient een waarde bepaald te worden voor het snijpunt δ (zie (1)). Hiervoor is gebruik gemaakt van de beschikbare SSC-metingen van Rijkswaterstaat voor de stations Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Schaar van de Noord. Op basis van de gemiddelde SSC-waarden in de periode 2014-2018 werd via een spline interpolatie de gemiddelde waarde van de SSC bepaald per blok van 10 km (i.e. ruimtelijke resolutie multivariaat model). De waarde van δ (Tabel 2) werd bepaald zodat de gemeten SSC-waarde en de gemiddelde waarde met behulp van het multivariaat model identiek zijn.

Tabel 2 – Overzicht waarden snijpunt δ voor de uitbreiding naar Westerschelde

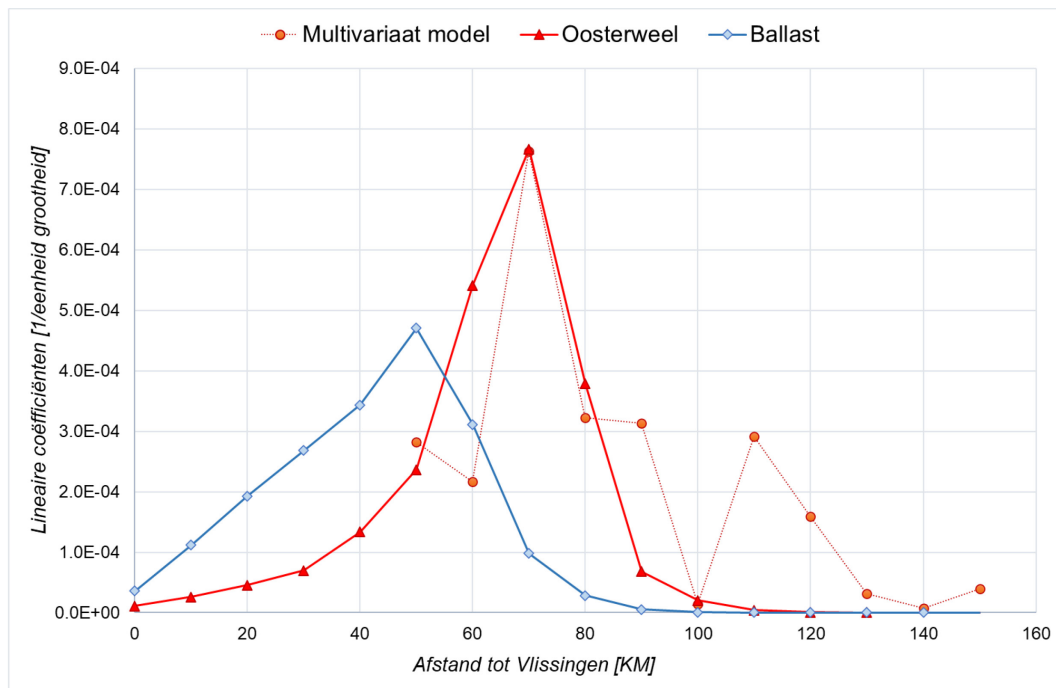
KM	Snijpunt δ [mg/l]
0-10	34,9
10-20	26,6
20-30	5,42
30-40	-18,2
40-50	-37,3

3.3 Uitbreiding 2 – Alternatieve stortlocaties

Om de effecten op de sedimentconcentratie in het Schelde-estuarium van de stortstrategie in het kader van het CP ECA in te schatten, zullen ook alternatieve stortlocaties als mitigerende maatregel onderzocht worden. Het multivariaat model is hiervoor in eerste instantie niet direct inzetbaar. Een andere stortlocatie zal aanleiding geven tot een andere respons van de sedimentconcentratie op de stortingen. In de volgende paragrafen worden 3 methodes voorgesteld en vergeleken om het effect van alternatieve stortlocaties op de sedimentconcentratie te kunnen inschatten.

3.3.1 Methode A: o.b.v. numerieke simulaties

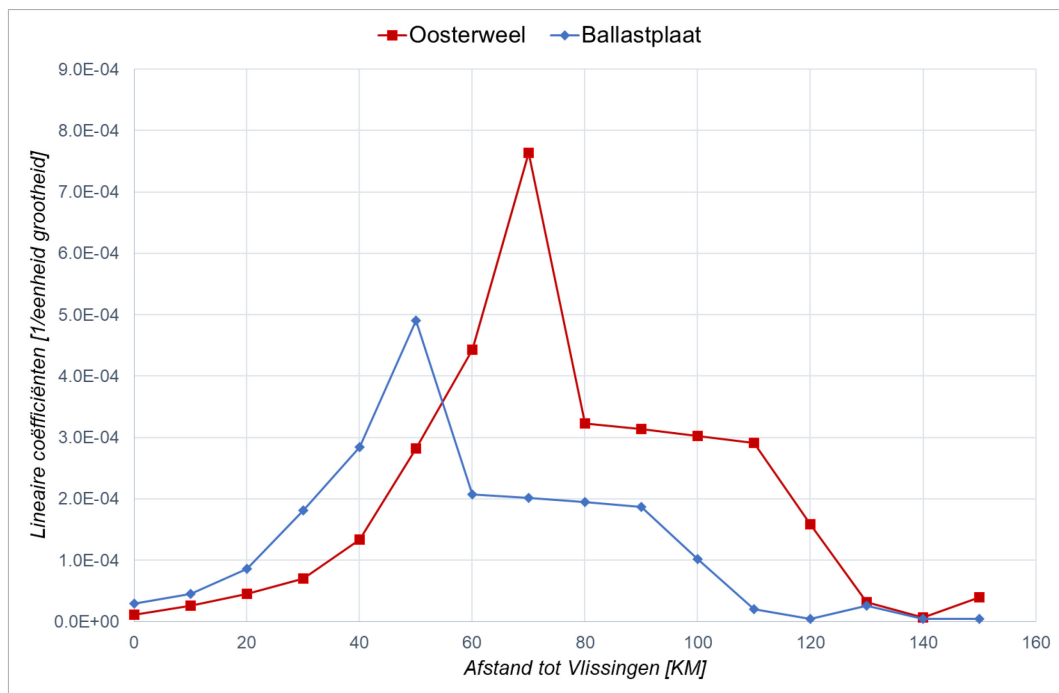
Daar waar in § 0 aan de hand van numerieke modelsimulaties de uitbreiding van de coëfficiënten voor de Westerschelde is beschreven, kan deze methode ook toegepast worden om het effect van alternatieve stortlocaties te begroten. Het expliciet inzetten van numerieke modellen werd, omwille van beperkingen van deze modellen op vlak van cohesief sedimenttransport, niet opgenomen in de PON (SHIP, 2020). In het kader het onderzoek binnen het onderzoeksprogramma Agenda voor de Toekomst, werd naast de invloed van de klassieke stortlocaties op de SSC, ook een aantal andere stortlocaties onderzocht. Eén van de locaties betreft de Ballastplaat, welke binnen voorliggend onderzoek als stortlocatie gezien wordt als een potentiële mitigerende maatregel. Analoog aan de inschatting van de respons (stort – SSC) voor de stortlocatie Oosterweel, kan deze respons ingeschat worden voor de nieuwe stortlocatie. Figuur 5 toont de respons voor zowel de stortlocatie Oosterweel als Ballastplaat. De respons komt overeen met de verwachtingen: meer afwaarts storten zorgt voor een sterkere respons in de Westerschelde, terwijl de respons in de Beneden-Zeeschelde minder sterk is. Opvallend is het minimale verschil opwaarts KM100, wat enerzijds toe te schrijven aan het feit dat gekeken wordt naar de initiële (maximale) respons (i.e. direct na het einde van de stortingen), anderzijds ook gerelateerd is aan het feit dat het opwaarts verplaatsen van het ETM door de bestaande modellen weinig of niet wordt gereproduceerd.



Figuur 5 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. numerieke simulaties
Rood = storting te Oosterweel | **blauw** = storting te Ballastplaat

3.3.2 Methode B: o.b.v. schaling van de lineaire coëfficiënt van het basismodel

Een tweede manier om de invloed van stortingen op de SSC in te schatten, is gebruik makend van de bestaande respons coëfficiënten en deze schalen op basis van het watervolume ter hoogte van huidige en alternatieve stortlocatie. De respons wordt verschoven zodat de maximale respons terug te vinden ter hoogte van de nieuwe stortlocatie (net zoals bij het huidige stortstrategie ook optreedt). De verschaling wordt gekozen omwille van de verdunning die plaatsvindt wanneer eenzelfde sedimentmassa gestort wordt in een groter watervolume (e.g. watervolume nabij Ballastplaat vs. nabij Oosterweel). Concreet zullen bij het verplaatsen van stortingen van Oosterweel naar Ballastplaat de respons coëfficiënten 2 blokken naar afwaarts verschoven worden, terwijl eveneens een reductie met 35% toegepast omwille van het verschil in watervolume. Voor de opwaartse blokken wordt de waarde van KM140 overgenomen in combinatie met de verschaling. Op deze manier bekomt men lineaire coëfficiënten die de invloed van de stortingen voor de nieuwe stortlocatie weergeven. Figuur 6 toont de respons voor zowel de stortlocatie Oosterweel als Ballastplaat. Ook bij deze methode komt de respons overeen met de verwachtingen: meer afwaarts storten zorgt voor een sterkere respons in de Westerschelde, terwijl de respons in de Beneden-Zeeschelde minder sterk is. In tegenstelling tot methode A, is er met deze methode wel een onderscheid zichtbaar in de Boven-Zeeschelde.

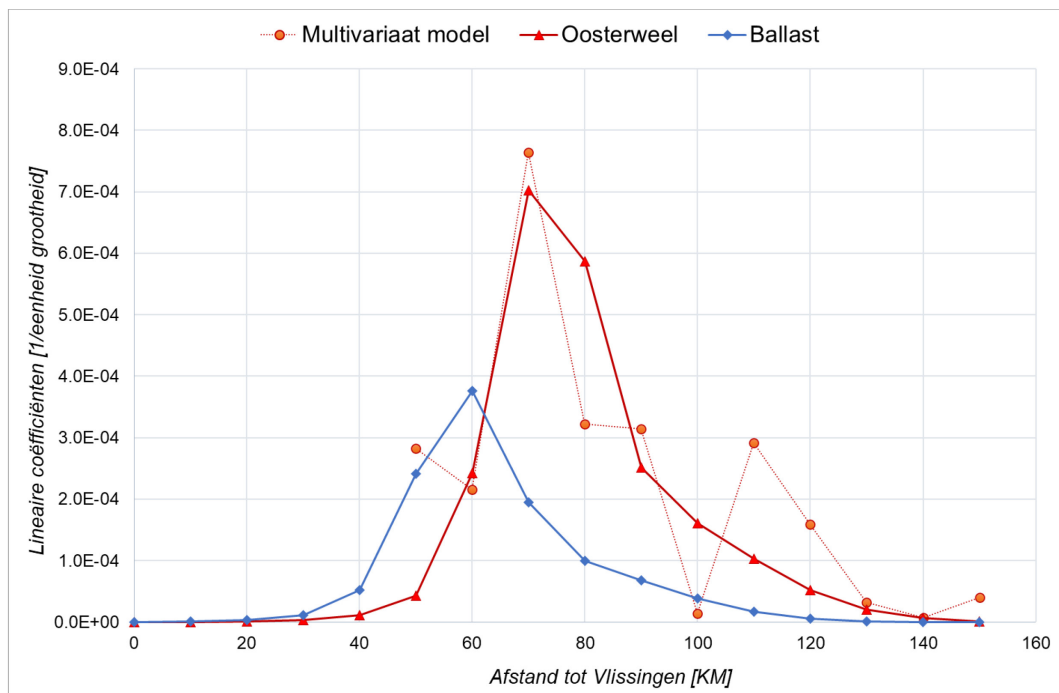


Figuur 6 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. multivariaat model
Rood = storting te Oosterweel | blauw = storting te Ballastplaat

3.3.3 Methode C: o.b.v. een geschaalde normale verdeling

Een derde manier om de invloed van stortingen op de SSC in te schatten, is eerder pragmatisch. Uit de lineaire coëfficiënten van het basismodel (§ 3.1) is gebleken dat de sterkste respons optreedt ter hoogte van de stortlocatie, terwijl de invloed zowel naar af- als opwaarts afneemt. In deze methode wordt de invloed benaderd door een combinatie van twee normale verdelingen. Elke normale verdeling wordt gekenmerkt door een verwachtingswaarde en een spreiding. Voor beide verdelingen valt de verwachtingswaarde samen met de locatie van de stortingen (e.g. KM70 voor Oosterweel). De eerste spreiding is klein (8 km) en zorgt voor de piek in respons ter hoogte van de stortlocatie. De tweede spreiding is groter (20 km) en zorgt voor de invloed langsheen het estuarium. Aangezien de invloed naar af- en opwaarts verschilt omwille van het verschil in watermassa (verdunding afwaarts ⇔ concentratie opwaarts) wordt opnieuw een verscaling toegepast op basis van de watervolumes.

Figuur 7 toont de respons voor zowel de stortlocatie Oosterweel als Ballastplaat. Ook bij deze methode komt de respons overeen met de verwachtingen: meer afwaarts storten zorgt voor een sterkere respons in de Westerschelde, terwijl de respons in de Beneden-Zeeschelde minder sterk is. In tegenstelling tot methode A, is er met deze methode wel een onderscheid zichtbaar in de Boven-Zeeschelde.

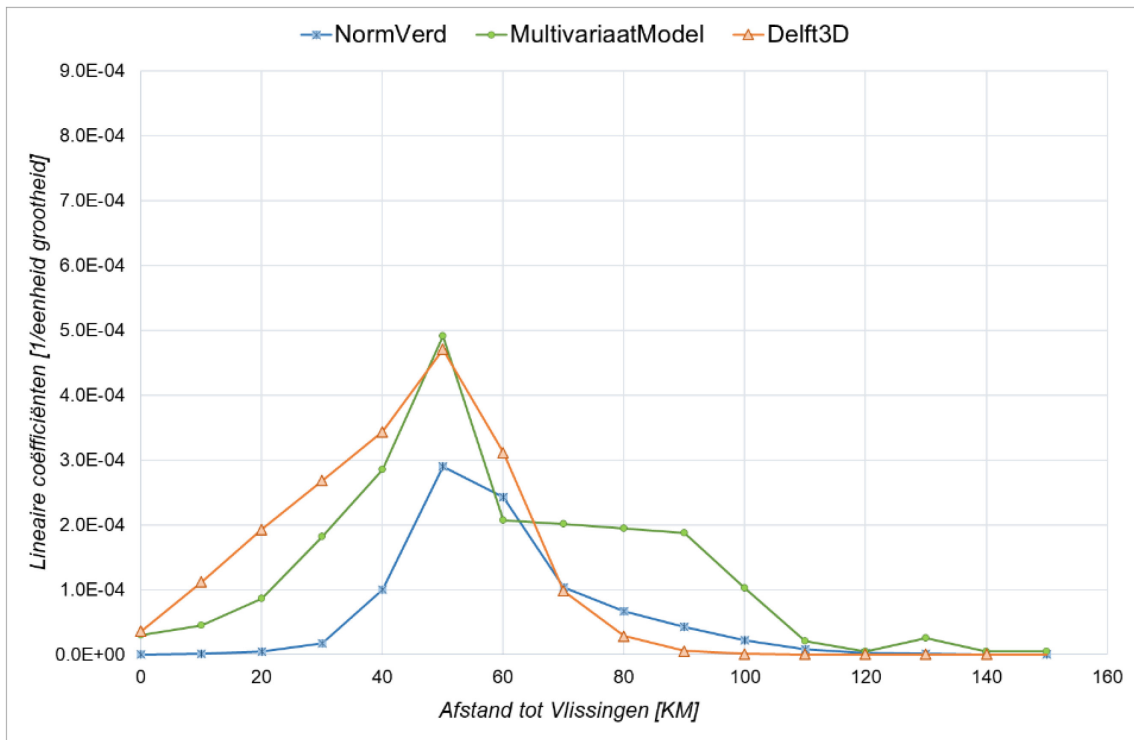
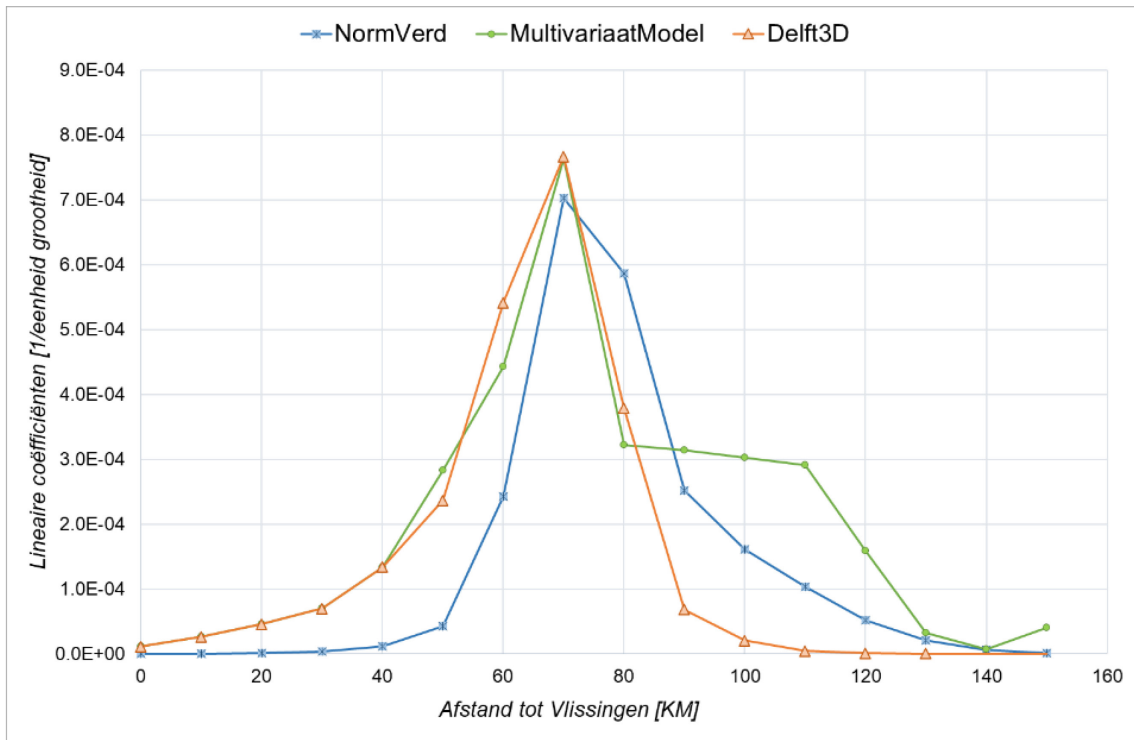


Figuur 7 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de stortingen o.b.v. normale verdeling
Rood = storing te Oosterweel | **blauw** = storing te Ballastplaat

3.3.4 Vergelijking methodes

In vorige paragrafen werden 3 methodes beschreven waarmee de coëfficiënten kunnen bepaald worden als respons voor een alternatieve stortlocatie. Figuur 8 toont de respons voor de verschillende methodes voor enerzijds de stortlocatie Oosterweel (boven) en anderzijds Ballastplaat (onder). Hoewel de patronen grote gelijkenissen vertonen, zijn er toch enkele belangrijke afwijkingen vast te stellen. De keuze van de stortlocatie Ballastplaat als mitigerende maatregel, is tot stand gekomen vanuit de redenering dat meer afwaarts storten leidt tot een kleiner effect in de opwaartse delen van het estuarium (i.e. Boven-Zeeschelde). Voor methode A (Delft3D-model) blijkt het verschil echter minimaal te zijn opwaarts KM100. De reden hiervoor is vermoedelijk het feit dat deze methode focust op het initiële effect (direct na het einde van de stortingen), waardoor het sediment zich (nog niet) opwaarts heeft getransporteerd. Omwille van deze vaststelling, wordt methode A dan ook niet verder weerhouden.

Methode C geeft dan weer een beperkte afwijking in de Westerschelde tussen beide stortlocaties. Dit is toe te schrijven aan de verschaling volgens de watervolumes, die de verschillen in de meest afwaartse delen sterk reduceert. Dit effect is kleiner bij methode B, aangezien hier van het multivariaat model vertrokken wordt. Aangezien methode B het verschil ten gevolge van de verschillende stortstrategie in zowel de Westerschelde als de Boven-Zeeschelde duidelijk weergeeft, wordt deze methode gehanteerd om de effecten te begroten. Er dient opgemerkt te worden dat deze modelbenadering afwijkingen kan vertonen ten opzichte van de realiteit, maar dat de keuze voor methode B, toelaat de invloed van de stortstrategie zo goed mogelijk in te schatten.

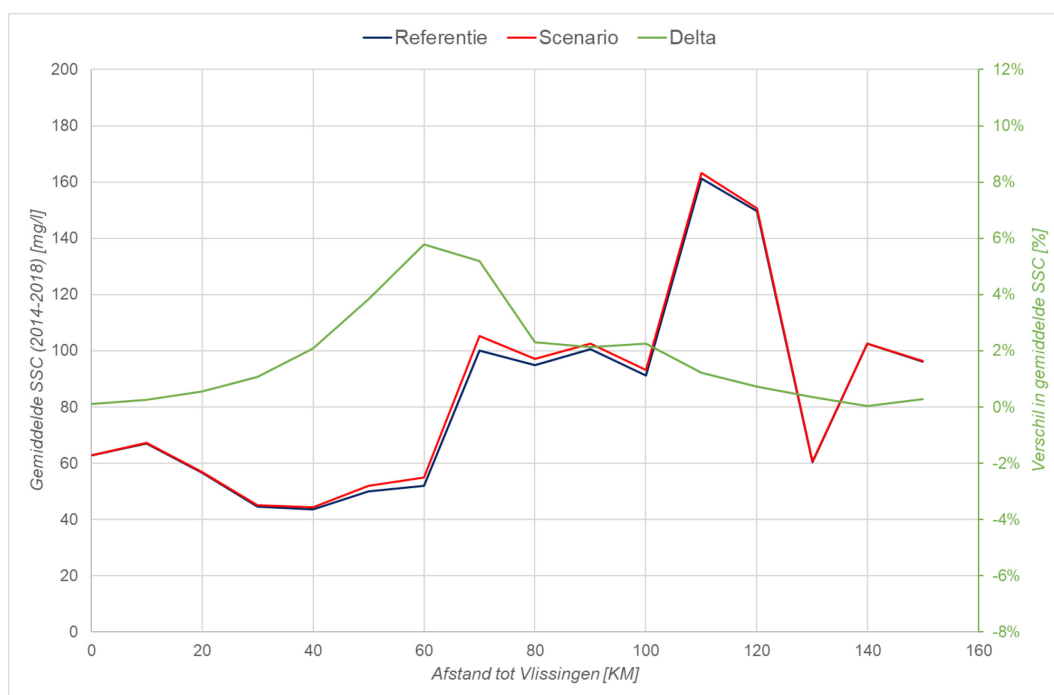


Figuur 8 – Ruimtelijke variatie van de lineaire coëfficiënt voor de verschillende methodes
Boven = storing te Oosterweel | Onder = storing te Ballastplaat

4 Resultaten

4.1 Variant 1 - BOEMERANG

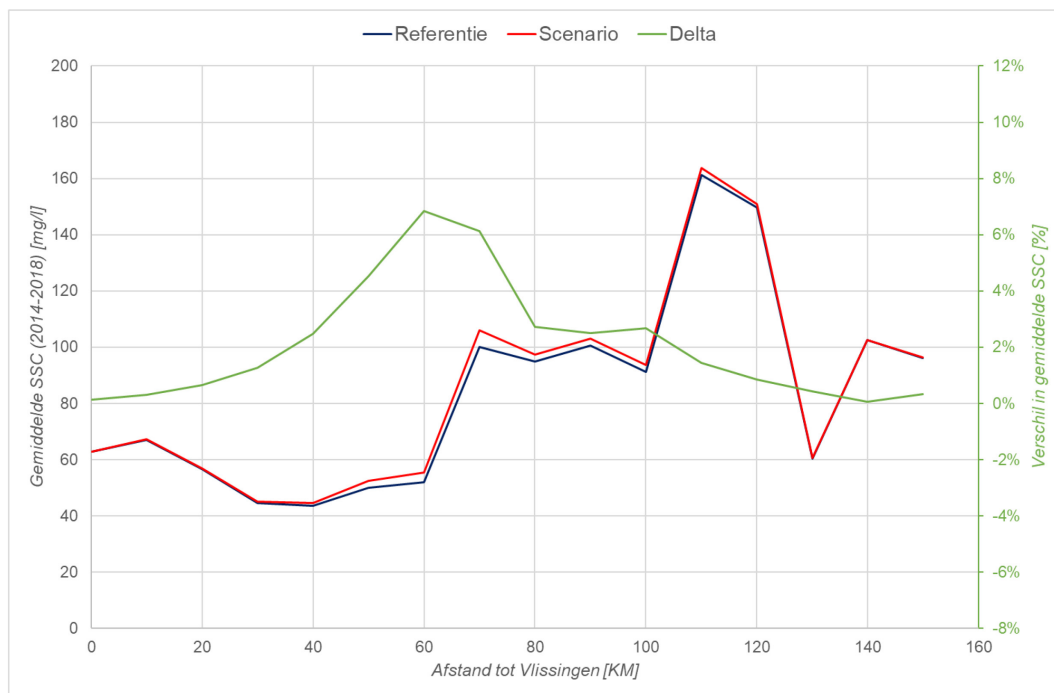
Figuur 9 geeft het verloop weer van de sedimentconcentratie langsheen het estuarium voor de referentie (blauw) en het scenario met het inrichtingsalternatief “Boemerang” (rood). Daarnaast wordt de relatieve verandering getoond langsheen het estuarium (groen).



Figuur 9 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Boemerang
Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 | rechter as: relatieve verschil

4.2 Variant 2 – WINKELHAAK

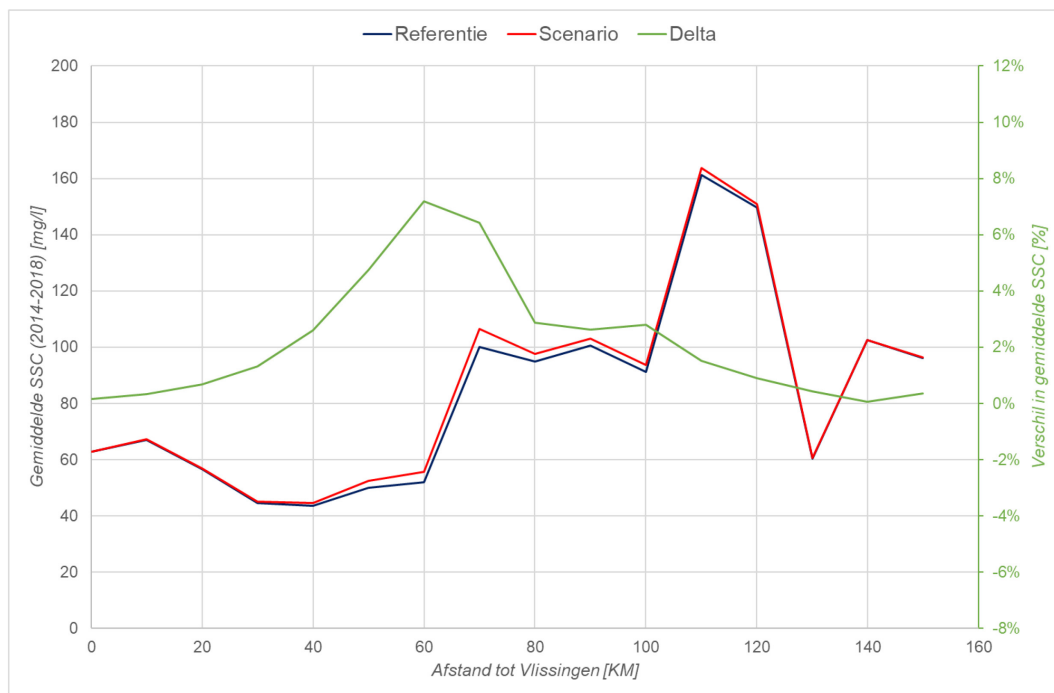
Figuur 10 geeft het verloop weer van de sedimentconcentratie langsheen het estuarium voor de referentie (blauw) en het scenario met het inrichtingsalternatief “Winkelhaak” (rood). Daarnaast wordt de relatieve verandering getoond langsheen het estuarium (groen).



Figuur 10 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Winkelhaak
Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 | rechter as: relatieve verschil

4.3 Variant 3 - DUPLEX

Figuur 11 geeft het verloop weer van de sedimentconcentratie langsheen het estuarium voor de referentie (blauw) en het scenario met het inrichtingsalternatief “Duplex” (rood). Daarnaast wordt de relatieve verandering getoond langsheen het estuarium (groen).

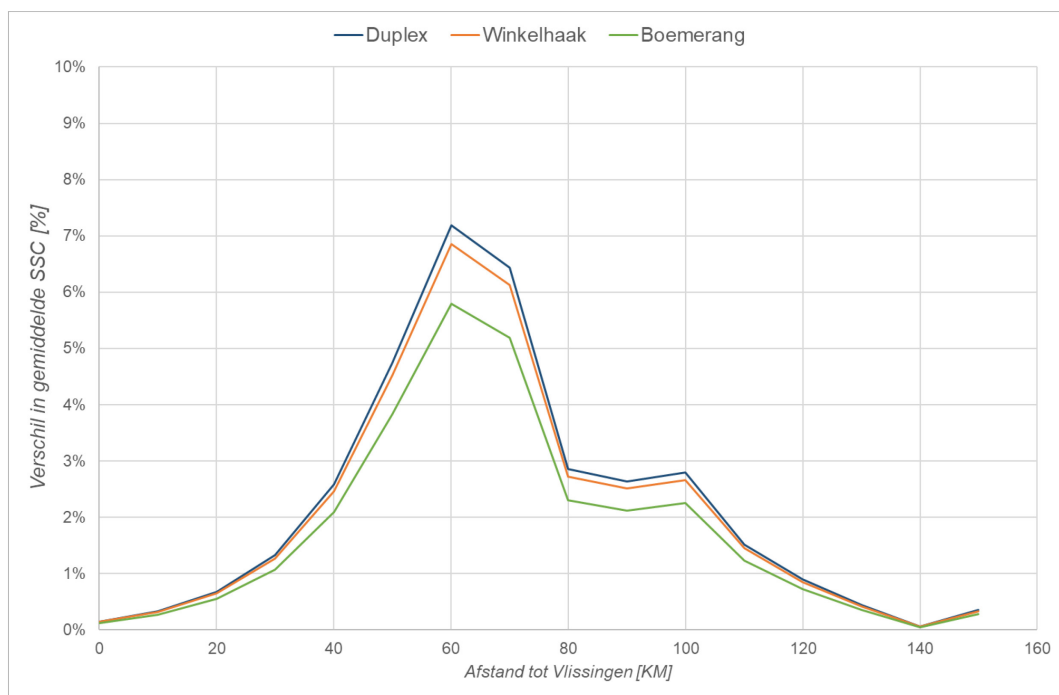


Figuur 11 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen – variant Duplex
Linker as: absolute waarde van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018 | rechter as: relatieve verschil

4.4 Vergelijking varianten

Figuur 12 geeft het verloop weer van de verandering in sedimentconcentratie langsheen het estuarium voor de verschillende inrichtingsalternatieven. Het ruimtelijk patroon is identiek voor de verschillende alternatieven, met een sterke toename nabij de stortlocatie. Opvallend is dat de sterkste toename niet optreedt in het segment met de stortlocatie (KM70-80) maar één segment meer afwaarts (KM60-70). De oorzaak hiervoor zijn de lagere SSC-waarden in dit afwaartse segment, waardoor een toename in SSC ten gevolge van de extra stortingen, relatief gezien een sterkte toename veroorzaakt in vergelijking met het segment KM70-80 waar de SSC aanzienlijk hoger ligt (40 à 50%).

Het verschil tussen de verschillende inrichtingsalternatieven is het direct gevolg van de verschillen in voorspelde toename in onderhoudsbaggerhoeveelheden. Deze ligt het laagst bij de Boemerang-variant (571000 TDS) en het hoogst bij de Duplex-variant (708000 TDS). De Winkelhaak-variant zorgt voor een ietwat lagere toename (675000 TDS) in vergelijking met de Duplex-variant.



Figuur 12 – Effect volgens de huidige stortstrategie van de extra stortingen voor verschillende varianten
Relatieve verschil van gemiddelde gemodelleerde SSC over periode 2014-2018

De hier getoonde verschillen zijn berekend voor de periode 2014-2018. Tijdens het onderzoek bleek het OMES-primaire productie model van de UAntwerpen enkel beschikbaar te zijn voor de periode 2009-2013. Het MVM werd dan ook bijkomende ingezet om de SSC en de bijbehorende verandering in SSC te bepalen voor deze eerdere periode.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In voorliggend rapport is een inschatting gemaakt van de verandering in SSC voor de verschillende inrichtingsalternatieven voor het 2^e getijdendok in het kader van het Complex Project Extra Containercapaciteit Antwerpen.

De sterkste toename ten gevolge van de extra stortingen ten behoeve van het onderhoud van het 2^e getijdendok, is voor de verschillende alternatieven terug te zien nabij de stortlocaties. In absolute waarden treedt de sterkste toename op in het segment KM70-80, waarin de verschillende stortlocaties (Oosterweel en Punt van Melsele) gelegen zijn. In relatieve zin, treedt de sterkste toename op in het segment KM60-70 (periode 2014-2018) of KM70-80 (periode 2009-2013). Voor de periode 2014-2018 is dit verschil toe te schrijven aan de lagere SSC-concentraties in het segment KM60-70 in vergelijking met het opwaartse segment.

Het spatiale patroon langsheen het estuarium is identiek voor de verschillende inrichtingsalternatieven, enkel de grootte van de verandering verschilt. Dit verschil kan één op één toegeschreven worden aan de verschillen in extra onderhoudsvolumes die berekend werden voor de verschillende inrichtingsalternatieven.

De grootste toename (periode 2009-2013) is terug te vinden bij de Duplex-variant (absoluut 6,5 mg/l in segment KM70-80, of relatief +5,8%), terwijl de kleinste toename terug te vinden is voor de Boemerang-variant (absoluut 5,2 mg/l in segment KM70-80, of relatief +4,7%).

5.2 Aanbeveling

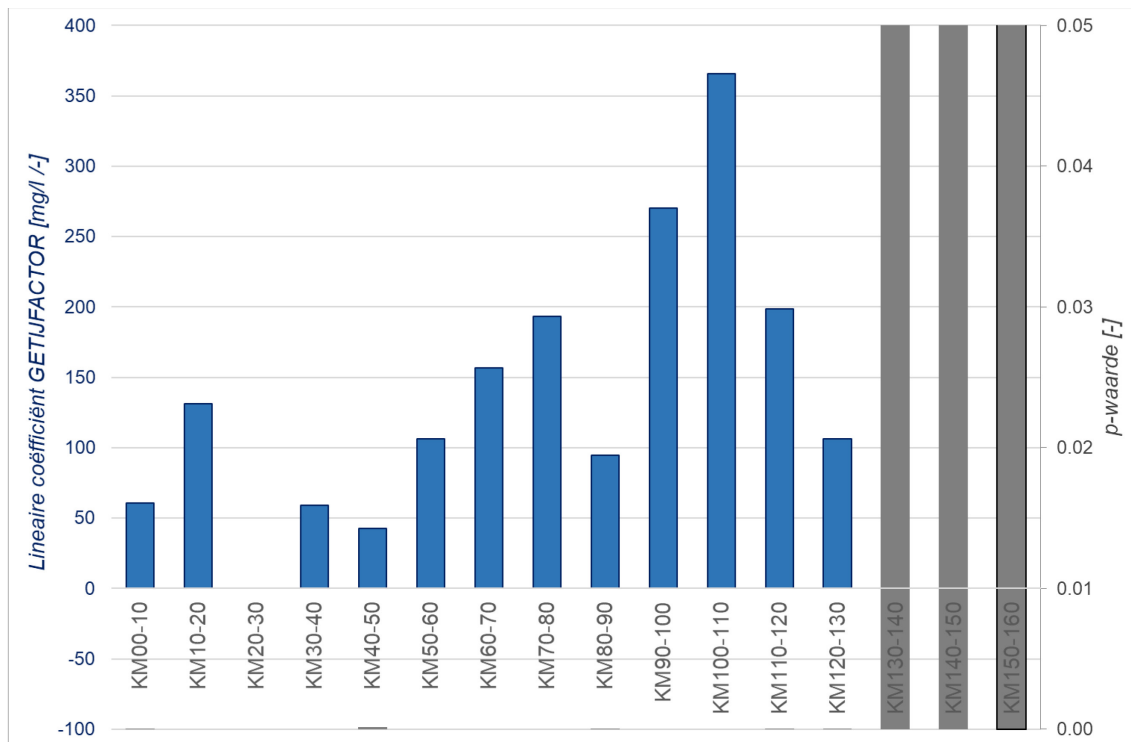
Het MVM is opgemaakt op basis van periodieke metingen (ca. 1/maand) die onafhankelijk van het getij plaatsvinden. Omwille van deze beperkte temporele resolutie werden ook de verklarende parameters op een tijdschaal geaggregeerd (e.g. wekelijkse storthoeveelheden). Gelet op enerzijds de belangrijke variatie in SSC gedurende één getijcyclus (Coen *et al.*, 2016; Vandenbruwaene *et al.*, 2021), alsook de beschikbaarheid van continue metingen, verdient het de sterke aanbeveling de multivariate analyse uit te voeren vertrekkende van deze continue metingen waarbij een analyse mogelijk is op basis van metingen over één getijcyclus: naast SSC zijn zowel getijfactor, storthoeveelheden als verblijftijd beschikbaar op deze temporele schaal.

Een tweede aanbeveling richt zich op de tijdsvertraging die aanwezig is in het sedimenttransport in het estuarium. Het huidige MVM legt een instantane relatie tussen de verandering van SSC en de verklarende parameter. Met name voor de stortingen mag verwacht worden dat een temporele hysteresis aanwezig is, aangezien het sediment fysiek moet getransporteerd worden van locatie A naar locatie B. Op basis van eerdere inschattingen blijkt dat gedurende één getijcyclus een waterdeeltje een afstand van 10 tot 20 km kan afleggen. Voor een sedimentdeeltje zal dit vermoedelijk minder zijn (bezinking rond kentering, gevolgd door resuspensie). Het expliciet in rekening brengen van deze tijdsvertraging kan met name voor de meest op- en afwaartse delen van het estuarium een verbetering opleveren van het MVM. Bij het huidige model blijkt dit een belangrijke lacune aangezien de bijdrage van de stortingen in bijna alle segment opwaarts KM100 en een groot deel van de segmenten afwaarts KM50 niet significant bleken.

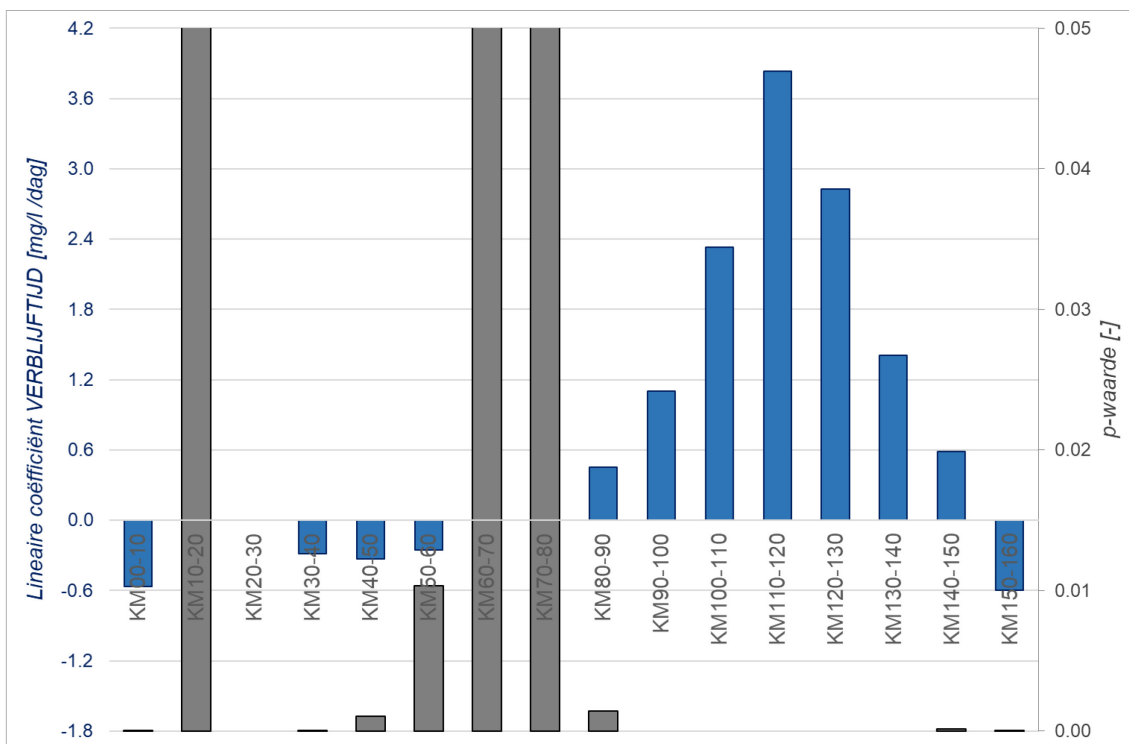
6 Referenties

- Coen, L.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: deelrapport 1. Opzet en validatie slibmodel. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Cox, T.; Meire, P.** (2015). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: deelrapport 6. Effecten op primaireproductie van verschillende scenario's voor het terugstorten van slib. ECOBE 016-. ECOBE: Antwerp. Available at: <http://www.vliz.be/nl/open-marien-archief?module=ref&refid=284550>
- International Marine and Dredging Consultants.** (2016). Multivariate analyse van metingen van sedimentconcentratie in de Zeeschelde.
- International Marine and Dredging Consultants.** (2017). Multivariate analyse van de sedimentconcentraties in de Zeeschelde op basis van Omes oppervlakte stalen. 59 pp.
- Plancke, Y.; Smolders, S.; Mostaert, F.** (2020). Agenda v/d Toekomst – Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: deelrapport 14. Data-analyse met behulp van een multivariaat model naar invloedsfactoren op de sedimentconcentratie in de Zeeschelde. versie 3.0. *WL Rapporten*, 17_088_14. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=325582>
- Plancke, Y.; Van Braeckel, A.; Cox, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: deelrapport 8. Samenvatting. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_025. Antea Group: Antwerpen
- SHIP.** (2020). Complex project 'Realisatie van extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen' - Projectonderzoeksnota CCL. 655 pp.
- Smolders, S.; Bi, Q.; Vanlede, J.** (2022). Complex Project ECA – Extra Containercapaciteit Antwerpen: Deelrapport 1 – Hydrodynamisch model
- Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Integraal plan Bovenzeeschelde: Subreport 1. SCALDIS: a 3D Hydrodynamic model for the Scheldt Estuary. *WL Rapporten*, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp
- Stark, J.; Smolders, S.; Plancke, Y.** (2022). AvdT – Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: deelrapport 24. Stortscenario's met Delft3D slibmodel. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 17_088_24. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=353395>
- Vandenbruwaene, W.; Bertels, J.; Michielsen, S.; Thant, S.; Van Den Berg, M.; Brackx, M.; Hertoghs, R.; Claey, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F.** (2021). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2020: data rapportage monitoring waterbeweging en fysische parameters in Zeeschelde en bijrivieren. versie 4.0. *WL Rapporten*, PA047_10. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=344006>

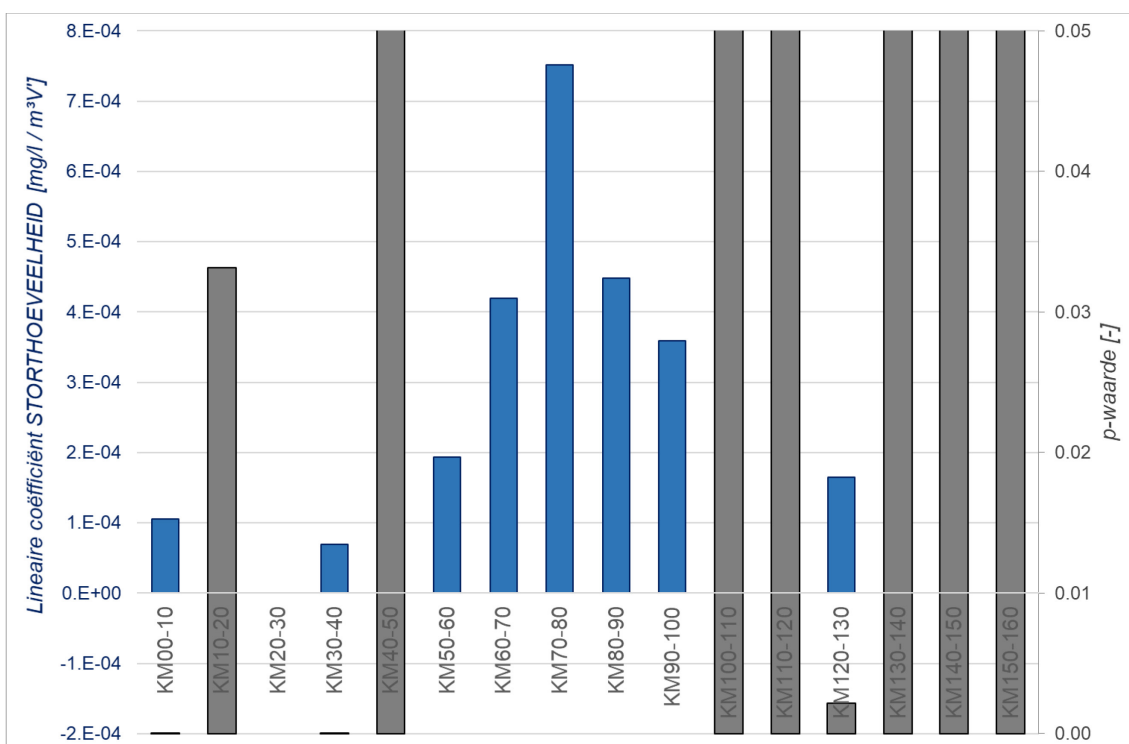
Bijlage 1 Coëfficiënten MVM (OMES)



Figuur 13 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): getijfactor
Grijze balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is



Figuur 14 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): verblijftijd
 Grize balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is



Figuur 15 – Lineaire coëfficiënten MVM (periodiek): stortingen
 Grize balken geven p-waarde weer; schaal zo gekozen dat wanneer p-waarde > 0,05 coëfficiënt niet zichtbaar is

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be