



Vlaanderen
is wetenschap



00_029_4
WL rapporten

Slibbalans Zeeschelde

Deelrapport 4
Historische evolutie SPM

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Slibbalans Zeeschelde

Deelrapport 4 – Historische evolutie SPM

Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2016

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Slibbalans Zeeschelde: Deelrapport 4 – Historische evolutie SPM. Versie 6.0. WL Rapporten, 00_029_4. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea: Antwerpen.

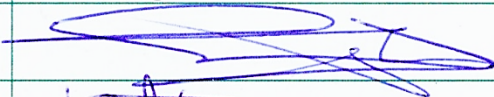
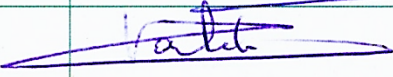
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

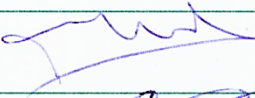
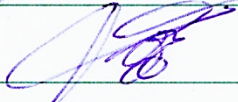
Opdrachtgever:	aMT	Ref.:	WL2016R00_029_4
Keywords (3-5):	Slib; Zeeschelde; SPM; Historische evolutie		
Tekst (p.):	74	Bijlagen (p.):	4
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.
------------	---------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	
Projectleider:	Vanlede, J.	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Verwaest, T.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	

Abstract

Voorliggend rapport bestudeert het effect van bovenafvoer, getij, seizoenen en slibstortingen op de 'suspended particle matter' (SPM) in het Schelde estuarium. Zo wordt bij lage bovenafvoer (typisch voor zomercondities) een duidelijke verhoging waargenomen in SPM concentraties op een afstand 100-140 km van Vlissingen. Vooralnog is niet duidelijk hoe lang er lage bovenafvoer nodig is voor de ontwikkeling van dit estuarien turbiditeitsmaximum (ETM). Ook getij heeft duidelijk zijn effect, en dit zowel op de tijdschaal van een individueel getij als op de tijdschaal van een spring-doodtijcyclus. Zo is bij doortij de SPM concentratie in de Schelde 0.8-0.9 keer de mediaanconcentratie, terwijl dit bij springtij 1.2 keer de mediaanconcentratie is. Naast de invloed van fysische parameters werd ook de lange termijn evolutie van het SPM signaal onderzocht. Hierbij werd een trendanalyse uitgevoerd over de periode 1996-2015 waarbij genormaliseerd werd voor het effect van getij, bovenafvoer en seizoenen. We merken op dat niet alle invloedsfactoren (bijvoorbeeld stortingen) zijn opgenomen in de betreffende analyse (buiten scope opdracht), en de uitgevoerde normalisatie kan beschouwd worden als een eerste verkennende analyse. Een verdere, doorgedreven statistische analyse strekt dan ook tot de aanbevelingen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Het project slibbalans Zeeschelde	1
1.2 Doel van deze studie.....	2
1.3 Opbouw van het rapport	2
2 Methodes	3
2.1 Input datasets	3
2.2 Parameter datasets	4
2.3 Het opwerken van getij-onafhankelijke SPM data tot tij(ds)-informatie	6
2.3.1 Inleiding	6
2.3.2 Methodologie	6
2.4 Bepalen faseverschil horizontaal en verticaal getij	10
3 Beschrijving van de gegevens	15
3.1 Oppervlakte SPM	15
3.1.1 DONAR, CEME en OMES datasets.....	15
3.1.2 Kenteringsvaarten (hoogwater en laagwater).....	20
3.2 Waterkolom SPM.....	22
3.2.1 OMES dataset	22
3.2.2 Halftij eb vaarten	24
3.2.3 Continue dataset.....	26
3.3 Getij.....	27
3.4 Bovenafvoer.....	29
3.5 Stortingen	32
4 Effect op SPM per verklarende parameter.....	34
4.1 Getijfase.....	34
4.1.1 Oppervlakte SPM	34
4.1.2 Waterkolom SPM.....	40
4.2 Springtij-doodtij	49

4.2.1	Oppervlakte SPM	49
4.2.2	Waterkolom SPM.....	51
4.3	Seizoen.....	53
4.3.1	Oppervlakte SPM	53
4.3.2	Waterkolom SPM.....	54
4.4	Bovenafvoer.....	56
4.4.1	Oppervlakte SPM	56
4.4.2	Waterkolom SPM.....	57
4.5	Stortingen	58
5	Historische evolutie oppervlakte SPM (1996-2015).....	60
5.1	Normalisatie van het oppervlakte SPM signaal	60
5.1.1	Over individueel getij.....	60
5.1.2	Over springtij-doodtijcyclus	61
5.1.3	Seizoen en bovenafvoer.....	62
5.1.4	Toepassing van normalisatie op de volledige dataset van oppervlakte SPM.....	63
5.2	Lange termijn wijzigingen in het oppervlakte SPM signaal	64
5.3	Relatie met de bovenafvoer op jaarbasis	68
6	Conclusies en aanbevelingen	70
6.1	Het getij	70
6.2	Bovenafvoer en de seizoenen.....	71
6.3	Historische evolutie SPM (1996-2015)	72
6.4	Aanbevelingen	73
7	Referenties	74
	Appendix A – Normalisatietabellen SPM.....	A1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht deelstudies binnen project slibbalans Zeeschelde	1
Tabel 2 – Overzicht beheersvragen	2
Tabel 3 – Overzicht van de gebruikte gegevens voor de deelstudie ‘historische evolutie SPM’ binnen de studie ‘slibbalans Zeeschelde’	3
Tabel 4 – Overzicht van de opgebouwde parameter datasets	5
Tabel 5 – Overzicht van de gemiddelde waarden voor het getijverschil te Antwerpen (1971-2012) met bijhorende k-waarden.....	7
Tabel 6 – Overzicht van de gemiddelde tijvertraging (1971-2010) ten opzichte van Vlissingen voor doortij-middeltij-springtij bij hoog- en laagwater	8
Tabel 7 – Datastructuur van de opgewerkte getij-onafhankelijke SPM dataset.....	9
Tabel 8 – Overzicht van een aantal karakteristieke percentielwaarden voor de bovenafvoer te Melle (berekend over de periode 1996-2015)	30
Tabel 9 – Relatieve verhouding $SPM_{\text{getijfase}}/SPM_{\text{mediaan}}$ (berekend over de periode 1996-2015) voor de verschillende deelzones.	51
Tabel 10 – Relatieve verhouding $SPM_{\text{getijfase}}/SPM_{\text{mediaan}}$ (berekend over de periode 2001-2010) voor de Beneden- en Boven-Zeeschelde.	53
Tabel 11 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde per deelgebied en de SPM mediaanwaarde per seizoen per deelgebied, berekend voor de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde over de periode 1995-2012.....	63
Tabel 12 – Normalisatietabel met jaarlijkse correctiefactoren per deelgebied en per parameter.	65

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Meetlocaties van de verschillende input datasets (HTE = Halftij-eb; KLW = kentering laagwater; KHW = kentering hoogwater).....	4
Figuur 2 – Evolutie van het jaargemiddelde getijverschil (middeltij) te Antwerpen.....	7
Figuur 3 – Getijvertragingen in functie van de tijd, voorgesteld per getijfase, voor de getijpost Antwerpen .	8
Figuur 4 – Stroomsnelheid in functie van het tijdstip HW (a) en tijdstip LW (b) voor de continue meetlocaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km).....	11
Figuur 5 – Tijdsverschil tussen tijdstip kentering (horizontaal getij) en tijdstip extremum (verticaal getij) voor hoogwatercondities (donkerblauwe lijn) en laagwatercondities (lichtblauwe lijn).	12
Figuur 6 – Tijdsverschil tussen tijdstip maximaal debiet en tijdstip HW (donkerblauwe lijn) en tijdstip LW (lichtblauwe lijn) gedurende de vloedfase (a) en de ebfase (b).....	13
Figuur 7 – Gemiddeld tijdstip van maximale en minimale stroomsnelheid (i.e. horizontaal getij) ten opzichte van het tijdstip van HW en LW (i.e. verticaal getij) voor het Schelde estuarium.....	14
Figuur 8 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per dataset	15
Figuur 9 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per 10 km cluster.....	16
Figuur 10 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per jaar	16
Figuur 11 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen ten opzichte van hoogwater (HW)	17
Figuur 12 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen over een springtij-doodtijcyclus	17
Figuur 13 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per seizoen	18
Figuur 14 – Mediaanwaarden voor oppervlakte SPM langsheen het estuarium voor de verschillende meetlocaties van de DONAR, CEME en OMES datasets over de periode 1971-2015.....	19
Figuur 15 – Mediaanwaarden voor oppervlakte SPM langsheen het estuarium voor de getij-onafhankelijke SPM dataset (zie Tabel 4) over de tijdsperiode 1971-2015 en over afstandsblokken van 10 km	19
Figuur 16 – Verdeling van de kenteringsmetingen	20
Figuur 17 – Verdeling van de kenteringsmetingen per meetlocatie.....	20
Figuur 18 – Verdeling van de kenteringsmetingen per jaar	21
Figuur 19 – Mediaanwaarden voor de oppervlakte SPM langsheen het estuarium tijdens kentering laagwater en kentering hoogwater (respectievelijk KLW en KHW) over de tijdsperiode 2001-2012	21
Figuur 20 – Verdeling van de getij-onafhankelijke waterkolom SPM metingen per meetlocatie en per diepteklasse.....	22
Figuur 21 – Verdeling van de getij-onafhankelijke waterkolom SPM metingen per jaar en per diepteklasse.	23
Figuur 22 – SPM mediaanwaarden langsheen het estuarium voor verschillende waterkolomdieptes over de tijdsperiode 2001-2010.	24
Figuur 23 – Verdeling van de halftij-eb metingen per meetlocatie en per diepteklasse.	25
Figuur 24 – Verdeling van de halftij-eb metingen per jaar en per diepteklasse.	25

Figuur 25 – SPM mediaanwaardes langsheen het estuarium tijdens de halftij-eb fase van het getij en dit voor verschillende waterkolomdieptes over de tijdsperiode 2008-2012.	26
Figuur 26 – Boxplot van de waterkolom SPM gemeten over de periode 2008-2012 ter hoogte van de locaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km) (Figuur 1).	27
Figuur 27 – Historische evolutie van het hoogwaterpeil (A) en laagwaterpeil (B) te Antwerpen over de periode 1971-2015.	28
Figuur 28 – Bovenafvoer te Melle (daggemiddelde waardes) voor het jaar 2012.	29
Figuur 29 – Frequentieverdeling bovenafvoer te Melle (berekend over de periode 1995-2012).	30
Figuur 30 – Bovenafvoer te Melle per seizoen (berekend over de periode 1995-2012).	31
Figuur 31 – Historische evolutie van de jaarlijkse bovenafvoer te Melle (mediaanwaardes) over de tijdsperiode 1990-2015.	31
Figuur 32 – De belangrijkste stortlocaties slib in het Schelde estuarium: Oosterweel, Plaat van Boomke en Punt van Melsele.	32
Figuur 33 – Tijdsevolutie (1995-2015) van de hoeveelheid slib gestort ter hoogte van Oosterweel, Plaat van Boomke en Punt van Melsele.	33
Figuur 34 – Relatie tussen de getijfase en de oppervlakte SPM (1996-2015) ten opzichte van HW (a) en LW (b) langsheen het Schelde estuarium.	36
Figuur 35 – Oppervlakte SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van HW) voor de deelgebieden Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015.	37
Figuur 36 – Oppervlakte SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van LW) voor de deelgebieden Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015.	38
Figuur 37 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase, berekend per afstandscluster (op basis van 10% percentielwaardes) over de tijdsperiode 1996-2015.	39
Figuur 38 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.	39
Figuur 39 – Relatie tussen de getijfase en de diepte-gemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) ten opzichte van tijdstip HW (a) en tijdstip LW (b) langsheen het Schelde estuarium.	41
Figuur 40 – Waterkolom SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van HW) voor de deelgebieden Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.	42
Figuur 41 – Waterkolom SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van LW) voor de deelgebieden Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.	43
Figuur 42 – Waterkolom SPM in functie van het tijdstip ten opzichte van HW (a) en LW (b) voor de meetlocaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km) (locaties zie Figuur 1).	44
Figuur 43 – Dieptegemiddelde waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.	45
Figuur 44 – Waterkolom SPM in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.	45
Figuur 45 – Stroomsnelheid in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.	46
Figuur 46 – Sediment flux op het meetpunt in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.	46

Figuur 47 – Relatie tussen de getijfase (tijdstip ten opzichte van HW) en de waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium op 0-25% waterkolomdiepte (nabij oppervlak), 25-50%, 50-75% en 75-100% waterkolomdiepte (nabij bodem).....	47
Figuur 48 – Relatie tussen de getijfase (tijdstip ten opzichte van LW) en de waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium op 0-25% waterkolomdiepte (nabij oppervlak), 25-50%, 50-75% en 75-100% waterkolomdiepte (nabij bodem).....	48
Figuur 49 – Relatie tussen de k-waarde en de oppervlakte SPM (1996-2015) langsheen het Schelde estuarium.....	49
Figuur 50 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende doottij, gemiddeld tij en springtij, berekend per ruimtecluster (gebaseerd op percentielwaardes) over de tijdsperiode 1996-2015.	50
Figuur 51 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende doottij, gemiddeld tij en springtij, voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.....	50
Figuur 52 – Relatie tussen de k-waarde en de dieptegemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium.....	51
Figuur 53 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende doottij, gemiddeld tij en springtij, berekend per 10 km cluster over de tijdsperiode 2001-2010.	52
Figuur 54 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende doottij, gemiddeld tij en springtij, voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.....	52
Figuur 55 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, berekend per ruimtecluster (gebaseerd op percentielwaardes) over de tijdsperiode 1996-2015.....	53
Figuur 56 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.	54
Figuur 57 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, berekend per 10 km cluster over de tijdsperiode 2001-2010.	55
Figuur 58 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.	55
Figuur 59 – Relatie tussen de bovenafvoer te Melle (dagwaardes) en de oppervlakte SPM (1996-2015) langsheen het Schelde estuarium.	56
Figuur 60 – De mediaan oppervlakte SPM waarde voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde bij lage bovenafvoer, gemiddelde bovenafvoer en hoge bovenafvoer (berekend over periode 1996-2015).	57
Figuur 61 – Relatie tussen de bovenafvoer te Melle en de diepte-gemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium.	58
Figuur 62 – Voorstelling van de storthoeveelheden en frequenties in het stortvak Oosterweel in het jaar 2009.....	59
Figuur 63 – Waterkolom SPM evolutie in de eerste twee weken na baggeractiviteit (Oosterweel).....	59
Figuur 64 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde en SPM mediaanwaarde per getijfase (i.e. de correctiefactor) berekend voor de 3 verschillende deelzones over de periode 1996-2015.....	61
Figuur 65 – Relatie tussen de k-waarde en de SPM correctiefactor berekend over de periode 1996-2015..	62
Figuur 66 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde in de Boven-Zeeschelde en SPM mediaanwaarde per bovenafvoerklasse (i.e. de correctiefactor), berekend voor de Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015	63

Figuur 67 – Evolutie van de niet-genormaliseerde (a) en genormaliseerde (b) oppervlakte SPM over de tijdsperiode 1996-2015 langsheen het volledige estuarium.....	66
Figuur 68 – Evolutie van de niet-genormaliseerde (A) en genormaliseerde of residuele (B) oppervlakte SPM over de tijdsperiode 1996-2015 voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.....	67
Figuur 69 – Voorstelling van de oppervlakte SPM langsheen het estuarium over de tijdsperiode 1996-2015 (boven) en de jaarlijkse mediaan bovenafvoer te Melle (onder).....	68
Figuur 70 – Relatie tussen de jaarlijkse bovenafvoer te Melle (mediaan) en de jaarlijkse mediaan oppervlakte SPM concentratie in de zone 95 tot 125 km van Vlissingen.	69

1 Inleiding

1.1 Het project slibbalans Zeeschelde

De doelstellingen van het project “slibbalans Zeeschelde” zijn meervoudig. Enerzijds dient de systeemkennis met betrekking tot de slibhuishouding en de invloed ervan op de estuariene habitats op een hoger niveau te worden gebracht. Hiervoor is een grondige analyse nodig van bestaande literatuur, meetgegevens, en modelresultaten die de historische evolutie van de slibvoorraden of bergingszones in de Zeeschelde¹ (“sinks” in de slibbalans) in kaart brengen. Naast de “sinks” is er ook een grondige studie nodig van de zogenaamde “sources” in de slibbalans. De typische “sources” voor slib zijn de aanvoer van slib vanuit de bovenstroomse gebieden en vanuit de zee, en de erosie van slib op de waterbodem. Tenslotte dienen de ingrepen die hebben plaatsgevonden gedocumenteerd te worden (e.g., baggerwerken, aanleg GGG’s). Deze kunnen zowel een “source” als een “sink” zijn. Een overzicht van de verschillende deelstudies die worden uitgevoerd binnen slibbalans Zeeschelde zijn weergegeven in Tabel 1. Naast het vergroten van de systeemkennis omtrent slibhuishouding is een tweede belangrijke doelstelling van het project antwoord geven op een aantal concrete beheersvragen (Tabel 2). Voorliggende deelstudie sluit nauw aan bij beheersvragen 2 en 3 (zie Tabel 2, alsook §1.2).

Tabel 1 – Overzicht deelstudies binnen project slibbalans Zeeschelde

Deelrapport	Titel
1	Metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2012
2	Sediment load for the river Scheldt and its main tributaries (1971 – 2012)
3	Inventarisatie van bestaande kennis met betrekking tot de slibhuishouding van de Zeeschelde
4	Historische evolutie van SPM
5	Metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2013
6	Historische evolutie verhouding marien/fluviatiel slib
7	Historische evolutie van slib in de waterbodem
8	Historische analyse van aanslibbing op intertidale gebieden
9	Hydrodynamisch model historische situatie
10	Slibtransport model historische situatie
11	Analyse evolutie slibhuishouding

¹ De Zeeschelde bestaat uit de Beneden-Zeeschelde en de Boven-Zeeschelde en is gelegen in het Belgische deel van het Schelde estuarium (Figuur 1).

Tabel 2 – Overzicht beheersvragen

Beheersvraag	Omschrijving
1	Wat is het effect van de aanleg een getijdok in de Beneden-Zeeschelde op de slibhuishouding?
2	Wat is de evolutie van de fysische parameters die de slibhuishouding beïnvloeden?
3	Hoe is de slibhuishouding in het Schelde-estuarium geëvolueerd over de laatste decennia en wat is de evolutie in de componenten van de slibhuishouding? <ul style="list-style-type: none"> a) Evolutie van de fluviaatiele sedimentaanvoer b) Evolutie van de verhouding marien/fluviaatiele slib in de Beneden-Zeeschelde c) Evolutie van de sedimentflux naar aanslibbingsgebieden (slikken en schorren, waterbodembodem, toegangsgreuelen en Deurganckdok) d) Morfologische evolutie van de stortzones voor slib

1.2 Doel van deze studie

In het kader van het project “slibbalans Zeeschelde” wordt aan het waterbouwkundig laboratorium gevraagd om een analyse te maken van de beschikbare metingen van gesuspendeerd materiaal in de waterkolom. Het doel van deze studie is om enerzijds de systeemkennis te vergroten met betrekking tot het effect van fysische parameters op het SPM signaal, en anderzijds om de lange termijn evolutie van het SPM signaal te bestuderen. Deze doelstellingen sluiten respectievelijk aan bij beheersvragen 2 en 3 (zie Tabel 2).

1.3 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodes die in deze studie werden toegepast. Hierin wordt onder meer beschreven welke datasets in dit rapport worden gebruikt en hoe verschillende datasets met elkaar werden gecombineerd. Eveneens wordt toegelicht hoe het getij-faseverschil werd bepaald en welke methodiek werd gebruikt om de historische evolutie van Suspended Particle Matter (SPM) te bestuderen.

Alle gebruikte gegevens worden beschrijvend voorgesteld in hoofdstuk 3. In eerste instantie betreft het alle gebruikte SPM datasets. Per SPM dataset wordt weergegeven hoe de gegevens zijn verdeeld en worden de SPM waarden geplot langsheen het estuarium. Naast de SPM datasets worden andere relevante parameters zoals getij, bovenafvoer en stortingen voorgesteld.

Het SPM signaal in het Schelde estuarium wordt in belangrijke mate beïnvloed door het getij (variatie binnen één getij en variatie binnen springtij-doodtijcyclus), variatie in bovenafvoer (piekdebieten versus lage bovenafvoer), seizoenselijke variaties en uitgevoerde stortingen. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op het effect van elk van deze parameters op het SPM signaal. Eveneens wordt nagegaan of deze effecten verschillend zijn voor de drie grote deelgebieden in het Schelde estuarium (Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde). Het mondingsgebied wordt hierbij niet beschouwd omdat daar andere processen dominant zijn (ETM langsheen de kust)

Hoofdstuk 5 beschrijft de lange termijn SPM evolutie in het Schelde estuarium over de periode 1995-2013. Er wordt nagegaan of er een stijging-daling is in het SPM signaal en of we bepaalde trendbreuken kunnen waarnemen.

De belangrijkste conclusies en bevindingen van dit rapport worden tenslotte opgelijst en besproken in hoofdstuk 6.

2 Methodes

2.1 Input datasets

Om de geformuleerde onderzoeksvragen in §1 te beantwoorden zijn diverse gegevensbronnen nodig (i.e. de zogenaamde input datasets). Een overzicht van de verzamelde gegevens wordt gegeven in Tabel 3. De meetlocaties van de gegevens wordt weergegeven in Figuur 1.

Tabel 3 – Overzicht van de gebruikte gegevens voor de deelstudie ‘historische evolutie SPM’ binnen de studie ‘slibbalans Zeeschelde’.

Data	Parameter	Periode	Frequentie	Getij	Bron
OMES	Oppervlakte en waterkolom SPM	1976-2015 (oppervlakte) 2001-2010 (waterkolom)	Vanaf 1996 maandelijks, vóór 1996 lagere frequentie + minder locaties	Onafhankelijk	UA
DONAR	Oppervlakte SPM	1971-2015	Wekelijks tot maandelijks	Onafhankelijk	RWS
CEME	Oppervlakte SPM	1989-2004 ²	Wekelijks tot maandelijks, afhankelijk van locatie	Onafhankelijk	NIOZ en UA
KHW	Oppervlakte SPM	2002-2003 ³ , 2008-2013	Maandelijks	Afhankelijk	WL
KLW	Oppervlakte SPM	2001-2003 ⁴ , 2005, 2008-2013	Maandelijks	Afhankelijk	WL
HTE	Oppervlakte en waterkolom SPM	2008-2012	Maandelijks	Afhankelijk	WL
Continu	Waterkolom SPM	2008-2012 ⁵	10 min	Onafhankelijk	WL
13-uursmetingen	Debiet en waterstand	1995-2010	Per locatie (16 in totaal) 2 tot 9 campagnes		WL en RWS
Bagger- en stortgegevens	Storthoeveelheden	1995-2013			aMT
Hoog- en laagwaterstanden Antwerpen	Getij	1971-2013			WL
Debiet Melle	Bovenafvoer	1971-2013	Dagelijks		WL

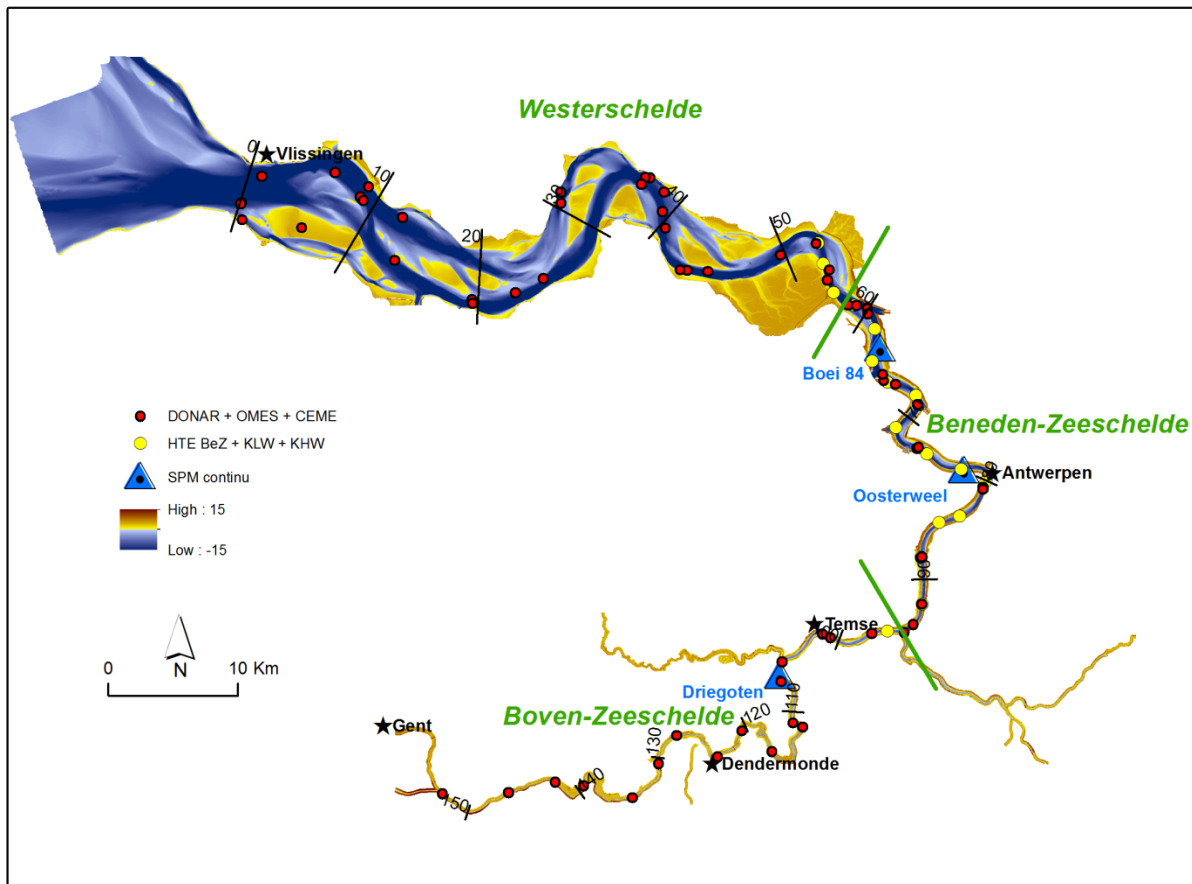
² Data na 2004 zijn nog niet beschikbaar

³ Ook oudere gegevens (1970s) zijn op papier beschikbaar. Vermits de digitalisatie ervan echter niet voorzien was kunnen deze gegevens niet weergegeven worden

⁴ Net zoals voor de KHW data zijn er voor de KLW data oudere gegevens op papier beschikbaar

⁵ Voor de post Oosterweel zijn er ook gegevens beschikbaar voor de periode 2001-2007. Deze data zijn echter nog niet gevalideerd en daarom niet mee opgenomen in de analyse.

Figuur 1 – Meetlocaties van de verschillende input datasets
(HTE = Halftij-eb; K LW = kentering laagwater; K HW = kentering hoogwater).



Groene lijnen stellen de opdeling van het Schelde estuarium voor in de Westerschelde (0-58 km), Beneden-Zeeschelde (58-95 km) en Boven-Zeeschelde (95-159 km). Zwarte lijnen stellen de afstand tot Vlissingen (nulpunt) voor per 10 km.

2.2 Parameter datasets

Verschiede input datasets kunnen eenzelfde parameter bevatten. Zo bevatten de OMES, DONAR en CEME input datasets allen getij-onafhankelijke (i.e. het tijdstip van sampling is gekozen onafhankelijk van het getij) oppervlakte SPM data. Bedoeling is om alle data van eenzelfde parameter samen te brengen en op die manier parameter datasets op te bouwen. Zo zal bijvoorbeeld uit de OMES, DONAR en CEME datasets de getij-onafhankelijke oppervlakte SPM dataset aangemaakt worden. Een overzicht van de aangemaakte parameter datasets wordt gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Overzicht van de opgebouwde parameter datasets

Parameter datasets	Input datasets
Oppervlakte SPM (O)	OMES, DONAR en CEME
Oppervlakte SPM (A)	KHW, KLW en HTE
Waterkolom SPM (O)	Continu
Waterkolom SPM (A)	HTE
Getij	Hoog- en laagwaterstanden Antwerpen
Stortheveelheden	Bagger- en stortgegevens

Bij het opbouwen van parameter datasets werden volgende bewerkingen uitgevoerd:

- 1) Omzetting van tijdsaanduidingen naar UTC
- 2) Toekennen van een afstand x langsheen estuarium tot eenzelfde nulpunt:
voor alle meetlocaties (SPM, getij, etc) werd een afstand x langsheen het estuarium berekend. Deze x-waarde is de afstand tot Vlissingen (ter hoogte van boei Vlissingen = meest westelijke meetlocatie in Figuur 1). De afstand tot deze boei werd berekend door een lineaire interpolatie uit te voeren langsheen de centerline van het estuarium. Deze centerline werd bepaald op basis van de dijklijnen en kent zijn beginpunt ter hoogte van de boeilocatie (boei, zie Figuur 1). Om de interpolatie uit te voeren werd om de kilometer een dwarslijn aangemaakt langsheen de centerline, met een oriëntatie \pm loodrecht op de centerline. Deze dwarslijnen werden als input gebruikt om de lineaire interpolatie uit te voeren en op basis van de bekomen waardes kon aan iedere meetlocatie de afstand tot Vlissingen-boei worden toegekend.
- 3) Verwijderen van dubbele records. Er zijn twee types van dubbele records:
 - a) Identiek dezelfde records die bij het opbouwen van datasets twee (of meerdere) keren voorkomen in een input dataset.
 - b) Stalen geanalyseerd door verschillende laboratoria die records opleveren met eenzelfde tijdsaanduiding (voor eenzelfde locatie), maar met verschillende parameterwaardes (verschillende labo's). Deze analyses werden allen opgenomen in de input datasets (voor ieder analyse een record)

Het probleem van dubbele records (i.e. wegen statistisch zwaarder door) werd opgelost door dubbele records uit de opgebouwde parameter dataset (dus records met eenzelfde tijdsaanduiding én eenzelfde afstand x langsheen estuarium) te aggregeren naar één record. De bijhorende parameter (bv. oppervlakte SPM) werd geaggregeerd door een gemiddelde waarde toe te kennen.

2.3 Het opwerken van getij-onafhankelijke SPM data tot tij(ds)-informatie

2.3.1 Inleiding

Er wordt verwacht dat SPM waarden in belangrijke mate worden beïnvloed door de getij karakteristieken (§1.2). Vermits de getij-onafhankelijke SPM datasets geen getij karakteristieken bevatten, werd een algoritme in R ontwikkeld om getij-onafhankelijke SPM metingen te koppelen aan verschillende eigenschappen van het getij (i.e. springtij-middeltij-doodtij, eb- of vloedfase, tijdstip t.o.v. dichtstbijzijnde extrema in het verticaal getij).

2.3.2 Methodologie

Het R algoritme omvat volgende stappen:

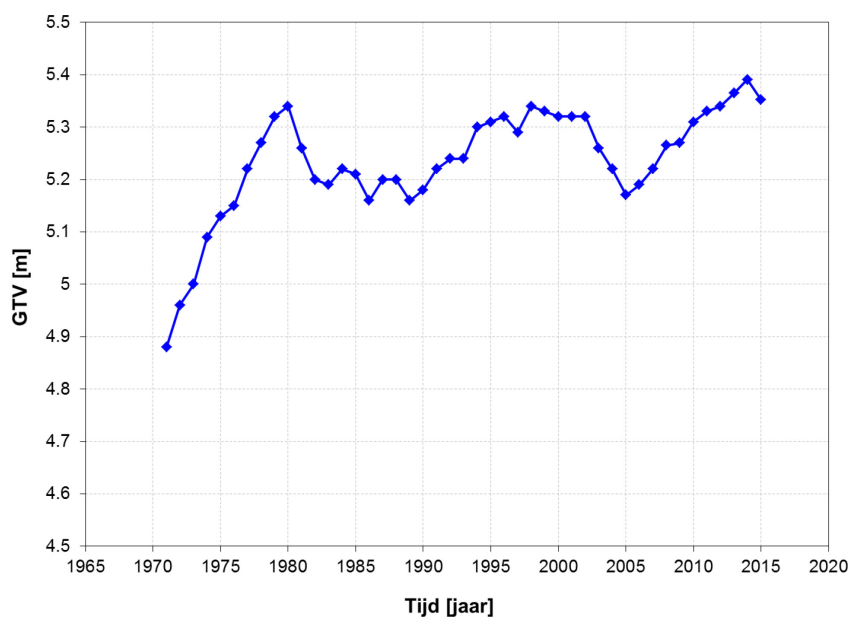
Bepalen van doortij-middeltij-springtij op basis van de getijcoëfficiënt

De k-waarde of getijcoëfficiënt wordt als volgt gedefinieerd:

$$k = \frac{GTV}{GTV_m}$$

Met GTV = het getijverschil [m], en GTV_m = het getijverschil voor middeltij [m]. De k-waarden werden berekend voor ieder HW en LW te Antwerpen, en dit voor de periode 1971-2015. De beschouwde tijdsperiode 1971-2015 stemt overeen met de periode waarin SPM metingen beschikbaar zijn (zie Tabel 3). Om de k-waarde te berekenen werd in een eerste stap het getijverschil bepaald voor ieder HW en LW te Antwerpen op basis van het verschil met het eerstvolgend extremum. Vervolgens werd dit getijverschil gedeeld door het gemiddelde tijverschil bij middeltij (zie ook vergelijking (1)). De jaarlijks variatie in getijverschil voor middeltij werd hierbij in rekening gebracht (Figuur 2). Hierdoor houden we impliciet rekening met de historische wijzigingen in getijverschil sinds de jaren '70. Deze historische wijzigingen in getij houden niet enkel de langjarige toename in getijverschil in ten gevolge van zeespiegelstijging, maar ook de variaties ten gevolge van de 18,6 jarige cyclus. Om nu te bepalen of een HW/LW toebehoort tot een doortij, middeltij of springtij werden eerst de k-waarden bepaald overeenstemmend met een gemiddeld doortij, middeltij, en gemiddeld springtij (Tabel 5). Op basis van deze waarden weten we nu dat de k-waarden die doortij-middeltij en middeltij-springtij onderscheiden (i.e. de k-grenswaarden) gelegen zijn tussen 0.83 en 1, en tussen 1 en 1.12. Om de exacte k-grenswaarde te bepalen werd uitgegaan van volgende aanname: van de HW/LW standen behoort er 25% tot een doortij, 25% tot een springtij, en 50 % tot een middeltij. Op basis van deze verdeling werden de k-grenswaarden vastgelegd op 0.92 en 1.085 (dus $k < 0.92$ = doortij, $k = 0.92-1.085$ = middeltij, $k > 1.085$ = springtij).

Figuur 2 – Evolutie van het jaargemiddelde getijverschil (middeltij) te Antwerpen

Tabel 5⁶ – Overzicht van de gemiddelde waarden voor het getijverschil te Antwerpen (1971-2012) met bijhorende k-waarden

Getij	Getijverschil (1971-2012)	k-waarde
Gemiddeld doodtij	4.35	0.83
Middeltij	5.23	1
Gemiddeld springtij	5.88	1.12

Toekennen tijdstip HW en LW op basis van de getijvertraging ten opzichte van Antwerpen

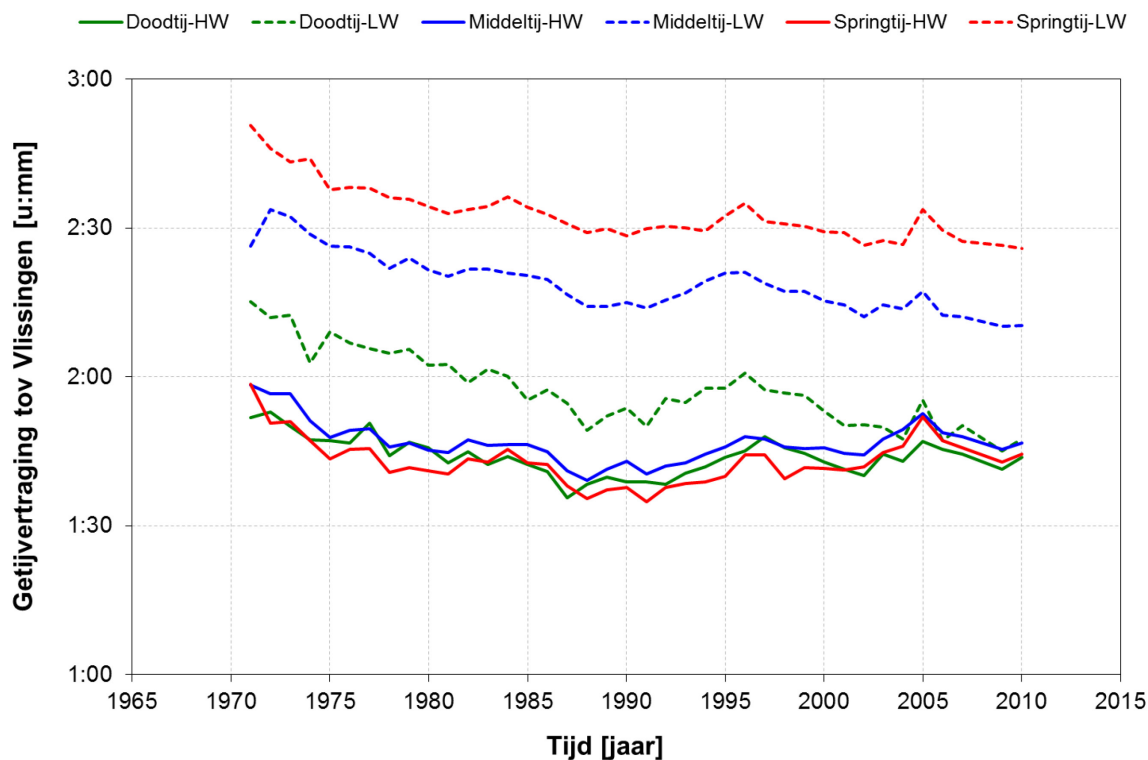
Op basis van de tijdstippen voor HW en LW te Antwerpen (in de periode 1971-2015) en op basis van de getijvertragingen voor de verschillende getijposten langsheen het estuarium (Tabel 6) was het mogelijk om de overeenkomstige tijdstippen van HW en LW te achterhalen voor iedere SPM meetlocatie op basis van lineaire interpolatie. Naast de variatie in getijvertraging per getijfase (Tabel 6), varieert de getijvertraging ook in de tijd (Figuur 3). Een gemiddelde waarde voor getijvertraging per SPM meetlocatie werd daarom bepaald per decennium en per getijfase. We merken hierbij op dat voor de periode 2011-2015 gebruik gemaakt werd van de getijvertragingen uit het voorgaande decennium (getijvertragingenwaarden bij rapportage nog niet beschikbaar voor 2011-2015).

⁶ De analyse werd voor de conceptrapportage uitgevoerd over de periode 1971-2012. In de finale versie werden getijgegevens (indien mogelijk) en oppervlakte SPM gegevens opgenomen tot en met 2015. De analyse in Tabel 5 werd echter niet opnieuw uitgevoerd (dus inclusief jaren 2013-2015) aangezien dit geen significante wijzigingen geeft in de bepaling van de k-grenswaarden.

Tabel 6 – Overzicht van de gemiddelde tijvertraging (1971-2010) ten opzichte van Vlissingen voor doottij-middeltij-springtij bij hoog- en laagwater

Afstand tot Vlissingen-boei [km]	Getijpost	Doottij-HW	Doottij-LW	Middeltij-HW	Middeltij-LW	Springtij-HW	Springtij-LW
2.3	Vlissingen	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
19.5	Terneuzen	0:19	0:19	0:20	0:27	0:18	0:31
35.4	Hansweert	0:48	0:40	0:59	0:51	1:03	1:01
52.9	Bath	1:10	1:07	1:22	1:29	1:25	1:37
58.5	Prosperpolder	1:17	1:24	1:25	1:40	1:29	1:52
80.2	Antwerpen	1:44	1:58	1:47	2:19	1:43	2:33
94.1	Schelle	2:13	2:29	2:25	2:52	2:30	3:06
101.5	Temse	2:26	2:52	2:38	3:16	2:45	3:31
112.2	Sint-Amands	2:41	3:26	2:53	3:50	2:59	4:04
123.5	Dendermonde	3:17	4:19	3:33	4:39	3:42	4:51
134.5	Schoonaarde	3:48	5:03	4:03	5:20	4:12	5:29
139.4	Uitbergen	3:49	5:06	4:04	5:22	4:13	5:31
152.3	Melle	4:58	6:37	5:16	6:56	5:25	7:07

Figuur 3 – Getijvertragingen in functie van de tijd, voorgesteld per getijfase, voor de getijpost Antwerpen



Toekennen seizoen

Op basis van het tijdstip van een SPM meting is het eenvoudig om een seizoen toe te kennen. Er werd gebruik gemaakt van de astronomische indeling van de seizoenen waarbij de lente loopt van 21/03 tot en met 20/06, de zomer van 21/06 tot en met 20/09, de herfst van 21/09 tot en met 20/12 en de winter van 21/12 tot en met 20/03

Wegschrijven output in datastructuur

Alle afgeleide parameters werden uiteindelijk weggeschreven in een datastructuur zoals voorgesteld in Tabel 7.

Tabel 7 – Datastructuur van de opgewerkte getij-onafhankelijke SPM dataset

Afgeleide parameter	Eenheid	Omschrijving
<i>x</i>	[km]	afstand tot monding (= boei ter hoogte van Vlissingen)
<i>DT_SPM</i>		tijdstip SPM staalname
<i>SPM</i>	[mg/l]	gemeten SPM waarde
<i>I</i>		instituut dat metingen heeft uitgevoerd
<i>DT_Hn</i>		tijdstip dichtstbijzijnde HW tov moment meting
<i>TV_Hn</i>	[min]	tijdsverschil dichtstbijzijnde HW tov moment meting
<i>DT_Ln</i>		tijdstip dichtstbijzijnde LW tov moment meting
<i>TV_Ln</i>	[min]	tijdsverschil dichtstbijzijnde LW tov moment meting
<i>k</i>	[-]	getijfactor = getijverschil/getijverschil-middeltij
<i>DMS</i>		Doodtij-Middeltij-Springtij. Respectievelijk waardes 0, 1 en 2. Voor $k < 0.9$ = doodtij; voor $k > 1.1$ = springtij; $k = 0.9-1.1$ = middeltij
<i>EV</i>		Eb-vloedfase ⁷ , respectievelijk waardes -1 en 1
<i>S</i>		Seizoen, met winter=1, lente=2, zomer=3 en herfst=4

⁷ Eb en vloedfase is bepaald op basis van de kenteringstijdstippen. Deze kenteringstijdstippen werden bepaald door het faseverschil te berekenen tussen tijdstip kentering (horizontaal getij) en HW/LW (verticaal getij) (Figuur 7). Meer info over deze methodiek in §2.4.

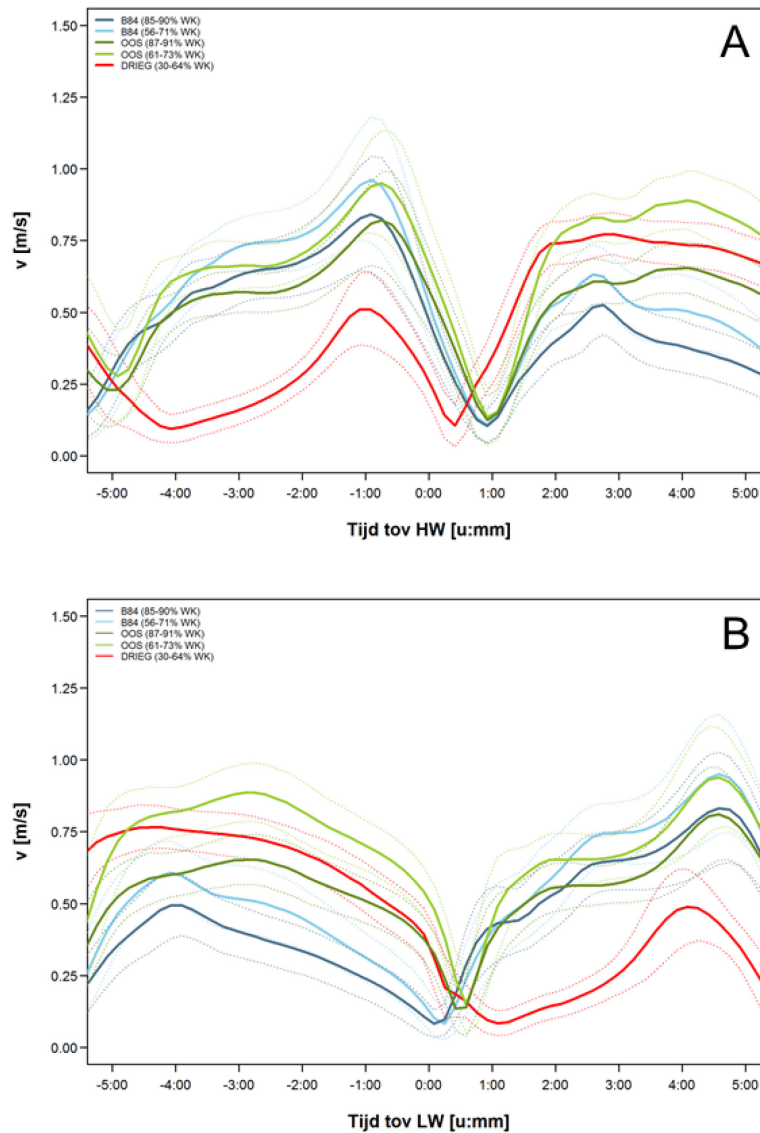
2.4 Bepalen faseverschil horizontaal en verticaal getij

Er wordt verwacht dat SPM waarden in sterke mate worden beïnvloed door de stroomsnelheid (i.e. het horizontaal getij). Zo zal verhoogde stroomsnelheid leiden tot de opwelling van sediment waardoor de SPM concentratie toeneemt. In het geval van lage stroomsnelheid (± 0 m/s) zal het sediment in suspensie bezinken en neemt de SPM concentratie af. Het is dan ook belangrijk om te weten wanneer de maximale en minimale stroomsnelheden voorkomen in een getijcyclus. In het geval van minimale stroomsnelheden weten we dat deze voorkomen tijdens kentering, d.w.z. wanneer de ebfase overgaat naar de vloedfase en vice versa. Het tijdstip van kentering (i.e. horizontaal getij) valt echter niet samen met het tijdstip van hoogwater of laagwater (i.e. verticaal getij). Gebaseerd op observaties wordt voor het Schelde estuarium aangenomen dat het tijdstip van kentering ongeveer 60 minuten later plaatsvindt dan het verticaal extremum (e.g., Savenije, 2001).

Wegens het belang van tijdstip kentering ($v \approx 0$ m/s) en het tijdstip maximale stroomsnelheid in relatie tot SPM waarden, werd in deze studie nagegaan wanneer het tijdstip van kentering voorkomt ten opzichte van hoogwater en laagwater, en hoe dit faseverschil wijzigt langsheen het estuarium. Hiervoor werd enerzijds gebruikt gemaakt van de meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten (zie Figuur 1) waar SPM en stroomsnelheden continu worden gemonitord, en anderzijds werd gebruikt gemaakt van debietsmetingen die werden uitgevoerd tijdens 13-uursmetingen op verschillende locaties langsheen het estuarium. Voor de continue meetlocaties zijn er gegevens beschikbaar over de periode 2008-2012, voor de 13-uursmetingen over de periode 1995-2012 (zie Tabel 3). Voor beide datasets werd de koppeling gemaakt tussen het verticaal getij (tijdstip HW en LW) en het horizontaal getij (tijdstip v of $Q \approx 0$ en v of $Q \approx \max$) door het tijdstip van meting te koppelen aan het dichtstbijzijnde extremum (volgens het algoritme beschreven in §2.3.2).

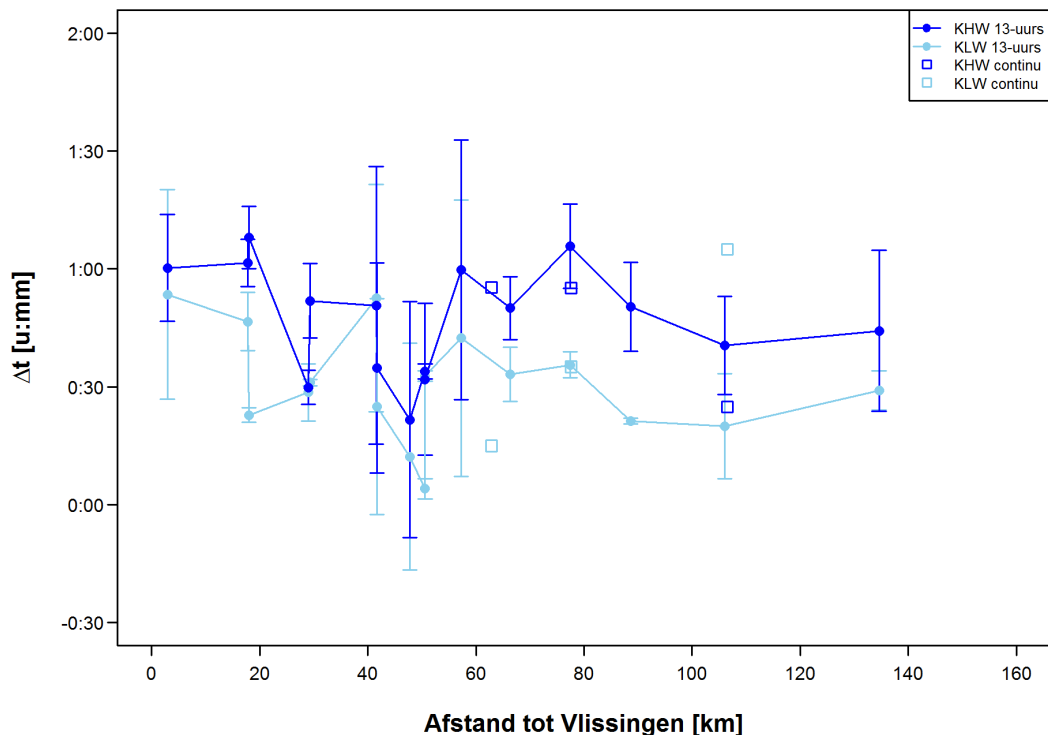
Voor de kenteringstijdstippen observeren we dat deze 0 tot 60 minuten na het extremum voorkomen. Over het algemeen komt kentering hoogwater (KHW) later voor na het extremum dan KLW. Dit is zowel het geval voor de continue meetlocaties Boei 84 en Oosterweel (Figuur 4) als voor de data op basis van de 13-uurs metingen (Figuur 5). Enkel de continue meetlocatie Driegoten vertoont een afwijkend patroon. Deze locatie is gelegen in het meer stroomopwaartse deel van het estuarium (Figuur 1) en is bijgevolg meer onder invloed van bovenafvoer. Bovendien is de meetlocatie gelegen in de buitenkant van de bocht waardoor eb sneller zal optreden. Ook in de Westerschelde wordt lokaal afwijkend gedrag waargenomen, afhankelijk van het eb of vloedkarakter van de geul (zie de sterke variatie in tijdsverschil op 40-50 km van Vlissingen, Figuur 5). Op basis van de continue gegevens en de 13-uurs data kan algemeen gesteld worden dat KHW 30 tot 60 minuten na HW voorkomt, en dat KLW 0 tot 45 minuten na laagwater voorkomt. Langsheen het estuarium wordt geen duidelijke trend waargenomen in het faseverschil (i.e. tijdsverschil tussen tijdstip kentering en tijdstip extremum) (Figuur 5). Opvallend is wel de grotere variatie in faseverschil in het meergeulensysteem van de Westerschelde in vergelijking met het één-geulensysteem van de Zeeschelde.

Figuur 4 – Stroomsnelheid in functie van het tijdstip HW (a) en tijdstip LW (b) voor de continue meetlocaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km)



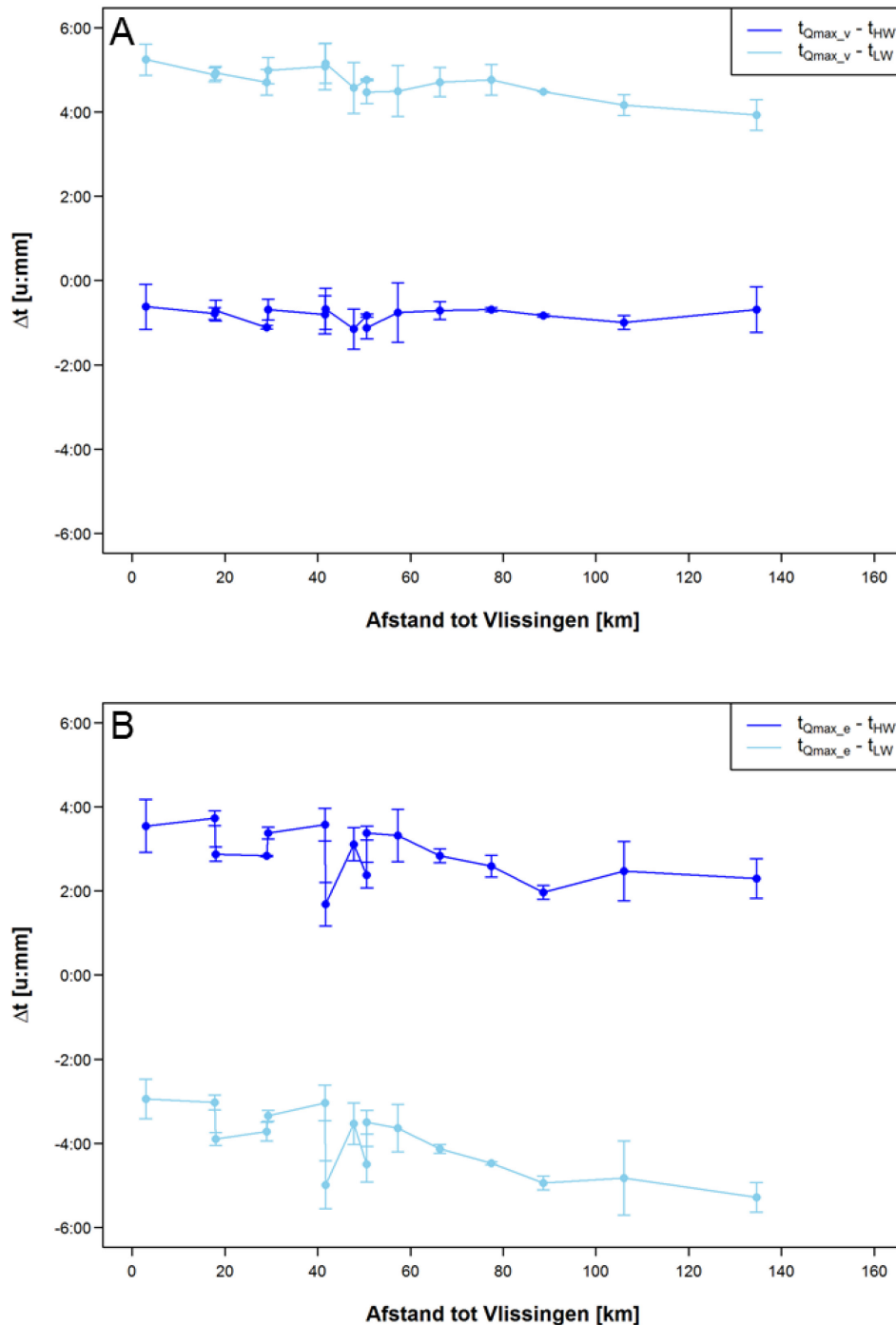
Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km) (locaties zie Figuur 1). Voor Boei 84 en Oosterweel werd op 2 verschillende dieptes gemeten, 0% waterkolom (WK) is meting aan het oppervlak, 100% waterkolom is meting op de bodem. De grenswaardes in %WK stellen waterkolomdieptes voor bij GHW en GLW Volle lijnen stellen de mediaanwaardes voor (berekend over 10 minuten clusters), de stippellijnen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes.

Figuur 5 – Tijdsverschil tussen tijdstip kentering (horizontaal getij) en tijdstip extremum (verticaal getij) voor hoogwatercondities (donkerblauwe lijn) en laagwatercondities (lichtblauwe lijn).



Op basis van de 13-uurs metingen vindt het tijdstip van piekdebiet (en dus maximale stroomsnelheid) tijdens de vloedfase ongeveer plaats 1 uur voor HW en is weinig variabel langsheen het estuarium (donkerblauwe lijn Figuur 6a). Wanneer we LW beschouwen komt het piekdebiet ongeveer 5 uur na LW, waarbij het tijdsinterval tussen piekdebiet en LW steeds korter wordt met toenemende afstand tot Vlissingen (lichtblauwe lijn Figuur 6a). Dit heeft te maken met de toenemende tij-asymmetrie in opwaartse richting waarbij de duur van de vloedfase steeds korter wordt en de duur van de eb fase langer. Tijdens de eb fase komt het piekdebiet 2 tot 4 uur na HW voor en ongeveer 3 tot 5 uur voor LW (respectievelijk donkerblauwe en lichtblauwe lijn in Figuur 6b). Net zoals tijdens de vloedfase verschuift het tijdstip van piekdebiet gradueel in opwaartse richting, en gevolg van de toenemende tij-asymmetrie. De continue meetlocaties tonen sterk vergelijkbare patronen. Tijdens vloed komen de maximale stroomsnelheden eveneens 1 uur voor HW en ongeveer 5 uur na LW voor (Figuur 4). Tijdens de eb fase is de interpretatie iets moeilijker vermits de maximale stroomsnelheden minder uitgesproken zijn en meer variëren tussen de meetlocaties onderling. Over het algemeen komen de maximale stroomsnelheden voor 2u30 tot 4u30 na HW en 2u30 tot 4u30 voor LW.

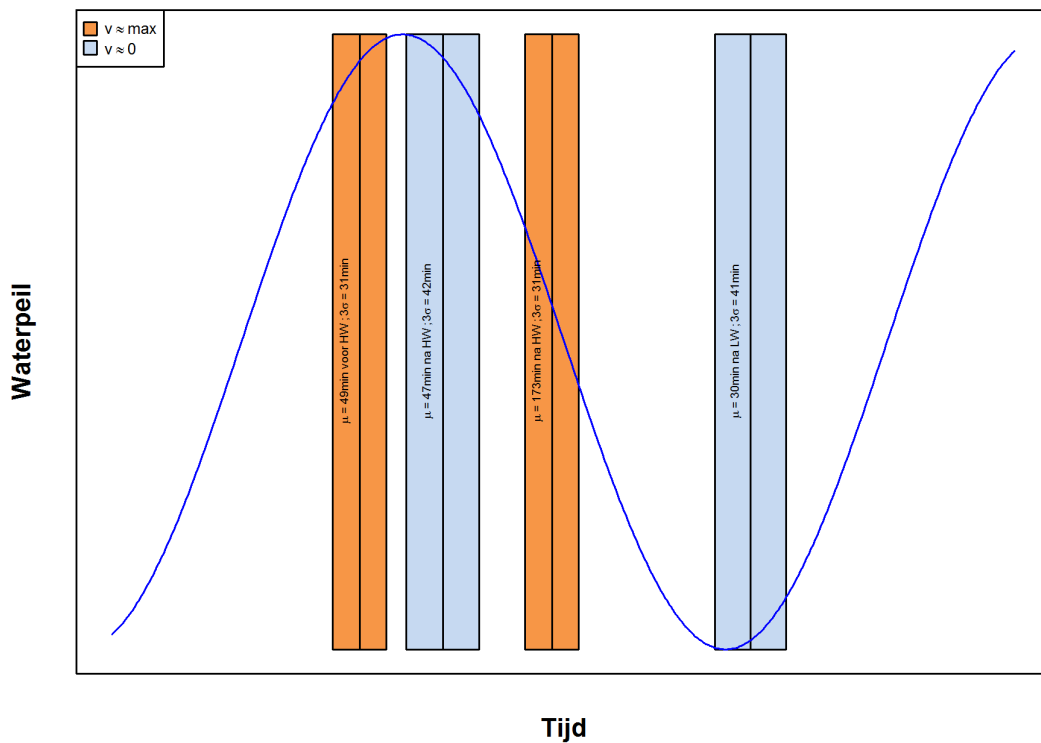
Figuur 6 – Tijdsverschil tussen tijdstip maximaal debiet en tijdstip HW (donkerblauwe lijn) en tijdstip LW (lichtblauwe lijn) gedurende de vloedfase (a) en de eb fase (b)



Voor deze studie werd de ruimtelijke variabiliteit in faseverschil langsheen het estuarium (zie Figuur 6) niet in rekening gebracht. Bijkomend werd er geen rekening gehouden met eventuele lange termijn wijzigingen in faseverschil (zie Tabel 3, 13-uursmetingen). In de plaats daarvan werd er vereenvoudigd gewerkt met een gemiddelde waarde (over tijd en ruimte) voor het volledige Schelde-estuarium waarop de standaarddeviatie werd berekend (de standaarddeviatie is hierbij een maat voor de ruimtelijke variatie en de variatie in de tijd). Om de volledige variatie in tijd en ruimte te coveren werden de tijdsclusters waarin de kenteringsmomenten en de maximale en minimale stroomsnelheden voorkomen gedefinieerd op basis van $\mu \pm 3\sigma$ (Figuur 7). Het zijn dan ook deze tijdsclusters die werden gebruikt om de SPM datasets op te splitsen in functie van getijfase.

De gemiddelde waarden voor de kenteringsmomenten werden hierbij gebruikt om de kenteringsmomenten vast te leggen en zo de eb- en vloedfase te definiëren (zie §4.1).

Figuur 7 – Gemiddeld tijdstip van maximale en minimale stroomsnelheid (i.e. horizontaal getij) ten opzichte van het tijdstip van HW en LW (i.e. verticaal getij) voor het Schelde estuarium



3 Beschrijving van de gegevens

3.1 Oppervlakte SPM

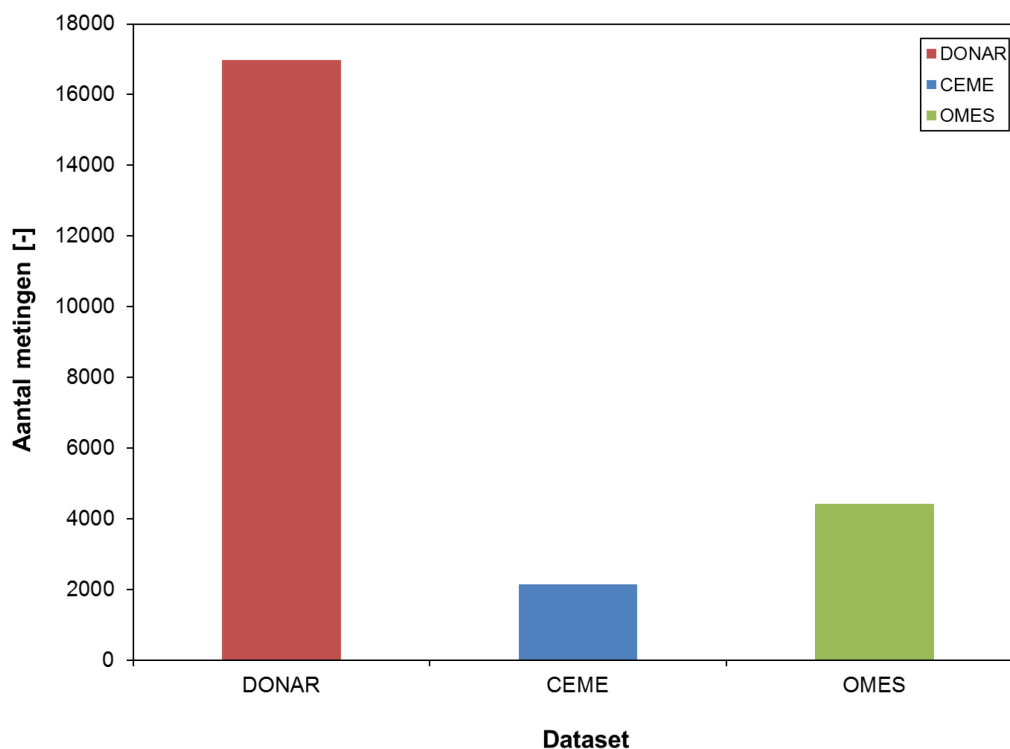
3.1.1 DONAR, CEME en OMES datasets

De DONAR, CEME en OMES datasets zijn alle drie getij-onafhankelijke oppervlakte SPM datasets. Samen vormen zij de getij-onafhankelijke SPM database (zie Tabel 4). In deze paragraaf worden de drie datasets kort toegelicht, wordt een tijds- en afstandafhankelijke weergave van de data gegeven, en wordt de getij-onafhankelijkheid besproken.

Verdeling van de metingen

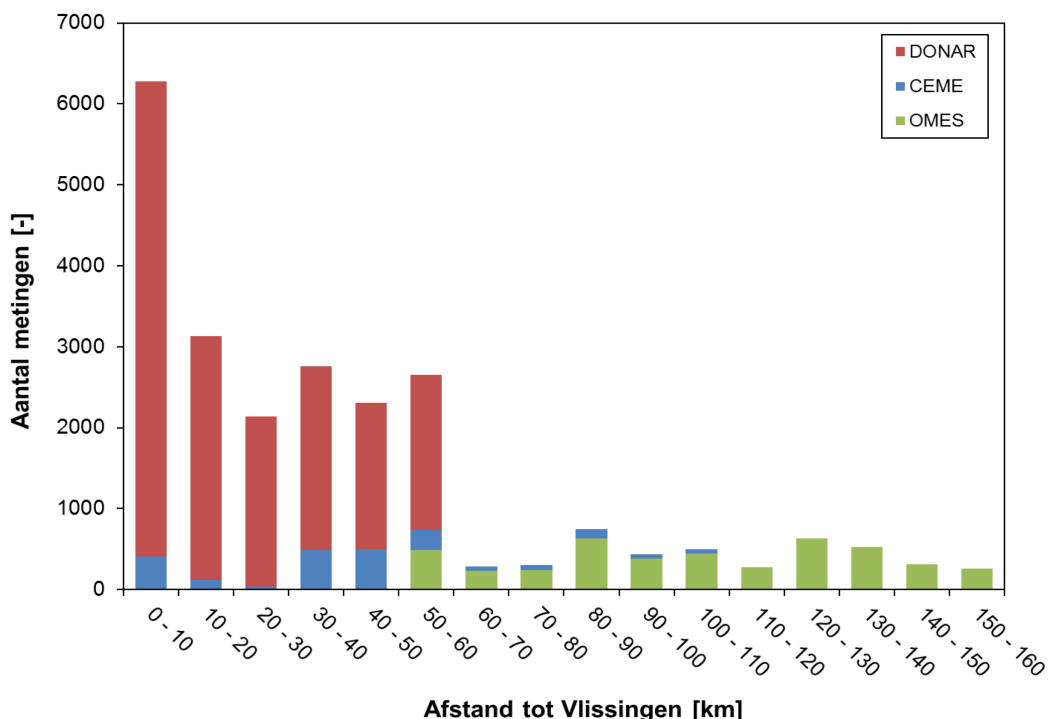
De 3 datasets bevatten samen 23532 metingen, waarvan het grootste aantal metingen terug te vinden is in de DONAR dataset (Figuur 8). De verdeling van metingen tussen de 3 datasets is sterk verschillend in ruimte en tijd. De DONAR dataset bevat uitsluitend metingen uitgevoerd in de Westerschelde (Figuur 9), waarbij het meest frequent werd gemeten in de periode 1971-1990 (Figuur 10). Metingen in de CEME dataset komen voor in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde en omvatten enkel de tijdsperiode 1989-2004⁸. Wat betreft de OMES dataset werden de metingen uitgevoerd in de Beneden en Boven-Zeeschelde, en in het grensgebied. Vanaf 1995 zijn er het meeste OMES data beschikbaar, de periode ervoor is de hoeveelheid metingen eerder beperkt.

Figuur 8 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per dataset

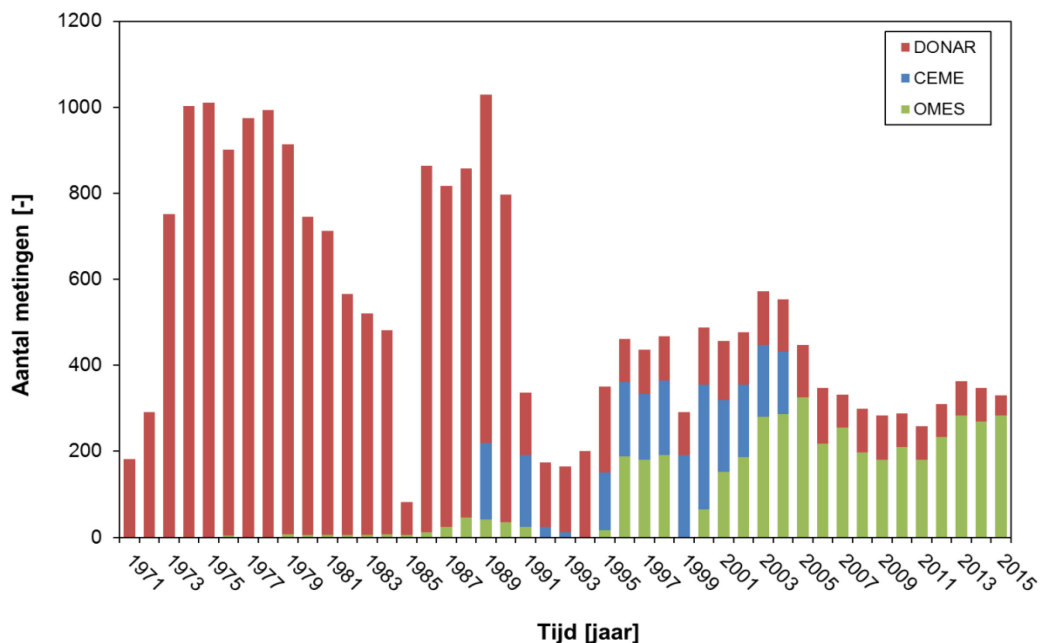


⁸ Recente data konden ons niet worden opgeleverd door CEME omdat deze data niet nog gevalideerd zijn

Figuur 9 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per 10 km cluster



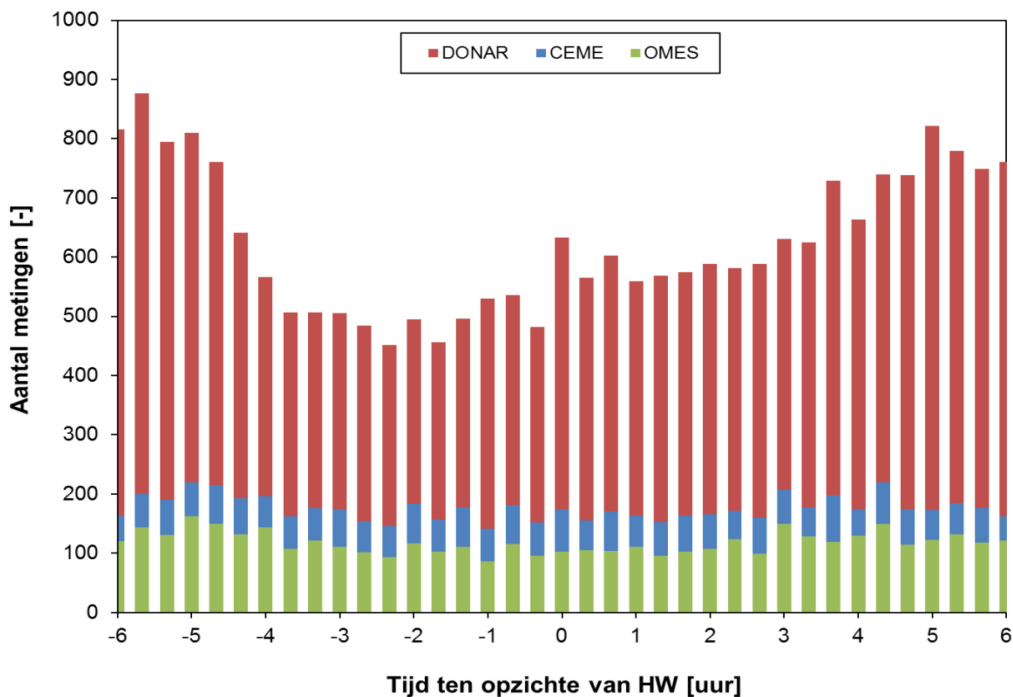
Figuur 10 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per jaar



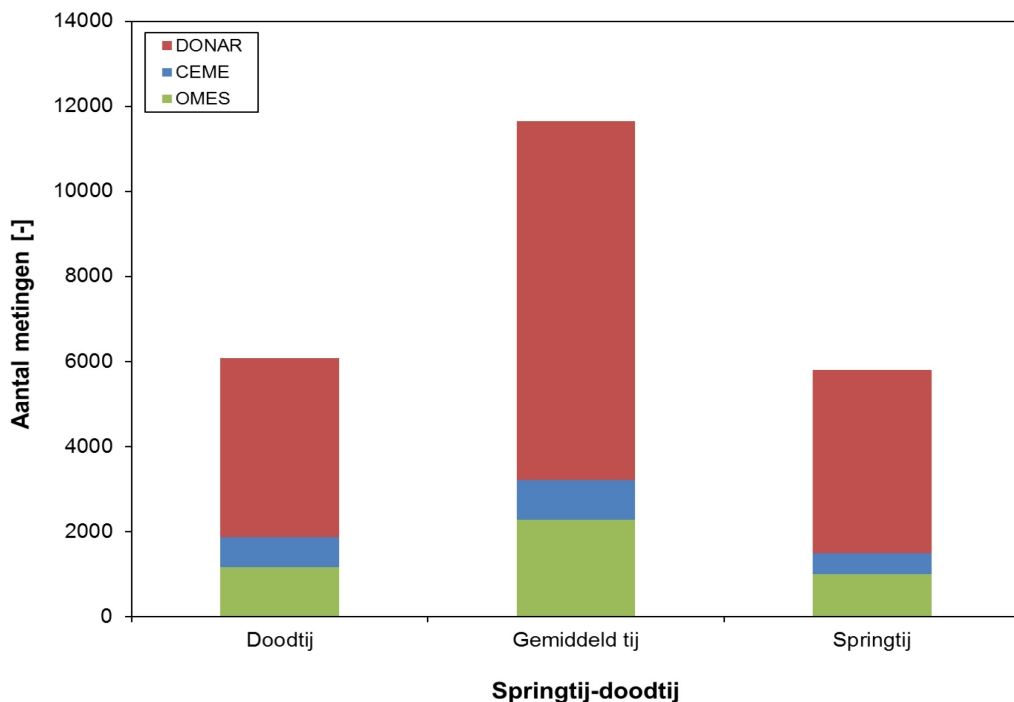
In tegenstelling tot de CEME en OMES datasets heeft de DONAR dataset geen uniforme verdeling binnen 1 getij. De DONAR dataset bevat minder metingen rond hoogwater en meer metingen rond LW (Figuur 11). De CEME en OMES datasets daarentegen vertonen een uniforme verdeling en kunnen beschouwd worden als volledig getij-onafhankelijk. Wanneer we een volledige springtij-doodtijcyclus beschouwen zien we dat ongeveer 25% van alle metingen plaatsvond tijdens doottij, 50% tijdens gemiddeld tij en 25% tijdens springtij (Figuur 12). Dit is in overeenstemming met de relatieve duur van deze fases binnen een spring-doodtijcyclus en we kunnen dus besluiten dat het

tijdstip van meting onafhankelijk is van de springtij-doodtijvariatie. Enkel voor de CEME dataset is de verdeling licht afwijkend van de 25%-50%-25% verdeling. Beschouwen we tenslotte de seizoenen dan zien we ook hier dat het tijdstip van meting onafhankelijk is van de beschouwde parameter. Enkel in de winter is er iets minder gemeten in vergelijking met de andere seizoenen (Figuur 13).

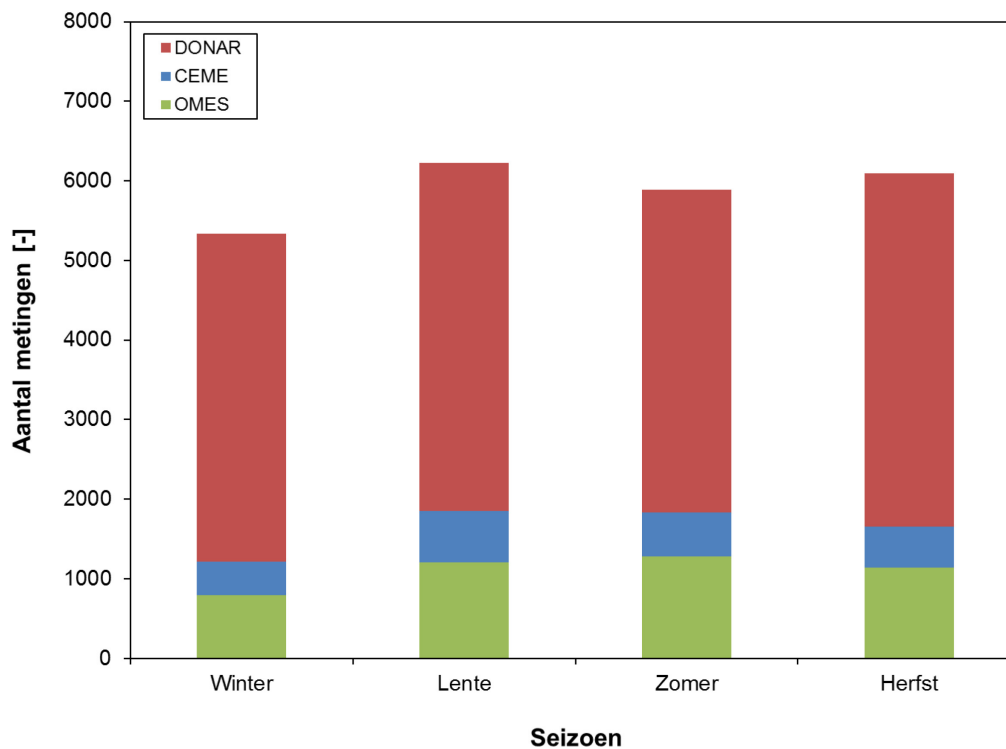
Figuur 11 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen ten opzichte van hoogwater (HW)



Figuur 12 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen over een springtij-doodtijcyclus



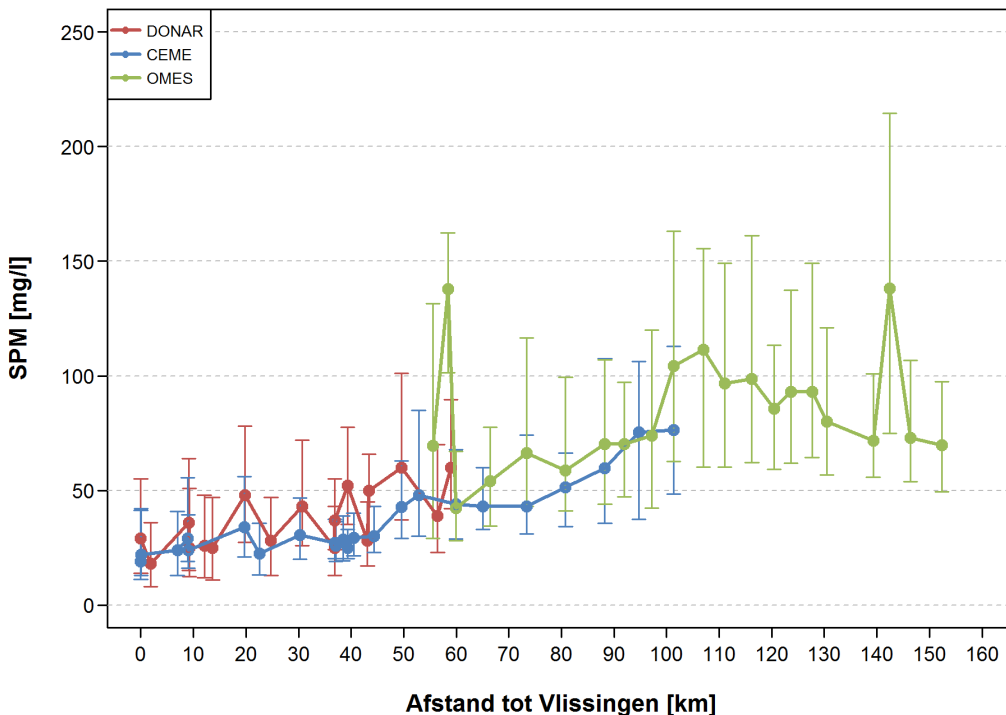
Figuur 13 – Verdeling van de getijonafhankelijke metingen per seizoen



SPM variatie langsheen het estuarium

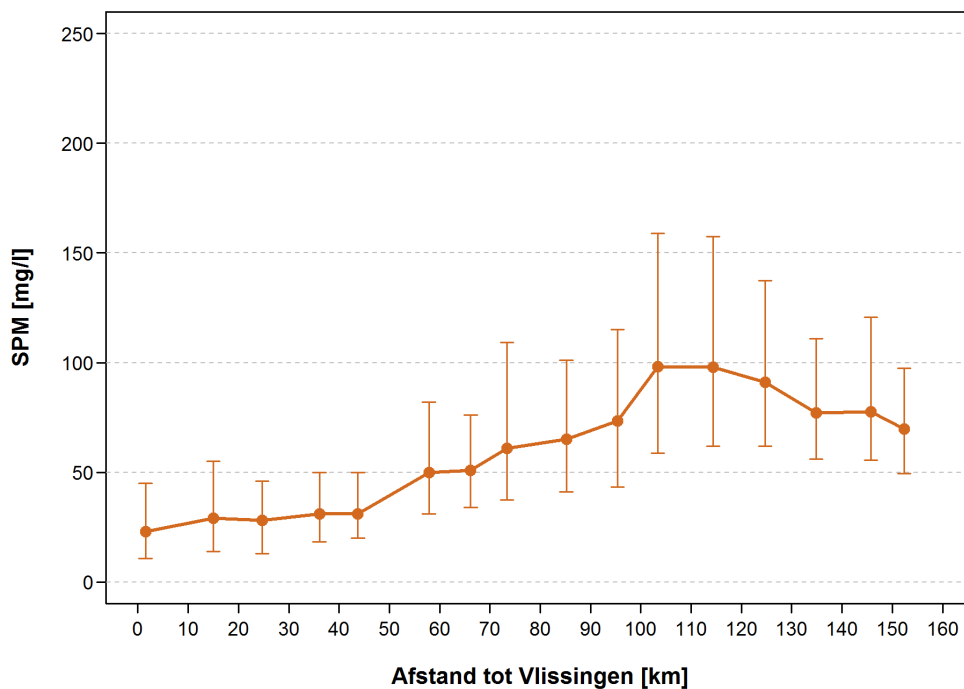
Figuur 14 toont de variatie in SPM (onafhankelijk van getijfase en de tijd) langsheen het estuarium voor de DONAR, CEME en DONAR datasets. Opvallend is het grillige verloop in SPM voor de verschillende meetlocaties. Deze variatie is onder meer een gevolg van de condities (e.g. getijfase, seizoen, debiet, etc.) waaronder sampling plaatsvond. Zo is er bijvoorbeeld ter hoogte van km 142 een piek in de OMES dataset ten gevolge van metingen die bijna uitsluitend werden uitgevoerd tijdens springtijcondities. Over het algemeen leidt een hoger aantal metingen per locatie tot een betere verdeling van de metingen. In Figuur 14 worden enkel locaties weergegeven waarbij het aantal metingen groter is dan 10. Het effect van getij, seizoen, debiet en stortingen op de variatie in SPM wordt behandeld in §4. Om een groter aantal metingen te hebben in de ruimte werd de getijonafhankelijke SPM dataset (i.e. DONAR + CEME + OMES) opgedeeld in ruimteclusters van 10 km (Figuur 15). Op die manier wordt een beter beeld verkregen van variatie in SPM langsheen het estuarium, onafhankelijk van de getijfase, seizoen, tijd, etc. We observeren dat de oppervlakte SPM in de Westerschelde vrij constant is met waardes rond 25 mg/l. In het meest opwaartse deel van de Westerschelde (ter hoogte van het grensgebied, km 58) stijgen deze waardes tot 50 mg/l om verder toe te nemen in de Beneden-Zeeschelde tot 75 mg/l ter hoogte van de Rupelmonding (km 75). In de Boven-Zeeschelde worden de hoogste oppervlakte SPM waardes bereikt tussen Temse en Dendermonde (tot 100 mg/l), waarna de oppervlakte SPM weer gestaag afneemt richting Gent.

Figuur 14 – Mediaanwaarden voor oppervlakte SPM langsheen het estuarium voor de verschillende meetlocaties van de DONAR, CEME en OMES datasets over de periode 1971-2015.



De foutenvlaggen stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor

Figuur 15 – Mediaanwaarden voor oppervlakte SPM langsheen het estuarium voor de getij-onafhankelijke SPM dataset (zie Tabel 4) over de tijdsperiode 1971-2015 en over afstandsblokken van 10 km

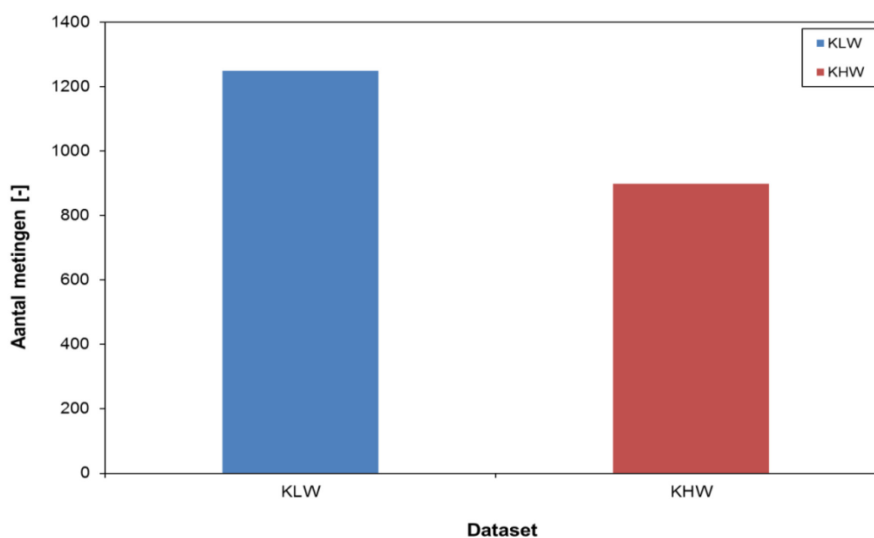


3.1.2 Kenteringsvaarten (hoogwater en laagwater)

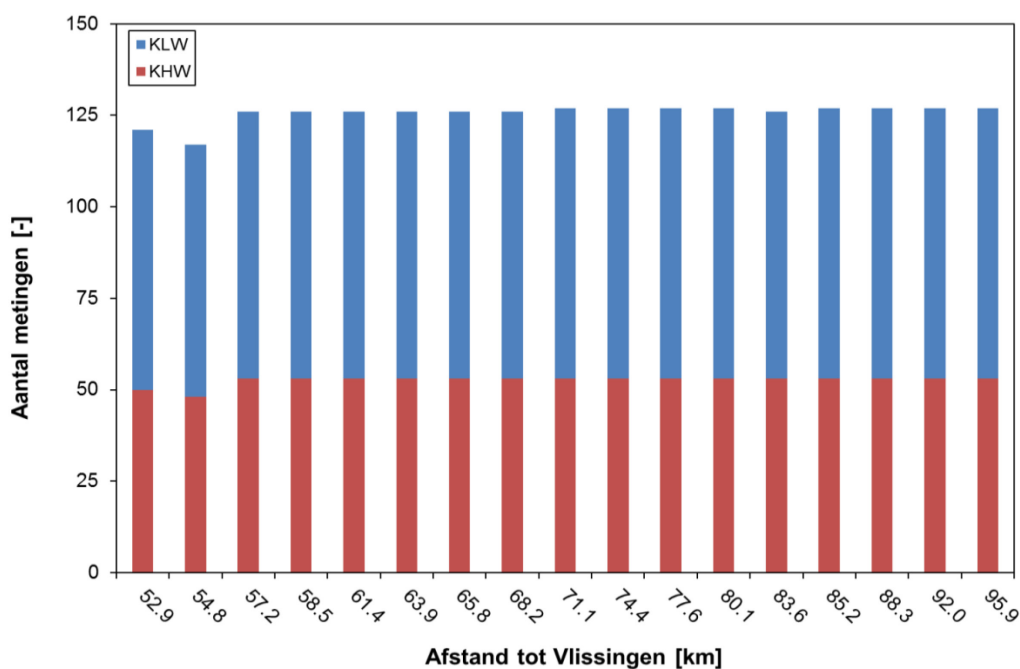
Verdeling van de metingen

Beide datasets bevatten meetlocaties gaande van Boei 79 (Bath) tot Rupelmonde (Figuur 1) en bevatten een vergelijkbaar aantal metingen (Figuur 16). Het aantal metingen is hierbij gelijk verdeeld in de ruimte en de verhouding KLW en KHW is ongeveer gelijk per meetlocatie (Figuur 17). In de tijd werden de metingen tijdens KLW uitgevoerd in 2001-2003, 2005, 2008 en 2010-2012, voor KHW is dit in 2002-2003 en 2008-2012 (Figuur 18).

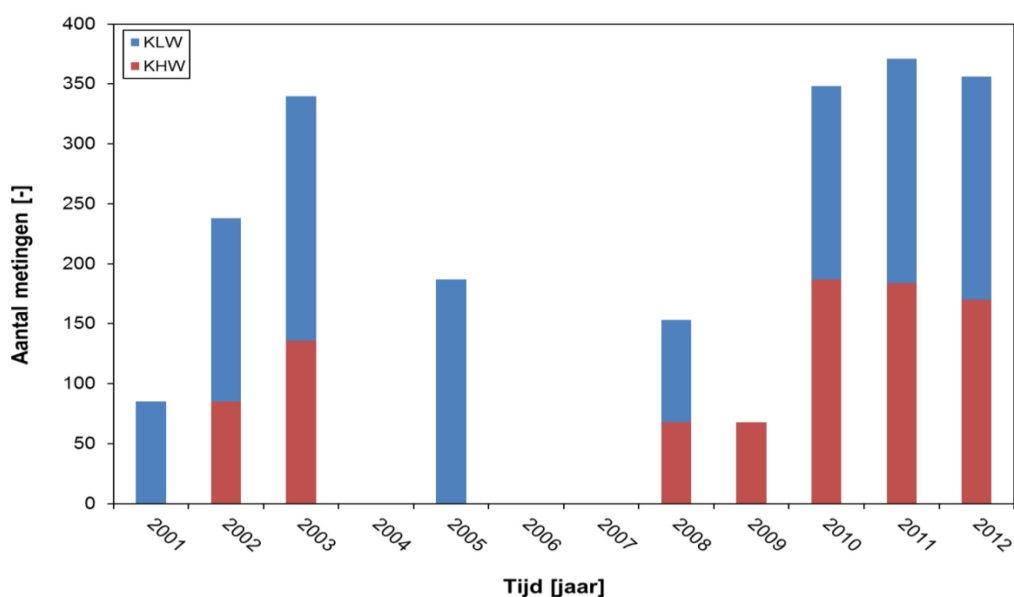
Figuur 16 – Verdeling van de kenteringsmetingen



Figuur 17 – Verdeling van de kenteringsmetingen per meetlocatie



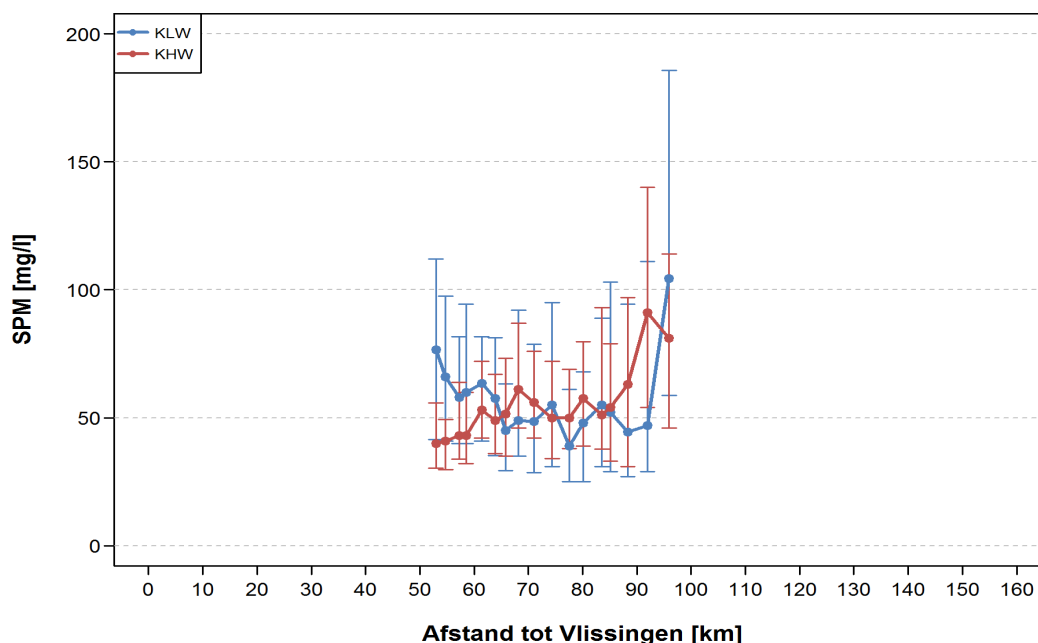
Figuur 18 – Verdeling van de kenteringsmetingen per jaar



SPM variatie langsheen het estuarium

Ter hoogte van het Land van Saeftinghe liggen de SPM waarden beduidend hoger tijdens KLW dan tijdens KHW (50-75 mg/l versus 25-50 mg/l, Figuur 19). Vanaf de grensstreek (~ 58 km) tot en met Burcht (85 km) zijn de SPM waarden vergelijkbaar voor beide fases in het getij en fluctueren ze rond 50 mg/l. Voor de meest opwaartse meetlocaties observeren we tijdens KHW en KLW een duidelijke toename in SPM, respectievelijk vanaf Burcht (85 km) en vanaf Rupelmonde. Deze toename is te wijten aan de meetboot die de kentering niet kan volgen waardoor de metingen ter hoogte van Rupelmonde plaatsvinden na kentering.

Figuur 19 – Mediaanwaarden voor de oppervlakte SPM langsheen het estuarium tijdens kentering laagwater en kentering hoogwater (respectievelijk KLW en KHW) over de tijdsperiode 2001-2012



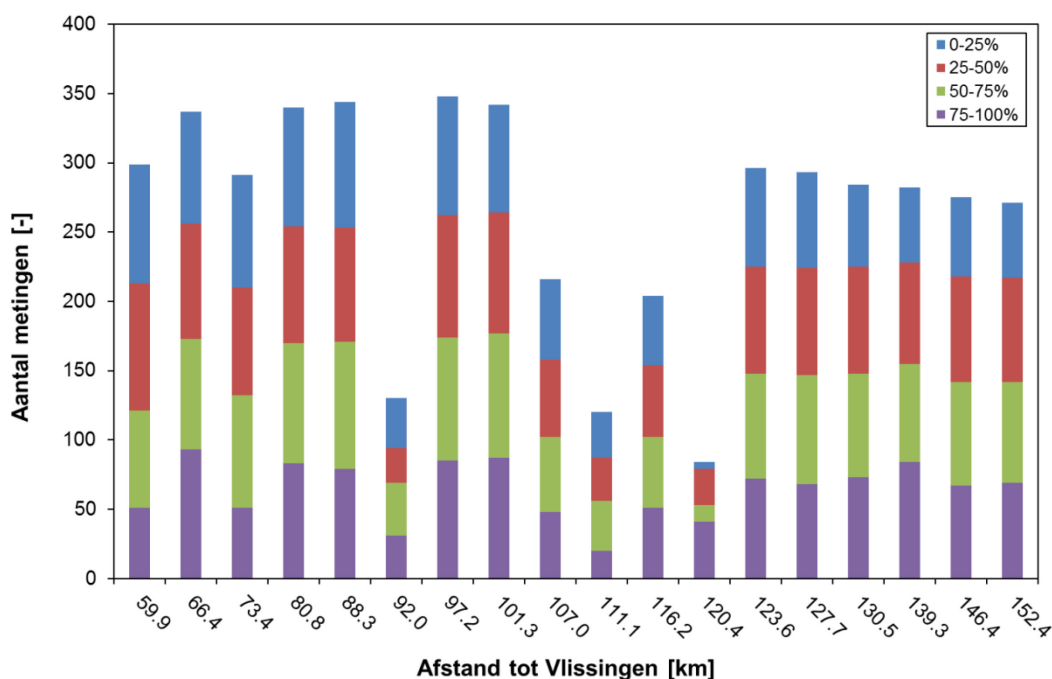
3.2 Waterkolom SPM

3.2.1 OMES dataset

Verdeling van de metingen

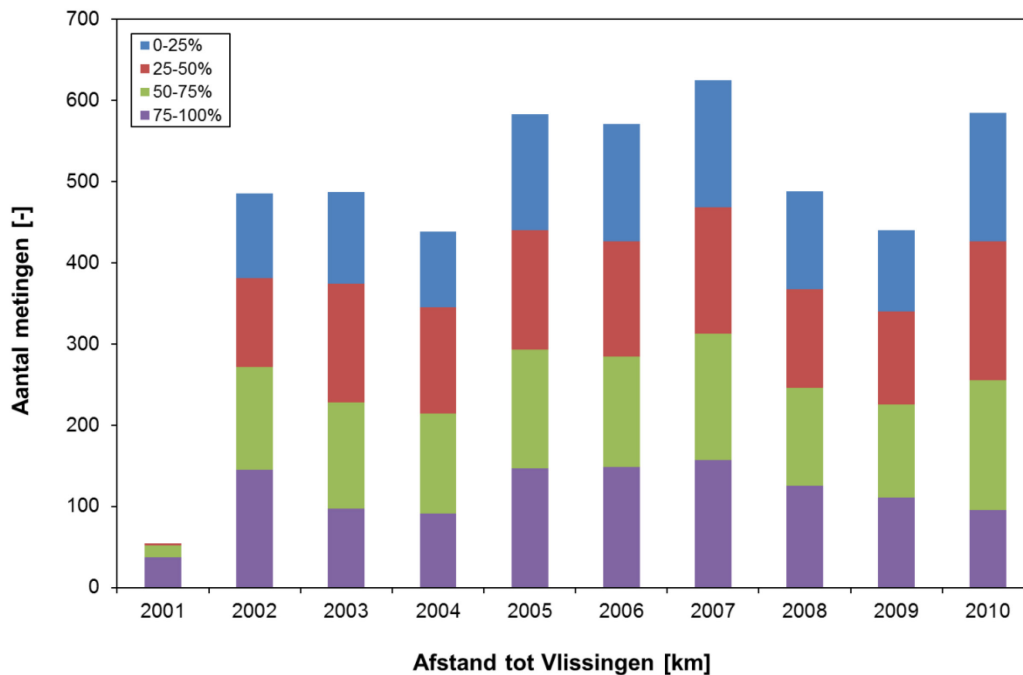
Langsheen het estuarium is het aantal metingen per meetlocatie ongeveer gelijk. Enkel op locaties 92, 111.1 en 120.4 km van Vlissingen zijn er beduidend minder metingen (Figuur 20). Per dieptecluster observeren we eveneens een gelijke verdeling. Enkel op de locatie 120.4 km van Vlissingen zijn er slechts een beperkt aantal stalen genomen in de bovenste 25% van de waterkolom (Figuur 20). De dataset bevat gegevens gaande van 2001 tot en met 2010. Elk jaar bevat hierbij ongeveer een gelijk aantal metingen en een gelijke verdeling per dieptecluster (Figuur 21). Het jaar 2001 vormt een uitzondering met slechts een beperkt aantal metingen en een ongelijke verdeling per dieptecluster. Zo zijn er geen metingen in de bovenste 25% van de waterkolom en slechts een gering aantal metingen in de 25-50% cluster.

Figuur 20 – Verdeling van de getij-onafhankelijke waterkolom SPM metingen per meetlocatie en per diepteklasse.



0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

Figuur 21 – Verdeling van de getij-onafhankelijke waterkolom SPM metingen per jaar en per diepteklasse.

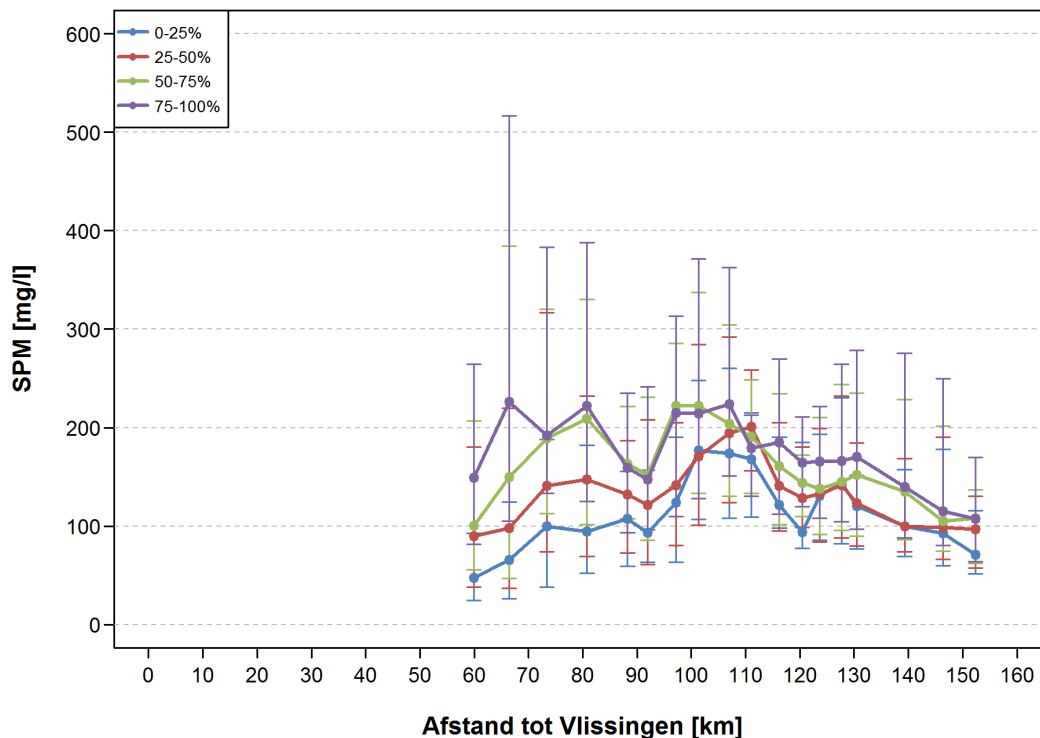


0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

SPM variatie langsheen het estuarium

De nabij-wateroppervlak SPM waarden (i.e. 0-25% waterkolomdiepte) vertonen een graduele toename in concentratie met toenemende afstand tot Vlissingen. Maximale waarden worden bereikt op een afstand 100-120 km van Vlissingen. Opwaarts deze piek is er een afname in concentratie (Figuur 22). Ook voor de overige diepteclusters komt een uitgesproken SPM piek voor op een afstand 100 tot 120 km van Vlissingen. Deze piek is echter minder uitgesproken voor de 50-75% en 75-100% diepteclusters door de toegenomen SPM concentraties in de meer afwaartse delen. Over het algemeen is er een duidelijke toename in SPM concentratie met toenemende diepte in de waterkolom. De laagste concentraties worden waargenomen nabij het wateroppervlak (0-25%) terwijl de hoogste concentraties voorkomen nabij de bodem (75-100%). De toename in concentratie met toenemende waterkolomdiepte is duidelijk groter in de afwaartse delen dan in de opwaartse delen.

Figuur 22 – SPM mediaanwaardes langsheen het estuarium voor verschillende waterkolomdieptes over de tijdsperiode 2001-2010.



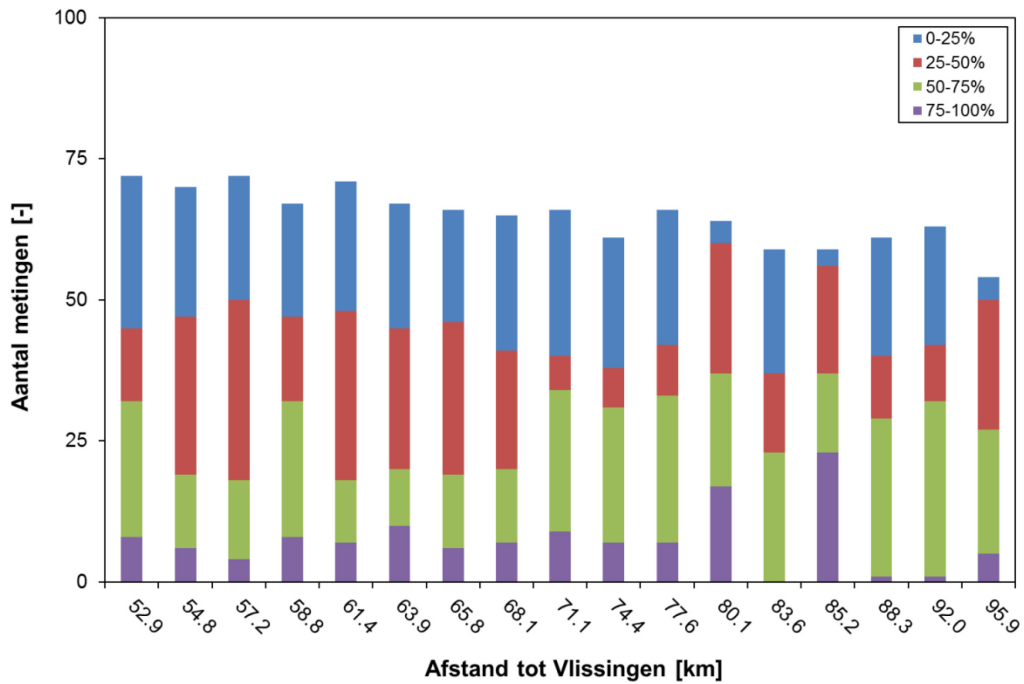
0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

3.2.2 Halftij eb vaarten

Verdeling van de metingen

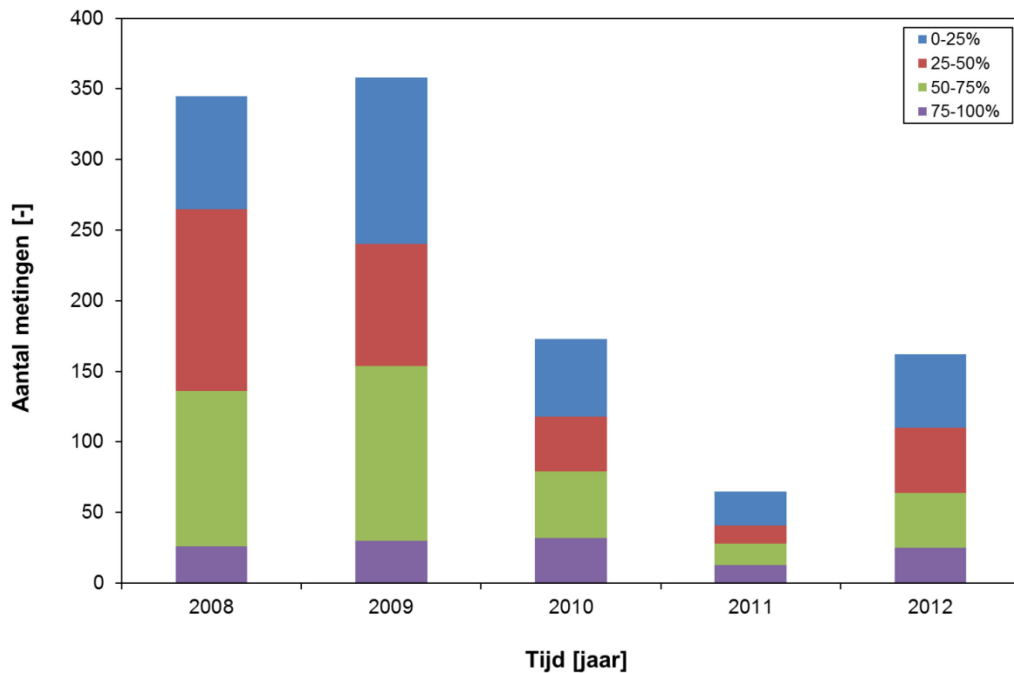
Tijdens halftij-eb wordt er vergelijkbaar met de kenteringsvaarten gemeten vanaf Boei 79 (Bath) tot en met Rupelmonde (Figuur 1). Iedere locatie heeft een vergelijkbaar aantal metingen en de verhouding van het aantal metingen per diepteklasse is min of meer constant langsheen het vaartraject (Figuur 23). De halftij-eb dataset bevat metingen gaande van 2008 tot en met 2012, met het grootste aantal metingen in de jaren 2008 en 2009 (Figuur 24). Over het algemeen kunnen we stellen dat het aantal metingen per diepteklasse vergelijkbaar is, enkel nabij de bodem (75-100% waterkolomdiepte, paarse kleur, Figuur 23) wordt er iets minder gemeten.

Figuur 23 – Verdeling van de halftij-eb metingen per meetlocatie en per diepteklasse.



0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

Figuur 24 – Verdeling van de halftij-eb metingen per jaar en per diepteklasse.

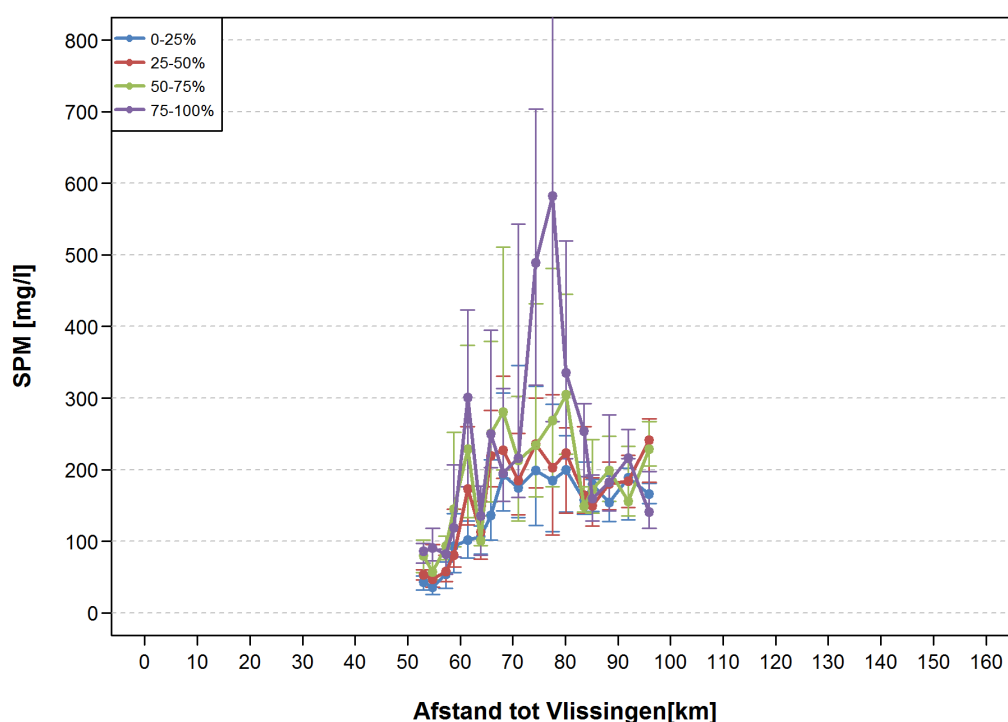


0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

SPM variatie langsheen het estuarium

Tijdens half-tij-eb bedragen de nabij oppervlak SPM concentraties (0-25%) ter hoogte van Boei 79 (Bath) ongeveer 50 mg/l (Figuur 25). Vanaf de grens neemt de SPM concentratie gestaag toe tot bijna 200 mg/l ter hoogte van Kallosluis. Vanaf Kallosluis tot Rupelmonde blijven de SPM concentraties schommelen tussen 150 en 200 mg/l. Een vergelijkbaar SPM signaal wordt waargenomen op 25-50% waterkolomdiepte, maar hier met iets hogere waarden in vergelijking met de nabij oppervlak SPM concentraties. Ook voor de 50-75% en 75-100% waterkolomdiepte geldt de algemene trend dat SPM concentraties in het oostelijk deel van de Westerschelde lager zijn in vergelijking met de Zeeschelde. Het grote verschil met de nabij oppervlakte SPM concentraties is het voorkomen van lokaal, sterk verhoogde SPM concentraties in de Zeeschelde. Voor de 50-75% waterkolomdiepte komen deze pieken in SPM concentratie voor net opwaarts de grens en Liefkenshoek, en ter hoogte van het Loodsgebouw. Aan het Loodsgebouw worden waarden van ongeveer 300 mg/l waargenomen. Voor de 75-100% waterkolomdiepte (nabij bodem) wordt een duidelijke piek in SPM concentratie waargenomen ter hoogte van Oosterweel met waarden tot bijna 600 mg/l. Ook net opwaarts Liefkenshoek worden nabij de bodem verhoogde sedimentconcentraties waargenomen.

Figuur 25 – SPM mediaanwaarden langsheen het estuarium tijdens de half-tij-eb fase van het getij en dit voor verschillende waterkolomdieptes over de tijdsperiode 2008-2012.



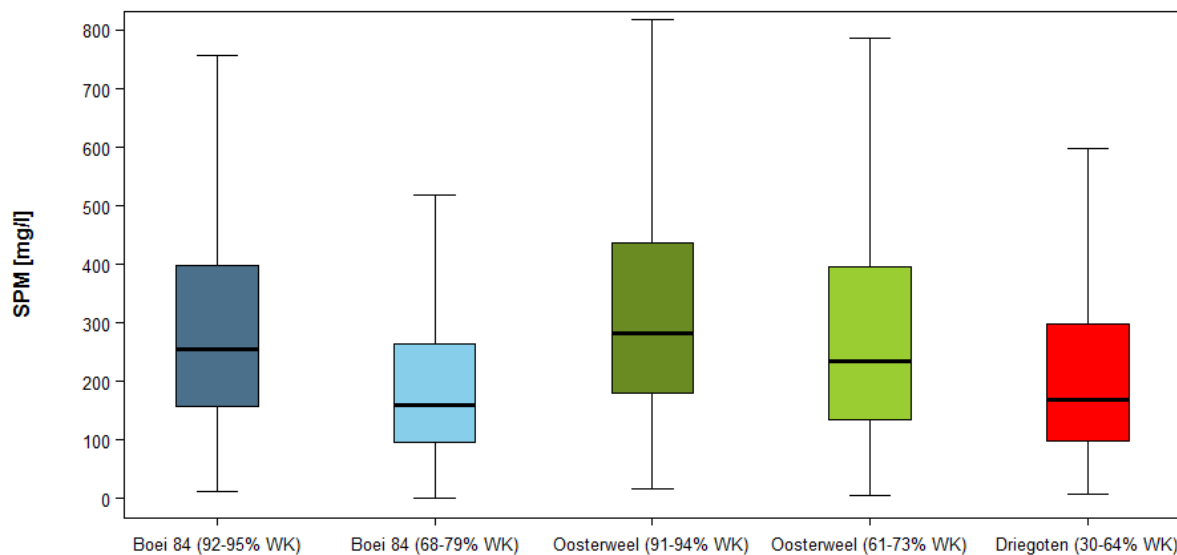
0-25% is bovenste 25% van de waterkolom (nabij oppervlak), 75-100% is onderste 25% van de waterkolom (nabij bodem).

3.2.3 Continue dataset

Ter hoogte van de 3 continue meetlocaties varieert de waterkolom SPM (mediaanwaarde) tussen 150 en 300 mg/l (Figuur 26). Tussen de locaties onderling zijn de SPM concentraties het hoogst ter hoogte van Oosterweel. Deze locatie is eveneens gekenmerkt door de grootste variatie in SPM. Verder merken we op dat de SPM concentraties nabij de bodem hoger zijn dan de SPM concentraties hoger in de waterkolom. Voor Boei 84 komt dit respectievelijk neer op 256 mg/l en 196 mg/l, voor Oosterweel is dit 281 mg/l en 234 mg/l. Dit komt naar op een respectievelijke verhouding van 1.3 en 1.2. Ter hoogte van Driegoten bedraagt de mediaanwaarde 170 mg/l. Verhoogde SPM concentraties

met afnemende afstand tot de bodem werden ook waargenomen in de waterkolom OMES dataset en de halftij-eb dataset (Figuur 22 en Figuur 25).

Figuur 26 – Boxplot van de waterkolom SPM gemeten over de periode 2008-2012 ter hoogte van de locaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km) (Figuur 1).



% WK verwijst naar de hoogte van de sensor in de waterkolom, uitgedrukt in percentage waterkolomdiepte.

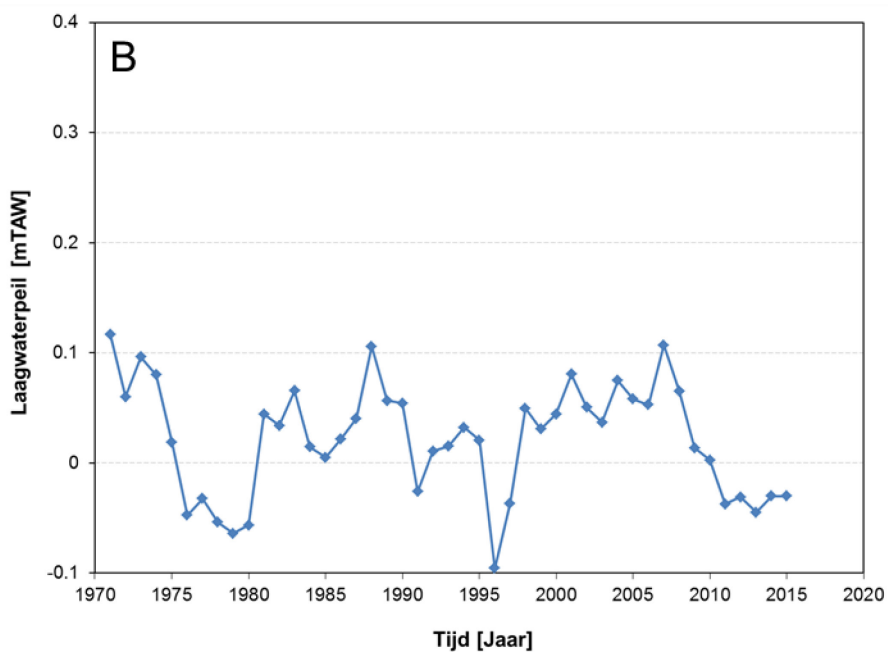
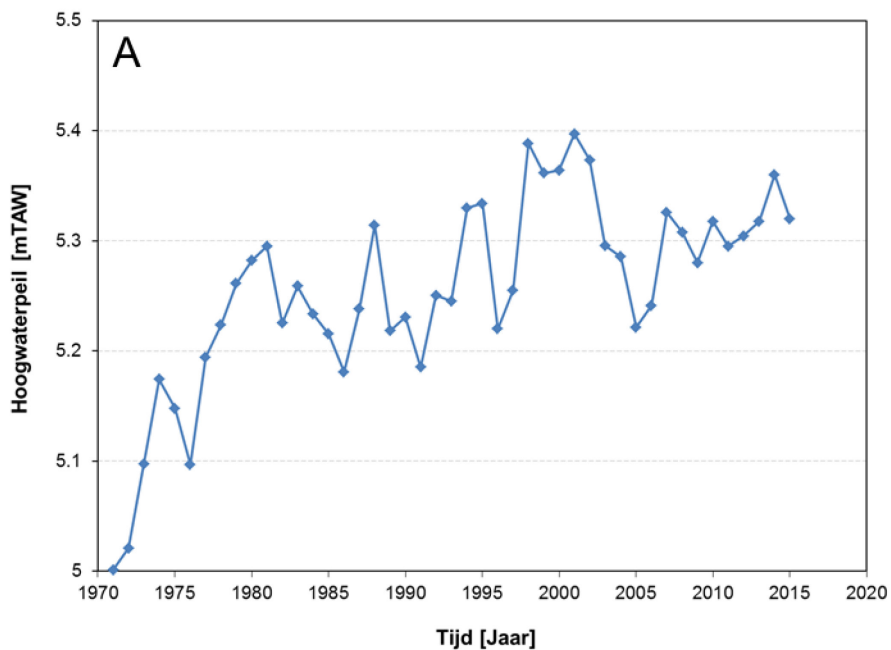
0% WK is hierbij het wateroppervlak, 100% WK is de bodem.

De opgegeven boven en ondergrens in % WK per locatie is de variatie tengevolge het getij (ondergrens = LW, bovengrens = HW). Voor de locaties Boei 84 en Oosterweel wordt op 2 verschillende hoogtes gemonitord.

3.3 Getij

De jaarlijkse hoogwaterstanden te Antwerpen worden op een tijdschaal van meerdere decades gekenmerkt door een toename in waterpeil (Figuur 27a). De evolutie van de laagwaterstanden over de periode 1971-2015 vertoont geen trend (Figuur 27b). De tijdstippen van hoog-en laagwater te Antwerpen werden in deze studie gebruikt om de tijdstippen van hoog en laagwater elders in het estuarium te bepalen. Het algoritme dit hiervoor werd toegepast is omschreven in §2.3. Meer relevante informatie met betrekking tot de evolutie van het getij is terug te vinden in §2.3 (Figuur 2, Figuur 3, Tabel 5 en Tabel 6), het rapport van het langjarig overzicht van de voornaamste getij karakteristieken (Levy et al., 2014), en de O&M rapporten (e.g., Kuijper et al., 2013; Kuijper, 2013; Plancke et al., 2012; Wang, 2013).

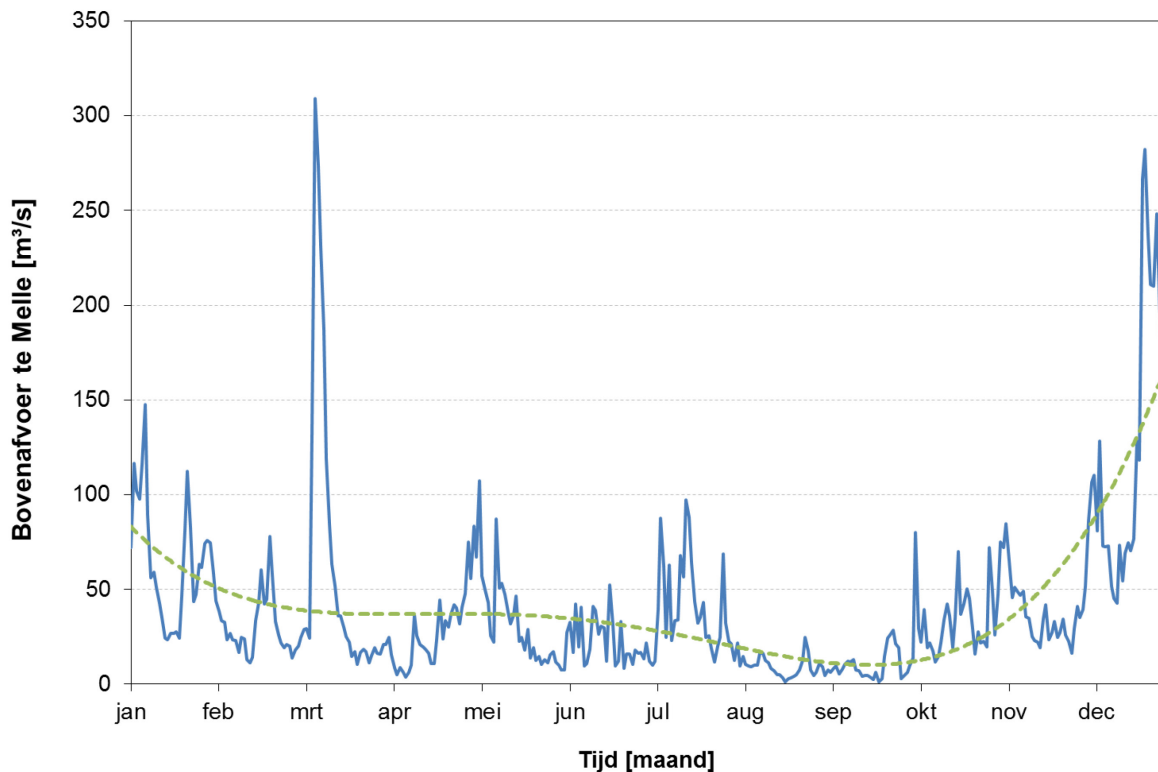
Figuur 27 – Historische evolutie van het hoogwaterpeil (A) en laagwaterpeil (B) te Antwerpen over de periode 1971-2015.



3.4 Bovenafvoer

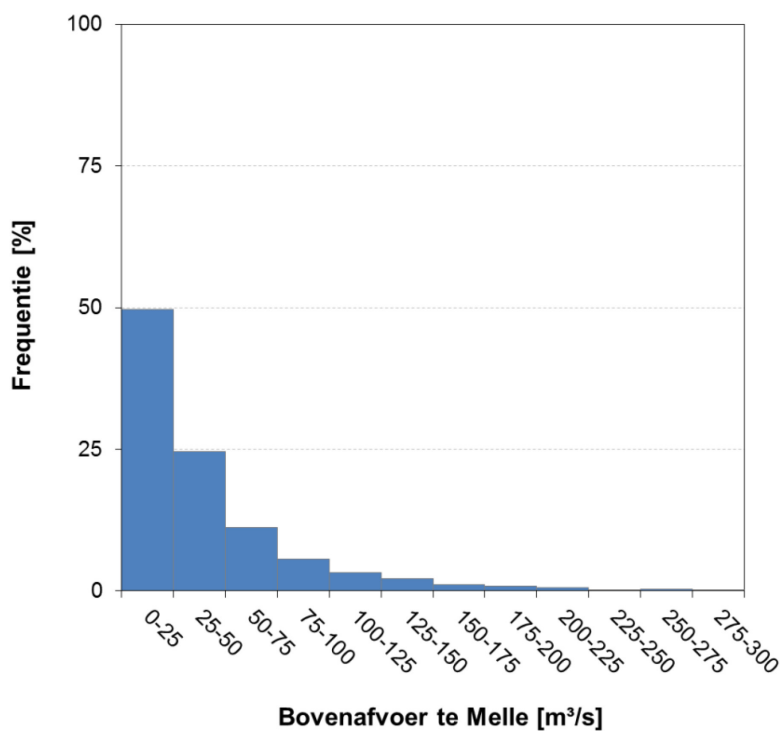
De dagelijkse variatie in bovenafvoer ter hoogte van Melle toont een grillig verloop afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die het stroombekken van de Bovenschelde ontvangt (Figuur 28). Grote hoeveelheden neerslag leiden hierbij tot sterk verhoogde bovenafvoeren, met piekwaardes tot om en bij de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (i.e. de zogenaamde wassen). Deze piekwaardes zijn echter uitzonderlijk. De helft van de dagelijkse debieten is immers kleiner dan $26 \text{ m}^3/\text{s}$ en piekwaardes hoger dan $218 \text{ m}^3/\text{s}$ komen slechts in 1% van de gevallen voor (Figuur 29 en Tabel 8). Naast de fluctuaties op korte termijn observeren we ook fluctuaties op langere termijn. Beschouwd over de periode van een jaar is de bovenafvoer duidelijk het hoogst gedurende de winterperiode, en het laagst op het einde van de zomer. Te Melle bedraagt de bovenafvoer tijdens de winter $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (mediaanwaarde) terwijl dit voor de zomer slechts $12 \text{ m}^3/\text{s}$ is (Figuur 30). Voor de lente en herfst vinden we waardes van respectievelijk 30 en $23 \text{ m}^3/\text{s}$ terug. Beschouwen we de historische evolutie van de bovenafvoer te Melle dan nemen we geen duidelijke trend waar over de beschouwde tijdsperiode 1995-2015 (Figuur 31).

Figuur 28 – Bovenafvoer te Melle (daggemiddelde waardes) voor het jaar 2012.



Groene stippellijn is een 4^{de} graads polynomische regressie.

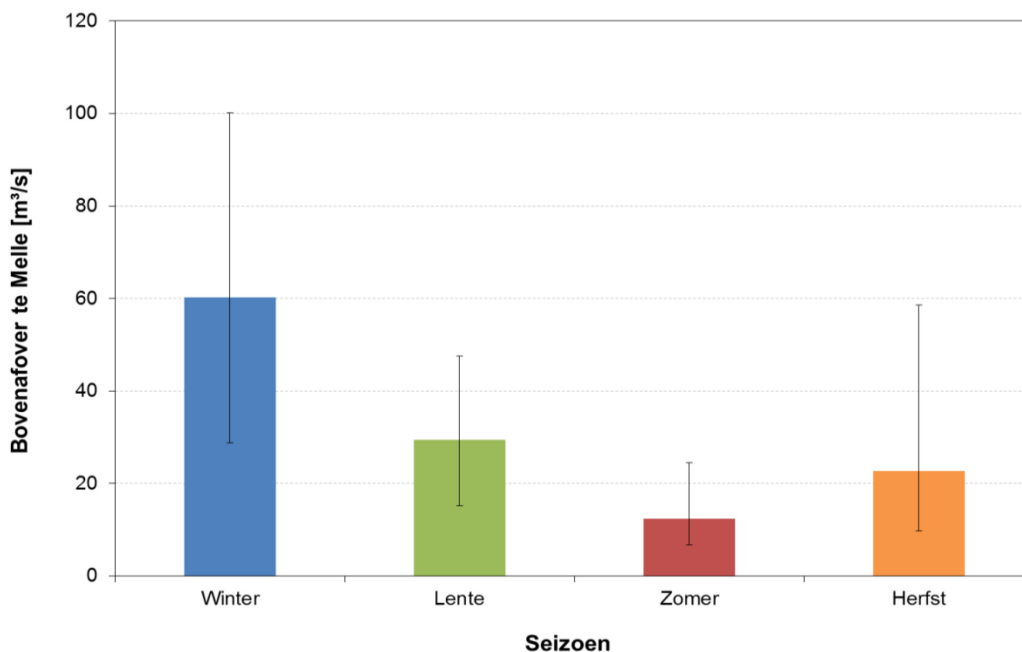
Figuur 29 – Frequentieverdeling bovenafvoer te Melle (berekend over de periode 1995-2012)



Tabel 8 – Overzicht van een aantal karakteristieke percentielwaarden voor de bovenafvoer te Melle (berekend over de periode 1996-2015)

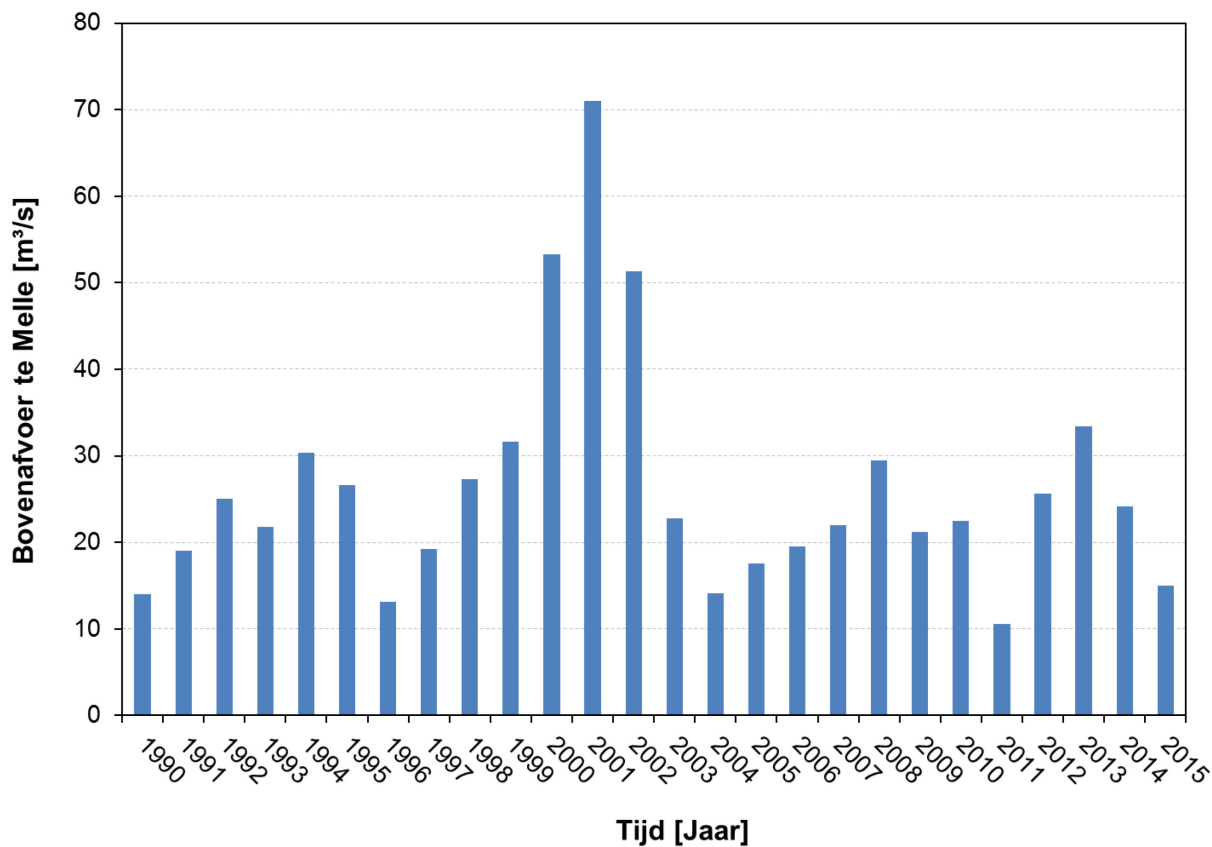
Percentiel	Bovenafvoer [m³/s]
P0	0
P10	5.6
P20	9.9
P45	20.7
P50	23.9
P55	27.7
P90	89.4
P95	124.7
P100	331.3

Figuur 30 – Bovenafvoer te Melle per seizoen (berekend over de periode 1995-2012).



Kolommen stellen de mediaanwaardes voor, de error bars de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes.

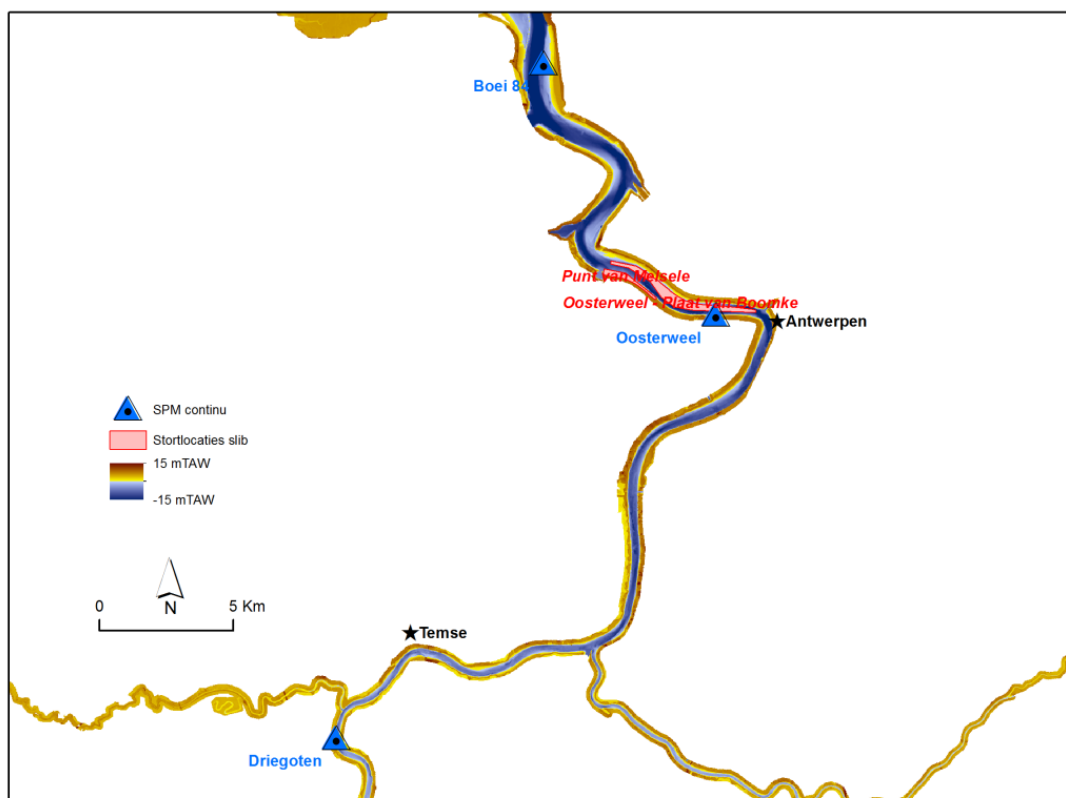
Figuur 31 – Historische evolutie van de jaarlijkse bovenafvoer te Melle (mediaanwaardes) over de tijdsperiode 1990-2015.



3.5 Stortingen

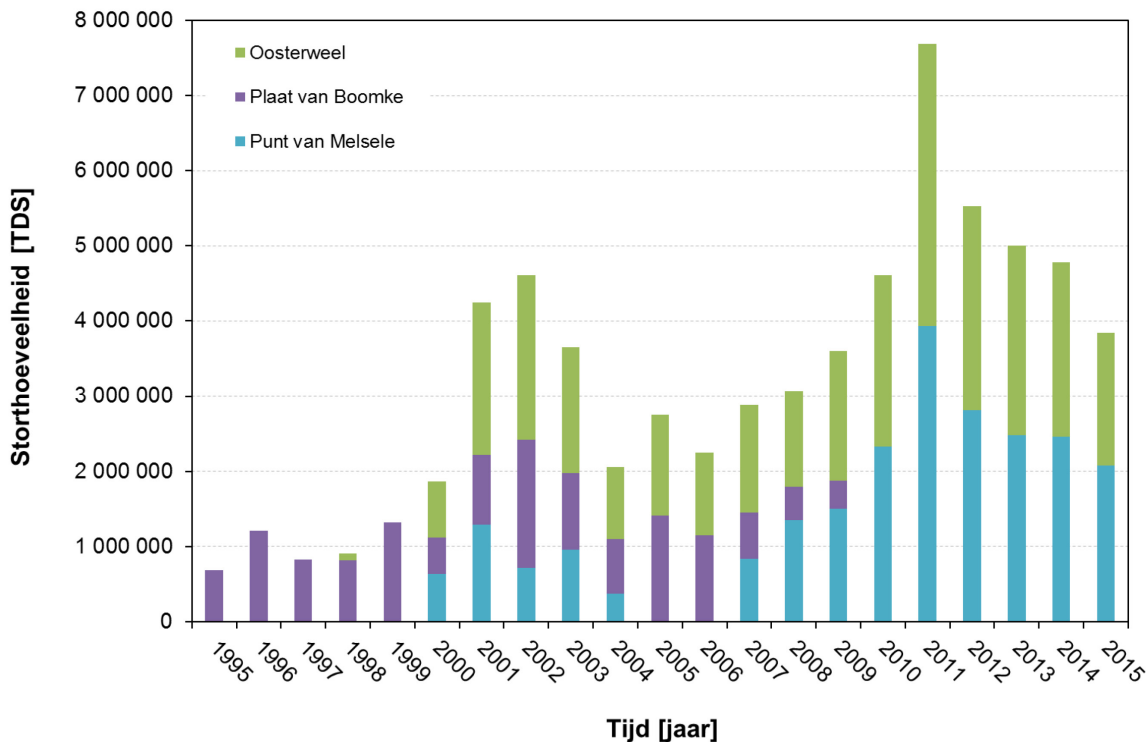
Slib afkomstig van de onderhoudsbaggerwerken in de Beneden-Zeeschelde wordt hoofdzakelijk teruggestort op de locaties Oosterweel, Plaat van Boomke en Punt van Melsele (Figuur 32). In Figuur 33 worden de gestorte hoeveelheden weergegeven in ton droge stof (TDS). Deze waarden werden berekend uit het gereduceerde volume V' (i.e. de baggerhoeveelheid in het schip aanwezig), volgens de formule $TDS = 1.61 * V'$ waarbij wordt aangenomen dat de dichtheid van water gelijk is aan 1 g/cm^3 . De beschouwde stortlocaties zijn gelegen in het brakke deel van het estuarium waar de dichtheid van water iets hoger ligt dan 1 g/cm^3 . Toch heeft dit slechts een beperkte invloed op de absolute waarden in TDS en werd vereenvoudigd gewerkt met de omrekeningsformule $TDS = 1.61 * V'$. Voor meer informatie omtrent de omrekening van baggerhoeveelheden naar TDS wordt verwezen naar Roose (2008).

Figuur 32 – De belangrijkste stortlocaties slib in het Schelde estuarium: Oosterweel, Plaat van Boomke en Punt van Melsele.



De gestorte hoeveelheid slib is doorheen de tijd sterk gewijzigd. Vóór het jaar 2000 werd jaarlijks slechts een ‘beperkte’ hoeveelheid ($\sim 1\,000\,000$ TDS) gestort ter hoogte van Plaat van Boomke (Figuur 33). Vanaf het jaar 2000 is er een toename in gestorte hoeveelheid en werd er op bijkomende locaties gestort (i.e. Oosterweel en Punt van Melsele). De grootste hoeveelheden slib werden gestort in het jaar 2011 waarbij de totale gestorte hoeveelheden groter waren dan $7\,000\,000$ TDS. Voor een algemeen overzicht van menselijke ingrepen in het Schelde estuarium wordt verwezen naar Van Braeckel et al. (2012).

Figuur 33 – Tijdsevolutie (1995-2015) van de hoeveelheid slib gestort ter hoogte van Oosterweel, Plaat van Boomke en Punt van Melsele.



4 Effect op SPM per verklarende parameter

Het SPM signaal in het Schelde estuarium wordt in belangrijke mate beïnvloed door het getij (variatie binnen één getij en variatie binnen springtij-doodtijcyclus), variatie in bovenafvoer (piekdebieten versus lage bovenafvoer), seizoensale variaties en uitgevoerde stortingen. In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat het effect is van elk van deze parameters. Verder zijn er nog een aantal andere factoren die een deel van de variatie in het SPM signaal kunnen verklaren, maar deze analyse komt hier niet aan bod. De analyse in dit hoofdstuk is te beschouwen als een verkennende analyse en geeft weer wat het effect is van de afzonderlijke parameters, maar doet geen uitspraak over het gecombineerd effect van deze parameters.

Ruimtelijk wordt nagegaan of deze effecten verschillend zijn voor de drie grote deelgebieden in het Schelde estuarium (Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde). Deze indeling volgt de administratieve grenzen, maar weerspiegelt weliswaar ook een verschil in hydrodynamisch en morfologisch karakter.

Het merendeel van de hieronder getoonde figuren is gebaseerd op de OMES, DONAR en CEME datasets. Deze datasets worden gekenmerkt door een eerder grove temporele resolutie (wekelijkse tot maandelijkse sampling, zie Tabel 3), wat het bijgevolg moeilijker maakt om het effect van bepaalde events (e.g., piek in bovenafvoer) te evalueren. Desondanks is de temporele resolutie voldoende hoog om een indicatie te krijgen van het algemene effect van deze parameters.

4.1 Getijfase

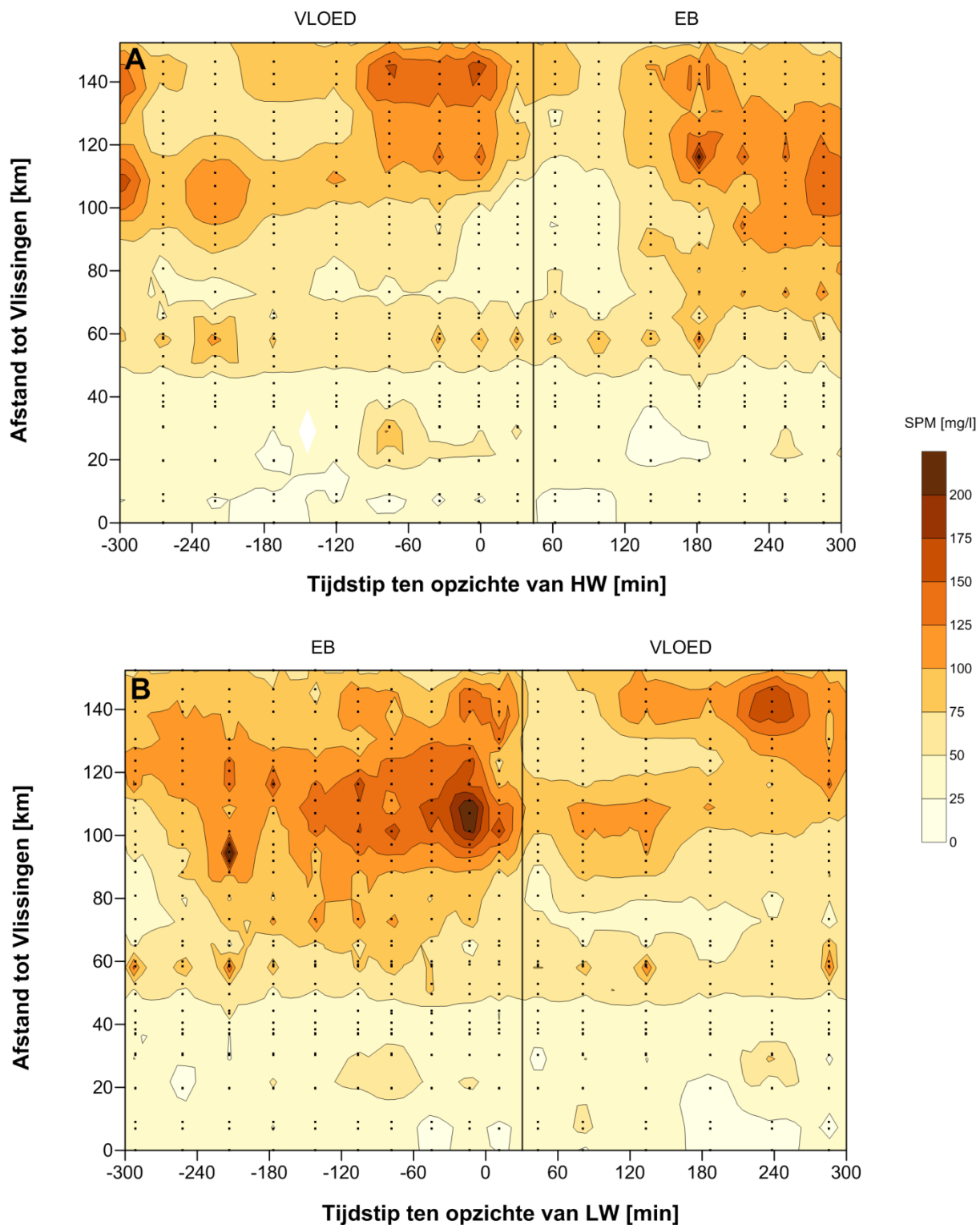
4.1.1 Oppervlakte SPM

Binnen één getij varieert het oppervlakte SPM signaal duidelijk met de verschillende getijfasen. Zo observeren we dat er zowel periodes voorkomen met verhoogde SPM concentraties, als periodes met verlaagde SPM concentraties (Figuur 34). Tijdens de vloedfase worden de hoogste SPM concentraties waargenomen 0-90 minuten vóór HW en dit in het meest opwaartse deel van het estuarium (Figuur 34a). Tijdens de ebfase komen de hoogste concentraties voor 0-180 minuten vóór LW (Figuur 34b). In vergelijking met de vloedfase zijn de piekconcentraties tijdens eb meer afwaarts gelokaliseerd (100-120 km van Vlissingen, Figuur 34b). Naast verhoogde concentraties zijn er gedurende een getij ook duidelijk periodes met lagere concentraties. Na het optreden van de kenteringsmomenten (i.e. zwarte verticale scheidingslijnen tussen eb en vloed in Figuur 34, zie ook §2.4) is er over een periode van ongeveer 1 uur een verlaging in SPM concentratie over het volledige estuarium (Figuur 34a en Figuur 34b). Hierbij is de verlaging in SPM concentratie groter na het optreden van KHW dan na optreden van KLW. Deze observatie wordt ondersteund wanneer we de SPM concentraties samenvattend voorstellen voor de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde en de Boven-Zeeschelde. Na KHW is er in de Beneden- en Boven-Zeeschelde een sterke daling in SPM concentratie die ongeveer de helft bedraagt van de respectievelijke achtergrondconcentraties (Figuur 35a en Figuur 35b). Na KLW is deze daling beperkter en bedraagt de minimale SPM concentratie ongeveer 0.8 keer de achtergrondconcentratie (Figuur 36a en Figuur 36b). Het effect van kentering (en dus lage stroomsnelheden) is minder duidelijk in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde. Zo is er in de Beneden-Zeeschelde nog wel een duidelijke daling in SPM concentratie na KHW (tot 0.6 keer de achtergrondconcentratie), maar is dit veel minder uitgesproken na KLW (cf. Figuur 35b en Figuur 36b).

Het voorkomen van lagere en hogere SPM concentraties gedurende een getij is geassocieerd met variaties in stroomsnelheid. Analyse van de relatie tussen het horizontaal en verticaal getij toonde aan dat het tijdstip van kentering 0-60 minuten later valt dan het tijdstip van het extremum in het verticaal getij (zie §2.4). Het tijdstip van KHW was over het algemeen iets later (30-60 minuten na HW) dan het tijdstip van KLW (0-45 minuten na LW). Beschouwen we de oppervlakte SPM concentraties rond KHW dan verlagen deze in de Beneden en Boven-Zeeschelde het sterkst ongeveer 90 minuten na HW (Figuur 35). Rond KLW is dit ongeveer 50 minuten na LW en is de verlaging enkel uitgesproken in de Boven-Zeeschelde (Figuur 36). Lagere oppervlakte SPM concentraties in de Zeeschelde zijn dus duidelijk geassocieerd met kentering. De verlaging in SPM concentratie komt echter niet simultaan voor met het kenteringstijdstip maar ongeveer 15-30 minuten later. Tijdens de vloedfase komen verhoogde SPM concentraties voor ongeveer 0-90 minuten vóór HW terwijl dit tijdens de eb fase 0-180 minuten voor LW is. Analyse van het horizontale getij toonde aan dat maximale stroomsnelheid tijdens vloed ongeveer 60 minuten vóór HW plaatsvindt en tijdens eb tussen 2-5 uur voor LW. Tijdens de vloedfase komen verhoogde SPM concentraties dus voor wanneer de stroomsnelheid maximaal is, tijdens de eb fase ligt de interpretatie moeilijker. De maximale stroomsnelheid is hier minder uitgesproken en hogere snelheden komen over een langere periode voor (§2.4).

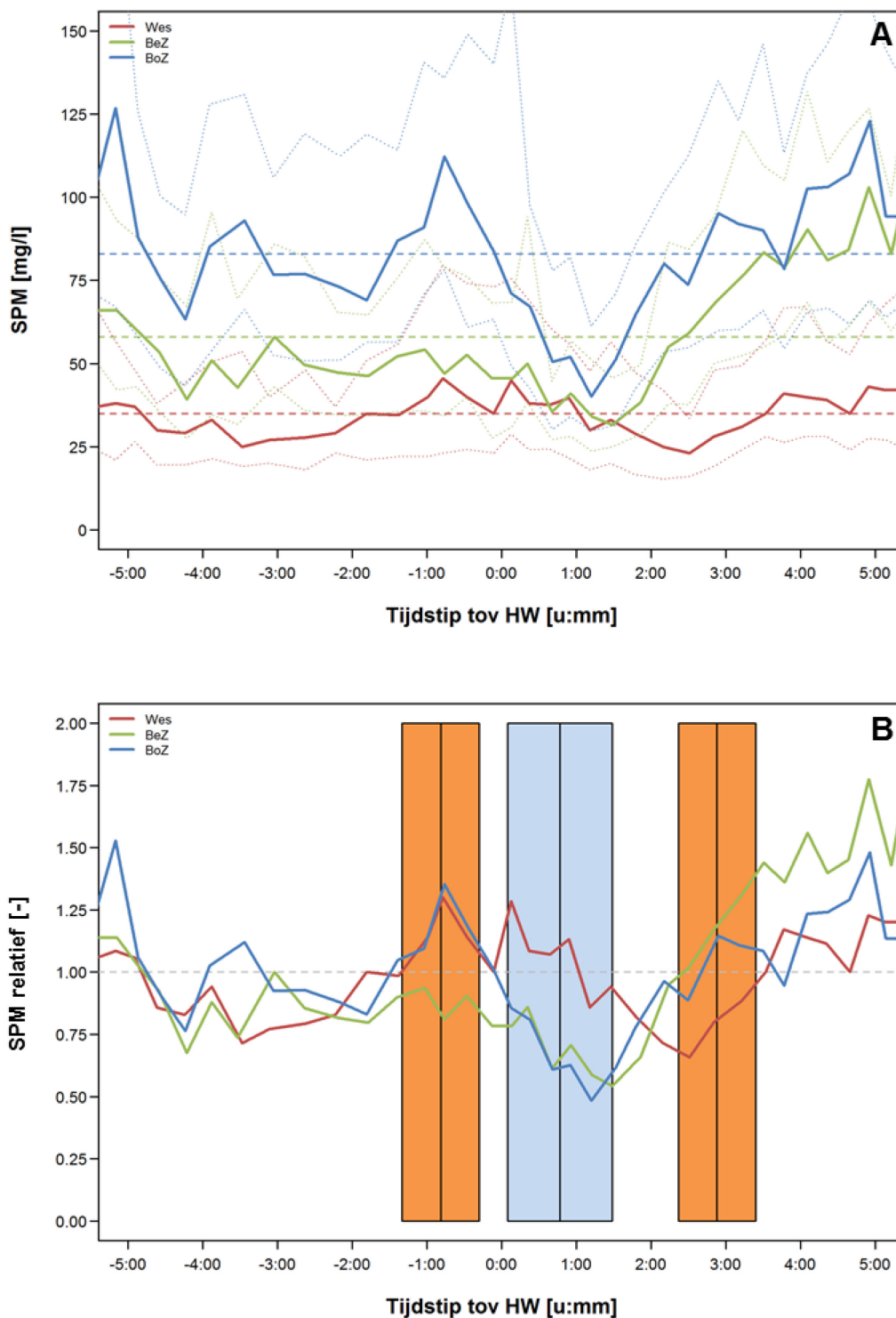
De surferplots (Figuur 34) tonen aan dat de oppervlakte SPM concentraties hoger zijn tijdens de eb fase dan tijdens de vloedfase, en dat de verhoogde concentraties tijdens de eb fase voorkomen over een groter gebied langsheen het estuarium. We merken op dat deze observatie meer éénvoudig is voor de analyse ten opzichte van HW, dan voor de analyse ten opzichte van LW (cf. respectievelijk Figuur 34a en Figuur 34b). Verschillen in ruimtelijke patronen op beide surferplots kunnen verklaard worden door de verschillende grenzen van de tijdsklassen (respectievelijk op basis van percentielwaardes ten opzichte van HW en ten opzichte van LW), bijgevolg het verschillend aantal observaties per meetlocatie, en de grote variatie in SPM per meetlocatie. Het verschil in eb en vloed wordt verder aangetoond in Figuur 37 waarbij de oppervlakte SPM concentraties in de Zeeschelde licht hoger zijn tijdens eb dan tijdens vloed en dit voor bijna de volledige Zeeschelde. Over het algemeen zijn de oppervlakte concentraties in de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde respectievelijk 1.18 en 1.07 keer hoger tijdens eb dan tijdens vloed met die nuance dat de spreiding op de mediaanwaarde groot is (Figuur 38). In de Westerschelde is er weinig verschil tussen eb en vloed (Figuur 37 en Figuur 38).

Figuur 34 – Relatie tussen de getijfase en de oppervlakte SPM (1996-2015) ten opzichte van HW (a) en LW (b) langsheen het Schelde estuarium.



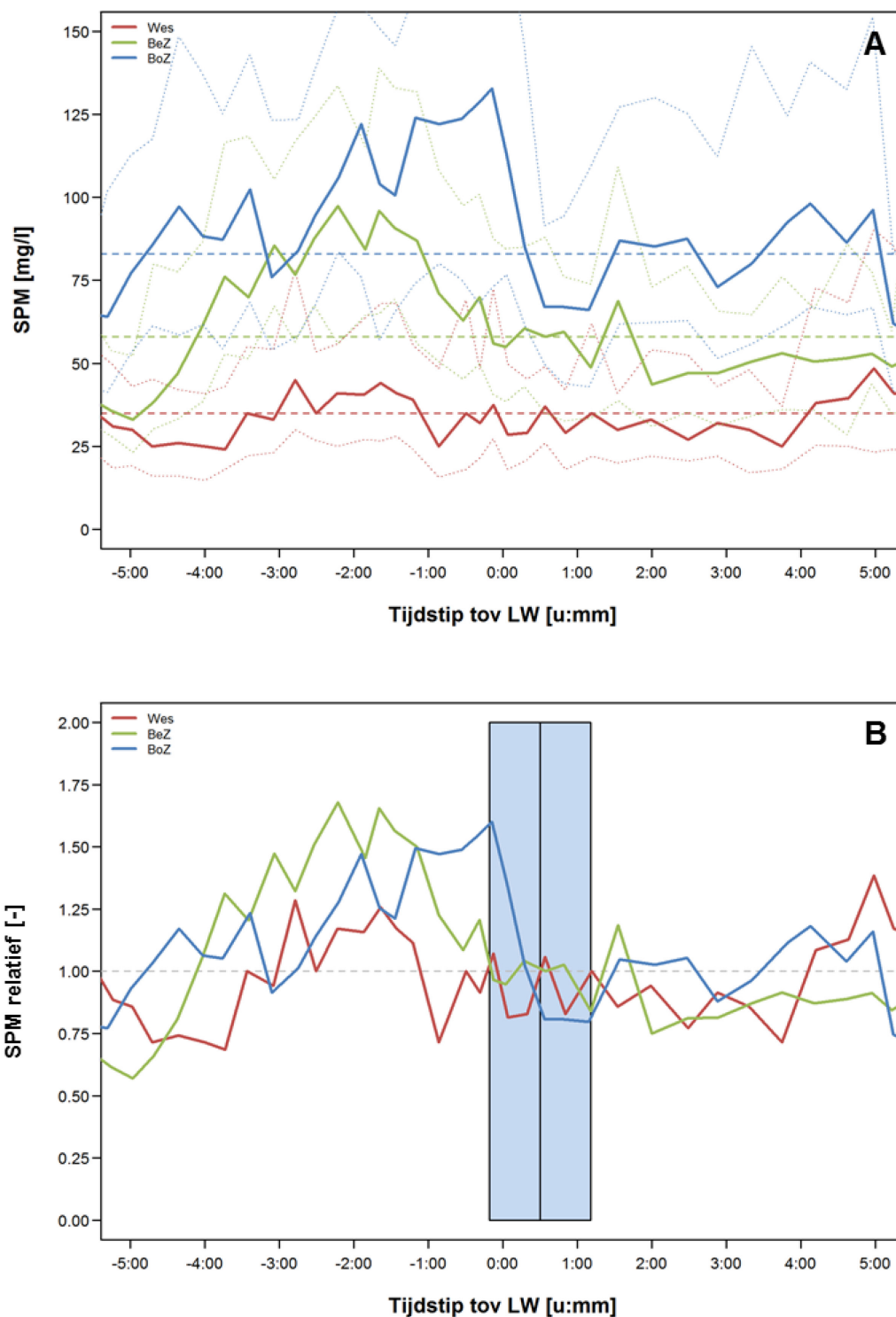
De verticale lijn stelt het tijdstip van kentering voor. We merken hierbij op dat het tijdstip van kentering niet constant is langsheen het estuarium. De verticale lijn stelt het gemiddelde tijdstip van kentering voor zoals berekend in §2.4 (Figuur 7). (Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 60, zoekstraal y = 10 km, tijdsclassen gebaseerd op de 5% percentielwaardes).

Figuur 35 – Oppervlakte SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van HW) voor de deelgebieden Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015.



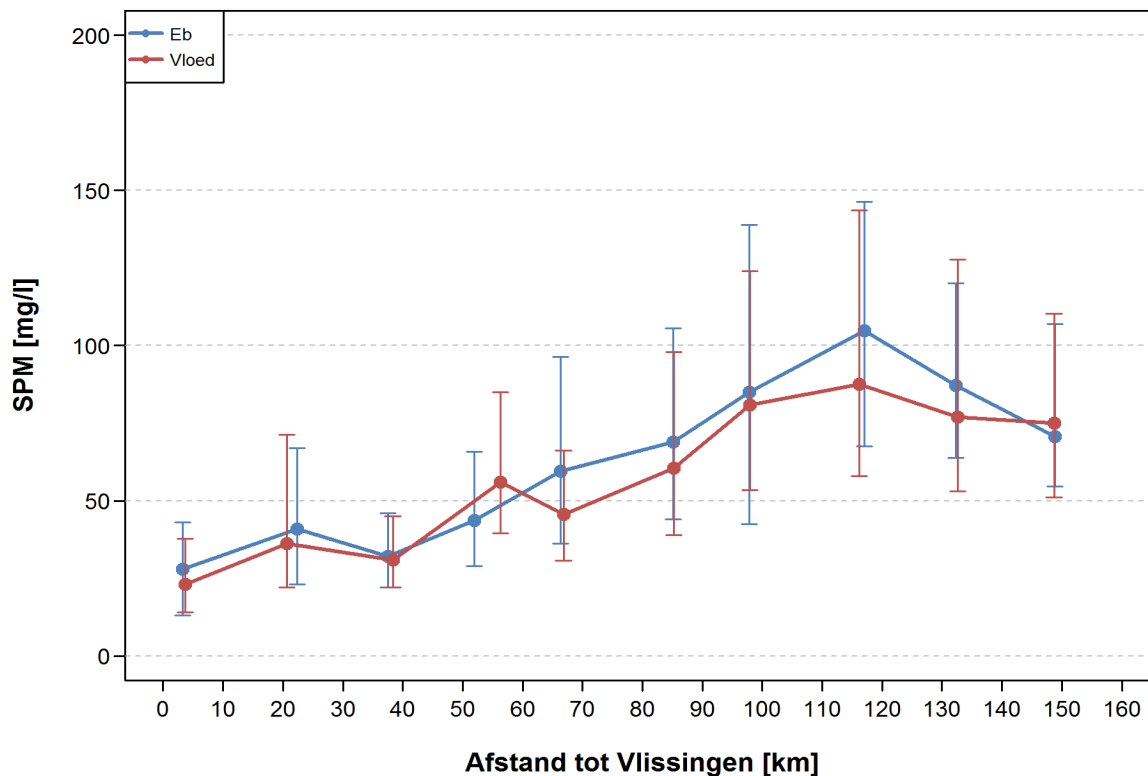
(a) Absolute voorstelling van de oppervlakte SPM waarbij de dikke, volle lijnen de SPM mediaanwaarden voorstellen, de dunne stippellijnen stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor. De gestreepte horizontale lijnen zijn de respectievelijke achtergrondconcentraties (i.e. de mediaan SPM waarde van alle metingen in het deelgebied). (b) Relatieve voorstelling van de oppervlakte SPM waarbij de volle lijnen de verhouding van de SPM mediaanwaarde per getijfase (volle lijn in (a)) en de SPM mediaanwaarde over de volledige ruimtecluster (horizontale stippellijn in (a)) voorstellen. De oranje blokken stellen de tijdstippen van maximale stroomsnelheid bij vloed en eb voor, het lichtblauwe blok het tijdstip van kentering hoogwater. De middellijn in deze blokken is het gemiddelde (μ) tijdstip, de randen stellen $\pm 3\sigma$ voor (zie ook Figuur 7).

Figuur 36 – Oppervlakte SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van LW) voor de deelgebieden Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015.



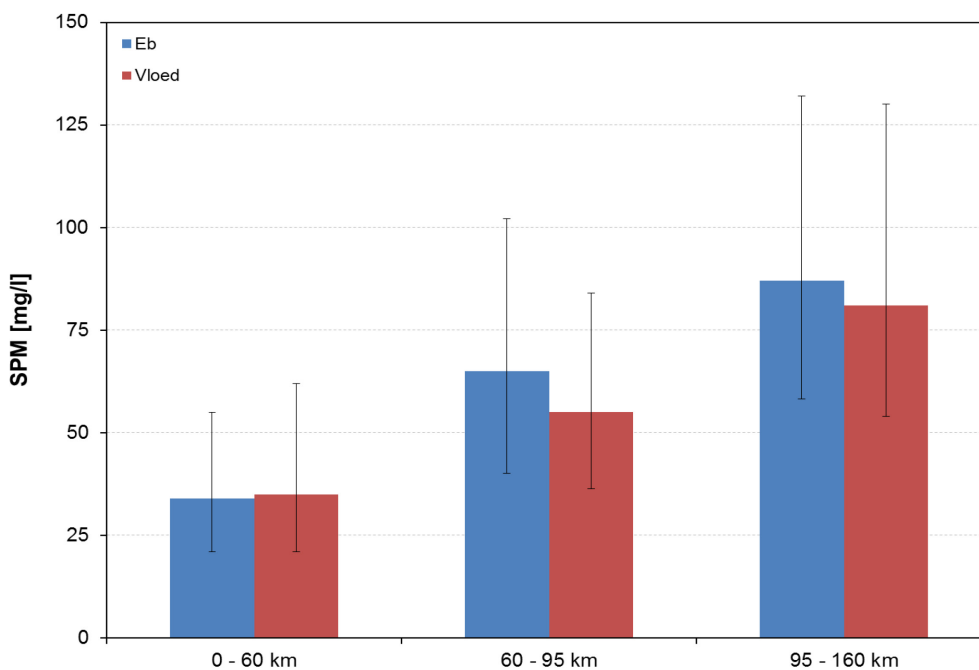
(a) Absolute voorstelling van de oppervlakte SPM waarbij de dikke, volle lijnen de SPM mediaanwaarden voorstellen, de dunne stippellijnen stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor. De gestreepte horizontale lijnen zijn de respectievelijke achtergrondconcentraties (i.e. de mediaan SPM waarde van alle metingen in het deelgebied). (b) Relatieve voorstelling van de oppervlakte SPM waarbij de volle lijnen de verhouding van de SPM mediaanwaarde per getijfase (volle lijn in (a)) en de SPM mediaanwaarde over de volledige ruimtecluster (horizontale stippellijn in (a)) voorstellen. Het lichtblauwe blok stelt het tijdstip van kentering laagwater voor. De middellijn in dit blok is het gemiddelde (μ) tijdstip, de randen stellen $\pm 3\sigma$ voor (zie ook Figuur 7).

Figuur 37 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase, berekend per afstandscuster (op basis van 10% percentielwaarden) over de tijdsperiode 1996-2015.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor.

Figuur 38 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor.

4.1.2 Waterkolom SPM

Net zoals voor de oppervlakte SPM (Figuur 34) observeren we voor de waterkolom SPM periodes met verhoogde en verlaagde concentraties afhankelijk van de getijfase (Figuur 39). Tijdens de vloedfase komen verhoogde waterkolom concentraties voor 120-300 minuten voor HW terwijl dit voor de oppervlakte SPM ongeveer 0-60 minuten vóór HW is (cf. Figuur 39a en Figuur 34a). Tijdens de eb fase worden de hoogste SPM concentraties waargenomen 0-200 minuten vóór LW wat vergelijkbaar is met de oppervlakte SPM. Net zoals voor de oppervlakte SPM zijn de waterkolom SPM concentraties tijdens de eb fase hoger en worden piekconcentraties tijdens deze fase meer afwaarts waargenomen in vergelijking met de vloedfase. Opvallend is dat de piekconcentraties in de waterkolom tijdens eb voorkomen op een afstand 60-80 km van Vlissingen terwijl dit aan het oppervlak duidelijk meer opwaarts is (100-140 km van Vlissingen, cf. Figuur 34 met Figuur 39). Net zoals voor de oppervlakte SPM is er net na kentering een verlaging in de waterkolom concentratie. Deze verlaging is het meest uitgesproken na KHW. Na KLW is er eveneens een verlaging langsheen een groot deel van de Zeeschelde maar wordt er nog een lokaal maximum waargenomen op 100 km van Vlissingen. Ook voor de oppervlakte SPM is ter hoogte van kilometer 100 een verhoging in SPM concentratie net na KLW (cf. Figuur 39b en Figuur 34b). Beschouwen we de grootschalige ruimteclusters Beneden en Boven-Zeeschelde dan wordt de laagste waterkolom concentratie respectievelijk waargenomen 105 en 85 minuten na KHW. In het geval van de Beneden-Zeeschelde zakt de concentratie tot 0.28 keer de achtergrondconcentratie, in het geval van de Boven-Zeeschelde zakt de concentratie tot 0.53 keer de achtergrondconcentratie (Figuur 40b). Na KLW wordt er geen duidelijk dal in SPM waargenomen.

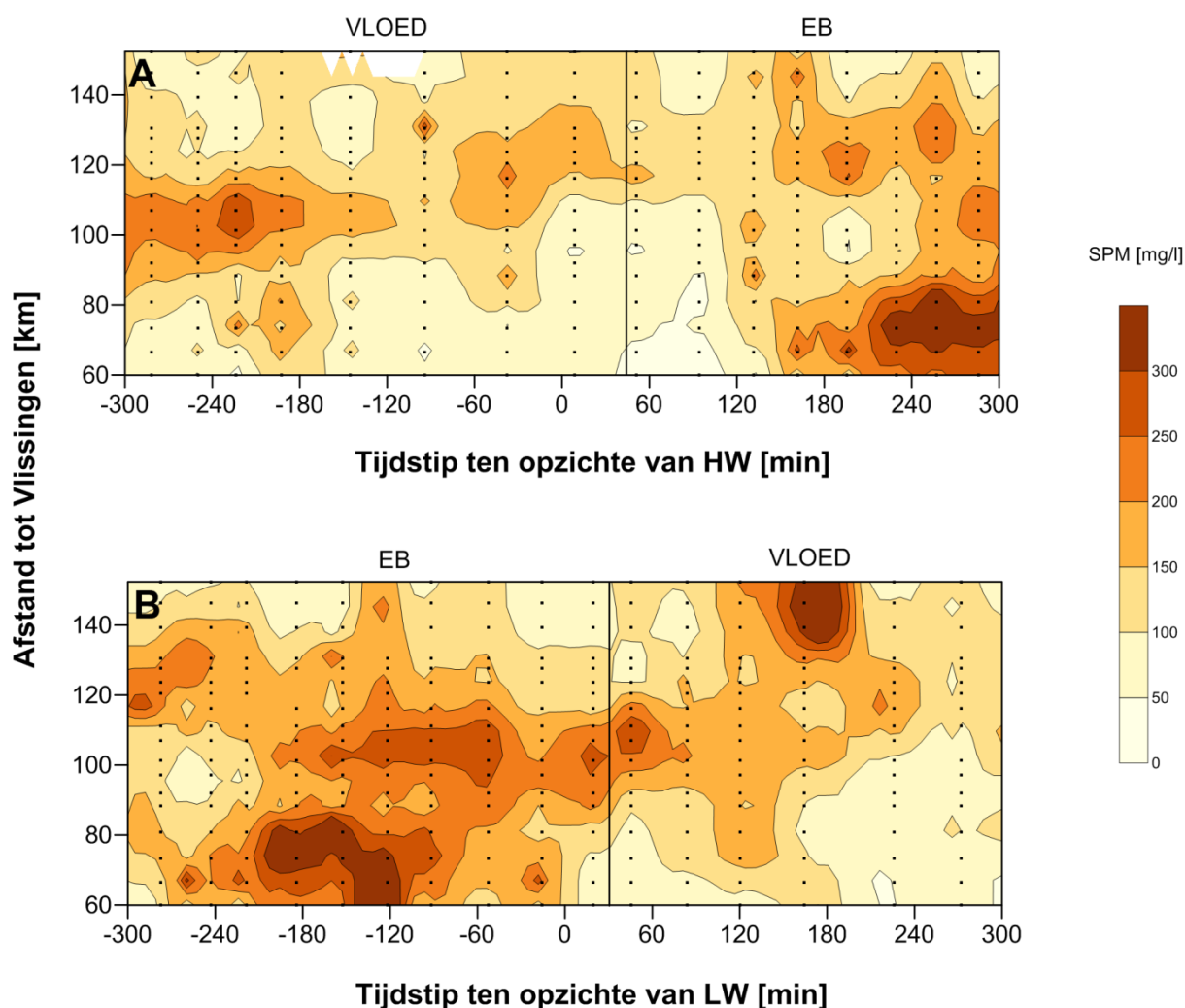
De continue waterkolom SPM data (zie §3.2.3) tonen eveneens een duidelijke SPM variatie in functie van de getijfase. Net zoals voor de niet-continue waterkolom SPM data is er net na kentering een afname in SPM concentratie voor alle drie de meetlocaties, terwijl voor het grootste deel van de eb en vloedfase de SPM concentraties hoger liggen (Figuur 42). De laagste SPM waarden na KHW worden voor alle drie de locaties ongeveer 90 minuten na HW waargenomen. Na KLW is het tijdstip van laagste SPM concentratie dicht tegen het extremum gelegen. Enkel voor de locatie Driegoten lijkt er weinig verschil te zijn tussen KHW en KLW. We merken hierbij op dat uit de analyse tussen horizontaal en verticaal getij blijkt dat KHW ongeveer 43 minuten na HW voorkomt terwijl dit voor KLW ongeveer 30 minuten na LW is (Figuur 7). Naast verlaagde SPM concentraties zijn er ook duidelijk periodes met verhoogde SPM concentraties. De maximale SPM concentraties vallen hierbij niet noodzakelijk samen met de maximale stroomsnelheden (oranje zones in Figuur 42). Opvallend zijn de hogere sedimentconcentraties tijdens eb ter hoogte van Boei 84 (Figuur 42). Dit wordt niet waargenomen voor de overige locaties, daar zijn de SPM concentraties tijdens eb slechts in beperkte mate hoger.

De dieptegemiddelde waterkolom SPM concentratie in de Beneden-Zeeschelde bedraagt tijdens eb bijna 200 mg/l wat ongeveer het dubbele is van de concentratie tijdens vloed. Voor de Boven-Zeeschelde is het verschil tussen eb en vloed duidelijk kleiner (Figuur 43). Alle geanalyseerde datasets (§4.1.1 en §4.1.2) tonen een beeld waarbij de SPM concentraties tijdens eb hoger zijn dan deze tijdens vloed. Dit wel echter nog niet zeggen dat er een ebgedomineerd sedimenttransport is. Stroomsnelheidsmetingen ter hoogte van de continue meetlocaties tonen hogere stroomsnelheden tijdens vloed voor Boei 84, terwijl voor Oosterweel en Driegoten de stroomsnelheden hoger zijn tijdens eb (Figuur 45). Vermenigvuldigen van de SPM concentraties met de stroomsnelheden (i.e. de 10 minuutwaarden vermenigvuldigen en vervolgens sommeren over de getijfase) toont aan dat de sedimentfluxen voor de puntlocaties Oosterweel en Driegoten tijdens de eb fase hoger zijn. Voor de puntlocaties van Boei 84 zijn de fluxen ongeveer gelijk (Figuur 46). We merken hierbij op dat berekeningen ter hoogte van puntlocaties niet representatief zijn voor de sedimentfluxen over de volledige dwarsdoorsnede.

Waterkolom SPM is variabel met de waterkolomdiepte. Met toenemende diepte is er een duidelijke toename in SPM concentratie (Figuur 47 en Figuur 48). Deze observatie werd reeds waargenomen bij

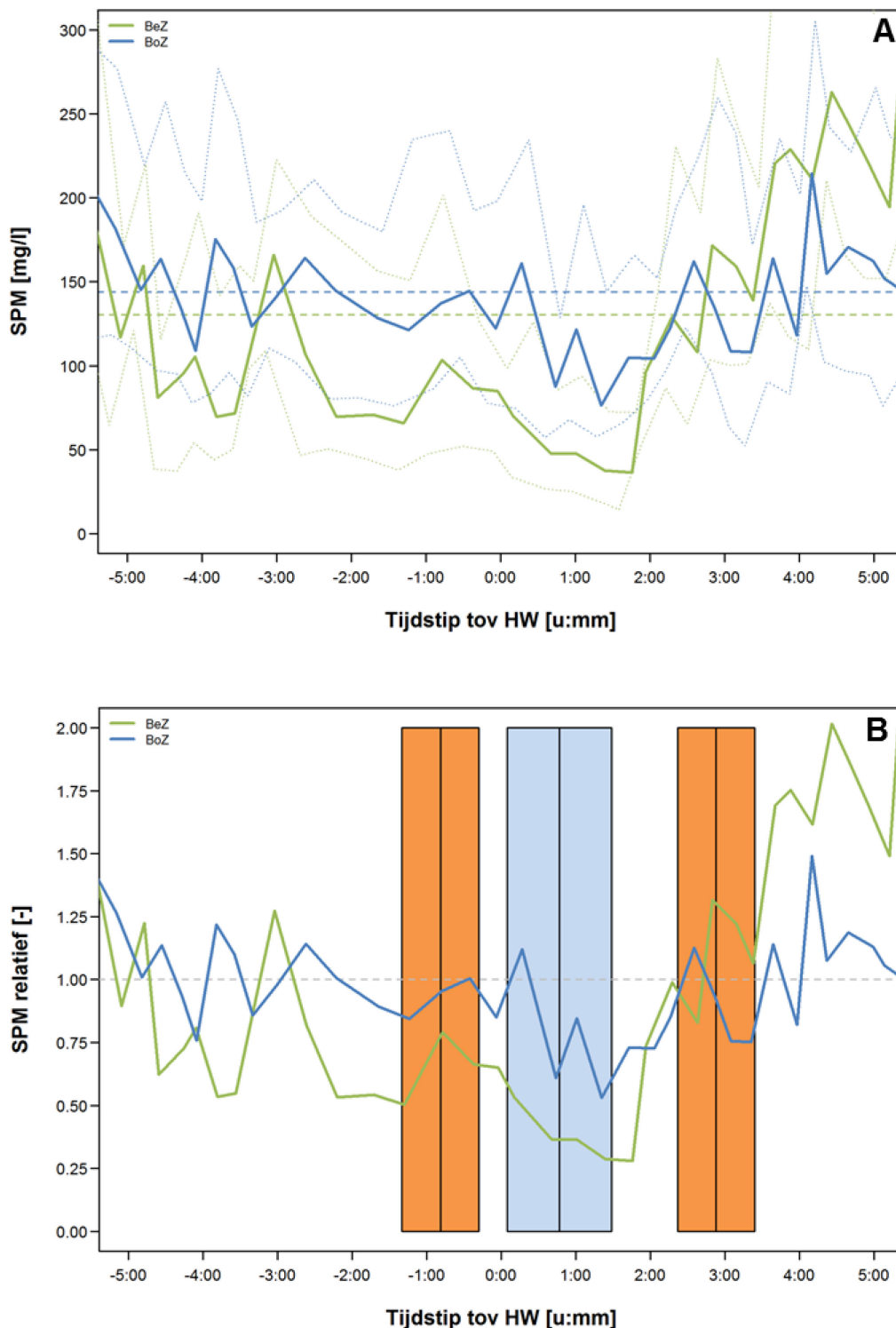
de beschrijving van de getij-onafhankelijke waterkolom SPM dataset en de halftij ebvaarten (Figuur 22 en Figuur 25). Beschouwen we de variatie in SPM over de waterkolom in functie van getijfase dan valt op dat het tijdstip waarop piekconcentraties voorkomen varieert met de waterkolomdiepte. Nabij de bodem worden reeds piekconcentraties waargenomen tijdens KHW, terwijl dit nabij het oppervlak later is (Figuur 47). Enerzijds kan dit verklaard worden door het eerder voorkomen van hogere stroomsnelheden nabij de bodem dan aan het wateroppervlak. Anderzijds speelt tot de afstand tot de bron van het slib (i.e. bodem) een duidelijke rol. Hoe dichter bij de bodem, en dus de bron van het slib, hoe eerder de effecten van resuspensie leiden tot hoger SPM concentraties. Pas in een latere fase wanneer de doormenging van de waterkolom volledig is, wordt er een stijging in SPM concentratie waargenomen nabij het oppervlak.

Figuur 39 – Relatie tussen de getijfase en de diepte-gemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) ten opzichte van tijdstip HW (a) en tijdstip LW (b) langsheen het Schelde estuarium.



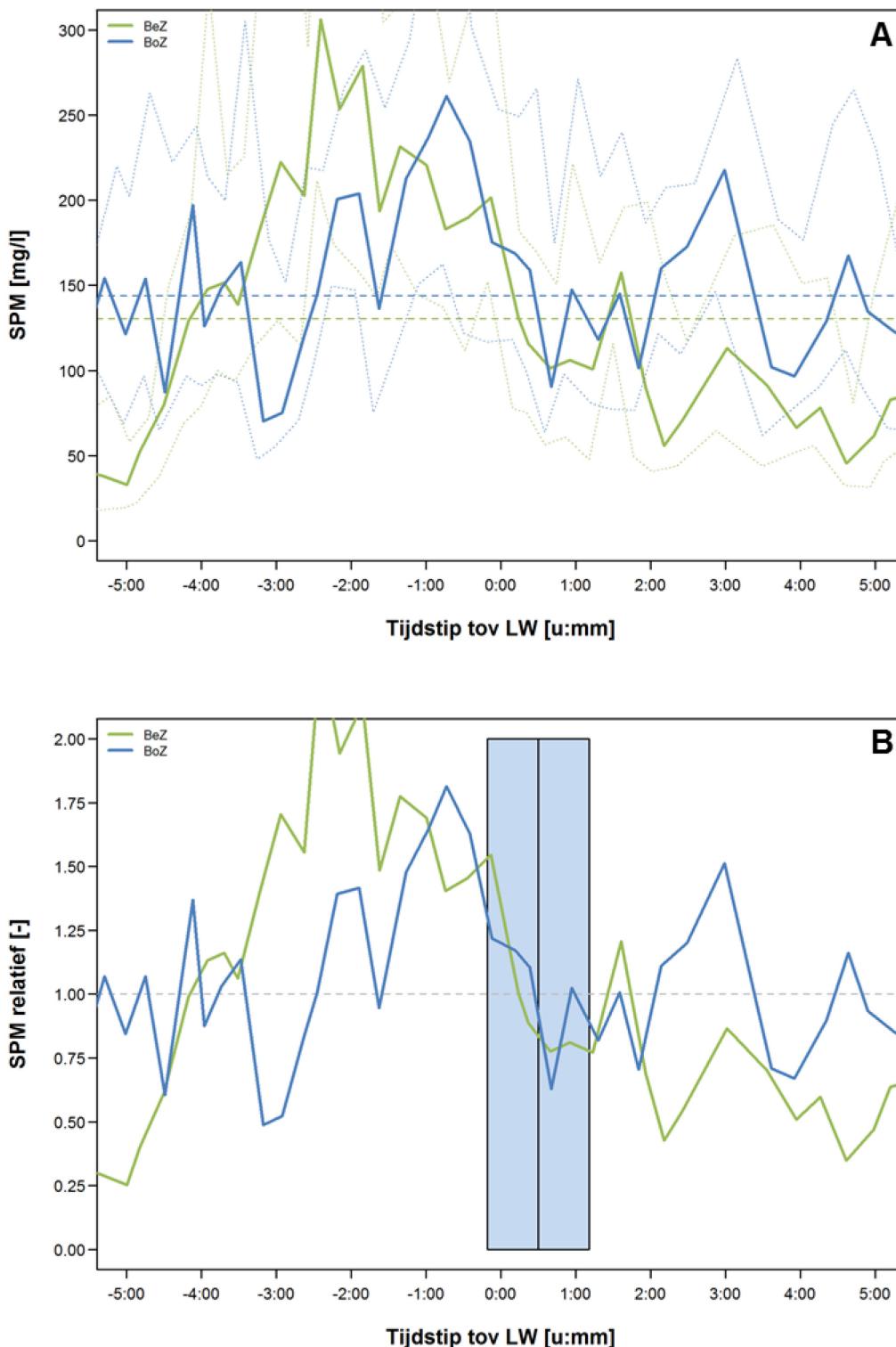
De verticale lijn stelt het tijdstip van kentering voor. We merken hierbij op dat het tijdstip van kentering niet constant is langsheen het estuarium. De verticale lijn stelt het gemiddelde tijdstip van kentering voor zoals berekend in §2.4 (Figuur 7). (Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal $x = 60$, zoekstraal $y = 10$ km, tijdsclassen gebaseerd op de 5% percentielwaarden)

Figuur 40 – Waterkolom SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van HW) voor de deelgebieden Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.



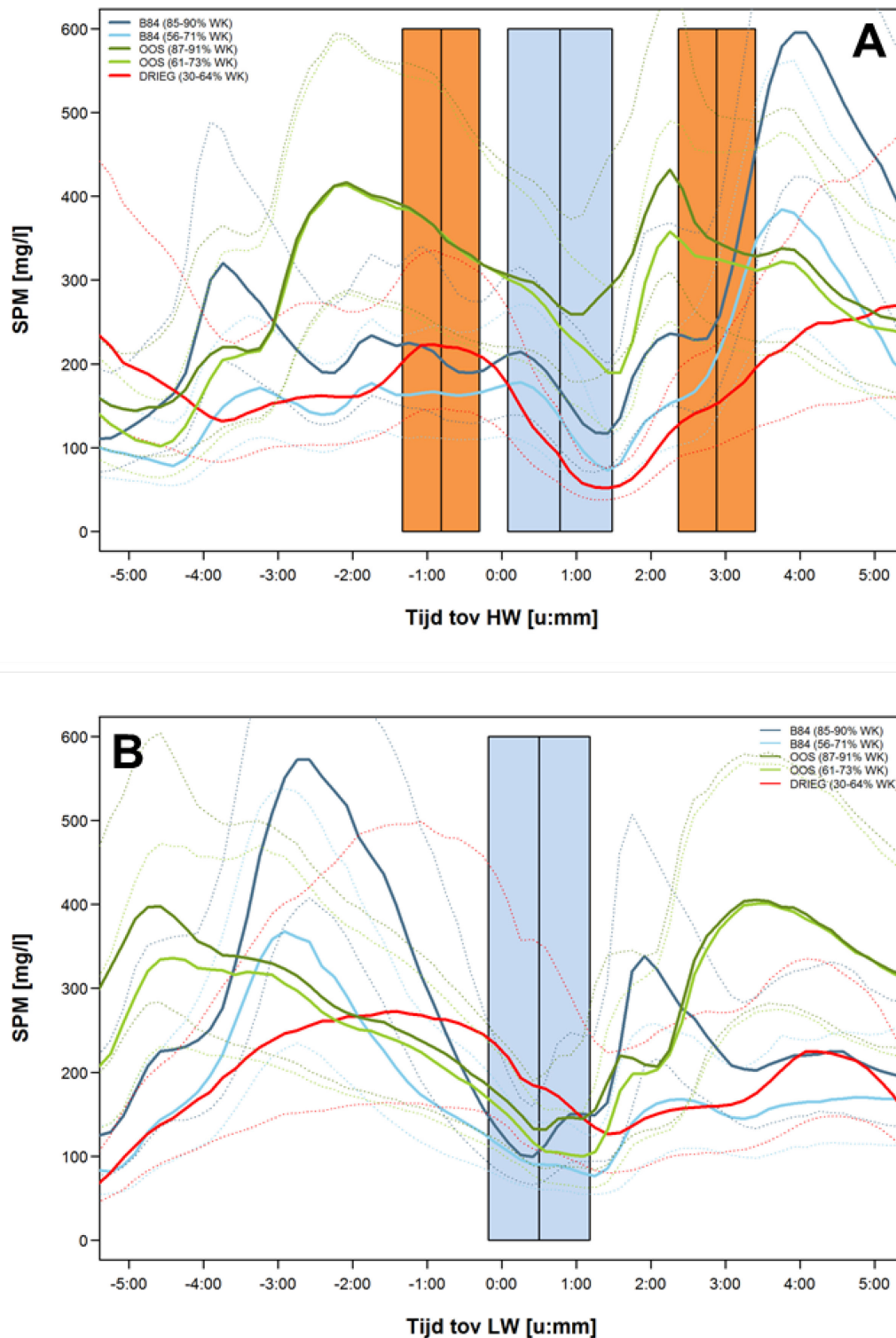
(a) Absolute voorstelling van de waterkolom SPM waarbij de dikke, volle lijnen de SPM mediaanwaarden voorstellen, de dunne stippellijnen stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor. De gestreepte horizontale lijnen zijn de respectievelijke achtergrondconcentraties (i.e. de mediaan SPM waarde van alle metingen in het deelgebied). (b) Relatieve voorstelling van de waterkolom SPM waarbij de volle lijnen de verhouding van de SPM mediaanwaarde per getijfase (volle lijn in (a)) en de SPM mediaanwaarde over de volledige ruimtecluster (horizontale stippellijn in (a)) voorstellen. De oranje blokken stellen de tijdstippen van maximale stroomsnelheid bij vloed en eb voor, het lichtblauwe blok het tijdstip van kentering hoogwater. De middellijn in deze blokken is het gemiddelde (μ) tijdstip, de randen stellen $\pm 3\sigma$ voor (zie ook Figuur 7).

Figuur 41 – Waterkolom SPM in functie van de getijfase (ten opzichte van LW) voor de deelgebieden Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.



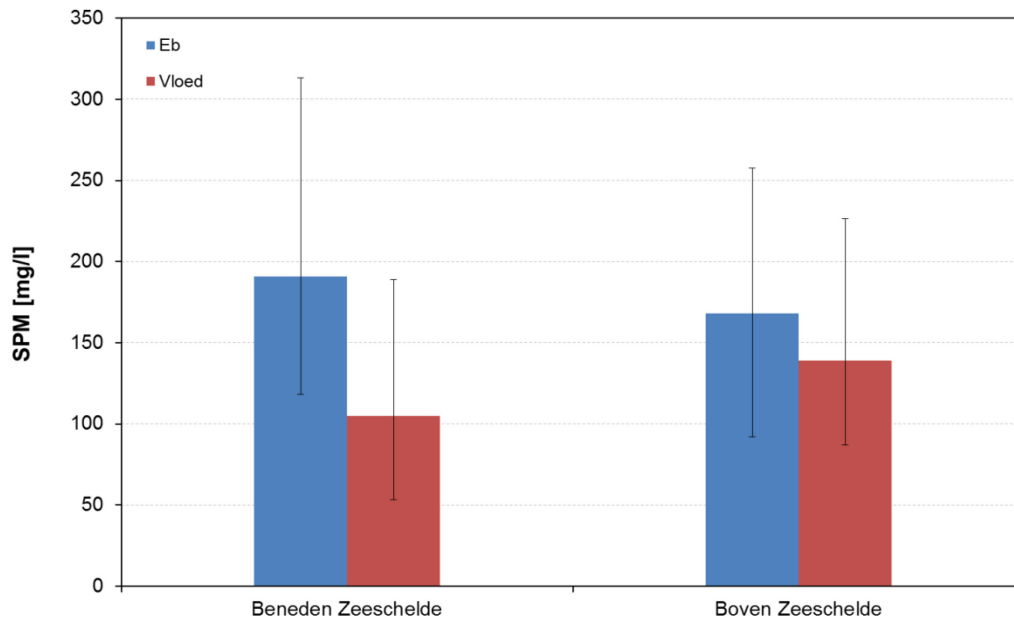
(a) Absolute voorstelling van de waterkolom SPM waarbij de dikke, volle lijnen de SPM mediaanwaarden voorstellen, de dunne stippellijnen stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor. De gestreepte horizontale lijnen zijn de respectievelijke achtergrondconcentraties (i.e. de mediaan SPM waarde van alle metingen in het deelgebied). (b) Relatieve voorstelling van de waterkolom SPM waarbij de volle lijnen de verhouding van de SPM mediaanwaarde per getijfase (volle lijn in (a)) en de SPM mediaanwaarde over de volledige ruimtecluster (horizontale stippellijn in (a)) voorstellen. Het lichtblauwe blok stelt het tijdstip van kentering laagwater voor. De middellijn in dit blok is het gemiddelde (μ) tijdstip, de randen stellen $\pm 3\sigma$ voor (zie ook Figuur 7).

Figuur 42 – Waterkolom SPM in functie van het tijdstip ten opzichte van HW (a) en LW (b) voor de meetlocaties Boei 84 (63 km tot boei Vlissingen), Oosterweel (78 km) en Driegoten (107 km) (locaties zie Figuur 1).



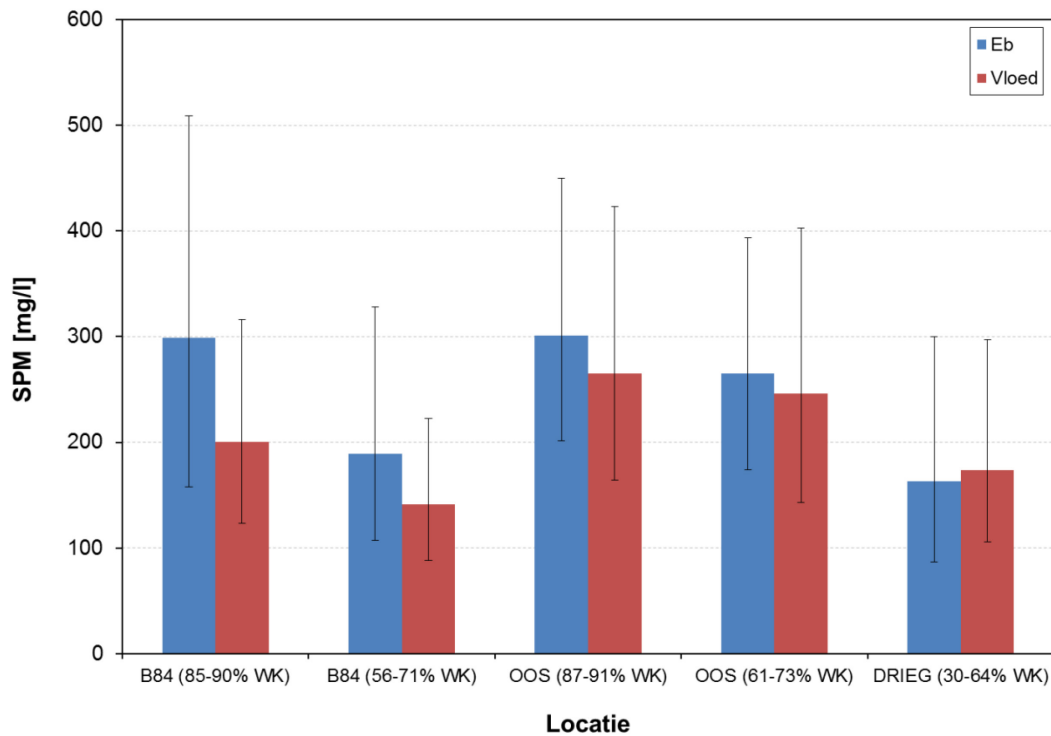
Voor Boei 84 en Oosterweel werd op 2 verschillende dieptes gemeten, 0% waterkolom (WK) is meting aan het oppervlak, 100% waterkolom is meting op de bodem. De grenswaardes in %WK stellen waterkolomdieptes voor bij GHW en GLW. Waterkolom SPM is berekend over 10 minuten clusters voor de tijdsperiode 2008-2012. Dikke lijnen zijn de SPM mediaanwaarden, dunne stippellijnen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielen. Geleerde zones, stellen specifieke momenten binnen een getij voor: lichtblauw is kentering hoogwater (KHW), oranje is maximale stroomsnelheid (links tijdens eb, rechts tijdens vloed) (zie ook Figuur 7).

Figuur 43 – Dieptegemiddelde waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de eb- en vloedfase voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.



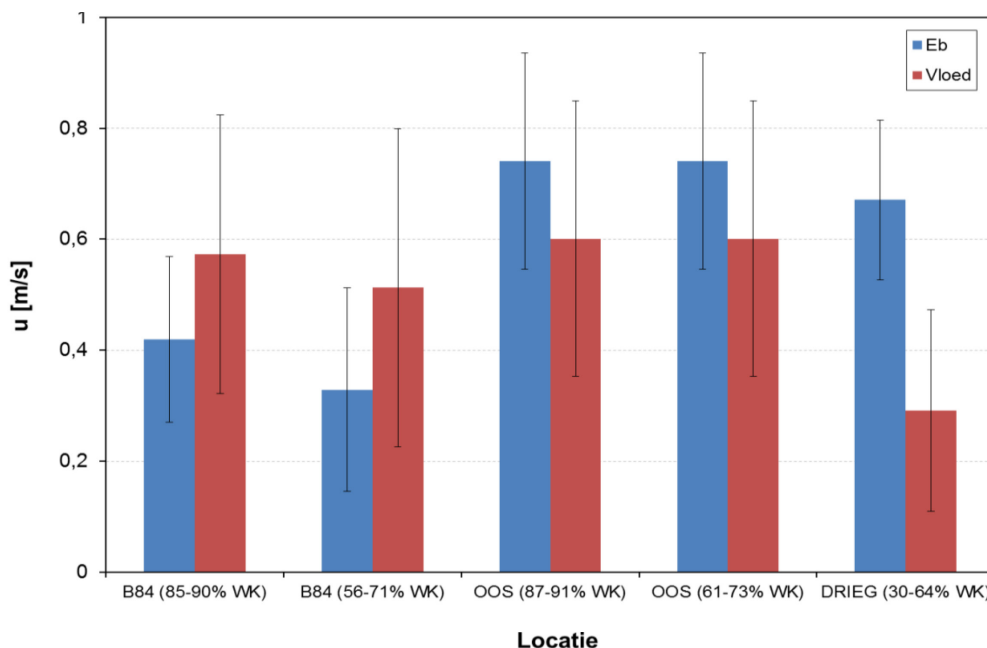
Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Figuur 44 – Waterkolom SPM in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.



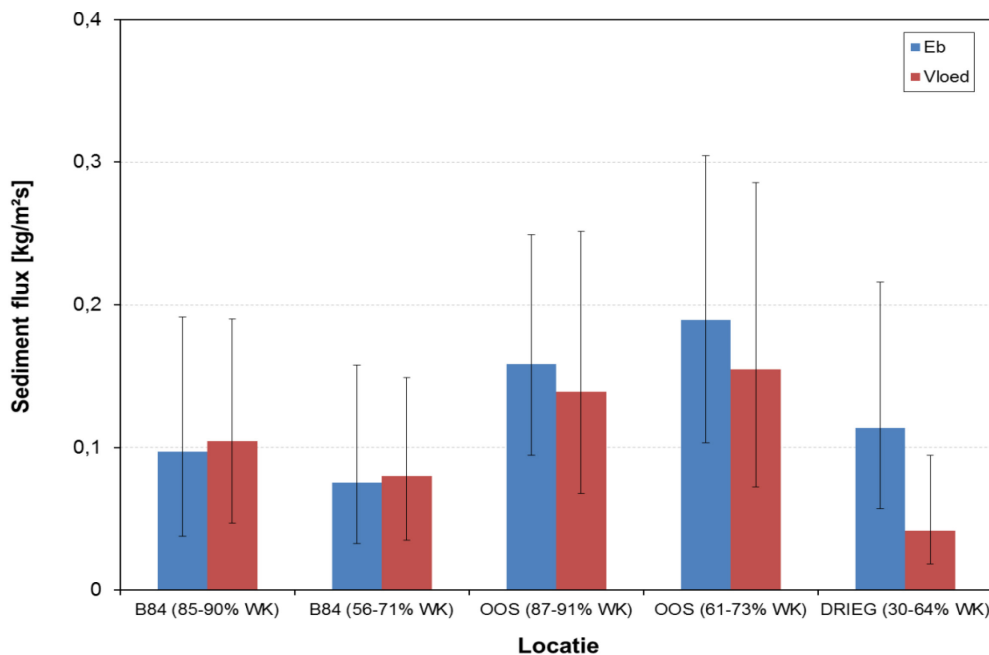
Kolommen stellen de mediaanwaardes voor, de foutenvlaggen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes. Percentages tussen haakjes geven de waterkolomdieptes weer waarop de sensoren zijn opgehangen (100% = bodem, 0% = wateroppervlak). De intervalwaardes geven de variatie in waterkolomdiepte ten gevolge van de getijbeweging.

Figuur 45 – Stroomsnelheid in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.



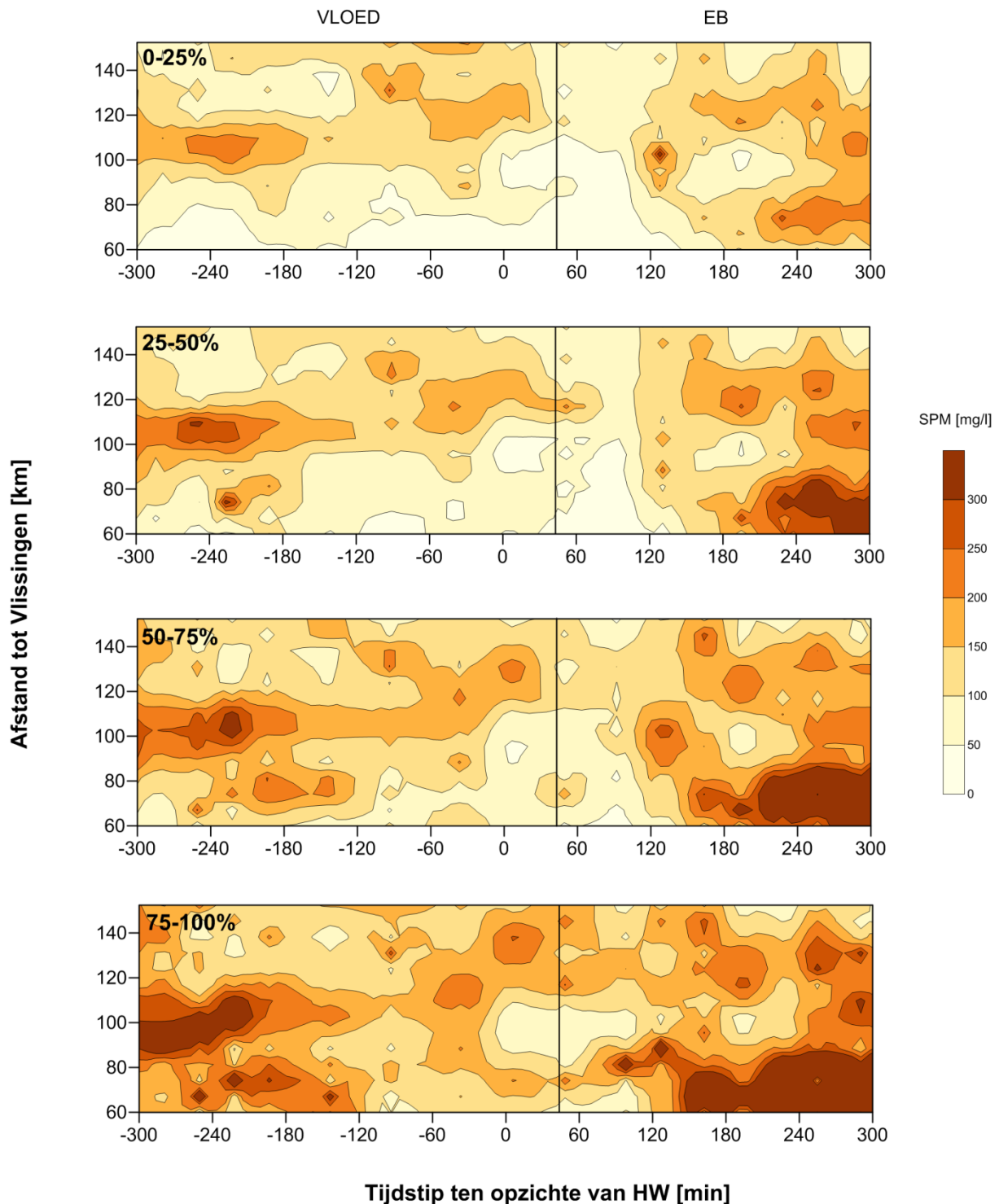
Kolommen stellen de mediaanwaarden voor, de foutenvlaggen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden. Percentages tussen haakjes geven de waterkolomdieptes weer waarop de sensoren zijn opgehangen (100% = bodem, 0% = wateroppervlak). De intervalwaarden geven de variatie in waterkolomdiepte ten gevolge van de getijbeweging.

Figuur 46 – Sediment flux op het meetpunt in functie van eb-vloed voor de continue meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.



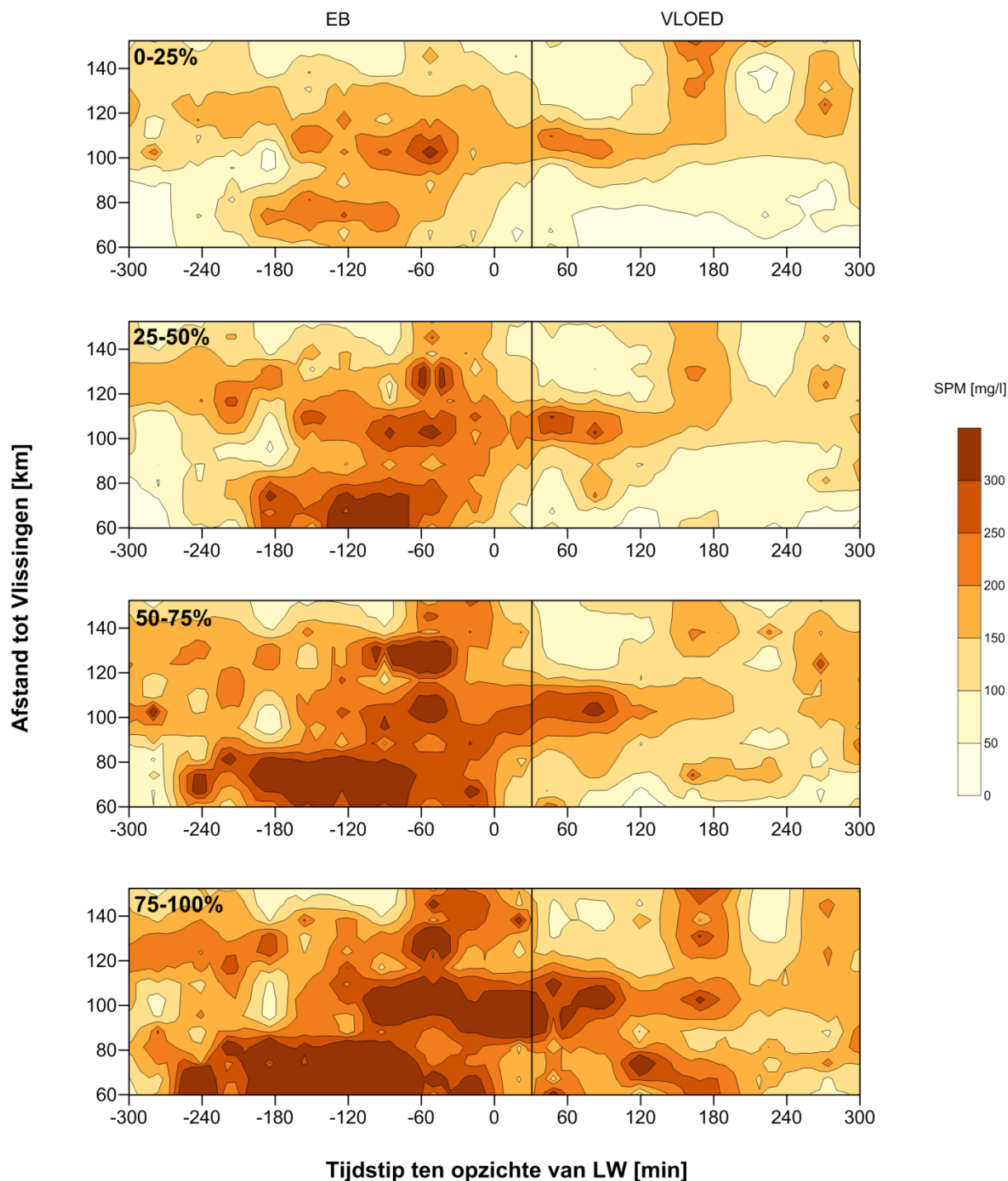
Kolommen stellen de mediaanwaarden voor, de foutenvlaggen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden. Fluxen werden berekend door de 10 minuutwaarden voor SPM en stroomsnelheid te vermenigvuldigen en vervolgens te sommeren over de volledige getijfase. Percentages tussen haakjes geven de waterkolomdieptes weer waarop de sensoren zijn opgehangen (100% = bodem, 0% = wateroppervlak). De intervalwaarden geven de variatie in waterkolomdiepte ten gevolge van de getijbeweging.

Figuur 47 – Relatie tussen de getijfase (tijdstip ten opzichte van HW) en de waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium op 0-25% waterkolomdiepte (nabij oppervlak), 25-50%, 50-75% en 75-100% waterkolomdiepte (nabij bodem).



De verticale lijn stelt het tijdstip van kentering voor. We merken hierbij op dat het tijdstip van kentering niet constant is langsheen het estuarium. De verticale lijn stelt het gemiddelde tijdstip van kentering voor zoals berekend in §2.4 (Figuur 7). (Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 60, zoekstraal y = 10 km, tijdsclassen gebaseerd op de 5% percentielwaardes).

Figuur 48 – Relatie tussen de getijfase (tijdstip ten opzichte van LW) en de waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium op 0-25% waterkolomdiepte (nabij oppervlak), 25-50%, 50-75% en 75-100% waterkolomdiepte (nabij bodem).



De verticale lijn stelt het tijdstip van kentering voor. We merken hierbij op dat het tijdstip van kentering niet constant is langsheen het estuarium. De verticale lijn stelt het gemiddelde tijdstip van kentering voor zoals berekend in §2.4 (Figuur 7). (Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 60, zoekstraal y = 10 km, tijdsclassen gebaseerd op de 5% percentielwaardes).

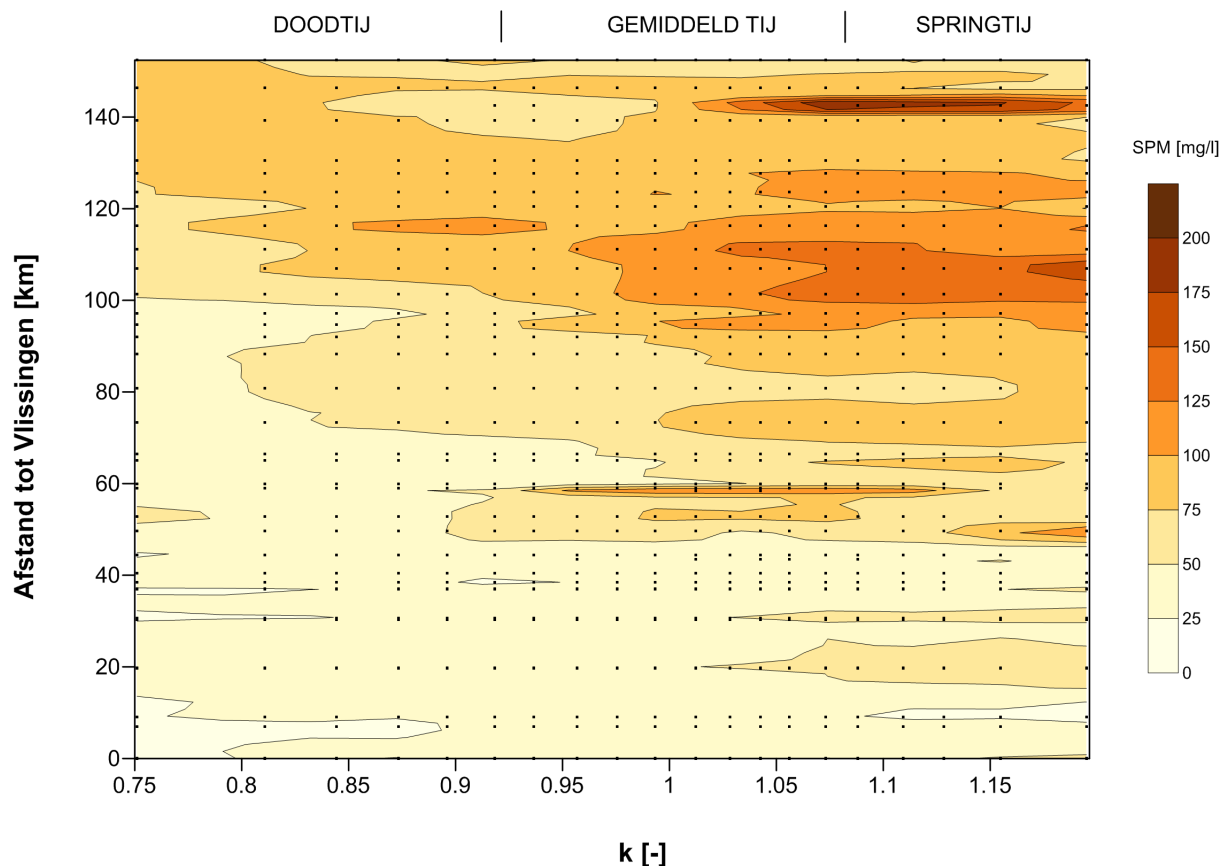
4.2 Springtij-doodtij

4.2.1 Oppervlakte SPM

Met toenemende k-waarde (i.e. met toenemende getijslag, zie vergelijking (1)) is er een duidelijke toename in SPM concentratie in het Schelde estuarium en worden hogere concentraties waargenomen in afwaartse richting (Figuur 49 en Figuur 50). De grens van 100 mg/l verschuift hierbij van kilometer 120-140, voor de laagste k-waardes, naar kilometer 60-90 voor hogere k-waardes. In de Zeeschelde is de verhoging in SPM concentratie het grootst bij de overgang van doodtij naar gemiddeld tij, terwijl de toename van gemiddeld tij naar springtij meer beperkt is (Figuur 51). Over het algemeen is de SPM concentratie tijdens doodtij 0.8-0.9 keer de mediaanconcentratie, voor een gemiddeld tij is dit rond de 1, en voor een springtij is dit rond de 1.2 (Tabel 9).

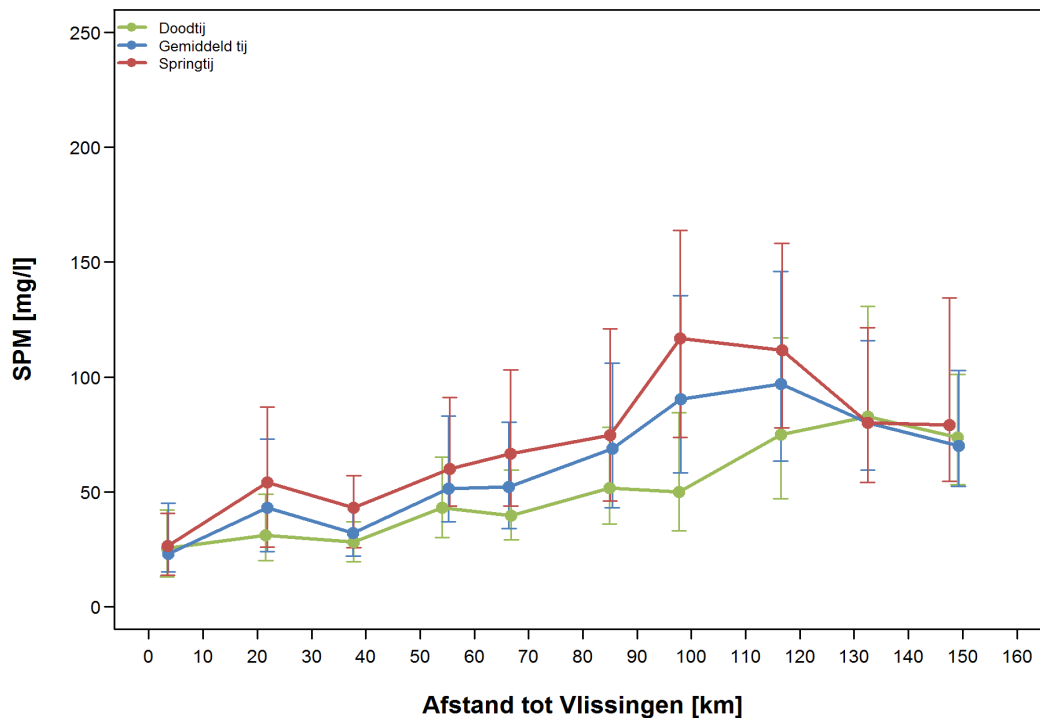
Tenslotte merken we op dat er ter hoogte van km 142 een lokale verhoging in SPM concentratie is gedurende springtijcondities (Figuur 49). Het is zo dat ieder voorgesteld punt in Figuur 49 een mediaanwaarde voorstelt van x aantal SPM gegevens. Voor de betreffende punten is het aantal records beperkt en werd de analyse uitgevoerd door een ander laboratorium wat kan leiden tot afwijkende waarden.

Figuur 49 – Relatie tussen de k-waarde en de oppervlakte SPM (1996-2015) langsheen het Schelde estuarium.



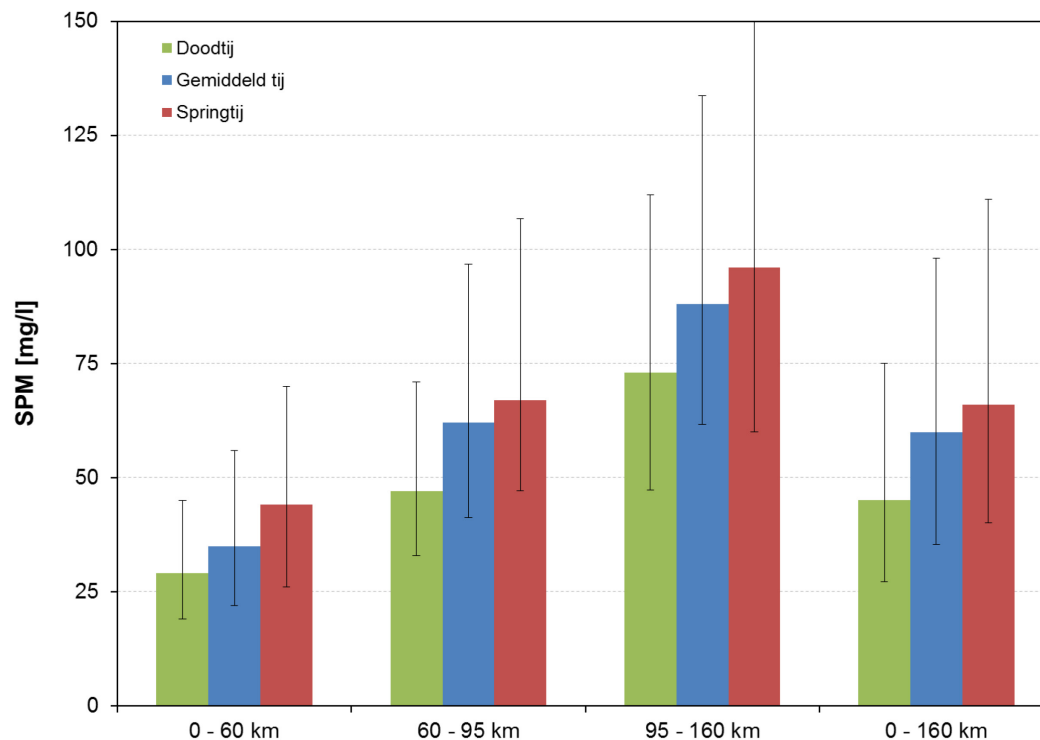
Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 0.075, zoekstraal y = 10 km, klassen voor de k-waarde op basis van de 5% percentielwaarden

Figuur 50 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende doortij, gemiddeld tij en springtij, berekend per ruimtecluster (gebaseerd op percentielwaardes) over de tijdsperiode 1996-2015.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Figuur 51 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende doortij, gemiddeld tij en springtij, voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Tabel 9 – Relatieve verhouding $SPM_{\text{getijfase}}/SPM_{\text{mediaan}}$
(berekend over de periode 1996-2015) voor de verschillende deelzones.

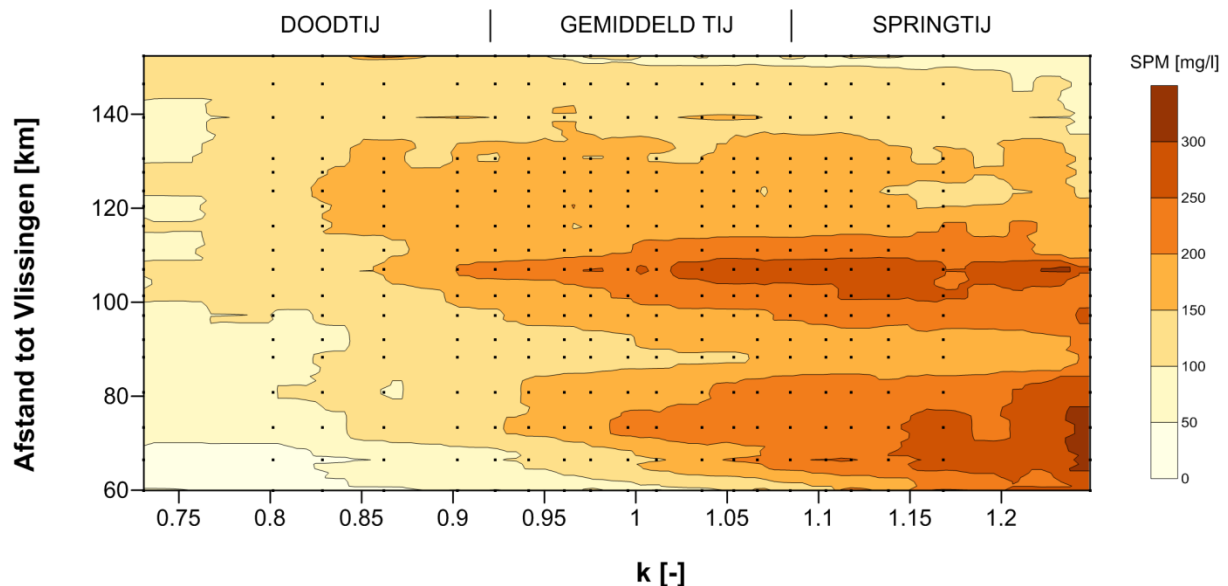
Getijfase	Westerschelde	Beneden-Zeeschelde	Boven-Zeeschelde
Doodtij	0.86	0.80	0.87
Gemiddeld tij	1	1.03	1.02
Springtij	1.23	1.21	1.19

SPM_{mediaan} = de mediaanwaarde van alle metingen per deelgebied over de periode 1996-2015.

4.2.2 Waterkolom SPM

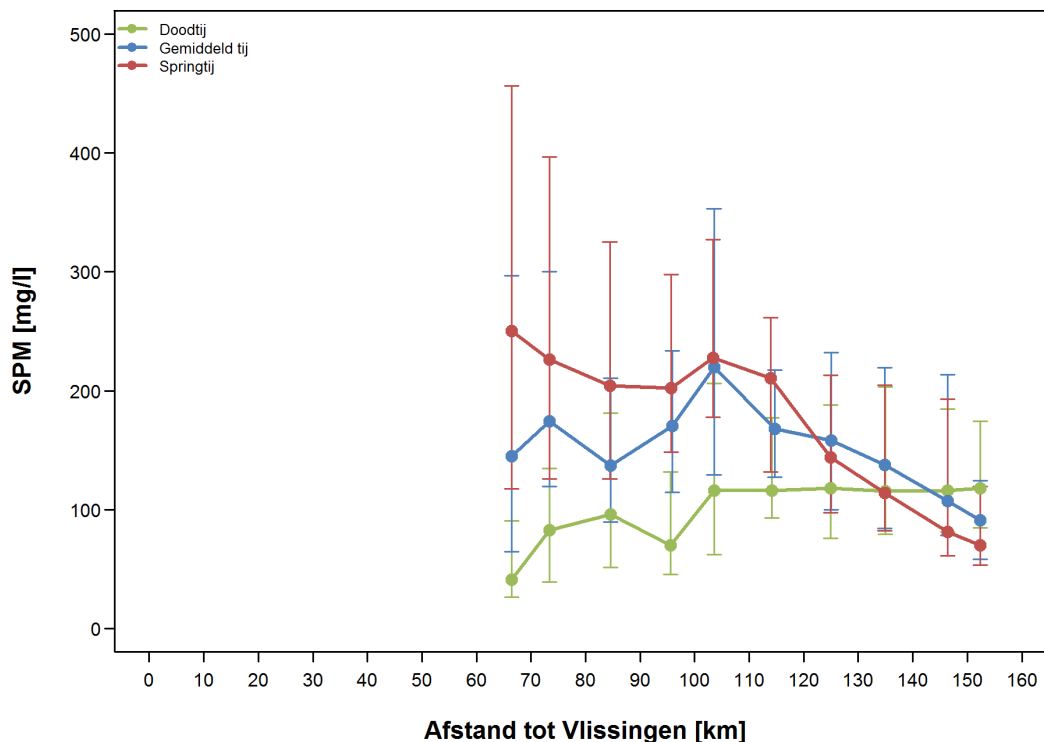
Net zoals bij de oppervlakte SPM is er voor de waterkolom SPM een toename in concentratie met stijgende k-waarde (Figuur 52). De stijging in SPM is hierbij het sterkst tussen 70 km en 110 km van Vlissingen. Voor de oppervlakte SPM werd er ter hoogte van km 110 een duidelijke stijging in SPM waargenomen (Figuur 49). In het meest opwaartse deel (> 125 km) heeft de grootte van de getijslag (of k-waarde) slechts een beperkt effect op de waterkolom SPM concentraties. Dit weerspiegelt zich in de relatieve SPM concentraties. Tijdens doottij is de waterkolom SPM concentratie in de Beneden-Zeeschelde ongeveer de helft van de mediaanconcentratie, terwijl dit in de Boven-Zeeschelde een factor 0.8 is (Figuur 54 en Tabel 10). Tijdens springtij zijn de SPM concentraties beduidend hoger in de Beneden-Zeeschelde dan in de Boven-Zeeschelde, respectievelijk een factor 1.5 en 1.15.

Figuur 52 – Relatie tussen de k-waarde en de dieptegemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium.



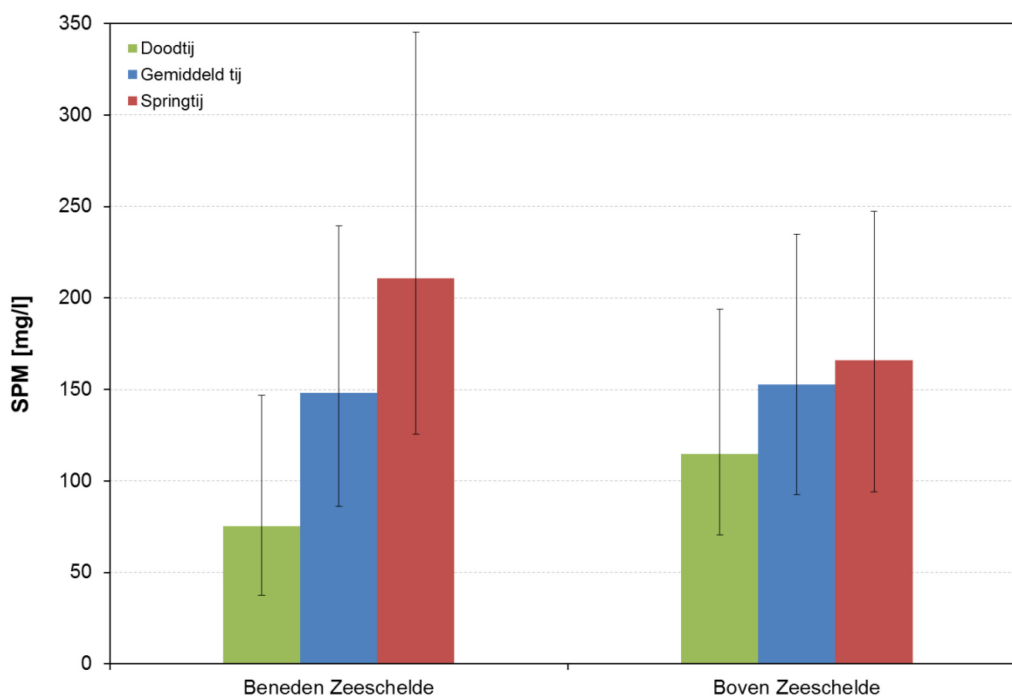
Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 0.085, zoekstraal y = 10 km, klassen voor de k-waarde op basis van de 5% percentielwaardes

Figuur 53 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende doortij, gemiddeld tij en springtij, berekend per 10 km cluster over de tijdsperiode 2001-2010.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Figuur 54 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende doortij, gemiddeld tij en springtij, voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Tabel 10 – Relatieve verhouding $SPM_{\text{getijfase}}/SPM_{\text{mediaan}}$ (berekend over de periode 2001-2010) voor de Beneden- en Boven-Zeeschelde.

Getijfase	Beneden-Zeeschelde	Boven-Zeeschelde
Doodtij	0.53	0.80
Gemiddeld tij	1.05	1.06
Springtij	1.50	1.15

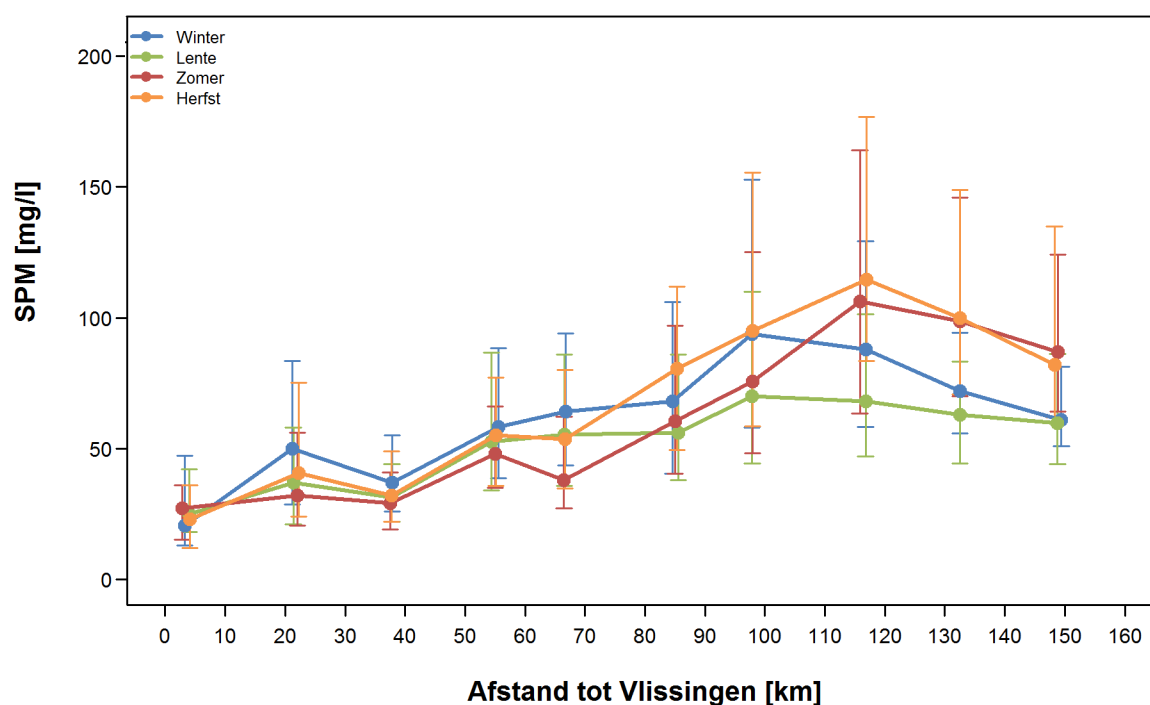
SPM_{mediaan} = de mediaanwaarde van alle metingen in een deelgebied over de periode 2001-2010.

4.3 Seizoen

4.3.1 Oppervlakte SPM

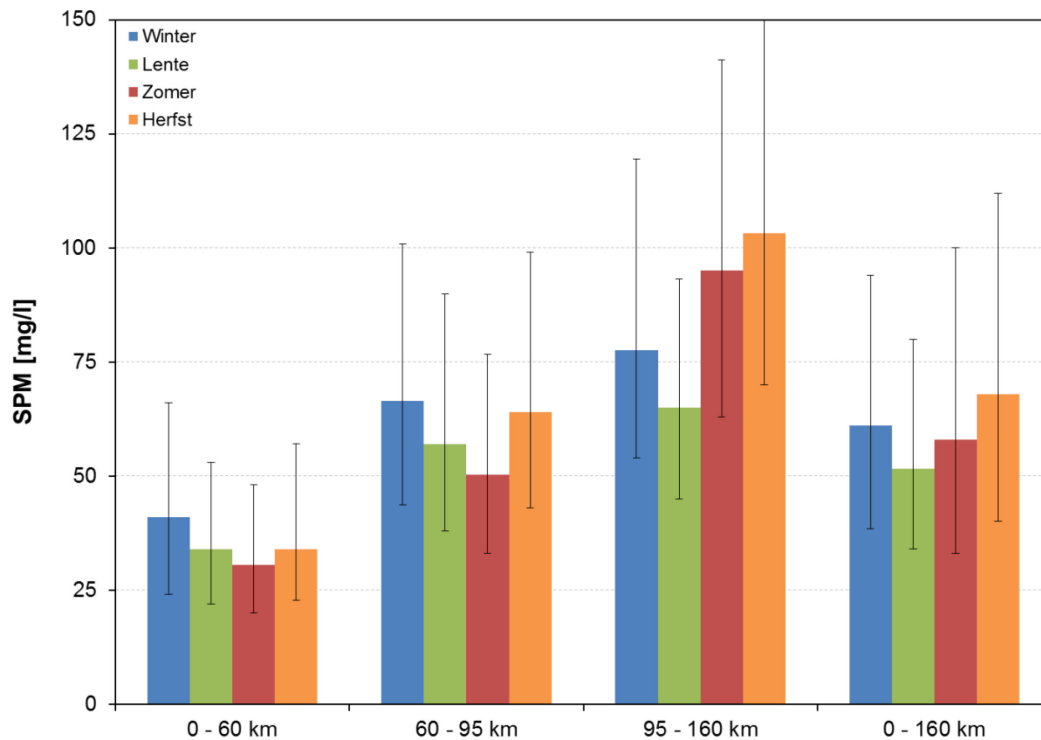
In de Westerschelde zijn de oppervlakte SPM concentraties tijdens de winter hoger in vergelijking met de overige seizoenen (Figuur 55 en Figuur 56). In de Zeeschelde is de situatie complexer. Ter hoogte van km 100 worden er voor de winter en de herfst hogere SPM concentraties waargenomen in vergelijking met de zomer en de lente. Deze trend zet zich echter niet door in opwaartse richting. Vanaf km 115-120 zijn de SPM concentraties in zomer en herfst duidelijk hoger dan deze in de winter en de lente (Figuur 55). Dit weerspiegelt zich ook in Figuur 56 waarbij de oppervlakte SPM concentraties in de Boven-Zeeschelde tijdens de zomer en de herfst duidelijk hoger liggen.

Figuur 55 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, berekend per ruimtecluster (gebaseerd op percentielwaarden) over de tijdsperiode 1996-2015.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor.

Figuur 56 – Oppervlakte SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 1996-2015.

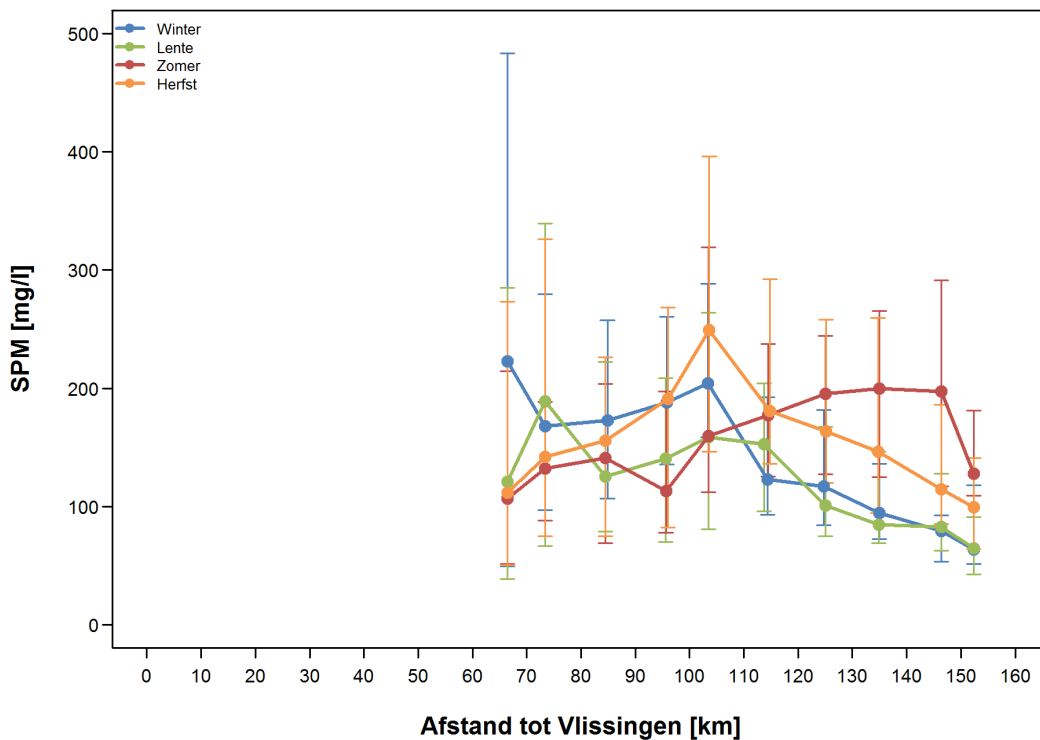


Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaarden voor.

4.3.2 Waterkolom SPM

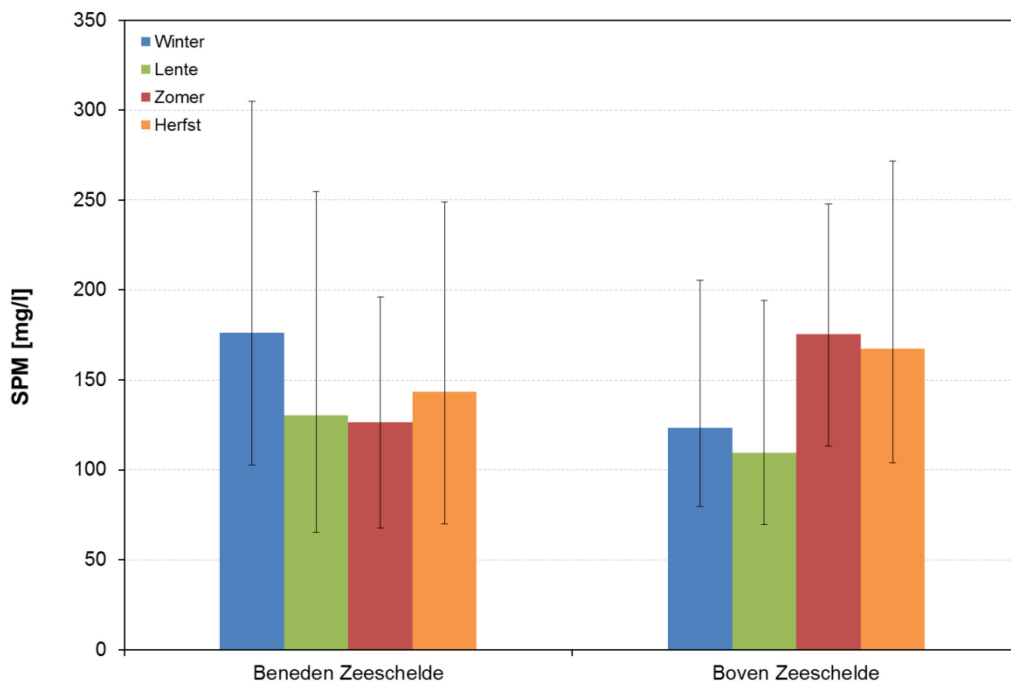
Net zoals voor de oppervlakte SPM wordt er rond km 100 een verhoogde SPM concentratie waargenomen in de waterkolom tijdens de winter en de herfst (Figuur 57). Deze concentratiepiek is het meest uitgesproken in de herfst terwijl de piek voor de oppervlakte SPM het meest uitgesproken is in de winter. Vanaf km 115 (in opwaartse richting) is de SPM concentratie hoger in de zomer en in de herfst in vergelijking met de winter en de lente. Dit wordt ook geobserveerd voor de oppervlakte SPM met de opmerking dat herfst en zomer vergelijkbare concentraties vertonen terwijl voor de waterkolom SPM de concentraties in de zomer duidelijk hoger liggen (cf. Figuur 56 en Figuur 58).

Figuur 57 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, berekend per 10 km cluster over de tijdsperiode 2001-2010.



Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

Figuur 58 – Waterkolom SPM mediaanwaarde gedurende de 4 seizoenen, voor de Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde, berekend over de tijdsperiode 2001-2010.



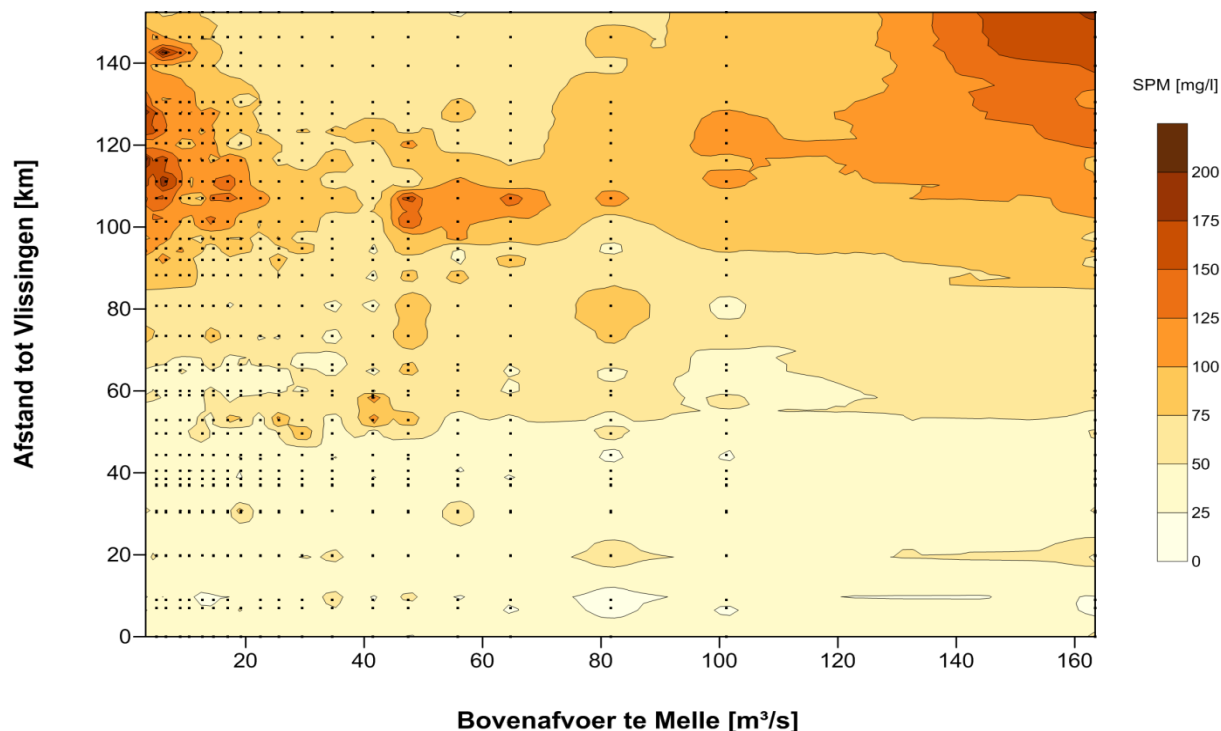
Error bars stellen de 25^{ste} en 75^{ste} percentielwaardes voor.

4.4 Bovenafvoer

4.4.1 Oppervlakte SPM

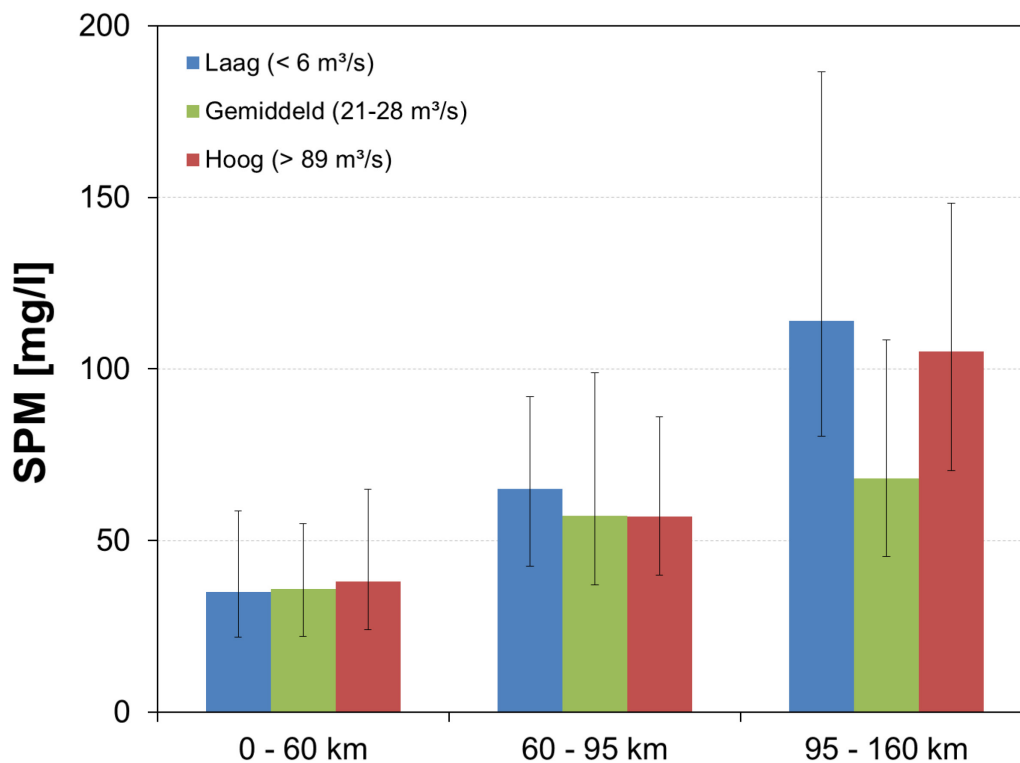
Variaties in bovenafvoer ter hoogte van Melle hebben een duidelijk effect op de SPM concentraties in de Boven-Zeeschelde. Voor lage waarden in dagwaarden van bovenafvoer ($<20 \text{ m}^3/\text{s}$) worden hogere concentraties waargenomen (Figuur 59), waarbij de hoogste SPM concentraties (tot 250 mg/l) voorkomen bij een bovenafvoer $<10 \text{ m}^3/\text{s}$. De zone gaande van 105 km tot en met 130 km wordt hierbij gekenmerkt door de hoogste concentraties. We merken op dat een lage bovenafvoer ($<10 \text{ m}^3/\text{s}$) niet impliceert dat dit een uitzonderlijk event is. Een bovenafvoer kleiner dan $10 \text{ m}^3/\text{s}$ komt ongeveer in 20% van de gevallen voor (Tabel 8 en Figuur 29). Een bovenafvoer gelegen tussen 20 en $120 \text{ m}^3/\text{s}$ resulteert in de Boven-Zeeschelde in duidelijk lagere SPM concentraties in vergelijking met een bovenafvoer $< 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Enkel in de zone tussen 100 km en 120 km is er een lokale verhoging in SPM concentratie in het geval de bovenafvoer gelegen is tussen 40 en $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze waarden zijn typisch voor de winterperiode (Figuur 30). Vanaf het moment dat de bovenafvoer extreem hoge waarden bereikt ($> 120 \text{ m}^3/\text{s}$) is er voor bijna de volledige Boven-Zeeschelde een belangrijke toename in SPM concentratie. De hoogste concentraties worden hierbij waargenomen aan de meest opwaartse rand (tot 200 mg/l) en nemen geleidelijk aan af in afwaartse richting. Dergelijke hoge waarden in bovenafvoer zijn eerder uitzonderlijk. Een bovenafvoer groter dan $135 \text{ m}^3/\text{s}$ komt slechts in 5% van de gevallen voor (Tabel 8 en Figuur 29). Algemeen kunnen we stellen dat de SPM concentratie in de Boven-Zeeschelde 1.6 tot 1.7 keer hoger ligt bij respectievelijk hoge en lage bovenafvoer dan de SPM concentratie bij gemiddelde bovenafvoer (Figuur 60). In de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde daarentegen heeft de bovenafvoer geen éénduiding effect op de SPM concentratie (Figuur 59 en Figuur 60).

Figuur 59 – Relatie tussen de bovenafvoer te Melle (dagwaarden) en de oppervlakte SPM (1996-2015) langsheen het Schelde estuarium.



Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = $75 \text{ m}^3/\text{s}$, zoekstraal y = 10 km, klassen voor bovenafvoer op basis van de 5% percentielwaarden

Figuur 60 – De mediaan oppervlakte SPM waarde voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde bij lage bovenafvoer, gemiddelde bovenafvoer en hoge bovenafvoer (berekend over periode 1996-2015).

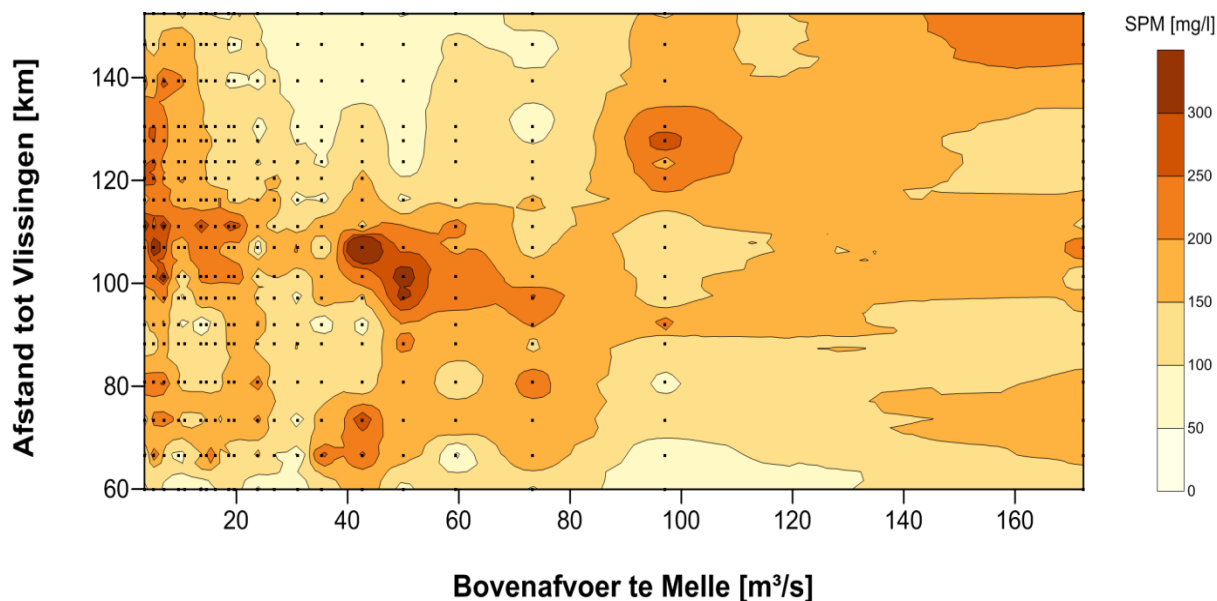


De grenzen van deze 3 klassen zijn gebaseerd op respectievelijk het 0^{de} en 10^{de} percentiel, het 45^{ste} en 55^{ste} percentiel, en het 90^{ste} en 100^{ste} percentiel (zie ook Tabel 8)

4.4.2 Waterkolom SPM

De waterkolom SPM uitgezet in functie van de bovenafvoer vertoont een aantal patronen vergelijkbaar met de oppervlakte SPM in functie van de bovenafvoer (§4.4.1). Voor lage bovenafvoer (< 20 m³/s) worden verhoogde concentraties waargenomen in de Zeeschelde met piekconcentraties > 300 mg/l in de zone 100-120 km van Vlissingen (Figuur 61). Bij een bovenafvoer tussen 20 en 90 m³/s is er in het meest opwaartse deel van de Zeeschelde (> 110 km) een duidelijke verlaging in SPM. In het meer afwaartse deel (< 110 km) worden hogere concentraties waargenomen met piekconcentraties op een afstand 100 tot 110 km van Vlissingen. Voor de oppervlakte SPM zijn het uitsluitend deze piekconcentraties die voorkomen en worden de concentraties afwaarts opnieuw lager (cf. Figuur 59 en Figuur 61). Voor een bovenafvoer die groter is dan 90 m³/s observeren we net zoals voor de oppervlakte SPM een verhoging in SPM concentratie over de volledige Boven-Zeeschelde.

Figuur 61 – Relatie tussen de bovenafvoer te Melle en de diepte-gemiddelde waterkolom SPM (2001-2010) langsheen het Schelde estuarium.



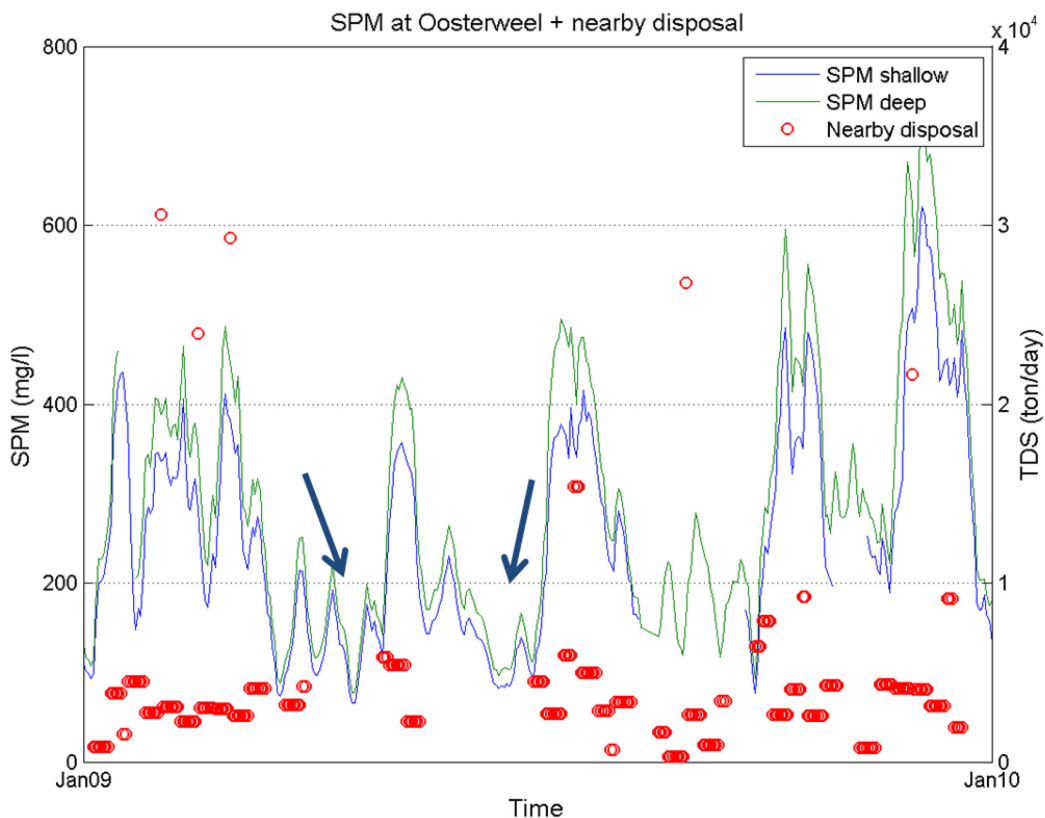
Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 75 m³/s, zoekstraal y = 10 km, klassen voor bovenafvoer op basis van de 5% percentielwaarden

4.5 Stortingen

Het uitvoeren van slibstortingen kan (tijdelijk) leiden tot verhoogde SPM concentraties in nabijgelegen gebieden. Om dit effect te evalueren werd nagegaan wat het effect is van uitgevoerde stortingen in het stortvak Oosterweel op de gemeten SPM concentraties ter hoogte van het continue meetstation te Oosterweel (locatie stortvak en locatie continu meetstation zie Figuur 32).

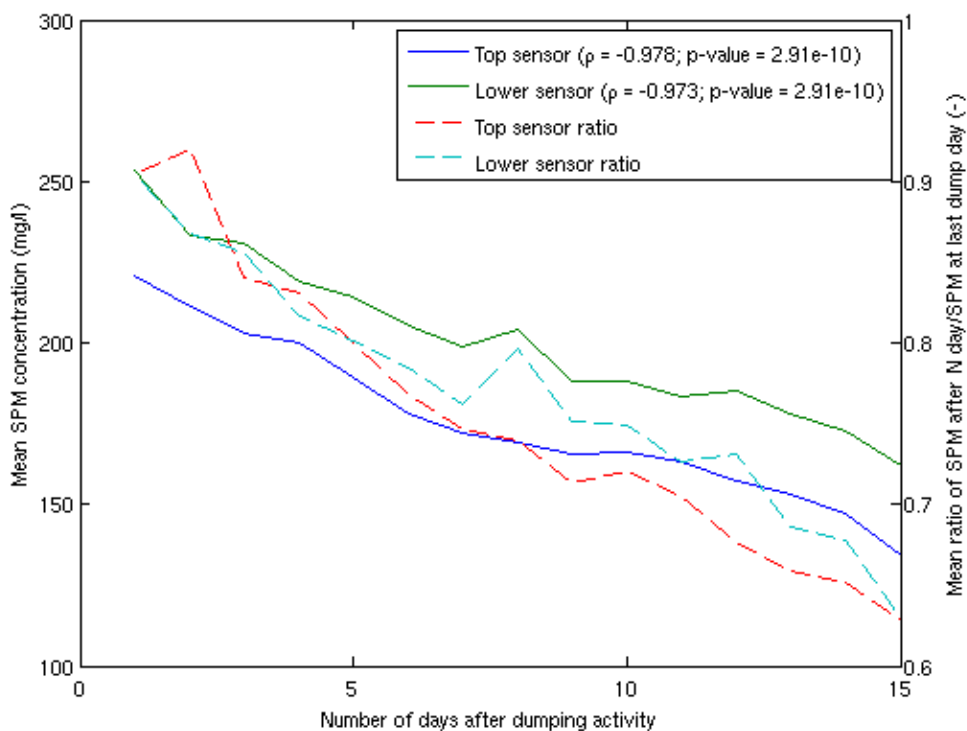
In het stortvak Oosterweel wordt frequent gestort waarbij periodes met hogere stortintensiteit worden afgewisseld met periodes zonder stortingen (Figuur 61). Deze periodes zonder stortingen hebben hun effect op het nabijgelegen SPM signaal. In het geval dat deze periodes voldoende lang aanhouden is er een duidelijke daling in het SPM signaal (zie donkerblauwe pijlen in Figuur 61). We kunnen dan ook volgende hypothese naar voor brengen: hoe langer er geen storting werd uitgevoerd, hoe lager de SPM concentratie ten opzichte van de SPM concentratie tijdens de storting. Om deze hypothese te testen werden de daggemiddelde SPM concentraties te Oosterweel (over de periode 2008-2012) geëvalueerd in functie van het aantal dagen zonder storting. Voor de data met gelijk aantal dagen na storting werd de gemiddelde waarde berekend. Deze analyse toont duidelijk aan dat de SPM concentratie afneemt met het aantal dagen dat er geen storting werd uitgevoerd ($r = -0.97$, $p < 0.0001$, Figuur 63). Zo is de gemiddelde SPM concentratie 1 dag na het uitvoeren van een storting gemiddeld ± 250 mg/l in de bovenste sensor te Oosterweel, terwijl dit 10 dagen na storting is afgenomen tot ongeveer 200 mg/l. Relatief gezien komt het er op neer dat na 10 dagen zonder storting de SPM concentratie gemiddeld gezien ongeveer 0.77 keer de SPM concentratie bedraagt van de SPM concentratie tijdens de laatste dag van storting (Figuur 63). De analyse werd uitgevoerd tot 15 dagen na storting. Meer dan 15 dagen na storting zijn er onvoldoende gegevens vanwege de grote stortfrequentie ter hoogte van Oosterweel (zie ook Figuur 61).

Figuur 62 – Voorstelling van de storthoeveelheden en frequenties in het stortvak Oosterweel in het jaar 2009.



Blauwe en groene lijn stellen het SPM signaal voor over dezelfde voor de nabijgelegen continue meetpost Oosterweel.

Figuur 63 – Waterkolom SPM evolutie in de eerste twee weken na baggeractiviteit (Oosterweel)



5 Historische evolutie oppervlakte SPM (1996-2015)

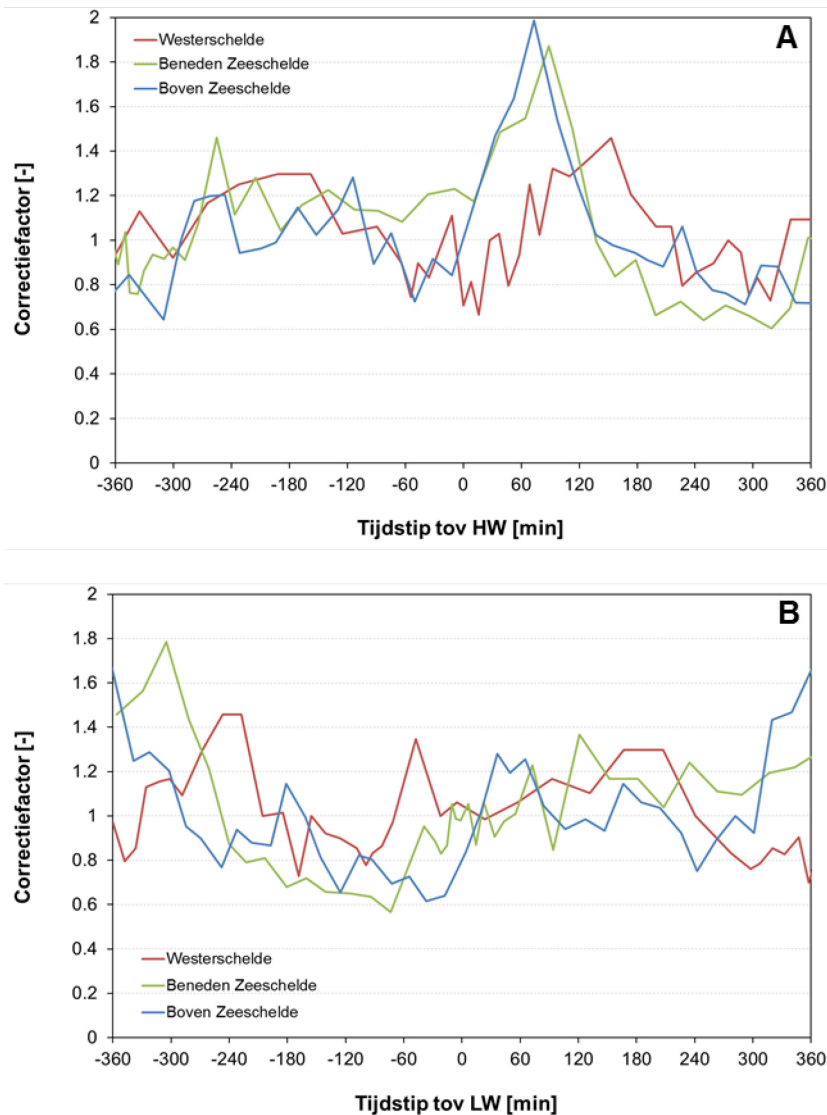
5.1 Normalisatie van het oppervlakte SPM signaal

Het oppervlakte SPM signaal in het Schelde estuarium wordt in belangrijke mate bepaald door een aantal fysische factoren. In deze studie beschouwen we het getij (zowel binnen 1 getij als binnen springtij-doodtijcyclus), de bovenafvoer, en de seizoensaliteit als de belangrijkste fysische parameters (zie ook §3.5 en H4). De historische evolutie van het oppervlakte SPM signaal werd bestudeerd aan de hand van de getij-onafhankelijke oppervlakte SPM data (zie Tabel 4 in §2.2). Deze dataset gaat het langst terug in de tijd (i.e. 1996) in combinatie met meetlocaties verspreid over het volledige Schelde estuarium. Vermits de metingen werden uitgevoerd op willekeurige tijdstippen (getij-onafhankelijk) impliceert dit echter dat het SPM signaal beïnvloed wordt door de op dat moment heersende fysische condities. In Hoofdstuk 4 wordt duidelijk aangetoond wat het effect is van deze fysische parameters op het SPM signaal. Om de historische evolutie van het SPM signaal te bestuderen (en na te gaan of er bepaalde trends zijn) moet het SPM signaal dus gecorrigeerd of genormaliseerd worden voor de heersende fysische condities. Hieronder wordt besproken voor elk van de beschouwde fysische parameters hoe de normalisatie werd uitgevoerd. De normalisatieprocedure werd afzonderlijk uitgevoerd voor de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde en de Boven-Zeeschelde vermits het effect van de fysische parameters verschillend is in elk van deze drie deelgebieden (Hoofdstuk 4).

5.1.1 Over individueel getij

Het oppervlakte SPM signaal varieert sterk binnen een individueel getij (zie §4.1). Om het SPM signaal te normaliseren voor een individueel getij werd de dataset per deelgebied opgesplitst in functie van het tijdstip ten opzichte van HW, en in functie van het tijdstip ten opzichte van LW. De grenzen van de tijdsclassen werden bepaald door de 2.5% percentielwaarden te bepalen, zowel ten opzichte van HW als LW. Voor elk van deze klassen werd de SPM mediaan berekend. De verhouding van de mediaanwaarde voor een volledig deelgebied en de mediaanwaarde per getijklasse geeft de correctiefactor (Figuur 64 en Tabel A 1 tot Tabel A 3). Door de gemeten SPM waarden te vermenigvuldigen met de overeenkomstige correctiefactor werden de SPM waarden genormaliseerd voor de variatie binnen een individueel getij. Indien het tijdstip van SPM meting het dichtst gelegen is ten opzichte van HW werd gebruik gemaakt van de correctiefactoren weergegeven in Figuur 64a, indien het dichtst gelegen is ten opzichte van LW werd gebruik gemaakt van de correctiefactoren in Figuur 64b. Het is immers zo dat het getij langsheen het estuarium niet symmetrisch is. Naarmate de afstand tot Vlissingen in opwaartse richting (richting Gent) groter wordt neemt de getij-asymmetrie toe, waarbij de vloedfase korter wordt en de eb fase langer.

Figuur 64 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde en SPM mediaanwaarde per getijfase (i.e. de correctiefactor) berekend voor de 3 verschillende deelzones over de periode 1996-2015.

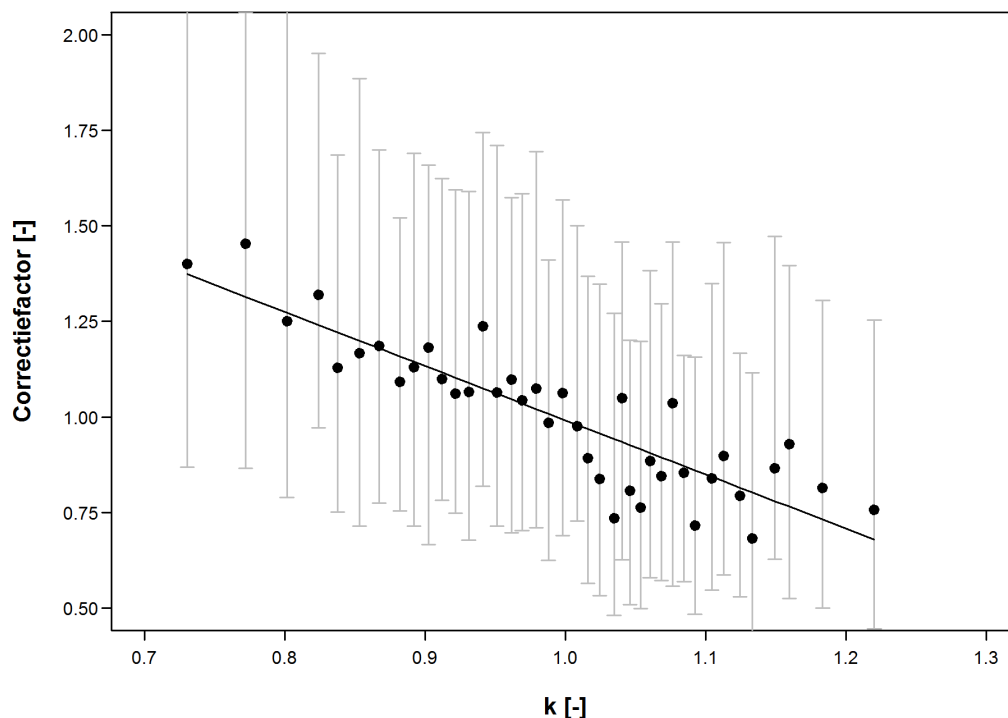


(a) Clustering op basis van tijdstip ten opzichte van HW, (b) clustering op basis van tijdstip ten opzichte van LW.

5.1.2 Over springtij-doodtijcyclus

De springtij-doodtijcyclus werd in deze studie gekarakteriseerd aan de hand van de k-waarde (zie vergelijking (1) in §2.3.2). We observeren dat er met toenemende getijslag (en dus met toenemende k-waarde) een duidelijke toename is in SPM (zie §4.2). Om nu het SPM signaal te normaliseren voor springtij-doodtij werd de verhouding bepaald van de SPM mediaanwaarde van het betreffende deelgebied (Westerschelde, Beneden-Zeeschelde of Boven-Zeeschelde) en de geobserveerde SPM waarde. Deze verhouding is de correctiefactor. Vervolgens werd de dataset opgesplitst in clusters gebaseerd op de 2.5% k-percentielwaarden en werd per cluster een mediaanwaarde berekend voor de correctiefactor (zwarte bollen in Figuur 65). Daarna werd een lineair regressiemodel opgesteld ($y = -1.418x + 2.409$, $R^2 = 0.78$, $p < 0.0001$) dat gebruikt werd om voor iedere k-waarde de bijhorende correctiefactor te berekenen. De genormaliseerde SPM waarde werd dan uiteindelijk gevonden door de geobserveerde SPM waarde te vermenigvuldigen met de bijhorende correctiefactor.

Figuur 65 – Relatie tussen de k-waarde en de SPM correctiefactor berekend over de periode 1996-2015.



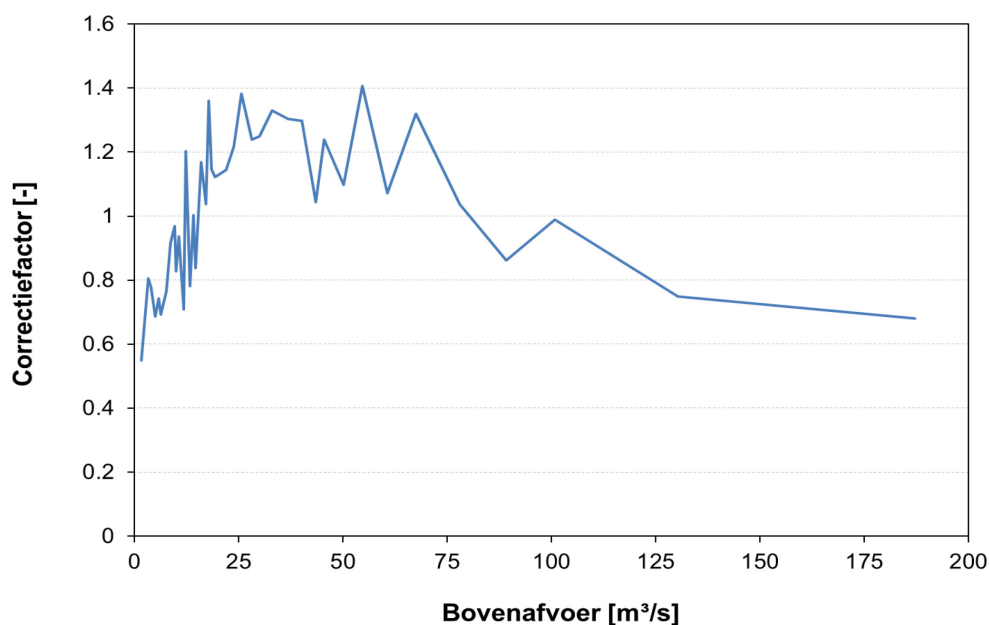
Lineair regressiemodel heeft volgende vergelijking: $y = -1.418x + 2.409$ ($R^2 = 0.78$, $p < 0.0001$)

5.1.3 Seizoen en bovenafvoer

Seizoen en bovenafvoer zijn twee parameters die duidelijk gecorreleerd zijn met elkaar. Tijdens de winter is de bovenafvoer 5 tot 6 keer hoger dan tijdens de zomerperiode (Figuur 30). Over het algemeen wordt aangenomen dat een hogere bovenafvoer leidt tot hogere SPM concentraties, of met andere woorden dat hogere SPM concentraties voorkomen tijdens de winter. In de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde worden inderdaad hogere concentraties waargenomen tijdens de winter (Figuur 56). Hierbij merken we op dat de verhoogde SPM concentraties in de Westerschelde grotendeels verklaard worden door een verhoogde golfactiviteit en in mindere mate door een verhoogde bovenafvoer. Voor de Boven-Zeeschelde daarentegen worden de hoogste concentraties waargenomen tijdens de herfst en zomer (Figuur 56). Een analyse van het effect van bovenafvoer (§4.4) toont inderdaad aan dat de werkelijkheid meer complex is. Hogere SPM concentraties in de Boven-Zeeschelde komen typisch voor bij lage bovenafvoer (zomer en herfst, zie Figuur 28) of bij extreem hoge bovenafvoer (Figuur 59). Voor de normalisatie van de SPM data werd er dan ook voor gekozen om de SPM data in de Boven-Zeeschelde te normaliseren aan de hand van de bovenafvoer, en de data in de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde aan de hand van de seizoenen. Het effect van bovenafvoer op SPM is immers gebaseerd op de bovenafvoer op de dag zelf. Dit impliceert dat het effect van bovenafvoer op SPM het meest duidelijk is voor de meest opwaartse gebieden (Boven-Zeeschelde). In de meer afwaartse gebieden zal een event van lage of extreem hoge bovenafvoer pas zichtbaar zijn na een aantal dagen. Op basis van een analyse van de verblijftijden werd aangetoond dat het ongeveer 5 dagen duurt vooraleer water ter hoogte van Melle de Beneden-Zeeschelde bereikt, en dit onder condities van gemiddelde bovenafvoer (Vandenbruwaene et al., 2013). Om de Westerschelde te bereiken duurt dit ongeveer 22 dagen. Dit toont aan dat het complexer wordt om het effect van bovenafvoer op SPM concentratie te kwantificeren voor de meer afwaarts gelegen gebieden. Er werd dan ook gekozen om de SPM data van de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde te normaliseren op basis van de seizoenen.

De SPM data van de Boven-Zeeschelde werden genormaliseerd op basis van de dagelijkse bovenafvoer (de gemeten bovenafvoer op de dag van de SPM meting; hysteresis zit dus niet in deze correctie). De dataset werd hierbij opgesplitst in clusters op basis van de 5% bovenafvoer-percentielwaarden. Voor elk van deze clusters werd de verhouding van de SPM mediaanwaarde voor de volledige Boven-Zeeschelde en de SPM mediaanwaarde per bovenafvoercluster bepaald (i.e. correctiefactor, zie Figuur 65 en Tabel A 4). De correctiefactor werd vervolgens vermenigvuldigd met de overeenkomstige SPM waarde om op die manier de SPM metingen in de Boven-Zeeschelde te normaliseren voor de bovenafvoer op het moment van meting. Voor de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde werden de SPM data zoals hierboven beschreven genormaliseerd op basis van de seizoenen. De correctiefactor die hiervoor gebruikt werd is gelijk aan de verhouding van de SPM mediaanwaarde per deelgebied en de SPM mediaanwaarde per seizoen per deelgebied (Tabel 11).

Figuur 66 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde in de Boven-Zeeschelde en SPM mediaanwaarde per bovenafvoerklasse (i.e. de correctiefactor), berekend voor de Boven-Zeeschelde over de periode 1996-2015



Tabel 11 – Relatieve verhouding van de SPM mediaanwaarde per deelgebied en de SPM mediaanwaarde per seizoen per deelgebied, berekend voor de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde over de periode 1995-2012.

Seizoen	BeZ	Wes
Winter	0.87	0.78
Lente	1.02	1.03
Zomer	1.15	1.17
Herfst	0.91	0.97

5.1.4 Toepassing van normalisatie op de volledige dataset van oppervlakte SPM

Om zoveel mogelijk kennis opgedaan in hoofdstuk 4 (invloedsfactoren) te kunnen gebruiken in het vaststellen van trends in het oppervlakte SPM signaal werd de dataset met oppervlakte SPM gegevens genormaliseerd aan de hand van de relaties die hierboven staan beschreven. Het effect is dat de gekende variatie van SPM uit het meetsignaal wordt gefilterd gebruik makende van de

omgevingscondities (seizoen, bovenafvoer, springtij-doodtij en getijcyclus), zodat metingen op eenzelfde locatie, maar onder verschillende omgevingscondities beter onderling kunnen worden vergeleken. Door deze methodiek toe te passen trachten we zo goed mogelijk de gekende variatie uit het meetsignaal weg te filteren. We merken op dat niet alle invloedsfactoren (bijvoorbeeld stortingen) zijn meegenomen in deze analyse (buiten scope opdracht). De uitgevoerde normalisatie kan dus beschouwd worden als een eerste verkennende analyse in de studie naar lange termijn trends.

5.2 Lange termijn wijzigingen in het oppervlakte SPM signaal

Beschouwen we de lange termijn wijzigingen van het oppervlakte SPM signaal in het Schelde estuarium (genormaliseerd én niet-genormaliseerd) dan kunnen we een aantal opvallende waarnemingen vaststellen. In de periodes 1996-1997 en 2008-2011 is er een duidelijke verhoging in SPM concentratie op een afstand 90-130 km van Vlissingen (Figuur 67a). Voor de periode 1996-1997 is deze verhoging meer lokaal, terwijl voor de periode 2008-2011 de verhoging over een grotere afstand langsheen de Boven-Zeeschelde plaatsvindt.

In de Beneden-Zeeschelde (58-95 km van Vlissingen) is er vanaf 2007 een verhoging in SPM concentratie waarbij de grens van 75 mg/l in afwaartse richting verschuift tot op een afstand 70 km van Vlissingen (Figuur 67a). Ook de jaarlijkse mediaanwaardes vertonen hogere SPM concentraties vanaf 2007, en dit voor zowel de Beneden-Zeeschelde als voor de Westerschelde (Figuur 68a). Voor de Boven-Zeeschelde is de lange termijn evolutie eerder onregelmatig.

Om een idee te krijgen of er al dan niet een lange termijn toename in SPM concentratie is werden jaarlijkse genormaliseerde SPM waardes berekend per deelgebied (Figuur 68b). Deze normalisatie houdt rekening met het effect van getij, bovenafvoer en seizoenen (zie §5.1). Vervolgens werd op de genormaliseerde waardes een lineaire regressie toegepast. Deze trendanalyse toont aan dat er in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde een significante wijziging is in oppervlakte SPM signaal over de periode 1996-2015 (respectievelijk $R^2=0.45$, $p=0.001$ en $R^2=0.38$, $p=0.004$). In de Boven-Zeeschelde is dit niet het geval en is er geen significante verandering in oppervlakte SPM ($R^2<0.001$, $p=0.93$). We kunnen deze trendanalyse beschouwen als een eerste verkennende analyse om inzicht te krijgen in de lange termijn evolutie van het SPM signaal. Om definitief uitspraak te doen over deze lange termijn evolutie is het nodig om een doorgedreven statistische analyse uit te voeren (buiten scope van deze opdracht), waarin naast getij, bovenafvoer, en seizoenen nog andere parameters betrokken worden (bijvoorbeeld stortingen).

Desalniettemin laat de normalisatieprocedure toe om na te gaan welke van de beschouwde parameters het meest invloed heeft gehad op het SPM signaal in een bepaald jaartal. Naarmate de waarde verder afwijkt van 1 wordt de invloed van de betreffende parameter groter en moet er meer gecorrigeerd worden. Wat betreft bovenafvoer bijvoorbeeld moest er in de Boven-Zeeschelde voor de jaartallen 2004 en 2011 genormaliseerd worden met waardes duidelijk kleiner dan 1 (respectievelijk 0.85 en 0.91, zie Tabel 12). Deze jaartallen worden gekenmerkt door een lage jaarlijkse bovenafvoer (Figuur 31), wat wil zeggen dat er in deze jaren meer dagen zijn met lage bovenafvoer en dus verhoogde verhoogde SPM concentraties (zie Figuur 59 en Figuur 60). Hierdoor moet er voor de metingen binnen zo'n jaar meer genormaliseerd worden (of met andere woorden vermenigvuldigd worden) met een waarde kleiner dan 1, wat dan over een heel jaar beschouwd leidt tot een correctiefactor beduidend kleiner dan 1 (Tabel 12). Waar bovenafvoer sterk kan variëren tussen opeenvolgende jaren is dit niet het geval voor andere parameters zoals getij en seizoenen. Deze parameters hebben een astronomische oorsprong en kennen bijgevolg geen variatie tussen opeenvolgende jaren. Voor de seizoenen heb je ieder jaar dezelfde 4 seizoenen, voor getij bijvoorbeeld heb je ieder jaar ongeveer hetzelfde aantal springtij-doodtijcycli. Waarden beduidend verschillend van 1 wijzen er dus voor deze parameters op dat er binnen een bepaald jaar meer

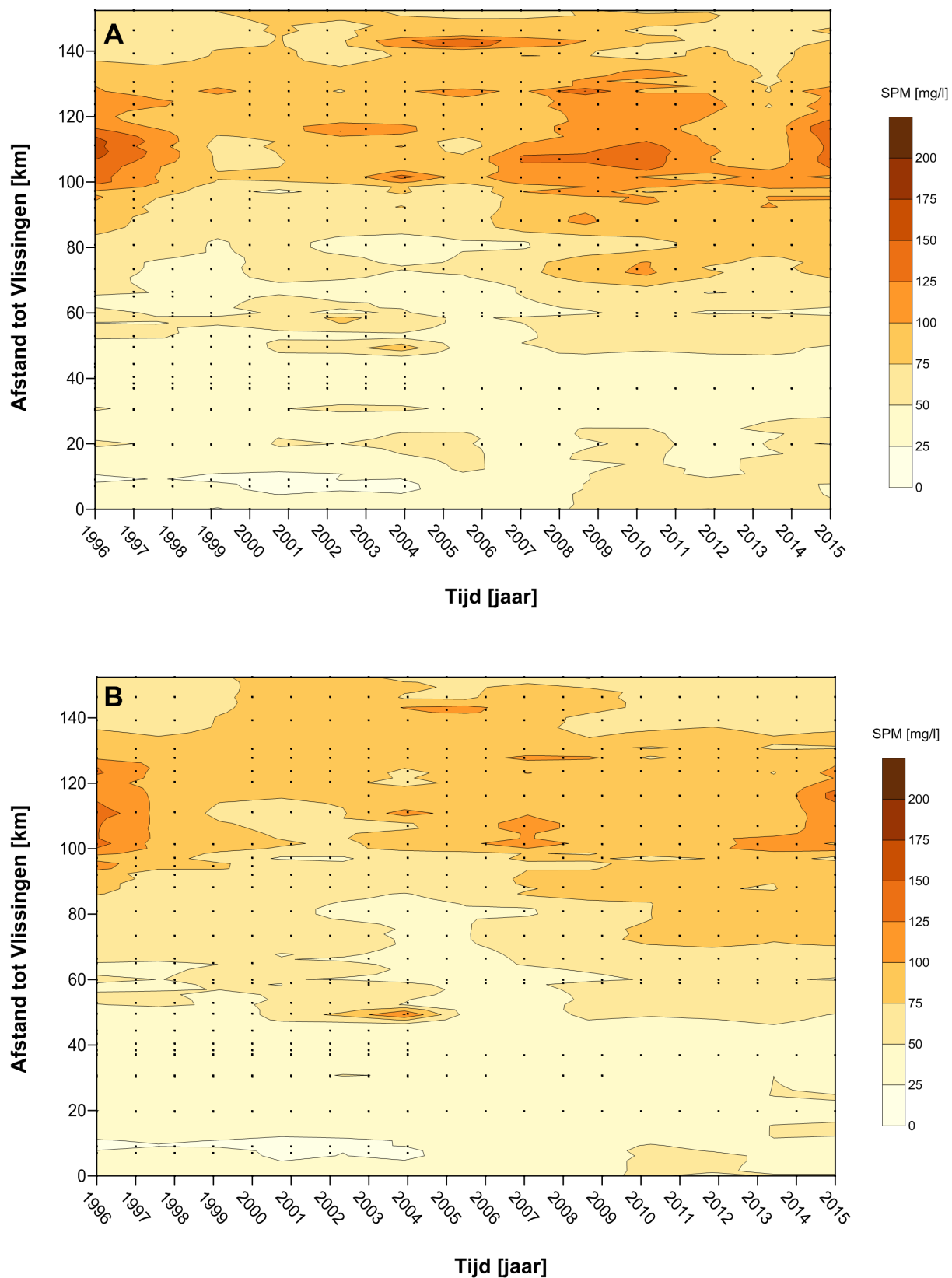
metingen beschikbaar zijn onder een bepaalde omstandigheid. Zo wordt het jaar 2009 voor de Beneden-Zeeschelde gekenmerkt door een lage correctiefactor voor G2 (dit is springtij-doodtij), wat er op wijst dat er meer metingen beschikbaar zijn tijdens springtij. Bij springtijcondities zijn SPM gehalten immers hoger (Figuur 65) waardoor je de gemeten waardes moet vermenigvuldigen met een factor kleiner dan 1. Ondanks het feit dat de volledige oppervlakte SPM dataset getij-onafhankelijk is (Figuur 12), is dit dus niet volledig het geval tussen opeenvolgende jaren. De k-mediaanwaarde voor het jaar 2009 is gelijk aan 1.09, wat dus inderdaad aangeeft dat er voor 2009 meer metingen beschikbaar zijn tijdens springtijcondities.

Tabel 12 – Normalisatietabel met jaarlijkse correctiefactoren per deelgebied en per parameter.

Jaar	Westerschelde				Beneden-Zeeschelde				Boven-Zeeschelde			
	G1	G2	S	Q	G1	G2	S	Q	G1	G2	S	Q
1996	1.03	0.99	1.00	-	0.93	1.01	1.02	-	0.96	0.97	-	1.01
1997	1.03	1.03	0.98	-	1.01	0.96	1.00	-	1.13	0.94	-	0.90
1998	1.02	1.06	0.93	-	1.10	1.09	0.98	-	0.90	1.01	-	1.02
1999	1.01	1.08	0.99	-	1.15	0.95	1.02	-	1.09	1.12	-	1.19
2000	1.02	0.96	1.03	-	1.03	0.93	1.00	-	0.90	0.91	-	1.02
2001	1.05	1.04	0.98	-	0.94	0.97	1.03	-	0.98	1.03	-	0.95
2002	1.04	0.98	1.00	-	1.07	0.96	0.96	-	0.96	0.95	-	1.12
2003	0.97	1.00	0.97	-	0.95	1.01	1.02	-	1.01	0.94	-	0.96
2004	0.98	0.94	0.98	-	0.93	0.95	1.05	-	1.03	0.95	-	0.85
2005	0.97	0.92	0.99	-	1.07	1.06	0.98	-	1.01	1.01	-	1.01
2006	0.91	1.06	1.02	-	0.97	0.97	1.00	-	0.98	1.03	-	0.94
2007	1.01	1.02	0.97	-	0.95	0.97	0.99	-	1.02	1.12	-	1.04
2008	0.97	0.97	0.98	-	0.93	0.92	1.09	-	1.00	0.98	-	0.97
2009	0.83	0.94	1.00	-	0.92	0.92	0.95	-	0.91	0.83	-	0.96
2010	0.85	0.95	1.06	-	0.86	0.93	1.01	-	0.90	0.98	-	0.98
2011	0.88	0.95	1.01	-	0.96	0.97	1.00	-	0.97	0.92	-	0.91
2012	0.94	1.08	0.93	-	1.09	1.02	1.03	-	0.96	0.97	-	1.11
2013	1.09	0.89	0.95	-	1.15	0.93	0.95	-	1.00	0.97	-	1.10
2014	1.16	0.98	1.03		0.99	0.99	1.01		1.07	0.97		1.03
2015	0.90	0.97	0.98		0.95	0.98	1.01		0.94	1.03		0.84

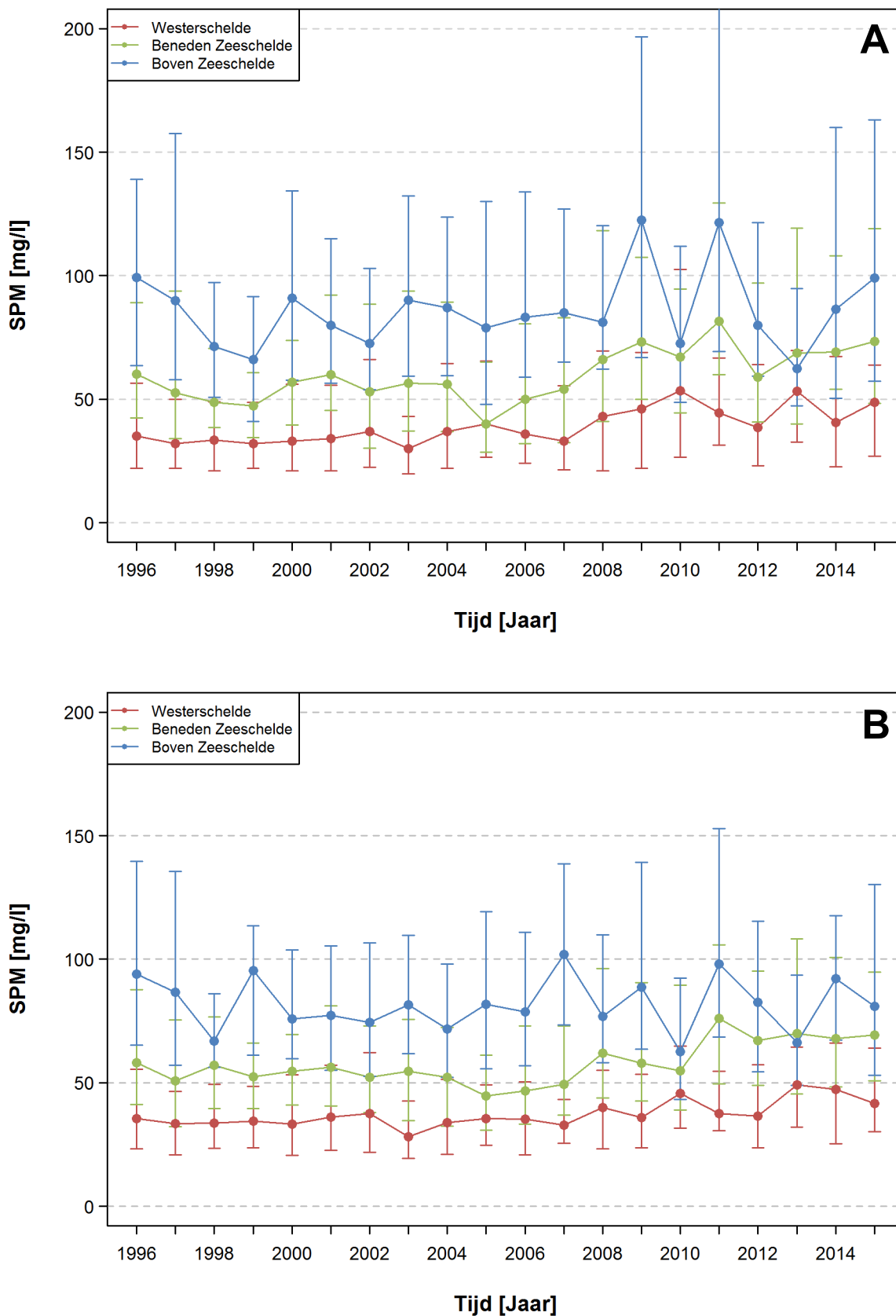
G1 = individueel getij, G2 = springtij-doodtij, S = seizoenen en Q = bovenafvoer.

Figuur 67 – Evolutie van de niet-genormaliseerde (a) en genormaliseerde (b) oppervlakte SPM over de tijdsperiode 1996-2015 langsheen het volledige estuarium.



Surfer interpolatiegrid, interpolatietechniek = IDW, zoekstraal x = 1.5, zoekstraal y = 12 km

Figuur 68 – Evolutie van de niet-genormaliseerde (A) en genormaliseerde of residuele (B) oppervlakte SPM over de tijdsperiode 1996-2015 voor de Westerschelde, Beneden-Zeeschelde en Boven-Zeeschelde.

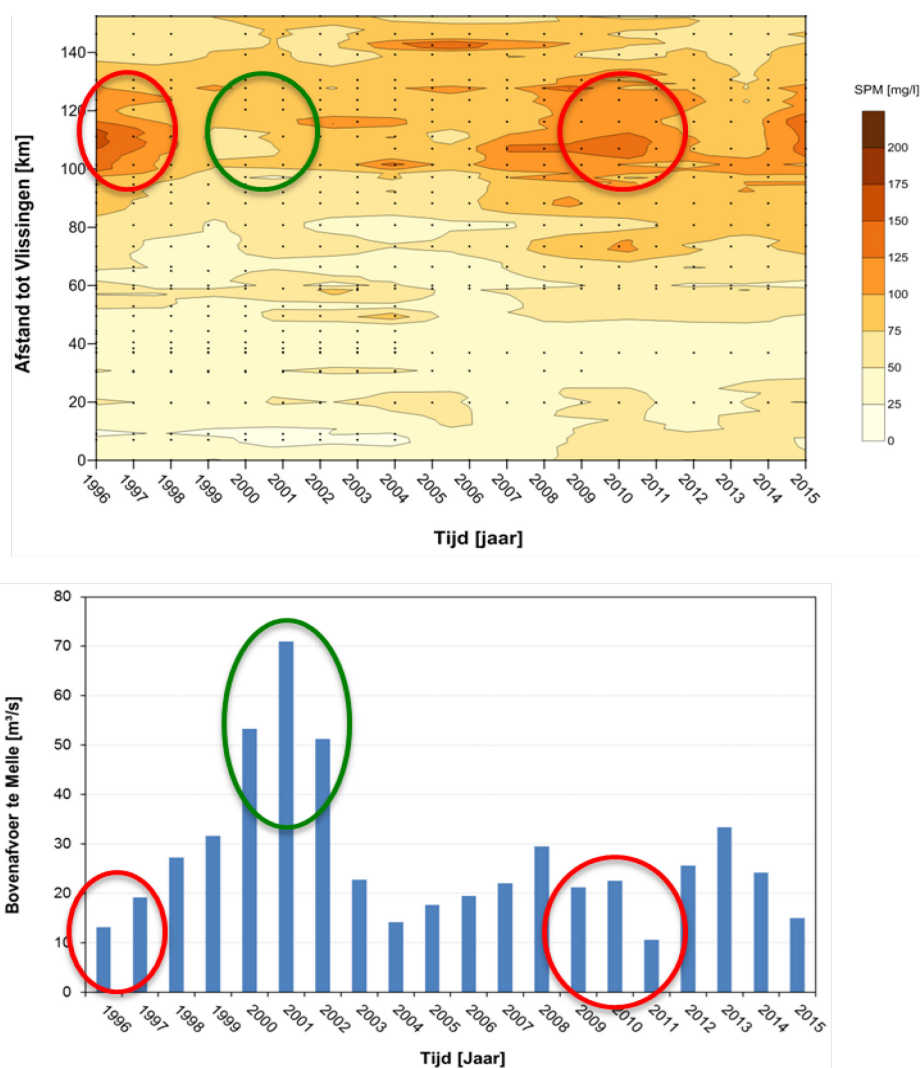


Volle lijn stelt de mediaanwaarden voor, de error bars de p25 en p75-waardes.

5.3 Relatie met de bovenafvoer op jaarbasis

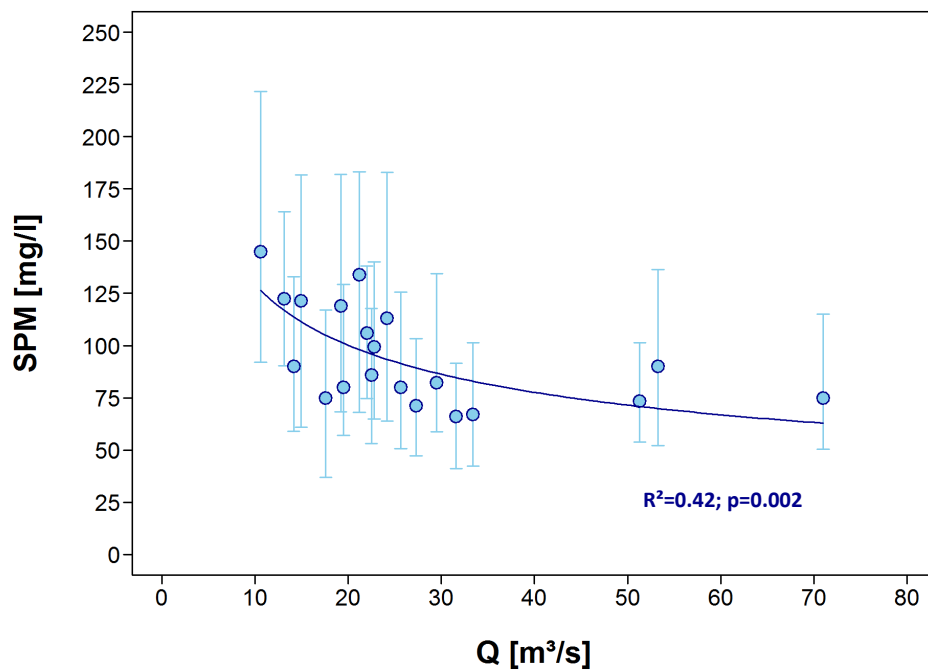
Beschouwen we de lange termijn wijzigingen in oppervlakte SPM dan observeren we in de Boven-Zeeschelde periodes met hogere en periodes met lagere SPM concentraties (respectievelijk rode cirkels en groene cirkels in Figuur 69, boven). De variatie in hogere en lagere SPM concentraties is hierbij het grootst in de zone gelegen op 95-125 km van Vlissingen (Figuur 69 boven). Beschouwen we de jaarlijkse mediaan bovenafvoer te Melle dan komen periodes met verhoogde SPM concentraties overeen met periodes waarin de bovenafvoer laag is, en komen verlaagde SPM concentraties overeen met periodes waarin de bovenafvoer hoog is (cf. rode en groene cirkels boven en onder in Figuur 69). Deze relatie tussen de oppervlakte SPM (in de zone 95 tot 125 km van Vlissingen) en de bovenafvoer is significant en kan beschreven worden aan de hand van een regressiemodel zoals voorgesteld in Figuur 70 ($y=301.1.1x^{-0.37}$; $R^2=0.42$; $p=0.002$). Het regressiemodel beschrijft dat met toenemende jaarlijkse mediaan bovenafvoer er een afname is in de jaarlijkse mediaan oppervlakte SPM concentratie. Deze afname in SPM concentratie is het sterkst bij lagere bovenafvoer en neemt af naarmate de bovenafvoer hoger wordt.

Figuur 69 – Voorstelling van de oppervlakte SPM langsheen het estuarium over de tijdsperiode 1996-2015 (boven) en de jaarlijkse mediaan bovenafvoer te Melle (onder).



Rode cirkels duiden jaartallen aan met hoge SPM waarden in de Boven-Zeeschelde en een lage bovenafvoer te Melle. Groene cirkels duiden jaartallen aan met lage SPM waarden in de Boven-Zeeschelde en hoge bovenafvoer te Melle.

Figuur 70 – Relatie tussen de jaarlijkse bovenafvoer te Melle (mediaan) en de jaarlijkse mediaan oppervlakte SPM concentratie in de zone 95 tot 125 km van Vlissingen.



Voorgesteld regressiemodel heeft volgende vergelijking: $y=301.1x^{-0.37}$ ($R^2=0.42$; $p=0.002$).

6 Conclusies en aanbevelingen

Om de historische evolutie van SPM concentraties in het Schelde estuarium te onderzoeken was het in deze studie allereerst van belang om inzicht te krijgen in de invloed van een aantal fysische parameters op SPM concentraties. We beschouwden hierbij het getij, bovenafvoer, de seizoenen en slibstortingen als de parameters met het grootste effect op SPM concentraties. De conclusies van deze studie geven het effect weer van de afzonderlijke parameters, maar doet geen uitspraak over het gecombineerd effect van deze factoren.

Wat betreft de historische SPM evolutie werd een eerste verkennende analyse uitgevoerd gebruik makende van de normalisatieprocedure (§5.1). Het SPM signaal werd hierbij genormaliseerd voor het effect van getij, bovenafvoer en seizoenen. De lange termijn SPM metingen werden immers uitgevoerd op willekeurige tijdstippen waardoor het SPM signaal beïnvloed wordt door de op dat moment heersende fysische condities. We merken hierbij op dat niet alle invloedsfactoren (bijvoorbeeld stortingen) zijn meegenomen in deze analyse (buiten scope opdracht), en de uitgevoerde normalisatie dus kan beschouwd worden als een eerste verkennende analyse. Omdat de lange termijn SPM dataset gekenmerkt wordt door een eerder grove temporele resolutie (wekelijkse tot maandelijkse sampling, zie Tabel 3) werd gekozen om de analyse uit te voeren op 3 grote ruimteclusters (Westerschelde, Beneden-Zeeschelde, en Boven-Zeeschelde). Op die manier werden voldoende meetgegevens meegenomen bij de berekening van de jaarlijkse SPM concentraties.

6.1 Het getij

Het getij heeft zijn invloed op de SPM concentraties zowel op de tijdschaal van een individueel getij als op de tijdschaal van een springtij-doodtijcyclus. Binnen een individueel getij worden periodes waargenomen met zowel een verlaging als een verhoging in SPM concentratie. Een verlaging wordt waargenomen net na het optreden van kentering. Deze verlaging is sterker na kentering hoogwater (KHW) dan na kentering laagwater (KLW) en wordt duidelijk waargenomen in de Beneden- en Boven-Zeeschelde terwijl deze in de Westerschelde afwezig lijkt. Voor de oppervlakte SPM in de Zeeschelde bedraagt de minimale concentratie net na KHW ongeveer de helft van de mediaanconcentratie (Figuur 35b). Na KLW is dit ongeveer 0.8 keer de mediaanconcentratie en is de daling duidelijker in de Boven-Zeeschelde dan in de Beneden-Zeeschelde (Figuur 36b). Net zoals voor de oppervlakte SPM zakt de waterkolom SPM duidelijk na KHW. In de Beneden-Zeeschelde wordt een minimale concentratie bereikt die slechts 0.28 keer de achtergrondconcentratie is, in de Boven-Zeeschelde is dit 0.53 keer de achtergrondconcentratie (Figuur 40b). Na KLW wordt er geen duidelijk dal in waterkolom SPM waargenomen. Het optreden van minimale concentraties is duidelijk geassocieerd met het tijdstip van kentering en dus minimale stroomsnelheid. KHW vindt in het Schelde estuarium 30-60 minuten na HW plaats terwijl dit voor KLW ongeveer 0-45 minuten na LW is (Figuur 7). Op basis van de verschillende SPM datasets (zowel oppervlakte als waterkolom) wordt gemiddeld genomen een minimum in SPM waargenomen 90 minuten na HW. Het minimum na LW is minder duidelijk. Op basis van de continue meetgegevens voor Boei 84 en Oosterweel valt dit minimum ongeveer 50 minuten na LW. Dit impliceert dat na KHW een minimum in SPM concentratie wordt bereikt ongeveer 45 minuten na tijdstip kentering terwijl dit na KLW ongeveer 25 minuten na tijdstip kentering is. Waar de verlaagde concentraties duidelijk geassocieerd zijn met minimale stroomsnelheden is de link tussen verhoogde concentraties en maximale stroomsnelheden minder duidelijk. Tijdens de vloedfase is er nog wel een duidelijke verhoging in oppervlakte SPM concentratie 0-60 minuten voor HW wat net na het optreden van de maximale stroomsnelheid tijdens vloed is (60 minuten voor HW, Figuur 7). Voor de waterkolom SPM worden deze maximale concentraties echter waargenomen 120-300 minuten voor HW. Tijdens de eb fase worden verhoogde

concentraties waargenomen over een langere tijdsperiode en zijn de piekconcentraties niet direct te associëren met maximale stroomsnelheid.

Binnen een individueel getij worden ook duidelijke verschillen waargenomen tussen eb en vloed. Voor het grootste deel van de geanalyseerde datasets zijn de concentraties tijdens eb hoger dan tijdens vloed, en dit zowel in de Beneden-Zeeschelde als in de Boven-Zeeschelde (Figuur 37, Figuur 38, Figuur 43 en Figuur 44). Voor de oppervlakte SPM zijn de concentraties tijdens eb respectievelijk 65 en 87 mg/l wat ongeveer 1.1-1.2 keer de vloedconcentratie is (Figuur 38). Voor de waterkolom SPM bedraagt de concentratie in de Beneden-Zeeschelde tijdens eb ongeveer 200 mg/l wat bijna het dubbele is van de vloedconcentratie. In de Boven-Zeeschelde zijn de verschillen tussen eb en vloed beperkter (Figuur 43). In de Westerschelde is er geen éénduidig verschil in oppervlakte SPM concentratie tussen eb en vloed. Een mogelijke verklaring voor de hogere SPM concentraties in de Zeeschelde tijdens eb is het tijdstip waarop de maximale stroomsnelheden voorkomen. Tijdens vloed is dit net voor HW terwijl dit tijdens eb meerdere uren na HW is (Figuur 4a). Bijgevolg is de waterdiepte tijdens maximale vloed snelheid groter dan tijdens de maximale ebsnelheid wat impliceert dat de verticale snelheidsgradiënt groter is tijdens de maximale ebsnelheid, en er dus meer sediment in suspensie kan gebracht worden. Meer inzicht is echter nodig in deze verticale snelheidsprofielen om de doorvertaling te maken naar gesuspendeerde sedimentconcentraties. Meer informatie omtrent stroomsnelheidsprofielen in de Zeeschelde kan worden teruggevonden in Plancke et al. (2014). We merken nog op dat conclusies omtrent de asymmetrie van het sedimenttransport (ebgedomineerd versus vloedgedomineerd) enkel kunnen worden gemaakt op basis van sedimentfluxen (over een volledige dwarssectie) en niet op basis van gesuspendeerde sedimentconcentraties.

Op de termijn van een spring-doodtijcyclus is er met toenemende getijslag een duidelijke toename in SPM concentratie. Deze correlatie is zowel geldig in de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde als in de Boven-Zeeschelde. Over het algemeen is de oppervlakte SPM concentratie tijdens doodtij 0.8-0.9 keer de achtergrondconcentratie terwijl deze tijdens springtij 1.2 keer de achtergrondconcentratie is (Figuur 51 en Tabel 9). Voor de waterkolom SPM is het effect van springtij-doodtij relatief gezien groter met de sterkste variatie in de Beneden-Zeeschelde. De waterkolom SPM is tijdens doodtij en springtij respectievelijk 0.5-0.8 en 1.15-1.5 keer de achtergrondconcentratie (Figuur 54 en Tabel 10). Opvallend is dat met toenemende getijslag er zich een meer duidelijke zone met verhoogde SPM concentratie ontwikkelt. Dit is het zogenaamde turbiditeitsmaximum of ETM (estuarine turbidity maximum). Aan het wateroppervlak is het ETM het meest uitgesproken op een afstand 100-120 km van Vlissingen. In de waterkolom zelf observeren we verhoogde concentraties eerder tussen 70km en 100km van Vlissingen, dus verder afwaarts dan aan het wateroppervlak. Het saliniteitsfront (i.e. de 1 PSU isolijn) waarmee de locatie van het ETM vaak geassocieerd wordt is variabel en komt voor op een afstand 60-90 km van Vlissingen (e.g. Vandenbruwaene et al., 2013), afhankelijk van de grootte van de bovenafvoer en de heersende getijcondities (doodtij-springtij).

6.2 Bovenafvoer en de seizoenen

In de winter worden er hogere SPM concentraties waargenomen in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde (Figuur 56 en Figuur 58). Dit wordt klassiek verklaard door de hogere bovenafvoer in de winter wat leidt tot hogere sedimentconcentraties (Figuur 30). In de Westerschelde is het effect van hogere bovenafvoer echter beperkt en worden de verhoogde concentraties grotendeels verklaard door de verhoogde golfactiviteit. In de Boven-Zeeschelde is de situatie duidelijk verschillend van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde. Daar worden de hoogste SPM concentraties waargenomen tijdens de zomer en de herfst (Figuur 56 en Figuur 58). Analyse van SPM concentraties in functie van bovenafvoer toonde aan dat bij lage bovenafvoer verhoogde SPM concentraties voorkomen op een afstand 100-140 km van Vlissingen (Figuur 59, Figuur 60 en Figuur 61). Bij lage bovenafvoer leidt tot een lagere residuele afvoer richting zee, en tot

een opwaartse migratie van de zoutgradiënt. De zomer en herfst worden gekenmerkt door de laagste bovenafvoer wat verklaart waarom de SPM concentraties tijdens deze seizoenen hoger liggen in de Boven-Zeeschelde. Bij hogere debieten (typisch voor de winterperiode) zijn de SPM concentraties in de Boven-Zeeschelde wel lager. Stroomsnelheden in afwaartse richting zijn nu wel voldoende groot om het gesuspendeerd sediment richting zee af te voeren. Toch is er ook hier nog een zone met verhoogde SPM terug te vinden op een afstand 100-120 km van Vlissingen. Opmerkelijk is dat bij extreme piekafvoeren ($> 89 \text{ m}^3/\text{s}$ te Melle, komt slechts in 10% van de gevallen voor) de SPM concentratie in de Boven-Zeeschelde opnieuw gaat toenemen (Figuur 59, Figuur 60 en Figuur 61). Bij dergelijke piekafvoeren is de SPM concentratie in de rivieren beduidend hoger wat leidt tot verhoogde SPM concentraties in de opwaartse delen van het estuarium. In dergelijk regime van piekafvoer is de klassieke signatuur van een ETM (een lokaal maximum in sediment concentraties) ook niet meer duidelijk zichtbaar in de data, en is er eerder sprake van een maximum concentratie aan het opwaartse eind van het estuarium. Figuur 59 suggereert verder dat het “derde, opwaartse SPM” dat in Chen et al. (2005) wordt gelinkt aan fluviatiele energie en het “tweede, klassieke ETM” dat klassiek wordt gelinkt aan estuariene circulatie en de invloed van saliniteit op flocculatie twee verschillende patronen zijn van sedimentconcentraties langsheen het estuarium die zijn gekoppeld aan verschillende bovenafvoer regimes. Het klassieke ETM wordt geobserveerd bij lage en middelhoge bovenafvoer, terwijl piekafvoer eerder leidt tot verhoogde SPM concentraties in de opwaartse delen van het estuarium.

6.3 Historische evolutie SPM (1996-2015)

Over de tijdsperiode 1996-2015 is er zowel in de Westerschelde als in de Beneden-Zeeschelde een significante toename in genormaliseerde oppervlakte SPM concentratie na uitvoering van lineaire regressie (respectievelijk $R^2=0.45$, $p=0.001$ en $R^2=0.38$, $p=0.004$, zie ook §5.2). In de Boven-Zeeschelde is er geen significante wijziging in jaarlijkse genormaliseerde SPM waarden over de periode 1996-2015. We merken hierbij op dat niet alle invloedsfactoren (bijvoorbeeld stortingen) zijn meegenomen in deze analyse (buiten scope opdracht). De uitgevoerde normalisatie kan dus beschouwd worden als een eerste verkennende analyse in de studie naar lange termijn trends.

Ondanks het feit dat we voorlopig geen uitspraak kunnen doen over lange termijn trends observeren we een aantal periodes met relatief hogere en lagere SPM concentraties. In de Boven-Zeeschelde (~95-125 km van Vlissingen) worden relatief hogere concentraties waargenomen in de periodes 1995-1997, 2003-2004 en 2009-2011 (Figuur 69 boven). Deze periodes vallen samen met jaartallen waarin de bovenafvoer eerder beperkt is (Figuur 69 onder). Analyse van de jaarlijkse bovenafvoer (mediaanwaarden) versus de SPM concentratie toont hierbij aan dat er een significante toename is in SPM concentratie met afnemende bovenafvoer (Figuur 70). Dit bevestigt eerdere waarnemingen in de Boven-Zeeschelde waarbij hogere SPM concentraties voorkomen bij lage bovenafvoer en dit op basis van dagwaardes (Figuur 59). Hierbij dient opgemerkt te worden dat hoe meer stroomafwaarts je gaat (richting Vlissingen) hoe onnauwkeuriger het is om op basis van dagwaardes bovenafvoer en SPM concentraties met elkaar te correleren, en dit ten gevolge van het effect van hysteresis. Hieraan kan tegemoet gekomen worden door bijvoorbeeld de sedimentconcentraties te correleren met de bovenafvoer gemiddeld over een aantal dagen terug. Studies in andere estuaria toonden eerder al aan dat langdurige periodes met lage bovenafvoer leiden tot de ontwikkeling van een ETM in de meest opwaartse delen (e.g., De Jonge et al., 2014). Naast verhoogde SPM concentraties observeren we in de Boven-Zeeschelde ook periodes met relatief lagere SPM concentraties (bijvoorbeeld 1999-2001). In deze jaartallen is de bovenafvoer beduidend hoger (Figuur 31) wat suggereert dat de afwaartse debieten voldoende hoog waren om het gesuspendeerde sediment richting zee te transporteren. Dat het effect van bovenafvoer nog niet volledig gevat wordt blijkt ook uit de normalisatieprocedure uitgevoerd in deze studie. Zo worden er na uitvoering van de normalisatieprocedure nog steeds hogere concentraties waargenomen in de periodes 1995-1997 en 2009-2011 (cf. Figuur 67a en Figuur 67b).

6.4 Aanbevelingen

De bevindingen in deze studie benadrukken de belangrijke rol van bovenafvoer in de al dan niet ontwikkeling van een ETM in de opwaartse delen van het estuarium, en zijn op die manier bijzonder relevant met betrekking tot de actuele beheersvragen binnen het Schelde estuarium (e.g., regime shift). Verder onderzoek naar de rol van bovenafvoer is echter nodig om bijvoorbeeld de tijdschaal waarop bovenafvoer speelt te vatten. Zijn het langere periodes (i.e. weken tot maanden) van lage bovenafvoer die zorgen voor de ontwikkeling van ETM, of speelt dit effect eerder op de tijdschaal van enkele dagen?

Naast de bovenafvoer strekt het ook tot de aanbevelingen om het effect van stortingen verder te onderzoeken. In deze studie werd gekeken naar het effect van stortingen op de SPM concentraties ter hoogte van de stort-nabije locatie Oosterweel. Maar wat is bijvoorbeeld het effect op verder gelegen locaties zoals Boei 84 en Driegoten? En wat is het belang van het tijdstip van storten (e.g., tijdens doortij of springtij) op de verspreiding van sedimenten?

Tenslotte benadrukken we het belang van een meer doorgedreven statistische analyse in het onderzoek naar lange termijn trends. De uitgevoerde normalisatieprocedure in deze studie kan beschouwd worden als een eerste verkennende analyse, maar houdt bijvoorbeeld geen rekening met het effect van stortingen (buiten scope opdracht).

7 Referenties

- Chen, M., Wartel, S., Van Eck, B., & Van Maldegem, D. (2005).** Suspended matter in the Scheldt estuary. *Hydrobiologia*, 540, 79–104.
- De Jonge, V. N., Schuttelaars, H. M., Van Beusekom, J. E. E., Talke, S. a., & De Swart, H. E. (2014).** The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 139, 46–59. doi:10.1016/j.ecss.2013.12.030
- Fettweis, M.; Sas, M.; Monbaliu, J.; Taverniers, E. (1997).** Langdurige meting van slibconcentratie, saliniteit en temperatuur te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde). *Water* 16(92): 15-26
- Kuijper K (2013).** LTV Veiligheid & Toegankelijkheid. Aanvullend onderzoek historische ontwikkeling getij in het Schelde-estuarium. Data-analyse en toepassingen analytisch model. Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-8.
- Kuijper K and Lescinski J. (2013).** LTV Veiligheid & Toegankelijkheid. Data analyses water levels eb band flood volumes and bathymetries Western Scheldt. Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-5.
- Levy, Y.; Plancke, Y.; Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2014).** Het getij in de Zeeschelde en haar bijrivieren: Langjarig overzicht van de voornaamste getijkarakteristieken. Versie 2_0. WL Rapporten, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Plancke, Y.; Maximova, T.; Ides, S.; Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2012).** Werkgroep O&M -Projectgroep Veiligheid: Sub project 1: Data analysis and hypothesis - Lower Sea Scheldt. Version 4.0. WL Rapporten, 756/05. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium
- Plancke, Y.; Vereecken, H.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014).** Integraal plan Boven-Zeeschelde: Deelrapport 3 – Factual data-rapport sediment transport metingen in de Zeeschelde in 2014. Versie 4.0. WL Rapporten, 13_131. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Roose, F. (2008).** Toelichting formaat BIS-gegevens. Nota. Afdeling Maritieme Toegang, Antwerpen, België.
- Savenije, H.H.G. (2001).** A simple analytical expression to describe tidal damping or amplification *J. Hydrol. (Amst.)* 243(3-4): 205-215
- Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters, P.; Plancke, Y.; Mikkelsen, J.; Van den Bergh, E. (2012).** Historische evolutie van Zeescheldehabitats: kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2012(59). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek/Waterbouwkundig Laboratorium: Brussel. 111 + bijlagen pp
- Vandenbruwaene W., Plancke Y., Verwaest T., Mostaert F. (2013)** Interestuarine comparison: Hydrogeomorphology: hydro- and geomorphodynamics of the TIDE estuaries Schelde, Elbe, Weser and Humber. W. Rapporten. Antwerpen, Flanders Hydraulics Research. Version 3. Report of the TIDE project. www.tide-toolbox.eu
- Wang Z.B.. (2013).** LTV Veiligheid & Toegankelijkheid. Data analyse waterstanden Westerschelde. Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-1.

Appendix A – Normalisatietabellen SPM

Tabel A 1 – SPM correctiefactoren voor de variatie binnen een individueel getij, deelgebied Westerschelde
(zie ook Figuur 64)

Tijdstip tov HW [min]	Correctiefactor	Tijdstip tov LW [min]	Correctiefactor
-362.99	0.91	-362.99	0.91
-335.08	1.13	-335.08	1.13
-300.52	0.92	-300.52	0.92
-264.82	1.17	-264.82	1.17
-232.15	1.25	-232.15	1.25
-192.05	1.30	-192.05	1.30
-157.43	1.30	-157.43	1.30
-124.62	1.03	-124.62	1.03
-89.12	1.06	-89.12	1.06
-63.62	0.90	-63.62	0.90
-54.28	0.74	-54.28	0.74
-46.47	0.90	-46.47	0.90
-35.38	0.83	-35.38	0.83
-11.60	1.11	-11.60	1.11
0.35	0.71	0.35	0.71
7.92	0.81	7.92	0.81
16.32	0.67	16.32	0.67
27.43	1.00	27.43	1.00
36.88	1.03	36.88	1.03
46.85	0.80	46.85	0.80
58.05	0.93	58.05	0.93
68.93	1.25	68.93	1.25
78.69	1.02	78.69	1.02
92.77	1.32	92.77	1.32
110.05	1.29	110.05	1.29
132.40	1.37	132.40	1.37
153.02	1.46	153.02	1.46
173.42	1.21	173.42	1.21
199.35	1.06	199.35	1.06
215.58	1.06	215.58	1.06
226.56	0.80	226.56	0.80
241.02	0.85	241.02	0.85
258.75	0.90	258.75	0.90
274.18	1.00	274.18	1.00
287.20	0.95	287.20	0.95
295.64	0.75	295.64	0.75
304.43	0.83	304.43	0.83
317.62	0.73	317.62	0.73
339.00	1.09	339.00	1.09
364.00	1.09	364.00	1.09

Tabel A 2 – SPM correctiefactoren voor de variatie binnen een individueel getij, deelgebied Beneden-Zeeschelde (zie ook Figuur 64)

Tijdstip tov HW [min]	Correctiefactor	Tijdstip tov LW [min]	Correctiefactor
-371.50	1.16	-356.14	1.46
-363.42	0.99	-329.33	1.56
-356.80	0.89	-304.92	1.78
-349.80	1.04	-281.78	1.44
-344.80	0.76	-260.77	1.21
-336.44	0.76	-240.35	0.87
-330.08	0.86	-222.34	0.79
-321.42	0.94	-203.55	0.81
-309.47	0.91	-180.94	0.68
-300.46	0.97	-160.68	0.72
-288.13	0.91	-140.53	0.66
-273.72	1.08	-114.61	0.65
-255.23	1.46	-94.16	0.64
-236.40	1.12	-73.50	0.57
-215.02	1.28	-57.92	0.74
-189.11	1.05	-38.94	0.95
-167.10	1.16	-28.09	0.89
-139.42	1.23	-21.55	0.83
-112.60	1.14	-15.75	0.87
-88.03	1.13	-10.18	1.05
-63.17	1.08	-6.75	0.99
-36.80	1.20	-1.65	0.98
-8.75	1.23	6.29	1.05
10.84	1.17	14.25	0.87
38.34	1.49	22.39	1.06
64.37	1.55	33.33	0.91
88.53	1.87	43.45	0.97
112.92	1.50	55.21	1.01
137.97	0.99	72.43	1.23
156.97	0.84	93.92	0.85
178.58	0.91	120.95	1.37
198.75	0.66	151.89	1.17
224.97	0.73	181.48	1.17
248.53	0.64	207.82	1.04
271.24	0.71	234.74	1.24
295.75	0.66	263.19	1.11
318.97	0.60	288.92	1.10
338.16	0.69	317.01	1.19
356.76	1.01	342.53	1.22
369.58	1.00	363.53	1.27

Tabel A 3 – SPM correctiefactoren voor de variatie binnen een individueel getij, deelgebied Boven-Zeeschelde
(zie ook Figuur 64)

Tijdstip tov HW [min]	Correctiefactor	Tijdstip tov LW [min]	Correctiefactor
-362.68	0.76	-361.38	1.67
-345.44	0.84	-338.85	1.25
-327.52	0.74	-322.72	1.29
-309.70	0.64	-301.93	1.20
-292.40	1.00	-284.75	0.95
-278.18	1.18	-269.64	0.90
-261.78	1.20	-247.98	0.77
-246.57	1.20	-231.94	0.94
-231.47	0.94	-216.97	0.88
-209.40	0.96	-197.31	0.87
-193.99	0.99	-181.65	1.15
-171.16	1.15	-161.78	0.99
-151.87	1.02	-145.98	0.81
-129.43	1.14	-125.58	0.66
-114.01	1.28	-106.53	0.82
-92.40	0.89	-92.63	0.80
-74.33	1.03	-72.76	0.69
-50.32	0.72	-54.65	0.73
-31.18	0.92	-37.08	0.61
-11.52	0.84	-17.60	0.64
10.68	1.15	3.42	0.83
32.98	1.47	19.93	1.02
52.38	1.64	36.32	1.28
73.07	1.99	49.31	1.19
97.60	1.54	65.38	1.26
117.48	1.26	84.18	1.04
137.06	1.02	106.53	0.94
154.92	0.98	127.54	0.98
177.84	0.94	147.22	0.93
190.43	0.91	165.93	1.14
207.10	0.88	184.82	1.06
226.43	1.06	204.23	1.04
241.64	0.86	226.27	0.92
257.58	0.78	242.12	0.75
272.27	0.76	262.28	0.89
291.99	0.71	282.15	1.00
308.19	0.89	301.32	0.92
325.35	0.88	319.45	1.43
343.92	0.72	340.08	1.47
364.17	0.72	360.18	1.66

Tabel A 4 – SPM correctiefactoren voor de variatie in bovenafvoer, deelgebied Boven-Zeeschelde

Q	Correctiefactor BoZ
1.7	0.55
3.3	0.81
3.9	0.78
5.0	0.69
5.8	0.74
6.4	0.69
7.6	0.76
8.7	0.92
9.7	0.97
10.0	0.83
10.7	0.94
11.9	0.71
12.4	1.20
13.4	0.78
14.1	1.00
14.7	0.84
16.0	1.17
17.1	1.04
17.9	1.36
18.6	1.15
19.3	1.12
22.0	1.14
23.8	1.22
25.6	1.38
28.2	1.24
30.0	1.25
33.1	1.33
36.8	1.30
40.2	1.30
43.5	1.04
45.6	1.24
50.2	1.10
54.6	1.41
60.6	1.07
67.5	1.32
78.1	1.04
89.1	0.86
100.9	0.99
130.4	0.75
187.2	0.68

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