



Vlaanderen
is wetenschap

12_070_8
WL rapporten

Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2018

Factual data rapportage van monitoring waterbeweging
en fysische parameters in de Zeeschelde in 2018

**DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2018

Factual data rapportage van monitoring waterbeweging
en fysische parameters in de Zeeschelde in 2018

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van de Moortel, I.; Brackx, M.; Claeys, S.;
Plancke, Y.; Vereecken, H.; 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 2019
D/2019/3241/115

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van de Moortel, I.; Brackx, M.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2018: Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2018. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_070_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2019R12_070_8
Keywords (3-5):	Getij, debiet, sediment, monitoring, Schelde-estuarium		
Tekst (p.):	106	Bijlagen (p.):	26
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van De Moortel, I.; Brackx, M.
------------	--

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Claeys, S. Meire, D. Plancke, Y. Vereecken, H.	Getekend door: Sryn Claeys (Signature) Getekend op: 2019-08-16 09:24:50 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Sryn Claeys</i>
		Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-08-22 14:07:58 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
		Getekend door: Hans Vereecken (Signature) Getekend op: 2019-08-19 09:50:20 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Hans Vereecken</i>
		Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2019-08-30 11:34:12 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene (S) Getekend op: 2019-08-15 13:03:34 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Wouter Vandenbruwaene</i>

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps (Signa) Getekend op: 2019-08-19 09:12:46 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-08-16 08:19:43 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>



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). Dit rapport handelt over de resultaten van het jaar 2018. Achtereenvolgens worden de meetgegevens gepresenteerd inzake de continue metingen van waterstanden, debieten, stromingen, saliniteit en sedimentconcentratie. Ook de vaarten (halftij-eb) en de periodieke metingen worden gerapporteerd.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
Colofon	XIII
Lijst van afkortingen	XIV
1 Inleiding	1
2 Jaaroverzicht getijwaarnemingen	2
2.1 Getijwaarnemingen	2
2.2 Getijwaarnemingen in Antwerpen	9
2.2.1 Jaaroverzicht.....	9
2.2.2 Het jaar 2018 in historisch perspectief.....	14
2.3 Stormvloeden	18
3 Jaaroverzicht bovendebieten	20
3.1 Overzicht meetlocaties.....	20
3.2 Verloop bovendebieten.....	21
3.3 Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts.....	23
3.3.1 Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle"	23
3.3.2 Bovendebieten 2018 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief.....	25
3.4 Overzicht van de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde	27
3.4.1 Resultaten voor 2018	28
3.4.2 Resultaten in historisch perspectief	29
4 Jaaroverzicht fysische parameters	30
4.1 Continue metingen "fysische parameters"	30
4.1.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"	30
4.1.2 Moment van kentering en berekening extremen KHW/KLW of vloed/eb.....	34
4.1.3 Verloop van stroomsnelheid	34
4.1.4 Verloop watertemperatuur	46
4.1.5 Verloop saliniteit	54
4.1.6 Verloop suspensiegehalte	62

4.2	Periodieke metingen (laagfrequent) aan wateroppervlak	78
4.2.1	Zeeschelde	80
4.2.2	Durme	81
4.2.3	Rupel en bovenstromen	81
4.3	Sedimentinput aan de rand van het getijdegebied	83
4.4	Meetcampagnes - langsvaarten	88
4.4.1	Meetlocaties en meetinstrumenten “fysische parameters”	88
4.4.2	Verloop halftij-eb-vaarten	89
4.4.3	Trends in sedimentconcentratie over langere termijn.....	95
4.5	Hoogfrequente golfmetingen	99
4.5.1	Meetlocaties en meetinstrumenten "golfmetingen"	99
4.5.2	Resultaten.....	101
5	Referenties	105
Bijlage A: Meetlocaties MONEOS 2018		B1
Bijlage B: Evoluties HW en LW.....		B4
Bijlage C: Harmonische componenten		B9
Bijlage D: Kalibratie Turbiditeit – SSC		B12
A.	Specifieke kalibratiecampagnes	B12
A.1	Kenmerken bekomen SSC-Turbiditeit relaties.....	B13
A.2	Meetpaal Lillo	B14
A.3	Oosterweel	B15
A.4	Kruikeke.....	B16
A.5	Weert.....	B17
A.6	Schellebelle.....	B18
B.	Kalibratie Melle.....	B19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Zeeschelde: overzicht per locatie van de getijkarakteristieken voor het jaar 2018, gerangschikt van afwaarts naar opwaarts.....	4
Tabel 2 – Rupel, Beneden-Nete en Durme: Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2018.....	7
Tabel 3 – Getijparameters te Antwerpen-Loodsgebouw: het jaar 2018 in historisch perspectief;.....	14
Tabel 4 – Beneden-Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtij (1971-2018), verdeeld per decimeter (mTAW).....	19
Tabel 5 – Overzicht van de meetstations die gebruikt worden voor de bepaling van de bovenafvoer te Schelle.....	20
Tabel 6 – Zeescheldebekken: kenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebiten aan de meetraaien in 2018 (m ³ /s)	23
Tabel 7 – Maandgemiddelde bovenafvoer van de Zeeschelde te Schelle, Rupel en Boven-Zeeschelde in 2018 (m ³ /s)	24
Tabel 8 – Vergelijking van de maandgemiddelde debieten in 2017 en 2018 te Schelle.....	26
Tabel 9 – Overzicht van de toesteltypes van multiparametertoestellen ingezet in 2018 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren.....	32
Tabel 10 – Overzicht van periodes waarin de respectievelijke toestellen geen metingen konden registreren (2018).....	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 (2018) (indien minder dan 90% van de meetwaarden correct beschikbaar, worden de waarden <i>cursief en onderlijnd</i> weergegeven)..	35
Tabel 12 - Overzicht statistieken voor de extrema van temperatuur bij KHW en KLW gemeten op locaties met getijdewerking (2018).....	47
Tabel 13 – Overzicht statistieken saliniteit [PSU] voor minimum en maximum bij resp. KLW en KHW gemeten op locaties met getijdewerking (2018).....	55
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 (2018).....	64
Tabel 15 – Geschatte jaarlijkse sedimentvracht (ton) aan de rand van het getijdegebied.....	84
Tabel 16 – Overzicht data meetcampagnes halftij-eb.....	88
Tabel 17 – Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van halftij-eb gegevens in 2018 langsheen de volledige Zeeschelde	93
Tabel 18 – Overzicht karakteristieke golfparameters voor 2018 en vergelijking met 2016 en 2017	101
Tabel 19 – Meetlocaties MONEOS 2018	B1
Tabel 20 – Jaarlijkse lineaire evolutie van de hoog- en laagwaters (1980-2015).....	B4
Tabel 21: Overzicht kalibratiecampagnes voor SSC-Turbiditeit relatie	B12
Tabel 22 – Overzicht kenmerken van de SSC-turbiditeit relaties naargelang meetlocatie.....	B13

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Tijmeetposten in het beheer van het Waterbouwkundig Laboratorium in 2018	2
Figuur 2 – De waterstand in Melle (januari 2018) waarbij de hoogste laagwaters bij was hoger zijn dan de hoogwaters in normaal regime.	3
Figuur 3 – Zeeschelde: gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen	5
Figuur 4 – Zeeschelde: gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.	6
Figuur 5 – Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2018 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.	6
Figuur 6 – Gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug).....	8
Figuur 7 – Gemiddeld tijverschil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug).....	8
Figuur 8 – Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug).....	9
Figuur 9 – Beneden-Zeeschelde in Antwerpen: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2018 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater.	10
Figuur 10 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van hoogwaters in 2018 verdeeld per decimeter TAW.	11
Figuur 11 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van laagwaters in 2018 verdeeld per decimeter TAW.	11
Figuur 12 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van tijverschillen in 2018 verdeeld per decimeter.	12
Figuur 13 – Verschil tussen waargenomen en astronomisch voorspelde extrema (HW's & LW's) geobserveerd in Antwerpen-Loodsgebouw in 2018	13
Figuur 14 – Windrichting (° t.o.v. Noorden) en windsnelheid (m/s) opgemeten te Hansweert (Bron: Rijkswaterstaat).....	13
Figuur 15 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden.	15
Figuur 16 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden.	16
Figuur 17 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld tijverschil middeltij, springtij en doottij.	16
Figuur 18 – Ontwikkeling van het hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw met BTBI_95% (95% betrouwbaarheidsinterval) en VSI_95% (95% voorspellingsinterval).	17

Figuur 19 – Ontwikkeling van het laagwater te Antwerpen-Loodsgebouw met BTBI_95% (95% betrouwbaarheidsinterval) en VSI_95% (95% voorspellingsinterval).....	17
Figuur 20 – 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.....	21
Figuur 21 – Zeescheldebekken: daggemiddelde bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied voor het jaar 2018.....	22
Figuur 22 – Zeescheldebekken: cumulatieve frequentieverdeling van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien voor het jaar 2018.....	22
Figuur 23 – Daggemiddelde bovenafvoer ter hoogte van Schelle, opgedeeld in de debieten aangeleverd door de Rupel (blauw) en door de Boven-Zeeschelde (rood) in 2018.....	24
Figuur 24 – Jaargemiddelde afvoer van de Zeeschelde te Melle over de periode 1949-2018, gerangschikt naar grootte.....	25
Figuur 25 – Dagdebieten te Schelle in 2018 vergeleken met de periode 1971 – 2017 gerangschikt naar voorkomen per klasse van 25 m ³ /s.....	26
Figuur 26 – Correlatie tussen het jaargemiddelde bovendebiet te Schelle en de jaarlijkse neerslag te Ukkel (1949-2018).....	27
Figuur 27 – Ververstijnd van de Boven-Zeeschelde voor het jaar 2018.....	28
Figuur 28 – Ververstijnd van de Boven-Zeeschelde in historisch perspectief (1971 – 2018).....	29
Figuur 29 – Locatie van Moneos-meetposten in de Zeeschelde met continue monitoring van fysische parameters. Tielrode is voorlopig een mobiel YSI toestel en wordt op termijn een vaste meetlocatie, Klein-Willebroek is een vaste YSI meetlocatie maar pas opgestart in juli 2018.....	31
Figuur 30 – Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid bij vloed en eb, gemeten door de Aanderaa toestellen in de Zeeschelde (2018). Een aantal posten vertonen een vertekend beeld door ontbrekende waarden (rode kader).....	36
Figuur 31 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo.....	37
Figuur 32 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo.....	37
Figuur 33 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Oosterweel.....	38
Figuur 34 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo.....	38
Figuur 35 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo.....	39
Figuur 36 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Oosterweel.....	39
Figuur 37 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doottij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel).....	41
Figuur 38 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel).....	41
Figuur 39 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel).....	42
Figuur 40 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doottij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	42
Figuur 41 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	43

Figuur 42 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	43
Figuur 43 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Lillo (bovenste toestel).....	44
Figuur 44 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Lillo (onderste toestel).....	45
Figuur 45 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel).....	45
Figuur 46 – Boxplot van de temperatuur bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2018).	48
Figuur 47 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)	49
Figuur 48 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	49
Figuur 49 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	50
Figuur 50 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)	50
Figuur 51 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	51
Figuur 52 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)	51
Figuur 53 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Hemiksem (Beneden-Zeeschelde).....	52
Figuur 54 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Weert (Boven-Zeeschelde).....	52
Figuur 55 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Schellebelle (Boven-Zeeschelde).....	53
Figuur 56 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde).....	53
Figuur 57 – Boxplot van de Saliniteit bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2018).....	56
Figuur 58 – Saliniteit bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde).....	57
Figuur 59 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	57
Figuur 60 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde).....	58
Figuur 61 – Saliniteit bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)	58
Figuur 62 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)	59
Figuur 63 – Saliniteit bij KHW en KLW te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)	59
Figuur 64 – Saliniteit bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde).....	60
Figuur 65 – Saliniteit bij KHW en KLW te Weert (Boven-Zeeschelde).....	60
Figuur 66 – Saliniteit bij KHW en KLW te Schellebelle (Boven-Zeeschelde).....	61
Figuur 67 – Saliniteit bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde).....	61
Figuur 68 – Boxplot voor SSC (mg/l): minimum bij KHW en KLW (Boven) en maximaal en gemiddelde bij eb en vloed (Onder).	65
Figuur 69 – SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Boven (SG500) met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).	66

Figuur 70 – SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde.....	66
Figuur 71 – SSC bij KLW en KHW te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde.....	67
Figuur 72 – SSC bij KLW en KHW te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde	67
Figuur 73 – SSC bij KLW en KHW te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde	68
Figuur 74 – SSC bij KLW en KHW te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde	68
Figuur 75 – SSC bij KLW en KHW te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde	69
Figuur 76 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde	70
Figuur 77 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde	70
Figuur 78 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde	71
Figuur 79 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde	71
Figuur 80 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde	72
Figuur 81 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde	72
Figuur 82 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde	73
Figuur 83 – Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde	74
Figuur 84 – Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde	74
Figuur 85 – Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde	75
Figuur 86 – Maximale SSC bij eb en vloed te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde.....	75
Figuur 87– Maximale SSC bij eb en vloed te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde.....	76
Figuur 88 – Maximale SSC bij eb en vloed te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde	76
Figuur 89 – Maximale SSC bij eb en vloed te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde	77
Figuur 90 – Locatie van Moneos-meetposten in de Zeeschelde met periodieke meting van suspensiegehalte aan het wateroppervlak	79
Figuur 91 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Zeeschelde: mediaan met aanduiding van de 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentielen.....	80
Figuur 92 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Durme: mediaan met aanduiding van de 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentielen.	81
Figuur 93 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Rupel en bovenstromen: mediaan met aanduiding van de 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentielen.....	82
Figuur 94 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de stroomgebieden.	84
Figuur 95 – Berekenende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Melle komende van de Bovenschelde (EWI-correctie toegepast).	85
Figuur 96 – Berekenende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Dendermonde komende van de Dender (EWI-correctie toegepast).	85

Figuur 97 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Eppegem komende van de Zenne (EWI-correctie toegepast).	86
Figuur 98 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Aarschot komende van de Demer (EWI-correctie toegepast).	86
Figuur 99 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Itegem (Hullebrug) komende van de Grote Nete (EWI-correctie toegepast).	87
Figuur 100 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Grobbendonk (Troon) komende van de Kleine Nete (EWI-correctie toegepast).	87
Figuur 101 – Ligging van de meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten.....	89
Figuur 102 – Sedimentconcentratie nabij oppervlak (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde.....	90
Figuur 103 – Sedimentconcentratie nabij rivierbodem (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde.....	91
Figuur 104 – Sedimentconcentratie nabij oppervlak (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde uitgezet tov het debiet te Melle (interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 30 m ³ /s, zoekradius Y-as: 8 km).....	92
Figuur 105 – Sedimentconcentratie nabij rivierbodem (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde uitgezet tov het debiet te Melle (interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 30 m ³ /s, zoekradius Y-as: 8 km).	92
Figuur 106 – Sedimentconcentratie aan de oppervlakte bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde...	94
Figuur 107 – Sedimentconcentratie aan de bodem bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde.....	94
Figuur 108 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Liefkenshoek tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	95
Figuur 109 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Oosterweel tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	96
Figuur 110 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Hemiksem tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	97
Figuur 111 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Temse (brug) tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	98
Figuur 112 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Zele (kasteeltje) tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	98
Figuur 113 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Melle tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.....	99
Figuur 114 – Locatie Lillo-Meetpaal met links-uitstekend arm van golvenmeter (links) en detail Log-aLevel toestel (rechts)	100
Figuur 115 – Gemiddelde golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan).....	102
Figuur 116 – Periode behorende bij de gemiddelde golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan).....	102
Figuur 117 – Maximale golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan).....	103
Figuur 118 – Periode behorende bij de maximale golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)	103
Figuur 119 – Significante golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)	104
Figuur 120 – Periode behorende bij de significante golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan).....	104

Figuur 121 – Meetlocaties MONEOS 2018	B1
Figuur 122 – Ontwikkeling van het hoogwater te Liefkenshoek	B5
Figuur 123 – Ontwikkeling van het laagwater te Liefkenshoek.	B5
Figuur 124 – Ontwikkeling van het hoogwater te Temse.	B6
Figuur 125 – Ontwikkeling van het laagwater te Temse.	B6
Figuur 126 – Ontwikkeling van het hoogwater te Dendermonde.....	B7
Figuur 127 – Ontwikkeling van het laagwater te Dendermonde.	B7
Figuur 128 – Ontwikkeling van het hoogwater te Wetteren.	B8
Figuur 129 – Ontwikkeling van het laagwater te Wetteren.	B8
Figuur 130 – Evolutie in de tijd van de gemiddelde waterstand Z0	B9
Figuur 131 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (afwaartse posten)	B10
Figuur 132 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (afwaartse posten)	B10
Figuur 133 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (opwaartse posten)	B11
Figuur 134 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (opwaartse posten)	B11
Figuur 135 – Meetpaal Lillo (SG500 & SG2500): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van meetpaal te Lillo.	B14
Figuur 136 – Oosterweel (SG2500): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Oosterweel.....	B15
Figuur 137 – Kruibeke (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Kruibeke.	B16
Figuur 138 – Weert (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Weert.	B17
Figuur 139 – Schellebelle (YSI): Kalibratierelaties SSC (turbiditeit) ter hoogte van Schellebelle.	B18
Figuur 140 – Melle (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit op basis van kalibratiecampagnes.	B19
Figuur 141 – Melle (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen.	B20
Figuur 142 - Melle (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen, opgesplitst naargelang debiet.....	B21
Figuur 143 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de lage debietklasse.....	B22
Figuur 144 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de matige debietklasse.....	B23
Figuur 145 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de hoge debietklasse.....	B24
Figuur 146 - Melle (YSI): Meervoudig regressiemodel $SSC = f(\text{turbiditeit, tijgemiddeld debiet})$ op basis van automatische pompstalen.....	B25
Figuur 147 - Mele (YSI): Regressieanalyse tussen tijgemiddeld debiet en turbiditeit.	B26

Colofon

Aan het tot stand komen van dit jaarrapport dragen meerdere mensen bij in diverse aspecten en domeinen. Onze dankbaarheid gaat in eerste instantie uit naar het volledige meetnetteam. Het meetnetteam verzorgt de werking van de meettoestellen, treedt op bij problemen in het meetnet, en voert waar nodig bijkomende meetcampagnes uit. Daarnaast danken we de laboranten uit het sedimentlabo. Zij voeren specifieke analyses uit op de terreinstalen en leveren op die manier een belangrijke bijdrage met betrekking tot de verdere data-analyse. Tenslotte bedanken we alle onderzoekers voor het geleverde werk. Zij valideren, verwerken en analyseren de opgemeten data. De resultaten van hun analyses zijn essentieel voor de jaarlijkse rapportages.

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 continue metingen uit van 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 2018 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 en zoutgehalte van het water;
- stromingen (o.a. stroomsnelheid en –richting op continue meetplaatsen);
- turbiditeit en suspensiegehalte (grotendeels op continue meetplaatsen in Zeeschelde, aangevuld met periodieke 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 bevat de weergave en rapportering van de resultaten voor 2018. Voor een overzicht van de MONEOS meetlocaties anno 2018 wordt verwezen naar Bijlage A: Meetlocaties MONEOS 2018. Voor de algemene achtergrond en methodologie met betrekking tot de monitoring in het Zeescheldebekken wordt verwezen naar Taverniers *et al.* (2013).

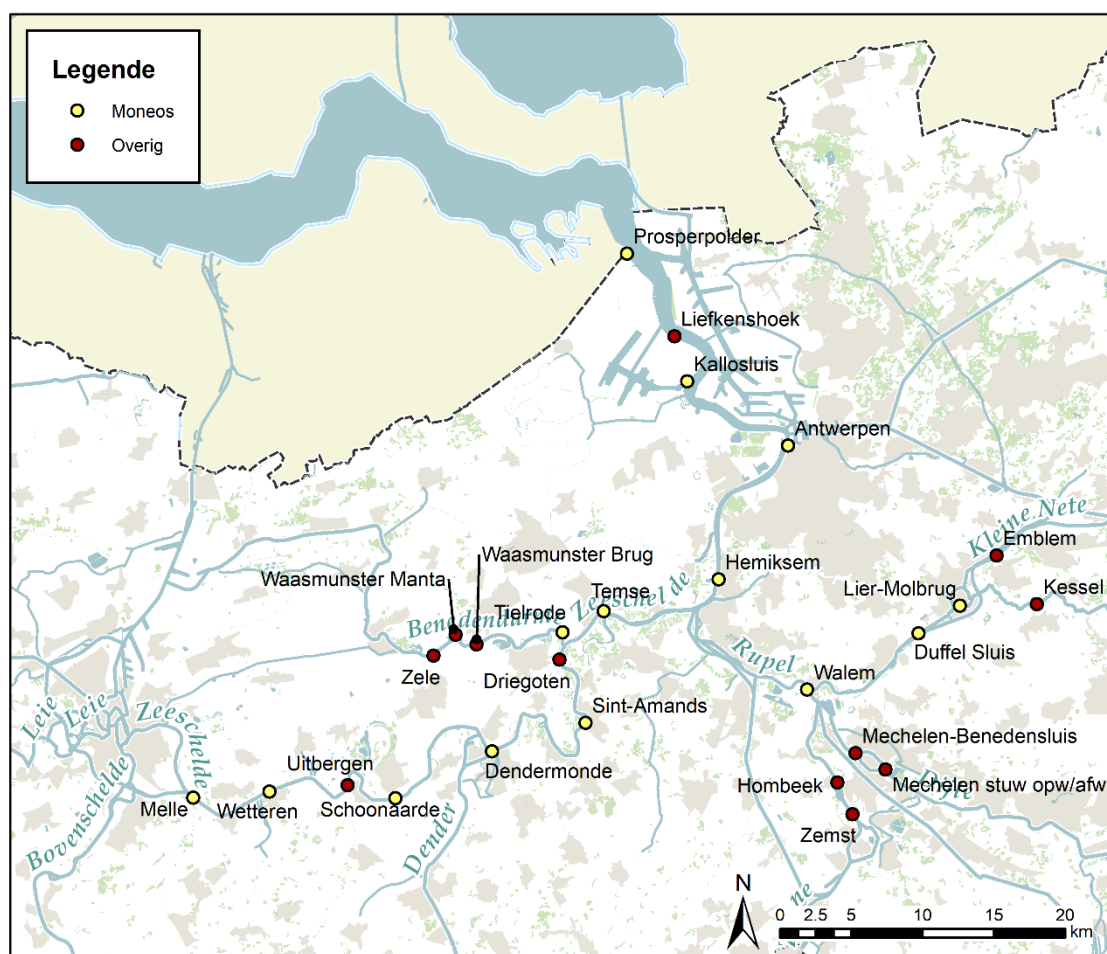
2 Jaaroverzicht getijwaarnemingen

Langsheen het Schelde-estuarium worden op verschillende locaties de waterstanden continu gemeten door Rijkswaterstaat (Westerschelde) en het Waterbouwkundig Laboratorium (Zeeschelde en bijrivieren). Deze metingen laten toe de belangrijkste getijparameters te bepalen. In dit hoofdstuk worden eerst de getijparameters 2018 voor de belangrijkste meetlocaties in het Vlaamse deel van het estuarium gepresenteerd, en daarna wordt de langere termijn ontwikkeling voor de referentiepost “Antwerpen-Loodsgebouw” gepresenteerd.

2.1 Getijwaarnemingen

Figuur 1 toont de meetlocaties in het Vlaamse deel van het estuarium waar het WL continu waterstanden meet: dit gaat van de Belgisch-Nederlandse grens (locatie Prosperpolder) tot aan de opwaartse grenzen van het aan getij onderhevige deel van het Scheldebekken. In 2018 zijn er geen fysieke veranderingen uitgevoerd aan de meetposten.

Figuur 1 – Tijmeetposten in het beheer van het Waterbouwkundig Laboratorium in 2018



Tabel 1 geeft de getijparameters voor het jaar 2018 weer voor de belangrijkste meetlocaties in het Schelde-estuarium. Volgende getijparameters worden gerapporteerd:

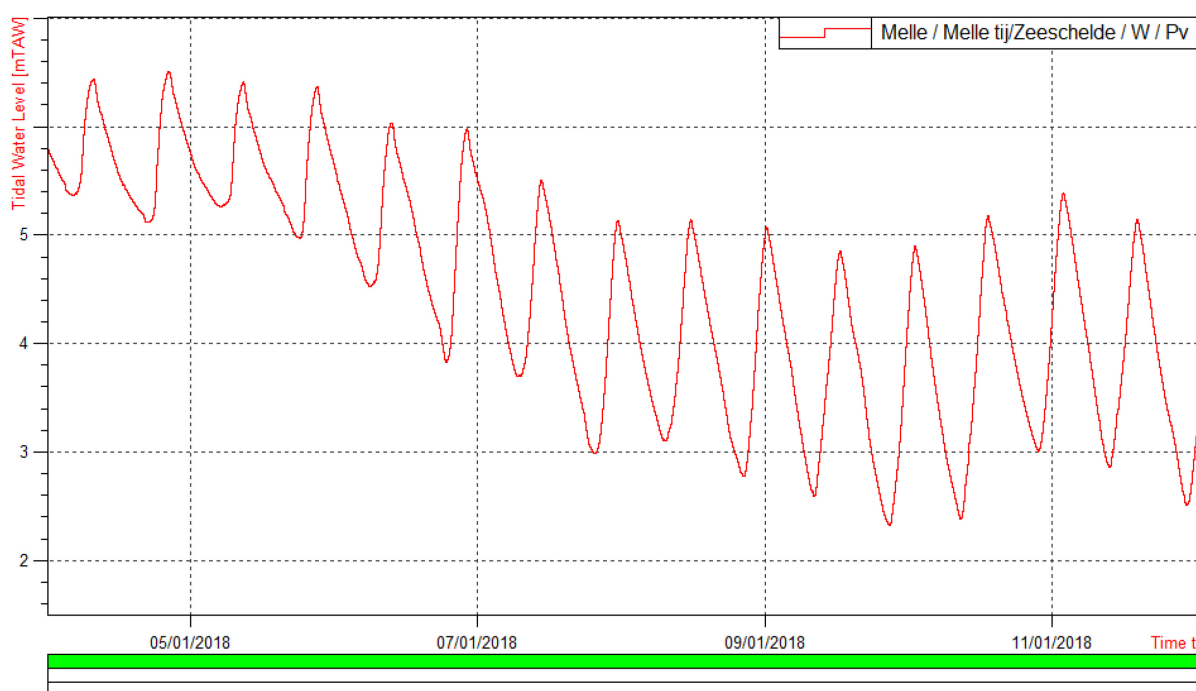
- gemiddeld hoogwater (GHW)
- gemiddelde laagwater (GLW)
- gemiddeld tijverschil (GTV)
- duur van de stijging
- duur van de daling
- tijdsverschil ten opzichte van Antwerpen voor hoogwater
- tijdsverschil ten opzichte van Antwerpen voor laagwater

Deze parameters worden gerapporteerd voor zowel middeltij (jaargemiddelden van alle geregistreerde hoog- en laagwaterstanden), als voor spring- en doottij.

Tot slot worden ook de uiterste waarden (hoogste en laagste hoogwater (HHW en LHW), hoogste en laagste laagwater (HLW en LLW) alsook de P1- en P99-percentielen) 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 2018 het geval voor Melle in januari en maart (Figuur 2). Daarnaast zijn ook te Wetteren de hoogste laagwaters hoger dan de laagste hoogwaters. De invloed van een langdurig en groot wasregime is in de opwaartse gebieden van het Zeescheldbekken groot: men krijgt hierdoor een verhoging van laag- en hoogwaterstanden (hoewel minder bij hoogwater). Hierdoor wordt het tijverschil tijdelijk beperkt.

Figuur 2 – De waterstand in Melle (januari 2018) waarbij de hoogste laagwaters bij was hoger zijn dan de hoogwaters in normaal regime.



Tabel 1 – Zeeschelde: overzicht per locatie van de getijkarakteristieken voor het jaar 2018,
gerangschikt van afwaarts naar opwaarts.

2018			Prosperpolder	Kallosluis	Antwerpen- Loodsgebouw	Hemiksem	Temse	Sint-Amands	Dendermonde	Schoonaarde	Wetteren	Melle
afstand tot Vlissingen (km)			55,9	68,3	77,6	89,1	98,3	108,8	121,8	132,6	144,7	150,8
middeltij		GHW	5,12	5,27	5,29	5,36	5,51	5,53	5,29	5,05	4,83	4,96
		GLW	0,03	-0,06	-0,05	-0,10	0,03	0,26	0,89	1,56	2,03	2,22
		GTV	5,09	5,33	5,34	5,45	5,48	5,27	4,40	3,50	2,80	2,74
		duur van stijging	05:45	05:32	05:27	05:34	05:21	05:03	04:55	04:47	04:45	04:40
		duur van daling	06:41	06:54	06:58	06:52	07:04	07:23	07:30	07:39	07:41	07:45
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:19	-00:14	00:00	00:34	00:49	01:06	01:41	02:16	03:05	03:27
		LW	-00:36	-00:18	00:00	00:28	00:56	01:31	02:14	02:56	03:46	04:10
springtij		GHW	5,57	5,75	5,72	5,76	5,93	5,94	5,64	5,34	5,08	5,20
		GLW	-0,16	-0,25	-0,24	-0,26	-0,09	0,20	0,95	1,69	2,18	2,38
		GTV	5,73	6,00	5,97	6,02	6,02	5,74	4,68	3,66	2,90	2,82
		duur van stijging	05:28	05:11	05:03	05:18	05:05	04:46	04:44	04:38	04:37	04:31
		duur van daling	06:50	07:09	07:15	07:01	07:13	07:31	07:33	07:38	07:38	07:46
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:13	-00:12	00:00	00:43	00:58	01:15	01:53	02:28	03:17	03:41
		LW	-00:38	-00:18	00:00	00:28	00:57	01:31	02:12	02:51	03:42	04:12
doodtij		GHW	4,59	4,72	4,78	4,87	4,99	5,02	4,88	4,73	4,59	4,74
		GLW	0,33	0,26	0,25	0,18	0,26	0,41	0,90	1,47	1,92	2,11
		GTV	4,26	4,46	4,53	4,68	4,73	4,61	3,98	3,26	2,67	2,62
		duur van stijging	06:09	06:01	05:59	05:58	05:47	05:29	05:14	05:01	04:55	04:50
		duur van daling	06:33	06:40	06:42	06:45	06:56	07:14	07:28	07:40	07:47	07:52
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	-00:22	-00:14	00:00	00:26	00:42	00:59	01:31	02:04	02:51	03:12
		LW	-00:33	-00:16	00:00	00:27	00:54	01:29	02:15	03:02	03:55	04:21
uiterste waarden		HHW	7,03	7,15	7,14	7,16	7,21	7,19	6,97	6,52	6,46	6,58
		LHW	3,43	3,56	3,59	3,67	3,79	3,81	3,71	3,55	3,40	3,51
	99e percentiel	HW	6,12	6,28	6,30	6,35	6,50	6,52	6,31	6,16	6,09	6,22
		HLW	1,52	1,51	1,54	1,44	1,47	1,56	2,59	3,68	4,68	5,37
		LLW	-1,27	-1,38	-1,37	-1,37	-1,10	-0,69	0,01	0,78	1,20	1,49
	1e percentiel	LW	-0,74	-0,83	-0,81	-0,82	-0,60	-0,25	0,34	0,98	1,40	1,55

Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 geven enkele waarden uit Tabel 1 weer. Figuur 3 geeft het GHW en GLW weer in functie van de afstand tot de monding. Het GHW neemt toe van Prosperpolder tot Temse en neemt daarna af. Het GLW blijft van Prosperpolder tot Temse min of meer hetzelfde waardoor het tijverschil het grootst is in Temse (zie Figuur 4), waar het 5,48 m bedraagt. Vanaf Sint-Amands neemt het GHW af en het GLW toe, wat een kleiner tijverschil als gevolg heeft. Vanaf Dendermonde is het GLW bij springtij hoger dan bij middel- en doottij. Het GHW blijft wel hoger bij springtij. Het tijverschil bij springtij blijft zo hoger dan bij middel- en doottij, maar het verschil wordt wel kleiner.

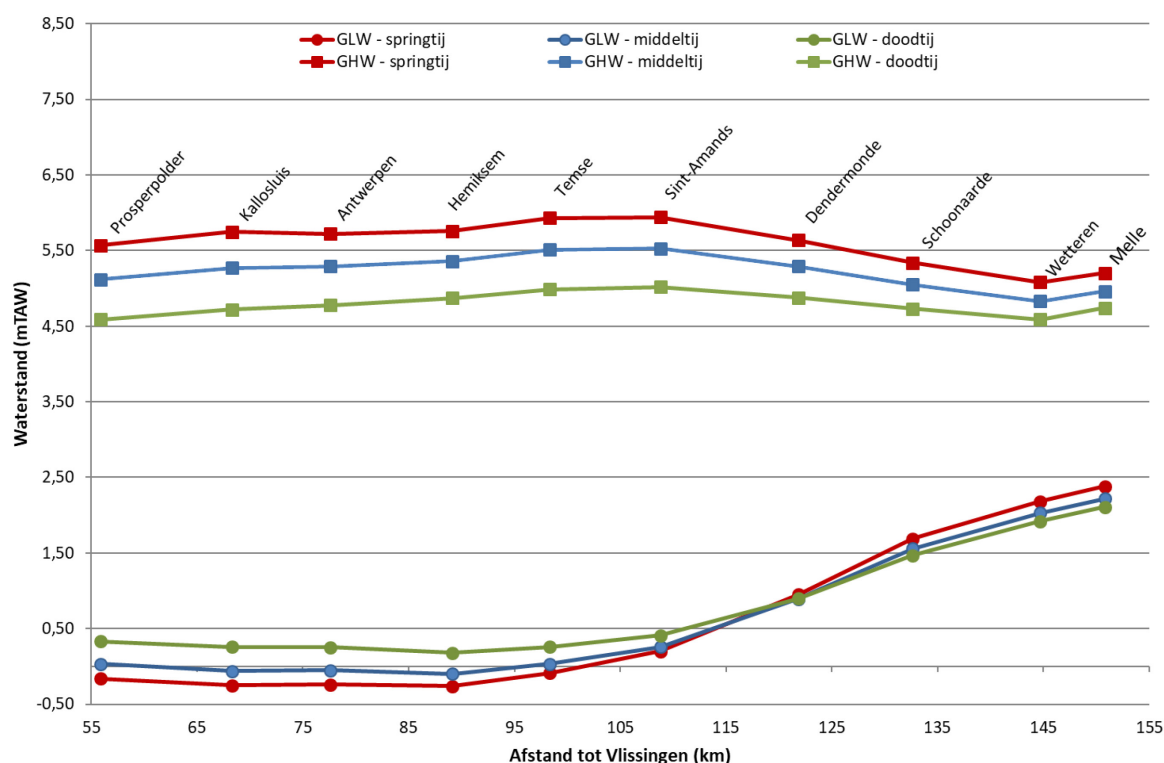
Uit Figuur 5 blijkt dat, hoe meer opwaarts, hoe korter de duur van stijging (van LW naar HW) en hoe langer de duur van daling (van HW naar LW). Hoe meer opwaarts, hoe asymmetrischer de getijkromme. De springtij-doodtijcyclus heeft een belangrijke invloed op de stijgings- en dalingsduur, waarbij de duur van de stijging bij springtij korter is dan bij doottij. In Antwerpen-Loodsgebouw loopt dit verschil op tot ca. 60 minuten, terwijl dit in Dendermonde nog ca. 30 minuten is.

Voor de aan het getij onderhevige zijrivieren is de keuze beperkt tot Walem voor de Rupel, Duffel-Sluis en Lier-Molbrug voor de Beneden-Nete, en Tielrode voor de Durme. De belangrijkste tijwaarden staan in Tabel 2.

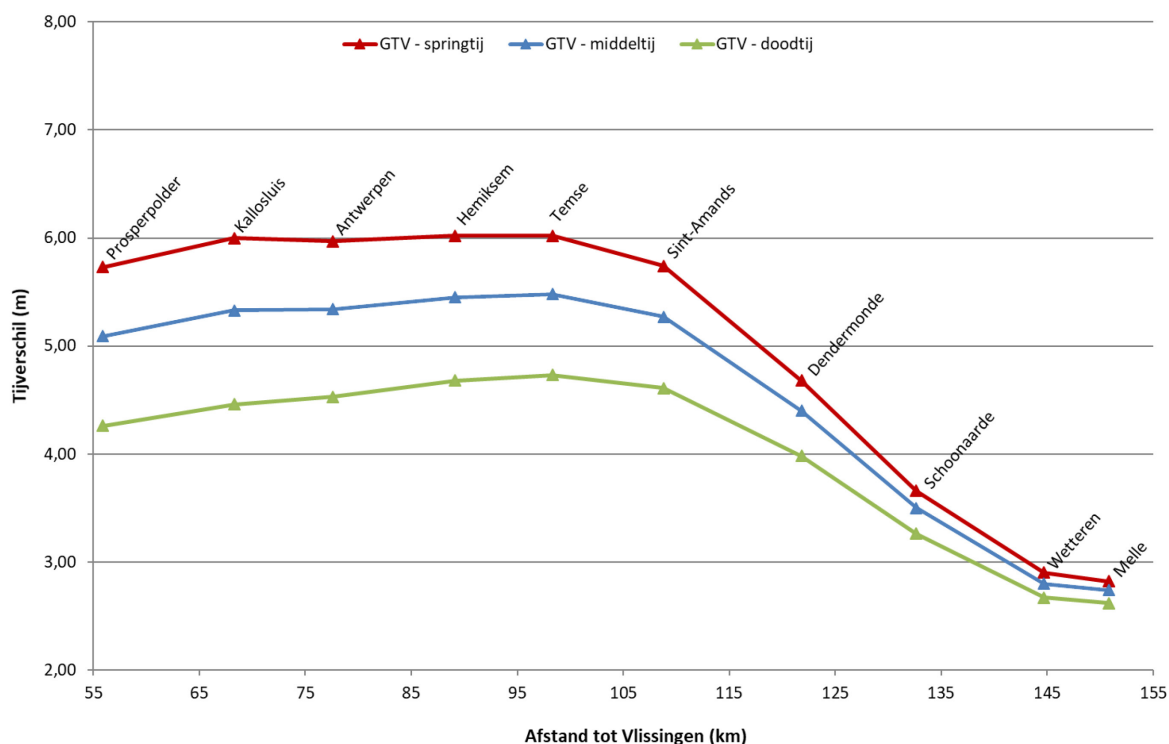
Figuur 6 geeft hetzelfde patroon weer als het stroomopwaartse gedeelte van Figuur 3. Hoe verder stroomopwaarts hoe lager het GHW en hoe hoger het GLW. Figuur 7 toont het bijbehorend gemiddeld tijverschil. Het tijverschil is het grootst voor de meest afwaartse post (Walem).

Figuur 8 geeft de stijgings- en dalingsduur van Walem tot en met Lier-Molbrug (Rupel en Beneden-Nete) weer. Net zoals in de Boven-Zeeschelde neemt de getij-asymmetrie toe naarmate er meer opwaarts wordt gegaan. Het is ook duidelijk dat de verschillen tussen middel-, spring- 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 middel-, spring- en doottij. Dit kleiner wordend verschil vindt men ook bij het tijverschil terug.

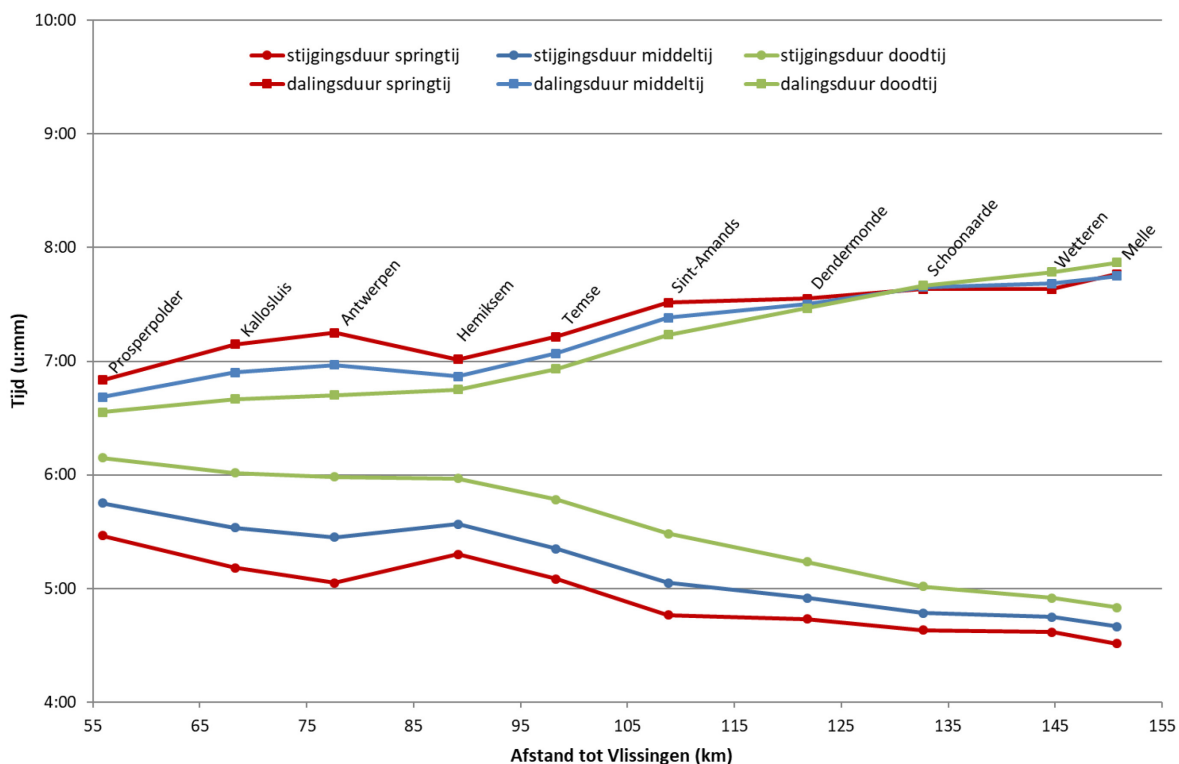
Figuur 3 – Zeeschelde: gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen



Figuur 4 – Zeeschelde: gemiddeld tijverskil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2018
 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.



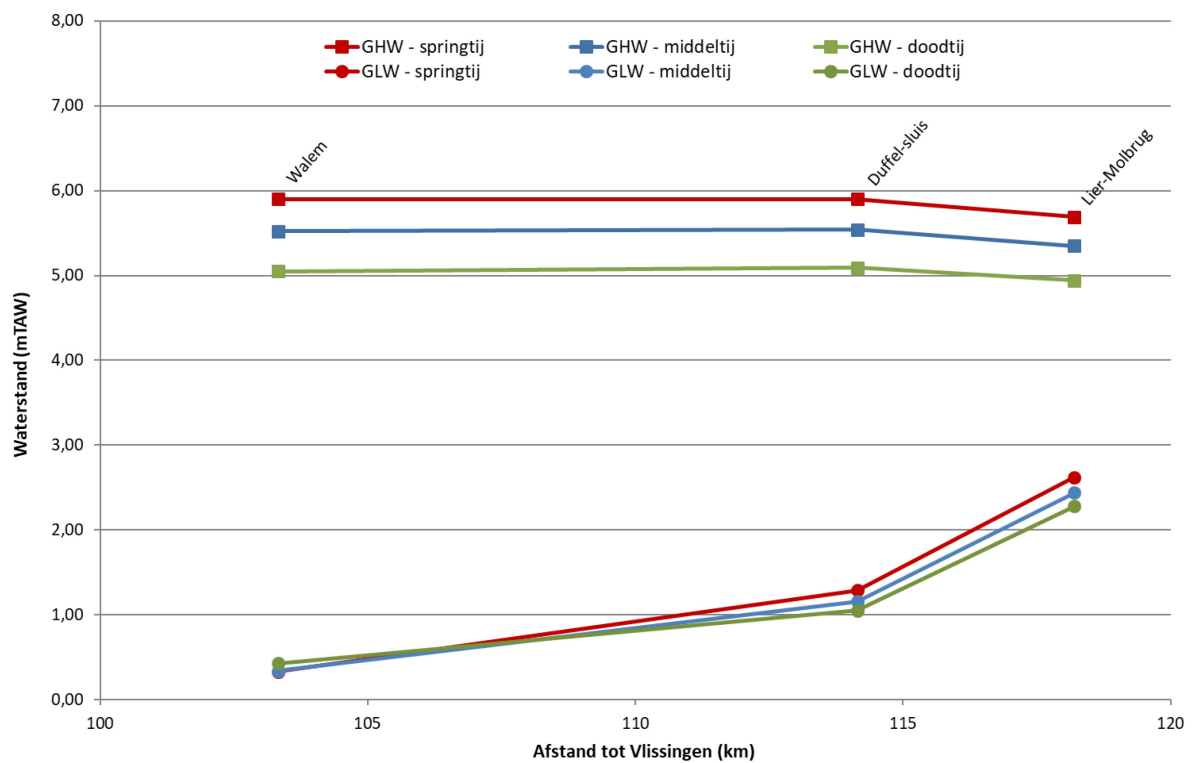
Figuur 5 – Zeeschelde: duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2018
 t.o.v. de afstand in km tot de monding te Vlissingen.



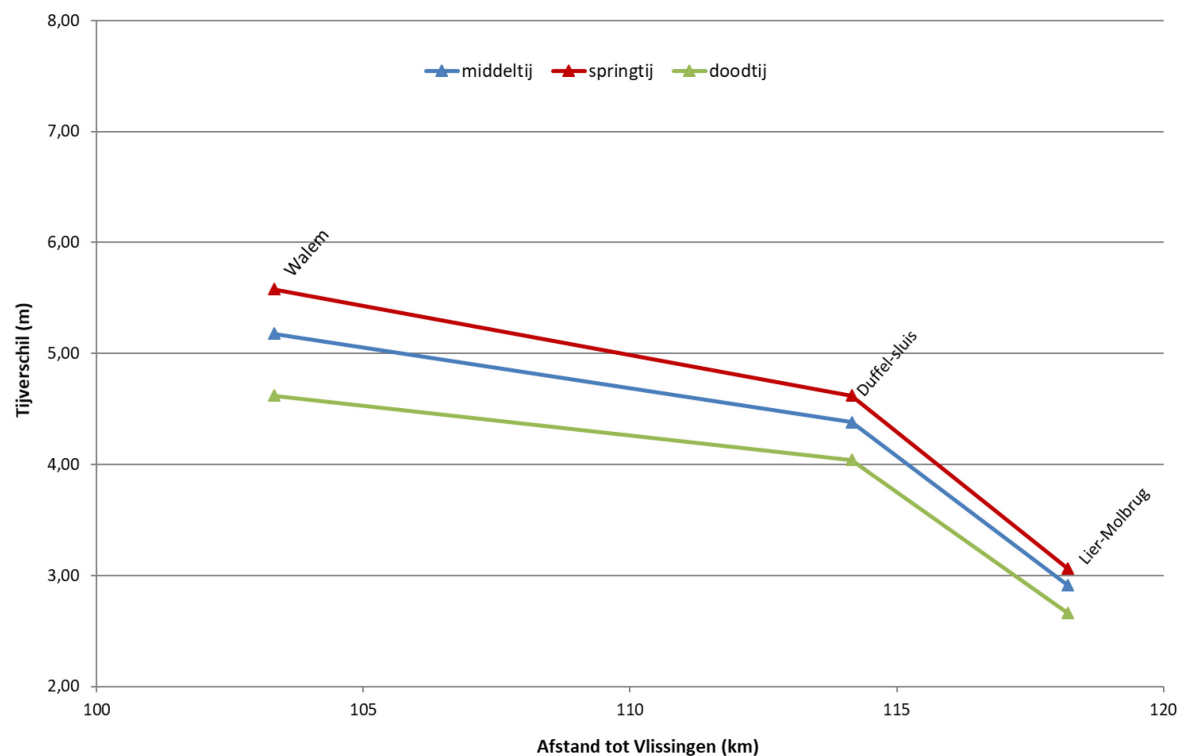
Tabel 2 – Rupel, Beneden-Nete en Durme:
Overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden in 2018.

2017			Tielrode	Walem	Duffel Sluis	Lier-Molbrug
afstand tot Vlissingen (km)			103,1	103,3	114,2	118,2
middeltij		GHW	5,58	5,52	5,54	5,35
		GLW	0,08	0,34	1,16	2,44
		GTV	5,50	5,18	4,38	2,91
		duur van stijging	05:14	05:08	04:37	04:00
		duur van daling	07:12	07:18	07:48	08:25
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	00:55	01:05	01:30	01:50
		LW	01:10	01:25	02:20	02:28
springtij		GHW	6,01	5,90	5,90	5,69
		GLW	-0,03	0,33	1,29	2,62
		GTV	6,04	5,58	4,62	3,06
		duur van stijging	04:55	04:54	04:27	03:57
		duur van daling	07:22	07:24	07:49	08:23
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	01:03	01:17	01:42	02:03
		LW	01:11	01:26	02:18	02:50
doodtij		GHW	5,05	5,05	5,09	4,94
		GLW	0,28	0,43	1,05	2,28
		GTV	4,76	4,62	4,04	2,66
		duur van stijging	05:39	05:30	04:54	04:09
		duur van daling	07:04	07:14	07:48	08:31
	tijdsverschil t.o.v. Antwerpen	HW	00:48	00:54	01:18	01:37
		LW	01:08	01:24	02:23	03:19
uiterste waarden		HHW	7,26	7,08	7,03	6,83
		LHW	3,83	3,83	3,90	3,83
	99e percentiel	HW	6,56	6,53	6,47	6,38
		HLW	1,47	1,71	2,65	4,03
		LLW	-1,02	-0,63	0,59	1,73
	1e percentiel	LW	-0,51	-0,15	0,66	1,86

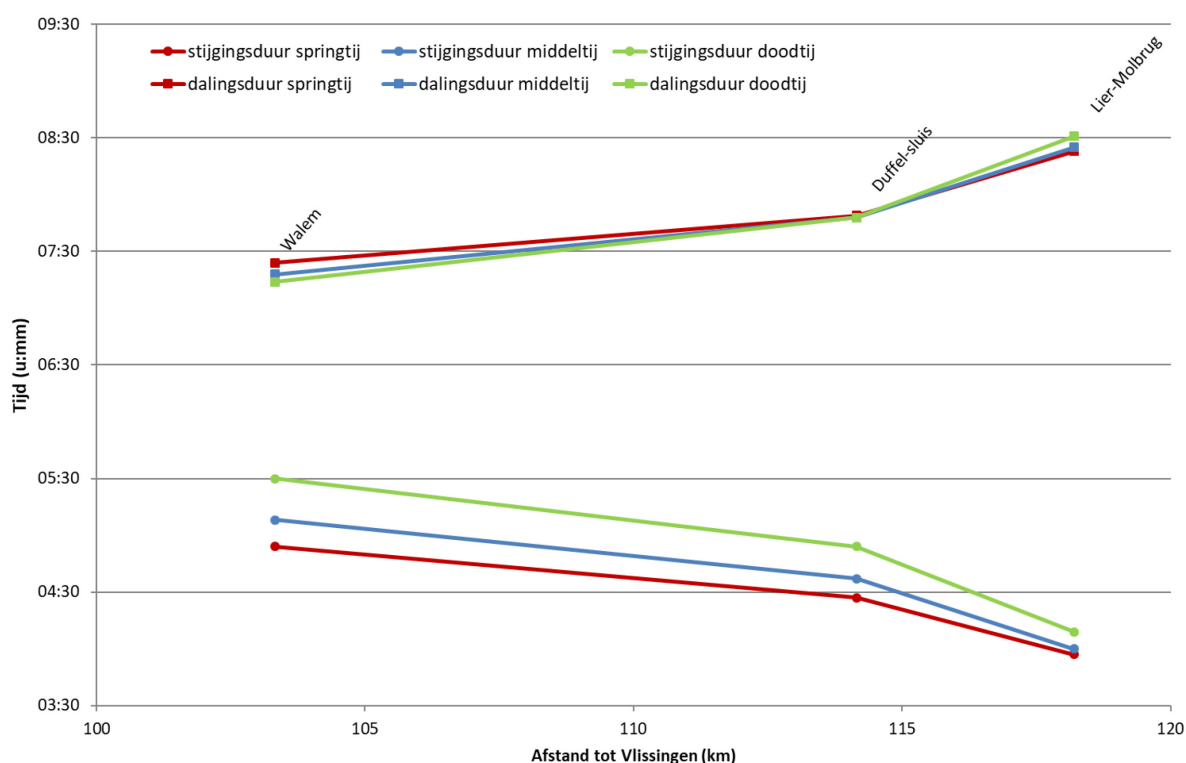
Figuur 6 – Gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug)



Figuur 7 – Gemiddeld tijverskil (GTV) bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug).



Figuur 8 – Duur van stijging en daling bij middeltij, springtij en doottij in 2018 voor de Rupel (Walem) en Beneden-Nete (Duffel-Sluis en Lier-Molbrug).



2.2 Getijwaarnemingen in Antwerpen

2.2.1 Jaaroverzicht

Al honderddertig jaar (1888 - 2018) wordt in Antwerpen ter hoogte van het Loodsgebouw de waterstand geregistreerd. Door deze lange registratieperiode en gezien het representatieve karakter van deze meetpost worden deze data als maatstaf van het getij in het Zeescheldebekken gebruikt.

Figuur 9 toont het jaarverloop 2018 voor hoogwaters en voor laagwaters voor de meetpost Antwerpen-Loodsgebouw. De uiterste waterstanden komen hier duidelijk naar voor. Het laagste laagwater en laagste hoogwater van 2018 waren beide opvallend. Op 1 maart vond het LLW plaats (-1,37 m). Een langdurige periode met harde oostenwind (zie Figuur 14) zorgde voor afwaaiing en zo een uitzonderlijk lage waterstand. Vanaf 1888 werd slechts 1 keer (in 2013; -1,38 m) een lagere waterstand waargenomen in Antwerpen.

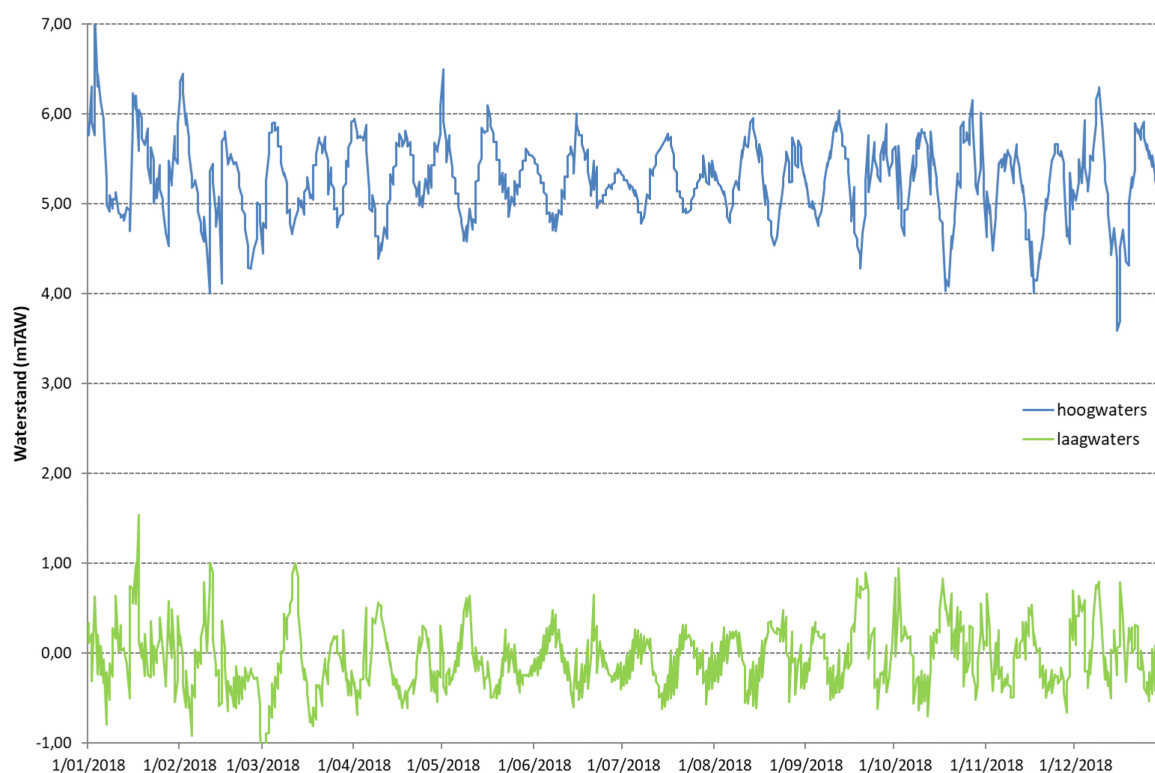
Het LHW vond plaats op 15 december (3,59 m). De combinatie van doottij en een vrij krachtige zuidoostenwind (5 bft) zorgde op die dag voor afwaaiing en dus een erg laag hoogwater. Als we dit in historisch perspectief zetten, kwam dergelijk laag hoogwater sinds 1992 niet meer voor. Sinds 1888 kwamen nog meerdere lagere hoogwaters voor.

Om een volledig beeld van de verdeling van de hoogwaters, laagwaters en tijverschillen te krijgen tonen we frequentieverdelingen voor het jaar 2018, waarin per decimeter een verdeling is gemaakt van het aantal registraties van hoogwaters, laagwaters en tijverschillen.

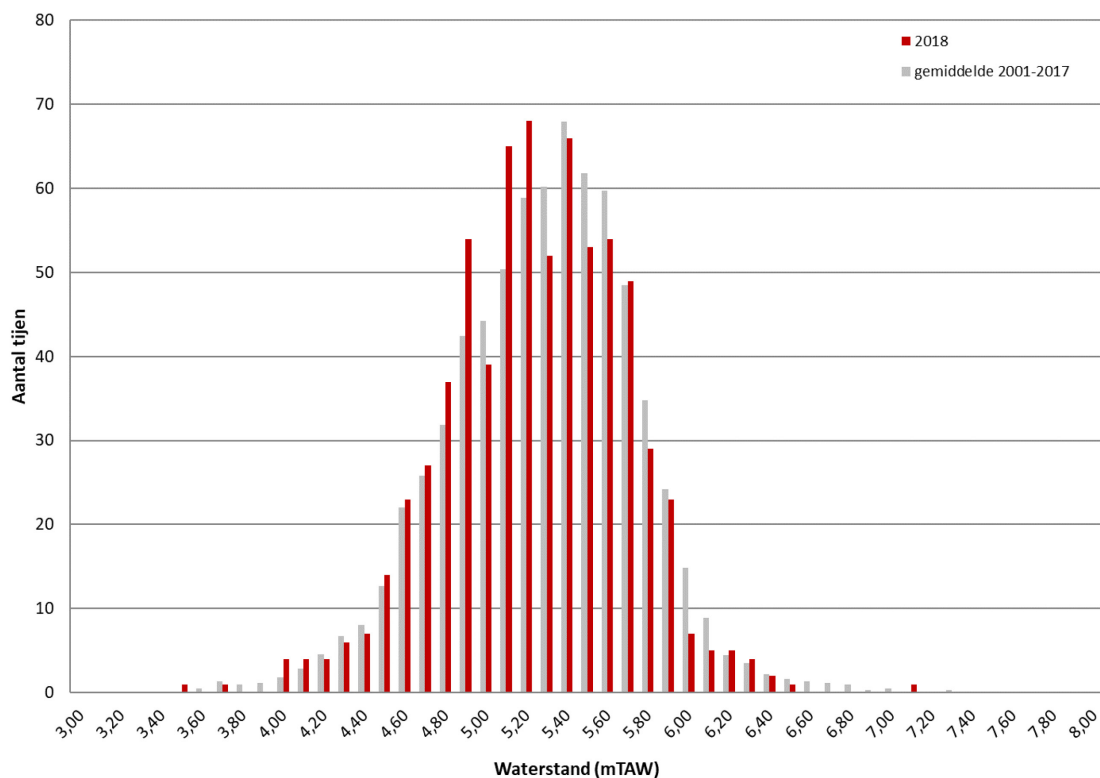
Het totale bereik waarover de tijverschillen in de getoonde periode zijn gegaan, is niet uitzonderlijk. Gespreid over 35 klassen is er een bereik van 3,20 m tot 6,70 m.

Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12 geven bovenvernoemde frequentieverdelingen van Antwerpen-Loodsgebouw, maar deze trend geldt voor alle locaties. In de opwaartse gebieden van het tijbekken verhogen bij grote bovendebieten en wasregimes de laagwaters meer dan de hoogwaters, waardoor het tijverschil beduidend kleiner wordt dan normaal (zie ook Figuur 2). Voor deze locaties kunnen de histogrammen afwijken van het beeld dat hier voor Antwerpen getoond wordt. De verdeling is in Antwerpen vergelijkbaar met de gemiddelde verdeling sinds 2001. Al blijkt wel dat zowel bij de hoog-, maar voornamelijk bij de laagwaters de lagere waterstanden meer voorkomen dan gemiddeld.

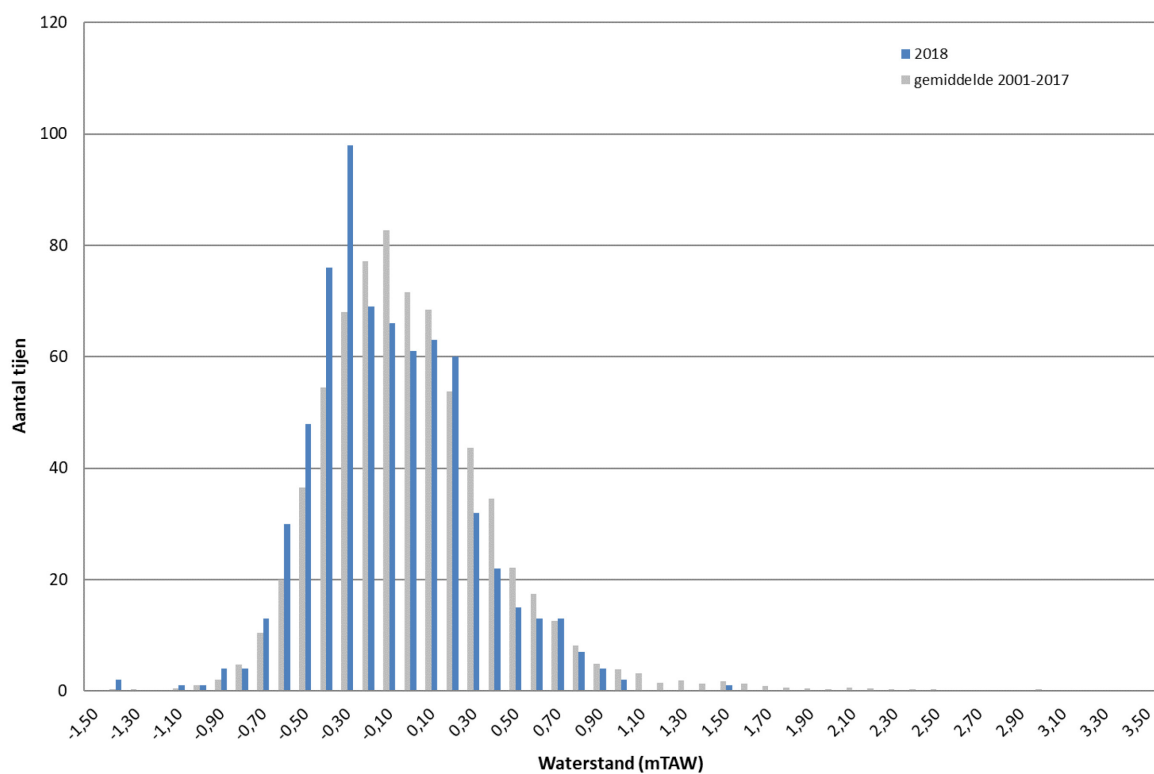
Figuur 9 – Beneden-Zeeschelde in Antwerpen: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2018 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater.



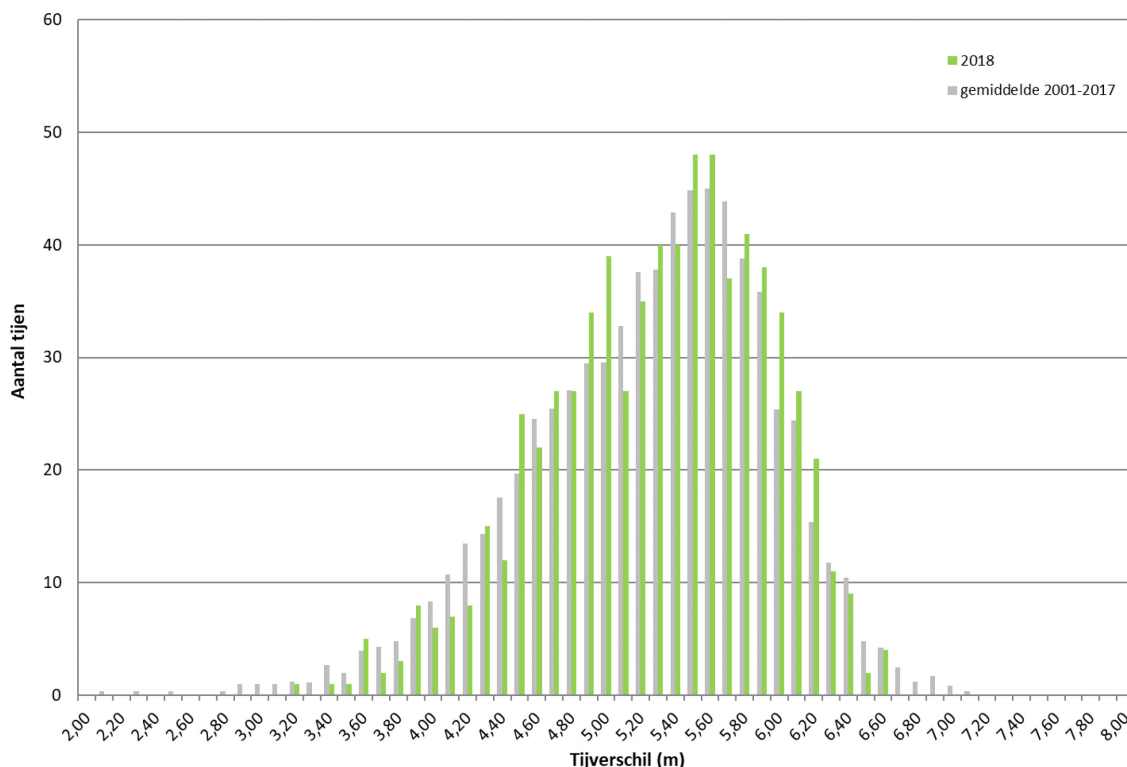
Figuur 10 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van hoogwaters in 2018 verdeeld per decimeter TAW.



Figuur 11 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van laagwaters in 2018 verdeeld per decimeter TAW.



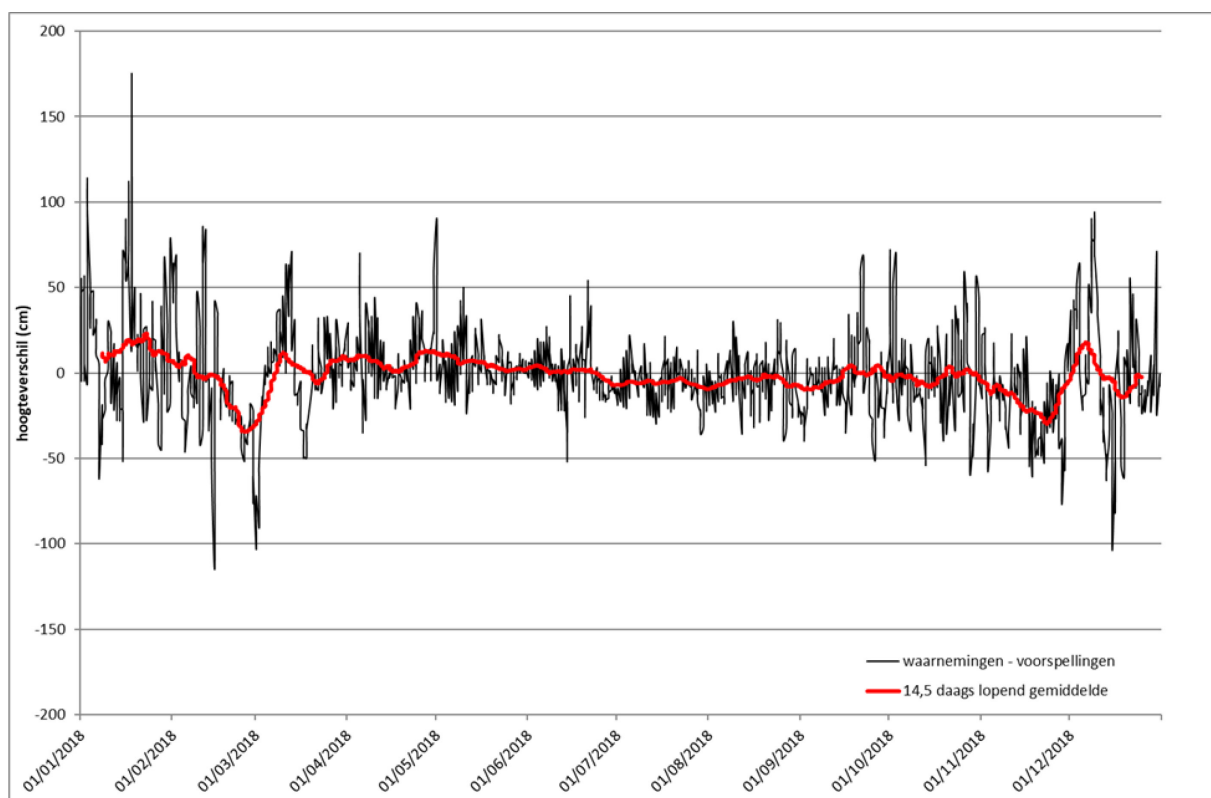
Figuur 12 – Antwerpen-Loodsgebouw: frequentieverdeling van tijverschillen in 2018 verdeeld per decimeter.



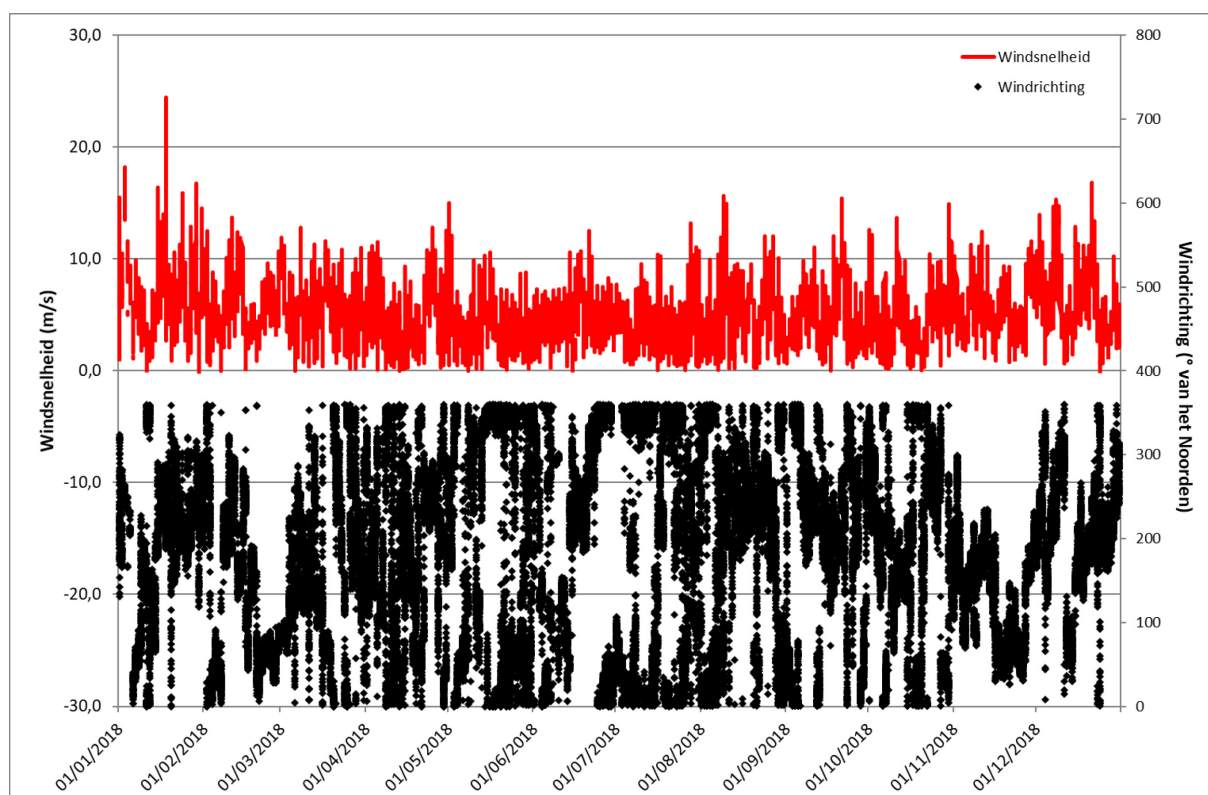
De tweewekelijkse springtij-doodtijcyclus is duidelijk waarneembaar in de metingen (Figuur 9), en astronomisch te voorspellen. Echter, de waarnemingen kunnen in beperkte of grotere mate afwijken van het astronomische verloop (Figuur 13). Dit komt doordat ze beïnvloed worden door de meteorologische omstandigheden. In het afwaartse deel van het estuarium zijn vooral opwaaiing en afwaaiing belangrijk. In het opwaartse deel is de variatie in bovenafvoer belangrijk.

Tijdens de zomermaanden (april - september) is het verschil tussen het opgetreden en voorspeld getij klein (de absolute waarde bedraagt gemiddeld zo'n 12 cm, met 95% van alle verschillen liggend tussen +/- 25 cm, met een maximum verschil van 90 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 effectief waargenomen getij en astronomisch voorspeld getij vastgesteld. Gemiddeld bedraagt de absolute waarde van het verschil zo'n 24 cm, daarbij vallen 95% van alle verschillen tussen +/- 50 cm, met een maximum verschil van 175 cm). In 2018 waren februari en november maanden met duidelijke afwaaiing en dus negatieve verschillen. Uit Figuur 14 blijkt dat de wind toen meestal uit de oostelijke sector (tussen 45° en 135°) blies. Langdurige periodes van opwaaiing waren er niet in 2018. Het gemiddeld verschil tussen waargenomen en astronomisch voorspelde extrema bedraagt slechts 1 cm, dus noch opwaaiing of afwaaiing overheerste in 2018.

Figuur 13 – Verschil tussen waargenomen en astronomisch voorspelde extrema (HW's & LW's)
geobserveerd in Antwerpen-Loodsgebouw in 2018



Figuur 14 – Windrichting (° t.o.v. Noorden) en windsnelheid (m/s) opgemeten te Hansweert (Bron: Rijkswaterstaat).



2.2.2 Het jaar 2018 in historisch perspectief

Naast dit soort jaaroverzichten, is het interessant om een aantal ke(r)ngetallen 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 2018, inclusief een vergelijking met de voorgaande decennia.

Het jaar 2018 was, in de context van de tijen van de voorbije decennia (zie Tabel 3) een vrij normaal jaar. Dat blijkt ook uit Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17 die het historisch tijbeeld schetsen.

In het kader van Moneos-T (Schrijver en Plancke, 2008) en recenter ook de T2009 (Depreiter *et al.*, 2014) en T2015 (Barneveld *et al.*, 2018a) rapportages werd specifiek gekeken naar trends in de langjarige evolutie van hoog- en laagwaters. Figuur 18 en Figuur 19 geven deze respectievelijke trends weer voor Antwerpen (berekend over de periode 1980-2015). Het GHW en GLW van 2018 liggen beide onder de trendlijn, maar nog wel binnen de 95% voorspelbaarheidsintervallen. Over de periode 1980-2015 bedraagt de stijging in jaargemiddeld hoogwater ten gevolge zeespiegelstijging 0,23 cm/jaar, over de periode 1980-2018 is dit 0,2 cm/jaar.

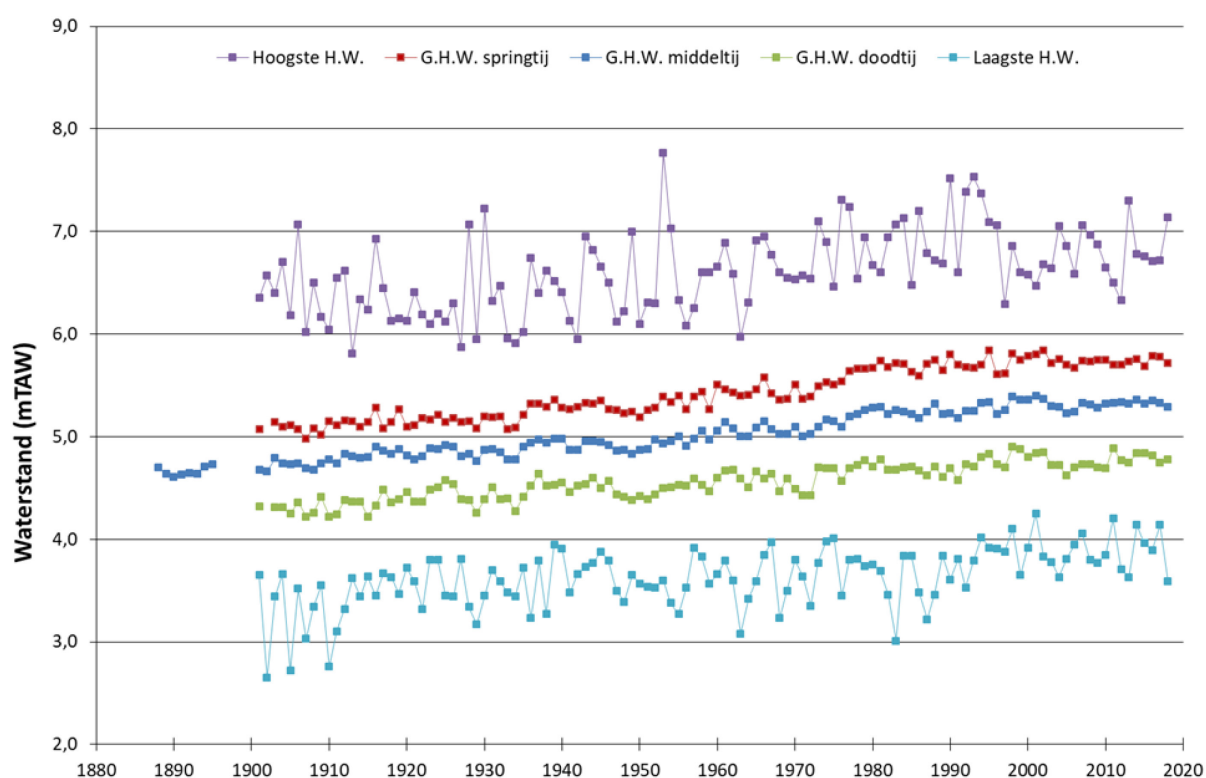
Voor meer informatie omtrent trendbepalingen en resultaten van overige meetlocaties wordt verwezen naar Bijlage B: Evoluties HW en LW. Voor de evolutie van de harmonische componenten wordt verwezen naar Bijlage C: Harmonische componenten.

Tabel 3 – Getijparameters te Antwerpen-Loodsgebouw: het jaar 2018 in historisch perspectief;
(waterstanden in mTAW, tijverschillen in meter).

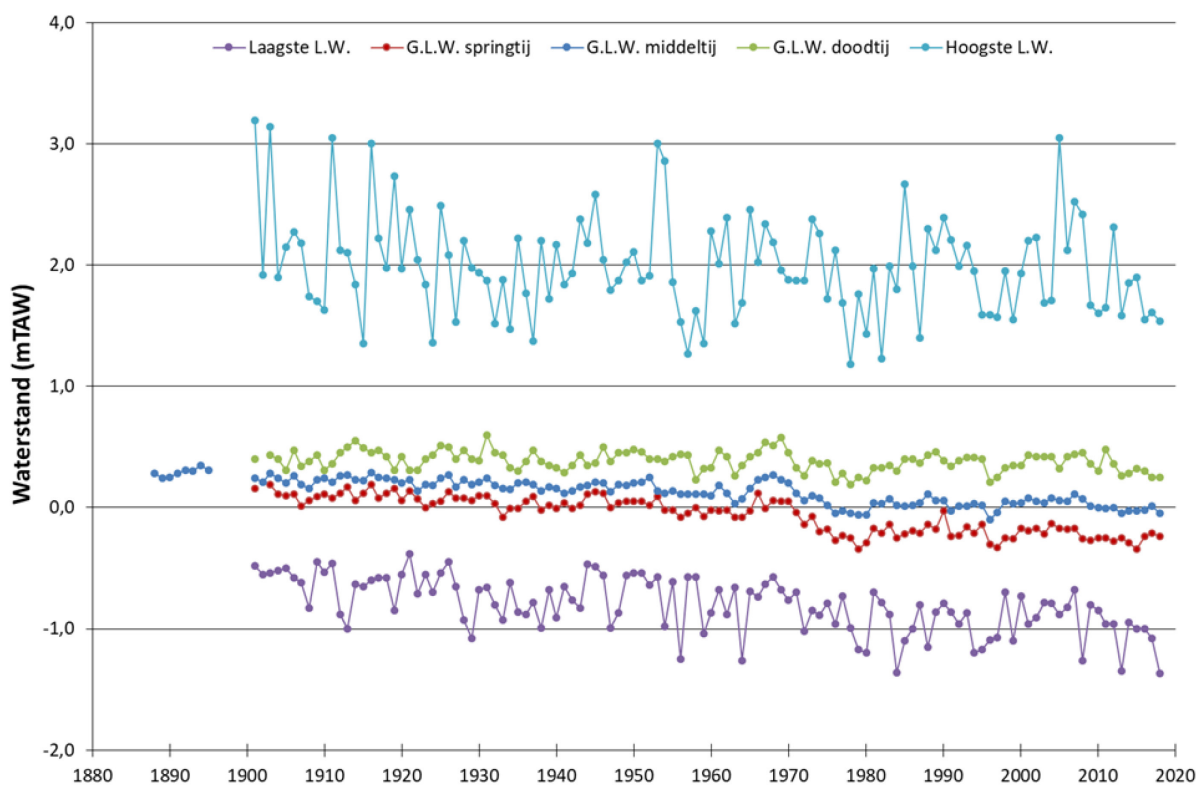
		1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2015	2018
middeltij	GHW	5,15	5,24	5,29	5,30	5,32	5,29
	GLW	0,01	0,05	0,00	0,05	-0,04	-0,05
	GTV	5,14	5,19	5,29	5,25	5,36	5,34
	Duur van de stijging	05:18	05:22	05:25	05:31	05:30	05:27
	Duur van de daling	07:07	07:03	07:01	06:54	06:55	06:58
springtij	GHW	5,55	5,70	5,72	5,75	5,70	5,72
	GLW	-0,20	-0,17	-0,23	-0,19	-0,29	-0,24
	GTV	5,75	5,87	5,95	5,94	6,00	5,97
	Duur van de stijging	04:45	05:00	05:01	05:08	05:07	05:03
	Duur van de daling	07:25	07:20	07:18	07:12	07:12	07:15
doodtij	GHW	4,64	4,69	4,77	4,73	4,80	4,78
	GLW	0,29	0,38	0,34	0,40	0,32	0,25
	GTV	4,35	4,31	4,43	4,33	4,48	4,53
	Duur van de stijging	05:47	05:54	05:55	06:05	06:00	05:59
	Duur van de daling	06:53	06:48	06:44	06:39	06:41	06:42
uiterste waarden	HHW	7,31	7,52	7,53	7,08	7,30	7,14
	LHW	3,35	3,01	3,53	3,63	3,60	3,59
	99 ^{ste} percentiel	6,04	6,16	6,18	6,35	6,18	6,30

		1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2015	2018
	HLW	2,38	2,67	2,21	3,05	2,28	1,54
	LLW	-1,20	-1,36	-1,20	-1,24	-1,38	-1,37
	1 ^{ste} percentiel	-0,61	-0,63	-0,65	-0,66	-0,80	-0,81

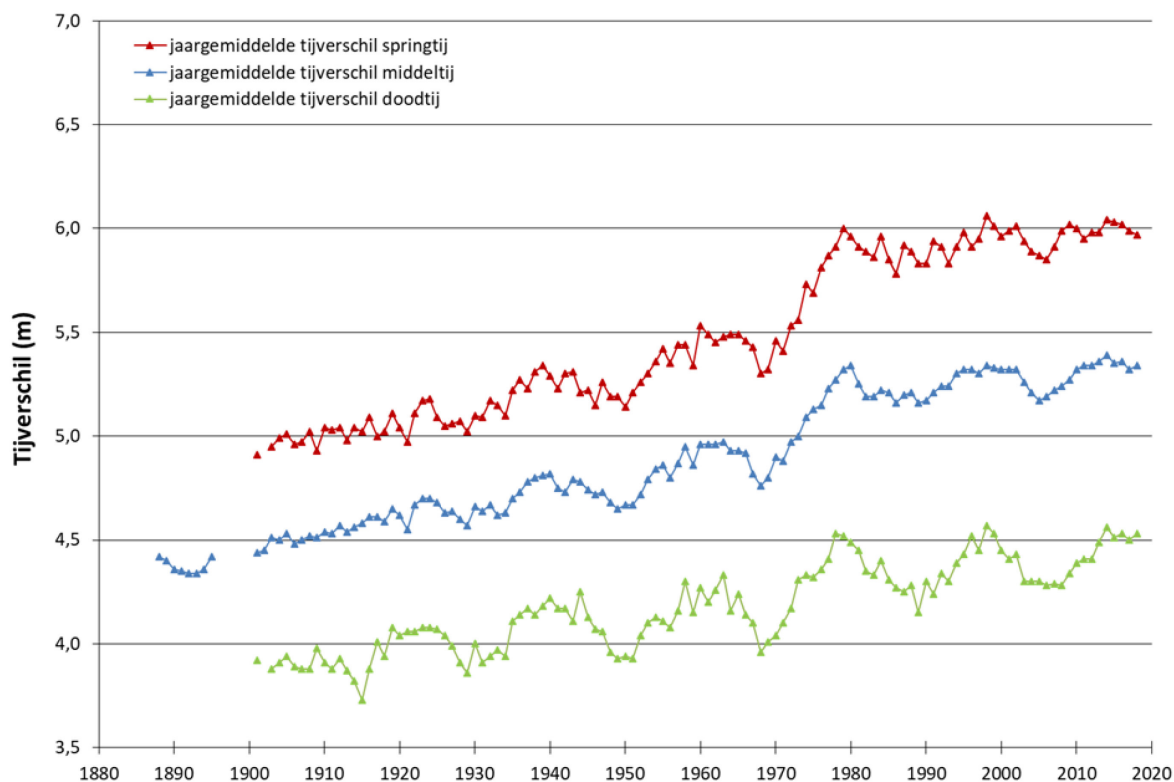
Figuur 15 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden.



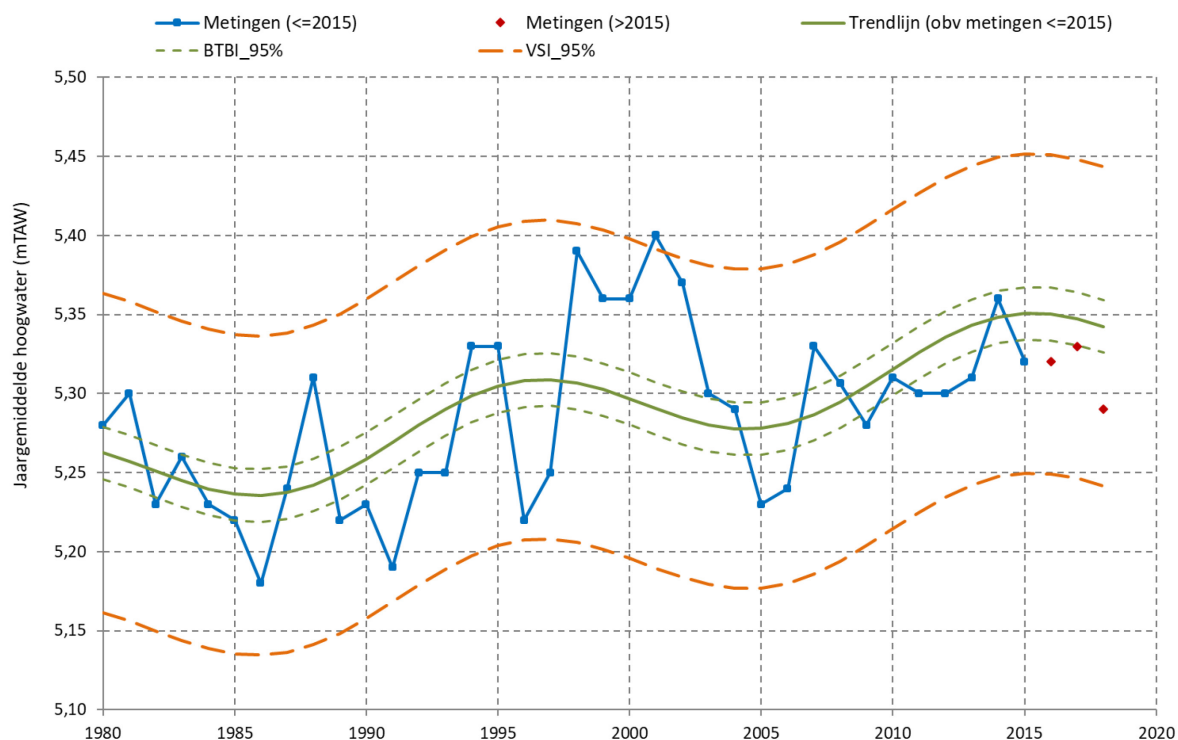
Figuur 16 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden.



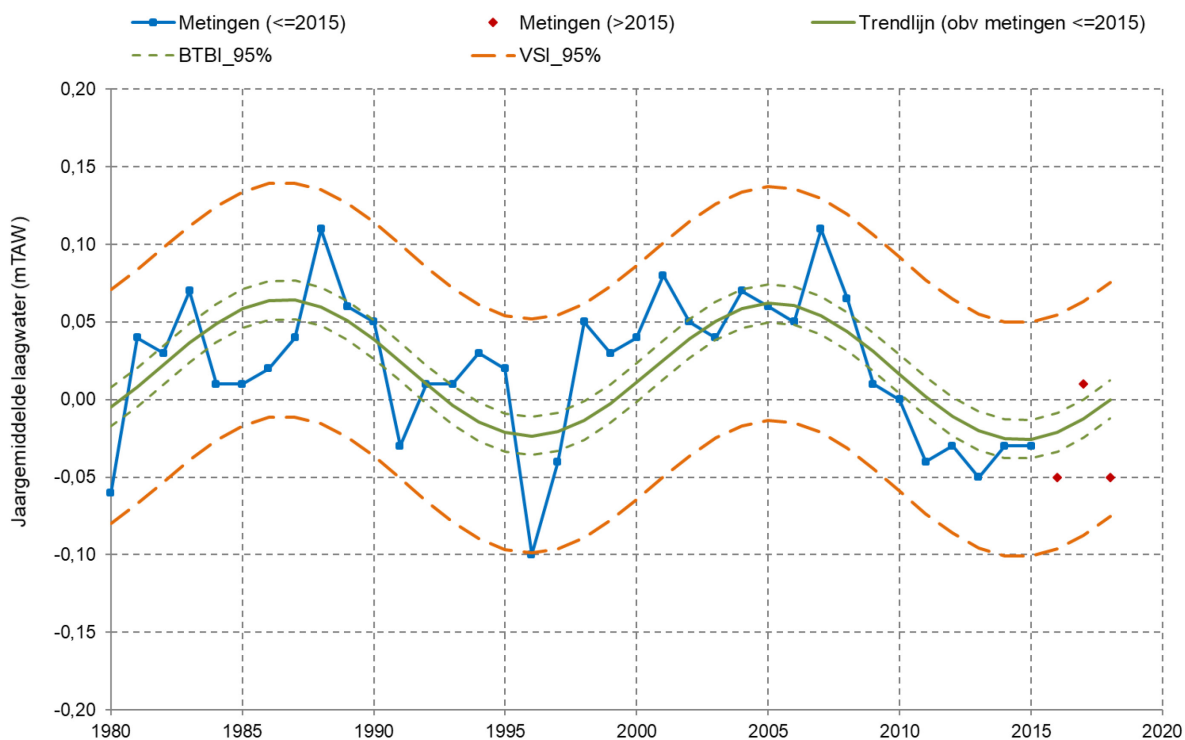
Figuur 17 – Antwerpen-Loodsgebouw: langjarige tij-evolutie (1888-2018) van jaargemiddeld tijverschil middeltij, springtij en doottij.



Figuur 18 – Ontwikkeling van het hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw met BTBI_95% (95% betrouwbaarheidsinterval) en VSI_95% (95% voorspellingsinterval).



Figuur 19 – Ontwikkeling van het laagwater te Antwerpen-Loodsgebouw met BTBI_95% (95% betrouwbaarheidsinterval) en VSI_95% (95% voorspellingsinterval).



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 opwaaiing. Actief lagedrukgebieden kunnen aanleiding geven tot harde, stormachtige noordwestenwinden. Gezien de oriëntatie van het Schelde-estuarium stuwen noordwestenwinden extra zeewater het estuarium binnen.

Op 3 januari 2018 werd de hoogste waterstand van 2018 geregistreerd. In Antwerpen was het hoogwater 7,14 mTAW (gevaarlijk stormtij). Door het extreme hoogwater trad het GOG-GGG in Kruikeke-Bazel-Rupelmonde voor het eerst in werking wat voor een aftopping zorgde van het hoogwater. Meer informatie over deze gebeurtenis is terug te vinden in het eerder gepubliceerde stormrapport (Meire *et al.*, 2018).

Tabel 4 toont al de hoogwaterstanden sinds 1971 in Antwerpen, hoger dan 6,5 mTAW. Het stormtij dat zich in januari 2018 voordeed blijkt vrij hoog te zijn. Vanaf 1971 tot en met 2018 waren er slechts 9 stormtijden met een hogere waterstand.

Tabel 4 – Beneden-Zeeschelde te Antwerpen. Frequentietabel van hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtijden (1971-2018), verdeeld per decimeter (mTAW).

[illegible]

3 Jaaroverzicht bovendebieten

3.1 Overzicht meetlocaties

Sedert 1949 worden waarnemingen en metingen verricht om de bovenafvoer uit de opwaarts van het tijgebed gelegen hydrografische bekkens te bepalen. Bovendien worden de aan de randen van het tijgebed bepaalde bovenafvoeren naar afwaarts doorgerekend, eerst naar de monding van de betrokken zijrivier in een andere, daarna alle bovenafvoeren samen naar de Schelde te Schelle. Daar wordt de bovenafvoer van de Zeeschelde bepaald opwaarts de Rupelmonding plus de bovenafvoer van het daar uitmondende Rupelbekken. Hun som levert de bovenafvoer van de Beneden-Zeeschelde op. De berekeningsmethodes staan beschreven in Vanlierde *et al.* (2014) en Michielsens *et al.* (2019).

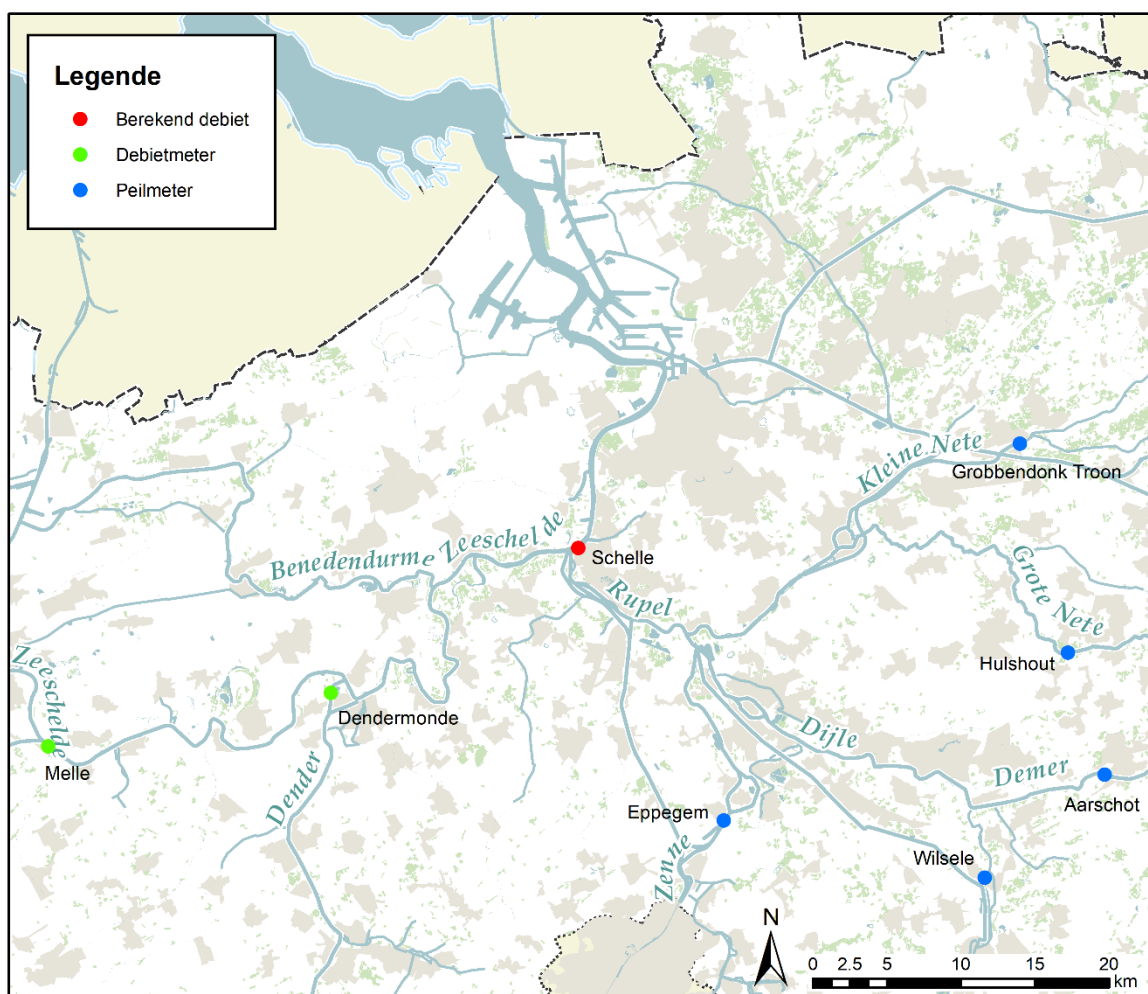
De locaties waar de debieten bepaald worden (dd. 2018) zijn weergegeven in Tabel 5 en Figuur 20. In Duffel-Sluis en Haacht wordt het debiet berekend o.b.v. de opwaartse metingen, resp.: Grobbendonk Troon (Kleine Nete)/Hulshout (Grote Nete) en Wilese (Dijle)/Aarschot (Demer).

Er wordt vooralsnog geen bovendebiet gemeten voor de Durme. Sinds januari 2016 is er in Lokeren een nieuw pompemaal in dienst genomen dat bij hoge waterstanden op de Moervaart automatisch water overpompt (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 te Schelle.

Code	Station	Waterloop	Gemeten parameter	Getij	Opmerking
knt03a	Grobbendonk Troon	Kleine Nete	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. Q/H-verband
gnt05a	Hulshout	Grote Nete	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. Q/H-verband
dem02a	Aarschot	Demer	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. Q/H-verband
L08_093	Wilese	Dijle	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. Q/H-verband
zen03a	Eppegem	Zenne	H	Geen tij	Ogenblikkelijk debiet bepaald a.h.v. Q/H-verband
den01a	Dendermonde	Dender	Q	Schijntij	Debiet wordt gemeten met ADM, Q/Q relatie wordt toegepast
zes57a	Melle	Zeeschelde	Q	Tij	Debiet wordt gemeten met ADM, Q/Q relatie wordt toegepast

Figuur 20 – 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.



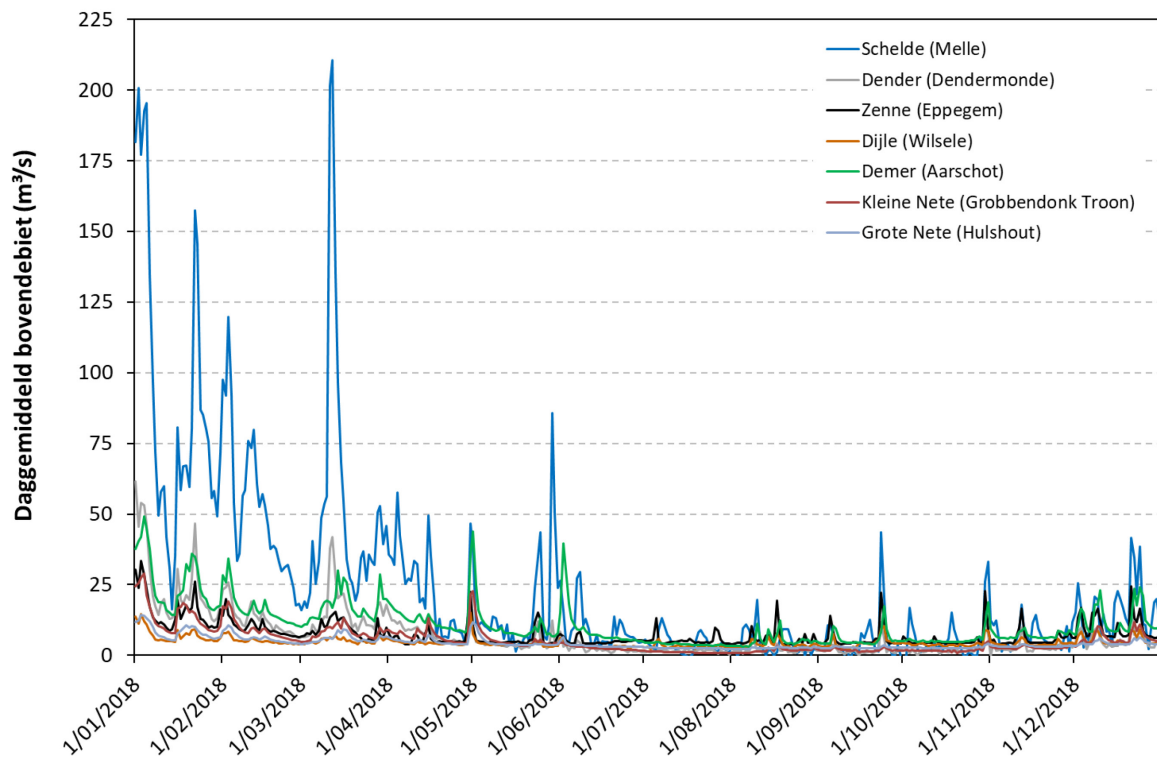
3.2 Verloop bovendebieten

Figuur 21 toont het verloop van de daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied van het Zeescheldebekken over het jaar 2018. 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.

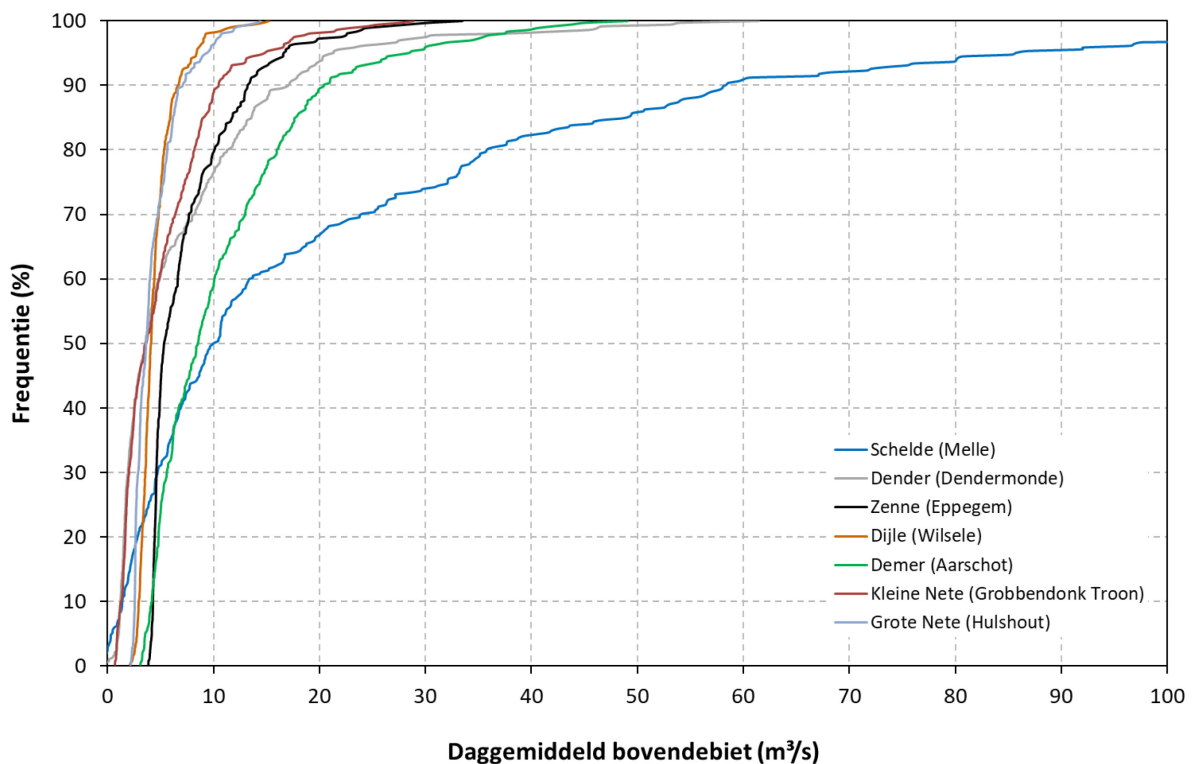
Zoals bekend hebben de Bovenschelde en de Leie, bij wassen, het grootste aandeel in het bovendebiet naar het Zeescheldebekken. Dit leidt tot duidelijk hogere debieten te Melle in vergelijking met de overige meetlocaties (Figuur 21 en Figuur 22). Tijdens zeer droge periodes keren de rollen om en is de bovenafvoer in Melle lager dan die aan de overige randen van het tijgebied. Het grootste volume van de al beperkte afvoer van de Leie en de Bovenschelde wordt in dergelijke omstandigheden afgeleid naar het kanaal Gent-Terneuzen.

In 2018 zijn er van januari tot april verhoogde debieten waargenomen. De periode nadien wordt, op een sporadische verhoging van het debiet, gekenmerkt door (zeer) lage afvoer (Figuur 21). De frequentieverdeling voor 2018 toont aan dat de dagelijkse bovenafvoer te Melle voor aanzienlijke periodes lager is dan de overige locaties (Figuur 22). Zo is de dagelijkse bovenafvoer te Melle ongeveer 40% van de tijd kleiner dan in Aarschot. De overige 60% wordt gekenmerkt door bovenafvoeren die duidelijk veel hoger liggen in Melle (Figuur 21 en Figuur 22).

Figuur 21 – Zeescheldebekken: daggemiddelde bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebed voor het jaar 2018



Figuur 22 – Zeescheldebekken: cumulatieve frequentieverdeling van de daggemiddelde bovendebeien aan de meetraaien voor het jaar 2018.



In Tabel 6 staan het gemiddelde van alle daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien aan de rand van het tijgebied, evenals het grootste en het kleinste daggemiddelde en de 5, 50 (mediaan) en 95 percentielen. Van al de meetlocaties aan de rand van het tijgebied meet de locatie Melle, in 2018, gemiddeld het grootste bovendebiet naar het Zeescheldebekken. De tweede belangrijkste is de aanvoer vanuit de Demer en Dijle te Haacht gevolgd door de Netes te Duffel Sluis, de Zenne te Eppegem en de Dender te Dendermonde.

Tabel 6 – Zeescheldebekken: kenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien in 2018 (m³/s)

	Netes te Duffel Sluis	Zenne te Eppegem	Dijle te Haacht	Dender te Dendermonde	Schelde te Melle
minimum	4,6	3,8	7,6	-0,2	-2,7
5%-percentiel	5,4	4,1	8,4	1,0	0,4
mediaan	11,0	5,3	13,6	3,5	10,0
gemiddelde	14,2	7,5	17,2	7,0	23,7
95%-percentiel	36,4	16,6	37,9	21,2	85,6
maximum	62,5	33,5	66,2	61,5	210,7

3.3 Doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts

3.3.1 Doorrekening bovendebieten naar "Schelde te Schelle"

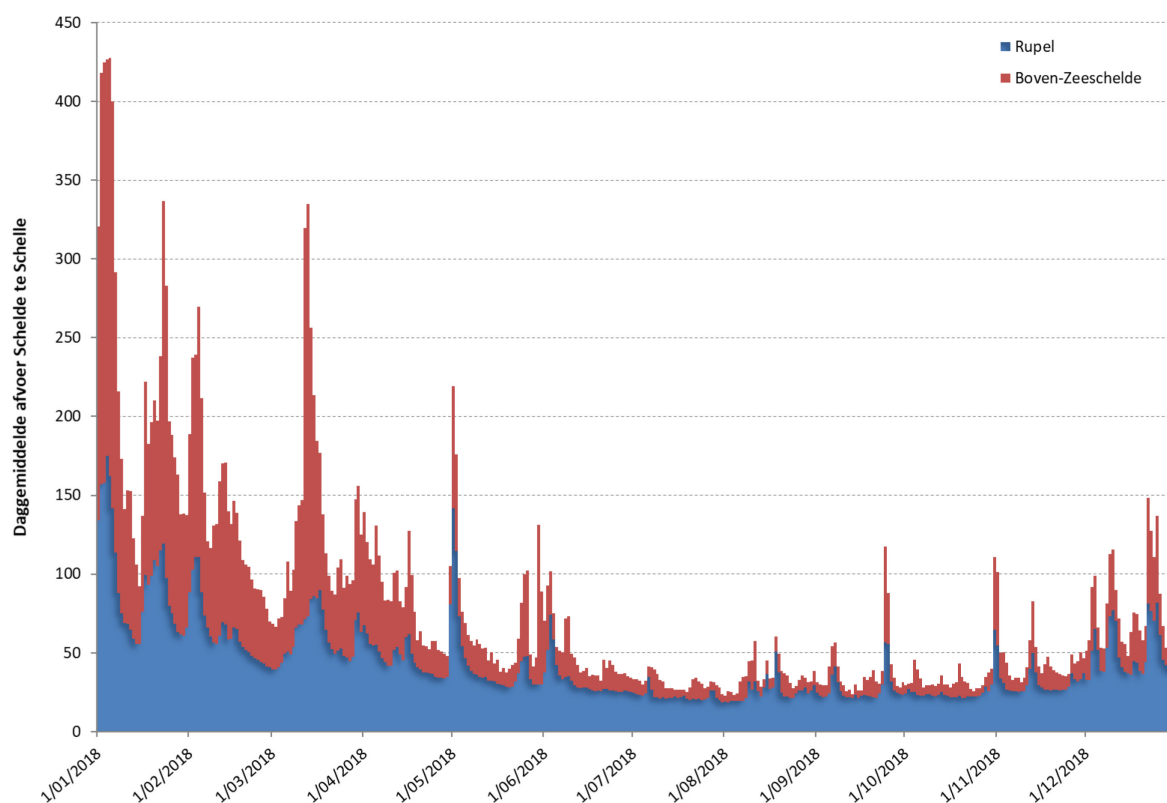
Sinds het MONEOS-rapport van 2008 wordt gewerkt met pentade-gemiddelde bovendebieten. De berekeningsmethodes staan beschreven in (Vanlierde *et al.*, 2014). In 2018 is deze methode geactualiseerd door de berekeningsmethode te uniformiseren, de tijdsvertraging tussen de opwaartse metingen en Schelle te herzien en af te stappen van de pentade-gemiddelden (Michielsens *et al.*, 2019). De methode is voor het eerst toegepast op de data vanaf januari 2018.

De daggemiddelde afvoer te Schelle wordt getoond in Figuur 23. De figuur toont het aandeel aangevoerd door de Rupel en de Boven-Zeeschelde. Net als in Figuur 21 en Figuur 22 toont ook deze figuur de beperkte bijdrage van de Leie, Schelde en Dender (die het debiet van de Boven-Zeeschelde bepalen) tijdens droge periodes.

Ook gemiddeld gezien is in 2018 de bijdrage van de Rupel groter: 44 m³/s t.o.v. 37 m³/s. De jaargemiddelde bovenafvoer van de Schelde in Schelle is in 2018 79 m³/s.

Tabel 7 toont de maandgemiddelde bovenafvoer van de Schelde (te Schelle) de Rupel (bij de monding te Wintam) en de Boven-Zeeschelde (te Wintam opwaarts de monding van de Rupel).

Figuur 23 – Daggemiddelde bovenafvoer ter hoogte van Schelle, opgedeeld in de debieten aangeleverd door de Rupel (blauw) en door de Boven-Zeeschelde (rood) in 2018



Tabel 7 – Maandgemiddelde bovenafvoer van de Zeeschelde te Schelle, Rupel en Boven-Zeeschelde in 2018 (m³/s)

	Schelle	Rupel	Boven-Zeeschelde
Januari	222	94	128
Februari	135	62	73
Maart	135	61	74
April	87	50	37
Mei	65	39	26
Juni	48	32	16
Juli	30	22	8
Augustus	35	26	10
September	38	27	11
Oktober	37	26	11
November	43	30	13
December	79	51	28
Gemiddelde	79	43	36

3.3.2 Bovendebieten 2018 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief

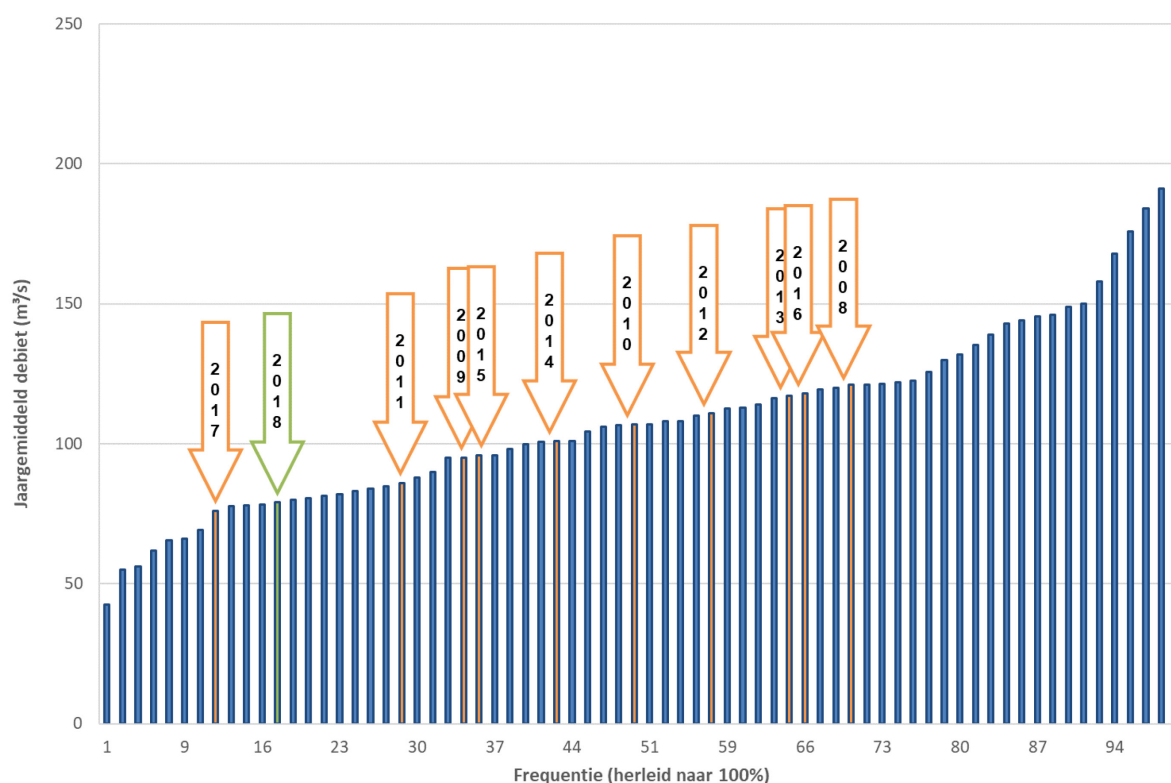
Figuur 24 geeft de jaargemiddelde afvoer van de Schelde te Schelle weer, respectievelijk naar jaar en naar frequentieverdeling. In 2018 bedroeg de gemiddelde afvoer te Schelle 79 m³/s. Bijna 85% van de jaardebieten te Schelle (sinds 1949) is hoger dan dat van 2018. 2018 was dus een jaar met een lage afvoer, in het bijzonder tussen april en november (zie ook Boeckx *et al.*, 2019).

Sinds de start van de Moneos rapportering is 2018 het jaar met de op één na laagste jaargemiddelde afvoer, na 2017. Het jaargemiddelde van 2017 lag 3 m³/s lager (76 m³/s), 2018 kende daarentegen enkele maanden die een lagere afvoer hadden dan de maanden met de laagste afvoer in 2017 (Tabel 8).

Figuur 25 toont de frequentieverdeling van de daggemiddelde debieten in klassen van 25 m³/s. Hieruit blijkt duidelijk dat 2018 gekenmerkt was door zeer lage afvoeren. Bijna 50% van de daggemiddelde debieten zijn lager dan 50 m³/s en 75% lager dan 100 m³/s. Over de periode 1971-2017 is 22% lager dan 50 m³/s en 61% is lager dan 100 m³/s.

Het bovendebiet in Schelle is in belangrijke mate gecorreleerd met de gevallen neerslaghoeveelheid. Een lage jaarlijkse neerslag resulteert hierbij in een lage jaargemiddelde bovenafvoer te Schelle (zoals bv. voor het jaar 2018, zie Figuur 26). We merken hierbij op dat de neerslaghoeveelheden te Ukkel niet 1-op-1 vergelijkbaar zijn met de gevallen neerslag in de afzonderlijke deelbekkens.

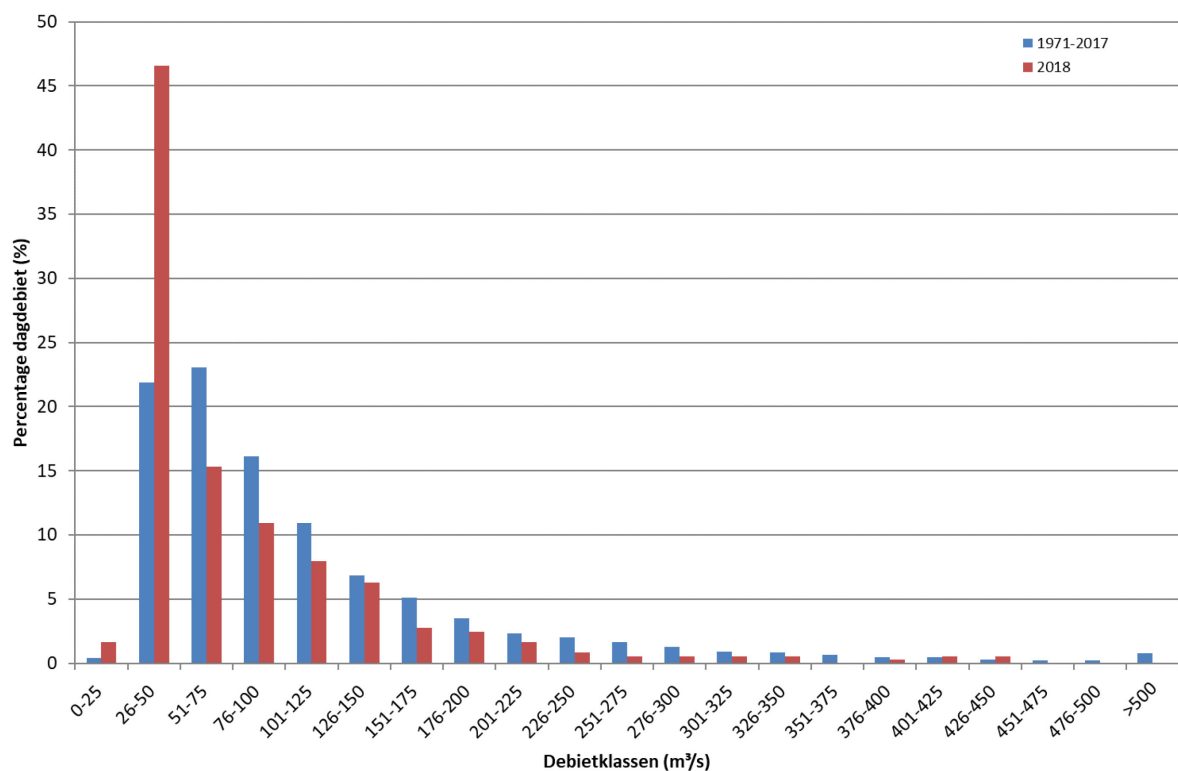
Figuur 24 – Jaargemiddelde afvoer van de Zeeschelde te Melle over de periode 1949-2018, gerangschikt naar grootte



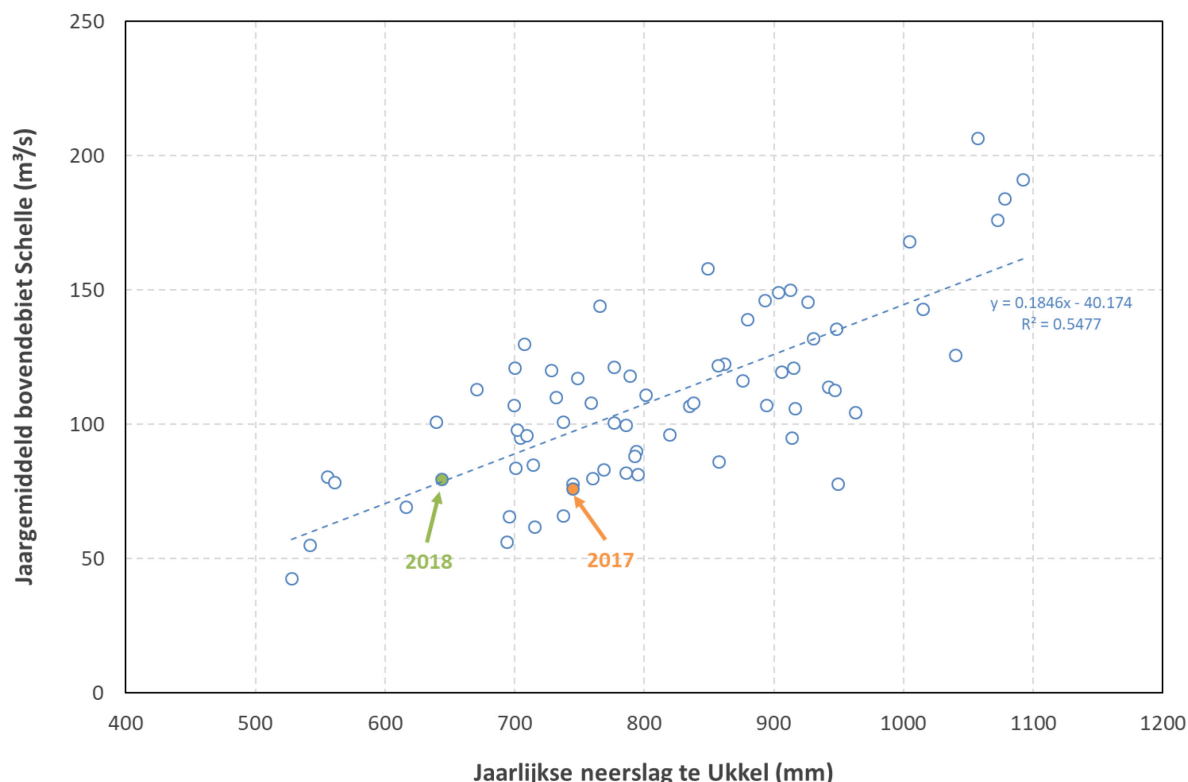
Tabel 8 – Vergelijking van de maandgemiddelde debieten in 2017 en 2018 te Schelle.

Maand	Debiet 2017 (m ³ /s)	Debiet 2018 (m ³ /s)
Januari	79	222
Februari	115	135
Maart	147	135
April	53	87
Mei	46	65
Juni	33	48
Juli	43	30
Augustus	39	35
September	47	38
Oktober	45	37
November	68	43
December	197	79

Figuur 25 – Dagdebieten te Schelle in 2018 vergeleken met de periode 1971 – 2017 gerangschikt naar voorkomen per klasse van 25 m³/s



Figuur 26 – Correlatie tussen het jaargemiddelde bovendebiet te Schelle en de jaarlijkse neerslag te Ukkel (1949-2018)



3.4 Overzicht van de ververstijd voor de Boven-Zeeschelde

Naast de daggemiddelde bovenafvoer ter hoogte van de randen van het tijgebied, is het ook belangrijk een inzicht te krijgen in de opeenvolging van de debieten. De bovenafvoer vertoont een sterke variabiliteit doorheen de jaren, alsook binnen één jaar. Zo zijn er periodes van resp. lage (zomer) en hoge (winter) bovenafvoer, en bovendien verschilt het duur van periodes met lage/hoge bovenafvoer sterk van jaar tot jaar. Om de rol van de bovenafvoer op een kleinere tijdschaal te kwantificeren, wordt de “**ververstijd**” voorgesteld als parameter. De “ververstijd” wordt gedefinieerd als 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 (Plancke *et al.*, 2017).

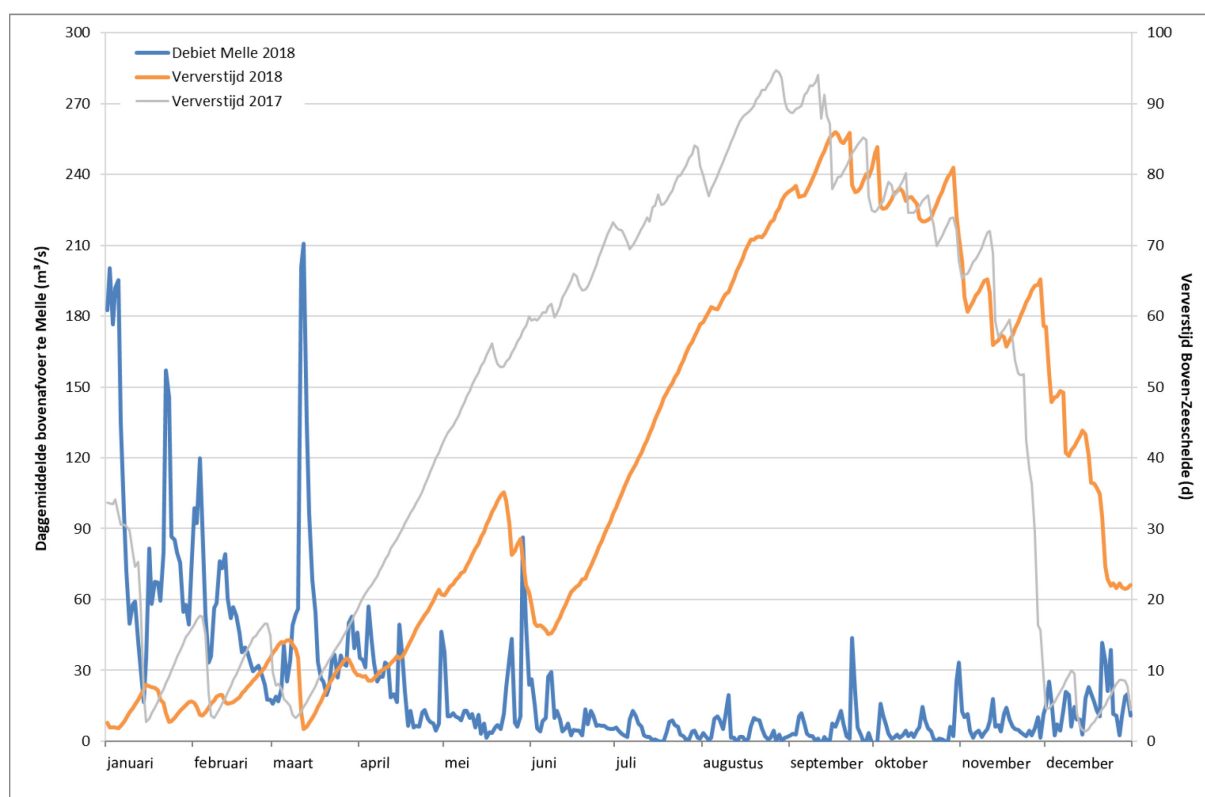
In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de temporele veranderingen in de perioden met hoge of lage bovenafvoeren (duur van de periode, grootte van de bovenafvoeren) gebruik makende van de ververstijd. Dit kan belangrijk zijn voor de indringing van zout, de residuele sedimenttransporten (uitspoeling vs. opwaartse transport) en verschillende ecologische parameters (o.a. verblijftijden in verschillende delen van het estuarium).

3.4.1 Resultaten voor 2018

Het verloop van de ververstijd in 2018 wordt weergegeven in Figuur 27 samen met de daggemiddelde bovenafvoer van Melle. Ter vergelijking staat ook het verloop van het droge jaar 2017 in de grafiek.

In het voorjaar is er nog een verhoogde bovenafvoer. Hierdoor blijft de ververstijd korter dan 20 dagen. Vanaf april neemt de ververstijd toe tot 35 dagen halfweg mei. Tot half juni neemt de bovenafvoer weer wat toe waardoor de ververstijd met 20 dagen korter wordt. Halfweg juni begint er een droge periode die tot het einde van het jaar duurt, zes maanden lang. Hierdoor neemt de ververstijd toe tot 85 dagen in september. Vanaf november stijgt de bovenafvoer weer langzaam, waardoor de ververstijd uiteindelijk daalt naar 22 dagen op het einde van het jaar.

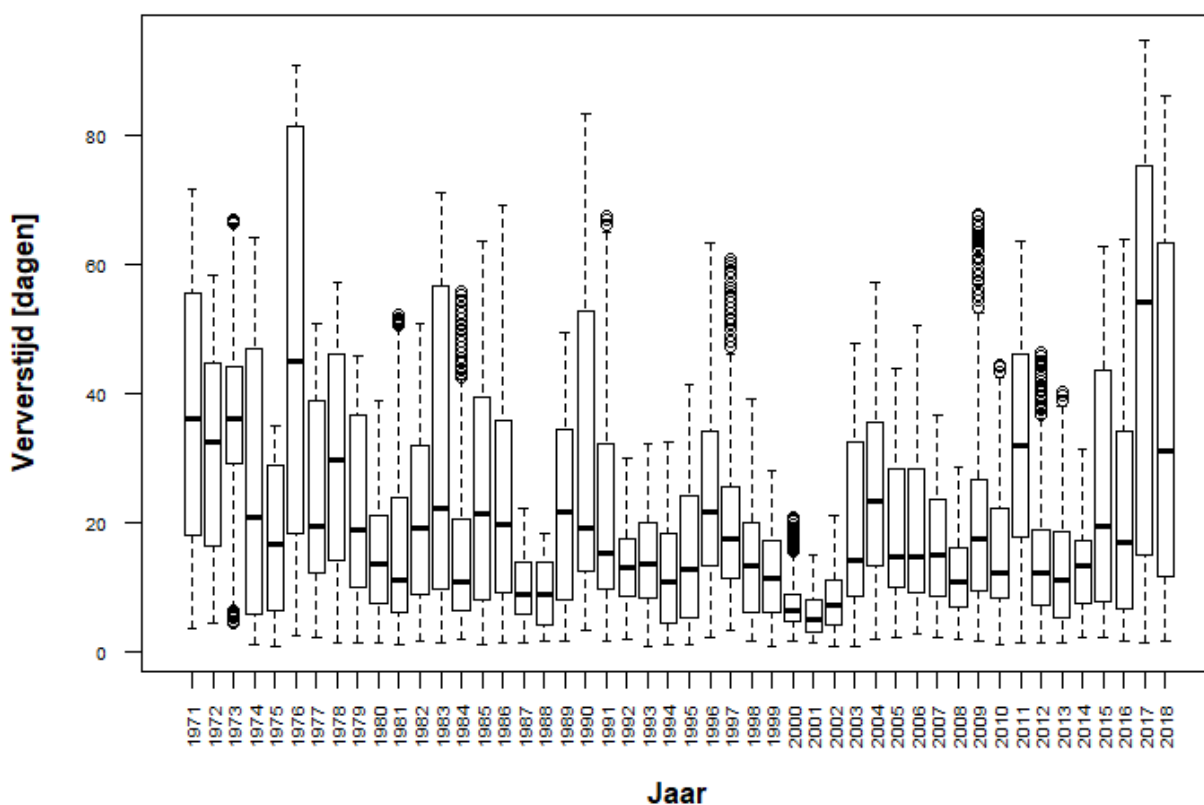
Figuur 27 – Ververstijd van de Boven-Zeeschelde voor het jaar 2018



3.4.2 Resultaten in historisch perspectief

Figuur 28 toont de boxplot¹ voor de ververstijd sinds 1971. Ten opzichte van 2017 nemen de meeste kwartielen af. Vooral de mediaan daalt sterk van 54 naar 31 dagen, maar blijft wel bij de hoogste 10 jaarmediaan waarden. Het maximum van 85 dagen is daarentegen vrij lang, het derde hoogste jaarmaximum sinds 1971, na 2017 en 1976. Hetzelfde geldt voor de 75 percentiel waarde. Het is duidelijk dat 2018 gekenmerkt is door een lange periode van lage bovenafvoer waardoor de ververstijd lang duurt.

Figuur 28 – Ververstijd van de Boven-Zeeschelde in historisch perspectief (1971 – 2018)



¹ 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 x.

4 Jaaroverzicht fysische parameters

Het Waterbouwkundig Laboratorium meet fysische parameters (stroomsnelheid, temperatuur, conductiviteit en turbiditeit) en ecologische parameters (Chlorofyl A-gehalte, PPFD², zuurstofconcentratie, zuurstofverzadigingsgraad en zuurtegraad) op zowel continue basis op vaste meetlocaties, als tijdens singuliere meetcampagnes. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de gemeten fysische parameters in het jaar 2018. Voor de ecologische parameters wordt verwezen naar de OMES-rapporten. Meer achtergrond en duiding betreffende de monitoring van de fysische parameters in het Zeescheldebekken is terug te vinden in het zogenaamde “MONEOS Basisboek” (Taverniers *et al.*, 2013).

4.1 Continue metingen "fysische parameters"

4.1.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "fysische parameters"

Situering

Op 9 meetplaatsen in de Zeeschelde (Prosperpolder, Lillo Meetpaal, Liefkenshoek, Oosterweel, Hemiksem, Kruike, Weert, Schellebelle en Melle) en op één plaats op de Rupel (Klein Willebroek) staan er vaste multiparameter-toestellen (zie Figuur 29). Hier worden op continue wijze verschillende fysische parameters geregistreerd. Het toestel in Klein Willebroek werd in juli 2018 in gebruik genomen. Omdat er nog geen volledig jaar aan data beschikbaar is voor deze post, worden de meetresultaten niet opgenomen in dit rapport. Sinds 19 december 2017 hangt er in de Durme (Tielrode) een mobiel toestel. In de toekomst wordt deze omgebouwd naar een vaste meetlocatie en wordt de locatie mee opgenomen in de MONEOS-rapportering.

Te Lillo hangen er twee meettoestellen: een onderste, dicht bij de bodem en een bovenste toestel, onder het laag-laagwater peil, zodat ook deze zich ten allen tijde onder water bevindt. Op de overige meetposten hing er telkens één toestel. Een aantal toestellen zijn vlottend gepositioneerd zodat ze gedurende de gehele getijcyclus dezelfde waterlaag opmeten.

In het estuarium wordt er met verschillende toesteltypes gemeten. Dit heeft een effect op de meetmethode. De Aanderaa Seaguards meten om de 30 seconden. Deze metingen worden uitgemiddeld over een tijdsinterval van 5 minuten en via telemetrie doorgestuurd. De CTD-toestellen meten, afhankelijk van de locatie, om de 1 of 2 seconden. Elke 10 minuten worden deze waardes uitgemiddeld en via telemetrie doorgestuurd. De YSI-toestellen meten één maal binnen het meetinterval van 5 minuten. Het YSI toestel meet dus instantaan waardoor de ruis niet wordt uitgefilterd. Dit heeft voornamelijk een impact op het turbiditeitssignaal (§4.1.6).

Tabel 9 geeft een overzicht van welk toesteltype op welke locatie hangt, alsook welke parameters geregistreerd worden en met welk tijdsinterval. Indien mogelijk³ wordt de absolute positie t.o.v. het referentiepeil (TAW) afgeleid.

² Fotonenstroombichtheid in het fotosynthetisch actieve lichtspectrum (400-700 nm) van het zonlicht (Photosynthetically active Photon Flux Density) omvat de golflengte binnen het lichtspectrum welke organismen gebruiken voor fotosynthese. De eenheid wordt uitgedrukt in $\mu\text{mol fotonen/m}^2\text{s}$.

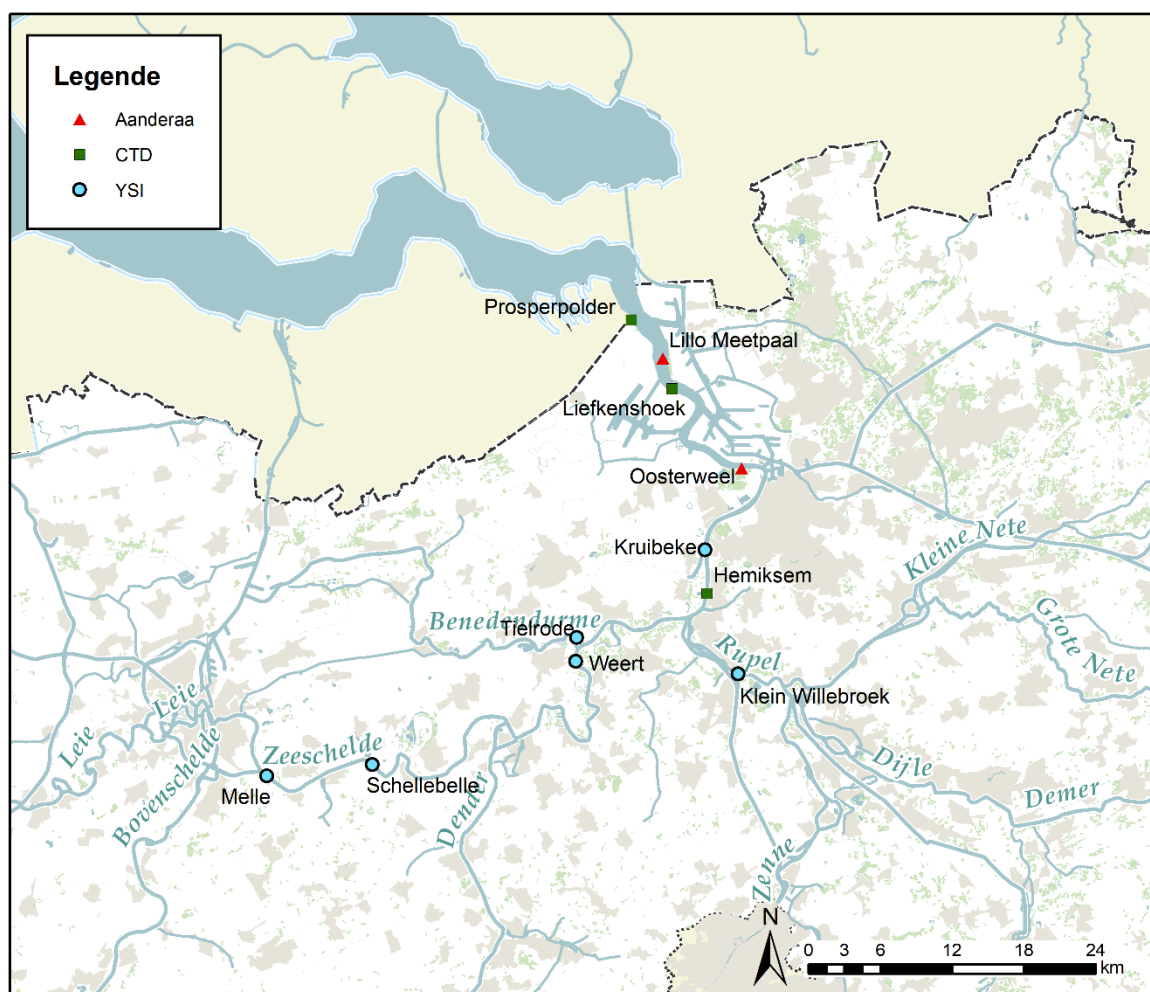
³ Bij een drijvende opstelling bevindt de sensor zich op een vaste (relatieve) positie onder het wateroppervlak. Er is dus geen vaste, absolute positie doorheen de tijd.

Aanpassingen meetnet

Ten opzichte van de situatie in 2017 (Vandenbruwaene *et al.*, 2018) zijn volgende aanpassingen uitgevoerd op het meetnet:

1. Op 17/07/2018 is de YSI meting in Klein Willebroek (Rupel) gestart.
2. Sinds 02/2018 hangt er een mobiele YSI in de Durme (Tielrode).

Figuur 29 – Locatie van Moneos-meetposten in de Zeeschelde met continue monitoring van fysische parameters. Tielrode is voorlopig een mobiel YSI toestel en wordt op termijn een vaste meetlocatie, Klein-Willebroek is een vaste YSI meetlocatie maar pas opgestart in juli 2018.



Tabel 9 – Overzicht van de toesteltypes van multiparametertoestellen ingezet in 2018 op de verschillende meetlocaties in het Zeescheldebekken en bijrivieren

Toesteltype	Tijds- interval	Gemeten parameters ⁴	Meetlocatie	Verticale positie	Afgeleide absolute positie (mTAW)	Stroomgebied
Aanderaa Seaguard	5 min	Conductiviteit Stroomsnelheid Stroomrichting Totale druk Turbiditeit Watertemperatuur	Lillo Meetpaal (boven + onder)	Vast: B: 3,75 m boven de bodem O: 1 m boven de bodem	B: - 5 mTAW O: - 8,5 mTAW	Beneden- Zeeschelde
			Oosterweel (boven)	Vast: B: 4,5 m boven de bodem	- 2,3 mTAW	Beneden- Zeeschelde
Valeport-CTD	10 min	Conductiviteit Totale druk Watertemperatuur	Prosperpolder	Vast	-1,5 m TAW	Beneden- Zeeschelde
			Liefkenshoek	Vast	-1,5 m TAW	Beneden- Zeeschelde
			Hemiksem	Vast	-1,5 m TAW	Beneden- Zeeschelde
YSI	5 min	Conductiviteit Totale druk Turbiditeit Watertemperatuur Zuurstofgehalte Zuurtegraad	Kruibeke	Vlottend: 1,1 m onder het wateroppervlak	Variërend met getij	Beneden- Zeeschelde
			Weert	Vlottend: 0,7 m onder het wateroppervlak	Variërend met getij	Boven- Zeeschelde
			Schellebelle	Vlottend: 0,7 m onder het wateroppervlak	Variërend met getij	Boven- Zeeschelde
			Melle	Vast: 1,1 m boven de bodem	1,5 m TAW	Boven- Zeeschelde
			Klein Willebroek (vanaf juli 2018)	Vlottend: 0,7 m onder het wateroppervlak	Variërend met getij	Rupel
			Tielrode	Vlottend: 0,5 m onder het wateroppervlak	Variërend met getij	Durme

⁴ Chlorofyl A-gehalte en PPFD worden enkel gemeten in Schellebelle, Weert en Klein Willebroek.

Onderbrekingen

Door technische problemen kan een toestel enkele/alle parameters niet of foutief registreren. In Tabel 10 wordt een overzicht gegeven van de periodes waarin problemen optraden met de meetapparatuur en er dus geen data beschikbaar zijn.

Lijst van mogelijke storingstypes (niet limitatief): Onderbreking voeding (zonnepanelen en windmolen, walvoeding (winterstop, schade)), communicatie tussen sensor en datalogger, telemetrie (modem defect, wisselen provider, slecht bereik), (bio)-fouling, onderhoud (reinigen en wisselen van instrumentatie), defect meettoestel, defect sensor (faling, drift, in-situ slijtage).

Tabel 10 – Overzicht van periodes waarin de respectievelijke toestellen geen metingen konden registreren (2018)

Locatie	Start periode zonder metingen	Stop periode zonder metingen	Duur (dagen)	Ontbrekende parameter(s)	Reden
Lillo meetpaal boven (Aanderaa Seaguard)	1/1/2018	22/1/2018	22	Conductiviteit	Storing sensor
	17/1/2018	22/1/2018	5		Storing toestel
	15/3/2018	20/3/2018	5	Conductiviteit	Toestel meegenomen ter kalibratie
	25/6/2018	27/6/2018	2	Snelheid	
	10/9/2018	12/9/2018	2	Snelheidsrichting	
	11/12/2018	13/12/2018	2	Totale druk	Toestel meegenomen voor onderhoud
	10/4/2018	12/4/2018	2	Turbiditeit Watertemperatuur	
	4/10/2018	23/10/2018	19		Elektrische storing
Lillo meetpaal onder (Aanderaa Seaguard)	1/1/2018	5/1/2018	5	Conductiviteit Snelheid Snelheidsrichting Totale druk Turbiditeit Watertemperatuur	Storing toestel
	17/1/2018	22/1/2018	5		
	15/3/2018	20/3/2018	5		
	10/4/2018	12/4/2018	2		
	5/6/2018	12/6/2018	7		
	10/9/2018	12/9/2018	2		
	11/12/2018	13/12/2018	2		
	25/6/2018	25/7/2018	31		Toestel meegenomen voor herkalibratie
Oosterweel Boven (Aanderaa Seaguard)	14/1/2018	22/1/2018	6	Conductiviteit Snelheid Snelheidsrichting	Storing toestel
	16/3/2018	20/3/2018	4		
	10/9/2018	12/9/2018	2		
	30/11/2018	5/12/2018	5	Totale druk Turbiditeit Watertemperatuur	Toestel meegenomen ter kalibratie
	24/6/2018	27/6/2018	3		
	11/12/2018	13/12/2018	2		
	24/9/2018	4/10/2018	2		Slechte verbinding
	24/10/2018	26/10/2018	2		
Prosperpolder (Valeport-CTD)	17/7/2018	25/7/2018	8	Conductiviteit	Storing PC
	2/12/2018	5/12/2018	3	Totale druk	
	17/9/2018	25/9/2018	8	Watertemperatuur	Storing toestel
	12/7/2018	17/7/2018	6	Totale druk	Onbetrouwbare meting
	26/4/2018	9/8/2018	15		
Liefkenshoek (Valeport-CTD)	26/1/2018	4/2/2018	9	Conductiviteit	Storing toestel
	17/10/2018	22/10/2018	5	Totale druk Watertemperatuur	Elektrische storing
Kruibeke (YSI)	24/6/2018	28/6/2018	4	Totale druk	Storing sensor
	24/10/2018	5/12/2018	42		
	20/6/2018	24/6/2018	5	Turbiditeit	Ontbrekende en onbetrouwbare metingen
Melle	9/5/2018	4/7/2018	56	Totale druk	Storing sensor

(YSI)	1/3/2018	4/4/2018	35	Turbiditeit	Onbetrouwbare meting
Klein Willebroek (YSI)	7/12/2018	10/12/2018	3	Conductiviteit	Storing sensor
	17/7/2018	20/8/2018	34	Turbiditeit	Onbetrouwbare metingen
	24/9/2018	31/10/2019	36		
	5/12/2018	10/12/2018	5		

4.1.2 Moment van kentering en berekening extremen KHW/KLW of vloed/eb

Om het typische verloop van de fysische parameters in functie van het getij te kunnen bepalen werd op iedere locatie het moment van kentering berekend. Dit komt overeen met het tijdstip waarop de stroomrichting omslaat naar de tegenovergestelde zin. De berekeningswijze hangt af van de databeschikbaarheid:

1. Voor de meetlocaties waar Aanderaa-toestellen de **snelheidsrichting** meten (Lillo Meetpaal en Oosterweel), zijn op basis van deze richting het moment van KHW en KLW afgeleid.
2. Voor de locaties Prosperpolder, Liefkenshoek, Kruibeke, Hemiksem, Weert, Schellebelle en Melle werd het moment van kentering bepaald aan de hand van de hoog- en laagwater tijdreeksen van een **tijpost** op dezelfde of nabijgelegen locatie. Het moment van kentering bevindt zich echter, afhankelijk van de locatie in het estuarium, iets na het moment van hoog- of laagwater. Sinds **MONEOS 2017** wordt deze **tijdsvertraging** toegepast. De variatie in tijdsvertraging doorheen het schelde-estuarium werd geanalyseerd in Vandenbruwaene *et al.* (2016). Er is besloten om 1 gemiddelde waarde te hanteren voor de volledige Zeeschelde:
 - 30 minuten na laagwater
 - 45 minuten na hoogwater

Bovenstaande tijdstippen werden gebruikt om, afhankelijk van parameter, de minima en/of maxima rond kentering bij laagwater (KLW) en hoogwater (KHW) of het extreem (minimum/maximum) te bepalen binnen een venster van een uur voor tot een uur na de kentering en de gemiddelden en/of minima/maxima tijdens eb en vloed. De variabiliteit in het moment van kentering wordt opgevangen door het zoekvenster toe te passen. Merk op dat het gemiddelde de kwaliteitsvlag krijgt van de minst betrouwbare meting binnen het zoekvenster. Een onbetrouwbare meting resulteert dus in een onbetrouwbaar gemiddelde. Bij de extremen wordt de kwaliteit van het gevonden extreem overgenomen. Indien er één punt ontbreekt bij eb of vloed wordt er bovendien geen gemiddelde berekend en worden de extremen als onbetrouwbaar aanzien. Dit laatste criteria is niet van toepassing bij de extremen tijdens KLW/KHW. Bovenstaande heeft een invloed op het relatieve aandeel aan correcte meetwaarden en de weergave in onderstaande figuren en tabellen. Ook de duur van het zoekvenster heeft een invloed gezien dit de kans op onbetrouwbare metingen bepaald. Bij parameters waarvan het signaal veel uitschieters bevat⁵, kan dit resulteren in een aanzienlijk verschil in relatief aantal betrouwbare extremen.

4.1.3 Verloop van stroomsnelheid

Karakteristieke parameters

Ter hoogte van Lillo Meetpaal en Oosterweel wordt de stroomsnelheid geregistreerd met behulp van de Aanderaa-multiparametersondes. Deze metingen zijn puntstroomsnelheidsmetingen. Deze meetlocaties zijn zo gekozen opdat ze zo representatief mogelijk zijn voor de dwarssectie. Bij de locatiekeuze moet men echter ook rekening houden met volgende randvoorwaarden: de meetposten moet buiten de vaargeul liggen en moeten kunnen vastgehecht worden aan vb. een steiger of dukdalf.

⁵ Zoals bijvoorbeeld turbiditeit, zeker bij de YSI-toestellen gezien deze een instantane meting registreren (§4.1.1).

Aangezien de stroomsnelheid rond het moment van de kenteringen naar nul terugvalt, zijn vooral de gemiddelde en maximale stroomsnelheden tijdens vloed en eb interessant. De stroomsnelheden zijn hoger bij springtij dan bij gemiddeld getij, wanneer ze dan weer groter zijn dan tijdens doottij. Tijdens stormtij kunnen de stroomsnelheden beduidend hoger liggen.

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 (§4.1.2). Figuur 30 geeft een samenvatting voor alle meetlocaties door middel van boxplots.

Figuur 31 tot en met Figuur 36 tonen resp. de gemiddelde (Figuur 31 t.e.m. Figuur 33) en maximale (Figuur 34 t.e.m. Figuur 36) stroomsnelheden bij vloed en eb, voor de locaties Lillo Meetpaal en Oosterweel. Bij Lillo Meetpaal is eerst het bovenste meettoestel weergegeven en vervolgens het onderste meettoestel. Op al deze locaties is steeds het patroon van doottij/middeltij/springtij te herkennen. De variatie tijdens deze cyclus is groter voor de maximale vloedstroming.

Tabel 11 geeft de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de gemiddelde en maximale stroomsnelheid over vloed en over eb, voor de verschillende Aanderaa metingen in de Zeeschelde. Bij Lillo Meetpaal Onder (*cursief en onderlijnd*) zijn minder dan 90% van de meetwaarden (correct) beschikbaar (zie ook Tabel 10). De impact van de ontbrekende metingen op de berekende statistieken is onbekend.

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 (2018) (indien minder dan 90% van de meetwaarden correct beschikbaar, worden de waarden *cursief en onderlijnd* weergegeven).

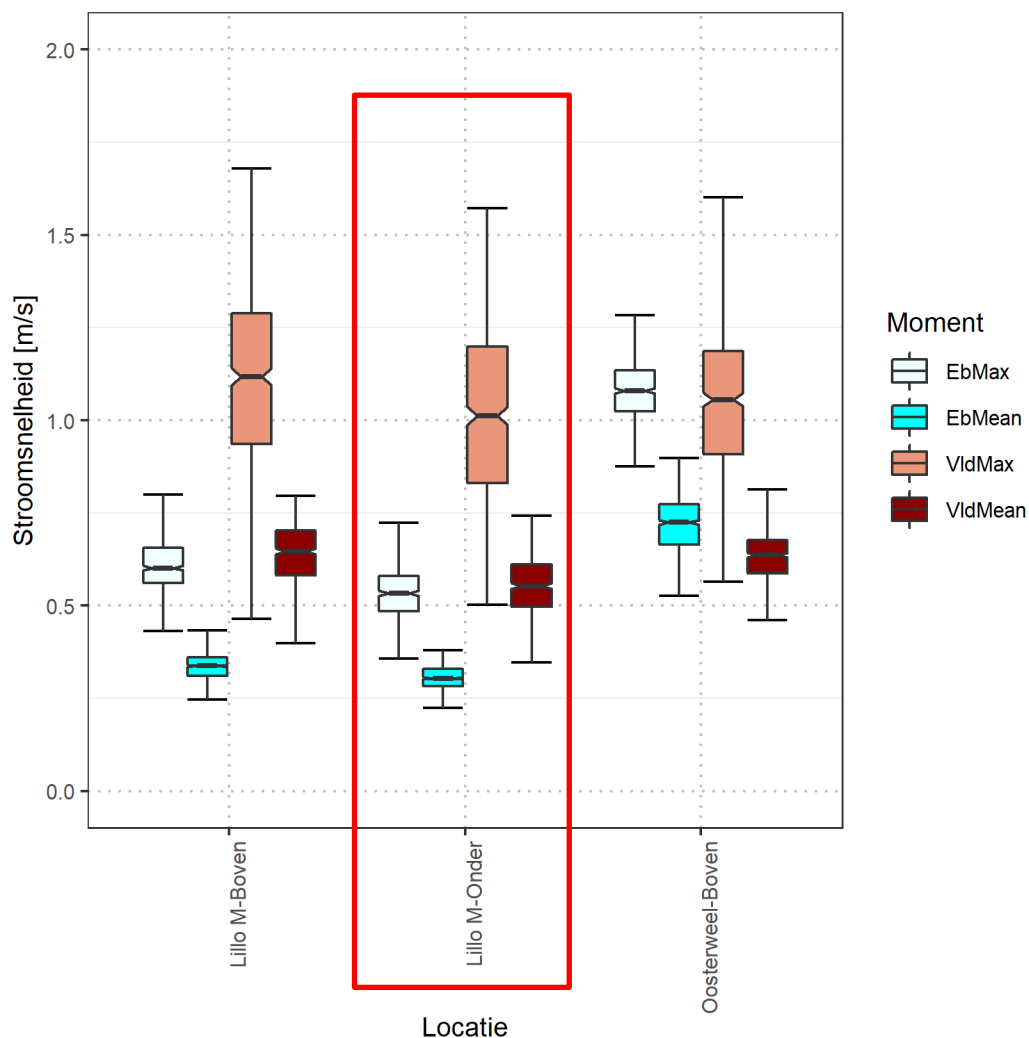
	Gemiddelde snelheid over eb (m/s)				Gemiddelde snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Lillo Meetpaal boven	0.25	0.34	0.45	0.04	0.29	0.64	0.80	0.09
<i>Lillo Meetpaal onder</i>	<i>0.21</i>	<i>0.31</i>	<i>0.38</i>	<i>0.03</i>	<i>0.30</i>	<i>0.55</i>	<i>0.74</i>	<i>0.08</i>
Oosterweel boven	0.48	0.72	0.90	0.07	0.42	0.63	0.83	0.07
	Maximale snelheid over eb (m/s)				Maximale snelheid over vloed (m/s)			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Lillo Meetpaal boven	0.41	0.61	0.84	0.07	0.46	1.11	1.68	0.22
<i>Lillo Meetpaal onder</i>	<i>0.36</i>	<i>0.53</i>	<i>0.78</i>	<i>0.07</i>	<i>0.50</i>	<i>1.02</i>	<i>1.57</i>	<i>0.23</i>
Oosterweel boven	0.80	1.08	1.28	0.08	0.56	1.05	1.60	0.18

Voor **Meetpaal Lillo** zijn er uitgesproken verschillen tussen de gemiddelde stroomsnelheden bij vloed en eb (Tabel 11). De stroming is hier vloedgedomineerd. Voor het bovenste toestel (Figuur 31) worden bij vloed snelheden gemeten van 0,29-0,80 m/s, tegenover 0,25 en 0,45 m/s bij eb. Voor het onderste toestel (Figuur 32) liggen deze tussen 0,30 en 0,74 m/s bij vloed, tegenover 0,21-0,38 m/s bij eb.

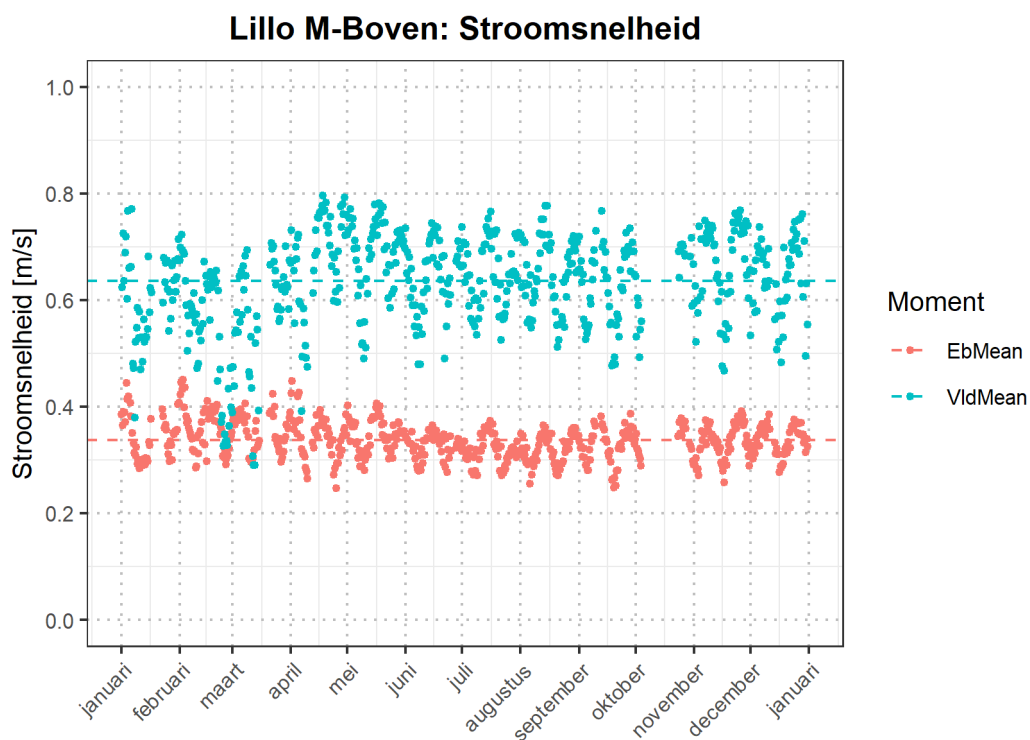
De maximale snelheden (Figuur 34 en Figuur 35) aan de meetpaal te Lillo vertonen eenzelfde trend: deze liggen hoger bij vloed dan bij eb. Voor het bovenste toestel bedragen de maximum stroomsnelheden 0,46 tot 1,68 m/s bij vloed, tegenover 0,41 tot 0,84 m/s bij eb. Voor het onderste toestel liggen deze tussen 0,50 en 1,57 m/s bij vloed, tegenover 0,36 en 0,78 m/s bij eb.

Wat betreft de stroomsnelheden te **Oosterweel** is de gemiddelde stroomsnelheid bij eb groter dan deze bij vloed (Tabel 11). Er is hier sprake van, gemiddeld, een eerder ebdominante stroming. Dit is voor een groot deel te wijten aan de positie van de meetlocatie in de dwarsdoorsnede van de rivier. De gemiddelde stroomsnelheden (Figuur 33) schommelen hierbij van 0,48 tot 0,90 m/s bij eb en tussen 0,42 en 0,83 m/s bij vloed. De maximale stroomsnelheden schommelen rond ongeveer dezelfde waarde bij eb als vloed (gemiddeld respectievelijk 1,08 en 1,05 m/s), maar tijdens vloed is er een grotere spreiding (Figuur 36). De maximale stroomsnelheden variëren van 0,80-1,28 m/s bij eb en van 0,56-1,60 m/s bij vloed.

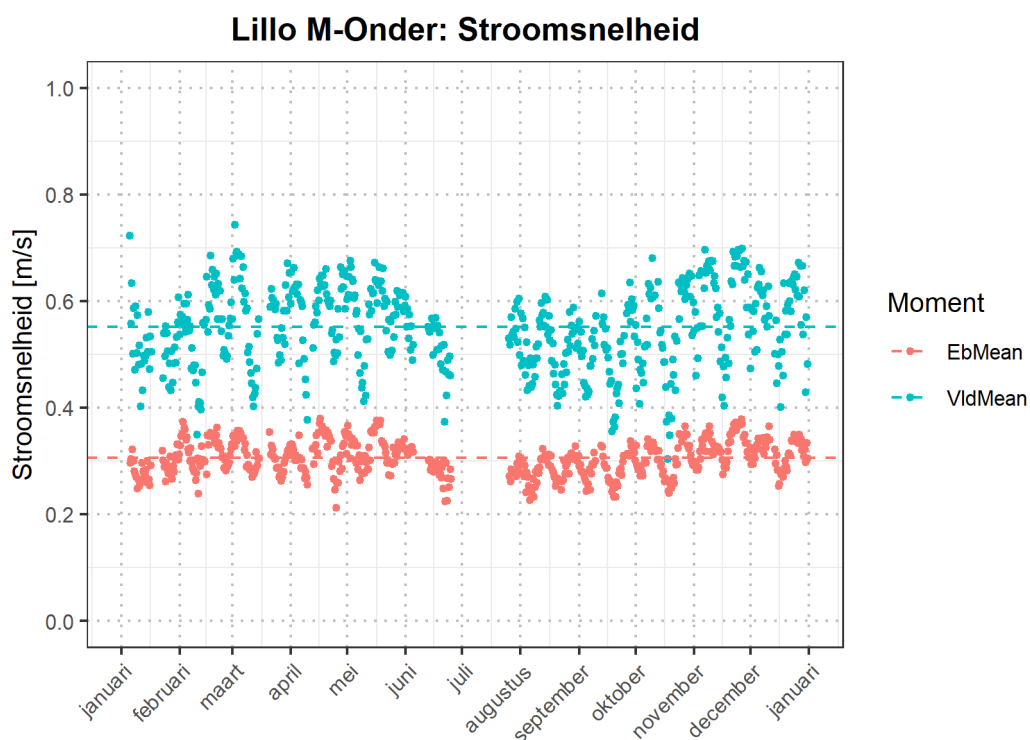
Figuur 30 – Boxplot van gemiddelde en maximale stroomsnelheid bij vloed en eb, gemeten door de Aanderaa toestellen in de Zeeschelde (2018). Een aantal posten vertonen een vertekend beeld door ontbrekende waarden (rode kader).



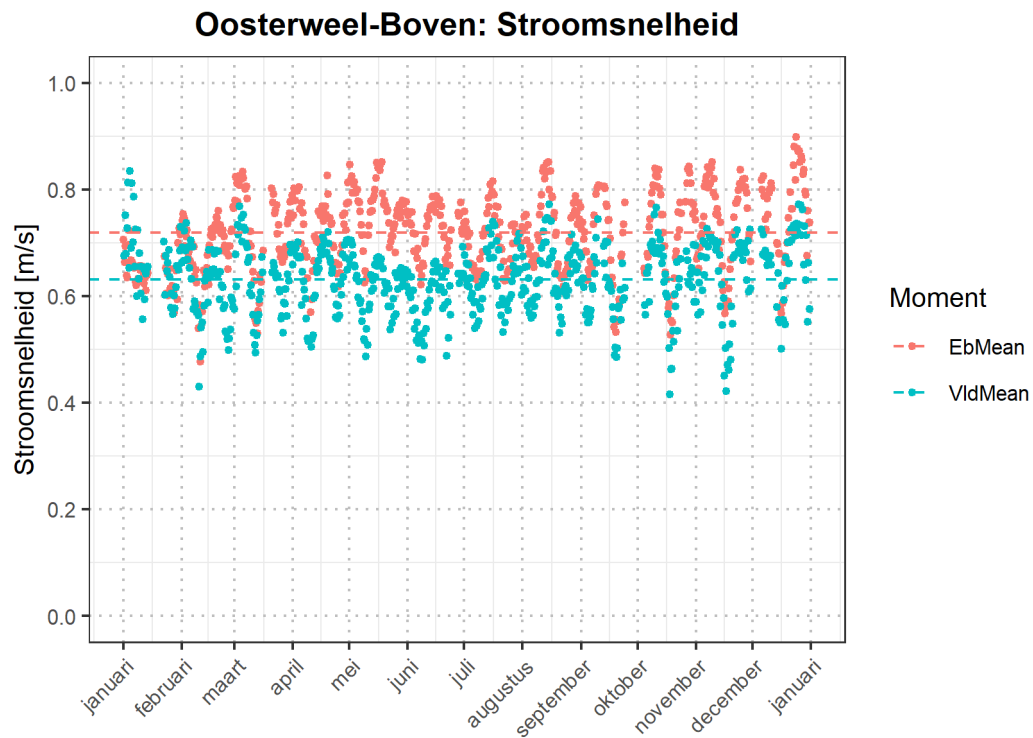
Figuur 31 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



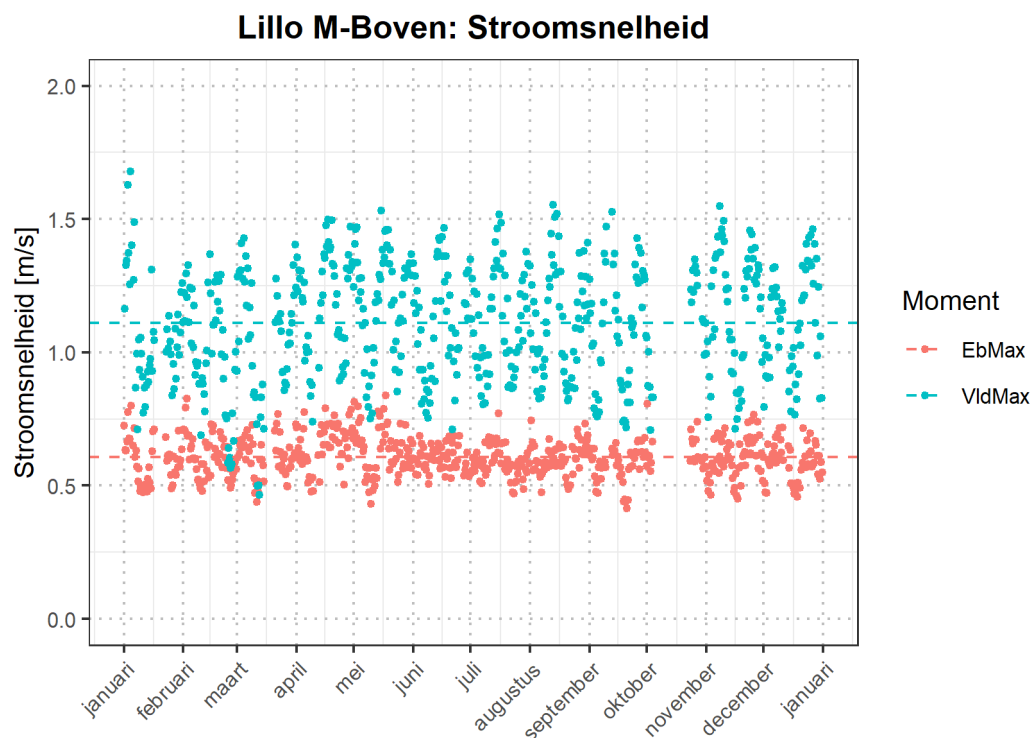
Figuur 32 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



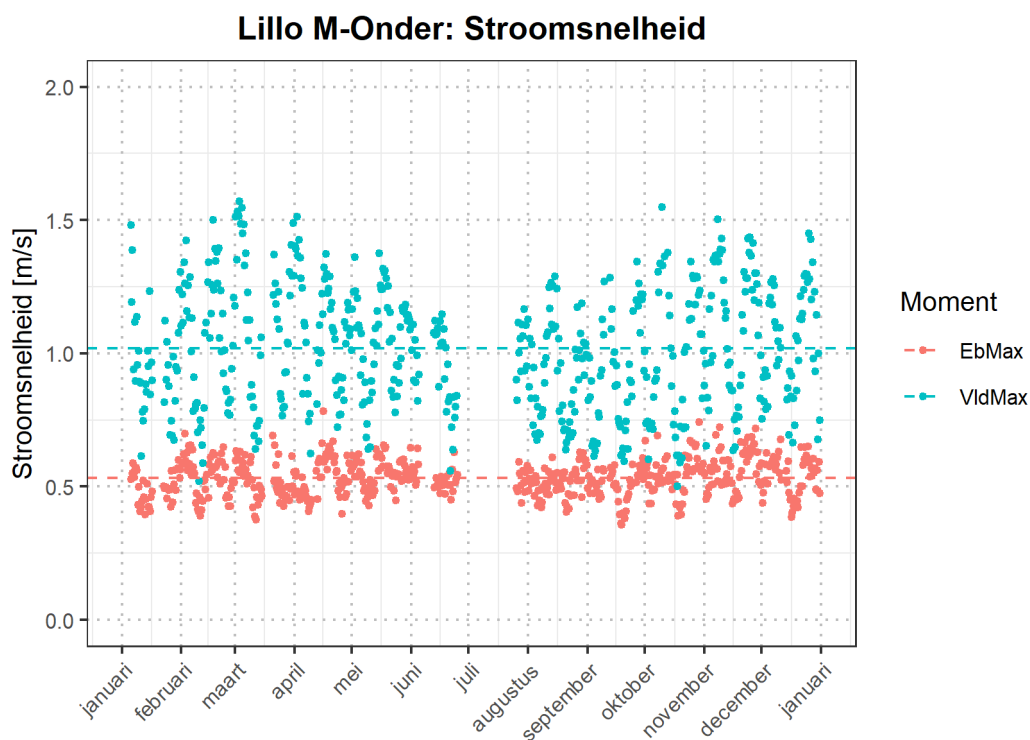
Figuur 33 – Gemiddelde stroomsnelheid bij vloed en eb te Oosterweel, bovenste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



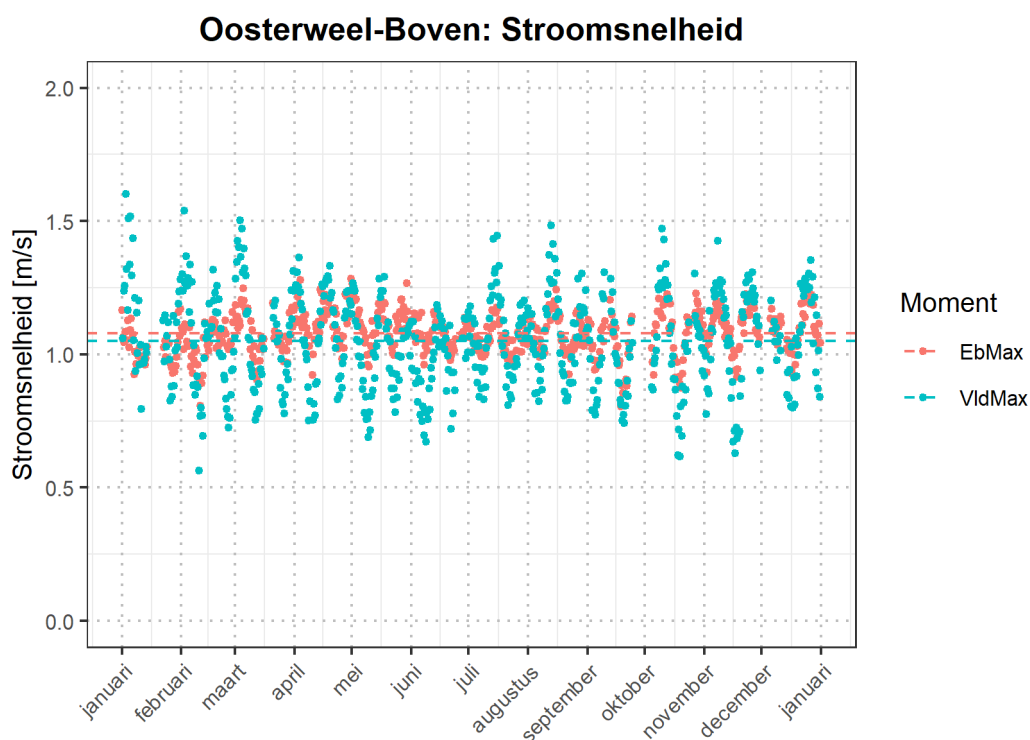
Figuur 34 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 35 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Meetpaal Lillo,
onderste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 36 - Maximale stroomsnelheid bij vloed en eb te Oosterweel,
bovenste meettoestel met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Ensemble analyse

De continue metingen laten toe het karakteristiek verloop van de stroomsnelheid gedurende een getijcyclus te bepalen. In het kader van het MONEOS-jaarboek wordt een ensemble-analyse uitgevoerd op de gemeten stroomsnelheden. Dit houdt volgende stappen in:

1. Per jaar: selectie van getijden op basis van de karakteristieken te Antwerpen-Loodsgebouw (meetpost 'Antwerpen tij')
 - a. Doodtij: getijverschil < P10 van getijverschillen
 - b. Gemiddeld getij: getijverschil > P45 en < P55 van getijverschillen
 - c. Springtij: getijverschil > P90 van getijverschillen

Merk op dat deze indeling afwijkt van de standaard definitie van spring- en doodtij, en 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 (zgn. "ensemble").
3. Van de ensembles wordt voor elke tijdstap van 10 minuten de P10, P50 en P90 waarde bepaald

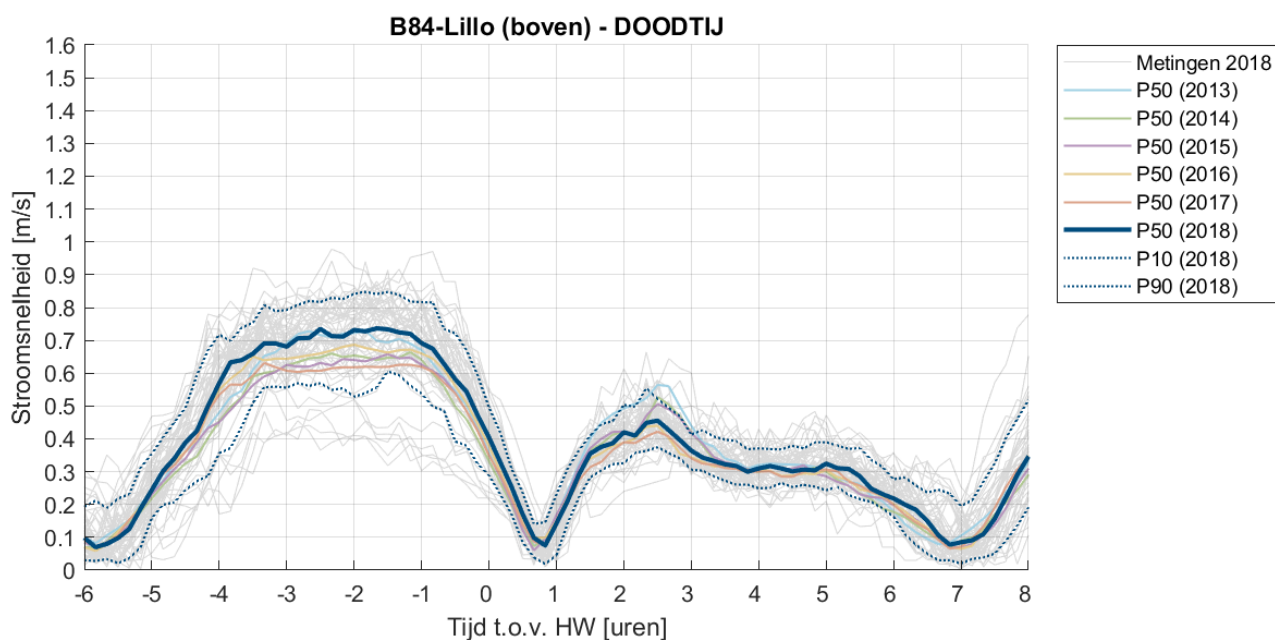
Figuur 37 tot en met Figuur 42 geven voor de meetlocaties nabij Lillo⁶ en Oosterweel, het karakteristieke verloop van de snelheid weer, die werd opgemeten met de bovenste sensor en telkens bij doodtij, gemiddeld tij en springtij. Voor 2018 wordt het gemiddelde (P50) en de 10% en 90% percentielen getoond (P10 en P90). Om de recente ontwikkelingen te kunnen nagaan worden eveneens de P50 waarden getoond voor de voorgaande 5 jaren.

Voor meetpaal Lillo, blijkt uit Figuur 37 t.e.m. Figuur 39, nogmaals dat de snelheden tijdens vloed hoger zijn dan tijdens eb. Figuur 37 geeft de resultaten weer voor doodtij. Voor 2018 en de vijf voorgaande jaren, wordt de P50 van de snelheid bij doodtij weergegeven in kleur. Hieruit blijkt dat de stroomsnelheid bij vloed het hoogst is in 2018, gevolgd door de snelheid in 2013 en 2016. In 2017 was de snelheid bij vloed het laagst. Tijdens de eb fase was de stroomsnelheid het hoogst in 2013 gevolgd door 2015 en 2018. Bij Figuur 38 en Figuur 39 (gemiddeld tij en springtij) valt op dat de snelheden dichterbij elkaar liggen. Daarnaast komt een licht andere volgorde van de snelheden naar voren: in 2013 ligt de snelheid tijdens de vloedfase nog net iets hoger dan in 2018. De locatiewijziging van de meetlocatie Boei 84 → Boei 82a (september 2011) en Boei82a → meetpaal Lillo (30 september 2015) kan veranderingen in het karakteristiek verloop van de snelheid veroorzaakt hebben.

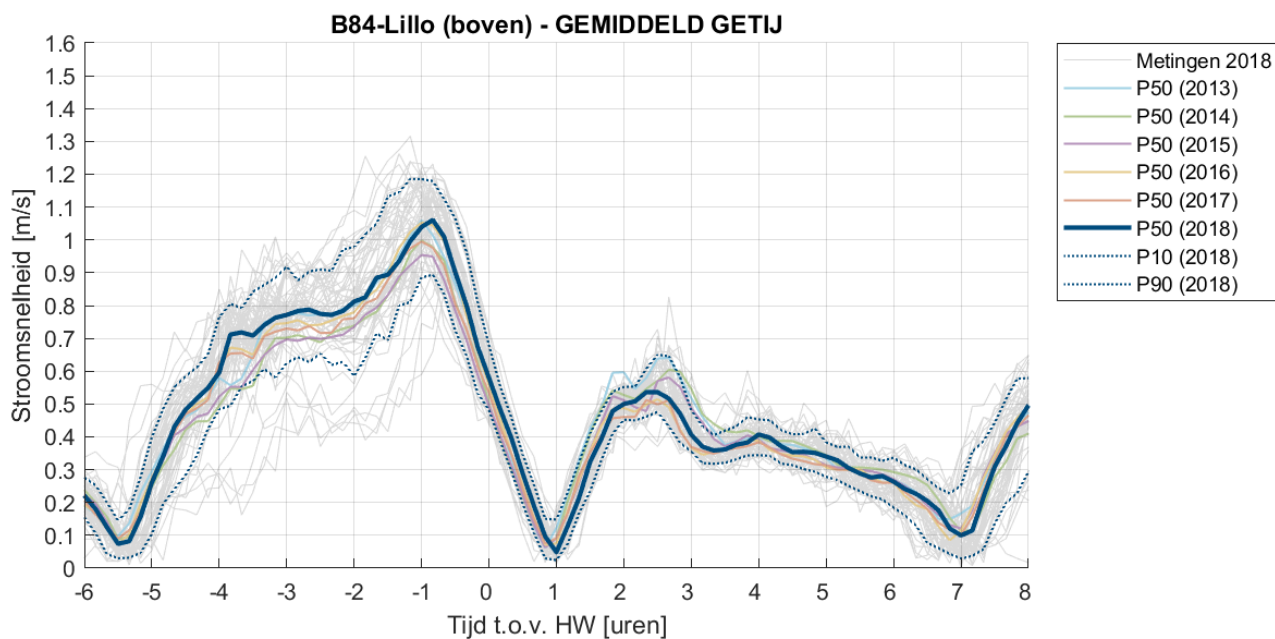
Te Oosterweel is er een kleiner verschil tussen de eb- en vloodsnelheden: tijdens doodtij (Figuur 40) ligt de snelheid tijdens eb wat hoger dan tijdens vloed. Bij gemiddeld tij (Figuur 41) zijn de snelheden gelijkaardig. Bij springtij (Figuur 42) piekt de stroming tijdens vloed wat hoger dan tijdens eb. Zowel bij doodtij, gemiddeld tij, als springtij vertonen de metingen een lichte stijging: de medianen van 2013, 2014, 2015 liggen vaak onder die van de laatste drie jaar. De verschillen zijn echter beperkt en de waardes liggen ruim binnen elkaars P10-P90-band.

⁶ In 2015 zijn de toestellen verzet van Boei-82/84 naar de nabijgelegen meetpaal te Lillo.

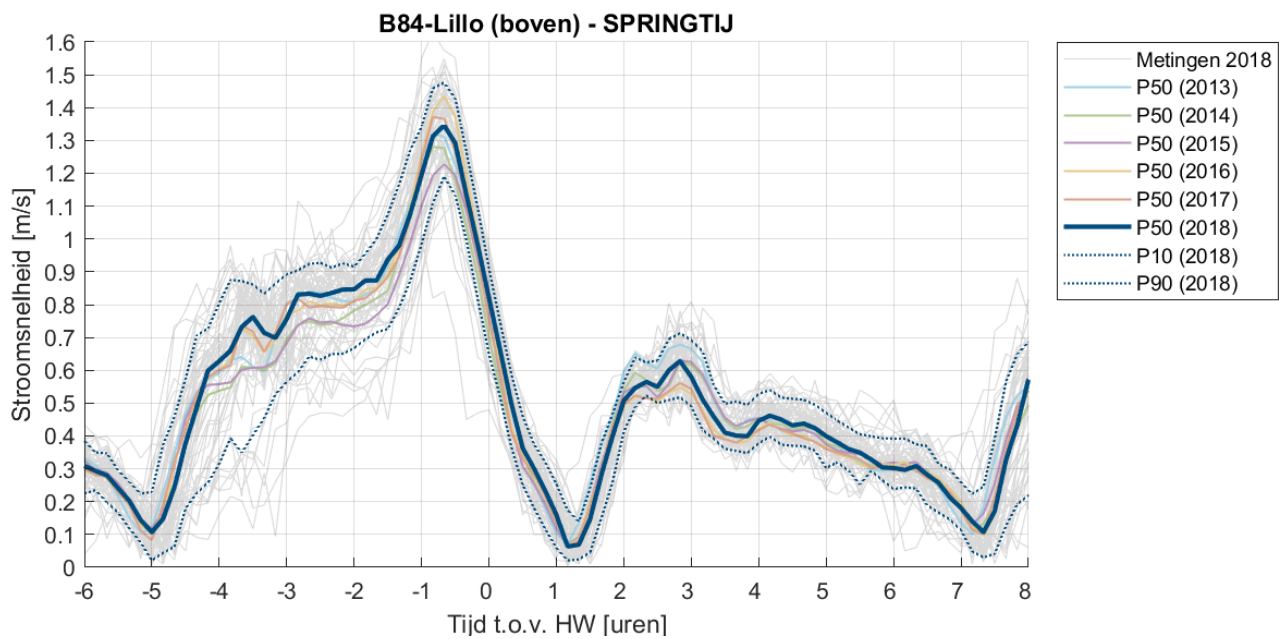
Figuur 37 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doodtij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [uren] | y-as = stroomsnelheid [m/s])



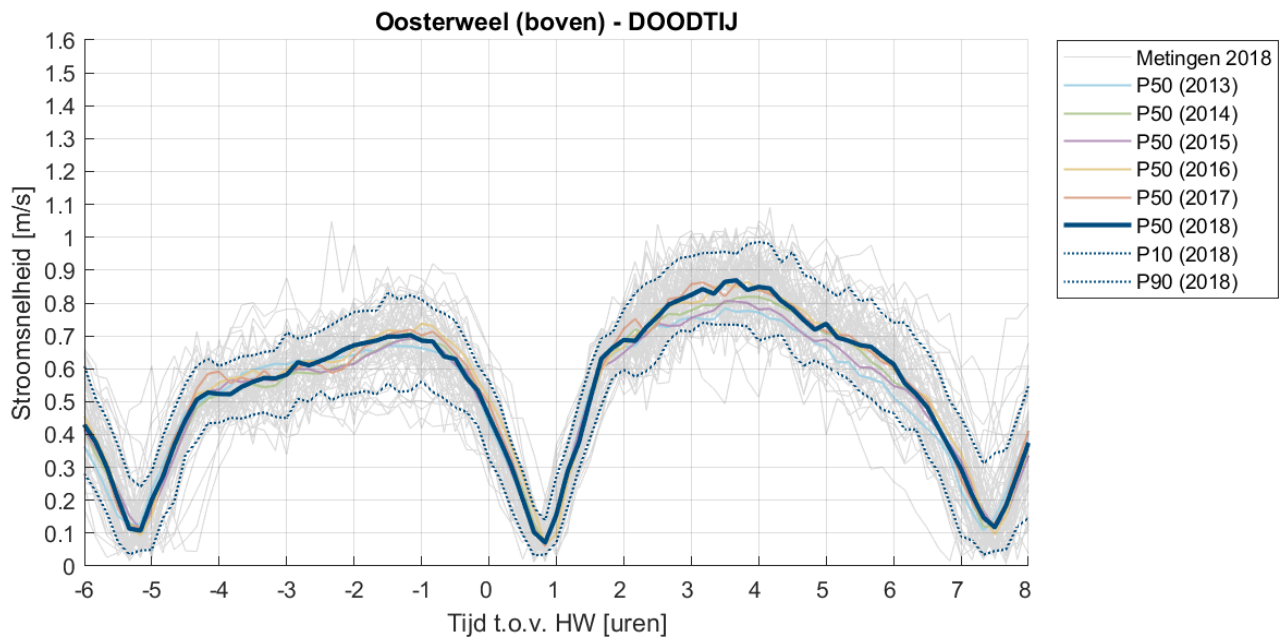
Figuur 38 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij gemiddeld tij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel)
(x-as = tijd t.o.v. hoogwater [uren] | y-as = stroomsnelheid [m/s])



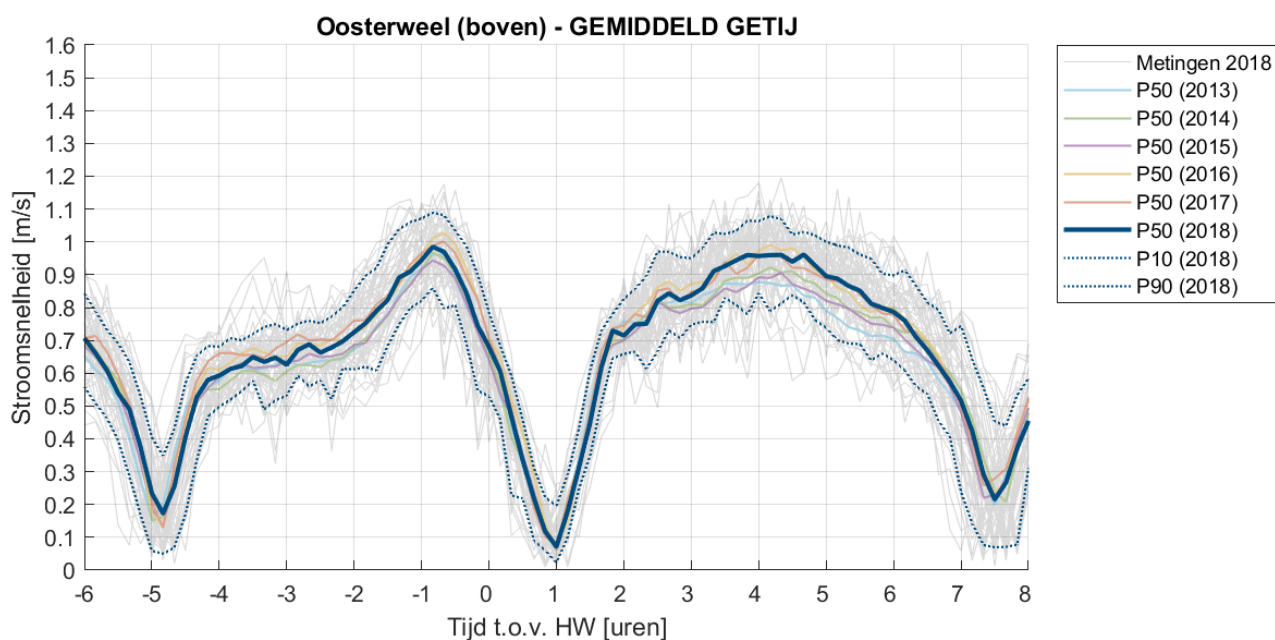
Figuur 39 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij springtij ter hoogte van Lillo (bovenste meettoestel)
 (x-as = tijd t.o.v. hoogwater [uren] | y-as = stroomsnelheid [m/s])



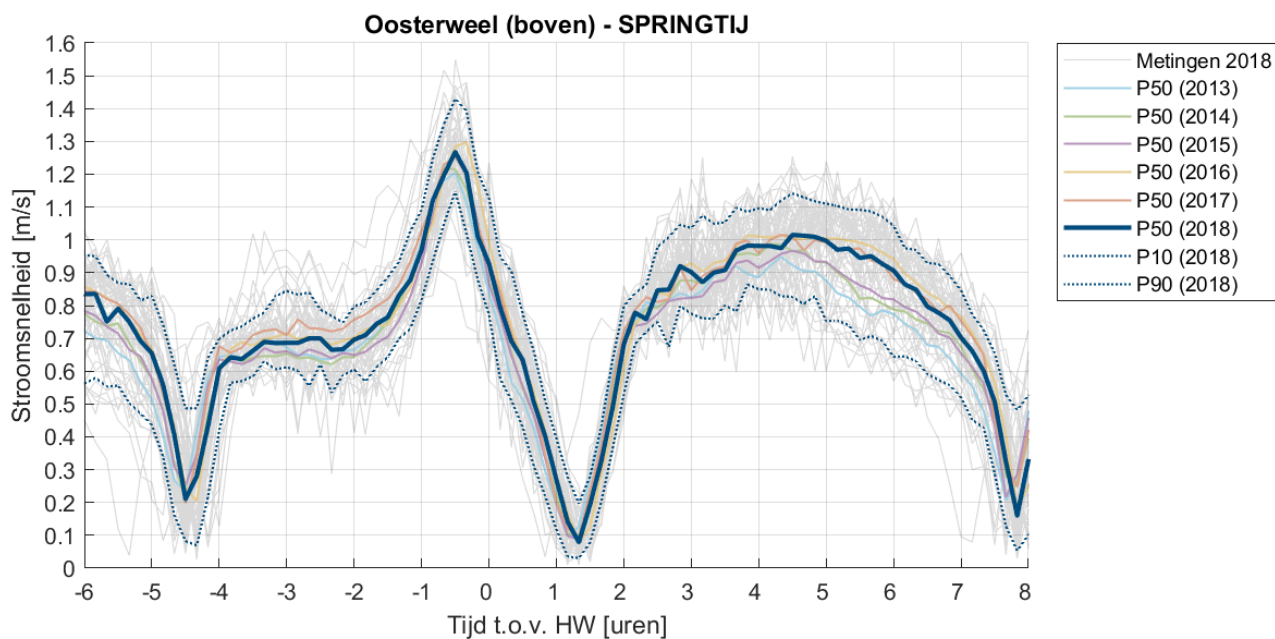
Figuur 40 – Karakteristiek verloop van de stroomsnelheid bij doortij ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel)
 (x-as = tijd t.o.v. hoogwater [uren] | y-as = stroomsnelheid [m/s])



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



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



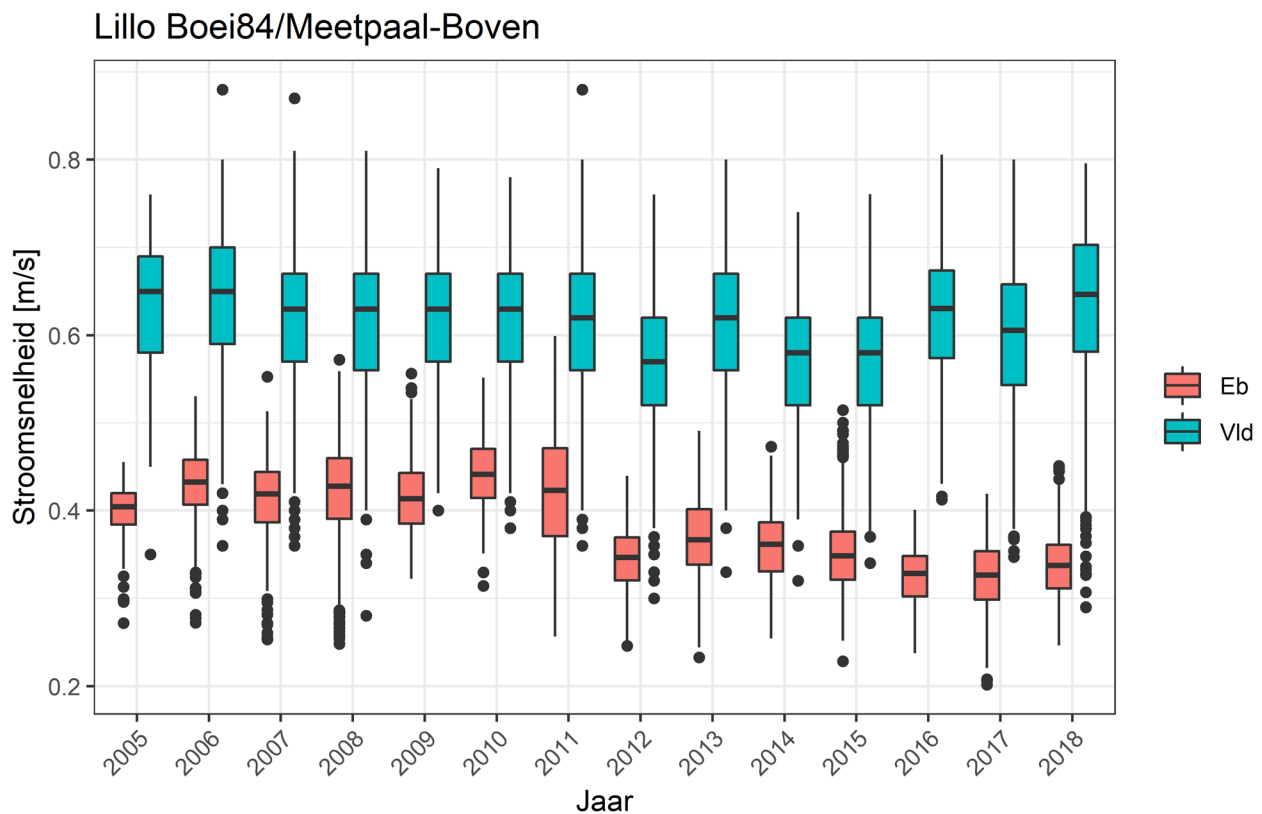
Historische evolutie

In Figuur 43 tot Figuur 45 wordt het historische verloop van de gemiddelde stroomsnelheid bij eb en vloed weergegeven, voor respectievelijk Lillo (bovenste toestel), Lillo (onderste toestel) en Oosterweel (bovenste toestel).

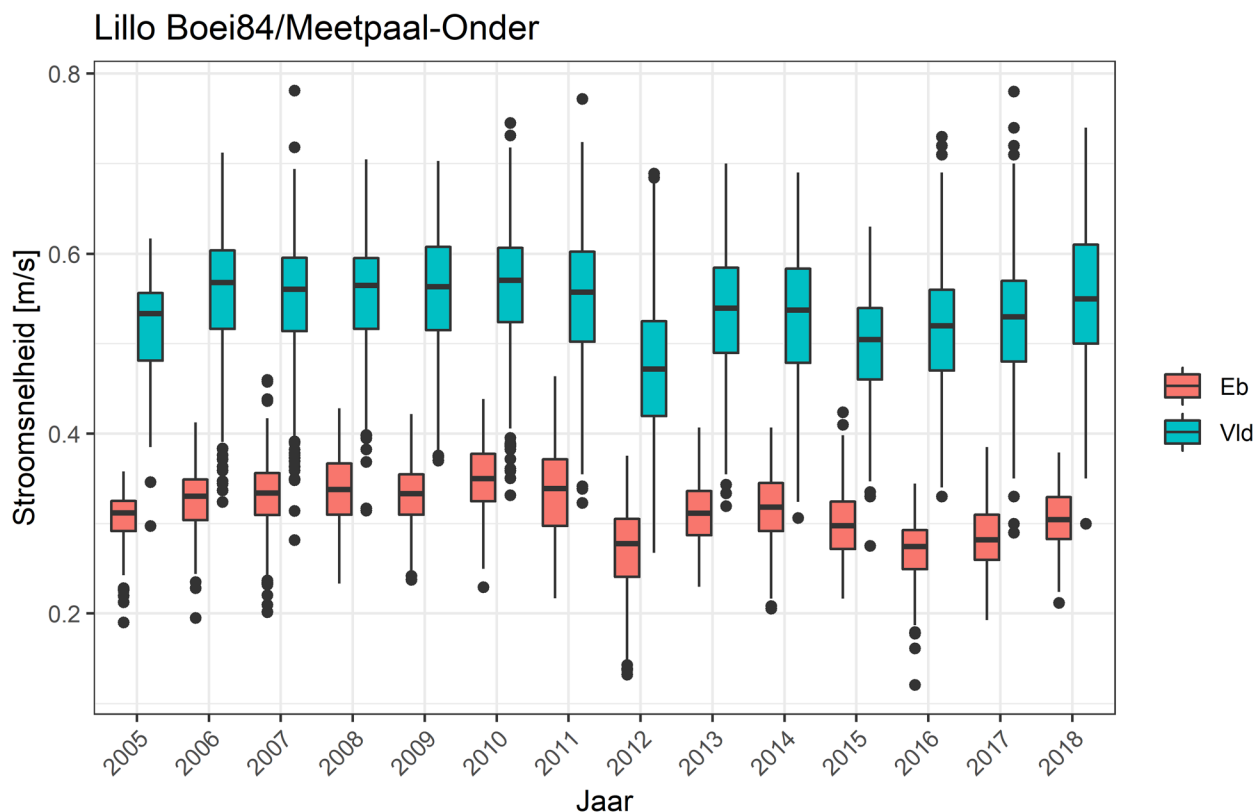
Ter hoogte van Lillo zijn metingen beschikbaar vanaf 2005 (Figuur 43 en Figuur 44). De twee toestellen, werden in 2015 verplaatst van Boei-82/84 naar de nabijgelegen meetpaal Lillo. Deze verplaatsing heeft geen waarneembare trendbreuk veroorzaakt in de gemeten stroomsnelheden. In 2012 lijkt er wel een daling van de stroomsnelheid bij eb te hebben plaatsgevonden voor beide toestellen. De snelheden voor 2018 zijn voor beide toestellen iets hoger dan het vorige jaar.

Voor Oosterweel zijn de metingen beschikbaar sinds 2001 (Figuur 45). In de periode 2003-2006 was er een sterkere verhoging van de gemiddelde stroomsnelheid bij eb. De laatste drie jaar vertoont de stroomsnelheid bij eb opnieuw een lichte verhoging.

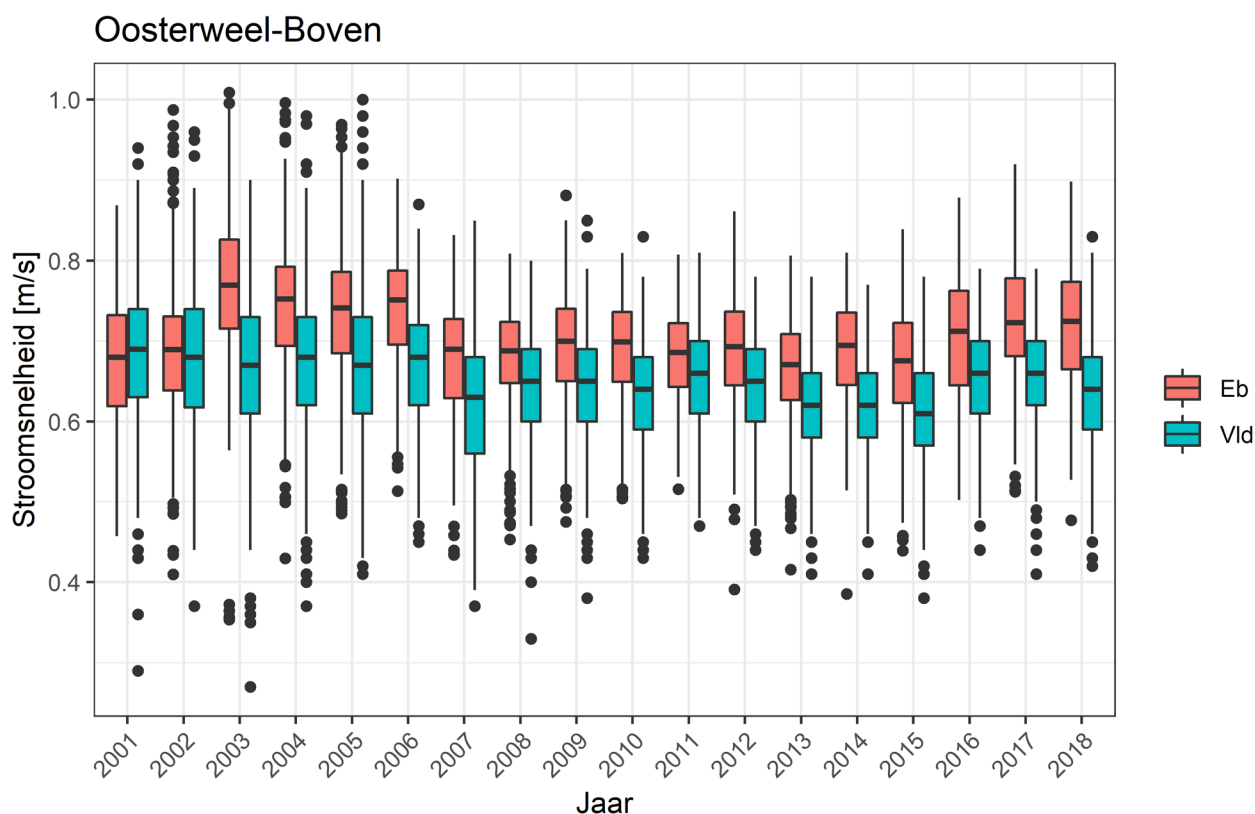
Figuur 43 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Lillo (bovenste toestel)



Figuur 44 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Lillo (onderste toestel)



Figuur 45 – Historische evolutie van de gemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed ter hoogte van Oosterweel (bovenste toestel)



4.1.4 Verloop watertemperatuur

Zowel te Prosperpolder, Lillo Meetpaal, Liefkenshoek, Oosterweel, Kruibeke, Hemiksem, Schellebelle en Melle wordt de watertemperatuur continu gemeten. Bij watertemperatuur is de aanwezigheid van twee of meer metingen over de verticaal (te Lillo Meetpaal) weinig relevant. Door de grote menging in de waterkolom is er op eenzelfde ogenblik immers zeer weinig verschil in temperatuur tussen het bovenste en het onderste toestel.

Figuur 47 tot en met Figuur 56 geven het temperatuursverloop in 2018 bij KHW en KLW weer voor alle locaties. Het algemene temperatuursverloop over een jaar is op alle plaatsen uiteraard duidelijk en zeer vanzelfsprekend: meegaande met de luchttemperatuur en dus seizoenaal. Hierbij valt het dal begin februari op, wat klassiek de koudste periode van het jaar is (temperatuur ijlt na op de zonneposities). Het maximum wordt bereikt eind juni, en zet zich door tot midden september.

De watertemperatuur verloopt ook gedurende een getijcyclus, 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 de temperatuur in de Beneden-Zeeschelde bepaald bij de momenten van kentering (§4.1.2). De posten meer stroomafwaarts zijn sterker onderhevig aan de bufferende werking van het zeewater, terwijl de posten meer stroomopwaarts en aan de bovenlopen eerder onderhevig zijn aan de sterk schommelende temperaturen van de veranderende bovenafvoer.

Wanneer men de posten afzonderlijk bekijkt, kan men het volgende vaststellen:

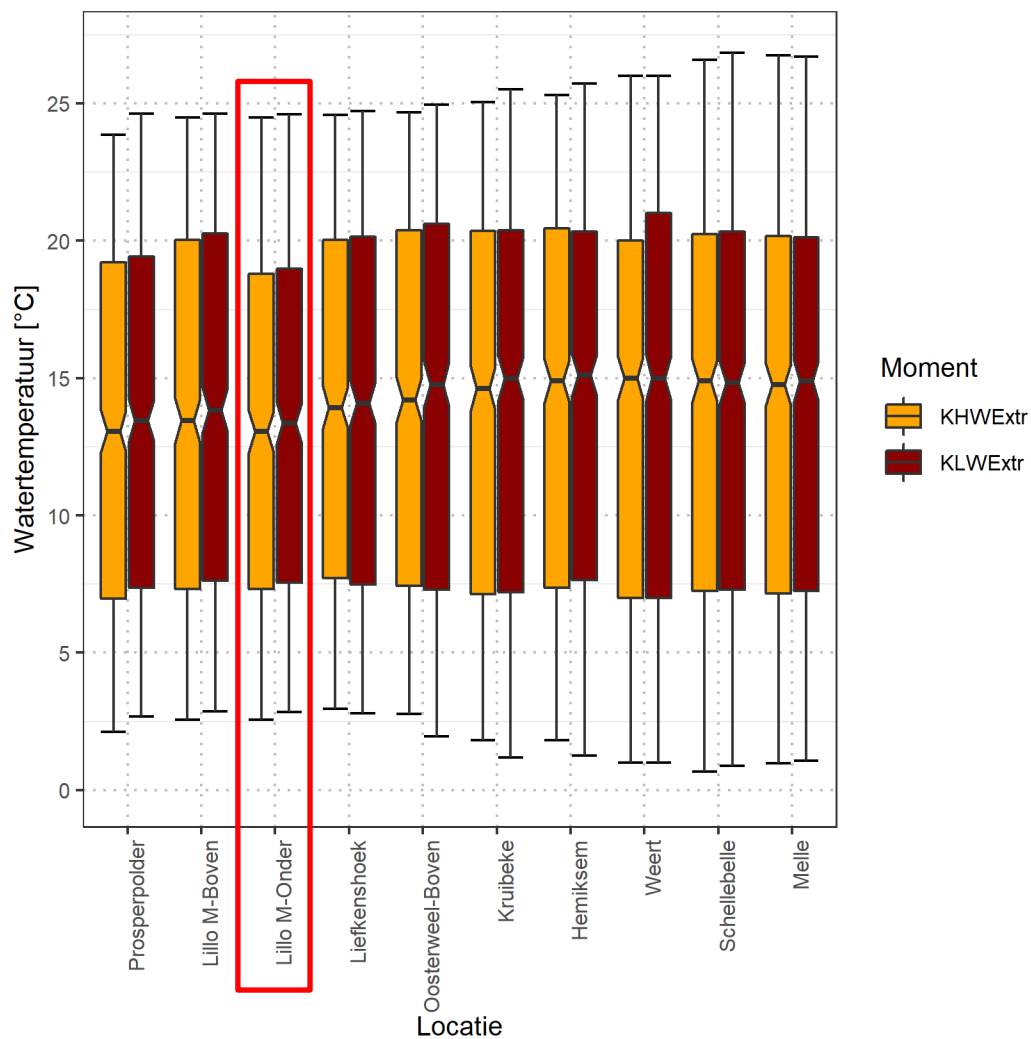
1. Het temperatuursverloop in **Prosperpolder** (Figuur 47) en **Meetpaal Lillo** (Figuur 48 en Figuur 49) toont dat het Scheldewater onafhankelijk van de seizoenen iets kouder is bij KHW dan bij KLW. Het temperatuurverschil is niet constant, maar hangt af van de seizoenen en het tijverschil. Hoe groter 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 0,4 °C, terwijl dergelijk gemiddeld temperatuurverschil in de meer opwaartse posten, zoals Melle, beperkt blijft tot <0,1°C.
2. Ook in **Liefkenshoek** (Figuur 50), **Oosterweel** (Figuur 51), **Kruibeke** (Figuur 52) en **Hemiksem** (Figuur 53) is eenzelfde verloop zichtbaar. Bij deze posten is in het voorjaar de temperatuur bij KHW ongeveer gelijk aan de temperatuur 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.
3. Te **Weert**, **Schellebelle** en **Melle** (Figuur 55 en Figuur 56) is het verschil tussen temperatuur bij KHW en KLW amper merkbaar. In juli en augustus bereikte de watertemperatuur uitzonderlijke hoogten, tot 27,2°C in Melle.

Tabel 12 geeft een overzicht van de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de temperatuur rond KHW en KLW voor de verschillende metingen op de locaties zoals in de boxplot (Figuur 46) visueel is weergegeven. Bij **Lillo Meetpaal Onder** (*cursief en onderlijnd*) zijn minder dan 90% van de meetwaarden (correct) beschikbaar (zie ook Tabel 10). Hierdoor vertonen de statistieken mogelijk een vertekend beeld. Dit leidt hier tot een **onderschatting in de statistieken**, doordat een deel van de zomer ontbreekt.

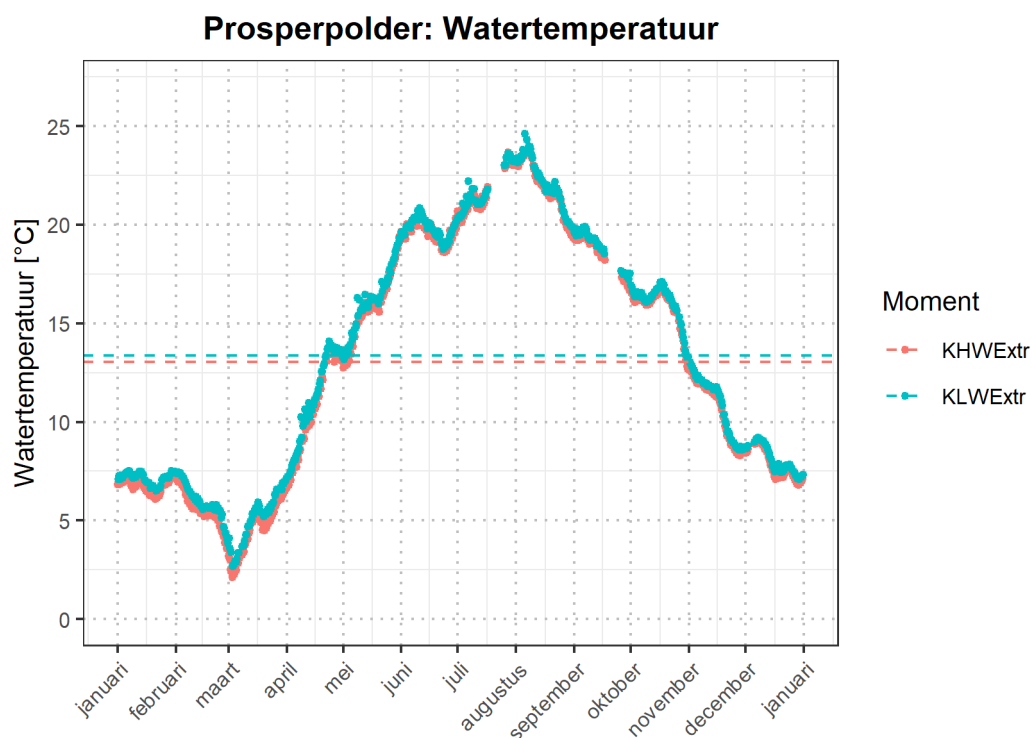
Tabel 12 - Overzicht statistieken voor de extrema van temperatuur bij KHW en K LW gemeten op locaties met getijdewerking (2018)
(indien minder dan 90% van de meetwaarden correct beschikbaar, worden de waarden *cursief en onderlijnd* weergegeven).

	Temperatuur (°C) bij K LW				Temperatuur (°C) bij K HW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Prosperpolder	2.7	13.4	24.6	6.1	2.1	13.0	23.9	6.2
Lillo Meetpaal boven	2.9	14.0	24.6	6.4	2.6	13.7	24.5	6.5
<i><u>Lillo Meetpaal</u></i> <i><u>Onder</u></i>	<i><u>2.8</u></i>	<i><u>13.3</u></i>	<i><u>24.6</u></i>	<i><u>6.1</u></i>	<i><u>2.6</u></i>	<i><u>13.1</u></i>	<i><u>24.5</u></i>	<i><u>6.1</u></i>
Liefkenshoek	2.8	14.0	24.7	6.4	3.0	14.0	24.6	6.3
Oosterweel Boven	2.0	14.1	25.0	6.8	2.8	14.1	24.7	6.5
Kruikeke	1.2	13.9	25.5	6.9	1.8	13.8	25.1	6.7
Hemiksem	1.3	14.1	25.7	6.8	1.8	14.0	25.3	6.8
Weert	1.1	14	25.8	7.1	1.1	13.9	25.6	6.9
Schellebelle	0.9	14.0	26.8	7.1	0.7	14.0	26.6	7.1
Melle	1.1	14.0	27.1	7.1	1.0	13.9	27.2	7.1

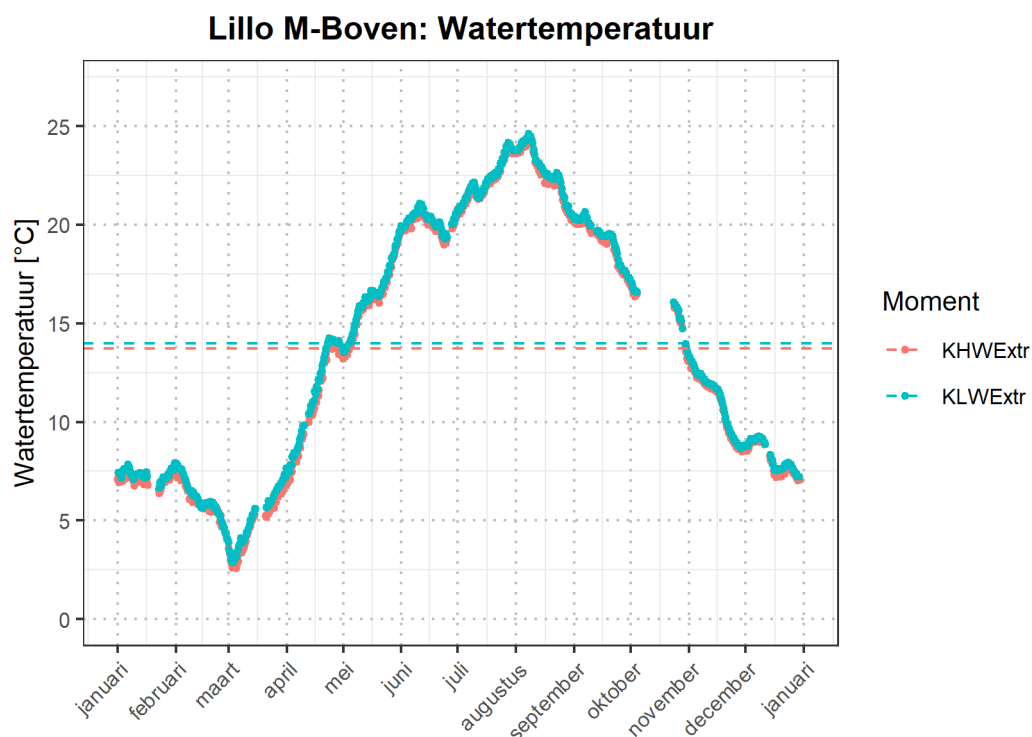
Figuur 46 – Boxplot van de temperatuur bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2018).
 Een aantal posten vertonen een vertekend beeld door ontbrekende waarden (rode kader).



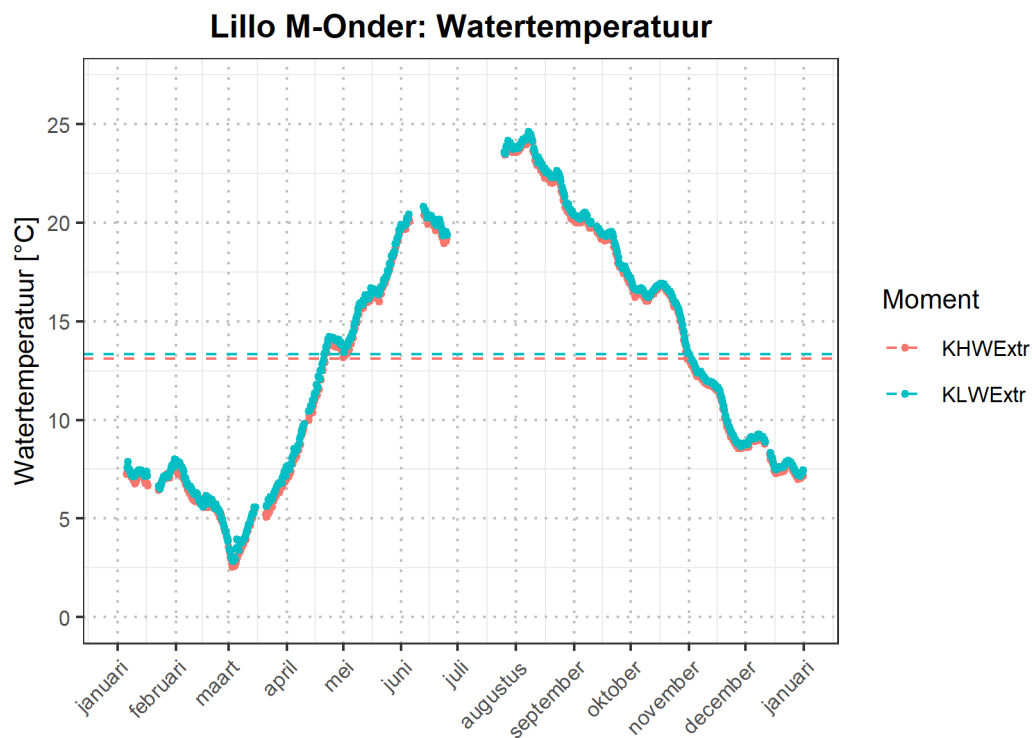
Figuur 47 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



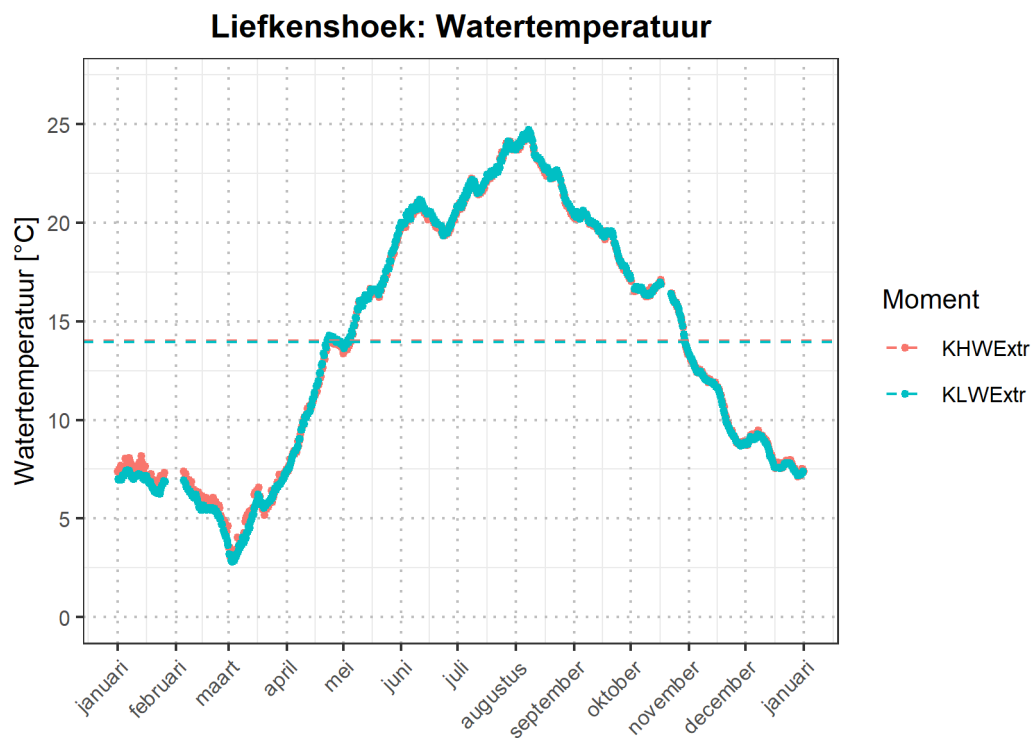
Figuur 48 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



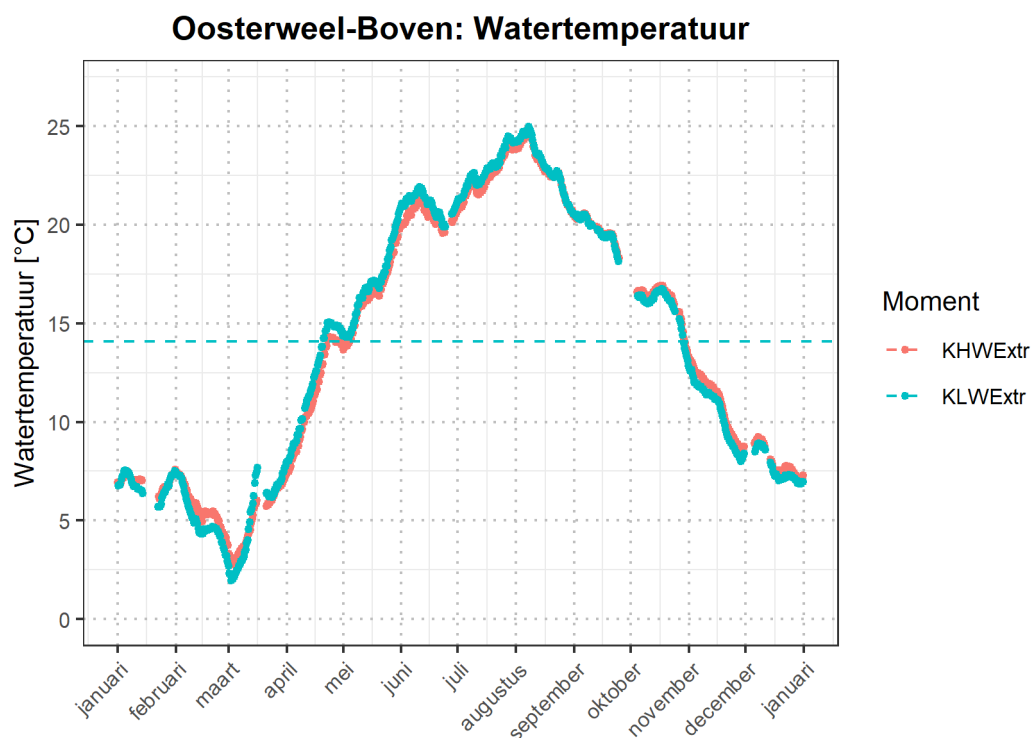
Figuur 49 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



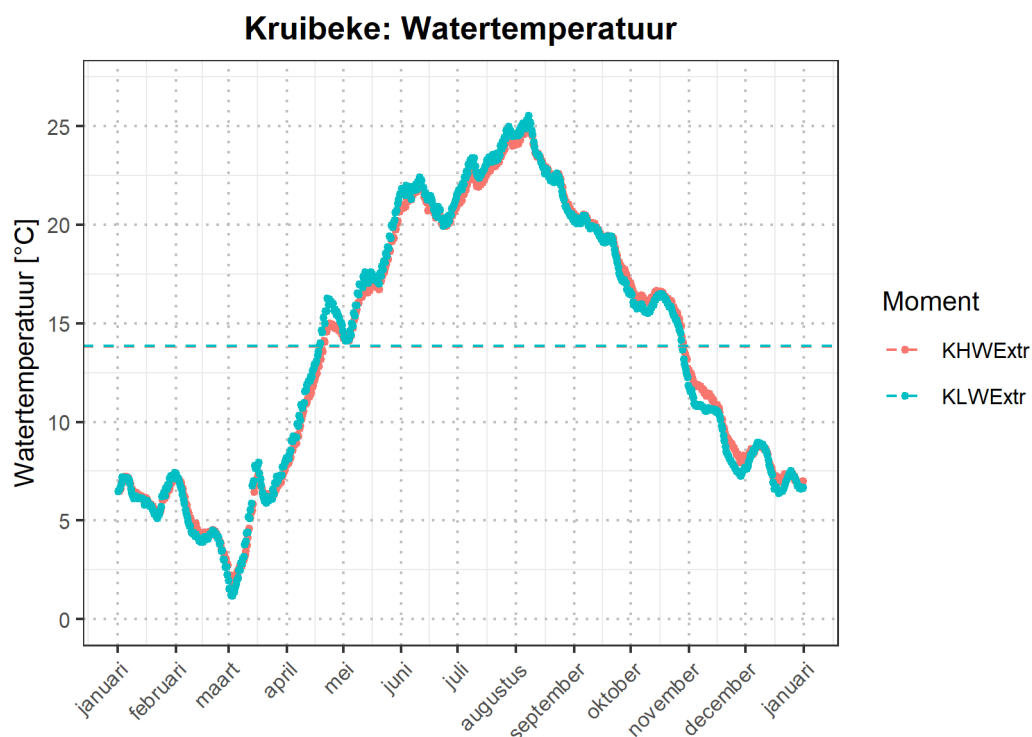
Figuur 50 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



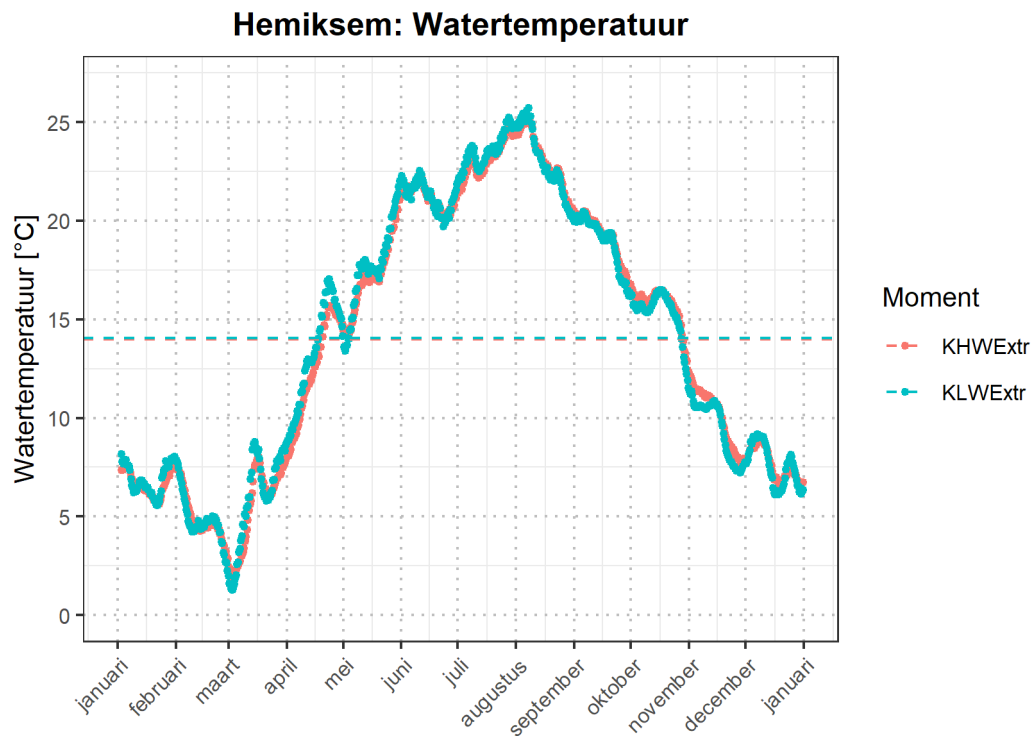
Figuur 51 – Temperatuur (°C) bij KHW en K LW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



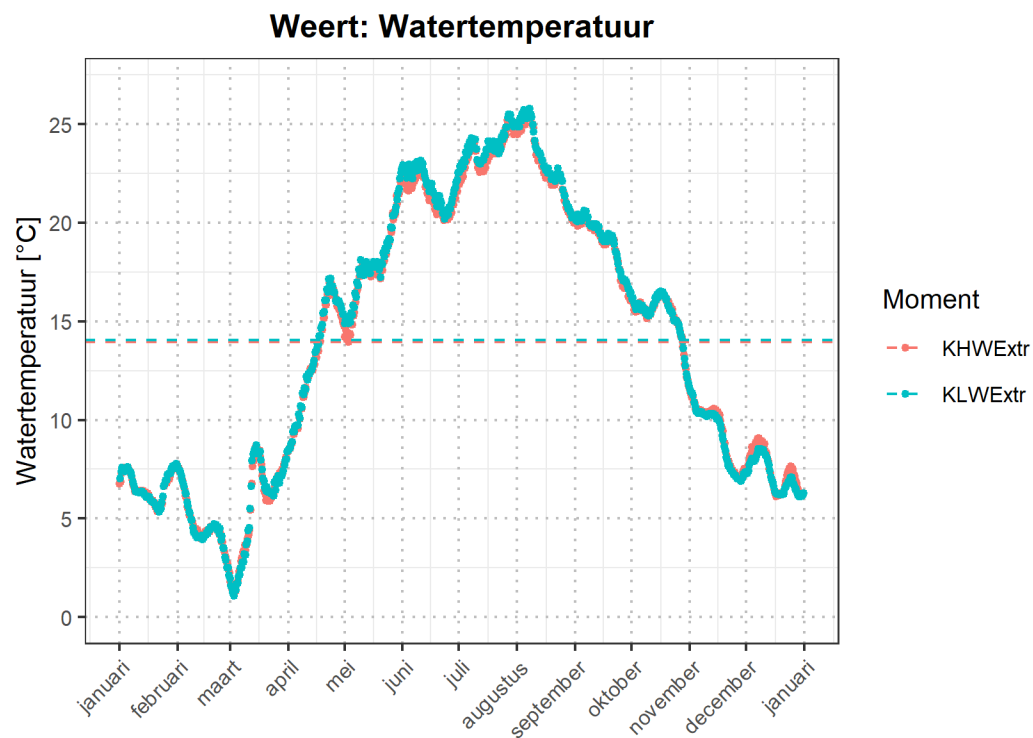
Figuur 52 – Temperatuur (°C) bij KHW en K LW te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



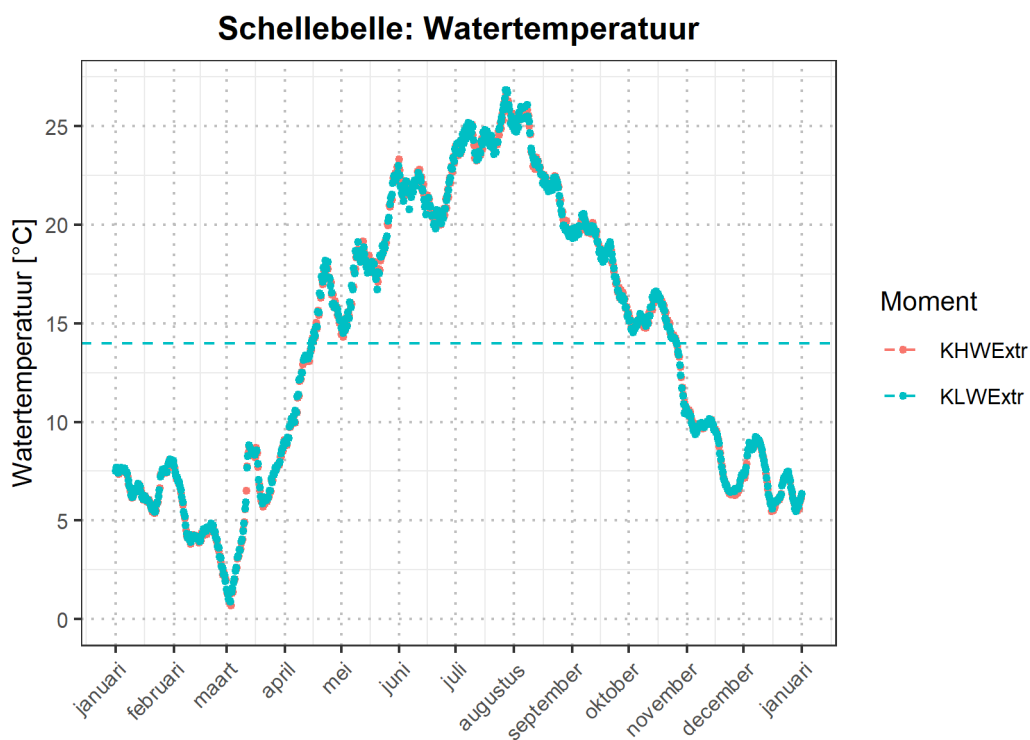
Figuur 53 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Hemiksem (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



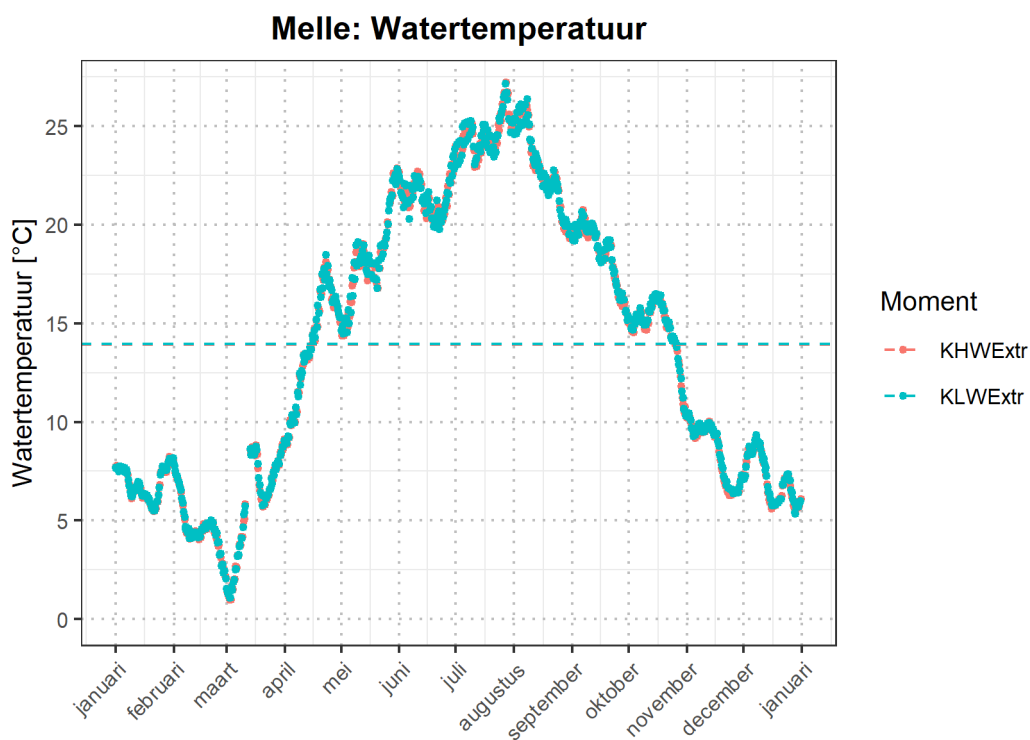
Figuur 54 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Weert (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 55 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Schellebelle (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 56 – Temperatuur (°C) bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



4.1.5 Verloop saliniteit

Zowel de CTD-, Aanderaa- als de YSI-multiparametersondes meten conductiviteit en temperatuur als een maat voor het zoutgehalte van het water. Op basis van conductiviteit en temperatuur kan men via de Unescoformule de saliniteit berekenen (De Boeck *et al.*, 2014). Deze formule is opgesteld voor standaard oceaanwater en is daarom enkel nauwkeurig binnen het bereik 2-42 PSU ⁷. Enige voorzichtigheid is dus aan de orde bij gebruik van deze formule in het Schelde estuarium. Momenteel wordt de afwijking bij lagere PSU waardes onderzocht (Van Meel *et al.*, in prep). Volgende vaststellingen kunnen gemaakt worden wat betreft de metingen:

1. De minima in saliniteit correleren met periodes gekenmerkt door hoge afvoeren. Zo is te merken dat de saliniteit in de wintermaanden veel lager is dan in de zomermaanden. Na een droge lente en zomer, steeg de bovenafvoer pas vanaf december. Dit moment is gecorreleerd met een terugval in saliniteit.
2. Ter hoogte van de posten Prosperpolder (Figuur 58), Lillo Meetpaal (Figuur 59 en Figuur 60) en Liefkenshoek (Figuur 61) loopt de saliniteit tijdens K LW en K HW parallel, terwijl verder stroomopwaarts de saliniteit bij K LW minimaal blijft, maar de saliniteit bij K HW nog steeds de seizoenale trend volgt zoals bij bovenstaande posten.
3. De saliniteitswaarden zijn het hoogst in de meest zeewaartse post **Prosperpolder** (Figuur 58). Ze bedragen hier tussen ± 3 en 18 PSU voor kentering laagwater en tussen ± 6 en 21 PSU voor kentering hoogwater.
4. De ondersten en bovenste sensor bij **Lillo Meetpaal** geven gelijkaardige zoutgehaltes. Dit duidt op een goed gemengd systeem. De saliniteit bedraagt hier tussen ± 2 en 17 PSU bij K LW en tussen ± 5 en 20 PSU voor bij K HW.
5. In **Oosterweel** (Figuur 62) klimt de saliniteit bij K HW tot aan 16 PSU. Bij K LW blijft de saliniteit voornamelijk onder 8 PSU. Tijdens de winter liggen de zoutgehaltes bij K LW buiten het betrouwbare interval van de UNESCO-formule (2 PSU). Bovendien was de sensor niet optimaal gekalibreerd in het lage bereik, waardoor verschillende metingen tijdens K LW gefilterd zijn tijdens de kwaliteitscontrole. De meetwaarden tijdens K HW zijn wel betrouwbaar.
6. Bij Kruibeke, Hemiksem en Weert liggen de metingen tijdens de winter bij zowel K HW als K LW buiten het bereik van de UNESCO formule. In **Kruibeke** (Figuur 63) stijgt de saliniteit tot 13,8 PSU bij K HW, maar blijft ze bij K LW onder 4,5 PSU. **Hemiksem** (Figuur 64) kent eenzelfde verloop als de nabijgelegen post. Hier stijgen de saliniteitswaarden tot ca. 10 PSU, terwijl bij K LW de saliniteit onder 3,2 PSU blijft. **Weert** (Figuur 65) ligt verder stroomopwaarts, wat zich vertaalt in een lagere saliniteit: bij K HW nog tot 4,6 PSU, maar bij K LW onder 1,8 PSU.
7. De twee meest stroomopwaartse posten, **Schellebelle** (Figuur 66), **Melle** (Figuur 67), worden gekenmerkt door brak tot zoet water. Het verschil tussen saliniteit bij K HW en bij K LW is minimaal. De saliniteit ligt hier gedurende het volledige jaar buiten het toepassingsdomein van de Unescoformule. De trend is vermoedelijk gecorreleerd met de aanvoer van zoetwater (Barneveld *et al.*, 2018a).

Tabel 13 geeft een overzicht van de minima, gemiddelde en maximale waarde met standaarddeviatie (STDEV) voor respectievelijk de saliniteit rond K HW en K LW voor de verschillende metingen op de locaties zoals in de boxplot (Figuur 57) visueel is weergegeven. Op een aantal meetlocaties (*cursief en onderlijnd*) zijn minder dan 90% van de meetwaarden (correct) beschikbaar (zie ook Tabel 10). De impact op de statistieken van Meetpaal Lillo Onder & Boven zijn beperkt. Bij **Oosterweel** leidt dit echter tot een **overschatting** van de **statistieken bij K LW**.

⁷ Practical Salinity Unit. Zeewater is euhalien en reikt van 30-35 PSU. Brak water heeft een saliniteit van 0,5 tot 29 PSU wat volgens het *Venice System* verder kan onderverdeeld worden in: polyhalien (30-18 PSU), mesohalien (18-5 PSU) en oligohalien (5-0,5 PSU).

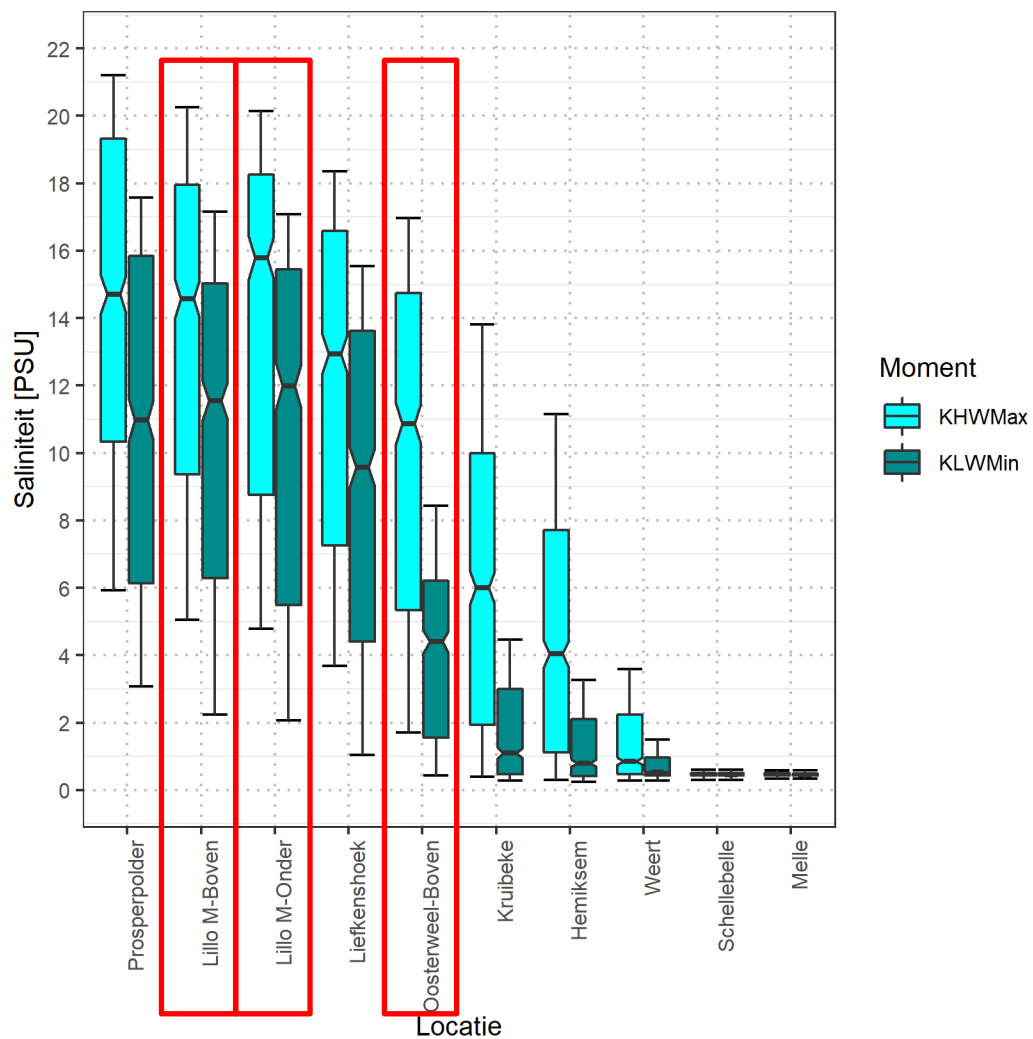
Tabel 13 – Overzicht statistieken saliniteit [PSU] voor minimum en maximum bij resp.

KLW en KHW gemeten op locaties met getijdewerking (2018)

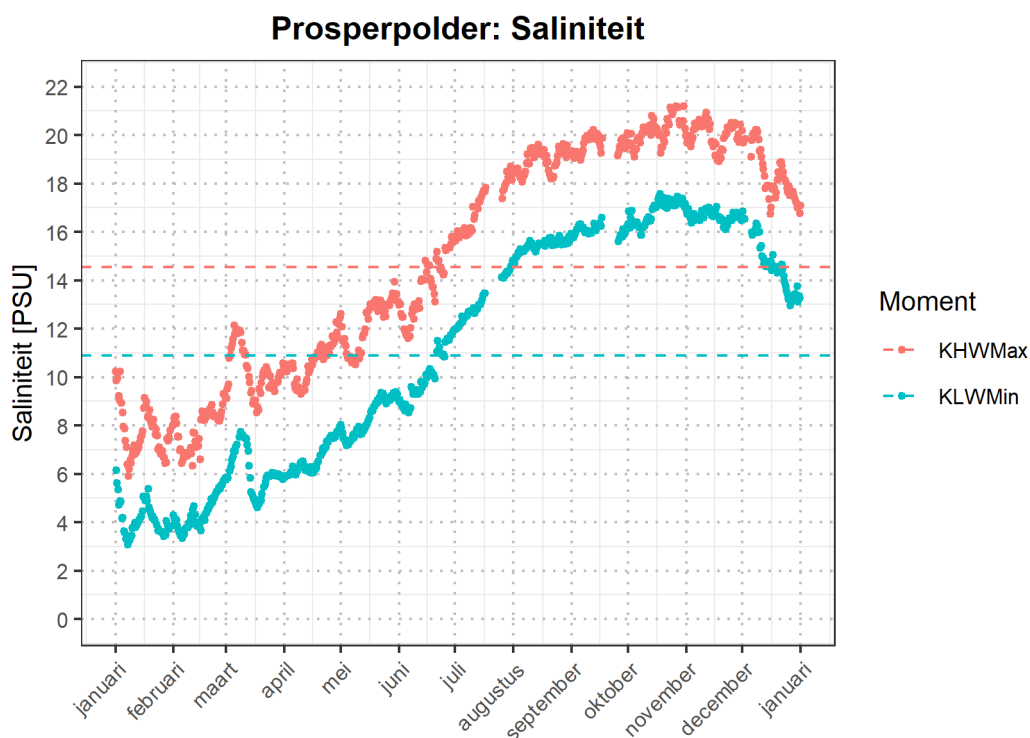
(Indien minder dan 90% van de meetwaarden correct beschikbaar worden de waarden *cursief en onderlijnd* weergegeven).

	Saliniteit (PSU) bij KLW				Saliniteit (PSU) bij KHW			
	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV	Minimum	Gemiddelde	Maximum	STDEV
Prosperpolder	3.08	10.89	17.57	4.82	5.92	14.56	21.20	4.74
<i>Lillo Meetpaal boven</i>	<i><u>2.23</u></i>	<i><u>10.50</u></i>	<i><u>17.15</u></i>	<i><u>4.63</u></i>	<i><u>5.06</u></i>	<i><u>13.58</u></i>	<i><u>20.26</u></i>	<i><u>4.62</u></i>
<i>Lillo Meetpaal Onder</i>	<i><u>2.06</u></i>	<i><u>10.49</u></i>	<i><u>17.08</u></i>	<i><u>5.03</u></i>	<i><u>4.79</u></i>	<i><u>13.48</u></i>	<i><u>20.15</u></i>	<i><u>5.03</u></i>
Liefkenshoek	1.05	9.00	15.54	4.61	3.69	11.85	18.36	4.65
<i>Oosterweel boven</i>	<i><u>0.44</u></i>	<i><u>4.01</u></i>	<i><u>8.43</u></i>	<i><u>2.39</u></i>	<i><u>1.71</u></i>	<i><u>9.91</u></i>	<i><u>16.96</u></i>	<i><u>4.78</u></i>
Kruibeke	0.29	1.69	4.46	1.26	0.40	6.05	13.82	4.05
Hemiksem	0.24	1.23	3.26	0.89	0.31	4.46	11.16	3.22
Weert	0.28	0.69	1.49	0.30	0.29	1.32	3.58	0.92
Schellebelle	0.29	0.46	0.60	0.06	0.29	0.47	0.60	0.06
Melle	0.25	0.46	0.58	0.06	0.25	0.47	0.58	0.06

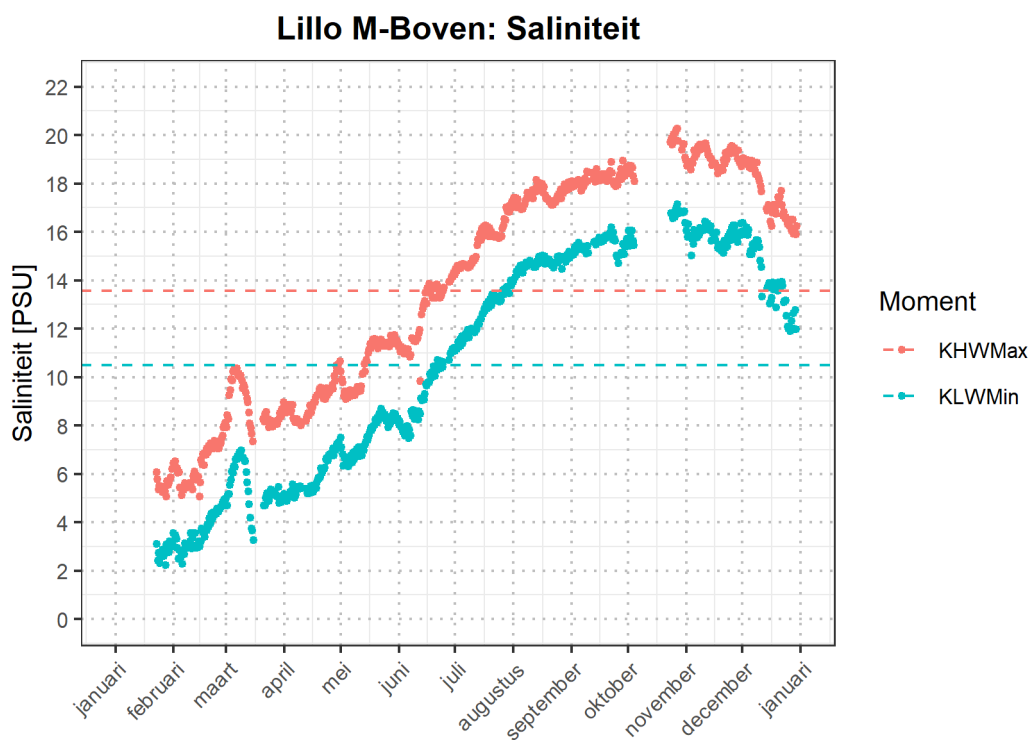
Figuur 57 – Boxplot van de Saliniteit bij kentering laag- en hoogwater, op de verschillende meetlocaties met getijdewerking (2018).
 Een aantal posten vertonen een vertekend beeld door ontbrekende waarden (Rode kader).



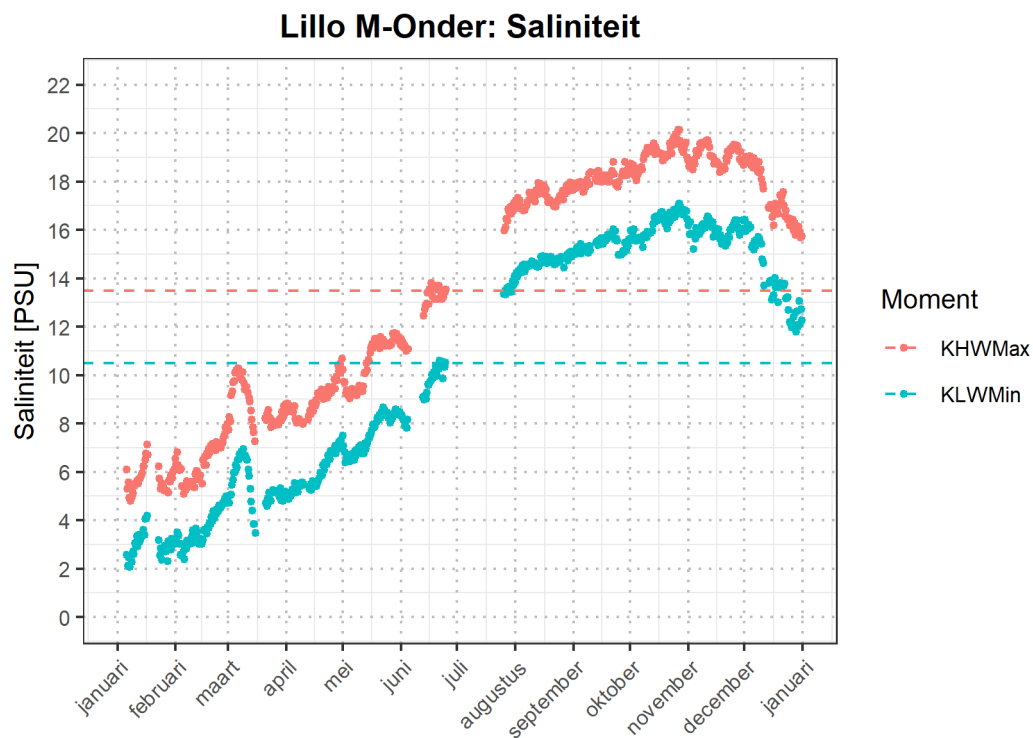
Figuur 58 – Saliniteit bij KHW en KLW te Prosperpolder (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



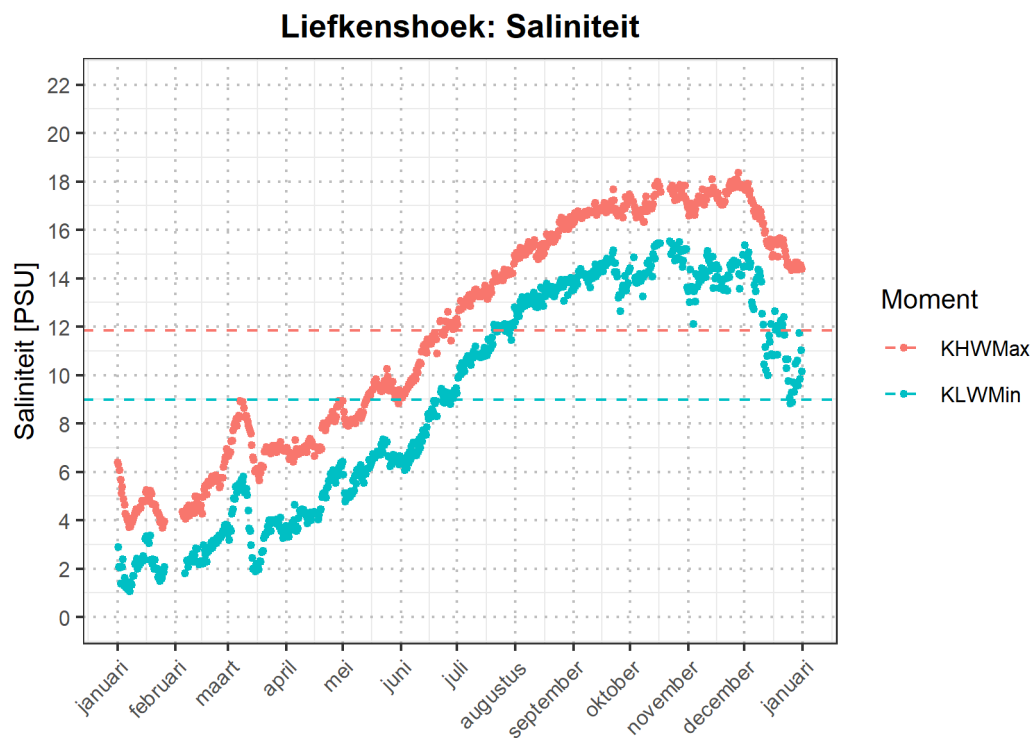
Figuur 59 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



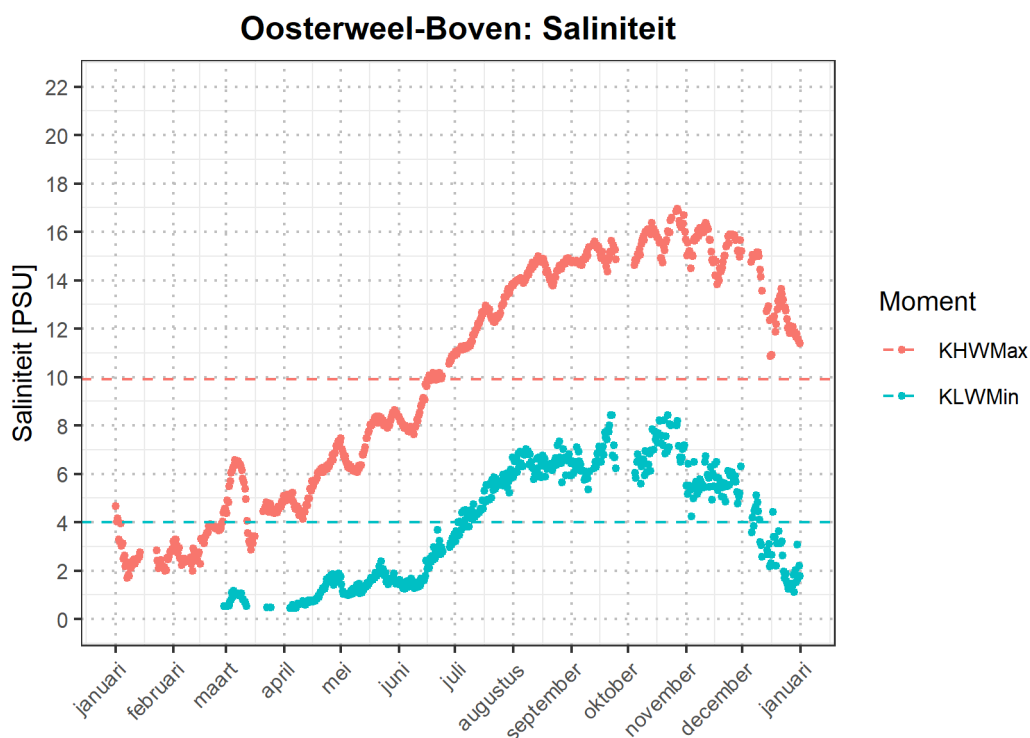
Figuur 60 – Saliniteit bij KHW en KLW te Meetpaal Lillo, onderste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



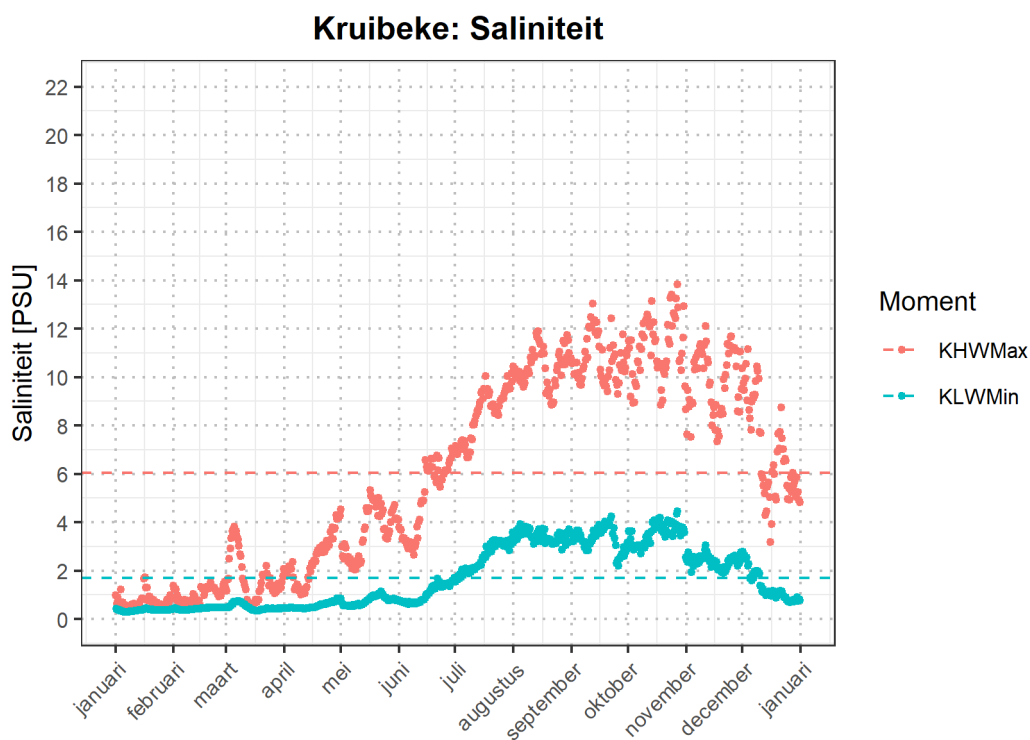
Figuur 61 – Saliniteit bij KHW en KLW te Liefkenshoek (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



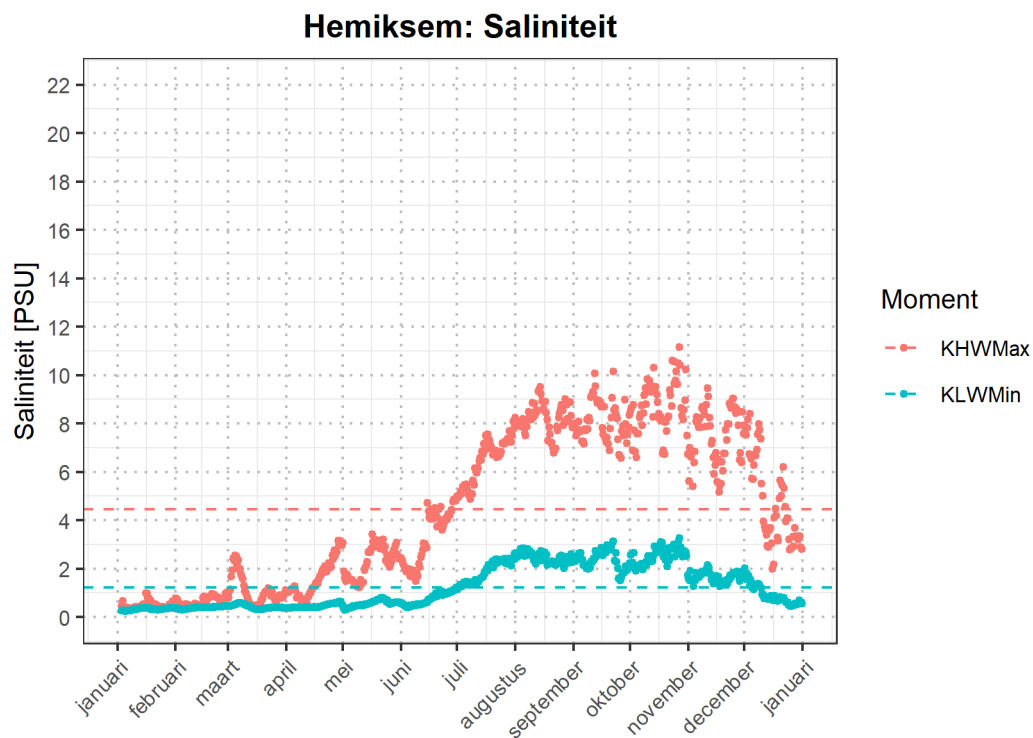
Figuur 62 – Saliniteit bij KHW en KLW te Oosterweel, bovenste meettoestel (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



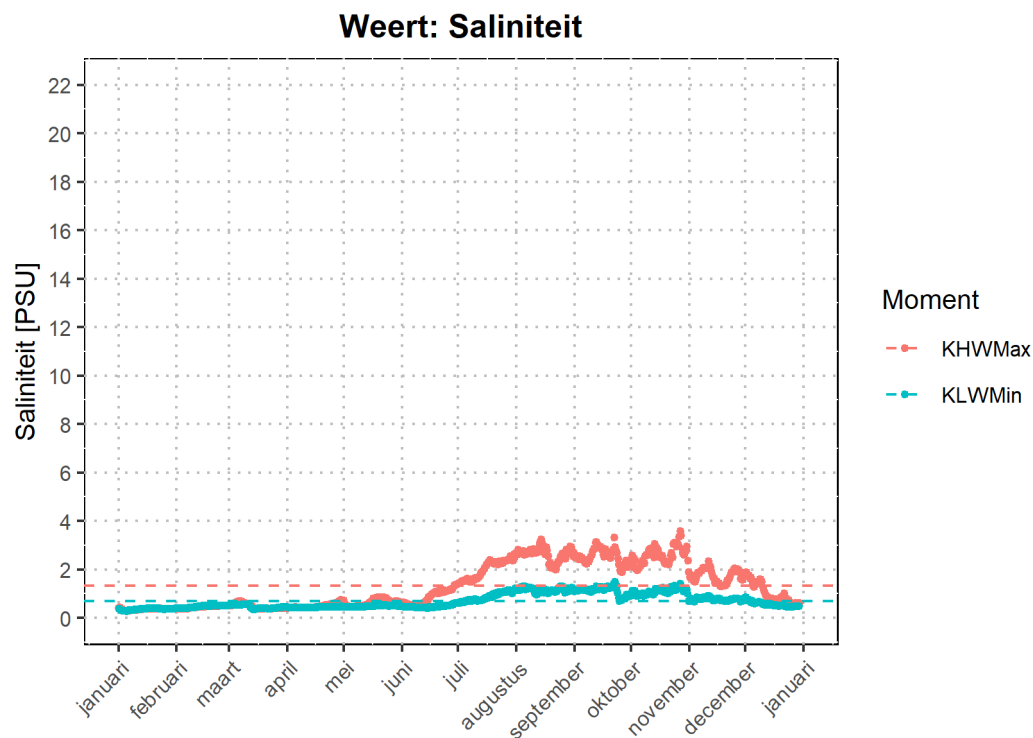
Figuur 63 – Saliniteit bij KHW en KLW te Kruibeke (Beneden-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



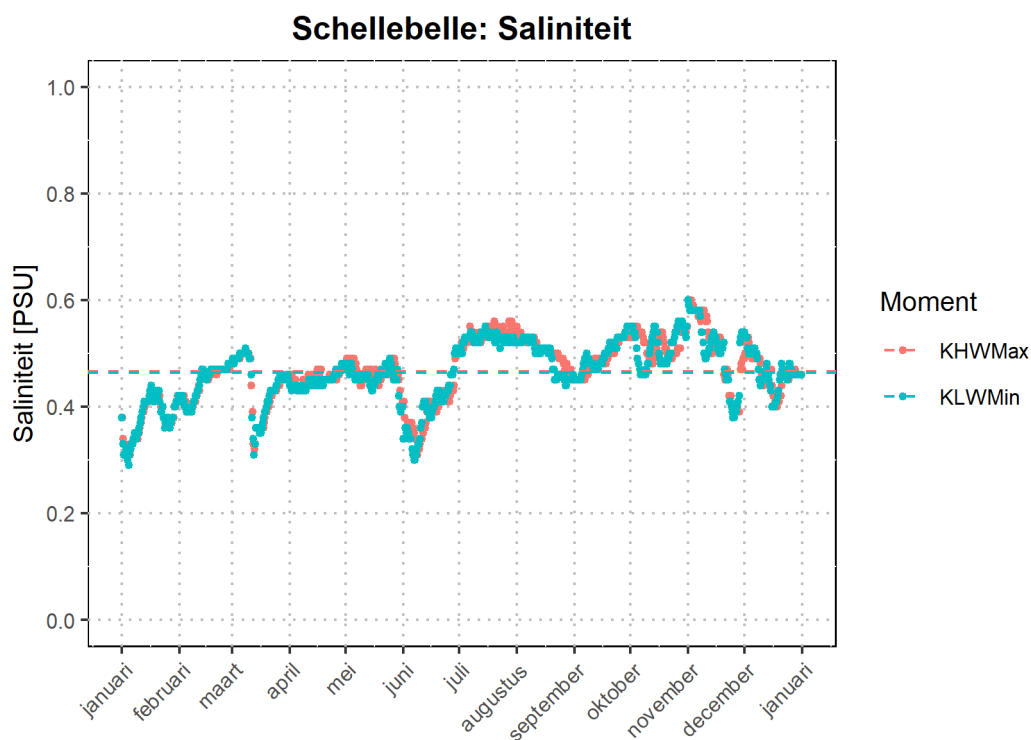
Figuur 64 – Saliniteit bij KHW en KLW te Hemiksem (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



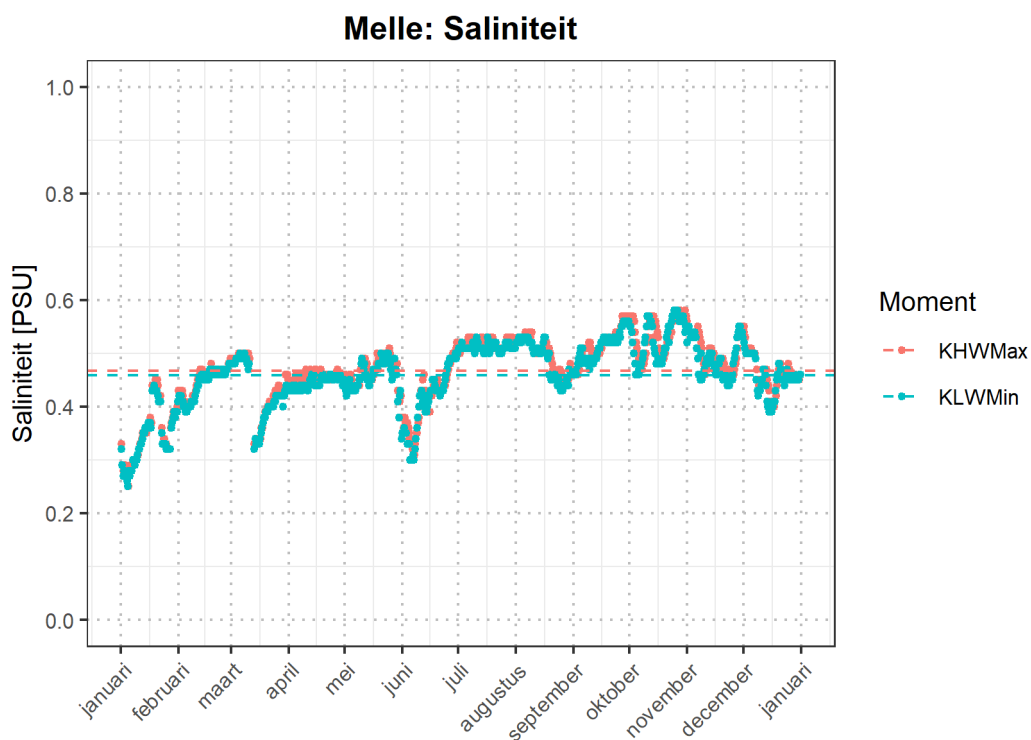
Figuur 65 – Saliniteit bij KHW en KLW te Weert (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 66 – Saliniteit bij KHW en KLW te Schellebelle (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 67 – Saliniteit bij KHW en KLW te Melle (Boven-Zeeschelde)
met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



4.1.6 Verloop suspensiegehalte

Inleiding

De concentratie aan sediment in suspensie (**Suspended Sediment Concentration, SSC**) wordt bepaald aan de hand van bemonstering en labo-analyses en is daarom niet continu beschikbaar. Vaak hanteert men turbiditeit als een proxy van SSC 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 van de concentratie (meervoudige verstrooiing), dichtheid (organisch materiaal vs. minerale fractie) en de kleur van het sediment. Men kan turbiditeit wel continu meten zodat men op deze manier een continue tijdreeks van SSC kan bekomen. Aangezien turbiditeit niet bijdraagt tot extra systeemkennis, wordt in het voorliggend rapport enkel het suspensiegehalte gerapporteerd en niet de turbiditeit. Meer uitleg omtrent de kalibratie van de turbiditeit met het suspensiegehalte, kan teruggevonden worden in Bijlage D: Kalibratie Turbiditeit – SSC.

In dit rapport wordt zowel de hoog- (m.b.v. turbiditeitsmetingen) als laagfrequente staalnames (schepstalen) 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 aan de meetpaal te Lillo, terwijl te Oosterweel, Kruibeke, Schellebelle en Melle op één hoogte gemeten wordt. Op de eerste twee locaties wordt er gemeten met Aanderaa (Seaguard) toestellen. Sinds januari 2017 meten deze aan een frequentie van 5 minuten. De toestellen te Kruibeke, Weert, Schellebelle, Melle en Klein-Willebroek meten aan een frequentie van 5 minuten en zijn YSI-toestellen van het type YSI 6920. Deze toesteltypen meten aan een verschillende turbiditeitseenheid (NTU voor YSI en FTU voor Aanderaa Seaguard). Daarom wordt er per toesteltype een relatie opgesteld tussen turbiditeit en gerelateerde sedimentconcentratie in suspensie (SSC), zelfs al zouden deze op dezelfde locatie meten. Tot slot is er ook een verschil qua meetmethode: de YSI registreert één instantane waarde en een Aanderaa registreert een gemiddelde (§4.1.1).

Tot en met 17/01/2018 hing er bovenaan in Lillo een Seaguard500 toestel. Dit toestel heeft een meetbereik tot 500 FTU, waardoor hogere waarden afgetopt worden. Zo'n hoge meetwaarden kwamen echter niet voor gedurende deze periode. Vanaf 22/01/2018 hangen er in Lillo en Oosterweel enkel nog Seaguard2500 toestellen met een meetbereik tot 2500 FTU, wat voldoende hoog is voor deze meetlocaties.

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

- In de Beneden-Zeeschelde wordt SSC hoofdzakelijk bepaald door de getijdewerking en de slibstortingen (Vandenbruwaene *et al.*, 2016).
- In de Boven-Zeeschelde bevindt zich een turbiditeitsmaximum dat volgens de langsas naar op- of afwaarts verschuift afhankelijk 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 69 tot Figuur 88 wordt het verloop van (1) het minimale suspensiegehalte binnen een getijdencyclus optredend rond de kentering, (2) het gemiddelde suspensiegehalte bij eb en vloed en (3) het maximale suspensiegehalte bij eb en vloed weergegeven. De respectievelijke boxplots zijn terug te vinden in Figuur 68. Tabel 14 presenteert de samenvatting. Op een aantal (*cursief en onderlijnd*) zijn minder dan 90% van de meetwaarden (correct) beschikbaar (zie ook Tabel 10). De statistieken zijn dus berekend op een onvolledig jaar. De impact op de berekende statistieken van 2018 is onbekend. Hoe men beslist of een gemiddelde/extreem tijdens K LW, K HW, eb of vloed correct is, staat uitgelegd in §4.1.2. Merk op dat er minder kans is dat een maximum tijdens eb of vloed ontbreekt dan een gemiddelde. Er is nog minder kans dat een minimum tijdens moment van kentering ontbreekt.

Een onderlinge vergelijking tussen de locaties is niet éénduidig. De sensoren hangen immers niet allemaal op dezelfde waterdiepte. Zo wordt de turbiditeit ter hoogte van Schellebelle en Kruikeke gemeten nabij het wateroppervlak, terwijl de sensor te Melle zich beduidend dieper bevindt (Tabel 9). Theoretisch volgt het SSC profiel een Rouse profiel, waarbij de SSC gehalten toenemen naar de bodem toe. Men kan dus verwachten dat de diepte van de sensor een invloed heeft op de opgemeten SSC gehalten.

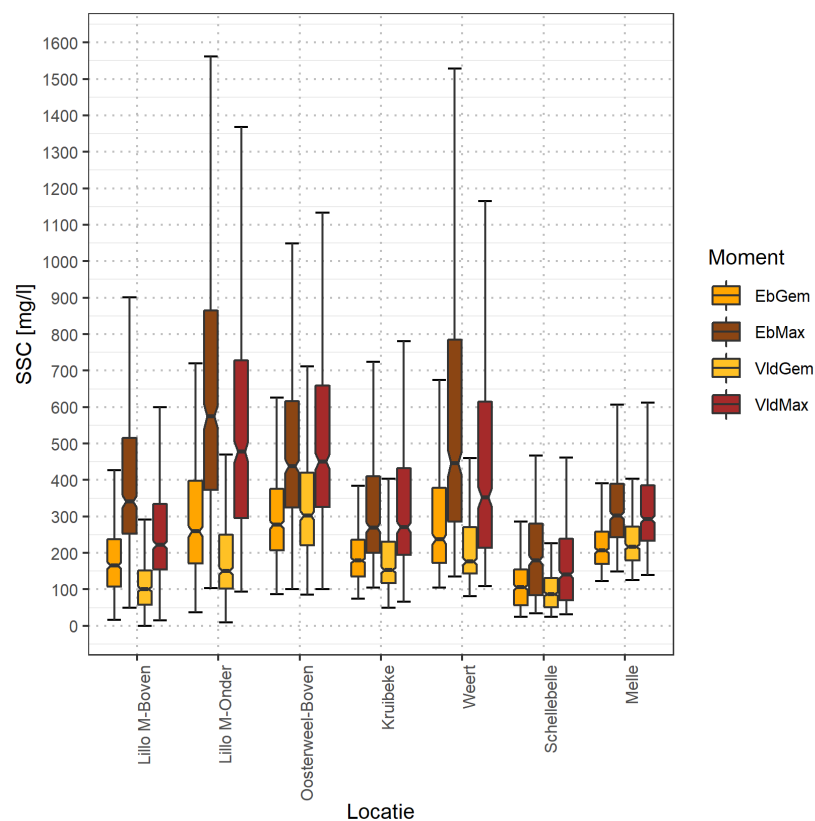
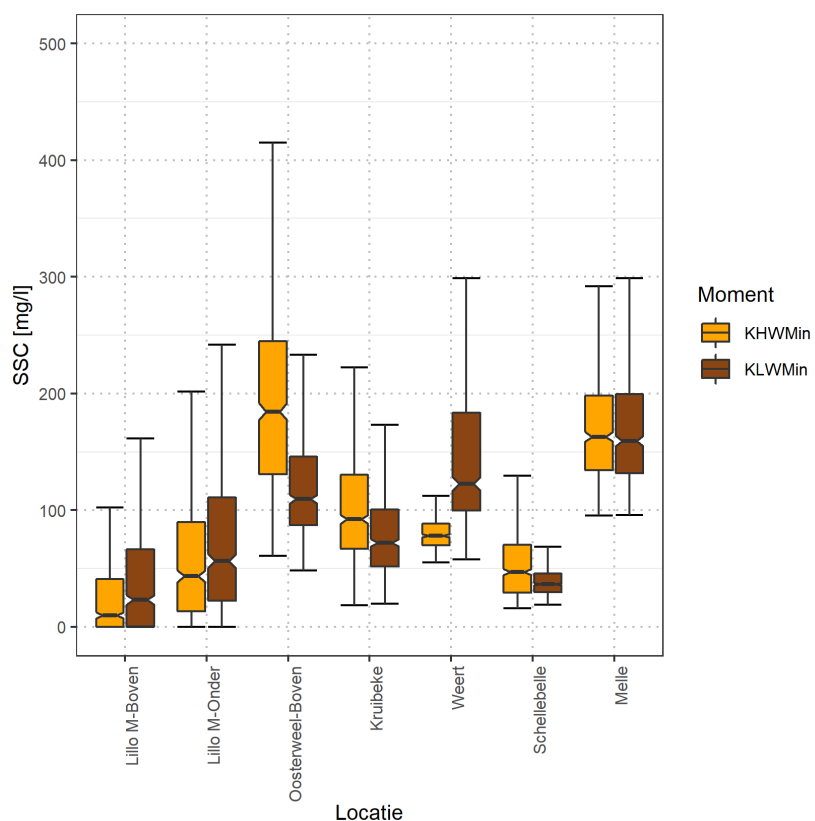
Men kan het volgende vaststellen:

1. De onderste sensor bij de meetpaal te Lillo meet hogere SSC dan de bovenste. Dit is conform wat men theoretisch verwacht (zie boven).
2. Wanneer men de onderste toestellen niet meeneemt in verdere analyse, wordt het hoogste suspensiegehalte vrijwel steeds waargenomen nabij Melle en Oosterweel. In Melle is dat te wijten aan de diepere positie van de sensor waar er meer sediment is. De meetlocatie Oosterweel is dan weer gesitueerd tegenover de belangrijkste stortlocatie voor het terugstorten van slibrijke specie, wat een impact heeft op het suspensiegehalte.
3. Op de meetlocaties te Lillo is het suspensiegehalte tijdens eb gemiddeld gezien hoger dan tijdens vloed, terwijl te Oosterweel het suspensiegehalte tijdens eb gemiddeld gezien lager is dan tijdens vloed. Voor Oosterweel zijn ook de minima tijdens K LW gemiddeld gezien lager dan tijdens K HW. Bij de meetpaal te Lillo wordt er gemiddeld tijdens K HW een lagere SSC geregistreerd dan tijdens K LW.
4. Het signaal in Melle vertoont in januari een verhoogd suspensiegehalte (voornamelijk zichtbaar in de maxima en/of minima). Deze periode werd gekenmerkt door een verhoogde bovenstroomse afvoer. Zeker vanuit de Bovenschelde was er een piekdebiet (Figuur 21). Eind september was dit opnieuw merkbaar in Melle tijdens een weliswaar beperkte was na een langdurig droge periode. Merk op dat er zich ook in maart een aanzienlijke was voordeed, maar dat er geen betrouwbare turbiditeitsmetingen voorhanden zijn voor deze periode (Tabel 10).
5. Weert kende tijdens de zomer en het najaar sterk verhoogde suspensiegehalten in het oppervlaktewater. Het suspensiegehalte ligt hoger bij eb en K LW dan bij resp. vloed en K HW.
6. Het valt ook op dat de SSC opwaarts in de Zeeschelde (Weert, Schellebelle en Melle) in de (droge) zomer hoger is dan in de winter (Figuur 81 & Figuur 88). Aan de afwaartse locaties Lillo en Oosterweel is dat andersom.

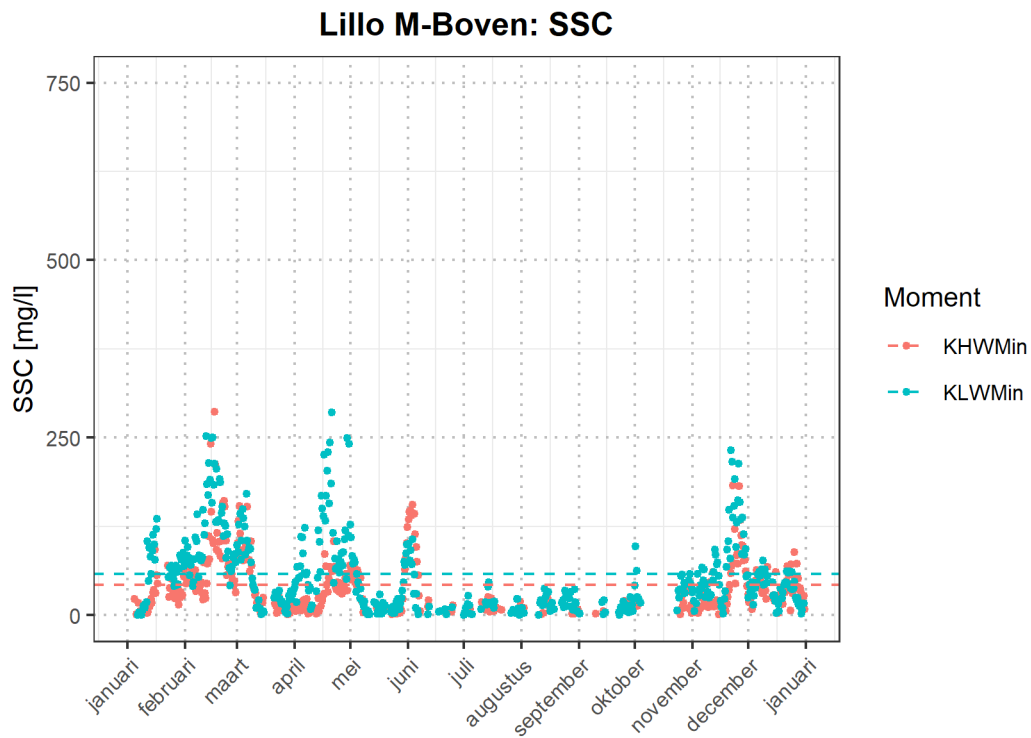
Tabel 14 – Overzicht statistieken suspensiegehalte [mg/l] voor minimum bij KLV en KHW, voor gemiddelde en voor maximale bij eb en vloed, gemeten op locaties met getijdewerking (2018).
(Indien minder dan 90% van de meetwaarden correct beschikbaar worden de waarden *cursief en onderlijnd* weergegeven).

Meetlocatie	Min	Gemiddelde	Max	STDEV	Min	Gemiddelde	Max	STDEV
	Minimale SSC (mg/L) bij KLV				Minimale SSC (mg/L) bij KHW			
<i>Lillo Boven</i>	<i>0,1</i>	<i>57,6</i>	<i>285,5</i>	<i>54,7</i>	<i>0,6</i>	<i>43,0</i>	<i>286,6</i>	<i>41,0</i>
<i>Lillo Onder</i>	<i>0,4</i>	<i>83,8</i>	<i>454,3</i>	<i>75,6</i>	<i>0,2</i>	<i>75,3</i>	<i>420,0</i>	<i>74,1</i>
Oosterweel Boven	48,2	124,6	426,8	56,8	60,8	205,1	582,3	100,0
Kruikeke	19,7	86,5	289,7	50,1	18,4	107,7	353,8	58,8
<i>Weert</i>	<i>57,6</i>	<i>151,2</i>	<i>456</i>	<i>77,5</i>	<i>55</i>	<i>81,6</i>	<i>189,3</i>	<i>17,9</i>
Schellebelle	19	40,6	224,8	20,1	15,7	53,9	211,9	30
Melle	95,7	181,9	695,5	83,2	95,4	180,1	637,4	71,3
	Gemiddelde SSC (mg/L) bij eb				Gemiddelde SSC (mg/L) bij vloed			
<i>Lillo Boven</i>	<i>55,7</i>	<i>219,4</i>	<i>708,4</i>	<i>120,6</i>	<i>14,6</i>	<i>136,3</i>	<i>462,3</i>	<i>92,0</i>
<i>Lillo Onder</i>	<i>79,3</i>	<i>272,0</i>	<i>719,2</i>	<i>121,8</i>	<i>28,8</i>	<i>181,5</i>	<i>611,7</i>	<i>107,5</i>
<i>Oosterweel Boven</i>	<i>134,1</i>	<i>331,8</i>	<i>716,8</i>	<i>132,9</i>	<i>143,5</i>	<i>370,6</i>	<i>796,0</i>	<i>149,8</i>
<i>Kruikeke</i>	<i>100,4</i>	<i>166,7</i>	<i>291,7</i>	<i>36,8</i>	<i>83,5</i>	<i>149,7</i>	<i>279,4</i>	<i>38,6</i>
<i>Weert</i>	<i>104,4</i>	<i>277,9</i>	<i>742,8</i>	<i>132</i>	<i>81,6</i>	<i>216,7</i>	<i>696,2</i>	<i>102,5</i>
<i>Schellebelle</i>	<i>24,5</i>	<i>111</i>	<i>286,3</i>	<i>59,3</i>	<i>25</i>	<i>95,4</i>	<i>226,6</i>	<i>47,9</i>
<i>Melle</i>	<i>122,7</i>	<i>229,4</i>	<i>900,3</i>	<i>95,5</i>	<i>125,3</i>	<i>236,5</i>	<i>781,9</i>	<i>88,4</i>
	Maximale SSC (mg/L) bij eb				Maximale SSC (mg/L) bij vloed			
Lillo Boven	49,6	412,1	1233,9	218,8	14,5	267,1	1230,6	173,0
<i>Lillo Onder</i>	<i>103,5</i>	<i>643,2</i>	<i>1561,8</i>	<i>335,2</i>	<i>93,3</i>	<i>546,3</i>	<i>1538,0</i>	<i>304,9</i>
Oosterweel Boven	101,2	487,0	1215,4	219,1	100,6	511,6	1216,8	237,7
Kruikeke	104,7	322,9	884,5	167,6	66,2	328,3	922,6	177,9
<i>Weert</i>	<i>135,2</i>	<i>583,3</i>	<i>1932</i>	<i>384,9</i>	<i>109,2</i>	<i>471,5</i>	<i>1898</i>	<i>336,5</i>
Schellebelle	34,5	189,1	467,6	108,6	32	161,8	460,8	101,2
Melle	148,6	365,6	2319,2	235,5	139,5	341,8	1857,9	193

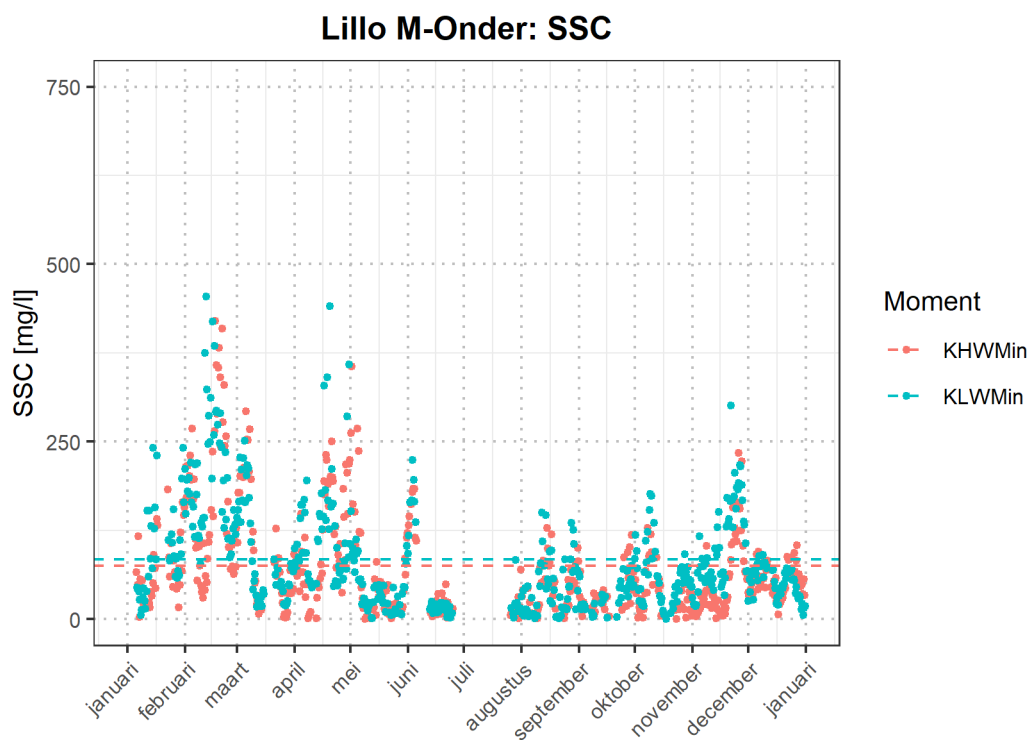
Figuur 68 – Boxplot voor SSC (mg/l): minimum bij KHW en KLW (**Boven**) en maximaal en gemiddelde bij eb en vloed (**Onder**).
Een aantal andere meetposten vertonen mogelijk een vertekend beeld door ontbrekende waarden (zie Tabel 14).



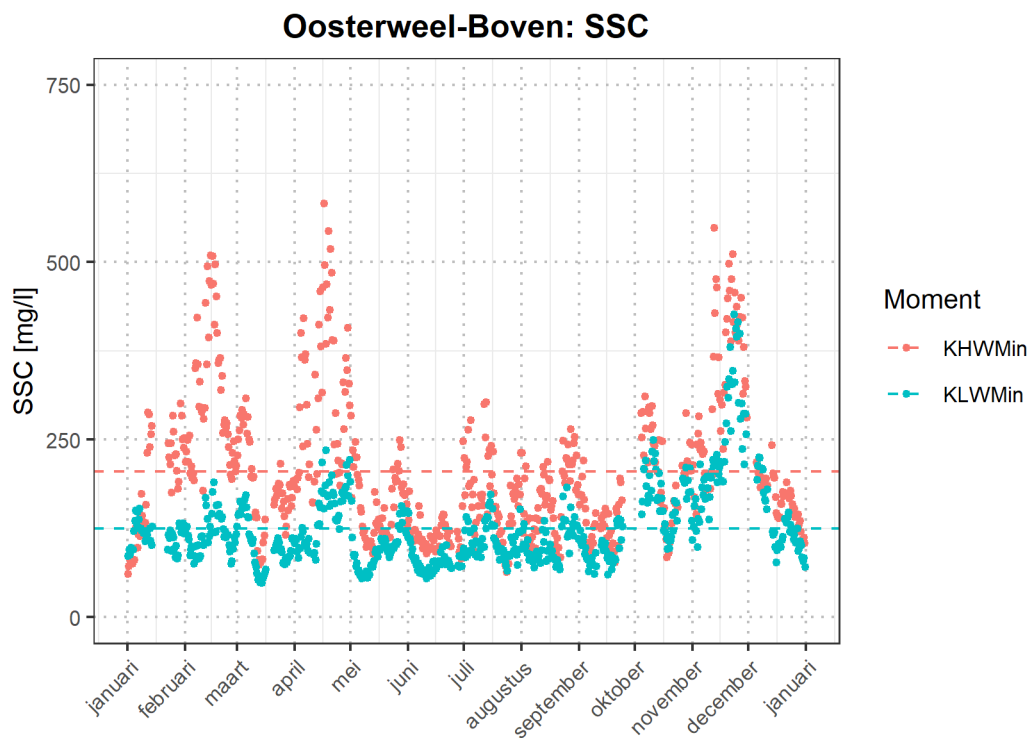
Figuur 69 – SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Boven (SG500) met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).



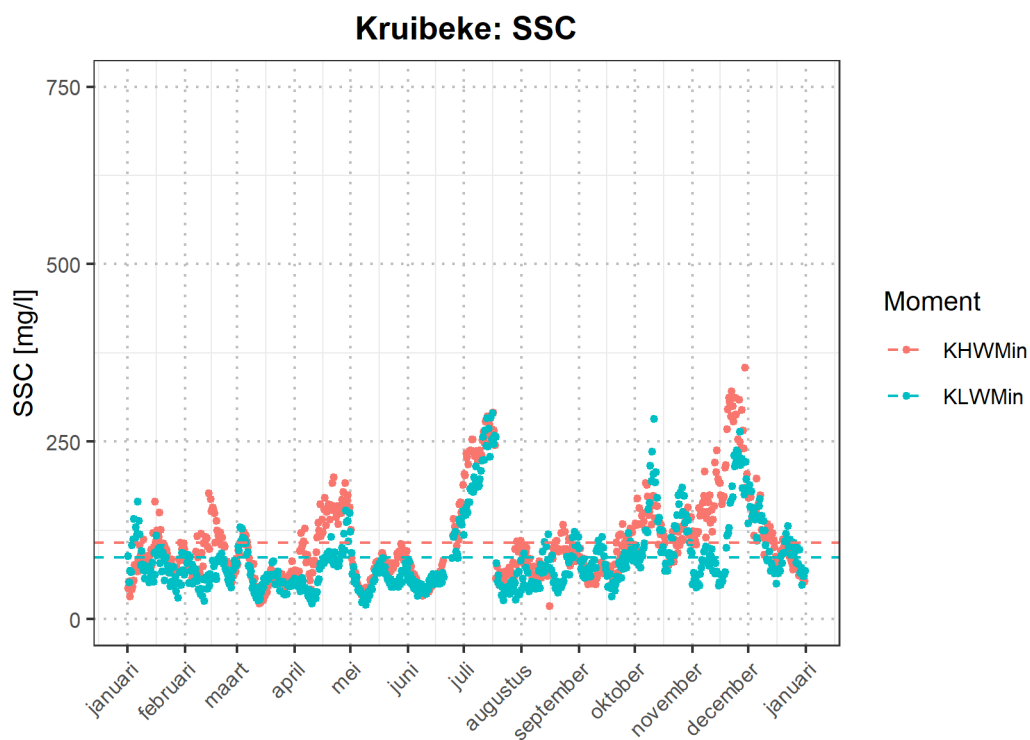
Figuur 70 – SSC bij KLW en KHW te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



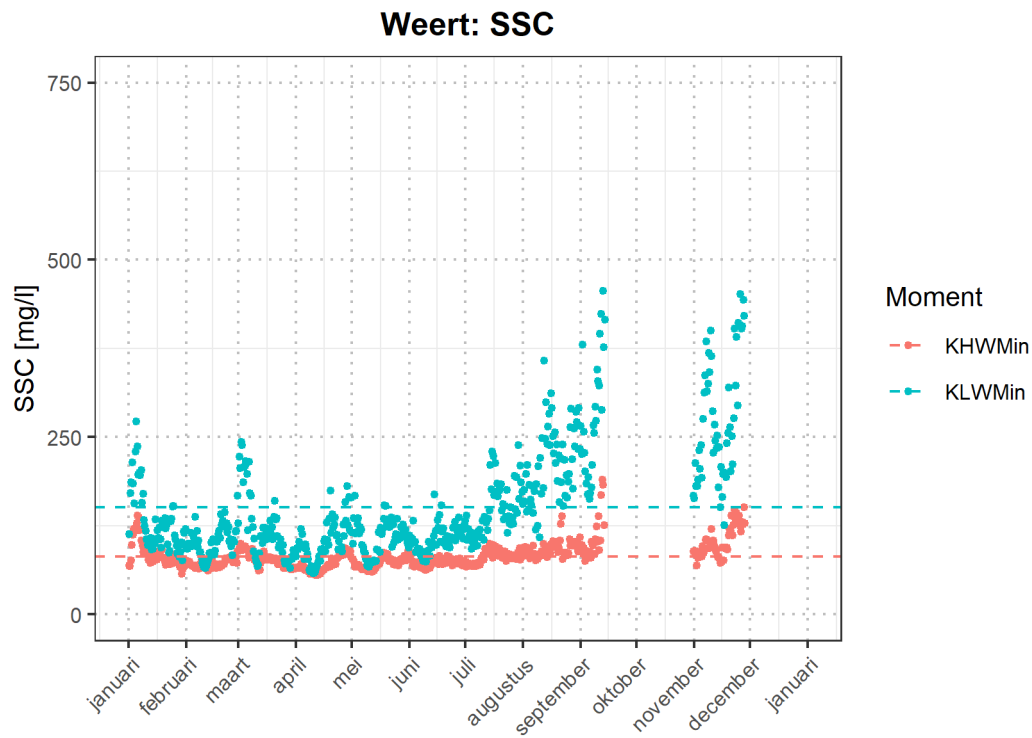
Figuur 71 – SSC bij KLW en KHW te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



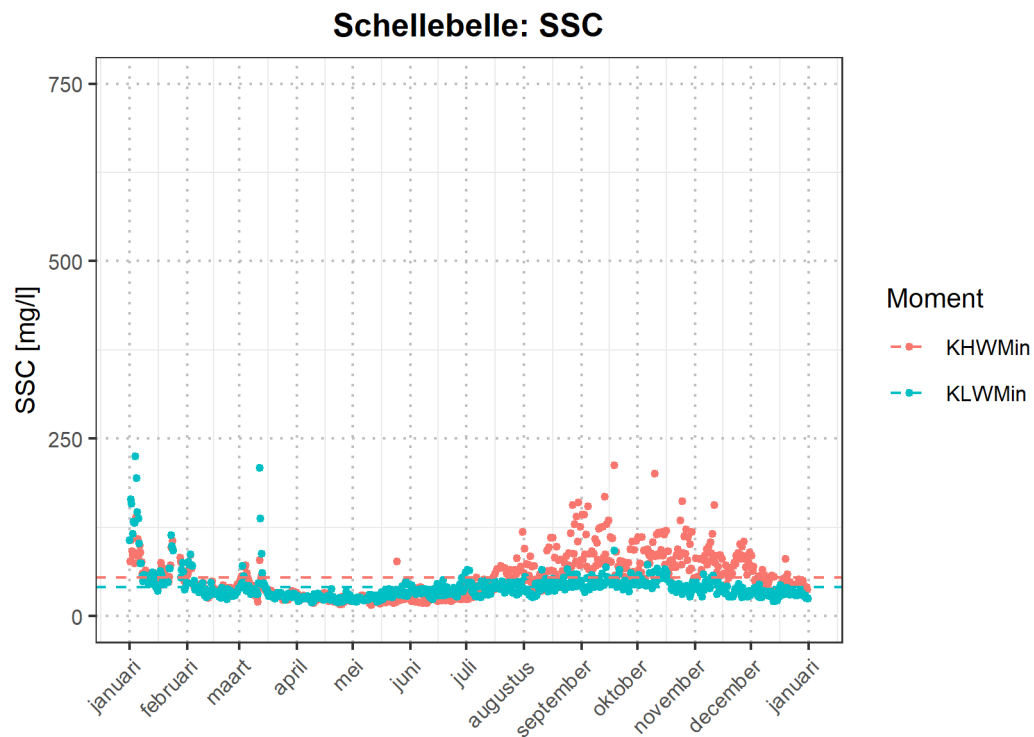
Figuur 72 – SSC bij KLW en KHW te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



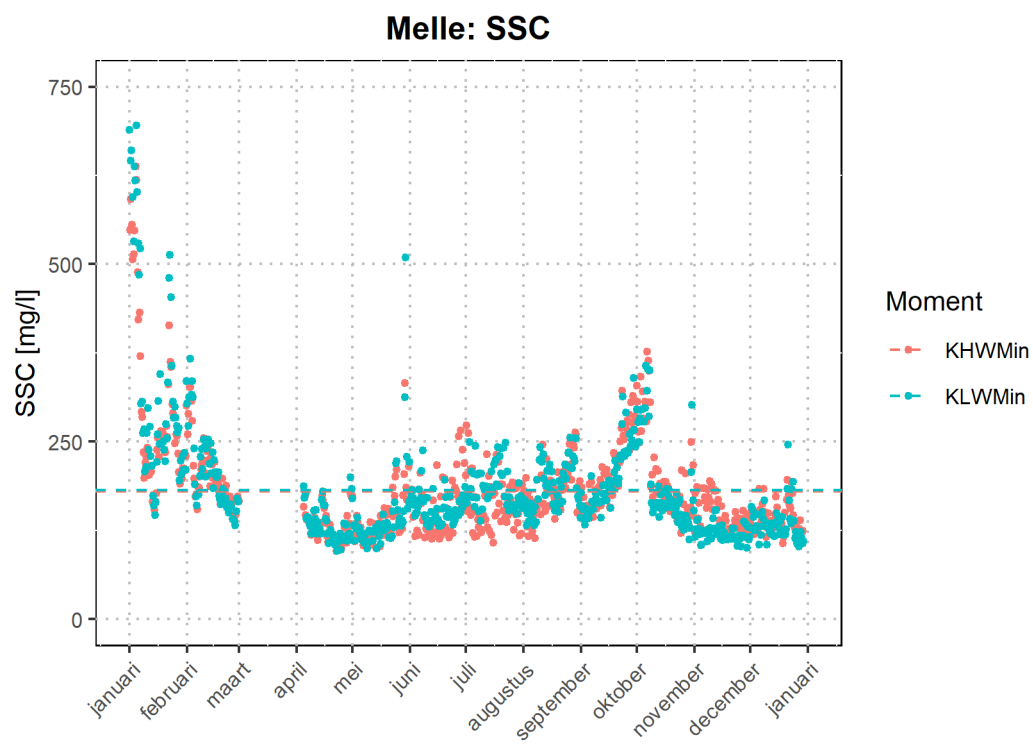
Figuur 73 – SSC bij KLW en KHW te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



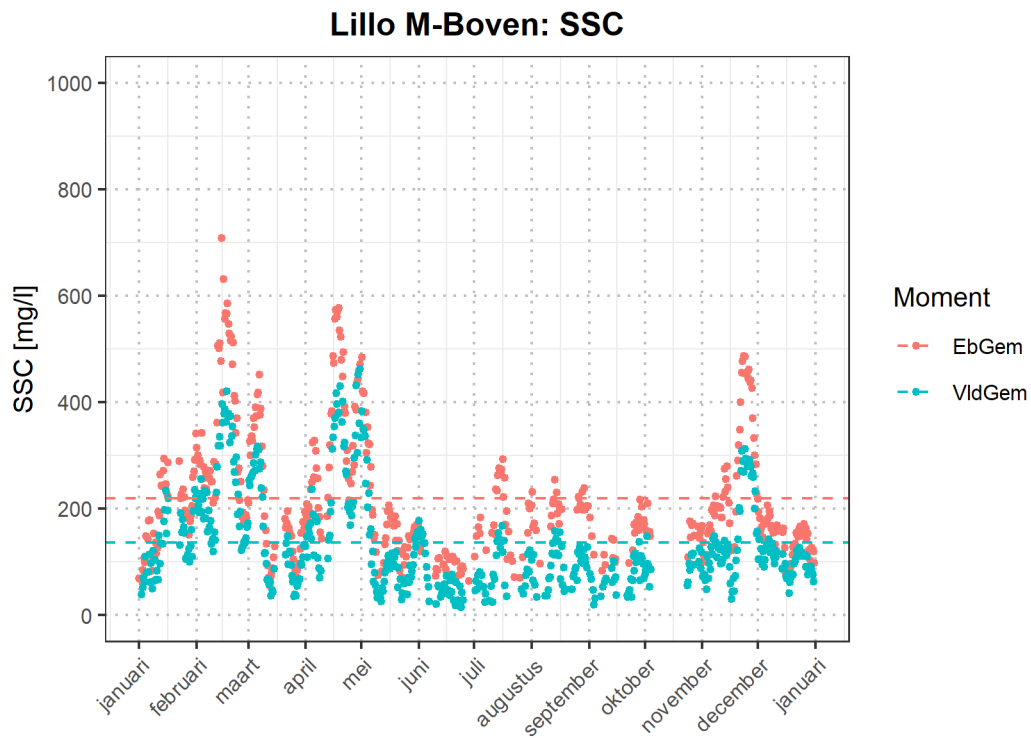
Figuur 74 – SSC bij KLW en KHW te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



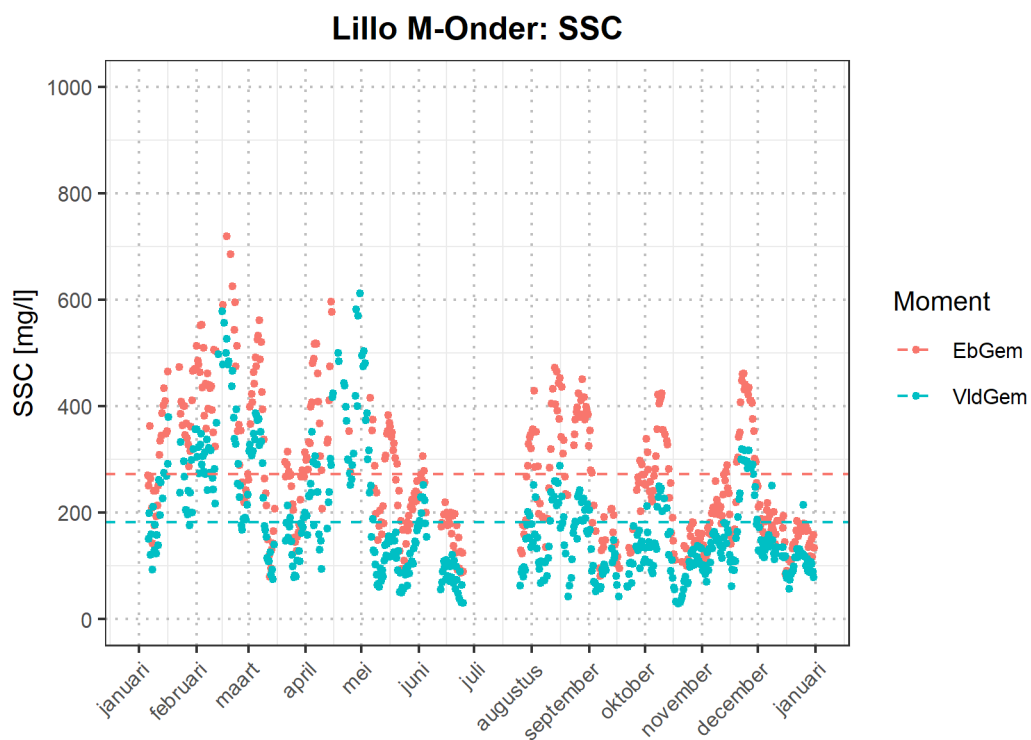
Figuur 75 – SSC bij KLW en KHW te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



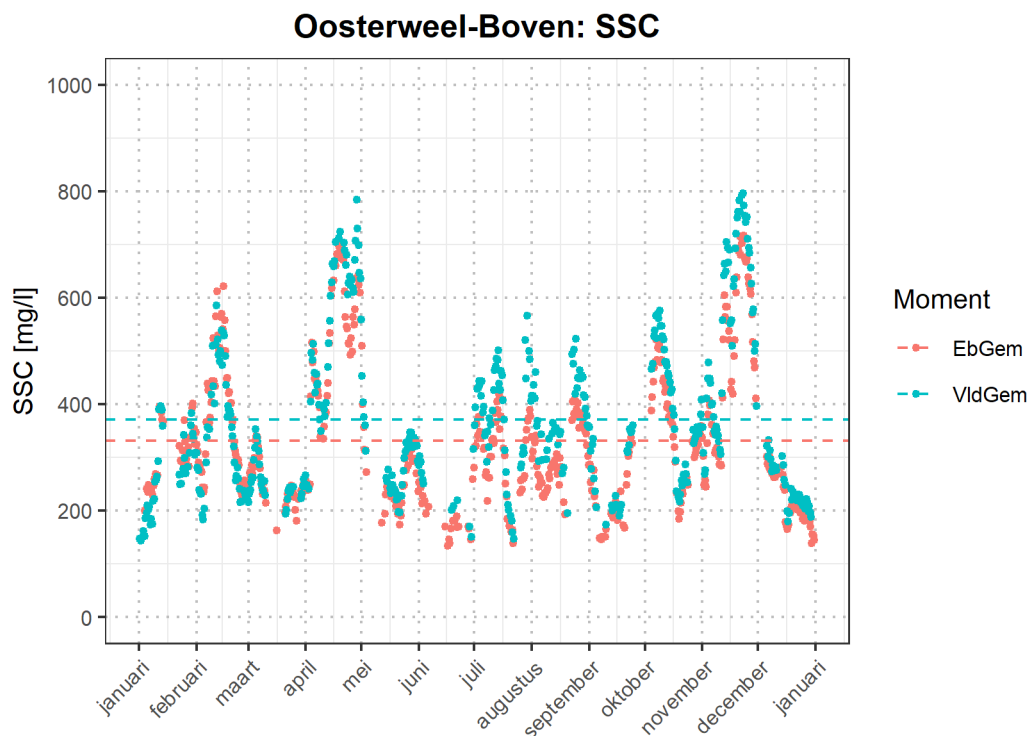
Figuur 76 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).



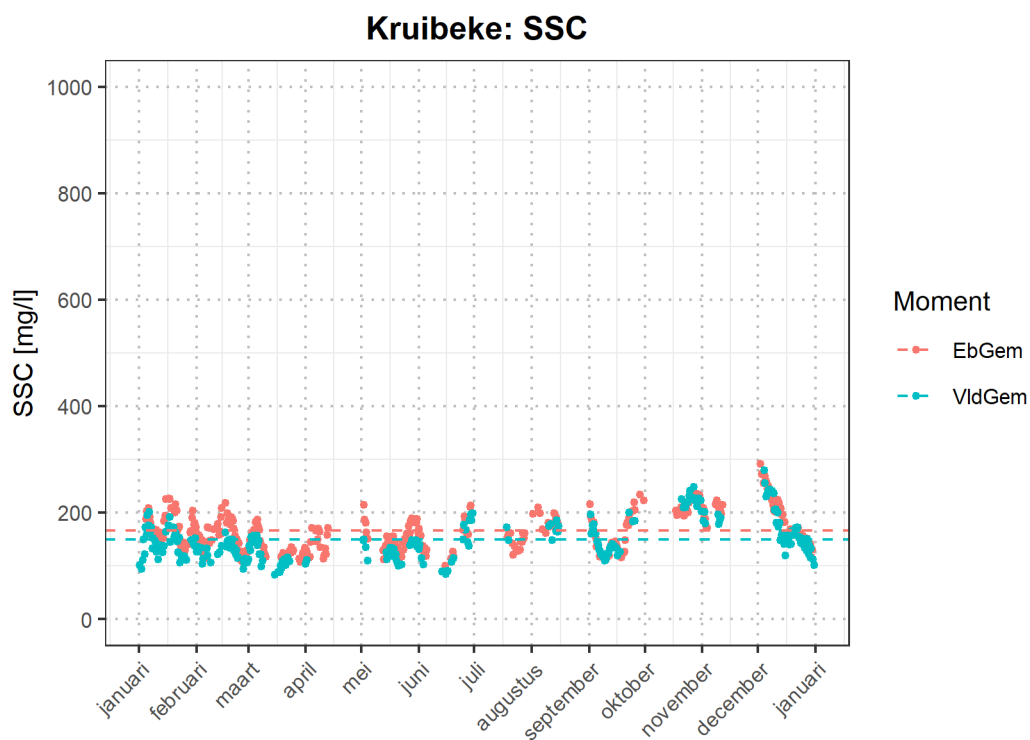
Figuur 77 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).



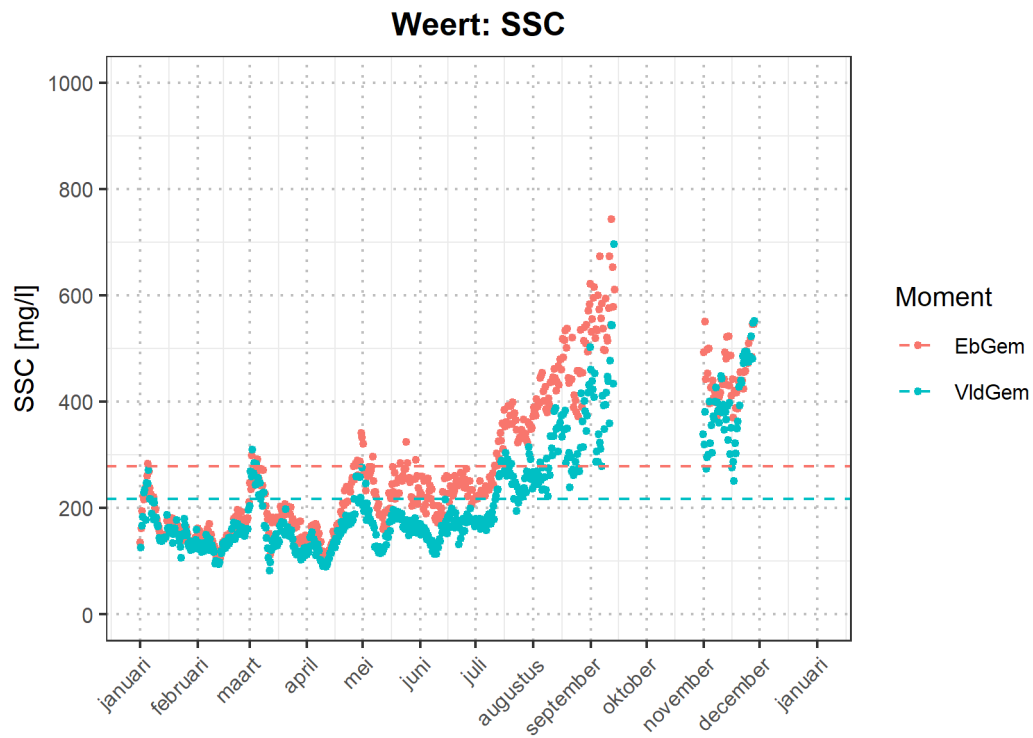
Figuur 78 – Gemiddelde SSC bij eb enloed te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



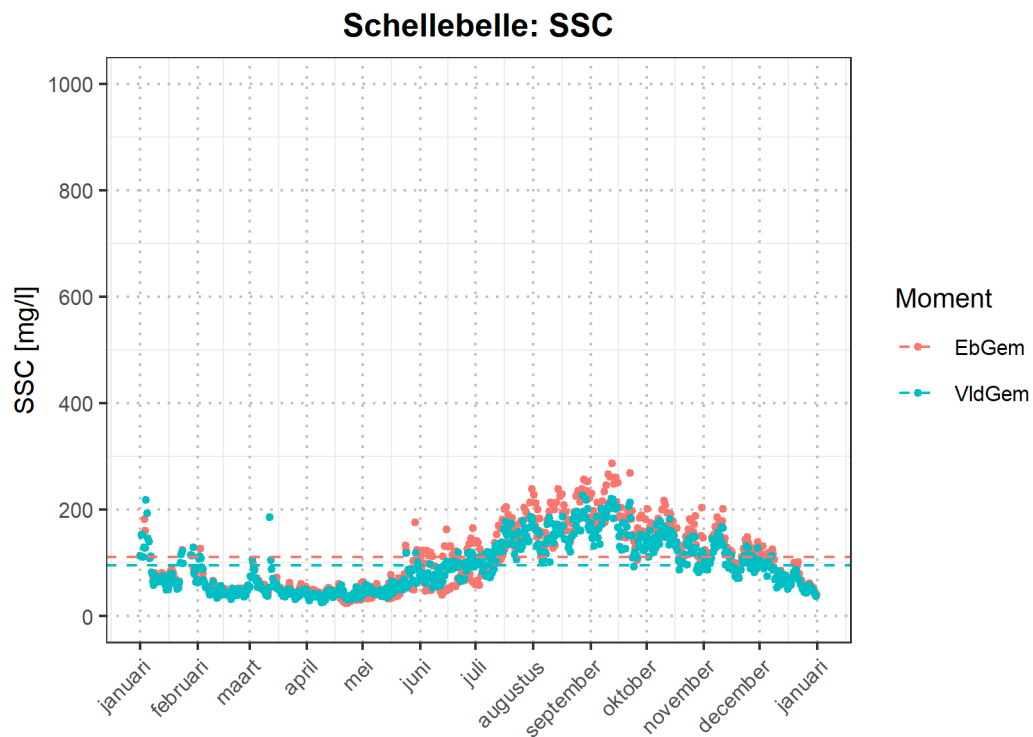
Figuur 79 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



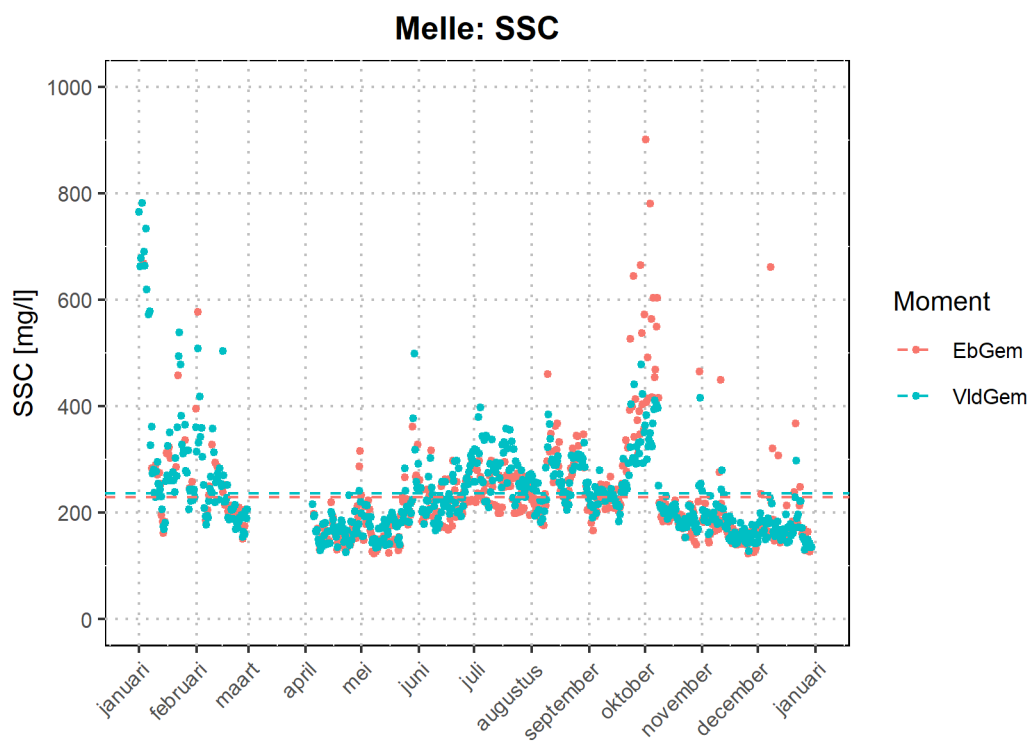
Figuur 80 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



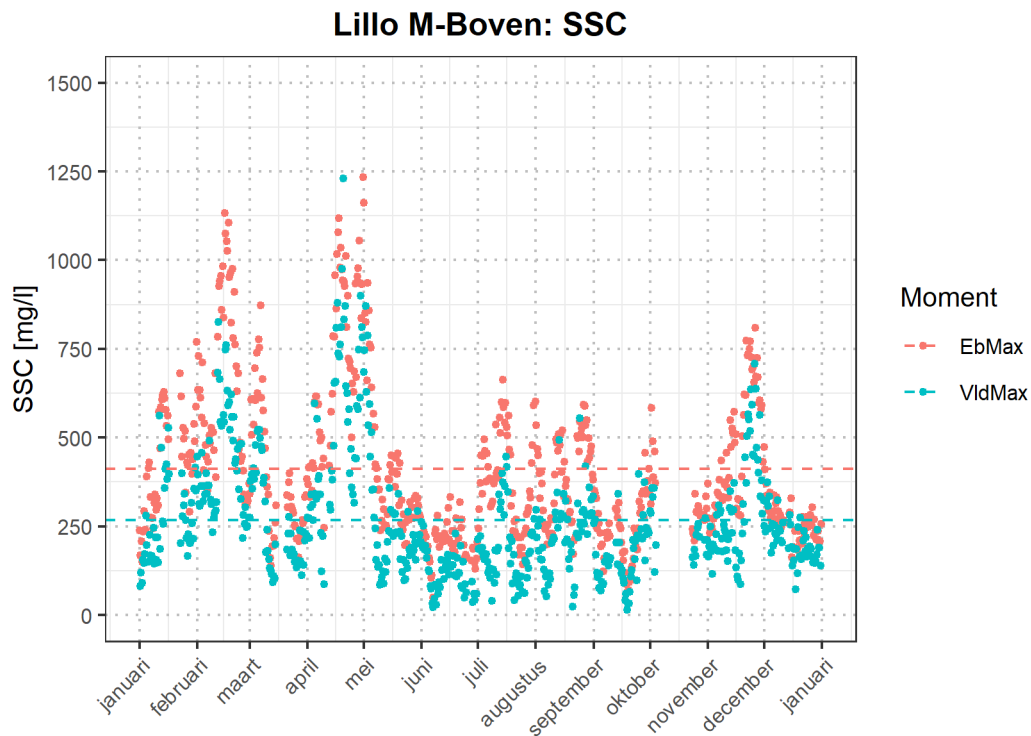
Figuur 81 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



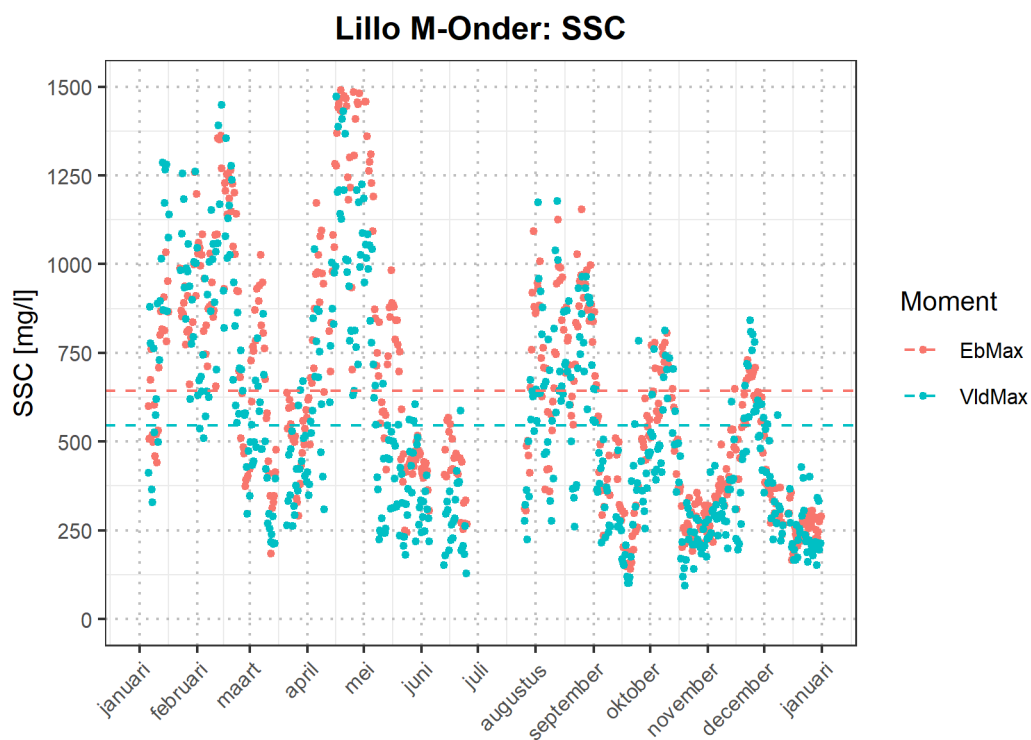
Figuur 82 – Gemiddelde SSC bij eb en vloed te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



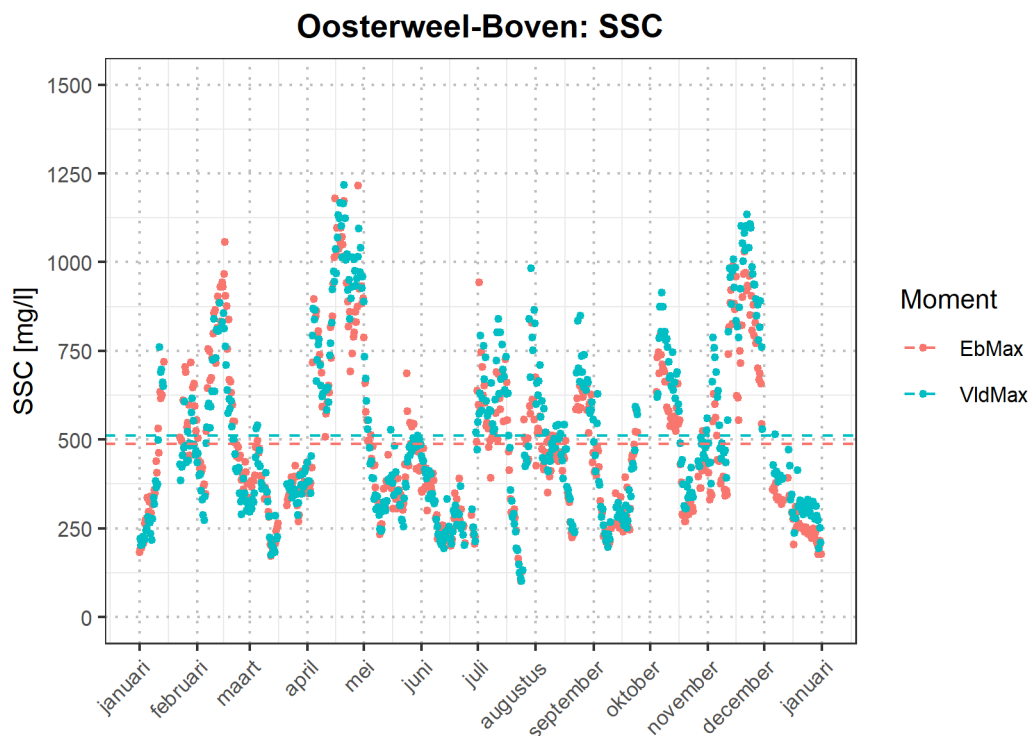
Figuur 83 – Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).



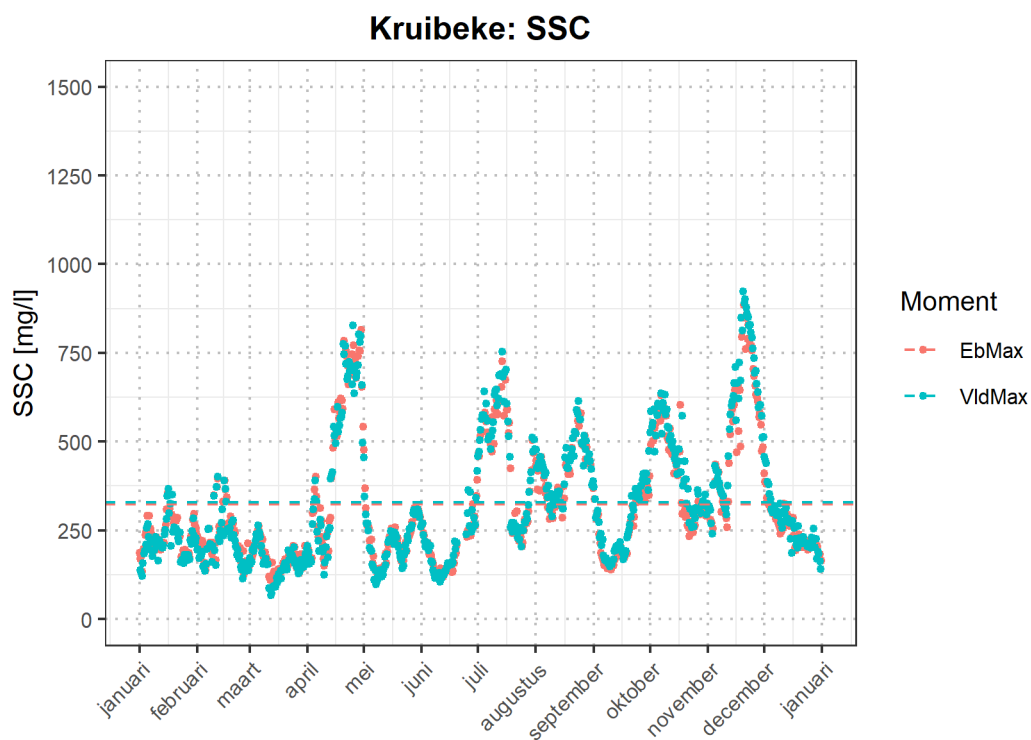
Figuur 84 – Maximale SSC bij eb en vloed te Meetpaal Lillo – Onder met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn).



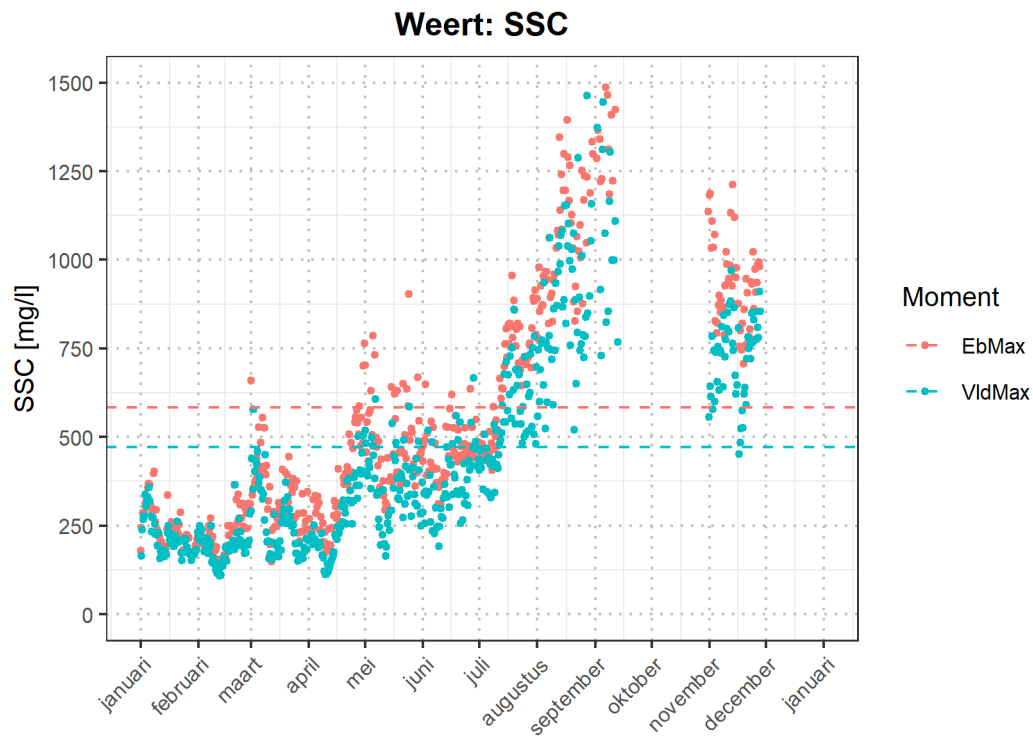
Figuur 85 – Maximale SSC bij eb en vloed te Oosterweel – Boven met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



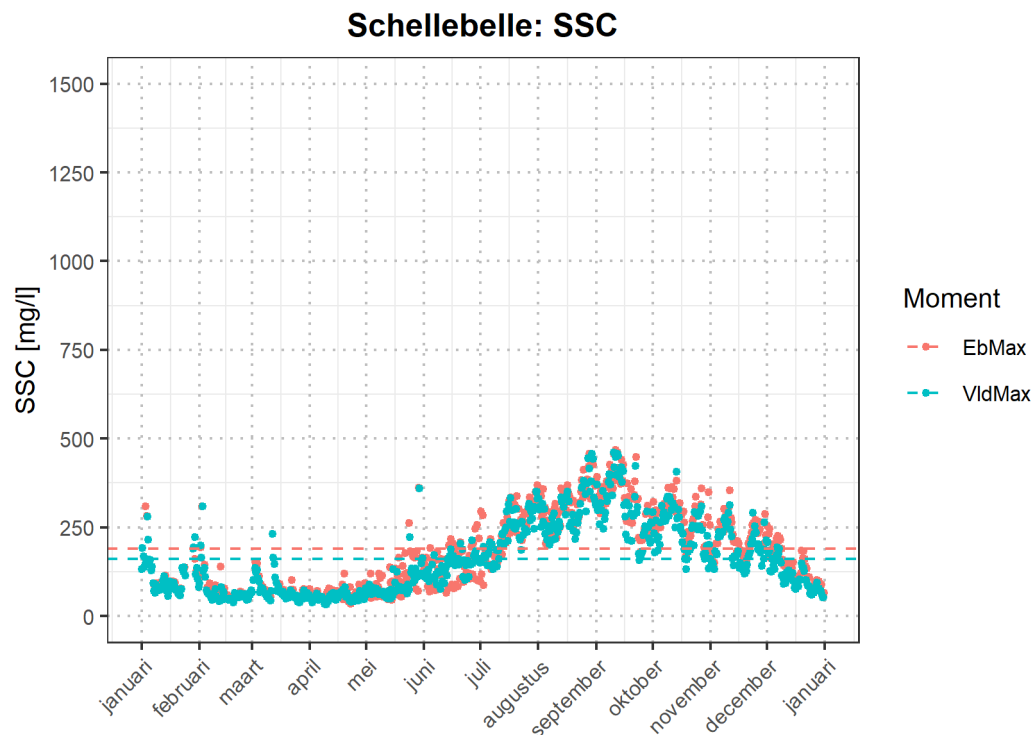
Figuur 86 – Maximale SSC bij eb en vloed te Kruibeke met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



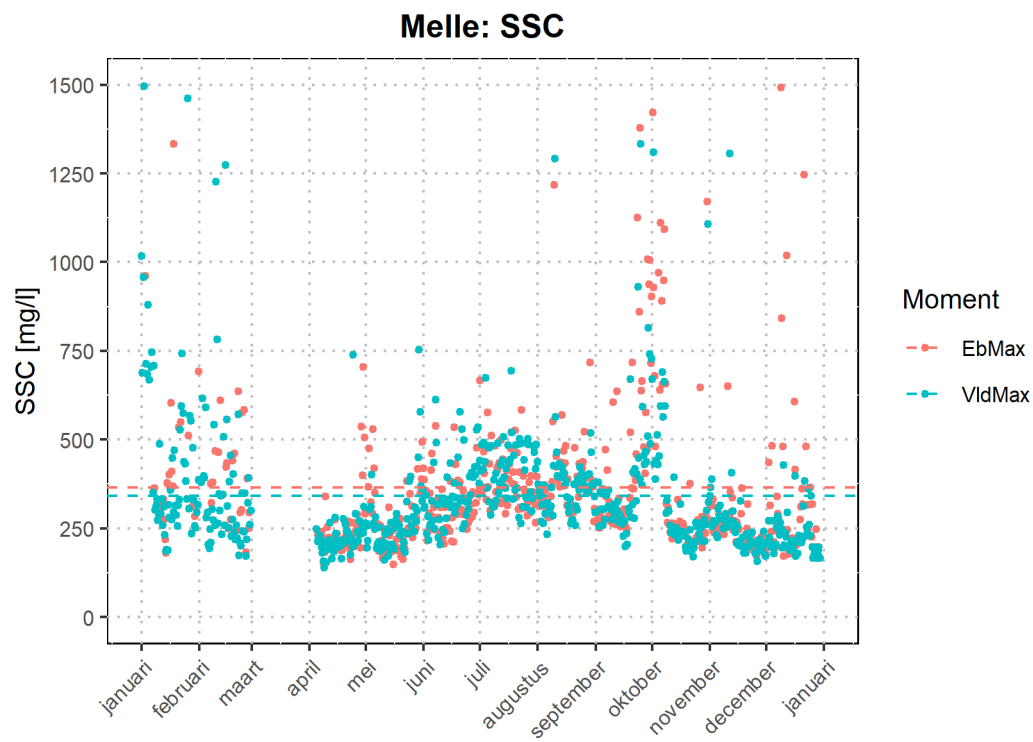
Figuur 87– Maximale SSC bij eb en vloed te Weert met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 88 – Maximale SSC bij eb en vloed te Schellebelle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



Figuur 89 – Maximale SSC bij eb en vloed te Melle met aanduiding van het jaargemiddelde (gestreepte lijn)



4.2 Periodieke metingen (laagfrequent) aan wateroppervlak

Sinds de jaren '90 worden er periodieke metingen van het suspensiegehalte uitgevoerd. Het betreft bemonstering aan het wateroppervlak ("schepstalen") ter hoogte van de getijmeetposten verspreid doorheen het estuarium, waarvan de SSC wordt opgemeten in het sedimentlabo van het Waterbouwkundig Laboratorium. De staalnamefrequentie van deze dataset bedraagt ongeveer 2 weken. De dataset laat toe om de huidige metingen in een historisch perspectief te plaatsen.

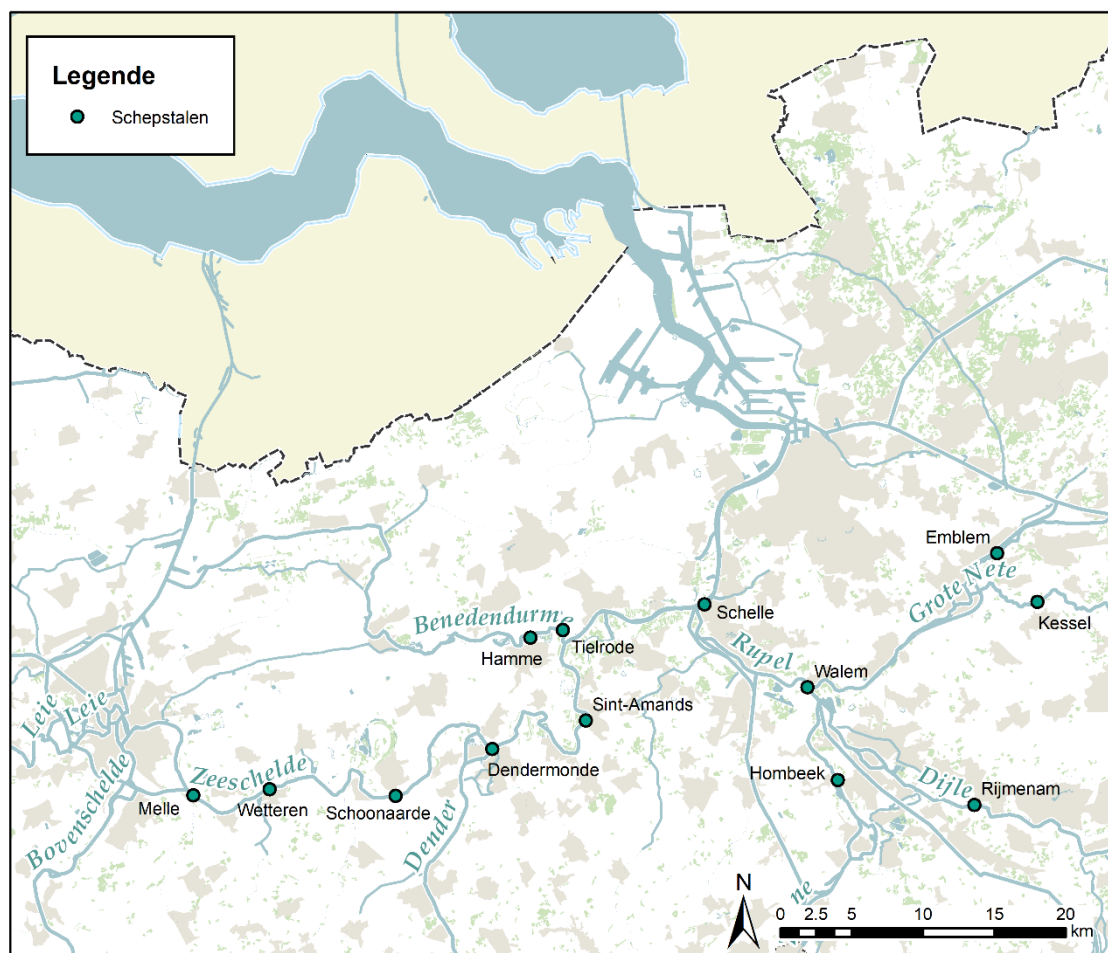
Voor 13 locaties (Figuur 90) zijn de gevalideerde SSC vergeleken voor 2006⁸ tot en met 2018. Merk op dat er doorheen de tijd verschillende meetmethoden zijn gebruikt. Een verkennende analyse⁹ wees uit dat dit geen significante verschillen in de meetresultaten met zich meebracht. Voor iedere meetlocatie 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 de natuurlijke logaritme van de data. Daarom wordt hier de mediaan en de 25^{ste} en 75^{ste} percentielen gerapporteerd in plaats van het gemiddelde en de standaardafwijking.

In de onderstaande hoofdstukken wordt de SSC besproken, die is opgemeten in de Zeeschelde, de Durme en de Rupel met haar bovenstromen. Merk op dat de uitvoer van periodieke metingen recent (2016-2017) zijn herzien. De prioriteit ligt heden bij het continue meetnet, dat verder wordt uitgebouwd (nieuwe meetposten in Kruibeke, Schellebelle, Weert en Klein-Willebroek). Door de betere spreiding van de continue meetposten, moeten er op minder locaties schepstalen worden genomen. Sinds 2016 wordt er niet meer bemonsterd nabij Schelle en in 2017 zijn de metingen in Wetteren en Schoonaarde stopgezet.

⁸ Vanaf 2006 werden de gegevens opgeslagen in de gangbare databanken.

⁹ De verschillende meetmethoden zijn echter nooit gelijktijdig uitgevoerd. Een diepgaande vergelijking is dan ook niet mogelijk.

Figuur 90 – Locatie van Moneos-meetposten in de Zeeschelde met periodieke meting van suspensiegehalte aan het wateroppervlak



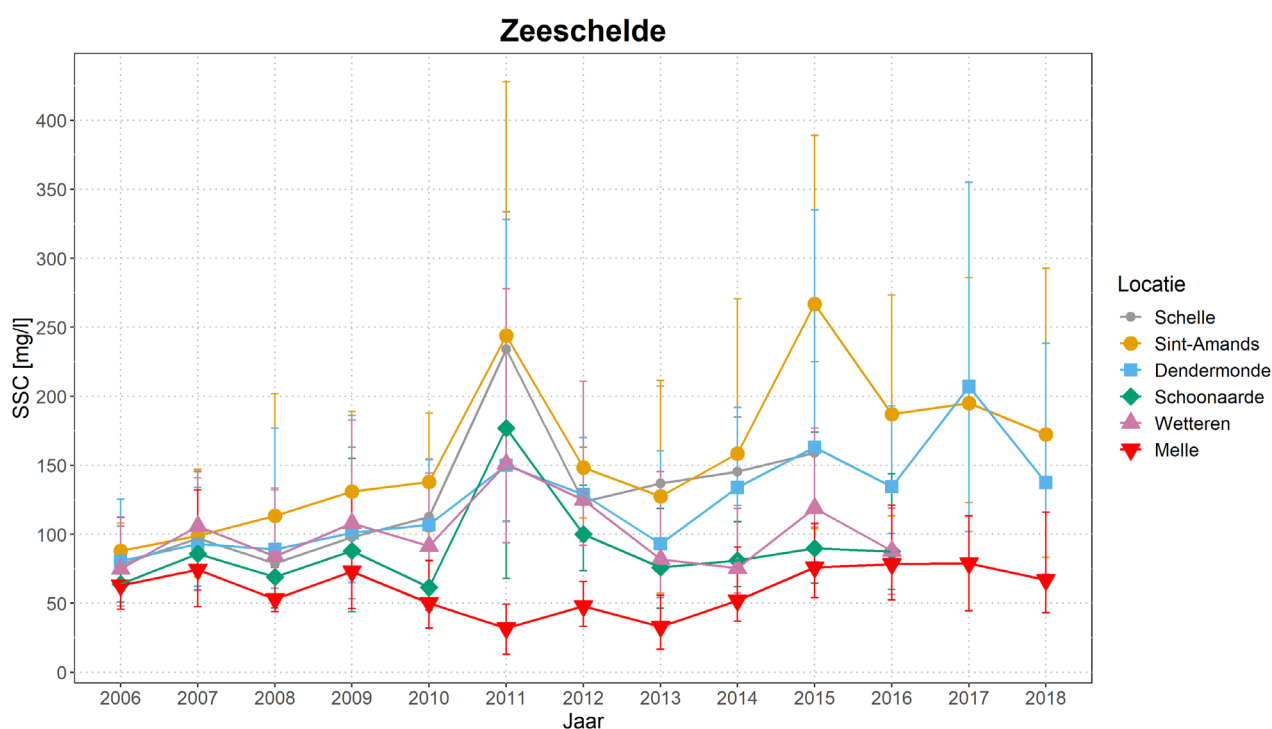
4.2.1 Zeeschelde

Figuur 91 toont het suspensiegehalte op de Zeeschelde, gemeten nabij Melle, Wetteren, Schoonaarde, Dendermonde, Sint-Amands en Schelle. Merk op dat er sinds 2016 niet meer bemonsterd wordt nabij Schelle, terwijl in 2017 de metingen in Wetteren en Schoonaarde zijn stopgezet.

In de Boven-Zeeschelde worden in 2018 de laagste jaargemiddelde sedimentconcentratie waargenomen aan de stroomopwaartse rand in Melle. De concentratie stijgt stroomafwaarts tot in Sint-Amands waar de hoogste jaargemiddelde sedimentconcentraties worden opgemeten. Verder stroomafwaarts, in Schelle, liggen de jaargemiddelde sedimentconcentraties iets lager dan in Sint-Amands.

Met uitzondering van Melle, vertoont de sedimentconcentratie een piek in 2011 en 2015. Het voorbije decennium steeg het sedimentgehalte nabij Sint-Amands, Schelle en Dendermonde. Wetteren en Schoonaarde vertoonden eerder een daling sinds de piek in 2011. In Melle daalde het jaargemiddelde tot een minimum in 2011 en 2013. Vanaf dan steeg het jaargemiddelde opnieuw. In 2018 lagen de sedimentconcentraties in alle drie de locaties waar nog bemonsterd wordt, iets lager dan de voorgaande jaren.

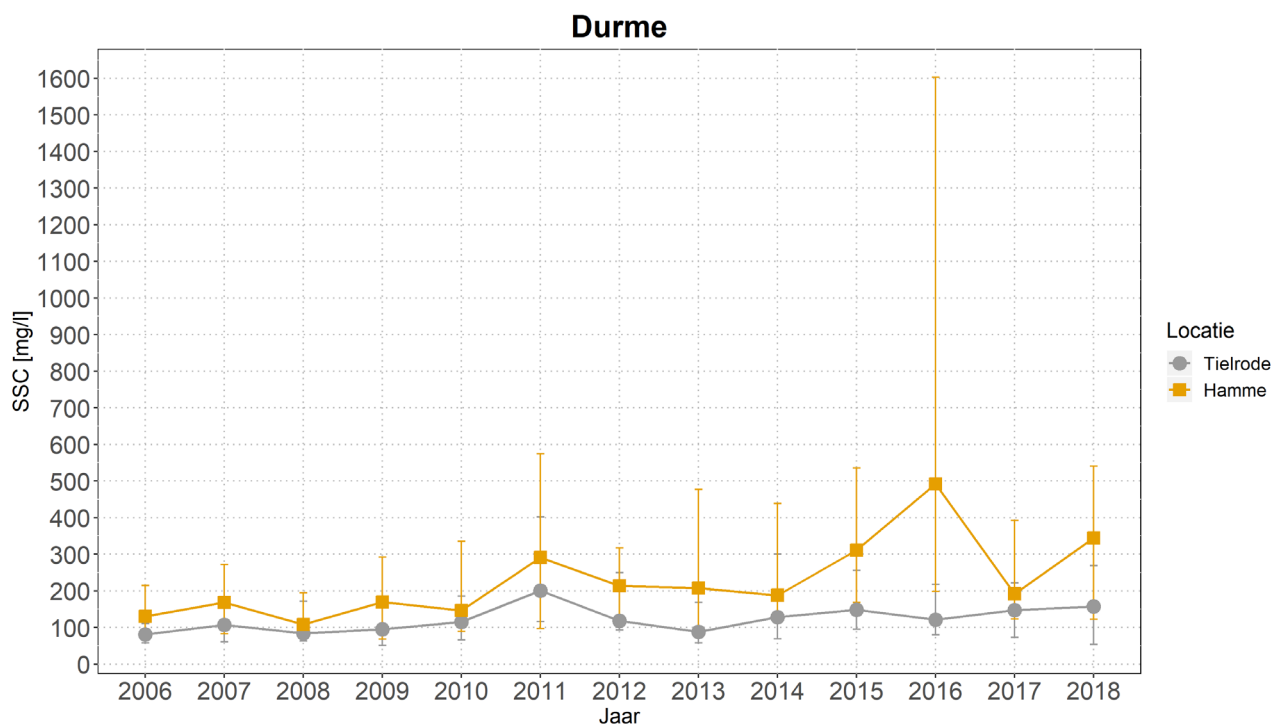
Figuur 91 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Zeeschelde: mediaan met aanduiding van de 25^{ste} en 75^{ste} percentielen.



4.2.2 Durme

Figuur 92 toont de sedimentconcentratie op de Durme, gemeten nabij Hamme en Tielrode. In Hamme worden er hogere sedimentgehalten opgemeten dan nabij Tielrode. De spreiding is hier weliswaar ook groter. Tussen 2014 en 2016 stegen de meetwaarden te Hamme, om in 2017 weer af te nemen. In 2018 werd opnieuw een lichte verhoging vastgesteld. Dit werd niet waargenomen nabij Tielrode.

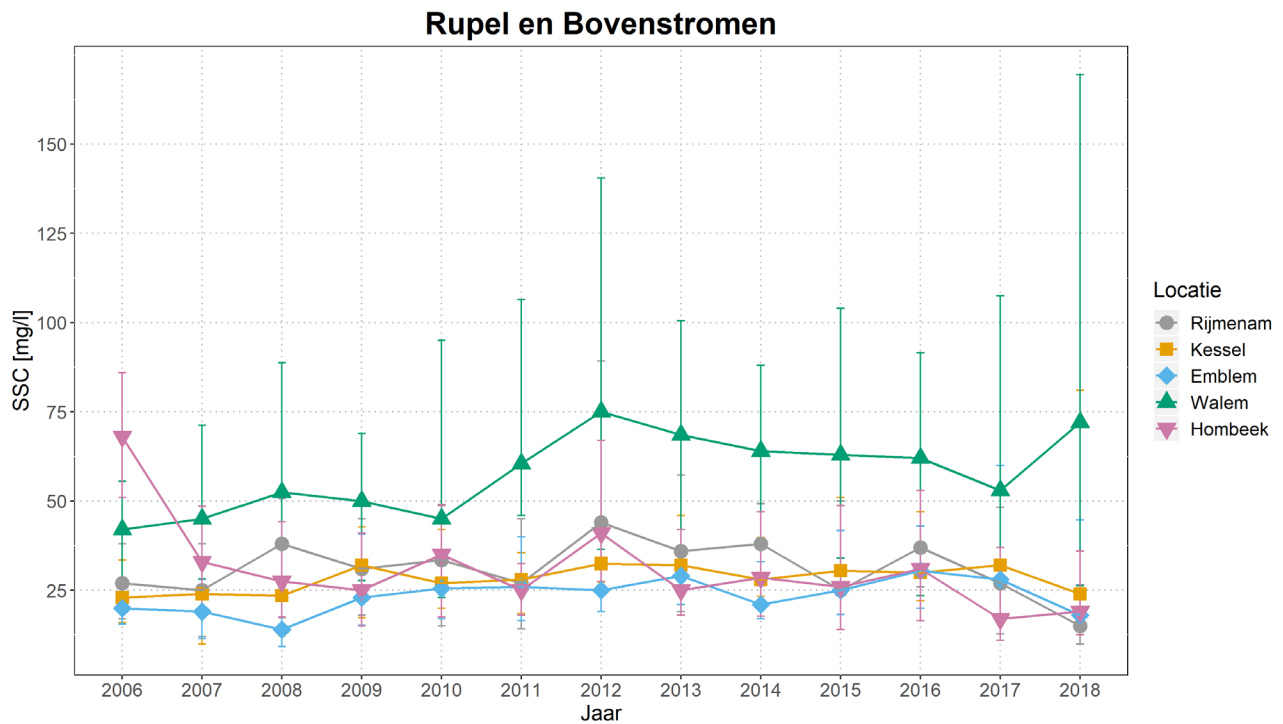
Figuur 92 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Durme: mediaan met aanduiding van de 25^{ste} en 75^{ste} percentielen.



4.2.3 Rupel en bovenstromen

Figuur 93 toont de sedimentconcentratie op de Rupel en zijn bovenstromen, gemeten nabij Emblem (Kleine Nete), Kessel (Grote Nete), Rijmenam (Dijle), Hombeek (Zenne) en Walem (Rupel). Nabij Walem worden de hoogste sedimentgehalten opgemeten. De meetresultaten vertonen hier weliswaar een dalende trend sinds 2012. In 2018 is de sedimentconcentratie in Rijmenam, Kessel en Emblem lager dan in 2017. In Hombeek en Walem is er een stijging ten opzichte van 2017. Walem werd namelijk in zomer en najaar gekenmerkt door verhoogde sedimentconcentratie.

Figuur 93 – Sedimentgehalte aan het wateroppervlak in de Rupel en bovenstromen:
 mediaan met aanduiding van de 25^{ste} en 75^{ste} percentielen



4.3 Sedimentinput aan de rand van het getijdegebied

In het verleden werd de sedimentvracht naar het tijgebied 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 gaan met piekconcentraties en (bijhorende) piekfluxen, gemist worden. Aangezien er aan de randen van het getijdegebied eveneens continue YSI-metingen worden uitgevoerd (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 de sedimentvracht sinds 2017 ingeschat aan de hand van deze metingen aan hogere frequentie. 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.* (2019).

De sedimentvracht wordt berekend voor onderstaande stations (zie Figuur 94). Merk op dat er in de huidige opstelling geen continue metingen uitgevoerd worden op de Dijle, maar er zijn plannen binnen de Vlaamse Milieumaatschappij om hier een continue meetpost op te starten.

- 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)

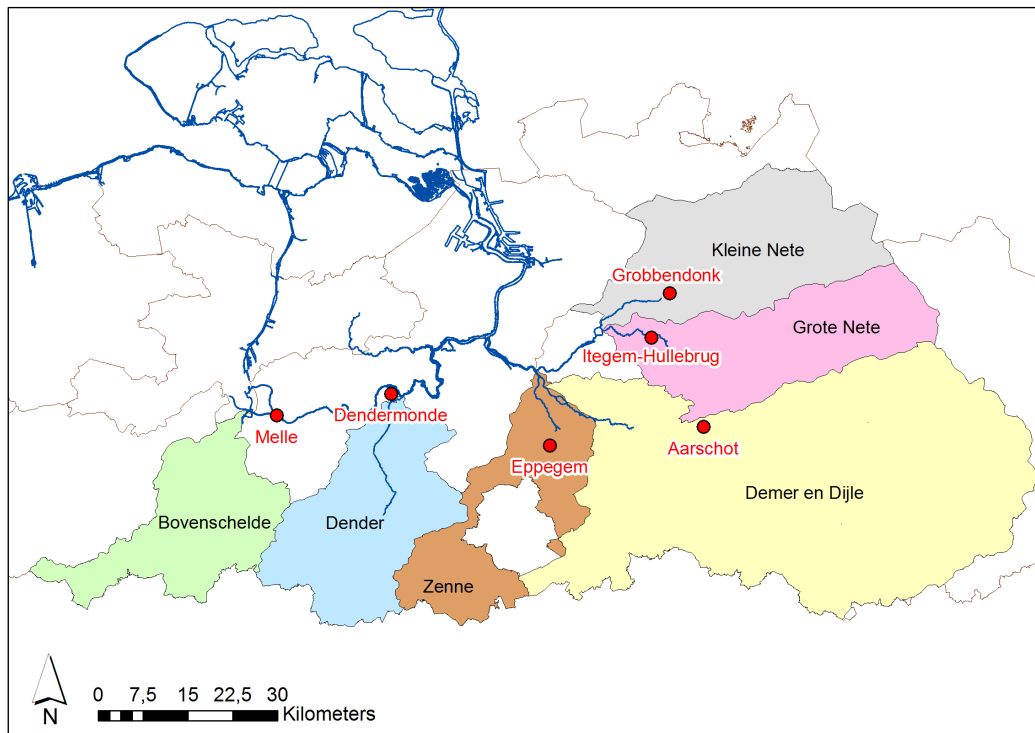
Bovenstaande puntmetingen zijn gecorrigeerd naar doorsnede gemiddelde concentraties. Hiervoor werden de bevindingen toegepast van Brackx *et al.* (2019), die een analyse uitvoerde op de EWI-campagnes van het Waterbouwkundig Laboratorium. De correctie van de metingen in Dendermonde, Itegem-Hullebrug en Melle staat echter nog niet op punt. Hier is er nog nood aan bijkomende EWI-campagnes om een betere relatie op te stellen.

Zowel de ruwe jaarlijkse sedimentvracht, als de gecorrigeerde waarden zijn terug te vinden in Tabel 15. In Figuur 95 tot en met Figuur 100 wordt de sedimentvracht (suspensie) weergegeven voor de meetlocaties vermeld in Tabel 15.

Men kan volgende bevindingen waarnemen:

- De jaarlijkse vracht is grotendeels toe te wijzen aan een aantal piekevents met verhoogde bovenafvoer (zie ook §3.2).
- De toevoer aan sediment in suspensie vanuit de bovenstromen bedroeg 386 606 ton. Het merendeel komt vanuit de Bovenschelde en de Zenne, die tezamen bijna 2/3 van het totaal voor hun rekening nemen.
- De overige lading komt hoofdzakelijk uit de Dender en de Demer. De sedimentvracht van de Grote en Kleine Nete is gevoelig lager dan de overige bovenstromen.
- De sedimentvracht van de Zenne is van dezelfde grootteorde als deze van de Bovenschelde te Melle, wat opmerkelijk is gezien het verschil in debiet (§3.2). De Zenne kende in 2018 verhoogde sedimentvrachten aan het einde van het jaar, wat niet voorkomt in de Bovenschelde of Dender en in beperkte mate in de Demer en beide Netes. Deze verhoogde sedimentvracht aan het einde van het jaar in de Zenne, wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door sterk verhoogde suspensiegehaltenes.
- Tot slot moet men in het achterhoofd houden dat de sedimentvracht in Melle niet per se representatief is voor het Leie- en Scheldebekken. De aanvoer van beide bekkens wordt sterk beïnvloed door de verschillende kunstwerken, alvorens een deel naar het Zeescheldebekken wordt geleid.

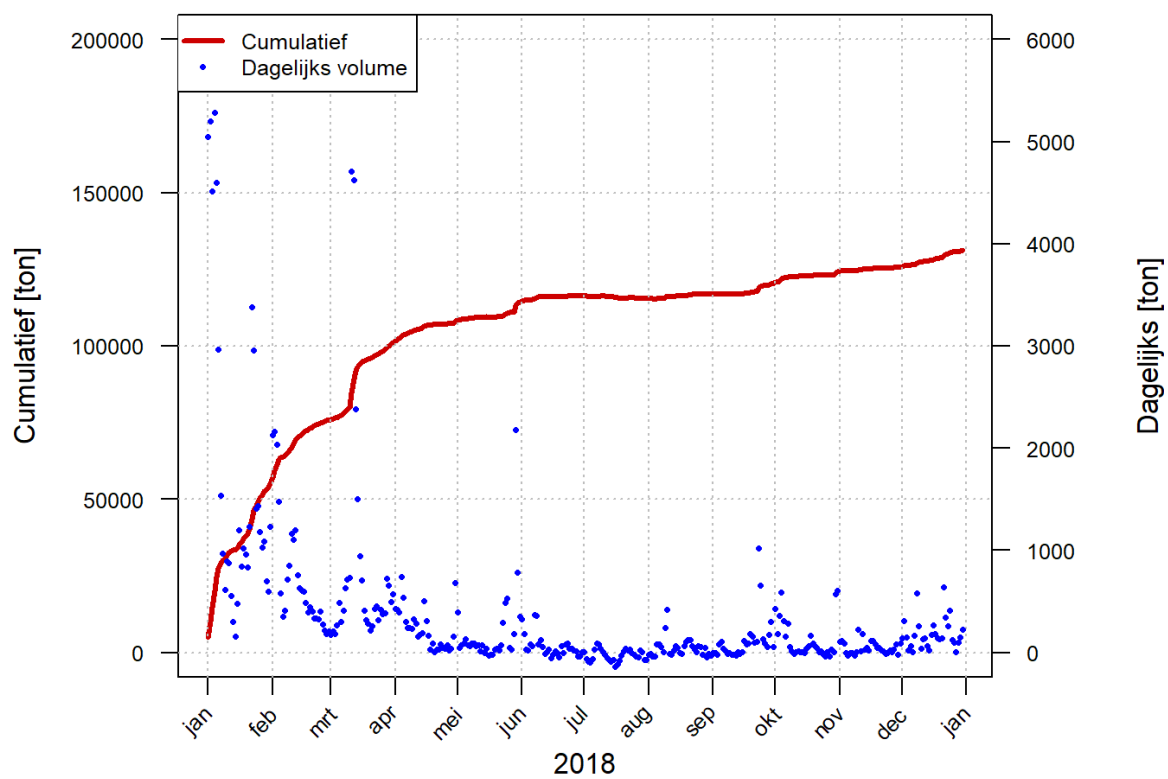
Figuur 94 – Overzicht van de meetlocaties gebruikt voor de slibbalansberekening met aanduiding van de stroomgebieden.



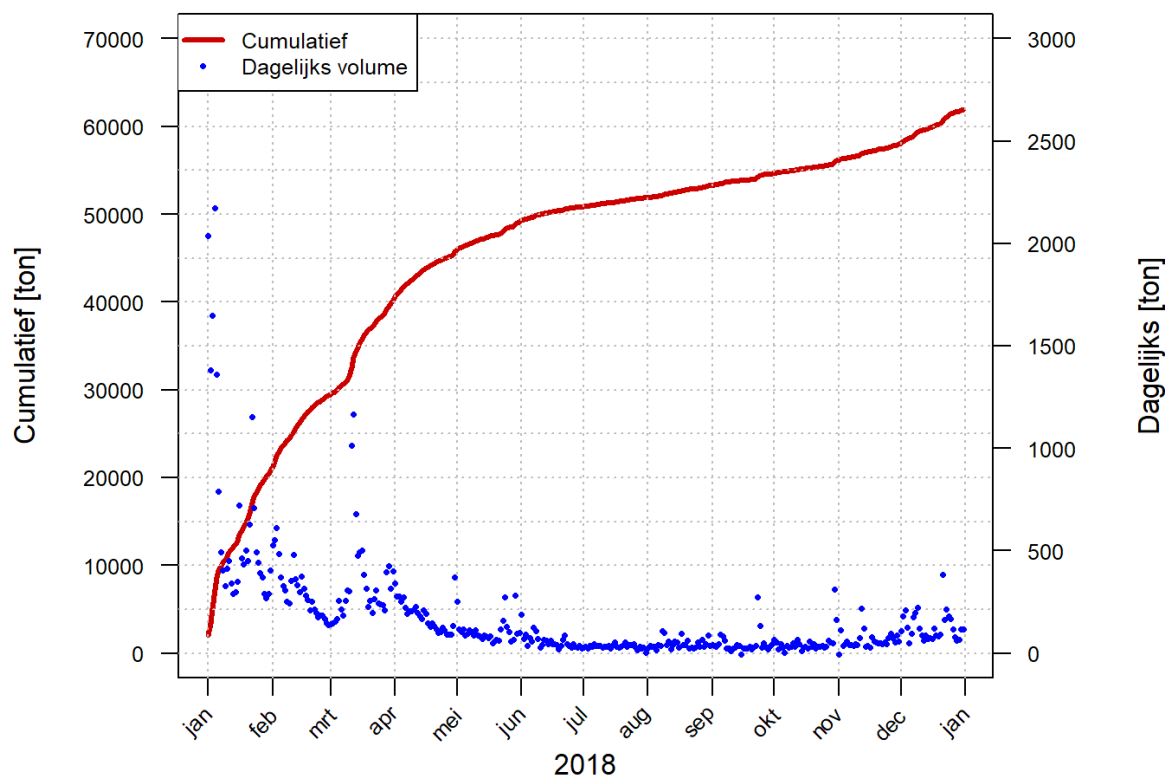
Tabel 15 – Geschatte jaarlijkse sedimentvracht (ton) aan de rand van het getijdegebied: de “ruwe” berekening op basis van de in situ meting en de sedimentvracht gecorrigeerd m.b.v. de EWI-correctie op het gemeten suspensiegehalte (SSC).

Meetlocatie	Rivier	Ruwe jaarlijkse sedimentvracht [ton]	EWI-correctie	Gecorrigeerde jaarlijkse sedimentvracht [ton]
Melle	Bovenshelde	336 242	$EWI = 0.39 \cdot SSC + 44.57$	131 179
Dendermonde	Dender	228 601	$EWI = 0.27 \cdot SSC + 248.57$	61 971
Eppegem	Zenne	176 454	$EWI = 0.67 \cdot SSC + 10.35$	118 234
Aarschot	Demer	384 643	$EWI = 0.14 \cdot SSC + 29.10$	53 879
Itegem - Hullebrug	Grote Nete	7 294	$EWI = 1.33 \cdot SSC + 11.20$	9 712
Grobbendonk - Troon	Kleine Nete	38 725	$EWI = 0.30 \cdot SSC + 13.24$	11 631

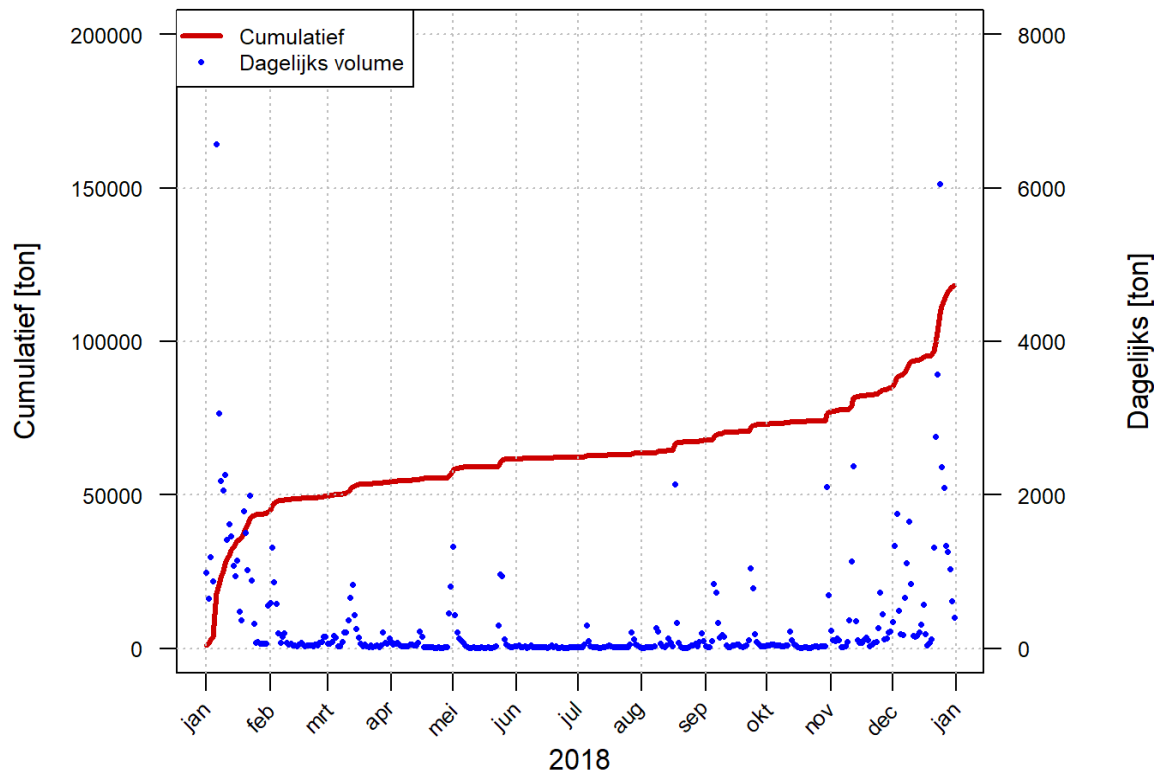
Figuur 95 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Melle komende van de Bovenschelde (EWI-correctie toegepast).



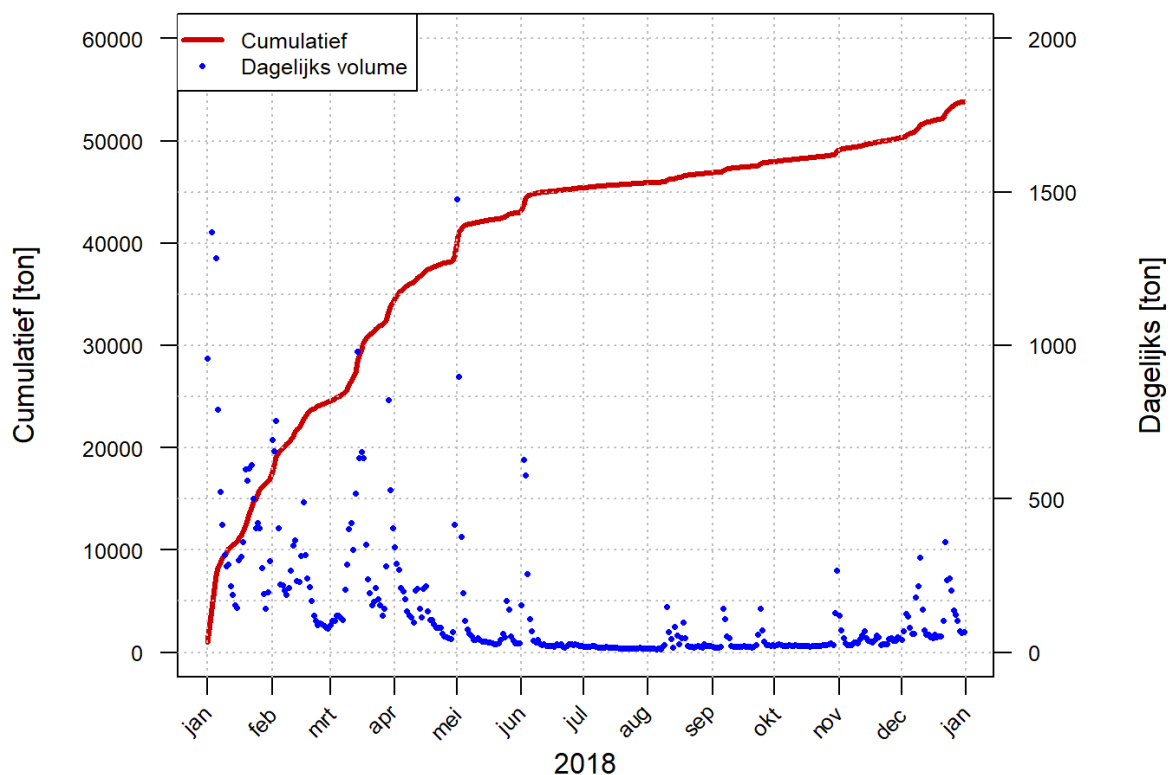
Figuur 96 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Dendermonde komende van de Dender (EWI-correctie toegepast).



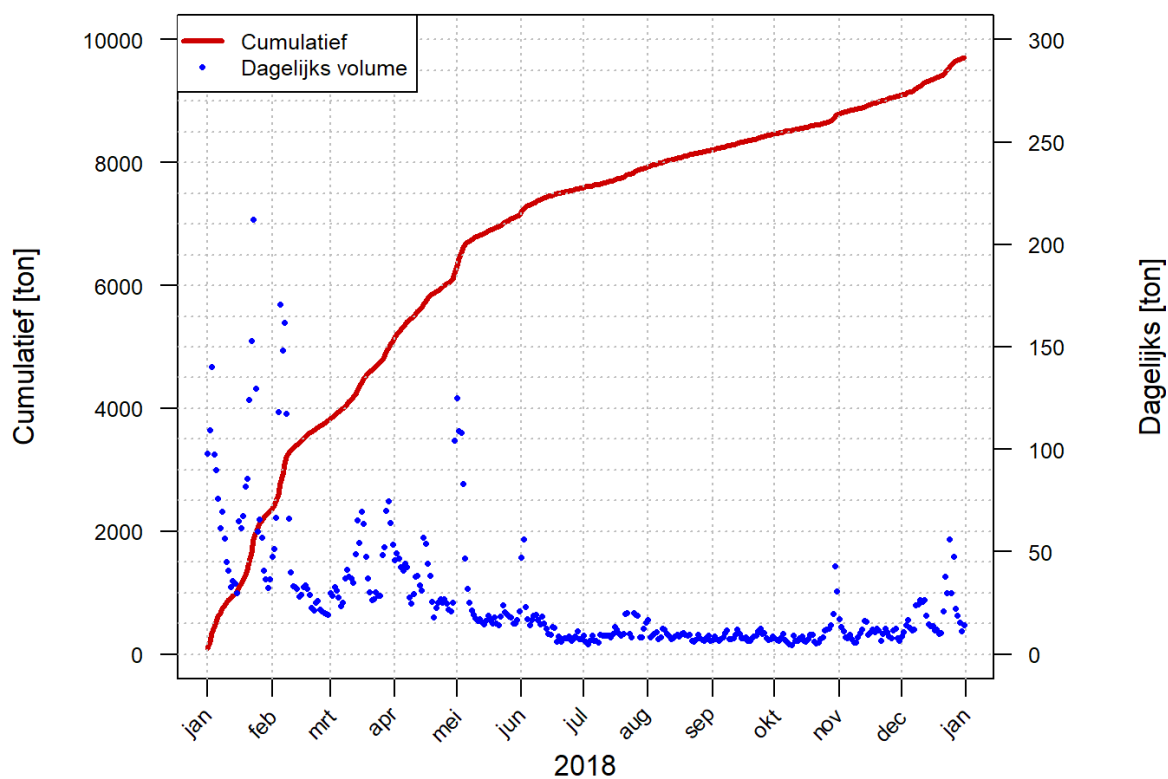
Figuur 97 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Epegegem komende van de Zenne (EWI-correctie toegepast).



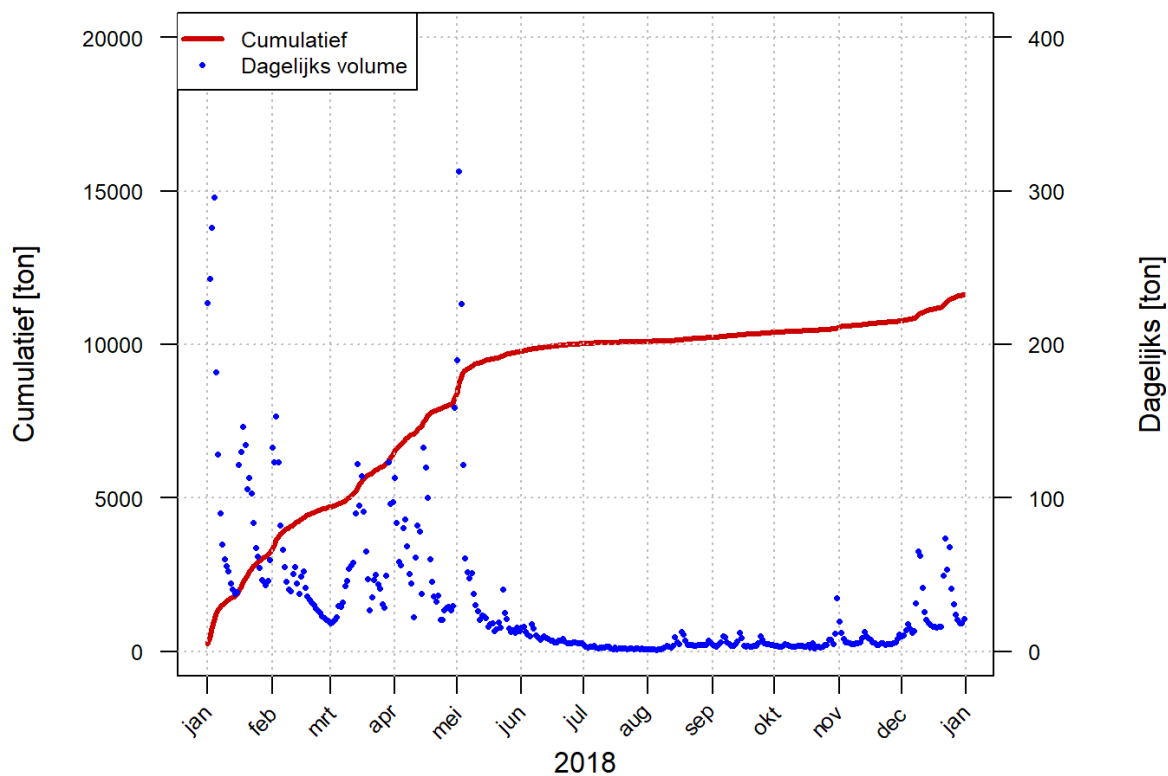
Figuur 98 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Aarschot komende van de Demer (EWI-correctie toegepast).



Figuur 99 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Itegem (Hullebrug) komende van de Grote Nete (EWI-correctie toegepast).



Figuur 100 – Berekende dagelijkse en gecumuleerde sedimentvracht in Grobbendonk (Troon) komende van de Kleine Nete (EWI-correctie toegepast).



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 een meting uitgevoerd op een welbepaald moment in de getijcyclus. In eerste instantie waren deze vaarten vooral gericht op het meten van het zoutgehalte langsheen het estuarium om alzo de “saliniteitsgradiënt” in beeld brengen.

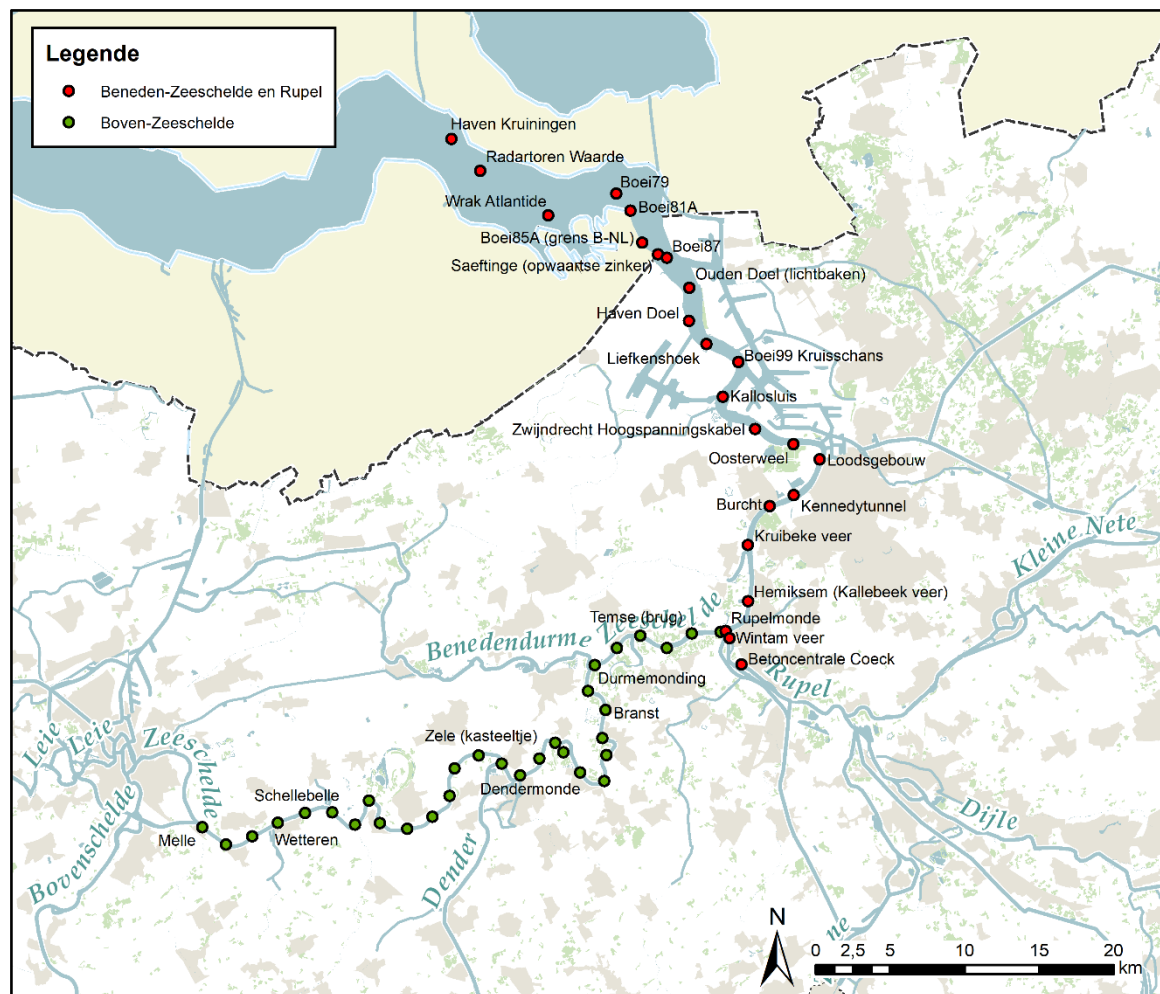
Sinds 2010 heeft men echter ook systematisch, naast de conductiviteit (gemeten met een YSI-sonde), water- en sedimentstalen genomen met behulp van een pomp, om zo enerzijds het chloridegehalte te kunnen bepalen, en anderzijds de sedimentconcentratie te kunnen meten. Hierbij worden pompstalen genomen. Tot en met 2016 werden zowel zogenaamde kenteringsvaarten uitgevoerd (bij kentering hoogwater en kentering laagwater) alsook halftij-eb vaarten (op de helft van de cyclus, tussen hoog en laagwater). Omwille van de verhoogde beschikbaarheid van continue conductiviteitsmetingen werd besloten om de kenteringsvaarten, die toch vooral de saliniteitsgradiënt in beeld brachten, niet langer uit te voeren.

De halftij-eb metingen focussen op het suspensiegehalte in het estuarium. Op iedere locatie worden er waterstalen genomen op verschillende dieptes in de waterkolom. Door het vooralsnog ontbreken van voldoende continue turbiditeit-SSC metingen worden de halve-tij eb metingen wel nog steeds uitgevoerd. Bij deze metingen tijdens de eb-fase varieert de stroomsnelheid minder sterk waardoor ook de sedimentconcentraties minder sterk fluctueren. Dit moment leent zich dus – voor suspensiemateriaal – beter voor metingen langsheen het estuarium. De halftij-eb vaarten worden sinds 2009 maandelijks uitgevoerd op 17 vaste locaties in de Beneden-Zeeschelde. In 2013 vond een uitbreiding plaats met 30 meetpunten in de Boven-Zeeschelde (Plancke *et al.*, 2014). Gezien de consequenties qua praktische haalbaarheid, werd de frequentie verlaagd naar een seizoenale uitvoering. Tot slot meet men sinds 2017 ook in 3 meer afwaarts gelegen punten op de Westerschelde, meer bepaald ter hoogte van de Haven van Kruiningen, de Radartoren van Waarde en het wrak van de Atlantide. Deze punten bevinden zich in de Westerschelde. Tabel 16 presenteert de meetcampagnes uitgevoerd in 2018. Figuur 101 situeert alle meetlocaties.

Tabel 16 – Overzicht data meetcampagnes halftij-eb

Seizoen	Deelrivier	Datum campagne
Winter	Beneden-Zeeschelde	09/03/2018
	Boven-Zeeschelde	07-08/03/2018
Lente	Beneden-Zeeschelde	06/06/2018
	Boven-Zeeschelde	04-05/06/2018
Zomer	Beneden-Zeeschelde	14/09/2018
	Boven-Zeeschelde	12-13/09/2018
Herfst	Beneden-Zeeschelde	30/11/2018
	Boven-Zeeschelde	28-29/11/2018

Figuur 101 – Ligging van de meetlocaties tijdens de periodieke langsvaarten



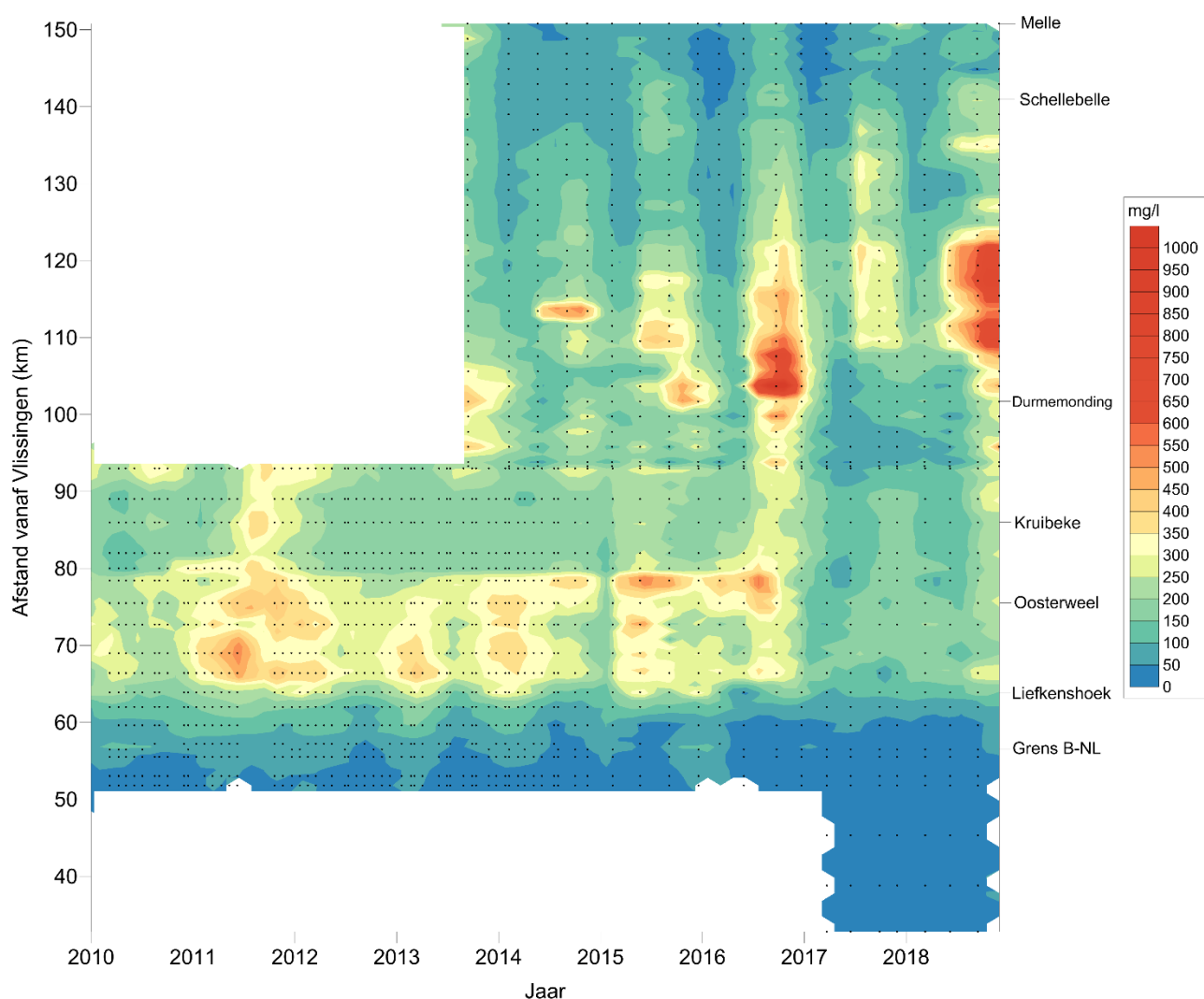
4.4.2 Verloop halftij-eb-vaarten

Bij de halftij-eb vaarten neemt men op iedere locatie stalen op verschillende waterdieptes. Theoretisch volgt het SSC profiel een Rouse profiel, waarbij de SSC gehalten toenemen naar de bodem toe. Men kan dus verwachten dat de diepte van stalname een invloed heeft op de opgemeten SSC gehalten (zie ook §4.1.6). Daarom werd er geopteerd om de waterkolom op te delen in 3 gelijke delen. De stalen bemonsterd gedurende 2010-2018 in het bovenste deel (de zgn. Oppervlaktestalen) staan gepresenteerd in Figuur 102. Figuur 103 toont de waterstalen in het diepste deel (zgn. dieptestalen). Gezien het beperkt aantal waterstalen uit de middelste sectie, worden deze hier niet gepresenteerd.

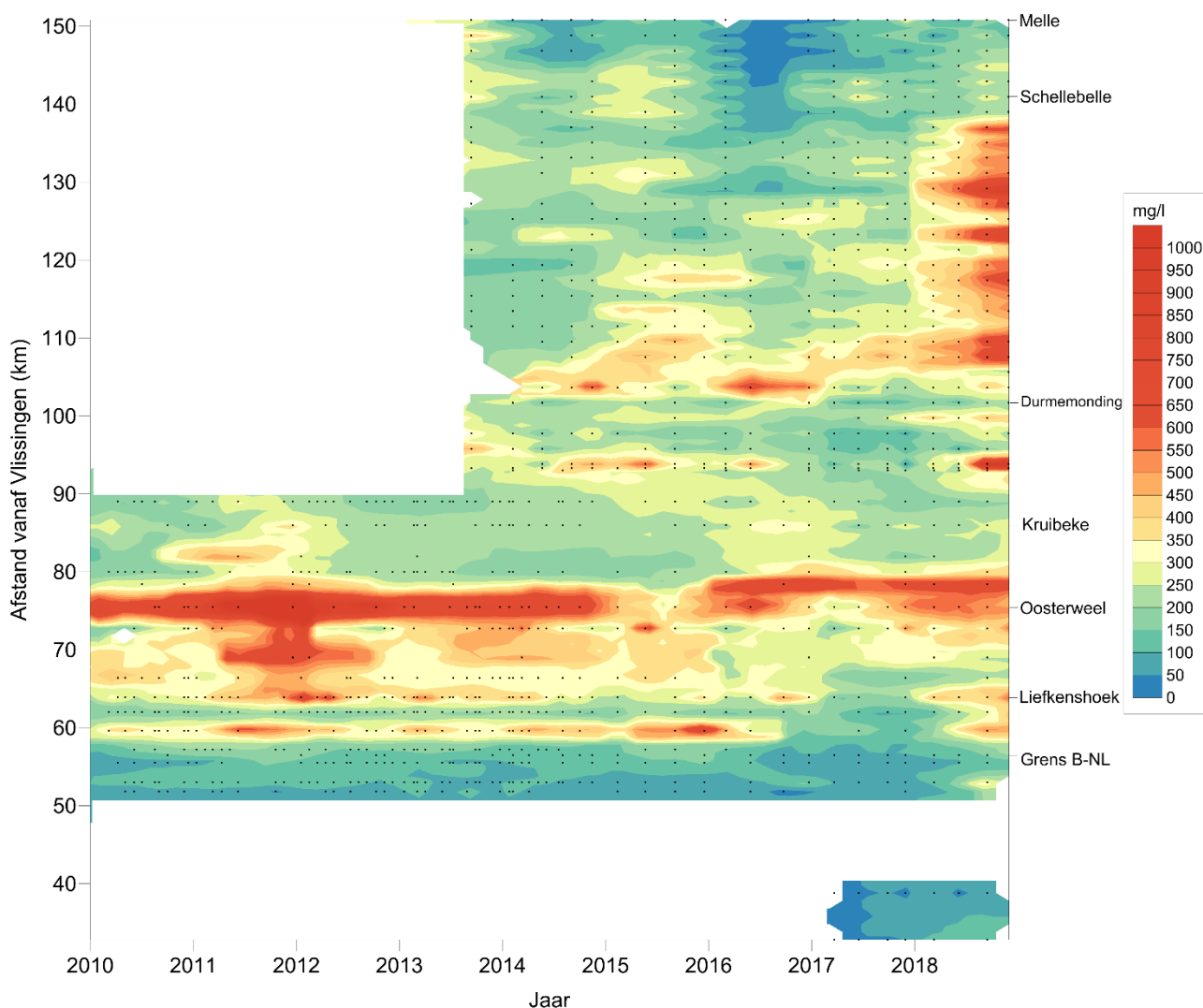
In de Beneden-Zeeschelde vertonen de oppervlaktestalen hogere sedimentconcentraties tussen km 60 en km 80, ter hoogte van de belangrijkste stortlocaties (Oosterweel, Punt van Melsele) voor slibrijke baggerspecie. Wanneer het verloop in de tijd beschouwd wordt, valt het op dat deze hogere waarden optreden van 2010 tot de eind 2016. Deze verhoging lijkt vanaf 2017 verdwenen. De dieptestalen vertonen een hoger suspensiegehalte dan de oppervlaktestalen, conform het Rouse-profiel. De zone met verhoogde concentratie komt overeen met deze van de oppervlaktestalen, maar deze zet zich nabij de rivierbodem ook voort na 2017.

In de Boven-Zeeschelde komen – vnl. tussen km 100 en 120 – in de tweede helft van het jaar hogere concentraties voor dan in de eerste helft van het jaar. In de zomer en het najaar van 2018 komen er concentraties van 750 tot 900 à 950 mg/l voor tussen km 105 en 125 (van Branst tot voorbij Dendermonde). In 2016 is er een grote zone met hoge concentraties zichtbaar die zich uitstrekt van km 100 tot km 120, terwijl in 2017 en vnl. 2018 de hogere concentraties tussen km 110 en 130 voorkomen (dus meer opwaarts dan eerder het geval was). In 2018 waren de concentraties over het algemeen hoger dan in de voorgaande jaren. In Figuur 103 is het lastiger om trends te ontwaren, mede doordat er minder meetpunten zijn dan aan het oppervlak. Al kan hier ook gesteld worden dat de zone met verhoogde concentratie na 2017 zich meer opwaarts is gaan positioneren. In 2018 reikte deze zone zelfs tot 140 km stroomopwaarts van Vlissingen.

Figuur 102 – Sedimentconcentratie nabij oppervlak (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde
(interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 0.5 jaar, zoekradius Y-as: 5 km)

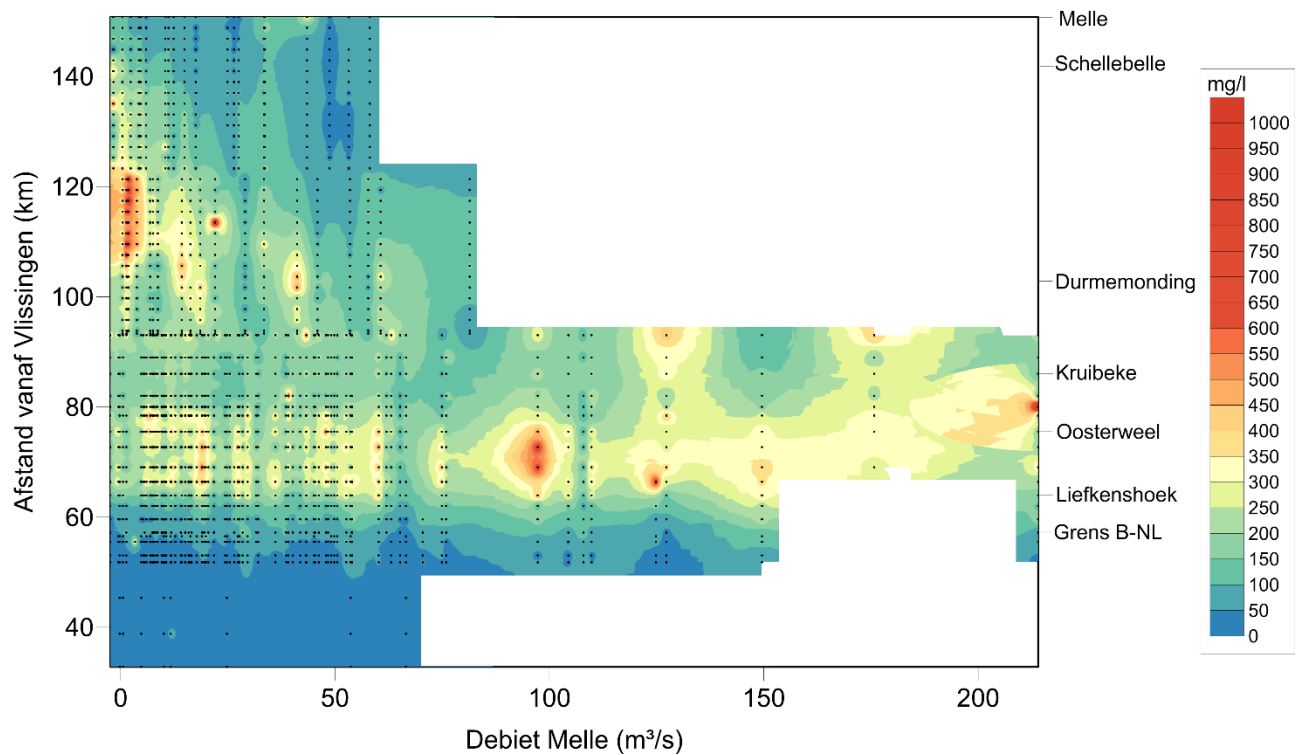


Figuur 103 – Sedimentconcentratie nabij rivierbodem (mg/l) bij half-tij-eb langs de Zeeschelde
(interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 0.75 jaar, zoekradius Y-as: 5 km)

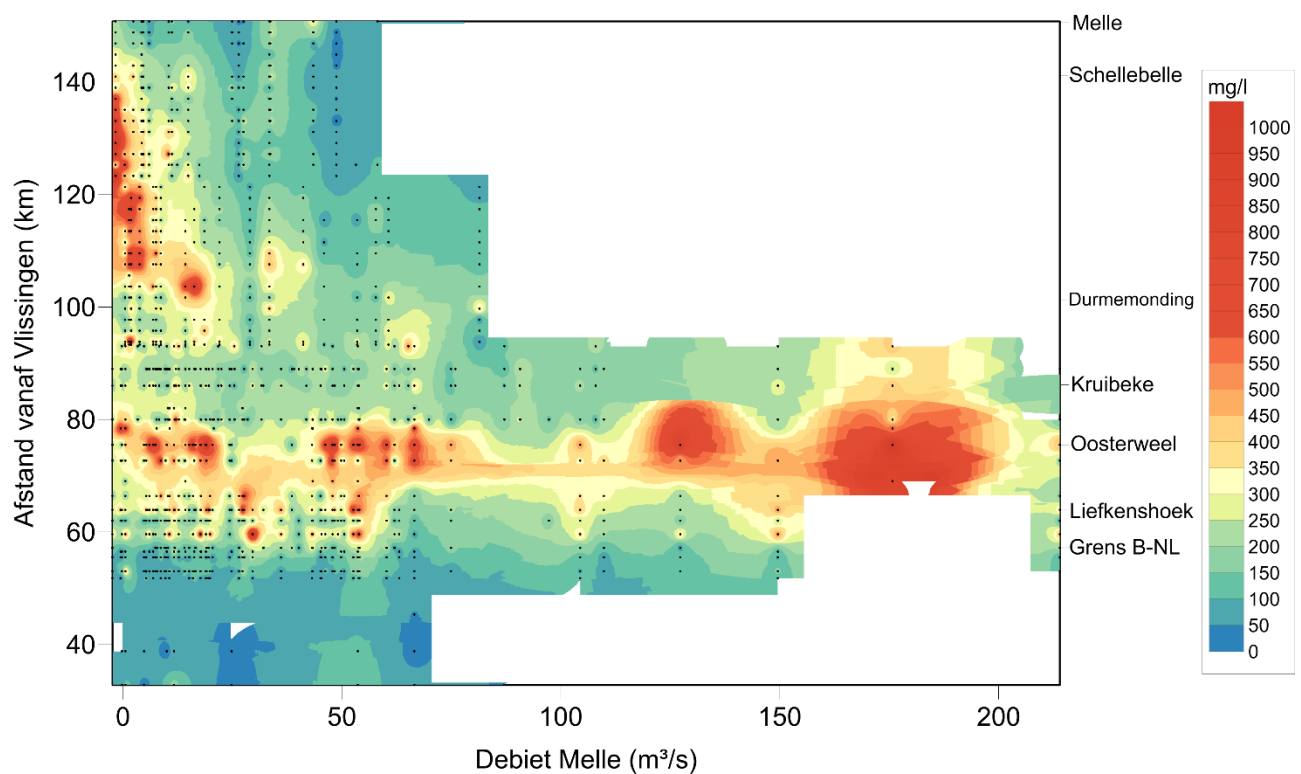


Figuur 104 geeft de sedimentconcentratie aan de oppervlakte weer ten opzichte van het debiet te Melle op basis van alle metingen sinds de start van de half-tij-eb vaarten (2009). Bij lage bovendebieten valt de piek in sedimentconcentraties tussen 100 en 125 km vanaf Vlissingen. Bij een hogere bovenafvoer zijn de hoogste concentraties meer afwaarts te vinden. In Figuur 105 wordt hetzelfde gepresenteerd als in Figuur 104, maar dan nabij de rivierbodem. Er komt eenzelfde patroon naar voor als nabij het oppervlak: bij een lage bovenafvoer treedt het sedimentconcentratie maximum op in de Boven-Zeeschelde (100 tot 140 km) en bij een hogere bovenafvoer ligt het maximum meer afwaarts. De zone van het sedimentconcentratie maximum is wel iets groter (100 tot 140 km van Vlissingen) nabij de bodem dan dichtbij het oppervlak (100 tot 125 km). De zone met verhoogde concentratie ter hoogte van Oosterweel/Punt van Melsele (60km-80km) blijft behouden, onafhankelijk van het debiet.

Figuur 104 – Sedimentconcentratie nabij oppervlak (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde uitgezet tov het debiet te Melle (interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 30 m³/s, zoekradius Y-as: 8 km).



Figuur 105 Sedimentconcentratie nabij rivierbodem (mg/l) bij halftij-eb langsheen de Zeeschelde uitgezet tov het debiet te Melle (interpolatietechniek: IDW, zoekradius X-as: 30 m³/s, zoekradius Y-as: 8 km).



Figuur 106 en Figuur 107 geven respectievelijk het verloop aan van het suspensiegehalte in de oppervlakte- en dieptestalen langsheen de volledige Zeeschelde, tijdens de vier HTE campagnes van 2018. Tabel 17 geeft enkele kengetallen van deze campagnes.

Tabel 17 – Samenvattingstabel sedimentconcentratie gegevens (mg/l) van
helftij-eb gegevens in 2018 langsheen de volledige Zeeschelde

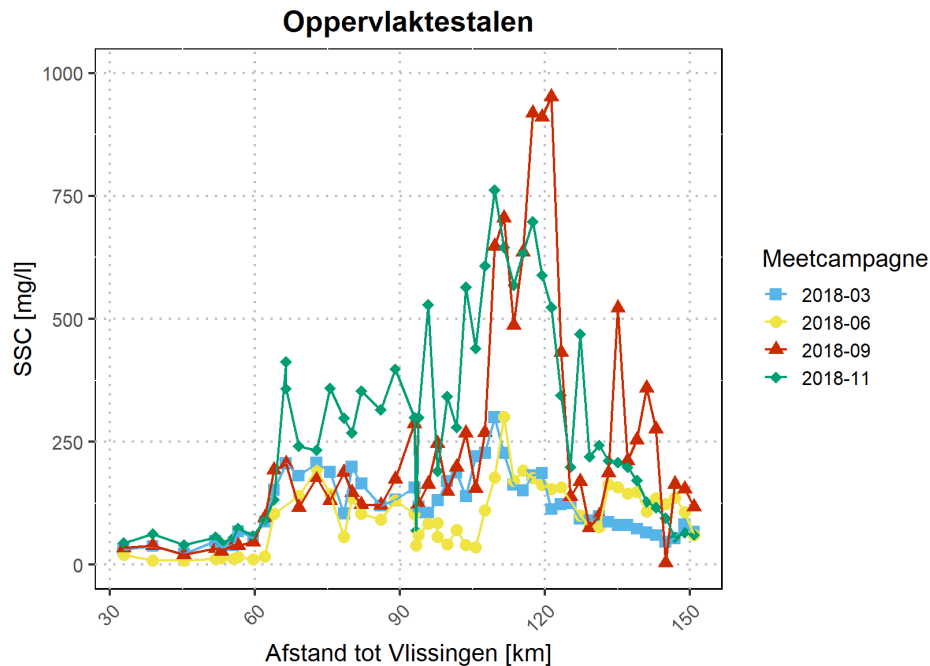
		maart		juni		september		november	
		opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem	opp	bodem
Gehele Zeeschelde	min	47	21	11	63	4	72	56	84
	max	300	805	301	467	952	1622	762	1222
	mediaan	123	193	108	203	183	364	289	367
	stdev	58	163	58	91	240	394	194	254
Beneden-Zeeschelde (Rupelmonde-grens B/NL, km56,6-93)	min	55	21	11	63	39	96	59	259
	max	207	805	195	467	287	683	413	638
	mediaan	155	244	103	172	139	302	298	408
	stdev	51	230	57	151	65	168	119	147
Boven-Zeeschelde (opwaarts Rupelmonde, > km 93)	min	47	57	36	83	4	72	56	84
	max	300	465	301	369	952	1622	762	1222
	mediaan	113	141	111	206	229	471	279	312
	stdev	61	113	59	68	268	429	219	41

Enkele conclusies:

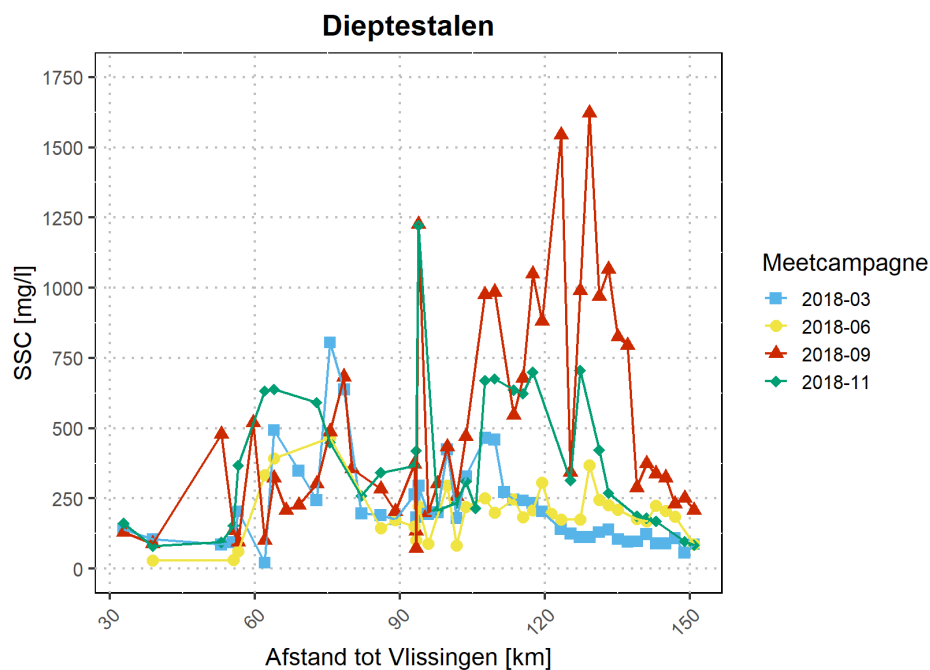
- De sedimentconcentraties zijn systematisch lager aan de oppervlakte dan aan de bodem.
- In het voorjaar en najaar is de sedimentconcentratie het hoogst in de Beneden-Zeeschelde, in de zomer is de concentratie hoger in de Boven-Zeeschelde. Telkens is de concentratie in de Westerschelde het laagste. De Westerschelde wordt dan ook gekenmerkt door een grotere watermassa.
- Behalve voor de metingen bij het oppervlak in de Boven-Zeeschelde is de concentratie het laagst tijdens de meetcampagne in juni.
- In de Beneden-Zeeschelde is de sedimentconcentratie het hoogst tijdens de meetcampagne van november. In de Boven-Zeeschelde en de Westerschelde is dat tijdens de campagne van september.
- Bij de oppervlaketstenen zijn de concentraties tijdens de metingen van maart, juni en september vergelijkbaar van afwaarts tot ± km 115. Vanaf deze locatie neemt in september de concentratie sterk toe tot km 125. Tussen km 130 en 140 herhaalt zich dat. Tijdens de metingen van november is de concentratie bij de oppervlakte doorgaans hoger dan de meetcampagnes eerder dat jaar.

- Voor de concentratie dieper in de waterkolom geldt eenzelfde patroon, enkel is die minder duidelijk dan bij de oppervlaktetestalen. Rond km 95 valt wel een scherpe toename van de sedimentconcentratie op tijdens de meetcampagnes van september en november.

Figuur 106 – Sedimentconcentratie aan de oppervlakte bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde



Figuur 107 – Sedimentconcentratie aan de bodem bij halftij-eb langsheen de volledige Zeeschelde



4.4.3 Trends in sedimentconcentratie over langere termijn

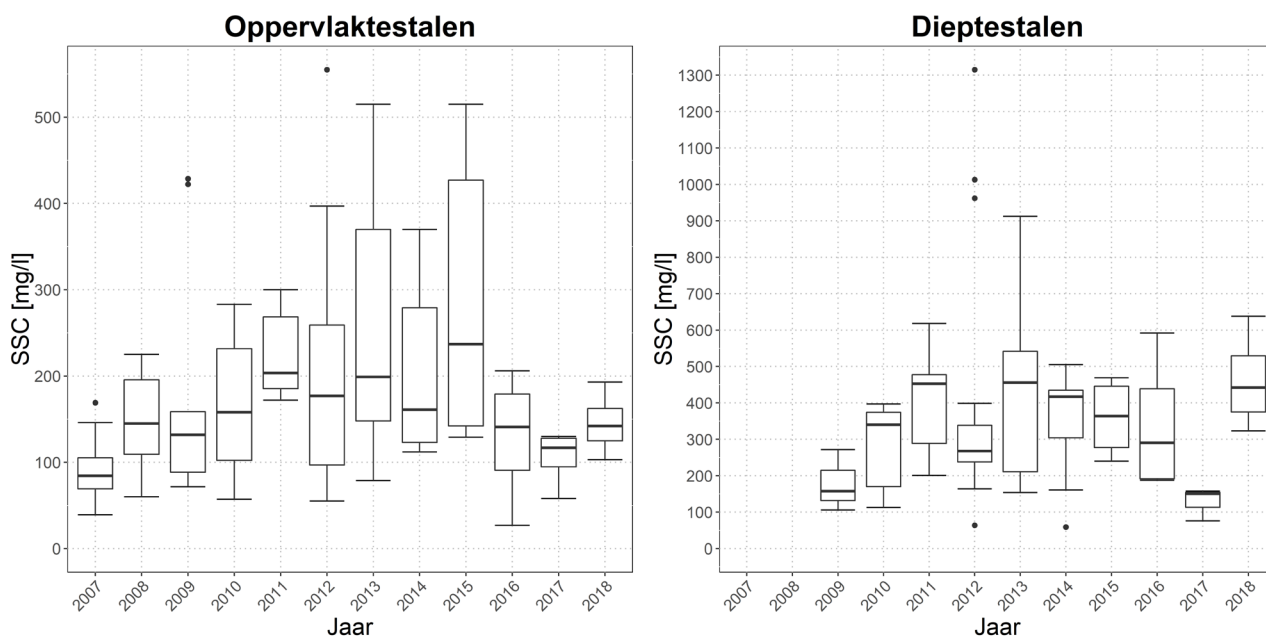
Tot dusver zijn de langsvaarten enkel in het kader van de ruimtelijke en temporele variatie van de sedimentconcentratie langsheen de Zeeschelde besproken. In Figuur 108 tot en met Figuur 113 wordt voor verschillende locaties langsheen de Zeeschelde het verloop doorheen de laatste jaren van de sedimentconcentraties nabij het oppervlak en de bodem weergegeven. De locaties zijn geselecteerd op basis van de ruimtelijke spreiding langs de rivier en de beschikbaarheid aan data. Figuur 101 presenteert hun locatie. Enkel de jaren met minstens drie meetcampagnes zijn weerhouden in deze grafiek. Merk op dat er pas sinds eind 2013 gemeten wordt in de Boven-Zeeschelde. Voor deze locaties zijn er dus slechts vijf jaren met voldoende meetcampagnes beschikbaar. Men kan dus geen lange termijn trend waarnemen.

Liefkenshoek

Te Liefkenshoek (Figuur 108) liggen de mediane sedimentconcentraties bij de oppervlakte bij halftij-eb sinds 2007 gemiddeld rond 175 mg/l. De jaren 2010-2015 worden gekenmerkt door hogere mediane waarden met ook een hogere spreiding. Sinds 2016 zijn tijdens de halftij-eb-vaarten gelijkaardige sedimentconcentraties opgemeten als jaren voor 2011 (rond 150 mg/l).

Bij de bodem is de sedimentconcentratie meer dan het dubbele dan bij het oppervlak. Het patroon van de sedimentconcentraties is vergelijkbaar met dat bij de oppervlaktetestalen. Enkel de sedimentconcentratie tijdens de campagnes in 2017 zijn relatief gezien lager (de concentratie is nauwelijks hoger dan bij het oppervlak), in 2018 hoger.

Figuur 108 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Liefkenshoek tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.

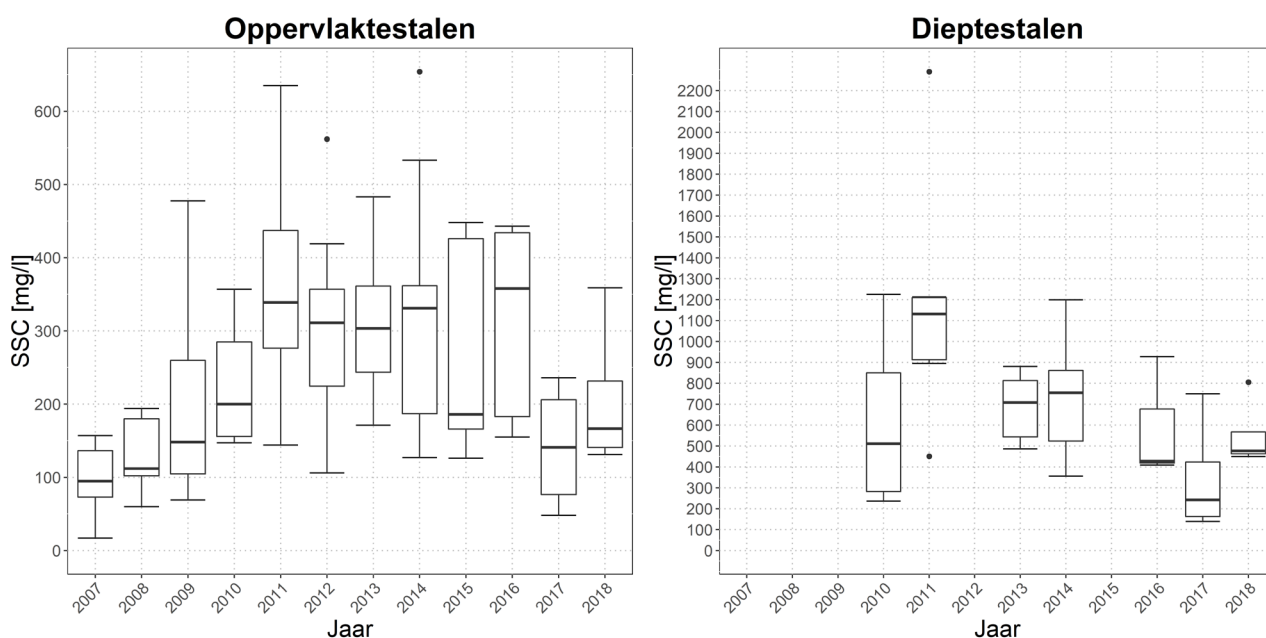


Oosterweel

Figuur 109 toont de sedimentconcentraties gemeten in Oosterweel tijdens de halftij-eb-vaarten vanaf 2007. Net als bij Liefkenshoek nemen ook hier de sedimentconcentraties jaarlijks toe tussen 2007 en 2011. De concentratie verdubbelde van ongeveer 150 mg/l tot ruim 300 mg/l. Vanaf 2011 stabiliseert het sedimentgehalte zich tot en met 2016. Enkel in 2015 is de mediane waarden vrij laag, de uitersten zijn gelijkaardig als de jaren ervoor. 2017 en 2018 kennen weer lagere sedimentconcentraties (175 mg/l).

Bij de bodem zijn er enkel voldoende resultaten vanaf 2010, met uitzondering van 2012. Het patroon doorheen de jaren is wel verschillend ten opzicht van de oppervlaktetalen. Gemiddeld is de mediaan jaarlijks zo'n 700 mg/l. Met uitschieters in 2011 (1200 mg/l) en 2017 (200 mg/l).

Figuur 109 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Oosterweel tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.



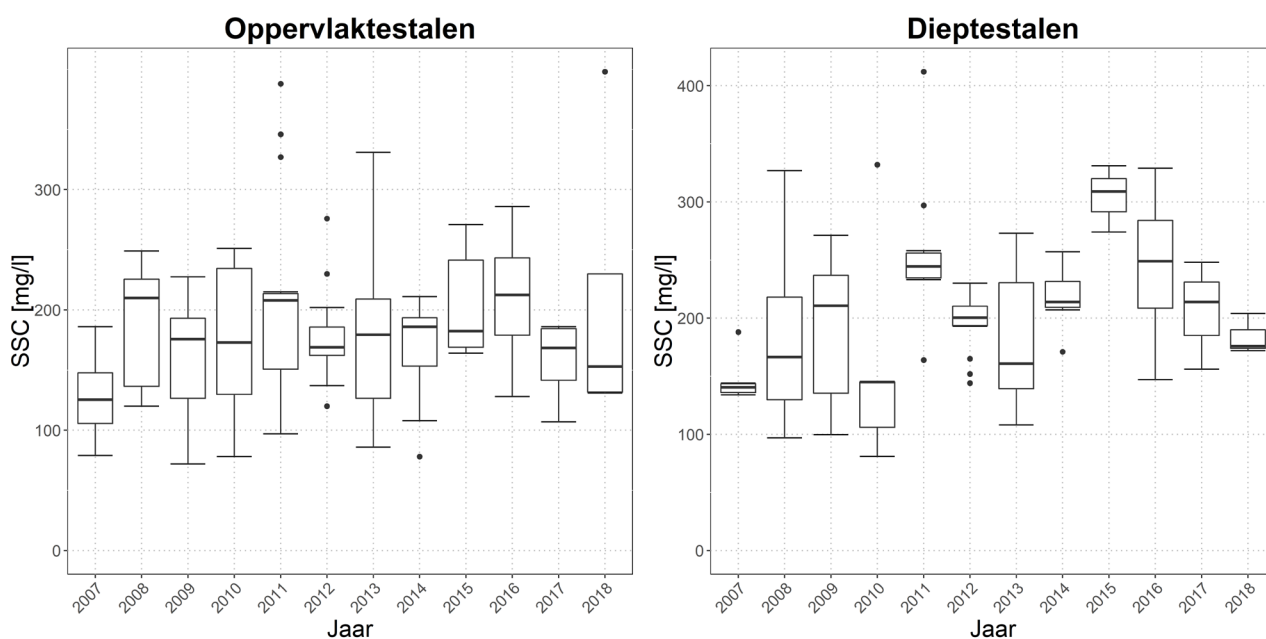
Hemiksem (Kallebeek veer)

In Hemiksem zijn er data beschikbaar vanaf 2007 (Figuur 110) voor zowel de oppervlakte- als de dieptetalen.

Bij het oppervlak is de mediane sedimentconcentratie om en bij de 200 mg/l. Enkel in 2007 was dit relatief laag. Ook de concentraties gemeten in 2017 zijn, in tegenstelling tot Liefkenshoek en Oosterweel waar deze uitgesproken lager waren dan de overige jaren, vrij normaal.

Bij de dieptetalen is de variabiliteit veel groter. Opmerkelijk is wel dat de sedimentconcentratie in dezelfde orde van grootte is als de concentratie bij het oppervlak: rond 200 mg/l.

Figuur 110 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2007-2018) in Hemiksem tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.

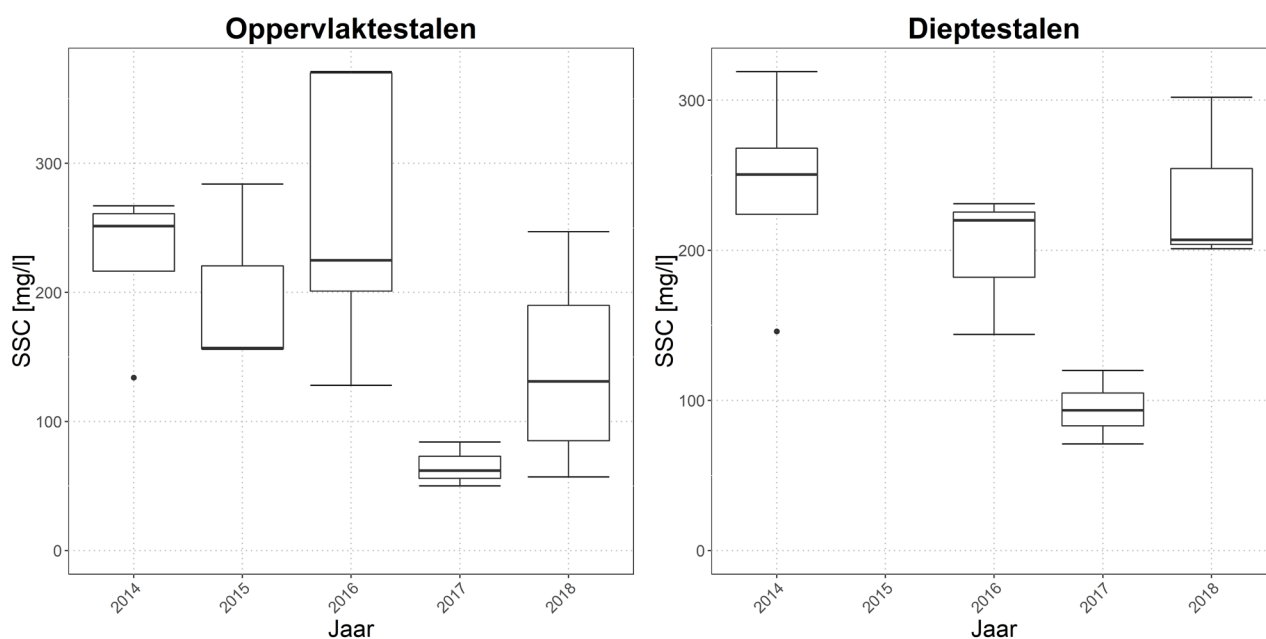


Temse (brug)

Figuur 111 toont het verloop van de sedimentconcentratie ter hoogte van Temse bij halftij-eb vanaf 2014. Tussen 2014 en 2016 was de concentratie bij het oppervlak gemiddeld ruim 200 mg/l. Voornamelijk 2017 (± 50 mg/l), maar ook 2018 (± 130 mg/l) kenden lagere concentraties.

In 2015 waren er bij de bodem onvoldoende metingen in 2015. Ook hier is 2017 gekenmerkt door zeer lage sedimentconcentraties (± 90 mg/l). Tijdens de overige jaren schommelt het gehalte tussen 200 en 205 mg/l.

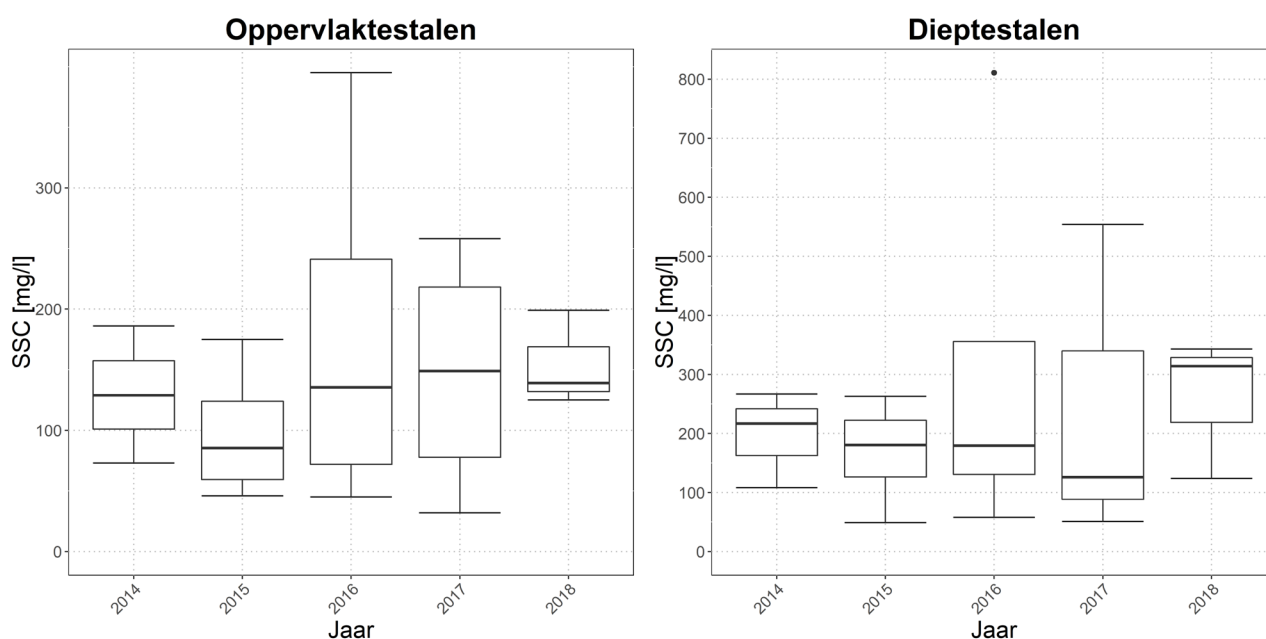
Figuur 111 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Temse (brug) tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.



Zele (kasteeltje)

Vanaf 2014 is de sedimentconcentratie, zowel bij het oppervlak (± 125 mg/l) als bij de bodem (± 200 mg/l), tamelijk constant (Figuur 112). In 2017 is het mediane sedimentgehalte bij het oppervlak vergelijkbaar met de metingen in de overige jaren. Bij de bodem is de mediane waarde dat jaar wel lager in vergelijking met de andere jaren. De extremen zijn wel vergelijkbaar.

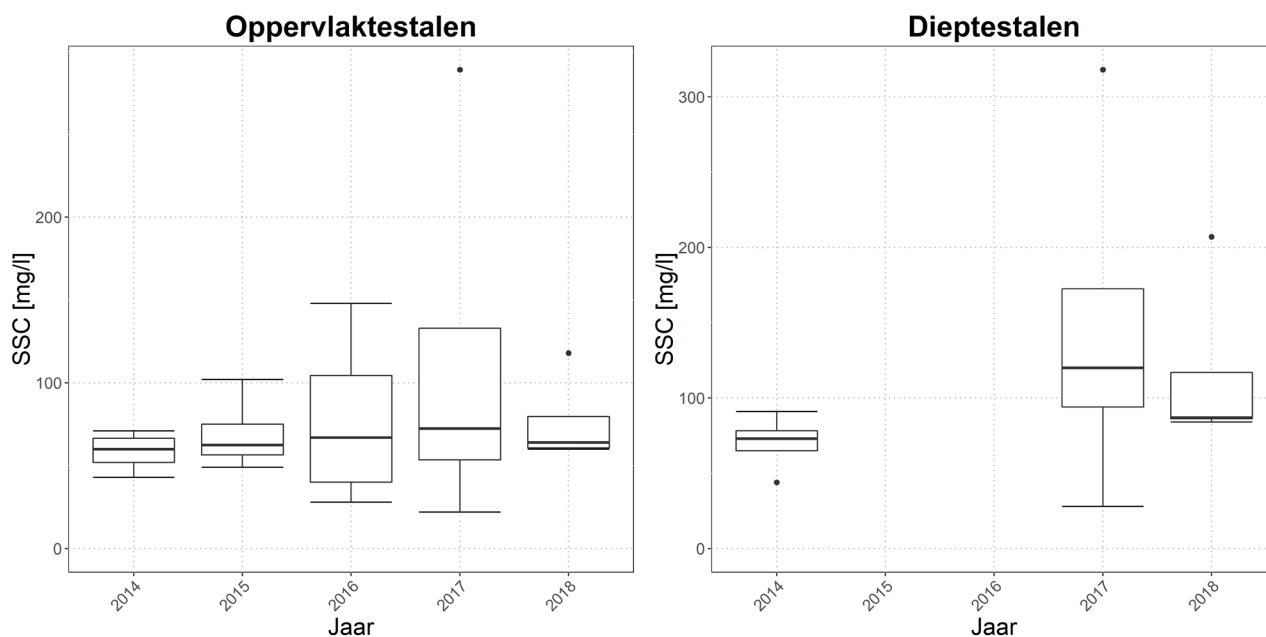
Figuur 112 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Zele (kasteeltje) tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.



Melle

In het opwaartse deel van de Zeeschelde zijn de locaties met voldoende dieptestalen beperkt. Melle (Figuur 113) is de locatie met de meeste en recentste data. Het sedimentgehalte is er bij het oppervlak ongeveer 60 mg/l. 2017 kent, in tegenstelling tot de overige locaties, de hoogste waarde. Idem bij de dieptestalen. De mediane concentratie bij de bodem schommelt er rond 100 mg/l.

Figuur 113 – Historisch verloop van de sedimentconcentratie (2014-2018) in Melle tijdens de halftij-eb-vaarten: boxplot met mediaan, interkwartielafstand, minimum, maximum en uitschieters.



4.5 Hoogfrequente golfmetingen

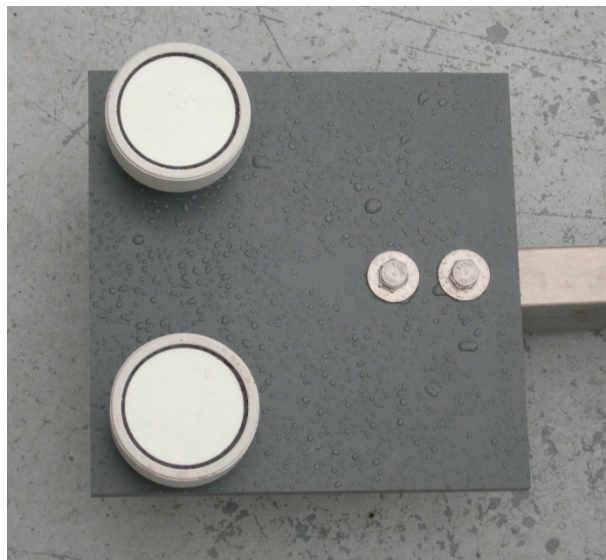
In het kader van MONEOS heeft het Waterbouwkundig Laboratorium op 30 mei 2010 een golvenmeter geïnstalleerd, eerst ter hoogte van "Galgeschoor-Lillo", nadien werd het toestel verplaatst naar de nieuwe locatie "Lillo Meetpaal".

In het MONEOS-jaarboek 2011 werden de golfparameters een eerste maal gerapporteerd. In de jaarboeken van 2012 t.e.m. 2015 werden ze niet gerapporteerd. De oorzaak van het ontbreken van deze parameters in de jaarboeken was hoofdzakelijk te wijten aan technische problemen inzake de energievoorziening. In 2016 en 2017 waren deze problemen nog niet volledig van de baan, maar waren er al voldoende gegevens beschikbaar om te rapporteren. Vanaf midden mei 2018 was er terug een technisch probleem waardoor data na 18 mei 2018 ontbreken in de verdere rapportering.

4.5.1 Meetlocaties en meetinstrumenten "golfmetingen"

De hoogfrequente golfmetingen worden uitgevoerd op de locatie "Lillo-meetpaal" met behulp van een Log_aLevel meettoestel (Figuur 114). Dit toestel maakt gebruik van RADAR-technologie om 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 114 – Locatie Lillo-Meetpaal met links-uitstekend arm van golvenmeter (links) en detail Log-aLevel toestel (rechts)



4.5.2 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 in voorliggend jaarboek wordt gepresenteerd. Het betreft volgende parameters:

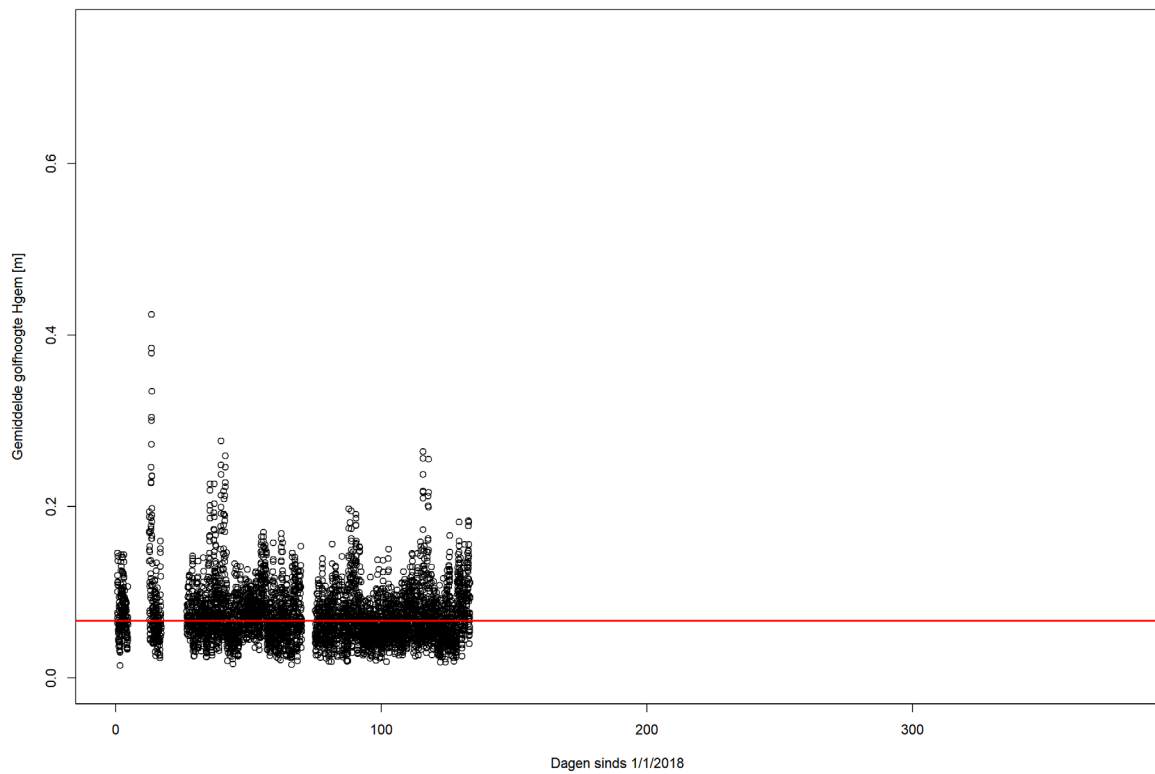
- Gemiddelde golfhoogte gedurende 30 minuten ($H_{\text{gem}, 30\text{min}}$) en bijbehorende periode
- Maximale golfhoogte gedurende 30 minuten ($H_{\text{max}, 30\text{min}}$) en bijbehorende periode
- Significante golfhoogte gedurende 30 minuten ($H_{1/3, 30\text{min}}$) en bijbehorende periode

Figuur 115 tot en met Figuur 120 geven het verloop weer van de gemiddelde, maximale en significante golfhoogte en bijbehorende periode. Daarnaast wordt per parameter ook de mediane waarde (rode lijn) getoond waarvan de waarden ook in Tabel 18 staan. Ondanks er voor 2018 slechts tot 18 mei data beschikbaar is, blijkt dat de karakteristieke golfparameters voor 2018 sterk gelijk zijn op deze van 2016 en 2017.

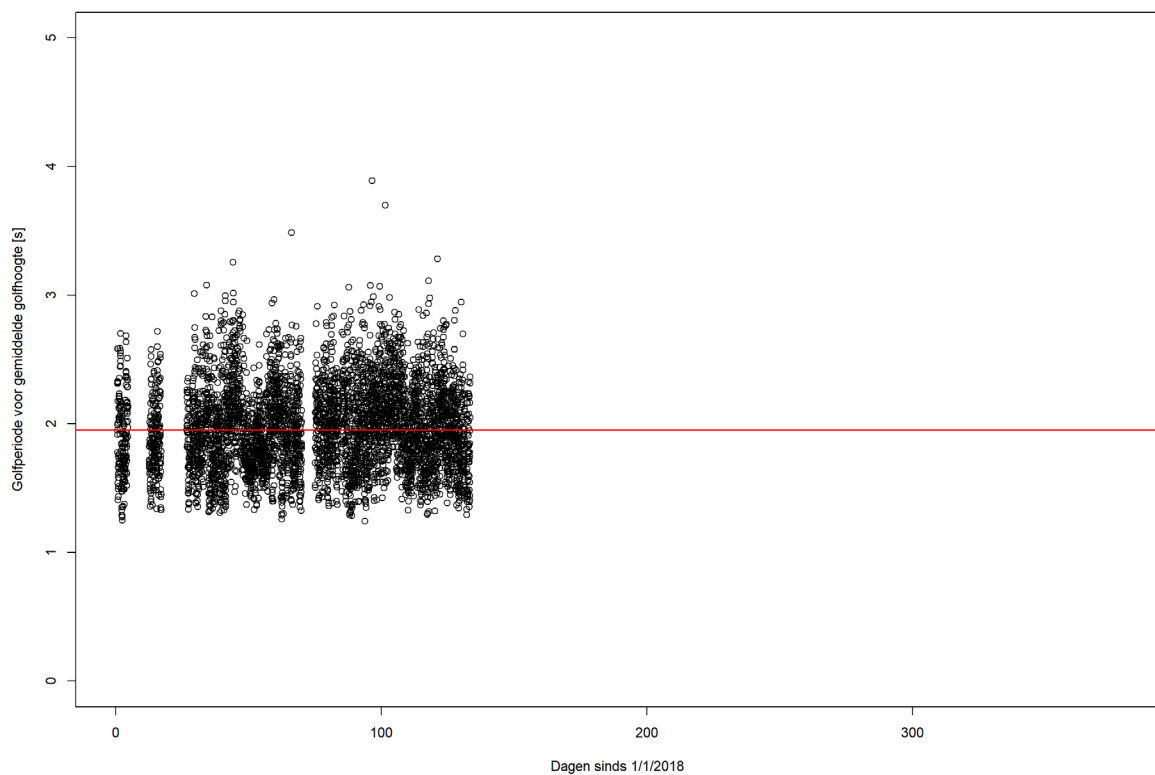
Tabel 18 – Overzicht karakteristieke golfparameters voor 2018 en vergelijking met 2016 en 2017

	2016	2017	2018
Gemiddelde golfhoogte ($H_{\text{gem}, 30\text{min}}$)	6,7 cm	6,9 cm	6,7 cm
Periode van gemiddelde golfhoogte ($T_{\text{gem}, 30\text{min}}$)	1,90 s	1,90 s	1,95 s
Maximale golfhoogte ($H_{\text{max}, 30\text{min}}$)	36,6 cm	37,1 cm	36,0 cm
Periode van maximale golfhoogte ($T_{\text{max}, 30\text{min}}$)	2,49 s	2,48 s	2,51 s
Significante golfhoogte ($H_{1/3, 30\text{min}}$)	11,0 cm	11,1 cm	10,8 cm
Periode van significante golfhoogte ($T_{1/3, 30\text{min}}$)	2,29 s	2,30 s	2,35 s

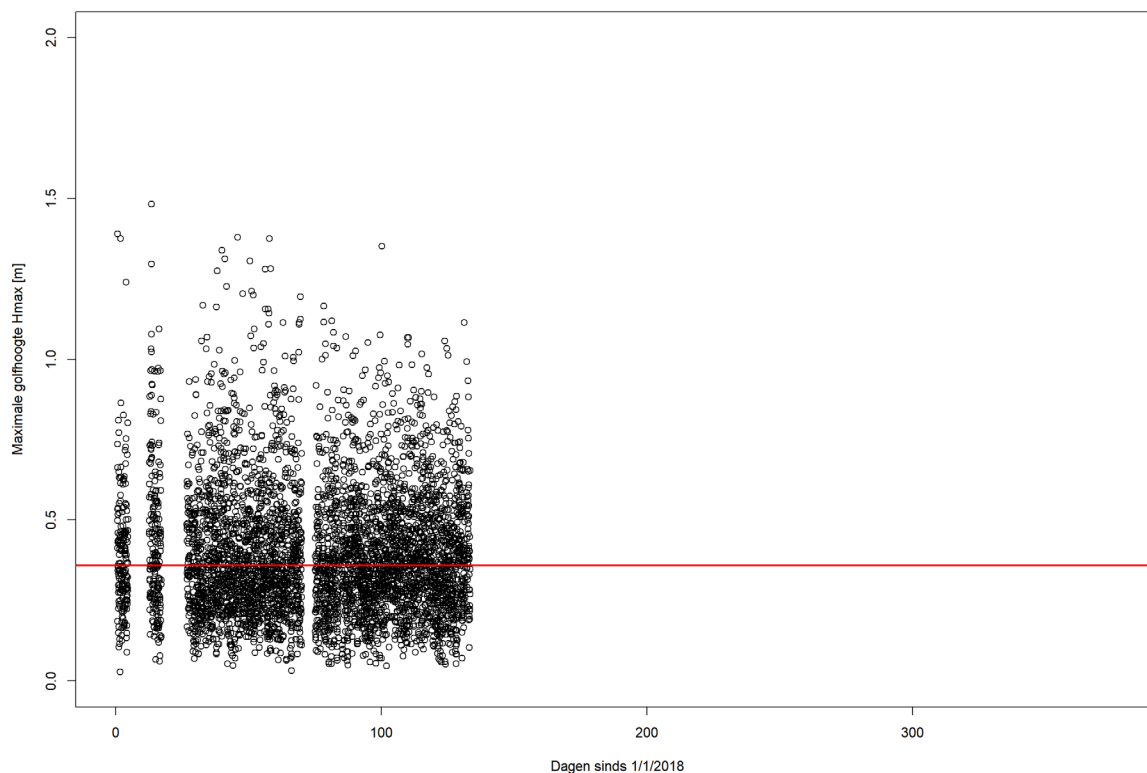
Figuur 115 – Gemiddelde golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



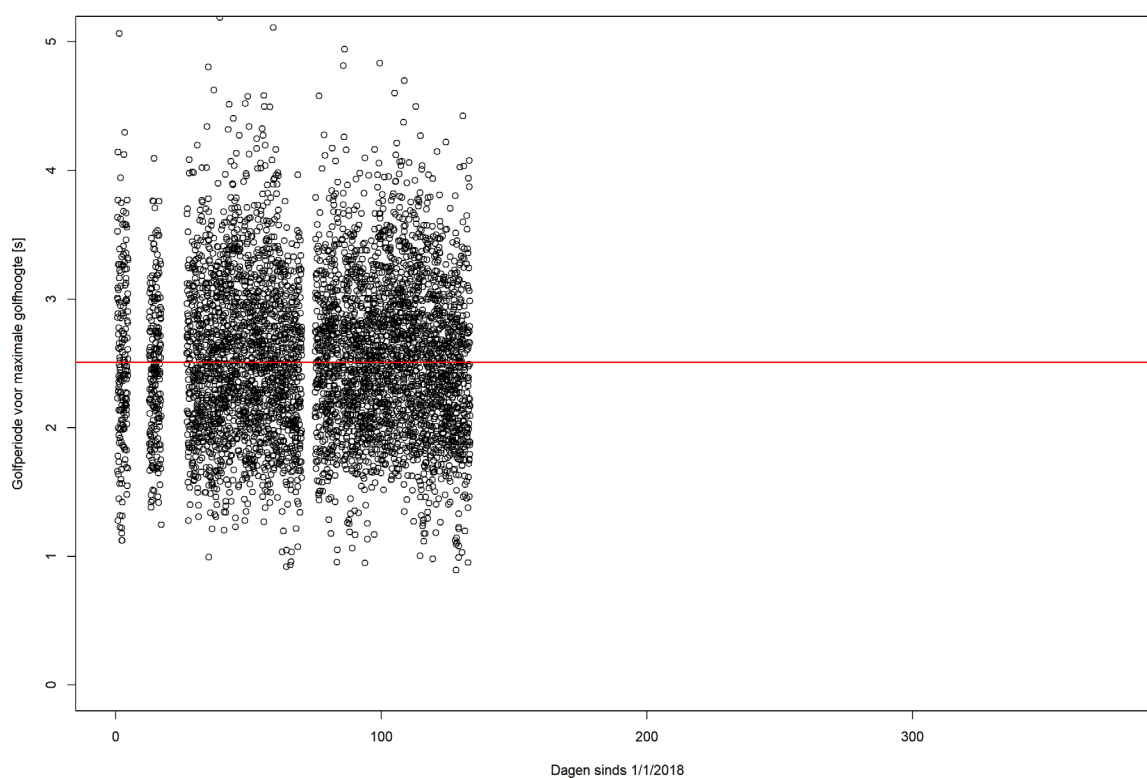
Figuur 116 – Periode behorende bij de gemiddelde golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



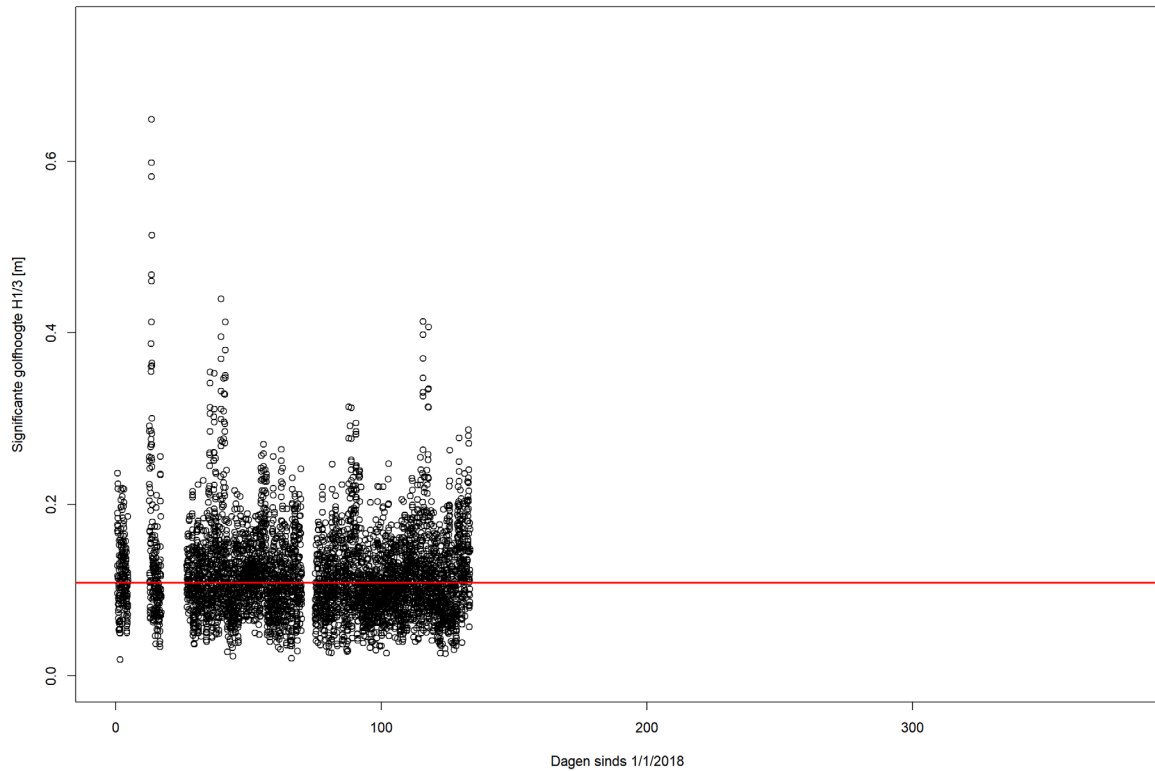
Figuur 117 – Maximale golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



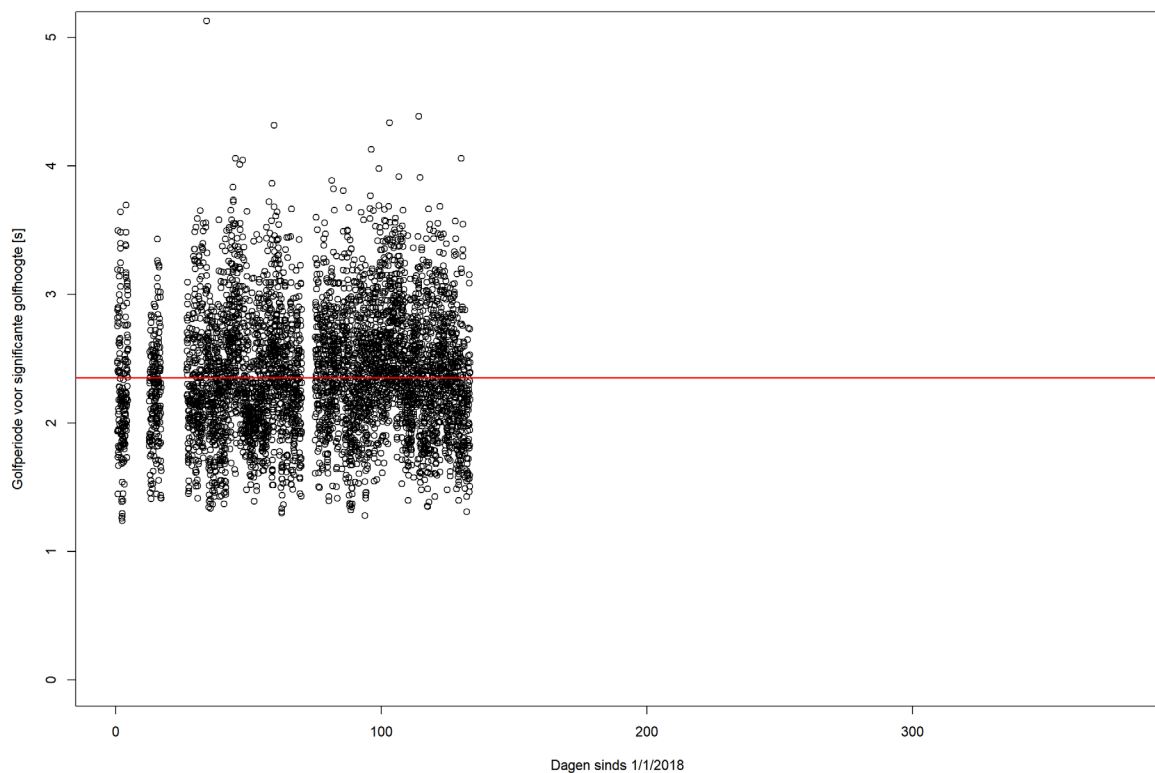
Figuur 118 – Periode behorende bij de maximale golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



Figuur 119 – Significante golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



Figuur 120 – Periode behorende bij de significante golfhoogte (afgeleide waarden per 30'; rode lijn = mediaan)



5 Referenties

Barneveld, H.J.; Nicolai, R.P.; van Veen, M.; van Haaster, S.; Boudewijn, T.J., de Jong, J.W.; van Didderen, K.; van de Haterd, R.J.W.; Middenveld, P.P.; Michielsen, S.; Van de Moortel, I.; Velez, C.; De Wilde, E. (2018a). Analyserapport. T2015-rapportage Schelde-estuarium. HKV Lijn in Water: Lelystad. Iv, 428 + bijlagen pp.

Barneveld, H.J.; Nicolai, R.P.; Boudewijn, T.J., de Jong, J.W.; van Didderen, K.; van de Haterd, R.J.W.; Van de Moortel, I.; Velez, C. (2018b). Evaluatierapport. T2015-rapportage Schelde-estuarium. HKV Lijn in Water: Lelystad. xx, 197 + bijlagen pp.

Boeckx, L.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Laagwaterseizoen 2018: samenvatting seizoen en gepubliceerde laagwaterberichten waterwegen. Versie 1.0. WL Rapporten, PA006_8. Versie 1.0. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. IX, 50 + 186 p. bijl. pp.

Brackx, M.; Van de Moortel, I.; Vandenbruwaene, W.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Validatie fysische parameters: Verwerking EWI-campagnes periode 2012-2017. Versie 1.0. WL Rapporten, 12_076_15. 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. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. III, 33 pp.

Depreiter, D.; Cleveringa, J.; van der Laan, T.; Maris, T.; Ysebaert, T.; Wijnhoven, S. (2014). T2009-rapport Schelde-estuarium. IMDC/Arcadis/Universiteit Antwerpen/Imares/NIOZ: [s.l.]. 522 + 2 bijlagen pp.

Ferket, B.; Van Hoestenbergh, T.; Claeys, S.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T., Mostaert, F. (2015). Methodologie voor de bepaling van SSC aan meetposten met Aanderaa of YSI multiparametersondes, Versie 6.0. WL Rapporten, 12_076_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Levy, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (2018). MONEOS, metingen halftij-eb in de Beneden-Zeeschelde: factual data rapport 2015. Versie 4.0. WL Rapporten, 13_084_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. IX, 27 + 17 p. bijlagen pp.

Maris, T.; Bruens, A.; Duren, L. van; Vroom, J.; Holzhauer, H.; Jonge, M. De; Van Damme, S.; Nolte, A.; Kuijper, K.; Taal, M.; Jeuken, C.; Kromkamp, J.; Van Wesenbeeck, B.; Ryckegem, G. Van; Bergh, E. Van den; Wijnhoven, S.; Meire, P. (2014). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium - Update 2014. 356 pp.

Meire, D.; Deschamps, M.; Vanderkimpfen, P.; Boeckx, L.; Mostaert, F. (2018) Stormrapport: Storm januari 2018. Versie 1.0. WL Rapporten, 00_119_13. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Michielsen, S.; Hertoghs, R.; Van de Moortel, I.; Vandenbruwaene, W.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Het debiet van de Zeeschelde te Schelle: Methodologie en de implementatie in WISKI7. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_077_11. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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.

Plancke, Y.; Van De Moortel, I.; Hertoghs, 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.

Plancke, Y.; Schramkowski, G. J.; Mostaert, F. (2019). Harmonische analyse van het getij: Deelrapport 1 – Bepaling van harmonische componenten voor getijstations in de Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 18_108_1. 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.

Thant, S., Plancke, Y., Claeys, S., Peeters, D.; Mostaert, F. (in prep.). Overzichtsrapport kalibratiemetingen 2017: Lillo, Oosterweel, Kruibeke, Schellebelle en Melle. Versie 4.0. WL Rapporten, 16_000_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Schrijver, M.; Plancke, Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 - 2018. Rapport MONEOS-T-2008- 033 /WL2008R791-3_1ref1_0. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout.

Vandenbruwaene, W.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Slibbalans Zeeschelde: deelrapport 4. Historische evolutie SPM. versie 6.0. WL Rapporten, 00_029_4. Waterbouwkundig Laboratorium/Antea Group: Antwerpen. 74 + 4 p. bijlagen pp.

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van de Moortel, I.; Vos, G.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2018). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2017: Deelrapport 7 – Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2017. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_070_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Meire, D.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2019). Optimalisatie monitoring Zeeschelde: Modernisering getijmeetnet en kwaliteitscontrole. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_138_1. Waterbouwkundig Laboratorium: 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.

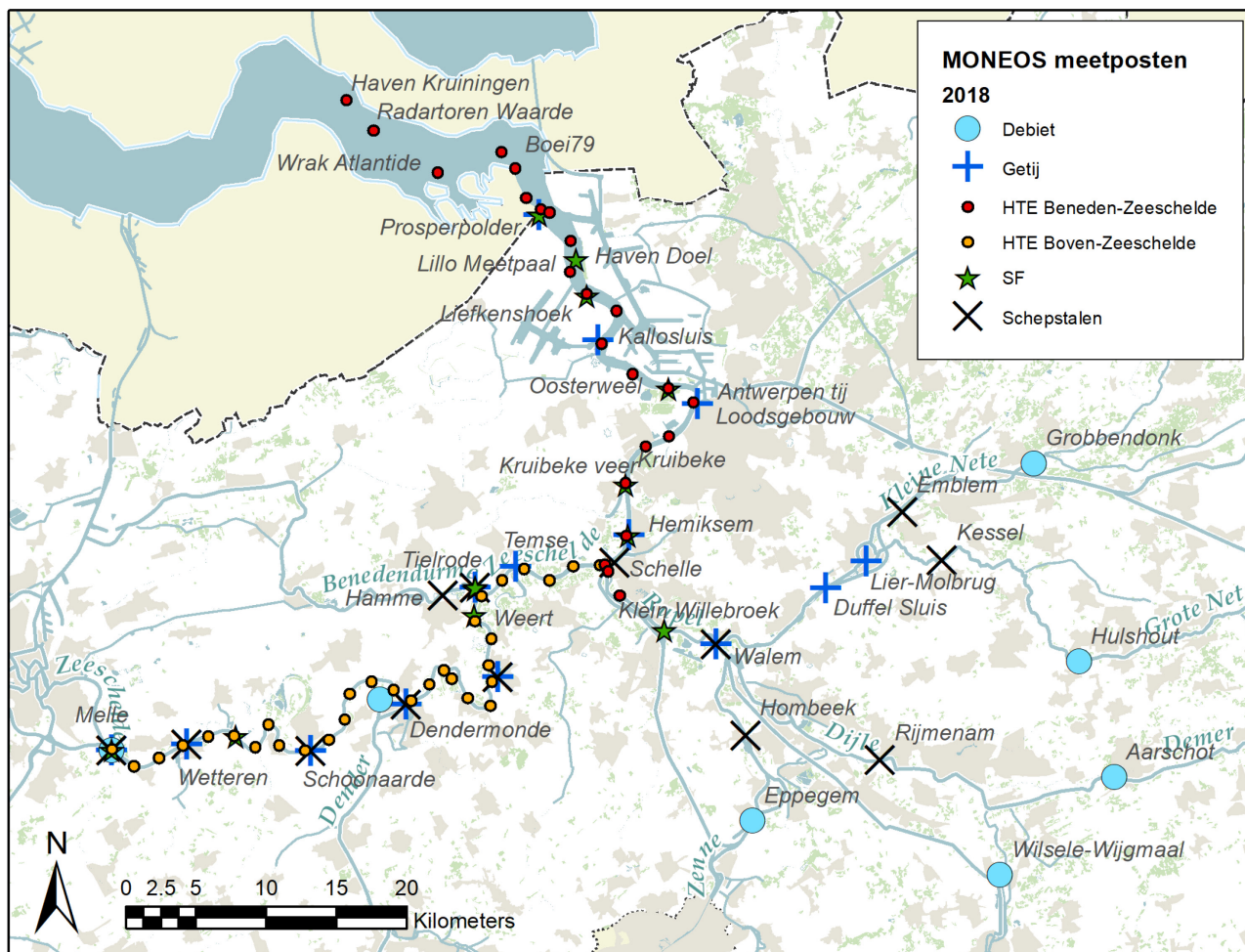
Van Meel, K.; Vereecken, H.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (in prep). Chloridegehalte - saliniteit - conductiviteit in het Schelde-estuarium: hoe te meten, te analyseren en te rapporteren: Deelrapport 1: Evaluatie van de formules. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_119_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vos, G.; Van de Moortel, I.; Meire, D.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2019). Validatie fysische parameters: Optimalisatie methodologie voor het bepalen van sedimentaanvoer naar het Schelde-estuarium. Versie 4.0. WL Rapporten, 12_076_13. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Bijlage A: Meetlocaties MONEOS 2018

Figuur 121 geeft een overzicht van de meetlocaties die in het kader van MONEOS gerapporteerd worden.

Figuur 121 – Meetlocaties MONEOS 2018



In Tabel 19 worden voor elke meetlocatie, per soort meting, de opgemeten parameters, toesteltype, type monitoring (continu/periodiek) en startdatum weergegeven.

Tabel 19 – Meetlocaties MONEOS 2018

Meetlocatie	Soort meting	Parameter	Toesteltype	Type monitoring	Start meting
Aarschot	Debiet	H	Radar Ott	continu	1/01/1975
Dendermonde Appels	Debiet	Q	ADM	continu	1/01/1971
Eppegem	Debiet	H	Vega radar Ott	continu	19/12/1970
Grobbendonk	Debiet	H	Radar Ott	continu	20/12/1980
Hulshout	Debiet	H	Radar Ott	continu	29/12/1975

Melle	Debiet	Q	ADM	continu	1/01/1971
Wilsele-Wijgmaal	Debiet	H	Peil	continu	26/12/1974
Antwerpen tij	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Dendermonde	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Duffel Sluis	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Hemiksem	Getij	W	Radar Ott	continu	13/05/1966
Kallosluis	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Lier-Molbrug	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Melle	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Prosperpolder	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Schoonaarde	Getij	W	Radar Ott	continu	31/08/1998
Sint-Amands	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1996
Temse	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Tielrode	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1966
Walem	Getij	W	Radar Ott	continu	12/05/1996
Wetteren	Getij	W	Radar Ott	continu	30/04/1996
Hemiksem	SF	Cond, WT	CTD	continu	28/07/2009
Klein Willebroek	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI	continu	17/07/2018
Kruibeke	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI	continu	25/09/2015
Liefkenshoek	SF	Cond, WT	CTD	continu	31/07/2009
Lillo Meetpaal	SF	Cond, v, vDIR, Turb_NTU, WT	Aanderaa	continu	30/09/2015
Melle	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI	continu	12/01/2010
Oosterweel	SF	Cond, v, vDIR, Turb_NTU, WT	Aanderaa	continu	4/01/2001
Prosperpolder	SF	Cond, WT	CTD	continu	23/04/2003
Schellebelle	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI	continu	15/12/2016
Tielrode	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI (mobiel)	continu	19/12/2017
Weert	SF	Cond, Turb_NTU, WT	YSI	continu	19/12/2017
Betoncentrale Coeck	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	22/05/2015
Boei79	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Boei81A	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/07/2007
Boei85A (grens B-NL)	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	8/03/2010
Boei87	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/07/2007
Boei99 Kruisschans	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Burcht	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Haven Doel	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/07/2007
Haven Kruiningen	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	22/03/2017
Hemiksem	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Kallosluis	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Kennedytunnel	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Kruibeke veer	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Liefkenshoek	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Loodsgebouw	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Oosterweel	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Ouden Doel	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Radartoren Waarde	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	22/03/2017
Rupelmonde	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Saeftinge	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007

Wintam veer	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	22/05/2015
Wrak Atlantide	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	22/03/2017
Zwijndrecht	HTE (bez)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	20/06/2007
Appels opw veer	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
B132 opw Notelaer	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Baasrode veer	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Boelwerf	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Branst	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Buggenhout	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
De Cramp	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Dendermonde	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Dendersluis	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Durmemonding	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Kwatrecht	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Kwatrecht afw	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Lippenbroek	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	6/02/2014
Mariekerke veer	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Melle	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Moerzeke	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Schellebelle Kerk	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Schellebelle opw	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Schoonaarde afw brug	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Schoonaarde opw brug	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Sint-Amands	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Steendorp	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Temsebrug	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Uitbergen bocht	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Uitbergen brug opw	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Vlassenbroek	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Wetteren	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Wichelen	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Wintam	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	12/09/2013
Zeke kasteeltje	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Zeke opw jachtclub	HTE (boz)	d, SSC_PompHTE	pompstalen HTE	periodiek	11/09/2013
Dendermonde	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Emblem	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Hamme	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	3/01/2006
Hombeek	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	28/12/2005
Kessel	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Melle	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Rijmenam	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	28/01/2002
Schelle	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Schoonaarde	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Sint-Amands	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005
Tielrode	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	3/01/2006
Walem	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	28/12/2005
Wetteren	Schepstalen	SSC_Sch	Verzwaarde fles	periodiek	27/12/2005

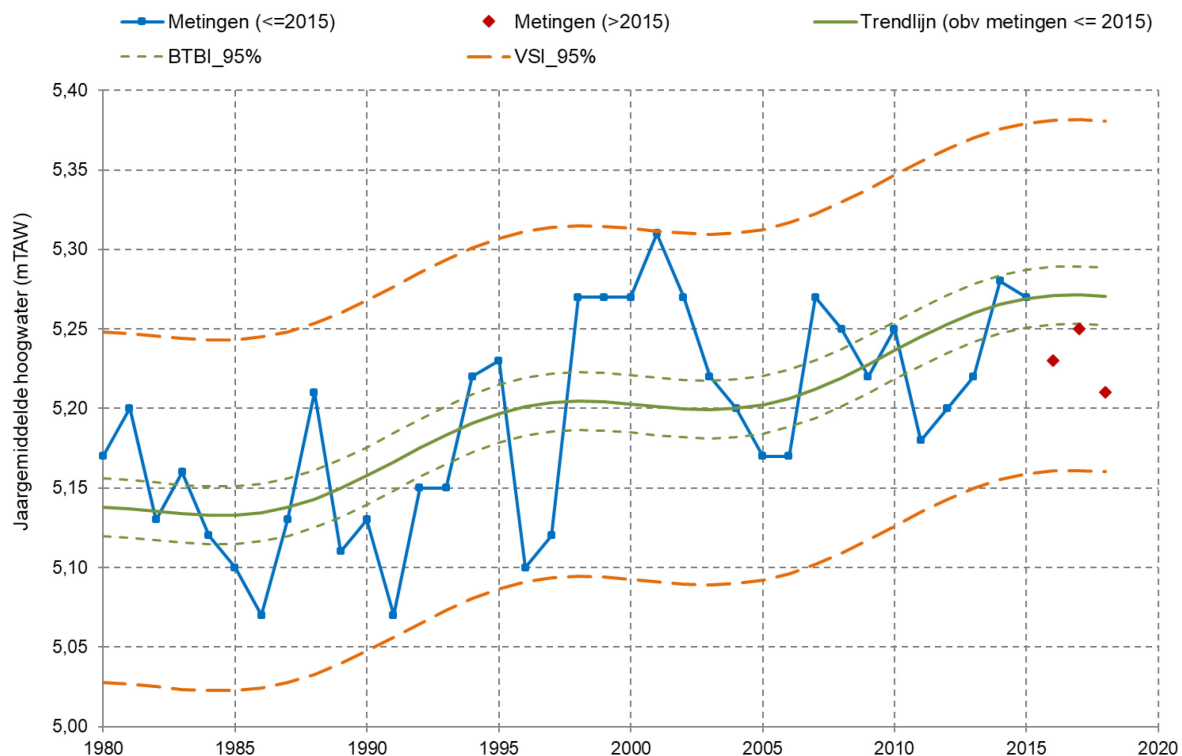
Bijlage B: Evoluties HW en LW

In onderstaande figuren zijn de meetwaarden gebruikt voor de regressie in het lichtblauw weergegeven. De groene volle lijn geeft de regressielijn weer, terwijl de gestippelde groene lijn 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). De regressielijn, betrouwbaarheids- en voorspellingsintervallen zijn bepaald op basis van de jaargemiddelde hoog en laagwaters van 1980 tot en met 2015. Tenslotte worden de recente meetwaarden als rode punten weergegeven op de grafiek. In 2011 zijn de peillatten opnieuw ingemeten. Het bleek dat de peillat voor Liefkenshoek 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. Een gelijkaardige correctie gebeurde ook voor de andere tijposten (Vandenbruwaene *et al.*, 2019). Uit dat zelfde rapport blijkt dat het opnemen van de peilschaalcorrectie weinig invloed heeft op de trendanalyse in Antwerpen. Daarom werd de trendanalyse vanaf MONEOS 2018 herberekend, waarbij de metingen met peilschaalcorrectie (t.e.m. 2015) ook werden opgenomen in de regressieanalyse. Figuur 122 tot en met Figuur 129 presenteren de resultaten voor Liefkenshoek, Temse, Dendermonde en Wetteren voor hoog- en laagwater. In Tabel 20 wordt de jaarlijkse lineaire evolutie voor hoog- en laagwater weergegeven, berekend over periode 1980-2015. Voor meer informatie over de methode om tot de trendlijn en bijhorende betrouwbaarheidsintervallen en voorspellingsinterval te komen wordt verwezen naar het Moneos-rapport 2016 (Plancke *et al.*, 2017).

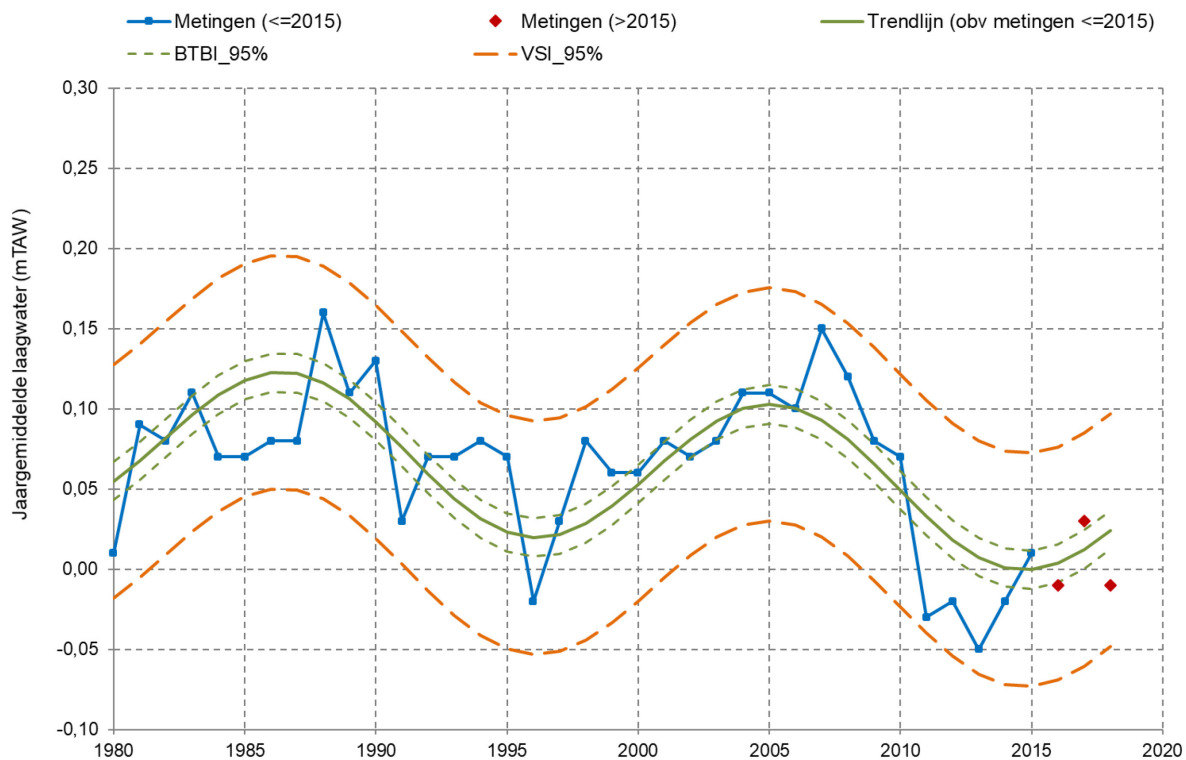
Tabel 20 – Jaarlijkse lineaire evolutie van de hoog- en laagwaters (1980-2015)

Locatie	Jaarlijkse evolutie (cm/jaar)	
	HW	LW
Liefkenshoek	0,36	-0,11
Antwerpen	0,23	-0,01
Temse	0,48	-0,02
Dendermonde	0,41	-0,66
Wetteren	0,60	-1,00

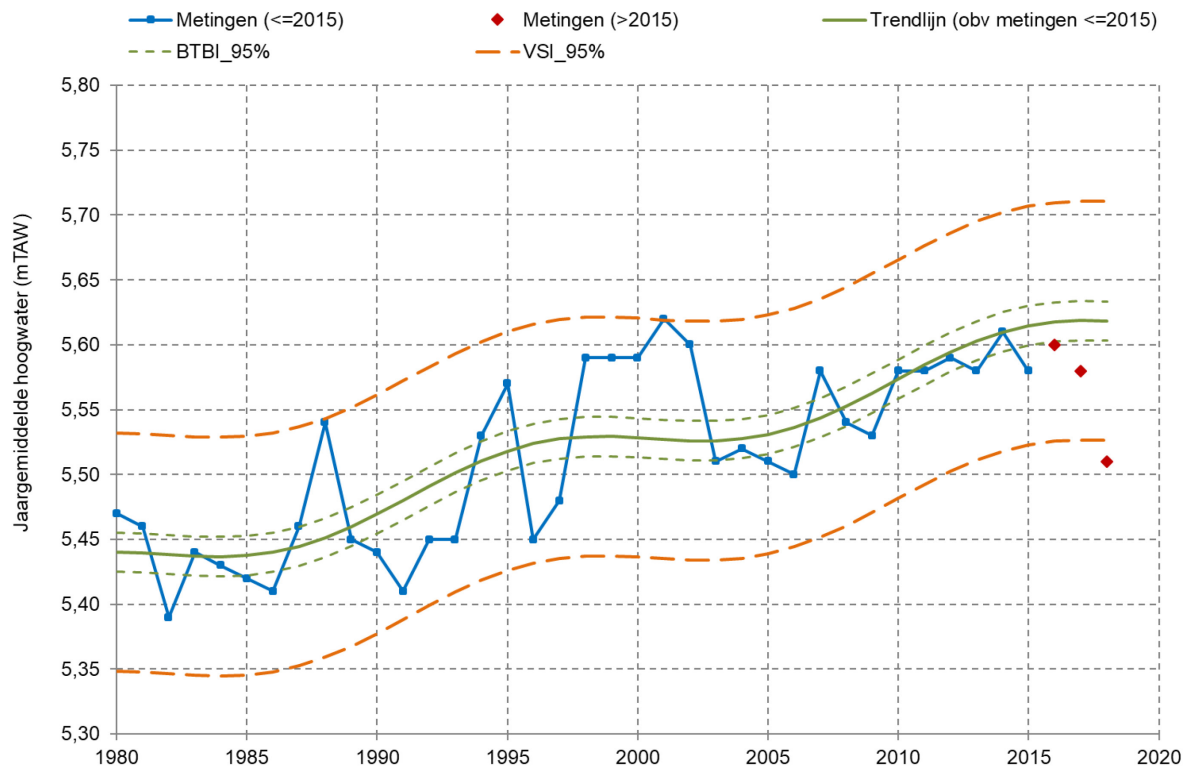
Figuur 122 – Ontwikkeling van het hoogwater te Liefkenshoek.



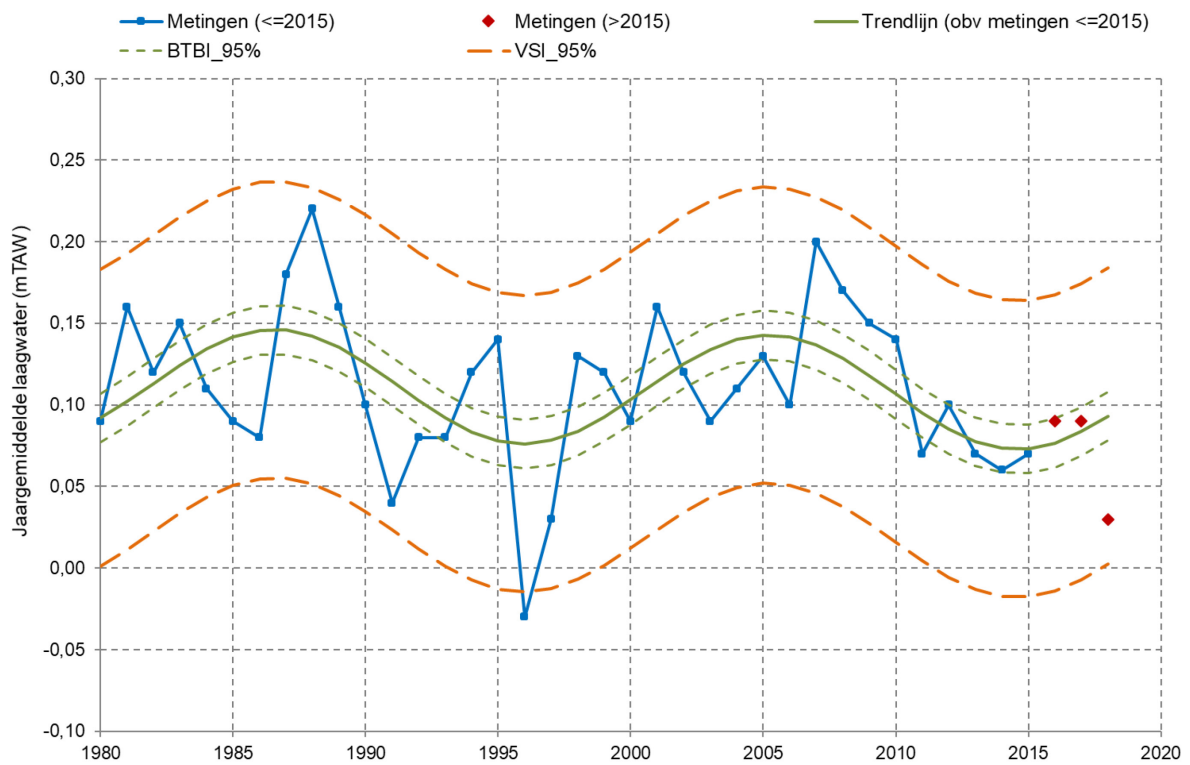
Figuur 123 – Ontwikkeling van het laagwater te Liefkenshoek.



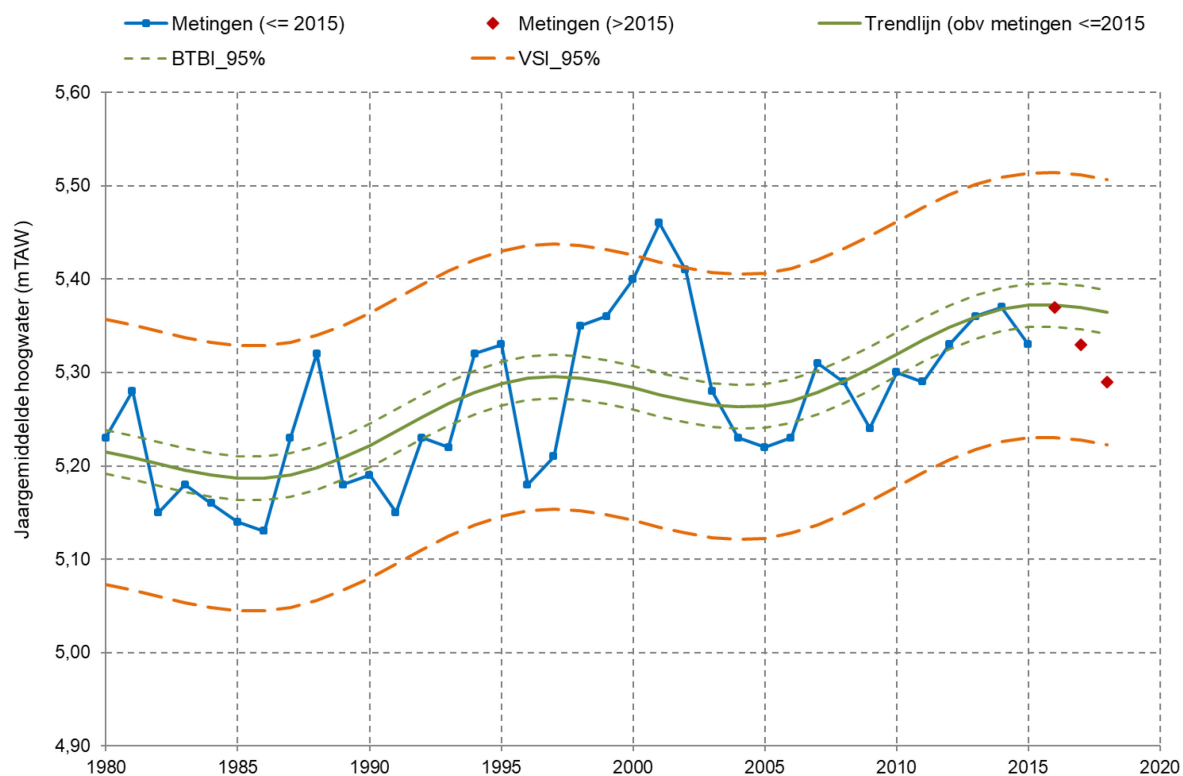
Figuur 124 – Ontwikkeling van het hoogwater te Temse.



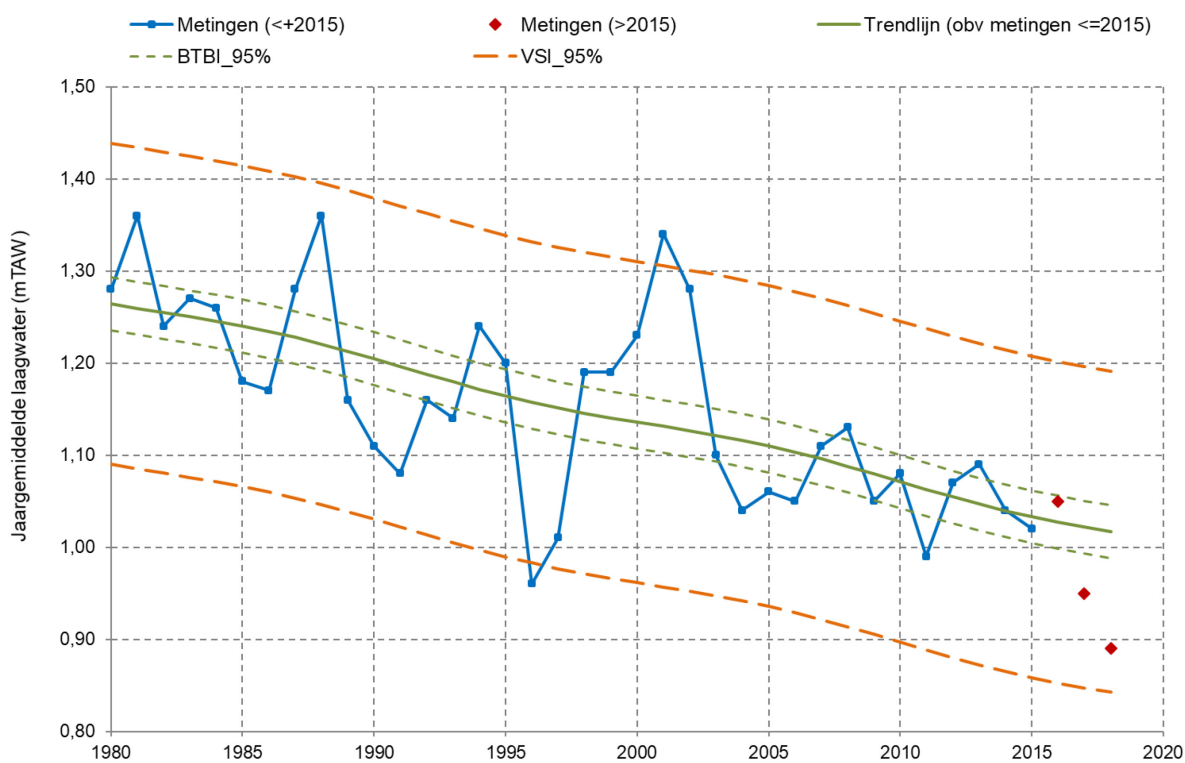
Figuur 125 – Ontwikkeling van het laagwater te Temse.



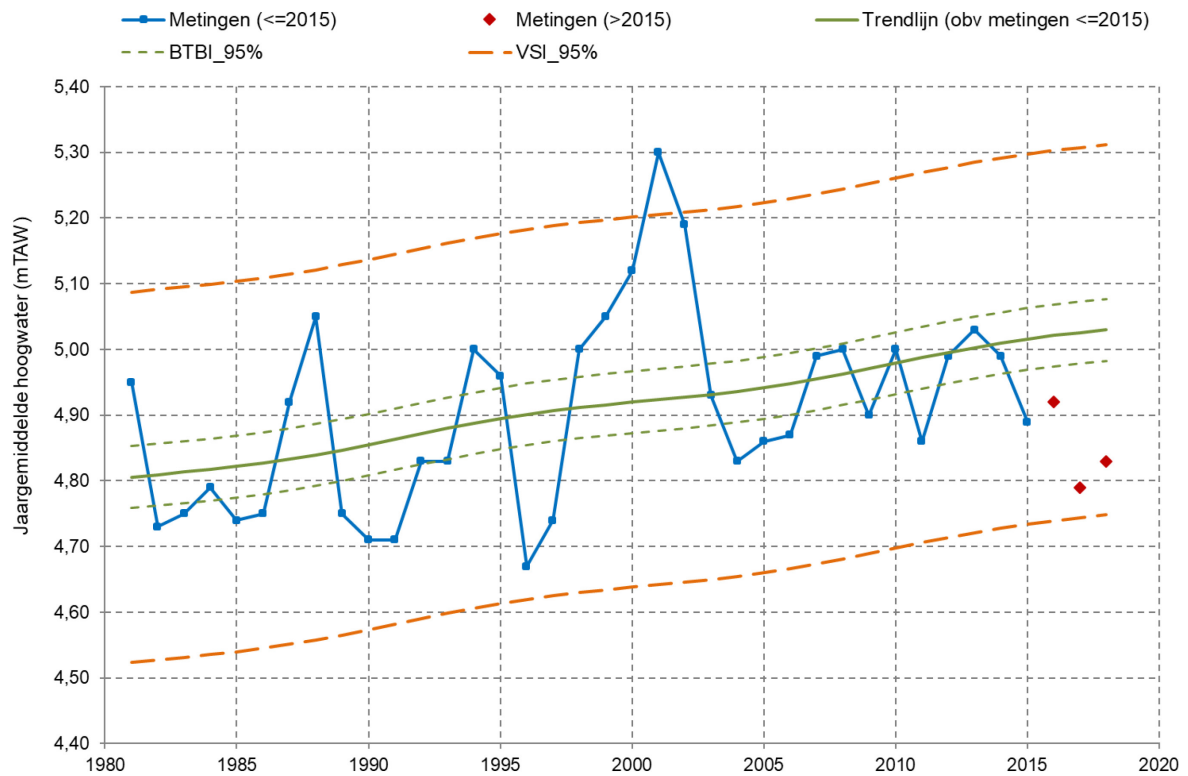
Figuur 126 – Ontwikkeling van het hoogwater te Dendermonde.



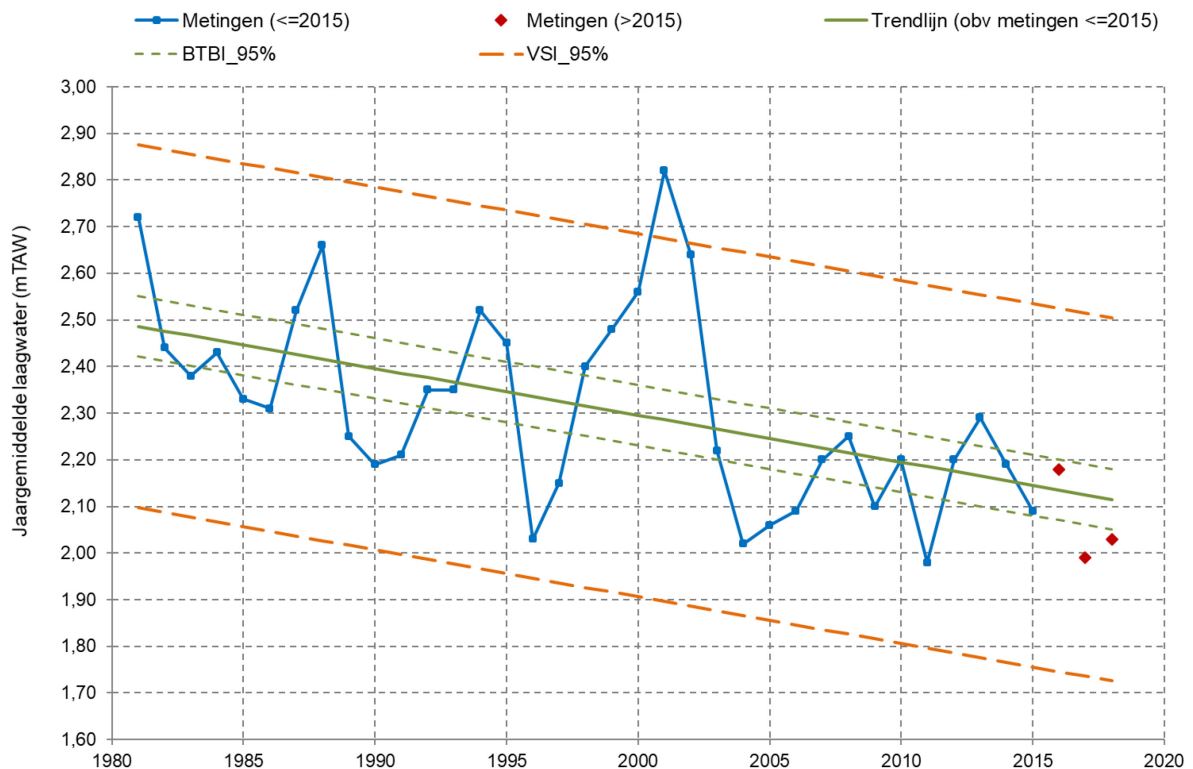
Figuur 127 – Ontwikkeling van het laagwater te Dendermonde.



Figuur 128 – Ontwikkeling van het hoogwater te Wetteren.



Figuur 129 – Ontwikkeling van het laagwater te Wetteren.



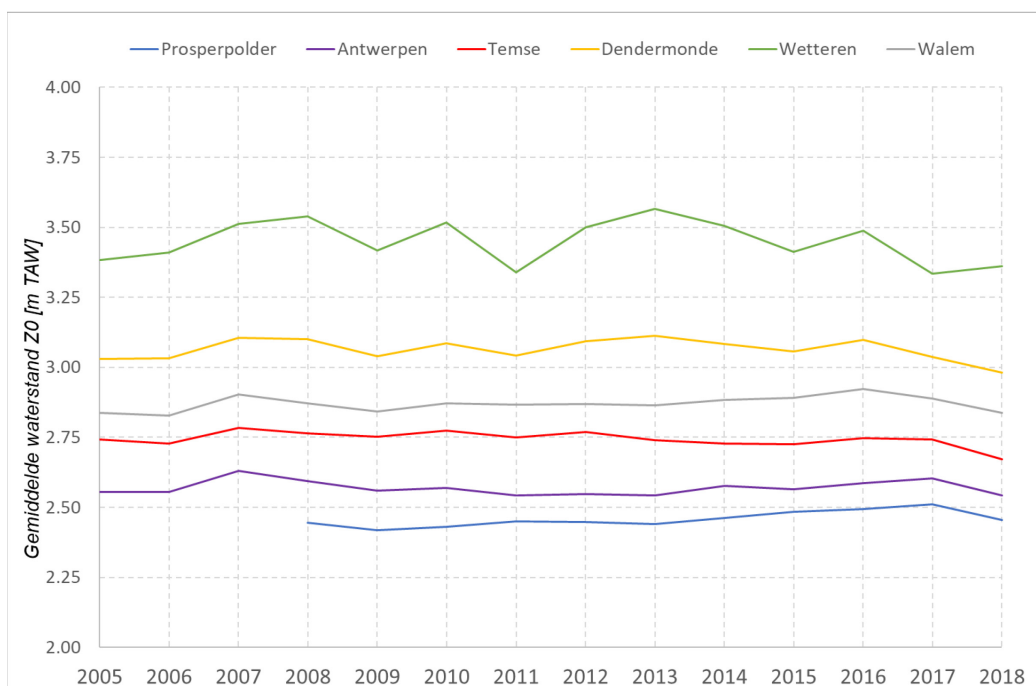
Bijlage C: Harmonische componenten

In het kader van de Evaluatiemethodiek voor het beoordelen van de ontwikkelingen van het fysisch systeem van het Schelde-estuarium, worden harmonische getijcomponenten als verklarende parameter beschouwd (Maris *et al.* 2014). Voor de Westerschelde worden deze door Rijkswaterstaat systematisch berekend, voor de Zeeschelde ontbraken deze vooralsnog. Daarom werd een methode opgesteld voor de bepaling van harmonische componenten voor getijstations in de Zeeschelde (Plancke *et al.*, 2019). De harmonische getijcomponenten worden bepaald voor 6 getijposten, verspreid langs de Zeeschelde (Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw, Temse, Dendermonde, Wetteren) en de Rupel (Walem).

Vanaf meetjaar 2018 worden de harmonische componenten voor deze stations jaarlijks in MONEOS gerapporteerd. Er is geopteerd om louter de belangrijkste component (Z0, M2 en M4) te rapporteren (Plancke *et al.*, 2019). Daarbij is Z0 de gemiddelde waterstand, M2 het dubbeldaags maansgetij (periode 12 uur 25 minuten) en M4 de viermaaldaagse component van het maansgetij (periode 6 uur 13 minuten).

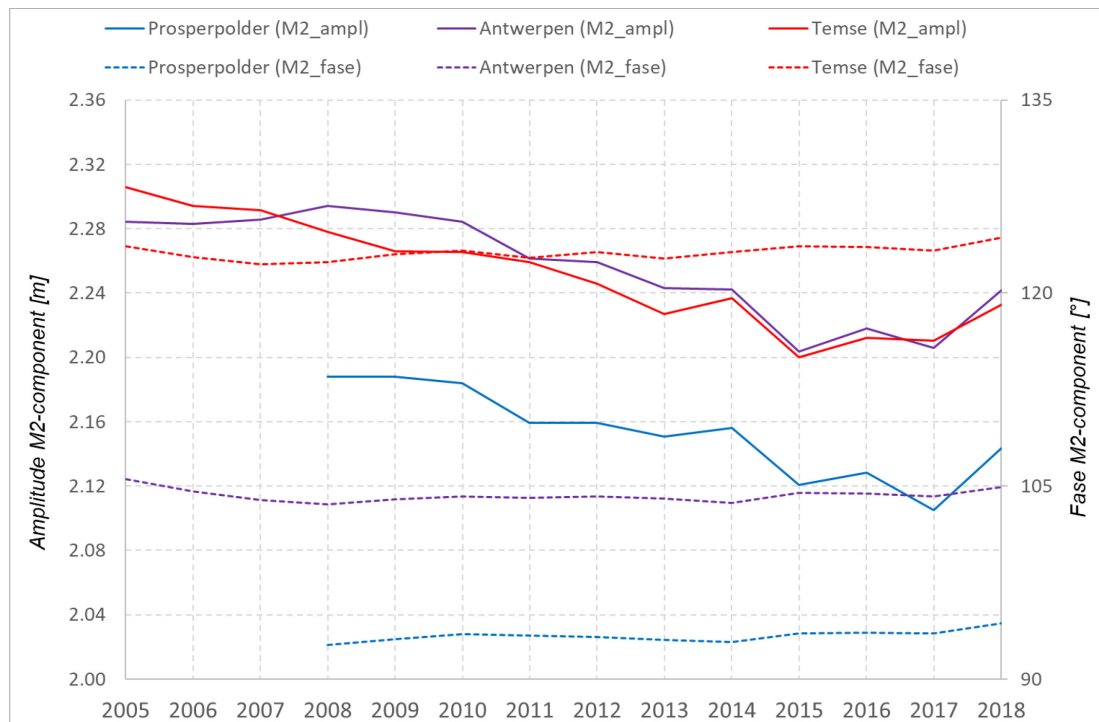
Figuur 130 geeft de evolutie van gemiddelde waterstand Z0 weer voor de zes locaties, voor de periode 2005 (i.e. start beschikbaarheid continue digitale gegevens) tot 2018. Voor de bespreking van de lange termijnevoluties wordt verwezen naar Plancke *et al.* (2019). Voor 2018 blijkt dat, voor alle posten behalve Wetteren, de gemiddelde waterstand iets lager was dan in 2017.

Figuur 130 – Evolutie in de tijd van de gemiddelde waterstand Z0

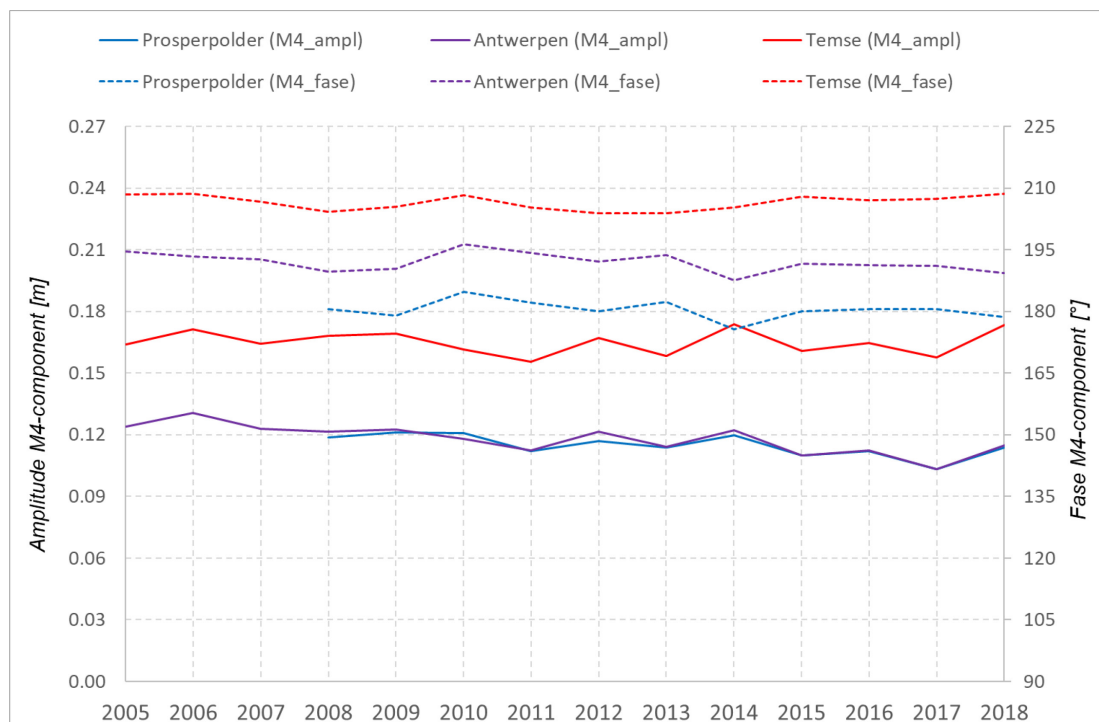


In Figuur 131 en Figuur 132 worden de fase (verschuiving t.o.v. Vlissingen) en amplitude van de M2 en M4 component weergegeven voor de drie meest afwaartse posten (Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw en Temse). De amplitude van de M4 component is aanzienlijk lager dan die van de M2 component, beide componenten volgen wel éénzelfde trend. De amplitude ligt in 2018 iets hoger dan in 2017, voor zowel M2 als M4, voor alle posten. De fase wordt voornamelijk bepaald door de afstand tot Vlissingen en is vrijwel constant.

Figuur 131 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (afwaartse posten)

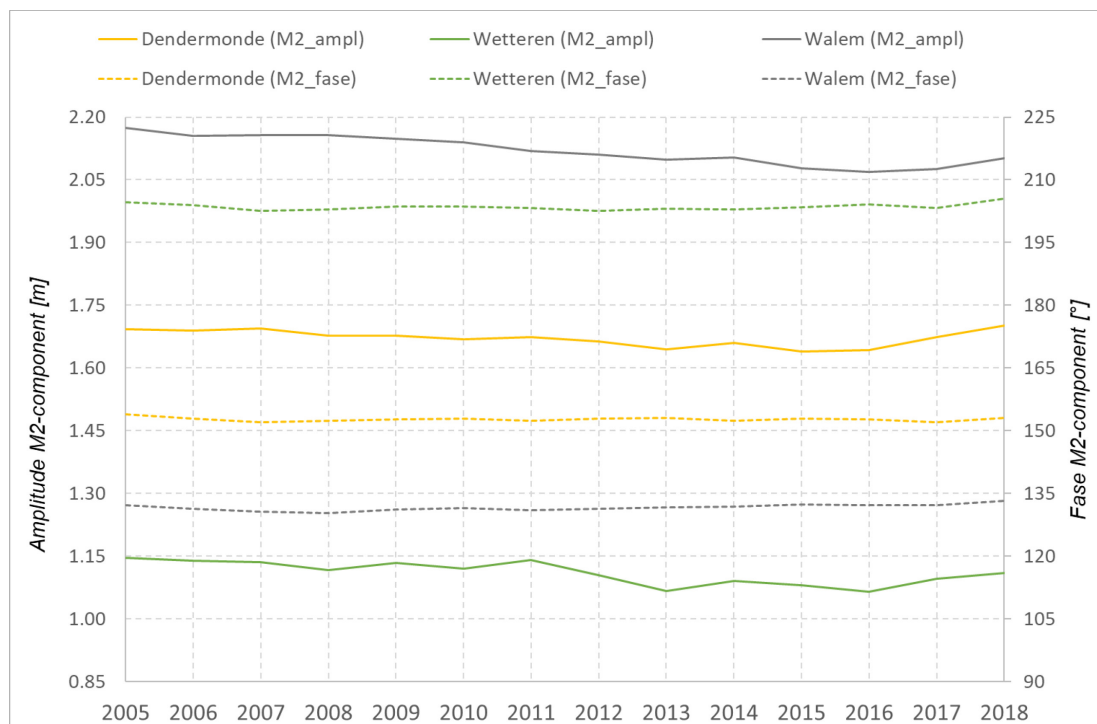


Figuur 132 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (afwaartse posten)

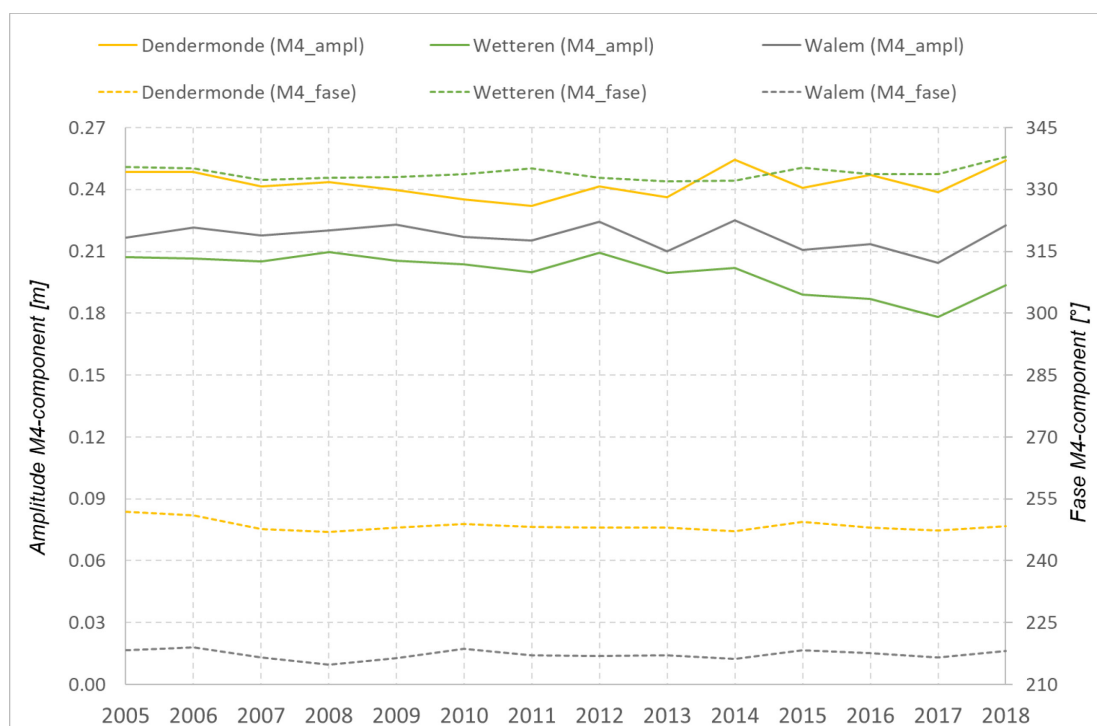


Figuur 133 en Figuur 134 geven de fase en amplitude weer van respectievelijk de M2 en M4 componenten voor de opwaartse posten. Voor de opwaartse posten is er, net als voor de afwaartse posten, een lichte toename van de amplitude van beide componenten ten opzichte van 2017. De fase blijft voor alle posten relatief constant.

Figuur 133 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (opwaartse posten)



Figuur 134 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (opwaartse posten)



Bijlage D: Kalibratie Turbiditeit – SSC

Om aan de hand van turbiditeit de sedimentconcentratie te kunnen bepalen moet er een relatie tussen beide gevonden worden. Er worden daarom pompstalen genomen waarvan de sedimentconcentratie gerelateerd wordt aan de turbiditeitsmeting op datzelfde moment. Ter hoogte van Lillo-meetpaal, Oosterweel, Kruike, Tielrode, Weert, Schellebelle en Melle zijn specifieke kalibratiecampagnes uitgevoerd. Bij Melle is er nood aan bijkomende kalibratiecampagnes om een beter inzicht te krijgen in het systeem. Daarom werd er hier een verkennende regressieanalyse uitgevoerd met behulp van de 7- tot 14-uurlijkse pompstalen die continu opgepompt worden met behulp van de ISCO automatische bemonsteringstoestellen.

De volgende hoofdstukken presenteren de bekomen relaties en modelstatistieken. Merk op dat er hier nog geen EWI-correcties op uitgevoerd zijn (zie §4.3).

A. Specifieke kalibratiecampagnes

Gedurende meerdere jaren zijn ter hoogte van Oosterweel, Boei 84 en Driegoten kalibratiecampagnes uitgevoerd waarbij een groot aantal waterstalen opgepompt zijn waarvan nadien de sedimentconcentratie (SSC) werd bepaald. Tegelijkertijd werd de turbiditeit geregistreerd. Sinds de meetposten Lillo Meetpaal, Kruike, Schellebelle en Weert van start gingen, werden dergelijke campagnes ook hier uitgevoerd. De frequentie per operationele meetlocatie, is sinds 2017 vastgelegd op 4 (seizoenale) campagnes per jaar. Meer informatie omtrent de kalibratiecampagnes is terug te vinden in Thant *et al.* (in prep.).

Er wordt voor iedere meetlocatie een relatie opgesteld tussen SSC en turbiditeit op basis van de meetcampagnes uitgevoerd gedurende de laatste 5 jaar. Er wordt niet historisch teruggewerkt. Gerapporteerde relaties worden dus niet aangepast. Een uitzondering geldt bij nieuwe meetlocaties: indien er op basis van voortschrijdend inzicht blijkt dat de oorspronkelijke dataset te beperkt was om een goede regressie op uit te voeren. Voor meer informatie omtrent het opstellen van de relaties wordt verwezen naar Ferket *et al.* (2015). Door deze relaties toe te passen op het continue turbiditeitssignaal, verkrijgt men voor alle meetlocaties continue berekende suspensiegehalten (zie §4.1.6).

Tabel 21: Overzicht kalibratiecampagnes voor SSC-Turbiditeit relatie

Lillo	Oosterweel	Kruike	Weert	Schellebelle	Melle
• 29/01/2016 • 19/09/2016 • 28/02/2017 • 09/06/2017 • 07/09/2017 • 19/01/2018	• 03/02/2014 • 07/11/2014 • 21/01/2015 • 16/11/2015 • 05/02/2016 • 13/09/2016 • 01/03/2017 • 08/06/2017 • 06/09/2017 • 19/03/2018 • 26/06/2018 • 12/12/2018	• 10/03/2017 • 18/10/2017 • 01/12/2017 • 05/04/2018	• 03/05/2018 • 03/07/2018	• 03/03/2017 • 26/06/2017 • 10/10/2017 • 06/12/2017 • 18/06/2018 • 29/10/2018	• 31/03/2017 • 25/08/2017 • 11/10/2017 • 08/12/2017 • 19/06/2018 • 29/10/2018

A.1 Kenmerken bekomen SSC-Turbiditeit relaties

Tabel 22 geeft de correlatie (R^2) en Root Mean Squared Error (RMSE) van de turbiditeit-SSC relaties. Daarnaast wordt ook het aantal datakoppels (N), de significantie (p) en de minima en maxima van de dataset getoond. De relatie is dan ook enkel geldig binnen deze grenzen, extrapolatie wordt afgeraden. Hoewel de RMSE op een niet te verwaarlozen gemiddelde afwijking duidt voor de verschillende relaties, blijkt uit R^2 en het significantieniveau dat de regressies van een redelijke kwaliteit zijn.

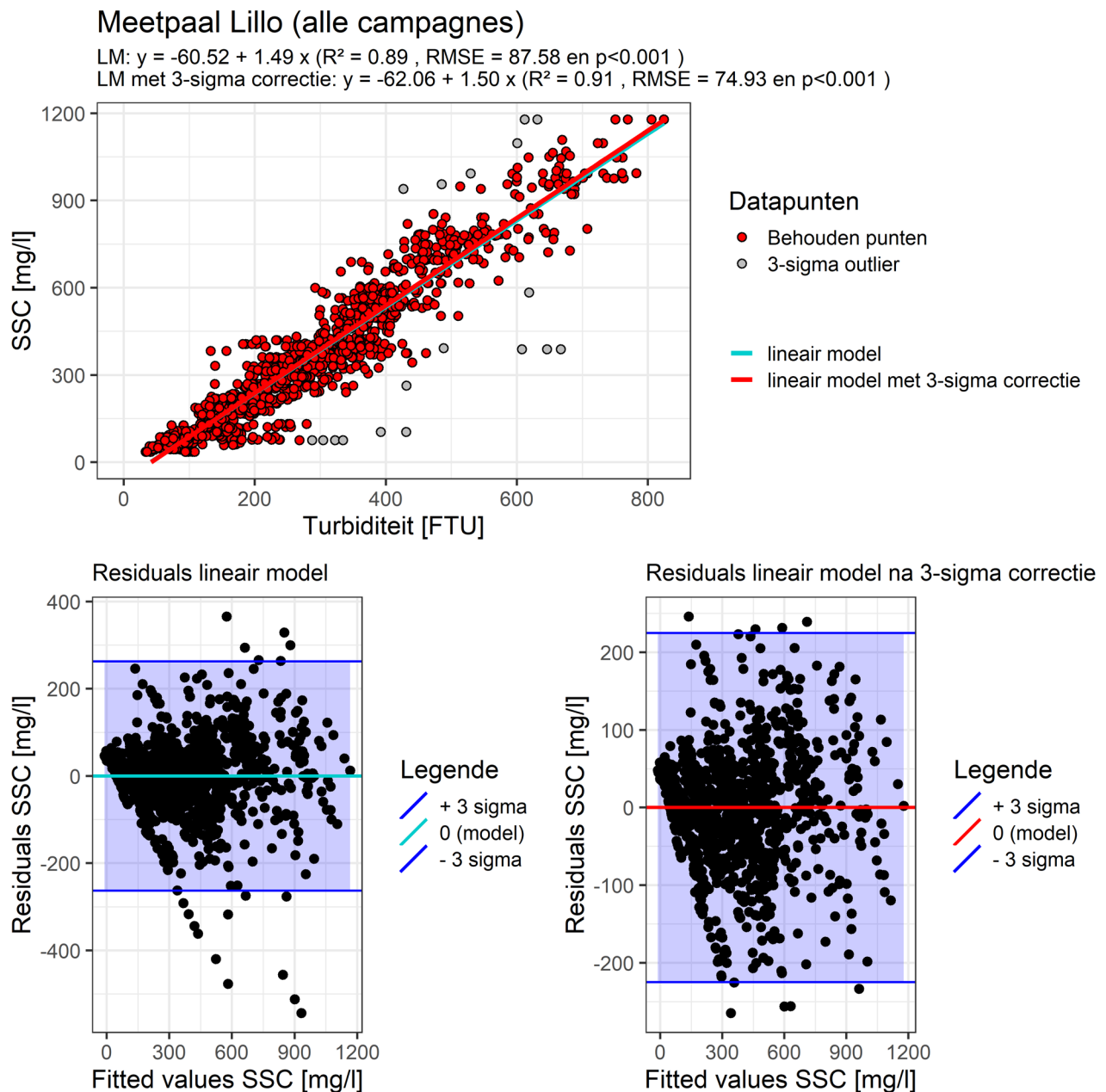
Tabel 22 – Overzicht kenmerken van de SSC-turbiditeit relaties naargelang meetlocatie

Meetlocatie	R^2	RMSE	N	p	Min. Turb	Max. Turb	Min. SSC	Max. SSC
Lillo	0,92	75	1112	<0,001	33	824	36	1179
Oosterweel	0,82	80	2624	<0,001	44	806	34	1153
Kruikeke	0,85	24	215	<0,001	34	215	51	349
Weert	0,72	86	58	<0,001	47	266	76	598
Schellebelle	0,84	22	2855	<0,001	15	187	23	288

A.2 Meetpaal Lillo

Figuur 135 toont het verband tussen turbiditeit (gemeten met Seaguard 500 en Seaguard 2500) en SSC. De relatie (rode trendlijn) wordt bepaald op de data die binnen een marge van 3 keer de standaardafwijking van het lineaire model van de oorspronkelijke dataset liggen (rode stippen in de figuur).

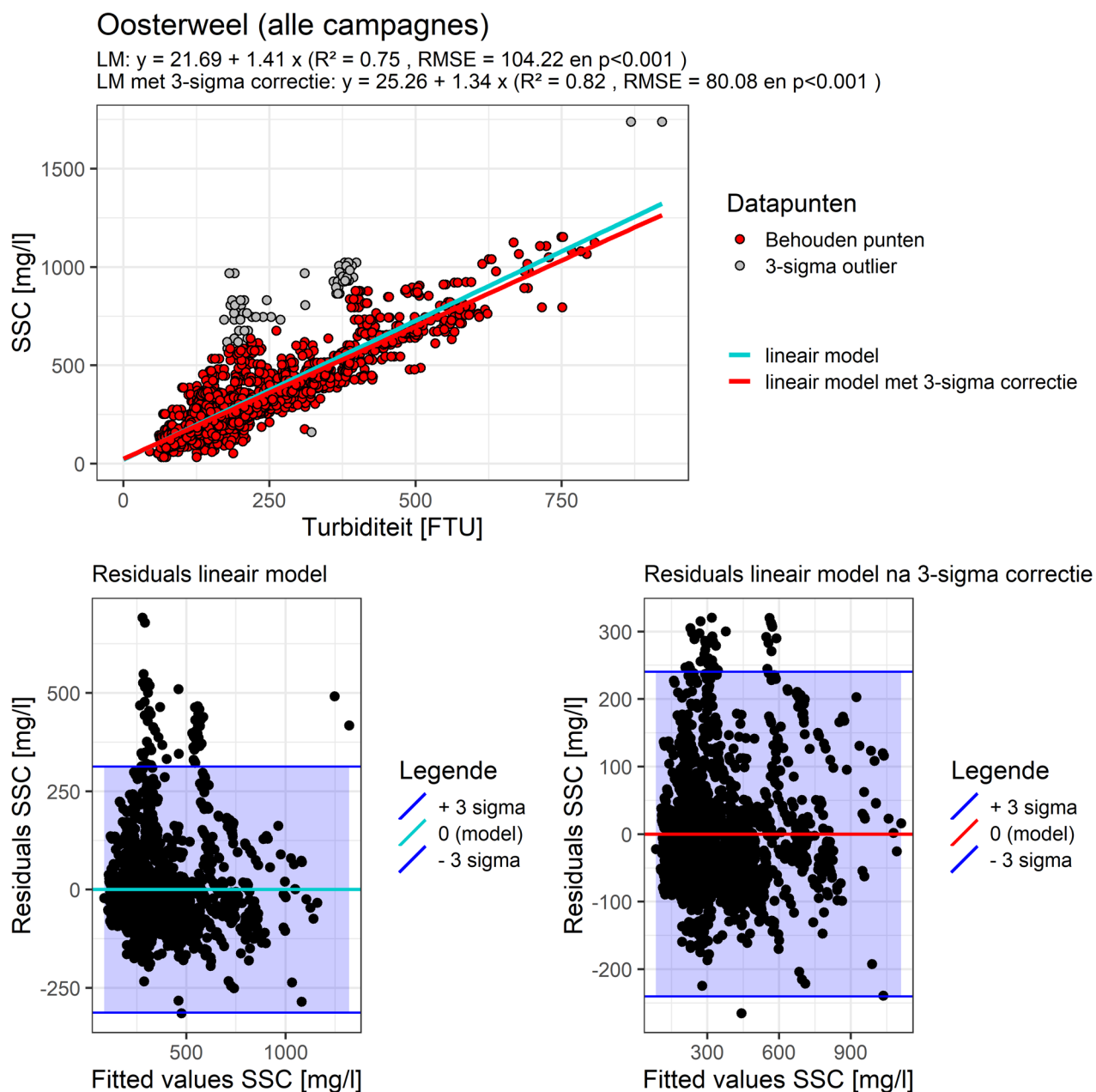
Figuur 135 – Meetpaal Lillo (SG500 & SG2500): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van meetpaal te Lillo.



A.3 Oosterweel

Figuur 136 toont het verband tussen turbiditeit (gemeten met SG2500) en SSC. De relatie (rode trendlijn) wordt bepaald op de data die binnen een marge van 3 keer de standaardafwijking van het lineaire model van de oorspronkelijke dataset liggen (rode stippen in de figuur).

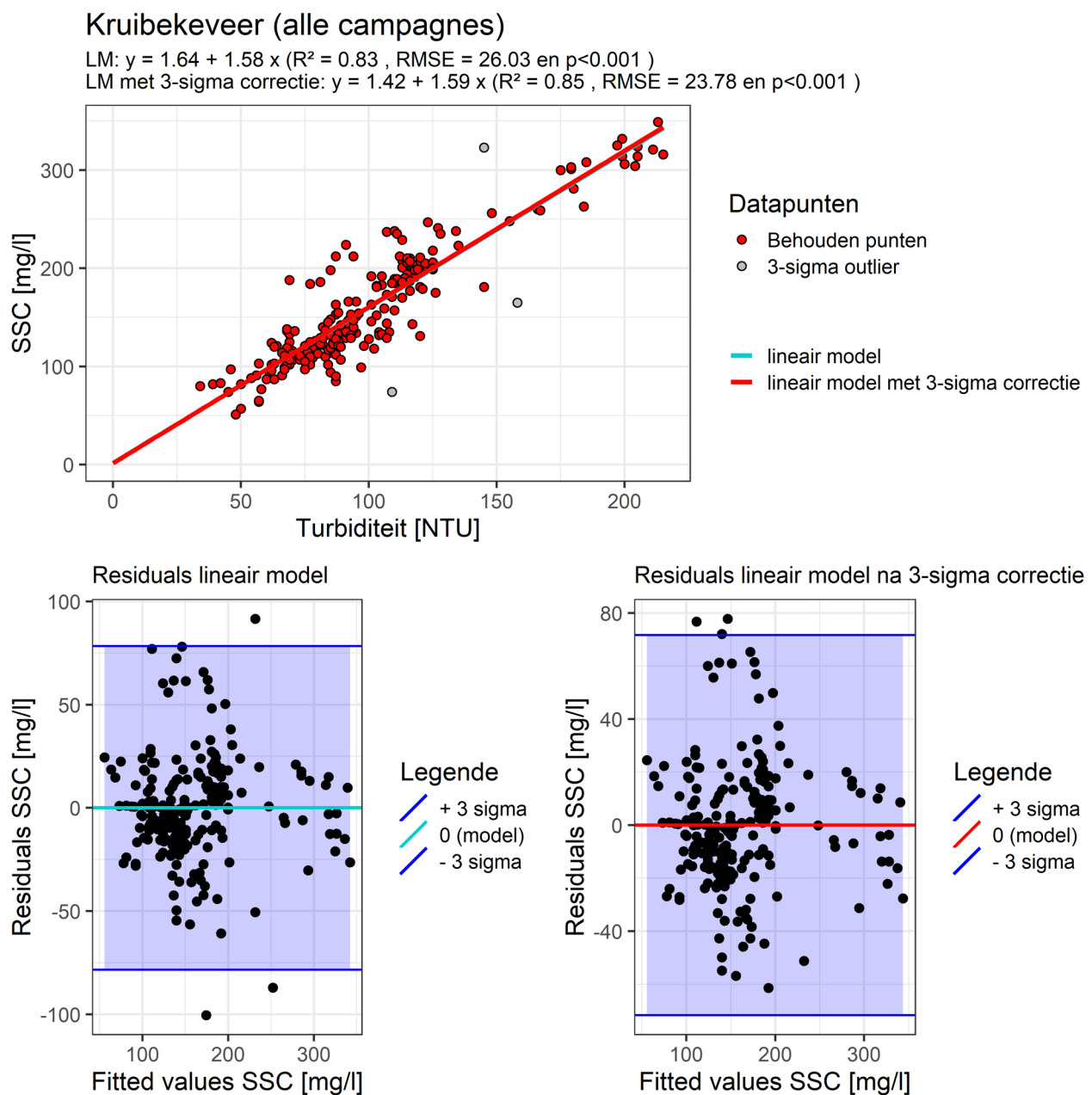
Figuur 136 – Oosterweel (SG2500): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Oosterweel.



A.4 Kruibeke

Het multiparameter toestel (YSI) in Kruibeke werd al in 2015 in gebruik genomen, maar de kalibratiecampagnes worden hier pas sinds 2017 uitgevoerd. Figuur 137 toont het verband tussen turbiditeit (gemeten met YSI) en SSC. De relatie (rode trendlijn) wordt bepaald op de data die binnen een marge van 3 keer de standaardafwijking van het lineaire model van de oorspronkelijke dataset liggen (rode stippen in de figuur).

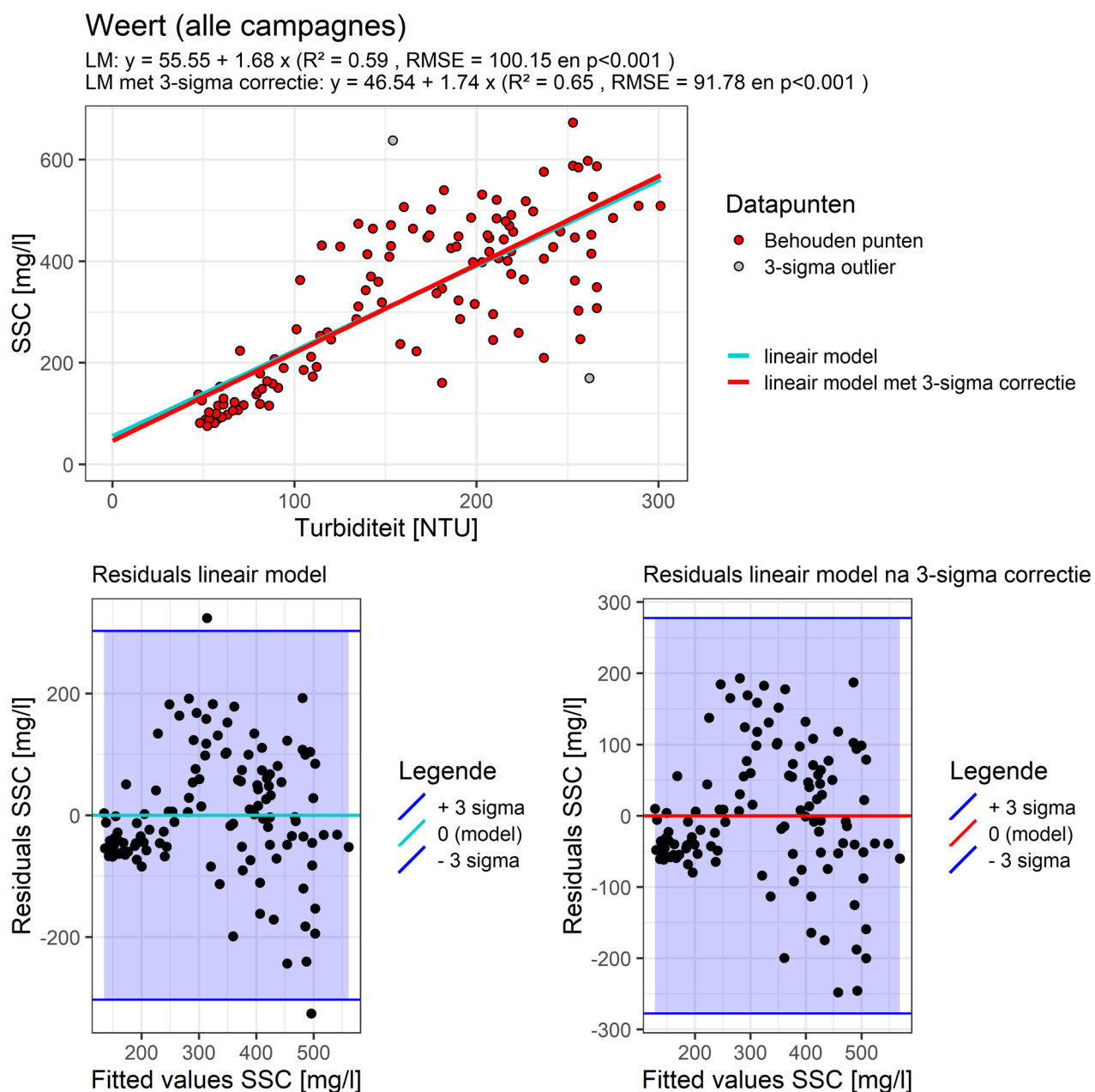
Figuur 137 – Kruibeke (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Kruibeke.



A.5 Weert

Het multiparameter toestel (YSI) in Weert is sinds december 2017 in gebruik. Hierdoor zijn de eerste kalibratiecampagnes pas uitgevoerd in 2018 en is de dataset nog relatief beperkt. Bijkomende meetcampagnes kunnen deze regressie mogelijk nog verfijnen. Figuur 138 toont het verband tussen turbiditeit (gemeten met YSI) en SSC. De relatie (rode trendlijn) wordt bepaald op de data die binnen een marge van 3 keer de standaardafwijking van het lineaire model van de oorspronkelijke dataset liggen (rode stippen in de figuur).

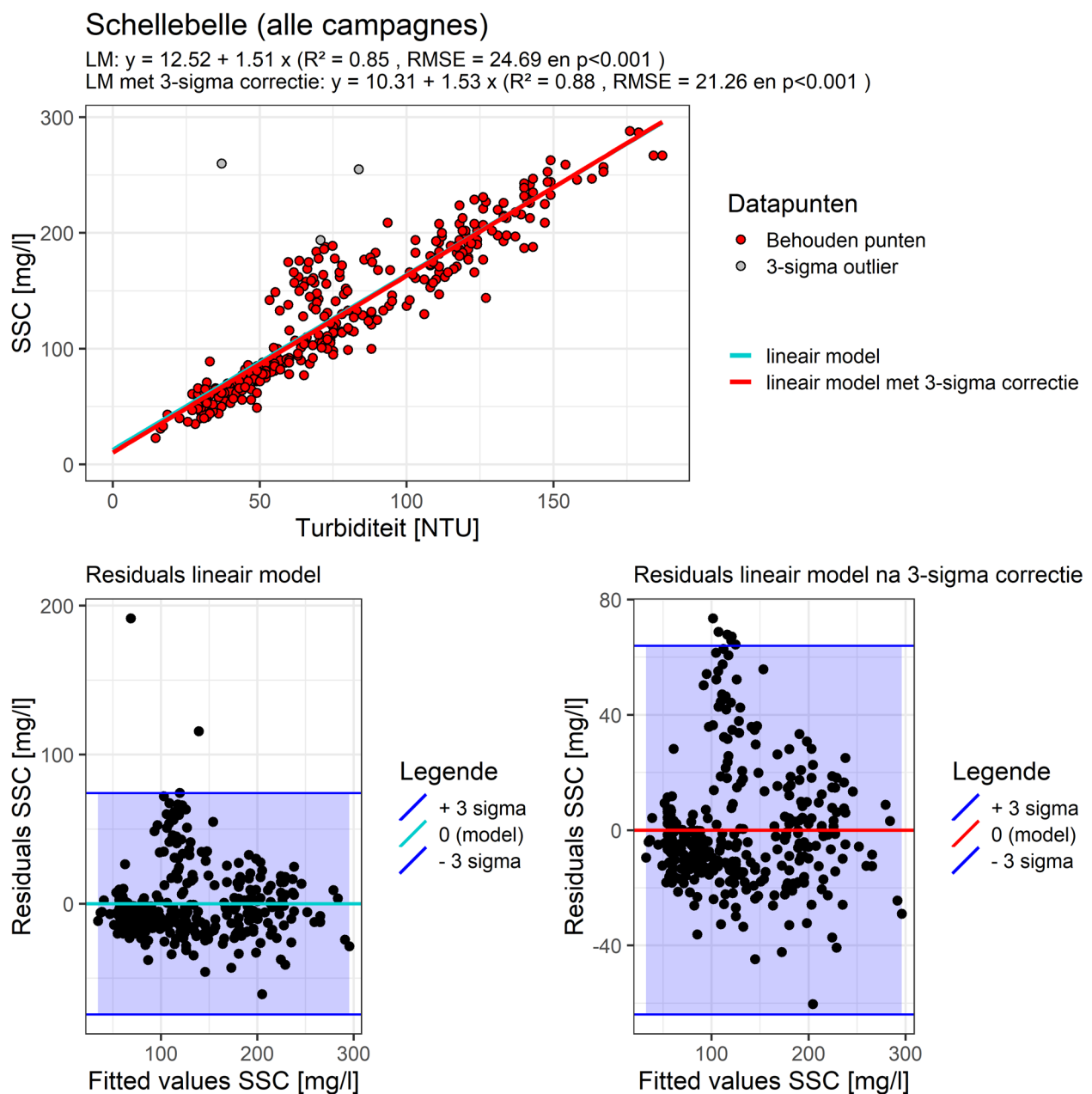
Figuur 138 – Weert (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit ter hoogte van Weert.



A.6 Schellebelle

Het multiparameter toestel (YSI) te Schellebelle is sinds 15/12/2016 in gebruik, waardoor de eerste kalibratiecampagnes uitgevoerd zijn in 2017. Figuur 139 toont het verband tussen turbiditeit (gemeten met YSI) en SSC. De relatie (rode trendlijn) wordt bepaald op de data die binnen een marge van 3 keer de standaardafwijking van het lineaire model van de oorspronkelijke dataset liggen (rode stippen in de figuur).

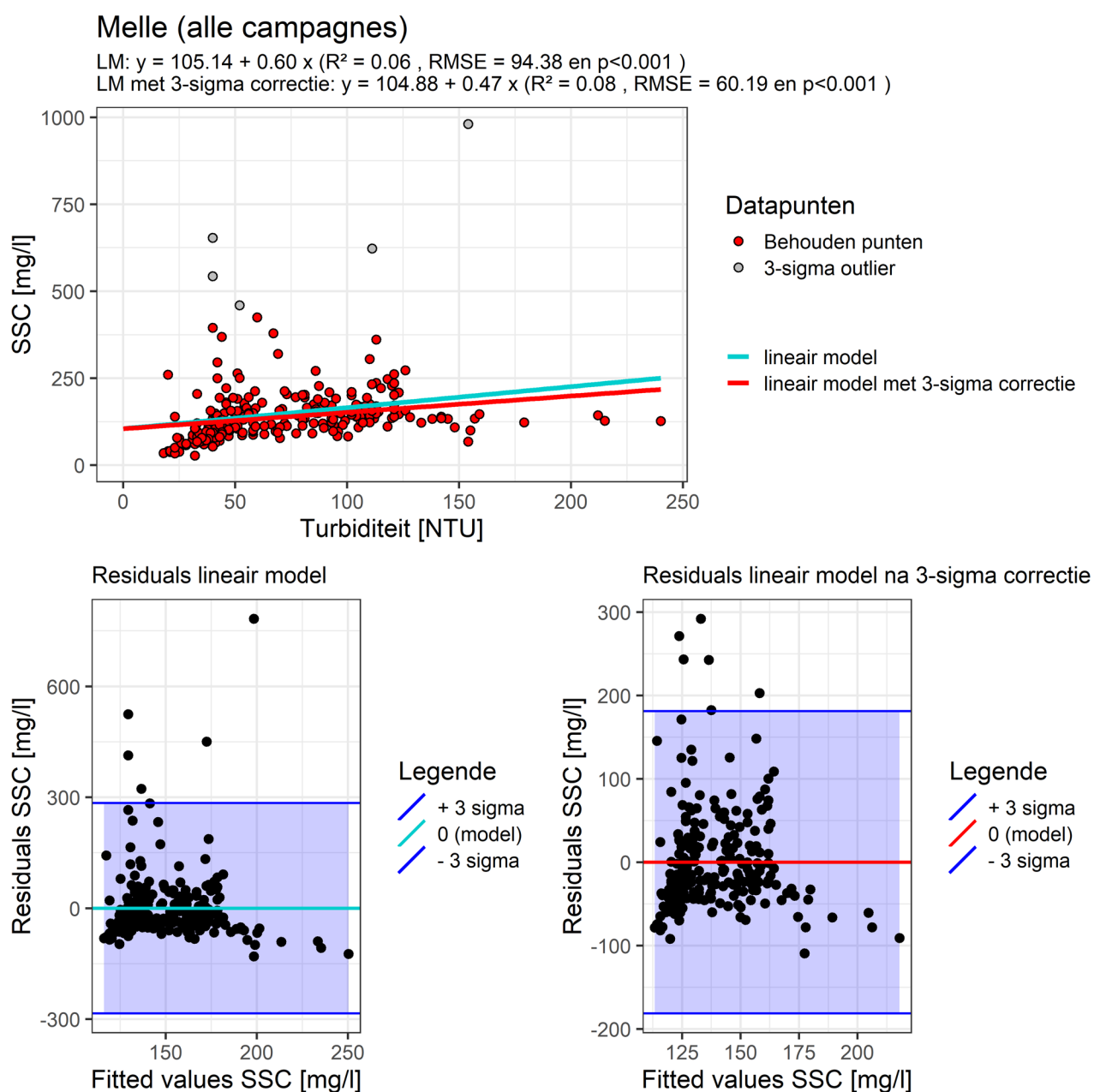
Figuur 139 – Schellebelle (YSI): Kalibratierelaties SSC (turbiditeit) ter hoogte van Schellebelle.



B. Kalibratie Melle

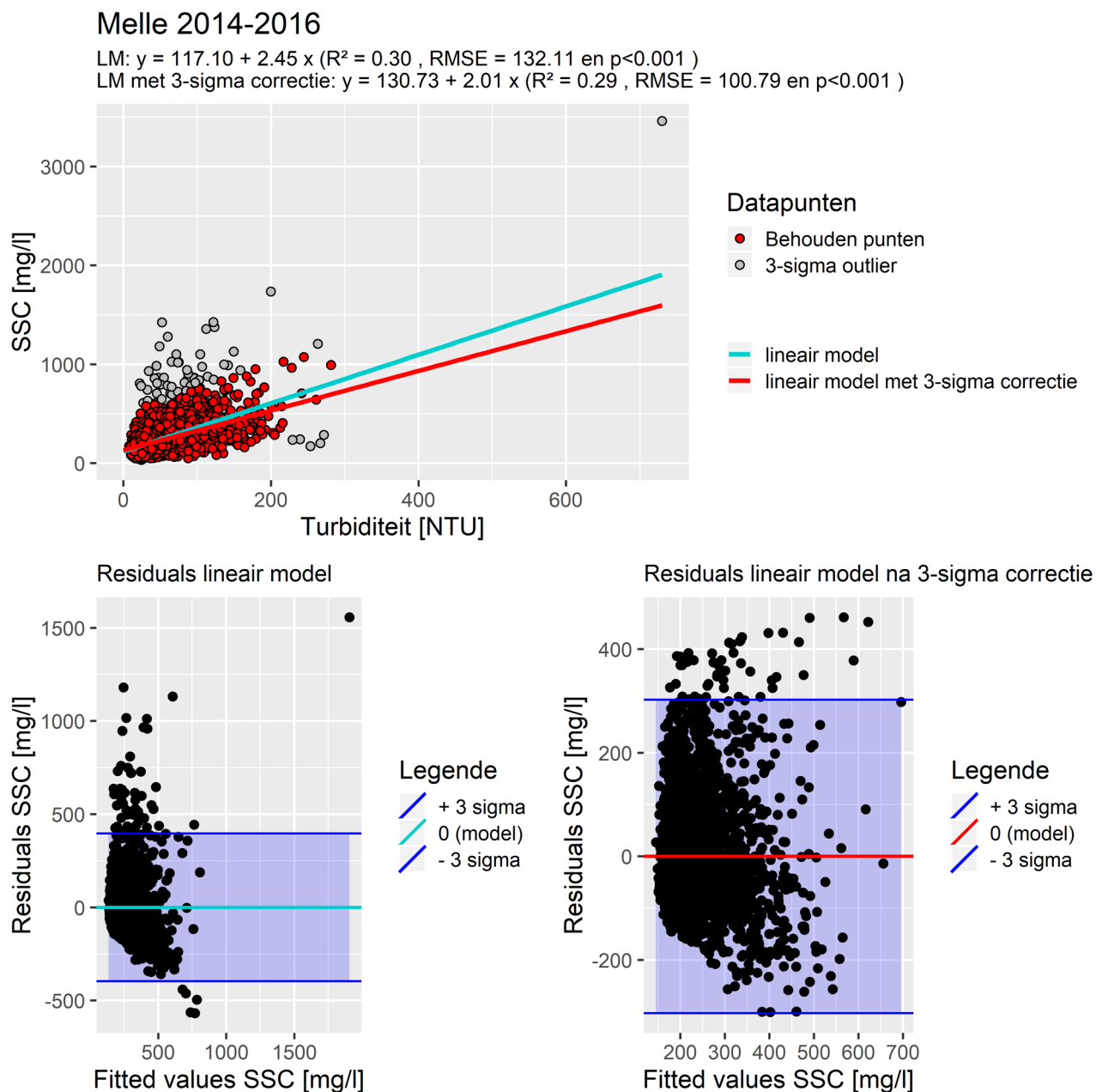
In Melle voert men ook kalibratiecampagnes uit (Figuur 140), maar er is nood aan bijkomende kalibratiecampagnes om een beter inzicht te krijgen in het systeemfunctioneren, zeker voor het hogere turbiditeitsbereik. Daarom werd er een verkennende regressieanalyse uitgevoerd op de grotere dataset van de 7- tot 14-uurlijkse pompstalen die continu opgepompt worden met behulp van de ISCO automatische bemonsteringstoestellen. Merk op dat deze automatische bemonstering is stopgezet in 2017. Conform voorgaande methode m.b.v. pompstalen (e.g. Vandenbruwaene *et al.*, 2018), werd een analyse uitgevoerd op de laatste 3 jaar aan continue meetdata: 2014-2016.

Figuur 140 – Melle (YSI): Kalibratieleraties SSC-turbiditeit op basis van kalibratiecampagnes.



Een regressie analyse tussen de turbiditeit en het suspensiegehalte bemeten in de pompstalen, geeft aan dat de turbiditeit maar 29% van de variabiliteit in het suspensiegehalte verklaart (Figuur 141). Deze regressie is significant, maar er is nood aan een beter regressiemodel.

Figuur 141 – Melle (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen.



Een verkennende analyse wees uit dat de verhouding tussen SSC en turbiditeit varieert naargelang de bovenafvoer te Melle. De pompstalen werden toegewezen aan een debietklasse op basis van gelijktijdig tijgemiddeld debiet te Melle. Het tijgemiddeld debiet¹⁰ benadert best het lokale systeemfunctioneren – wat weerspiegelt werd in een licht hogere correlatiecoëfficiënt – en kreeg daarom de voorkeur op daggemiddeld debiet.

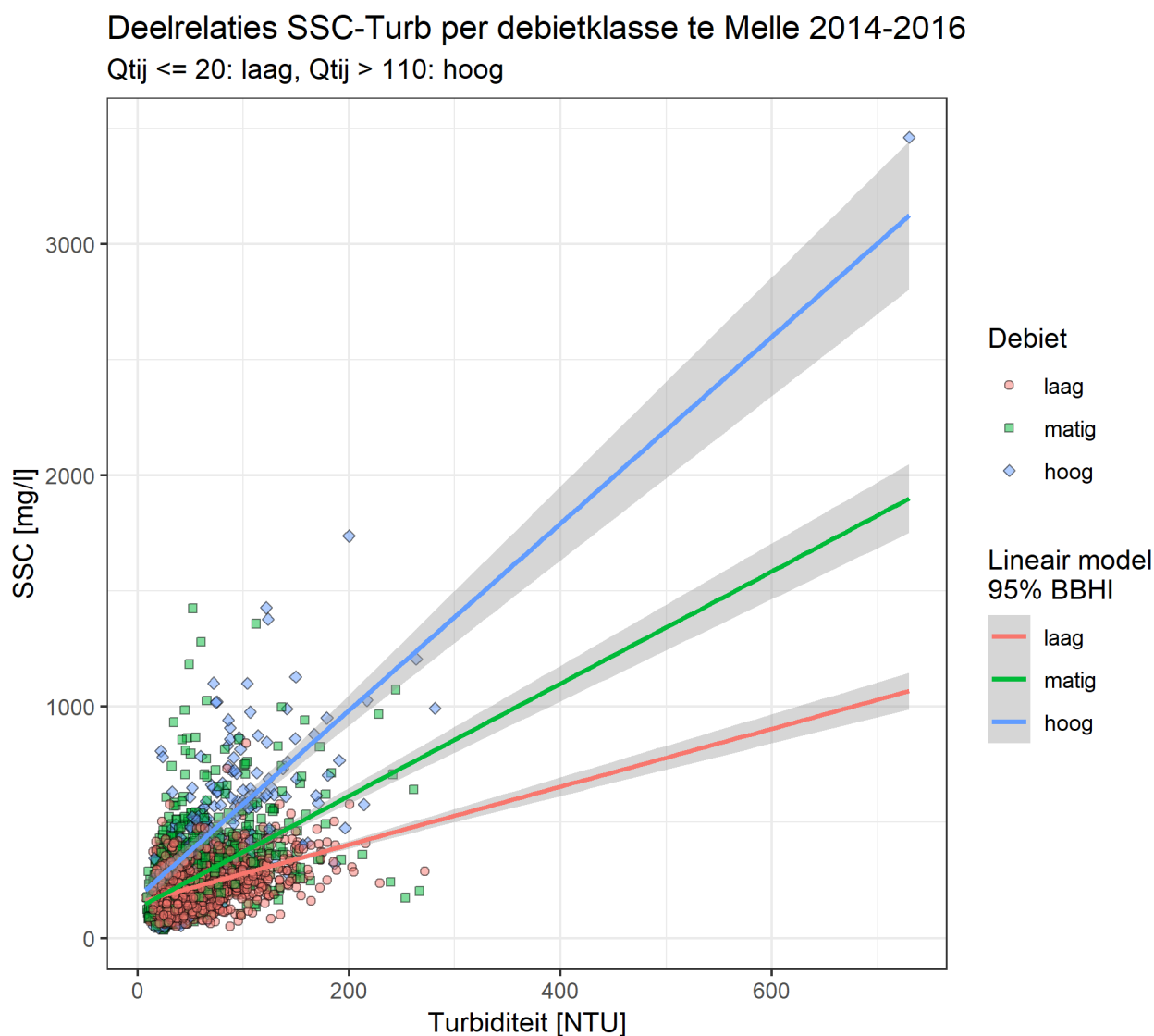
¹⁰ Gemiddelde van het debiet tijdens een volledige getijcyclus, gedefinieerd als periode tussen 2 opeenvolgende hoogwaters te Melle.

Figuur 142 vergelijkt de bekomen verhouding naargelang debietsklasse. Een analyse van de frequentietabel en correlatiecoëfficiënt wees de optimale begrenzing van de debietsklassen uit. De regressieanalyses voor alle debietklassen zijn gepresenteerd in Figuur 143 tot en met Figuur 145.

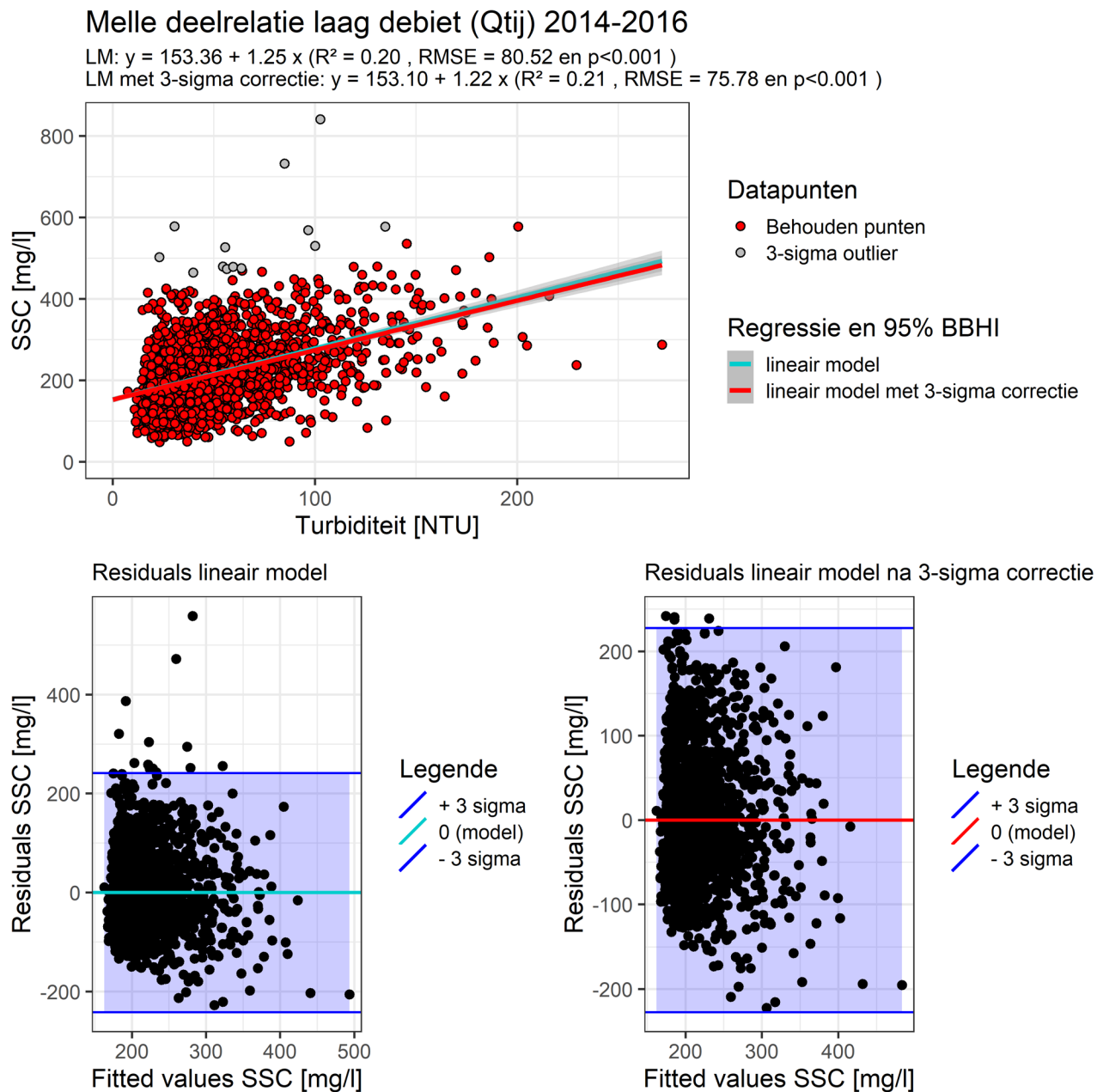
Bovenstaande analyse wijst er op dat een zekere hoeveelheid sediment in suspensie, een hogere turbiditeit veroorzaakt tijdens perioden met lage dan met hoge bovenafvoer (zgn. wassen). Dit laat uitschijnen dat de sedimentsamenstelling en/of het gehalte aan organisch materiaal varieert met afvoerregime. Deze aanname wordt momenteel nog verder onderzocht door het Waterbouwkundig Laboratorium.

Om zowel de impact van bovenafvoer als turbiditeit mee te nemen, is er uiteindelijk geopteerd om een meervoudig regressiemodel op te stellen waarbij het suspensiegehalte wordt ingeschat door middel van het tijgemiddeld debiet en de turbiditeit (Figuur 146). Figuur 147 wijst er op dat beide onafhankelijke variabelen quasi niet gecorreleerd zijn. Merk op dat, gezien het onderzoek naar variërende sedimentsamenstelling nog lopende is, de gepresenteerde regressie mogelijk nog bijgesteld wordt eens deze studie is afgerond.

Figuur 142 - Melle (YSI): Kalibratierelaties SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen, opgesplitst naargelang debiet.



Figuur 143 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de lage debietklasse.

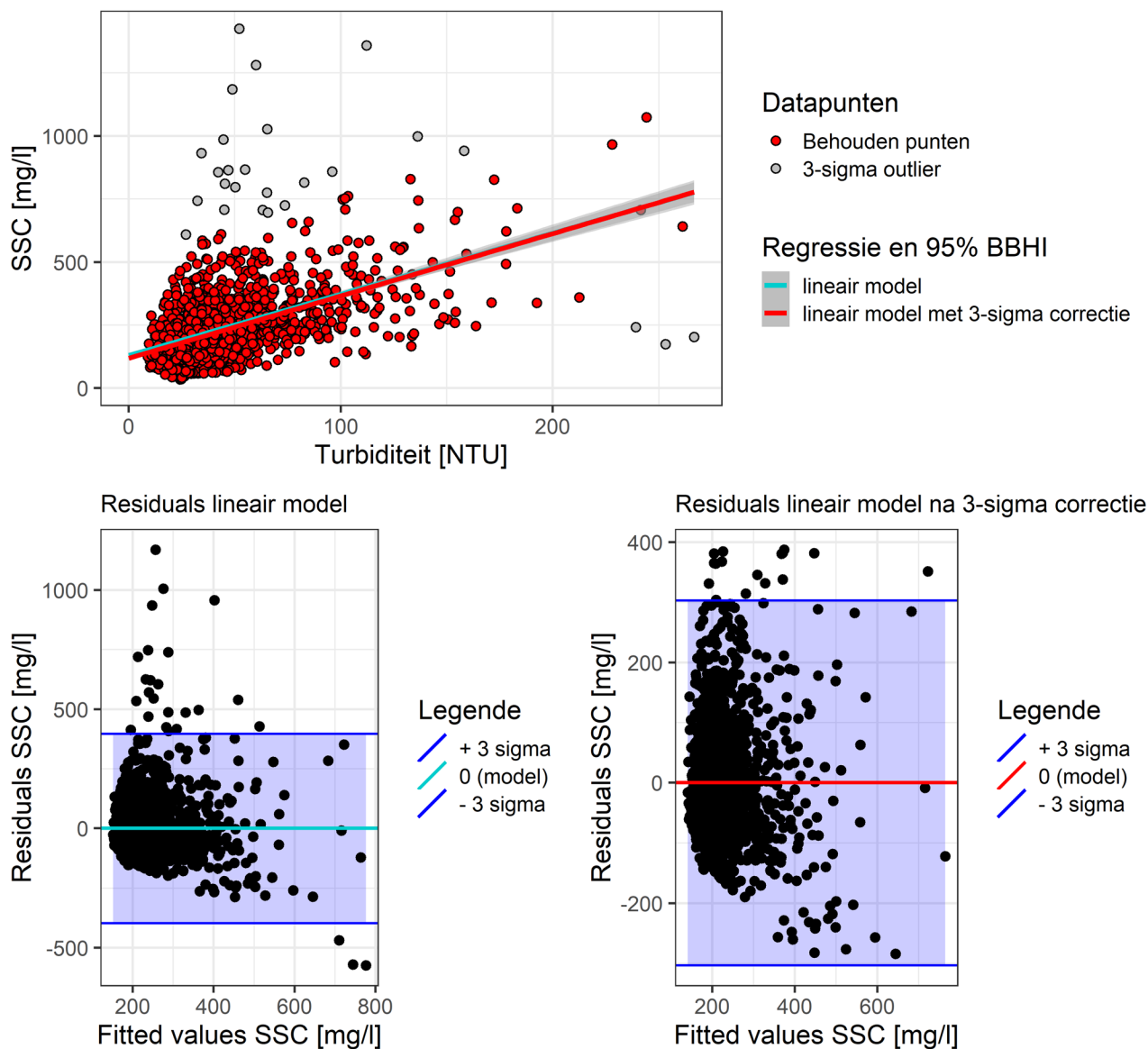


Figuur 144 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de matige debietklasse.

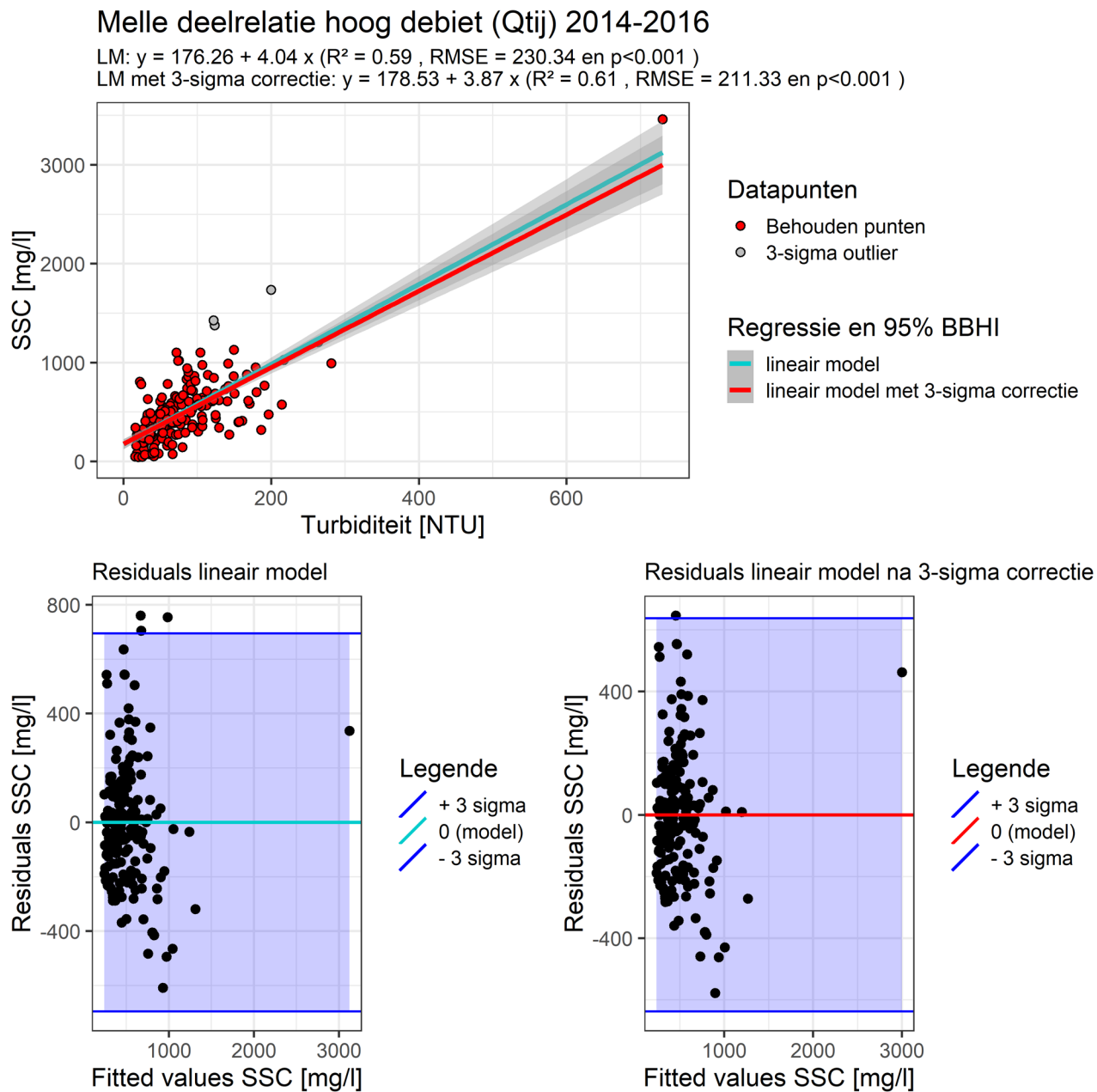
Melle deelrelatie matig debiet (Qtij) 2014-2016

LM: $y = 129.44 + 2.43 \times$ ($R^2 = 0.25$, $RMSE = 132.26$ en $p < 0.001$)

LM met 3-sigma correctie: $y = 118.60 + 2.47 \times$ ($R^2 = 0.35$, $RMSE = 100.99$ en $p < 0.001$)



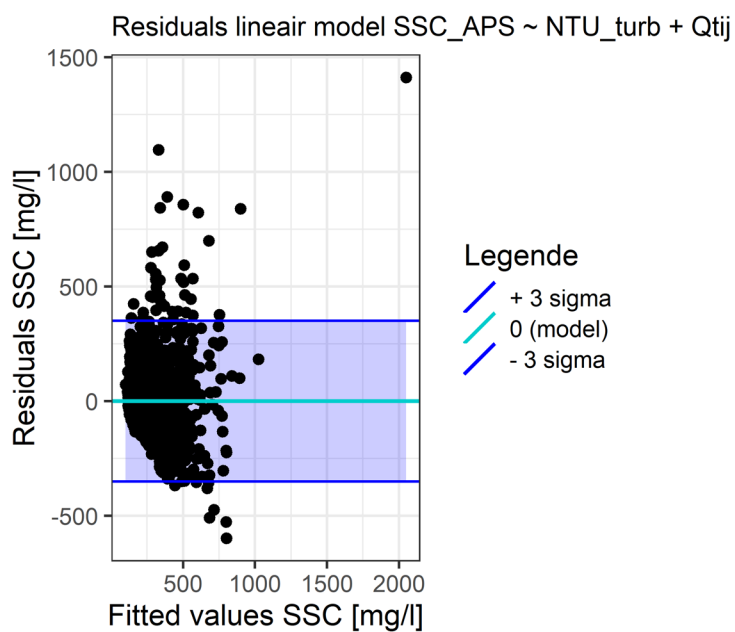
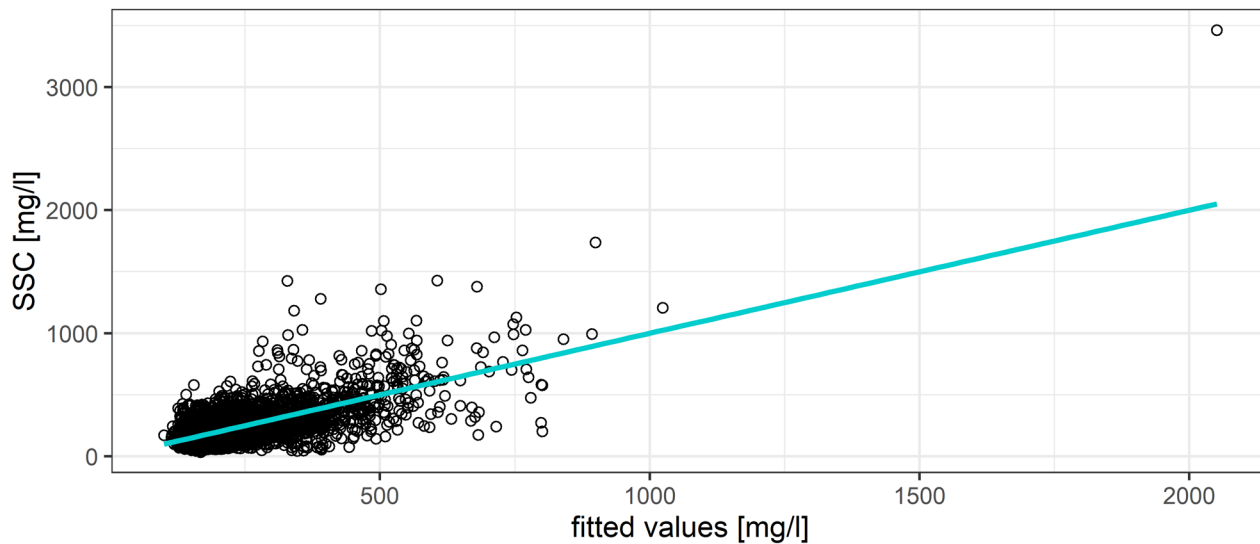
Figuur 145 - Melle (YSI): Kalibratierelatie SSC-turbiditeit op basis van automatische pompstalen voor de hoge debietklasse.



Figuur 146 - Melle (YSI): Meervoudig regressiemodel $SSC = f(\text{turbiditeit, tijgemiddeld debiet})$ op basis van automatische pompstalen.

Melle 2014-2016

LM: $y = 77.50 + 2.17 \cdot NTU_{\text{turb}} + 1.67 \cdot Qtij$ ($R^2 = 0.45$, $RMSE = 116.93$)

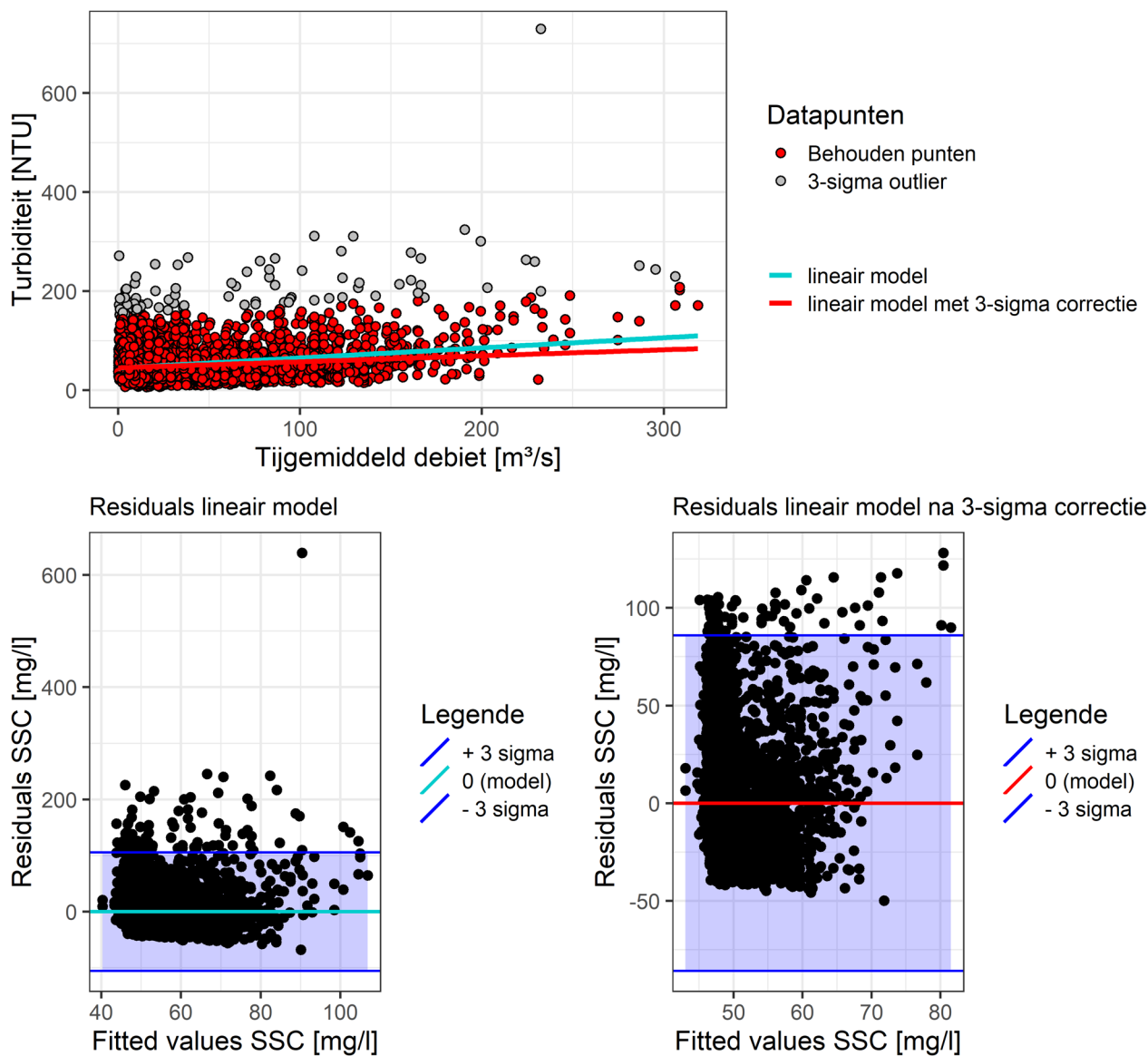


Figuur 147 - Mele (YSI): Regressieanalyse tussen tijgemiddeld debiet en turbiditeit.

Melle

LM: $y = 45.89 + 0.19 x$ ($R^2 = 0.04$, $RMSE = 35.22$ en $p < 0.001$)

LM met 3-sigma correctie: $y = 46.26 + 0.11 x$ ($R^2 = 0.02$, $RMSE = 28.62$ en $p < 0.001$)



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