



departement
*Mobiliteit en
Openbare Werken*

MONEOS - jaarboek monitoring WL 2013

FACTUAL DATA RAPPORTAGE VAN MONITORING HYDRODYNAMIEK
EN FYSISCHE PARAMETERS ZOALS GEMETEN DOOR WL IN HET
ZEESCHELDEBEKKEN IN 2013



12_070

WL Rapporten

MONEOS - jaarboek monitoring WL 2013

Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek
en fysische parameters zoals gemeten door WL in het
Zeescheldebekken in 2013

Vanlierde, E.; Ferket, B.; Michielsen, S.; Vereycken, K; Van Hoestenbergh, T.; Levy, Y.;
Plancke, Y.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Juni 2014

WL2014R12_070_3

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanlierde, E.; Ferket, B.; Michielsen, S.; Vereycken, K.; Van Hoestenbergh, T.; Levy, Y.; Plancke, Y.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2013: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be

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

Documentidentificatie

Titel:	MONEOS - jaarboek monitoring WL 2013: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2013		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2014R12_070_3
Keywords (3-5):	Tij, Sediment, Schelde, Monitoring, Slibbalans		
Tekst (p.):	144	Bijlagen (p.):	7
Vertrouwelijk:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf:	
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur Ferket, B.  Michielsens, S.  Vereycken, K. 	Revisor Plancke, Y. 	Projectleider Vanlierde, E. 	Verantwoordelijke (Steunpunt) HIC Deschamps, M.  Coördinator Studie & Advies Verwaest, T. 	Afdelingshoofd Mostaert, F. 
---	---	---	--	---

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	26/05/2014	Conceptversie	Ferket, B., Michielsens, S., Van Hoestenbergh, T., Vereycken, K., Vanlierde, E.
2.0	02/06/2014	Inhoudelijke revisie	Plancke, Y.
3.0	19/06/2014	Revisie opdrachtgever	Beirinckx, K.
4.0	24/06/2014	Definitieve versie	Vanlierde, E.

Abstract

Dit is het zesde (jaarlijkse) zogenaamde Moneos-rapport dat het Waterbouwkundig Laboratorium uitgeeft, met name over de monitoring van het jaar 2013. Eerdere rapporten gingen over 2008 t/m 2012.

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 van het Schelde-estuarium (OS-2010) wordt een uitgebreide monitoring in de Westerschelde en in het Zeescheldebekken gedaan. Het handelt grotendeels over een continue systeem-monitoring, en waarvan het merendeel al decennia lang wordt bemeaten. Zo voert het Waterbouwkundig Laboratorium in het Zeescheldebekken vele continue metingen uit over waterstand, debieten, stromingen, chloridegehalten, turbiditeit en andere fysische parameters.

Dit rapport geeft een globaal overzicht van die monitoring zoals het Waterbouwkundig Laboratorium in 2013 in het Zeescheldebekken deed, meer bepaald het deel dat voor Moneos dienstig is. Dit rapport is een factual data rapportage van getijwaarnemingen, bovendeblaten en andere parameters zoals stromingen, conductiviteit en turbiditeit gemeten in 2013. Voor de algemene achtergrond en methodologie met betrekking tot de monitoring in het Zeescheldebekken, wordt verwezen naar het bijhorende methodologie-document genoemd "basisboek" (Taverniers et al., 2013).

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	II
Lijst van de figuren	IV
Lijst van afkortingen	XI
1. Inleiding	1
2. Jaaroverzicht getijwaarnemingen	2
2.1. Getijwaarnemingen te Antwerpen	2
2.1.1. Jaaroverzicht	2
2.1.2. Jaaroverzicht 2013 in historisch perspectief	3
2.2. Getijwaarnemingen op overige tijmeetposten	10
2.3. Stormvloeden	16
2.4. Speciale tijen	21
2.4.1. 10-11 september 2013	21
2.4.2. 28 oktober 2013	23
2.5. Extreem laag laagwater (14 februari)	25
3. Jaaroverzicht bovendebieten Zeescheldebekken	27
3.1. Overzicht meetlocaties van bovendebieten aan de randen van het tijgebied	27
3.2. Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts	28
3.2.1. Berekeningsmethode van de pentadebieten te Schelle	28
3.2.2. Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis	29
3.2.3. Bovendebieten 2013 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief	31
3.3. Overzicht bovendebieten aan de randen van het tijgebied	33
3.3.1. Globaal overzicht	33
3.3.2. Individuele wasregimes	35
4. Jaaroverzicht fysische parameters	47
4.1. Continue metingen "fysische parameters"	47
4.1.1. Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"	47
4.1.2. Verloop stroomsnelheid- en richting meetlocaties Zeeschelde	48
4.1.3. Verloop temperatuur continue meetlocaties Zeeschelde	62
4.1.4. Verloop conductiviteit continue meetlocaties	68
4.1.5. Verloop turbiditeit en suspensiegehalte	76
4.1.6. Verloop overige parameters	105
4.1.7. Slibbalans	107
4.2. Meetcampagnes	114
4.2.1. Langsvaarten	114
4.2.2. Dertienuursmetingen (debiet en sedimentconcentraties)	124
4.3. Golfmetingen	142
5. Referenties	143
Bijlage 1: MONEOS-T parameters	B1
A. Situering	B1
B. Methodologie	B1
C. Resultaten	B1
1.C.1 Jaarlijkse gemiddelde hoog- en laagwaters	B1
1.C.2 Maximale eb- en vloednelheid in functie van daling/stijging te Antwerpen	B6

Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Zeeschelde in Antwerpen: hoofdkenmerkende waarden en extreme waarden van het tij voor het jaar 2013 en in historisch perspectief; (waterstanden in mTAW, tijverschillen in meter).....	5
Tabel 2 - Zeeschelde in Antwerpen: frequentietabel hoogwaters, laagwaters en tijverschillen waargenomen in 2013 verdeeld per decimeter TAW resp. decimeter	6
Tabel 3 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden voor het jaar 2013, gerangschikt van afwaarts naar opwaarts	11
Tabel 4 - Rupel, Beneden-Nete en Durme: Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2013.....	14
Tabel 5 - Beneden Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtijden (1972-2013), verdeeld per decimeter (mTAW).....	19
Tabel 6 - Overzicht van de hoogte van de overlooptdijk van GOG's in het Scheldebekken die geactiveerd zijn tijdens de Sinterklaasstorm. Eveneens vermeld zijn de start van de vulling en de maximale bereikte waterhoogte in het overstromingsgebied bepaald uit meting (waar voorhanden) en bepaald uit het 1D hydrodynamisch model van het WL	21
Tabel 7 - Overzicht van de meetstations die gebruikt worden voor de bepaling van de bovenafvoer.	27
Tabel 8 - Overzicht van de meetplaatsen van de bovenafvoer, met waarde van de multiplicator van doorrekening naar de uitmonding van de betrokken rivier	29
Tabel 9 - Overzicht van de (gemiddelde) tijdsvertraging van doorkomen van bovenafvoer aan de meetraaien, bij doorrekening te Schelle (bij eerder grote afvoeren).....	29
Tabel 10 - Pentade-gemiddelde bovenafvoer Schelde te Schelle (m ³ /s)	30
Tabel 11 – 23 hoogste pentadegemiddelde afvoeren geregistreerd sinds 1991 tot december 2013.....	33
Tabel 12 - Zeescheldebekken: hoofdkenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebiten aan de meetraaien, jaar 2013 (m ³ /s)	35
Tabel 13 - Overzicht van de toesteltypen van multi-parametertoestellen ingezet in 2013 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren	48
Tabel 14 - Overzicht statistieken voor de gemiddelde stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde	56
Tabel 15 - Overzicht statistieken voor de maximale stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde	56
Tabel 16 - Overzicht statistieken voor de extrema van temperatuur bij KHW en KLW gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde	66
Tabel 17 - Overzicht van de conductiviteit bij KHW en KLW op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes	73
Tabel 18 - Minimum, gemiddelde, maximum en standaardafwijking van de SSC bij KHW en KLW en de maximale en gemiddelde SSC bij eb en vloed op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes...	98
Tabel 19 - Regressiemodellen aan de vier meetlocaties met ISCO staalnametoestel en YSI multiparametersonde	103
Tabel 20 - Regressiemodel en R ² -waarde voor de meetposten gebruikt voor de slibbalansberekening 2013	109
Tabel 21 - Totale sedimentvracht voor 2013 berekend via de interpolatiemethode	112
Tabel 22 - Herschalingfactor van meetraai naar monding.....	113
Tabel 23 - Totale sedimentvracht voor 2013 berekend via de interpolatiemethode aan de monding van de bemeten en <i>niet-bemeten</i> stroomgebieden en op de Zeeschelde te Schelle	113

Tabel 24 – Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van halftij-eb gegevens in 2013 langsheen de volledige Zeeschelde	120
Tabel 25 – Gemiddelde, minimale en maximale debieten en sedimentfluxen bepaald tijdens de verschillende 13u metingen	128

Lijst van de figuren

Figuur 1 - Beneden Zeeschelde in Antwerpen: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2013 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater	2
Figuur 2 - Verloop van tijverschil geobserveerd in Antwerpen (Beneden Zeeschelde) in 2013	3
Figuur 3 - Verschil tussen astronomisch voorspelde en waargenomen extrema (HW's & LW's) geobserveerd in Antwerpen (Beneden Zeeschelde) in 2013	4
Figuur 4 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van jaargemiddelden van hoogwater	7
Figuur 5 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van jaargemiddelden van laagwater	7
Figuur 6 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van tijverschillen	8
Figuur 7 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2012) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden .	8
Figuur 8 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2012) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden ..	9
Figuur 9 - Tijmeetposten opgenomen in de Moneos rapportage 2013 ter bepaling van het globaal overzicht getijwaarnemingen 2013	10
Figuur 10 - Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doortij in 2013 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.	12
Figuur 11 - Zeeschelde: gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doortij in 2013 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.	13
Figuur 12 - Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doortij in 2013 voor de Rupel (Boom en Walem) en Beneden Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug)	15
Figuur 13 - Gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doortij in 2013 voor de Rupel (Boom en Walem) en Beneden Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug)	16
Figuur 14 - De Sinterklaasstorm - waterstand te Antwerpen van 5 t.e.m. 7 december 2013 (UTC)	17
Figuur 15 - Doortocht van het lagedrukgebied. In Duitsland kreeg deze storm de naam 'Xaver' (Deutsche Wetterdienst, geraadpleegd op 4 december 2013)	18
Figuur 16 - Weerkaart van donderdag 5 december 2013 middernacht. Wetter3, geraadpleegd op 5 december 2013).....	18
Figuur 17 - Gemeten en gesimuleerd waterpeil tijdens de Sinterklaasstorm in de Zeeschelde en GOG Bergenmeersen t.h.v. diver 1	20
Figuur 18 – Situering divers GOG Bergenmeersen.....	20
Figuur 19 - Speciaal tij op 11 september 2013. Meetposten te Zeebrugge, Vlissingen, Antwerpen, Dendermonde, Melle (tijden in UTC)	22
Figuur 20 - Weerkaart van 11 september 2013 om 0u UTC (kaart verkregen via pers. comm. David Dehenauw, hoofd maritieme voorspellingen KMI)	23
Figuur 21 - Speciaal tij op 28 oktober 2013. Meetposten Vlissingen, Antwerpen, Dendermonde, Melle (tijd in UTC)	24
Figuur 22 - Weerkaart van 28 oktober 2013, 0u UTC (kaart verkregen via pers. comm. David Dehenauw, hoofd maritieme voorspellingen KMI)	24
Figuur 23 - Uitzonderlijk laag laagwater op de Noordzee en het Scheldebekken. Astronomisch voorspelde waterstand te Antwerpen en waargenomen waterstanden te Oostende (ruwe gegevens), Vlissingen (ruwe gegevens) en Antwerpen. Tijd in UTC.....	25

Figuur 24 - Weerkaart van Europa van 14 februari 2013 om 6u UTC. www.knmi.nl, geraadpleegd op 20 mei 2014.....	26
Figuur 25 - Ligging van de meetplaatsen van de bovenafvoer aan de randen van het tijgebied, en aanduiding van de locatie "Schelde te Schelle" tot waar "de globale bovenafvoer" naar de zgde Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend	28
Figuur 26 - Zeescheldebekken: Pentadegemiddelde waarden voor de afvoer van "de Schelde te Schelle" voor 2013.....	30
Figuur 27 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2012 o.b.v. jaargemiddelde waarden.	31
Figuur 28 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2013 op basis van jaargemiddelde waarden en gerangschikt naar grootte	32
Figuur 29 - Zeescheldebekken: vijfdaagse gemiddelde afvoer aan "de Schelde te Schelle" volgens pentaderekening voor de periode 1991-2013.....	32
Figuur 30 - Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied voor het jaar 2013	34
Figuur 31 - Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien, over het gehele jaar 2013.....	34
Figuur 32 - Gevallen neerslag van 14 december 2012 tot en met 7 januari 2013.....	36
Figuur 33 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 14 december 2012 tot 7 januari 2013.....	36
Figuur 34 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 14 december 2012 tot 7 januari 2013	37
Figuur 35 - Gevallen neerslag 25 januari 2013 tot 13 februari 2013	37
Figuur 36 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 25 januari 2013 tot 13 februari 2013.....	38
Figuur 37 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 25 januari 2013 tot 13 februari 2013	38
Figuur 38 - Gevallen neerslag 7 maart 2013 tot 25 maart 2013.....	39
Figuur 39 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 7 maart 2013 tot 25 maart 2013.....	39
Figuur 40 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 7 maart 2013 tot 25 maart 2013.....	40
Figuur 41 - Gevallen neerslag 16 mei 2013 tot 5 juni 2013.....	40
Figuur 42 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 16 mei 2013 tot 5 juni 2013	41
Figuur 43 - Gevallen neerslag 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013	41
Figuur 44 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013.....	42
Figuur 45 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013	42
Figuur 46 - Gevallen neerslag 26 oktober 2013 tot 25 november 2013	43
Figuur 47 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 26 oktober 2013 tot 25 november 2013	43
Figuur 48 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 26 oktober 2013 tot 25 november 2013	44
Figuur 49 - Gevallen neerslag 21 december 2013 tot 13 januari 2014	44
Figuur 50 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 21 december 2013 tot 13 januari 2014.....	45
Figuur 51 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 21 december 2013 tot 13 januari 2014	45

Figuur 52 - Localisatie van Moneos-meeetposten in Zeeschelde en bijrivieren waar continue monitoring van fysische parameters plaatsvindt	47
Figuur 53 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	50
Figuur 54 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	50
Figuur 55 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	51
Figuur 56 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	51
Figuur 57 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten (Boven-Zeeschelde).....	52
Figuur 58 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	53
Figuur 59 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	53
Figuur 60 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	54
Figuur 61 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	54
Figuur 62 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten (Boven-Zeeschelde).....	55
Figuur 63 - Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid over vloed en over eb, gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde	55
Figuur 64 - Maximale ebsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen	57
Figuur 65 - Maximale vloedsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen	57
Figuur 66 - Maximale ebsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen	58
Figuur 67 - Maximale vloedsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen	58
Figuur 68 - Maximale ebsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen.....	59
Figuur 69 - Maximale vloedsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen	59
Figuur 70 - Maximale ebsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen.....	60
Figuur 71 - Maximale vloedsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen	60
Figuur 72 - Maximale ebsnelheid te Driegoten (Boven-Zeeschelde) versus de daling in waterpeil te Antwerpen	61
Figuur 73 - Maximale vloedsnelheid te Driegoten (Boven-Zeeschelde) versus de stijging in waterpeil te Antwerpen	61
Figuur 74 - Temperatuur bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	63
Figuur 75 - Temperatuur bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel.....	64
Figuur 76 - Temperatuur bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel ...	64

Figuur 77 - Temperatuur bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel ...	65
Figuur 78 - Temperatuur [°C] bij KHW en KLW te Driegoten (Boven- Zeeschelde).....	65
Figuur 79 - Boxplot voor de gemeten Temperatuur bij KHW en KLW op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes	66
Figuur 80 - Temperatuur Hemiksem (Boven-Zeeschelde) en Prosperpolder en Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde).....	67
Figuur 81 - Temperatuur Appels (Dender), Epegem (Zenne), Melle (Boven-Zeeschelde) en Duffelsluis (Beneden-Nete)	68
Figuur 82 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden- Zeeschelde), bovenste meettoestel.....	69
Figuur 83 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden- Zeeschelde), onderste meettoestel.....	70
Figuur 84 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden- Zeeschelde), bovenste meettoestel.	70
Figuur 85 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden- Zeeschelde), onderste meettoestel .	71
Figuur 86 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven- Zeeschelde).....	71
Figuur 87 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Boei 84 boven (groen) en onder (rood)	72
Figuur 88 - Boxplot voor de gemeten Conductiviteit bij KHW en KLW op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes	73
Figuur 89 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Hemiksem (Boven-Zeeschelde) en Prosperpolder en Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde).....	74
Figuur 90 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Epegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde).....	75
Figuur 91 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel.....	78
Figuur 92 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	78
Figuur 93 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel.....	79
Figuur 94 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	79
Figuur 95 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde).....	80
Figuur 96 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel ..	81
Figuur 97 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel...	81
Figuur 98 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	82
Figuur 99 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	82
Figuur 100 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	83
Figuur 101 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	83
Figuur 102 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	84
Figuur 103 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	84
Figuur 104 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	85
Figuur 105 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	85
Figuur 106 - Turbiditeit gemeten te Melle (Boven-Zeeschelde)	86
Figuur 107 - Turbiditeit gemeten te Duffel-sluis (Beneden-Nete)	86

Figuur 108 - Turbiditeit gemeten te Appels (Dender)	87
Figuur 109 - Turbiditeit gemeten te Eppegem (Zenne)	87
Figuur 110 - Kalibratierelaties (Turbiditeit – SSC) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten.....	88
Figuur 111 - SSC bij KLW en KHW te Boei 84 (Beneden -Zeeschelde), bovenste meettoestel	89
Figuur 112 - SSC bij KLW en KHW te Boei 84 (Beneden -Zeeschelde), onderste meettoestel.....	90
Figuur 113 - SSC bij KLW en KHW te Oosterweel (Beneden -Zeeschelde), bovenste meettoestel	90
Figuur 114 - SSC bij KLW en KHW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel.....	91
Figuur 115 - SSC bij KLW en KHW te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	91
Figuur 116 - Maximale SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	92
Figuur 117 - Maximale SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	92
Figuur 118 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel ...	93
Figuur 119 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	93
Figuur 120 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel .	94
Figuur 121 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel..	94
Figuur 122 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel	95
Figuur 123 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel	95
Figuur 124 - Maximale SSC bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	96
Figuur 125 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	96
Figuur 126 - Boxplot voor de SSC bij KHW en KLW op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes	97
Figuur 127 - Boxplot voor de maximale en gemiddelde SSC bij eb en vloed op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes	97
Figuur 128 - Automatisch staalnametoestel ISCO (type 6712FR) met koeling Teledyne (Teledyne Technologies Inc.; 2012).	99
Figuur 129 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Melle (Boven-Zeeschelde).....	100
Figuur 130 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Duffelsluis (Beneden-Nete)	100
Figuur 131 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Appels (Dender)	101
Figuur 132 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Eppegem (Zenne).....	101
Figuur 133 – Regressiemodel tussen turbiditeit, gekwadraterde conductiviteit en SSC te Duffelsluis (Beneden-Nete): ruwe data (rood), modelwaarden (zwart) en het onderste (groen) en bovenste (blauw) 95%-voorspellingsinterval.....	102
Figuur 134 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Melle (Boven-Zeeschelde)	103
Figuur 135 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Duffelsluis (Beneden-Nete)	104
Figuur 136 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Appels (Dender)	104
Figuur 137 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Eppegem (Zenne)	105
Figuur 138 - Zuurstofgehalte [mg/l] te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Eppegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde).....	106
Figuur 139 - Zuurstofverzadiging [%] te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Eppegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde).....	106

Figuur 140 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de verschillende stroomgebieden (+ jaarlijkse sedimentvracht berekend d.m.v. de interpolatiemethode voor de periodes 1972-2009 – Bron: Van Hoestenbergh et al. (2013)).....	107
Figuur 141 – Regressiemodel Debiet-SSC 2013 voor meetpost Haacht (Dijle en Demer)	108
Figuur 142 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Dender te Appels	109
Figuur 143 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Zenne te Epegem.....	110
Figuur 144 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Kleine Nete te Grobbendonk..	110
Figuur 145 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Dijle/Demer te Haacht	111
Figuur 146 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Grote Nete te Itegem.....	111
Figuur 147 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) methode voor de Boven-Zeeschelde te Melle	112
Figuur 148 – Gecumuleerde sedimentvracht SSL geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Zeeschelde te Schelle.....	114
Figuur 149 - ligging van de vaste meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten.....	115
Figuur 150 - Sedimentconcentratie bij kentering hoogwater langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.	116
Figuur 151 - Sedimentconcentratie bij kentering laagwater langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.	116
Figuur 152 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.....	117
Figuur 153 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in maart 2013 langsheen de volledige Zeeschelde.....	118
Figuur 154 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in juni 2013 langsheen de volledige Zeeschelde	118
Figuur 155 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in september 2013 langsheen de volledige Zeeschelde ..	119
Figuur 156 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in december 2013 langsheen de volledige Zeeschelde ...	119
Figuur 157 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Boei 79.....	121
Figuur 158 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Liefkenshoek.....	122
Figuur 159 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Oosterweel.....	122
Figuur 160 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Kennedy-tunnel.....	123
Figuur 161 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2012 – Rupelmonde.....	123
Figuur 162 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) op 25/06/2013	125
Figuur 163 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	126
Figuur 164 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	126

Figuur 165 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	127
Figuur 166 - Boxplots van de sedimentflux bij eb en vloed tijdens de dertienuursmetingen langs de verschillende dwarsraaien in 2013	127
Figuur 167 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) op 27/06/2013...	129
Figuur 168 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	129
Figuur 169 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	130
Figuur 170 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013	130
Figuur 171 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) op 30/05/2013.....	131
Figuur 172 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	132
Figuur 173 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	132
Figuur 174 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013	133
Figuur 175 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Driegoten (Boven-Zeeschelde) op 12/06/2013	134
Figuur 176 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	135
Figuur 177 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	135
Figuur 178 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013 .	136
Figuur 179 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) op 27/05/2013....	137
Figuur 180 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	137
Figuur 181 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013.....	138
Figuur 182 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013	138
Figuur 183 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Terhagen (Rupel) op 29/05/2013	139
Figuur 184 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013.....	140
Figuur 185 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013.....	141
Figuur 186 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013.....	141

Lijst van afkortingen

CTD: Conductiviteit – Temperatuur – Druk; tevens afkorting voor het meettoestel dat deze drie parameters registreert

HTE: Halve tij eb

FTU: Formazine turbidity unit; eenheid van turbiditeit gebruikt door Aanderaa Seaguard multiparametertoestellen

GHW: gemiddeld hoogwater

GLW: gemiddeld laagwater

GTV: gemiddeld tijverschil, zijnde het hoogteverschil tussen het gemiddeld hoogwater en het gemiddeld laagwater

HHW: hoogste hoogwater

HLW: hoogste laagwater

KHW: kentering hoog water

KLW: kentering laag water

LCI: Lower confidence interval; onderste 95% betrouwbaarheidsinterval

LHW: laagste hoogwater

LLW: laagste laagwater

NTU: Nephelometric turbidity unit; eenheid van turbiditeit gebruikt door YSI multiparametertoestellen

SSC: suspended sediment concentration, suspensiegehalte aan sediment

STDEV: standaard deviatie

TAW: Tweede Algemene Waterpassing, referentieniveau voor waterpassing gebruikt in België

UCI: Upper confidence interval; bovenste 95% betrouwbaarheidsinterval

1. Inleiding

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 van het Schelde-estuarium (OS-2010), beantwoordend aan de doelstellingen van de Lange-Termijn-Visie 2030 (LTV-2030), wordt onder de naam MONEOS (MONitoring Effecten Ontwikkeling-Schets) een uitgebreide monitoring uitgevoerd in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium, in de Westerschelde en in het Zeescheldebekken. Daarbij handelt het grotendeels over een continue systeem-monitoring, deels over project- en kleinendeels over studie-monitoring. Veel van de systeem-monitoring is een verderzetting van al decennia lang bestaande meetnetten en metingen, of uitgebreid naar meer locaties of naar meer parameters.

Het globale MONEOS-programma omhelst verschillende delen, zowel naar:

- de drie luiken, zijnde toegankelijkheid, natuurlijkheid en veiligheid;
- de aard van de te meten parameters: hydraulisch, morfologisch, fysico-chemisch, biologisch, ...
- en de plaats (water, slikken en platen, schorren, gebieden aan landzijde zoals overstromingsgebieden, gebieden met een gecontroleerd gereduceerd getij, ...).

In het Zeescheldebekken voert het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout vele continue metingen uit over waterstand, debiet, stroming, conductiviteit/chloridegehalte, turbiditeit/suspensie-gehalte, en andere fysische parameters, waarvan vele metingen in het globale MONEOS-programma mee opgenomen zijn.

Dit rapport geeft een globaal overzicht van de in 2013 door het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout in eigen regie en uitvoering gedane monitoring in het Zeescheldebekken dat kadert in MONEOS. Het gaat in dit rapport om basis-parameters van het Zeescheldebekken, parameters die eigen zijn aan het beleidsdomein "mobiliteit en openbare werken" waartoe het Waterbouwkundig Laboratorium behoort, zoals:

- waterstanden (het tij in het Zeescheldebekken);
- bovendebieten (de afvoer van het hydrografisch bekken opwaarts en doorheen het tijgebied);
- temperatuur, conductiviteit en chloridegehalte van vnl. het water van Zeeschelde en Nete;
- stromingen (o.a. stroomsnelheid en –richting op continue meetplaatsen);
- turbiditeit en suspensiegehalte (grotendeels op continue meetplaatsen in Zeeschelde en Nete, aangevuld met metingen aan de opwaartse rand van het tijbekken).

Dit rapport wil in de eerste plaats een "jaarbeeld" geven, een verzameling van tabellen en grafieken die het verloop van de vernoemde parameters duidelijk weergeeft. Dit rapport is het zesde in een reeks, en bevat louter de weergave en rapportering van de resultaten voor 2013. Voor de algemene achtergrond en methodologie met betrekking tot de monitoring in het Zeescheldebekken, wordt verwezen naar het bijhorende methodologie document genaamd "Basisboek" dat vorig jaar reeds verscheen (Taverniers et al., 2013).

2. Jaaroverzicht getijwaarnemingen

Voor achtergrond en duiding bij het getij in het Zeescheldebekken, meetlocaties en het normale verloop van het getij wordt verwezen naar het "Basisboek" (Taverniers et al., 2013).

2.1. Getijwaarnemingen te Antwerpen

2.1.1. Jaaroverzicht

Al meer dan honderdtwintig jaar wordt in Antwerpen ter hoogte van het Loodsgebouw het getij geregistreerd. Ondermeer daarom en gezien het representatieve karakter, worden de data afkomstig van de getij-meetpost te Antwerpen als toetssteen van het getij in het Zeescheldebekken gebruikt.

In het jaar 2013 vond er één stormvloed (6/12 17:52, 6,79 mTAW) en één buitengewone stormvloed plaats (6/12 5:27, 7,30 mTAW).

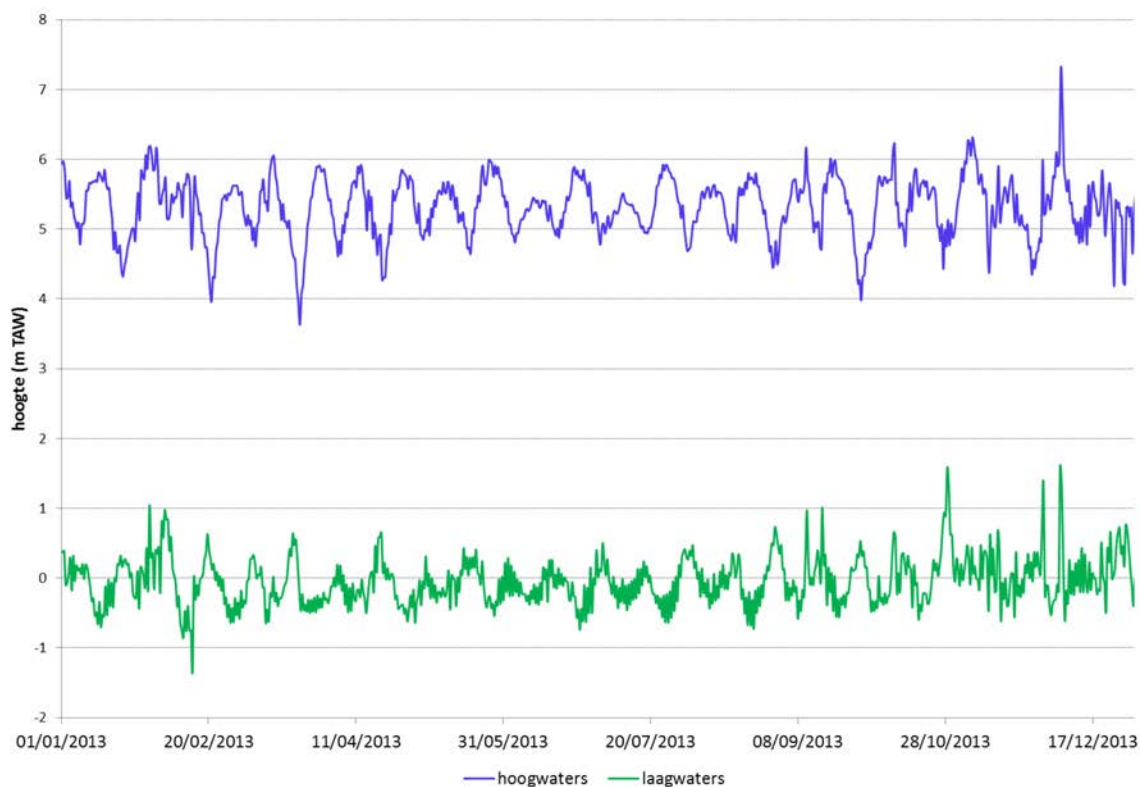
14 Februari vond er een extreem laagwater plaats. De waterstand bedroeg om 13:54 -1,35 mTAW.

Verder klasseert het getij in het jaar 2013 zich als normaal binnen de context van de tijen van de voorbije decennia.

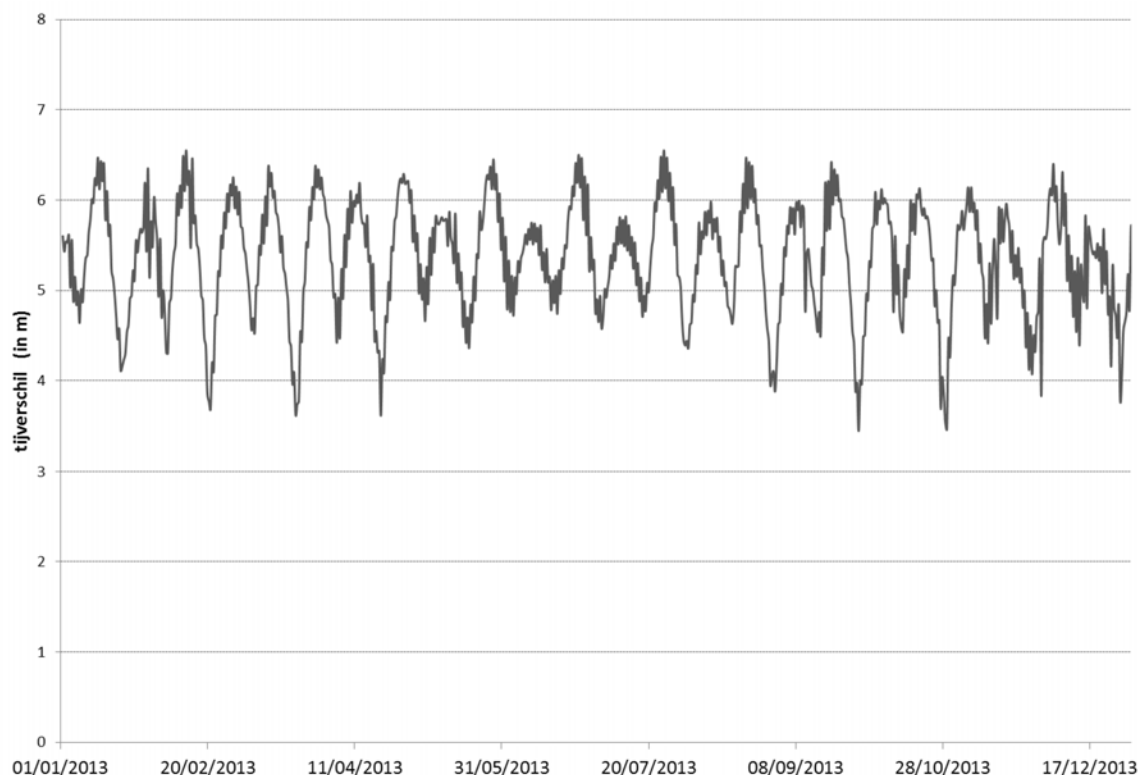
Tot slot klasseert het jaar 2013 zich ook naar frequentieverdeling van optreden van alle hoogwaterstanden, alle laagwaterstanden en meteen ook van alle getijverschillen als normaal.

Figuur 1 toont de jaarverlopen 2013 voor hoogwaters (in blauwe lijn) en voor laagwaters (in groene lijn) voor de meetpost Antwerpen. De zeer hoge en zeer lage hoog- en laagwaterstanden komen hier duidelijk naar voor. Ook kunnen de ongeveer veertien/vijftien-daagse periodes van spring- en doottij visueel onderscheiden worden.

Deze doottij-springtijcyclus valt tevens op te merken in het jaarverloop van het tijverschil, dat getoond wordt in Figuur 2.



Figuur 1 - Beneden Zeeschelde in Antwerpen: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2013 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater



Figuur 2 - Verloop van tijverschil geobserveerd in Antwerpen (Beneden Zeeschelde) in 2013

De springtij-doodtijcyclus is astronomisch te voorspellen. Echter, de waarnemingen kunnen in beduidende mate afwijken van het astronomisch verloop. Dit komt omdat ze sterk beïnvloed kunnen worden door meteorologische omstandigheden, vooral opwaaiing en afwaaiing in het afwaartse deel van het tijbekken, en in het opwaartse deel sterk beïnvloed kunnen worden door de variatie van kleine, gemiddelde, grote en zeer grote bovendebiten uit de opwaarts van het tijbekken gelegen hydrografische gebieden.

Dit is geïllustreerd in

Figuur 3, waarin de verschillen tussen de astronomisch voorspelde hoog- en laagwaters en de effectief waargenomen waarden voor het jaar 2013 zijn weergegeven. Hierin kan duidelijk een verschil tussen de zomer- en de wintermaanden opgemerkt worden.

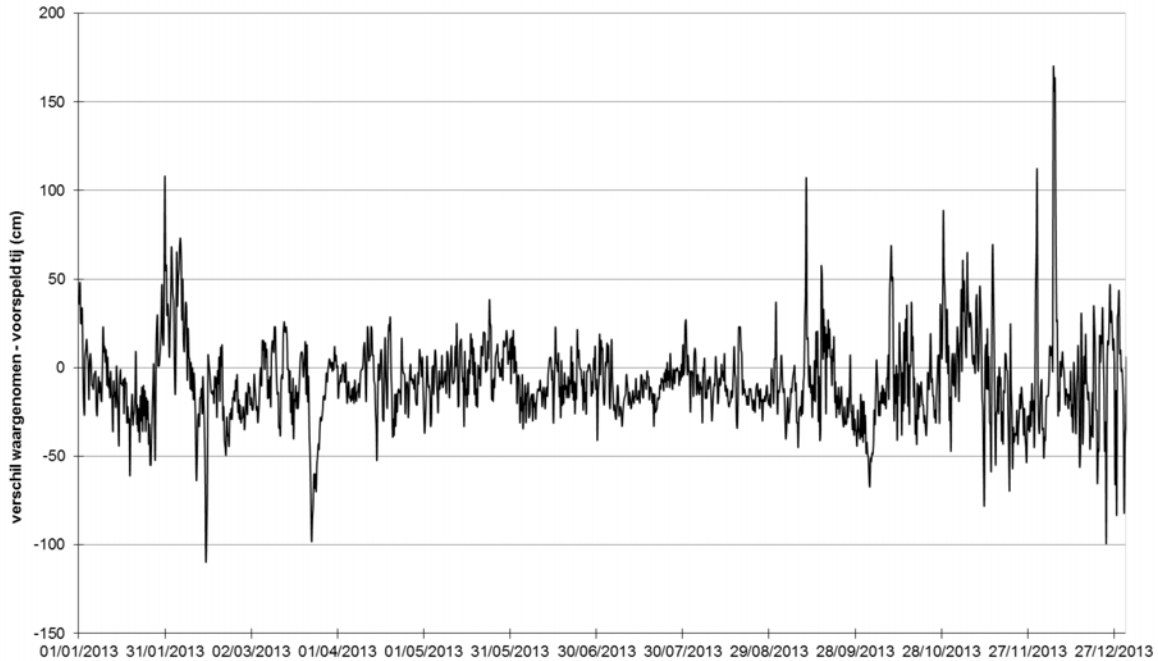
Tijdens de zomermaanden (april - september) is het verschil tussen opgetreden en voorspeld getij klein (de absolute waarde bedraagt gemiddeld zo'n 14 cm, met 95% van alle verschillen liggend tussen +/- 33 cm). Dit komt doordat tijdens de zomer er slechts weinig opwaaiingen en weinig afwaaiingen plaatsvinden. Tijdens de wintermaanden (oktober - maart) wordt er een grotere variabiliteit aan verschillen tussen astronomisch voorspeld en effectief waargenomen getij vastgesteld. Gemiddeld bedraagt de absolute waarde van het verschil zo'n 24 cm, daarbij vallen 95% van alle verschillen tussen + en - 61 cm, met een maximum verschil van 1,69 m).

2.1.2. Jaaroverzicht 2013 in historisch perspectief

Naast dit soort jaaroverzichten, is het vaak interessanter om een aantal kerngetallen van het voorbije jaar weer te geven, liefst met enkele referentie-getallen ter vergelijking. Daarom wordt in Tabel 1 een overzicht gegeven van de hoofdkenmerkende tijwaarden voor de tijpost Antwerpen in 2013. Tevens worden in deze tabel de waarden van 2013 vergeleken met de waarden van de laatste vier decennia.

De bovenvernoemde kenmerkende tijwaarden zijn gemiddeld hoogwater (GHW), gemiddelde laagwater (GLW), gemiddeld tijverschil (GTV), duur van de stijging en duur van de daling, en dit zowel voor middeltij (jaargemiddelden van alle geregistreerde hoog- en laagwaterstanden), als voor springtij en voor doortij.

Tot slot zijn ook de uiterste waarden (hoogste en laagste hoogwater (HHW en LHW) alsook hoogste en laagste laagwater (HLW en LLW)) geregistreerd in 2013 alsook in de 4 voorafgaande decennia opgenomen in deze tabel.



Figuur 3 - Verschil tussen astronomisch voorspelde en waargenomen extrema (HW's & LW's) geobserveerd in Antwerpen (Beneden Zeeschelde) in 2013

Deze kernwaarden geven echter geen volledig beeld van de verdeling van de hoogwaters, laagwaters en tijverschillen. Daarom toont Tabel 2 de frequentietabellen voor het jaar 2013, waarin per decimeter een verdeling is gemaakt van het aantal registraties van deze parameters. Per jaar is telkens de klasse met het grootste aantal waarden gekleurd.

Tabel 1 - Zeeschelde in Antwerpen: hoofdkenmerkende waarden en extreme waarden van het tij voor het jaar 2013 en in historisch perspectief; (waterstanden in mTAW, tijverschillen in meter)

		1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2013
middeltij	GHW	5,15	5,24	5,29	5,31	5,32
	GLW	0,01	0,05	0,00	0,06	-0,05
	GTV	5,14	5,19	5,29	5,25	5,37
	<i>Duur van de stijging</i>	<i>05:18</i>	<i>05:22</i>	<i>05:25</i>	<i>05:32</i>	<i>5:31</i>
	<i>Duur van de daling</i>	<i>07:07</i>	<i>07:03</i>	<i>07:01</i>	<i>06:53</i>	<i>6:54</i>
springtij	GHW	5,55	5,70	5,72	5,75	5,73
	GLW	-0,20	-0,17	-0,23	-0,20	-0,25
	GTV	5,75	5,87	5,95	5,95	5,98
	<i>Duur van de stijging</i>	<i>4:45</i>	<i>5:00</i>	<i>05:01</i>	<i>05:10</i>	<i>5:08</i>
	<i>Duur van de daling</i>	<i>7:25</i>	<i>7:20</i>	<i>07:18</i>	<i>07:11</i>	<i>7:10</i>
doodtij	GHW	4,64	4,69	4,77	4,73	4,75
	GLW	0,29	0,38	0,34	0,40	0,26
	GTV	4,35	4,31	4,43	4,33	4,49
	<i>Duur van de stijging</i>	<i>5:47</i>	<i>5:54</i>	<i>05:55</i>	<i>06:06</i>	<i>5:57</i>
	<i>Duur van de daling</i>	<i>6:53</i>	<i>6:48</i>	<i>06:44</i>	<i>06:38</i>	<i>6:40</i>
uiterste waarden	HHW	7,31	7,52	7,53	7,06	7,30
	LHW	3,35	3,01	3,53	3,63	3,63
	HLW	2,38	2,67	2,21	3,05	1,58
	LLW	-1,20	-1,36	-1,20	-1,26	-1,35

Het totale bereik waarover de tijverschillen in de getoonde periode zijn gegaan, is niet uitzonderlijk. Gespreid over 32 klassen is er een bereik van 3,40 m tot 6,50 m.

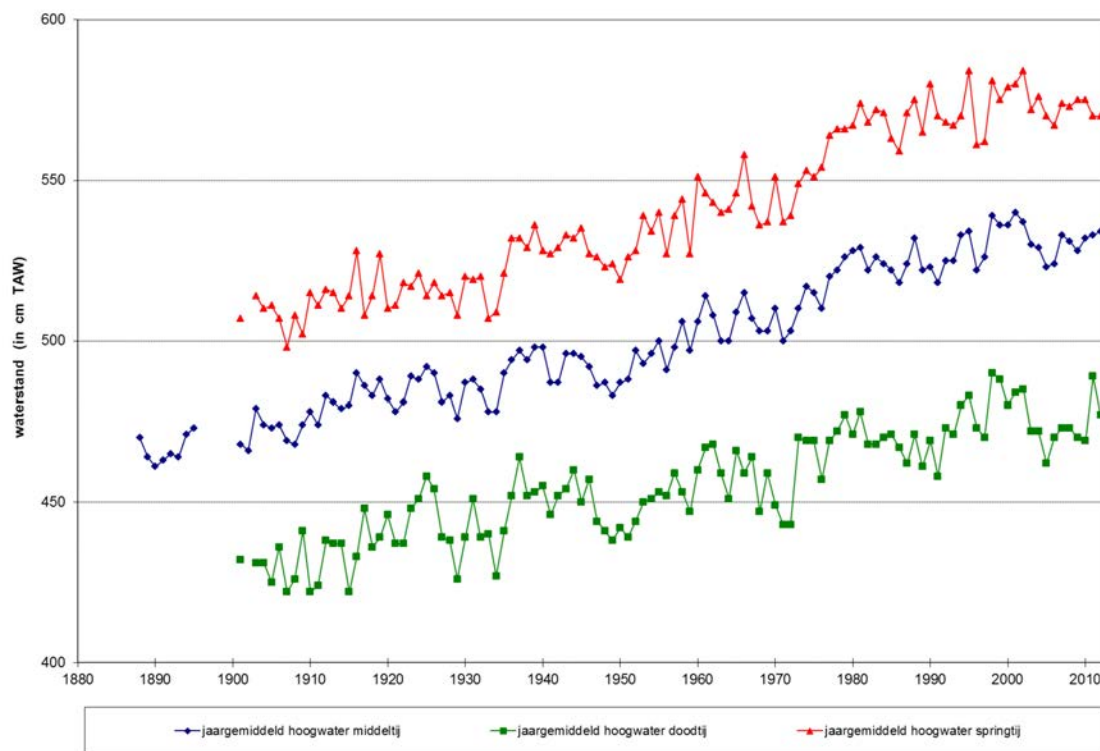
Tabel 2 handelt wel over de gegevens te Antwerpen, maar de trend geldt voor alle locaties, en voor bijvoorbeeld de opwaartse vakken van het tijbekken kan dit ook makkelijk begrepen worden omdat bij grote bovendebieten en wasregimes, zowel hoog- als laagwaters sterk verhogen, maar de laagwaters nog (soms veel) meer dan de hoogwaters, waardoor het tijverschil beduidend kleiner wordt dan normaal.

Het jaar 2013 was, in de context van de tijen van de voorbije decennia (zie Tabel 1) een vrij normaal jaar. Dat zal ook blijken uit de volgende figuren.

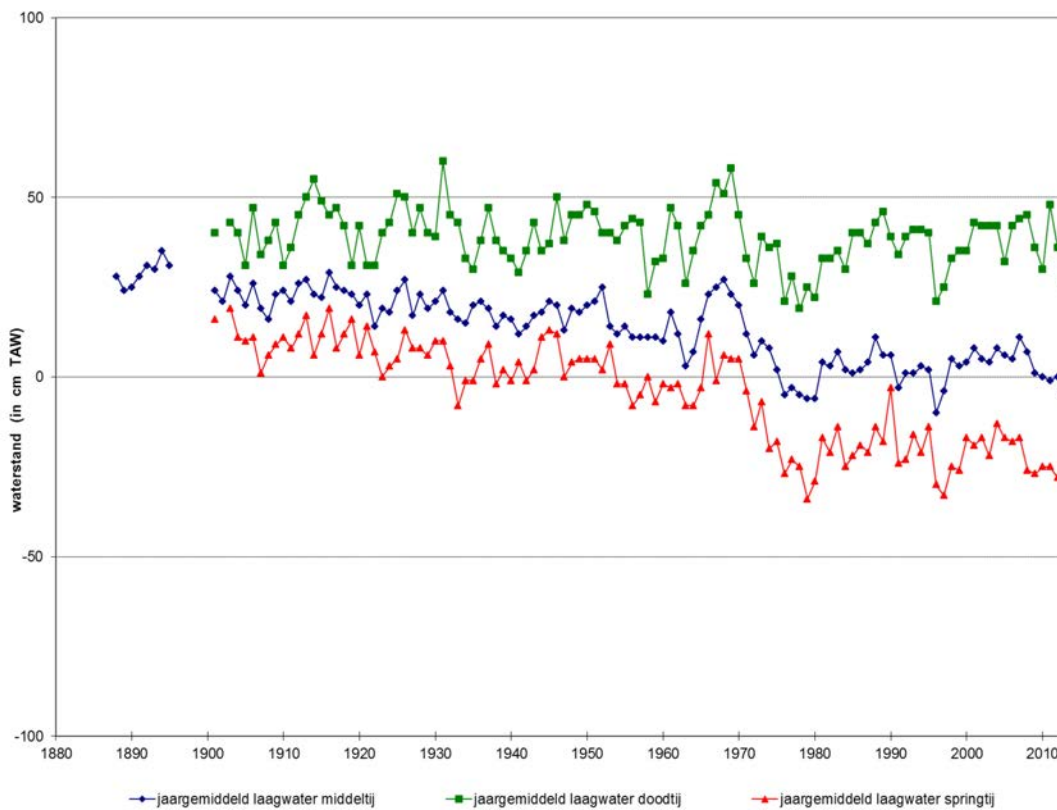
Tabel 2 - Zeeschelde in Antwerpen: frequentietabel hoogwaters, laagwaters en tijverschillen waargenomen in 2013 verdeeld per decimeter TAW resp. decimeter

Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	
cm T.A.W.	Aantal HW's begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm	cm T.A.W.	Aantal LW's begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm	cm	Aantal TV-en begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm
800		350		800	
790		340		790	
780		330		780	
770		320		770	
760		310		760	
750		300		750	
740		290		740	
730	1	280		730	
720		270		720	
710		260		710	
700		250		700	
690		240		690	
680		230		680	
670	1	220		670	
660		210		660	
650		200		650	3
640		190		640	14
630	1	180		630	11
620	4	170		620	15
610	6	160		610	38
600	7	150	2	600	27
590	24	140	0	590	40
580	33	130	2	580	40
570	59	120	1	570	55
560	64	110	0	560	42
550	62	100	2	550	47
540	71	90	3	540	44
530	57	80	4	530	33
520	50	70	4	520	38
510	57	60	13	510	32
500	59	50	10	500	28
490	44	40	26	490	32
480	24	30	41	480	28
470	27	20	46	470	33
460	18	10	65	460	19
450	7	0	78	450	17
440	6	-10	83	440	17
430	9	-20	75	430	13
420	6	-30	88	420	4
410	3	-40	70	410	7
400	1	-50	48	400	7
390	3	-60	19	390	4
380		-70	17	380	5
370		-80	6	370	5
360	1	-90	1	360	3
350		-100	0	350	1
340		-110	0	340	2
330		-120	0	330	
320		-130	0	320	
310		-140	1	310	
300		-150		300	
Aantal	705	Aantal	705	Aantal	704

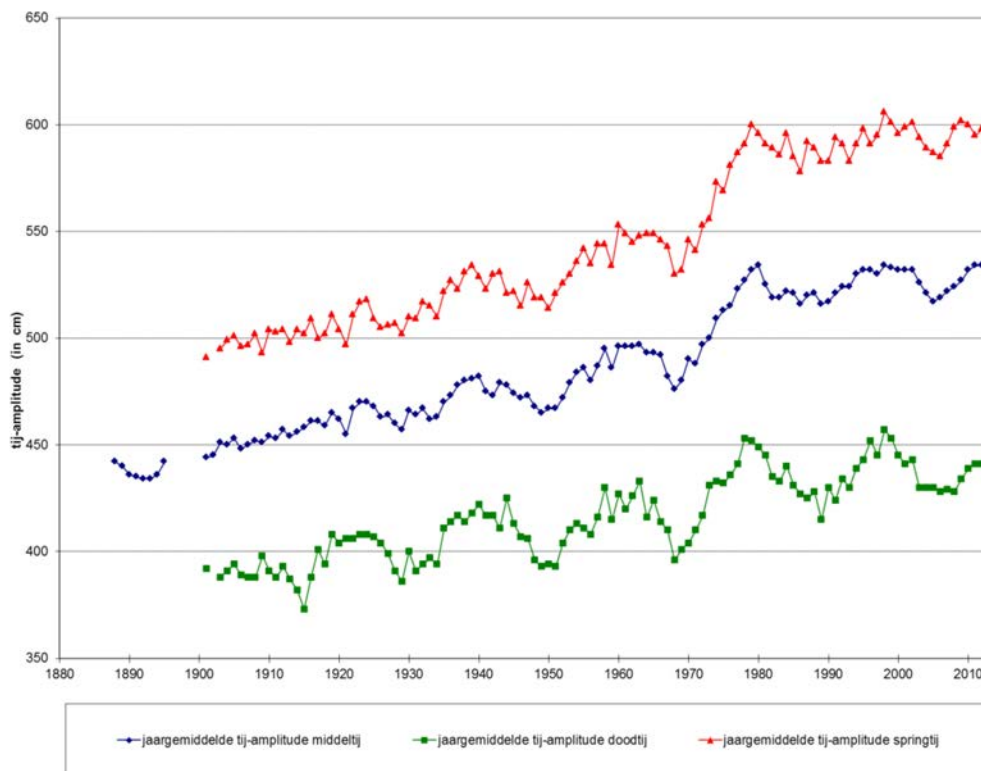
Naast Tabel 1 en Tabel 2 wordt het tij van 2013 ook in grafisch historisch perspectief geplaatst. Figuur 4 t/m Figuur 8 schetsen dit historisch beeld.



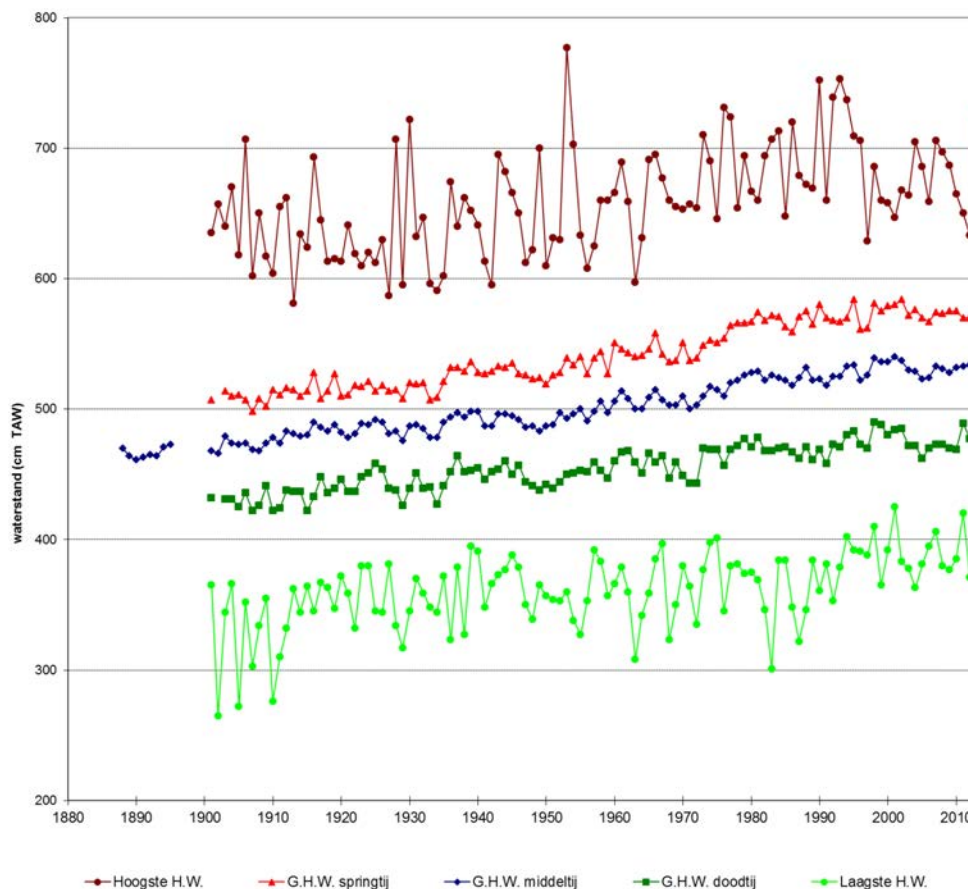
Figuur 4 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van jaargemiddelden van hoogwater



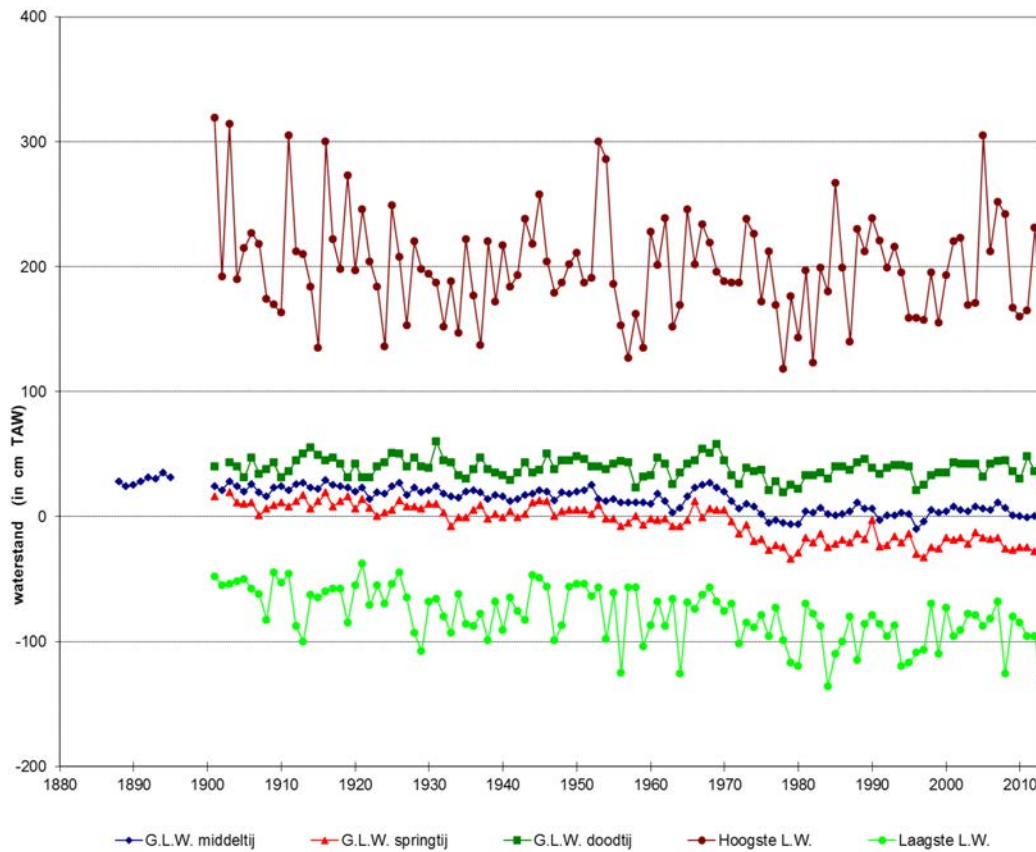
Figuur 5 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van jaargemiddelden van laagwater



Figuur 6 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2013) van tijverschillen

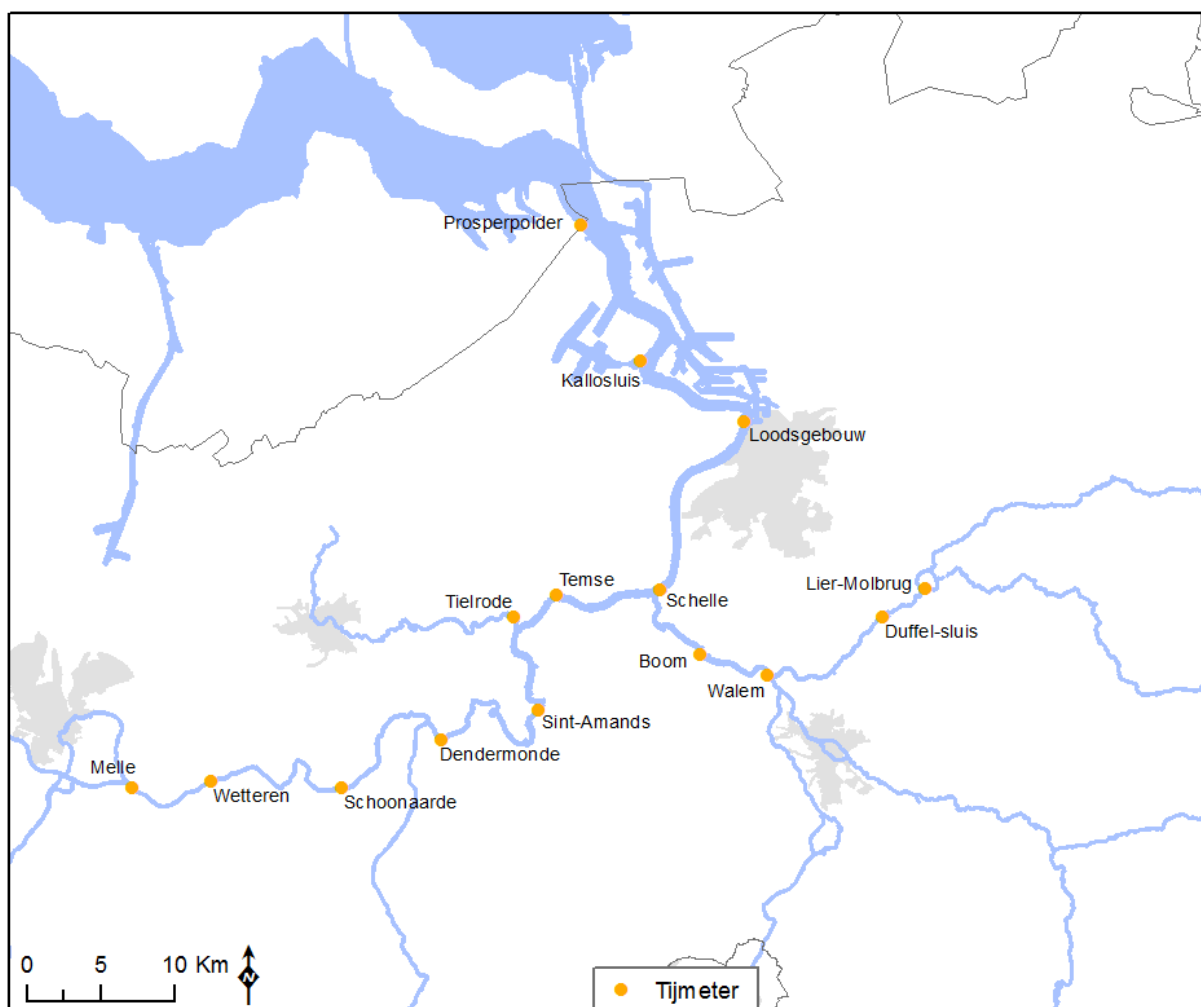


Figuur 7 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2012) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doodtij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden



Figuur 8 - Zeeschelde in Antwerpen: langjarige tij-evolutie (1888-2012) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden

2.2. Getijwaarnemingen op overige tijmeetposten



Figuur 9 - Tijmeetposten opgenomen in de Moneos rapportage 2013 ter bepaling van het globaal overzicht getijwaarnemingen 2013

In sectie 2.1 werd de meetpost Antwerpen-Loodsgebouw uitgebreid besproken. Hoewel kennis van het tijverloop te Antwerpen al veel informatie biedt over andere meetlocaties, worden in dit deel enkele andere strategisch gekozen meetlocaties behandeld.

Anders dan bij de afwaartse posten zoals Antwerpen kunnen de grote bovendeibieten en wasregimes een grote invloed hebben op de meer opwaartse posten.

Tabel 3 geeft de hoofdkenmerkende tijwaarden van 2013 voor de belangrijkste meetlocaties in het Zeescheldebekken die ten nutte van Moneos zijn.

Hieronder volgt de rapportage van de metingen voor 2013, voor de Moneos-T parameters van 2008 t.e.m. 2013 wordt verwezen naar Bijlage 1.C.1.

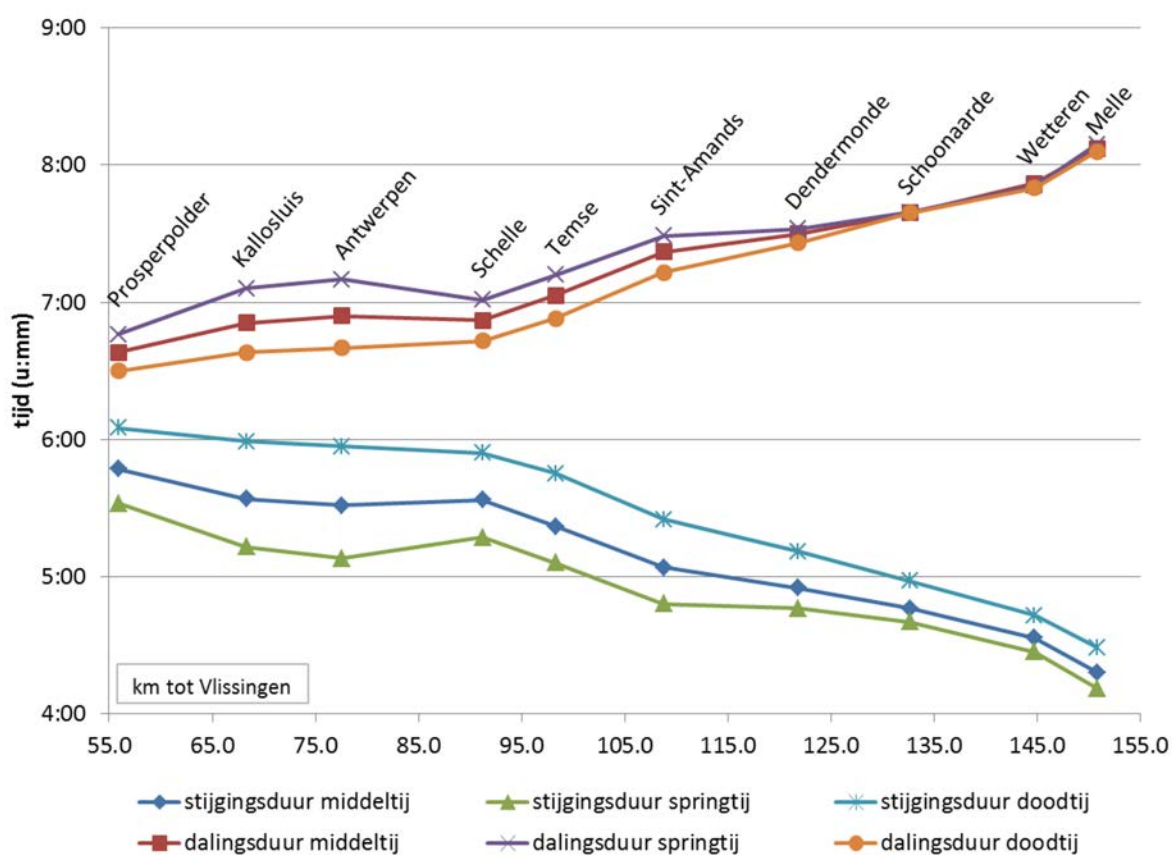
Tabel 3 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden voor het jaar 2013, gerangschikt van afwaarts naar opwaarts

2013		Prosperpolder	Kallosluis	Antwerpen-Loodsgebouw	Schelle	Temse	Sint-Amands	Dendermonde	Schoonaarde	Wetteren	Melle	
afstand tot Vlissingen (km)		55.9	68.3	77.6	91.2	98.3	108.8	121.8	132.6	144.7	150.8	
middeltij		GHW	5.12	5.28	5.32	5.45	5.58	5.58	5.36	5.17	5.03	5.14
		GLW	0.00	-0.08	-0.05	-0.04	0.07	0.35	1.09	1.80	2.29	2.60
		GTV	5.12	5.36	5.37	5.49	5.51	5.23	4.27	3.37	2.74	2.54
		duur van stijging	5:47	5:34	5:31	5:33	5:22	5:04	4:55	4:46	4:33	4:18
		duur van daling	6:38	6:51	6:54	6:52	7:03	7:22	7:30	7:39	7:52	8:07
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	-0:20	-0:14	0:00	0:37	0:47	1:04	1:38	2:14	2:54	3:16
		LW	-0:35	-0:17	0:00	0:35	0:56	1:32	2:15	2:59	3:52	4:29
springtij		GHW	5.54	5.73	5.73	5.82	5.96	5.95	5.66	5.43	5.22	5.31
		GLW	-0.21	-0.30	-0.25	-0.21	-0.11	0.28	1.13	1.88	2.36	2.65
		GTV	5.73	6.03	5.98	6.03	6.06	5.68	4.53	3.55	2.86	2.66
		duur van stijging	5:32	5:13	5:08	5:17	5:06	4:48	4:46	4:40	4:27	4:11
		duur van daling	6:46	7:06	7:10	7:01	7:12	7:29	7:32	7:39	7:51	8:09
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	-0:15	-0:12	0:00	0:45	0:54	1:13	1:50	2:25	3:05	3:28
		LW	-0:39	-0:17	0:00	0:36	0:56	1:31	2:11	2:53	3:46	4:27
doottij		GHW	4.53	4.67	4.75	4.90	5.01	5.02	4.89	4.77	4.71	4.83
		GLW	0.31	0.24	0.26	0.23	0.30	0.46	1.04	1.66	2.11	2.40
		GTV	4.22	4.43	4.49	4.67	4.71	4.55	3.85	3.11	2.60	2.43
		duur van stijging	6:05	5:59	5:57	5:54	5:45	5:25	5:11	4:58	4:43	4:29
		duur van daling	6:30	6:38	6:40	6:43	6:53	7:13	7:26	7:39	7:50	8:06
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	-0:23	-0:14	0:00	0:32	0:41	0:58	1:30	2:06	2:44	3:05
		LW	-0:33	-0:15	0:00	0:35	0:54	1:30	2:16	3:05	3:54	4:31
uiterste waarden		HHW	7.09	7.25	7.30	7.28	7.31	7.29	7.03	6.55	6.61	6.74
		LHW	3.41	3.51	3.63	3.75	3.91	3.93	3.95	3.94	4.06	4.15
	99e percentiel	HW	6.02	6.18	6.19	6.35	6.45	6.47	6.37	6.39	6.39	6.41
		HLW	1.68	1.63	1.58	1.56	1.58	1.65	2.76	3.87	5.04	5.88
	1e percentiel	LLW	-1.35	-1.50	-1.35	-1.34	-0.89	-0.55	0.47	1.10	1.34	1.48
		LW	-0.73	-0.82	-0.73	-0.64	-0.58	-0.11	0.63	1.24	1.47	1.60

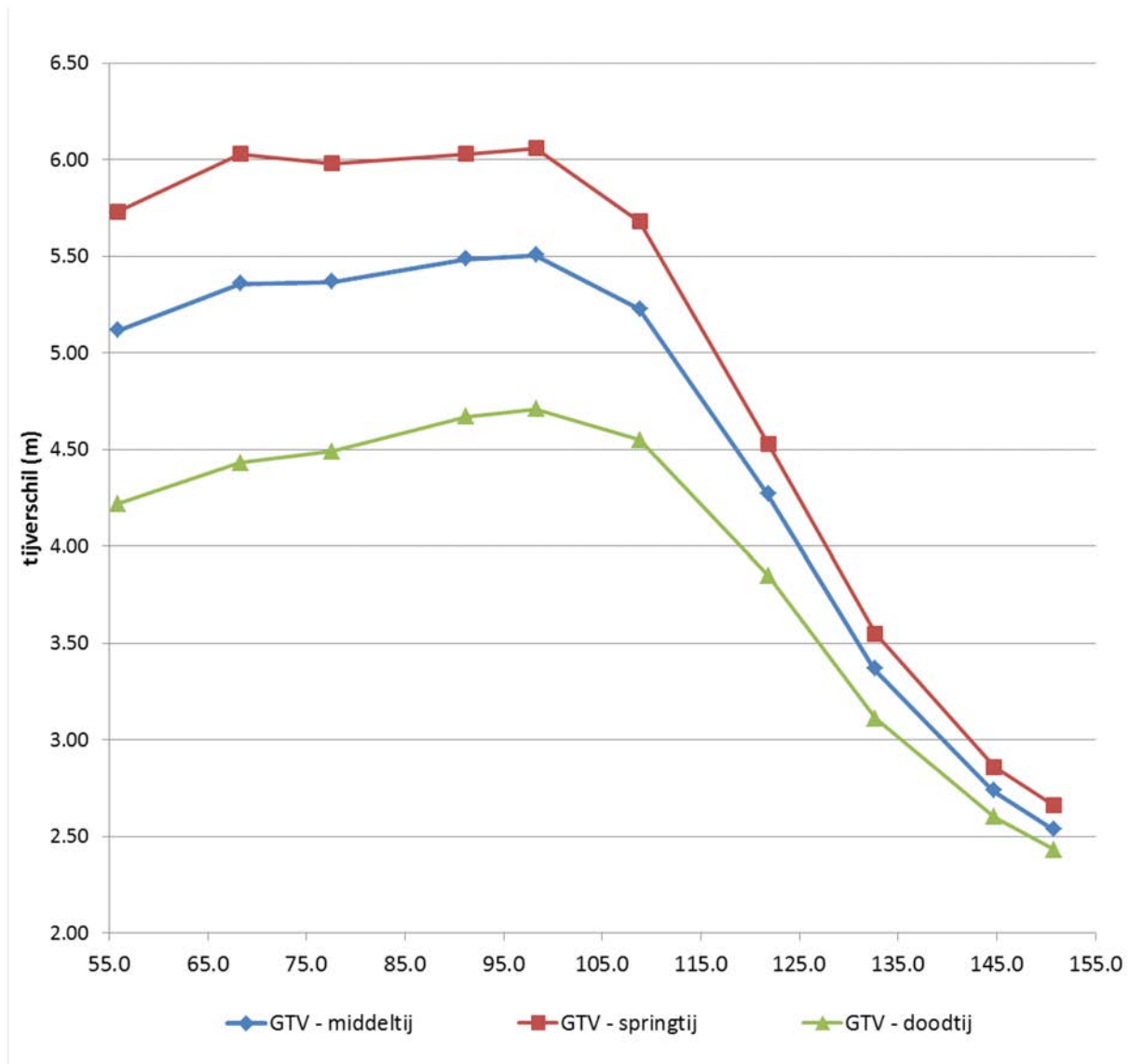
(*) Omwille van aanslibbing van de tijmeter te Temse, zijn in de eerste jaarhelft bijna alle laagwaters geschat, nl. 326 laagwaters in het totaal. Vanaf 1 juli werd een nieuwe tijpost in werking gesteld om het probleem van de aanslibbing te verhelpen. De schattingen van het laagwater zijn berekend a.d.h.v. de meetposten Schelle en Tielrode, mits een multiple lineaire regressie. Schattingen in voorgaande jaren zijn bepaald met een andere methode, wat verschillen in de laagwaterparameters kan veroorzaken.

Door het verhogen van laag- én hoogwaterstanden op de meest opwaartse locaties bij periodes van grote bovendeelten, kan het voorkomen dat de laagwaters dan gedurende enkele tijden hoger uitkomen dan de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Dit kan men aflezen in bovenstaande tabel voor de post Wetteren en Melle, waar door een was in eind januari 2013 het hoogste laagwater hoger kwam dan het jaargemiddelde van alle 705 hoogwaters samen. Het is ook bij deze twee posten dat het hoogste laagwater groter is dan het laagste hoogwater. De invloed van een langdurig en groot wasregime is in de opwaartse gebieden van het Zeescheldebekken zeer groot: men krijgt hierdoor een verhoging van laagwaterstanden, maar ook van hoogwaterstanden (hoewel kleiner). Hierdoor wordt het tijverschil beperkt.

Figuur 10 en Figuur 11 geven enkele waarden uit Tabel 3 grafisch weer. Uit Figuur 10 blijkt zeer duidelijk dat, hoe meer opwaarts, hoe korter de duur van stijging (van LW naar HW) en hoe langer de duur van daling (van HW naar LW). Hoe meer opwaarts, hoe asymmetrischer de tijkromme. Figuur 11 toont aan dat het tijverschil pas na de post Sint-Amands gestaag afneemt en dat de invloed van het tij kleiner en kleiner wordt naarmate men zich meer opwaarts begeeft.



Figuur 10 - Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2013 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.



Figuur 11 - Zeeschelde: gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doodtij in 2013 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.

Voor de aan het tij onderhevige zijrivieren wordt de keuze beperkt tot Boom en Walem voor de Rupel, Duffelsluis en Lier-Molbrug voor het Netebekken en Tielrode voor de Durme. De belangrijkste tijwaarden kunnen teruggevonden worden in Tabel 4.

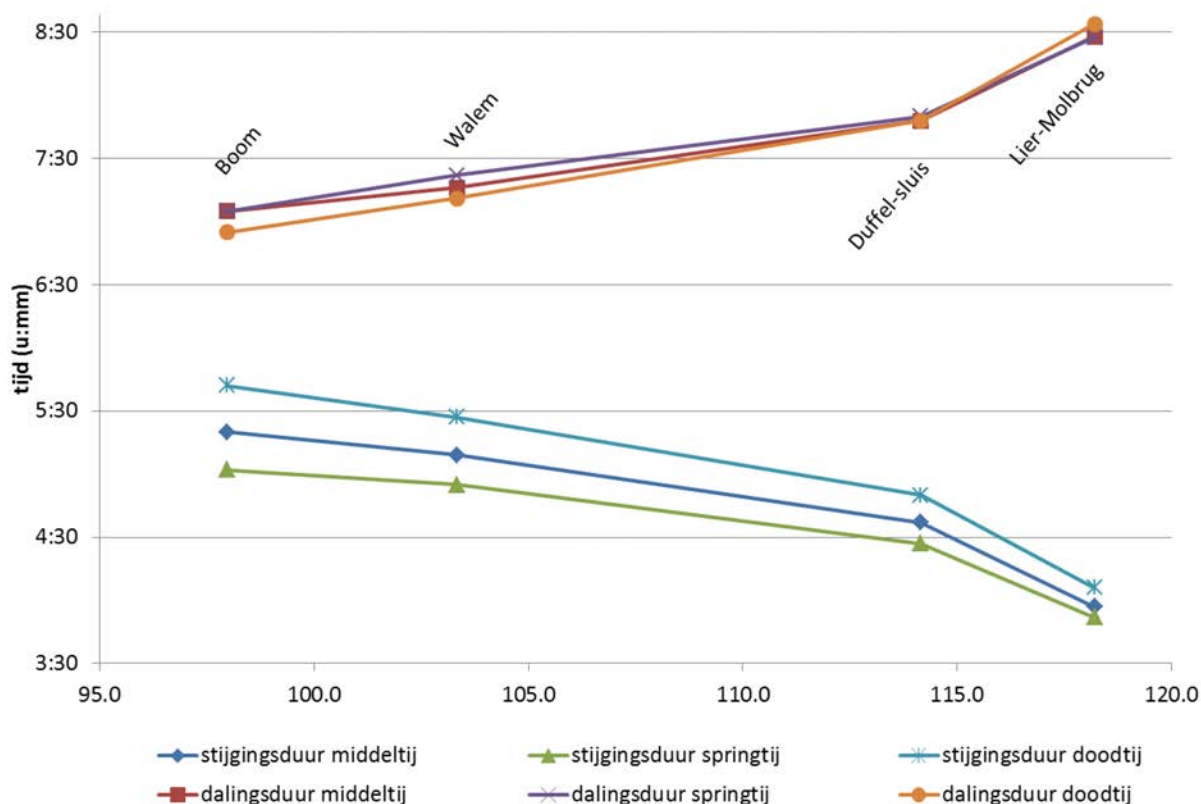
Tabel 4 - Rupel, Beneden-Nete en Durme: Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2013

2013			Tielrode	Boom	Walem	Duffelsluis	Lier-Molbrug
afstand tot Vlissingen (km)			103.1	98.0	103.3	114.2	118.2
middeltij		GHW	5.58	5.54	5.57	5.58	5.39
		GLW	0.07	0.12	0.37	1.23	2.58
		GTV	5.52	5.42	5.20	4.35	2.82
		duur van stijging	5:14	5:20	5:09	4:37	3:57
		duur van daling	7:11	7:05	7:16	7:48	8:28
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	0:52	0:50	1:02	1:28	1:46
		LW	1:10	1:01	1:25	2:22	3:21
springtij		GHW	5.98	5.90	5.92	5.90	5.66
		GLW	-0.07	0.00	0.32	1.29	2.62
		GTV	6.05	5.90	5.60	4.61	3.04
		duur van stijging	4:57	5:02	4:55	4:27	3:52
		duur van daling	7:22	7:05	7:22	7:50	8:27
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	0:59	0:58	1:12	1:38	1:59
		LW	1:10	1:01	1:24	2:18	3:16
doodtij		GHW	5.00	5.00	5.04	5.08	4.96
		GLW	0.27	0.31	0.46	1.14	2.47
		GTV	4.73	4.69	4.58	3.94	2.49
		duur van stijging	5:38	5:42	5:27	4:50	4:06
		duur van daling	7:00	6:55	7:11	7:48	8:34
	tijdsverschil op Antwerpen	HW	0:47	0:44	0:52	1:17	1:35
		LW	1:07	0:58	1:23	2:25	3:28
uiterste waarden		HHW	7.31	7.29	7.33	7.13	6.82
		LHW	3.86	3.88	3.94	4.00	4.00
	99e percentiel	HW	6.45	6.43	6.46	6.43	6.27
		HLW	1.52	1.60	1.71	2.43	3.76
		LLW	-0.87	-1.02	-0.39	0.70	1.93
	1e percentiel	LW	-0.47	-0.39	-0.07	0.81	2.07

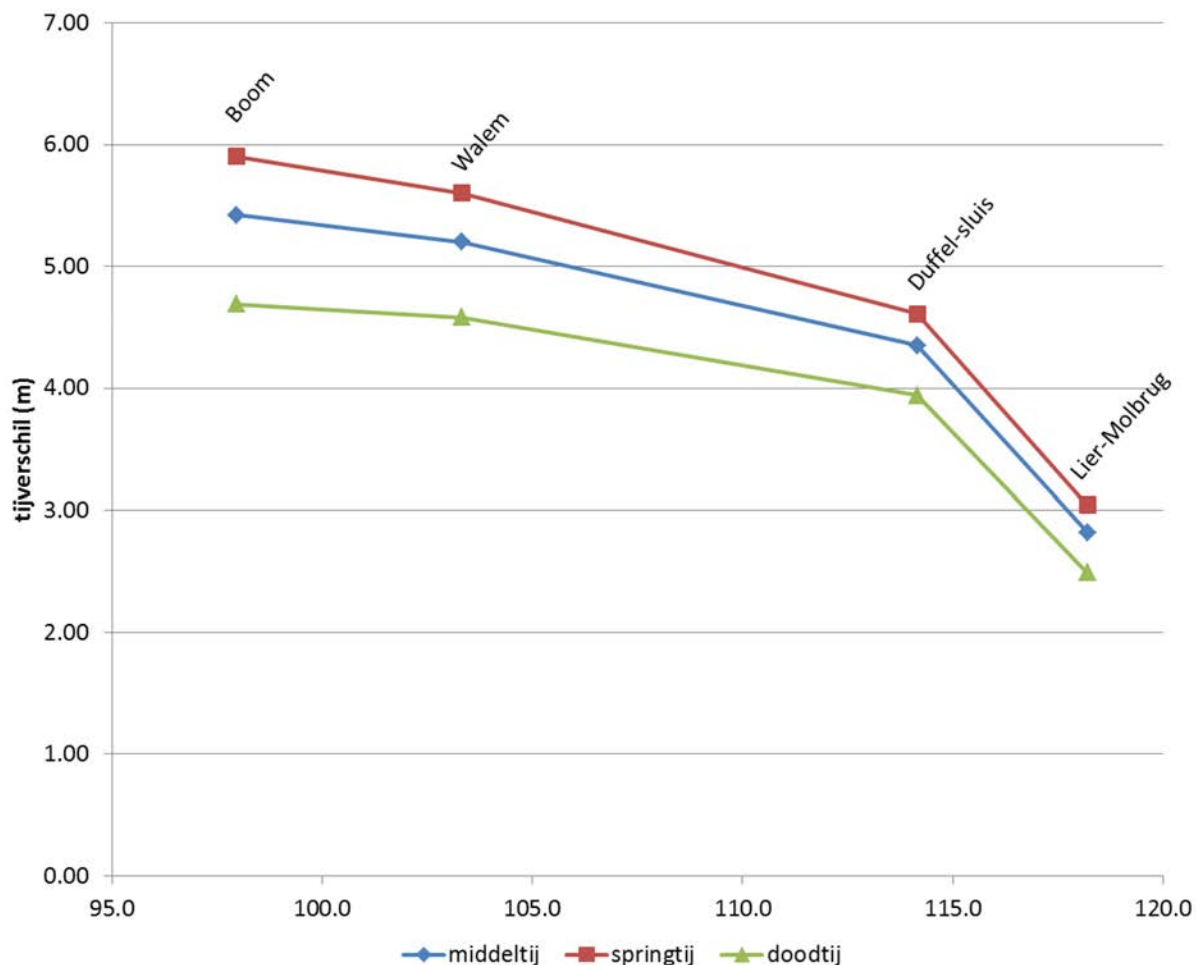
Hoewel de Nete eveneens een grote bovenafvoer kende in de wasperiode van eind januari, begin februari (zie §3.3.2), bleven de hoogste laagwaterstanden in Lier-Molbrug of Duffelsluis ruim onder het peil van het jaargemiddeld hoogwater, laat staan het laagste hoogwater, waar dit voor Wetteren en Melle op de Zeeschelde wel het geval was.

De afstanden tot de monding zijn voor Walem en Tielrode quasi gelijk, maar de getijdenmerken zijn wel verschillend. Het getijverschil is veel beperkter en in Walem is de tijkromme meer asymmetrisch (het verschil tussen stijgings- en dalingsduur is veel groter te Walem).

Figuur 12 en Figuur 13 tonen respectievelijk de stijgings- en dalingsduur en het gemiddeld tijverschil van Boom t.e.m. Lier-Molbrug, dus op de Rupel en Beneden Nete. Het valt op dat hoe dichter bij de Zeeschelde, hoe korter de dalingsduur en hoe langer de stijgingsduur. Het tijverschil is eveneens het grootst voor de meest afwaartse post (Boom). Het is ook duidelijk dat de verschillen tussen middeltij, springtij en doottij kleiner worden naarmate men zich meer opwaarts van de zijrivieren van de Schelde begeeft. In Lier-Molbrug is bijvoorbeeld de dalingsduur quasi gelijk voor middeltij, springtij en doottij.



Figuur 12 - Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2013 voor de Rupel (Boom en Walem) en Beneden Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug)



Figuur 13 - Gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doodtij in 2013 voor de Rupel (Boom en Walem) en Beneden Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug)

2.3. Stormvloeden

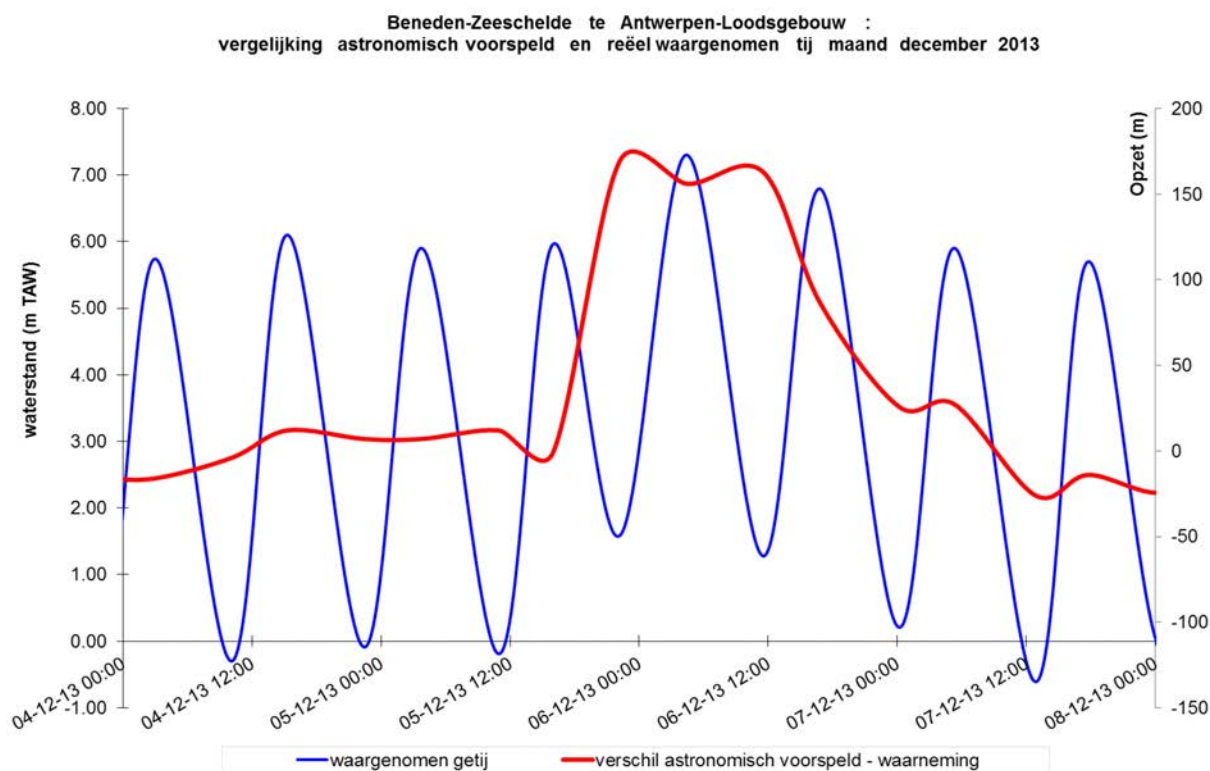
Met de term Stormvloeden in het Zeescheldebekken bedoelt men een hoogwatergolf die de Schelde binnendringt en voortplant, met een hoogwaterstand te Antwerpen-Loodsgebouw hoger dan 6,6 mTAW.

Men spreekt van stormtij (ook wel stormvloed) wanneer een hoogwater meer dan 6,6 mTAW en lager dan 7 mTAW bedraagt. Vanaf een hoogwater hoger dan 7 mTAW spreekt men van een gevaarlijk stormtij (ook wel buitengewone stormvloed).

In 2013 deden zich twee opeenvolgende stormvloeden voor, beide tijdens de zogenaamde Sinterklaasstorm. Voor een uitgebreide beschrijving van deze storm in het Scheldebekken wordt verwezen naar het desbetreffende wasrapport (Nossent et al., 2013).

Op 6 december 2013 om 05u27 plaatselijke tijd bedroeg de waterstand te Antwerpen-Loodsgebouw 7,3 mTAW. Deze hoogwaterstand wordt dus geklasseerd als een buitengewone stormvloed. Later op dezelfde dag om 17u plaatselijke tijd bereikte de waterstand een hoogte van 6,77 mTAW.

Figuur 14 toont het tijverloop van 5 t.e.m. 7 december 2013 te Antwerpen. De rode lijn geeft het verschil weer tussen het waargenomen getij en de astronomisch voorspelde waterstand. Tijdens het buitengewone stormtij van 7,3 mTAW bedroeg dit verschil 156 cm, dit verschil wordt ook wel de opzet genoemd. Het water werd dus door de aanhoudende wind 156 cm opgestuwd. Tijdens het hoogwater van 17u (te Antwerpen) bedroeg de opzet nog steeds zo'n 86 cm.



Figuur 14 - De Sinterklaasstorm - waterstand te Antwerpen van 5 t.e.m. 7 december 2013 (UTC)

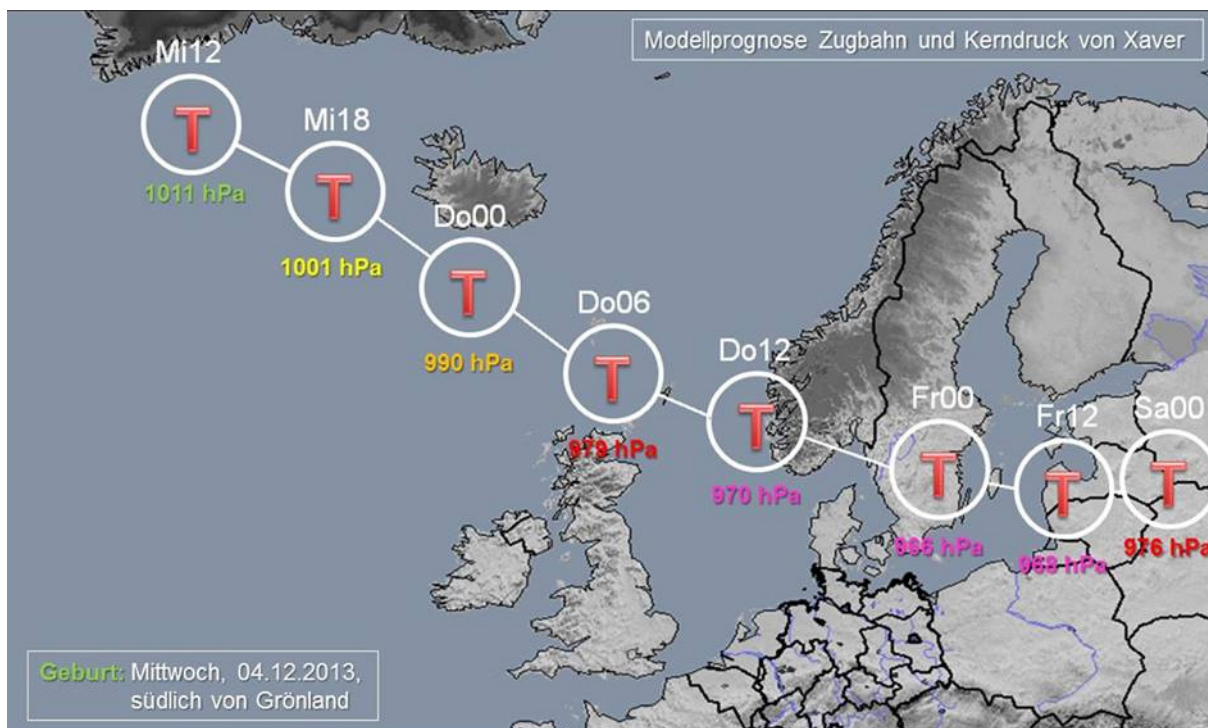
Deze uitzonderlijk hoge waterstanden waren het gevolg van twee fenomenen: het feit dat het net springtij was met daarenboven de ontwikkeling van een storm boven de Noordzee. De kern van een krachtig lagedrukgebied verplaatste zich van het oosten van IJsland richting Scandinavië. Tijdens de nacht van 5 op 6 december bereikte de storm het Europese vasteland (Figuur 15 en Figuur 16). Dit ging gepaard met aanhoudende krachtige noordwestenwinden (7-9 Bft) die uiteindelijk extra zeewater in de monding van de Schelde duwden en een opzet van 156 cm veroorzaakten.

Belangrijk om te melden is het feit dat er in de voorafgaande periode nauwelijks neerslag viel, waardoor er geen verhoogde bovenafvoeren waren en waardoor de wateroverlast beperkt bleef.

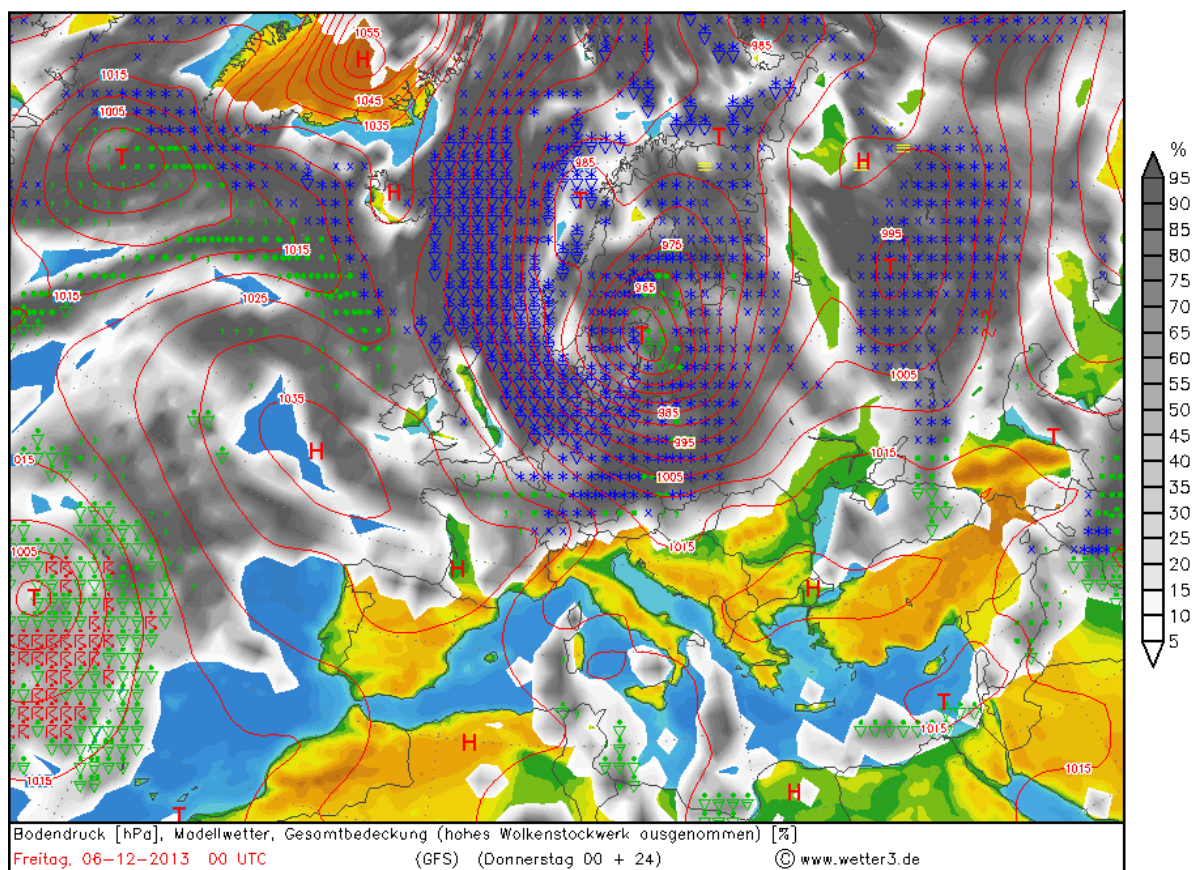
Tabel 5 toont uiteindelijk alle hoogwaterstanden sinds 1972 te Antwerpen, hoger dan 6,5 mTAW. Het was sinds 1994 geleden en dat er te Antwerpen waterstanden gemeten werden van 7,3 mTAW.

Door deze verhoogde waterstanden in de Schelde werden de overstromingsgebieden in het Zeescheldebekken geactiveerd. Coen et al. (2014) beschrijft in detail de hindcast berekening van het 1D hydrodynamisch model van het Zeescheldebekken, en gebruikt daarvoor ook de gevalideerde waterstandsmetingen van in het Scheldebekken alsook waterstandsmeting uit druksondes (divers) in de verschillende GOG's en GGG's. Figuur 17, overgenomen uit dat rapport, toont ter illustratie, het vullen en legen van de GOG te Bergenmeersen (ter hoogte van diver 1, voor lokalisatie zie Figuur 18) tijdens de periode 5 tot 8 december 2013.

Tabel 6 geeft een overzicht van de respectieve hoogtes van de overloopp dijken van de GOG's in het Scheldebekken die geactiveerd zijn tijdens de Sinterklaasstorm alsook de starttijdstippen van de vulling en de maximale bereikte waterhoogte in het overstromingsgebied. Deze laatste worden zowel gerapporteerd uit (diver)meting (waar voorhanden), als bepaald uit het 1D hydrodynamisch model van het WL. Voor de overstromingsgebieden van Bergenmeersen en Lippenbroek, die tevens een GGG-werking kennen werd het moment van overloop van de overstromingsdijk en niet de GGG-vulling geregistreerd.



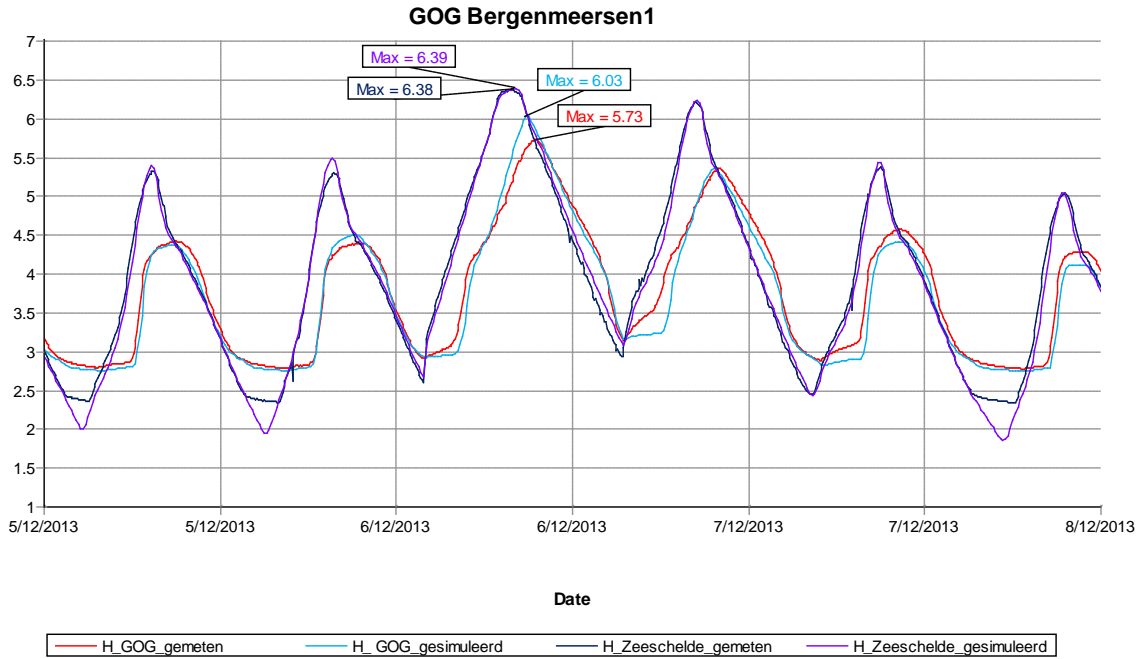
Figuur 15 - Doortocht van het lagedrukgebied. In Duitsland kreeg deze storm de naam 'Xaver' (Deutsche Wetterdienst, geraadpleegd op 4 december 2013)



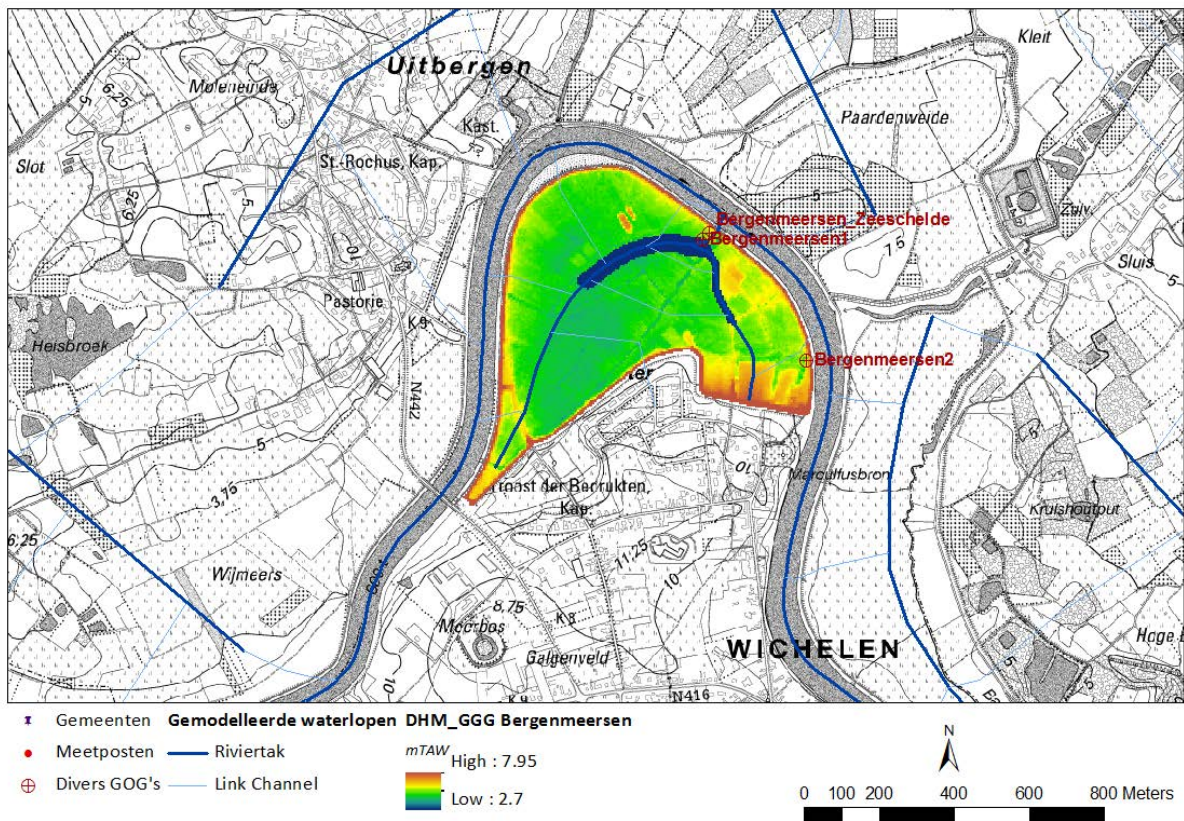
Figuur 16 - Weerkaart van donderdag 5 december 2013 middernacht. Wetter3, geraadpleegd op 5 december 2013)

Tabel 5 - Beneden Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtijden (1972-2013), verdeeld per decimeter (mTAW)

Klasse HW's	ZEESCHELDE in ANTWERPEN optreden van hoogwaterstanden hoger dan +6,50 mTAW 1971-2013																																															
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013					
7,71 - 7,80																																																
7,61 - 7,70																																																
7,51 - 7,60																																																
7,41 - 7,50																																																
7,31 - 7,40																																																
7,21 - 7,30																																																
7,11 - 7,20																																																
7,01 - 7,10																																																
6,91 - 7,00																																																
6,81 - 6,90																																																
6,71 - 6,80																																																
6,61 - 6,70																																																
6,51 - 6,60																																																
	1	1	1	4	1	0	4	4	2	2	2	2	3	5	4	0	3	2	1	1	1	11	2	10	3	8	4	0	4	2	3	0	5	2	2	5	1	6	2	2	3	0	0	2				



Figuur 17 - Gemeten en gesimuleerd waterpeil tijdens de Sinterklaasstorm in de Zeeschelde en GOG Bergenmeersen t.h.v. diver 1



Figuur 18 – Situering divers GOG Bergenmeersen

Tabel 6 - Overzicht van de hoogte van de overloepdijk van GOG's in het Scheldebekken die geactiveerd zijn tijdens de Sinterklaasstorm. Eveneens vermeld zijn de start van de vulling en de maximale bereikte waterhoogte in het overstromingsgebied bepaald uit meting (waar voorhanden) en bepaald uit het 1D hydrodynamisch model van het WL

GOG	Hoogte overloepdijk (mTAW)	Meting		Modelresultaat	
		Start vulling (MET)	H _{max} GOG (mTAW)	Start vulling (MET)	H _{max} GOG (mTAW)
Bergenmeersen	6.3-6.4	06/12/2014 07:20	5.73	06/12/2014 07:20	6.04
Paardeweide	6.2-6.3			06/12/2014 06:40	4.93
Scheldebreek	6.2-6.3			06/12/2014 06:20	6.66
Uiterdijk	6.2			06/12/2014 05:50	7.02
Grote Wal	6.8			06/12/2014 06:00	6.83
Lippenbroek	6.8	06/12/2014 05:45		06/12/2014 05:50	4.13
Tielrodebreek	6.6	06/12/2014 05:40	3.99	06/12/2014 05:30	4.33
Potpolder IV	6.8 - 7.5	Niet geactiveerd			
Potpolder I	6.6-6.7	06/12/2014 05:40	5.78	06/12/2014 05:50	5.42
Bovenzanden	6.6-6.7	06/12/2014 05:30	7.34	06/12/2014 05:20	7.18
Polder van Lier	6.6-6.7	06/12/2014 06:00	5.53	06/12/2014 06:10	5.62
Anderstadt opwaarts	6.7			06/12/2014 06:20	4.59
Anderstadt afwaarts	6.0			06/12/2014 05:20	6.98

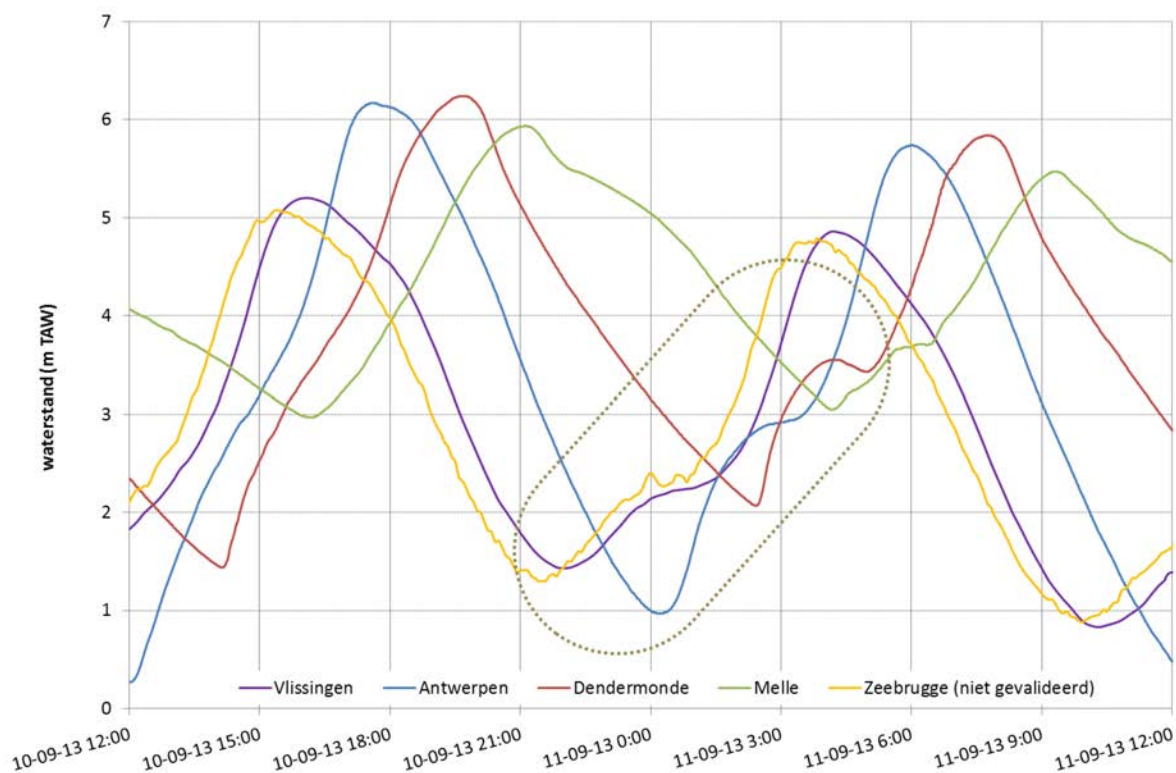
2.4. Speciale tijen

In het jaar 2013 deden zich twee speciale tijen voor. Onder een speciaal tij verstaan we hier een tijverloop dat afwijkt van een normale quasi sinusoidale tijbeweging.

2.4.1. 10-11 september 2013

Figuur 19 geeft het tijverloop weer van vier tijstations, vanaf de monding (Vlissingen) over Antwerpen, Dendermonde tot Melle en dit van 10 september 12u tot 11 september 12u.

Reeds te Zeebrugge en Vlissingen is het zichtbaar dat bij vloed het water niet gelijkmatig stijgt, er zit een knik in de tijkromme. Dit effect zet zich door te Antwerpen en te Dendermonde neemt men zelfs een agger waar, nl. een dubbel laagwater. Dit effect zwakt stroomopwaarts af, maar is nog steeds zichtbaar te Melle.

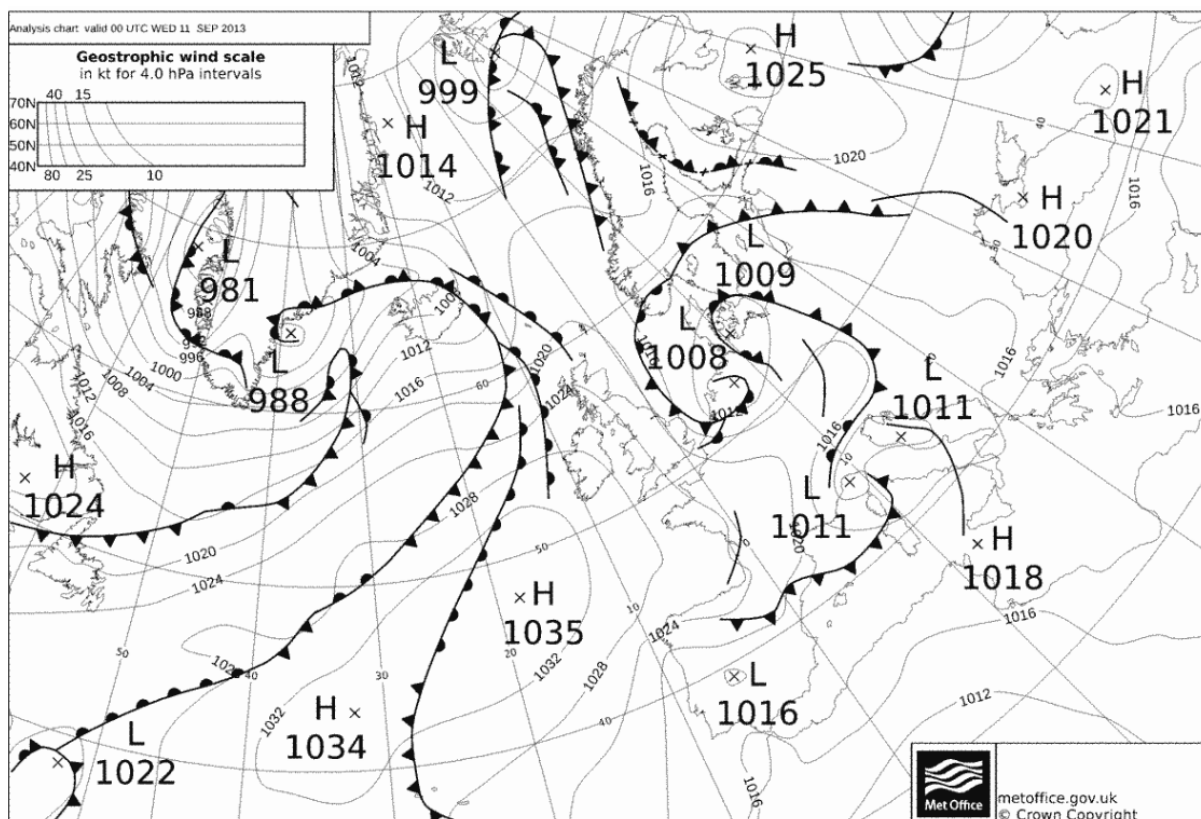


Figuur 19 - Speciaal tij op 11 september 2013. Meetposten te Zeebrugge, Vlissingen, Antwerpen, Dendermonde, Melle (tijden in UTC)

Omdat uit bovenstaande figuur zeer duidelijk is dat dit speciaal tij ook zichtbaar was te Zeebrugge, kan deze situatie alleen maar verklaard worden a.d.h.v. meteorologische omstandigheden op de Noordzee.

Te Zeebrugge werd een sterk vectorieel windverschil waargenomen, veroorzaakt door een koufront (zie Figuur 20). Dit koufront gaf dus aanleiding aan een windsprong. Eerst blies een krachtige westenwind water op de kustlijn, waarna de windkracht sterk verminderde en in verhouding tijdelijk meer water langs de kustlijn opgehoopt werd. Daardoor was het waterniveau op zee lager en ontstond een hoogtegradiënt in waterniveau. Hierdoor stroomde het water terug richting zee wat aanleiding gaf tot een korte daalbeweging. Door die terugslinging van water, een teveel aan water op zee en een tekort bij de kust, verplaatst het water opnieuw richting kust voor een laatste schommeling. Nadien was de waterhoogte terug in evenwicht met wind uit het noorden en verdwenen de schommelingen. Men kan dus spreken van een zuiver windfenomeen. (Gans deze alinea: pers. comm. dr. ir. David Dehenauw, hoofd Maritieme Voorspellingen van het KMI)

Dit effect zette zich dan uiteindelijk verder door in het estuarium. T.e.m. Dendermonde werd het speciaal tij versterkt, te Melle was het al bijna helemaal uitgevlakt.



Figuur 20 - Weerkaart van 11 september 2013 om 0u UTC (kaart verkregen via pers. comm. David Dehenaau, hoofd maritieme voorspellingen KMI)

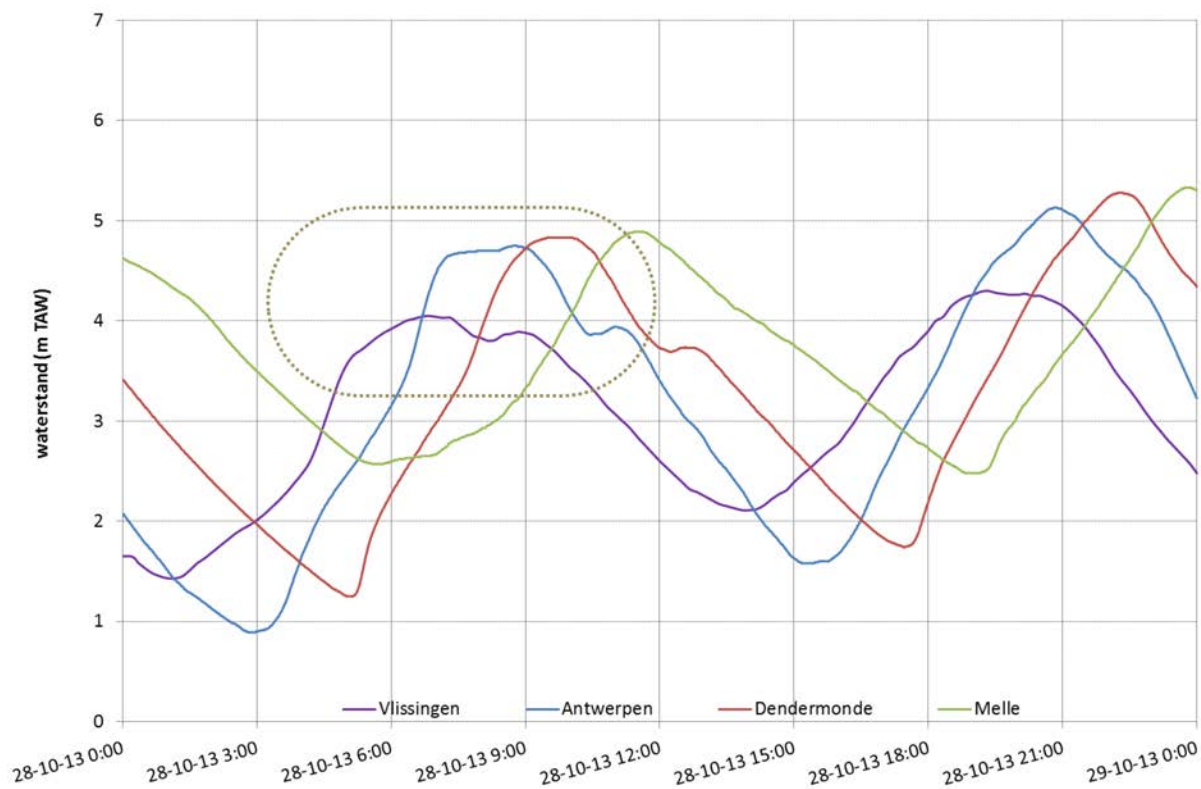
2.4.2. 28 oktober 2013

Een tweede speciaal tijde deed zich voor op 28 oktober 2013. Het hoogwater in de voormiddag kende toen een dubbele kop. Ook hier is het speciaal tijde een effect dat afkomstig is uit de Noordzee en niet van de bovenlopen. Te Melle was het speciale tijde bijna volledig genormaliseerd.

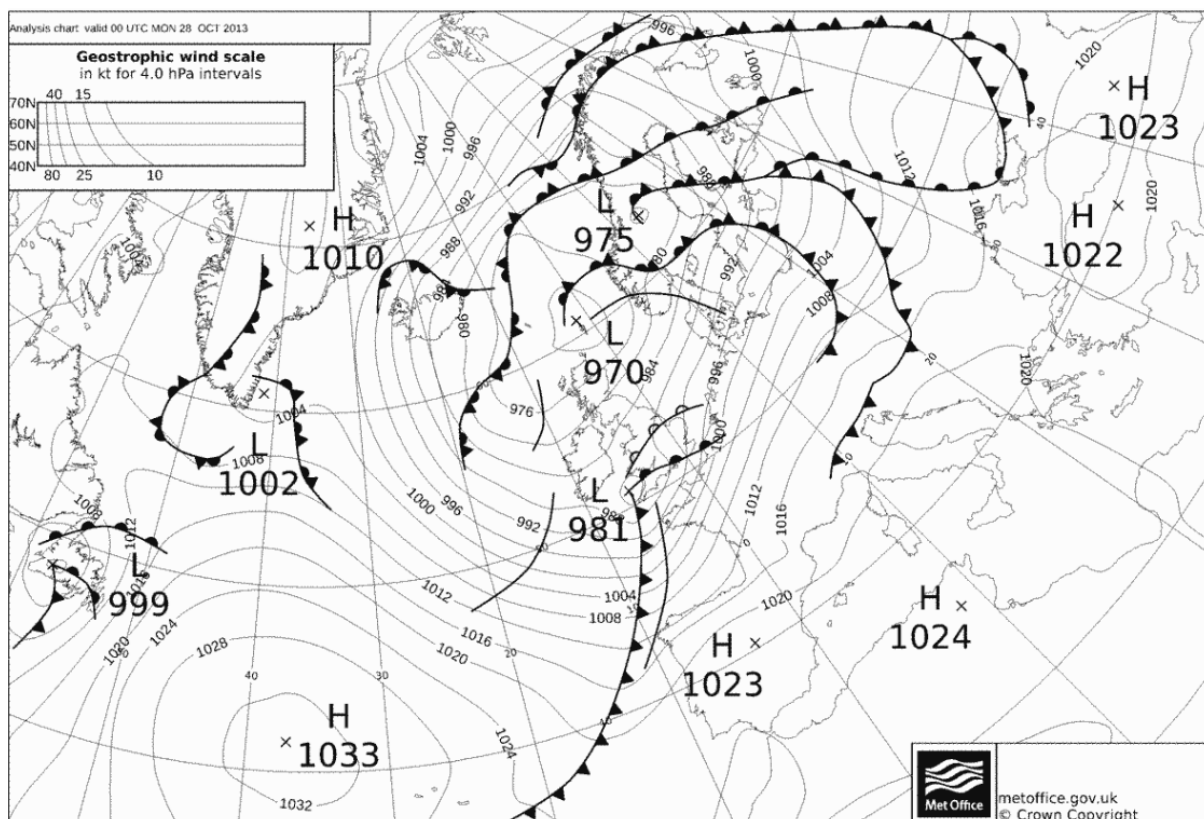
Meestal zijn de oorzaken gelegen in plotse drukdalingen of in een snel draaiend windveld. Deze fenomenen doen zich reeds voor op de Noordzee en worden enkel versterkt of verzwakt door lokale windvelden in het Schelde-estuarium. Indien deze laatste factor bepalend zou geweest zijn, had dit effect in Vlissingen niet zichtbaar geweest.

Dit dubbel hoogwater was aldus een gevolg van een plotse windverandering. In het afnemend tijde na het eerste hoogwater, kwam een nieuwe verhoging door een belangrijke windtoename en –verandering. De verandering van wind, nu uit het zuiden betekent afwaaiing aan zee, dus is het logisch dat er een tweede piek kwam bij deze snelle windverandering. Nadien normaliseerde de situatie weer. Met een typische zuidwester is die afwaaiing veel minder omdat de wind parallel aan de kust blaast. Zie Figuur 22 voor de meteorologische situatie van 28 oktober 2013. (Gans deze alineae: pers. comm. dr. ir. David Dehenaau, hoofd Maritieme Voorspellingen van het KMI)

Interessant om te melden is dat MetOffice, de Britse nationale weerdienst, op hun website de storm van 28 oktober 2013 uitgebreid bespreekt op hun website (www.metoffice.gov.uk).



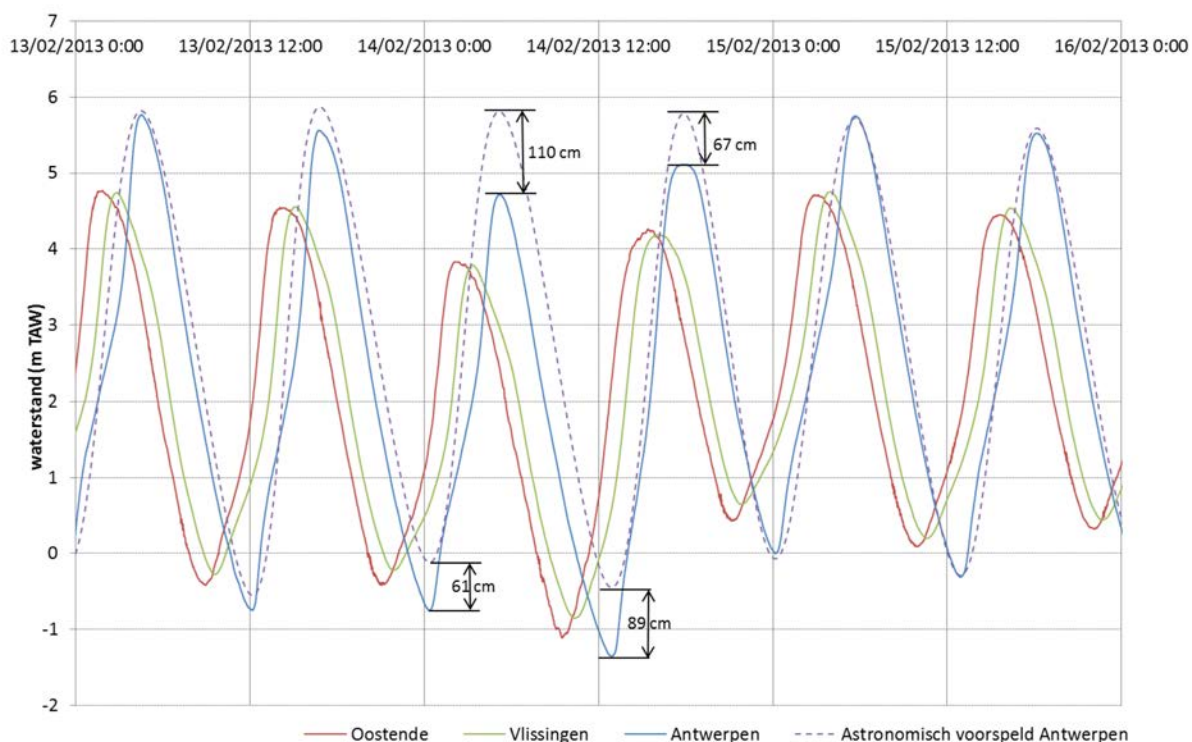
Figuur 21 - Speciaal tij op 28 oktober 2013. Meetposten Vlissingen, Antwerpen, Dendermonde, Melle (tijd in UTC)



Figuur 22 - Weerkaart van 28 oktober 2013, 0u UTC (kaart verkregen via pers. comm. David Dehenaau, hoofd maritieme voorspellingen KMI)

2.5. Extreem laag laagwater (14 februari)

Een zeer uitzonderlijk laagwater werd gemeten op 14 februari 2013. Te Antwerpen bedroeg de uiterst lage waterstand $-1,35$ mTAW (12:54 UTC), meteen het tweede laagste laagwater sinds het begin van de waarnemingen. Ter vergelijking, het laagste laagwater sinds het begin der waarnemingen klokte af op -1.36 mTAW.

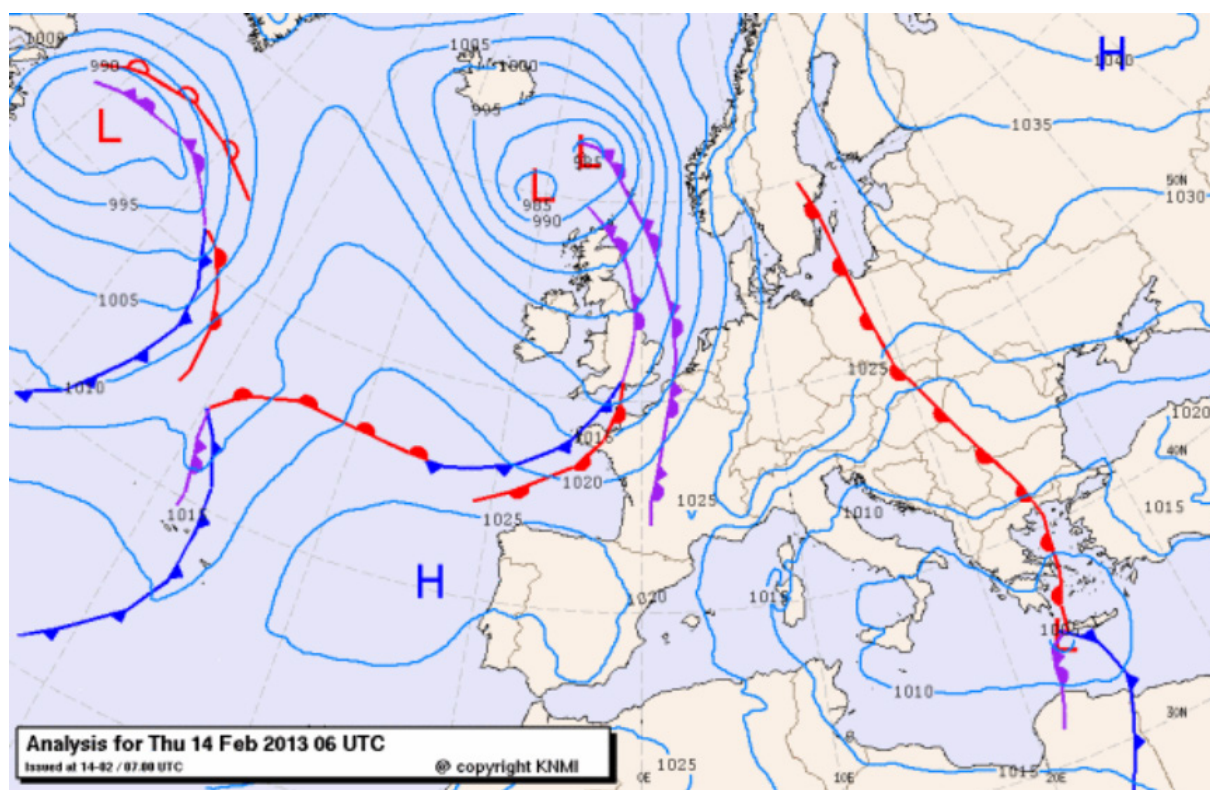


Figuur 23 - Uitzonderlijk laag laagwater op de Noordzee en het Scheldebekken. Astronomisch voorspelde waterstand te Antwerpen en waargenomen waterstanden te Oostende (ruwe gegevens), Vlissingen (ruwe gegevens) en Antwerpen. Tijd in UTC.

In Figuur 23 vallen twee zaken op. Ten eerste is er op 14 februari een groot verschil tussen het astronomisch voorspeld tij en het gemeten tij te Antwerpen. Dit verschil bedraagt wel 110 cm voor het eerste hoogwater van die dag en 89 cm voor het laagste laagwater. Zoals aangehaald in sectie 1.1.1 is dit zeer uitzonderlijk, slechts in 5% van de gevallen is het verschil tussen het astronomisch voorspeld tij en het waargenomen tij groter dan 61 cm. Een tweede opvallend element is dat ook het laagwater te Vlissingen en Oostende fel verlaagd is. Deze twee feiten moeten verklaard worden aan de regionale weersituatie van die dag.

Figuur 24 toont de weerkaart van 14 februari 2013 om 6u UTC. Op dat moment bevond zich een uitgesproken lagedrukgebied ten noorden van Groot-Britannië. Dit veroorzaakte aanhoudende zuidenwinden en een onderdruk in de Noordzee die extra water evacueerden richting Noordzee. Later op de dag verplaatste het lagedrukgebied zich noordwaarts, wat de luchtdruk deed normaliseren, de windrichting deed veranderen en de windsnelheid deed verminderen.

De zeer lage waterstand van 14 februari 2013 is dus een het gevolg van weerfenomenen op de Noordzee.



Figuur 24 - Weerkaart van Europa van 14 februari 2013 om 6u UTC. www.knmi.nl, geraadpleegd op 20 mei 2014.

3. Jaaroverzicht bovendebieten Zeescheldebekken

3.1. Overzicht meetlocaties van bovendebieten aan de randen van het tijgebied

Sedert 1947 worden waarnemingen en metingen verricht om de bovenaanvoer uit de opwaarts het tijgebied gelegen hydrografische bekkens te bepalen. Bovendien worden de aan de randen van het tijgebied bepaalde bovenafvoeren naar afwaarts doorgerekend, eerst naar de uitmonding van de betrokken tijrivier in een andere, daarna alle bovenafvoeren samen naar de Schelde te Schelle, om aldaar de bovenafvoer te bepalen van enerzijds de Zeeschelde opwaarts de Rupelmonding plus anderzijds de bovenafvoer van het aldaar uitmondende gehele Rupelbekken. Hun som levert de bovenaanvoer van de Beneden-Zeeschelde op.

Aan de randen van het tijgebied wordt het getij tegengehouden door sluizen en stuwen zoals op de Boven-Zeeschelde te Gentbrugge, en vanaf 1969 op de Tijarm-Ringvaart om Gent te Merelbeke en te Zwijnaarde, en op de Dender te Dendermonde en vanaf 1978 (via de "nieuwe" Dender doorheen de Sint-Onolfspolder) te Appels.

In tegenstelling tot de Boven-Schelde en Dender, deint het getij op de andere rivieren van het Zeescheldebekken uit. In eerste instantie stroomt het water nog in twee richtingen: zo is de Rupel nog volledig aan eb en vloed onderhevig. Maar het water stroomt ook nog landinwaarts in de Kleine en Grote Nete alsook in de Zenne en de Dijle. Zo stoot de vloedstroom in de Grote Nete door tot ergens tussen Kessel en Itegem, terwijl deze op de Kleine Nete nog meetbaar is tussen Emblem en Grobbendonk (afwaarts het Albertkanaal; de meetlocatie wordt Grobbendonk Derde Sas genoemd). Op de Dijle dringt het tij landinwaarts door tot ergens tussen Rijmenam en Haacht, terwijl op de Zenne de vloedstroom tot ergens tussen Zemst en Eppegem doordringt. Ook op deze bijrivieren laat zich iets verder stroomopwaarts nog een schijntij voelen.

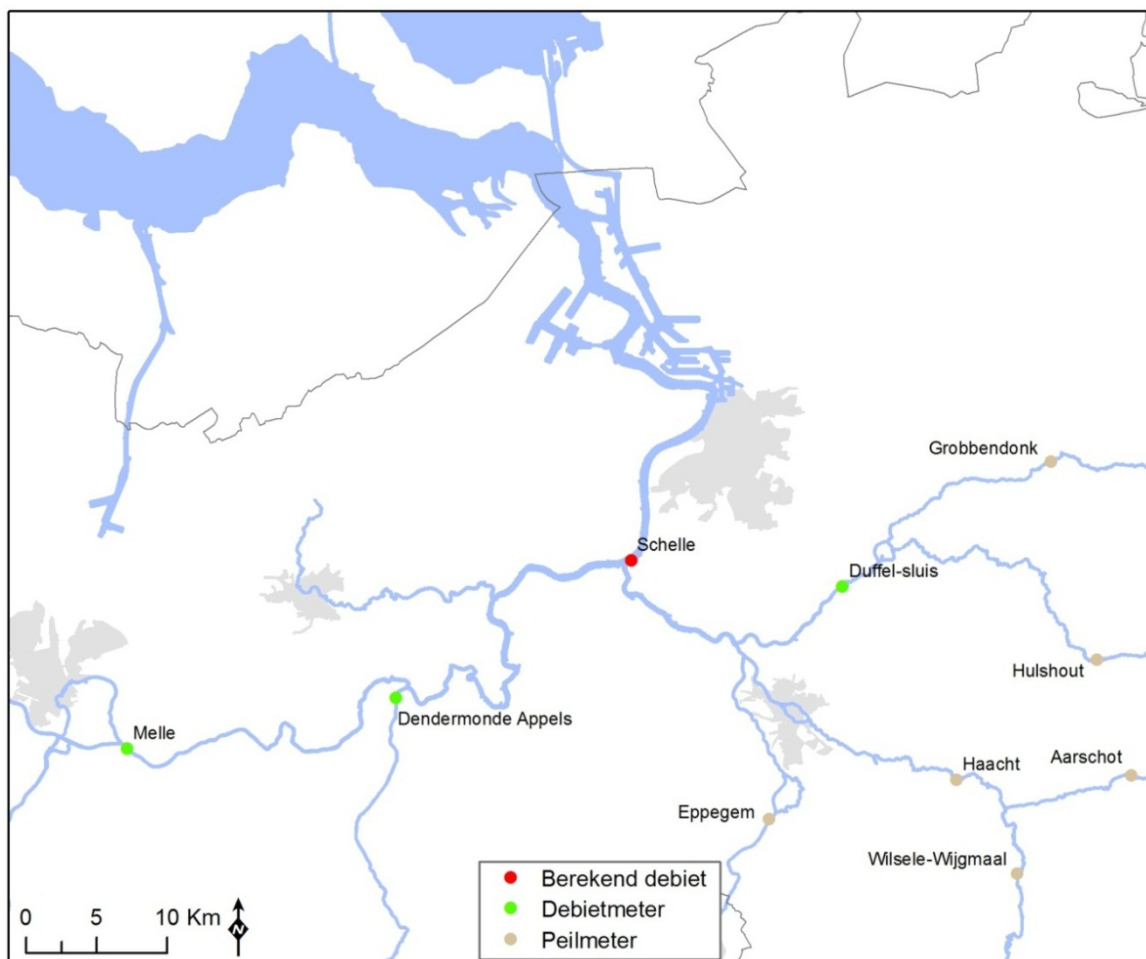
Het getij ontmoet daar in die mate de aanvoer van bovenwater uit het opwaarts gelegen hydrografische bekken, én de rivierbedding verhoogt dusdanig dat "hoog"-waterstanden daar niet meer vanuit het getij kunnen bereikt worden, dat het semi-maritieme karakter overgaat in een zuiver fluviatiel karakter. Naar tijterminologie wordt ook van een "schijntij" gesproken, met name: er kan nog wel een "tijverschil" aanwezig zijn want op "tij-regelmatige" tijdstippen komen afwisselend "hoogwaters" en "laagwaters" voor, net zoals op de afwaarts ervan gelegen plaats waar nog wel écht getij heerst, doch met klein hoogteverschil, maar in de regel is er altijd eb doch nooit vloed, dus stroomt het water steeds naar afwaarts. De term "eb" verliest dan ook zijn betekenis.

De locaties waar de debieten bepaald worden (dd. 2013) zijn weergegeven in Tabel 7 en Figuur 25.

Er wordt geen bovendebiet gemeten voor de Durme. Het Durmebekken, voor zover de afwatering geschiedt naar de tij-Durme, wordt wel als een zijbekken in rekening gebracht bij de doorrekening van de bovenafvoeren naar de "Schelde te Schelle".

Tabel 7 - Overzicht van de meetstations die gebruikt worden voor de bepaling van de bovenafvoer.

Code	Station	Waterloop	Gemeten parameter	Getij	Opmerking
bnt03a	Duffelsluis	Beneden-Nete	Q	Tij	Debiet wordt gemeten met ADCP, Q/Q relatie wordt toegepast
dij12a	Haacht	Dijle	H	Schijntij	Daggemiddeld debiet wordt bepaald ahv Q/H _{LOW} verband
zen03a	Eppegem	Zenne	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet wordt bepaald ahv Q/H verband
den01a	Dendermonde (Appels)	Dender	Q	Schijntij	Debiet wordt gemeten met ADM, Q/Q relatie wordt toegepast
zes57a	Melle	Boven-Zeeschelde	Q	Tij	Debiet wordt gemeten met ADM, Q/Q relatie wordt toegepast



Figuur 25 - Ligging van de meetplaatsen van de bovenafvoer aan de randen van het tijgebied, en aanduiding van de locatie "Schelde te Schelle" tot waar "de globale bovenafvoer" naar de zgde Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend

3.2. Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts

3.2.1. Berekeningsmethode van de pentadedebieten te Schelle

In de Moneos-rapporten van 2008, 2009 en 2010 werd beroep gedaan op de klassieke methode ir. R. Codde (1949). Hierbij werd een tiendaags gemiddeld bovendebiet bepaald en werden ook de afvoeren van het tussengebied, met name de gebieden langs de Beneden-Nete, de Rupel, de Schelde tussen Melle en Schelle, en de Durme, op tiendaagse basis in rekening gebracht. Zo komt men aan de zoetwaterafvoer van het Zeescheldebekken.

Sinds het Moneos-rapport van 2008 wordt ook gewerkt met pentade-gemiddelde bovendebieten (methode ir. E. Taverniers). Zodoende kunnen betere verbanden gelegd worden tussen enerzijds de aanvoer van zoetwater naar de Beneden-Zeeschelde en anderzijds de variaties in saliniteit en turbiditeit in het Scheldewater.

Voor het rapport van vorig jaar en voor dit rapport wordt de post Duffelsluis gebruikt om de bovenafvoer van de Nete te begroten. Dit in tegenstelling tot vroegere Moneos-rapporten, waar voor de Kleine Nete (Grobbendonk) en Grote Nete (Itegem) apart de bovenafvoer bepaald werd.

Tabel 8 toont het overzicht van de meetplaatsen, met bijhorende multiplicator. Deze multiplicator wordt gebruikt om de afvoer te schatten voor het deel van het bekken dat afwaarts de meetpost ligt. Deze is 1,00 voor de meetpost Appels en Duffelsluis omdat deze quasi aan de monding van hun desbetreffende rivier liggen.

Tabel 8 - Overzicht van de meetplaatsen van de bovenafvoer, met waarde van de multiplicator van doorrekening naar de uitmonding van de betrokken rivier

rivier	meetplaats bovenafvoer	multiplicator van meetplaats naar uitmonding
Dender	Appels	1,00
Zenne	Epepegem	1,08
Dijle	Haacht	1,08
Nete	Duffel-sluis	1,00

Tabel 9 geeft info over de tijdsvertraging van het doorgaand bovendebiet aan de randen van het tijegebied t.o.v. de Schelde te Schelle. Deze info wordt dan gebruikt om het vijfdaagse gemiddelde debiet van de Schelde te Schelle te bepalen.

Samengevat gebeurt de berekening van het debiet te Schelle als volgt:

- bepaling van het daggemiddeld debiet aan de meetraaien;
- bepaling van het daggemiddeld debiet aan de mondingen (dus met ingebrip van de multiplicator);
- bepaling van de totale afvoer van het Rupelbekken en het Scheldebekken opwaarts Schelle;
- bepaling van het pentade gemiddelde debiet te Schelle, met inbegrip van vertraging.

Tabel 9 - Overzicht van de (gemiddelde) tijdsvertraging van doorkomen van bovenafvoer aan de meetraaien, bij doorrekening te Schelle (bij eerder grote afvoeren)

locatie aan de rand van het tijegebied	Tijdsvertraging
Zeeschelde te Melle	2 etmalen
Dender te Appels	1 etmaal
Zenne te Epepegem	2 etmalen
Dijle te Haacht	2 etmalen
Nete te Duffelsluis	1 etmaal

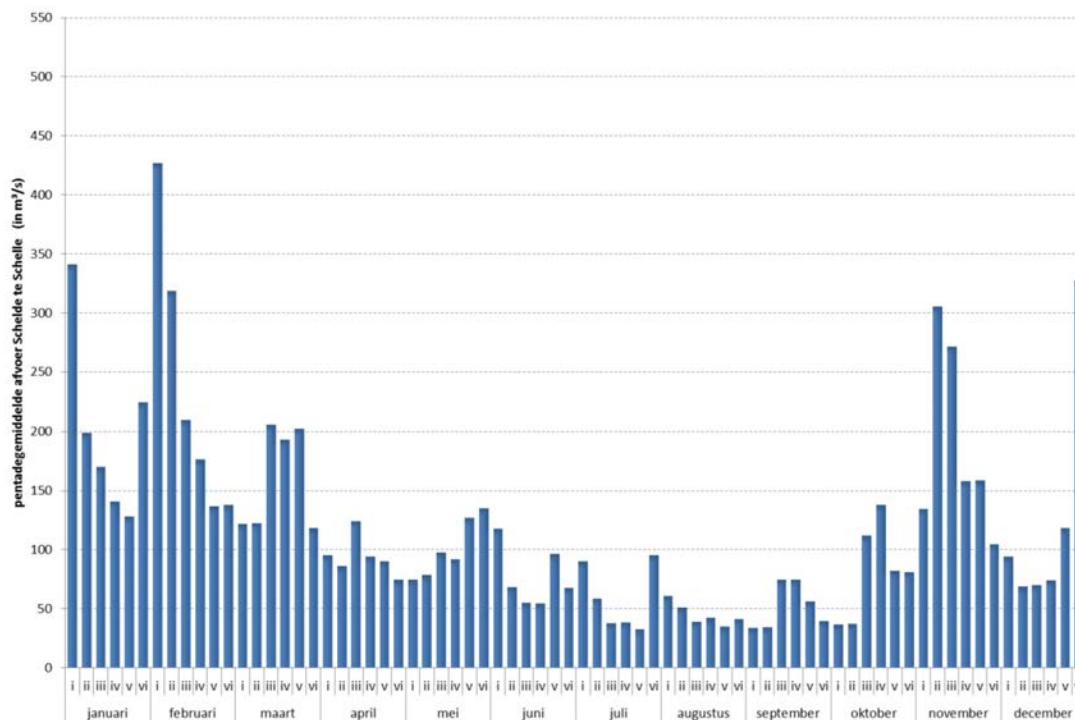
3.2.2. Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis

Tabel 10 toont de pentade-gemiddelde bovenafvoer van de Schelde te Schelle. Per maand zijn de opeenvolgende pentades met Romeinse cijfers aangeduid. Het jaargemiddelde van al deze 72 pentade-waarden is 118 m³/s.

Figuur 26 geeft onderstaande tabel in grafiekvorm weer. Hier komt duidelijk naar voor dat het grootste vijfdaagse gemiddelde zich voordeed in de eerste pentade van februari 2013 (pentadegemiddelde is 427 m³/s).

Tabel 10 - Pentade-gemiddelde bovenafvoer Schelde te Schelle (m³/s)

maand	pentade	Q (m ³ /s)	maand	pentade	Q (m ³ /s)
Januari 2013	i	341	Juli 2013	i	90
	ii	199		ii	59
	iii	170		iii	38
	iv	141		iv	38
	v	128		v	33
	vi	225		vi	95
Februari 2013	i	427	Augustus 2013	i	61
	ii	319		ii	51
	iii	210		iii	39
	iv	176		iv	42
	v	136		v	35
	vi	138		vi	41
Maart 2013	i	122	September 2013	i	34
	ii	122		ii	35
	iii	206		iii	74
	iv	193		iv	75
	v	202		v	56
	vi	118		vi	39
April 2013	i	95	Oktober 2013	i	36
	ii	86		ii	37
	iii	124		iii	112
	iv	94		iv	138
	v	90		v	82
	vi	75		vi	81
Mei 2013	i	75	November 2013	i	134
	ii	79		ii	306
	iii	97		iii	271
	iv	92		iv	158
	v	127		v	159
	vi	135		vi	104
Juni 2013	i	118	December 2013	i	94
	ii	68		ii	69
	iii	55		iii	70
	iv	54		iv	74
	v	96		v	118
	vi	68		vi	327



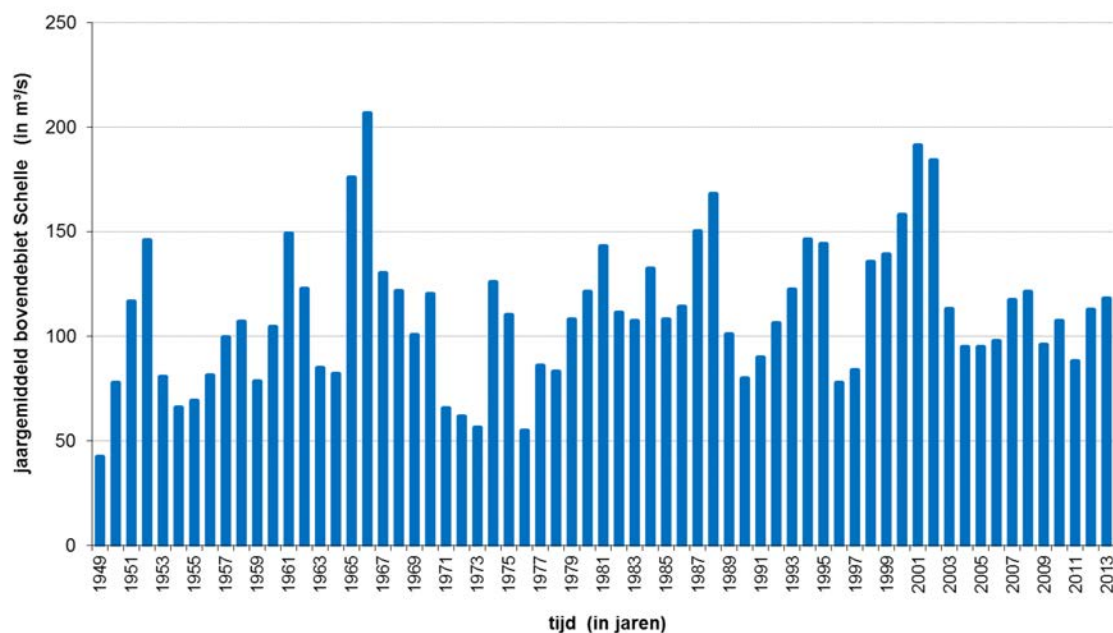
Figuur 26 - Zeescheldebekken: Pentadegemiddelde waarden voor de afvoer van "de Schelde te Schelle" voor 2013

Ter vergelijking: het pentadegemiddelde van de vierde pentade van november 2010, een periode gekenmerkt door meerdere overstromingen in Vlaanderen, had een waarde van 565 m³/s. Ook zichtbaar is de verhoogde afvoer in het begin van het jaar, de verhoogde afvoer in november en de laatste erg hoge pentade van december 2013.

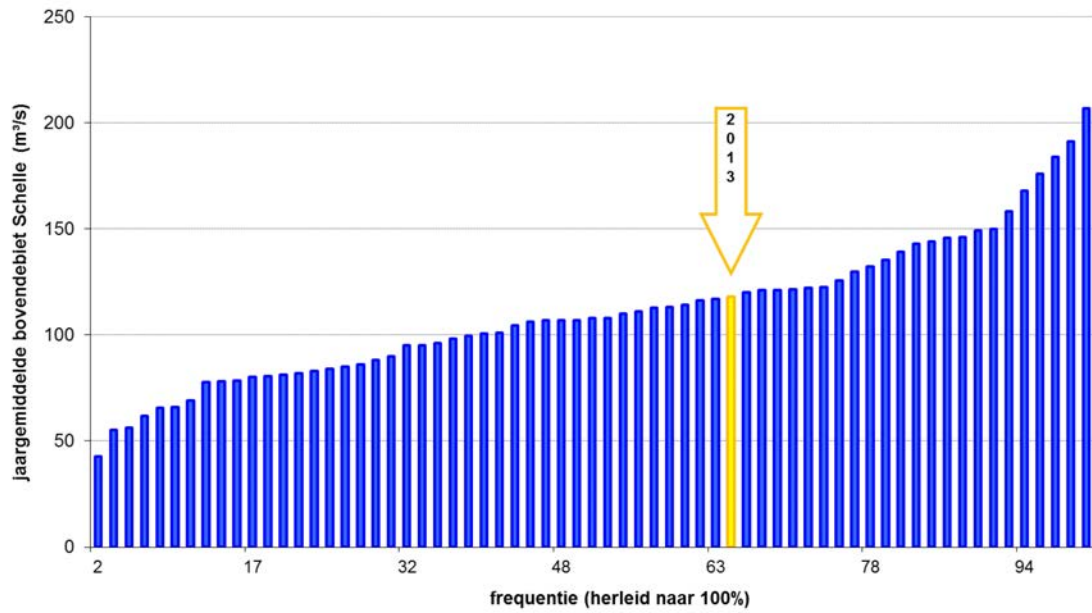
Het kleinste vijfdaagse gemiddelde deed zich voor in de vijfde pentade van juli 2013: gemiddeld 33 m³/s. In augustus was de afvoer het kleinste.

3.2.3. Bovendebieten 2013 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief

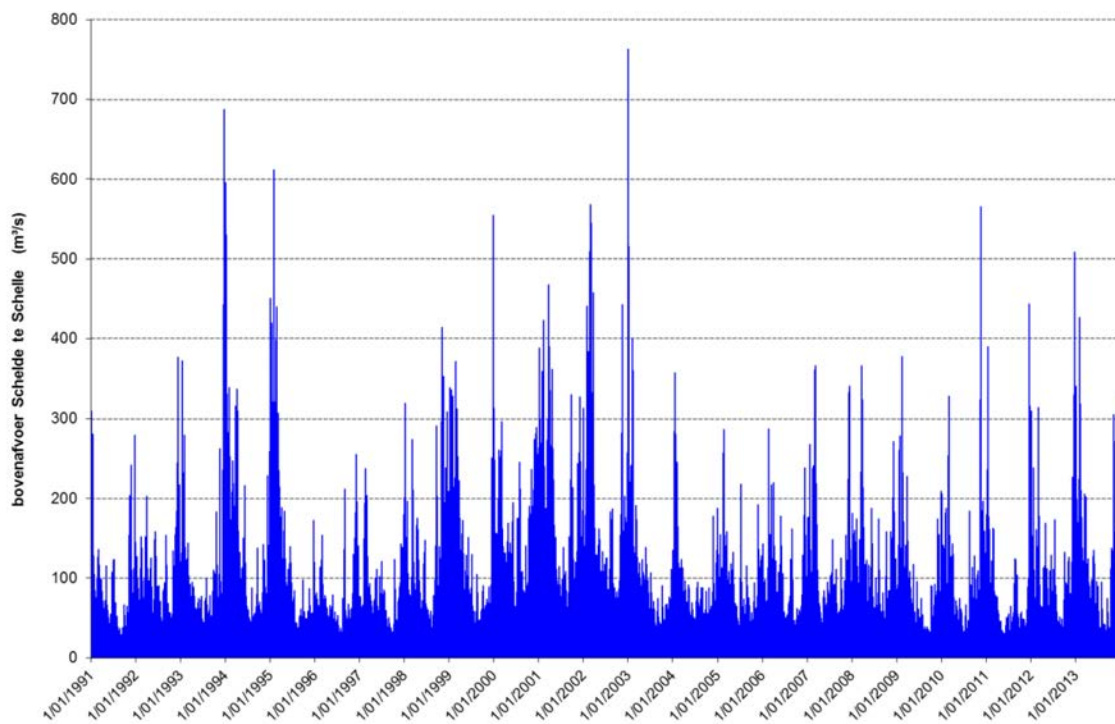
De grootste pentadewaarde van afvoer te Schelle in 2013, namelijk de eerste pentade van februari 2013, had een waarde van 427 m³/s. Wanneer deze vergeleken wordt met vorige pentadewaarden sinds 1991, blijkt dat er nog 22 pentades waren met grotere waarden (zie Tabel 11).



Figuur 27 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2012 o.b.v. jaargemiddelde waarden.



Figuur 28 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2013 op basis van jaargemiddelde waarden en gerangschikt naar grootte



Figuur 29 - Zeescheldebekken: vijfdaagse gemiddelde afvoer aan "de Schelde te Schelle" volgens pentadeberekening voor de periode 1991-2013

Tabel 11 – 23 hoogste pentadegemiddelde afvoeren geregistreerd sinds 1991 tot december 2013

rang	jaar	maand	pentadenr.	pentadegemiddeld debiet (m ³ /s)
1	2003	januari	i	764
2	1993	december	v	687
3	1995	januari	vi	612
4	1995	februari	i	598
5	1994	januari	i	596
6	2002	februari	vi	569
7	2010	november	iv	565
8	1993	december	vi	559
9	1999	december	vi	554
10	2002	maart	i	545
11	1994	januari	ii	530
12	2003	januari	ii	516
13	2002	februari	v	509
14	2012	december	vi	508
15	2001	maart	v	468
16	2002	maart	v	458
17	1995	januari	i	451
18	2011	december	iv	443
19	1993	december	iv	442
20	2002	november	iii	442
21	2002	januari	vi	441
22	1995	februari	v	440
23	2013	februari	i	427

3.3. Overzicht bovendebieten aan de randen van het tijgebied

3.3.1. Globaal overzicht

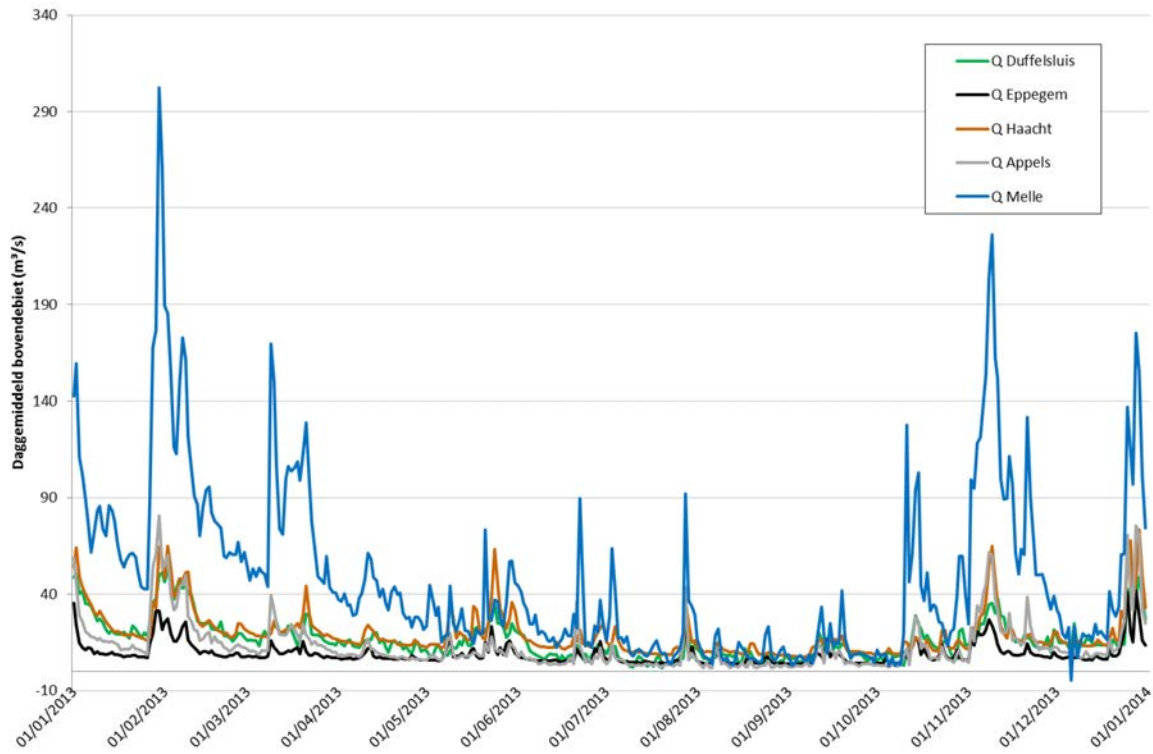
Figuur 30 toont het verloop van de daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied van het Zeescheldebekken over het jaar 2013. Uiteraard is er een grote variabiliteit in deze bovendebieten, enerzijds door invloed van de neerslag in een bepaald hydrografisch bekken, anderzijds door invloeden van waterverdeling van Bovenschelde en Leie, van indringing in de ondergrond, en van evapotranspiratie.

Zoals bekend brengen Bovenschelde en Leie meestal het meest van alle randlocaties bovendebiet naar het Zeescheldebekken. Dit wordt duidelijk gemaakt door de debieten te Melle (die een groot gedeelte van deze debieten naar de Zeeschelde transporteren). Enkel bij zeer kleine bovendebieten te Melle brengt de Dijle te Haacht meer bovendebiet naar het tijgebied. De Zenne brengt -door het jaar heen- van Schelde, Dender, Dijle, Zenne en Beneden-Nete, de kleinste afvoer aan.

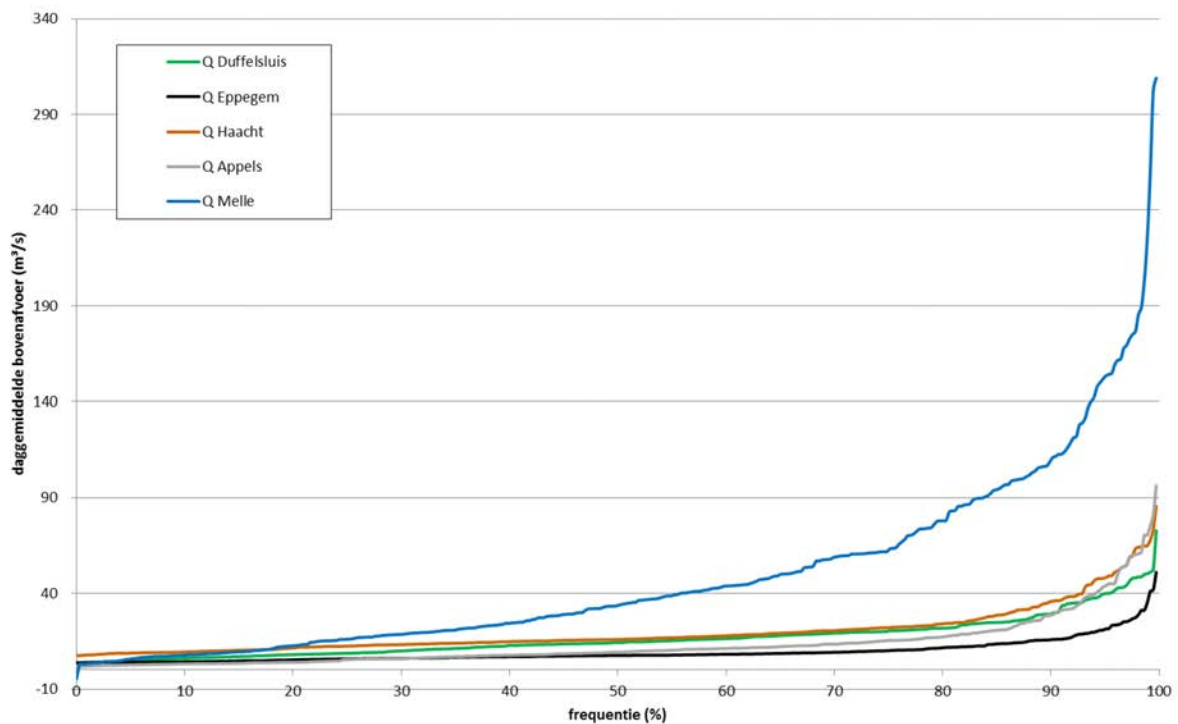
Er zijn relatief veel periodes met verhoogde debieten doorheen het jaar (begin van het jaar, eind januari, eind maart-begin april, midden oktober, de hele maand november en kerst 2013). Deze worden verder besproken in §3.3.2. Anderzijds merken we ook op dat het grootste deel van de periode van augustus-september 2013 de bovenafvoeren eerder klein tot zeer klein waren

Naar opeenvolging van grootte van de daggemiddelde bovendebieten 2013 aan de meetlocaties aan de randen van het tijgebied, toont Figuur 31 de frequentie van voorkomen van een bepaald bovendebiet per meetlocatie. Deze grafiek toont dat er in 2013 te Appels (Dender), Eppegem (Zenne), en Duffelsluis (Netes) gedurende ongeveer 85% van de tijd, kleine en gemiddelde bovendebieten zijn geweest; slechts in ongeveer 10% van de tijd komen grote bovendebieten voor en in enkel 5% zeer grote bovendebieten.

De Dijle kent in 80% van de tijd een gelijkaardige afvoer als het Netebekken te Duffelsluis.



Figuur 30 - Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijegebied voor het jaar 2013



Figuur 31 - Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebietsen aan de meetraaien, over het gehele jaar 2013

De frequentieverdeling toont ook duidelijk dat de dagelijkse bovenafvoer van de Schelde te Melle in 2013 een kleine 20% van de tijd kleiner is dan deze van de Dijle te Haacht.

Ook kan opgemerkt worden dat het bovendebiet van de gekanaliseerde rivieren (Bovenschede en Leie naar het Gentse, dus hier de meetraai in de Boven-Zeeschede te Melle, alsook de Dender, met daar de meetraai te Appels) gedurende dagen lang zeer klein kan zijn.

In Tabel 12 is het gemiddelde van alle daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien aan de rand van het tijgebied gegeven, evenals het grootste en het kleinste daggemiddelde, en de 5 en 95 percentielen. Zoals in de tabel aangegeven brengt van al die meetlocaties aan de rand van het tijgebied de locatie Melle gemiddeld het grootste bovendebiet naar het Zeescheldebekken. Tweede belangrijkste is de aanvoer vanuit de Dijle te Haacht. Daarna zijn de Netes te Duffelsluis en de Dender te Dendermonde (Appels) de grootste aanbrengers van zoetwater.

Tabel 12 - Zeescheldebekken: hoofdkenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien, jaar 2013 (m³/s)

	Netes te Duffelsluis	Zenne te Epegem	Dijle te Haacht	Dender te Dendermonde	Schede te Melle
minimum	1.7	3.8	7.5	1.8	-4.6
5%-percentiel	5.0	4.1	8.8	2.7	5.7
gemiddeld	16.4	9.1	19.6	13.1	48.2
95%-percentiel	38.5	20.6	47.7	41.6	149.4
maximum	52.5	41.9	73.5	81.0	302.4

Ook valt op dat het minimum daggemiddeld debiet in de Boven-Zeeschede een negatief getal is. Deze waarde werd geregistreerd op 6 december 2013. Dit houdt in dat op die dag nettogezien sprake is van een vloedstroom in plaats van een netto ebstroming. Dit heeft te maken met het buitengewoon stormtij dat op die dag plaatsvond (zie §2.3).

3.3.2. Individuele wasregimes

In 2013 hebben zich een aantal periodes voorgedaan van verhoogde afvoer, zoals te zien in Figuur 30.

Aangezien deze invloed hebben op de geregistreerde fysische parameters, besproken in hoofdstuk 4, worden de individuele events hieronder kort besproken.

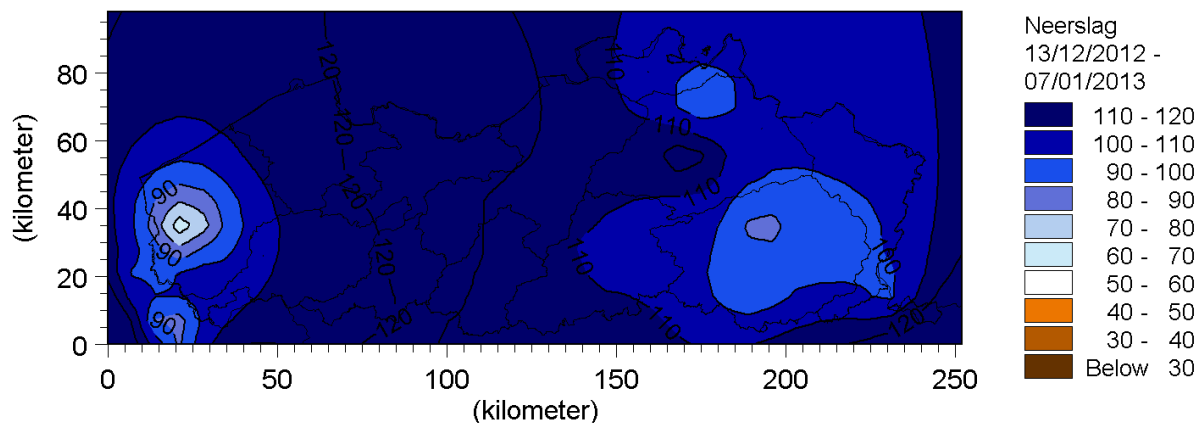
3.3.2.1 Wasregime 1: 14-12-2012 tot 7-1-2013

Het eerste wasregime met duidelijke impact op het getijgebied van de Schelde liep van 14 december 2012 tot 7 januari 2013. Dit event werd gedetailleerd besproken in Boeckx et al. (2013) en werd ook al (tot 31/12/2012) besproken in het vorige Moneos rapport (Vanlierde et al., 2013) maar aangezien dit event nog doorliep tot begin januari 2013, wordt hieronder kort de geografische verdeling van de neerslag en de gevolgen op de afvoer in de verschillende bekkens besproken voor het gehele event besproken.

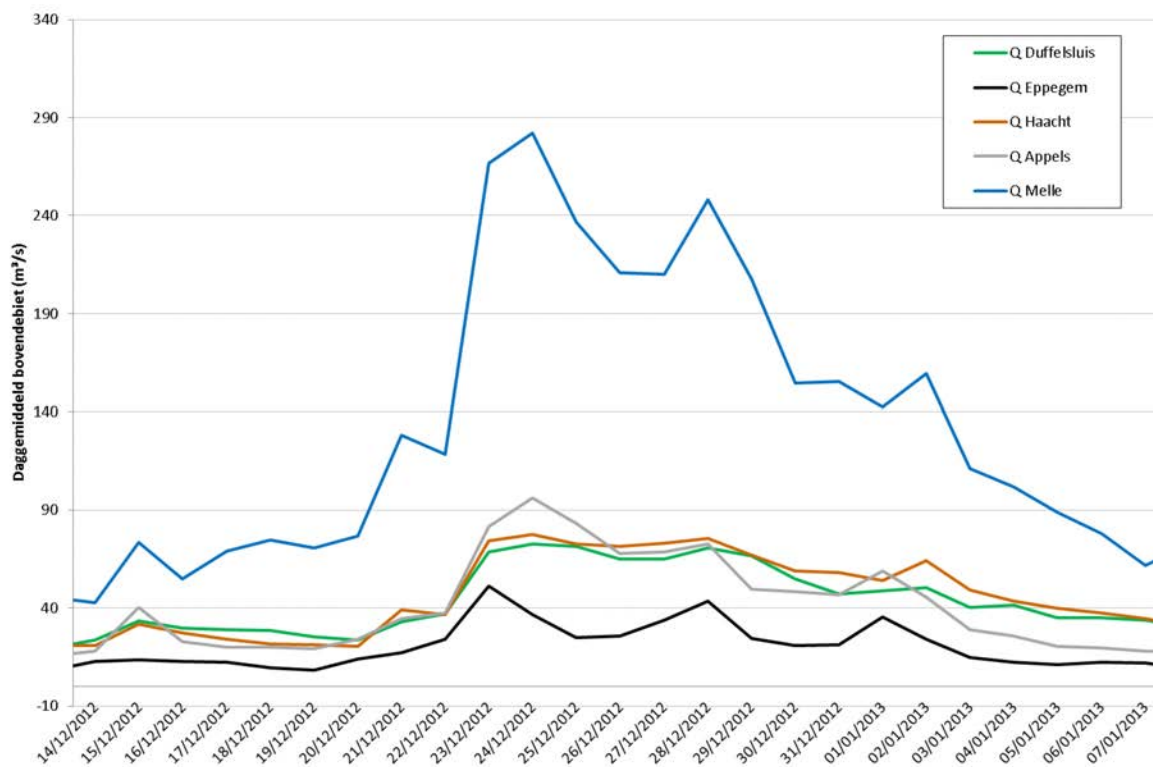
Figuur 32 toont de neerslag gevallen tijdens de volledige periode. Hier valt uit af te lijden dat de neerslag relatief homogeen verdeeld viel over heel Vlaanderen. Dit leidde tot een opvallende toename van de afvoeren aan alle meetraaien (zie Figuur 33). De afvoer aan de meetraai te Melle is zoals te verwachten de grootste.

Deze grote afvoeren te Melle zorgden er ook voor dat gedurende enkele tijen zich een continue ebstroom voordeed. Het water ging -als een schijntij- nog wel steeds op en neer met verhoogde laag- en hoogwaterstanden en met slechts een klein tijverschil (zie Figuur 34).

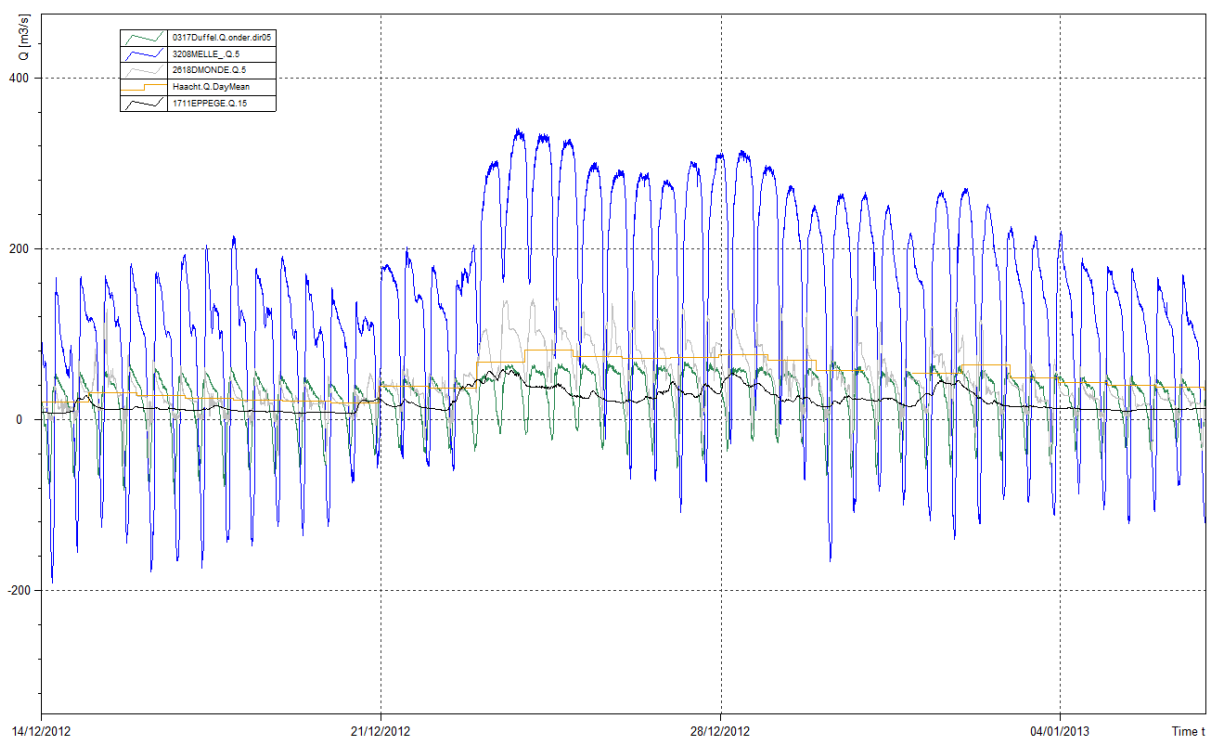
Dit fenomeen deed zich echter enkel voor op het einde van 2012 en niet meer in de eerste week van 2013.



Figuur 32 - Gevallen neerslag van 14 december 2012 tot en met 7 januari 2013



Figuur 33 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 14 december 2012 tot 7 januari 2013

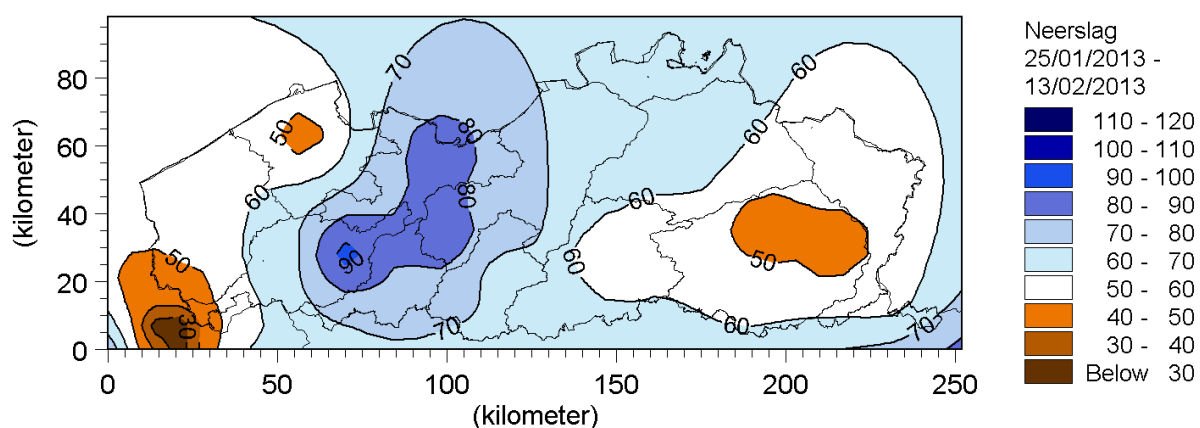


Figuur 34 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 14 december 2012 tot 7 januari 2013

3.3.2.2 Wasregime 2: 25-1-2013 tot 13-2-2013

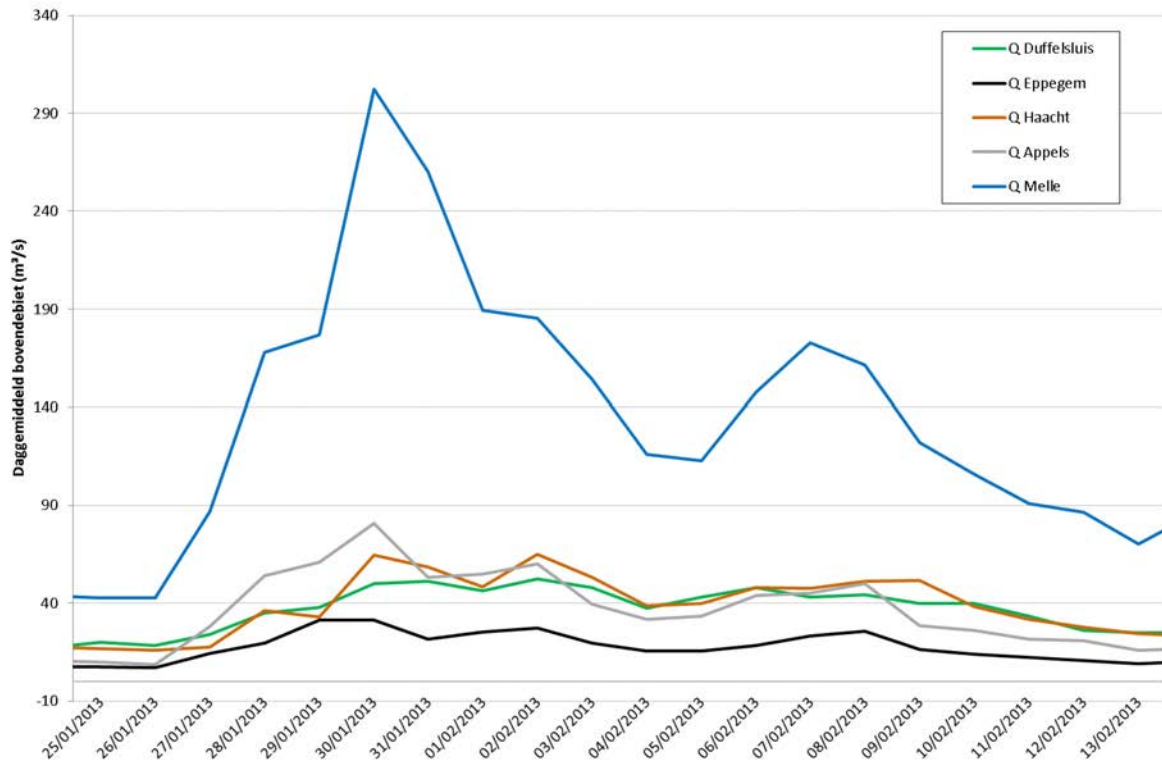
Het volgende wasregime met duidelijke impact op het getijgebied van de Schelde vond kort daarop plaats en begon al op het einde van de maand januari. Ook van dit event werd een wasrapport gemaakt, waarin de situatie in detail besproken werd (Deschamps et al., 2013).

Tijdens deze was viel de neerslag voornamelijk geconcentreerd boven de bekkens van de Leie, de Bovenschelde, de Gentste Kanalen, de Beneden-Zeeschelde en het Denderbekken (zie Figuur 35) . Verder was er een sneeuwlaag van 2 tot 4 cm die door het inzetten van de dooi, heeft bijgedragen aan een snellere toename van de afvoeren.

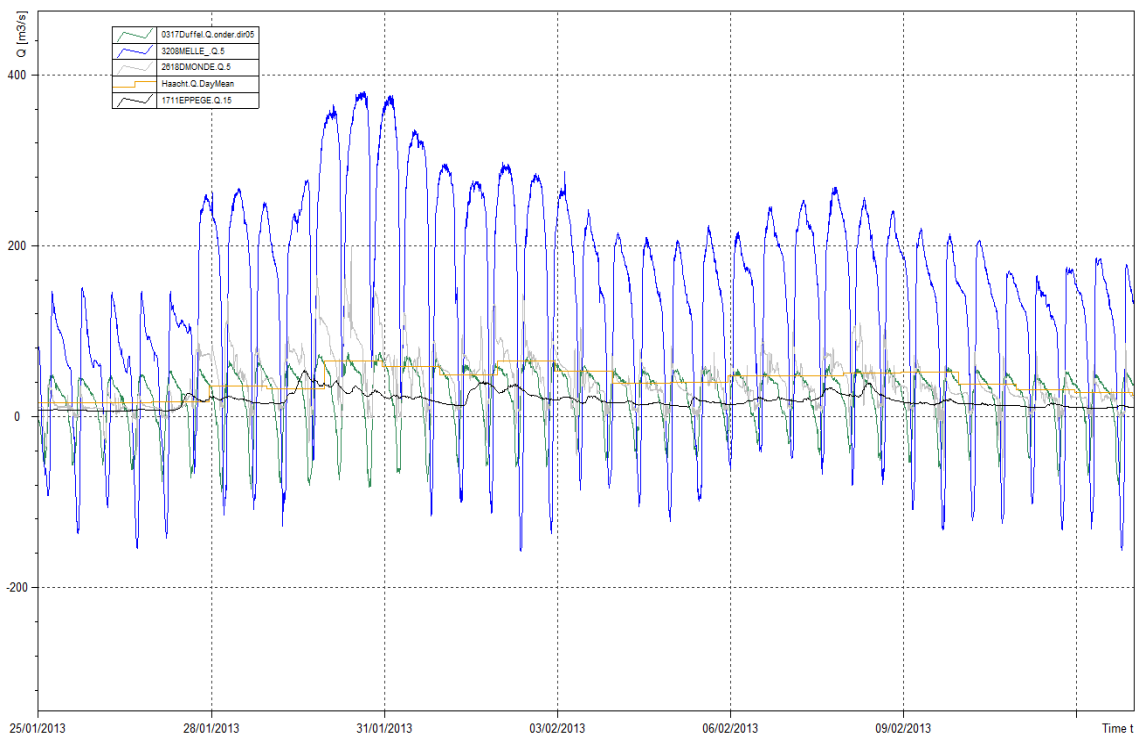


Figuur 35 - Gevallen neerslag 25 januari 2013 tot 13 februari 2013

Door de localisatie van de neerslag werd vooral een verhoogde afvoer aan de meetraai te Melle gemeten (zoals kan gezien worden in Figuur 38). Ook tijdens dit wasevent deed zich gedurende enkele tijen een continue ebstroom voor (zie Figuur 39).



Figuur 36 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 25 januari 2013 tot 13 februari 2013

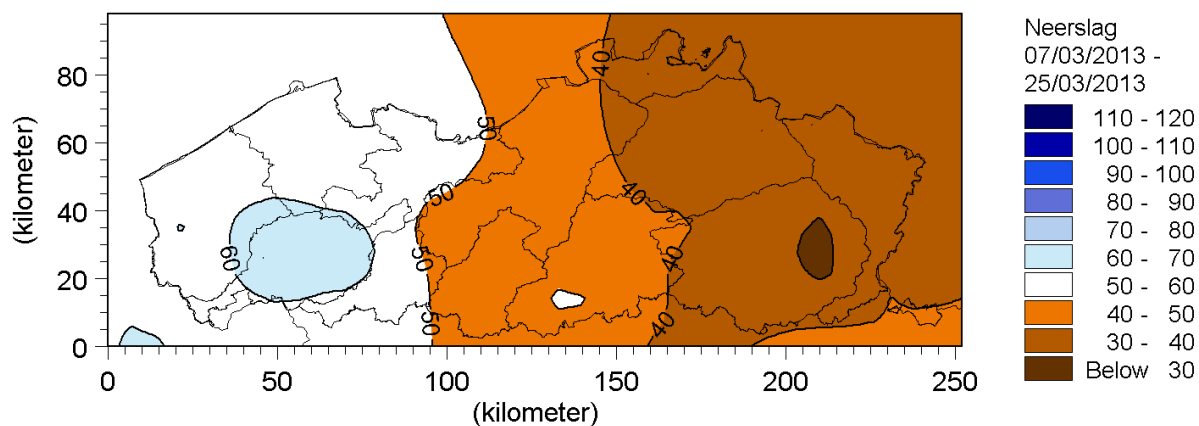


Figuur 37 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 25 januari 2013 tot 13 februari 2013

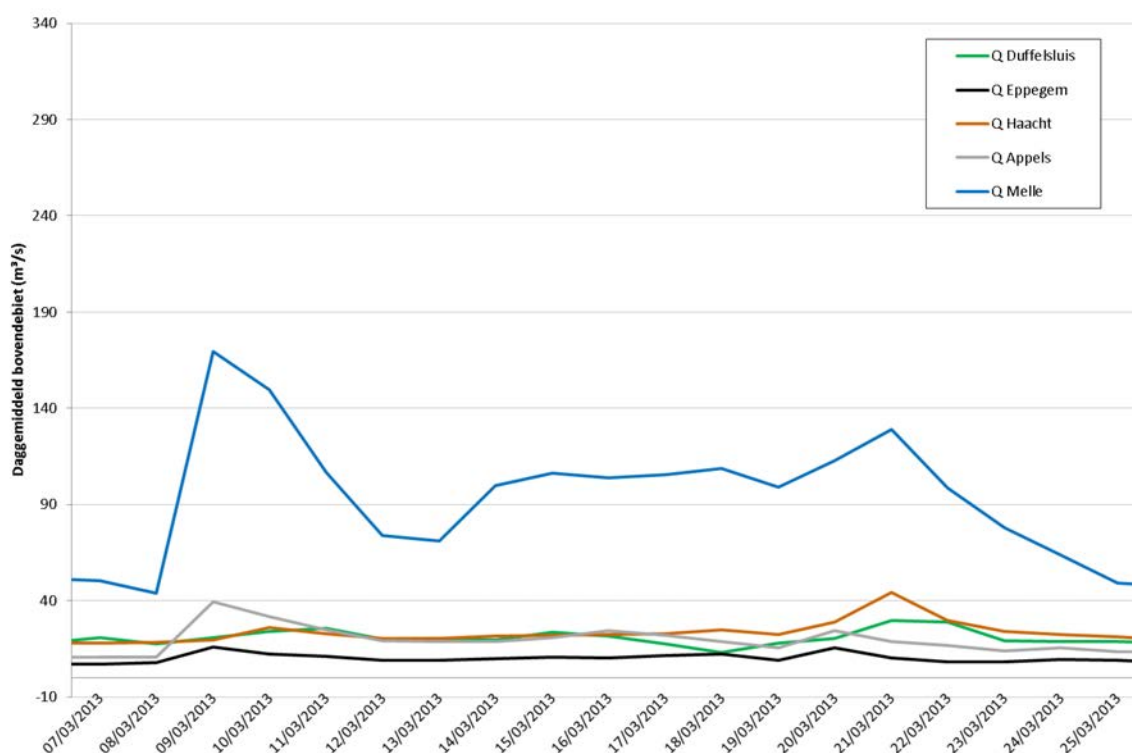
3.3.2.3 Wasregime 3: 7-3-2013 tot 25-3-2013

Een volgend moment van verhoogde afvoer deed zich voor in maart 2013. Voor deze periode werd geen individueel wasrapport opgesteld.

De neerslag viel voornamelijk in de westelijke landshelft (zie Figuur 38), wat verklaart waarom enkel de meetraai in Melle, en in mindere mate de meetraai in Appels (Dendermonde) verhoogde waarden in afvoer vertonen (Figuur 39).

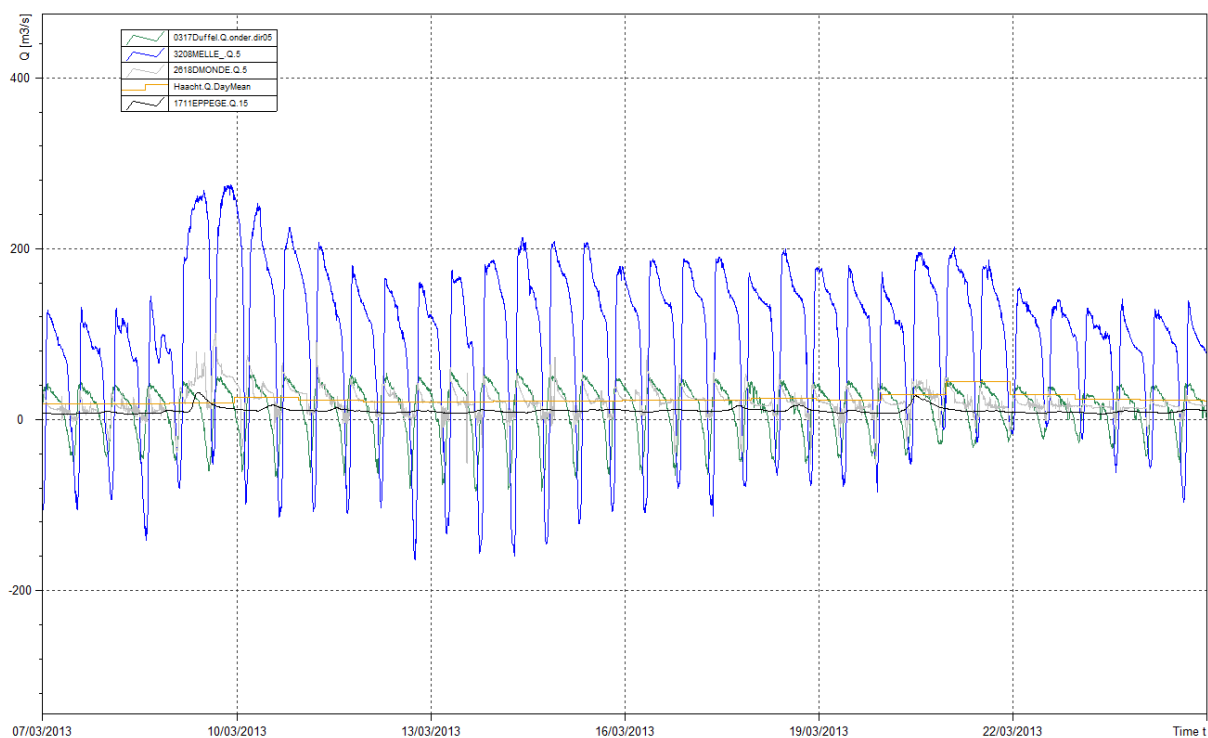


Figuur 38 - Gevallen neerslag 7 maart 2013 tot 25 maart 2013



Figuur 39 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 7 maart 2013 tot 25 maart 2013

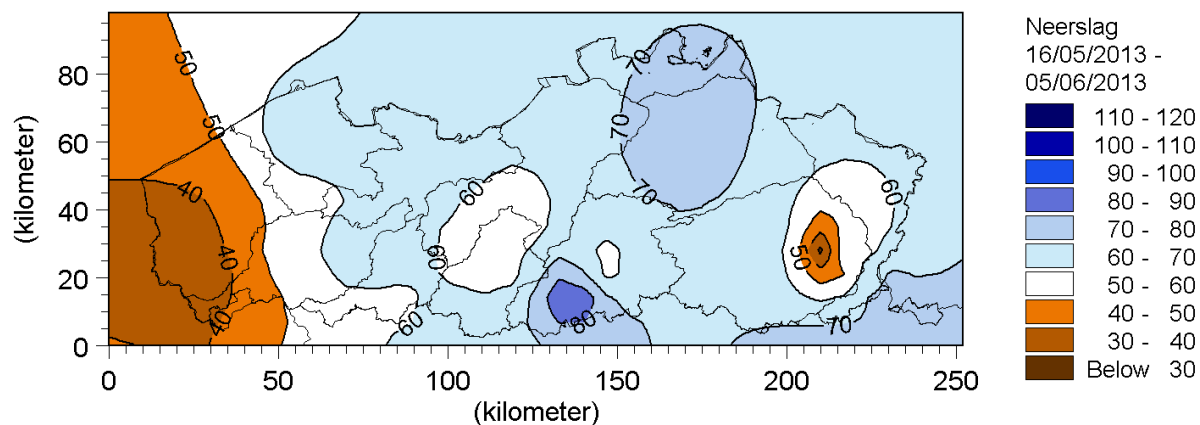
De afvoer te Melle was evenwel niet zo sterk toegenomen dat de vloedstroom volledig tegengewerkt werd. Zoals in Figuur 40 gezien kan worden, wordt deze wel een paar keer sterk teruggedrongen, maar is geen sprake van schijntij.



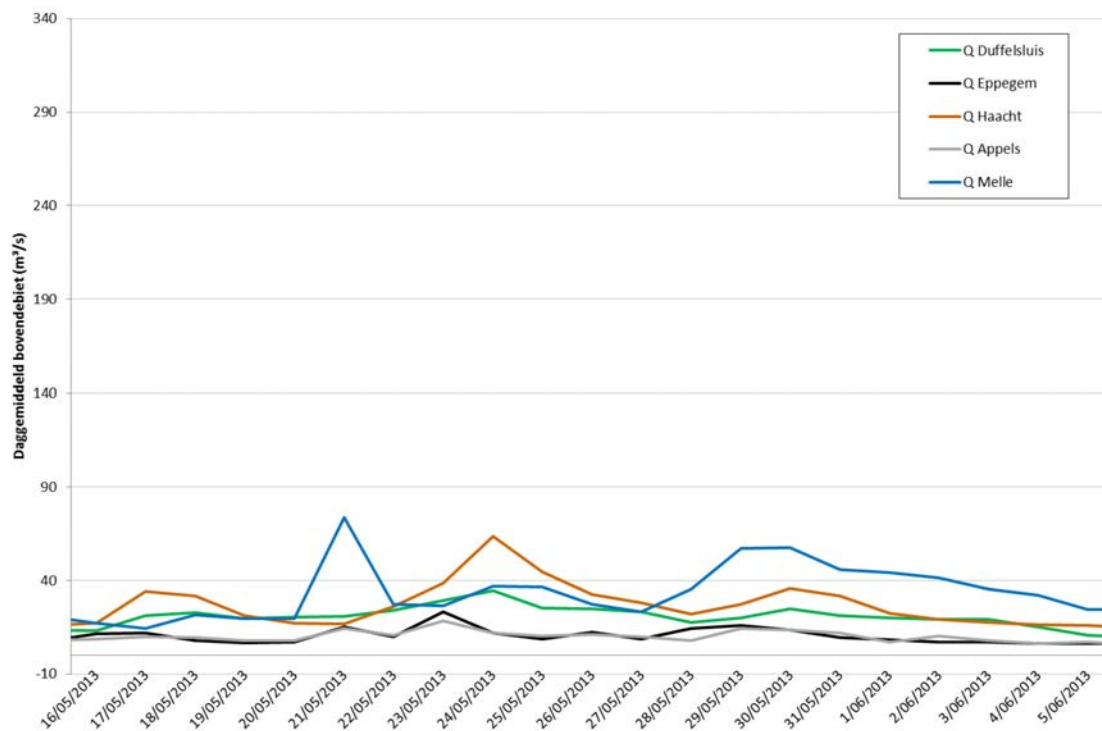
Figuur 40 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 7 maart 2013 tot 25 maart 2013

3.3.2.4 Wasregime 4: 16 mei 2013 tot 5 juni 2013

In de tweede helft van mei 2013 viel behoorlijk wat neerslag in het centrum van Vlaanderen. In Noord-Frankrijk bleef het toen relatief droog (zie Figuur 41). Dit zorgde ervoor dat voornamelijk de meetraai te Haacht een verhoogde afvoer registreerde. Door de beperkte neerslag in het westen was de daggemiddelde afvoer van de Dijle ongeveer even groot als de daggemiddelde afvoer gemeten te Melle (zie Figuur 42).



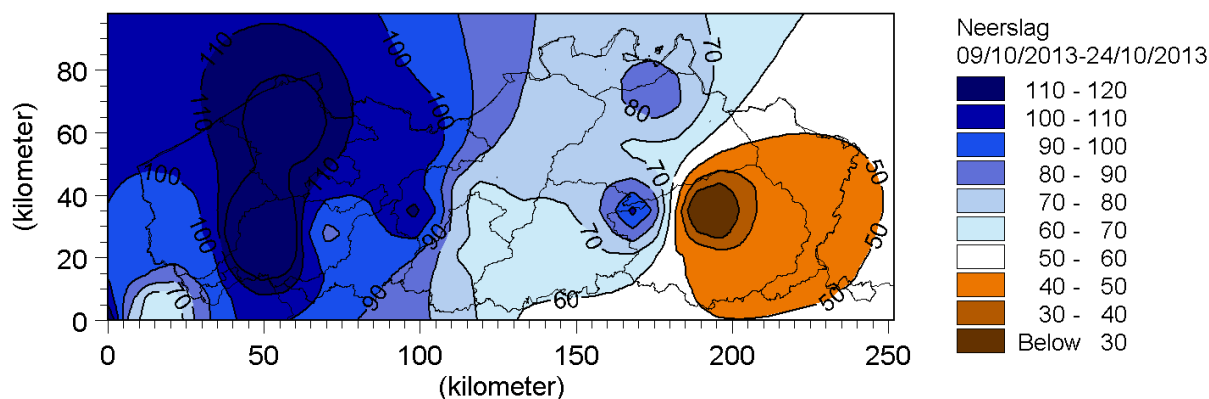
Figuur 41 - Gevallen neerslag 16 mei 2013 tot 5 juni 2013



Figuur 42 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 16 mei 2013 tot 5 juni 2013

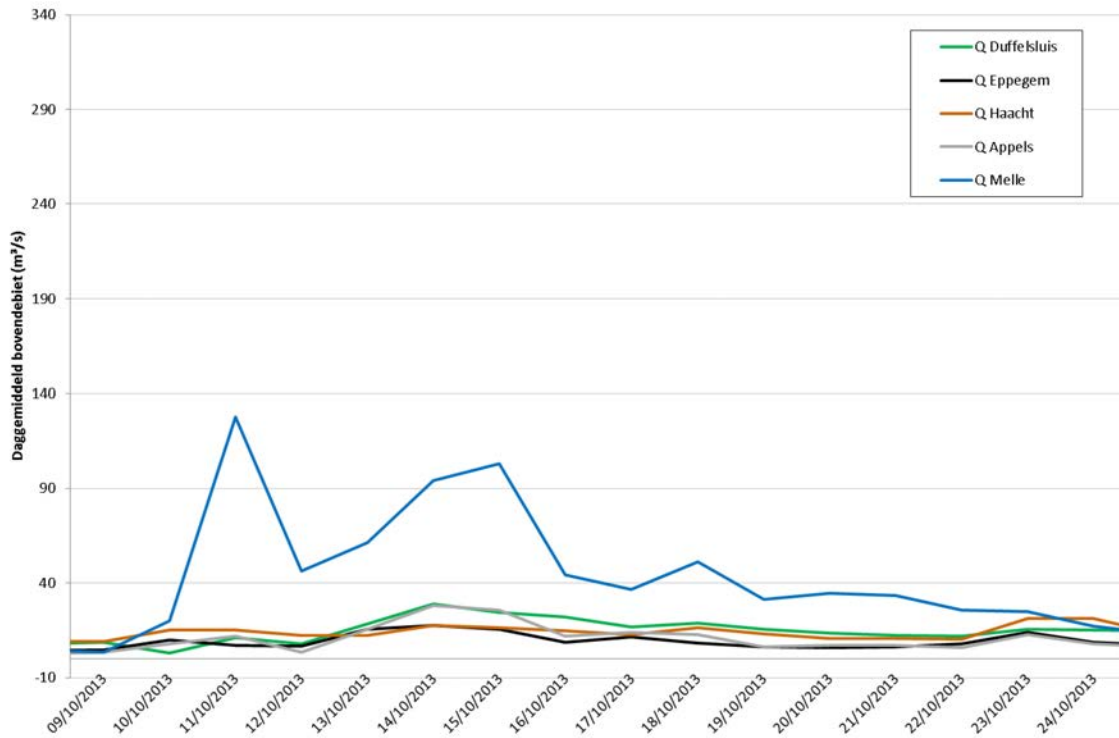
3.3.2.5 Wasregime 5: 9-10-2013 tot 24-10-2013

Het eerste moment van verhoogde afvoer na de droge zomerperiode viel in 2013 in de maand oktober. De neerslag viel voornamelijk in de westelijke landshelft, waarbij het Demer en oostelijk deel van het Netebekken veel minder neerslag vingen en een matige neerslagverdeling in de rest van Vlaanderen plaatsvond (zie Figuur 43).

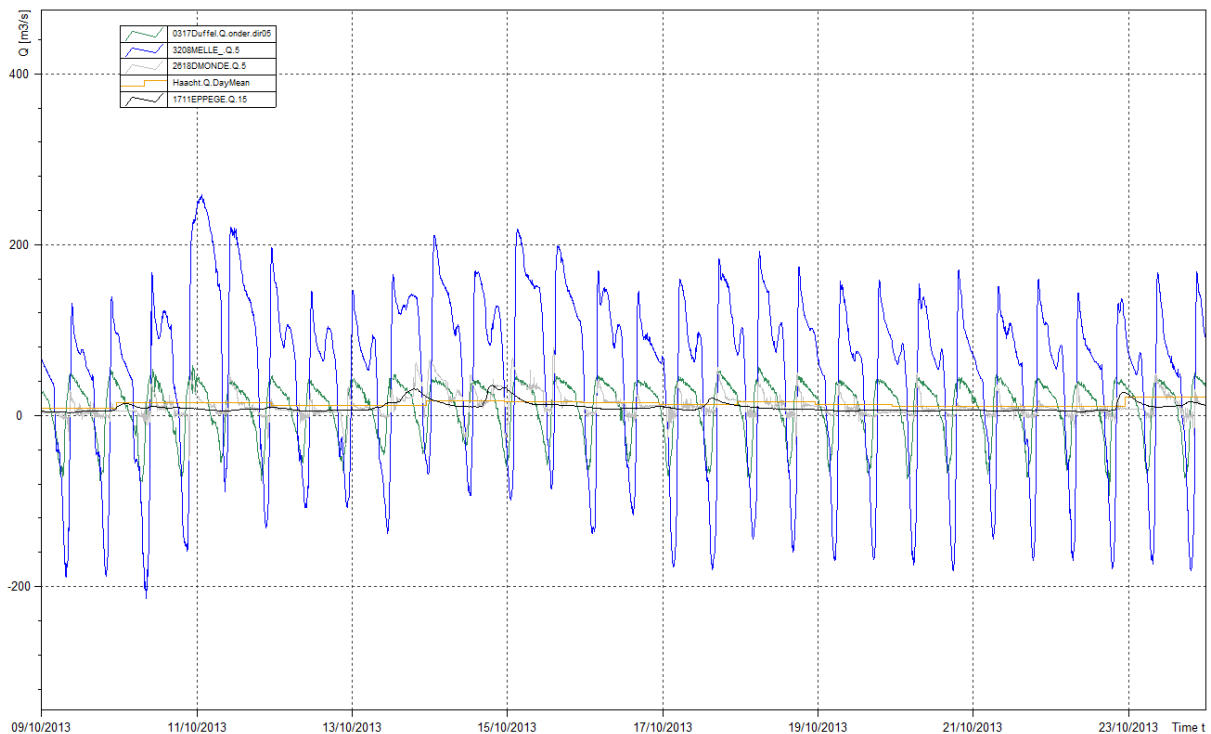


Figuur 43 - Gevallen neerslag 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013

Net zoals tijdens het wasevent in maart, zijn ook hier de verhoogde debieten beperkt tot de meetraai in Melle (zie Figuur 44) en ook hier is de verhoging beperkt, waardoor de vloedstroom niet volledig tegengewerkt wordt en er van schijntij tijdens dit event geen sprake is (zie Figuur 45).



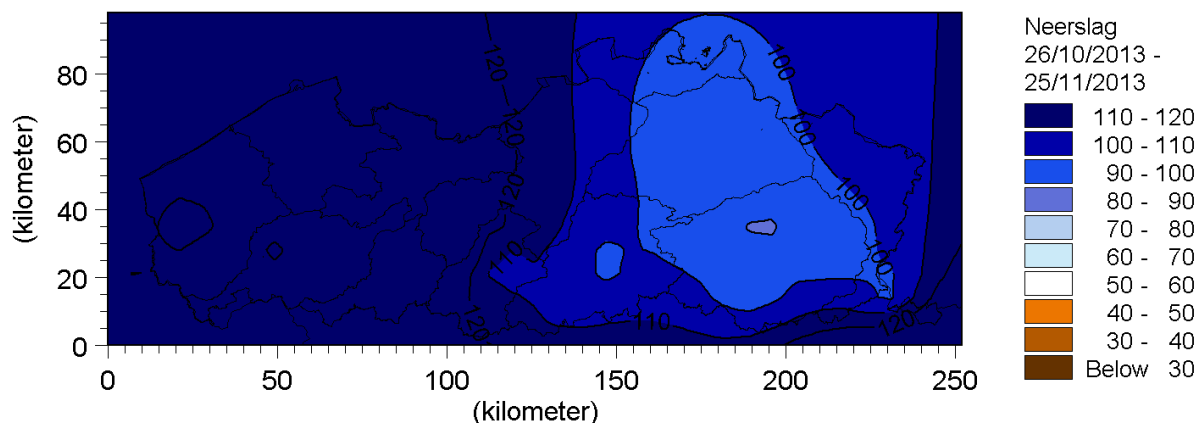
Figuur 44 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013



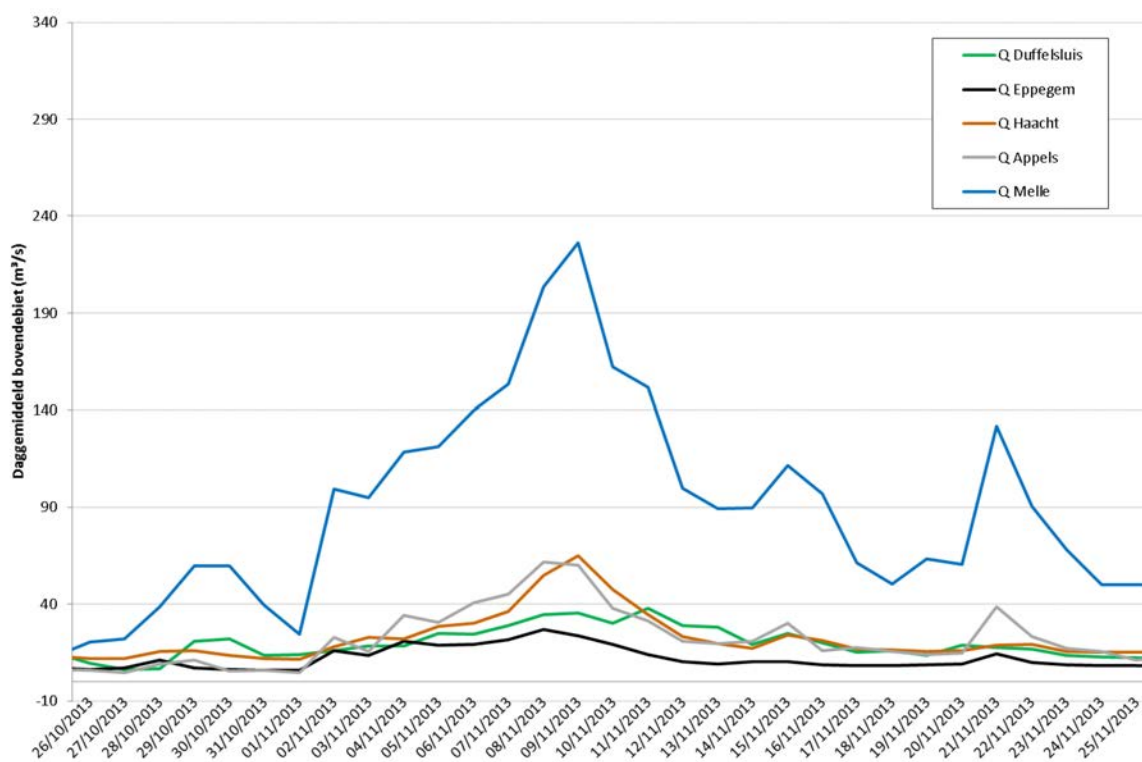
Figuur 45 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 9 oktober 2013 tot 24 oktober 2013

3.3.2.6 Wasregime 6: 26-10-2013 tot 25-11-2013

Op het einde van de maand oktober en de gehele maand november heeft het ook behoorlijk geregend (zie Figuur 46), waarbij vooral rond 9 tot 11 november de afvoeren sterk verhoogd waren (zie Figuur 47). Tijdens dit event reageerden wel alle rivieren, maar zoals gewoonlijk blijft de meetraai in Melle de grootste bijdrage leveren naar de totale afvoer van de Zeeschelde.

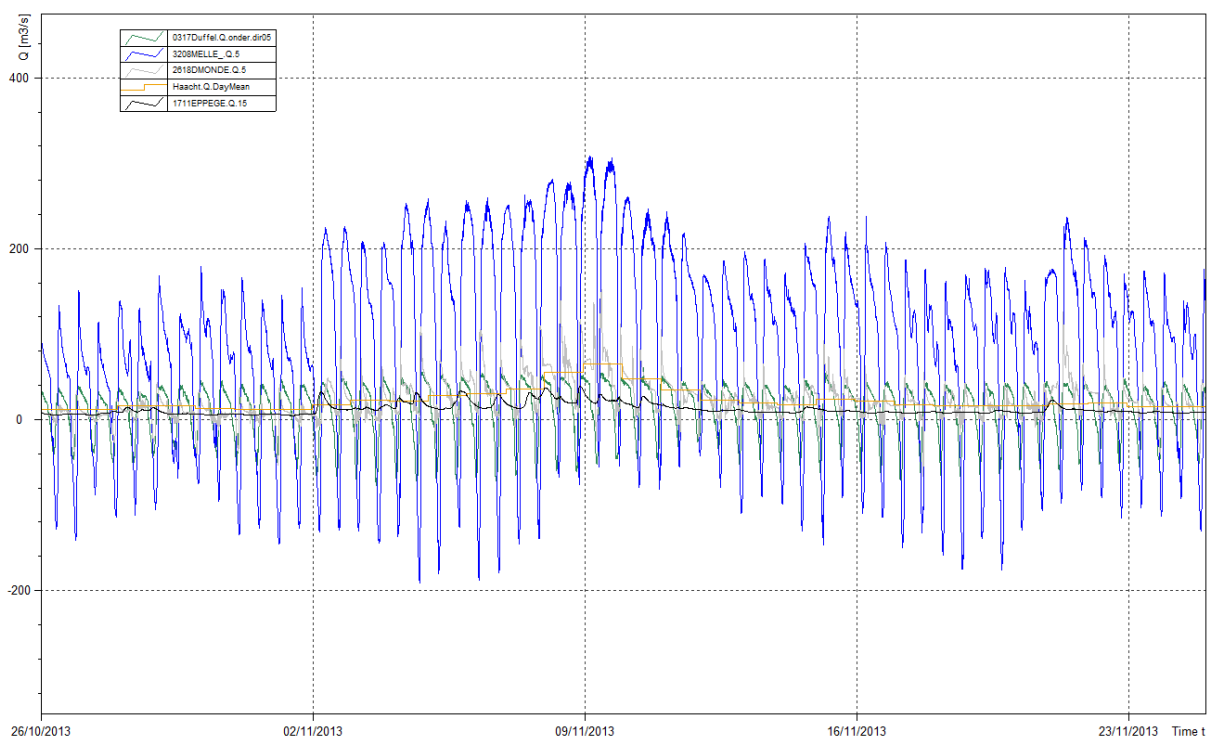


Figuur 46 - Gevallen neerslag 26 oktober 2013 tot 25 november 2013



Figuur 47 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 26 oktober 2013 tot 25 november 2013

Ondanks de sterk verhoogde afvoer in Melle wordt ook hier de vloedstroom niet volledig tegengewerkt en vindt geen schijntij plaats (zie Figuur 48).

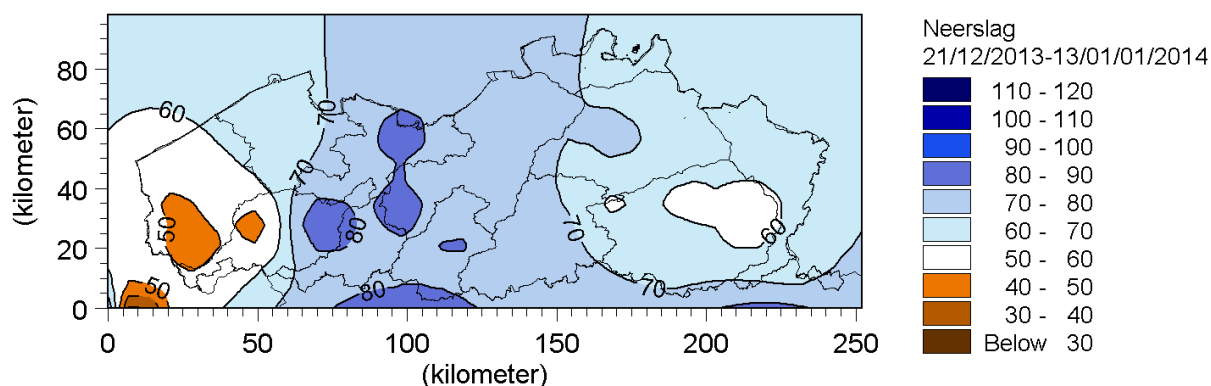


Figuur 48 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 26 oktober 2013 tot 25 november 2013

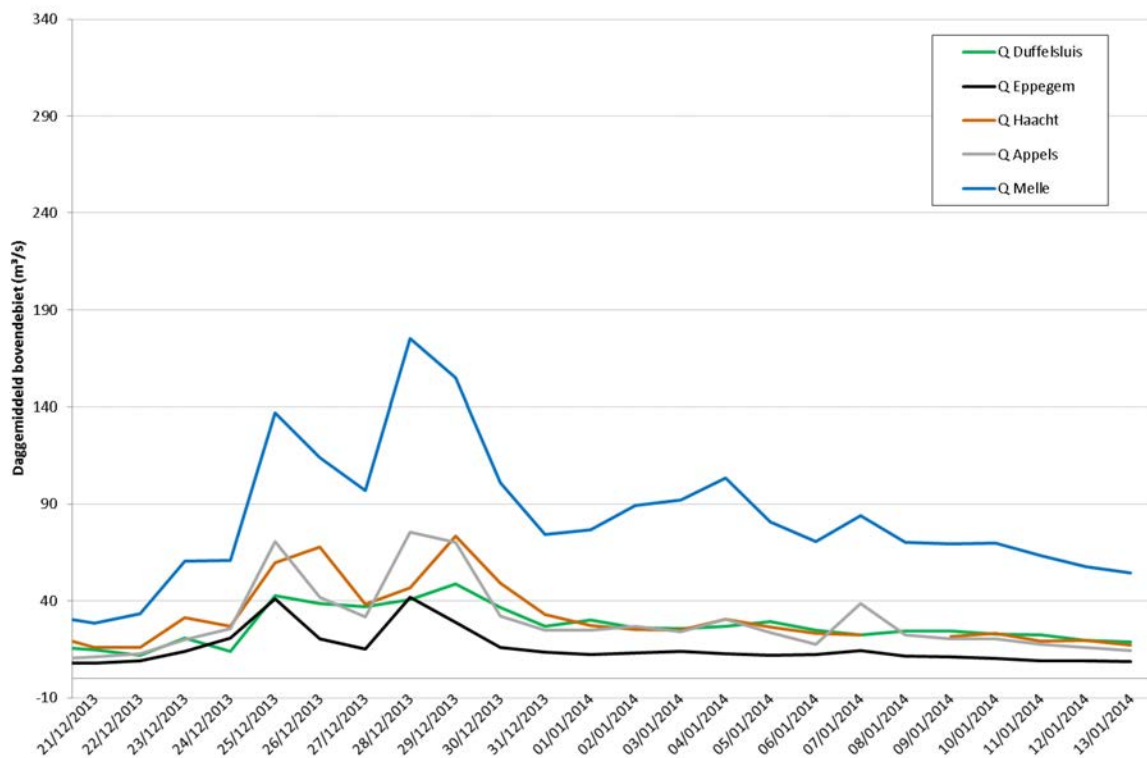
3.3.2.7 Wasregime 7: 21-12-2013 tot 13-01-2014

Het laatste wasevent dat voor verhoogde afvoeren gezorgd heeft in 2013, was een neerslagperiode rond de kerstvakantie. Daarbij viel de neerslag voornamelijk in het centrum van het land en bleven voornamelijk de bovenlopen van de Leie wat buiten schot (zie Figuur 49). Hierdoor draagt voor dit wasevent de meetraai te Melle respectievelijk wat minder bij tot de totale afvoer in de Zeeschelde dan de anderen bijrivieren, alhoewel de afvoer te Melle wel nog steeds het grootste is (zie Figuur 50).

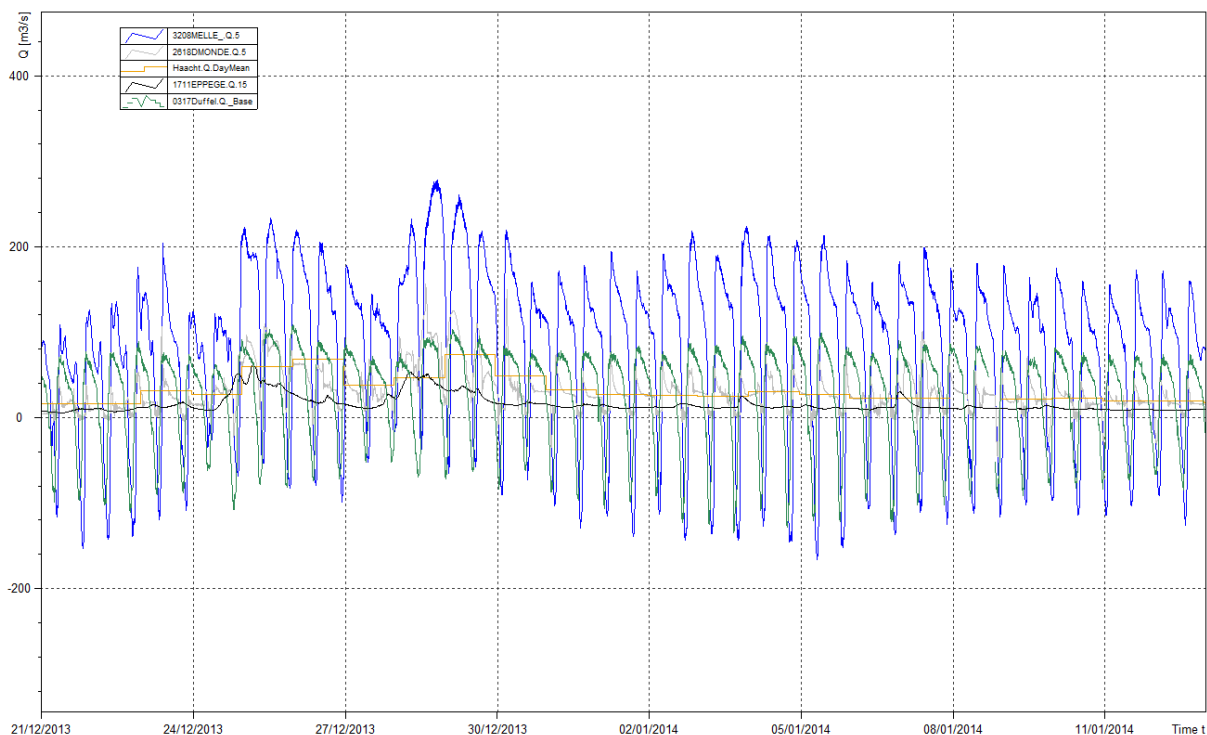
Ook bij dit wasevent ondervindt de meetraai te Melle enige opstuwing door de vergrote afvoer, maar de vloedstroming wordt ook hier niet (tijdelijk) onderbroken (zie Figuur 51).



Figuur 49 - Gevallen neerslag 21 december 2013 tot 13 januari 2014



Figuur 50 - Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de meetraaien van 21 december 2013 tot 13 januari 2014



Figuur 51 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien van 21 december 2013 tot 13 januari 2014

Het jaar 2013 was dus wat afvoer aan de randen van het tijgebied van het Zeescheldebekken aangaat, gekenmerkt door:

- zeven wasperiodes

- waarvan twee gerapporteerd in afzonderlijke wasrapporten:

- de wasperiode eindejaar 2012 in Boeckx et al. (2013) (wasregime 1)
- de wasperiode januari-februari beschreven in Deschamps et al. (2013) (wasregime 2)

- waarvan vier niet gerapporteerd:

- Wasregime 3: 07-03-2013 tot 25-03-2013
- Wasregime 4: 16-05-2013 tot 05-06-2013
- Wasregime 5: 09-10-2013 tot 24-10-2013
- Wasregime 6: 26-10-2013 tot 25-11-2013
- Wasregime 7: 21-12-2013 tot 13-01-2014

- één periode van kleine tot zeer kleine bovenafvoer van begin augustus tot midden september 2013

4. Jaaroverzicht fysische parameters

Door het Waterbouwkundig Laboratorium worden fysische parameters zoals temperatuur, conductiviteit en turbiditeit, zowel op continue meetlocaties als tijdens singuliere meetcampagnes gemeten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de gemeten fysische parameters.

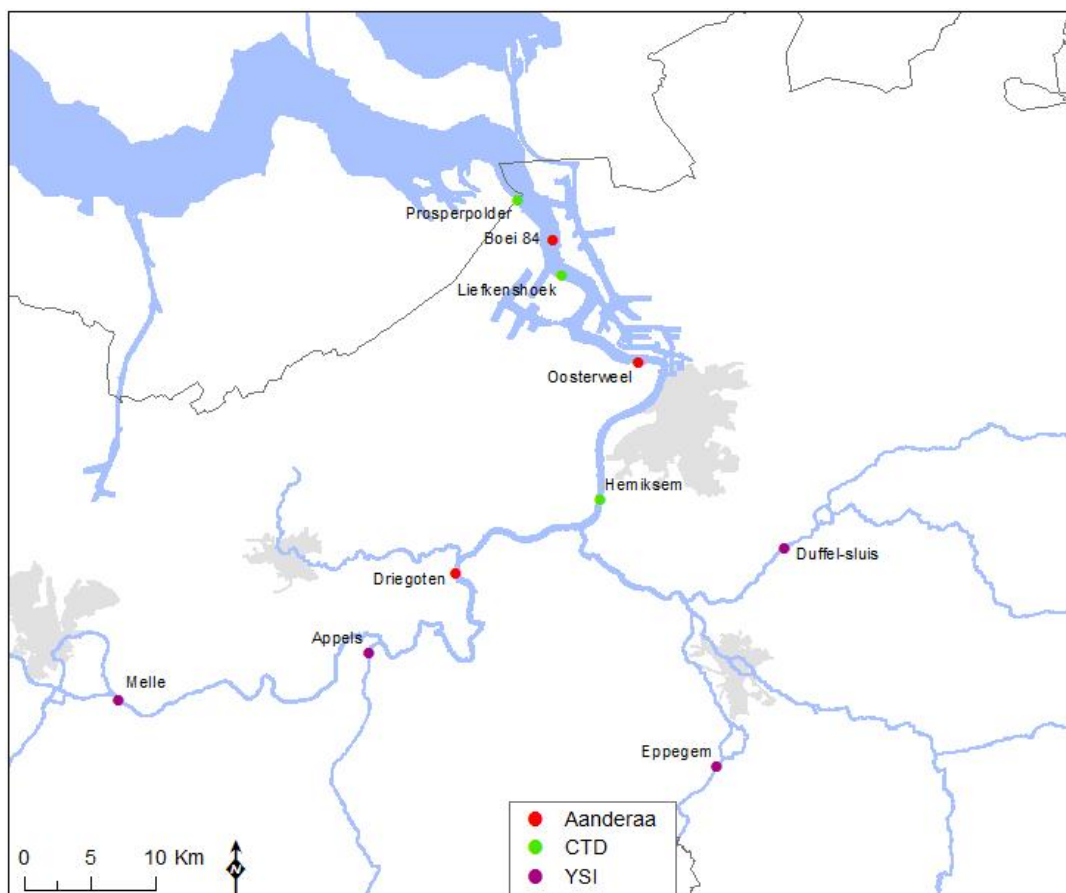
Voor achtergrond en duiding bij de monitoring van fysische parameters in het Zeescheldebekken wordt verwezen naar het bijhorende methodologie-document genaamd "Basisboek" (Taverniers et al., 2013). Hierin worden de gebruikte meettoestellen in detail beschreven, evenals de meetlocaties. Daarenboven zijn in dit rapport de typische verlopen van de fysische parameters in functie van het getij en de seizoenen voor de verschillende meetposten opgenomen.

4.1. Continue metingen "fysische parameters"

4.1.1. Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"

Op zeven meetplaatsen in de Zeeschelde (Prosperpolder, Boei 84, Liefkenshoek, Oosterweel, Hemiksem, Driegoten en Melle), één meetplaats in de Dender (Appels), één meetplaats in de Zenne (Epegem) en op één meetplaats in de Beneden-Nete (Duffelsluis) worden met behulp van multiparameter-toestellen op continue wijze verschillende fysische parameters geregistreerd (zie Figuur 52).

Op meetlocaties te Boei 84 en te Oosterweel hangen telkens twee multiparametertoestellen, het onderste op 1 à 1,5 m boven de bodem en het bovenste op 4,5 m boven de bodem (ongeveer een meter onder het peil van laag-laagwater). Op de meetposten Prosperpolder, Liefkenshoek, Hemiksem, Driegoten, Melle en Duffelsluis werd er telkens één toestel opgesteld. Tabel 13 geeft een overzicht van welk toesteltype op welke locatie hangt, alsook welke parameters deze toestellen registreren en met welk tijdsinterval.



Figuur 52 - Localisatie van Moneos-metposten in Zeeschelde en bijrivieren waar continue monitoring van fysische parameters plaatsvindt

Tabel 13 - Overzicht van de toesteltypes van multi-parametertoestellen ingezet in 2013 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren

Toesteltype	Gemeten parameters	Meetlocatie	Rivier
Aanderaa Seaguard	Totale druk	Boei 84 (boven + onder)	Beneden-Zeeschelde
	Temperatuur	Oosterweel (boven + onder)	Beneden-Zeeschelde
	Conductiviteit		
	Turbiditeit	Driegoten	Boven-Zeeschelde
	Stroomrichting		
	Stroomsnelheid		
Valeport-CTD	Totale druk	Prosperpolder	Beneden-Zeeschelde
	Temperatuur	Liefkenshoek	Beneden-Zeeschelde
	Conductiviteit		
		Hemiksem	Boven-Zeeschelde
YSI	Totale druk	Duffelsluis	Beneden-Nete
	Temperatuur	Melle	Boven-Zeeschelde
	Conductiviteit		
	pH		
Redoxpotentiaal	Appels	Dender	
	Turbiditeit	Epegem	Zenne
Zuurstofgehalte			
Zuurstofverzadiging			

4.1.2. Verloop stroomsnelheid- en richting meetlocaties Zeeschelde

4.1.2.1 Verloop van stroomrichting

Op drie locaties in de Zeeschelde (met name Boei 84, Oosterweel en Driegoten) werd in 2013 de stroomrichting en stroomsnelheid geregistreerd met behulp van de Aanderaa multiparametertoestellen (zie Figuur 52). Deze sondes meten de vectoriële watersnelheid in een horizontaal vlak, tot een drietal meter rondom de meetsonde. Buiten de absolute grootte van snelheid is dus ook de stroomrichting gekend. Deze geldt in het horizontale vlak, en wordt klassiek uitgedrukt in 360-delige graden t.o.v. de noordelijke richting. De gemeten waterstroomrichting duidt dus de zin aan waarnaar de stroming gaat, in tegenstelling tot windrichting.

De oriëntatie van de meetlocaties maakt dat te Boei 84 en Driegoten de stroomrichting bij eb naar het noorden georiënteerd is en dus schommelt rond $0^\circ = 360^\circ$. Bij vloed is de stroomrichting voor deze meetlocaties in zuidelijke richting georiënteerd, dus rond 180° . Te Oosterweel daarentegen, gaan de vloed- en ebstromingen volgens de Oost-West-as. De stroomrichting bij vloed gaat in oostelijke richting, of dus rond 90° , terwijl de stroomrichting bij eb naar het westen georiënteerd is, dus rond 270° .

Op alle meetlocaties schommelt het verschil tussen vloed- en ebstroming dus rond 180°. Er zijn geen lokale invloeden van riviermorfologie of van constructies die de stroomrichtingen ter hoogte van deze locaties van de Noord-Zuid of Oost-West-lijnen doen afwijken. De stroomrichting is een parameter die telkenmale bij vloed resp. eb heel constant is, en die tijdens een vloed resp. eb slechts weinig variatie kent.

Gezien er een nagenoeg éénduidige stroomrichting is bij eb en vloed, met een verschil tussen beide richtingen van ongeveer 180°, wordt het verloop van de stroomrichting in de tijd niet als dusdanig in dit rapport opgenomen. Wel wordt aan de hand van de verandering van de stroomrichting, de tijdstippen van kentering Hoog Water (KHW) en van Kentering Laag Water (KLW) bepaald. Hierdoor kunnen ook eb en vloed gedefinieerd worden: eb is de periode tussen KHW en KLW, en vloed tussen KLW en KHW.

4.1.2.2 Verloop van stroomsnelheid

Naast de stroomrichting wordt ter hoogte van Boei 84, Oosterweel en Driegoten ook de stroomsnelheid geregistreerd met behulp van de Aanderaa-multiparametersondes. Deze metingen zijn puntstroomsnelheidsmetingen. De locatie van de meetplaatsen is telkens zo representatief mogelijk voor de dwarssectie gekozen. Bij deze locatiekeuze dient telkens wel rekening gehouden te worden met het feit dat ze buiten vaargeul gelegen moet zijn en aan een steiger of dukdalf geplaatst moet kunnen worden. Om toch een inzicht te krijgen in de stroming en sedimenttransport doorheen de gehele dwarssectie op verschillende plaatsen in de Zeeschelde (en in de Rupel), zijn dertienuurs-metingen uitgevoerd (zie § 4.2.2).

Aangezien de stroomsnelheid rond het moment van de kenteringen naar nul terugvalt, zijn enkel gemiddelde en maximale stroomsnelheden tijdens vloed en eb interessante afgeleiden om te presenteren. Bij springtijden zijn ze groter dan bij middeltijden die dan weer groter zijn dan bij doottijden. Bij stormtijden kunnen de stroomsnelheden nog beduidend groter zijn. Buiten de aldus bepaalde "gemiddelde" stroomsnelheden bij vloed en eb, gelden ook de maximum stroomsnelheden bij vloed en eb als fysisch kenmerkend. Ook hier speelt het tijverschil dé rol van betekenis, dus is er afhankelijkheid van doottij, middeltij, springtij, stormtij.

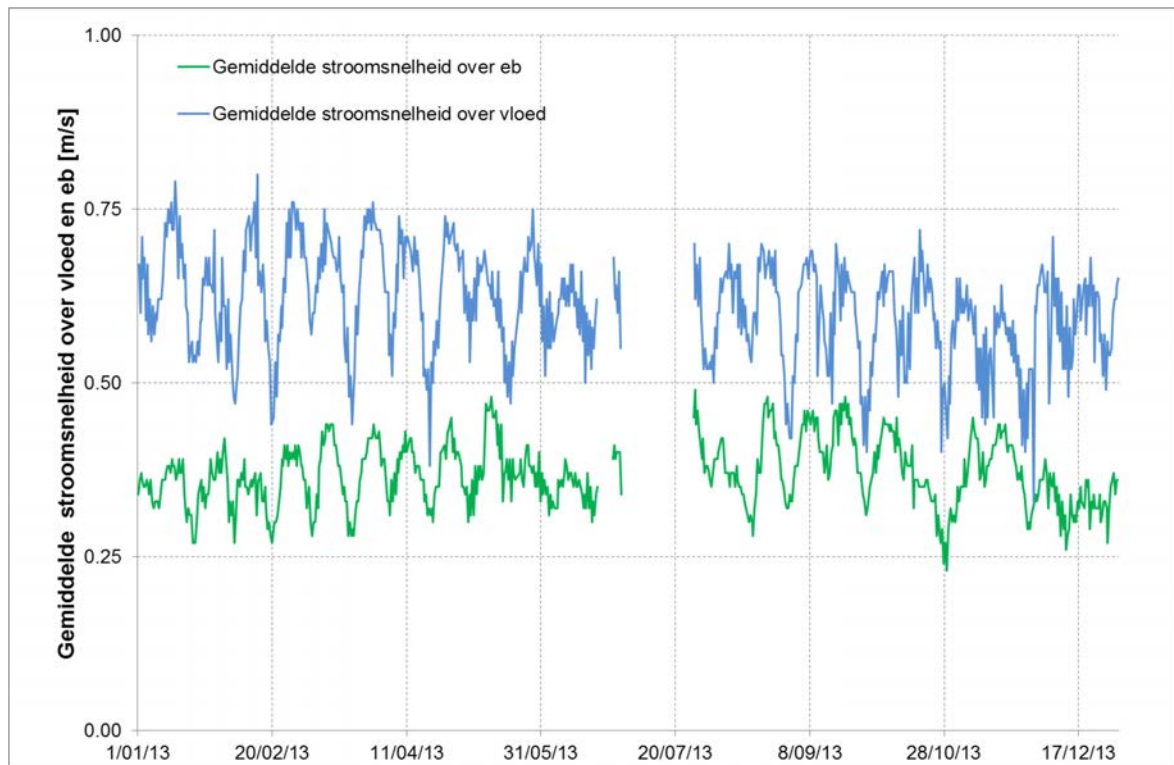
De gemiddelde en maximale snelheden over eb en vloed zijn berekend in de periode tussen twee kenteringen, waarbij het moment van kentering bepaald is op basis van de met dezelfde Aanderaa-sonde gemeten stroomrichting.

Figuur 55 tot en met Figuur 62 tonen resp. de gemiddelde stroomsnelheden (Figuur 55 t.e.m. Figuur 57) bij vloed en bij eb, en de maximale (Figuur 60 t.e.m. Figuur 62) stroomsnelheden bij vloed en bij eb en dit voor resp. de locaties Boei 84, Oosterweel, en Driegoten. Wat betreft de meetlocaties te Boei 84 en Oosterweel, is telkens eerst het resultaat van het bovenste meettoestel weergegeven en vervolgens dit van het onderste meettoestel. Op de meetlocatie van Driegoten is slechts één toestel aanwezig. Op al deze locaties is steeds het patroon van doottij/middeltij/springtij te herkennen. De variatie tijdens deze cyclus is vooral erg groot tijdens de maximale vloedstroming.

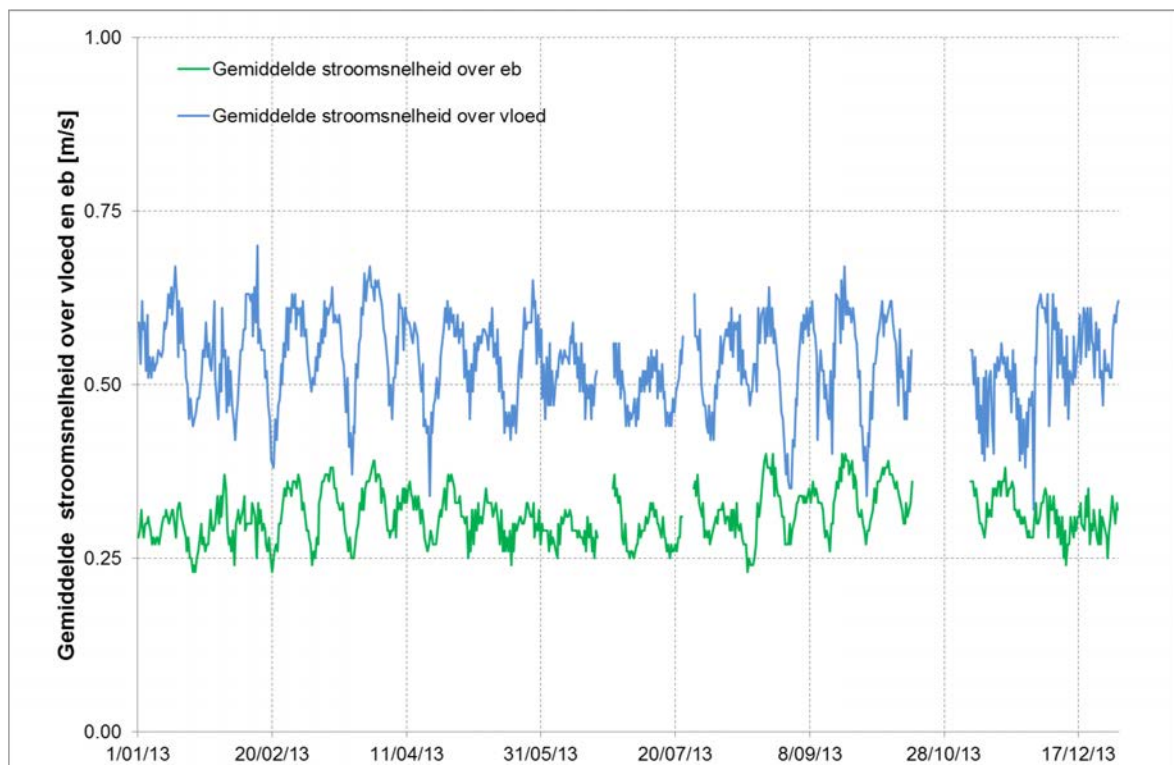
Samengevat kan worden gesteld dat de gemiddelde stroomsnelheid uiteraard groter is bij de bovenste toestellen voor Boei 84 en Oosterweel en dat in winterperiodes doorgaans grotere maximale vloodsnelheden voorkomen dan in zomerse omstandigheden. Dit wordt veroorzaakt doordat – algemeen genomen – er in de winters grotere tijverschillen aanwezig zijn dan in de zomer. Ook het feit van flink ontwikkelde springtijden, bijna-stormtijden en echte stormvloedten speelt daarin.

Aan Boei 84 zijn er uitgesproken verschillen tussen de stroomsnelheden bij vloed en deze bij eb. Voor het bovenste toestel worden hier gemiddelde snelheden bij vloed gemeten van 0,5-0,75 m/s, voor het onderste toestel liggen deze een tiental cm/s lager. Bij eb worden snelheden rond 0,3-0,5 m/s gemeten aan het bovenste toestel, en snelheden rond 0,25-0,35 m/s onderaan. De maximale snelheden op deze locatie vertonen eenzelfde trend: de maximale stroomsnelheden bij vloed zijn steeds groter dan deze bij eb in dezelfde periode beschouwd. Maximum stroomsnelheden bij vloed gaan van 0,75 à 1,5 m/s (met bij het bovenste meettoestel uiteraard grotere snelheden dan bij het toestel vlak boven bodem) en bij eb gaat het van 0,5 tot 0,85 m/s.

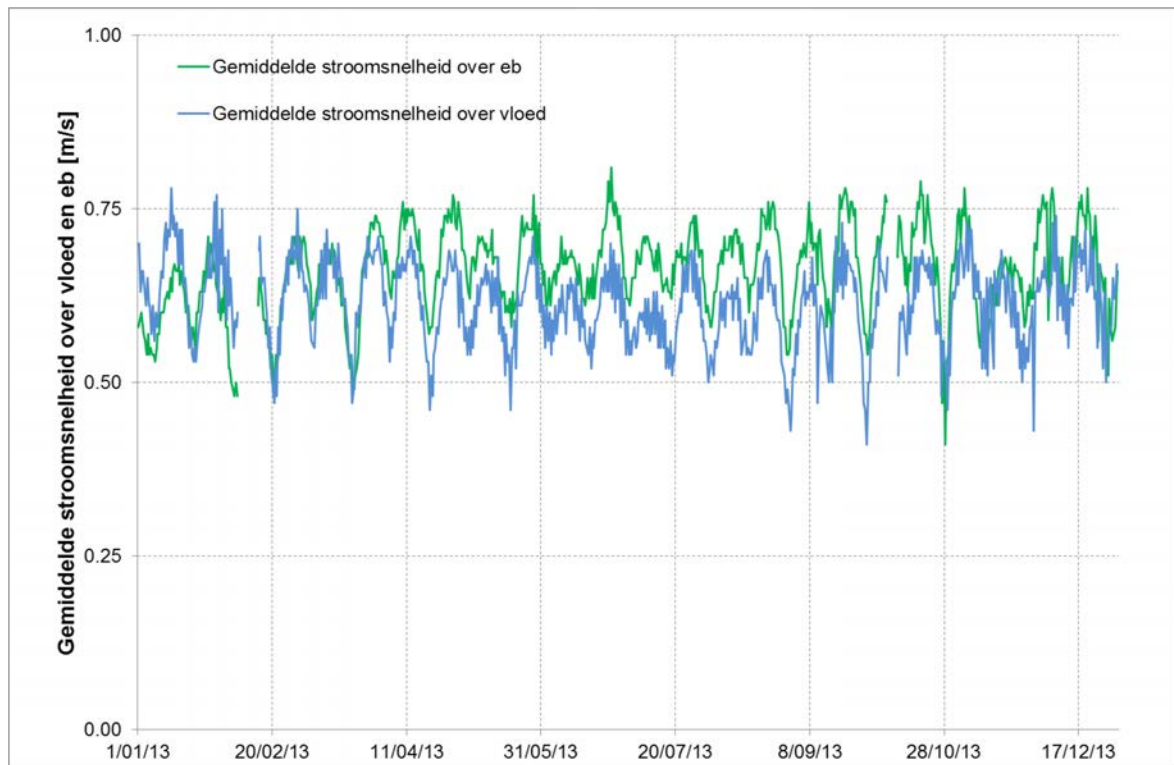
Te Oosterweel zijn (per meethoogte) de gemiddelde stroomsnelheden over vloed en over eb ongeveer gelijk; ze variëren tussen rond 0,4 en 0,6 m/s voor het toestel vlak boven de bodem, en tussen 0,5 en 0,75 m/s voor het toestel net onder laag-laagwaterpeil. De maximum-snelheden te Oosterweel over vloed zijn doorgaans groter dan deze over eb, al is het verschil voor het toestel net onder de laag-laagwaterlijn klein, en is het verschil voor het toestel boven de bodem van grootteorde 0,2 à 0,5 m/s.



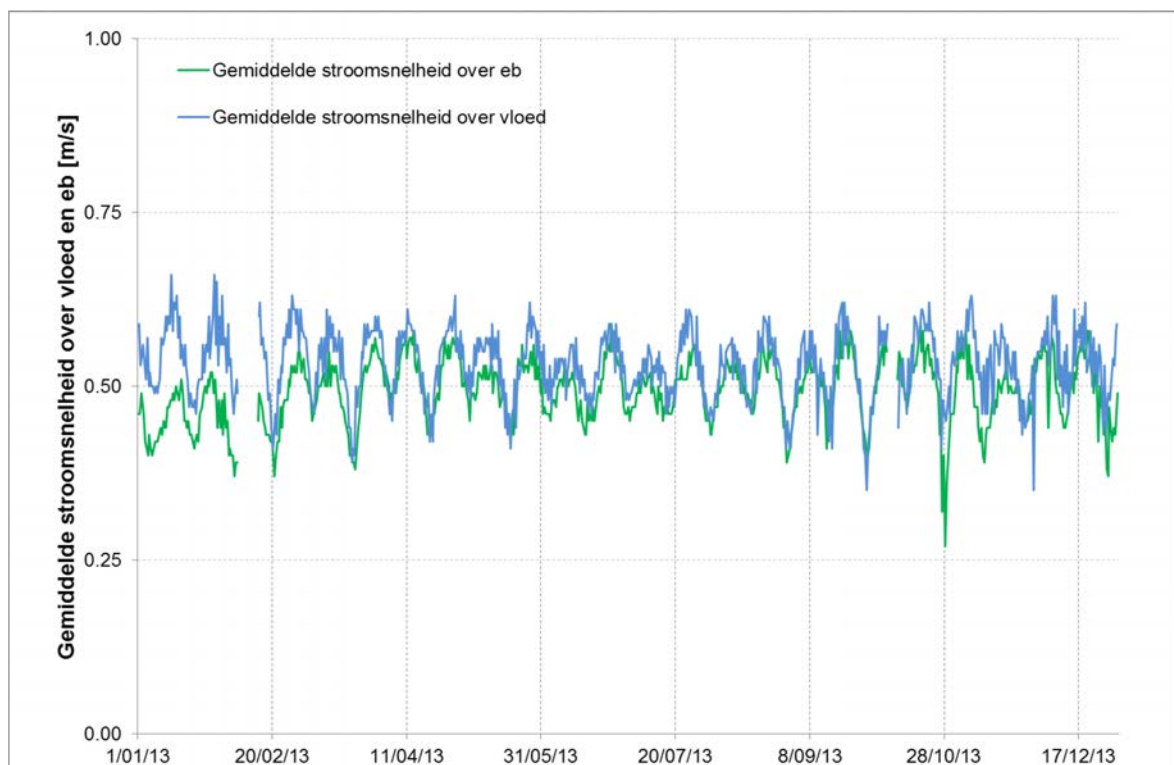
Figuur 53 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



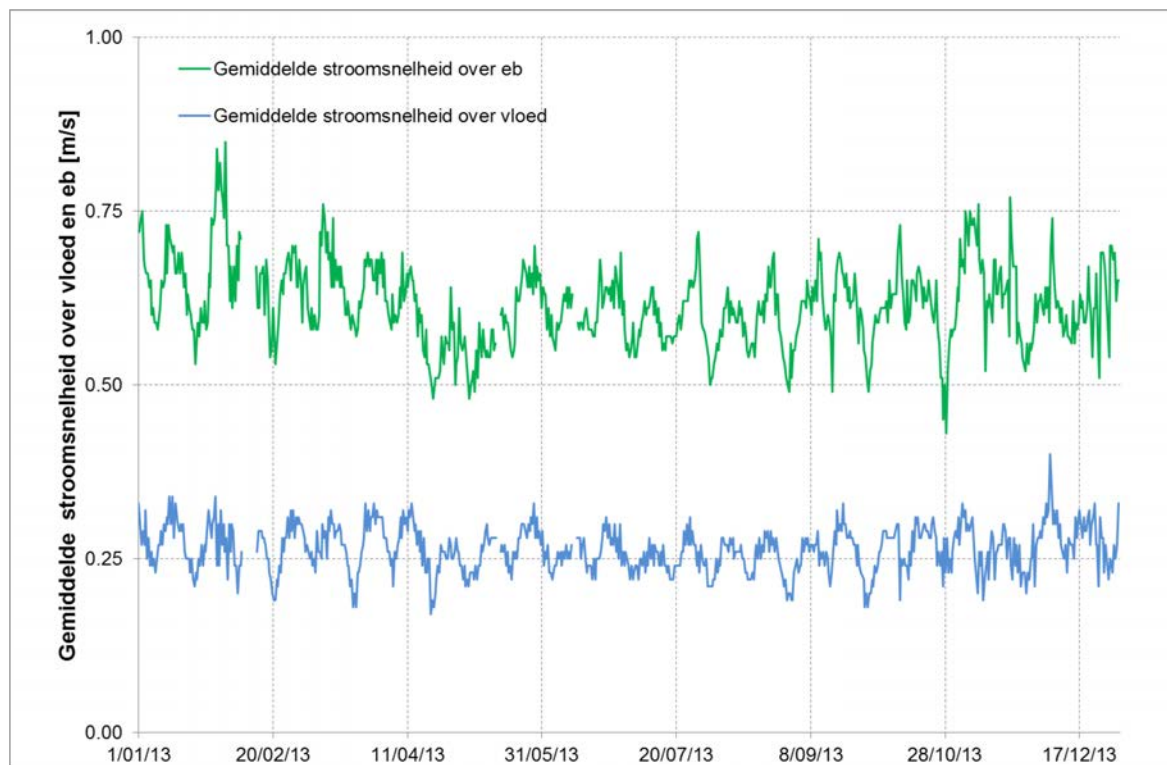
Figuur 54 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



Figuur 55 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



Figuur 56 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



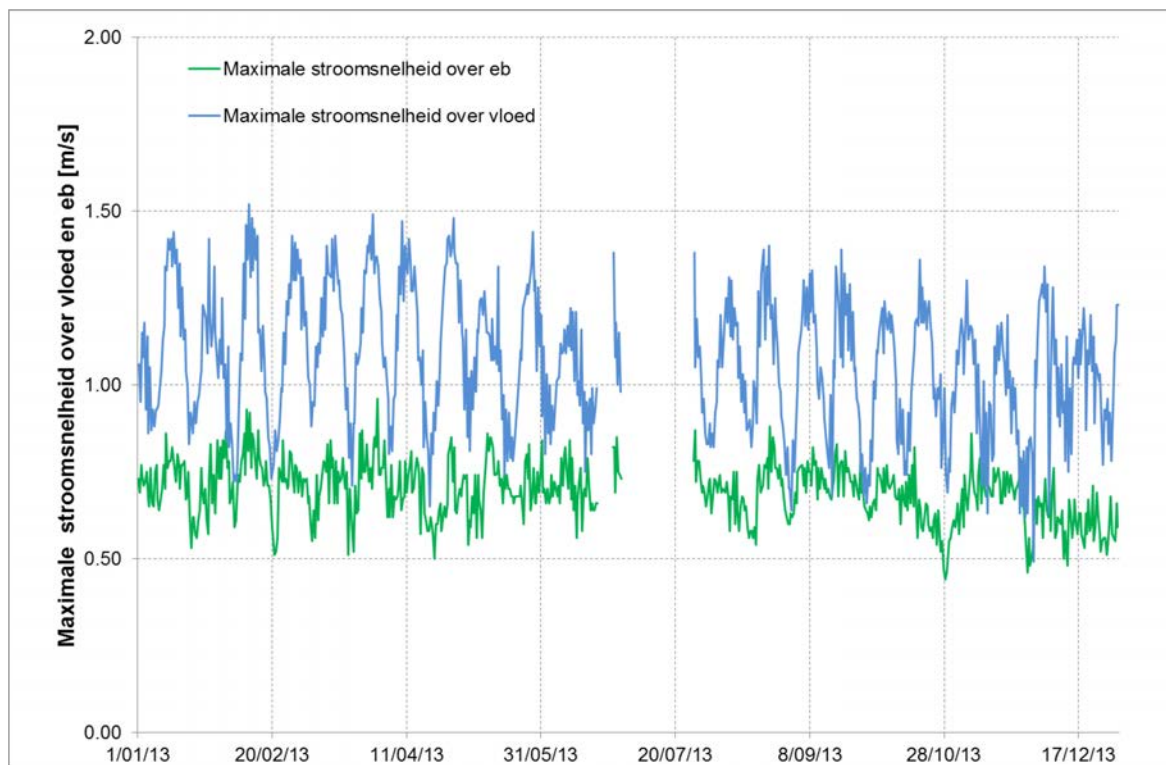
Figuur 57 - Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten (Boven-Zeeschelde)

Wat betreft de stroomsnelheden te Driegoten is het patroon omgekeerd. Hier is zowel de gemiddelde als de maximale stroomsnelheid bij eb groter dan deze bij vloed. De gemiddelde stroomsnelheden schommelen hierbij rond 0,5-0,75 m/s bij eb en rond 0,25 m/s bij vloed. De maximale stroomsnelheden variëren van 0,75-1 m/s-bij eb en van 0,3-0,75 m/s over vloed.

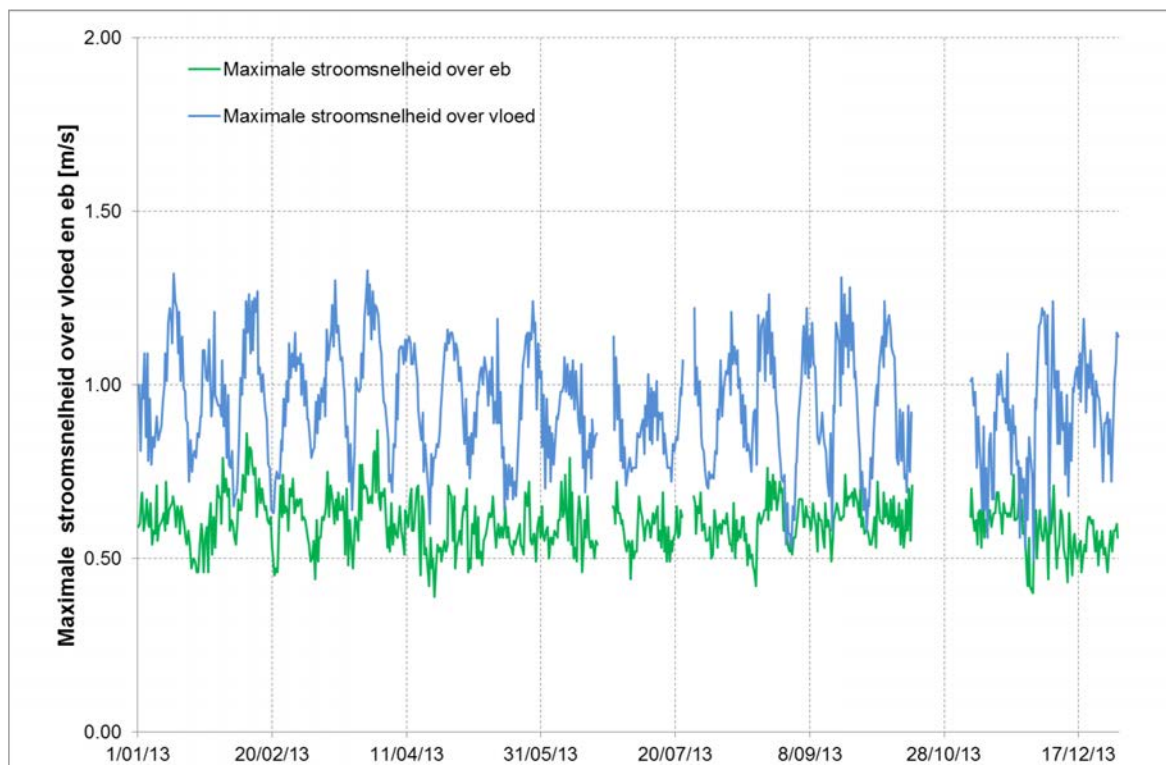
Figuur 63 geeft een samenvatting van bovenstaande grafieken voor alle meetlocaties door middel van boxplots. Door het gebruik van boxplots kunnen de mediaan (de volle lijn), de interkwartielafstand (de doos), de minimum en maximum waarden, exclusief uitschieters (whiskers) en de uitschieters (bollen en sterren) van de verschillende meetplekken vergeleken worden.

In deze figuur kan duidelijk de evolutie doorheen de rivier gevolgd worden. Waar meer stroomafwaarts te Boei 84 de stroomrichting nog duidelijk vloed-gedomineerd is, is dit nog maar weinig het geval te Oosterweel. In Driegoten ondervindt het systeem nog relatief meer invloed van de bovenafvoer, en is de stroming eb-gedomineerd.

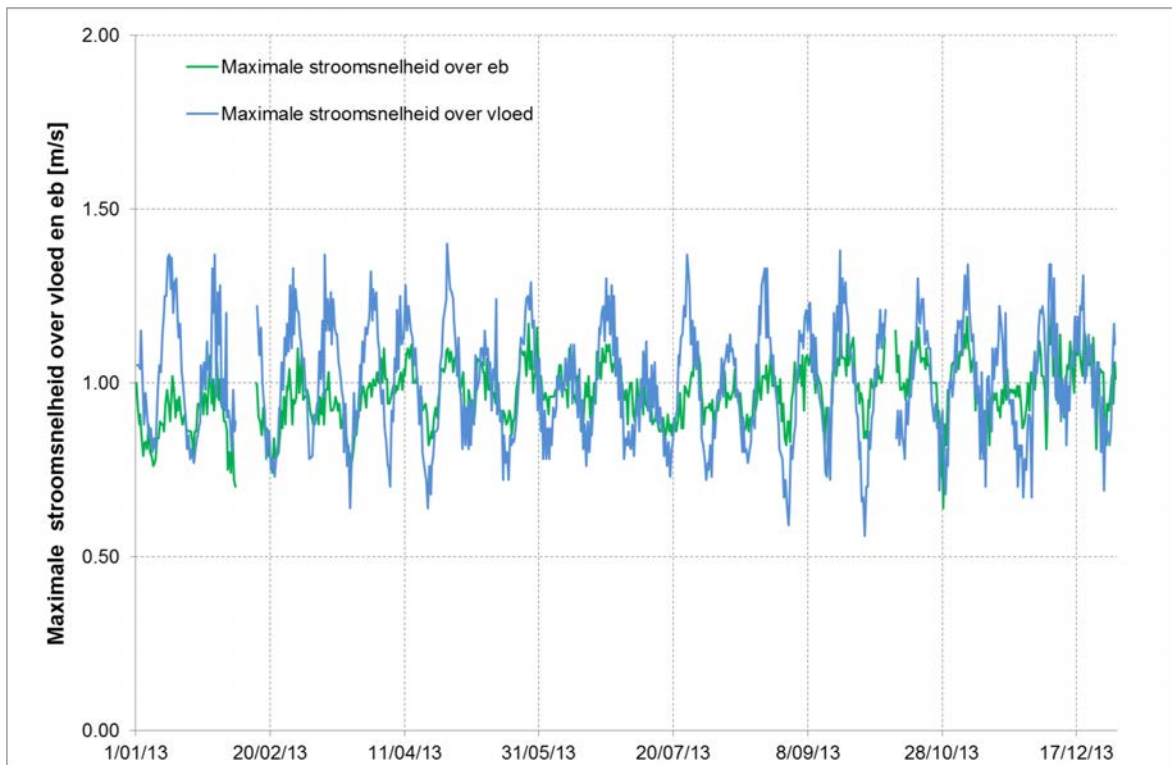
Bij deze observaties dient wel te worden opgemerkt dat de verschillen tussen de waargenomen eb- en vloedstroomheden zowel te wijten zijn aan de verschillende getijcondities op de verschillende locaties alsook aan de positie in de dwarsdoorsnede waar de metingen plaatsvinden. Waar de meetsondes te Oosterweel gelokaliseerd zijn in een recht deel van de rivier met een vrij uniforme verdeling van de stroomsnelheid, zijn de meetsondes ter hoogte van Boei 84 gelegen in het stuk waar meer vloedstroming geconcentreerd is. Het toestel te Driegoten tot slot, hangt in de buitenbocht en wordt dus voornamelijk door de ebstroming aangestroomd (de vloedstroom concentreert zich daar over de plaat van Branst op de rechteroever).



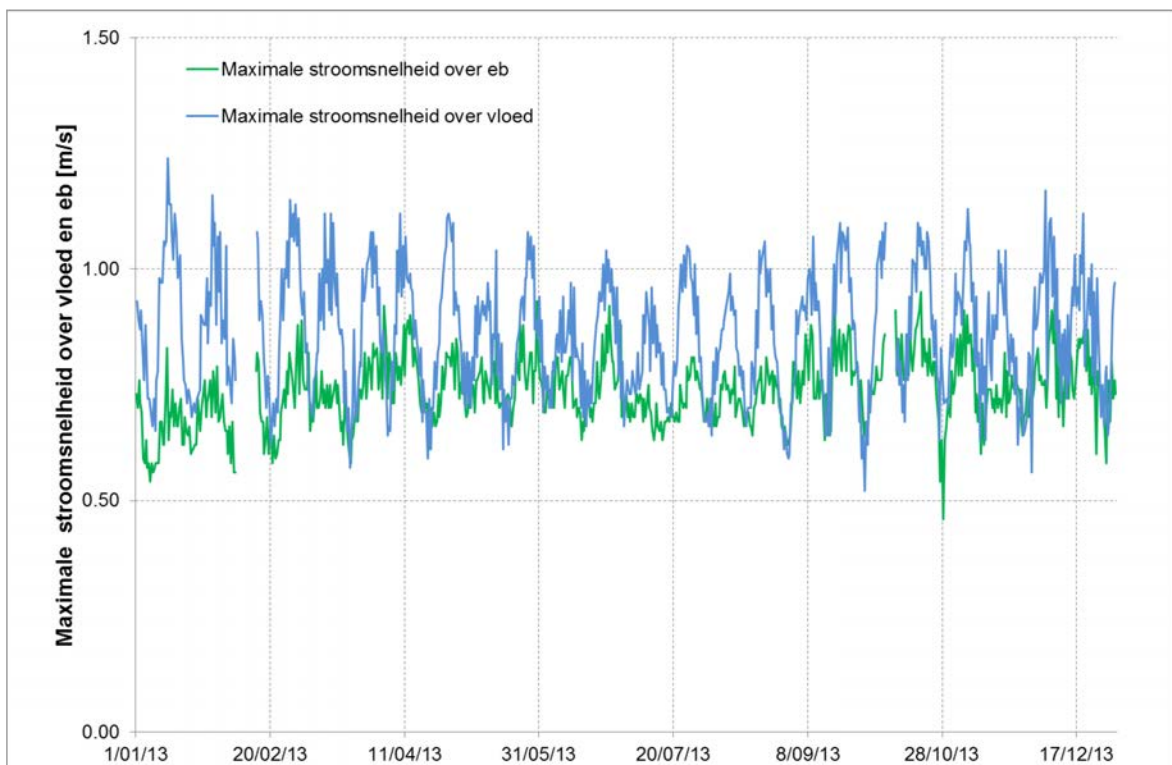
Figuur 58 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



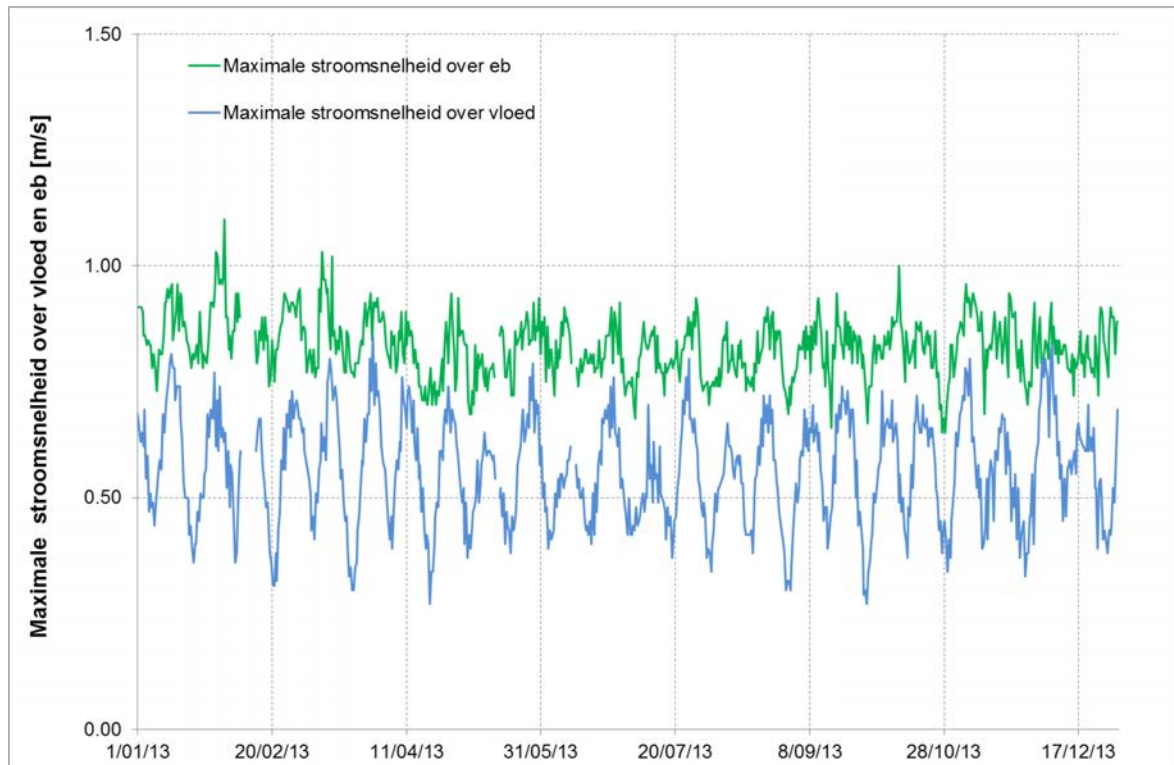
Figuur 59 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



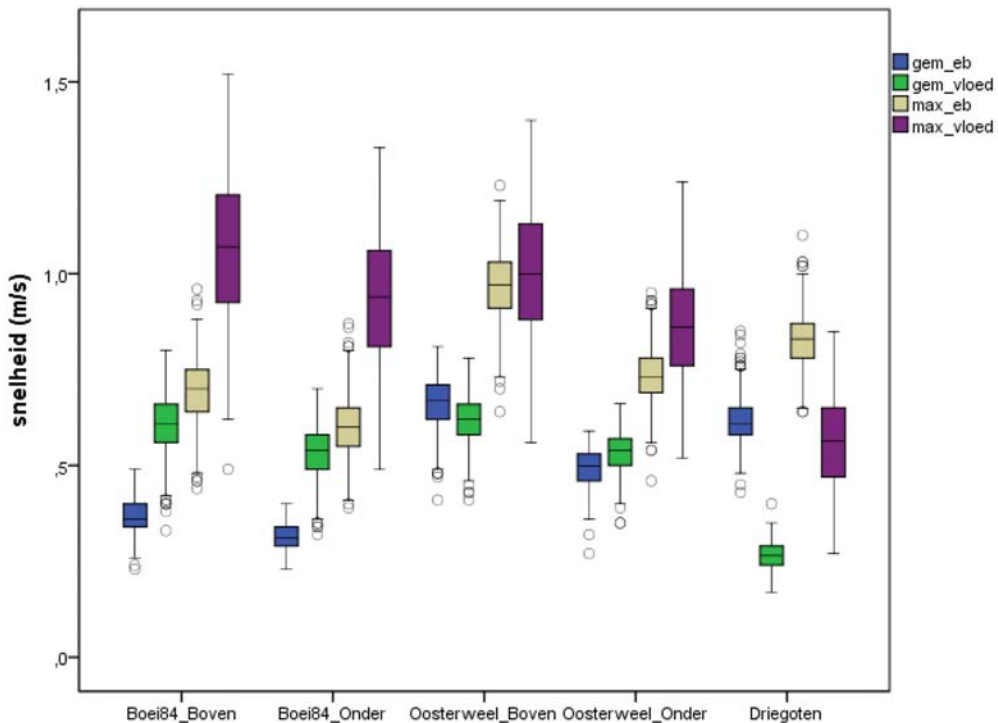
Figuur 60 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



Figuur 61 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



Figuur 62 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



Figuur 63 - Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid over vloed en over eb, gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde

Tabel 14 en Tabel 15 geven bij wijze van overzicht de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de gemiddelde en de maximale stroomsnelheid overloed en over eb voor de verschillende Aanderaa metingen in de Zeeschelde. Deze waarden tonen eveneens de vloed-dominantie stroomafwaarts ter hoogte van Boei 84, ten opzichte van de ebdominantie van de stroming ter hoogte van Driegoten, onder meer te wijten aan de respectieve meetlocaties in de dwarsdoorsnede.

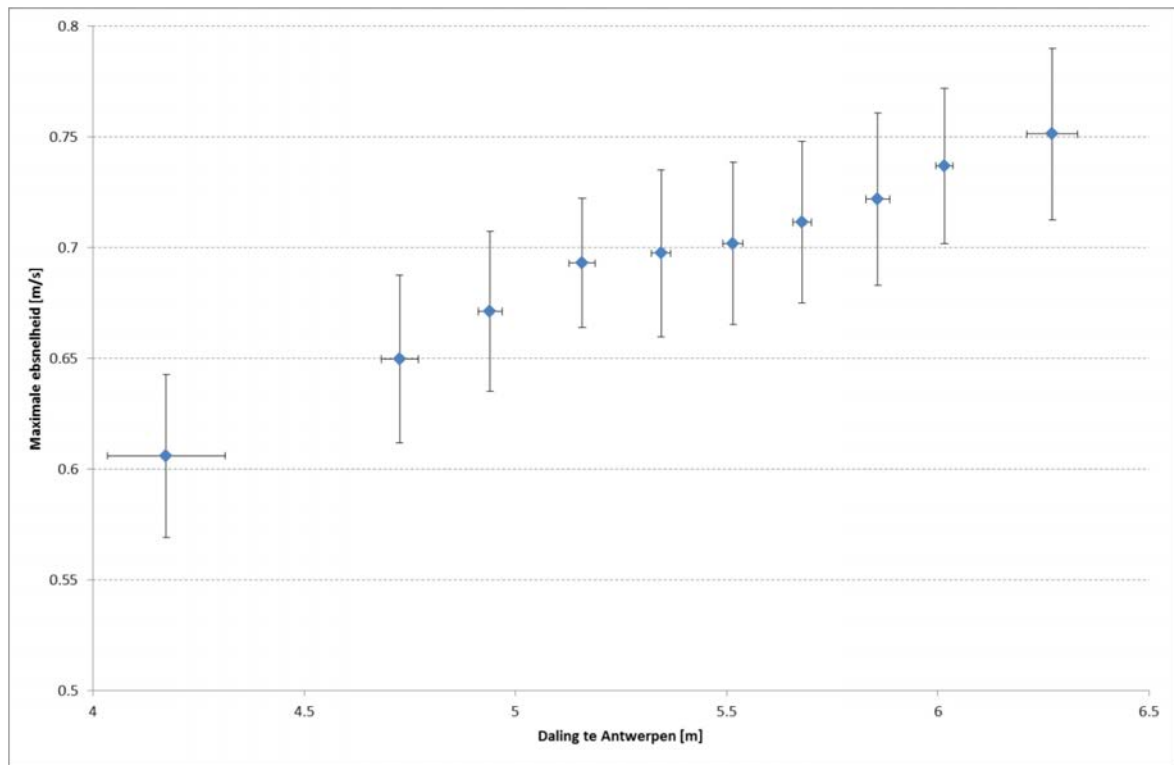
In Figuur 64 tot en met Figuur 73 wordt voor elke meetlocatie met Aanderaa toestellen (Boei 84, Oosterweel en Driegoten) de maximale eb- en vloedsnelheid weergegeven in functie van de overeenkomstige daling respectievelijk stijging van het waterpeil te Antwerpen. Meer bepaald wordt de gemiddelde stroomsnelheid en de standaardafwijking voor elk stijging- en dalingpercentiel uitgezet.

Tabel 14 - Overzicht statistieken voor de gemiddelde stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde

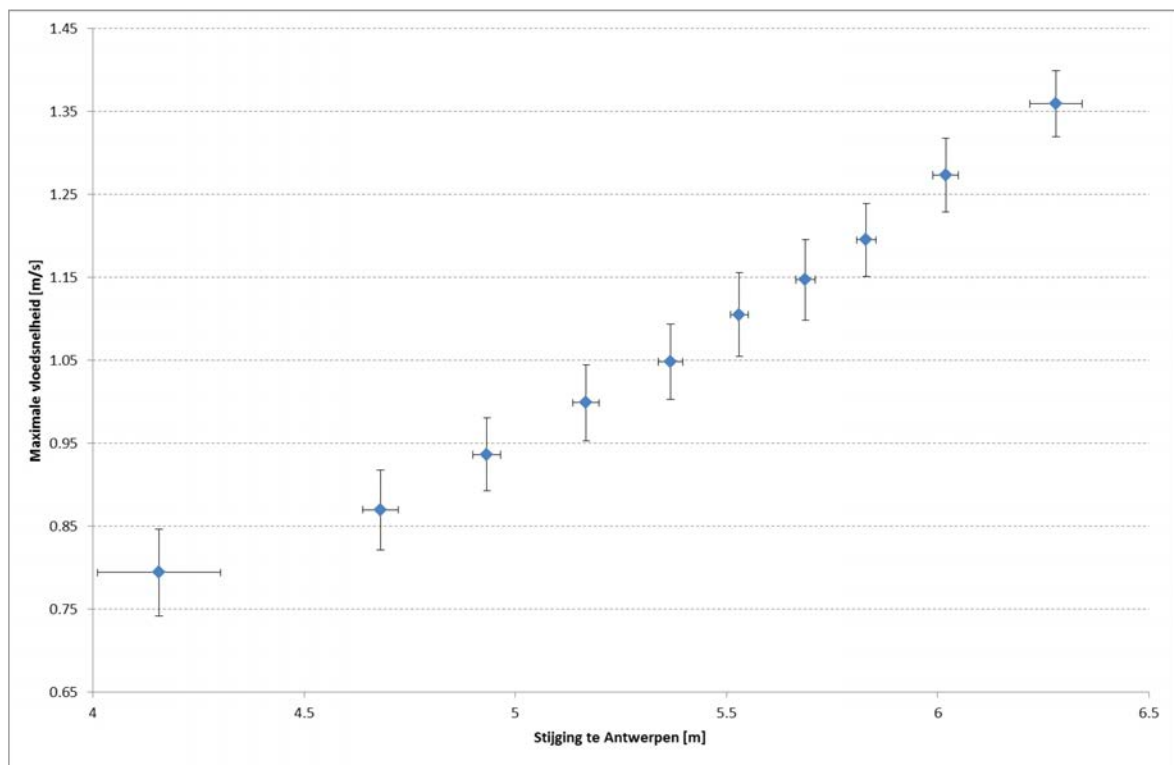
	Gemiddelde snelheid over eb (m/s)				Gemiddelde snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Boei 84 boven	0,23	0,37	0,49	0,05	0,33	0,61	0,80	0,08
Boei 84 onder	0,23	0,31	0,40	0,04	0,32	0,53	0,70	0,06
Oosterweel boven	0,41	0,66	0,81	0,06	0,41	0,61	0,78	0,06
Oosterweel onder	0,27	0,49	0,59	0,05	0,35	0,53	0,66	0,05
Driegoten	0,43	0,62	0,85	0,06	0,17	0,26	0,40	0,03

Tabel 15 - Overzicht statistieken voor de maximale stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde

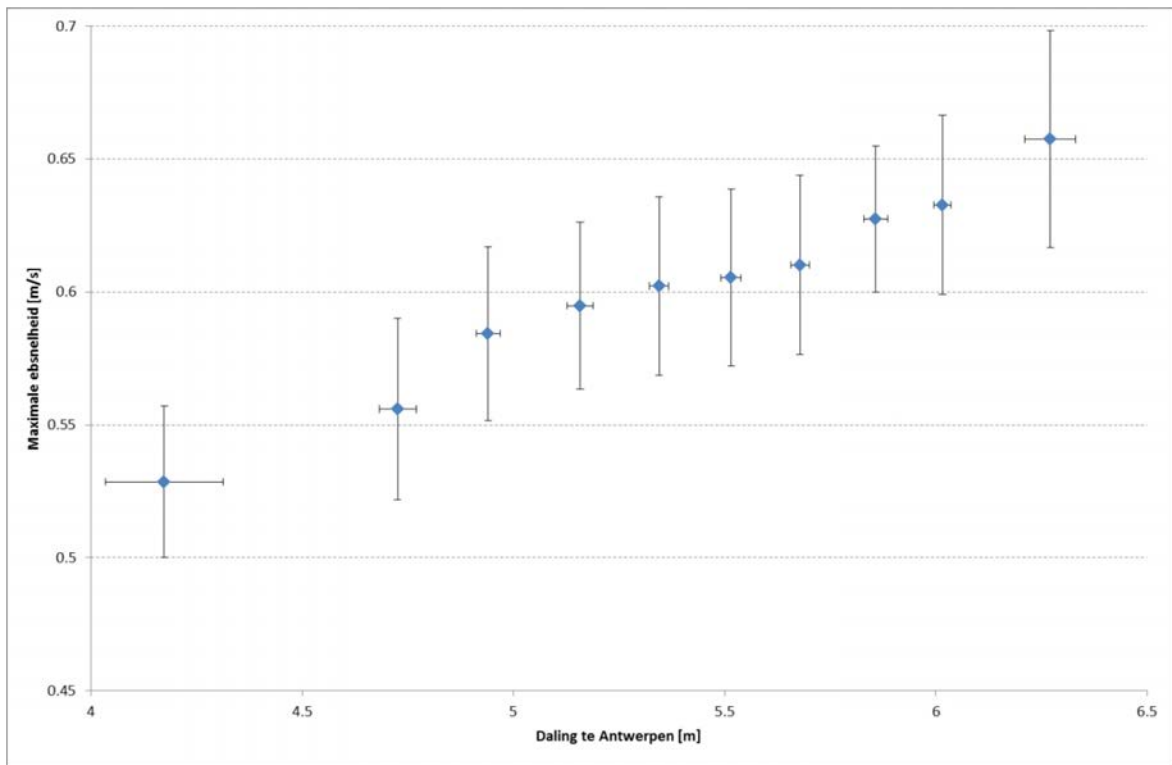
	Maximum snelheid over eb (m/s)				Maximum snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Boei 84 boven	0,44	0,69	0,96	0,08	0,49	1,07	1,52	0,19
Boei 84 onder	0,39	0,60	0,87	0,07	0,49	0,94	1,33	0,16
Oosterweel boven	0,64	0,97	1,23	0,09	0,56	1,00	1,40	0,16
Oosterweel onder	0,46	0,74	0,95	0,07	0,52	0,86	1,24	0,13
Driegoten	0,64	0,83	1,10	0,07	0,27	0,56	0,85	0,12



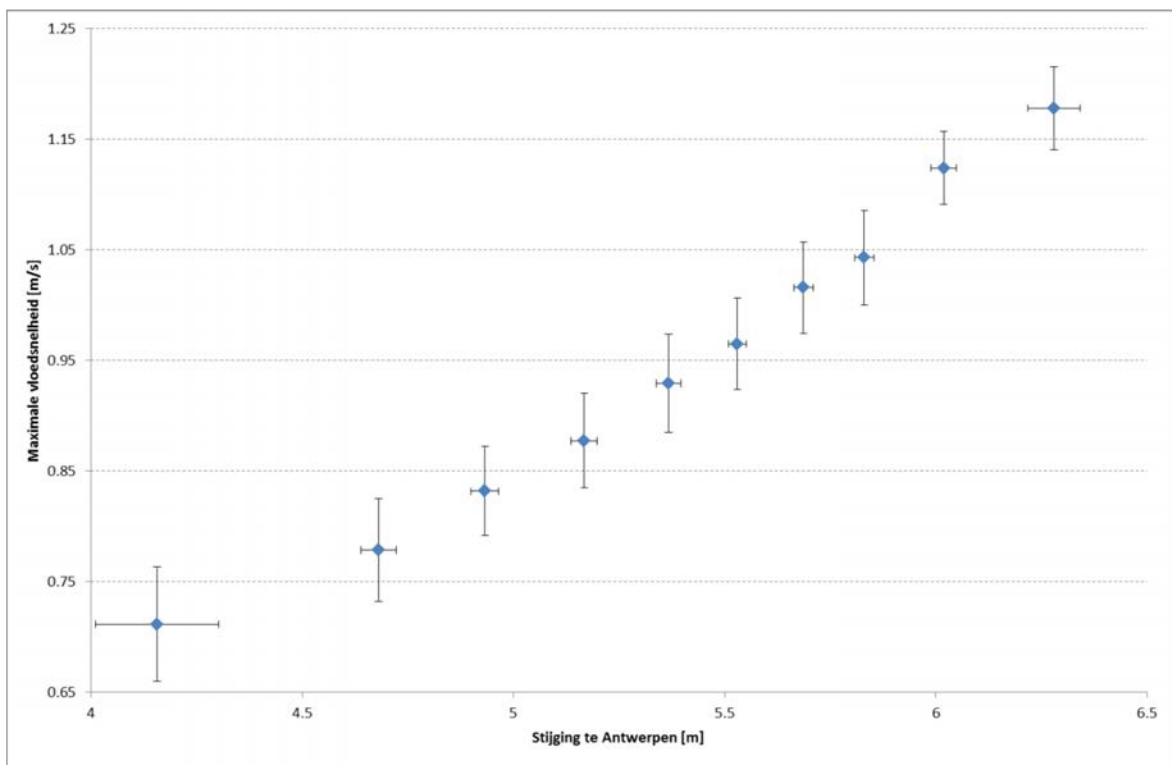
Figuur 64 - Maximale ebsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen



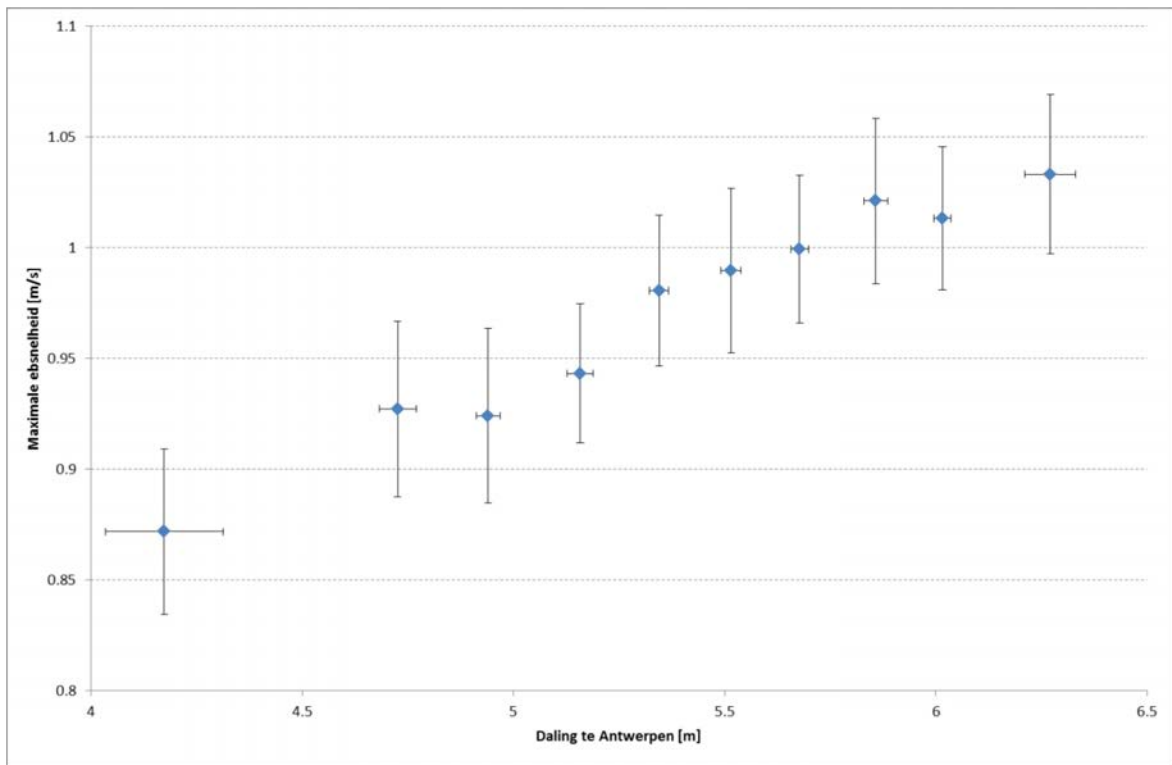
Figuur 65 - Maximale vloodsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen



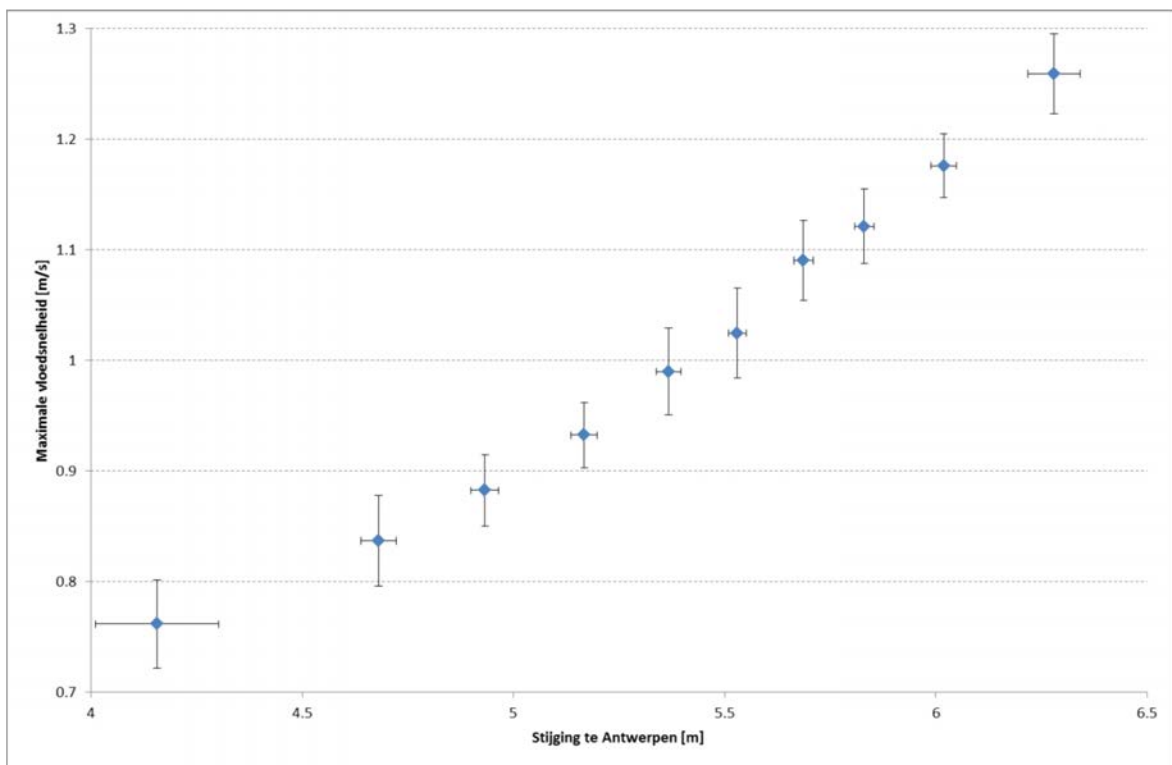
Figuur 66 - Maximale ebsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen



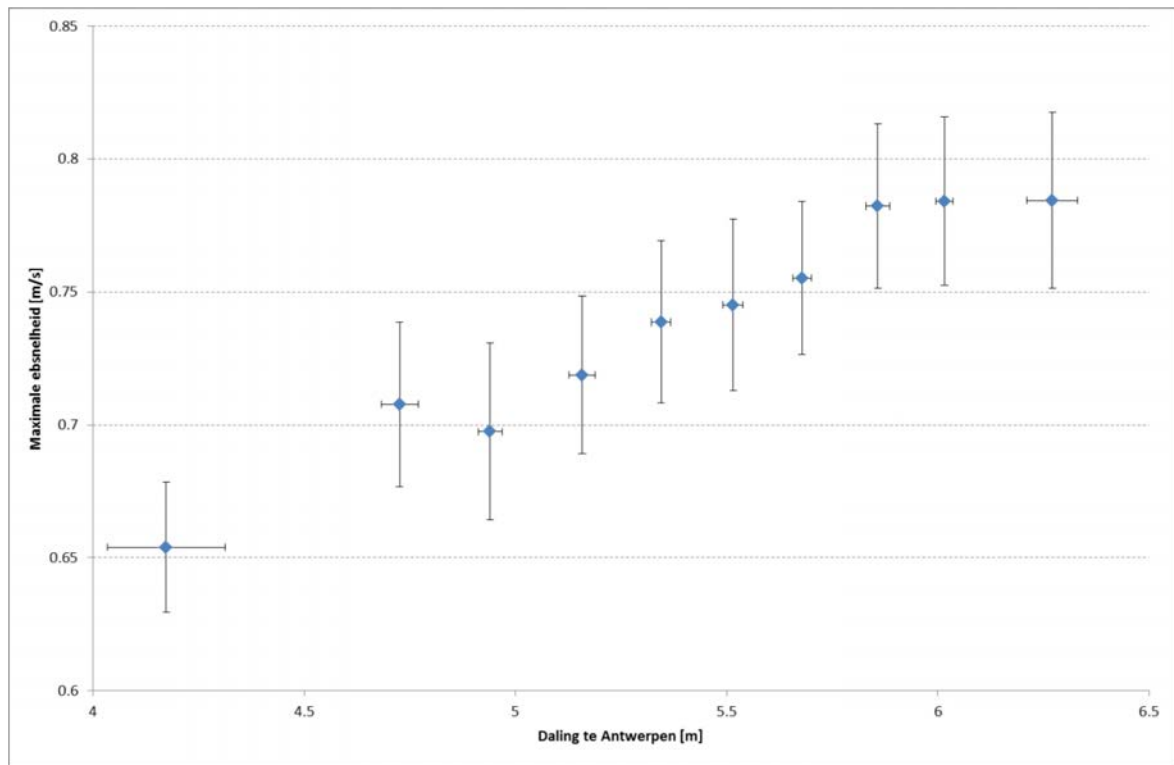
Figuur 67 - Maximale vloodsnelheid te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen



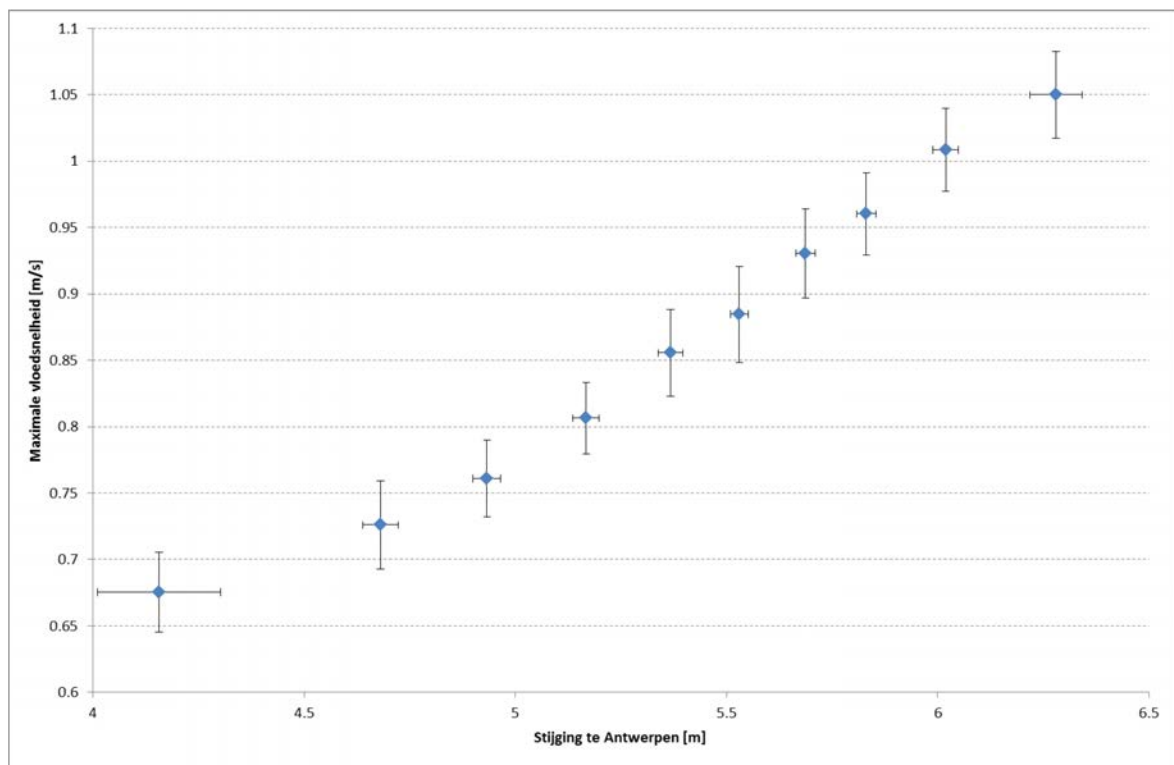
Figuur 68 - Maximale ebsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen



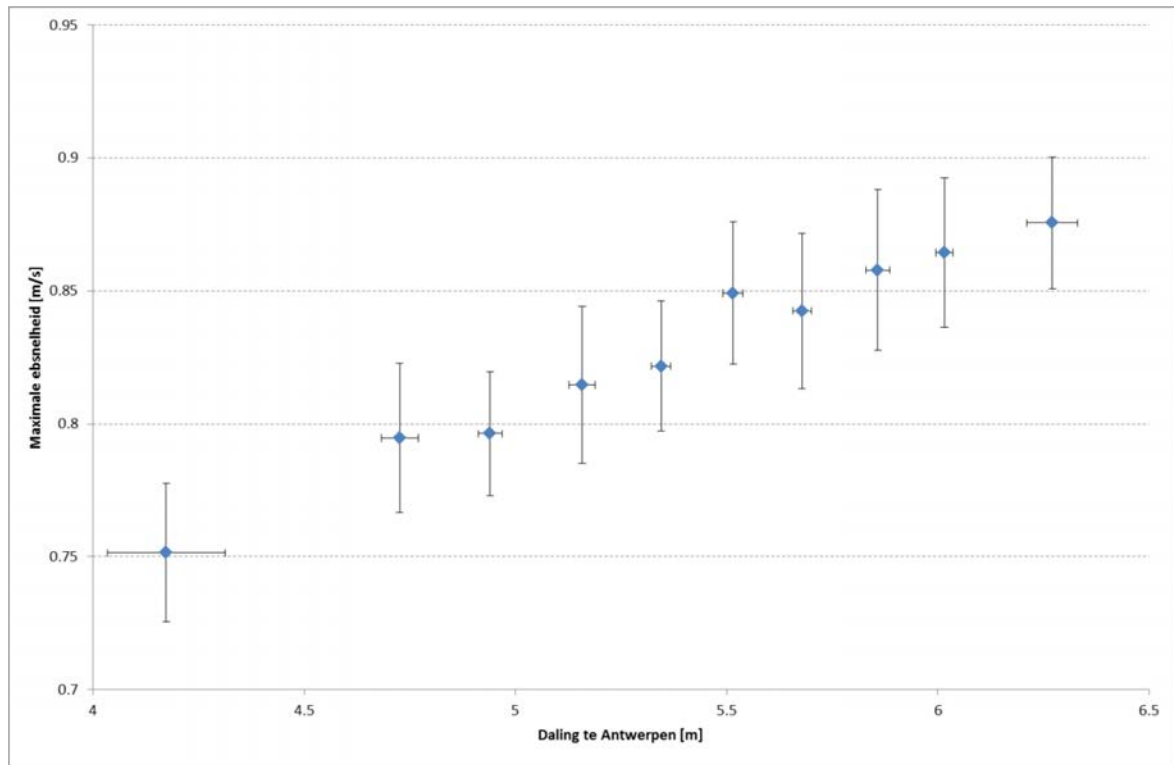
Figuur 69 - Maximale vloednsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen



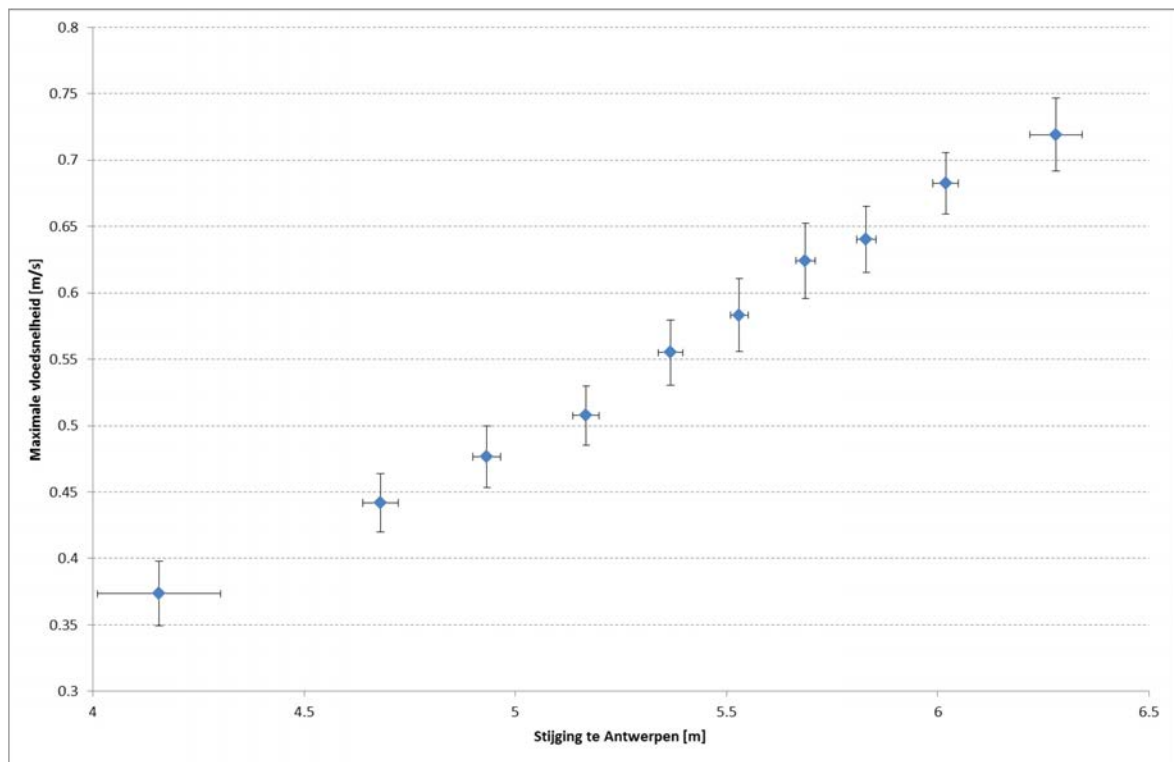
Figuur 70 - Maximale ebsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen



Figuur 71 - Maximale vloodsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen



Figuur 72 - Maximale ebsnelheid te Driegoten (Boven-Zeeschelde) versus de daling in waterpeil te Antwerpen



Figuur 73 - Maximale vloodsnelheid te Driegoten (Boven-Zeeschelde) versus de stijging in waterpeil te Antwerpen

Deze figuren vertonen logischerwijs een stijgend verloop: bij een grotere verandering van het waterpeil treedt een grotere snelheid op en vice versa. Een tweede vaststelling heeft betrekking op het bereik van de maximale snelheden dat duidelijk hoger ligt bij de bovenste meettoestellen in vergelijking met de onderste meettoestellen te Boei 84 en te Oosterweel. De stroomsnelheid is uiteraard kleiner vlak bij de bodem dan hoger in de waterkolom.

Ook uit deze figuren kan duidelijk de vloeddominantie te Boei 84 en de ebdominantie te Driegoten worden vastgesteld, die ten dele te wijten is aan de lokalisatie van de meettoestellen in de dwarsdoorsnede. Voor Boei 84 ligt, zowel voor het bovenste als onderste meettoestel, de range van maximale snelheden (i.e. percentielgemiddelden) bij eb volledig onder deze bij vloed. Te Driegoten kan het omgekeerde worden vastgesteld. Te Oosterweel is het bereik van snelheden gelijkaardig bij eb en vloed.

Een overzicht van het verloop van de maximale eb- en vloedsnelheid in functie van de overeenkomstige daling resp. stijging van het waterpeil te Antwerpen doorheen de jaren 2008 t.e.m. 2013 is weergegeven in Bijlage 1A.

4.1.3. Verloop temperatuur continue meetlocaties Zeeschelde

Zowel te Prosperpolder, Boei 84, Liefkenshoek, Oosterweel, Hemiksem, Driegoten, Melle, Appels, Eppegem en Duffelsluis wordt de watertemperatuur op continue wijze gemeten. Zoals al hoger aangehaald, betekent "continu" een meting om de tien minuten (en te Melle, Appels, Eppegem en Duffelsluis zelfs om de vijf minuten). Hierna wordt voor deze meetlocaties het verloop van de temperatuur in 2013 gerapporteerd.

Voor de meetlocaties waar de Aanderaa-toestellen snelheidsrichting meten (Boei 84, Oosterweel en Driegoten), zijn op basis van deze richting het moment van KHW en KLW afgeleid. Deze tijdstippen werden gebruikt om de temperatuur rond KHW en KLW te bepalen, als het extremum (minimum/maximum) binnen een venster van een uur voor tot een uur na de kentering. Voor de andere meetlocaties zijn de continue metingen weergegeven.

Voor meting van watertemperatuur is de aanwezigheid van twee of meer metingen over de verticaal (te Boei 84 en Oosterweel) weinig relevant. Door de grote menging is er op eenzelfde ogenblik immers zeer weinig verschil in temperatuur tussen het bovenste en het onderste toestel. Er is wel een verloop gedurende een tij, waarbij de mariene invloed een bufferende werking heeft: tijdens de zomer is het zeewater gemiddeld kouder dan de bovenafvoer, tijdens de winter is het zeewater gemiddeld warmer. Daarom is het interessant om de temperaturen in de Beneden-Zeeschelde, net zoals de conductiviteiten, te bepalen bij de momenten van kentering.

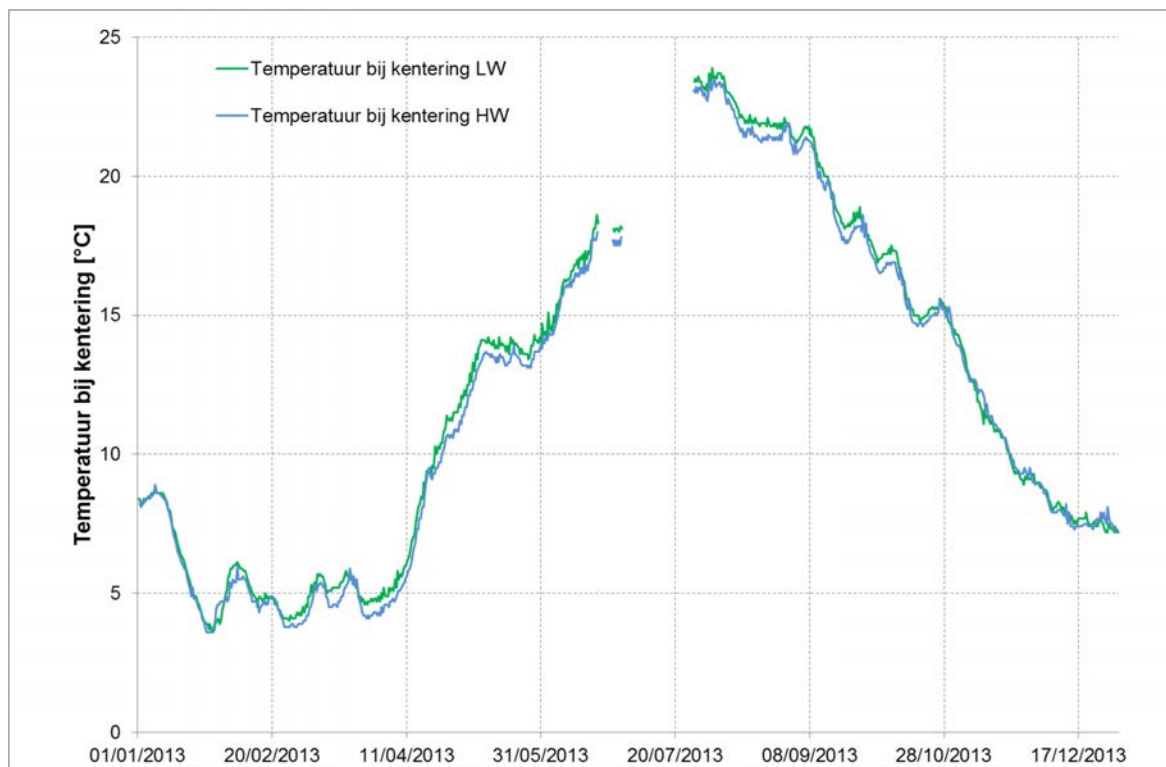
Figuur 74 tot en met Figuur 78 geven het temperatuursverloop in 2013 bij KHW en KLW weer voor alle Aanderaa-sondes. Het algemene temperatuursverloop over een jaar is op alle plaatsen uiteraard duidelijk en zeer vanzelfsprekend, nl. meegaande met de luchttemperatuur dus mooi seizoenaal. Hierbij valt het dal rond februari op, zijnde een klassieke vorstperiode. De wasgebeurtenissen van eind januari en midden november 2013 hebben weinig invloed op het temperatuursverloop.

Het temperatuursverloop aan Boei 84 (Figuur 74 en Figuur 75) toont dat het Schelde-water onafhankelijk van de seizoenen bijna altijd iets kouder is bij KHW dan bij KLW. Vloed brengt van afwaarts kouder water aan tot een tijdelijk minimum wordt bereikt waarna het, met eb, weer warmer wordt. Het temperatuursverschil is niet constant, en hangt af van het tijverschil: hoe groter het tijverschil des te groter het verschil in temperatuur bij de kenteringen.

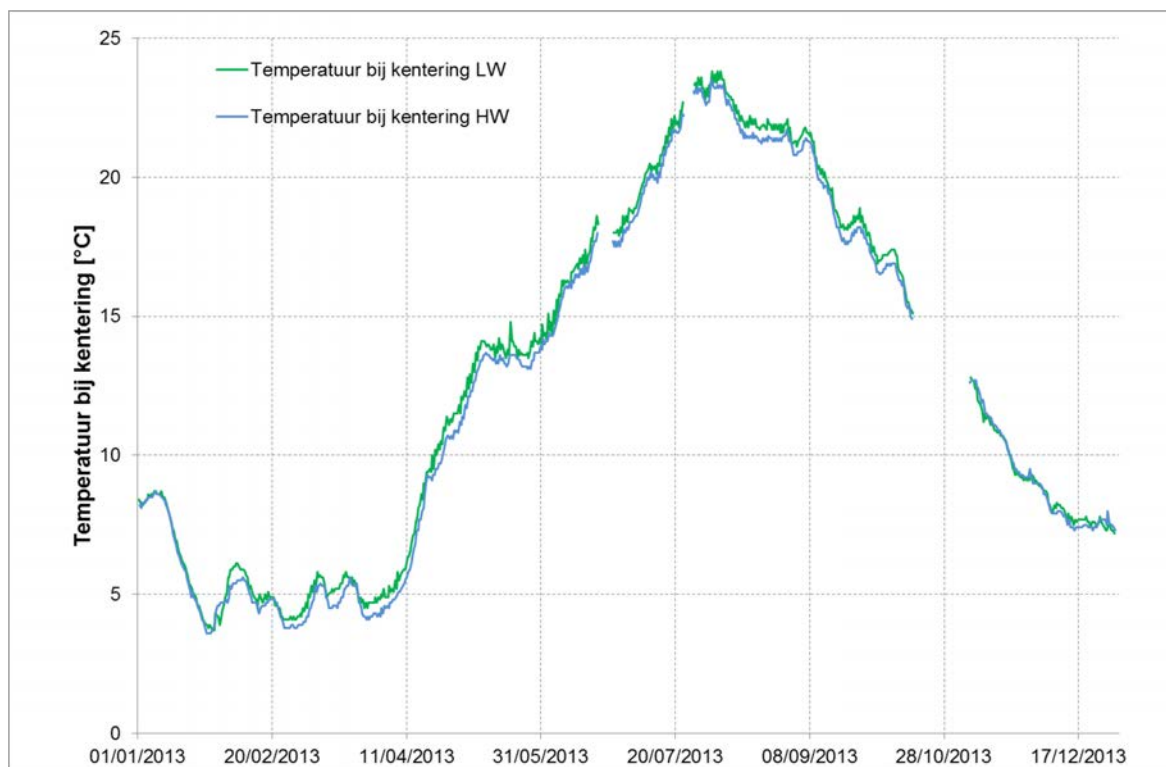
Het temperatuursverloop te Oosterweel (Figuur 76 en Figuur 77) wijkt daar iets van af. Daar speelt het "warmtehart" van de Beneden-Zeeschelde een rol: de thermische lozingen van elektriciteitscentrales en vanuit diverse, vnl. petrochemische, industrieën. Dat mag echter niet zomaar veralgemeend worden tot temperatuursmetingen op andere locaties. Of KHW warmer dan wel kouder is dan KLW kan dus niet aan een "warmere" of aan een "koudere" periode worden gerelateerd. Wel is te zien dat bij afkoeling (winter + nazomer + herfst + begin van nieuwe winter) het een omgekeerd beeld geeft van wat aan Boei 84 het hele jaar door geobserveerd: de watertemperatuur is bij KHW groter dan bij KLW. In warme jaren kan het beeld evenwel wisselend zijn al naargelang warmer of kouder weer, of al naargelang warm of koud weer persistent aanhoudt. Alsdan kan het voorkomen dat de temperatuur te Oosterweel bij KHW toch iets kouder is dan bij de omringende KLW's.

Te Driegoten (Figuur 78) is het verschil tussen temperatuur bij KHW en KLW weer kleiner. Bij hogere temperaturen is de temperatuur tijdens KLW telkens iets hoger dan bij KHW.

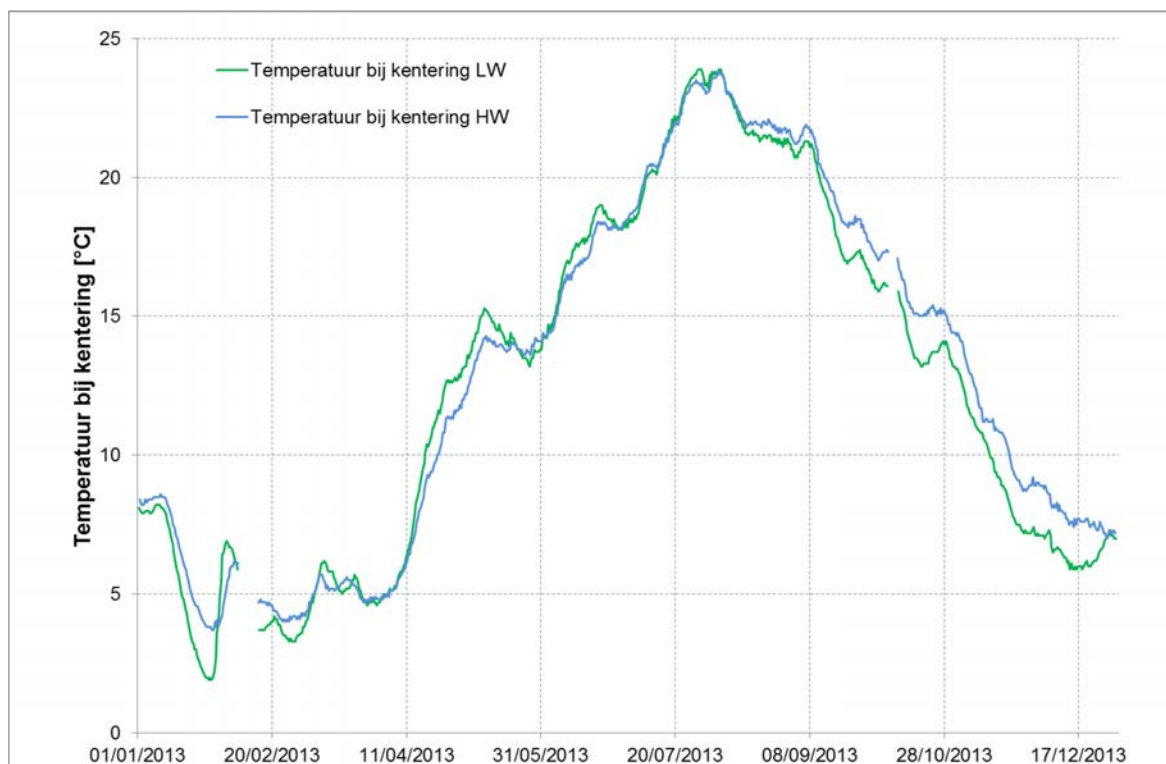
Vergelijking van de watertemperaturen van enerzijds Oosterweel en anderzijds Boei 84, toont dat deze temperaturen goed overeenkomen, behalve vanaf nazomer tot en met winterperiode, wanneer de watertemperaturen te Oosterweel bij kentering van laagwater beduidend kouder zijn dan te Boei 84. Een "warmtehart" tussen Oosterweel en Boei 84 levert dergelijk beeld, als bij koud Schelde-water de verschillende en soms erg belangrijke warmtelozingen tussen Kallo en de grens hun effect tonen.



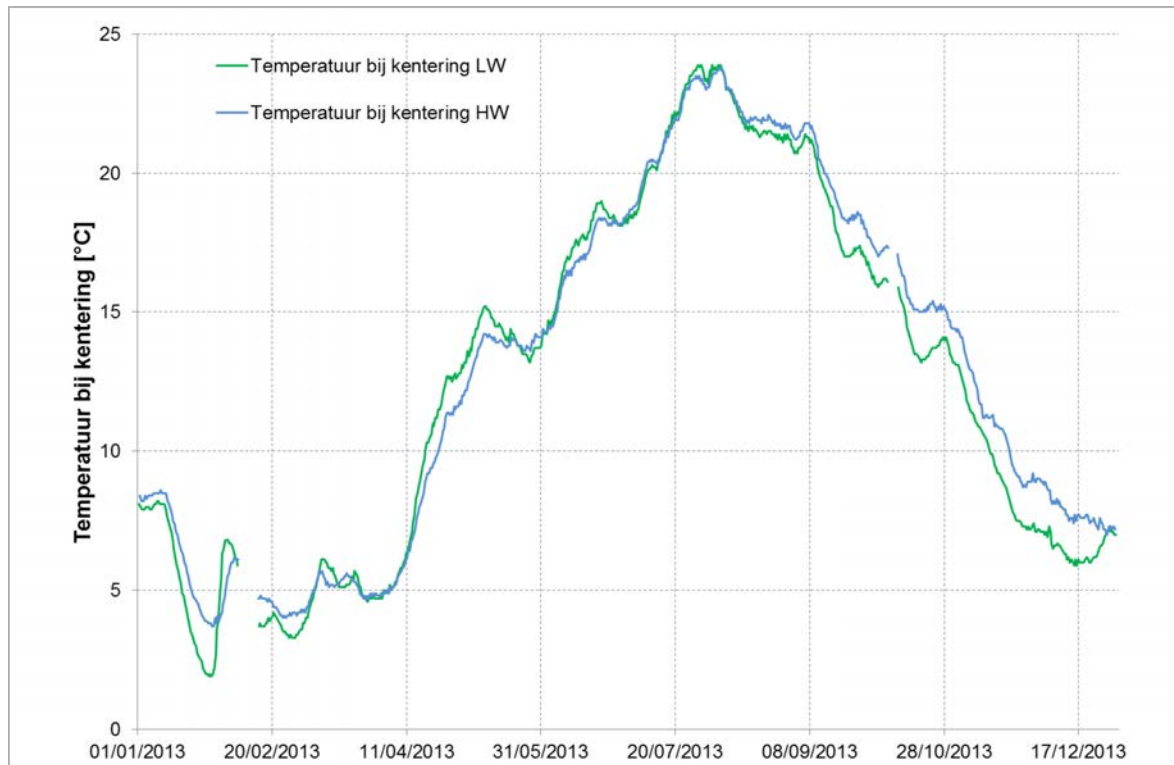
Figuur 74 - Temperatuur bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



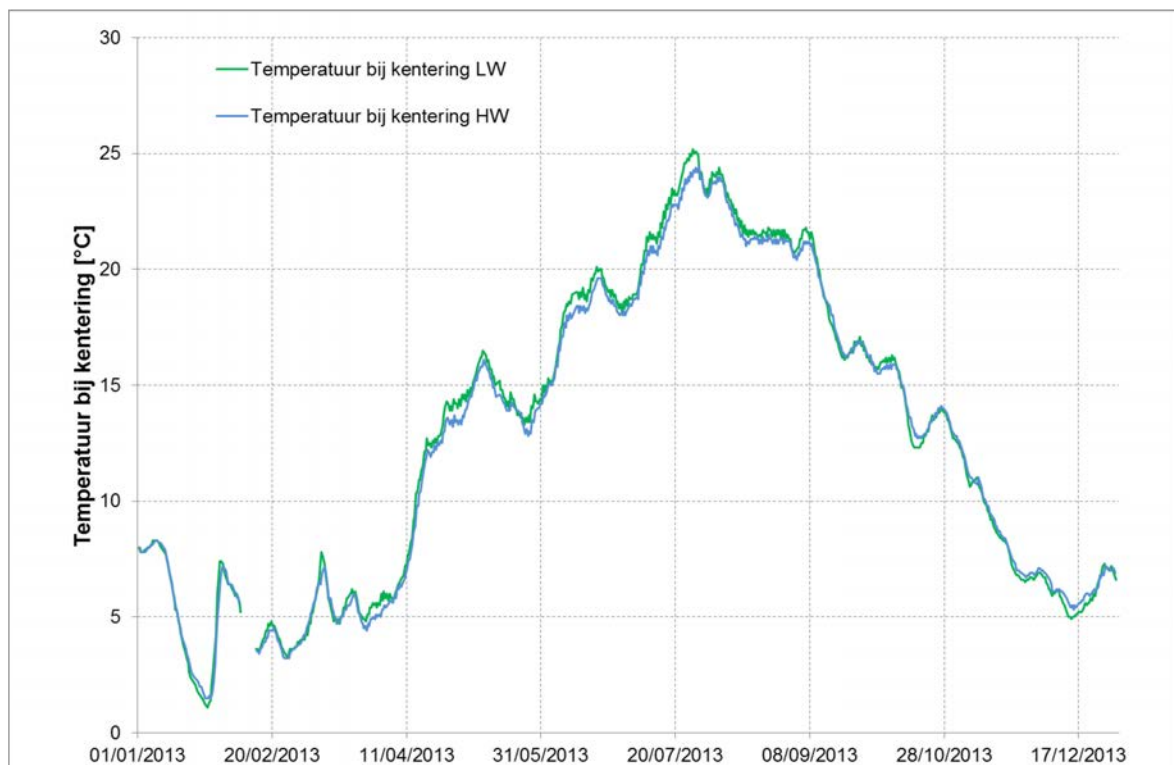
Figuur 75 - Temperatuur bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeescheldebekken), onderste meettoestel



Figuur 76 - Temperatuur bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeescheldebekken), bovenste meettoestel



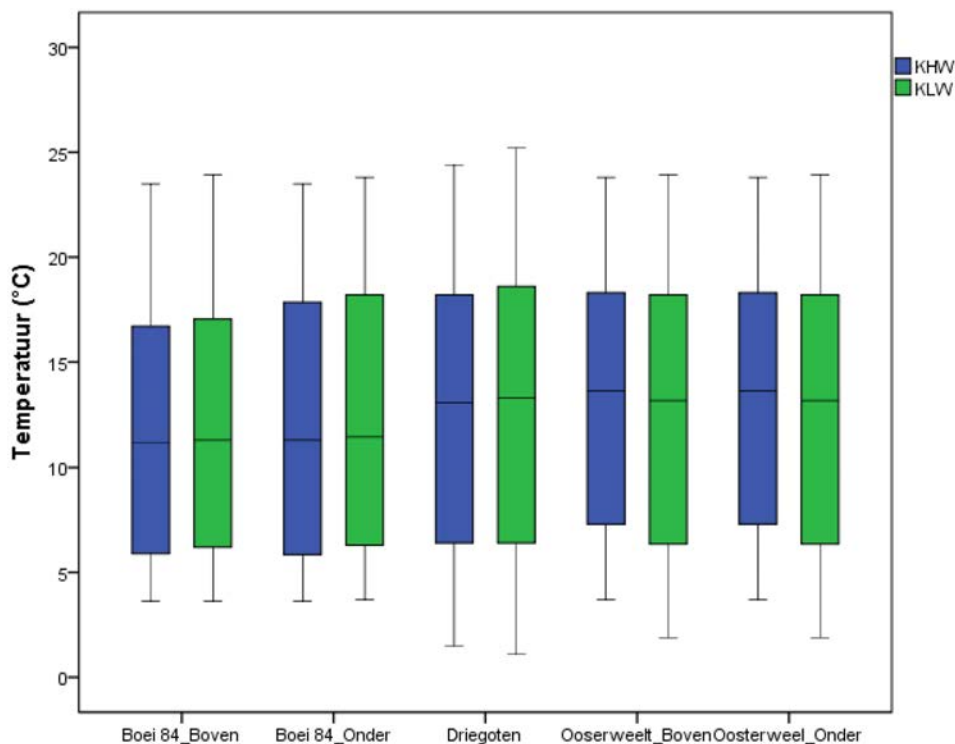
Figuur 77 - Temperatuur bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



Figuur 78 - Temperatuur [°C] bij KHW en KLW te Driegoten (Boven- Zeeschelde)

Figuur 79 toont bij wijze van overzicht de boxplots voor de gemeten temperatuur bij KHW en KLW op alle locaties waar een Aanderaa multiparametersonde aanwezig is. Deze figuur toont eveneens aan dat er slechts een beperkt verschil is in watertemperatuur voor de verschillende meetlocaties in de Boven-Zeeschelde.

Tabel 16 geeft bij wijze van overzicht de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de extrema in temperatuur rond KWH en KLW voor de verschillende Aanderaa metingen in de Zeeschelde.



Figuur 79 - Boxplot voor de gemeten Temperatuur bij KHW en KLW op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes

Tabel 16 - Overzicht statistieken voor de extrema van temperatuur bij KHW en KLW gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde

	Temperatuur (°C) bij KHW				Temperatuur (°C) bij KLW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Boei 84 boven	3,60	11,86	23,50	6,04	3,60	12,09	23,90	6,06
Boei 84 onder	3,60	12,23	23,50	6,34	3,70	12,50	23,80	6,35
Oosterweel boven	3,70	12,90	23,80	6,27	1,90	12,50	23,90	6,45
Oosterweel onder	3,70	12,94	23,80	6,29	1,90	12,49	23,90	6,43

	Temperatuur (°C) bij KHW				Temperatuur (°C) bij KLW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Driegoten	1,50	12,56	24,40	6,47	1,10	12,70	25,20	6,64

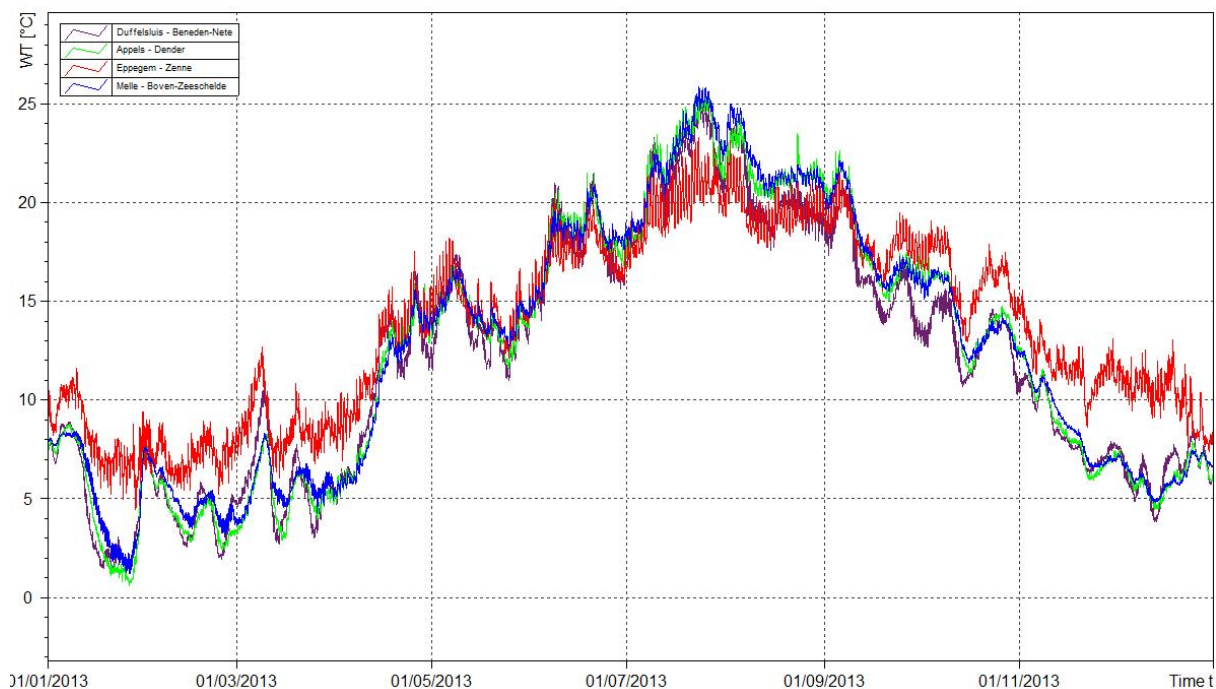
Figuur 80 geeft het jaarverloop van de temperatuur te Prosperpolder, Liefkenshoek en Hemiksem (CTD multiparametersondes) weer. Figuur 81 toont het jaarverloop van de temperatuur te Duffelsluis, Appels, Epegem en Melle (YSI multiparametersondes).

Bij vergelijking van de watertemperaturen tussen de verschillende meetstations onderling, geldt dat er een verschillend temperatuursverloop is te enerzijds Prosperpolder en Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) en anderzijds Hemiksem. De temperatuursvariatie te Prosperpolder en Liefkenshoek is analoog aan deze te Boei 84 en Oosterweel. Daarnaast is het temperatuurverloop te Hemiksem gelijkaardig aan dat van Driegoten en ook Duffelsluis, Appels en Melle. Het verloop van de temperatuur te Epegem is verschillend van de overige meetposten. De bandbreedte van de temperatuurs-metingen voor de verschillende meetlocaties, is telkens te wijten aan de variatie over de kenteringen.

Het temperatuursverloop vertoont een sterke daling rond februari, gezien vorstperiodes en de snelle respons van het "boven"-water op temperatuurschommelingen. Voor de Boven-Zeeschelde (Hemiksem, Melle en Driegoten), de Dender (Appels), de Nete (Duffelsluis) is deze daling bruusk. Voor de Beneden-Zeeschelde is deze daling meer geleidelijk ten gevolge van de bufferende werking van het meer marieme milieu (met groter watervolume). Voor het volledige jaar 2013 leidt deze bufferwerking tot een meer vloeiend verloop van de temperatuur op de Beneden-Zeeschelde tegenover het meer grillige patroon van de bovenlopen.



Figuur 80 - Temperatuur Hemiksem (Boven-Zeeschelde) en Prosperpolder en Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)



Figuur 81 - Temperatuur Appels (Dender), Epegem (Zenne), Melle (Boven-Zeeschelde) en Duffelsluis (Beneden-Nete)

4.1.4. Verloop conductiviteit continue meetlocaties

De conductiviteit van het Scheldewater in de Beneden-Zeeschelde hangt vooral af van het gehalte aan (zout) zeewater en in mindere mate van de watertemperatuur. In dit rapport wordt conductiviteit steeds weergegeven als de absolute conductiviteit, dus deze bij heersende watertemperatuur en niet een herleide conductiviteit naar een standaardtemperatuur van bvb. 20 of 25°C.

Net zoals voor de temperatuur, zijn voor de meetlocaties waar Aanderaa-sondes de snelheidsrichting meten, de minimale (KLW) en maximale (KHW) conductiviteiten binnen een venster van een uur voor tot een uur na de kentering gerapporteerd. Voor de andere meetlocaties zijn de continue (i.e. per 5 min bij YSI en 10 min bij CTD meetposten) metingen weergegeven.

Figuur 82 tot en met Figuur 86 geven het conductiviteitsverloop in 2013 bij KHW (maxima) en KLW (minima) weer voor alle locaties uitgerust met Aanderaa-sondes. Het is vanzelfsprekend dat de conductiviteit telkens groter is rond KHW dan rond KLW, gezien de verdere indringing van zout water in de Zeeschelde tijdens KHW. Ook opvallend is de mate waarin de conductiviteit daalt naar opwaarts toe. Waar de conductiviteit ter hoogte van Boei 84 bij KHW oploopt tot meer dan 20 mS/cm, terwijl dit ter hoogte van Driegoten nog maximaal 2,7 mS/cm bedraagt. Tot slot is vooral de invloed van de bovenafvoer een belangrijke factor die bepalend is voor het verloop van de conductiviteit. De verhoogde afvoer eind januari en midden november 2013, zorgt duidelijk voor een daling van de conductiviteit. Deze perioden van hoge afvoer zijn ook telkens aangeduid op de hierna volgende grafieken (rode pijlen). Hoe meer naar opwaarts, des te groter die invloed van de afvoer verwacht kan worden, want hoe belangrijker de wasafvoer t.o.v. de vloed- en ebvolumes. Gezien het feit dat de conductiviteitswaarden aanzienlijk afnemen naar opwaarts toe, is deze invloed echter minder duidelijk zichtbaar voor de opwaartse meetlocaties.

Aan Boei 84 (Figuur 82 en Figuur 83) zijn de variaties zowel bij KLW als bij KHW zeer groot, en congruent. Te Oosterweel (Figuur 84 en Figuur 85) blijft de conductiviteit bij KLW (in vergelijking met deze bij KHW, of met de kenteringswaarden aan Boei 84) vrij klein, met enige variatie in functie van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee. De variatie bij KHW is groter. Ook ter hoogte van de meetlocatie te Driegoten (Figuur 86) is de variatie bij KLW kleiner dan bij KHW. Bijgevolg is het verschil tussen de conductiviteit bij KHW en bij KLW in eenzelfde periode, groter te Oosterweel en relatief "constant" aan Boei 84.

Te Driegoten zijn de conductiviteitswaarden over het jaar vrij klein. Gedurende het jaar is er weinig of geen variatie binnen de wintermaanden, vroege lente en laatste herfst. De waarden schommelen tussen ongeveer 400 en 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, met meestal geen aanzienlijk verschil tussen de waarden bij KHW en KLW. Enkel tijdens de zomermaanden wordt de conductiviteit beduidend groter en worden ook de waarden bij KLW relatief "groot" nl. 700 à 1.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ t.o.v. 1.000 à 2.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bij KHW.

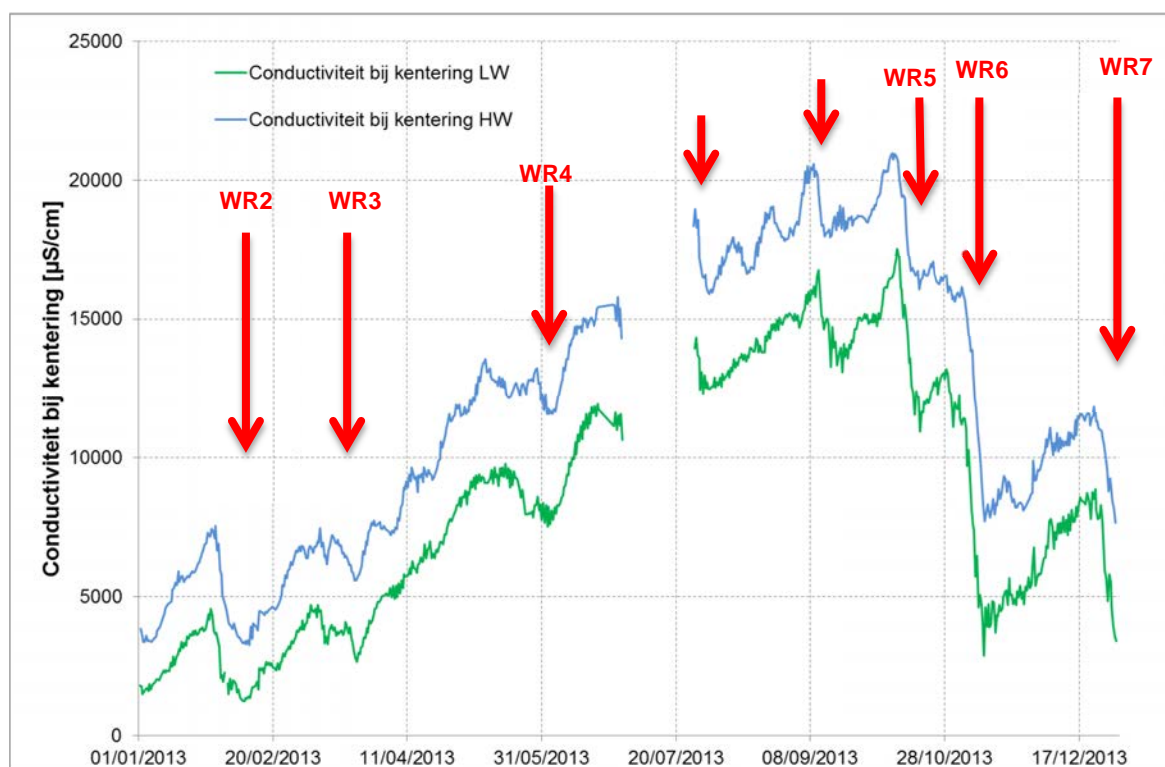
Wat betreft de meetlocaties te Oosterweel en Boei 84 waar telkens twee Aanderaa-meettoestellen aanwezig zijn, is er nagenoeg geen verschil in conductiviteit gemeten tussen het bovenste en onderste meettoestel. De waarden vallen daar gedurende het hele jaar 2013 op elkaar. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 87 dat het jaarverloop van de conductiviteit voor beide toestellen te Boei 84 toont. De bandbreedte van deze curves is te wijten aan het verschil in conductiviteit bij KHW en KLW.

Bij langdurige periodes van vrij gelijkblijvende gemiddelde tot kleine en zeer kleine bovendebiten, vergroot de conductiviteit in de lente gestaag tot het bereiken van maxima in de zomer waarna een daling volgt naar de winter toe. De daling die in oktober 2013 ingezet wordt, zet zich door de eerste grote was rond 10 november extreem door.

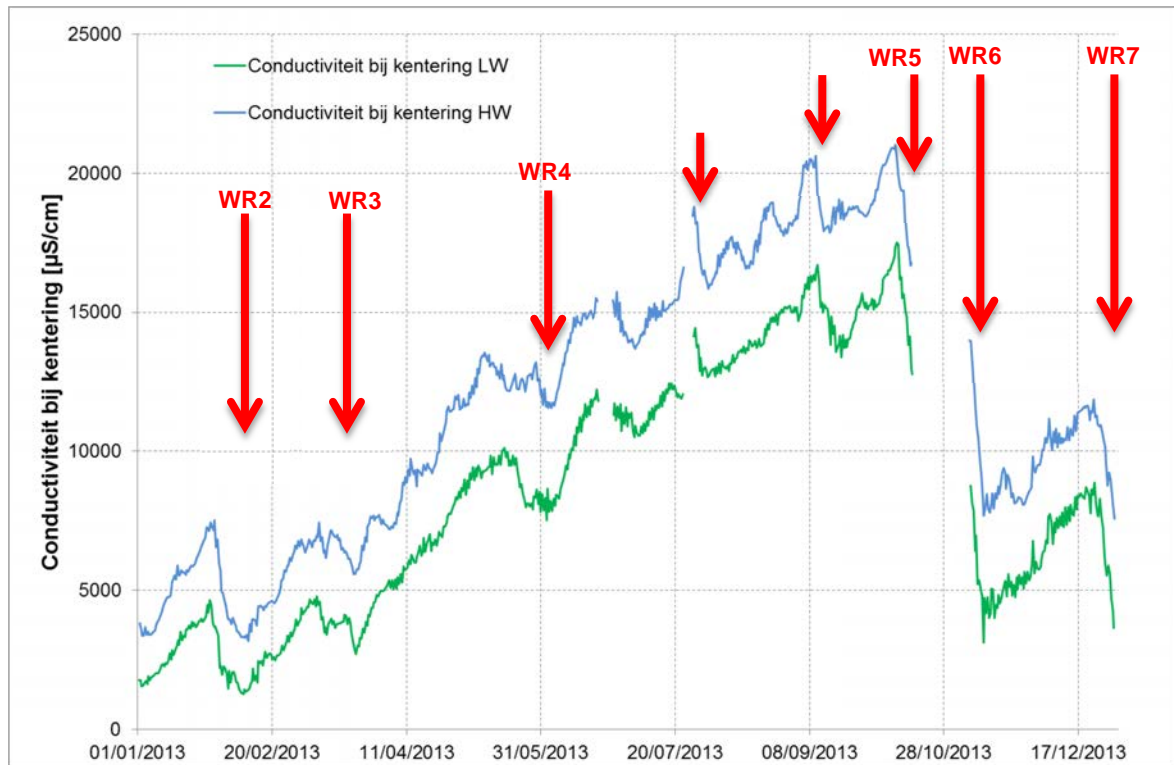
In het jaarverloop 2013 (zie Figuren Figuur 82 tot Figuur 86) blijkt duidelijk welke grote en snelle invloed een tijdelijk flink vergroten van de bovenafvoer heeft, nl. afname van de conductiviteit. Te Boei 84 was deze afname het grootst voor wasregime 6 (zie §3.3.2). Daarnaast deden zich aanzienlijke afnames voor bij wasregime 2, 5 en 7. Ook bij wasregimes 3, 4 en de verhoogde bovenafvoer eind juli en rond 8/09/2013 nam de conductiviteit af. De wasregimes zijn als rode pijlen aangeduid in onderstaande figuren.

Te Oosterweel is dit effect gelijkaardig (vnl. waarneembaar bij KHW). De grootste afname in conductiviteit deed zich voor bij wasregime 6. Daarnaast deden zich aanzienlijke afnames voor bij wasregime 2, 3, 5 en 7 en bij de verhoogde bovenafvoer eind juni, eind juli en rond 8/09/2013 en in mindere mate bij wasregime 4.

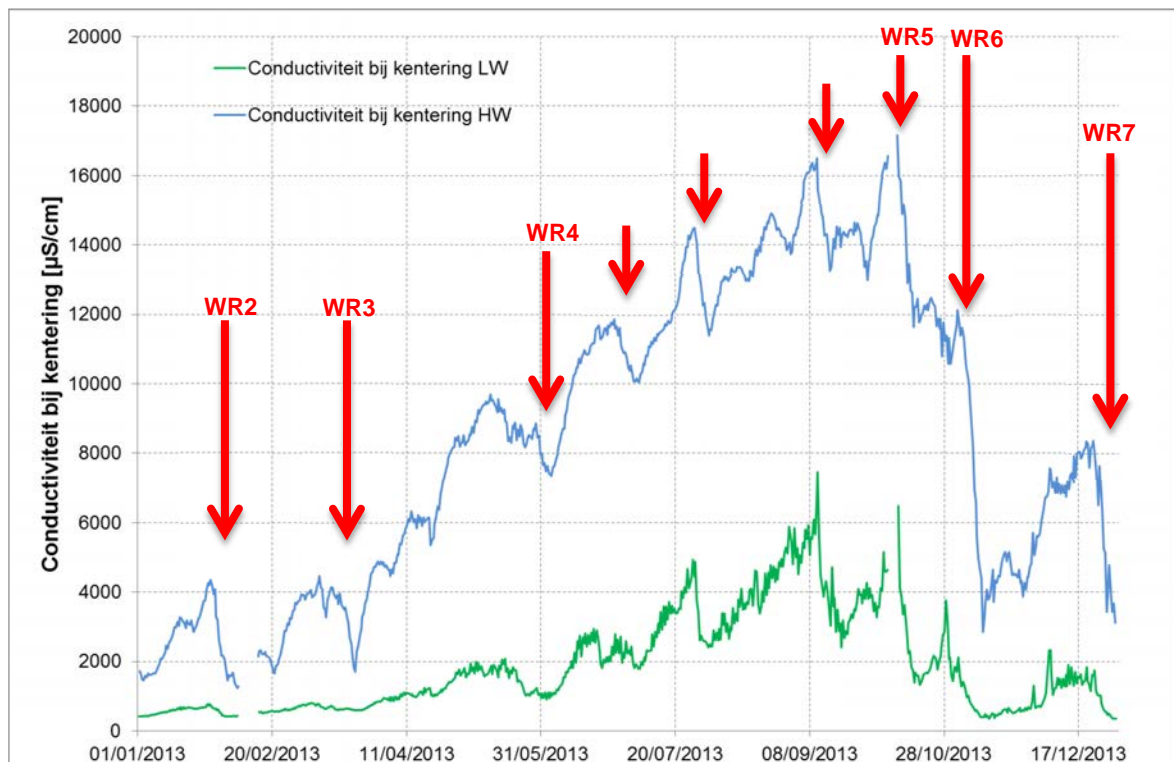
Te Driegoten was de afname van conductiviteit (vnl. waarneembaar bij KHW) bij verhoogde bovenafvoer vnl. waarneembaar tijdens de zomerperiode (eind juli en rond 8/09/2013) en bij wasregime 5. Anders dan te Boei 84 en Oosterweel gebeurt de grootste afname hoofdzakelijk eind oktober in plaats van begin november. De wasregimes 4 en in mindere mate 2, 3, 6 en 7 en de verhoogde bovenafvoer tijdens eind juni veroorzaken eveneens een relatief kleine daling van de conductiviteit te Driegoten.



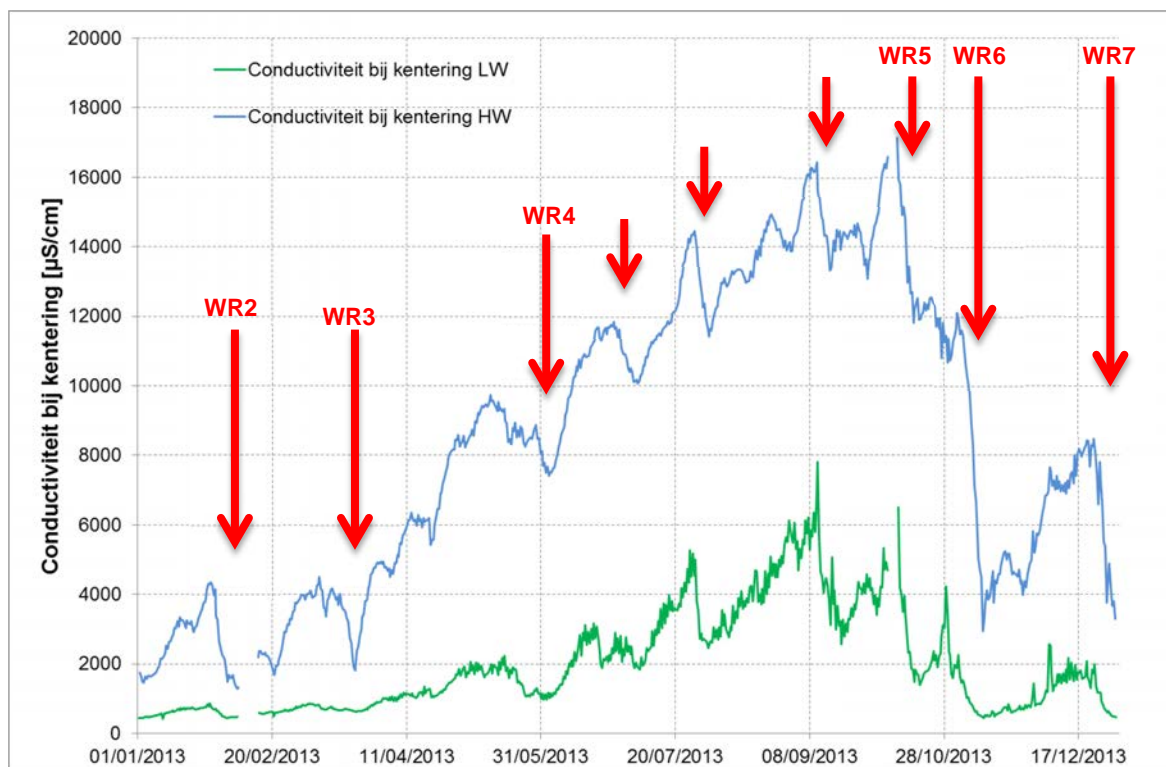
Figuur 82 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden- Zeeschelde), bovenste meettoestel



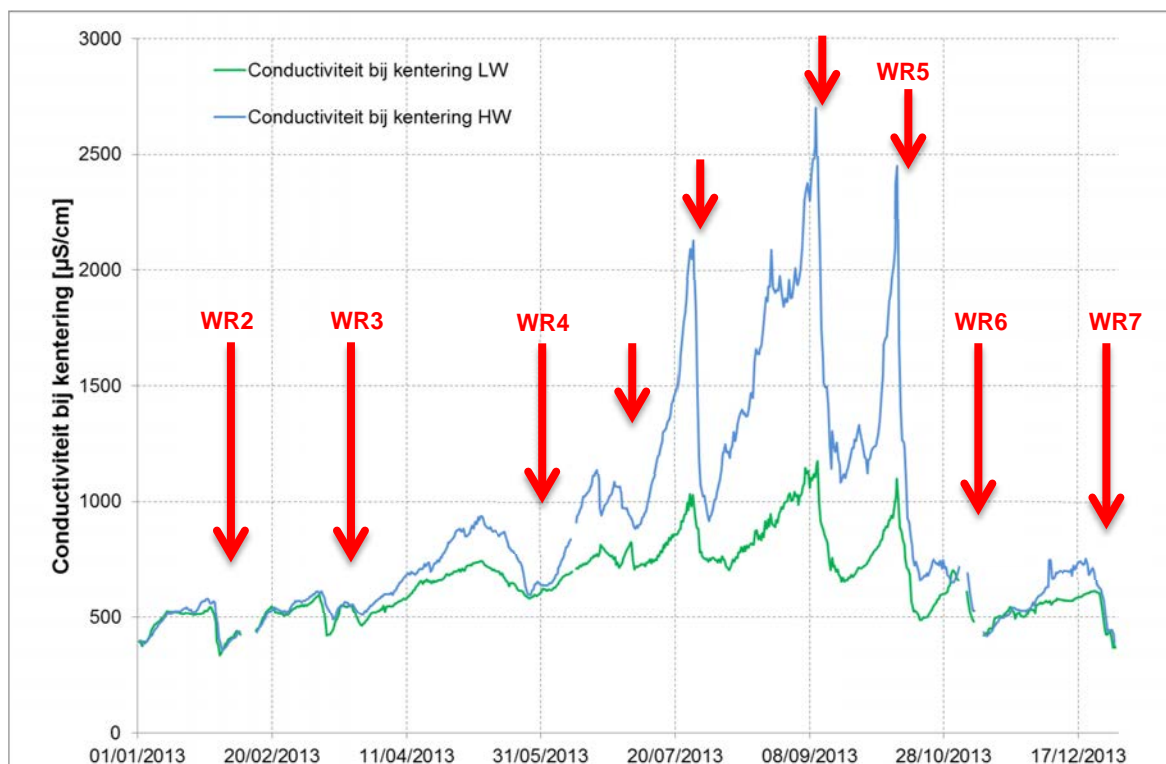
Figuur 83 - Conductiviteit bij KHW en K LW te Boei 84 (Beneden- Zeeschelde), onderste meettoestel



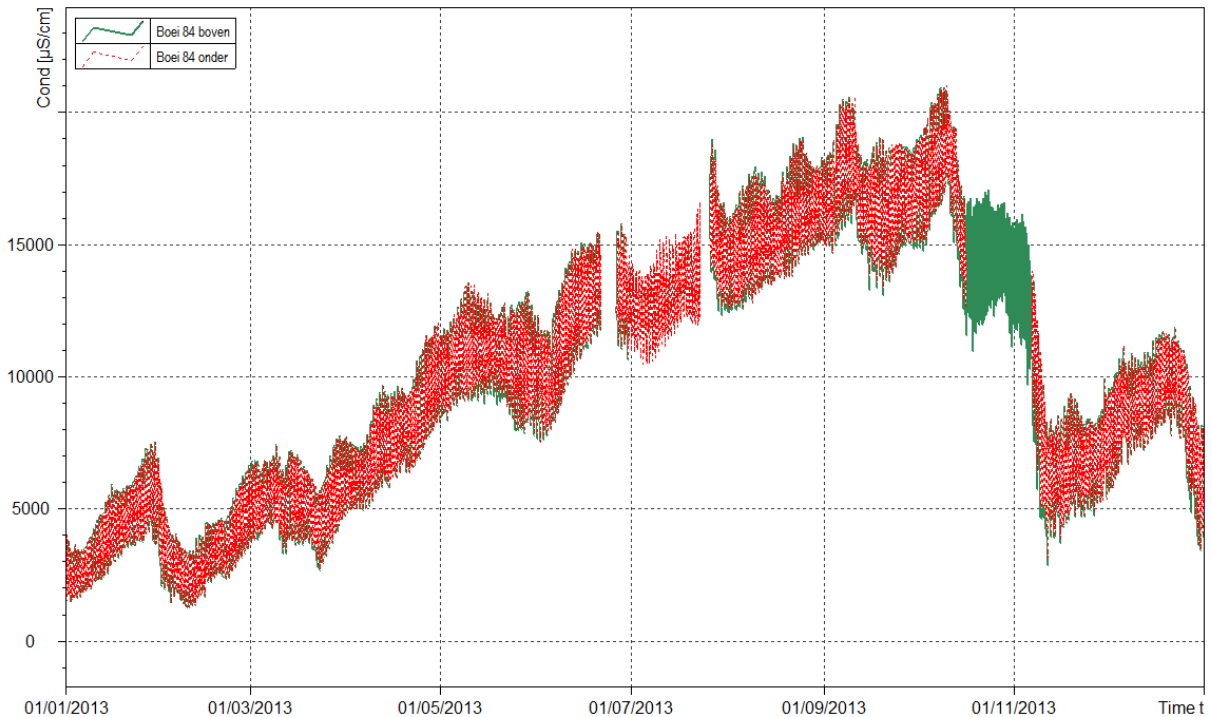
Figuur 84 - Conductiviteit bij KHW en K LW te Oosterweel (Beneden- Zeeschelde), bovenste meettoestel



Figuur 85 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Oosterweel (Beneden- Zeeschelde), onderste meettoestel



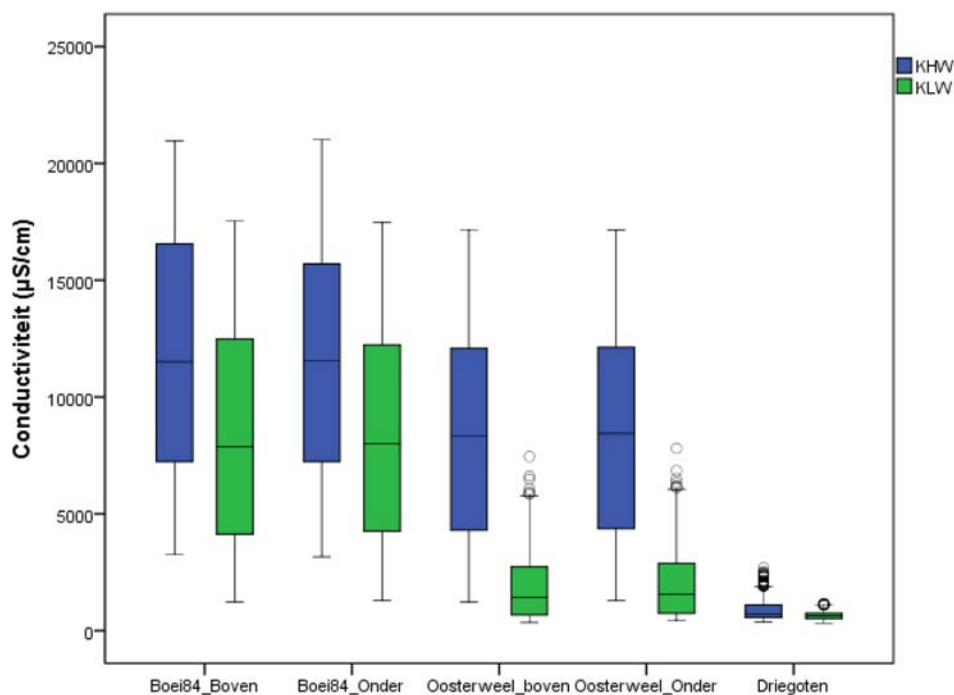
Figuur 86 - Conductiviteit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven- Zeeschelde)



Figuur 87 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Boei 84 boven (groen) en onder (rood)

Figuur 88 toont bij wijze van overzicht de boxplots voor de gemeten conductiviteit bij KHW en KLW op alle locaties waar een Anderaa multiparametersonde aanwezig is. Deze figuur vat de eerder besproken vaststellingen samen. De conductiviteit is telkens groter is rond KHW dan rond KLW, gezien de verdere indringing van zout water in de Zeeschelde tijdens KHW. Dit verschil tussen KHW en KLW is het meest uitgesproken ter hoogte van Oosterweel. De daling van de conductiviteit naar opwaarts toe is eveneens duidelijk zichtbaar.

Tabel 17 geeft bij wijze van overzicht de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de conductiviteiten rond KWH en KLW voor de verschillende Anderaa metingen in de Zeeschelde.



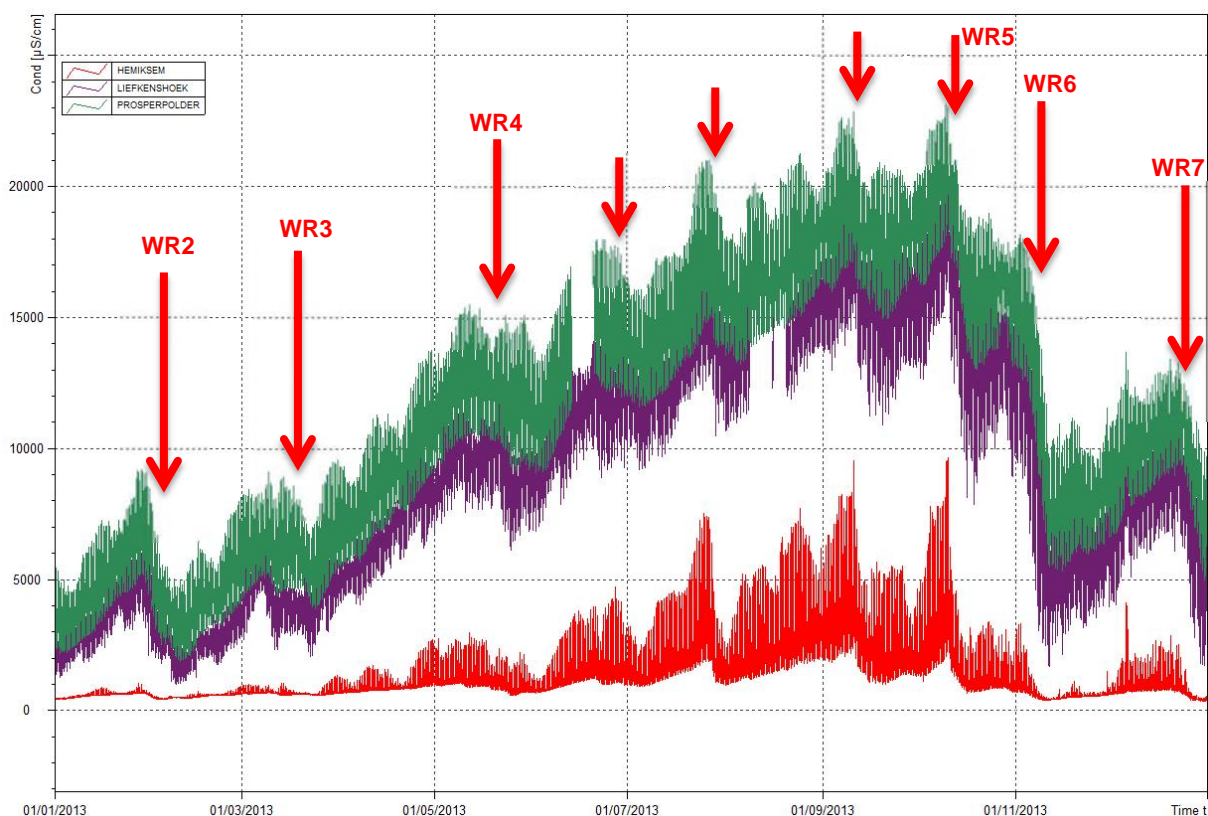
Figuur 88 - Boxplot voor de gemeten Conductiviteit bij KHW en KLV op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes

Tabel 17 - Overzicht van de conductiviteit bij KHW en KLV op de verschillende meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes

	Conductiviteit (µS/cm) bij KHW				Conductiviteit (µS/cm) bij KLV			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Boei 84 boven	3.269	11.688	20.949	5.052	1.248	8.253	17.526	4.504
Boei 84 onder	3.168	11.601	21.013	4.971	1.283	8.344	17.496	4.492
Oosterweel boven	1.235	8.404	17.173	4.318	343	1.877	7.450	1.412
Oosterweel onder	1.280	8.480	17.153	4.304	416	1.987	7.803	1.465
Driegoten	356	900	2.700	467	334	652	1.175	161

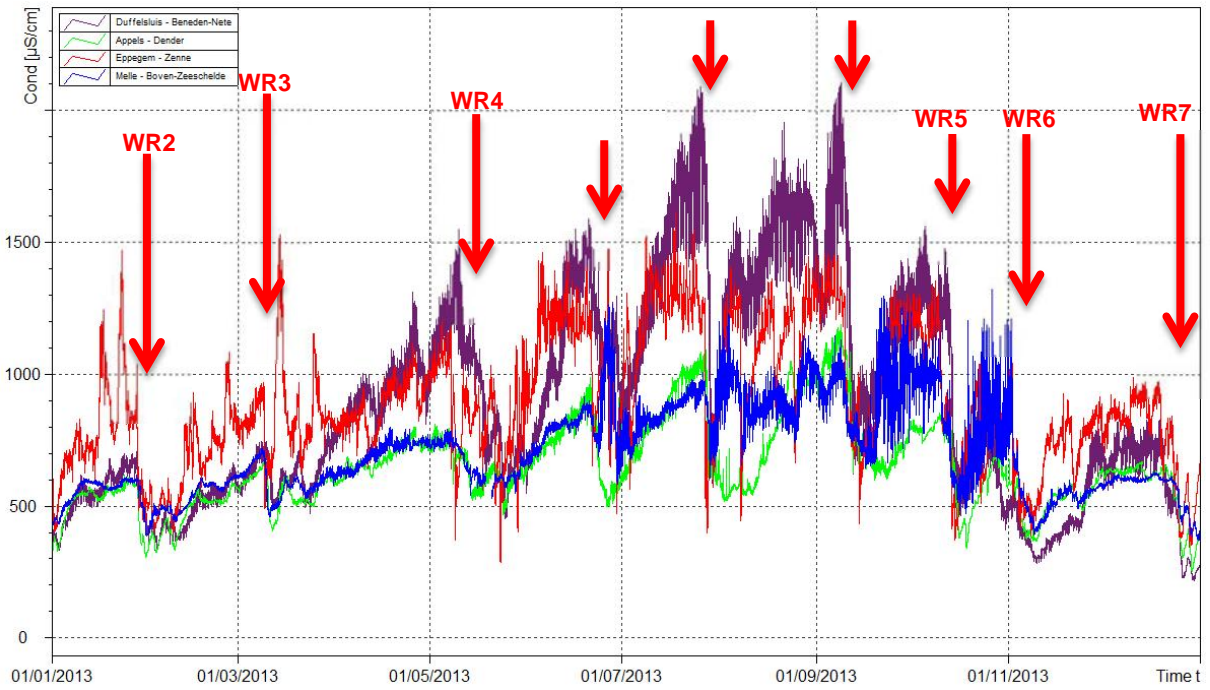
Figuur 89 toont het jaarverloop van de conductiviteit gemeten met de CTD sondes ter hoogte van Prosperpolder, Liefkenshoek en Hemiksem. Uiteraard dalen de conductiviteiten van afwaarts naar opwaarts. Te Hemiksem is de conductiviteit ook beduidend lager dan in de Beneden-Zeeschelde, wel is daar een duidelijke stijging van de conductiviteitswaarden in de zomer te zien. De invloed van de veertiendaagse cyclus doortij-middeltij-springtij laat zich op alle afwaartse meetlocaties duidelijk zien. Bij aanzienlijke verhogingen van de bovenafvoer doet zich een daling van de conductiviteit voor.

Te Liefkenshoek en Prosperpolder deed deze daling zich vnl. voor tijdens wasregimes (zie §3.3.2) 6, 2, 5 en 7 en in mindere mate wasregimes 3 en 4 en de verhoogde bovenafvoer tijdens eind juni, eind juli en rond 8/09/2013, analoog aan Boei 84 en Oosterweel. Te Hemiksem deden de meest significante dalingen in conductiviteit t.g.v. toegenomen bovenafvoer zich voor tijdens wasregime 5 en de verhoogde bovenafvoer tijdens eind juli en rond 8/09/2013 en in mindere mate tijdens wasregime 6, 7 en eind juni, analoog aan Driegoten.



Figuur 89 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Hemiksem (Boven-Zeeschelde) en Prosperpolder en Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)

Figuur 90 toont het jaarverloop van de conductiviteit voor de YSI meetposten te Appels, Duffelsluis, Epegem en Melle. De conductiviteit is op deze opwaartse meetplaatsen zeer klein ($<2.100 \mu\text{S/cm}$). Het verloop van de conductiviteit wordt er voornamelijk beïnvloed door het bovendebiet (afvoer zoet water). Naast de wasregimes 2, 4, 5 en 7 (zie §3.3.2) leidden enkele hevige zomerbuien (eind juni, eind juli en rond 8/09/2013) eveneens tot een duidelijke afname in conductiviteit, vnl. in Duffelsluis en Epegem. Tevens is te Duffelsluis de veertiendaagse invloed van de doortij/springtij-cyclus merkbaar. Gedurende bijna het hele jaar ligt de conductiviteit voor Duffelsluis en Epegem hoger dan deze te Melle en Appels. Dit toont dat de zoutindringing in het Zeescheldebekken eerder en grootser Duffelsluis en Epegem (via Rupel en verder opwaarts) bereikt dan wel Appels en Melle. Dit is voornamelijk te wijten aan de grotere (zoutreducerende) aanvoer van zij- en bovendebiet in de Boven-Zeeschelde (vnl. afvoer Bovenschelde, Leie, Dender en in mindere mate Durme) ten opzichte van de kleinere bovenafvoer van het Rupelbekken. De grotere afstand van Melle tot de Scheldemonding speelt hierin een kleinere rol.



Figuur 90 - Conductiviteit bij heersende temperatuur te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Eppegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde)

4.1.5. Verloop turbiditeit en suspensiegehalte

Zoals vermeld in Tabel 13 worden turbiditeiten gemeten op twee hoogten langs de verticale te Oosterweel en aan Boei 84, terwijl te Driegoten, Melle, Appels, Epegem en Duffelsluis op één hoogte gemeten wordt. De eerste drie locaties (in het 'maritieme' gedeelte van de Zeeschelde) worden bemeaten met Aanderaa toestellen (met meetinterval 10 minuten). Daarbij zijn alle toestellen van het type Seaguard2500 (meetbereik turbiditeit tussen 0-2.500 FTU). Omwille van een defect werd het bovenste meettoestel te Boei 84 op 18/09/2013 tijdelijk (tot begin 2014) vervangen door een toestel van type Seaguard500 (meetbereik turbiditeit 0-500 FTU). De toestellen te Appels, Epegem, Melle en Duffelsluis meten om de 5 minuten en zijn YSI-toestellen van het type YSI 6920. Dit houdt in dat deze drie toesteltypes elk een andere relatie zullen hebben tussen hun turbiditeitseenheid (in de praktijk NTU voor YSI en FTU voor Aanderaa Seaguard toestellen) en de bijbehorende sedimentconcentraties (suspensie-gehalte of SSC) die zij waargenomen hebben, zelfs al meten deze op dezelfde locatie. Dit wordt verder besproken in § 4.1.5.2.

Een bijkomende opmerking bij het Aanderaa-toestel van het type Seaguard500 (SG500), nl. te Boei 84 het bovenste meettoestel vanaf 18/09/2013, is dat dit geen turbiditeitswaarden hoger dan 500 FTU kan registreren (verzadiging sensor). Bijgevolg werden geregeld de maximale waarden gemeten met deze Seaguard-sonde. Met andere woorden, turbiditeitswaarden hoger dan 500 FTU deden zich voor, maar konden niet geregistreerd worden (plafonnering op 500 FTU). Men kan dus stellen dat dit Seaguard toestel, hoewel het een turbiditeitsrange van 0-500 FTU bestrijkt, een te beperkt bereik heeft voor metingen in de Zeeschelde. Het is belangrijk om dit in rekening te brengen bij het interpreteren van de hieronder weergegeven grafieken. De turbiditeitswaarden plafonneerden immers geregeld en de maximale en gemiddelde turbiditeitswaarden werden berekend op basis van de tijdreeks waarin deze 'plafond'-waarden opgenomen zijn. Hierdoor zullen zowel de maxima als de gemiddelden soms lager uitvallen dan in werkelijkheid het geval zou moeten zijn. Op de grafieken is steeds aangeduid met welk toesteltype gemeten is.

4.1.5.1 Turbiditeit

Voor de meetlocaties waar Aanderaasondes de snelheidsrichting meten (Boei 84, Oosterweel en Driegoten), wordt de minimale turbiditeit binnen een venster van een uur voor tot een uur na de kentering gerapporteerd (Figuur 91 t.e.m. Figuur 95). Tevens worden de gemiddelde en de maximale turbiditeit bij eb en vloed weergegeven (Figuur 96 t.e.m. Figuur 105). Voor de meetlocaties met YSI sondes (Appels, Epegem, Melle en Duffelsluis) worden de continue meetreeksen getoond (zie Figuur 106 t.e.m. Figuur 109). De onderbrekingen in de grafieken betreffen periodes dat meettoestellen voor ijkingen, nazicht en onderhoud van hun meetplaats werden weggenomen, het meettoestel zonder stroomvoorziening viel of defect was. Te Epegem werden tevens tijdens de validatie van de data een aantal periodes verwijderd aangezien de meetgegevens uitschieters vertoonden en/of waar de turbiditeitsmetingen duidelijk vertekend werden door vuilophoping en/of aangroei rond de sensor.

Algemeen worden de kleinste turbiditeiten steeds geobserveerd tijdens kentering aangezien de stroomsnelheid dan minimaal is en dus "bezinking" van de sedimenten optreedt. De turbiditeitswaarden bij kentering kunnen dus als een 'achtergrondwaarde' voor de turbiditeit beschouwd worden. De turbiditeit is o.a. functie van de stroomsnelheid en deze is functie van het tijverschil, wat gerelateerd is aan de cyclus doortij/springtij. Deze veertien/vijftiendaagse cyclus kan dan ook in de grafieken geobserveerd worden voor de meer afwaartse meetlocaties (Boei 84, Oosterweel en Driegoten) en in mindere mate Duffelsluis en Melle.

De figuren tonen ook dat er binnen alle meetwaarden over een jaar, of over een deel-periode van een jaar bvb. voornoemde tijcyclus, meer waarden aanwezig zijn van lage en gemiddelde turbiditeit en dat de grote tot zeer grote waarden uitschieters zijn waarvan er ook telkens een aanzienlijk aantal van aanwezig kunnen zijn.

Het verloop van de turbiditeit te Boei 84 en Oosterweel vertoont duidelijk verhogingen tijdens midden januari, eind februari en midden december en daarnaast ook tijdens eind mei en midden september. Op de Beneden-Zeeschelde lijkt de turbiditeit dus hoofdzakelijk gerelateerd te zijn aan andere processen (tij, hoge turbiditeitszones, etc.) eerder dan aan een toename in de bovenafvoer. Te Driegoten situeren de turbiditeitspieken zich rond eind januari, september, midden november en eind december.

De wasregimes 2, 6 en 7 (zie §3.3.2) worden te Driegoten duidelijk vertaald in een toename van de turbiditeit. De verhoging tijdens september kan echter niet door een debiettoename verklaard worden. De turbiditeit bij kentering vertoont ook pieken bij wasregime 1 en 3.

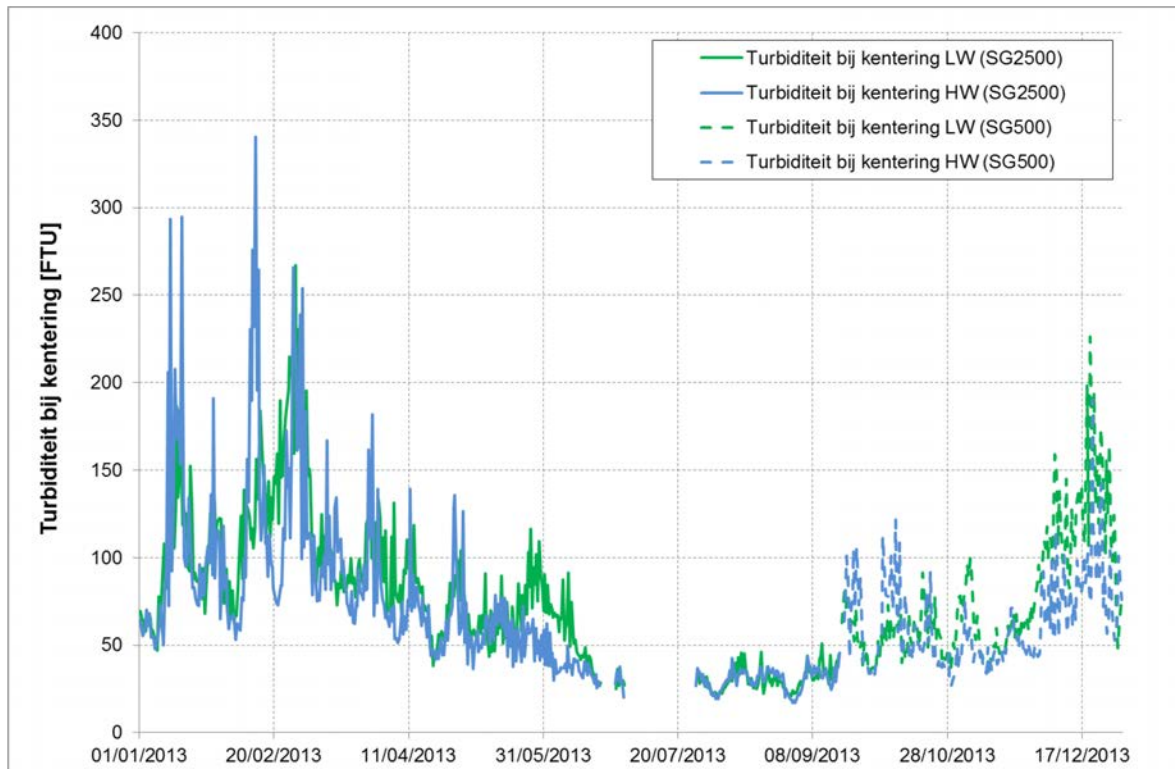
Het is bekend dat zich tussen Antwerpen en Doel, een zone van zogenaamde "maximum-turbiditeit" voordoet, die volgens de langsas naar op- of afwaarts verschuift al naargelang de grootte van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, net zoals de brakke zone (Taverniers et al., 2013). Op zich vormt dit al een eerste drijfveer van seizoenale variatie van turbiditeit. De temperatuur van het Scheldewater is mede een tweede doch onrechtstreekse drijfveer: tijdens de winter zullen de suspensie-partikels meer als aparte deeltjes aanwezig zijn, terwijl in de zomer meer als samengeklitte vlokken. Ook de mogelijkheid van erosie of resuspensie van deeltjes is zo seizoenaal gebonden.

Er kan een toename in turbiditeit tijdens augustus tot oktober worden waargenomen op de Boven-Zeeschelde te Driegoten en te Melle. Dit zou kunnen verklaard worden door de opschuiving van het tweede turbiditeitsmaximum dat in de Zeeschelde aanwezig is, nl. deze die zich in winteromstandigheden om en rond Hamme-Dendermonde bevindt. In zomer-omstandigheden gaat die meer naar stroomopwaarts, door de lange relatief droge periode. De turbiditeiten op de Boven-Zeeschelde zakken namelijk opnieuw vanaf eind oktober. De turbiditeit bleef daarna significant lager te Melle dan tijdens de maanden ervoor, met uitzondering van de wasregimes van midden november en eind december. Te Driegoten bleef de turbiditeit vanaf eind oktober in dezelfde grootte-orde als de maanden ervoor.

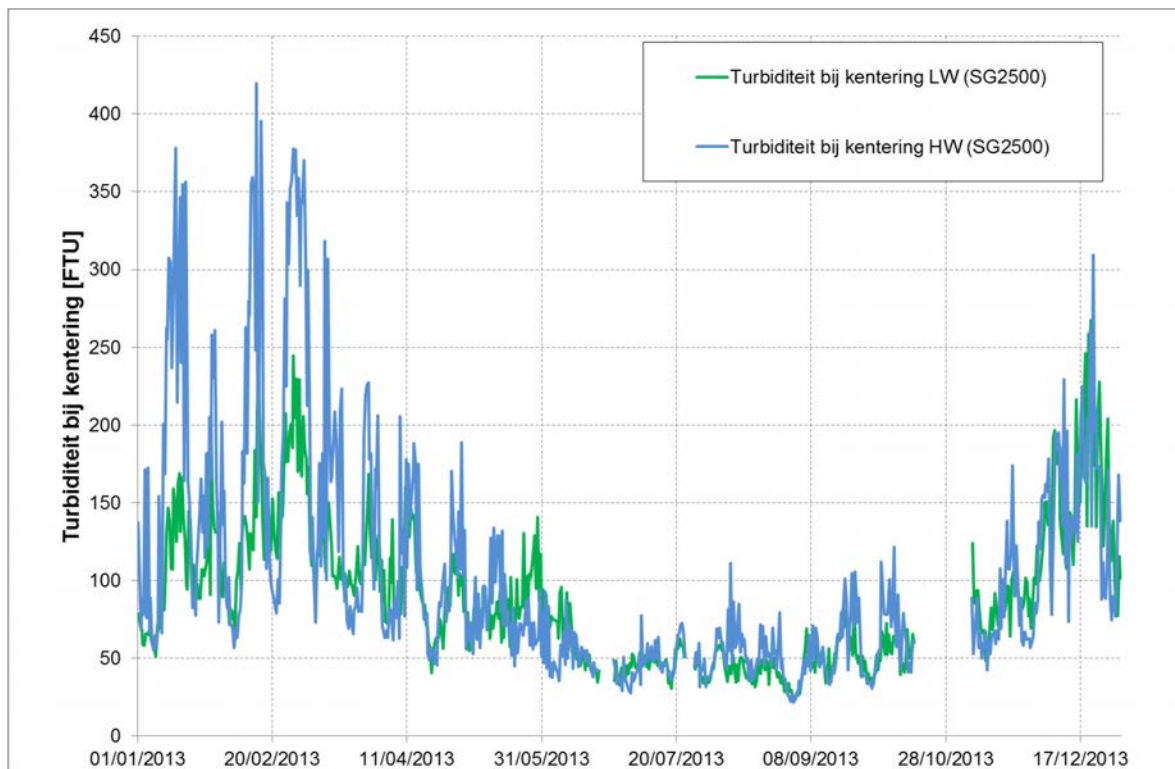
Aan de meer opwaartse meetlocaties te Appels en Melle is de turbiditeit wel duidelijk gerelateerd aan het bovendebiet in de waterloop. De grootste turbiditeitspieken doen zich voor tijdens wasregimes (zie §3.3.2) 2, 6 en 7 en te Appels ook wasregime 1. Daarnaast zijn er ook duidelijke verhogingen van de turbiditeit bij wasregimes 3 en 5 en in mindere mate 4 voor beide meetposten. Te Melle doen zich ook nog turbiditeitspieken voor tijdens de verhoogde bovenafvoeren van eind juni, eind juli en rond 8/09/2013. Behalve tijdens de wasregimes vallen de turbiditeiten te Melle binnen een range van 0 tot ongeveer 200 NTU. Bij de wassen worden te Melle piekwaardes tot 500 NTU verkregen. Te Appels zijn de turbiditeiten lager dan 100 NTU. Tijdens de wassen werden piekwaarden tot 650 NTU geregistreerd.

In Duffelsluis beperken de gemeten turbiditeiten zich hoofdzakelijk tot ongeveer 100 NTU, terwijl verhogingen tot 260 NTU werden gemeten eind januari, midden maart, midden mei, begin en eind juni, eind juli, begin augustus, midden en eind september, begin oktober en midden december. Deze verhogingen kunnen dus slechts gedeeltelijk gelinkt worden aan de optredende wasperiodes in 2013. De wasregimes 2, 3, 4, en 5 geven aanleiding tot hogere turbiditeiten. Tijdens wasregime 6 is de turbiditeit laag, maar tijdens deze periode werd te Duffelsluis nauwelijks een verhoging in debiet waargenomen (zie §3.3.2.6). De grootste turbiditeitspiek situeert zich eind juni, maar toen werd nauwelijks een verhoging van debiet waargenomen (zie §Figuur 30).

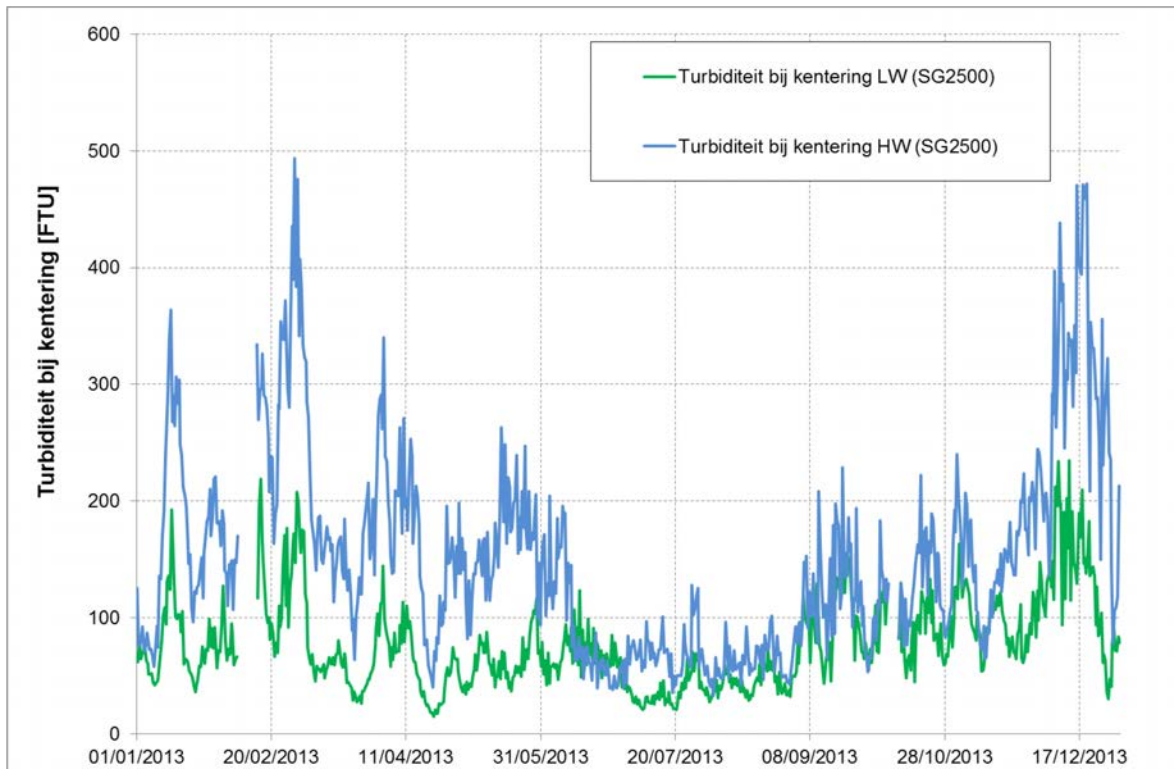
Te Epegem vallen de turbiditeitsverhogingen samen met de wasregimes 1, 2 (grootste piek), 3, 4, 5, 6 en 7. Tijdens deze periodes worden turbiditeitswaarden tot 1.250 NTU gemeten, terwijl daarbuiten de turbiditeit beperkt wordt tot 100 NTU, behalve vier pieken midden april, begin mei, midden augustus en eind november (die niet aan een debietverhoging kunnen gelinkt worden). Tevens doet zich vanaf 18/12 een plotse verhoging van de turbiditeit voor gedurende enkele dagen, tengevolge van een verontreiniging die werd vastgesteld door de Vlaamse MilieuMaatschappij (incident VLA\2013-19-A).



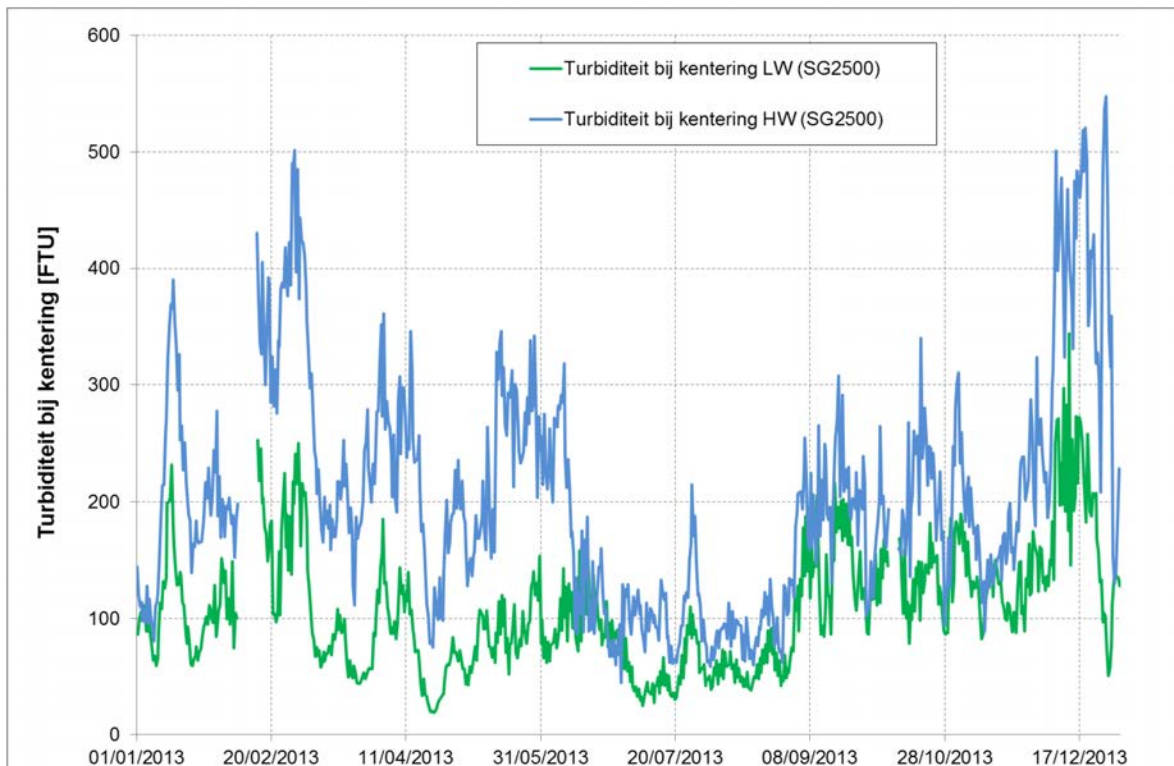
Figuur 91 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



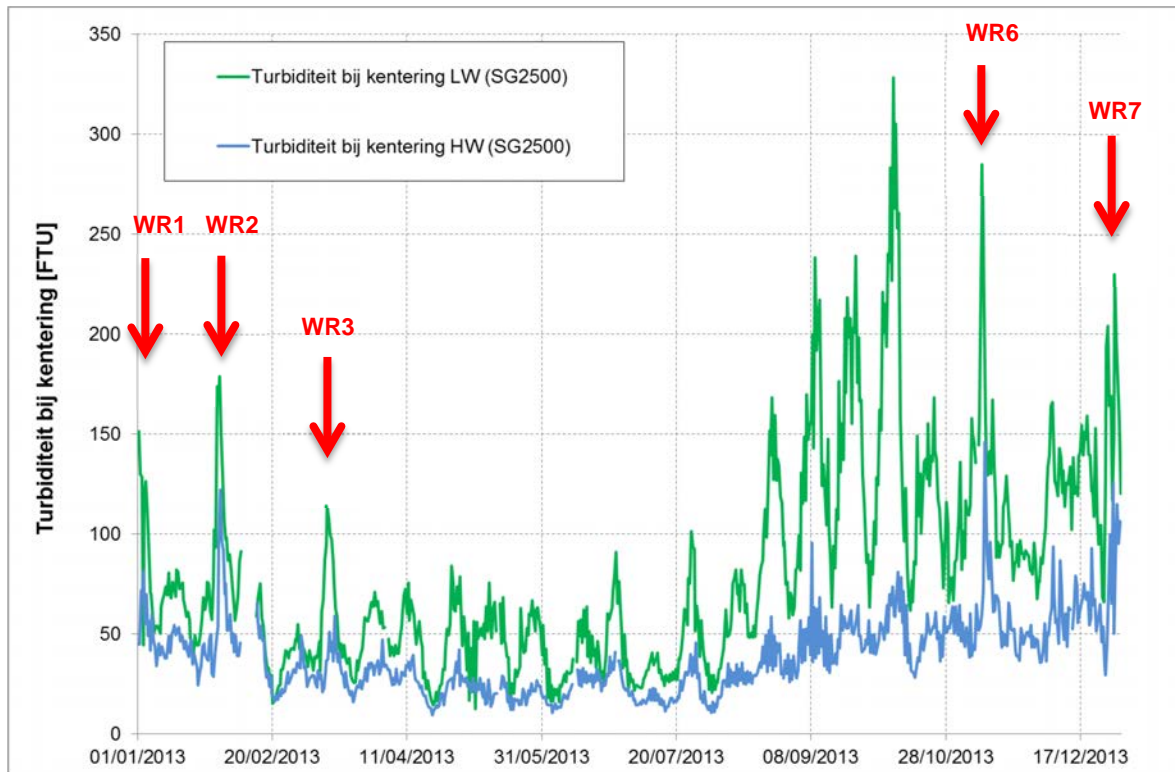
Figuur 92 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



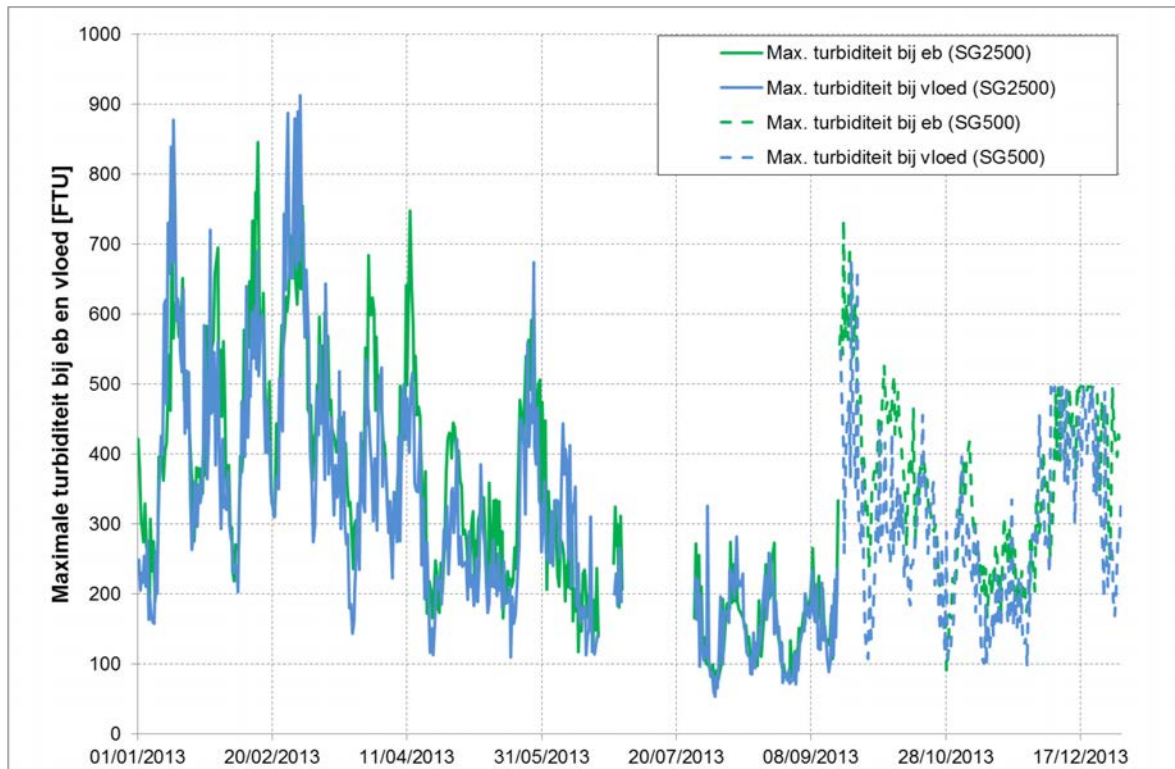
Figuur 93 - Turbiditeit bij KHW en K LW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



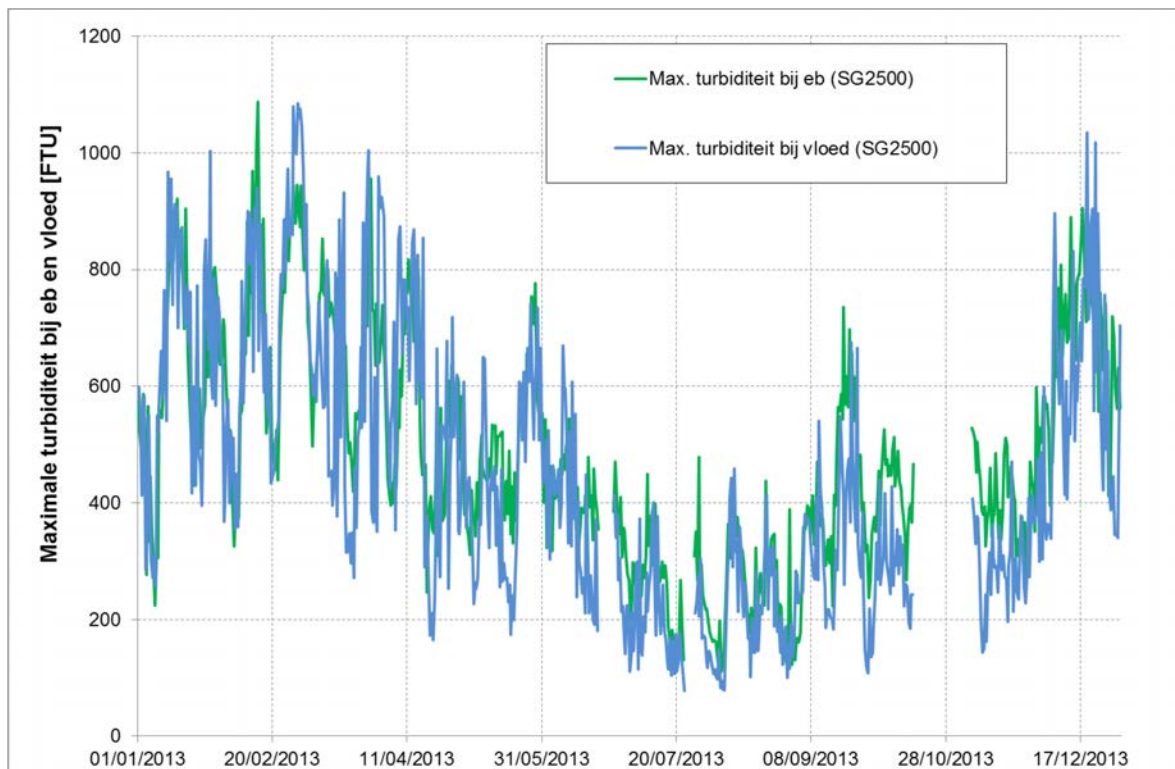
Figuur 94 - Turbiditeit bij KHW en K LW te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



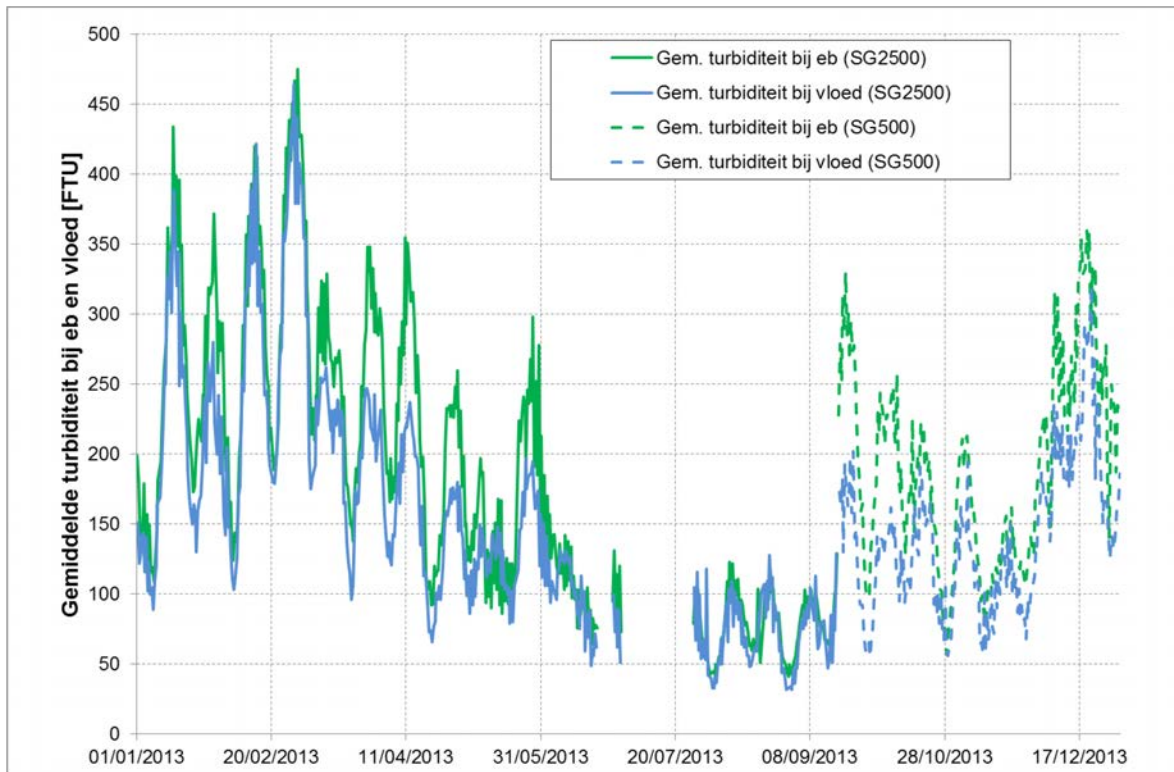
Figuur 95 - Turbiditeit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



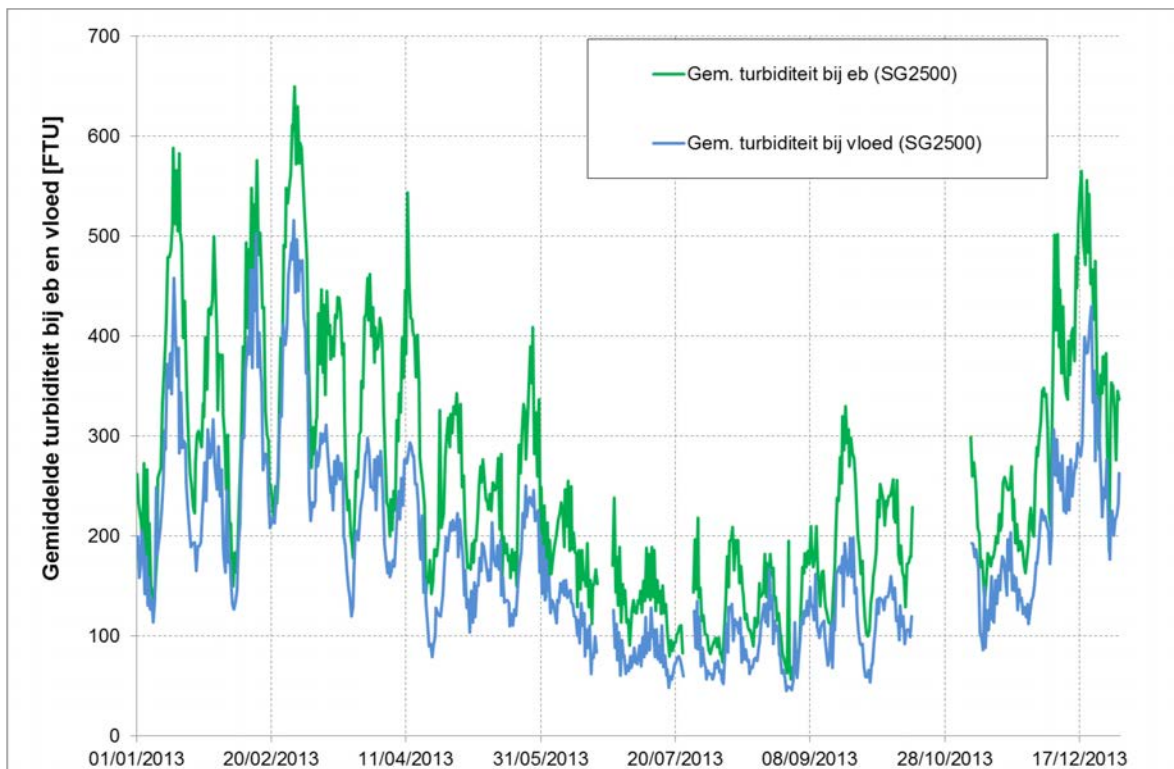
Figuur 96 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



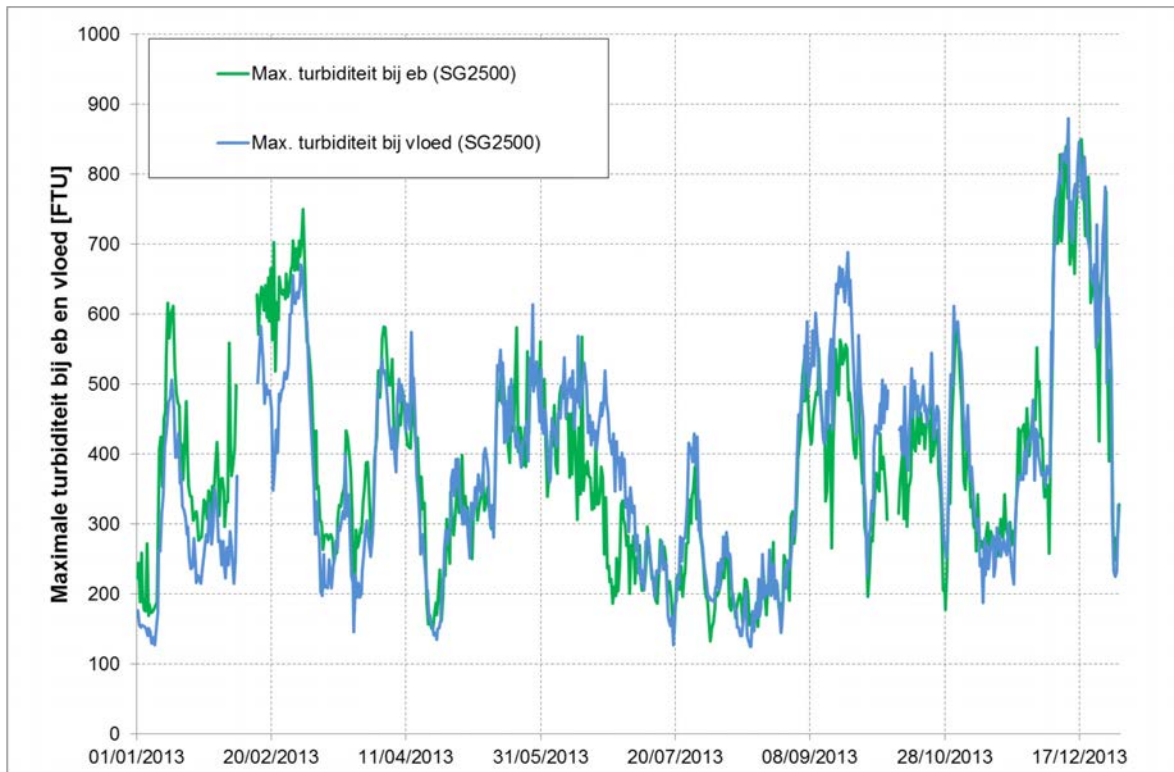
Figuur 97 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



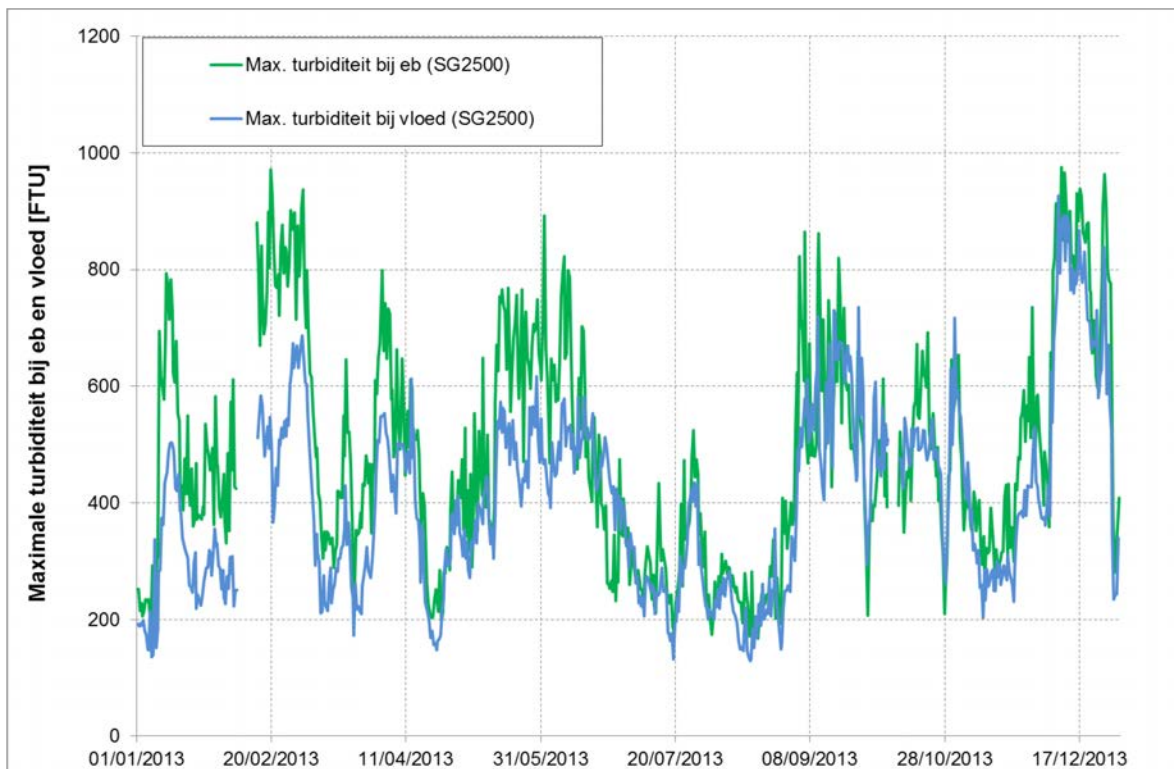
Figuur 98 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



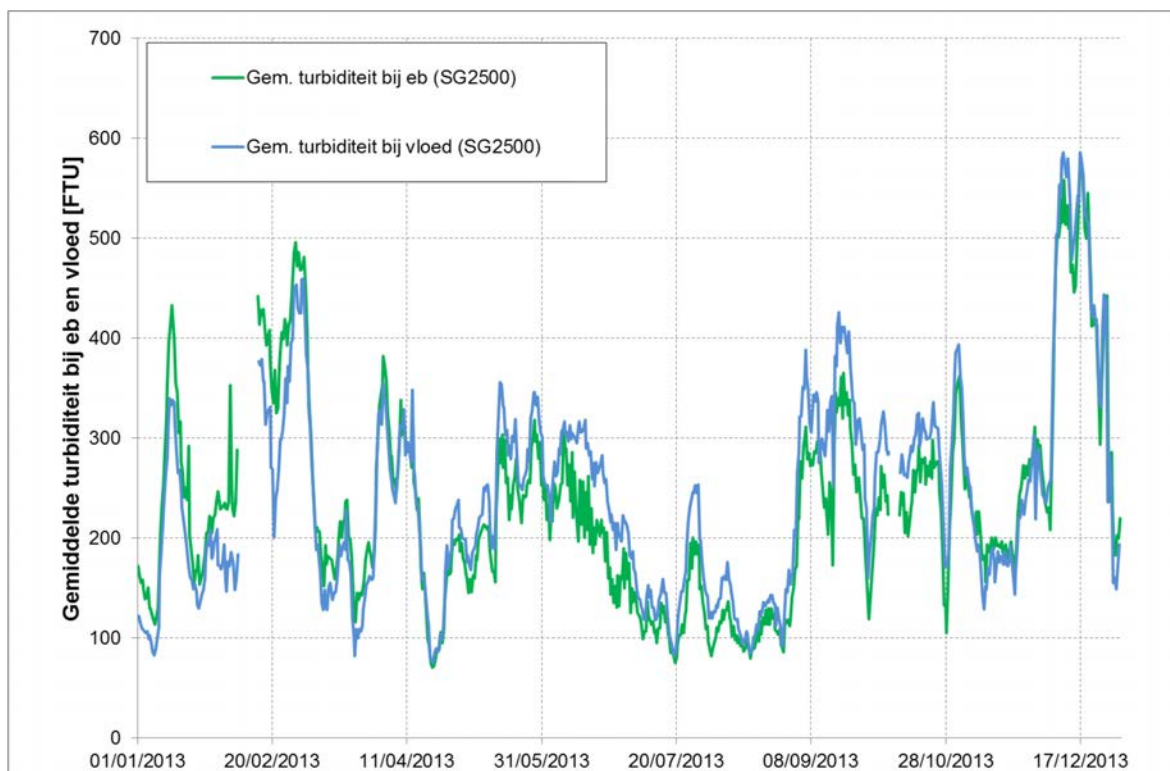
Figuur 99 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



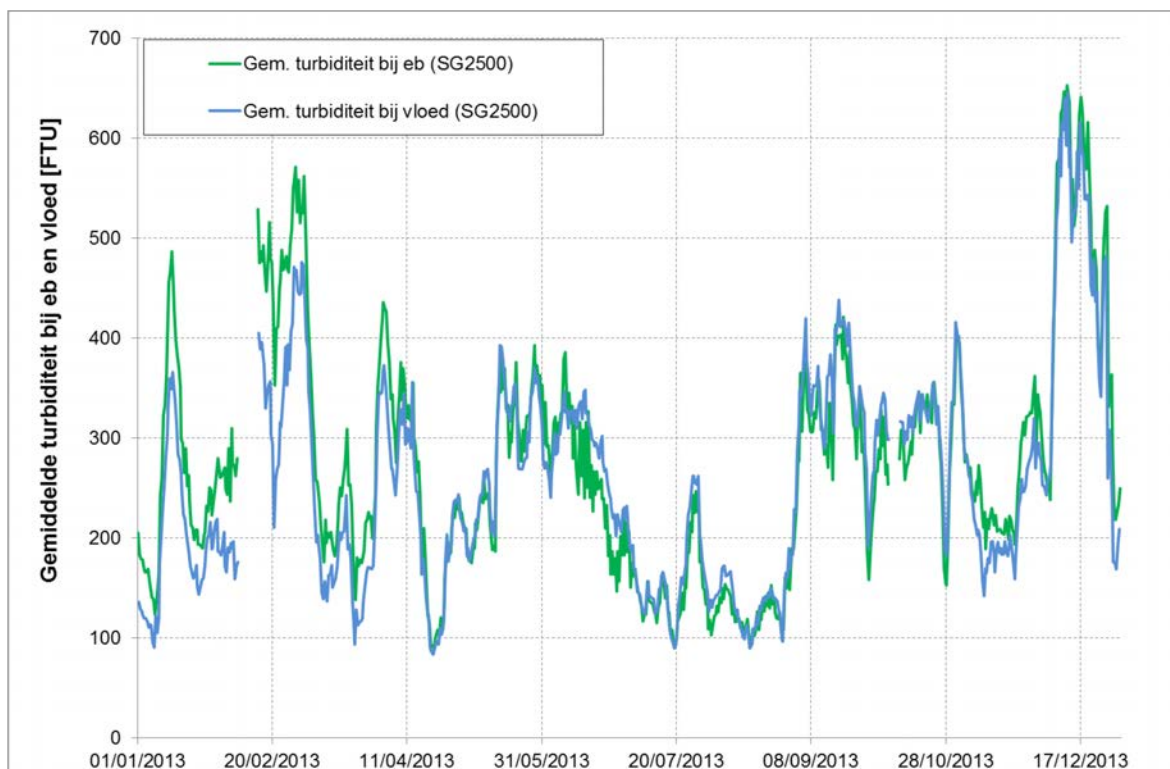
Figuur 100 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



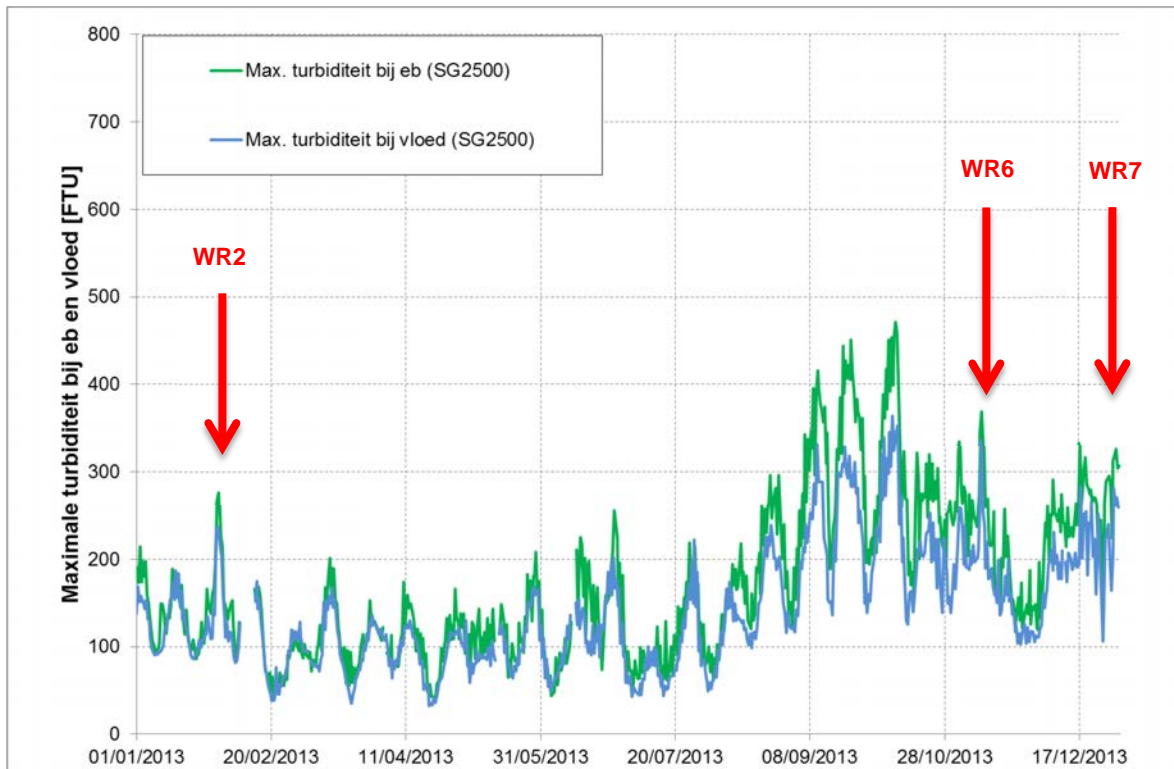
Figuur 101 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



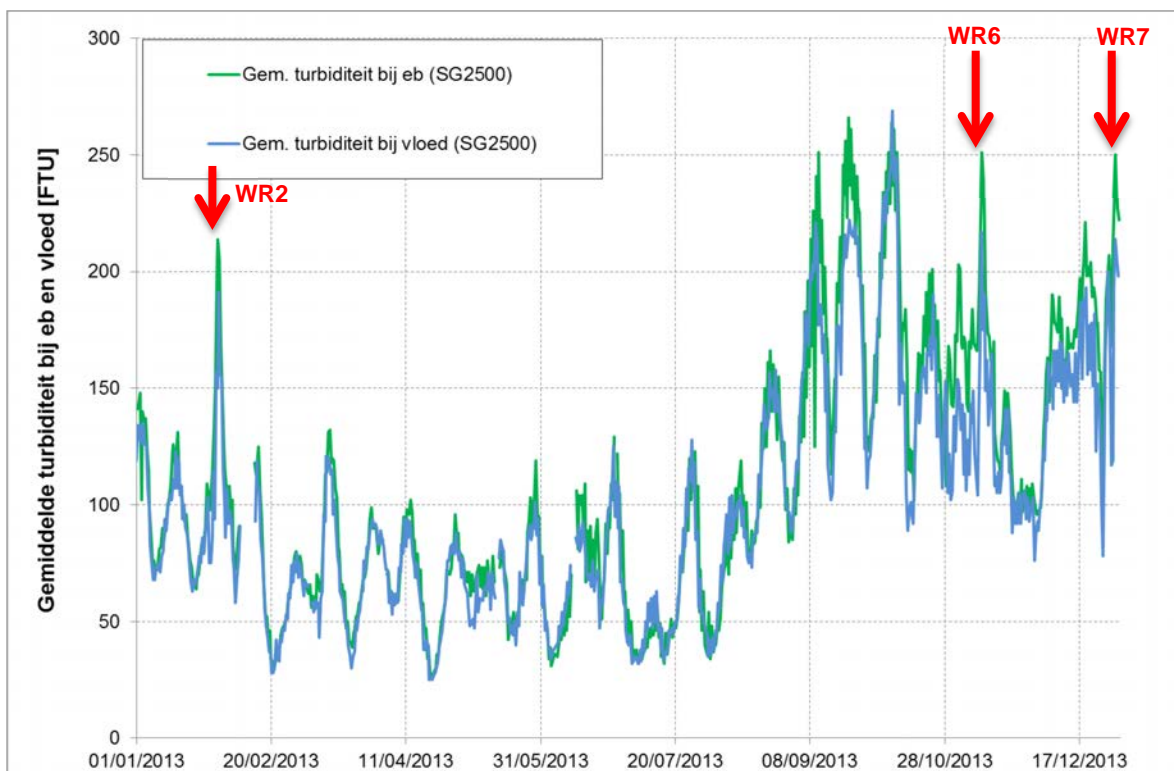
Figuur 102 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



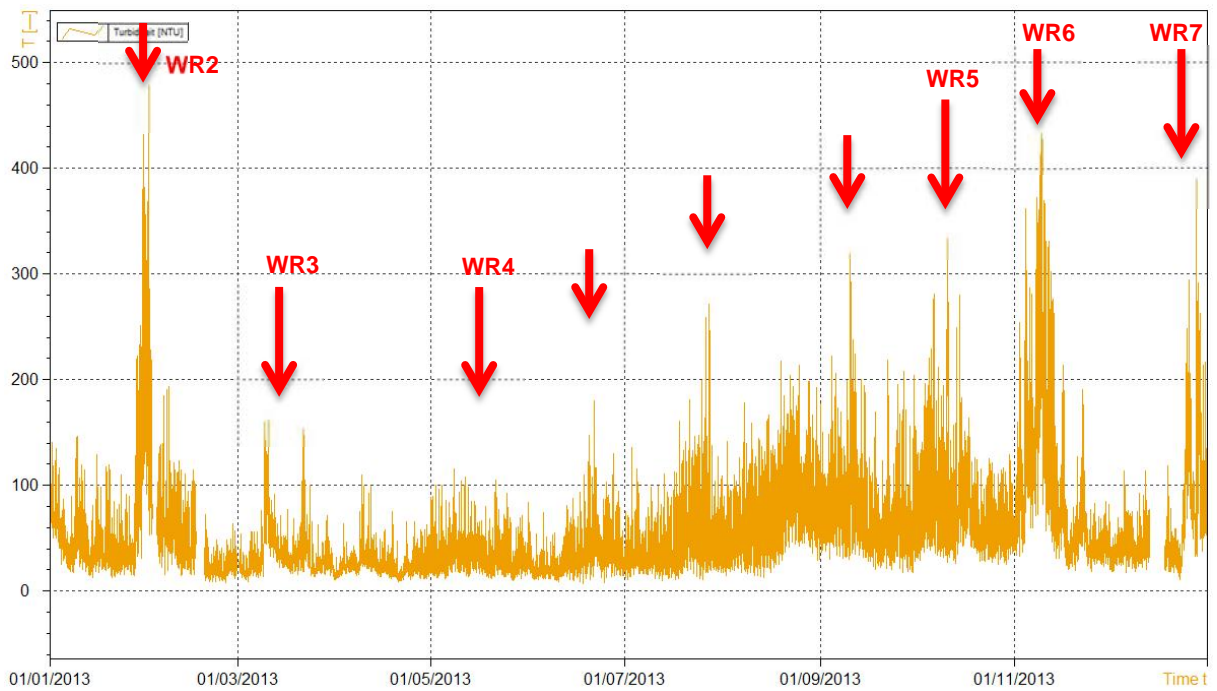
Figuur 103 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



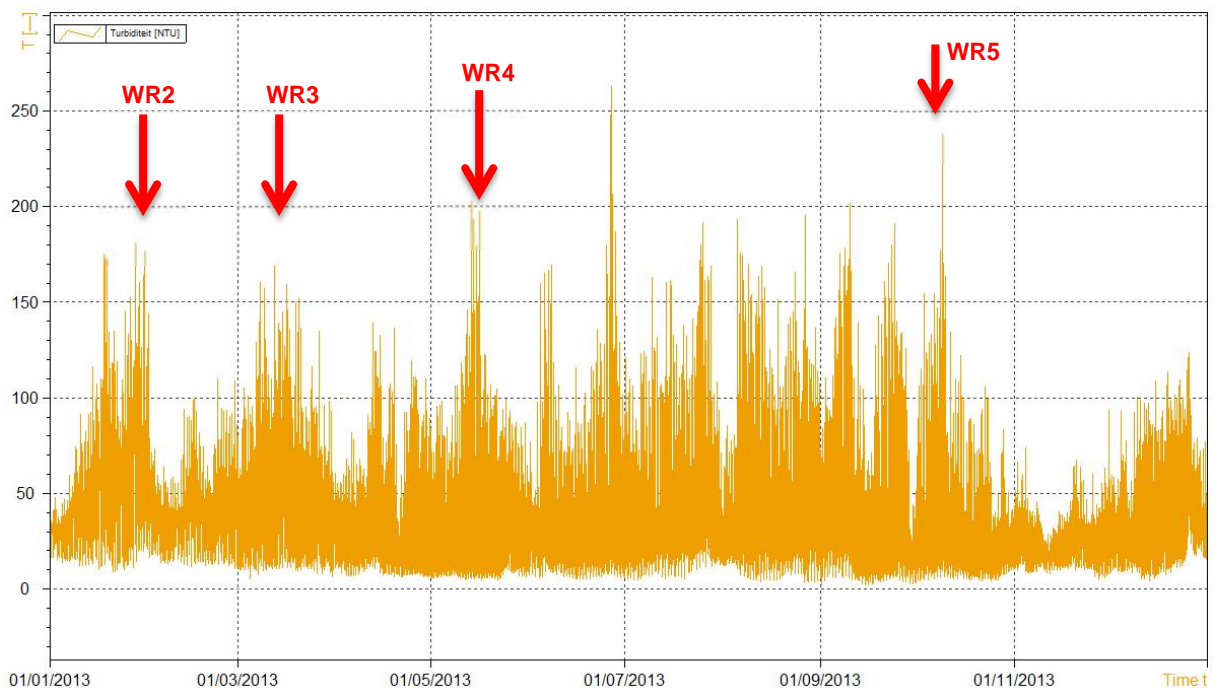
Figuur 104 - Maximale turbiditeit bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



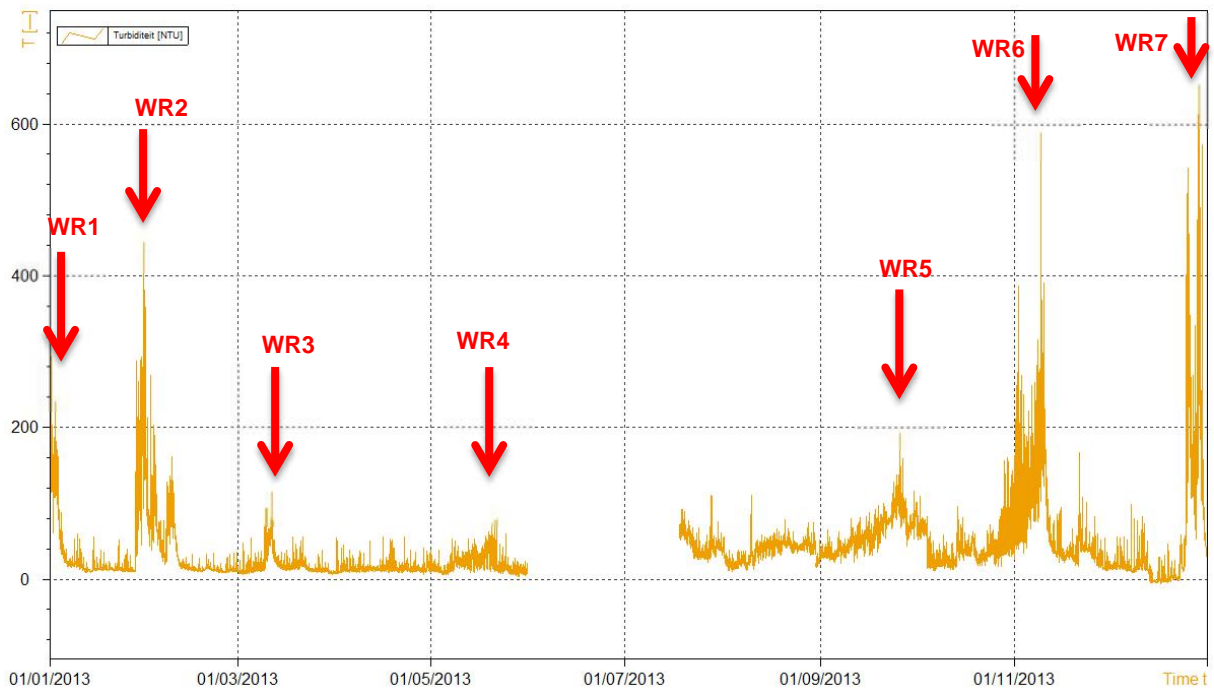
Figuur 105 - Gemiddelde turbiditeit bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



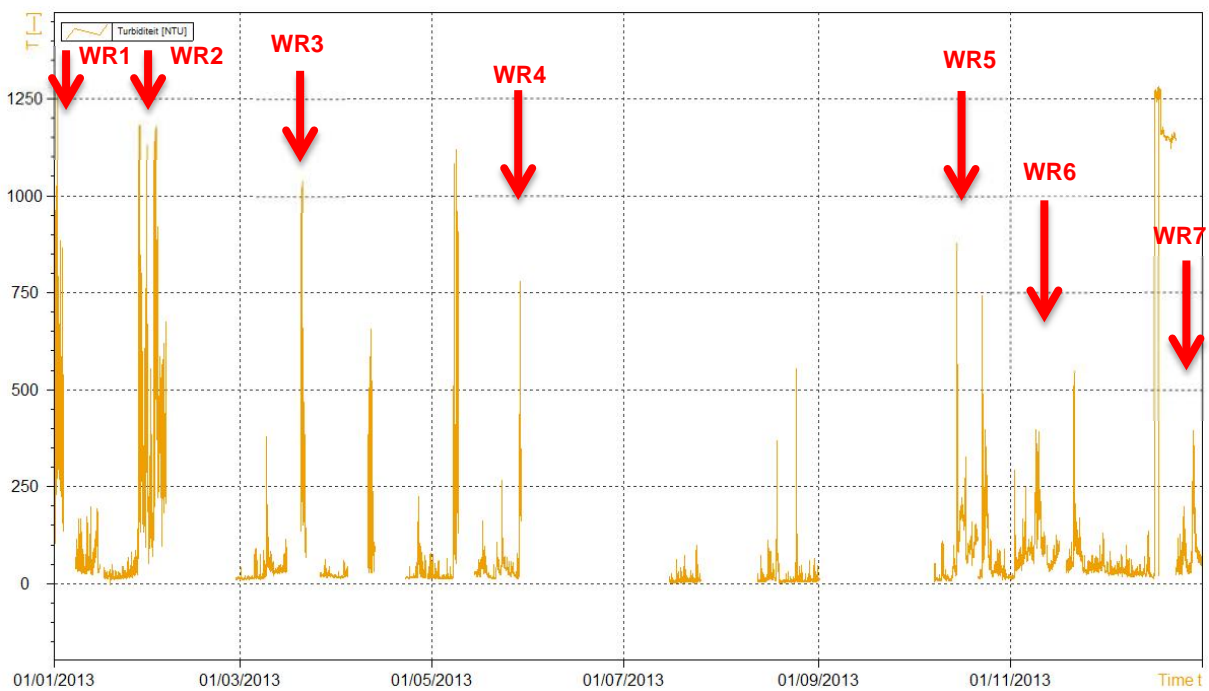
Figuur 106 - Turbiditeit gemeten te Melle (Boven-Zeeschelde)



Figuur 107 - Turbiditeit gemeten te Duffel-sluis (Beneden-Nete)



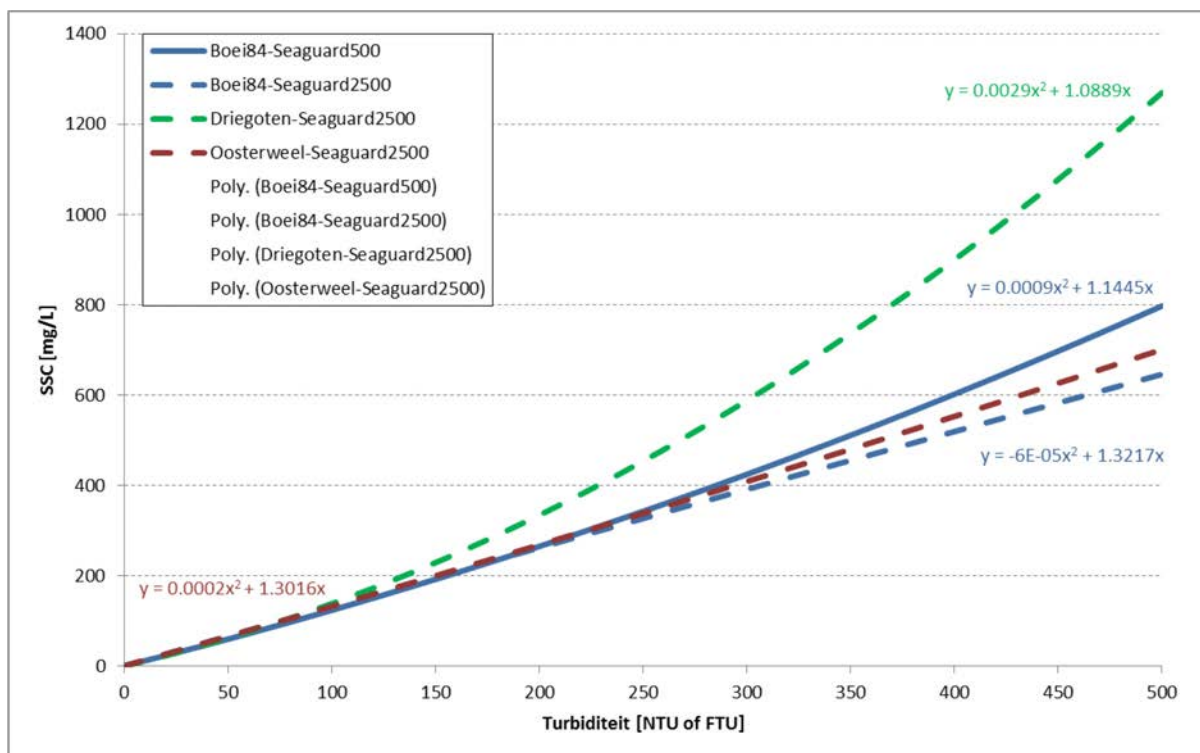
Figuur 108 - Turbiditeit gemeten te Appels (Dender)



Figuur 109 - Turbiditeit gemeten te Epegem (Zenne)

4.1.5.2 Suspensiegehalte

Gedurende meerdere jaren zijn te Oosterweel, Boei 84 en Driegoten kalibratiecampagnes uitgevoerd, waarbij een groot aantal waterstalen opgepompt werden, waarop nadien de sedimentconcentratie (SSC) werd bepaald, terwijl tevens de turbiditeitswaarden geregistreerd werden met de desbetreffende Aanderaa-toestellen. Uit deze gegevens konden vervolgens relaties tussen het suspensiegehalte en de turbiditeit opgesteld worden (Figuur 110).



Figuur 110 - Kalibratierelaties (Turbiditeit – SSC) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van meetlocaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten

Uit deze kalibratiecampagnes konden volgende conclusies getrokken worden:

- alle gekalibreerde toestellen reageren op eenzelfde manier (hebben eenzelfde Turbiditeit-SSC relatie) voor eenzelfde meetlocatie. Het is dus niet nodig om voor elk toestel afzonderlijk een relatie te bepalen op een bepaalde locatie.
- er zijn kalibratiecampagnes uitgevoerd tijdens winter- en tijdens zomercondities. Door de lage sedimentconcentraties tijdens de zomercampagnes was het niet mogelijk om afzonderlijke seizoenale relaties op te stellen (of om na te gaan of deze verschillen van elkaar). Mogelijks wordt dit wel mogelijk met toekomstige kalibratiecampagnes. De afgeleide relaties gelden aldus voor het gehele jaar.
- het is duidelijk dat voor eenzelfde sedimentconcentratie de turbiditeit te Boei 84 en Oosterweel gelijkaardig is en hoger dan die te Driegoten. Dit houdt in dat de eigenschappen van het getransporteerde sediment (vorm, grootte, kleur, ...) verschillen tussen Boei 84 en Oosterweel enerzijds en Driegoten anderzijds.

Door deze relaties toe te passen kan men voor alle meetlocaties inschattingen van het suspensiegehalte verkrijgen. Echter voor de Seaguard 500 toestellen zullen onderschattingen van het suspensiegehalte gegenereerd worden wanneer geplafonneerde waarden (500 FTU) omgezet worden naar het corresponderend suspensiegehalte, aangezien deze gemeten turbiditeiten eigenlijk onderschattingen zijn van de werkelijk aanwezige turbiditeiten.

Net als voor turbiditeit worden de berekende SSC-reeksen gerapporteerd als de minimale SSC binnen een venster van een uur voor tot een uur na de kentering (Figuur 111 t.e.m. Figuur 115), en de maximale en gemiddelde SSC bij eb en vloed (Figuur 116 t.e.m. Figuur 125).

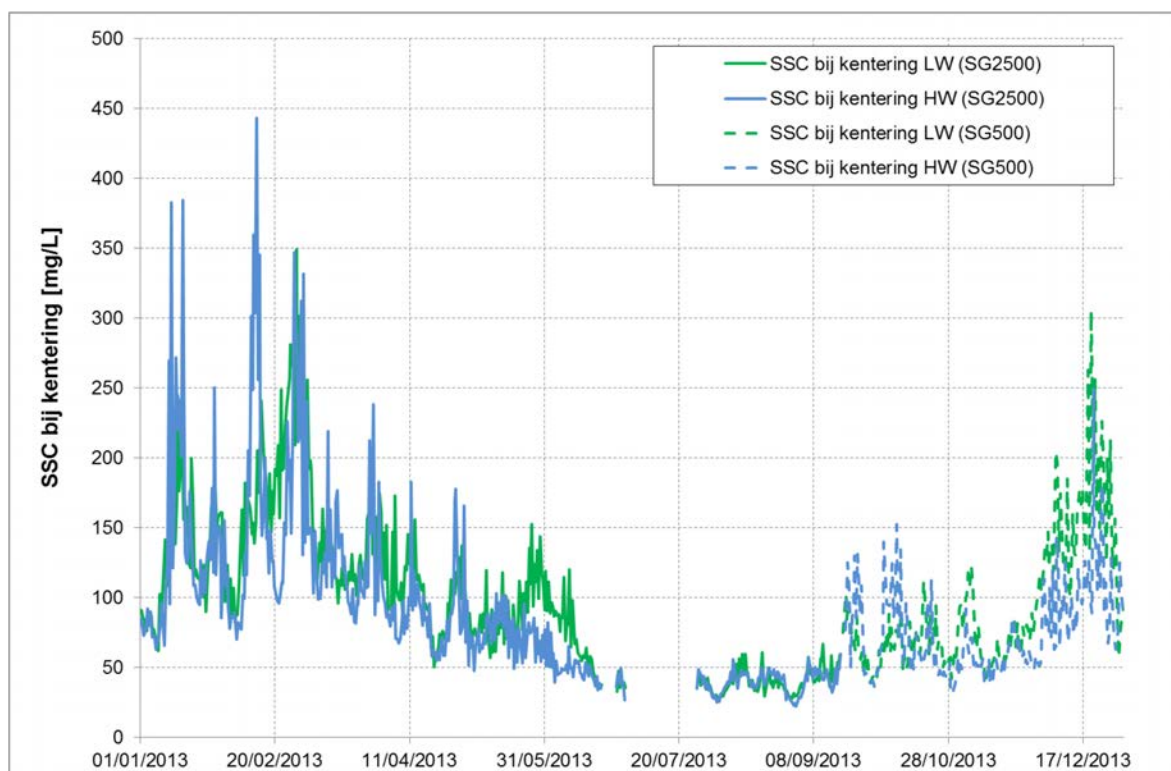
In Tabel 18 en Figuur 126 (boxplot) worden enkele statistieken (minimum, maximum, gemiddelde en standaardafwijking) voor het jaar 2013 weergegeven.

Vermits de suspensiegehaltenes uit de gemeten turbiditeiten worden berekend, kunnen logischerwijs analoge observaties gemaakt worden i.v.m. het tijdsverloop. Hiervoor wordt verwezen naar de bespreking in §4.1.5.1 op pagina 76.

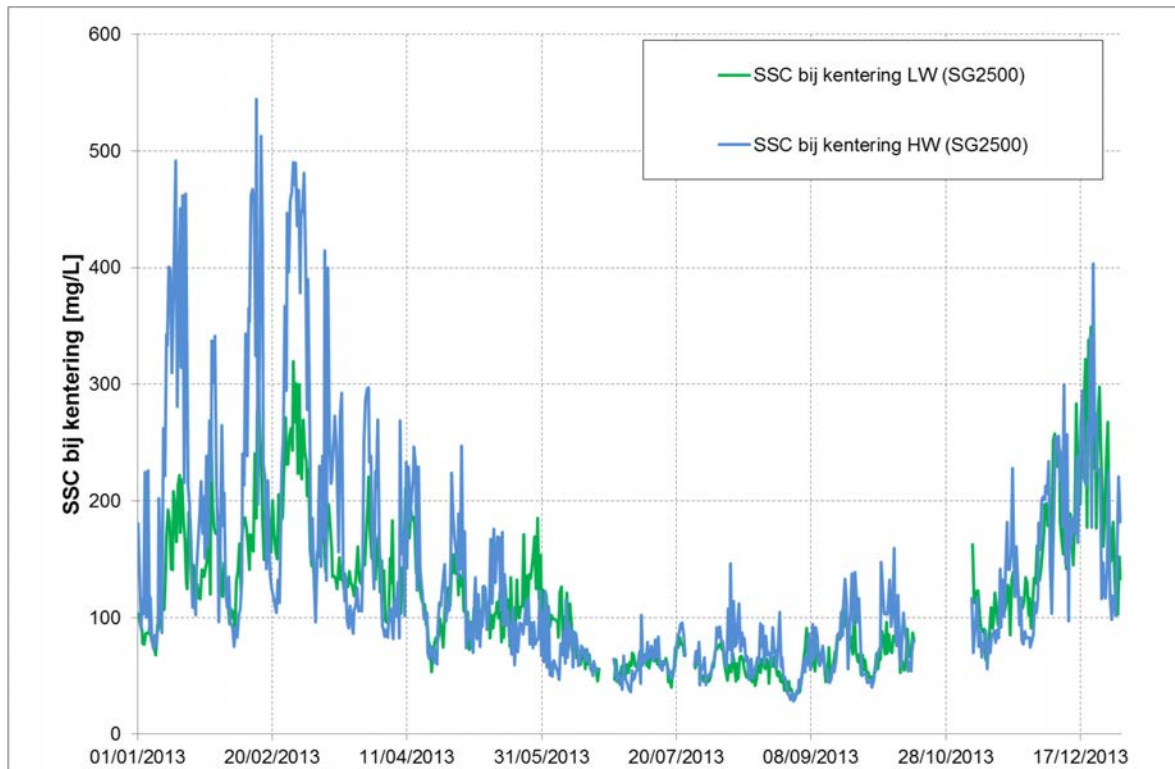
Te Boei 84 vertonen de suspensiegehaltenes bij KHW en KLW een gelijkaardig verloop. Bovendien zijn hun gemiddelden evenals de waardenrange niet significant verschillend. Te Oosterweel is de SSC bij KHW beduidend groter (gemiddelde en maximum) dan bij KLW (vooral tijdens de wintermaanden), terwijl te Driegoten het omgekeerde zich voordoet.

Te Boei 84 vertonen de maximale SSC's bij eb en vloed een gelijkaardig verloop. Bovendien zijn hun gemiddelden evenals de waardenrange niet significant verschillend. Dit is eveneens het geval te Oosterweel, behalve voor het onderste meettoestel waar de maximale SSC iets groter is bij eb. De grafiek voor het bovenste meettoestel te Boei 84 vertoont een aftopping tijdens december, bij suspensiegehaltenes berekend uit een turbiditeit van 500 FTU. De gemiddelde en maximale SSCs bij eb zijn te Driegoten groter dan deze respectieve waarden bij vloed op dezelfde locatie. Dat laatste kan verklaard worden uit het snelheidsverloop (Figuur 62). De stroomsnelheid is te Driegoten immers hoger bij eb dan bij vloed, zodat meer sediment in suspensie wordt gebracht en/of gehouden.

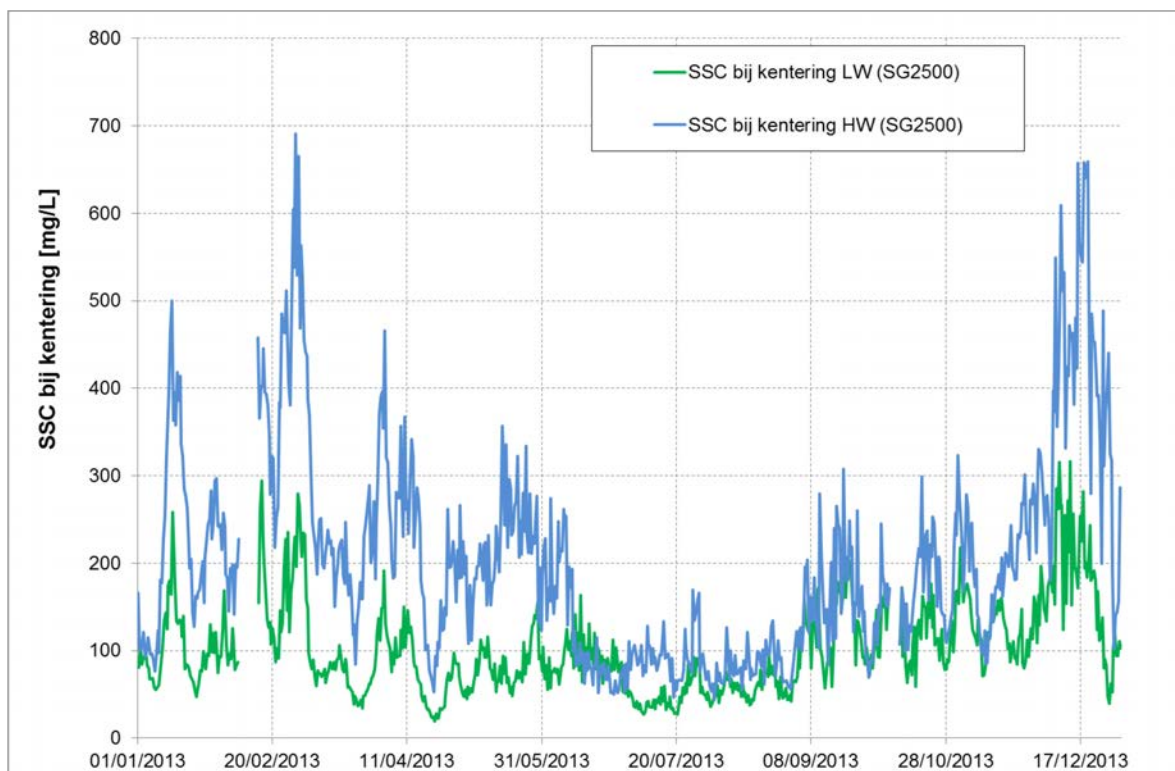
De gemiddelde SSC bij eb is een beetje groter dan deze bij vloed te Boei 84, vnl. voor het onderste meettoestel. Te Oosterweel is de gemiddelde SSC bij vloed wat groter dan bij eb tijdens de zomer, terwijl het omgekeerde geldt tijdens de winter, maar de verschillen zijn minimaal. Ook te Driegoten verschilt de gemiddelde SSC nauwelijks bij eb en vloed, al is ze tijdens eb iets groter.



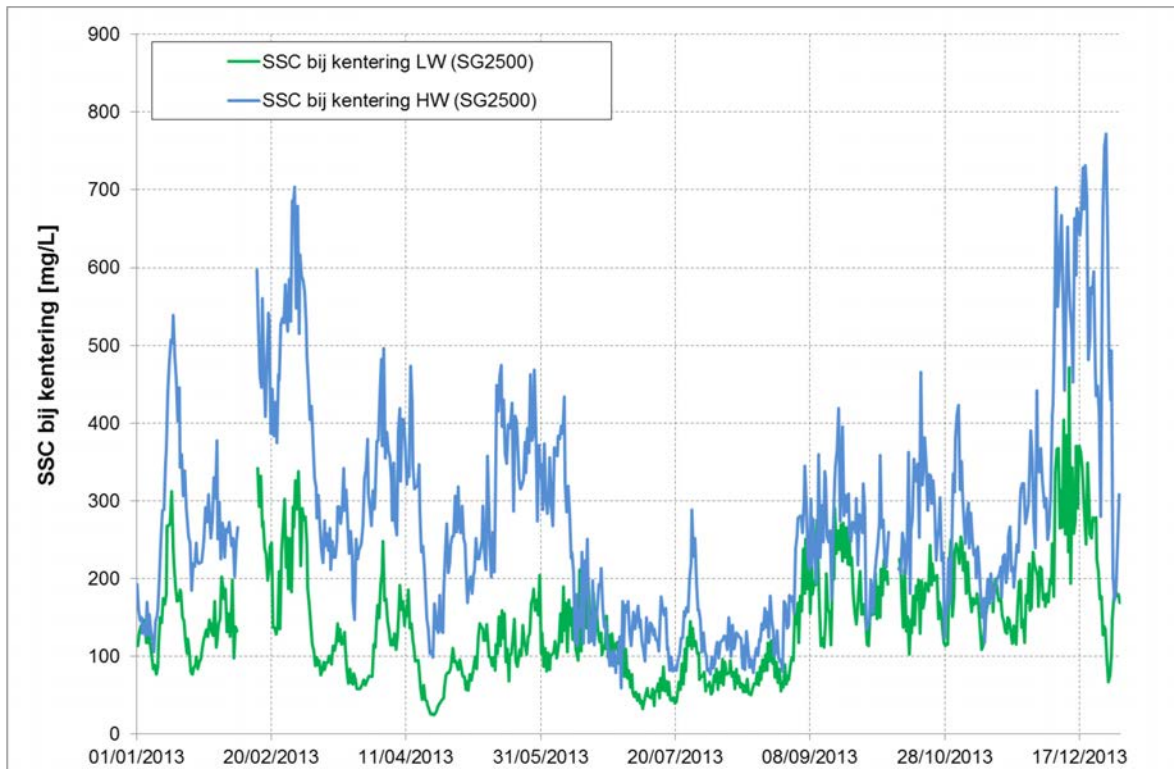
Figuur 111 - SSC bij KLW en KHW te Boei 84 (Beneden -Zeeschelde), bovenste meettoestel



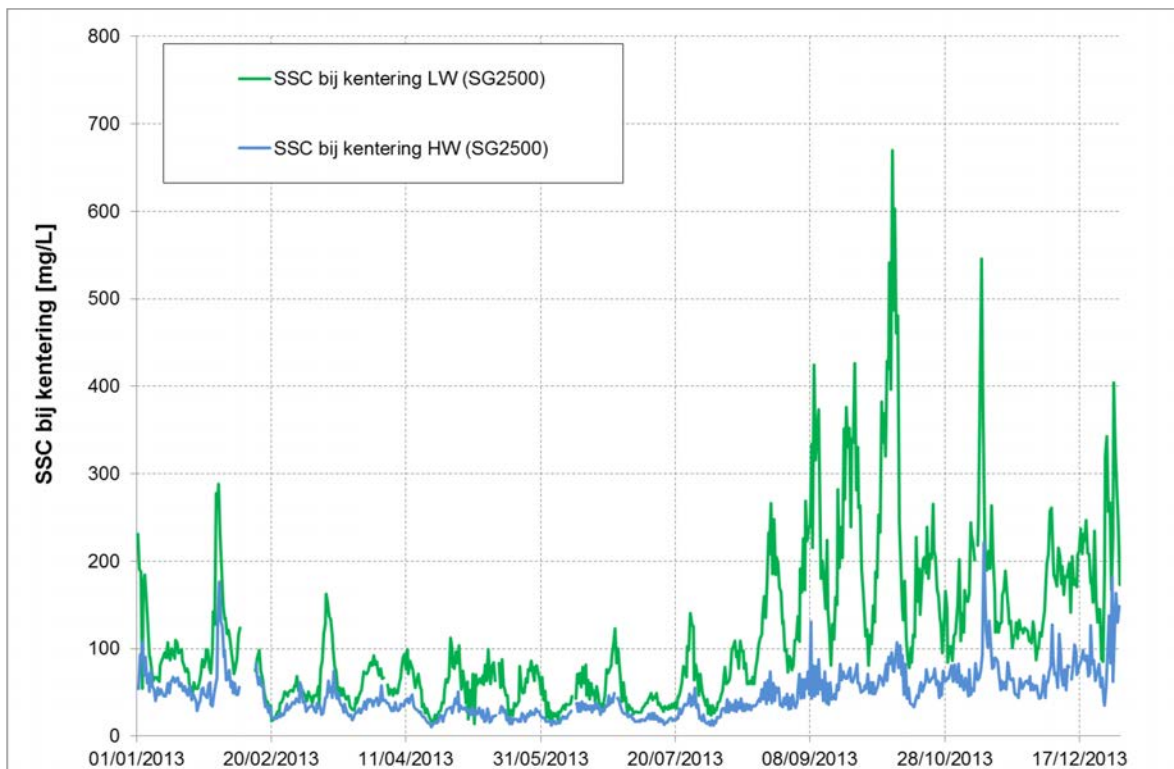
Figuur 112 - SSC bij KLW en KHW te Boei 84 (Beneden -Zeeschelde), onderste meettoestel



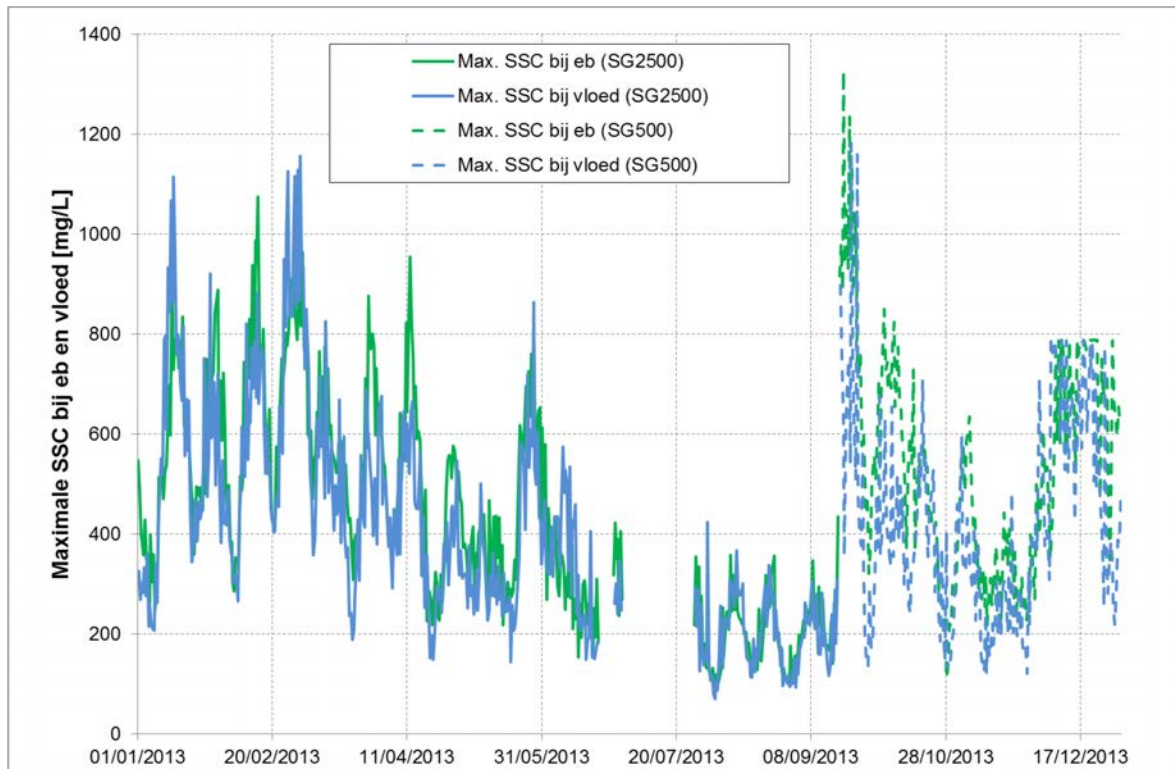
Figuur 113 - SSC bij KLW en KHW te Oosterweel (Beneden -Zeeschelde), bovenste meettoestel



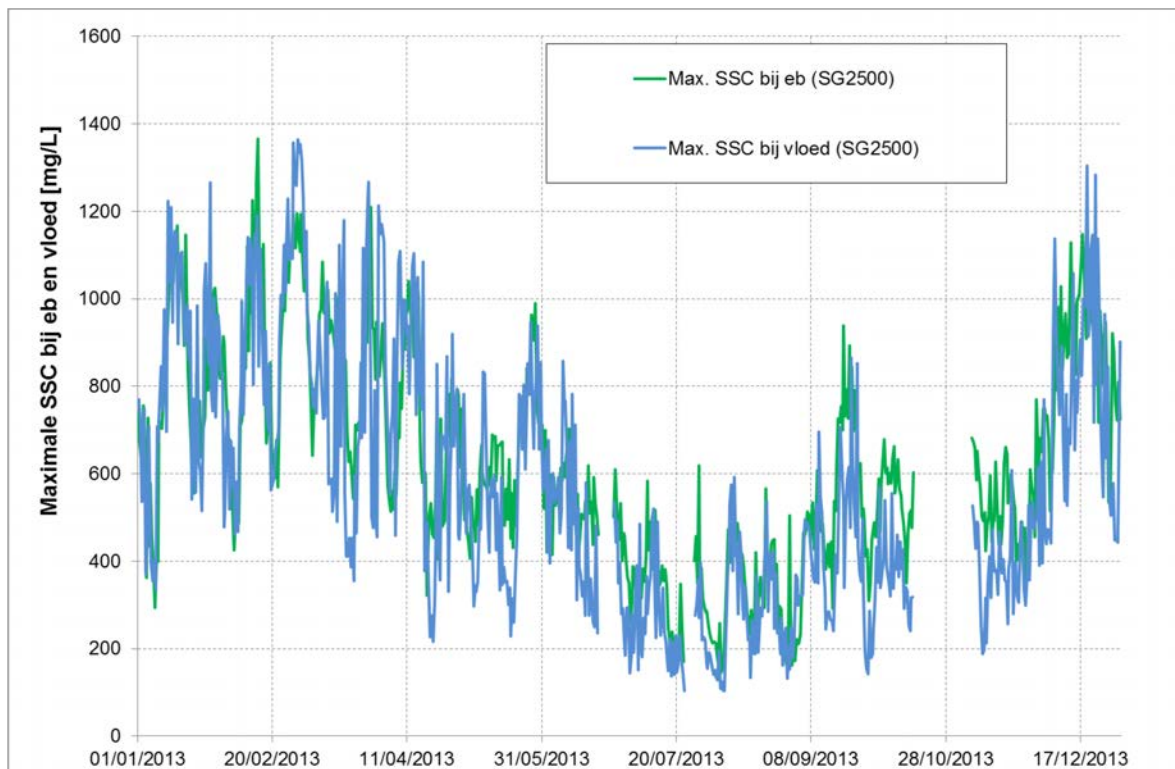
Figuur 114 - SSC bij K LW en K HW te Oosterweel (Beneden-Zeescheldebekken), onderste meettoestel



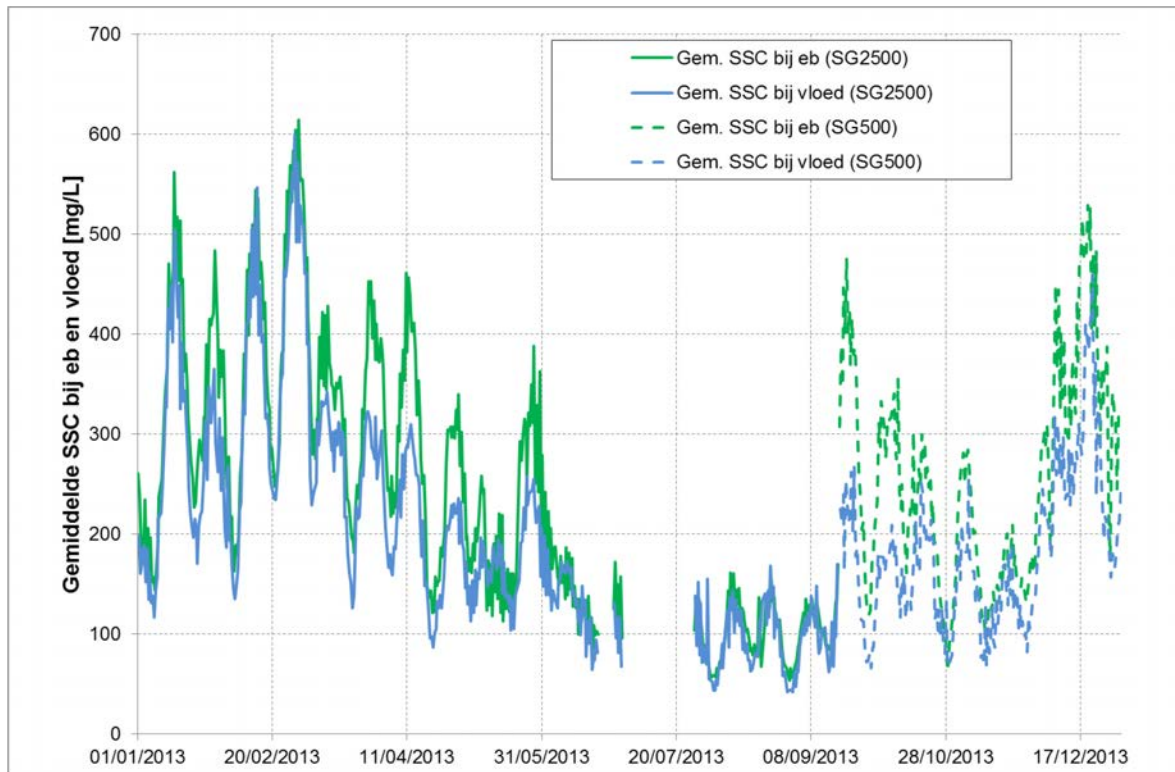
Figuur 115 - SSC bij K LW en K HW te Driegoten (Boven-Zeescheldebekken)



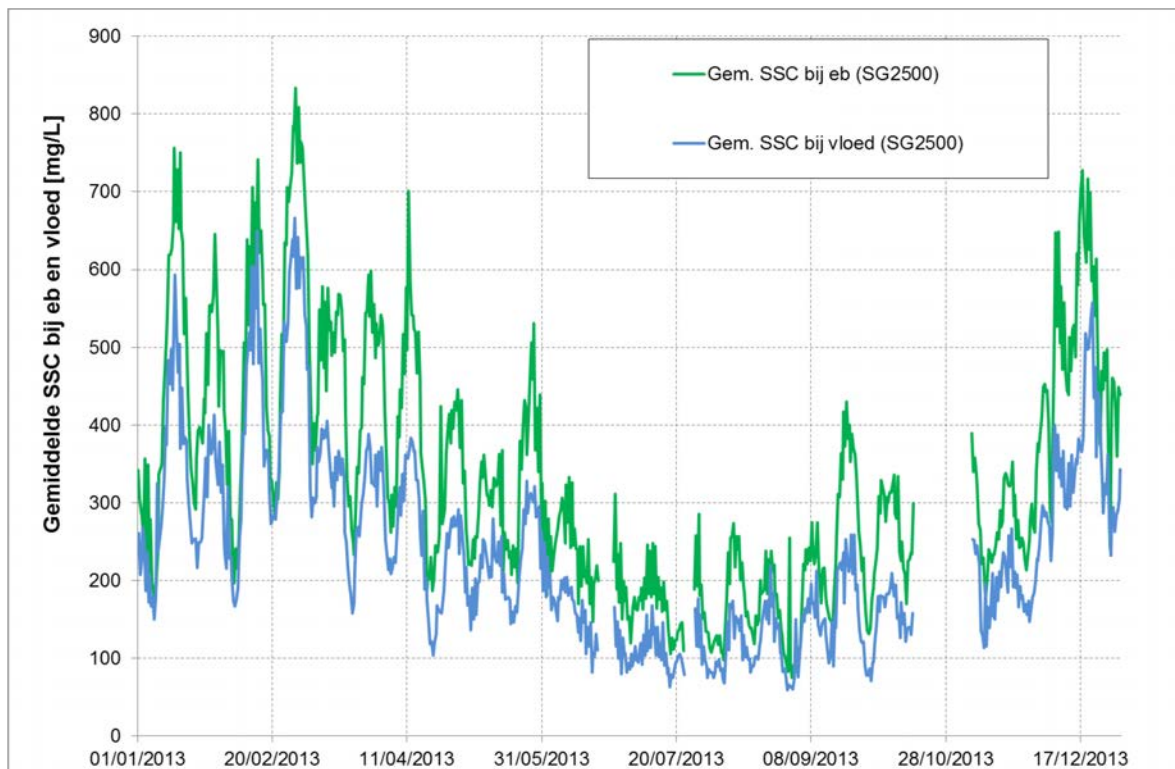
Figuur 116 - Maximale SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



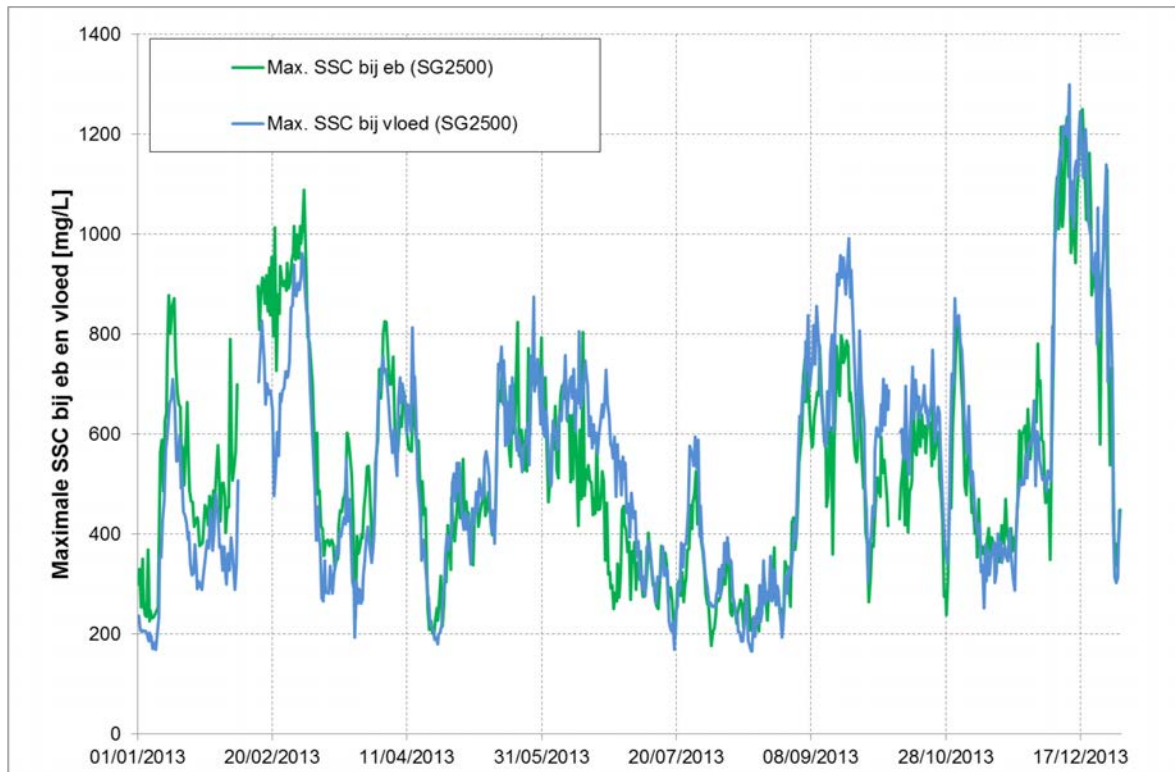
Figuur 117 - Maximale SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



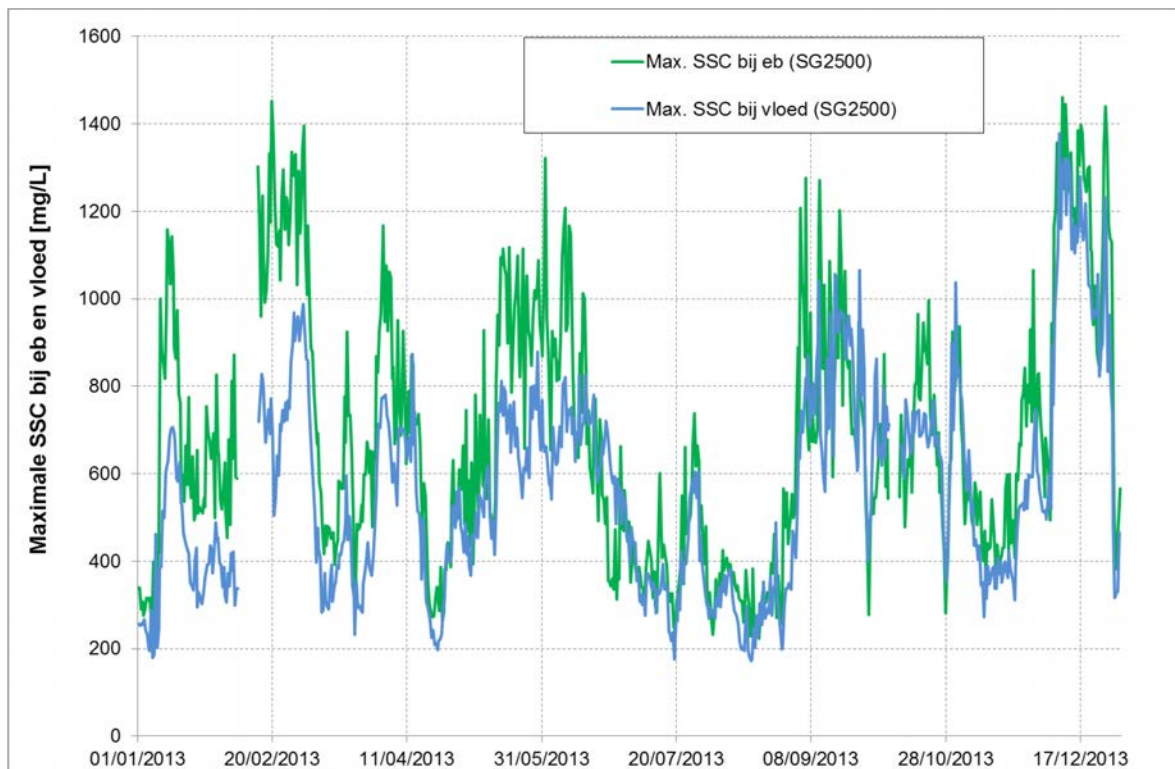
Figuur 118 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



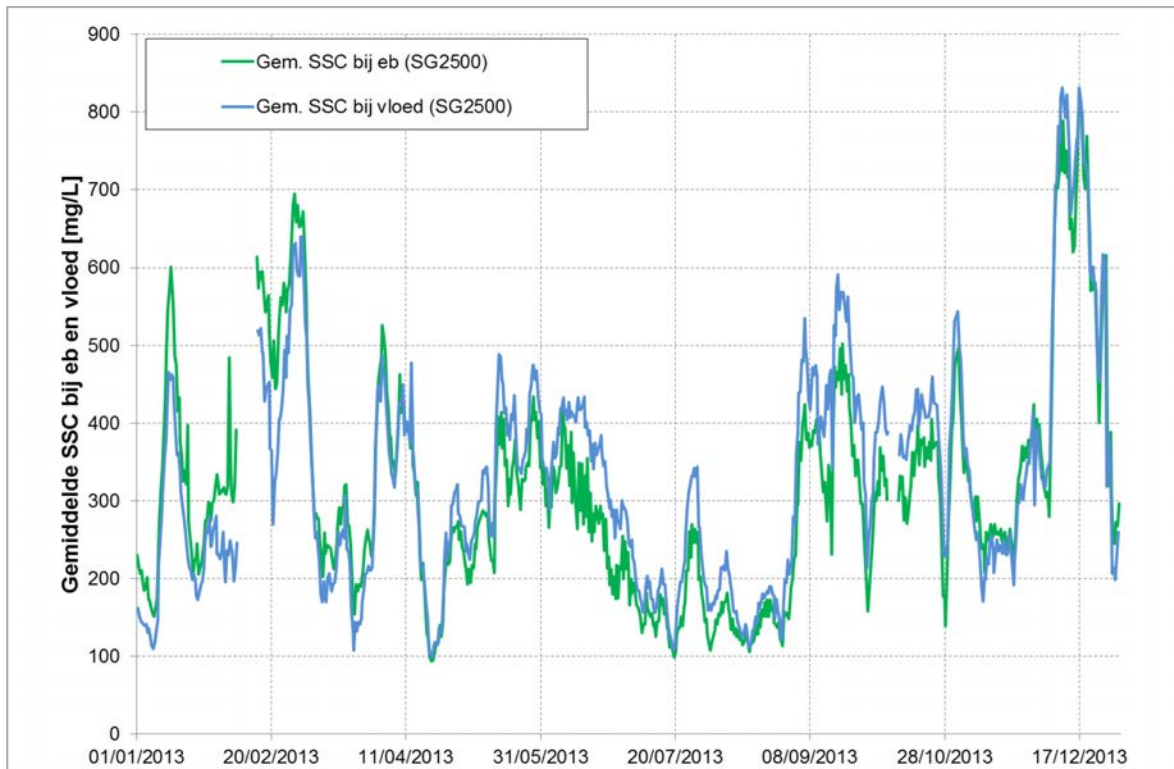
Figuur 119 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Boei 84 (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



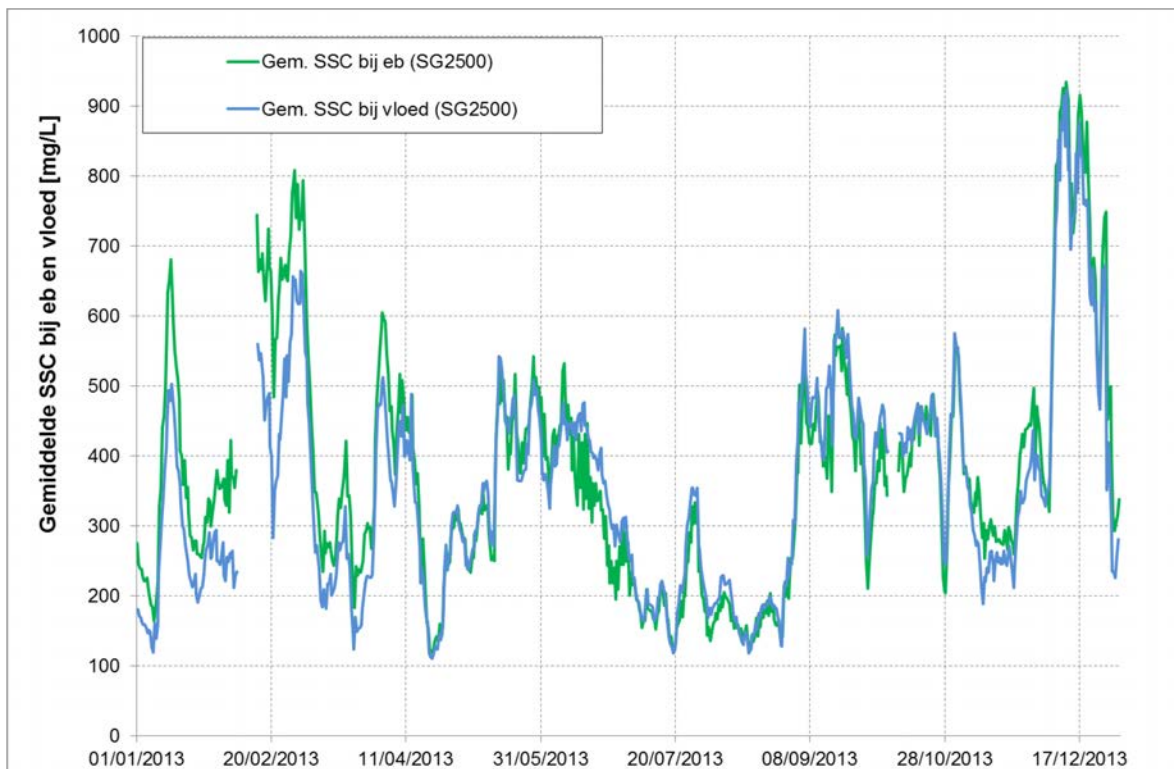
Figuur 120 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel



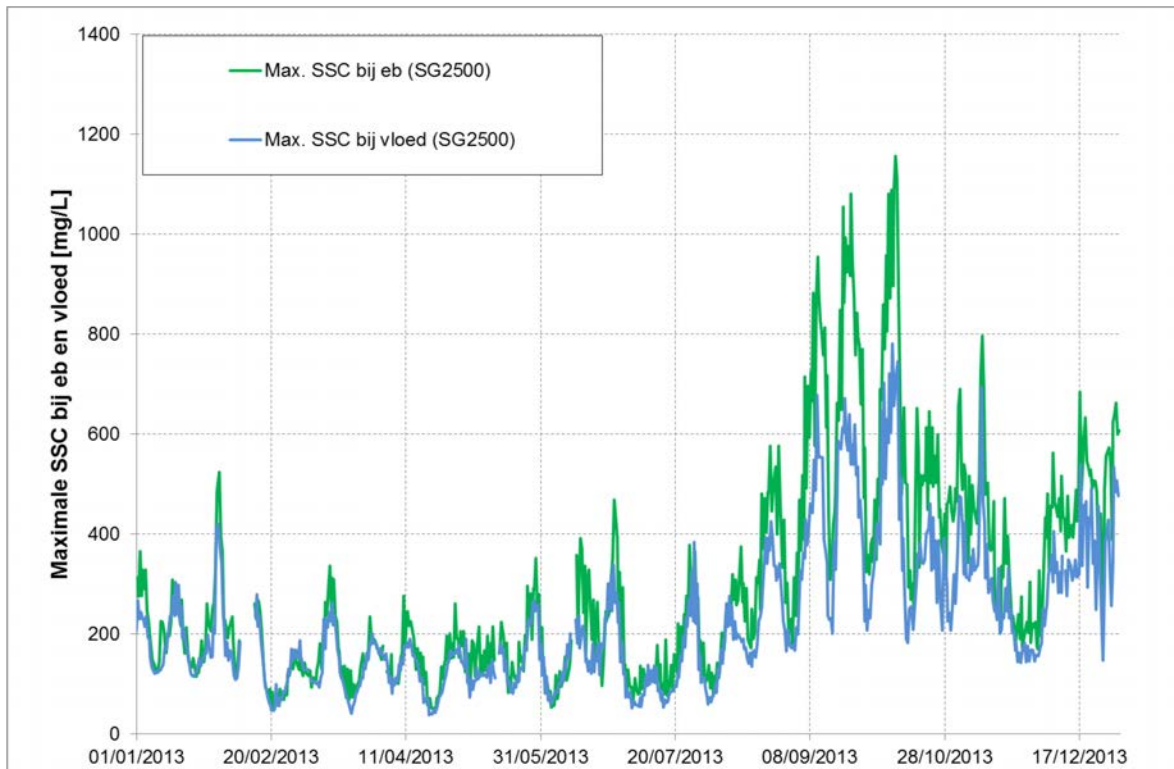
Figuur 121 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), onderste meettoestel



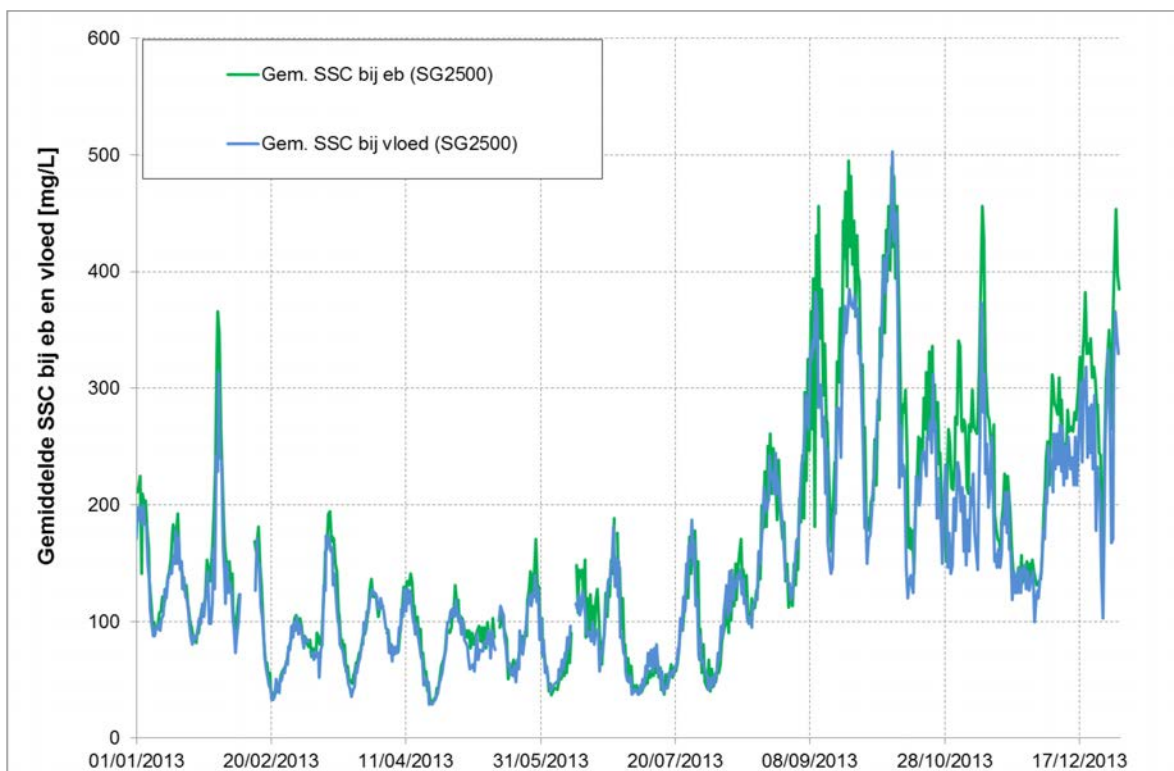
Figuur 122 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeescheldebekken), bovenste meettoestel



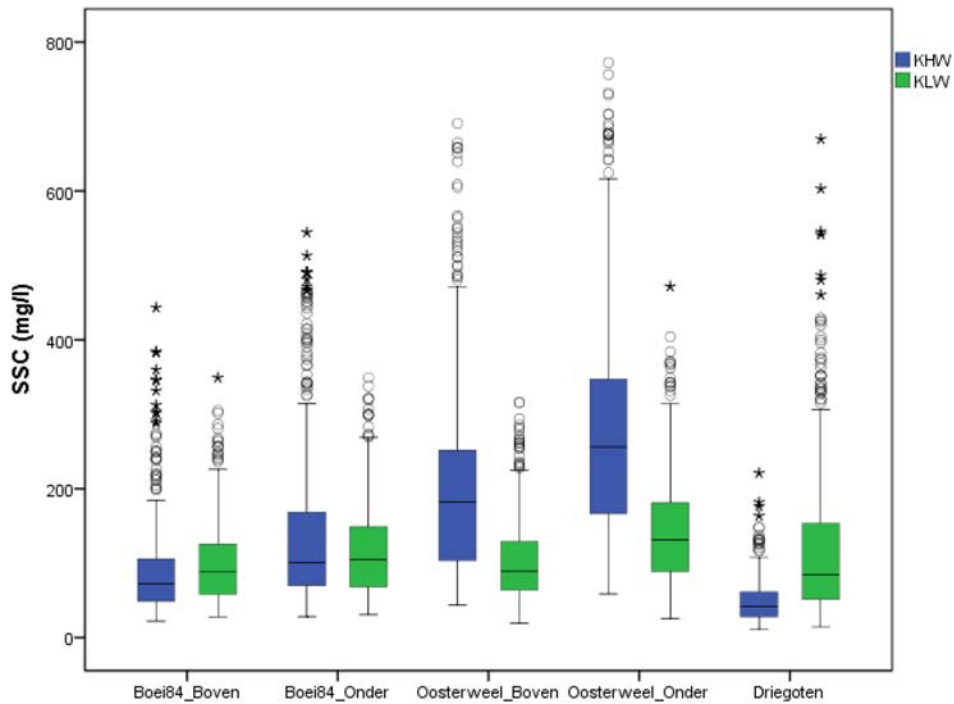
Figuur 123 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel (Beneden-Zeescheldebekken), onderste meettoestel



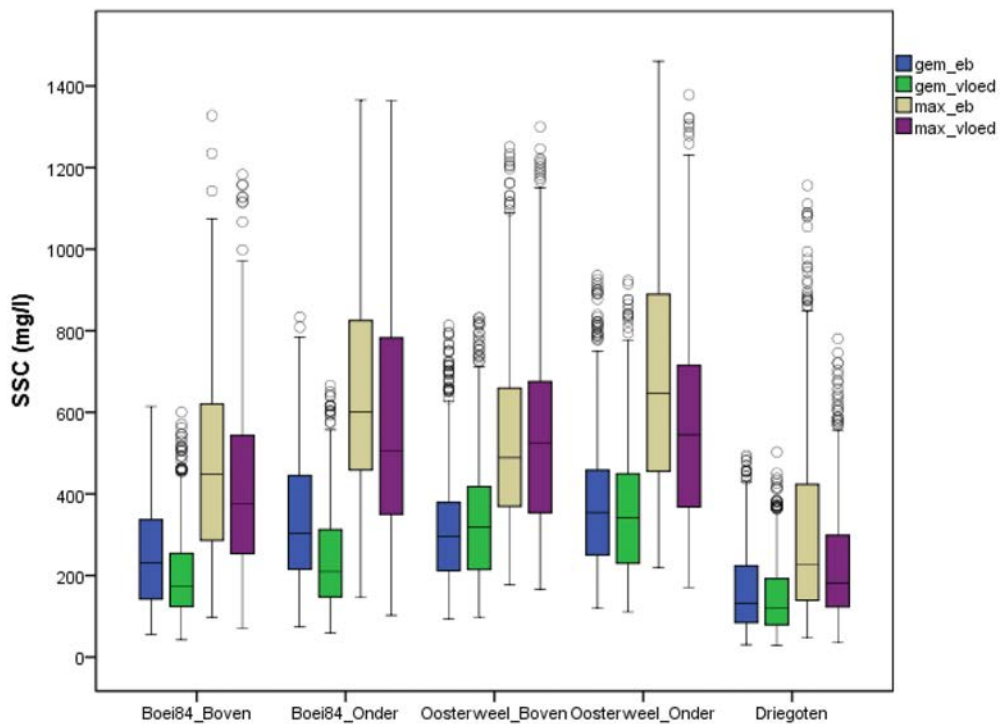
Figuur 124 - Maximale SSC bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



Figuur 125 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



Figuur 126 - Boxplot voor de SSC bij KHW en KLW op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes



Figuur 127 - Boxplot voor de maximale en gemiddelde SSC bij eb en vloed op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes

Tabel 18 - Minimum, gemiddelde, maximum en standaardafwijking van de SSC bij KHW en KLW en de maximale en gemiddelde SSC bij eb en vloed op de meetlocaties met Aanderaa multiparametersondes

Meetlocatie	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
	SSC (mg/L) bij KHW				SSC (mg/L) bij KLW			
Boei 84 boven	22,3	88,0	443,2	57,6	28,0	99,5	349,0	54,4
Boei 84 onder	28,4	137,0	544,3	99,7	30,8	117,0	349,1	60,3
Oosterweel boven	43,4	203,6	690,9	122,8	19,3	101,8	316,5	52,7
Oosterweel onder	59,0	278,1	772,6	141,0	24,8	142,6	471,6	71,2
Driegoten	10,7	47,1	221,0	26,5	14,3	115,0	669,8	92,4
	Maximale SSC (mg/L) bij eb				Maximale SSC (mg/L) bij vloed			
Boei 84 boven	96,2	474,2	1.327,4	222,4	71,2	415,4	1.182,6	214,4
Boei 84 onder	146,0	638,6	1.365,8	249,1	102,7	576,5	1.363,4	296,9
Oosterweel boven	176,7	532,9	1.250,9	223,0	165,8	537,5	1.300,3	228,9
Oosterweel onder	218,8	689,9	1.460,9	294,5	171,2	567,4	1.378,4	240,4
Driegoten	46,9	300,6	1.156,2	214,9	37,8	223,7	780,6	139,1
	Gemiddelde SSC (mg/L) bij eb				Gemiddelde SSC (mg/L) bij vloed			
Boei 84 boven	54,1	248,2	614,3	125,4	42,2	199,4	600,4	106,2
Boei 84 onder	75,1	338,1	833,8	161,8	59,4	238,5	666,0	124,9
Oosterweel boven	93,4	317,2	813,0	146,7	98,7	331,2	831,4	147,3
Oosterweel onder	118,8	376,0	935,2	170,1	110,7	352,5	922,7	155,6
Driegoten	30,3	162,2	494,8	103,0	29,0	144,1	502,8	87,1

In tegenstelling tot de meetlocaties in het 'maritieme' gedeelte van het Zeescheldebekken, zijn de meetlocaties te Duffelsluis, Appels, Epegem en Melle erg toegankelijk, is er een vast en ruim platform, en kan er gebruik gemaakt worden van het stroomnet. Daarom kon er op deze locaties een automatisch staalnametoestel (ISCO type 6712FR) geïnstalleerd worden (zie Figuur 128). Dit toestel is geprogrammeerd om elke zeven uur een staalname uit te voeren. De stalen worden gekoeld bewaard ter plaatse en eenmaal per week opgehaald en naar het sedimentologisch laboratorium gebracht. Daar wordt de sedimentconcentratie op deze stalen bepaald aan de hand van filtratie (De Schutter & Mostaert, 2009).



Figuur 128 - Automatisch staalnametoestel ISCO (type 6712FR) met koeling Teledyne (Teledyne Technologies Inc.; 2012).

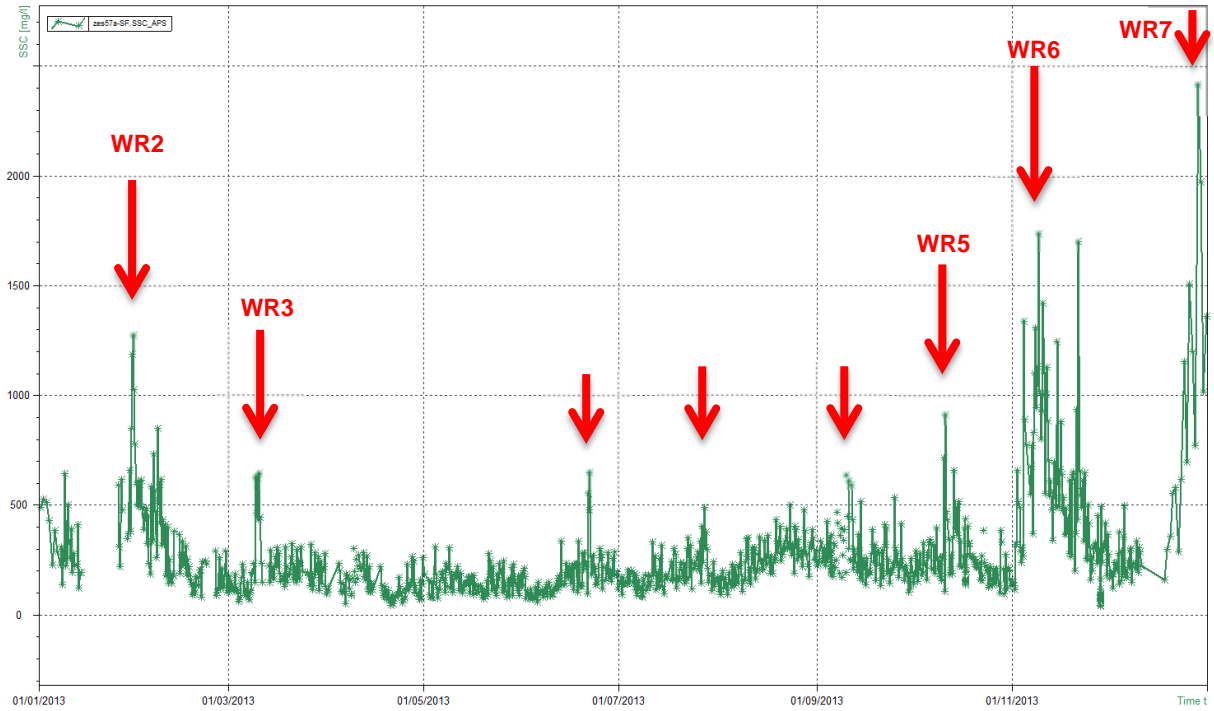
In Figuur 129 t.e.m. Figuur 132 worden de suspensiegehalten (SSC, mg/l) weergegeven voor de stations te Melle, Duffelsluis, Appels en Epepegem zoals verkregen uit de zevenuurlijkse ISCO staalname.

Met uitzondering van enkele pieken, liggen de SSC-waarden te Melle hoofdzakelijk in de range 100-300 mg/L. Voor Duffelsluis is deze range 50-200 mg/L, voor Epepegem en Appels 50-150 mg/L.

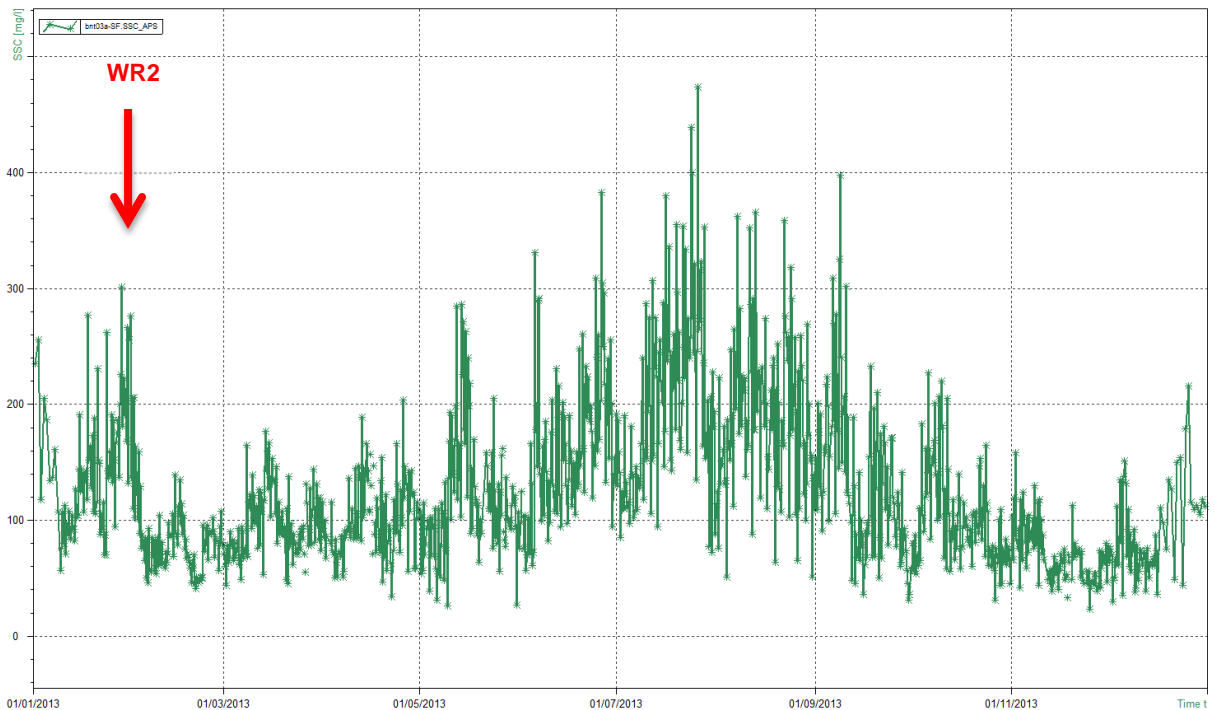
De maximale SSC-waarden te Duffelsluis doen zich voor tijdens de zomermaanden (en wasregime 2 – zie §3.3.2) en zijn 300 à 500 mg/L groot. Net als de turbiditeit gemeten te Duffelsluis, vallen deze slechts gedeeltelijk samen met de afvoerpieken. Eenzelfde trend (niet aan debiet gerelateerde verhoogde sedimentconcentraties) werden ook al in 2011 in Duffelsluis gerapporteerd (Vereecken et.al., 2012) maar werden in 2012 niet geobserveerd (Vanlierde et.al., 2013).

De maximum SSC-waarde te Melle bedraagt 2.419 mg/L en treedt op tijdens wasregime 7. Daarnaast werden duidelijke SSC-pieken bepaald tijdens wasregimes 2 en 6 en in mindere mate tijdens wasregime 3 en 5 en de verhoogde bovenafvoer tijdens eind juni, eind juli en rond 8/09/2013. Dit is analoog voor Appels, waar de max. SSC 3.852 mg/L bedraagt en ook wasregime 1 duidelijk met een verhoogde SSC gepaard ging.

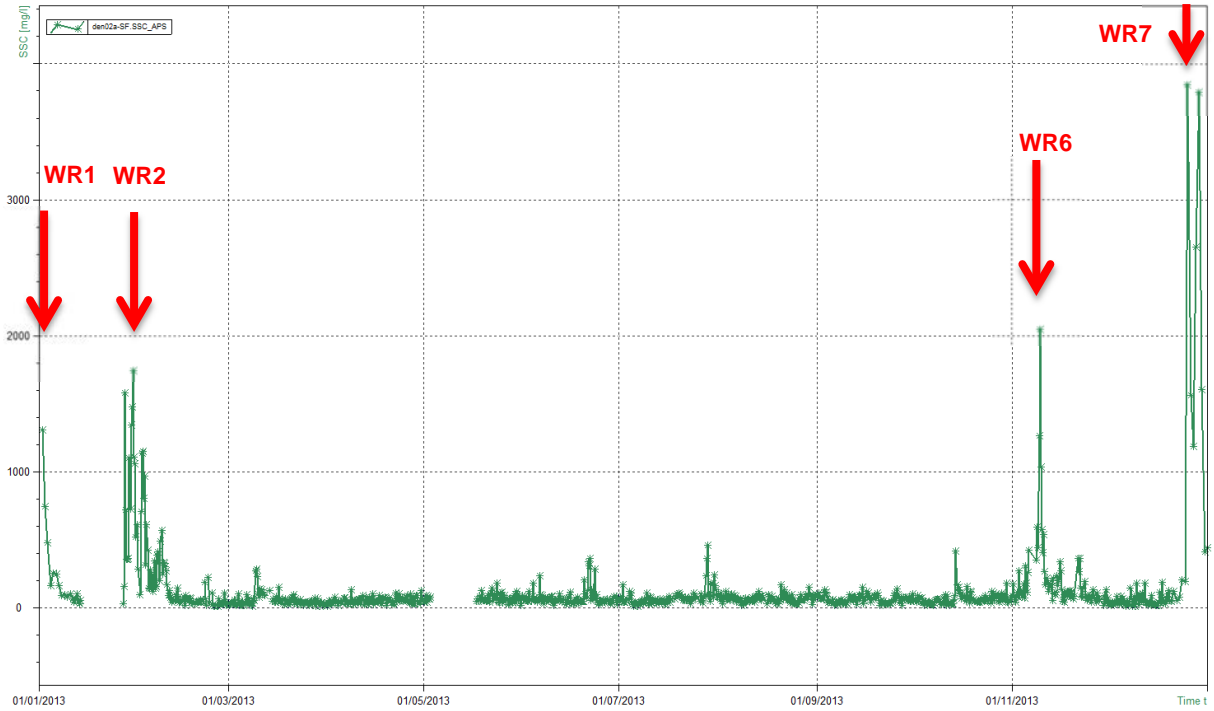
Te Epepegem vallen de SSC maxima samen met de afvoerpieken van wasregime 2 (max. 4.736 mg/L), 3 en de verhoging in bovenafvoer rond 8/09/2013, en in mindere mate begin wasregimes 4 en 5. Er zijn echter ook afvoerpieken waarvoor geen of nauwelijks een verhoging van de SSC werd bepaald, bijvoorbeeld begin januari en midden september.



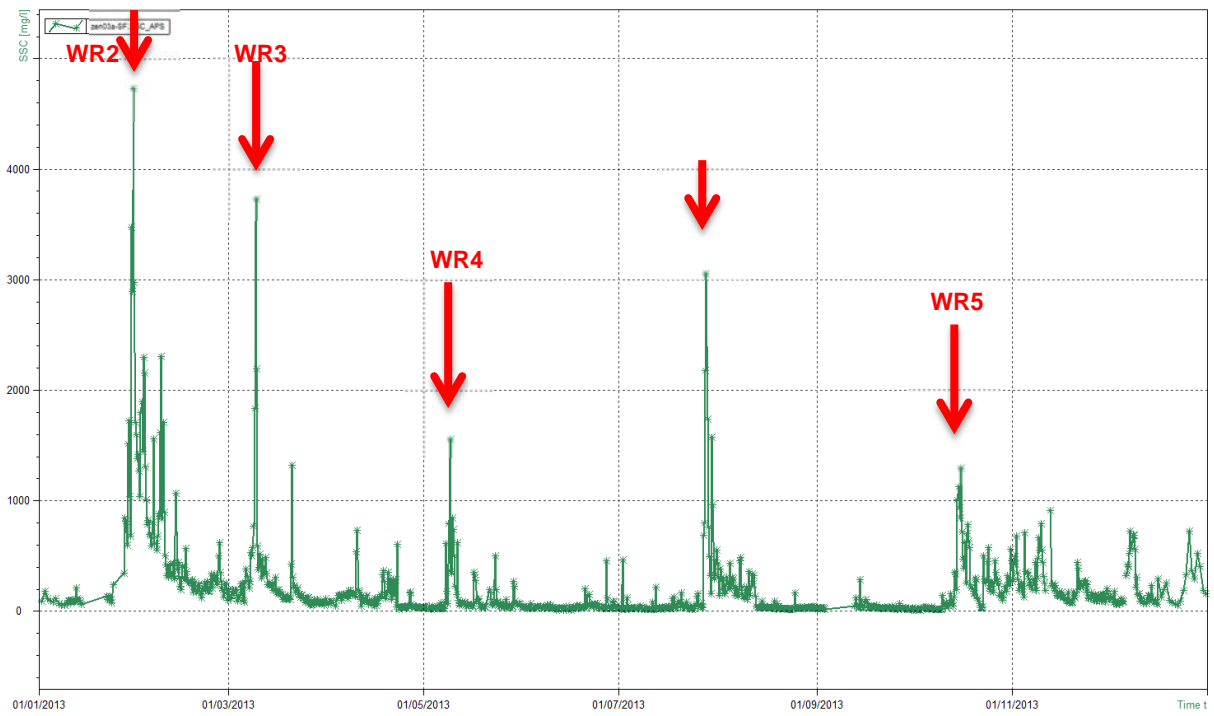
Figuur 129 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Melle (Boven-Zeeschelde)



Figuur 130 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Duffelsluis (Beneden-Nete)

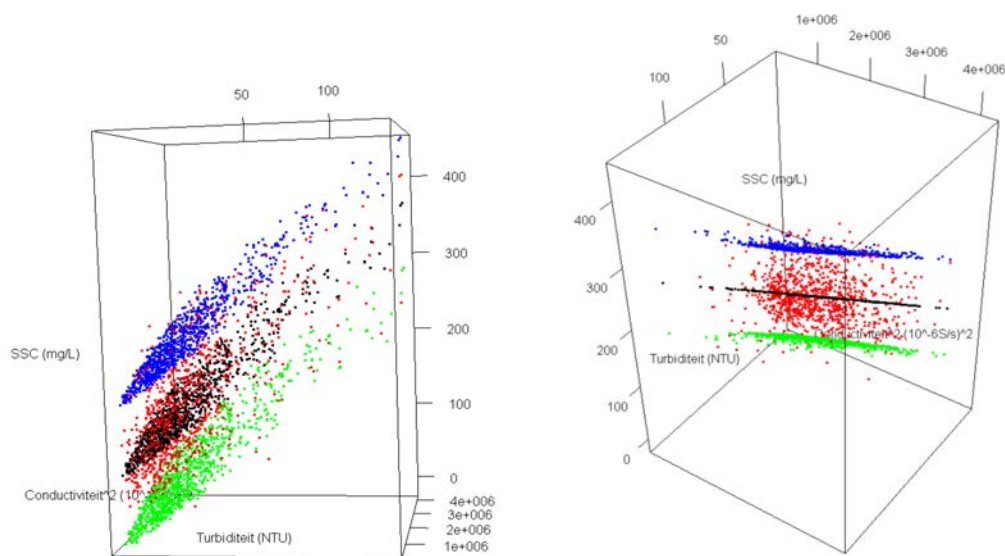


Figuur 131 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Appels (Dender)



Figuur 132 - SSC (gemeten m.b.v. automatische staalname) te Eppegem (Zenne)

Er wordt getracht om een continue tijdreeks te schatten van de gesuspendeerde sedimentconcentratie op basis van de hierboven vermelde pompstalen. Hiertoe worden de SSC-waarden die worden bepaald op deze stalen geïnterpoleerd. Voor periodes waarin geen stalen beschikbaar zijn (vb. defect staalnametoestel, foute analyse in labo, etc.) of waarin de tijd tussen twee opeenvolgende staalnames groter is dan zeven uren, worden de SSC-waarden geschat op basis van turbiditeitgegevens, debietgegevens of andere parameters (vb. conductiviteit), eventueel getransformeerd (vb. door kwadratering of logaritmering). Deze relaties worden opgesteld voor een periode van meerdere jaren tussen deze gegevens en de SSC-data. Hiertoe wordt een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd. Deze resulteert in een voorspellingsmodel waarbij enkel de parameters met de grootste voorspellingskracht (hoogste R²-waarde) worden weerhouden. In de praktijk blijkt dit meestal een combinatie van turbiditeit en debiet of turbiditeit en conductiviteit. Daarna wordt nagegaan of het noodzakelijk is om verschillende relaties op te stellen voor bepaalde deelperiodes (vb. zomer en winter). Hiertoe wordt het verschil berekend tussen de gemeten SSC-waarden en de SSC-waarden voorspeld door het model. Wanneer dit verschil duidelijk verschillend is voor bepaalde periodes (vb. steeds negatief in de zomer en positief in de winter), worden voor deze periodes aparte relaties opgesteld. Via een Chow-test wordt dan nagegaan of deze relaties significant verschillend zijn en of het dus zinvol is om de aparte relaties toe te passen. Tevens wordt voor het voorspellingsmodel (of modellen indien aparte relaties voor deelperiodes zijn opgesteld) de 95%-betrouwbaarheidsintervallen bepaald. Daarnaast wordt een tweede model bepaald tussen SSC en enkel het debiet. Dit model (eventueel gesplitst in deelperiodes) wordt gebruikt om de SSC-waarden te schatten voor periodes waar geen stalen beschikbaar zijn en ook turbiditeitsgegevens ontbreken (zodat de eerste relatie niet kan toegepast worden). Figuur 133 illustreert het regressiemodel dat werd opgesteld voor Duffelsluis voor de periode 2012-2013. Voor meer details omtrent regressieanalyse wordt verwezen naar Ferket et al. (2014).

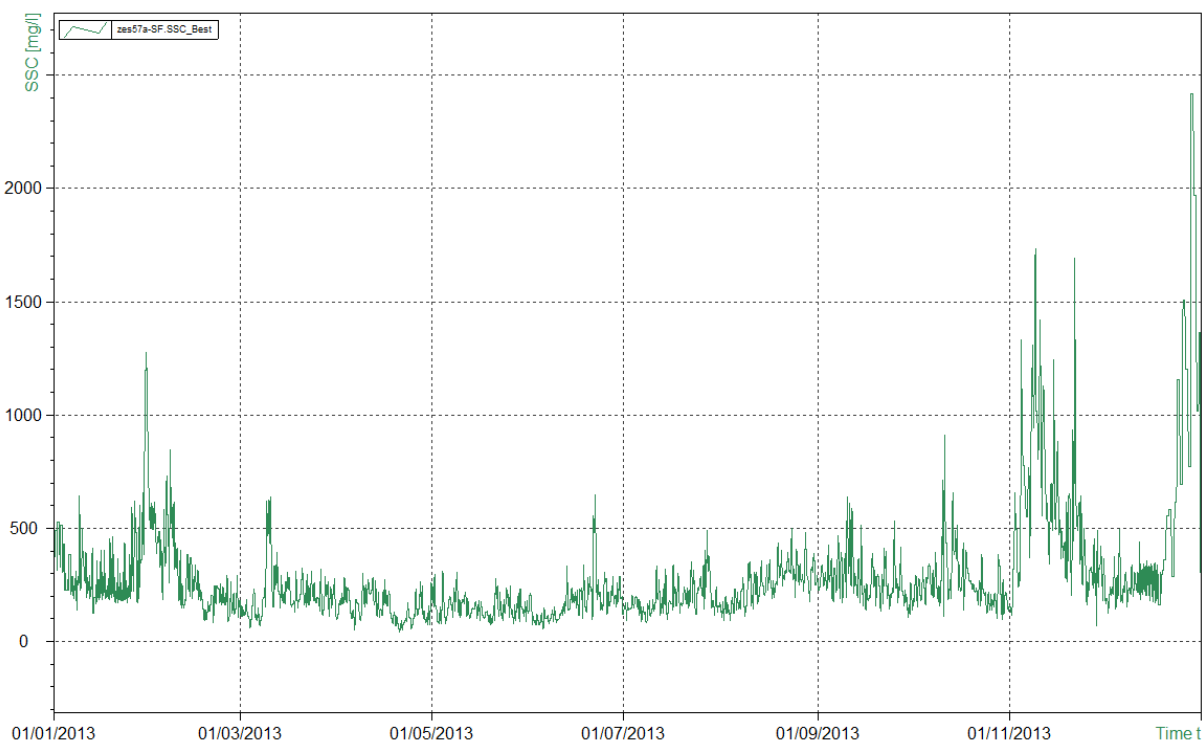


Figuur 133 – Regressiemodel tussen turbiditeit, gekwadrateerde conductiviteit en SSC te Duffelsluis (Beneden-Nete): ruwe data (rood), modelwaarden (zwart) en het onderste (groen) en bovenste (blauw) 95%-voorspellingsinterval

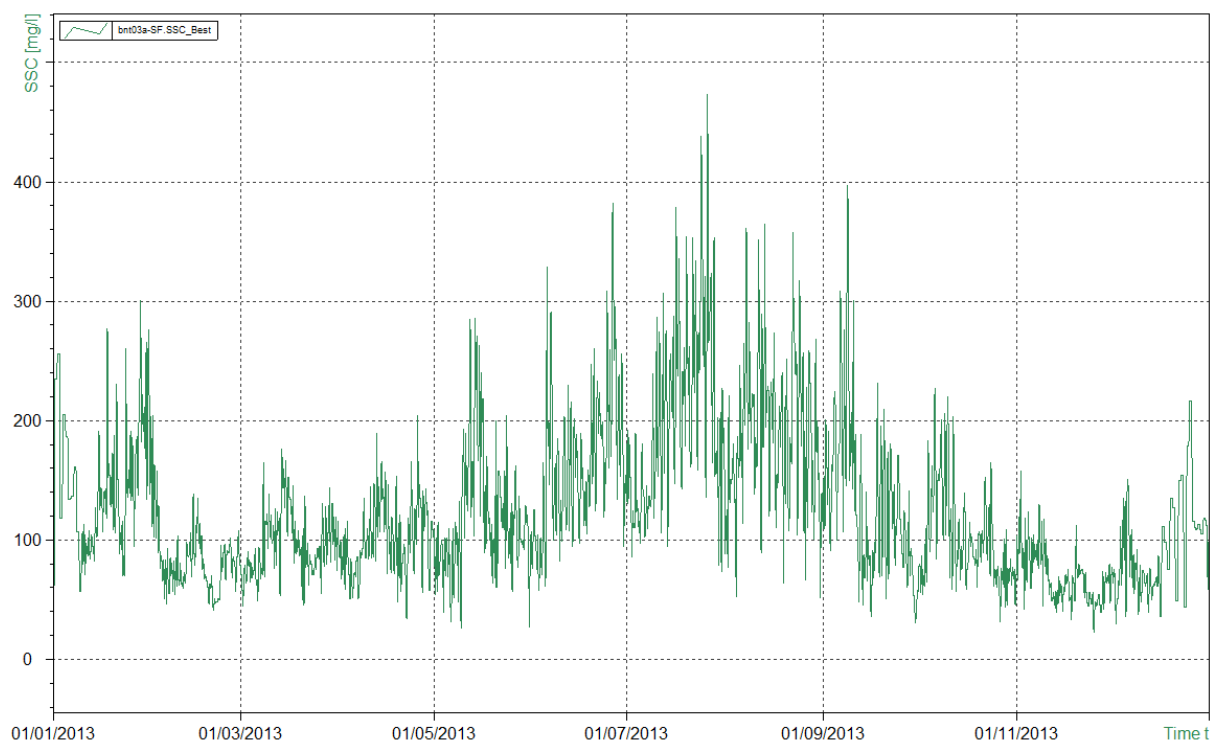
Tabel 20 geeft een overzicht van de regressiemodellen die werden opgesteld m.b.v. de data van 2012 en 2013 voor Duffelsluis, Appels en Melle en m.b.v. de data van 2013 voor Epegem. De continue SSC reeksen voor 2013 o.b.v. stalen en deze regressiemodellen worden weergegeven in Figuur 139 tot Figuur 141. Dezelfde observaties als bij de bespreking van de SSC-waarden bepaald op de automatische stalen kunnen worden gemaakt.

Tabel 19 - Regressiemodellen aan de vier meetlocaties met ISCO staalnametoestel en YSI multiparametersonde

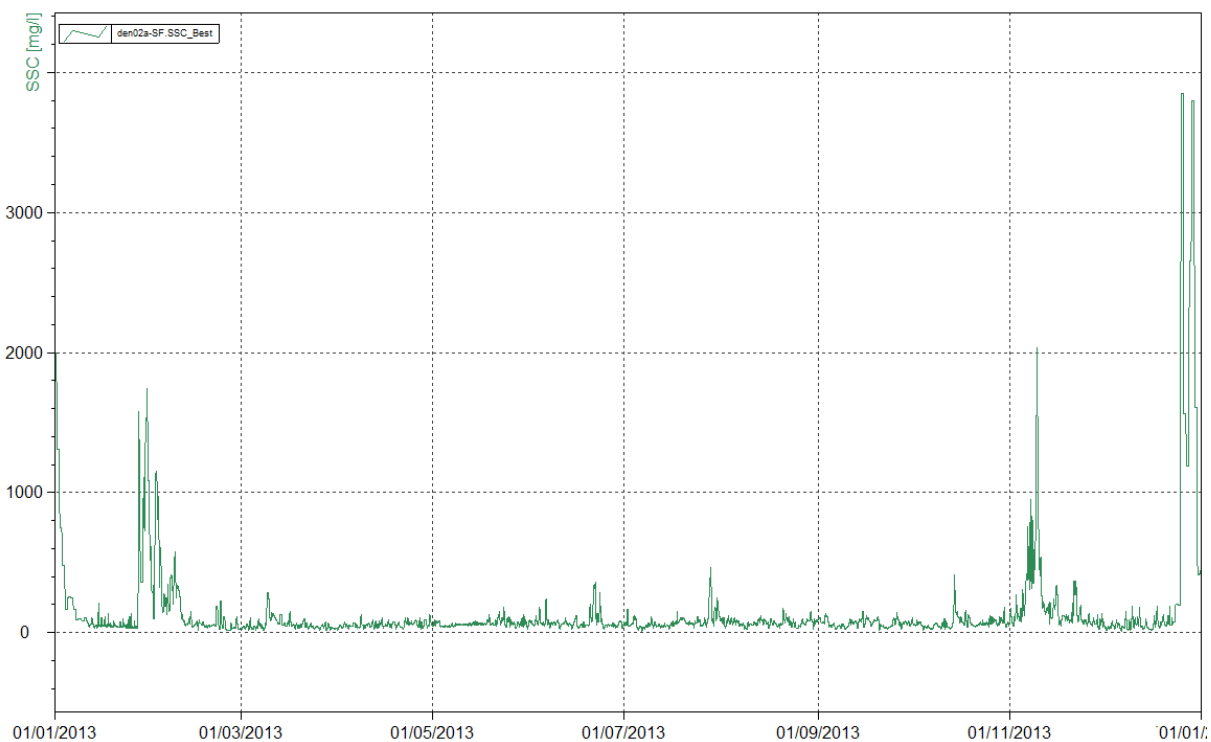
Meetlocatie	Regressiemodel	R ²
Appels (Dender)	Jan-Feb en Nov-Dec: $SSC = 54,033 + 3,857 \cdot \text{Turbiditeit} - 0,107 \cdot \text{Conductiviteit}$ Maa-Okt: $SSC = 67,902 + 0,652 \cdot \text{Turbiditeit} - 0,041 \cdot \text{Conductiviteit}$	0,73 0,14
Duffelsluis (Beneden-Nete)	Jan-Maa en Okt-Dec: $SSC = 39,290 + 1,175 \cdot \text{Turbiditeit} + 0,00001 \cdot \text{Conductiviteit}^2$ Apr-Sep: $SSC = 37,180 + 1,663 \cdot \text{Turbiditeit} + 0,000027 \cdot \text{Conductiviteit}^2$	0,33 0,58
Epegem (Zenne)	$SSC = 30,016 + 1,989 \cdot \text{Turbiditeit} + 7,228 \cdot \text{Debiet}$	0,63
Melle (Boven-Zeeschelde)	$SSC = 207,145 + 2,763 \cdot \text{Turbiditeit} - 0,129 \cdot \text{Conductiviteit}$	0,41
Meetlocatie	Regressiemodel o,b,v, debiet	R ²
Appels (Dender)	$SSC = 59,242 + 0,091 \cdot \text{Debiet}^2$	0,22
Duffelsluis (Beneden-Nete)	$SSC = 96,140 + 0,094 \cdot \text{Debiet} + 0,0045 \cdot \text{Debiet}^2$	0,05
Epegem (Zenne)	$SSC = -122,760 + 38,16 \cdot \text{Debiet}$	0,37
Melle (Boven-Zeeschelde)	$SSC = 271,020 + 0,551 \cdot \text{Debiet}$	0,04



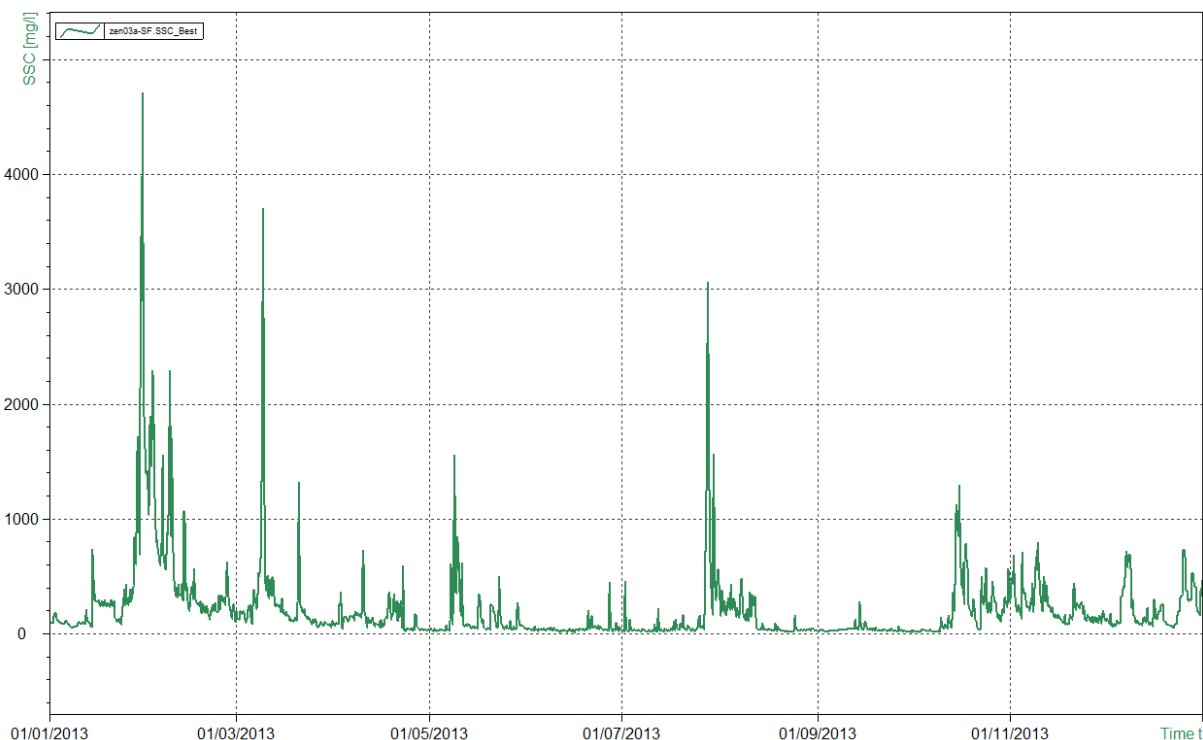
Figuur 134 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Melle (Boven-Zeeschelde)



Figuur 135 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Duffelsluis (Beneden-Nete)



Figuur 136 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Appels (Dender)



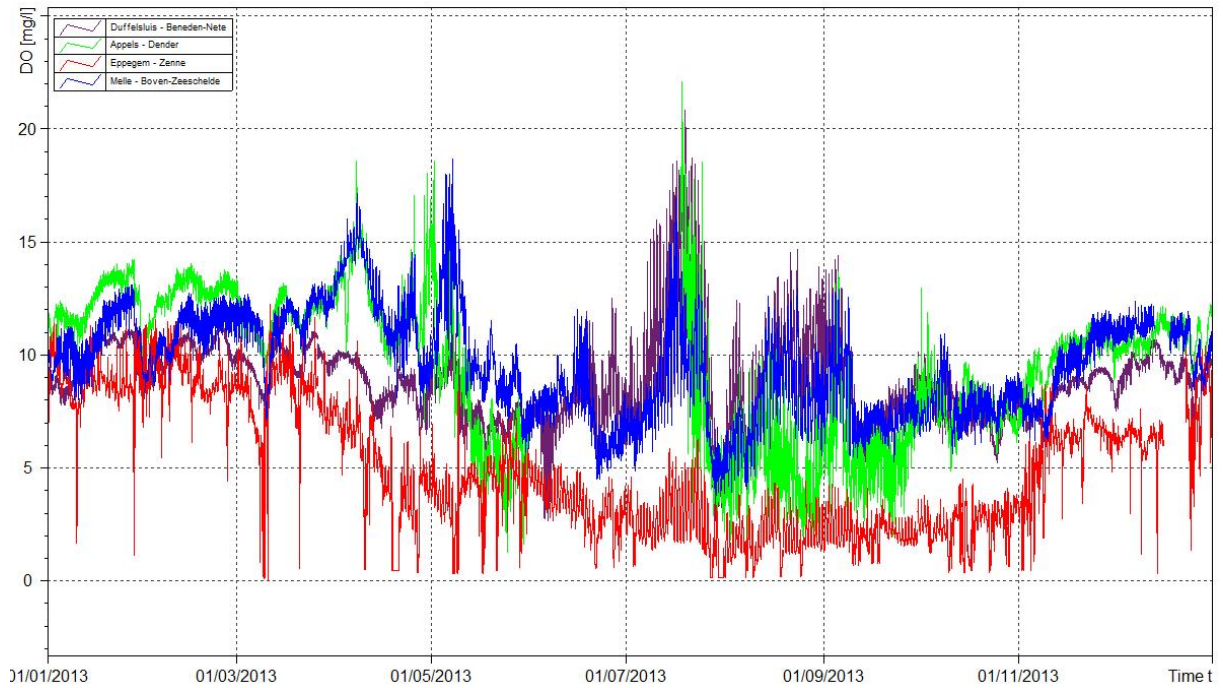
Figuur 137 – SSC (geschat o.b.v. stalen en regressiemodellen) te Eppegem (Zenne)

4.1.6. Verloop overige parameters

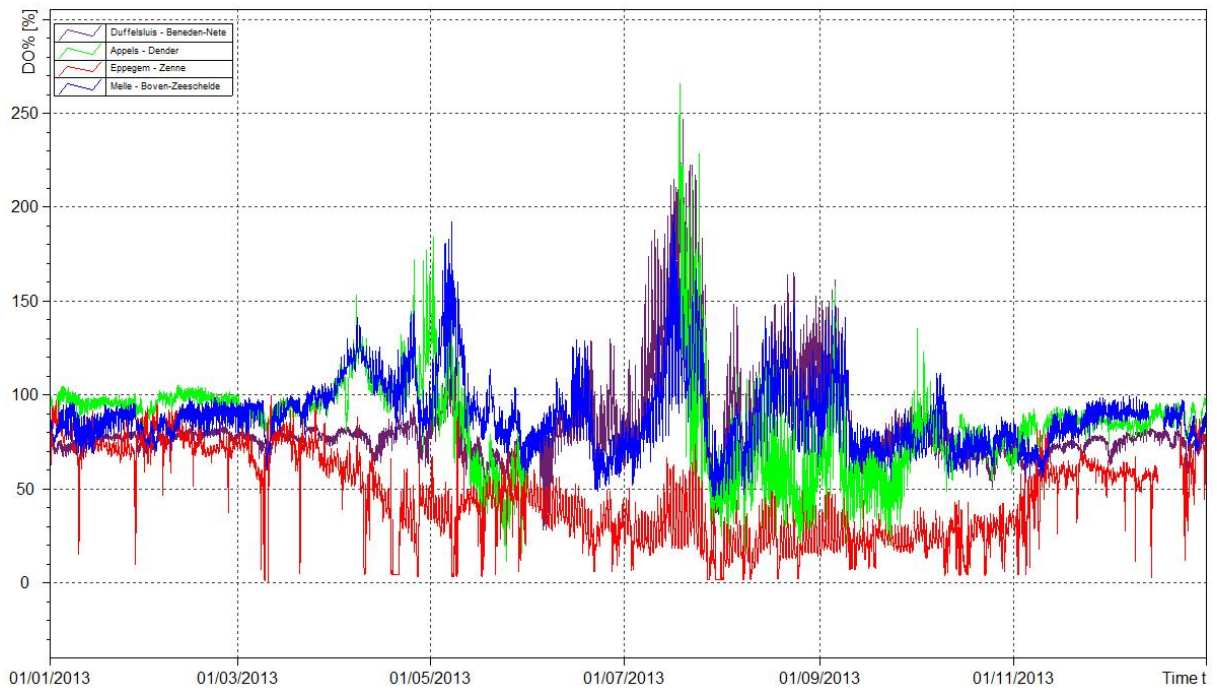
In de Boven-Zeeschelde te Melle, de Dender te Appels, de Zenne te Eppegem en de Beneden-Nete te Duffelsluis is een YSI multiparametersonde opgesteld. Naast de hierboven gerapporteerde parameters (Temperatuur, Conductiviteit en Turbiditeit) worden op deze locaties ook de pH, redoxpotentiaal, zuurstofgraad en zuurstofgehalte gemeten. In 2013 waren echter nagenoeg het hele jaar problemen met de sondes die pH en redoxgehalte registreren. Bijgevolg worden deze metingen niet opgenomen in dit rapport.

Figuur 138 geeft het verloop van de gemeten zuurstofgehaltenes. De grafieken voor Duffelsluis, Appels en Melle zijn gelijkaardig. De zuurstofgehaltenes variëren er tussen ongeveer 5 en 15 mg/L. Vanaf mei doet zich een algemene daling voor, behalve tijdens juli en in mindere mate augustus. Vanaf november neemt het zuurstofgehalte weer toe. Dit is gerelateerd aan de oplosbaarheid van zuurstof in water, die toeneemt bij afnemende temperatuur. Op de Zenne te Eppegem bedraagt het zuurstofgehalte bijna het hele jaar door minder dan 10 mg/L. Frequent komen plotse en kortstondige dalingen van het zuurstofgehalte voor. Dit heeft vermoedelijk te maken met het lozen van afvalwater en/of een onvoldoende zuiveringscapaciteit tijdens afvoerpieken.

Figuur 139 toont het verloop van de zuurstofverzadiging. Dit heeft, uiteraard, een gelijkaardig patroon als het zuurstofgehalte. Voor Melle, Duffelsluis en Appels bedraagt de zuurstofverzadiging tijdens de wintermaanden tussen 60 en 100%. Tijdens de zomermaanden neemt de variatie in zuurstofverzadiging toe, met waarden tussen 40 en 250%. Tijdens april (niet voor Duffelsluis), begin mei, eind juni, juli, augustus en begin september is het water te Melle Duffelsluis en Appels zuurstofverzadigd. Te Eppegem trad nooit zuurstofverzadiging op in 2013. Tijdens de wintermaanden varieerde de zuurstofverzadiging er tussen 50 en 100%. Tijdens de zomermaanden was dit tussen 0 en 60%.



Figuur 138 - Zuurstofgehalte [mg/l] te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Eppegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde)



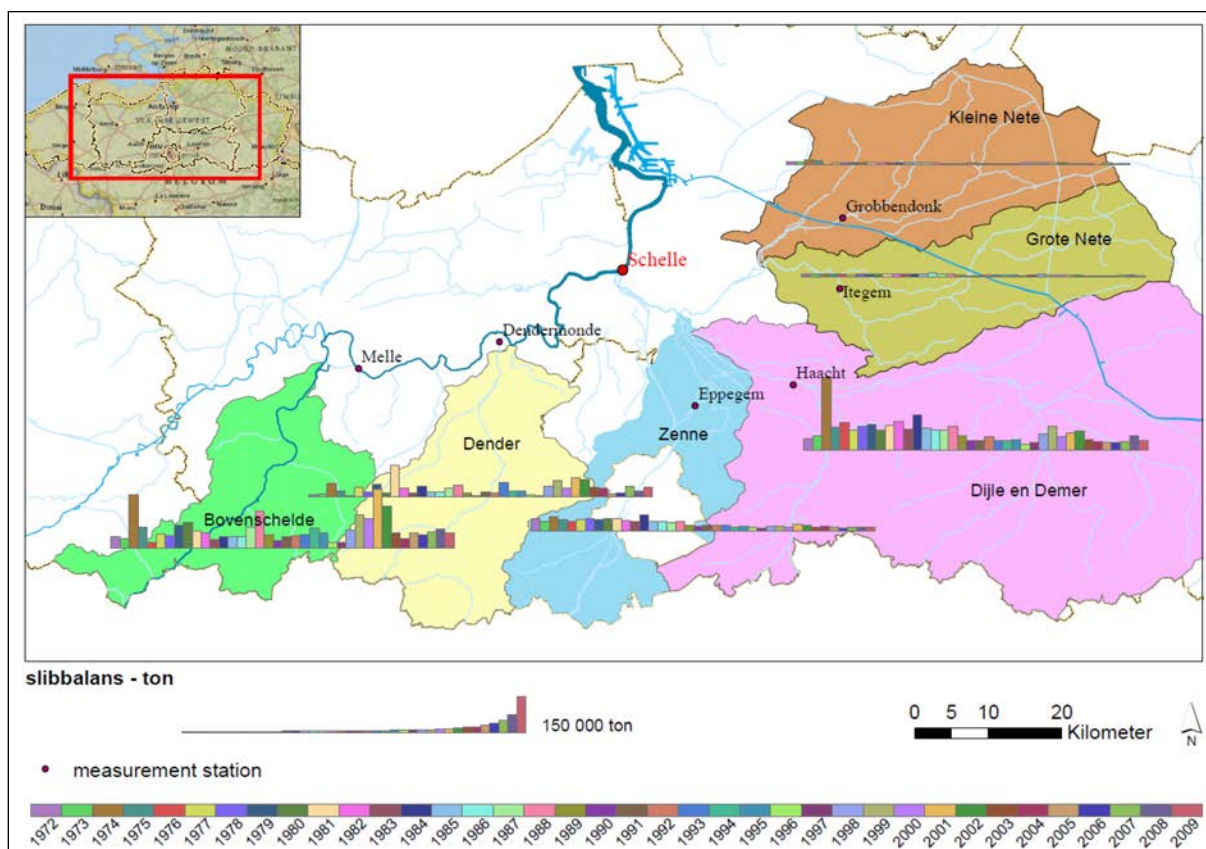
Figuur 139 - Zuurstofverzadiging [%] te Duffelsluis (Beneden-Nete), Appels (Dender), Eppegem (Zenne) en Melle (Boven-Zeeschelde)

4.1.7. Slibbalans

Ongeveer wekelijks wordt ter hoogte van verschillende meetposten op de Zeeschelde en de zijrivieren een schepstaal genomen met behulp van een verzwaarde fles. Nadien wordt op dit schepstaal de SSC bepaald. Samen met de debietmetingen kunnen deze gegevens gebruikt worden om een inschatting te maken van de sedimentvrachten naar de Zeeschelde. Dit gebeurt op basis van de debiet- en schepstaal-SSC gegevens van de meetposten (Figuur 140) te Grobbendonk (Kleine Nete), Itegem (Grote Nete), Haacht (Dijle en Demer), Epegem (Zenne), Dendermonde-Appels (Dender) en Melle (Debiet) en Merelbeke (SSC) (Boven-Zeeschelde). De daggemiddelde sedimentflux wordt bekomen door vermenigvuldiging van daggemiddelde debieten met de SSC-waarden verkregen uit het schepstaal die dag bemonsterd. Voor de dagen dat geen SSC-gegevens beschikbaar zijn, worden deze SSC-waarden geschat via een regressiemodel opgesteld tussen dagelijkse schepstaal-sedimentconcentraties en overeenkomstige daggemiddelde debieten voor 2013. Deze berekeningsmethode wordt de 'interpolatiemethode' genoemd.

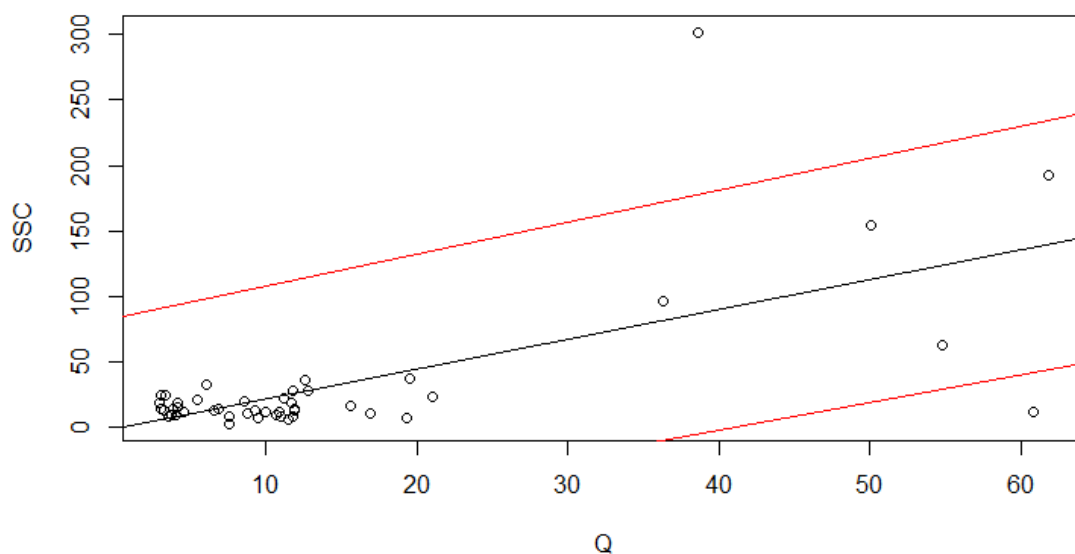
De sedimentfluxen kunnen ook met andere methodes berekend worden. De 'Taverniers 1' - methode gebruikt het regressiemodel om maandgemiddelde SSC-waarden uit maandgemiddelde debieten te schatten. De 'Taverniers 2' - methode vermenigvuldigt maandgemiddelde SSC-waarden met maandgemiddelde debieten. De interpolatie-methode gebruikt in dit rapport wordt als meest accuraat geacht. De Taverniers 1 en 2 methode zijn vaak een onderschatting t.g.v. maandelijks uitmiddeling. Voor meer gedetailleerde informatie m.b.t. deze berekeningsmethoden wordt verwezen naar De Boeck et al. (2013) en Van Hoestenbergh et al. (2013).

De berekende sedimentfluxen [massa/tijd] worden tenslotte geïntegreerd in de tijd tot de sedimentvracht (in ton).



Figuur 140 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de verschillende stroomgebieden (+ jaarlijkse sedimentvracht berekend d.m.v. de interpolatiemethode voor de periodes 1972-2009 – Bron: Van Hoestenbergh et al. (2013))

Figuur 141 illustreert het regressiemodel opgesteld tussen dagelijkse schepstaal-sedimentconcentraties en overeenkomstige daggemiddelde debieten voor de Dender te Appels, evenals het bijhorende betrouwbaarheidsinterval (LCI en UCI, i.e. de 95% onderste resp. bovenste betrouwbaarheidsintervallen). Dit betrouwbaarheidsinterval is dus afgeleid op basis van het regressiemodel. De interpolatiemethode gebruikt echter de gemeten SSC-waarden (i.p.v. de via het model geschatte SSC) wanneer deze beschikbaar zijn. Hierdoor komt het voor dat de berekende fluxen op basis van deze gemeten SSC-waarden soms buiten het betrouwbaarheidsinterval liggen. Tabel 20 geeft een overzicht van de regressiemodellen die opgesteld werden voor de zes meetposten onder beschouwing, met bijhorende R^2 -waarde. Voor alle locaties bleek een eenvoudige lineaire regressie het meest geschikt, behalve voor Eppegem waar ook een kwadratische term wordt toegepast. Uit de R^2 -waarde voor Itegem en Melle blijkt echter dat de regressiemodellen voor deze locaties van slechte kwaliteit zijn ($R^2 < 0.2$).



Figuur 141 – Regressiemodel Debiet-SSC 2013 voor meetpost Haacht (Dijle en Demer)

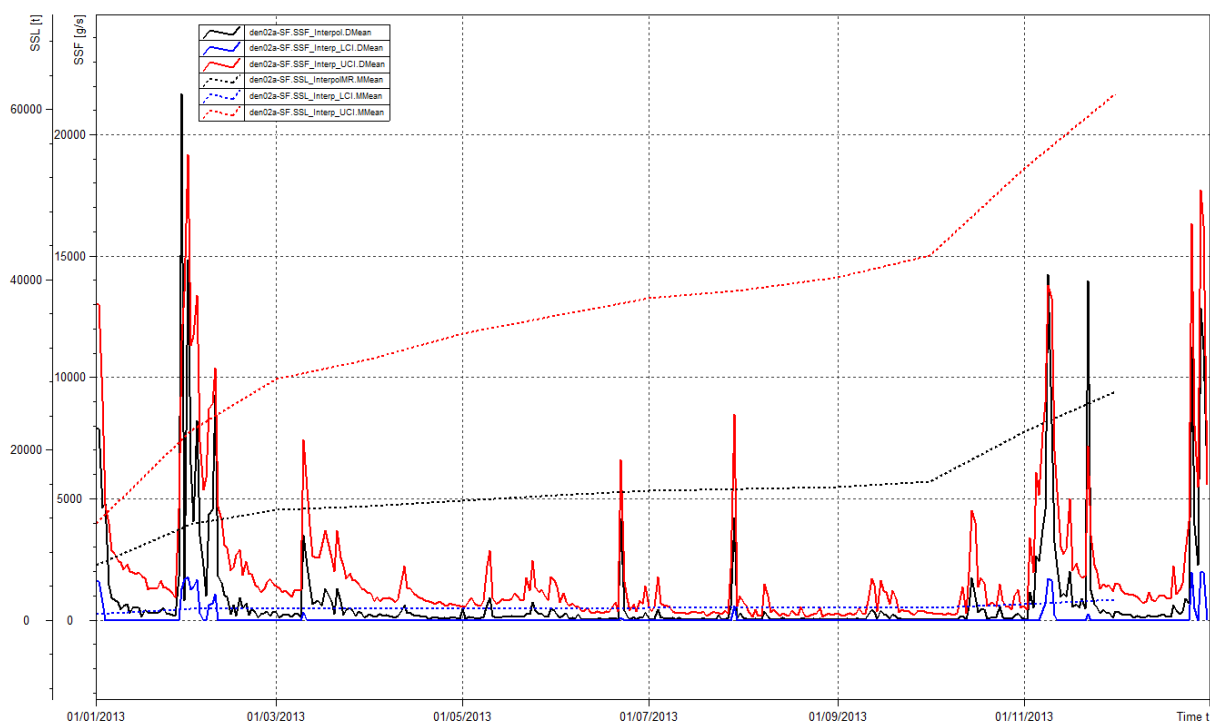
Figuur 142 t.e.m. Figuur 147 tonen de berekende sedimentfluxen (SSF) en gecumuleerde sedimentvrachten (SSL) voor de zes meetposten. De totale sedimentvrachten voor 2013 worden samengevat in Tabel 21.

Voor alle meetposten worden de grootste sedimentfluxen berekend tijdens januari-februari en november-december. De sedimentvracht is duidelijk hoogst te Melle. Ook te Haacht, Eppegem en Appels worden aanzienlijke SSL berekend. De SSL te Grobbendonk en Itegem zijn het kleinst.

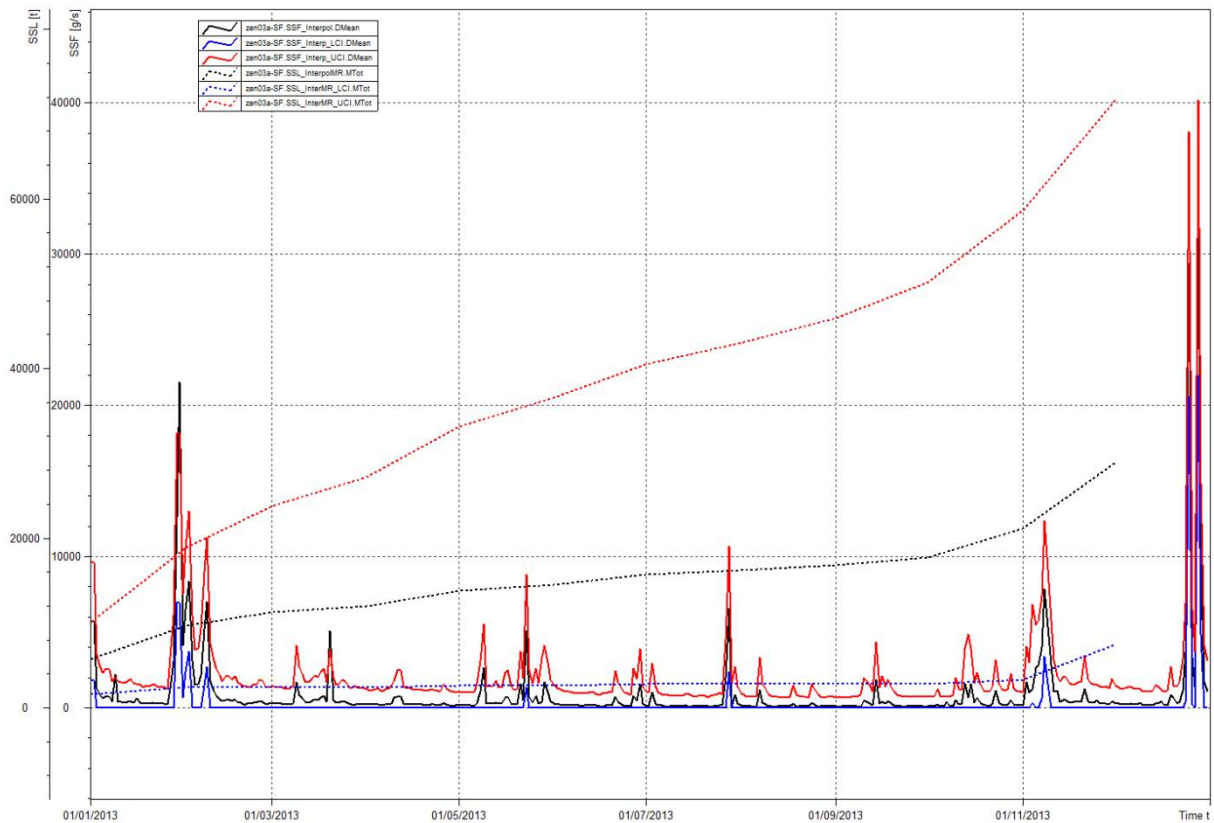
Wanneer men de LCI en UCI in de tabel en de figuren beschouwt, blijkt dat de geschatte sedimentvrachten onderhevig zijn aan een relatief grote onzekerheid. Vooral voor de meetposten waarvoor slechts een regressiemodel van mindere kwaliteit (R^2) kon gevonden worden (vb. Itegem), liggen de LCI en UCI ver uiteen, of is dus de betrouwbaarheid van het model (en daarmee de geschatte sedimentvracht) relatief laag.

Tabel 20 - Regressiemodel en R²-waarde voor de meetposten gebruikt voor de slibbalansberekening 2013

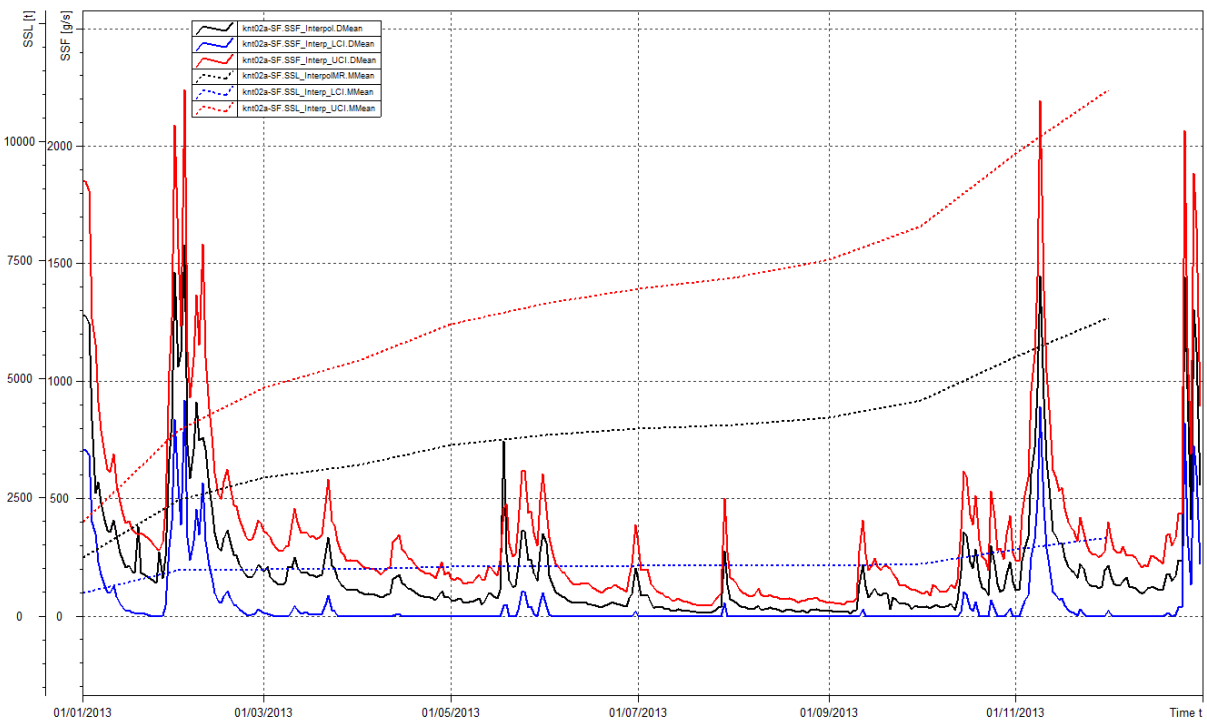
Meetlocatie	Regressiemodel	R ² regressie	LCI regressiemodel	UCI regressiemodel
Grobbendonk (Kleine Nete)	$SSC = 2,57*Q + 9,80$	0,52	$SSC = -16 + 2,71*Q - 0,01*Q^2$	$SSC = 35,6 + 2,42*Q + 0,012*Q^2$
Itegem (Grote Nete)	$SSC = 1,72*Q + 27,16$	0,06	$SSC = -36,76 + 0,52*Q - 0,0005*Q^2$	$SSC = 58,53 + 1,47*Q + 0,003*Q^2$
Epegem (Zenne)	$SSC = 30,52 - 2,96*Q + 0,48*Q^2$	0,38	$SSC = -122,6 - 1,75*Q + 0,41*Q^2$	$SSC = 183,68 - 4,18*Q + 0,54*Q^2$
Haacht (Dijle)	$SSC = 4,34*Q - 29,07$	0,68	$SSC = -82,16 + 4,27*Q$	$SSC = 24,04 + 4,4*Q$
Appels (Dender)	$SSC = 2,28*Q - 1,62$	0,41	$SSC = -99,33 + 3,87*Q - 0,03*Q^2$	$SSC = 75,75 + 3,69*Q - 0,02*Q^2$
Melle (Boven-Zeeschelde)	$SSC = 0,48*Q + 41,23$	0,19	$SSC = -36,76 + 0,52*Q - 0,0005*Q^2$	$SSC = 119,2 + 0,43*Q + 0,0005*Q^2$



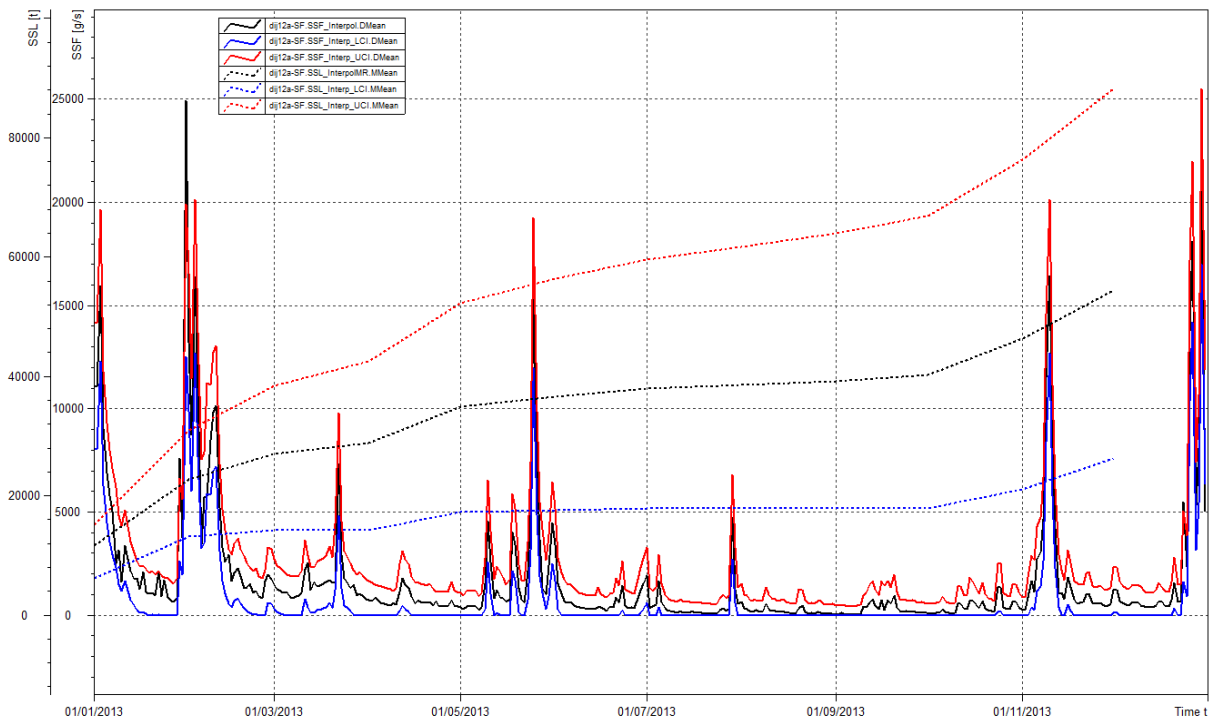
Figuur 142 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Dender te Appels



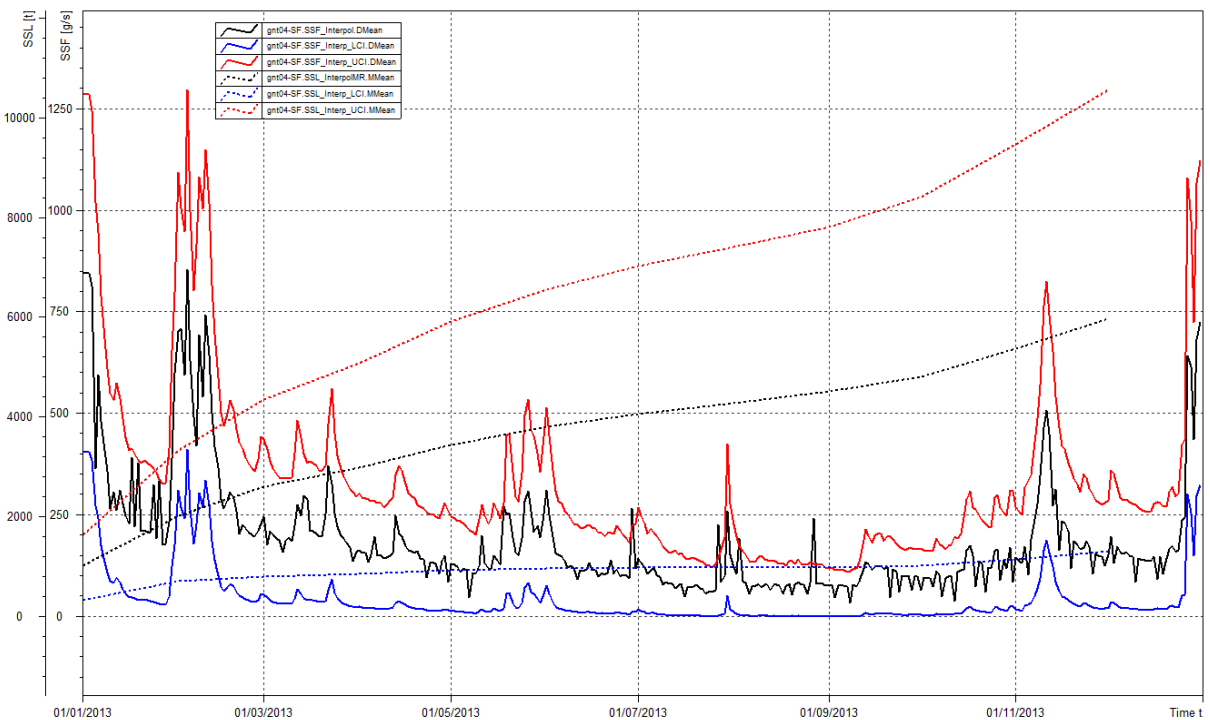
Figuur 143 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Zenne te Epegem



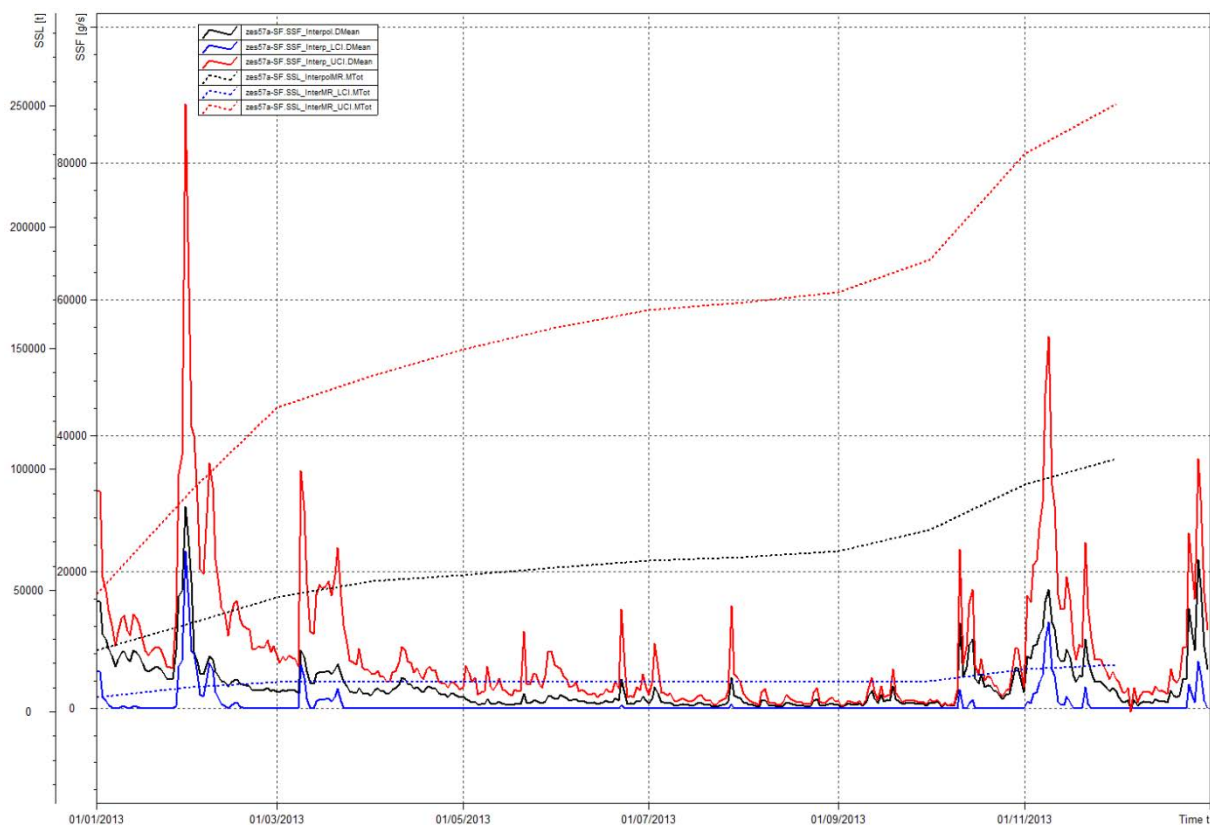
Figuur 144 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Kleine Nete te Grobbendonk



Figuur 145 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Dijle/Demer te Haacht



Figuur 146 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Grote Nete te Itegem



Figuur 147 – Sedimentflux SSF (volle lijnen) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (stippellijnen) geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) methode voor de Boven-Zeeschelde te Melle

Tabel 21 - Totale sedimentvracht voor 2013 berekend via de interpolatiemethode

Meetlocatie	SSL (ton)	LCI	UCI
Grobbendonk (Kleine Nete)	6.208	1.616	10.999
Itegem (Grote Nete)	5.861	1.297	10.533
Epepegem (Zenne)	28.943	7.455	71.617
Haacht (Dijle)	54.239	26.081	87.985
Appels (Dender)	25.999	2.194	60.730
Melle (Boven-Zeeschelde)	104.469	19.289	250.606

De maandelijkse slibafvoer aan de monding van de verschillende bemeten rivieren (Kleine Nete, Grote Nete, Zenne, Dijle, Dender), wordt berekend gebruikmakend van lineaire extrapolaties i.f.v. de oppervlakten van het deelbekken opwaarts de meetraaien en de volledige oppervlakten van het bekken (dus opwaarts de monding). Tabel 22 geeft voor de bemeten waterlopen de gehanteerde verhouding weer tussen het oppervlakte van het deelbekken opwaarts de monding en de oppervlakte opwaarts de meetraai. Deze verhouding vermenigvuldigd met de slibafvoer aan de meetraai, levert een benadering van de slibafvoer aan de monding. Voor de LCI en UCI wordt dezelfde herschalingfactoren toegepast.

Tabel 22 - Herschalingfactor van meetraai naar monding

Waterloop	Oppervlakte opwaarts monding / Oppervlakte opwaarts meetraai
Kleine Nete (Grobendonk)	1,46
Grote Nete (Itegem)	1,35
Zenne (Epepegem)	1,08
Dijle (Haacht)	1,08
Dender (Appels)	1
Boven-Zeeschelde (Melle)	1

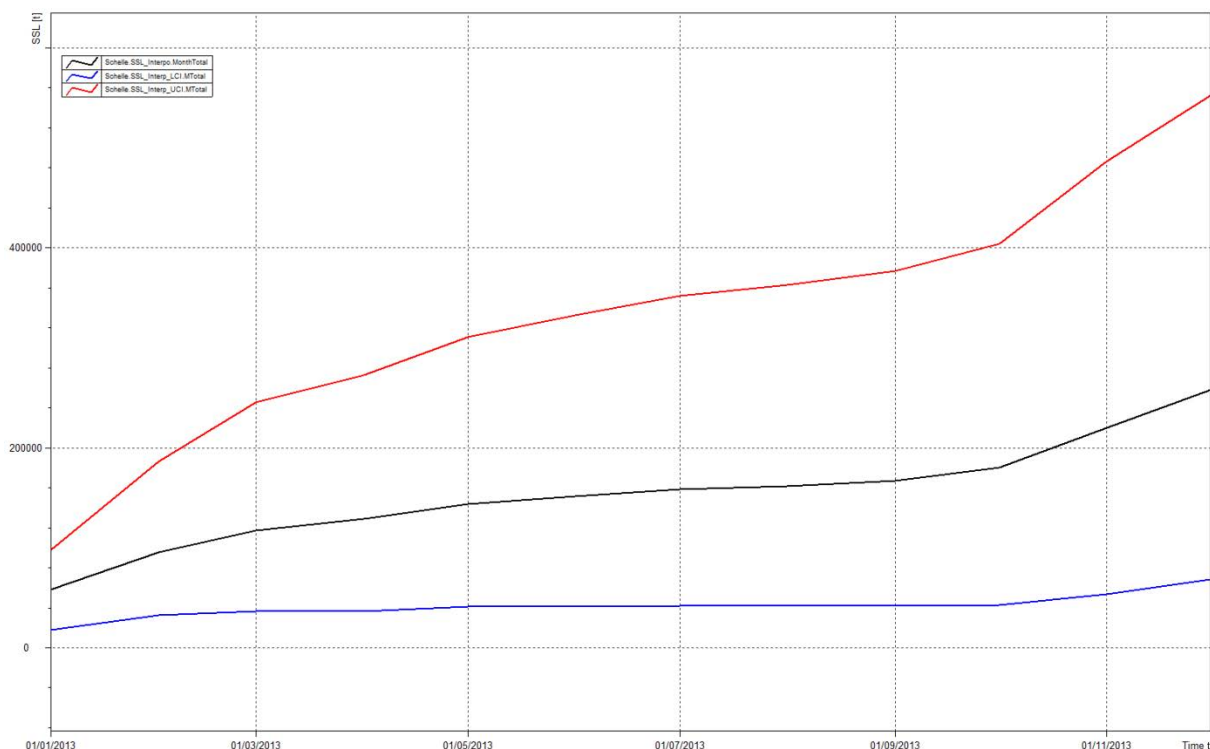
Door de gesommeerde slibafvoer aan de monding van Kleine en Grote Nete, Zenne en Dijle te delen door de bijhorende totale oppervlakte (6.065 km²), bekomt men de specifieke slibafvoer (per km²). De bijkomende slibafvoer afwaarts de monsternamepunten voor de Rupel, Nete, Schelde en Durme kan dan geschat worden door de vermenigvuldiging van de oppervlakte van deze zijbekkens met deze specifieke slibafvoer. De oppervlaktes van deze bijkomende zones afwaarts de monsternamepunten bedragen:

- 270 km² voor de Rupel
- 120 km² voor de Nete
- 475 km² voor de Schelde
- 325 km² voor de Durme

Sommatie van de slibafvoer aan de mondingen in Rupel- en Scheldebekken en de slibafvoer van de zijbekkens, levert dan een schatting van de slibafvoer te Schelle. Deze bedraagt 258.239 ton, met een LCI van 69.726 ton en een UCI van 553.747 ton. De resultaten worden weergegeven in Tabel 23 en Figuur 148. Het resultaat te Schelle ligt tussen de jaarlijkse gemiddelden voor de periode 1972-2009 en 1992-2009, nl. 286.548 ton resp. 237.927 ton (Van Hoestenbergh et al., 2013).

Tabel 23 - Totale sedimentvracht voor 2013 berekend via de interpolatiemethode aan de monding van de bemeten en *niet-bemeten* stroomgebieden en op de Zeeschelde te Schelle

Meetlocatie	SSL (ton)	LCI	UCI
Kleine Nete	9.064	2.359	16.059
Grote Nete	7.912	1.751	14.220
Zenne	31.258	8.051	77.346
Dijle	58.578	28.167	95.024
Dender	25.999	2.194	60.730
Boven-Zeeschelde	104.469	19.289	250.606
<i>Rupel – Nete – Zeeschelde – Durme</i>	<i>20.959</i>	<i>7.914</i>	<i>39.763</i>
Zeeschelde (Schelle)	258.239	69.726	553.747



Figuur 148 – Gecumuleerde sedimentvracht SSL geschat via de interpolatiemethode (zwart) met LCI (blauw) en UCI (rood) voor de Zeeschelde te Schelle

4.2. Meetcampagnes

4.2.1. Langsvaarten

4.2.1.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"

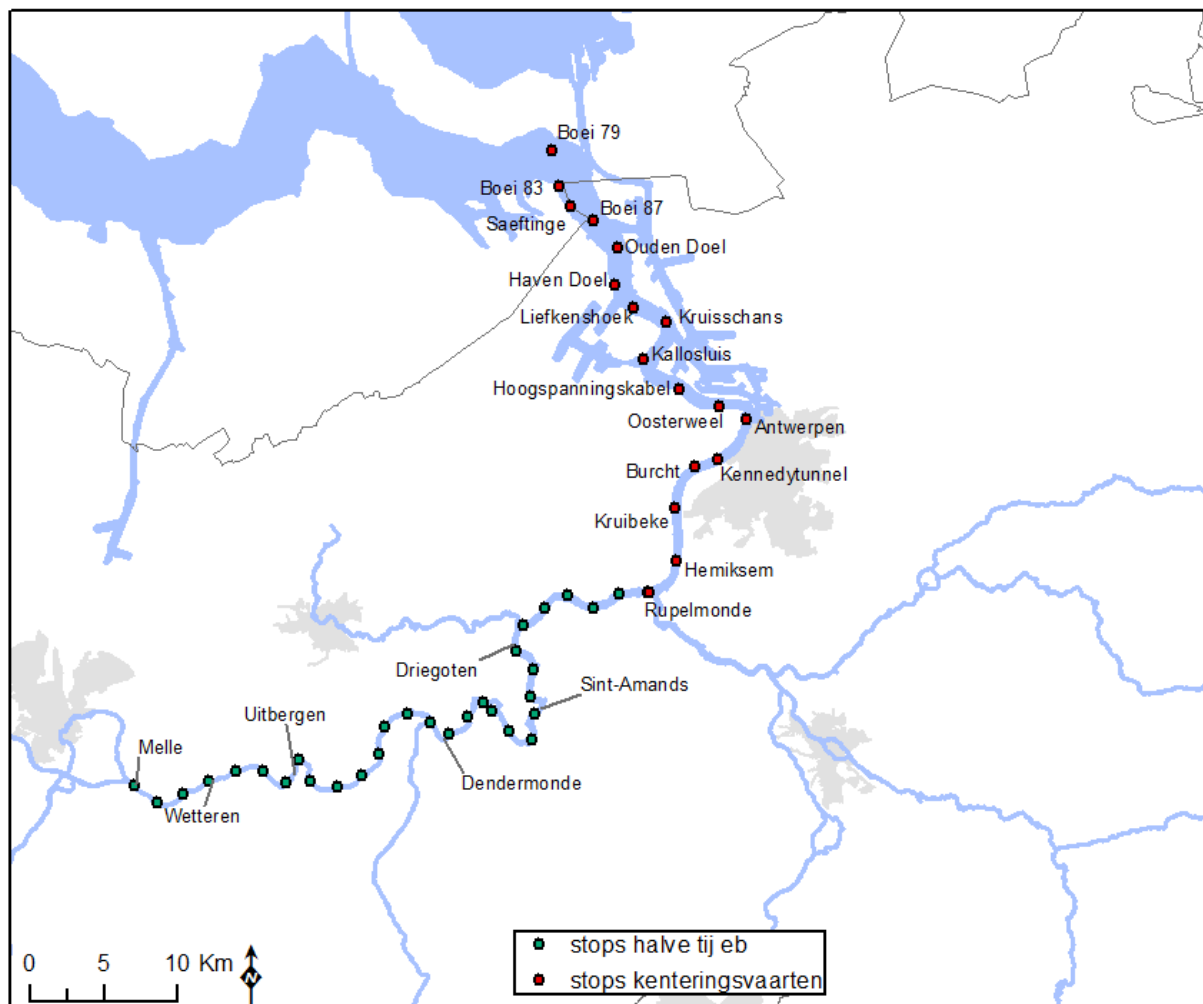
Het Waterbouwkundig Laboratorium voert reeds vanaf de jaren 1960 periodieke langsvaarten langsheen het Schelde-estuarium. Hierbij wordt met behulp van een meetschip op een bepaald moment in de getijdencyclus een meting uitgevoerd van bepaalde fysische parameters. In eerste instantie waren deze vaarten vooral gericht op het meten van het verloop van de conductiviteit langsheen het estuarium om alzo de "saliniteitsgradiënt" in beeld brengen.

Sinds 2010 heeft men echter ook systematisch naast de conductiviteit (gemeten met een YSI sonde) ook water- en sedimentstalen genomen met behulp van een pomp, om zo ook enerzijds het chloridegehalte te kunnen bepalen, als anderzijds ook de sedimentconcentratie te kunnen meten. Bij de zogeheten langsvaarten worden op 17 vaste locaties (zie Figuur 149) langsheen de Beneden-Zeeschelde pompstalen genomen in de bovenste helft van de waterkolom (1 à 3 m onder het wateroppervlak). De vaarten worden maandelijks tot 3-maandelijks uitgevoerd op volgende momenten van het getij:

- Kentering hoogwater (KHW): deze meting geeft de ligging van de saliniteitsgradiënt weer na de vloedperiode, wat overeenkomt met de meest opwaartse ligging ervan; de sedimentconcentraties die op dit moment gemeten worden geven een "achtergrondwaarde" weer.
- Kentering laagwater (KLW): deze meting geeft de ligging van de saliniteitsgradiënt weer na de ebperiode, wat overeenkomt met de meest afwaartse ligging ervan; de sedimentconcentraties die op dit moment gemeten worden geven een "achtergrondwaarde" weer.
- Halftij-eb (HTE): deze meting richt zich louter op de sedimentconcentraties en werd sinds 2009 maandelijks uitgevoerd in de Beneden-Zeeschelde; sinds 2012 werd deze meting ook uitgebreid naar de Boven-Zeeschelde [Plancke *et al.*, 2013, 2014], doch hier 3-maandelijks; deze metingen geven een beeld van de sedimentconcentraties in het estuarium bij aanzienlijke stromingen.

Bij de kenteringsvaarten dient het meetschip de kentering bij te houden, wat in de praktijk niet evident is. Hierdoor zal de meting aanvagen op het meest stroomafwaartse punt op een moment dat de stroming nog niet gekenterd heeft, terwijl op het eindpunt (meest opwaarts) de kentering reeds gebeurd zal zijn.

Voor de conductiviteit zal de invloed hiervan beperkt blijven, doch voor de sedimentconcentratie kan dit een meer belangrijke invloed hebben. Bij de halftij-eb meting is deze invloed veel kleiner, aangezien de stroomsnelheid gedurende de eb-fase minder sterk varieert. Daardoor zal ook de sedimentconcentratie minder aan belangrijke variaties onderhevig zijn, zodat deze periode zich voor suspensiemateriaal beter leent tot metingen langsheen het estuarium

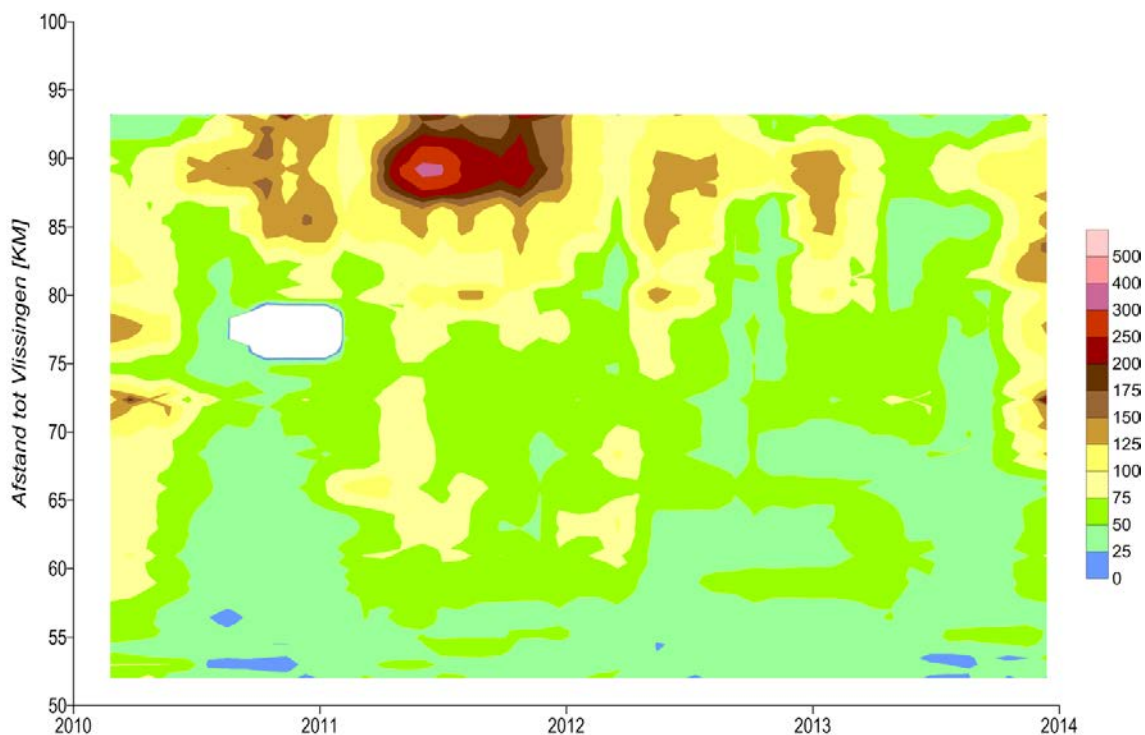


Figuur 149 - ligging van de vaste meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten

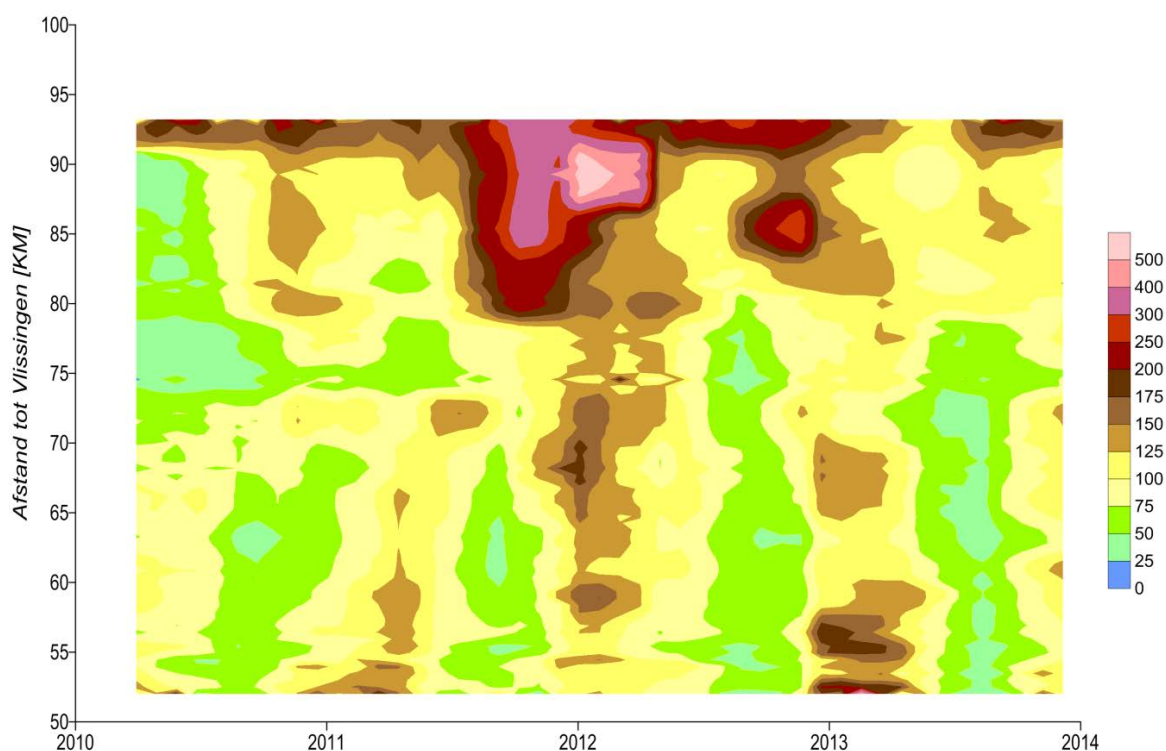
4.2.1.2 Resultaten sedimentconcentratie langsvaarten

Figuur 150 t.e.m. Figuur 152 geven het verloop van de sedimentconcentratie langsheen het Beneden-Zeeschelde weer voor de periode 2010 – 2013 en dit voor de verschillende momenten van het getij. Deze grafieken geven op de y-as de afstand ten opzichte van de monding weer, waarbij de meting afwaarts aanvangt ter hoogte van Boei 79 (nabij Bath, KM 53), via Liefkenshoek (KM 63,1) en Antwerpen-Loodsgebouw (KM 77,6) tot Rupelmonde (KM 93).

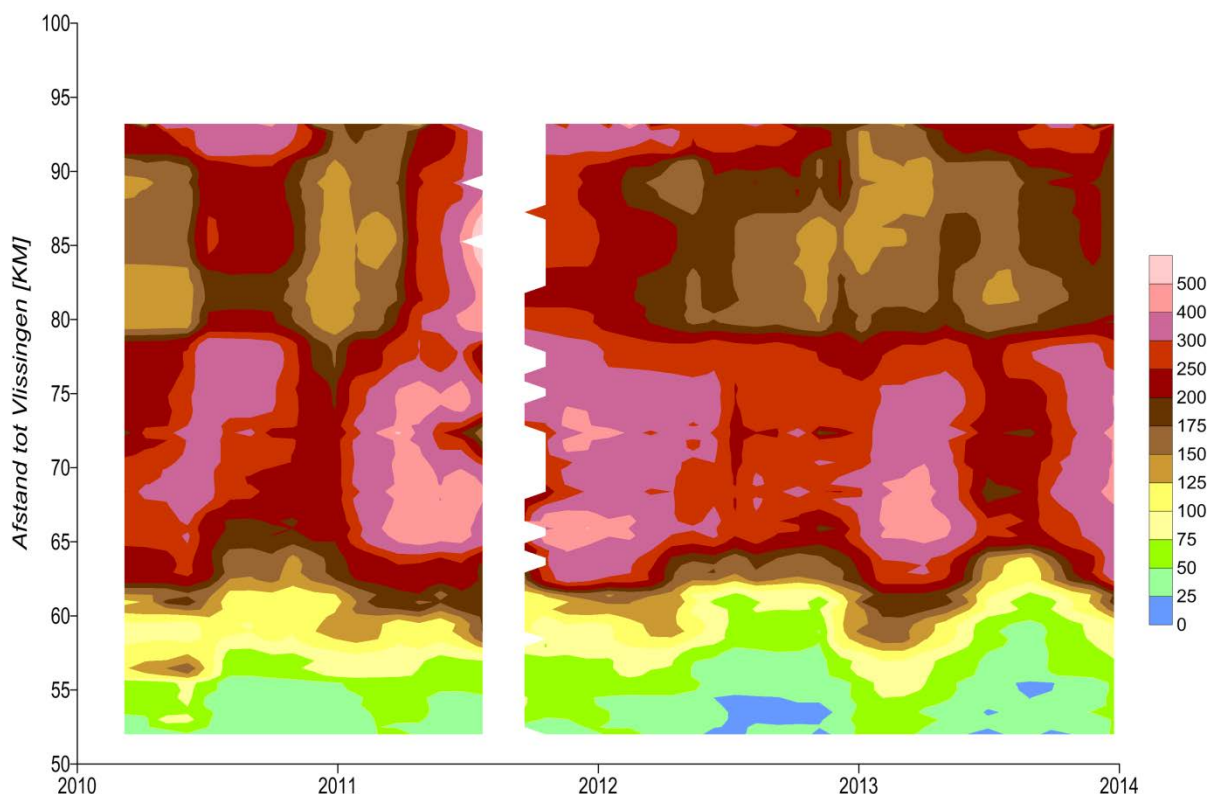
Gelet op bovenstaande bemerking met betrekking tot de moeilijkheid van het volgen van de kentering over het volledige traject, dient opgemerkt te worden dat de hogere waarden in het opwaartse deel van het traject (tussen KM 80 en 93) naar alle waarschijnlijkheid deels te wijten zijn aan het niet meten op het moment van kentering hoog- en laagwater, doch reeds in de initiële eb- respectievelijk vloedperiode.



Figuur 150 - Sedimentconcentratie bij kentering hoogwater langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.



Figuur 151 - Sedimentconcentratie bij kentering laagwater langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.



Figuur 152 - Sedimentconcentratie bij half-tij-eb langsheen de Beneden Zeeschelde. Plots gemaakt aan de hand van Inverse Distance Weighting interpolatietechniek, waarbij langsheen de x-as data mee opgenomen worden in de interpolatie die binnen de grenzen van + 1.5 maand en - 1.5 maand zijn gelegen, langsheen de y-as is dit +5km en -5 km.

Aangezien de metingen op identieke wijze in de loop der jaren worden uitgevoerd, zijn de waarden wel onderling vergelijkbaar over de verschillende jaren.

Voor de langsvaarten tijdens kentering hoogwater, blijven de gemeten sedimentconcentraties grotendeels beneden 100 mg/l. Enkel in het meest opwaartse deel worden hogere concentraties gemeten, die echter ook in de tijd variëren. Hierbij valt met name de verhoging van de sedimentconcentraties op in het jaar 2011, die in de loop van 2012 terug zakken naar een lager niveau, en nog verder zakken in 2013.

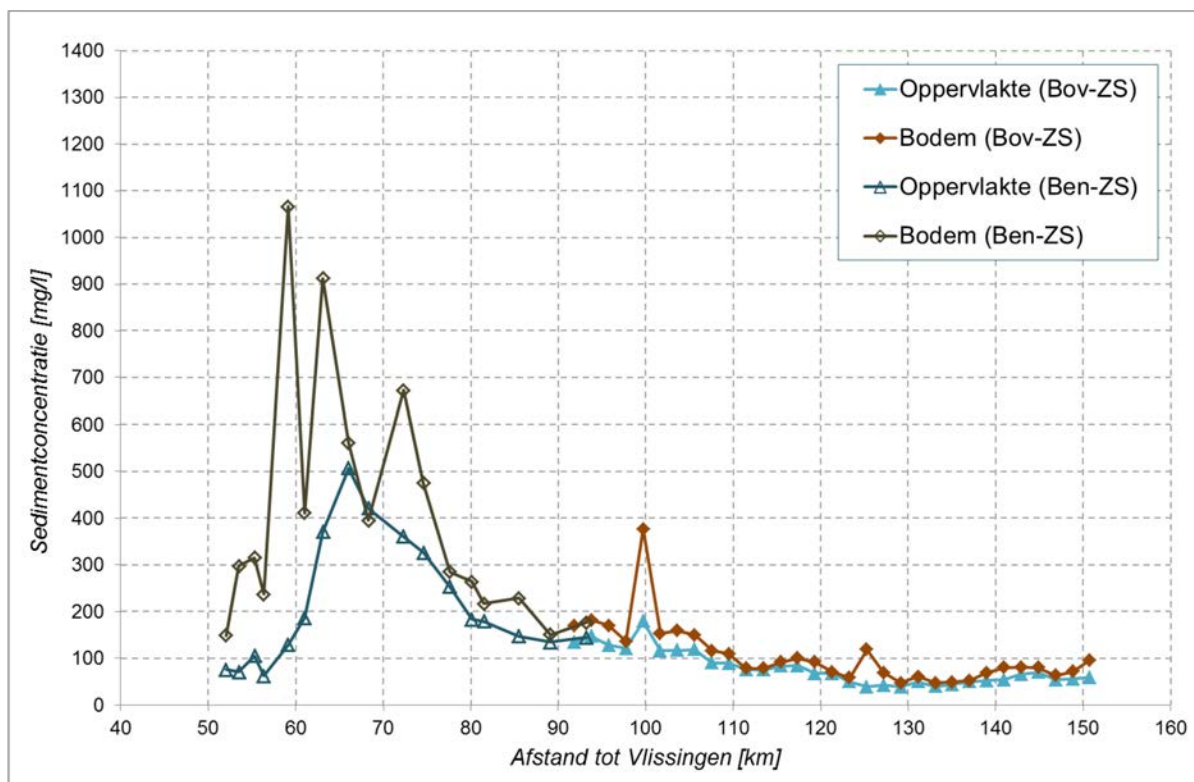
Voor de langsvaarten tijdens kentering laagwater, vertonen een soortgelijk verloop, al liggen de gemeten waarden hier hoger (ca. 150 mg/l). Ook hier kunnen eind 2011 – begin 2012 hogere waarden vastgesteld worden, die ook weer afnemen in de loop van 2012 en ongeveer gelijk blijven (of nog licht zakken) in 2013.

De metingen uitgevoerd bij half-tij-eb geven ruimtelijk een ander beeld: de hoogste sedimentconcentraties (tot 650 mg/l) worden gevonden tussen KM 60 en KM 80. Wanneer het verloop in de tijd beschouwd wordt, kan een vergelijkbaar patroon vastgesteld worden als bij de kenteringvaarten.

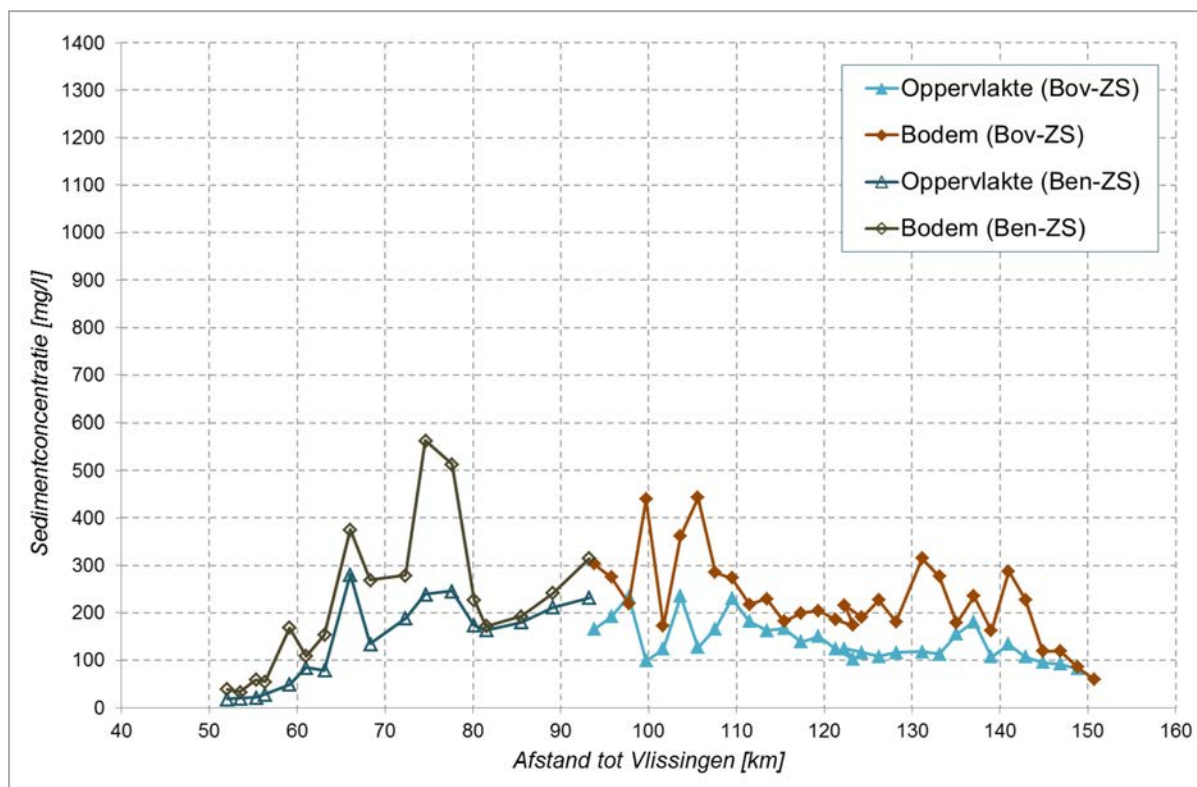
Figuur 153 t.e.m. Figuur 156 geeft het verloop van de (aan de oppervlakte bemonsterde) sedimentconcentratie langsheen de volledige Zeeschelde, tijdens de vier HTE campagnes die zowel de Boven-Zeeschelde als de Beneden-Zeeschelde bemonsterden. Tabel 24 geeft enkele kerngetallen van deze campagnes.

Uit deze figuren en tabel valt geen eenduidig beeld rond seizoenale variaties af te leiden. Om hier uitspraak over te kunnen doen zijn meerdere meetjaren nodig. Zo blijkt dat de laagste gemiddelde sedimentconcentraties voor bodem- en oppervlaktetestaalmnames niet steeds bij dezelfde campagne geregistreerd zijn. Voor de Boven-Zeeschelde vallen ze beiden tijdens de campagne van maart, maar voor de Beneden-Zeeschelde werd de laagste gemiddelde sedimentconcentratie aan de bodem geregistreerd tijdens de zomercampagne van juni, terwijl aan het oppervlak de laagste waarden voorkwamen in september.

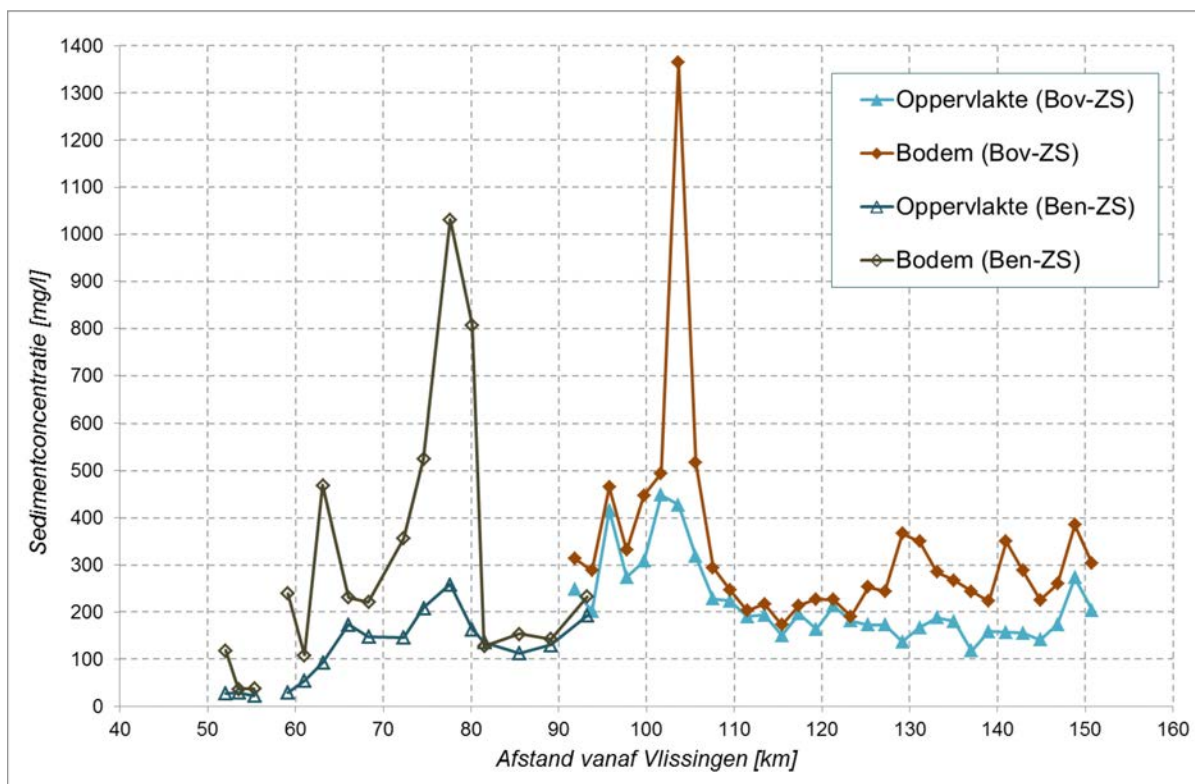
Verder valt op dat tijdens de meetcampagne van maart 2013 in de Beneden-Zeeschelde duidelijk hogere sedimentconcentraties gemeten zijn (zowel aan het oppervlak als aan de bodem) dan in de Boven-Zeeschelde. Dit beeld is minder uitgesproken tijdens de andere campagnes.



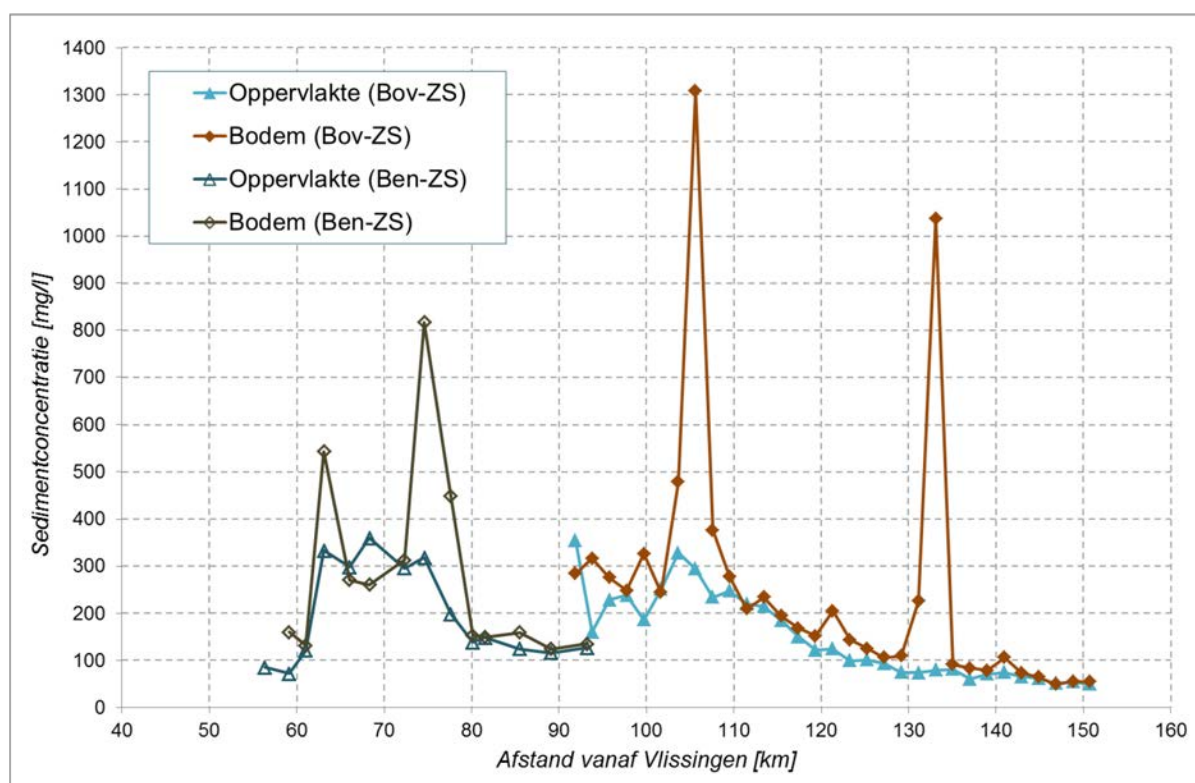
Figuur 153 - Sedimentconcentratie bij half-tij-eb in maart 2013 langsheen de volledige Zeeschelde



Figuur 154 - Sedimentconcentratie bij half-tij-eb in juni 2013 langsheen de volledige Zeeschelde



Figuur 155 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in september 2013 langsheen de volledige Zeeschelde



Figuur 156 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb in december 2013 langsheen de volledige Zeeschelde

Tabel 24 – Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van halftij-eb gegevens in 2013 langsheen de volledige Zeeschelde

		maart 2013		juni 2013		september 2013		december 2013	
		opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem
Boven-Zeeschelde	min	39	47	59	59	118	173	49	49
	max	179	377	235	443	448	1.364	355	1.308
	gemid	79	106	139	227	219	331	149	248
	stdev	36	63	44	86	84	208	88	266
Beneden-Zeeschelde	min	62	149	18	33	23	37	72	124
	max	507	1.066	281	563	259	1.031	360	817
	gemid	215	401	138	222	121	303	195	282
	stdev	130	257	88	151	70	271	99	200

Tot nu toe werden de langsvaarten besproken in het kader van ruimtelijke en temporele variatie van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde. In Figuur 157 t.e.m. Figuur 161 worden voor vijf verschillende locaties langsheen de Beneden Zeeschelde (tussenafstand ca. 10 km), en voor de verschillende momenten in de getijcyclus, het verloop van de sedimentconcentraties voor de periode 2010-2013 weergegeven. Hierbij is geopteerd voor een boxplot-weergave: een vijf-getallen-samenvatting die bestaat uit het minimum, het eerste kwartiel, de mediaan (of tweede kwartiel), het derde kwartiel en het maximum van de waargenomen data (die niet als uitschieters worden beschouwd). Zwakke uitschieters liggen op een afstand tussen 1,5 en 3 maal de interkwartielafstand van het eerste of derde kwartiel en worden aangeduid met een °. Sterke uitschieters liggen op een afstand groter dan 3 maal de interkwartielafstand van het eerste of derde kwartiel en worden aangeduid met een *.

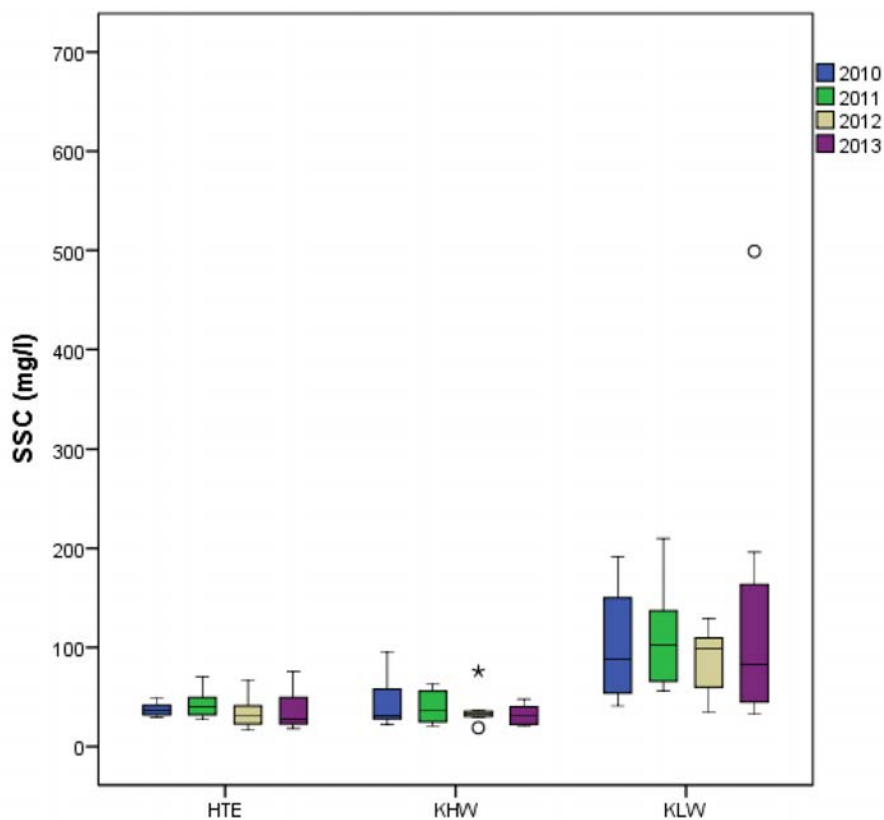
Algemeen kan vastgesteld worden dat de waarden geregistreerd in 2013 de trends van de vorige jaren volgen. Te Boei 79 blijken de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor te komen bij kentering laagwater (gemiddeld ca. 100 mg/l), terwijl deze bij kentering hoogwater en halftij-eb lager liggen (ca. 50 mg/l). Dit is enigszins onverwacht (hoogste concentraties eerder verwacht bij halftij), doch kan mogelijks te verklaren zijn doordat de meting bij kentering laagwater nog tijdens de ebfase gebeurt en niet exact op het moment van kentering. Deze gemiddelde waarden variëren weinig voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode.

Te Liefkenshoek komen de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor bij halftij-eb (gemiddeld ca. 200 mg/l), terwijl deze bij kentering hoog- en laagwater lager liggen (ca. 100 mg/l). Deze gemiddelde waarden variëren weinig voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode. De variatie binnen de halftij-eb gegevens is wel veel groter dan voor de kenteringsvaarten.

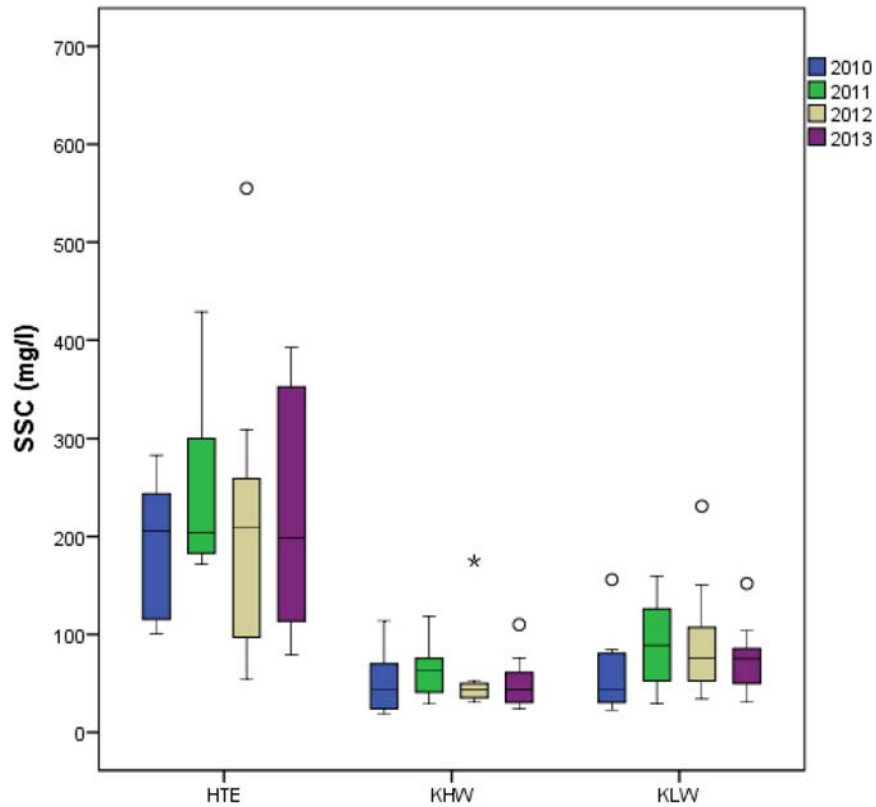
Een zelfde trend kan opgemerkt worden ter hoogte van Oosterweel: de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties komen voor bij halftij-eb (gemiddeld ca. 300 mg/l), terwijl deze bij kentering hoog- en laagwater lager liggen (ca. 100 mg/l). Ter Oosterweel vertonen de gemiddelde waarden echter wel wat meer variatie tussen de verschillende jaren.

Ook voor de locatie aan de Kennedy-tunnel komen de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor bij halftij-eb (gemiddeld ca. 200 mg/l), terwijl deze bij kentering hoog- en laagwater lager liggen (ca. 100 mg/l). Deze gemiddelde waarden variëren weinig voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode. Enkel bij halftij-eb liggen de kengetallen in 2011 systematisch hoger in vergelijking met 2010, 2012 en 2013.

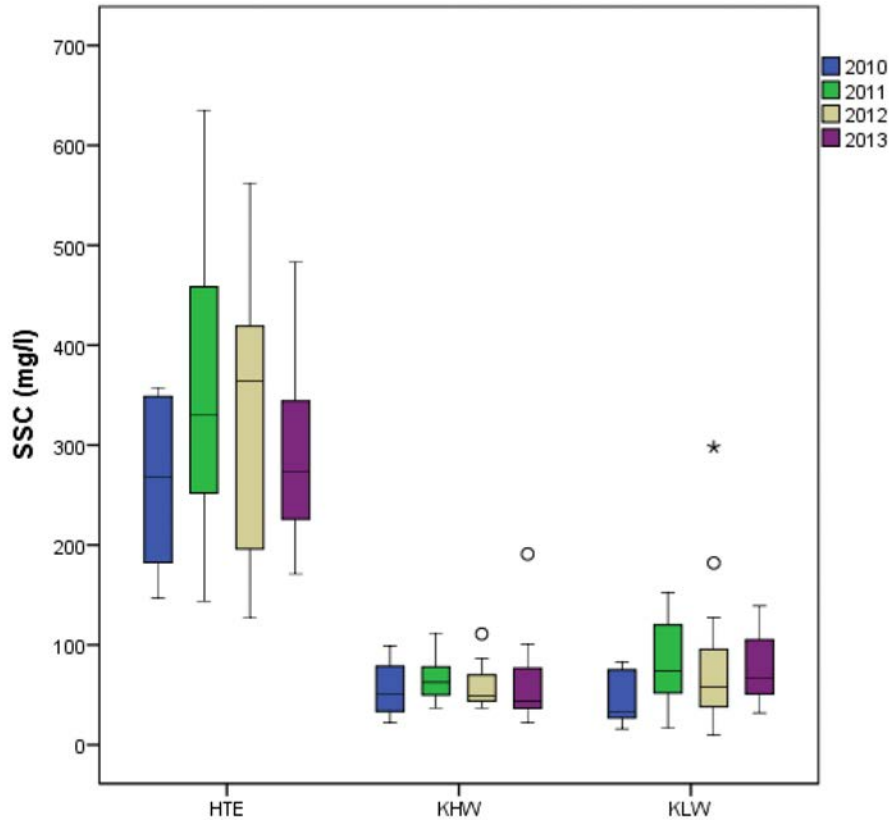
Voor Rupelmonde tenslotte is het beeld iets minder duidelijk. De hoogste sedimentconcentraties bevinden zich bij half-tij-eb (gemiddelden variërend tussen 200 en 350 mg/l), maar de gemiddelde waarden bij kentering laagwater zijn ook behoorlijk hoog (variërend van 150 tot 250 mg/l). De gemiddelde sedimentconcentraties bij kentering hoogwater liggen lager (variërend van 50 tot 150 mg/l). Er is geen duidelijke trend doorheen de jaren zichtbaar: bij kentering hoogwater zijn er hogere waarden in 2011; bij kentering laagwater nemen de gemiddelde sedimentconcentraties geleidelijk toe van 2010 tot 2012 om dan naar een dieptepunt te zakken in 2013; bij half-tij-eb fluctueren de kengetallen over de vier jaren zonder uitgesproken trend.



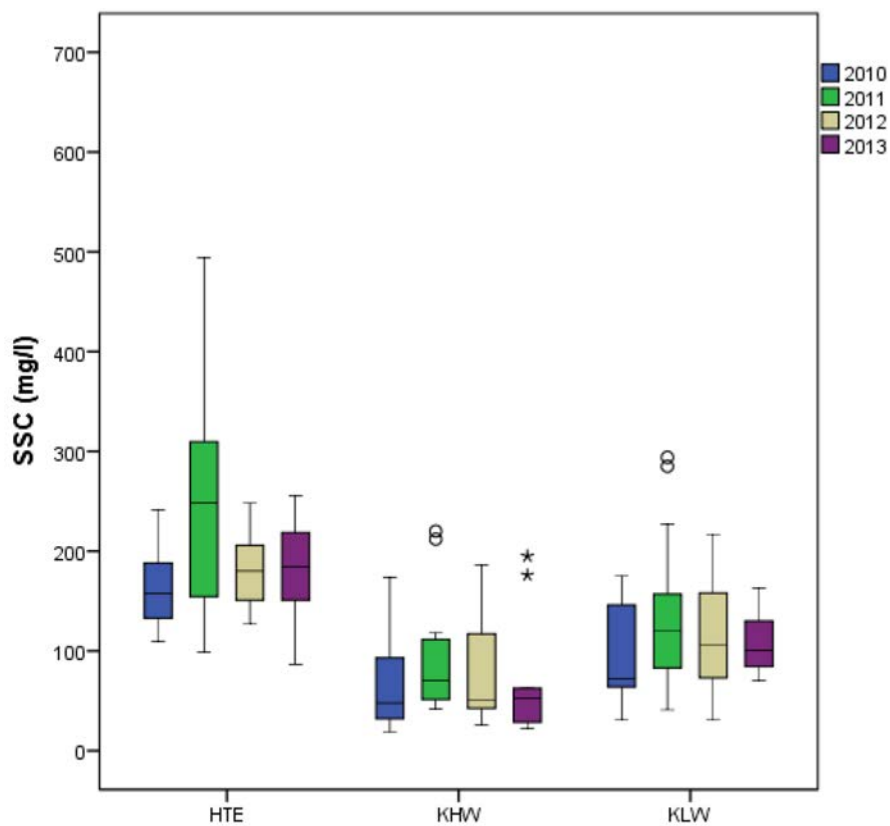
Figuur 157 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Boei 79



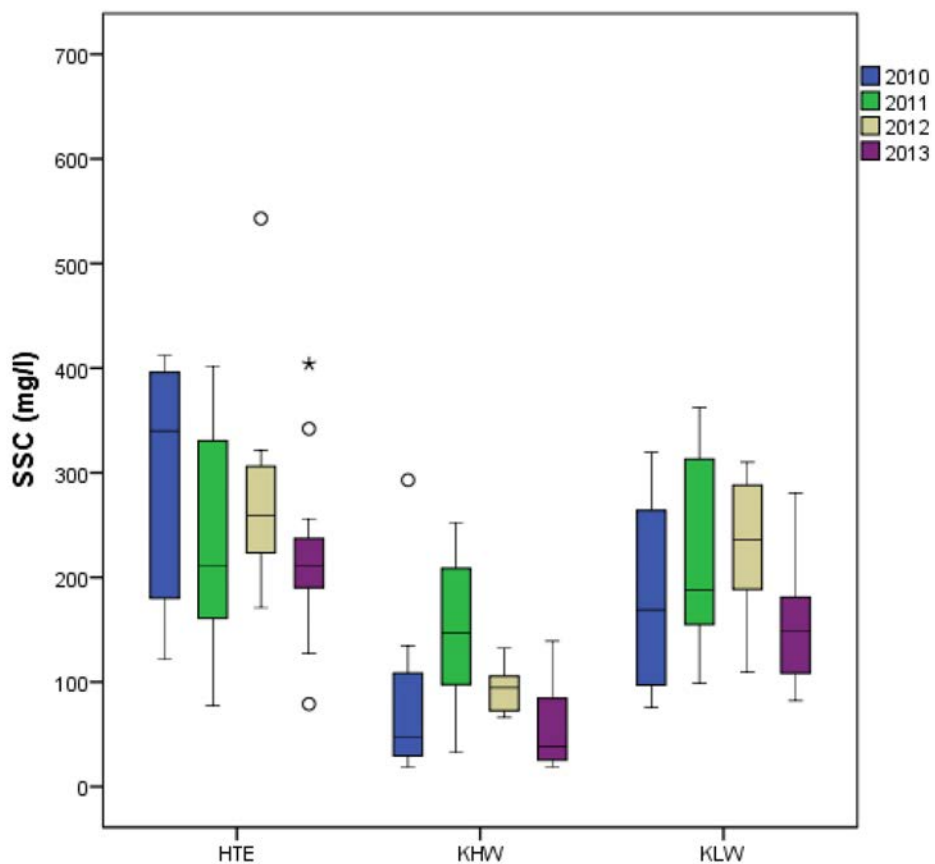
Figuur 158 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Liefkenshoek



Figuur 159 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Oosterweel



Figuur 160 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2013 – Kennedy-tunnel



Figuur 161 - Boxplots sedimentconcentratie voor de periode 2010-2012 – Rupelmonde

4.2.2. Dertienuursmetingen (debiet en sedimentconcentraties)

4.2.2.1 Algemeen

Dertienuursmetingen handelen over het “doorheen het getij” (dus gedurende minstens de duur van een halfdaags getij, gemiddeld 12u25min lang, en vandaar het adjectief “dertienuurs”) over de ganse dwarssectie van de rivier meten van de watersnelheid en van het gehalte aan suspensiemateriaal. Als “ganse dwarssectie” moet worden verstaan de volle hoogte van de waterkolom, zeker tot bijna het wateroppervlak, maar ook tot bijna de bodem hetgeen meestal tot één meter boven de bedding uitkomt. In breedte van de rivier gaat het uiteraard over de natte breedte, dus breder bij hoogwater dan bij laagwater, en voor zover het betrokken meetschip gezien zijn diepgang en de nodige kielspeling tot nabij de oever kon verankerd liggen of kon varen.

De dertienuursmetingen worden uitgevoerd met een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Dat toestel is in staat om continu stroomsnelheden te meten, zowel en tegelijk over de (bijna) gehele waterkolom (verticale) als over de dwarsbreedte van de rivier, indien het schip dat het ADCP-toestel voert, mooi over de dwarsbreedte vaart. Allerlei instellingen qua diepte- en dwarsbreedtes zijn mogelijk, maar doorgaans gebeuren dergelijke metingen in ons geval per cel van een halve meter hoogte (i.e. van een meter onder wateroppervlak tot een meter boven bodem, verdeeld in delen van een halve meter), en telkens -cel per cel- over een 25-tal meter volgens de dwarsbreedte.

Om de waterstroming te kunnen meten wordt hoogfrequent een akoestisch signaal uitgezonden, waarvan door het Doppler-effect (= de fase-verschuiving tussen de uitgezonden en de ontvangen puls) de stroomsnelheid rechtstreeks wordt bepaald. Door de gemeten stroomsnelheden te vermenigvuldigen met de natte sectie, bekomt men het debiet (Q).

Zulk ADCP-toestel geeft evenwel ook een redelijk beeld van het gehalte aan zwevend materiaal in het water, ook per cel, dus ook telkens over een halve meter hoogte over de verticale en per eenheid over de breedte. Want er is een vermindering van intensiteit tussen het (krachtige) uitzendesignaal en het (zwakkere) ontvangen signaal, zijnde de “backscatter”. Dat verschil is een geluidsabsorptie veroorzaakt door enerzijds de absorptie in het eigenlijke water, en anderzijds de verspreiding en de absorptie van de geluidsgolf door alle zwevende stoffen dat het signaal in zijn heen en weer gaan ondervindt. De bepaling van sedimentconcentratie (SSC) is dus afgeleid uit het signaalverlies tussen het door de ADCP uitgezonden en ontvangen akoestische signaal, maar wordt gecorreleerd met het gehalte aan suspensiemateriaal door primo het regelmatig nemen van watermonsters en secundo de ijking met een turbiditeitsmeetinstrument waarvan de turbiditeit ook naar sedimentgehalte gevalideerd is.

Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de methodologie van dertienuursmetingen wordt verwezen naar Levy et al. (2014). Hier worden enkel de resultaten van ADCP-metingen van 2013 gepresenteerd (vergeleken met de waarden van de vorige jaren). Meer bepaald worden de debieten, sedimentconcentraties (SSC) en de sedimentflux (SSF) gepresenteerd.

4.2.2.2 Dertienuursmeting te Liefkenshoek

Op 25 juni 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Liefkenshoek. Figuur 162 toont de ligging van de gevaren dwarsraai, net opwaarts van (aan linkeroever) de steiger aan Fort Liefkenshoek en (aan rechteroever) Lillo, in wezen dus de lijn boven de Liefkenshoek-tunnel.



Figuur 162 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) op 25/06/2013

De zwarte lijn stelt de gevaren dwarsraai voor, waarover het meetschip, met een ADCP-meettoestel aan boord, nl. langsrij, gedurende dertien uren bijna onafgebroken weg en weer heeft gevaren. Bij elke vaart werden watermonsters genomen om zowel de backscattering van de ADCP als de meevarende turbiditeitsmeter te iken, derwijze dat naast stroomgegevens ook een beeld van de verdeling en de grootte van het suspensiemateriaal over de dwarssectie kan opgemaakt worden.

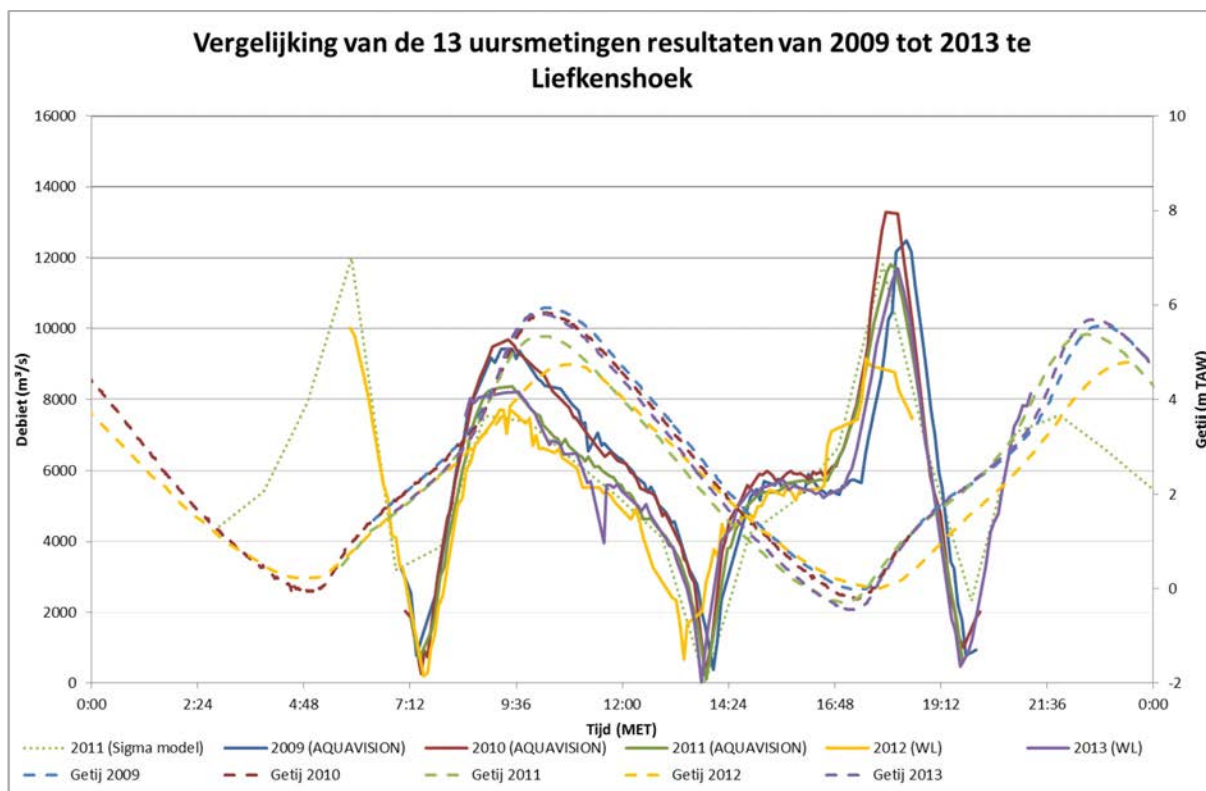
Figuur 163 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2012 zijn kleiner dan deze voor de overige jaren, veroorzaakt door een kleiner getijverschil bij deze meting.

Figuur 164 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat ook de suspensiegehalten bepaald in 2009, 2012 en 2013 lager zijn dan in 2010 en 2011, dat alles o.m. afhankelijk van het getijverschil bij meting.

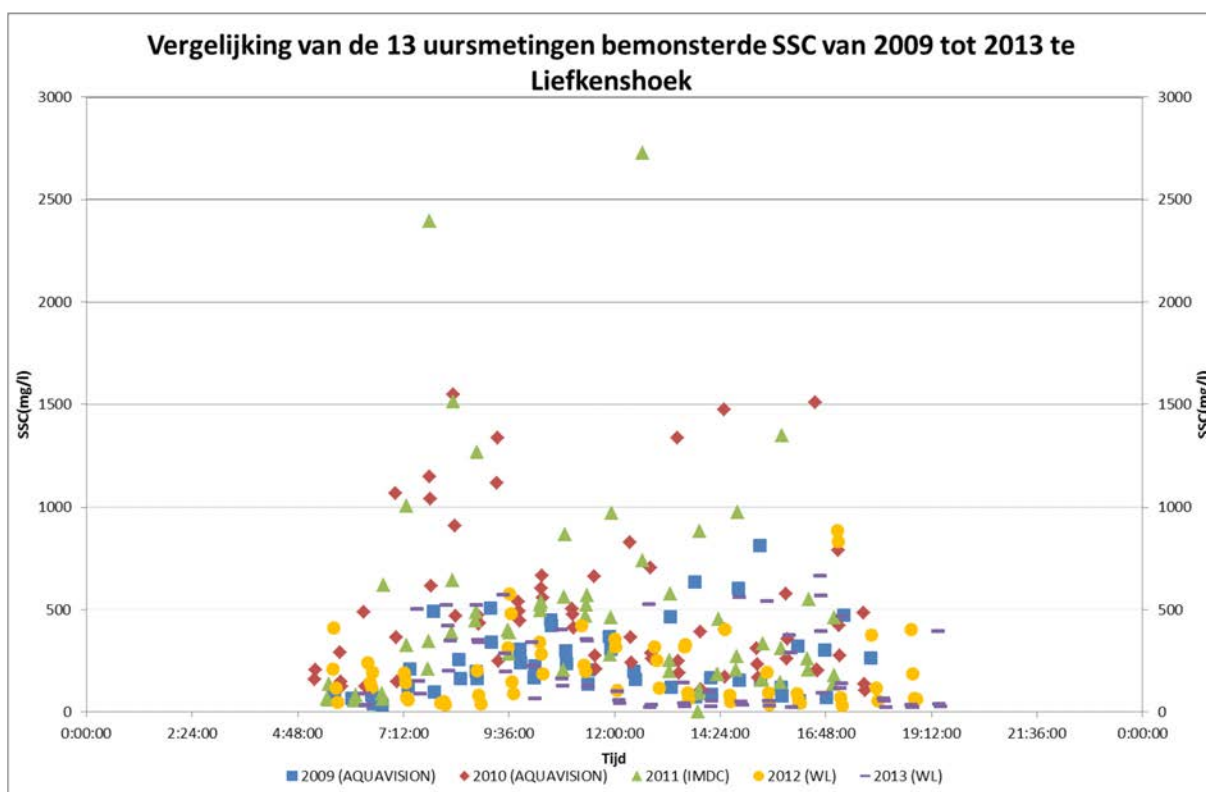
Door vermenigvuldiging van de gemeten debieten met de overeenkomstige SSC-waarden worden tenslotte de sedimentfluxen berekend. Deze worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2013 (Figuur 165). Uit de figuur blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen het grootst waren tijdens de dertienuursmetingen in 2010 en 2011.

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed in 2013 voor alle meetlocaties waar dertienuursmetingen werden uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de gemiddelde sedimentflux te Liefkenshoek bij vloed groter is dan deze bij eb. Dit was vorig jaar net andersom.

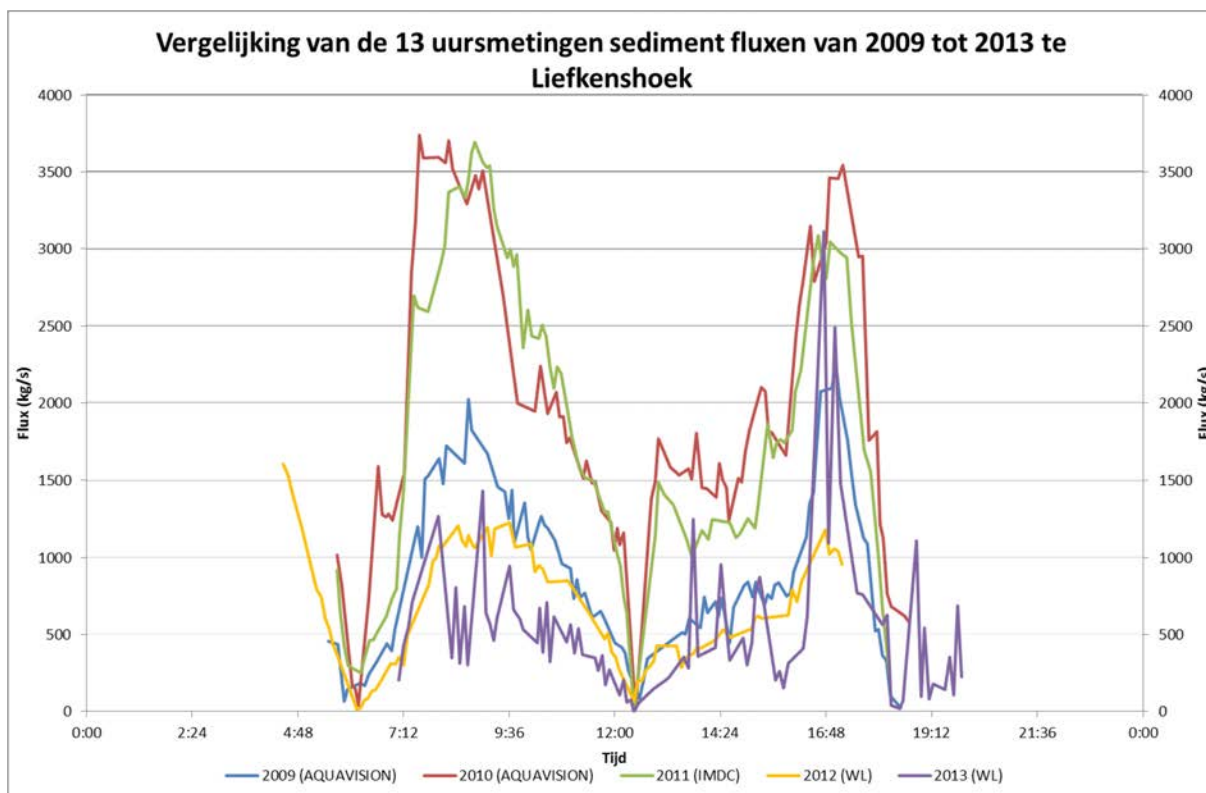
Voorts zijn in Tabel 25 de gemiddelde, minimale en maximale debieten alsook de sedimentconcentraties en -fluxen per getij samengevat.



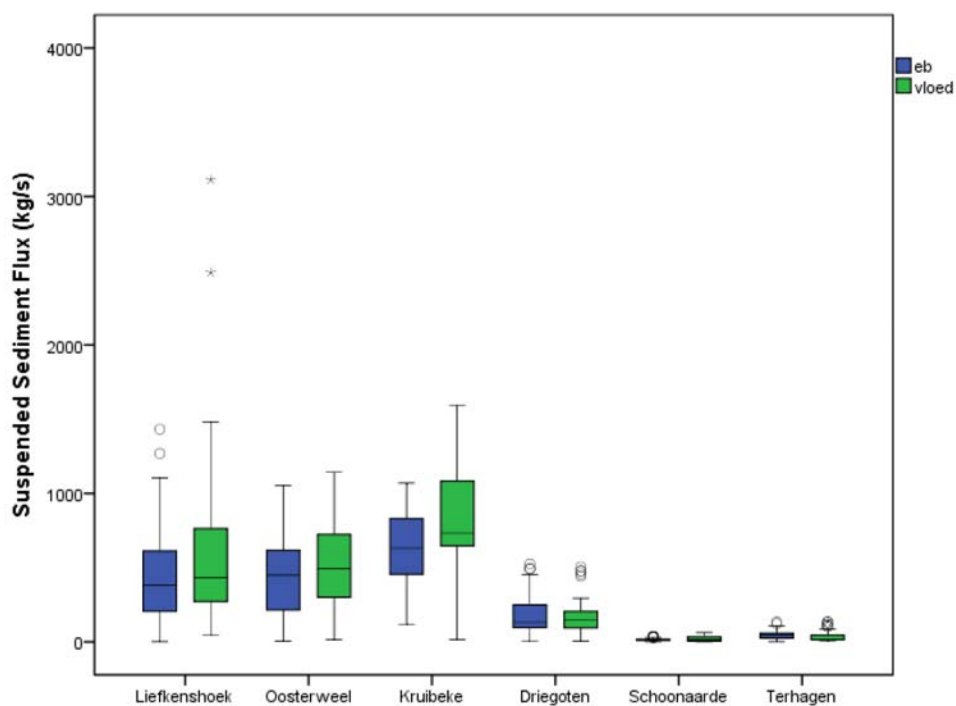
Figuur 163 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 164 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 165 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 166 - Boxplots van de sedimentflux bij eb en vloed tijdens de dertienuursmetingen langs de verschillende dwarsraaien in 2013

Tabel 25 – Gemiddelde, minimale en maximale debieten en sedimentfluxen bepaald tijdens de verschillende 13u metingen

		Debiet (m ³ /s)		SSC (mg/l)		SSF (kg/s)	
		eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed
Liefkenshoek	gemiddelde	5516	5967	81	115	445	681
	max	8212	11694	336	437	1432	3113
	min	23	463	14	26	1	43
Oosterweel	gemiddelde	3747	3927	114	130	447	535
	max	5726	6905	269	214	1050	1141
	min	65	187	26	51	6	13
Kruibeke	gemiddelde	3029	3414	207	3	613	805
	max	4687	6488	280	261	1069	1592
	min	432	53	149	204	121	13
Driegoten	gemiddelde	828	993	208	14	173	170
	max	1151	1749	575	543	525	506
	min	42	39	32	57	2	5
Schoonaarde	gemiddelde	209	248	74	23	16	23
	max	298	477	192	199	37	62
	min	12	2	31	35	1	0
Terhagen	gemiddelde	430	390	115	16	46	38
	max	673	828	390	390	135	138
	min	61	6	3	19	1	2

4.2.2.3 Dertienuursmeting te Oosterweel

Op 27 juni 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Oosterweel. Figuur 167 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 168 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2009, 2012 en 2013 zijn ietwat lager dan deze voor de overige jaren, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie. Nochtans zijn de verschillen (en dan vooral met 2011) klein.

Figuur 169 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat de suspensiegehaltes bepaald in 2009, 2012 en 2013 lager zijn dan in 2010 en 2011.

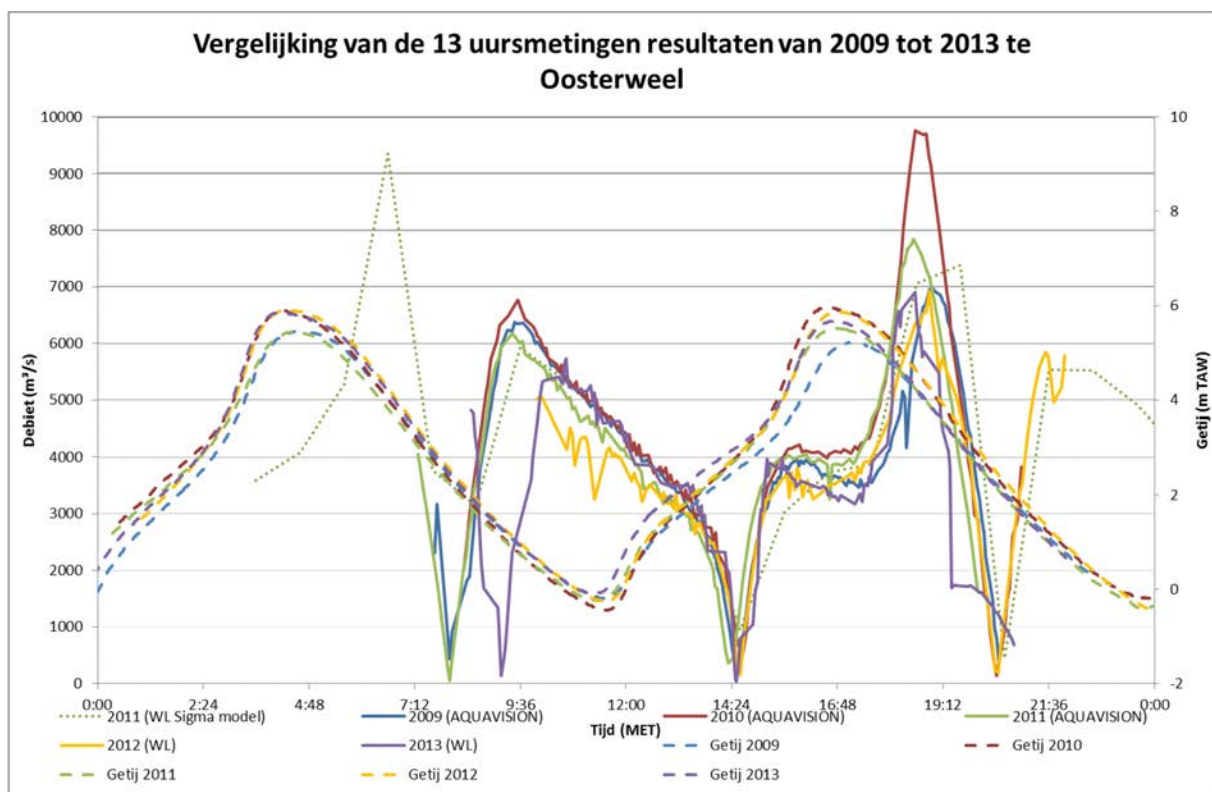
De sedimentfluxen worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2013 in Figuur 170. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen gelijkaardig waren tijdens de dertienuursmetingen in 2009, 2012 en 2013, maar groter in 2010 en 2011 (\pm factor 2).

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed voor de dertienuursmetingen in 2013 o.a. te Oosterweel. Ook hier (net als in Liefkenshoek) blijkt dat de gemiddelde sedimentflux bij vloed groter is dan deze bij eb, terwijl dit vorig jaar net andersom was.

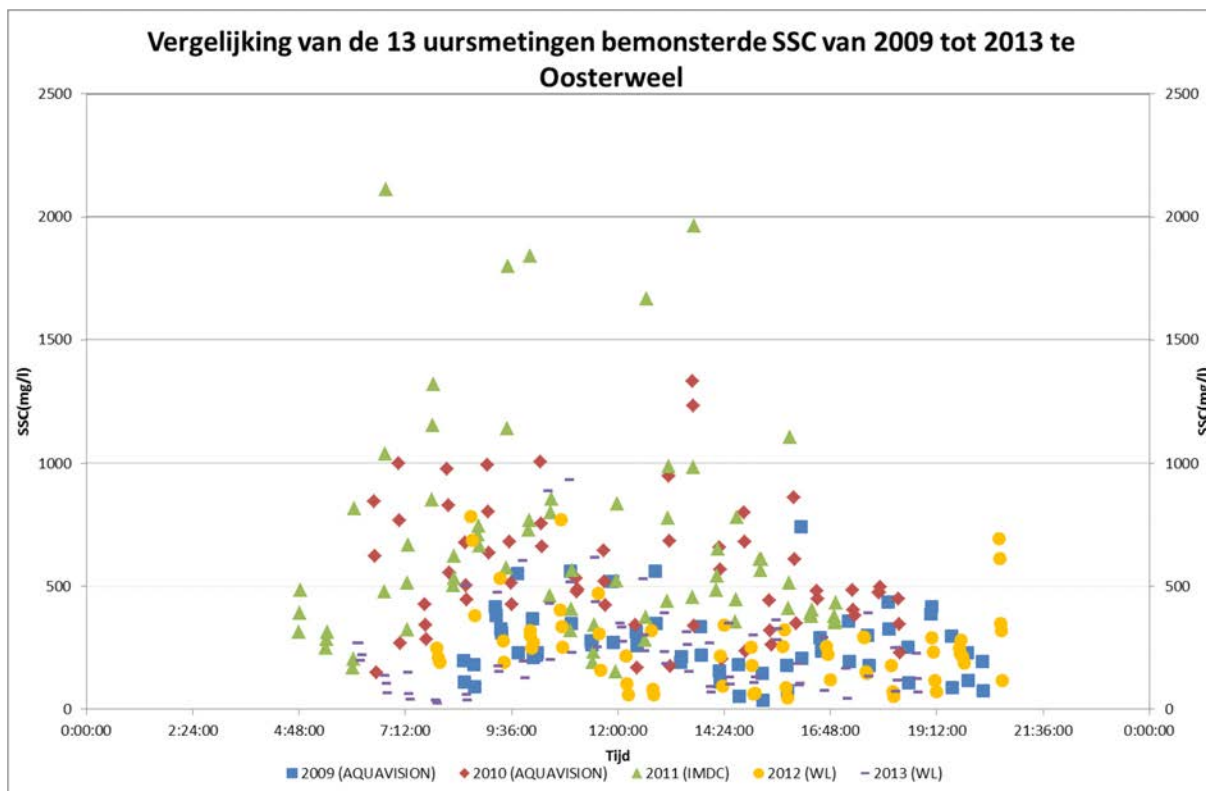
De kerngetallen voor debieten, sedimentconcentraties en –fluxen zijn eveneens gerapporteerd in Tabel 25.



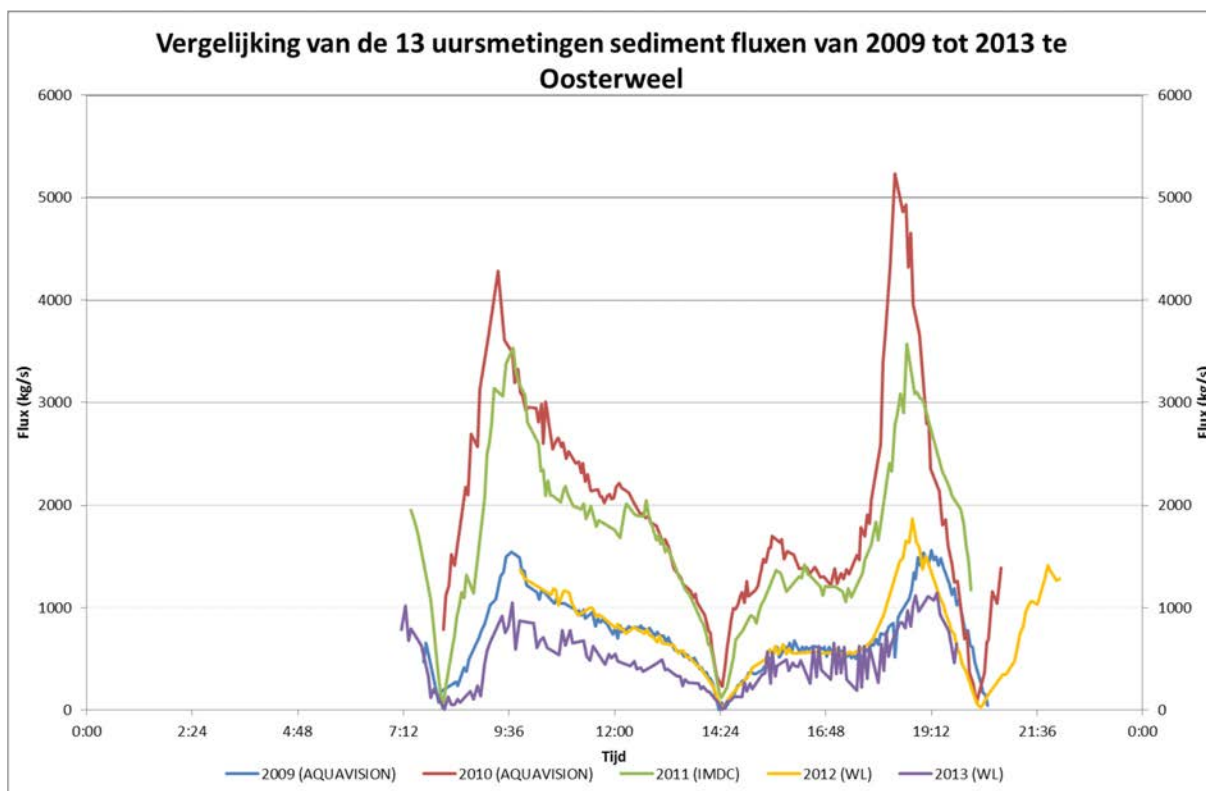
Figuur 167 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) op 27/06/2013



Figuur 168 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 169 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 170 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013

4.2.2.4 Dertienuursmeting te Kruikeke

Op 30 mei 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Kruikeke.

Figuur 171 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 172 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Kruikeke voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2012 zijn ietwat lager dan deze voor de overige jaren, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie. Nochtans zijn deze verschillen klein.

Figuur 173 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Kruikeke voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat de suspensiegehalten bepaald tijdens de dertienuursmetingen gelijkaardig zijn voor de verschillende jaren, maar ietwat groter in 2011.

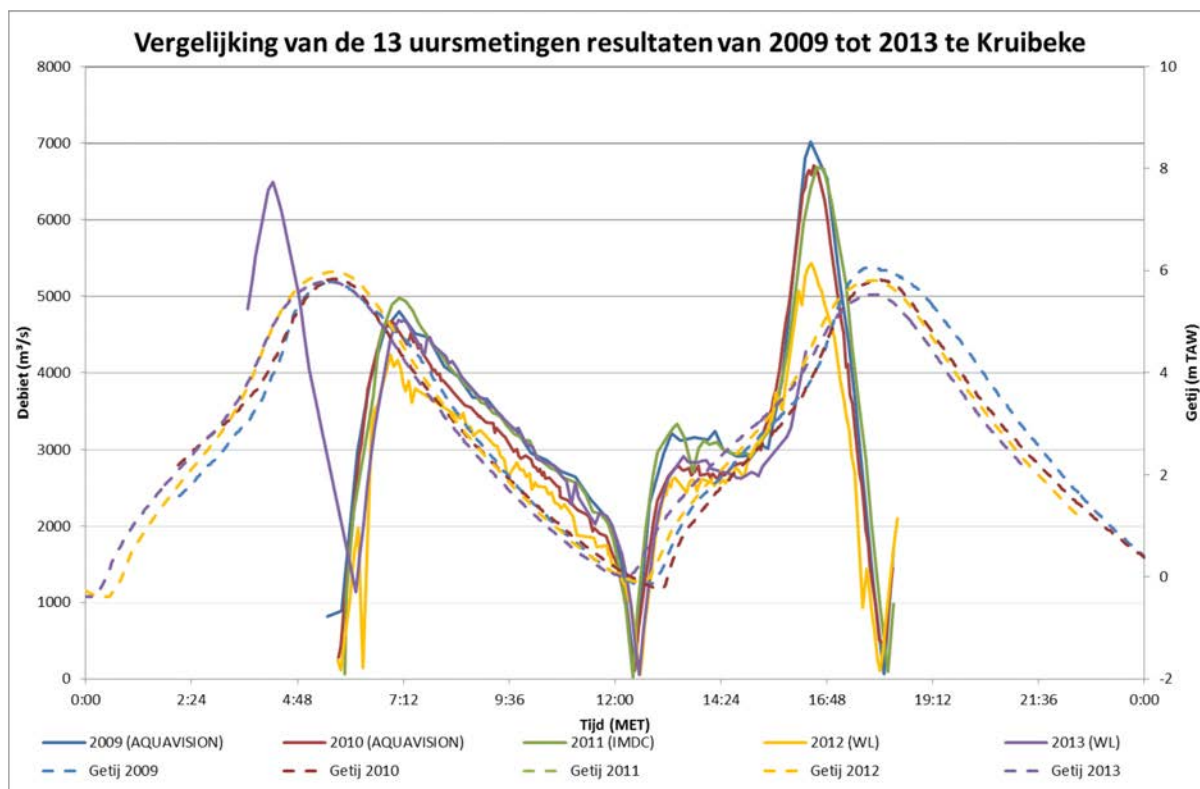
De sedimentfluxen worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Kruikeke voor de periode 2009 t.e.m. 2013 in Figuur 174. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen het grootst waren tijdens de meting in 2011 en het kleinst in 2009 en 2010 terwijl de waarden voor 2013 zich hertussen bevinden en gelijkaardig zijn aan deze voor 2012.

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed voor de dertienuursmetingen in 2013 o.a. te Kruikeke. Hieruit blijkt dat de gemiddelde en maximale sedimentflux bij vloed groter is dan deze bij eb. Dit is dezelfde trend als vorig jaar geobserveerd.

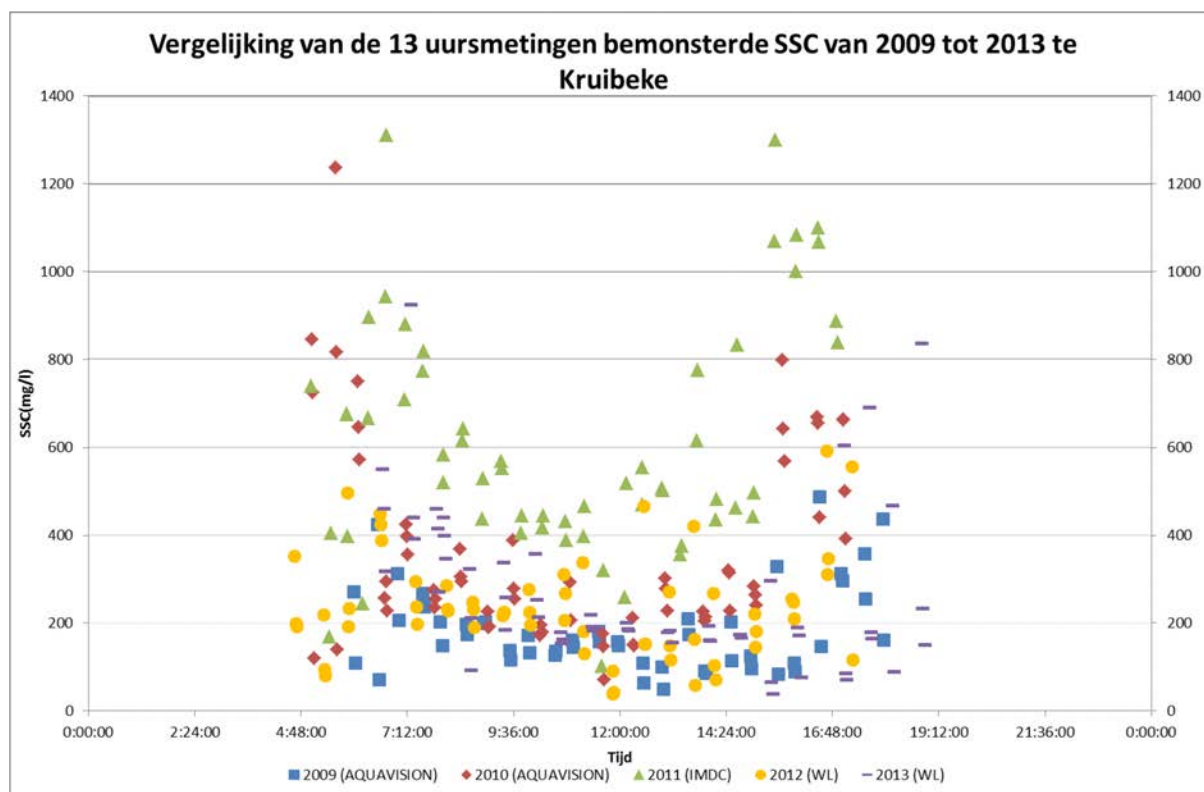
De kerngetallen voor debieten, sedimentconcentraties en -fluxen te Kruikeke zijn eveneens gerapporteerd in Tabel 25.



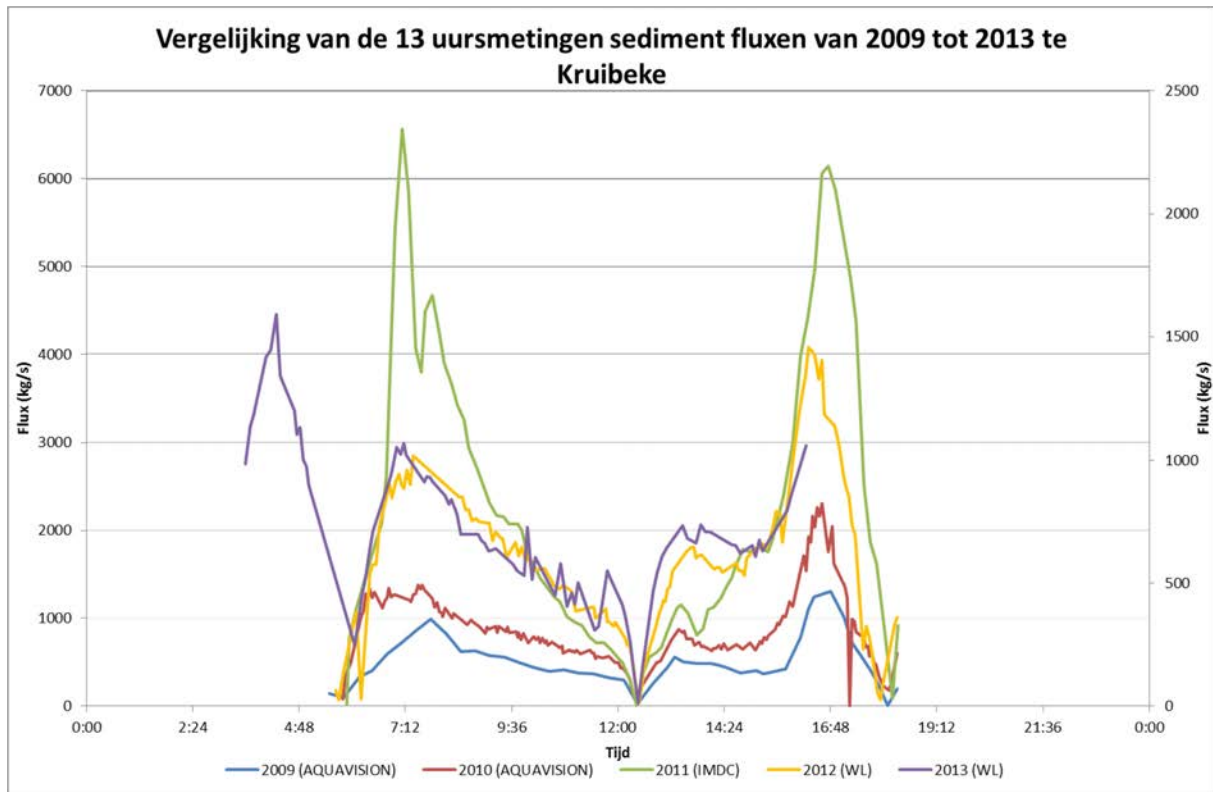
Figuur 171 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Kruikeke (Beneden-Zeeschelde) op 30/05/2013



Figuur 172 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 173 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 174 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013

4.2.2.5 Dertienuursmeting te Driegoten

Op 12 juni 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Boven-Zeeschelde te Driegoten. Figuur 175 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.



Figuur 175 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Driegoten (Boven-Zeeschelde) op 12/06/2013

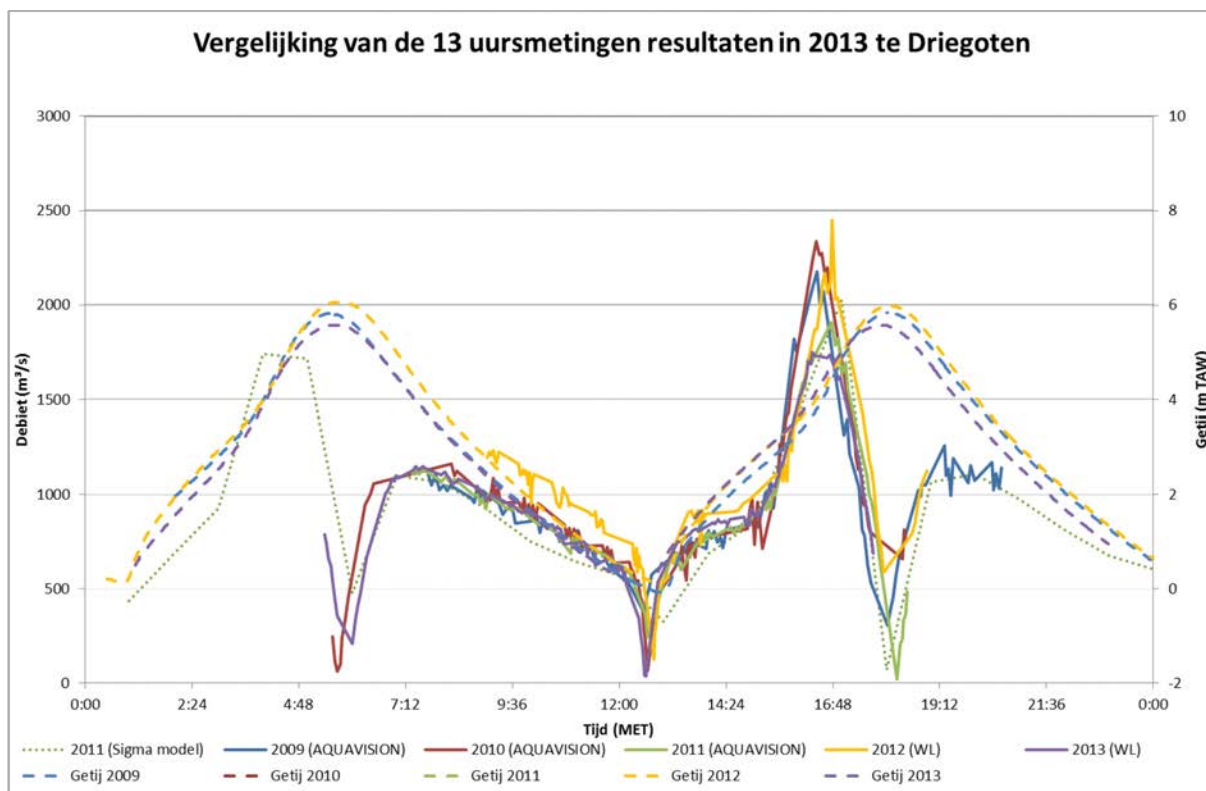
Figuur 176 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten.

Figuur 177 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat in 2010 en 2013 de hoogste concentraties werden gemeten.

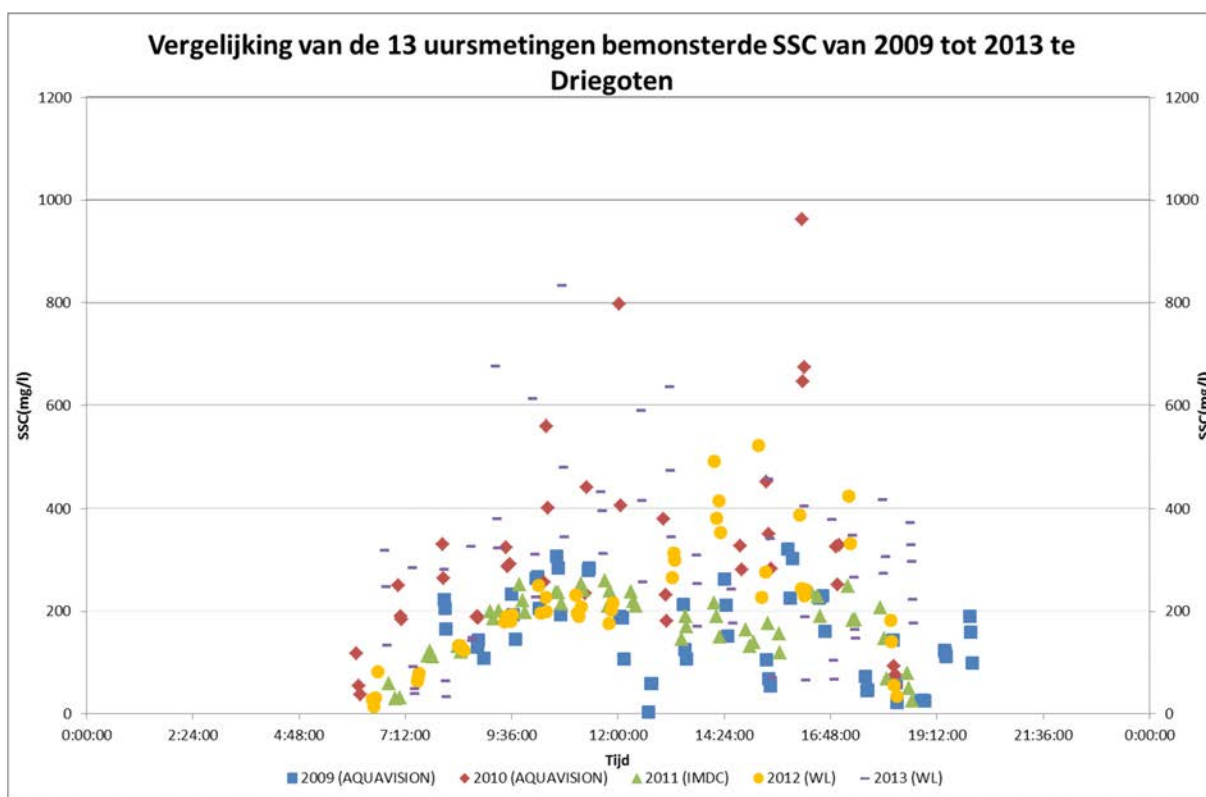
De sedimentfluxen worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2013 in Figuur 178. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen bij eb groter waren tijdens de dertienuursmetingen in 2012 en in mindere mate 2013 dan voor de overige jaren. Bij vloed was de sedimentflux tijdens de dertienuursmetingen in 2013 gelijkaardig aan deze in 2009 en lager dan in de overige jaren. Voor de verschillende jaren is de SSF bij vloed duidelijk groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere piek.

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed voor de dertienuursmetingen in 2013 o.a. te Driegoten. Het is opvallend (en logisch) dat de (gemiddelde) sedimentflux en de spreiding in waarden op de meer opwaartse meetlocaties (Driegoten, Schoonaarde en Terhagen) kleiner is dan voor de meer afwaartse locaties (Liefkenshoek, Oosterweel en Kruibeke). Verder blijkt uit de figuur dat de gemiddelde sedimentflux te Driegoten bij vloed groter is dan deze bij eb (alweer een omgekeerde observatie dan deze gemaakt vorig jaar), terwijl de maximale sedimentfluxen van eb en vloed in elkaars buurt liggen.

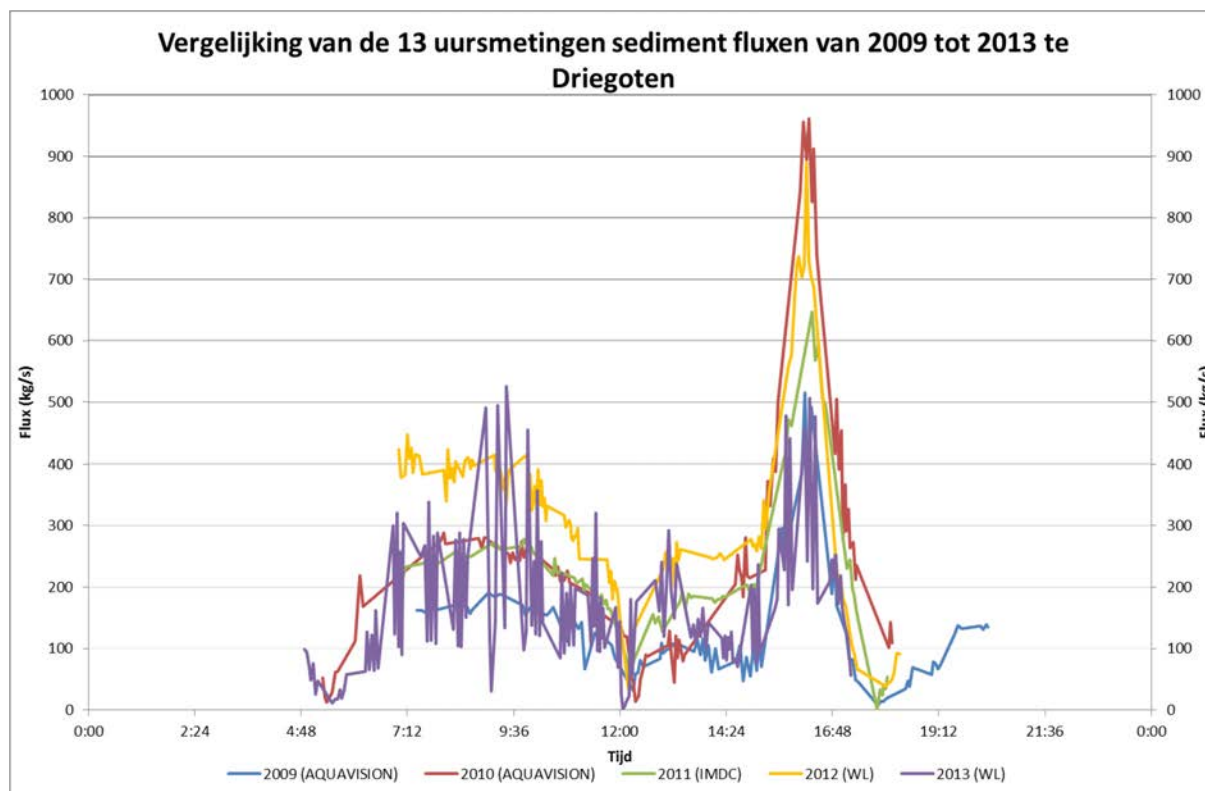
De kerngetallen voor debieten, sedimentconcentraties en -fluxen te Driegoten zijn eveneens gerapporteerd in Tabel 25.



Figuur 176 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 177 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 178 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013

4.2.2.6 Dertienuursmeting te Schoonaarde

Op 27 mei 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Boven-Zeeschelde te Schoonaarde.

Figuur 179 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 180 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2011 zijn ietwat hoger, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie.

Figuur 181 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat de suspensiegehalten bepaald in 2013 lager zijn dan in 2010 en 2012, die op hun beurt lager zijn dan in 2009 en 2011.

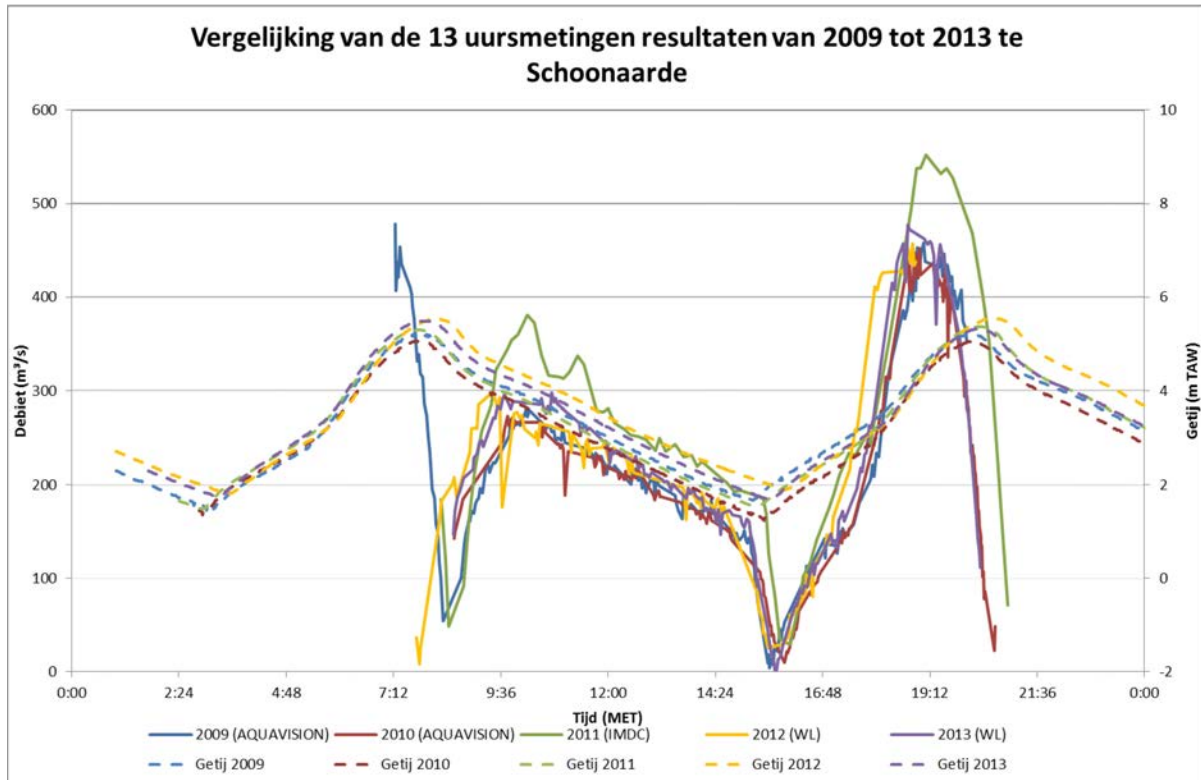
De sedimentfluxen worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2013 in Figuur 182. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen bij eb tijdens de dertienuursmetingen in 2013 (en 2010 en 2012) kleiner waren dan in 2009 en 2011. Voor de verschillende jaren is de maximale SSF bij vloed duidelijk groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere en smallere piek.

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed voor de dertienuursmetingen in 2013 o.a. te Schoonaarde. De gemiddelde sedimentflux en de spreiding ervan is opvallend lager dan voor de meer afwaartse meetlocaties. Op basis van de boxplot kan geen verschil waargenomen worden tussen de gemiddelde sedimentflux bij eb en vloed (net zoals vorig jaar).

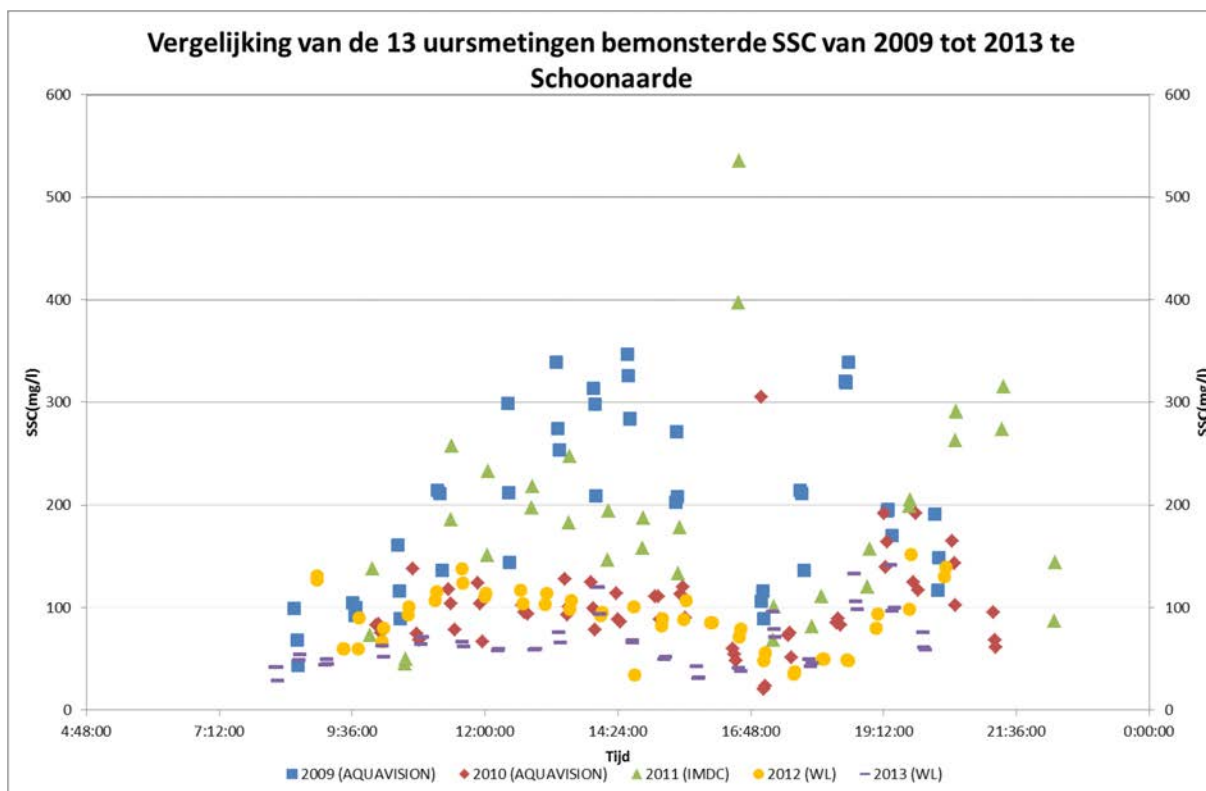
De kerngetallen voor debieten, sedimentconcentraties en -fluxen te Schoonaarde zijn eveneens gerapporteerd in Tabel 25.



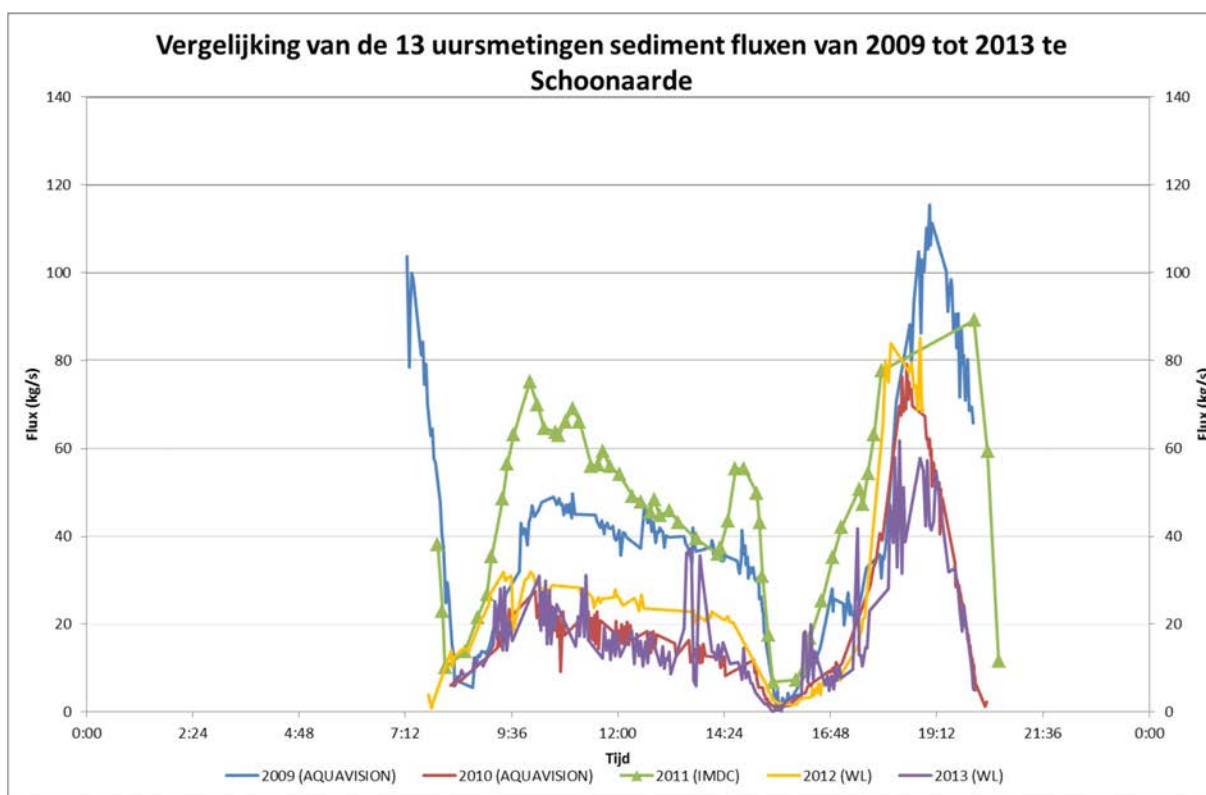
Figuur 179 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) op 27/05/2013



Figuur 180 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 181 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 182 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2013

4.2.2.7 Dertienuursmeting te Terhagen

Op 29 mei 2013 werd een dertienuursmeting middels ADCP uitgevoerd op de Rupel te Terhagen. Figuur 183 toont de ligging van de gevaren dwarsraai. Deze locatie is sinds 2011 in gebruik genomen voor dertienuursmetingen. Voordien werd dit op een meer afwaartse locatie te Boom uitgevoerd.



Figuur 183 - Meetraai voor de dertienuursmeting te Terhagen (Rupel) op 29/05/2013

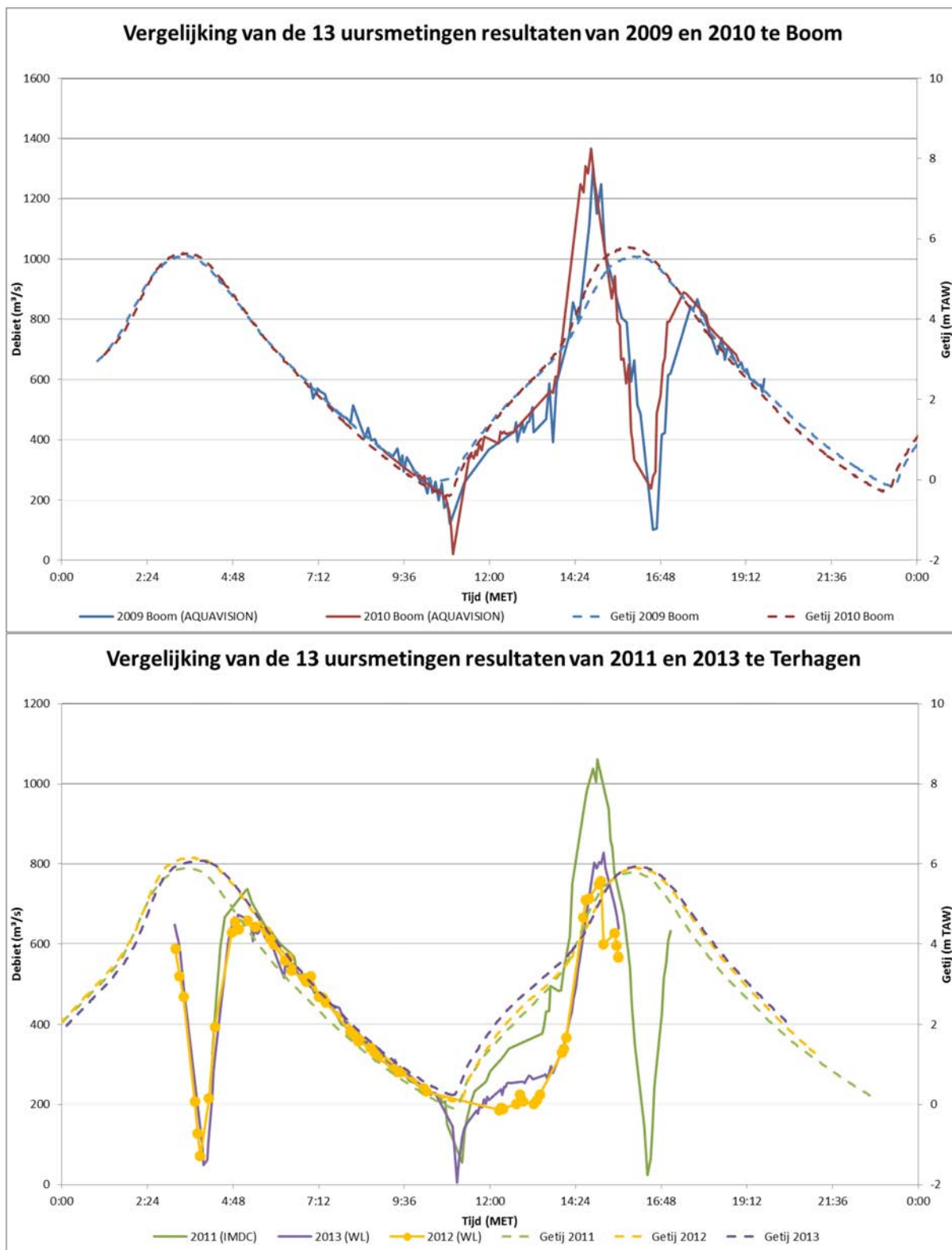
Figuur 184 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig debiet gemeten bij eb. Bij vloed zijn de debieten in 2012 en 2013 echter duidelijk lager dan deze voor 2011 en vooral 2009 en 2010, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie.

Figuur 185 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de dertienuursmetingen te Terhagen voor de periode 2009 t.e.m. 2013. Hieruit blijkt dat de suspensiegehaltes duidelijk lager zijn in 2010 duidelijk en 2013.

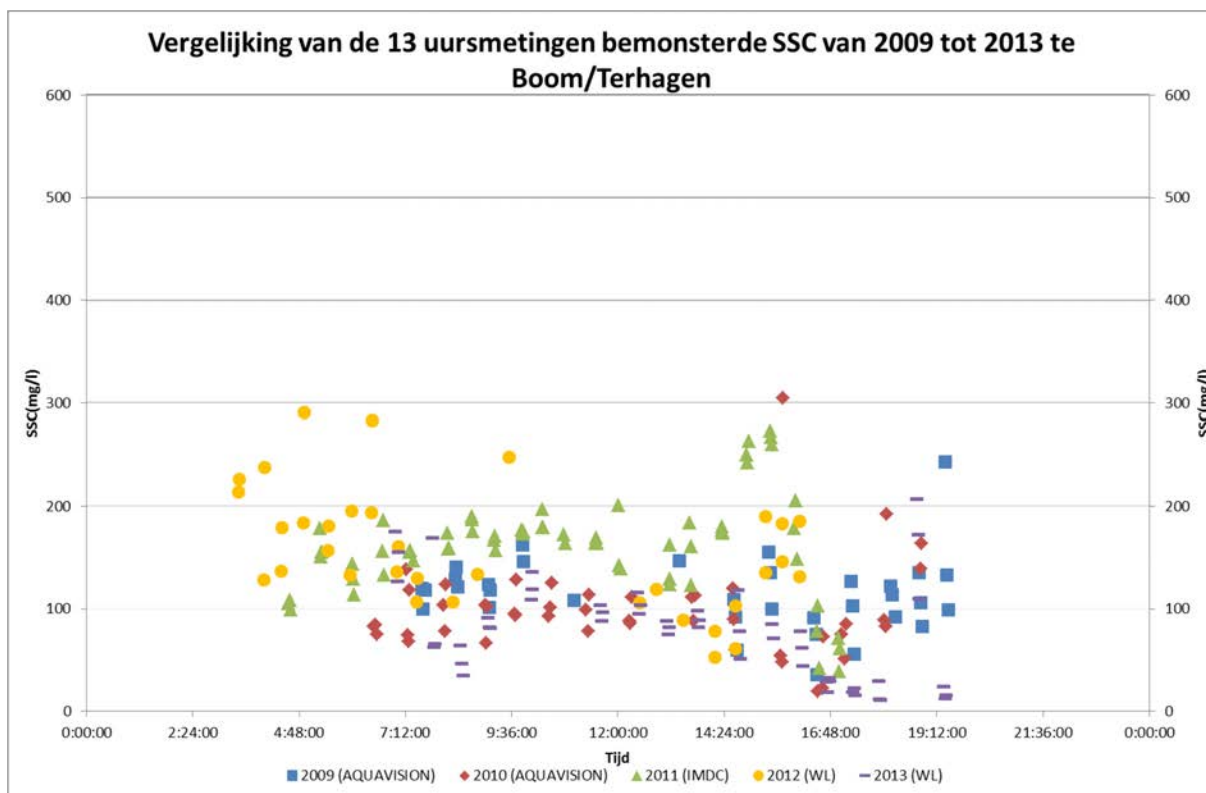
De sedimentfluxen worden weergegeven voor de dertienuursmetingen te Terhagen voor de periode 2009 t.e.m. 2013 in Figuur 186. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen tijdens de dertienuursmetingen in 2009, 2012 en 2013 kleiner waren dan in 2010 en 2011. Voor de verschillende jaren is de maximale SSF bij vloed groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere en smallere piek.

Figuur 166 geeft de boxplot weer van de sedimentfluxen bij eb en bij vloed voor de dertienuursmetingen in 2013 o.a. te Terhagen. De gemiddelde sedimentflux en de spreiding ervan is opvallend lager dan voor de meer afwaartse meetlocaties. Uit de boxplot blijkt dat de gemiddelde sedimentflux bij eb iets groter is dan bij vloed, terwijl de maximale sedimentfluxen van eb en vloed niet veel van elkaar verschillen.

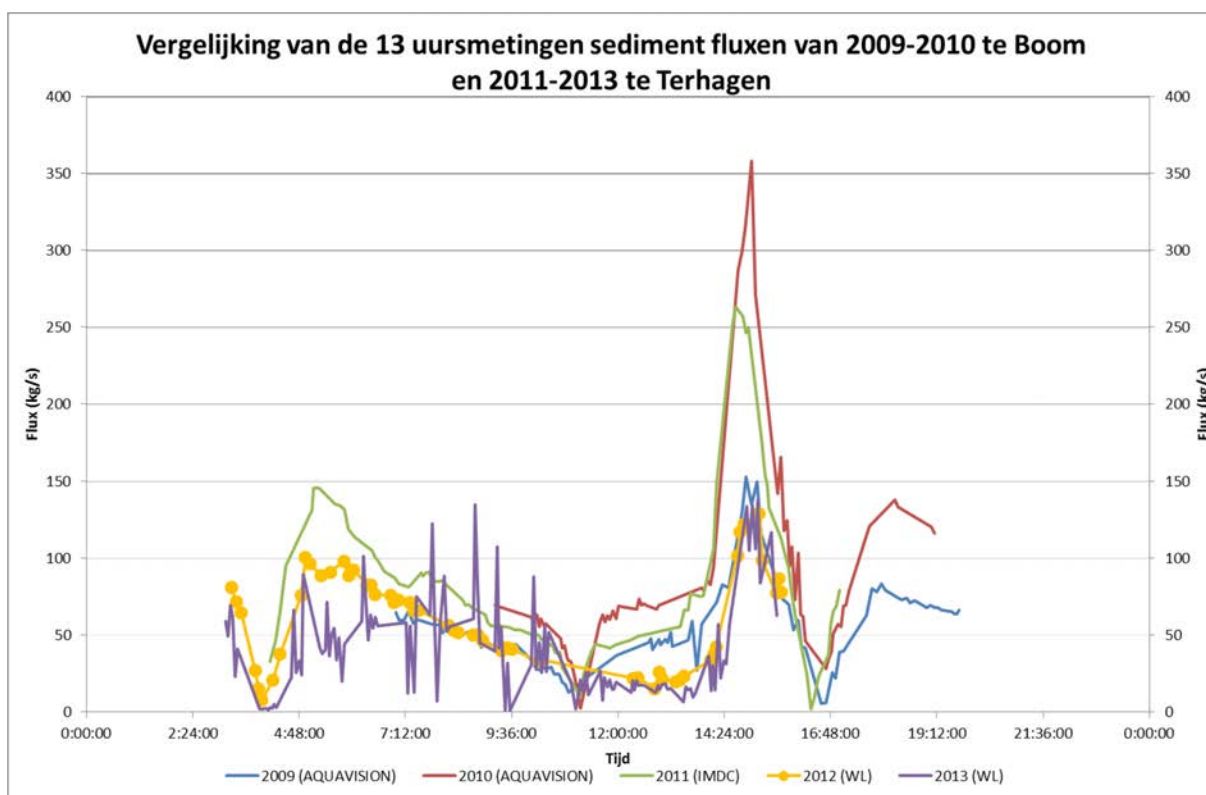
De kerngetallen voor debieten, sedimentconcentraties en -fluxen te Terhagen zijn eveneens gerapporteerd in Tabel 25.



Figuur 184 - Debiet en getij tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 185 - Gemeten SSC tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013



Figuur 186 - SSF tijdens de dertienuursmetingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2013

4.3. Golfmetingen

In 2013 konden de golfmetingen aan het Galgeschoor door de moeilijke meetomstandigheden niet doorgaan, waardoor er geen golfmetingen beschikbaar zijn voor de periode 2012-2013. In de zomer 2014 wordt door WL bekeken waar de komende jaren golfmeters geactiveerd zullen worden.”

5. Referenties

- Boeckx, L.; Deschamps, M.; Vanlierde, E.; Van Steenberghe, N.; Mostaert, F. (2013). Was eindejaar 2012: Beschrijving meteorologische en hydrologische gebeurtenissen. Versie 1_0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- De Boeck, K.; Ferket, B.; Vanlierde, E.; Boeckx, L.; Mostaert, F. (2013). Methodologie Berekening Slibbalans Zeeschelde: Methodologie en implementatie in WISKI. Versie 1_1. WL Rapporten, 12_062. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.
- De Schutter, J.; Mostaert, F. (2009). Instructie: Bepalen van droogrest. I-WL-PP31-5 Versie 01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 6 p.
- Deschamps, M.; Boeckx, L.; Van Steenberghe, N.; Mostaert, F. (2013). Was Januari-Februari 2013: Beschrijving meteorologische en hydrologische gebeurtenissen. Versie 2_0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig
- Coen, L.; Pereira, F.; Vanderkimpfen, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Hindcast Sinterklaasstorm: 05-06/12/2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_008. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Ferket, B.; Van Hoestenbergh, T.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2014). Methodologie Validatie Sediment en Fysische Parameters. Versie 1.0. WL Rapporten, 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (2014). Weerkaarten archief Europa. Beschikbaar op <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/weerkaarten> [datum van opzoeking: 20 mei 2014]
- Krüger, S. (2013). Xaver im Anmarsch. Deutsche Wetterdienst. Beschikbaar op http://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema_des_Tages/1193/xaver-im-anmarsch [datum van opzoeking: 05-12-2013].
- Levy, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). MONEOS 2012 volle tijd metingen: Stromingen, debiet en sediment concentratie. Versie 2.0. WL Rapporten, 13_086. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Nossent, J., Deschamps, M., Boeckx, L., Mostaert, F. (2013). Sinterklaasstorm 2013: Beschrijving van de hydrometrische gebeurtenissen. Versie 1.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.
- Plancke, Y.; Vereecken, H.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Slibbalans-Zeeschelde: Deelrapport 5 - Metingen halftijd-eb Boven-Zeeschelde 2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Schrijver M., Plancke Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 - 2018. Rapport MONEOS-T-2008-033 /WL2008R791-3_1ref1_0. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg, Waterbouwkundig Laboratorium, Borghout
- Taverniers, E.; Plancke Y. en Mostaert, F. (2013). MONEOS - jaarboek monitoring WL - BASISBOEK: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in het Zeescheldebekken gemeten - uitleggend basisboek met algemene situering, methodologie en achtergrond. Versie 3_0. WL Rapporten, Projectnr 12_070.
- Taverniers, ir. E.; Mostaert, dr. F. (2009) MONEOS - jaarboek monitoring WL 2008: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2008 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten. Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Taverniers, ir. E.; Vereecken, ir. H.; Mostaert, dr. F. (2010) MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten. Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Taverniers, ir. E.; Vereecken, ir. H.; Mostaert, dr. F. (2011) MONEOS - jaarboek monitoring WL 2010: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2010 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten. Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Teledyne Technologies Incorporated (2012). Teledyne Isco – Products - 6712FR Fiberglass Refrigerated Sampler [ONLINE] Teledyne Technologies Incorporated. Beschikbaar op: <http://www.isco.com/products/products3.asp?PL=201202010> [datum van opzoeking: 12-12-2012].

Vereecken, H; Vanlierde, E.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2012) MONEOS – jaarboek monitoring WL 2011: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2011 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Vanlierde, E.; Vereecken, H.; Plancke, Y.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2013). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2012: Factual data rapportage van monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals gemeten door WL in het Zeescheldebekken in 2012. Versie 2_0. WL Rapporten, 12_070_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

Van Hoestenbergh, T.; Ferket, B., De Boeck, K., Vanlierde, E.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Slibbalans Zeeschelde: Deelrapport 2 – Sediment load for the river Scheldt and its main tributaries (1972 – 2009). Versie 3.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group. Antwerpen, België.

Wetter3 (2014). Archiv-Version des Animationstools. Beschikbaar op: <http://www.wetter3.de/Archiv/index.html> [datum van opzoeking: 05-12-2013].

Bijlage 1: MONEOS-T parameters

A. Situering

In het kader van het project Verruiming Vaargeul, waarbij de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde verdiept werd ten behoeve van een getij-onafhankelijke vaart tot 131 dm, zal na twee jaar een voortgangsrapport van de monitoring dienen opgemaakt te worden. Basis hiervoor zijn het monitoringprogramma MONEOS-T (Schrijver & Plancke, 2008) en het "Protocol voorwaarden voor flexibel storten - Kwaliteitsparameters". Dit monitoringprogramma omvat verschillende parameters voor de aspecten waterbeweging, morfologie en fysische parameters. In eerste instantie zal voornamelijk voor het getij een uitgebreide evaluatie gebeuren. Gelet op de korte referentieperiode voor de andere parameters, zal de analyse hiervoor voorlopig beperkt blijven.

Voor het getij zullen de jaarlijks gemiddelde hoog- en laagwater geëvalueerd worden. Naar analogie met MOVE, wordt een referentieperiode gekozen waarop de trends worden bepaald. Voor de trends worden twee processen in beschouwing genomen: de zeespiegelstijging (waarbij aangenomen wordt dat deze lineair is) en de 18,61-jarige nodale getijcyclus (sinusoïdaal verondersteld met vastgelegde fase). Aangezien in de jaren 1970 sterke veranderingen zijn opgetreden in de laagwaters, is geopteerd om de periode 1980 – 2009 als referentieperiode te hanteren. Vervolgens worden de nieuw beschikbare meetgegevens vergeleken met deze trends en de bijbehorende voorspellings-intervallen.

B. Methodologie

Voor het bepalen van de trends werden twee processen in beschouwing genomen:

- zeespiegelstijging: lineaire trend: $WL = \lambda \cdot t + \mu$
- 18,61 jarige nodale cyclus: sinusoidale trend met vastgelegde fase:

$$WL = \alpha \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi\right)$$

Met behulp van de methode der kleinste kwadraten werden de parameters λ , μ en α bepaald. Hierbij werd uitgegaan van volgende relatie: $WL_i = \lambda \cdot t_i + \mu + \alpha \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t_i + \varphi\right) + e_i$

Binnen de sinusoidale trend werd de periode ($T = 18,61$ jaar) vastgelegd, terwijl de fase bepaald werd voor het getijverschil in Vlissingen, waarbij eerst het effect van de zeespiegelstijging werd verwijderd. Deze keuze biedt enerzijds het voordeel dat het getij in Vlissingen niet verstoord is door wijzigingen (ten gevolge van ingrepen) in het estuarium, terwijl anderzijds het getijverschil maximaal beïnvloed wordt door de 18,61-jarige cyclus (hogere hoogwater en lagere laagwaters).

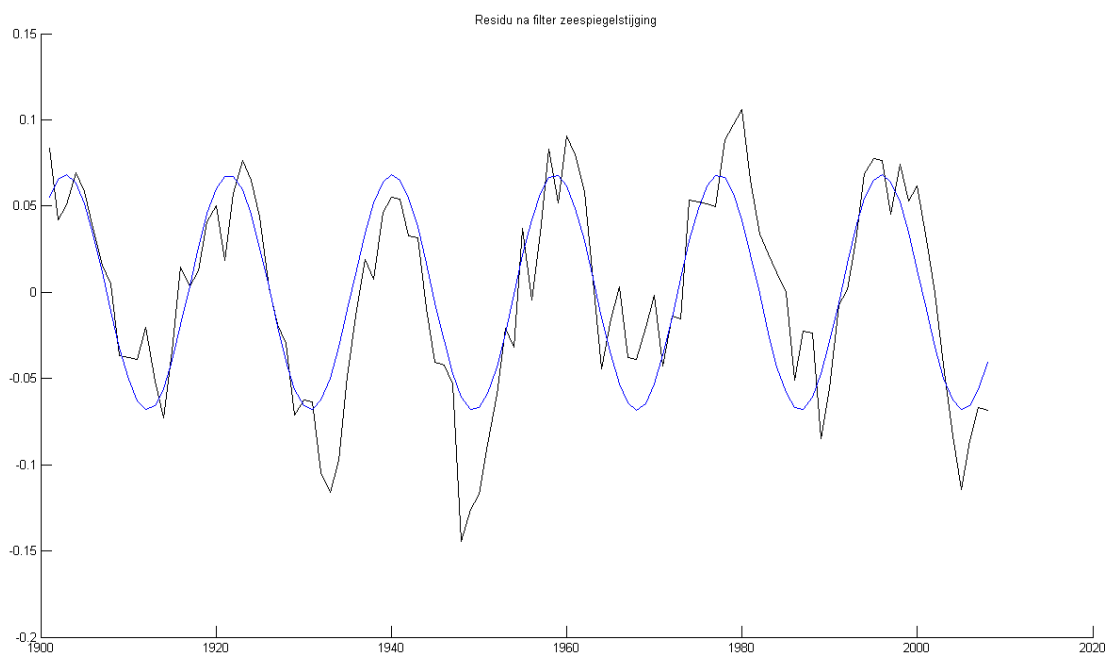
Vervolgens werd voor de beschouwde getijposten in de Beneden Zeeschelde (Liefkenshoek, Antwerpen, Schelle) de regressieparameters (λ , μ en α) bepaald voor het jaargemiddelde hoog- en laagwater.

C. Resultaten

1.C.1 Jaarlijkse gemiddelde hoog- en laagwaters

In eerste instantie werd de fase φ van het sinusoidale verloop van de 18,61-jarige cyclus bepaald. Figuur C1 - 1 geeft het resultaat van de regressie van die 18,61-jarige cyclus op het getijverschil te Vlissingen (na verwijdering zeespiegelstijging en $T = 18,61$ jaar). Deze fase wordt vervolgens toegepast in de regressiemodellen voor de verschillende beschouwde posten in de Beneden-Zeeschelde. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het hoog- en het laagwater in tegenfase zijn (hogere hoogwaters vallen samen met lagere laagwaters en vice versa):

- $\varphi_{HW} = 1,27 \cdot E-4$
- $\varphi_{LW} = 1,27 \cdot E-4 + \pi$



Figuur C1 - 1 - Bepalen van de fase voor de 18,61-jarige cyclus op het getijverschil te Vlissingen

Vervolgens werd voor de beschouwde getijposten in de Beneden Zeeschelde (Liefkenshoek, Antwerpen, Schelle) de regressieparameters (λ , μ en α) bepaald voor het jaargemiddelde hoog- en laagwater.

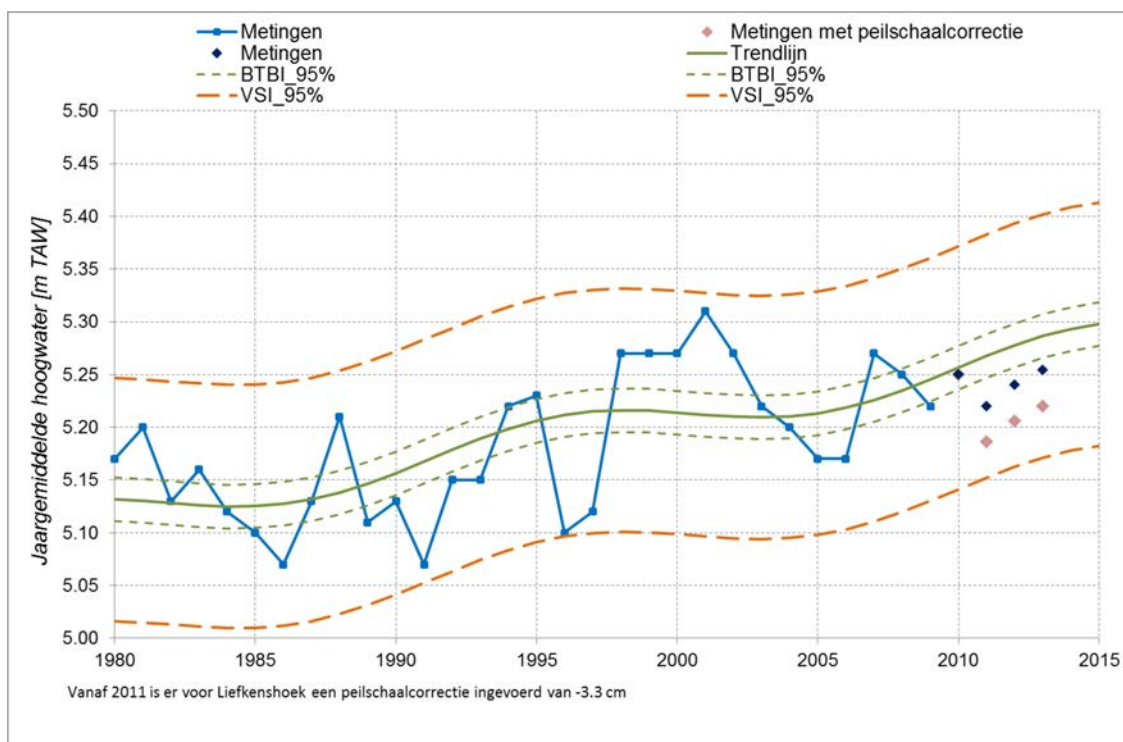
Tabel C1 - 1: Overzicht regressieparameters getijposten Beneden-Zeeschelde

	HOOGWATER			LAAGWATER		
	λ [m/jaar]	μ [m]	α [m]	λ [m/jaar]	μ [m]	α [m]
Liefkenshoek	4,54E-3	-3,87	1,97E-2	4,40E-4	-0,80	3,40E-2
Antwerpen	3,12E-3	-0,94	2,99E-2	1,00E-3	-1,98	3,66E-2
Schelle	4,05E-3	-2,63	2,63E-2	7,91E-4	-1,53	2,58E-2

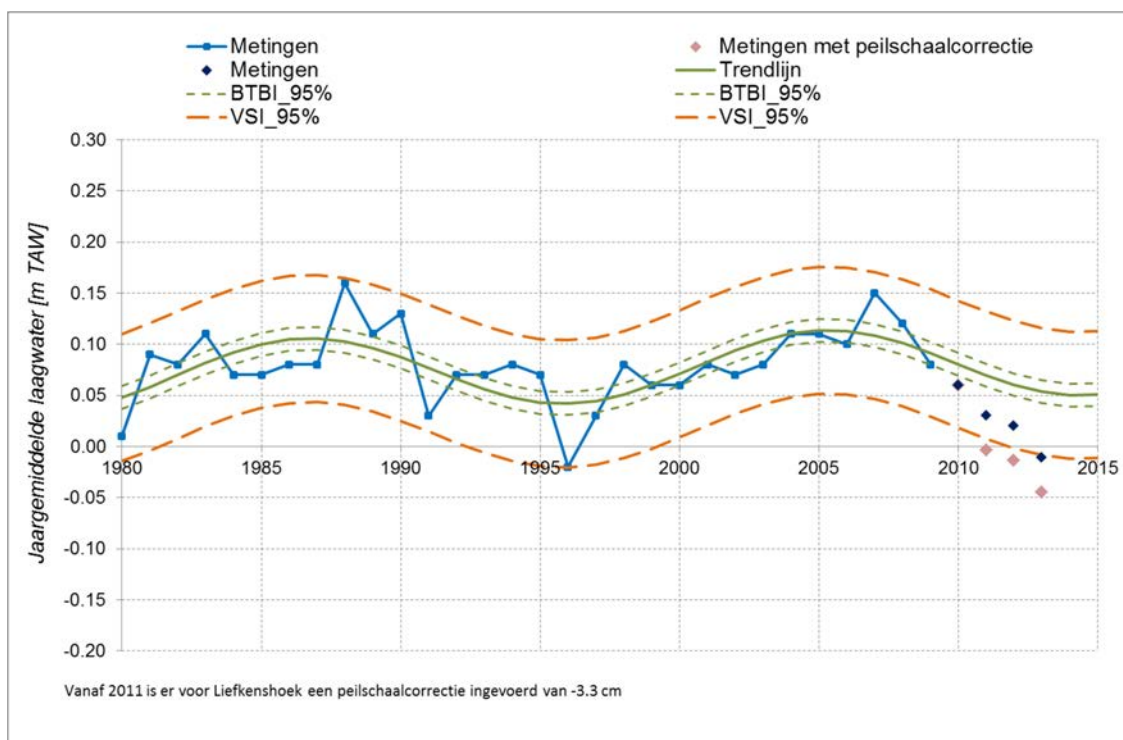
Figuur C1 - 2 tot en met Figuur C1 - 7 presenteren de resultaten voor de beschouwde getijposten voor hoog- en laagwater.

De meetwaarden gebruikt voor de regressie zijn in het licht blauw weergegeven. De groene volle lijn geeft de regressielijn weer, terwijl de gestippelde groene het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergeeft (dit komt overeen met de mate van nauwkeurigheid van de schatting van de regressieparameters). De oranje gestippelde lijn geeft het 95%-voorspellingsinterval weer (hierbij wordt tevens rekening gehouden met de variabiliteit van de hoog- of laagwaters). Tenslotte worden de recente meetwaarden als donker blauwe punten weergegeven op de grafiek. In 2013 zijn de peillatten opnieuw ingemeten voor o.a. deze drie tijposten. Het bleek dat de peillat voor deze tijposten 3 cm hoger aangaf dan de werkelijke hoogte, aldus zijn al de tijgegevens met drie cm naar beneden gecorrigeerd en teruggerekend t.e.m. 2011.

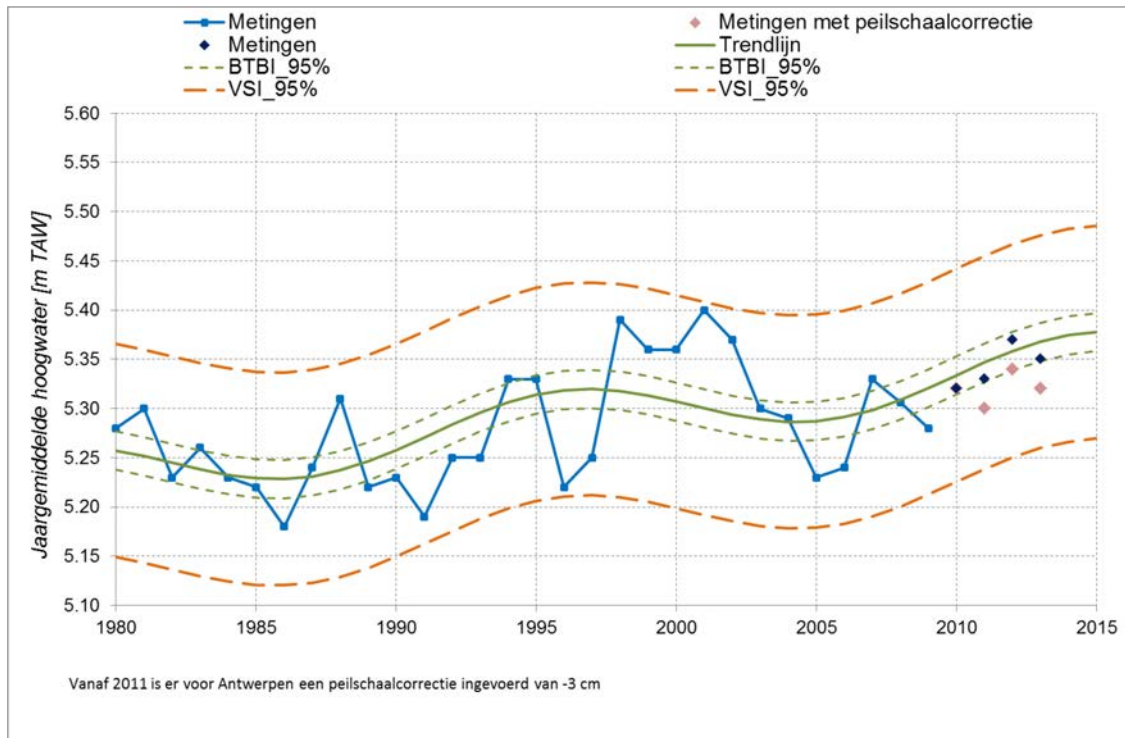
Hierdoor is een knik waarneembaar in alle 6 grafieken, daarom zijn zowel de zwarte ruiten ("metingen") als de roze ruiten ("metingen met peilschaalcorrectie") weergegeven op de grafieken. Deze zaken zullen uiteraard ook opgenomen worden in het tienjarig overzicht dat eind 2014 opgemaakt zal worden.



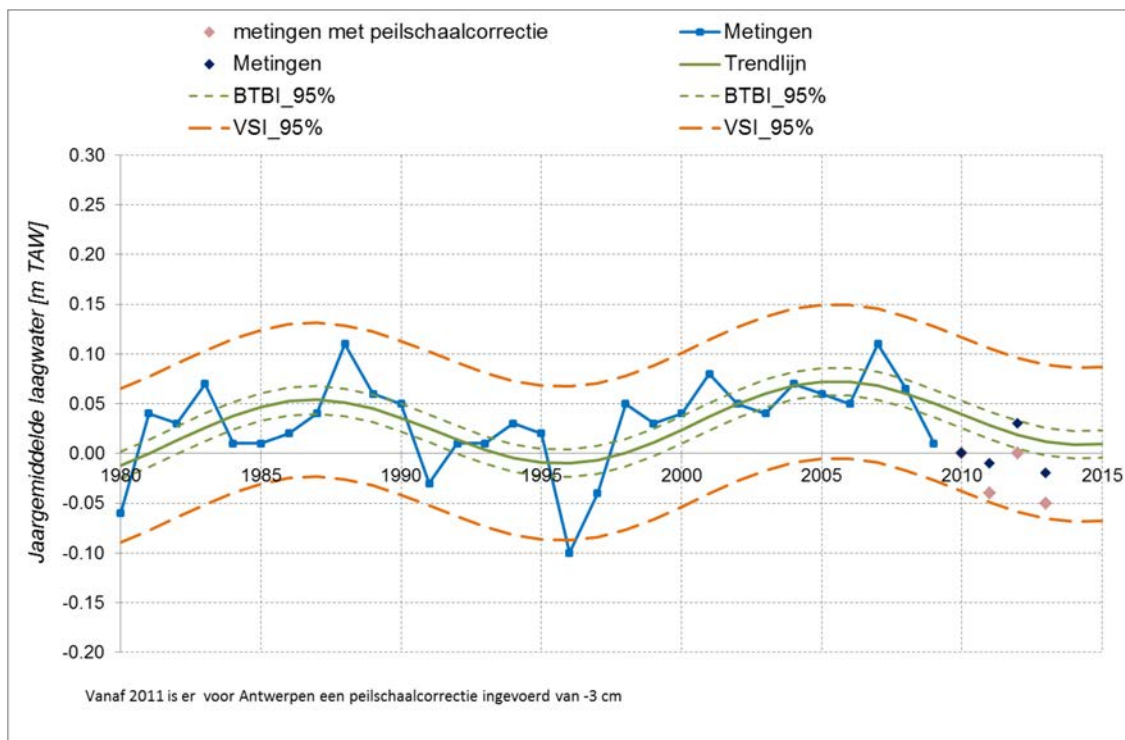
Figuur C1 - 2 - Ontwikkeling van het hoogwater te Liefkenshoek



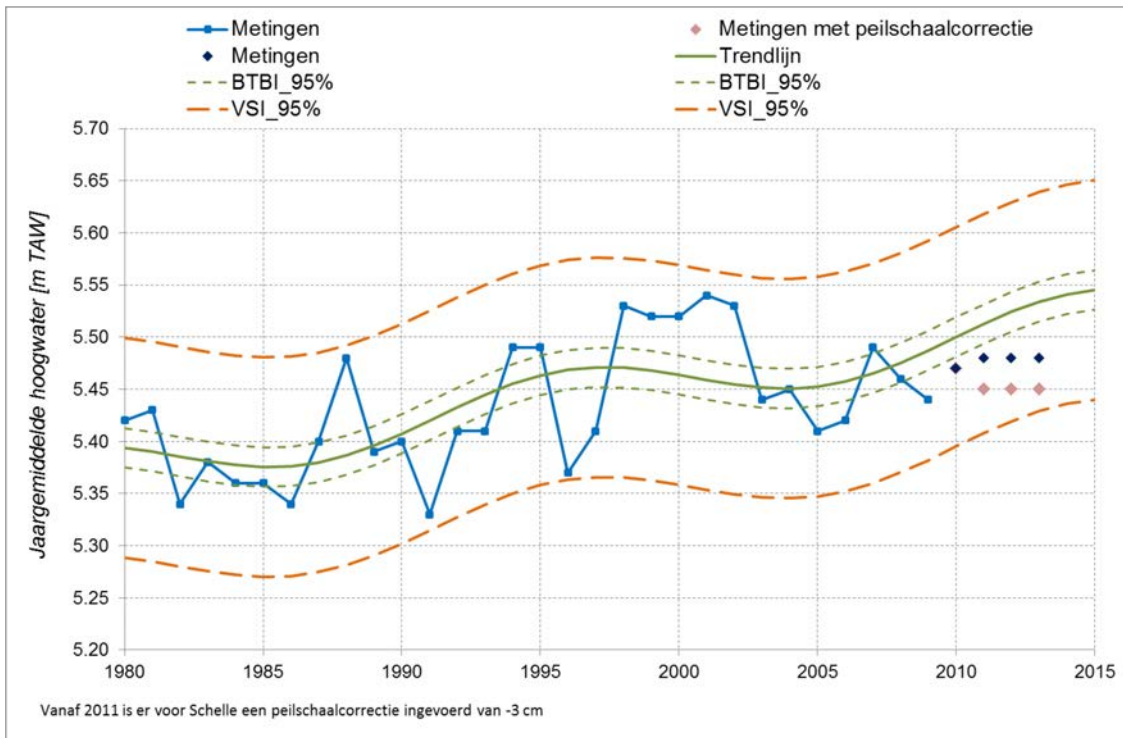
Figuur C1 - 3 - Ontwikkeling van het laagwater te Liefkenshoek



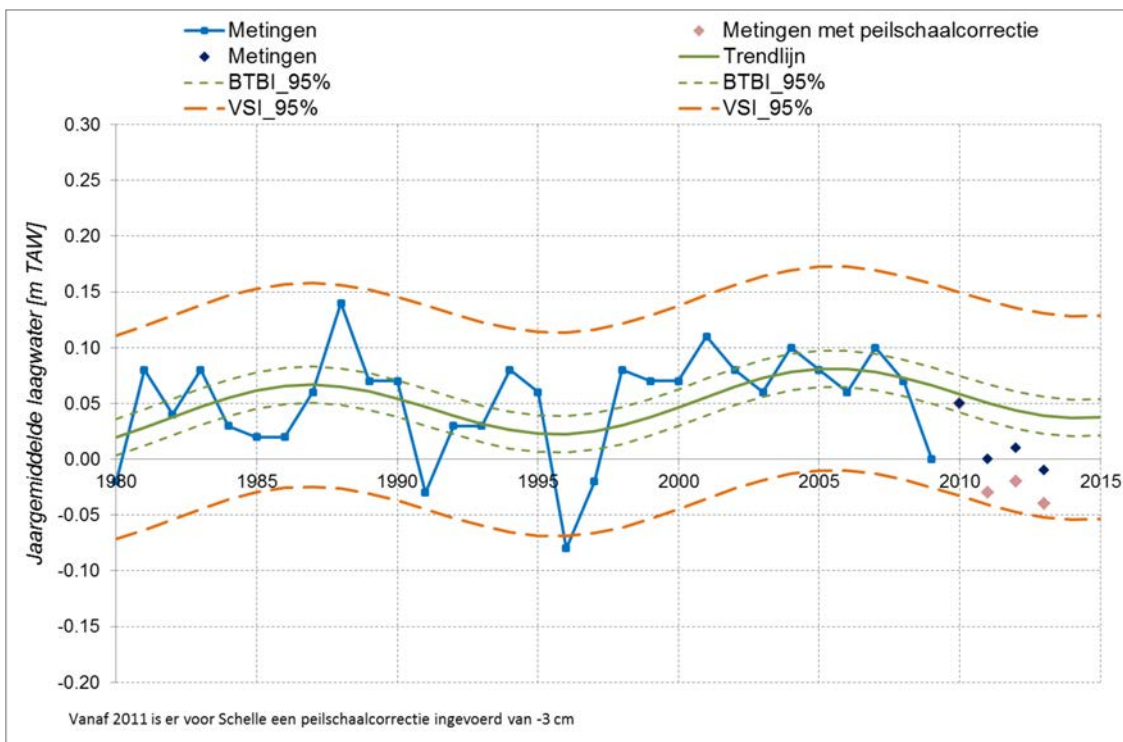
Figuur C1 - 4 - Ontwikkeling van het hoogwater te Antwerpen



Figuur C1 - 5 - Ontwikkeling van het laagwater te Antwerpen



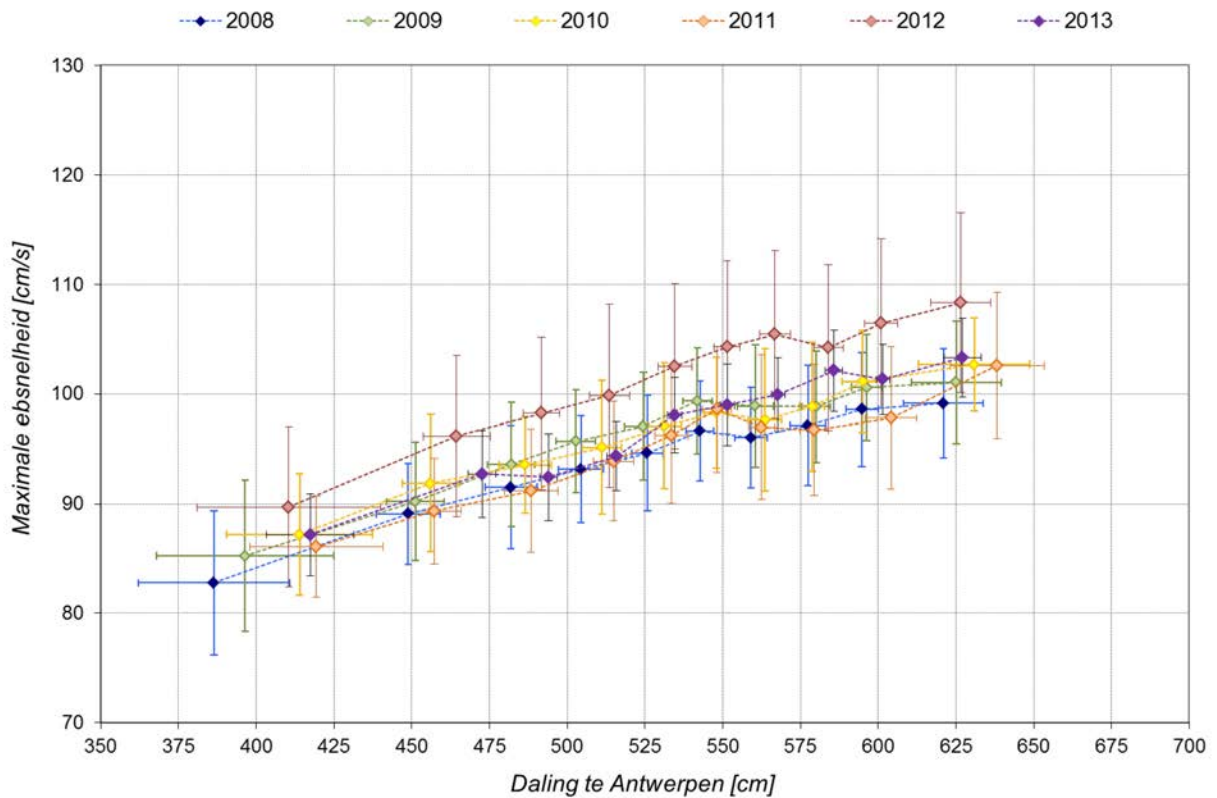
Figuur C1 - 6 - Ontwikkeling van het hoogwater te Schelle



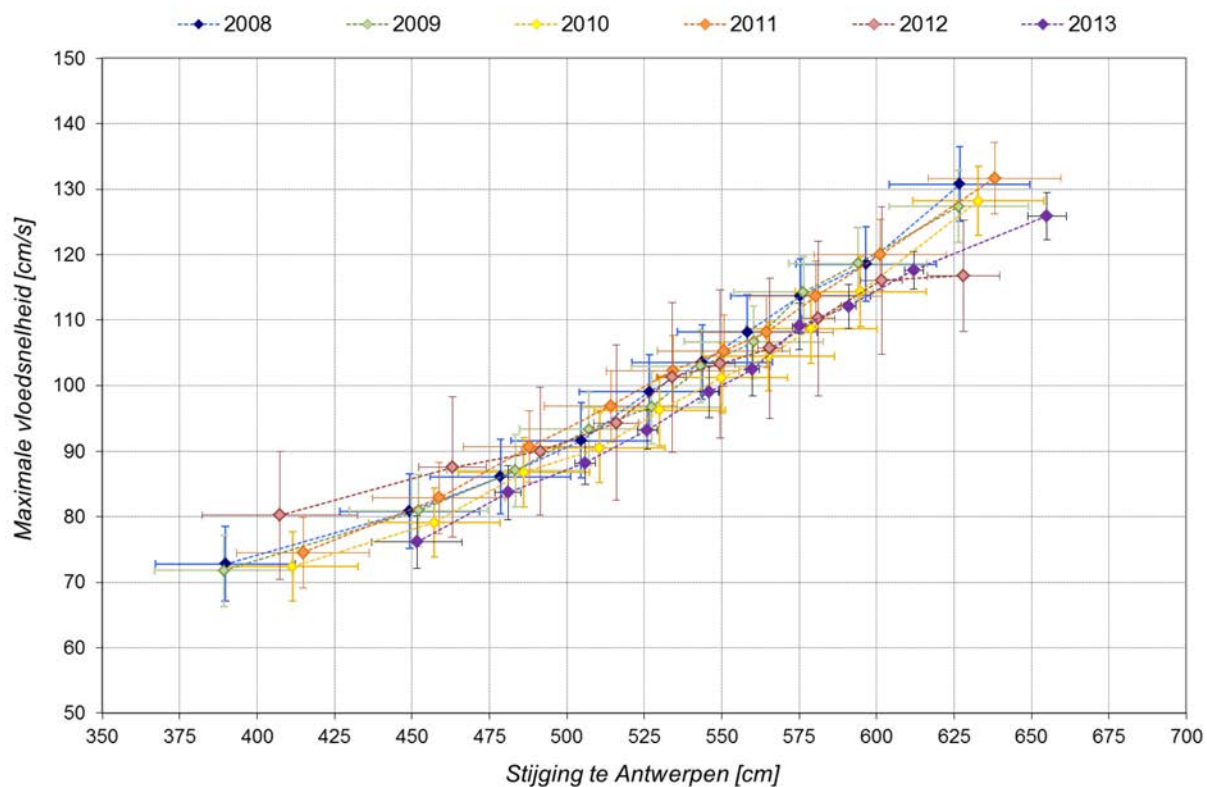
Figuur C1 - 7 - Ontwikkeling van het laagwater te Schelle

1.C.2 Maximale eb- en vloednelheid in functie van daling/stijging te Antwerpen

Figuur C2- 1 en Figuur C2- 2 tonen het verloop van de maximale eb- en vloednelheid in functie van de overeenkomstige daling resp. stijging van het waterpeil te Antwerpen doorheen de jaren 2008-2013.



Figuur C2- 1: Maximale ebsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de daling in waterpeil te Antwerpen



Figuur C2- 2: Maximale vloedsnelheid te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde), bovenste meettoestel, versus de stijging in waterpeil te Antwerpen



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be