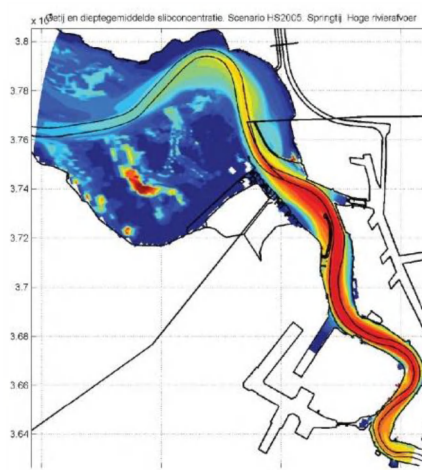


Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid Analyse stortvakken beneden-Zeeschelde

Basisrapport specifieke beheervragen B-23

01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

Telefoon: + 32 3 270 92 95

Fax: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

Telefoon: + 31 (0)88 335 8273

Fax: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

Telefoon: +31 10 467 13 61

Fax: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Amhem, Nederland

Telefoon: +31 (0)26 377 89 11

Fax: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Analyse stortvakken beneden-Zeeschelde
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/13.094/VBA
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\werkdOCUMENTEN\B-23 - Analyse stortvakken Beneden-Zeeschelde_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	19/06/2013	Concept	B. Verheyen, C. Matsoukis, J. Byung Lee, G. van Holland	G. Van Holland	M. Sas
2.0	01/10/2013	Finale versie	B. Verheyen	G. Van Holland	M. Sas

Verdeellijst

☐	Analoog	
☒	Digitaal	Projectgroep LTV V&T

Samenvatting

Om het beleid en het beheer van de Zeeschelde te ondersteunen is kennis omtrent de verspreiding van slib vanuit de huidige stortlocaties in de Zeeschelde en de wisselwerking met de onderhoudslocaties van belang. Op basis hiervan kan een optimale stortstrategie voor slib in de Zeeschelde worden onderzocht, met als specifiek aandachtspunt de beheersvraag hoe de concentraties veranderen in geval van een andere, afwaartse stortlocatie.

Dit onderzoek is beschreven in het voorliggende rapport, gebaseerd op enerzijds een analyse van bestaande bodem- en bagger gegevens en anderzijds een numeriek modellering van de

verspreiding van slib van de huidige en mogelijk alternatieve locaties. Ten slotte zijn conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

Inhoudstafel

1. INLEIDING	1
2. MORFOLOGISCHE GEGEVENSANALYSE.....	3
2.1 HUIDIGE STORTLOCATIES IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE	3
2.2 BAGGER- EN STORTGEGEVENS	4
2.3 BODEMLIGGINGSGEGEVENS	7
2.3.1 <i>Punt van Melsele</i>	8
2.3.2 <i>Plaat van Boomke</i>	11
2.3.3 <i>Oosterweel</i>	13
2.3.4 <i>Schaar van Ouden Doel</i>	15
2.4 CONCLUSIES	17
3. SLIBVERSPREIDING VANAF HUIDIGE STORTLOCATIES	19
3.1 KADER EN DOEL MODELLERING	19
3.2 GROOTSCHALIGE SLIBDYNAMIEK IN DE SCHELDE	20
3.3 ANALYSE STORTLOCATIES	24
3.3.1 <i>Invloed onderhoudsbaggerwerken op de slibconcentraties</i>	24
3.3.2 <i>Verspreiding vanuit stortlocaties</i>	31
3.4 CONCLUSIES	40
4. ALTERNATIEVE STORTLOCATIES VOOR SLIB	41
4.1 CONCEPTUEEL MODEL AFWAARTS STORTEN	41
4.2 ALTERNATIEVE STORTLOCATIES	46
4.2.1 <i>Inleiding</i>	46
4.2.2 <i>Evaluatie</i>	47
4.2.3 <i>Verspreiding vanuit stortlocaties</i>	47
4.2.4 <i>Invloed onderhoudsbaggerwerken op de slibconcentraties</i>	61
4.3 CONCLUSIES	74
5. DISCUSSIE	77
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	79
6.1 CONCLUSIES	79
6.2 AANBEVELINGEN	79
7. REFERENTIES	81

Bijlagen

BIJLAGE A	TIJDSERIES MET SEDIMENTCONCENTRATIES EN SLIBAFZETTINGEN VOOR HUIDIGE STORTLOCATIES.....	83
A.1	INLEIDING	85
A.2	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN PUNT VAN MELSELE	86

A.3	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN TE PLAAT VAN BOOMKE	88
A.4	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN OOSTERWEEL	90
BIJLAGE B SLIBAFZETTINGEN VOOR HUIDIGE STORTLOCATIES.....		93
B.1	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN PUNT VAN MELSELE	95
B.2	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN PLAAT VAN BOOMKE.....	96
B.3	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN OOSTERWEEL	97
BIJLAGE C TIJDSERIES MET SEDIMENTCONCENTRATIES EN SLIBAFZETTINGEN VOOR ALTERNATIEVE STORTLOCATIES		99
C.1	INLEIDING	101
C.2	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN NOORD-BALLAST.....	102
C.3	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN APPELZAK.....	104
C.4	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN SCHAAR VAN OUDEN DOEL.....	106
C.5	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN KETELPLAAT	108
C.6	TIJDSERIES VOOR EENHEIDSLOZINGEN IN VLAKTE VAN HOBOKEN	110
BIJLAGE D SLIBAFZETTINGEN VOOR ALTERNATIEVE STORTLOCATIES..		113
D.1	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN NOORD-BALLAST	115
D.2	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN APPELZAK.....	116
D.3	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN SCHAAR VAN OUDEN DOEL.....	117
D.4	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN KETELPLAAT	118
D.5	SLIBAFZETTINGEN BIJ EENHEIDSLOZING IN VLAKTE VAN HOBOKEN.....	119

Lijst van tabellen

TABEL 2-1: OVERZICHT VAN DE STORTVOLUMES VOOR SLIB VOOR DE VERSCHILLENDE STORTLOCATIES.....	5
TABEL 3-1: OVERZICHT VAN DE BEREKENDE ONDERHOUDSVOLUMES SLIB IN DE VERSCHILLENDE ONDERHOUDSLOCATIES.	23
TABEL 3-2: OVERZICHT VAN DE UITGEVOERDE BEREKENINGEN.....	23
TABEL 4-1: OVERZICHT VAN DE UITGEVOERDE BEREKENINGEN.....	47
TABEL 4-2: OVERZICHT VAN DE IMPACT VAN ALTERNATIEVE STORTLOCATIE VOOR ONDERHOUD VAN DEURGANCKDOK OP DE ONDERHOUDSVOLUMES VAN DE OVERIGE ONDERHOUDSLOCATIES IN DE SCHELDE.	73
TABEL 4-3: OVERZICHT VAN DE IMPACT VAN ALTERNATIEVE STORTLOCATIE VOOR ONDERHOUD VAN DEURGANCKDOK OP DE ONDERHOUDSVOLUMES VAN DE OVERIGE ONDERHOUDSLOCATIES IN DE SCHELDE.	73

Lijst van figuren

FIGUUR 2-1: OVERZICHT VAN DE STORTLOCATIES IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE.....	4
FIGUUR 2-2: GEBAGGERDE VOLUMES SLIB IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE OPGESPLITST NAAR BRON (BOVEN) EN OPGESPLITST NAAR STORTLOCATIE.	6

FIGUUR 2-3: GEBAGGERDE VOLUMES ZAND IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE OPGESPLITST NAAR BRON (BOVEN) EN OPGESPLITST NAAR STORTLOCATIE (ZAND ONTGINNING IS NIET OPGENOMEN)	7
FIGUUR 2-4: OVERZICHT VAN DE VERGUNDE STORTLOCATIES IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE ('VERGUND') EN DE GEBRUIKTE ZONES PUNT VAN MELSELE ('GESTORT') EN DE ZONES PLAAT VAN BOOMKE EN OOSTERWEEL ('GESTORT') (BRON AMT).	8
FIGUUR 2-5: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE STORTLOCATIE PUNT VAN MELSELE (BOVEN, LINKS: 1950, RECHTS: 2010) EN VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE (ONDER).	9
FIGUUR 2-6: HYPOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VOOR PUNT VAN MELSELE.	10
FIGUUR 2-7: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE STORTLOCATIE PLAAT VAN BOOMKE (BOVEN, LINKS: 1950, RECHTS: 2010) EN VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE (ONDER).	11
FIGUUR 2-8: HYPOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VOOR PLAAT VAN BOOMKE.	12
FIGUUR 2-9: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE STORTLOCATIE OOSTERWEEL (BOVEN, LINKS: 1960, RECHTS: 2010) EN VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE (ONDER).	13
FIGUUR 2-10: HYPOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VOOR OOSTERWEEL.	14
FIGUUR 2-11: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE STORTLOCATIE SCHAAR VAN OUDEN DOEL (BOVEN, LINKS: 1950, RECHTS: 2010) EN VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE (ONDER).	15
FIGUUR 2-12: HYPOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VOOR SCHAAR VAN OUDEN DOEL.	16
FIGUUR 3-1: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIES (MG/L) OVER EEN SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS DOORHEEN DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN TER HOOGTE VAN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).	21
FIGUUR 3-2: TIJDREEKSEN MET INDICATIEVE SLIBCONCENTRATIES (MG/L) IN DE STORTLOCATIES VOOR ZANDVLIET (BOVEN), DEURGANCKDOK (MIDDEN) EN KALLO (ONDER).	22
FIGUUR 3-3: RELATIEVE INVLOED VAN AANSLIBBING EN ONDERHOUD DEURGANCKDOK OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER). (>1: CONCENTRATIEVERHOOGEND, <1: CONCENTRATIEVERLAGEND).	26
FIGUUR 3-4: RELATIEVE INVLOED VAN AANSLIBBING EN ONDERHOUD TOEGANGSGEUL KALLOSLUIS OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE. (>1: CONCENTRATIEVERHOOGEND, <1: CONCENTRATIEVERLAGEND).	27
FIGUUR 3-5: RELATIEVE BIJDRAGE (-) VAN HET SEDIMENT AFKOMSTIG UIT DEURGANCKDOK, GESTORT TE PLAAT VAN BOOMKE OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).	29
FIGUUR 3-6: RELATIEVE BIJDRAGE (-) VAN HET SEDIMENT AFKOMSTIG UIT TOEGANGSGEUL KALLOSLUIS, GESTORT TE OOSTERWEEL OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE.	30
FIGUUR 3-7: FRACTIEVERDELING IN DE SLIBCONCENTRATIE TE DEURGANCKDOK NAAR HERKOMST.	31
FIGUUR 3-8: OVERZICHT HUIDIGE GEANALYSEERDE STORTLOCATIES.	33
FIGUUR 3-9: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE PUNT VAN MELSELE.	34
FIGUUR 3-10: SEDIMENTATIE BIJ EENHEIDSLOZING TE PUNT VAN MELSELE.	34

FIGUUR 3-11: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE PLAAT VAN BOOMKE VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	35
FIGUUR 3-12: SEDIMENTATIE BIJ EENHEIDSLOZING TE PLAAT VAN BOOMKE VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	36
FIGUUR 3-13: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE OOSTERWEEL.....	37
FIGUUR 3-14: SEDIMENTATIE BIJ EENHEIDSLOZING TE OOSTERWEEL.....	37
FIGUUR 3-15: VERDELING VAN DE GESTORTE SPECIE DOORHEEN HET SCHELDE-ESTUARIUM. (LVS STAAT VOOR LAND VAN SAEFTINGHE) OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS.....	39
FIGUUR 4-1: CONCENTRATIEPROFIEL IN LANGSRICHTING ZONDER HAVENBEKKEN (FIGUUR T. VAN KESSEL).....	42
FIGUUR 4-2: CONCENTRATIEPROFIEL IN LANGSRICHTING MET HAVENBEKKEN ZONDER ONDERHOUD, VERSPREIDING VER WEG OP ZEE OF BERGING OP LAND (FIGUUR T. VAN KESSEL).....	43
FIGUUR 4-3: CONCENTRATIEPROFIEL IN LANGSRICHTING MET HAVENBEKKEN EN VERSPREIDING BOVENSTROOMS (FIGUUR T. VAN KESSEL)	44
FIGUUR 4-4: CONCENTRATIEPROFIEL IN LANGSRICHTING MET HAVENBEKKEN EN VERSPREIDING BENEDENSTROOMS	45
FIGUUR 4-5: OVERZICHT GEANALYSEERDE ALTERNATIEVE STORTLOCATIES.	46
FIGUUR 4-6: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE NOORD-BALLAST VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	50
FIGUUR 4-7: SEDIMENTATIE (GDM/M ² /DAG) BIJ EENHEIDSLOZING TE NOORD-BALLAST VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	51
FIGUUR 4-8: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE APPELZAK VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).	52
FIGUUR 4-9: SEDIMENTATIE (GDM/M ² /DAG) BIJ EENHEIDSLOZING TE APPELZAK VOOR DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	53
FIGUUR 4-10: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE SCHAAR VAN OUDEN DOEL.	54
FIGUUR 4-11: SEDIMENTATIE (GDM/M ² /DAG) BIJ EENHEIDSLOZING TE SCHAAR VAN OUDEN DOEL.	54
FIGUUR 4-12: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE KETELPLAAT.....	55
FIGUUR 4-13: SEDIMENTATIE (GDM/M ² /DAG) BIJ EENHEIDSLOZING TE KETELPLAAT.....	55
FIGUUR 4-14: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ – DOODTIJ CYCLUS BIJ EENHEIDSLOZING TE VLAKTE VAN HOBOKEN.....	56
FIGUUR 4-15: SEDIMENTATIE (GDM/M ² /DAG) BIJ EENHEIDSLOZING TE VLAKTE VAN HOBOKEN.	56
FIGUUR 4-16: VERDELING VAN DE GESTORTE SPECIE DOORHEEN HET SCHELDE-ESTUARIUM VOOR HUIDIGE EN ALTERNATIEVE LOCATIES (LVS STAAT VOOR LAND VAN SAEFTINGHE) OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS.	58
FIGUUR 4-17: SEDIMENTATIE OVER DE SIMULATIE IN LAND VAN SAEFTINGHE BIJ EENHEIDSLOZING IN PLAAT VAN BOOMKE (BOVEN) EN NOORD-BALLAST (ONDER)	60

FIGUUR 4-18: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ - DOODTIJ CYCLUS DOORHEEN HET GANSE DOMEIN (BOVEN) EN TER HOOGTE VAN DE BENDEN-ZEESCHELDE (ONDER) MET STORTEN ONDERHOUDSVOLUME DEURGANCKDOK TE NOORD-BALLAST (REFERENTIE: FIGUUR 3-1).....	63
FIGUUR 4-19: GEMIDDELDE SLIBCONCENTRATIE (MG/L) OVER SPRINGTIJ - DOODTIJ CYCLUS DOORHEEN HET GANSE DOMEIN (BOVEN) EN TER HOOGTE VAN DE BENDEN-ZEESCHELDE (ONDER) MET STORTEN ONDERHOUDSVOLUME DEURGANCKDOK TE APPELZAK (REFERENTIE: FIGUUR 3-1).....	64
FIGUUR 4-20: RELATIEVE INVLOED (-) VAN DE ALTERNATIEVE STORTLOCATIE (NOORD-BALLAST) OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIE TIM TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE STORTLOCATIE (PLAAT VAN BOOMKE) (<1 DALING TIM, >1 STIJGING TIM) VOOR HET GANSE DOMEIN (BOVEN) EN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	65
FIGUUR 4-21: RELATIEVE INVLOED (-) VAN DE ALTERNATIEVE STORTLOCATIE (APPELZAK) OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIE TIM TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE STORTLOCATIE (PLAAT VAN BOOMKE) (<1 DALING TIM, >1 STIJGING TIM).	66
FIGUUR 4-22: RELATIEVE BIJDRAGE (-) VAN HET SEDIMENT AFKOMSTIG UIT DEURGANCKDOK, GESTORT TE NOORD-BALLAST OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (REFERENTIE: FIGUUR 3-5).	67
FIGUUR 4-23: RELATIEVE BIJDRAGE (-) VAN HET SEDIMENT AFKOMSTIG UIT DEURGANCKDOK, GESTORT TE APPELZAK OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (REFERENTIE: FIGUUR 3-5).	68
FIGUUR 4-24: VERSCHIL (MG/L) IN VERSPREIDING VAN HET GESTORT MATERIAAL UIT DE ONDERHOUDSLOCATIE VOOR DE ALTERNATIEVE STORTLOCATIE NOORD-BALLAST TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE STORTLOCATIE PLAAT VAN BOOMKE DOORHEEN HET GANSE DOMEIN (BOVEN) EN VOOR DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER).....	69
FIGUUR 4-25: VERSCHIL (MG/L) IN VERSPREIDING VAN HET GESTORT MATERIAAL UIT DE ONDERHOUDSLOCATIE VOOR DE ALTERNATIEVE STORTLOCATIE APPELZAK TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE STORTLOCATIE PLAAT VAN BOOMKE.....	70
FIGUUR 4-26: RELATIEVE INVLOED VAN AANSLIBBING EN ONDERHOUD DEURGANCKDOK GESTORT OP NOORD-BALLAST OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER). (>1: CONCENTRATIEVERHOOGEND, <1: CONCENTRATIEVERLAGEND).....	71
FIGUUR 4-27: RELATIEVE INVLOED VAN AANSLIBBING EN ONDERHOUD DEURGANCKDOK GESTORT IN APPELZAK OP DE TOTALE SLIBCONCENTRATIES (TIM) IN DE WESTERSCHELDE (BOVEN) EN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (ONDER). (>1: CONCENTRATIEVERHOOGEND, <1: CONCENTRATIEVERLAGEND).....	72

1. INLEIDING

De sedimenthuishouding van het Schelde-estuarium beïnvloedt en wordt op zijn beurt beïnvloed door de onderhoudsbaggerwerkzaamheden die worden uitgevoerd in havens en geulen. Een beter begrip omtrent de verspreiding van baggerspecie uit de huidige stortlocaties en de invloed op de sedimenthuishouding is van belang voor het beleid en beheer rond het estuarium. Ter ondersteuning van dit beheer kunnen op basis van de ontwikkelde kennis nieuwe stortlocaties en stortstrategieën worden onderzocht. Voor de Beneden-Zeeschelde geldt de volgende specifieke beheersvraag:

Hoe zouden de slibconcentraties rondom de Antwerpse haven veranderen als de slibrijke baggerspecie langdurig meer zeewaarts zou worden gestort?

Waar het accent voor de Westerschelde vaak wordt gelegd op de zandige morfologie, wordt voor de Zeeschelde vaak de slibhuishouding, met als belangrijkste blikvanger het estuarien turbiditeitsmaximum (ETM) en het baggerbezwaar van slib(rijke) specie, genoemd. Een belangrijke bijdrage in de onderhoudswerkzaamheden wordt gevormd door de slibafzettingen in Deurganckdok en de sluisoegangen van Kallo en Zandvliet-Berendrecht. Echter de invloed van de zandfractie op de bodemontwikkeling mag voor beide delen van het estuarium niet verwaarloosd worden. In de Beneden-Zeeschelde wordt immers sinds jaar en dag zand gewonnen dat via de Schaar van Oudendoel uit onderhoudsbaggerwerken beschikbaar komt.

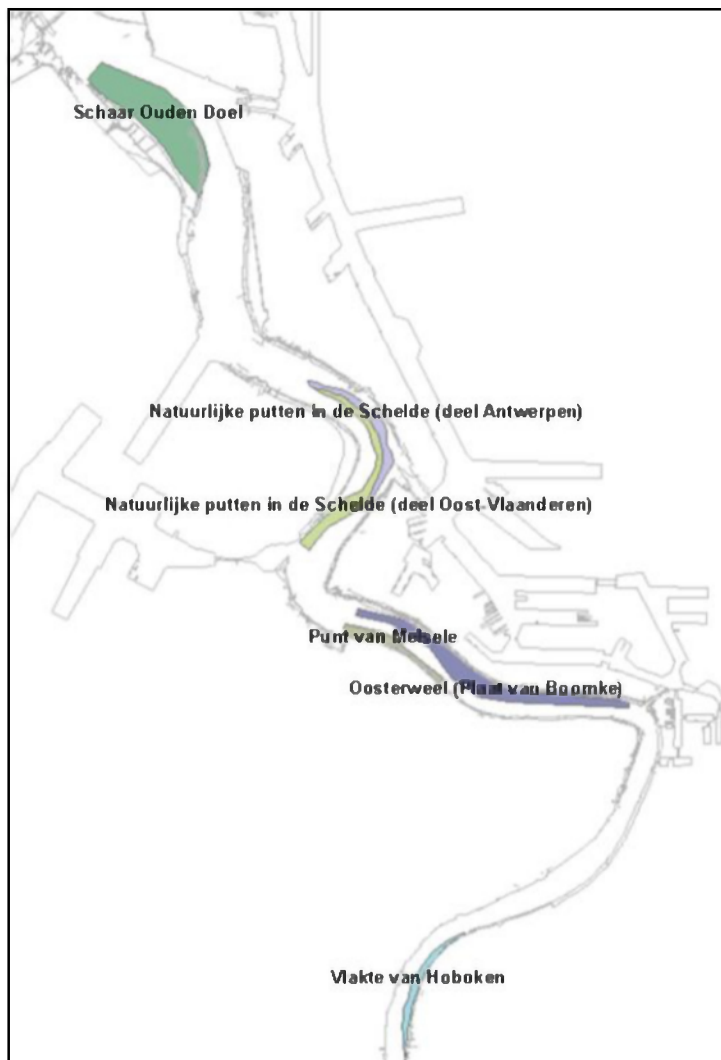
Dit rapport beschrijft een analyse van de huidige stortlocaties in de Zeeschelde die in gebruik zijn ten behoeven van onderhoudsbaggerwerkzaamheden en onderzoekt een optimale stortstrategie voor slib in de Zeeschelde. Specifiek wordt in gegaan op de beheersvraag, namelijk hoe de concentraties veranderen in het geval van een andere, afwaartse stortlocatie.

De analyse is gebeurd in twee fasen en omvat enerzijds een analyse van bestaande bodem- en bagger gegevens (Hoofdstuk 2) en anderzijds een numeriek modellering van de verspreiding van slib van de huidige en mogelijk alternatieve locaties (Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4). Conclusies worden getrokken in Hoofdstuk 5.

2. MORFOLOGISCHE GEGEVENSANALYSE

2.1 HUIDIGE STORTLOCATIES IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

Alle vergunde stortlocaties in de Zeeschelde zijn in de Beneden-Zeeschelde gelegen. Een overzicht is terug te vinden in Figuur 2-1. De stortlocaties Punt van Melsele en Oosterweel worden uitsluitend voor slib gebruikt. Op de stortlocatie Oosterweel wordt in de praktijk bij eb gestort in het oostelijke deel van deze locatie (Oosterweel) en bij vloed in het westelijk deel van deze locatie (Plaats van Boomke). Op de stortlocatie Punt van Melsele wordt ook bij vloed gestort. Ter hoogte van Schaar van Ouden Doel wordt zand gestort en daarnaast ook zand ontgonnen. Alternatieve locaties voor het storten van zand zijn de natuurlijke, diepe putten in de Schelde. De Vlakte van Hoboken vormt sinds 2006 een alternatieve stortlocatie voor slib voor wanneer de stortlocaties nabij Oosterweel niet beschikbaar zijn tijdens de werken aan de geplande Oosterweeltunnel.



Figuur 2-1: Overzicht van de stortlocaties in de Beneden-Zeeschelde.

2.2 BAGGER- EN STORTGEGEVENS

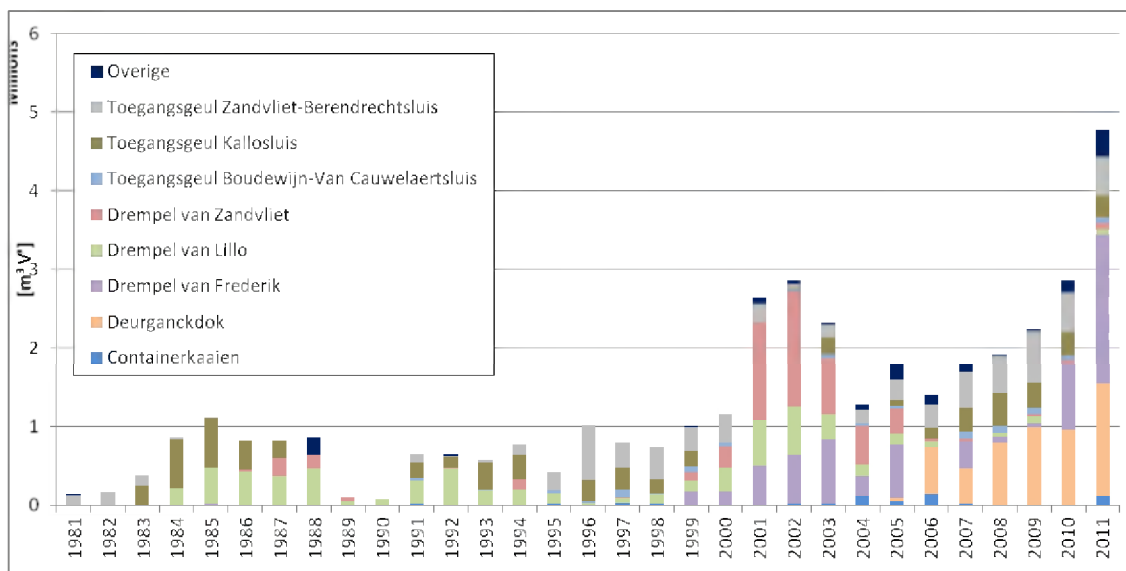
Bagger- en stortgegevens zijn op basis van de Baggerstatistiek gegevens (bron: aMT) beschikbaar. Een uitgebreide analyse van deze gegevens kan worden teruggevonden in Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013b).

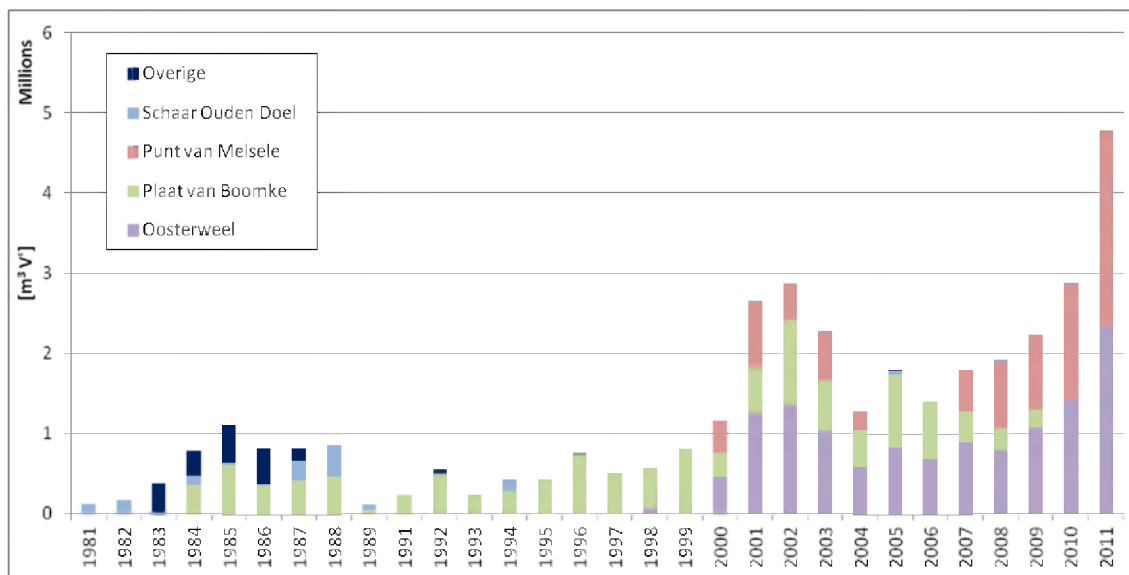
Slib wordt in de Beneden-Zeeschelde in hoofdzaak gestort in drie locaties: Plaat van Boomke, Punt van Melsele en Oosterweel. Het grootste aandeel slib wordt gestort te Oosterweel. Het aandeel van de Plaat van Boomke is sinds 2006 afgenomen terwijl die van Punt van Melsele is toegenomen en momenteel gelijk is aan Oosterweel.

Tabel 2-1: Overzicht van de stortvolumes voor slib voor de verschillende stortlocaties.

PERIODE	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Aandeel Plaats van Boomke	1084	675	451	917	711	386	276	233	0	0
Aandeel Punt van Melsele	445	596	232	0	0	519	834	927	1040	2432
Aandeel Oosterweel	1379	1072	596	843	685	889	790	1071	1018	2334
Totaal	2909	2342	1279	1760	1396	1793	1900	2232	2058	4766

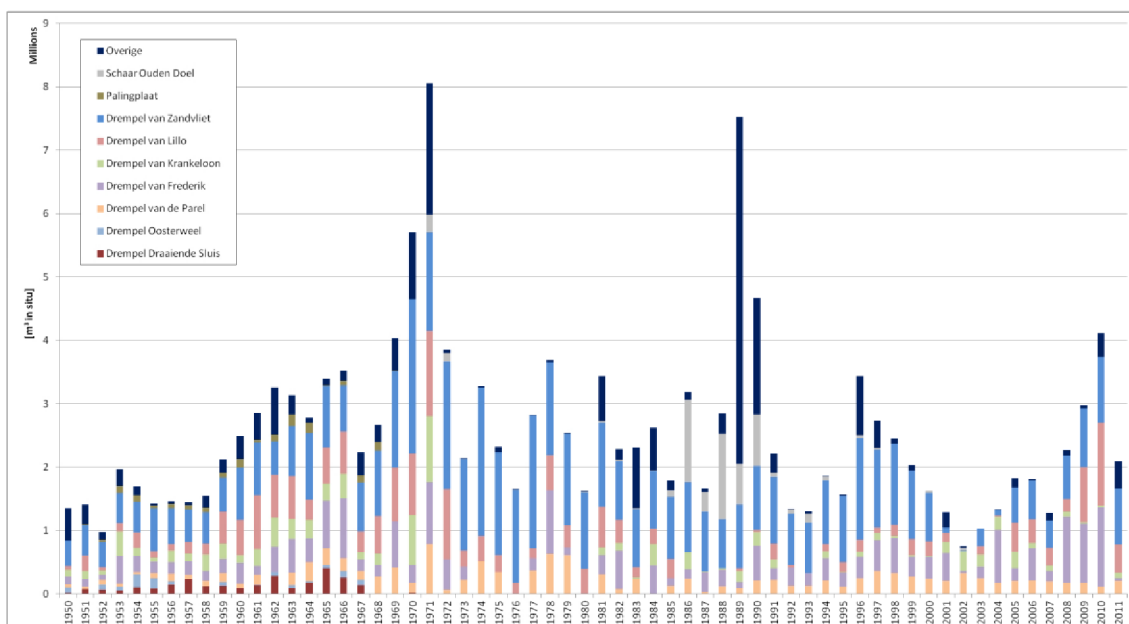
Sinds de ingebruikname van Deurganckdok in 2005 wordt het grootste volume slib hier gebaggerd. Het aandeel van Deurganckdok stijgt van $\pm 500.000 \text{ m}^3 \text{ V}$ (gereduceerd volume) in 2006 naar $\pm 1.500.000 \text{ m}^3 \text{ V}$ in 2011. De bijdrage van de toegangseul van de Zandvliet- en Berendrechtsluis schommelt tussen 400.000 en $700.000 \text{ m}^3 \text{ V}$ en voor de Kallosluis tussen de 300.000 en $400.000 \text{ m}^3 \text{ V}$. Daarnaast wordt ook slib gebaggerd op de Drempel van Frederik en Drempel van Zandvliet. De jaarlijkse volumes variëren tussen 500.000 en $1.500.000 \text{ Mm}^3 \text{ V}$ na 2002. Sinds 2010 wordt er op de Drempel van Frederik opnieuw grote volumes slib gebaggerd (tot bijna $2 \text{ Mm}^3 \text{ V}$). Verdeling van het gebaggerd slib uit één locatie over de verschillende stortlocaties gebeurt over het algemeen vrij gelijkmatig. Er zijn dan ook geen specifieke connecties tussen bepaalde baggervakken en bepaalde stortvakken.

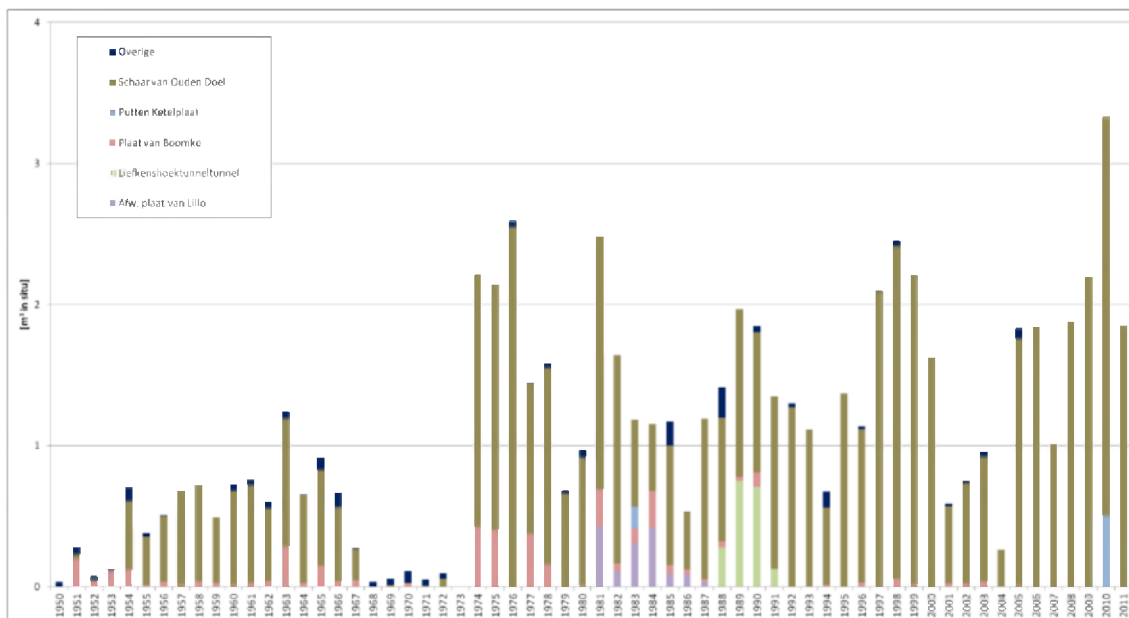




Figuur 2-2: Gebaggerde volumes slib in de Beneden-Zeeschelde opgesplitst naar bron (boven) en opgesplitst naar stortlocatie.

Zand wordt in hoofdzaak gestort ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. Tussen 60% en 100% van het gebaggerd zand wordt hier geborgen. Andere mogelijke locaties zijn de diepe putten of bij gebruik van opspuitingen. Het gebaggerd zand is afkomstig van de Drempels in de Zeeschelde, met name Drempel van Zandvliet, Drempel van Frederik, Drempel van Lillo, Drempel van de Parel, Drempel van Krankeloon. Daarnaast wordt ook zand ontgonnen ter hoogte van Schaar van Ouden Doel door middel van commerciële zandwinning. Sinds 1990 wordt gemiddeld 1.5 Mm³ zand onttrokken aan het systeem (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013b).





Figuur 2-3: Gebaggerde volumes zand in de Beneden-Zeeschelde opgesplitst naar bron (boven) en opgesplitst naar stortlocatie (zand ontginning is niet opgenomen)

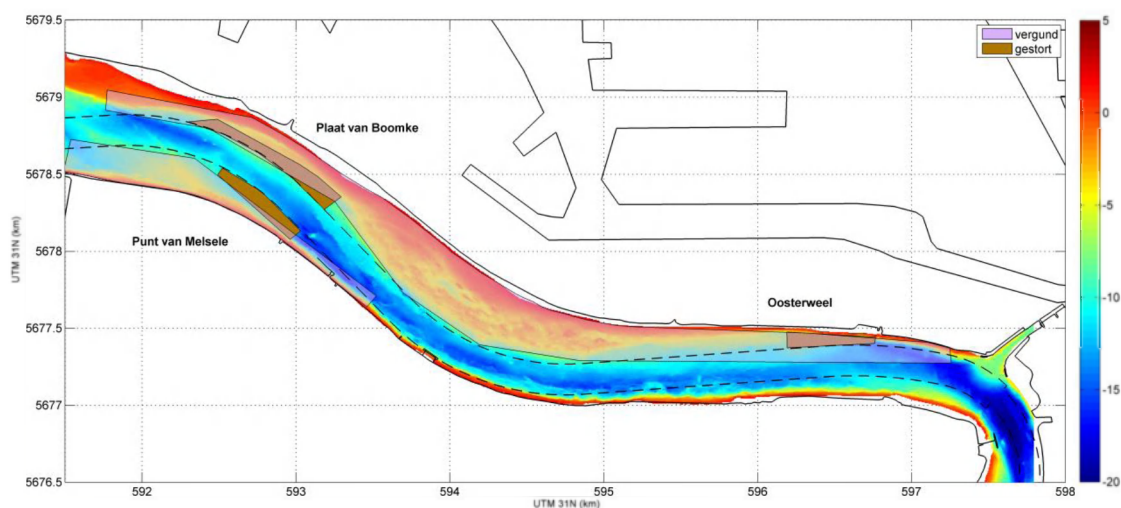
2.3 BODEMLIGGINGSGEGEVENS

In deze paragraaf wordt op basis van de beschikbare bodemliggingsgegevens een analyse uitgevoerd van de morfologische veranderingen voor iedere stortlocatie (zie voor ligging Figuur 2-1). Bodemliggingsgegevens voor de Beneden-Zeeschelde (bron: aMT) zijn beschikbaar tussen 1930 en 2010. Vroeger dan het jaar 2000 is ongeveer voor ieder decade een bathymetrie beschikbaar. Na 2000 stijgt de frequentie aan gegevens. Een uitgebreidere analyse van de bodemgegevens kan worden teruggevonden in Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a).

In de volgende analyses wordt de variatie in bodemligging tussen 1950 en 2010 ruimtelijk weergegeven en daarnaast wordt de bodemverandering geanalyseerd op basis van figuren die de variatie over tijd tonen van:

- Gemiddelde waterdiepte
- Hypsometrische curve van het wateroppervlak onder een bepaald niveau
- Hypsometrische curve van het watervolume onder een bepaald niveau

Op basis van de stortintensiteiten binnen de vergunde polygonen is de analyse toegespitst op een afbakening (bron aMT) van de gebruikte zones voor Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel (Figuur 2-4).



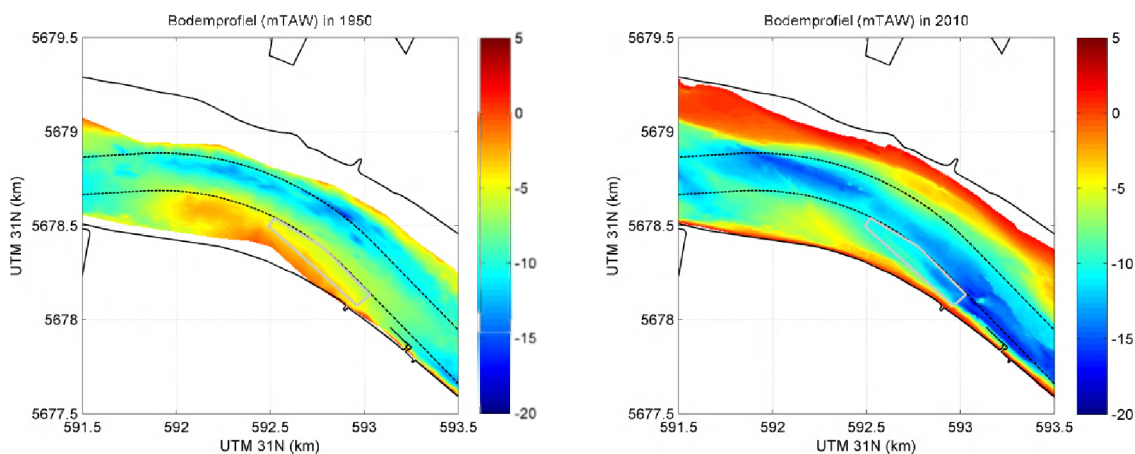
Figuur 2-4: Overzicht van de vergunde stortlocaties in de Beneden-Zeeschelde ('vergund') en de gebruikte zones Punt van Melsele ('gestort') en de zones Plaat van Boomke en Oosterweel ('gestort') (bron aMT).

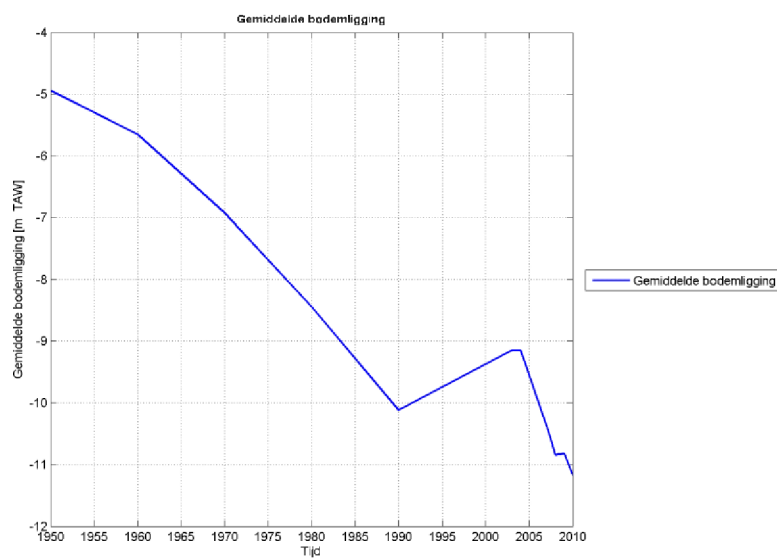
2.3.1 Punt van Melsele

Uit een grootschalige bodemanalyse van de Beneden-Zeeschelde (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013a) bleek een algemene verdiepende trend. Deze trend is ook aanwezig in de stortlocatie Punt van Melsele.

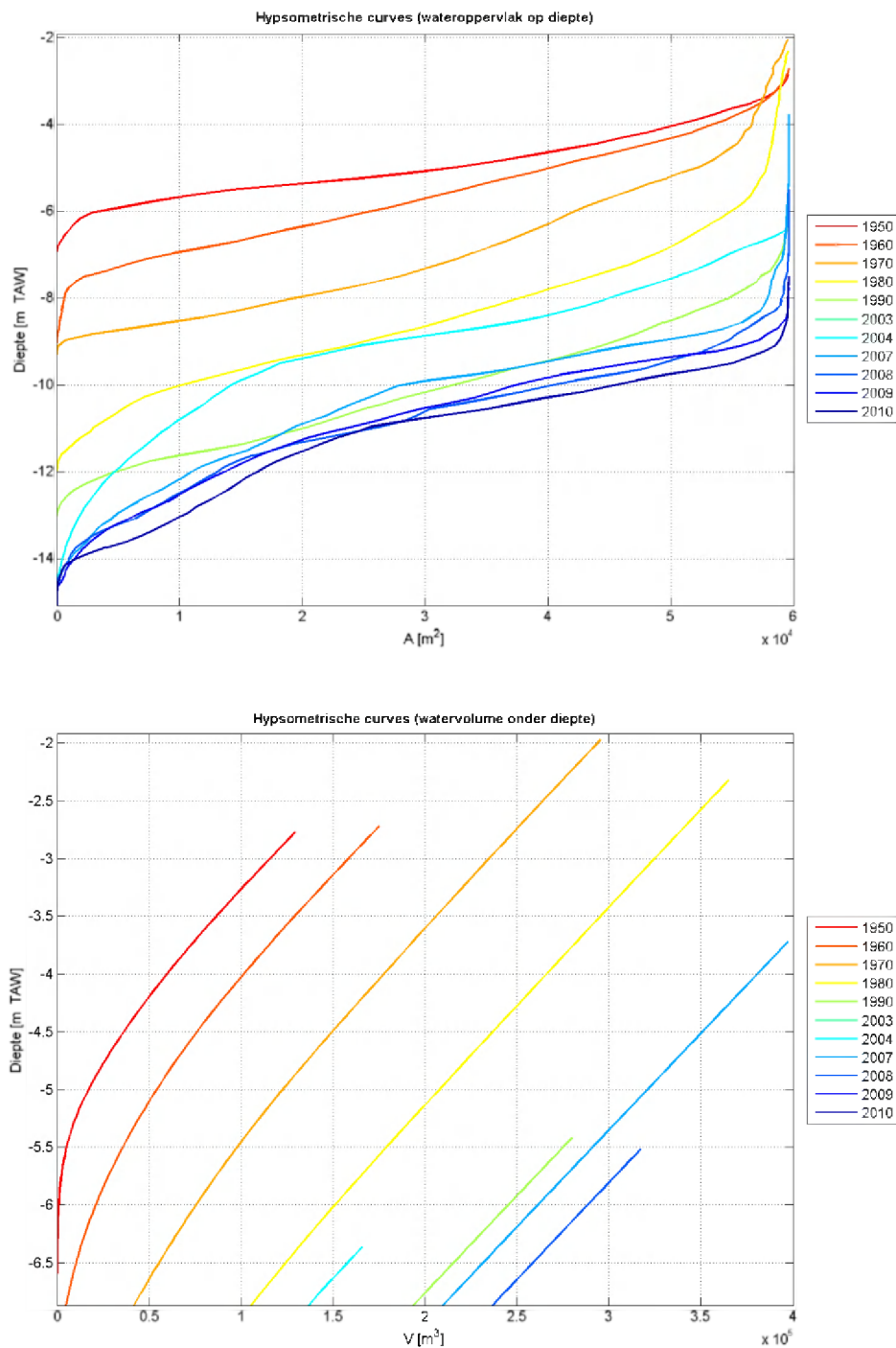
Over de tijd is er een algehele stelselmatige verdieping en verlies aan sediment (Figuur 2-5). Globaal is er een verdieping van de vaargeul en een verdwijning van de ondiepe delen ter hoogte van Punt van Melsele.

Het profiel in het stortvak zelf blijft gelijk maar het vak verdiept over de gehele oppervlakte (Figuur 2-6). Het stortvak ligt op een gemiddelde diepte van -11 mTAW.





Figuur 2-5: Morfologische ontwikkeling van de stortlocatie Punt van Melsele (Boven, links: 1950, rechts: 2010) en variatie in gemiddelde waterdiepte (onder).



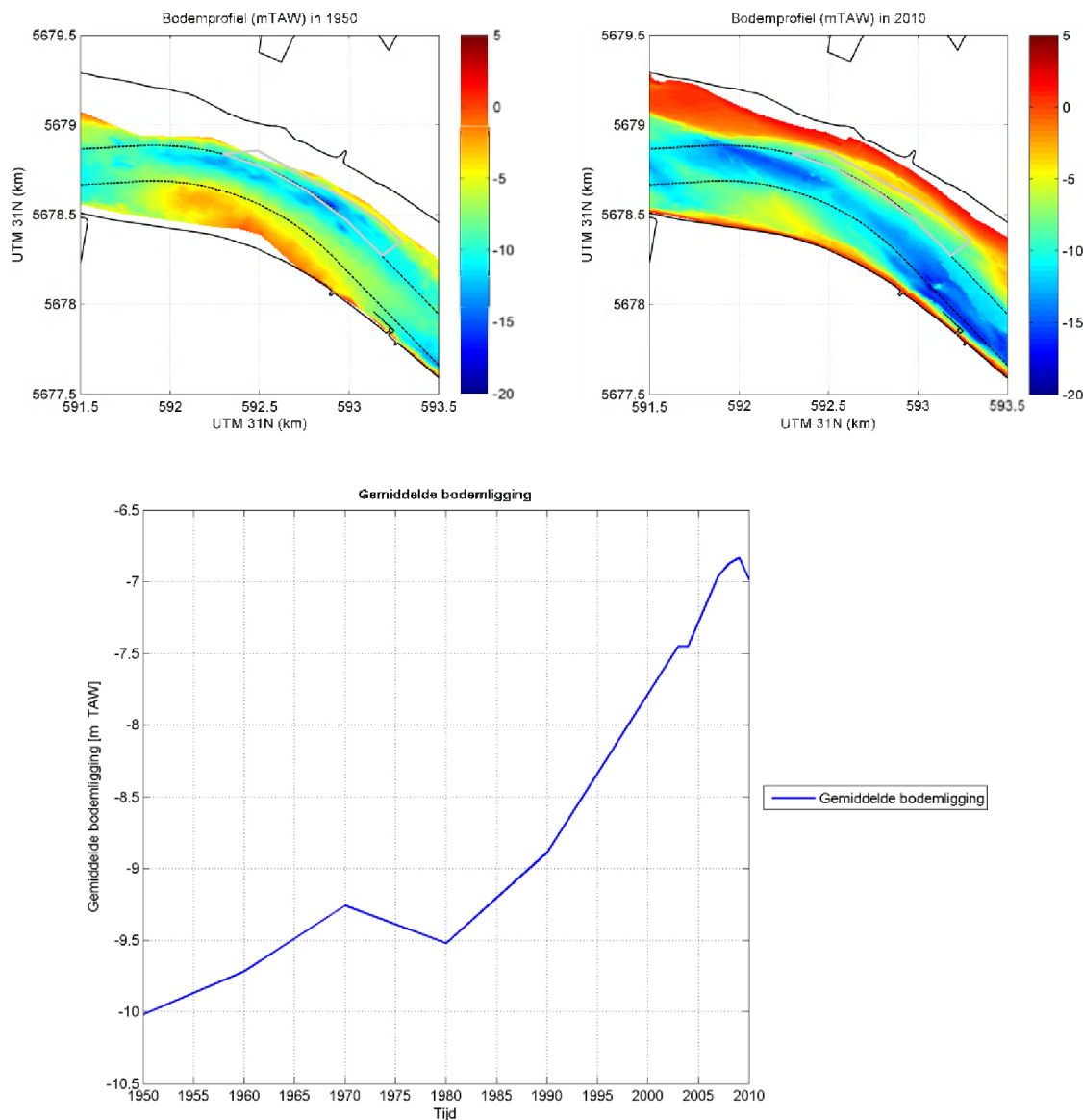
Figuur 2-6: Hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder) voor Punt van Melsele.

2.3.2 Plaat van Boomke

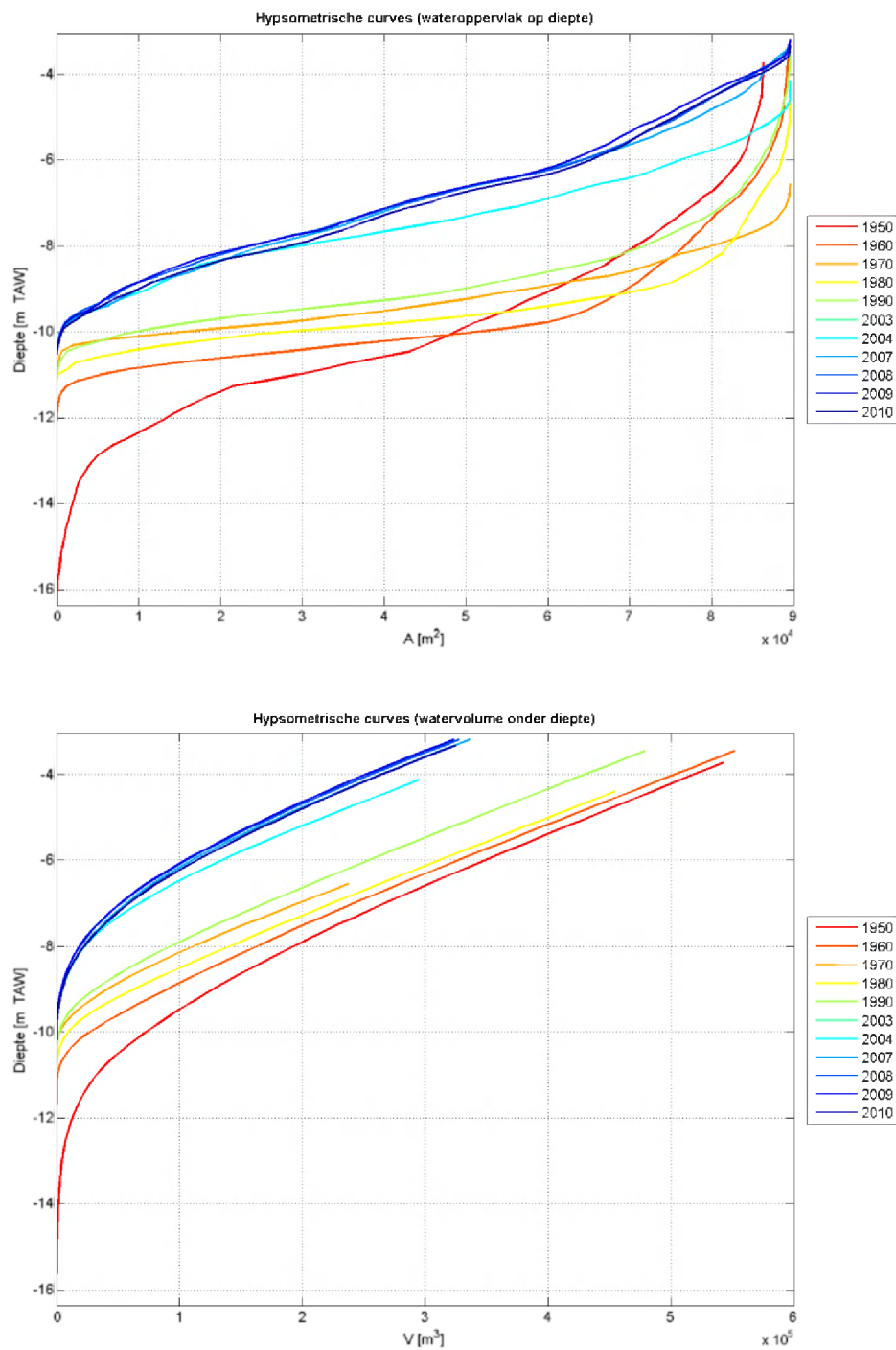
Plaat van Boomke is gelegen in het westelijk deel van de grotere stortlocatie in Figuur 2-1.

In tegenstelling tot de algemene verdiepende trend in de Beneden-Zeeschelde (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013a) kent de stortlocatie Plaat van Boomke een verondieping, er is sedimentatie opgetreden of gestort materiaal is geaccumuleerd (Figuur 2-7) en het profiel is afgezwakt (Figuur 2-8). Deze stortlocatie ligt nochtans ter hoogte van een buitenbocht van de vaargeul.

De capaciteit van deze locatie is sterk afgenomen van circa 475000 m³ onder -4.5 mTAW in 1950 tot circa 200000 m³ in 2010. De gemiddelde waterdiepte bedraagt nog -7mTAW.



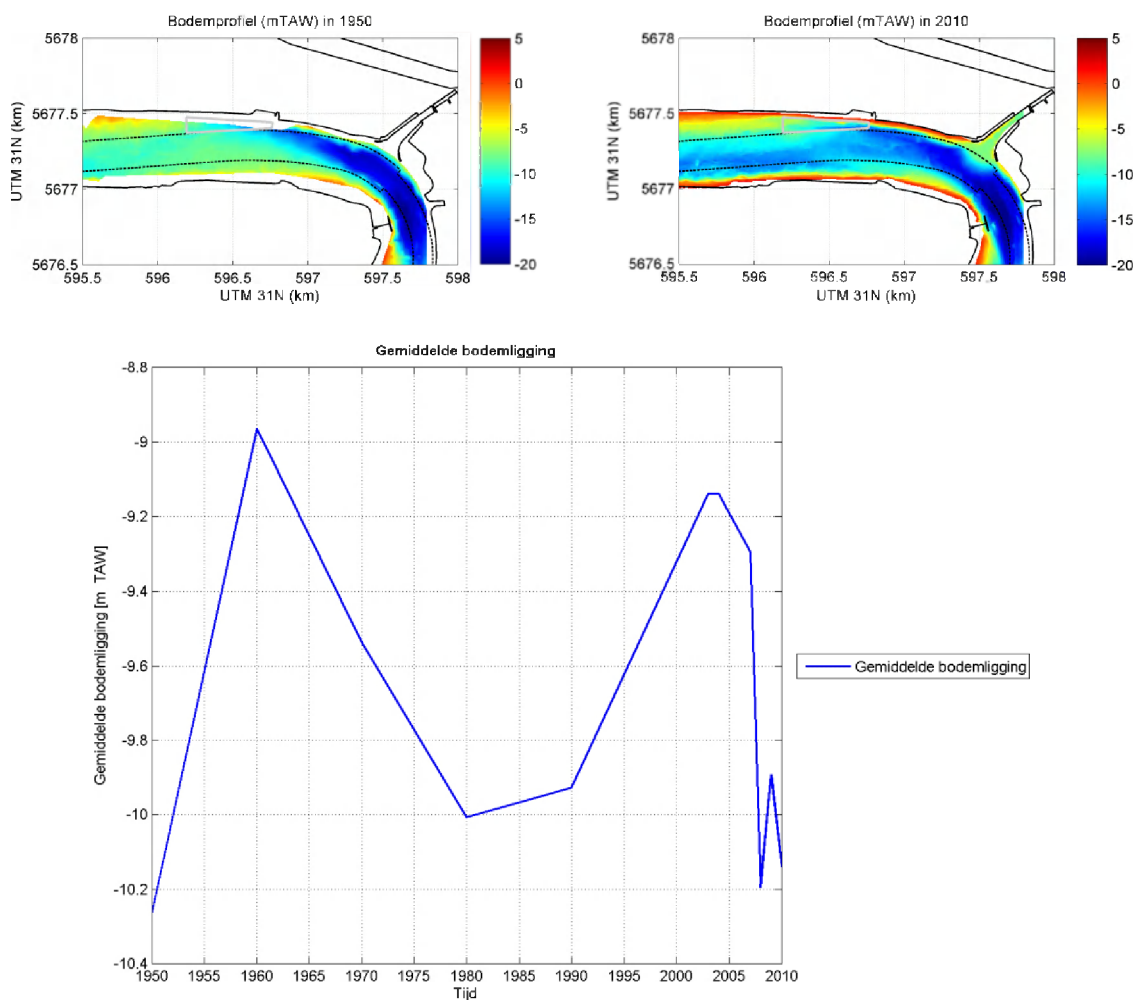
Figuur 2-7: Morfologische ontwikkeling van de stortlocatie Plaat van Boomke (Boven, links: 1950, rechts: 2010) en variatie in gemiddelde waterdiepte (onder).



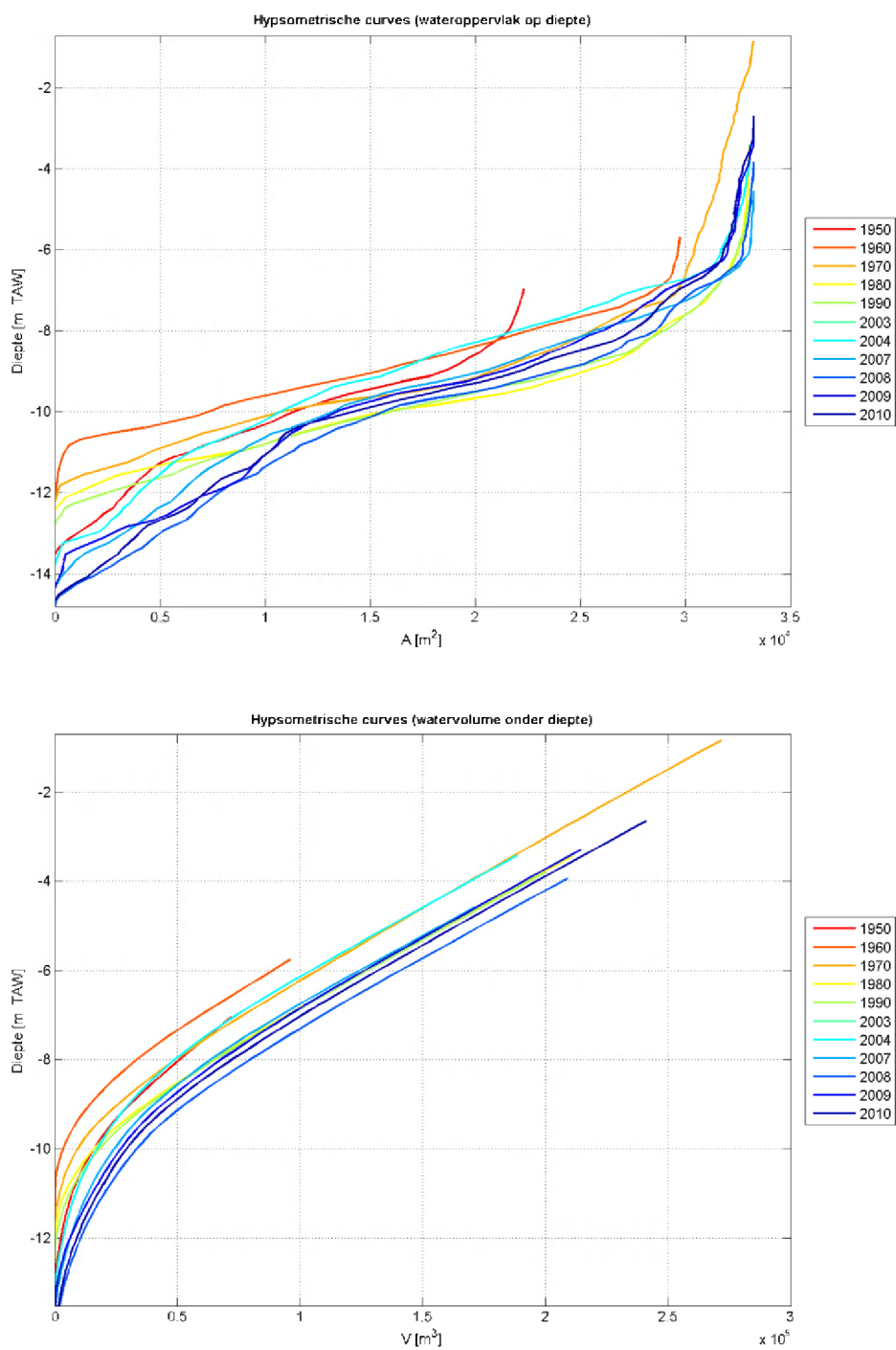
Figuur 2-8: Hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder) voor Plaat van Boomke.

2.3.3 Oosterweel

Oosterweel is gelegen in het oostelijk deel van de grotere stortlocatie in Figuur 2-1. Globaal is rond deze zone erosie opgetreden afwaarts van de drempel van Oosterweel. In de variatie van gemiddelde bodemligging in het stortvak zelf is een trend moeilijk herkenbaar, over de jaren is er een variatie tussen -10 en -9 mTAW (Figuur 2-9). Voor de vroegere jaren ontbreken bodemgegevens in verschillende gridpunten. In Figuur 2-9 is de bodemligging van 1960 getoond in plaats van 1950. Daarnaast kan de bodemligging over het volledige vak niet worden vergeleken in de hypsometrische curves (Figuur 2-10).



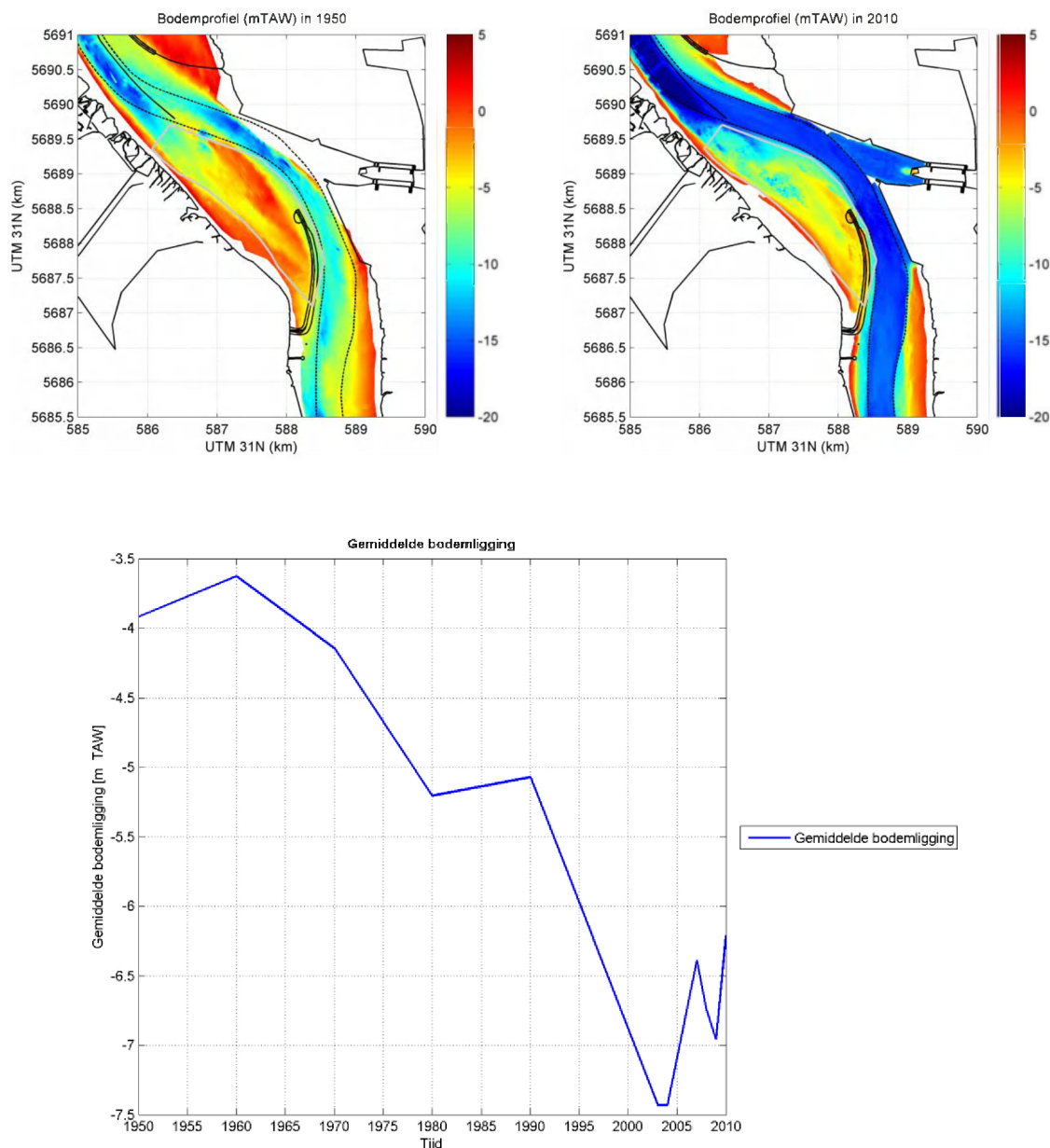
Figuur 2-9: Morfologische ontwikkeling van de stortlocatie Oosterweel (Boven, links: 1960, rechts: 2010) en variatie in gemiddelde waterdiepte (onder).



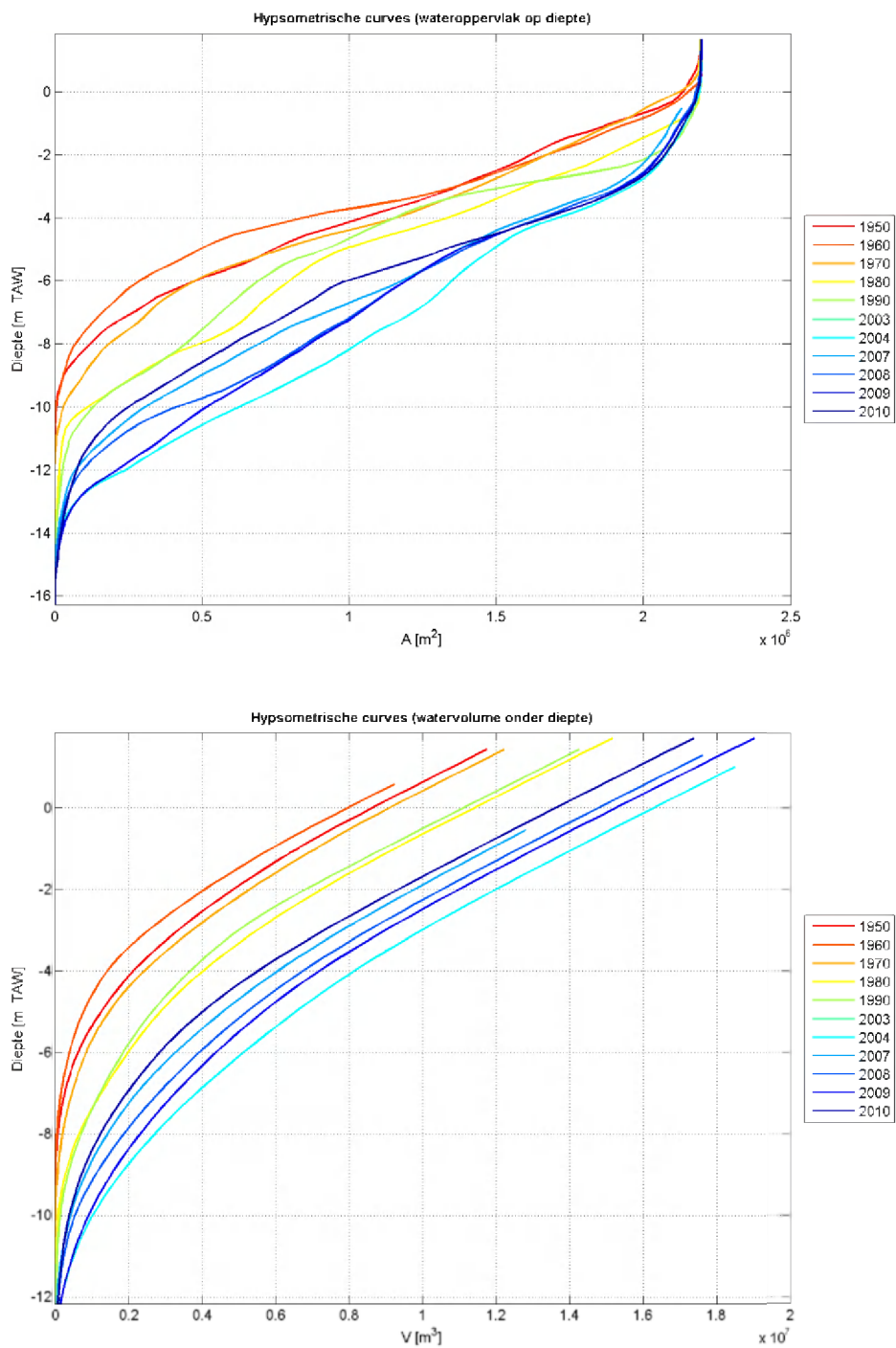
Figuur 2-10: Hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder) voor Oosterweel.

2.3.4 Schaar van Ouden Doel

Helemaal opwaarts is de Schaar van Ouden Doel gelegen nabij de strekdam (Figuur 2-11). De bodemontwikkeling in deze stortlocatie lijkt sterk te worden beïnvloed door de veranderingen in zandvolume op basis van de ontginningen en door de verdiepingen van de vaargeul naast de stortlocatie waardoor deze stortlocatie wordt gekenmerkt door een eroderende trend. Figuur 2-12 presenteert de hypsometrische curves van areaal en volume. Het profiel is over de jaren heen steiler geworden. Gebaseerd op een minimum diepte van 4.5 m TAW om nog te kunnen storten, is er ruimte voor circa 5Mm³ specie.



Figuur 2-11: Morfologische ontwikkeling van de stortlocatie Schaar van Ouden Doel (Boven, links: 1950, rechts: 2010) en variatie in gemiddelde waterdiepte (onder).



Figuur 2-12: Hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder) voor Schaar van Ouden Doel.

2.4 CONCLUSIES

Op basis van de beschikbare bodem en bagger- en stortgegevens kunnen de volgende conclusies worden gemaakt:

- De stortvakken Punt van Melsele en Oosterweel vertonen in overeenstemming met de algemene trend in de Beneden-Zeeschelde een verdieping. Aangezien in de Schaar van Ouden Doel zand wordt gewonnen, kan over de natuurlijke trend geen uitspraak gedaan worden.
- De stortvakken Schaar van Ouden Doel, Punt van Melsele en Oosterweel blijven qua capaciteit bruikbaar. Gestort materiaal komt via resuspensie terug in het systeem terecht.
- Plaat van Boomke accumuleert sediment en verondiept. Sinds 2010 wordt deze stortlocatie niet meer gebruikt.
- De grootste stortlocaties voor slib worden momenteel gevormd door: Oosterweel en Punt van Melsele. De grootste onderhoudslocatie wordt gevormd door Deurganckdok.

3. SLIBVERSPREIDING VANAF HUIDIGE STORTLOCATIES

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de slibverspreiding vanaf de huidige stortlocaties in de Zeeschelde aan de hand van numerieke simulaties. Het gaat hierbij om slib dat vrij komt door onderhoudsbaggerwerkzaamheden.

3.1 KADER EN DOEL MODELLERING

De slibverspreiding is geanalyseerd aan de hand van het numerieke slibmodel ontwikkeld in het kader van het project LangeTermijnVisie (LTV) Schelde. De waterbeweging die het slibmodel aanstuurt werd aangeleverd door het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout aan de hand van het 3D Nevla model. Het Nevla model is een 3D hydrodynamisch model ontwikkeld met SIMONA en omvat het grootste deel van het BCP, het Schelde-estuarium en alle getijgebonden zijrivieren van de Schelde. Dit model is gevalideerd op basis van waterstands-, snelheids-, debiets- en saliniteitsmetingen. Meer informatie kan worden teruggevonden in Verheyen et al., 2012.

Het rekenrooster van het slibmodel is gebaseerd op het Nevla model waarvoor een 2x2 aggregatie is uitgevoerd omwille van rekenefficiëntie. Aan de afwaartse en opwaartse randen worden slibconcentraties opgelegd. Simulaties met het slibmodel starten vanuit een ingespeeld conditie waarbij marien en fluviaal slib zich doorheen het model hebben verspreid en afgezet. Dezelfde beginconditie wordt telkens opnieuw gebruikt. In het LTV-slibmodel wordt onderhoud van specifiek toegekende zones uitgevoerd. Aan iedere onderhoudslocatie zit een vaste stortlocatie gekoppeld waar telkens opnieuw het onderhoudsmateriaal wordt geloosd in het model. Het afzettingspeil in iedere onderhoudslocatie wordt op een opgelegde frequentie gecontroleerd of een vastgelegd niveau is bereikt. Indien dit het geval is, wordt dit materiaal uit de onderhoudszone verwijderd en op een vastgelegde snelheid gestort in de bijhorende stortlocatie. Het model rekent met een vaste bodem en beschouwt alleen slibtransport, geen zandtransport. Een gedetailleerde beschrijving van het slibmodel kan teruggevonden worden in een reeks openbare rapporten beschikbaar via www.scheldemonitor.be en aan de hand van publicaties zoals Van Kessel et al. (2010) waarin de calibratie en validatie van het model wordt beschreven.

Het LTV-slibmodel van de Schelde is toepasbaar voor het simuleren van de autonome ontwikkeling en het effect van ingrepen zoals bodemveranderingen, speciéstoringen en havenuitbreidingen. Het is een grootschalig model dat met name gericht is op het berekenen van effecten op estuariumschaal. Lokaal is er voorzichtigheid geboden in het interpreteren van de modelresultaten aangezien op dit niveau de rooster- en modelschematisaties impact kunnen hebben op schuifspanningen en slibverspreiding. Daarmee hangt samen dat aanslibbing op intergetijdengebieden, zoals platen, mogelijk wordt onderschat, waardoor mogelijk de impact van storten op slibconcentraties en retourstromen aan de conservatieve kant is.

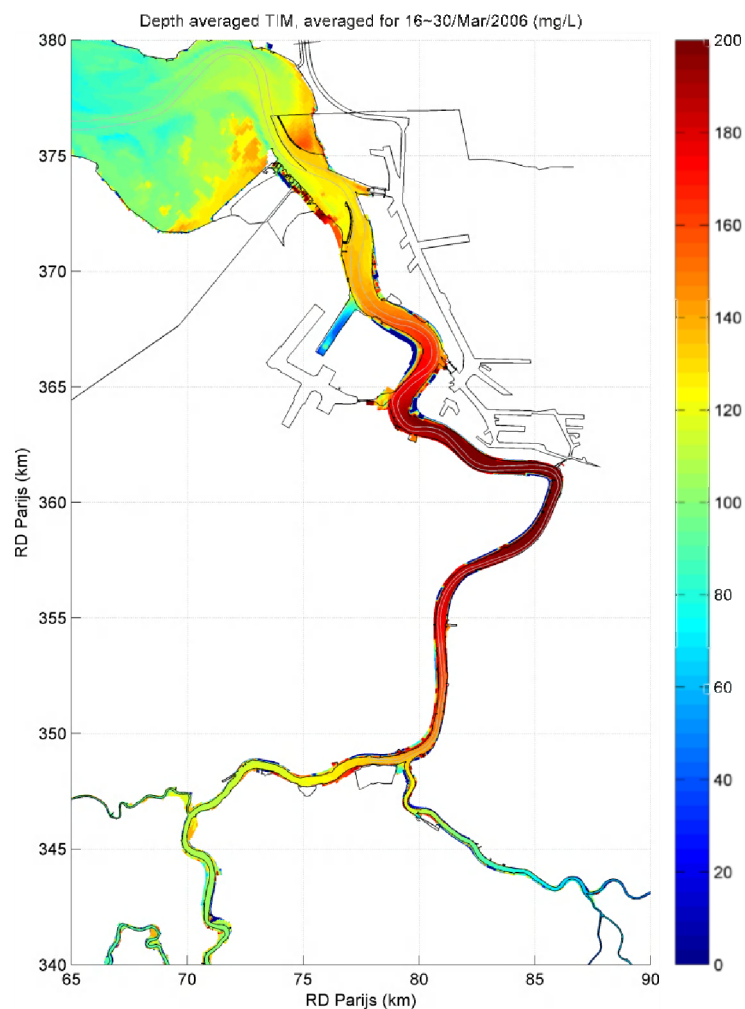
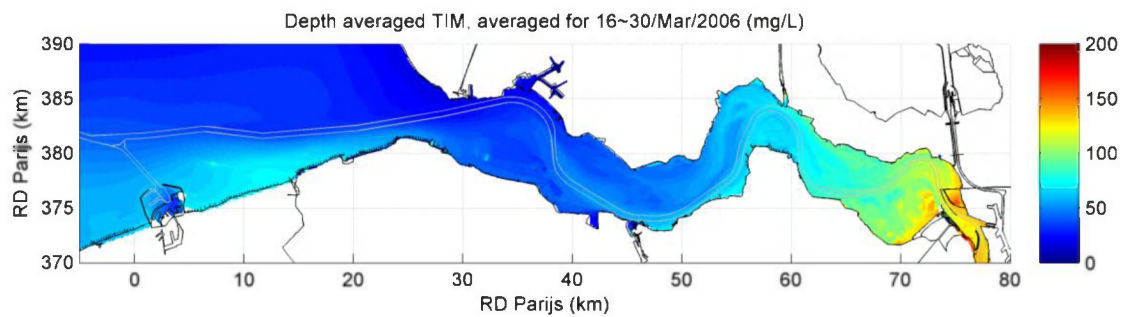
3.2 GROOTSCHALIGE SLIBDYNAMIEK IN DE SCHELDE

Het slibmodel is in staat om zowel het effect van slibverspreiding te wijten aan baggerwerkzaamheden als het gedrag van de natuurlijke sedimentconcentraties in de Schelde te berekenen. Figuur 3-1 geeft de dieptegemiddelde slibconcentratie over een springtij – doodtijcyclus weer. De slibconcentraties nemen toe doorheen de Westerschelde tot een maximum boven de 200 mg/l tussen Kallo en Hoboken, waarna de concentraties terug dalen. Uit de resultaten blijkt dat het model in staat is om het turbiditeitsmaximum ter hoogte van Antwerpen te berekenen. Volgens (IMDC, 2007) kan het turbiditeitsmaximum variëren tussen Antwerpen en Prosperpolder, met sedimentconcentraties tot 200 - 500 mg/l (IMDC 2011a). Chen et al (2008); schrijven de variatie in turbiditeitsmaximum vooral toe aan variatie in rivierafvoer van Schelde en Rupel.

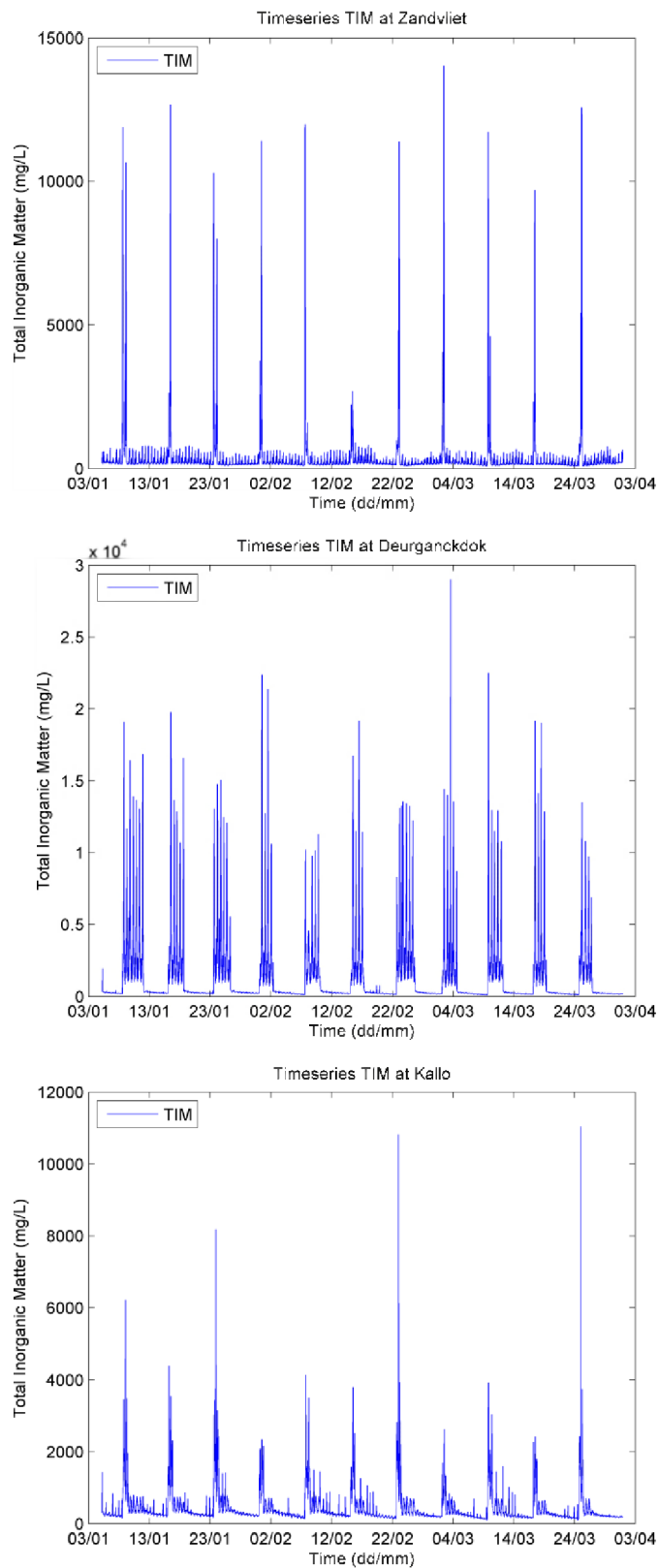
Figuur 3-2 geeft een indicatie van de dieptegemiddelde slibconcentraties weer in de stortlocaties behorende bij de onderhoudslocaties Zandvliet, Deurganckdok en Kallo. Deze concentraties zijn indicatief op momenten van onderhoud omwille van de invloed van celgrootte en stortsnelheid. Desondanks illustreert de figuur dat op momenten van onderhoud de slibconcentraties sterk kunnen toenemen, waarna deze zich weer herstellen tot normale slibconcentratiewaarden voor de Zeeschelde. Uit de figuur blijkt ook dat volgens het model de grootste slibconcentratie optreden te wijten aan het onderhoud van Deurganckdok.

Op basis van de gereduceerde volumes uit paragraaf 2.2 varieert het onderhoudsvolume voor Deurganckdok tussen 0.8×10^6 TDS/jaar tot 2.4×10^6 TDS/jaar. Het onderhoud voor Deurganckdok volgens het model bedraagt 0.3×10^6 TDS over drie maanden ofwel 1.2×10^6 TDS / jaar, welke goed overeenkomt met de werkelijke grootheden. Onderhoud in Kallo en Zandvliet wordt door het model iets lager uitgerekend. Voor Kallo wordt een onderhoud berekend van respectievelijk 0.3×10^6 TDS/jaar voor een waargenomen range van 0.5 à 0.6×10^6 TDS/jaar en 0.2×10^6 TDS/jaar voor Zandvliet voor een waargenomen range van 0.6 à 1.1×10^6 TDS/jaar.

Uit observaties blijkt een sterke variatie in onderhoudsvolume tussen de drempel van Zandvliet en de toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht, welke niet door het model worden beschreven. De beperkte modelschematisatie van de toegangsgeul zal hierop zeker van invloed zijn. Berekeningen zijn in de grootteorde van waargenomen cijfers. Echter het systeem zal vooral geanalyseerd worden op relatieve verschillen, waardoor absolute cijfers minder belangrijk zijn. Tabel 3-1 geeft toch een overzicht van de berekende jaarlijkse onderhoudsvolumes slib in de onderhoudslocaties.



Figuur 3-1: Gemiddelde slibconcentraties (mg/l) over een springtij – doodtij cyclus doorheen de Westerschelde (boven) en ter hoogte van de Beneden-Zeeschelde (onder).



Figuur 3-2: Tijdreeksen met indicatieve slibconcentraties (mg/l) in de stortlocaties voor Zandvliet (boven), Deurganckdok (midden) en Kallo (onder).

Tabel 3-1: Overzicht van de berekende onderhoudsvolumes slib in de verschillende onderhoudslocaties.

Onderhoudslocatie	Onderhoudsvolume (10 ³ TDS / jaar)
Zeebrugge	816
Sloehaven	307
Braakman	245
Terneuzen	314
Hansweert	31
Zandvliet	233
Deurganckdok	1206
Kallo	352
Totaal	3504

Tabel 3-2 geeft een overzicht van de uitgevoerde berekeningen. In eerste instantie wordt de verspreiding vanuit de huidige stortlocaties en de invloed van de bagger/stortactiviteiten op de slibconcentraties en –afzettingen in de Beneden-Zeeschelde bestudeerd. Specifiek worden de volgende aspecten behandeld in de volgende paragrafen:

- Het effect van aanslibbing en baggeren/storten op de slibconcentratie in de omgeving.
- De retourstroming vanaf de stortlocaties en de fractieverdeling van slib naar oorsprong.
- Ruimtelijke verdeling van slibconcentratie en -afzettingen ten gevolge van een eenheidslozing ter hoogte van de afzonderlijke stortlocaties.

Tabel 3-2: Overzicht van de uitgevoerde berekeningen

Runid	Beschrijving	Beschrijving
A1	Referentierun	-
B1	Multifractions	Normale onderhoudsbaggeractiviteiten met een subfractie voor iedere onderhoudslocatie
B2	Track onderhoudsspecie uit Deurganckdok te Plaat van Boomke	Normale onderhoudsbaggeractiviteiten met subfractie voor slib uit havenonderhoud
B3	Track onderhoudsspecie uit Kallo gestort te Oosterweel	Normale onderhoudsbaggeractiviteiten met subfractie voor slib uit havenonderhoud
C1	Eenheidslozing Plaat van Boomke	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
C2	Eenheidslozing Oosterweel	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten

Runid	Beschrijving	Beschrijving
C3	Eenheidslozing Punt van Melsele	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
D1	Geen aanslibbing en onderhoud in Deurganckdok	Kritische bodemschuifspanning in DGD nul, rest normale onderhoudsbaggeractiviteiten
D2	Geen aanslibbing en onderhoud in Kallo	Kritische bodemschuifspanning in Kallo nul, rest normale onderhoudsbaggeractiviteiten

3.3 ANALYSE STORTLOCATIES

3.3.1 Invloed onderhoudsbaggerwerken op de slibconcentraties

De volgende berekeningen tonen het effect van de onderhoudsbaggerwerken op de slibconcentraties in de Zeeschelde. Als belangrijkste onderhoudslocatie wordt de retourstroming naar Deurganckdok meer in detail berekend.

3.3.1.1 Invloed aanslibbing – onderhoud cyclus

Het effect van een haven, dok of toegangseu, werkzaam als een slibvang die wordt onderhouden, op de slibdynamiek tweeledig:

1. Er treedt aanslibbing op waardoor slib aan het estuarium wordt onttrokken.
2. Tijdens het uitvoeren van onderhoudsbaggerwerken wordt opgebaggerde specie weer verspreid in de omgeving.

Omwillen van beide acties kunnen een concentratieverlagend en concentratieverhogend effect optreden, verschillend in ruimte en tijd, waarbij beide effecten elkaar niet noodzakelijk neutraliseren.

Om de invloed van deze aanslibbing – onderhouds - cyclus te analyseren zijn voor de stortlocaties in de Zeeschelde telkens twee simulaties vergeleken. De slibconcentratie in de Schelde in de situatie met aanslibbing en onderhoud is vergeleken met de slibconcentraties zoals die zouden optreden in de Schelde zonder aanslibbing en onderhoud voor die specifieke locatie. In de overige onderhoudslocaties is nog steeds aanslibbing en onderhoud mogelijk. Het netto-effect is geïllustreerd aan de hand van de vergelijking van de gemiddelde slibconcentraties voor een springtij- doottij cyclus.

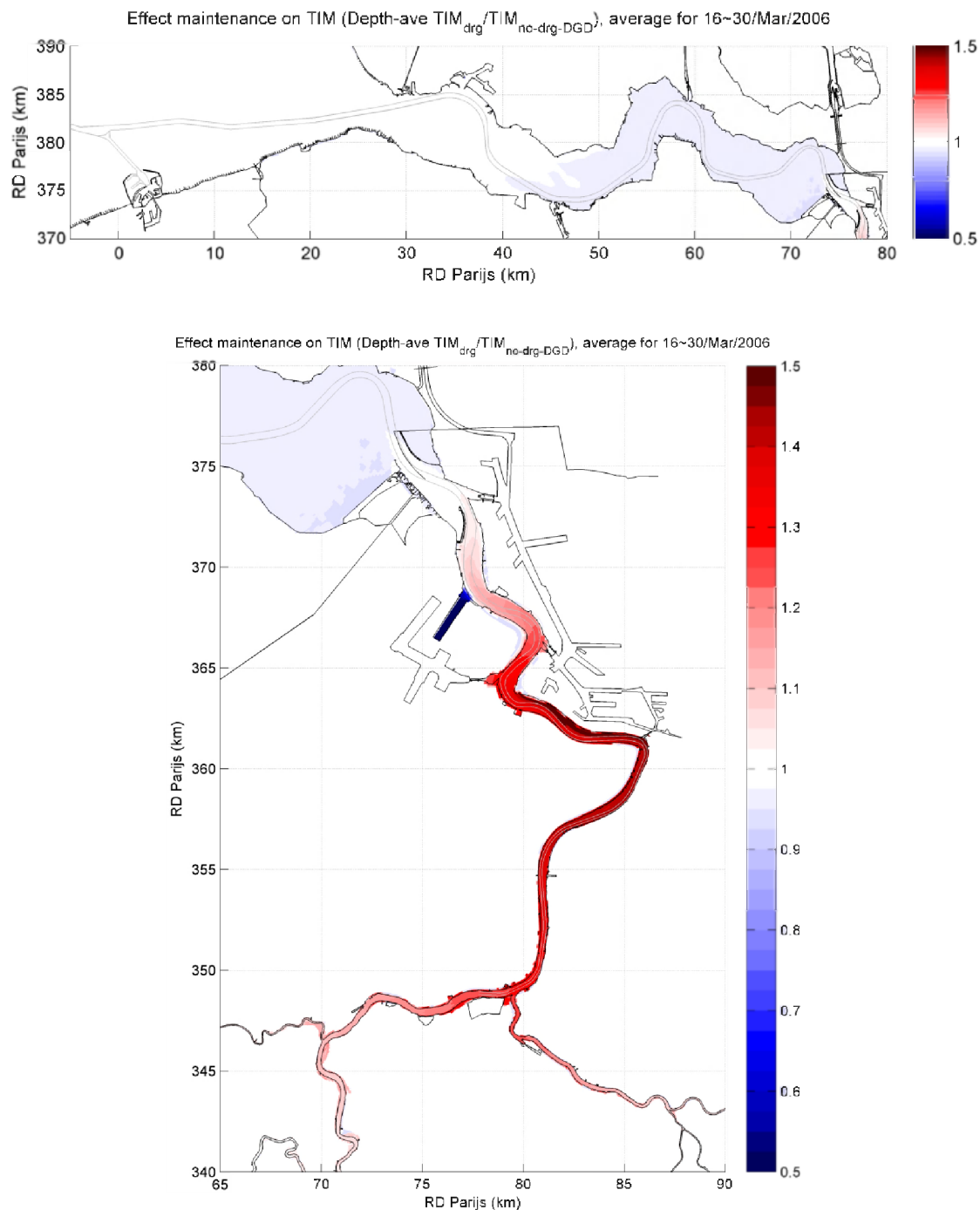
De relatieve invloed van aanslibbing en onderhoud van een specifieke locatie op de totale slibconcentraties is gebeurd aan de hand van vergelijking van simulaties D met simulatie A. De resultaten worden getoond in Figuur 3-3 en Figuur 3-4. De slibconcentraties zijn gemiddeld over de tijd (springtij-doottij cyclus) en over de diepte.

Netto hebben de aanslibbing en de onderhoudswerken in de Zeeschelde vooral een duidelijk concentratieverhogend effect opwaarts in de Zeeschelde. Dit effect is het sterkst volgens het model voor Deurganckdok (Figuur 3-3) waar de grootste aanslibbings- en onderhoudsvolumes optreden. Het concentratieverhogend effect is het sterkst rond de stortzone (concentraties tot 60% hoger), maar strekt zich uit over de gehele Beneden-Zeeschelde, met kleine invloeden

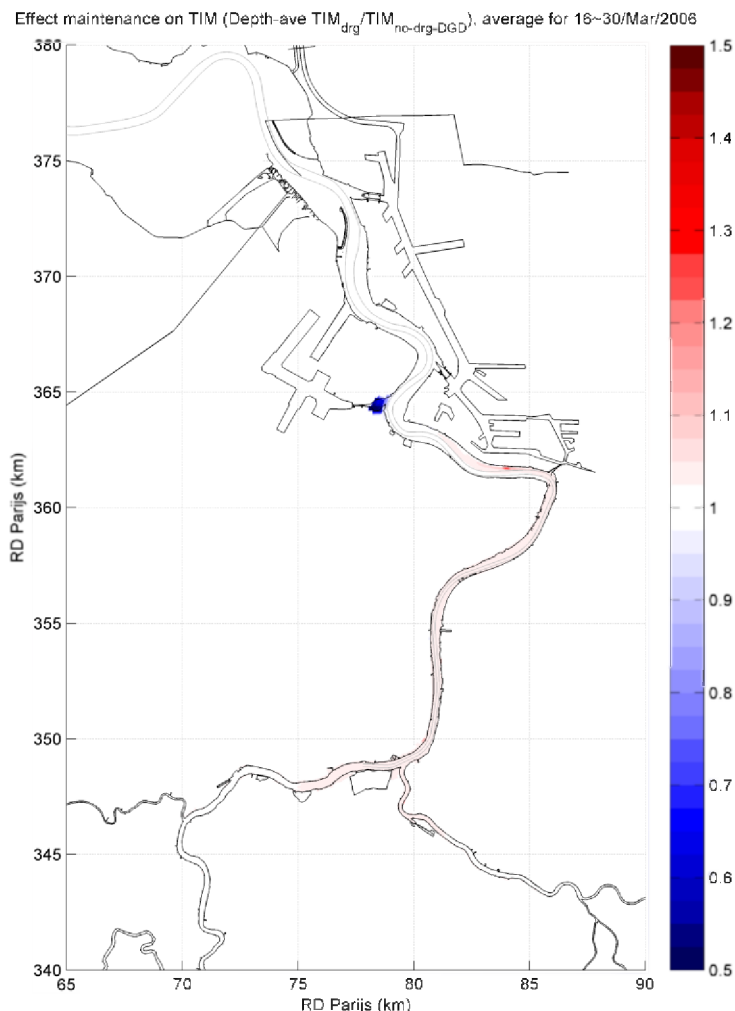
tot de Boven-Zeeschelde (<10%). Er treedt een netto concentratieverlagend effect op afwaarts van Deurganckdok in de Westerschelde. Deurganckdok, werkzaam als slibvang, reduceert het afwaartse transport van fluviatiel slib. Een beperkte reductie (<5%) is merkbaar in het oostelijk deel van de Westerschelde tot Temeuzen. Verder lijkt de impact op de sedimentconcentraties aan bodem en oppervlak gelijk, wat wijst op een goede vermenging van de baggerspecie over de verticaal met de achtergrond slibconcentraties. De aanwezigheid van DGD heeft ook een effect op de stortvolumes van Kallo. Indien er geen aangeslibd materiaal wordt gestort neemt ook het onderhoud van Kallo af (circa 10%). Er is daarentegen een beperkte stijging in het onderhoud van Zandvliet (<5%).

Het onderhoud van de toegangsgeul van Kallo (*Figuur 3-4*) heeft zoals verwacht minder impact dan Deurganckdok. De concentratieverhoging is zichtbaar in de Beneden-Zeeschelde opwaarts van Kallo, bedraagt ter hoogte van de stortzone circa 5% en is in de rest kleiner dan 5%. Er is geen concentratiedaling in de Westerschelde merkbaar (<2.5%).

Op basis van deze resultaten lijkt het plausibel dat de cyclus van aanslibbing en baggeren en storten een belangrijke invloed heeft op de grootte en ligging van het turbiditeitsmaximum omwille van het feit dat de meeste stortlocaties in deze zone van de Beneden-Zeeschelde zijn gelegen.



Figuur 3-3: Relatieve invloed van aanslibbing en onderhoud Deurganckdok op de totale slibconcentraties (TIM) in de Westerschelde (boven) en in de Beneden-Zeeschelde (onder). (>1: concentratieverhogend, <1: concentratieverlagend).



Figuur 3-4: Relatieve invloed van aanslibbing en onderhoud toegangsgeul Kallosluis op de totale slibconcentraties (TIM) in de Beneden-Zeeschelde. (>1: concentratieverhogend, <1: concentratieverlagend).

3.3.1.2 Bijdrage per onderhoudslocatie op totale slibconcentraties

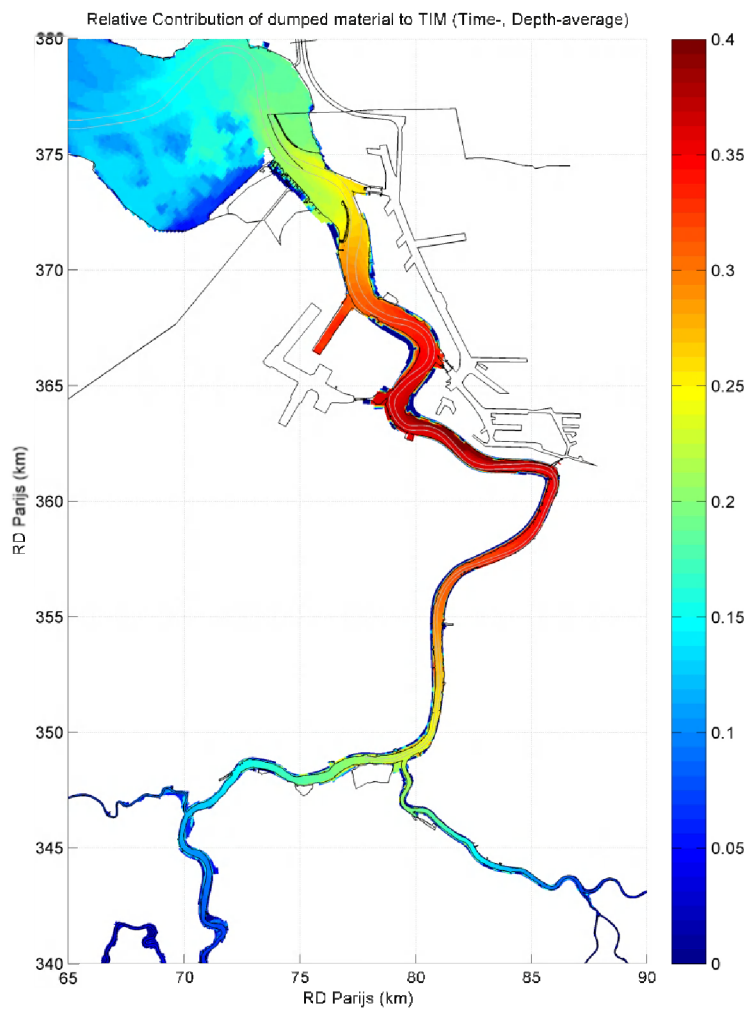
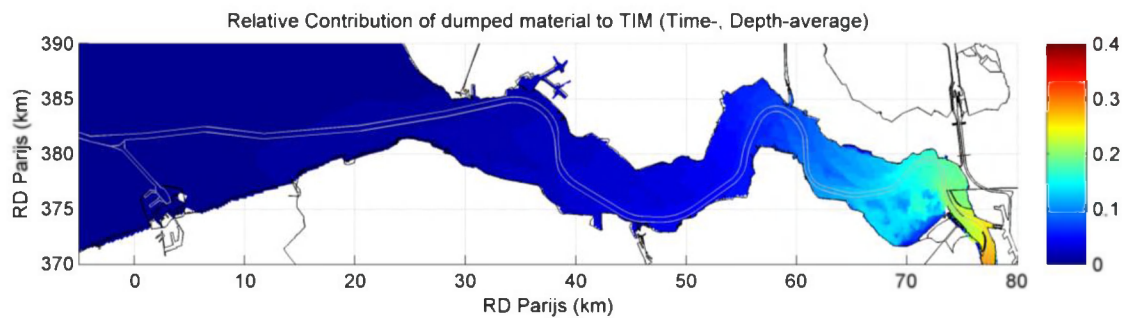
In de vorige paragraaf werd globaal de impact van de aanslibbing en onderhoudswerken op de slibconcentraties in de Zeeschelde geanalyseerd. Deze paragraaf geeft aan hoe het materiaal van iedere huidige onderhoudslocatie zich van de bijhorende stortlocatie verspreidt en wat de bijdrage is tot de totale slibconcentraties. De analyse is gebeurd aan de hand van de B-simulaties uit Tabel 3-2. Figuur 3-5 en Figuur 3-6 presenteren de relatieve bijdrage van het sediment afkomstig uit de onderhoudslocatie op de totale slibconcentraties. De slibconcentraties zijn gemiddeld over tijd (doodtij-sprintij cyclus) en over de diepte.

Door de grote onderhoudsvolumes uit Deurganckdok, is de bijdrage van deze onderhoudslocatie groot op de Schelde (Figuur 3-5). Ter hoogte van de stortlocatie draagt het gestorte slib voor 40% bij aan de totale sedimentconcentraties. Ter hoogte van Deurganckdok

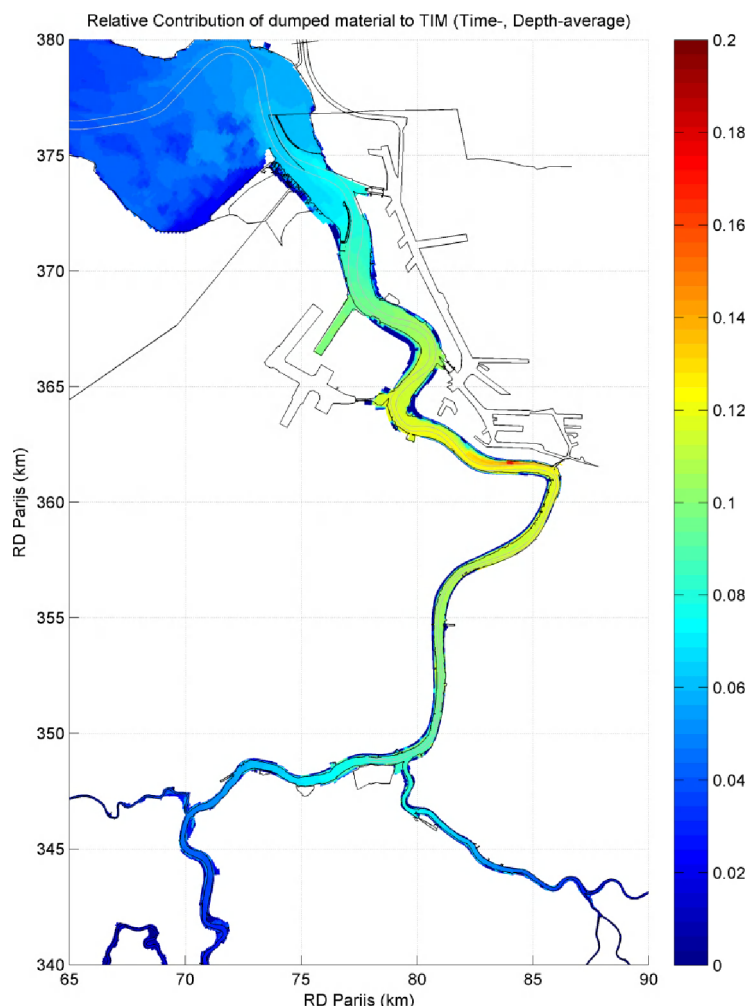
komt ongeveer 30% in de slibconcentratie overeen met het gestort slib afkomstig uit datzelfde Deurganckdok. Dit is tevens gelijk aan de retourstroom naar Deurganckdok van de stortlocatie naar de onderhoudslocatie. Het aandeel van het gestorte slib komt zowel op- als afwaarts voor van de stortzone.

Het onderhoudsvolume voor Deurganckdok is beduidend groter dan het onderhoud voor Zandvliet en Kallo. Het onderhoud van Deurganckdok heeft daarom ook verhoudingsgewijs een grotere impact dan Zandvliet en Kallo. Deze laatste twee hebben volgens het model een vrij gelijkaardige onderhoudsvolumes. De bijdrage van de Kallosluis (Figuur 3-6, let daarbij op de gewijzigde schaal) bedraagt ongeveer 12 % ter hoogte van de stortlocatie. De retourstroom naar de Kallosluis is ongeveer 10 %.

De modelresultaten suggereren dat het meeste sediment wordt opgepikt op de verschillende huidige stortlocaties, met als kanttekening dat het model mogelijk de aanslibbing op platen onderschat. Echter door de relatief grote stroomsnelheden mag verwacht worden dat het meeste sediment resuspendeert op de verschillende stortlocaties. In de Zeeschelde is, in vergelijking met de situatie in de Westerschelde, weinig dispersie van materiaal mogelijk (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013c). Bijna alle gestorte specie wordt voortdurend op- en afwaarts getransporteerd en heeft zodoende een grote bijdrage op de totale sedimentconcentraties.



Figuur 3-5: Relatieve bijdrage (-) van het sediment afkomstig uit Deurganckdok, gestort te Plaat van Boomke op de totale slibconcentraties (TIM) in de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).

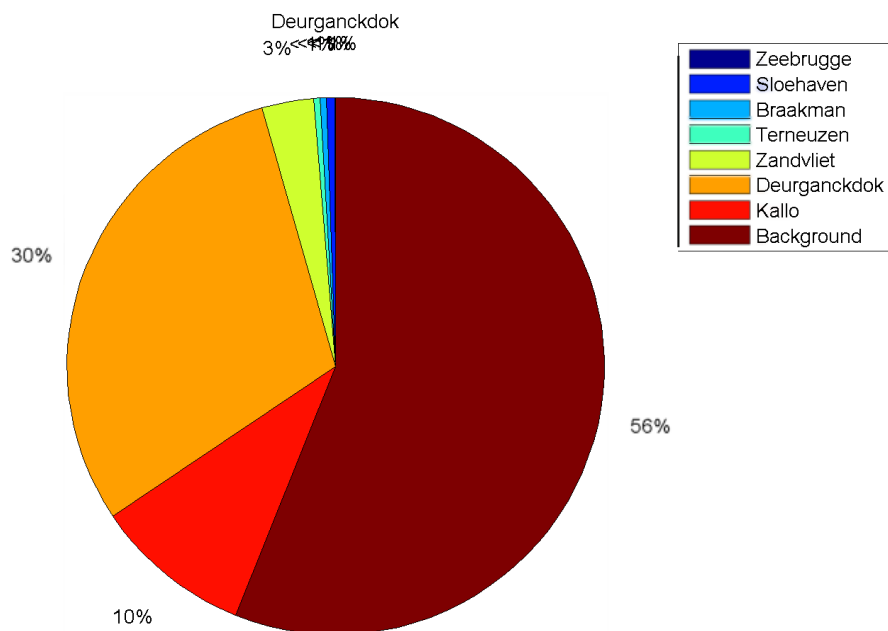


Figuur 3-6: Relatieve bijdrage (-) van het sediment afkomstig uit toegangsgeul Kallosluis, gestort te Oosterweel op de totale slibconcentraties (TIM) in de Beneden-Zeeschelde.

3.3.1.3 Retourstromen naar Deurganckdok

De herkomst van al het aanwezige slib in Deurganckdok is afgeleid op basis van de multifraction run (run B1 in Tabel 3-2) waarin slib dat door onderhoudsbaggerwerken is verplaatst naar de onderhoudslocatie is gelabeld. De herkomst van het slib in Deurganckdok wordt weergegeven in Figuur 3-7. Het aanwezige slib kan afkomstig zijn van natuurlijke bronnen, zoals transport uit zee of rivierafvoer. Daarnaast kan de slibconcentratie in Deurganckdok beïnvloed worden door het onderhoud van andere havens. Uit de figuur blijkt de grootste bijdrage aan de slibconcentratie te worden geleverd door de natuurlijke aanvoer van sediment, i.e. sediment dat zich nog niet elders heeft afgezet in een van de onderhoudslocaties. Dit deel is onafhankelijk van de onderhoudsstrategie die wordt uitgevoerd. Ongeveer 30% van het materiaal komt overeen met de retourstroom. Dit materiaal

heeft zich reeds vroeger afgezet in het dok en is na onderhoud vanuit de stortlocatie terug getransporteerd. Daarnaast dragen ook de onderhoudswerken in de Zeeschelde te Kallo en Zandvliet bij tot de slibconcentraties in Deurganckdok. De bijdrages van de verschillende havens in de Westerschelde, afwaarts van Deurganckdok, is ieder apart beperkt en bedraagt samen circa 5%. De totale bijdrage van havenonderhoud is iets kleiner dan de helft en loopt op tot 44%. Deze bijdrage kan wellicht worden beïnvloed door de keuze van alternatieve stortlocaties.



Figuur 3-7: Fractieverdeling in de slibconcentratie te Deurganckdok naar herkomst.

3.3.2 Verspreiding vanuit stortlocaties

3.3.2.1 Algemeen

In de analyse in paragraaf 3.3.1 was een onderhoudslocatie met een stortlocatie verbonden. De impact van een bepaalde stortlocatie wordt daardoor beïnvloed door de verschillende onderhoudsvolumes. Deze paragraaf onderzoekt de invloed van de ligging van de huidige stortlocaties ongeacht de bijhorende volumes op de slibverspreiding doorheen het Schelde-estuarium.

Voor deze analyse werden berekeningen (runs C in Tabel 3-2) uitgevoerd met eenheidslosingen ter hoogte van de stortlocatie. Deze berekeningen geven een goed beeld van de invloed van een specifieke locatie op de slibverspreiding doorheen het Schelde-

estuarium. In iedere stortlocatie is een gelijkaardige hoeveelheid slib gestort, zodat een consistente vergelijking mogelijk is. De lozing komt overeen met 100 kton per jaar, ofwel een continue lozing van 3.17 kg/s. De verspreiding vindt plaats in een leeg model zonder achtergrondconcentraties. Deze berekeningen zijn bijgevolg niet representatief om het absolute effect van een stortlocatie te analyseren, er worden immers geen achtergrondconcentraties berekend, maar ondersteunen de analyse van de impact van de verschillende stortlocaties. De analyse van concentraties gebeurt aan het einde van de simulatie van drie maanden over een doortij-springtij cyclus om het model voldoende tijd te geven naar een evenwichtssituatie te rekenen. De afzettingen zijn weergegeven na de volledige simulatieperiode van drie maanden.

3.3.2.2 Resultaten

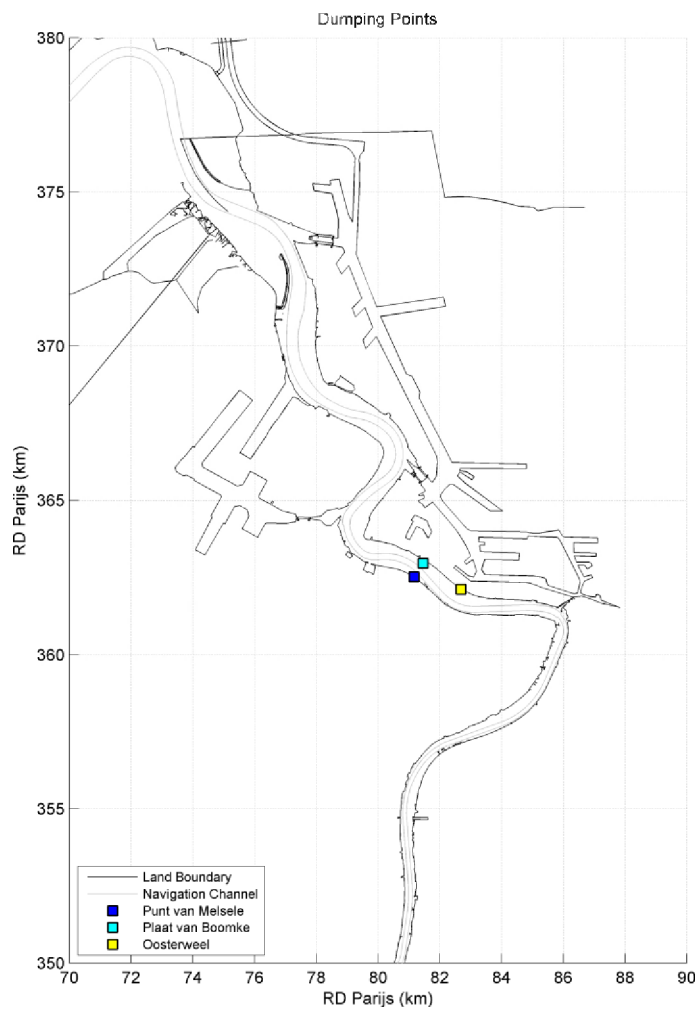
Figuur 3-8 geeft een overzicht van de ligging van de stortlocaties; Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel. Voor de verschillende stortlocaties zijn figuren opgesteld met de gemiddelde sedimentconcentratie en de netto sedimentafzettingen over een doortij-sprintijcyclus. De absolute waarden hebben op zich weinig betekenis en dienen als indicatie voor de slibverspreiding vanuit een stortlocatie. Daarom worden ter vergelijking van de verspreiding de grenzen bepaald waarbinnen de slibconcentraties hoger zijn dan 6 mg/l (als hoge slibconcentratie) en 4 mg/l (als merkbare slibconcentratie).

- Punt van Melsele (Figuur 3-9 en Figuur 3-10)
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden op tussen Liefkenshoek en Galgenweel, slibconcentraties hoger dan 4 mg/l zijn te vinden over bijna de gehele Beneden-Zeeschelde tussen de Leidam en Hemiksem. Er treedt een algemene verhoogde concentratie tot 7 mg/l op, verspreid over de volledige breedte, tussen Ketelplaat en Antwerpen centrum. In de gehele Beneden-Zeeschelde is de aanwezigheid van gestort slib merkbaar (>3 mg/l). Ter hoogte van Deurganckdok bedraagt de slibconcentratie 5 mg/l, ter hoogte van Land van Saeftinghe 1 à 3 mg/l.
Afzettingen hebben volgens het model in eerste instantie in stromingsluwe gebieden plaats, zoals de onderhoudszones, met de grootste bijdrage door Deurganckdok. Er zijn in het model beperkte slibafzettingen in de vaargeul. Verder blijft sediment achter de strek- en leidam, op de Schaar van Ouden Doel en op de Ballastplaat en op Plaat van Boomke. In het Land van Saeftinghe zijn er beperkte slibafzettingen in de geulen, maar zijn er geen tot weinig afzettingen merkbaar op de platen.
- Plaat van Boomke (Figuur 3-11 en Figuur 3-12)
Grenzen voor slibconcentraties hoger dan 6 mg/l en 4 mg/l zijn gelijk aan die van Punt van Melsele. In deze zones is er echter wel een andere slibverdeling. Rond de stortlocatie treedt een sedimentconcentratie rond de 10 mg/l op, deze strekt zich uit langs de rechteroever en de zone van deze verhoging komt ongeveer overeen met de grote Oosterweel stortlocatie zoals aangegeven in Figuur 2-1. Een algemene verhoogde concentratie tot 7 mg/l op, verspreid over de volledige breedte, is zichtbaar tussen Ketelplaat en Antwerpen centrum. In de gehele Beneden-Zeeschelde is de aanwezigheid van gestort slib merkbaar (>3 mg/l). Ter hoogte van Deurganckdok bedraagt de slibconcentratie 5 mg/l, ter hoogte van Land van Saeftinghe 1 à 3 mg/l.
Het sedimentatiepatroon is sterk gelijkaardig aan dat op basis van stortingen in de Punt van Melsele.
- Oosterweel (Figuur 3-13 en Figuur 3-14)
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden eveneens op van Liefkenshoek maar lopen

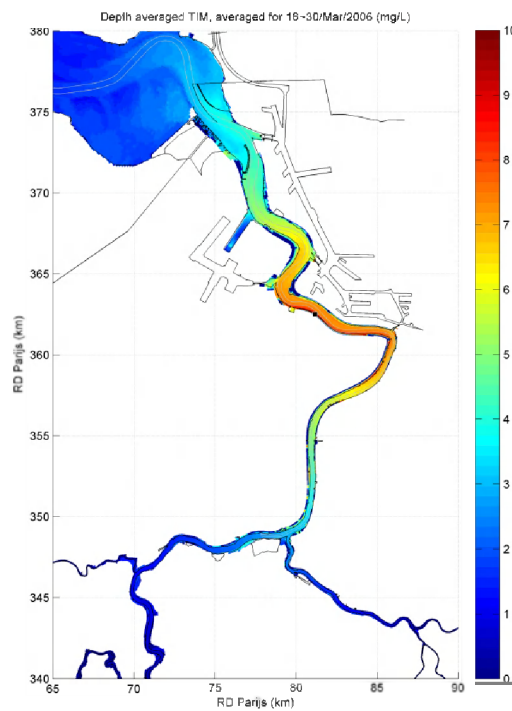
tot Burcht, concentraties hoger dan 4 mg/l kunnen worden geobserveerd afwaarts van de leidam tot Schelle. De verspreiding vanuit Oosterweel is gelijkaardig aan die vanuit Plaat van Boomke en Punt van Melsele, maar strekt zich verder uit. Daarnaast is de concentratieverhoging tot 7 à 9 mg/l is iets meer uitgesproken en strekt zich iets verder uit tussen Ketelplaat en opwaarts Antwerpen-Centrum.

Het sedimentatiepatroon is sterk gelijkaardig aan dat op basis van stortingen in Plaat van Boomke.

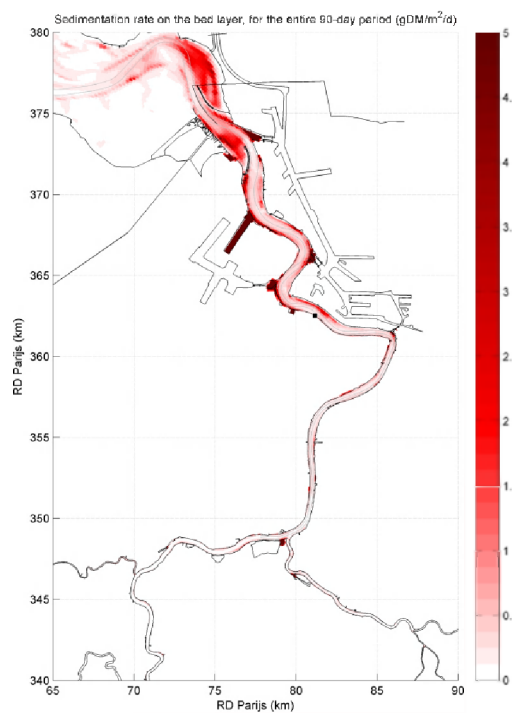
Voor iedere simulatie met eenheidslozing in een stortlocatie zijn voor enkele locaties in de Schelde tijdseries aangemaakt met de variatie in slibconcentratie en de slibafzettingen. Deze tijdseries zijn terug te vinden in Bijlage A.



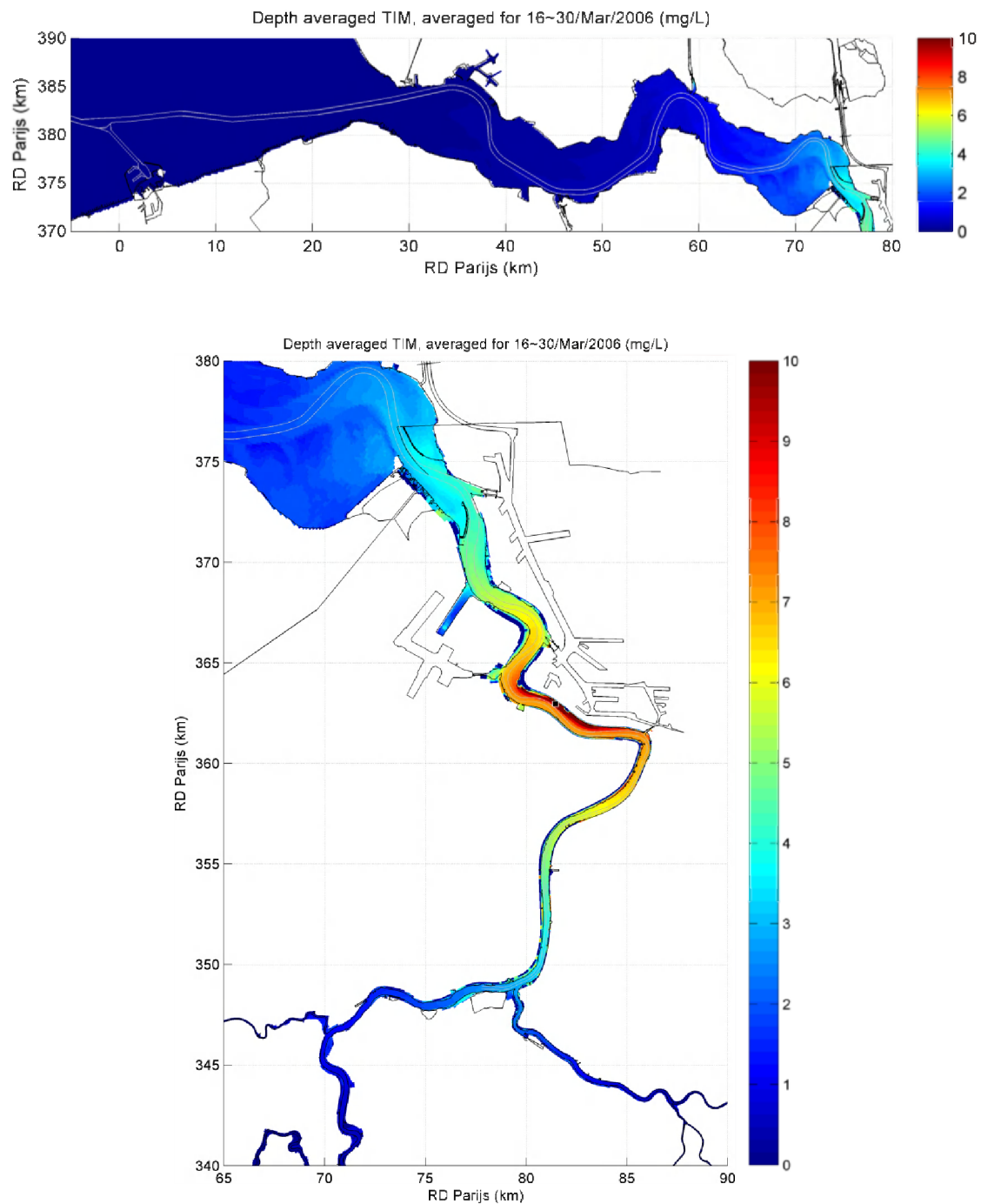
Figuur 3-8: Overzicht huidige geanalyseerde stortlocaties.



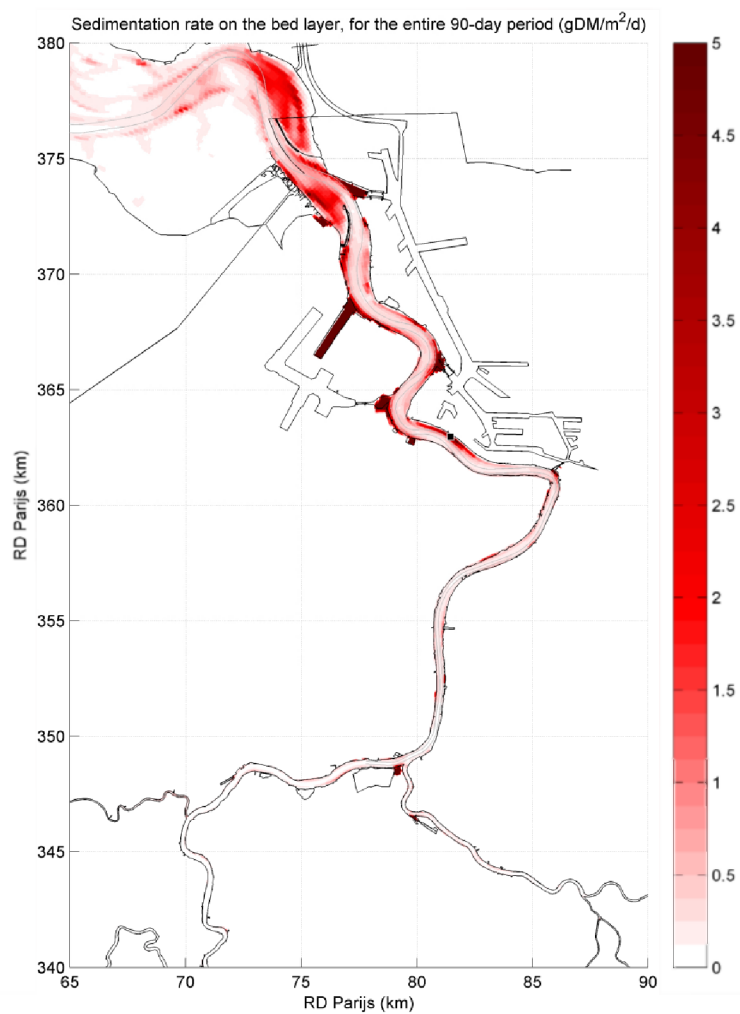
Figuur 3-9: Gemiddelde slibconcentratie over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Punt van Melsele.



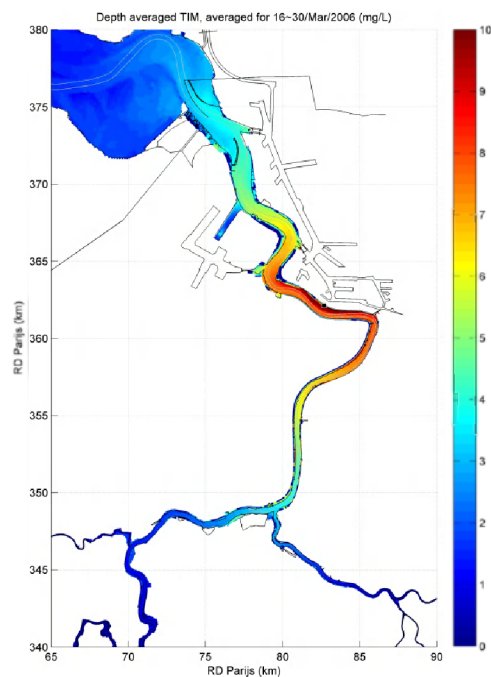
Figuur 3-10: Sedimentatie bij eenheidslozing te Punt van Melsele.



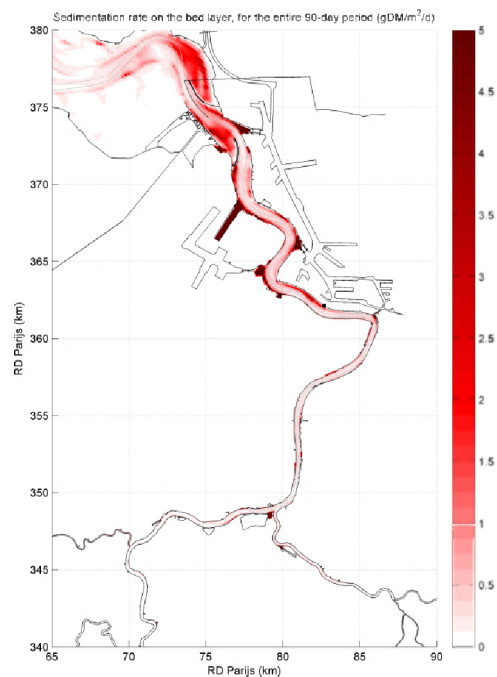
Figuur 3-11: Gemiddelde slibconcentratie over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Plaat van Boomke voor de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).



I/RA/11387/13.094/VBA
versie 2.0 - 01/10/2013



Figuur 3-13: Gemiddelde slibconcentratie over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Oosterweel.



Figuur 3-14: Sedimentatie bij eenheidslozing te Oosterweel

3.3.2.3 Slibconcentraties

De drie stortlocaties geven aanleiding tot verhoogde slibconcentraties over de gehele Beneden-Zeeschelde, met duidelijk verhoogde concentraties tussen Liefkenshoek en Galgenweel. De lozing op Plaat van Boomke leidt tot verhoogde slibconcentraties over de volledige breedte in de Beneden-Zeeschelde, met lokaal rond de stortzone aan de rechteroever hogere slibconcentraties dan in de vaargeul. Bij lozing in de Punt van Melsele stijgt de slibconcentratie meer uniform over de breedte van de Schelde en leidt tot minder hoge concentraties. Lozen in Oosterweel heeft gelijkaardig gedrag als Plaat van Boomke maar leidt opwaarts tot hogere concentraties. Het afwaarts verloop van de concentraties is gelijkaardig voor de drie locaties.

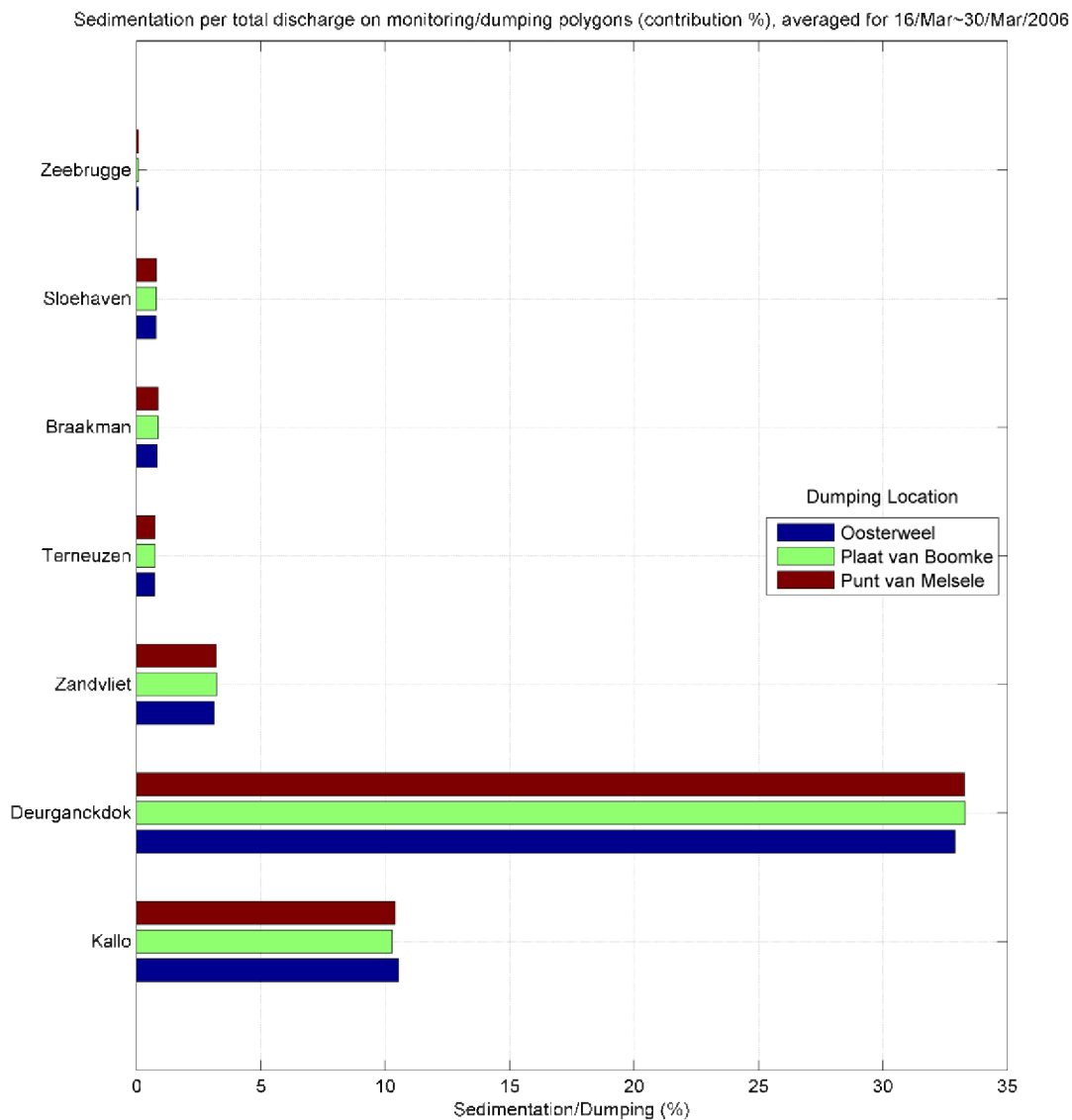
3.3.2.4 Slibafzettingen

Uit de resultaten met de ruimtelijke verspreiding van de slibafzettingen zijn weinig verschillen merkbaar. Het ruimtelijke sedimentatiepatroon, met vooral afzettingen in de onderhoudslocaties, is gelijkaardig voor alle stortlocaties.

Om een beter beeld te krijgen van de verschillen in sedimentatiehoeveelheden tussen de verschillende stortlocaties is de hoeveelheid slibafzettingen voor de verschillende onderhoudszones uitgezet in Figuur 3-15. Deze figuur geeft een overzicht van de verdeling van het sediment op basis van de gestorte hoeveelheid. De afzetting is berekend over een doortij-springtij cyclus in de momenten van minimum afzetting (springtij). De drie stortlocaties hebben doorheen het estuarium een gelijkaardig gedrag op het gebied van sedimentatiehoeveelheden. In Deurganckdok zet zich voor Plaat van Boomke, Punt van Melsele en Oosterweel circa 1/3 van de gestorte specie zich af. Dit komt goed overeen met de berekening van de retourstroom in paragraaf 3.3.1. In Kallo komt ongeveer 10% van het gestort materiaal terecht, in Zandvliet 3%. De bijdrage voor de havens in de Westerschelde is voor alle drie de stortlocaties beperkt (<1%). Zo goed als geen sediment komt in Zeebrugge terecht (<0.1%).

Niet alleen de ligging in het estuarium van de stortlocatie speelt een rol, ook de hoeveelheid materiaal die kan resuspenderen vanuit de locatie beïnvloedt de slibverspreiding. Tijdsreeksen in Bijlage A met de afzettingen in o.a. de stortlocaties geven aan in welke mate een stortlocatie het slib bijhoudt of resuspendeert. Hierbij hoort de opmerking dat het model minder geschikt is om enerzijds afzettingen op platen en anderzijds lokale near-field effecten te evalueren. Tevens zijn ter illustratie ook kaarten met de lokale slibafzettingen in de bijlage toegevoegd om ook de omgeving van de stortlocatie te kunnen analyseren (Bijlage B).

Op basis van de modelresultaten kan voor iedere onderzochte stortlocatie worden afgeleid of er een aanslibbende trend is voor de stortingen of dat een evenwicht optreedt waarin de slibafzettingen rond een evenwicht variëren. Dit laatste is duidelijk het geval voor de stortlocaties Punt van Melsele en Oosterweel. Na een initiële opbouw is er geen netto-afzetting meer. Dit komt overeen met de bevindingen in paragraaf 2.3. Daarentegen is er een netto afzettingspatroon in Plaat van Boomke, zoals ook uit de data-analyse naar voren kwam. Ook bij het lozen in Punt van Melsele of Oosterweel is er een duidelijke afzetting rond de stortlocatie Plaat van Boomke zichtbaar.



Figuur 3-15: Verdeling van de gestorte specie doorheen het schelde-estuarium. (LvS staat voor Land van Saeftinghe) over een doortij-springtij cyclus.

3.4 CONCLUSIES

Op basis van de analyse in dit hoofdstuk kan het volgende worden geconcludeerd voor de slibverspreiding vanuit de huidige stortlocaties:

- De huidige situatie van afzettingen en onderhoudswerken, met name in Deurganckdok, heeft netto een concentratieverhogend effect op de Beneden-Zeeschelde. Afwaarts, in de Westerschelde is een beperkte concentratieverlaging merkbaar, met gunstige invloed op de aanslibbing in de havens van de Westerschelde tot gevolg.
- Gezien de invloed van de havenstortingen lijkt het waarschijnlijk dat in de Beneden-Zeeschelde de omvang en de ligging van het turbiditeitsmaximum wordt beïnvloed door de huidige afzettings- en onderhoudscycli.
- Stortingen in Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel leiden tot een sterke bijdrage in de slibconcentraties. Door de relatief grote stroomsnelheden in de stortlocaties wordt het meeste sediment hier opgepikt. In de Zeeschelde is, in vergelijking met de situatie in de Westerschelde, weinig dispersie van materiaal mogelijk. Bijna alle gestorte specie wordt voortdurend op- en afwaarts getransporteerd en heeft daardoor een grote bijdrage op de totale sedimentconcentraties.
- Als onderhoudslocatie heeft Deurganckdok volgens het model de grootste impact op de slibconcentraties van de Schelde. De impact strekt zich uit over de gehele Beneden-Zeeschelde en is het sterkst ter hoogte van de stortlocatie in de buurt van het ETM waar het tot iets minder dan de helft aan de totale sedimentconcentratie bijdraagt. Van alle slib in Deurganckdok is iets minder dan de helft afkomstig uit stortingen van onderhoudsspecie, inclusief het aandeel retourstroom van gestort materiaal afkomstig uit het Deurganckdok (circa 1/3 van het onderhoudsvolume).
- De stortlocaties Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel hebben een gelijkaardig gedrag qua sedimentverspreiding. In geval van de drie stortlocaties is over de gehele Beneden-Zeeschelde gestort slib aanwezig, met een duidelijke verhoging van de slibconcentraties over de gehele breedte tussen Ketelplaat en Antwerpen-Centrum. De ruimtelijke verspreiding vanuit Punt van Melsele en Plaat van Boomke is gelijkaardig, terwijl Oosterweel een vooral opwaarts iets uitgestrekter gebied beïnvloedt. Daarentegen veroorzaken Plaat van Boomke en Oosterweel lokaal hogere slibconcentraties rond de stortlocaties aan de rechteroever ten opzichte van Punt van Melsele.
- De locaties waar sedimentatie kan plaats vinden zijn in alle simulaties dezelfde. De sedimentatiehoeveelheden die volgen uit de verschillende stortlocaties zijn gelijkaardig. Het meeste slib komt terecht in de onderhoudslocaties, in sterk gelijkende hoeveelheden voor de drie stortlocaties. Uit de modelresultaten blijkt dat gestort slib in Punt van Melsele en Oosterweel meteen resuspendeert, wat de levensduur van deze locaties ten goede komt. Daarentegen blijkt een aanslibbende trend in Plaat van Boomke, wat overeenkomt met de waarnemingen uit de data.

4. ALTERNATIEVE STORTLOCATIES VOOR SLIB

In dit hoofdstuk worden een aantal alternatieve stortlocaties onderzocht. De hypothese wordt onderzocht dat afwaarts storten een gunstig effect heeft op de sedimentconcentraties en daardoor op de aanslibbing in de onderhoudszones en dus op de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk.

4.1 CONCEPTUEEL MODEL AFWAARTS STORTEN

Door middel van een conceptueel model wordt beredeneerd wat het mogelijke effect is van afwaarts storten op de sediment concentraties in de Beneden-Zeeschelde.

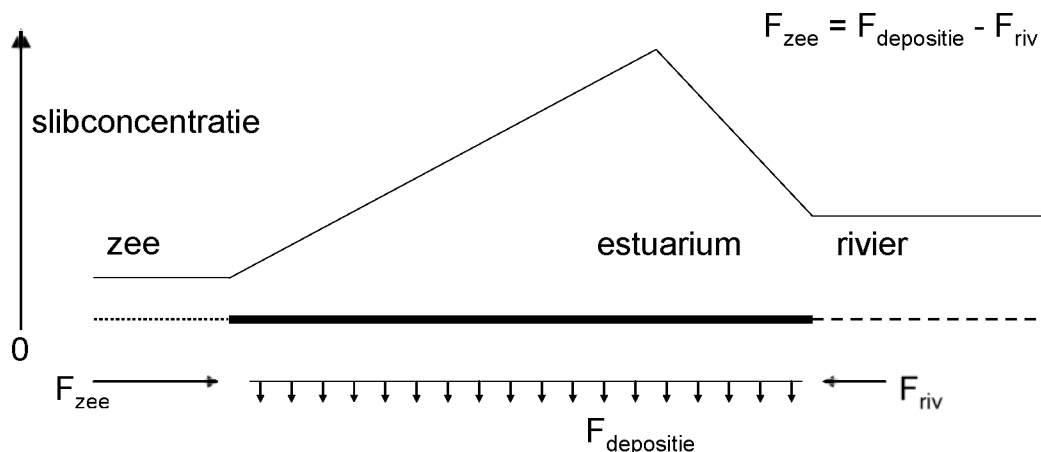
In de huidige strategie wordt de onderhoudsspecie gestort op een locatie waar er op termijn netto geen sedimentatie zal optreden. Dit is belangrijk, aangezien de stortvakken zelf anders onvoldoende capaciteit zouden hebben om alle onderhoudsspecie te bergen. In deze aanpak wordt al het materiaal, dat tijdens het onderhoud uit het systeem wordt genomen, weer terug in het systeem gebracht.

Gegeven deze veronderstelling (alles terug in het systeem) zijn er twee aanknopingspunten waarom de concentraties lager kunnen zijn bij afwaarts storten. Ten eerste zijn in afwaartse richting de momentane debieten groter. Het teruggestorte sediment uit de onderhoudsbaggerwerken wordt hierdoor verdeeld over een groter volume water (lagere concentratie). In het vervolg van dit hoofdstuk zal door middel van simulaties worden aangetoond dat dit inderdaad het geval is, door verschillende opwaartse én afwaartse stortlocaties met elkaar te vergelijken (zie paragraaf 4.2.3).

Het tweede aanknopingspunt is lastiger te beredeneren, maar volgt uit een evenwichtsbeschouwing. Door afwaarts te storten wordt er een nieuwe evenwichtssituatie verkregen, die volgt omdat de onderhoudsspecie nu tegen de richting van de flux in (weg van het ETM) wordt getransporteerd. In de bespreking wordt de opening van een tijdok in een rivier, afwaarts van het ETM, gebruikt om het concept toe te lichten.

Processen, zoals estuariene circulatie (zout-zoet gedreven), getijasymmetrie en settling en scour lag¹, transporteren marien sediment in opwaartse richting en de rivierafvoer zorgt voor een fluviale aanvoer van sediment. Er ontstaat een (dynamisch) evenwicht, waarbij de sedimentconcentratie in functie van deze processen varieert langsheen het estuarium. Een dynamisch evenwicht wil zeggen dat er op lange termijn geen positieve of negatieve trend is. Ter hoogte van het estuarien turbiditeitsmaximum (ETM) heeft de sedimentconcentratie zijn maximale waarde (Figuur 4-1). De variatie in sedimentconcentratie hangt verder samen met de fase van de doottij-springtijcyclus en de rivierafvoer. Bij hoge sedimentconcentraties (typisch groter dan enkele 100-en mg/l) kan de aanwezigheid van slib bovendien een effect hebben op het dichtheidsprofiel (naast saliniteits- en temperatuursverschillen) en zo het transport ook beïnvloeden.

¹ Settling en scour lag zijn een mogelijke oorzaak voor netto transport van fijn materiaal omwille van de tijdsduur (time lag) waarin een hoeveelheid gesuspendeerd materiaal reageert op momentane veranderingen in stromingscondities.

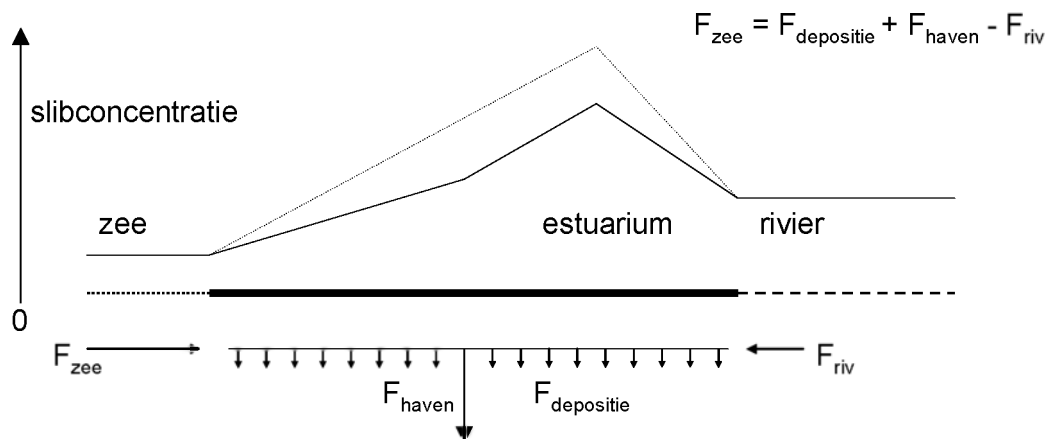


Figuur 4-1: Concentratieprofiel in langsrichting zonder havenbekken (figuur T. van Kessel)

De meeste aanslibbing (depositie) treedt op in de havenbekkens en toegangsgeulen. Daarnaast vindt aanslibbing plaats op slikken en schorren langs de rivier. Algemeen kan gezegd worden dat in een evenwichtssituatie de depositie in de Beneden-Zeeschelde gelijk is aan de fluviatiele en de mariene import (flux) van sediment. De fluviatiele import (F_{riv}) hangt samen met de rivierafvoer, en is voor deze beschouwing een gegeven. De depositie is een functie van de sedimentconcentratie. Hieruit volgt dat de mariene import (F_{zee}) gelijk gesteld kan worden aan de depositie (die volgt uit de sedimentconcentratie) minus de fluviatiele import van sediment. Indien de fluviatiele import van sediment veel groter is dan de depositie, is er geen mariene flux, maar stroomt het rivierslib richting zee.

$$F_{zee} = F_{depositie} - F_{rivier}$$

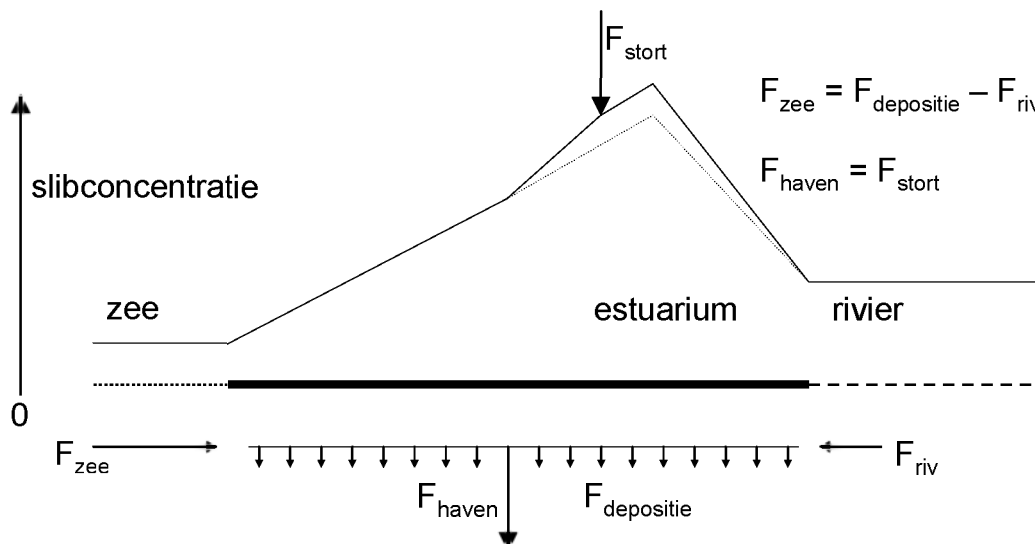
Door de aanwezigheid van een tijdok wordt sediment aan het systeem onttrokken, waardoor de sedimentconcentraties lokaal zullen dalen (Figuur 4-2). Zonder terugstorten zullen de netto fluxen hierdoor veranderen (een toename van de opwaartse flux afwaarts, en een afname van de opwaartse flux opwaarts) en ontstaat er een nieuw evenwicht. In dit geval is er een toename van de mariene import (en een afname van de aanslibbing op de slikken en schorren), die de depositie in het tijdok compenseert.



Figuur 4-2: Concentratieprofiel in langsrichting met havenbekken zonder onderhoud, verspreiding ver weg op zee of berging op land (figuur T. van Kessel)

Indien al het sediment uit de onderhoudsbaggerwerken terug wordt gestort in de Schelde is er geen netto depositie. De depositie uit bovenstaande vergelijking heeft dan enkel betrekking op de aanslibbing in zones die niet onderhouden (dienen te) worden. De import van marien sediment wijzigt dus enkel wanneer de depositie in deze zones verandert (wat mogelijk het geval is als de concentraties in de Schelde veranderen). We nemen in deze beschouwing a priori aan dat een andere keuze van stortlocatie geen invloed heeft op de mariene import van sediment, en onderzoeken het effect op de concentraties rond de stortzone.

In de huidige situatie wordt onderhoudsspecie uit het tijdok in opwaartse richting getransporteerd, richting het ETM. Het sediment wordt hier als het ware gevangen tussen de stortlocatie en de onderhoudslocatie, en het is eenvoudig te begrijpen dat lokaal de concentraties toe nemen. Er ontstaat een nieuwe concentratiegradiënt, waardoor de (bruto) flux richting het tijdok toeneemt. De mariene flux en de rivierflux richting het ETM verandert niet. Het resultaat is dat de (evenwichts)concentraties in het ETM hoger liggen dan voor de opening van het tijdok (Figuur 4-3). Hierdoor neemt zowel de sedimentatie in het tijdok zelf als op de slikken en schorren toe. Indien bovenstrooms weinig ruimte is voor depositie op slikken en schorren, neemt de concentratie verder toe. Het systeem van hogere concentraties, afzettingen en onderhoudsbaggerwerk worden hierdoor gestimuleerd. Dit fenomeen is ook door het numerieke model geproduceerd, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk.

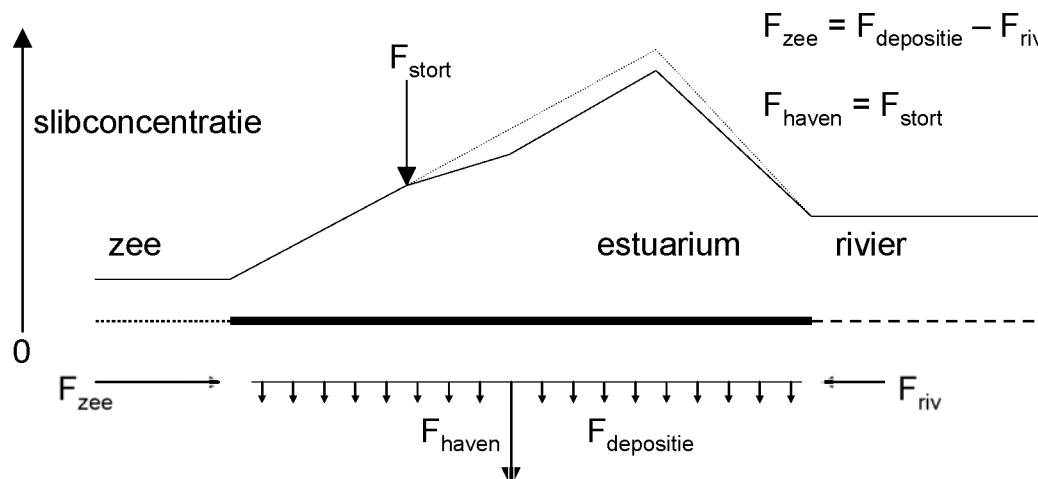


Figuur 4-3: Concentratieprofiel in langsrichting met havenbekken en verspreiding bovenstrooms (figuur T. van Kessel)

Door de baggerspecie in afwaartse richting te transporteren wordt het materiaal tegen de richting van de flux in getransporteerd, weg van het ETM. Tussen de stortlocatie en het tijdok neemt de flux toe. Afwaarts van de stortlocatie zal de flux (in de evenwichtssituatie, zie hierboven) niet veranderen. Ook nu zal zich een nieuwe concentratiegradiënt instellen, die de nieuwe fluxen kan verklaren. Om de netto flux in opwaartse richting te doen toenemen, is het nodig dat de bruto flux in afwaartse richting afneemt². Dit kan enkel indien de concentraties opwaarts ook afnemen. Er zal zich vervolgens een nieuwe evenwichtssituatie instellen waarbij de concentraties opwaarts van de stortlocatie tot voorbij het ETM lager zijn (Figuur 4-4).

Op een andere wijze gezegd: Wanneer afwaarts wordt gestort zal aanvankelijk de concentratie rond de stortlocatie toenemen, en daarmee de gradiënt tussen de monding en de stortlocatie. De mariene import van sediment zal hierdoor afnemen totdat er zich bovenstrooms van de stortlocatie een nieuw evenwicht heeft ingesteld. Dit is bij de oorspronkelijke concentratiegradiënt tussen monding en stortlocatie, die in principe dus niet wijzigt. Bovenstrooms van het tijdok neemt de concentratie juist af.

² Let op: de gradiënt van de sedimentconcentratie is niet gelijk aan de richting van de netto flux. Deze worden elk door verschillende processen bepaald. De flux verandert in functie van de depositie. De concentratie varieert in functie van eerder genoemde getijprocessen en de rivierafvoer. Wel kan gezegd worden dat een toename van de sedimentconcentratiegradiënt gekoppeld is aan een toename van de afwaartse flux, of aan een afname van de opwaartse flux.



Figuur 4-4: Concentratieprofiel in langsrichting met havenbekken en verspreiding benedenstrooms

Uit het bovenstaande volgt dat door afwaarts te storten de concentraties in het ETM een lager niveau zullen aannemen, waardoor ook de afzettingen in de onderhoudszones en overige slibafzettingsgebieden (slikken en schorren) afnemen. Uit bovenstaande balans volgt dat hierdoor ook de flux van sediment richting de Beneden-Zeeschelde enigszins zal kunnen afnemen (door de afname van depositie in overige zones). De totale hoeveelheid sediment in het systeem zal bij afwaarts storten dus lager zijn dan bij opwaarts storten.

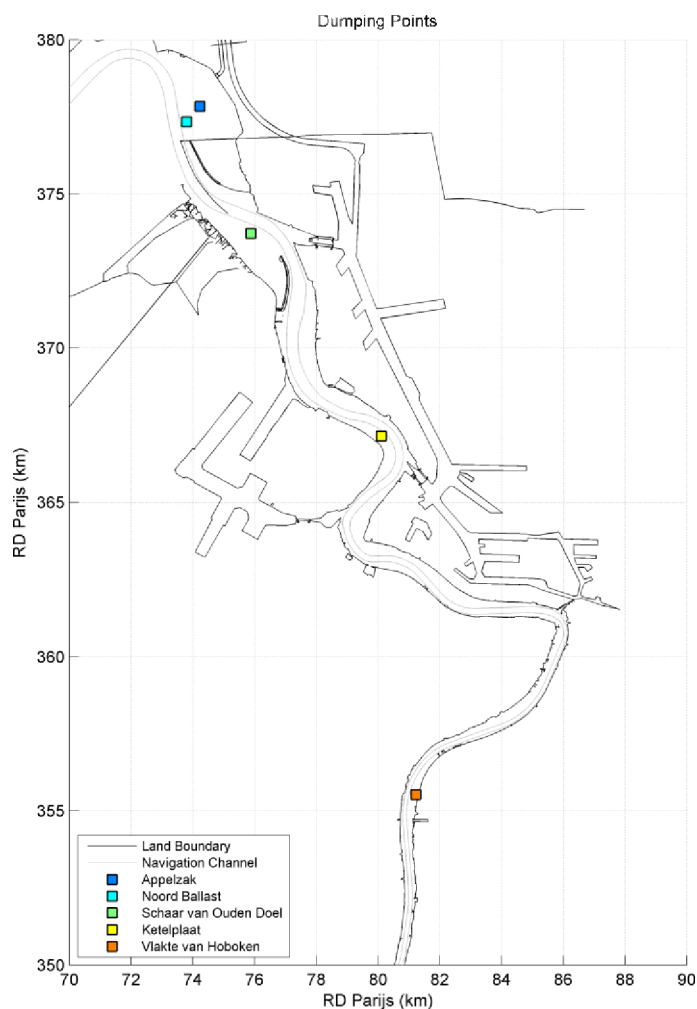
Het is aannemelijk dat in werkelijkheid op de slikken en schorren rondom de stortlocatie extra aanslibbing plaatsvindt ten gevolge van het storten. Door de extra sedimentatie zou de sedimentconcentratie verder afnemen. Deze analyse, waarin de afzettingen op slikken en schorren niet beschouwd worden, geeft dus een bovengrens voor het effect.

Belangrijk om op te merken is dat in deze beschouwing het tijdsaspect buiten beschouwing werd gelaten. Ten eerste is het onbekend hoe snel een nieuwe evenwichtssituatie situatie zich zal instellen. Er dient rekening gehouden te worden met een overgangperiode. Ten tweede is in werkelijkheid sprake van een dynamisch systeem, met een continu variërende rivierafvoer en getijamplitude. De sedimentconcentratie in de rivier zal daarom voortdurend aan verandering onderhevig zijn. Tevens zal de getijexcursie er voor zorgen dat ook afwaarts van de stortzone effecten merkbaar zijn, anders dan in de statische, theoretische situatie. Ook tijdens de baggerwerken nemen de concentraties toe, terwijl in de tussengelegen perioden zonder onderhoud de concentraties door de aanslibbing in het tijdok juist afnemen. Deze aspecten zijn wel onderdeel van het slibmodel, dat qua effectvoorspelling leidend is boven deze beknopte analyse.

4.2 ALTERNATIEVE STORTLOCATIES

4.2.1 Inleiding

Op basis van de hypothese van afwaarts storten in paragraaf 4.1 worden de locaties Noord-Ballast en Appelzak afwaarts van de leidam voorgesteld als alternatieve stortlocaties. De locatie Noord-Ballast is juist afwaarts in het verlengde van de leidam gelegen. De locatie Appelzak is gelegen in de geul van de Appelzak tussen de Ballastplaat en rechteroever. Daarnaast worden ter vergelijking ook Schaar van Ouden Doel, de Ketelplaat, tussen Deurganckdok en Kallo en de meer opwaarts gelegen Vlake van Hoboken, opwaarts van Oosterweel, onderzocht als mogelijke stortlocaties. Een overzicht van deze locaties is gegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-5: Overzicht geanalyseerde alternatieve stortlocaties.

4.2.2 Evaluatie

Het effect van een alternatieve stortlocatie wordt onderzocht aan de hand van:

- Het effect op de ruimtelijke verdeling van slibconcentratie en -afzettingen ten gevolge van een eenheidslozing (paragraaf 4.2.3).
- Het effect van het verplaatsen van een stortvak op de slibconcentratie in de omgeving en de retourstroming naar de onderhoudslocaties (paragraaf 4.2.4).

Voor deze analyses zijn verschillende modelstimulaties uitgevoerd, een overzicht is terug te vinden in Tabel 4-1. Om de modelresultaten te interpreteren werden de volgende type figuren verwerkt:

Tabel 4-1: Overzicht van de uitgevoerde berekeningen

Runid	Beschrijving	Beschrijving
E1	Eenheidslozing Noord-Ballast	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
E2	Eenheidslozing Appelzak	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
E3	Eenheidslozing Schaar van Ouden Doel	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
E4	Eenheidslozing Ketelplaat	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
E5	Eenheidslozing Vlake van Hoboken	Continue lozing nabij de bodem, geen onderhoudsbaggeractiviteiten
F1	Track onderhoudsspecie uit Deurganckdok gestort in Noord-Ballast in plaats van Plaat van Boomke	Normale onderhoudsbaggeractiviteiten met subfractie voor slib uit havenonderhoud
F2	Track onderhoudsspecie uit Deurganckdok gestort in Appelzak in plaats van Plaat van Boomke	Normale onderhoudsbaggeractiviteiten met subfractie voor slib uit havenonderhoud

4.2.3 Verspreiding vanuit stortlocaties

4.2.3.1 Algemeen

Deze paragraaf onderzoekt de invloed van de ligging van de huidige stortlocaties ongeacht de bijhorende volumes op de slibverspreiding doorheen het Schelde-estuarium.

De verspreiding vanuit de verschillende alternatieve stortlocaties is onderzocht aan de hand van een constante eenheidslozing, analoog aan paragraaf 3.3.2 (simulaties E in Tabel 4-1).

4.2.3.2 Resultaten

Voor de verschillende stortlocaties zijn figuren opgesteld met de gemiddelde sedimentconcentratie en de netto sedimentafzettingen over een doortij-sprintjicyclus. De

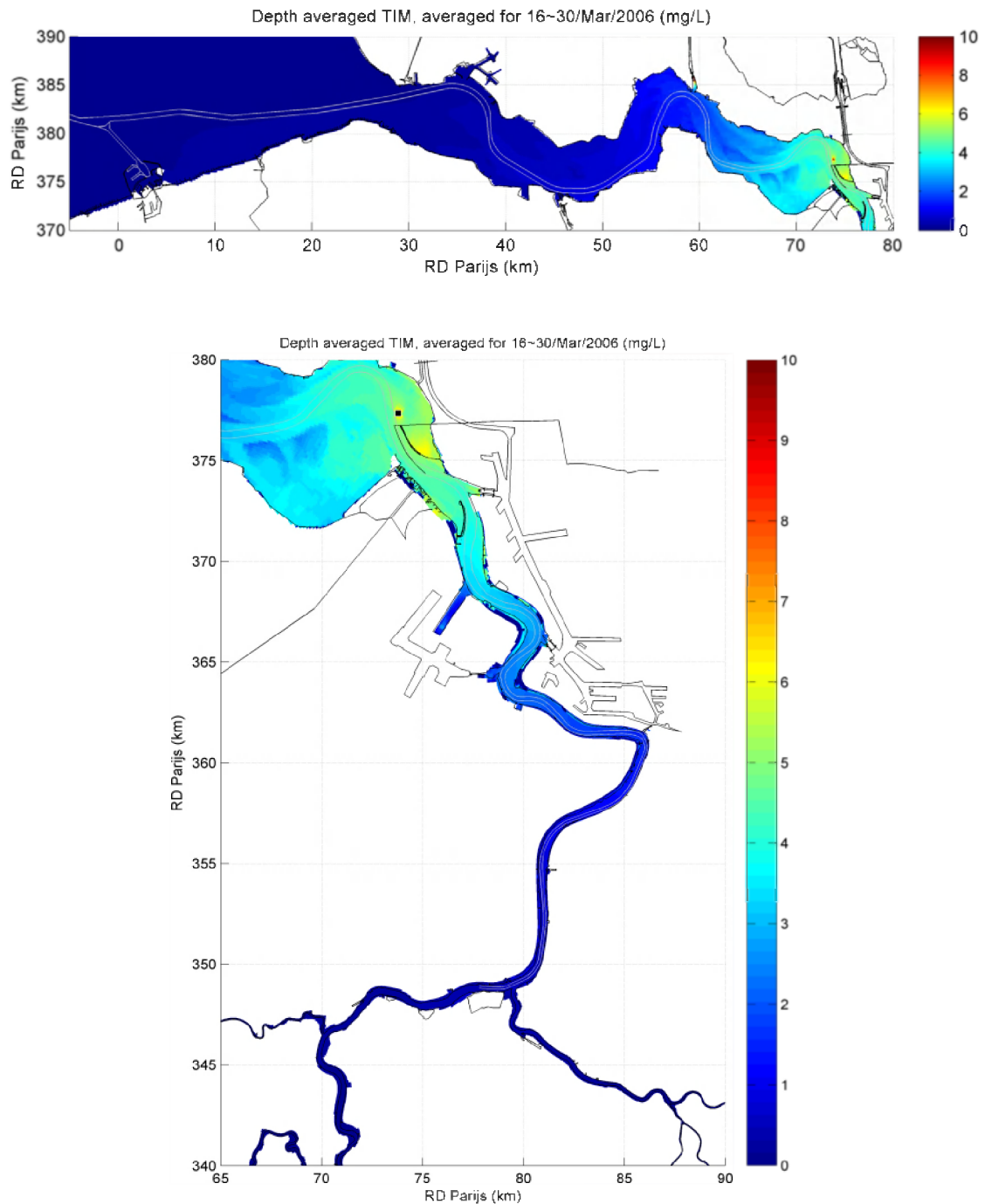
absolute waarden hebben op zich weinig betekenis en dienen als indicatie voor de slibverspreiding vanuit een stortlocatie. Daarom worden ter vergelijking van de verspreiding de grenzen bepaald waarbinnen de slibconcentraties hoger zijn dan 6 mg/l (als hoge slibconcentratie) en 4 mg/l (als merkbare slibconcentratie).

- Noord-Ballast (Figuur 4-6 en Figuur 4-7):
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden op lokaal rond de stortlocatie en in een kleine strook langsheen het opwaartse deel van de leidam. Concentraties hoger dan 4 mg/l komen afwaarts Valkenisse in de Westerschelde voor tot afwaarts strekdam in de Beneden-Zeeschelde. Ter hoogte van de stortlocatie bedragen de concentraties 5 à 6 mg/l, 3 à 4 mg/l aan Land van Saeftinghe en circa 3 mg/l aan Deurganckdok.
Het afzettingspatroon is gelijkaardig aan dat van de huidige onderhoudslocaties in de Beneden-Zeeschelde (paragraaf 3.3.2). Afzettingen hebben in eerste instantie in de onderhoudszones plaats, met de grootste bijdrage in Deurganckdok. Er zijn zo goed als geen slibafzettingen in de vaargeul en over de rest van de breedte van de Zeeschelde. Verder blijft sediment achter op de Schaar van Ouden Doel zelf en op de Ballastplaat. Aan de randen van het Land van Saeftinghe en rond de Appelzak treedt resuspensie van reeds eerder afgezet slib op.
- Appelzak (Figuur 4-8 en Figuur 4-9):
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden op rond de stortlocatie tot aan de leidam. Concentraties hoger dan 4 mg/l komen zeer gelijkaardig aan Noord-Ballast voor van afwaarts Valkenisse tot afwaarts strekdam. Echter de slibconcentraties rond de stortlocatie zijn hoger, net zoals vlak achter de leidam (6 à 7 mg/l).
De afzettingen bij storten te Appelzak zijn gelijkaardig aan die bij storten te Noord-Ballast.
- Schaar van Ouden Doel (Figuur 4-10 en Figuur 4-11):
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden op lokaal rond de stortlocatie. De grenzen voor de zone met concentraties hoger dan 4 mg/l is naar opwaarts verschoven van opwaarts Valkenisse tot de Boudewijnsdijk. Stortingen in de Schaar van Ouden Doel geven aanleiding tot sedimentconcentraties van 5 à 6 mg/l rond de stortzone. In het Land van Saeftinghe variëren de concentraties tussen 2 en 4 mg/l. Daarbuiten wordt het slib snel verspreid en dalen de sedimentconcentraties snel. Ter hoogte van Deurganckdok bedraagt de concentratie 4 mg/l.
Afzettingen hebben een gelijkaardig patroon. Verder blijft meer sediment achter op de Schaar van Ouden Doel zelf.
- Ketelplaat (Figuur 4-12 en Figuur 4-13):
Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l treden lokaal op langs de linkeroever op de Ketelplaat zelf. Concentraties hoger dan 4 mg/l zijn zichtbaar tussen Bath en Galgenweel. In de Beneden-Zeeschelde is een uitgestrekte zone tussen Zandvliet en Oosterweel aanwezig met een verhoogde concentratie van 5 mg/l. Afwaarts is de invloed uitgewerkt te Hoboken, opwaarts ter hoogte van Land van Saeftinghe.
Storten bij Ketelplaat leidt tot kleinere volumes afwaarts in vergelijking met Noord-Ballast en Appelzak, maar het sedimentatiepatroon blijft volledig gelijkaardig.
- Vlake van Hoboken (Figuur 4-14 en Figuur 4-15):
Van alle onderzochte simulaties leidt het storten op de Vlake van Hoboken tot de grootste zones met verhoogde slibconcentraties. Slibconcentraties hoger dan 6 mg/l komen voor tussen Liefkenshoek in de Beneden-Zeeschelde en Temse in de Boven-

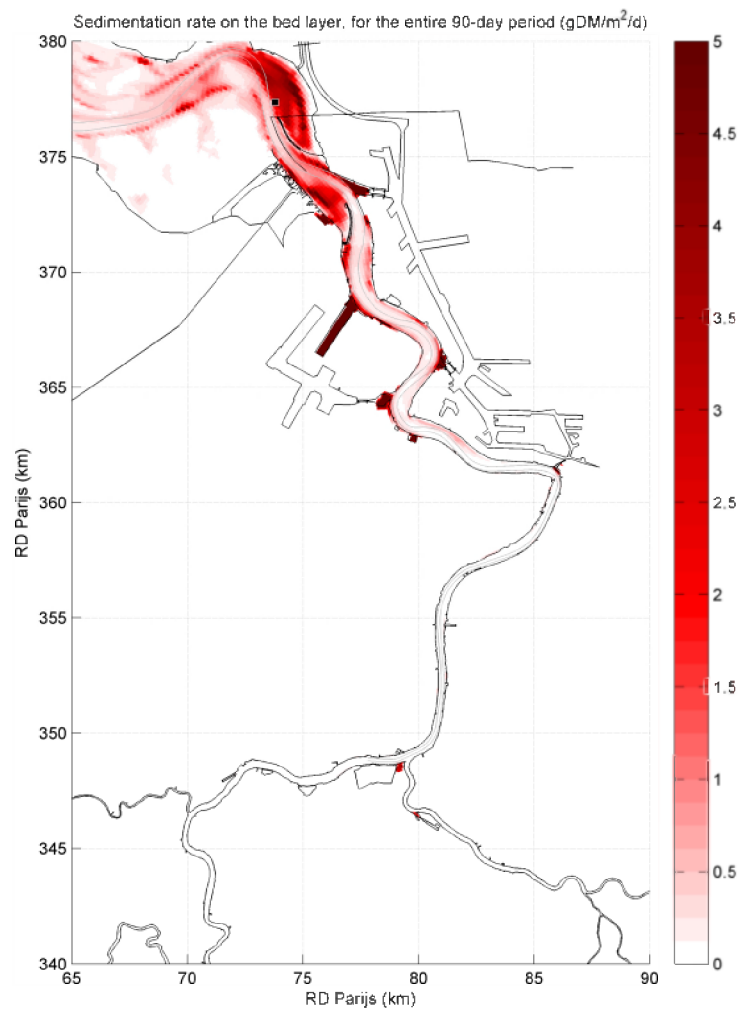
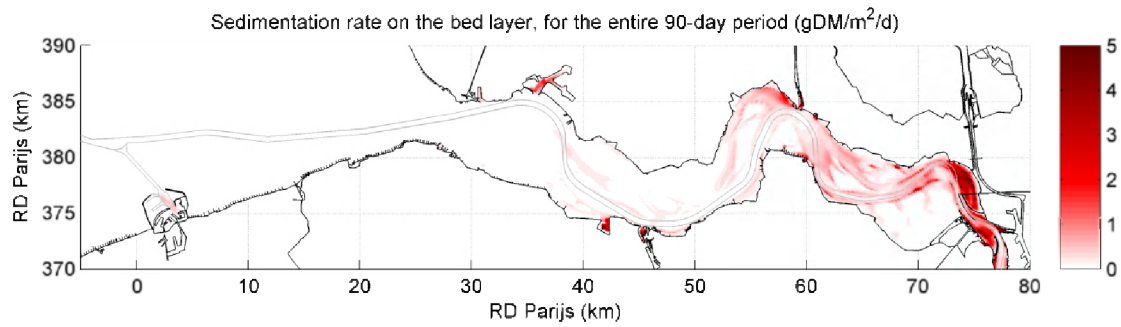
Zeeschelde. Concentraties hoger dan 4 mg/l zijn zichtbaar tussen Zandvlietluis in de Beneden-Zeeschelde tot circa Lippenbroek tussen de Durme-monding en Sint-Amands in de Boven-Zeeschelde en opwaarts Boom in de Rupel. Tussen Plaat van Boomke en Schelle zijn de concentraties 10 mg/l of meer. In Hoboken komen concentraties tot 20 mg/l voor, meer dan het dubbele van de andere simulaties. Ter hoogte van Deurganckdok komt een concentratie van 5 mg/l voor.

De afzettingen te wijten aan storten op de Vlake van Hoboken vertonen hetzelfde patroon afwaarts als de overige locaties, met vrij gelijkaardige hoeveelheden als de Ketelplaat. Echter nu blijken ook afzettingen in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde en de Rupel op te treden. Rond de stortlocatie zijn geen sedimentafzettingen merkbaar.

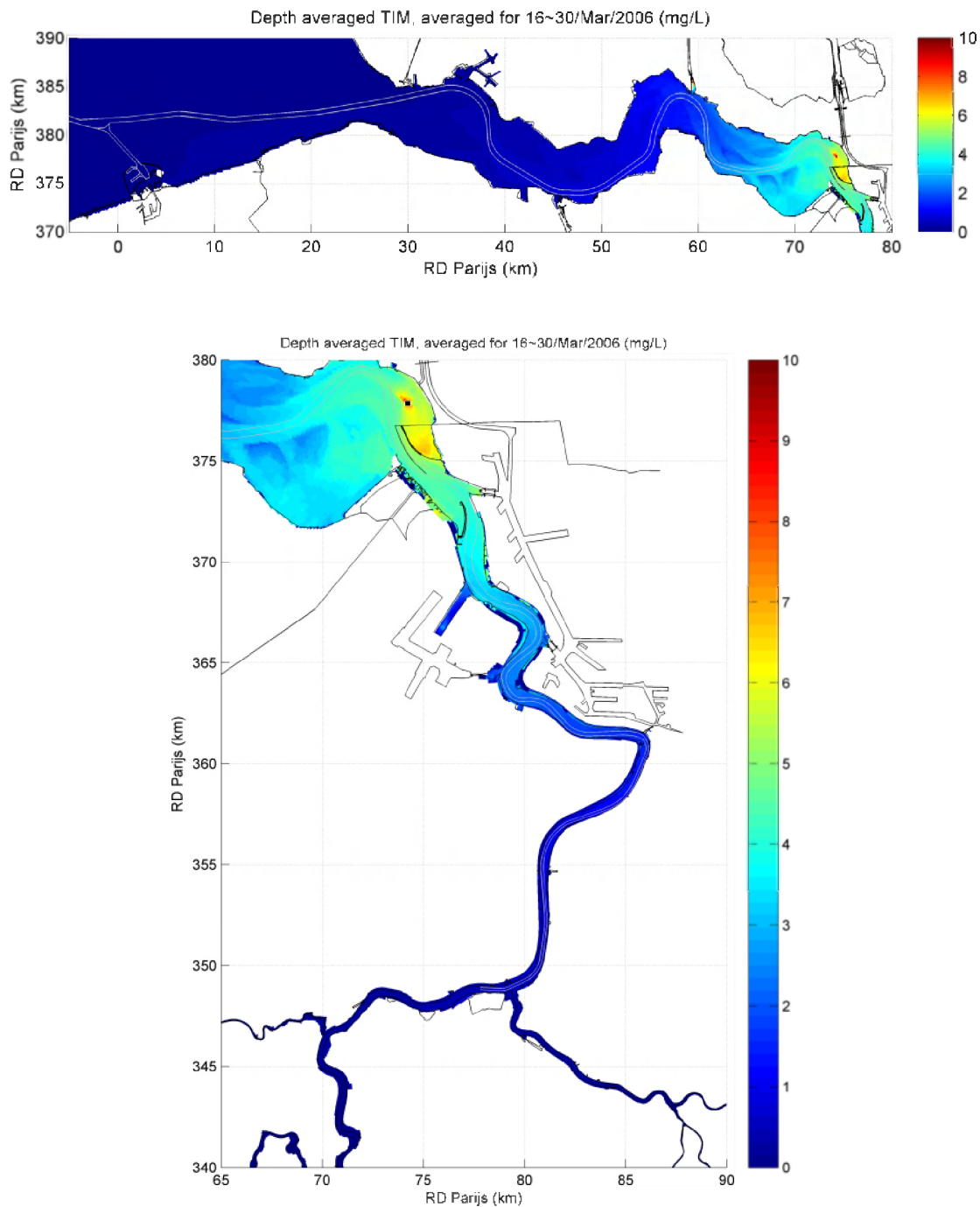
Voor iedere simulatie met eenheidslozing in een stortlocatie zijn voor enkele locaties in de Schelde tijdseries aangemaakt met de variatie in slibconcentratie en de slibafzettingen. Deze tijdseries zijn terug te vinden in Bijlage C.



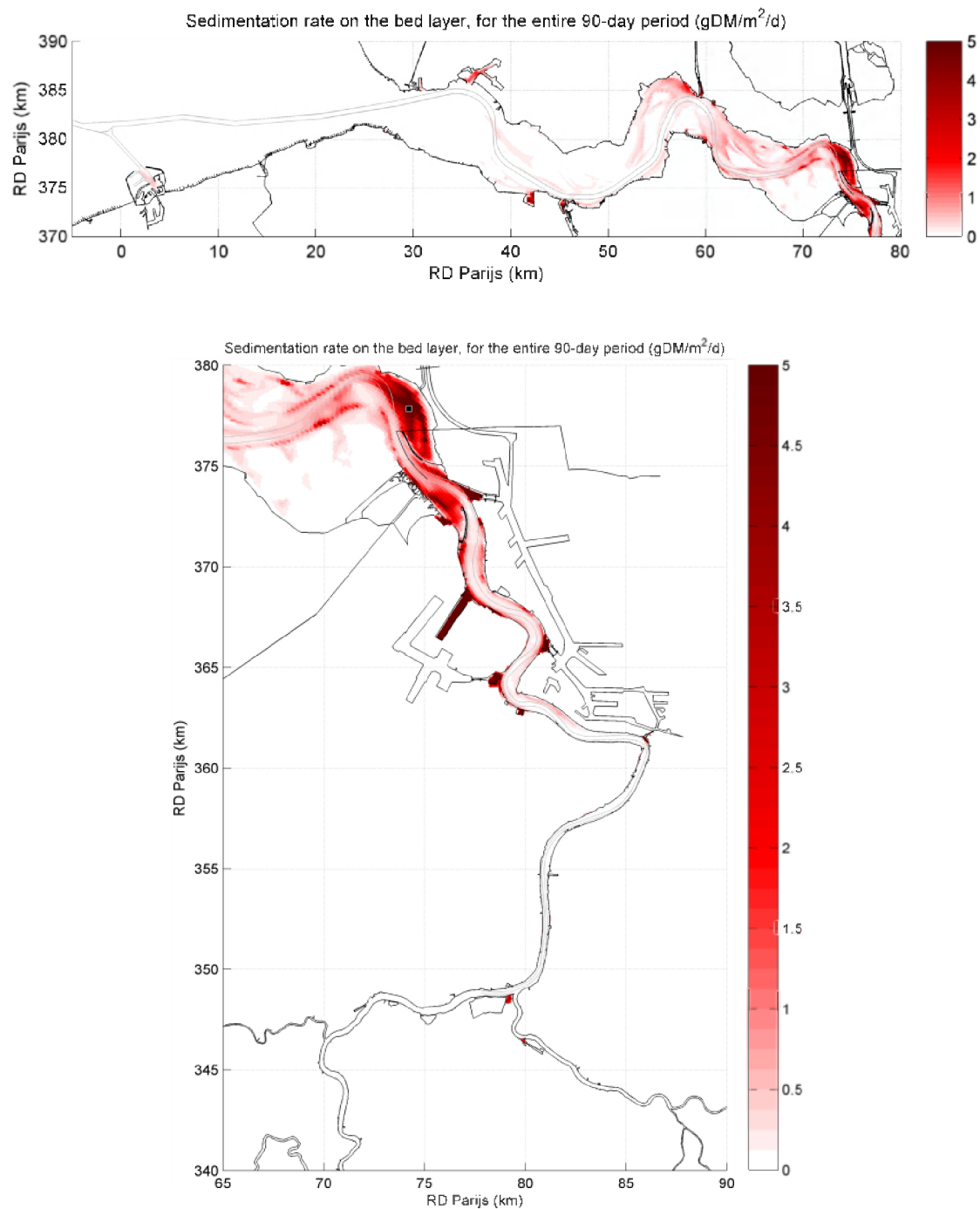
Figuur 4-6: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Noord-Ballast voor de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).



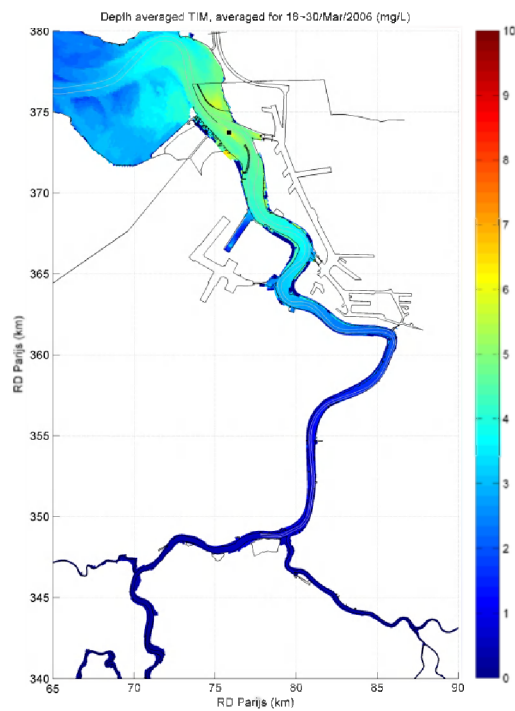
Figuur 4-7: Sedimentatie (gDM/m²/dag) bij eenheidslozing te Noord-Ballast voor de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).



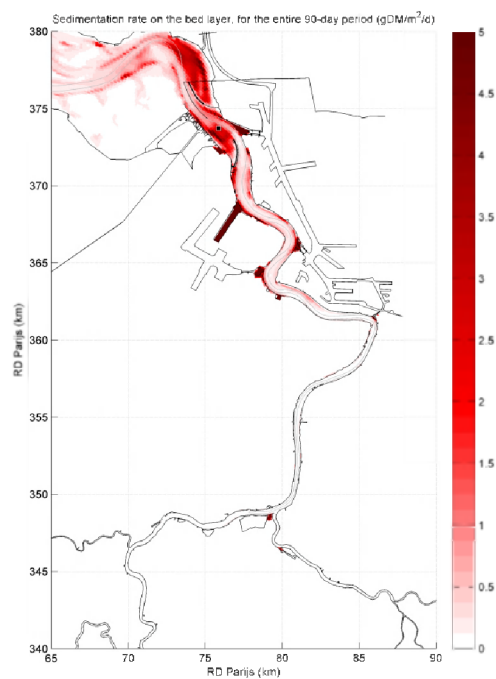
Figuur 4-8: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Appelpzak voor de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).



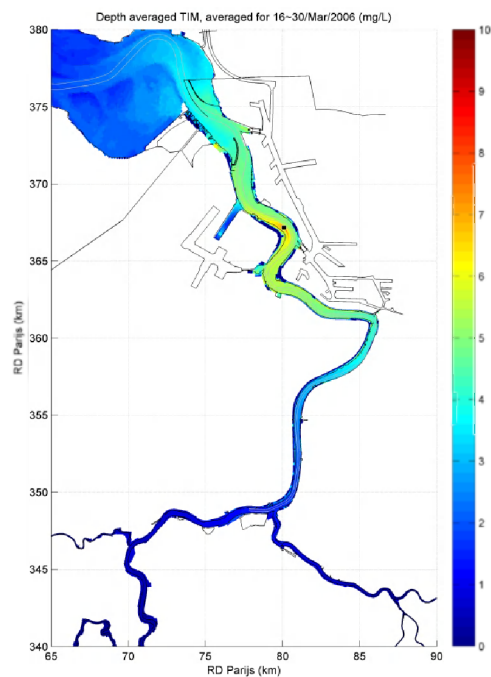
Figuur 4-9: Sedimentatie (gDM/m²/dag) bij eenheidslozing te Appelzak voor de Westerschelde (boven) en de Beneden-Zeeschelde (onder).



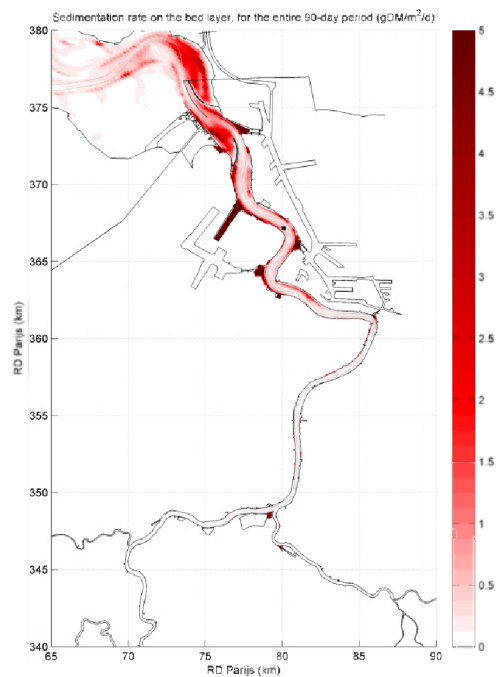
Figuur 4-10: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij – doodtij cyclus bij eenheidslozing te Schaar van Ouden Doel.



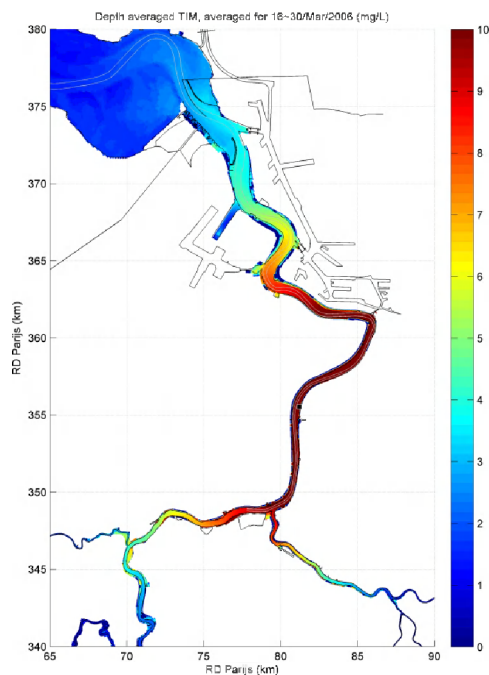
Figuur 4-11: Sedimentatie (gDM/m²/dag) bij eenheidslozing te Schaar van Ouden Doel.



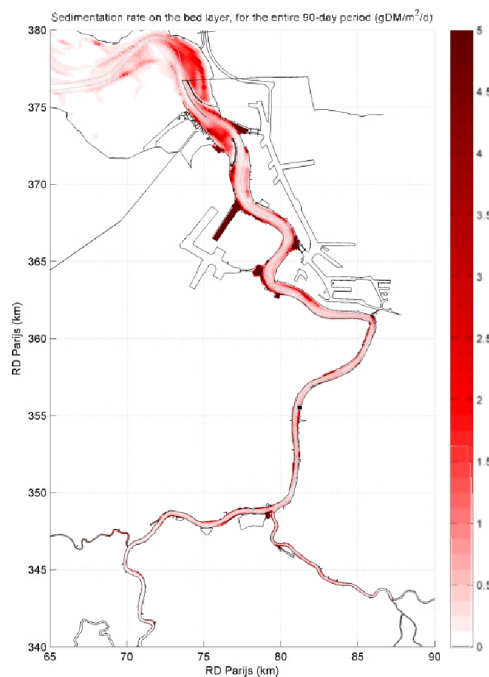
Figuur 4-12: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij – doottij cyclus bij eenheidslozing te Ketelplaat.



Figuur 4-13: Sedimentatie (gDM/m²/dag) bij eenheidslozing te Ketelplaat.



Figuur 4-14: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij – doortij cyclus bij eenheidslozing te Vlakte van Hoboken.



Figuur 4-15: Sedimentatie (gDM/m²/dag) bij eenheidslozing te Vlakte van Hoboken.

4.2.3.3 Slibconcentraties

De geanalyseerde reeks alternatieve stortlocaties geeft duidelijk aan dat naarmate meer opwaarts of afwaarts wordt gestort de sedimentconcentraties in de Zeeschelde sterker worden beïnvloed.

Storten op Vlake van Hoboken geeft aanleiding tot zeer hoge slibconcentraties verspreid over een groot deel van de Beneden-Zeeschelde. In geval van stortingen meer afwaarts, bij de Ketelplaat zijn de slibconcentraties lager omwille van de grotere dispersie en verdunning door de grotere getijvolumes. Verder afwaarts in Noord-Ballast neemt de dispersie nog toe door enerzijds de grotere getijvolumes en anderzijds de grote breedte waarover het materiaal wordt verspreid.

4.2.3.4 Slibafzettingen

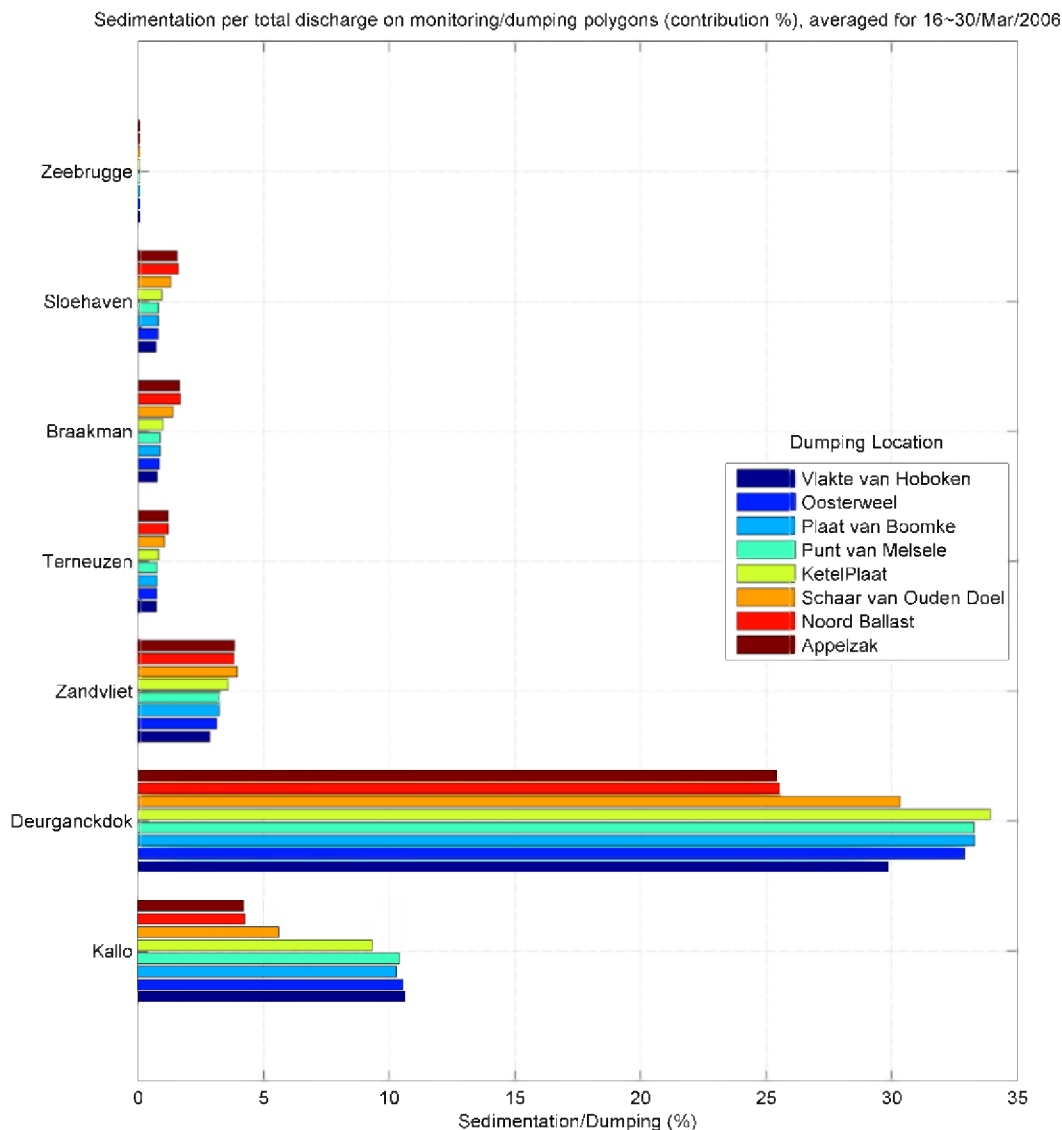
Het ruimtelijk afzettingspatroon is voor alle vijf de stortlocaties gelijkaardig in de Beneden-Zeeschelde aan dat van Plaat van Boomke, echter storten op de Vlake van Hoboken geeft ook aanleiding tot afzettingen in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde en de Rupel.

De verhouding slibafzettingen in verschillende zones ten opzichte van de stortvolumes voor iedere locatie wordt gevisualiseerd in Figuur 4-16. Storten in Noord-Ballast en Appelpak leidt tot dezelfde afzettingshoeveelheden in de onderhoudszones. Er is duidelijk een vermindering in afzettingen te Deurganckdok (26%) ten opzichte van de bestaande stortlocaties en de andere alternatieven. Ook in Kallo is de hoeveelheid afgenomen tot 4%, meer dan de helft ten opzicht van de stortlocaties rond Plaat van Boomke. Te Zandvliet zijn de sedimentatievolumes gestegen en worden gelijkaardig aan storten te Schaar van Ouden Doel (4%). In de havens van de Westerschelde is de sedimentatiehoeveelheid gestegen met 1%, maar blijft kleiner dan 2% van het gestorte materiaal.

Schaar van Ouden Doel vertoont een verschillend patroon dan Plaat van Boomke. De bijdrage tot sedimentatie in Deurganckdok is ongeveer 3% lager en bijna de helft lager ter hoogte van Kallo (6%). In Zandvliet is de bijdrage dan weer 1% hoger. Storten in Schaar van Ouden Doel leidt tot een kleine toename in sedimentatie van de havens in de Westerschelde, juist boven 1%.

De verdeling van sedimentatiehoeveelheden te wijten aan stortingen op Ketelplaat zijn over het algemeen vrij gelijkaardig aan de sedimentatiehoeveelheden door stortingen op de stortlocaties rond de Plaat van Boomke. Naar Deurganckdok is de hoeveelheid licht gestegen met 1% (34% in plaats van 33%), maar in Kallo is deze afgenomen met 1%.

Tenslotte leidt het storten op de Vlake van Hoboken tot een reductie van de sedimentatiehoeveelheden in Deurganckdok (30%) in vergelijking met de stortlocaties rond Plaat van Boomke (33%). Vermoedelijk is dit te wijten aan de grotere transportafstand en een deel verlies van sediment naar opwaarts toe. Daarentegen zijn de sedimentatiehoeveelheden in Kallo, Zandvliet, de havens in de Westerschelde en in de stortlocatie gelijkaardig aan deze van de stortlocaties rond Plaat van Boomke.



Figuur 4-16: Verdeling van de gestorte specie doorheen het schelde-estuarium voor huidige en alternatieve locaties (LvS staat voor Land van Saeftinghe) over een doottij-springtij cyclus.

Tijdseries in Bijlage C met de afzettingen in o.a. de stortlocaties geven aan in welke mate een stortlocatie het slib bijhoudt of resuspendeert. Op basis van deze resultaten kan voor iedere onderzochte stortlocatie worden afgeleid of er een aanslibbende trend is voor de stortingen of dat een evenwicht optreedt waarin de slibafzettingen rond een evenwicht variëren. Hoewel de stortingen in Noord-Ballast plaats vinden ter hoogte van de plastrand valt er een aanslibbende trend op te merken. Dit is nog duidelijker te merken in het geval van storten in de Appelzak, hierbij zijn de afzettingen dubbel zo groot als bij Noord-Ballast. Voor Schaar van Ouden Doel blijkt uit de modelresultaten ook een netto afzetting. Dit is echter niet waar te nemen in de beschikbare bodemgegevens voor Schaar van Ouden Doel. Echter in realiteit wordt ter hoogte

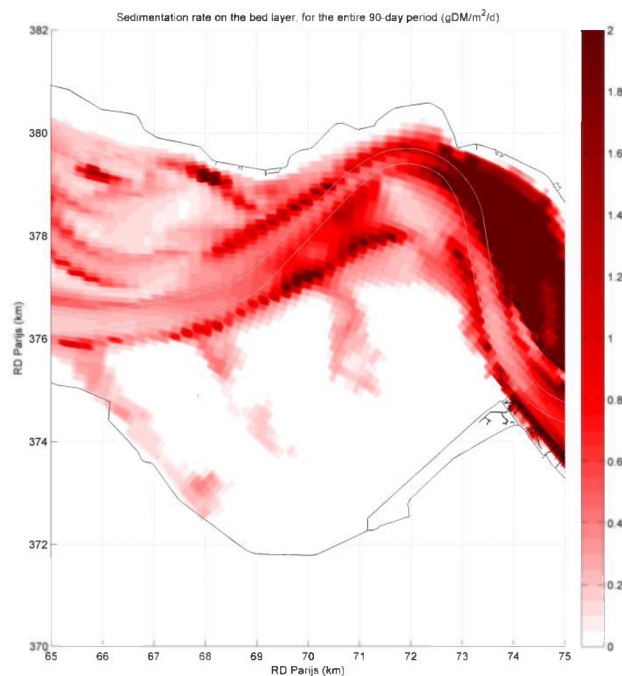
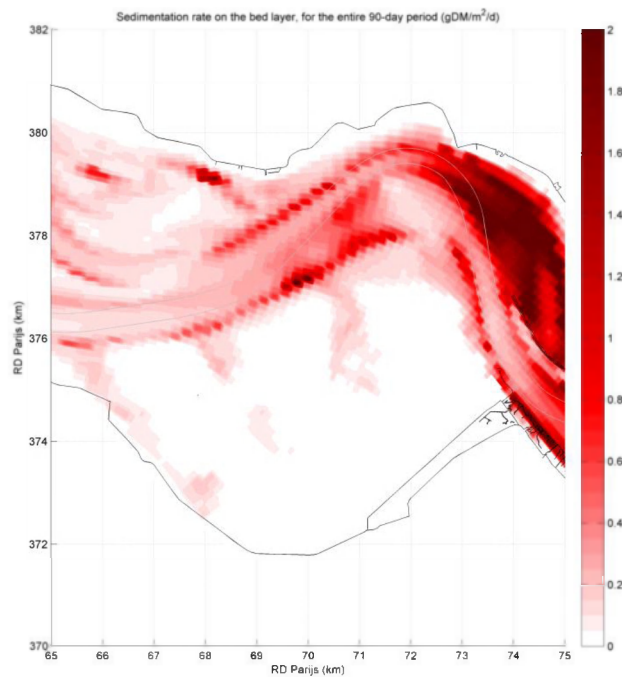
van Schaar van Ouden Doel slechts een beperkte hoeveelheid slib gestort en worden de bodemgegevens beïnvloed door de zandwinningsactiviteiten in het gebied welke niet gemodelleerd worden. In de gevallen Ketelplaat en Vlake van Hoboken, komt het gestorte sediment in suspensie in het systeem terecht en zijn er geen netto afzettingen.

Verder geldt dat lokaal in dit punt de analyse wordt afgehandeld, maar dat verderop in het model wel of geen evenwicht kan zijn. Daarom zijn ter illustratie ook mappen met de lokale slibafzettingen in de bijlage toegevoegd (Bijlage D).

4.2.3.5 Het Verdrongen Land van Saeftinghe

In deze paragraaf wordt ingezoomd op het Verdrongen Land van Saeftinghe, als grootste intergetijdengebied in de Westerschelde, dicht tegen de Beneden-Zeeschelde gelegen. De resultaten uit het model dienen namelijk genuanceerd te worden, aangezien het model minder geschikt is voor deze analyse en wellicht de afzettingen op platen onderschat. Het verdient aanbeveling de invloed van de alternatieve stortlocaties op de aanslibbingsnelheden en – hoeveelheden in het Land van Saeftinghe in meer detail te onderzoeken.

In het model overstroomt het gebied en worden beperkte afzettingen in de geulen berekend, maar geen tot weinig op de platen. Er is geen verschil merkbaar op de afzettingen voor de drie huidige stortlocaties. Ten opzichte van de totale hoeveelheid geloosd materiaal zet zich hiervan ongeveer 2 à 4% af in het Land van Saeftinghe. De afzettingshoeveelheid stijgt in geval meer afwaarts wordt gestort, met de grootste bijdrage bij storten in Noord-Ballast (bijna verdubbeling ten opzichte van Plaat van Boomke volgens het model).



Figuur 4-17: Sedimentatie over de simulatie in Land van Saefthinghe bij eenheidslozing in Plaat van Boomke (boven) en Noord-Ballast (onder)

4.2.4 Invloed onderhoudsbaggerwerken op de slibconcentraties

Om een beter beeld te krijgen van de invloed van afwaarts storten op de totale slibconcentraties worden in deze paragraaf de alternatieve afwaartse stortlocaties onderzocht, rekening houdende met de achtergrondconcentraties in de Schelde. Daarvoor is telkens de onderhoudslocatie Deurganckdok, voorheen gekoppeld aan Plaat van Boomke, gekoppeld aan de alternatieve stortlocatie (simulaties F in Tabel 4-1). De resultaten van deze oefening dienen daarom te worden vergeleken met de resultaten van de huidige situatie waarin het onderhoudsvolume van Deurganckdok op Plaat van Boomke werd gestort (simulatie A in Tabel 3-2). De overige onderhouds- en stortlocaties werden niet gewijzigd.

Figuur 4-18 en Figuur 4-19 geven de gemiddelde slibconcentratie over een springtij – doodtij cyclus bij storten in respectievelijk Noord-Ballast en Appelzak. Uit deze figuren blijkt dat beide een gelijkaardige concentratieverdeling hebben. In vergelijking met de huidige situatie waarbij het onderhoudsvolume van Deurganckdok opwaarts wordt gestort op de Plaat van Boomke (Figuur 3-1), zijn de sedimentconcentraties in de Beneden-Zeeschelde sterk afgenomen.

Figuur 4-20 en Figuur 4-21 tonen de relatieve invloed volgens het model op de totale slibconcentraties te wijten aan storten in de nieuwe stortlocaties Noord-Ballast en Appelzak ten opzichte van de originele stortlocatie. Tussen Zandvliet en Sint-Amands in de Boven-Zeeschelde en Walem in de Rupel is een duidelijke daling van de slibconcentratie waar te nemen. Ter hoogte van Oosterweel bedraagt de reductie in totale slibconcentratie zelfs 50% bij storten in Noord-Ballast of Appelzak ten opzichte van storten bij Plaat van Boomke. Rond de stortlocatie is een stijging van de sedimentconcentratie waar te nemen. In het geval van Appelzak is deze ook duidelijker achter de leidam aanwezig (+10%). De stijging in sedimentconcentratie varieert van +7.5% afwaarts van de stortzones tot +5% in Temeuzen en <2.5% in Vlissingen.

Ook de invloed van de verspreiding van de gestorte specie vanuit de stortlocaties is onderzocht. Figuur 4-22 en Figuur 4-23 geven de relatieve bijdrage van het gestort materiaal ten opzichte van de totale slibconcentraties en dienen te worden vergeleken met Figuur 3-5 waarbij in de originele stortlocatie, Plaat van Boomke, werd gestort. In geval van de nieuwe stortlocaties is de maximale bijdrage minder uitgesproken ten opzicht van Plaat van Boomke, waar een duidelijk verhoogde aandeel (>30%) aanwezig was over een groot deel van de Beneden-Zeeschelde. Het storten in de Appelzak leidt lokaal rond de stortzone en achter de leidam tot een sterkere bijdrage van het gestorte slib tot de totale slibconcentraties (35% à 40%) in vergelijking met storten in Noord-Ballast (30%). Daarbuiten resulteren beide stortlocaties in een gelijkaardige verdeling. De retourstroom vanuit de alternatieve stortlocaties naar Deurganckdok is gedaald van 30% naar 20%.

Figuur 4-24 en Figuur 4-25 tonen het concentratieverschil van het aandeel slib uit de onderhoudslocatie Deurganckdok en geeft daarmee een beeld van de verspreiding van het gestort materiaal uit Noord-Ballast en Appelzak ten opzichte van het storten van het onderhoudsvolume van Deurganckdok in Plaat van Boomke. In de Beneden-Zeeschelde dalen de concentraties van gestort materiaal met 100 mg/l ter hoogte van de originele stortzone. Daarentegen zijn de concentraties niet gestegen met 100 mg/l in de alternatieve stortzones, maar eerder met circa 30 mg/l. In Deurganckdok dalen de concentraties te wijten aan de retourstroom van gestort materiaal met circa 20 mg/l. In de Westerschelde is de bijdrage van het gestort materiaal in Appelzak of Noord-Ballast gedaald beneden 5 mg/l ter hoogte van Overloop Hansweert. Deze figuren geven verder aan dat de verschillen in totale

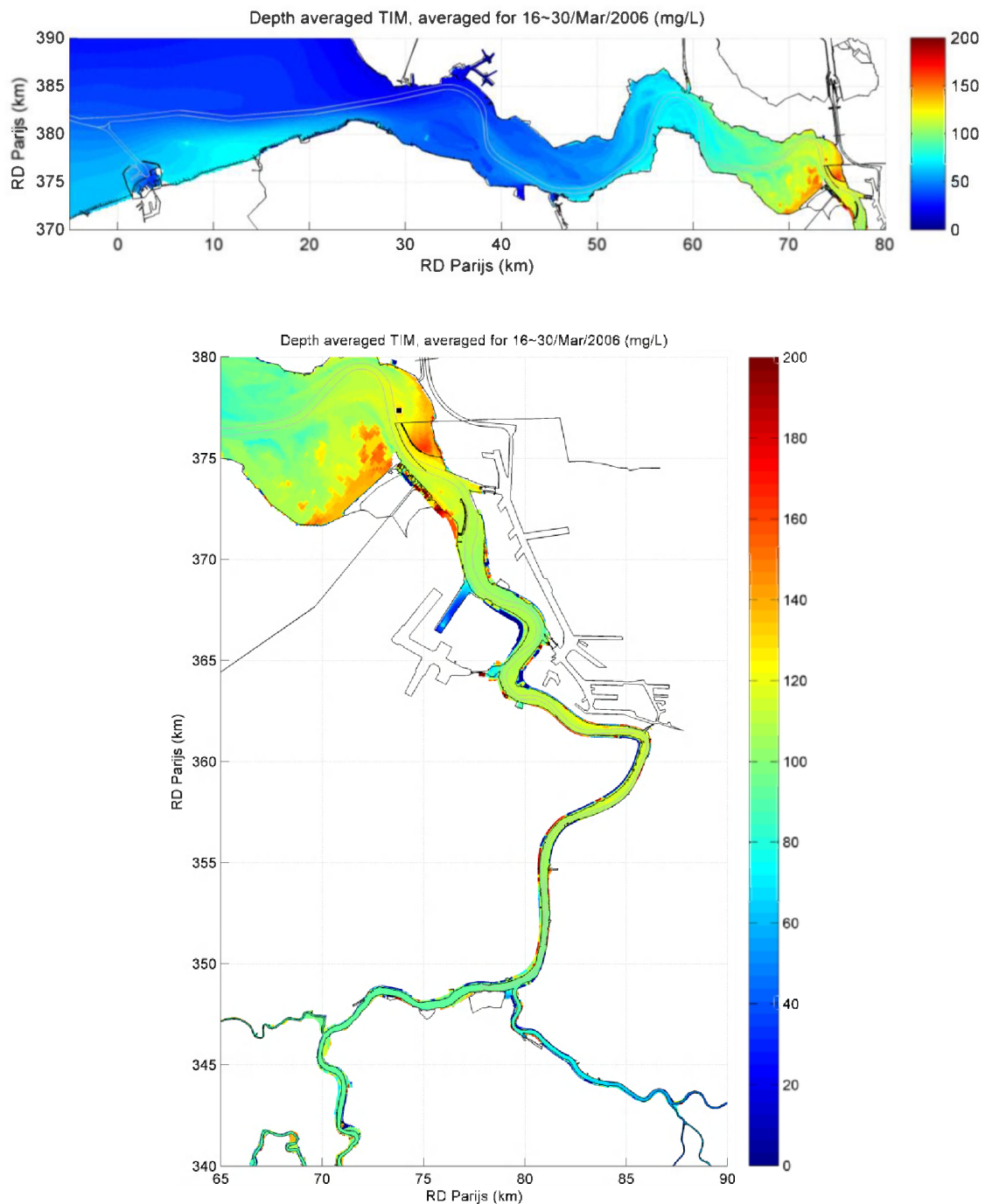
slibconcentraties in hoofdzaak te verklaren zijn aan de hand van de concentratieverschillen van de gestorte specie. Het patroon in relatieve toe- en afname van de totale slibconcentraties (Figuur 4-20 en Figuur 4-21) komt overeen met het patroon van het verschil in concentratie van de gestorte specie doorheen de Schelde (Figuur 4-24 en Figuur 4-25).

Daarnaast zijn door het model de onderhoudsvolumes in TDS berekend en vergeleken met de huidige situatie. De resultaten worden voorgesteld in Tabel 4-2. Uit de resultaten blijkt dat het verschuiven van de stortlocatie naar afwaarts een netto verlaging van de onderhoudsvolumes heeft van 8% over de gehele Schelde voor zowel het gebruik van Noord-Ballast als Appelzak. Afwaarts van de stortlocaties is er een beperkte toename van de onderhoudsvolumes, variërend van <1% te Zeebrugge tot +4% in Terneuzen.

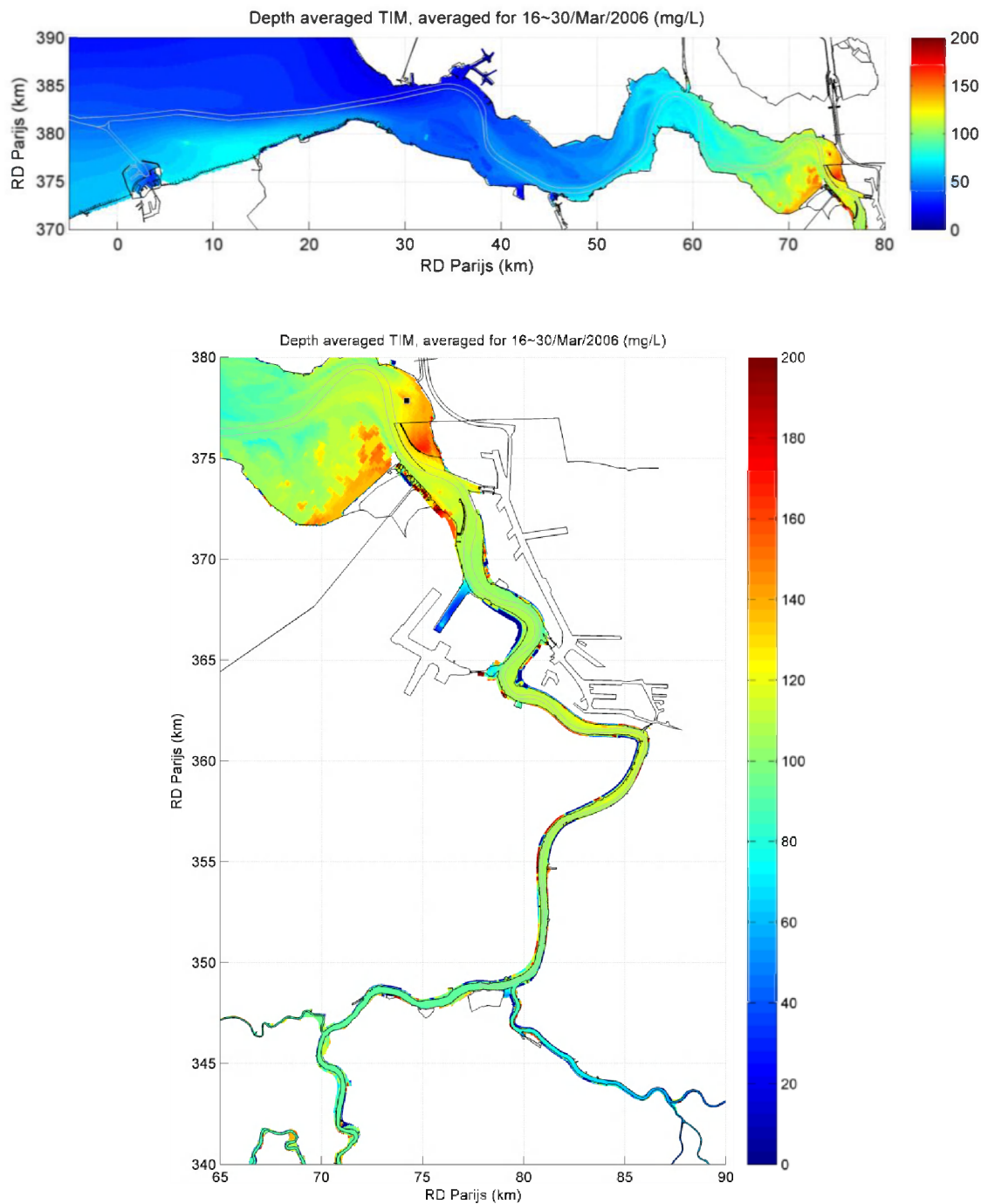
Door de afname van de sedimentconcentraties in de Beneden-Zeeschelde treedt er een significante afname van de onderhoudsvolumes op tot 15 à 16% in Deurganckdok en 29% in Kallo. Hoewel het model de absolute onderhoudsvolumes in Zandvliet onderschat, toont de relatieve vergelijking van de beide situaties een beperkte afname van 4% door de nabije ligging van de stortlocaties. Storten in Appelzak en Noord-Ballast zijn gelijkaardig, waarbij Appelzak netto een iets grotere (<1%) reductie van het onderhoudsvolume oplevert.

Wanneer de invloed van het onderhoud van de dokken in de Beneden-Zeeschelde wordt bekeken, moet echter ook aanslibbingsverlagende effect worden beschouwd dat door de aanleg van deze slibvangen in de Westerschelde is opgetreden (zie paragraaf 3.3.1.1). Figuur 4-26 en Figuur 4-27 illustreren de impact van het afwaarts storten in respectievelijk Noord-Ballast en Appelzak indien Deurganckdok niet werkzaam zou zijn als slibvang. Daaruit blijkt dat de netto stijging in concentratie (<+2.5%) beperkter is, tot Gat van Ossenis in geval van Noord-Ballast en tot Walsoorden in geval van Appelzak. Ook de onderhoudsvolumes zijn uitgezet in Tabel 4-3 voor de situatie zonder aanslibbing in Deurganckdok, de situatie met storting in Plaat van Boomke en de situatie met storting in Noord-Ballast.

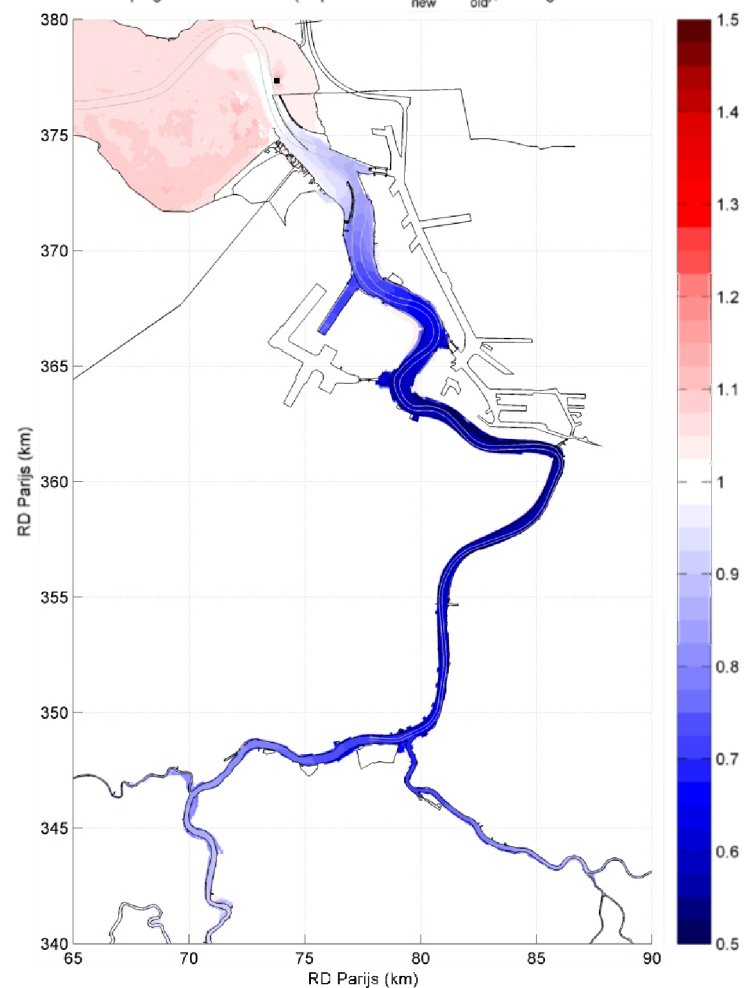
De stortlocaties Appelzak en Noord-Ballast hebben een zeer gelijkaardig gedrag, maar kennen toch enkele (soms beperkte) verschillen. Bij storting in Appelzak blijft er meer materiaal achter dan bij storting in de Noord-Ballast locatie, dit heeft een impact op de levensduur van de stortlocatie. Op basis van de tijdseries in Bijlage C kan ruwweg worden geschat dat zich dubbel zoveel materiaal afzet. Appelzak en Noord-Ballast leiden tot een vrij gelijkaardig onderhoud in de verschillende onderhoudslocaties. Het verschil bedraagt over alle onderhoudslocaties 6 ton (<1% ten opzichte van het onderhoud bij gebruik van Plaat van Boomke). Daarbij geldt dat Appelzak in iedere locatie tot een lager onderhoud leidt, het meest in Deurganckdok (-3 ton/jr). Stortingen in Appelzak geven aanleiding tot hogere slibconcentraties rond de stortzone ten opzichte van Noord-Ballast. In de Zeeschelde zijn er geen verschillen op de totale slibconcentraties in de Schelde. In de Westerschelde is de verhoogde sedimentconcentratie merkbaar (<5%) tot Terneuzen in geval van storten in Noord-Ballast en tot Walsoorden in geval van storten in Appelzak. Er is tevens een grotere zone met concentratietoename in Land van Saeftinghe (5-10% toename slibconcentratie).



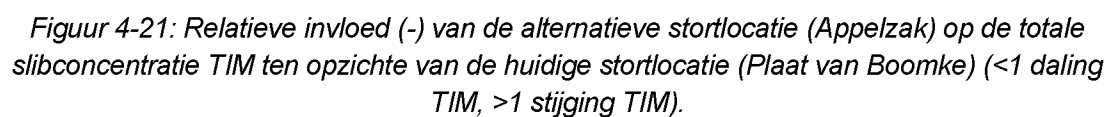
Figuur 4-18: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij - doortij cyclus doorheen het ganse domein (boven) en ter hoogte van de Benden-Zeeschelde (onder) met storten onderhoudsvolume Deurganckdok te Noord-Ballast (referentie: Figuur 3-1).

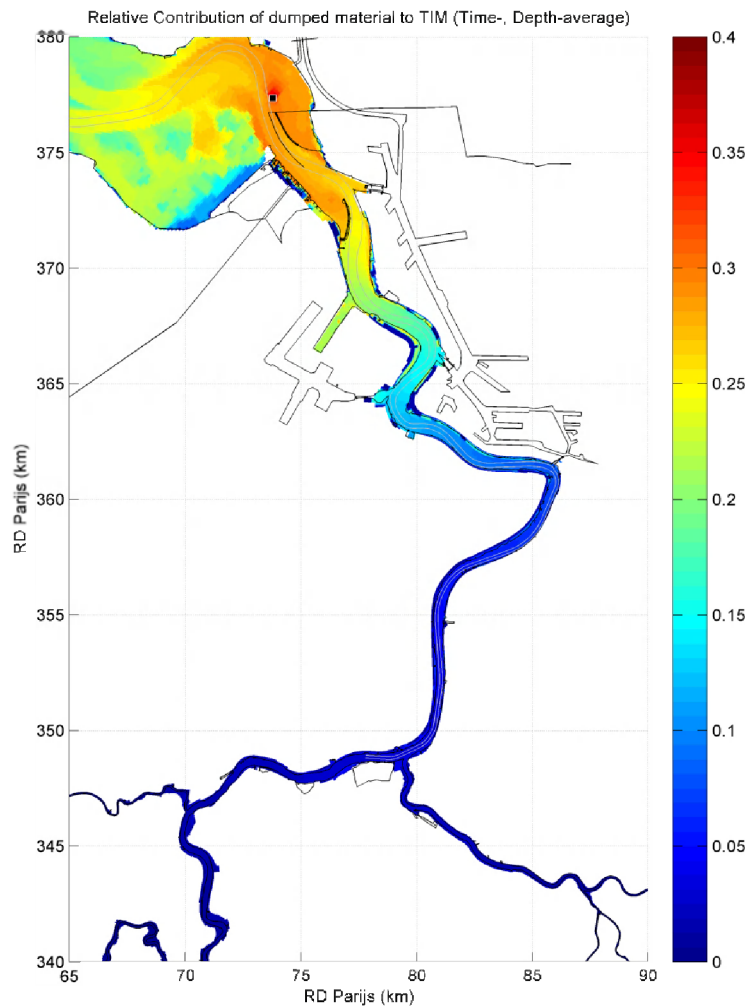
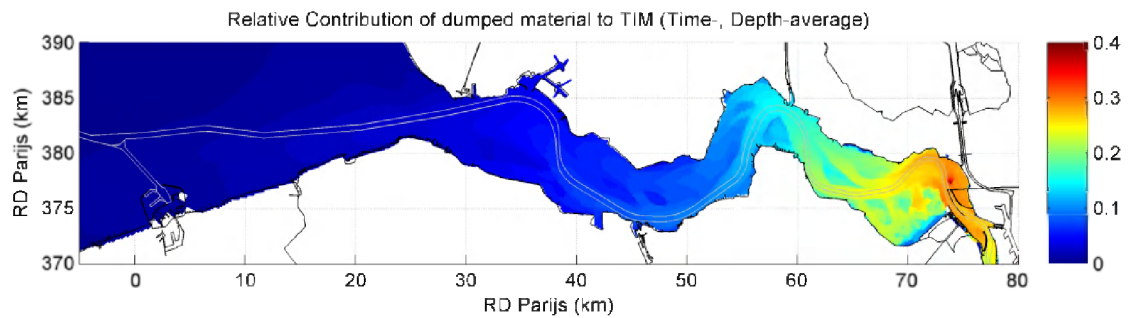


Figuur 4-19: Gemiddelde slibconcentratie (mg/l) over springtij - doottij cyclus doorheen het ganse domein (boven) en ter hoogte van de Benden-Zeeschelde (onder) met storten onderhoudsvolume Deurganckdok te Appelzak (referentie: Figuur 3-1).

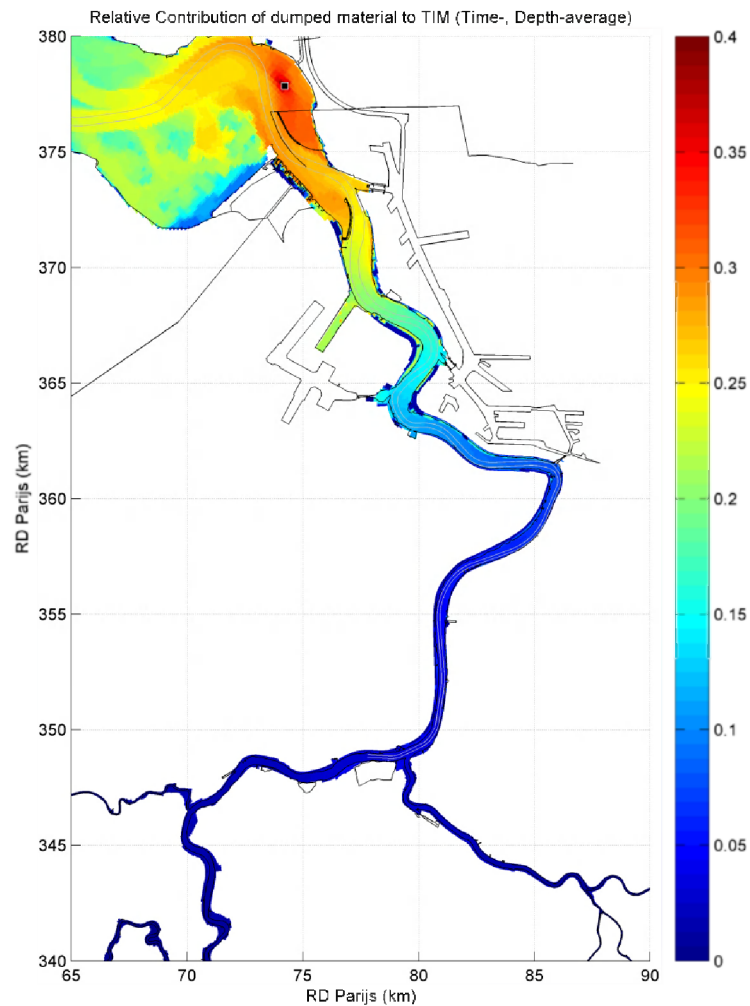
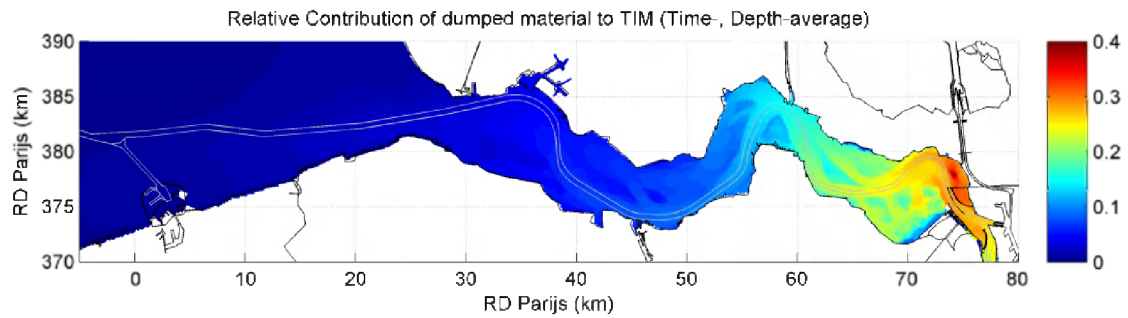


I/RA/11387/13.094/VBA
versie 2.0 - 01/10/2013

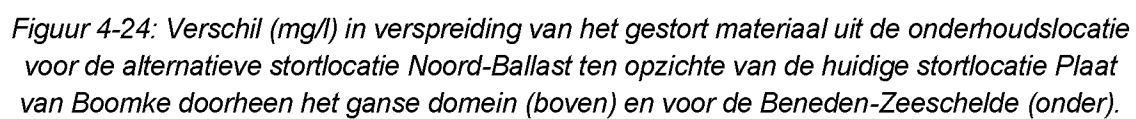


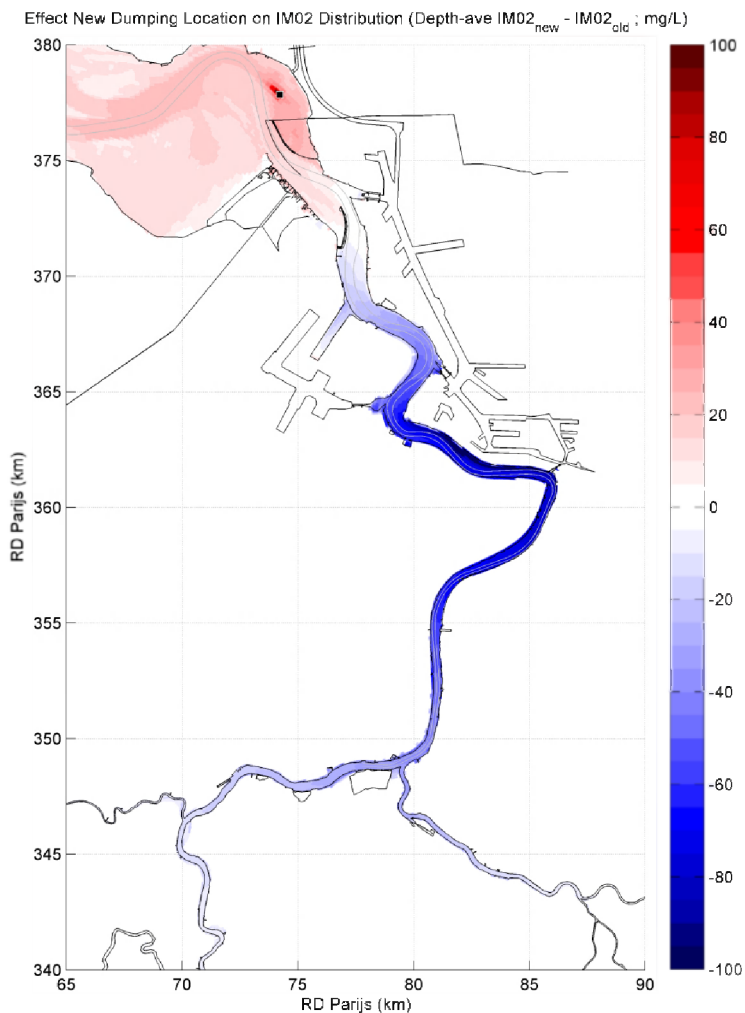


Figuur 4-22: Relatieve bijdrage (-) van het sediment afkomstig uit Deurganckdok, gestort te Noord-Ballast op de totale slibconcentraties (TIM) in de Beneden-Zeeschelde (referentie: Figuur 3-5).

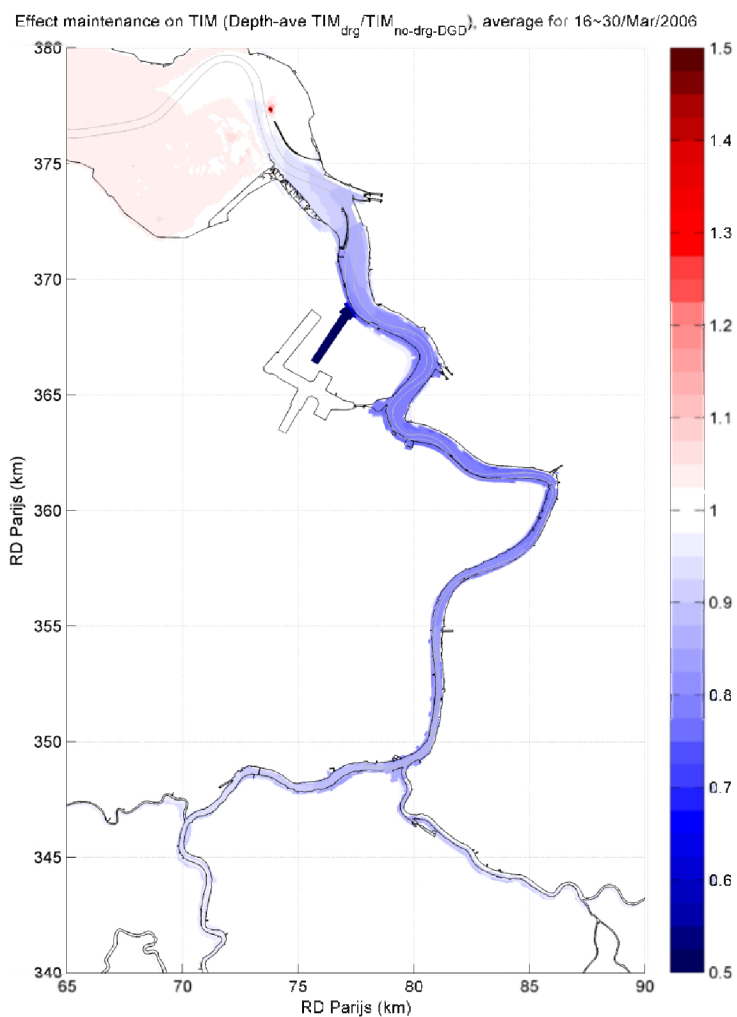


Figuur 4-23: Relatieve bijdrage (-) van het sediment afkomstig uit Deurganckdok, gestort te Appenzak op de totale slibconcentraties (TIM) in de Beneden-Zeeschelde (referentie: Figuur 3-5).

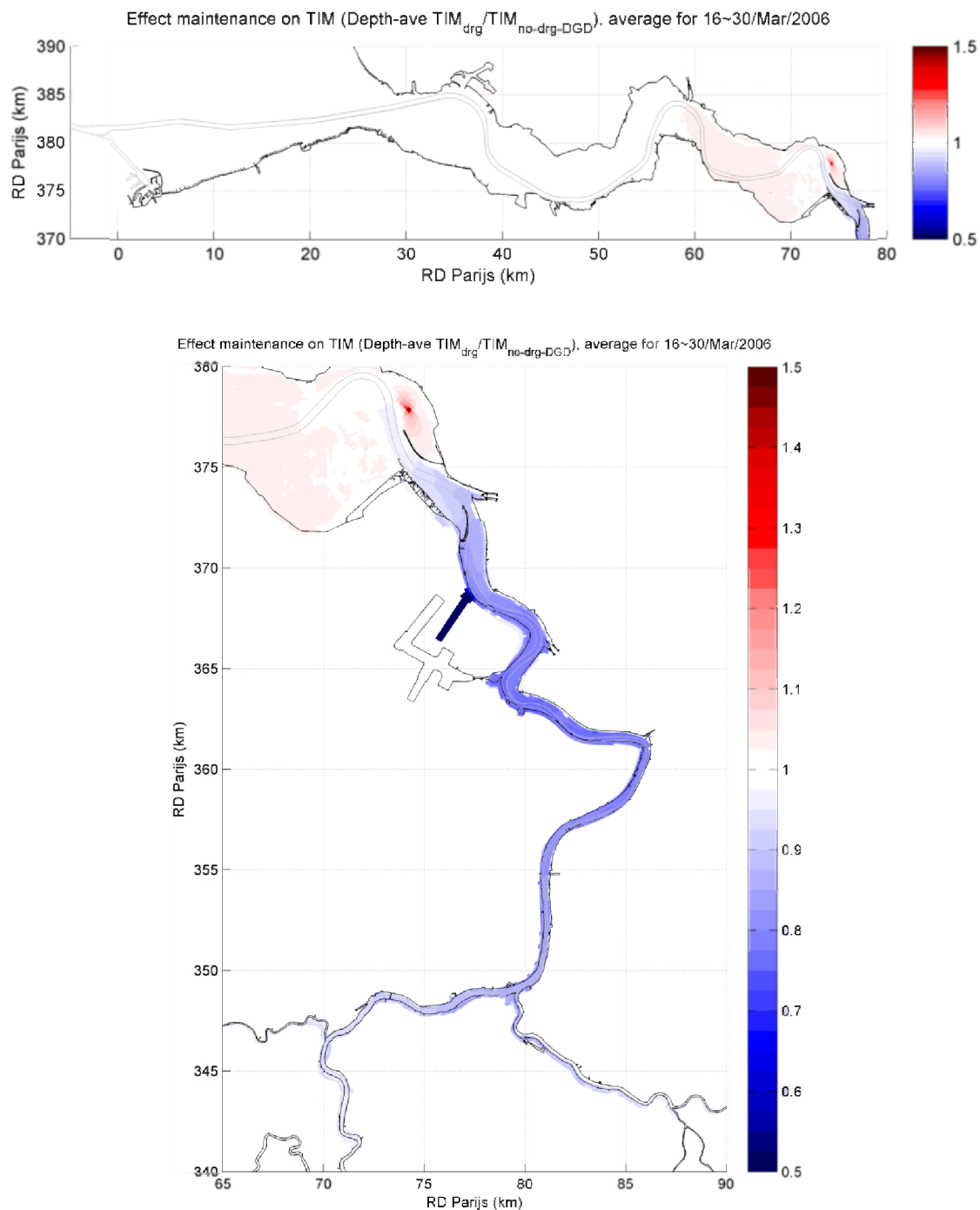




I/RA/11387/13.094/VBA
versie 2.0 - 01/10/2013



I/RA/11387/13.094/VBA
versie 2.0 - 01/10/2013



Figuur 4-27: Relatieve invloed van aanslibbing en onderhoud Deurganckdok gestort in Appelzak op de totale slibconcentraties (TIM) in de Westerschelde (boven) en in de Beneden-Zeeschelde (onder). (>1: concentratieverhogend, <1: concentratieverlagend).

Tabel 4-2: Overzicht van de impact van alternatieve stortlocatie voor onderhoud van Deurganckdok op de onderhoudsvolumes van de overige onderhoudslocaties in de Schelde.

Onderhoudslocatie	Plaats van Boomke	Noord-Ballast		Appelzak	
	10 ³ TDS / jaar	Δ 10 ³ TDS / jaar	Δ %	Δ 10 ³ TDS / jaar	Δ %
Zeebrugge	816	+4	<1%	+4	<1%
Sloehaven	307	+6	+2%	+6	+2%
Braakman	245	+7	+3%	+7	+3%
Terneuzen	314	+14	+4%	+13	+4%
Hansweert	31	+2	+7%	+2	+6%
Zandvliet	233	-10	-4%	-10	-4%
Deurganckdok	1206	-184	-15%	-187	-16%
Kallo	352	-102	-29%	-103	-29%
Totaal	3504	-263	-8%	-269	-8%

Tabel 4-3: Overzicht van de impact van alternatieve stortlocatie voor onderhoud van Deurganckdok op de onderhoudsvolumes van de overige onderhoudslocaties in de Schelde.

Onderhoudslocatie	Zonder aanslibbing en onderhoud in Deurganckdok	Plaats van Boomke		Noord-Ballast	
	10 ³ TDS / jaar	Δ 10 ³ TDS / jaar	Δ %	Δ 10 ³ TDS / jaar	Δ %
Zeebrugge	822	-6	< -1%	-2	< -1%
Sloehaven	307	<1	<1%	+6	+2%
Braakman	249	-4	-2%	+3	+1%
Terneuzen	320	-6	-2%	+7	+2%
Hansweert	32	-1	-3%	+1	+3%
Zandvliet	240	-7	-3%	-17	-7%
Deurganckdok	-	1206 (*)	-	1022 (*)	-
Kallo	313	+39	+13%	-63	-20%

(*) Onderhoudsvolumes voor Deurganckdok

4.3 CONCLUSIES

Op basis van de analyse in dit hoofdstuk kunnen de volgende conclusies worden getrokken in verband met het gebruik van alternatieve stortlocaties:

- Een hele reeks aan stortlocaties zijn geanalyseerd strekkende van Vlakte van Hoboken opwaarts in de Beneden-Zeeschelde tot Noord-Ballast, juist afwaarts van de Belgisch-Nederlandse grens. Stortlocaties opwaarts hebben een grote impact op de slibconcentraties in de Beneden-Zeeschelde. Naarmate de stortlocatie van opwaarts naar meer afwaarts verplaatst neemt de impact op de slibconcentraties af door een grotere dispersie en verdunning omwille van een toename van getijvolume en rivierbreedte. Lagere sedimentconcentraties leiden tot een afname van de aanslibbing in de onderhoudslocaties. Afhankelijk van de onderhoudszone is ook een lager retourstroompercentage mogelijk wat het onderhoud verder doet afnemen.
- Het afwaarts storten van specie op de grens tussen Zeeschelde en Westerschelde leidt tot een significante reductie in slibconcentratie in de Beneden-Zeeschelde. De berekeningen en analyses in dit rapport bevestigen daarmee de bevindingen van Van Kessel et al (2010). Ter hoogte van de huidige stortlocaties worden de totale slibconcentraties gehalveerd. Er is ook een duidelijke afname van de retourstroom naar Deurganckdok (van circa 35% van het onderhoudsvolume naar circa 20%). Een reductie van de concentraties is merkbaar van Zandvliet in de Beneden-Zeeschelde tot Sint-Amands in de Boven-Zeeschelde en Walem in de Rupel. Afwaarts van de stortzones komt een licht stijging in de sedimentconcentraties voor, merkbaar tot Vlissingen. Echter wanneer de totale invloed van het Deurganckdok (aanleg én onderhoud) wordt beschouwd, is de impactzone afwaarts beperkter, tot circa Gat van Ossensisse.
- Indien meer afwaarts wordt gestort neemt het onderhoudsvolume over het gehele Schelde-estuarium af (tot 8% voor Noord-Ballast en Appelzak). Er is een duidelijke afname van het onderhoud in Deurganckdok en ook in Kallo, terwijl afwaarts in de Westerschelde een kleine toename voorkomt. Echter ook voor de aanslibbing geldt dat wanneer de totale invloed van het Deurganckdok (aanleg én onderhoud) wordt beschouwd, de netto stijging van het onderhoud in de Westerschelde beperkter is.
- De afzettingsgebieden zijn voor de verschillende huidige en alternatieve stortlocaties gelijkaardig. Het meeste slib komt terecht in de onderhoudslocaties, echter afhankelijk van de ligging van de stortlocatie komen verschillende onderhoudsvolumes voor. Bij het storten op de Vlakte van Hoboken komen echter ook nog slibafzettingen voor in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde en de Rupel. Het Land van Saeftinghe kent in alle situaties afzettingen in de geulen, geen tot weinig afzettingen zijn merkbaar op de platen. De hoeveelheid neemt toe naarmate meer afwaarts wordt gestort, bijna een verdubbeling bij Noord-Ballast ten opzichte van Plaat van Boomke.
- Ook de hoeveelheid materiaal die kan resuspenderen vanuit de locatie beïnvloedt de slibverspreiding. Uit de modelresultaten blijkt dat de stortlocaties Noord-Ballast, Schaar van Ouden Doel en vooral Appelzak een aanslibbende trend kennen, in tegenstelling tot Ketelplaat en Vlakte van Hoboken waar het al slibmateriaal lijkt te resuspenderen.
- Op basis van de beschikbare resultaten blijken de volgende stortlocaties geschikt voor verder onderzoek als alternatieve stortlocatie:

- Noord-Ballast: storten bij Noord-Ballast leidt tot duidelijke afname in slibconcentraties in vergelijking met de huidige stortlocatie Plaat van Boomke en een daling in totaal onderhoudsvolume over de gehele Schelde, bovendien treedt in deze locatie, in tegenstelling tot Appelzak, minder aanslibbing op.
- Ketelplaat: deze locatie leidt tot gelijkaardig onderhoud als de huidige stortlocatie Plaat van Boomke, maar heeft het voordeel dat het veel dichterbij Deurganckdok is gelegen. Slibmateriaal dat in deze locatie wordt gestort, resuspendeert en verspreidt snel, wat leidt tot minder sterke verhoging van de slibconcentraties zoals het geval in Plaat van Boomke.

5. DISCUSSIE

De studie beschreven in dit rapport geeft aanleiding tot opvallende nieuwe inzichten. Hoewel rekening moet worden gehouden met onzekerheden, zijn duidelijke trends aangetoond, in het bijzonder dat het concept van afwaarts storten leidt tot een verminderde import van slib en significant lagere sedimentconcentraties in het ETM. Het modelinstrumentarium bevat de belangrijkste processen voor het simuleren van de slibdynamiek en het voordeel van afwaarts storten komt in alle simulaties (met verschillende model instellingen) terug. Op basis van de modelresultaten is de conclusie daarom goed gefundeerd en sluit aan bij de eenvoudige redeneringen uit het conceptueel model.

Het modelinstrumentarium is geschikt om grootschalige variaties in het estuarium te evalueren, maar de resultaten bevatten een aantal intrinsieke onzekerheden en mogelijke afwijkingen met de werkelijke concentraties. Zo beïnvloedt de keuze van de grootte van de buffer aan bodemslib de tijdschaal waarin de concentraties zich kunnen aanpassen aan veranderingen. Daarnaast worden de concentraties beïnvloed doordat de afzettingen in het model op platen en slikken beperkt zijn. Uiteindelijk is het moeilijk het slibgedrag aan de werkelijkheid te toetsen. Er is een beperkte kennis van de werkelijke evolutie van de concentraties door het continu ingrijpen op het systeem en de beperkte tijd na de ingebruikname van Deurganckdok. Het is dan ook aan te bevelen de bestaande meetcampagnes verder te zetten.

In vroegere modelstudies rond Deurganckdok (IMDC, 2004) en Saeftinghedok (IMDC, 2011b) kwamen de voordelen van afwaarts storten minder naar voren. Deze studies hadden betrekking op kleinere ruimte- en tijdschalen, in het bijzonder de directe impact op de sedimentatie in het dok (onderhoud) en de slibconcentraties in de Schelde rond de stortlocaties. In deze modellen werd minder aandacht besteed aan de berekening van een evenwichtssituatie, in tegenstelling tot de voorliggende studie waarbij het modelinstrumentarium het toelaat de grootte en ligging van het ETM te berekenen en op systeemchaal een nieuw evenwicht te bepalen in functie van de veranderde omstandigheden. Op dezelfde schaal werd gewerkt in de studie van Van Kessel en Vanlede (2010) in het kader van LTV over de impact van havens op de slibhuishouding. In deze studie kwam het voordeel van afwaarts storten op estuarium vlak ook naar voren.

In de studie van Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013d) wordt de evolutie van de Zeeschelde naar een hypertroebel systeem afgetoetst aan de hand van een conceptueel model waarbij naar het slibtransport wordt gekeken op grotere ruimte- en tijdsschaal voorbij de actuele bagger- en stortacties. Daarin leiden bodemveranderingen en getij-amplificatie tot een opwaarts pompen van slib. Dit proces is zelfversterkend aangezien door de toename van slib op de bodem de hydraulische weerstand afneemt en een verdere getij-amplificatie optreedt en concentraties verder kunnen toenemen. Verschillende processen die hiervoor van belang zijn, zoals het effect van slib op de ruwheid en de terugkoppeling hiervan op de hydrodynamica, als ook het effect van bodemverandering op de hydrodynamica, kunnen met het in de voorliggende studie toegepaste model niet worden meegenomen.

Ook waren in eerdere studies nog onvoldoende lange meetseries beschikbaar om het effect van Deurganckdok op de sedimentconcentratie in metingen aan te tonen. Een recente analyse die werd uitgevoerd in het kader van het project Flexibel Storten (IMDC, in opmaak) laat voor het eerst zien dat door middel van complexe statistische analyses kan worden aangetoond dat

sinds de ingebruikname van Deurganckdok een toename in sedimentconcentratie is opgetreden in samenhang met de toename aan onderhoudsbaggerwerk.

Eerder waren de grensoverschrijdende effecten die gekoppeld zijn aan afwaarts storen a priori ongewenst. Echter, de hier uitgevoerde berekeningen laten zien dat er op estuarium niveau zeer specifieke voordelen te behalen vallen, wat rechtvaardigt om de haalbaarheid van afwaarts storten in detail te onderzoeken. Ter hoogte van het ETM en verder opwaarts in de rivier treden significant lagere concentraties op, wat over het hele estuarium gezien minder onderhoud betekent, en daarnaast het risico op een regime change vermindert.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

In antwoord op de beheersvraag kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken:

- Op basis van een conceptueel model werden twee mogelijke mechanismes geïdentificeerd die kunnen leiden tot een afname van de sedimentconcentraties bij afwaarts storten:
 - Lagere concentraties door verdunning van het onderhoudsvolume bij storten
 - Lagere evenwichtsconcentraties door storten met de concentratiegradiënt mee.
- Modelsimulaties tonen aan dat opwaarts storten van onderhoudsbaggerwerken, zoals dat in de huidige praktijk het geval is, een sterk verhogend effect heeft op de sedimentconcentraties. Algemeen gesteld neemt, als gevolg van de keuze van een stortlocatie, de invloed op de sedimentconcentratie af voor meer afwaartse locaties, als gevolg van de grotere dispersiemogelijkheden en meer verdunning door het grotere momentane debiet. In die zin worden de conclusies uit Van Kessel et al (2010) bevestigd.
- Storten van onderhoudsspecie in Noord-Ballast of Appelzak leidt tot een significante afname van de sedimentconcentraties en het onderhoud in de Beneden-Zeeschelde. Door de grote verdunning van de concentraties die in de Westerschelde optreedt, is een eventuele verhoging afwaarts van de stortlocatie van de concentraties niet significant.
- Wanneer gekozen wordt voor Noord-Ballast zal al het gestorte materiaal na enige tijd volledig geresuspendeerd zijn. In de locatie Appelzak is het waarschijnlijk dat meer aanslibbing zal optreden van het gestorte materiaal, waardoor op termijn het risico bestaat dat deze locatie onvoldoende bergingscapaciteit heeft.
- Keuze voor de locaties in de omgeving van de Schaar van Ouden Doel en Ketelplaat leidt tot een afname van de sedimentconcentraties in het ETM. Ter hoogte van de belangrijkste onderhoudszone (Deurganckdok) is door de korte afstand tot de stortzone de verandering van concentratie ten opzichte van de huidige stortlocaties echter beperkt. Toch zijn deze locaties mogelijk interessant vanwege de kortere vaarafstand.

6.2 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gemaakt voor een verdere verdieping van de studie:

- Analyse van de sedimentflux en slibhoeveelheden (slibbalans) in Beneden-Zeeschelde in functie van de verschillende stortstrategieën.
- Onderzoek naar de invloed van de afwaartse stortlocaties op de aanslibbingssnelheden en –hoeveelheden in het Land van Saeftinghe.
- Onderzoek naar veranderingen in concentraties op verschillende tijdschalen.

- De studie werd uitgevoerd met een bestaande modelinstrumentarium, maar optimalisaties zijn mogelijk met focus op de Zeeschelde en een betere representatie van de onderhoudsbaggerstrategie.

7. REFERENTIES

Chen, M., Wartel, S. & Vanderborght, J.P. (2008). Het lichtklimaat en de Scheldebodem in beweging (ppt presentatie, 19 slides). Workshop De Schelde meten, de toekomst weten? 6 juni 2008, Antwerpen.

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). Grootchalige hydromorfodynamiek van de Zeeschelde – Analyse bodemligging Zeeschelde. IMDC rapport: I/RA/11387/12.255/VBA

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013b). Achtergrondsdocument Baggeren en Storten, Analyse van sedimenteigenschappen, baggerstatistiek, stortintensiteitskaarten en zandwinning in de Wester- en Beneden-Zeeschelde. IMDC rapport: I/RA/11387/12.333/JSN

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013c). Analyse stortvakken Westerschelde, Deltares, 1204409-000-ZKS-0007. I/RA/11387/12.291/GVH

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013d). Response of tidal rivers to deepening and narrowing. I/RA/11387/12.292/GVH.

IMDC, 2004, Onderzoek naar de effecten op het milieu bij het terugstorten van baggerspecie in de Beneden-Zeeschelde. Hoofdrapport. I/RA/11239/04.020/CMA.

IMDC, as memeber of Consortium ARCADIS – Technum, 2007, Milieueffecten Rapport, Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, Basisrapport slibdynamiek, I/RA/11282/07.155/MSA.

IMDC i.s.m. Deltares, 2011a, Hydraulisch, sedimentologisch en morfologisch onderzoek Saeftinghedok, Deelrapport 3 – Systeembeschrijving Beneden-Zeeschelde, I/RA/11352/10.057/MIM/.

IMDC i.s.m. Deltares, 2011b, Ontwikkeling Saeftinghe – Hydraulisch, Sedimentologisch en Morfologisch onderzoek, Deelrapport 9 – Effecten onderhoud van het getijdendok. I/RA/11352/11.103/MBO/.

Van Kessel, T., J. Vanlede, J.M. de Kok (2010). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary. Continental Shelf Research. doi: 10.1016/j.csr.2010.12.006.

Verheyen, B.; Vanlede, J.; Decrop, B. (2012). Verbetering randvoorwaardenmodel: Deelrapport 5 – Actualisatie van het 3D Scheldemodel. Version 2_0. WL Rapporten, 00_018. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium.

Reeks eerder LTV-rapporten ivm slib-modellering:

Van Kessel, T., J. Vanlede, A. Bruens (2006). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. WL | Delft Hydraulics & WL Borgerhout. Report Z4210.

Van Kessel, T., J. Vanlede, J. de Kok (2007). Development of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Phase 1. WL | Delft Hydraulics & WL Borgerhout. Report Z4375.

Van Kessel, T., J. Vanlede, M. Eleveld, D. van der Wal (2008). Mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Deltares report Z4594, Delft, The Netherlands.

Van Kessel, T., J. Vanlede (2010). Impact of harbour basins on mud dynamics Scheldt estuary in the framework of LTV. Deltares & WL Borgerhout. report 1200253.

Van Kessel, T., J. Vanlede, M.A. Eleveld, D. van der Wal, B. De Maerschalk (2010). Validation and Application of Mud Model Scheldt Estuary in the framework of LTV. Deltares & WL Borgerhout & NIOO & IVM report no. 1202021.

Bijlage A Tijdseries met sedimentconcentraties en slibafzettingen voor huidige stortlocaties

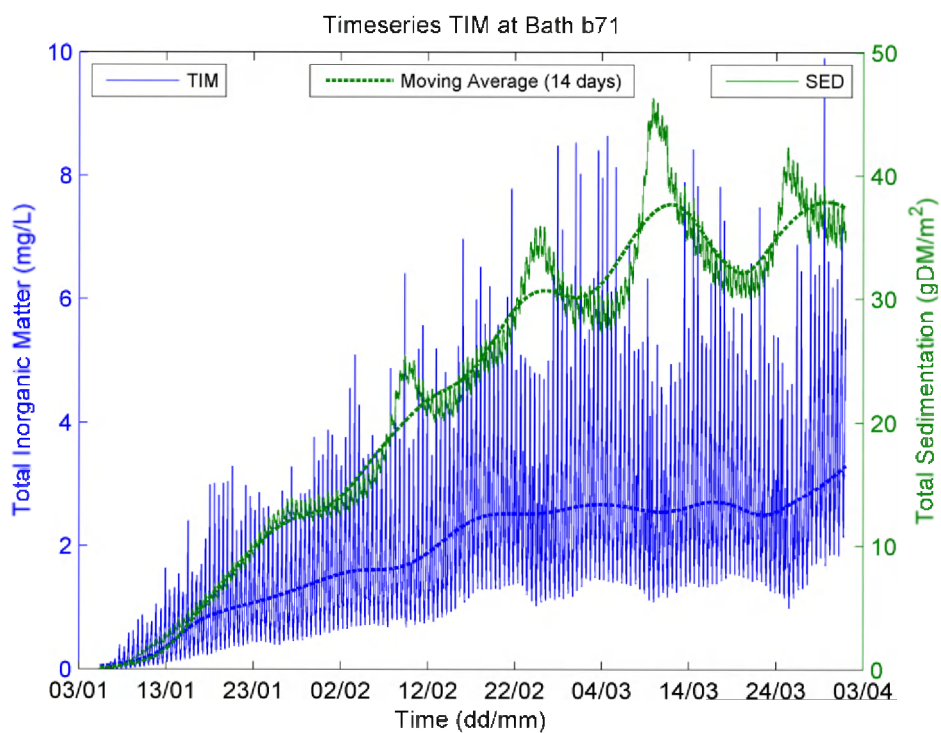
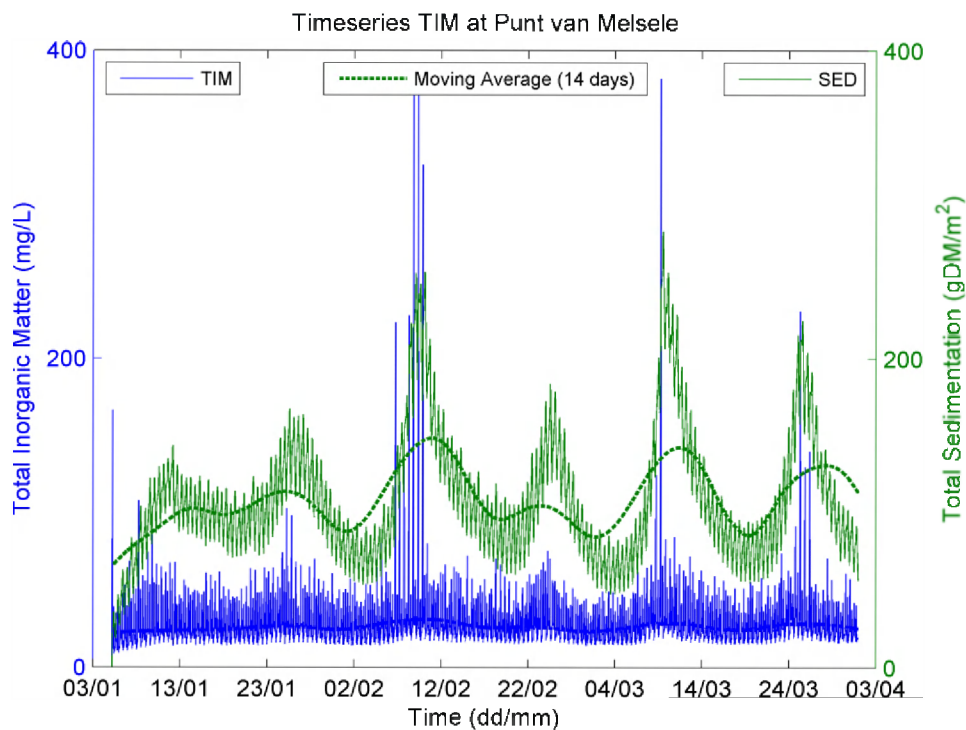
A.1 Inleiding

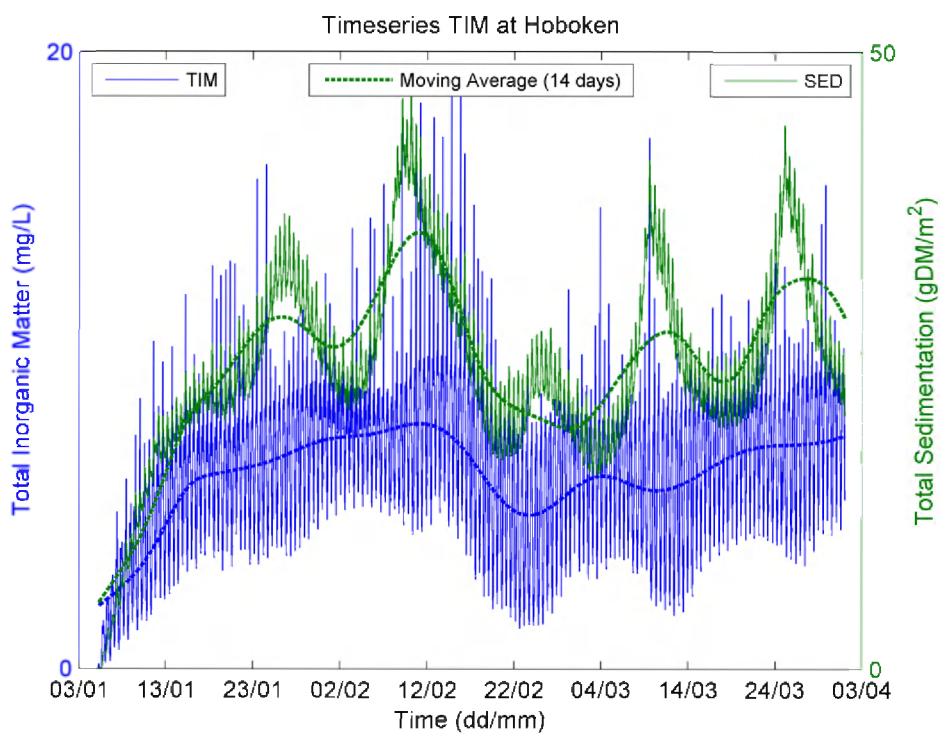
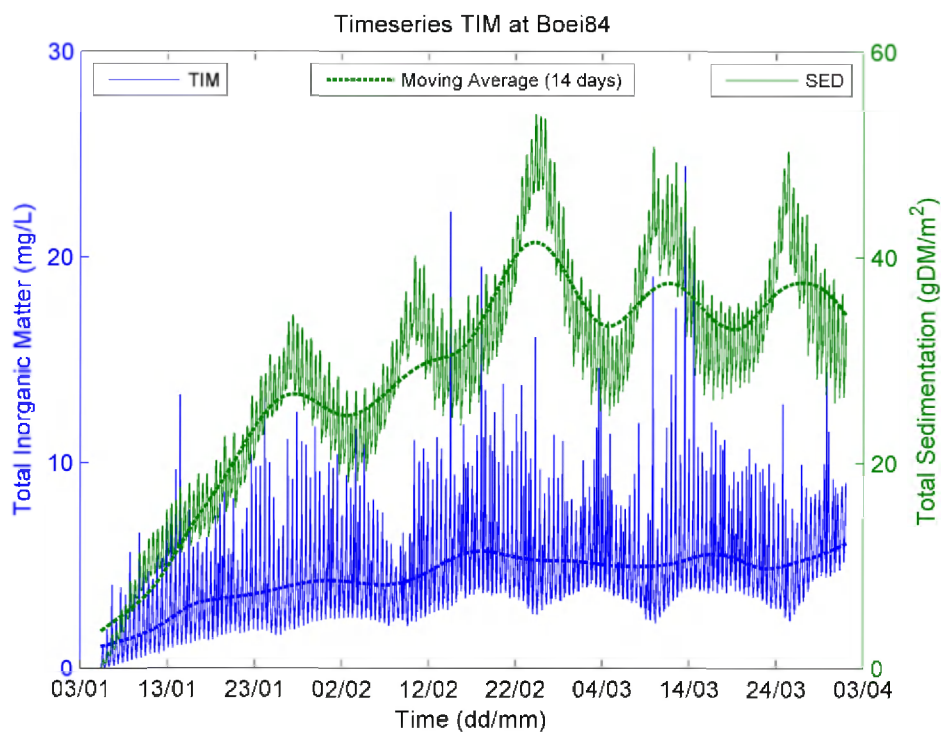
In de volgende paragrafen worden de tijdseries van slibconcentraties en –afzettingen in een specifiek aantal punten getoond voor de simulaties met eenheidslozingen.

De volgende locaties worden getoond:

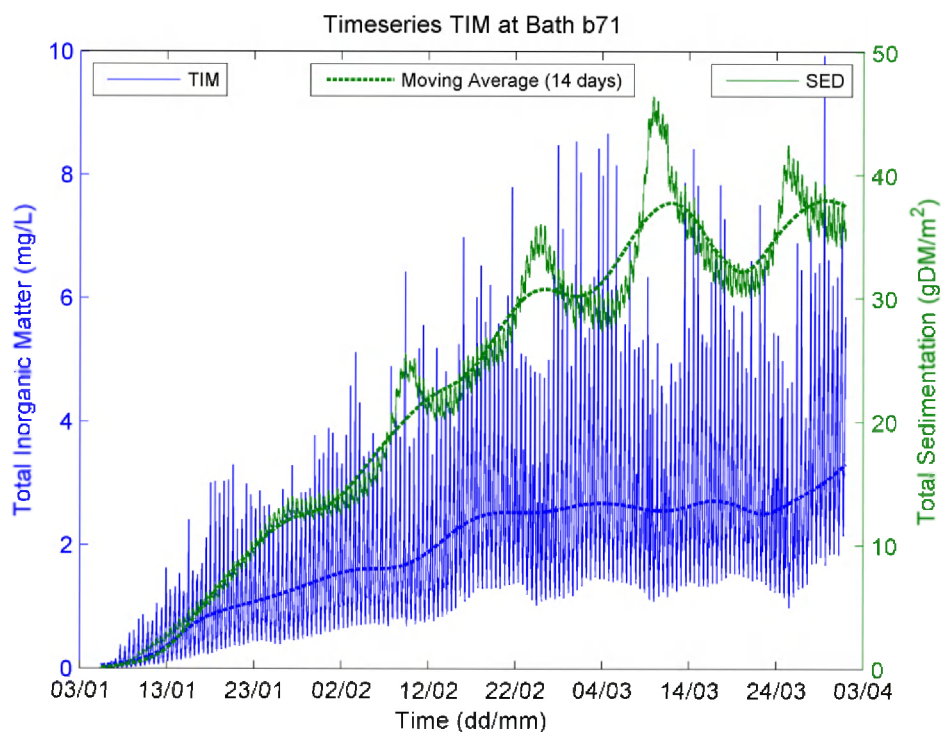
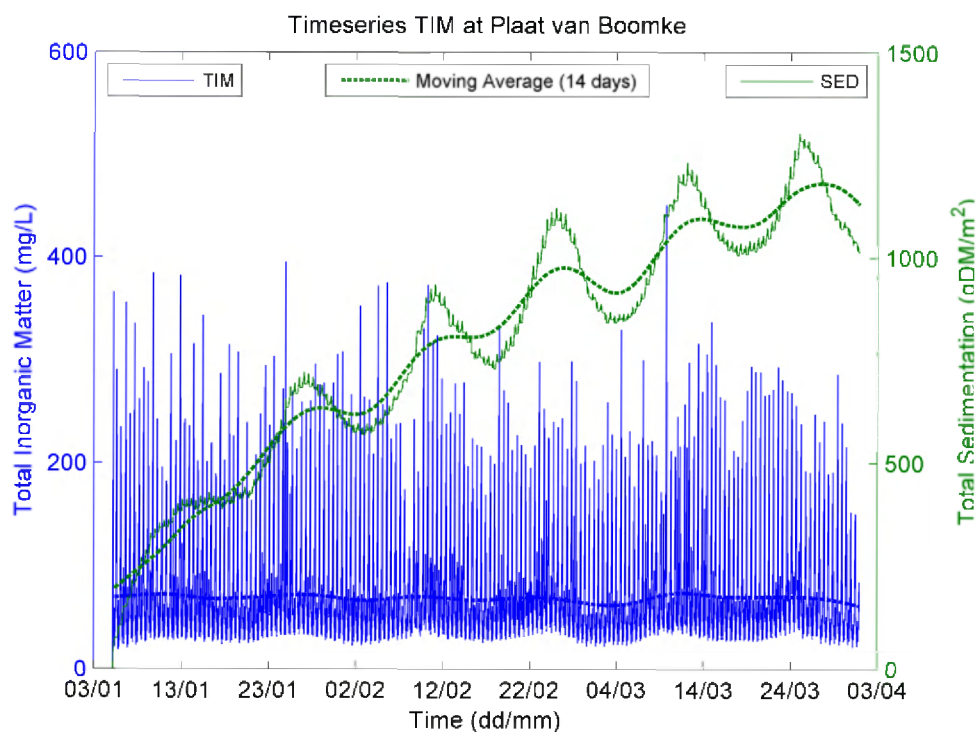
- De stortlocatie in de eenheidslozing
- Bath (afwaarts van de huidige onderhouds- en stortlocaties)
- Boei 84 (rond Deurganckdok)
- Hoboken (opwaarts van de huidige onderhouds- en stortlocaties)

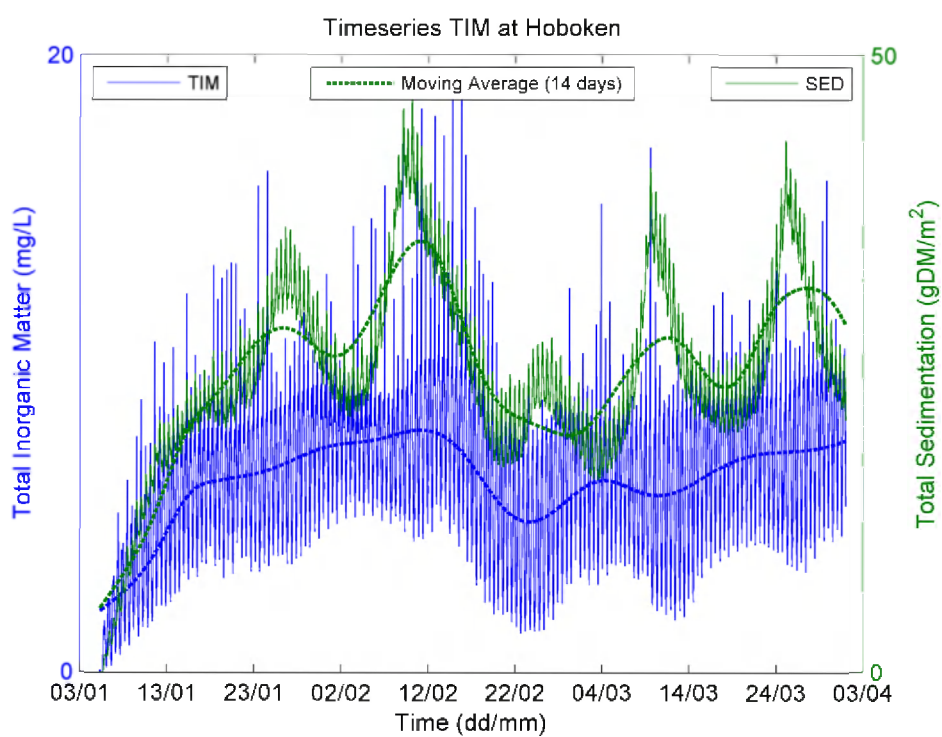
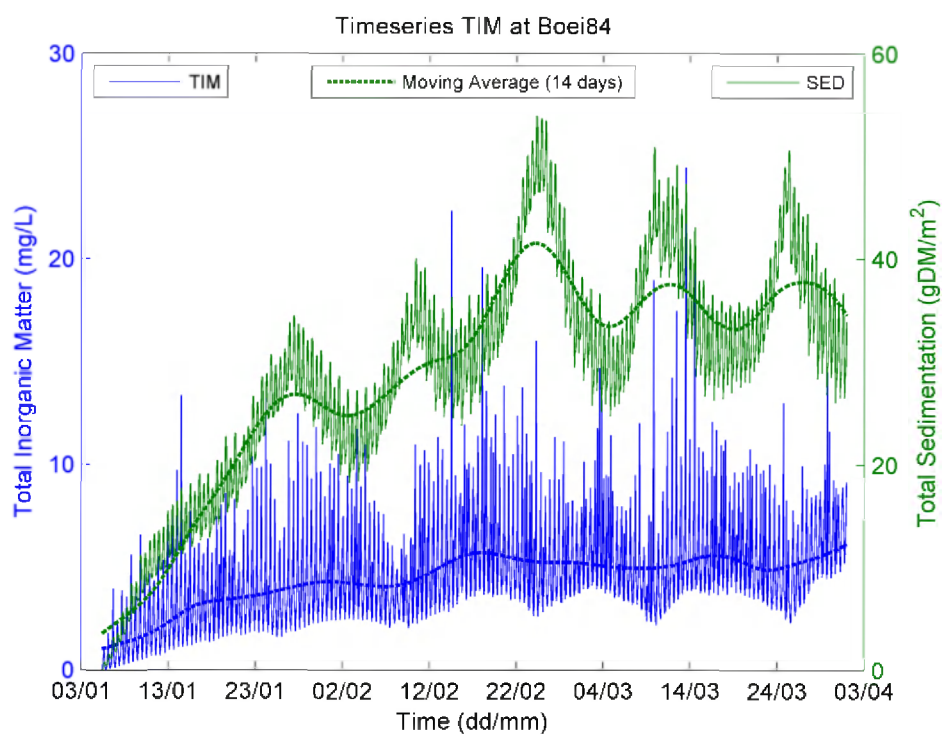
A.2 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Punt van Melsele



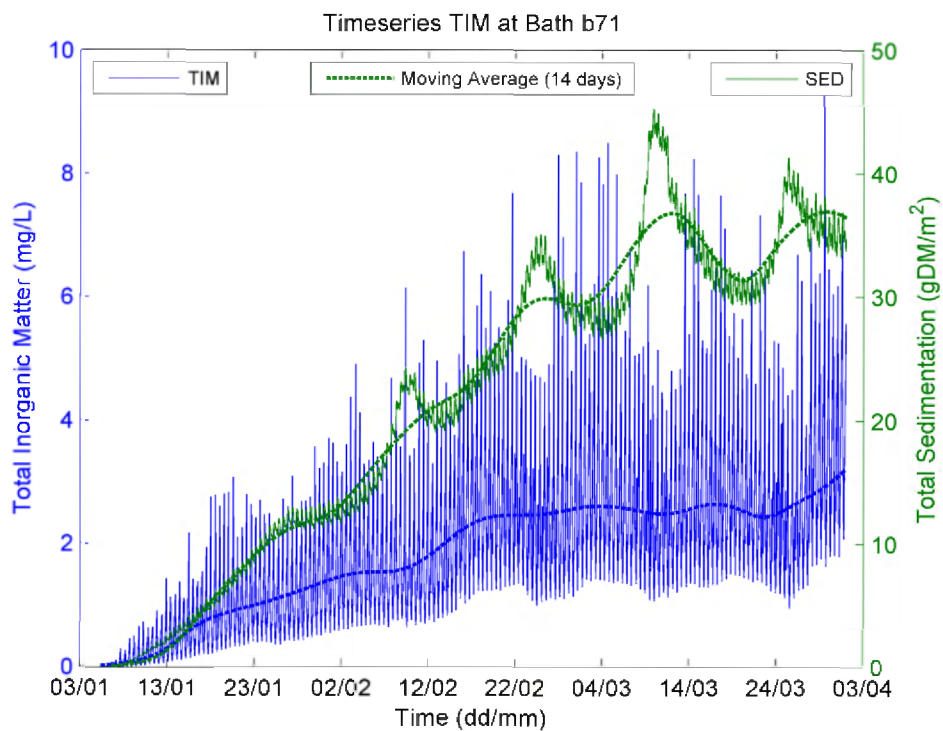
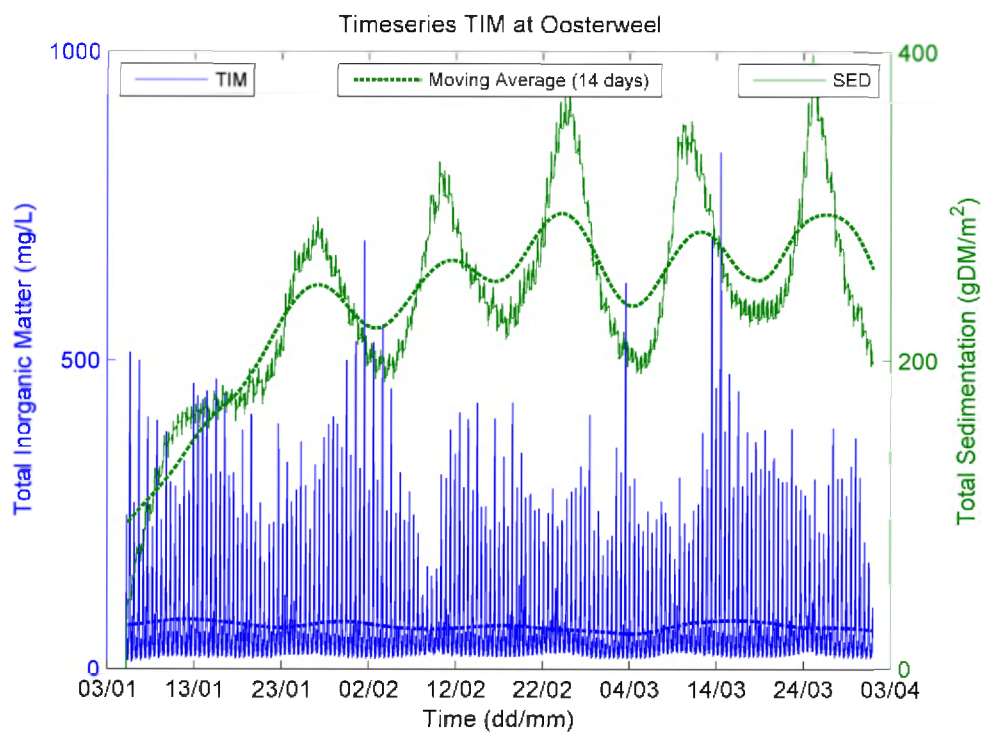


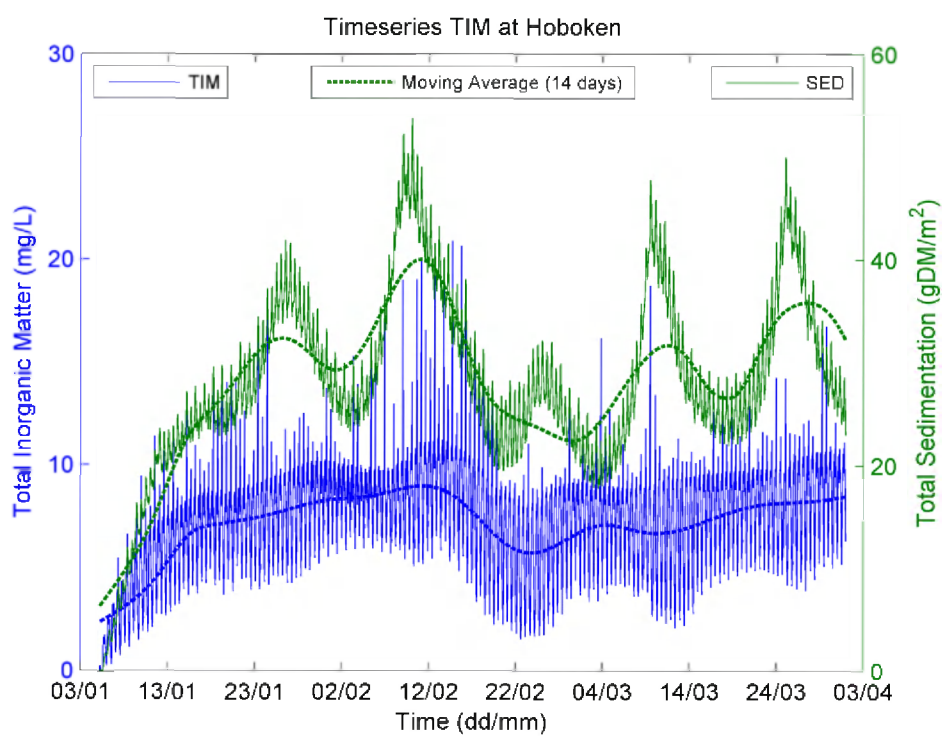
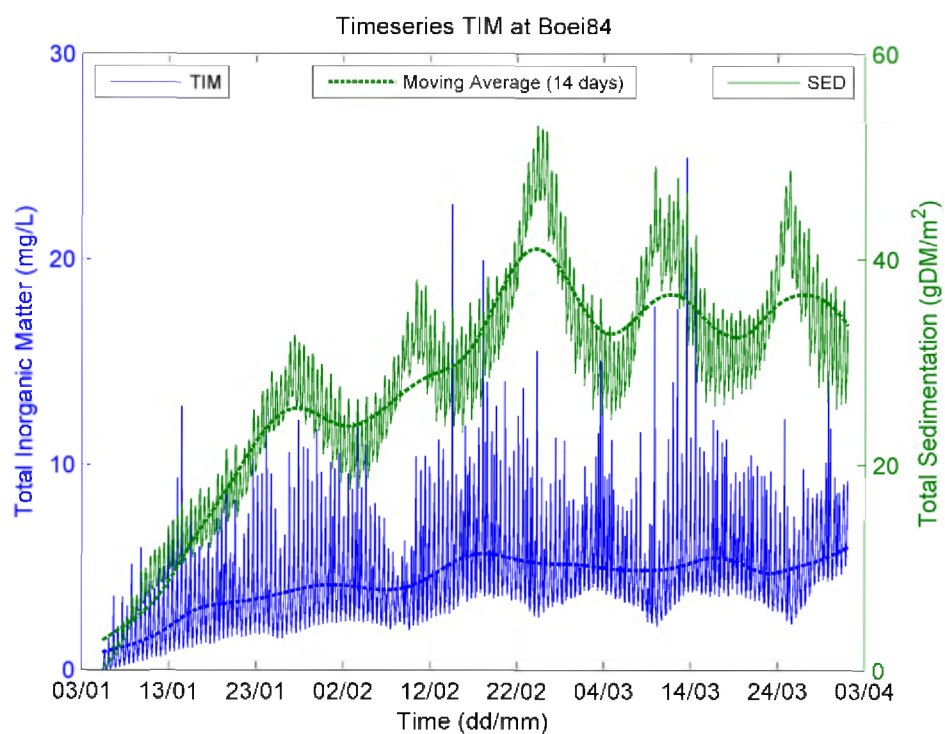
A.3 Tijdsreeks voor eenheidslozingen te Plaat van Boomke





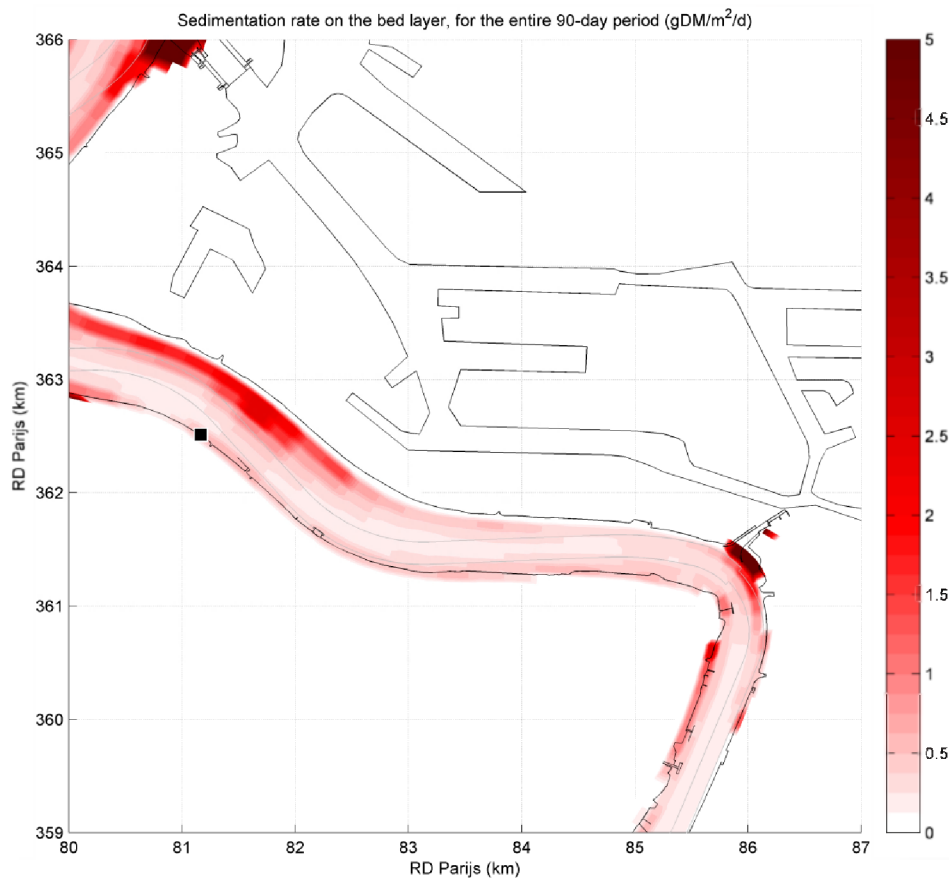
A.4 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Oosterweel



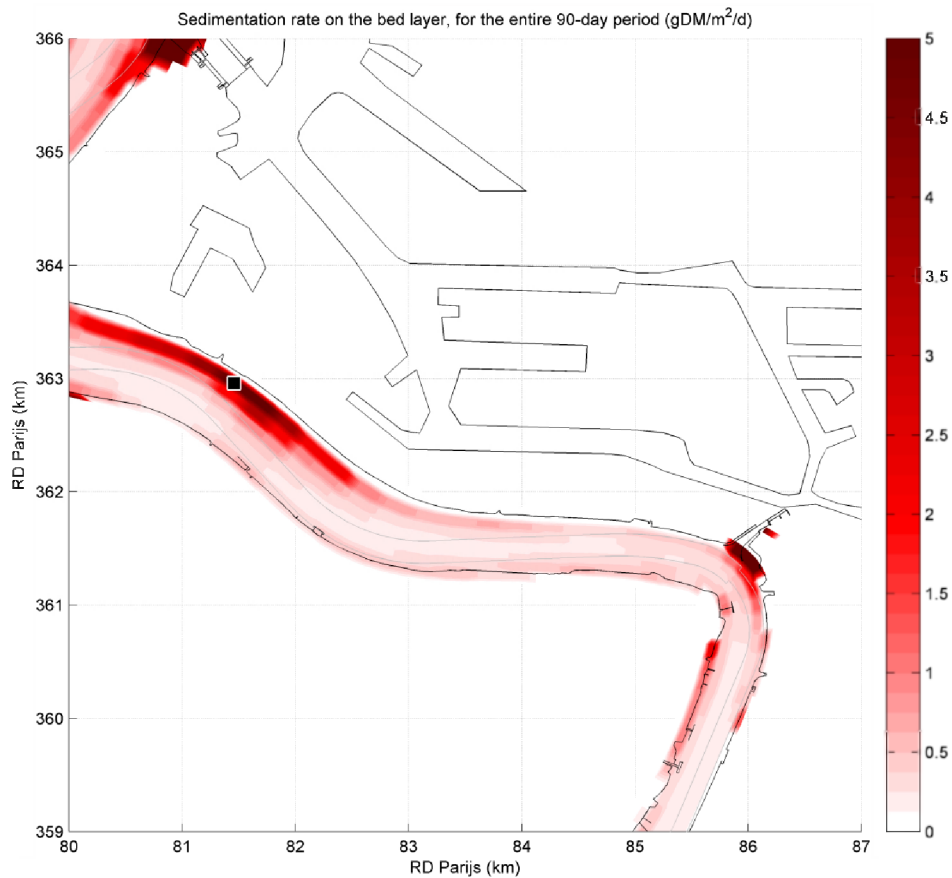


Bijlage B Slibafzettingen voor huidige stortlocaties

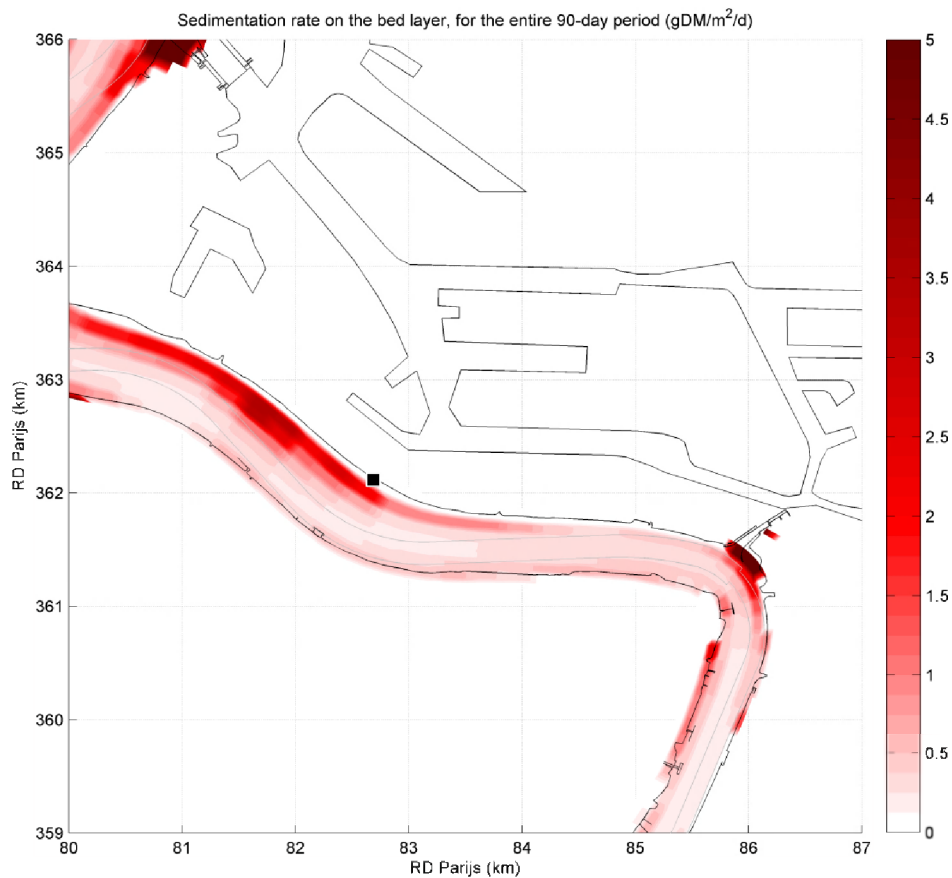
B.1 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Punt van Melsele



B.2 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Plaat van Boomke



B.3 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Oosterweel



Bijlage C Tijdseries met sedimentconcentraties en slibafzettingen voor alternatieve stortlocaties

C.1 Inleiding

In de volgende paragrafen worden de tijdseries van slibconcentraties en –afzettingen in een specifiek aantal punten getoond voor de simulaties met eenheidslozingen.

De volgende locaties worden getoond:

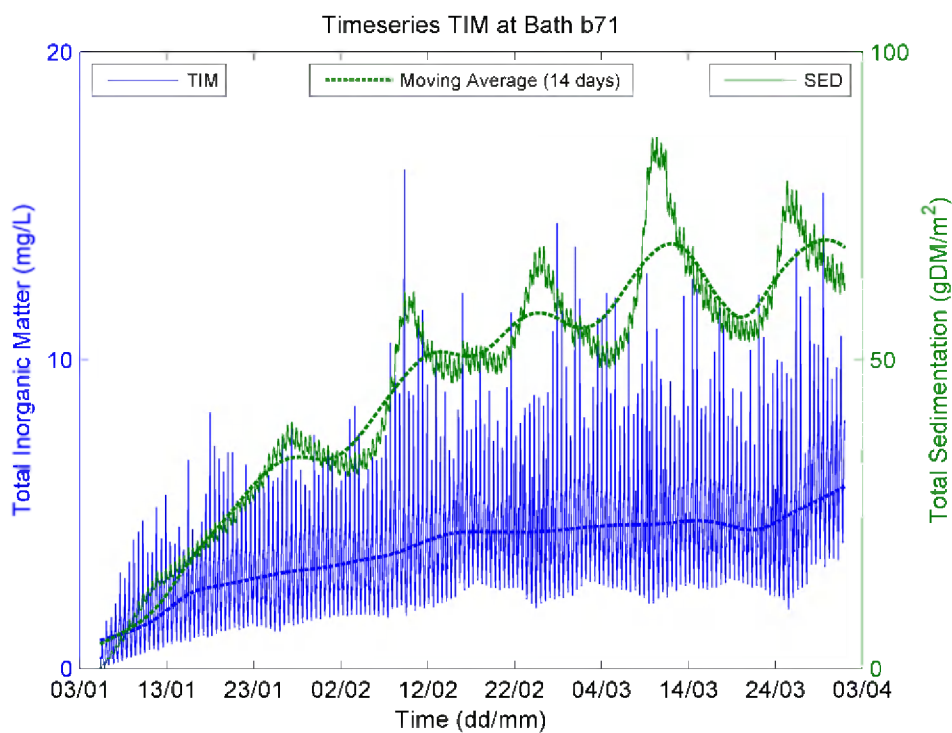
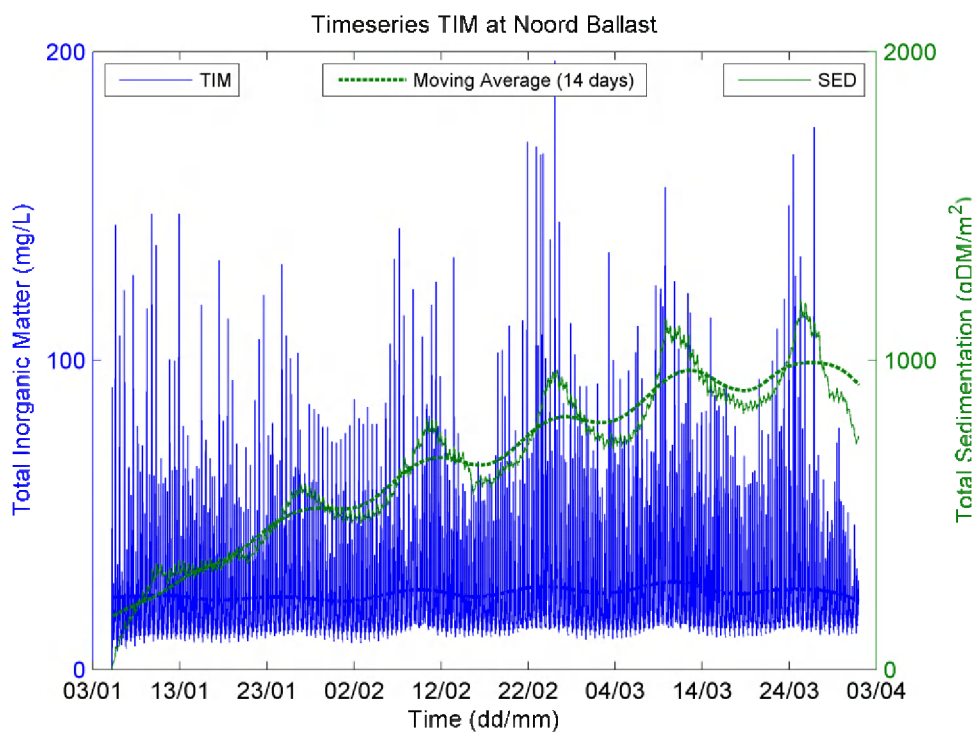
De stortlocatie in de eenheidslozing

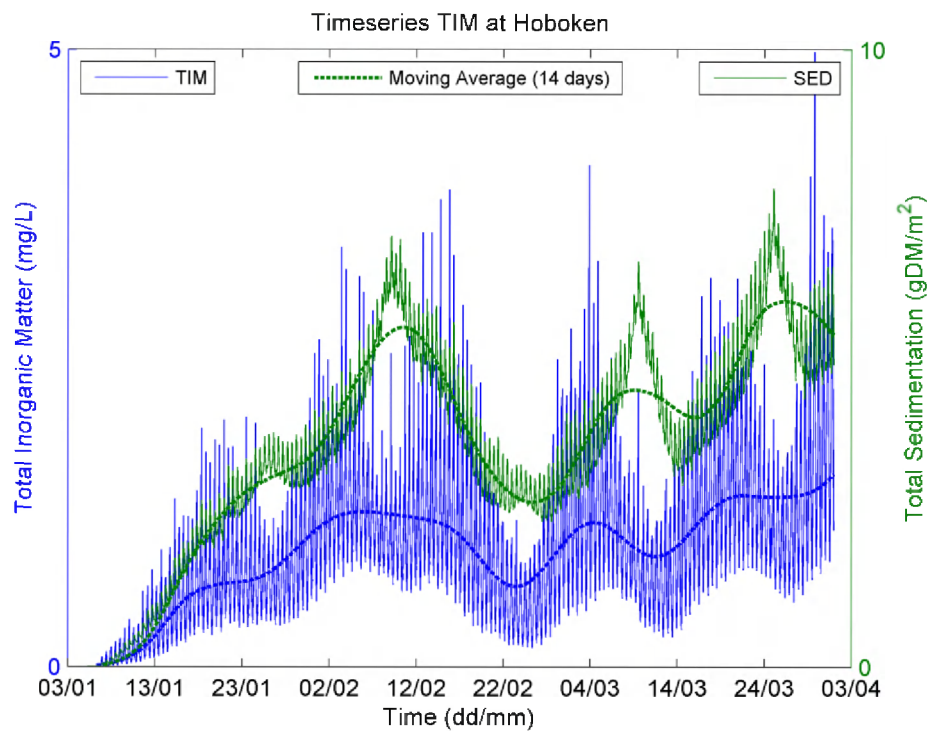
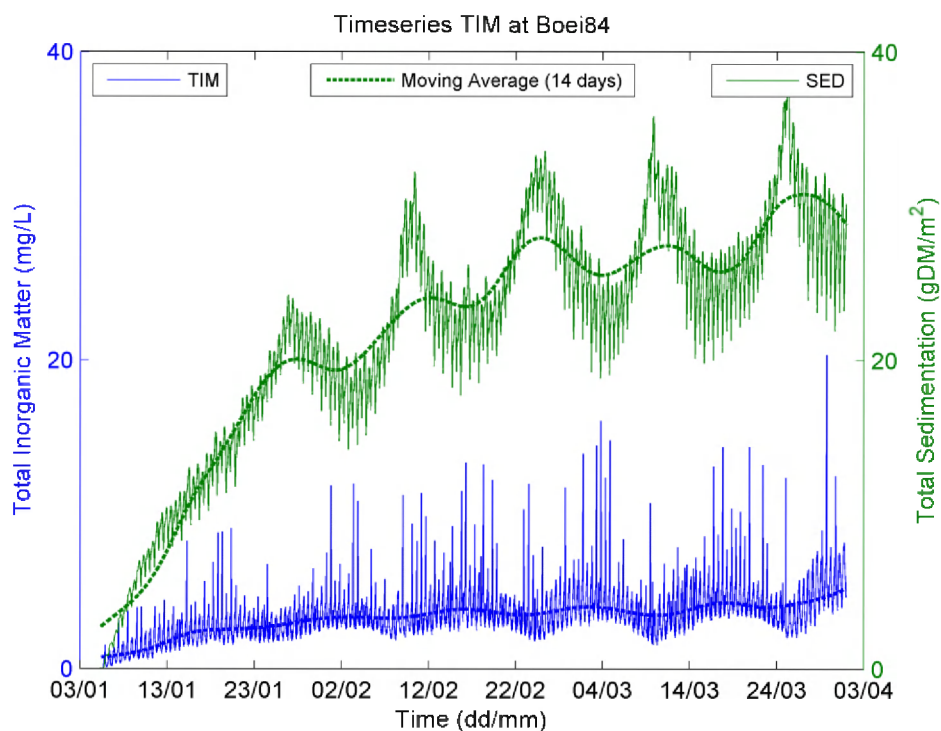
Bath (afwaarts van de huidige onderhouds- en stortlocaties)

Boei 84 (rond Deurganckdok)

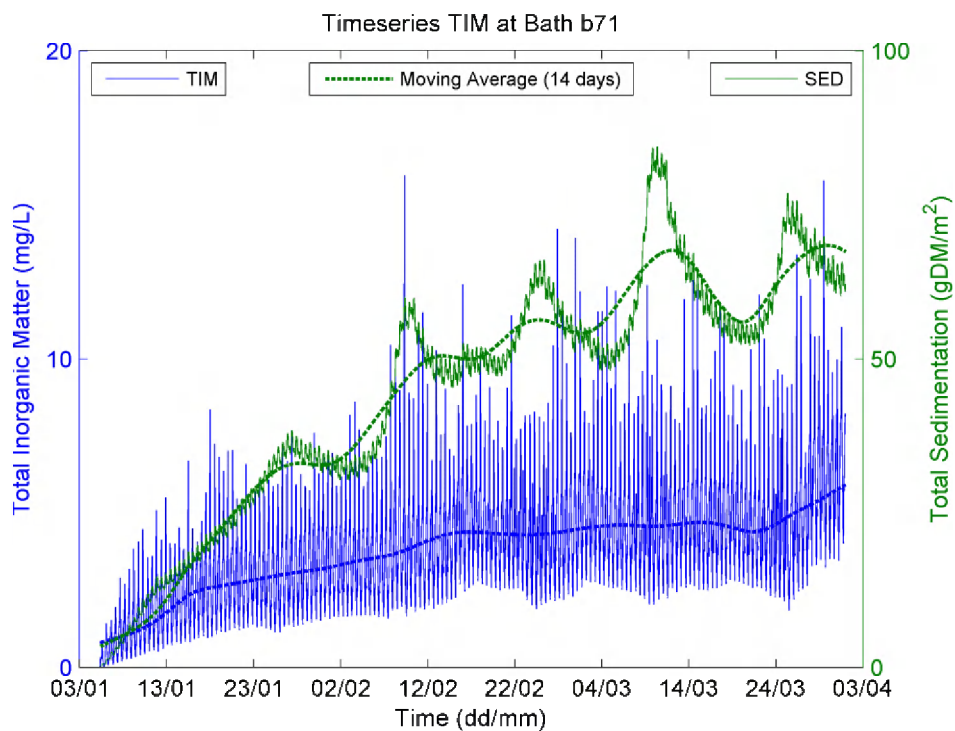
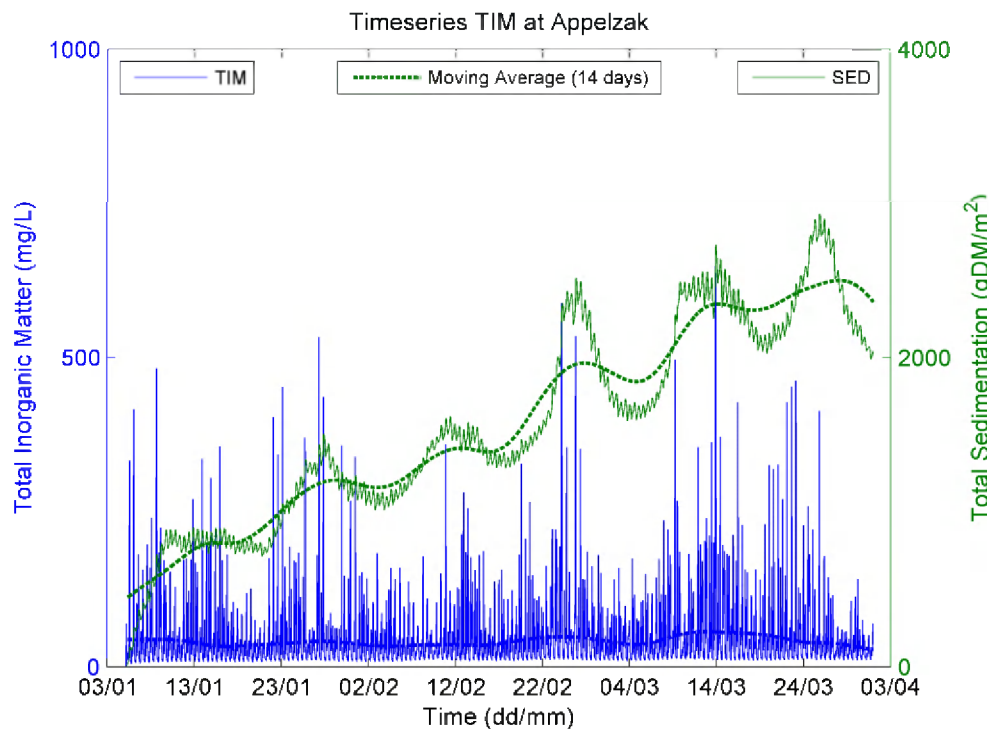
Hoboken (opwaarts van de huidige onderhouds- en stortlocaties)

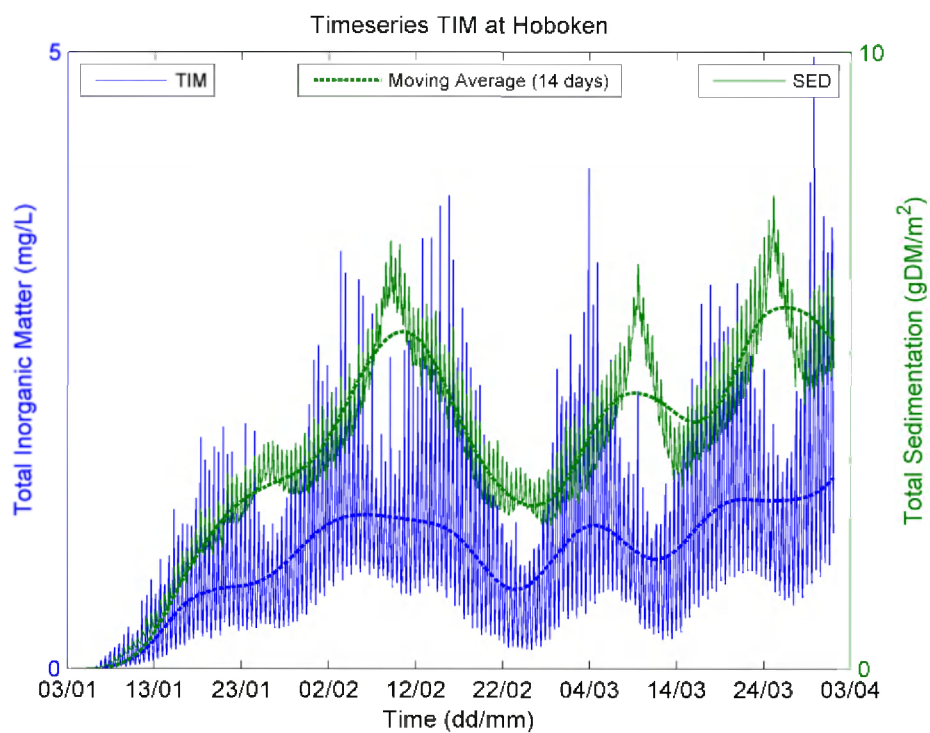
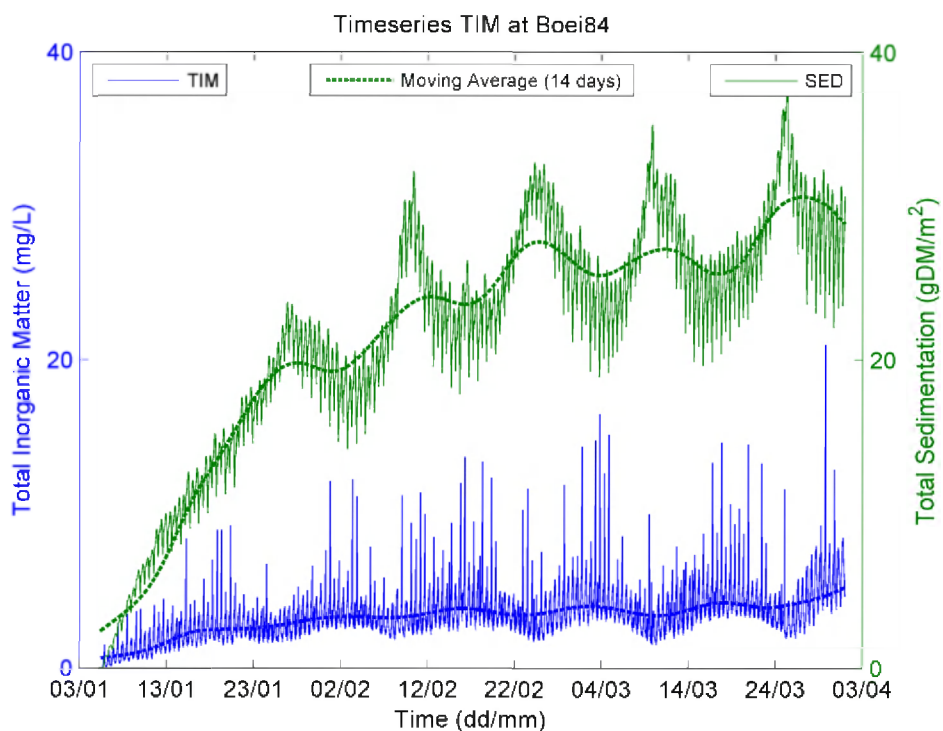
C.2 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Noord-Ballast



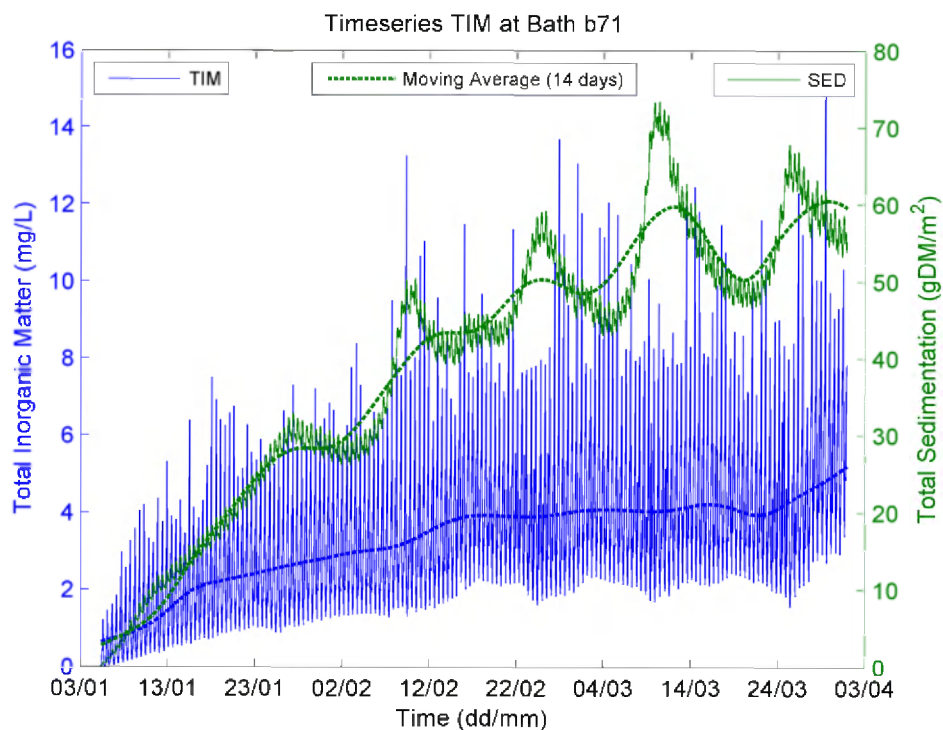
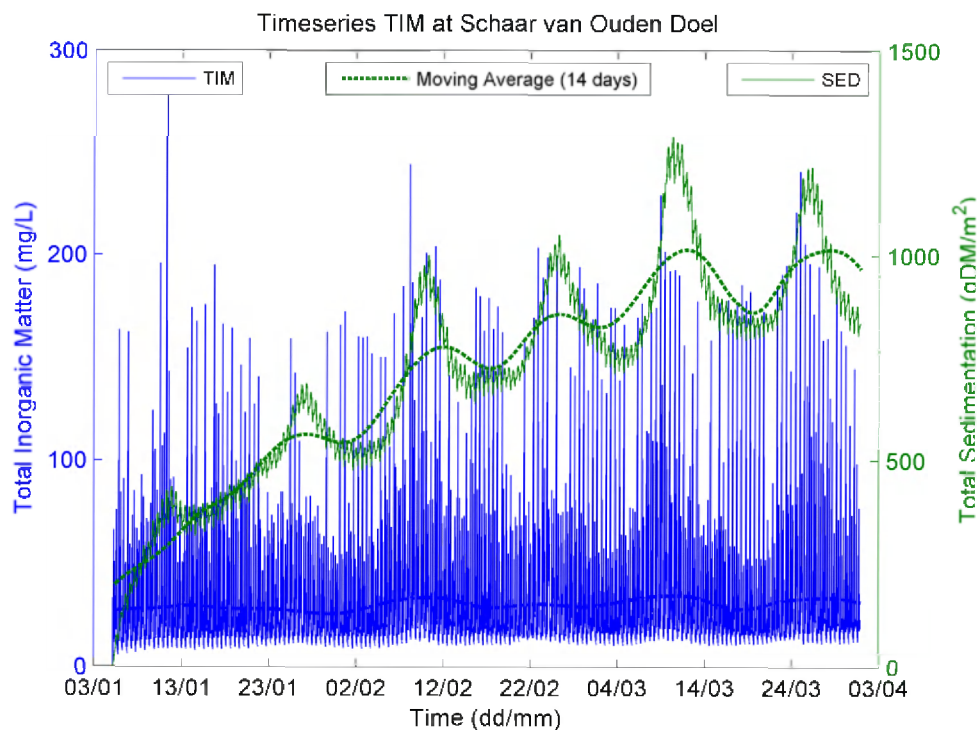


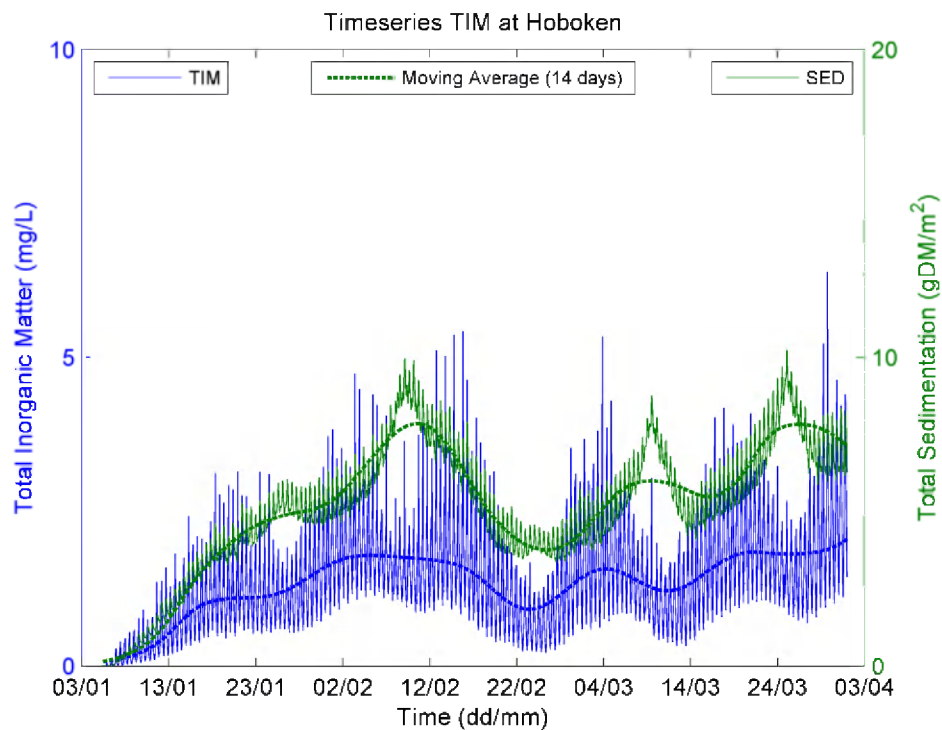
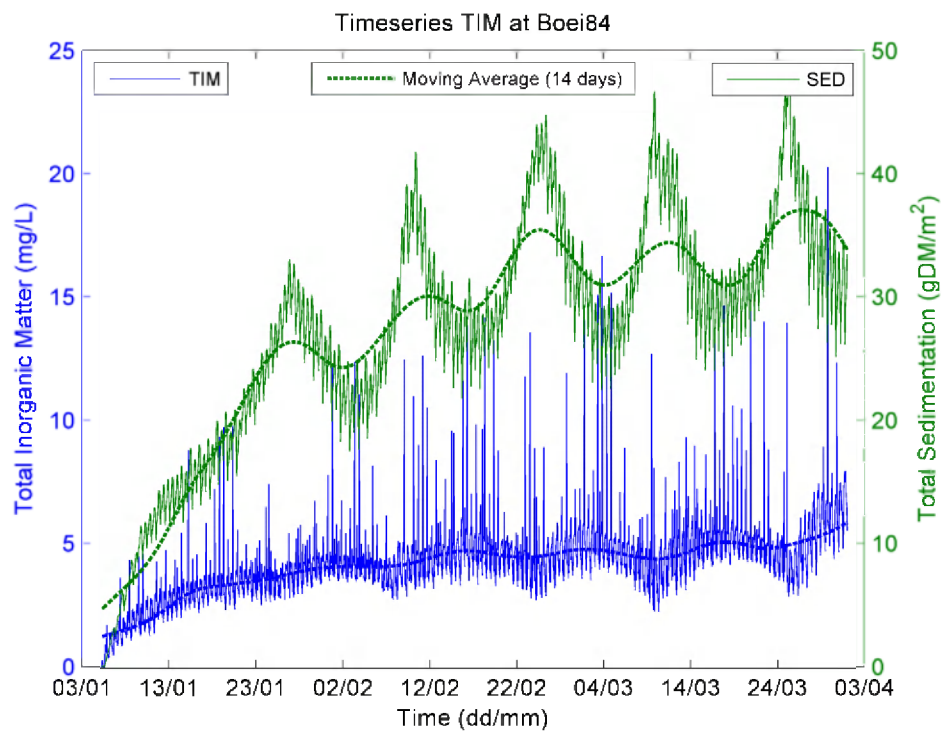
C.3 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Appelzak



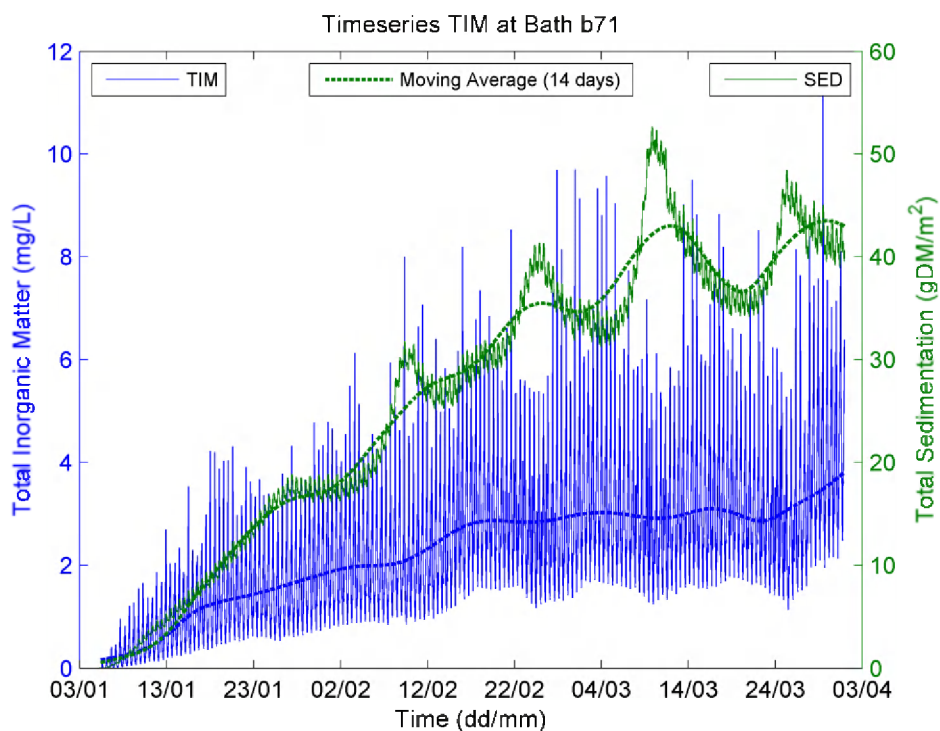
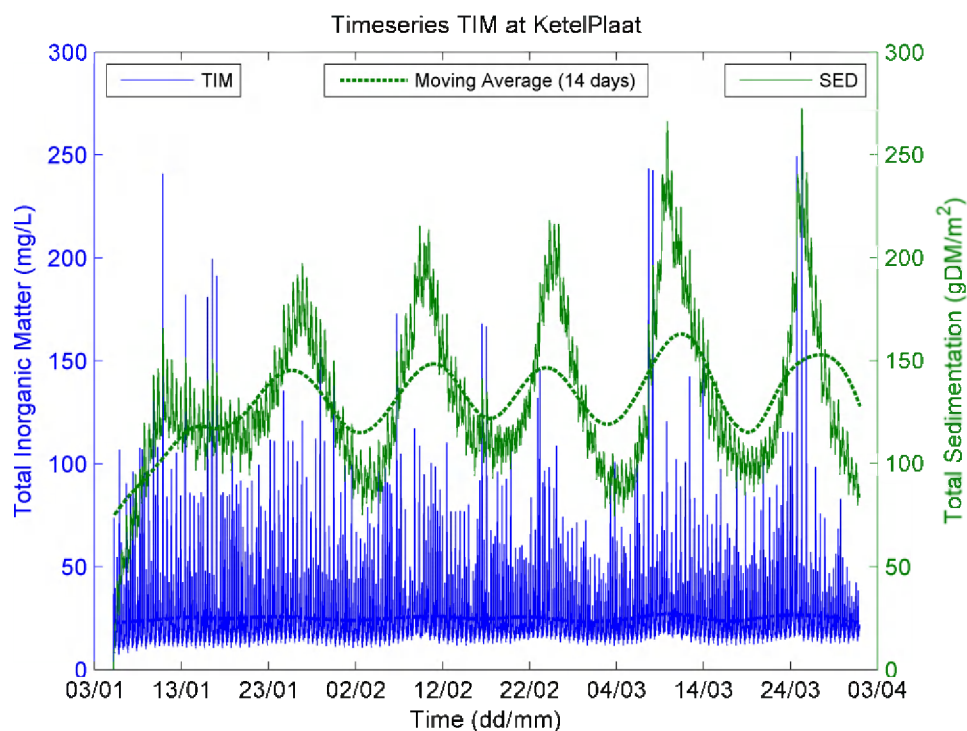


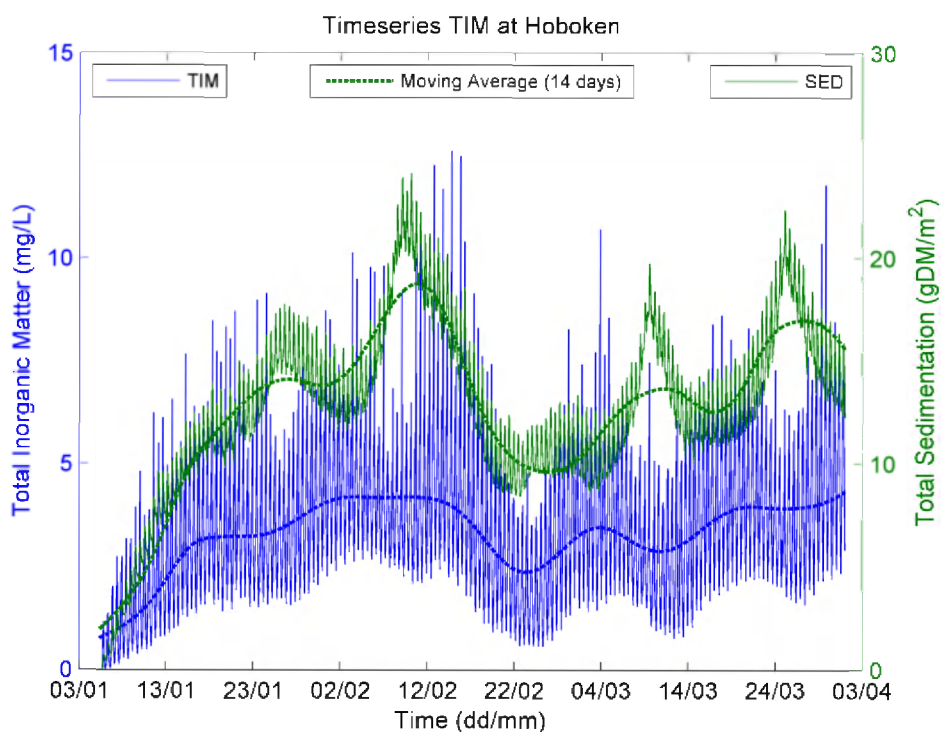
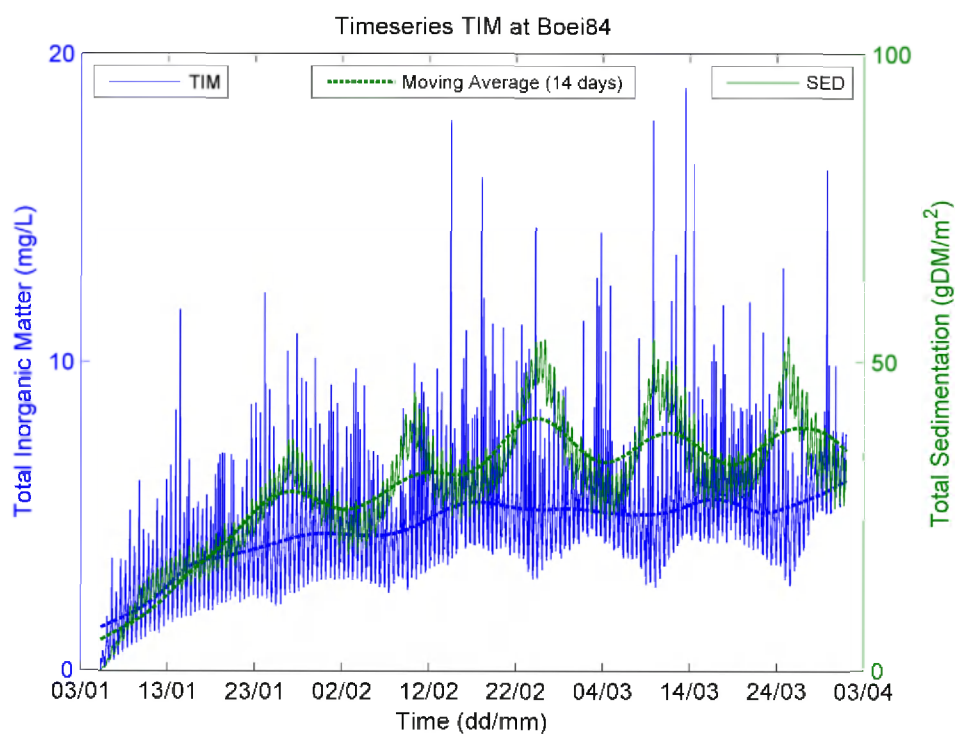
C.4 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Schaar van Ouden Doel



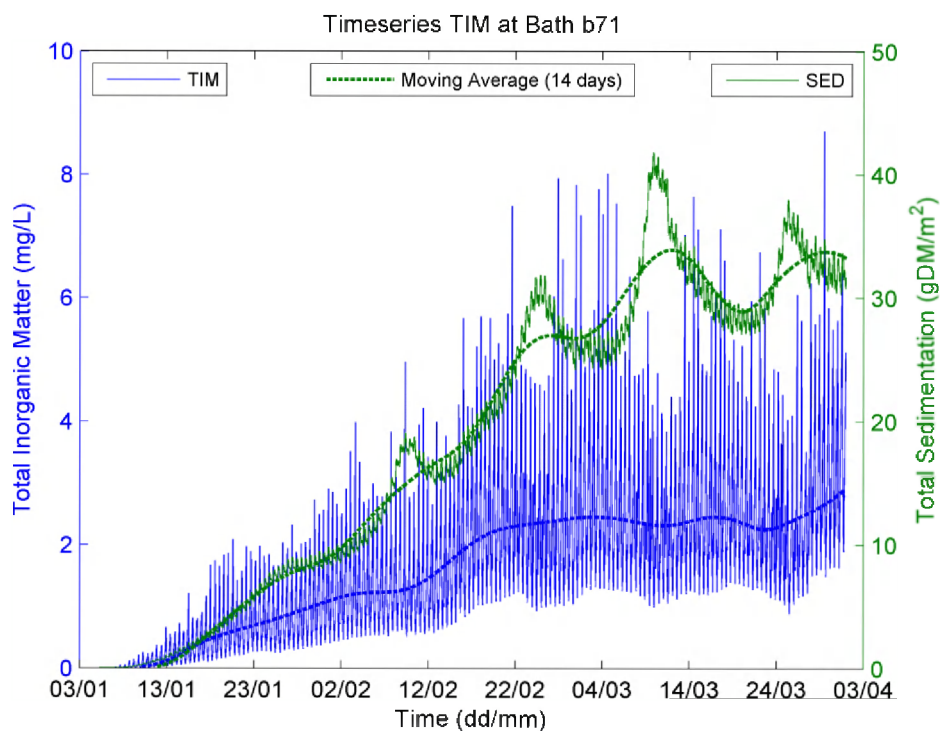
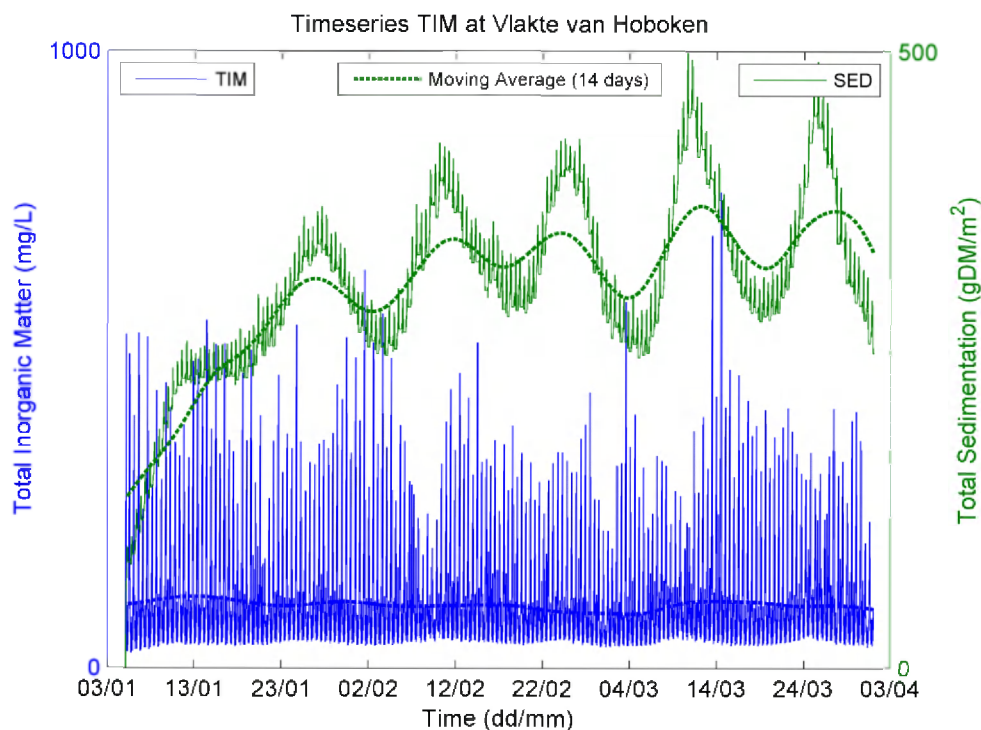


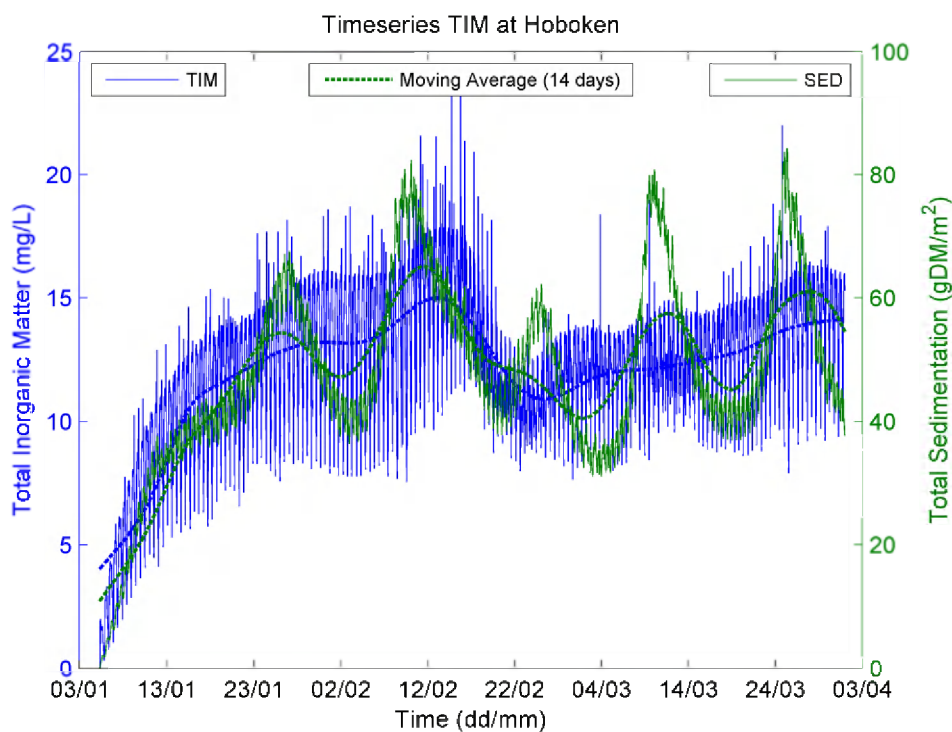
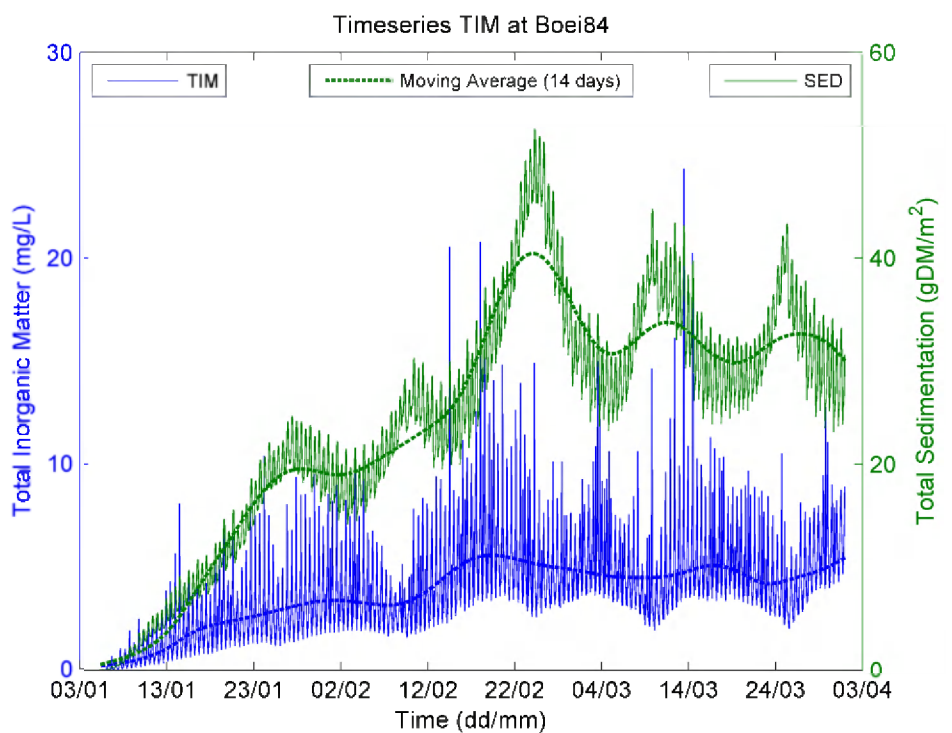
C.5 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Ketelplaat





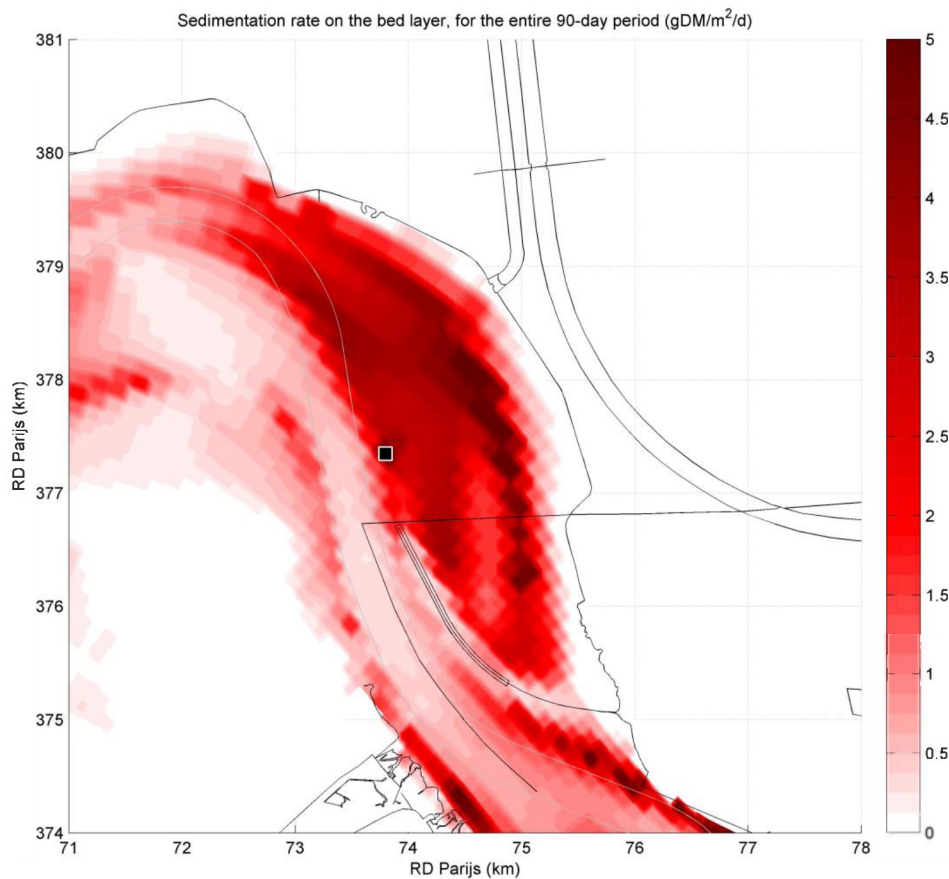
C.6 Tijdsreeks voor eenheidslozingen in Vlakte van Hoboken



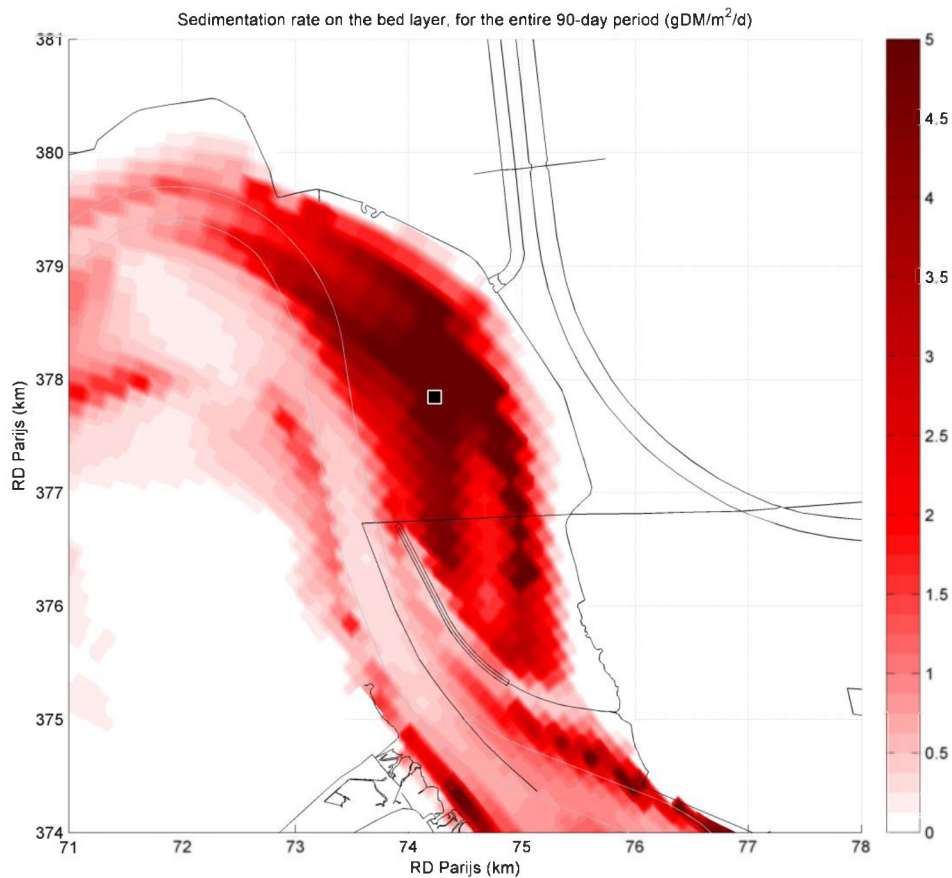


Bijlage D Slibafzettingen voor alternatieve stortlocaties

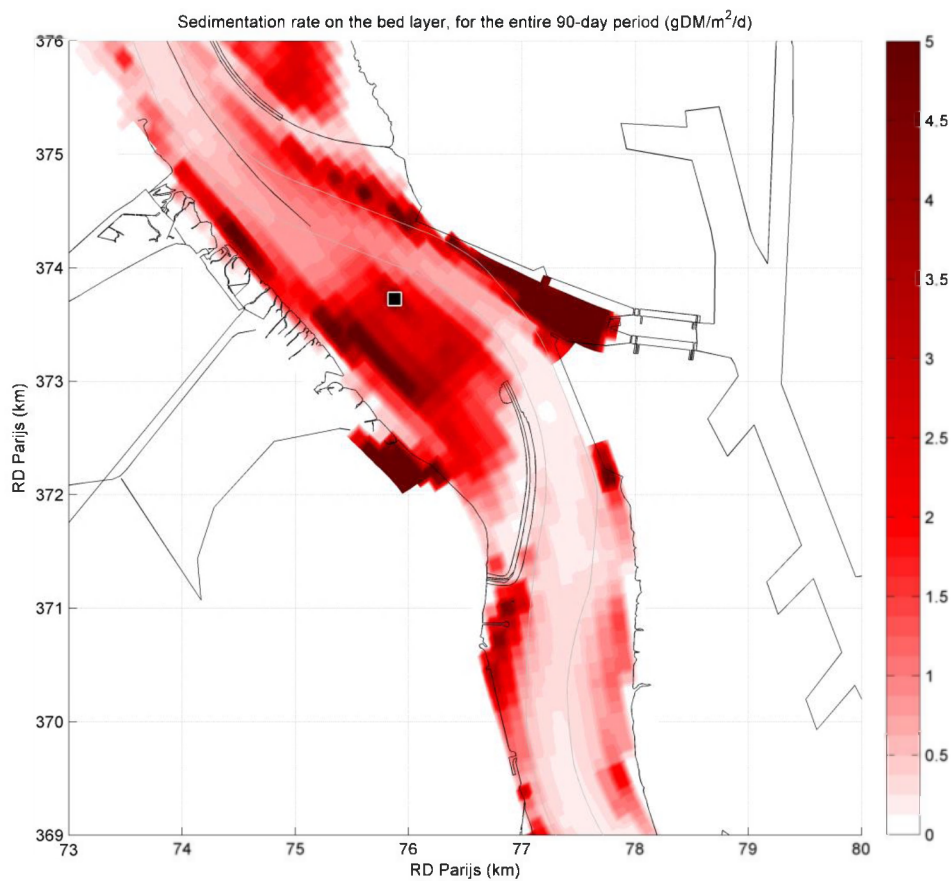
D.1 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Noord-Ballast



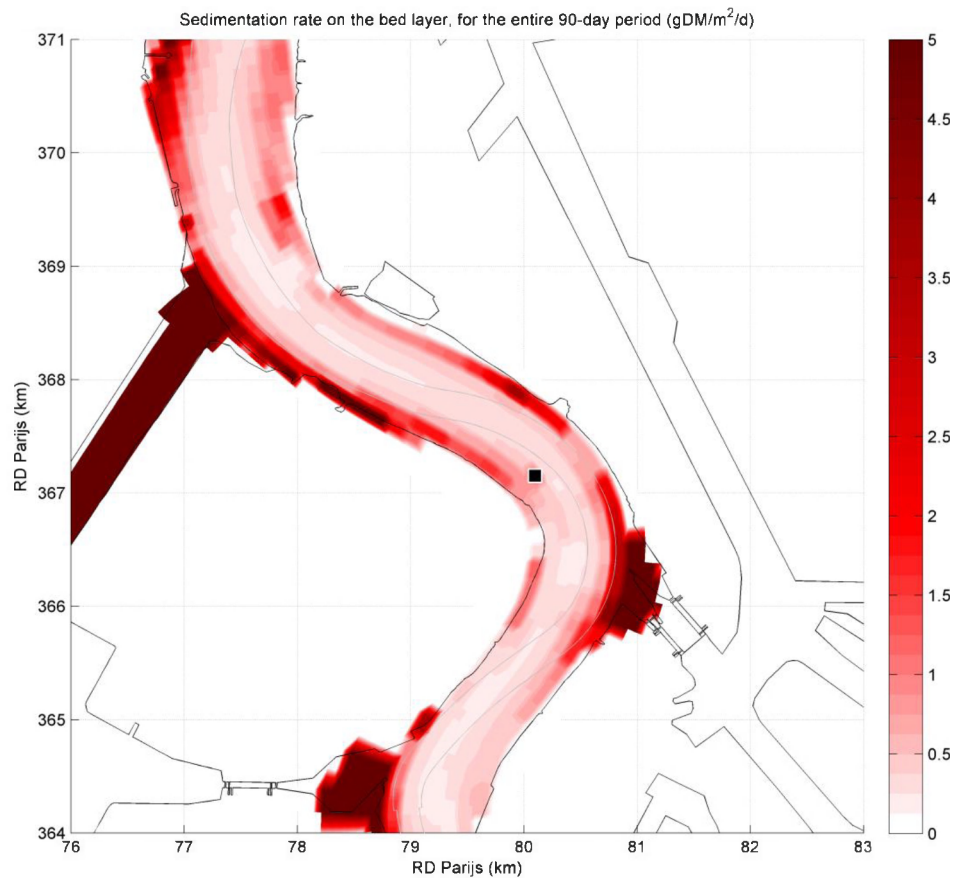
D.2 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Appelzak



D.3 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Schaar van Ouden Doel



D.4 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Ketelplaat



D.5 Slibafzettingen bij eenheidslozing in Vlakte van Hoboken

