



Vlaanderen
is wetenschap

12_070_6
WL rapporten

Monitoring Effecten Ontwikkelingschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2016

Deelrapport 6
Factual data rapportage van monitoring waterbeweging
en fysische parameters in de Zeeschelde in 2016

**DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2016

Deelrapport 6 – Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2016

Plancke, Y.; Van De Moortel, I.; Hertogs, R.; Vereecken, H.; Vos, G.; Verdoodt, N.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017
D/2017/3241/263

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Van De Moortel, I.; Hertogs, R.; Vereecken, H.; Vos, G.; Verdoodt, N.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2017). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2016: Deelrapport 6 – Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2016. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie



Oprachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2017R12_070_6
Keywords (3-5):	Getij, debiet, sediment, monitoring, Schelde-estuarium		
Tekst (p.):	130	Bijlagen (p.):	16
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.; Van de Moortel, I.; Hertogs, R.; Vereecken, H.; Vos, G.; Verdoodt, N.
------------	--

Conole

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Deschamps, M.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



Abstract

Het Moneos-jaarboek, uitgegeven door het Waterbouwkundig Laboratorium, rapporteert de resultaten van de systeemmonitoring in het Schelde-estuarium uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium in het kader van de “Ontwikkelingsschets 2010” van het Schelde-estuarium (OS-2010). Achtereenvolgens worden de meetgegevens gepresenteerd inzake de continue metingen van waterstanden, debieten, stromingen, chloridegehalten, turbiditeit en andere fysische parameters. Dit rapport geeft een globaal overzicht van die monitoring zoals het Waterbouwkundig Laboratorium in 2016 in het Schelde-estuarium deed. Ook de vaarten, met name halftij-eb en kenteringsvaarten worden gerapporteerd.

Voor de algemene achtergrond en methodologie met betrekking tot de monitoring in het Schelde-estuarium, wordt verwezen naar het bijhorende methodologie-document genoemd “basisboek” (Taverniers et al., 2013).

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	X
Colofon	XVII
Lijst van afkortingen	XVIII
1 Inleiding	1
2 Jaaroverzicht getijwaarnemingen	2
2.1 Getijwaarnemingen op getijmeetposten	2
2.2 Getijwaarnemingen te Antwerpen.....	9
2.2.1 Jaaroverzicht.....	9
2.2.2 Jaaroverzicht 2016 in historisch perspectief	11
2.3 Stormvloeden	15
3 Jaaroverzicht bovendebieten	17
3.1 Overzicht bovendebieten aan de randen van het tijgebied.....	17
3.1.1 Overzicht meetlocaties.....	17
3.1.2 Globaal overzicht	19
3.2 Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts.....	21
3.2.1 Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis.....	21
3.2.2 Bovendebieten 2016 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief.....	24
3.3 Overzicht van de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde	27
3.3.1 Methodiek	27
3.3.2 Resultaten voor 2016	29
3.3.3 Resultaten in historische perspectief.....	29
4 Jaaroverzicht fysische parameters	31
4.1 Continue metingen "fysische parameters"	31
4.1.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"	31
4.1.2 Verloop van stroomsnelheid	34
4.1.3 Verloop temperatuur.....	48
4.1.4 Verloop saliniteit	56

4.1.5	Verloop suspensiegehalte	64
4.1.6	Verloop overige parameters.....	80
4.2	Periodieke metingen (laagfrequent)	83
4.3	Sedimentinput aan de rand van het getijdegebied	89
4.4	Meetcampagnes - langsvaarten	94
4.4.1	Meetlocaties en meetinstrumenten “fysische parameters”	94
4.4.2	Kentering-vaarten.....	96
4.4.3	Halftij-eb-vaarten	98
4.4.4	Trends in sedimentconcentratie over langere termijn.....	102
4.5	Meetcampagnes – 13u-metingen	107
4.5.1	Meetlocaties en meetinstrumenten.....	107
4.5.2	Liefkenshoek.....	109
4.5.3	Oosterweel	111
4.5.4	Kruibeke.....	114
4.5.5	Driegoten	116
4.5.6	Schoonaarde.....	119
4.5.7	Terhagen.....	121
4.6	Hoogfrequente golfmetingen.....	124
4.6.1	Meetlocaties en meetinstrumenten "golfmetingen"	124
4.6.2	Resultaten.....	124
5	Referenties	129
Bijlage A: MONEOS-T parameters		B1
A.	Situering.....	B1
B.	Methodologie	B1
C.	Resultaten.....	B1
Bijlage B: Vergelijking meetposten getij.....		B5
Boom versus Boom Rupelbrug EMT.....		B5
Schelle versus Wintam		B6
Bijlage C: Kalibratie Turbiditeit – SSC		B7
A.	Specifieke kalibratiecampagnes	B7
B.	Overzicht.....	B7
C.	Meetpaal Lillo (en data Boei-84)	B8
D.	Oosterweel	B9
E.	Kruibeke.....	B10
F.	Driegoten.....	B11

G.	Kalibratie op basis van continue 7-uurlijkse pompstalen.....	B12
H.	Dendermonde (Appels)	B13
I.	Melle.....	B14
J.	Duffel-sluis.....	B15

Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de getijkarakteristieken voor het jaar 2016, gerangschikt van afwaarts naar opwaarts.....	4
Tabel 2 - Rupel, Beneden-Nete en Durme: Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2016.....	7
Tabel 3 – Getijparameters te Antwerpen-Loodsgebouw: het jaar 2016 in historisch perspectief;.....	11
Tabel 4 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtij (1972-2016), verdeeld per decimeter (mTAW).....	16
Tabel 5 – Overzicht van de meetstations die gebruikt worden voor de bepaling van de bovenafvoer.	18
Tabel 6 – Zeescheldebekken: kenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebiten aan de meetraaien, jaar 2016 (m ³ /s)	20
Tabel 7 – Pentade-gemiddelde bovenafvoer Schelde te Schelle (m ³ /s)	22
Tabel 8 – 20 hoogste pentadegemiddelde afvoeren geregistreerd sinds 1991 tot december 2016.....	25
Tabel 9 - Overzicht van de toesteltypes van multi-parametertoestellen ingezet in 2016 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren.....	32
Tabel 10 - Overzicht van periodes waarin de respectievelijke toestellen geen metingen konden registreren (2016).....	33
Tabel 11 - Overzicht statistieken voor de gemiddelde en maximale stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde (2016).	35
Tabel 12 - Overzicht statistieken voor de Extrema van temperatuur bij KHW en KLW gemeten op locaties met getijdewerking (2016).	49
Tabel 13 - Overzicht statistieken saliniteit [PSU] voor minimum KLW en maximum bij KHW gemeten op locaties met getijdewerking (2016).....	57
Tabel 14 - Overzicht statistieken suspensiegehalte [mg/l] voor minimum bij KLW en KHW, voor gemiddelde en voor maximale bij eb en vloed, gemeten op locaties met getijdewerking (2016).....	66
Tabel 15 - Overzicht trends sedimentconcentratie periodieke metingen in het estuarium p-waarde < 0,05 geeft aanleiding tot significant resultaat (gemarkeerd in het vet)	83
Tabel 16 - Overzicht trends sedimentconcentratie periodieke metingen randen estuarium p-waarde < 0,05 geeft aanleiding tot significant resultaat (gemarkeerd in het vet)	85
Tabel 17 - Meetlocaties aan de rand van het getijdegebied met de geschatte jaarlijkse sedimentvrucht (ton): de “ruwe” schatting op basis van de in situ meting en de sedimentvrucht gecorrigeerd m.b.v. een voorlopige EWI-correctie.....	90
Tabel 18 - Overzicht data meetcampagnes halftij eb.....	95
Tabel 19 - Overzicht data meetcampagnes kenteringsvaarten.....	95
Tabel 20 - Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van halftij-eb gegevens in 2016 langsheen de volledige Zeeschelde	100

Tabel 21 - Overzicht meetcampagnes 13u-metingen met datum van uitvoering en start- en einduur in MET	107
Tabel 22 – Waterpeil (bij 1 ^{ste} hoogwater, laagwater en 2 ^{de} hoogwater), Stroomsnelheid, Debiet, Watervolume, Sedimentconcentratie (SSC), Sedimentflux (SSF) en Sedimentvracht (SSL) bij eb en vloed (maximaal, gemiddeld of totaal per getij) tijdens de 13u-metingen in 2016.....	108
Tabel 23 – Overzicht karakteristieke golfparameters voor 2016, incl. vergelijking met 2011.....	125
Tabel 24 – Vergelijkende studie Boom versus Boom Rupelbrug EMT	B5
Tabel 25 – Vergelijkende studie Schelle versus Wintam	B6
Tabel 26 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie van de verschillende Aanderaa meetlocaties	B7
Tabel 27 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Appels	B13
Tabel 28 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Melle	B14
Tabel 29 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Duffel-sluis (winter)	B15
Tabel 30 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Duffel-sluis (zomer).....	B16

Lijst van de figuren

Figuur 1 - Tijmeetposten in het beheer van het Waterbouwkundig Laboratorium in 2016.....	2
Figuur 2 - Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2016 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.....	5
Figuur 3 - Zeeschelde: gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2016 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.....	6
Figuur 4 - Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2016 voor de Rupel (Boom Rupelbrug en Walem) en Beneden-Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug).....	8
Figuur 5 - Gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2016 voor de Rupel (Boom Rupelbrug en Walem) en Beneden-Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug).....	8
Figuur 6 – Beneden-Zeeschelde in Antwerpen: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2016.....	9
Figuur 7 - Verschil tussen astronomisch voorspelde en waargenomen extrema (HW's & LW's) geobserveerd in Antwerpen-Loodsgebouw (Beneden-Zeeschelde) in 2016	10
Figuur 8 – Windrichting (° t.o.v. Noorden) en windsnelheid (m/s) opgemeten te Hansweert (Bron: Rijkswaterstaat).....	10
Figuur 9 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van hoogwaters in 2016 verdeeld per decimeter TAW.	12
Figuur 10 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van laagwaters in 2016 verdeeld per decimeter TAW.	12
Figuur 11 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van tijverschillen in 2016 verdeeld per decimeter.	13
Figuur 12 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld tijverschil middeltij, springtij en doottij.	13
Figuur 13 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden.	14
Figuur 14 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden.	14
Figuur 15 – 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 Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend.	18
Figuur 16 – Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied voor het jaar 2016	19
Figuur 17 – Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien in het jaar 2016	20
Figuur 18 – Zeescheldebekken: Pentadegemiddelde waarden voor de afvoer van "de Schelde te Schelle", opgedeeld in de debieten aangeleverd door de Rupel (blauw) en door de Boven-Zeeschelde (rood) voor 2016.....	21

Figuur 19 – Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2016.....	24
Figuur 20 – Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2016 gerangschikt naar grootte.....	24
Figuur 21 – Zeescheldebekken: vijfdaagse gemiddelde afvoer aan "de Schelde te Schelle" volgens pentadeberekening voor de periode 1991-2016.....	25
Figuur 22 – Pentadedebieten te Schelle in de periode 1991- 2016 gerangschikt naar voorkomen per klasse van 25 m ³ /s.....	26
Figuur 23 - Illustratie ververstijnd voor natte periode (voorafgaand aan 1/5/2001) en droge periode (voorafgaand aan 1/9/ 2001)	28
Figuur 24 - Ververstijnd van de Boven-Zeeschelde voor het jaar 2016	29
Figuur 25: - Ververstijnd van de Boven-Zeeschelde in historisch perspectief (1991 – 2016)	30
Figuur 26 Locatie van Moneos-meetposten in de Zeeschelde en bijrivieren met continue monitoring van fysische parameters.....	31
Figuur 27 – Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid over vloed en over eb, gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde (2016).	36
Figuur 28– Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel ...	37
Figuur 29 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel...	37
Figuur 30 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, bovenste meettoestel.....	38
Figuur 31 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, onderste meettoestel	38
Figuur 32 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten.....	39
Figuur 33 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo bovenste meettoestel	39
Figuur 34 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo onderste meettoestel	40
Figuur 35 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel bovenste meettoestel	40
Figuur 36 – Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, onderste meettoestel.....	41
Figuur 37 – Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten.....	41
Figuur 38 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)	43
Figuur 39 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)	43
Figuur 40 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)	44
Figuur 41 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	44
Figuur 42 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	45
Figuur 43 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	45
Figuur 44 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Driegoten	46

Figuur 45 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Driegoten.....	46
Figuur 46 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Driegoten.....	47
Figuur 47 – Boxplot van de temperatuur bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2016).	49
Figuur 48 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)	50
Figuur 49 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde).....	50
Figuur 50 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde).....	51
Figuur 51 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)	51
Figuur 52 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	52
Figuur 53 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Oosterweel, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	52
Figuur 54 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Kruike (Beneden-Zeeschelde)	53
Figuur 55 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde).....	53
Figuur 56 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde).....	54
Figuur 57 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde).....	54
Figuur 58 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Duffel-Sluis (Beneden-Nete).....	55
Figuur 59 – Boxplot van de Saliniteit bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2016).	57
Figuur 60 – Saliniteit bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde).....	58
Figuur 61 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	58
Figuur 62 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde).....	59
Figuur 63 – Saliniteit bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)	59
Figuur 64 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	60
Figuur 65 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde).....	60
Figuur 66 – Saliniteit bij KHW en KLW te Kruike (Beneden-Zeeschelde)	61
Figuur 67 – Saliniteit bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde).....	61
Figuur 68 – Saliniteit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde).....	62
Figuur 69 – Saliniteit bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde).....	62
Figuur 70 – Saliniteit bij KHW en KLW te Duffel-sluis (Beneden-Nete).....	63
Figuur 71 - Boxplot voor SSC (FTU): gemiddelde bij KHW en KLW (Boven) en maximaal en gemiddelde bij eb en vloed (Onder).	67
Figuur 72 - SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Boven (SG500).....	68
Figuur 73 - SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Onder.	68
Figuur 74 - SSC bij KLW en KHW te Oosterweel – Boven.	69

Figuur 75 - SSC bij KLW en KHW te Oosterweel – Onder.	69
Figuur 76 - SSC bij KLW en KHW te Kruibeke.....	70
Figuur 77 - SSC bij KLW en KHW te Driegoten.....	70
Figuur 78 - SSC bij KLW en KHW te Melle.....	71
Figuur 79 - SSC bij KLW en KHW te Duffel.	71
Figuur 80 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Boven.....	72
Figuur 81 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Onder	72
Figuur 82 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Boven.....	73
Figuur 83 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Onder.....	73
Figuur 84 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Kruibeke	74
Figuur 85 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Driegoten.....	74
Figuur 86 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle	75
Figuur 87 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle	75
Figuur 88 - Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Boven	76
Figuur 89 - Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Onder	76
Figuur 90 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel – Boven.....	77
Figuur 91 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Onder.....	77
Figuur 92 - Maximale SSC bij eb en vloed te Kruibeke	78
Figuur 93 - Maximale SSC bij eb en vloed te Driegoten	78
Figuur 94 - Maximale SSC bij eb en vloed te Melle	79
Figuur 95 - Maximale SSC bij eb en vloed te Duffel.....	79
Figuur 96 - Zuurstofgehalte [mg/L] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw).....	80
Figuur 97 - Zuurstofverzadiging [%] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw).....	81
Figuur 98 - Zuurtegraad [pH] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw).....	82
Figuur 99 – Sedimentconcentraties van Dendermonde, Schelle en Sint-Amunds.....	84
Figuur 100 – Trend in mediaan sedimentconcentraties te Dendermonde, Schelle en Sint-Amunds	84
Figuur 101 – Sedimentconcentraties van Hamme-brug, Tielrode en Walem (verschillende assen).	85
Figuur 102 – Sedimentconcentraties van Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam.....	86
Figuur 103 – Trend in mediaan sedimentconcentraties te Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam	86
Figuur 104 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Dendermonde, Schelle en Sint-Amunds.	87
Figuur 105 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Hamme-brug, Tielrode en Walem.	87

Figuur 106 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam.....	88
Figuur 107 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de stoomgebieden.....	89
Figuur 108 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Boven-Schelde te Melle.....	91
Figuur 109 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Dender te Dendermonde.....	91
Figuur 110 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Zenne te Eppegem.....	92
Figuur 111 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Demer te Aarschot.....	92
Figuur 112 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Grote Nete te Itegem-Hullebrug.....	93
Figuur 113 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Kleine Nete te Grobbendonk Troon.	93
Figuur 114 – Ligging van de vaste meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten	96
Figuur 115 - Sedimentconcentratie bij kentering hoogwater langsheen de Beneden-Zeeschelde	97
Figuur 116 - Sedimentconcentratie bij kentering laagwater langsheen de Beneden-Zeeschelde.....	98
Figuur 117 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde	99
Figuur 118 – Sedimentconcentratie aan de oppervlakte bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde.	101
Figuur 119– Sedimentconcentratie aan de bodem bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde.....	101
Figuur 120 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Boei 79.....	102
Figuur 121- Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Liefkenshoek.....	103
Figuur 122 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Oosterweel	104
Figuur 123 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Kennedytunnel	105
Figuur 124 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Rupelmonde	106
Figuur 125 - Meetraai voor de 13u-meting te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde).....	109
Figuur 126 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	110
Figuur 127 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	110
Figuur 128 - SSF tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	111
Figuur 129 - Meetraai voor de 13u-meting te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde)	111

Figuur 130 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	112
Figuur 131 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	113
Figuur 132 - SSF tijdens de 13u-metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	113
Figuur 133 - Meetraai voor de 13u-meting te Kruikeke (Beneden-Zeeschelde).....	114
Figuur 134 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Kruikeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.	115
Figuur 135 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Kruikeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	115
Figuur 136 - SSF tijdens de 13u-metingen te Kruikeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	116
Figuur 137 - Meetraai voor de 13u-meting te Driegoten (Boven-Zeeschelde)	116
Figuur 138 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	117
Figuur 139 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	118
Figuur 140 - SSF tijdens de 13u-metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	118
Figuur 141 - Meetraai voor de 13u-meting te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde)	119
Figuur 142 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	120
Figuur 143 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016.....	120
Figuur 144 - SSF tijdens de 13u-metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016	121
Figuur 145 - Meetraai voor de 13u-meting te Terhagen (Rupel)	121
Figuur 146 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Boom (boven) en Terhagen (onder) (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016	122
Figuur 147 - Gemeten SSC tijdens de 13u-metingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016...	123
Figuur 148 - SSF tijdens de 13u-metingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016	123
Figuur 149 – Locatie Lillo-Meetpaal met links-uitstekend arm van golvenmeter (links) en detail Log-aLevel toestel (rechts)	124
Figuur 150 – Gemiddelde golfhoogte (links) en periode behorende bij gemiddelde golfhoogte (rechts) Boven: afgeleide waarden per 30' Onder: boxplot per 14 dagen	126
Figuur 151 – Maximale golfhoogte (links) en periode behorende bij maximale golfhoogte (rechts) Boven: afgeleide waarden per 30' Onder: boxplot per 14 dagen	127
Figuur 152 – Significante golfhoogte (links) en periode behorende bij significante golfhoogte (rechts) Boven: afgeleide waarden per 30' Onder: boxplot per 14 dagen	128
Figuur 153 – Bepalen van de fase voor de 18,61-jarige cyclus op het getijverschil te Vlissingen.....	B2
Figuur 154 – Ontwikkeling van het hoogwater te Liefkenshoek.....	B3
Figuur 155 – Ontwikkeling van het laagwater te Liefkenshoek	B3

Figuur 156 – Ontwikkeling van het hoogwater te Antwerpen	B4
Figuur 157 – Ontwikkeling van het laagwater te Antwerpen.....	B4
Figuur 158 – Meetpaal Lillo – SG500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van de historische meetlocatie Boei 84 en het bovenste toestel aan de meetpaal te Lillo.	B8
Figuur 159 – Meetpaal Lillo – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van de historische meetlocatie Boei 84 en het onderste toestel aan de meetpaal te Lillo.	B8
Figuur 160 – Oosterweel – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen nabij Oosterweel.	B9
Figuur 161 – Kruibeke – YSI: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Kruibeke.	B10
Figuur 162 – Driegoten – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen van Driegoten.	B11
Figuur 163 – Dendermonde (Appels) – YSI: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Dendermonde.	B13
Figuur 164 – Melle – YSI: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Melle.....	B14
Figuur 165 – Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Duffel-sluis (winter).....	B15
Figuur 166 – Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Duffel-sluis (zomer)	B16

Colofon

Aan het tot stand komen van dit jaarrapport dragen meerdere mensen bij in diverse aspecten en domeinen.

Onze dankbaarheid gaat uit naar:

- Emmanuel Cornet, Stef Michielsen, Bram Ferket, Raf Hertoghs, Ivo Van De Moortel, Gwendy Vos, Niels Verdoodt, Gerasimos Kolokythas en Yair Levy voor het valideren en verwerken van de terreindata.
- Andy Henderick en Hans Vereecken voor het aansturen van de terreinmedewerkers en het opvolgen de data.
- Erwin De Backer, Guy Coppens, Ria Paulussen, Ivo Milants en Jean-Paul Van Laethem voor het goede terreinwerk, ook dit jaar weer.
- Voormalig collega's Elin Vanlierde, Marc Wouters en Eric Taverniers voor het leggen van de uitstekende basis voor dit MONEOS-jaarboek.

Lijst van afkortingen

- CTD: Conductiviteit – Temperatuur – Druk; tevens afkorting voor het meettoestel dat deze drie parameters registreert
- HTE: Half-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% voorspellingsinterval
- 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% voorspellingsinterval
- WL: Waterbouwkundig Laboratorium

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 deels over een continue systeem-monitoring, deels over project- en deels over studie-monitoring. Veel van de systeem-monitoring is een verderzetting van al decennia lang bestaande meetnetten en metingen, eventueel uitgebreid naar meer locaties en/of meer parameters.

In het Zeescheldebekken voert het Waterbouwkundig Laboratorium 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 2016 door het Waterbouwkundig Laboratorium uitgevoerde monitoring in het Zeescheldebekken dat kadert in MONEOS. Volgende parameters komen hierbij aan bod:

- waterstanden (het tij in het Zeescheldebekken);
- bovendebieten (de afvoer van het hydrografisch bekken opwaarts en doorheen het tijgebied);
- temperatuur, conductiviteit en chloridegehalte van het water;
- 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).
- de slibbalans (de aanvoer vanuit de rivier van zwevende stof aan de rand van het tijgebied)

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 negende in een reeks, en bevat louter de weergave en rapportering van de resultaten voor 2016. Voor de algemene achtergrond en methodologie met betrekking tot de monitoring in het Zeescheldebekken, wordt verwezen naar het bijhorende methodologie document genaamd "Basisboek" dat reeds verscheen (Taverniers et al., 2013).

beheerd wordt door het WL en op 900m ligt van de gedeactiveerde tijpost. De data van Boom Rupelbrug EMT zijn niet in dezelfde mate gevalideerd als de andere Moneos-posten, maar uit een vergelijkingsstudie tussen Boom en Boom Rupelbrug bleek dat de getijparameters amper van elkaar verschillen (zie Bijlage B – Vergelijking meetposten getij). Daarenboven moet opgemerkt worden dat de data van Boom Rupelbrug van 1/01/2016 tot 11/02/2016 niet beschikbaar was.

Tabel 1 geeft de getijparameters voor het jaar 2016 weer voor de belangrijkste meetlocaties in het Schelde-estuarium. Volgende getijparameters worden gerapporteerd:

- gemiddeld hoogwater (GHW)
- gemiddelde laagwater (GLW)
- gemiddeld tijverschil (GTV)
- duur van de stijging
- duur van de daling
- tijdsverschil ten opzichte van Antwerpen voor hoogwater
- tijdsverschil ten opzichte van Antwerpen voor laagwater

en dit zowel voor middeltij (jaargemiddelden van alle geregistreerde hoog- en laagwaterstanden), als voor springtij en voor doottij.

Tot slot zijn ook de uiterste waarden (hoogste en laagste hoogwater (HHW en LHW) alsook hoogste en laagste laagwater (HLW en LLW)) geregistreerd in 2016 opgenomen in deze tabel.

Door het verhogen van laag- én hoogwaterstanden op de meest opwaartse locaties bij periodes van grote bovendebieten, kan het voorkomen dat de laagwaters gedurende enkele getijden hoger uitkomen dan de jaargemiddelde hoogwaterstanden. Dit was in 2016 het geval voor Melle. Daarnaast is ook te Wetteren het hoogste laagwater groter dan het laagste hoogwater. De invloed van een langdurig en groot wasregime is in de opwaartse gebieden van het Zeescheldebekken nog groot: men krijgt hierdoor een verhoging van laagwaterstanden, maar ook van hoogwaterstanden (hoewel kleiner). Hierdoor wordt het tijverschil tijdelijk beperkt.

Figuur 2 en Figuur 3 geven enkele waarden uit Tabel 1 weer. Uit Figuur 2 blijkt 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 getijkromme. De springtij-doodtijcyclus heeft een belangrijke invloed op de stijgings- en dalingsduur, waarbij de duur van de stijging bij springtij korter is dan bij doottij. In Antwerpen-Loodsgebouw loopt dit verschil op tot ca. 60 minuten, terwijl in Dendermonde dit nog ca. 30 minuten is.

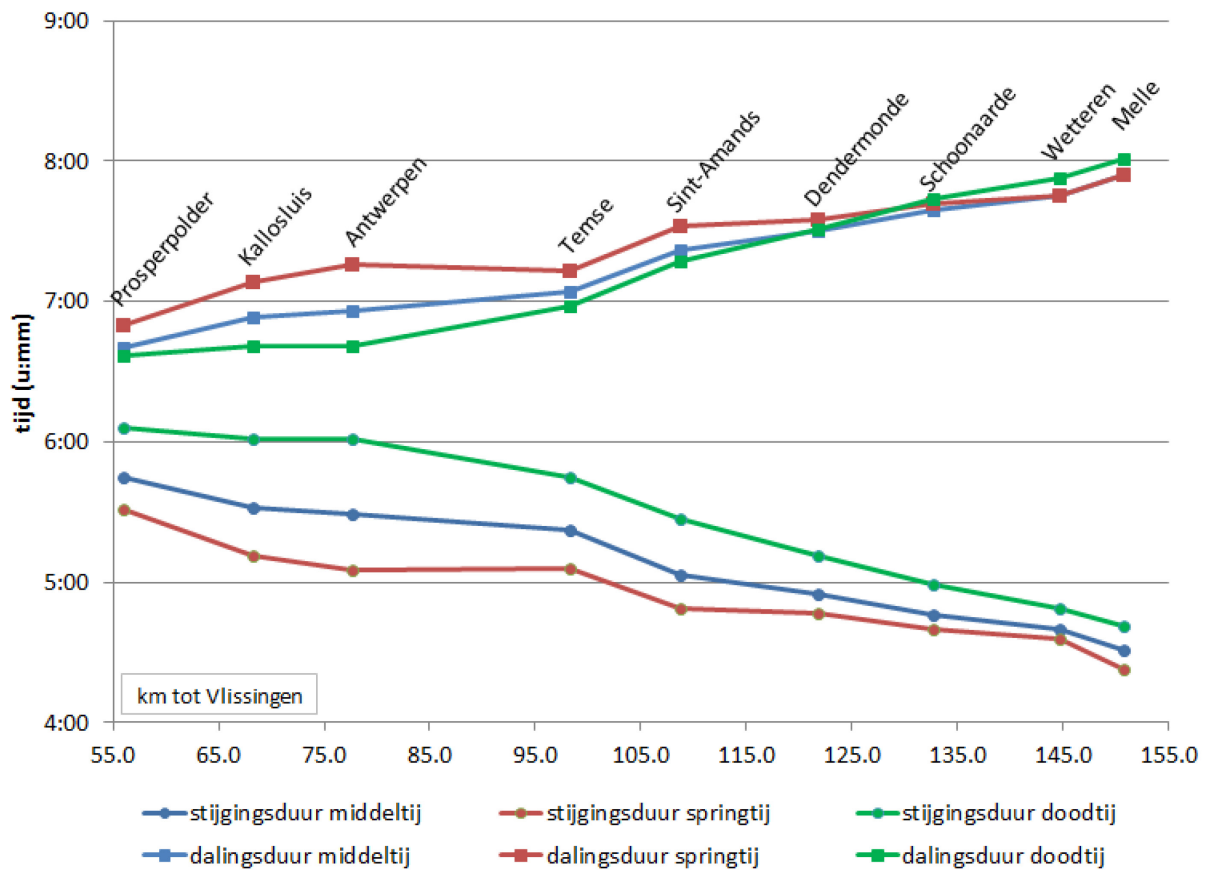
Figuur 3 toont aan dat het tijverschil toeneemt van Prosperpolder tot Temse en pas opwaarts van Temse afneemt. Dit beeld is duidelijker voor doottij dan voor springtij. Het tijverschil tussen dood- en springtij wordt kleiner stroomopwaarts.

In het kader van Moneos-T wordt bijkomend specifiek gekeken naar de ontwikkeling van hoog- en laagwaters te Liefkenshoek, Antwerpen-Loodsgebouw en Schelle. Deze worden gerapporteerd in Bijlage A – MONEOS-T parameters.

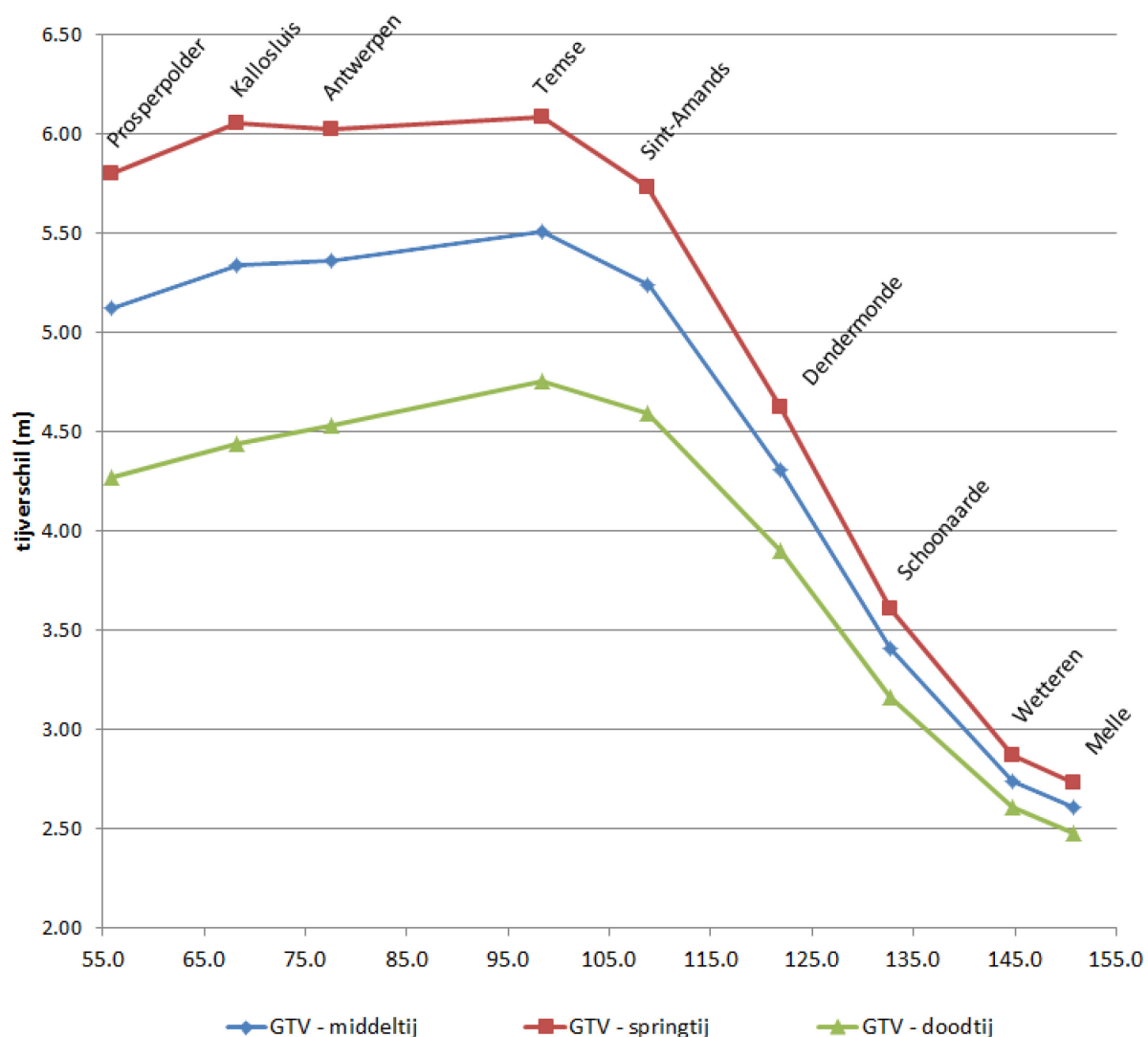
Tabel 1 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de getijkarakteristieken voor het jaar 2016,
 gerangschikt van afwaarts naar opwaarts.

2016			Prosperpolder	Kallosluis	Antwerpen- Loodsgebouw	Temse	Sint-Amands	Dendermonde	Schoonaarde	Wetteren	Melle
afstand tot Vlissingen (km)			55.9	68.3	77.6	98.3	108.8	121.8	132.6	144.7	150.8
middeltij		GHW	5.18	5.33	5.35	5.60	5.61	5.37	5.15	4.92	5.05
		GLW	0.06	-0.01	-0.02	0.09	0.37	1.05	1.74	2.18	2.43
		GTV	5.12	5.34	5.36	5.51	5.24	4.31	3.41	2.74	2.61
		duur van stijging	5:45	5:32	5:29	5:22	5:03	4:55	4:46	4:40	4:31
		duur van daling	6:40	6:53	6:56	7:04	7:22	7:30	7:39	7:45	7:54
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:20	-00:14	00:00	00:48	01:05	01:41	02:15	03:20	03:44
		LW	-00:36	-00:18	00:00	00:56	01:32	02:15	02:58	03:49	04:22
springtij		GHW	5.63	5.81	5.79	6.01	6.01	5.70	5.45	5.15	5.27
		GLW	-0.17	-0.24	-0.24	-0.07	0.28	1.09	1.83	2.28	2.54
		GTV	5.80	6.05	6.02	6.08	5.73	4.62	3.61	2.87	2.73
		duur van stijging	5:31	5:11	5:05	5:06	4:49	4:47	4:40	4:36	4:23
		duur van daling	6:50	7:08	7:16	7:13	7:32	7:35	7:42	7:45	7:54
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:13	-00:13	00:00	00:57	01:15	01:53	02:27	03:14	03:37
		LW	-00:38	-00:19	00:00	00:56	01:31	02:12	02:53	03:43	04:16
doodtij		GHW	4.63	4.76	4.82	5.07	5.10	4.96	4.84	4.71	4.84
		GLW	0.36	0.32	0.30	0.32	0.51	1.06	1.68	2.10	2.36
		GTV	4.27	4.44	4.53	4.75	4.59	3.90	3.16	2.61	2.48
		duur van stijging	6:06	6:01	6:01	5:45	5:27	5:11	4:59	4:49	4:41
		duur van daling	6:37	6:41	6:41	6:58	7:17	7:31	7:44	7:53	8:01
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:25	-00:15	00:00	00:40	00:57	01:29	02:03	02:46	03:22
		LW	-00:31	-00:16	00:00	00:56	01:31	02:17	03:03	03:58	04:29
uiterste waarden		HHW	6.44	6.63	6.71	6.84	6.84	6.71	6.48	6.48	6.54
		LHW	3.66	3.80	3.89	4.05	4.06	3.94	3.78	3.69	3.77
	99e percentiel	HW	6.07	6.26	6.23	6.44	6.44	6.26	6.22	6.21	6.27
		HLW	1.62	1.57	1.55	1.55	1.72	2.58	3.58	4.65	5.41
	1e percentiel	LLW	-0.90	-0.97	-1.00	-0.66	-0.29	0.36	1.09	1.40	1.54
		LW	-0.65	-0.70	-0.73	-0.52	-0.09	0.58	1.22	1.51	1.64

Figuur 2 - Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doortij in 2016
 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.



Figuur 3 - Zeeschelde: gemiddeld tijverskil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2016
 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.



Voor de aan het getij onderhevige zijrivieren is de keuze beperkt tot Boom Rupelbrug EMT en Walem voor de Rupel, Duffel-sluis en Lier-Molbrug voor het Netebekken en Tielrode voor de Durme. De belangrijkste tijwaarden staan in Tabel 2. Hierbij moet men opmerken dat Boom Rupelbrug EMT wel erg lage waarden heeft voor het HHW, 99^e percentiel HW en HLW. Dit is vermoedelijk te verklaren doordat er van 1/01/2016 tot 11/02/2016 geen data was voor deze post. Het HHW en HLW viel bij de meeste andere MONEOS-posten net in deze periode. Voor Lier-Molbrug is het hoogste laagwater hoger dan het laagste hoogwater, net zoals bij Wetteren en Melle.

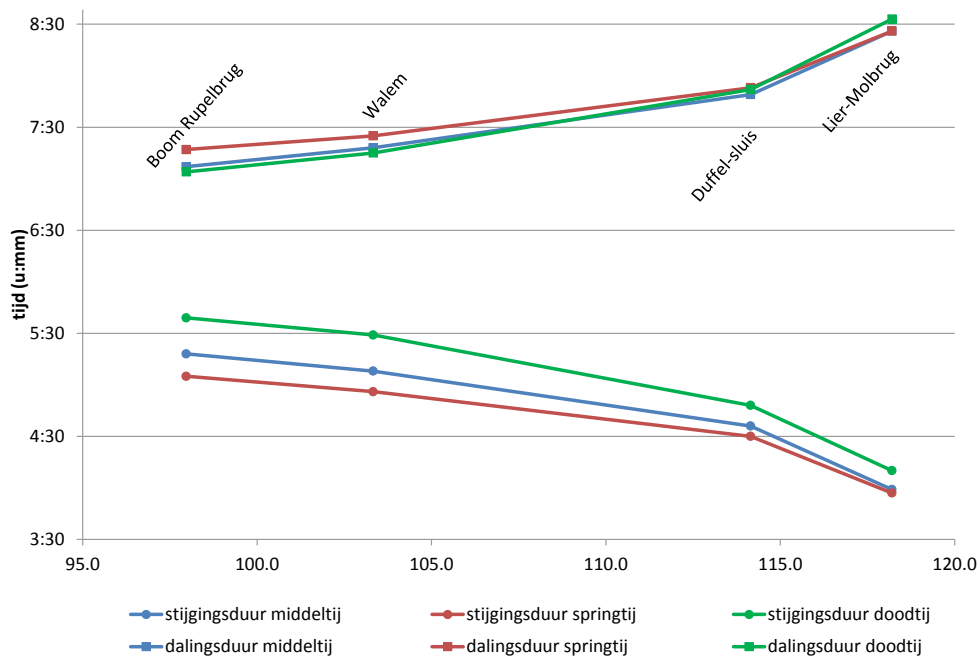
Figuur 4 en Figuur 5 tonen respectievelijk de stijgings- en dalingsduur en het gemiddeld tijverskil van Boom Rupelbrug EMT tot en met Lier-Molbrug (Rupel en Beneden-Nete). Net zoals in de Boven-Zeeschelde neemt de getij-asymmetrie hier toe naarmate er meer opwaarts wordt gegaan. Het tijverskil is eveneens het grootst voor de meest afwaartse post (Boom Rupelbrug EMT). 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 Duffel-sluis en Lier-Molbrug is bijvoorbeeld de dalingsduur quasi gelijk voor middeltij, springtij en doottij.

Tabel 2 - Rupel, Beneden-Nete en Durme:
Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2016.

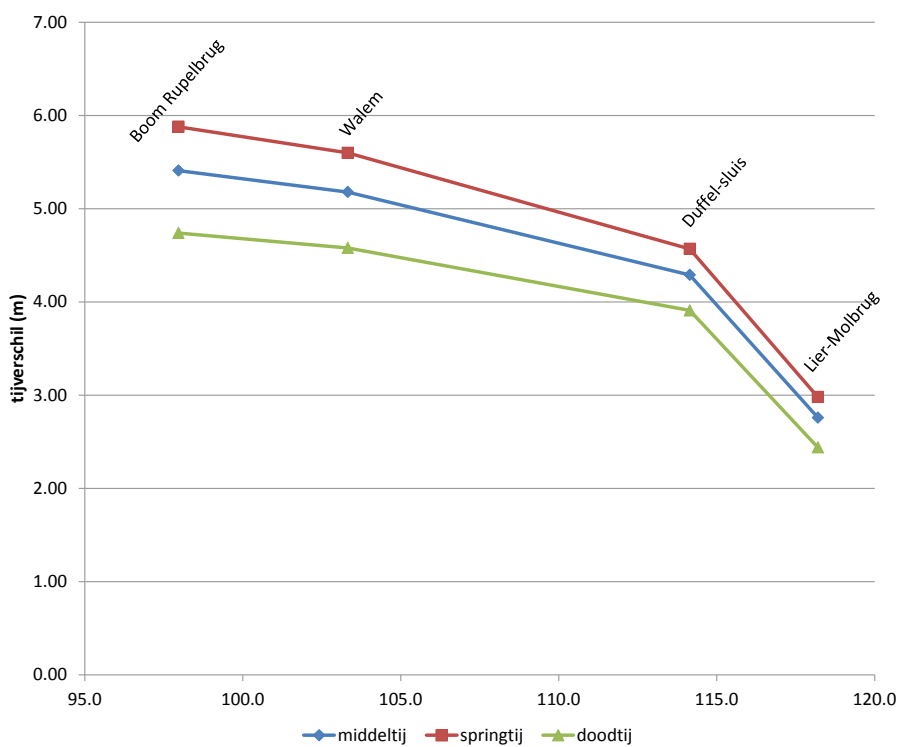
2016			Tielrode	Boom Rupelbrug	Walem	Duffel-sluis	Lier-Molbrug
afstand tot Vlissingen (km)			103.1	98.0	103.3	114.2	118.2
middeltij		GHW	5.66	5.55	5.61	5.63	5.48
		GLW	0.12	0.14	0.43	1.33	2.72
		GTV	5.54	5.41	5.18	4.29	2.76
		duur van stijging	5:14	5:18	5:08	4:36	3:59
		duur van daling	7:11	7:07	7:18	7:49	8:26
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	00:54	00:55	01:04	01:28	01:48
		LW	01:10	01:06	01:26	02:21	03:17
springtij		GHW	6.08	5.91	5.99	5.98	18:43
		GLW	-0.04	0.03	0.39	1.41	2.80
		GTV	6.12	5.88	5.60	4.57	2.98
		duur van stijging	4:58	5:05	4:56	4:30	3:57
		duur van daling	7:23	7:17	7:25	7:53	8:26
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	01:03	01:04	01:16	01:41	02:01
		LW	01:10	01:05	01:25	02:18	03:11
doodtij		GHW	5.12	5.07	5.13	5.18	5.10
		GLW	0.33	0.33	0.55	1.26	2.66
		GTV	4.78	4.74	4.58	3.91	2.44
		duur van stijging	5:39	5:39	5:29	4:48	4:10
		duur van daling	7:04	7:04	7:15	7:52	8:33
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	00:46	00:45	00:52	01:15	01:32
		LW	01:08	01:06	01:25	02:24	03:23
uiterste waarden		HHW	6.91	6.39 ¹	6.94	6.92	6.75
		LHW	4.08	4.06	4.13	4.22	3.48
	99e percentiel	HW	6.51	6.27 ¹	6.45	6.42	6.35
		HLW	1.54	1.26 ¹	1.78	2.73	3.99
		LLW	-0.46	-0.50	-0.23	0.66	1.96
	1e percentiel	LW	-0.34	-0.39	-0.04	0.80	2.05

¹ Boom Rupelbrug EMT heeft ten opzichte van de nabijgelegen MONEOS-posten erg lage waarden voor het HHW, 99^e percentiel HW en HLW. Dit is doordat er tussen 1/01/2016 tot 11/02/2016 geen data was voor deze post. Het HHW en HLW viel bij de meeste andere MONEOS-posten net in deze periode.

Figuur 4 - Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2016 voor de Rupel (Boom Rupelbrug en Walem) en Beneden-Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug).



Figuur 5 - Gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2016 voor de Rupel (Boom Rupelbrug en Walem) en Beneden-Nete (Duffel-sluis en Lier-Molbrug).



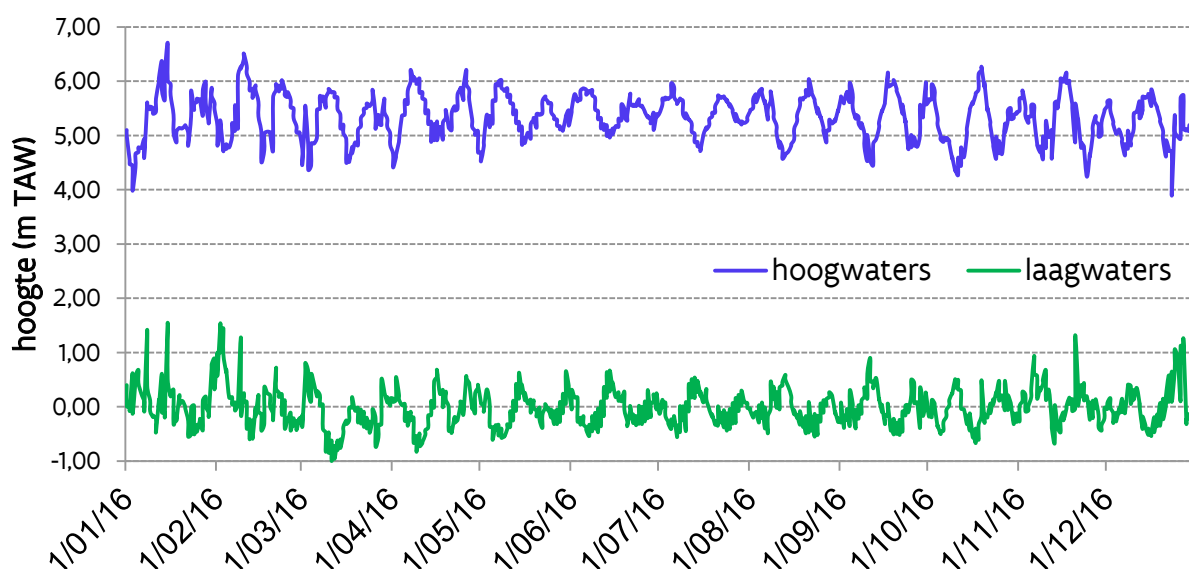
2.2 Getijwaarnemingen te Antwerpen

2.2.1 Jaaroverzicht

Al meer dan honderdtwintig jaar (1888 - 2016) wordt in Antwerpen ter hoogte van het Loodsgebouw de waterstanden geregistreerd. Ondermeer daarom, en gezien het representatieve karakter, worden de data afkomstig van de meetpost te Antwerpen als maatstaf van het getij in het Zeescheldebekken gebruikt.

Figuur 6 toont het jaarverloop 2016 voor hoogwaters en voor laagwaters voor de meetpost Antwerpen-Loodsgebouw. De uiterste waterstanden komen hier duidelijk naar voor. Ook kunnen de ongeveer 14,5-daagse periodes van spring- en doottij visueel onderscheiden worden.

Figuur 6 – Beneden-Zeeschelde in Antwerpen:
jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2016 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater.

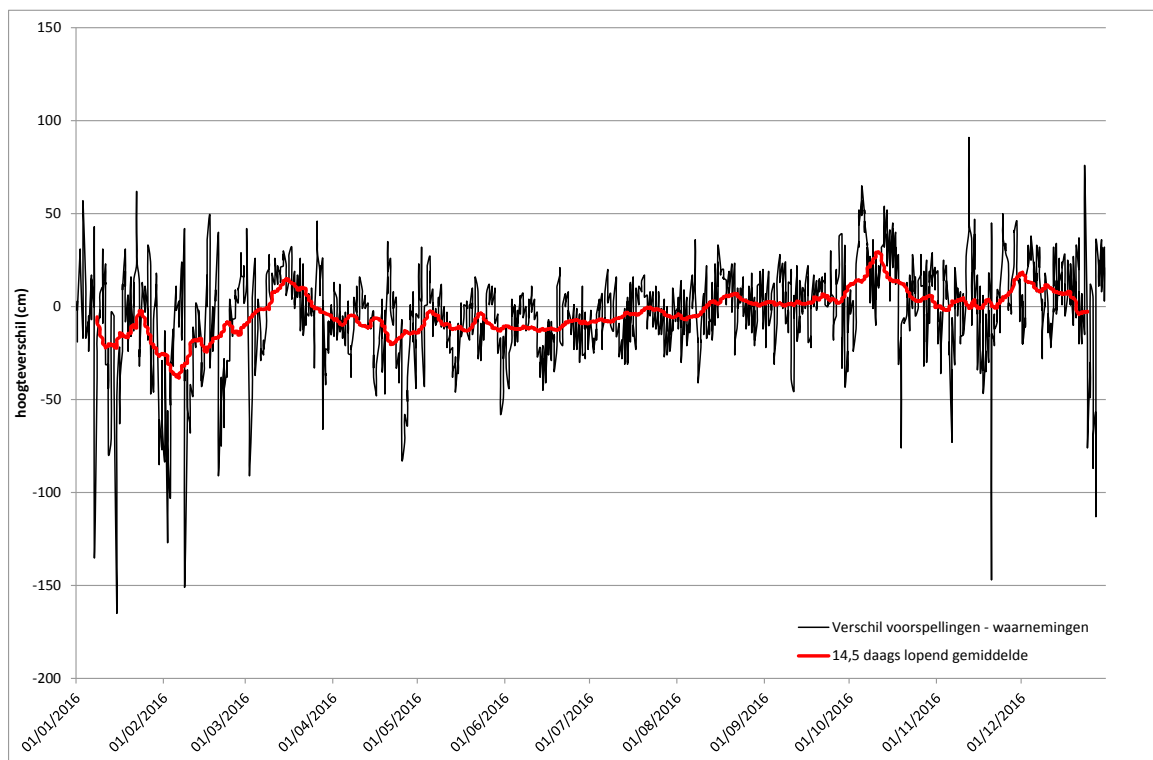


De springtij-doottijcyclus is astronomisch te voorspellen. Echter, de waarnemingen kunnen in beperkte of grotere mate afwijken van het astronomisch verloop. Dit komt omdat ze beïnvloed kunnen worden door meteorologische omstandigheden. In het afwaartse deel van het estuarium zijn vooral opwaaiing en afwaaiing belangrijk. In het opwaartse deel kunnen waterstanden sterk beïnvloed worden door de variatie van bovendebieten uit de opwaarts van het tijbekken gelegen hydrografische gebieden.

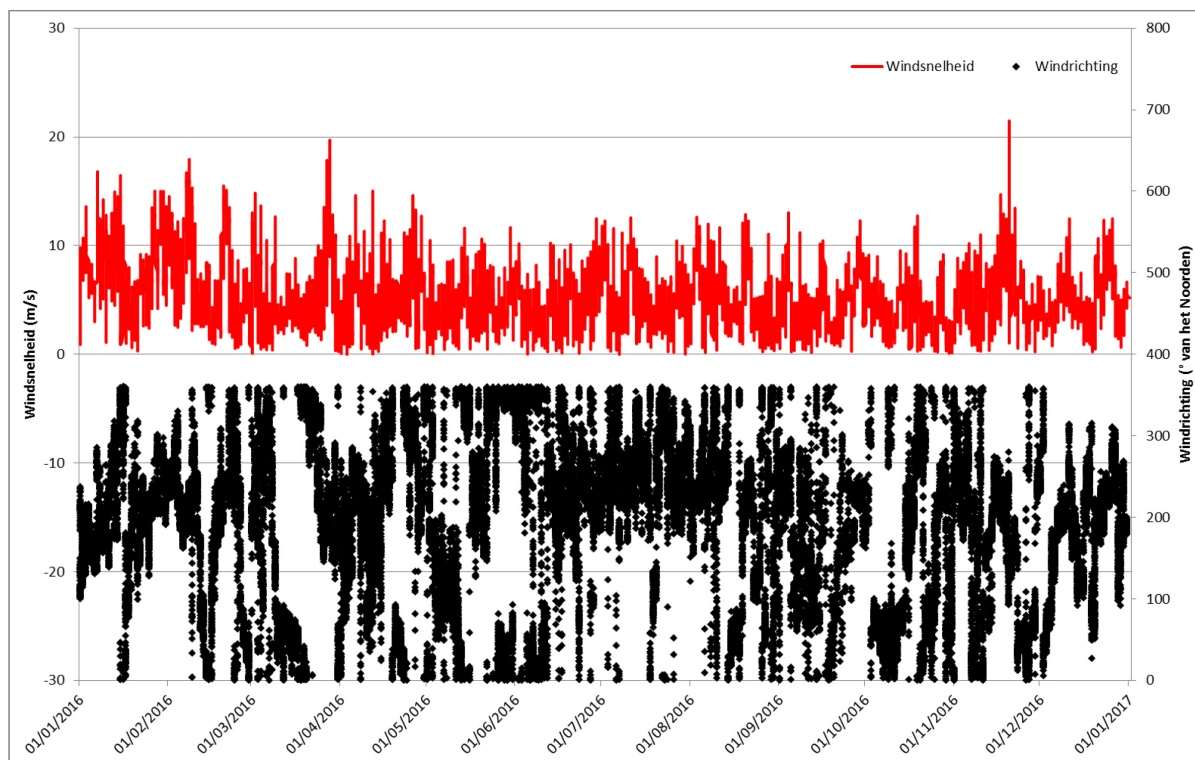
Dit wordt geïllustreerd in Figuur 7, waarin de verschillen tussen de astronomisch voorspelde hoog- en laagwaters en de effectief waargenomen waarden voor het jaar 2016 zijn weergegeven. Hierin kan ook duidelijk een verschil tussen de zomer- en de wintermaanden opgemerkt worden.

Tijdens de zomermaanden (april - september) is het verschil tussen opgetreden en astronomisch voorspeld getij klein (de absolute waarde bedraagt gemiddeld zo'n 13 cm, met 95% van alle verschillen liggend tussen +/- 19 cm, met een maximum verschil van 82 cm). Dit komt doordat tijdens de zomer er slechts weinig opwaaiingen en 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 23 cm, daarbij vallen 95% van alle verschillen tussen +/- 32 cm, met een maximum verschil van 165 cm). De grootste verschillen zijn algemeen gezien negatief, wat wijst op een groter belang van opwaaiing dan afwaaiing. Dit wordt gestaafd door Figuur 8, de windrichting ligt (in de wintermaanden) meestal tussen 200° en 300°. Dit komt overeen met wind uit een westelijke sector, dewelke opwaaiing veroorzaakt.

Figuur 7 - Verschil tussen astronomisch voorspelde en waargenomen extrema (HW's & LW's) geobserveerd in Antwerpen-Loodsgebouw (Beneden-Zeeschelde) in 2016



Figuur 8 – Windrichting (° t.o.v. Noorden) en windsnelheid (m/s) opgemeten te Hansweert (Bron: Rijkswaterstaat).



2.2.2 Jaaroverzicht 2016 in historisch perspectief

Naast dit soort jaaroverzichten, is het vaak interessant om een aantal kerngetallen van het voorbije jaar weer te geven met enkele referentiegetallen ter vergelijking. Tabel 3 toont een overzicht van de getijparameters voor de tijpost Antwerpen-Loodsgebouw in 2016, inclusief een vergelijking met de voorgaande decennia. Hieruit kan men afleiden dat het getijverschil iets groter is in vergelijking met de laatste gemiddelden van 2001 tot 2010. Dit is zowel te wijten aan het voorkomen van hogere hoogwaters als aan het voorkomen van lagere laagwaters.

Tabel 3 – Getijparameters te Antwerpen-Loodsgebouw: het jaar 2016 in historisch perspectief;
(waterstanden in mTAW, tijverschillen in meter).

		1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2016
middeltij	GHW	5,15	5,24	5,29	5,30	5,35
	GLW	0,01	0,05	0,00	0,05	-0,02
	GTV	5,14	5,19	5,29	5,25	5,36
	<i>Duur van de stijging</i>	05:18	05:22	05:25	05:31	05:29
	<i>Duur van de daling</i>	07:07	07:03	07:01	06:54	06:56
springtij	GHW	5,55	5,70	5,72	5,75	5,79
	GLW	-0,20	-0,17	-0,23	-0,19	-0,24
	GTV	5,75	5,87	5,95	5,94	6,02
	<i>Duur van de stijging</i>	04:45	05:00	05:01	05:08	05:05
	<i>Duur van de daling</i>	07:25	07:20	07:18	07:12	07:16
doodtij	GHW	4,64	4,69	4,77	4,73	4,82
	GLW	0,29	0,38	0,34	0,40	0,30
	GTV	4,35	4,31	4,43	4,33	4,53
	<i>Duur van de stijging</i>	05:47	05:54	05:55	06:05	06,01
	<i>Duur van de daling</i>	06:53	06:48	06:44	06:39	06,41
uiterste waarden	HHW	7,31	7,52	7,53	7,08	6,71
	LHW	3,35	3,01	3,53	3,63	3,89
	99 ^{ste} percentiel	6,04	6,16	6,18	6,35	6,23
	HLW	2,38	2,67	2,21	3,05	1,55
	LLW	-1,20	-1,36	-1,20	-1,24	-1,00
	1 ^{ste} percentiel	-0,61	-0,63	-0,65	-0,66	-0,73

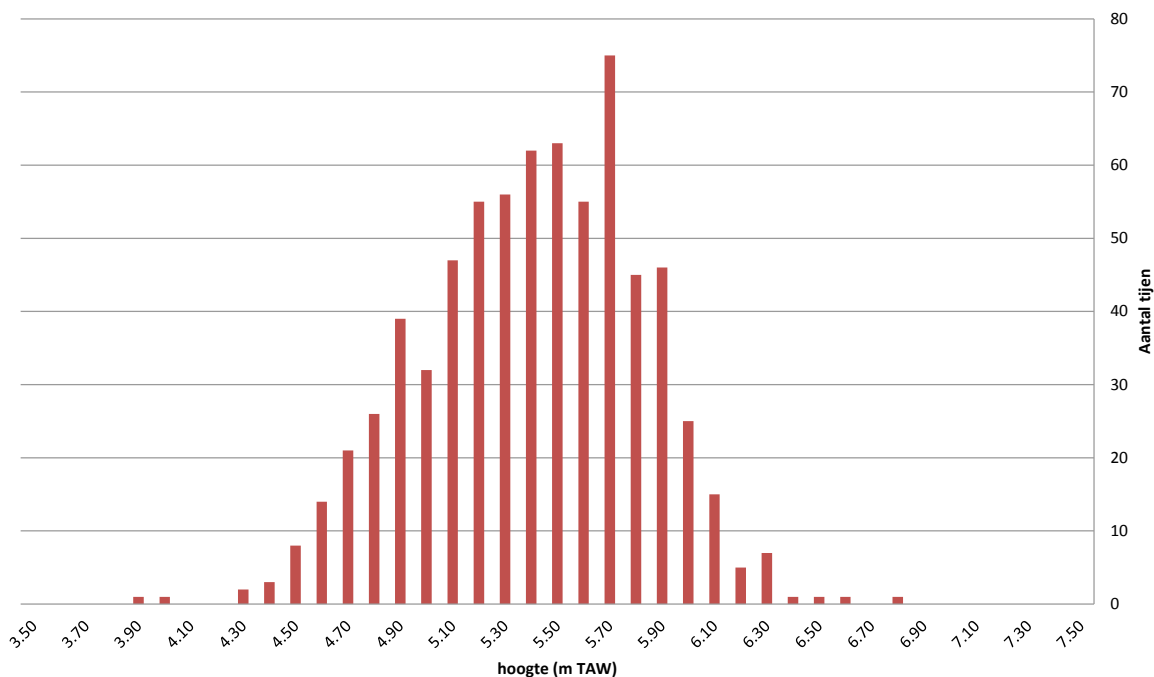
Deze kernwaarden geven echter geen volledig beeld van de verdeling van de hoogwaters, laagwaters en tijverschillen. Daarom tonen we frequentieverdelingen voor het jaar 2016, waarin per decimeter een verdeling is gemaakt van het aantal registraties van deze parameters.

Het totale bereik waarover de tijverschillen in de getoonde periode zijn gegaan, is niet uitzonderlijk. Gespreid over 36 klassen is er een bereik van 3,30 m tot 7,00 m.

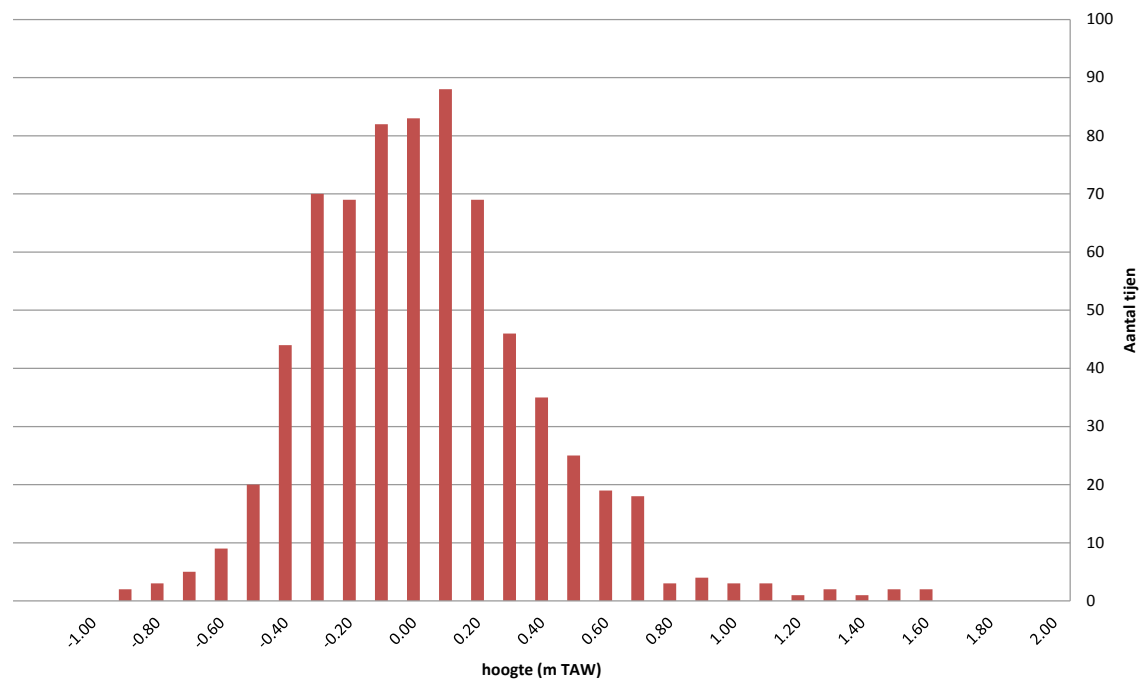
Figuur 9, Figuur 10 en Figuur 11 handelen over gegevens te Antwerpen-Loodsgebouw, maar deze trend geldt voor alle locaties. Voor bijvoorbeeld de opwaartse vakken van het tijbekken verhogen bij grote bovendebieten en wasregimes de laagwaters meer dan de hoogwaters, waardoor het tijverschil beduidend kleiner wordt dan normaal.

Het jaar 2016 was, in de context van de tijen van de voorbije decennia (zie Tabel 4) een vrij normaal jaar. Dat blijkt ook uit de volgende figuren (Figuur 12, Figuur 13 en Figuur 14) die het historisch tijbeeld schetsen.

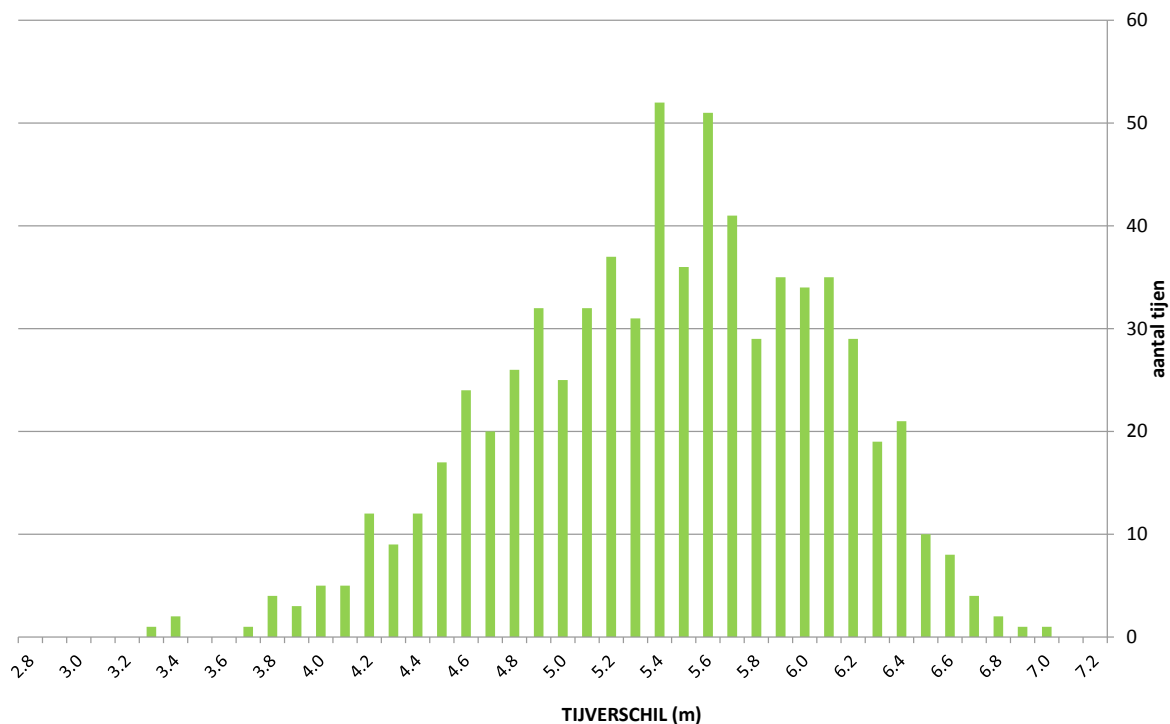
Figuur 9 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van hoogwaters in 2016 verdeeld per decimeter TAW.



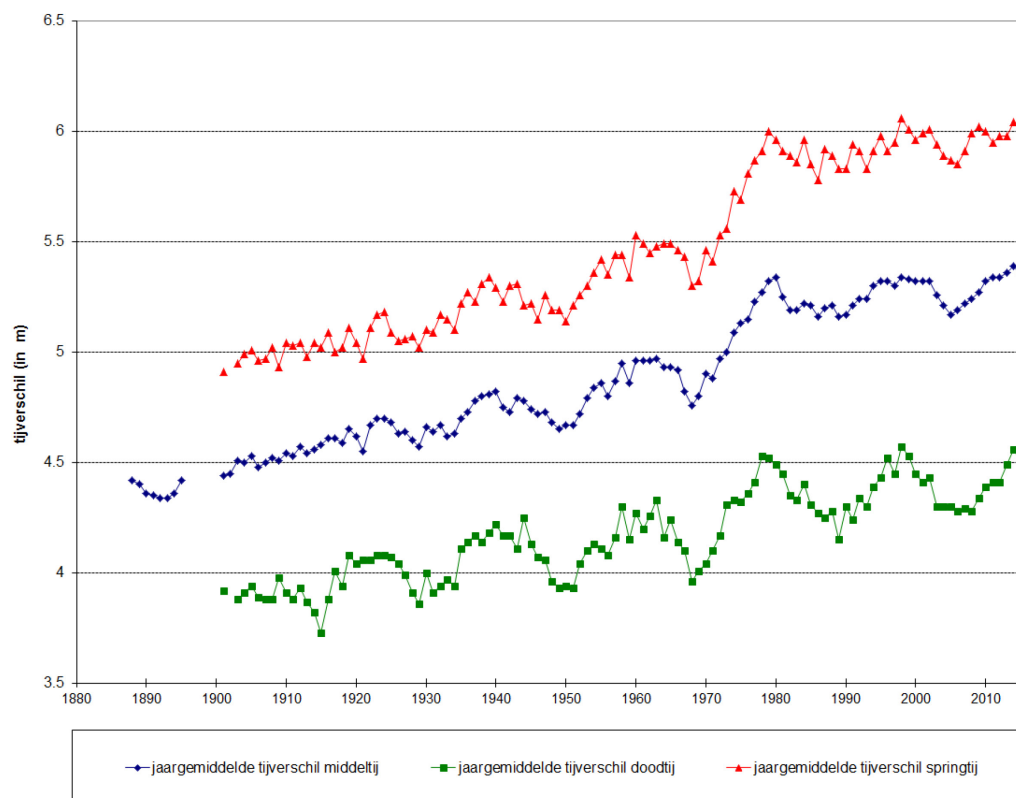
Figuur 10 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van laagwaters in 2016 verdeeld per decimeter TAW.



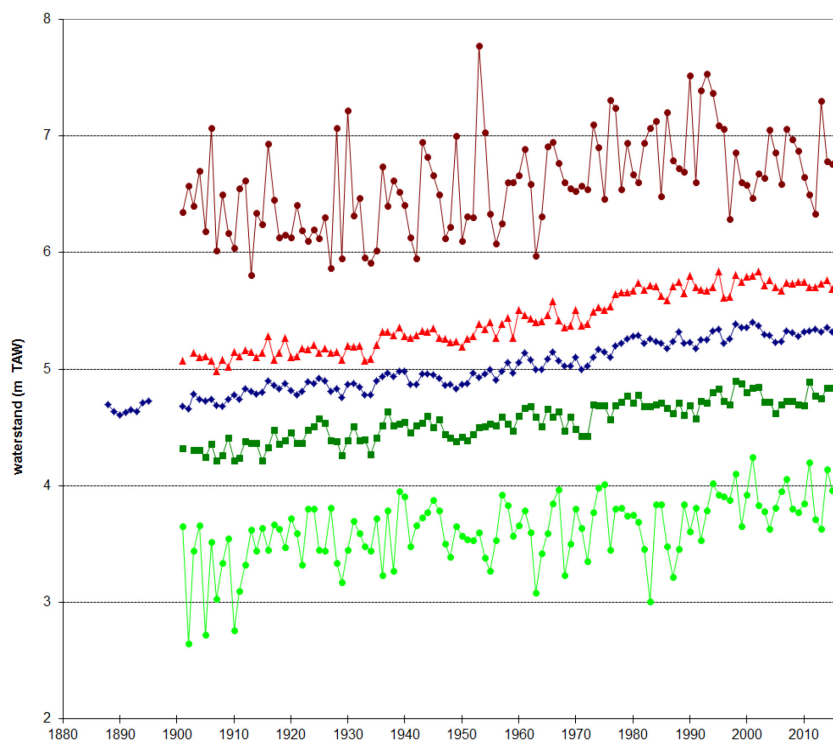
Figuur 11 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van tijverschillen in 2016 verdeeld per decimeter.



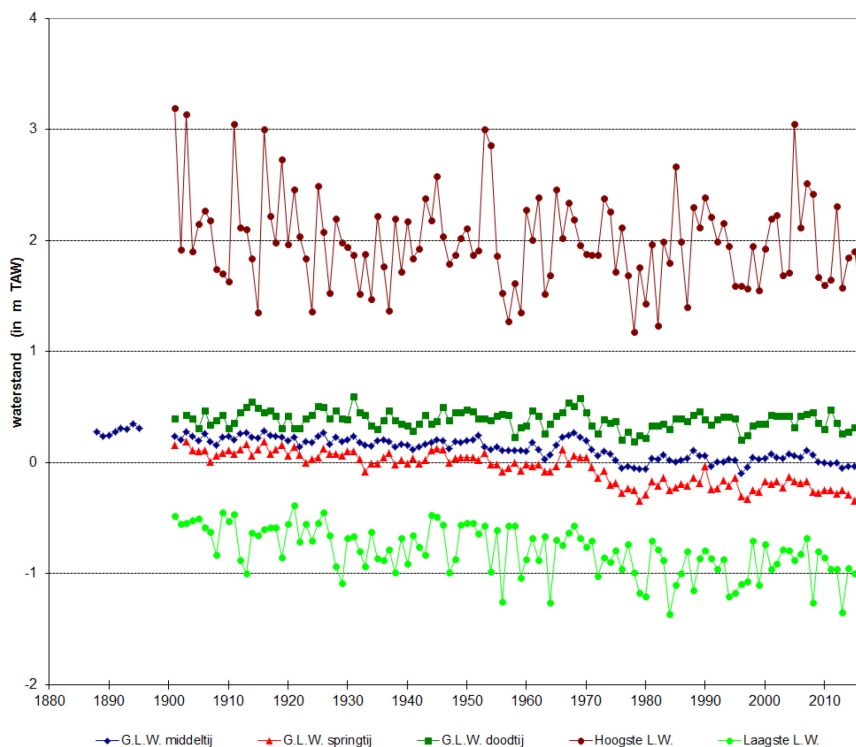
Figuur 12 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld tijverschil middeltij, springtij en doottij. Vanaf 2011 werd een peilschaalcorrectie doorgevoerd van -3 cm.



Figuur 13 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden. Vanaf 2011 werd een peilschaalcorrectie van -3 cm doorgerekend.



Figuur 14 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2016) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden. Vanaf 2011 werd een peilschaalcorrectie van -3 cm doorgerekend.



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).

Stormvloeden kennen hun oorsprong meestal door de combinatie van een springtij en een extra opstuwning van water door noordwestenwinden. Actief lagedrukgebieden kunnen aanleiding geven tot harde / stormachtige noordwestenwinden. Gezien de oriëntatie van het Schelde estuarium stuwen noordwestenwinden extra zeewater het estuarium binnen.

Op 15 januari 2016 werd de hoogste waterstand van 2016 geregistreerd. In Antwerpen was het hoogwater 6,71 mTAW. Voor een uitgebreide beschrijving van deze gebeurtenis consulteert men best het stormrapport over deze gebeurtenis (Nossent et al., 2016).

Tabel 4 toont al de hoogwaterstanden sinds 1972 in Antwerpen, hoger dan 6,5 mTAW. Het stormtij dat zich in januari 2016 voordeed blijkt niet uitzonderlijk te zijn.

Tabel 4 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtijden (1972-2016), verdeeld per decimeter (mTAW).

ZEESCHELDE in ANTWERPEN
 optreden van hoogwaterstanden hoger dan +6,50 mTAW
 1971-2015

klasse HW's	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	2014	2015	2016	klasse HW's												
7,71 - 7,80																																																				7,71 - 7,80							
7,61 - 7,70																																																						7,61 - 7,70					
7,51 - 7,60																																																							7,51 - 7,60				
7,41 - 7,50																																																								7,41 - 7,50			
7,31 - 7,40																																																								7,31 - 7,40			
7,21 - 7,30																																																								7,21 - 7,30			
7,11 - 7,20																																																								7,11 - 7,20			
7,01 - 7,10																																																								7,01 - 7,10			
6,91 - 7,00																																																								6,91 - 7,00			
6,81 - 6,90																																																									6,81 - 6,90		
6,71 - 6,80																																																									6,71 - 6,80		
6,61 - 6,70																																																										6,61 - 6,70	
6,51 - 6,60																																																											6,51 - 6,60
	1	1	4	1	0	4	4	2	2	2	2	3	5	4	0	3	2	1	1	11	1	2	10	3	8	4	0	4	2	3	0	5	2	2	5	1	6	2	2	3	0	0	2	1	1	2													

3 Jaaroverzicht bovendebieten

3.1 Overzicht bovendebieten aan de randen van het tijgebied

3.1.1 Overzicht meetlocaties

Sedert 1947 worden waarnemingen en metingen verricht om de bovenafvoer 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 monding van de betrokken tijrivier in een andere, daarna alle bovenafvoeren samen naar de Schelde te Schelle. Aldaar wordt de bovenafvoer bepaald van enerzijds de Zeeschelde opwaarts de Rupelmonding plus anderzijds de bovenafvoer van het aldaar uitmondende gehele Rupelbekken. Hun som levert de bovenafvoer van de Beneden-Zeeschelde op. De berekeningsmethodes staan beschreven in (Vanlierde *et al.*, 2014).

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.

Op deze bijrivieren laat zich verder stroomopwaarts nog een schijntij voelen: er kan nog wel een "tijverschil" aanwezig zijn want op "tij-regelmatige" tijdstippen komen afwisselend "hoogwaters" en "laagwaters" voor, 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. 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.

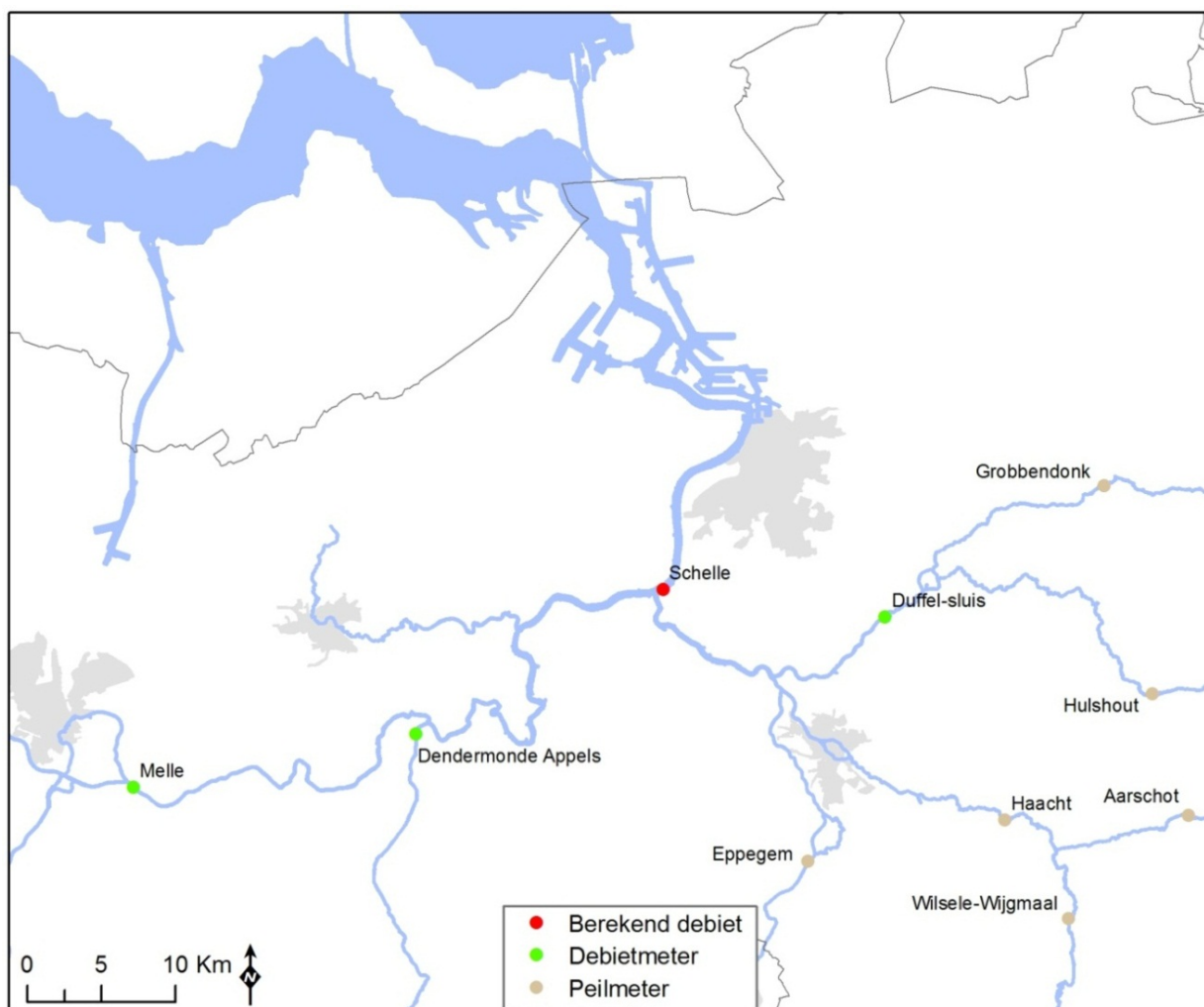
De locaties waar de debieten bepaald worden (dd. 2017) zijn weergegeven in Tabel 5 en Figuur 15.

Er wordt vooralsnog geen bovendebiet gemeten voor de Durme. Sinds januari 2016 werd in Lokeren een nieuw pompemaal in dienst genomen dat bij hoge waterstanden op de Moervaart automatisch water overpompen (maximaal 7,5 m³/s) van de Moervaart in de Durme. Bij normaal weer zal het gemaal minder water overpompen, maar genoeg om de tijgebonden Durme weer van voldoende bovendebiet te voorzien om verzanding tegen te gaan. Momenteel worden deze debieten echter nog niet geregistreerd. Het Durmebekken wordt wel als een zijbekken in rekening gebracht bij de doorrekening van de bovenafvoeren naar de "Schelde te Schelle".

Tabel 5 – Overzicht van de meetstations die gebruikt worden voor de bepaling van de bovenafvoer.

Code	Station	Waterloop	Gemeten parameter	Getij	Opmerking
bnt03a	Duffel-sluis	Beneden- Nete	Q	Tij	Debiet wordt gemeten met ADCP, Q=A.v relatie wordt toegepast
dij12a	Haacht	Dijle	H	Schijntij	Daggemiddeld debiet bepaald a.h.v. de debieten te Aarschot en Wilsle Wijgmaal
zen03a	Epegem	Zenne	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. 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 15 – 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 Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend.



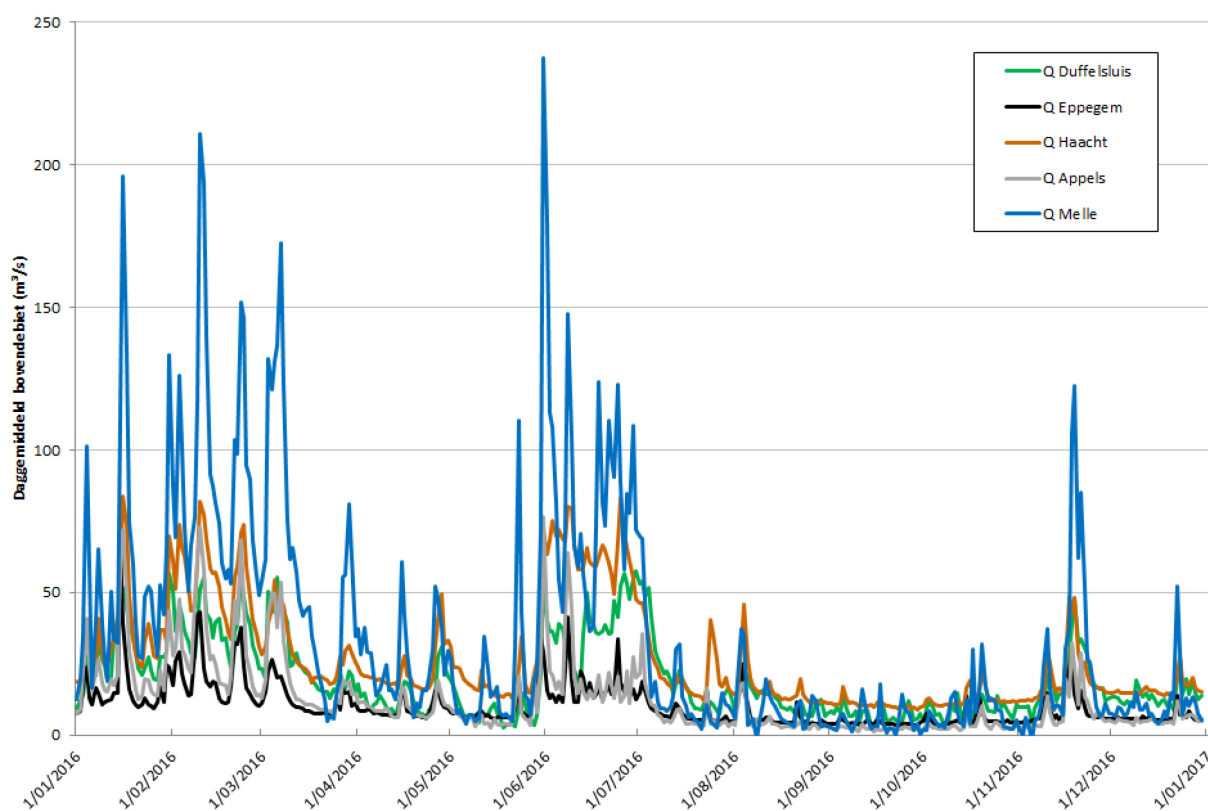
3.1.2 Globaal overzicht

Figuur 16 toont het verloop van de daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied van het Zeescheldebekken over het jaar 2016. 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.

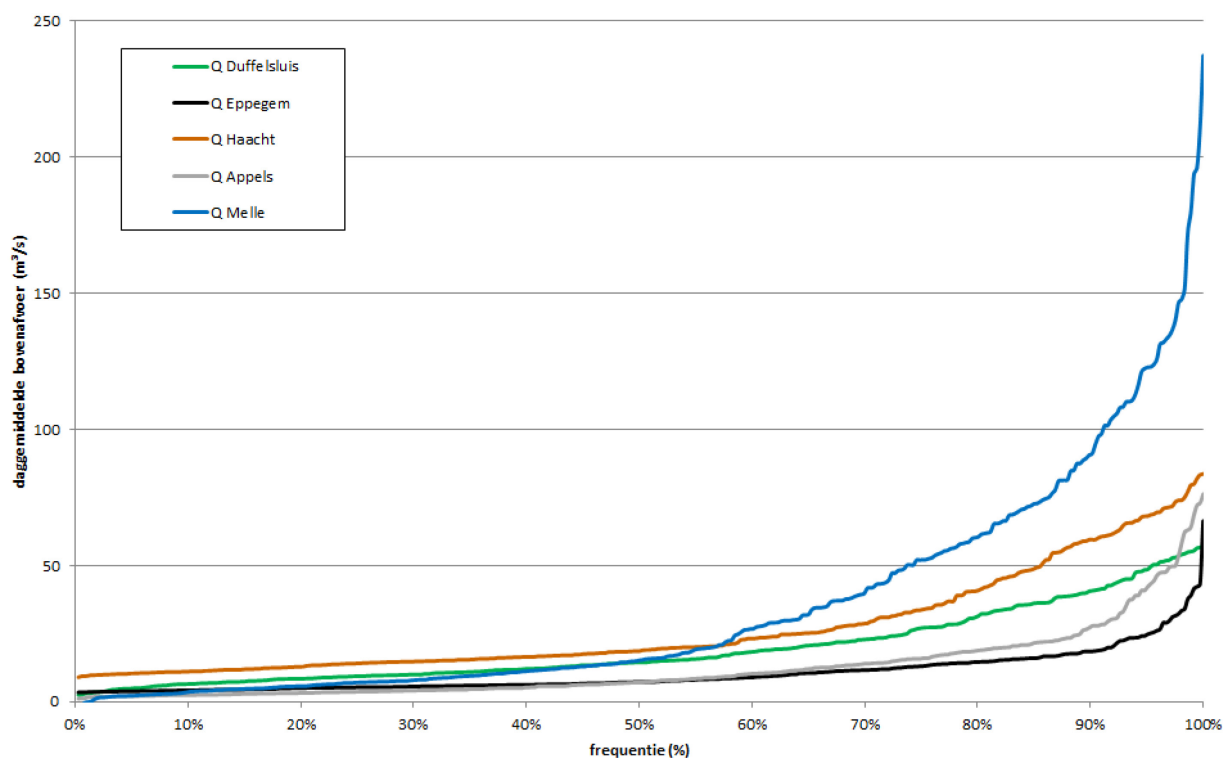
Zoals bekend brengen Bovenschelde en Leie meestal het meest van alle randlocaties bovendebiet naar het Zeescheldebekken. Dit wordt duidelijk gemaakt door de debieten te Melle (die een groot gedeelte van deze debieten naar de Zeeschelde transporteren). Enkel bij zeer kleine bovendebieten te Melle brengt de Dijle te Haacht meer bovendebiet naar het tijgebied. Dit was in 2016 echter van ongeveer juni tot november het geval, wat eerder uitzonderlijk is. De Zenne brengt, zoals gewoonlijk, -door het jaar heen- van Schelde, Dender, Dijle, Zenne en Beneden-Nete, de kleinste afvoer aan.

In 2016 zijn er enkele periodes met verhoogde debieten doorheen het jaar (van januari tot half maart, heel juni en midden november). De eerste periode wordt in detail besproken in Boeckx *et al.*, 2016. In de maand juni viel met 174,6 mm het meeste neerslag sinds het begin van de metingen (1833) in Ukkel (gemeten door het KMI). Dit ziet men ook duidelijk terug aan de verhoogde afvoeren in Figuur 16. Naast de opeenvolging van grootte van de daggemiddelde bovendebieten 2016 aan de meetlocaties aan de randen van het tijgebied, toont Figuur 17 de frequentie van voorkomen van een bepaald bovendebiet per meetlocatie. Deze grafiek toont dat er in 2016 te Appels (Dender), Epegem (Zenne), en Duffel-sluis (Netes) gedurende ongeveer 70% van de tijd kleine en gemiddelde bovendebieten zijn geweest.

Figuur 16 – Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied voor het jaar 2016



Figuur 17 – Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebiten aan de meetraaien in het jaar 2016



De frequentieverdeling toont ook duidelijk dat de dagelijkse bovendebit van de Schelde te Melle in 2016 ongeveer 55% van de tijd kleiner is dan deze van de Dijle te Haacht.

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

In Tabel 6 is het gemiddelde van alle daggemiddelde bovendebiten 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 bovendebit naar het Zeescheldebekken. Tweede belangrijkste is de aanvoer vanuit de Dijle te Haacht. Daarna zijn de Netes te Duffel-sluis, de Dender te Dendermonde (Appels) ende Zenne te Eppegem en de grootste aanbrengers van zoetwater.

Tabel 6 – Zeescheldebekken: kenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebiten aan de meetraaien, jaar 2016 (m³/s)

	Netes te Duffel-sluis	Zenne te Eppegem	Dijle te Haacht	Dender te Dendermonde	Schelde te Melle
minimum	2,5	3,5	9,0	1,2	-1,9
5%-percentiel	5,0	3,9	10,5	2,1	2,3
gemiddeld	19,5	10,3	27,0	12,3	34,7
95%-percentiel	48,6	24,7	68,2	42,0	122,7
maximum	57,5	66,4	83,7	76,3	237,3

3.2 Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts

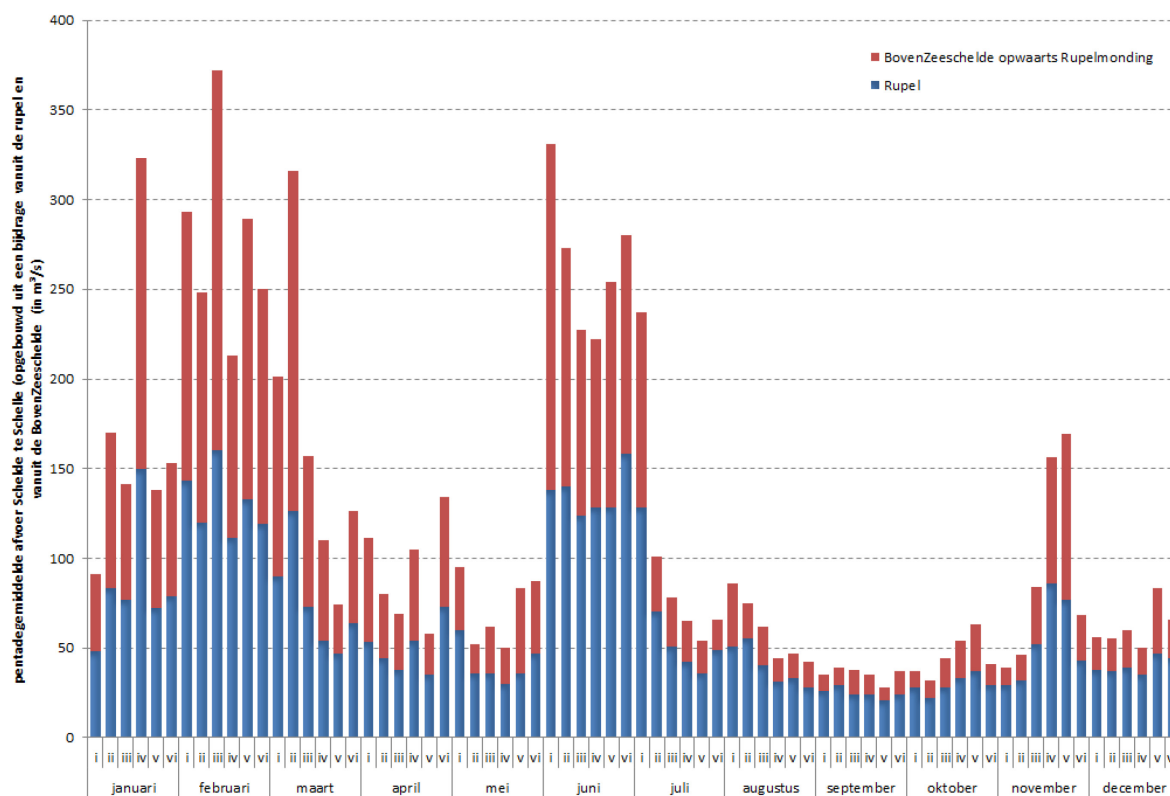
3.2.1 Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis

Sinds het MONEOS-rapport van 2008 wordt ook gewerkt met pentade-gemiddelde bovendebieten in plaats van de 10-daags gemiddelde waarden voorheen. De berekeningsmethodes staan beschreven in (Vanlierde *et al.*, 2014).

Tabel 7 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 120 m³/s.

Figuur 18 geeft onderstaande tabel in grafiekvorm weer, opgedeeld in bijdrage van de Rupel en de Boven-Zeeschelde. De afvoer van beide rivieren loopt qua trend grotendeels gelijk, alleen was de afvoer van de Boven-Zeeschelde in de eerste drie maanden meestal groter dan deze van de Rupel terwijl het in de late zomermaanden en herfstmaanden omgekeerd was. Ook in de maand december droeg de Rupel meer bij dan de Boven-Zeeschelde. Het grootste vijfdaagse gemiddelde deed zich voor in het derde pentade van februari 2016 (pentadegemiddelde is 372 m³/s). Daarnaast vallen de hoge pentadegemiddelden in juni op. Het op één na hoogste pentadegemiddelde deed zich voor in de eerste pentade van juni (331 m³/s). Dit gaat natuurlijk samen met de natste maand juni sinds het begin van de metingen (1833). Het kleinste vijfdaagse gemiddelde deed zich voor in de vijfde pentade van september 2016: gemiddeld slechts 28 m³/s. In september was de gemiddelde maandelijkse afvoer ook het kleinst: 35 m³/s.

Figuur 18 – Zeescheldebekken: Pentadegemiddelde waarden voor de afvoer van "de Schelde te Schelle", opgedeeld in de debieten aangeleverd door de Rupel (blauw) en door de Boven-Zeeschelde (rood) voor 2016



Tabel 7 – Pentade-gemiddelde bovenafvoer Schelde te Schelle (m³/s)

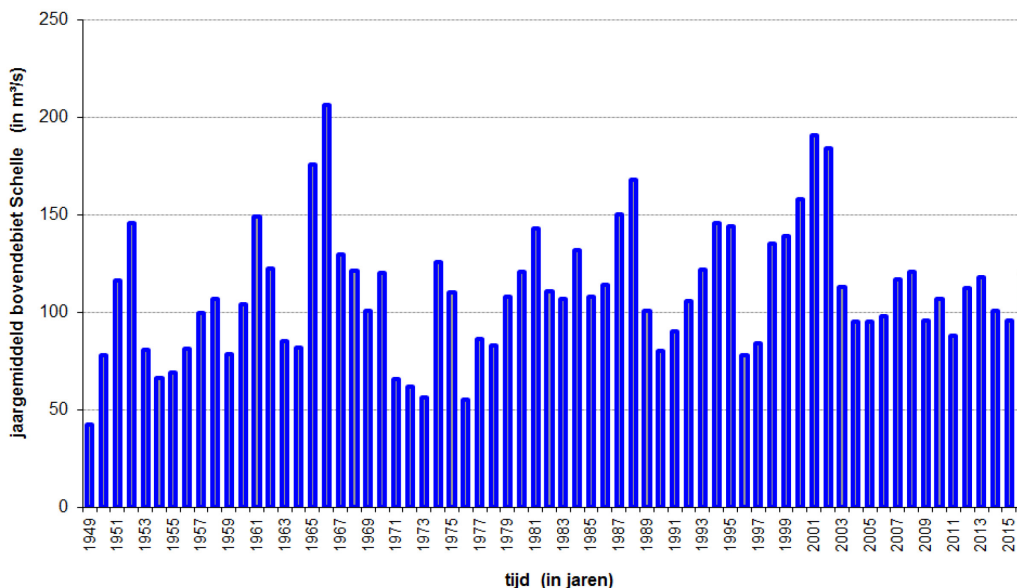
maand	pentade	Q Schelle (m ³ /s)	Q Rupel (m ³ /s)	Q Boven-Zeeschelde (m ³ /s)
januari	i	91	48	43
	ii	170	83	87
	iii	141	77	64
	iv	323	150	173
	v	138	72	66
	vi	153	79	74
februari	i	293	143	150
	ii	248	120	128
	iii	372	160	212
	iv	213	111	102
	v	289	133	156
	vi	250	119	131
maart	i	201	90	111
	ii	316	126	190
	iii	157	73	84
	iv	110	54	56
	v	74	47	27
	vi	126	64	62
april	i	111	53	58
	ii	80	44	36
	iii	69	38	31
	iv	105	54	51
	v	58	35	23
	vi	134	73	61
mei	i	95	60	35
	ii	52	36	16
	iii	62	36	26
	iv	50	30	20
	v	83	36	47
	vi	87	47	40
juni	i	331	138	193
	ii	273	140	133
	iii	227	124	103
	iv	222	128	94
	v	254	128	126
	vi	280	158	122

juli	i	237	128	109
	ii	101	70	31
	iii	78	51	27
	iv	65	42	23
	v	54	36	18
	vi	66	49	17
augustus	i	86	51	35
	ii	75	55	20
	iii	62	40	22
	iv	44	31	13
	v	47	33	14
	vi	42	28	14
september	i	35	26	9
	ii	39	29	10
	iii	38	24	14
	iv	35	24	11
	v	28	21	7
	vi	37	24	13
oktober	i	37	28	9
	ii	32	22	10
	iii	44	28	16
	iv	54	33	21
	v	63	37	26
	vi	41	29	12
november	i	39	29	10
	ii	46	32	14
	iii	84	52	32
	iv	156	86	70
	v	169	77	92
	vi	68	43	25
december	i	56	38	18
	ii	55	37	18
	iii	60	39	21
	iv	50	35	15
	v	83	47	36
	vi	66	44	22

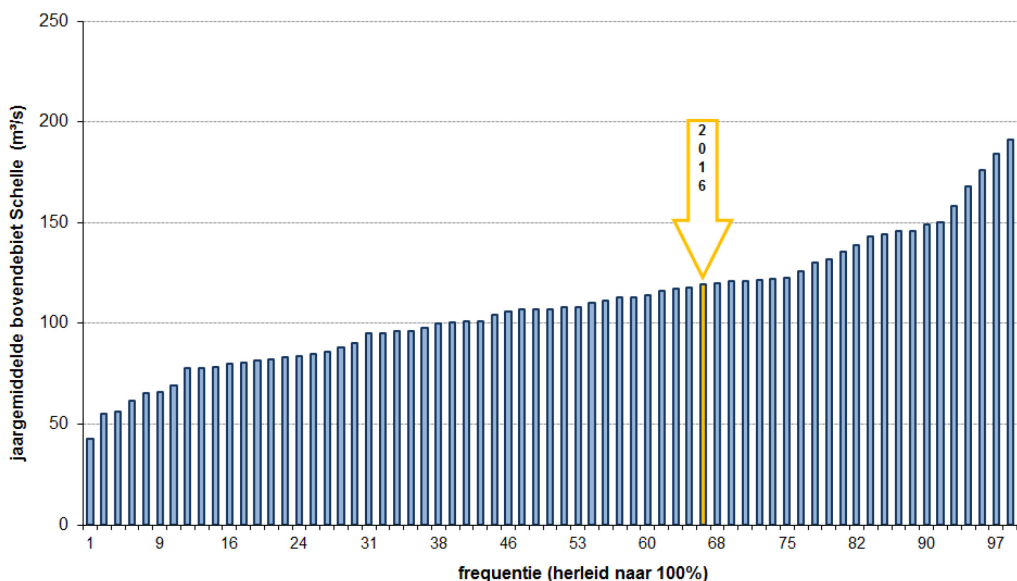
3.2.2 Bovendebieten 2016 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief

Figuur 19 en Figuur 20 geven de jaargemiddelde afvoer van de Schelde te Schelle weer, respectievelijk naar jaar en naar frequentieverdeling. In 2016 bedroeg de gemiddelde afvoer te Schelle 119 m³/s, zo'n 32 % van de jaardebieten te Schelle is hoger dan dat van 2016. 2016 is dus een jaar met vrij veel afvoer, die vooral in de maand juni uitzonderlijk hoge waarden vertoonde.

Figuur 19 – Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2016

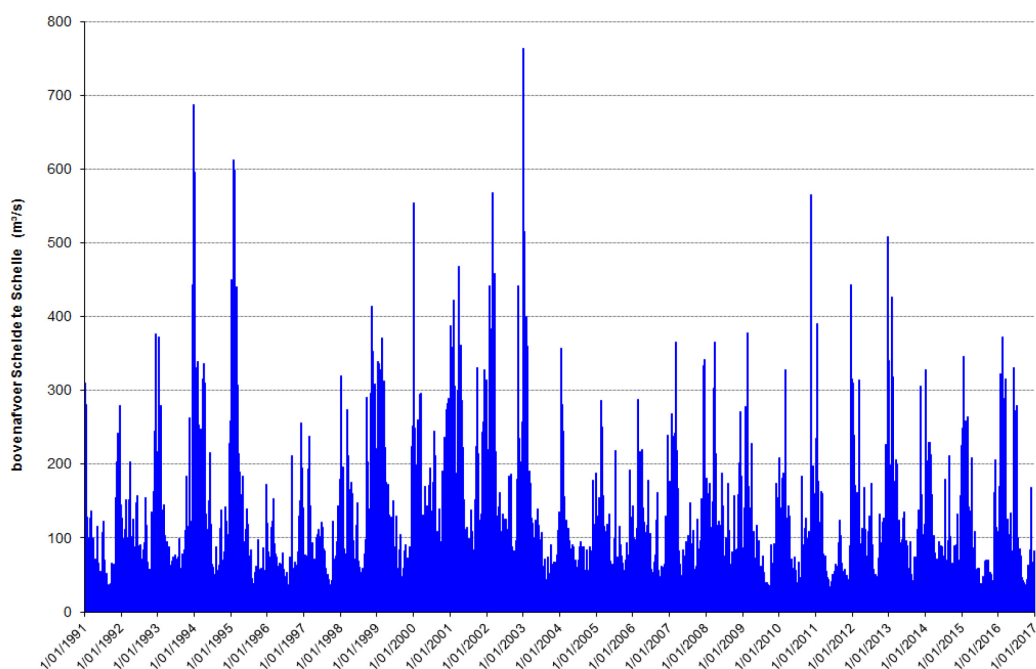


Figuur 20 – Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949-2016 gerangschikt naar grootte



2016 mag dan wel een jaar zijn met vrij veel afvoer, maar uit het vergelijken van de 20 hoogste pentade gemiddelden van de periode 1991-2016 blijkt dat er geen enkele pentadewaarde hoog genoeg was om in deze top 20 terecht te komen (de volledige reeks van pentades wordt gepresenteerd in Figuur 21; de 20 hoogste pentadewaardes staan in Tabel 8). Het hoogste pentadedebiet van 2016 bedroeg 372 m³/s, wat aanzienlijk lager is dan de laagste waarde in Tabel 8, met name 442 m³/s. Het is evenwel een hogere waarde dan de hoogste pentade van 2015 (346m³/s). Dit blijkt ook uit de verdeling van de pentadedebieten zoals getoond in Figuur 22.

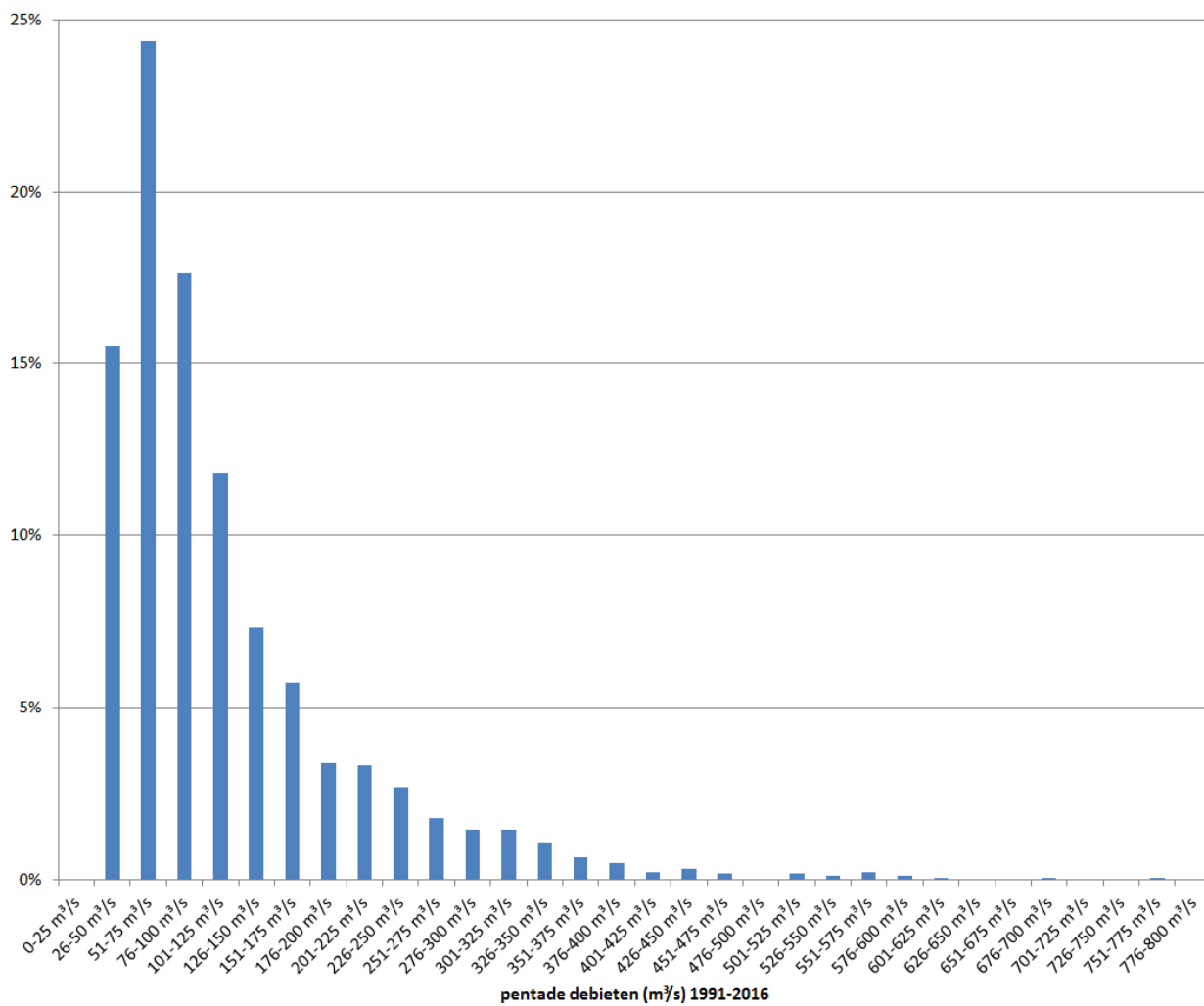
Figuur 21 – Zeescheldebekken: vijfdaagse gemiddelde afvoer aan "de Schelde te Schelle" volgens pentade-berekening voor de periode 1991-2016



Tabel 8 – 20 hoogste pentadegemiddelde afvoeren geregistreerd sinds 1991 tot december 2016

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

Figuur 22 – Pentadedebieten te Schelle in de periode 1991- 2016 gerangschikt naar voorkomen per klasse van 25 m³/s



3.3 Overzicht van de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde

Naast de daggemiddelde bovenafvoer ter hoogte van de randen van het gebied, is het ook belangrijk een inzicht te krijgen in de opeenvolging in de tijd van de debieten. De bovenafvoer vertoont een sterke variabiliteit doorheen de jaren, alsook binnen één jaar. Zo zijn er periodes van resp. lage (eerder zomer) en hoge (eerder winter) bovenafvoer, doch het moment van optreden, alsook de duur verschilt sterk van jaar tot jaar. Zo blijkt 2016 een eerder nat jaar te zijn (slechts 1/3 was natter), maar blijken de pentadegemiddelde waarden niet extreem hoog, en was er een lange droge periode van juli tot november. Om de rol van de bovenafvoer op een kleinere tijdschaal te kwantificeren, wordt de “**ververstijd**” voorgesteld als parameter.

Achterliggende gedachte is na te gaan of de perioden met hoge of lage bovenafvoeren veranderen (duur van de periode, grote van bovenafvoeren) in de loop der tijden. Dit kan belangrijk zijn voor de indringing van zout, de residuele sedimenttransporten (uitspoeling vs. opwaartse transport) en verschillende ecologische parameters (o.a. verblijftijden in verschillende delen van het estuarium).

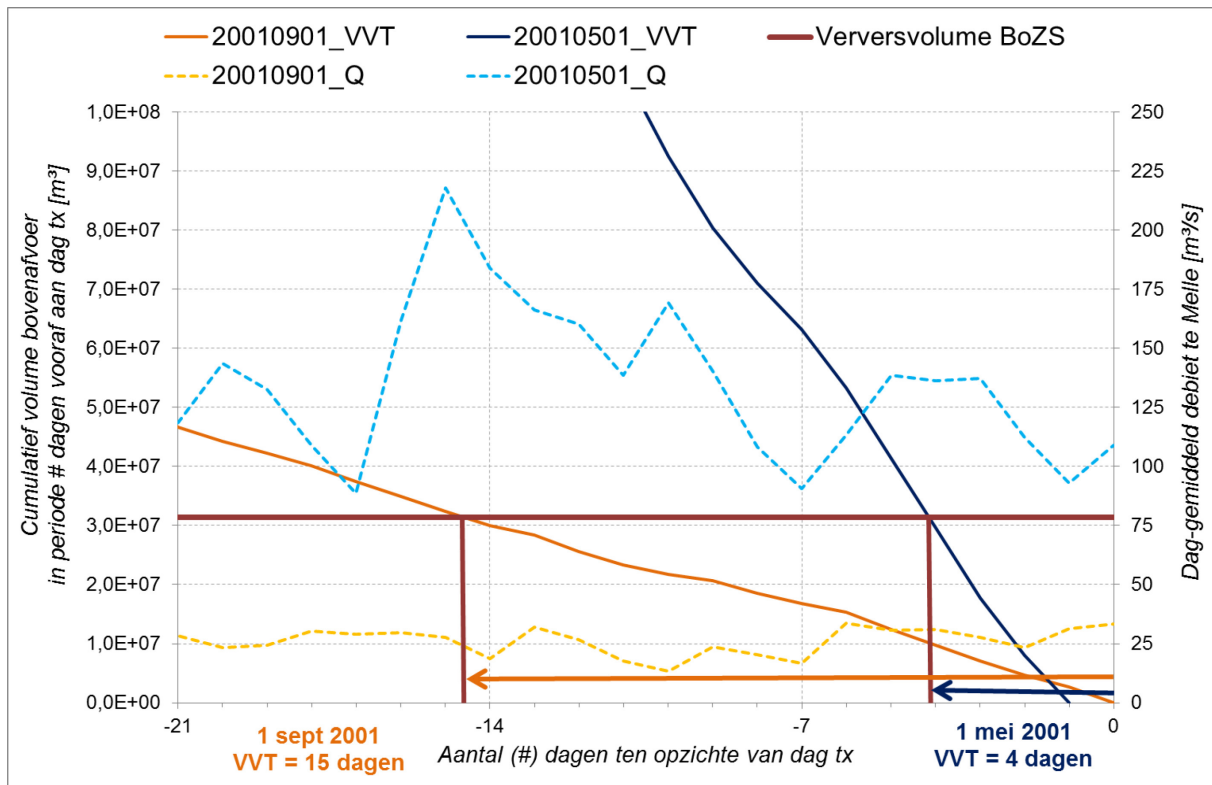
In volgende paragrafen wordt eerste beschreven hoe deze ververstijd gedefinieerd is, waarna de resultaten voor 2016 worden getoond alsook de vergelijking gemaakt in de recente historie.

3.3.1 Methodiek

De “ververstijd” wordt gedefinieerd als volgt: de lengte van de periode (aantal dagen) voorafgaand aan een bepaalde dag die nodig is om met de bijbehorende daggemiddelde bovenafvoeren een watervolume te bekomen dat gelijk is aan het watervolume van de Boven-Zeeschelde. Dit watervolume wordt hier gedefinieerd als het volume tussen Merelbeke (stuw) en Rupelmonde (samenvloeiing met Rupel) beneden de laagwaterlijn. Er dient opgemerkt te worden dat in de realiteit de getijdenwerking ervoor zal zorgen dat het watervolume niet per se volledig “ververst” zal worden doordat er menging optreedt van het van opwaarts aangevoerde zoetwater en het van afwaarts komende vloedvolume.

Figuur 23 illustreert de berekening van de ververstijd voor 2 karakteristieke tijdstippen, nl. een natte en droge periode. De natte periode (voorafgaande aan 1 mei 2001 - blauw) wordt gekarakteriseerd door daggemiddelde bovenafvoeren te Melle tussen 100 en 200 m³/s. Deze hoge bovenafvoeren zorgen ervoor dat de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde kort is, in casu 3 à 4 dagen. De droge periode (voorafgaande aan 1 september 2001 - oranje) wordt gekarakteriseerd door daggemiddelde bovenafvoeren te Melle tussen 15 en 30 m³/s. Deze lage bovenafvoeren zorgen ervoor dat de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde lang is, in casu 14 à 15 dagen.

Figuur 23 - Illustratie ververstijd voor natte periode (voorafgaand aan 1/5/2001) en droge periode (voorafgaand aan 1/9/ 2001)



Het watervolume van de Boven-Zeeschelde is berekend om basis van de topo-bathymetrische data die de basis vormen van de kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium (Plancke *et al.*, 2014). Volgende formule werd gehanteerd:

$$V = \sum_{i=Merelbeke}^{Rupelmonde} \frac{A_{i-1}^{LW} + A_i^{LW}}{2} \cdot (L_i - L_{i-1})$$

Met V : watervolume van de Boven-Zeeschelde [m^3]

A_i^{LW} : natte sectie van profiel i bij laagwater [m^2]

L_i : afstand tot de monding van profiel i [m]

Voor de ververstijd (VVT) wordt gebruik gemaakt van het cumulatief watervolume over x dagen, met name tot dag t_x , waarvoor volgende formule gehanteerd:

$$WV_{tx} = \sum_{t=tx}^{t_y} Q_t \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$$

Met V : watervolume van de Boven-Zeeschelde [m^3]

WV_{tx} : watervolume voor dag t_x bekomen door de bovenafvoer over de periode t_y tot t_x [m^3]

Q_t : daggemiddeld debiet op dag t [m^3/s]

t_y : de dag voorafgaand aan dag t_x , waarvoor het watervolume WV over de periode t_y tot t_x gelijk is aan het watervolume van de Boven-Zeeschelde V

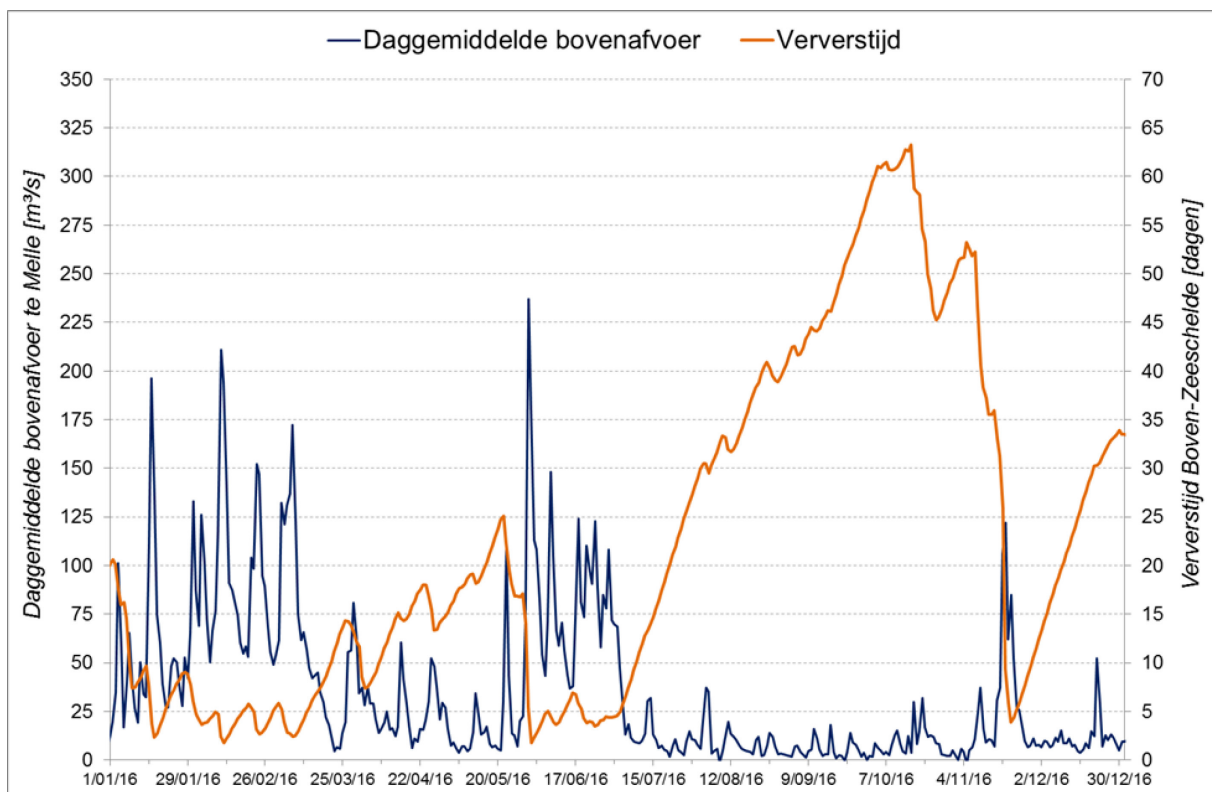
VVT_{tx} : de ververstijd voor dag t_x wordt bepaald als het verschil tussen t_x en t_y [dagen]

Wanneer het gesommeerde watervolume op basis van de voorafgaande dagdebieten $WV(t_x)$ gelijk wordt aan het watervolume van de Boven-Zeeschelde V , is de ververstijd VVT_{tx} op moment t_x gekend.

3.3.2 Resultaten voor 2016

Figuur 24 geeft zowel de daggemiddelde bovenafvoer te Melle als de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde weer. In het eerste trimester van 2016 blijft de ververstijd laag (< 10 dagen) omwille de hogere bovenafvoer. In het tweede trimester stijgt de ververstijd tot ca. 25 dagen om in juni terug te zakken naar 5 dagen. Na de natte juni-maand, neemt de ververstijd langzaam toe, toe 60-65 dagen in oktober. De hogere bovenafvoeren in november zorgen voor een uitspoeling waarbij de ververstijd zakt tot 5 dagen, om vervolgens terug toe te nemen tot 30-35 dagen op het einde van het jaar.

Figuur 24 - Ververstijd van de Boven-Zeeschelde voor het jaar 2016

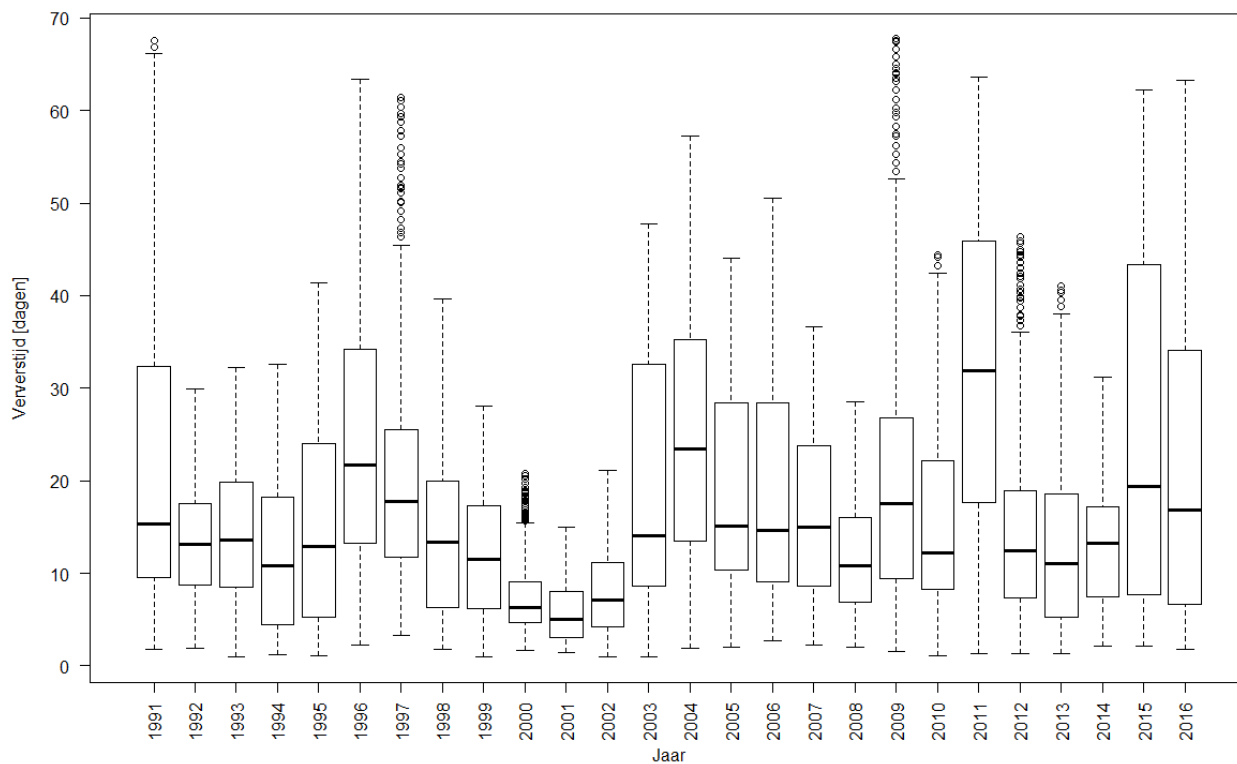


3.3.3 Resultaten in historische perspectief

Figuur 25 toont de boxplot² voor de ververstijd sinds 1991. De mediaan voor 2016 ligt ietwat hoger (16,8 dagen vs. 13,3 dagen) ten opzichte van de volledige periode. Het eerste kwartiel, is voor 2016 vergelijkbaar met de volledige periode, het laatste kwartiel wijkt echter af: de P75-waarde bedraagt 34,1 dagen in 2016, terwijl dit voor de volledige periode 23,0 dagen. Dit is te wijten aan de lange droge periode in het derde trimester van 2016.

² De boxplot-weergave geeft 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 *.

Figuur 25: - Ververstijd van de Boven-Zeeschelde in historisch perspectief (1991 – 2016)



4 Jaaroverzicht fysische parameters

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

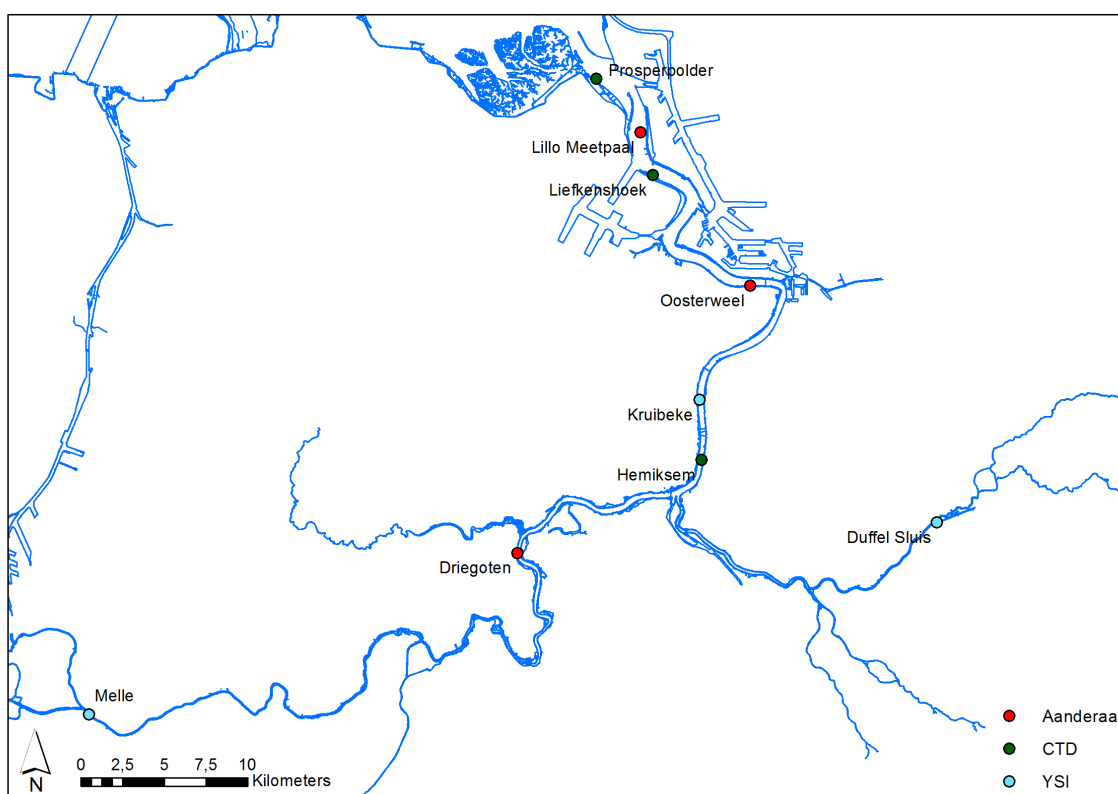
4.1 Continue metingen "fysische parameters"

4.1.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"

Situering

Op 8 meetplaatsen in de Zeeschelde (Prosperpolder, Lillo Meetpaal, Liefkenshoek, Oosterweel, Hemiksem, Kruibeke, Driegoten en Melle), en op één meetplaats in de Beneden-Nete (Duffel-sluis) worden met behulp van multiparameter-toestellen op continue wijze verschillende fysische parameters geregistreerd (zie Figuur 26).

Figuur 26 Locatie van Moneos-metposten in de Zeeschelde en bijrivieren met continue monitoring van fysische parameters



Op meetlocaties te Lillo Meetpaal en Oosterweel hangen telkens twee multiparametertoestellen, een onderste toestel dicht bij de bodem, een bovenste toestel onder het laag-laagwater peil, zodat ook deze zich ten allen tijde onder water bevindt. Het onderste toestel te Lillo Meetpaal hangt 1 m boven de bodem, het bovenste hangt 3,75 m boven de bodem. Te Oosterweel hangt het onderste toestel 1 m boven de bodem, het bovenste 4,5 m.

Tabel 9 - Overzicht van de toesteltypes van multi-parametertoestellen ingezet in 2016 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren

Toesteltype	Tijds-interval	Gemeten parameters	Meetlocatie	Verticale positie	Afgeleide absolute positie (mTAW) ³	Rivier
Aanderaa Seaguard	10 min	Totale druk	Lillo Meetpaal (boven + onder)	B: 3,75m boven de bodem	B: - 5 mTAW O: - 8,5 mTAW	Beneden-Zeeschelde
		Temperatuur		O: 1m boven de bodem		
		Conductiviteit	Oosterweel (boven + onder)	B: 4,5m boven de bodem	B: - 2,3 mTAW O: - 5,8 mTAW	Beneden-Zeeschelde
Turbiditeit	O: 1m boven de bodem					
		Stroomrichting	Driegoten	+/- 3 m onder het wateroppervlak	N.A. ⁴	Boven-Zeeschelde
Valeport-CTD	10 min	Totale druk	Prosperpolder		-1,5 m TAW	Beneden-Zeeschelde
		Temperatuur	Liefkenshoek		-1,5 m TAW	Beneden-Zeeschelde
		Conductiviteit	Hemiksem		-1,5 m TAW	Boven-Zeeschelde
YSI	5 min	Totale druk	Duffel-sluis	+/- 0,35 m boven de bodem	N.A	Beneden-Nete
		Temperatuur	Kruikeke	+/- 1,1 m onder het wateroppervlak	N.A. ⁵	Boven-Zeeschelde
		Conductiviteit	Melle	+/- 0,8 m boven de bodem	N.A	Boven-Zeeschelde
		pH				
		Turbiditeit				
		Zuurstofgehalte				
		Zuurstofverzadiging				

³ Deze inschatting dient met enige voorzichtigheid gebruikt te worden.

⁴ Bij een drijvende opstelling bevindt de sensor zich op een vaste (relatieve) positie onder het wateroppervlak. De getijdewerking maakt het onmogelijk om de absolute positie van de sensor af te leiden.

Op de meetposten Prosperpolder, Driegoten, Melle en Duffel-sluis werd telkens één toestel opgesteld. Tabel 9 geeft een overzicht van welk toesteltype op welke locatie hangt, alsook welke parameters deze toestellen registreren en met welk tijdsinterval. Merk op dat verschillende toestellen zodanig gepositioneerd zijn dat ze altijd dezelfde waterlaag opmeten. Dit betekent dat de meest correcte verticale positie gegeven wordt t.o.v. het wateroppervlak of de bodem. Indien mogelijk⁵ wordt de absolute positie t.o.v. het referentiepeil (TAW) ingeschat. Deze inschatting dient met enige voorzichtigheid gebruikt te worden.

Onderbrekingen

Door technische problemen gebeurt het wel eens dat een toestel gedurende een periode enkele of alle parameters niet correct meet. In onderstaande tabel (Tabel 10) wordt een overzicht gegeven van de periodes waarin problemen optraden met de meetapparatuur en er dus geen data zijn. De belangrijkste punten zijn:

1. Omwille van de vernieuwing van de drijvende infrastructuur, werd de meetpost te **Driegoten** op 11/05/2016 gededemonteerd. In de loop van 2017 zal deze meetpost opnieuw geïnstalleerd worden, weliswaar aan het tegenoverliggende ponton te Weert.
2. In het kader van de optimalisatie van het meetnet, werd ter hoogte van **Oosterweel** op 24 maart 2016 het **onderste** toestel verwijderd. Hierdoor zal de beschikbare tijdreeks slechts 3 maanden beslaan.
3. In oktober 2015 werd een multi-parameter sonde te **Kruike** geïnstalleerd. Dit toestel werd eerder reeds door de Universiteit van Antwerpen uitgebouwd, maar maakt sinds 2016 volwaardig deel uit van de MONEOS-posten van het WL.

Tabel 10 - Overzicht van periodes waarin de respectievelijke toestellen geen metingen konden registreren (2016)

Meetlocatie	Start periode zonder metingen	Stop periode zonder metingen	Duur (dagen)	Reden
Lillo Meetpaal Boven	26/01/2016 09/05/2016	11/02/2016 17/05/2016	17 9	Technische problemen
Lillo Meetpaal Onder	26/01/2016 24/03/2016	11/02/2016 13/07/2016	17 112	Technische problemen
Liefkenshoek	22/04/2016	09/09/2016	141	Kapotte druksensor
Oosterweel Boven	01/01/2016	24/03/2016	83	Defect toestel
Oosterweel Onder	24/03/2016	N.A.	N.A.	Verplaatsing naar Oosterweel Boven
Kruike	01/01/2016	31/12/2016	365	Onbetrouwbare pH-meting
Driegoten	11/05/2016	N.A.	N.A.	Afbraak meetpost

⁵ Bij een drijvende opstelling bevindt de sensor zich op een vaste (relatieve) positie onder het wateroppervlak. De getijdewerking maakt het onmogelijk om de absolute positie van de sensor af te leiden.

4.1.2 Verloop van stroomsnelheid

Karakteristieke parameters

Naast de stroomrichting wordt ter hoogte van Lillo Meetpaal, 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), worden aanvullend **13u-metingen** uitgevoerd (zie §4.5).

Aangezien de stroomsnelheid rond het moment van de kenteringen naar nul terugvalt, zijn vooral de gemiddelde en maximale stroomsnelheden tijdens vloed en eb interessante afgeleiden om te presenteren. Bij springtij zijn ze groter dan bij gemiddeld getij die dan weer groter zijn dan bij doortij. Bij stormtij kunnen de stroomsnelheden nog beduidend groter zijn.

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 27 geeft een samenvatting voor alle meetlocaties door middel van boxplots.

Figuur 28 tot en met Figuur 37 tonen resp. de gemiddelde stroomsnelheden (Figuur 28 t.e.m. Figuur 32) bij vloed en bij eb, en de maximale (Figuur 33 t.e.m. Figuur 37) stroomsnelheden bij vloed en bij eb en dit voor resp. de locaties Lillo Meetpaal, Oosterweel en Driegoten. Wat betreft de meetlocaties te Lillo Meetpaal 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 doortij/middeltij/springtij te herkennen. De variatie tijdens deze cyclus is vooral erg groot tijdens de maximale vloedstroming.

Aan Meetpaal Lillo zijn er uitgesproken verschillen tussen de stroomsnelheden bij vloed en deze bij eb. Voor het bovenste toestel (Figuur 28) worden hier snelheden bij vloed gemeten van 0,4-0,8 m/s, voor het onderste toestel (Figuur 29) liggen deze rond 0,4 – 0,7 m/s. Bij eb worden snelheden rond 0,2-0,35 m/s gemeten aan het bovenste toestel, en snelheden rond 0,25-0,4 m/s onderaan. De stroming is hier dus duidelijk vloedgedomineerd.

De maximale snelheden (Figuur 33 en Figuur 34) op deze locatie vertonen eenzelfde trend: de maximale stroomsnelheden bij vloed zijn groter dan deze bij eb. Maximum stroomsnelheden bij vloed gaan hier van 0,75 à 1,8 m/s en bij eb gaat het van 0,5 tot 0,85 m/s. Bij het onderste toestel liggen de vloedsnelheden tussen 0,6 en 1,6 m/s, de ebsnelheden liggen tussen 0,3 en 0,6.

Te Oosterweel liggen (per meethoogte) de gemiddelde stroomsnelheden over vloed en over eb dichter bij elkaar dan in Lillo; de gemiddelde ebsnelheden variëren tussen 0,4 en 0,5 m/s voor het toestel vlak boven de bodem, de gemiddelde vloedsnelheden variëren hier tussen 0,5 en 0,7 m/s (Figuur 31). De metingen beperken zich hier wel tot een zeer korte periode. Voor het toestel net onder laagwaterpeil (Figuur 30) zijn metingen beschikbaar over bijna het volledige jaar: hier variëren de gemiddelde snelheden bij eb tussen 0,55 en 0,9 m/s, bij vloed tussen 0,5 en 0,75 m/s. De maximale ebsnelheden bij de bodem liggen tussen 0,6 en 0,75 m/s, de maximale vloedsnelheden tussen 0,75 en 1,4 m/s. Bij het bovenste toestel zijn eb- en vloedsnelheden gemiddeld gezien ongeveer gelijk, alleen is de spreiding van de vloedsnelheden groter (van 0,7 tot 1,4 m/s) dan die van de ebsnelheden (van 0,8 tot 1,2 m/s).

Wat betreft de stroomsnelheden te Driegoten is zowel de gemiddelde als de maximale stroomsnelheid bij eb groter dan deze bij vloed. De gemiddelde stroomsnelheden (Figuur 32) schommelen hierbij rond 0,5-0,75 m/s bij eb en rond 0,3 m/s bij vloed. De maximale stroomsnelheden (Figuur 37) variëren van 0,75-1 m/s bij eb en van 0,35-0,8 m/s over vloed.

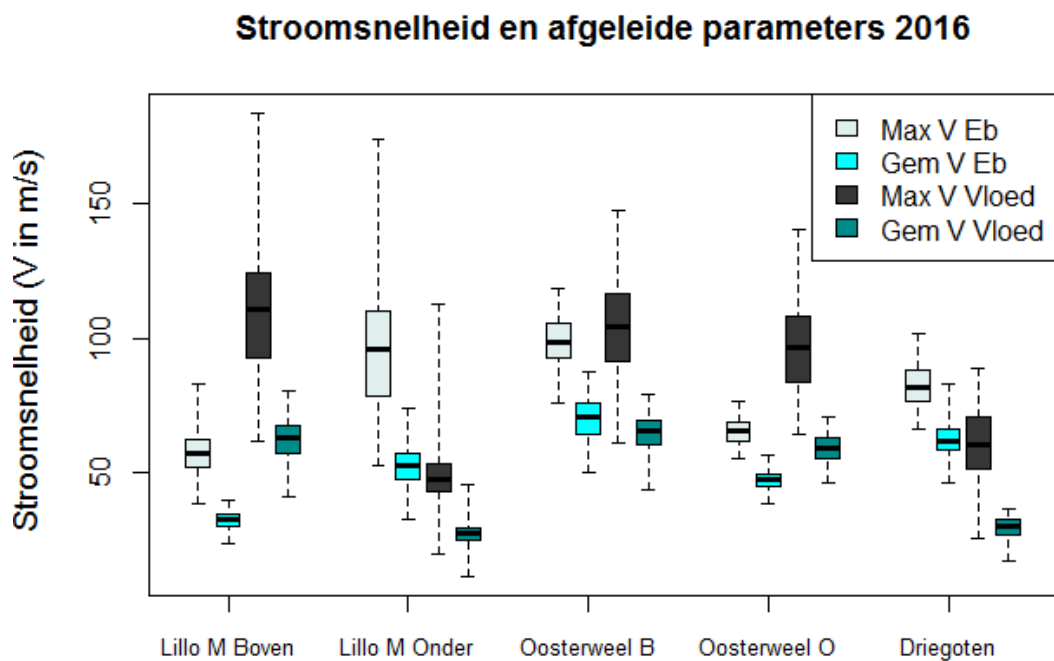
Tot slot, Tabel 11 geeft bij wijze van overzicht de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de gemiddelde en de maximale stroomsnelheid over vloed en over eb voor de verschillende Aanderaa metingen in de Zeeschelde. Deze waarden tonen eveneens de vloed-dominantie stroomafwaarts ter hoogte van Meetpaal Lillo, ten opzichte van de ebdominantie van de stroming ter hoogte van Driegoten. Dit is onder meer te wijten aan de situering van het meetpunt binnen de dwarsdoorsnede.

Tabel 11 - Overzicht statistieken voor de gemiddelde en maximale stroomsnelheid over eb en over vloed gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde (2016).

	Gemiddelde snelheid over eb (m/s)				Gemiddelde snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Lillo Meetpaal boven	0.24	0.32	0.40	0.03	0.41	0.62	0.80	0.07
<i>Lillo Meetpaal onder</i>	<i>0.33</i>	<i>0.52</i>	<i>0.74</i>	<i>0.08</i>	<i>0.11</i>	<i>0.28</i>	<i>0.45</i>	<i>0.05</i>
Oosterweel boven	0.50	0.70	0.88	0.08	0.44	0.64	0.79	0.06
<i>Oosterweel onder</i>	<i>0.38</i>	<i>0.47</i>	<i>0.56</i>	<i>0.04</i>	<i>0.46</i>	<i>0.59</i>	<i>0.71</i>	<i>0.06</i>
<i>Driegoten</i>	<i>0.46</i>	<i>0.63</i>	<i>0.83</i>	<i>0.06</i>	<i>0.17</i>	<i>0.29</i>	<i>0.36</i>	<i>0.04</i>
	Maximale snelheid over eb (m/s)				Maximale snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Lillo Meetpaal boven	0.38	0.58	0.83	0.08	0.61	1.10	1.84	0.22
<i>Lillo Meetpaal onder</i>	<i>0.52</i>	<i>0.96</i>	<i>1.74</i>	<i>0.23</i>	<i>0.20</i>	<i>0.49</i>	<i>1.13</i>	<i>0.10</i>
Oosterweel boven	0.76	0.99	1.19	0.08	0.61	1.04	1.47	0.17
<i>Oosterweel onder</i>	<i>0.55</i>	<i>0.65</i>	<i>0.76</i>	<i>0.05</i>	<i>0.64</i>	<i>0.96</i>	<i>1.41</i>	<i>0.17</i>
<i>Driegoten</i>	<i>0.66</i>	<i>0.82</i>	<i>1.02</i>	<i>0.08</i>	<i>0.25</i>	<i>0.60</i>	<i>0.89</i>	<i>0.13</i>

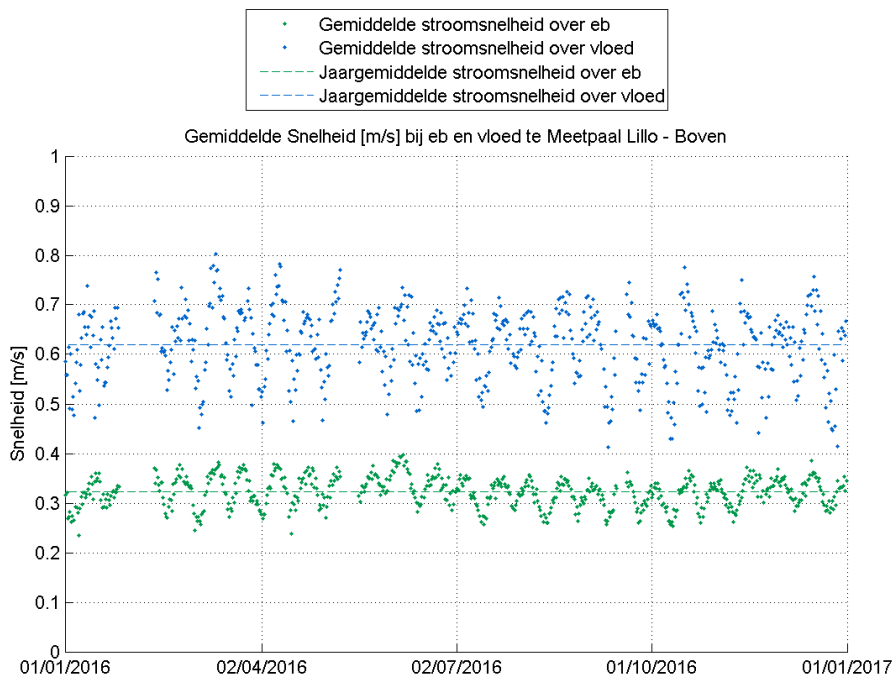
Voor een aantal stations (*cursief en onderlijnd*) werd er gedurende een langere periode geen en/of foute metingen geregistreerd (zie ook Tabel 10). Voor deze stations zijn de statistieken dus berekend op een onvolledig jaar en geven deze mogelijk een vertekend beeld.

Figuur 27 – Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid over vloed en over eb, gemeten door de verschillende Aanderaa toestellen op locaties in de Zeeschelde (2016).

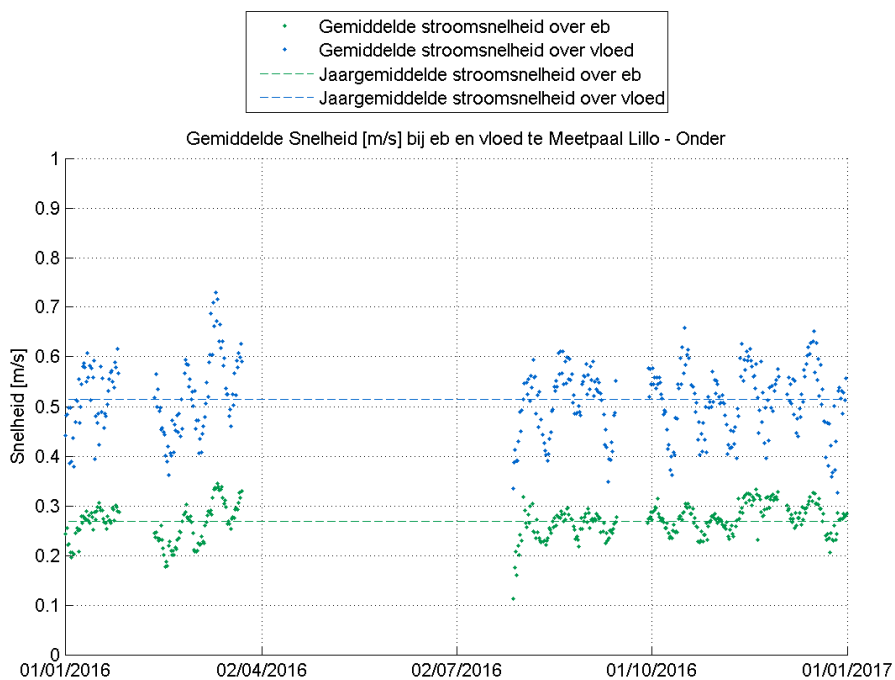


Merk op: Driegoten en Oosterweel Onder werden afgebroken in het voorjaar van 2016. De statistieken zijn hier dus berekend op een onvolledig jaar. Ook bij meetpaal Lillo (Onder) werd de meting onderbroken voor een langere periode.

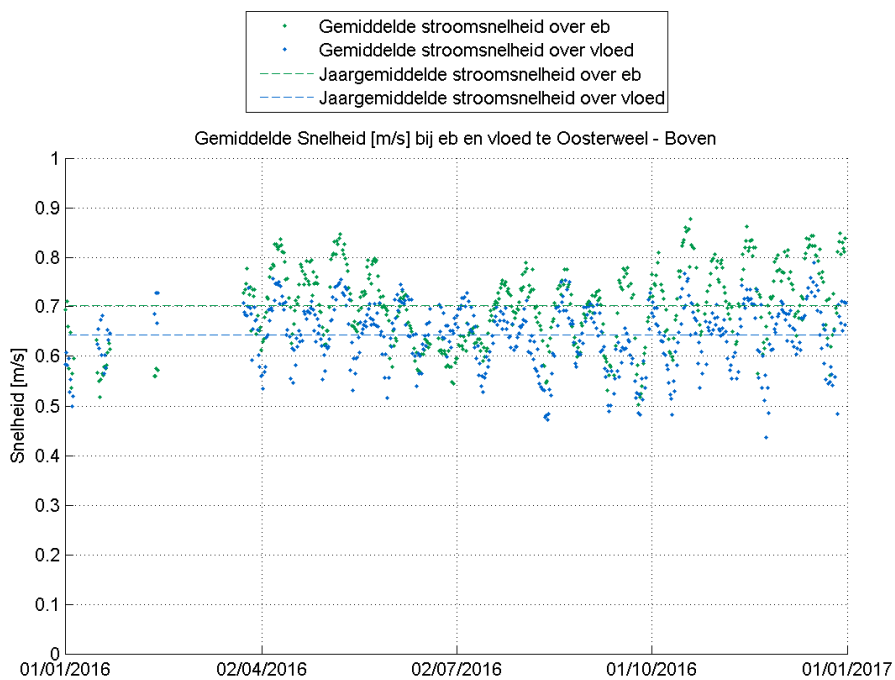
Figuur 28– Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel



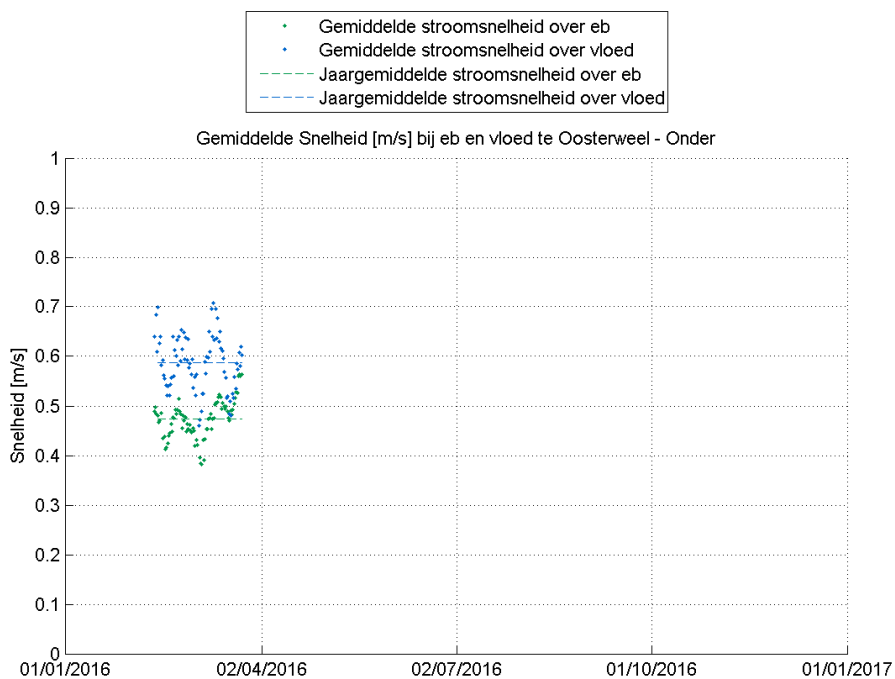
Figuur 29 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel



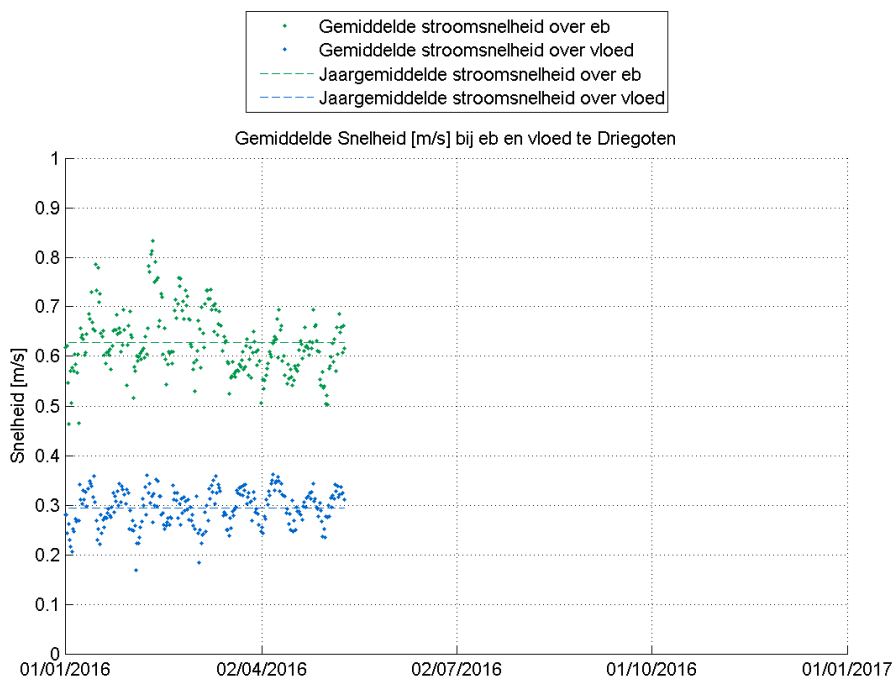
Figuur 30 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, bovenste meettoestel



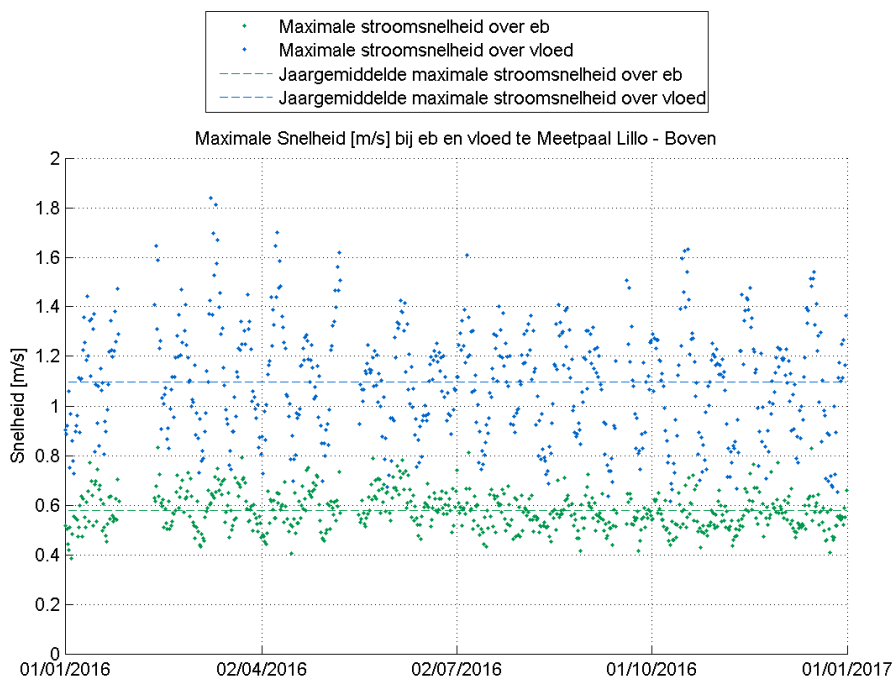
Figuur 31 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, onderste meettoestel



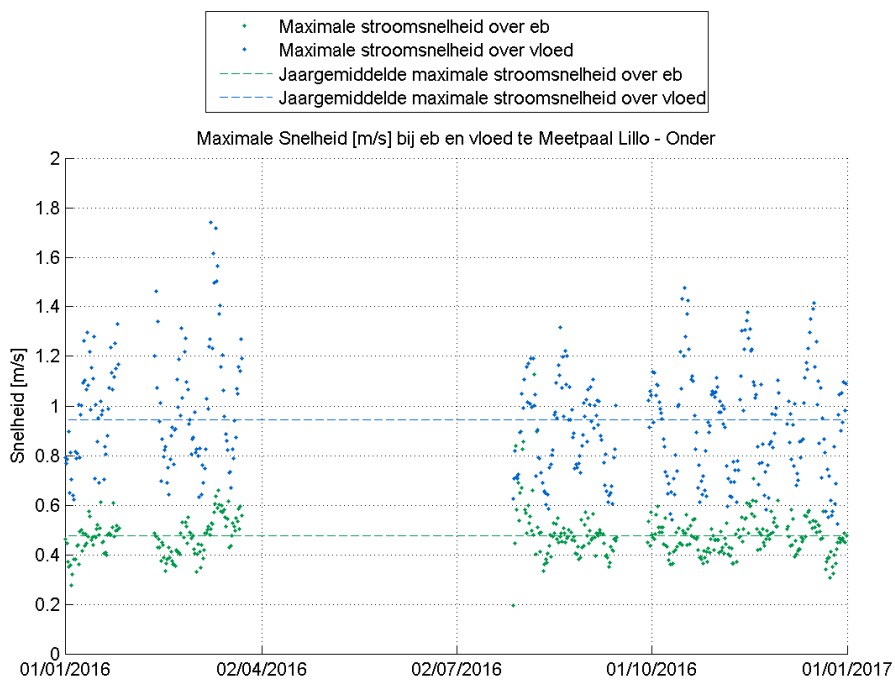
Figuur 32 – Gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten



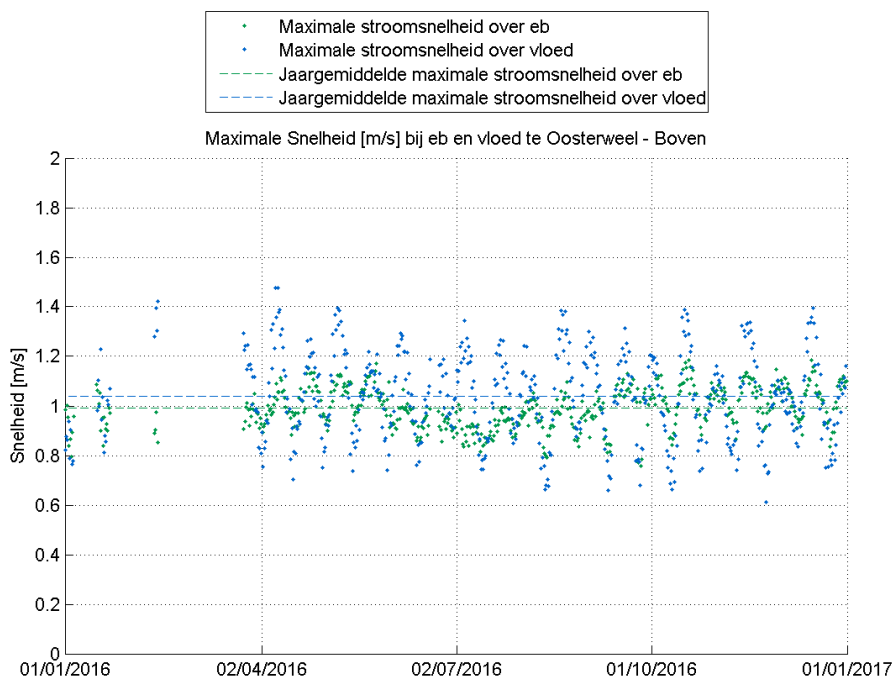
Figuur 33 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo bovenste meettoestel



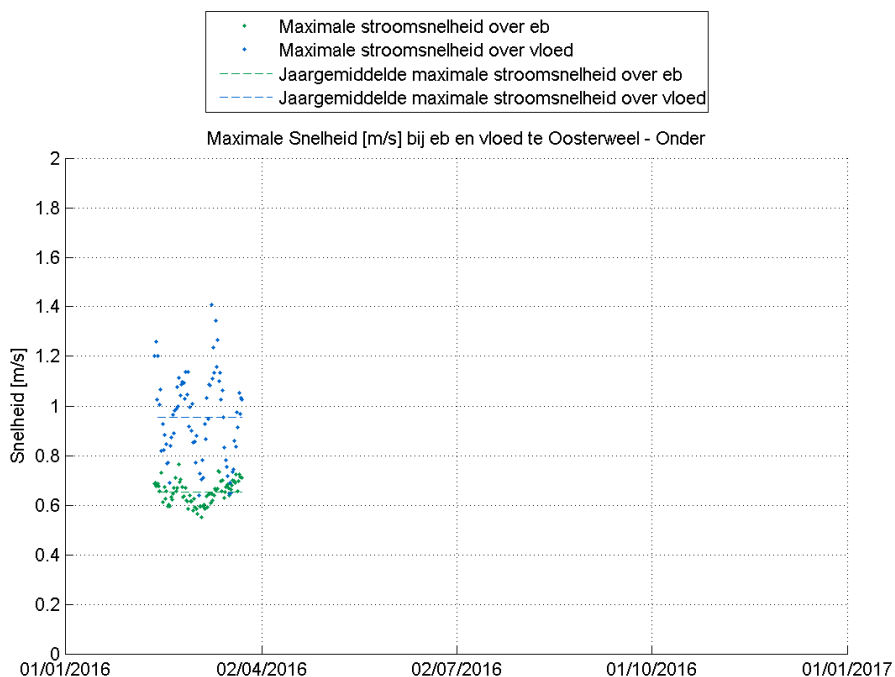
Figuur 34 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Meetpaal Lillo onderste meettoestel



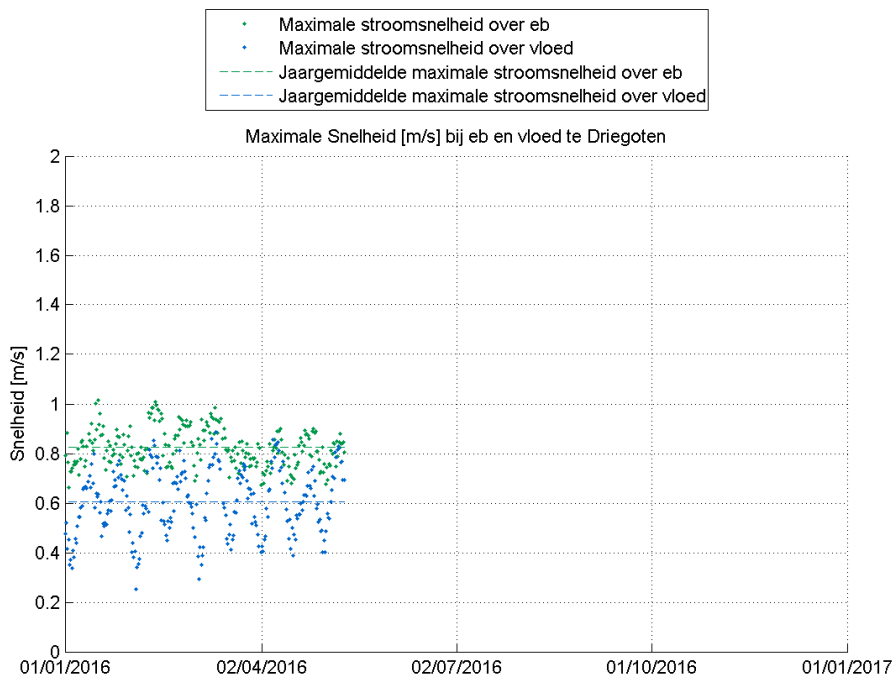
Figuur 35 - Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel bovenste meettoestel



Figuur 36 – Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Oosterweel, onderste meettoestel



Figuur 37 – Maximale stroomsnelheid over vloed en over eb te Driegoten



Ensemble analyse

De continue metingen laten toe het karakteristiek verloop van de stroomsnelheid gedurende een getijcyclus te bepalen. In het kader van dit MONEOS-jaarboek is een methodiek uitgewerkt waarbij een ensemble-analyse uitgevoerd wordt op de gemeten stroomsnelheden. Hierbij worden volgende stappen gevolgd:

1. Selectie van getijden op basis van de karakteristieken te Antwerpen-Loodsgebouw
 - a. Doodtij: getijverschil < P10 van getijverschillen 2016
 - b. Gemiddeld getij: getijverschil > P45 en < P55 van getijverschillen 2016
 - c. Springtij: getijverschil > P90 van getijverschillen 2016Merk op dat deze indeling afwijkt van de standaard definitie van spring- en doottij, doch dat deze methodiek omwille van pragmatiek werd gekozen.
2. Voor de geselecteerde getijden worden de gemeten stroomsnelheden geselecteerd en wordt het tijdstip omgevormd tot een tijdstip ten opzichte van hoogwater op de meetlocatie. Deze selectie levert een reeks van snelheidsverlopen in de tijd (“ensemble”)
3. Van de ensembles wordt voor elke tijdstap van 10 minuten dat P10, P50 en P90 waarde bepaald

Figuur 38 tot en met Figuur 46 geven voor de meetlocaties Lillo Meetpaal, Oosterweel en Driegoten het karakteristieke verloop van de snelheid weer, telkens voor doottij, gemiddeld tij en springtij. Om de recente ontwikkelingen te kunnen nagaan worden eveneens de P10, P50 en P90 waarden getoond voor de vorige 2 jaren (in casu 2014 en 2015).

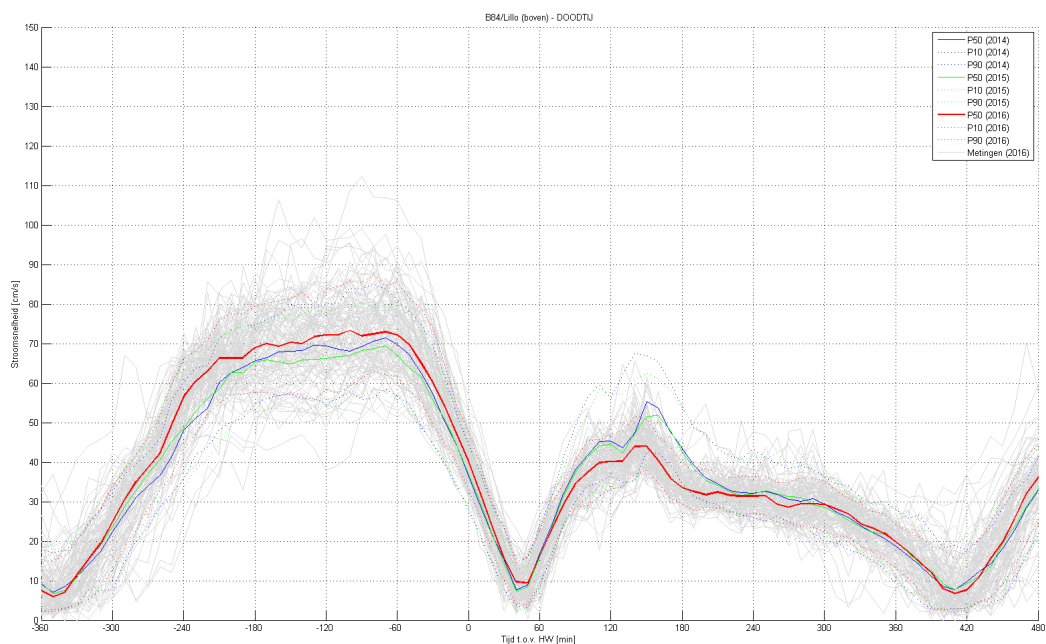
Voor meetpaal Lillo (Figuur 38 t.e.m. Figuur 40) blijkt dat de snelheden tijdens de vloedfase hoger zijn dan tijdens de ebfase. Figuur 38 geeft de resultaten weer voor doottij. Voor de drie opeenvolgende jaren wordt de P50 van de snelheid bij doottij weergegeven in kleur. Hieruit blijkt dat de stroomsnelheid bij vloed in 2016 het hoogst is, gevolgd door de snelheid in 2014. In 2015 was de snelheid bij vloed het laagst. Voor de ebfase was de snelheid in 2014 het hoogst, gevolgd door die in 2015. De snelheid was het laagst in 2016. Figuur 39 en Figuur 40 (gemiddeld tij en springtij) geven dezelfde verhouding weer van de snelheden, dus in 2016 ligt de snelheid tijdens de vloedfase hoger dan de voorgaande jaren, terwijl ze tijdens de ebfase lager ligt. De locatiewijziging van de meetlocatie Boei 84 => Boei 82 (september 2011) en Boei82 => meetpaal Lillo (30 september 2015) kan aan de oorzaak liggen van de veranderingen in het karakteristiek verloop van de snelheid.

In Oosterweel zijn de snelheden bij vloed en bij eb van dezelfde grootteorde. Zowel bij doottij (Figuur 41), gemiddeld tij (Figuur 42), als springtij (Figuur 43) is de snelheid het hoogst in 2016, zowel bij eb als bij vloed. De snelheden in 2014 zijn het laagst, enkel bij het begin van de eb is de snelheid in 2015 iets lager dan in 2014. De verschillen zijn echter beperkt en de waarde van 2016 ligt ruim binnen de P10-P90-band.

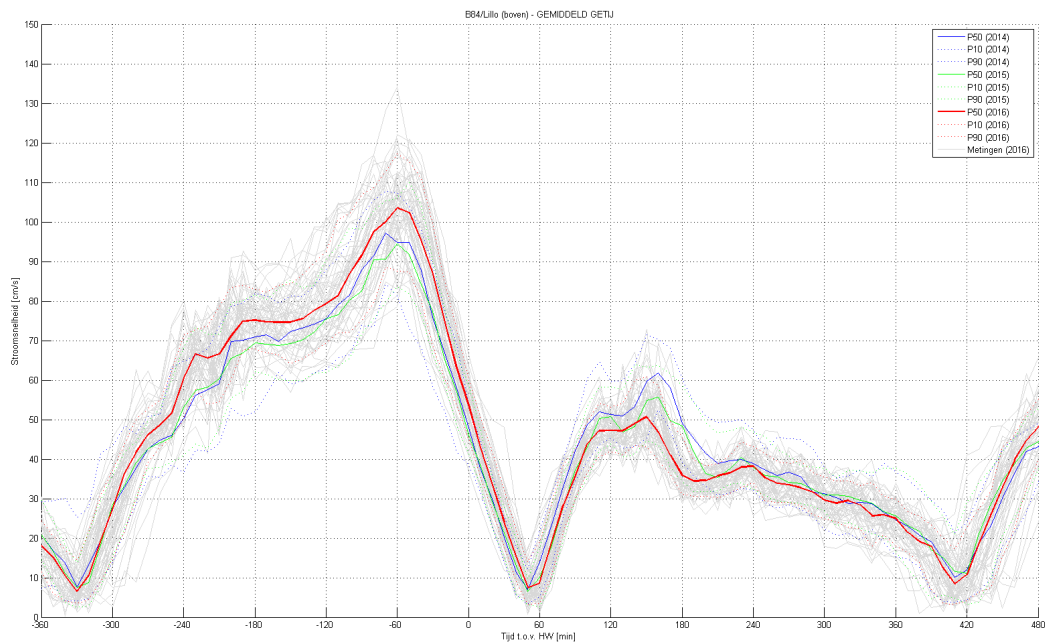
In Driegoten zijn de ebsnelheden hoger dan de vloodsnelheden, vooral bij doottij. Hier zijn bij doottij de vloodsnelheden quasi gelijk in de opeenvolgende jaren (Figuur 44), bij eb is het begin van de ebfase de snelheid voor 2016 iets lager dan die in de voorgaande jaren, aan het eind van de ebfase is dit omgekeerd. Ook bij gemiddeld tijd en springtij (Figuur 45 en Figuur 46) liggen de snelheden in de opeenvolgende jaren zeer dicht bij elkaar. Bij springtij is de vloodsnelheid in 2016 iets hoger dan in 2014 en 2015, maar de ebfase is zeer gelijkend (iets hogere snelheid op het eind van de ebfase in 2016). De verschillen zijn echter beperkt en de waarde van 2016 ligt ruim binnen de P10-P90-band.

Aanbeveling: Om meer inzicht te krijgen in de potentiële oorzaken van de veranderingen in het stroomsnelheidsverloop, verdient het zeker de aanbeveling om de eventuele veranderingen in de (lokale) morfologie mee te beschouwen. Uit eerdere studies (Plancke et al., 2012; Vandenbruwaene, 2012) is gebleken dat de morfologie een effect kan hebben op zowel de getijvoortplanting als de stroomsnelheidspatronen.

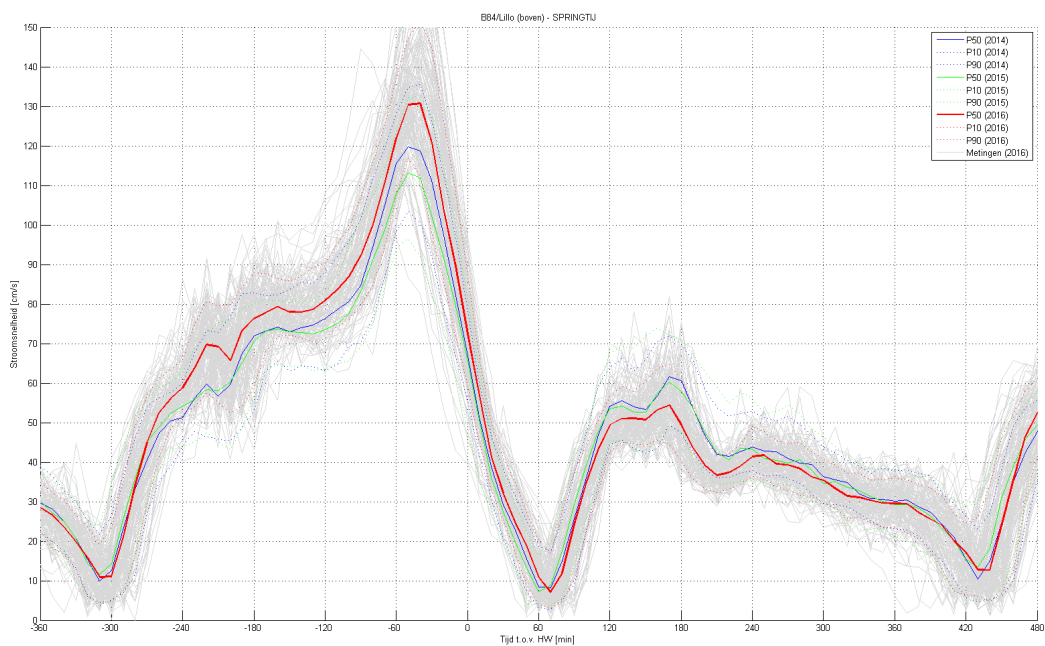
Figuur 38 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



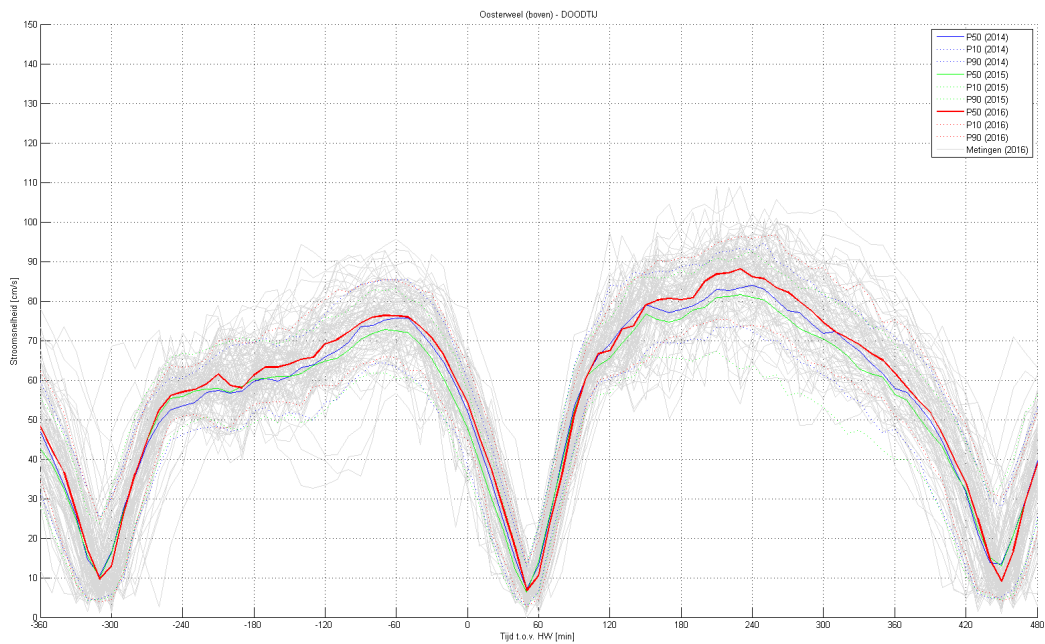
Figuur 39 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



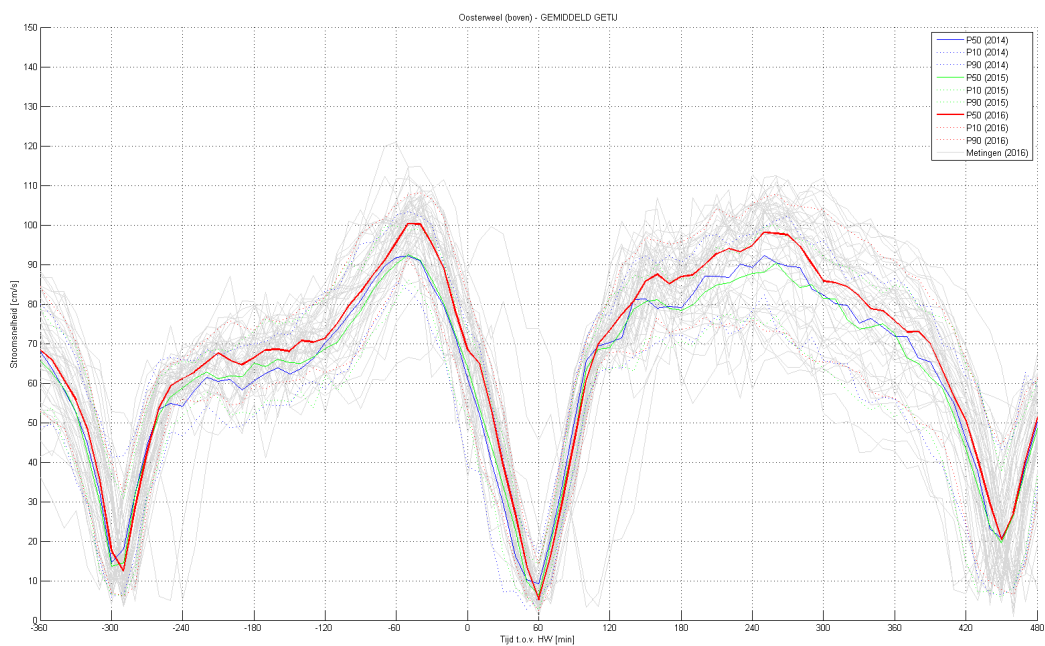
Figuur 40 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Meetpaal Lillo (bovenste meettoestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



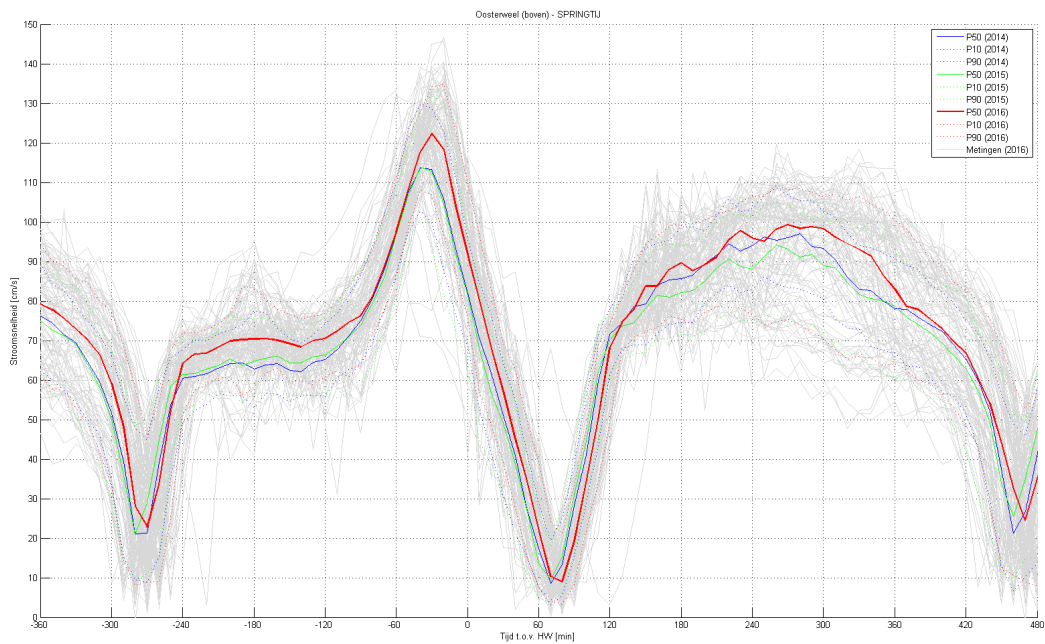
Figuur 41 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



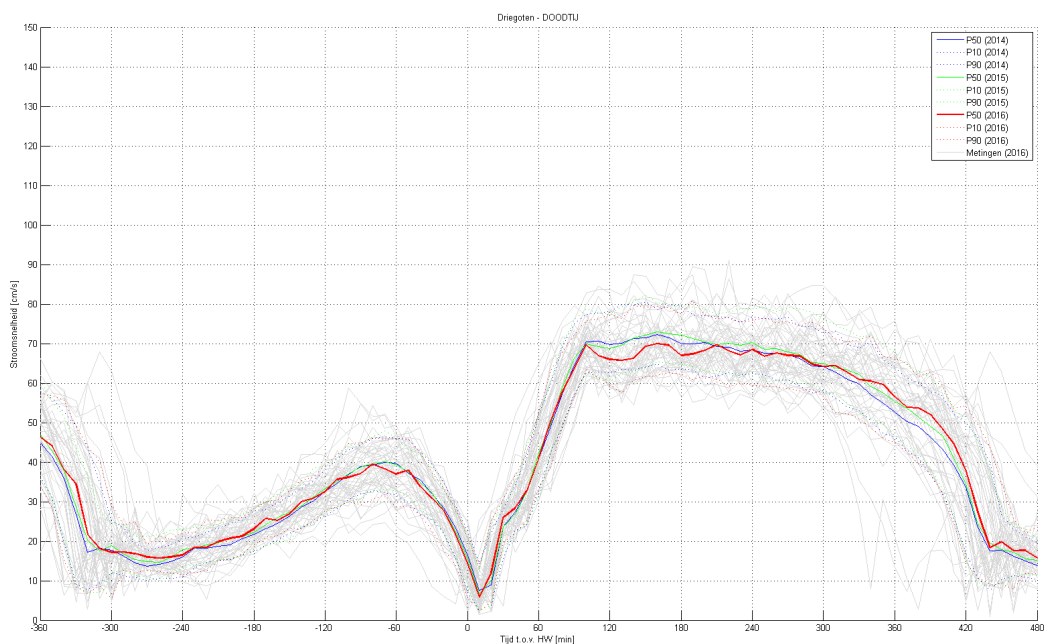
Figuur 42 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



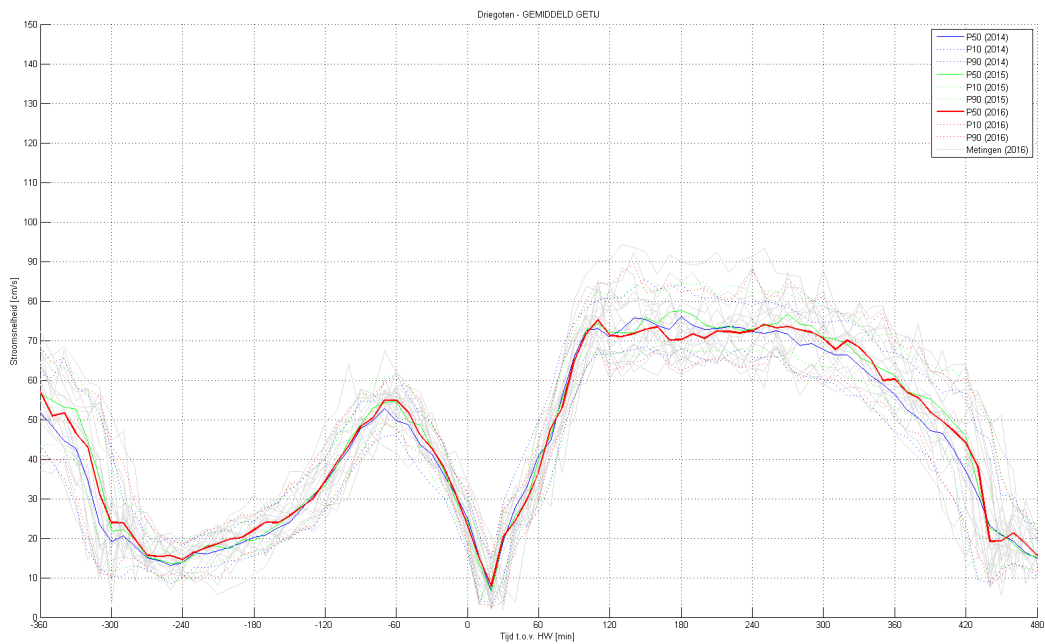
Figuur 43 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



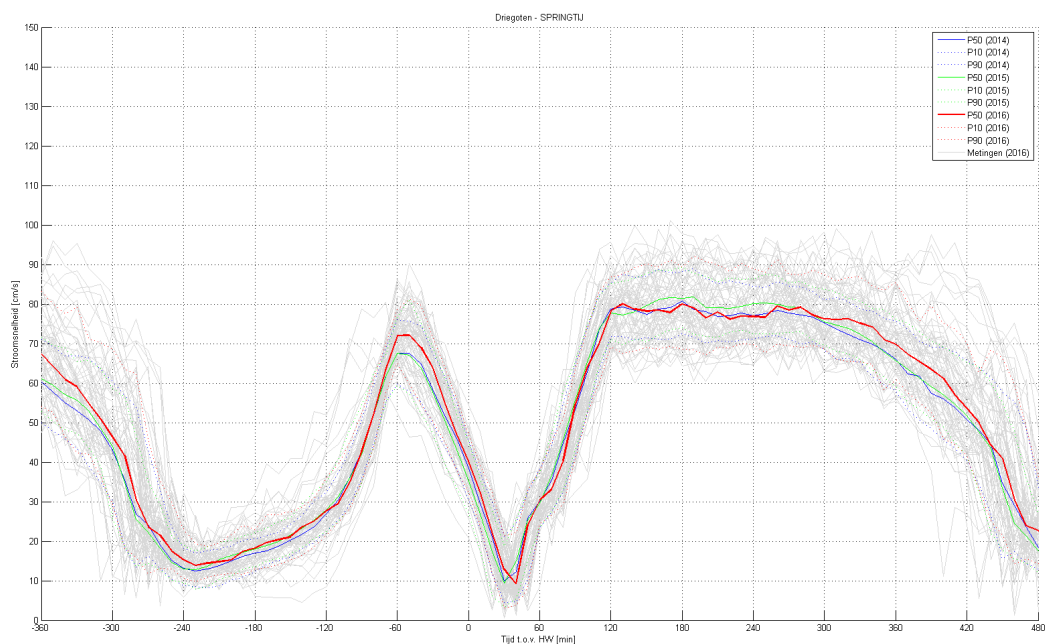
Figuur 44 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doottij ter hoogte van Driegoten
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



Figuur 45 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Driegoten
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



Figuur 46 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Driegoten
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [minuten] | y-as = stroomsnelheid [cm/s])



4.1.3 Verloop temperatuur

Zowel te Prosperpolder, Lillo Meetpaal, Liefkenshoek, Oosterweel, Hemiksem, Driegoten, Melle en Duffel-sluis wordt de watertemperatuur op continue wijze gemeten. Hierna wordt voor deze meetlocaties het verloop van de temperatuur in 2016 gerapporteerd.

Voor de meetlocaties waar de Aanderaa-toestellen de snelheidsrichting meten (Lillo Meetpaal, Oosterweel en Driegoten), zijn op basis van deze richting het moment van KHW en KLW afgeleid. Voor de locaties Prosperpolder, Liefkenshoek en Hemiksem werd het moment van kentering bepaald aan de hand van de hoog- en laagwater tijdreeksen van een tijpost op dezelfde of nabijgelegen locatie en de conductiviteit op de desbetreffende locatie. Een derde methode die wordt gehanteerd om het moment van kentering af te bakenen gebruikt het gemeten debiet aan de meetposten. Deze methode wordt gebruikt bij de gegevens van Melle en Duffel-sluis. 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 meting van watertemperatuur is de aanwezigheid van twee of meer metingen over de verticaal (te Lillo Meetpaal 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 getij, 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 temperatuur in de Beneden-Zeeschelde, net zoals de saliniteit, te bepalen bij de momenten van kentering. De posten meer stroomafwaarts zullen meer onderhevig zijn aan de bufferende werking van het zeewater, terwijl de posten meer stroomopwaarts en aan de bovenlopen meer onderhevig zijn aan de grillige temperaturen van de veranderende bovenafvoer.

Figuur 48 tot en met Figuur 58 geven het temperatuursverloop in 2016 bij KHW en KLW weer voor alle locaties. 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, klassiek de koudste periode van het jaar (temperatuur ijlt na op de zonneposities). Het maximum wordt bereikt in juli, en zet zich door tot eind september.

Het temperatuursverloop aan Prosperpolder (Figuur 48) en Meetpaal Lillo (Figuur 49 en Figuur 50) toont dat het Schelde-water onafhankelijk van de seizoenen bijna altijd iets kouder is bij KHW dan bij KLW. Het temperatuurverschil is niet constant, en hangt af van enerzijds de seizoenen en anderzijds het tijverschil: hoe groter het tijverschil des te groter het verschil in temperatuur bij de kenteringen. Zo is te Prosperpolder (meest stroomafwaarts) het gemiddelde verschil in temperatuur bij KHW versus KLW 0,6 °C, terwijl dergelijk gemiddeld temperatuurverschil te Melle beperkt blijft tot gemiddeld <0,1°C.

Ook in Liefkenshoek (Figuur 51), Oosterweel (Figuur 52 en Figuur 53), Kruibeke (Figuur 54) en Hemiksem (Figuur 55) is eenzelfde verloop zichtbaar. Bij deze posten is in het voorjaar de temperatuur bij KHW lager dan bij KLW. Nabij Liefkenshoek en Oosterweel zijn de temperatuurverschillen tussen KLW en KHW het grootst in de winter, wanneer er warmer water vanuit de zee wordt aangevoerd tijdens KHW.

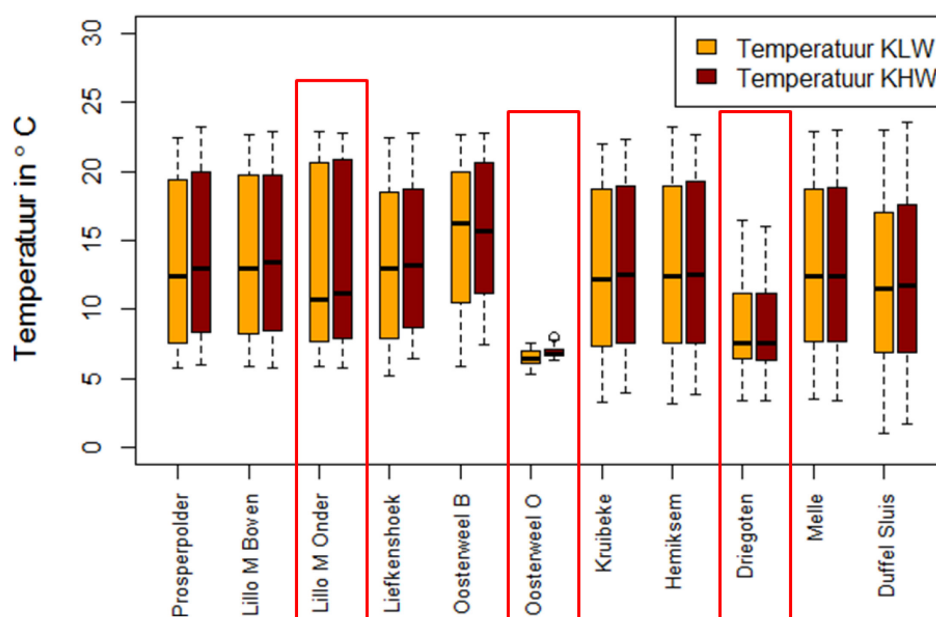
Te Driegoten en Melle (Figuur 56 en Figuur 57) is het verschil tussen temperatuur bij KHW en KLW amper merkbaar. Ook te Duffel-sluis (Figuur 58) is het verschil in watertemperatuur tijdens beide kenteringen miniem.

Tabel 12 - Overzicht statistieken voor de Extrema van temperatuur bij KHW en KLW gemeten op locaties met getijdewerking (2016).

	Temperatuur (°C) bij KLW				Temperatuur (°C) bij KHW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Prosperpolder	5.7	13.4	22.4	5.6	6.0	14.0	23.2	5.7
Lillo Meetpaal boven	5.9	13.9	22.6	5.6	5.7	14.1	22.9	5.7
<i>Lillo Meetpaal Onder</i>	<i>5.9</i>	<i>13.2</i>	<i>22.9</i>	<i>6.1</i>	<i>5.7</i>	<i>13.5</i>	<i>22.8</i>	<i>6.2</i>
Liefkenshoek	5.2	13.4	22.4	5.5	6.4	13.8	22.8	5.2
Oosterweel boven	5.9	15.0	22.7	5.4	7.4	15.6	22.8	5.1
<i>Oosterweel onder</i>	<i>5.3</i>	<i>6.5</i>	<i>7.6</i>	<i>0.6</i>	<i>6.3</i>	<i>6.9</i>	<i>8.0</i>	<i>0.4</i>
Kruikeke	3.2	12.9	22.0	5.7	3.9	13.1	22.3	5.6
Hemiksem	3.1	13.3	23.2	5.8	3.8	13.4	22.7	5.9
<i>Driegoten</i>	<i>3.4</i>	<i>8.5</i>	<i>16.4</i>	<i>2.9</i>	<i>3.4</i>	<i>8.4</i>	<i>16.0</i>	<i>2.8</i>
Melle	3.5	13.1	22.9	5.8	3.4	13.1	23.0	5.8
Duffel-sluis	1.0	12.0	23.0	5.7	1.7	12.2	23.6	5.8

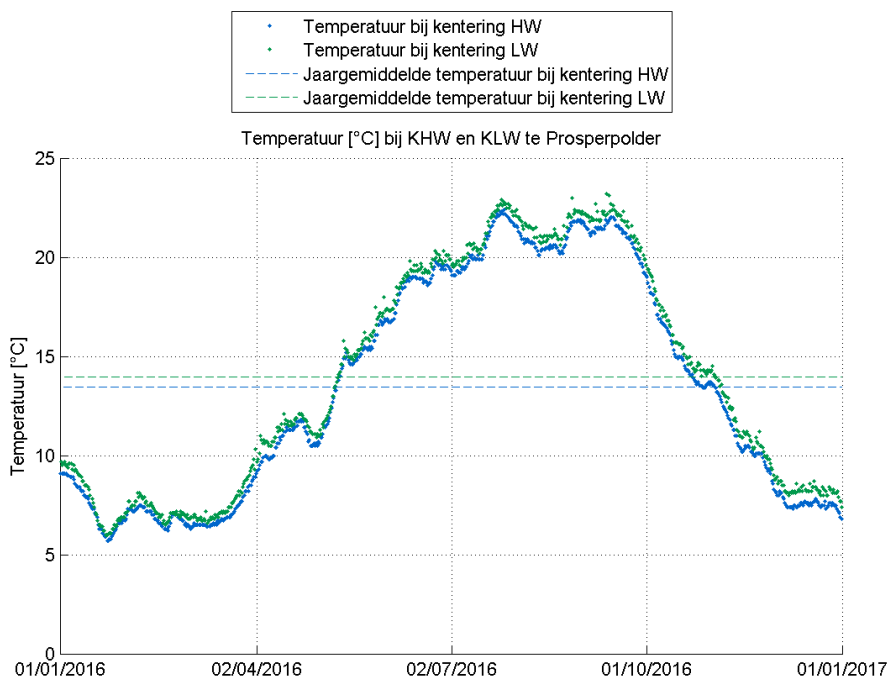
Voor een aantal stations (*cursief en onderlijnd*) werd er gedurende een langere periode geen en/of foute metingen geregistreerd (zie ook Tabel 10). Voor deze stations zijn de statistieken dus berekend op een onvolledig jaar en geven deze mogelijk een vertekend beeld.

Figuur 47 – Boxplot van de temperatuur bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2016).

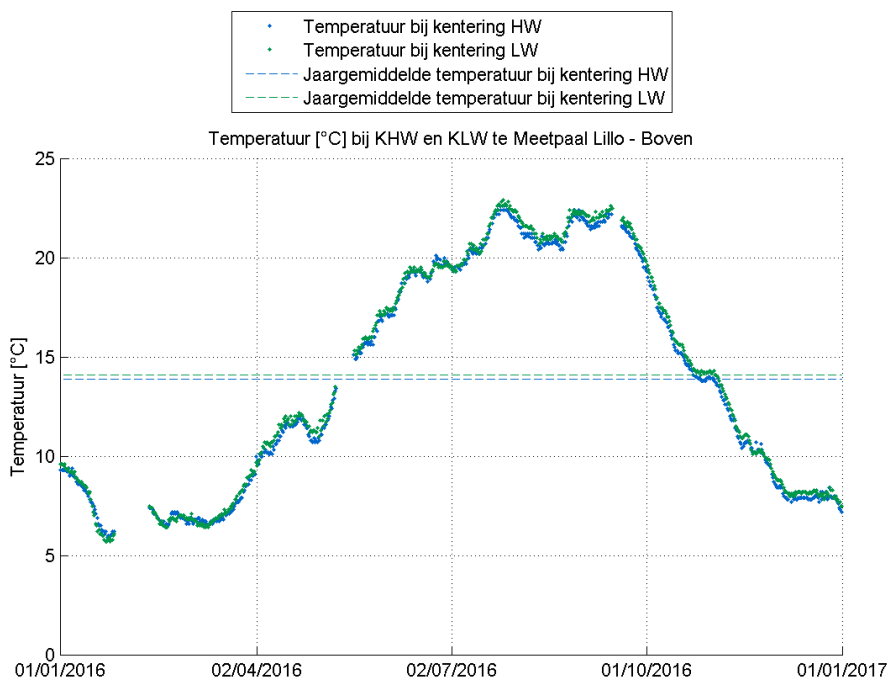


Merk op: Driegoten en Oosterweel Onder (rood kader) werden afgebroken in het voorjaar van 2016. De statistieken zijn hier dus berekend op een onvolledig jaar.

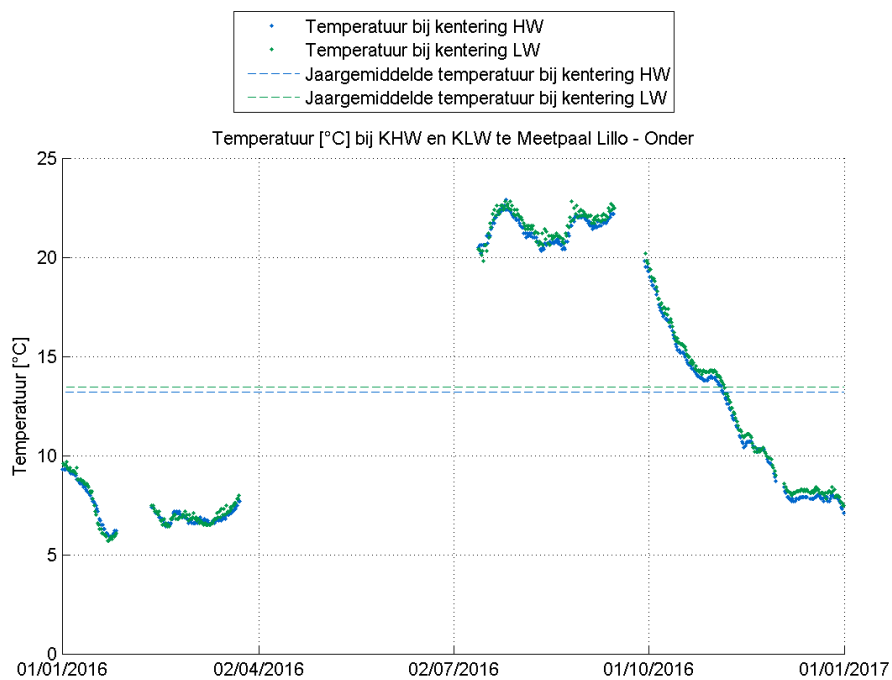
Figuur 48 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)



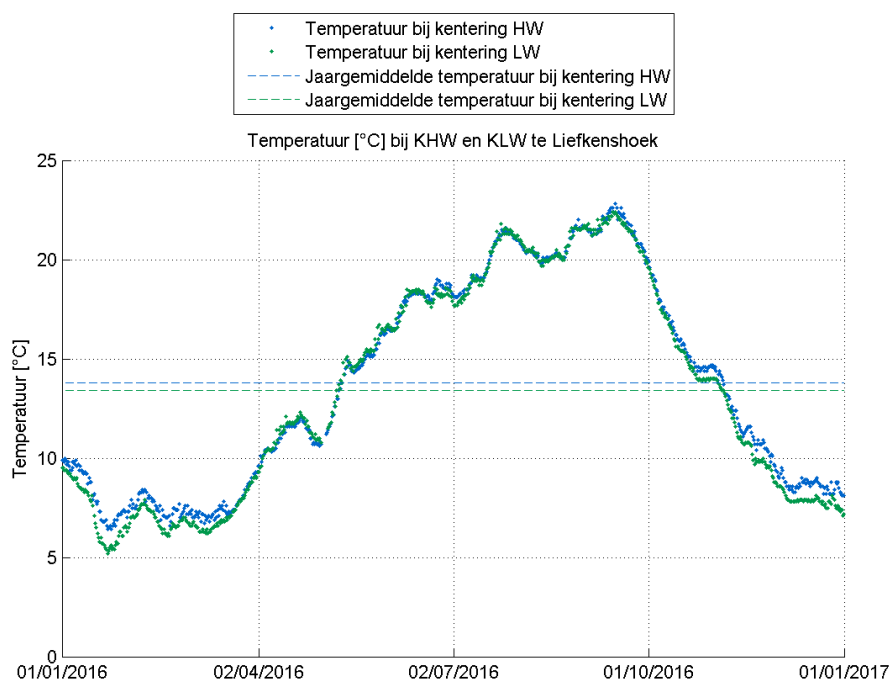
Figuur 49 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



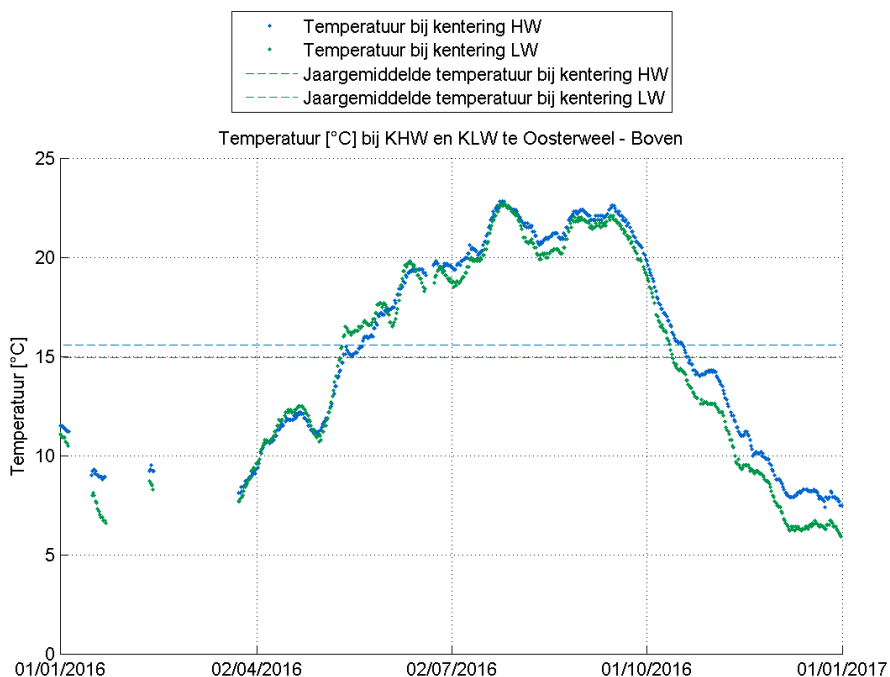
Figuur 50 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



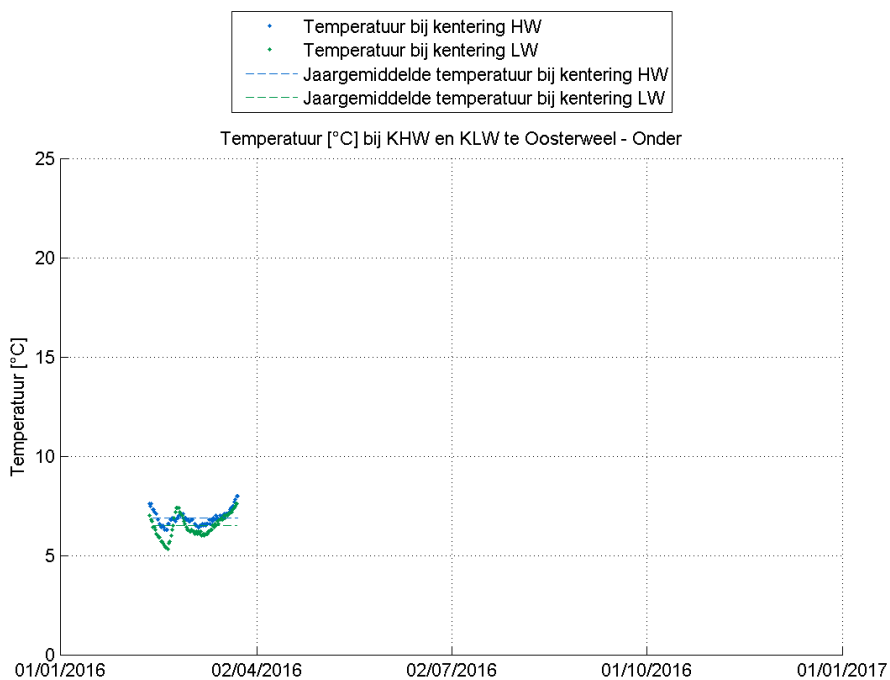
Figuur 51 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)



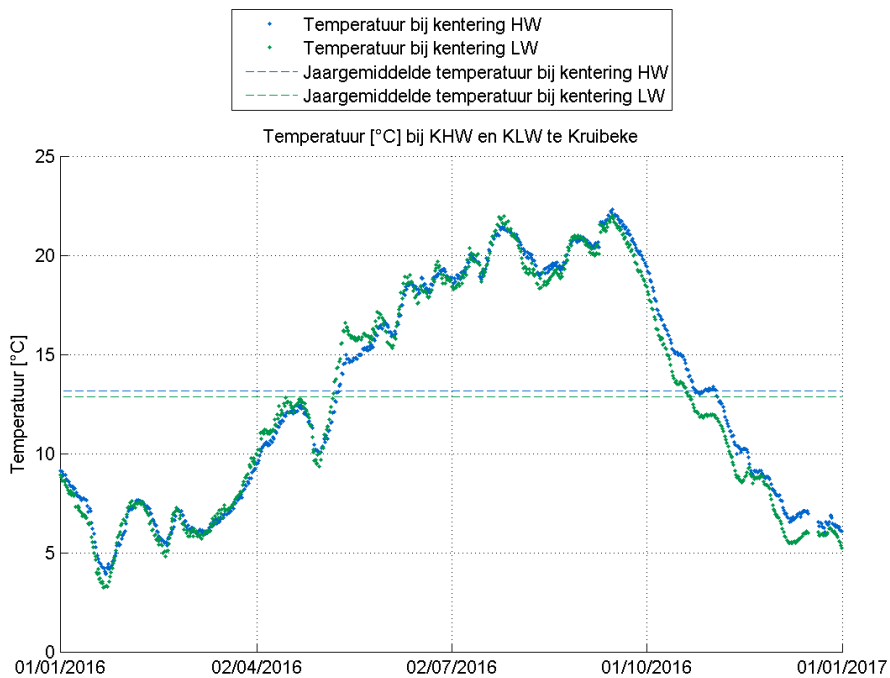
Figuur 52 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



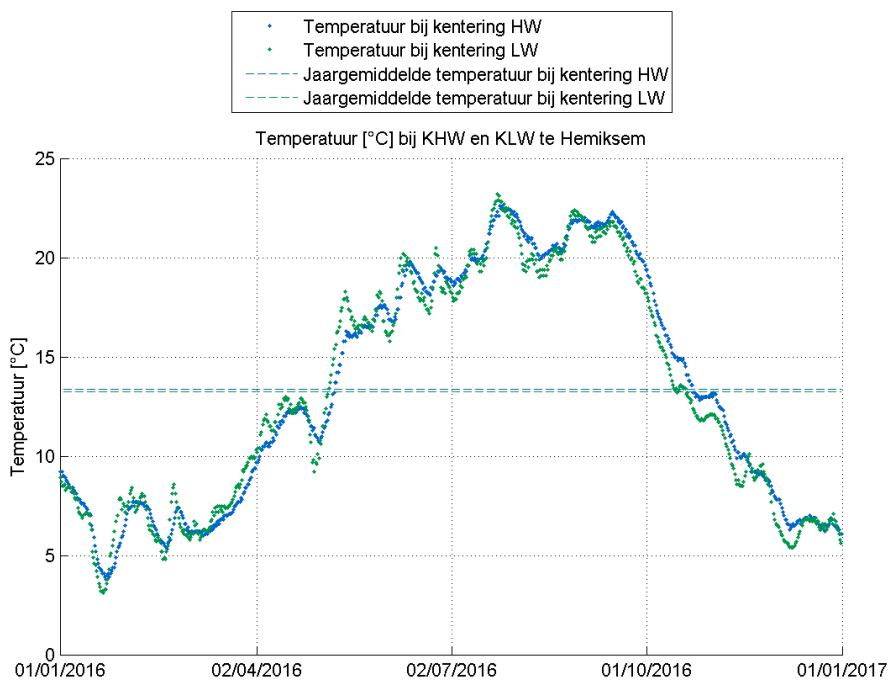
Figuur 53 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Oosterweel, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



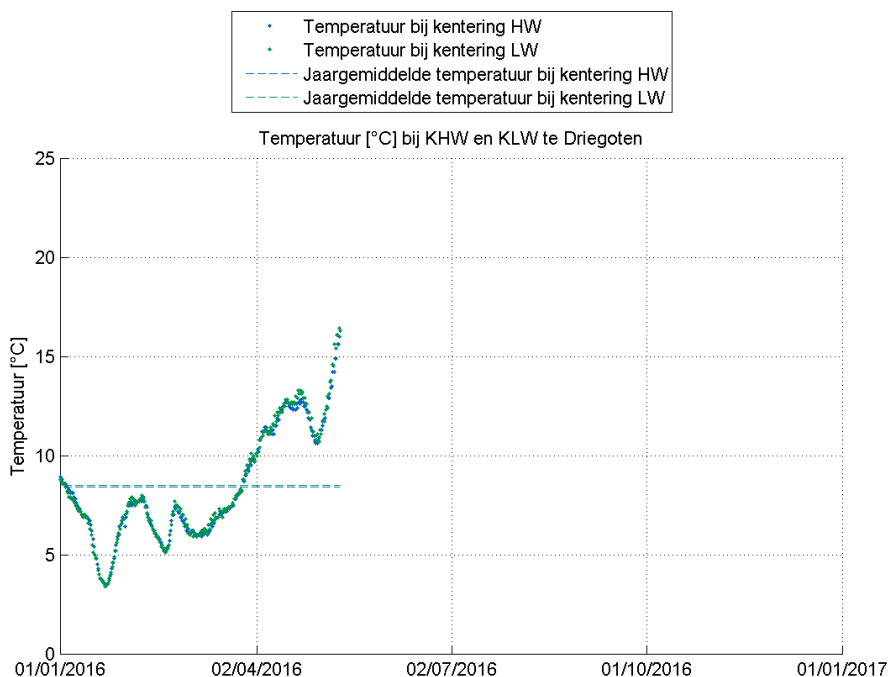
Figuur 54 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Kruike (Beneden-Zeeschelde)



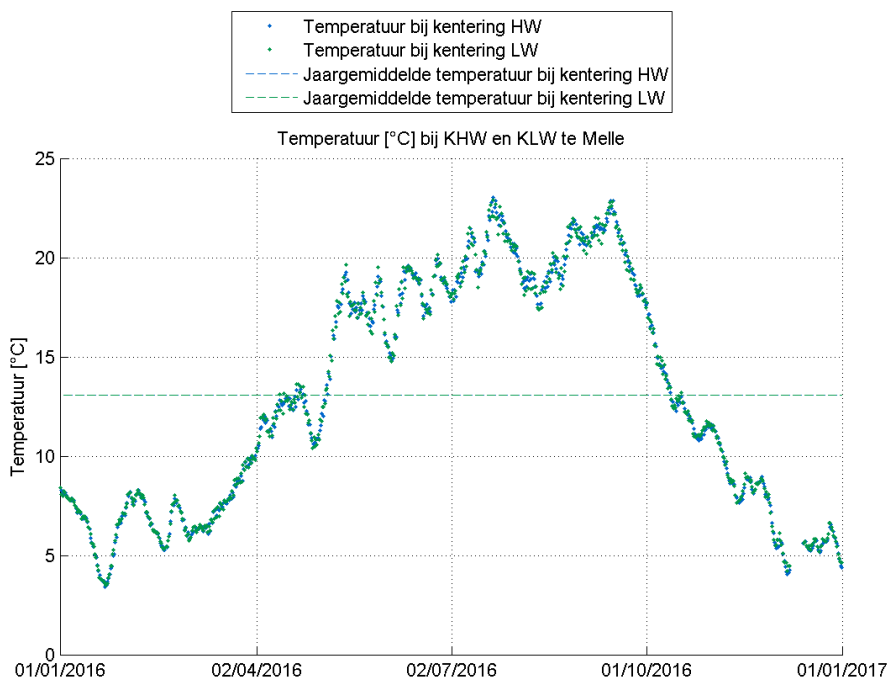
Figuur 55 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde)



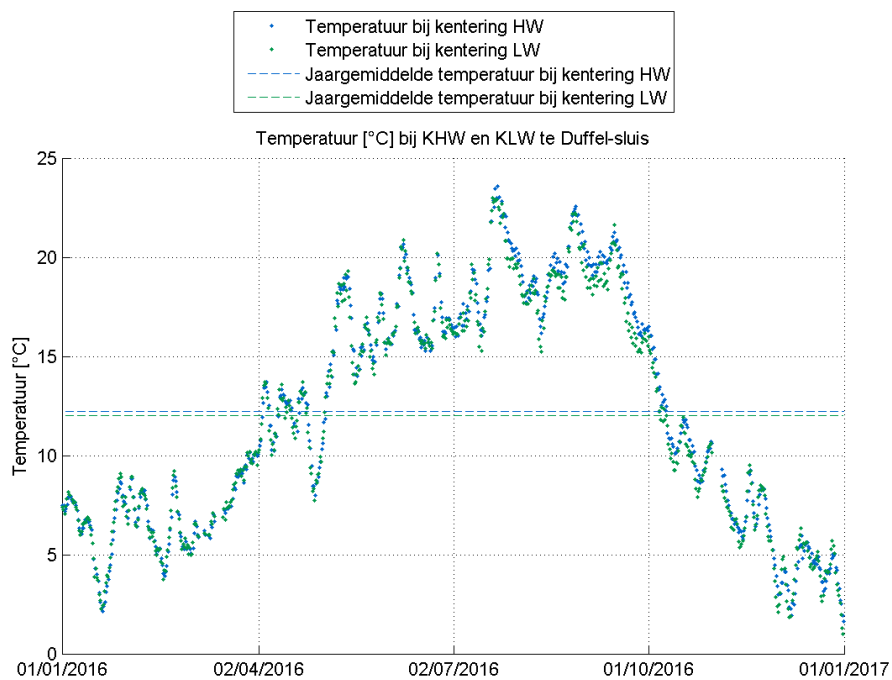
Figuur 56 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



Figuur 57 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde)



Figuur 58 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Duffel-Sluis (Beneden-Nete)



4.1.4 Verloop saliniteit

Zowel de CTD-, Aanderaa- als de YSI-multiparametersondes meten enkel conductiviteit als een maat voor het zoutgehalte van het water. Op basis van conductiviteit en temperatuur kan via de Unescoformule de saliniteit ten allen tijde berekend worden (De Boeck *et al.*, 2014). Hierbij dient de opmerking gemaakt te worden dat deze formule is opgesteld voor standaard oceaanwater, en dus in het Schelde estuarium met enige voorzichtigheid moet gebruikt worden. De saliniteit kan uitgedrukt worden in g/kg en in practical salinity units (PSU). In wat volgt worden de saliniteitswaarden enkel in PSU weergegeven. Volgende vaststellingen kunnen gemaakt worden:

1. De saliniteitswaarden te Prosperpolder (Figuur 60) zijn het hoogste in vergelijking met de andere posten. Ze bedragen hier tussen ± 2 en 16 PSU voor kentering laagwater en tussen ± 4 en 19 PSU voor kentering hoogwater. De minima in saliniteit correleren met periodes gekenmerkt door hoge afvoeren. Zo was juni uitzonderlijk nat, wat zichtbaar is als een uitzonderlijk minimum in saliniteit (bijna even laag als in maart). In november daalt de saliniteit opnieuw door een nieuwe verhoging in de bovenafvoer.
2. Ter hoogte van de posten Prosperpolder (Figuur 60), Lillo Meetpaal (Figuur 61 en Figuur 62) en Liefkenshoek (Figuur 63) loopt de saliniteit tijdens KLW en KHW parallel, terwijl ter hoogte van posten meer stroomopwaarts de saliniteit bij KLW minimaal blijft, maar de saliniteit bij KHW nog steeds de seizoenale trend volgt zoals bij voornoemde posten.
3. In Oosterweel (Figuur 64 en Figuur 65) klimt de saliniteit bij KHW tot aan 14 PSU, wat gelijkaardig is aan 2015 maar hoger dan de maximale saliniteit van 10 PSU in 2014. Bij KLW blijft de saliniteit voornamelijk onder 6 PSU.
4. Te Hemiksem (Figuur 67) stijgen de saliniteitswaarden tot 6 PSU en zelfs eenmalig tot 8 PSU bij KHW wat gelijkaardig is aan 2015 maar bijna dubbel zo hoog is als het maximum van 4 PSU uit 2014. Bij KLW blijft de saliniteit onder 2 PSU (en valt hiermee buiten het toepassingsdomein van de Unescoformule). Kruibeke (Figuur 66) kent eenzelfde verloop als de nabijgelegen post Hemiksem, maar wordt gekenmerkt door hogere saliniteit dankzij zijn meer stroomafwaarts gelegen situering.
5. Bij de drie meest stroomopwaartse posten, Driegoten (Figuur 68), Melle (Figuur 69) en Duffel-sluis (Figuur 70), is het verschil tussen saliniteit bij KHW en bij KLW minimaal. De absolute saliniteit blijft hier ook onder 1 PSU.
6. Te Lillo Meetpaal is er verticale stratificatie zichtbaar tijdens het moment van kentering bij laag water. Dit is minder het geval bij kentering hoogwater. M.a.w. tijdens eb zal de zoete bovenafvoer zich vnl. in de bovenste waterlaag bevinden, terwijl tijdens vloed de gehele waterkolom zout is. De ligging van de meetlocatie speelt hier mogelijks een rol bij: tijdens de eb speelt de plaat van Lillo een afschermdende rol, terwijl bij de vloed de verticale menging beter is. Bovengenoemd fenomeen was nog niet zichtbaar bij de historische meetpost Boei-84 (voorganger Lillo Meetpaal). Merk op dat er voor het onderste meettoestel geen meetgegevens voorhanden zijn gedurende 112 dagen tussen maart en juli (Tabel 10). Doordat het onderste toestel te Oosterweel vroegtijdig verwijderd is, kan men de statistieken van beide meetlocaties niet eenduidig vergelijken.

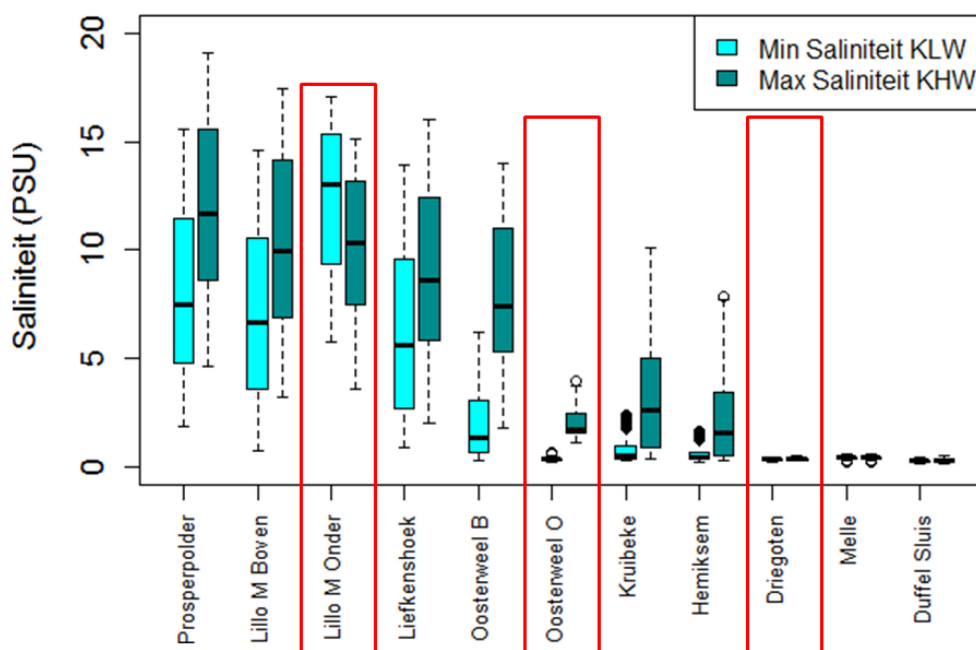
Tabel 13 geeft een overzicht van de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de saliniteit rond KWH en KLW voor de verschillende metingen op de locaties zoals in de boxplot (Figuur 59) visueel is weergegeven. Ook hier zijn de kengetallen voor Oosterweel Onder en Driegoten niet representatief voor 2016. Voor de volledigheid worden de waarden alsnog weergegeven.

Tabel 13 - Overzicht statistieken saliniteit [PSU] voor minimum KLW en maximum bij KHW gemeten op locaties met getijdewerking (2016).

	Saliniteit (PSU) bij KLW				Saliniteit (PSU) bij KHW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Prosperpolder	1.87	11.89	15.56	3.84	4.67	11.89	19.10	3.90
Lillo Meetpaal boven	0.72	7.07	14.60	3.87	3.21	10.35	17.45	4.05
<i>Lillo Meetpaal Onder</i>	<i>5.75</i>	<i>12.34</i>	<i>17.09</i>	<i>3.31</i>	<i>3.60</i>	<i>10.23</i>	<i>15.15</i>	<i>3.18</i>
Liefkenshoek	0.89	6.15	13.96	3.74	2.04	8.98	16.05	3.85
Oosterweel boven	0.27	1.82	6.21	1.34	1.76	7.93	14.01	3.42
<i>Oosterweel onder</i>	<i>0.20</i>	<i>0.36</i>	<i>0.68</i>	<i>0.09</i>	<i>1.08</i>	<i>1.97</i>	<i>3.95</i>	<i>0.69</i>
Kruikeke	0.27	0.74	2.38	0.52	0.34	3.19	10.12	2.59
Hemiksem	0.20	0.58	1.64	0.36	0.29	2.14	7.88	1.88
<i>Driegoten</i>	<i>0.25</i>	<i>0.35</i>	<i>0.41</i>	<i>0.04</i>	<i>0.26</i>	<i>0.36</i>	<i>0.48</i>	<i>0.05</i>
Melle	0.24	0.43	0.56	0.06	0.24	0.44	0.56	0.06
Duffel-sluis	0.13	0.27	0.42	0.06	0.13	0.30	0.50	0.08

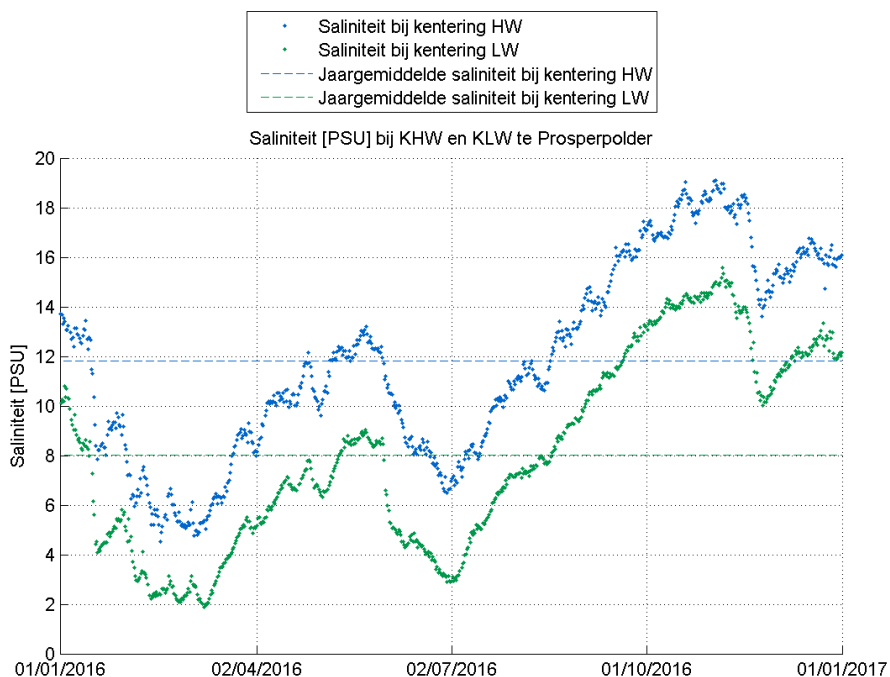
Voor een aantal stations (*cursief en onderlijnd*) werd er gedurende een langere periode geen en/of foute metingen geregistreerd (zie ook Tabel 10). Voor deze stations zijn de statistieken dus berekend op een onvolledig jaar en geven deze mogelijk een vertekend beeld.

Figuur 59 – Boxplot van de Saliniteit bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2016).

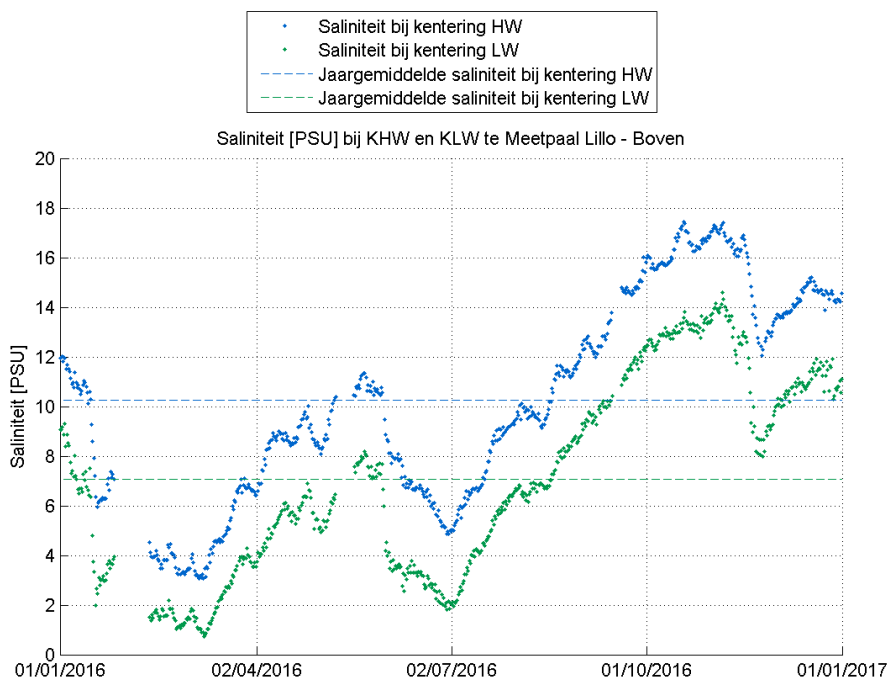


Merk op: Driegoten en Oosterweel Onder (rood kader) werden afgebroken in het voorjaar van 2016. De statistieken zijn hier dus berekend op een onvolledig jaar.

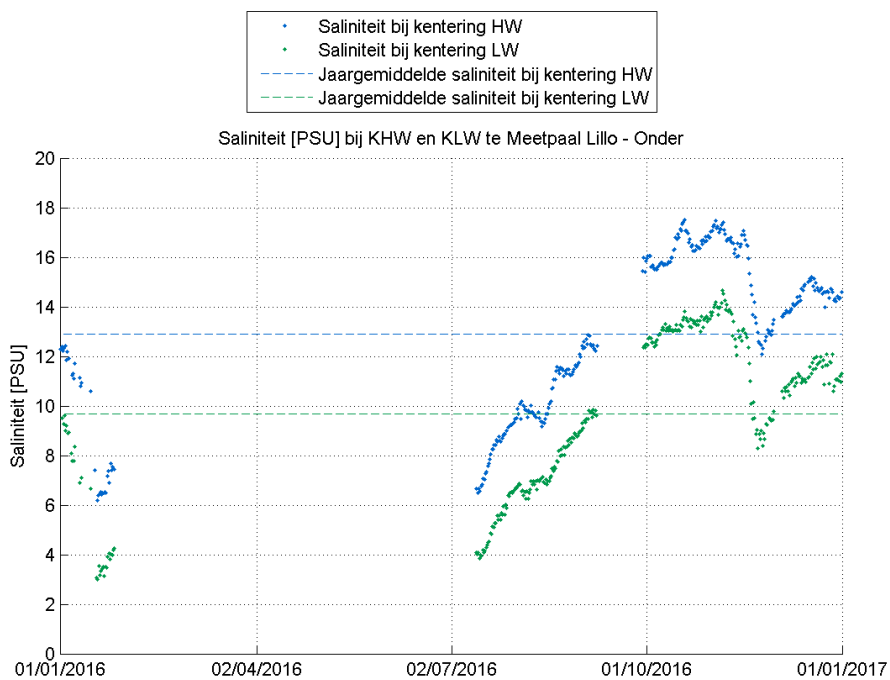
Figuur 60 – Saliniteit bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)



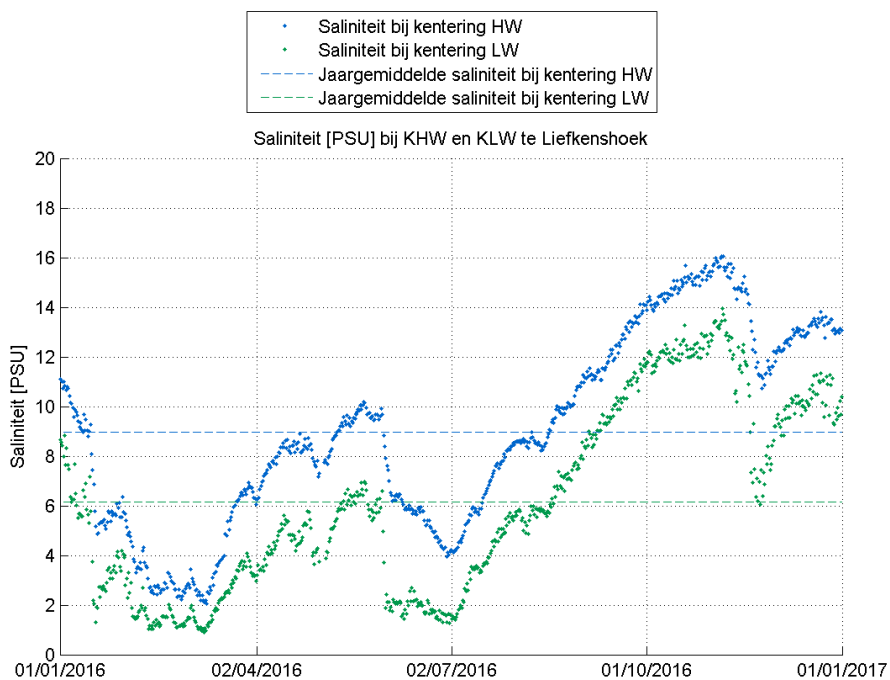
Figuur 61 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



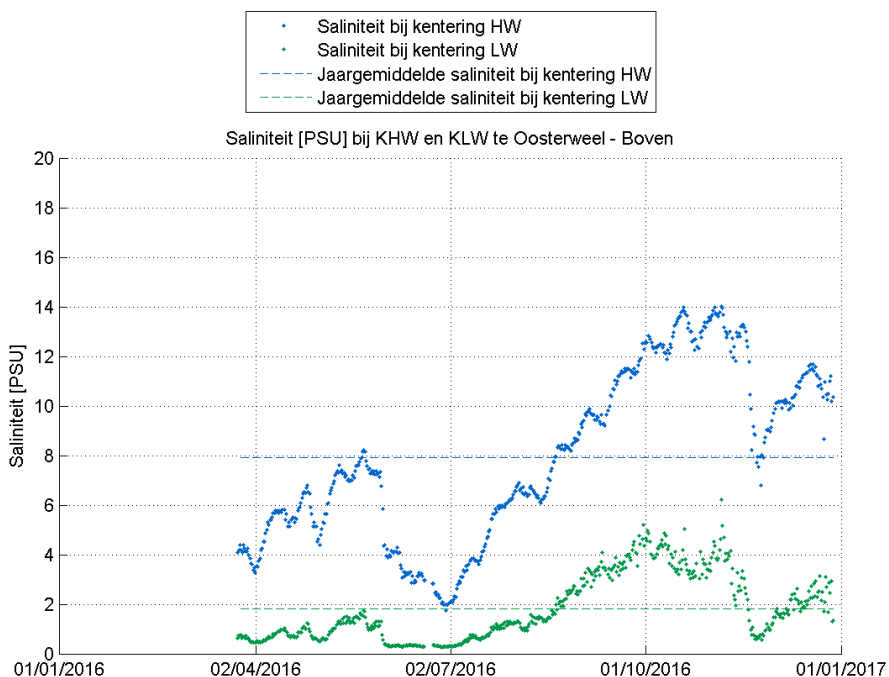
Figuur 62 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



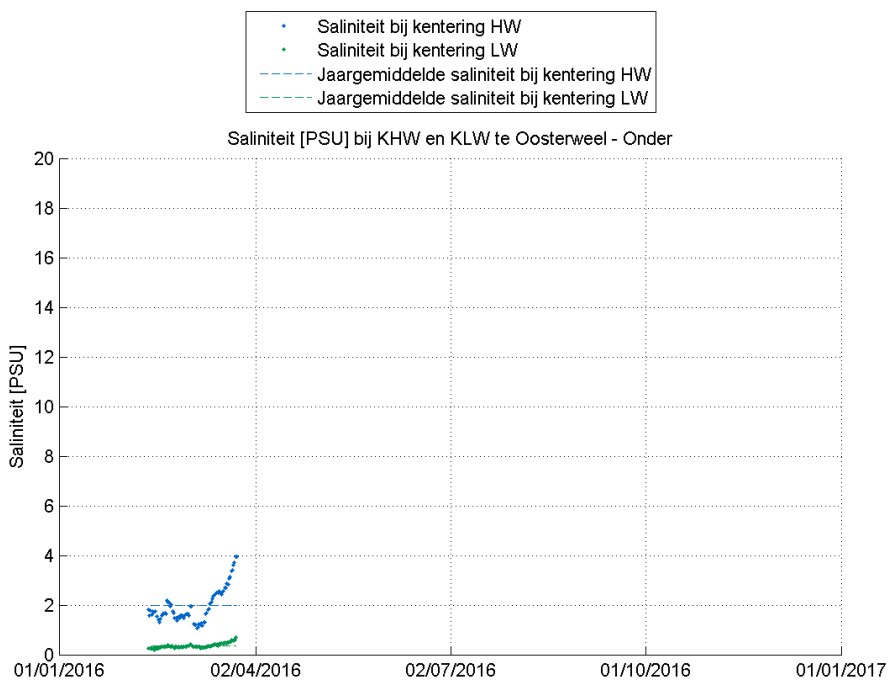
Figuur 63 – Saliniteit bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)



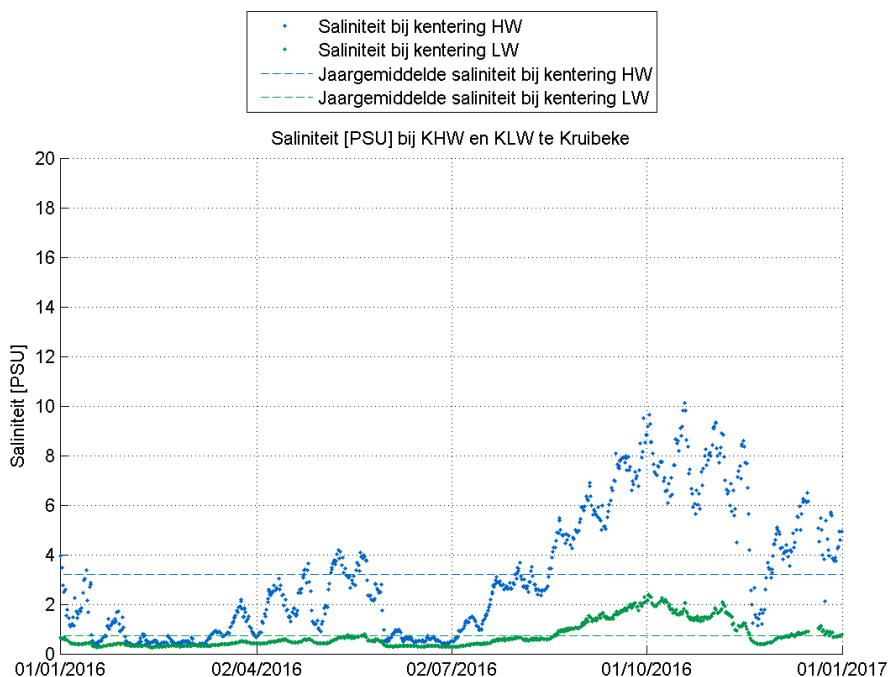
Figuur 64 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



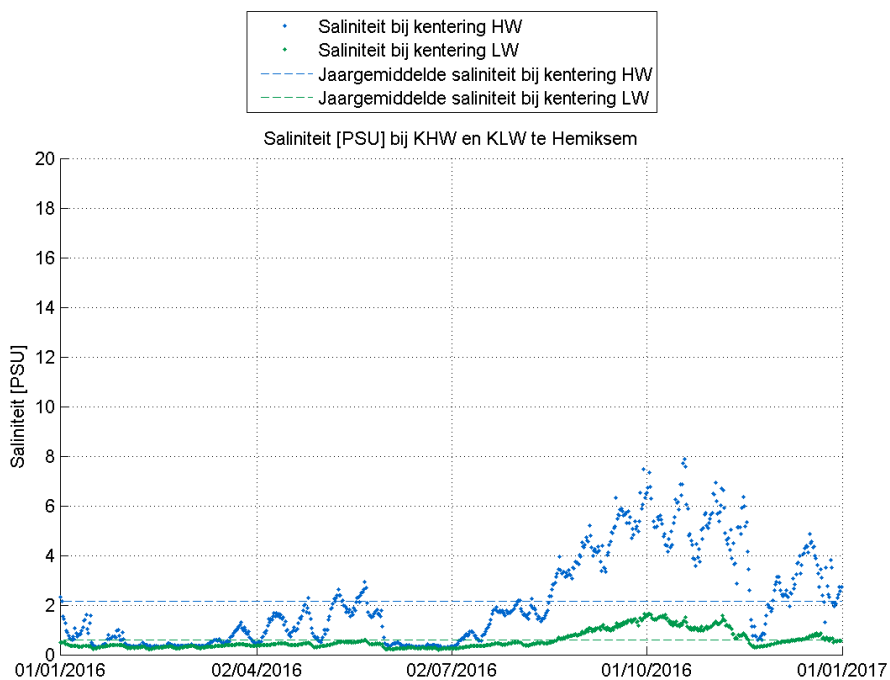
Figuur 65 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)



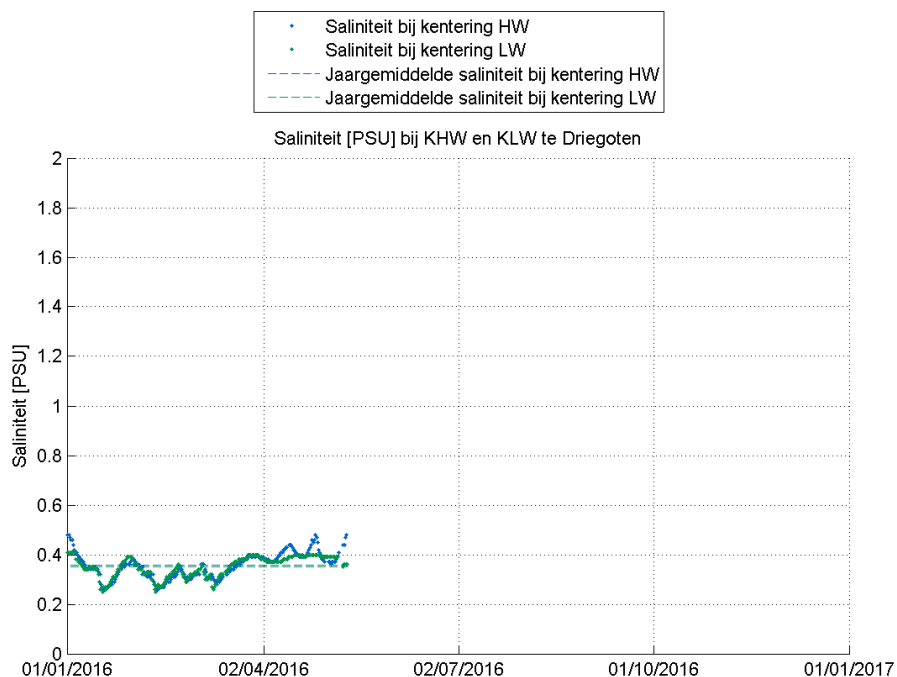
Figuur 66 – Saliniteit bij KHW en KLW te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)



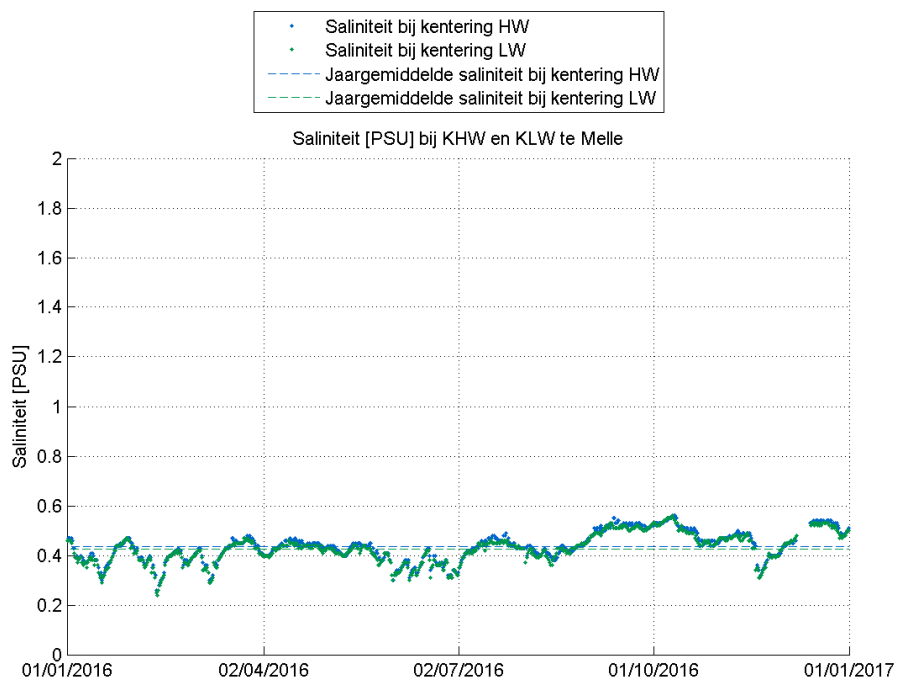
Figuur 67 – Saliniteit bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde)



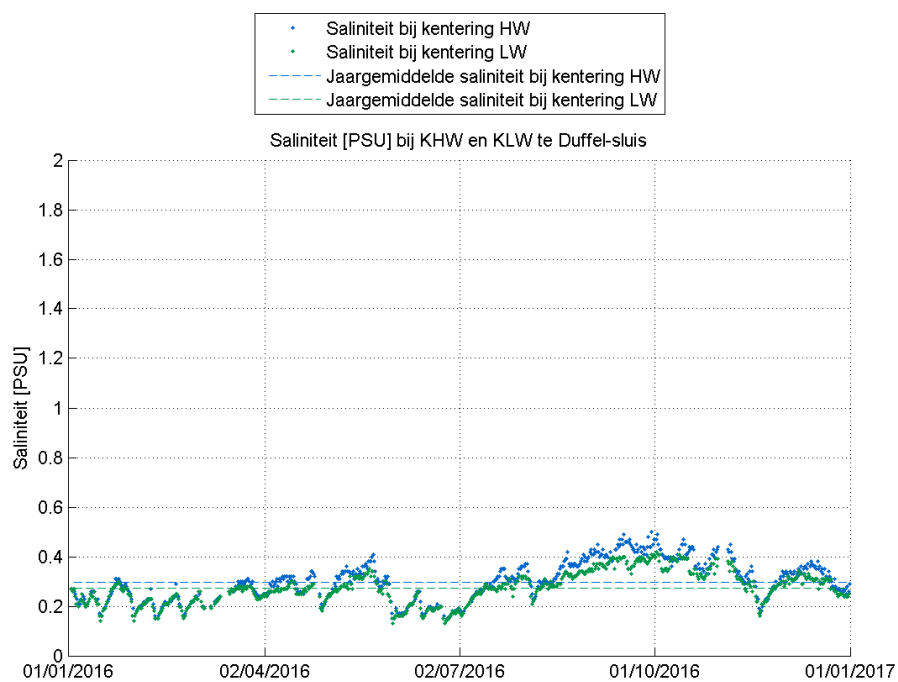
Figuur 68 – Saliniteit bij KHW en KLW te Driegoten (Boven-Zeeschelde)



Figuur 69 – Saliniteit bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde)



Figuur 70 – Saliniteit bij KHW en KLW te Duffel-sluis (Beneden-Nete)



4.1.5 Verloop suspensiegehalte

Inleiding

De concentratie aan sediment in suspensie (SSC) wordt bepaald aan de hand van staalnames en labo-analyses en is daarom niet continu beschikbaar. Vaak wordt de turbiditeit echter als een schatter van SSC gebruikt aangezien deze parameter eraan gecorreleerd is. De relatie tussen beide parameters is locatie-specifiek en is bovendien ook afhankelijk van andere (mogelijks dynamische) factoren, zoals o.a. de korrelgrootte, -vorm, grootte-orde concentratie (meervoudige verstrooiing), dichtheid (organisch materiaal vs. minerale fractie) en de kleur (organisch materiaal vs. minerale fractie) van het sediment. De turbiditeit kan wel continu gemeten worden waardoor een continue tijdreeks van SSC kan afgeleid worden. Aangezien turbiditeit niet bijdraagt tot extra systeemkennis, wordt in onderliggend rapport enkel het suspensiegehalte gerapporteerd en niet de turbiditeit. Meer uitleg omtrent de kalibratie van de turbiditeitswaarden met het suspensiegehalte, kan teruggevonden worden in Bijlage C – Kalibratie Turbiditeit – SSC.

In dit rapport wordt zowel de hoog- (m.b.v. turbiditeitsmetingen) als laagfrequente staalnames (schemstalen) binnen het getijdegebied besproken. Voor een indicatie van de sedimentinput aan de randen van het systeem, wordt verwezen naar § 4.3.

Hoogfrequent

Zoals vermeld in Tabel 9 wordt de turbiditeit gemeten op twee hoogten langs de verticale te Oosterweel en Meetpaal Lillo, terwijl te Driegoten, Kruibeke, Melle en Duffel-sluis op één hoogte gemeten wordt. De eerste drie locaties worden bemeaten met Aanderaa toestellen (met meetinterval 10 minuten). Daarbij zijn alle toestellen van het type Seaguard2500 (meetbereik turbiditeit tussen 0-2500 FTU). Een uitzondering hierop vormt het bovenste meettoestel aan de meetpaal te Lillo van type Seaguard500 (meetbereik turbiditeit 0-500 FTU). De toestellen te Kruibeke, Melle en Duffel-sluis meten om de 5 minuten en zijn YSI-toestellen van het type YSI 6920. Dit houdt in dat deze drie toesteltypen 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. Een bijkomende opmerking bij het Aanderaa-toestel van het type Seaguard500 (SG500), voor Lillo Meetpaal bovenste meettoestel, 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 dit deel van de Zeeschelde. Het is belangrijk om dit in rekening te brengen bij het interpreteren van de hieronder weergegeven grafieken. De turbiditeitswaarden plafondeerden 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.

Enkele algemene vaststelling m.b.t. het suspensiegehalte van de Zeeschelde zijn:

1. Op de Beneden-Zeeschelde lijkt de SSC hoofdzakelijk gerelateerd te zijn aan andere processen (getij, sedimentbeschikbaarheid door terugstorten baggerspecie, etc.) eerder dan aan een toename in de bovenafvoer, die echter ook een beperkte invloed heeft (IMDC, 2013).
2. Het is bekend dat zich in de Zeeschelde een turbiditeitsmaximum bevindt, dat volgens de langsas naar op- of afwaarts verschuift al naargelang de grootte van de afvoer van het Zeescheldebekken (Vandenbruwaene *et al.*, 2016). Op zich vormt dit al een eerste drijfveer van seizoenale variatie van turbiditeit/SSC.

In onderstaande Figuur 72 tot Figuur 95 wordt het verloop van (1) het minimale suspensiegehalte binnen een getijcyclus optredend rond (net na) de kentering, (2) het maximale suspensiegehalte bij eb en vloed en (3) het gemiddelde suspensiegehalte bij eb en vloed weergegeven. De respectievelijke boxplots zijn terug te vinden in Figuur 71. Een samenvatting kan teruggevonden worden in Tabel 14.

Volgende vaststellingen kunnen gemaakt worden:

1. Net zoals bij de saliniteit is er verticale stratificatie zichtbaar aan de meetpaal nabij Lillo: zowel de minima tijdens het moment van kentering, als de gemiddelden/maxima tijdens eb of vloed zijn (vanzelfsprekend) het hoogst aan nabij de bodem. (Oosterweel Onder werd verwijderd in het voorjaar, de statistieken kunnen dus niet eenduidig vergeleken worden).
2. Wanneer de onderste toestellen achterwege gelaten worden, wordt het hoogste suspensiegehalte waargenomen nabij Oosterweel. Aangezien deze locatie tegenover de belangrijkste stortlocatie voor het terugstorten van slibrijke specie gelegen is, is de hierdoor gecreëerde sedimentbeschikbaarheid een belangrijke invloedsfactor.
3. Op de meetlocaties te Lillo is het suspensiegehalte tijdens eb gemiddeld gezien hoger dan tijdens vloed en te Oosterweel (zowel boven als onder) is het suspensiegehalte tijdens eb gemiddeld gezien lager dan tijdens vloed. Voor Oosterweel geldt hetzelfde voor de minima tijdens KLW versus KHW. Bij de meetpaal te Lillo wordt er nabij KHW een lagere SSC geregistreerd dan tijdens KLW.
4. Bij de meer opwaarts gelegen meetposten (Kruibeke, Driegoten en Melle) is er bij eb net een hoger suspensiegehalte opgemeten dan bij vloed. Het minimum bij KLW is nog steeds lager dan bij KHW. Te Melle komt dit enkel nog tot uiting in de maxima. Gemiddeld gezien is geen verschil meer tussen eb en vloed.
5. Op de Beneden-Nete te Duffel-sluis zijn de verschillen minimaal.

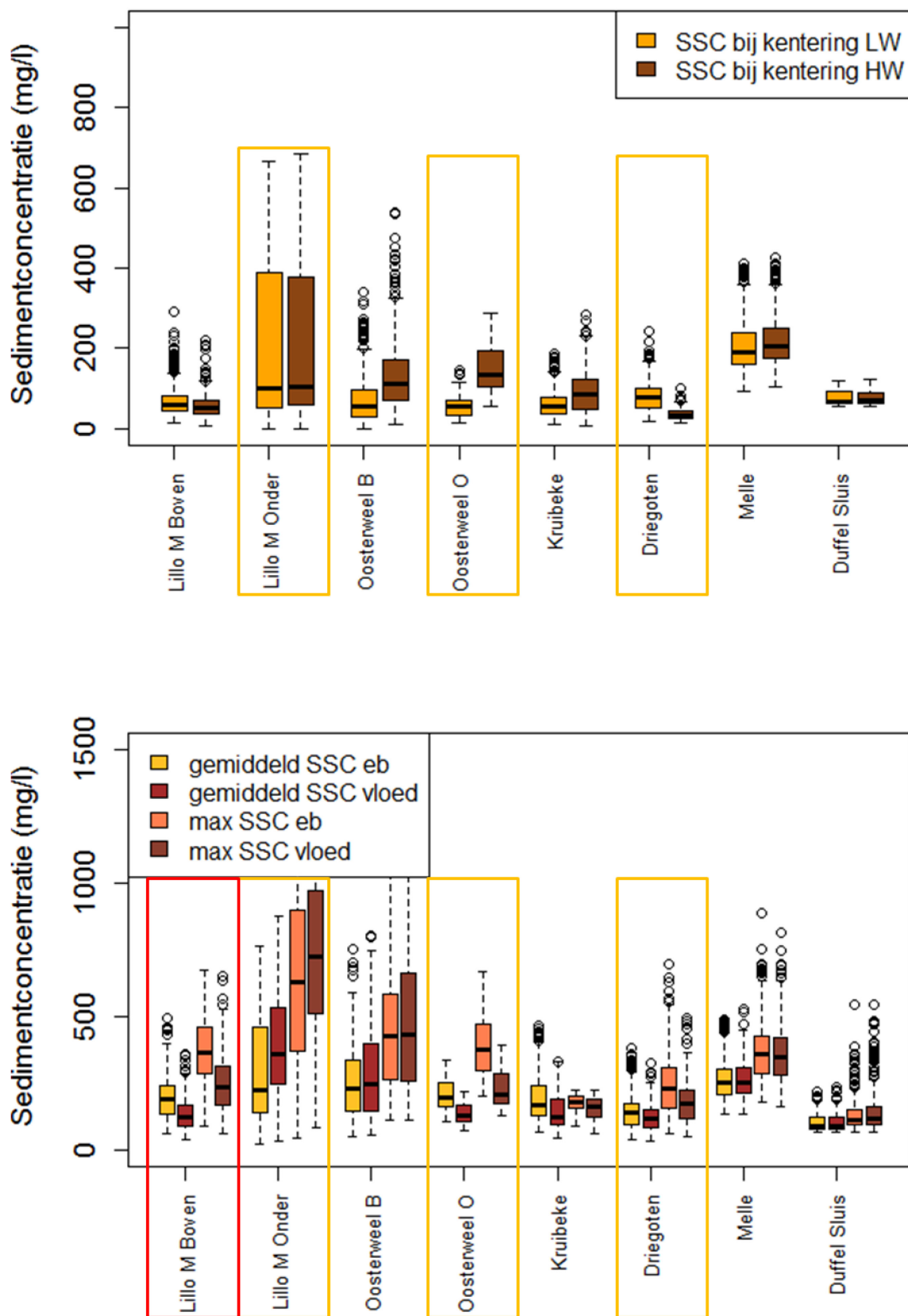
Tabel 14 - Overzicht statistieken suspensiegehalte [mg/l] voor minimum bij KLW en KHW, voor gemiddelde en voor maximale bij eb en vloed, gemeten op locaties met getijdewerking (2016).

Meet-locatie	Min	Gemiddelde	Max	STDEV	Min	Gemiddelde	Max	STDEV
	Minimale SSC (mg/L) bij KLW				Minimale SSC (mg/L) bij KHW			
Lillo Boven	16	69	291	38	5	57	221	28
<i>Lillo Onder</i>	<i>0⁶</i>	<i>201</i>	<i>665</i>	<i>199</i>	<i>0³</i>	<i>199</i>	<i>685</i>	<i>184</i>
Oosterweel Boven	0 ³	69	341	57	12	135	538	90
<i>Oosterweel Onder</i>	<i>13</i>	<i>55</i>	<i>146</i>	<i>30</i>	<i>57</i>	<i>152</i>	<i>288</i>	<i>56</i>
Kruikeke	12	61	186	32	7	91	284	51
<i>Driegoten</i>	<i>19</i>	<i>82</i>	<i>244</i>	<i>37</i>	<i>13</i>	<i>36</i>	<i>102</i>	<i>15</i>
Melle	92	205	410	60	106	217	425	61
Duffel-sluis	55	77	119	17	54	75	124	15
	Gemiddelde SSC (mg/L) bij eb				Gemiddelde SSC (mg/L) bij vloed			
Lillo Boven	64	199	496	79	37	135	360	60
<i>Lillo Onder</i>	<i>22</i>	<i>297</i>	<i>765</i>	<i>199</i>	<i>35</i>	<i>396</i>	<i>877</i>	<i>213</i>
Oosterweel Boven	48	254	750	131	57	286	804	161
<i>Oosterweel Onder</i>	<i>105</i>	<i>205</i>	<i>336</i>	<i>59</i>	<i>73</i>	<i>139</i>	<i>221</i>	<i>42</i>
Kruikeke	66	191	465	82	44	147	332	69
<i>Driegoten</i>	<i>41</i>	<i>146</i>	<i>379</i>	<i>67</i>	<i>35</i>	<i>123</i>	<i>326</i>	<i>52</i>
Melle	134	263	489	73	137	263	526	70
Duffel-sluis	65	101	216	29	65	101	234	32
	Maximale SSC (mg/L) bij eb				Maximale SSC (mg/L) bij vloed			
Lillo Boven	90	379	674	130	59	249	652	104
<i>Lillo Onder</i>	<i>46</i>	<i>653</i>	<i>1491</i>	<i>345</i>	<i>84</i>	<i>721</i>	<i>1406</i>	<i>312</i>
Oosterweel Boven	114	444	1158	213	110	480	1206	257
<i>Oosterweel Onder</i>	<i>201</i>	<i>389</i>	<i>670</i>	<i>109</i>	<i>130</i>	<i>230</i>	<i>395</i>	<i>66</i>
Kruikeke	92	176	222	31	64	158	222	40
<i>Driegoten</i>	<i>60</i>	<i>248</i>	<i>695</i>	<i>120</i>	<i>47</i>	<i>182</i>	<i>493</i>	<i>84</i>
Melle	179	369	886	107	165	359	813	105
Duffel-sluis	68	128	543	52	67	138	543	68

Voor een aantal stations (*cursief en onderlijnd*) werd er gedurende een langere periode geen en/of foute metingen geregistreerd (zie ook Tabel 10). Voor deze stations zijn de statistieken dus berekend op een onvolledig jaar en geven deze mogelijk een vertekend beeld.

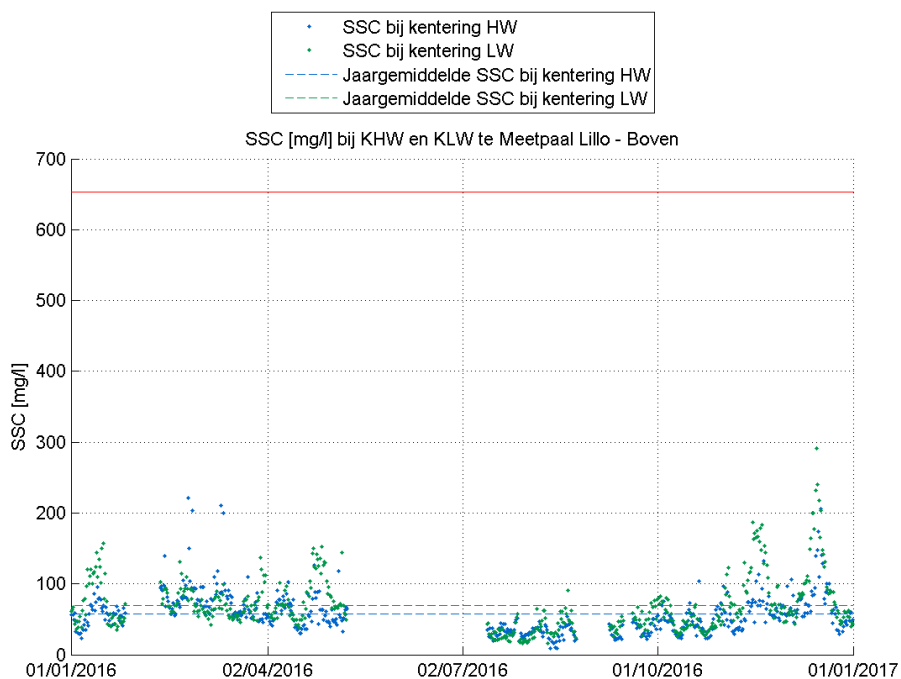
⁶ Deze waarde is een artefact van de berekeningswijze. De regressie toegepast op turbiditeit kan resulteren in een negatieve SSC. Deze worden in het script automatisch omgezet naar de nulwaarde. 0 mg/l is fysisch niet mogelijk, maar dient geïnterpreteerd te worden als een uiterst lage waarde.

Figuur 71 - Boxplot voor SSC (FTU): gemiddelde bij KHW en KLW (**Boven**) en maximaal en gemiddelde bij eb en vloed (**Onder**).



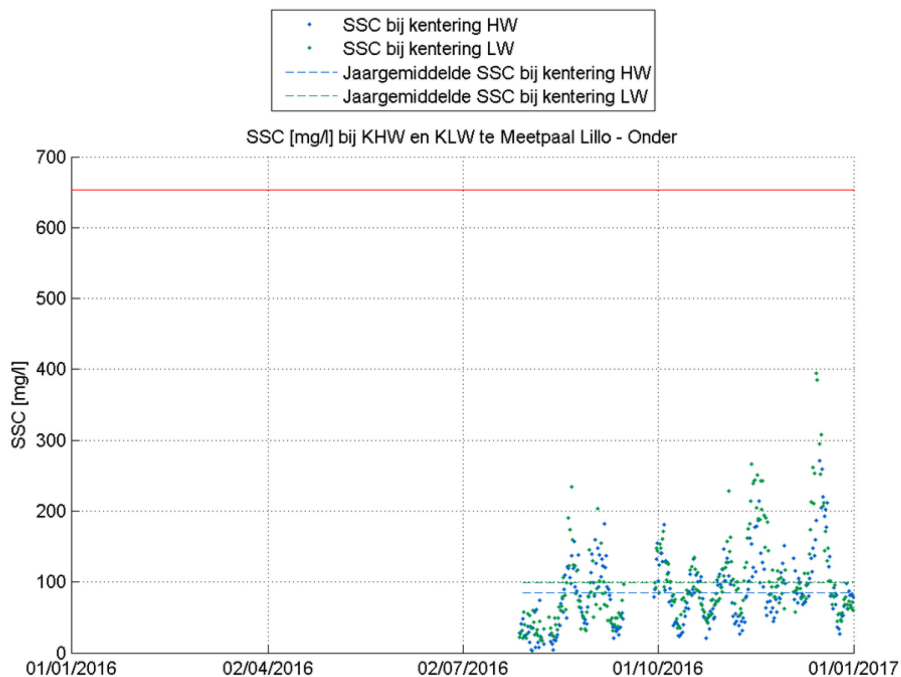
Posten in het **rood** omkaderd zijn onbetrouwbaar door aftopping van turbiditeitssonde bij meetwaarden > 500 FTU.
 Posten in het **geel** omkaderd hebben een data-beschikbaarheid < 90%.

Figuur 72 - SSC bij KHW en KHW te Meetpaal Lillo – Boven (SG500).



Merk op dat hier een SeaGuard500 gebruikt wordt, waardoor er verzadiging optreedt vanaf 500FTU (i.e. 654 mg/l, aangeduid met een rode lijn). Hogere meetwaarden worden dus foutief geregistreerd.

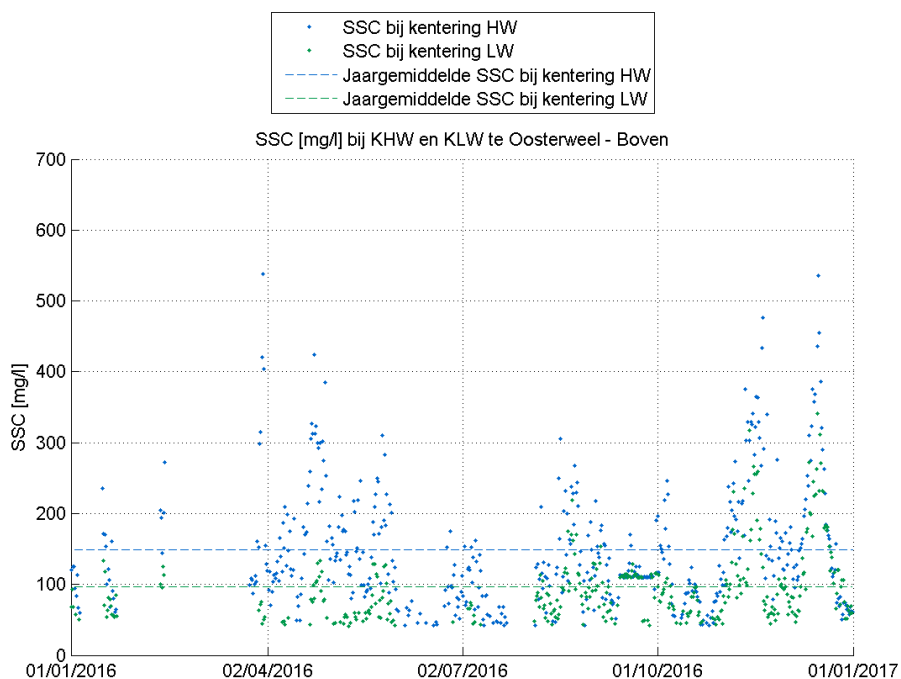
Figuur 73 - SSC bij KHW en KHW te Meetpaal Lillo – Onder.



De nulwaarde is een artefact van de berekeningswijze.

De regressie toegepast op turbiditeit kan resulteren in een negatieve SSC. Deze worden in het script automatisch omgezet naar de nulwaarde. 0 mg/l is fysisch niet mogelijk, maar dient geïnterpreteerd te worden als een uiterst lage waarde.

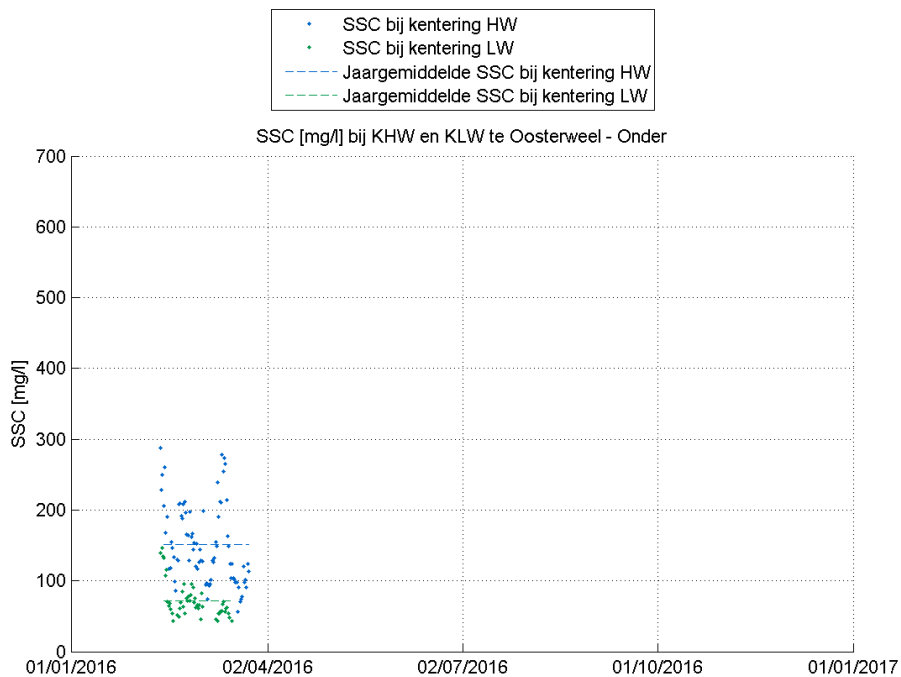
Figuur 74 - SSC bij K LW en K HW te Oosterweel – Boven.



De nulwaarde is een artefact van de berekeningswijze.

De regressie toegepast op turbiditeit kan resulteren in een negatieve SSC. Deze worden in het script automatisch omgezet naar de nulwaarde. 0 mg/l is fysisch niet mogelijk, maar dient geïnterpreteerd te worden als een uiterst lage waarde.

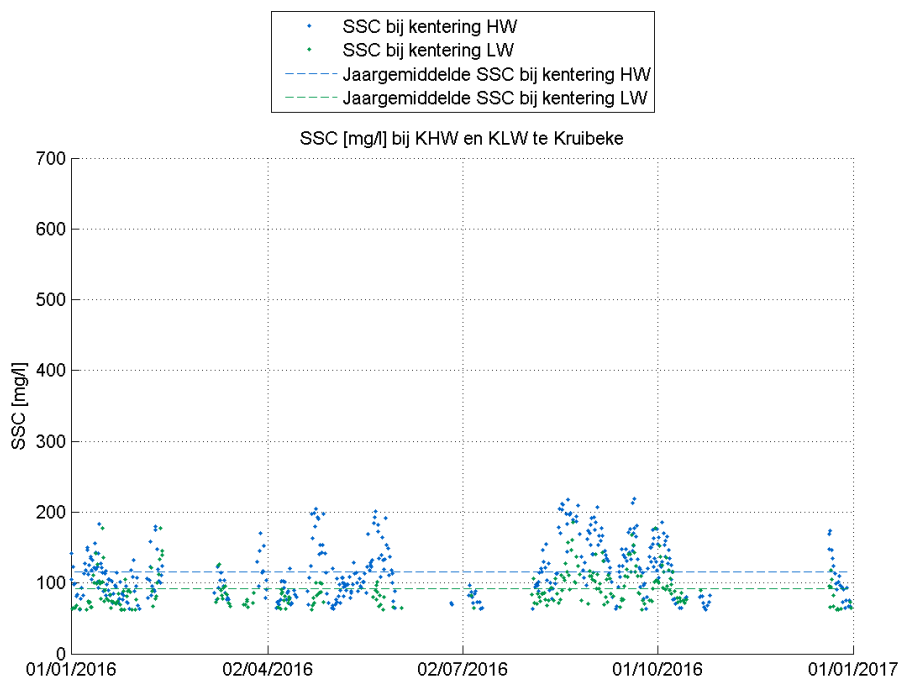
Figuur 75 - SSC bij K LW en K HW te Oosterweel – Onder.



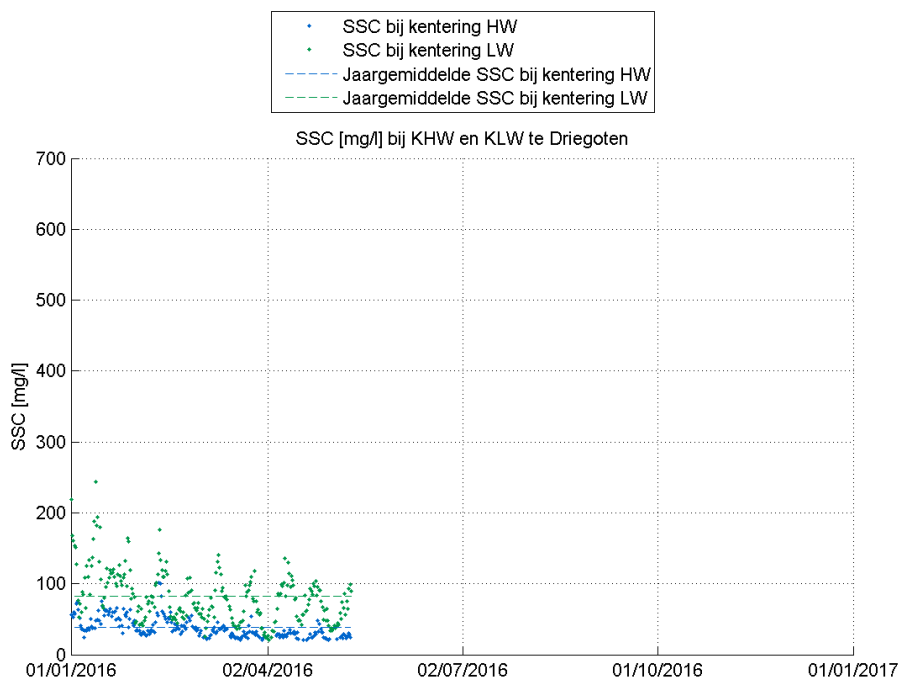
De nulwaarde is een artefact van de berekeningswijze.

De regressie toegepast op turbiditeit kan resulteren in een negatieve SSC. Deze worden in het script automatisch omgezet naar de nulwaarde. 0 mg/l is fysisch niet mogelijk, maar dient geïnterpreteerd te worden als een uiterst lage waarde.

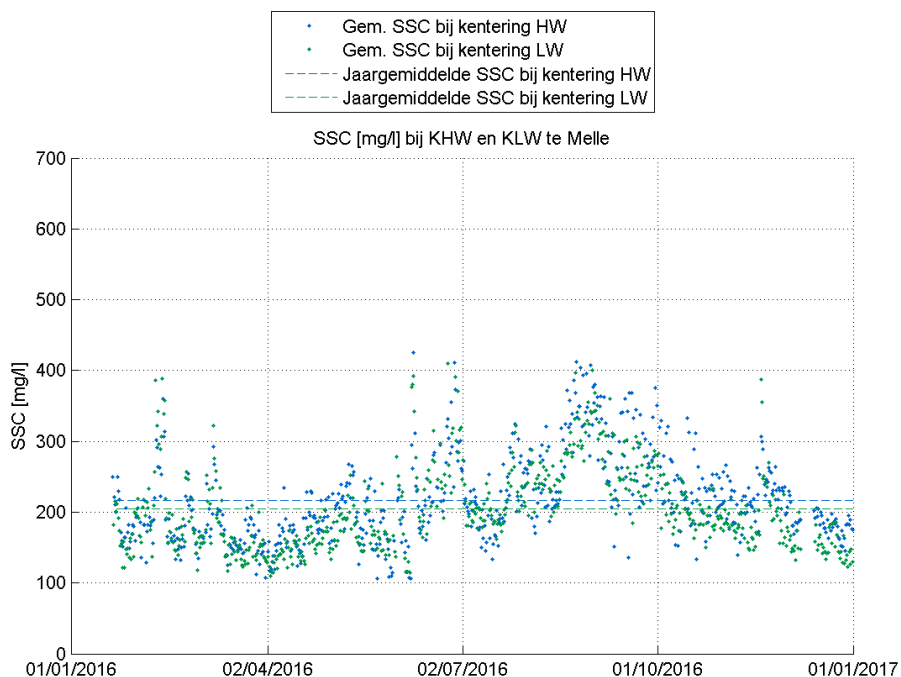
Figuur 76 - SSC bij KLW en KHW te Kruikeke.



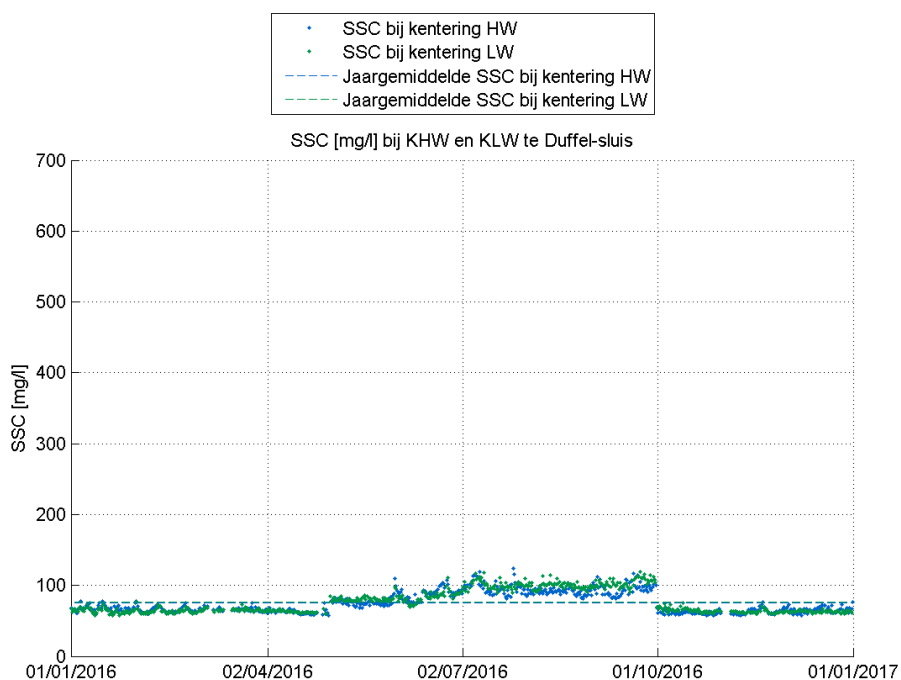
Figuur 77 - SSC bij KLW en KHW te Driegoten



Figuur 78 - SSC bij K LW en K HW te Melle

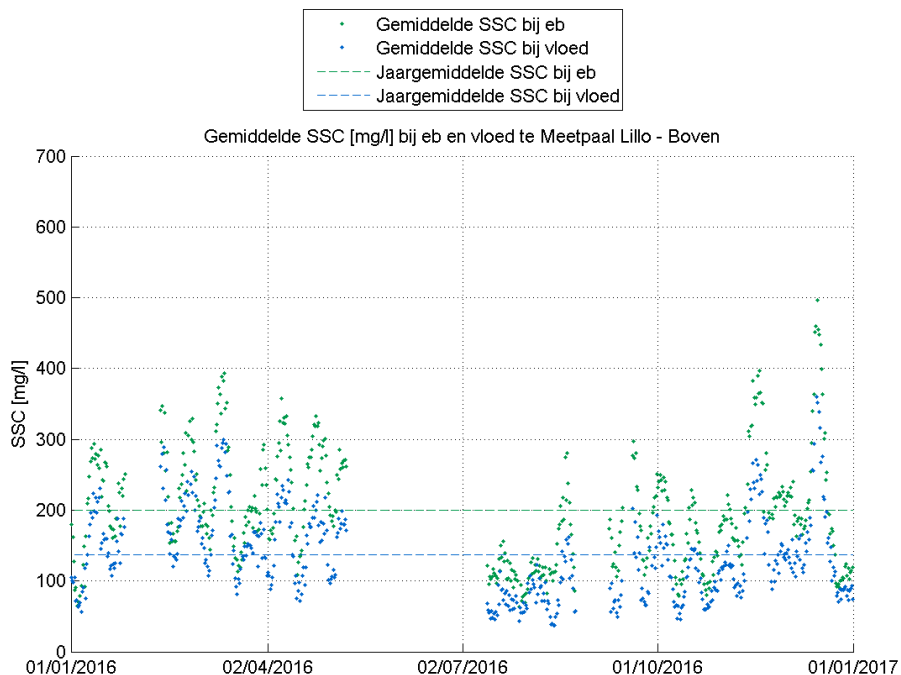


Figuur 79 - SSC bij K LW en K HW te Duffel.

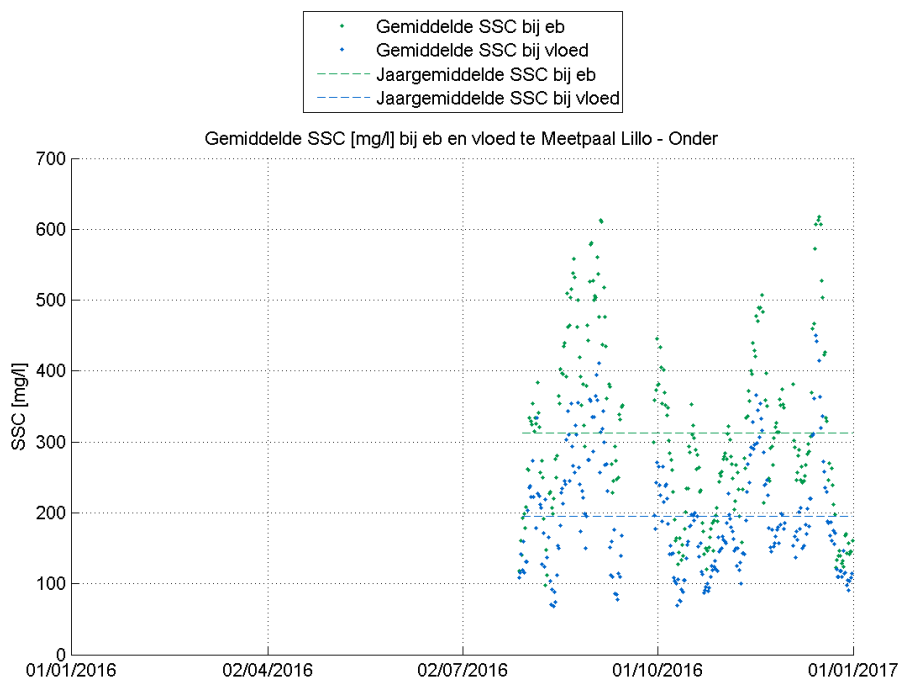


Te Duffel-sluis werd er een andere relatie opgesteld voor de winter en zomermaanden.
Dit is zichtbaar als sprong in de SSC-waarden.

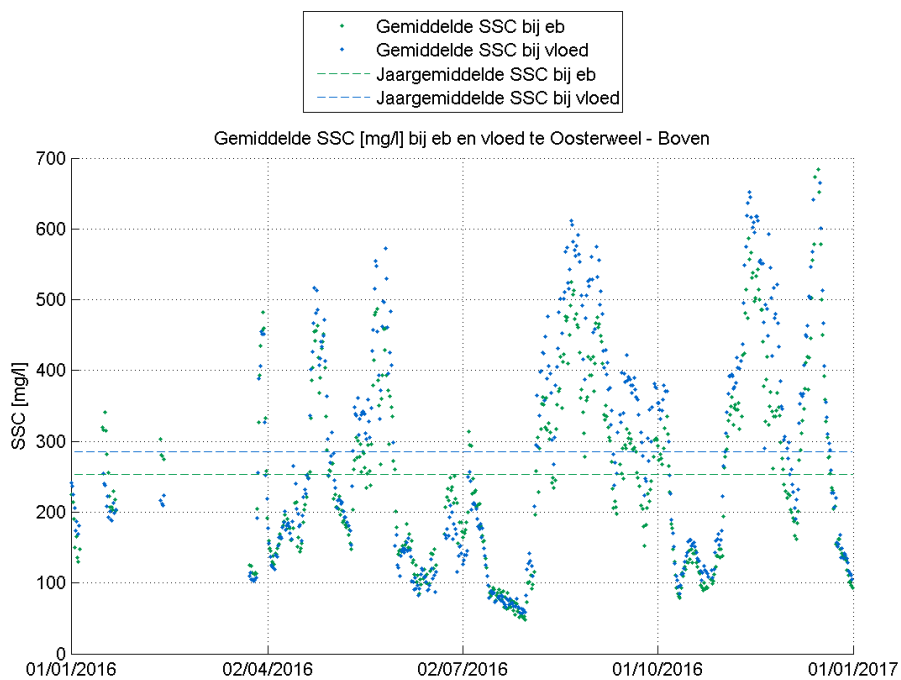
Figuur 80 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Boven



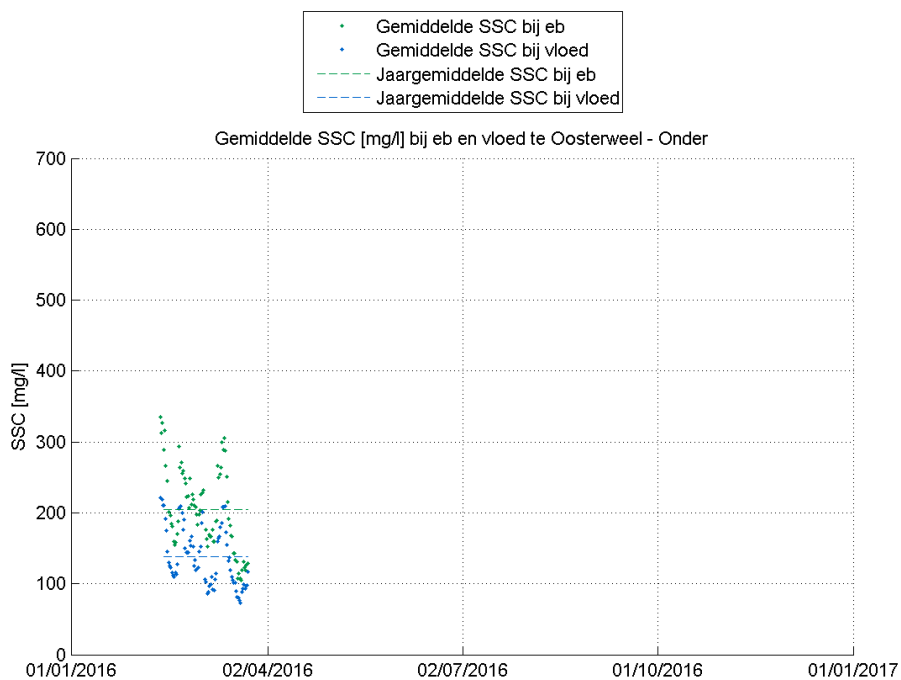
Figuur 81 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Onder



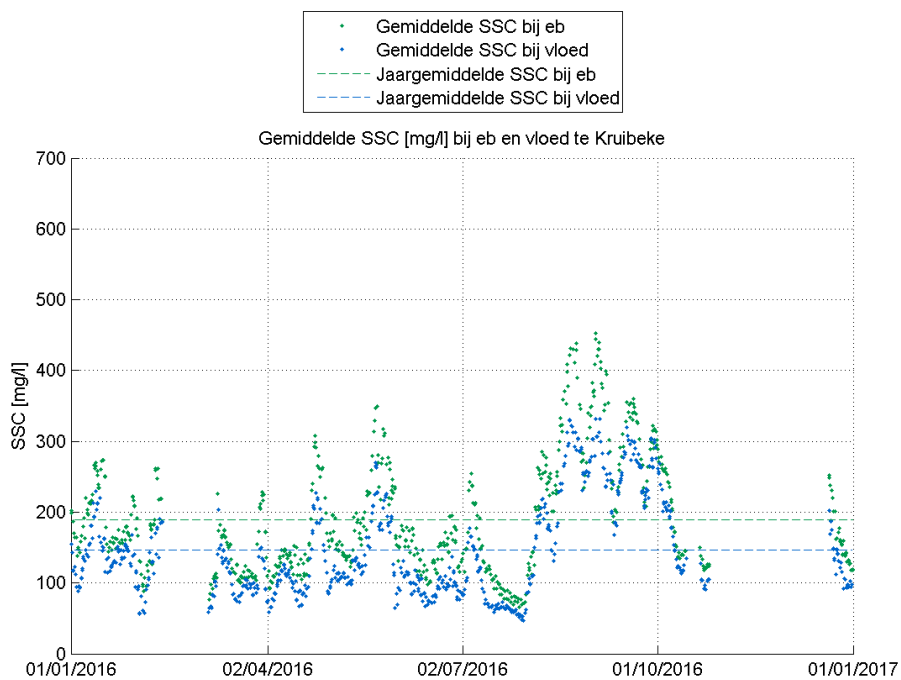
Figuur 82 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Boven



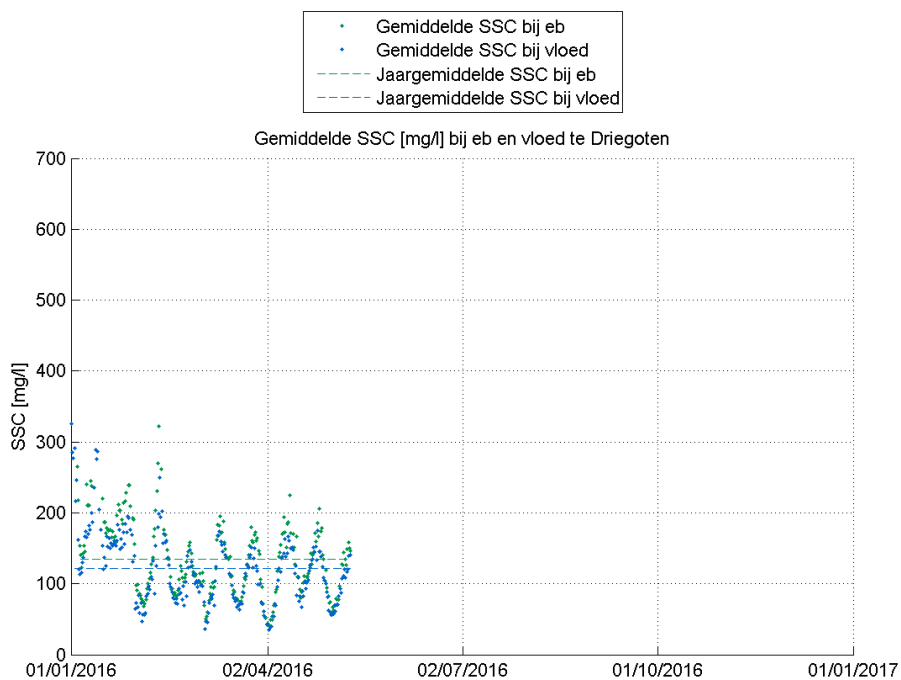
Figuur 83 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Onder



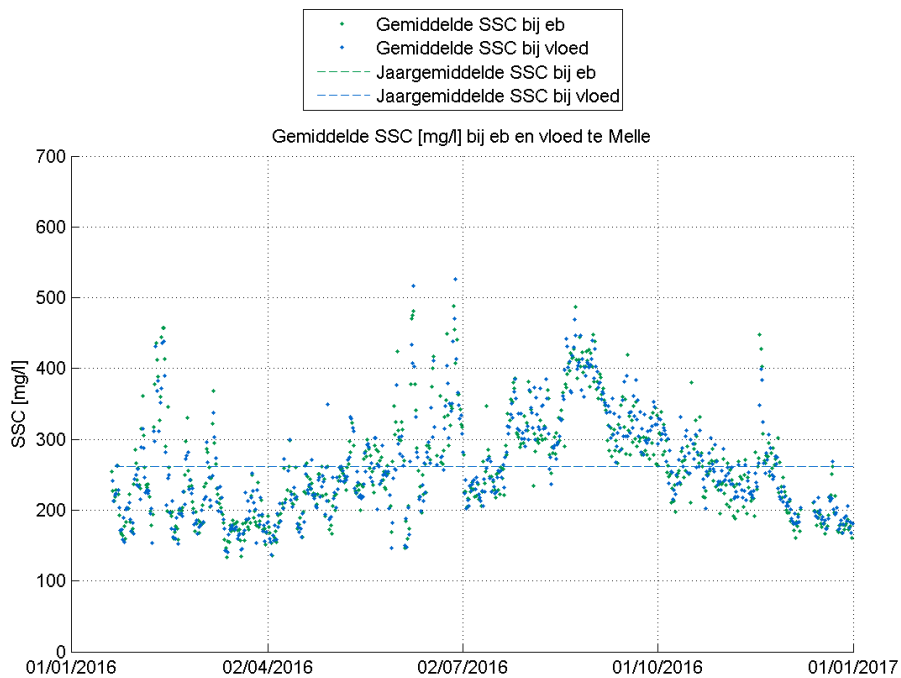
Figuur 84 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Kruibeke



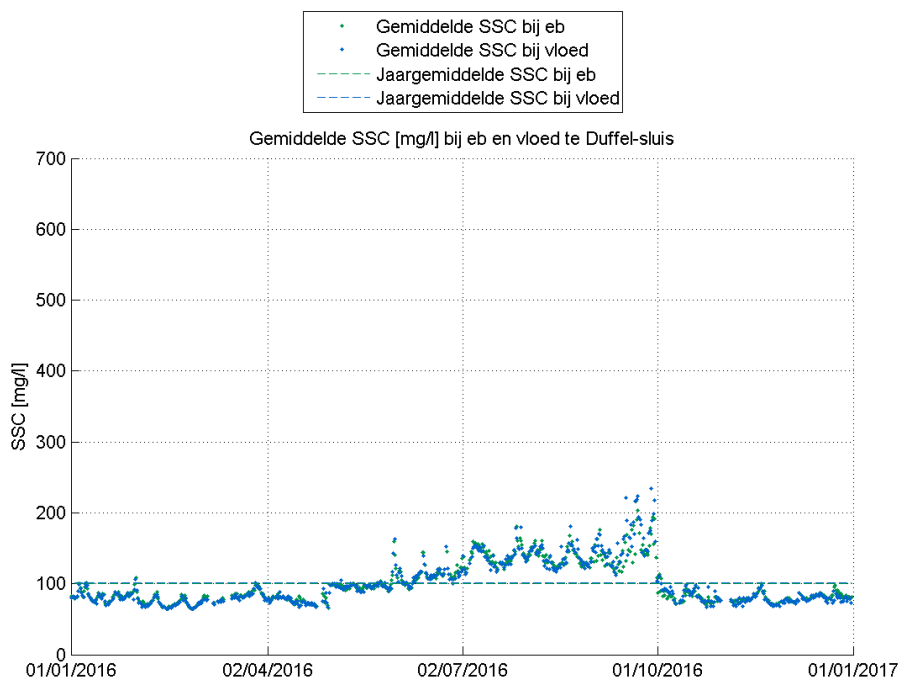
Figuur 85 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Driegoten



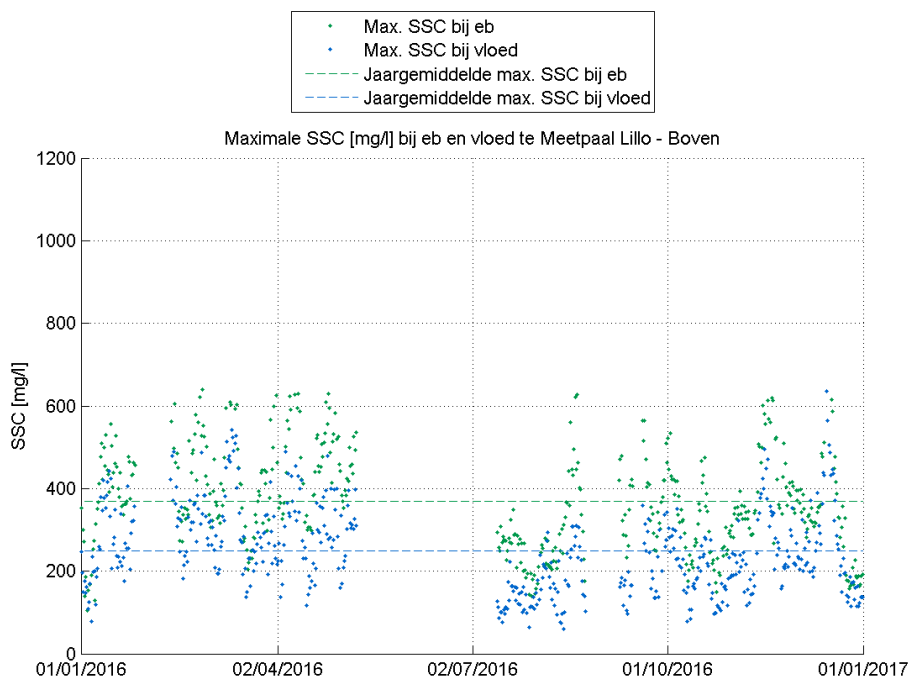
Figuur 86 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle



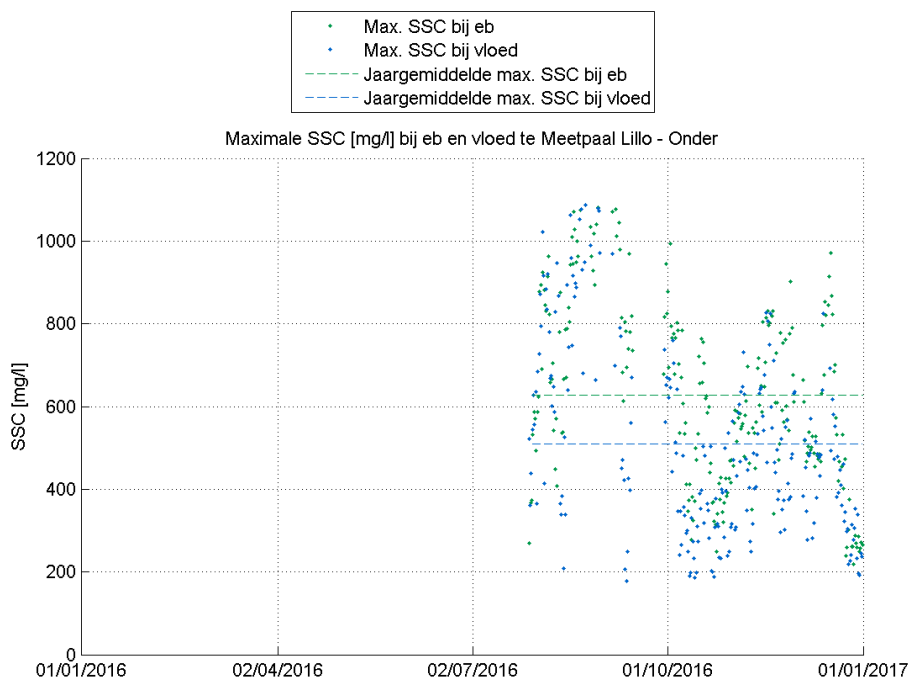
Figuur 87 - Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle



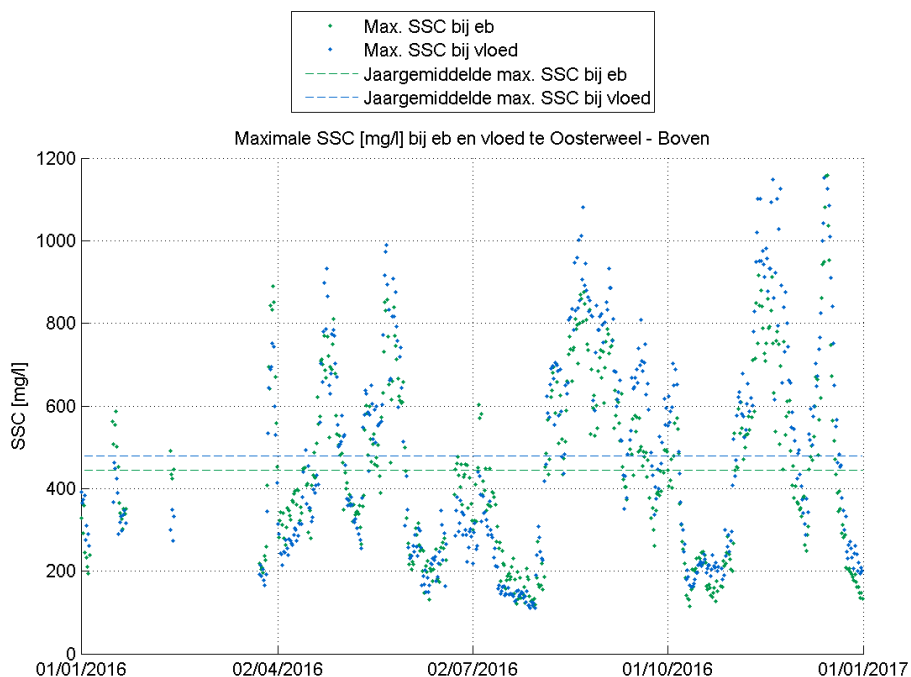
Figuur 88 - Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Boven



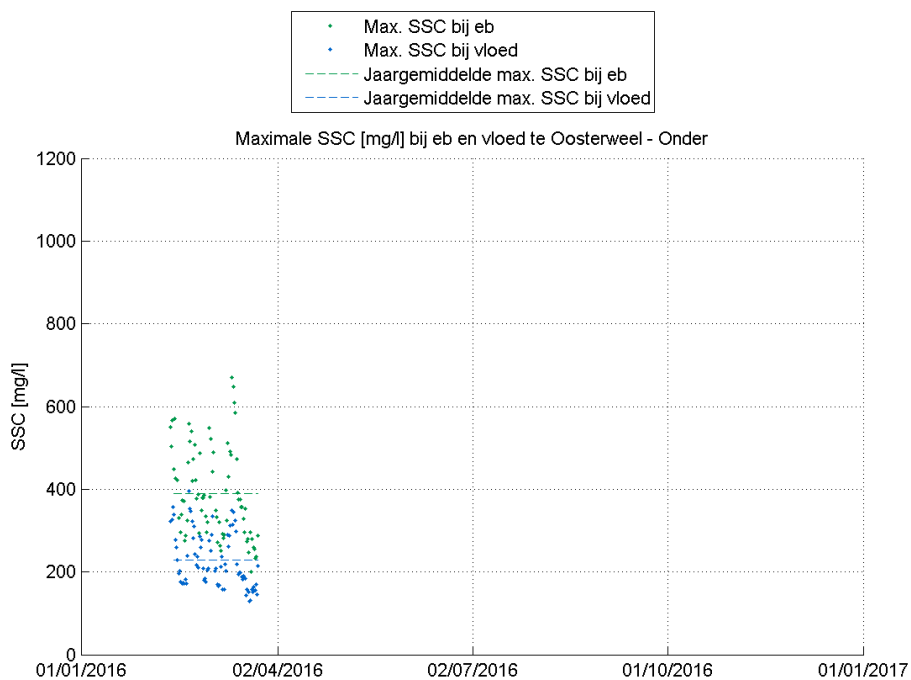
Figuur 89 - Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo - Onder



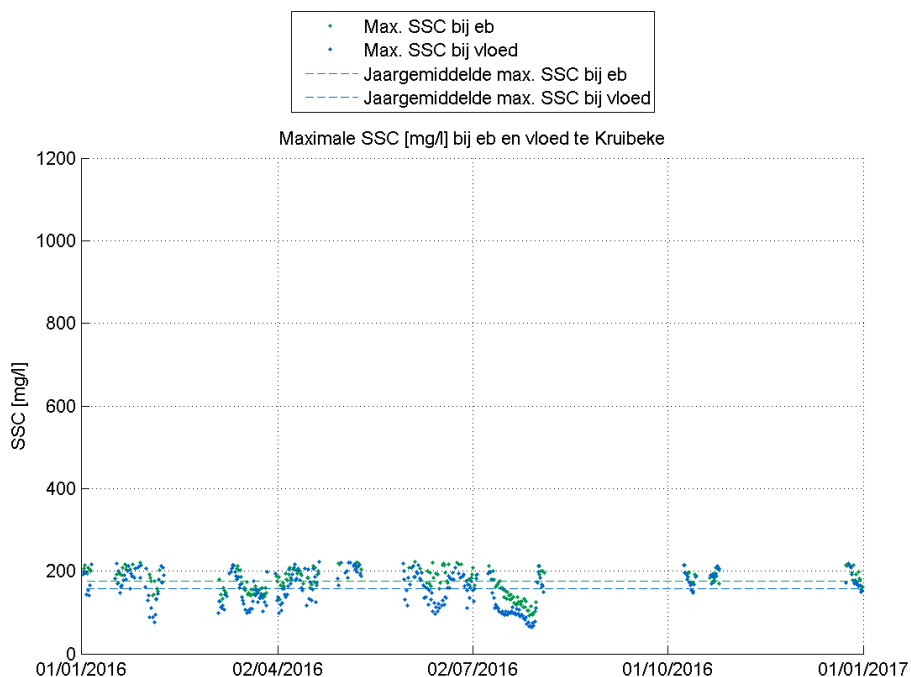
Figuur 90 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel – Boven



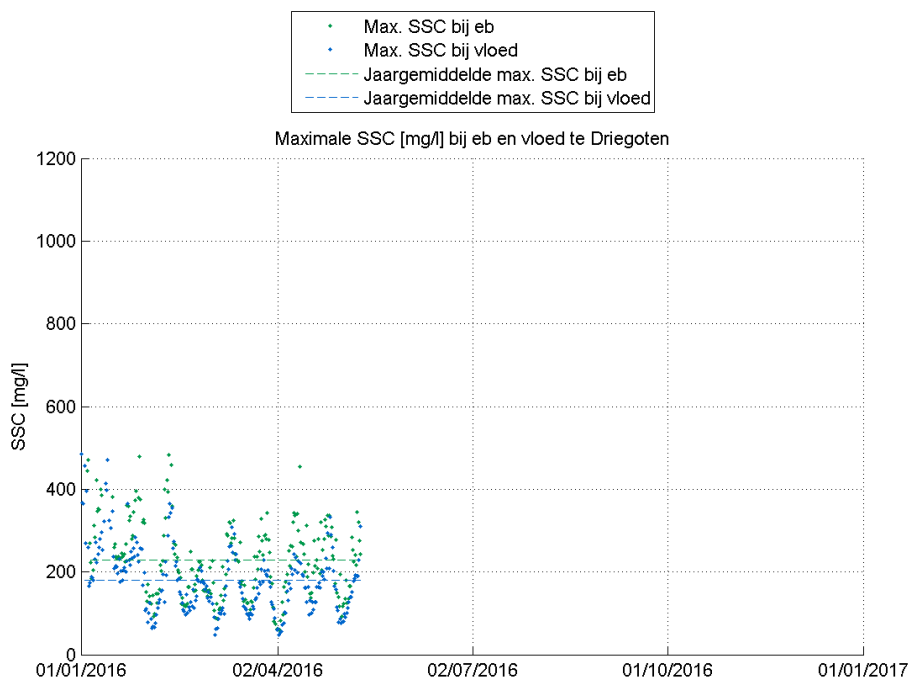
Figuur 91 - Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel - Onder



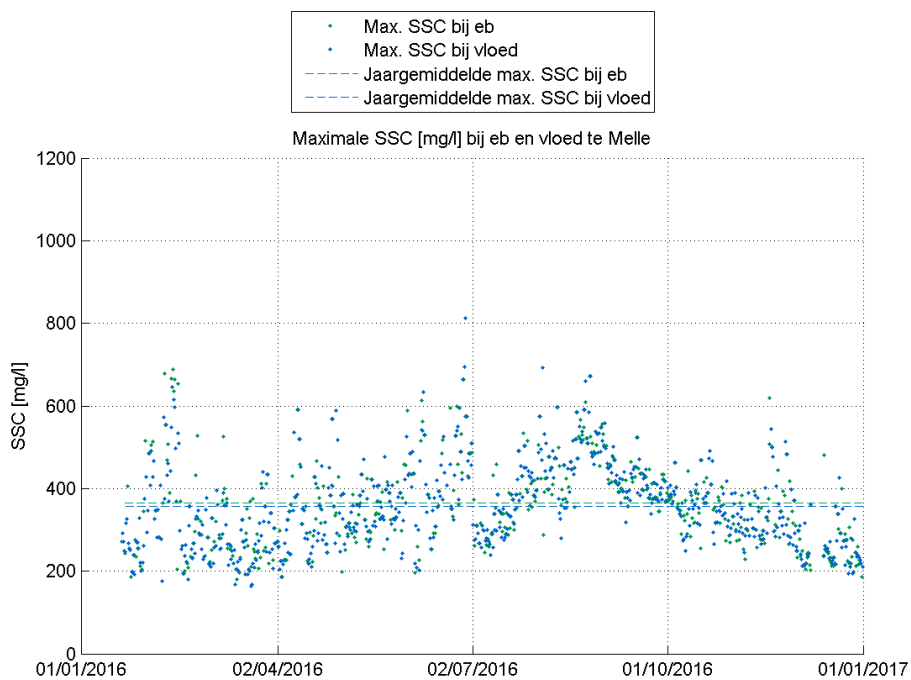
Figuur 92 - Maximale SSC bij eb en vloed te Kruikeke



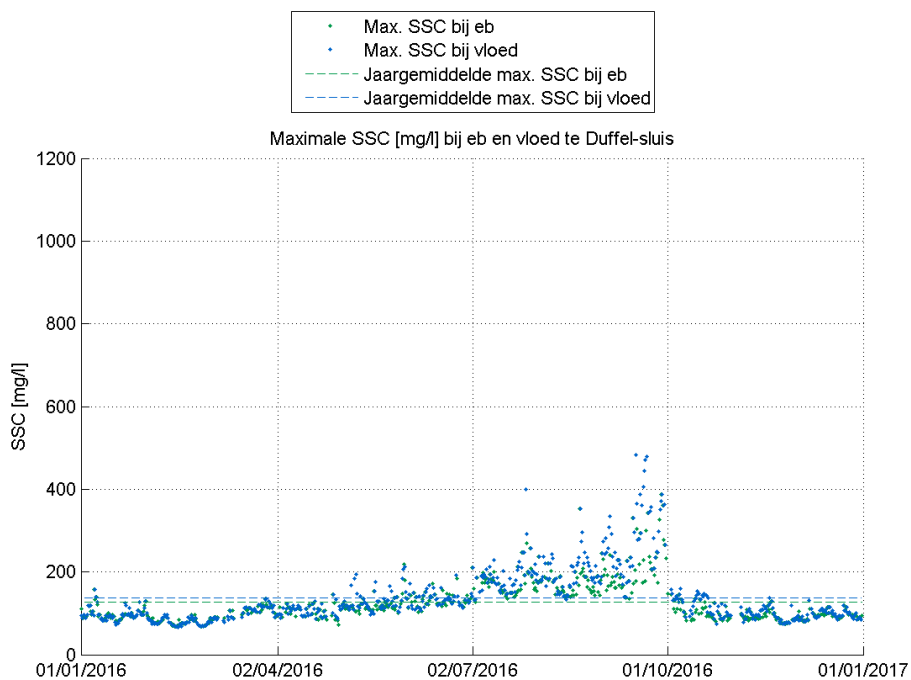
Figuur 93 - Maximale SSC bij eb en vloed te Driegoten



Figuur 94 - Maximale SSC bij eb en vloed te Melle



Figuur 95 - Maximale SSC bij eb en vloed te Duffel



4.1.6 Verloop overige parameters

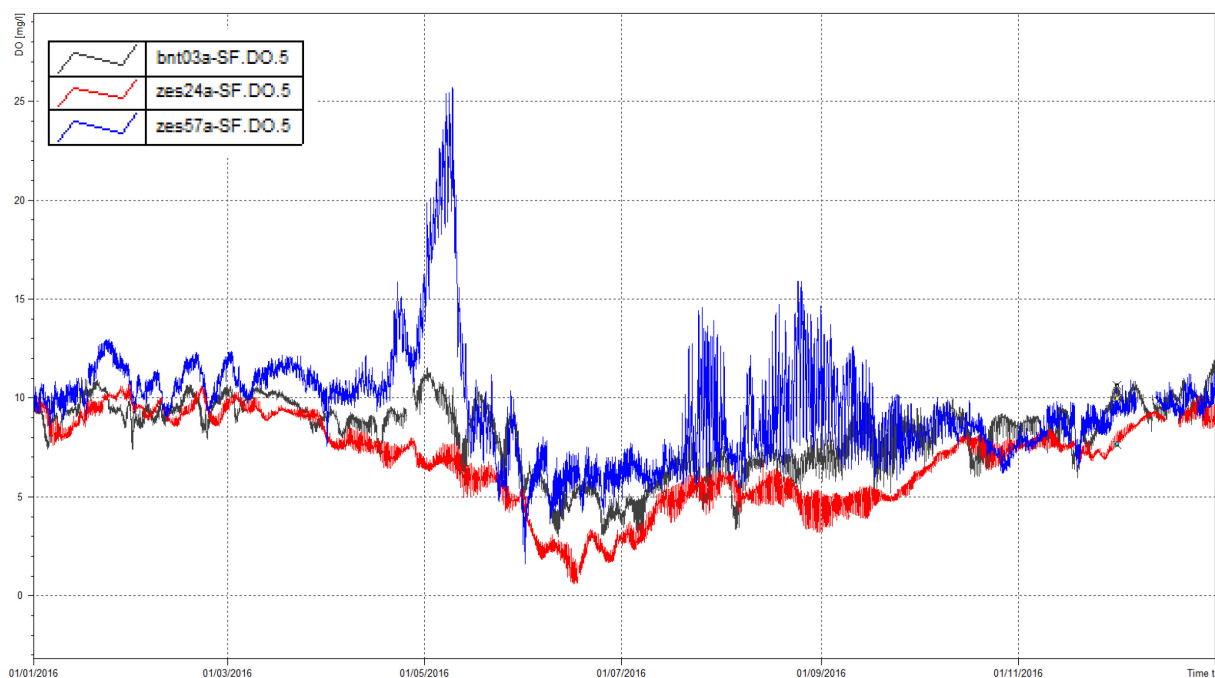
In de Boven-Zeeschelde te Melle, de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke en de Beneden-Nete te Duffel-sluis is een YSI multiparametersonde opgesteld. Naast de hierboven gerapporteerde parameters (Temperatuur, Conductiviteit en Turbiditeit) worden op deze locaties ook de pH, zuurstofgraad en zuurstofgehalte gemeten.

Zuurstofconcentratie

De zuurstofconcentratie wordt beïnvloed door o.a. temperatuur, saliniteit, druk en stroomsnelheid. De oplosbaarheid van zuurstof daalt in water bij een stijgende temperatuur. Ook een stijgende saliniteit zorgt voor een daling in een gesatureerd watersample. Verder stijgt de totale concentratie opgelost zuurstof in een gesatureerd waterstaal met stijgende druk. Tot slot zorgt een verhoogde stroomsnelheid voor verversing van het water en het op peil houden of verhogen van de zuurstofconcentratie.

Figuur 96 geeft het verloop van de gemeten zuurstofgehalten. De grafieken voor Duffel-sluis en Kruibeke kennen een grotendeels gelijkaardig verloop. De zuurstofconcentratie te Melle kent een grotere dag-nacht variatie en lijkt getuige te zijn van een tweede fotosynthese-piek op het einde van de zomer. Over het algemeen is de zuurstofconcentratie wel iets hoger te Melle, wat lager in de Beneden-Nete te Duffel-sluis en het laagst nabij Kruibeke. In mei werd er een duidelijke piekconcentratie geregistreerd nabij Melle. In de Beneden-Nete is dit iets minder duidelijk merkbaar, terwijl deze afwezig is te Kruibeke. De sterk verhoogde zuurstofconcentratie is het gevolg van de aanzet in fotosynthese bij het begin van de lente. Hierna daalde de zuurstofconcentratie tot een minimum in juli. Dit komt doordat bij hogere temperaturen er meer zuurstof wordt verbruikt door een toename in (levende) biomassa en bovendien zuurstof minder oplosbaar wordt.

Figuur 96 - Zuurstofgehalte [mg/L] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw)

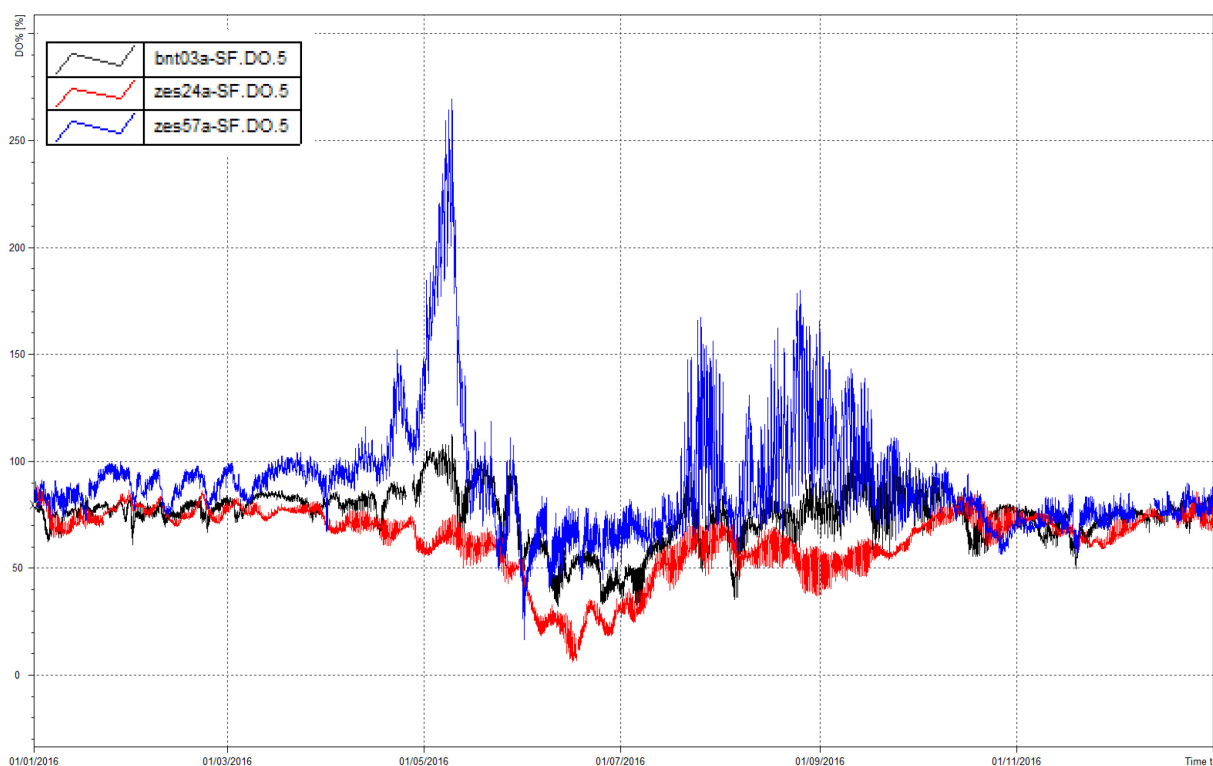


Zuurstofverzadiging

De zuurstofverzadiging wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de werkelijke concentratie (mg/l) aan opgelost zuurstof en de maximale concentratie (mg/l) aan opgelost zuurstof bij de heersende watertemperatuur tijdens de meting. De maximale concentratie aan opgelost zuurstof in water is afhankelijk van de temperatuur van het water: hoe hoger de temperatuur, hoe lager de maximale concentratie. De waarde van zuurstofverzadiging is dus afhankelijk van de absolute zuurstofconcentratie en de watertemperatuur. Bijgevolg zijn de algemene trends zoals beschreven voor DO ook van toepassing op de parameter DO%.

Figuur 97 toont het verloop van de zuurstofverzadiging. Voor Melle, Duffel-sluis en Dendermonde bedraagt de zuurstofverzadiging tijdens de wintermaanden tussen 60 en 100 %. Tijdens de zomermaanden neemt de variatie in zuurstofverzadiging sterk toe, met waarden tussen 20 en 180 %, en lokale pieken tot 200 %. Het is opmerkelijk dat de Beneden-Zeeschelde te Kruikeke sterk onderverzadigd was in juni 2016. Een mogelijke verklaring is de verhoogde neerslag tijdens de maand juni. Bij te veel neerslag kan het namelijk zijn dat de rioolwaterzuiveringsinstallaties het hoge debiet niet kunnen slikken en het overtollige water moeten lozen op de waterlopen.

Figuur 97 - Zuurstofverzadiging [%] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruikeke (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw)

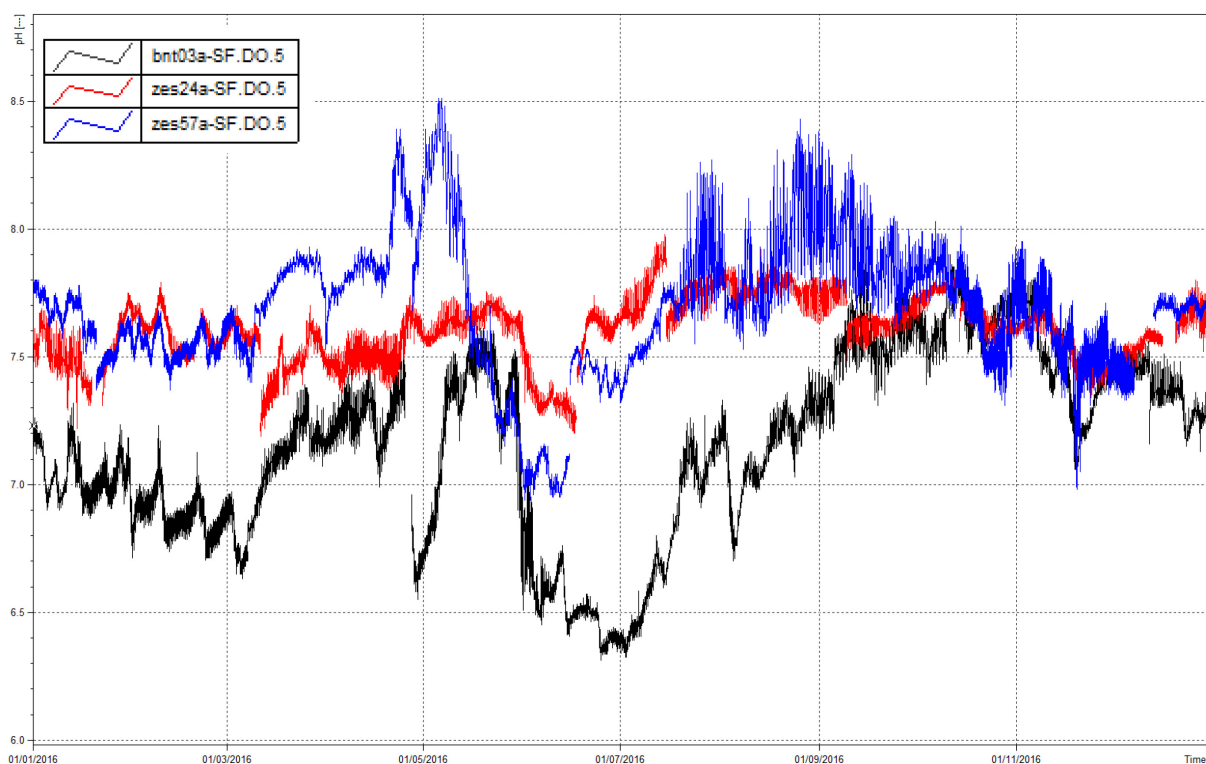


Zuurtegraad

Als laatste fysicochemische parameter kan de zuurtegraad beschreven worden (Figuur 98). De zuurtegraad vertoont over het algemeen een gelijkaardige trend als zuurstofgehalte. Verder blijkt dat in de Schelde ook een gradiënt aanwezig is waarbij de pH toeneemt in het zoete gedeelte.

De pH is relatief stabiel en schommelt het hele jaar door tussen 6,5 pH en 8 pH. Tijdens de maanden april en juni kunnen er pieken tot 8,5 pH onderscheiden worden. Dit is analoog aan de pieken in zuurstofverzadiging rond deze periode. Schommeling in absolute pH-waarden zijn moeilijk te interpreteren, daar het mogelijk is dat deze ook te wijten zijn aan een grote kalibratiemarge van de sondes. Zeker te Kruike gaf dit problemen, waardoor er hier niet exact een betrouwbare waarde gedetermineerd worden.

Figuur 98 - Zuurtegraad [pH] op de Beneden-Nete te Duffel-sluis (Zwart), de Beneden-Zeeschelde te Kruike (Rood), en de Boven-Zeeschelde te Melle (Blauw).



De pH-meting te Kruike is niet volledig betrouwbaar (vlag Suspect) door de grote kalibratiemarge van de sonde.
De reeks wordt hier weergegeven als indicatie van het verloop doorheen 2016.

4.2 Periodieke metingen (laagfrequent)

Door het wegvallen van de meetpost te Driegoten, is ervoor geopteerd periodieke metingen van de sedimentconcentratie in dit jaarboek te rapporteren om alsnog informatie te hebben voor de Boven-Zeeschelde. Deze gegevens worden reeds van in de jaren 1990 verzameld maar werden tot op heden nog niet opgenomen in de jaarlijkse rapportage. Het betreft staalnames (“schipstalen”) ter hoogte van de getijmeetposten, verspreid doorheen het tijgebied, die door middel van labo-analyses geanalyseerd worden op sedimentconcentratie.

Sedimentconcentraties voor 10 locaties werden vergeleken voor 2006⁷ tot 2016 en dit enkel met observaties die de kwaliteitsvlag “Good” hadden gekregen. Boxplots werden opgesteld voor elke locatie en gegroepeerd per tijzone (Zeeschelde, bijrivieren, opwaartse posten tijgebied) om beter te kunnen vergelijken tussen posten voor hetzelfde jaar. Opgemerkt dient te worden dat 2011 daarbij niet alleen een jaar was met in het algemeen hogere sedimentconcentraties maar ook het jaar waarin van de methode van staalname werd veranderd (van standaard emmer naar verzwaarde fles).

Figuur 99 toont daarbij Dendermonde, Schelle en Sint-Amands. Deze 3 tijposten vertonen nagenoeg hetzelfde gedrag: een stijgende trend in de sedimentconcentratie gedurende de laatste 10 jaar (Figuur 100) met hogere sedimentconcentraties in 2011 en 2015. Voor Dendermonde en Sint-Amands ligt de p-waarde lager dan 0,05 en is er sprake van een significante trend (Tabel 15).

Figuur 101 toont Hamme-brug, Tielrode en Walem. Vooral Hamme-brug heeft zeer hoge concentraties met uitschieters tot boven de 5000 mg/l in 2016. Deze waarden kunnen niet toegeschreven aan baggerwerken ter plaatse van de locatie. In 2016 werd er meer opwaarts gebaggerd (opwaarts Waasmunsterbrug). In Fase 1 (2012-2013) en Fase 2 (2013-2015) werd wel gebaggerd nabij Mirabrug (dicht bij Hamme-brug). Voor individuele tijposten schommelt de mediaan steeds rond eenzelfde waarde maar deze liggen beduidend hoger voor Hamme-brug en Tielrode in vergelijking met Walem.

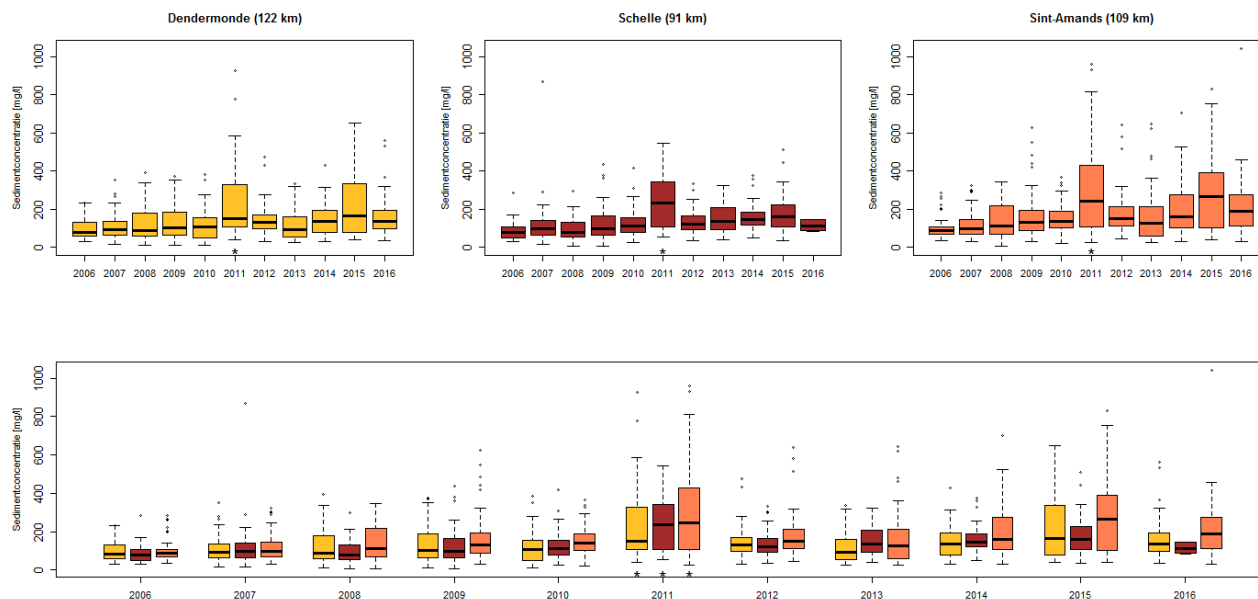
Figuur 102 toont Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam, allemaal posten in het opwaartse deel van het tijgebied. De concentraties zijn hier over het algemeen lager dan voor de overige locaties. Hierbij zijn er vooral in Hombeek grote uitschieters in vergelijking met de andere posten. Emblem en Kessel vertonen een licht stijgend trend (toename kleiner dan 1 mg/l per jaar), Rijmenam is nagenoeg constant en Hombeek geeft een licht dalende trend (Figuur 103). In Tabel 16 kunnen de verschillende statistische parameters voor deze locaties teruggevonden.

Tabel 15 - Overzicht trends sedimentconcentratie periodieke metingen in het estuarium
 p-waarde < 0,05 geeft aanleiding tot significant resultaat (gemarkeerd in het **vet**)

Locatie	Richtingscoëfficiënt [mg/l per jaar]	R ²	p-waarde
Dendermonde	+6,28	0,57	0,007
Schelle	+6,42	0,23	0,136
Sint-Amands	+11,87	0,48	0,019

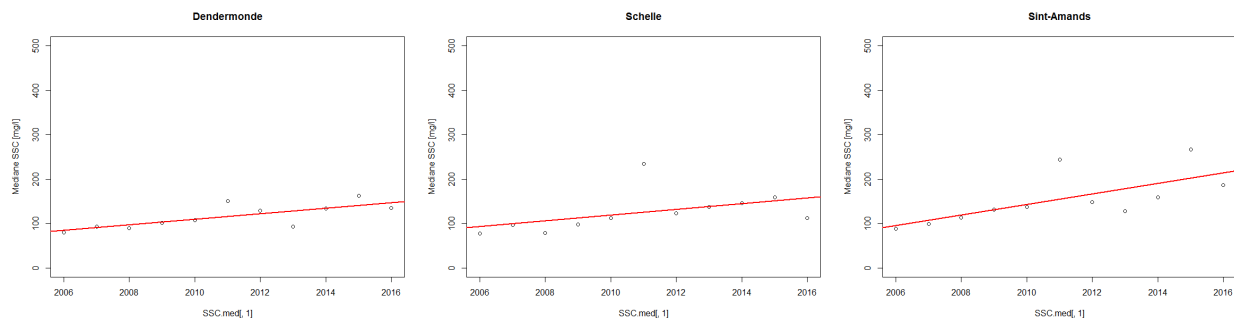
⁷ Vanaf 2006 werden de gegevens opgeslagen in de gangbare databanken. Vroegere resultaten werden momenteel nog niet teruggevonden, ondanks het feit dat ze opgemeten zijn.

Figuur 99 – Sedimentconcentraties van Dendermonde, Schelle en Sint-Amands.

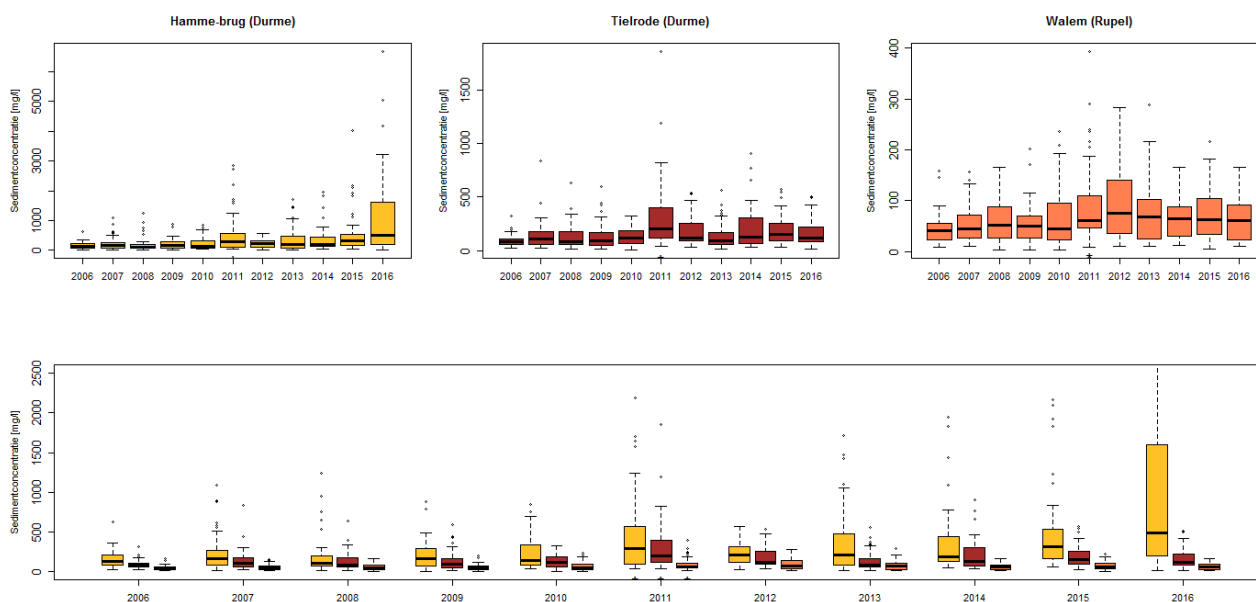


Dezelfde kleurenlegende wordt gebruikt voor de boven- en onderstaande figuren.
 In 2011 werd veranderd van staalname methode. De weergegeven kilometers is de afstand tot Vlissingen.

Figuur 100 – Trend in mediaan sedimentconcentraties te Dendermonde, Schelle en Sint-Amands



Figuur 101 – Sedimentconcentraties van Hamme-brug, Tielrode en Walem (verschillende assen).

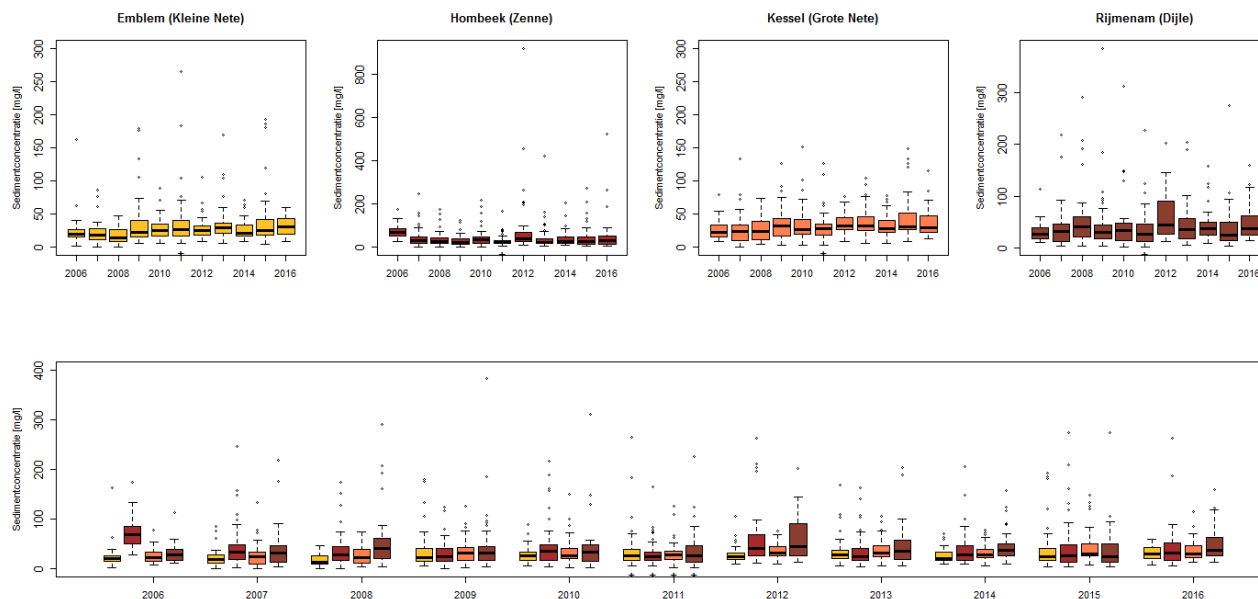


Dezelfde kleurenlegende wordt gebruikt voor de boven- en onderstaande figuren.
In 2011 werd veranderd van staalname methode.

Tabel 16 - Overzicht trends sedimentconcentratie periodieke metingen randen estuarium
p-waarde < 0,05 geeft aanleiding tot significant resultaat (gemarkeerd in het **vet**)

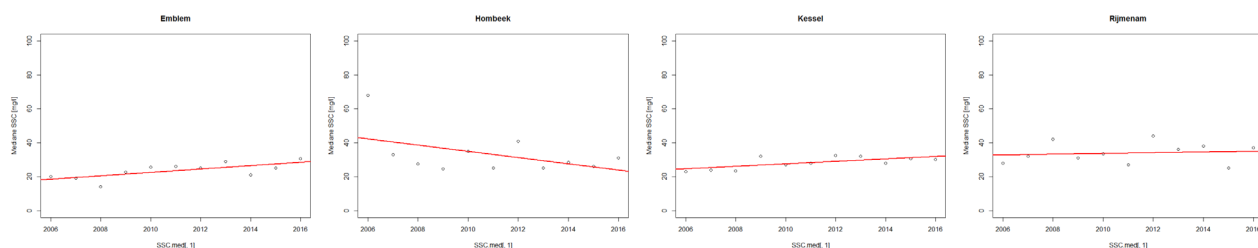
Locatie	Richtingscoëfficiënt [mg/l per jaar]	R ²	p-waarde
Emblem	+1,00	0,49	0,017
Hombek	-1,85	0,24	0,130
Kessel	+0,73	0,47	0,020
Rijmenam	+0,23	0,02	0,712

Figuur 102 – Sedimentconcentraties van Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam.



Dezelfde kleurenlegende wordt gebruikt voor de boven- en onderstaande figuren.
 In 2011 werd veranderd van staalname methode.

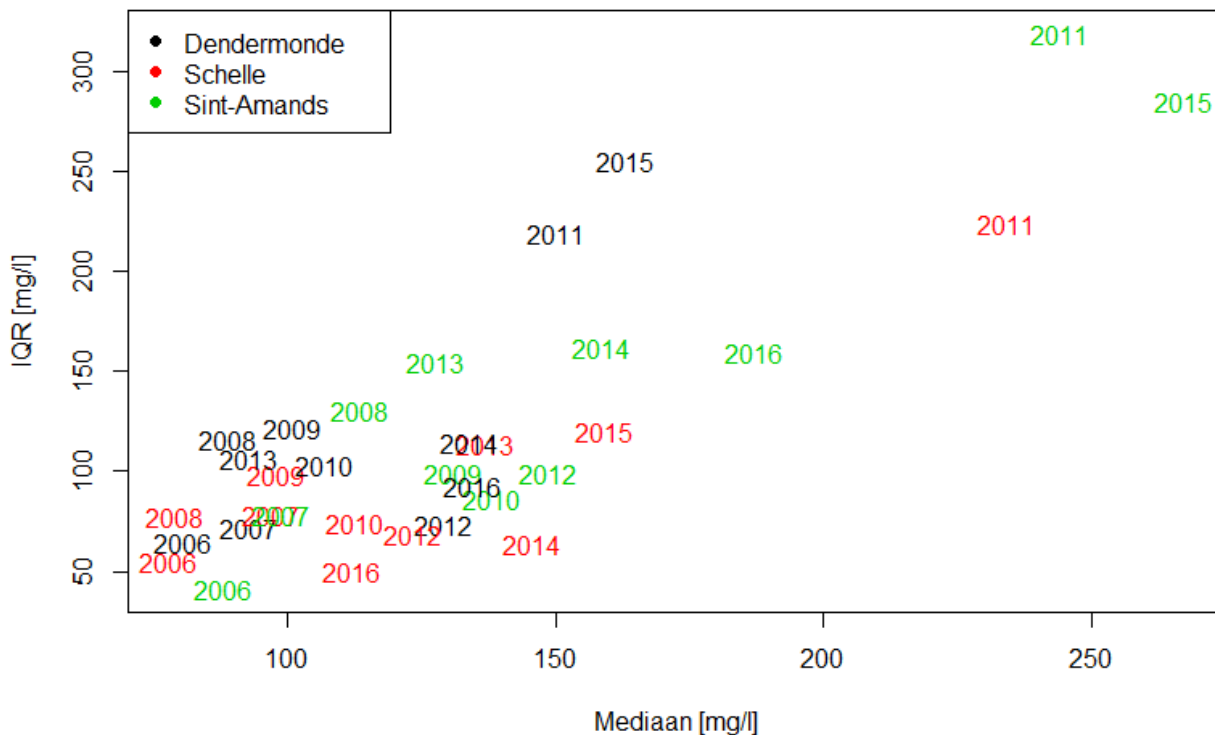
Figuur 103 – Trend in mediaan sedimentconcentraties te Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam



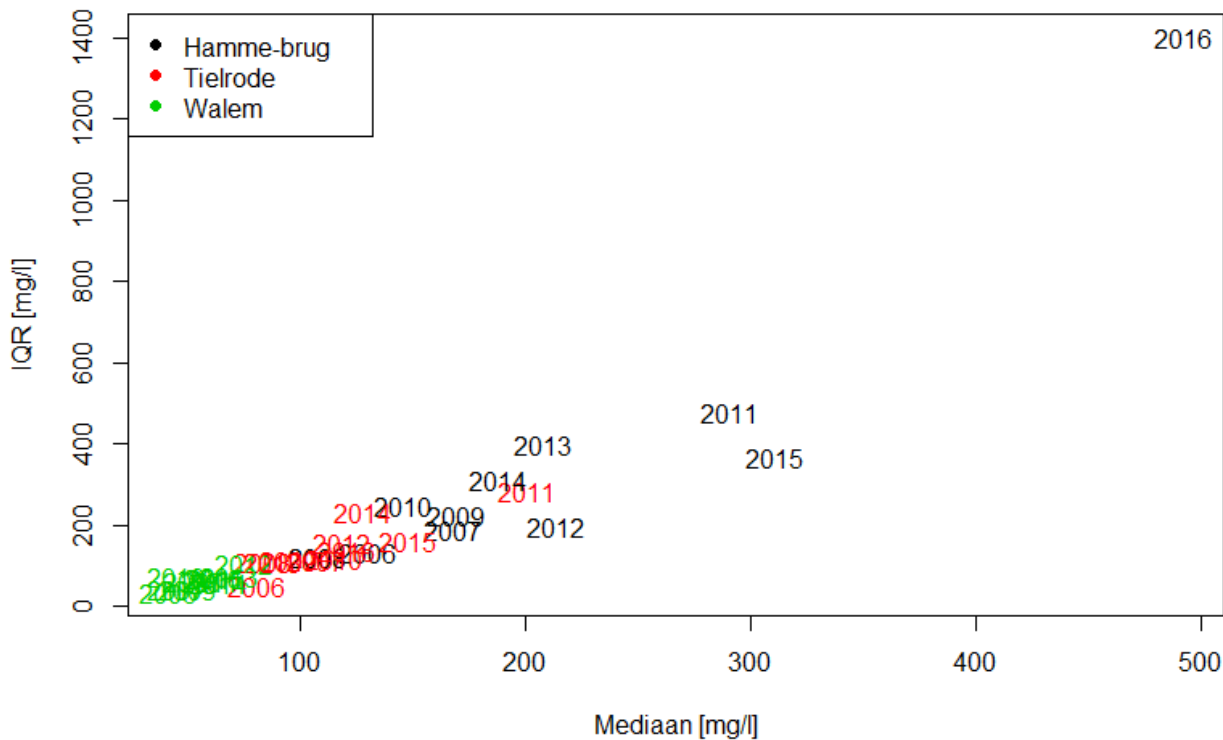
Voor dezelfde groepering van posten werden ook figuren (Figuur 104, Figuur 105, Figuur 106) gemaakt met waarden die uit de boxplots kunnen worden afgeleid: de mediaan en de interkwartielafstand. Voor de posten op de Zeeschelde en ook Hamme-brug op de Durme valt vooral de hogere mediane waarden met bijbehorende grotere interkwartielafstand op voor de jaren 2011 en 2015. Bij de overige posten is dit niet het geval.

Voor elk van deze datareeksen werd een Shapiro-Wilk test voor normaliteit uitgevoerd. Dit is een statistische test met als nulhypothese dat de data afkomstig is uit een normale verdeling. Voor het overgrote deel van de gevallen werd dit verworpen (p -waarde $< 0,05$), ook wanneer de test werd uitgevoerd op het natuurlijke logaritme van de data. Dit is de reden waarom geopteerd werd om de mediaan en interkwartielafstand te rapporteren in plaats van de het gemiddelde en de standaardafwijking.

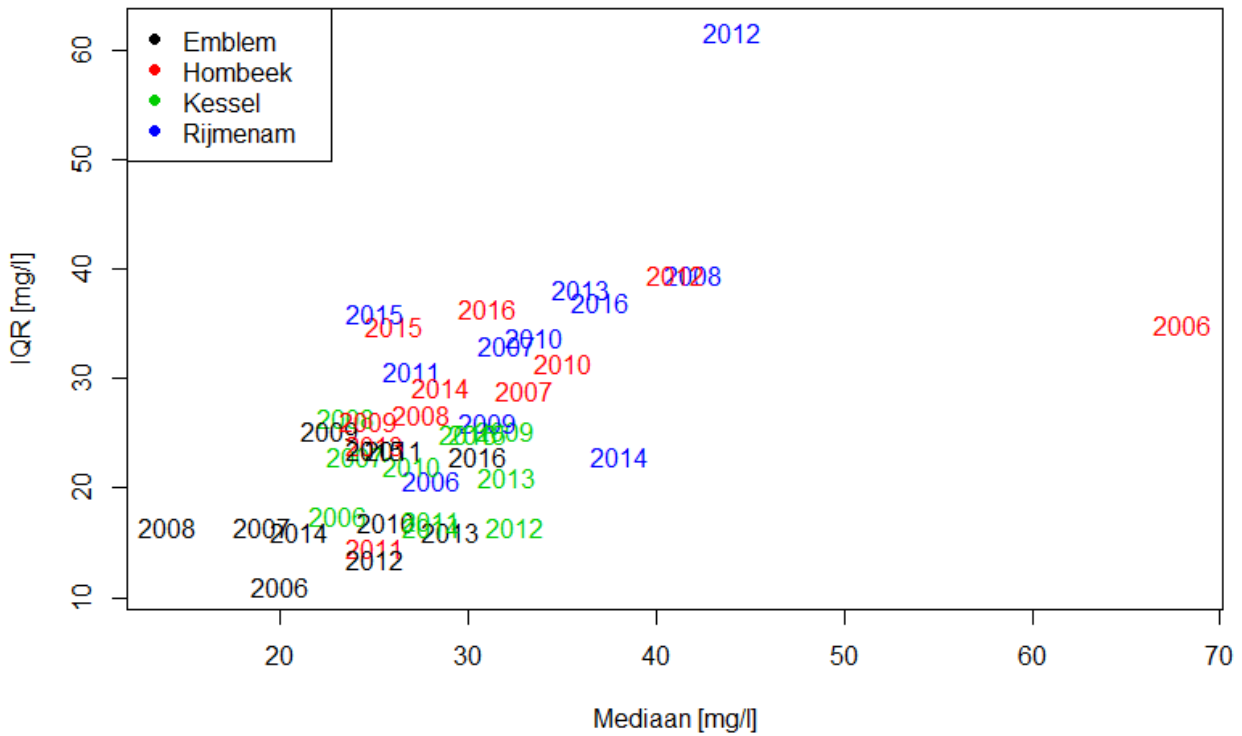
Figuur 104 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Dendermonde, Schelle en Sint-Amands.



Figuur 105 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Hamme-brug, Tielrode en Walem.



Figuur 106 – Mediaan en interkwartielafstand van de sedimentconcentraties van Emblem, Hombeek, Kessel en Rijmenam.



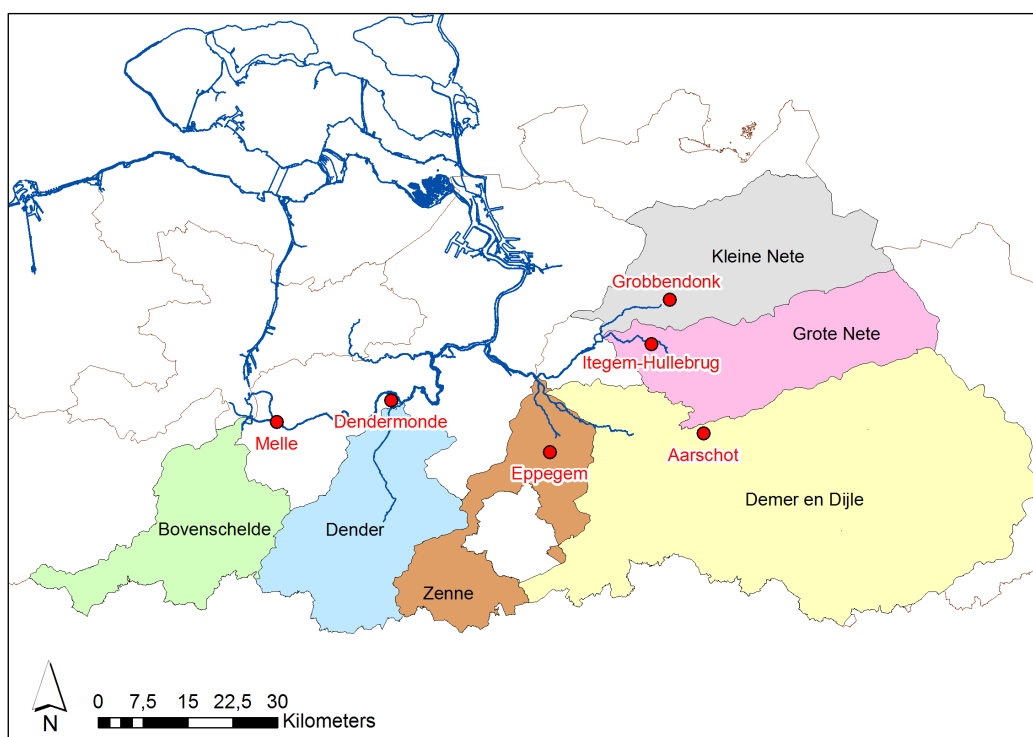
4.3 Sedimentinput aan de rand van het getijdegebied

In het verleden werd de sedimentvracht naar het tijgebed ingeschat op basis van laagfrequente bemonstering door middel van schepstalen waarbij er een relatie werd opgesteld tussen de sedimentconcentratie en het daggemiddelde debiet (Van Hoestenbergh *et al.*, 2014). Deze methodiek heeft echter de tekortkoming dat events, die gepaard met piekconcentraties en (bijhorende) piekfluxen, gemist worden. Aangezien er aan de randen van het getijdegebied eveneens continue YSI-metingen (stations binnen het getijdegebied met eb- en vloedstroming) en automatische pompstalen (stations aan de rand van het getijdegebied met louter stroming naar afwaarts) plaatsvinden, wordt vanaf dit jaarboek de sedimentvracht ingeschat aan de hand van de hoogfrequenter metingen. Indien er geen betrouwbare meetgegevens voorhanden zijn, wordt het suspensiegehalte ingeschat m.b.v. de bovenafvoer. Voor meer gedetailleerde informatie m.b.t. deze berekeningsmethoden wordt verwezen naar Vos *et al.* (*in voorbereiding*).

Anders dan bij voorgaande jaren wordt er in deze editie geen volledige slibbalans (i.e. doorrekening naar de Schelde te Schelle) opgesteld. De berekende sedimentvracht op een welbepaalde meetlocatie wordt hier dus niet opgeschaald tot de monding van de zijrivier, zodanig dat er geen extra onzekerheid sluipt in de gerapporteerde hoeveelheden. Volgende stations worden gebruikt voor het berekenen van de sedimentvrachten (zie Figuur 107):

- Boven-Zeeschelde te Melle (YSI)
- Dender te Dendermonde (YSI)
- Zenne te Eppegem (automatische pompstalen)
- Demer te Aarschot (automatische pompstalen)
- Grote Nete te Itegem-Hullebrug (automatische pompstalen)
- Kleine Nete te Grobbendonk (Troon) (automatische pompstalen)
- Dijle & Durme (schepstalen)

Figuur 107 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de stroomgebieden.



In Figuur 108 tot en met Figuur 113 wordt de sedimentvracht (suspensie) weergegeven voor de meetlocaties vermeld in Tabel 17. Het betreft hier de sedimentvracht zonder toepassing van de EWI-correctie. Merk op dat er in de huidige opstelling, geen continue metingen uitgevoerd worden op de Durme, noch de Dije. Er dient vermeld te worden dat de *in situ* meting gebruikt werd als suspensiegehalten. M.a.w. er werd geen correctie uitgevoerd zodanig een representatieve concentratie voor de gehele rivierdoorsnede te verkrijgen. Het Waterbouwkundig Laboratorium voert momenteel een uitgebreide EWI⁸-campagne uit. Een onderbouwde correctie zal doorgevoerd worden wanneer er voldoende data vergaard is. Voor een aantal posten zijn er al enkele voorlopige resultaten beschikbaar uit de Masterthesis van Denis & Byttebier (2015) en deze werden dan ook gebruikt om alvast een eerste (indicatieve) correctie uit te voeren. Zowel de geschatte jaarlijkse sedimentvracht op basis van *in situ* meetgegevens, als de gecorrigeerde waarden zijn terug te vinden in Tabel 17.

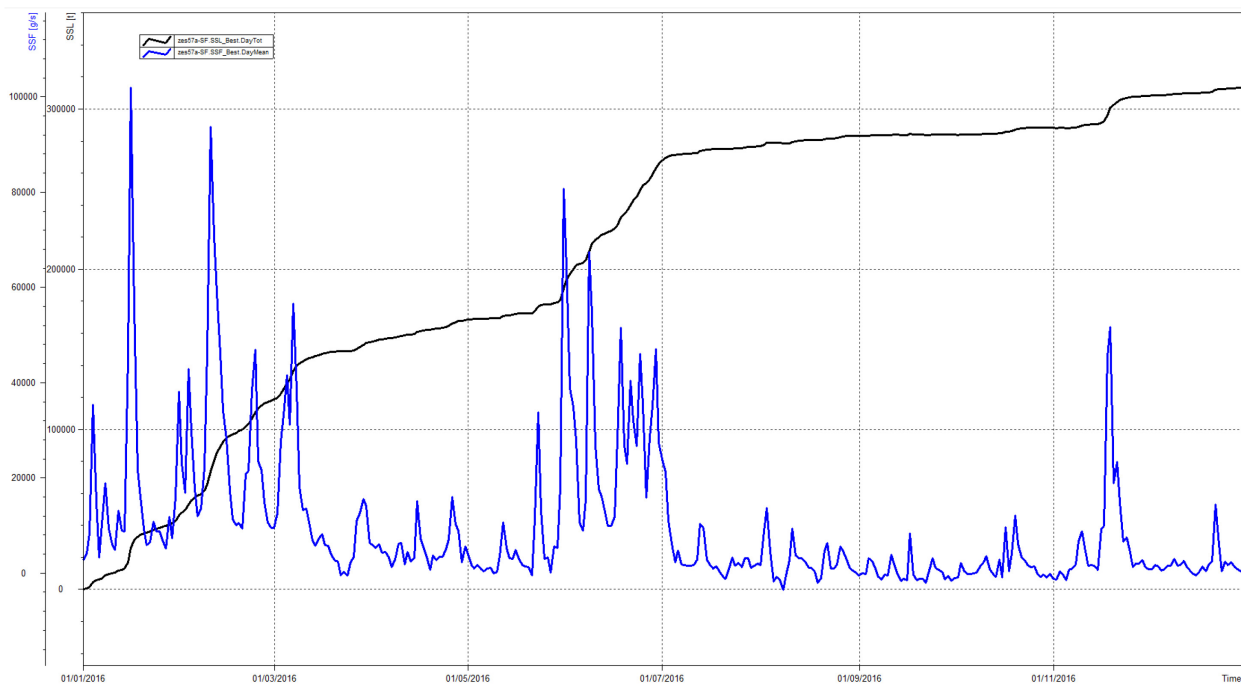
Wanneer men kijkt naar de gecorrigeerde schatting van de sedimentvracht, blijkt deze ter hoogte van Melle en Aarschot aanzienlijk hoger dan de overige meetlocaties. De geschatte sedimentinput te Itegem is één tot twee grootteordes kleiner dan de overige locaties. Opgemerkt moet worden dat de stalen genomen te Aarschot niet representatief zijn voor de volledige dwarssectie, waardoor de sedimentvracht zonder toepassing van de EWI-correctie een sterke overschatting geeft.

Tabel 17 - Meetlocaties aan de rand van het getijdegebied met de geschatte jaarlijkse sedimentvracht (ton): de “ruwe” schatting op basis van de *in situ* meting en de sedimentvracht gecorrigeerd m.b.v. een voorlopige EWI-correctie.

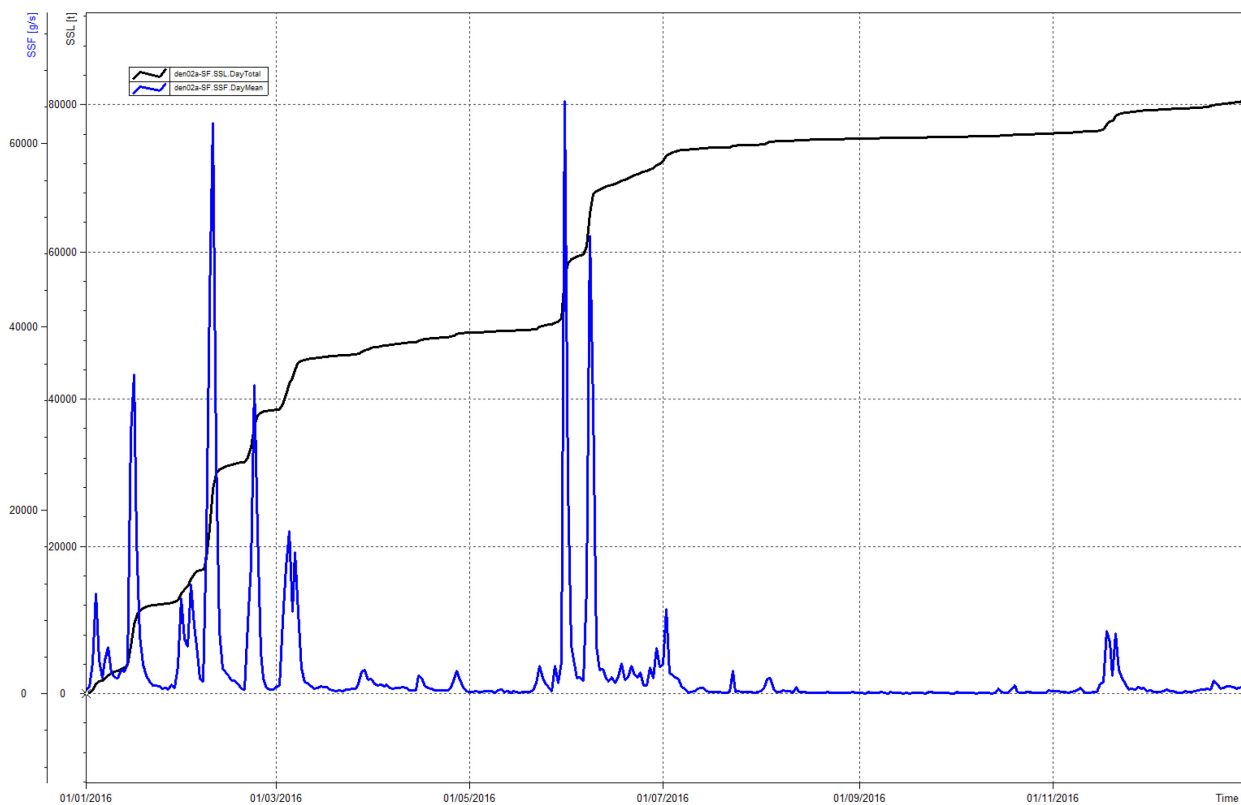
Meetlocatie	Rivier	Ruwe jaarlijkse sedimentvracht (ton)	EWI-correctie	Gecorrigeerde jaarlijkse sedimentvracht (ton)
Melle	Boven-Zeeschelde	313 263	-	-
Dendermonde	Dender	80 445	-	-
Epegem	Zenne	53 588	$EWI = 1.1072 * APS - 0.0178$	59 333
Aarschot	Demer	1 100 610	$EWI = 0.1249 * APS + 30$	137 496
Itegem - Hullebrug	Grote Nete	8 454	$EWI = 0.25 * APS + 20.833$	2 134
Grobbendonk - Troon	Kleine Nete	76 942	$EWI = 0.7329 * APS + 3.5482$	56 394

⁸ Equidistant Width Increment

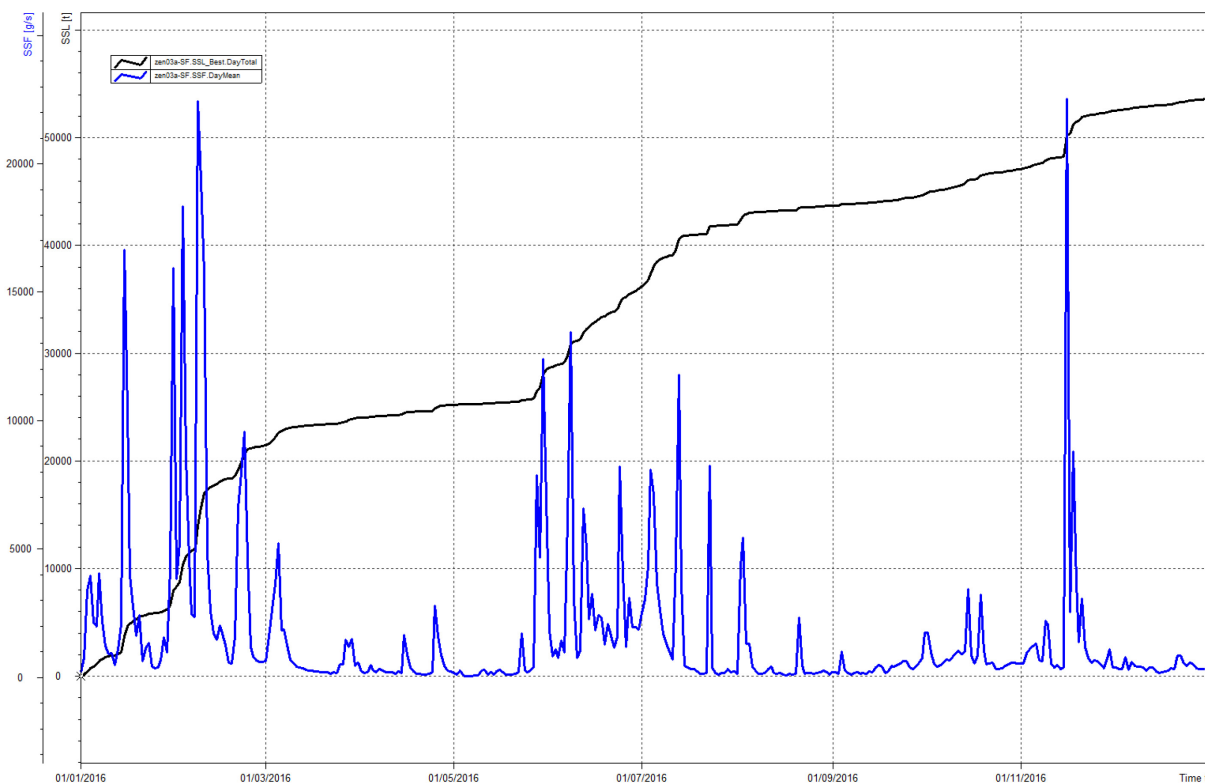
Figuur 108 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Boven-Schelde te Melle.



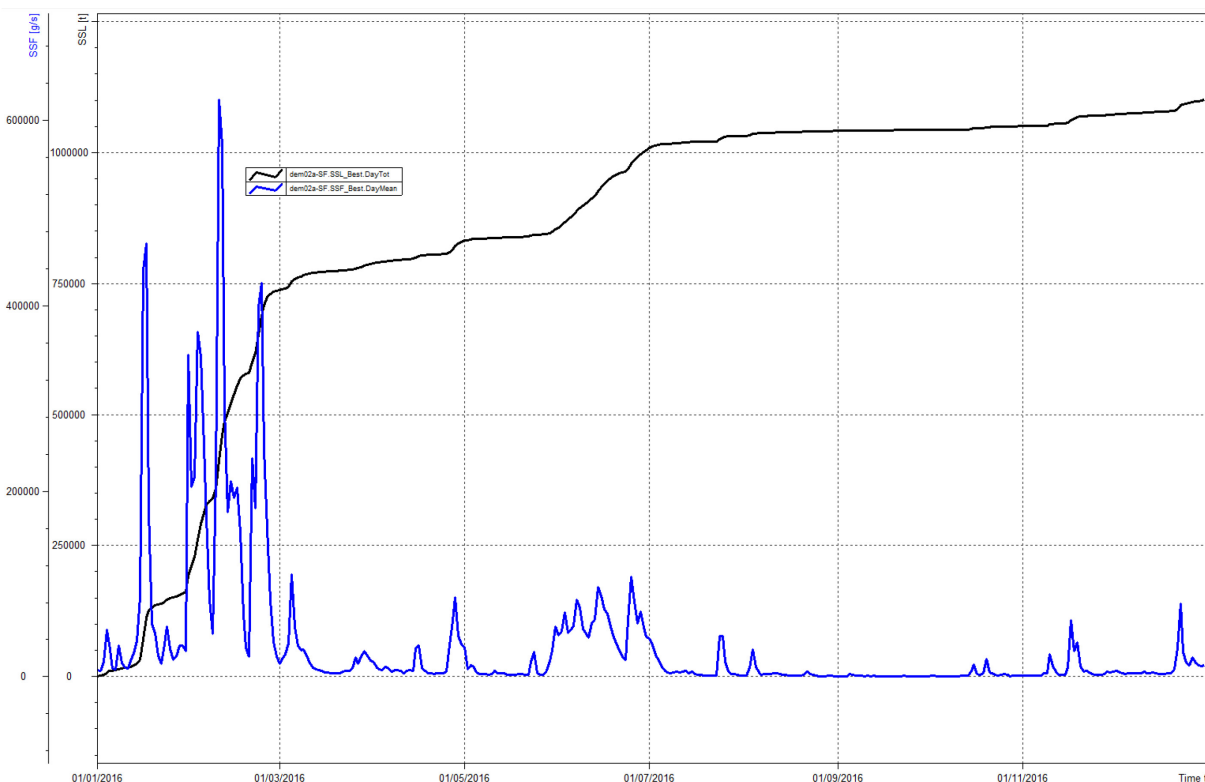
Figuur 109 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Dender te Dendermonde.



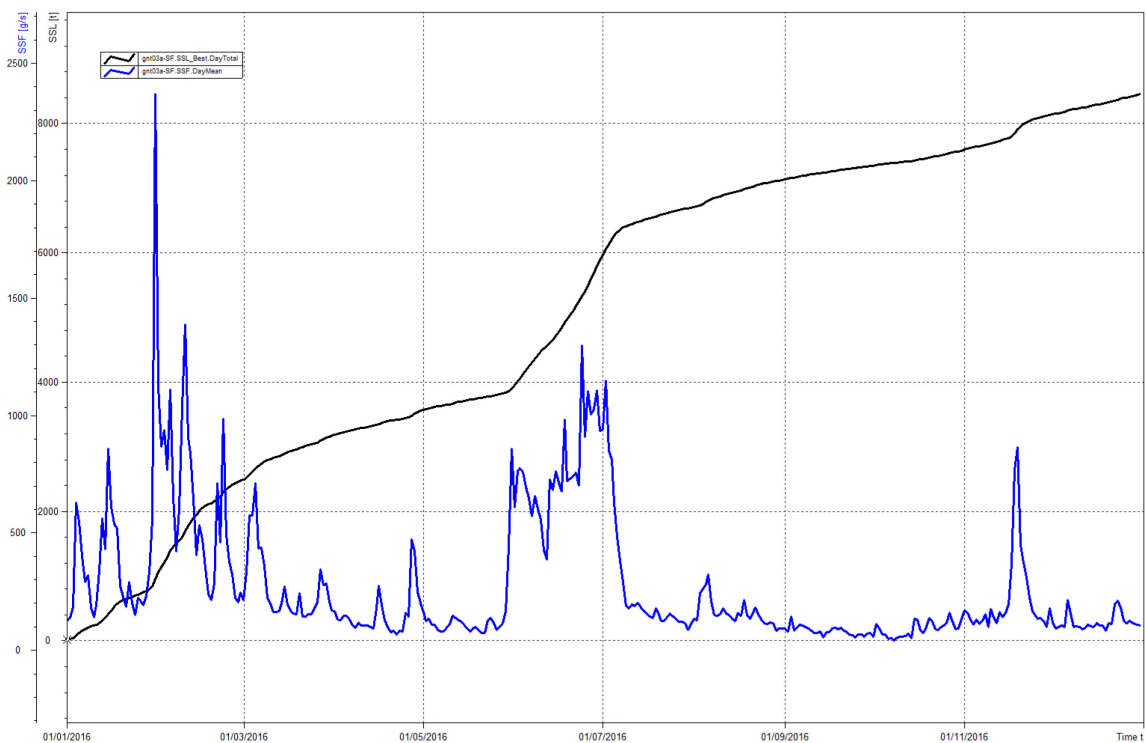
Figuur 110 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Zenne te Epegem.



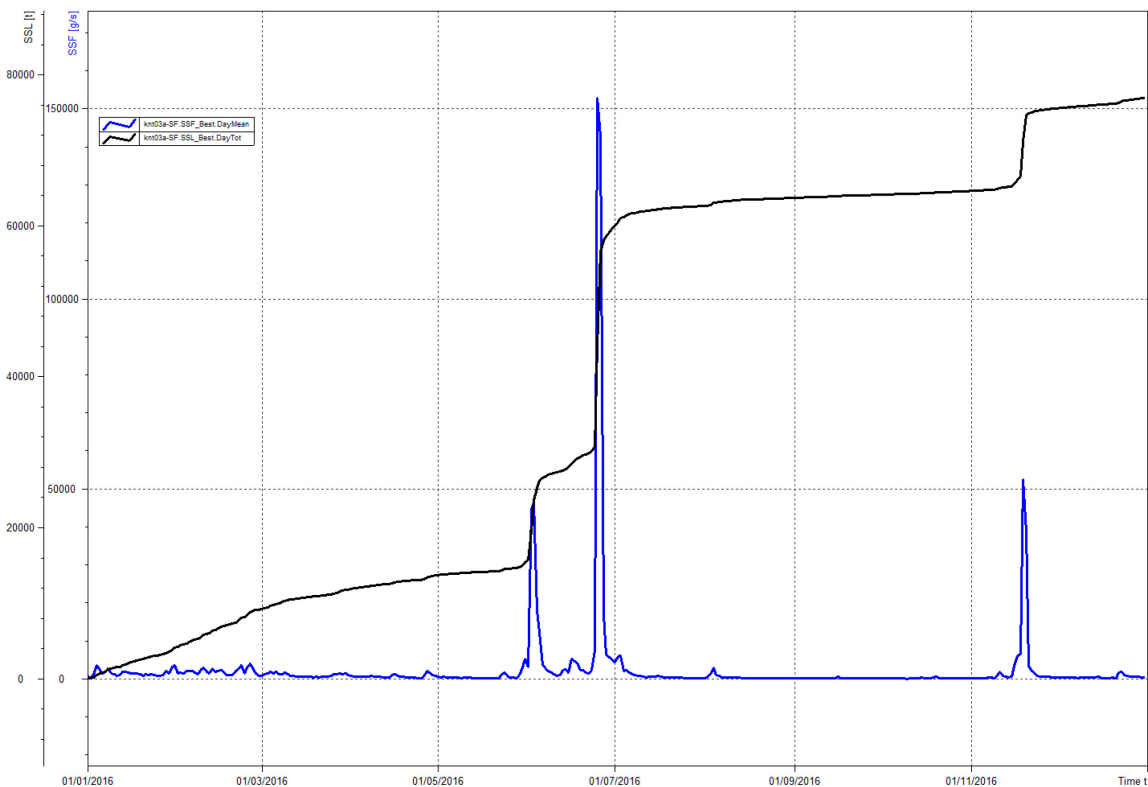
Figuur 111 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Demer te Aarschot.



Figuur 112 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Grote Nete te Itegem-Hullebrug.



Figuur 113 - Geschatte daggemiddelde sedimentflux SSF (g/s - Blauw) en gecumuleerde sedimentvracht SSL (ton - zwart) komende van de Kleine Nete te Grobbendonk Troon.



4.4 Meetcampagnes - langsvaarten

4.4.1 Meetlocaties en meetinstrumenten “fysische parameters”

Het Waterbouwkundig Laboratorium voert reeds vanaf de jaren 1960 periodieke langsvaarten uit langsheen het Schelde-estuarium. Hierbij wordt met behulp van een meetschip op een bepaald moment in de getij-cyclus 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 also de “saliniteitsgradiënt” in beeld brengen.

Sinds 2010 heeft men echter ook systematisch naast de conductiviteit (gemeten met een YSI sonde) water- en sedimentstalen genomen met behulp van een pomp, om zo enerzijds het chloridegehalte te kunnen bepalen, en anderzijds de sedimentconcentratie te kunnen meten. Bij de zogeheten langsvaarten worden op 17 vaste locaties (zie Figuur 114) langsheen de Beneden-Zeeschelde pompstalen genomen in de bovenste helft van de waterkolom (1 à 3 m onder het wateroppervlak). De vaarten worden 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 (Tabel 18) 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.*, 2012, 2014], doch hier 3-maandelijks; deze metingen geven een beeld van de sedimentconcentraties in het estuarium bij aanzienlijke stromingen. De factual data rapportering voor 2015 wordt beschreven in Meire *et al.* (2016).

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.

Sinds 2015 is de frequentie van de kenteringsvaarten verlaagd van maandelijks, naar driemaandelijks (naar analogie van de halftij-eb vaarten. Dit heeft effect op de hierna voorgestelde figuren en plots, een afwijkende waarde krijgt driemaal meer gewicht dan voorheen, en kleine variaties doorheen de tijd worden niet geregistreerd.

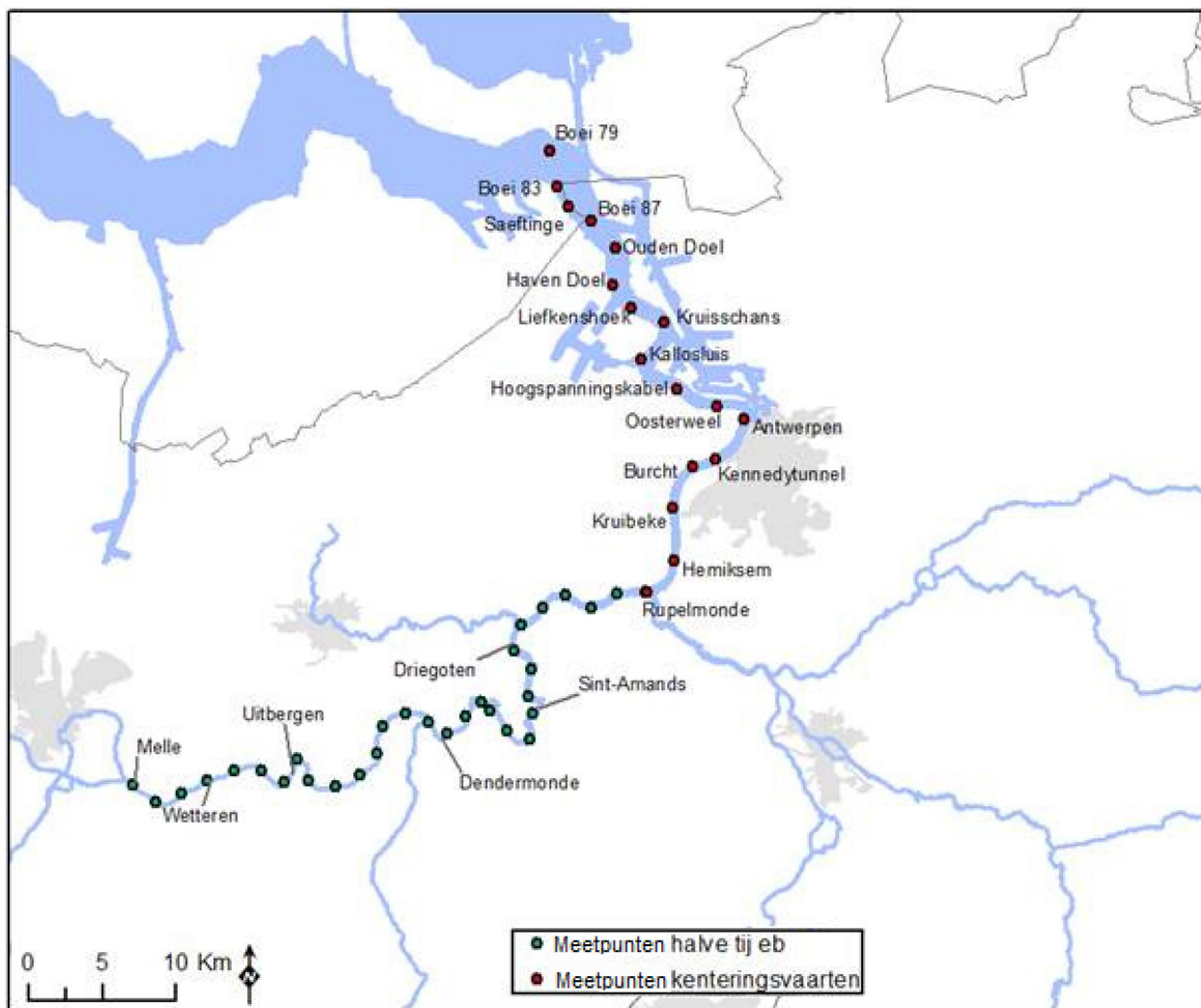
Tabel 18 - Overzicht data meetcampagnes halftij eb.

Seizoen	Deelrivier	Datum campagne
Winter	Beneden-Zeeschelde	02/03/2016
	Boven-Zeeschelde	29/02/2016&01/03/2016
Lente	Beneden-Zeeschelde	27/05/2016
	Boven-Zeeschelde	26-27/05/2016
Zomer	Beneden-Zeeschelde	22/09/2016
	Boven-Zeeschelde	19-20/09/2016
Herfst	Beneden-Zeeschelde	20/12/2016
	Boven-Zeeschelde	19-20/12/2016

Tabel 19 - Overzicht data meetcampagnes kenteringsvaarten

Seizoen	Kentering	Datum campagne
Winter	KHW	02/02/2016
	KLW	25/02/2016
Lente	KHW	03/05/2016
	KLW	20/05/2016
Zomer	KHW	12/08/2016
	KLW	02/08/2016
Herfst	KHW	24/11/2016
	KLW	17/11/2016

Figuur 114 – Ligging van de vaste meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten



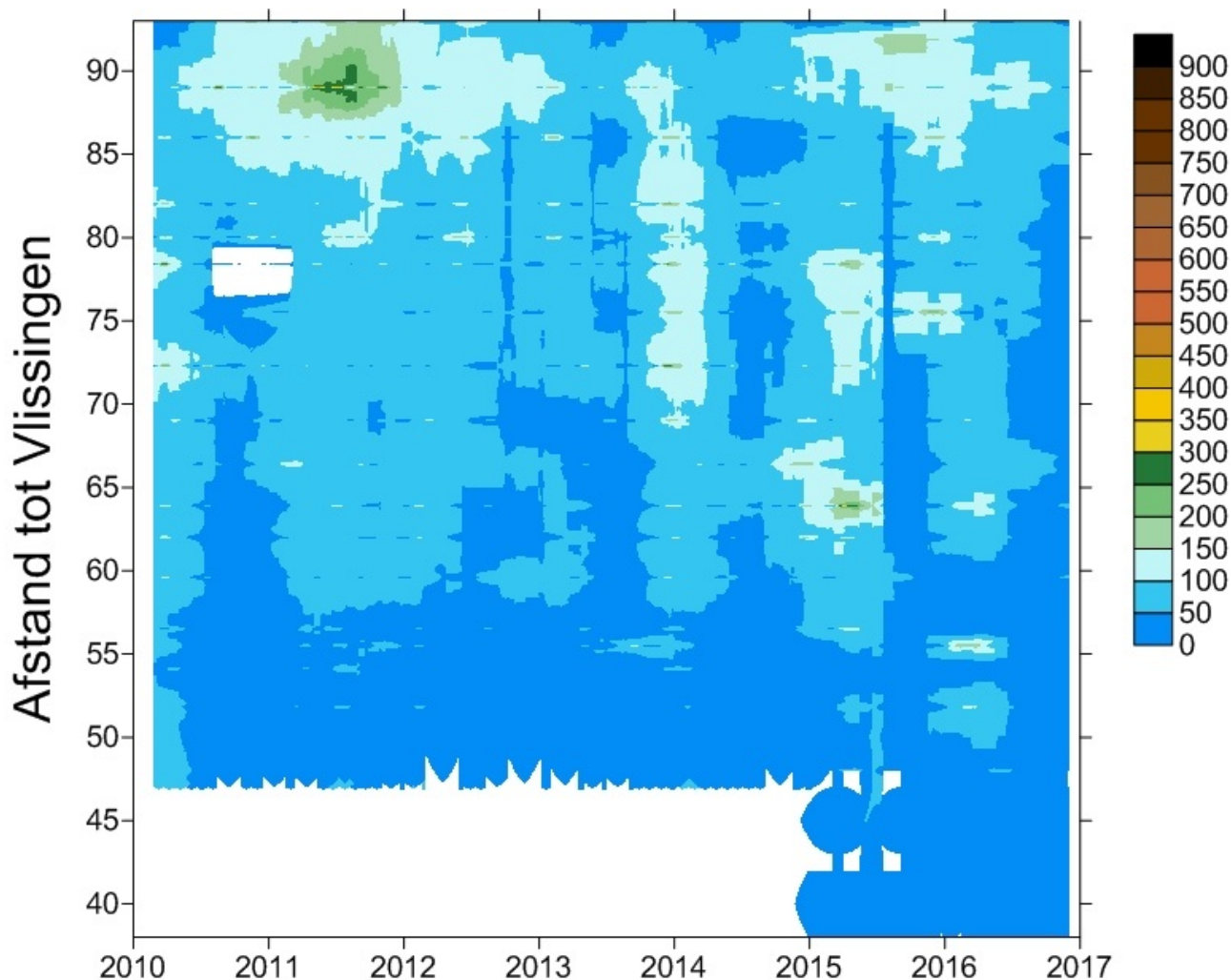
4.4.2 Kentering-vaarten

Figuur 115 geeft het verloop van de sedimentconcentratie langsheen de Beneden-Zeeschelde weer voor de periode 2010 – 2016 voor kentering hoogwater. Figuur 116 geeft deze concentraties weer voor de periode 2001 -2016 voor kentering laagwater. 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). Deze plots zijn gemaakt aan de hand van een 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.

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.

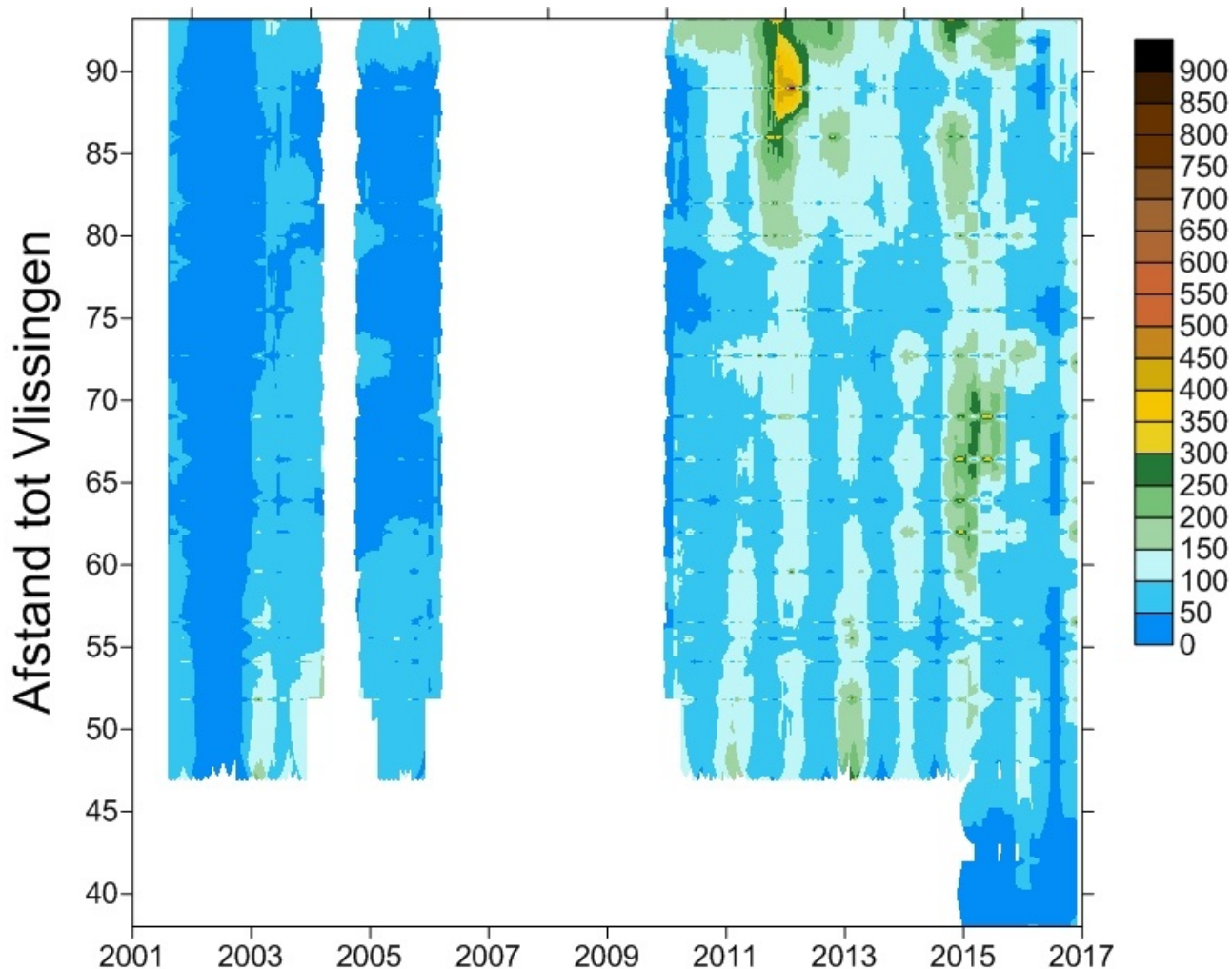
Aangezien de metingen op identieke wijze in de loop der jaren worden uitgevoerd, zijn de waarden wel onderling vergelijkbaar over de verschillende jaren.

Figuur 115 - Sedimentconcentratie bij kentering hoogwater langsheen de Beneden-Zeeschelde



Voor de langsvaarten tijdens kentering hoogwater (Figuur 115), 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. In 2014 lijkt een opnieuw een lichte toename waarneembaar (zeker in de winterperiodes). Gedurende 2015 blijven de sedimentconcentraties stijgen, vooral voor het meest opwaartse gedeelte van het gebied, maar nu ook vanaf km 65. In 2016 dalen de concentraties in de eerste helft van het jaar in het opwaartse gedeelte, terwijl er tussen km 50 en 70 een stijging optreedt. In de loop van het jaar dalen de concentraties opnieuw tot overal waarden lager dan 100 mg/l gemeten worden.

Figuur 116 - Sedimentconcentratie bij kentering laagwater langsheen de Beneden-Zeeschelde



De sedimentconcentraties gemeten tijdens de langsvaarten bij kentering laagwater (Figuur 116) vertonen een gelijkaardig beeld als bij kentering hoogwater. Echter, wanneer ook de oudere gegevens (pré 2007) mee beschouwd worden, is een toename in de tijd waar te nemen. Vóór 2007 werden slechts lokaal, in de meest afwaartse locaties concentraties tot 150 mg/l opgemeten, terwijl in het algemeen de sedimentconcentraties onder 100 mg/l bleven. In 2010 liggen de gemeten sedimentconcentraties aan de meest opwaartse meetlocaties tussen 150 en 200 mg/l. In 2011 worden over het algemeen hogere sedimentconcentraties gemeten, met een piek (tot 350 mg/l) aan de meest afwaartse locatie in de tweede helft van het jaar. Deze piek verdwijnt in 2013. Eind 2014 en 2015 worden in opnieuw hogere concentraties opgemeten (tot 200 mg/l) in het opwaartse gedeelte, maar nieuw is ook de toename tot zo'n 200mg/l in de zone 65-70 km tijdens 2015. In 2016 dalen de concentraties opnieuw.

4.4.3 Halftij-eb-vaarten

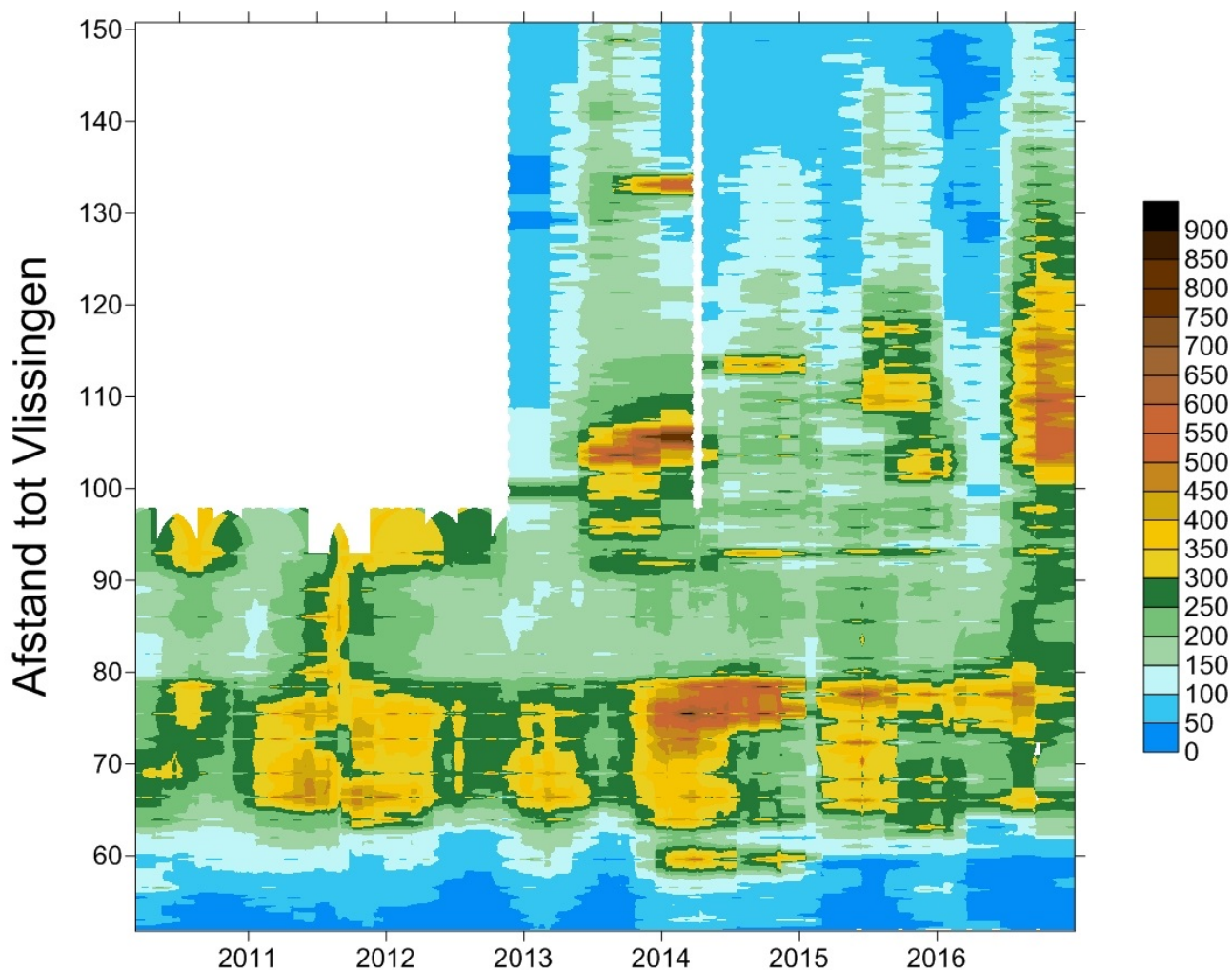
Figuur 117 geeft het verloop van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde weer voor de periode 2010 – 2016 bij halftij-eb. De metingen uitgevoerd bij halftij-eb geven ruimtelijk een ander beeld: de hoogste sedimentconcentraties (tot 650 mg/l) worden in de Beneden-Zeeschelde gevonden tussen km 60 en km 80, ter hoogte van de belangrijkste stortlocaties (Oosterweel, Punt van Melsele) voor slibrijke baggerspecie. Wanneer het verloop in de tijd beschouwd wordt, valt het op dat hier de hoogste waarden optreden in 2014, terwijl dit bij de kenteringsvaarten in 2011 en 2015 was. De verhoging in sedimentconcentratie die in 2014 werd opgemeten rond km 60, lijkt in 2015 volledig verdwenen. In 2016 dalen de concentraties opnieuw.

dalen de concentraties terug tussen km 65 en 80, maar opwaarts (tussen km 80 en 90) worden hogere sedimentconcentraties gemeten dan de voorgaande jaren.

In de Boven-Zeeschelde komen in de tweede helft van het jaar hogere concentraties voor dan in de eerste helft van het jaar. Vooral tussen km 100 en 120 komen hogere concentraties voor, meer afwaarts zijn de concentraties lager. Eind 2013 komen concentraties tot 750 à 800 mg/l voor tussen km 100 en 110. In 2014 zijn de concentraties merkbaar lager, terwijl in 2015 er een maximum ligt tussen km 100 en 120. In 2016 is er een grote zone met hoge concentraties zichtbaar die zich uitstrekt van km 100 tot km 130.

Ook valt op te merken dat de sedimentconcentraties hoger zijn tijdens de winter, en lager tijdens de zomer.

Figuur 117 - Sedimentconcentratie bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde



Figuur 118 en Figuur 119 geven het verloop van de respectievelijk aan de oppervlakte en bodem bemonsterde sedimentconcentratie langsheen de volledige Zeeschelde, tijdens vier HTE campagnes die zowel de Boven-Zeeschelde als de Beneden-Zeeschelde bemonsterden. Tabel 20 geeft enkele kengetallen van deze campagnes.

Uit deze figuren en tabel blijkt dat de laagste gemiddelde sedimentconcentraties voor bodem- en oppervlaktestaalmnames geregistreerd zijn tijdens de meetcampagne van februari en dit voor de Boven- en Beneden-Zeeschelde. De hoogste gemiddelde sedimentconcentraties werden gemeten in september. Enkel aan de oppervlakte waren de sedimentconcentraties in de Beneden-Zeeschelde iets hoger in mei dan in september.

Verder blijkt dat in februari lage concentraties gemeten worden rond km 150 (minder dan 50 mg/l). De concentraties nemen vervolgens toe, om een maximum te bereiken rond km 75 (aan de oppervlakte ca. 200 mg/l, aan de bodem ca. 400 mg/l). Vanaf km 75 tot km 50 kennen de concentraties terug een dalend verloop. Bij de metingen aan de bodem is er tussen km 90 en 100 een lokale stijging van de sedimentconcentraties zichtbaar.

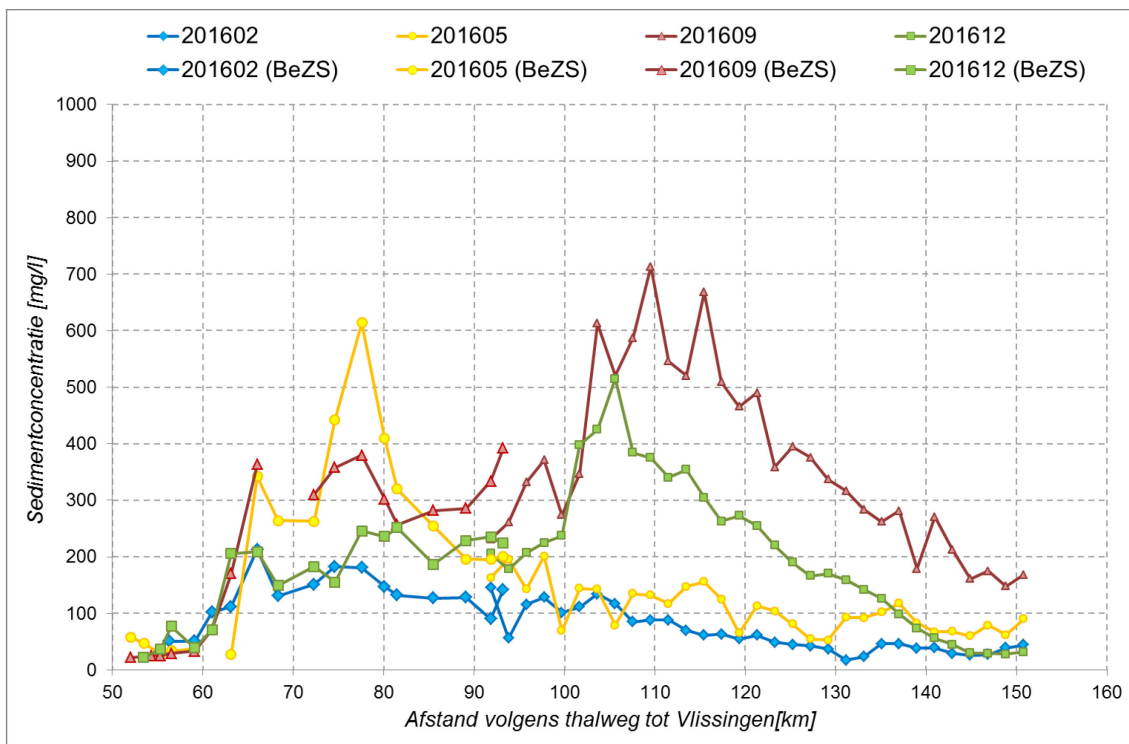
Bij de meetcampagne van mei is er een gelijkaardige trend zichtbaar: een langzame toename van de sedimentconcentratie van km 150 (ca. 100 mg/l) naar een maximum rond km 75 (resp. 600 en 1200 mg/l). Aan de bodem zijn er rond km 90 en 105 terug pieken zichtbaar.

De meetcampagne van september toont opnieuw een stijgend verloop vanaf km 150 (ca. 150 mg/l), met ditmaal een piek rond km 100 à 120 (700 mg/l aan de opp., 1600 mg/l aan de bodem). Ook rond km 75 is er nog een piek zichtbaar bij zowel oppervlakte- als bodemmeting, maar deze is veel lager (resp. ca. 400 en 800 mg/l) dan de piek in de Boven-Zeeschelde. De meting van december heeft een gelijkaardig verloop als die van september, zij het dat de pieken lager zijn. Rond km 105 is de piekconcentratie aan de oppervlakte ca. 500 mg/l en aan de bodem 700 mg/l. Aan de oppervlakte is de piek rond km 75 niet meer duidelijk te herkennen (concentratie hier bedraagt ca. 250 mg/l), aan de bodem werd rond km 75 een concentratie van 500 mg/l gemeten.

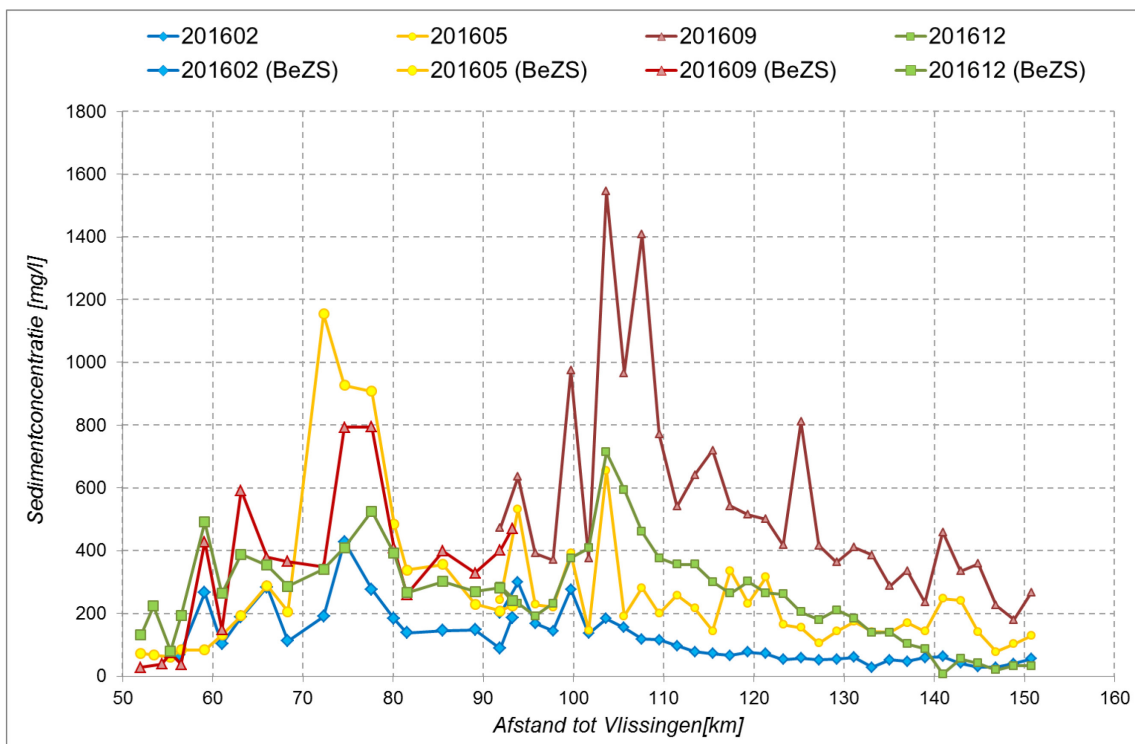
Tabel 20 - Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van
 halftij-eb gegevens in 2016 langsheen de volledige Zeeschelde

		februari		mei		september		december	
		opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem
Gehele Zeeschelde	min	17	28	27	61	22	28	22	6
	max	213	428	614	1154	713	1545	515	714
	gemid	86	125	147	263	313	472	190	262
	stdev	49	89	118	225	169	303	119	152
Beneden- Zeeschelde [KM 60 -90]	min	51	67	27	61	22	28	22	80
	max	213	428	614	1154	392	794	252	525
	gemid	129	187	220	334	214	350	155	302
	stdev	45	94	171	329	146	231	85	114
Boven- Zeeschelde	min	17	28	53	78	148	179	28	6
	max	145	299	201	655	713	1545	515	714
	gemid	65	96	108	221	367	544	210	239
	stdev	36	69	41	123	158	321	132	167

Figuur 118 – Sedimentconcentratie aan de oppervlakte bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde



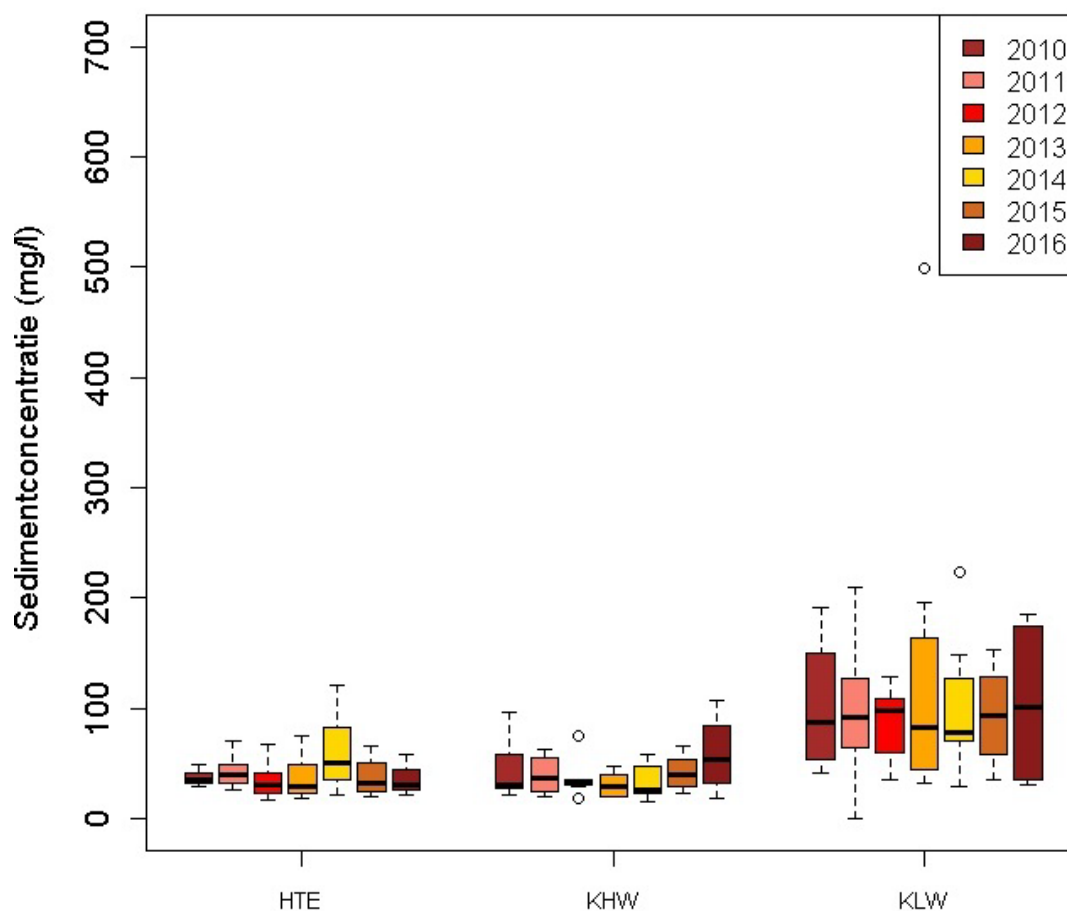
Figuur 119 – Sedimentconcentratie aan de bodem bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde



4.4.4 Trends in sedimentconcentratie over langere termijn

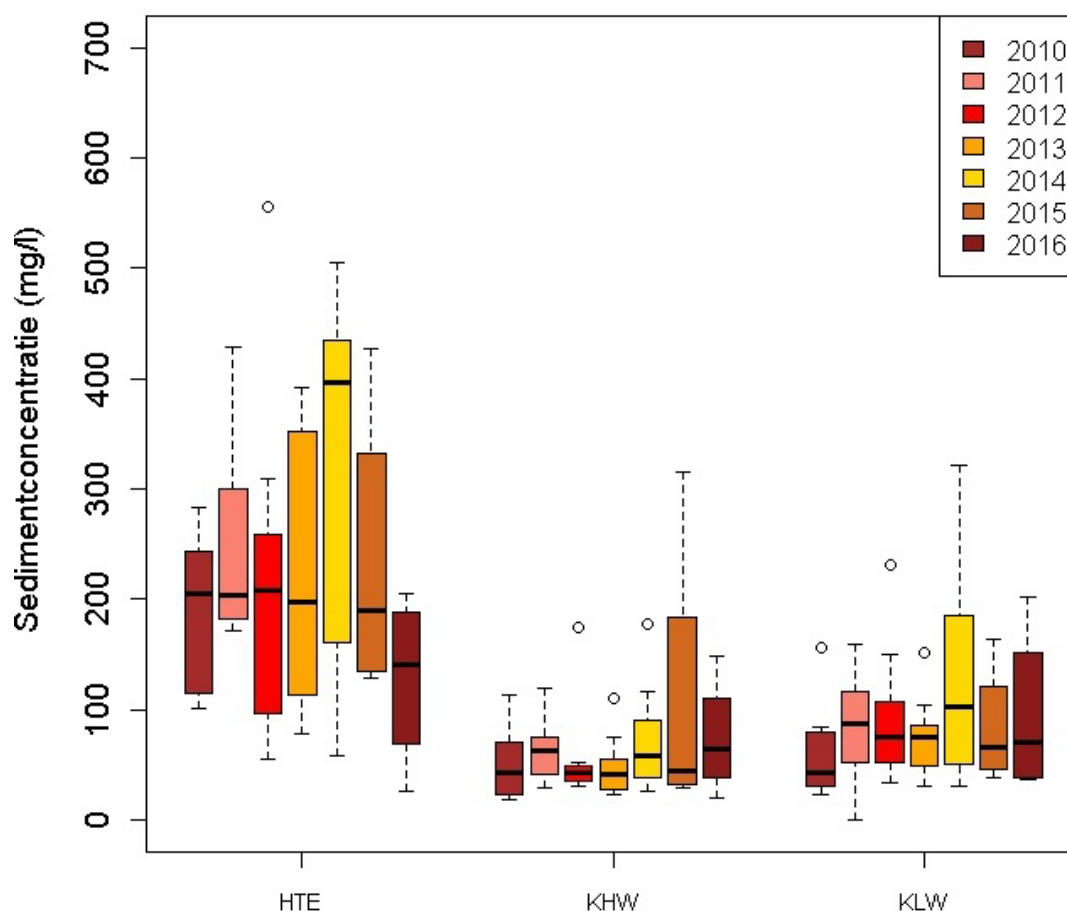
Tot nu toe werden de langsvaarten besproken in het kader van ruimtelijke en temporele variatie van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde. In Figuur 120 tot en met Figuur 124 wordt voor vijf verschillende locaties langsheen de Beneden-Zeeschelde (tussenafstand ca. 10 km), en voor de verschillende momenten in de getijcyclus, het verloop van de sedimentconcentraties genomen aan het oppervlak voor de periode 2010-2016 weergegeven.

Figuur 120 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Boei 79



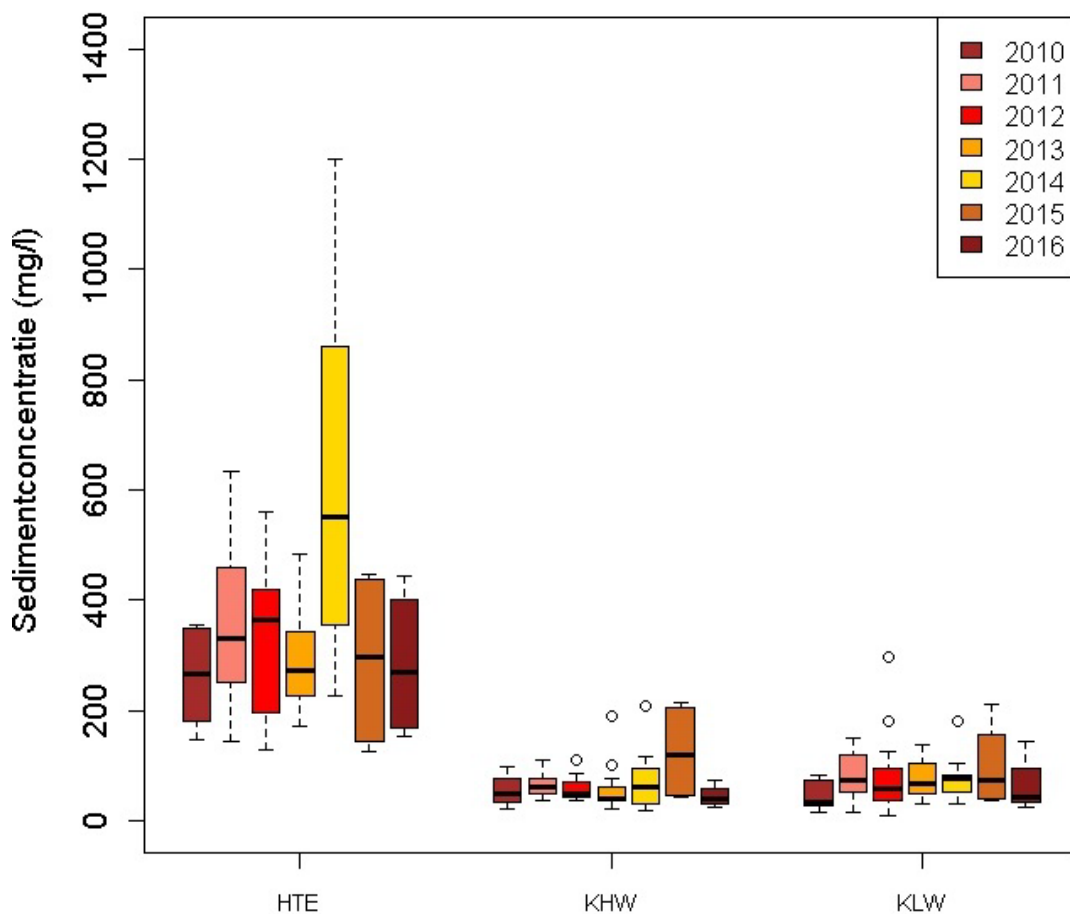
Te Boei 79 (Figuur 120) blijken de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor te komen bij kentering laagwater (gemiddeld ca. 100 mg/l), terwijl deze bij kentering hoogwater en halftij-eb lager liggen (ca. 50 mg/l). Dit kan verklaard worden doordat het sedimentrijk water van de Zeeschelde enkel bij kentering laag water deze afwaarts gelegen locatie bereikt, terwijl bij kentering hoog water het minder sediment-beladen water van de Westerschelde deze locatie voorbij stroomt. Deze waarden variëren weinig bij KLW voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode. Voor de halftij-eb campagnes is een algemene verhoging van de sedimentconcentraties merkbaar in 2014 in vergelijking met de voorgaande jaren, terwijl bij KHW er sinds 2013 een stijgende trend lijkt op te treden.

Figuur 121- Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Liefkenshoek



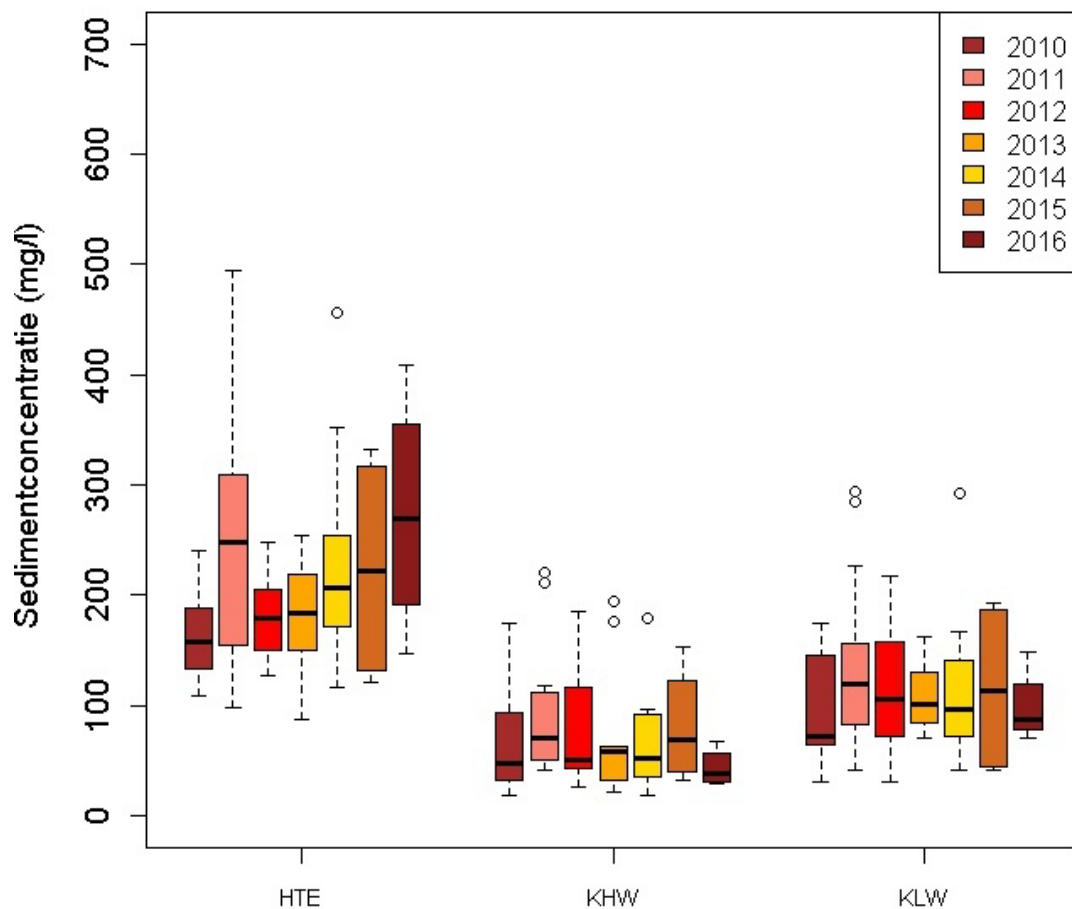
Te Liefkenshoek (Figuur 121) komen de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor bij halftij-eb (gemiddeld ca. 200 mg/l), terwijl deze bij kentering hoog- en laagwater lager liggen (ca.50 à 100 mg/l). Deze gemiddelde waarden variëren weinig voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode. De variatie binnen de halftij-eb gegevens is wel veel groter dan voor de kenteringsvaarten. Ter hoogte van Liefkenshoek werden voor alle campagnes in 2014 gemiddeld hogere sedimentconcentraties opgemeten in vergelijking met de voorgaande jaren. Bij de halftij-eb campagnes leidde dit zelfs tot een verdubbeling van de mediaan (van 200 mg/L in 2010-2013 tot 400 mg/L in 2014). Tijdens de campagnes in 2015 stabiliseerde dit terug en hier werden tijdens de halftij-ebvaarten en de kenteringsvaarten tijdens laagwater, gelijkaardige sedimentconcentraties opgemeten als de voorgaande jaren. Enkel tijdens de kenteringsvaarten bij hoogwater werden in 2015 hogere concentraties opgemeten dan alle voorgaande jaren, maar aangezien de mediaan weinig variatie toont doorheen de voorbije jaren, lijkt de verhoogde sedimentconcentratie eerder toe te wijten aan de beperkte staalname in 2015. In 2016 worden voor de kenteringsvaarten opnieuw gelijkaardige waarden opgemeten als de vorige jaren. Voor de halftij-ebvaarten ligt de mediaan van de concentraties lager dan de voorgaande jaren (rond 150 mg/l).

Figuur 122 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Oosterweel



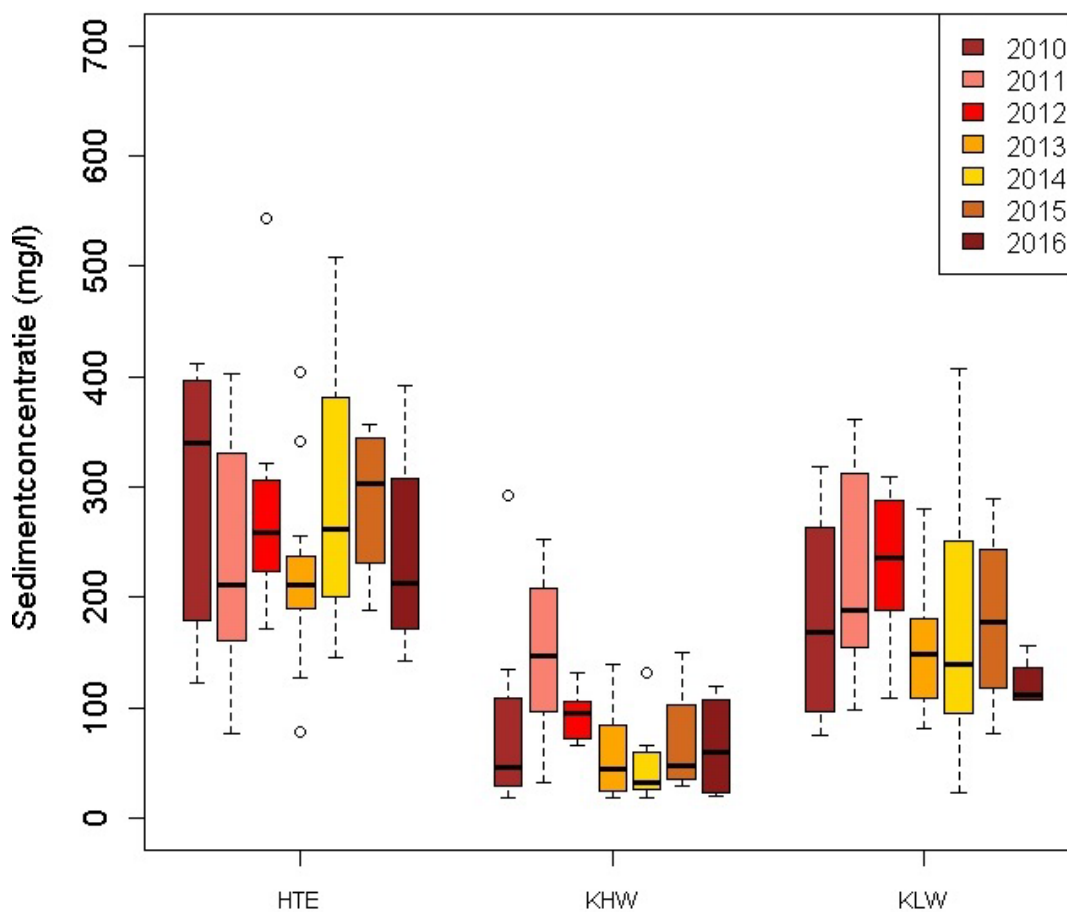
De laagste sedimentconcentratie ter hoogte van Oosterweel (Figuur 122), werden geregistreerd tijdens de kenteringsvaarten tijdens hoog- en laagwater. In 2015 werden voor deze vaarten echter sedimentconcentraties bemeten die voor kentering hoogwater bijna dubbel zo hoog waren als de jaren ervoor. In 2016 worden tijdens de kenteringsvaarten opnieuw gelijkaardige waarden opgemeten als de jaren voordien (50 à 100 mg/l). De gegevens van de halftij-ebvaarten zijn gelijkaardig aan voor al de jaren, en liggen rond 300 mg/l, met uitzondering van 2014, waar de sedimentconcentraties gemiddeld hoger waren (550 mg/l).

Figuur 123 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Kennedytunnel



Ook voor de locatie aan de Kennedy-tunnel (Figuur 123) komen de hoogste gemiddelde sedimentconcentraties voor bij halftij-eb (gemiddeld ca. 200 mg/L), terwijl deze bij kentering hoog- en laagwater lager liggen (ca. 50 à 100 mg/L). Voor de kenteringsvaarten variëren de mediane waarden weinig voor de verschillende jaren en ook de andere kengetallen blijven ongeveer gelijk over de beschouwde periode. Voor de halftij-ebvaarten is er de laatste jaren een stijging van bijna 100mg/l over 5 jaar zichtbaar van de sedimentconcentraties.

Figuur 124 - Boxplots sedimentconcentratie bemonsterd 1 m onder het wateroppervlak voor de periode 2010-2016 – Rupelmonde



Voor Rupelmonde (Figuur 124) tenslotte is het beeld iets minder duidelijk. De hoogste sedimentconcentraties bevinden zich bij halftij-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). Dit is te wijten aan de staalnamemethodiek. Er wordt getracht de LW-golf te volgen, en wanneer de meetcampagne dit meetpunt bereikt, loopt het schip meestal al vertraging op ten opzichte van de LW golf. Waarden die tijdens deze KLW-campagnes gemeten worden, zullen hoe meer opwaarts ze genomen zijn, steeds meer kunnen afwijken van het effectieve punt van KLW, en dus een verhoogde sedimentconcentratie kunnen vertonen.

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 terug te zakken in 2013 en vervolgens vrij stabiel te blijven; bij halftij-eb fluctueren de kengetallen over de zes jaren zonder uitgesproken trend.

4.5 Meetcampagnes – 13u-metingen

4.5.1 Meetlocaties en meetinstrumenten

Gedurende een 13u-meting worden er gedurende een volledige getijcyclus 13u-metingen continu dwarsraaien gevaren varen op een bepaalde plaats (“raai”), aangevuld met het nemen van waterstalen. Tijdens de meting worden de watersnelheid continu opgemeten over de ganse dwarssectie. Het gehalte aan suspensiemateriaal wordt indirect opgemeten, door een koppeling van sedimentstalen (pompstalen) met de akoestische backscatter.

De 13u-metingen worden uitgevoerd met een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Dit toestel, gemonteerd op een schip dat de raaien vaart, is in staat om continu stroomsnelheden te meten, zowel over de (bijna) gehele waterkolom (verticale) als over de dwarsbreedte van de rivier. Deze metingen gebeuren per cel van 50 cm hoogte (voor de dwarsraaien te Liefkenshoek, Oosterweel en Schoonaarde) en per cel van 25 cm (voor de dwarsraaien te Driegoten, Terhagen en Kruibeke), en telkens - cel per cel - over een 25-tal meter volgens de dwarsbreedte. Daarnaast kan de sterkte van het teruggekaatste signaal (“acoustic backscatter”) gebruikt worden om de sedimentconcentratie in te schatten, dit na kalibratie aan de hand van gelijktijdig genomen pompstalen.

Het verschil tussen het uitgezonden en teruggekaatste geluidssignaal wordt veroorzaakt door enerzijds de absorptie in het eigenlijke water, en anderzijds de verspreiding en de absorptie van de geluidsgolf door alle sedimentkorrels in suspensie dat het signaal in zijn heen en weer gaan ondervindt.

Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de methodologie van 13u-metingen wordt verwezen naar Levy et al. (2015). Hier worden enkel de resultaten van ADCP-metingen van 2016 gepresenteerd (vergeleken met de waarden van de vorige jaren). Meer bepaald worden de debieten, sedimentconcentraties (SSC) en de sedimentflux (SSF) gepresenteerd. Een overzicht is terug te vinden in Tabel 22.

Tabel 21 - Overzicht meetcampagnes **13u-metingen** met datum van uitvoering en start- en einduur in MET

Meetlocatie	Datum campagne	Startuur	Einduur
Liefkenshoek	12 mei 2016	07:17	20:12
Oosterweel	11 mei 2016	07:08	18:36
Kruibeke	09 juni 2016	06:53	19:29
Driegoten	22 juni 2016	05:44	18:16
Schoonaarde	06 juni 2016	06:21	18:58
Terhagen	08 juni 2016	06:38	19:12

Tabel 22 – Waterpeil (bij 1^{ste} hoogwater, laagwater en 2^{de} hoogwater), Stroomsnelheid, Debiet, Watervolume, Sedimentconcentratie (SSC), Sedimentflux (SSF) en Sedimentvracht (SSL) bij eb en vloed (maximaal, gemiddeld of totaal per getij) tijdens de 13u-metingen in 2016

			Liefkenshoek	Oosterweel	Kruibeke	Driegoten	Schoonaarde	Terhagen
Waterpeil (m TAW)		HW1	5.53	5.74	5.77	5.92	5.48	6.10
		LW	-0.22	-0.37	-0.34	0.07	1.82	0.14
		HW2	5.31	5.60	5.55	5.92	5.39	6.01
Stroom- snelheid (cm/s)	Eb	Max	84	110	104	94	105	115
		Gemid.	62	85	83	76	69	80
	Vloed	Max	89	124	114	93	114	69
		Gemid.	56	75	69	60	61	33
Debiet (m³/s)	Eb	Max	8311	6445	4538	1264	340	689
		Gemid.	5435	4432	3143	930	244	465
	Vloed	Max	9373	8410	5538	1837	265	287
		Gemid.	5287	4713	2971	947	496	727
Volume (Mm³)	Eb	Totaal	123	104	76	23	7	13
	Vloed	Totaal	115	100	60	18	4	5
SSC (mg/L)	Eb	Gemid.	86	174	100	193	57	142
	Vloed	Gemid.	72	135	95	165	61	83
SSF (kg/s)	Eb	Gemid.	484	792	323	187	14	67
	Vloed	Gemid.	379	679	291	175	19	29
SSL (ton)	Eb	Totaal	10919	18543	7809	4658	406	1804
	Vloed	Totaal	8233	14386	5922	3353	320	496

4.5.2 Liefkenshoek

Op 12 mei 2016 werd een 13u-meting met een ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Liefkenshoek. Figuur 125 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 125 - Meetraai voor de 13u-meting te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)

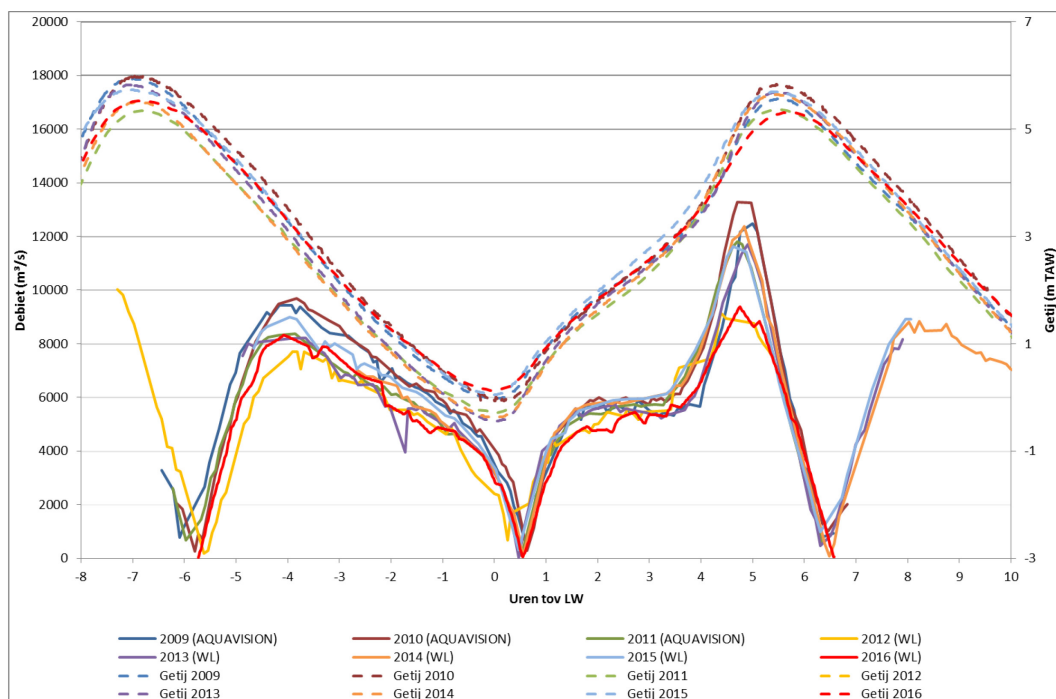


Figuur 126 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2012 en 2016 zijn kleiner dan deze voor de overige jaren, veroorzaakt door een kleiner getijverschil bij deze meting.

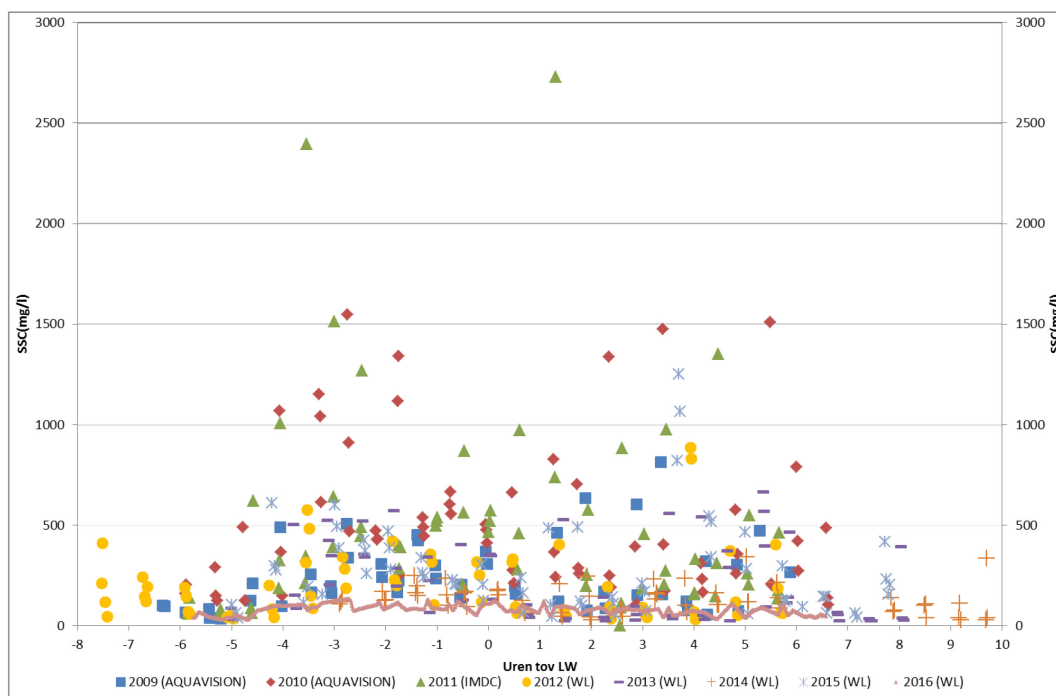
Figuur 127 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Hieruit blijkt dat de suspensiegehaltes bepaald in 2012, 2013, 2014 en 2016 en in mindere mate ook 2009 en 2015 duidelijk lager zijn dan in 2010 en 2011. In 2016 werden de laagste waarden opgemeten.

Door vermenigvuldiging van de gemeten debieten met de overeenkomstige SSC-waarden worden tenslotte de sedimentfluxen (SSF) berekend. Deze worden weergegeven voor de 13u-metingen te Liefkenshoek voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 128. Uit de figuur blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen het grootst waren tijdens de 13u-metingen in 2010 en 2011. De meting van 2016 resulteerde in een relatief kleine flux in vergelijking met voorgaande jaren. Door de sedimentflux te integreren over de duur van een getij bekomt men de sedimentvracht (SSL) tijdens dat getij. Er werden bij de data-analyse verschillende correcties geëvalueerd en toegepast, maar de opeenvolgende fluctuaties tijdens de metingen blijven hoog. Bij de volgende meetcampagne in 2017 zal zowel de meetmethode als de dataverwerking verder geoptimaliseerd worden, opdat een zo eenduidig mogelijke sedimentflux kan begroot worden.

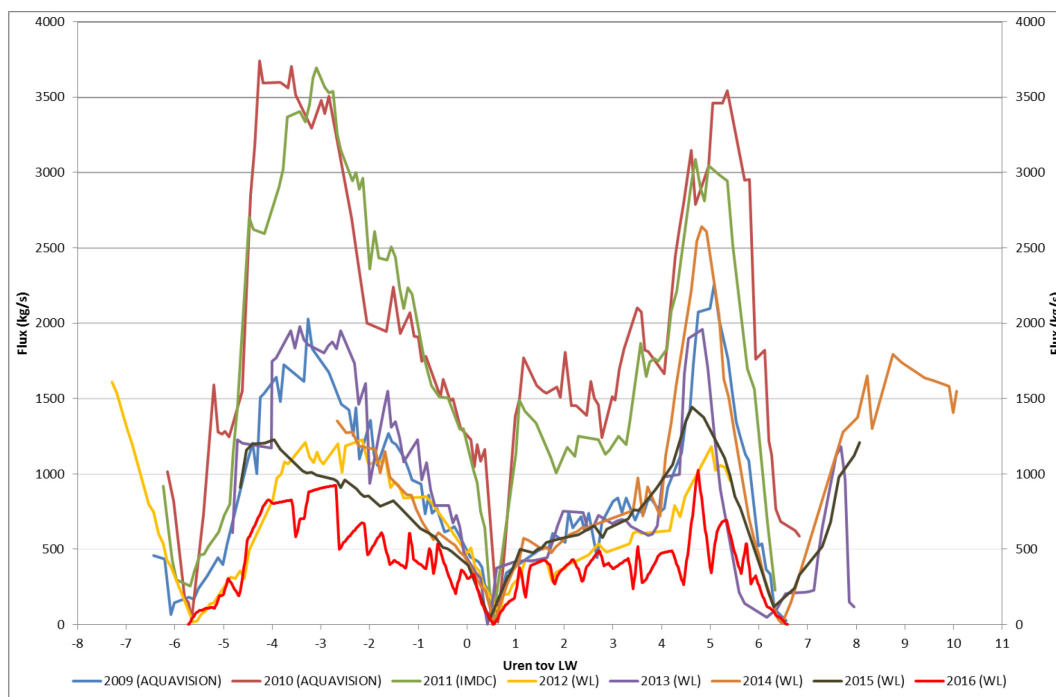
Figuur 126 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 127 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 128 - SSF tijdens de 13u-metingen te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



4.5.3 Oosterweel

Op 11 mei 2016 werd een 13u-meting middels ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Oosterweel. Figuur 129 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 129 - Meetraai voor de 13u-meting te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde)

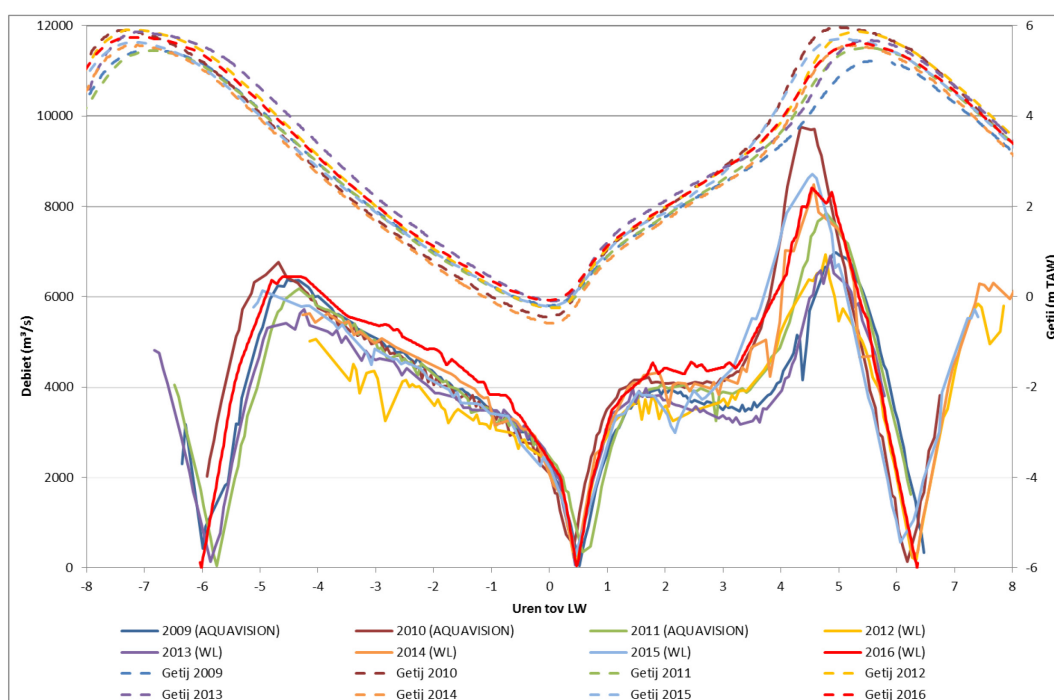


Figuur 130 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten. De debieten in 2009, 2012 en 2013 zijn ietwat lager en het debiet in 2010 en 2015 wat hoger, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie.

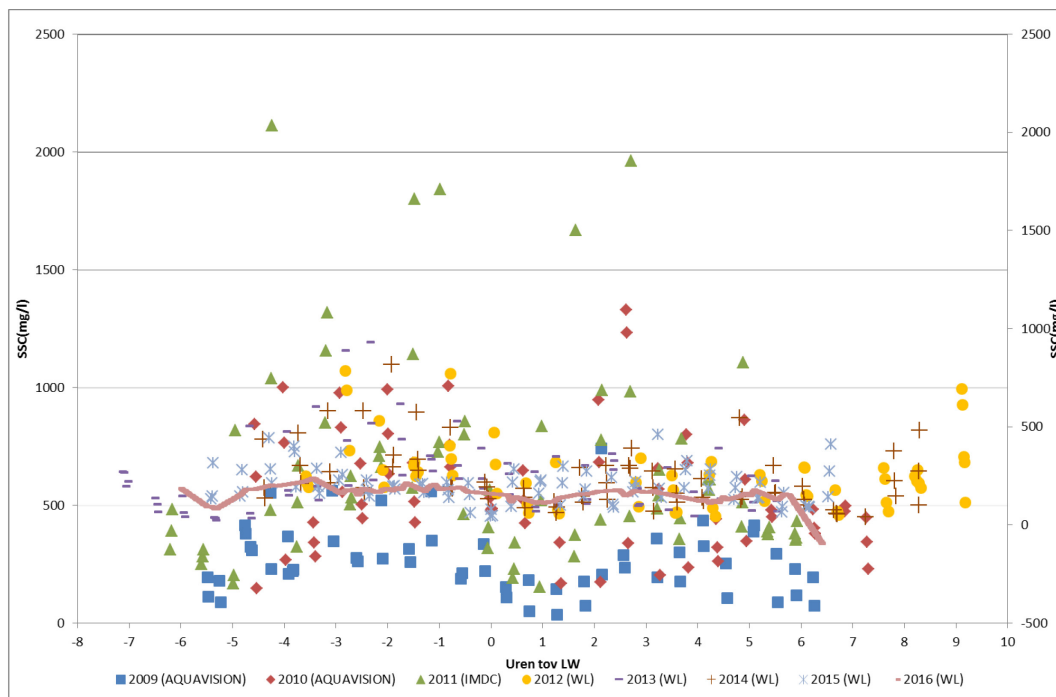
Figuur 131 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Hieruit blijkt dat de suspensiegehalten bepaald in 2009, 2012-2015 lager zijn dan in 2010 en 2011. De monsters van 2016 hebben een intermediaire waarde.

De sedimentfluxen worden weergegeven voor de 13u-metingen te Oosterweel voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 132. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen gelijkaardig waren tijdens de 13u-metingen in 2009, 2012 - 2016, maar groter in 2010 en 2011 (\pm factor 2).

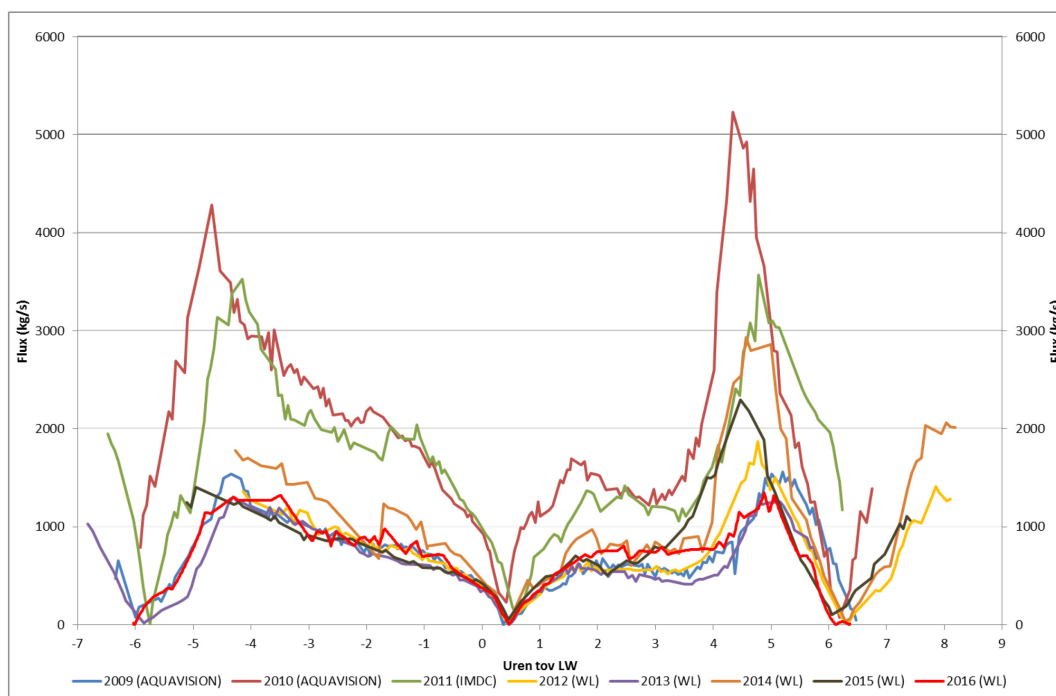
Figuur 130 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 131 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 132 - SSF tijdens de 13u-metingen te Oosterweel (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



4.5.4 Kruibeke

Op 09 juni 2016 werd een 13u-meting middels ADCP uitgevoerd op de Beneden-Zeeschelde te Kruibeke. Figuur 133 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 134 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Kruibeke voor de periode 2009 t.e.m. 2016. De debieten in 2012 en 2014 zijn ietwat lager dan deze voor de overige jaren.

Figuur 133 - Meetraai voor de 13u-meting te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)

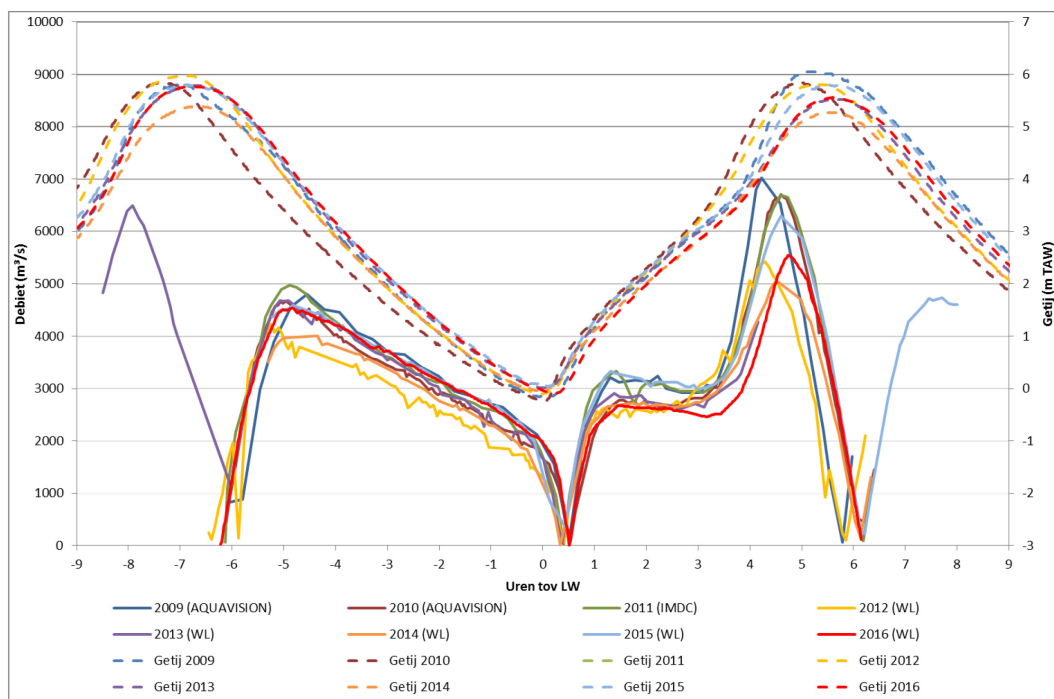


Figuur 135 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Kruibeke voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Hieruit blijkt dat de suspensiegehalten bepaald tijdens de 13u-metingen in 2016 vrij laag zijn.

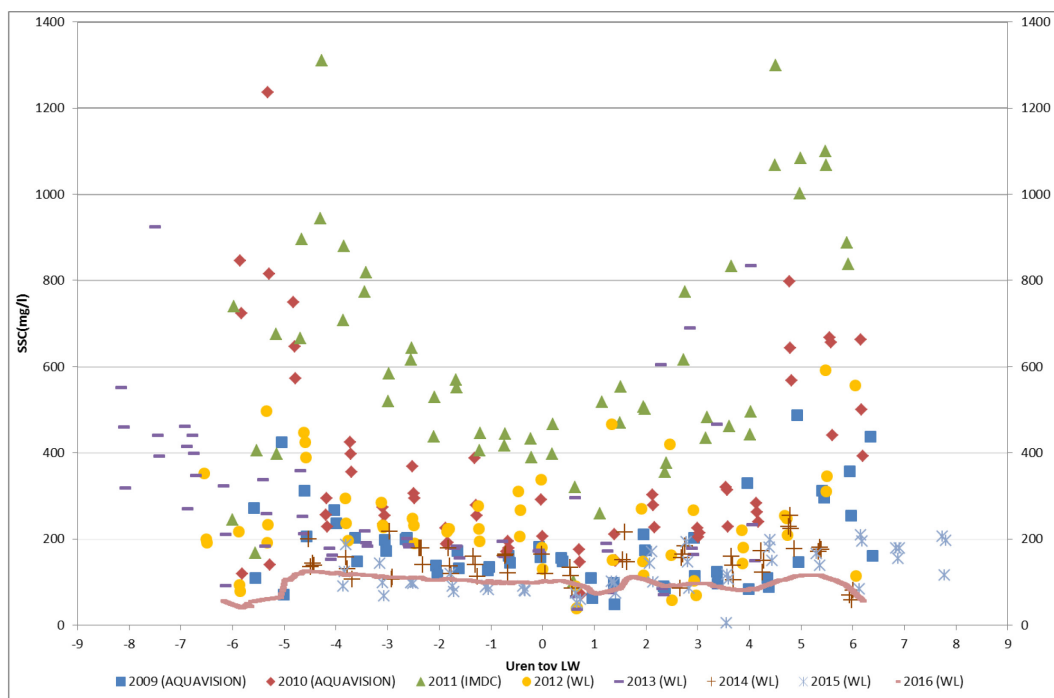
Enkel 2011 vertoont afwijkende concentraties, waarbij de laagste sedimentconcentraties nog steeds een factor twee hoger liggen dan de laagste concentraties gemeten in de overige jaren. In 2015 en 2016 worden gevoelig lagere waarden gemeten.

De sedimentfluxen worden weergegeven voor de 13u-metingen te Kruibeke voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 136. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen het grootst waren tijdens de meting in 2011 en het kleinst in 2014, 2015 en 2016.

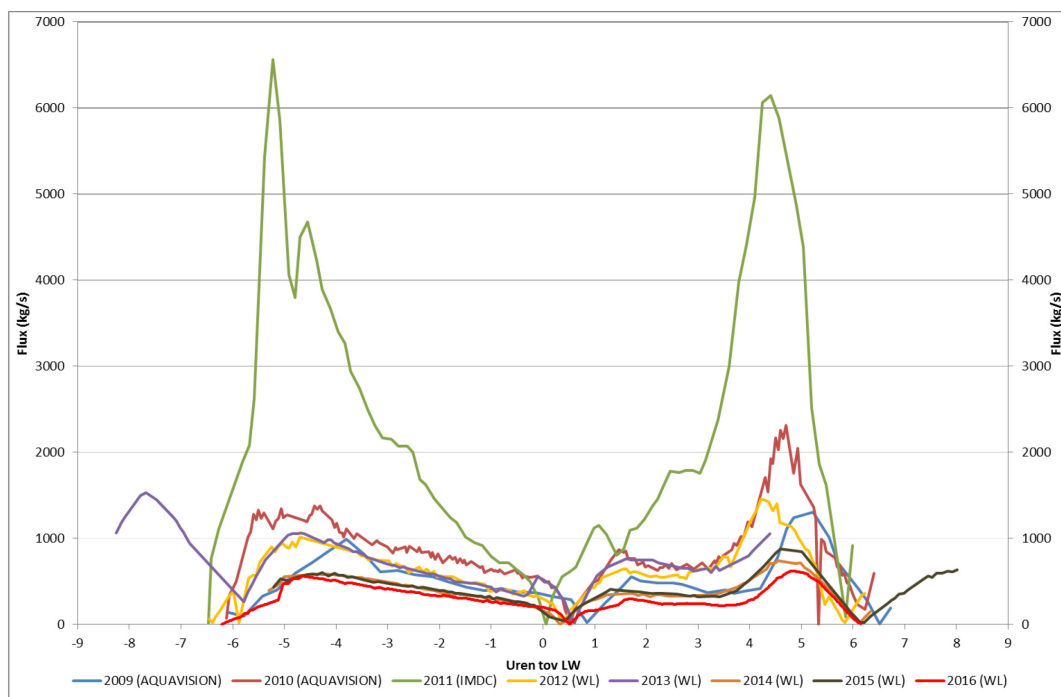
Figuur 134 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 135 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 136 - SSF tijdens de 13u-metingen te Kruibekke (Beneden-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



4.5.5 Driegoten

Op 22 juni 2016 werd een 13u-meting middels ADCP uitgevoerd op de Boven-Zeeschelde te Driegoten. Figuur 137 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 137 - Meetraai voor de 13u-meting te Driegoten (Boven-Zeeschelde)

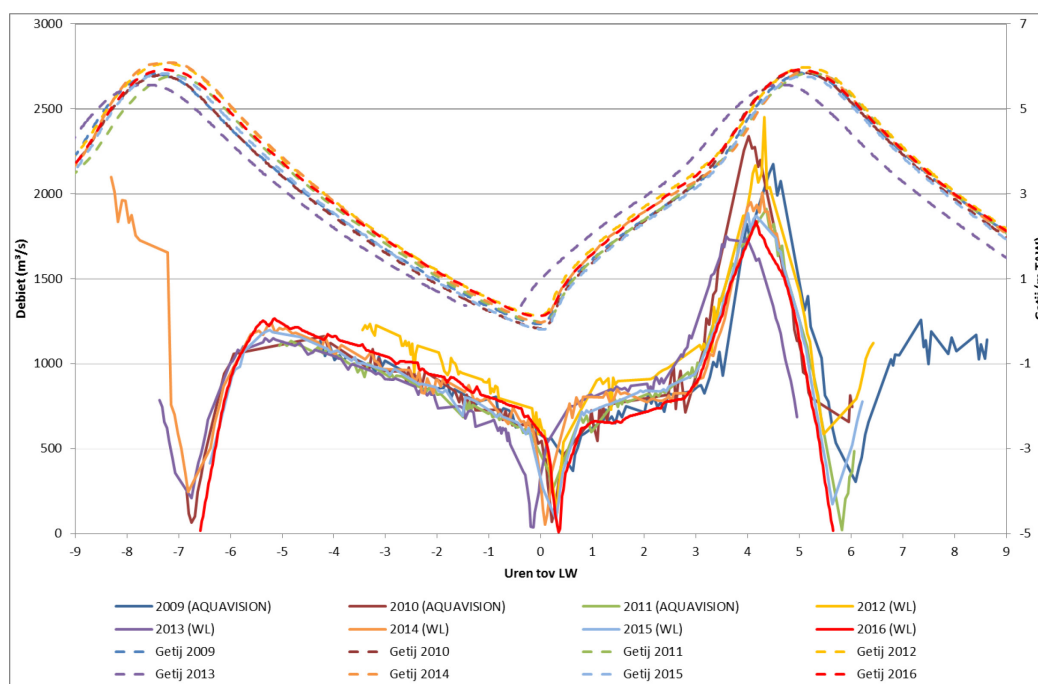


Figuur 138 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig patroon gemeten.

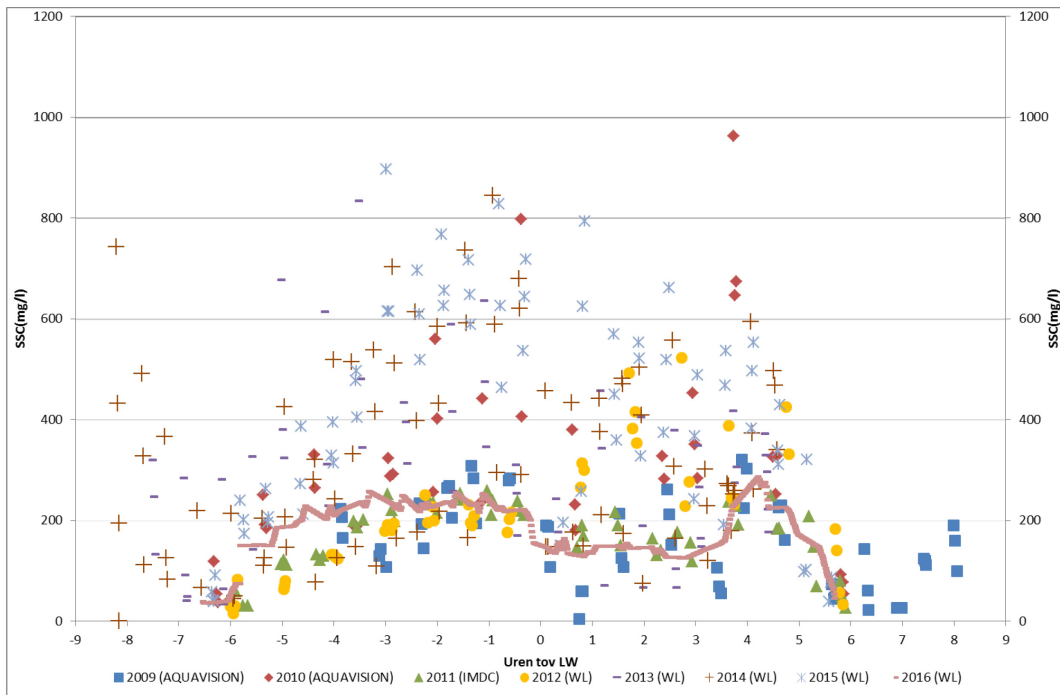
Figuur 139 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Hieruit blijkt dat in (2010, 2013,) 2014 en 2015 de hoogste concentraties werden gemeten. In 2016 werden opnieuw lagere waarden geregistreerd.

De sedimentfluxen worden weergegeven voor de 13u-metingen te Driegoten voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 140. Voor de verschillende jaren is de SSF bij vloed duidelijk groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere piek. De sedimentflux was duidelijk lager in 2011, 2013, 2009 en 2016.

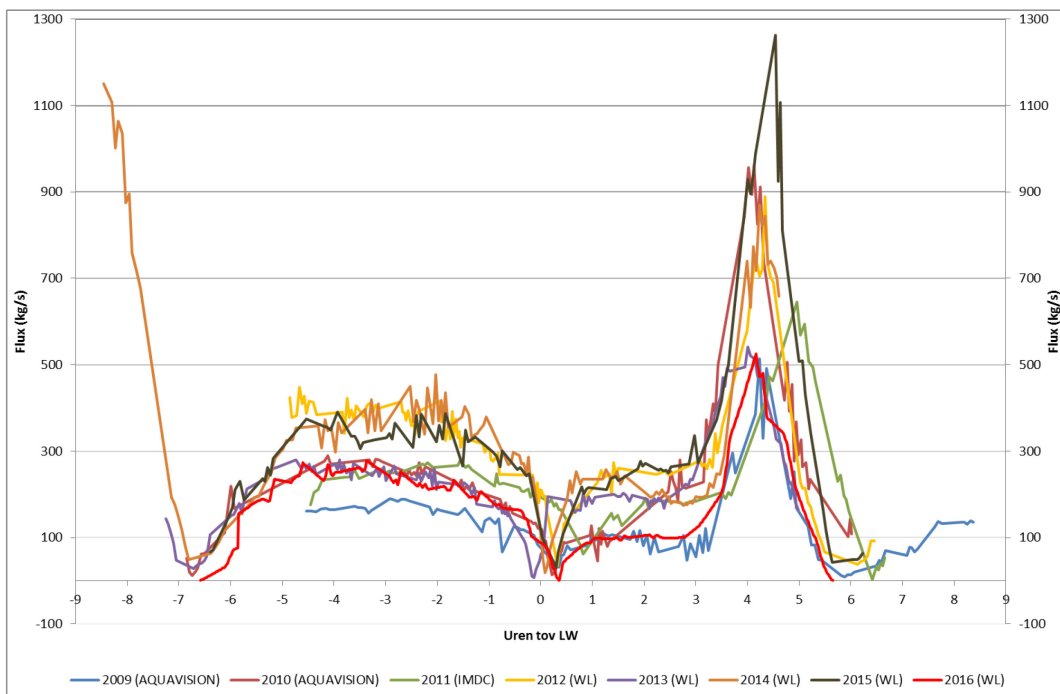
Figuur 138 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 139 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 140 - SSF tijdens de 13u-metingen te Driegoten (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



4.5.6 Schoonaarde

Op 06 juni 2016 werd een 13u-meting middels ADCP uitgevoerd op de Boven-Zeeschelde te Schoonaarde. Figuur 141 toont de ligging van de gevaren dwarsraai.

Figuur 142 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Tijdens de meetcampagne in 2014 werden de laagste debieten gemeten, wat ten dele kan te wijten zijn aan het feit dat het eerste HW en de bijbehorende eerste kentering hoog water vroeger viel (6u20 i.p.v. 7u20) dan gemeten in voorgaande jaren. In 2016 duurt de daling dan weer langer dan in de overige jaar, wat kan toegeschreven worden aan de hogere bovenafvoer in juni 2016 (ververstijd = 4,7 dagen, ter illustratie: in 2014 bedroeg de ververstijd 22,7 dagen).

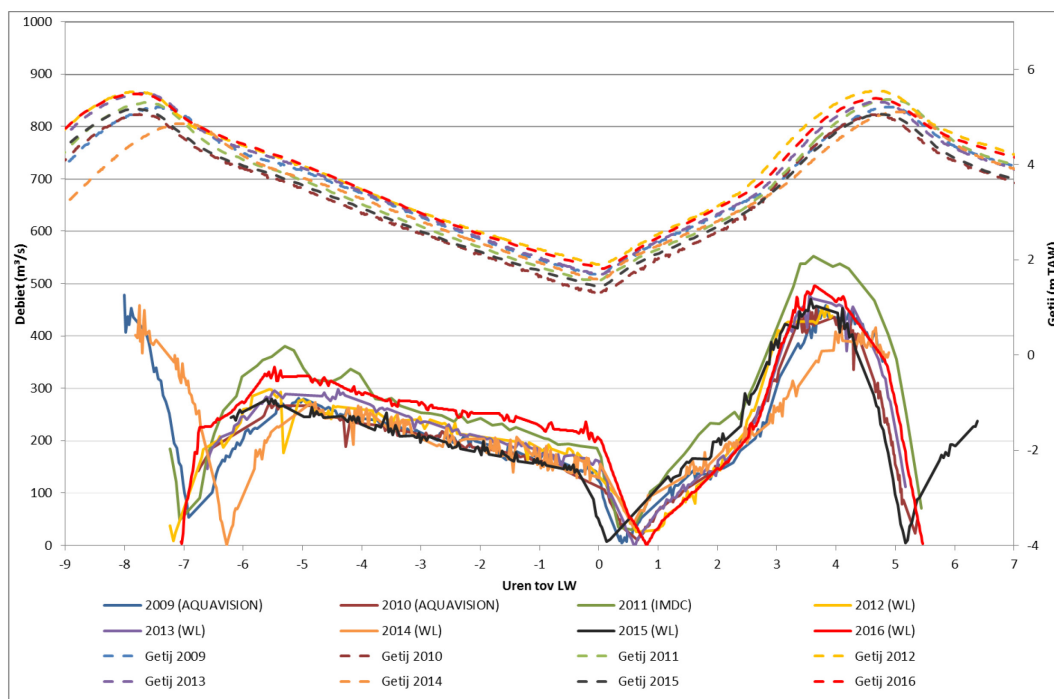
Figuur 141 - Meetraai voor de 13u-meting te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde)



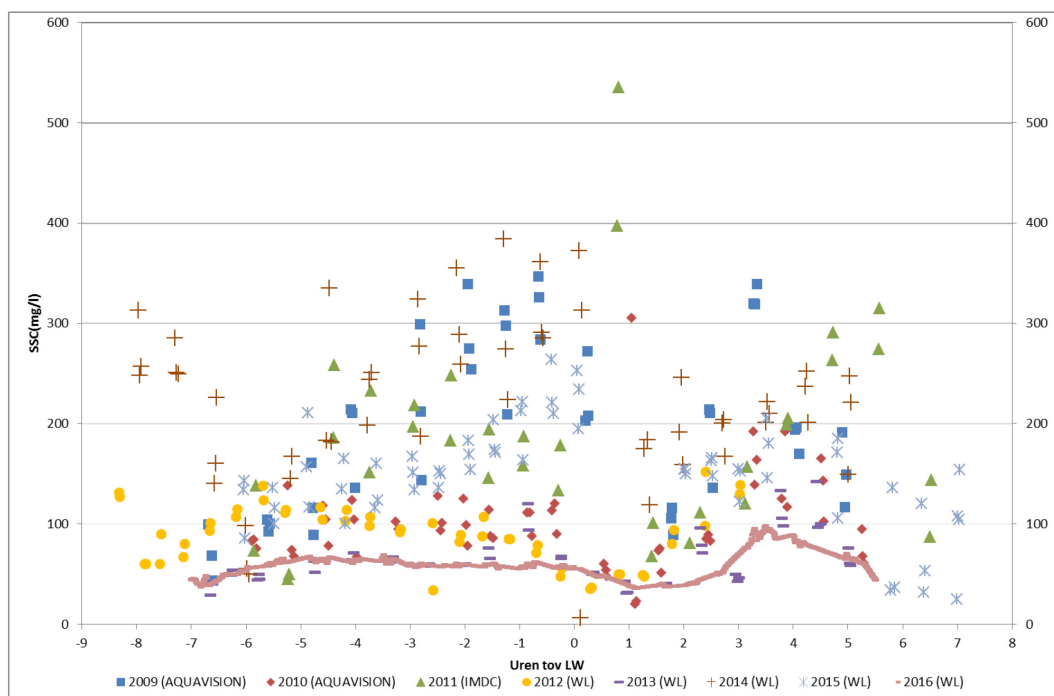
Figuur 143 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2016. De metingen in 2010, 2012, 2013 en 2016 waren wat lager dan de overige jaren.

De sedimentfluxen worden weergegeven voor de 13u-metingen te Schoonaarde voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 144. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen tijdens de 13u-metingen in 2010, 2013 en 2016 (laagst) gemiddeld lager waren dan tijdens voorgaande campagnes. De SSF tijdens vloed was het hoogst in 2009 en 2014, tijdens eb was dit in 2011 en 2014. Voor de verschillende jaren is de maximale SSF bij vloed duidelijk groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere en smallere piek.

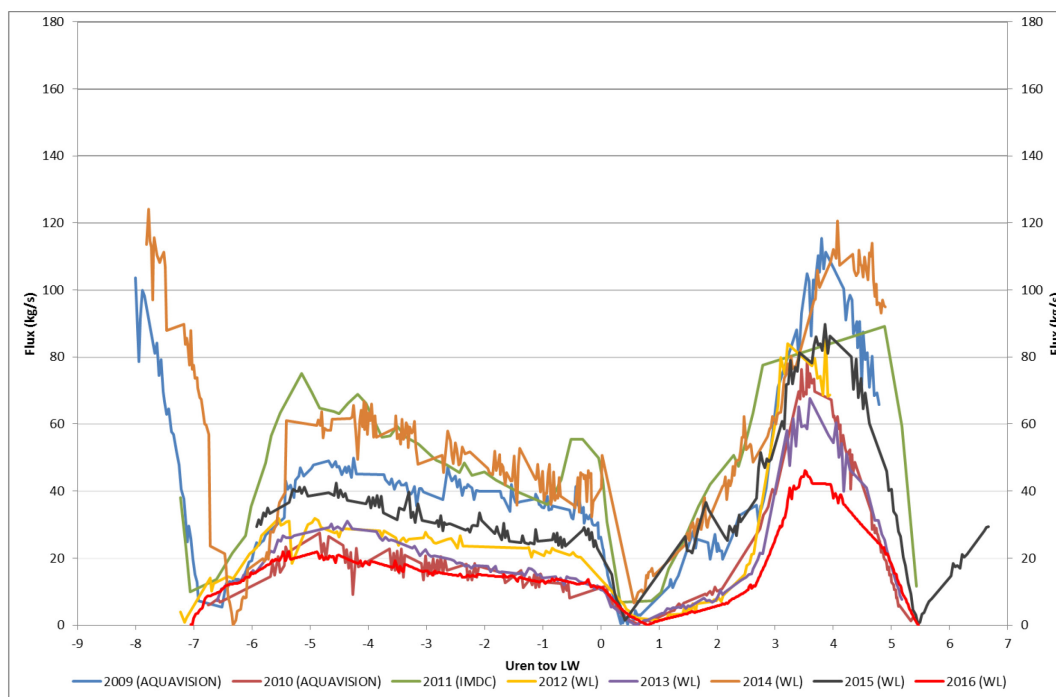
Figuur 142 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 143 - SSC uit pompstalen genomen tijdens de 13u metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 144 - SSF tijdens de 13u-metingen te Schoonaarde (Boven-Zeeschelde) in 2009 t.e.m. 2016



4.5.7 Terhagen

Op 08 juni 2016 werd een 13u-meting middels ADCP uitgevoerd op de Rupel te Terhagen. Figuur 145 toont de ligging van de gevaren dwarsraai. Deze locatie is sinds 2011 in gebruik genomen voor 13u-metingen. Voordien werd dit op een meer afwaartse locatie te Boom uitgevoerd.

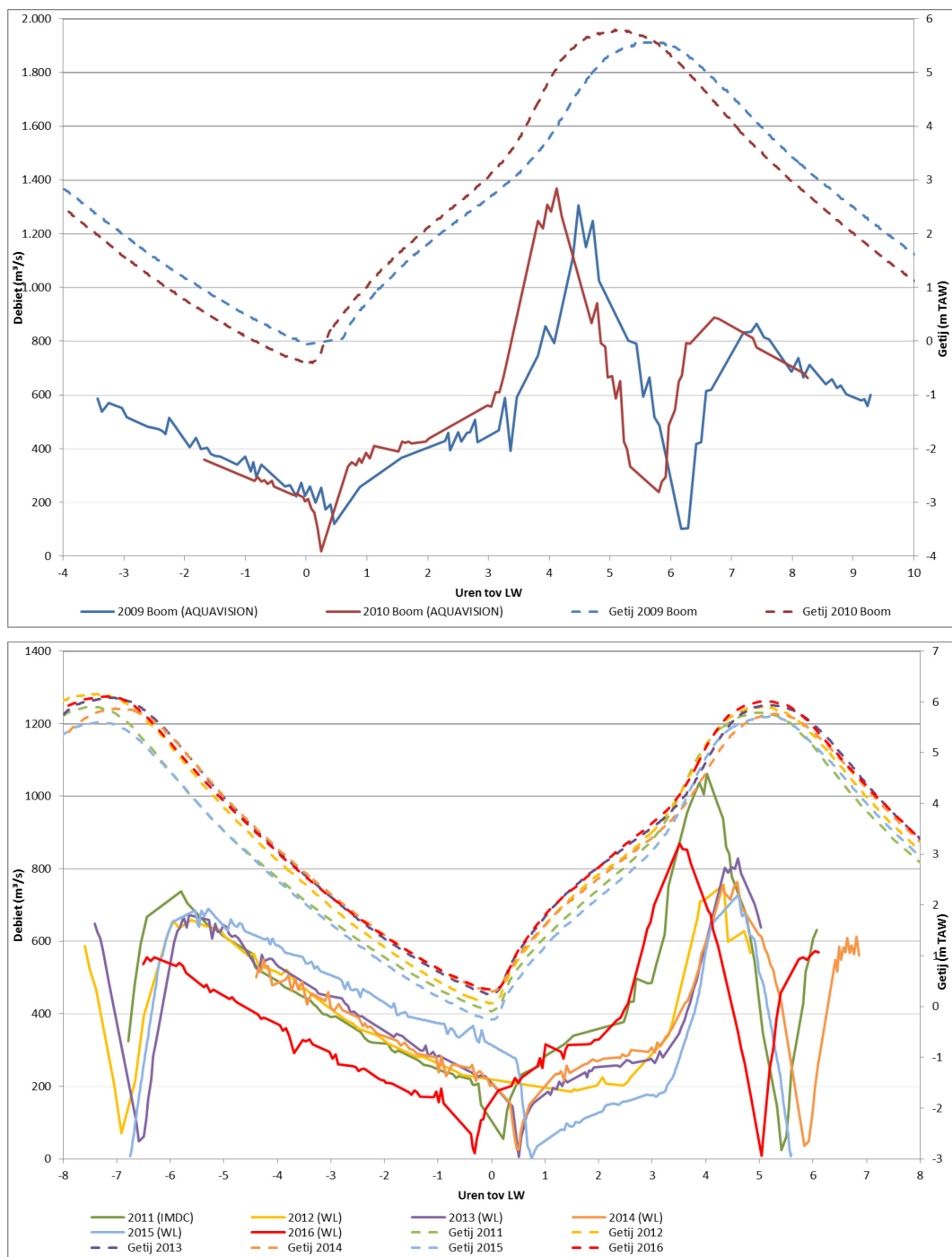
Figuur 145 - Meetraai voor de 13u-meting te Terhagen (Rupel)



Figuur 146 toont het gemeten debiet en het getij dat plaatsvond tijdens de 13u-metingen te Boom en Terhagen voor de periode 2011 t.e.m. 2016. Voor al deze jaren werd een gelijkaardig debiet gemeten bij eb duidelijk gerelateerd aan de getijvariatie. Bij vloed zijn de debieten in 2012-2016 duidelijk lager dan deze voor 2011, terwijl er nauwelijks verschillen zijn in de getijvariatie.

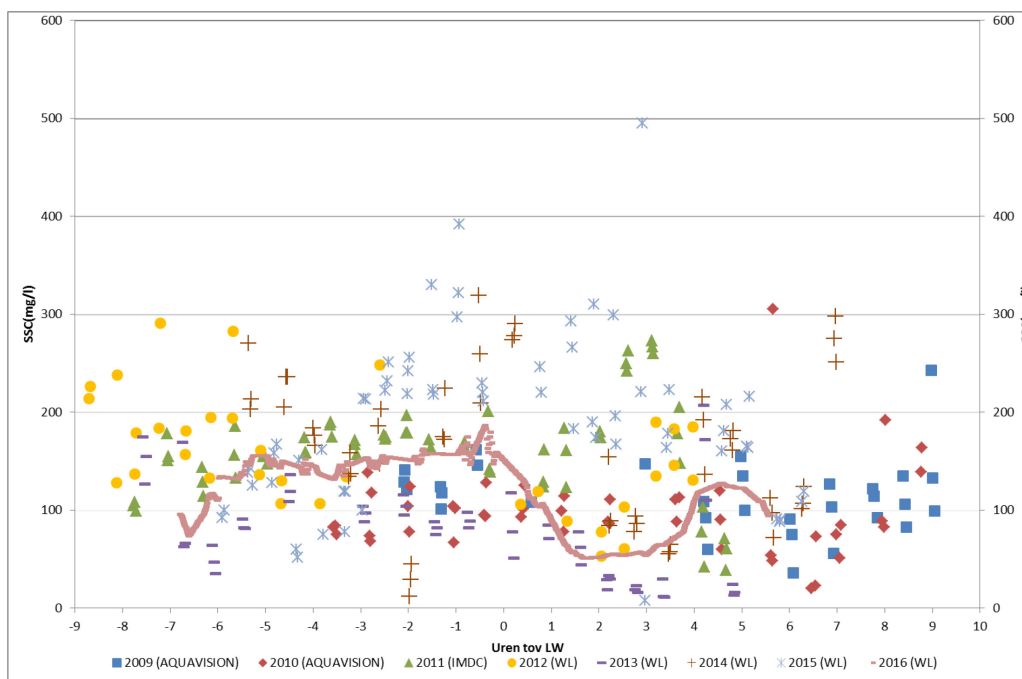
Figuur 147 geeft de gemeten SSC van de waterstalen weer voor de 13u-metingen te Boom en Terhagen voor de periode 2009 t.e.m. 2016. Tijdens de campagne van 2016 werden intermediaire waarden opgemeten.

Figuur 146 - Debiet en getij tijdens de 13u-metingen te Boom (boven) en Terhagen (onder) (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016

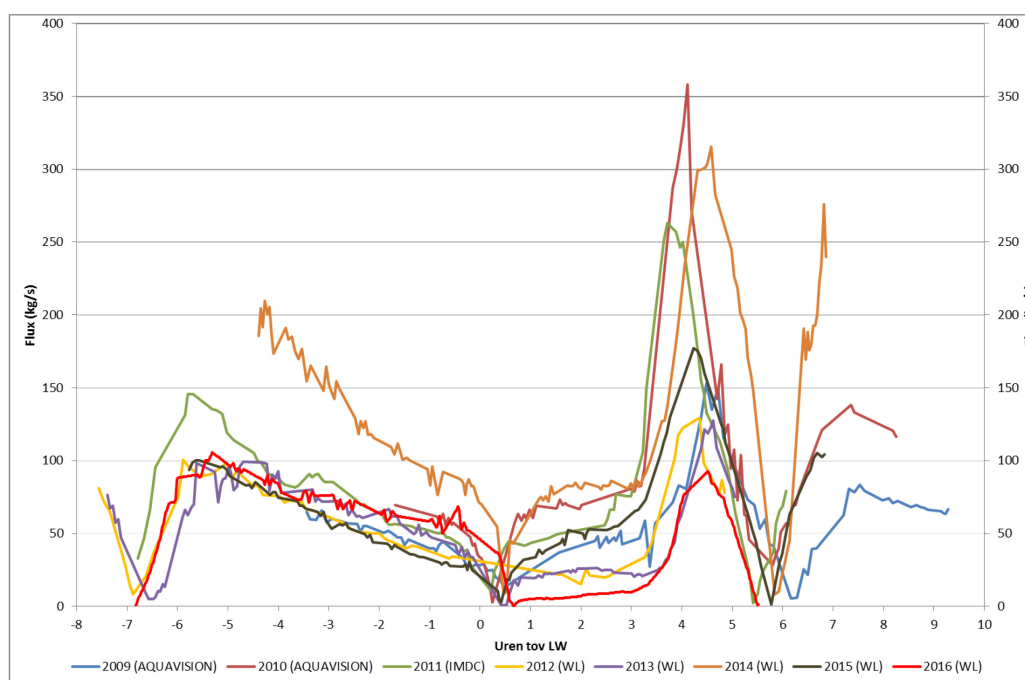


De sedimentfluxen worden weergegeven voor de 13u-metingen te Boom en Terhagen voor de periode 2009 t.e.m. 2016 in Figuur 148. Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimentfluxen tijdens de 13u-metingen in 2009, 2012, 2013, 2015 en 2016 kleiner waren dan in 2010, 2011 en 2014. Voor de verschillende jaren is de maximale SSF bij vloed groter dan bij eb en vertoont deze tevens een steilere en smallere piek. Tijdens eb werd er in 2014 een duidelijk grotere flux berekend dan tijdens de voorgaande campagnes. Tijdens vloed was de flux in 2014 gelijkaardig aan deze berekend uit de campagnes van 2010 en 2011.

Figuur 147 - Gemeten SSC tijdens de 13u-metingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016



Figuur 148 - SSF tijdens de 13u-metingen te Boom en Terhagen (Rupel) in 2009 t.e.m. 2016



4.6 Hoogfrequente golfmetingen

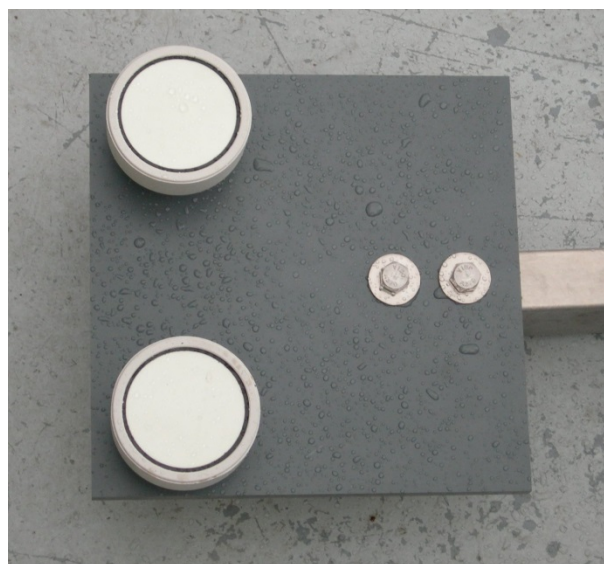
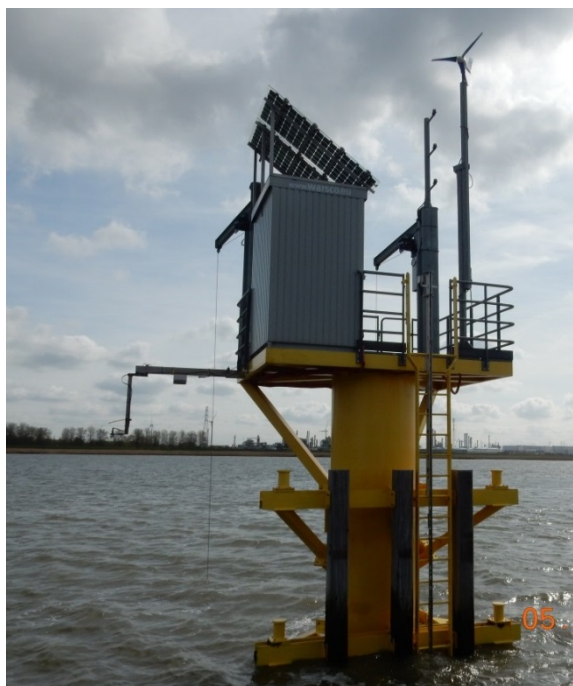
In het kader van MONEOS heeft het Waterbouwkundig Laboratorium op 30 mei 2010 een golvenmeter geïnstalleerd, eerst ter hoogte van "Galgeschoor-Lillo", nadien werd het toestel verplaatst naar de nieuwe locatie "Lillo-meetpaal".

In het MONEOS-jaarboek 2011 werden de golfparameters een eerste en tot nu toe ook laatste maal gerapporteerd. De oorzaak van het ontbreken van deze parameters in het jaarboek in de afgelopen was hoofdzakelijk te wijten aan technische problemen inzake de energievoorziening. Deze problemen zijn tot op heden nog niet volledig van de baan, maar in 2016 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om een zinvolle rapportage mogelijk te maken.

4.6.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "golfmetingen"

De hoogfrequente golfmetingen worden uitgevoerd op de locatie "Lillo-meetpaal" met behulp van een Log_aLevel meettoestel (Figuur 149). Dit toestel maakt gebruik van RADAR-technologie om zeer hoogfrequent (5 Hz) de afstand tot het wateroppervlak te meten. De uitgestuurde ultrasone meetbundel is verticaal gezien dermate smal dat zeer fijn de golfbeweging van de waterlijn kan gemeten worden. Hierbij wordt door het toestel zelf, door meting van een referentie-afstand een correctie van de geluidssnelheid aan de heersende luchttemperatuur en luchtdruk uitgevoerd.

Figuur 149 – Locatie Lillo-Meetpaal met links-uitstekend arm van golvenmeter (links) en detail Log-aLevel toestel (rechts)



4.6.2 Resultaten

De hoogfrequente inwinning van gegevens laat toe een aantal karakteristieke waarden voor golven af te leiden. Hiervoor is geopteerd dezelfde parameters te kiezen als Rijkswaterstaat in de Westerschelde, waarbij een deel hier in voorliggend jaarboek wordt gepresenteerd. Het betreft volgende parameters:

- Gemiddelde golfhoogte (H_{gem}) en bijbehorende periode
- Maximale golfhoogte (H_{max}) en bijbehorende periode
- Significante golfhoogte ($H_{1/3}$) en bijbehorende periode

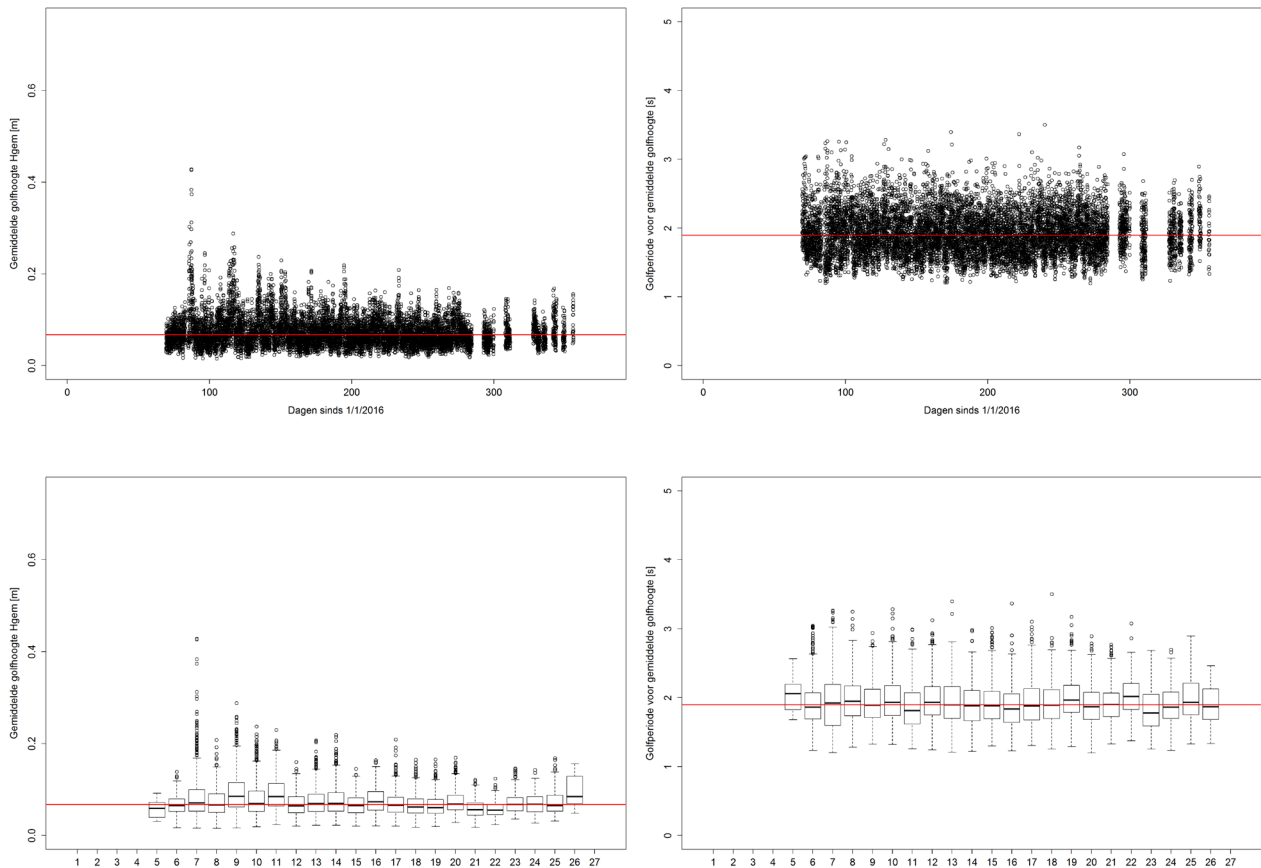
Deze parameters werden bepaald over een periode van 30 minuten, conform de Nederlandse methodologie.

Figuur 150, Figuur 151, Figuur 152 geeft respectievelijk het verloop weer van de gemiddelde, maximale en significante golfhoogte en bijbehorende periode. Daarnaast is ervoor geopteerd een boxplot-voorstelling mee op te nemen, waarbij de karakteristieke waarden van dezelfde parameters voorgesteld worden per 14 daagse periode. Daarnaast wordt per parameter ook de mediane waarde (rode lijn) getoond waarvan de waarden ook in Tabel 23 staan. Hieruit blijkt dat de gemiddelde en significante golfhoogte gelijkaardig is dan in 2011, maar dat de maximale golfhoogte aanzienlijk lager is. Dit is te wijten aan het verschil in berekeningsmethodiek: in voorliggend rapport wordt per blok van 30' de maximale golfhoogte bepaald, en hiervan wordt het gemiddelde genomen over 14 dagen. In 2011 werd de maximale golfhoogte bepaald over de halfmaandelijke periode, zonder eerst een afleiding uit te voeren per blok van 30'. Uit Figuur 151 kan afgeleid worden dat de maximale golfhoogte per blok van 14 dagen tussen de 75 en 100 cm varieert en dus gelijkaardig is aan de waarde van 2011.

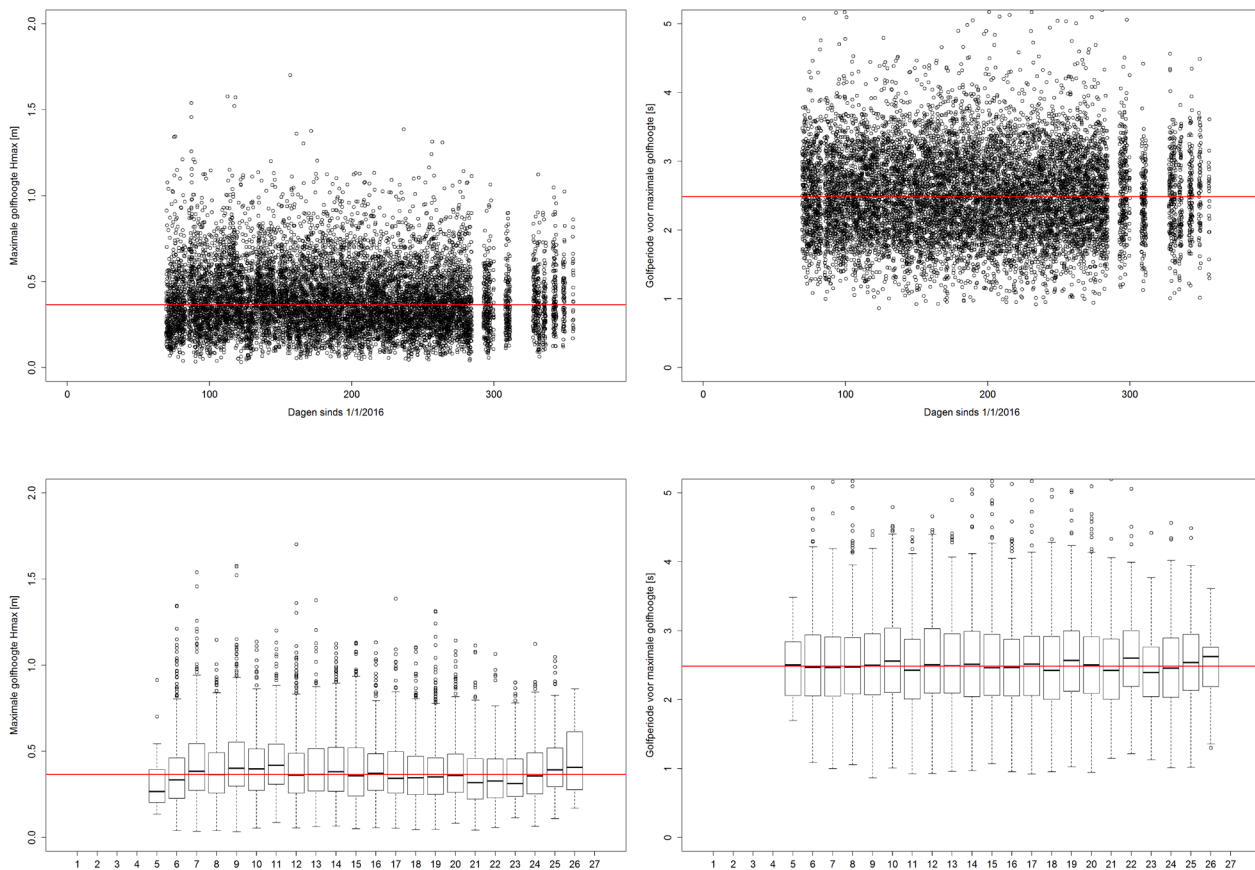
Tabel 23 – Overzicht karakteristieke golfparameters voor 2016, incl. vergelijking met 2011

	2016	2011
Gemiddelde golfhoogte (Hgem)	6,7 cm	6 cm
Periode van gemiddelde golfhoogte (Tgem)	1,90 s	2,0 s
Maximale golfhoogte (Hmax)	36,6 cm	<i>79 cm</i>
Periode van maximale golfhoogte (Tmax)	2,49 s	-
Significante golfhoogte (H1/3)	11,0 cm	11 cm
Periode van significante golfhoogte (T1/3)	2,29 s	-

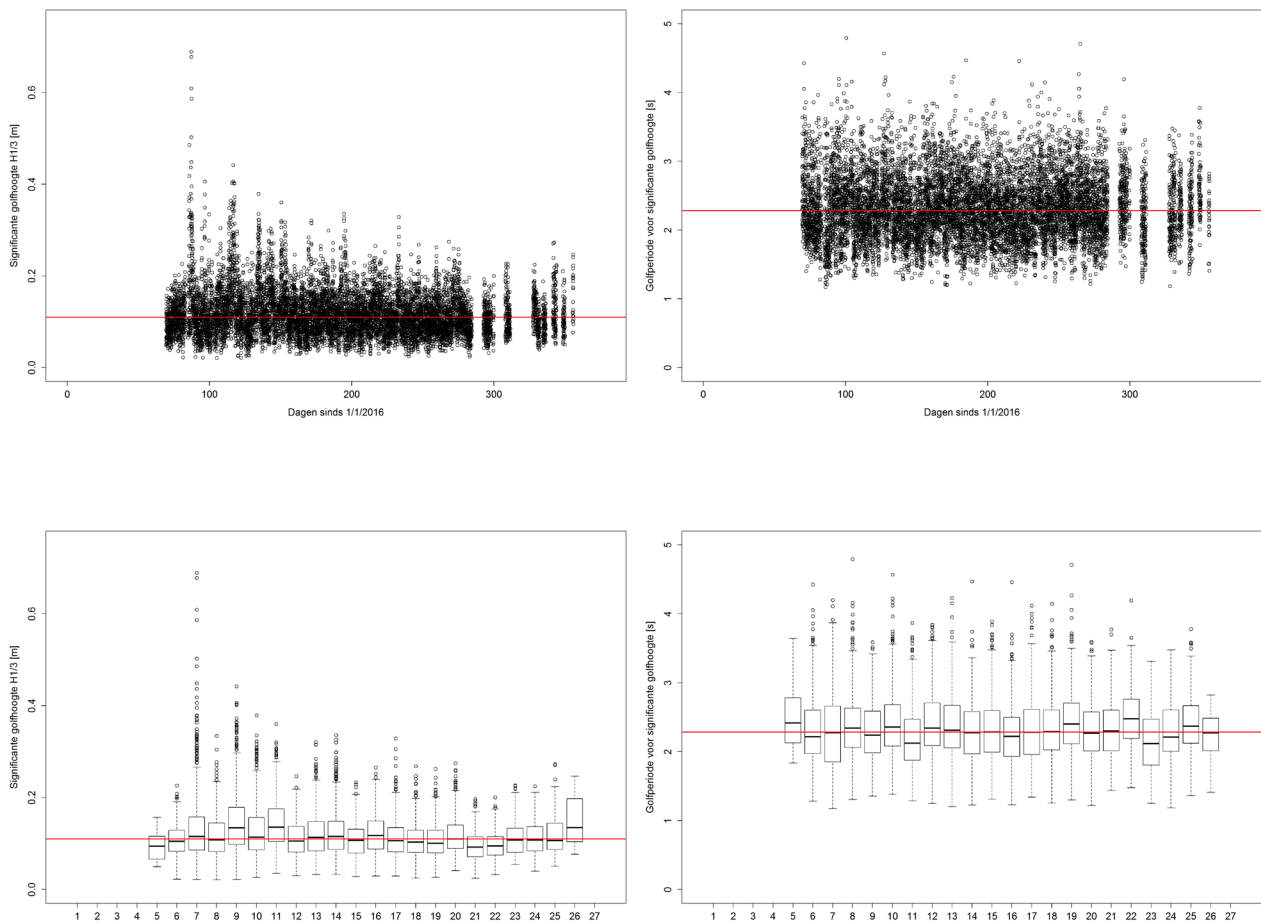
Figuur 150 – Gemiddelde golfhoogte (links) en periode behorende bij gemiddelde golfhoogte (rechts)
Boven: afgeleide waarden per 30' | Onder: boxplot per 14 dagen
Rode lijn geeft mediane waarde weer voor 2016



Figuur 151 – Maximale golfhoogte (links) en periode behorende bij maximale golfhoogte (rechts)
Boven: afgeleide waarden per 30' | Onder: boxplot per 14 dagen
Rode lijn geeft mediane waarde weer voor 2016



Figuur 152 – Significante golfhoogte (links) en periode behorende bij significante golfhoogte (rechts)
Boven: afgeleide waarden per 30' | Onder: boxplot per 14 dagen
Rode lijn geeft mediane waarde weer voor 2016



5 Referenties

Boeckx, L.; Coen, L.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Hydrologie en getij bevaarbare waterlopen in de eerste maanden van 2016: van neerslag... naar afvoer... bij een stevige wind in het getijgebied... geeft werk. RPRT. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Boeck, K.; Van Hoestenbergh, T.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Saliniteit – chloriniteit – chlorositeit: relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. RPRT. WL Rapporten, 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Denis, L.; Byttebier, L. (2015). De Sedimentaansvoer vanuit de bovenrivieren naar het Scheldebekken bepalen: Sedimenttransport over dwarsdoorsnede berekenen a.d.h.v. een puntmeting. Masterthesis – Universiteit Antwerpen.

IMDC (2013) Monitoringsprogramma Flexibel Storten – Fase 2; Deelopdracht 1 – Analyse slibconcentratie metingen in de Zeeschelde

Levy, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). MONEOS 2014 - 13 uursmetingen: Factual data rapport: Stromingen, debiet en sediment concentratie. Versie 3.0. WL Rapporten, 13_086. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Meire, D., Levy, Y., Vereecken, H., Plancke, Y., Deschamps, M., Verwaest, T., Mostaert, F. (2016). MONEOS, Metingen halftij-eb in de Zeeschelde: Factual data rapport 2015. Versie 1.0. WL Rapporten, 13_084. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Nossent, J.; Viaene, P.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016), Stormrapport: hoogwaterperiode januari 2016. versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Plancke, Y.; Maximova, T.; Ides, S.; Peeters, P.; Taverniers, E. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid: Sub project 1. Data analysis and hypothesis - Lower Sea Scheldt. RPRT. WL Rapporten, 756_05 (F. Mostaert, Ed.). Flanders Hydraulics Research: Antwerp

Plancke, Y.; Taverniers, E.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2012). Slibbalans-Zeeschelde: Deelrapport 1 - Metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2012. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Plancke, Y.; Vereecken, H.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Slibbalans-Zeeschelde: Deelrapport 5 - Metingen halftij-eb Boven-Zeeschelde 2013. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Plancke, Y.; Schramkowski, G.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Kubatuurberekening voor het Scheldeestuarium: karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001. RPRT. WL Rapporten, 00_157. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Taverniers, E.; Plancke, Y.; 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. RPRT. WL Rapporten, 12_070. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vos, G.; Van de Moortel, I.; Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (in voorbereiding). Vergelijking van verschillende berekeningswijzen voor het bepalen van de sedimentaansvoer naar het Schelde-estuarium vanuit de ovenlopen. RPRT. WL Rapporten, 12_070. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vandenbruwaene, W. (2012). TIDE – hydro-geomorfologische vergelijking estuaria, in: (2012). VNSC Scheldesymposium, Middelburg, 12 oktober 2012. Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (VNSC). pp. 13–14

Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Slibbalans Zeeschelde: deelrapport 4. Historische evolutie SPM. versie 6.0. RPRT. WL Rapporten, 00_029_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Van Hoestenbergh, T.; Ferket, B.; De Boeck, K.; Vanlierde, E.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Slibbalans Zeeschelde: deelrapport 2. Sediment load for the river Scheldt and its main tributaries (1972 - 2009). RPRT. WL Rapporten, 00_029. Waterbouwkundig Laboratorium/Antea Group: Antwerpen

Vanlierde, E.; Cornet, E.; Vereycken, K.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Methode berekening debieten in de Schelde: berekening debieten te Schelle, afwaarts Dendermonde en aan de Belgisch-Nederlandse grens. RPRT. WL Rapporten, 12_077. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage A: 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: sinusoïdale 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 sinusoïdale 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 en Antwerpen) de regressieparameters (λ , μ en α) bepaald voor het jaargemiddelde hoog- en laagwater.

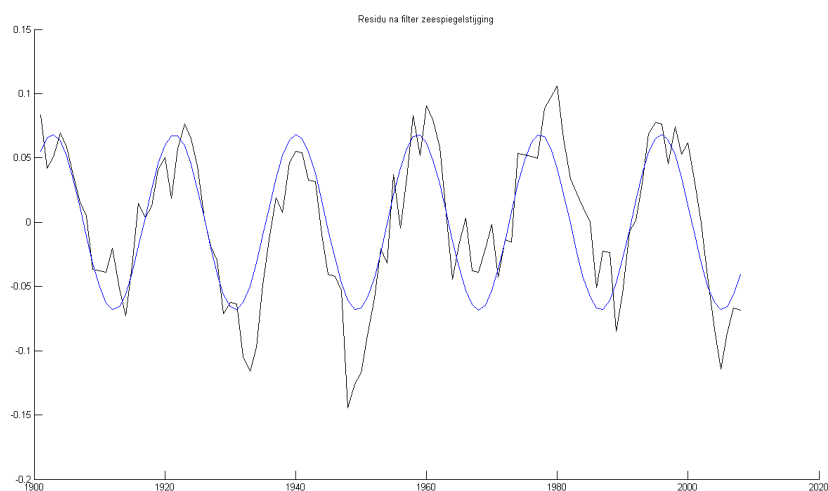
C. Resultaten

In eerste instantie werd de fase ϕ van het sinusoïdale verloop van de 18,61-jarige cyclus bepaald. Figuur 153 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):

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

Figuur 153 – Bepalen van de fase voor de 18,61-jarige cyclus op het getijverschil te Vlissingen



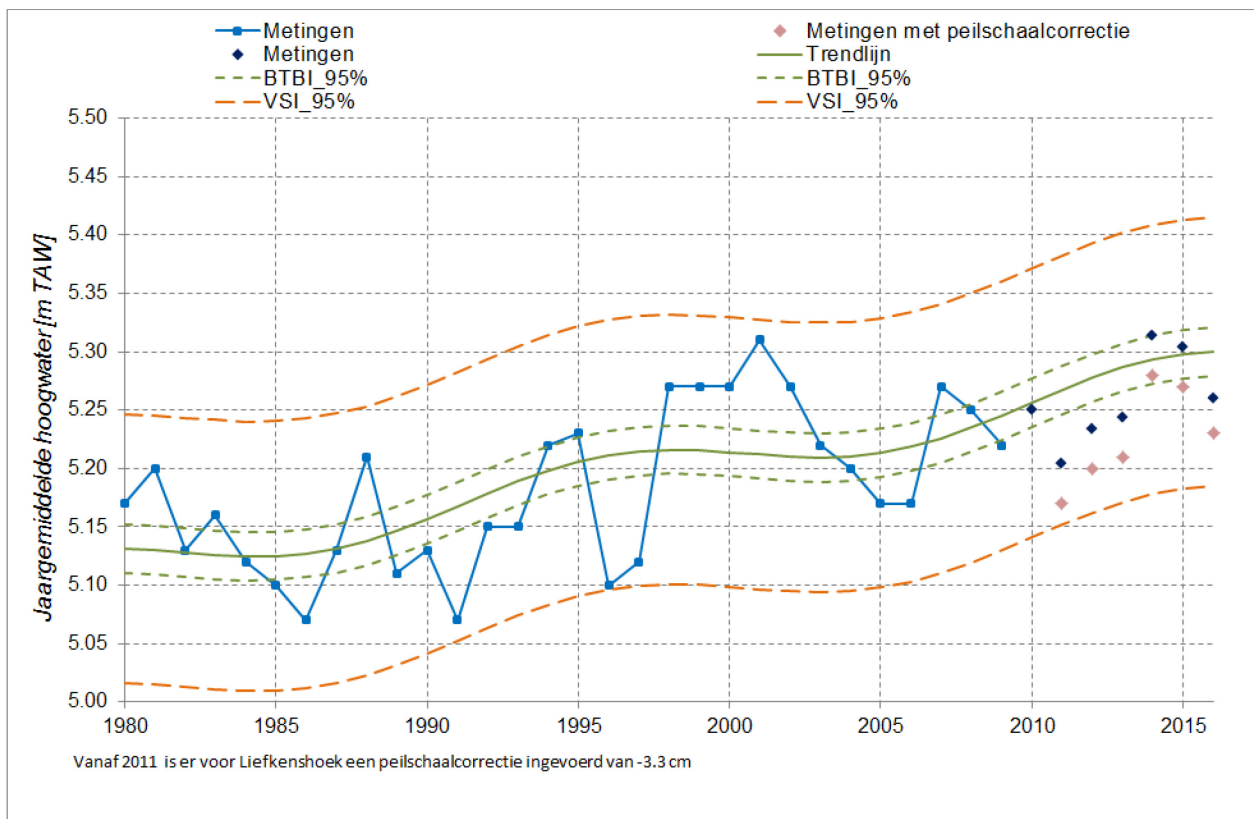
Vervolgens werd voor de beschouwde getijposten in de Beneden-Zeeschelde (Liefkenshoek en Antwerpen) de regressieparameters (λ , μ en α) bepaald voor het jaargemiddelde hoog- en laagwater.

Tabel C1 - 1 – Overzicht regressieparameters getijposten Beneden-Zeeschelde

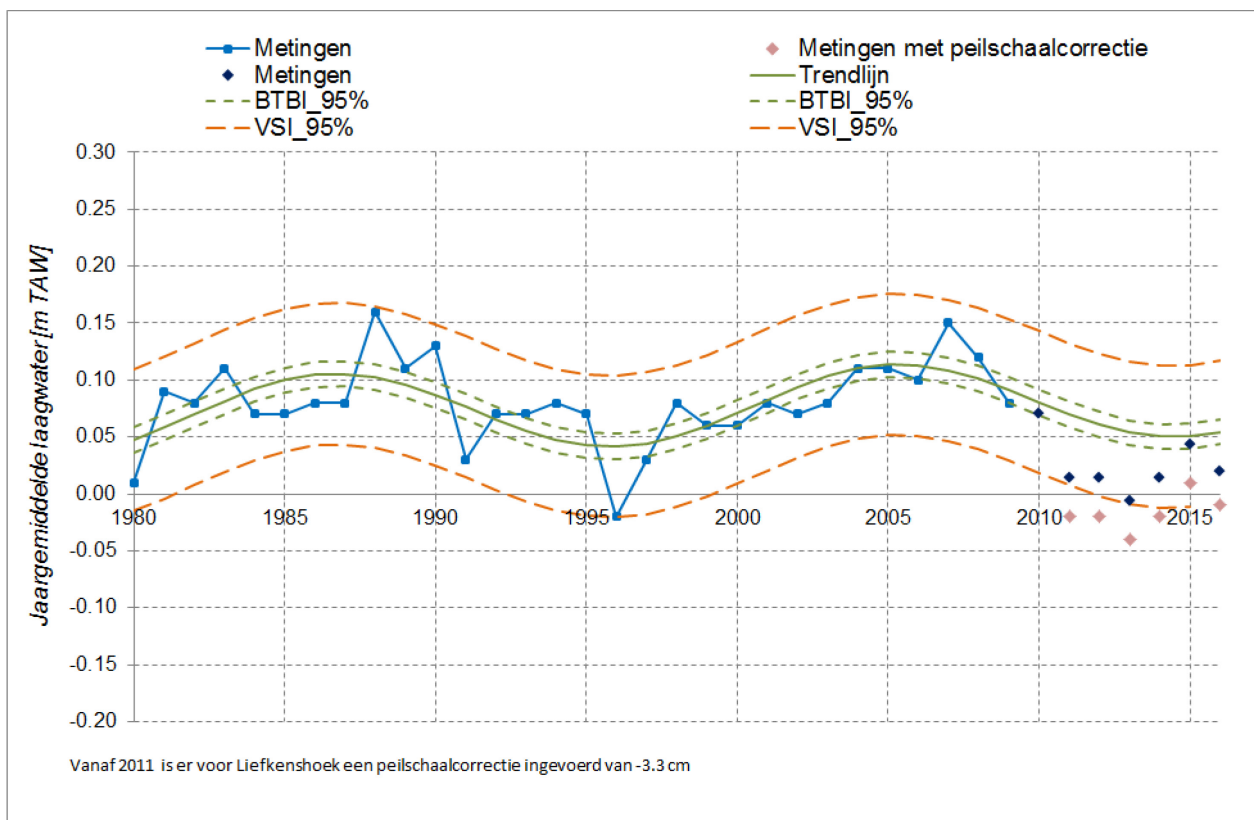
	HOOGWATER			LAAGWATER		
	λ [m/jaar]	μ [m]	α [m]	λ [m/jaar]	μ [m]	α [m]
Liefkenshoek	4,54E-3	-3,87	1,97E-2	4,40E-4	-0,80	3,40E-2
Antwerpen	3,12E-3	-0,94	2,99E-2	1,00E-3	-1,98	3,66E-2

Figuur 154 tot en met 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 de tijposten (Liefkenshoek en Antwerpen) 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 de eerste 4 grafieken, daarom zijn zowel de zwarte ruiten (“metingen”) als de roze ruiten (“metingen met peilschaalcorrectie”) weergegeven op de grafieken.

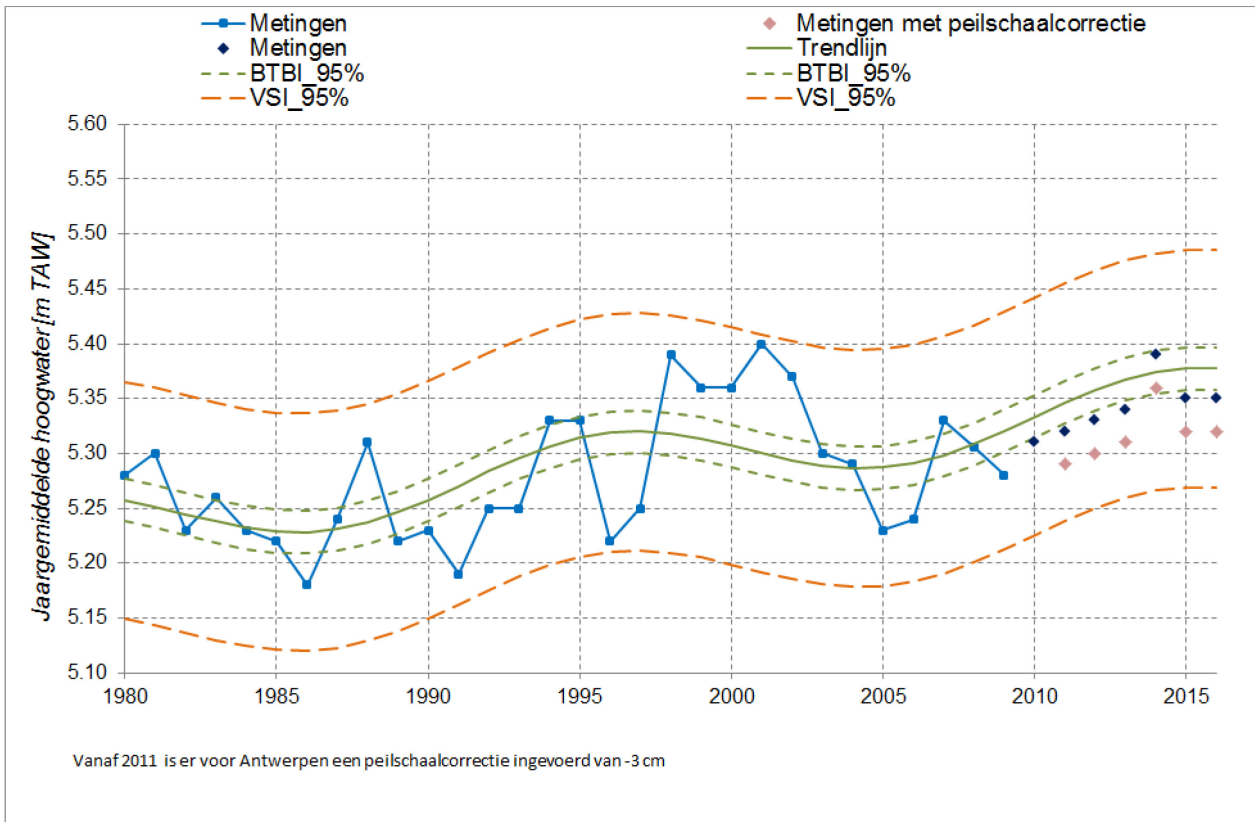
Figuur 154 – Ontwikkeling van het hoogwater te Liefkenshoek



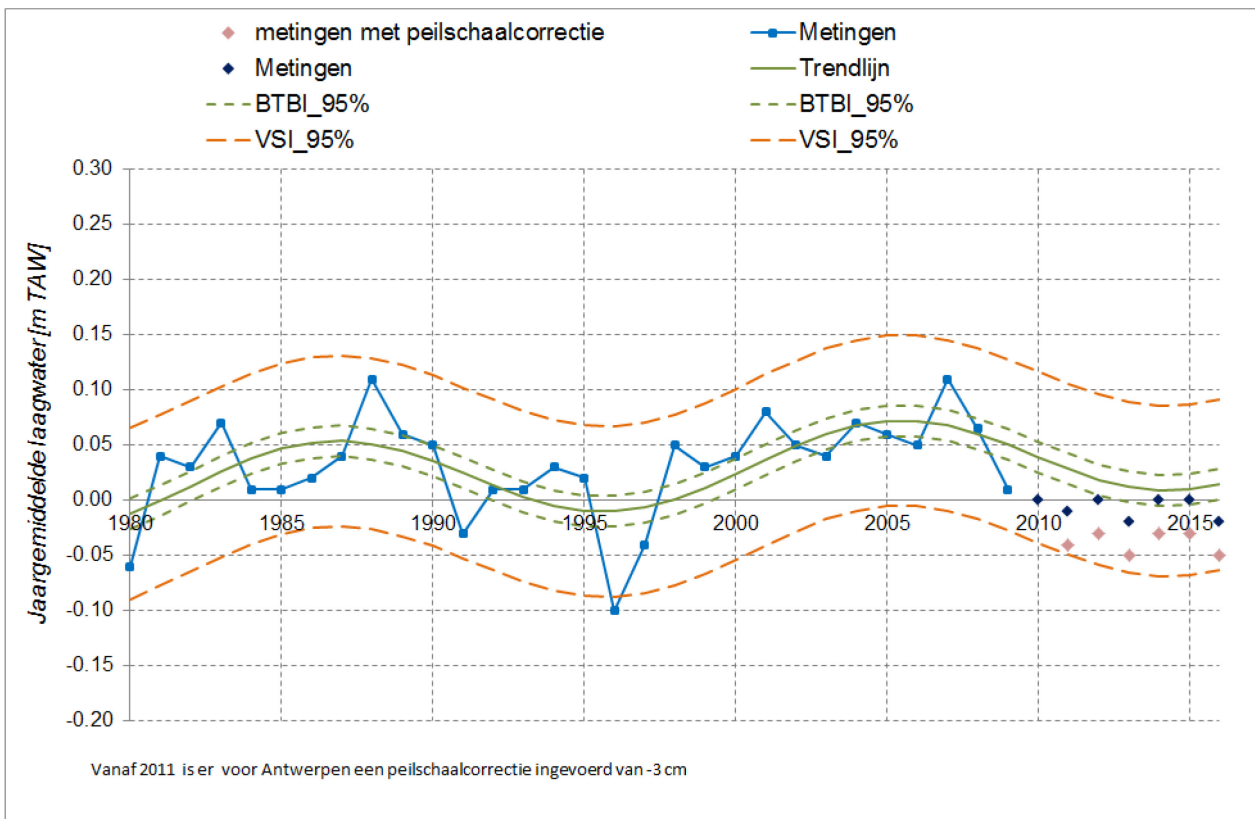
Figuur 155 – Ontwikkeling van het laagwater te Liefkenshoek



Figuur 156 – Ontwikkeling van het hoogwater te Antwerpen



Figuur 157 – Ontwikkeling van het laagwater te Antwerpen



Bijlage B: Vergelijking meetposten getij

Boom versus Boom Rupelbrug EMT

De tijpost Boom is eind 2015 opgedoekt. Daarom werd de tijpost in dit rapport vervangen door Boom Rupelbrug EMT, die niet beheerd wordt door het WL en op 900m ligt van de gedeactiveerde tijpost. De data van Boom Rupelbrug EMT zijn niet in dezelfde mate gevalideerd als de andere Moneos-posten, maar uit onderstaande tabel blijkt dat belangrijke statistische waarden (zoals de hoogste waarde, de laagste waarde en het gewogen gemiddelde van de hoog- en laagwaters) amper van elkaar verschillen. De statistiek van de hoogwaters verschilt nog een beetje van elkaar (+3 cm), maar die van de laagwaters is bijna identiek (zie Tabel 24).

Tabel 24 – Vergelijkende studie Boom versus Boom Rupelbrug EMT

2014 Hoogwater	Boom Rupelbrug	Boom	2015 Hoogwater	Boom Rupelbrug	Boom
Hoogste	6,93	6,97	Hoogste	6,45	6,49
Gewogen Gemiddelde	5,56	5,59	Gewogen Gemiddelde	5,53	5,56
Laagste	4,37	4,39	Laagste	4,24	4,27

2014 Laagwater	Boom Rupelbrug	Boom	2015 Laagwater	Boom Rupelbrug	Boom
Hoogste	1,89	1,90	Hoogste	1,99	2,00
Gewogen Gemiddelde	0,12	0,13	Gewogen Gemiddelde	0,13	0,14
Laagste	-0,56	-0,56	Laagste	-0,54	-0,54

Schelle versus Wintam

Voor Schelle werd eveneens een alternatief gezocht te Wintam, maar uit Tabel 25 blijkt dat de verschillen in dezelfde belangrijke statistische waarden toch al significant (+- 6cm) waren. Daarom werd geopteerd om Schelle niet te vervangen in deze rapportage.

Tabel 25 – Vergelijkende studie Schelle versus Wintam

2011 Hoogwater	Wintam	Schelle	2012 Hoogwater	Wintam	Schelle
Hoogste	6,62	6,68	Hoogste	6,40	6,46
Gewogen Gemiddelde	5,43	5,48	Gewogen Gemiddelde	5,43	5,49
Laagste	4,30	4,37	Laagste	3,82	3,88

2011 Laagwater	Wintam	Schelle	2012 Laagwater	Wintam	Schelle
Hoogste	1,49	1,55	Hoogste	2,28	2,33
Gewogen Gemiddelde	-0,08	-0,06	Gewogen Gemiddelde	-0,08	-0,05
Laagste	-0,89	-0,95	Laagste	-0,96	-0,93

Bijlage C: Kalibratie Turbiditeit – SSC

Om de turbiditeit om te rekenen naar sedimentconcentratie, dienen pompstalen genomen te worden die gerelateerd worden aan de indirecte metingen. Ter hoogte van Lillo-meetpaal, Oosterweel, Kruikeke en Driegoten worden specifieke kalibratiecampagnes uitgevoerd. Voor de meetlocaties te Appels, Melle en Duffel-sluis wordt de kalibratie uitgevoerd met behulp van 7-uurlijkse pompstalen die continu opgepompt worden met behulp van ISCO automatische staalnametoestellen.

A. Specifieke kalibratiecampagnes

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 tegelijkertijd de turbiditeitswaarden geregistreerd werden. Uit deze gegevens konden vervolgens relaties tussen het suspensiegehalte en de turbiditeit opgesteld worden. Sinds 2016 worden ook dergelijke campagnes ook te Kruikeke en Lillo uitgevoerd, waarbij de gevonden relaties te Lillo zeer goed lijken aan te sluiten met de Boei 84 dataset. Voor meer informatie omtrent het opstellen van deze relaties wordt verwezen naar Ferket et al. (2015). Door deze relaties toe te passen kan men voor alle meetlocaties inschattingen van het suspensiegehalte verkrijgen. Merk op dat de Seaguard 500 toestellen beperkt zijn in hun meetbereik (500 FTU). Hoge sedimentconcentraties worden dus onderschat. Hierdoor moet rekening gehouden worden dat gemiddelde concentratiewaardes berekend uit deze waarden onderschattingen zullen zijn.

B. Overzicht

Tabel 26 geeft de correlatie (R^2), Root Mean Squared Error (RMSE) en Mean Squared Prediction Error (MSPE) van de turbiditeit-SSC relaties voor de Aanderaa meetlocaties. Daarnaast wordt ook het aantal datakoppels en de minima en maxima van de dataset weergegeven. In principe is de relatie enkel geldig binnen deze grenzen. Een overschrijding van de maximale SSC uit Tabel 26 is dus een schatting op basis van een regressie die niet voor deze SSC grootteorde opgesteld is (en dus zou mogen gebruikt worden). Hoewel de RMSE op een niet te verwaarlozen gemiddelde afwijking duidt voor de verschillende relaties, blijkt uit de MSPE (en R^2) dat de regressies van een goede kwaliteit zijn.

Tabel 26 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie van de verschillende Aanderaa meetlocaties

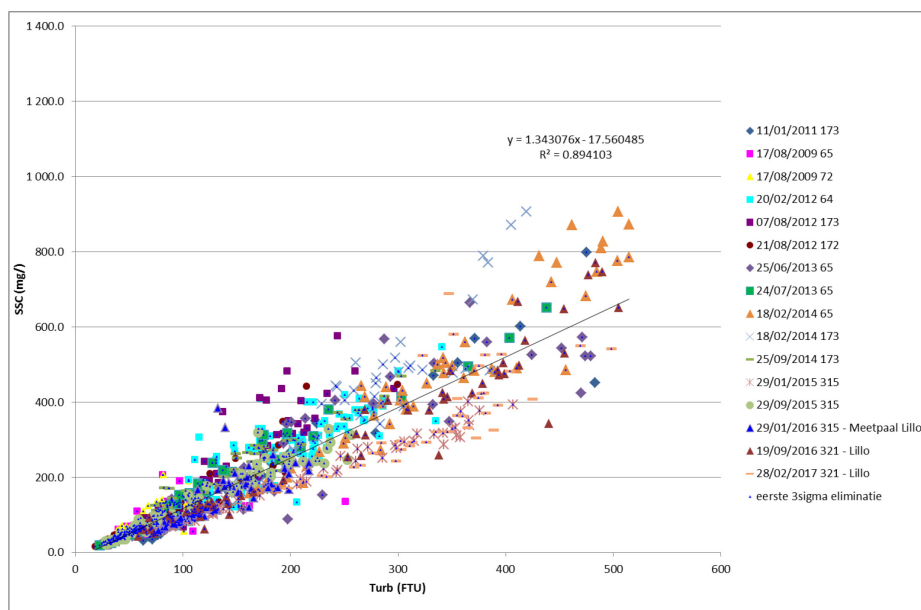
Meetlocatie - Type	R^2	RMSE	MSPE	N	Min. Turb	Max. Turb	Min. SSC	Max. SSC
Boei84 en Lillo - SG500	0,89	49	25	903	19	515	16	799
Boei84 en Lillo - SG2500	0,95	47	20	604	22	817	16	1055
Oosterweel - SG2500	0,95	44	10	827	53	806	52	1153
Kruikeke - YSI	0,84	20	14	43	39	116	64	238
Driegoten – SG2500 – Winter	0,91	26	14	413	20	259	15	833
Driegoten – SG2500 – Zomer ⁹	0,99	20	5	142	66	719	45	937

⁹ Het toestel te Driegoten is gestopt met meten op 11/05/2016. Daarom werd er in 2016 enkel nog gebruik gemaakt van de winterrelatie. Voor een overzicht van de historische relaties + meetcampagnes wordt verwezen naar MONEOS 2015.

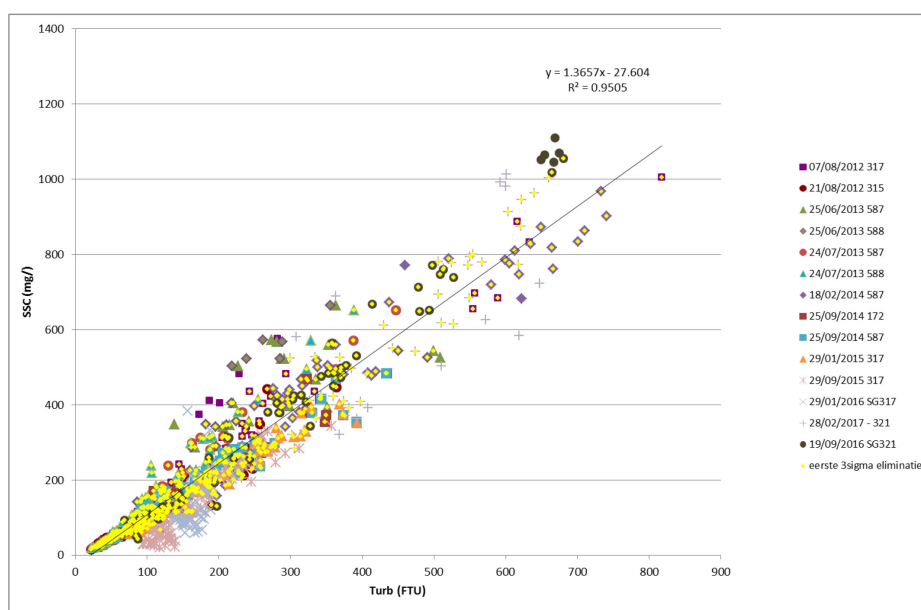
C. Meetpaal Lillo (en data Boei-84)

Zoals eerder vermeld, is het bovenste meettoestel aan de meetpaal te Lillo van het type SeaGuard500 (SG500). Dit toestel kan geen turbiditeitswaarden hoger dan 500 FTU registreren, wegens verzadiging van de sensor. Dit probleem komt niet voor bij de SeaGuard2500. Voor de meetpaal te Lillo dient er geen onderscheid gemaakt te worden tussen een zgn. zomer- en winterrelatie.

Figuur 158 – Meetpaal Lillo – SG500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van de historische meetlocatie Boei 84 en het bovenste toestel aan de meetpaal te Lillo.



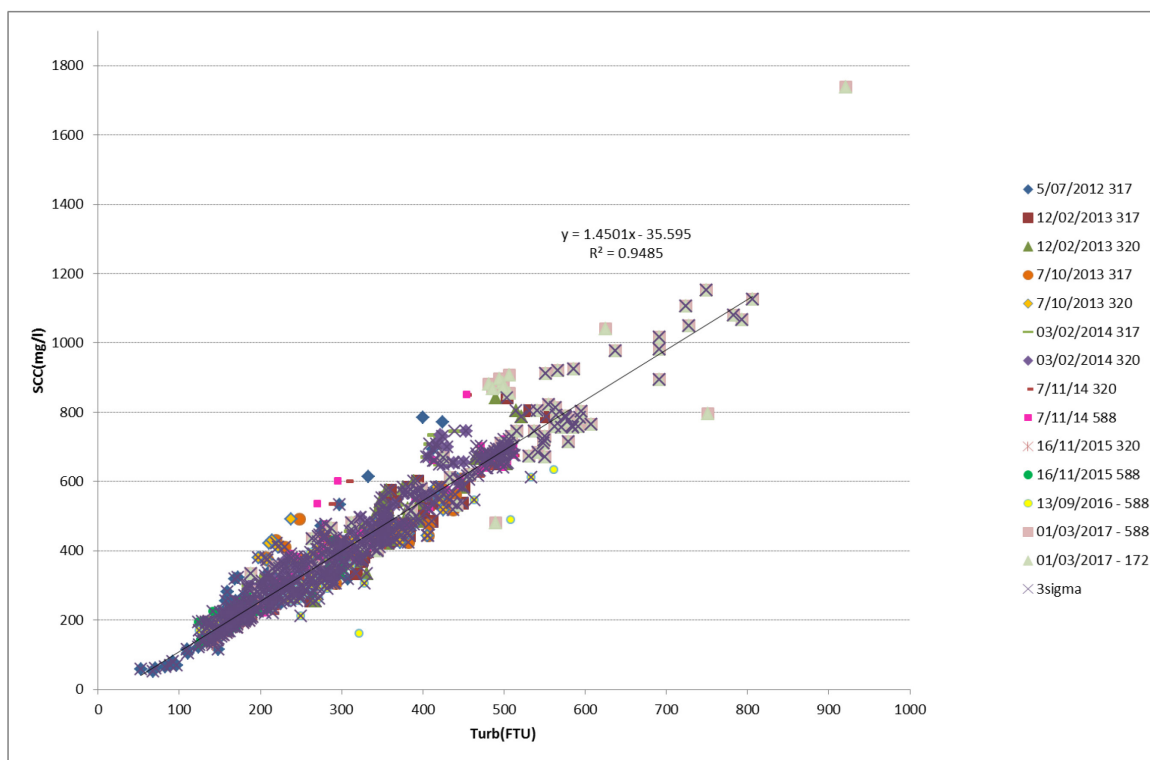
Figuur 159 – Meetpaal Lillo – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen ter hoogte van de historische meetlocatie Boei 84 en het onderste toestel aan de meetpaal te Lillo.



D. Oosterweel

In 2016 hing er geen SG500 te Oosterweel. Bovendien werd het onderste meettoestel eind maart 2016 verwijderd. Voor de campagnes op 05/02/2016 en 21/01/2015 werd een kwadratische relatie gevonden. Vermoedelijk is dit het gevolg van bagger- en stortactiviteit in de nabijheid van de meetlocatie. Dit kan de sedimentologische samenstelling sterk veranderen. Bij het opstellen van de relatie werden deze meetcampagnes, die beïnvloed zijn door baggeractiviteiten, achterwege gelaten. Deze worden dus ook niet weergegeven in onderstaande figuur.

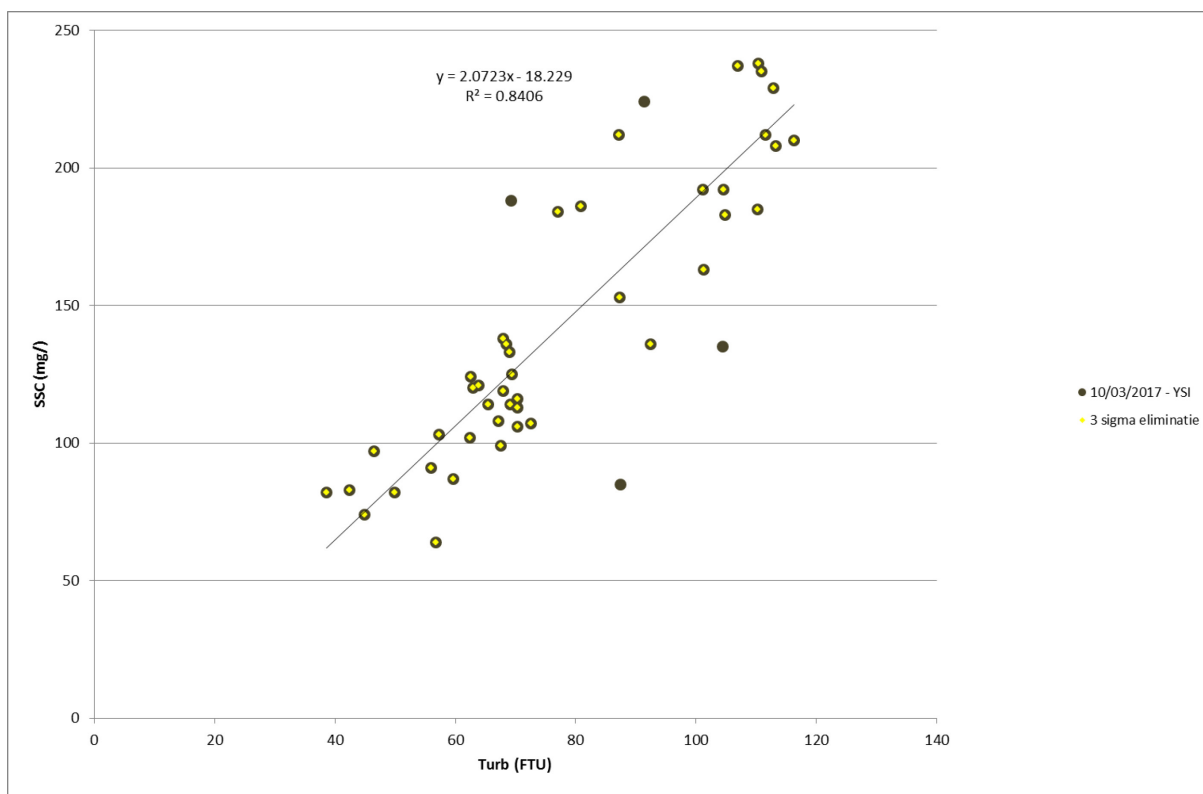
Figuur 160 – Oosterweel – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen nabij Oosterweel. De meetcampagnes die beïnvloed werden door baggeractiviteiten zijn niet opgenomen.



E. Kruibeke

Het multiparameter toestel te Kruibeke is nog maar recent (25/09/2016) in gebruik genomen. Hierdoor werd er nog maar 1 kalibratiecampagne uitgevoerd op deze locatie. De turbiditeit-SSC relatie dient dus in de toekomst, wanneer er meer meetgegevens beschikbaar zullen zijn, nog verfijnd te worden.

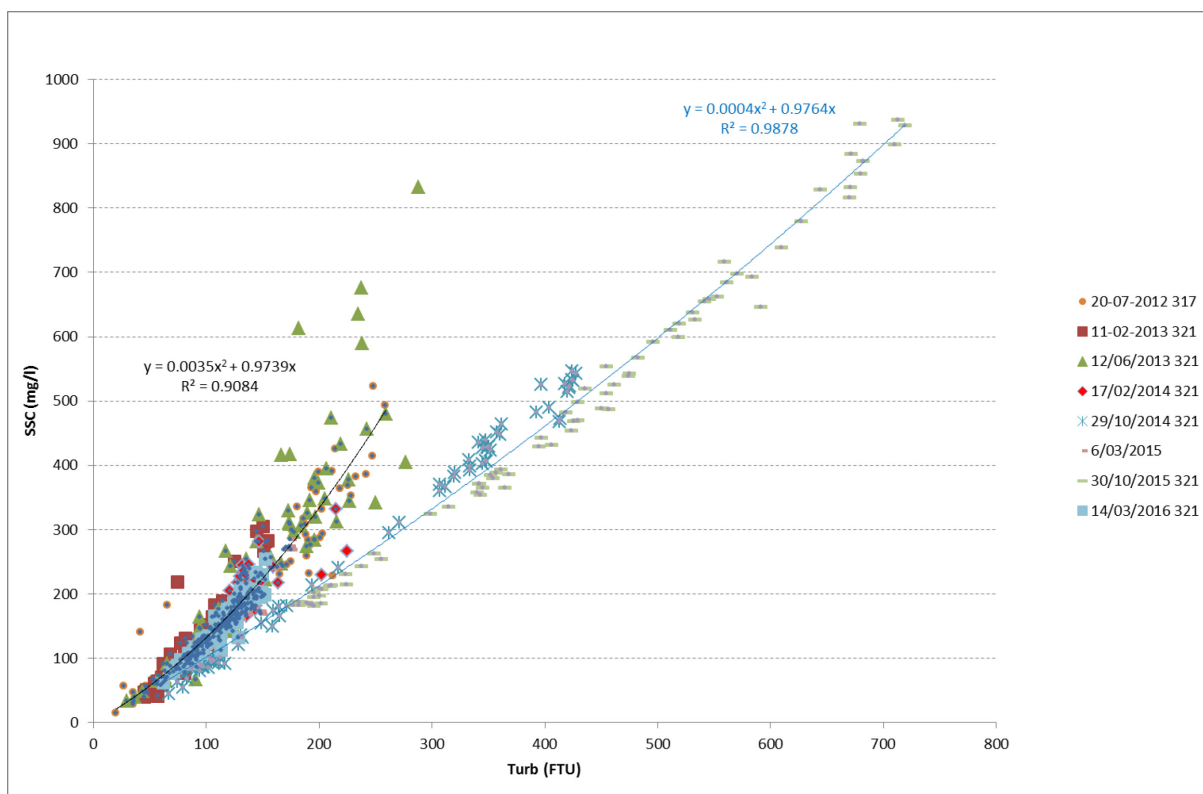
Figuur 161 – Kruibeke – YSI: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Kruibeke.



F. Driegoten

De meetopstelling van Driegoten werd ontmanteld op 11/05/2016. Daarom is er in 2016 enkel nog gebruik gemaakt van de winterrelatie. Voor een overzicht van de historische relaties + meetcampagnes wordt verwezen naar MONEOS 2015.

Figuur 162 – Driegoten – SG2500: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor Aanderaa Seaguard toestellen van Driegoten.



Voor de beperkte tijdreeks in 2016, werd er louter nog gebruik gemaakt van de kwadratische relatie (Links).
De historische “zomerrelatie” (rechts) is ook weergegeven.

G. Kalibratie op basis van continue 7-uurlijkse pompstalen

Er wordt getracht om een continue tijdreeks te schatten van de gesuspendeerde sedimentconcentratie op basis van pompstalen die om de 7 uur genomen worden. Deze relaties worden opgesteld voor een periode van meerdere jaren (3) tussen deze gegevens en de SSC-data. Hiertoe wordt een lineaire regressie uitgevoerd van turbiditeit in functie van SSC. Wanneer wenselijk (statistische criteria) kunnen de gegevens eerst logaritmisch getransformeerd worden (tiendelig logaritme).

Daarna wordt nagegaan of het noodzakelijk is om verschillende relaties op te stellen voor bepaalde deelperiodes, zomer (mei t.e.m. september) en winter (oktober t.e.m. april). 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%-voorspellingsintervallen bepaald. Een 95% voorspellingsinterval wil daarbij zeggen dat als men een extra observatie zou hebben, de bijhorende voorspelde waarde met 95% kans binnen het voorspellingsinterval zal liggen.

In volgende hoofdstukken worden zowel relaties als de modelstatistieken gegeven voor de genomen pompstalen te Dendermonde (Appels), Melle en Duffel (Sluis). Merk op dat er hier nog geen EWI-correcties op uitgevoerd zijn (zie §4.3).

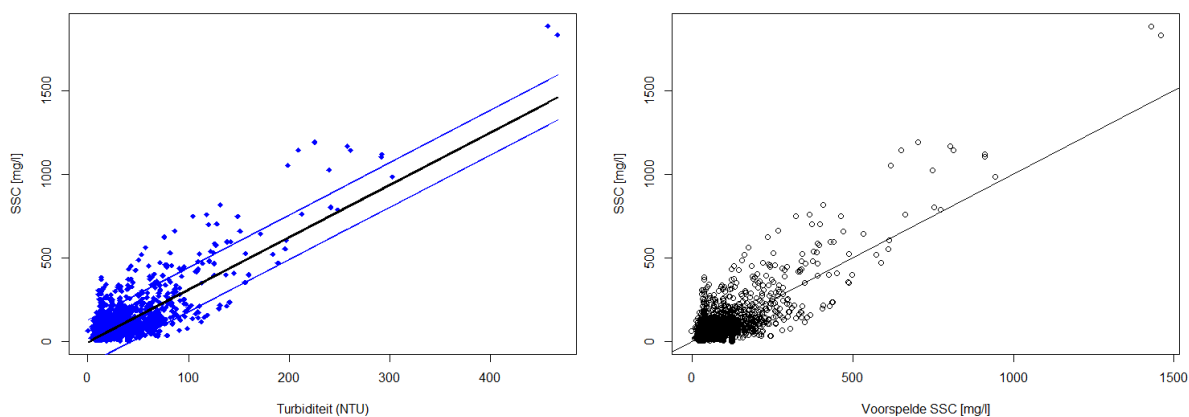
H. Dendermonde (Appels)

Tabel 27 geeft een overzicht van karakteristieke parameters voor de turbiditeit-SSC relatie ter hoogte van Appels. De resulterende relatie wordt grafisch weergegeven in Figuur 163.

Tabel 27 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Appels

Appels (Dendermonde)					
Turbiditeit (NTU)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	0,1	20	27,12	26,45	467
SSC (mg/L)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	0,0	54	81,45	106,61	1883
Model-statistieken	N	R²	RMSE	MSPE	p²
	3431	0,60	67,10	82,40	0,60
Relatie	SSC = -3,42159 + 3,12994*Turb				
LPI	SSC = -135 + 3,126*Turb				
UPI	SSC = 128 + 3,134*Turb				

Figuur 163 – Dendermonde (Appels) – YSI: Kalibratiorelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Dendermonde.



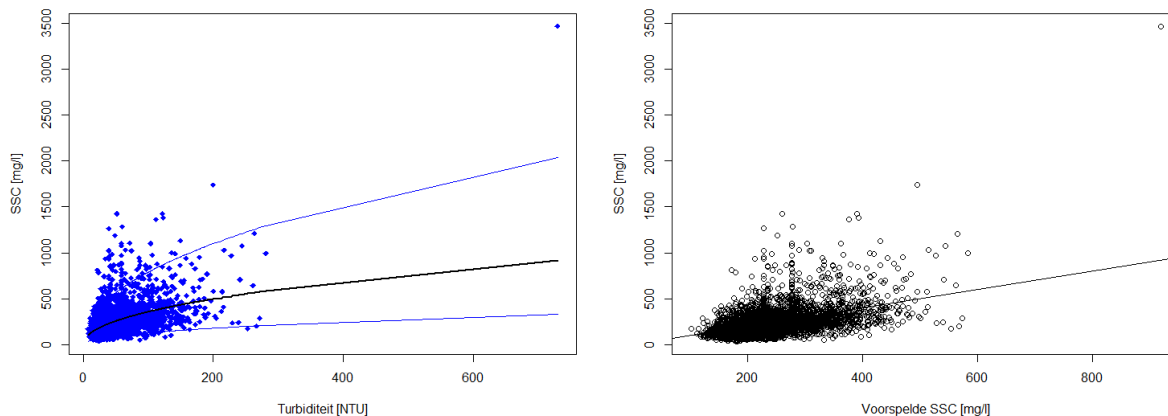
I. Melle

Tabel 28 geeft een overzicht van karakteristieke parameters voor de turbiditeit-SSC relatie ter hoogte van Melle. De resulterende relatie wordt grafisch weergegeven in Figuur 164.

Tabel 28 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Melle

Melle					
Turbiditeit (NTU)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	7,3	42,1	51,46	34,88	729,7
SSC (mg/L)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	35	215	249,33	163,93	3462
Model-statistieken	N	R²	RMSE	MSPE	P²
	3688	0,25	144	57,6	0,25
Relatie	$SSC = 10^{1,54988} \cdot Turb^{0,477} \cdot 1,12$				
LPI	$SSC = 10^{1,157} \cdot Turb^{0,4769}$				
UPI	$SSC = 10^{1,643} \cdot Turb^{0,4771}$				

Figuur 164 – Melle – YSI: Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Melle.



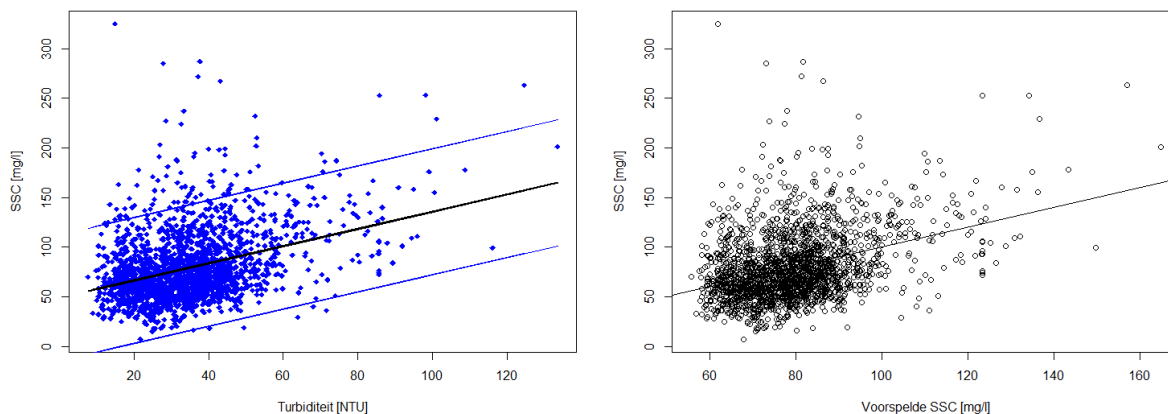
J. Duffel-sluis

Tabel 29 en Tabel 30 geeft een overzicht van karakteristieke parameters voor de turbiditeit-SSC relatie ter hoogte van Duffel-sluis. Voor Duffel-sluis bleek het wel noodzakelijk om aparte deelrelaties op te stellen voor metingen gedurende de winter versus zomer. De resulterende relaties worden grafisch weergegeven in Figuur 165 en Figuur 166.

Tabel 29 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Duffel-sluis (winter)

Duffel-sluis (winter)					
Turbiditeit (NTU)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	7,7	33,8	35,4	14,68	133,5
SSC (mg/L)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	7,0	72,0	79,39	34,75	325
Model-statistieken	N	R²	RMSE	MSPE	p²
	2037	0,13	32,3	40,7	0,13
Relatie	SSC = 49,01305 + 0,86689*Turb				
LPI	SSC = -14,4 + 0,8654*Turb				
UPI	SSC = 112,4 + 0,8683*Turb				

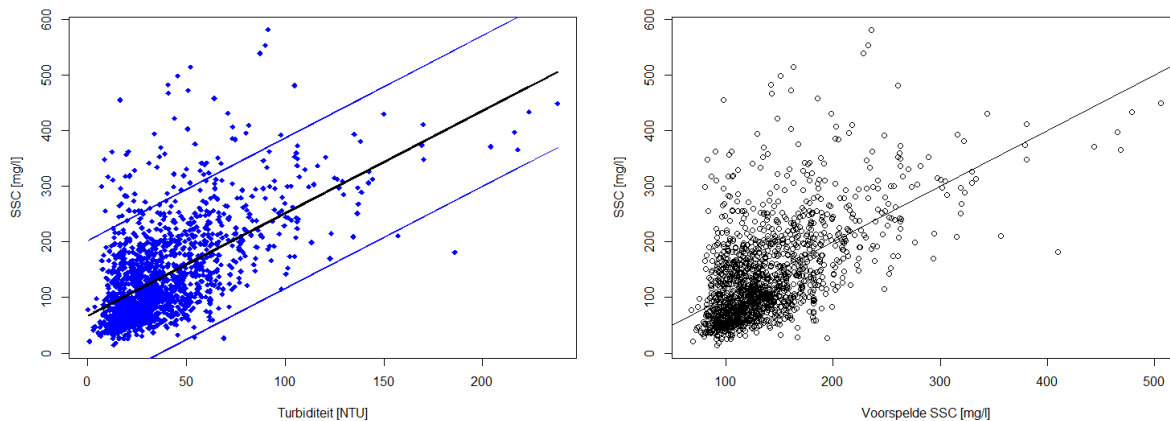
Figuur 165 – Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Duffel-sluis (winter)



Tabel 30 – Overzicht parameters voor de turbiditeit-SSC relatie te Duffel-sluis (zomer)

Duffel-Sluis (zomer)					
Turbiditeit (NTU)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	0,2	31,9	38,65	27,06	238
SSC (mg/L)	Minimum	Mediaan	Gemiddelde	STDEV	Maximum
	14,0	115,0	138,49	84,89	581
Model-statistieken	N	R²	RMSE	MSPE	P²
	1529	0.34	67.7	49.6	0.34
Relatie	SSC = 67,33175 + 1,84128*Turb				
LPI	SSC = -67,46 + 1,837*Turb				
UPI	SSC = 202,1 + 1,845*Turb				

Figuur 166 – Kalibratierelaties SSC(turbiditeit) opgesteld voor het YSI toestel te Duffel-sluis (zomer)



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be