



Vlaanderen
is wetenschap



14_025_3
WL rapporten

Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde

Deelrapport 3 – Slibscenario's

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be



Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde

Deelrapport 3 – Slibscenario's

Coen, L.; De Maerschalc, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Maart 2016

WL2016R14_025_3

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Coen, L.; De Maerschalk, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: Deelrapport 3 – Slibscenario's. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.



DEPARTEMENT **MOBILITEIT EN OPENBARE WERKEN**

Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

mow.vlaanderen.be





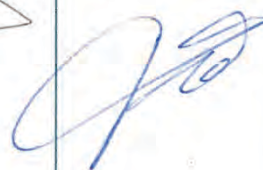

waterbouwkundiglaboratorium.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: Deelrapport 3 – Slibscenario's		
Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2016R14_025_3
Keywords (3-5):	Sediment transport, zand, numeriek model, Schelde-estuarium		
Tekst (p.):	75	Bijlagen (p.):	76
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input checked="" type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
	<input type="checkbox"/> Nee	<input type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur	Revisor	Projectleider	Coördinator Studie & Advies	Afdelingshoofd
Coen, L. 	De Maerschallck, B. 	Plancke, Y. 	Verwaest, T. 	Mostaert, F. 
Plancke, Y. 				

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	31/07/2015	Conceptversie	Plancke, Y.; Coen, L.
2.0	21/09/2015	Inhoudelijke revisie	De Maerschallck, B.
3.0	29/10/2015	Revisie opdrachtgever	Beirinckx, K.; Ides, S.
4.0	09/03/2016	Definitieve versie	Coen, L.

Abstract

Om de toegankelijkheid naar de Scheldehavens te kunnen garanderen dienen quasi continu onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd te worden. Om deze werken uit te voeren zijn vergunningen nodig. Voor het Vlaamse deel van het estuarium, de Beneden-Zeeschelde, lopen de huidige onderhoudsvergunningen nog tot december 2017. Ten behoeve van een nieuwe vergunning (mogelijks een zogeheten omgevingsvergunning) dient er onderzoek te gebeuren om de stortstrategie zo optimaal mogelijk in te vullen, rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen zoals zandwinstrategie, aanleg Oosterweeltunnel en risico op regime shift.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van de scenarioberekeningen inzake het terugstorten van slibrijke specie. Deze zullen worden gebruikt om uiteindelijk tot de optimale invulling te komen van de toekomstige stortstrategie in de Beneden-Zeeschelde.

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel.....	I
Lijst van de tabellen.....	IV
lijst van de figuren	V
Lijst van de figuren in bijlage	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Opzet van het rapport	1
1.3 Overige rapporten	2
2 Voorgaande studies.....	3
2.1 Onderhoudswerken Deurganckdok (IMDC, 2004)	3
2.2 Studie densiteitsstromingen (IMDC, 2007)	3
2.3 Ontwikkelingszone Saeftinghe (IMDC & Deltares, 2011)	3
2.4 LTV O&M slibmodel (Deltares & WL, 2006-2008)	4
2.5 Instandhouding vaarpassen (IMDC <i>et al.</i> , 2013)	4
3 Baggeren en storten in de Beneden-Zeeschelde.....	6
3.1 Bagger- en storttechnieken	6
3.2 Overzicht locaties	7
3.3 Overzicht bagger- en storthoeveelheden.....	9
3.4 Analyse bagger- en stortgegevens 2012-2013	11
3.4.1 Overzicht gebaggerde specie	11
3.4.2 Bagger- en stortgegevens	11
4 Modelopzet	15
4.1 NEVLA-model.....	15
4.2 Basismodel.....	15
4.2.1 Modelgrid.....	15
4.2.2 Topo-bathymetrie.....	16
4.2.3 Randvoorwaarden	17
4.2.4 Tijdstap.....	17
4.2.5 Hydrodynamische modelparameters	17
4.2.6 Simulatieperiode.....	17
4.3 Sedimenttransportmodellering	18
4.3.1 Sedimentfracties	18
4.3.2 Randvoorwaarden	18
4.3.3 Dikte bodemsedimentlaag.....	18

4.4	Stortingen van slib	20
4.5	Gevoeligheidsanalyse	22
4.6	Finale modelinstellingen.....	23
4.7	Modelvalidatie	25
4.7.1	Beschikbare metingen	25
4.7.2	Jaarlijks gemiddelde sedimentconcentratie	28
4.7.3	Sedimentconcentratie bij intensieve stortingen	34
5	Scenarioberekeningen – fase 1	37
5.1	Beschrijving stortscenario's.....	37
5.1.1	Huidig.....	39
5.1.2	Dichtbij.....	40
5.1.3	Afwaarts I.....	41
5.1.4	Afwaarts II.....	42
5.1.5	Overzicht.....	43
5.2	Resultaten.....	43
5.2.1	Verloop sedimentconcentratie	44
5.2.2	Lengteprofielen.....	48
5.2.3	Conclusies	52
6	Scenarioberekeningen – fase 2	53
6.1	Beschrijving stortscenario's.....	53
6.1.1	Huidig + dichtbij opwaarts.....	54
6.1.2	Huidig + dichtbij afwaarts	55
6.1.3	Huidig + dichtbij opwaarts+afwaarts.....	56
6.1.4	Overzicht.....	57
6.2	Resultaten.....	58
6.2.1	Verloop sedimentconcentratie	58
6.2.2	Lengteprofielen.....	61
6.2.3	Conclusies	63
6.3	Gevoeligheidsanalyse stortscenario's: hoeveelheden teruggestort sediment	64
6.3.1	Huidig stortscenario (S421-S426-S427)	64
6.3.2	Stortscenario's huidig+dichtbij (S428-S429-S430-S431-S434-S435)	68
7	Conclusies en aanbevelingen	71
7.1	Conclusies	71
7.2	Aanbevelingen	72
8	Referenties	73

BIJLAGE A	Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – fase 1.....	B1
BIJLAGE B	Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – fase 1.....	B16
BIJLAGE C	Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – fase 2.....	B21
BIJLAGE D	Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – fase 2.....	B34
BIJLAGE E	Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – gevoeligheidsanalyse §6.3.1 en §6.3.2.....	B39
BIJLAGE F	Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – gevoeligheidsanalyse §6.3.1 en §6.3.2...	B65
BIJLAGE A	Overzichtskaart en –tabel stortscenario's.....	B75

LIJST VAN DE TABELLEN

Tabel 1 – Overzicht sedimentkarakteristieken ter hoogte van baggerzones (staalname 2014).....	11
Tabel 2 – Overzicht modelparameters	17
Tabel 3 – Percentage cohesief en niet-cohesief sediment per lithologische klasse	19
Tabel 4 – Waarden modelparameters gevoeligheidsanalyse	23
Tabel 5 – Waarden modelparameters na kalibratie.....	24
Tabel 6 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “HUIDIG”	39
Tabel 7 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “DICHTBIJ”	40
Tabel 8 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “AFWAARTS I”	41
Tabel 9 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “AFWAARTS II”	42
Tabel 10 – Overzicht stortscenario’s	43
Tabel 11 – Overzicht procentuele verdeling van gestort slib op de verschillende stortlocaties voor scenario S421-S422-S423-S424.....	43
Tabel 12 – Overzicht getijperiodes.....	49
Tabel 13 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS”	54
Tabel 14 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “HUIDIG + DICHTBIJ AFWAARTS”	55
Tabel 15 - Overzicht modelinstellingen stortscenario “HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS”	56
Tabel 16 – Overzicht stortscenario’s	57
Tabel 17 – Overzicht procentuele verdeling van gestort slib op de verschillende stortlocaties voor scenario S421-S428-S429-S434.....	57
Tabel 18 – Netto effect gemiddelde sedimentconcentratie ten opzichte van S421 in %.....	64
Tabel 19 – Netto effect gemiddelde sedimentconcentratie in %.....	68

LIJST VAN DE FIGUREN

Figuur 1 – Sleephopperzuiger (links) en sweepbeam (rechts) Bron: www.scheepvaartwest.be	6
Figuur 2 – Overzicht bagger- (oranje polygonen) en stortlocaties (groene polygonen)	8
Figuur 3 – Overzicht jaarlijkse baggerhoeveelheden per baggerlocatie	9
Figuur 4 – Overzicht jaarlijkse storthoeveelheden per stortlocatie voor zand (boven) en slib (onder)	10
Figuur 5 - Overzicht baggervolumes per vaart en per drempel (kleur) en stortzone (symbool) voor 2012	13
Figuur 6 – Overzicht baggervolumes per vaart en per drempel (kleur) en stortzone (symbool) voor 2013	14
Figuur 7 – Modelgrid van het Delft3D NEVLA-model (groen) en het studiemodel (rood).....	15
Figuur 8 – Situering studiegebied, met afwaartse rand t.h.v. Raai 6 en opwaartse randen te Tielrode en Terhagen.....	16
Figuur 9 – Initieel opgelegde dikte niet-cohesieve laag	21
Figuur 10 – Initieel opgelegde dikte cohesieve laag.....	22
Figuur 11 - Overzicht meetlocaties turbiditeit langs de Beneden-Zeeschelde	26
Figuur 12 – Sedimentconcentratie (oranje) te Driegoten en bovenafvoer te Melle (blauw) (<i>rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen</i>)	27
Figuur 13 – Sedimentconcentratie te Oosterweel (bovenste sensor - oranje) en bovenafvoer te Melle (blauw) (<i>rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen</i>).....	27
Figuur 14 – Sedimentconcentratie te Boei 84 (bovenste sensor- oranje) en bovenafvoer te Melle (blauw) (<i>rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen</i>)	28
Figuur 15 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij springtij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij springtij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 springtijperiodes (ST1 en ST2)).....	31
Figuur 16 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij gemiddeld getij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij gemiddeld getij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 3 gemiddelde tijperiodes (MT1, MT2 en MT3))	31
Figuur 17 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij doortij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij doortij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421), voor 2 doortijperiodes (DT1 en DT2))	32
Figuur 18 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij springtij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij springtij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 springtijperiodes (ST1 en ST2)).....	32
Figuur 19 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij gemiddeld getij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij gemiddeld getij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 3 gemiddelde tijperiodes (MT1, MT2 en MT3))	33
Figuur 20 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij doortij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij doortij groen: P10, P50, P90 rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 doortijperiodes (DT1 en DT2))	33
Figuur 21 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie voor gemeten sedimentconcentratie in de waterkolom (WSSC) versus gesimuleerde sedimentconcentratie scenario zonder storten (S425) en scenario met huidige stortstrategie (S421)	34

Figuur 22 – Waterpeil in de Zeeschelde t.h.v. Antwerpen tijdens de stortperiode, december 2012-januari 2013 (oranje) en tijdens de simulatieperiode (september-november 2009)	35
Figuur 23 – Verloop gemeten (oranje) en gesimuleerde (blauw) sedimentconcentratie tijdens een periode met intensieve stortingen, te Oosterweel (boven) en Boei84 (onder). De dikke vloeiende lijn geeft de getijgemiddelde sedimentconcentratie weer.	36
Figuur 24 – 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) in de Beneden-Zeeschelde [IMDC, 2013a].....	38
Figuur 25 - Overzicht stortlocaties “HUIDIG”	39
Figuur 26 - Overzicht stortlocaties “DICHTBIJ”	40
Figuur 27 - Overzicht stortlocaties “AFWAARTS I”	41
Figuur 28 - Overzicht stortlocaties “AFWAARTS II”	42
Figuur 29 – Overzicht stortlocaties en uitvoerpunten langs de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde.....	44
Figuur 30 – Overzicht getij te Oosterweel in geselecteerde periodes met en zonder stortingen (gekleurde balken onderaan figuur geven duur van stortingen per scenario weer)	45
Figuur 31 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor verschillende scenario's op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)	46
Figuur 32 – Overzicht geselecteerde getijperiodes en stortperiodes	49
Figuur 33 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – volledige simulatieperiode	50
Figuur 34 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 50 ^{ste} percentiel relatieve sedimentconcentratie ten opzichte van huidig stortscenario (S421) – volledige simulatieperiode	50
Figuur 35 - Overzicht stortlocaties “HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS”	54
Figuur 36 - Overzicht stortlocaties “HUIDIG + DICHTBIJ AFWAARTS”	55
Figuur 37 - Overzicht stortlocaties “HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS+AFWAARTS”	56
Figuur 38 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S421-S428-S429-S434 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)	60
Figuur 39 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434 – volledige simulatieperiode.....	62
Figuur 40 - Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 50 ^{ste} percentiel relatieve sedimentconcentratie ten opzichte van huidig stortscenario (S421) – volledige simulatieperiode	63
Figuur 41 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S421-S426-S427 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)	66
Figuur 42 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427 – volledige simulatieperiode.....	67
Figuur 43 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S428-S429-S430-S431 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)	69

Figuur 44 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – volledige simulatieperiode.....70

LIJST VAN DE FIGUREN IN BIJLAGE

BIJLAGE A Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – fase 1

Figuur A 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1	B1
Figuur A 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2	B2
Figuur A 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3	B2
Figuur A 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4	B3
Figuur A 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5	B3
Figuur A 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1	B4
Figuur A 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 2	B4
Figuur A 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 3	B5
Figuur A 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4	B5
Figuur A 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5	B6
Figuur A 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1	B7
Figuur A 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2	B7
Figuur A 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3	B8
Figuur A 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4	B8
Figuur A 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5	B9
Figuur A 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1	B10
Figuur A 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2	B10
Figuur A 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3	B11
Figuur A 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4	B11
Figuur A 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 5	B12
Figuur A 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1	B13
Figuur A 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2	B13
Figuur A 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3	B14
Figuur A 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4	B14
Figuur A 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5	B15

BIJLAGE B Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – fase 1

Figuur B 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doortijperiode 1	B16
Figuur B 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doortijperiode 2	B17
Figuur B 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doortijperiode 3	B17
Figuur B 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtijperiode 1	B18

Figuur B 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 2	B18
Figuur B 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 3	B19
Figuur B 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 4	B19
Figuur B 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie –springtperiode 1	B20
Figuur B 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie – springtperiode 2.....	B20

BIJLAGE C Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – fase 2

Figuur C 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1	B21
Figuur C 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2	B22
Figuur C 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3	B22
Figuur C 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4	B23
Figuur C 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5	B23
Figuur C 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1	B24
Figuur C 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde – week 2.....	B24
Figuur C 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde – week 3.....	B25
Figuur C 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4	B25
Figuur C 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5	B26
Figuur C 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1	B26
Figuur C 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2	B27
Figuur C 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3	B27
Figuur C 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4	B28
Figuur C 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5	B28
Figuur C 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1	B29
Figuur C 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2	B29
Figuur C 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3	B30
Figuur C 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4	B30
Figuur C 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 5	B31
Figuur C 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1	B31
Figuur C 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2	B32
Figuur C 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3	B32
Figuur C 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4	B33
Figuur C 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5	B33

BIJLAGE D Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – fase 2

Figuur D 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doodtijperiode 1.....	B34
Figuur D 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doodtijperiode 2.....	B35
Figuur D 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doodtijperiode 3.....	B35
Figuur D 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtijperiode 1.....	B36
Figuur D 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtijperiode 2.....	B36
Figuur D 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtijperiode 3.....	B37
Figuur D 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtijperiode 4.....	B37
Figuur D 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– springtijperiode 1.....	B38
Figuur D 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– springtijperiode 2.....	B38

BIJLAGE E Verloop sedimentconcentratie stortscenario's – gevoeligheidsanalyse §

Figuur E 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1.....	B39
Figuur E 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2.....	B40
Figuur E 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3.....	B40
Figuur E 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4.....	B41
Figuur E 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde – week 5.....	B41
Figuur E 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 1.....	B42
Figuur E 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 2.....	B42
Figuur E 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde – week 3.....	B43
Figuur E 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 4.....	B43
Figuur E 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 5.....	B44
Figuur E 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1.....	B44
Figuur E 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2.....	B45
Figuur E 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3.....	B45
Figuur E 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4.....	B46
Figuur E 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5.....	B46
Figuur E 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1.....	B47
Figuur E 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2.....	B47
Figuur E 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3.....	B48

Figuur E 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4.....	B48
Figuur E 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 5.....	B49
Figuur E 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1.....	B49
Figuur E 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2.....	B50
Figuur E 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3.....	B50
Figuur E 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4.....	B51
Figuur E 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5.....	B51
Figuur E 26 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1.....	B52
Figuur E 27 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2.....	B52
Figuur E 28 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3.....	B53
Figuur E 29 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4.....	B53
Figuur E 30 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5.....	B54
Figuur E 31 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1.....	B54
Figuur E 32 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 2.....	B55
Figuur E 33 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 3.....	B55
Figuur E 34 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4.....	B56
Figuur E 35 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5.....	B56
Figuur E 36 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1.....	B57
Figuur E 37 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2.....	B57
Figuur E 38 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3.....	B58
Figuur E 39 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde – week 4.....	B58
Figuur E 40 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5.....	B59
Figuur E 41 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 1.....	B59
Figuur E 42 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 2.....	B60
Figuur E 43 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 3.....	B60
Figuur E 44 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 4.....	B61
Figuur E 45 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 5.....	B61
Figuur E 46 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 1.....	B62
Figuur E 47 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 2.....	B62
Figuur E 48 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 3.....	B63
Figuur E 49 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 4.....	B63
Figuur E 50 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 5.....	B64

BIJLAGE F Lengteprofielen sedimentconcentratie stortscenario's – gevoeligheidsanalyse §

Figuur F 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doodtijperiode 1.....	B65
Figuur F 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doodtijperiode 2.....	B66
Figuur F 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doodtijperiode 3.....	B66
Figuur F 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtijperiode 1.....	B67
Figuur F 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtijperiode 2.....	B67
Figuur F 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtijperiode 3.....	B68
Figuur F 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtijperiode 4.....	B68
Figuur F 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– springtijperiode 1.....	B69
Figuur F 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– springtijperiode 2.....	B69
Figuur F 10 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doodtijperiode 1.....	B70
Figuur F 11 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doodtijperiode 2.....	B70
Figuur F 12 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doodtijperiode 3.....	B71
Figuur F 13 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtijperiode 1.....	B71
Figuur F 14 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtijperiode 2.....	B72
Figuur F 15 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtijperiode 3.....	B72
Figuur F 16 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtijperiode 4.....	B73
Figuur F 17 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – springtijperiode 1.....	B73
Figuur F 18 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5 ^{de} , 50 ^{ste} en 95 ^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – springtijperiode 2.....	B74

BIJLAGE G Overzichtskaart en –tabel stortscenario's

Figuur G 1- Overzichtskaart modelranden, uitvoerpunten, turbiditeitsmetingen en stortlocaties.....	B75
--	-----

Tabel G 1 - Overzicht scenarioberekeningen stortingen.....	B76
--	-----

1 INLEIDING

1.1 Doelstelling

Om de toegankelijkheid naar de Scheldehavens te kunnen garanderen dienen quasi continu onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd te worden. Om deze werken uit te voeren zijn vergunningen nodig. Voor de Westerschelde werd in 2013 een verlenging van de stortvergunning aangevraagd, dewelke in 2014 werd toegekend. Hierdoor zijn de bagger- en stortactiviteiten in het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium vergund tot februari 2022.

Voor het Vlaamse deel van het estuarium, de Beneden-Zeeschelde, lopen de huidige onderhoudsvergunningen nog tot december 2017. Momenteel wordt zandige specie teruggestort in de Schaar van Ouden Doel (waar ook zandwinning plaatsvindt) en slibrijke specie ter hoogte van de Punt van Melsele (linkeroever) en Plaat van Boomke, Oosterweel en Vlake van Hoboken (rechteroever). Ten behoeve van een nieuwe vergunning (mogelijks een zogeheten omgevingsvergunning) dient er onderzoek te gebeuren om de stortstrategie zo optimaal mogelijk in te vullen, rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen zoals zandwinstrategie, aanleg Oosterweeltunnel en risico op regime shift.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van de scenarioberekeningen inzake het terugstorten van slibrijke specie. Deze zullen worden gebruikt om uiteindelijk tot de optimale invulling te komen van de toekomstige stortstrategie in de Beneden-Zeeschelde. De beschrijving van het gebruikte numerieke model wordt beschreven in deelrapport 1 [Coen *et al.*, 2016a]. De beschrijving van het gebruikte numerieke model en de scenario's voor het terugstorten van zandige specie wordt in een apart rapport beschreven [Deelrapport 2 en 4 – Vos *et al.*, 2016a&b].

1.2 Opzet van het rapport

Voorliggend rapport bespreekt de resultaten van de eerste en tweede fase van de scenarioberekeningen met een 2D-model met sedimenttransportmodellering voor verschillende stortscenario's in de Beneden-Zeeschelde.

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van voorgaande studies waarin bagger- en stortscenario's in de Beneden-Zeeschelde onderzocht werden, of waarin parameters met betrekking tot sedimenttransport worden beschreven.

In hoofdstuk 3 wordt een kort overzicht gegeven van de huidige stand van zaken van baggeren en storten in de Zeeschelde.

Hoofdstuk 4 bespreekt de opbouw van het 2D-model gebruikt voor deze studie, evenals de validatie van het model.

In hoofdstuk 5 worden de verschillende stortscenario's evenals de resultaten van de scenarioberekeningen voor fase 1 weergegeven.

Hoofdstuk 6 geeft een beschrijving van de stortscenario's en bespreekt de resultaten van fase 2 van de scenarioberekeningen

Hoofdstuk 7 besluit met conclusies en aanbevelingen.

In BIJLAGE G worden een overzichtskaart met uitvoerpunten en stortlocaties en een tabel met de scenarioberekeningen en bijhorende stortstrategieën gegeven.

1.3 Overige rapporten

De studie “Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde” werd in het kader van de Agenda voor de Toekomst¹ uitgevoerd door het Waterbouwkundig laboratorium in samenwerking met Antea Group, Instituut voor Natuur en Bosonderzoek en de Universiteit Antwerpen. De resultaten van de studie worden beschreven in 8 deelrapporten:

- DR 1. Opzet en validatie slibmodel
- DR 2. Opzet en validatie zandmodel
- DR 3. Slibscenario's.
- DR 4. Zandscenario's
- DR 5. Wijziging sedimentatie ter hoogte van baggerlocaties en slikken en schorren
- DR 6. Effecten op primaire productie van verschillende scenario's voor het terugstorten van slib
- DR 7. Ecologische effect inschatting van de verschillende zandstortscenario's
- DR 8. Samenvatting

¹ De Agenda voor de Toekomst is een Vlaams-Nederlands onderzoeksprogramma binnen de Werkgroep Onderzoek en Monitoring van de VNSC waarbinnen de prioritaire onderzoeksthema's onderzocht worden, volgend uit de evaluatie van het verdrag Beleid & Beheer (<http://www.vnsc.eu/agenda-voor-de-toekomst/>).

2 VOORGAANDE STUDIES

2.1 Onderhoudswerken Deurganckdok (IMDC, 2004)

In het kader van de voorbereiding van de onderhoudsbaggerwerken in het nieuw aan te leggen Deurganckdok werd door IMDC in 2004 een studie uitgevoerd naar de optimalisering van de onderhoudsbaggerwerken [IMDC, 2004]. Hierbij werd enerzijds gezocht naar een zo optimaal mogelijke invulling van het bagger- en stortproces, en anderzijds werden alle factoren gewogen om tot de meest milieuvriendelijke oplossing te komen. In het kader van deze studie werd door IMDC een 3D hydrodynamisch slibtransportmodel opgebouwd, dat ingezet werd bij de studie naar de mogelijke bagger- en stortscenario's en bij het inschatten van de mogelijke effecten op het milieu van deze bagger- en stortscenario's. Voor wat betreft de stortscenario's werd een aantal scenario's doorgerekend waarbij het sediment op verschillende locaties in het Schelde-estuarium geklept werd, ter hoogte van Plaat van Boomke, Noord Ballast, Boei84, Punt van Melsele en Plaat van de Parel. Enerzijds werd gekeken naar enkelvoudige scenario's, waarbij tijdens één getij geklept werd. Anderzijds werden ook alternatieve scenario's en gecombineerde effecten van het storten van baggerspecie uit het Deurganckdok en de Schelde bestudeerd. De verschillende scenario's werden geëvalueerd op basis van hun effect op de turbiditeit, effectiviteit van het baggerproces en invloed op de sedimentatiesnelheid. De invloed op de turbiditeit werd begroot op basis van de door de stortingen veroorzaakte verhoging van de turbiditeit, onder de vorm van concentratie gesuspendeerd sediment. Bij het inschatten van de effectiviteit van het baggerproces werd gekeken naar de locatie van hersedimentatie van het gebaggerde sediment. De sedimentatiesnelheid is de toename van de dikte (cm) van de sliblaag na 1 tij ter hoogte van de bodemoppervlakte waar er effectief sedimentatie plaats heeft. Het besluit van deze studie is dat de gebruikte stortstrategie, nl. het storten op de Plaat van Boomke en de Punt van Melsele over het algemeen de betere resultaten geeft. De invloed op de sedimentatie blijft beperkt, de effectiviteit van de baggerwerken is goed en de verhoging in de turbiditeit blijft beperkt.

2.2 Studie densiteitsstromingen (IMDC, 2007)

In de maart en september 2006 werden twee monitoringscampagnes uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde in het kader van de studie van de densiteitsstromingen in de Beneden-Zeeschelde, als onderdeel van de LangeTermijn Visie voor het Schelde-estuarium. Deze campagnes werden uitgevoerd door IMDC (2007) i.s.m. WL/Delft Hydraulics, R. Kirby en GEMS. Verschillende laboratoriumtesten werden uitgevoerd om de eigenschappen van cohesief sediment, de consolidatie-eigenschappen en de erodeerbaarheid en kritische schuifspanning voor erosie te bepalen. Uit de resultaten van deze studie werden parameters afgeleid om toe te passen bij de numerieke modellering [IMDC, 2007a en IMDC, 2007b].

2.3 Ontwikkelingszone Saefthinghe (IMDC & Deltares, 2011)

Ter voorbereiding van een project-MER voor de aanleg van een nieuw getijdendok op de linkeroever van de Schelde, werd onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten ten gevolge van de aanleg, het onderhoud en het gebruik van dit dok. Door IMDC werd, in samenwerking met Deltares, de studie 'Ontwikkelingszone Saefthinge – Hydraulisch, sedimentologisch en morfologisch onderzoek' uitgevoerd, in opdracht van het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen,

in 2011 [IMDC, 2011]. De analyse van de effecten van aanleg en onderhoud van het Deurganckdok vormt een belangrijke basis voor deze studie. Ten behoeve van de toekomstige project-MER dient deze voorstudie de gegevens aan te leveren met betrekking tot de (abiotische-) aspecten die noodzakelijk zijn voor het uitvoeren van de ecologische beoordeling. De numerieke modellering van de verschillende scenario's in deze studie is gebaseerd op het Zeescheldemodel zoals dat voor de Deurganckdokstudie werd ontwikkeld. Er wordt gebruik gemaakt van de Slib3D-module binnen Delft3D waarin nieuwe functionaliteiten (oa. nieuwe parametrisatie van bodemschuifspanning, erosie en valsnelheid) zijn geïmplementeerd om de specifieke hydro-sedimentologische processen die optreden in het Deurganckdok en in de Zeeschelde goed te kunnen beschrijven.

2.4 LTV O&M slibmodel (Deltares & WL, 2006-2008)

In opdracht van RWS-RIKZ en de Vlaamse Overheid werd door WL Delft Hydraulics en het Waterbouwkundig Laboratorium een hydrodynamisch en slibtransportmodel van het Schelde-estuarium ontwikkeld, in het kader van LTV (Lange Termijn Visie), luik toegankelijkheid [van Kessel *et al.*, 2006]. Het doel van de studie omvat 2 luiken: enerzijds de behoefte aan kennis van de huidige slibdynamiek en –balans en de bepaling van de autonome ontwikkeling ervan, en anderzijds de vraag naar het effect van diverse ingrepen op de slibdynamiek en –balans in verhouding tot de autonome ontwikkeling. Het doel van het model is het gebruik als ondersteuning bij mogelijke beheersvragen omtrent bevaarbaarheid en (Europese) milieuregelgeving. Het studiegebied omvat het estuarium van de Zeechelde en de Westerschelde, en de monding van de Westerschelde. De focus van de studie ligt op de fysische processen. Het model beschrijft het transport, erosie en sedimentatie van cohesief sediment. Bodemtransport wordt niet in beschouwing genomen. In eerste instantie werd een 3D-hydrodynamisch model opgebouwd en gekalibreerd. Dit model werd opgebouwd door het Waterbouwkundig Laboratorium, gebaseerd op reeds bestaande 2D-modellen. Het hydrodynamisch model werd opgebouwd in SIMONA software van RIKZ. Met dit hydrodynamisch model als basis werd een slibtransportmodel opgezet en gekalibreerd.

In de tweede fase van de studie, in 2007, werden het hydrodynamisch model en het slibtransportmodel verder verbeterd [van Kessel *et al.*, 2007]. Hierna werd het model toegepast voor een eerste beheersvraag, met name voor modellering van de storting van fijn sediment, gebaggerd in Sloehaven, te Vlissingen.

In 2008 werden met het opgebouwde hydrodynamisch en slibmodel jaarsimulaties uitgevoerd en werd gestart met een detailstudie [van Kessel *et al.*, 2008]. Deze omvatte de ontwikkeling van een gedetailleerd model van Zeebrugge, nodig om de lokale bagger- en stortstrategieën te optimaliseren. Verder werden ook de impact van de tweede Scheldeverdieping op sedimentconcentratie, sedimentfluxen en bezinking in de haven in beschouwing genomen. Op basis van remote sensing gegevens werd informatie afgeleid over het zwevend stof gehalte (SPM) in de bovenste laag van de waterkolom, en over het slibgehalte in de bovenste laag van de bodem op platen. Uit de modelvalidatie blijkt dat de slibdynamiek redelijk goed door het model wordt gereproduceerd. De sterkte van de seizoensdynamiek en van de estuariene circulatie worden echter nog onvoldoende door het model gereproduceerd.

2.5 Instandhouding vaarpassen (IMDC *et al.*, 2013)

In het kader van de studie 'Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie', in het kader van LTV-veiligheid en Toegankelijk, werd door IMDC (2013a) i.s.m. Deltares, Svašek Hydraulics en ARCADIS Nederland, een analyse uitgevoerd van de stortvakken in de Beneden-Zeeschelde. Het betreft een analyse van de huidige stortlocaties in de Zeeschelde die in gebruik zijn ten behoeve van onderhoudsbaggerwerken. Er wordt gezocht naar een optimale stortstrategie voor slib in de Zeeschelde. Hierbij wordt getracht antwoord te geven op de volgende

specifieke beheersvraag voor de Beneden-Zeeschelde: *Hoe zouden de slibconcentraties rondom de Antwerpse haven veranderen als de slibrijke baggerspecie langdurig meer zeewaarts zou worden gestort?*

Uit een analyse van de bestaande bodem- en baggergegevens blijkt dat de grootste stortlocaties voor slib momenteel gevormd worden door Oosterweel en Punt van Melsele. De grootste onderhoudslocatie wordt gevormd door het Deurganckdok. De stortvakken Oosterweel en Punt van Melsele vertonen, ondanks de stortingen, in overeenstemming met de algemene trend in de Beneden-Zeeschelde een verdieping. Er werd een numerieke modellering uitgevoerd van de verspreiding van slib van de huidige en mogelijk alternatieve locaties. Het gaat hierbij om slib dat vrijkomt door onderhoudsbaggerwerkzaamheden. De analyse van de huidige stortlocaties geeft aan dat de huidige situatie van afzettingen en onderhoudswerken netto een concentratieverhogend effect heeft op de Beneden-Zeeschelde. De stortlocaties Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel hebben een gelijkaardig gedrag qua sedimentverspreiding. De analyse van de alternatieve stortlocaties geeft aan dat de stortlocaties opwaarts een grotere impact hebben 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. Het afwaarts storten van specie op de grens tussen Zeeschelde en Westerschelde leidt tot een significantie reductie in slibconcentratie en onderhoud in de Beneden-Zeeschelde. Ter hoogte van de huidige stortlocaties worden de totale slibconcentraties gehalveerd. Ook het onderhoudsvolume over het gehele Schelde-estuarium neemt af.

3 BAGGEREN EN STORTEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

In de Beneden-Zeeschelde wordt zowel zanderige als slibrijke specie gebaggerd om de toegankelijkheid tot de haven van Antwerpen te kunnen garanderen. Deze onderhoudsspecie wordt zowel in de vaargeul (“dremfels”), in het Deurganckdok als in de verschillende toegangsheulen tot de sluizen gebaggerd. Het gebaggerde sediment wordt teruggestort in de Beneden-Zeeschelde. Ook achter de sluizen vinden onderhoudsbaggerwerken plaats, doch deze specie wordt vandaag de dag nauwelijks terug in de Schelde gebracht.

3.1 Bagger- en storttechnieken

De onderhoudsbaggerwerken in de Beneden-Zeeschelde gebeuren met behulp van enerzijds sleehopperzuigers (vaargeul, toegangsheulen, centrale deel Deurganckdok) en anderzijds een ploeg of sweepbeam (nabij kaaimuren, toegangsheulen) (zie Figuur 1).

Een sleehopperzuiger (Trailing Suction Hopper Dredger, TSHD) is een zelfvarend baggerschip dat door middel van pompen het sediment van de bodem opzuigt en in een eigen ruim (“beun”) opvangt. Het opzuigen gebeurt door één of twee zuigbuizen die zich op de bodem bevinden en waar op het uiteinde een sleepkop het sediment van de bodem loswoelt. Bij zanderige specie zal het sediment vrij snel bezinken in het beun en kan het overtollige water overvloeien om een maximale vulling te bekomen. Bij slibrijke specie zal het sediment quasi niet bezinken en zal er geen overvloed plaatsvinden. Wanneer het beun vol zit, zal het schip zelf naar de stortlocatie varen, waar het het sediment kan lossen. In het Schelde-estuarium gebeurt dit quasi uitsluitend door middel van het storten via de kleppen, i.e. deuren onderaan het schip die geopend worden zodat het sediment kan bezinken op de bodem ter hoogte van de aangewezen stortlocatie. Naast deze techniek kan men ook het sediment lossen via leidingen (verbonden met sproeiponton of locatie aan de wal) of rainbowen. Deze technieken worden echter zo goed als niet toegepast in de Beneden-Zeeschelde.

Een ploeg (sweepbeam) maakt gebruik van een balk die over de bodem wordt gesleept om het sediment te verplaatsen. De balk kan uitgerust zijn met jets die water en/of lucht kunnen injecteren in de bodem om het sediment te fluidiseren. Deze techniek verplaatst het sediment over korte afstanden en wordt met name ingezet nabij kaaimuren waar het onmogelijk is om met een sleehopperzuiger te werken omwille van het risico op beschadiging van de kaaimuren en/of bodembescherming.



Figuur 1 – Sleehopperzuiger (links) en sweepbeam (rechts)

Bron: www.scheepvaartwest.be

3.2 Overzicht locaties

Figuur 2 geeft een overzicht van de belangrijkste bagger- en stortlocaties in de Beneden-Zeeschelde. De belangrijkste baggerlocaties zijn enerzijds de drempels in de vaargeul (cfr. drempel van Zandvliet, drempel van Frederik) en anderzijds de stroomluwe dokken en toegangsgeulen tot de sluisen (Deurganckdok, toegangsgeulen tot Zandvliet- en Berendrechtsluis en Kallosluis). De stortlocaties kunnen onderverdeeld worden volgens type sediment dat er teruggestort wordt: in de Schaar van Ouden Doel wordt zanderige specie teruggestort, terwijl ter hoogte van Punt van Melsele en Oosterweel slibrijke specie wordt teruggestort. Daarnaast zijn er stortzones aanwezig ter hoogte van de diepe delen in de vaargeul ter hoogte van Kallosluis en Boudewijn en Van Cauwelaertsluis (Ketelputten).

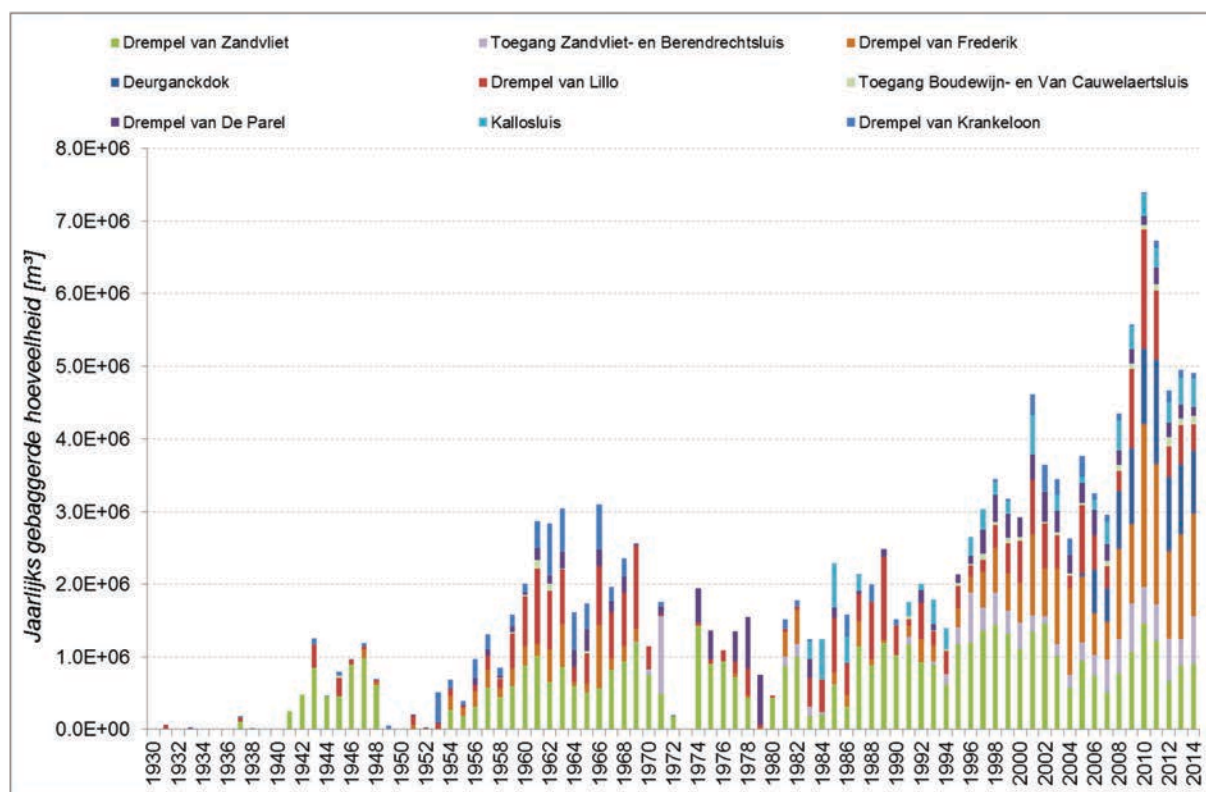


Figuur 2 – Overzicht bagger- (oranje polygonen) en stortlocaties (groene polygonen)

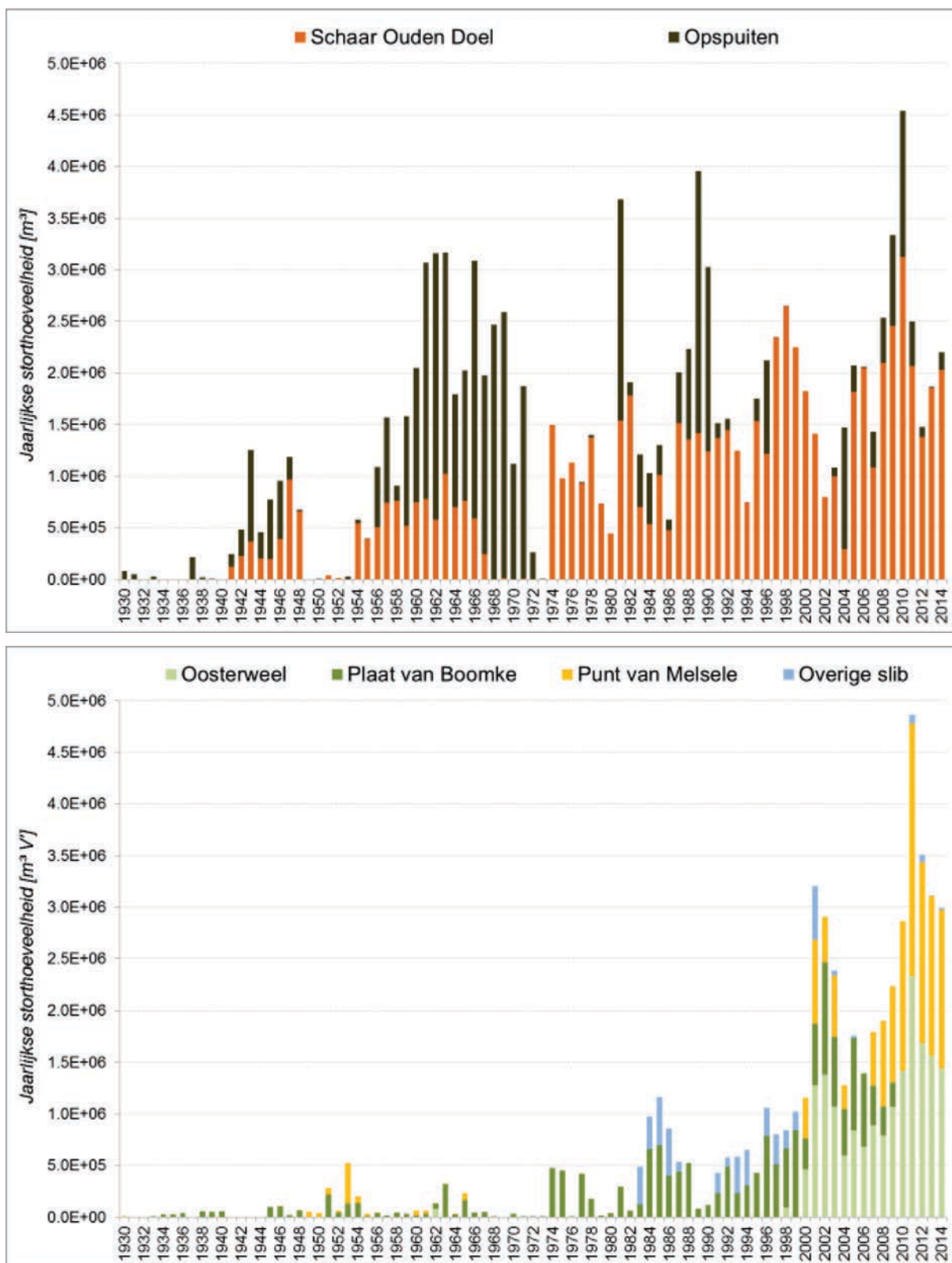
3.3 Overzicht bagger- en storthoeveelheden

De bagger- en storthoeveelheden worden sinds het begin van de werken geregistreerd. Figuur 3 geeft de jaarlijkse baggerhoeveelheden per baggerlocatie weer, terwijl Figuur 4 de jaarlijkse storthoeveelheden opgesplitst in zand en slib weergeeft (bron: "baggerstatistiek"). Voor zand worden de werkelijke volumes weergegeven, en voor slib worden de gereduceerde volumes V' getoond. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de commerciële sedimentonttrekking die plaatsvindt in de Schaar van Ouden Doel hier niet in is opgenomen.

Voor 1950 bleef de baggerinspanning beperkt (maximaal 1 Mm^3 beunvolume zand per jaar). Na de eerste verruiming in de jaren 1960 nam het onderhoudsvolume op Vlaamse grondgebied toe tot 1 à $1,5 \text{ Mm}^3$ beun-volume zand per jaar en $0,5$ à $1 \text{ Mm}^3 V'$ slib per jaar. Na de tweede verruiming eind jaren 1990 steeg het onderhoudsvolume verder met een verhoging in 2005 na de opening van Deurganckdok tot $1,5$ à $2,5 \text{ Mm}^3$ beunvolume zand per jaar en 2 à $3 \text{ Mm}^3 V'$ slib per jaar. In 2010-2011 werd een tijdelijk maximum bereikt dat toe te schrijven is aan de 3^e verruiming van de vaargeul en het op diepte brengen van Deurganckdok (baggerdiepte TAW $-17,0 \text{ m}$ (aanlegdiepte dok), daar waar dit tot 2010 eerder TAW $-15,5 \text{ m}$ was).



Figuur 3 – Overzicht jaarlijkse baggerhoeveelheden per baggerlocatie



Figuur 4 – Overzicht jaarlijkse storthoeveelheden per stortlocatie voor zand (boven) en slib (onder)

3.4 Analyse bagger- en stortgegevens 2012-2013

Om optimaal invulling te kunnen geven aan de stortscenario's, werden de bagger- en stortgegevens van de Beneden-Zeeschelde geanalyseerd op basis van de aangeleverde "baggerstatistiek" [Plancke, 2014]. De analyse vond plaats op de gegevens van 2012 en 2013. In deze periode was de verruiming reeds volledig uitgevoerd, werd het Deurganckdok op de volledige diepte onderhouden en was de Current Deflecting Wall operationeel.

3.4.1 Overzicht gebaggerde specie

Jaarlijks dienen er bemonsteringen te gebeuren ter hoogte van de bagger- en stortzones om na te gaan of de kwaliteit van de specie voldoet aan de normen. In 2014 werden een aantal stalen extra op granulometrie geanalyseerd, om also een beeld te krijgen van de sedimentkarakteristieken ter hoogte van de baggerzones. Dit is weergegeven in onderstaande Tabel 1. Hieruit blijkt dat op de drempels de granulometrie van het gebaggerde materiaal sterk kan verschillen op dezelfde baggerlocatie. Afhankelijk van de exacte locatie op de drempel, cfr. linkeroever vs. rechteroever, gaande van slibrijk tot fijn zanderige baggerspecie. Het slibrijk sediment heeft een d50 van circa 30-40 μm , terwijl het fijn zandige sediment een d50 heeft van circa 140-190 μm .

Tabel 1 – Overzicht sedimentkarakteristieken ter hoogte van baggerzones (staalname 2014)

	d10	d35	d50	d65	d90
Drempel van Zandvliet (RO)	12	105	136	169	255
Drempel van Zandvliet (LO)	3	24	57	95	183
Drempel van Zandvliet (LO)	2	12	29	66	186
Drempel van Frederik (LO)	74	153	190	232	350
Drempel van Frederik (RO)	3	19	45	77	183
Drempel van Lillo (LO)	27	141	170	203	291
Drempel van Lillo (RO)	4	26	44	65	137
Drempel van de Krankeloon (RO)	2	11	28	55	148
Drempel van de Krankeloon (LO)	51	114	140	171	265

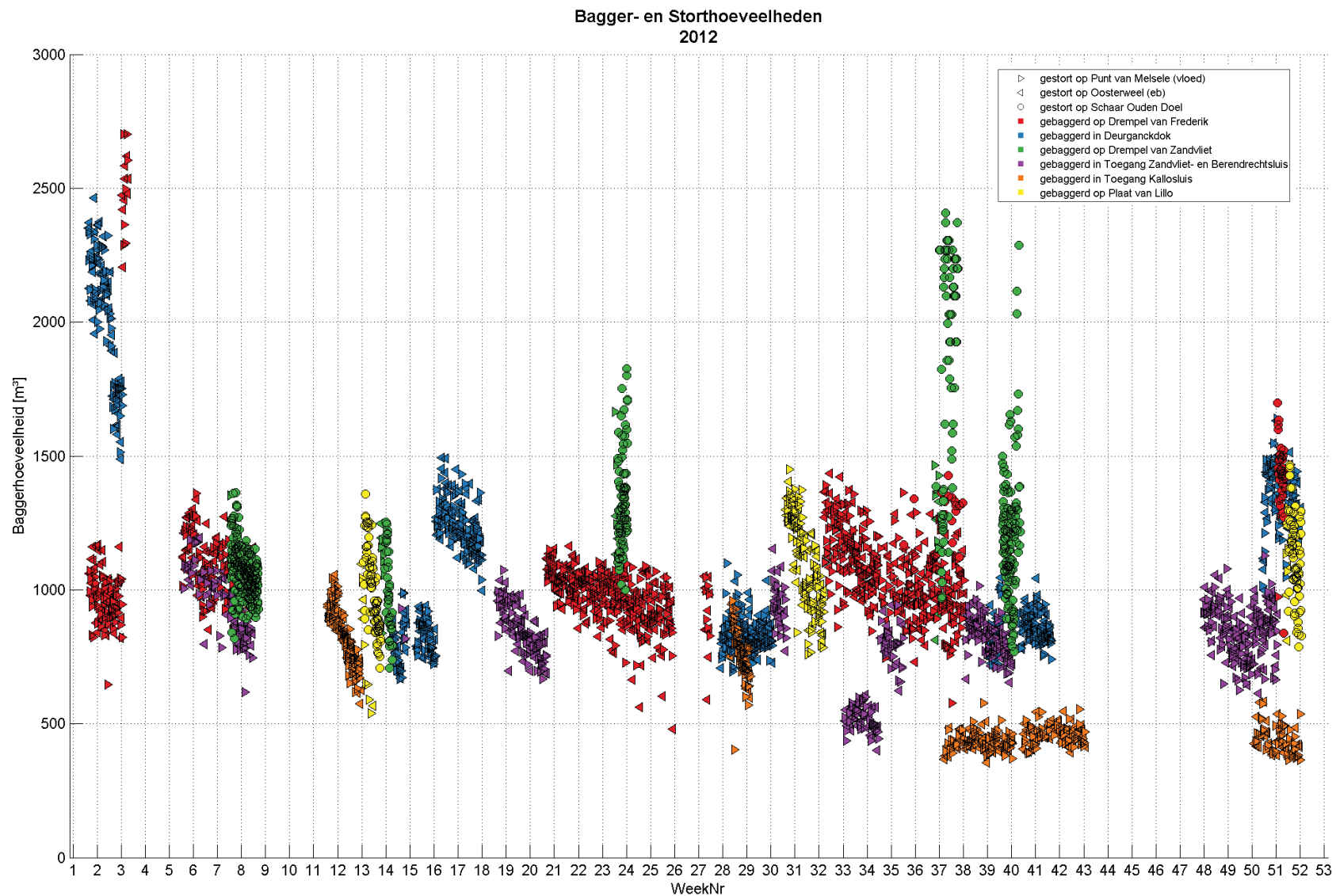
3.4.2 Bagger- en stortgegevens

In de "baggerstatistiek" worden allerhande gegevens geregistreerd van de bagger- en stortwerkzaamheden. Figuur 6 geeft een overzicht van de individuele vaarten per baggerschip waarbij zowel de bagger- als de stortzone wordt gepresenteerd. Voor de periode 2012-2013 werd er gemiddeld $4,08 \cdot 10^6$ TDS (ton droge stof) per jaar gebaggerd. Op basis van deze gegevens werden de nodige parameters afgeleid om de stortscenario's in het numerieke model te kunnen implementeren.

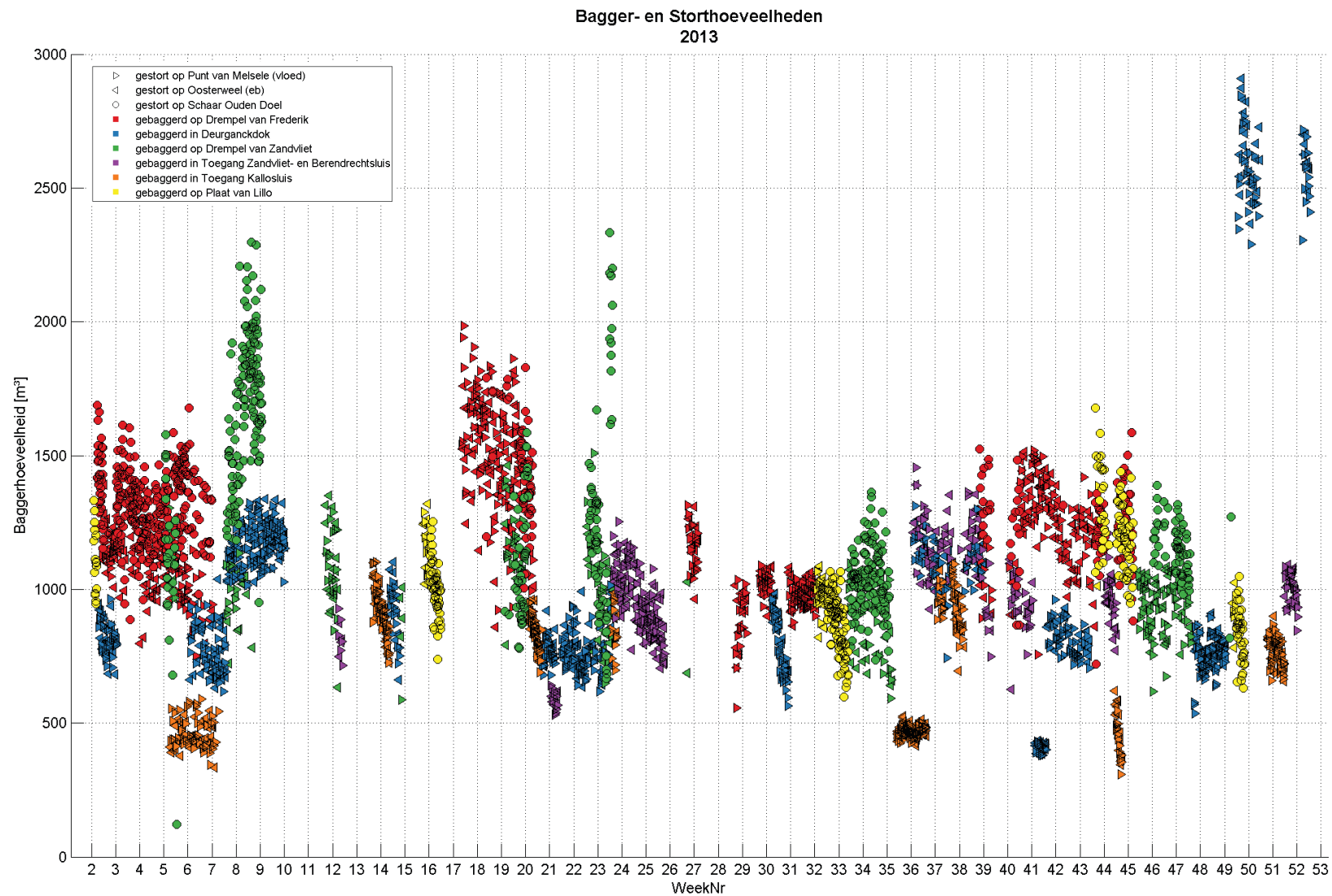
Daar waar in realiteit de nodige variatie aanwezig is in de storthoeveelheden (~ scheepsgrootte), de duurtijden van baggeren, storten en varen en de duur van een campagne op een drempel, werden deze waarden in het model gelijk aan een gemiddelde waarde gekozen. In eerste instantie werd de totale jaarlijkse storthoeveelheid gelijk gehouden voor de verschillende scenario's, dit ten gevolge van het niet hanteren van de numerieke bagger- en stortroutine in Delft3D, maar door het opleggen van de stortingen als vooraf gedefinieerde lozingen. Deze modelaanpak heeft als implicatie dat er modelmatig sediment aan het systeem wordt toegevoegd. Er wordt echter aangenomen dat de gekozen modelduur voldoende kort is opdat dit geen significant effect op de totale sediment balans heeft.

Alzo is in het model de gestorte hoeveelheid per baggercyclus steeds gelijk aan 1212 TDS² (ton droge stof), en wordt deze in een tijdsperiode van 6 minuten gestort (= 3,37 TDS/s). Het interval tussen 2 stortingen is afhankelijk van de vaartijd tussen de baggerlocatie en de stortlocatie, verschillend per scenario. Dit bepaalt eveneens de duur van de stortcampagne. Voor elk scenario wordt aangegeven welke periode er gestort wordt, binnen de simulatieperiode van 5 weken. Er wordt telkens slechts één stortperiode gesimuleerd.

² In het kader van het onderzoek voor Saeftinghedok, hanteert IMDC een hoeveelheid van 1133 TDS per vaart in de referentiesituatie (overeenkomstig met een beuninhoud van 3970 m).



Figuur 5 - Overzicht baggervolumes per vaart en per drempel (kleur) en stortzone (symbool) voor 2012

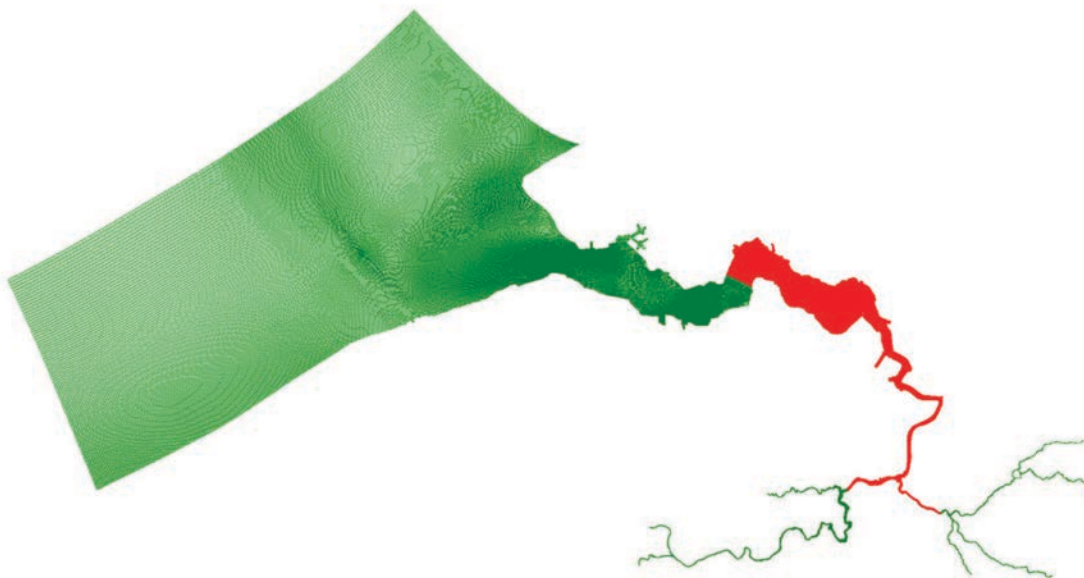


Figuur 6 – Overzicht baggervolumes per vaart en per drempel (kleur) en stortzone (symbool) voor 2013

4 MODELOPZET

4.1 NEVLA-model

Het numeriek 2D-model gebruikt in deze studie is geknipt uit het zogenaamde NEVLA-model. Het NEVLA-model is een 2D-hydrodynamisch model ontwikkeld binnen het SIMONA softwarepakket [Verheyen *et al.*, 2012 en Maximova *et al.*, 2013]. Dit model omvat het volledige Schelde-estuarium: een deel van de Noordzee, de Vlake van de Raan, de Westerschelde, Zeeschelde en getijgebonden zijrivieren in Vlaanderen. De afwaartse rand van het NEVLA-model is gelegen in de Noordzee. De opwaartse randen zijn gelegen aan de grenzen van het tijgebied (zie Figuur 7).



Figuur 7 – Modelgrid van het Delft3D NEVLA-model (groen) en het studiemodel (rood)

4.2 Basismodel

Voor deze studie is ervoor geopteerd een detailmodel op te zetten dat het studiegebied (Beneden-Zeeschelde) volledig omvat, inclusief een uitbreiding naar op- en afwaarts. Dit model heeft een afwaartse rand ter hoogte van de debietraai 6, gelegen net afwaarts van Ossenisse. De opwaartse randen zijn gelegen ter hoogte van Tielrode op de Zeeschelde en ter hoogte van Terhagen op de Rupel (Figuur 7 en Figuur 8). Deze randen zijn gelegen op circa 20 km van de uiterste stortlocaties. Hierdoor is het modelgebied ruimer dan bij de modellen gebruikt in voorgaande studies (zie hoofdstuk 2).

4.2.1 Modelgrid

Het modelgrid van het gebruikte detailmodel is 3 x 3 keer fijner dan dit van het oorspronkelijke NEVLA-model. Deze verfijning werd uitgevoerd om ter hoogte van Deurganckdok, toegangsheuvels sluisen en de zone nabij Ketelputten een voldoende fijne resolutie te bekomen [Maximova *et al.*, 2011 en 2013].

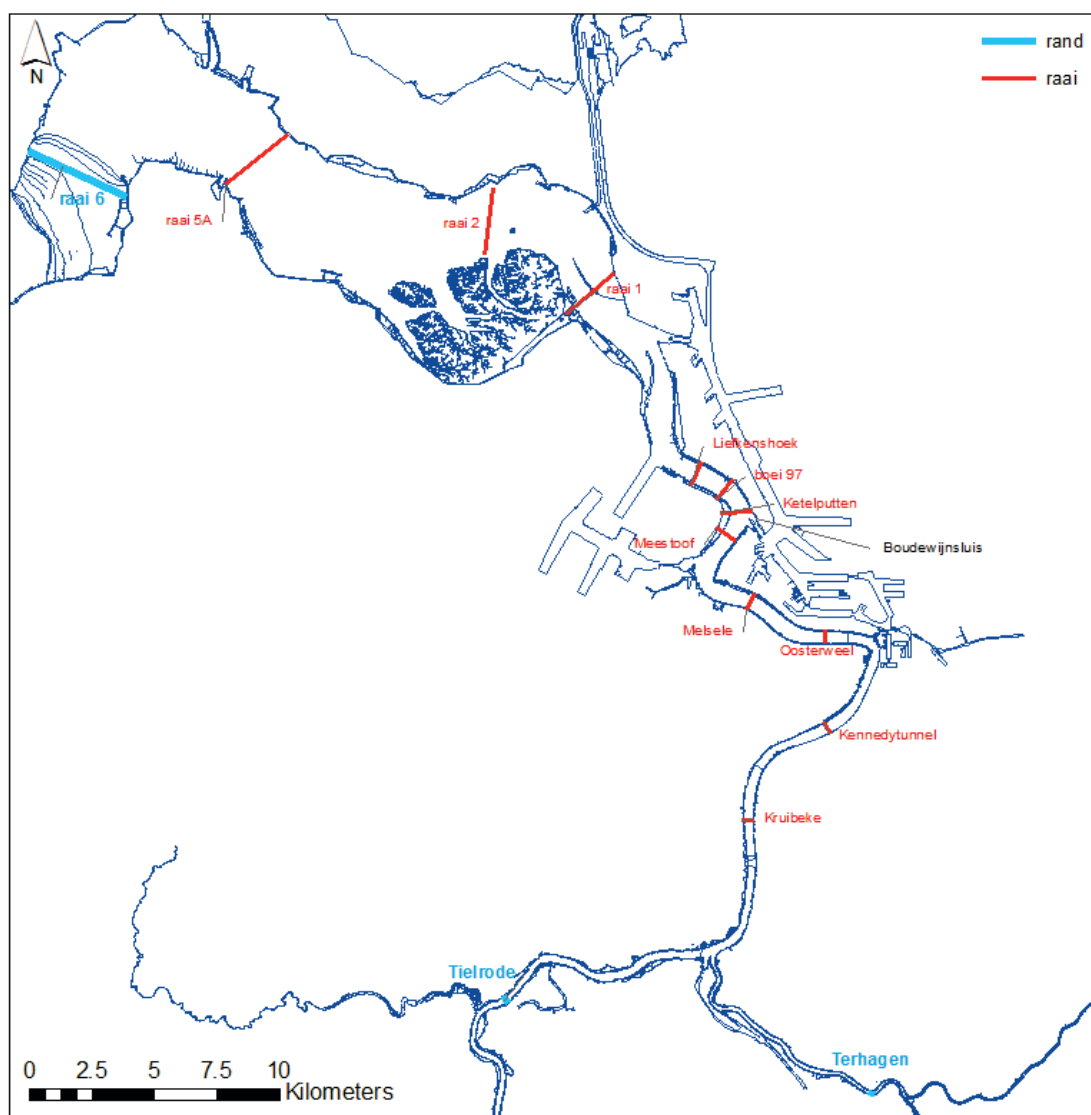
De grootte van een gridcel ter hoogte van Schaar van Ouden Doel (lengte x breedte) bedraagt circa 26 m x 18 m. Ter hoogte van het Deurganckdok bedraagt een grootte van een gridcel circa 16 m x 18 m, en ter hoogte van Kruibeke circa 30 m x 14 m.

4.2.2 Topo-bathymetrie

De topo-bathymetrie van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde is gebaseerd op metingen van 2011 aangeleverd door respectievelijk Rijkswaterstaat en Vlaamse Hydrografie. De bathymetrie van de intertidale gebieden is gebaseerd op LIDAR-metingen van 2011. Bij overlap tussen LIDAR en bathymetrische gegevens, is voorkeur gegeven aan bathymetrie. TAW is gebruikt als verticaal referentievlak. De bathymetrische data zijn omgezet van een 1 m bij 1 m grid naar een 5 m bij 5 m grid.

De bathymetrie van het Deurganckdok is bepaald op basis van de waarde van de oorspronkelijke diepte van het dok: TAW -19 m in het midden van het dok en TAW -17 m aan de kaaien.

Aan de afwaartse rand van het model werd een waterstandsrandvoorwaarde opgelegd op een doorsnede met meerdere geulen. Het model vertoonde numerieke instabiliteiten ter hoogte van deze afwaartse rand. De bathymetrie aan de afwaartse rand van het model werd kunstmatig verdiept om de stabiliteit van het model te verbeteren (*WL/Delft Hydraulics, 2007*). Ook een reductie van de tijdstap werd toegepast om de instabiliteit te verhelpen (zie §4.2.4).



Figuur 8 – Situering studiegebied, met afwaartse rand t.h.v. Raai 6 en opwaartse randen te Tielrode en Terhagen

4.2.3 Randvoorwaarden

De opgelegde tijdreeksen aan de op- en afwaartse randen van het model zijn afkomstig uit een simulatie met het NEVLA-model. De simulatieperiode van dit model loopt van 24/09/2009 tot 24/10/2009, en kan beschouwd worden als een periode van twee representatieve springtij-doodtij-cycli.

Aan de afwaartse rand van het model wordt een tijdreeks van waterstanden opgelegd, afkomstig uit het NEVLA-model. Aan de opwaartse randen te Tielrode en Terhagen wordt een tijdreeks van 10-minuutelijkse debieten opgelegd, afkomstig uit het NEVLA-model.

4.2.4 Tijdstap

Voor de gevoeligheidsanalyse werd gebruik gemaakt van een tijdstap van 0,125 min (~7,5 s). Omdat tijdens de gevoeligheidsanalyse bleek dat onder bepaalde parameterinstellingen lokaal numerieke instabiliteiten optraden, is er beslist om voor de eigenlijke scenarioberekeningen de tijdstap te verkleinen 0,05 min (3 sec). Bij deze tijdstip is het Courantgetal over het volledige modelgrid kleiner dan 15, en zelfs grotendeels kleiner dan 10.

4.2.5 Hydrodynamische modelparameters

Een overzicht van de toegepaste modelparameters wordt gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Overzicht modelparameters

Parameter	Waarde (gevoeligheidsanalyse / scenarioberekeningen)
Time step	7,5 s / 3 s
Secondary flow	On
Initial condition water level	TAW +1,5 m
Horizontal eddy viscosity	1 m ² /s
HLES	Off
Aantal (vertical) lagen	1 (2D model)
Version Delft3D Flow	5.00.00.1234 (Linux)
Salt transport	Off
Wind	Off
Roughness formula	Manning
Bed roughness value	0.025

4.2.6 Simulatieperiode

Voor de gevoeligheidsanalyse is een simulatieperiode gebruikt van 8 dagen, van 24/09/2009 tot 01/10/2009.

Voor de scenarioberekeningen is de tijdreeks verlengd tot meer dan 5 weken, door de eerste getijcyclus in de simulatieperiode nogmaals te herhalen aan het einde van de periode. Zodoende kan een periode gesimuleerd worden van 24/09/2009 tot 01/11/2009.

4.3 Sedimenttransportmodellering

De berekeningen van het sedimenttransport zijn uitgevoerd met het Delft3D 'slibonline' model, waarbij het sedimenttransport simultaan met de hydrodynamica berekend wordt. Het sedimenttransportmodel heeft geen terugkoppeling op het hydrodynamisch model. Sedimentconcentraties en veranderingen van de bodem hebben geen invloed op de hydrodynamica.

4.3.1 Sedimentfracties

Aangezien de Beneden-Zeeschelde wordt gekarakteriseerd door sedimenttransport van zowel slib als zand, werd oorspronkelijk de keuze gemaakt om de scenario's te onderzoeken met verschillende modellen. Binnen deze modellen zou enerzijds gerekend worden met louter de cohesieve fractie ("slib"), terwijl anderzijds een model met louter de niet-cohesieve fractie ("zand") zou worden opgezet.

Echter, vanuit een aantal deskundigen (o.a. Commissie Monitoring Westerschelde) werd het belang aangehaald van beide fracties en de onderlinge interactie. Er werd gesuggereerd om dit aspect mee te nemen in het onderzoek. Daartoe werd binnen het gevoeligheidsonderzoek (§4.5) een model opgezet waarbij beide fracties gezamenlijk gemodelleerd werden. Na een eerste validatieronde bleek het effect van het terugstorten van slibrijk sediment onderschat te worden door het model. Om tot betere resultaten te komen, werd in een tweede stap een extra slibfractie toegevoegd, met een lagere valsnelheid.

In het model dienen een aantal sedimentkarakteristieken opgelegd te worden. Aangezien de keuze van deze waarden onderdeel uitmaken van de kalibratie/validatie van het model, werden slechts een aantal parameters constant gehouden. Voor de zandfractie werd een droge dichtheid van 1600 kg/m^3 genomen (specifieke dichtheid = 2650 kg/m^3) en werd een d_{50} van $130 \mu\text{m}$ gekozen. Deze keuze is gebaseerd op korrelgroottes van getransporteerde sedimenten tijdens een reeks 13u-metingen in de Zeeschelde [Plancke et al., 2014]. De initiële concentratie van het zand werd ruimtelijk constant gehouden en gelijk aan $0,03 \text{ kg/m}^3$.

Voor de slibfracties werd een droge dichtheid van 550 kg/m^3 genomen (specifieke dichtheid = 2650 kg/m^3). De initiële concentratie van het slib werd ruimtelijk constant gehouden en bedraagt $0,15 \text{ kg/m}^3$. Deze waarde is gebaseerd op gemiddelde sedimentconcentraties op basis van langjarige metingen [Vandenbruwaene et al., 2015]. De overige parameters, cfr. kritische schuifspanning voor erosie en sedimentatie (τ_{cr}^{ero} , τ_{cr}^{sed}), valsnelheid en erosieparameter, werden onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse en op basis van de uiteindelijke kalibratie vastgelegd voor de scenarioberekeningen.

4.3.2 Randvoorwaarden

Aan de op- en afwaartse randen van het model wordt een constante sedimentconcentratie opgelegd, afgeleid op basis van metingen [Vandenbruwaene et al., 2015].

Aan de afwaartse rand wordt een waarde van $0,03 \text{ kg/m}^3$ opgelegd, voor zowel zand als slib. Aan de opwaartse rand te Terhagen wordt een waarde van $0,03 \text{ kg/m}^3$ opgelegd voor zand, en $0,1 \text{ kg/m}^3$ voor slib. Aan de opwaartse rand te Tielrode wordt een waarde van $0,03 \text{ kg/m}^3$ opgelegd voor zand, en $0,3 \text{ kg/m}^3$ voor slib. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de sedimentconcentratie ter hoogte van Driegoten sterke seizoenale variaties vertoont, waarbij de sedimentconcentratie in de winter (hoge bovenafvoer) aanzienlijk lager is dan in de zomer (lage bovenafvoer).

4.3.3 Dikte bodemsedimentlaag

De dikte van de bodemsedimentlaag ("initial sediment layer thickness at bed") werd ruimtelijk variërend opgelegd. De waarden voor de zand- en slibfractie werden berekend op basis van zowel de

lithologische kaart (aandeel zand en slib) en de dikte van de erodeerbare lagen, die bepaald werd op basis van het verschil tussen de bathymetrie en de diepte van de harde laag.

De diepte van de harde lagen van de Beneden-Zeeschelde werden reeds eerder bepaald in het kader van de studie 'Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie', in het kader van LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid, door IMDC (2013b) i.s.m. Deltares, Svašek Hydraulics en ARCADIS Nederland. De diepte van de harde laag in de Beneden-Zeeschelde is bepaald op basis van de basis-Quartaairkaart, verschillende bathymetrieën van de Zeeschelde (tot 1950) en de lithologische kaart van de bodem van 2009.

De diepte van de harde lagen van de Westerschelde werd eveneens bepaald in het kader van LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid, door Svašek Hydraulics (2012). Hierbij werd vertrokken van een kartering van TNO uit 2003. Vervolgens werd de diepte van de historische bodems vanaf 1960 tot en met 2011 bekeken. De niet-erodeerbare laag werd verlaagd op die punten waar de bodemligging in het verleden lager is geweest.

Deze laatste actie werd niet uitgevoerd op de diepte van de harde laag voor de Beneden-Zeeschelde, wat ertoe leidde dat bij de berekening van het verschil tussen de bathymetrie en de diepte van de harde laag voor een aanzienlijk aantal punten de harde laag hoger lag dan de bathymetrie (wat leidde tot een negatieve dikte). In deze punten werd de dikte van de erodeerbare laag gelijk gesteld aan 0.

De dikte van de erodeerbare laag werd vervolgens gecombineerd met informatie uit de lithologische kaart, die opgemaakt werd door IMDC in samenwerking met de Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde van de Vrije Universiteit Brussel en waar door het Waterbouwkundig Laboratorium korrelanalyses bij werden uitgevoerd [IMDC & VUB, 2010, Vos *et al.*, 2011]. Bij deze modellering werden bepaalde sedimentfracties opgenomen. Voor elk van de lithologische klassen (1 t.e.m. 6) uit de lithologische kaart werd een gemiddelde percentage bepaald van elk van de opgenomen sedimentfracties.

Bij de opzet van het slibmodel werd er gewerkt met een slibfractie (cohesief) en een zandfractie (niet-cohesief) (zie Tabel 3).

Tabel 3 – Percentage cohesief en niet-cohesief sediment per lithologische klasse

Klasse	Naam	Percentage cohesief	Percentage niet - cohesief
1	Slib	71,4	28,6
2	Zandhoudend Slib	60,1	39,9
3	Slibhoudend Zand	28,1	71,9
4	Zand	7,5	92,5
5	Harde Bodem	7,5	92,5
6	Onbekend	38,5	61,5

De klasse 'harde bodem' (klasse 5) uit de lithologische kaart kwam niet overal overeen met de harde bodem die afgeleid kan worden uit de 'diepte harde bodem'. Er werd van uitgegaan dat er enkel harde bodem aanwezig is daar waar de dikte van de erodeerbare laag 0 is. In de overige punten, waar er dus wel erodeerbaar materiaal is, werd de klasse 5 behandeld als een zandlaag, en werd aangenomen dat binnen de lithologische kaart geen goed onderscheid gemaakt werd tussen reflectie op een harde laag en een sterk gecompacteerd sedimentlaag. De percentages voor klasse 5 werden daarom gelijkgesteld aan die van klasse 4.

Vervolgens werd de dikte van de erodeerbare laag gecombineerd met de lithologische kaart: de samenstelling van erodeerbare laag bestaat uit twee fracties verdeeld op basis van de percentages

van de voorkomende lithologische klassen (bv. bij lithologische klasse 4 bestaat 7,5 % van de erodeerbare dikte uit slib, de overige 92,5 % is zand).

Binnen Delft3D mag de dikte van de sliblaag maximaal 10 m bedragen. Het hoogste percentage slib komt voor in klasse 1 met circa 71% slib en 29% zand. Om deze verhouding te behouden werd de dikte van het sedimentpakket, bestaande uit slib en zand, herschaald naar 14 m. Zodoende is de maximale diepte van de sliblaag gelijk aan 71% van 14 m, ofte 10 m. Het overige deel van het sedimentpakket bestaat uit zand.

Voor de Westerschelde, waar er geen lithologische kaart aanwezig is, werden alle gebieden onder laagwater toegekend aan klasse 4, en de resterende aan klasse 2. De maximale dikte van de cohesieve sliblaag in de Westerschelde werd echter vastgelegd op 0,10 m. De Boven-Zeeschelde en de Rupel werden toegekend aan klasse 3.

Figuur 9 en Figuur 10 geven respectievelijk de dikte weer van de niet-cohesieve zandlaag en van de cohesieve sliblaag.

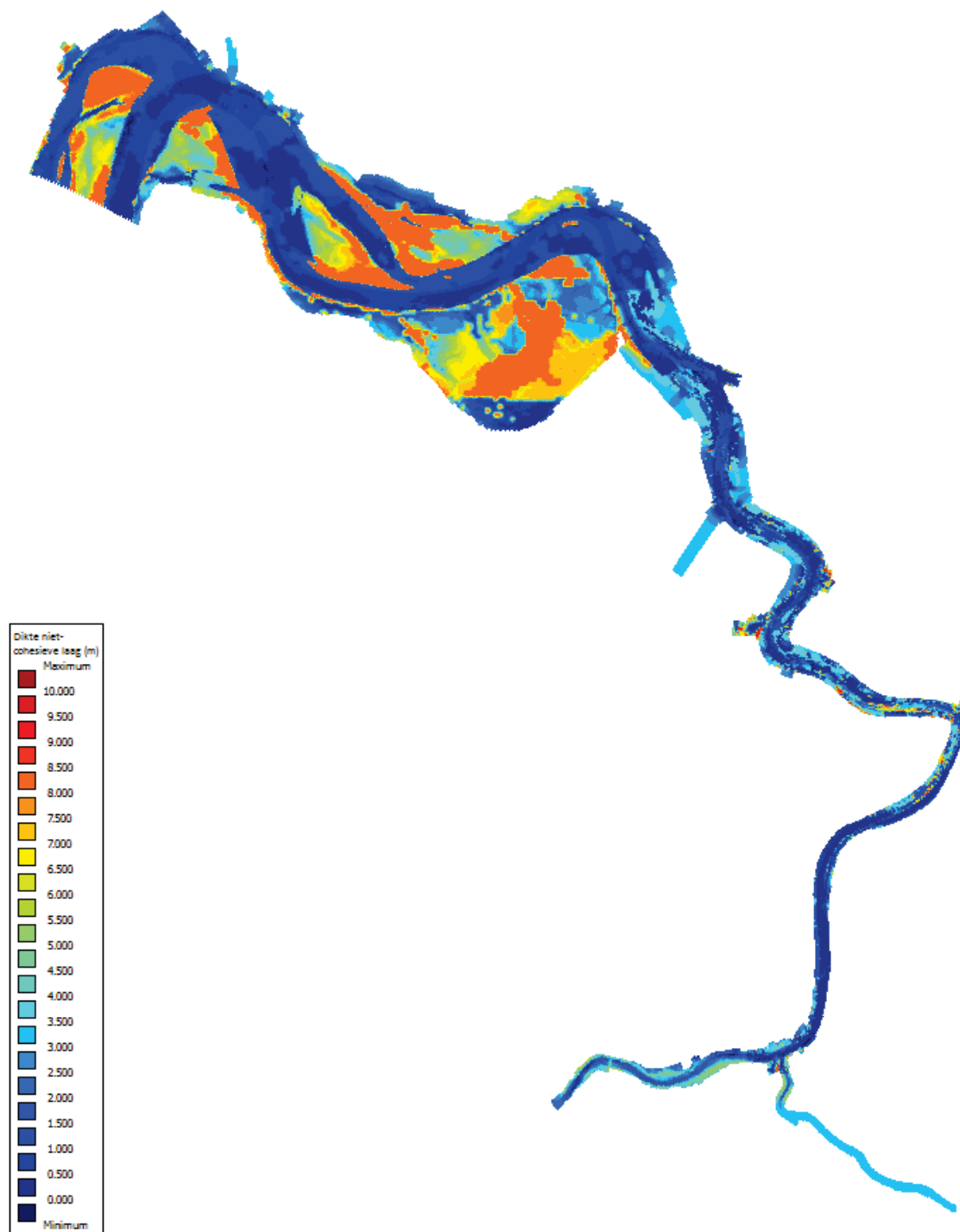
4.4 Stortingen van slib

In de scenarioberekeningen werden stortingen van slib geïmplementeerd in het model. Hiervoor is gebruik gemaakt van de module 'Operations => Discharges'. Hierbij dienen voor de verschillende fracties in het model volgende gegevens opgegeven:

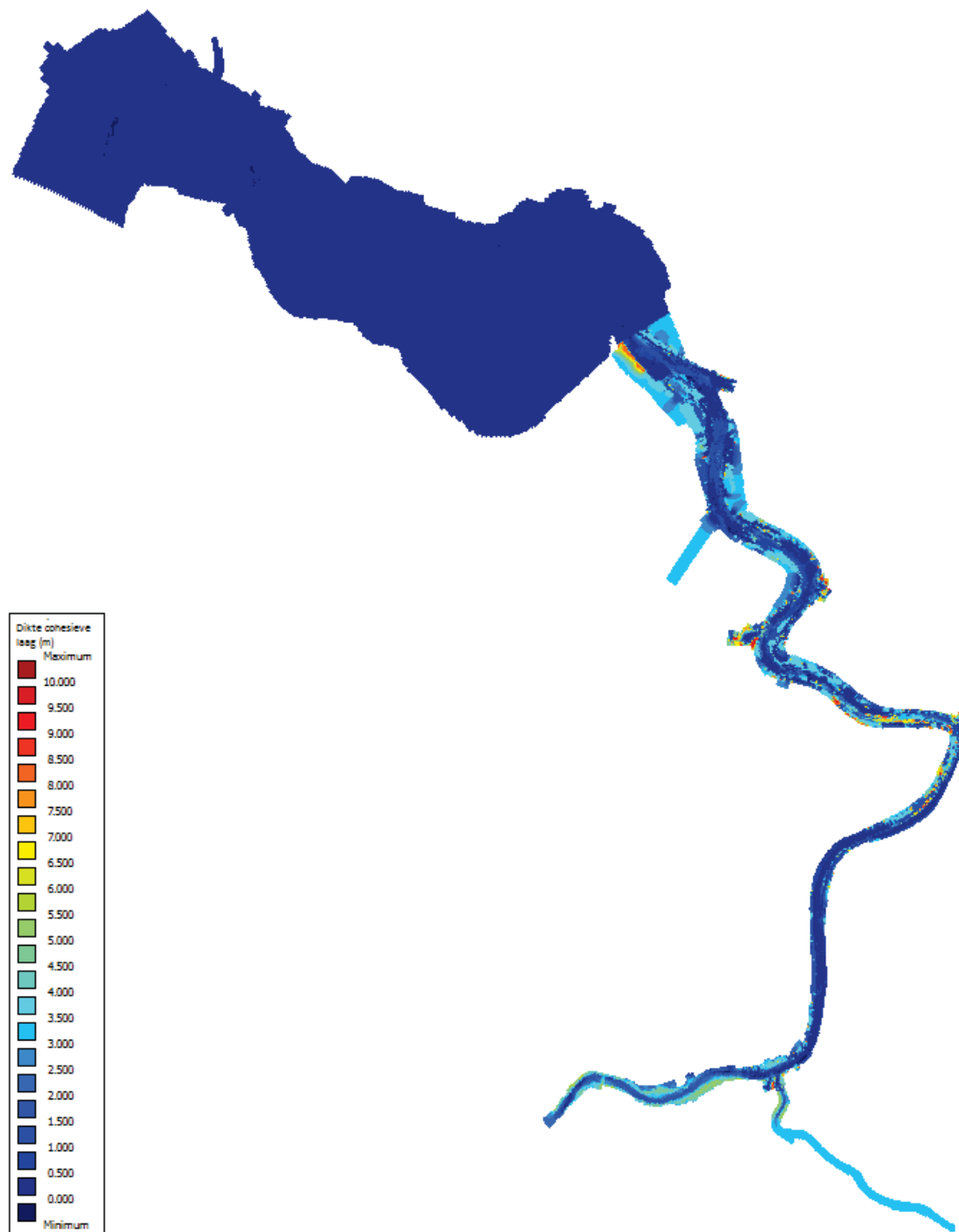
- Tijdstip begin en einde stortperiode
- Debiet (m^3/s)
- Concentratie (kg/m^3)

Bij elke storting wordt eenzelfde hoeveelheid slib gestort, 1212 TDS/storting, in een tijdsspanne van 6 minuten. Het debiet bij de storting bedraagt dus 3,37 TDS/s. Bij simulatie met twee slibfracties werd dit debiet toegekend aan de slibfractie met valsnelheid 0,2 mm/s en werd er geen zand en slib met valsnelheid 2 mm/s gestort. De achterliggende redenering is dat tijdens het baggerproces eventuele vlokken opgebroken worden door het oppompen en storten in het beun van het baggerschip.

De verschillende stortstrategieën en de scenarioberekeningen worden besproken in hoofdstuk 5.



Figuur 9 – Initieel opgelegde dikte niet-cohesieve laag



Figuur 10 – Initieel opgelegde dikte cohesieve laag

4.5 Gevoeligheidsanalyse

In een eerste fase werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het slibtransport. Deze wordt uitgebreid besproken in [Coen *et al.*, 2015a]. Hierbij werd telkens één parameter gevarieerd. Het effect op de sedimentconcentratie is geanalyseerd op 2 locaties: Boei84 en Oosterweel. Hierbij is enerzijds gekeken naar het effect op de absolute waarde van de sedimentconcentratie, en anderzijds naar het effect op het verloop van de sedimentconcentratie gedurende een periode van 8 dagen tussen springtij en doortij.

De initiële modelparameters zijn overgenomen uit het 'Saeftinghedokmodel', na kalibratie zoals besproken in [IMDC, 2011]. In dit model is slechts één fractie opgenomen (slib), terwijl het gebruik maakt van procesformuleringen (o.a. flocculatie, consolidatie afgezette sedimenten) die uitgebreider zijn dan beschikbaar in de commerciële versie van de Delft3D-software. Voor het gevoeligheidsonderzoek werd vertrokken met een initiële continue dikte van de sedimentbodemaag van 1 m.

Tabel 4 – Waarden modelparameters gevoeligheidsanalyse

Parameter	Waarde	Gevoeligheidsanalyse
Aantal sedimentfracties	1	1, 2, 3 (slib1, slib2, zand)
Valsnelheid w_s (mm/s)	1,0	1,0 – 10 mm/s
Kritische erosieschuifspanning $\tau_{cr,erosie}$ (N/m ²)	0,4	0,2 – 0,8 N/m ²
Kritische sedimentatieschuifspanning $\tau_{cr,sed}$ (N/m ²)	0,2	0,1 – 0,4 N/m ² of 1000 N/m ²
Erosieparameter M_E (kg/m ² /s)	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-6}$
Sedimentconcentratie afwaartse rand	0,05	/
Sedimentconcentratie opwaartse rand Terhagen (kg/m ³)	0,1	/
Sedimentconcentratie opwaartse rand Tielrode (kg/m ³)	0,1	/
Initiële sedimentconcentratie (kg/m ³)	0,15	0,03 – 0,3
Initiële dikte sedimentbodemaag (m)	1	Vast of ruimtelijk variërend
Specifieke dichtheid (kg/m ³)	2650	2650
Droge dichtheid (kg/m ³)	500	500

4.6 Finale modelinstellingen

Op basis van bovenstaande gevoeligheidsanalyse werd besloten drie parameters te variëren bij de ijking van het model, zijnde: de valsnelheid, de kritische erosieschuifspanning en de erosieparameter.

De valsnelheid van slib werd in situ gemeten tijdens een meetcampagne in de zomer van 2006, in het kader van 'Uitbreiding studie dichtheitsstromingen in de Beneden-Zeeschelde in het kader van LTV. Meetcampagne naar hooggeconcentreerde slibsuspensies', uitgevoerd door IMDC (2007a) i.s.m. Delft Hydraulics en Gems. In deze studie werden de korrelgrootte de valsnelheid van slib in situ gemeten met behulp van de 'In-Situ Settling Velocity-instrument (INSSEV)'. De valsnelheid werd gemeten tijdens verschillende fasen van het getij en bij verschillende sedimentconcentraties op locaties nabij het Deurganckdok. Hierbij werden gemiddelde waarden voor de valsnelheid bekomen tussen 0,5 en 4 mm/s.

In eerste instantie werd gewerkt met één slibfractie met een valsnelheid van 2 mm/s. Op basis van de resultaten van een eerste validatieronde en eerste scenarioberekeningen, en na overleg met de opdrachtgever werd besloten te werken met twee slibfracties. Om onderscheid te kunnen maken tussen grovere deeltjes of vlokken in het slib, met een hoge valsnelheid en de fijnere, opgebroken

deeltjes met een lagere valsnelheid werd een tweede slibfractie toegevoegd. Als waarde voor de valsnelheid voor deze slibfractie werd gekozen voor 0,2 mm/s.

De waarde voor de kritische erosieschuifspanning is vastgelegd op 0,4 N/m², voor de grove slibfractie en 0,8 N/m² voor de fijne slibfractie. Bij de kalibratie is de waarde van de erosieparameter gevarieerd om tot simulatieresultaten te komen vergelijkbaar met de validatiedata, ter hoogte van Oosterweel en Boei84. Hierbij is gekomen tot een waarde van $8,0 \cdot 10^{-04}$ kg/m²/s voor de slibfracties en $1,2 \cdot 10^{-03}$ kg/m²/s voor de zandfractie.

De waarde van de kritische sedimentatieschuifspanning is zodanig verhoogd (tot 1000) zodat de bodemschuifspanning steeds lager is dan de kritische sedimentatieschuifspanning. Zo is deze parameter niet meer bepalend voor de hoeveelheid sediment in suspensie. Dit is eveneens de benadering zoals deze eerder geïmplementeerd werd in onder andere het LTV-slibmodel [van Kessel *et al.*, 2008].

In tegenstelling tot de vorige studies, waarin slechts één fractie, met name slib, in beschouwing genomen wordt, is in deze studie ook zand als sedimentfractie toegevoegd. Deze fractie heeft als gemiddelde korreldiameter (D50) 130 µm. Zowel voor de slib- als voor de zandfractie is een ruimtelijk variërende initiële dikte van de bodemlaag opgegeven (zie §4.3.3). Voor de slibfracties werd als initiële bodemdikte de helft van de dikte van de sliblaag genomen.

De scenarioberekeningen zijn uitgevoerd met een tijdstap van 0,05 min, op 16 reken cores. Het doorrekenen van de volledige simulatieperiode van 5 weken en 3 dagen, duurt circa 12 dagen.

Tabel 5 – Waarden modelparameters na kalibratie

Parameter	Waarde 1 slibfractie	Waarde 2 slibfracties
Ruwheid	0,025	0,025
Valsnelheid w_s (mm/s)	2,0	2,0 – 0,2
Kritische erosieschuifspanning $\tau_{cr,erosie}$ (N/m ²)	0,4	0,4 – 0,8
Kritische sedimentatieschuifspanning $\tau_{cr,sed}$ (N/m ²)	1000	1000
Erosieparameter M_E (kg/m ² /s)	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Sedimentconcentratie afwaartse rand (kg/m ³) zand	0,03	0,03
slib1	0,03	0,015
slib2	/	0,015
Sedimentconcentratie opwaartse rand Terhagen (kg/m ³) zand	0,03	0,03
slib1	0,1	0,05
slib2	/	0,05
Sedimentconcentratie opwaartse rand Tielrode zand (kg/m ³)	0,03	0,03
slib1	0,3	0,15
slib2	/	0,15
Initiële sedimentconcentratie (kg/m ³) zand	0,03	0,03
slib1	0,15	0,15
slib2	/	0,15

Initiële dikte sedimentbodemaag (m)		grid	grid
Specifieke dichtheid (kg/m ³)		2650	2650
Droge dichtheid (kg/m ³)	zand	1600	1600
	slib1	550	550
	slib2	550	550

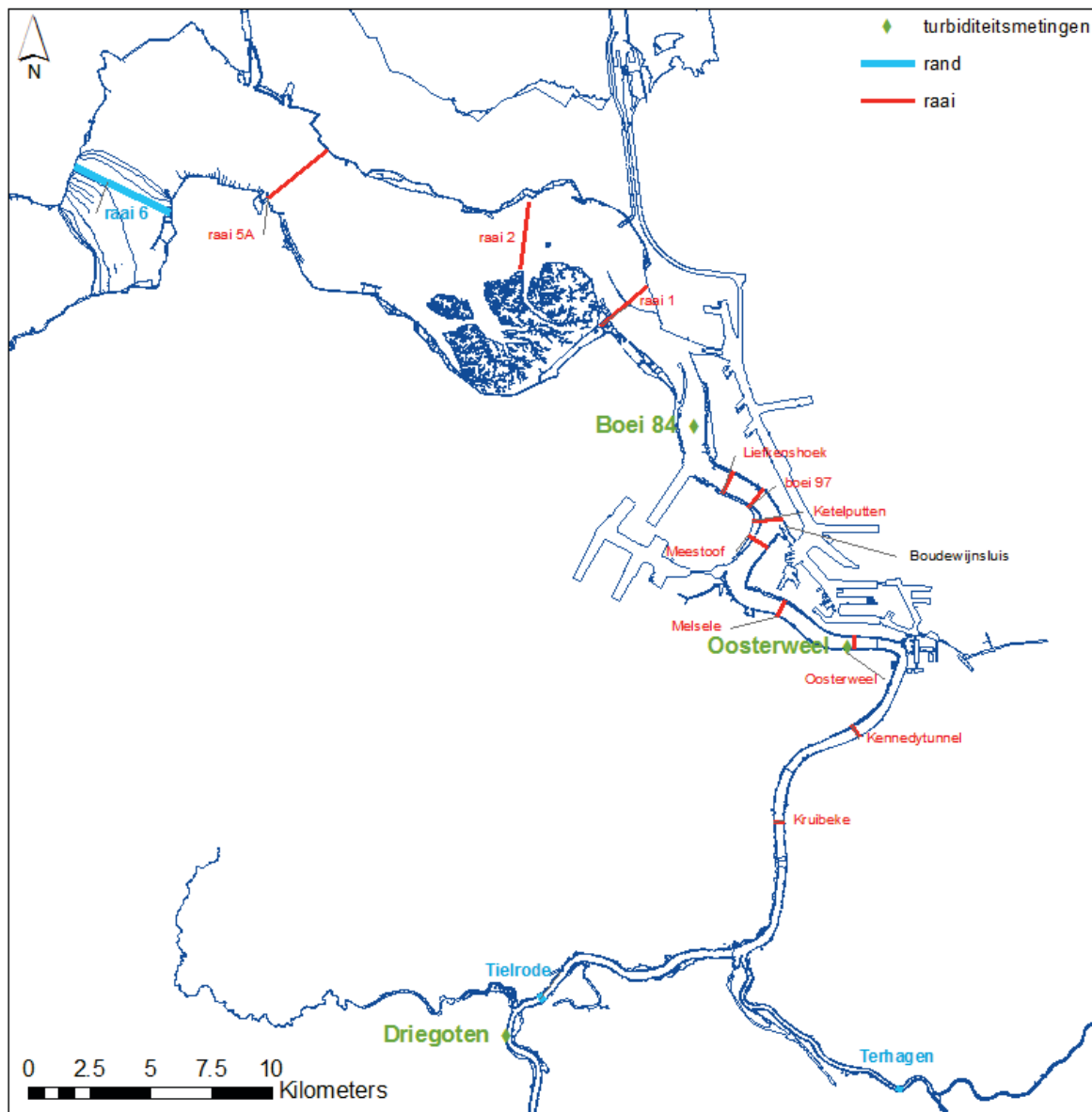
4.7 Modelvalidatie

4.7.1 Beschikbare metingen

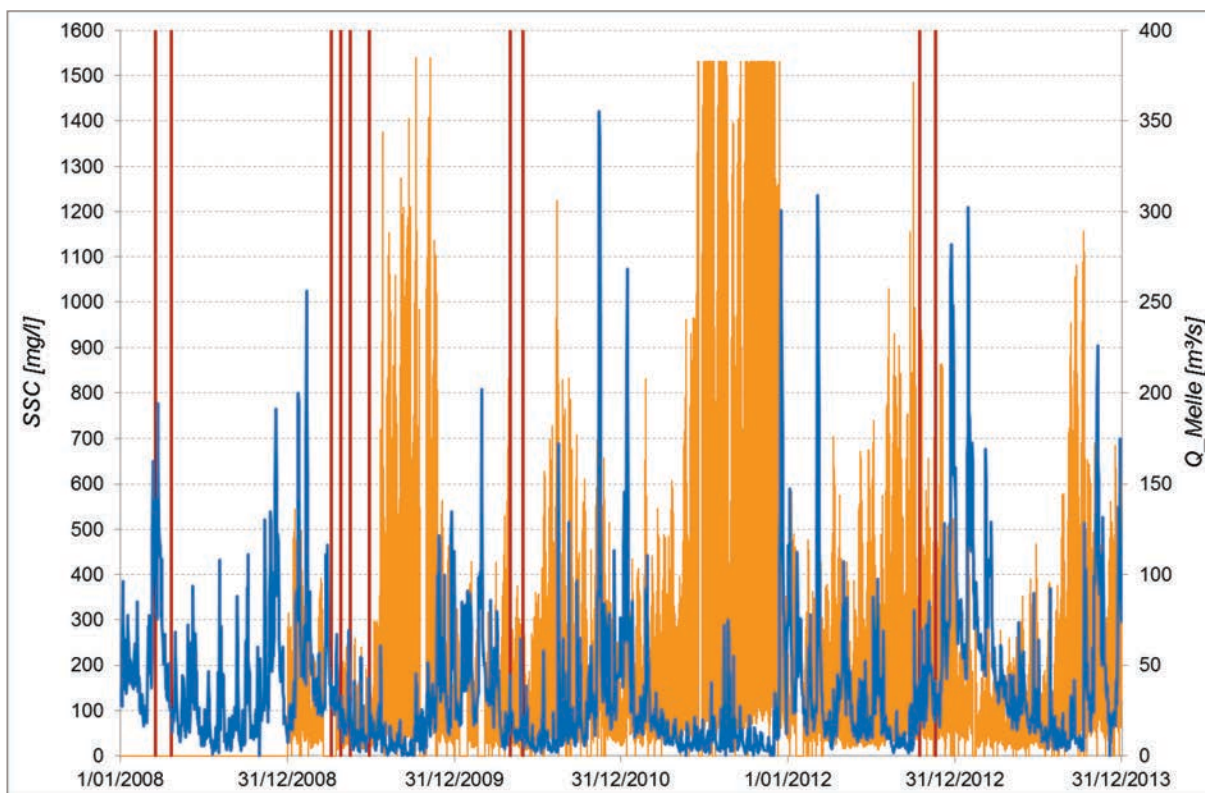
In het kader van het gezamenlijke Vlaams-Nederlandse monitoringprogramma "MONEOS", waarbij het estuariene systeem van het volledige Schelde-estuarium opgevolgd wordt, wordt in de Zeeschelde door het Waterbouwkundig Laboratorium op 3 locaties de turbiditeit continu gemeten. Het betreft volgende locaties (zie Figuur 11):

- Boei 84: 2 toestellen op resp. 0,8 m en 3,3 m boven de bodem, oftewel op ca. -8,1 mTAW en ca. -5,6 mTAW
- Oosterweel: 2 toestellen op resp. 1,0 m en 4,5 m boven de bodem, oftewel op ca. -5,8 mTAW en ca. -2,3 mTAW
- Driegoten: 1 toestel ca. 3 m onder het wateroppervlak

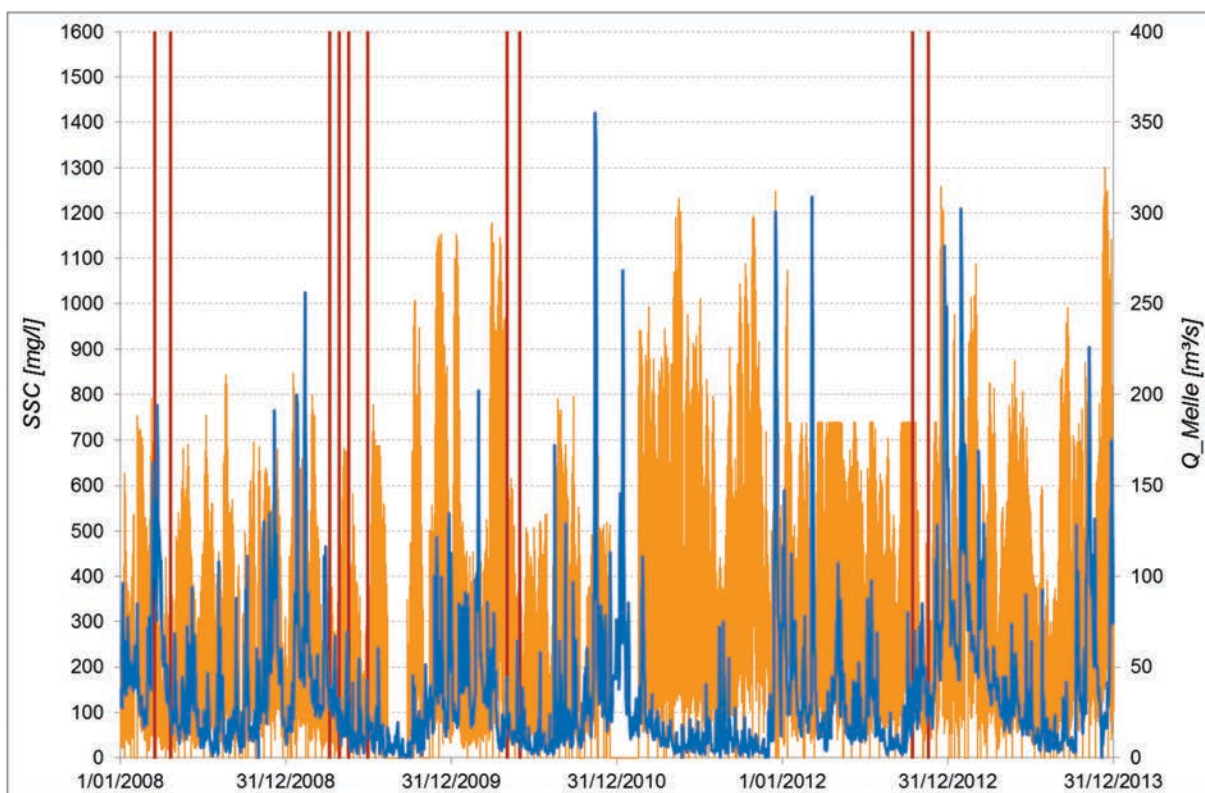
Deze gegevens worden sinds 2008 gerapporteerd in de jaarlijkse MONEOS-rapporten [WL, 2009-2014]. Op basis van (half-)jaarlijks kalibratiemetingen, kunnen de gemeten turbiditeiten omgerekend worden tot sedimentconcentraties. Deze werden binnen voorliggende studie gebruikt voor de modelvalidatie (Figuur 12 t.e.m. Figuur 14). Er dient opgemerkt te worden dat gedurende een aantal periodes de sensoren in saturatie gaan gedurende een deel van de getijcyclus. Deze waarden werden niet gecorrigeerd, waardoor de gepresenteerde waarden in deze periodes een onderschatting geven van de werkelijk opgetreden waarden.



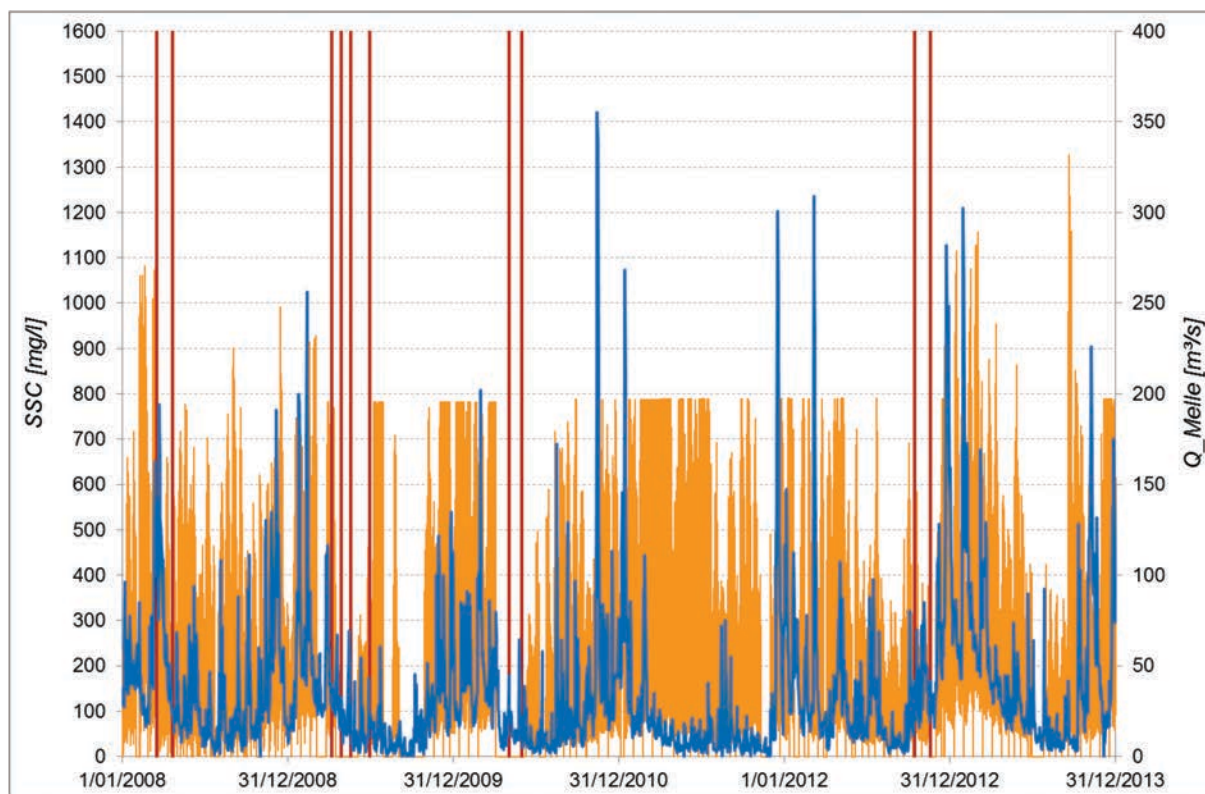
Figuur 11 - Overzicht meetlocaties turbiditeit langs de Beneden-Zeeschelde



Figuur 12 – Sedimentconcentratie (oranje) te Driegoten en bovenafvoer te Melle (blauw)
(rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen)



Figuur 13 – Sedimentconcentratie te Oosterweel (bovenste sensor - oranje) en bovenafvoer te Melle (blauw)
(rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen)



Figuur 14 – Sedimentconcentratie te Boei 84 (bovenste sensor- oranje) en bovenafvoer te Melle (blauw) (rode lijnen geven begin en einde weer van periodes zonder stortingen)

De sedimentconcentratie wordt beïnvloed door verschillende factoren, met als belangrijkste: (1) de half-dagelijkse getijcyclus, (2) de springtij-doodtij-cyclus, (3) de bovenafvoer en (4) stortingen van onderhoudsbaggerwerk. In [Coen et al., 2015a] wordt dieper ingegaan op deze aspecten, doch voor de uiteindelijke modelvalidatie is ervoor geopteerd de gemeten sedimentconcentratie te vergelijken met de gemodelleerde sedimentconcentratie. Aangezien het numerieke model diepte-gemiddelde waarden geeft, wordt telkens de bovenste meetsensor vergeleken met de diepte-gemiddelde sedimentconcentraties.

Aangezien het model binnen voorliggend onderzoek wordt ingezet om het effect van stortingen te bestuderen, wordt de vergelijking uitgevoerd voor 2 verschillende perioden: enerzijds jaarlijks gemiddelde sedimentconcentraties bij verschillende getijcondities (§4.7.2) en anderzijds een specifieke periode waarbij een verhoogde stortintensiteit kon worden waargenomen (§4.7.3).

4.7.2 Jaarlijks gemiddelde sedimentconcentratie

Een eerste vergelijking gebeurt tussen de gemodelleerde sedimentconcentraties en de jaarlijks gemiddelde sedimentconcentraties uit de metingen. Aangezien de sensoren in bepaalde periodes in saturatie gingen, werd ervoor gekozen een periode te weerhouden waarbij het in saturatie gaan tot een minimum herleid werd. Dit bleek voor het jaar 2013 het geval te zijn. De vergelijking gebeurt voor zowel doortij, gemiddelde getij als springtij condities, waarbij telkens de bovenste meetsensor afgezet wordt tegenover de diepte-gemiddelde gemodelleerde sedimentconcentratie.

In paragraaf 4.7.1, of in hoofdstuk 4 van deelrapport 1 [Coen et al., 2015a] wordt een overzicht gegeven van de beschikbare data en data-analyse t.b.v. modelvalidatie. Voor de finale modelinstellingen werd een simulatie uitgevoerd voor een periode van 5 weken.

De gesimuleerde waarden van de sedimentconcentratie ter hoogte van Oosterweel en Boei84 worden vergeleken met de resulterende data uit deze analyse. De resultaten uit twee simulaties zullen gebruikt worden voor de validatie, i.e. de simulaties van het scenario zonder storten (S425) en het scenario met de huidige stortstrategie (S421).

In de gesimuleerde tijdreeks van het waterpeil te Antwerpen wordt gezocht naar een karakteristiek doottij, gemiddeld getij en springtij, op basis van de karakteristieke getijverschillen te Antwerpen. Er werden in de simulatieperiode van 5 weken 2 periodes van doottij, 3 periodes van gemiddeld getij en 2 periodes van springtij weerhouden die voldoen aan de getijkarakteristieken. Voor deze periodes wordt de gesimuleerde sedimentconcentratie ter hoogte van Boei84 en Oosterweel vergeleken met de gemeten sedimentconcentraties.

Figuur 15 tot en met Figuur 20 geven de gemeten en de gesimuleerde sedimentconcentraties voor de karakteristieke getijperiodes weer voor respectievelijk Oosterweel en Boei84.

Ter hoogte van Oosterweel zijn de waarden van de gesimuleerde sedimentconcentratie meestal groter dan de P50-waarde van de gemeten sedimentconcentratie. Voornamelijk bij kentering laagwater (circa 300 min voor hoogwater) zijn de gesimuleerde waarden hoger. Het uitzakken van het sediment lijkt minder goed gesimuleerd te worden. Bij kentering hoogwater (60 min na hoogwater) liggen de gesimuleerde waarden wel binnen het bereik van de waarden van de gemeten sedimentconcentratie. De waarde van de gesimuleerde maximale sedimentconcentratie ligt bij doottij en gemiddeld getij tussen de maxima van de P50 en P95-waarden van de gemeten sedimentconcentratie en bij springtij circa gelijk met de P95-waarde van de gemeten sedimentconcentratie, doch komt het tijdstip ten opzichte van hoogwater niet overeen. De stijging van de sedimentconcentratie tijdens eb en vloed (120-240 min na/voor HW) verloopt bij de gesimuleerde sedimentconcentratie trager dan bij de waarden van de gemeten sedimentconcentratie.

Ter hoogte van Boei84 liggen de gesimuleerde waarden van de sedimentconcentratie bij doottij en bij gemiddeld getij tussen de P50- en P95-waarde van de gemeten sedimentconcentratie. Bij springtij komt de grootte-orde van de gesimuleerde sedimentconcentratie ongeveer overeen met de P50-waarde van de gemeten sedimentconcentratie. Zowel bij de gesimuleerde waarden als bij de metingen valt de minimale sedimentconcentratie circa 60 min na hoogwater. De gesimuleerde minimale waarde ligt bij doottij en bij springtij rond de minimale P50-waarde van de metingen, en bij gemiddeld getij rond de P95-waarde van de metingen. De maximale waarden van de sedimentconcentratie in de gesimuleerde zijn steeds lager dan de maximale waarden in de gemeten reeks. Ook hier verloopt de stijging van de sedimentconcentratie tijdens eb en vloed (120-240 min na/voor HW) bij de gesimuleerde sedimentconcentratie trager dan bij de gemeten sedimentconcentratie.

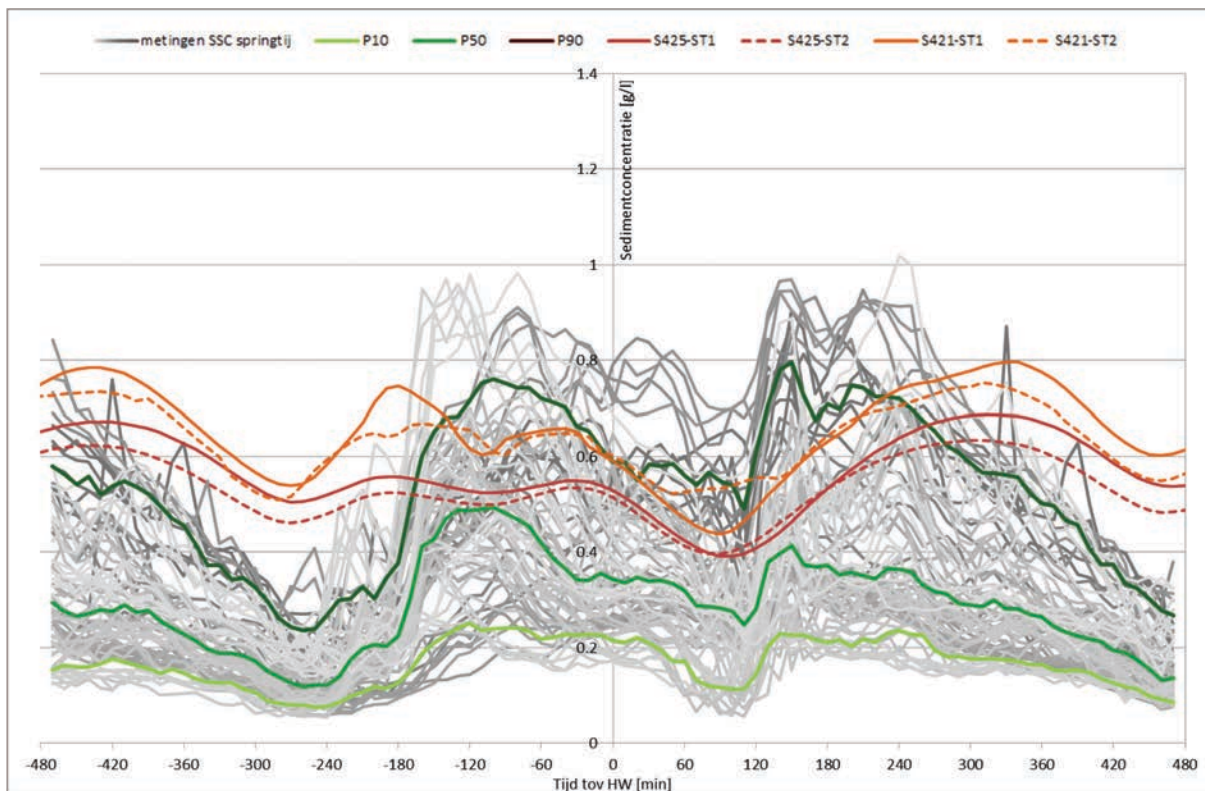
Aangezien de modelsimulaties uitgevoerd worden op basis van randvoorwaarden voor de periode september-oktober 2009, sluiten deze randvoorwaarden aan bij een zomer-situatie. In deze "droge" periode wordt ter hoogte van Boei 84 een lagere sedimentconcentratie gemeten. Mogelijks kan dit proces (een deel van) de afwijking verklaren. Daarnaast is de locatie Boei 84 net afwaarts de Plaat van Lillo gelegen. De onderschatting van de sedimentconcentratie in de scenarioberekeningen kan mogelijks te maken hebben met de (in het model beperktere) sedimentbeschikbaarheid op de nabije Plaat van Lillo.

Gelet op de seizoenale invloed op de ligging van het turbiditeitsmaximum, met name het al dan niet voorkomen van hogere waarden in het afwaartse deel van het studiegebied, verdient het de aanbeveling het modelgebied uit te breiden naar opwaarts om alzo de seizoenale effecten te kunnen meenemen. Gelet op de lange rekentijden van het huidige model, dient hiervoor een optimalisatie van het model te gebeuren (cfr. vergroffen rekenrooster, offline slibberekeningen m.b.v. Delwaq). Tot op heden is het echter onduidelijk of de huidige modellen in staat zijn om deze seizoenale effecten op een degelijke manier te voorspellen.

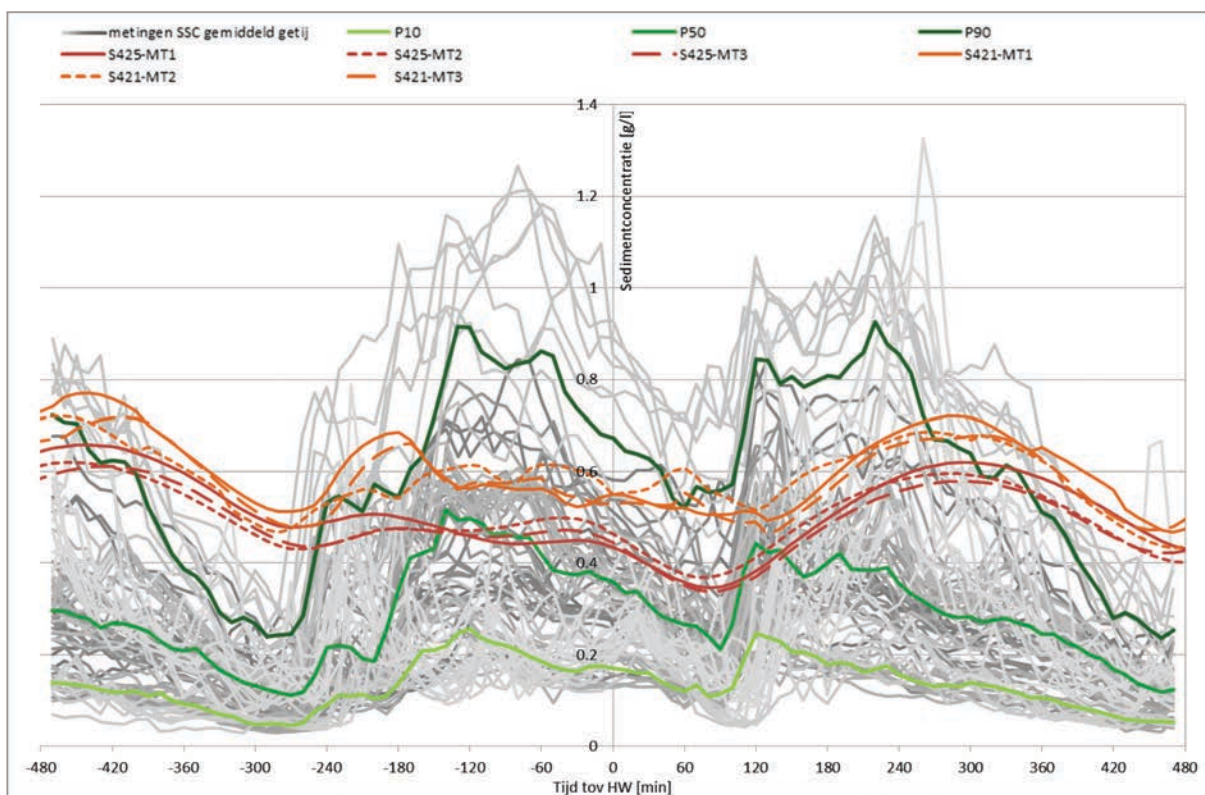
Naast het verloop in de tijd van de sedimentconcentratie op bovenstaande meetposten, werden er in [Vandenbruwaene et al., 2015] resultaten gepresenteerd van de ruimtelijke variatie van de sedimentconcentratie langsheen het estuarium. Deze gegevens worden binnen deze studie gebruikt voor de validatie van het model. Het lengteprofiel in Figuur 21 geeft de gemeten en gesimuleerde waarden van het 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie langs de Westerschelde en Zeeschelde weer. De gemeten sedimentconcentratie is een gemiddelde waarde voor sedimentconcentratie in de waterkolom over de tijdperiode 2001-2010. De gesimuleerde sedimentconcentratie is een gemiddelde waarde over de laatste springtij-doodtij-cyclus (14 dagen) van de simulatieperiode, zowel voor scenario zonder storten als voor scenario met de huidige stortstrategie. De verticale balken geven de stortlocaties (Oosterweel en Punt van Melsele) aan. Er zijn echter geen stortingen meer tijdens de laatste week van de simulatieperiode.

Uit de vergelijking tussen de metingen en de modelresultaten blijkt dat het model de werkelijkheid redelijk reproduceert. Het verloop volgens het lengteprofiel is vergelijkbaar tussen model en metingen. Er bestaan echter verschillen tussen beiden voor bepaalde zones. In het 95^{ste} percentiel is de gesimuleerde sedimentconcentratie voor het scenario met stortingen hoger dan de gemeten sedimentconcentratie tussen kilometer 70 en 100. In het 5^{de} en het 50^{ste} percentiel is de gesimuleerde sedimentconcentratie hoger dan de gemeten sedimentconcentratie. Mogelijke oorzaken voor deze verschillen zijn de keuzes in modelparameters (o.a. sedimentbeschikbaarheid) alsook het feit dat de kalibratie van het model uitgevoerd werd voor een dataset over de periode 2008-2013, terwijl de gegevens van het lengteprofiel dateren van 2001-2010. In de periode 2008-2011 is er een verhoging in sedimentconcentratie vastgesteld, die nadien meer stabiel bleef en mogelijks verantwoordelijk is voor de overschatting van de sedimentconcentratie door het model ten opzichte van de metingen.

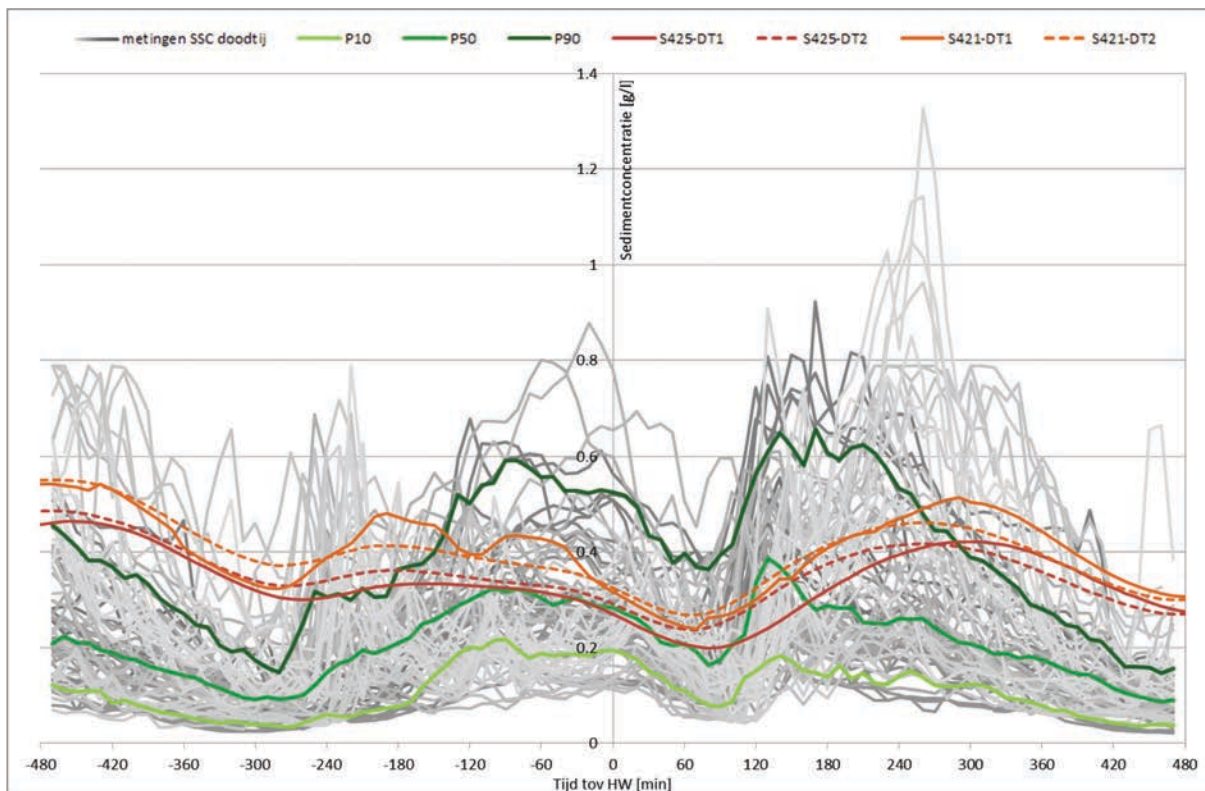
Inzake het concentratieverloop in het interessegebied, werd een uitvoerige gevoeligheidsanalyse/kalibratie uitgevoerd waarbij tal van numerieke modelparameters werden gevarieerd. Tijdens deze optimalisatie werd de gemodelleerde variatie van de sedimentconcentratie gedurende een getijcyclus aanzienlijk verbeterd. Met de finale instellingen wordt er een redelijke overeenstemming met de metingen (die zelf ook een grote variabiliteit vertonen) bekomen, waarbij echter dient opgemerkt kan worden dat bepaalde verschillen nog aanwezig zijn. Dankzij de uitgevoerde optimalisatie kan gesteld worden dat het gebruikte model mag beschouwd worden als het best beschikbare model om de effecten op de korte termijn (uren tot weken) in te schatten van het terugstorten van sedimenten in het Schelde-estuarium.



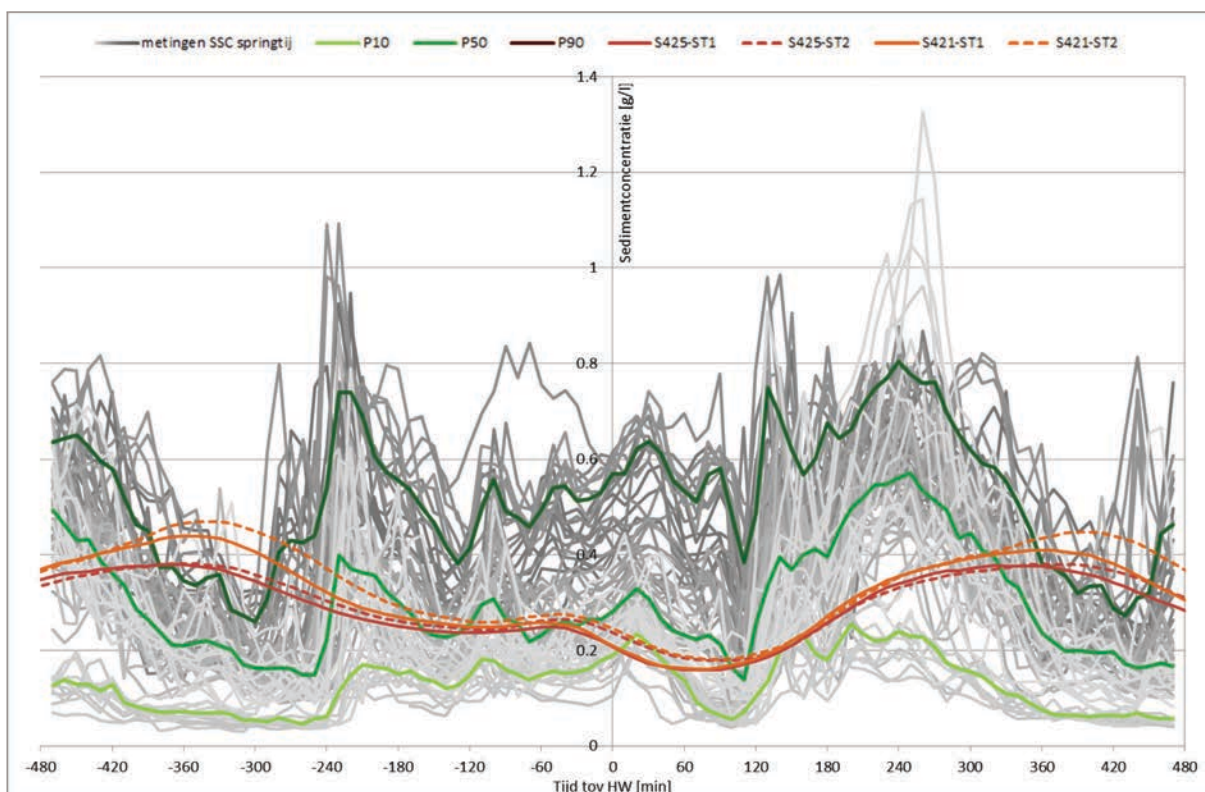
Figuur 15 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij springtij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij springtij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 springtijperiodes (ST1 en ST2))



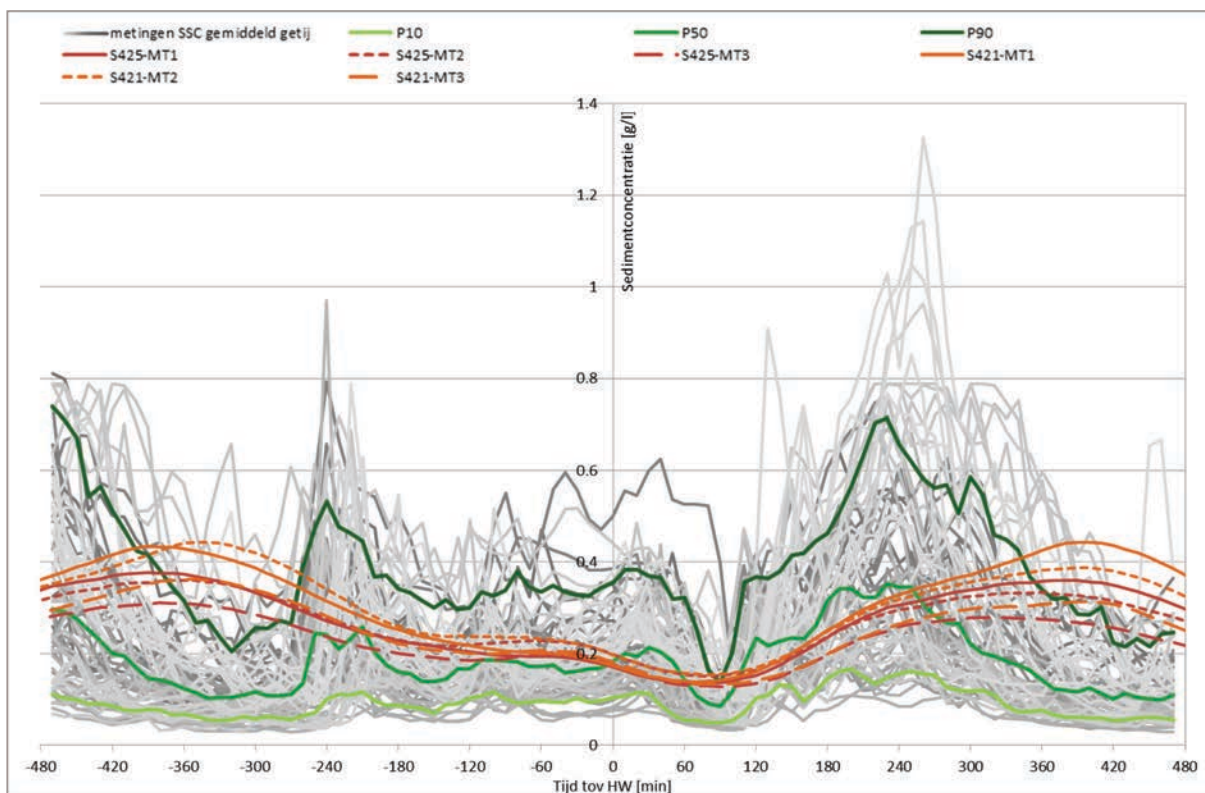
Figuur 16 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij gemiddeld getij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij gemiddeld getij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 3 gemiddelde tijperiodes (MT1, MT2 en MT3))



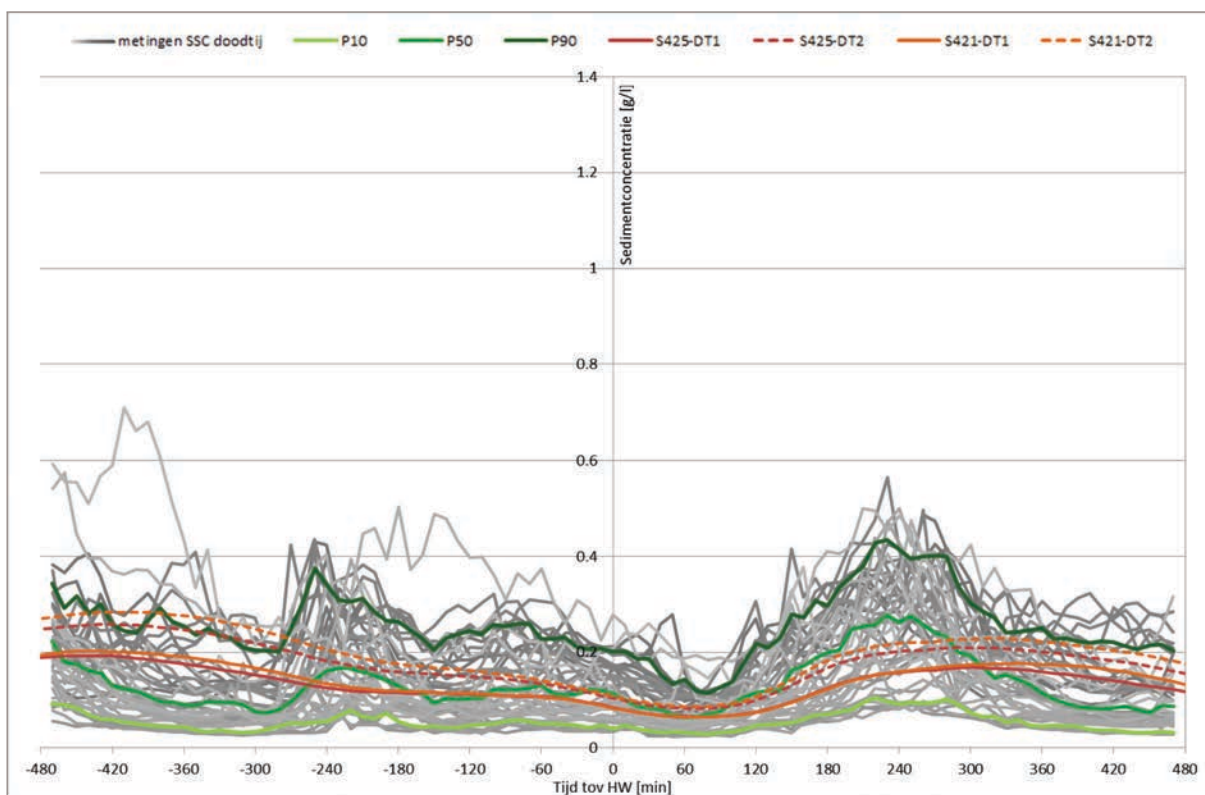
Figuur 17 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij doodtij te Oosterweel (grijs: alle metingen bij doodtij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421), voor 2 doodtijperiodes (DT1 en DT2))



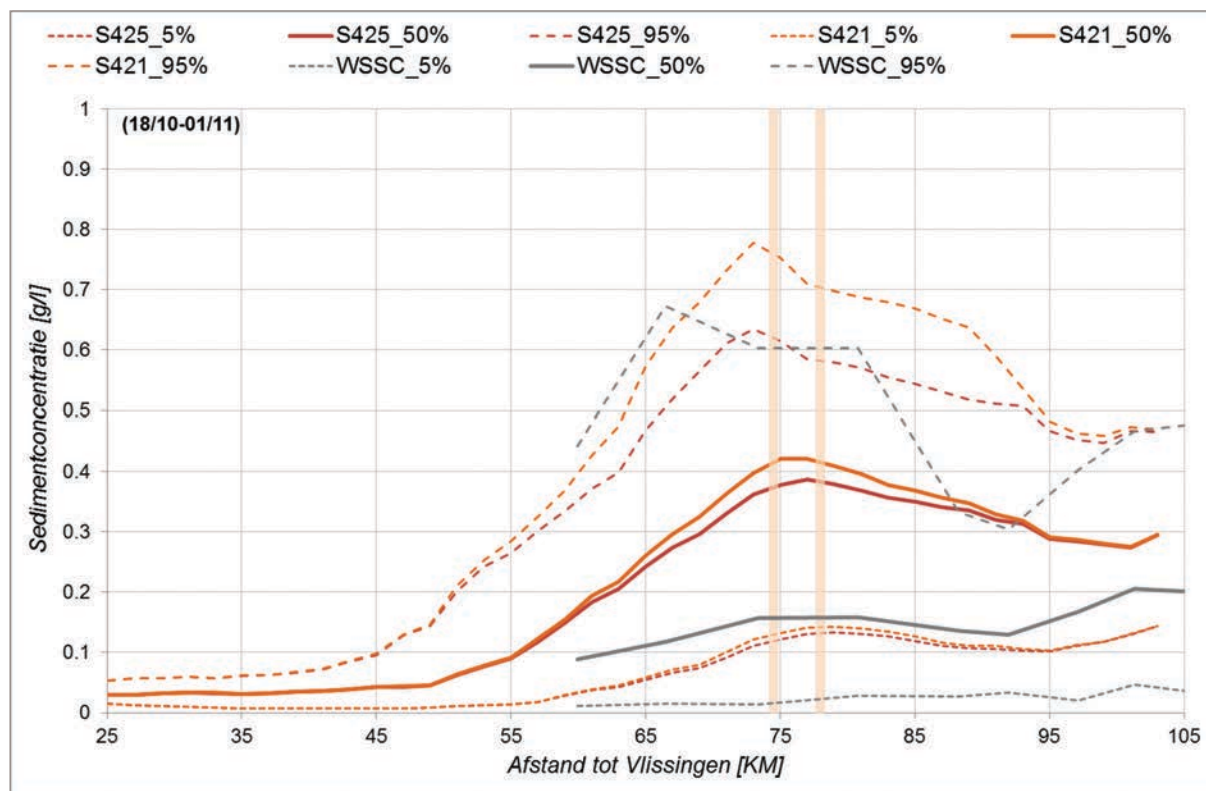
Figuur 18 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij springtij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij springtij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 springtijperiodes (ST1 en ST2))



Figuur 19 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij gemiddeld getij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij gemiddeld getij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 3 gemiddelde tijperiodes (MT1, MT2 en MT3))



Figuur 20 - Overzicht verloop sedimentconcentratie bij doodtij te Boei 84 (grijs: alle metingen bij doodtij | groen: P10, P50, P90 | rood/oranje: model zonder/met stortingen (S425/S421) voor 2 doodtijperiodes (DT1 en DT2))



Figuur 21 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie voor gemeten sedimentconcentratie in de waterkolom (WSSC) versus gesimuleerde sedimentconcentratie scenario zonder stortingen (S425) en scenario met huidige stortstrategie (S421)

4.7.3 Sedimentconcentratie bij intensieve stortingen

Een tweede vergelijking van de gesimuleerde en gemeten sedimentconcentratie wordt uitgevoerd voor een periode met intensieve stortingen, in december 2012. Voor deze simulatie worden de werkelijke storthoeveelheden opgelegd. Het verloop van de gemeten en gesimuleerde sedimentconcentratie ter hoogte van Boei84 en Oosterweel wordt, samen met de storthoeveelheden, weergegeven in Figuur 23.

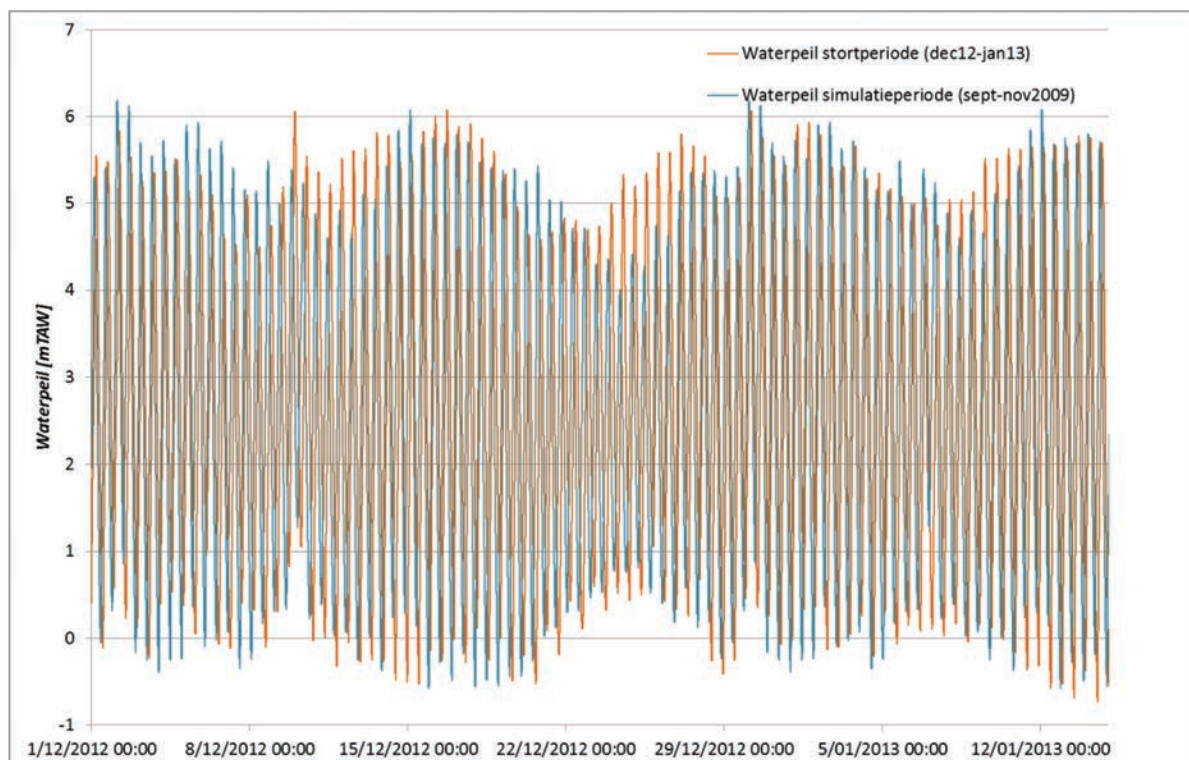
Figuur 22 geeft het waterpeil in de Zeeschelde ter hoogte van Antwerpen gemeten tijdens de stortperiode in december 2012-januari 2013, en hierbij het gesimuleerde waterpeil te Antwerpen in de modelsimulatie in september – november 2009. Het springtij in het gemodelleerde waterpeil ligt circa één dag later ten opzichte van de gemeten waterpeil tijdens de werkelijke stortperiode.

Ter hoogte van Oosterweel volgt de gesimuleerde getij-gemiddelde sedimentconcentratie goed het verloop van de gemiddelde gemeten sedimentconcentratie in de eerste periode van stortingen. Na de eerste stortperiode verloopt de daling van de gemiddelde gesimuleerde sedimentconcentratie trager dan bij de gemeten waarden. De gesimuleerde sedimentconcentratie wordt echter opnieuw hoger in de periode na stortingen, wat te wijten is aan een sterkere invloed van de springtij-doottij cyclus in het model. De minimale waarde na de daling is echter wel ongeveer gelijk. Bij de tweede periode van stortingen lijken de stortingen in de simulatie vroeger te starten dan bij de metingen. De gesimuleerde getij-gemiddelde sedimentconcentratie stijgt meer dan de gemiddelde gemeten sedimentconcentratie.

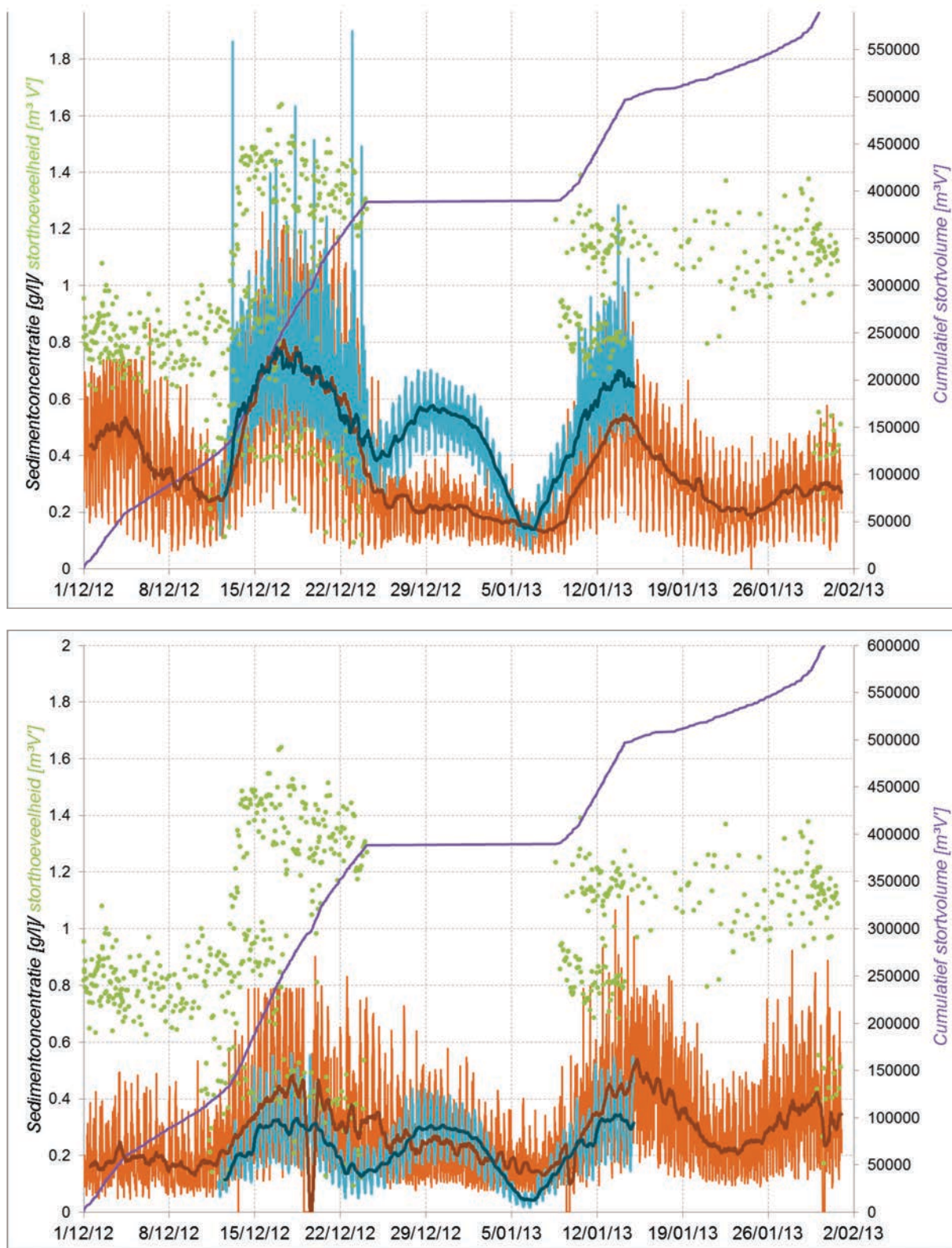
Ter hoogte van Boei84 is het effect van de stortingen minder uitgesproken. Tijdens de perioden met stortingen is de gesimuleerde getij-gemiddelde sedimentconcentratie lager dan deze van gemeten sedimentconcentratie. Echter de initiële waarde van de gesimuleerde sedimentconcentratie is lager dan de waarde van de gemeten sedimentconcentratie op dat tijdstip.

De stijging van de sedimentconcentratie heeft een quasi gelijke snelheid. Tijdens de periode zonder stortingen lijkt de gesimuleerde getij-gemiddelde sedimentconcentratie meer beïnvloed door het getij dan de gemeten sedimentconcentratie, die een dalend verloop kent. Het minimum van de sedimentconcentratie na de periode zonder stortingen is bij de gesimuleerde waarden kleiner dan bij de gemeten waarden. Ook bij de tweede periode van stortingen heeft de stijging van de sedimentconcentratie een quasi gelijke snelheid.

Uit bovenstaande vergelijking blijkt dat de stijging van de sedimentconcentratie bij de storting van slib redelijk goed gesimuleerd wordt door het model. De achtergrondconcentratie van sediment in de waterkolom wordt echter minder goed benaderd door het model.



Figuur 22 – Waterpeil in de Zeeschelde t.h.v. Antwerpen tijdens de stortperiode, december 2012-januari 2013 (oranje) en tijdens de simulatieperiode (september-november 2009)



Figuur 23 – Verloop gemeten (oranje) en gesimuleerde (blauw) sedimentconcentratie tijdens een periode met intensieve stortingen, te Oosterweel (boven) en Boei84 (onder). De dikke vloeiende lijn geeft de getijgemiddelde sedimentconcentratie weer.

5 SCENARIOBEREKENINGEN – FASE 1

Uit de analyse van de bagger- en stortgegevens (§ 3.4.2) is gebleken dat de werkzaamheden in de realiteit een bepaalde periodiciteit vertonen (o.a. periode tussen opeenvolgende baggercampagnes per drempel). Deze periodiciteit, in combinatie met een aanvaardbare rekentijd, hebben ertoe geleid dat voor de modelscenario's uitgegaan wordt van een simulatie van 5 weken. Binnen deze 5 weken wordt, rekening houdend met de duur van één bagger- en stortcyclus, bepaald hoe lang de stortingen in het model dienen plaats te vinden op de jaarlijkse totale storthoeveelheden te realiseren (i.e. 5/52 van de totale jaarlijkse hoeveelheid wordt in de simulatie teruggestort). Deze periode van stortingen verschilt dan ook per scenario aangezien de duur van een bagger- en stortcyclus verschillend is, met name door een verschil in vaartijd. Deze methodiek zorgt ervoor dat de stortactiviteiten waarheidsgetrouw worden uitgevoerd in het model. Hoewel de rekentijden aanzienlijk zijn (ca. 10 dagen op 16 rekencores), houdt deze methodiek maximaal rekening met de werkelijkheid en zullen de resultaten de werkelijkheid benaderen.

5.1 Beschrijving stortscenario's

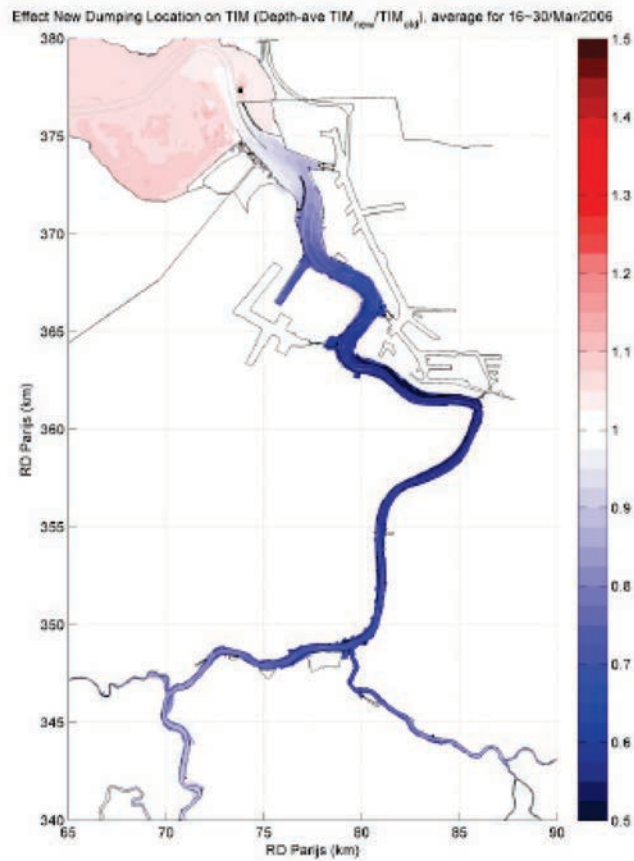
In een eerste fase worden een aantal “extreme” scenario's gedefinieerd. Hierbij wordt de totale terug te storten sedimenthoeveelheid op één of twee locaties in het estuarium gestort. Het referentiescenario is de huidige stortstrategie (zie § 5.1.1). Daarnaast zijn drie alternatieve scenario's gedefinieerd. Een uitgangspunt is het beperken van de verstoring in sedimenthuishouding door sediment terug te storten in de nabije omgeving van de baggerlocaties. Tevens beoogt de invulling van deze scenario's het risico op een mogelijke regime shift [Winterwerp, 2013] te reduceren. Ook al is er weinig gekend over dit potentiële risico en de exacte oorzaken ervan.

In de huidige stortstrategie wordt het gebaggerde sediment ca. 10-15 km opwaarts van de baggerlocaties teruggestort. In het kader van het V&T-onderzoek [IMDC, 2013a] is reeds gebleken dat het afwaarts storten leidt tot een beperkte afname van de sedimentconcentraties in de Zeeschelde en het risico op een eventuele regime shift kan reduceren. In Figuur 24 is een daling van de sedimentconcentratie in de Boven-Zeeschelde en Rupel te zien tengevolge van het storten op een meer afwaarts gelegen stortlocatie.

In de eerste fase worden 4 “extreme” stortstrategieën onderzocht, waarbij het uitgangspunt is om meer afwaarts te storten dan in de huidige toestand:

1. Huidig: Eb: Oosterweel | vloed: Melsele
2. Dichtbij: Eb: Ouden Doel | vloed: Ketelputten
3. Afwaarts I: Eb: Ouden Doel | vloed: Ouden Doel
4. Afwaarts II: Eb: Appelzak | vloed: Appelzak

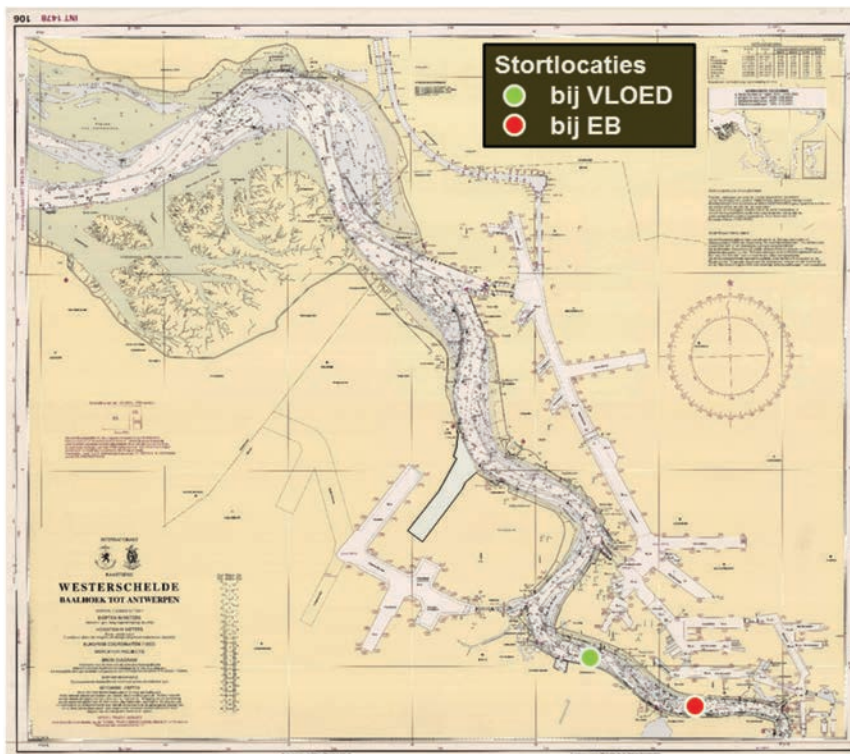
De verschillende scenario's worden in de volgende paragrafen beschreven.



Figuur 24 – Relatieve invloed (-) van de alternatieve stortlocatie (Appelzak) op de totale slibconcentratie TIM ten opzichte van de huidige stortlocatie (Plaats van Boomke) (<1: daling TIM; >1: stijging TIM) in de Beneden-Zeeschelde [IMDC, 2013a]

5.1.1 Huidig

Bij het stortscenario "HUIDIG" zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van Oosterweel bij eb, en Punt van Melsele bij vloed, zie Figuur 24. In Tabel 6 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals deze in de numerieke modelsimulaties worden geïmplementeerd.



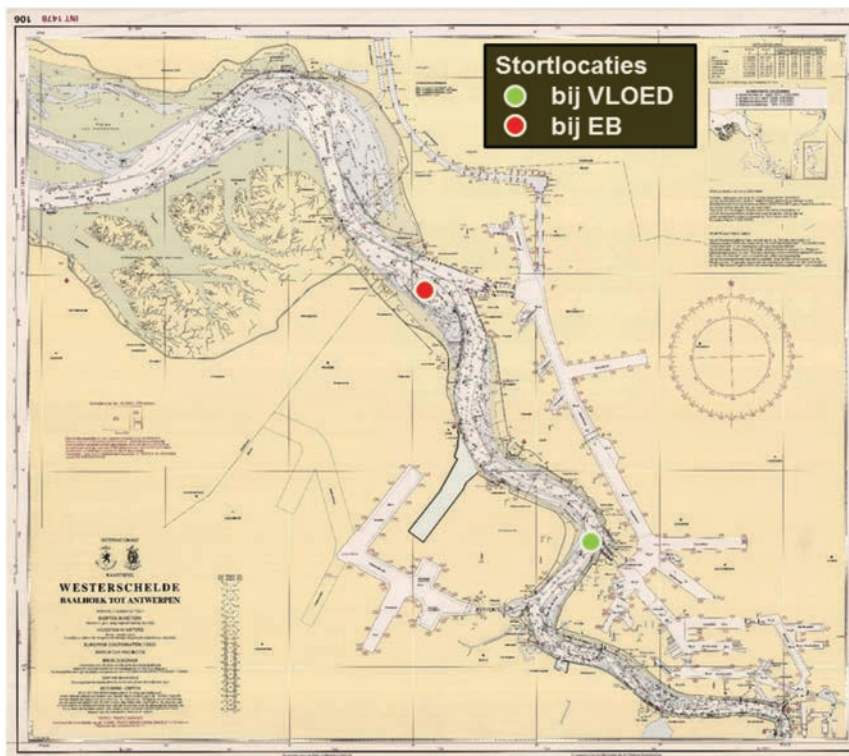
Figuur 25 - Overzicht stortlocaties "HUIDIG"

Tabel 6 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "HUIDIG"

Simulatieperiode	5 weken
Stortheveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 147' Vloed: 114'
Duur stortcampagne	28 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 23/10/2009
Duur zonder storten	7 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. $4,08 \cdot 10^6$ TDS

5.1.2 Dichtbij

Bij het stortscenario "DICHTBIJ" zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel bij eb, en Ketelputten bij vloed, Figuur 25. De onderverdeling in een eb- en vloedlocatie vindt haar oorsprong in de huidige strategie: wanneer bij eb ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel gestort wordt, zal het sediment afwaarts getransporteerd worden en zo dus weg van de baggerlocaties gaan, idem dito bij vloed voor Ketelputten. In Tabel 7 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals ze in de numerieke modelsimulaties worden geïmplementeerd.



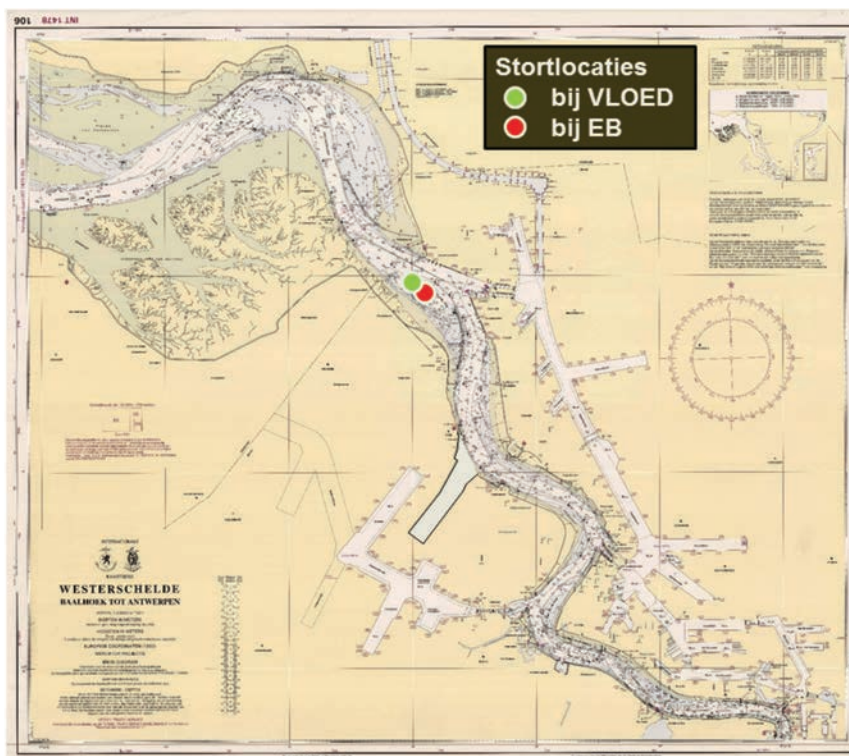
Figuur 26 - Overzicht stortlocaties "DICHTBIJ"

Tabel 7 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "DICHTBIJ"

Simulatieperiode	5 weken
Storhoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 89' Vloed: 85'
Duur stortcampagne	19 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 14/10/2009
Duur zonder storten	16 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. $4,08 \cdot 10^6$ TDS

5.1.3 Afwaarts I

Bij het stortscenario "AFWAARTS I" zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel, zowel bij eb als bij vloed, Figuur 26. In Tabel 8 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals ze in de numerieke modelsimulaties worden geïmplementeerd.



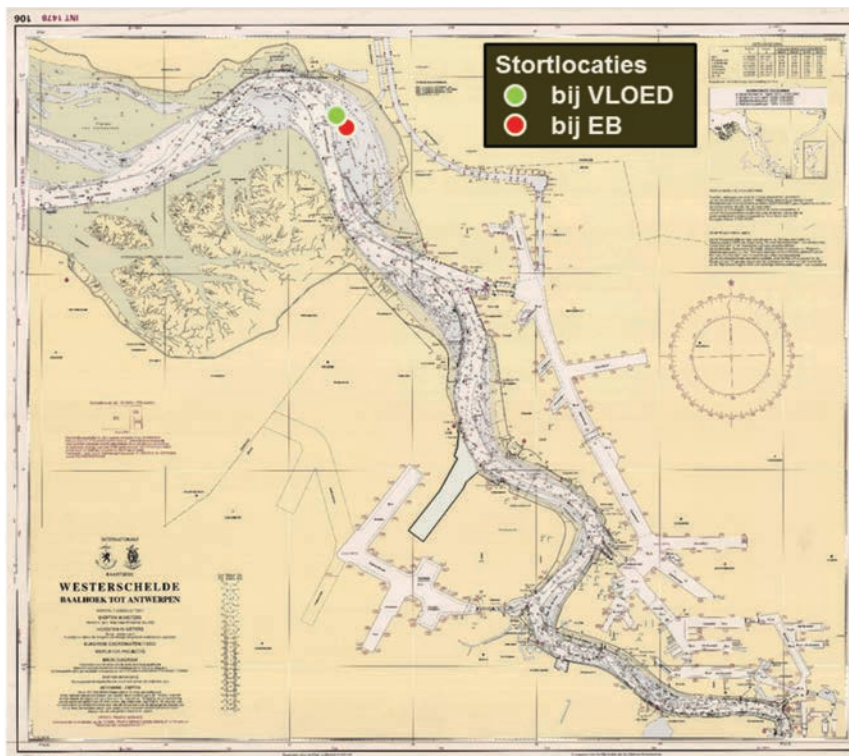
Figuur 27 - Overzicht stortlocaties "AFWAARTS I"

Tabel 8 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "AFWAARTS I"

Simulatieperiode	5 weken
Storthoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 89' Vloed: 91'
Duur stortcampagne	20 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 15/10/2009
Duur zonder storten	15 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. $4,08 \cdot 10^6$ TDS

5.1.4 Afwaarts II

Bij het stortscenario "AFWAARTS II" zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van de Appelzak, zowel bij eb als bij vloed, Figuur 27. In Tabel 9 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals ze in de numerieke modelsimulaties worden geïmplementeerd.



Figuur 28 - Overzicht stortlocaties "AFWAARTS II"

Tabel 9 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "AFWAARTS II"

Simulatieperiode	5 weken
Storthoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 131' Vloed: 134'
Duur stortcampagne	29,5 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 24/10/2009
Duur zonder storten	5,5 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. $4,08 \cdot 10^6$ TDS

5.1.5 Overzicht

Tabel 10 geeft een overzicht van de stortlocaties in de verschillende scenario's. Tabel 11 geeft een overzicht van de verdeling van de gestorte hoeveelheden slib (in %) op de verschillende stortlocaties voor de verschillende stortscenario's.

Tabel 10 – Overzicht stortscenario's

SCENARIO	EB		VLOED		Stortperiode
	HW – HW+3u	HW+3u – LW	LW – LW+3u	LW+3u - HW	
S421: Huidig	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10
S422: Dichtbij	Schaar van Ouden Doel		Ketelputten		25/09 – 14/10
S423: Afwaarts I	Schaar van Ouden Doel		Schaar van Ouden Doel		25/09 – 15/10
S424: Afwaarts II	Appelzak		Appelzak		25/09 – 24/10

Tabel 11 – Overzicht procentuele verdeling van gestort slib op de verschillende stortlocaties voor scenario S421-S422-S423-S424

% gestort slib	Appelzak	Schaar van Ouden Doel	Ketelputten	Punt van Melsele	Oosterweel
S421	0	0	0	49	51
S422	0	51	49	0	0
S423	0	100	0	0	0
S424	100	0	0	0	0

5.2 Resultaten

Ter vergelijking van de verschillende stortscenario's wordt enerzijds gekeken naar het verloop in de tijd van de sedimentconcentratie gedurende 5 weken op verschillende locaties met een tussenafstand van 10 km. Anderzijds wordt gekeken naar de variatie in de sedimentconcentratie langsheen een lengteprofiel voor verschillende getijperiodes, met name 3 doortijperiodes, 4 gemiddeld getijperiodes en 2 springtijperiodes.

De bijhorende figuren worden respectievelijk weergegeven in BIJLAGE C en BIJLAGE D.

Bij de bespreking en weergave van de simulatieresultaten zal steeds verwezen worden naar het nummer van de simulatie of naar de naam van het stortscenario. In wat volgt zullen steeds volgende benamingen en kleuren gebruikt worden per scenario:

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

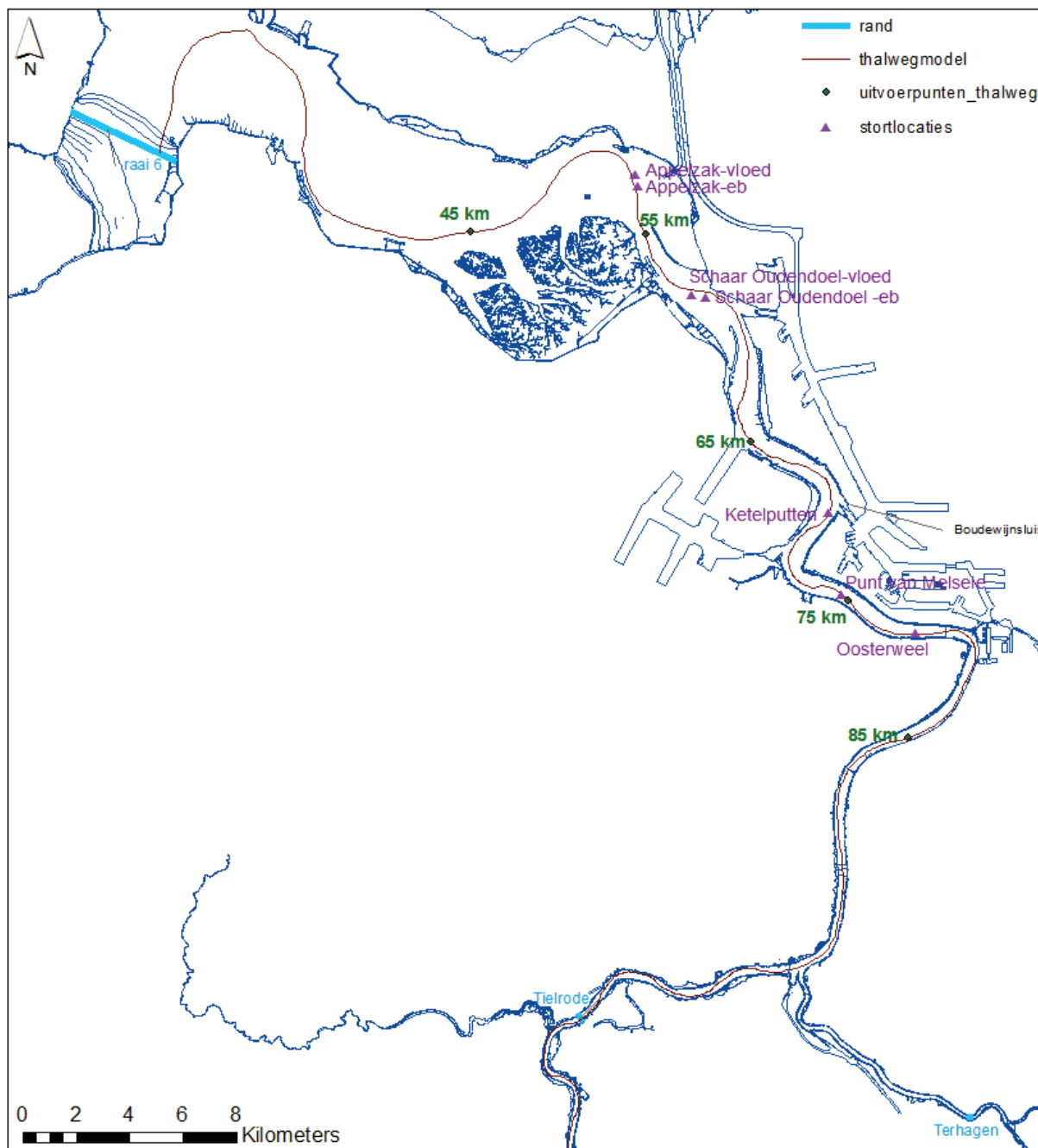
S422 = Stortscenario 'dichtbij' = Ketelputten / Schaar van Ouden Doel (KP/SchOD)

S423 = Stortscenario 'afwaarts I' = Schaar van Ouden Doel (SchaarOD)

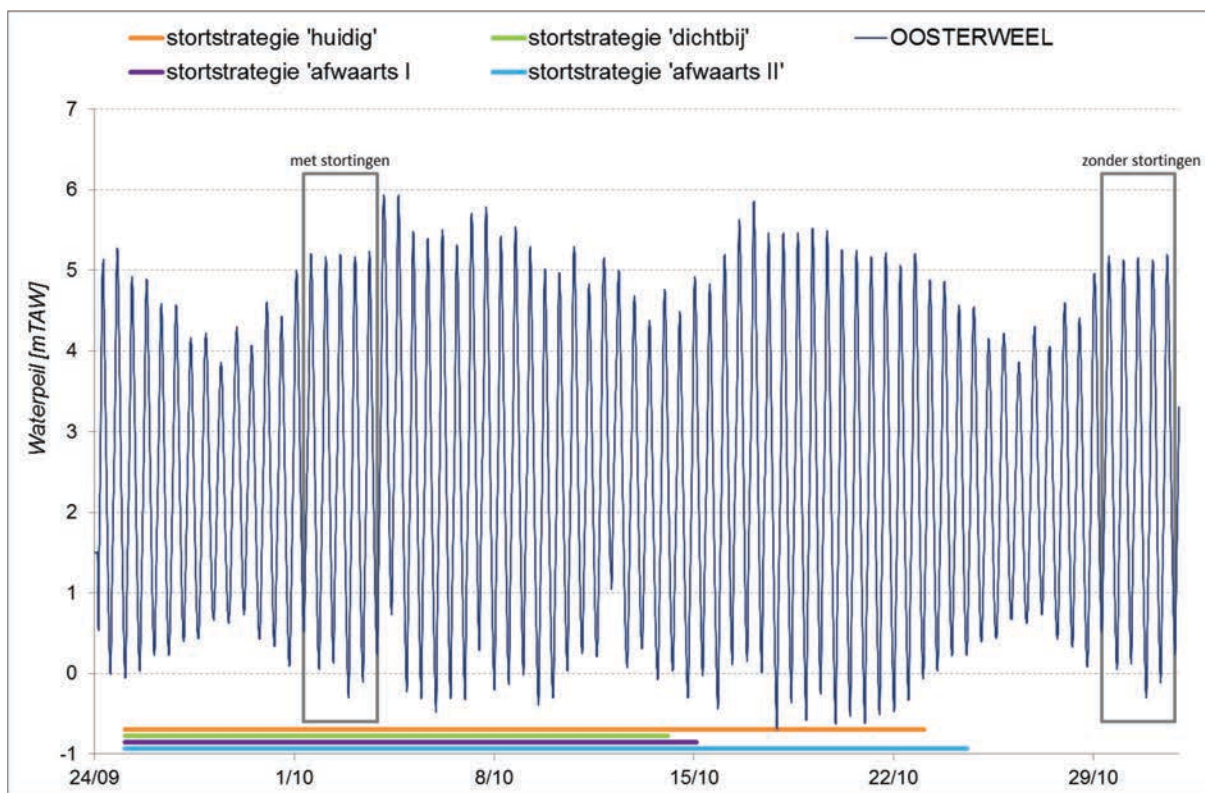
S424 = Stortscenario 'afwaarts II' = Appelzak (APZK)

5.2.1 Verloop sedimentconcentratie

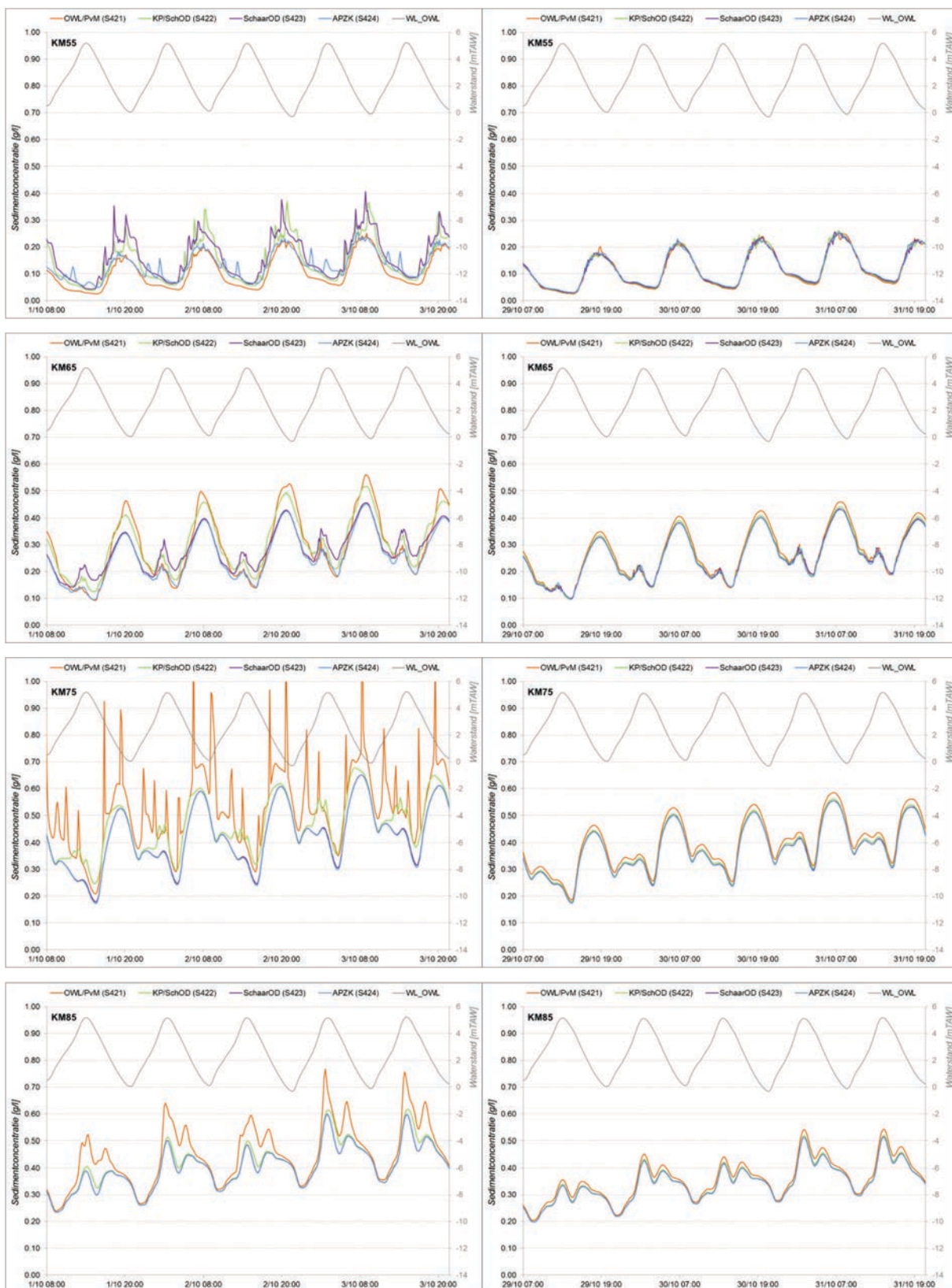
Het verloop van de sedimentconcentratie wordt bekeken op verschillende locaties langs de thalweg van de waterloop met een tussenafstand van 10 km. Figuur 28 geeft een overzicht van de stortlocaties en de uitvoerpunten langs de thalweg van de Westerschelde en Zeeschelde. Figuur 29 en Figuur 30 geven twee geselecteerde periodes uit de simulatieperiode weer, met een gelijkaardig getij, met en zonder stortingen, ter hoogte van de verschillende uitvoerpunten.



Figuur 29 – Overzicht stortlocaties en uitvoerpunten langs de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde



Figuur 30 – Overzicht getij te Oosterweel in geselecteerde periodes met en zonder stortingen (gekleurde balken onderaan figuur geven duur van stortingen per scenario weer)



Figuur 31 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor verschillende scenario's op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)

Het eerste punt ligt op 45 km van de monding van de Westerschelde, ter hoogte van Valkenisse, en afwaarts van de verschillende stortlocaties. De sedimentconcentratie is op deze locatie kleiner dan 0,20 g/l. Tijdens de tweede helft van de eerste week tot de eerste helft van de derde week vertoont de sedimentconcentratie van het stortscenario 'afwaarts I' de grootste verhoging ten opzichte van stortscenario 'huidig'. In deze perioden vertonen ook de sedimentconcentratie van de stortscenario's 'dichtbij' en 'afwaarts II' verhogingen. Voor stortscenario 'dichtbij' zijn deze echter nauwelijks of niet meer te zien vanaf week 3. Dit wordt verklaard door de korte duur van de stortcampagne (19 dagen). Het stortscenario 'afwaarts II' geeft over de volledige simulatieperiode verhogingen van sedimentconcentratie ten opzichte van het huidige scenario. Dit wordt verklaard door de duur van de stortcampagne (29,5 dagen) en door de nabije ligging van de stortlocatie ten opzichte van het uitvoerpunt (\pm 8 km langs de thalweg). Vanaf week 3 vertoont de sedimentconcentratie van stortscenario's 'dichtbij' en 'afwaarts I' een gelijkaardig verloop, met een beperkte verhoging ten opzichte van de sedimentconcentratie van het huidige stortscenario. Deze verhogingen zijn echter kleiner dan de verhoging van de sedimentconcentratie in stortscenario 'afwaarts II'. In de laatste week, wanneer er geen stortingen meer zijn, verloopt de sedimentconcentratie voor de verschillende scenario's quasi gelijk.

Het tweede uitvoerpunt ligt op 55 km van de monding van de Westerschelde, ongeveer ter hoogte van Saeftinge, circa 2 km opwaarts van stortlocaties Appelzak-eb en -vloed, en circa 3,5 km afwaarts van stortlocaties Schaar van Ouden Doel (eb en vloed). De gesimuleerde sedimentconcentratie op deze locatie is steeds kleiner van 0,50 g/l. Tijdens de eerste drie weken van de simulatieperiode wordt de sedimentconcentratie het sterkst beïnvloed door de stortingen van stortscenario's dichtbij en afwaarts I. In beide scenario's wordt bij eb gestort ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. Dit zorgt voor een stijging van de sedimentconcentratie tijdens eb, ten opzichte van het huidige stortscenario. Na de stortcampagne is er weinig of geen effect meer op de sedimentconcentratie. Opvallend is de verhoging van de sedimentconcentratie, bij lage concentraties (na kentering eb en bij vloed), bij stortscenario's afwaarts II ten opzichte van de andere scenario's. Tijdens de geselecteerde periode zonder stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie circa 0,25 g/l. Tijdens de geselecteerde periode met stortingen stijgt deze tot circa 0,40 g/l in stortscenario's 'afwaarts I' en 'dichtbij'. Voor deze scenario's zijn duidelijke pieken in sedimentconcentratie waar te nemen bij de stortingen. De sedimentconcentratie voor de scenario's 'dichtbij' en 'afwaarts I' daalt in deze periode niet tot de waarde van scenario 'huidig', die als achtergrondconcentratie beschouwd kan worden.

Het uitvoerpunt op 65 km van de monding van de Westerschelde ligt ter hoogte van het Deurganckdok, circa 6 km opwaarts van de stortlocaties bij Schaar van Ouden Doel, en op circa 4 km afwaarts van de stortlocatie Ketelputten. De maximale (gesimuleerde) sedimentconcentratie bedraagt op deze locatie circa 0,70 g/l. Over de volledige simulatieperiode zijn de pieken in sedimentconcentratie bij eb voor het huidige stortscenario en scenario 'dichtbij' hoger ten opzichte van de andere scenario's. De concentratiepiek tijdens vloed lijkt het sterkst beïnvloed door scenario 'afwaarts I'. De sedimentconcentratie van het stortscenario 'afwaarts II' ligt quasi gedurende de hele simulatieperiode lager dan de sedimentconcentratie van de andere scenario's. Deze concentratie kan als achtergrondconcentratie beschouwd worden. Tijdens de geselecteerde periode zonder stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie circa 0,45 g/l. Tijdens de geselecteerde periode met stortingen stijgt deze tot circa 0,55 g/l in het huidige stortscenario, en 0,52 g/l in stortscenario 'dichtbij'. De sedimentconcentratie voor scenario 'afwaarts I' vertoont enkel tijdens vloed een stijging. De sedimentconcentratie voor het huidige scenario daalt tijdens vloed tot circa gelijke waarde met de (achtergrond)concentratie van scenario 'afwaarts II'.

Ter hoogte van het uitvoerpunt op 75 km van de monding van de Westerschelde overstijgt de maximale waarde van de (gesimuleerde) sedimentconcentratie 1 g/l. Dit uitvoerpunt ligt ter hoogte van de Punt van Melsele, waar in het huidige stortscenario gestort wordt bij vloed. In het verloop van de sedimentconcentratie zijn duidelijke pieken te zien bij stortingen. De sedimentconcentratie daalt echter vrij snel na de storting, doch blijft nog hoger dan de achtergrondconcentratie. Het

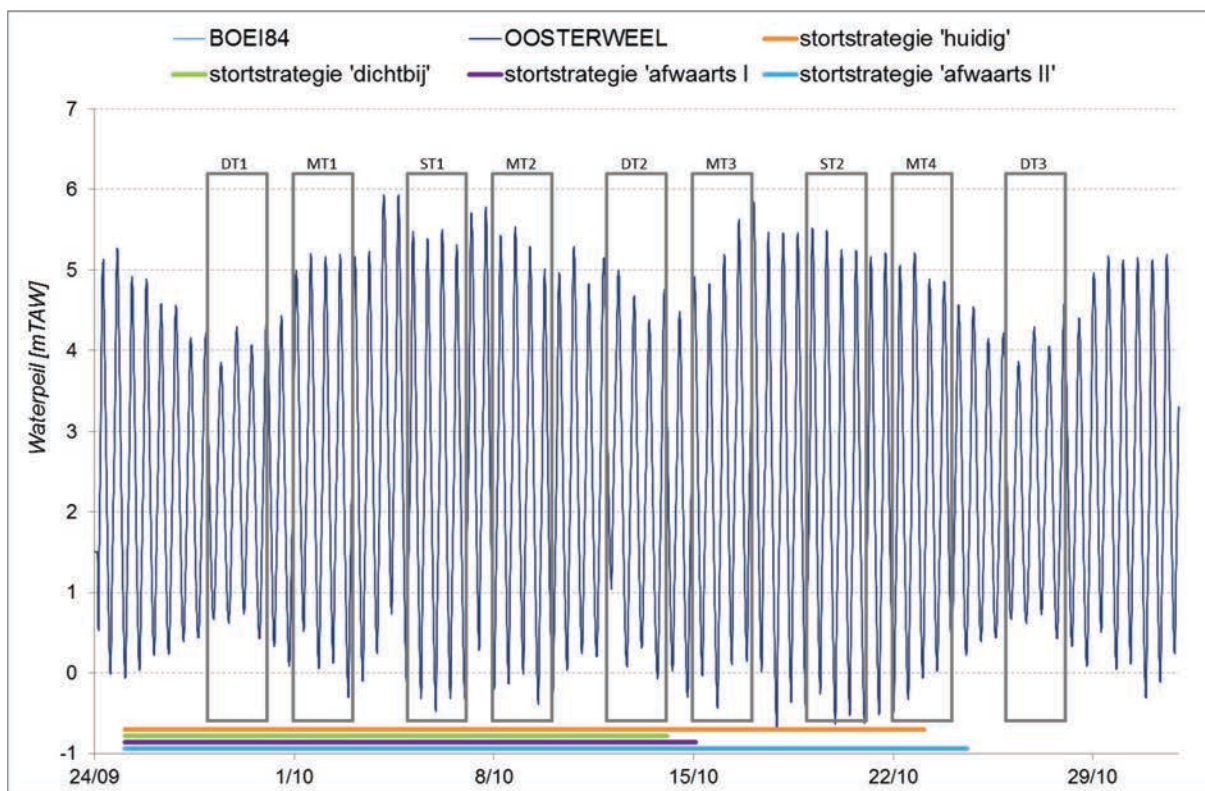
stortscenario 'dichtbij' heeft op deze locatie slechts een beperkte invloed op de sedimentconcentratie met beperkte verhoging tijdens de eb- en vloedpieken. De stortscenario's 'afwaarts I' en 'afwaarts II' hebben geen invloed op de sedimentconcentratie op deze locatie. De sedimentconcentratie van deze scenario's kan beschouwd worden als achtergrondconcentratie. Ook na het einde van de stortperiode van scenario 'huidig' (23/10) blijft de sedimentconcentratie hoger dan deze in de andere scenario's, tot het einde van de simulatieperiode. Tijdens de geselecteerde periode zonder stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie bijna 0,60 g/l in het huidige stortscenario. Tijdens de geselecteerde periode met stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie in het huidige stortscenario meer dan 1 g/l, tijdens een piek na een storting. Tijdens eb zijn de concentratiepieken van het huidige stortscenario hoger dan tijdens vloed.

Het uitvoerpunt op 85 km van de monding van de Westerschelde ligt opwaarts ten opzichte van de verschillende stortlocaties, ter hoogte van Burchtse Weel, op circa 7 km van stortlocatie Oosterweel. De maximale sedimentconcentratie op deze locatie bedraagt circa 0,85 g/l. De stortscenario's 'afwaarts I' en 'afwaarts II' hebben geen invloed op de sedimentconcentratie op deze locatie. De sedimentconcentratie van deze scenario's kan beschouwd worden als achtergrondconcentratie. De sedimentconcentratie van het huidige stortscenario vertoont nog sterke verhogingen ten opzichte van de andere scenario's. Ook na het einde van de stortperiode blijft de sedimentconcentratie van het huidige stortscenario nog beperkt hoger dan in de andere scenario's. De sedimentconcentratie van het stortscenario 'dichtbij' vertoont slechts een beperkte verhoging ten opzichte van stortscenario's 'afwaarts I' en 'afwaarts II'. Deze verdwijnt naar het einde van de simulatieperiode. Tijdens de geselecteerde periode zonder stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie voor het huidige stortscenario circa 0,55 g/l. Tijdens de geselecteerde periode met stortingen bedraagt de maximale sedimentconcentratie in het huidige stortscenario circa 0,75 g/l, tijdens een piek na een storting. Op deze locatie zijn de concentratiepieken van het huidige stortscenario het grootst tijdens vloed.

5.2.2 Lengteprofielen

De sedimentconcentratie wordt voor verschillende getijperiodes en voor de volledige simulatieperiode uitgezet op een lengteprofiel van de waterloop. Elke getijperiode heeft een duur van 2 dagen. Per getijperiode wordt het 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie weergegeven. In Figuur 31 en Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de geselecteerde getijperiodes en de bijhorende simulatieperiodes. Bij de periodes rondom gemiddeld getij kan onderscheid gemaakt worden tussen gemiddeld getij gaande van doortij naar springtij (MT1 en 3), of omgekeerd gemiddeld getij gaande van springtij naar doortij (MT2 en 4).

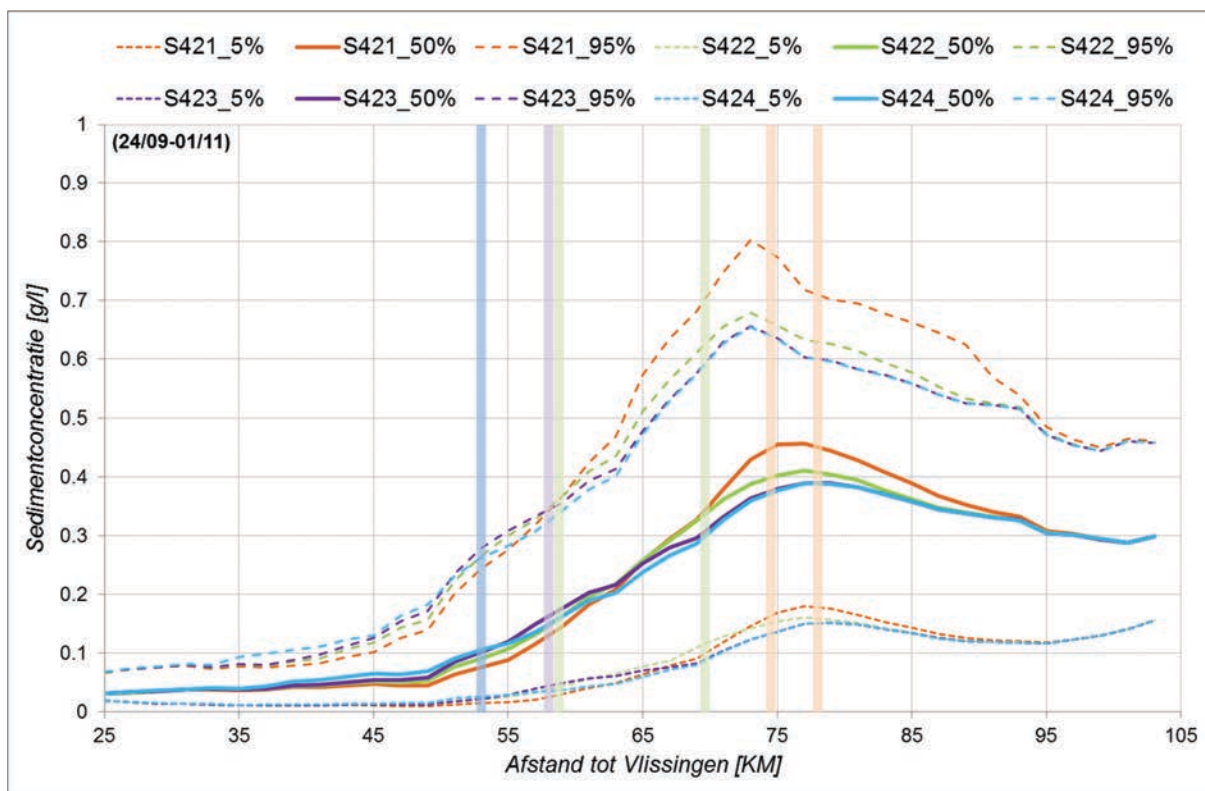
Figuur 32 toont het lengteprofiel met de sedimentconcentratie voor de volledige simulatieperiode. De lengteprofielen voor de verschillende getijperiodes worden weergegeven in BIJLAGE B. Figuur 33 toont het lengteprofiel met de relatieve sedimentconcentratie ten opzichte van het scenario met de huidige stortstrategie voor het 50^{ste} percentiel.



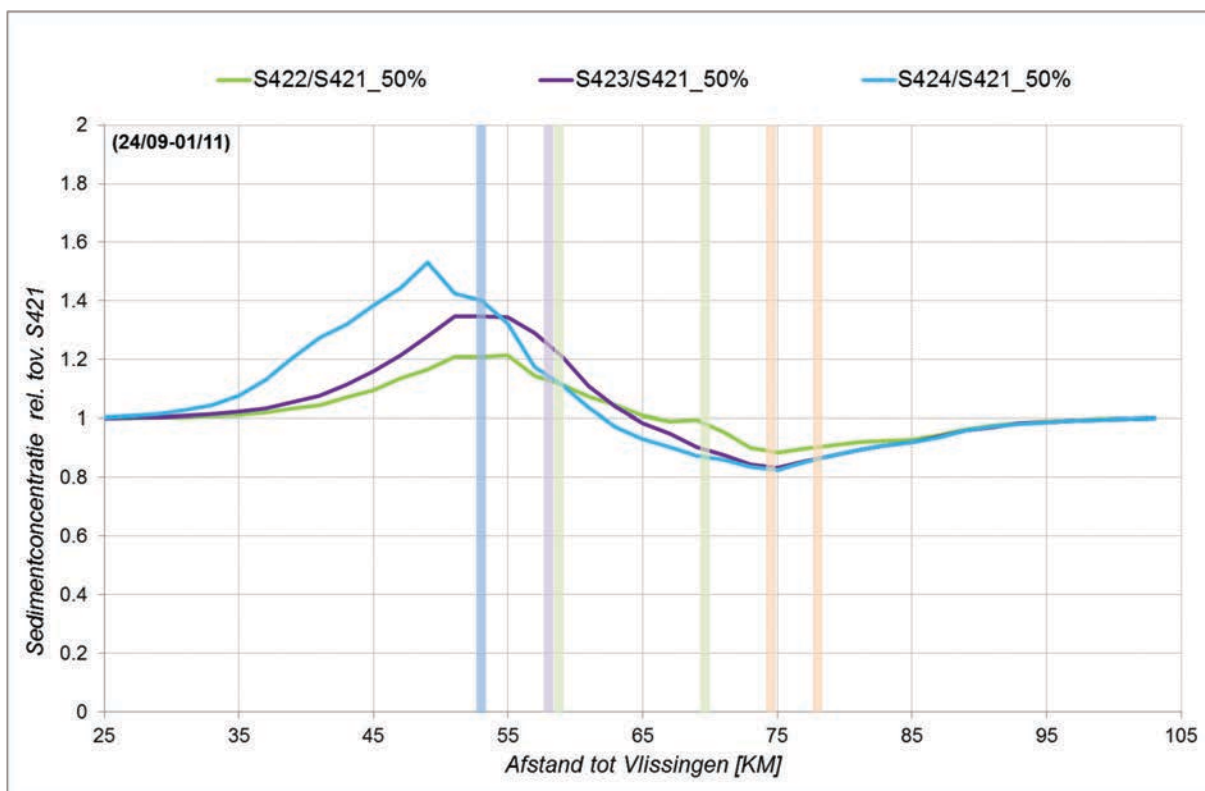
Figuur 32 – Overzicht geselecteerde getijperiodes en stortperiodes

Tabel 12 – Overzicht getijperiodes

Getijperiode	Simulatieperiode
DT1	28/09 – 30/09
DT2	12/10 – 14/10
DT3	26/10 – 28/10
MT1 (DT-ST)	01/10 – 03/10
MT2 (ST-DT)	08/10 – 10/10
MT3 (DT-ST)	15/10 – 17/10
MT4 (ST-DT)	22/10 – 24/10
ST1	05/10 – 07/10
ST2	19/10 – 21/10



Figuur 33 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – volledige simulatieperiode



Figuur 34 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 50^{ste} percentiel relatieve sedimentconcentratie ten opzichte van huidig stortscenario (S421) – volledige simulatieperiode

De eerste doortijperiode (DT1 28/09-30/09) valt net na het begin van de stortingen. Opvallend is dat de verhogingen van de sedimentconcentratie veelal optreden afwaarts van de stortlocatie. Dit effect is het duidelijkst te zien bij het 95^{ste} percentiel, doch ook bij de 50^{ste} percentielwaarden.

Ook in de tweede doortijperiode (DT2 12/10-14/10) is ditzelfde effect waarneembaar. Deze periode valt op het einde van de stortcampagne in stortscenario 'dichtbij' en 'afwaarts I'. De sedimentconcentratie is algemeen hoger dan in de eerste doortijperiode.

De derde doortijperiode (DT3 26/10-28/10) valt volledig na afloop van de stortcampagnes in de verschillende scenario's. De sedimentconcentratie in de verschillende stortscenario's verschilt slechts weinig. De sedimentconcentratie voor het huidige stortscenario ligt net iets hoger dan deze voor de andere scenario's.

De eerste en de derde periode van gemiddeld getij (MT1 01/10-03/10 en MT3 15/10-17/10) vallen respectievelijk na de eerste en de tweede doortijperiodes. Ook bij deze gemiddelde getijperiodes valt op dat het effect op de sedimentconcentratie in het 95^{ste} percentiel voornamelijk afwaarts van de stortlocaties optreedt. Bij de derde gemiddeld getijperiode is het effect van de storting ter hoogte van Schaar van Ouden Doel niet meer zo duidelijk. Deze gemiddeld getijperiode valt echter aan het einde van de stortcampagnes op deze locatie. Bij de sedimentconcentratie van het 50^{ste} percentiel treedt het effect van de stortingen zowel op- als afwaarts van de stortlocaties op.

De tweede en de vierde periode van gemiddeld getij (MT2 08/10-10/10 en MT4 22/10-24/10) vallen na de eerste en tweede springtijperiode (ST1 05/10-07/10 en ST2 19/10-21/10). De vierde gemiddeld getijperiode en tweede springtijperiode vallen net voor het einde van de stortcampagnes van scenario's 'huidig' en 'afwaarts II'. Voornamelijk voor het stortscenario 'huidig' lijkt het effect op de sedimentconcentratie zowel bij het 50^{ste} als het 95^{ste} percentiel op te treden op- en afwaarts van de stortlocatie. De sedimentconcentratie voor het stortscenario 'afwaarts II' wordt in het 95^{ste} percentiel voornamelijk beïnvloed afwaarts van de stortlocatie en in het 50^{ste} percentiel zowel op- als afwaarts van de stortlocatie.

De tweede en derde gemiddeld getij- periode en eerste springtijperiode vallen nog tijdens de stortcampagnes op de verschillende locaties. Tijdens deze periodes treden gelijkaardige effecten op in de sedimentconcentratie als in de eerste gemiddeld getijperiode.

Over de volledige simulatieperiode lijkt het effect van de stortingen lager omwille van uitmiddeling van de sedimentconcentratie. Het effect van de stortingen is het grootst voor het huidige stortscenario, in het 95^{ste} percentiel net afwaarts van de stortlocaties en in het 50^{ste} en 5^{de} percentiel ter hoogte van en op- en afwaartse van de stortlocaties. Voor het stortscenario 'dichtbij' is het effect van de stortingen in het 50^{ste} en 5^{de} percentiel meer uitgesproken ter hoogte van net opwaarts van de stortlocatie. In het 95^{ste} percentiel is het effect ook afwaarts van de stortlocatie meer uitgesproken. In de stortscenario 'afwaarts I' en 'afwaarts II' is in het 95^{ste} percentiel het effect van de storting voornamelijk afwaarts van de stortlocaties te zien. In het 50^{ste} en het 5^{de} percentiel is het effect weerom ter hoogte van en op- en afwaartse van de stortlocaties te zien.

Het relatief effect van de verschillende stortscenario's ten opzichte van het huidige scenario op de sedimentconcentratie is het grootst tussen kilometer 50 en 60. Wanneer gestort wordt ter hoogte van Appelzak (S424) stijgt de sedimentconcentratie tot een waarde van anderhalf maal de sedimentconcentratie bij het huidige stortscenario. Opvallend is dat deze stijging afwaarts van de stortlocatie voorkomt. Dit geldt ook voor de andere stortscenario's, al is het effect hierbij minder groot. Bij scenario S422, waarbij 51% ter hoogte van Schaar van Ouden Doel gestort wordt, en 49% ter hoogte van Ketelputten (zie Tabel 11), is het relatieve effect het grootst ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. Ketelputten is echter dichterbij de huidige stortlocaties gelegen, waardoor de sedimentconcentratie er in het huidige scenario mogelijks ook beïnvloed wordt door de stortingen.

5.2.3 Conclusies

De eerste reeks scenarioberekeningen omvat een aantal extreme scenario's waarbij de gebaggerde sedimenten teruggestort worden op één of twee locaties in het estuarium. Naast de referentietoestand, werden 3 alternatieve scenario's gedefinieerd, waarbij telkens uitgegaan werd van het meer afwaarts storten ten opzichte van de huidige toestand. Een uitgangspunt is het beperken van de verstoring in sedimenthuishouding door sediment terug te storten in de nabije omgeving van de baggerlocaties. Tevens beoogt de invulling van deze scenario's het risico op een mogelijke regime shift [Winterwerp, 2013] te reduceren. Ook al is er weinig gekend over dit potentiële risico en de exacte oorzaken ervan.

De stortscenario's waarbij de stortlocatie(s) dichterbij de baggerlocaties is gelegen resulteert enerzijds in een reductie van de duur van de baggercyclus (met name door kleinere vaartijd), maar zal anderzijds resulteren in een hogere retourstroom van het sediment naar de drempels. Op basis van empirische modellen en de resultaten van de modelsimulaties werd een inschatting gemaakt van de verwachte wijzigingen in sedimentatie ter hoogte van de baggerlocaties en tevens de slikken en schorren [Coen *et al.*, 2015b]. Hierbij blijkt dat door dichterbij de baggerlocaties te storten, er een toename (5-10%) mag verwacht worden van de sedimentatie op de baggerlocaties. Dit zal op zijn beurt leiden tot grotere stortvolumes: rekening houdend met een modelonzekerheden, wordt ingeschat dat een toename in de baggerhoeveelheden van 10 tot 20% kan verwacht worden wanneer geopteerd wordt voor stortlocaties in de nabijheid van de baggerlocaties (cfr. Schaar van Ouden Doel of Ketelputten). Deze toename kan gereduceerd worden door het terugstorten uit te voeren in bepaalde fases van het getij (zie Hoofdstuk 6).

Uit de modelresultaten blijkt dat meer afwaarts storten leidt tot een verhoging van de sedimentconcentratie in de afwaartse delen, terwijl er een afname optreedt in de opwaartse delen. Absoluut gezien is de toename afwaarts aanzienlijk kleiner dan de afname opwaarts. Dit wordt verklaard door de grotere getijvolumes naarmate meer afwaarts in het estuarium gekeken wordt. Deze grotere watermassa zorgt ervoor dat eenzelfde storthoeveelheid leidt tot een kleinere toename in sedimentconcentratie.

Waar de absolute toename in de afwaartse delen kleiner is dan de absolute afname in de opwaartse delen wanneer meer afwaarts gestort wordt, geven de relatieve wijzigingen een ander beeld. Doordat de sedimentconcentratie in de afwaartse delen (nabij de grens) aanzienlijk lager is dan in de opwaartse delen (nabij Oosterweel), zal de toename in sedimentconcentratie in de afwaartse delen relatief gezien belangrijker zijn dan de relatieve afname in de opwaartse delen.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat in de realiteit er grote variatie optreedt in de sedimentconcentratie, dit omwille van o.a. seizoenale variatie en effecten van bovenafvoer (zie Figuur 9, en volgende in [Coen *et al.*, 2015a]). Daar waar het getijvolume slechts een variatie vertoont over de springtij-doodtij-cyclus, zal het effect van de stortingen op de absolute sedimentconcentratie vrij constant zijn. Het relatieve effect kan echter meer variatie vertonen.

6 SCENARIOBEREKENINGEN – FASE 2

In Hoofdstuk 5 werden een aantal extreme scenario's onderzocht waarbij met name gefocust werd op het effect op de sedimentconcentratie van meer afwaarts storten. Uit een verkenning van de ecologische effecten (primaire productie), blijkt met name de relatieve verandering in sedimentconcentratie van belang te zijn. Daarnaast resulteert het meer afwaarts storten ook in een snellere retourstroom (tot 10-20%) naar de baggerlocaties [Coen *et al.*, 2015b], waarbij dientengevolge ook meer sediment dient teruggestort te worden. Gelet op deze aandachtspunt, werden in de vervolg fase een aantal "realistische" scenario's gedefinieerd.

6.1 Beschrijving stortscenario's

Op basis van de resultaten uit de eerste reeks scenario's en de hierboven vermelde aspecten, werd een tweede reeks stortscenario's gedefinieerd. Het uitgangspunt van deze scenario's is om het merendeel (ca. 50%) terug te storten ter hoogte van de huidige locaties en het resterende deel meer afwaarts te storten, en zodanig het risico op een mogelijke regime shift te reduceren.

Eén scenario is gekozen waarbij gedurende de eerste fase van de vloed ter hoogte van Ketelputten wordt gestort, één scenario waarbij gedurende de eerste fase van de eb ter hoogte van Schaar van Ouden Doel wordt gestort, en één scenario waarbij beide alternatieve locaties worden benut. De onderverdeling in een eb- en vloedlocatie vindt haar oorsprong in de huidige strategie: wanneer bij eb ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel gestort wordt, zal het sediment afwaarts getransporteerd worden en zo dus weg van de baggerlocaties gaan (beperken retourstroom sediment naar drempels), idem dito bij vloed voor Ketelputten.

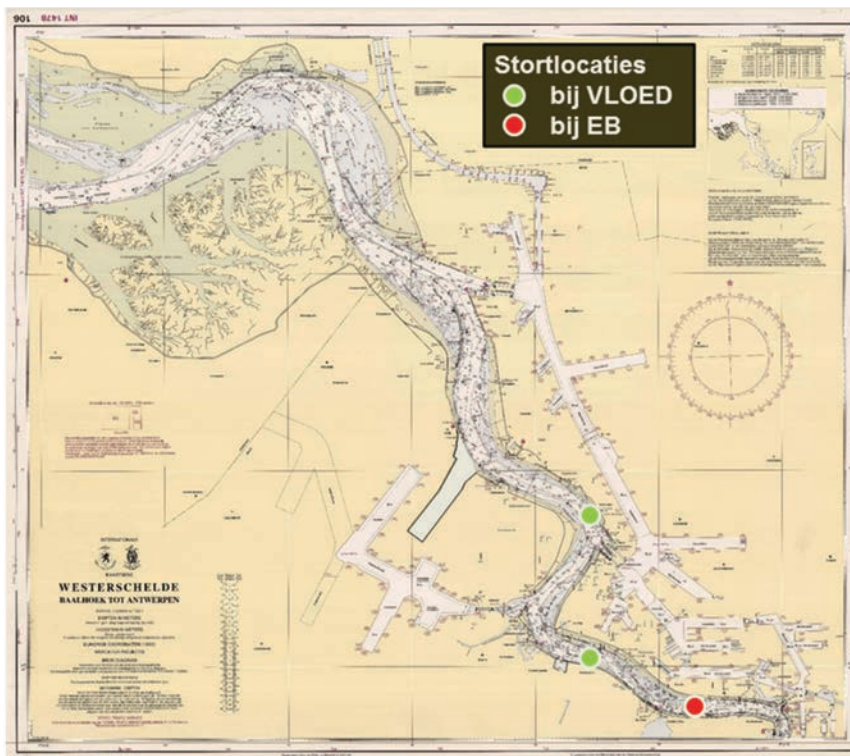
Het betreft volgende scenario's:

5. Huidig + dichtbij opwaarts: huidige stortstrategie, waarbij in de initiële fase van de vloed (LW tot LW+3u) gestort wordt ter hoogte van Ketelputten in plaats van Punt bij Melsele
6. Huidig + dichtbij afwaarts: huidige stortstrategie, waarbij in de initiële fase van de eb (HW tot HW+3u) gestort wordt ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel in plaats van Oosterweel
7. Huidig + dichtbij opwaarts+afwaarts: huidige stortstrategie, waarbij in de initiële fase van de vloed (LW tot LW+3u) gestort wordt ter hoogte van Ketelputten en in de initiële fase van de eb (HW tot HW+3u) gestort wordt ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel

De verschillende scenario's worden in de volgende paragrafen beschreven.

6.1.1 Huidig + dichtbij opwaarts

Bij het stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS" zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van Oosterweel bij eb zoals in het huidige scenario. Tijdens de eerste fase van de vloed, i.e. vanaf laag water tot drie uur na laagwater, bij ketelputten. Vanaf drie uur na laagwater tot volgende hoog water zal er dan gestort worden bij Punt van Melsele, zie Figuur 34. In Tabel 13 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals deze in de numerieke modelsimulaties werden geïmplementeerd.



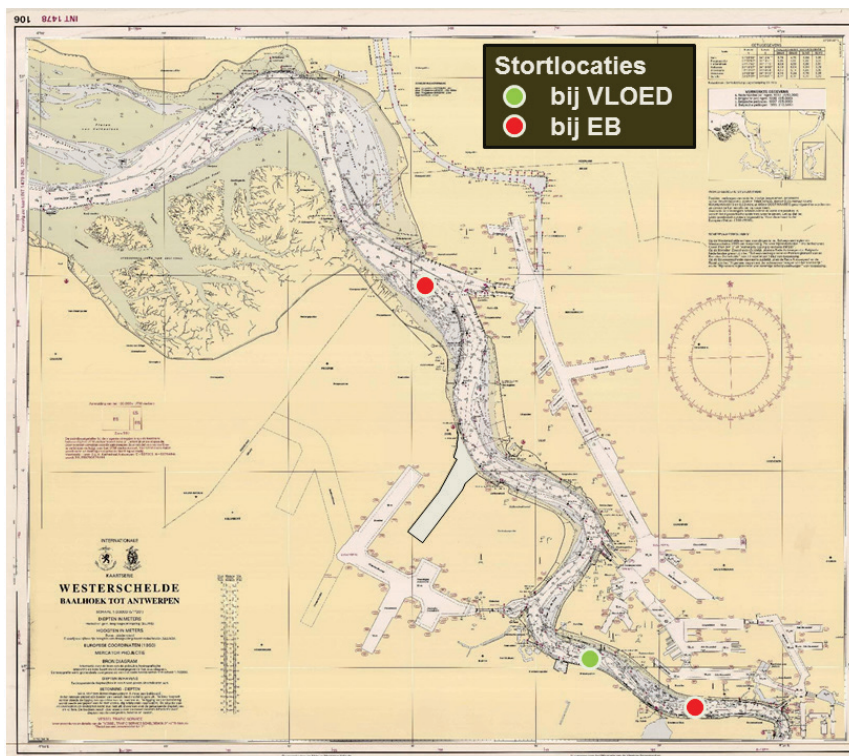
Figuur 35 - Overzicht stortlocaties "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS"

Tabel 13 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS"

Simulatieperiode	5 weken
Storhoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 147' Vloed: 85' of 114'
Duur stortcampagne	24,5 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 23/10/2009
Duur zonder storten	10,5 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. 4,08.10 ⁶ TDS

6.1.2 Huidig + dichtbij afwaarts

Bij het stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ AFWAARTS" zal het gebaggerde sediment in de eerste fase van eb teruggestort worden ter hoogte van Schaar van Ouden Doel (HW tot HW+3u) en vervolgens bij Oosterweel (HW+3u tot LW) bij eb. Bij vloed wordt er gestort bij Punt van Melsele, zoals in het huidige scenario (zie Figuur 35). In Tabel 14 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals deze in de numerieke modelsimulaties werden geïmplementeerd.



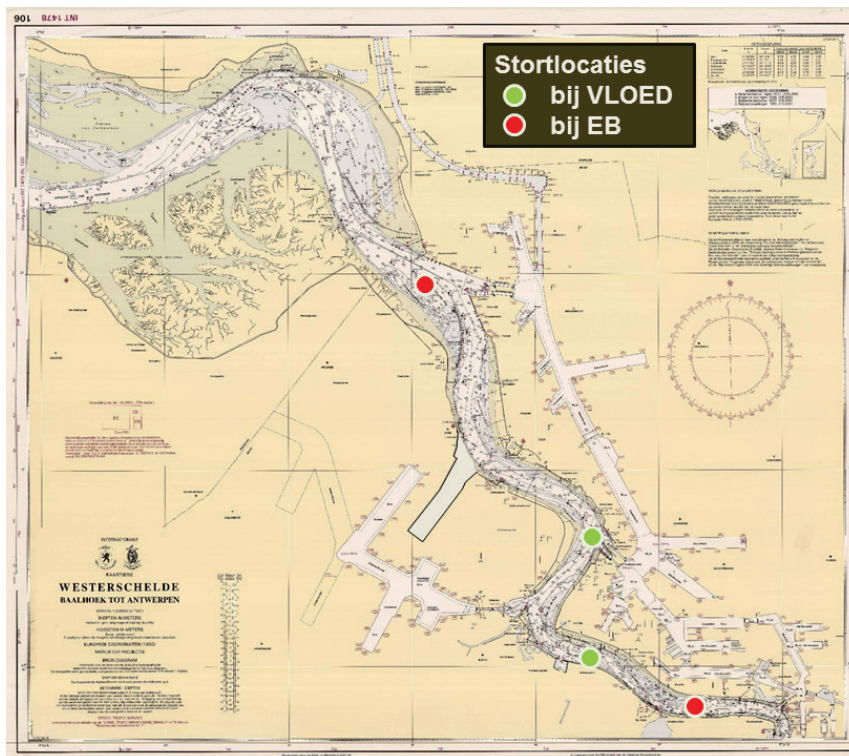
Figuur 36 - Overzicht stortlocaties "HUIDIG + DICHTBIJ AFWAARTS"

Tabel 14 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ AFWAARTS"

Simulatieperiode	5 weken
Storthoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 89' of 147' Vloed: 114'
Duur stortcampagne	23,7 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 18/10/2009
Duur zonder storten	11,3 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. $4,08 \cdot 10^6$ TDS

6.1.3 Huidig + dichtbij opwaarts+afwaarts

Het stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS+AFWAARTS" is een combinatie van de twee voorgaande scenario's: Tijdens eb zal het gebaggerde sediment teruggestort worden ter hoogte van Schaar van Ouden Doel (HW tot HW+3u) en Oosterweel (HW+3u tot LW). Tijdens de vloedfase zal het sediment gestort worden bij Ketelputten (LW tot LW+3u) en Punt van Melsele (LW+3u tot HW) (Figuur 36). In Tabel 15 worden de instellingen voor deze stortstrategie weergegeven zoals deze in de numerieke modelsimulaties werden geïmplementeerd.



Figuur 37 - Overzicht stortlocaties "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS+AFWAARTS"

Tabel 15 - Overzicht modelinstellingen stortscenario "HUIDIG + DICHTBIJ OPWAARTS"

Simulatieperiode	5 weken
Storhoeveelheid	1212 TDS / storting
Duur individuele storting	6' @ 3,37 TDS/s
Interval tussen 2 stortingen	Eb: 89' of 147' Vloed: 85' of 114'
Duur stortcampagne	23,4 dagen
Stortcampagne simulatieperiode	25/09/2009 – 18/10/2009
Duur zonder storten	11,6 dagen
Totale jaarlijkse hoeveelheid	Ca. 4,08.10 ⁶ TDS

6.1.4 Overzicht

Tabel 16 geeft een overzicht van de stortlocaties in de verschillende scenario's. Tabel 17 geeft een overzicht van de verdeling van de gestorte hoeveelheden slib (in %) op de verschillende stortlocaties voor de verschillende stortscenario's. Hieruit blijkt dat bij meer dan 2 stortlocaties de verdeling van de gestorte hoeveelheden slib niet gelijk is over de verschillende locaties. Dit heeft te maken met de verschillende vaartijd tussen 2 stortingen voor de verschillende locaties. Schaar van Ouden Doel en Ketelputten zijn dichtbij de baggerlocaties gelegen dan Punt van Melsele en Oosterweel. De keuze van de locatie rond het keren van het tij is afhankelijk van de starttijd van de storting. Bijvoorbeeld voor scenario S434 wanneer een schip in de tweede helft van de vloed geladen aan het varen is naar de stortlocatie (Punt van Melsele), en het bij aankomst op de stortlocatie reeds eb zou zijn, is ervoor gekozen het schip reeds te laten storten op de eblocatie (Schaar van Ouden Doel). Hetzelfde geldt voor het keren van eb naar vloed. Op het einde van de vloed zal het schip gaan storten op de eblocatie (Ketelputten) in plaats van de op vloedlocatie (Oosterweel).

Tabel 16 – Overzicht stortscenario's

SCENARIO	EB		VLOED		Stortperiode
	HW – HW+3u	HW+3u – LW	LW – LW+3u	LW+3u - HW	
S421: Huidig	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10
S422: Dichtbij	Schaar van Ouden Doel		Ketelputten		25/09 – 14/10
S423: Afwaarts I	Schaar van Ouden Doel		Schaar van Ouden Doel		25/09 – 15/10
S424: Afwaarts II	Appelzak		Appelzak		25/09 – 24/10
S428: Huidig+dichtbij opwaarts	Oosterweel		Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 23/10
S429: Huidig+dichtbij afwaarts	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Punt van Melsele		25/09 – 18/10
S434: Huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 18/10

Tabel 17 – Overzicht procentuele verdeling van gestort slib op de verschillende stortlocaties voor scenario S421-S428-S429-S434

% gestort slib	Appelzak	Schaar van Ouden Doel	Ketelputten	Punt van Melsele	Oosterweel
S421	0	0	0	49	51
S428	0	0	45	16	39
S429	0	35	0	49	16
S434	0	21	34	15	30

6.2 Resultaten

Ter vergelijking van de verschillende stortscenario's wordt enerzijds gekeken naar het verloop in de tijd van de sedimentconcentratie gedurende 5 weken op verschillende locaties met een tussenafstand van 10 km. Anderzijds wordt gekeken naar de variatie in de sedimentconcentratie langsheen een lengteprofiel voor verschillende getijperiodes, met name 3 doortijperiodes, 4 gemiddeld getijperiodes en 2 springtijperiodes.

De bijhorende figuren worden respectievelijk weergegeven in BIJLAGE C en BIJLAGE D.

Bij de bespreking en weergave van de simulatieresultaten zal steeds verwezen worden naar het nummer van de simulatie of naar de naam van het stortscenario. In wat volgt zullen steeds volgende benamingen en kleuren gebruikt worden per scenario:

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

S428 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' = Oosterweel / Ketelputten+Punt van Melsele (OWL/KP+PvM)

S429 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele (SchOD+OWL/PvM)

S434 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele + Ketelputten (SchOD+OWL/PvM+KP)

6.2.1 Verloop sedimentconcentratie

Het verloop van de sedimentconcentratie wordt bekeken op verschillende locaties langs de thalweg van de waterloop met een tussenafstand van 10 km. Figuur 28 geeft een overzicht van de stortlocaties en de uitvoerpunten langs de thalweg van de Westerschelde en Zeeschelde.

Figuur 40 geeft voor twee geselecteerde periodes uit de simulatieperiode het verloop van de sedimentconcentratie weer, bij een gelijkaardig getij, met en zonder stortingen, ter hoogte van de verschillende uitvoerpunten, voor het huidige stortscenario en de scenario's met verhoogde hoeveelheid gestort slib. Het verloop van de sedimentconcentratie over de volledige simulatieperiode op de geselecteerde kilometerpunten voor bovenstaande scenario's wordt weergegeven in BIJLAGE C.

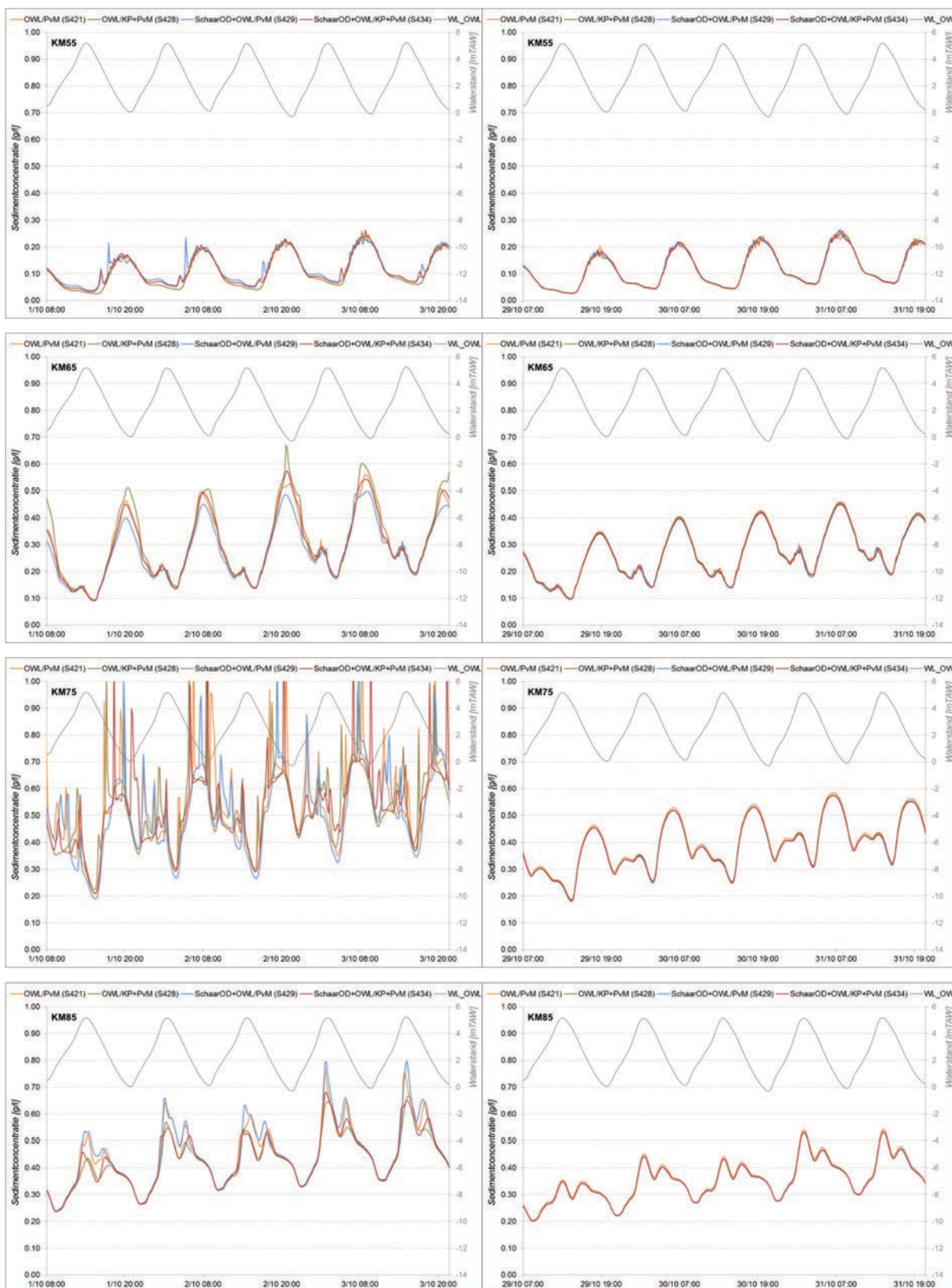
Het eerste punt ligt op 45 km van de monding van de Westerschelde, ongeveer ter hoogte van Valkenisse, en afwaarts van de verschillende stortlocaties. De sedimentconcentratie bedraagt op deze locatie maximum 0,15 g/l. Tijdens de eerste 3 weken vertoont de sedimentconcentratie van de scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts' en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' opvallende verhogingen ten opzichte van de andere scenario's. In deze scenario's wordt tijdens de eerste drie uren van eb gestort ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. Deze stortingen eindigen aan het einde de 3^{de} week. De concentratieverhogingen zijn nog zichtbaar in het begin van de 4^{de} week, tot circa 3 getijden na het einde van de stortingen.

Kilometerpunt 55 is circa 3,5 km afwaarts gelegen van de stortlocatie Schaar van Ouden Doel, ter hoogte van Saeftinge. De maximale sedimentconcentratie op deze locatie bedraagt circa 0,35 g/l. Tijdens de eerste 3 weken van de simulatieperiode is op deze locatie duidelijk het effect te zien van de stortingen ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. Tijdens de stortperiode daalt de minimale waarde van de sedimentconcentratie in de scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts' en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' niet tot gelijke waarde met de minimale waarde in de scenario's 'huidig' en 'huidig+dichtbij afwaarts'. De sedimentconcentratie van deze laatste scenario's kan voor deze locatie als achtergrondconcentratie beschouwd worden. Enkele getijden na het einde van de stortperiode in de scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts' en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' daalt de sedimentconcentratie wel terug tot een gelijke minimale waarde met de andere scenario's.

Het uitvoerpunt op 65 km van de monding van de Westerschelde ligt ter hoogte van het Deurganckdok, circa 6 km opwaarts van de stortlocatie bij Schaar van Ouden Doel, en op circa 4 km afwaarts van de stortlocatie Ketelputten en circa 10 km afwaarts van de stortlocatie Punt van Melsele. De maximale (gesimuleerde) sedimentconcentratie bedraagt op deze locatie bijna 0,80 g/l. In het scenario 'huidig+dichtbij opwaarts(+afwaarts)' wordt tijdens de eerste 3 uren van vloed gestort ter hoogte van Ketelputten. Afhankelijk van het tijdstip wordt soms ook op het einde van de eb reeds op deze locatie gestort. Voornamelijk wanneer reeds bij het einde van de eb fase op deze locatie gestort wordt, is er een sterke piek in sedimentconcentratie. De sedimentconcentratie op deze locatie wordt ook beïnvloed door de stortingen ter hoogte van Oosterweel (bij eb). De sedimentconcentratie van het scenario 'huidig+dichtbij afwaarts' ligt in de eerste weken van de simulatieperiode opvallend lager ten opzichte van de andere scenario's. Dit kan mogelijk verklaard worden door de stortingen op Schaar van Ouden Doel bij eb, die weinig of geen effect hebben op de sedimentconcentratie op deze locatie, en waardoor minder gestort wordt nabij Oosterweel. Na het einde van de stortingen in de verschillende scenario's daalt de sedimentconcentratie na een drietal getijden terug tot de gelijke waarde met de sedimentconcentratie van scenario 'huidig+dichtbij afwaarts'.

Ter hoogte van kilometerpunt 75 overstijgt de maximale waarde van de (gesimuleerde) sedimentconcentratie 1 g/l. Dit uitvoerpunt ligt ter hoogte van de Punt van Melsele, waar in het huidige stortscenario gestort wordt bij vloed. In het verloop van de sedimentconcentratie zijn duidelijke pieken te zien bij stortingen. Ook het effect van stortingen ter hoogte van Ketelputten (bij vloed) en Oosterweel (bij eb) is duidelijk zichtbaar. Na het einde van de stortperiode in het huidige scenario (23/10) duurt het nog circa 3 getijden voor de sedimentconcentratie gedaald is tot gelijke waarde met de sedimentconcentraties in de andere scenario's.

Het uitvoerpunt op 85 km van de monding van de Westerschelde ligt opwaarts ten opzichte van de verschillende stortlocaties ter hoogte van Burchtse Weel, op circa 7 km van stortlocatie Oosterweel en circa 10 km van stortlocatie Punt van Melsele. De maximale sedimentconcentratie op deze locatie bedraagt bijna 0,90 g/l. Ter hoogte van deze locatie is voornamelijk nog de invloed te zien van de stortingen bij vloed ter hoogte van Punt van Melsele en Ketelputten. De sedimentconcentratie van het scenario 'huidig+dichtbij afwaarts' is op deze locatie over quasi de gehele periode het hoogst. In dit scenario wordt bij vloed enkel gestort ter hoogte van Punt van Melsele. In scenario 'huidig+dichtbij opwaarts', waarin bij eb naast Oosterweel ook ter hoogte van Schaar van Ouden Doel gestort wordt, is de sedimentconcentratie tijdens eb lager dan in het huidige scenario.



Figuur 38 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S421-S428-S429-S434 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)

6.2.2 Lengteprofielen

De sedimentconcentratie wordt voor verschillende getijperiodes uitgezet op een lengteprofiel van de waterloop. Elke getijperiode heeft een duur van 2 dagen. Per getijperiode wordt het 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie weergegeven. In Figuur 31 en Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de geselecteerde getijperiodes en de bijhorende simulatieperiodes. Bij de periodes rondom gemiddeld getij kan onderscheid gemaakt worden tussen gemiddeld getij gaande van doottij naar springtij (MT1 en 3), of omgekeerd gemiddeld getij gaande van springtij naar doottij (MT2 en 4).

De lengteprofielen worden weergegeven in BIJLAGE D.

De eerste doottijperiode (DT1 28/09-30/09) valt net na het begin van de stortingen. Bij de scenario's met stortingen ter hoogte van Schaar Ouden Doel (huidig+dichtbij afwaarts(+opwaarts)) is in het 95^{ste} percentiel een verhoging te zien van de sedimentconcentratie afwaarts van de stortlocatie. De hoogste waarden van de sedimentconcentratie liggen steeds ter hoogte van stortlocatie Punt van Melsele. Wanneer bij vloed enkel op Punt van Melsele gestort wordt (scenario's 'huidig' en 'huidig+dichtbij opwaarts'), ligt in het 95^{ste} percentiel de hoogste waarde net afwaarts van deze locatie. Wanneer tijdens de laatste 3 uren van de vloed ter hoogte van Ketelputten in plaats van Punt van Melsele gestort wordt (scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts(+opwaarts)'), ligt in het 95^{ste} percentiel de hoogste waarde van de sedimentconcentratie net opwaarts Punt van Melsele. De sedimentconcentratie is in de scenario's in het 95^{ste} en 50^{ste} percentiel echter ook verhoogd net afwaarts Ketelputten.

Ook in de tweede doottijperiode (DT2 12/10-14/10) zijn deze effecten te zien. De sedimentconcentratie is algemeen hoger dan in de eerste doottijperiode.

De derde doottijperiode (DT3 26/10-28/10) valt volledig na afloop van de stortcampagnes in de verschillende scenario's. De sedimentconcentratie in de verschillende stortscenario's verschilt slechts weinig.

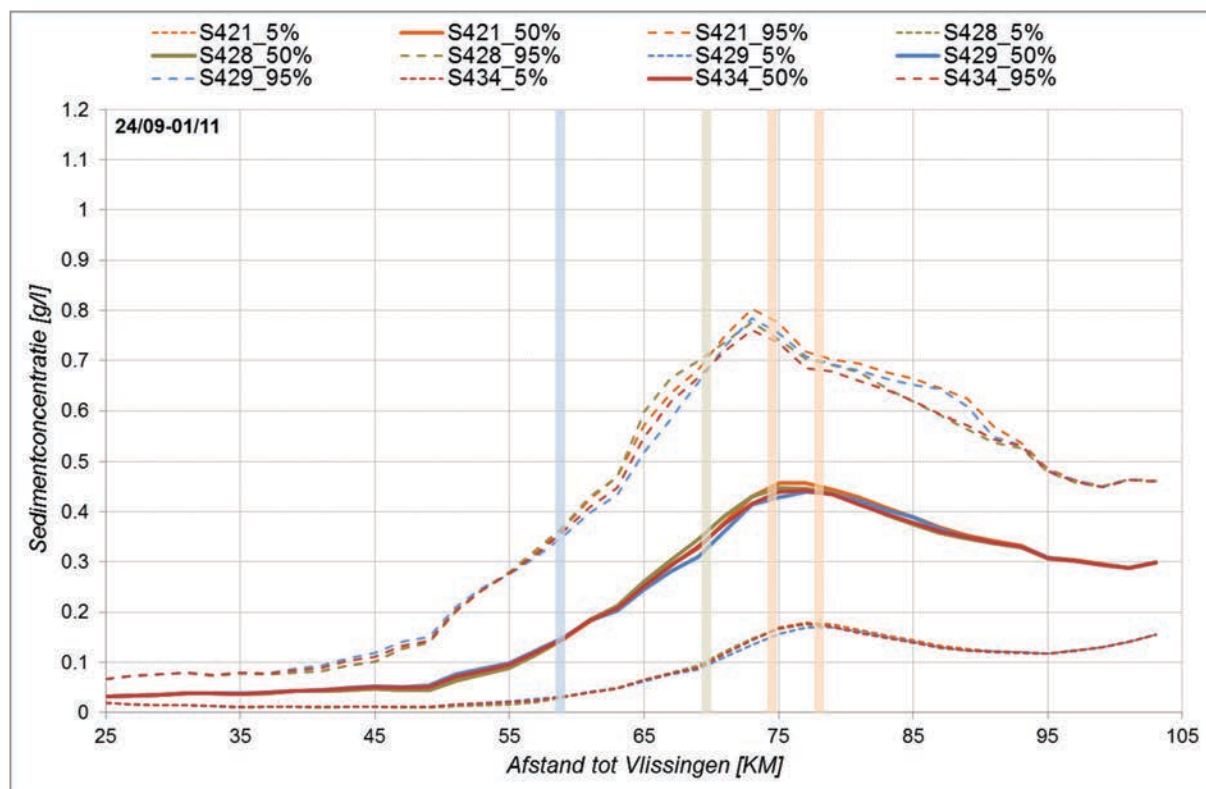
De eerste en de derde periode van gemiddeld getij (MT1 01/10-03/10 en MT3 15/10-17/10) vallen respectievelijk na de eerste en de tweede doottijperiodes. In het scenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' is de maximale sedimentconcentratie in het 95^{ste} percentiel het laagst. In het 5^{de} percentiel is de maximale sedimentconcentratie in dit scenario het hoogst ten opzichte van de andere scenario's. In het 95^{ste} percentiel ligt de maximale waarde van de sedimentconcentratie tussen Ketelputten en Punt van Melsele, in het 50^{ste} percentiel ter hoogte Punt van Melsele en in het 5^{de} percentiel, verder opwaarts, ter hoogte van Oosterweel.

De tweede en de vierde periode van gemiddeld getij (MT2 08/10-10/10 en MT4 22/10-24/10) vallen na de eerste en tweede springtijperiode (ST1 05/10-07/10 en ST2 19/10-21/10). De vierde gemiddeld getijperiode en tweede springtijperiode vallen net na het einde van de stortcampagnes van scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts' en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts'. Tijdens de vierde gemiddeld getijperiode is enkel nog invloed te zijn van de stortingen in het huidige scenario. In het andere scenario's is de sedimentconcentratie reeds verlaagd. De invloed van de stortingen in het huidige scenario reikt tot circa 20 km opwaarts en afwaarts van de stortlocaties in het 95^{ste} percentiel, en minder dan 10 km in het 5^{de} percentiel. Tijdens de 2^{de} springtijperiode is nog invloed te zien van de stortingen in het huidige scenario en scenario 'huidig+dichtbij opwaarts'. Het bereik van de verhoogde sedimentconcentratie is voor de beide scenario's circa even groot, doch is de maximale waarde in de verschillende percentielen voor scenario 'huidig+dichtbij opwaarts' kleiner dan deze voor het huidig scenario.

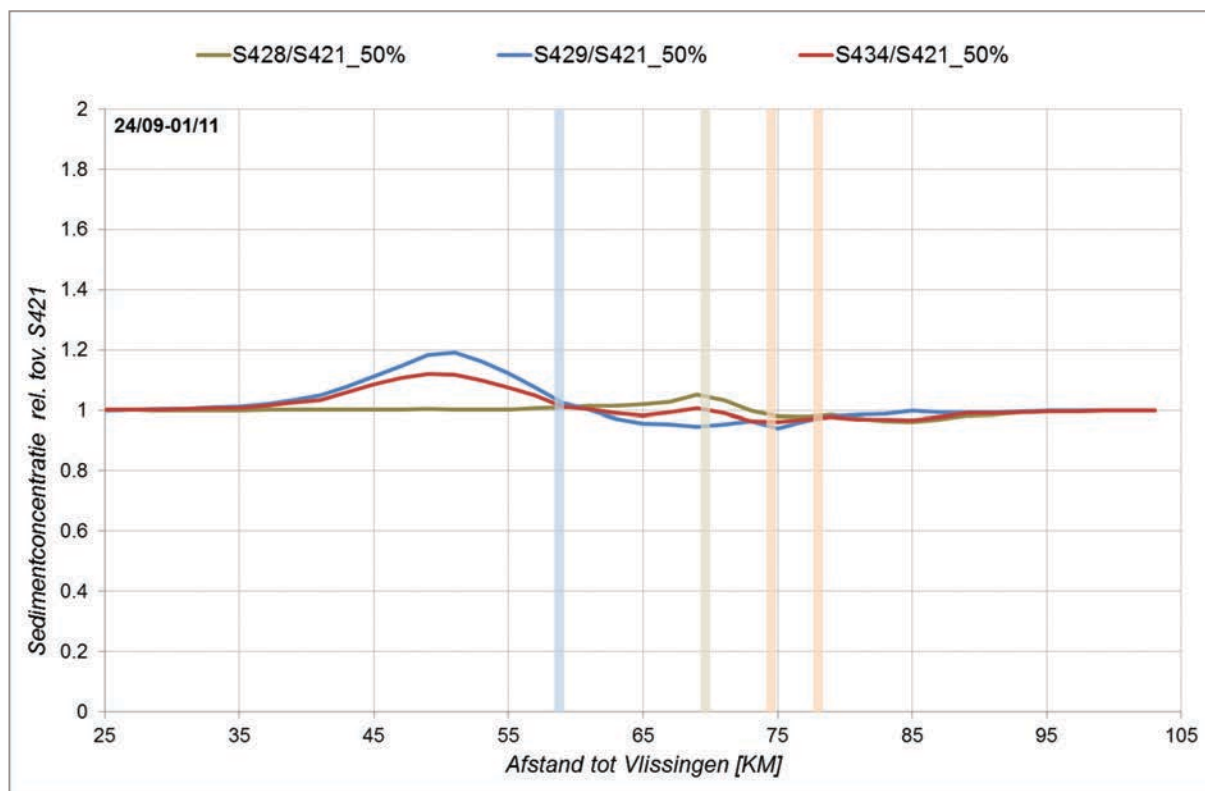
De tweede en derde gemiddeld getij- periode en eerste springtijperiode vallen nog tijdens de stortcampagnes op de verschillende locaties. Tijdens deze periodes treden gelijkaardige effecten op in de sedimentconcentratie als in de eerste gemiddeld getijperiode.

Over de volledige simulatieperiode (Figuur 38) lijkt het effect van de stortingen lager omwille van uitmiddeling van de sedimentconcentratie. Het effect van de stortingen is het grootst voor het huidige stortscenario, in het 95^{ste} percentiel net afwaarts van de stortlocaties en in het 50^{ste} en 5^{de} percentiel ter hoogte van de stortlocaties. Voor het stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' treedt in het 95^{ste} en 50^{ste} percentiel een stijgend effect op, respectievelijk net afwaarts en ter hoogte van de stortlocatie Ketelputten. Voor het stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' treedt in het 95^{ste} percentiel voornamelijk een verhogend effect op opwaarts van de verschillende stortlocaties, tussen km 85 en 90. Dit effect is ook te zien in het huidige scenario. In beide scenario's wordt bij vloed enkel gestort op de Punt van Melsele. In het stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' lijken bovenstaande maximale effecten verminderd te worden door de spreiding van de stortingen.

Figuur 39 geeft de relatieve sedimentconcentratie voor het 50^{ste} percentiel, voor de verschillende scenario's ten opzichte van het huidige stortscenario (S421). Voor scenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' is de relatieve verandering van sedimentconcentratie over het volledige lengteprofiel het kleinst in de zone tussen de stortlocaties, ten opzichte van de scenario's 'huidig+dichtbij opwaarts' en 'huidig+dichtbij afwaarts'. Zoals te verwachten, zorgt een spreiding van de stortingen voor een spreiding van het effect op de sedimentconcentratie. Het verschil tussen in relatieve wijziging van de sedimentconcentratie ter hoogte van kilometer 50 heeft te maken met het verschil in gestorte hoeveelheden ter hoogte van Schaar van Ouden Doel. In scenario 'huidig+dichtbij afwaarts' (S429) wordt ter hoogte van Schaar van Ouden Doel circa 60% meer gestort dan in scenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' (S434) (zie Tabel 17). De relatieve stijging van de sedimentconcentratie ter hoogte van kilometer 50 is bij scenario 'huidig+dichtbij afwaarts' (S429) eveneens circa 60% groter dan bij scenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' (S434).



Figuur 39 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434 – volledige simulatieperiode



Figuur 40 - Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 50^{ste} percentiel relatieve sedimentconcentratie ten opzichte van huidig stortscenario (S421) – volledige simulatieperiode

6.2.3 Conclusies

De tweede reeks scenarioberekeningen omvat een aantal realistische scenario's waarbij de gebaggerde sedimenten hoofdzakelijk teruggestort worden op de huidige stortlocaties, in combinatie met één of twee alternatieve locaties in het estuarium. Deze alternatieve locaties liggen afwaarts ten opzichte van de huidige stortlocaties om alzo de verstoring in sedimenthuishouding te beperken. Tevens beoogt de invulling van deze scenario's het risico op een mogelijke regime shift te reduceren.

Net als in de eerste reeks scenario's, blijkt uit de modelresultaten dat meer afwaarts storten leidt tot een verhoging van de sedimentconcentratie in de afwaartse delen, terwijl er een afname optreedt in de opwaartse delen. Absoluut gezien is de toename afwaarts aanzienlijk kleiner dan de afname opwaarts. Voor de relatieve verandering geldt eenzelfde conclusie dan voor de eerste reeks scenario's.

Wanneer een deel van het sediment ter hoogte van Ketelputten wordt gestort, valt een verhoging in sedimentconcentratie waar te nemen tot de Belgisch-Nederlands grens. Wanneer een deel van het sediment ter hoogte van Schaar van Ouden wordt gestort, valt een verhoging in sedimentconcentratie waar te nemen tot Walsoorden.

6.3 Gevoeligheidsanalyse stortscenario's: hoeveelheden teruggestort sediment

Bij de stortscenario's besproken in de vorige paragrafen werden de gestorte hoeveelheden aangepast. Zowel voor het huidig stortscenario als voor de stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' en 'huidig+dichtbij afwaarts' werd een berekening uitgevoerd waarin de hoeveelheid gestort slib verhoogd werd. Voor het huidige stortscenario werd de hoeveelheid gestort slib eerst verhoogd met 50%, en in een tweede simulatie met 75%. Voor de andere vernoemde stortscenario's werd de hoeveelheid gestort slib verhoogd met 50%.

De invloed van deze aanpassingen op de sedimentconcentratie in de Beneden-Zeeschelde wordt hierbij bekeken. Ter vergelijking van de verschillende stortscenario's wordt enerzijds gekeken naar het verloop in de tijd van de sedimentconcentratie gedurende 5 weken op verschillende locaties met een tussenafstand van 10 km. Anderzijds wordt gekeken naar de variatie in de sedimentconcentratie langsheen een lengteprofiel voor verschillende getijperiodes, met name 3 doortijperiodes, 4 gemiddeld getijperiodes en 2 springtijperiodes.

De bijhorende figuren worden respectievelijk weergegeven in BIJLAGE E en BIJLAGE F.

6.3.1 Huidig stortscenario (S421-S426-S427)

Figuur 40 geeft voor twee geselecteerde periodes uit de simulatieperiode het verloop van de sedimentconcentratie weer, bij een gelijkaardig getij, met en zonder stortingen, ter hoogte van de verschillende uitvoerpunten, voor het huidige stortscenario en de scenario's met verhoogde hoeveelheid gestort slib. Het verloop van de sedimentconcentratie over de volledige simulatieperiode op de geselecteerde kilometerpunten voor bovenstaande scenario's wordt weergegeven in BIJLAGE E. Tabel 18 geeft het netto effect (in %) op de gemiddelde sedimentconcentratie ter hoogte van de verschillende uitvoerpunten.

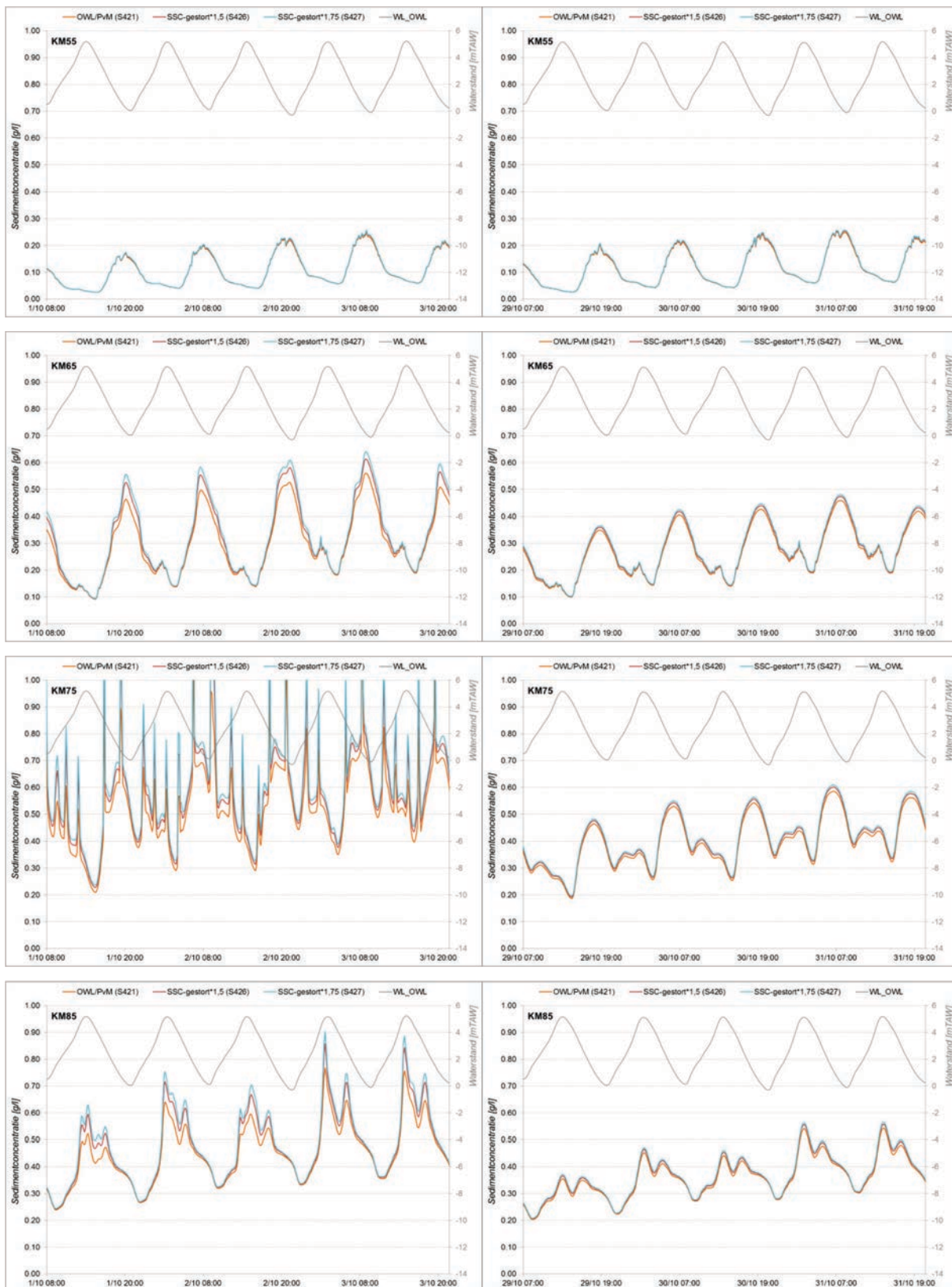
Ter hoogte van kilometerpunt 55 is er quasi geen invloed van de verhoging van de slibconcentratie bij de stortingen. Het netto effect van de stortingen bedraagt minder dan 2,5 %. Ter hoogte van kilometerpunt 65 is, zowel in de periode met als zonder stortingen het maximum in de sedimentconcentratie bij laagwater hoger naarmate de sedimentconcentratie bij de storting verhoogd is. De sedimentconcentratie daalt in de verschillende scenario's wel naar een gelijke minimale waarde bij hoogwater. Op kilometerpunt 75 daalt de sedimentconcentratie niet meer naar een gelijke minimale waarde bij hoogwater. De verhoging van de hoeveelheid gestort slib zorgt voor een verhoging van de pieken in sedimentconcentratie tijdens de stortingen en geeft ook een verhoging van de sedimentconcentratie na de stortingen. Deze verhoging blijft aanwezig tot het einde van de simulatieperiode. Ter hoogte van kilometerpunt 85 daalt de sedimentconcentratie weer naar een quasi gelijke minimale concentratie bij hoogwater. De maximale sedimentconcentratie rond laagwater is echter wel hoger naarmate de hoeveelheid gestort slib verhoogd is. In de periode na de stortingen blijft een beperkte verhoging van de sedimentconcentratie aanwezig.

Tabel 18 – Netto effect gemiddelde sedimentconcentratie ten opzichte van S421 in %

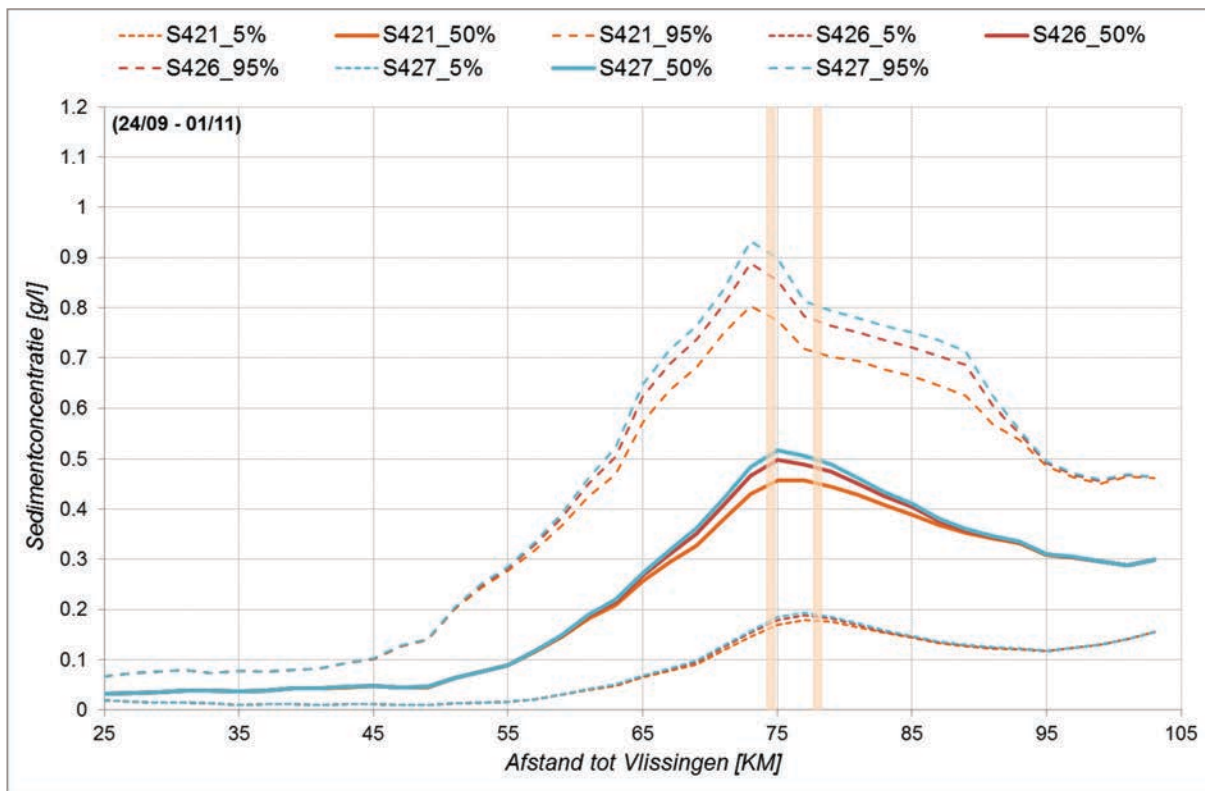
% tov S421	KM 55	KM 65	KM 75	KM 85
S426	+1,6	+6,3	+9,5	+5,0
S427	+2,4	+9,4	+14,2	+7,5

De lengteprofielen met het 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie voor het huidige stortscenario en de scenario's met verhoogde hoeveelheid gestort slib, over de volledige simulatieperiode worden weergegeven in Figuur 41. Voor de verschillende getijperioden worden de lengteprofielen weergegeven in BIJLAGE F.

Voor de waarde van de 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie is het effect van de verhoging van de sedimentconcentratie te zien vanaf circa kilometer 50, voor 50^{ste} percentiel vanaf kilometer 60 en voor het 5^{de} percentiel vanaf kilometer 70. De ligging van de maximale waarde van de sedimentconcentratie wordt niet beïnvloed door de verhoging van de hoeveelheid gestort slib. De verhoging van de sedimentconcentratie lijkt evenredig met de verhoging van de hoeveelheid gestort slib.



Figuur 41 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S421-S426-S427 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)



Figuur 42 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427 – volledige simulatieperiode

6.3.2 Stortscenario's huidig+dichtbij (S428-S429-S430-S431-S434-S435)

Ook bij de aangepaste stortscenario's 'huidig+dichtbij opwaarts', 'huidig+dichtbij afwaarts' en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' werd de gestorte hoeveelheid sediment verhoogd met 50%. Figuur 42 toont het verloop van de sedimentconcentratie voor de verschillende scenario's, op verschillende locaties, bij identiek getij met en zonder storten. Het verloop van de sedimentconcentratie over de volledige simulatieperiode op de geselecteerde kilometerpunten voor bovenstaande scenario's wordt weergegeven in BIJLAGE E. Tabel 19 geeft het netto effect (in %) op de gemiddelde sedimentconcentratie ter hoogte van de verschillende uitvoerpunten.

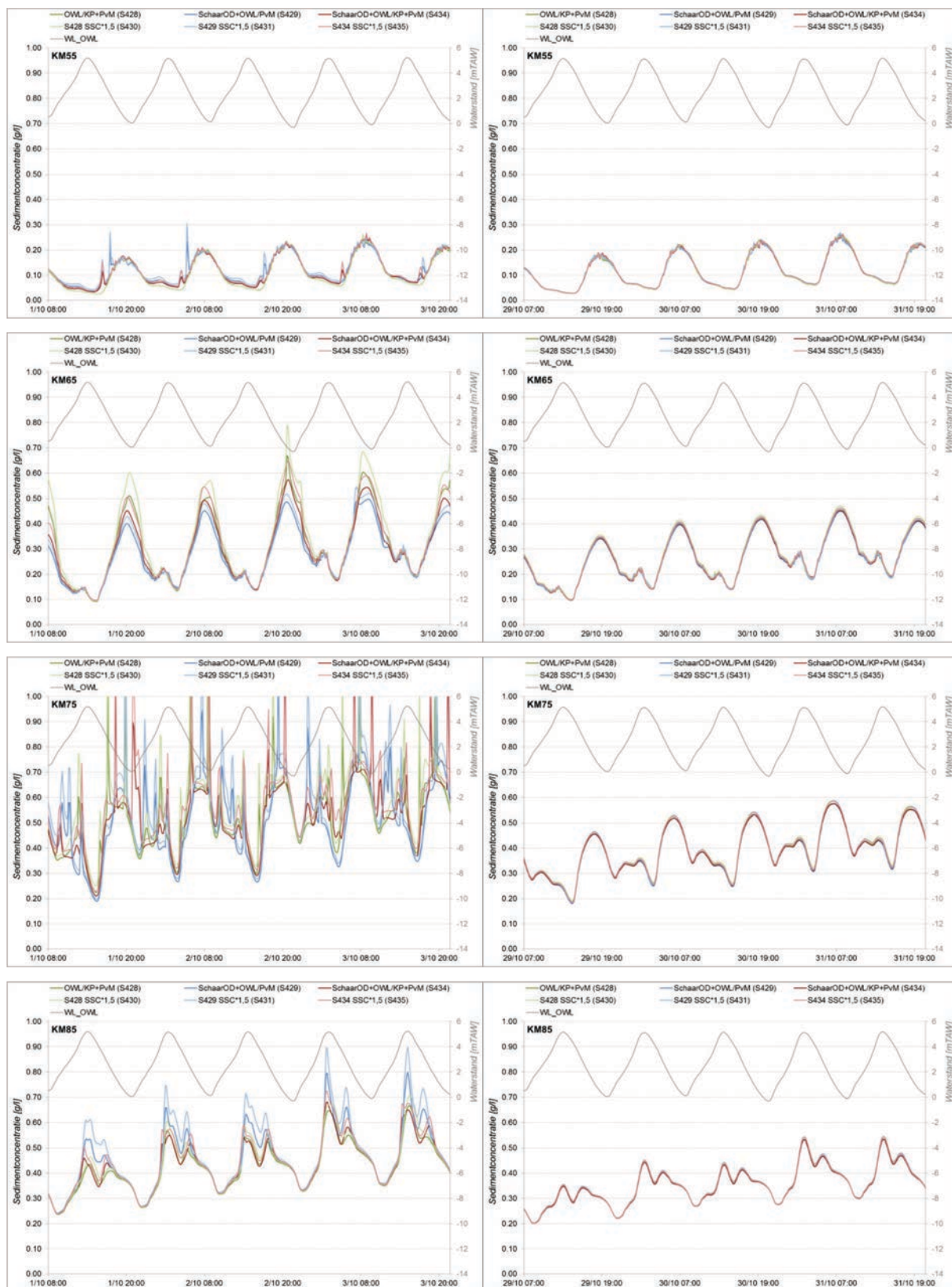
Tabel 19 – Netto effect gemiddelde sedimentconcentratie in %

%	KM 55	KM 65	KM 75	KM 85
S430 tov S428	+2,0	+7,5	+8,2	+2,8
S431 tov S429	+4,9	+3,5	+7,0	+4,5
S434 tov S435	+3,6	+5,5	+7,7	+3,0

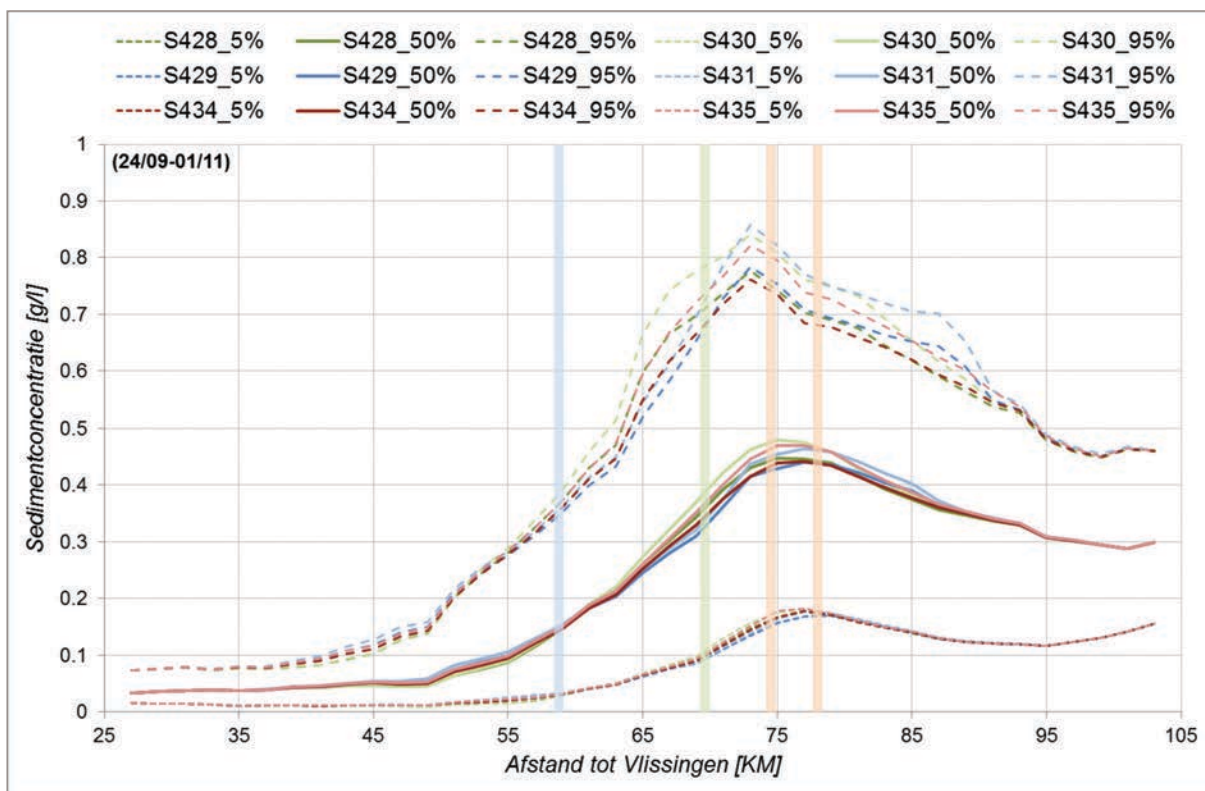
Ter hoogte van kilometerpunt 55 is voor scenario's 'huidig+dichtbij afwaarts' (S431 tov S429) en 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' (S435 tov S434) effect te zien van de stortingen. Het netto effect op de gemiddelde sedimentconcentratie bedraagt respectievelijk bijna 5% en bijna 4%. Verhoging van de hoeveelheid gestort slib leidt hier tot een verhoging van de pieken in sedimentconcentratie. Bij hoogwater daalt de sedimentconcentratie tevens niet meer tot een gelijke minimale waarde tijdens de periode met storten. Na de stortingen is het effect van het verhogen van de gestorte hoeveelheid slib quasi nihil. Ter hoogte van kilometerpunt 65 is het effect van het verhogen van de gestorte hoeveelheden het grootst voor scenario 'huidig+dichtbij opwaarts'. Bij hoogwater dalen de sedimentconcentraties in de verschillende scenario's wel tot een quasi gelijke minimale waarde. Na de stortingen blijft het effect van het verhogen van de gestorte hoeveelheden nog zichtbaar bij de maximale waarde in sedimentconcentratie bij laagwater. Ter hoogte van kilometerpunt 75 daalt de sedimentconcentratie niet meer naar een gelijke minimale waarde bij hoogwater. De verhoging van de hoeveelheid gestort slib zorgt voor een verhoging van de pieken in sedimentconcentratie tijdens de stortingen en geeft ook een verhoging van de sedimentconcentratie tijdens en na de stortingen. Deze verhoging neemt af naar het einde van de simulatieperiode. Ter hoogte van kilometerpunt 85 daalt de sedimentconcentratie weer naar een quasi gelijke minimale concentratie bij hoogwater. De maximale sedimentconcentratie rond laagwater is echter nog verhoogd bij verhoging van de hoeveelheid gestort slib. In de periode na de stortingen blijft een zeer beperkte verhoging van de sedimentconcentratie aanwezig.

De lengteprofielen met het 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie voor het huidige stortscenario en de scenario's met verhoogde hoeveelheid gestort slib, over de volledige simulatieperiode worden weergegeven in Figuur 43. Voor de verschillende getijperioden worden de lengteprofielen weergegeven in BIJLAGE F.

Bij het 95^{ste} percentiel van de sedimentconcentratie is het effect van de verhoging van de sedimentconcentratie te zien vanaf circa kilometer 60, bij het 50^{ste} percentiel vanaf kilometer 65 en bij het 5^{de} percentiel vanaf kilometer 70. De ligging van de maximale waarde van de sedimentconcentratie wordt niet beïnvloed door de verhoging van de hoeveelheid gestort slib. De verhoging van de sedimentconcentratie lijkt evenredig met de verhoging van de hoeveelheid gestort slib.



Figuur 43 – Overzicht sedimentconcentratie bij identiek getij voor scenario's S428-S429-S430-S431 op verschillende locaties (van boven naar onder: KM55, KM65, KM75, KM85) in geselecteerde periodes met (links) en zonder (rechts) stortingen (zie Figuur 29)



Figuur 44 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – volledige simulatieperiode

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Voorliggend rapport bespreekt de resultaten van de scenarioberekeningen ten behoeve van de toekomstige stortstrategie voor het terugstorten van slib in de Beneden-Zeeschelde. De modelopzet en validatie van het gebruikte 2D-model met sedimenttransportmodellering wordt besproken in [Coen *et al.*, 2015a]. Het gebruikte model werd in het kader van eerdere studies reeds uitvoerig gekalibreerd. In het kader van dit onderzoek werd eerst uitvoerig geoptimaliseerd op basis van de verschillende beschikbare metingen, waarbij de focus lag op het studiegebied alsook het effect van de stortingen op de sedimentconcentratie. De focus lag met name op de korte termijn effecten (uren tot weken), waarbij het model de realiteit redelijk reproduceert. Het gebruikte model kan beschouwd worden als het best beschikbare model voor dit onderzoek.

In de eerste fase werden een aantal “extreme” scenario's onderzocht: deze scenario's zijn “extreem” aangezien de volledige storthoeveelheden op alternatieve locaties in het estuarium werden teruggestort. Naast het huidige scenario, werden 3 scenario's gedefinieerd waarbij het sediment meer afwaarts van de huidige stortlocaties werd teruggestort. Een uitgangspunt is het beperken van de verstoring in sedimenthuishouding door sediment terug te storten in de nabije omgeving van de baggerlocaties. Tevens beoogt de invulling van deze scenario's het risico op een mogelijke regime shift te reduceren. Door minder sediment in de opwaartse delen terug te storten, wordt de sedimentbeschikbaarheid alhier gereduceerd, wat een positieve bijdrage levert aan de reductie van het risico van een potentiële regime shift.

Uit deze eerste reeks scenario's kan worden geconcludeerd dat meer afwaarts storten zorgt voor een verhoging van de sedimentconcentraties in het afwaartse deel en een verlaging in het opwaartse deel. Absoluut gezien is de absolute toename afwaarts kleiner dan de absolute afname opwaarts. Relatief gezien is dit omgekeerd: de relatieve toename afwaarts groter dan de relatieve afname opwaarts. Wanneer dichterbij de baggerlocaties wordt gestort, wordt enerzijds de duur van een cyclus gereduceerd waardoor minder lang moet worden gestort om eenzelfde totale sedimenthoeveelheid te storten, terwijl anderzijds de retourstroom van het sediment naar de baggerlocaties toeneemt.

Op basis van de modelsimulaties lijkt het effect van de stortingen zich gedurende enkele getijden na de stortingen te manifesteren in een lokale verhoging van de sedimentconcentratie. Dit effect komt duidelijk naar voren in het 99^e percentiel van de sedimentconcentratie: voor het scenario “huidig” kan er een toename van 30% (bij springtij) tot 50% (bij doortij) vastgesteld worden van de 99^e percentiel waarde. Naarmate er meer afwaarts gestort wordt, is deze toename minder uitgesproken (eerder 15 à 30%), wat toegeschreven kan worden aan de grotere eb- en vloeddebieten die zorgen voor een sterkere verdunning.

Op basis van deze resultaten werden vervolgens een tweede reeks “realistische” scenario's gedefinieerd. Het uitgangspunt van deze scenario's was de huidige strategie, waarbij een deel van het sediment tevens op een alternatieve locaties zal worden gestort. Om de retourstroom te beperken, werden de scenario's zodanig ingevuld dat de alternatieve stortlocatie opwaarts van de baggerlocaties (i.e. Ketelputten) enkel bij vloed gebruikt werd, terwijl de alternatieve stortlocatie afwaarts van de baggerlocaties (i.e. Schaar van Ouden Doel) enkel bij eb gebruikt werd. De effecten op de sedimentconcentratie zijn vergelijkbaar met deze uit de eerste reeks scenario's, doch zijn aanzienlijk kleiner.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat met het model een representatieve doch eerder korte periode van stortingen doorgerekend wordt. Er kunnen hierbij geen uitspraken gedaan worden over effecten op lange termijn door onder andere herverdeling van het sediment in het estuarium en relocatie van de slibrijke bodemlagen. Voor inschatting van wijzigingen in sedimentconcentratie op de langetermijn wordt verwezen naar het parallelle onderzoek binnen het kader van de Agenda voor de Toekomst rond het thema slib en regime shift [Schramkowski *et al.*, 2015].

7.2 Aanbevelingen

Uit de modelresultaten is gebleken dat het effect van de stortingen op de korte termijn (uren) redelijk door het model worden gereproduceerd. Op de langere termijn (dagen) blijkt het model de waargenomen verhogingen in sedimentconcentratie door het intensief terugstorten van sediment, minder te reproduceren. Het verdient dan ook de aanbeveling om de instellingen van de modelparameters en transportformulering verder te optimaliseren en de complexiteit van het model verder uit te breiden (bijvoorbeeld meerdere bodemlagen) zodat deze aspecten beter door het instrumentarium worden gereproduceerd. Dit kan zowel gebeuren voor het in deze fase ingezette modelinstrumentarium, alsook om dit als aandachtspunt mee te nemen in de hierboven geformuleerde alternatieve aanpak.

Een ander aspect dat vooralsnog niet in beschouwing wordt genomen is de seizoenale invloed op de ligging van het turbiditeitsmaximum. Uit metingen is gebleken dat er sterke seizoenale variaties kunnen optreden voor de stations op de rand van het turbiditeitsmaximum, in casu de zone nabij de Belgisch-Nederlandse grens langs afwaarts en de zone tussen Rupelmonde en Dendermonde langs opwaartse kant. Aangezien het model langs opwaartse zijde beperkt is tot Tielrode, verdient het de aanbeveling het modelgebied uit te breiden naar opwaarts om alzo de seizoenale effecten te kunnen meenemen. Gelet op de lange rekentijden van het huidige model, dient hiervoor een optimalisatie van het model te gebeuren (cfr. vergroffen rekenrooster, offline slibberekeningen m.b.v. Delwaq). Tot op heden is het echter onduidelijk of de huidige modellen in staat zijn om deze seizoenale effecten op een degelijke manier te voorspellen. In het lopende onderzoek in het kader van 'Integraal Plan Boven-Zeeschelde' wordt een nieuw hydrodynamisch model opgebouwd voor het Schelde-estuarium met specifieke aandacht voor de Zeeschelde [Smolders *et al.*, 2015]. Momenteel, 2015-2016, wordt dit model uitgebreid met een sedimenttransportmodule, in Delwaq.

In het kader van de Agenda voor de Toekomst werd de slibhuishouding en het risico op een potentiële regime shift als één van de prioritaire thema's geïdentificeerd. Momenteel is nog niet gekend in welke mate bepaalde processen een bijdrage leveren aan dit risico. Het verdient dan ook de aanbeveling het lopende onderzoek af te wachten om deze nieuwe inzichten, en dan met name de potentiële bijdrage van de onderhoudsbaggerwerken, op te nemen in een verdere optimalisatie van de stortstrategie.

In de huidige modelaanpak is de stortstrategie pragmatisch geïmplementeerd als opgelegde lozingen op basis van de bestaande BIS-gegevens. Er is dus geen terugkoppeling van de stortstrategie op de baggerhoeveelheden. Om langetermijneffecten in rekening te brengen is het raadzaam om baggercycli te implementeren in het model. Dit vereist dat sedimentatiepatronen goed gerepresenteerd worden door het model, hetgeen met de huidige state-of-the-art modellen slechts met een beperkte betrouwbaarheid lukt. Een doorgevoerde kalibratie en validatie is hiervoor vereist.

8 REFERENTIES

Coen, L.; De Maerschallck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016a). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde – Deelrapport 1 – Opzet en validatie van het numerieke model voor het modelleren van slib. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Coen, L., Meire, D.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016b). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: Deelrapport 5 – Wijziging sedimentatie t.h.v. baggerlocaties en slikken en schorren. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Cox, T.; Meire, P. (2016). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde. Deelrapport 6: Effecten op primaire productie van verschillende slibszenario's. Universiteit Antwerpen, onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 015-R188.

IMDC (2013a). LTV-Veiligheid en Toegankelijkheid. Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuv vergunningen terugstorten baggerspecie. Basisrapport specifieke beheersvragen B23: Analyse stortvakken Beneden-Zeeschelde. International Marine & Dredging Consultants ism. Deltares, Svašek Hydraulics en ARCADIS Nederland iov. Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen.

IMDC (2013b). LTV-Veiligheid en Toegankelijkheid. Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuv vergunningen terugstorten baggerspecie. Achtergrondrapport A-29: Harde lagen Beneden-Zeeschelde. International Marine & Dredging Consultants ism. Deltares, Svašek Hydraulics en ARCADIS Nederland iov. Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen.

IMDC (2013c). Monitoringprogramma Flexibel Storten - Analyse slibconcentratie metingen Zeeschelde. International Marine & Dredging Consultants i.o.v. Afdeling Maritieme Toegang: Antwerpen.

IMDC (2011) Ontwikkelingszone Saefthinge – Hydraulisch, sedimentologisch en morfologisch onderzoek. Deelrapport 6: Calibratie Sediment Saefthingedokmodel. International Marine & Dredging Consultants ism. Deltares, iov. Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen.

IMDC & VUB (2010). Lithologische en geomorfologische kaart van de Beneden - Zeeschelde - Analyserapport: Opmaak en Interpretatie.

IMDC (2007a). Uitbreiding studie dichtheitsstromingen in de Beneden-Zeeschelde in het kader van LTV meetcampagne naar hooggeconcentreerde slibsuspensies. Deelrapport 9: Valsnelheid slib – INSSEV - zomer 2006. International Marine & Dredging Consultants ism. WL Delft Hydraulics, R. Kirby en Gems iov. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

IMDC (2007b). Uitbreiding studie dichtheitsstromingen in de Beneden-Zeeschelde in het kader van LTV meetcampagne naar hooggeconcentreerde slibsuspensies. Deelrapport 10: Aanvullende slibparameters zomer 2006. International Marine & Dredging Consultants ism. WL Delft Hydraulics, R. Kirby en Gems iov. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

IMDC (2004). Optimalisatie van de onderhoudsbaggerwerken Deurganckdok: deelrapport 2. Sedimentologisch en morfologisch model onderzoek. Versie 1.0. International Marine & Dredging Consultants iov. Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen.

Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Habitatmapping ondiep water Zeeschelde. Deelrapport 2 – Numeriek 2D-model. Version 2_0. WL Rapporten, 00_028. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Maximova, T.; Vanlede, J.; Mostaert, F. (2011). Flow in river bends: A numerical model investigation. Version 2.0. WL Rapporten, 753_15. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium

Maximova, T.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Mostaert, F., (2010). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde. Kalibratie en validatie van het hydrodynamisch 2 dimensionaal numeriek model: pilootstudie Notelaer en Ballooi. Version 2_0. WL Rapporten, 713_21. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium

Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). Verbetering 2D randvoorwaardenmodel. Deelrapport 4: Extra aanpassingen Zeeschelde. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium

Plancke, Y. (2014). Stortstrategie Beneden-Zeeschelde: voorstel stortscenario's slib. WL memo, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Schramkowski, G.P.; Brouwer, R.L.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Geïdealiseerde processtudie van systeemovergangen naar hypertroebelheid : WP 2.1 Modelopzet scenario's stortstrategie Beneden-Zeeschelde. Versie 2.0. WL Rapporten, 13_103. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Integraal Plan Boven-Zeeschelde: Subreport 1 – 3D Hydrodynamisch model Zeeschelde en Westerschelde. Version 1.0. WL Rapporten, 13_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium

Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Slibbalans Zeeschelde: Deelrapport 4 – Historische evolutie SPM. Versie 4_0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea: Antwerpen, België.

van Kessel, T.; Vanlede, J.; Bruens, A. (2006) Development of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Phase 1 and 2. WL Delft Hydraulics & Flanders Hydraulics Research iov RIKZ.

van Kessel, T.; Vanlede, J.; Kuijper, K.; de Kok, J. (2007) Further development and first application of a mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. Phase 2. WL Delft Hydraulics & Flanders Hydraulics Research iov RIKZ.

van Kessel, T.; Vanlede, J.; Eleveld, M.; van der Wal, D. (2008) Mud transport model for the Scheldt estuary in the framework of LTV. WL Delft Hydraulics & Flanders Hydraulics Research iov RIKZ.

Verheyen, B.; Leyssen, G.; Vanlede, J.; Schramkowski, G.; Mostaert, F. (2012, concept version). Verbetering randvoorwaardenmodel: Deelrapport 7: Afregeling van het 3D Scheldemodel. WL Rapporten, 753_09. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium

Vos, G.; Bastiaensen, E.; De Bruyn, L.; De Schutter, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2011). Lithologische kaart Beneden-Zeeschelde: Resultaten korrelanalyse sedimentstalen. Versie 2_0. WL Rapporten, 736_56. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Vos, G.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016a). Sedimentstrategie Beneden Zeeschelde: Deelrapport 2 – Opzet en validatie van het numerieke model voor het modelleren van zand. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Vos, G.; Meire, D.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016b). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: Deelrapport 4 – Zandsenario's. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2009). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2008 : Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2008 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2010). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009 : Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2011). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2010 : Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2010 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2012). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2011 : Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2011 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2013). MONEOS -- jaarboek monitoring WL 2012: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2012. Versie 2_0. WL Rapporten, 12_070_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Waterbouwkundig Laboratorium (WL) (2014). MONEOS -- jaarboek monitoring WL 2013: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Winterwerp (2013). On the response of tidal rivers to deepening and narrowing - Risks for a regime shift towards hyperturbid conditions.

WL/Delft Hydraulics, (2007). Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User manual

BIJLAGE A VERLOOP SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – FASE 1

Legende

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

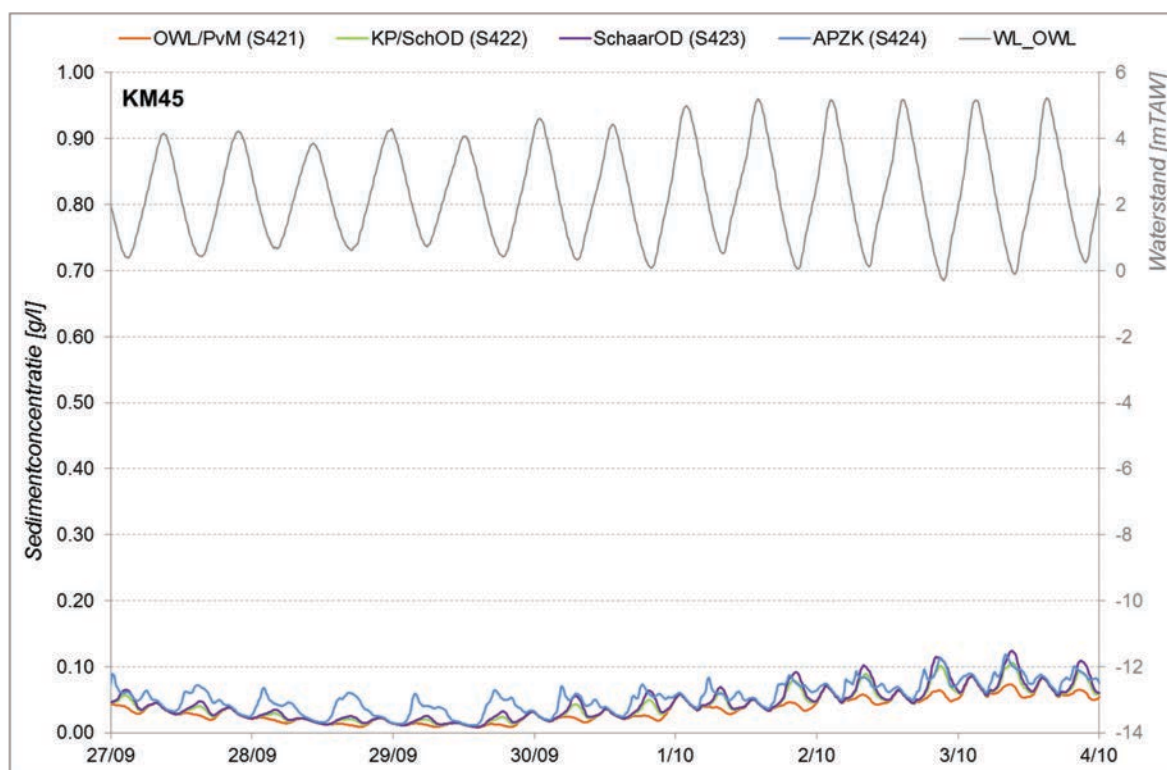
S422 = Stortscenario 'dichtbij' = Ketelputten / Schaar van Ouden Doel (KP/SchOD)

S423 = Stortscenario 'afwaarts I' = Schaar van Ouden Doel (SchaarOD)

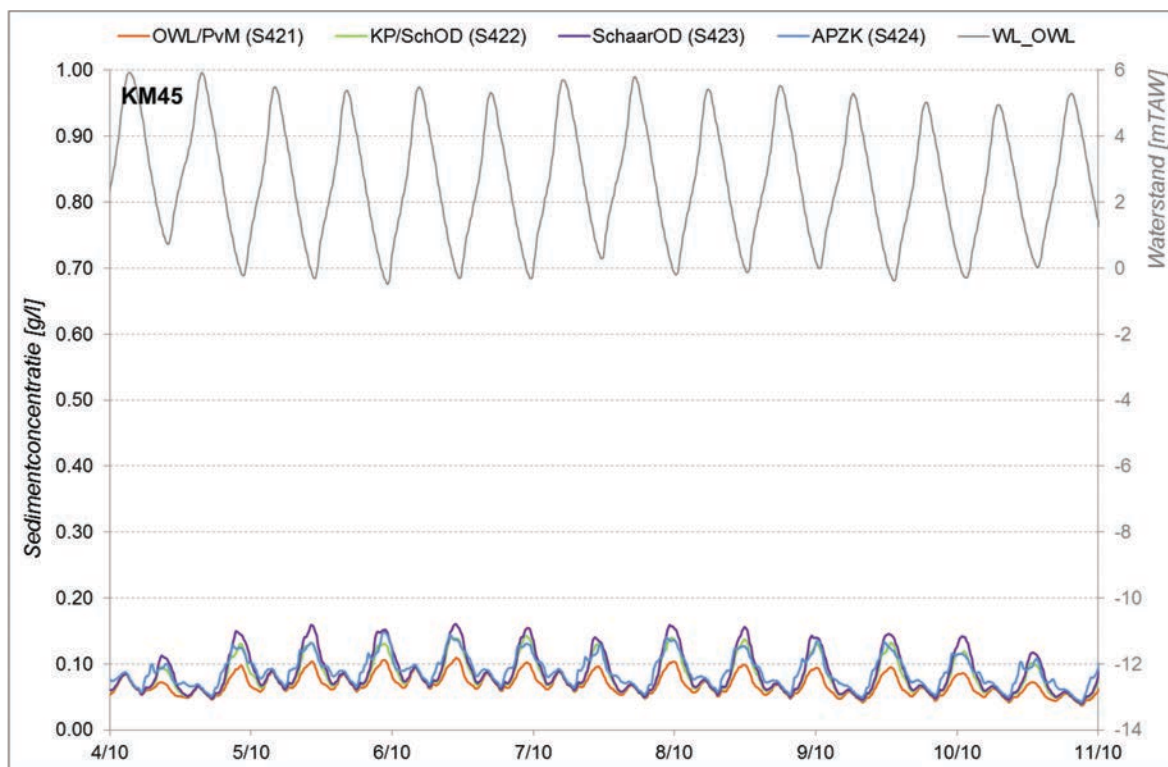
S424 = Stortscenario 'afwaarts II' = Appenzak (APZK)

WL_OWL = waterpeil Oosterweel

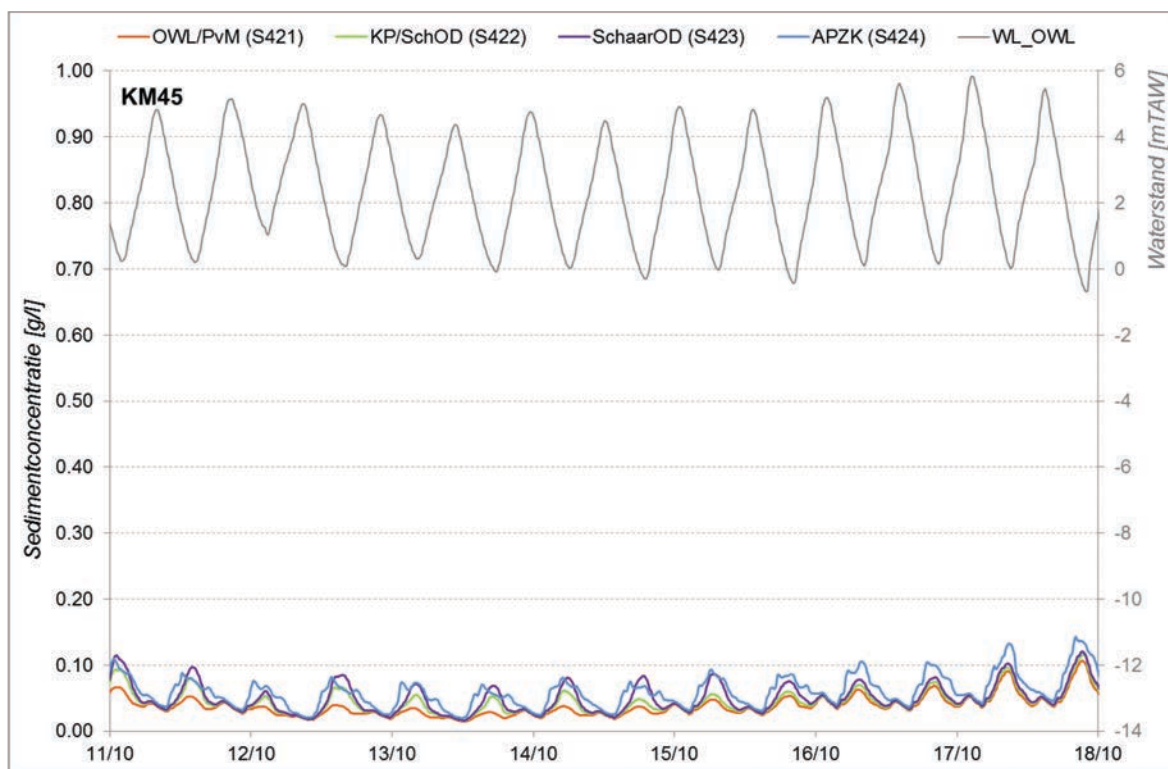
Kilometer 45



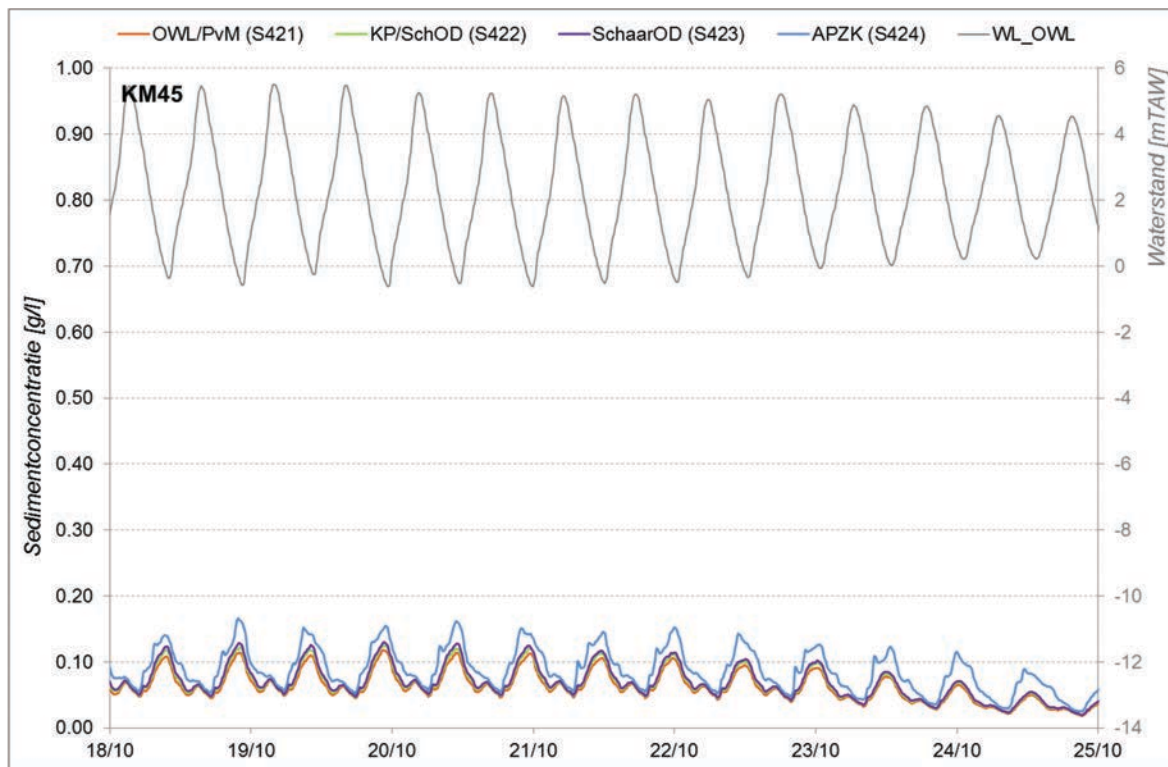
Figuur A 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1



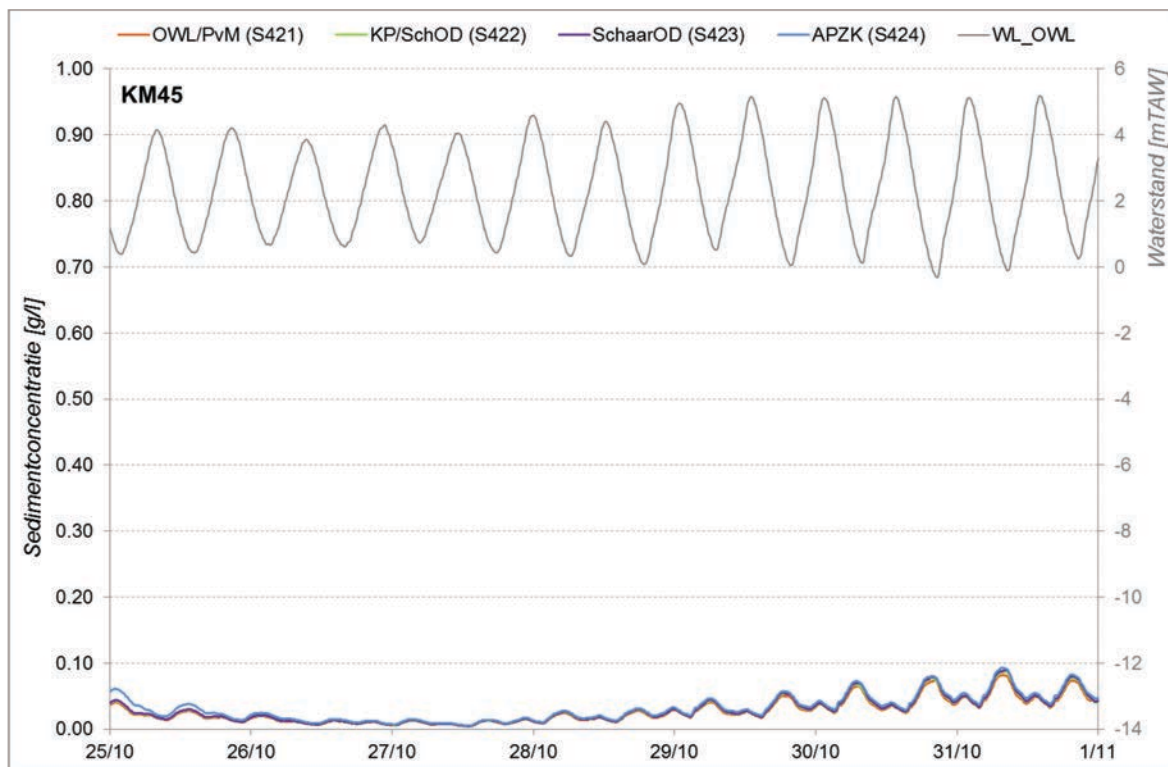
Figuur A 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur A 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3

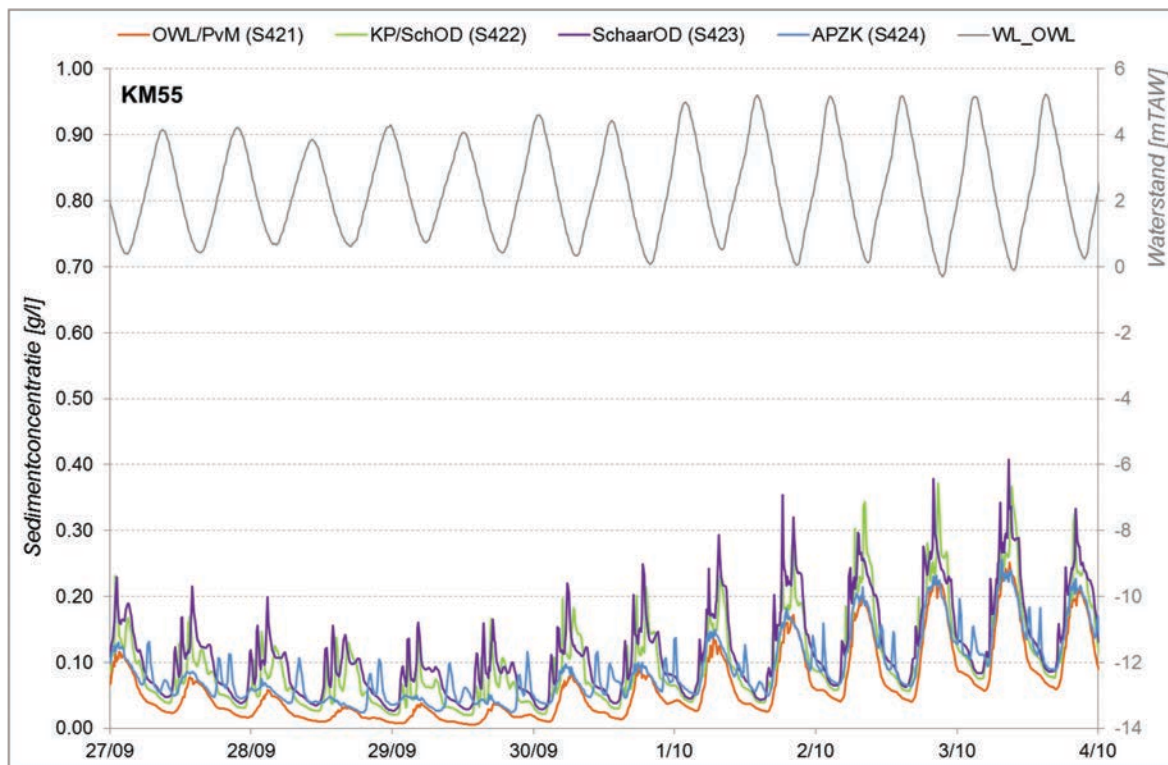


Figuur A 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4

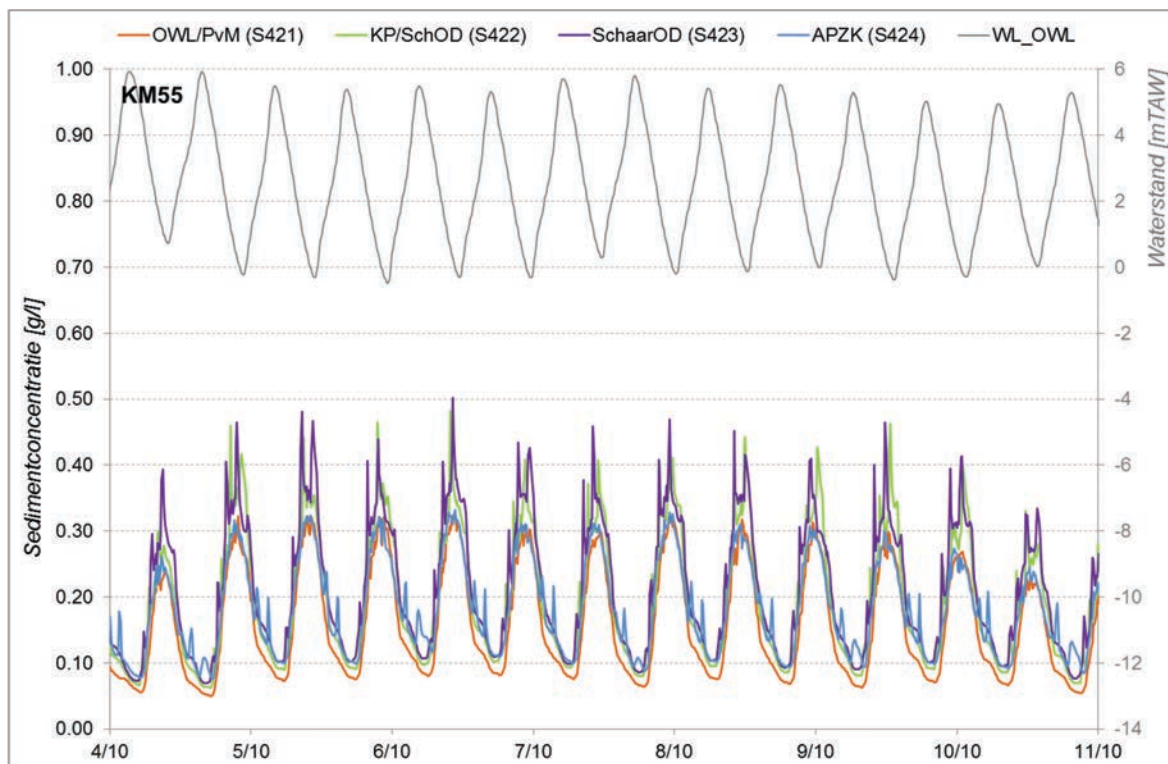


Figuur A 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5

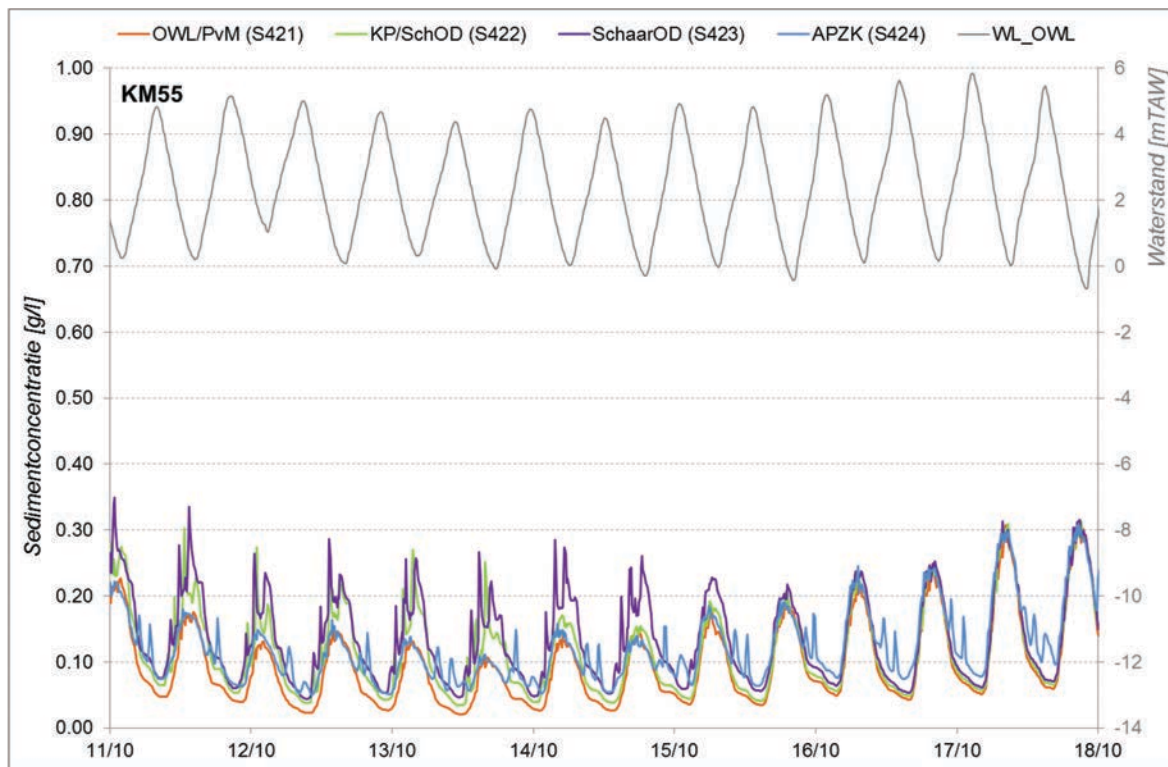
Kilometer 55



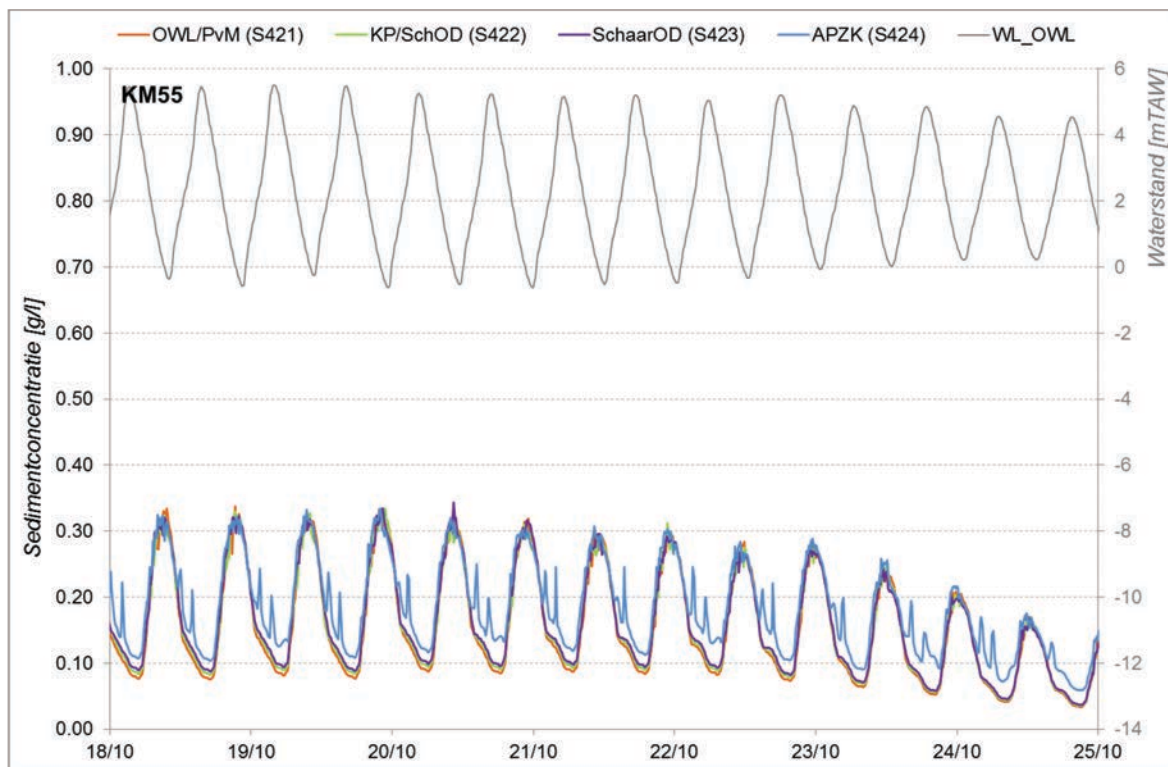
Figuur A 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1



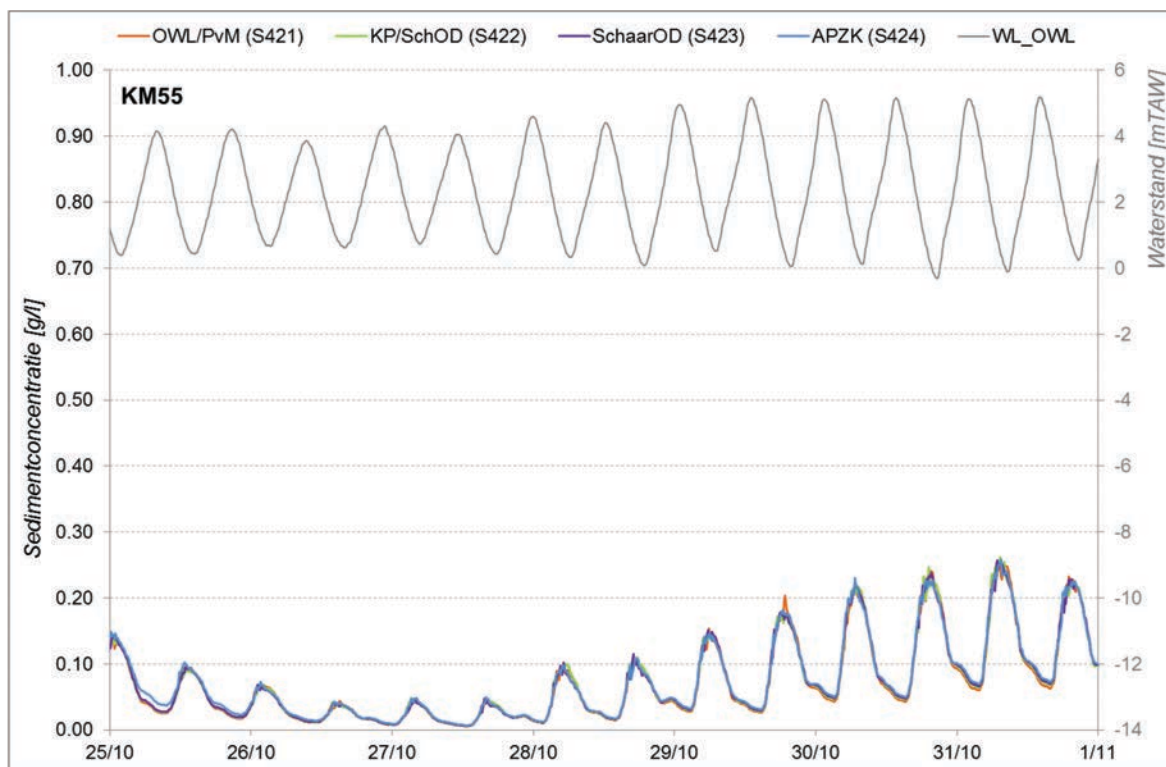
Figuur A 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur A 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 3

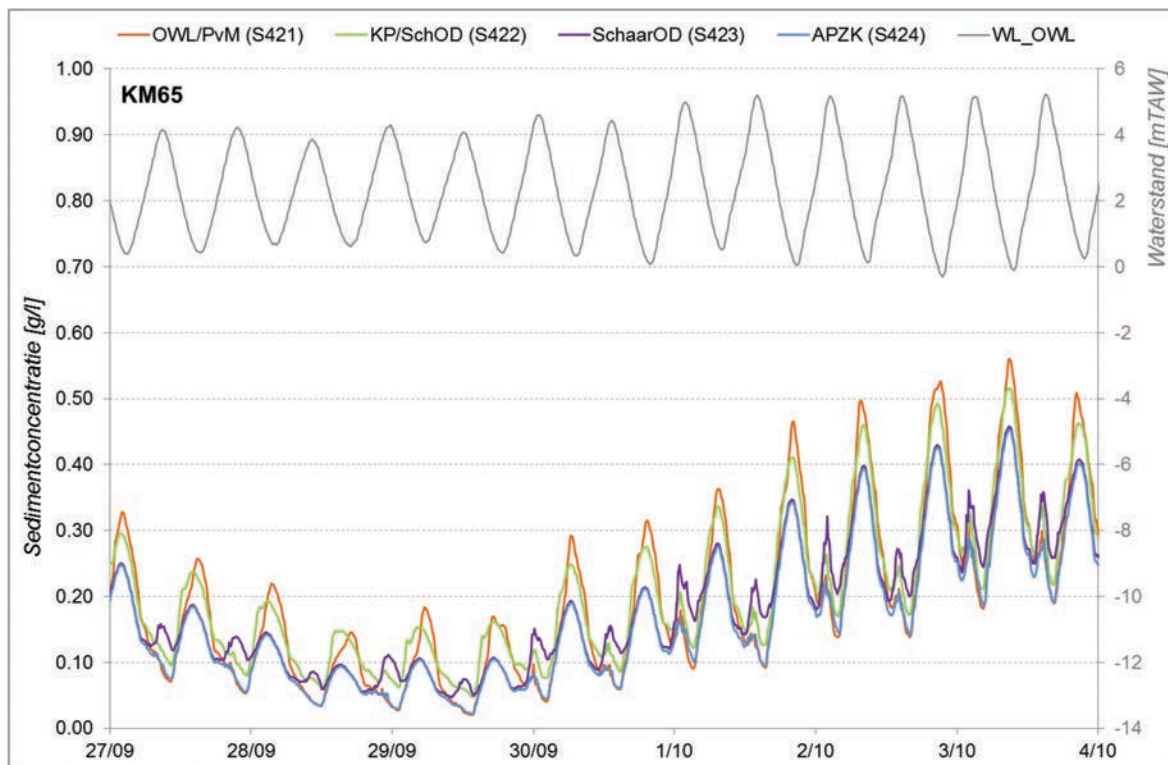


Figuur A 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4

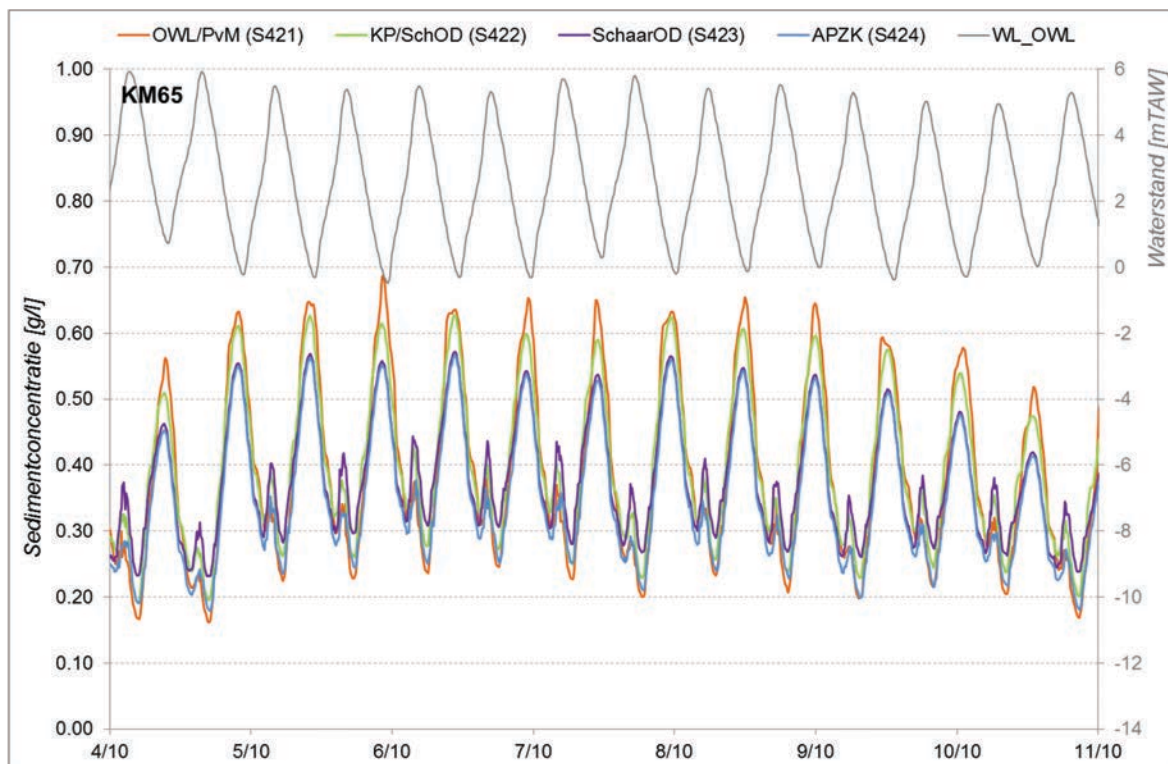


Figuur A 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5

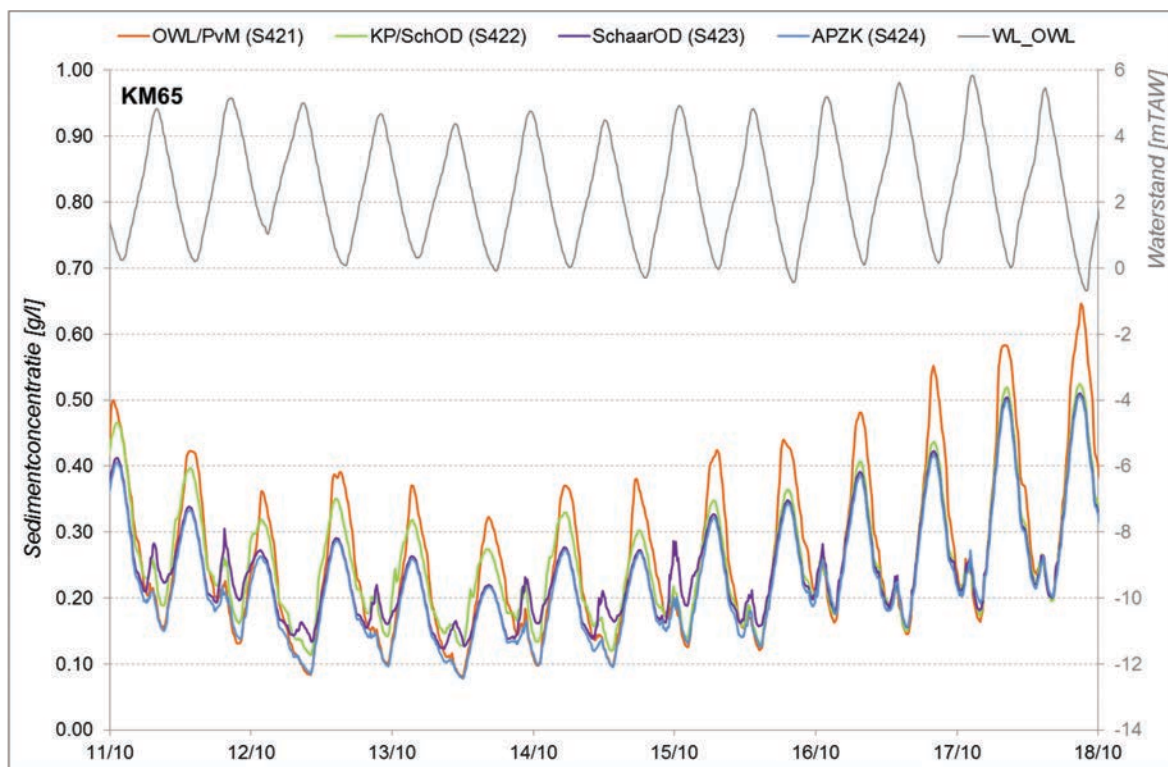
Kilometer 65



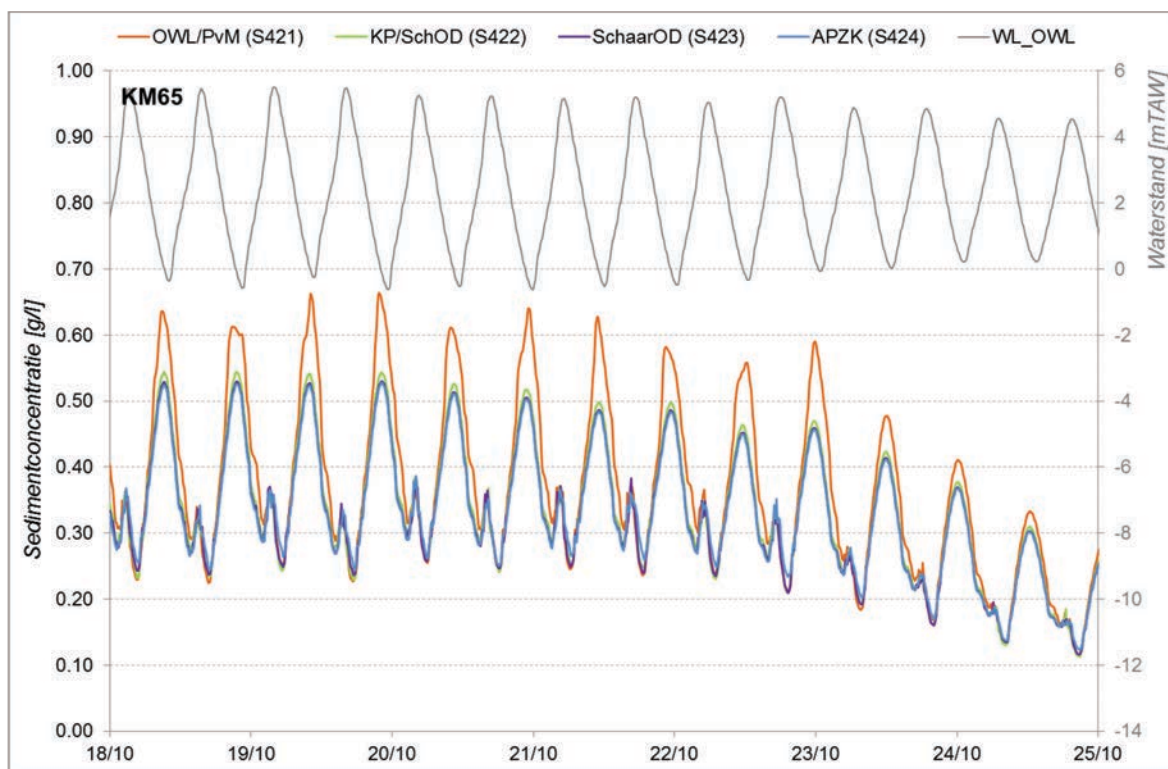
Figuur A 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1



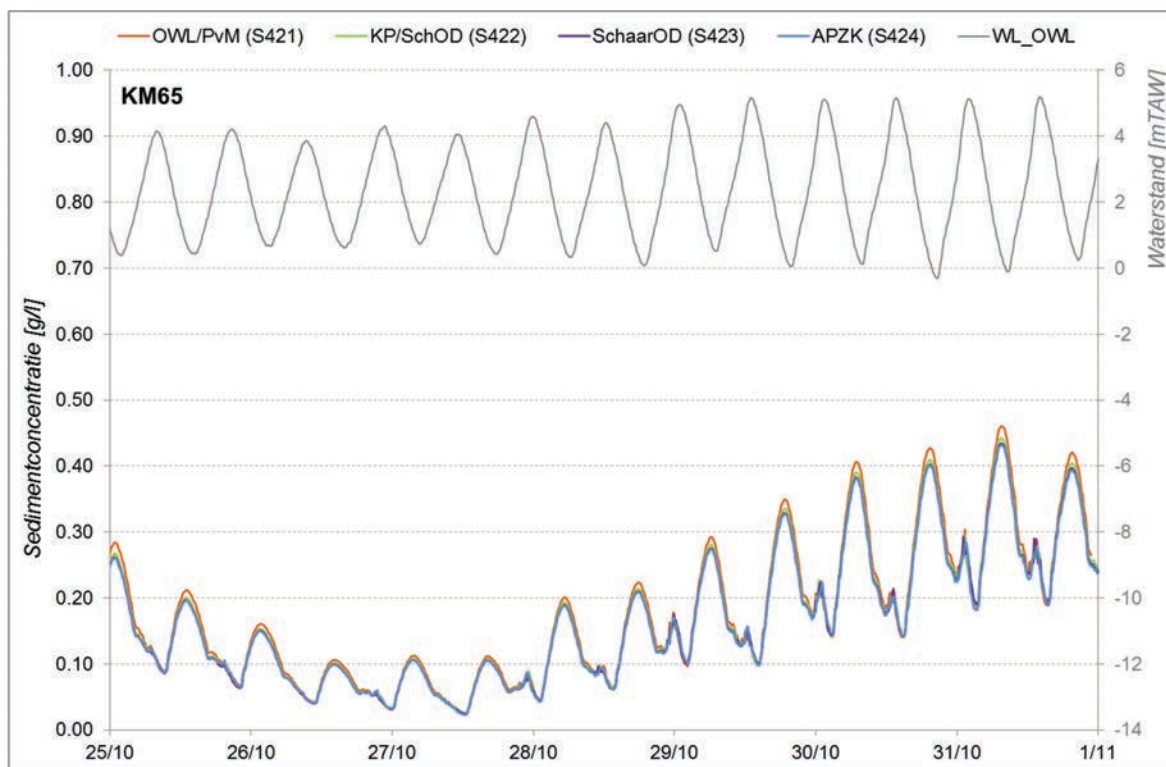
Figuur A 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur A 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3

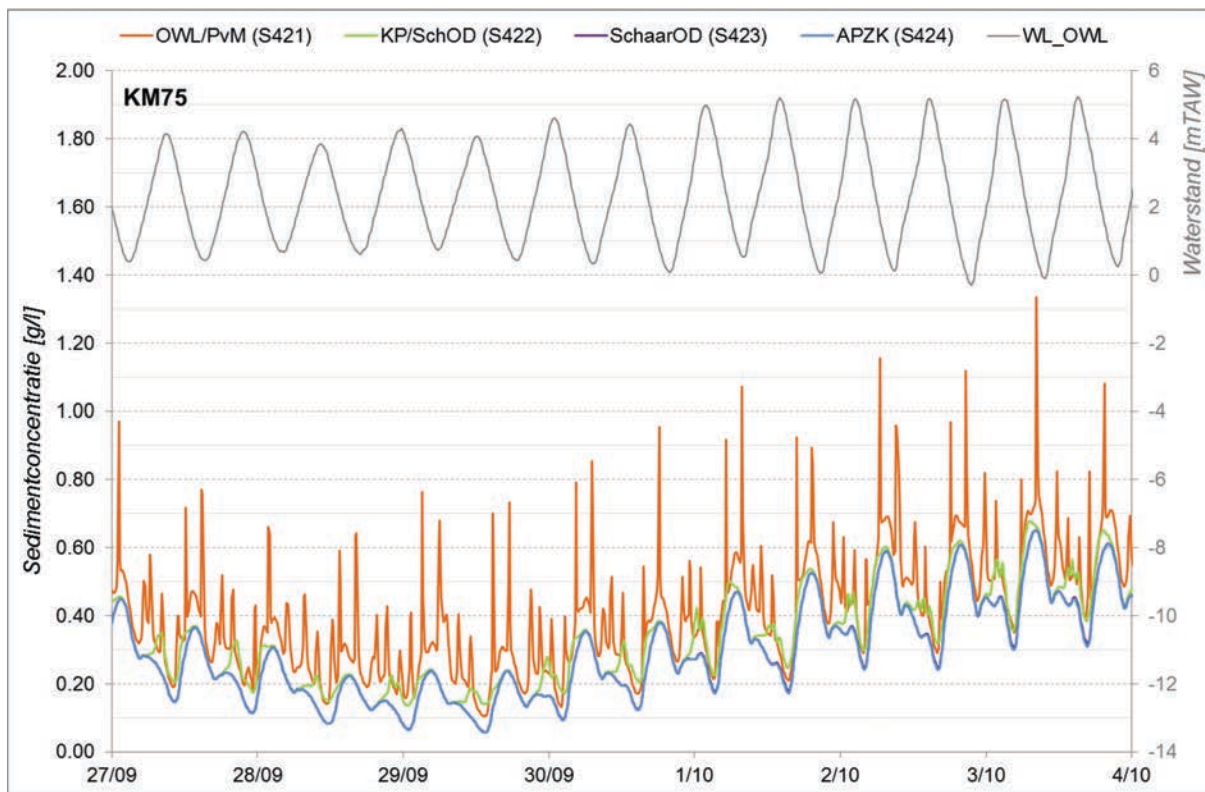


Figuur A 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4

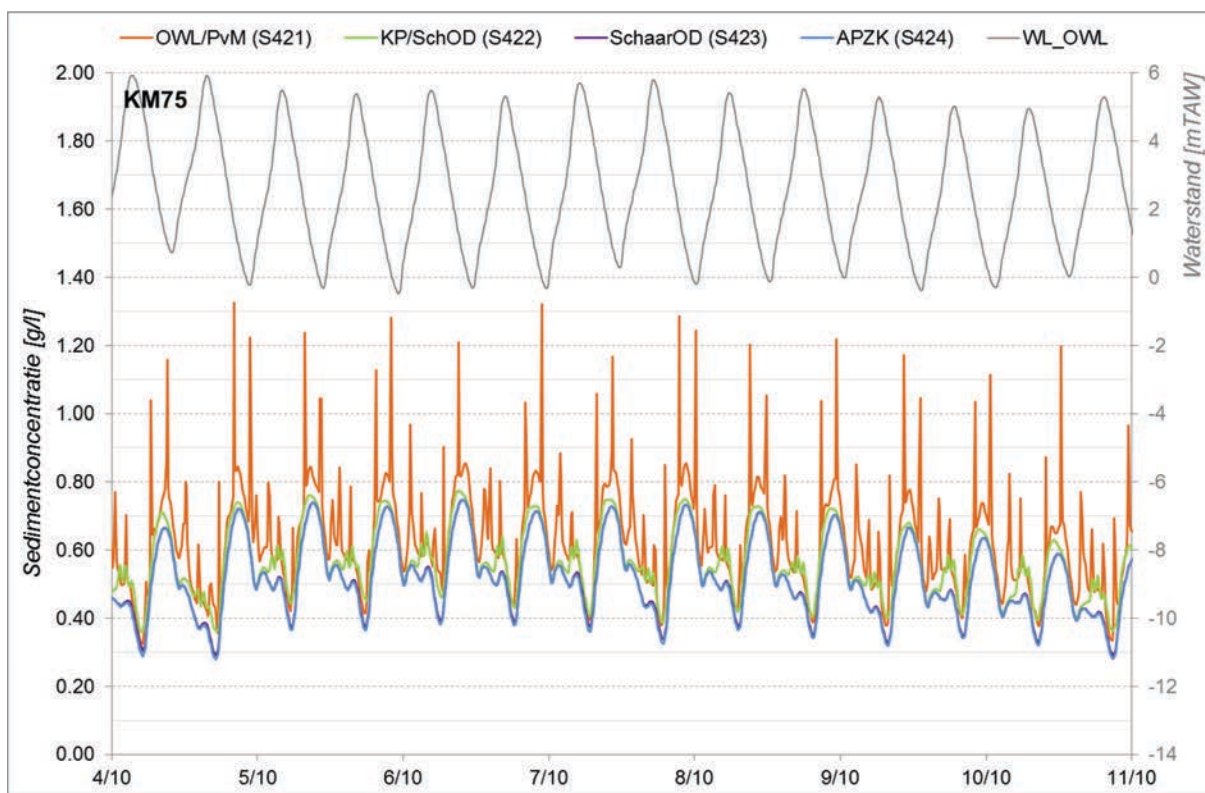


Figuur A 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5

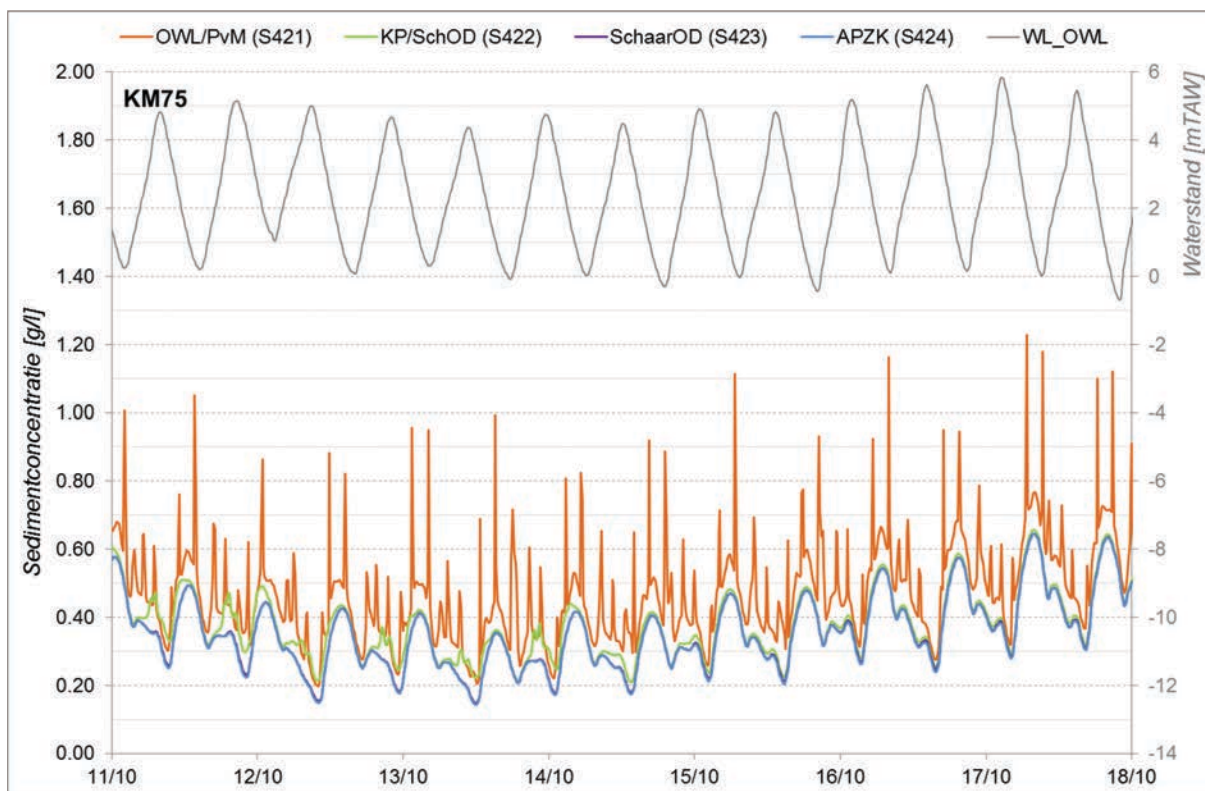
Kilometer 75



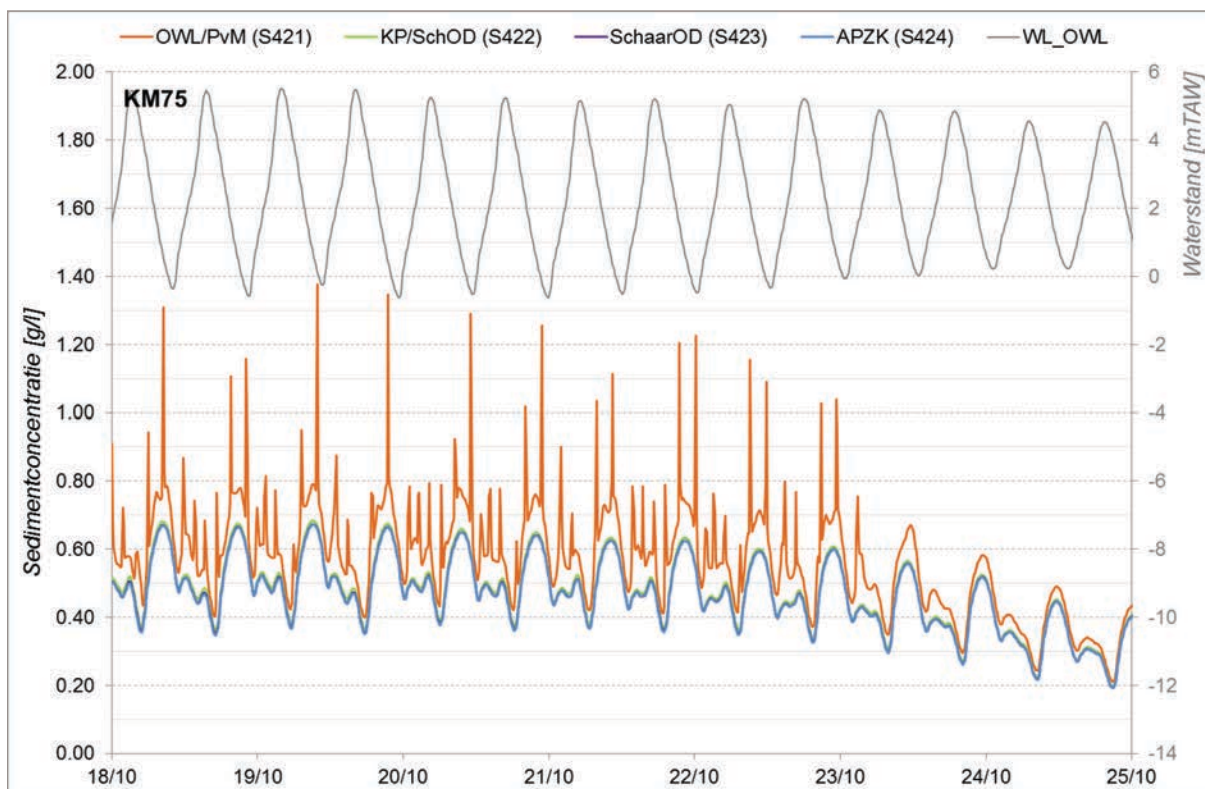
Figuur A 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1



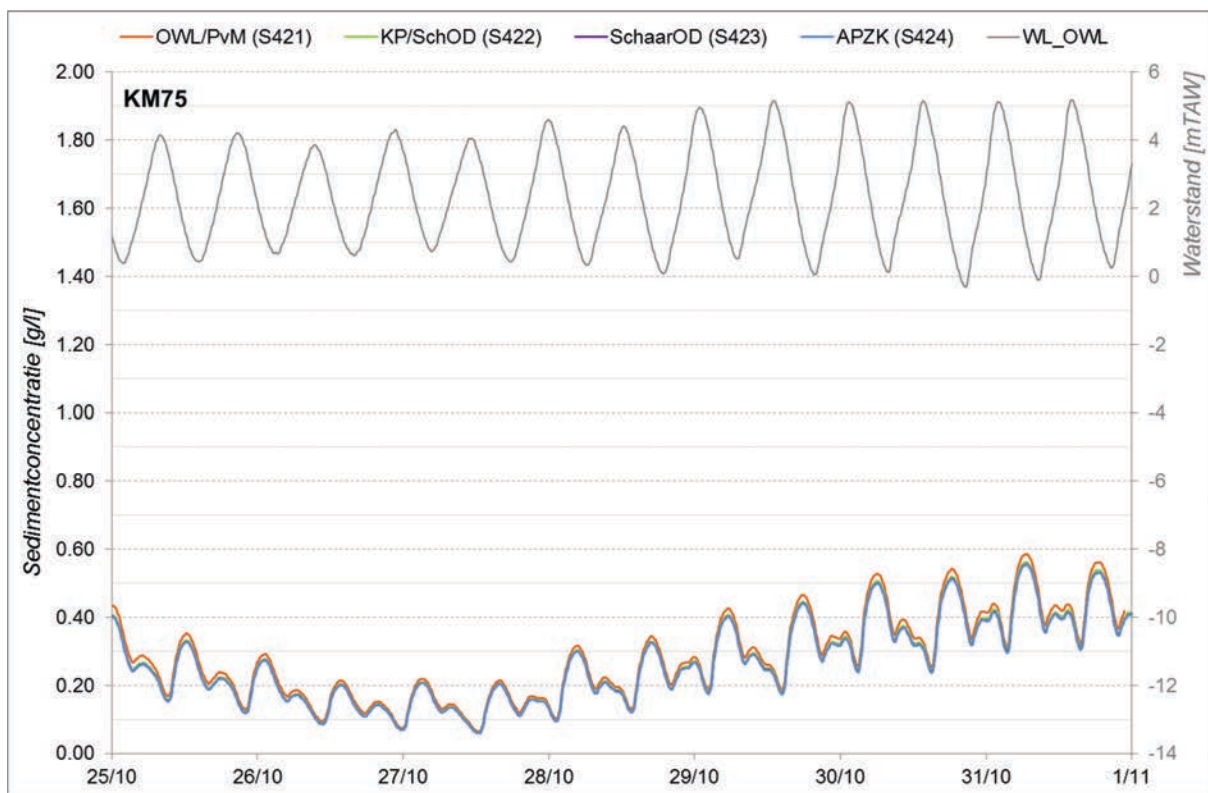
Figuur A 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur A 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3

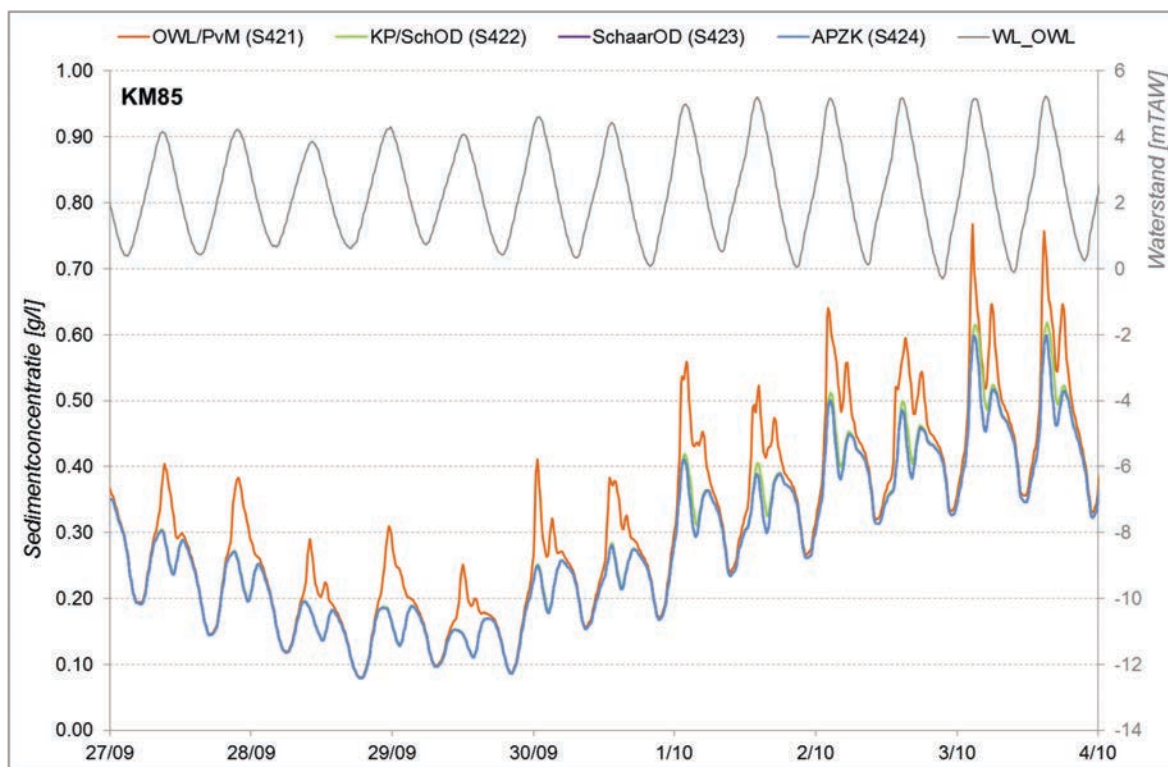


Figuur A 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4

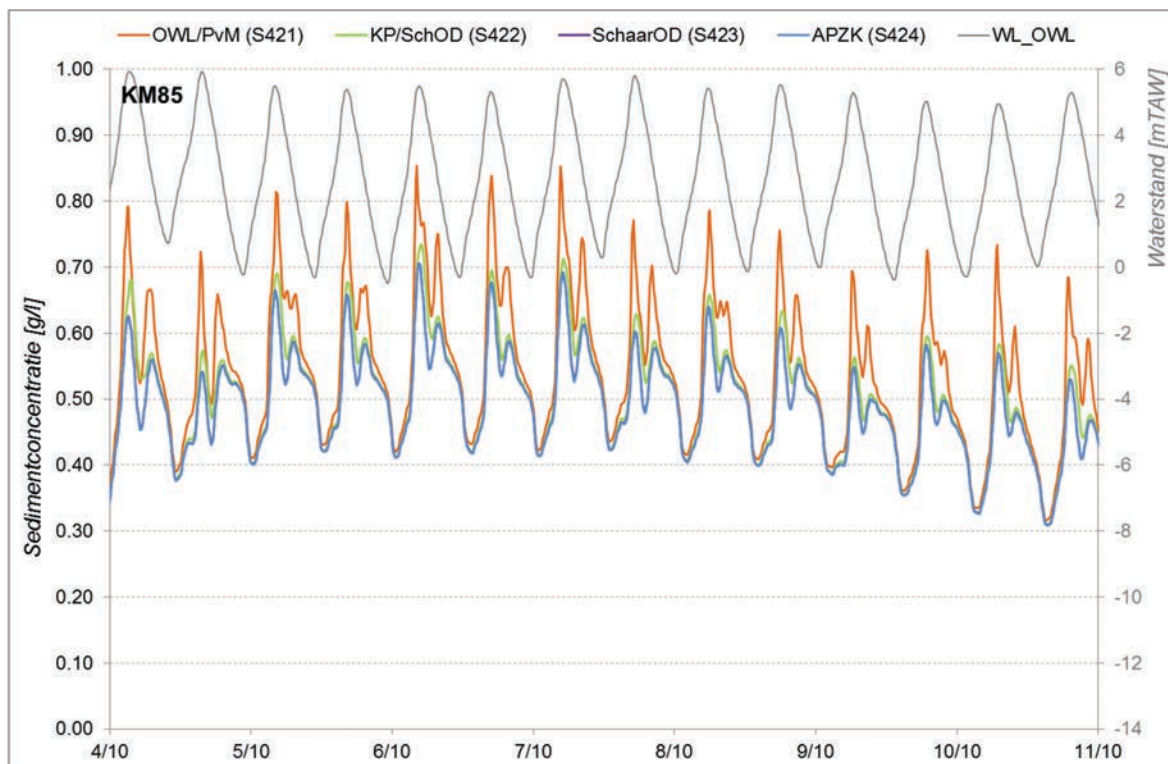


Figuur A 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 5

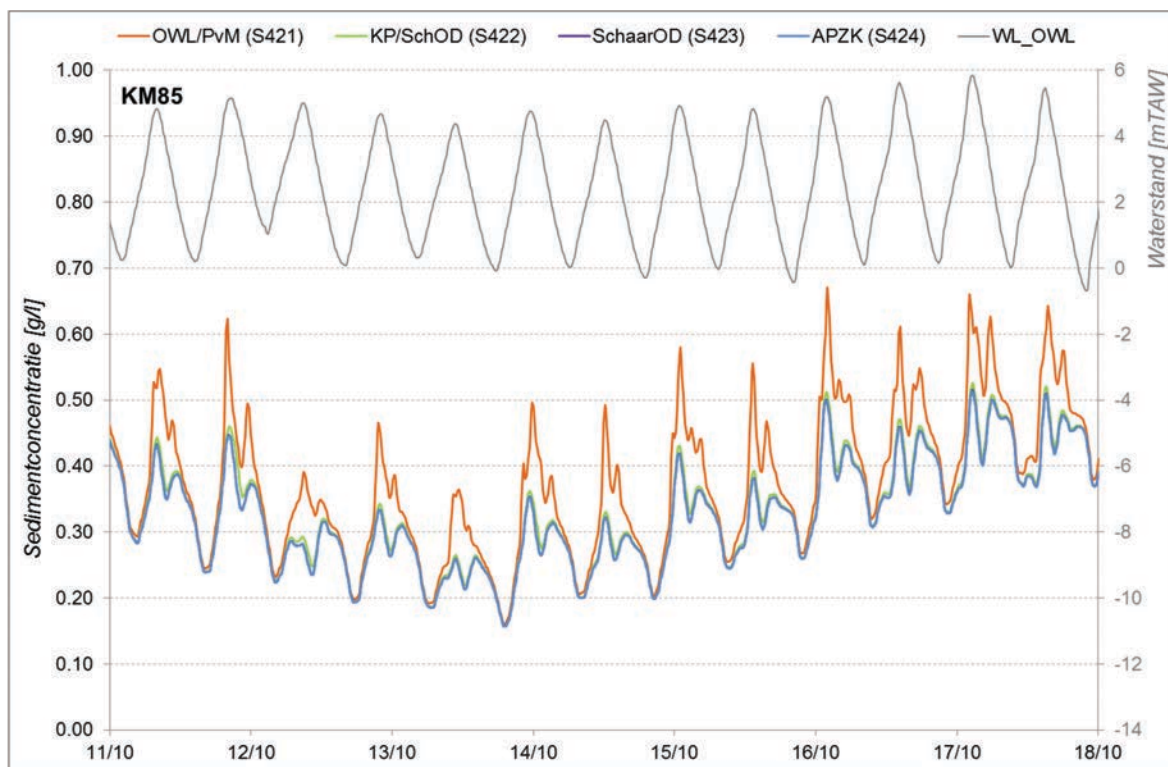
Kilometer 85



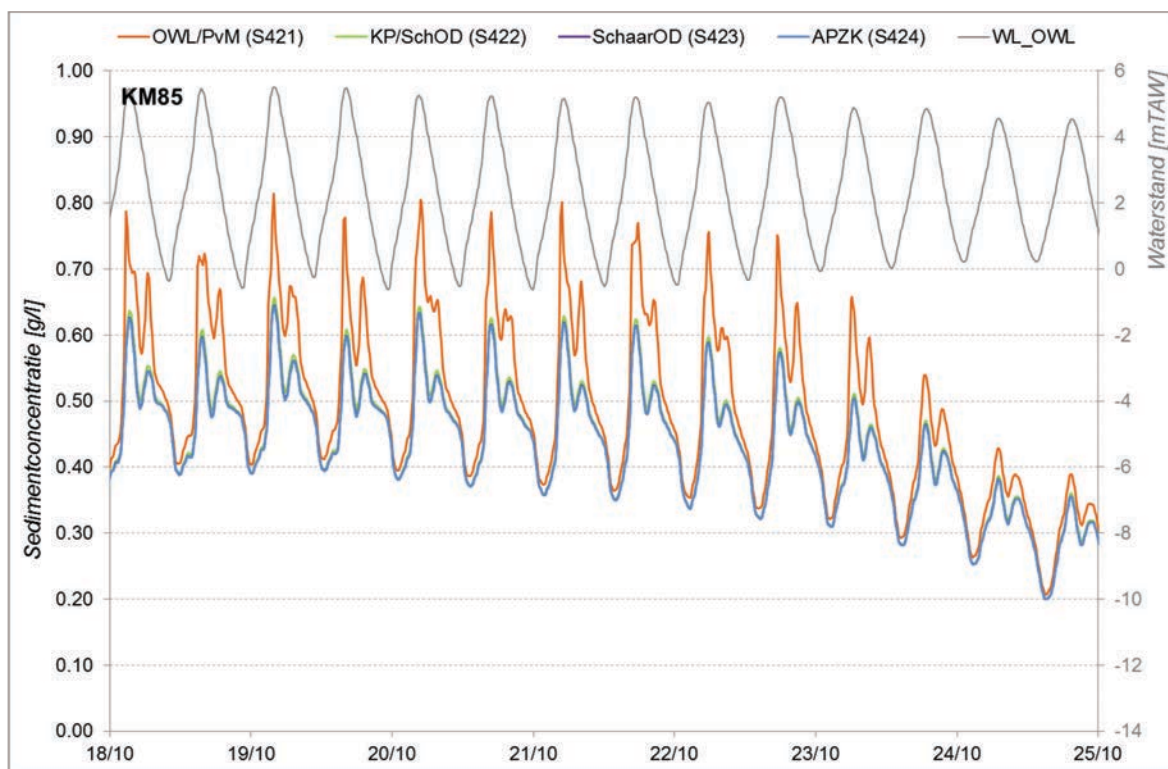
Figuur A 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1



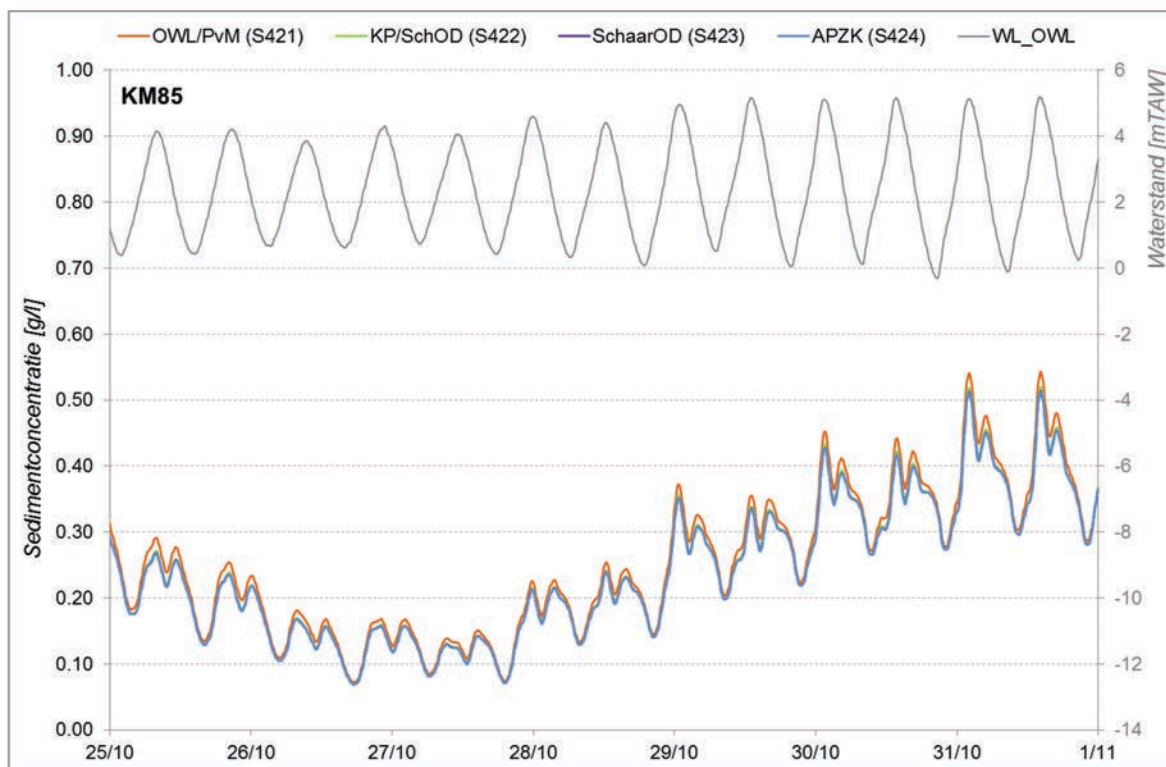
Figuur A 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur A 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3



Figuur A 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4



Figuur A 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5

BIJLAGE B LENGTEPROFIELEN SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – FASE 1

Legende

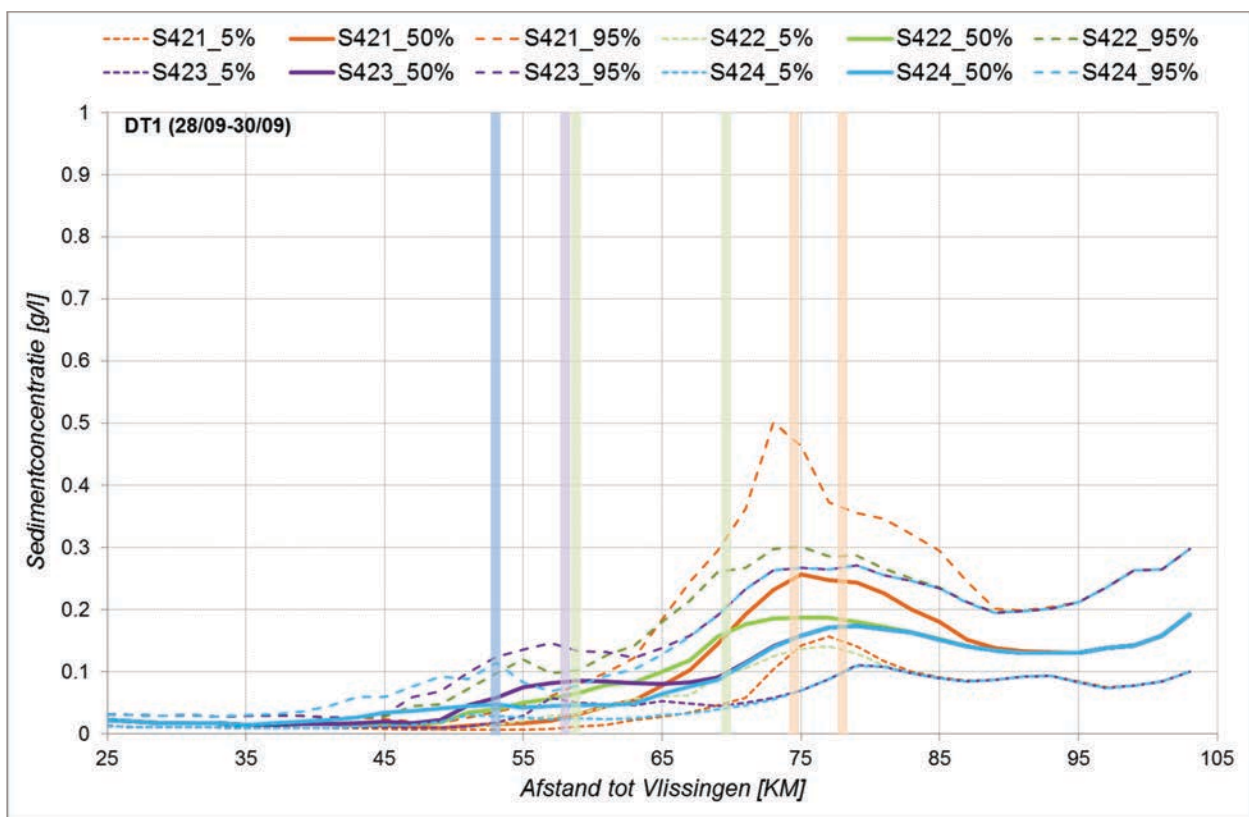
S421 = Stortscenario ' huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

S422 = Stortscenario ' dichtbij' = Ketelputten / Schaar van Ouden Doel (KP/SchOD)

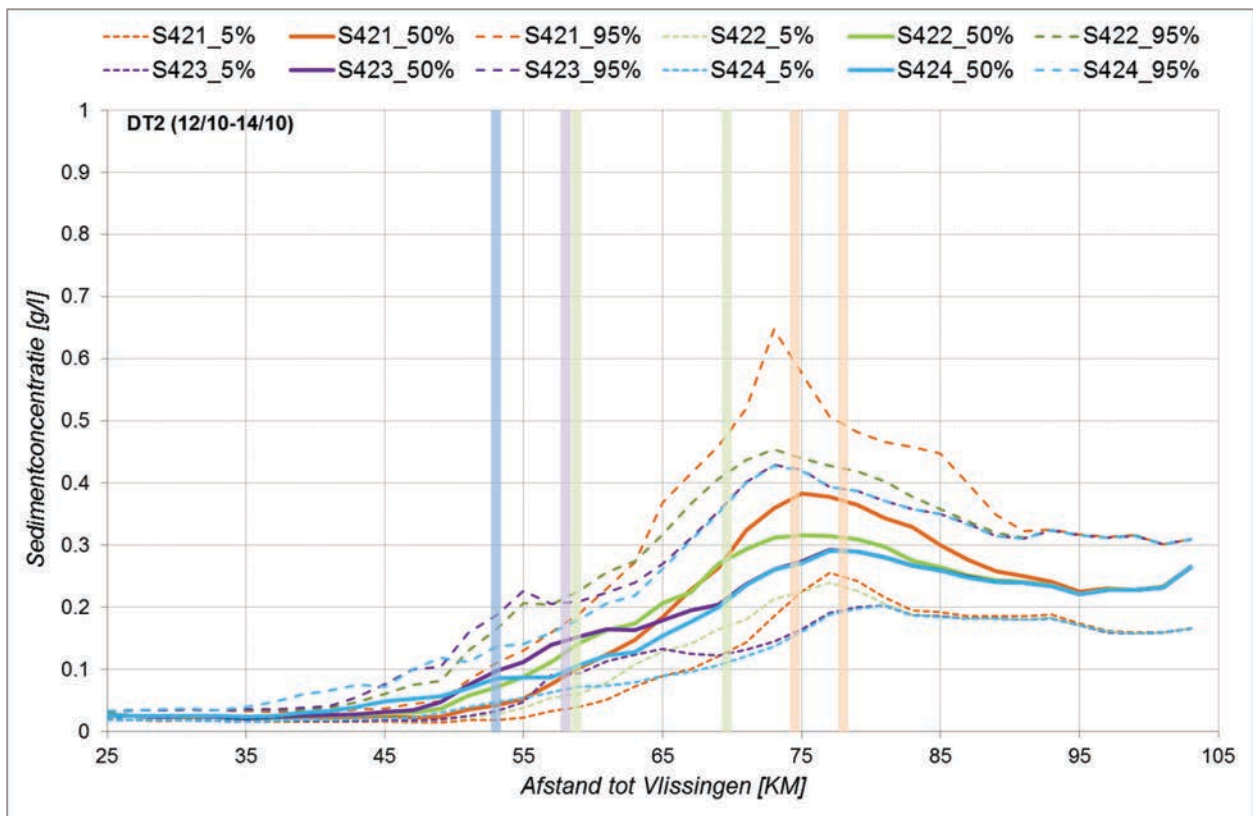
S423 = Stortscenario 'afwaarts I' = Schaar van Ouden Doel (SchaarOD)

S424 = Stortscenario 'afwaarts II' = Appelzak (APZK)

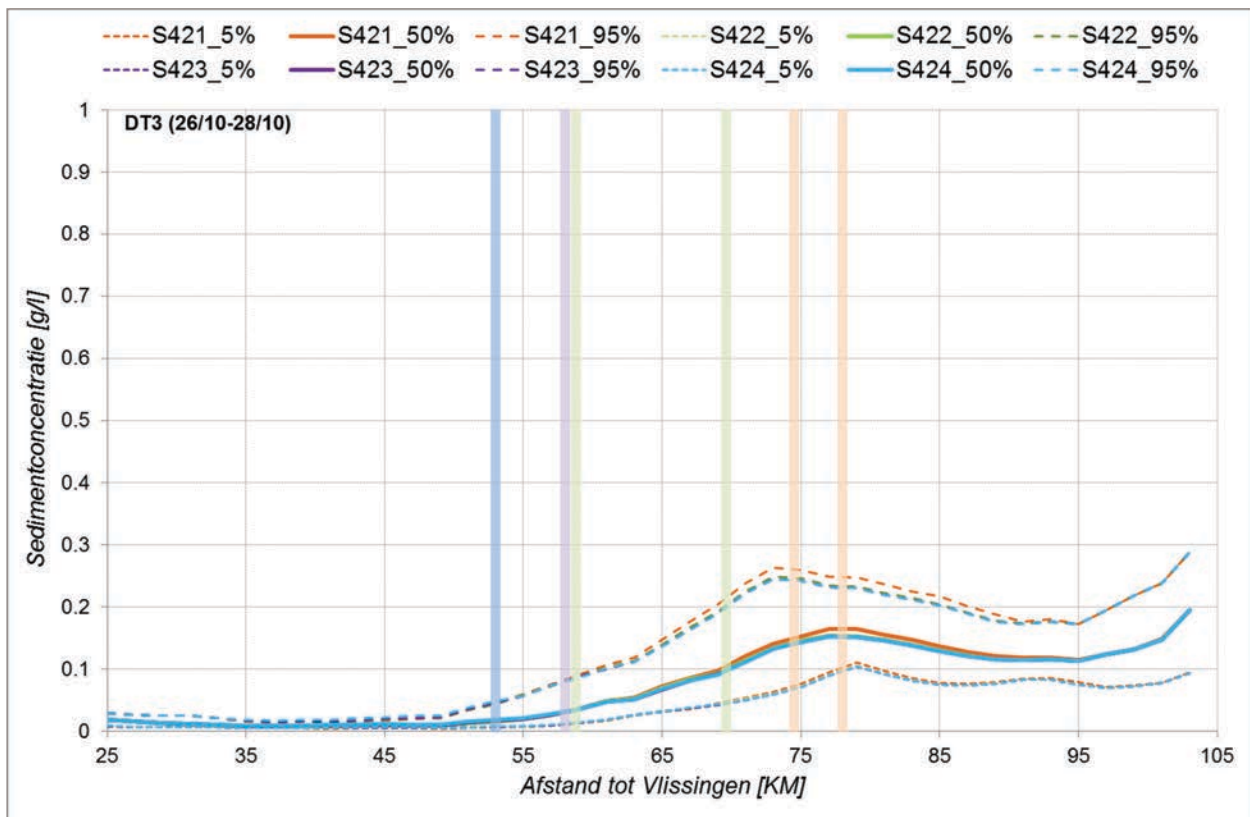
Stortlocaties zijn op de lengteprofielen aangeduid dmv verticale balken.



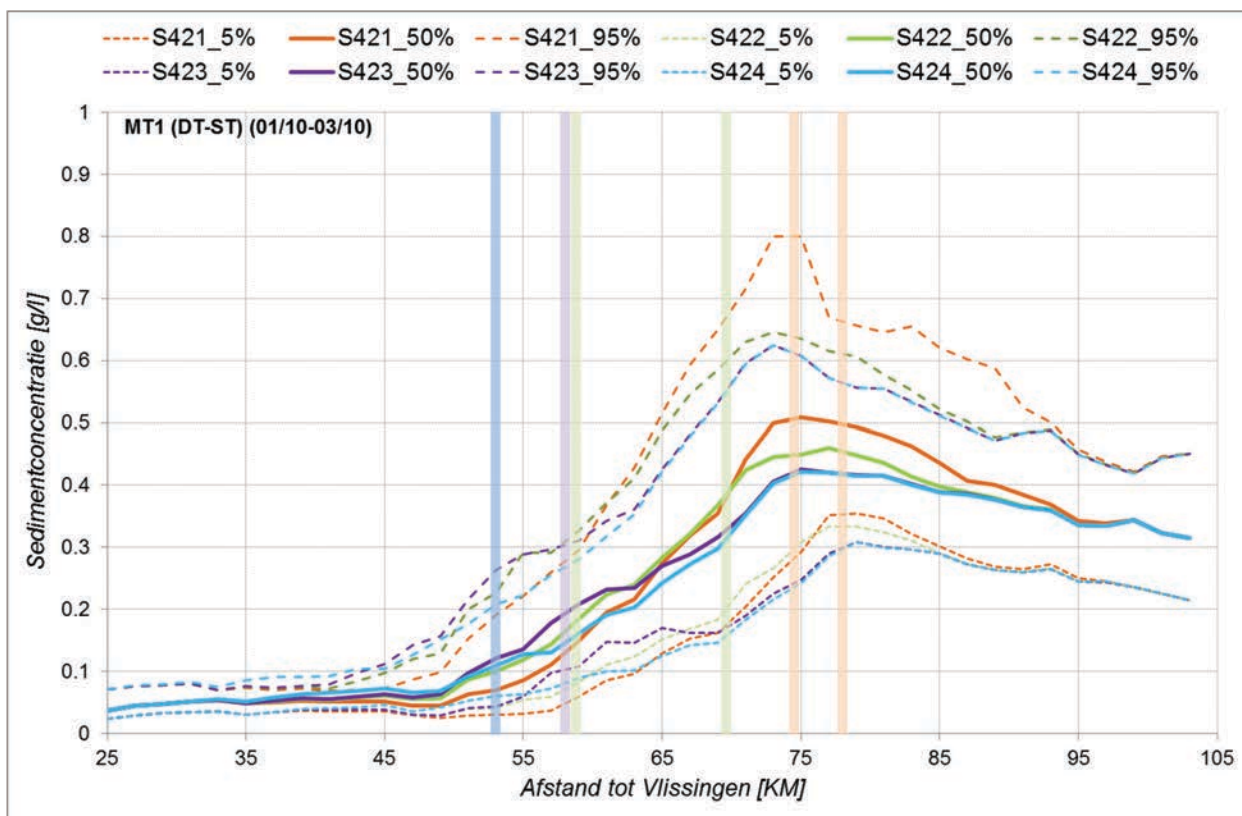
Figuur B 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doortijperiode 1



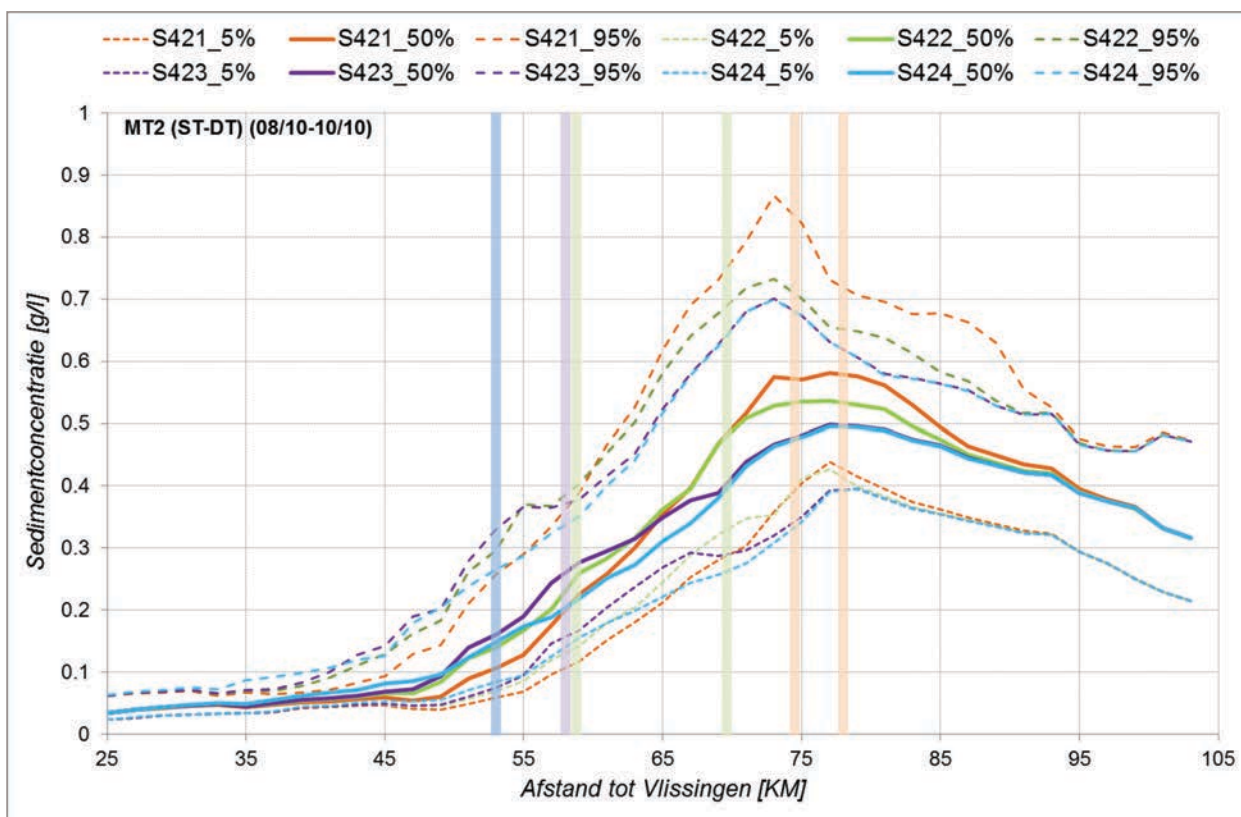
Figuur B 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doodtijperide 2



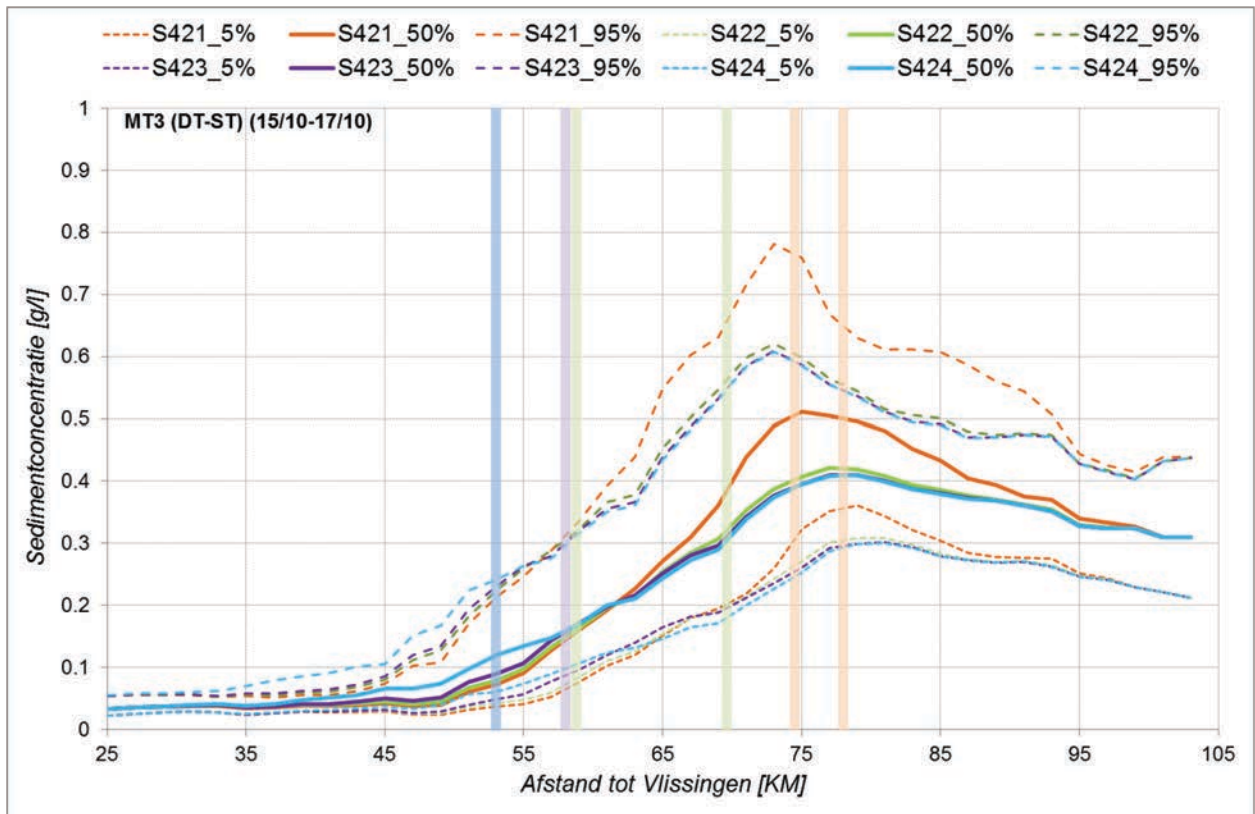
Figuur B 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – doodtijperide 3



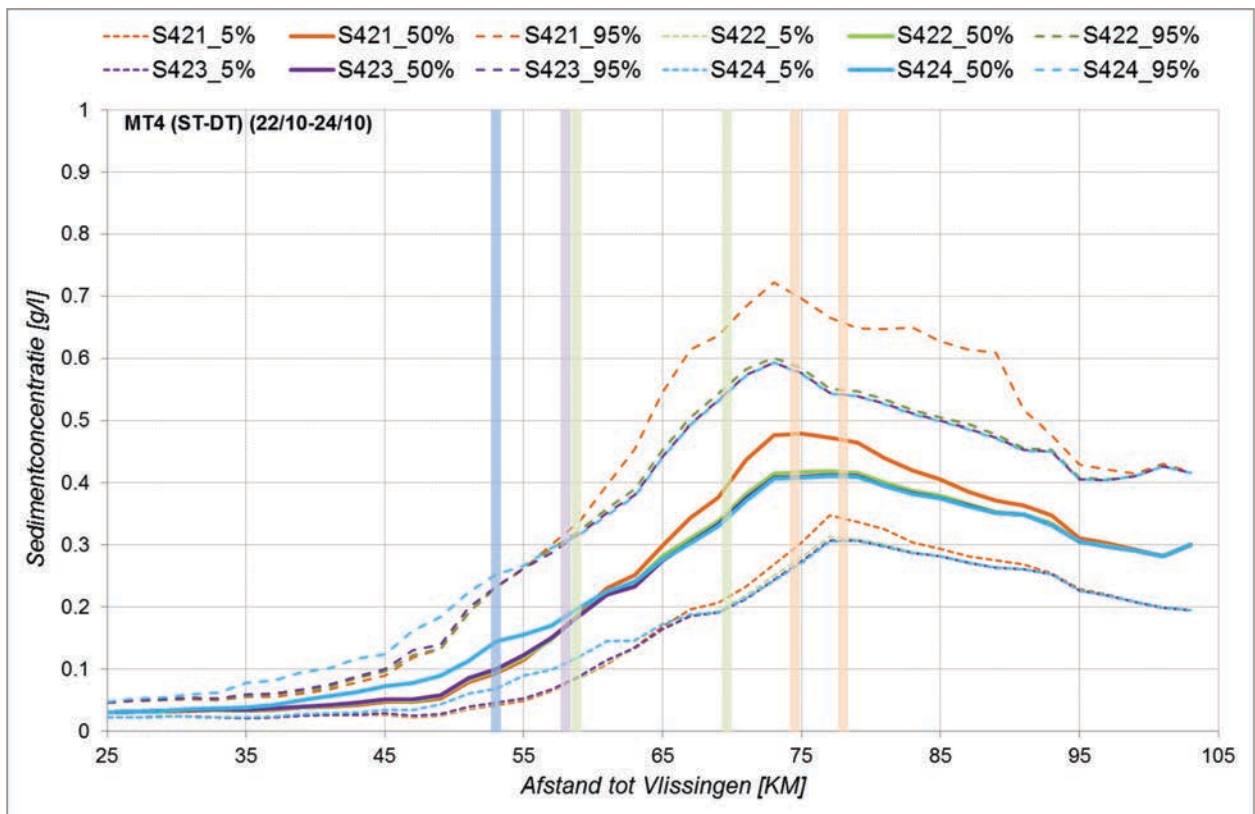
Figuur B 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 1



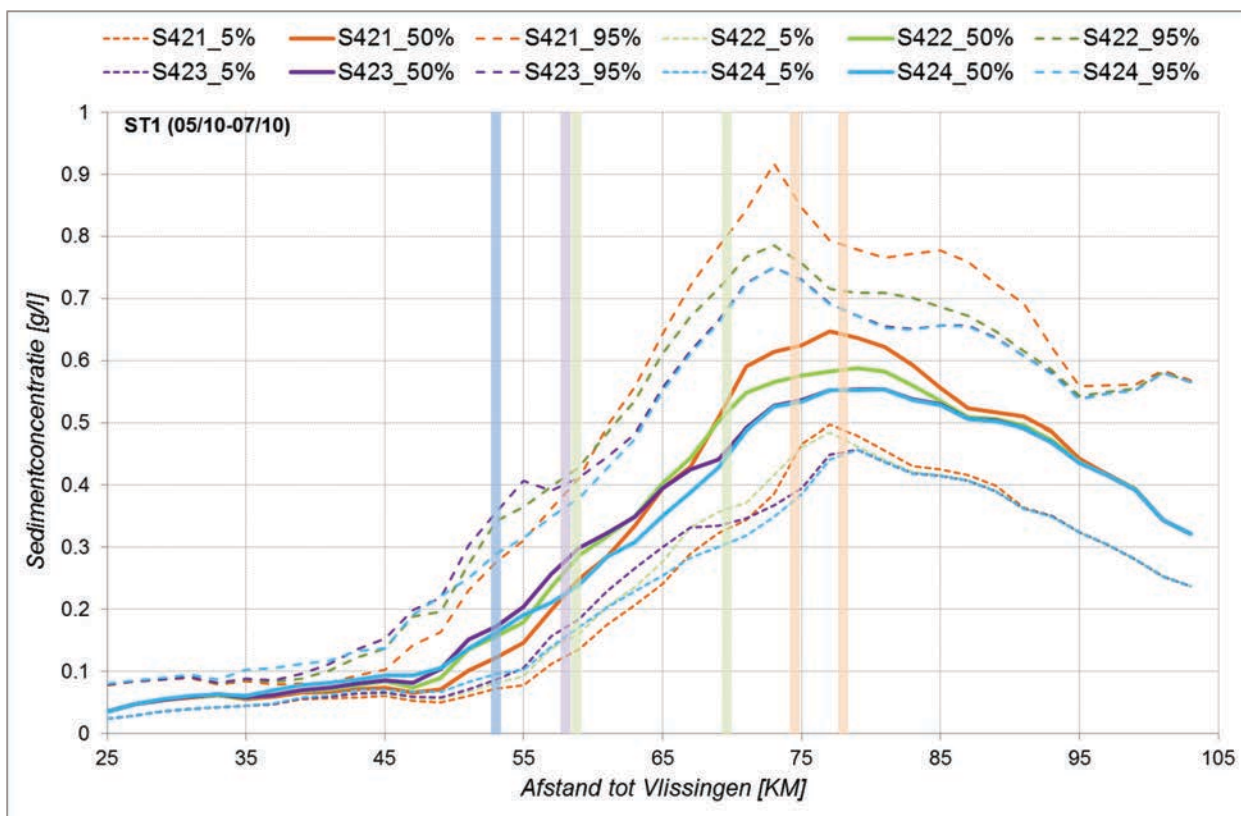
Figuur B 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 2



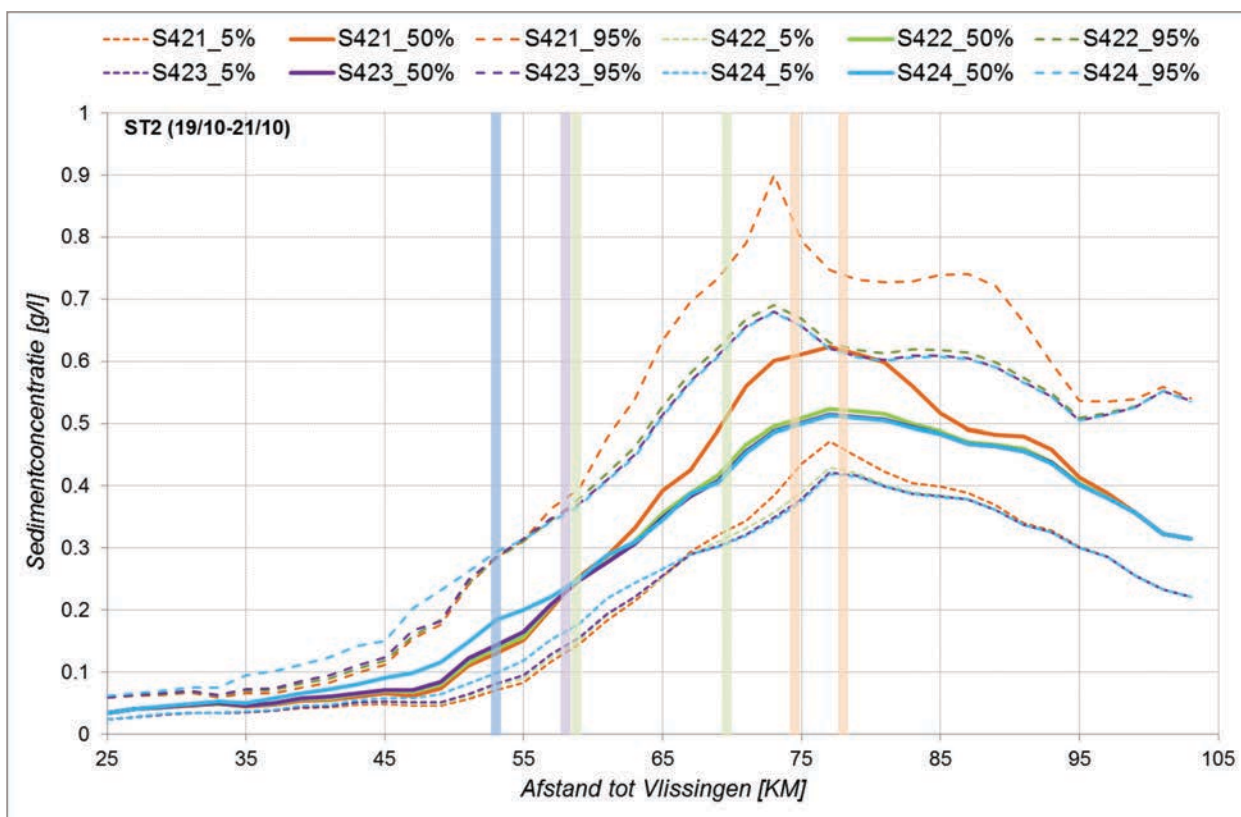
Figuur B 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 3



Figuur B 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – midtperiode 4



Figuur B 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie –springtijperiode 1



Figuur B 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie – springtijperiode 2

BIJLAGE C VERLOOP SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – FASE 2

Legende

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

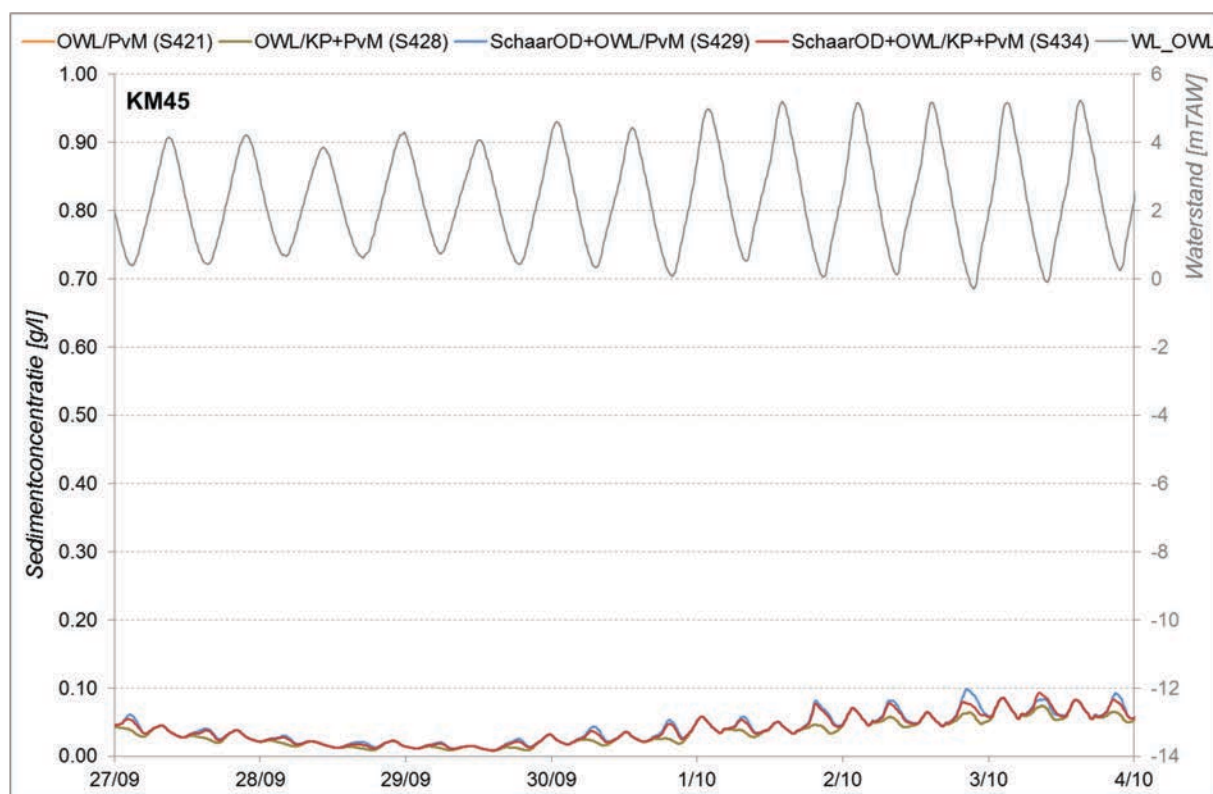
S428 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' = Oosterweel / Ketelputten+Punt van Melsele (OWL/KP+PvM)

S429 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele (SchOD+OWL/PvM)

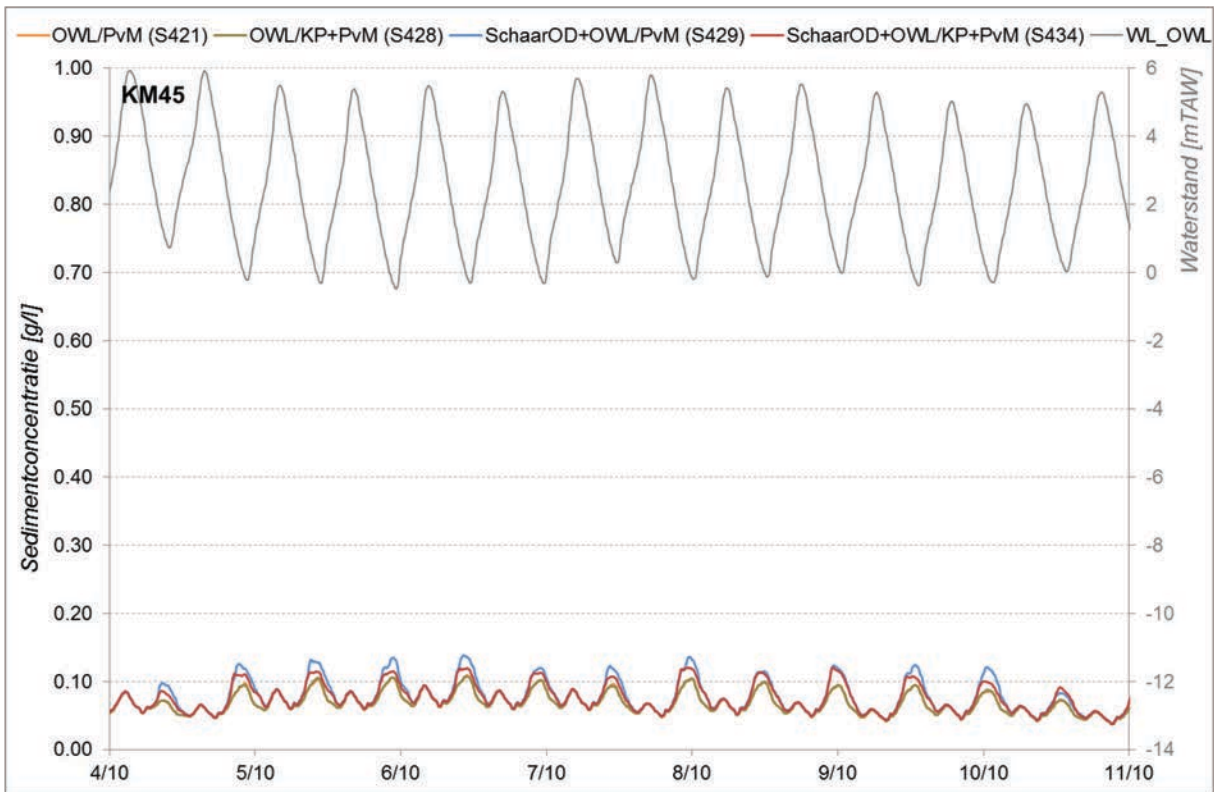
S434 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele + Ketelputten (SchOD+OWL/PvM+KP)

WL_OWL = waterpeil Oosterweel

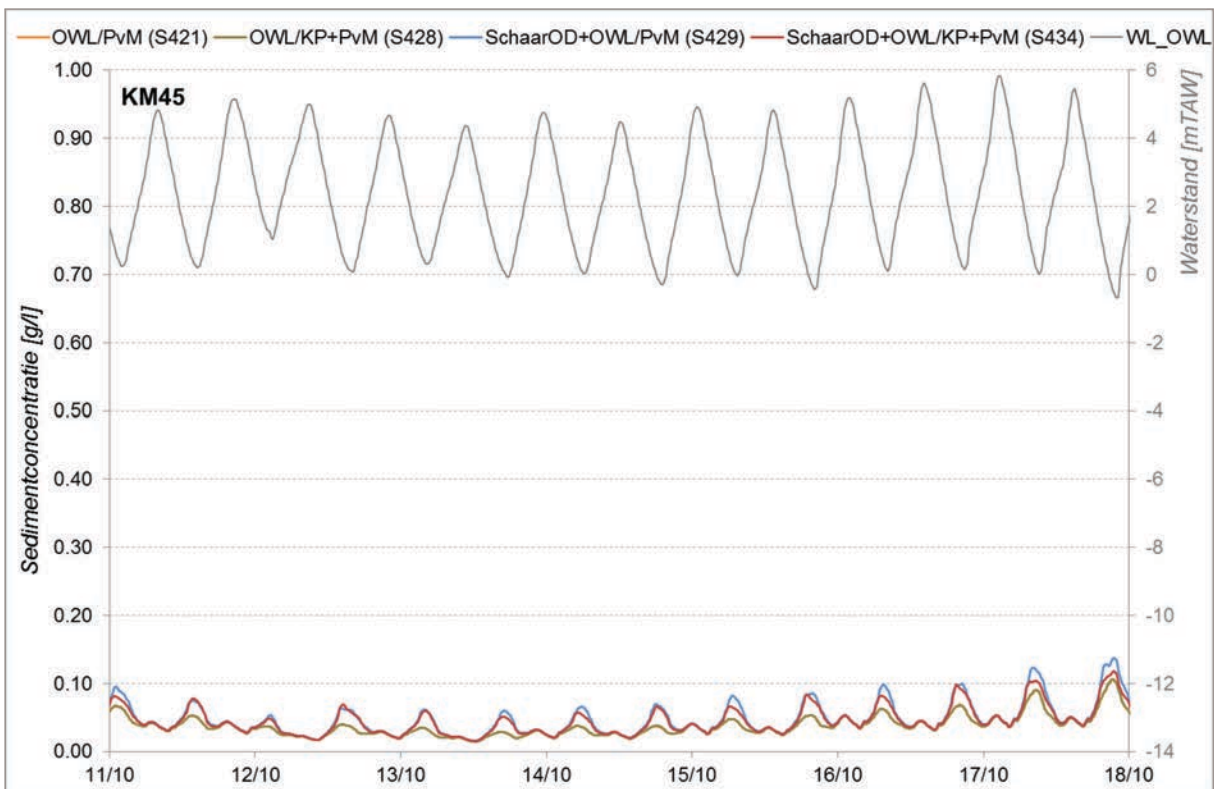
Kilometer 45



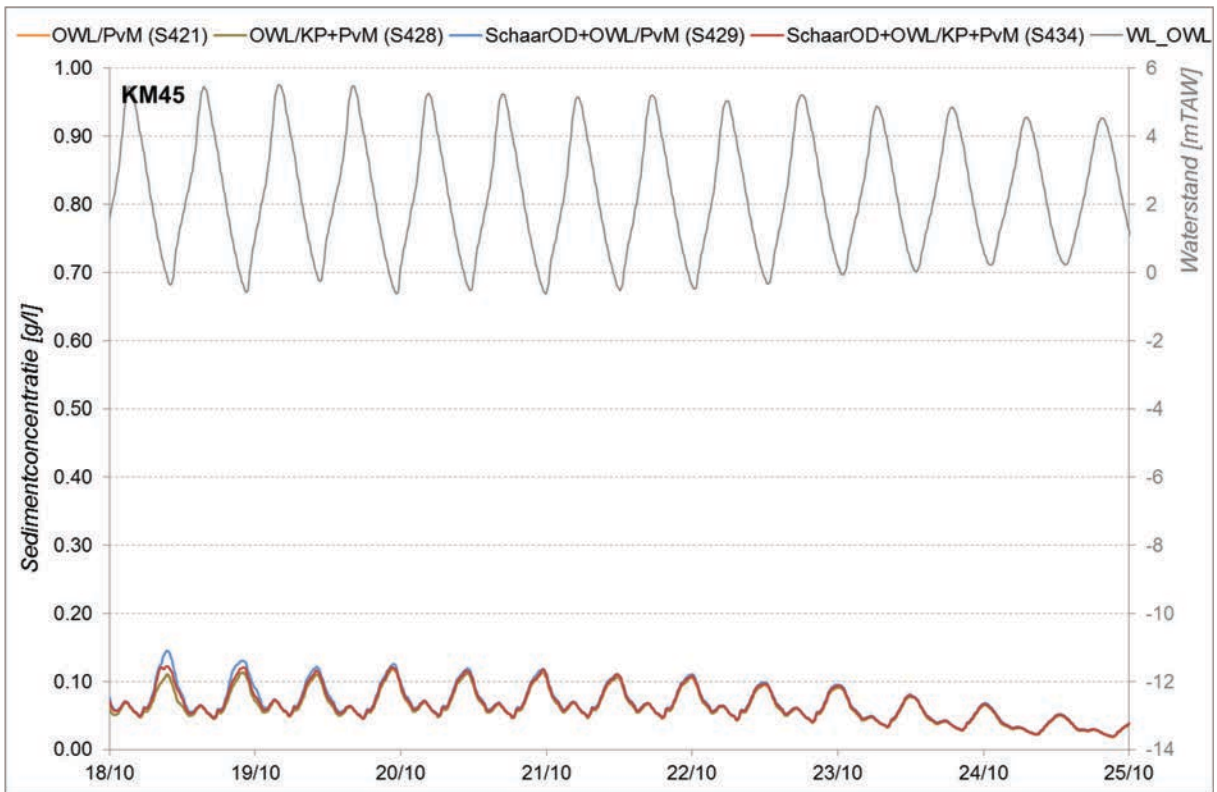
Figuur C 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1



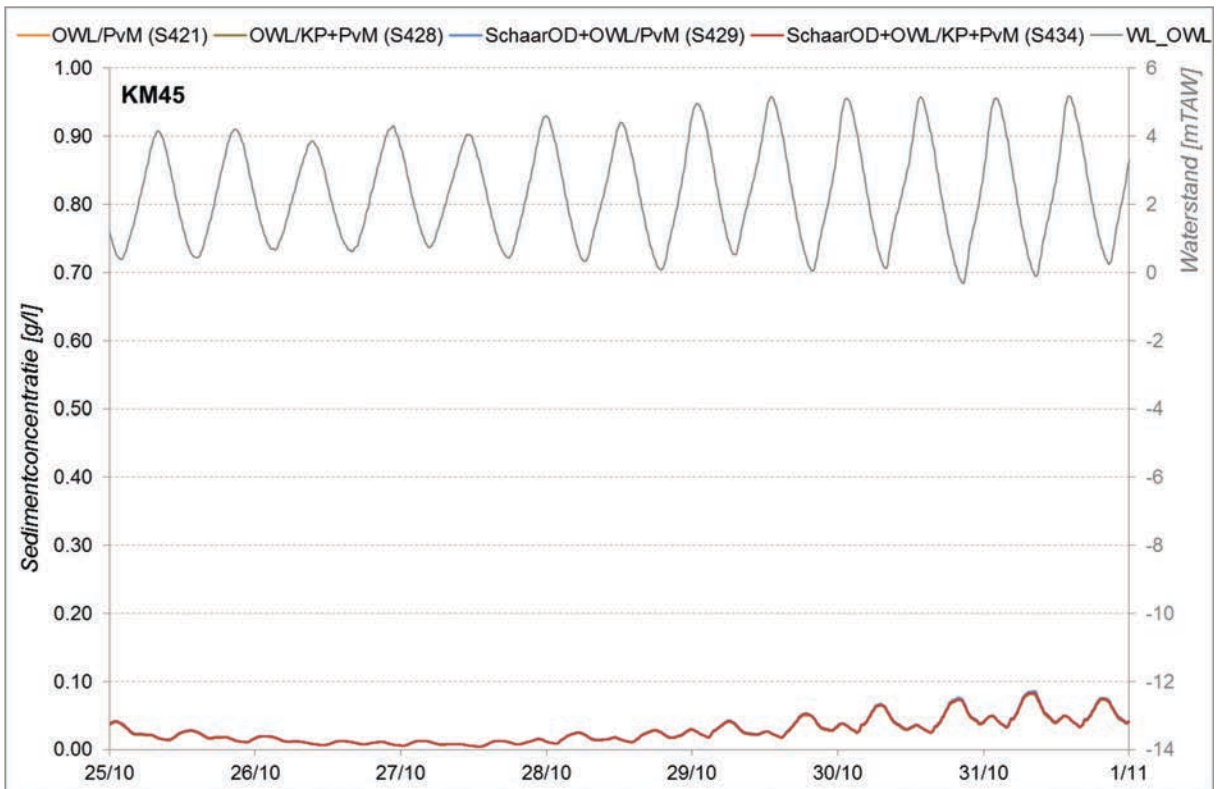
Figuur C 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur C 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3

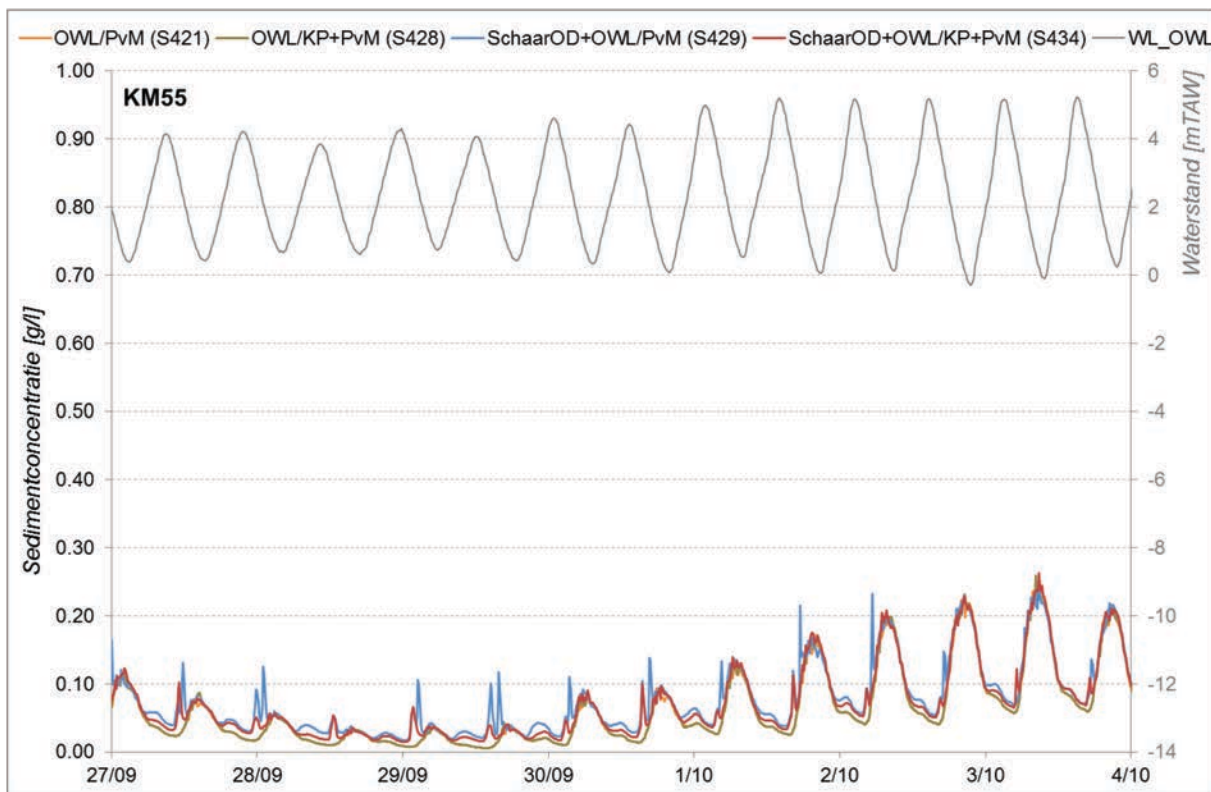


Figuur C 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4

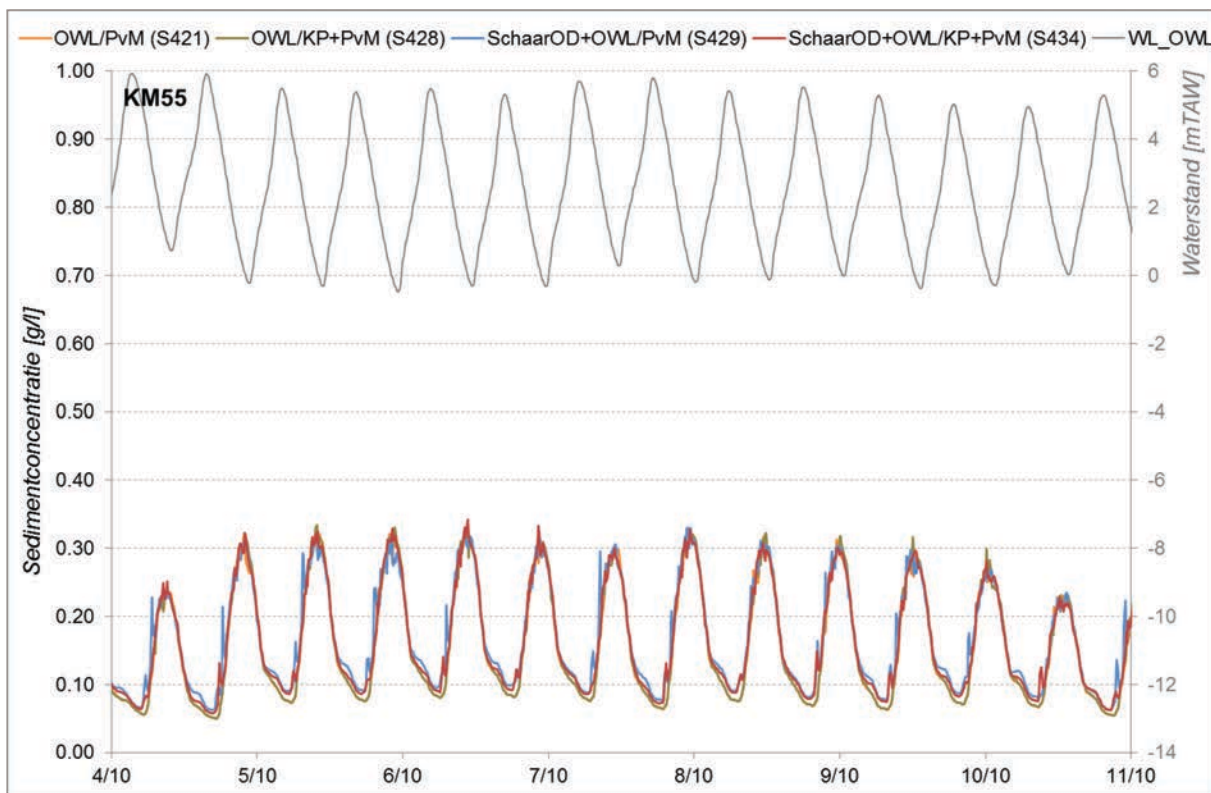


Figuur C 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5

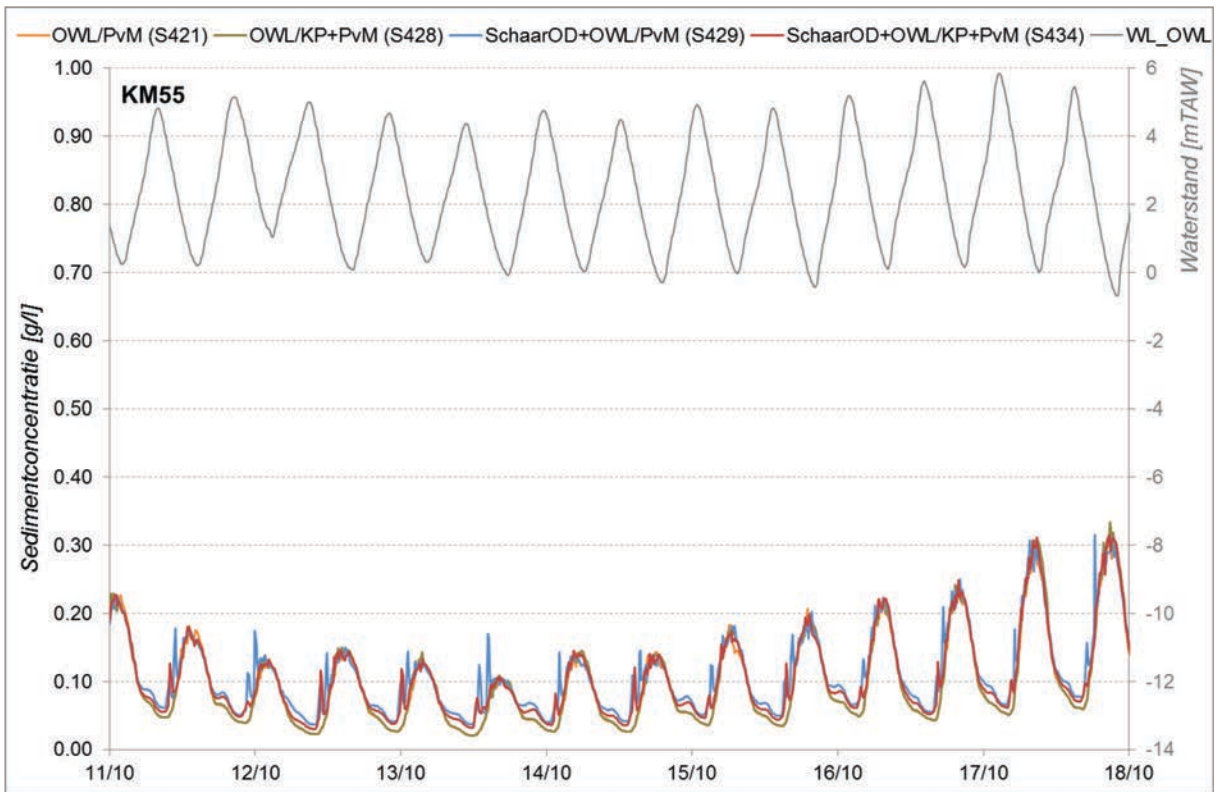
Kilometer 55



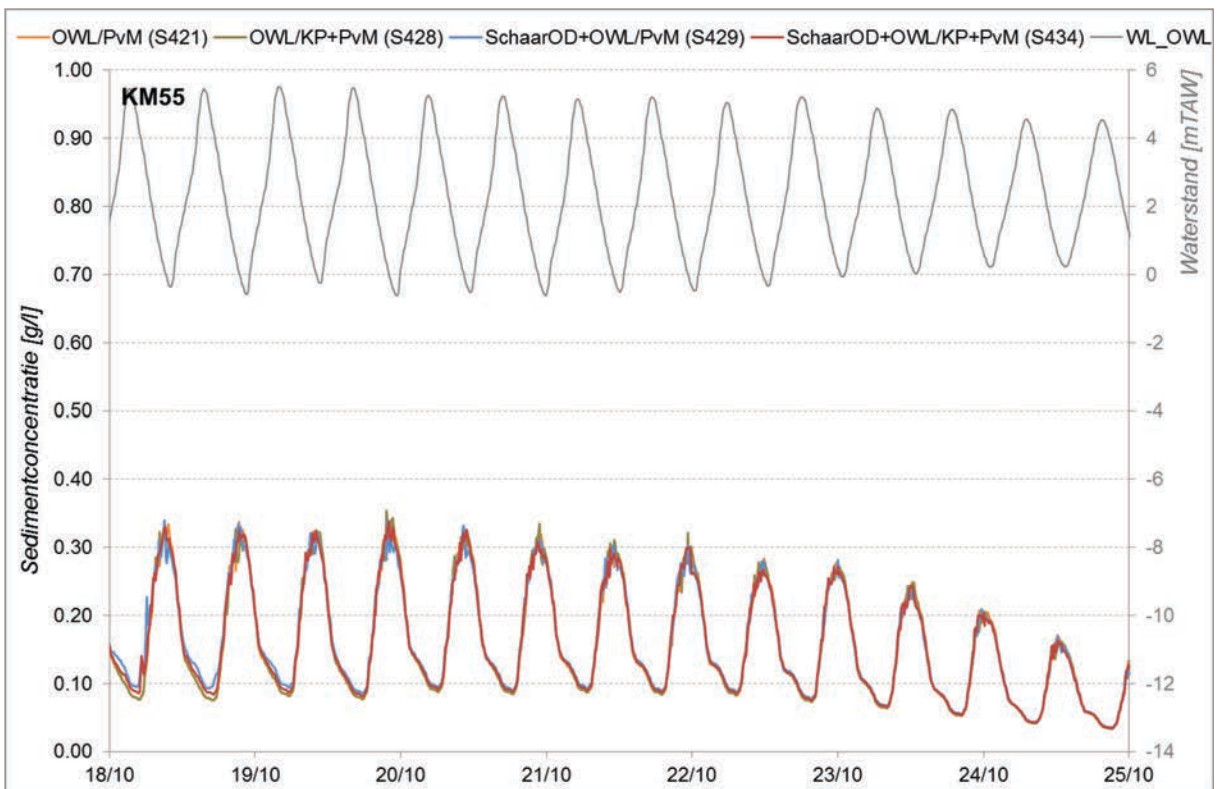
Figuur C 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1



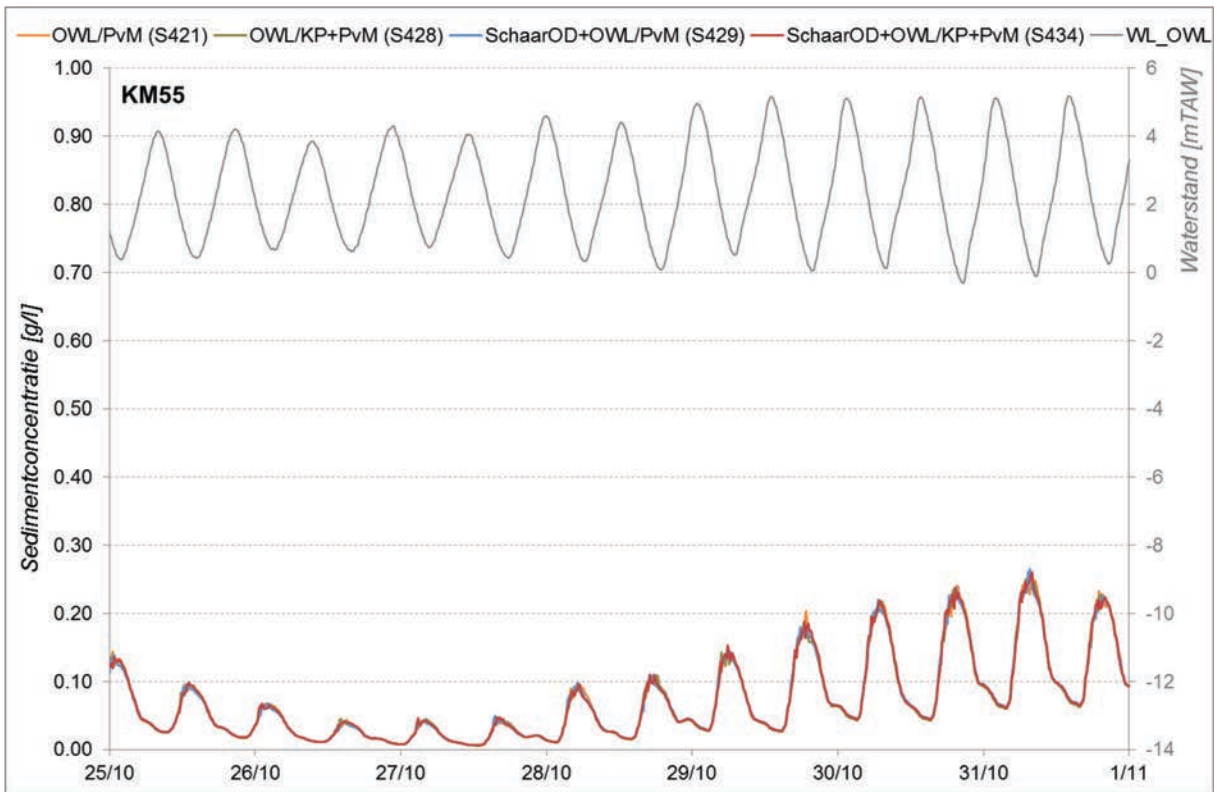
Figuur C 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde – week 2



Figuur C 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde – week 3

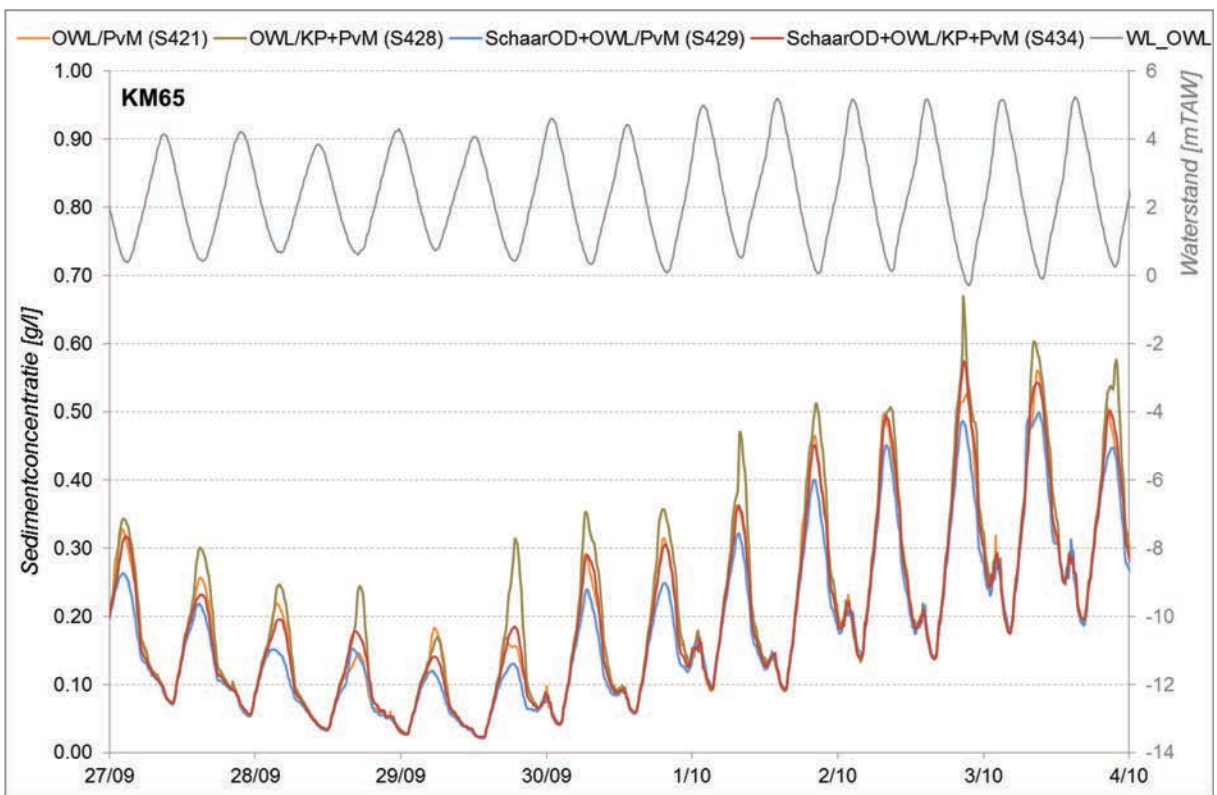


Figuur C 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4

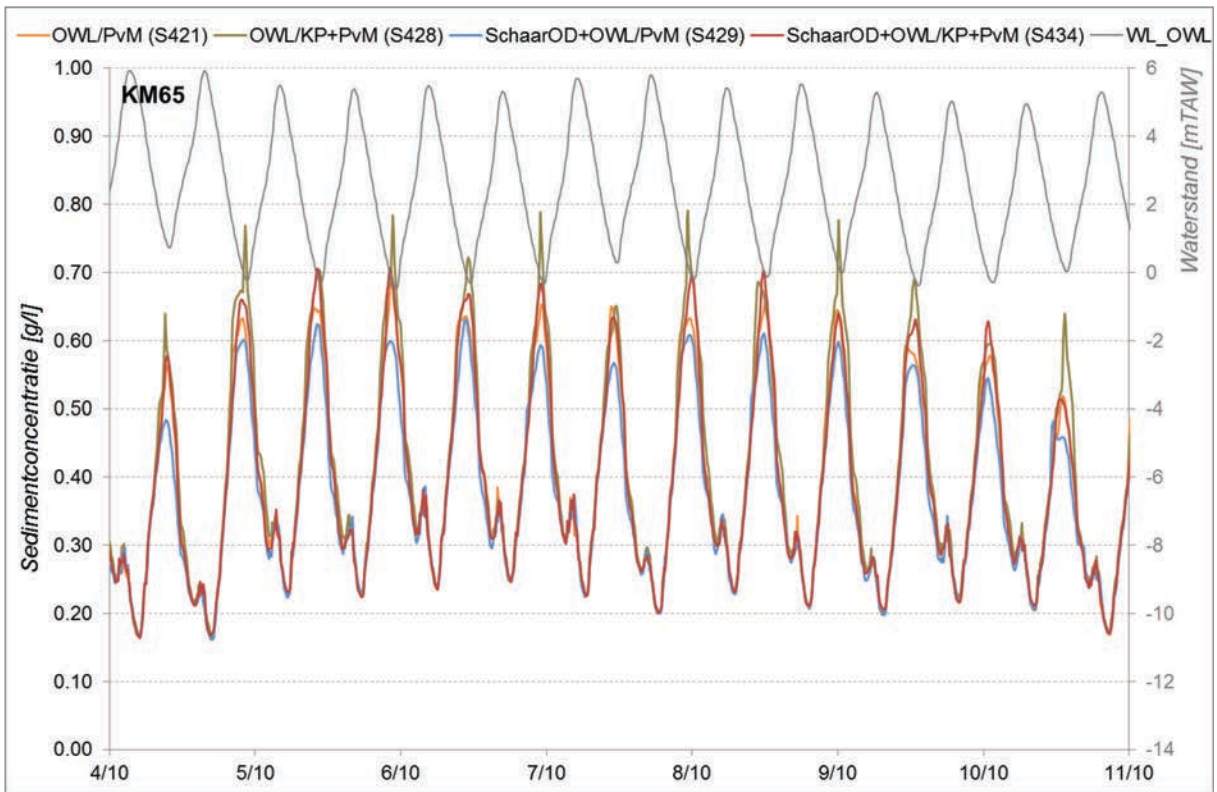


Figuur C 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5

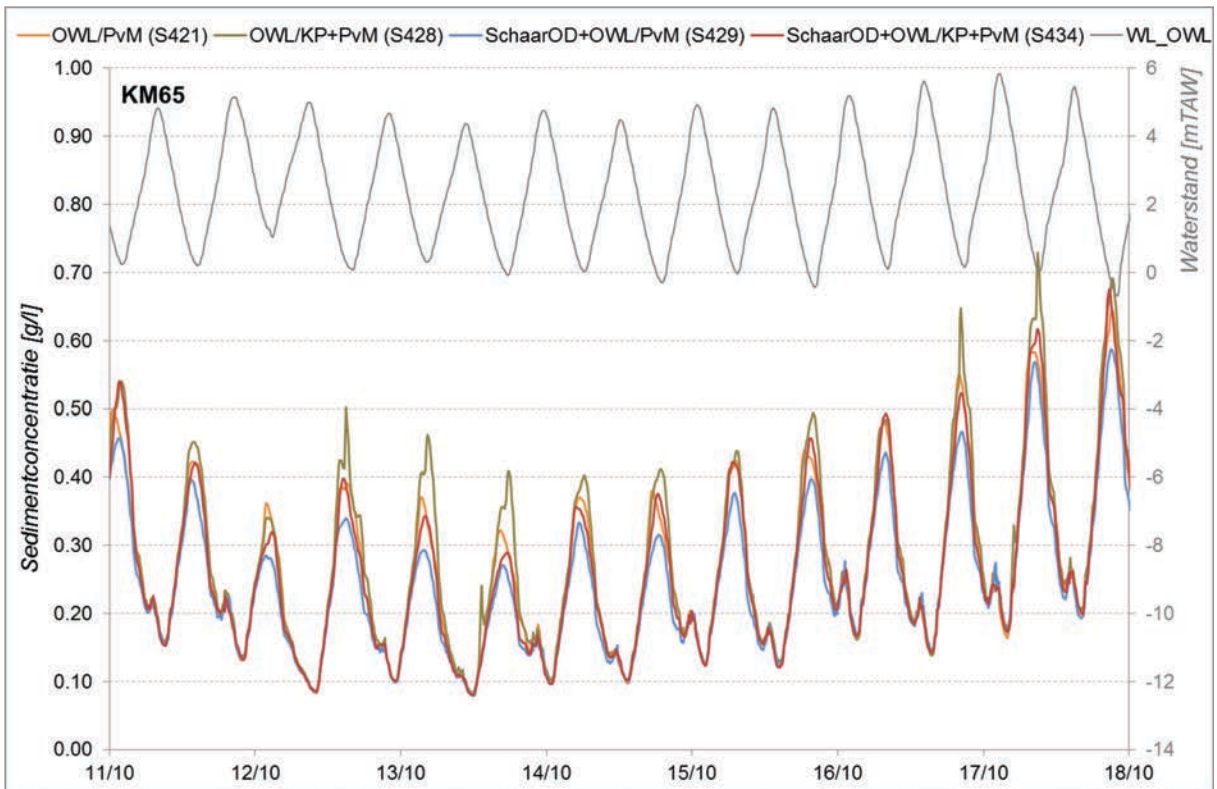
Kilometer 65



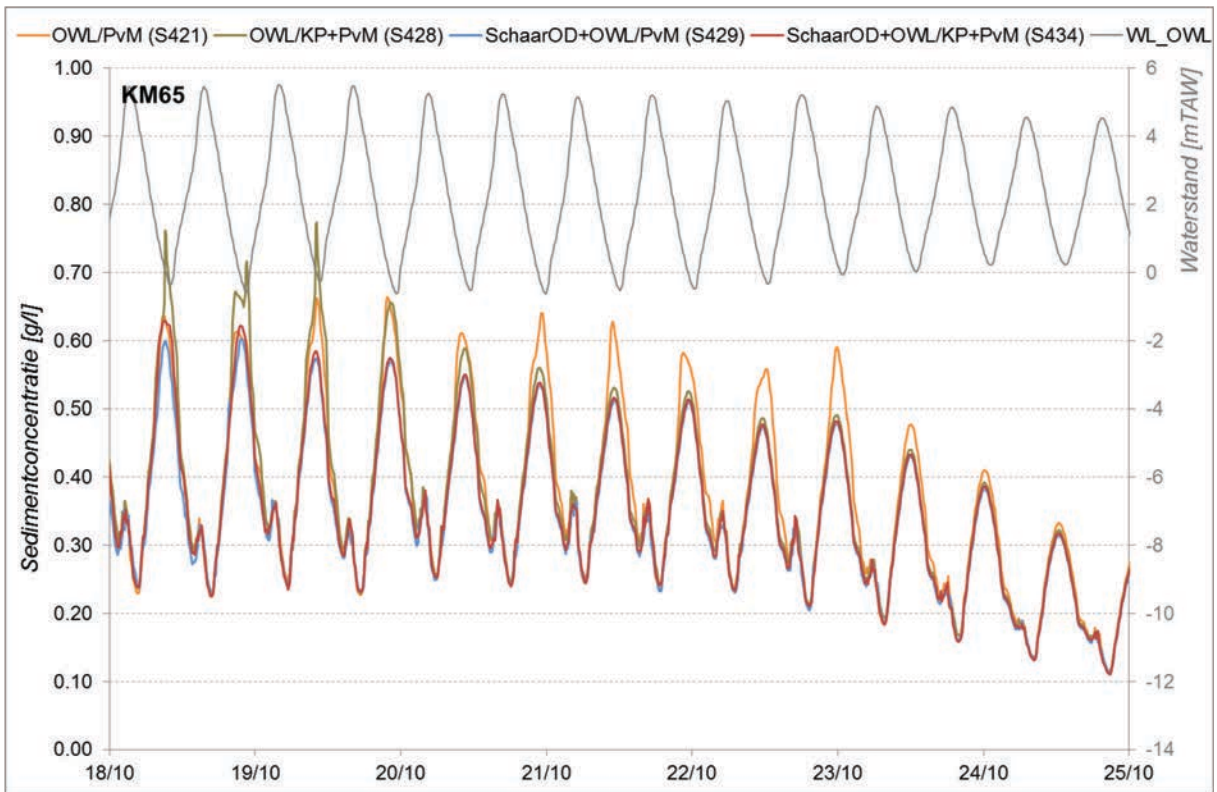
Figuur C 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1



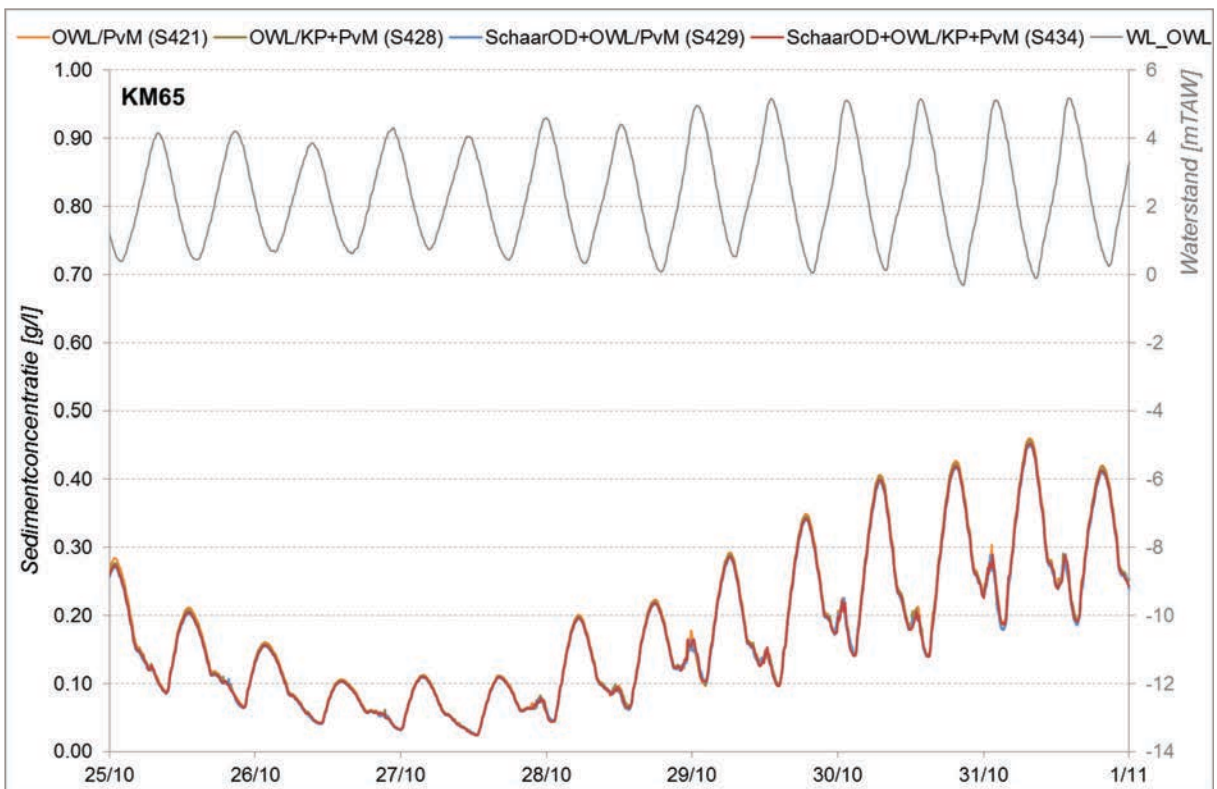
Figuur C 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur C 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3

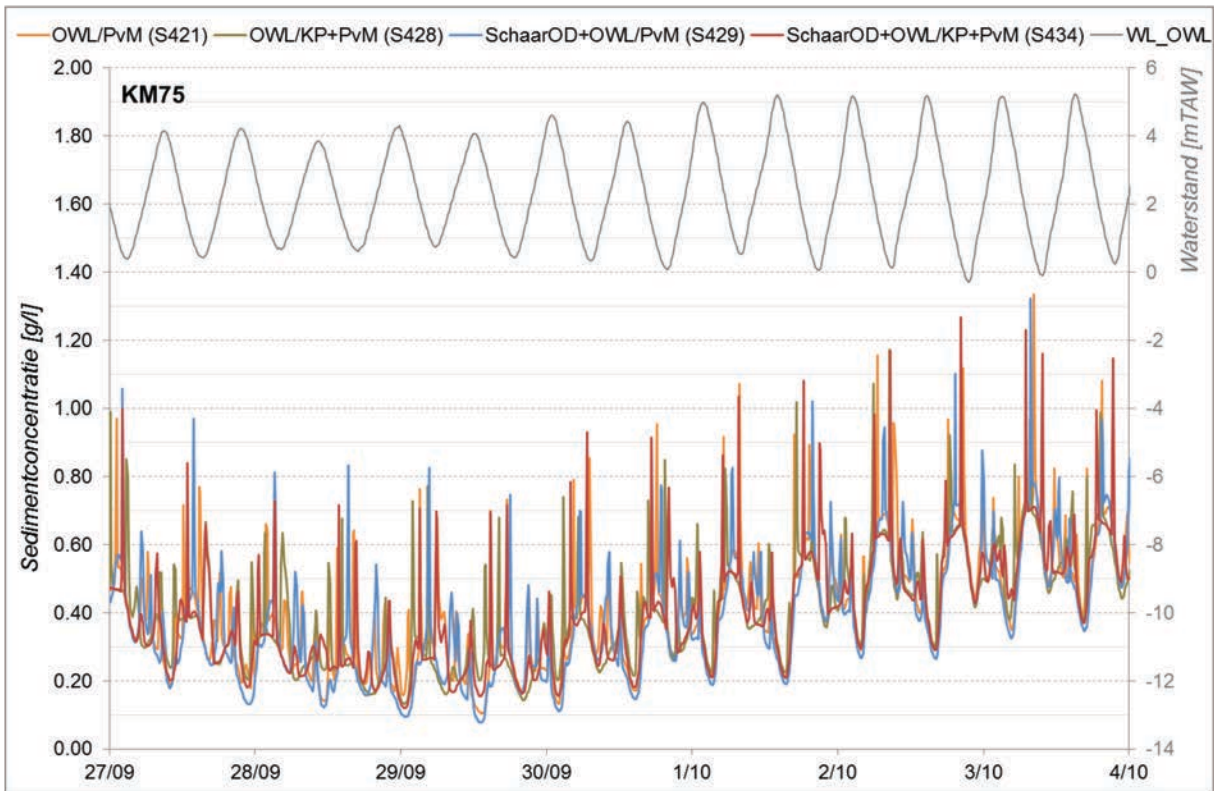


Figuur C 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4

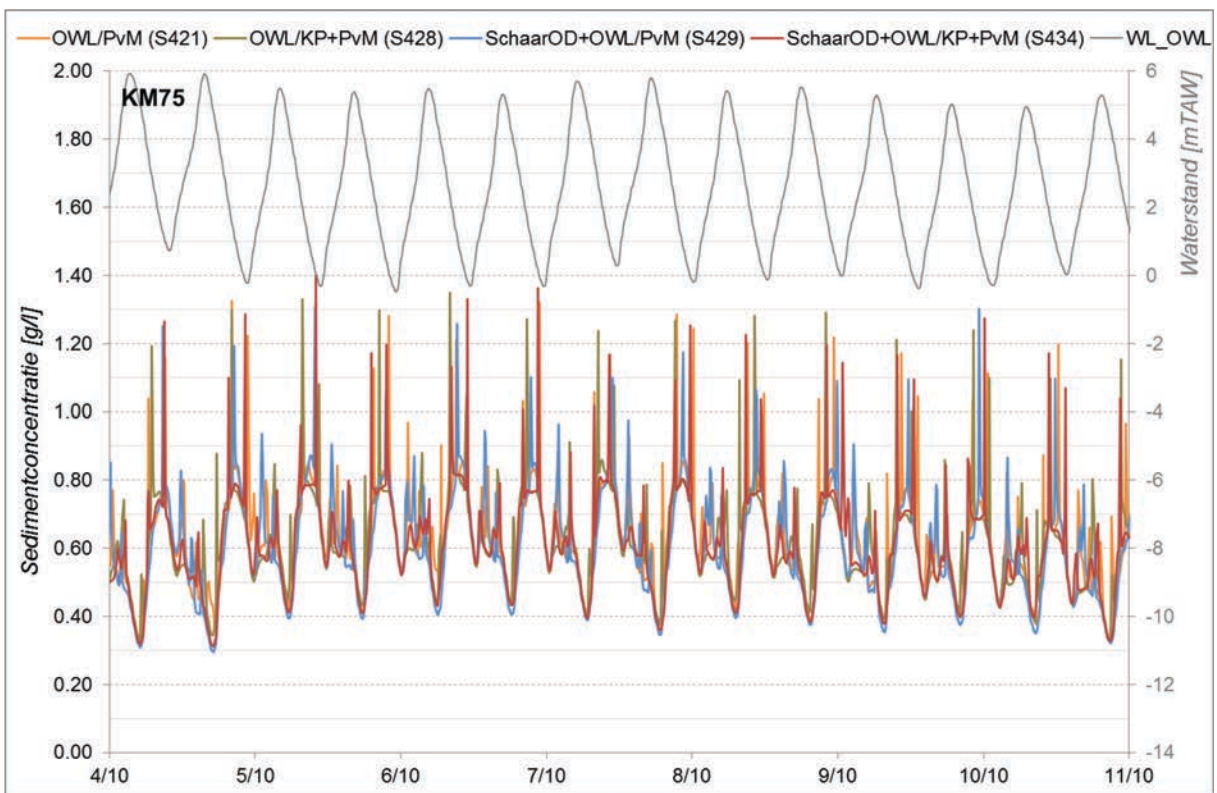


Figuur C 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5

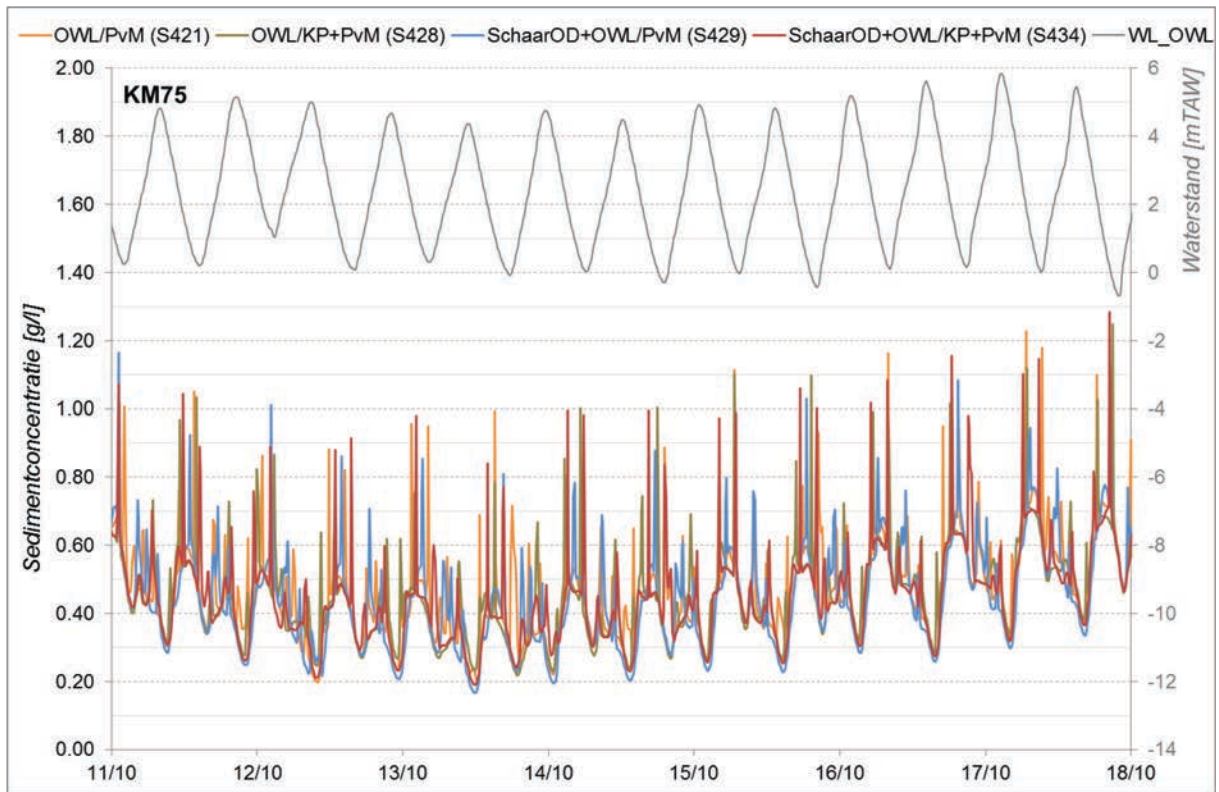
Kilometer 75



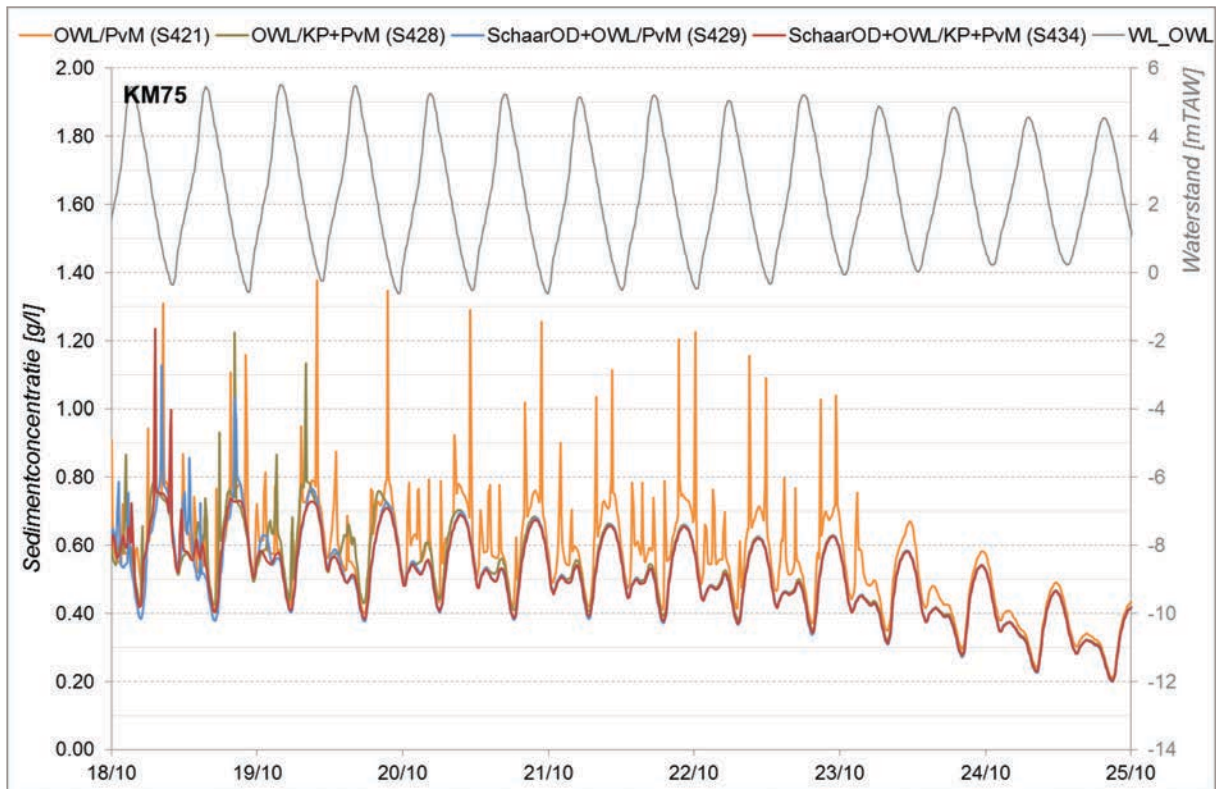
Figuur C 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1



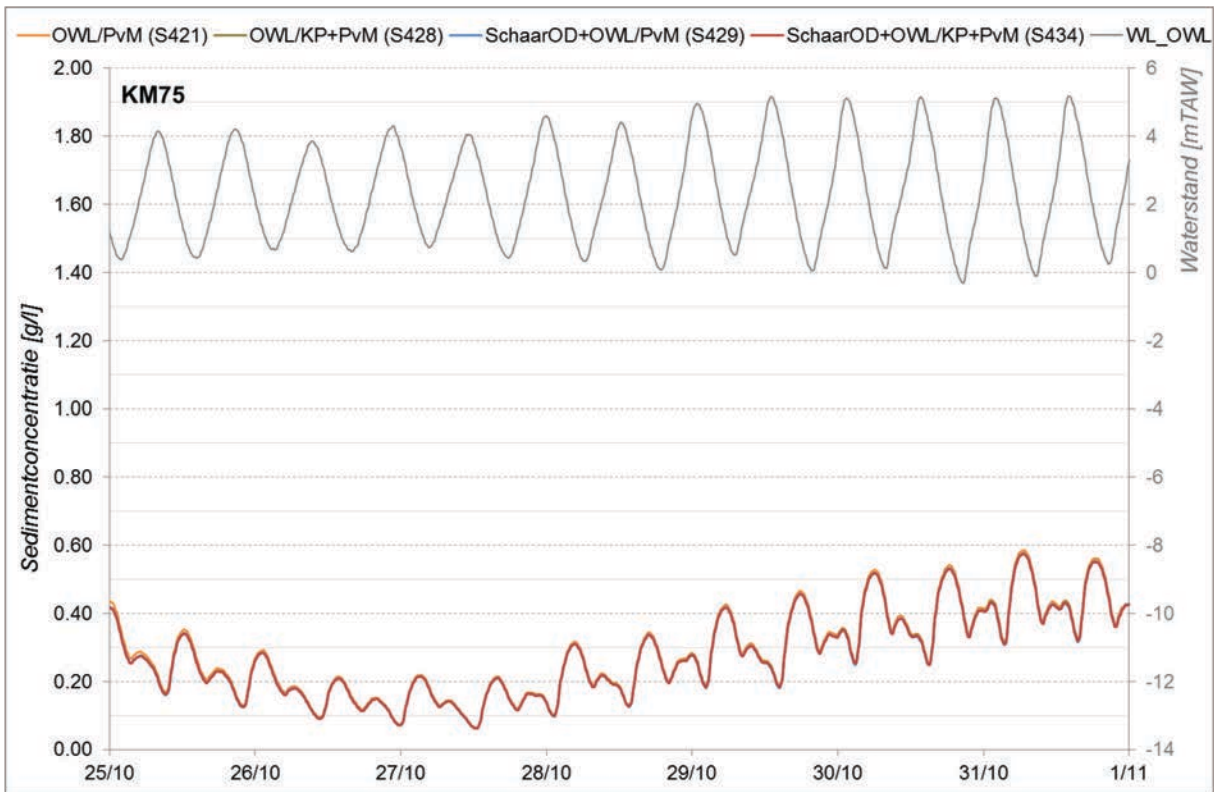
Figuur C 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur C 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3

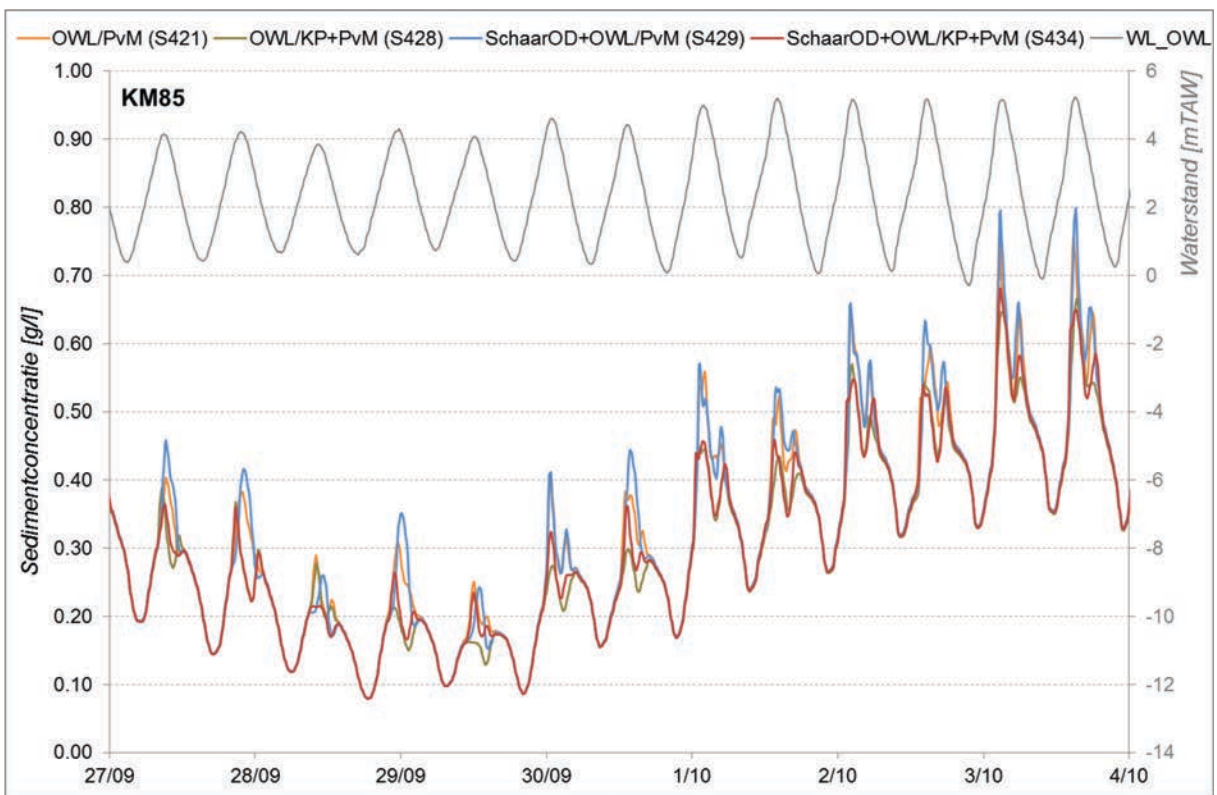


Figuur C 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4

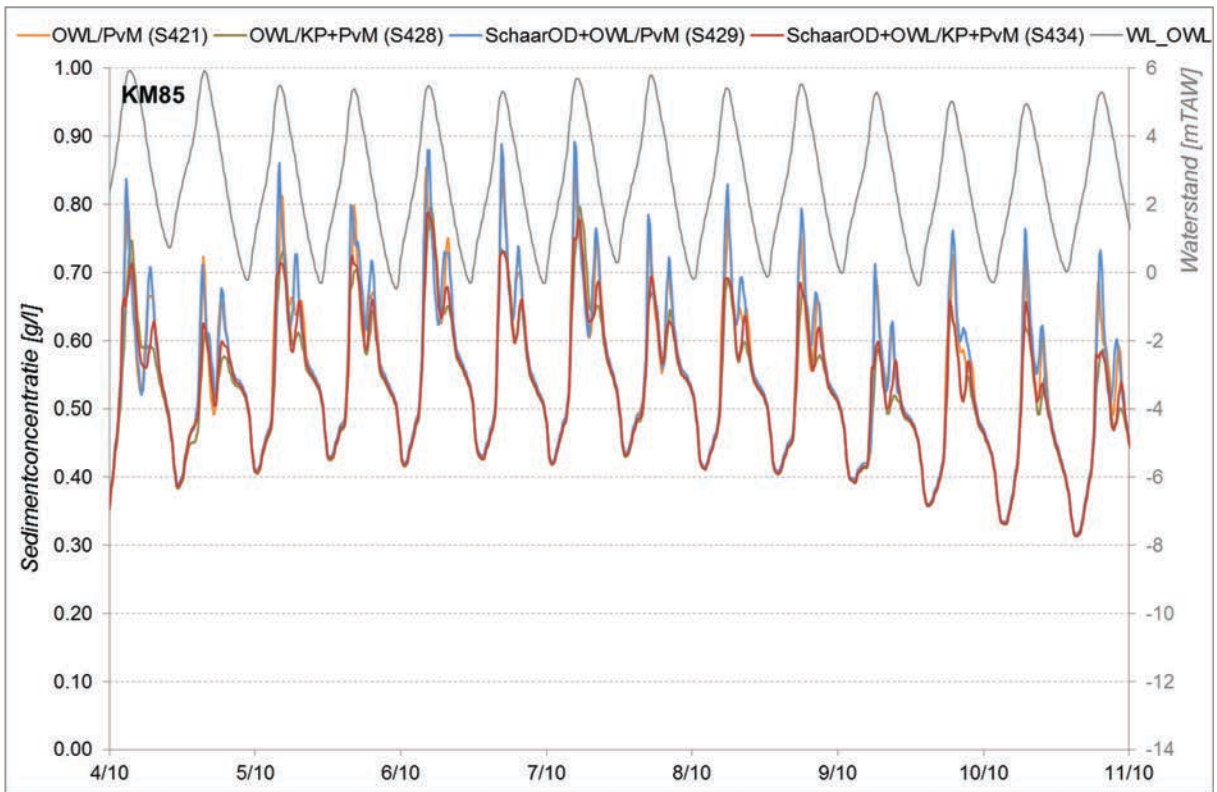


Figuur C 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 5

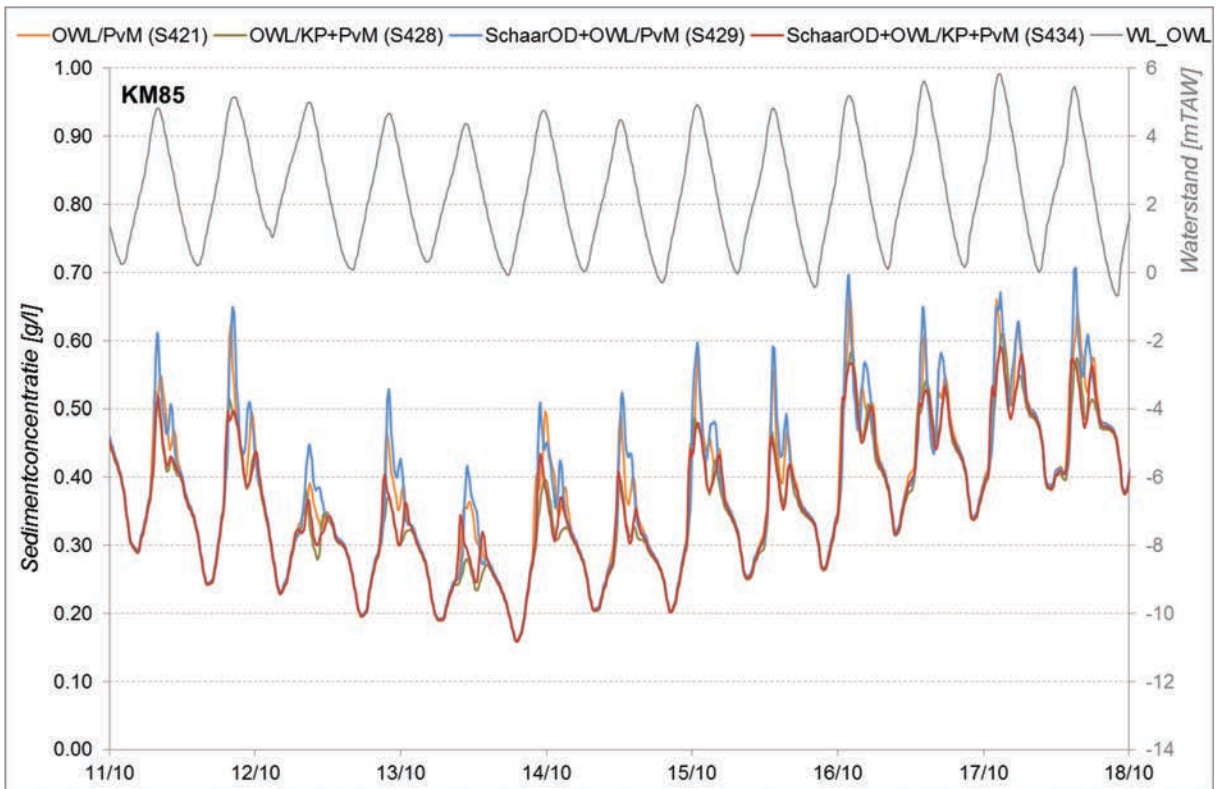
Kilometer 85



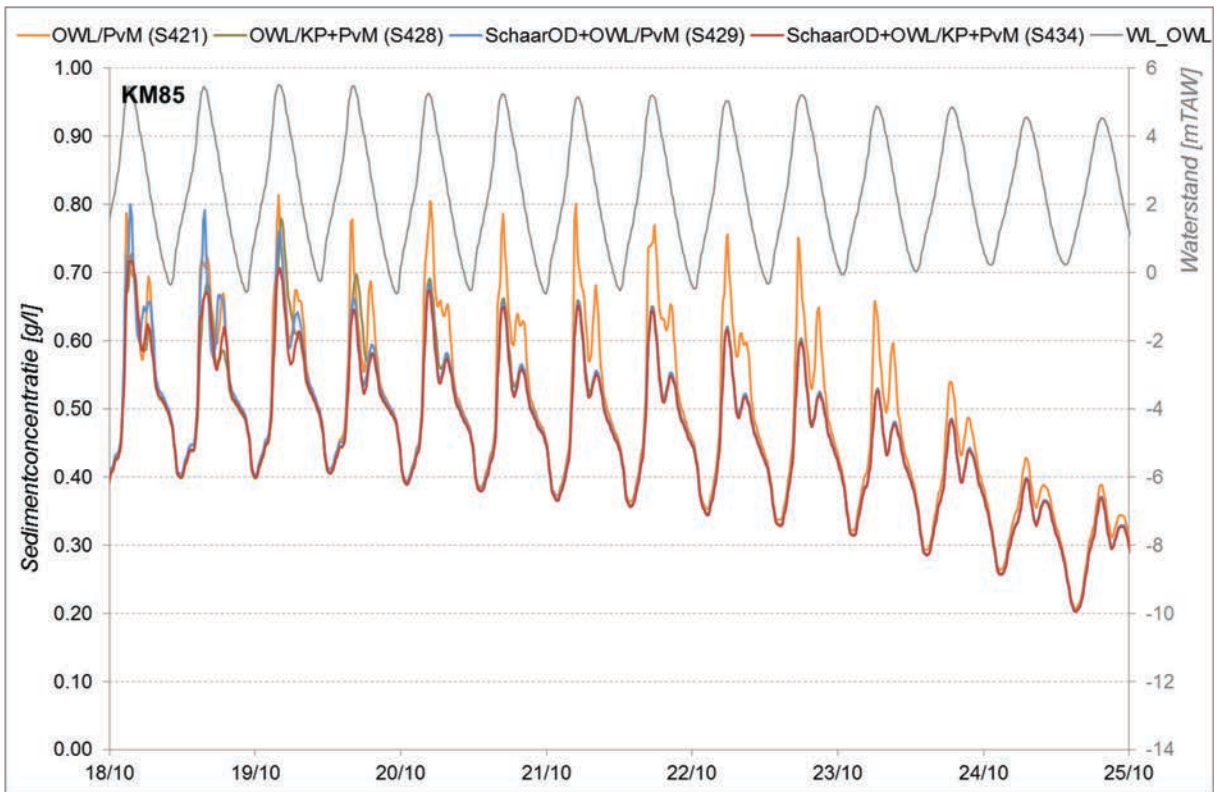
Figuur C 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1



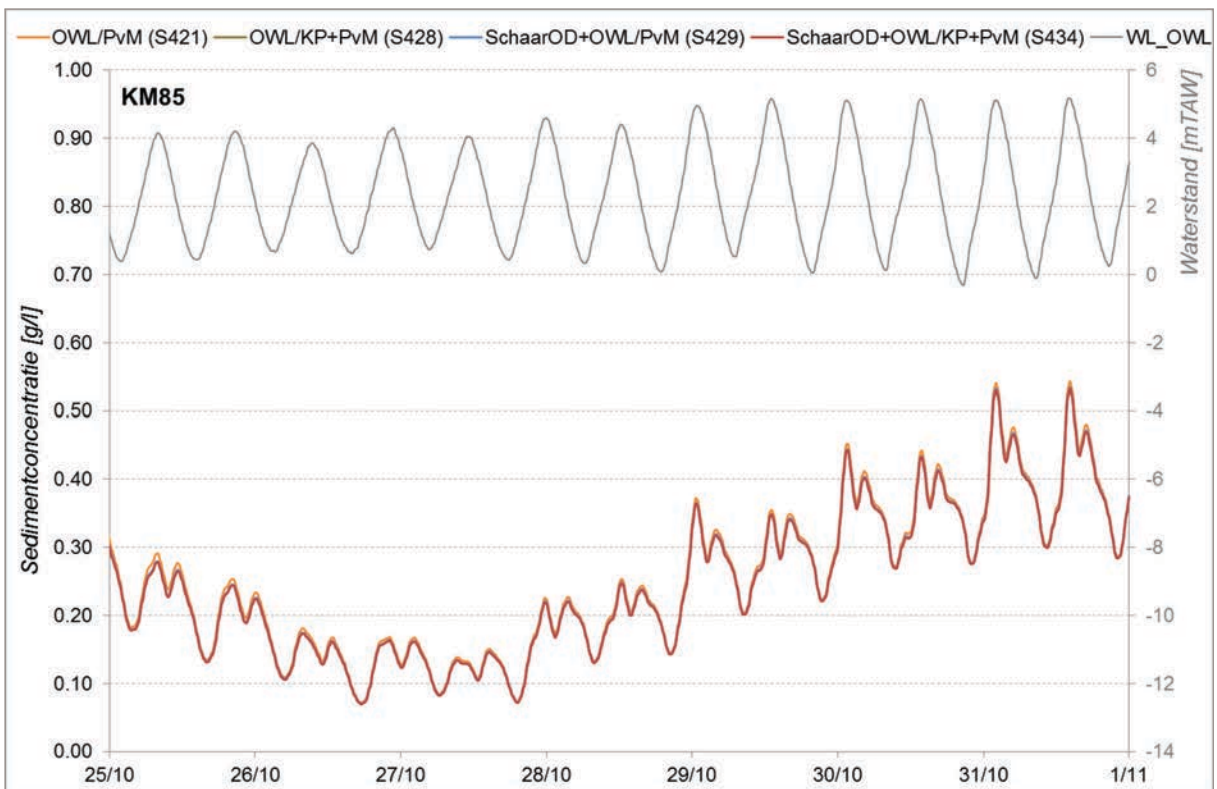
Figuur C 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur C 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3



Figuur C 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4



Figuur C 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5

BIJLAGE D LENGTEPROFIELEN SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – FASE 2

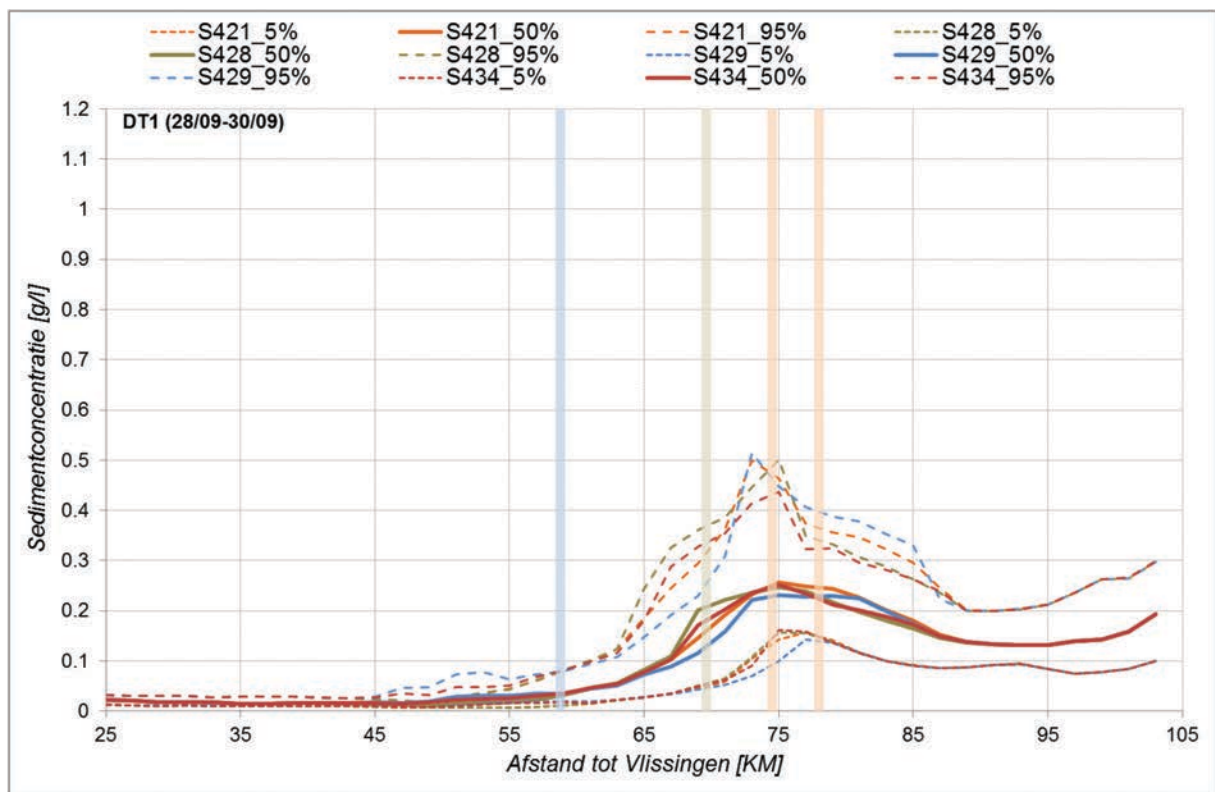
Legende

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

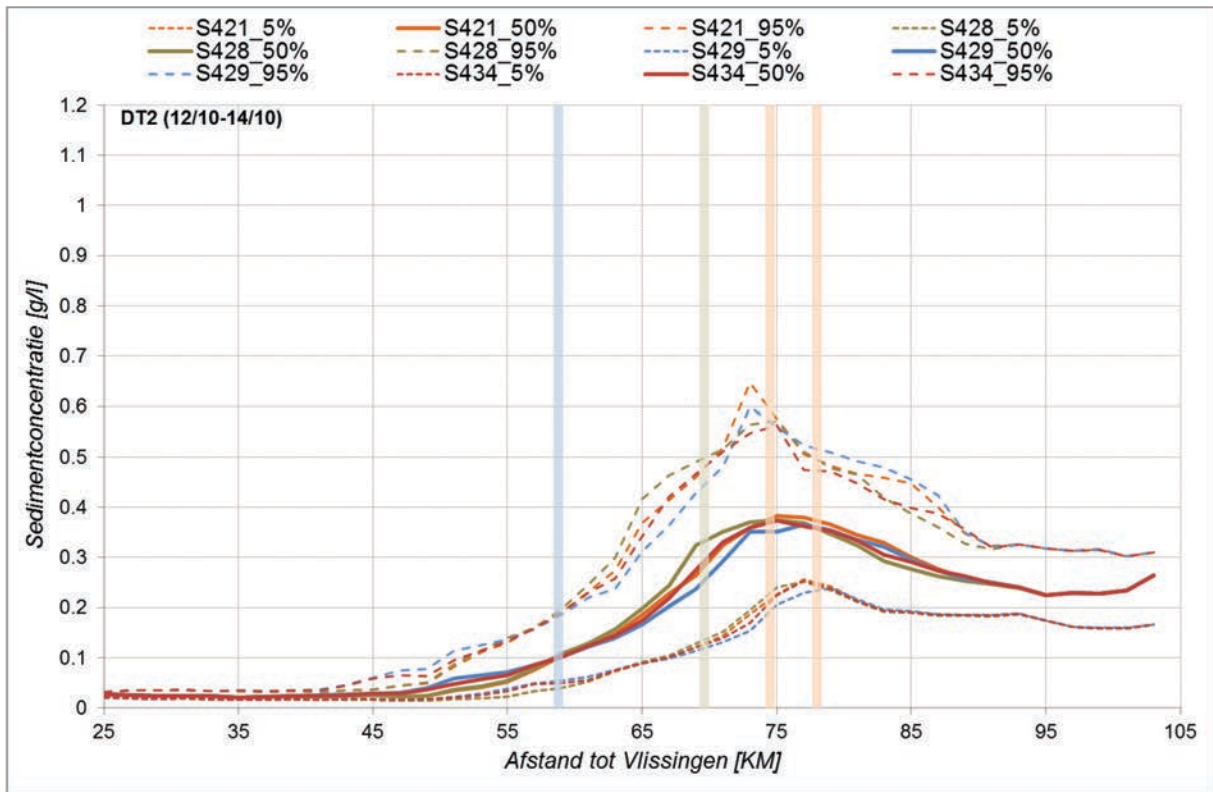
S428 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' = Oosterweel / Ketelputten+Punt van Melsele (OWL/KP+PvM)

S429 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele (SchOD+OWL/PvM)

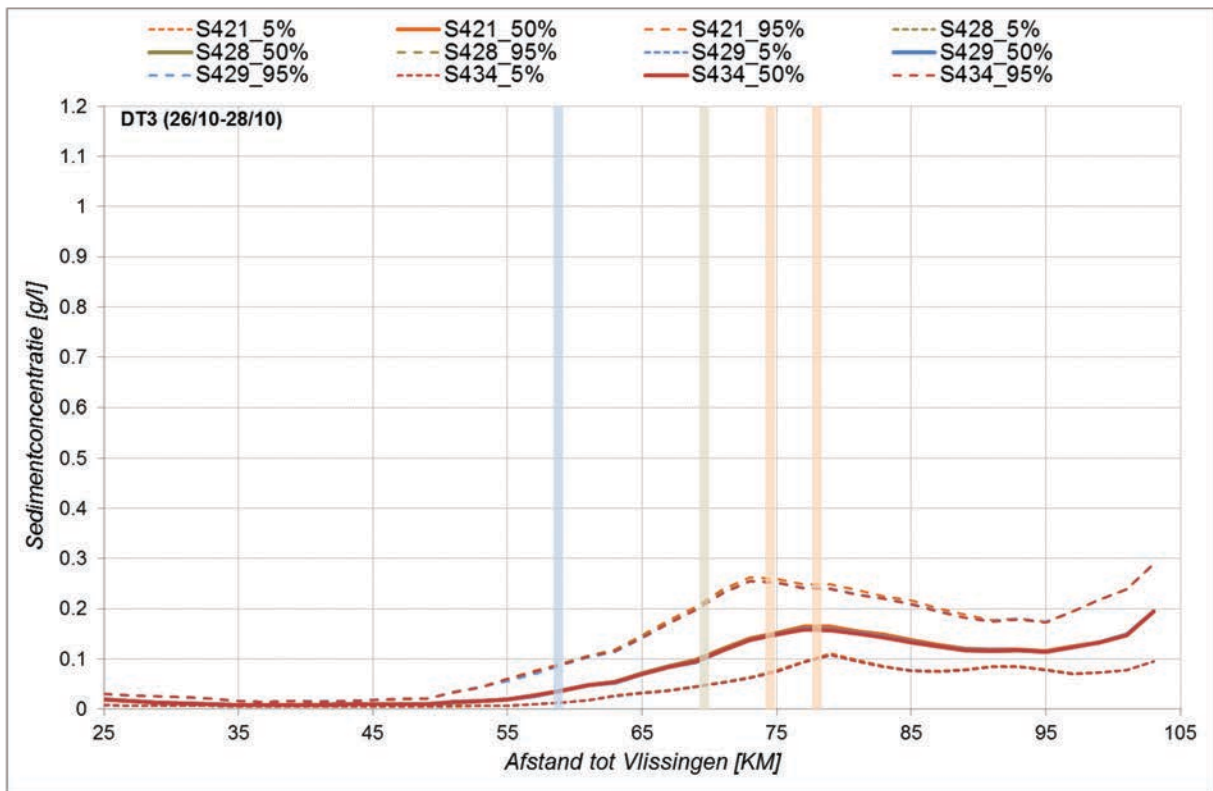
S434 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele + Ketelputten (SchOD+OWL/PvM+KP)



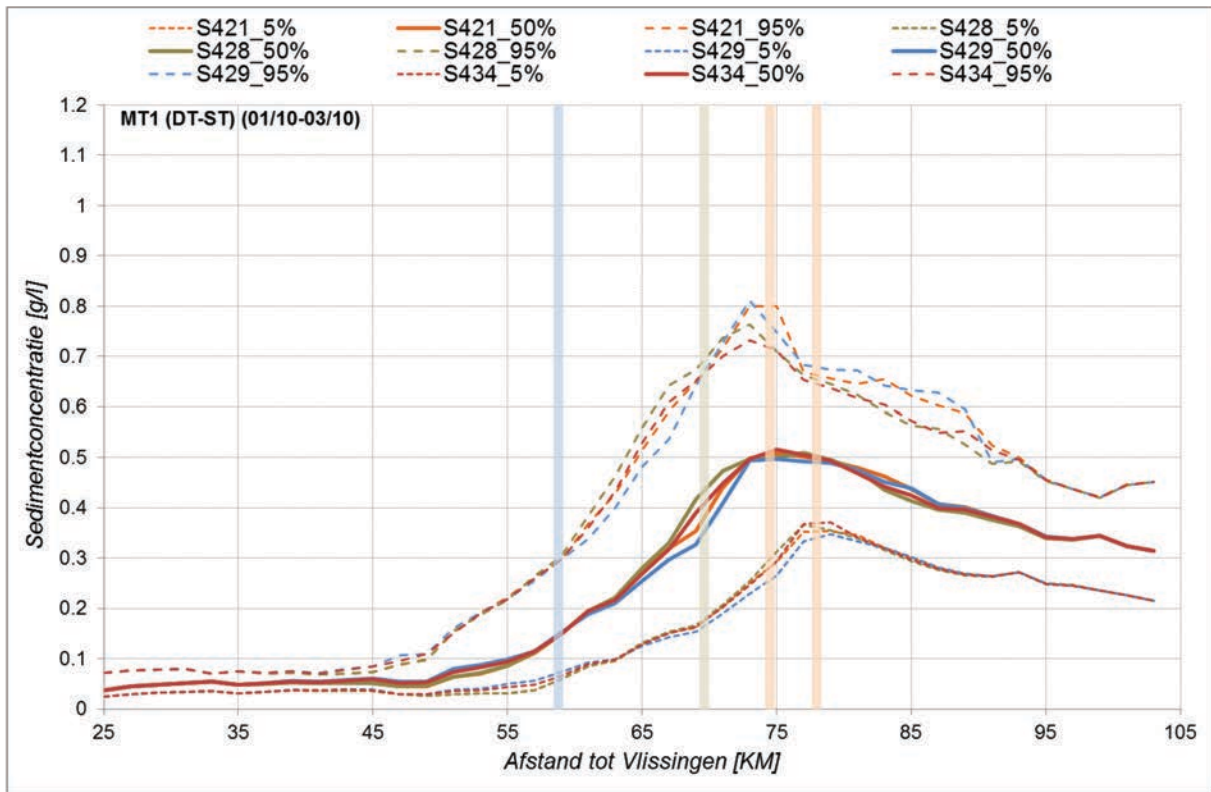
Figuur D 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doortijperiode 1



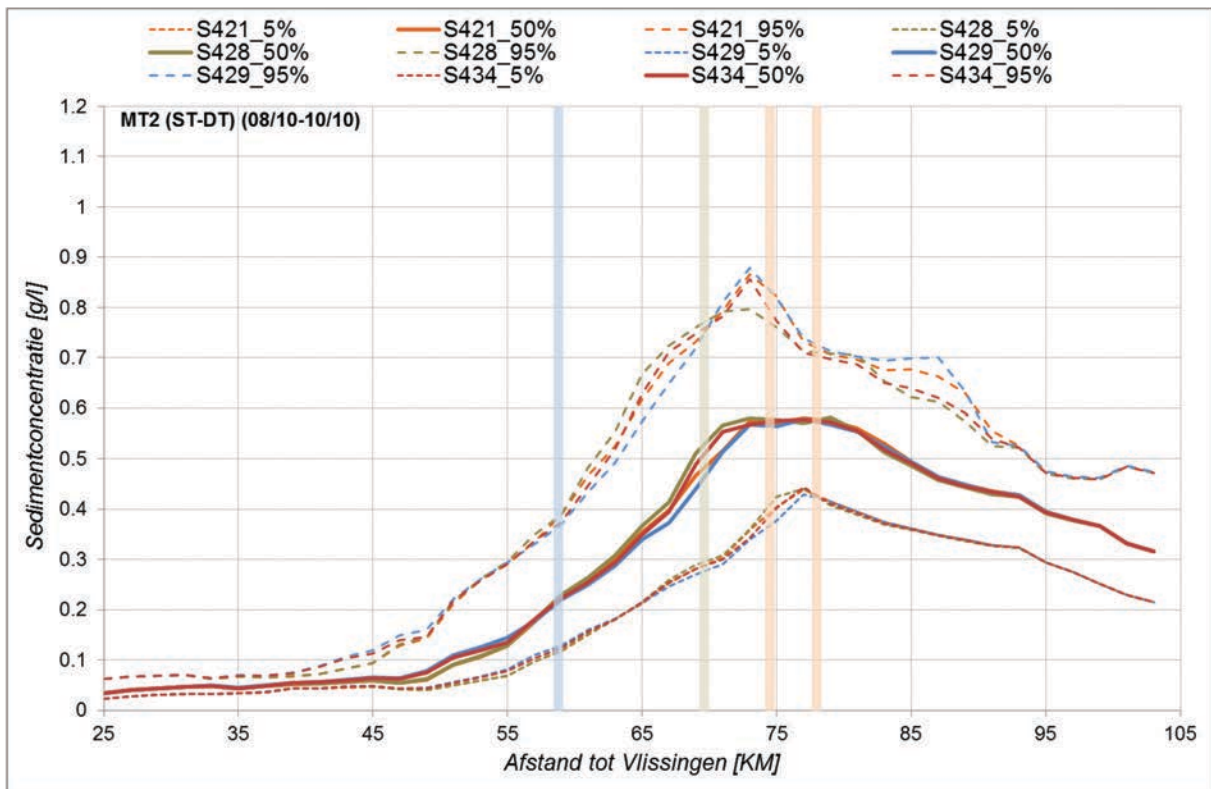
Figuur D 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doortijperiode 2



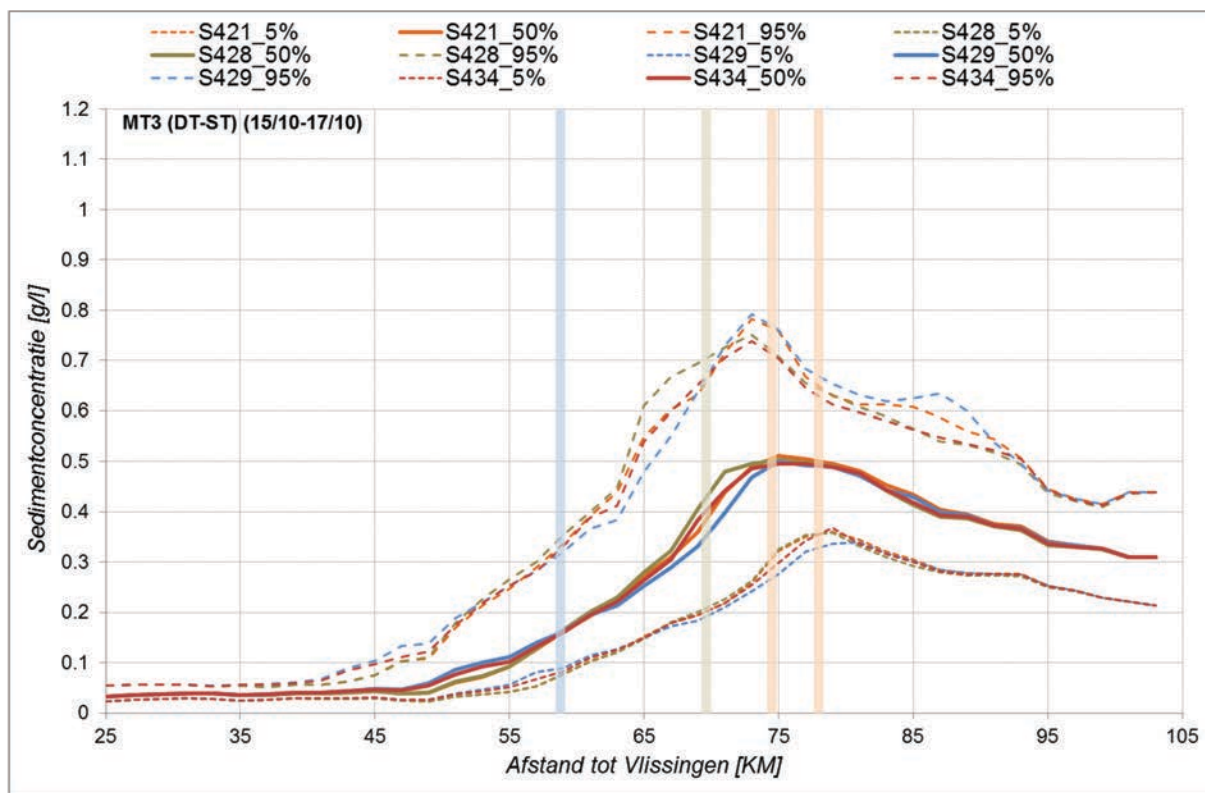
Figuur D 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– doortijperiode 3



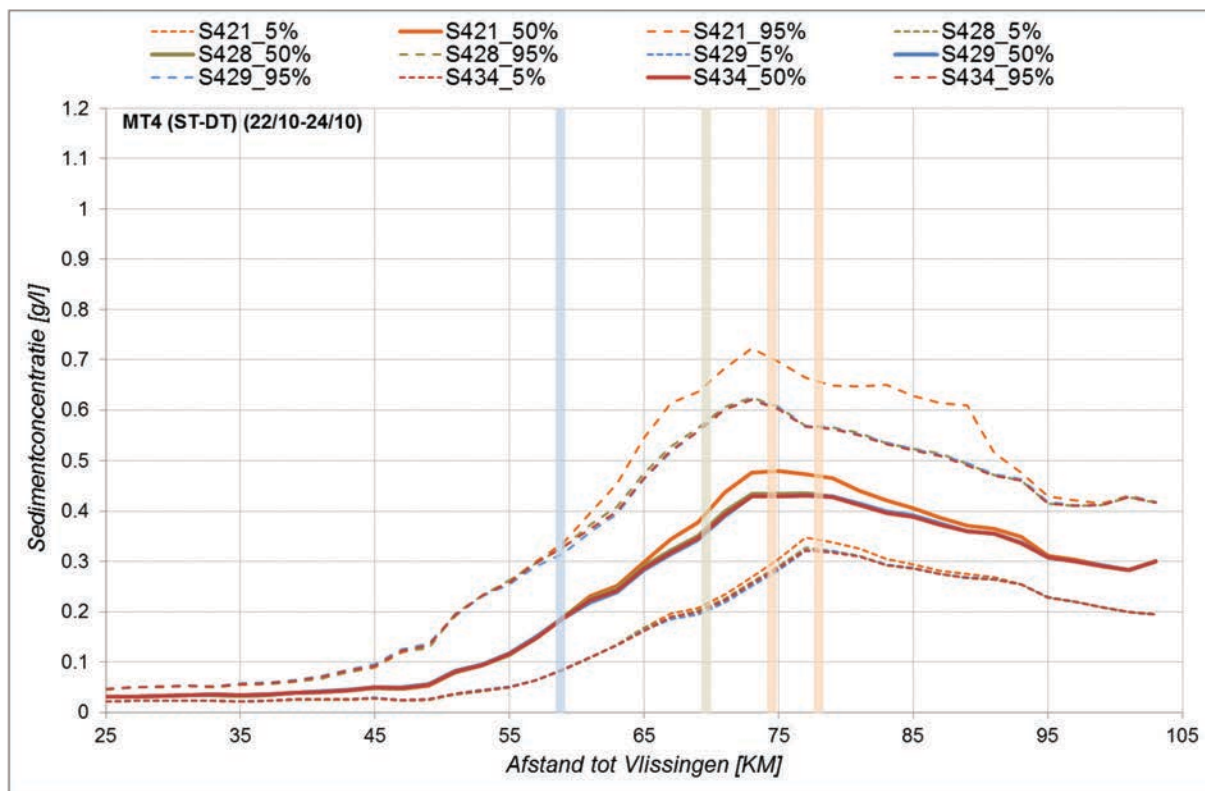
Figuur D 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtperiode 1



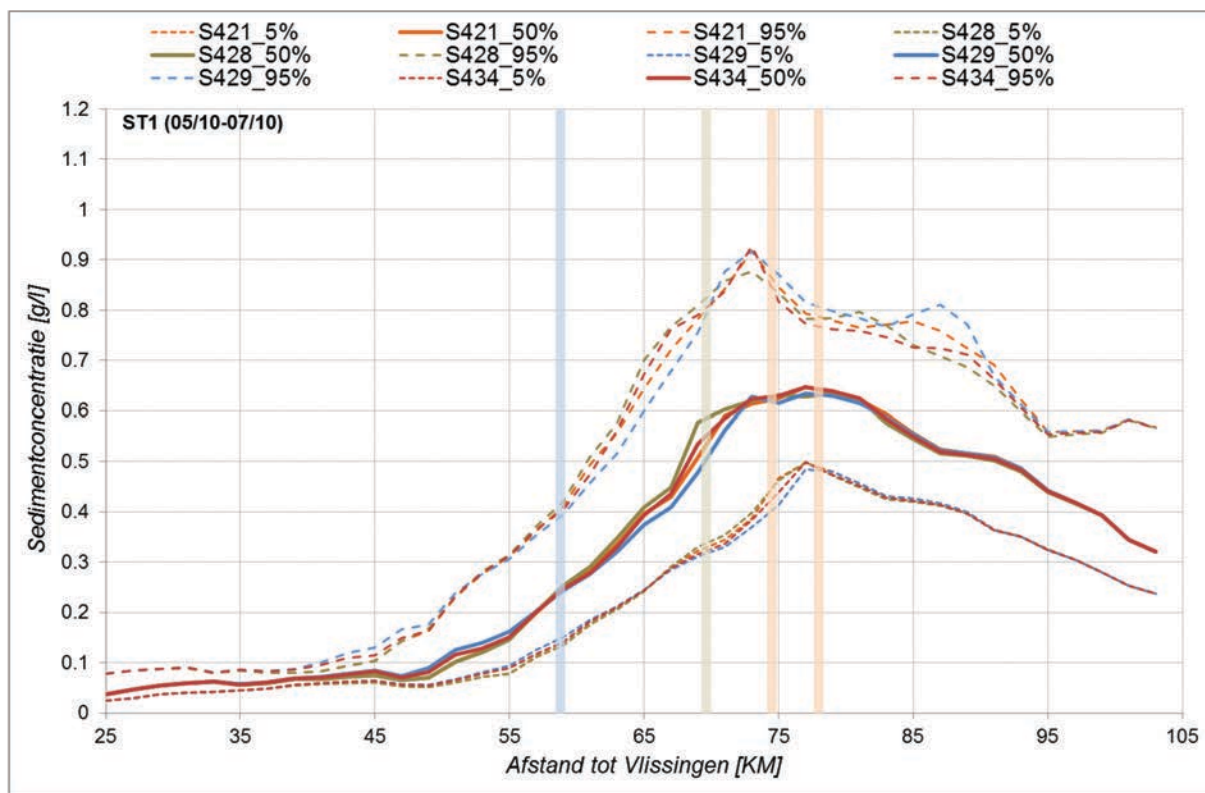
Figuur D 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtperiode 2



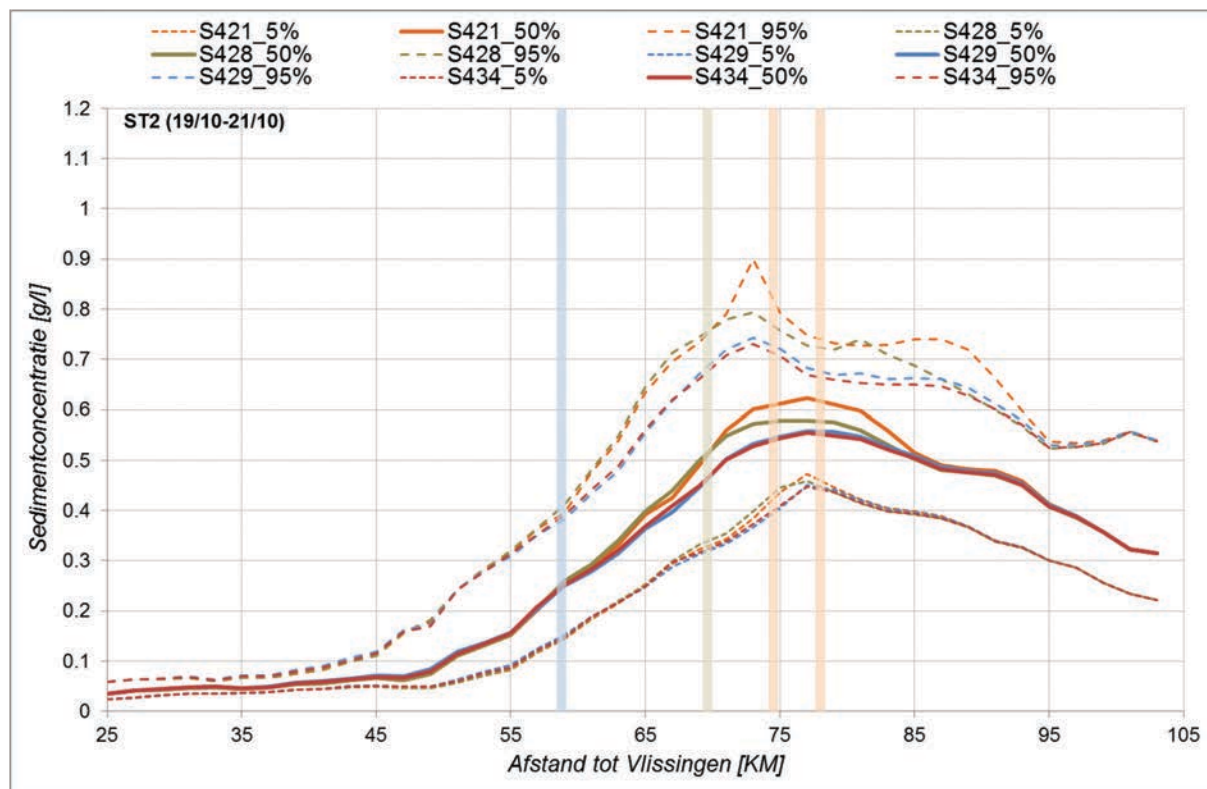
Figuur D 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtjperiode 3



Figuur D 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– midtjperiode 4



Figuur D 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– springtijperiode 1



Figuur D 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S428-S429-S434– springtijperiode 2

BIJLAGE E VERLOOP SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – GEVOELIGHEIDSANALYSE §6.3.1 EN §6.3.2

Legende

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

S426 = Stortscenario 'huidig' met hoeveelheid gestort slib *1.5

S427 = Stortscenario 'huidig' met hoeveelheid gestort slib *1.75

S428 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' = Oosterweel / Ketelputten+Punt van Melsele (OWL/KP+PvM)

S429 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele (SchOD+OWL/PvM)

S430 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

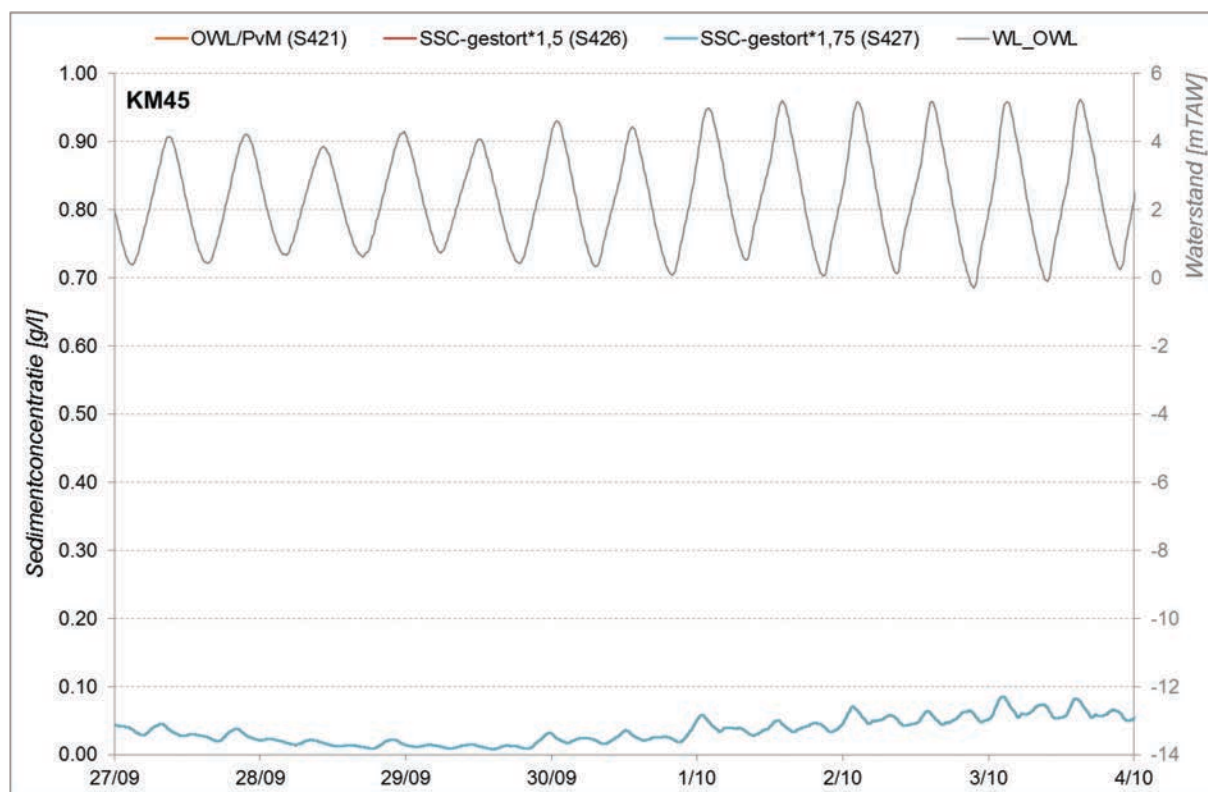
S431 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

S434 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele + Ketelputten (SchOD+OWL/PvM+KP)

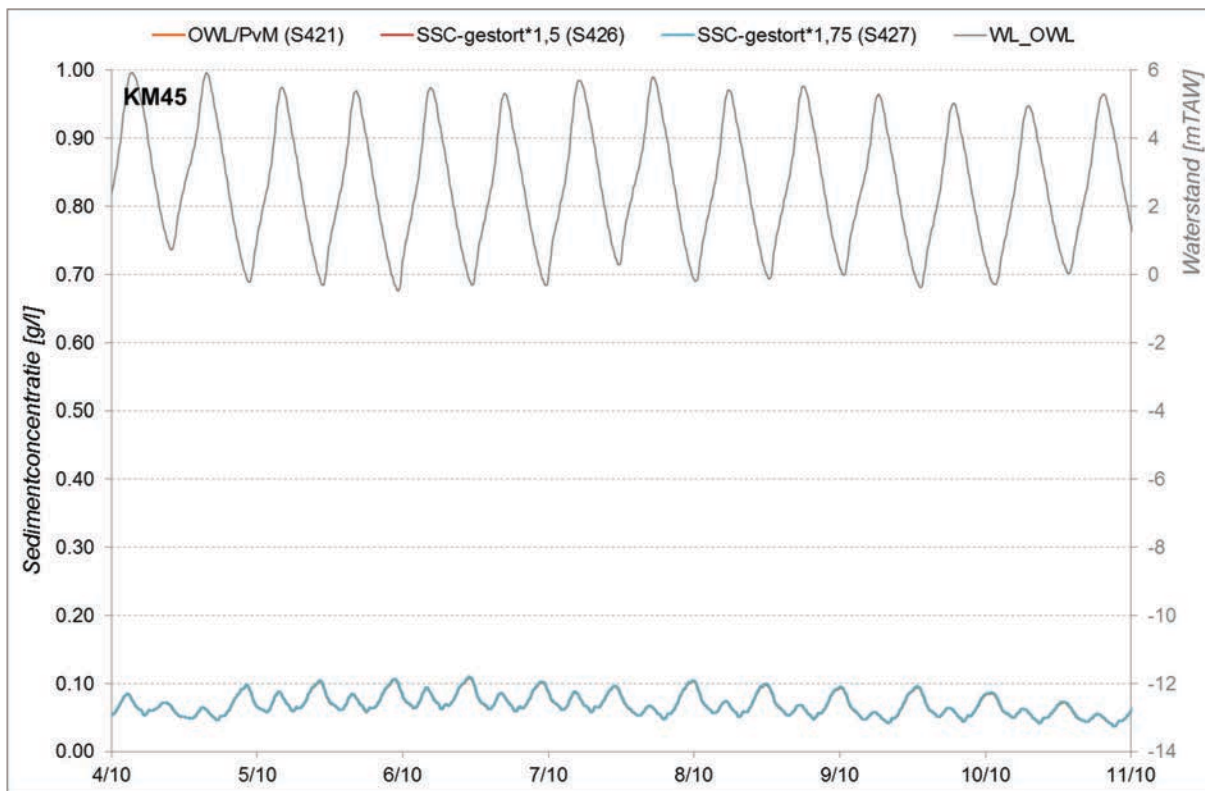
S435 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

WL_OWL = waterpeil Oosterweel

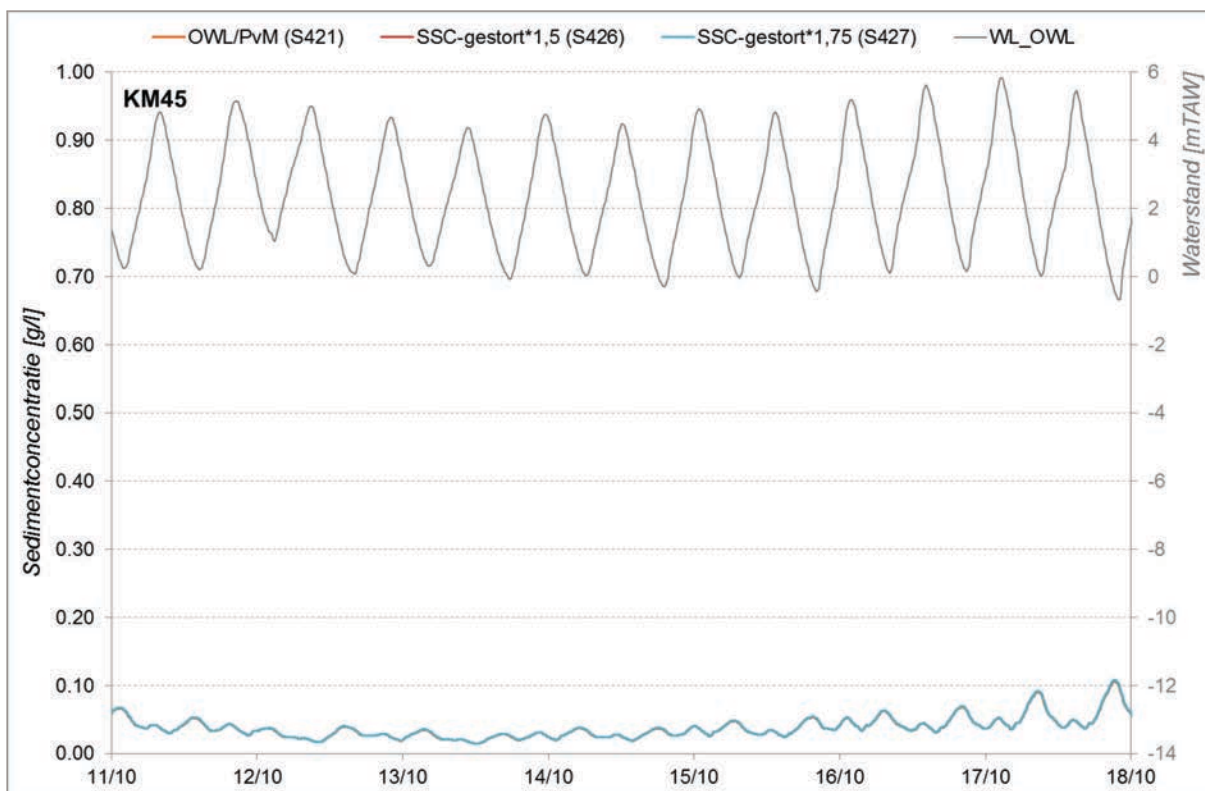
S421-S426-S427 Kilometer 45



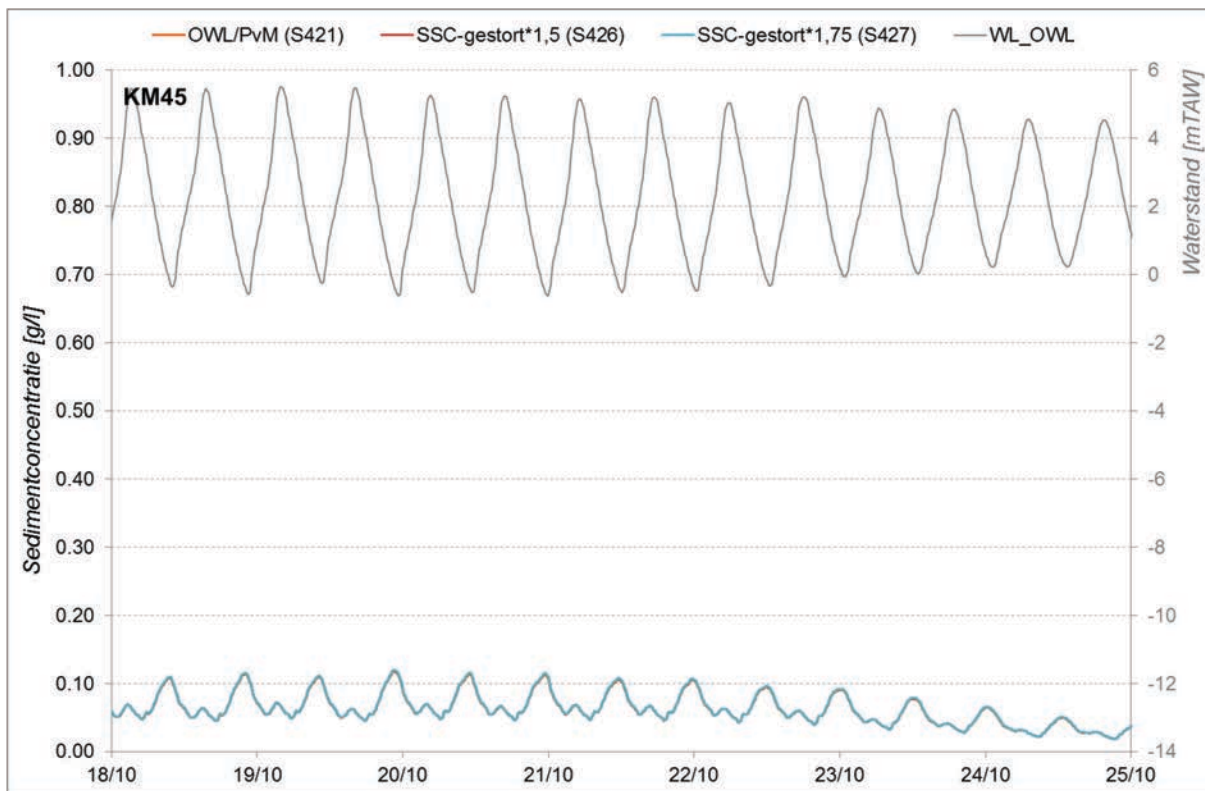
Figuur E 1 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1



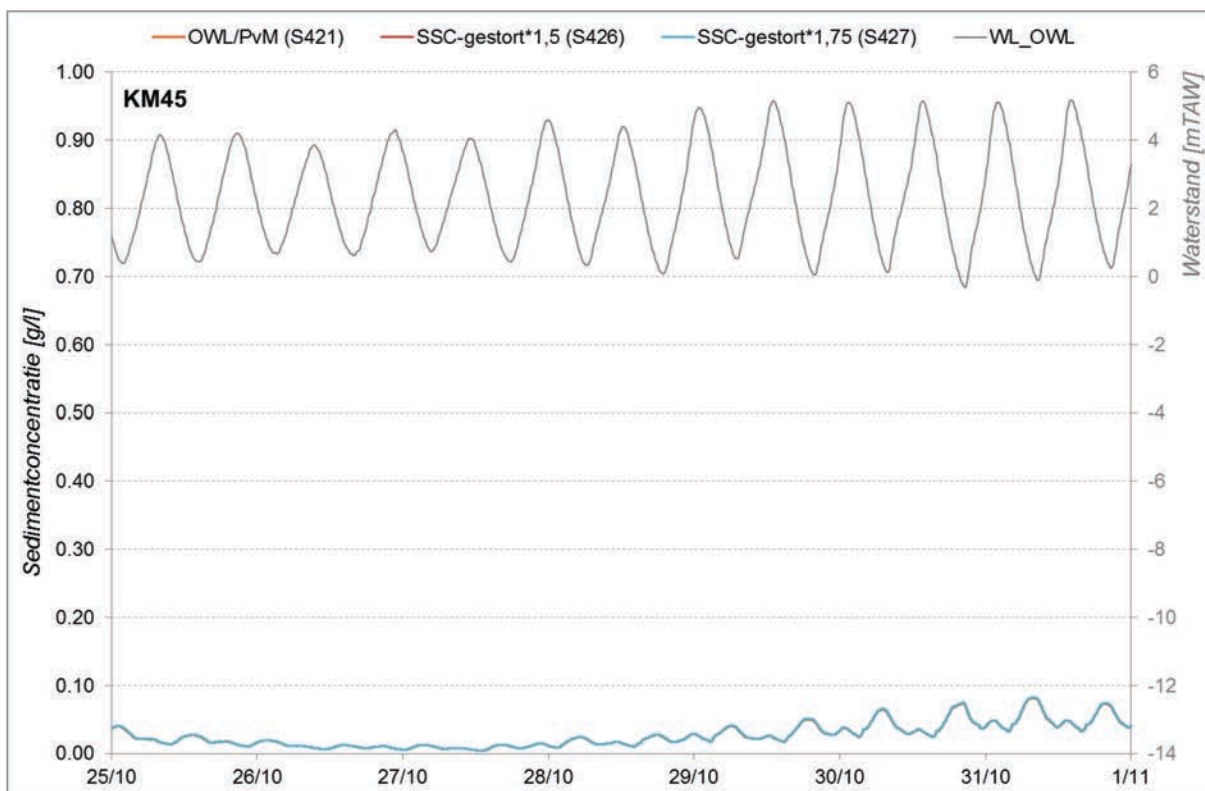
Figuur E 2 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 3 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3

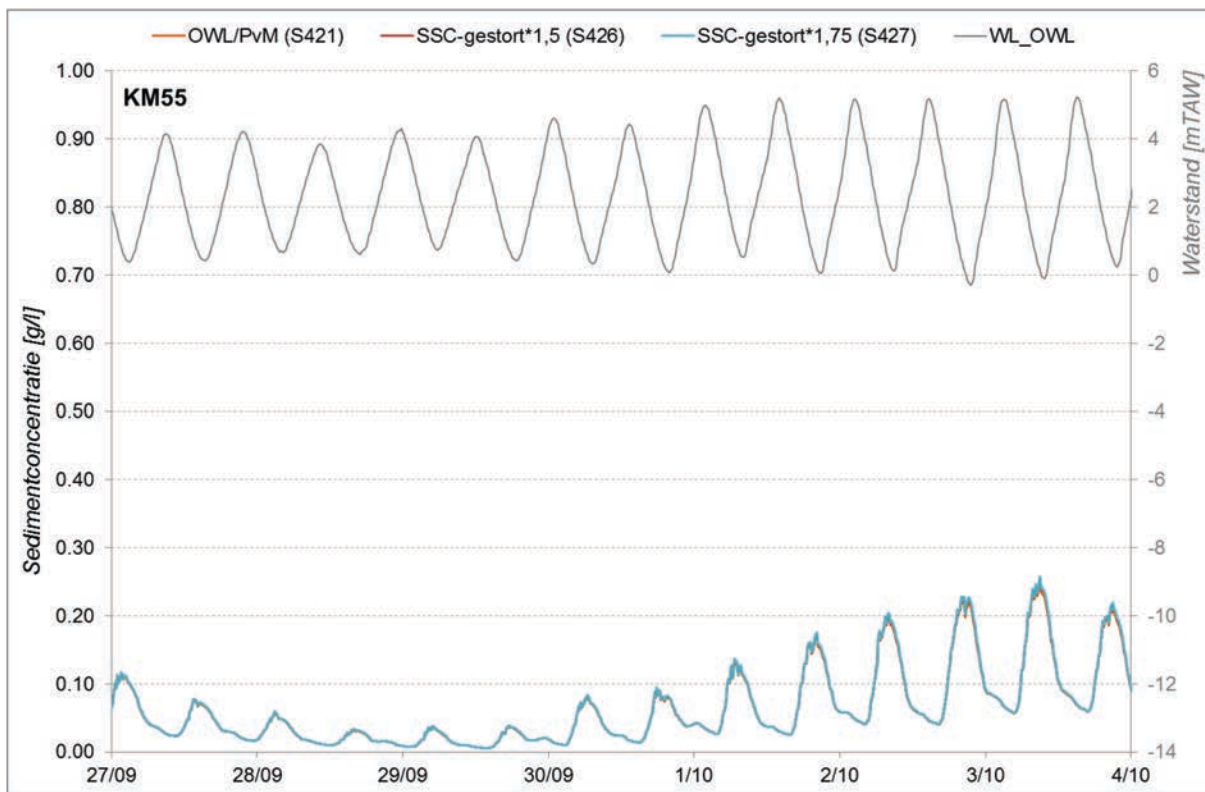


Figuur E 4 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4

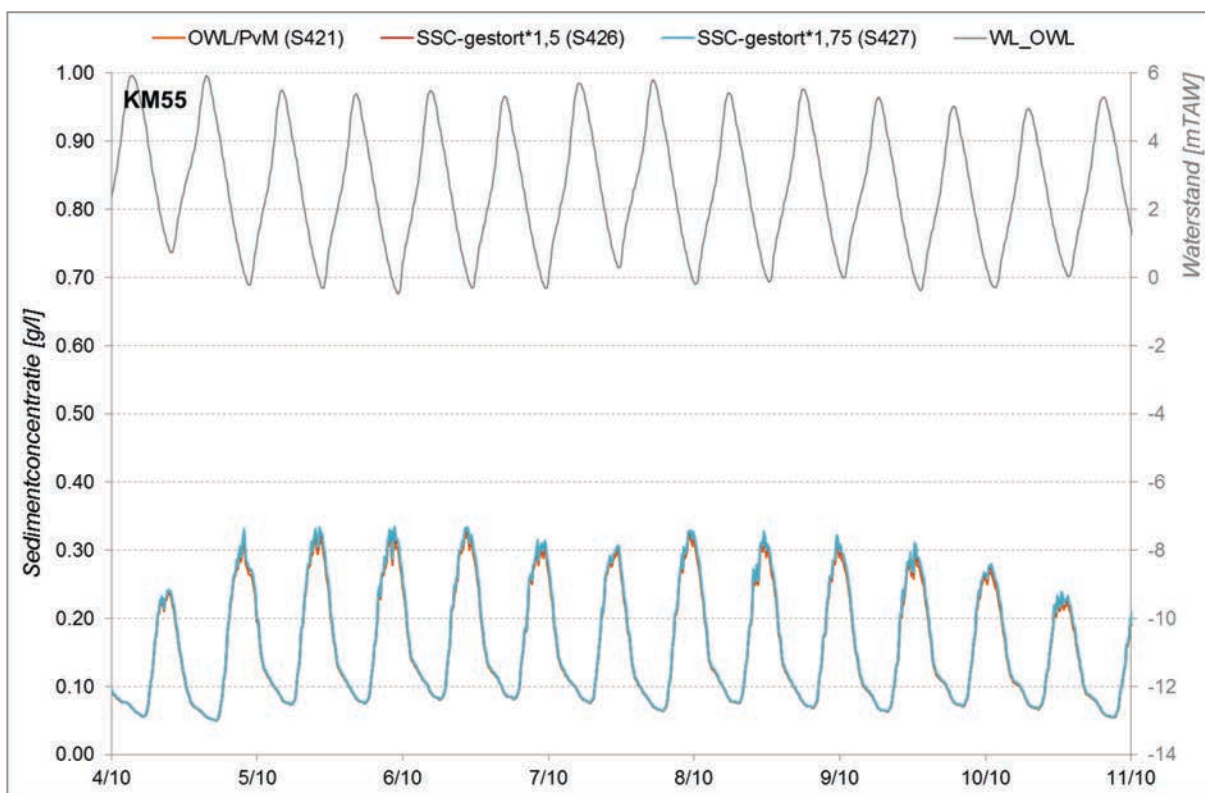


Figuur E 5 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde – week 5

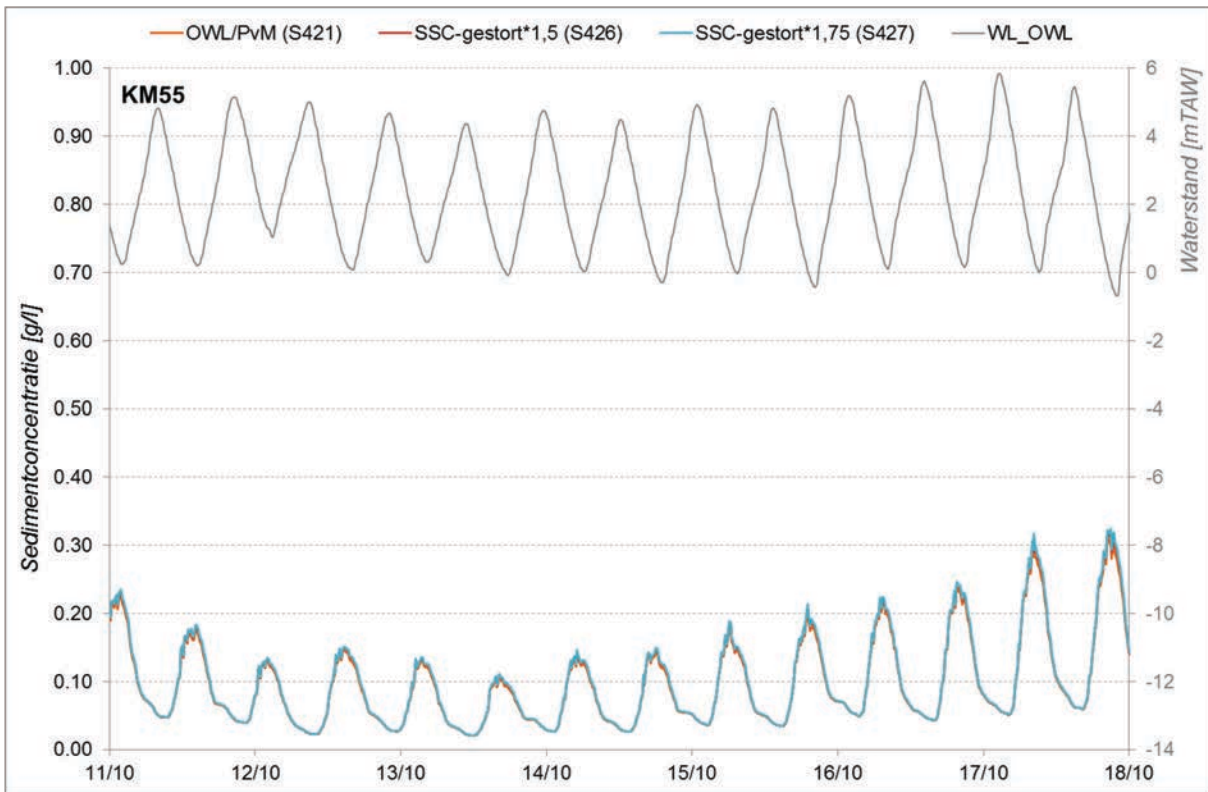
S421-S426-S427 Kilometer 55



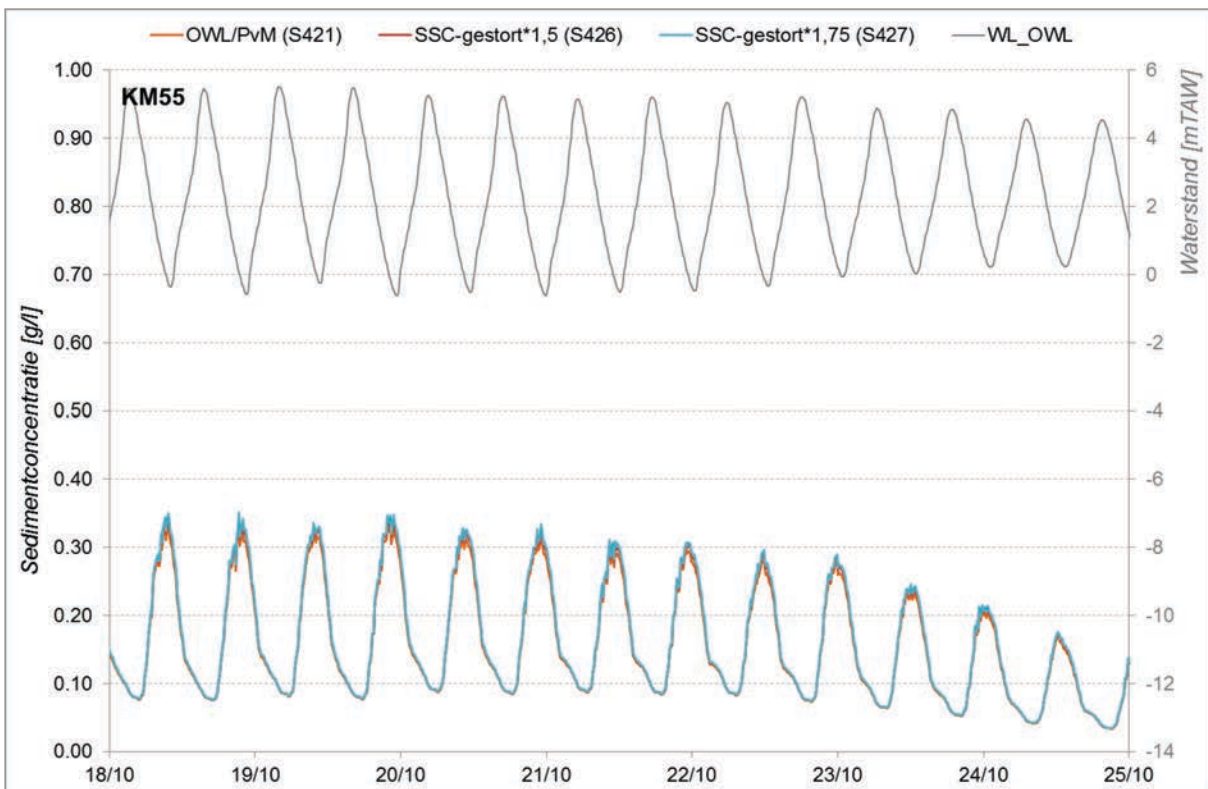
Figuur E 6 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 1



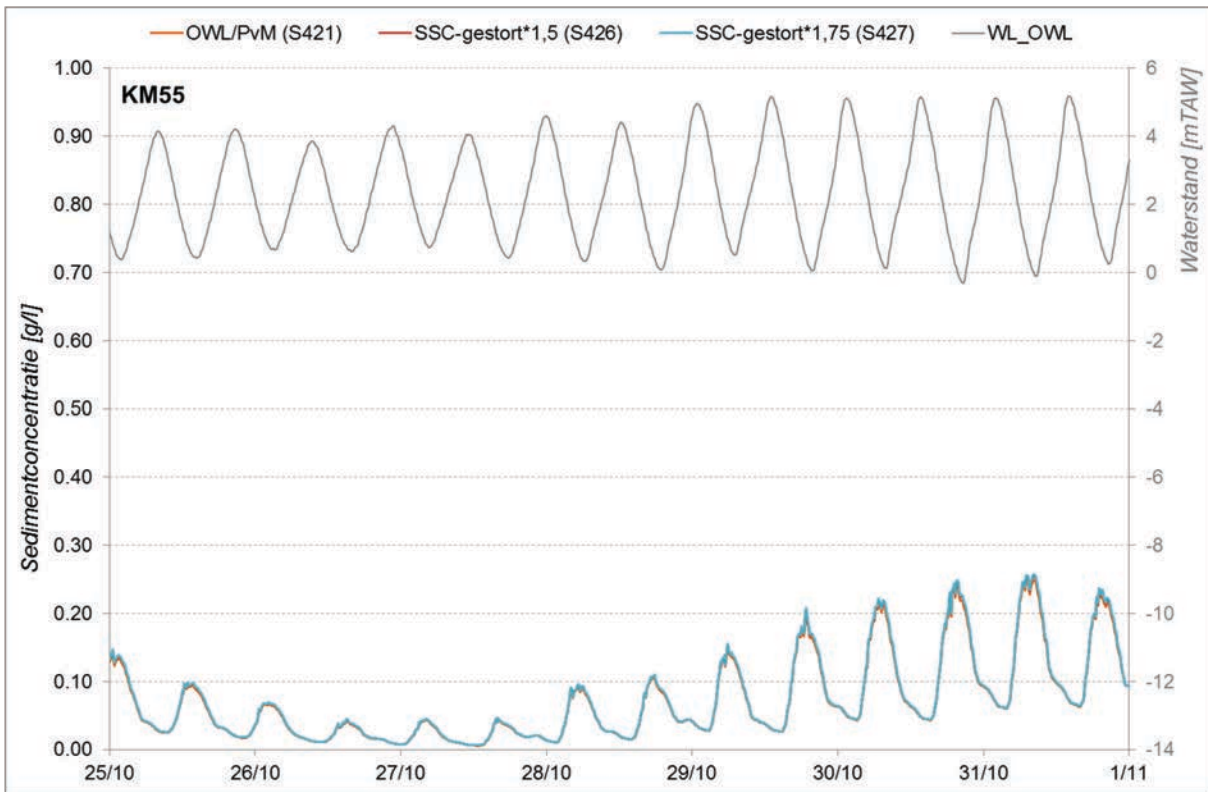
Figuur E 7 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 8 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde – week 3

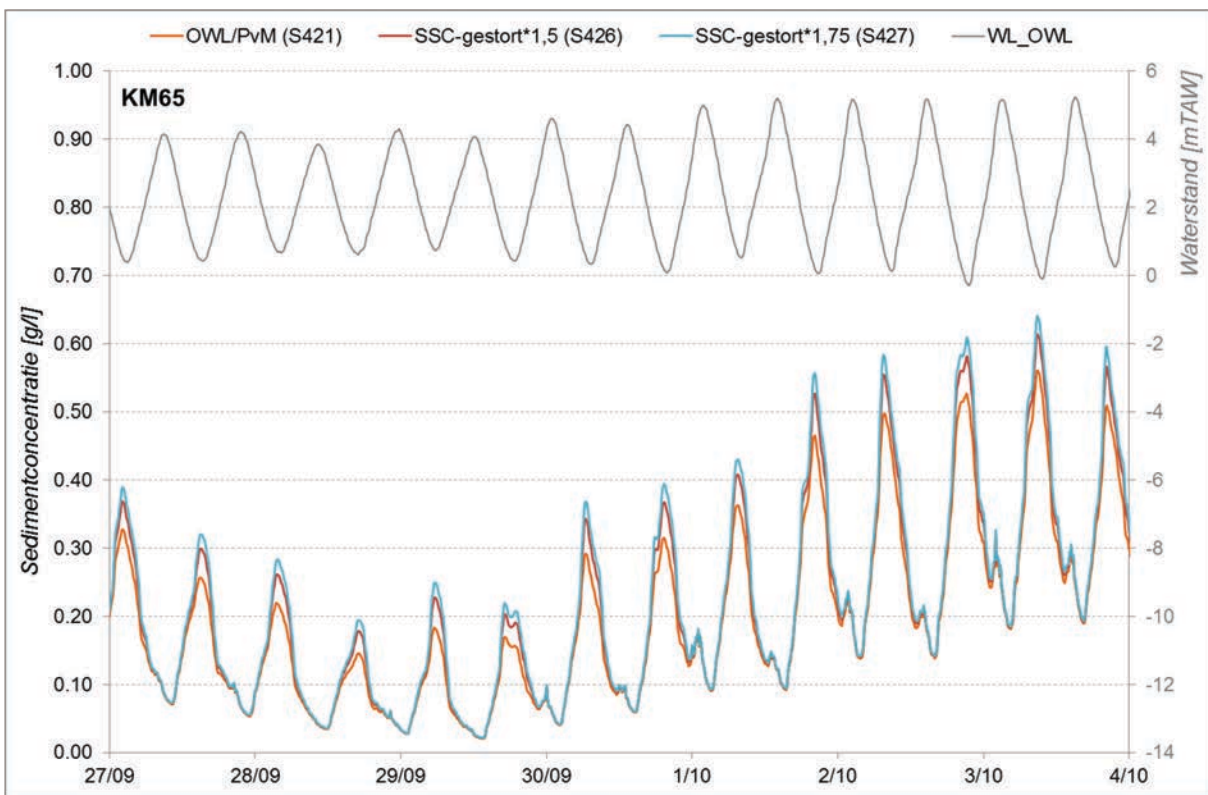


Figuur E 9 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 4

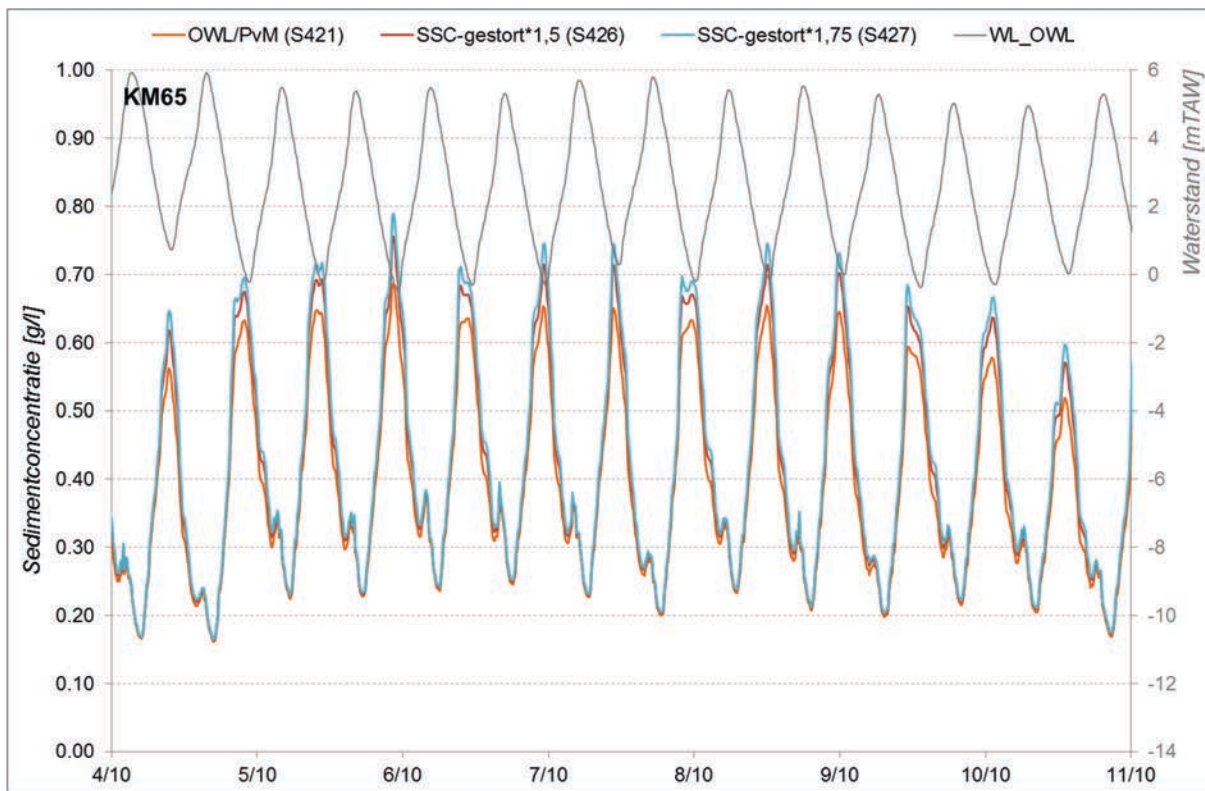


Figuur E 10 – Verloop van de sedimentconcentratie op 5 km van monding Westerschelde - week 5

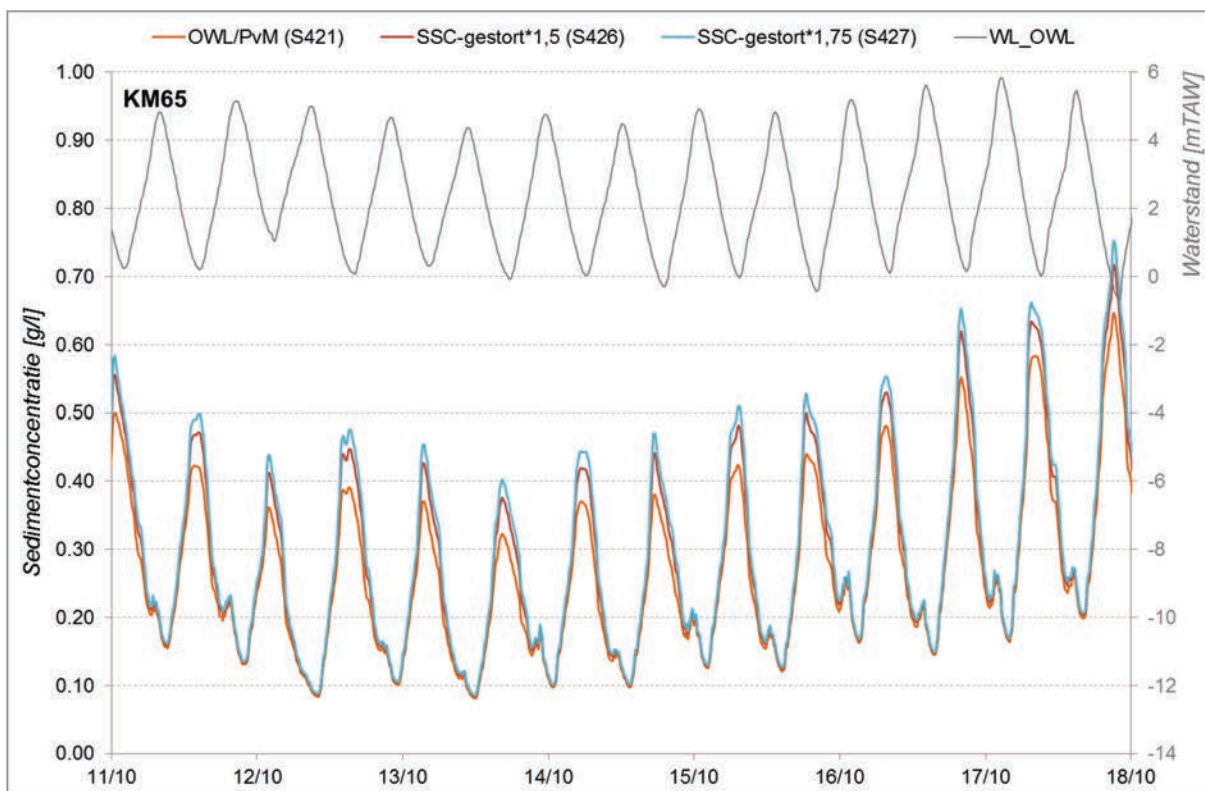
S421-S426-S427 Kilometer 65



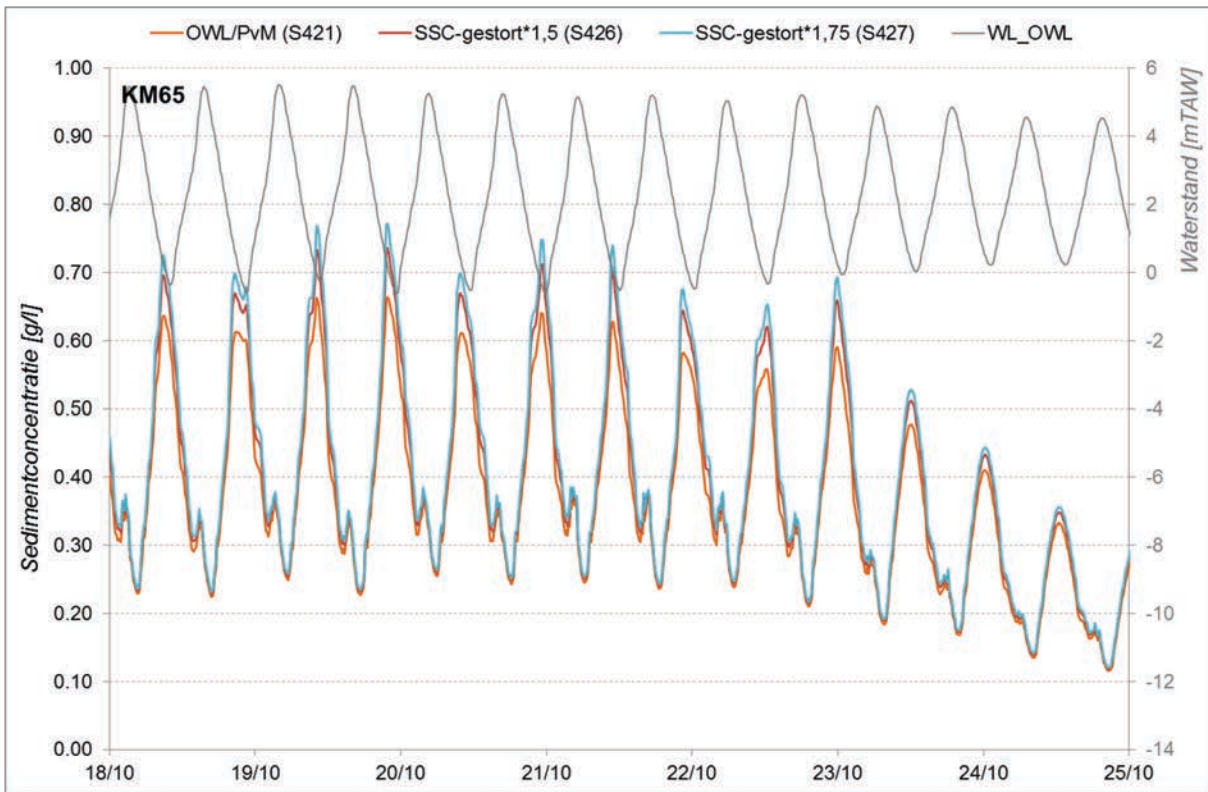
Figuur E 11 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1



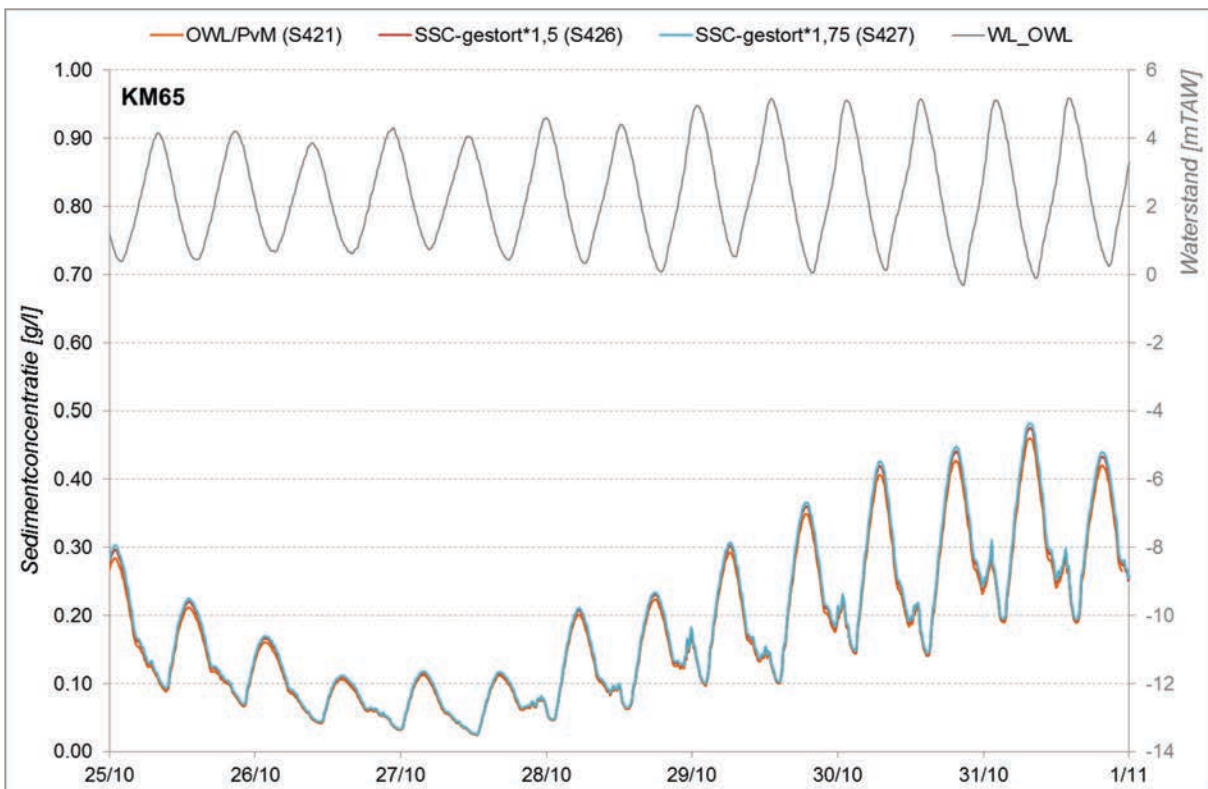
Figuur E 12 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 13 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3

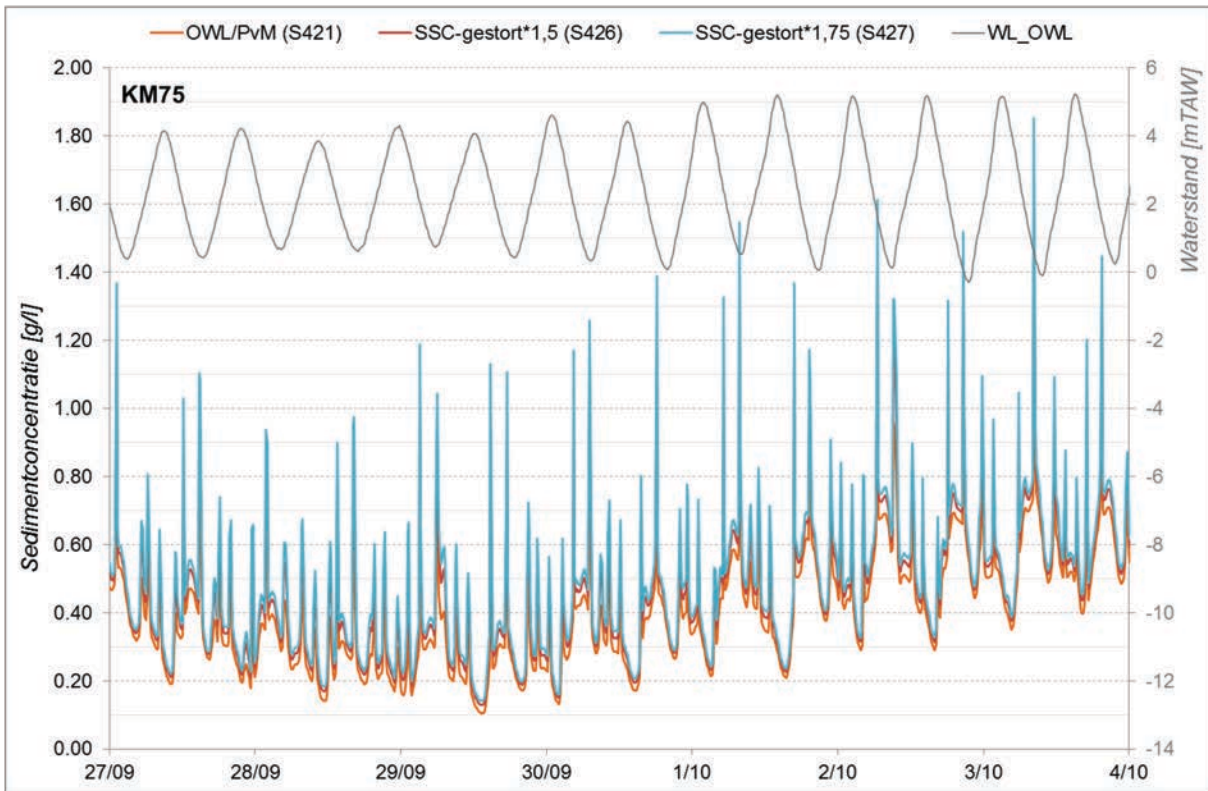


Figuur E 14 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 4

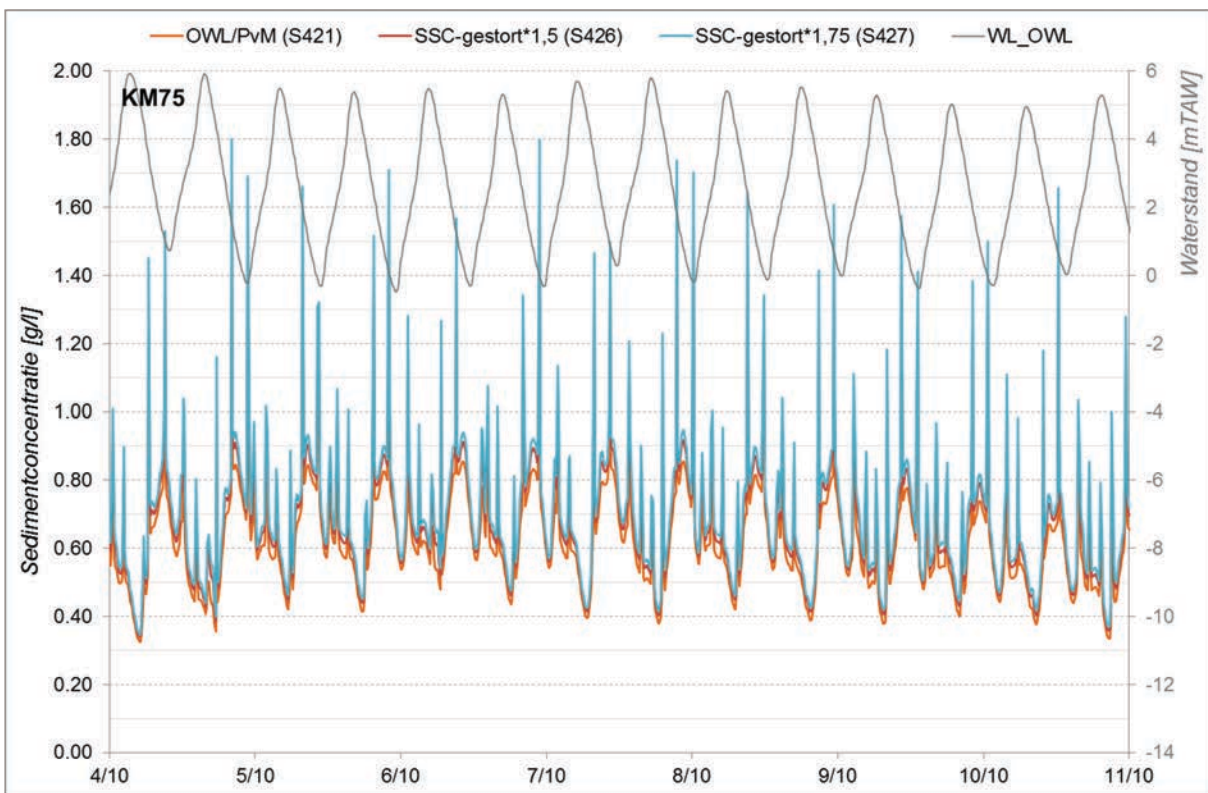


Figuur E 15 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5

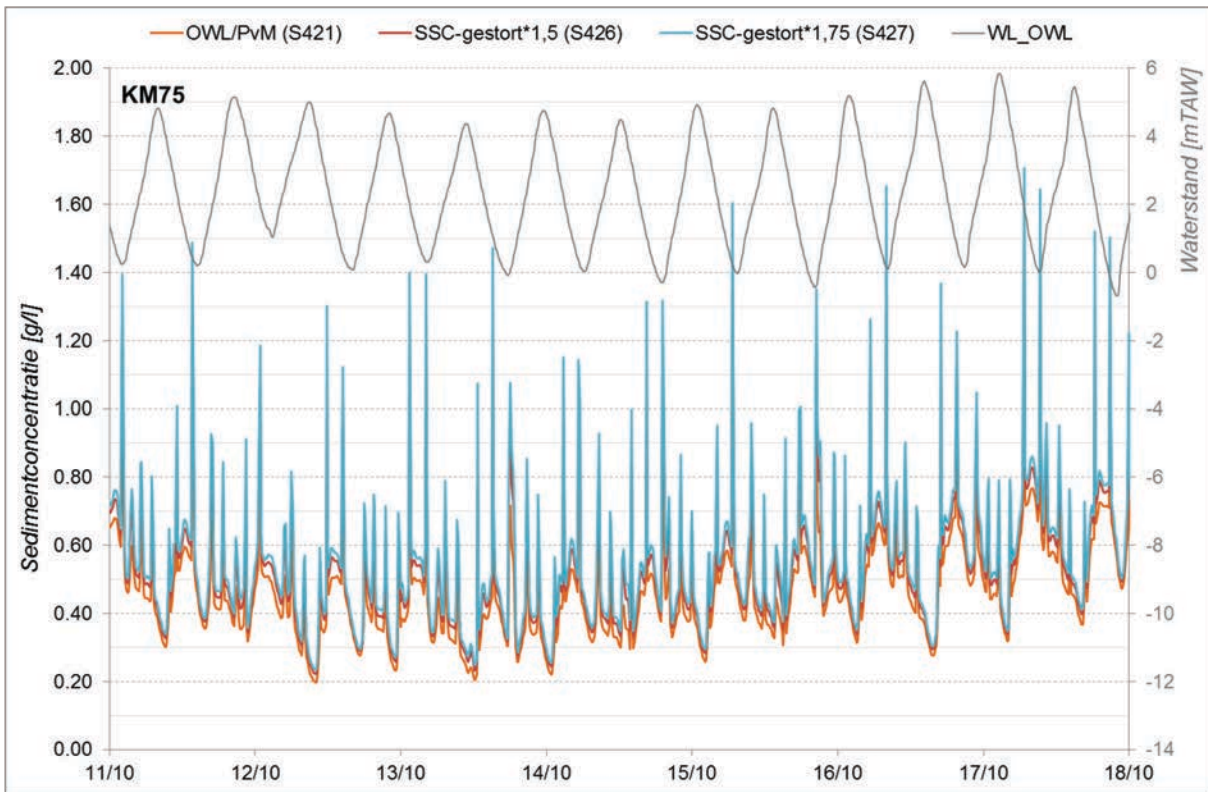
S421-S426-S427 Kilometer 75



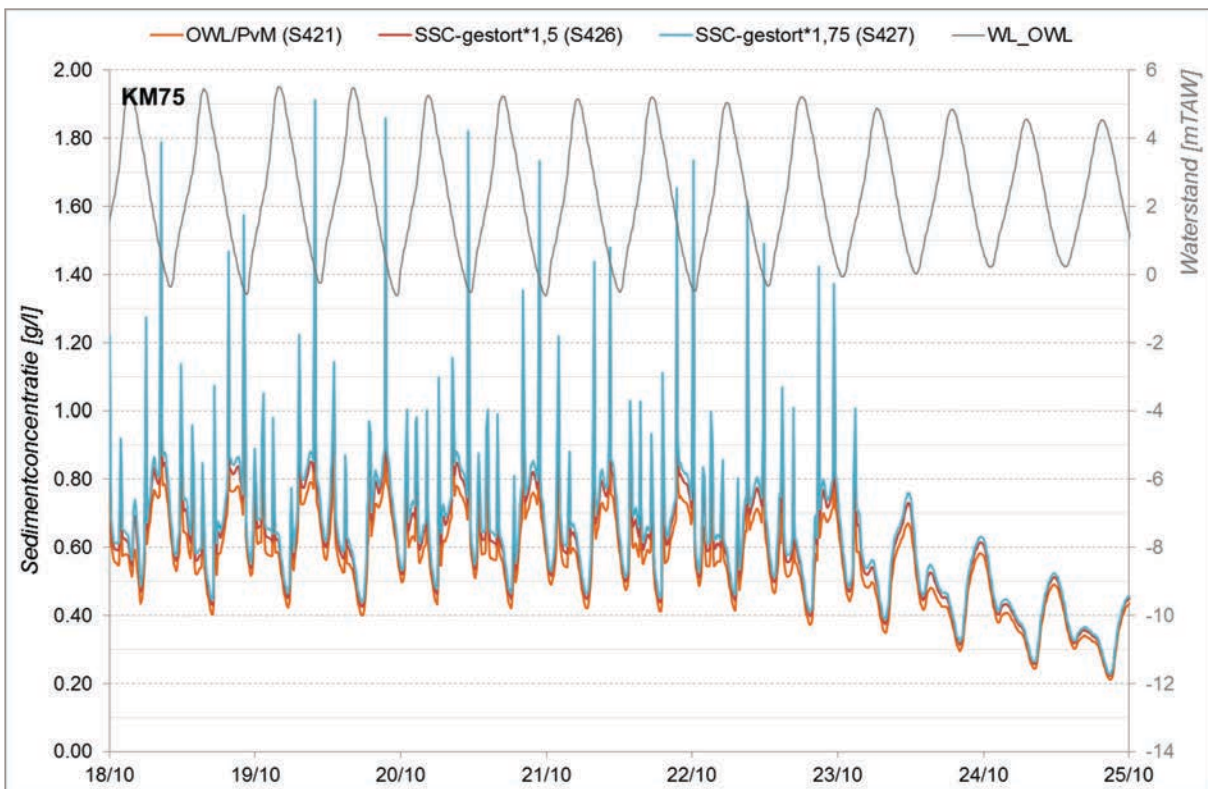
Figuur E 16 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 1



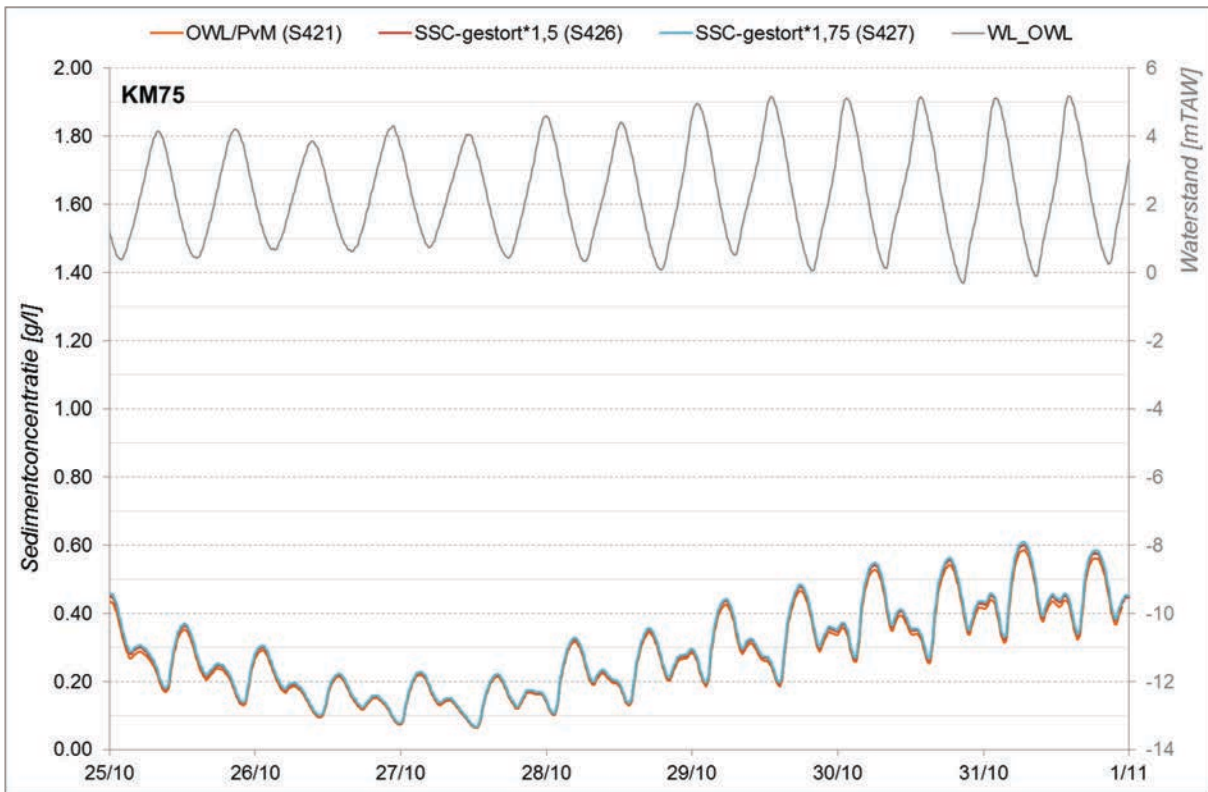
Figuur E 17 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 18 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 3

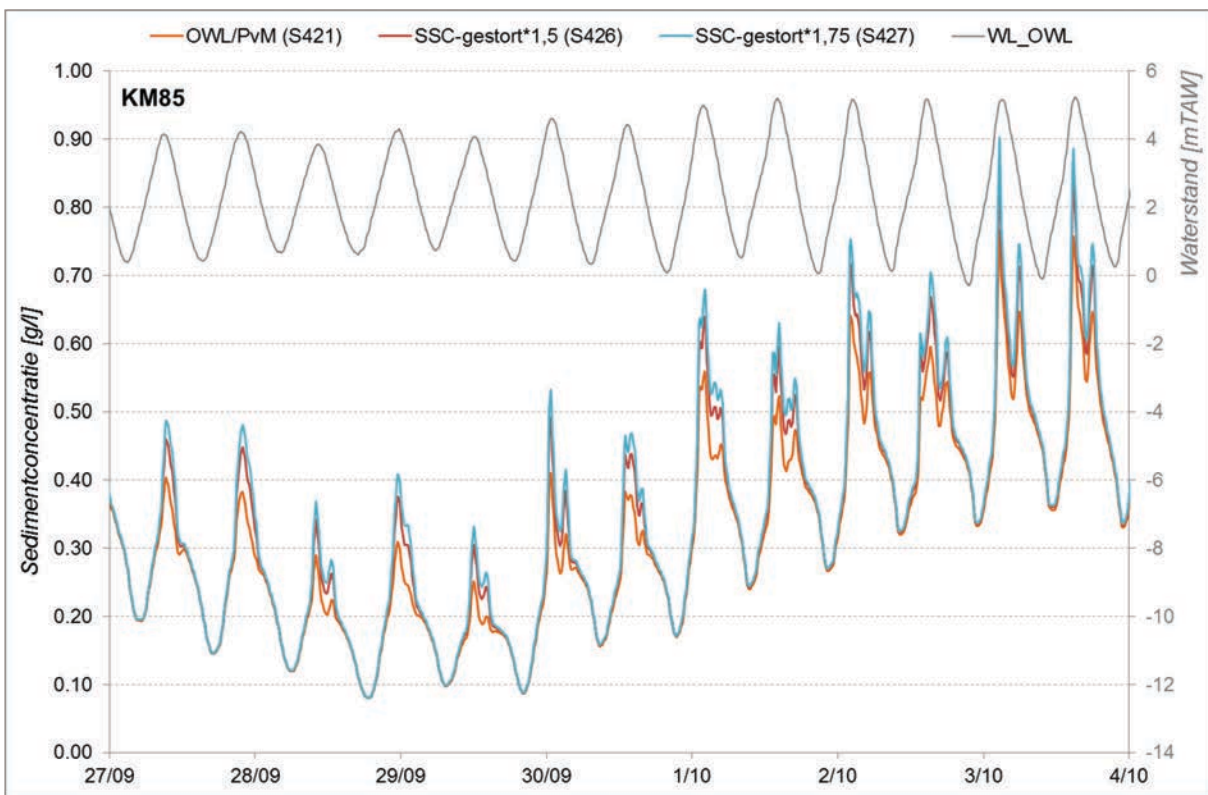


Figuur E 19 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde - week 4

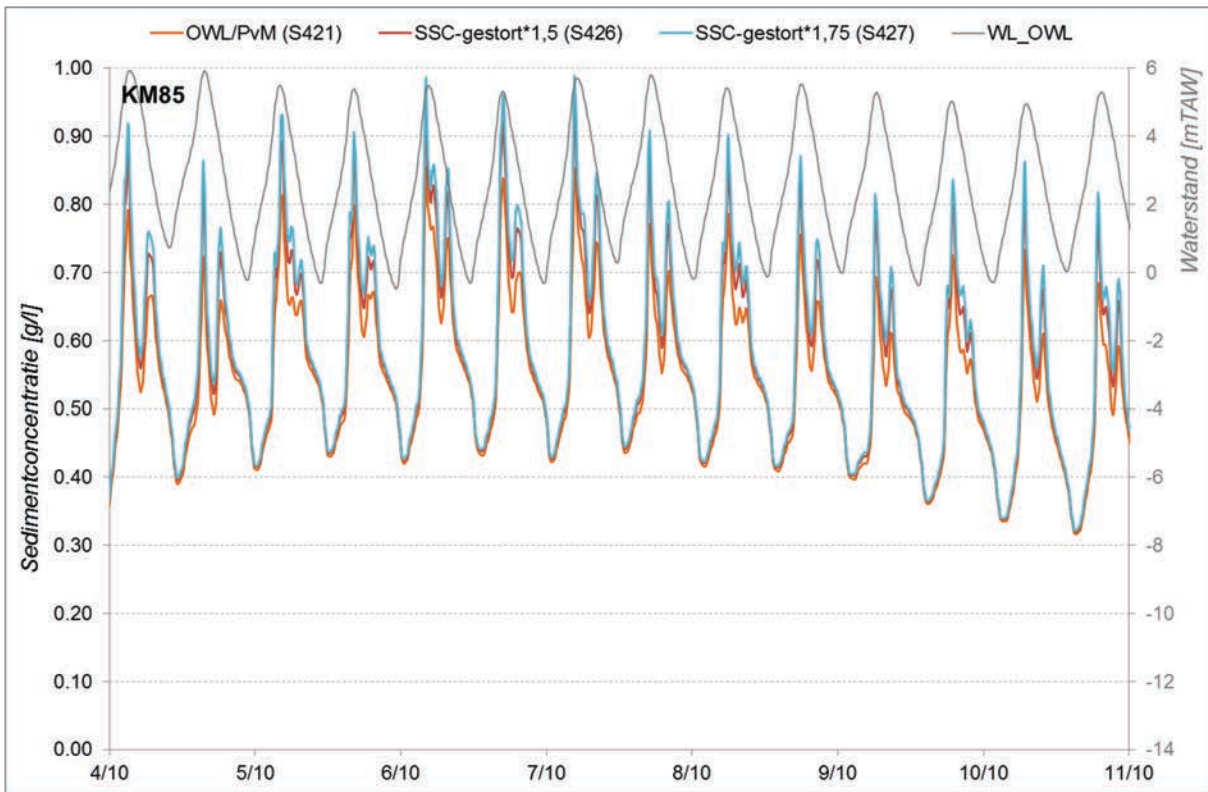


Figuur E 20 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 5

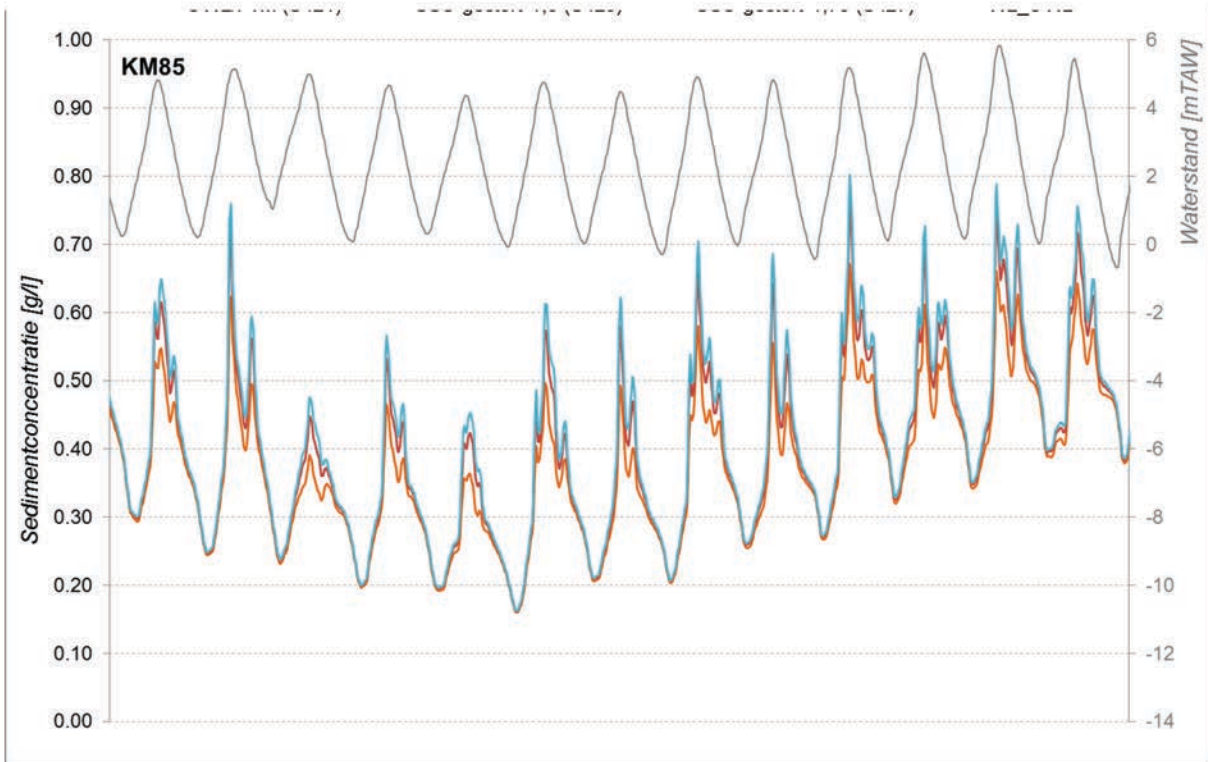
S421-S426-S427 Kilometer 85



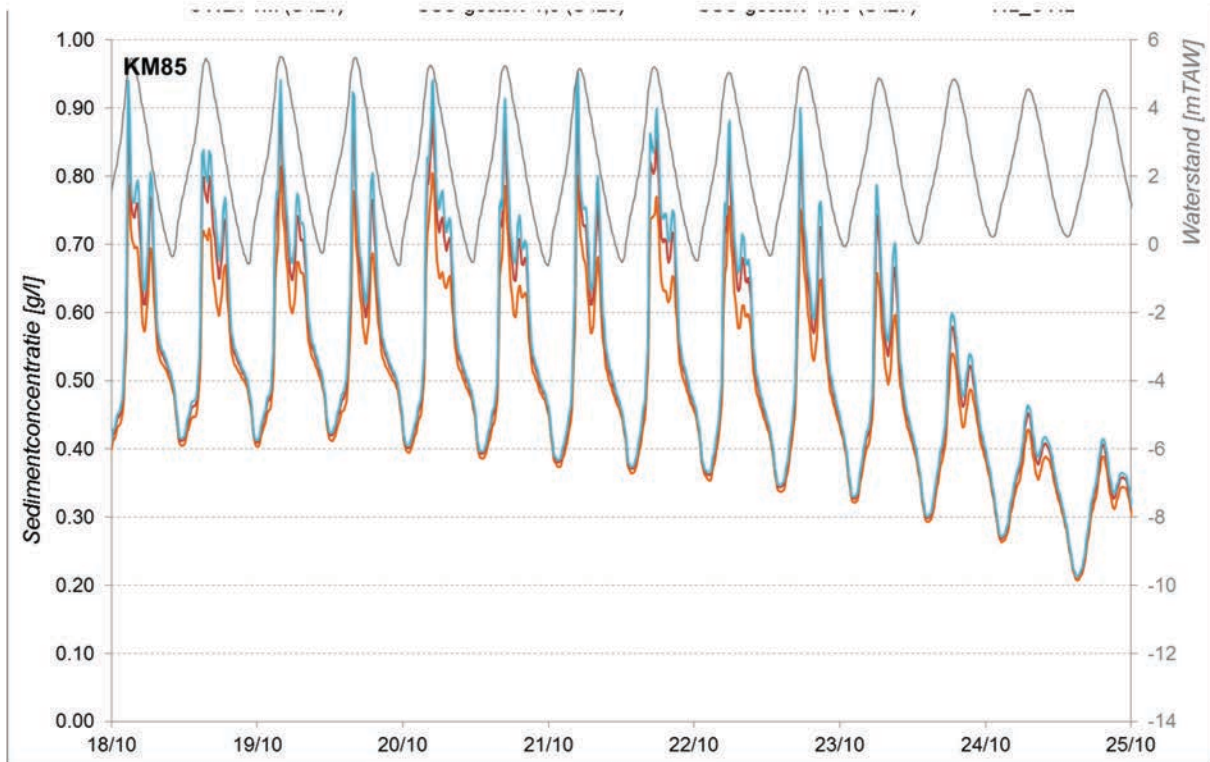
Figuur E 21 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 1



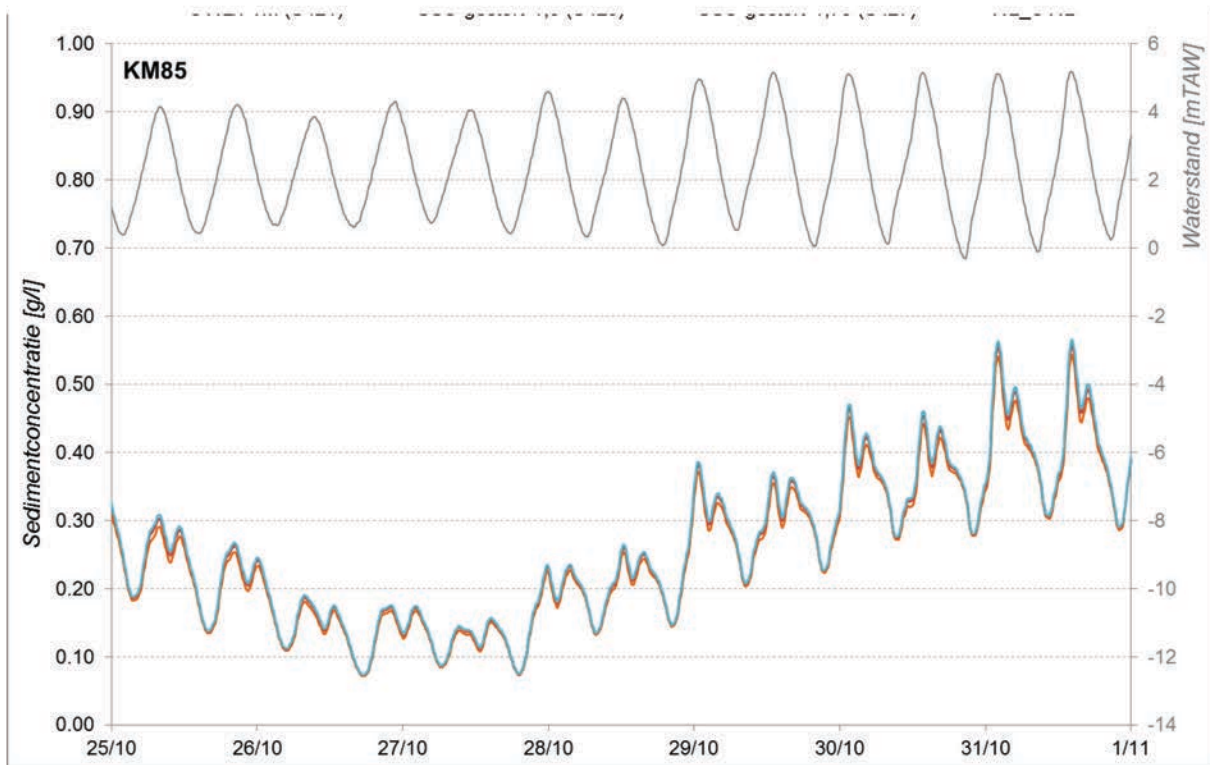
Figuur E 22 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 23 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 3

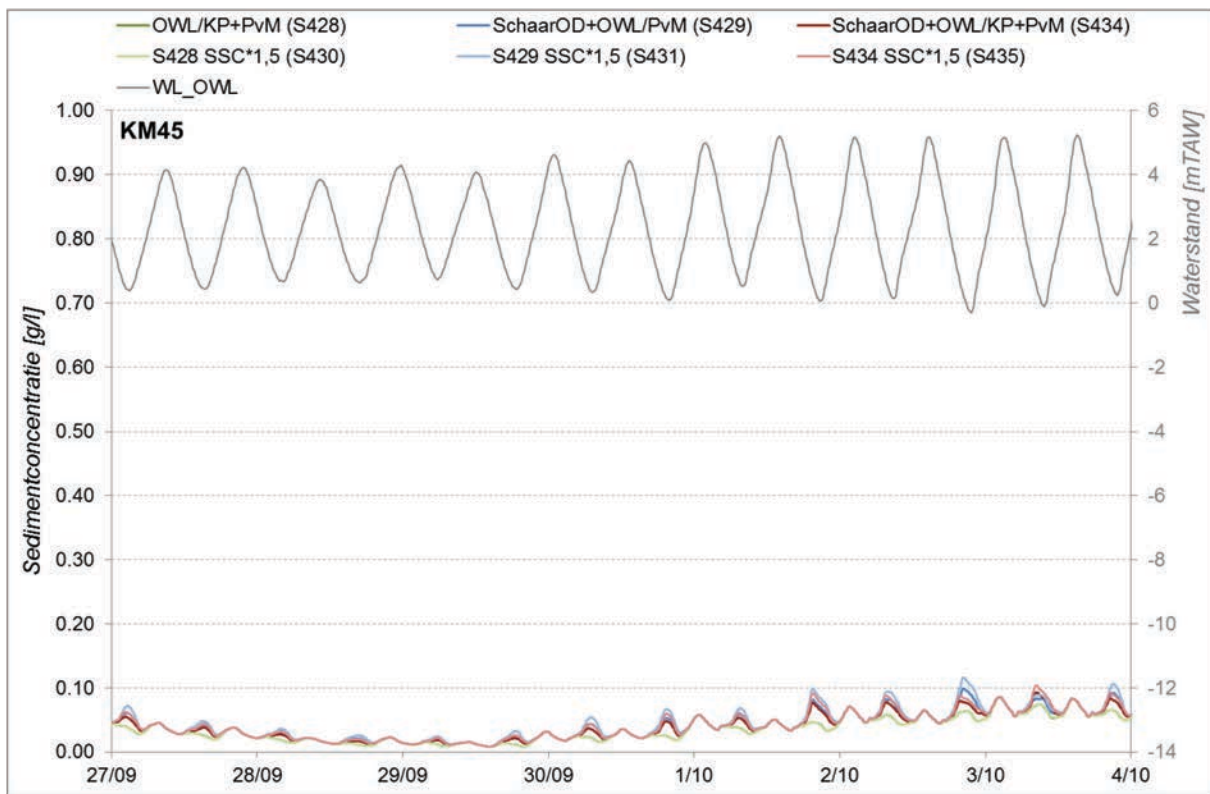


Figuur E 24 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 4

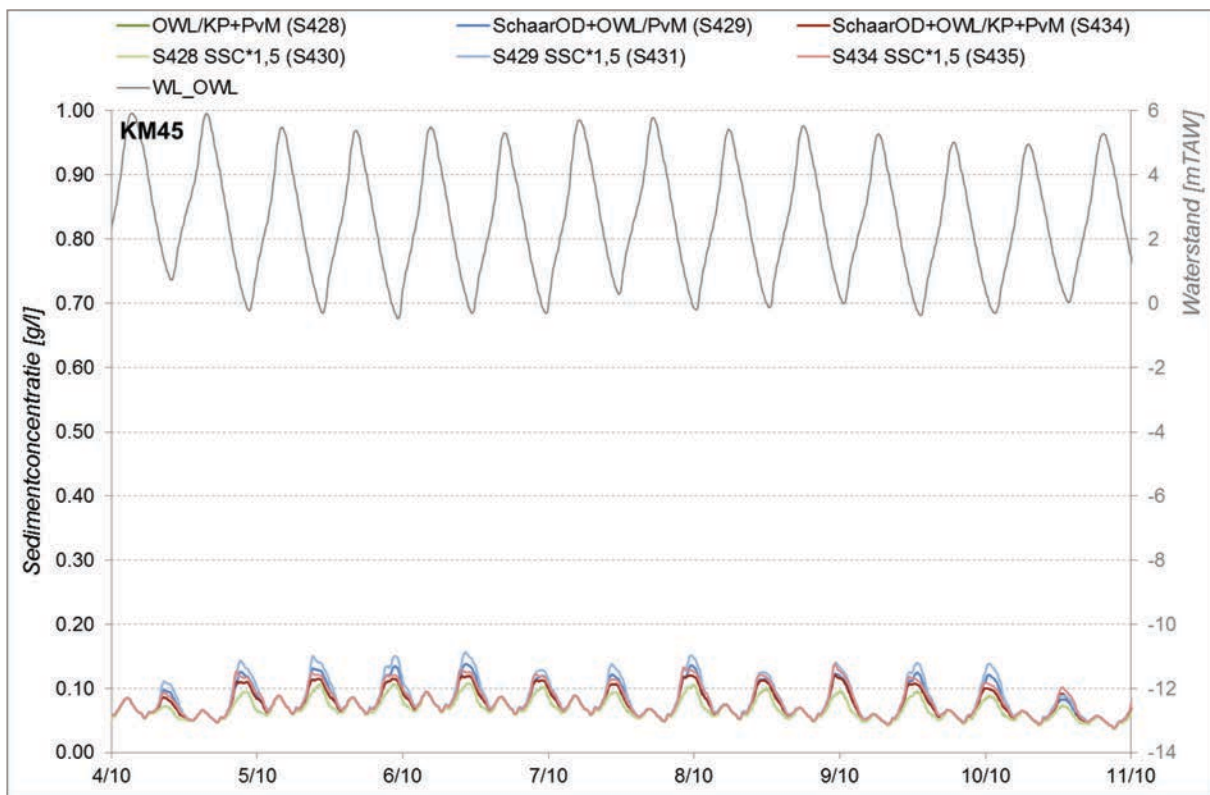


Figuur E 25 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde - week 5

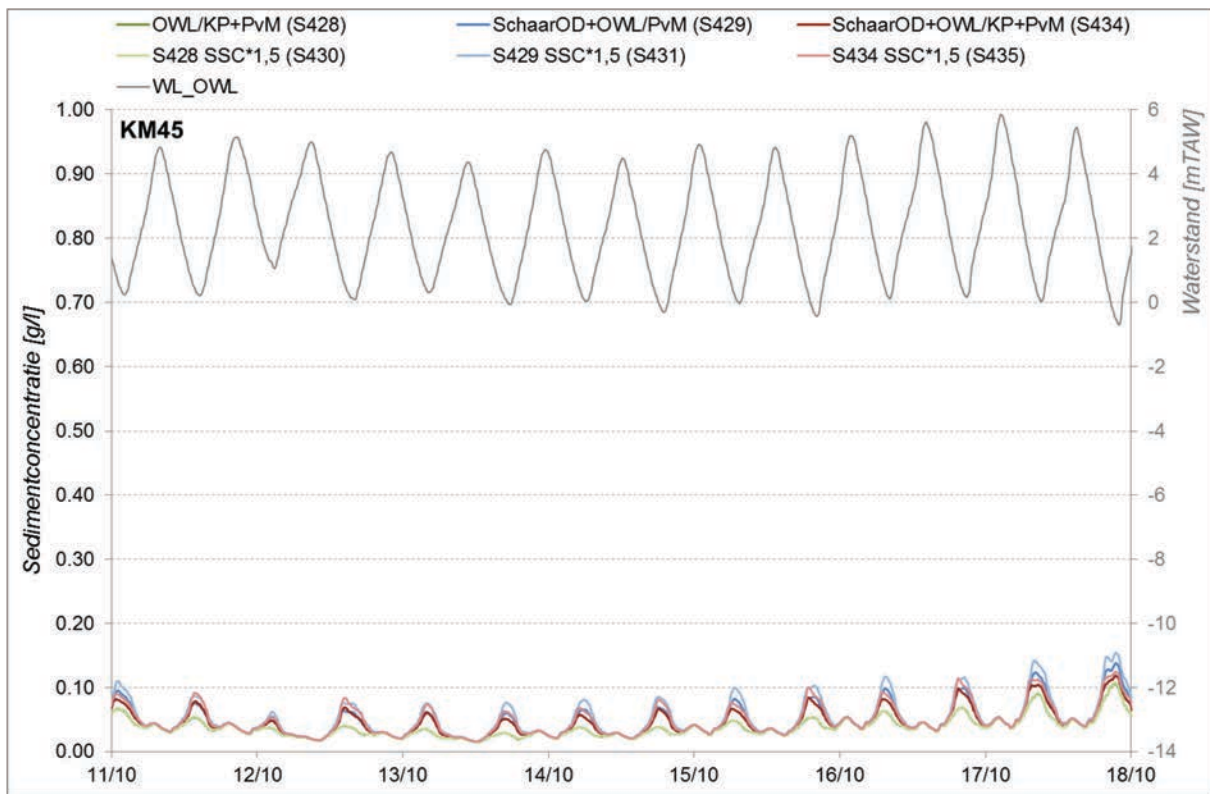
S428-S429-S430-S431-S434-S435 Kilometer 45



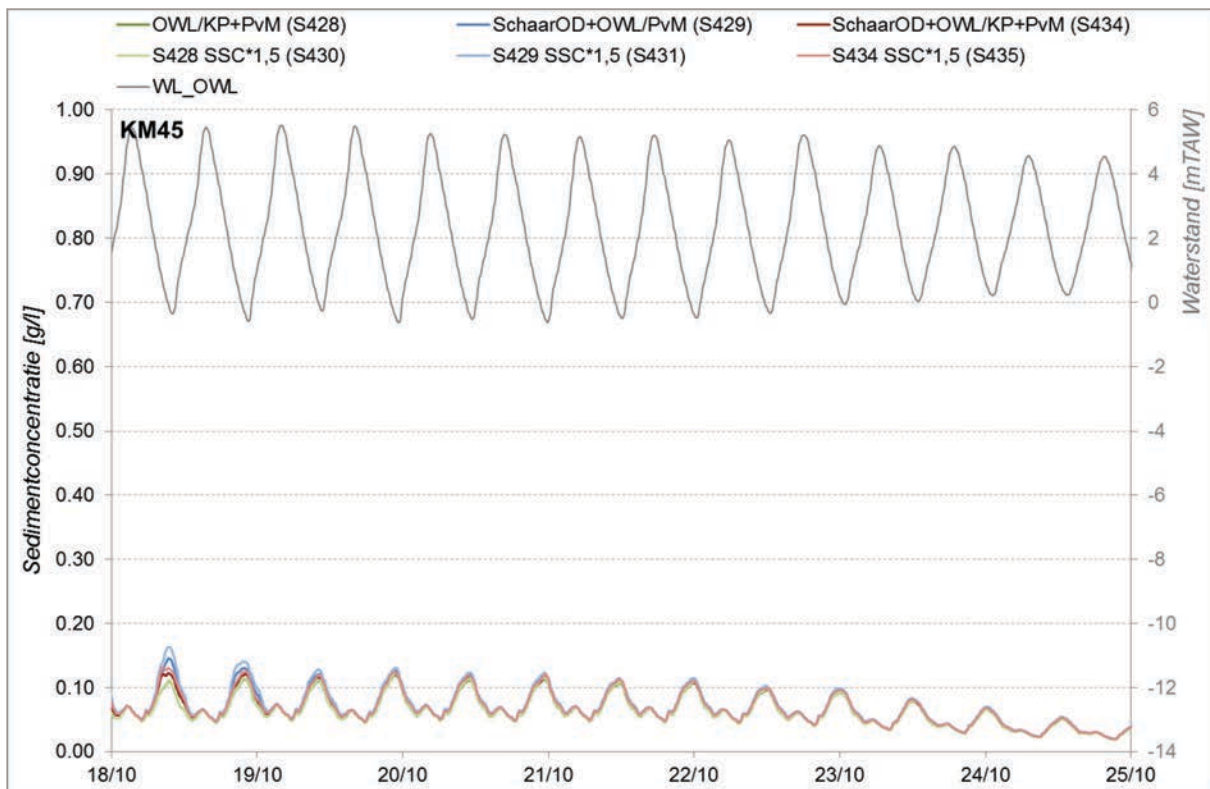
Figuur E 26 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 1



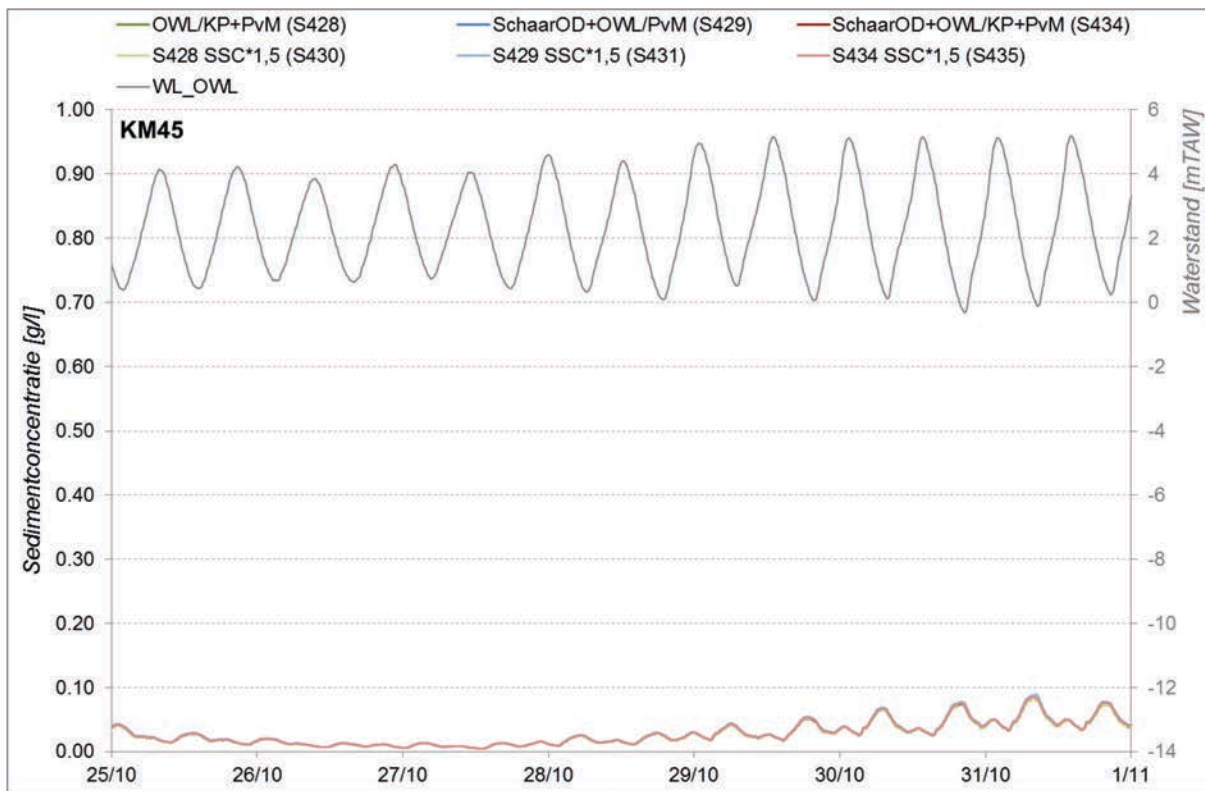
Figuur E 27 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 28 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 3

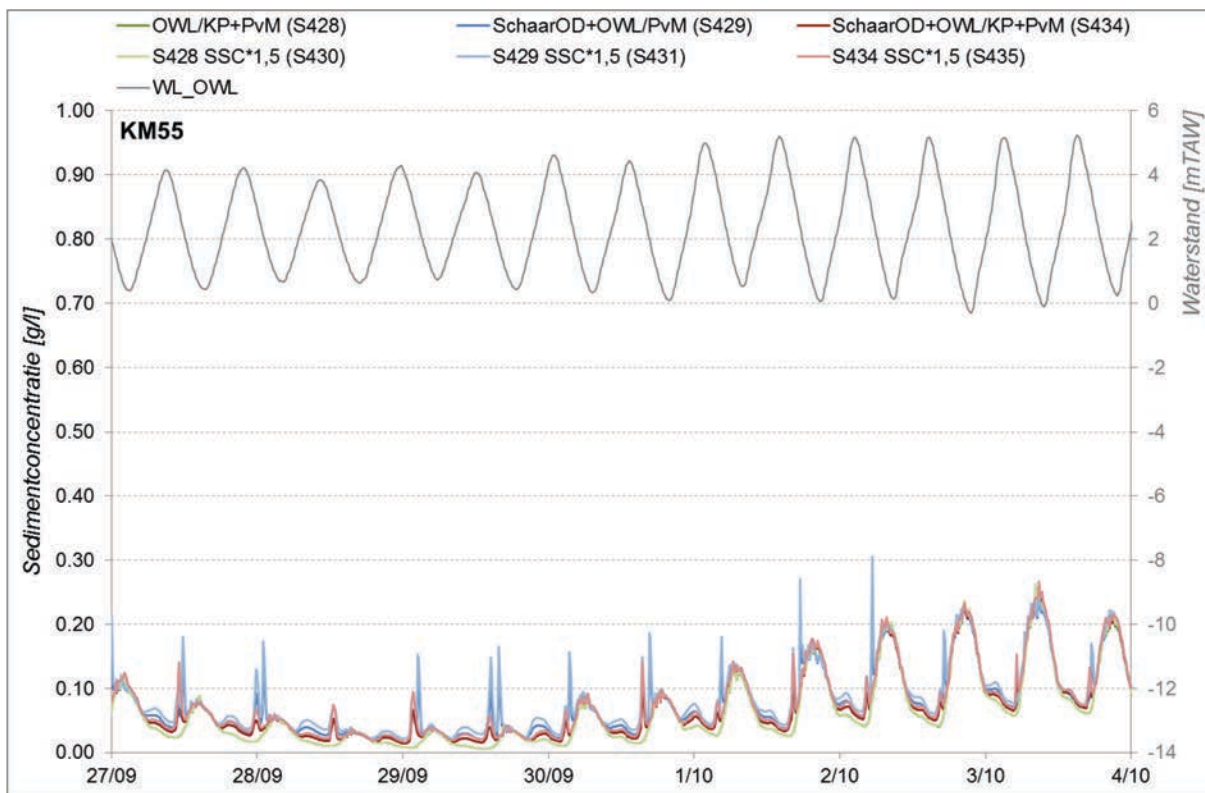


Figuur E 29 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 4

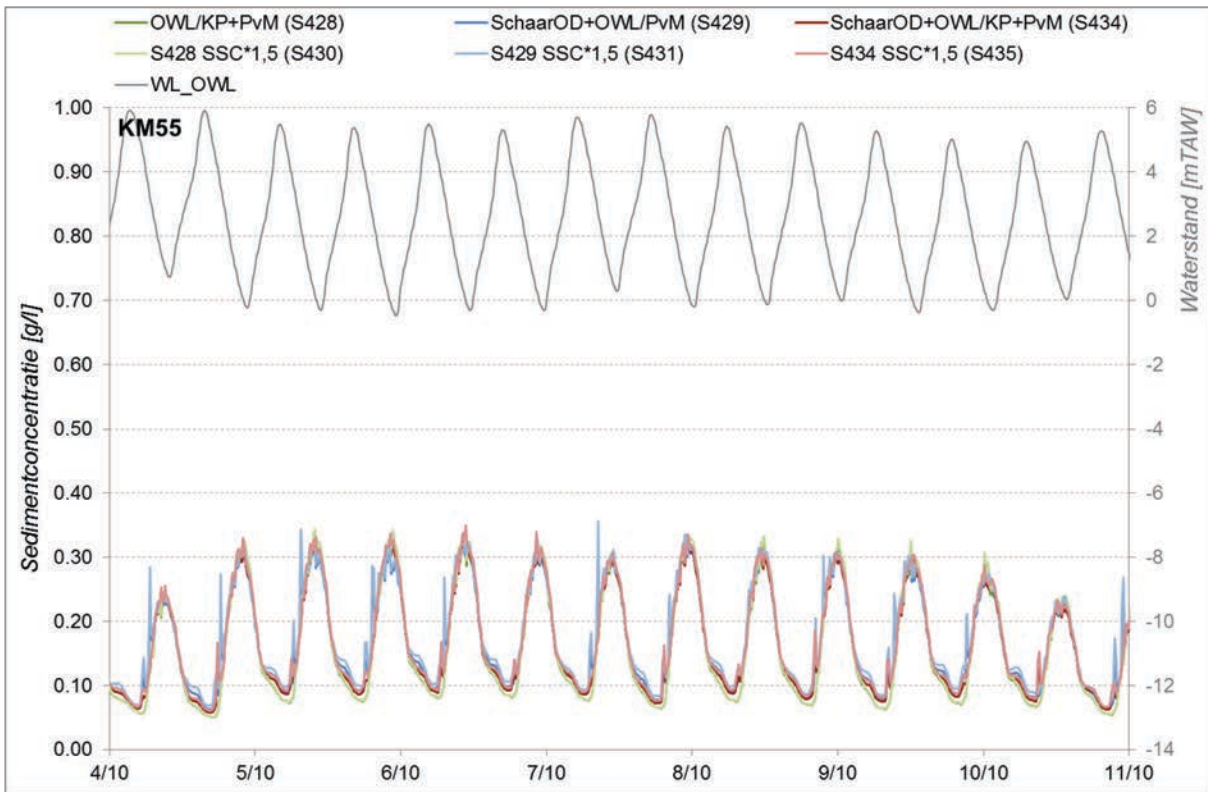


Figuur E 30 – Verloop van de sedimentconcentratie op 45 km van monding Westerschelde - week 5

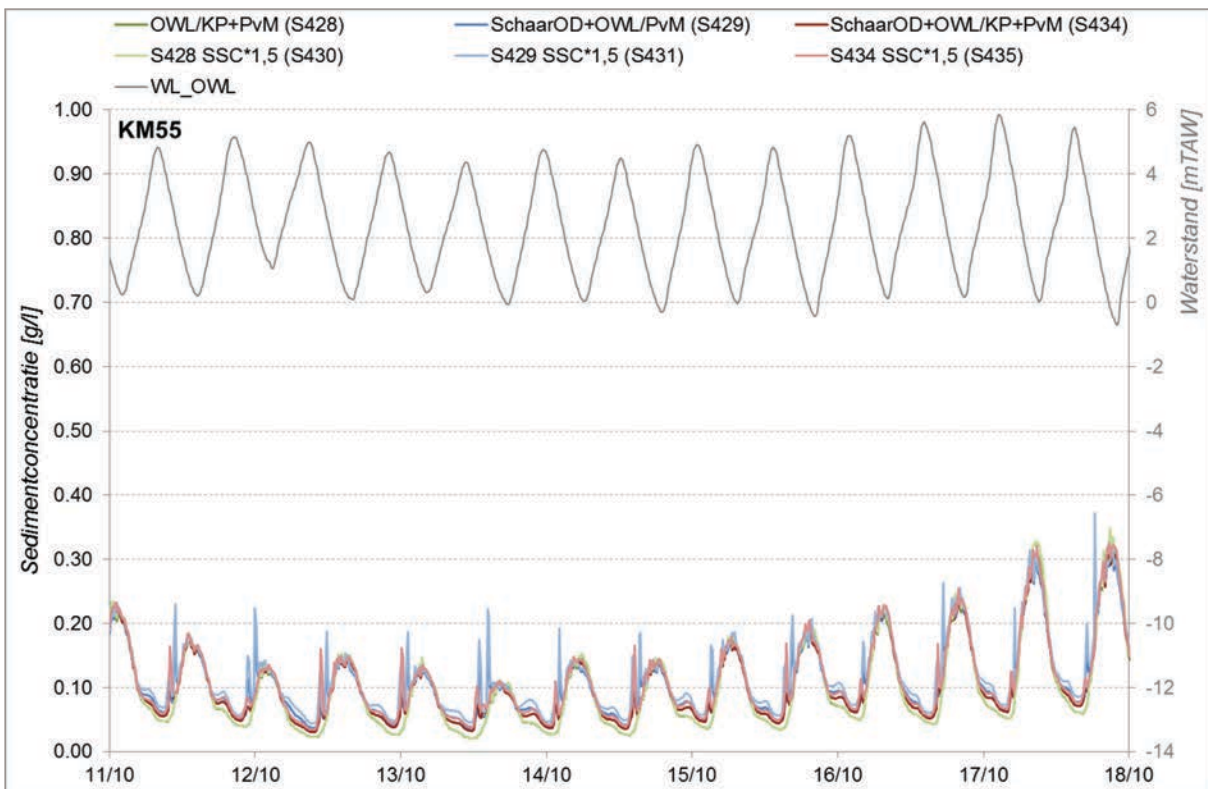
S428-S429-S430-S431-S434-S435 Kilometer 55



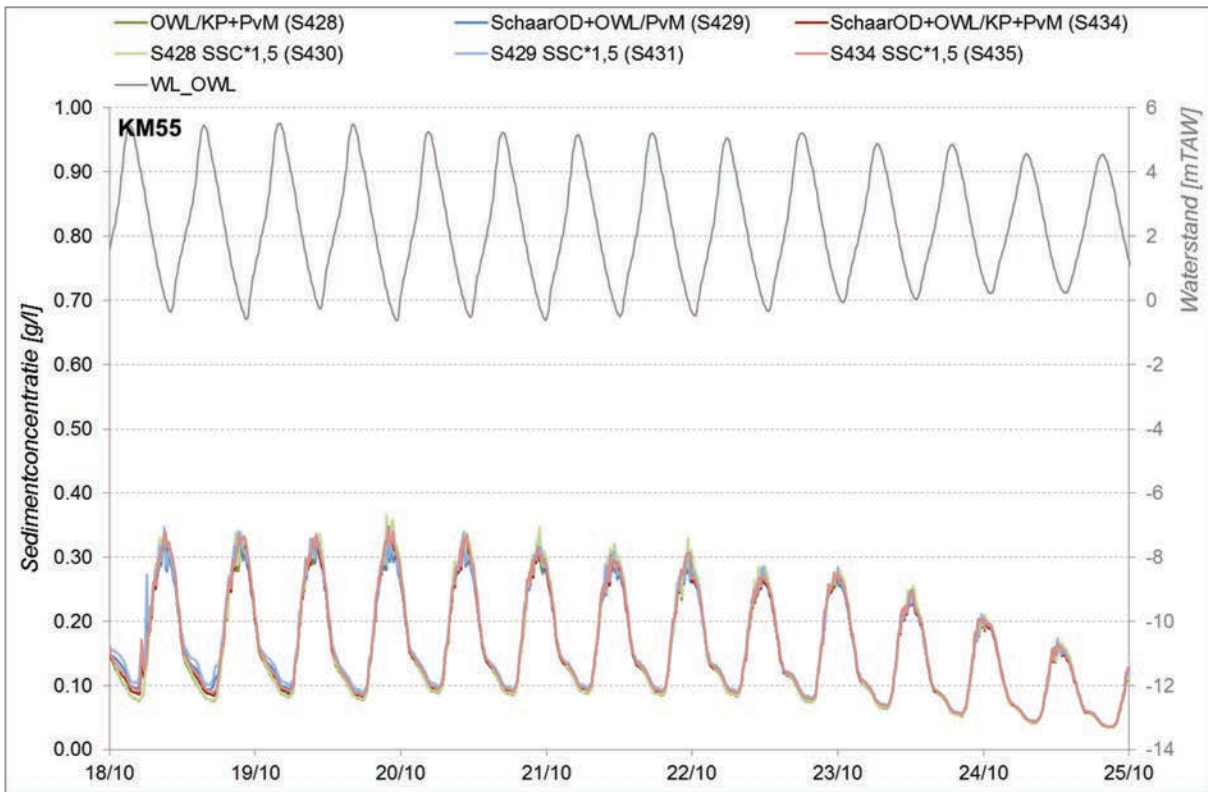
Figuur E 31 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 1



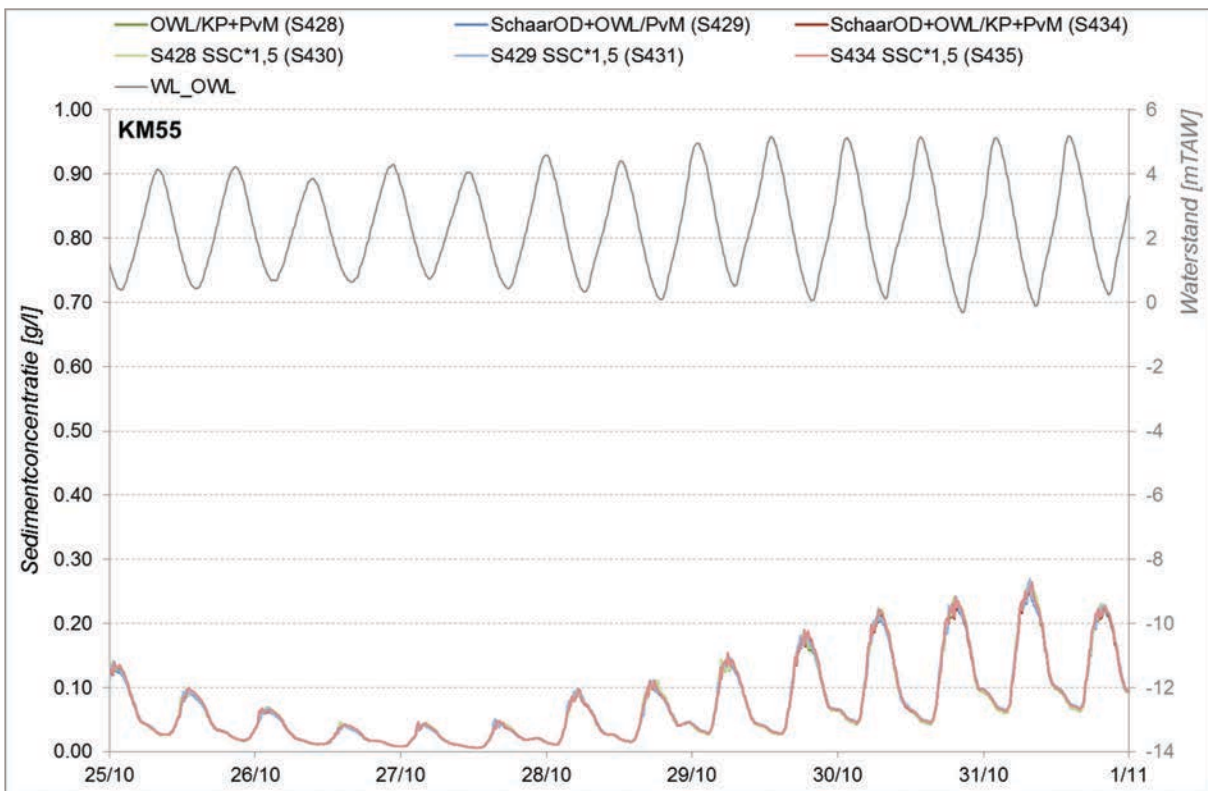
Figuur E 32 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 33 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 3

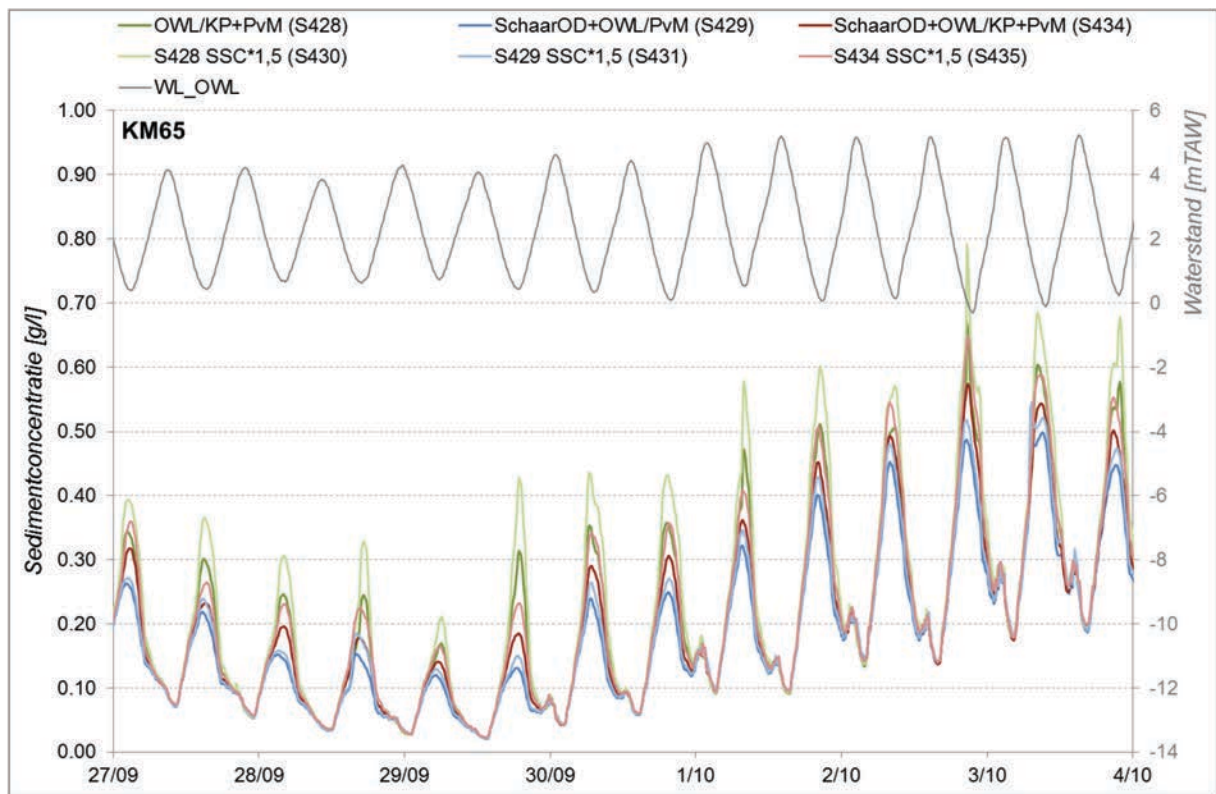


Figuur E 34 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 4

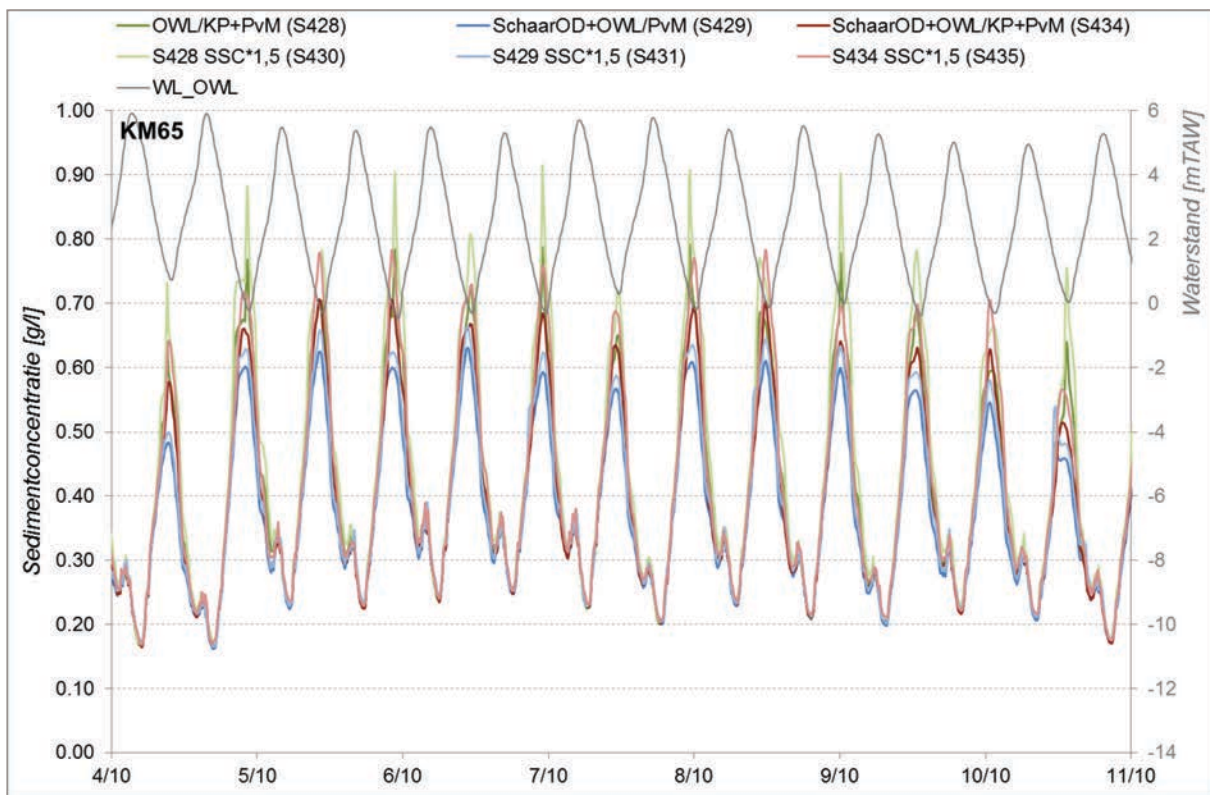


Figuur E 35 – Verloop van de sedimentconcentratie op 55 km van monding Westerschelde - week 5

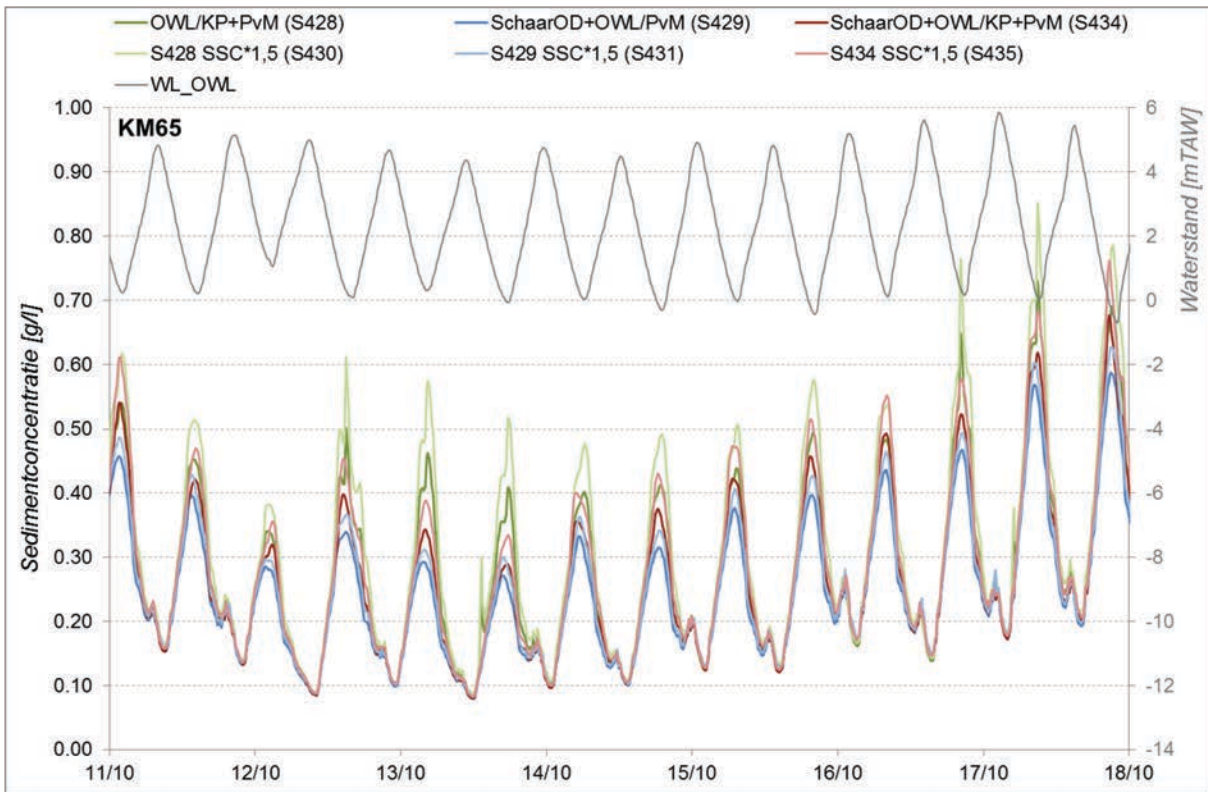
S428-S429-S430-S431-S434-S435 Kilometer 65



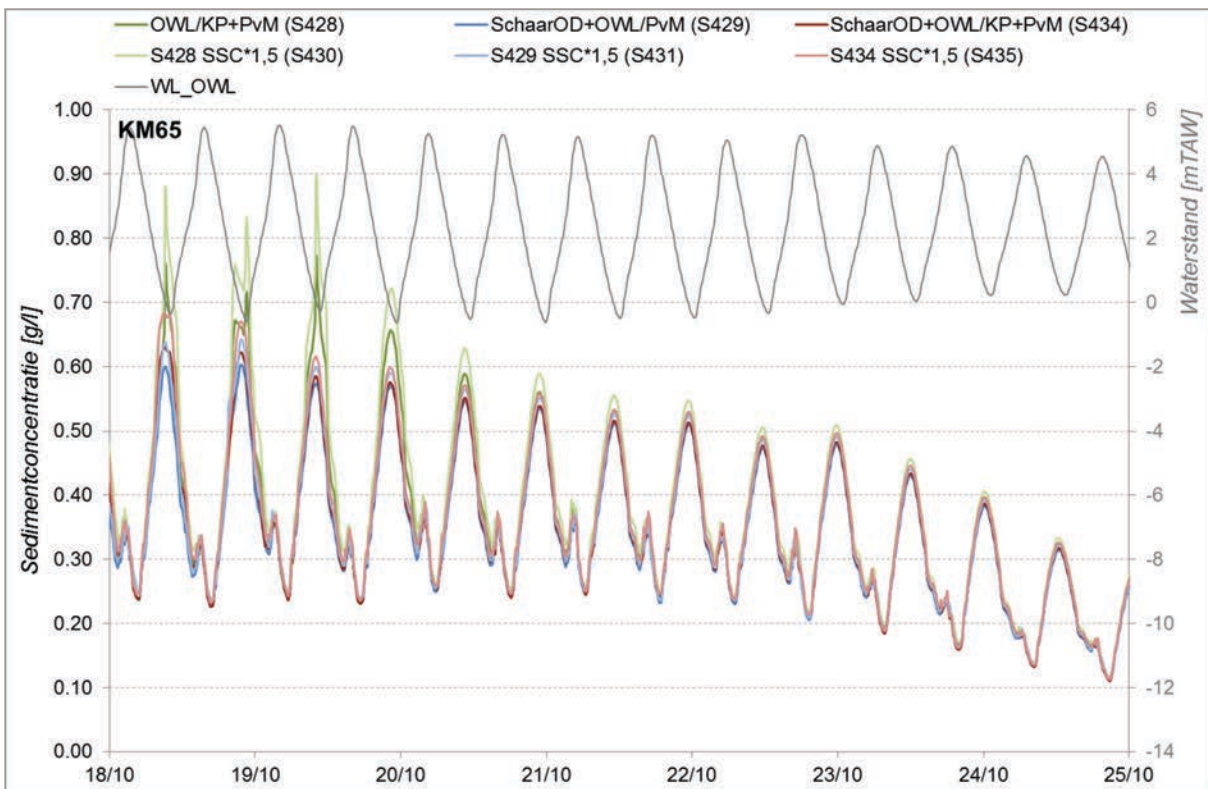
Figuur E 36 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 1



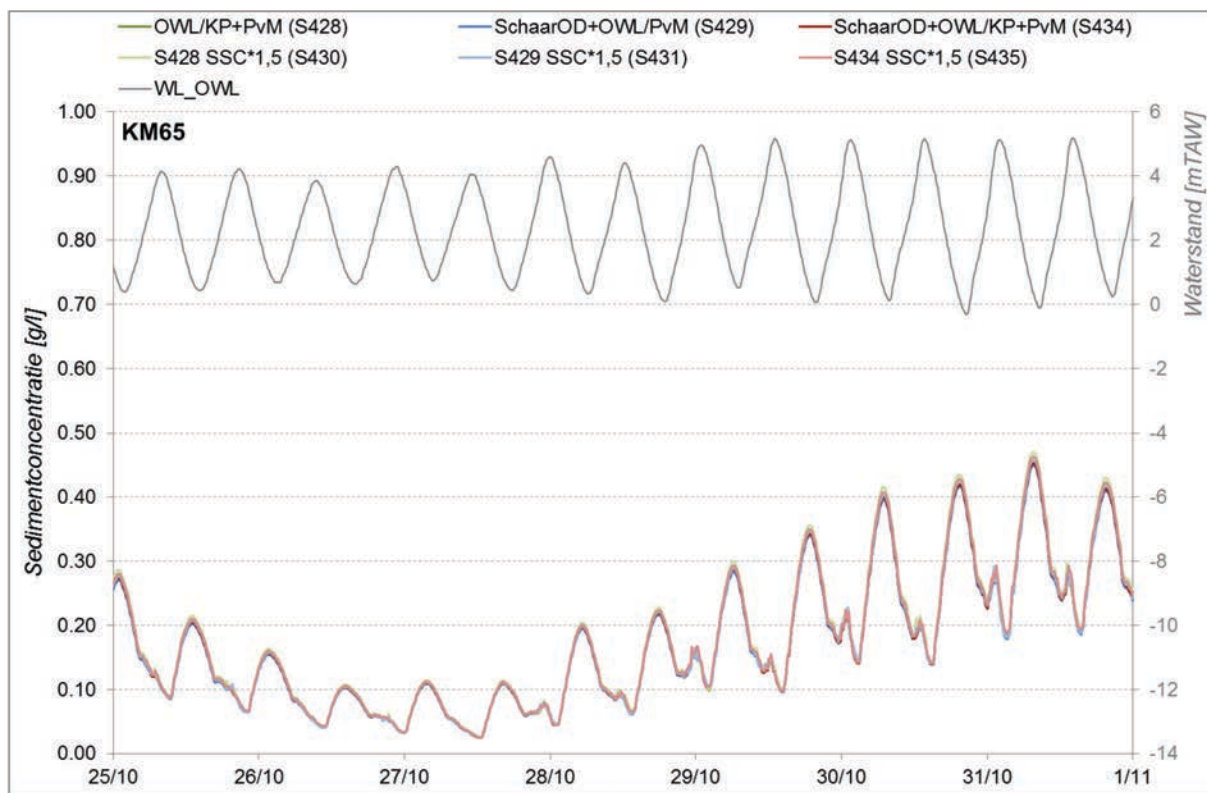
Figuur E 37 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 2



Figuur E 38 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 3

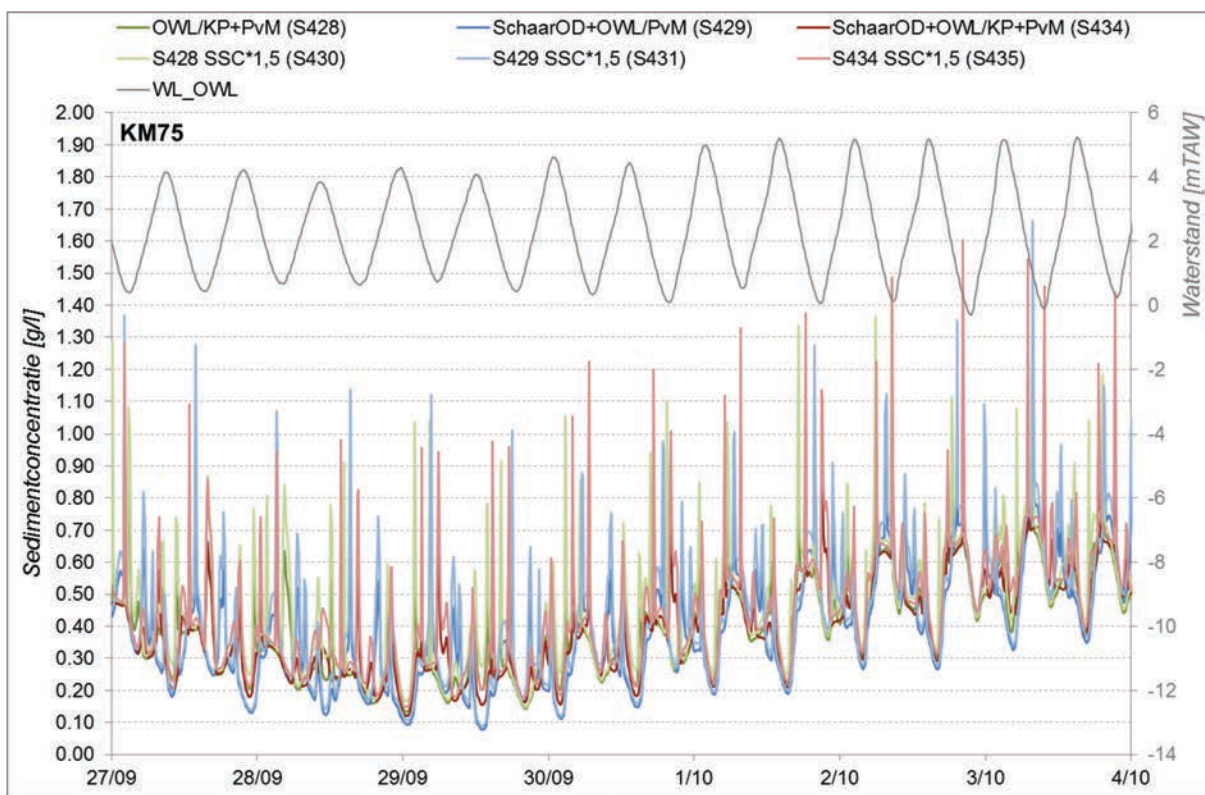


Figuur E 39 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde – week 4

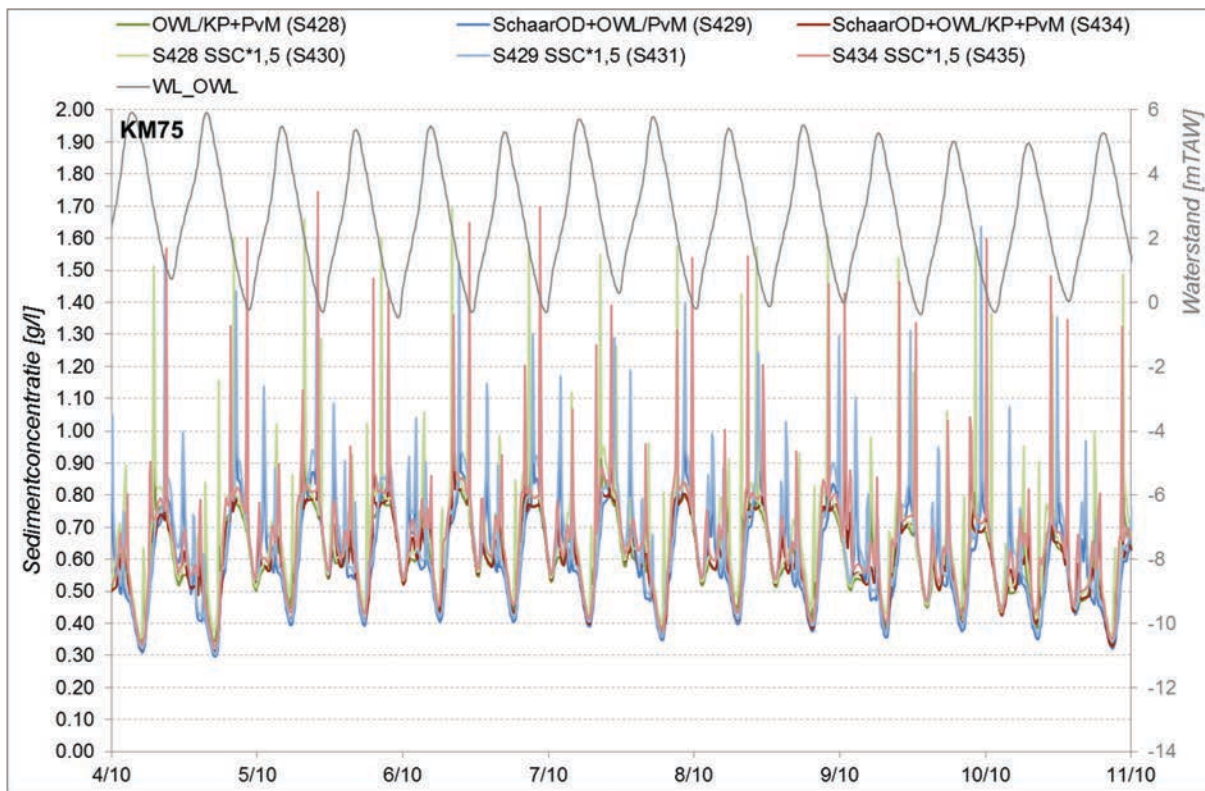


Figuur E 40 – Verloop van de sedimentconcentratie op 65 km van monding Westerschelde - week 5

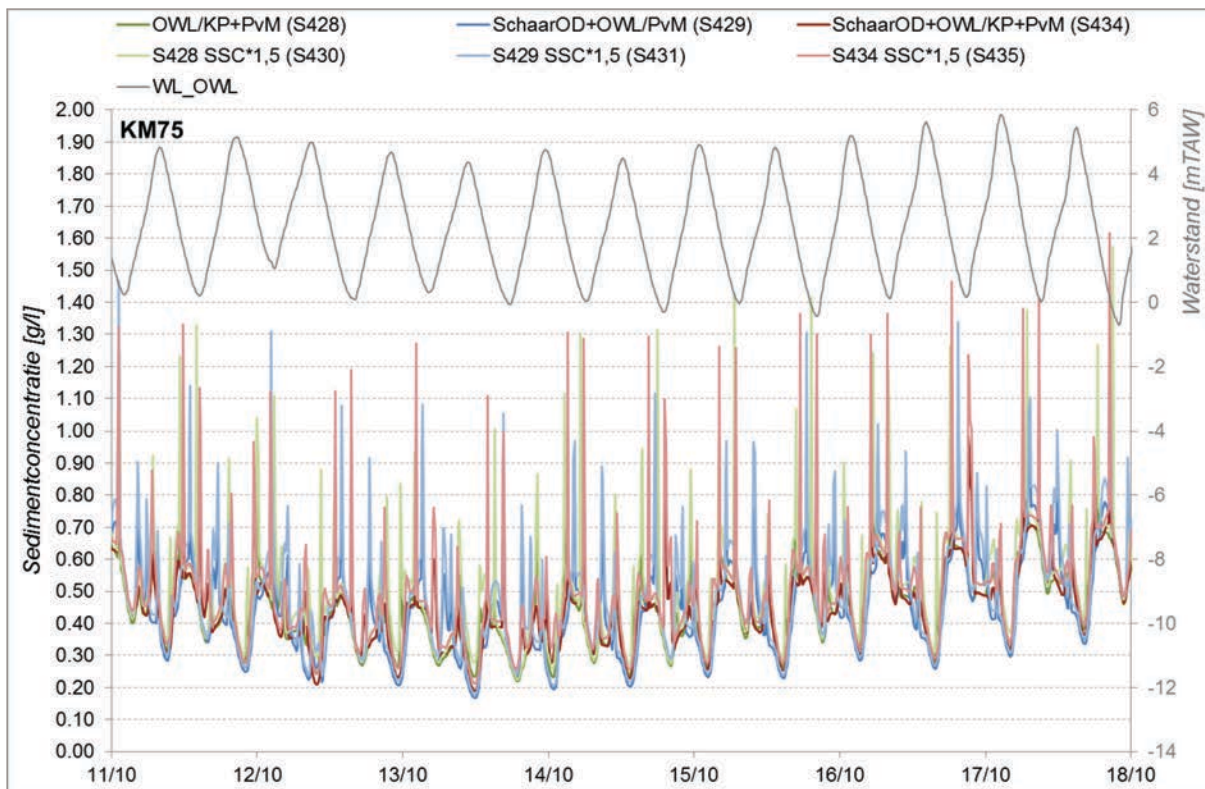
S428-S429-S430-S431-S434-S435 Kilometer 75



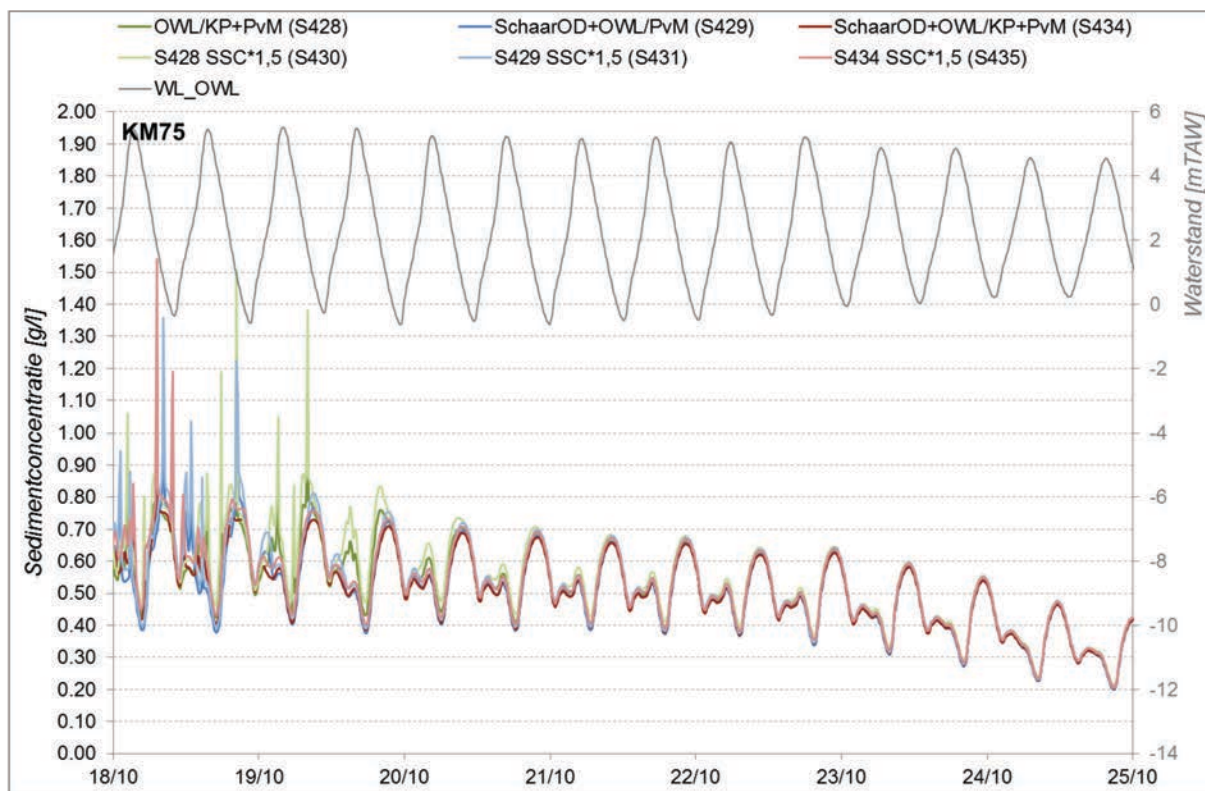
Figuur E 41 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 1



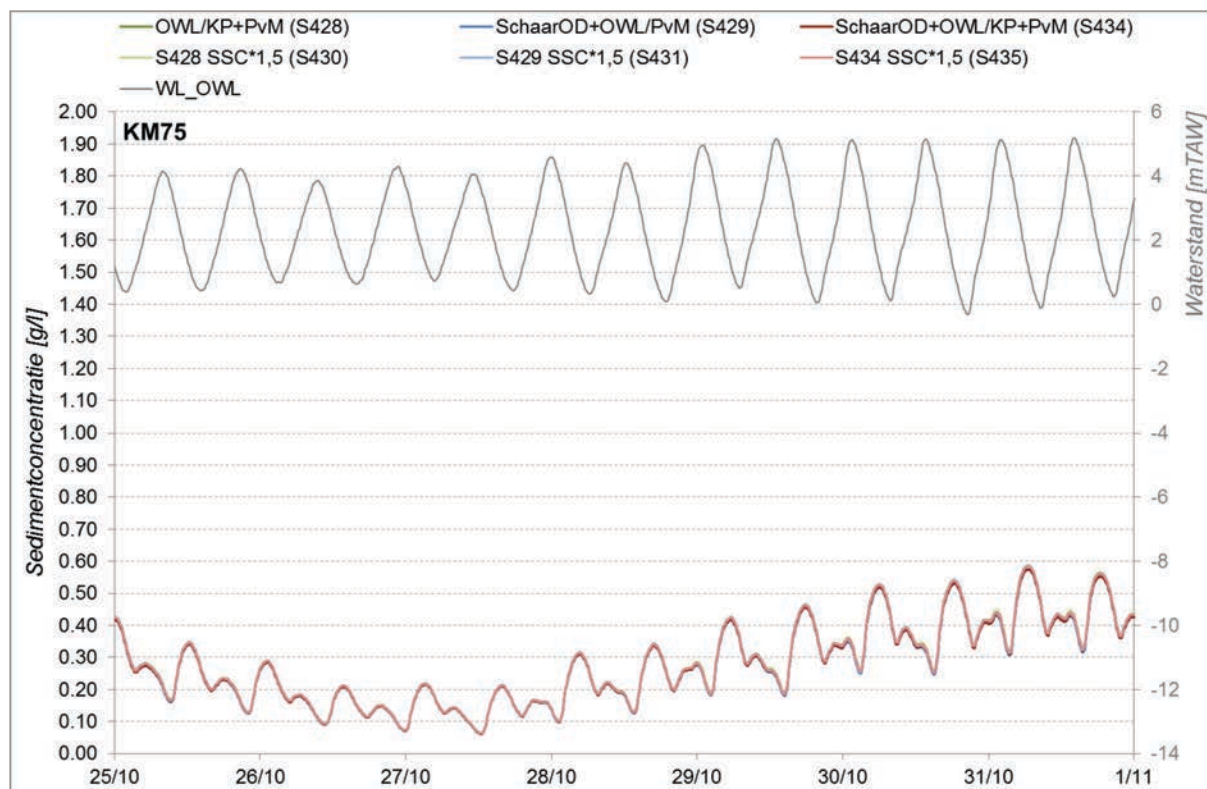
Figuur E 42 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 2



Figuur E 43 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 3

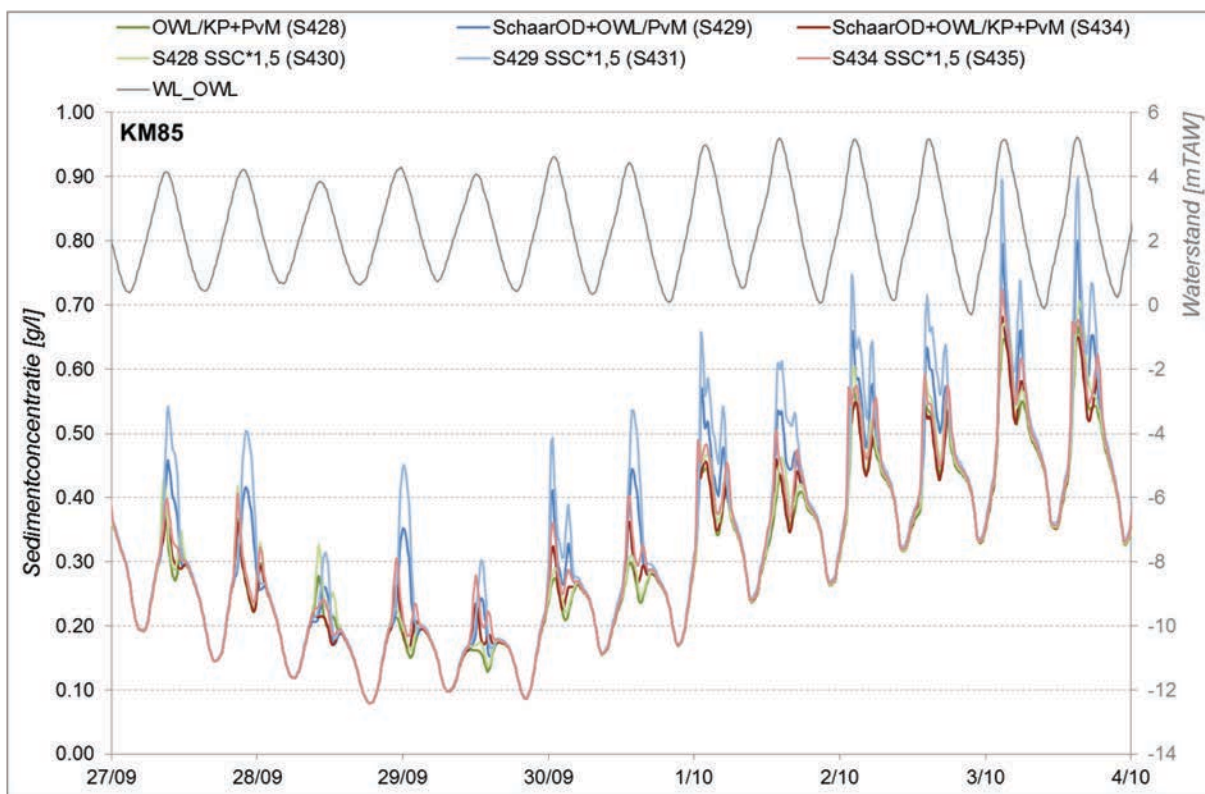


Figuur E 44 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 4

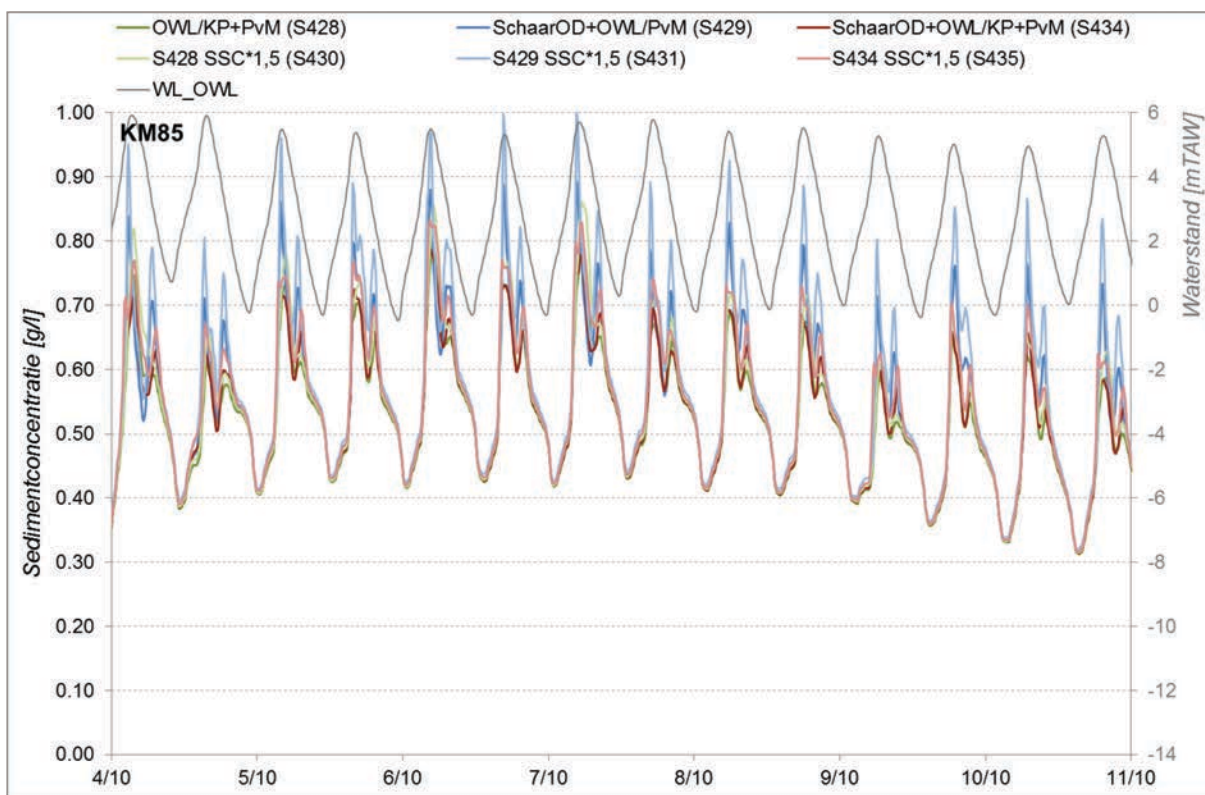


Figuur E 45 – Verloop van de sedimentconcentratie op 75 km van monding Westerschelde – week 5

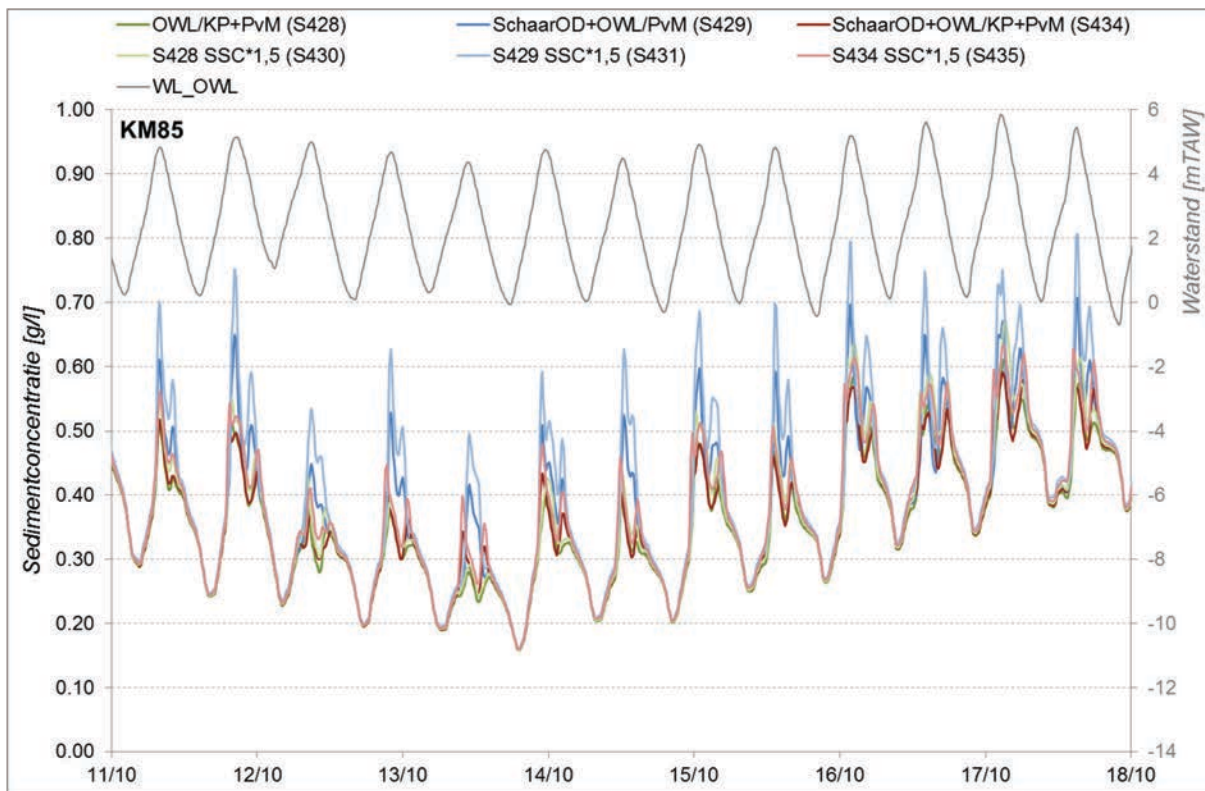
S428-S429-S430-S431-S434-S435 Kilometer 85



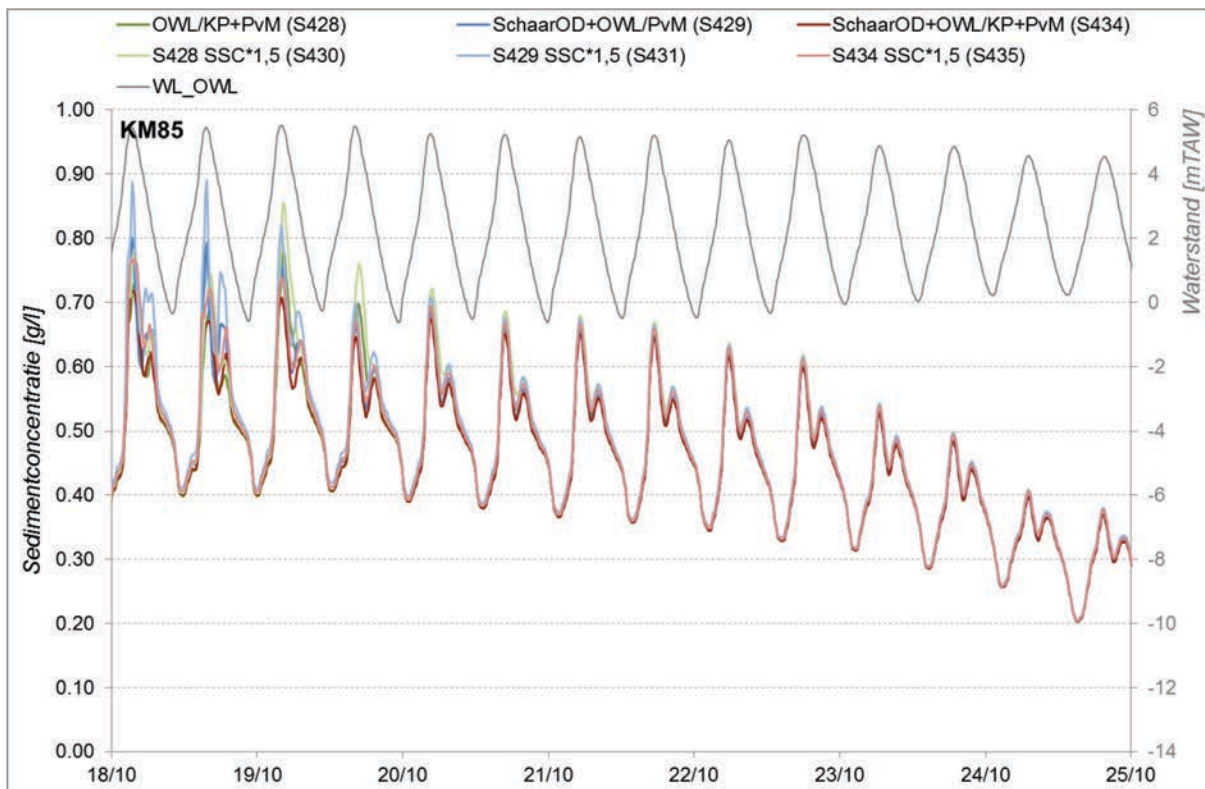
Figuur E 46 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 1



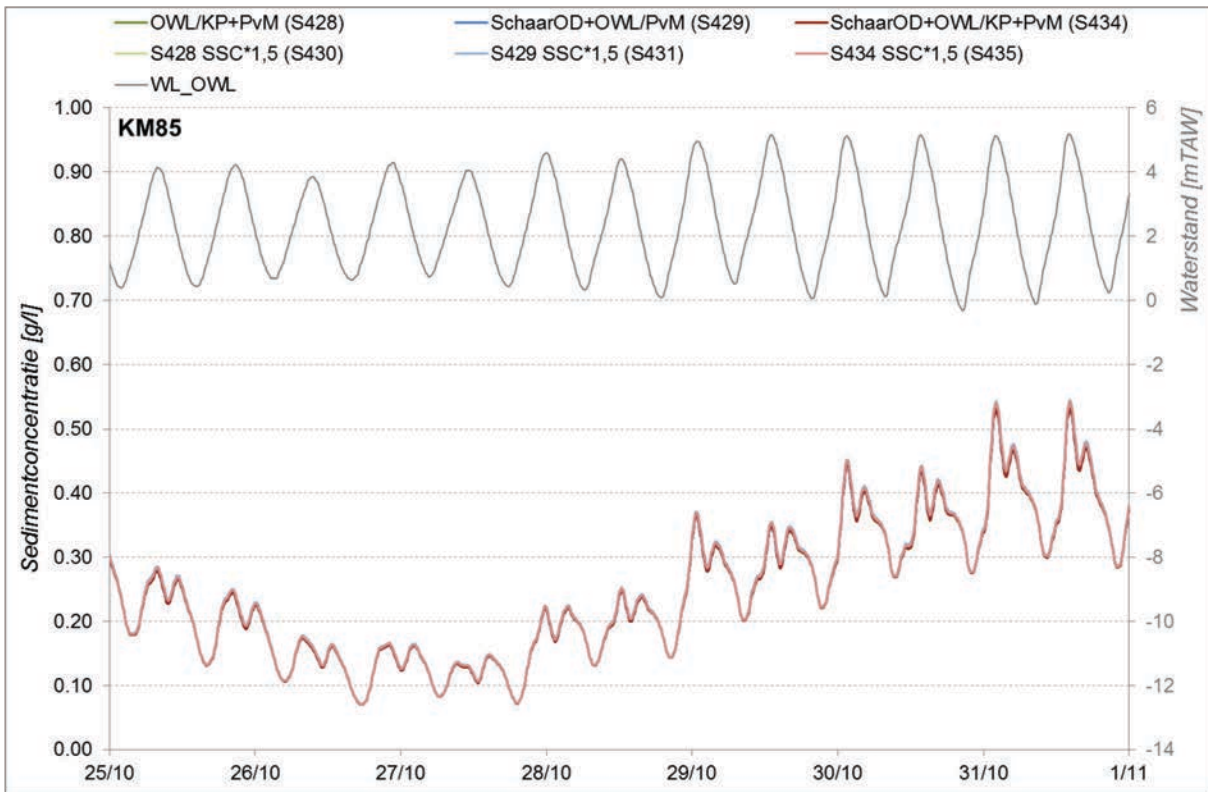
Figuur E 47 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 2



Figuur E 48 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 3



Figuur E 49 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 4



Figuur E 50 – Verloop van de sedimentconcentratie op 85 km van monding Westerschelde – week 5

BIJLAGE F LENGTEPROFIELEN SEDIMENTCONCENTRATIE STORTSCENARIO'S – GEVOELIGHEIDSANALYSE §6.3.1 EN §6.3.2

Legende

S421 = Stortscenario 'huidig' = Oosterweel / Punt van Melsele (OWL/PvM)

S426 = Stortscenario 'huidig' met hoeveelheid gestort slib *1.5

S427 = Stortscenario 'huidig' met hoeveelheid gestort slib *1.75

S428 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' = Oosterweel / Ketelputten+Punt van Melsele (OWL/KP+PvM)

S429 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele (SchOD+OWL/PvM)

S430 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

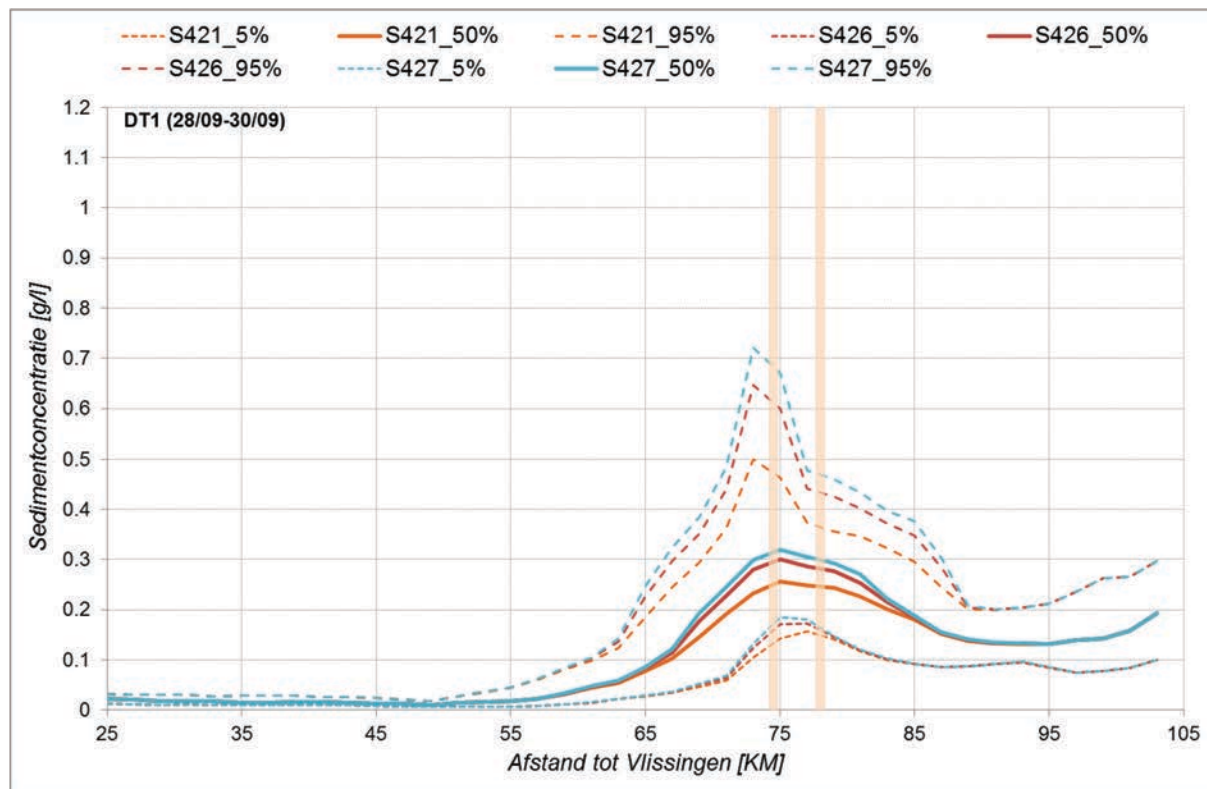
S431 = Stortscenario 'huidig+dichtbij afwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

S434 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' = Schaar van Ouden Doel + Oosterweel / Punt van Melsele + Ketelputten (SchOD+OWL/PvM+KP)

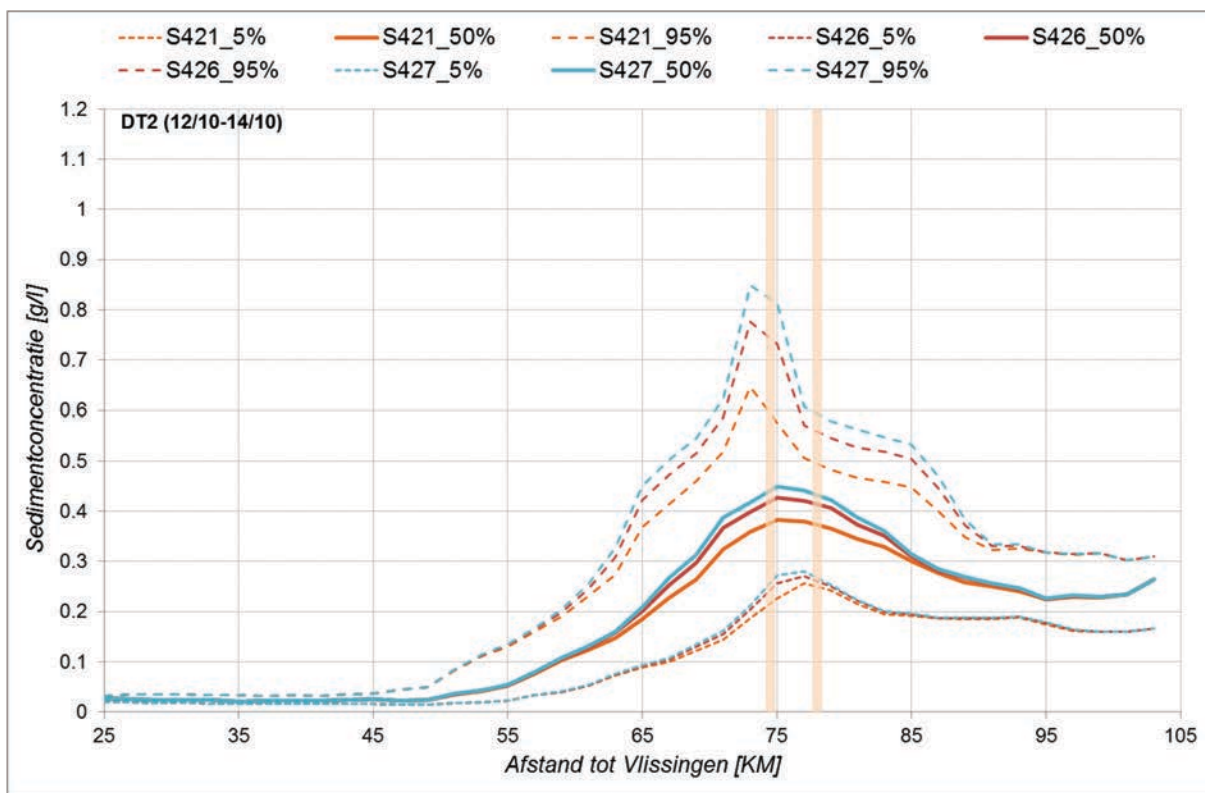
S435 = Stortscenario 'huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts' met hoeveelheid gestort slib *1.5

WL_OWL = waterpeil Oosterweel

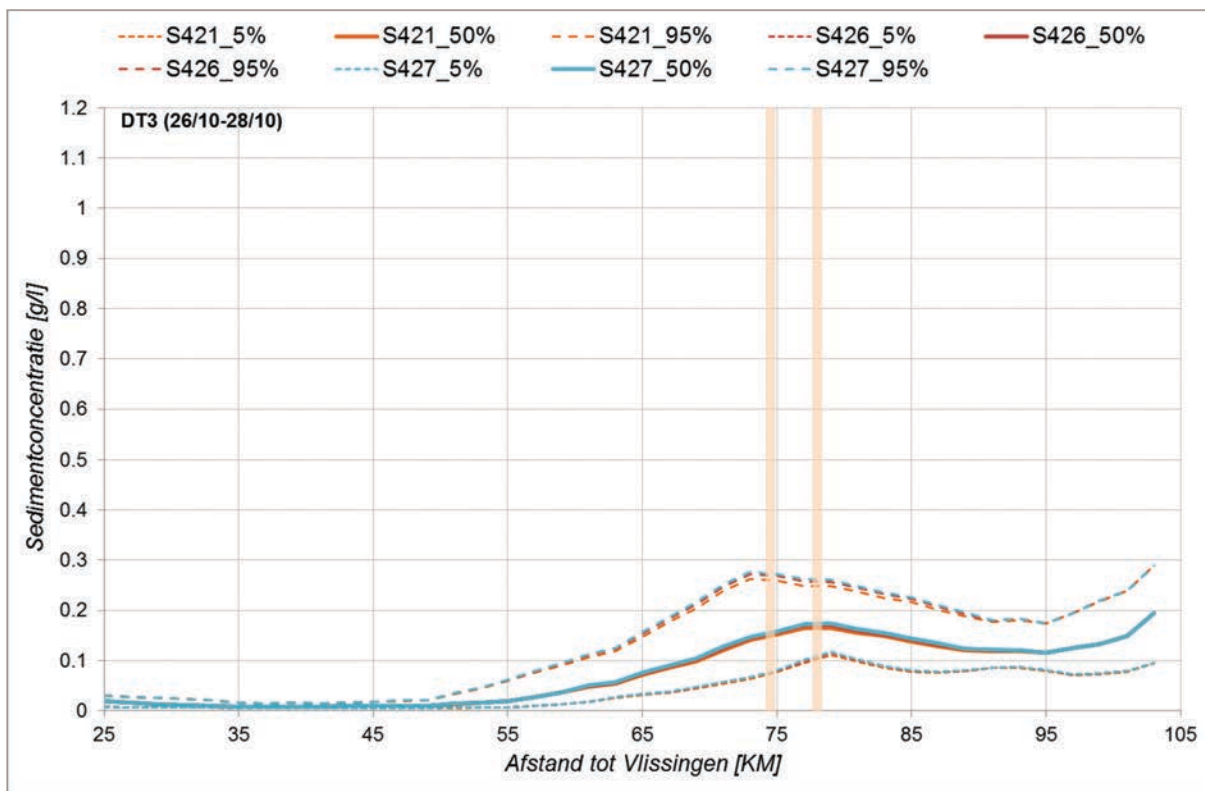
S421-S426-S427



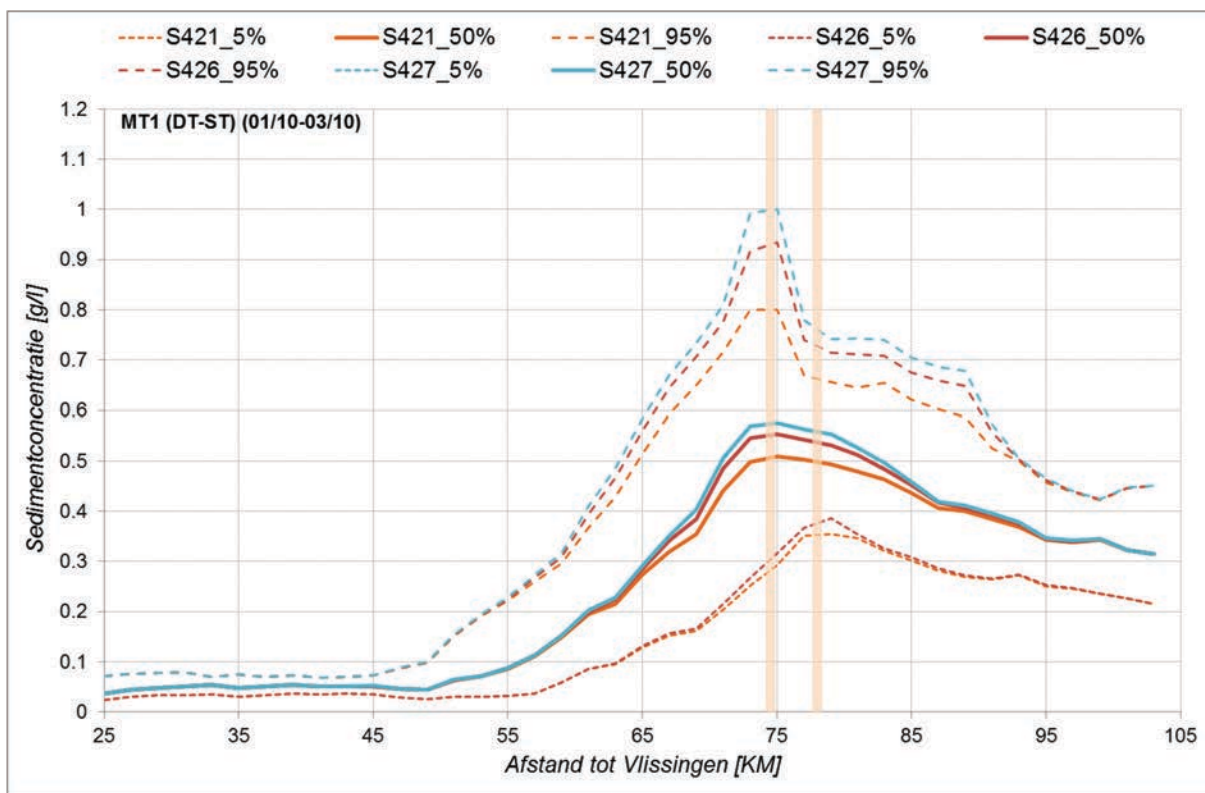
Figuur F 1 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doortijperiode 1



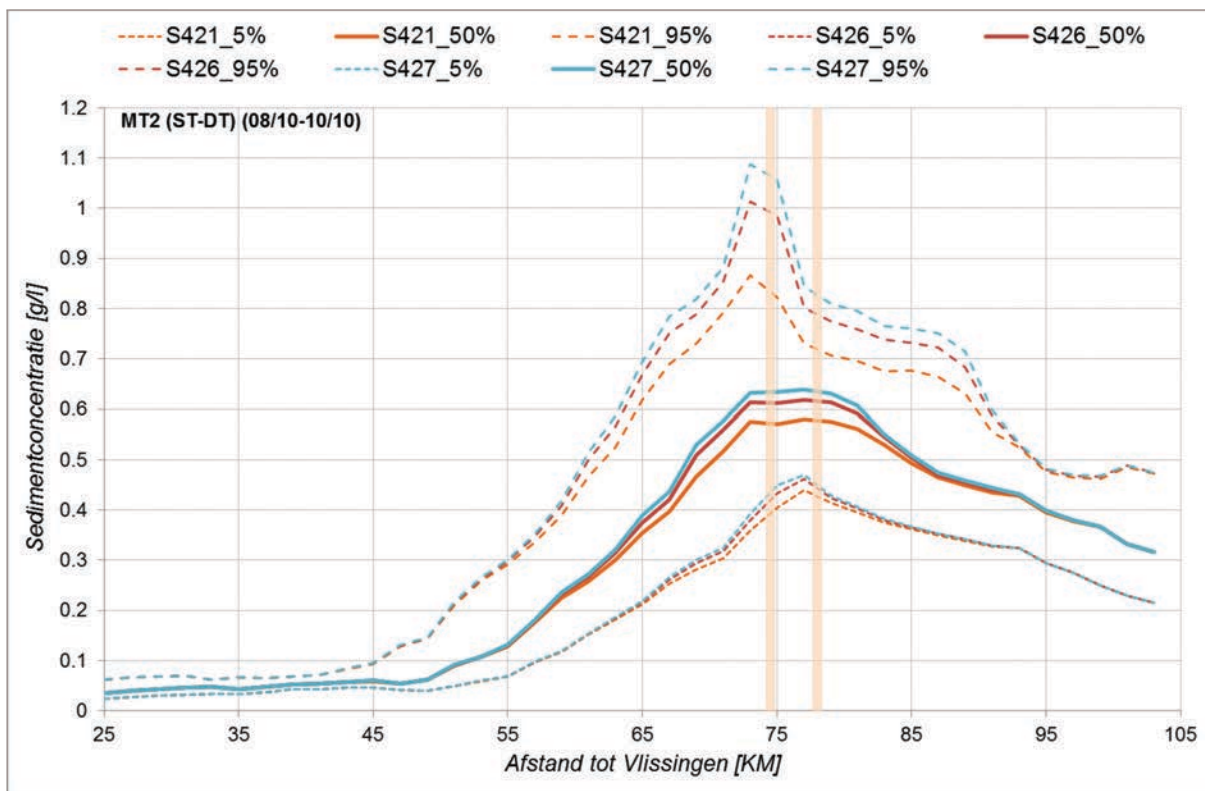
Figuur F 2 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doortijperiode 2



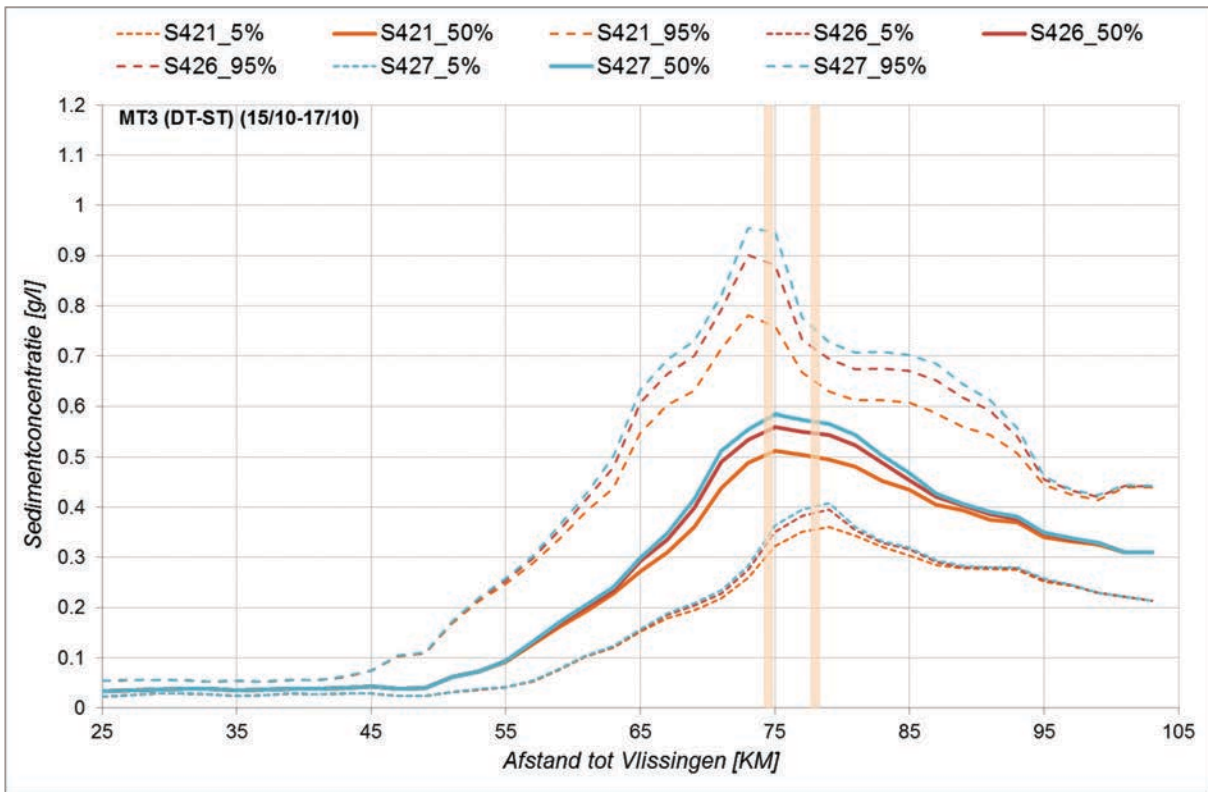
Figuur F 3 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– doortijperiode 3



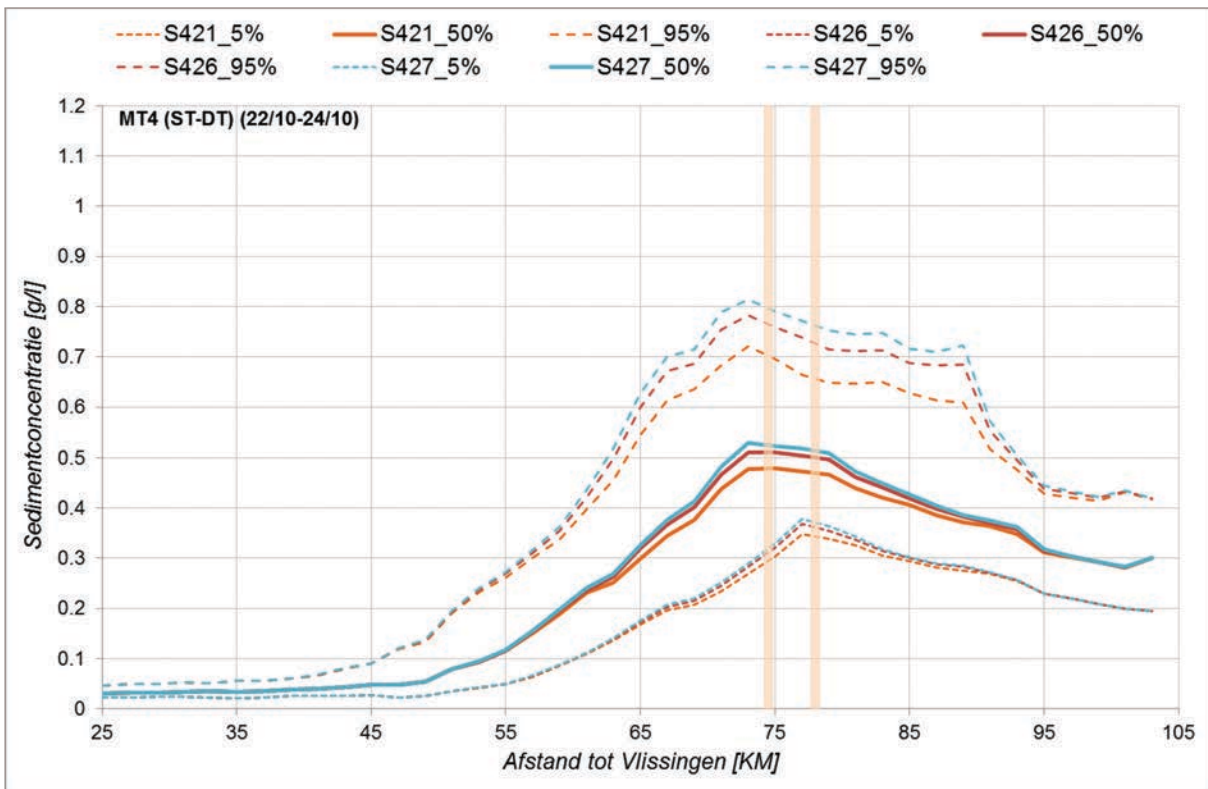
Figuur F 4 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtjperiode 1



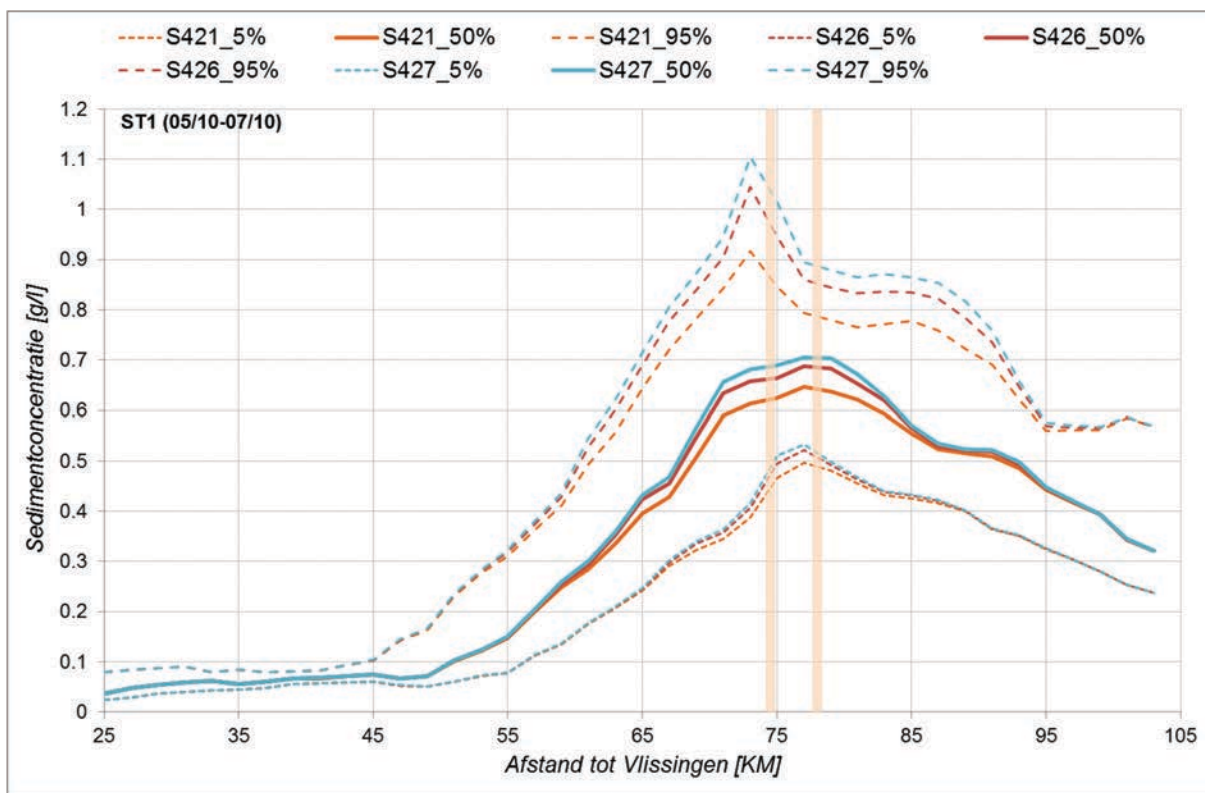
Figuur F 5 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtjperiode 2



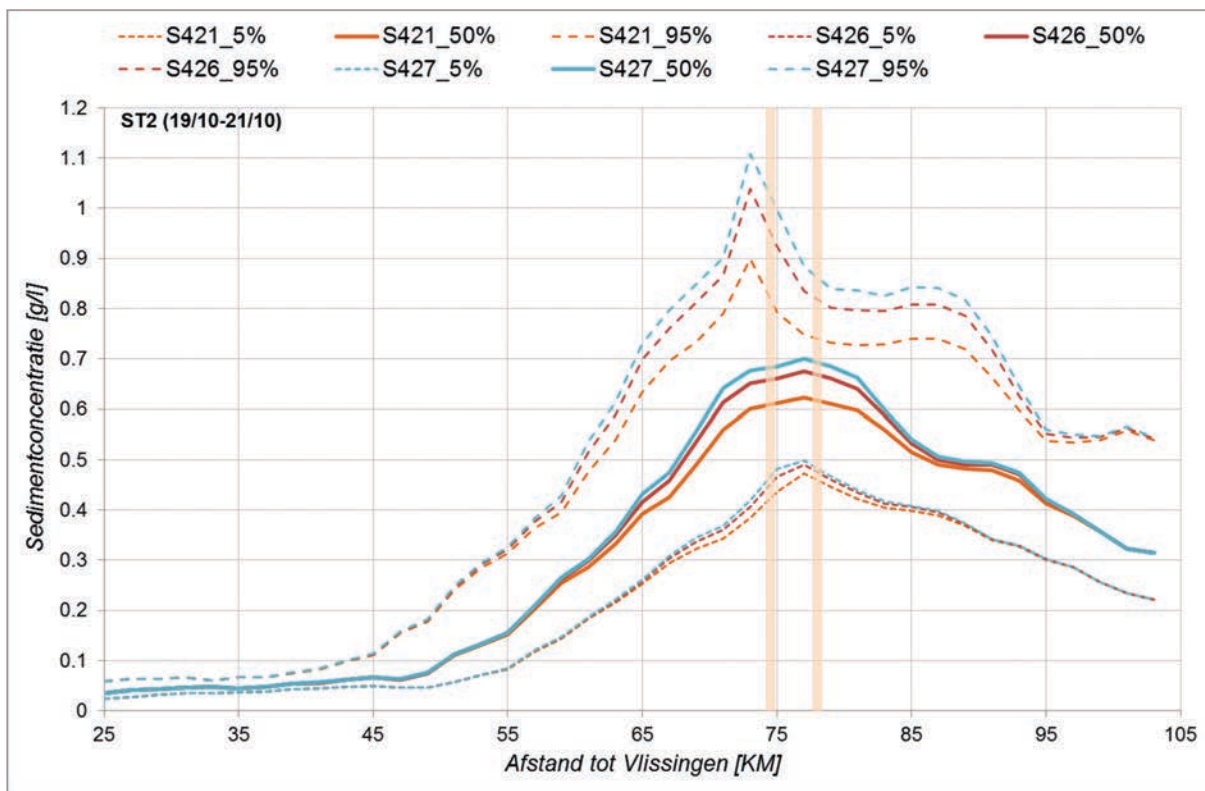
Figuur F 6 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtjijperiode 3



Figuur F 7 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– midtjijperiode 4

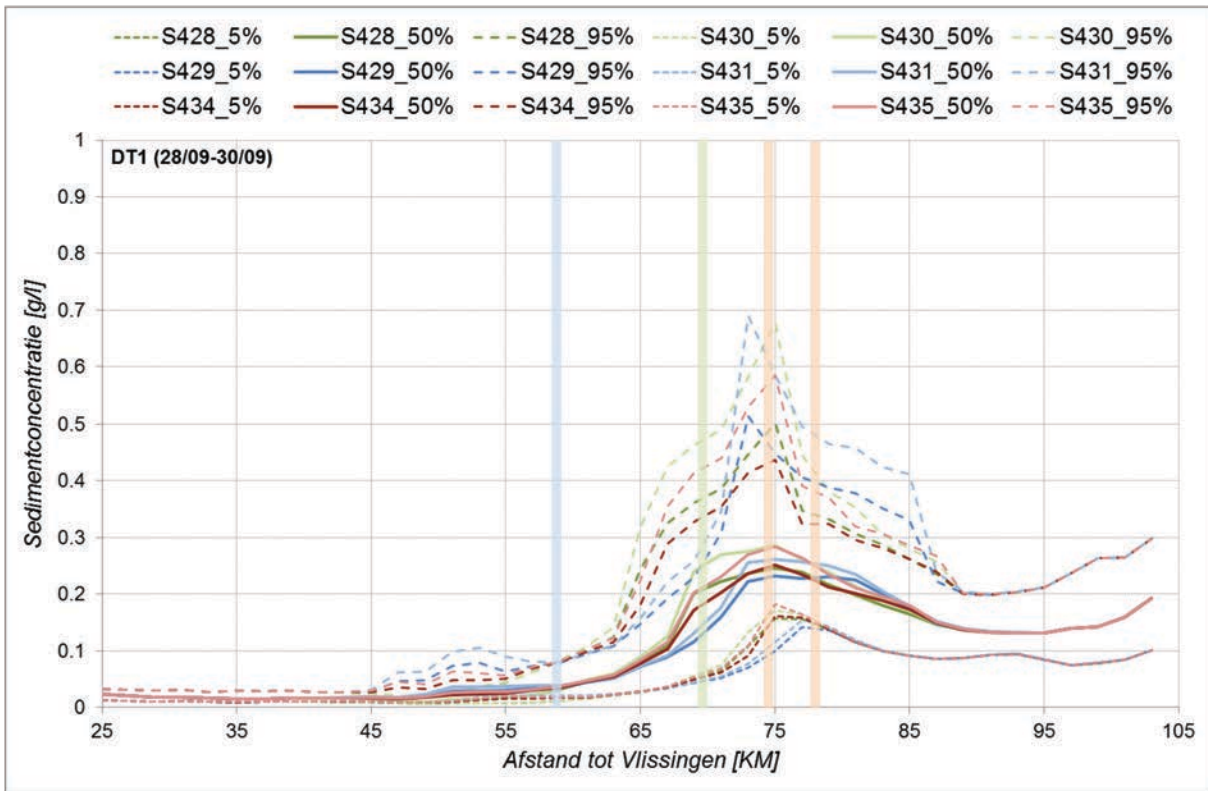


Figuur F 8 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– springtijperiode 1

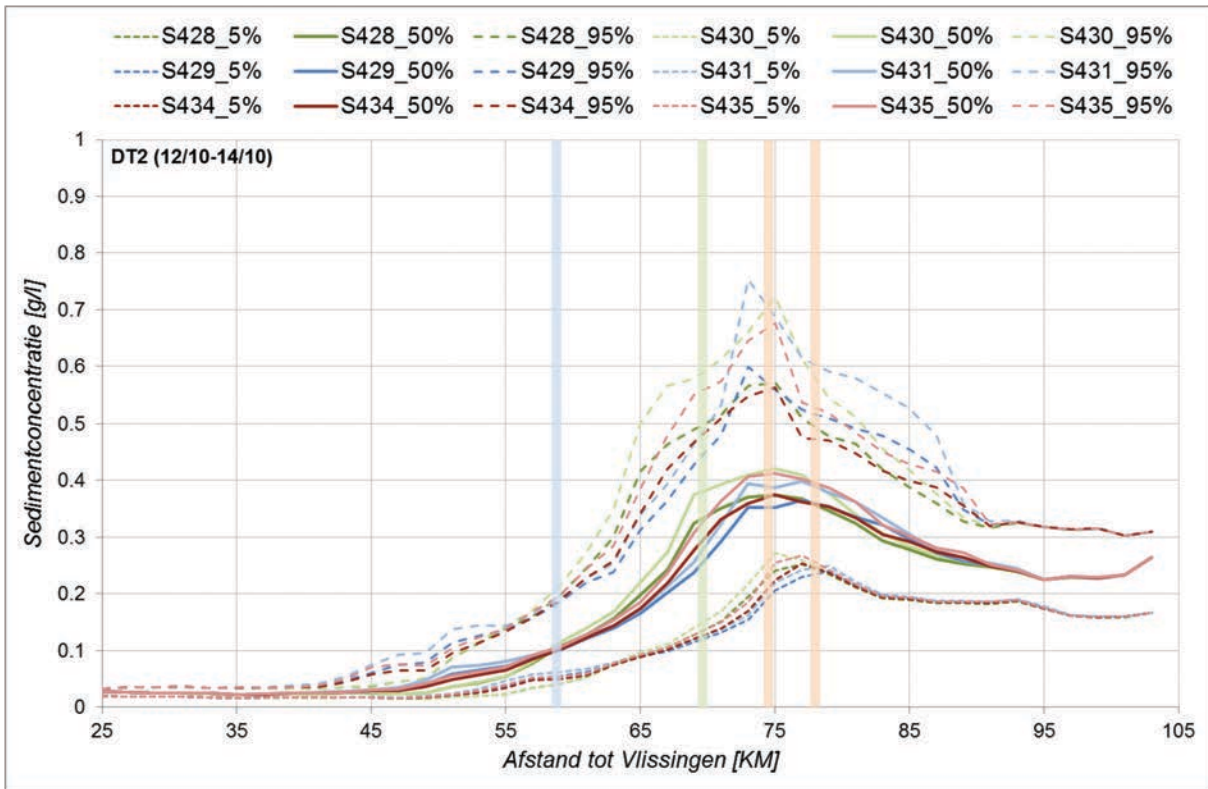


Figuur F 9 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S421-S426-S427– springtijperiode 2

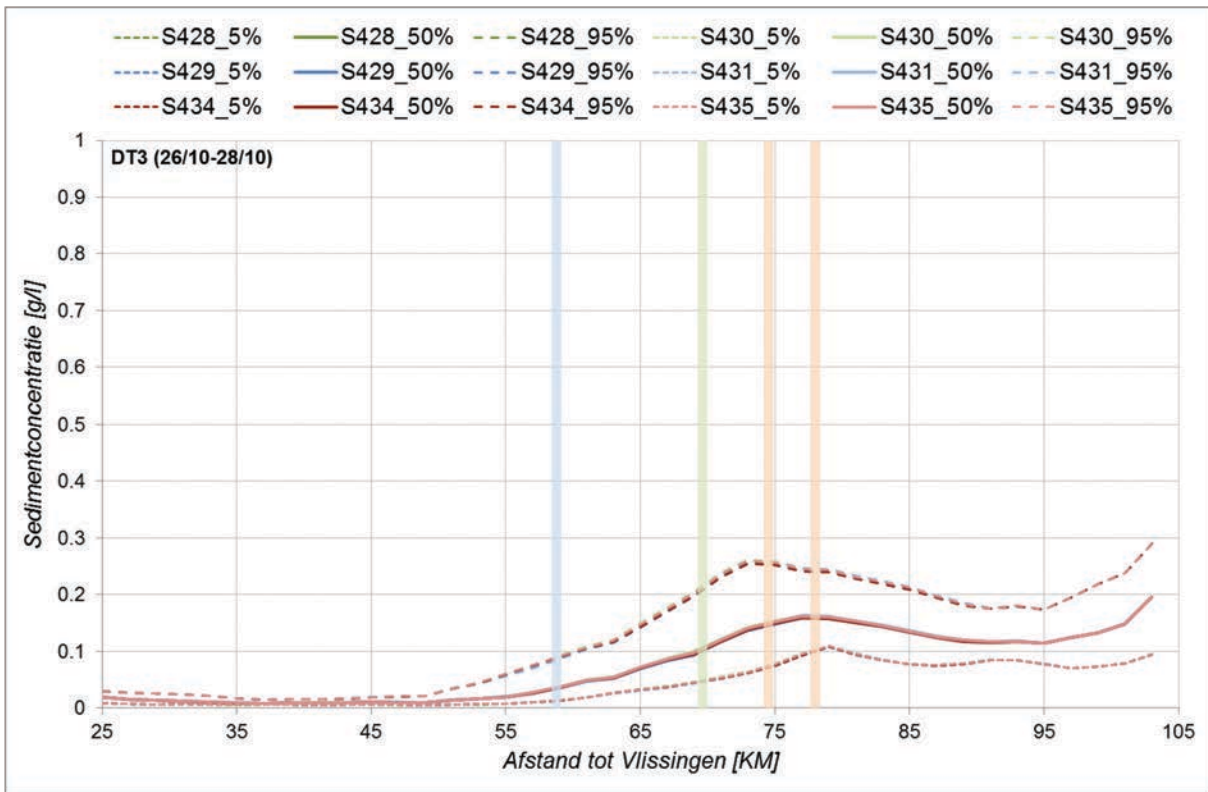
S428-S429-S430-S431-S434-S435



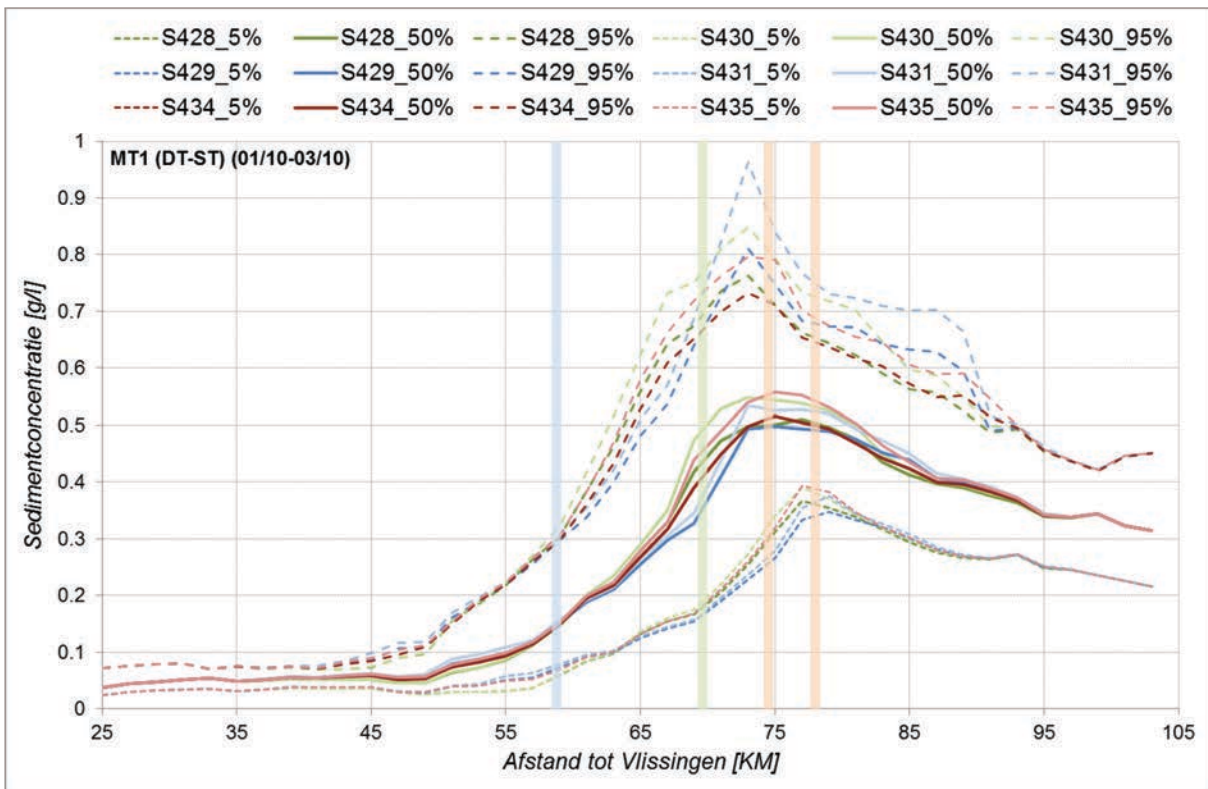
Figuur F 10 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doortijperiode 1



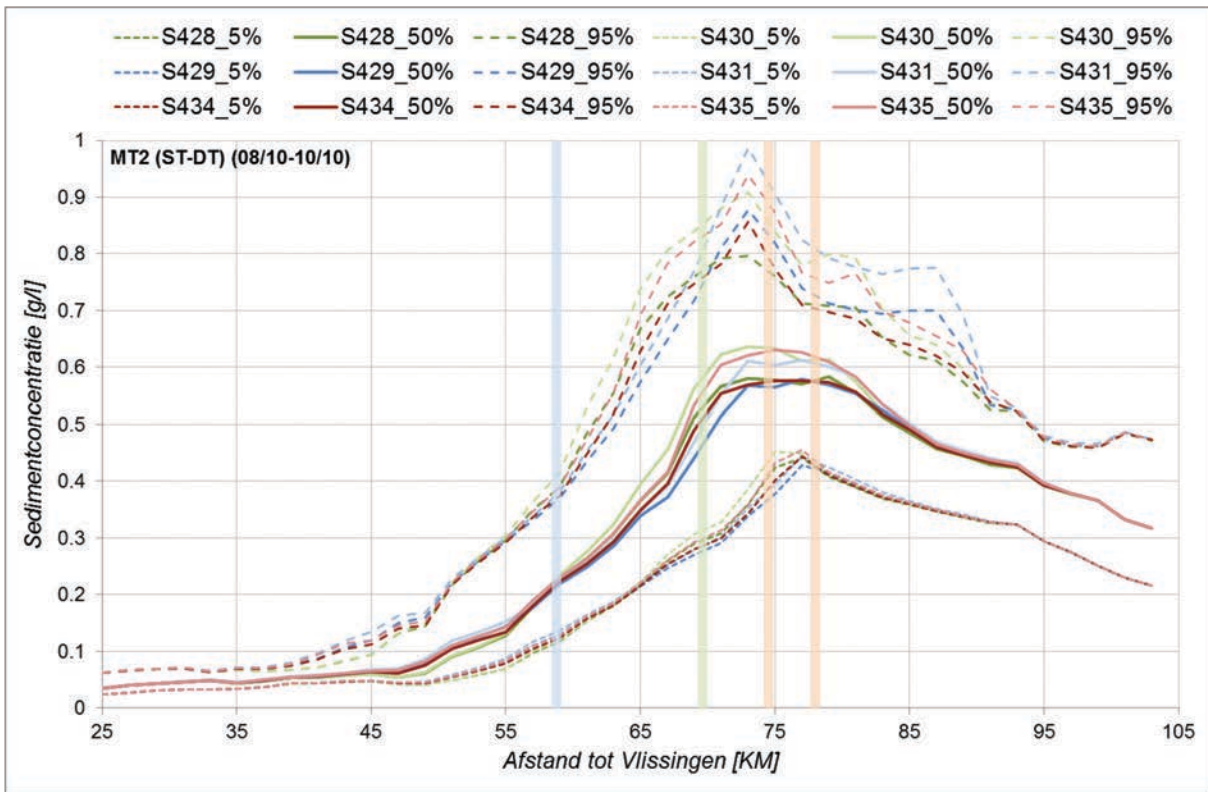
Figuur F 11 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doortijperiode 2



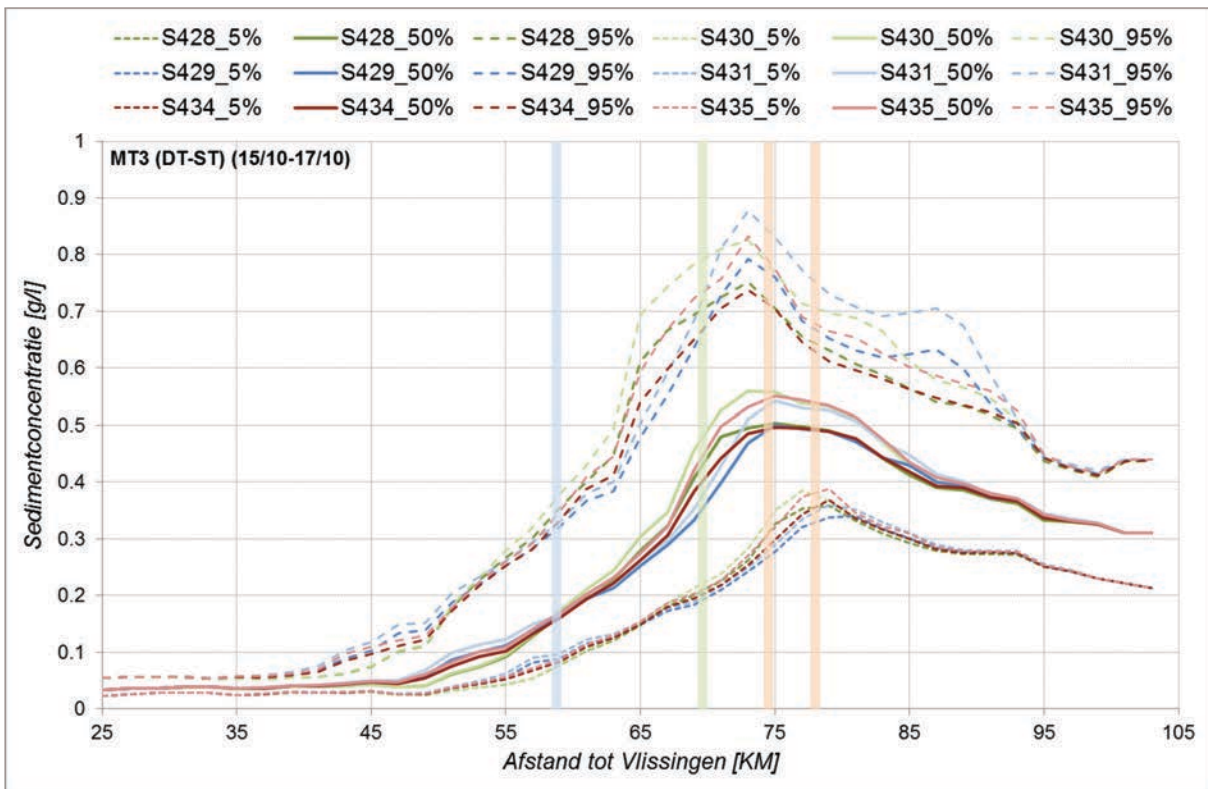
Figuur F 12 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – doortijperiode 3



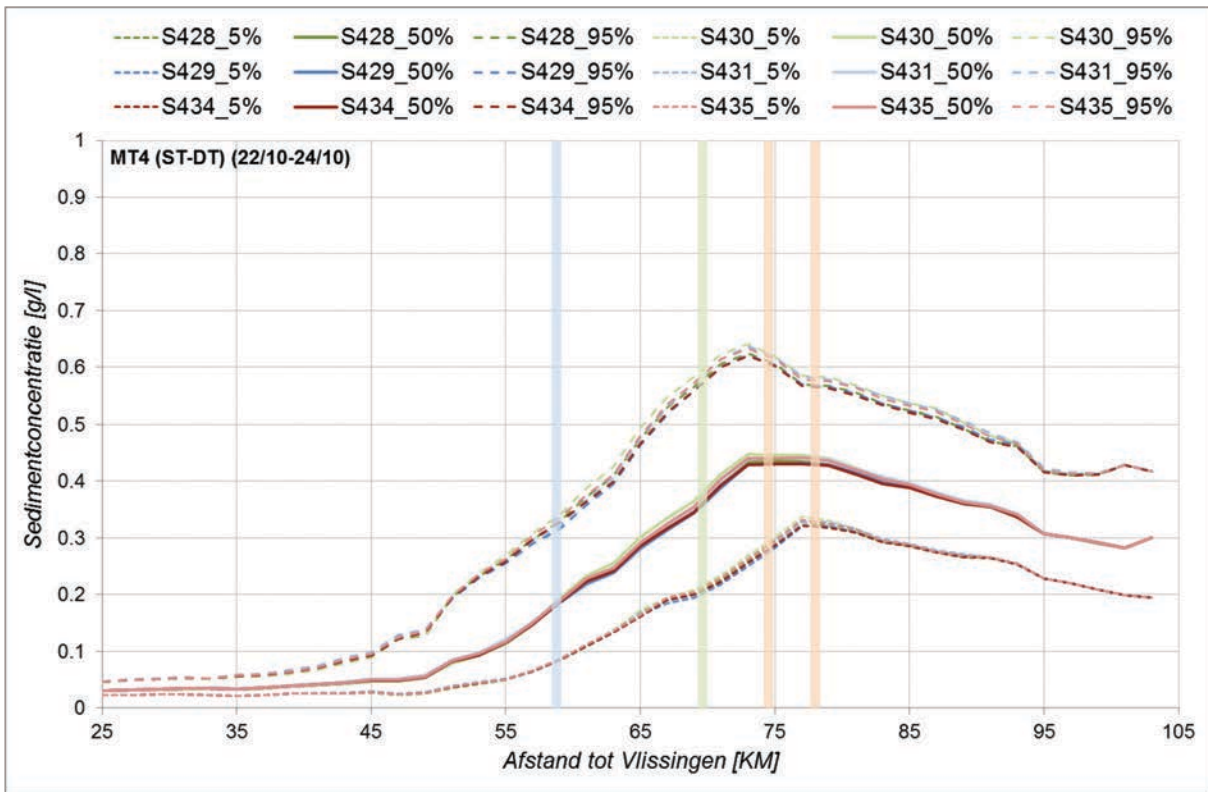
Figuur F 13 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtperiode 1



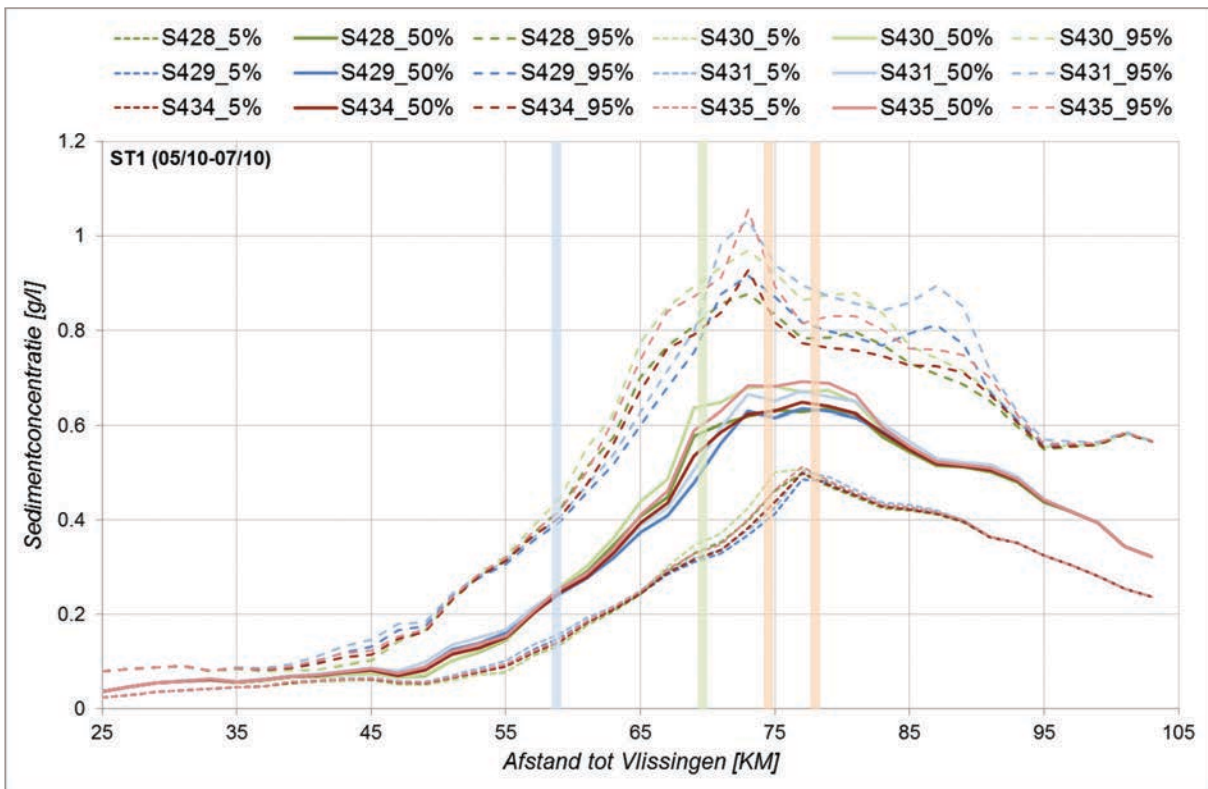
Figuur F 14 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtperiode 2



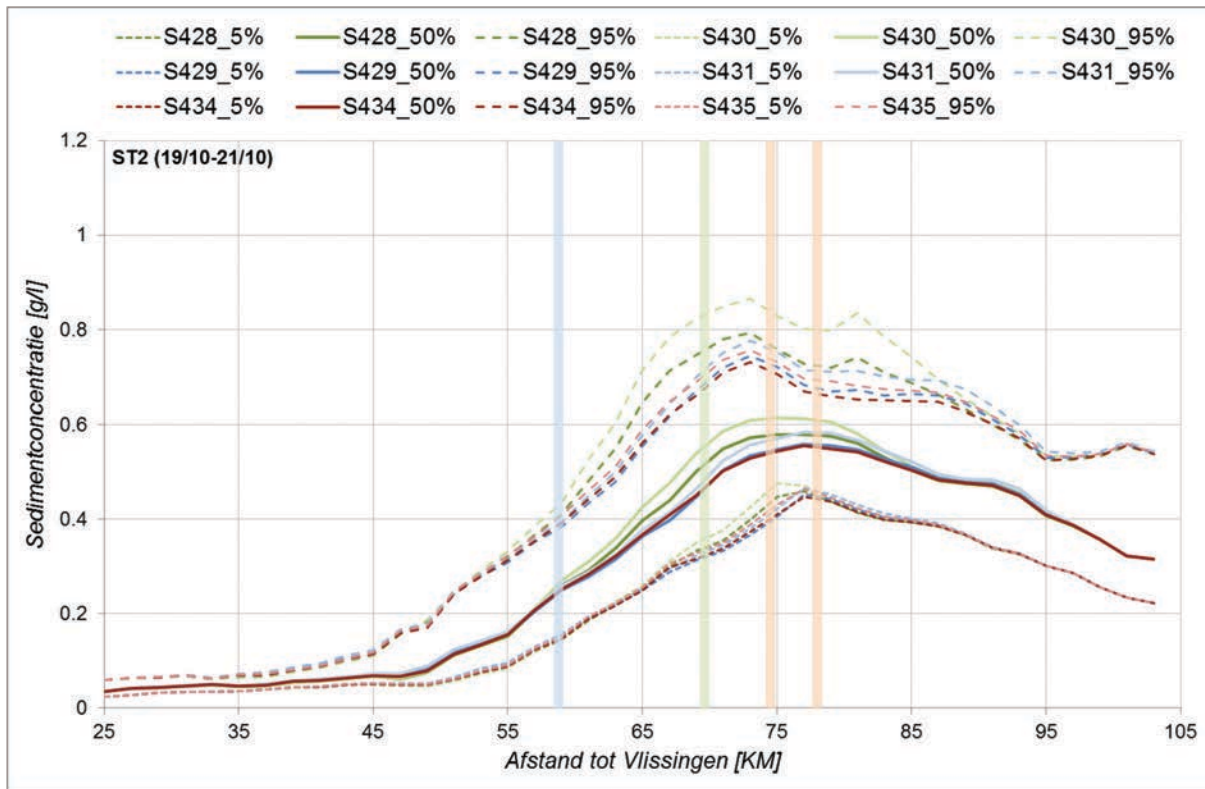
Figuur F 15 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtperiode 3



Figuur F 16 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – midtijperiode 4

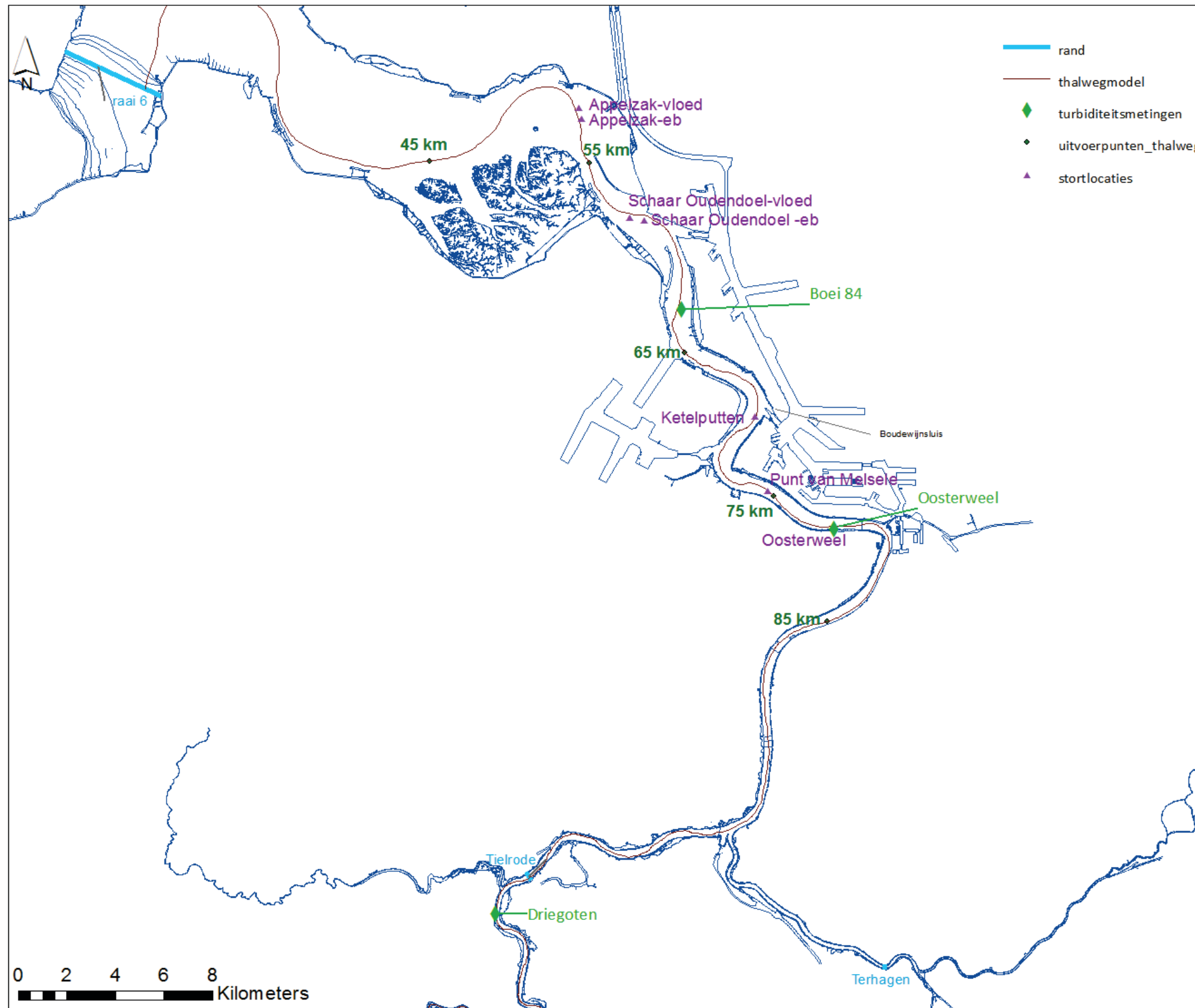


Figuur F 17 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – springtijperiode 1



Figuur F 18 – Lengteprofiel Westerschelde – Zeeschelde met 5^{de}, 50^{ste} en 95^{ste} percentiel sedimentconcentratie simulaties S428-S429-S430-S431-S434-S435 – springtijperiode 2

BIJLAGE A Overzichtskaat en –tabel stortscenario's



Figuur G 1- Overzichtskaat modelranden, uitvoerpunten, turbiditeitsmetingen en stortlocaties

Tabel G 1 - Overzicht scenarioberekeningen stortingen

SCENARIO	EB		VLOED		Stortperiode	Concentratie gestort slib (kg/m ³)	Slibfracties	Opmerkingen
	HW – HW+3u	HW+3u – LW	LW – LW+3u	LW+3u - HW				
S200: zonder stortingen							1	run zonder stortingen
S201: Huidig	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33	1	
S202: Dichtbij	Schaar van Ouden Doel		Ketelputten		25/09 – 14/10	2.33	1	
S203: Afwaarts I	Schaar van Ouden Doel		Schaar van Ouden Doel		25/09 – 15/10	2.33	1	
S204: Afwaarts II	Appelzak		Appelzak		25/09 – 24/10	2.33	1	
S421: Huidig	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33	2	
S422: Dichtbij	Schaar van Ouden Doel		Ketelputten		25/09 – 14/10	2.33	2	
S423: Afwaarts I	Schaar van Ouden Doel		Schaar van Ouden Doel		25/09 – 15/10	2.33	2	
S424: Afwaarts II	Appelzak		Appelzak		25/09 – 24/10	2.33	2	
S425: zonder stortingen							2	run zonder stortingen
S426: Huidig, SSCstort*1.5	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33*1.5	2	verhoogde concentratie slib bij stortingen
S427: Huidig, SSCstort*1.75	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33*1.75	2	verhoogde concentratie slib bij stortingen
S428: Huidig+dichtbij opwaarts	Oosterweel		Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 23/10	2.33	2	
S429: Huidig+dichtbij afwaarts	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Punt van Melsele		25/09 – 18/10	2.33	2	
S430: Huidig+dichtbij opwaarts, SSCstort*1.5	Oosterweel		Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 23/10	2.33*1.5	2	verhoogde concentratie slib bij stortingen
S431: Huidig+dichtbij afwaarts, SSCstort*1.5	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Punt van Melsele		25/09 – 18/10	2.33*1.5	2	verhoogde concentratie slib bij stortingen
S432: Huidig, SSCstort*0.77	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33*0.77	2	kleiner schip, langere stortperiode
S433: Huidig, SSCstort/0.77	Oosterweel		Punt van Melsele		25/09 – 23/10	2.33/0.77	2	groter schip, kortere stortperiode
S434: Huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 18/10	2.33	2	
S435: Huidig+dichtbij opwaarts+afwaarts, SSCstort*1.5	Schaar van Ouden Doel	Oosterweel	Ketelputten	Punt van Melsele	25/09 – 18/10	2.33*1.5	2	verhoogde concentratie slib bij stortingen

DEPARTEMENT MOBILITEIT EN OPENBARE WERKEN

Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
mow.vlaanderen.be
waterbouwkundiglaboratorium.be

////////////////////////////////////



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be