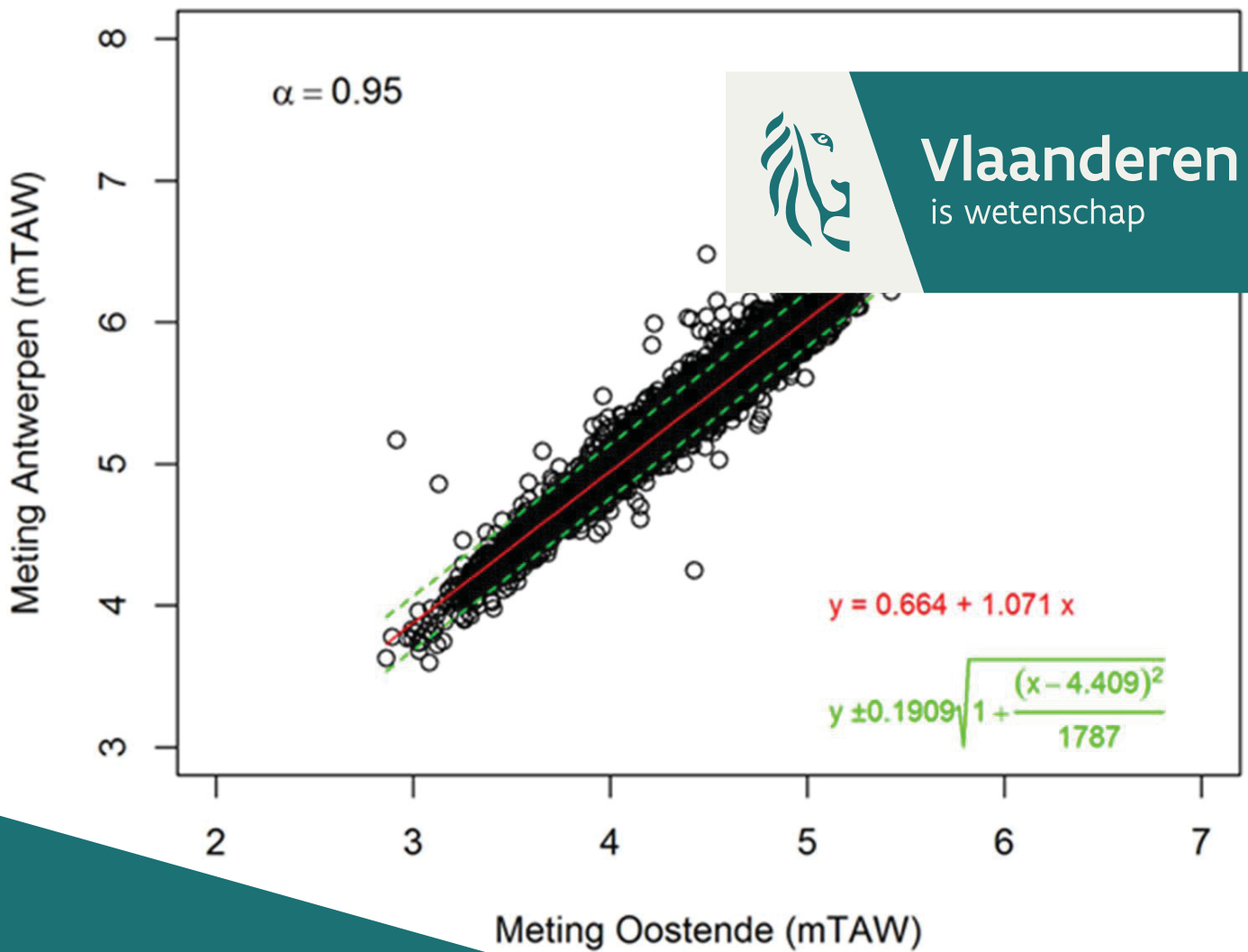




Vlaanderen
is wetenschap



16_016_1
WL rapporten

Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen

Deelrapport 1 – Data-analyse

Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen

Deelrapport 1 – Data-analyse

Boeckx, L.; D'Haeseleer, E.; Meire, D.; Nossent, J.; Vanderkimpen, P.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017
 D/2017/3241/12

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Boeckx, L.; D'Haeseleer, E.; Meire, D.; Nossent, J.; Vanderkimpfen, P.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen: Deelrapport 1 – Data-analyse. Versie 2.0. WL Rapporten, 16_016_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

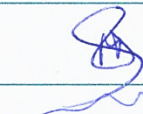
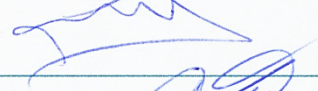
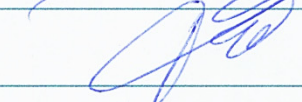
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2017R16_016_1
Keywords (3-5):	Voorkomen van hoge hoogwaters; Verbanden Oostende-Vlissingen-Antwerpen; Tijverwachtingen		
Tekst (p.):	37	Bijlagen (p.):	18
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Boeckx, L.; D'Haeseleer, E.; Meire, D.; Nossent, J.; Vanderkimpfen, P.; Deschamps, M.
------------	---

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwaest, T.	
Projectleider:	Deschamps, M.	

Goedkeuring

Verantwoordelijke (Steunpunt) HIC:	Deschamps, M.	
Coördinator onderzoeksgroep:	Verwaest, T.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



Abstract

In dit rapport worden een aantal data-analyses samengevat die werden uitgevoerd in het project 16_016 om de hoogwaterverwachtingen van de permanentiedienst van het HIC te ondersteunen.

De hoogwaterstand in Antwerpen is gemiddeld 97 cm hoger dan deze in Oostende en 90 cm hoger dan deze in Vlissingen.

Het voorkomen van hoge hoogwaters (HHW) van meer dan + 5,40 m TAW in Oostende, meer dan + 5,35 m TAW in Vlissingen of meer dan + 6,30 m TAW in Antwerpen, werd kwantitatief nagegaan voor de periode september 2000 tot februari 2016. 70-75 % van deze HHW komen voor tijdens een springtijperiode. 98 % van deze hoogwaters komt voor in de periode van 9 maanden tussen september tot eind april. Voor 80 % van de HHW komt de wind op het moment van hoogwater uit ZW tot NNW en voor de geselecteerde HHW nooit uit de sectoren ONO tot ZZW .

Er konden goede regressies worden opgesteld voor het bepalen van de hoogwaterstand in Antwerpen gebaseerd op Oostende en/of Vlissingen, maar de onzekerheidsbanden zijn breed. Deze regressies werden praktisch bruikbaar gemaakt in een simpel rekenblad. De inzet van andere bronnen, zoals voorspellingsmodellen, bekijken van windvelden en interpreteren van weerkaarten, blijven essentieel om de uiteindelijke onzekerheid van een verwachting in Antwerpen zo klein mogelijk te houden.

Voor het vergelijken van windvelden voorafgaand aan HHW in Antwerpen werd een grafische analyse gemaakt van het windverloop in Hansweert en Vlake van de Raan. Deze analyse werd eveneens praktisch bruikbaar gemaakt in een aantal memo's.

Met een analyse van de kwaliteit van de verwachtingen van Oostende, Vlissingen en Antwerpen werd aangetoond dat de operationele voorspellingsdiensten er reeds in slagen om de onzekerheidsbanden gemiddeld over alle verwachtingen heen (en dus niet alleen de HHW) te beperken tot ongeveer 10 cm.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Kader.....	1
2 Bestaande stormrapporten	2
3 Analyses hoogwaters Oostende-Vlissingen-Antwerpen	3
3.1 Keuzeverantwoording	3
3.2 Algemeen verband hoogwaters Oostende-Vlissingen-Antwerpen (alle).....	4
3.2.1 Verband (alle) hoogwaters Oostende-Antwerpen	4
3.2.2 Verband (alle) hoogwaters Vlissingen-Antwerpen.....	7
3.3 Hoge opzet en hoge hoogwaters in Oostende-Vlissingen-Antwerpen (HHW+EHW)	9
3.3.1 Data-verzameling.....	9
3.3.2 Voorkomen in functie van springtij-doodtij cyclus.....	10
3.3.3 Voorkomen in functie van de tijd van het jaar	11
3.3.4 Voorkomen in functie van de windrichting op moment van hoogwater	12
3.3.5 Voorkomen in functie van de wind voorafgaand aan het hoogwater	14
3.3.6 Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen bij hoge opzet en hoge hoogwaters	15
3.3.7 Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen bij hoge opzet en hoge hoogwaters.....	16
3.4 Toepassing analyse hoogwaters.....	18
3.4.1 Rekenblad	18
3.4.2 Voorbeeld storm 6 december 2013 (Sinterklaasstorm).....	19
3.4.3 Voorbeeld storm 28 november 2015	19
3.5 Conclusies verbanden Oostende-Vlissingen-Antwerpen	20
4 Analyse historische verwachtingen Oostende-Vlissingen-Antwerpen.....	21
4.1 Methode	21
4.2 Resultaten.....	22
4.2.1 Oostende	22
4.2.2 Vlissingen	26
4.2.3 Antwerpen	30
4.3 Conclusies historische verwachtingen.....	34

5	Analyses rond andere locaties waarvoor verwachtingen worden opgesteld	35
5.1	Kader.....	35
5.2	Methode.....	35
5.3	Resultaten.....	36
6	Referenties	37
	BIJLAGE A: Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen (alle).....	B1
	BIJLAGE B: Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen (alle).....	B3
	BIJLAGE C: Voorkomen hoogwaters in functie van windsector op moment hoogwater (HHW en EHW)	B5
	BIJLAGE D: Indeling HHW op basis van beslissingsboom en bijhorende grafieken.....	B7
	BIJLAGE E: Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW)	B11
	BIJLAGE F: Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW)	B15

Lijst van de tabellen

Tabel 1: Locaties met hoogwaterverwachtingen en drempels in onze regio	3
Tabel 2: Histogram voor de verschillen tussen Oostende en Antwerpen (september 2000 – februari 2016) .	6
Tabel 3: Histogram voor de verschillen tussen Vlissingen en Antwerpen (september 2000 – februari 2016).	8
Tabel 4: Aantal hoogwaters (HHW+EHW) per maand	11
Tabel 5: Percentage hoogwaters (HHW+EHW) per gespecificeerde periode.....	12
Tabel 6: Vensters voor verwachtingsposten gebaseerd op het hoogwater van Vlissingen.....	36
Tabel 7: Verband alle hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 66 % en 80 % voorspellingsinterval)	B1
Tabel 8: Verband alle hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 95 % en 99 % voorspellingsinterval)	B2
Tabel 9: Verband alle hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 66 % en 80 % voorspellingsinterval)	B3
Tabel 10: Verband alle hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 95 % en 99 % voorspellingsinterval)	B4
Tabel 11: Aantal hoogwaters (HHW en EHW) per windsector in Hansweert voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen.....	B5
Tabel 12: Aantal hoogwaters (HHW en EHW) per windsector in Vlakte van de Raan voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen.....	B6
Tabel 13: voorbeeld van beschikbare informatie voor een geselecteerd hoogwater in opgebouwde datafile	B10
Tabel 14: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 66 % voorspellingsinterval)	B11
Tabel 15: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 80 % voorspellingsinterval)	B12
Tabel 16: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 95 % voorspellingsinterval)	B13
Tabel 17: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 99 % voorspellingsinterval)	B14
Tabel 18: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 66 % voorspellingsinterval)	B15
Tabel 19: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 80 % voorspellingsinterval)	B16
Tabel 20: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 95 % voorspellingsinterval)	B17
Tabel 21: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 99 % voorspellingsinterval)	B18

Lijst van de figuren

Figuur 1: Verband tussen hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (alle).....	5
Figuur 2: Histogram voor de verschillen Oostende-Antwerpen (september 2000 – februari 2016).....	6
Figuur 3: Verband tussen hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (alle).....	7
Figuur 4: Histogram voor de verschillen Vlissingen-Antwerpen (september 2000 – februari 2016).....	8
Figuur 5: Aantal hoogwaters in Oostende-Vlissingen-Antwerpen per windsector in Vlakte van de Raan (links) en Hansweert (rechts) op moment van hoogwater.....	13
Figuur 6: Verband tussen hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW).....	15
Figuur 7: Verband tussen hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW).....	17
Figuur 8: Voorbeeld toegepast rekenblad voor storm 6 december 2013.....	19
Figuur 9: Voorbeeld toegepast rekenblad voor storm 28 november 2015.....	20
Figuur 10: Vergelijking metingen en verwachtingen Oostende (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	22
Figuur 11: Verwachtingen met bijhorende metingen Oostende (2014-2015) met de afwijking tussen beide.....	23
Figuur 12: Vergelijking metingen en verwachtingen Oostende (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	24
Figuur 13: Verwachtingen met bijhorende metingen Oostende (2015-2016) met de afwijking tussen beide.....	25
Figuur 14: Vergelijking metingen en verwachtingen Vlissingen (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	26
Figuur 15: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2014-2015) met de afwijking tussen beide.....	27
Figuur 16: Vergelijking metingen en verwachtingen Vlissingen (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	28
Figuur 17: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2015-2016) met de afwijking tussen beide.....	29
Figuur 18: Vergelijking metingen en verwachtingen Antwerpen (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	30
Figuur 19: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2015-2016) met de afwijking tussen beide.....	31
Figuur 20: Vergelijking metingen en verwachtingen Antwerpen (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.....	32
Figuur 21: Verwachtingen met bijhorende metingen Antwerpen (2015-2016) met de afwijking tussen beide.....	33
Figuur 22: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_4) – Hoogfrequente wind Hansweert – Hoogwater 18/01/2007.....	B8

Figuur 23: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_5) – gemiddelde wind Hansweert - Hoogwater 18/01/2007..... B8

Figuur 24: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_6) – Hoogfrequente wind Vlake Van de Raan - Hoogwater 18/01/2007 B9

Figuur 25: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_7) – Gemiddelde wind Vlake Van de Raan - Hoogwater 18/01/2007 B9

1 Kader

Reeds vele jaren worden dagelijks door het HIC verwachtingen opgesteld voor het gebied van de Schelde. Dit ter ondersteuning van de stormtijprocedure waar Waterwegen en Zeekanaal voor verantwoordelijk is. De samenwerking verloopt prima en er werden tot nu toe altijd tijdig waarschuwingen verstuurd om de stormtijprocedure te activeren. Echter in de stormperiode 2015-2016 werd het HIC twee maal verrast met hogere (hoog)waterstanden op de Zeeschelde dan verwacht. Voor beide events werd een stormrapport opgemaakt. Daarnaast werd ook een project opgestart om de diepere oorzaken van deze foute verwachtingen te onderzoeken. In het project, 16_016 Model- en data analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen, werden heel wat acties gedefinieerd. Concreet werd enerzijds een analyse gemaakt op basis van de data van metingen, voorspellingen en verwachtingen, en anderzijds van de operationeel gebruikte modellen. Een stormtij gaat heel vaak gepaard met GOG-werking. Daarom werd ook de analyse van GOG-werking mee in het project opgenomen. Finaal resulteert dit project in drie deelrapporten:

- Deelrapport 1 = Data-Analyse
- Deelrapport 2 = GOG-werking
- Deelrapport 3 = Model-Analyse

De rapporten moeten resulteren in een beter begrip van hetgeen gebeurd is in de stormperiode 2015-2016 en ook bijdragen tot een beter inzicht in het systeem en de beschikbare tools met betrekking tot metingen en voorspellingen. Zo wil het HIC zijn rol als waarschuwingdienst voor stormtij ten behoeve van Waterwegen en Zeekanaal in de toekomst kwalitatief uitvoeren met goede tijverwachtingen.

Voorliggend Deelrapport 1 – Data-analyse bevat 4 inhoudelijke hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2 = Overzicht van reeds opgemaakte stormrapporten
- Hoofdstuk 3 = Analyse van de hoogwaterverbanden tussen Oostende, Vlissingen en Antwerpen
- Hoofdstuk 4 = Evaluatie van de tijverwachtingen voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen
- Hoofdstuk 5 = Analyse van de verbanden tussen alle locaties langs de Schelde waarvoor verwachtingen worden opgesteld

2 Bestaande stormrapporten

Een aantal opgetreden hoge hoogwaters van de afgelopen jaren werden reeds in detail beschreven in de stormrapporten van het HIC.

Voor volgende stormen zijn er rapporten beschikbaar:

Storm	Referentie rapport
6/12/2013	Nossent, J.; Boeckx, L.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Sinterklaasstorm 6 december 2013: Beschrijving van de hydrometrische gebeurtenissen. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.
22/10/2014	Boeckx, L.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Stormrapport: Stormtij Zeescheldebekken 22 oktober 2014. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België
28/11/2015	Boeckx, L.; Coen, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Stormperiode 28-30 november 2015. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België
15/01/2016	Nossent, J.; Viaene, P.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Stormrapport: Hoogwaterperiode januari 2016. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Alle bovenstaande rapporten zijn raadpleegbaar op waterinfo.be.

3 Analyses hoogwaters

Oostende-Vlissingen-Antwerpen

3.1 Keuzeverantwoording

In Vlaanderen kan stormvloed (langs de kust) of stormtij (in het tijgebied van de Schelde) optreden.

Voor afkondiging van stormvloed langs onze kust maakt Afdeling Kust gebruik van het referentiestation in Oostende. Hoogwaterverwachtingen voor Oostende worden gemaakt door het Oceanografisch Meteorologisch Station (OMS) in Oostende.

Voor afkondiging van stormtij in het tijgebied van de Schelde maakt Waterwegen en Zeekanaal NV (W&Z) gebruik van het referentiestation in Antwerpen. Hoogwaterverwachtingen voor Antwerpen worden gemaakt door het Hydrologisch InformatieCentrum (HIC) van het Waterbouwkundig Laboratorium in Antwerpen.

De waterstand die uiteindelijk zal optreden in Antwerpen, wordt in belangrijke mate bepaald door de waterstand die optreedt langs de kust en aan de Scheldemonding (in Nederland). Daar is voor Nederland het station in Vlissingen het referentiestation voor stormvloed. Hoogwaterverwachtingen voor Vlissingen worden gemaakt door de Waterkamer- Team Stormvloeden van het Water Management Centrum (WMC) in Lelystad.

Tabel 1: Locaties met hoogwaterverwachtingen en drempels in onze regio

Antwerpen (m TAW)	Prewaakdrempel - verhoogde waakzaamheid geboden (onder andere voor waterwegbeheerders en lokale besturen)	6,30
	Waakdrempel - Niet-kritieke overstromingen mogelijk	6,60
	Stormtij in het Zeescheldebekken	6,60
	Procedurele drempel voor sluiten van de kaaien in Antwerpen	6,70
	Gevaarlijk Stormtij in het Zeescheldebekken	7,00
	Alarmdrempel - Kritieke overstromingen mogelijk	7,30
Oostende (m TAW)	(Prewaakdrempel -enkel intern HIC gebruikt wegens de link met Antwerpen)	5,25
	Stormvloed Kust	5,60
	Gevaarlijke Stormvloed Kust	5,90
Vlissingen (m NAP//m TAW)	Voorwaarschuwingsspeil (voorkomen: een keer per 0,2 jaar)	3,10 // 5,45
	Waarschuwingsspeil (voorkomen: een keer per 1 jaar)	3,30 // 5,65
	Regionaal alarmpeil (voorkomen: een keer per 5 jaar)	3,70 // 6,05
	Landelijk alarmpeil (voorkomen: een keer per 100 jaar)	4,10 // 6,45
	Kritiek peil (voorkomen: een keer per 1000 jaar)	4,75 // 7,10
	Alarmpeil (voorkomen: een keer per 10 000 jaar)	5,30 // 7,65

Er zijn dus drie locaties rond de Schelde waarvoor dagelijks menselijk geïnterpreteerde hoogwaterverwachtingen worden opgesteld. Voor elk van deze locaties zijn verschillende drempelwaardes van toepassing. Deze worden weergegeven in Tabel 1.

In tijden van verwachte hoge hoogwaterstanden is er op regelmatige basis contact tussen OMS, WMC en het HIC over de verwachtingen voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen.

Van oudsher bestaan er vuistregels¹ over verbanden tussen de hoogwaterstanden op deze drie locaties. Deze worden in 3.2 en 3.3 uitgewerkt en nadien praktisch toegepast (3.4).

Er werd gebruik gemaakt van hoogwatermetingen van Oostende, Vlissingen en Antwerpen van september 2000 tot februari 2016. In deze tijdsspanne zit een bijna volledige 18,6 jarige nodale cyclus van het getij².

3.2 Algemeen verband hoogwaters Oostende-Vlissingen-Antwerpen (alle)

3.2.1 Verband (alle) hoogwaters Oostende-Antwerpen

Lineaire regressie

Er is een lineair verband tussen de hoogwatermetingen in Oostende en deze in Antwerpen. Dat blijkt duidelijk uit onderstaande Figuur 1.

Het lineair verband wordt beschreven door volgende vergelijking:

$$W_{\text{Antwerpen}} = 0,664 + 1,071 * W_{\text{Oostende}}$$

Met

$W_{\text{Antwerpen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Antwerpen

W_{Oostende} : hoogwaterstand (m TAW) in Oostende

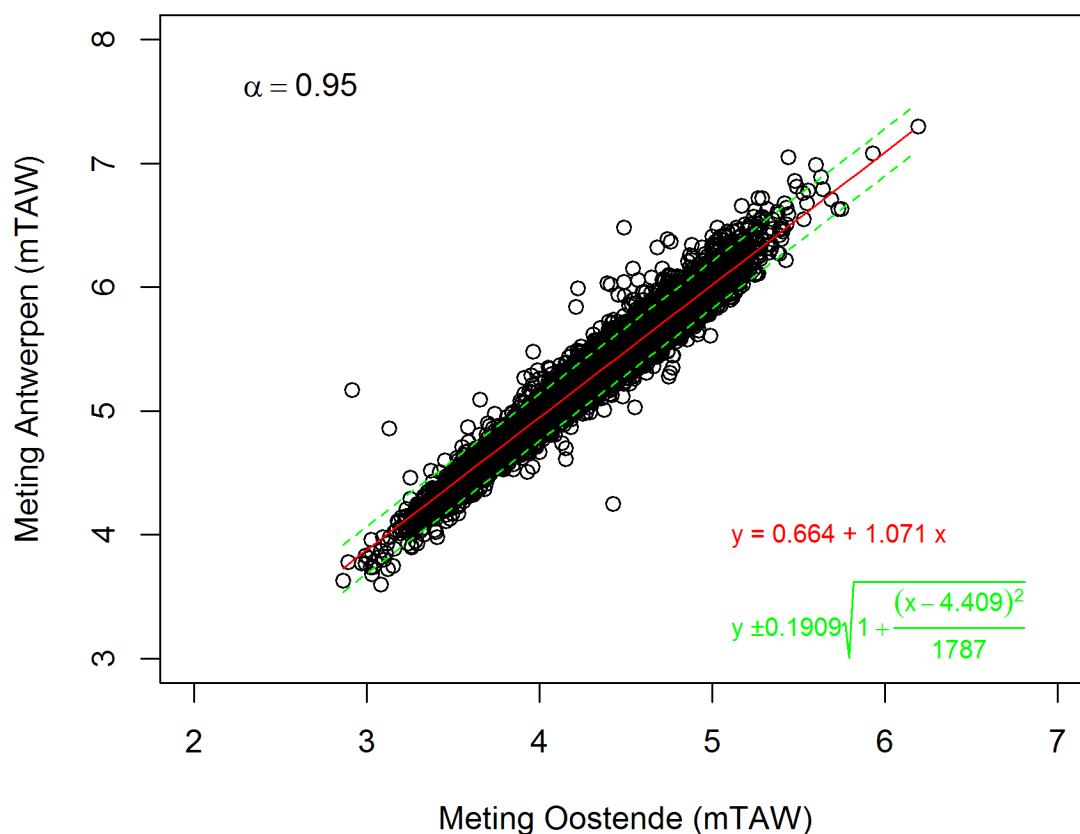
Bij het opstellen van hoogwaterverwachtingen voor Antwerpen kan van dit verband gebruikt gemaakt worden om (verwachte) $W_{\text{Antwerpen}}$ te baseren op (verwachte) W_{Oostende} . In die gevallen kan eveneens een voorspellingsinterval rond $W_{\text{Antwerpen}}$ meegegeven worden.³ Uit de gebruikte datareeksen werden vergelijkingen afgeleid om intervallen te bepalen waarvoor er voor één hoogwaterstand in Antwerpen 66 %, 80 %, 95 % of 99 % kans is dat hij in een bepaald interval valt, gebaseerd op de hoogwaterstand in Oostende. Alle figuren en bijhorende vergelijkingen van de voorspellingsintervallen zijn terug te vinden in BIJLAGE A.

¹ Voor verbanden tussen Oostende en een aantal Engelse waarnemingsstations werden verbanden in het verleden beschreven door Van Cauwenberghe (Van Cauwenberghe, 1986).

² Voor Vlissingen werd een maximum in de 18,6 jarige cyclus berekend eind 1995 (Levy, 2014). Een volgende maximum was dan logischerwijze half 2014.

³ In de statistiek wordt bij Simpele Lineaire Regressie onderscheid gemaakt tussen twee soorten intervallen: Betrouwbaarheidsintervallen en Voorspellingsintervallen. Aangezien in de praktische toepassing hier de steekproef slechts uit 1 bestaat (we willen voor 1 hoogwater de verwachting in Antwerpen opstellen), wordt hier gebruikt gemaakt van de voorspellingsintervallen (<http://www2.stat.duke.edu/~tj13/s101/slides/unit6lec3H.pdf>)

Figuur 1: Verband tussen hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (alle).



Rood=Regressie. Groen=Voorspellingsinterval 95 %

Verschil Oostende-Antwerpen

Voor alle hoogwaters uit de analyseperiode (september 2000 tot februari 2016) werd het verschil tussen het hoogwater in Oostende en het hoogwater in Antwerpen bepaald. De histogrammen worden getoond in Figuur 2 en Tabel 2. Het **gemiddelde verschil is 0,97 m** met een minimum van 0,46 m en een maximum van 1,99 m.

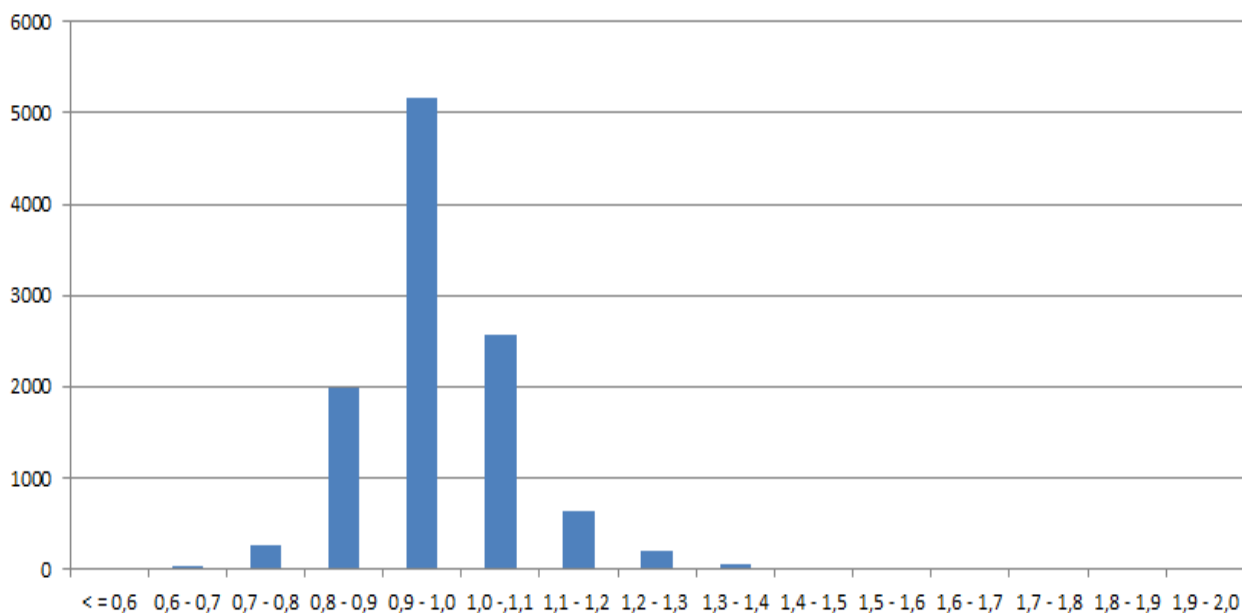
Voor bijna de helft (47 %) van alle hoogwaters ligt de hoogwaterstand in Antwerpen 0,9 m tot 1,0 m hoger dan die Oostende. In de **overgrote meerderheid (89 %)** van de gevallen ligt de hoogwaterstand in **Antwerpen 0,8 tot 1,1 m hoger dan die in Oostende.**

Tabel 2: Histogram voor de verschillen tussen Oostende en Antwerpen (september 2000 – februari 2016)

Vershil (m)	Aantal	%
<= 0,6	10	< 1
0,6 - 0,7	30	< 1
0,7 - 0,8	259	< 1
0,8 - 0,9	1982	18
0,9 - 1,0	5160	47
1,0 -,1,1	2569	24
1,1 - 1,2	644	< 1
1,2 - 1,3	191	< 1
1,3 - 1,4	55	< 1
1,4 - 1,5	12	< 1
1,5 - 1,6	2	< 1
1,6 - 1,7	8	< 1
1,7 - 1,8	1	< 1
1,8 - 1,9	0	< 1
1,9 - 2,0	1	< 1

GEMIDDELDE (m)	0,97
MINIMUM (m)	0,46
MAXIMUM (m)	1,99

Figuur 2: Histogram voor de verschillen Oostende-Antwerpen (september 2000 – februari 2016)



3.2.2 Verband (alle) hoogwaters Vlissingen-Antwerpen

Lineaire regressie

Er is een lineair verband tussen de hoogwatermetingen in Vlissingen en deze in Antwerpen. Dat blijkt duidelijk uit onderstaande Figuur 3.

Het lineair verband wordt beschreven door volgende vergelijking:

$$W_{\text{Antwerpen}} = 0,512 + 1,089 * W_{\text{Vlissingen}}$$

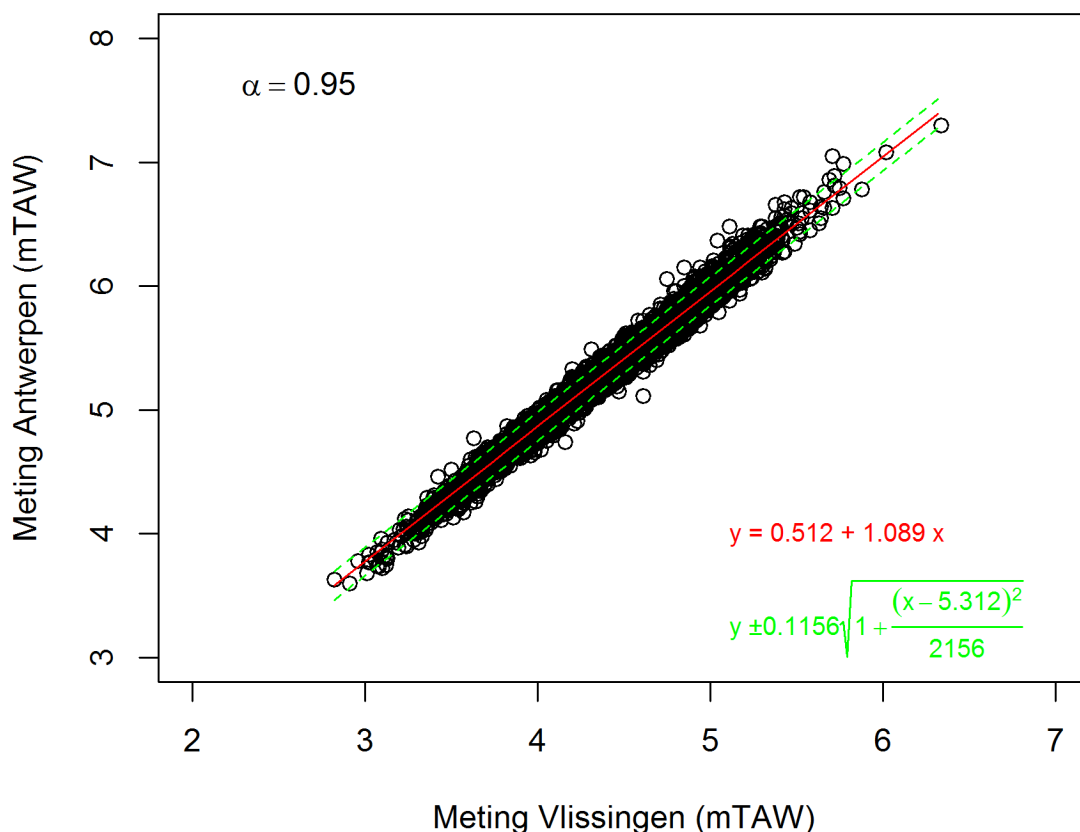
Met

$W_{\text{Antwerpen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Antwerpen

$W_{\text{Vlissingen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Vlissingen

Bij het opstellen van hoogwaterverwachtingen voor Antwerpen kan van dit verband gebruikt gemaakt worden om (verwachte) $W_{\text{Antwerpen}}$ te baseren op (verwachte) $W_{\text{Vlissingen}}$. In die gevallen kan eveneens een voorspellingsinterval rond $W_{\text{Antwerpen}}$ meegegeven worden. Uit de gebruikte datareeksen werden vergelijkingen afgeleid om intervallen te bepalen waarvoor er voor één hoogwaterstand in Antwerpen 66 %, 80 %, 95 % of 99 % kans is dat hij in een bepaald interval valt, gebaseerd op de hoogwaterstand in Vlissingen. Alle figuren en bijhorende vergelijkingen van de voorspellingsintervallen zijn terug te vinden in BIJLAGE B.

Figuur 3: Verband tussen hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (alle).



Rood=Regressie. Groen=Voorspellingsinterval 95 %

Verschil Vlissingen-Antwerpen

Voor alle hoogwaters uit de analyseperiode (september 2000 tot februari 2016) werd het verschil tussen het hoogwater in Vlissingen en het hoogwater in Antwerpen bepaald. De histogrammen worden getoond in Tabel 3 en Figuur 4 . Het **gemiddelde verschil is 0,90 m** met een minimum van 0,50 m en een maximum van 1,37 m.

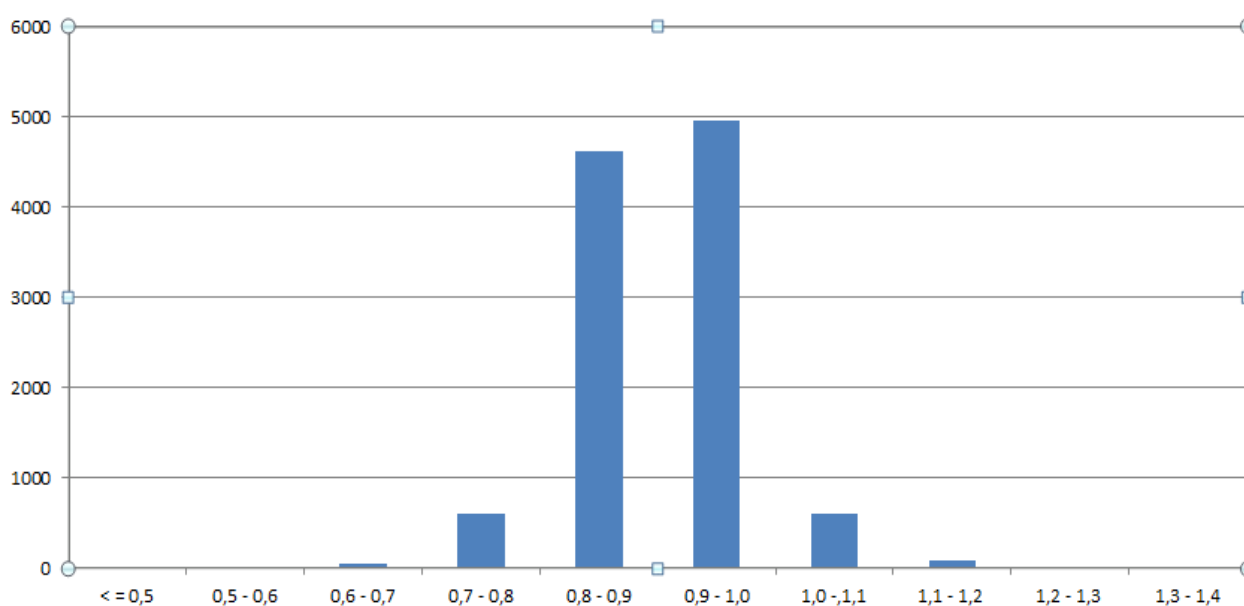
In de **overgrote meerderheid (87 %)** van de gevallen ligt de hoogwaterstand in **Antwerpen 0,8 tot 1,0 m hoger dan die in Vlissingen**.

Tabel 3: Histogram voor de verschillen tussen Vlissingen en Antwerpen (september 2000 – februari 2016)

Verschil (m)	Aantal	%
< = 0,5	1	< 1
0,5 - 0,6	1	< 1
0,6 - 0,7	45	< 1
0,7 - 0,8	603	6
0,8 - 0,9	4614	42
0,9 - 1,0	4969	45
1,0 -,1,1	596	5,5
1,1 - 1,2	82	< 1
1,2 - 1,3	8	< 1
1,3 - 1,4	5	< 1

GEMIDDELDE (m)	0,90
MINIMUM (m)	0,50
MAXIMUM (m)	1,37

Figuur 4: Histogram voor de verschillen Vlissingen-Antwerpen (september 2000 – februari 2016)



3.3 Hoge opzet en hoge hoogwaters in Oostende-Vlissingen-Antwerpen (HHW+EHW)

3.3.1 Data-verzameling

Bij het opstellen van tijverwachtingen heeft de wind vaak een bepalende rol.

Om die reden werd, naast de analyse uit paragraaf 3.2, dieper ingegaan op de verbanden tussen Oostende, Vlissingen en Antwerpen bij hoge waterstanden en/of belangrijke windeffecten.

Er werd een selectie gemaakt uit hoogwatermetingen en windmetingen tussen september 2000 en februari 2016.

Selectie hoogwaters

Voor deze analyse werden de **hoge hoogwaters (HHW)** geselecteerd die aan minstens één van volgende voorwaarden voldoen:

- Gemeten hoogwater Oostende hoger dan + 5,40 m TAW (HHW O)
EN/OF
- Gemeten hoogwater Vlissingen hoger dan + 3,00 m NAP // + 5,35 m TAW (HHW V)
EN/OF
- Gemeten hoogwater Antwerpen hoger dan + 6,30 m TAW (HHW A)

De grenswaardes komen overeen met drempelwaardes uit Tabel 1. Met deze criteria werden er 125 hoogwaters (HHW) geselecteerd in de periode september 2000 tot februari 2016.

Bijkomend werden **extra hoogwaters (EHW)** geselecteerd waarbij het duidelijk is dat de wind een belangrijk effect speelde, maar die toch geen HHW zijn.

- Meer dan 1,30 m verschil tussen Oostende en Antwerpen (OA13)
EN/OF
- Meer dan 1,10 m verschil tussen Vlissingen en Antwerpen (VA11)
EN/OF
- Meer dan 1 m opzet in Antwerpen (Opzet A)

De grenswaardes voor de selectie van de extra hoogwaters zijn gebaseerd op de hoger vermelde vuistregels. Met deze criteria werden er 114 hoogwaters (EHW) geselecteerd in de periode september 2000 tot februari 2016.

In totaal werden er dus 234 hoogwaters geselecteerd (HHW+EHW).

Extra informatie

Voor zowel de HHW als de EHW werd volgende bijkomende informatie verzameld. Dit telkens voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen

- Reden van selectie⁴: HHW O, HHW V, HHW A, OA13, VA11, Opzet A
- Astronomisch voorspeld tijdstip hoogwater
- Astronomisch voorspelde waterhoogte

⁴ EHW zijn nooit een HHW, sommige HHW voldoen wel aan (één of meerdere) criteria van de EHW.

- Voorkomen in de getijcyclus (Doodtij DT- Springtij ST- Middeltij MT)⁵
- (Schuine) opzet
- Windrichting Hansweert op moment van hoogwater (in graden en windsectoren)
- Windsnelheid Hansweert op moment van hoogwater (in m/s en in Beaufort (Bft))
- Windrichting Vlakte van de Raan op moment van hoogwater (in graden en windsectoren)
- Windsnelheid Vlakte van de Raan op moment van hoogwater (in m/s en in Beaufort (Bft))

Beschikbaarheid data

Alle gebruikte data zijn verzameld in een rekenblad. Dit is voor alle geïnteresseerden op aanvraag via hic@vlaanderen.be ter beschikking.

3.3.2 Voorkomen in functie van springtij-doodtij cyclus

Vaststellingen

Van alle 239 geselecteerde hoogwaters (HHW+EHW) vielen er

- 130 in een springtijperiode
- 84 in een middeltijperiode
- 25 in een doodtijperiode

Van alle 125 hoge hoogwaters (HHW) vielen er

- 87 in een springtijperiode
- 35 in een middeltijperiode
- 3 in een doodtijperiode

Van de 114 EHW, vielen er

- 43 in een springtijperiode
- 49 in een middeltijperiode
- 22 in een doodtijperiode

Voor de 23 hoge hoogwaters in Oostende (HHW O) vielen er

- 18 in een springtijperiode
- 5 in een middeltijperiode
- 0 in een doodtijperiode

Voor de 68 hoge hoogwaters in Vlissingen (HHW V) vielen er

- 50 in een springtijperiode
- 16 in een middeltijperiode
- 2 in een doodtijperiode

⁵ Bepaling van Doodtij-Springtij of Middeltij periodes zoals beschreven in WL2016M16_016_2- Bepalen van spring – en doodtij (Boeckx, 2016)

Voor de 117 hoge hoogwaters in Antwerpen (HHW A) vielen er

- 82 in een springtijperiode
- 34 in een middeltijperiode
- 1 in een doottijperiode

Conclusies

Voor **Oostende** komen hoogwaters van meer dan + 5,40 m TAW (HHW O) (quasi) nooit voor in een doottijperiode. In 78 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een springtijperiode. In 22 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een middeltijperiode.

Voor **Vlissingen** komen hoogwaters van meer dan + 5,35 m TAW (HHW V) soms (minder dan 3 %) voor in een doottijperiode. In 74 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een springtijperiode. In 24 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een middeltijperiode.

Voor **Antwerpen** komen hoogwaters van meer dan + 6,30 m TAW (HHW A) zelden (minder dan 1%) voor in een doottijperiode. In 70 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een springtijperiode. In 29 % van de gevallen gebeurt dit tijdens een middeltijperiode.

Algemeen kan gesteld worden dat **hoge hoogwaters (HHW) in 70-75 %** van de gevallen voorkomen tijdens een **springtijperiode** en in **25-30 %** van de gevallen tijdens een **middeltijperiode**. Hoge hoogwaters tijdens een **doottijperiode** zijn **mogelijk**, maar zeldzaam.

Extra geselecteerde hoogwaters (EHW) daarentegen hebben geen verband met de doottij-springtijcyclus.

3.3.3 Voorkomen in functie van de tijd van het jaar

Vaststellingen

In onderstaande tabel wordt weergegeven in welke maanden hoeveel van de geselecteerde hoogwaters voorkwamen.

Tabel 4: Aantal hoogwaters (HHW+EHW) per maand

	HHW+EHW	HHW	EHW
Januari	32	10	22
Februari	48	27	21
Maart	51	32	19
April	15	8	7
Mei	5	1	4
Juni	2	0	2
Juli	0	0	0
Augustus	2	2	0
September	14	5	9
Oktober	14	11	3
November	23	12	11
December	33	17	16
TOTAAL	239	125	114

Uit Tabel 4 is reeds duidelijk dat het grootste aantal van de geselecteerde hoogwaters (HHW+EHW) voorkomt in de echte wintermaanden. In de overgangsmaanden tussen zomer en winter komen er geleidelijk minder geselecteerde hoogwaters voor. In de echte zomermaanden zijn de geselecteerde hoogwaters quasi nihil.

Om kwantitatieve uitspraken te doen, hangt veel af van wat er als ‘zomer’ en als ‘winter’ gedefinieerd wordt.

In onderstaande tabel wordt voor een aantal mogelijke definities het procentueel voorkomen van de geselecteerde hoogwaters per maand in verhouding tot het totaal weergegeven.

Tabel 5: Percentage hoogwaters (HHW+EHW) per gespecificeerde periode.

	HHW+EHW	HHW	EHW
WINTER LANG (september tem april)	96	98	95
WINTER KORT (oktober tem maart)	84	87	81
ZOMER LANG (april tem september)	16	13	19
ZOMER KORT (mei tem augustus)	10	6	13
HOOGZOMER (juni, juli, augustus)	2	2	2

Conclusies

Meer dan **95 %** van de geselecteerde hoogwaters (HHW+EHW) komt voor in de periode van 9 maanden **tussen september tot eind april**. In het winterse half jaar van oktober tot eind maart komt 80-85% van de hoogwaters (HHW+EHW) voor.

In de echte zomermaanden (juni, juli, augustus) komen er bijna geen (2 %) van de geselecteerde hoogwaters (HHW+EHW) voor.

3.3.4 Voorkomen in functie van de windrichting op moment van hoogwater

Vaststellingen

Voor alle geselecteerde hoogwaters (HHW en EHW) werd de gemeten windsector op de meetlocatie Hansweert en de meetlocatie Vlakte van de Raan bepaald op het moment van het hoogwater in respectievelijk Oostende, Vlissingen en Antwerpen.

De achterliggende cijfers worden meegegeven in BIJLAGE C.

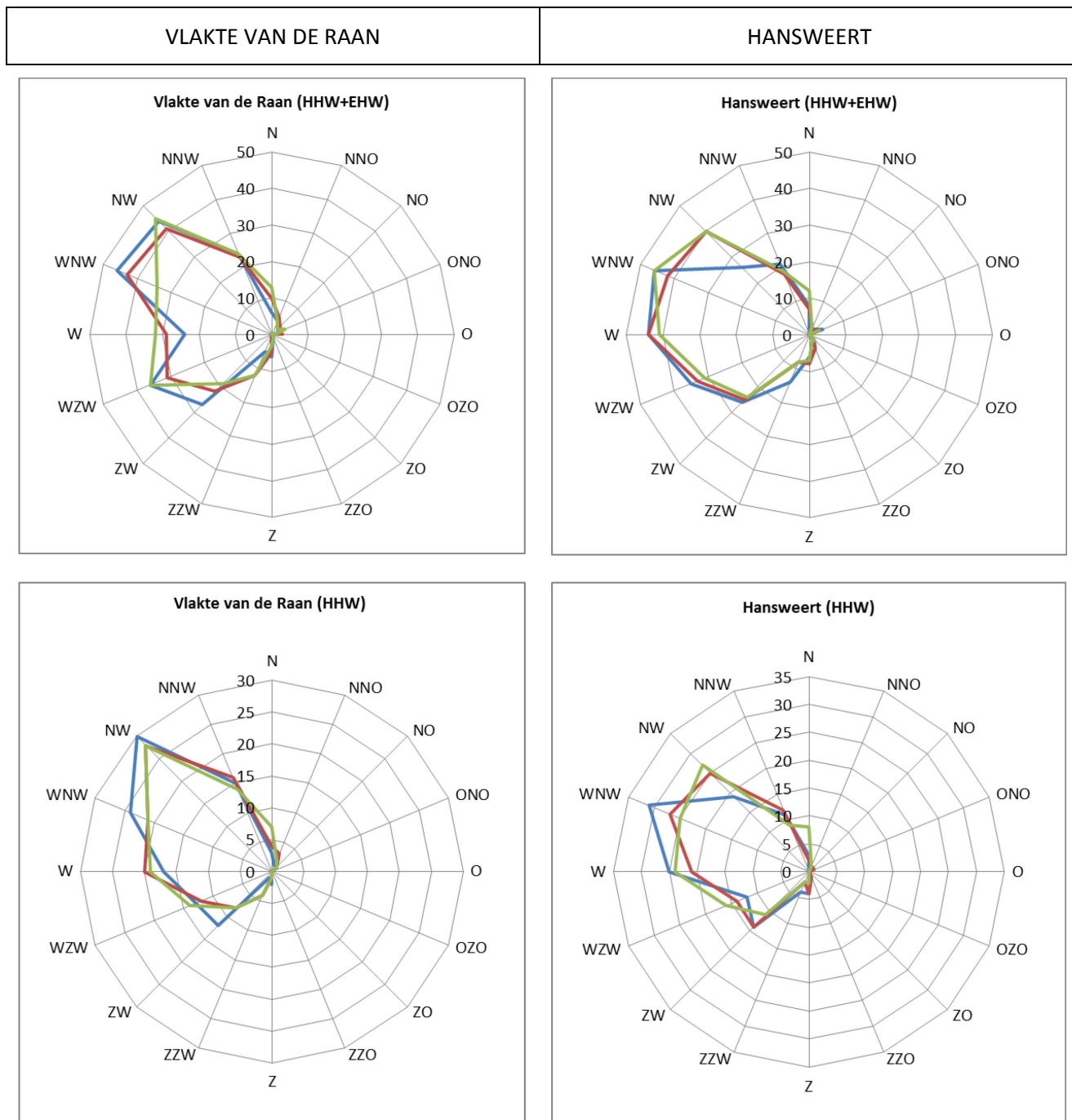
Wanneer deze aantallen op een windroos worden weergegeven, wordt een visueel beeld geschept van de overheersende windsectoren op zee (Vlakte van de Raan) en over de Schelde (Hansweert) voor het optreden van HHW en/of EHW.

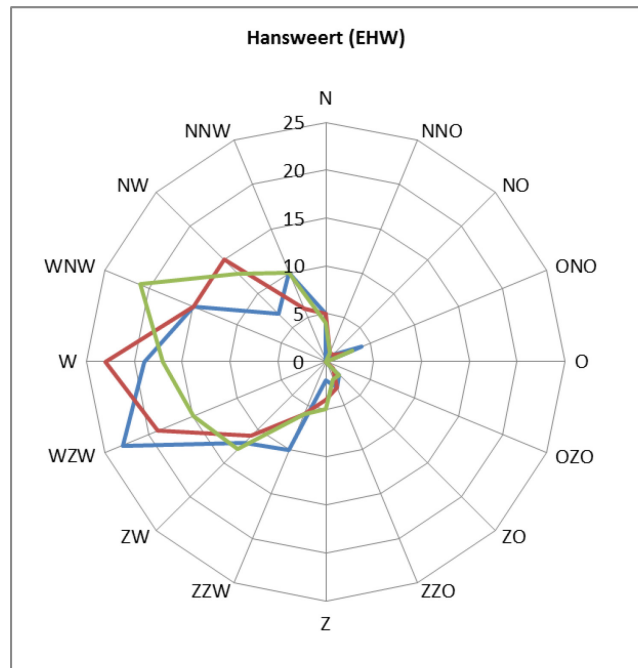
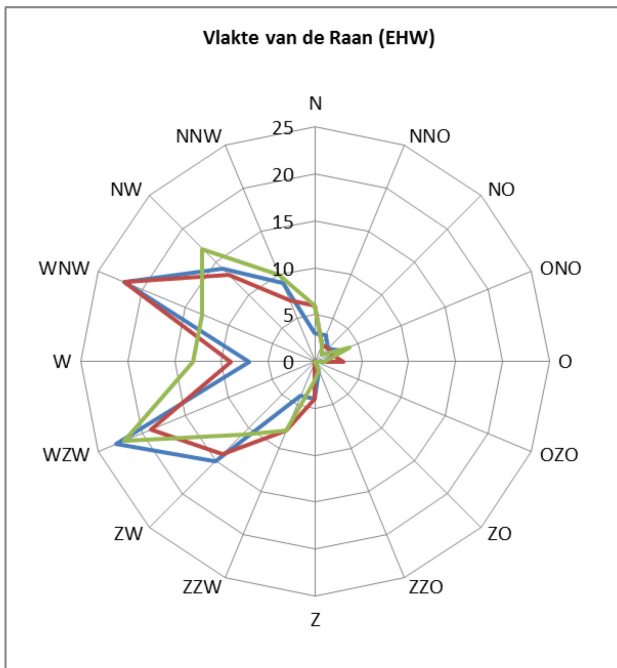
De aantallen in **Oostende** worden in **blauw** weergegeven.

De aantallen in **Vlissingen** worden in **bordeaux** weergegeven

De aantallen in **Antwerpen** worden in **groen** weergegeven

Figuur 5: Aantal hoogwaters in Oostende-Vlissingen-Antwerpen per windsector in Vlakte van de Raan (links) en Hansweert (rechts) op moment van hoogwater





Conclusies

Voor de **overgrote meerderheid** (75 %) van alle geselecteerde hoogwaters (HHW+EHW), komt de wind op het moment van hoogwater uit **ZW tot NNW**. Deze vaststelling geldt onafhankelijk van locatie van het hoogwater (Oostende, Vlissingen of Antwerpen) of van de locatie van de windmeetpost (Hansweert of Vlakte van de Raan). Voor de **hoge hoogwaters** (HHW) zijn de windrichtingen tussen ZW en NNW zelfs in **80 %** van de gevallen gemeten.

Voor de **hoge hoogwaters (HHW)** komt de wind in **Vlakte van de Raan nooit** uit de sectoren **NO tot ZZO**.

3.3.5 Voorkomen in functie van de wind voorafgaand aan het hoogwater

Het is algemeen geweten dat voor het optreden van bepaalde hoogwaterstanden niet alleen de wind – zowel snelheid als richting- op het moment van hoogwater van belang is, maar dat ook de voorgeschiedenis van de windvelden zijn effect heeft op de waterstand die uiteindelijk zal optreden.

Memo's

Het windverloop in een langere periode voor een optredend hoogwater eenduidig kwalitatief beschrijven of kwantitatief groeperen is zeer moeilijk. Om die reden werd ervoor geopteerd de HHW via een beslissingsboom – met vragen rond de wijziging van windrichtingen en –snelheden voorafgaandelijk aan het optredende HHW te groeperen.

Voor de hoge hoogwaters (HHW) werden telkens 4 grafieken gemaakt van het windverloop in Hansweert en Vlakte van de Raan voorafgaand aan het hoogwater in Antwerpen. (Nossent, 2016)

Deze zijn, samen met de opgemaakte beslissingsboom, in aparte memo's te raadplegen en op aanvraag beschikbaar via hic@vlaanderen.be Dit omwille van het feit dat in de memo's voor praktisch gebruik de nodige hyperlinks werden voorzien om snel te kunnen navigeren tussen de vele verschillende situaties.

Een voorbeeld van vragen uit de beslissingsboom en een set van 4 grafieken horende bij één HHW kan gevonden worden in BIJLAGE D.

Weerkaarten

Het evolueren van windvelden kan door meteorologen worden afgeleid uit weerkaarten en de evolutie daar in. Dit aspect wordt in dit rapport niet meegenomen.

In het stormrapport over de storm van 22/10/2014 werden alle toen geraadpleegde weerkaarten opgenomen (Boeckx, 2014). Deze referentie werd reeds hoger aangehaald in Hoofdstuk 2.

3.3.6 Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen bij hoge opzet en hoge hoogwaters

Lineaire regressie

Voor de geselecteerde hoogwaters, zoals beschreven in paragraaf 3.3.1, is er een lineair verband tussen de hoogwatermetingen in Oostende en deze in Antwerpen. Dit verband is voor de HHW/EHW echter minder strikt dan in de gevallen waarin alle opgetreden hoogwaters werden meegenomen en de bijhorende voorspellingsintervallen zijn dus breder (zie paragraaf 3.2.1). Dat blijkt ook uit Figuur 6.

De lineaire verbanden wordt beschreven door volgende vergelijkingen:

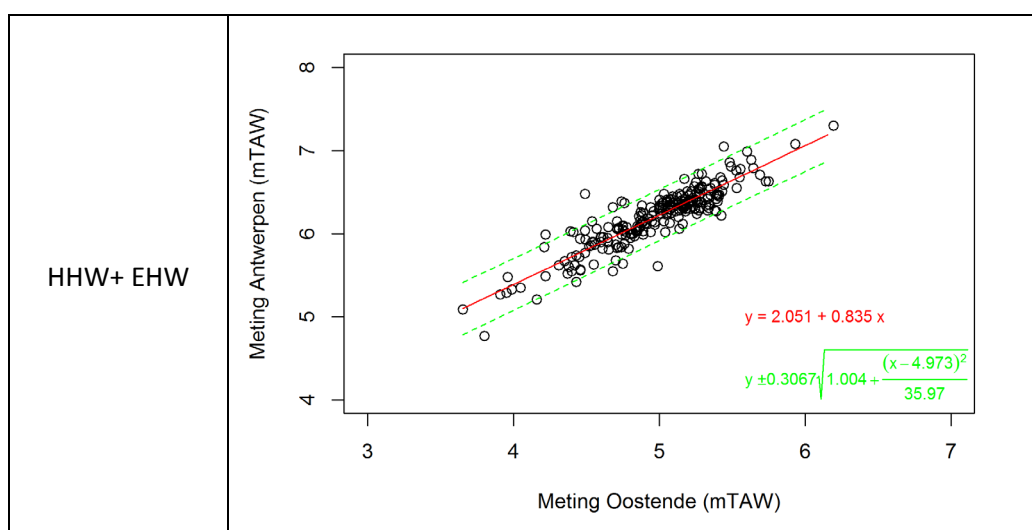
HHW+ EHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 2,051 + 0,835 * W_{\text{Oostende}}$
HHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 3,551 + 0,555 * W_{\text{Oostende}}$
EHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 2,241 + 0,787 * W_{\text{Oostende}}$

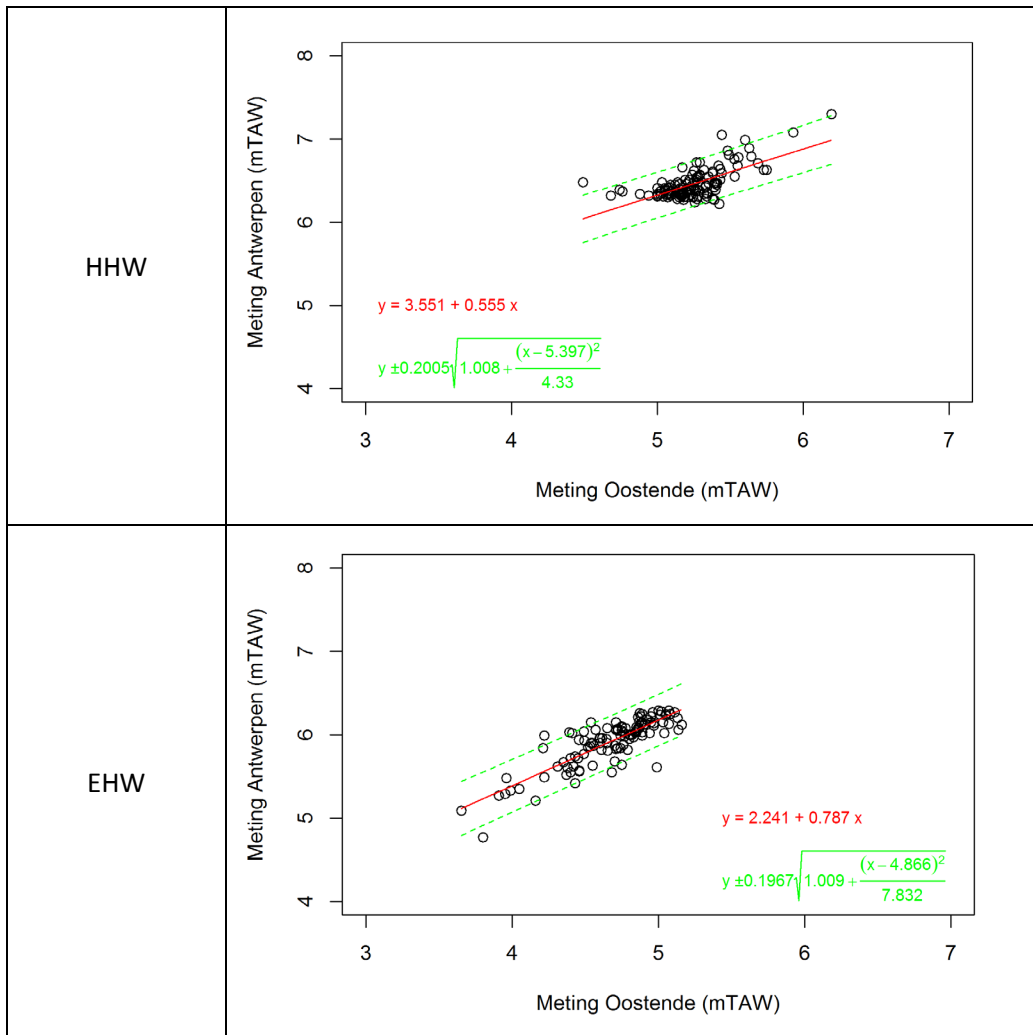
Met

$W_{\text{Antwerpen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Antwerpen

W_{Oostende} : hoogwaterstand (m TAW) in Oostende

Figuur 6: Verband tussen hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW).





Rood=Regressie. Groen=Voorspellingsinterval 95 %

Bij het opstellen van hoogwaterverwachtingen voor Antwerpen **bij hoge verwachte hoogwaters** kan van dit verband gebruikt gemaakt worden om (verwachte) $W_{Antwerpen}$ te baseren op (verwachte) $W_{Oostende}$. In die gevallen kan eveneens een voorspellingsinterval rond $W_{Antwerpen}$ meegegeven worden. Deze voorspellingsintervallen werden berekend voor 66 %, 80 %, 95 % of 99 % kans dat een verwachte waterstand binnen het interval valt, gebaseerd op de hoogwaterstand in Oostende. Alle figuren en bijhorende vergelijkingen van de voorspellingsintervallen zijn terug te vinden in BIJLAGE E.

3.3.7 Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen bij hoge opzet en hoge hoogwaters

Lineaire regressie

Voor de geselecteerde hoogwaters, zoals beschreven in paragraaf 3.3.1, is er een lineair verband tussen de hoogwatermetingen in Vlissingen en deze in Antwerpen. Dit verband is voor de HHW/EHW echter minder strikt dan in de gevallen waarin alle opgetreden hoogwaters (september 2000 tot februari 2016) werden meegenomen en de bijhorende voorspellingsintervallen zijn dus breder (zie paragraaf 3.2.2). Dat blijkt ook uit Figuur 7.

De lineaire verbanden wordt beschreven door volgende vergelijkingen:

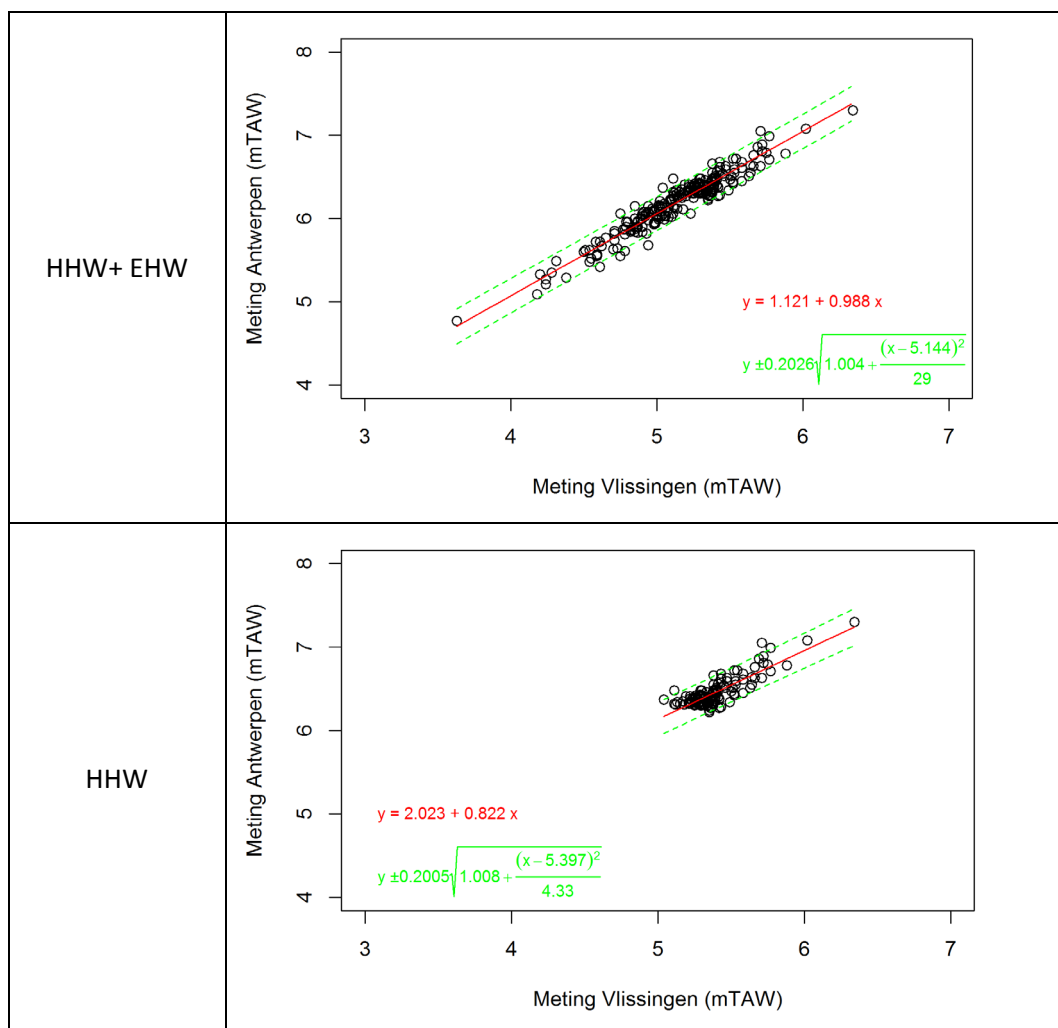
HHW+ EHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 1,121 + 0,988 * W_{\text{Vlissingen}}$
HHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 2,023 + 0,822 * W_{\text{Vlissingen}}$
EHW	$W_{\text{Antwerpen}} = 1,015 + 1,008 * W_{\text{Vlissingen}}$

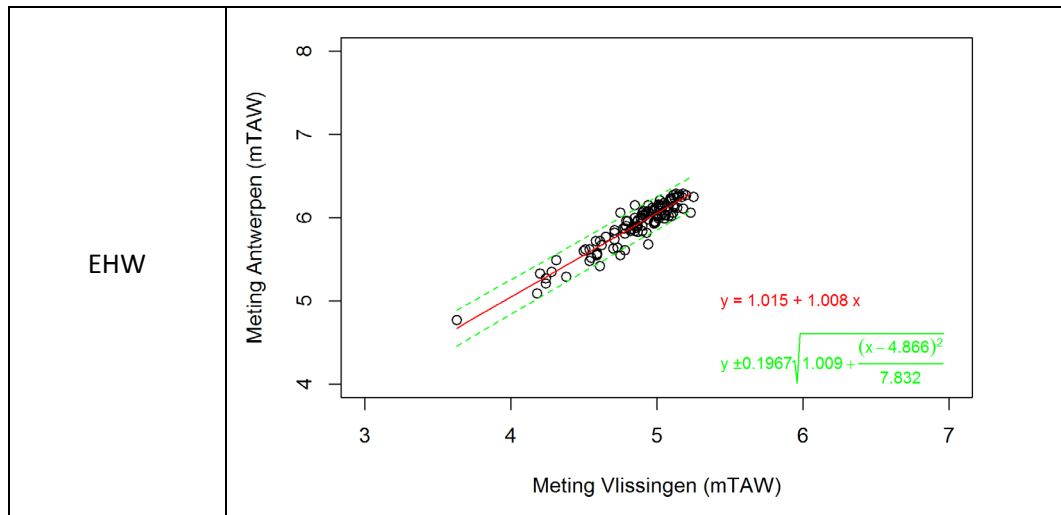
Met

$W_{\text{Antwerpen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Antwerpen

$W_{\text{Vlissingen}}$: hoogwaterstand (m TAW) in Vlissingen

Figuur 7: Verband tussen hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW).





Rood=Regressie. Groen=Voorspellingsinterval 95 %

Bij het opstellen van hoogwaterverwachtingen voor Antwerpen **bij hoge verwachte hoogwaters** kan van dit verband gebruik gemaakt worden om (verwachte) $W_{\text{Antwerpen}}$ te baseren op (verwachte) $W_{\text{Vlissingen}}$. In die gevallen kan eveneens een voorspellingsinterval rond $W_{\text{Antwerpen}}$ meegegeven worden. Deze voorspellingsintervallen werden berekend voor 66 %, 80 %, 95 % of 99 % kans dat een verwachte waterstand binnen het interval valt, gebaseerd op de hoogwaterstand in Vlissingen. Alle figuren en bijhorende vergelijkingen van de voorspellingsintervallen zijn terug te vinden in BIJLAGE F.

3.4 Toepassing analyse hoogwaters

3.4.1 Rekenblad

In bovenstaande paragrafen (3.2.1, 3.2.2, 3.3.6, 3.3.7) werden telkens regressies gepresenteerd om Antwerpen af te leiden uit Oostende en/of Vlissingen.

Om dit in de praktijk bruikbaar te maken, werd er binnen de permanentiegroep van het HIC een simpel rekenblad opgemaakt. Dit is op aanvraag via hic@vlaanderen.be ter beschikking.

Onderstaand wordt het rekenblad toegepast voor twee events uit het recente verleden, namelijk de storm van 6 december 2013 (Sinterklaasstorm) en die van 28 november 2015. De eerste staat bekend als een klassieke storm waarvoor de verwachtingen goed waren. De tweede was een verrassende storm, waarbij de verwachtingen niet goed waren.

Hierbij dienen uiteraard de nodige kanttekeningen gemaakt te worden.

- De regressies uit 3.2.1 en 3.2.2 werden opgesteld op basis van alle opgetreden hoogwaters tussen september 2000 en februari 2016. Er wordt dus op geen enkele manier rekening gehouden met de springtij-doodtij variatie in het getij.
- De regressies uit 3.3.6, 3.3.7 werden opgesteld op basis van (gemeten) HHW en EHW. Ze zijn dan ook niet getoetst voor lagere hoogwaterstanden (lager dan de selectiecriteria uit 3.3.1).
- In de praktijk zijn er nog geen metingen beschikbaar voor Oostende en Vlissingen op het moment dat de verwachting voor Antwerpen opgesteld moet worden. Er kan dan slechts gebruik gemaakt worden dan de (door OMS en WMC) opgestelde verwachtingen voor Oostende en Vlissingen. Deze verwachtingen introduceren een bijkomende onzekerheid. De kwaliteit van de verwachtingen van Oostende en Vlissingen in de afgelopen twee stormseizoenen wordt verder in hoofdstuk 4 besproken.

3.4.2 Voorbeeld storm 6 december 2013 (Sinterklaasstorm)

Deze storm werd uitgebreid besproken in een stormrapport van het HIC (Nossent, 2013) en van OMS (OMS, 2014).

De uiteindelijke meting in Oostende was + 6,19 m TAW.

De uiteindelijke meting in Vlissingen was + 3,99 m NAP.

De uiteindelijke meting in Antwerpen was + 7,30 m TAW.

Deze gemeten waardes voor Oostende en Vlissingen werden ingevuld in het rekenblad. Waardes voor Antwerpen en voorspellingsintervallen worden automatisch berekend.

Figuur 8: Voorbeeld toegepast rekenblad voor storm 6 december 2013

		Verwachting Oostende (m TAW)	6,19													
		Verwachting Vlissingen (m TAW)	6,34													
		Verwachting Antwerpen														
			66%		80%		95%		99%							
Basis	Brondata	Verwachte waarde (m TAW)	Breedte VI	Ondergrens	Bovengrens	Breedte VI	Ondergrens	Bovengrens	Breedte VI	Ondergrens	Bovengrens	Breedte VI	Ondergrens	Bovengrens		
Oostende	alle HW	7,29	0,04	7,25	7,34	0,13	7,17	7,42	0,19	7,10	7,48	0,25	7,04	7,54		
Oostende	HHW+EHW	7,22	0,07	7,15	7,29	0,21	7,01	7,43	0,33	6,89	7,55	0,43	6,79	7,65		
Oostende	HHW	6,99	0,06	6,93	7,04	0,16	6,82	7,15	0,25	6,73	7,24	0,33	6,59	7,59		
Oostende	EHW	7,11	0,06	7,06	7,17	0,16	6,95	7,28	0,25	6,86	7,37	0,33	6,78	7,45		
Vlissingen	alle HW	7,42	0,03	7,39	7,44	0,08	7,34	7,49	0,12	7,30	7,54	0,16	7,26	7,57		
Vlissingen	HHW+EHW	7,38	0,05	7,34	7,43	0,14	7,24	7,53	0,22	7,17	7,60	0,29	7,10	7,67		
Vlissingen	HHW	7,23	0,06	7,17	7,29	0,17	7,06	7,41	0,27	6,97	7,50	0,35	6,88	7,59		
Vlissingen	EHW	7,41	0,06	7,35	7,47	0,17	7,23	7,58	0,27	7,14	7,67	0,35	7,05	7,76		
		Enkele interpretaties	Resultaat (mTAW)													
		Gemiddelde verwachting op basis van Oostende	7,15													
		Gemiddelde verwachting op basis van Vlissingen	7,36													
		Minimale verwachting op basis van Oostende EN Vlissingen (zonder onzekerheden)	6,99													
		Maximale verwachting op basis van Oostende EN Vlissingen (zonder onzekerheden)	7,42													
		Minimale verwachting met onzekerheden (99 %)	5,39													
		Maximale verwachting met onzekerheden (99 %)	8,59													

Uiteindelijke meting Antwerpen: + 7,30 m TAW

(invoer **metingen** Oostende en Vlissingen)

3.4.3 Voorbeeld storm 28 november 2015

Deze storm werd uitgebreid besproken in een stormrapport (Boeckx, 2016).

De uiteindelijke meting in Oostende was + 5,53 m TAW.

De uiteindelijke meting in Vlissingen was + 3,31 m NAP.

De uiteindelijke meting in Antwerpen was + 6,77 m TAW.

Deze gemeten waardes voor Oostende en Vlissingen werden ingevuld in het rekenblad. Waardes voor Antwerpen en voorspellingsintervallen worden automatisch berekend.

Figuur 9: Voorbeeld toegepast rekenblad voor storm 28 november 2015

		Verwachting Oostende (m TAW)	5,53											
		Verwachting Vlissingen (m TAW)	5,66											
		Verwachting Antwerpen	66%			80%			95%			99%		
Basis	Brondata	Verwachte waarde (m TAW)	Breedte Vi	Ondergren	Bovengren	Breedte Vi	Ondergren	Bovengren	Breedte Vi	Ondergren	Bovengren	Breedte Vi	Ondergren	Bovengren
Oostende	alle HW	6,59	0,04	6,54	6,63	0,12	6,46	6,71	0,19	6,40	6,78	0,25	6,34	6,84
Oostende	HHW+EHW	6,67	0,07	6,60	6,74	0,21	6,46	6,88	0,32	6,35	6,99	0,42	6,25	7,09
Oostende	HHW	6,62	0,05	6,57	6,67	0,15	6,47	6,77	0,23	6,39	6,85	1,55	5,07	8,17
Oostende	EHW	6,59	0,05	6,54	6,64	0,15	6,44	6,74	0,23	6,36	6,83	0,31	6,29	6,90
Vlissingen	alle HW	6,68	0,03	6,65	6,70	0,08	6,60	6,75	0,12	6,56	6,80	0,16	6,52	6,83
Vlissingen	HHW+EHW	6,71	0,05	6,67	6,76	0,14	6,58	6,85	0,21	6,50	6,92	0,28	6,43	6,99
Vlissingen	HHW	6,68	0,05	6,62	6,73	0,15	6,52	6,83	0,24	6,44	6,91	0,31	6,36	6,99
Vlissingen	EHW	6,72	0,05	6,67	6,77	0,15	6,57	6,87	0,24	6,48	6,96	0,31	6,41	7,03
Enkele interpretaties		Resultaat (mTAW)												
Gemiddelde verwachting op basis van Oostende		6,62												
Gemiddelde verwachting op basis van Vlissingen		6,70												
Minimale verwachting op basis van Oostende EN Vlissingen (zonder onzekerheden)		6,59												
Maximale verwachting op basis van Oostende EN Vlissingen (zonder onzekerheden)		6,72												
Minimale verwachting met onzekerheden (99 %)		5,07												
Maximale verwachting met onzekerheden (99 %)		8,17												

Uiteindelijke meting Antwerpen: + 6,77 m TAW

(invoer **metingen** Oostende en Vlissingen)

3.5 Conclusies verbanden Oostende-Vlissingen-Antwerpen

- Het toepassen van de in dit rapport afgeleide regressies en verbanden kan als een waardevolle en zeer gemakkelijk toe te passen bron voor het inschatten van hoogwaterstanden in Antwerpen gebruikt worden (indien de gebruiker zich bewust is van de breedte van de onzekerheidsbanden, zie verder in deze conclusie). De in het rekenblad opgenomen onzekerheden houden geen rekening met een eventuele onzekerheid op de waardes in Oostende en Vlissingen, die er bijvoorbeeld is wanneer nog geen metingen maar slechts verwachtingen voor Oostende en Vlissingen ingevoerd worden.
- Bij gebruik van de afgeleide vuistregels geldt dat de gemiddelde verwachting voor Antwerpen op basis van Vlissingen beter is dan de gemiddelde verwachting op basis van Oostende. Dat is logisch te verklaren door het feit dat de regressies op basis van Oostende zoals hoger afgeleid een grotere standaarddeviatie hebben dan die op basis van Vlissingen. Dit werd ook al kwalitatief als volgt verwoord in het stormrapport van november 2015: "Waar Oostende 'een sterk signaal' kan zijn voor Antwerpen, is Vlissingen 'cruciaal' voor Antwerpen." (Boeckx, 2016)
- De breedte van de voorspellingsintervallen is behoorlijk breed. Voor uitgewerkte voorbeelden (hier dus gebaseerd op een GEMETEN input) geldt:
 - o Een 66 % onzekerheidsband heeft in beide voorbeelden een breedte van 10 – 12 cm.
 - o Een 80 % onzekerheidsband heeft in beide voorbeelden een breedte van 30 – 35 cm.
 - o Een 95 % onzekerheidsband heeft in beide voorbeelden een breedte van 40 – 50 cm.
 - o Een 99 % onzekerheidsband heeft in beide voorbeelden een breedte van 60 – 80 cm (of meer).
- Het is duidelijk dat, door, het puur toepassen van de in dit rapport afgeleide regressies, niet altijd zal leiden tot goede verwachtingen en slechts als een aanvullend hulpmiddel beschouwd mogen worden. Dit door de breedte van de onzekerheidsbanden en het feit dat voor Oostende en Vlissingen bij het opstellen van de tijverwachtingen voor Antwerpen uiteraard nog geen metingen maar slechts verwachtingen beschikbaar zijn. De inzet van andere bronnen, zoals de voorspellingsmodellen, bekijken van voorspelde windvelden en interpreteren van weerkaarten, is essentieel.

4 Analyse historische verwachtingen Oostende-Vlissingen-Antwerpen

Onderstaande is overgenomen uit de Memo WL 2016M16_016_8 (Deschamps, 2016).

4.1 Methode

Voor zowel Oostende, Vlissingen als Antwerpen werden de hoogwaterverwachtingen voor de twee meest recente stormseizoenen vergeleken met de metingen. Dit specifiek voor de hoogwaters in een zichttijd tussen 10 en 14u. Met andere woorden werden enkel de verwachtingen die 10 tot 14 uur voor het optreden van het hoogwater meegenomen. Er kan vanuit gegaan worden dat die periode nog net voldoende lang is voor waarschuwen en eventuele acties op het terrein.

De analyse is gebaseerd op de periodes 1/10/2014-01/04/2015 en 1/10/2015-01/04/2016.

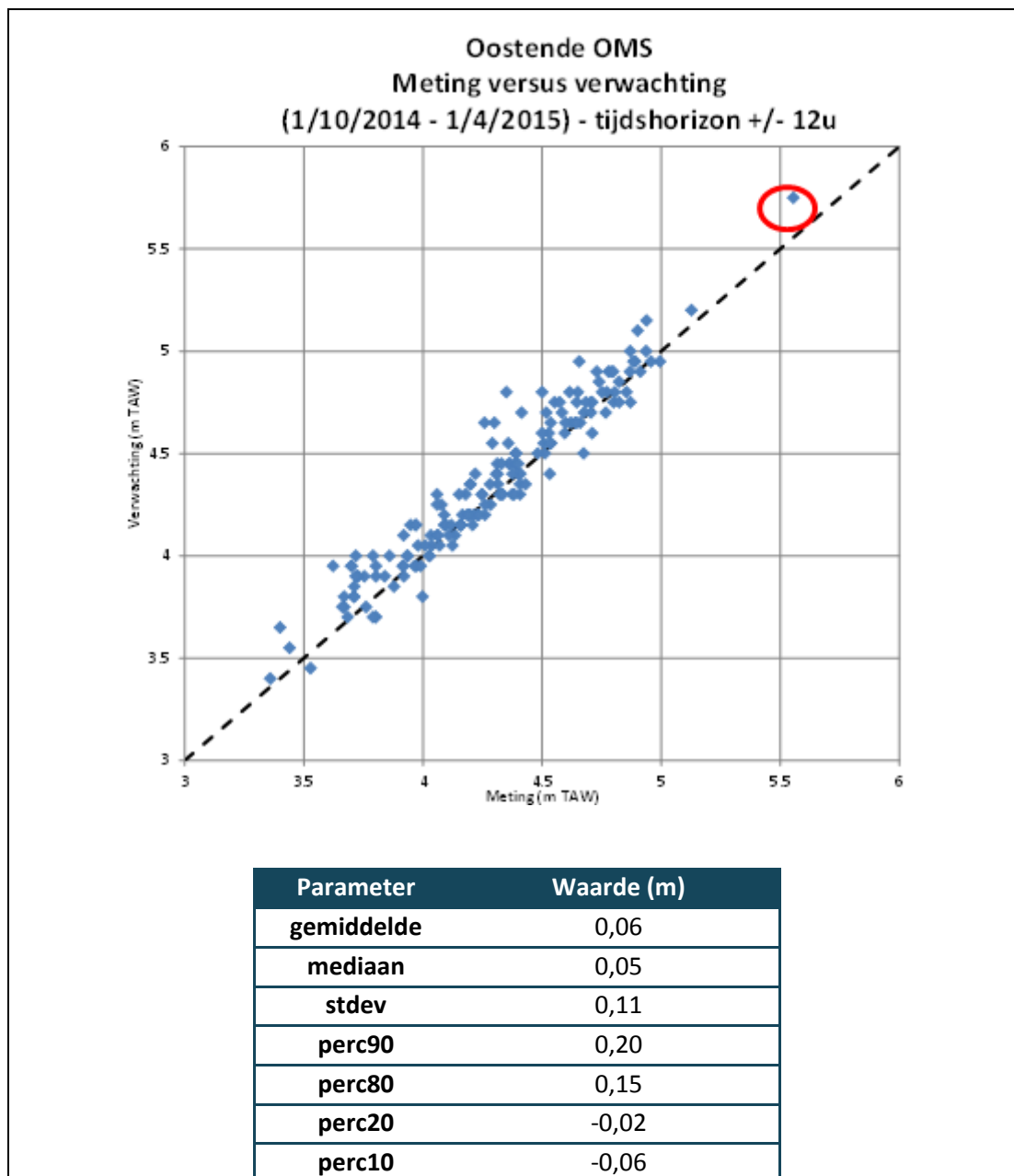
Voor alle drie de locaties werd een grafiek “meting versus verwachting” gemaakt. Ook de standaardafwijking en gemiddelde fout wordt in tabelvorm toegevoegd.

4.2 Resultaten

4.2.1 Oostende

Stormseizoen 2014-2015

Figuur 10: Vergelijking metingen en verwachtingen Oostende (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.



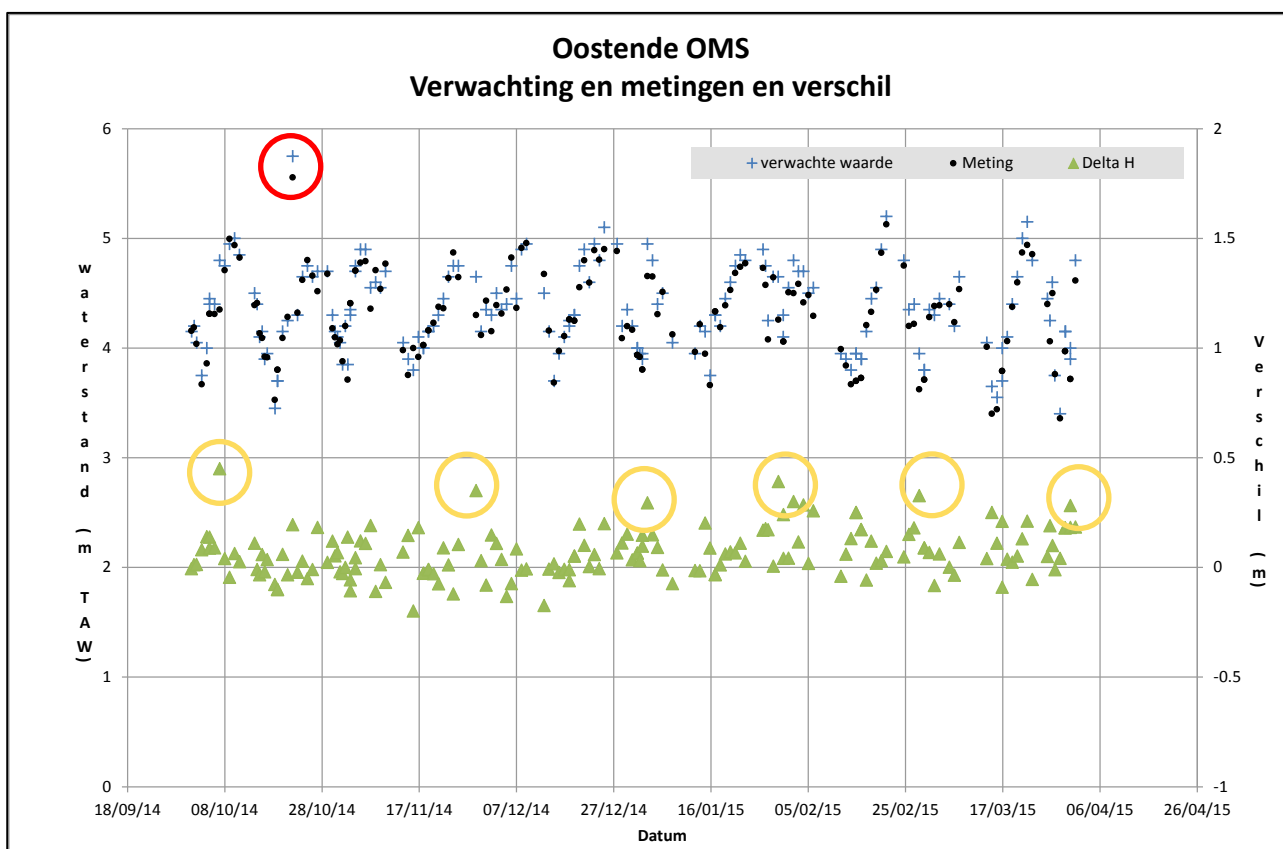
Uit bovenstaande Figuur 10 leren we dat de verwachtingen te Oostende in deze periode de metingen licht overschatten. De mediane afwijking bedraagt 5 cm, de gemiddelde afwijking 6 cm. De spreiding bedraagt 11 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken

zien we dat 80% van de verschillen liggen in het venster - 6 cm tot + 20 cm. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 2 tot + 15 cm.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 5,75 m TAW (21/10/2014 23:40) was. De bijhorende meting was + 5,55 m TAW.

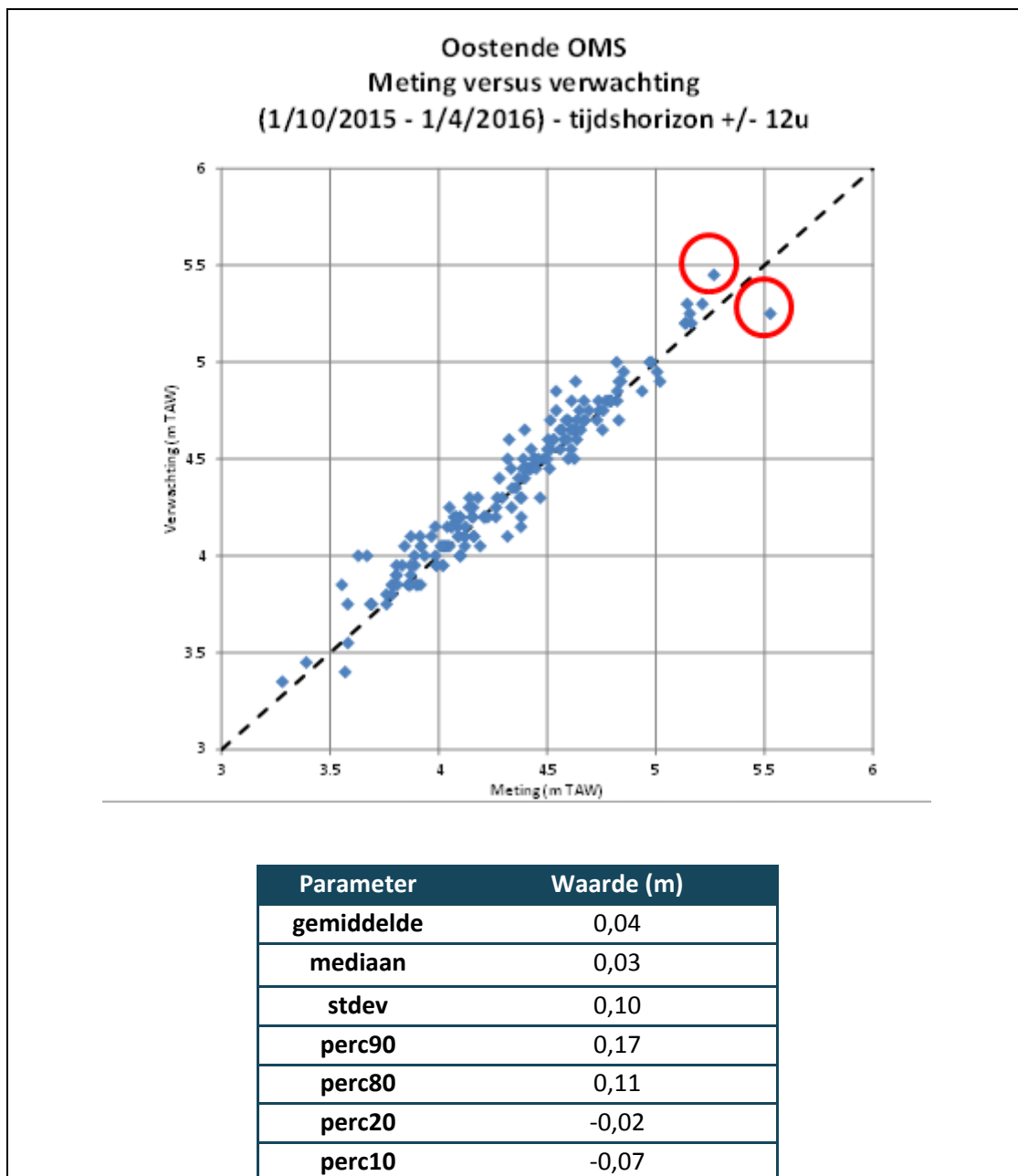
In onderstaande Figuur 11 zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor het stormseizoen 2014-2015. Voor de afwijkingen zien we geen duidelijke relatie met doortij-springtijcyclus. De verschillen zijn niet groter/kleiner in functie van hoge of lage hoogwaters. Al keren wel regelmatig een aantal grotere overschattingen terug (geel omcirkeld).

Figuur 11: Verwachtingen met bijhorende metingen Oostende (2014-2015) met de afwijking tussen beide



Stormseizoen 2015-2016

Figuur 12: Vergelijking metingen en verwachtingen Oostende (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.



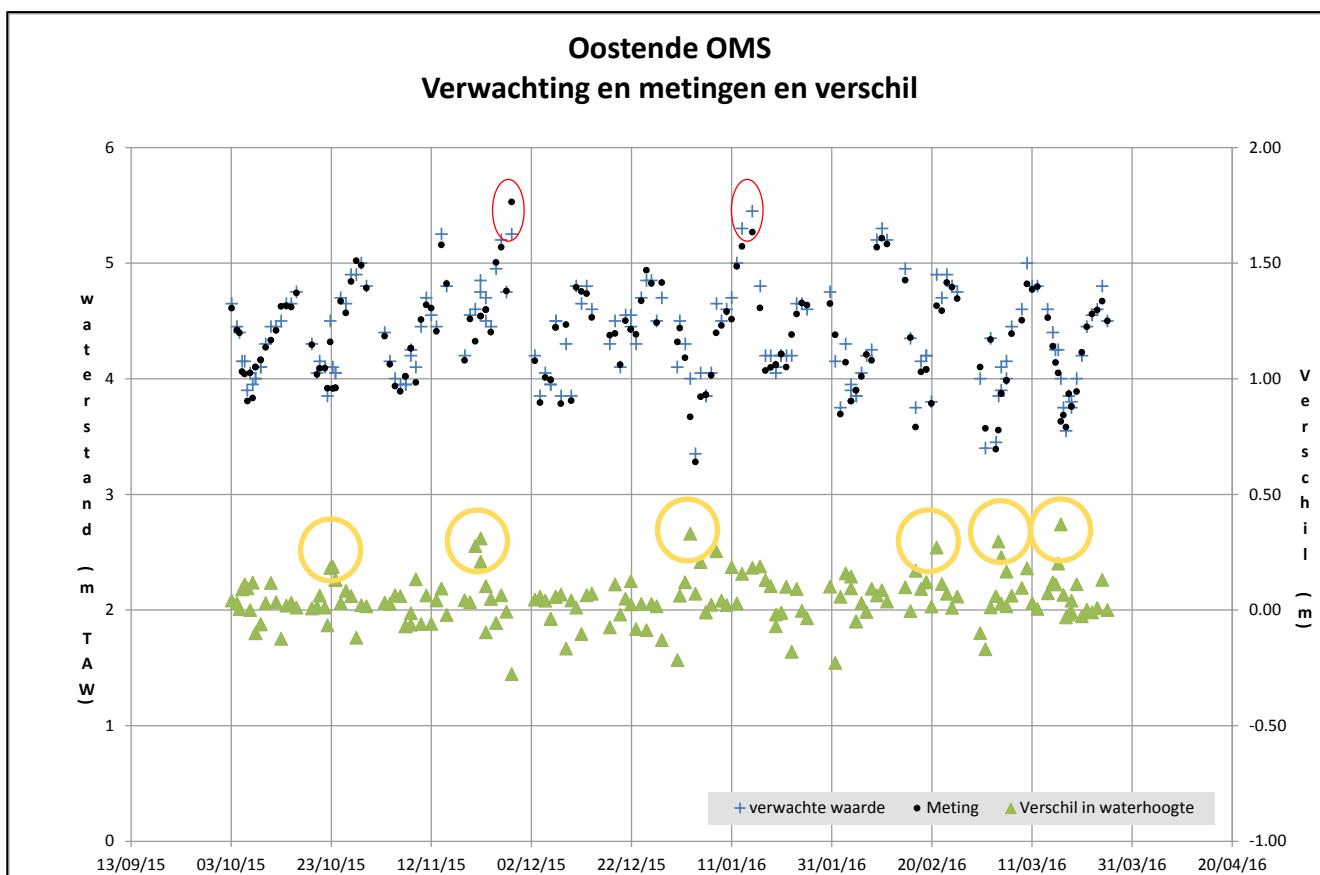
Uit bovenstaande Figuur 12 leren we dat de verwachtingen te Oostende in deze periode de metingen licht overschatten. De mediane afwijking bedraagt 3 cm, de gemiddelde afwijking 4 cm. Dit is iets minder dan het jaar voordien. De spreiding bedraagt 10 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken zien we dat 80 % van de verschillen liggen in het venster - 7 cm tot + 17 cm. Dit is opnieuw iets beter dan het jaar voordien. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 2 tot + 10 cm.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 5,45 m TAW (15/01/2016 03:20) was. De bijhorende meting was + 5,27m TAW (03:25). Deze waarde werd dus 18 cm overschat. Waarschijnlijk had dit veel te maken met het event in november

2015, meer bepaald 28/11/2015 01:20 waarop een waterstand van + 5,53 m TAW werd gemeten. De verwachte waarde was toen + 5,25 m TAW, wat overeenkomt met een onderschatting van 28 cm.

In onderstaande Figuur 13 zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor deze periode. In het rood omcirkeld de 2 bovenvermelde events van november 2015 en januari 2016. Voor de afwijkingen zien we geen duidelijke relatie met doottij-springtijcyclus. Ook zijn de verschillen niet groter/kleiner in functie van hoge of lage hoogwaters. Wel zien we regelmatig grotere afwijkingen terugkeren (geel omcirkeld).

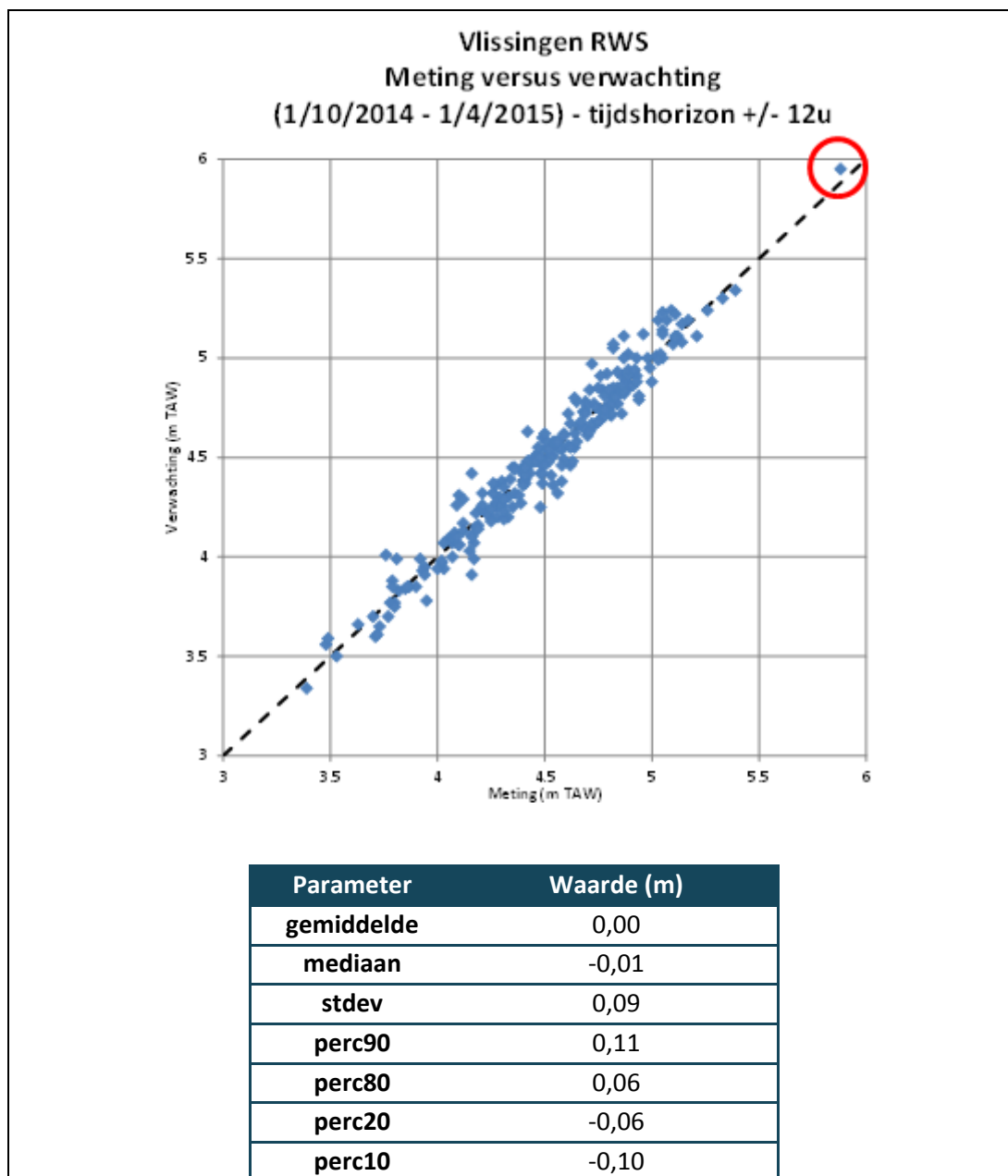
Figuur 13: Verwachtingen met bijhorende metingen Oostende (2015-2016) met de afwijking tussen beide



4.2.2 Vlissingen

Stormseizoen 2014-2015

Figuur 14: Vergelijking metingen en verwachtingen Vlissingen (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide.

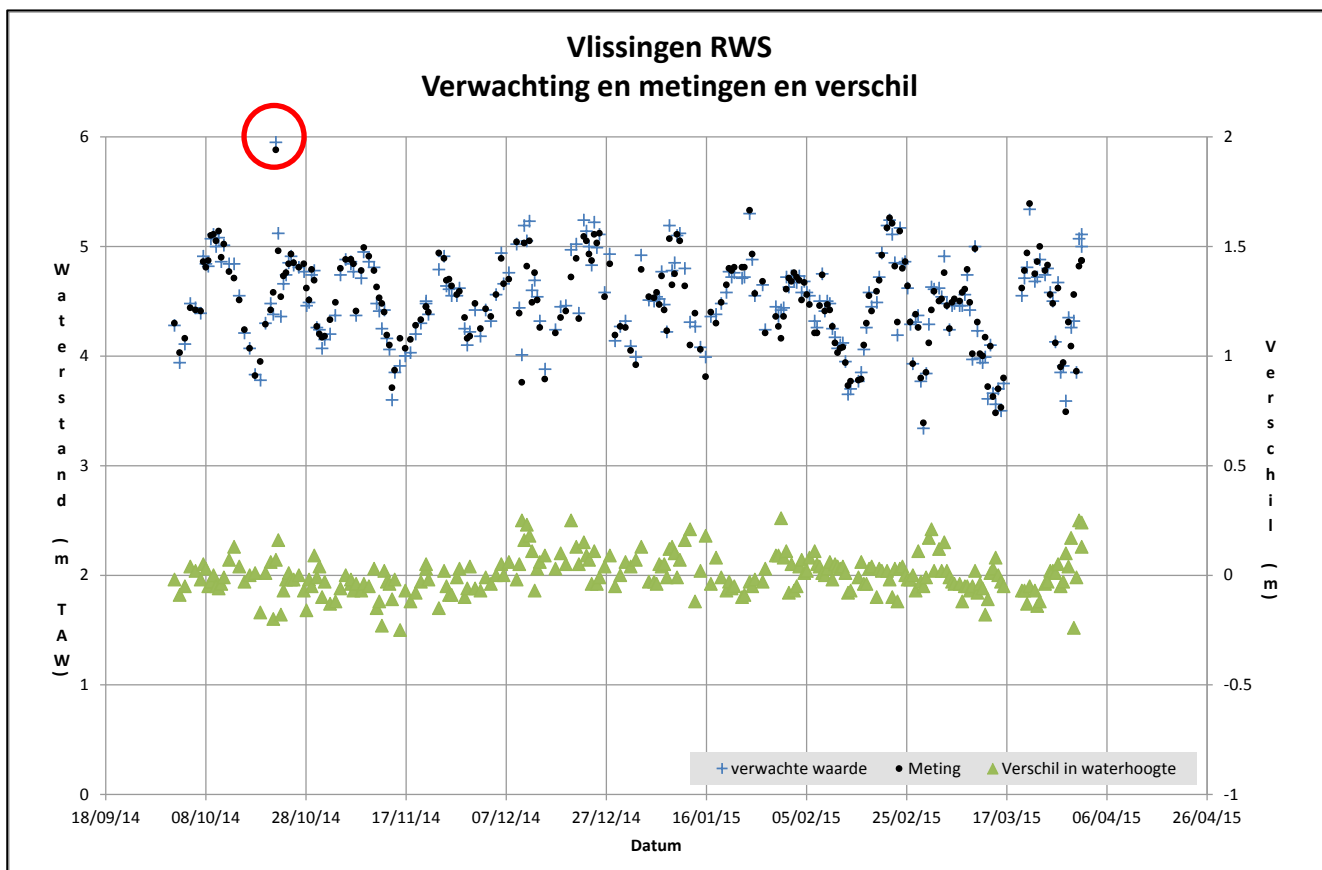


Uit bovenstaande Figuur 14 leren we dat de verwachtingen te Vlissingen in deze periode quasi gelijk zijn aan de metingen. De mediane afwijking bedraagt 1 cm, de gemiddelde afwijking 0 cm. De spreiding bedraagt 9 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken zien we dat 80 % van de verschillen liggen in het venster – 6 cm tot + 6 cm. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 10 tot + 11 cm. De kwaliteit van de verwachtingen is dus zeer goed waarbij over- en onderschatting elkaar in evenwicht houden.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 5,95 m TAW (22/10/2014 00:10) was. De bijhorende meting was + 5,88m TAW (00:15). Deze waarde werd dus 7 cm overschat.

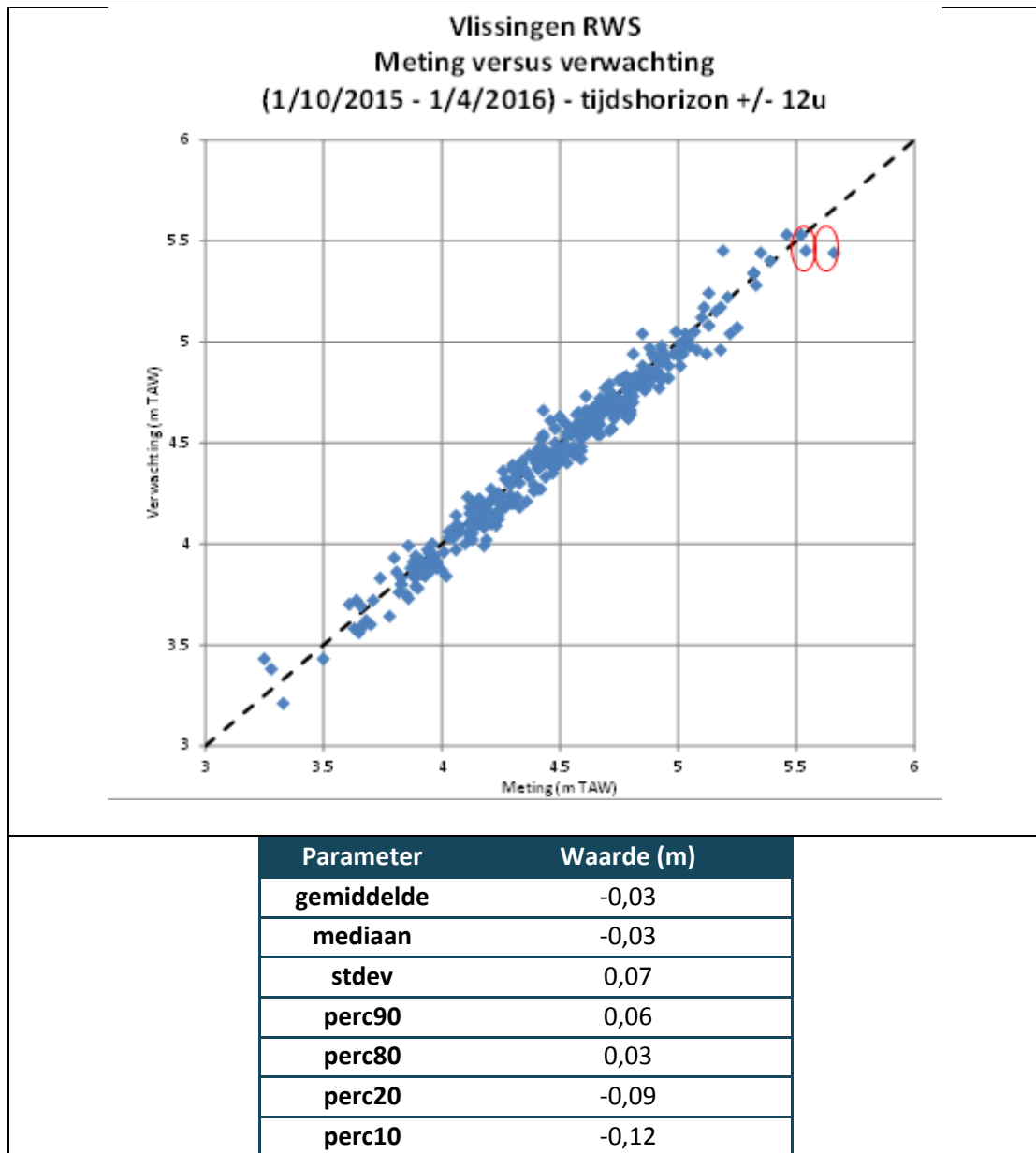
In onderstaande Figuur 15 zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor deze periode. In het rood omcirkeld het hierboven vermelde event.

Figuur 15: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2014-2015) met de afwijking tussen beide



Stormseizoen 2015-2016

Figuur 16: Vergelijking metingen en verwachtingen Vlissingen (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide

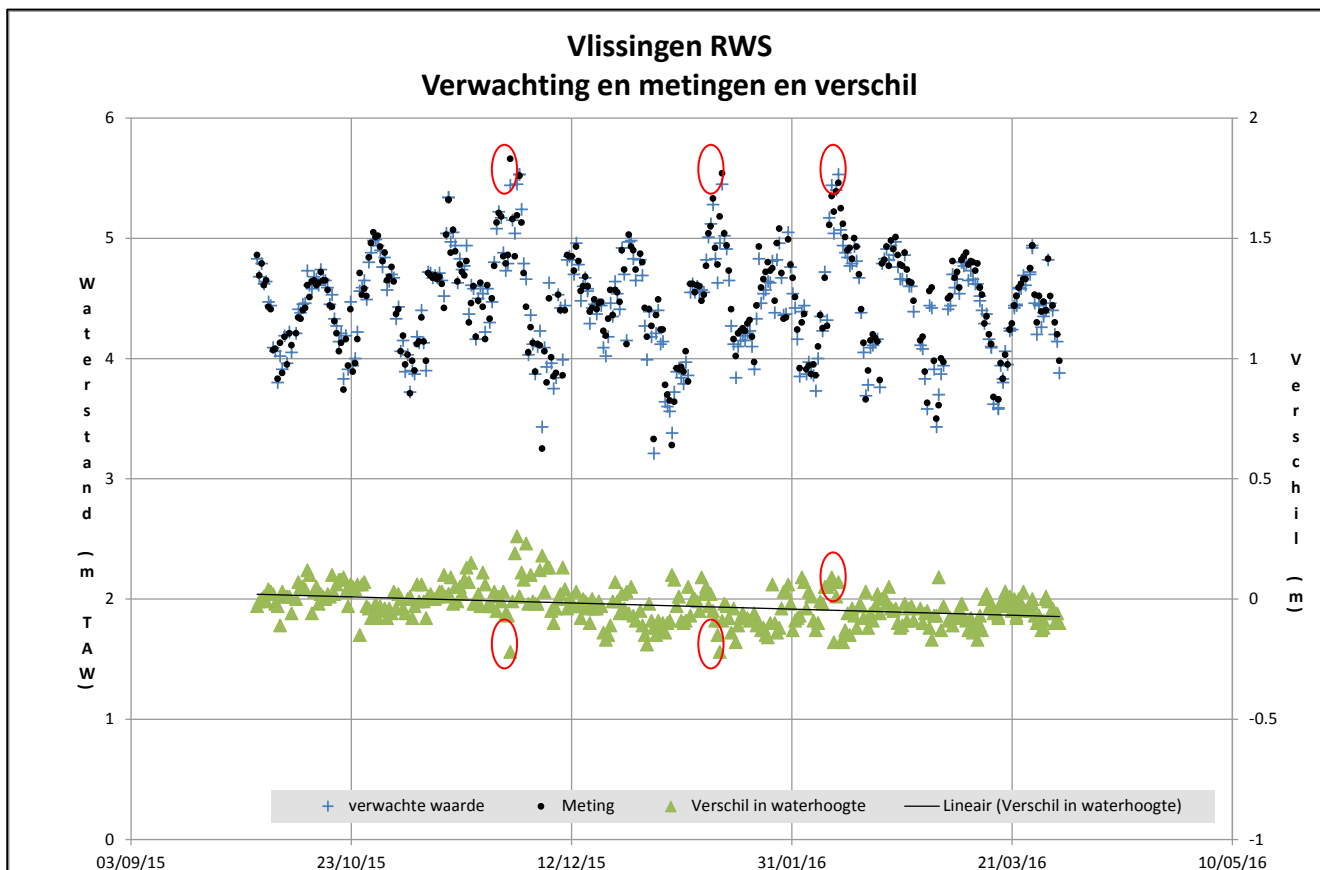


Uit bovenstaande Figuur 16 leren we dat de verwachtingen te Vlissingen in deze periode iets lager liggen dan de metingen. De mediane en gemiddelde afwijking bedragen beiden 3 cm. De spreiding bedraagt 7 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken zien we dat 80% van de verschillen liggen in het venster – 12 cm tot + 6 cm. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 9 tot + 3 cm. In vergelijking met vorig jaar is de kwaliteit dus iets minder. Zowel de afwijking als de spreiding namen wat toe.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 5,66 m TAW (28/11/2015 02:20) was. De bijhorende meting was + 5,44 m TAW (02:11). Deze waarde werd dus 22 cm onderschat. Ook de meting op 15/01/2016 04:21 van + 5,54 m TAW werd onderschat met 9 cm (+ 5,4 5m TAW 15/01/2016 04:30). Tot slot was er in februari ook nog een hoog hoogwater (+ 5,46 m TAW), dit werd met 7 cm overschat (+ 5,53 m TAW).

In onderstaande grafiek zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor deze periode. In het rood omcirkeld het hierboven vermelde event. We zien geen duidelijk relatie met de doodtij-springtij cyclus. Wel zien we dat het verschil afneemt doorheen de periode. In het begin zaten de verschillen duidelijk rond de nul om geleidelijk te zakken tot een vrij duidelijke onderschatting van de metingen. (zie zwarte (lineaire) trendlijn)

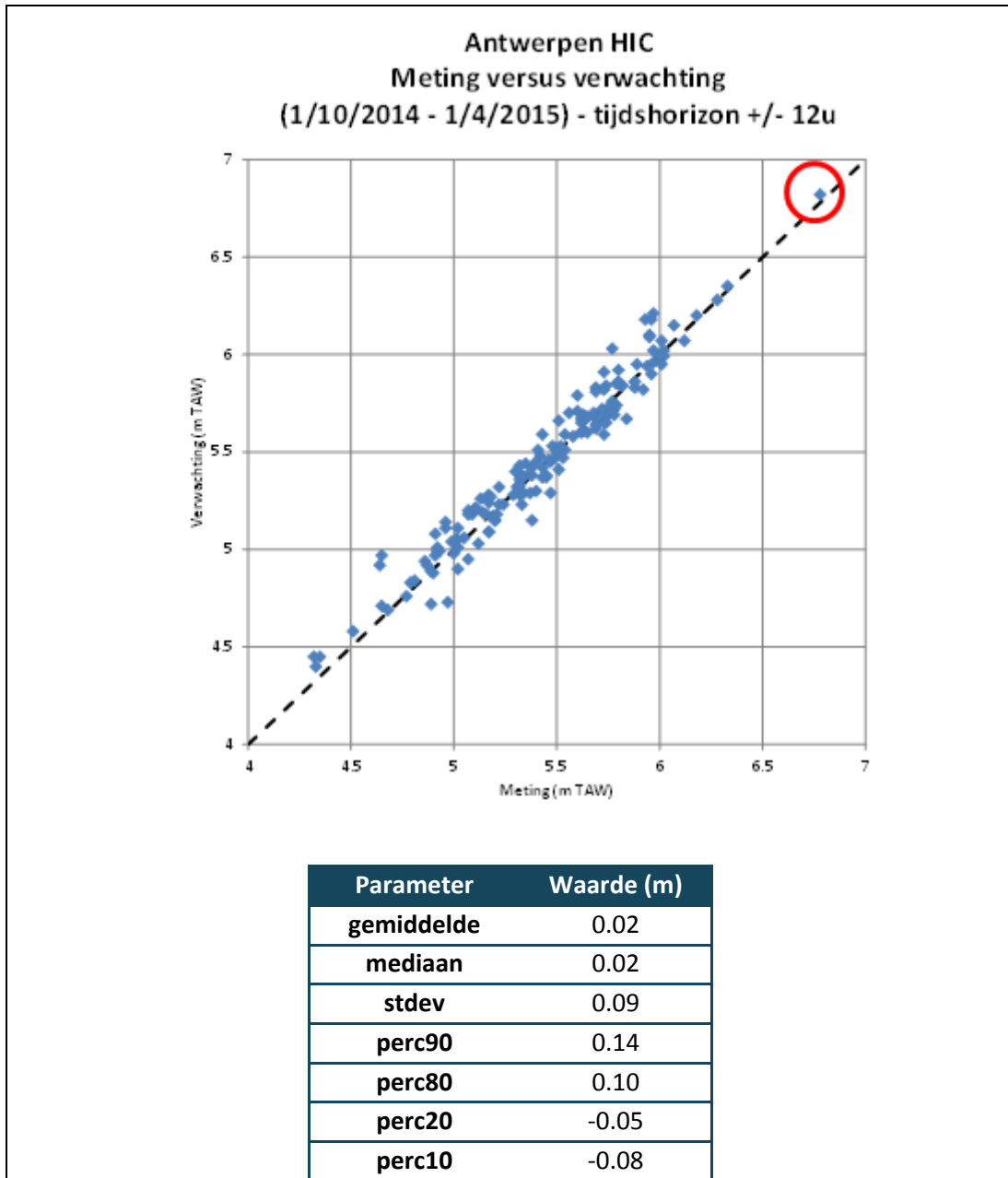
Figuur 17: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2015-2016) met de afwijking tussen beide



4.2.3 Antwerpen

Stormseizoen 2014-2015

Figuur 18: Vergelijking metingen en verwachtingen Antwerpen (2014-2015) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide

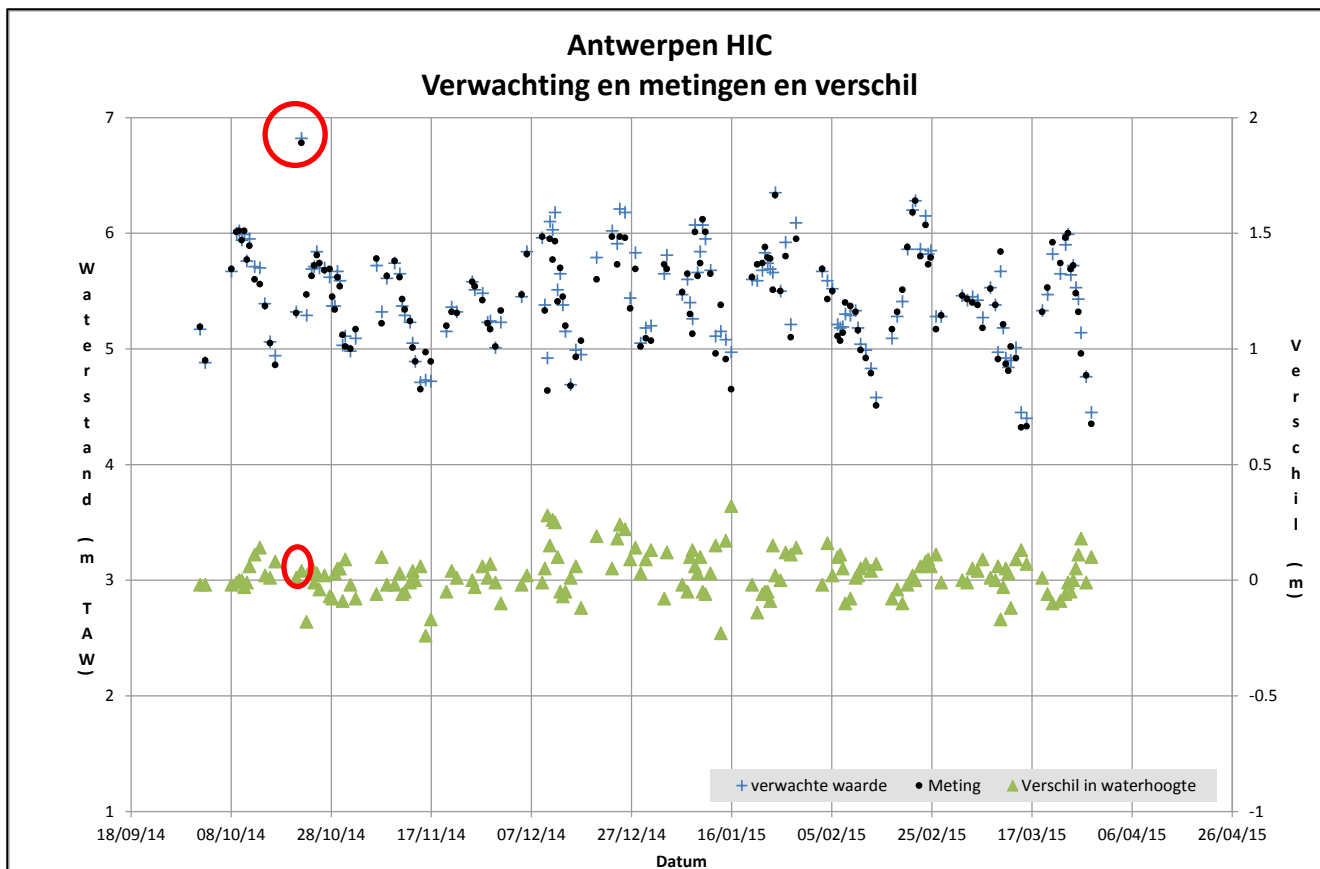


Uit bovenstaande Figuur 18 leren we dat de verwachtingen te Antwerpen in deze periode iets boven de metingen liggen. De mediane en gemiddelde afwijking bedragen beiden 2 cm. De spreiding bedraagt 9 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken zien we dat 80 % van de verschillen liggen in het venster – 8 cm tot + 14 cm. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 5 tot + 10 cm. De verwachtingen overschatten gemiddeld dus licht de metingen. De spreiding lijkt op deze van Vlissingen voor dezelfde periode op basis van de standaarddeviatie. Verdelingsvrij is de spreiding iets groter.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 6,82 m TAW (22/10/2014 01:20) was. De bijhorende meting was + 6,78m TAW (01:46). Deze waarde werd dus 4 cm overschat.

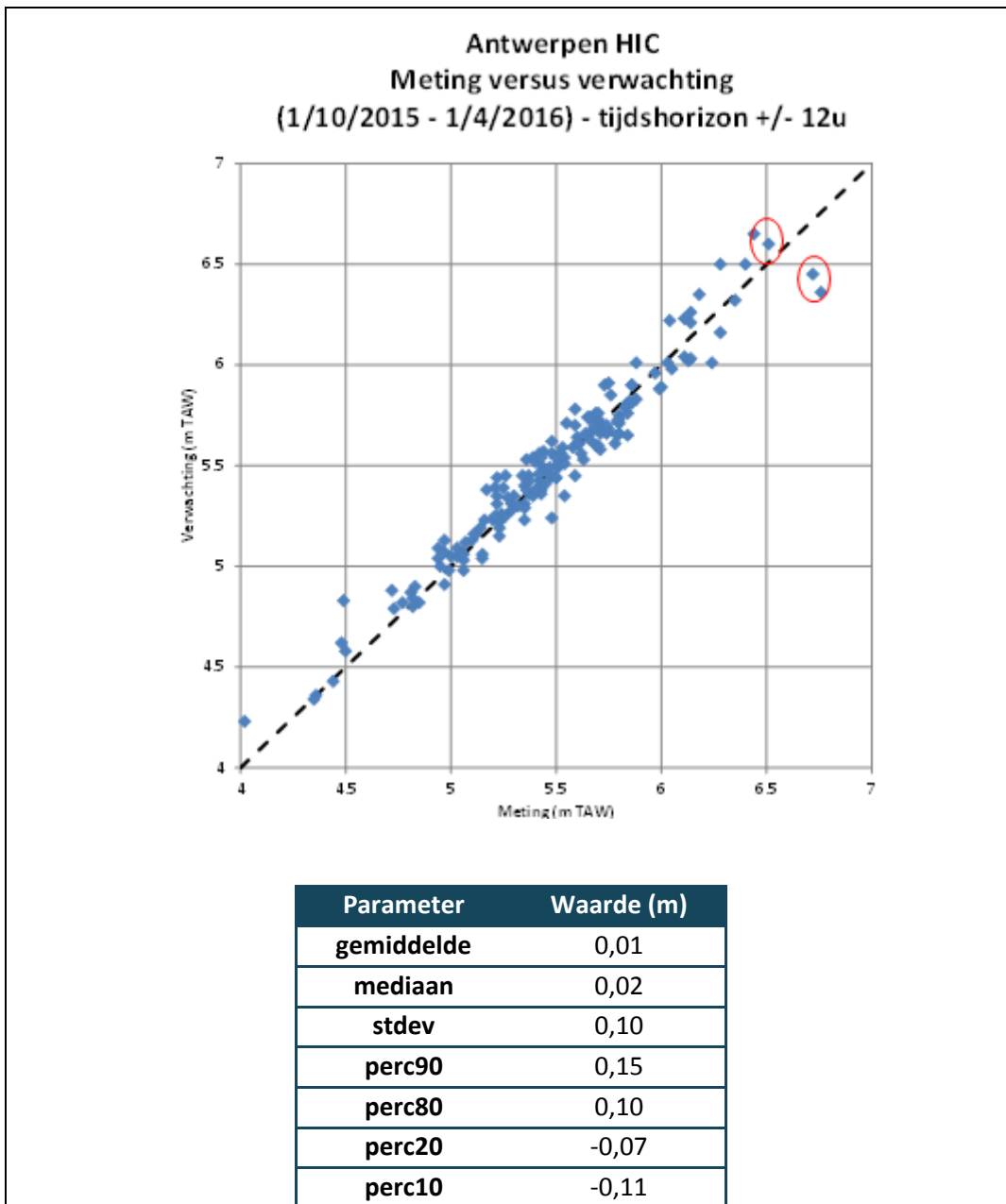
In onderstaande grafiek zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor deze periode. In het rood omcirkeld het hierboven vermelde event. Een duidelijke relatie met de doortij-springtijcyclus is niet vast te stellen. De verschillen variëren rond nul waarbij de afwijking soms groter is dan anders. Ook een link met de hoogte van het hoogwater is er niet.

Figuur 19: Verwachtingen met bijhorende metingen Vlissingen (2015-2016) met de afwijking tussen beide



Stormseizoen 2015-2016

Figuur 20: Vergelijking metingen en verwachtingen Antwerpen (2015-2016) met enkele statistieken voor de afwijking tussen beide



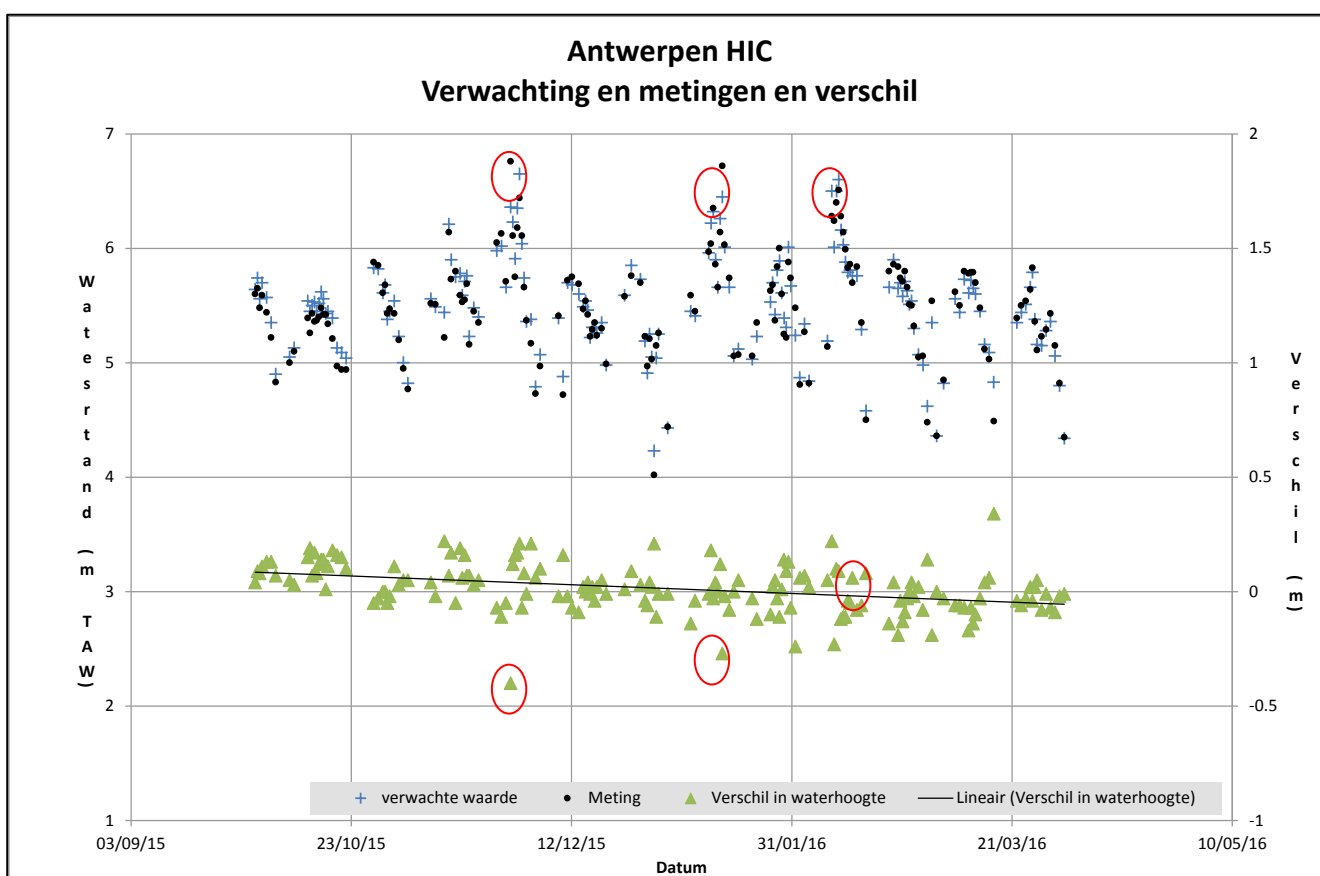
Uit bovenstaande Figuur 20 leren we dat de verwachtingen te Antwerpen iets hoger zijn dan de metingen. De mediane afwijking bedraagt 2 cm, de gemiddelde afwijking 1 cm. De spreiding bedraagt 10 cm op basis van de standaarddeviatie. Als we verdelingsvrij via percentielwaarden de spreiding bekijken zien we dat 80 % van de verschillen liggen in het venster – 11 cm tot + 15 cm. 60 % van de verschillen liggen in het venster - 7 tot + 10 cm. In vergelijking met vorig jaar is de gemiddelde afwijking nagenoeg gelijk. De spreiding nam iets toe.

Op zich zijn de belangrijkste verwachtingen de hoogste waterstanden. Hier zien we dat de hoogst verwachte waarde + 6,6 m TAW (10/02/2016 16:20) was. De bijhorende meting was + 6,51 m TAW (15:38). Deze waarde werd dus 9 cm overschat. Deze overschatting kan ook in de context geplaatst worden van

twee events die zich voor deze datum voordeden. Op 28/11/2015 werd om 04:01 immers + 6,76 m TAW gemeten, de verwachting was + 6,36 m TAW. Dit is 40 cm lager. Daarnaast was er ook in januari (15/01/2016 06:06) een hoogwater van + 6,72 m TAW dat in de verwachtinge 27 cm onderschat werd (+ 6,45 m TAW).

In onderstaande grafiek zien we alle verwachtingen met de bijhorende metingen voor deze periode. In het rood omcirkeld de hierboven vermelde events. We zien geen duidelijk relatie met de doottij-springtij cyclus. Wel zien we een gelijkaardig fenomeen als te Vlissingen. Namelijk dat de verschillen afnemen doorheen de periode. Dit is vrij logisch aangezien de verwachting te Antwerpen voor een groot stuk gebaseerd wordt op deze te Vlissingen.

Figuur 21: Verwachtingen met bijhorende metingen Antwerpen (2015-2016) met de afwijking tussen beide



4.3 Conclusies historische verwachtingen

- Te Oostende is de spreiding op de hoogwaterverwachtingen ongeveer 10 cm. Er is de neiging om iets te hoog te verwachten (ongeveer 5 cm). Bij de hoogste verwachtingen is er het meest overschatting, mogelijk vanuit het voorzichtigheidsprincipe. Enkel bij event in november 2015 was dat niet het geval en was de verwachting aanzienlijk te laag.
- Te Vlissingen is de spreiding op de hoogwaterverwachtingen iets kleiner dan 10 cm. Te Vlissingen is er geen systematische neiging om te hoog te verwachten. De gemiddelde afwijking ligt heel dicht bij nul. Boven bepaalde drempels is hier ook de neiging te overschatten. Behalve opnieuw het uitzonderlijk geval in november 2015.
- Te Antwerpen is de spreiding op de hoogwaterverwachtingen ongeveer 10 cm. Gemiddeld worden de hoogwatermetingen licht overschat (2-3cm). In het seizoen 2014-2015 waren de hoogwaterverwachtingen quasi perfect, in het seizoen 2015-2016 was duidelijk een grotere spreiding waarneembaar bij de hoogste hoogwaterverwachtingen (zowel te hoog als te laag).

Verwachtingen zijn nooit perfect. Voor **Oostende, Vlissingen en Antwerpen** bedroeg de **spreiding** in de stormseizoenen 2014-2015 en 2015-2016 **ongeveer 10 cm**. Voor Oostende en Vlissingen kon worden vastgesteld dat voor hoge hoogwaters de verwachtingen (vanuit het veiligheidsprincipe?) enkele centimeters (2-3 cm voor Vlissingen, 5 cm voor Oostende) te hoog lagen.

5 Analyses rond andere locaties waarvoor verwachtingen worden opgesteld

5.1 Kader

De verwachtingen voor het tijgebied van de Schelde worden door de permanentieleden van het HIC ingevoerd in de zogenaamde YAMI-tool. Dit is een interne webpagina.

Er worden verwachtingen opgesteld voor een aantal locaties langs de Schelde:

- Vlissingen (wordt overgenomen van Rijkswaterstaat)
- Hansweert (wordt overgenomen van Rijkswaterstaat)
- Prosperpolder
- Antwerpen
- Temse
- Dendermonde
- Melle

In de YAMI- tool zijn meerdere bronnen te raadplegen die gebruikt kunnen worden bij het opstellen van de finale verwachting.

Het gaat onder andere om volgende bronnen:

- Resultaten van het operationele 1D-model van het tijgebied van het Schelde (HIC)
- De meest recente eindverwachting van Nederland
- Astronomische voorspellingen
- Metingen uit het recente verleden
- Formules die, gebaseerd op de verwachte waterstand in Vlissingen, verwachtingsvensters aangeven (zowel voor tijd als hoogte) voor de extrema op de verschillende locaties waarvoor verwachtingen worden opgesteld.

De formules waarvan de YAMI-tool gebruikt maakt, werden in het verleden opgesteld op basis van 1 jaar metingen (1993). In het kader van dit rapport werden de formules herbekeken aan de hand van langere meetreeksen (1981-2015).

5.2 Methode

Voor elk tij werden volgende waardes bepaald, na de nodige voor-en nabewerking van de reeksen:

- Δt = tijdstip HW/LW - tijdstip HW/LW Vlissingen
- Δh = waterpeil HW/LW - waterpeil HW/LW Vlissingen

Om de extremen uit te sluiten, werd het 99 % betrouwbaarheidsinterval geselecteerd om de formules op te stellen.

Van daaruit werd dan voor de volledige periode de minimale en maximale tijdsverschuivingen en hoogteverschuivingen bepaald, namelijk

- $\text{Min}(\Delta t)$, $\text{Max}(\Delta t)$
- $\text{Min}(\Delta h)$, $\text{Max}(\Delta h)$

5.3 Resultaten

In onderstaande Tabel 6 worden de huidig geïmplementeerde waardes (gebaseerd op meetreeks 1993) vergeleken met de resultaten die bekomen werden na hoger beschreven analyse voor de periode 1981-2015.

Tabel 6: Vensters voor verwachtingsposten gebaseerd op het hoogwater van Vlissingen

		Hansweert		Prosperpolder		Antwerpen		Temse		Dendermonde		Melle	
		Δt (minuten)	Δh (m)	Δt (minuten)	Δh (m)	Δt (minuten)	Δh (m)	Δt (minuten)	Δh (m)	Δt (minuten)	Δh (m)	Δt (minuten)	Δh (m)
Data 1993	Min	31	0,23	59	0,53	82	0,75	127	0,89	176	0,44	269	-0,53
	Max	76	0,51	97	0,89	121	1,13	173	1,24	229	1,22	352	1,51
Data 1981-2015	Min	34	0,2	52	0,5	77	0,71	116	0,91	166	0,56	251	-0,2
	Max	80	0,52	99	0,92	121	1,13	171	1,34	231	1,47	346	1,85

De resultaten liggen zeer dicht bij elkaar.

Om die reden werd dan ook besloten om de YAMI-tool niet aan te passen.

6 Referenties

Afdeling Kust - Vlaamse Hydrografie (2016). Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust: periode 2001-2010 voor Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge. Vlaamse overheid, Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust: Brussel. 41 pp.

Afdeling Zeeschelde (2013). Onderrichtingen bij optreden van stormtij of gevaarlijk stormtij in het Zeescheldebekken [BROCHURE]. Waterwegen en Zeekanaal: Antwerpen. 65 pp.

Van Cauwenberghe, C. (1986). Getijvoorspelling bij stormtij langs de Belgische kust. Rapport Hydrografische Dienst der Kust, 17 bis. Ministerie van Openbare Werken. Dienst der Kust. Hydrografie: Oostende. 7 p. + appendices pp.

Boeckx, L.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Stormrapport: Stormtij Zeescheldebekken 22 oktober 2014. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

Boeckx, L.; Coen, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Stormperiode 28-30 november 2015. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

Levy, Y.; Plancke, Y.; Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2014). Het getij in de Zeeschelde en haar bijrivieren: Langjarig overzicht van de voornaamste getijkarakteristieken. Versie 2_0. WL Rapporten, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Nieuwenhuis, S.; Teunis, B.; de Vries, H.; Kort, B. (2016). Landelijk draaiboek hoogwater en overstromingen: informatie-uitwisseling, afstemming over maatregelen en afstemming over pers- en publiekscommunicatie. Watermanagement Centrum Nederland: Lelystad. 37 pp.

Nossent, J.; Boeckx, L.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Sinterklaasstorm 6 december 2013: Beschrijving van de hydrometrische gebeurtenissen. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

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

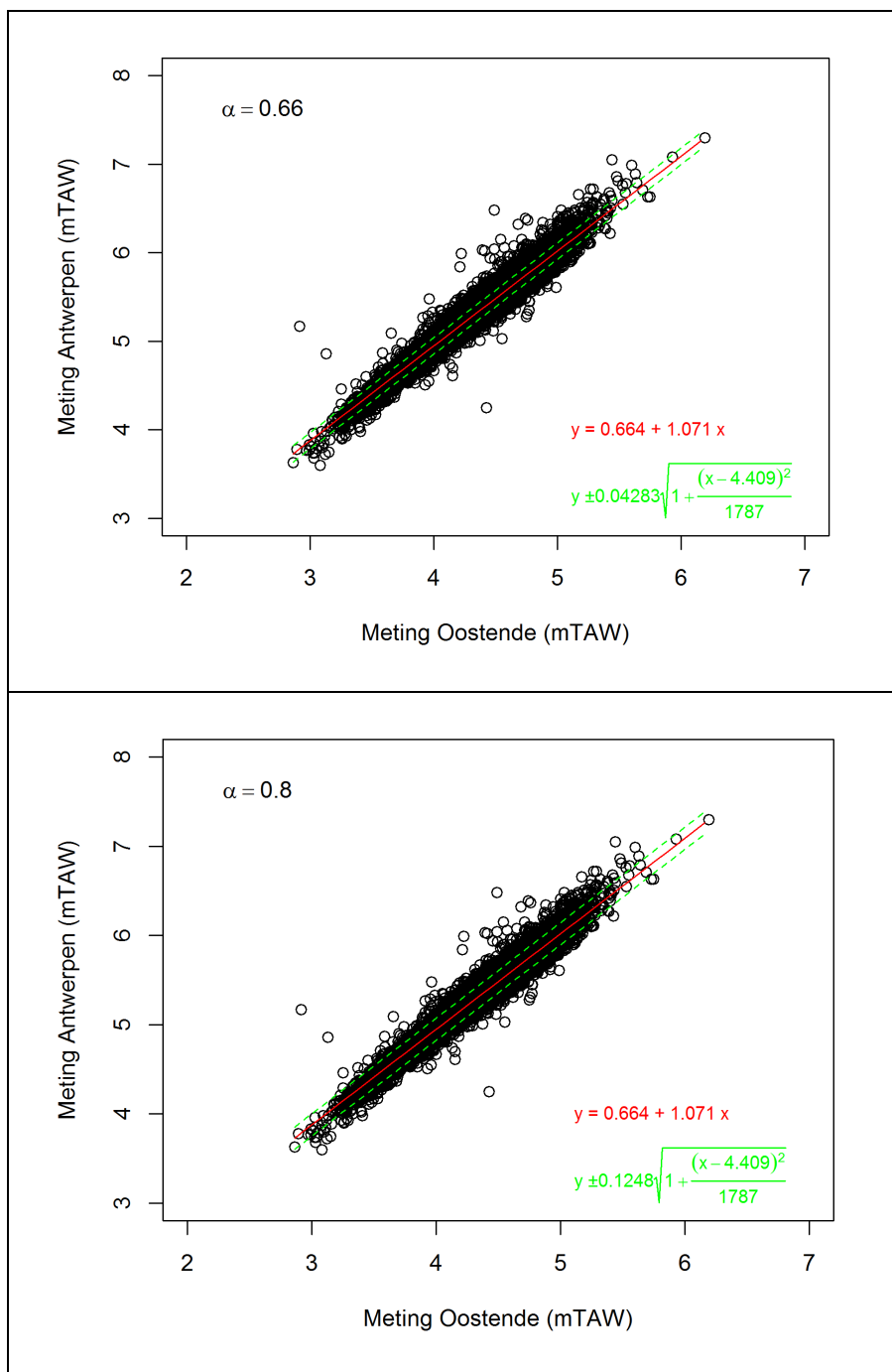
Oceanografisch Meteorologisch Station (2014). Stormverslag 05-06 december 2013. Vlaamse Overheid. Afdeling Kust: Oostende. 26 pp.

Memo's opgemaakt binnen WL in kader van project 16_016

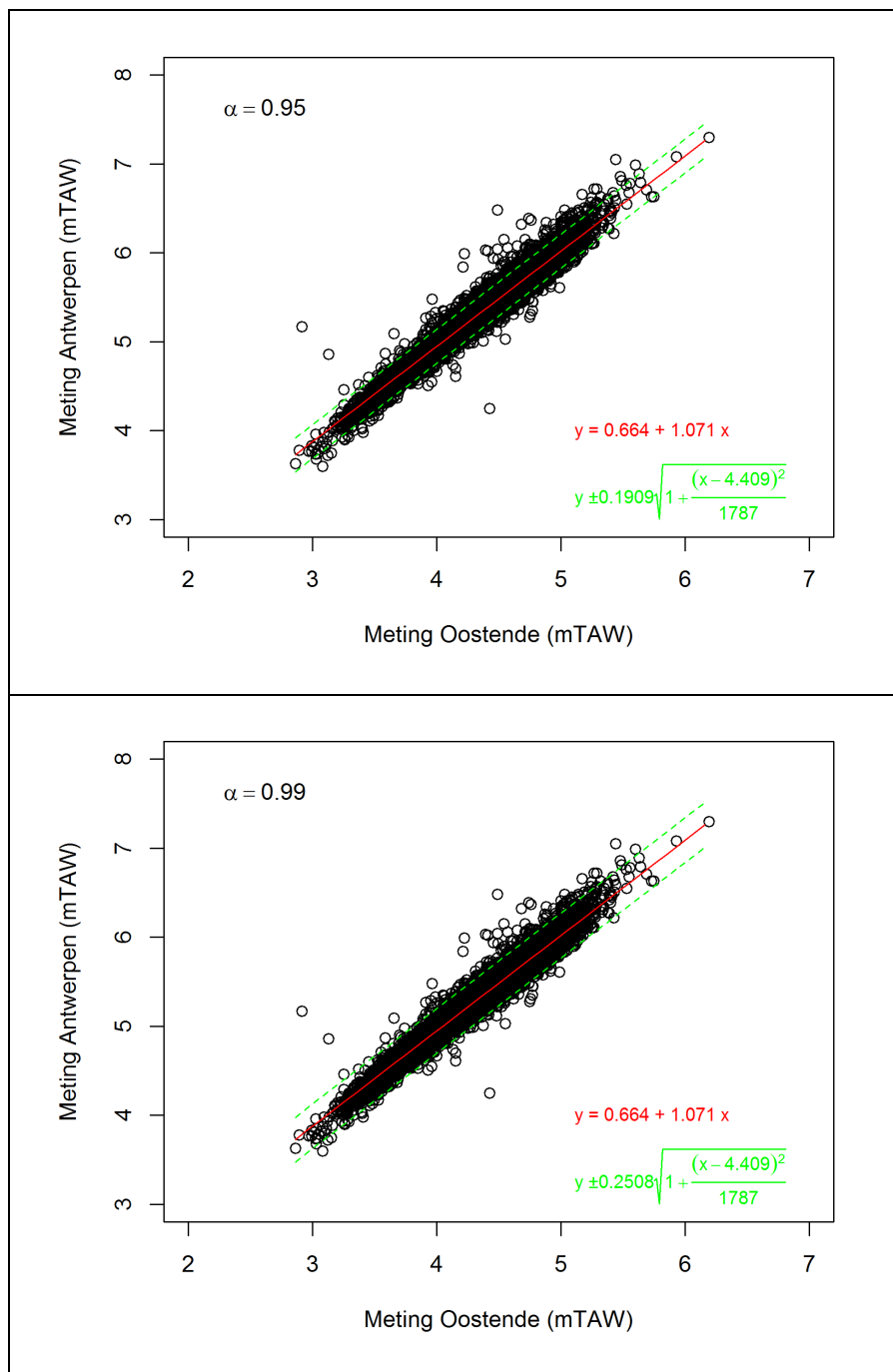
- WL2016M16_016_2- Bepalen van spring – en doortij (Boeckx, L.)
- WL2016M16_016_4_Overzicht Wind Hansweert (Nossent, J.)
- WL2016M16_016_5_Overzicht Wind Hansweert gemiddeld 2 dagen (Nossent, J.)
- WL2016M16_016_6_Overzicht Wind Vlakte van de Raan (Nossent, J.)
- WL2016M16_016_7_Overzicht Wind Vlakte van de Raan gemiddeld 2 dagen (Nossent, J.)
- WL2016M16_016_8 Overzicht kwaliteit voorspellingen-verwachtingen OVA (Deschamps, M.)

BIJLAGE A: Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen (alle)

Tabel 7: Verband alle hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 66 % en 80 % voorspellingsinterval)

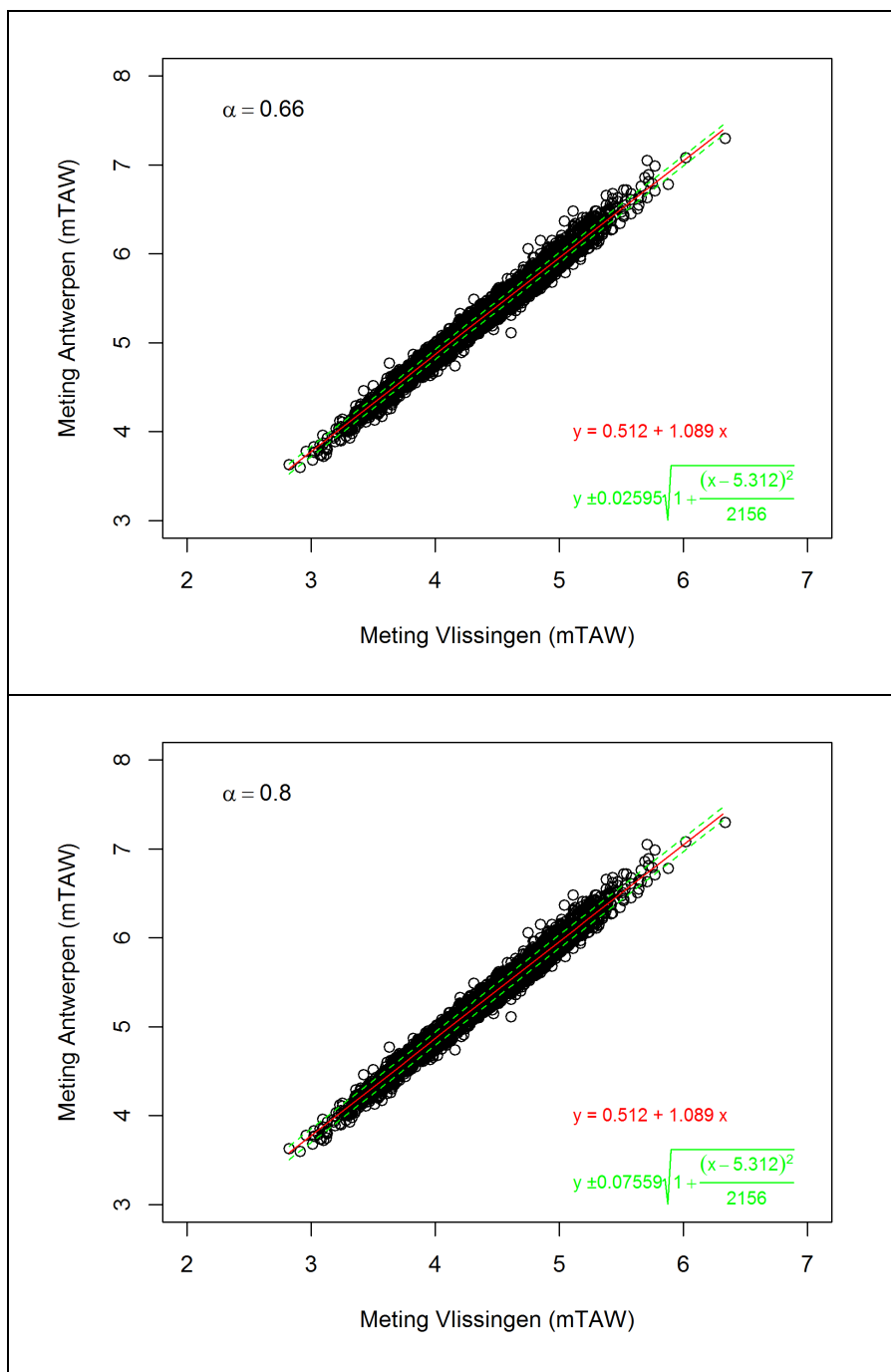


Tabel 8: Verband alle hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 95 % en 99 % voorspellingsinterval)

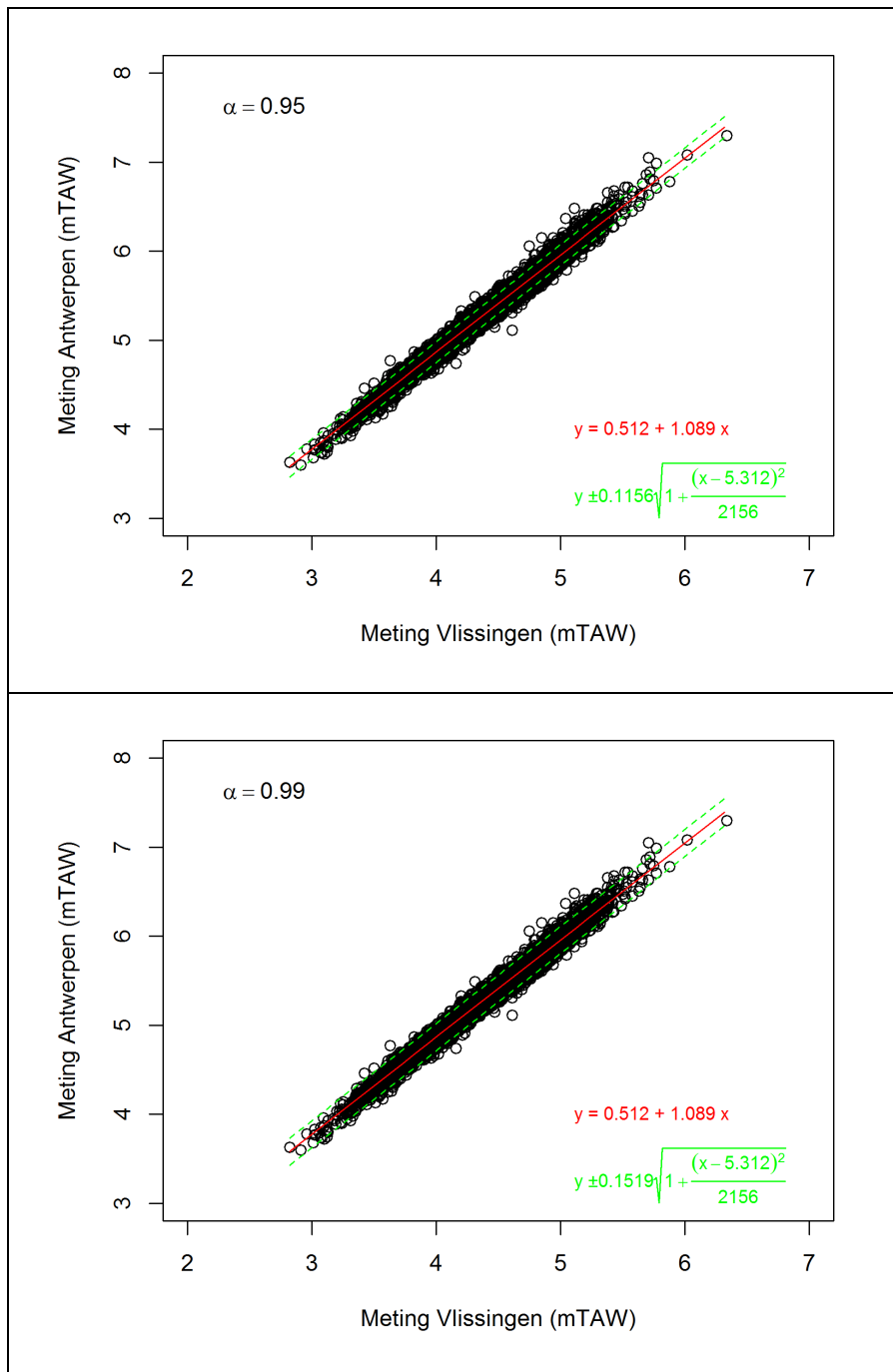


BIJLAGE B: Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen (alle)

Tabel 9: Verband alle hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 66 % en 80 % voorspellingsinterval)



Tabel 10: Verband alle hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 95 % en 99 % voorspellingsinterval)



BIJLAGE C: Voorkomen hoogwaters in functie van windsector op moment hoogwater (HHW en EHW)

Tabel 11: Aantal hoogwaters (HHW en EHW) per windsector in Hansweert voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen

WINDRICHTING HANSWEERT OP TIJDSTIP HW									
	HHW+EHW	HHW	EHW	HHW+EHW	HHW	EHW	HHW+EHW	HHW	EHW
	Oostende	Oostende	Oostende	Vlissingen	Vlissingen	Vlissingen	Antwerpen	Antwerpen	Antwerpen
N	8	3	5	7	2	5	12	8	4
NNO	0	0	0	2	1	1	2	1	1
NO	2	1	1	2	1	1	0	0	0
ONO	4	0	4	3	1	2	3	0	3
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZO	2	0	2	1	0	1	2	0	2
ZZO	4	1	3	4	1	3	2	0	2
Z	6	4	2	8	4	4	7	2	5
ZZW	14	4	10	8	2	6	8	2	6
ZW	26	14	12	25	14	11	24	11	13
WZW	35	12	23	33	14	19	31	16	15
W	44	25	19	44	21	23	41	24	17
WNW	46	31	15	42	27	15	46	25	21
NW	26	19	7	40	25	15	40	27	13
NNW	21	11	10	18	12	6	19	9	10
Geen data	1	0	1	2	0	2	2	0	2
TOTAAL	239	125	114	239	125	114	239	125	114

Tabel 12: Aantal hoogwaters (HHW en EHW) per windsector in Vlakte van de Raan voor Oostende, Vlissingen en Antwerpen

WINDRICHTING VLAKTE VAN DE RAAN OP TIJDSTIP HW									
	HHW+EHW	HHW	EHW	HHW+EHW	HHW	EHW	HHW+EHW	HHW	EHW
	Oostende	Oostende	Oostende	Vlissingen	Vlissingen	Vlissingen	Antwerpen	Antwerpen	Antwerpen
N	6	3	3	10	4	6	13	7	6
NNO	4	1	3	5	3	2	4	2	2
NO	3	1	2	3	1	2	2	1	1
ONO	3	0	3	2	0	2	4	0	4
O	1	0	1	3	0	3	1	0	1
OZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZZO	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Z	6	2	4	5	1	4	3	1	2
ZZW	5	1	4	12	4	8	12	4	8
<u>ZW</u>	27	12	15	22	8	14	19	8	11
<u>WZW</u>	36	13	23	31	12	19	36	14	22
<u>W</u>	24	17	7	29	20	9	32	19	13
<u>WNW</u>	46	24	22	43	21	22	34	21	13
<u>NW</u>	44	30	14	41	28	13	45	28	17
NNW	24	15	9	23	16	7	24	14	10
Geen data	9	6	3	10	6	4	9	6	3
TOTAAL	239	125	114	239	124	115	239	125	114

BIJLAGE D: Indeling HHW op basis van beslissingsboom en bijhorende grafieken

Volledige uitwerking: Memo's op aanvraag beschikbaar via hic@vlaanderen.be

- WL2016M16_016_4_Overzicht Wind Hansweert
- WL2016M16_016_5_Overzicht Wind Hansweert gemiddeld 2 dagen
- WL2016M16_016_6_Overzicht Wind Vlakte van de Raan
- WL2016M16_016_7_Overzicht Wind Vlakte van de Raan gemiddeld 2 dagen

Voorbeeld: HHW van 18 januari 2007 (een zware zuidwesterstorm).

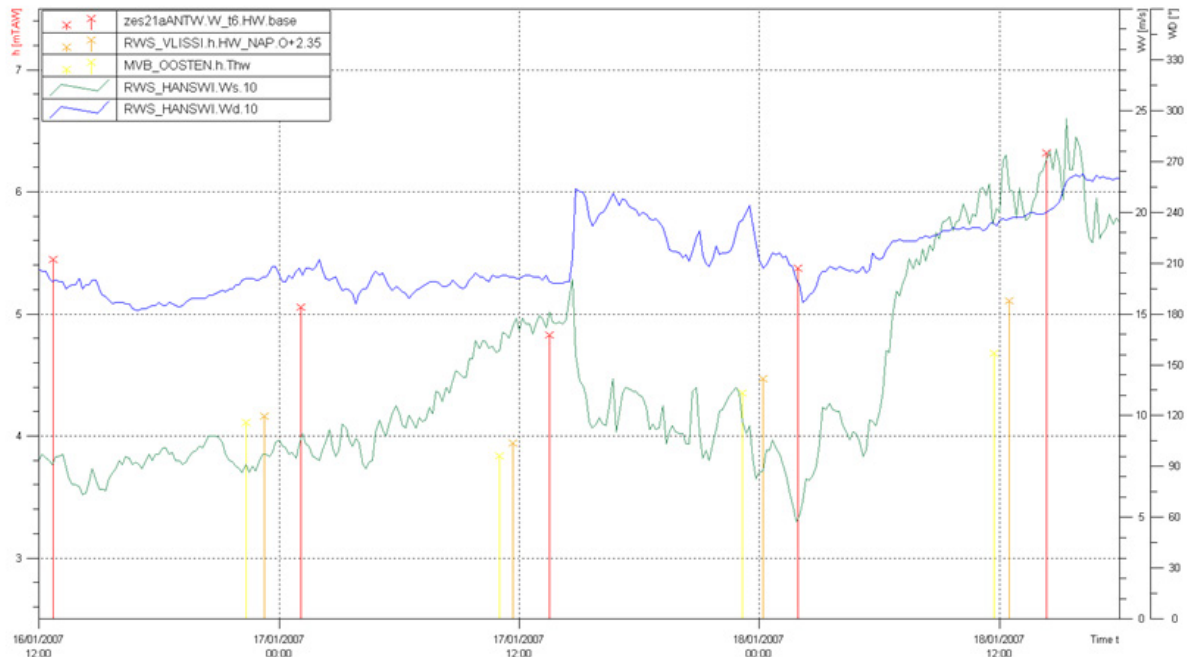
Vragen beslissingsboom voor windrichting in Hansweert – voorafgaandelijk aan tijdstip hoogwater in Antwerpen	
Is er een sterke wijziging van de windrichting (i.e 2 of meer windsectoren > 90°) over de laatste 2 dagen?	Neen
Is er een wijziging van de windrichting (meer dan 1 windsector >45°) over de laatste 2 dagen?	Ja
Is er een wijziging van de windrichting (meer dan 1 windsector >45°) over de laatste 12 uur	Ja
Is er een wijziging van de windrichting (meer dan 1 windsector >45°) over de laatste 6 uur?	Ja
Is er een wijziging van de windrichting (meer dan 1 windsector >45°) over de laatste 3 uur?	Neen

VRAGEN BESLISSINGSBOOM VOOR WINDRICHTING EN SNELHEID (in Hansweert)	
Ruimt de wind gedurende de laatste 12u?	Ja
Is de uiteindelijke windrichting NW (incl. NNW en WNW)?	Neen
Is de uiteindelijke windrichting W (incl. WZW en WNW)?	Neen
Is de uiteindelijke windrichting ZW (incl. WZW en ZZW)?	Ja

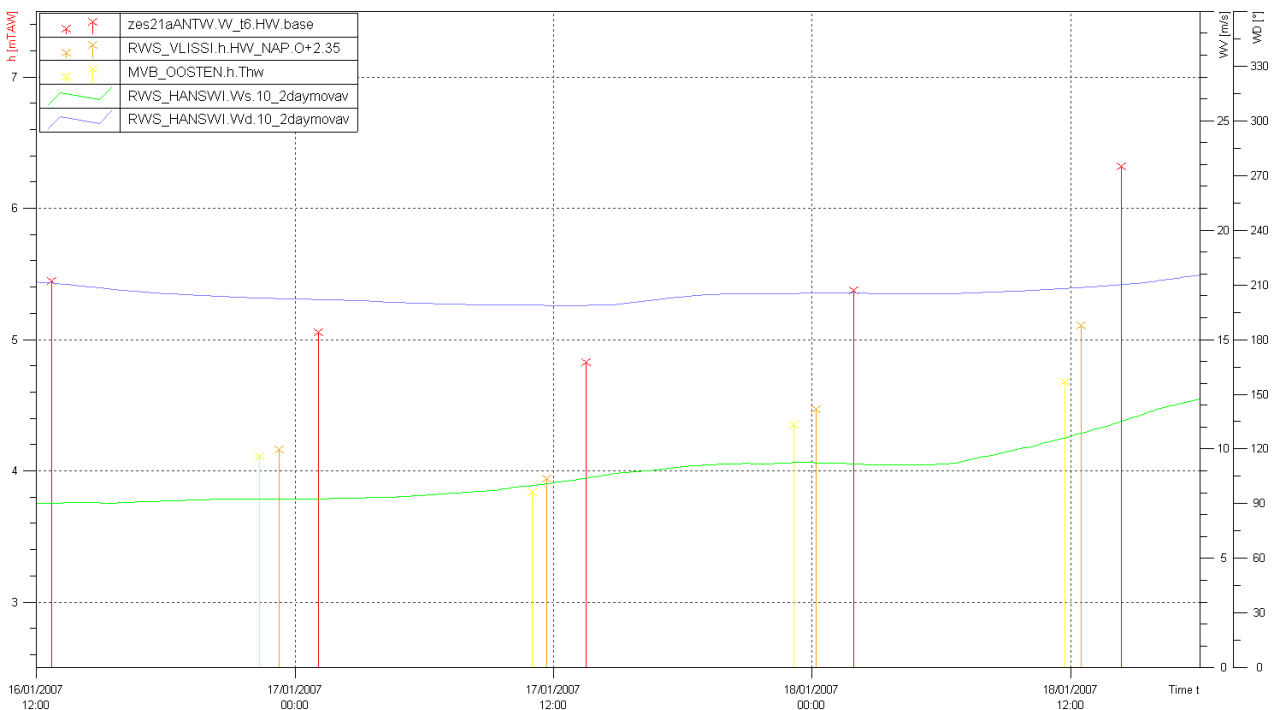
Voor elke grafiek geldt:

- Er wordt een periode van 54 uren geplot, waarbij het specifieke hoogwater in de laatste 6 uur valt
- De evolutie van de wind in minimaal 48 uur voor het event wordt weergegeven
- Waterstanden zijn opgenomen: Antwerpen (rood), Vlissingen (oranje) & Oostende (geel)
- Winddetails zijn opgenomen: Windsnelheid (groen) & windrichting (blauw)

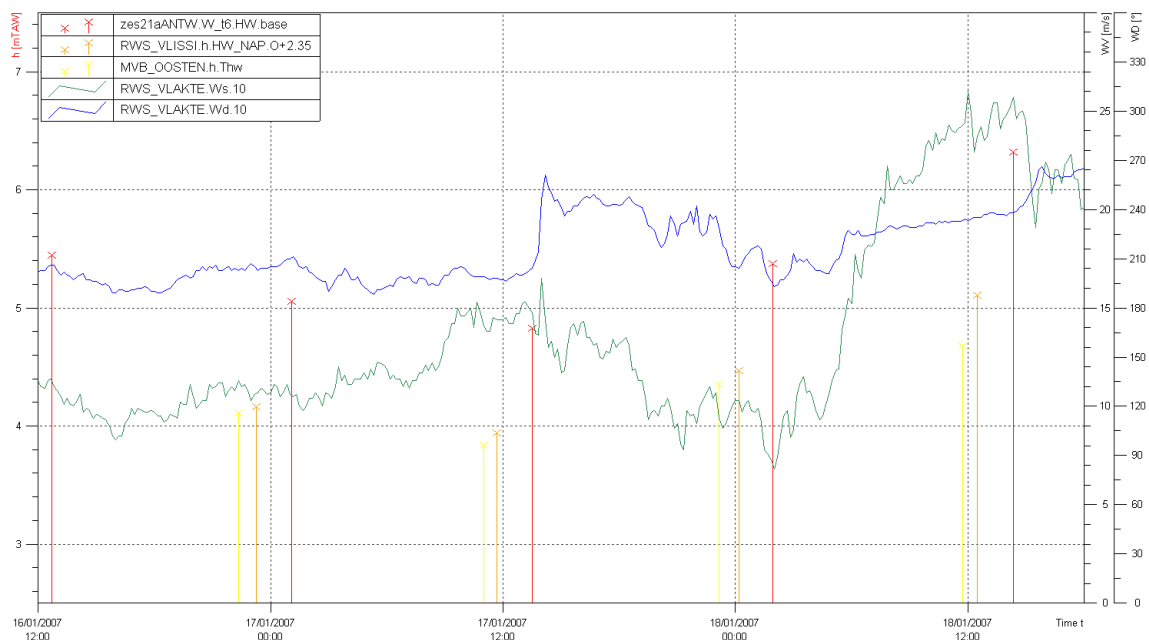
Figuur 22: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_4) – Hoogfrequente wind Hansweert – Hoogwater 18/01/2007



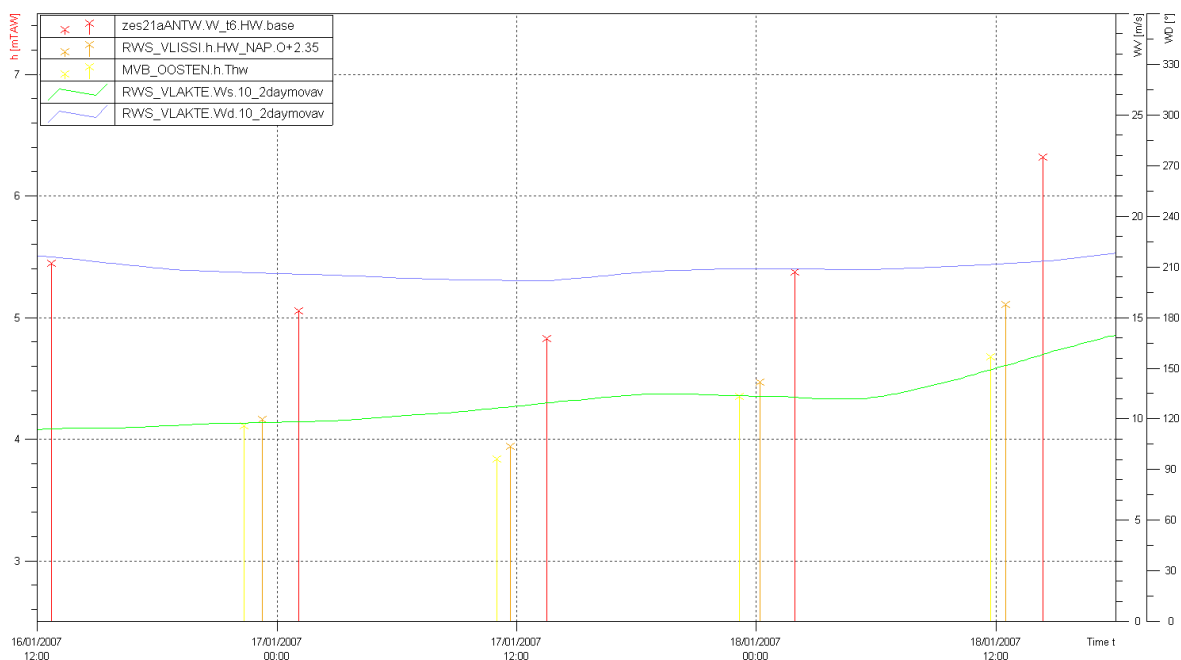
Figuur 23: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_5) – gemiddelde wind Hansweert - Hoogwater 18/01/2007



Figuur 24: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_6) – Hoogfrequente wind Vlakte Van de Raan - Hoogwater 18/01/2007



Figuur 25: Voorbeeld grafische analyses wind voorafgaand aan hoogwater (toegepast in memo WL2016M16_016_7) – Gemiddelde wind Vlakte Van de Raan - Hoogwater 18/01/2007



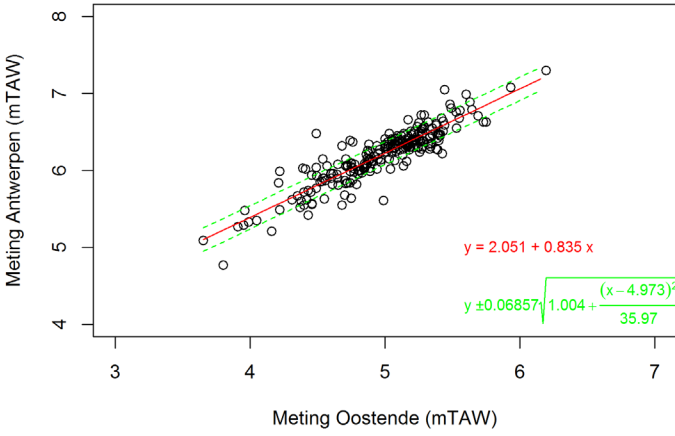
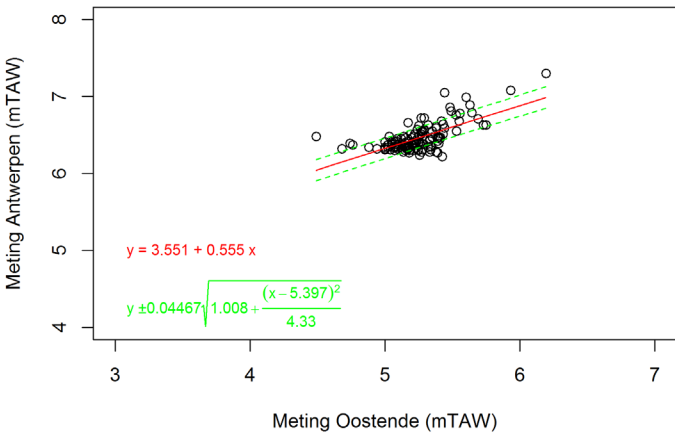
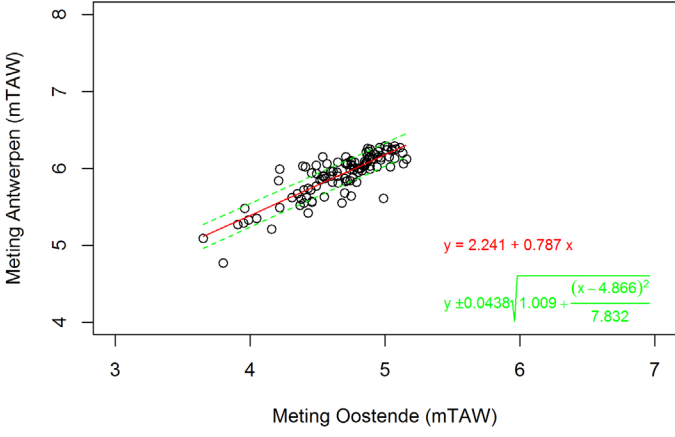
Voor het hoogwater van 18/01/2007 kan in het rekenblad dat in bovenstaande paragraaf 3.3.1 werd toegelicht, de detailinformatie uit onderstaande tabel gevonden worden.

Tabel 13: voorbeeld van beschikbare informatie voor een geselecteerd hoogwater in opgebouwde datafile

ALGEMEEN	Volgnummer flowcharts wind (uit memo's)	71
	Maand	1
	Getijcyclus	ST
	Reden van opname	HHW
	Detail opname	HHW A opzet A VA11 OA13
OOSTENDE	Tijdstip HW gemeten	18/01/2007
	Meting (mTAW)	4,68
	Tijdstip HW astronomisch	18/01/2007
	Astrovoorspelling (mTAW)	4,35
	opzet	0,33
	Ud Hansw bij HW [°]	234
	Ud Hansw bij HW [streken]	ZW
	U Hansw bij HW [m/s]	19,4
	U Hansw bij HW [Bft]	8
	Ud VdR bij HW [°]	233
	Ud VrR bij HW [streken]	ZW
	U VdR bij HW [m/s]	24,2
	U VdR bij HW [Bft]	9
VLISSINGEN	Tijdstip HW gemeten ²	18/01/2007
	Meting (mTAW) ³	5,11
	Verschil V-O	0,43
	Tijdstip HW astronomisch ⁴	18/01/2007
	Astrovoorspelling (mTAW) ⁵	4,47
	opzet ⁶	0,64
	Ud Hansw bij HW [°] ⁷	235
	Ud Hansw bij HW [streken] ⁸	ZW
	U Hansw bij HW [m/s] ⁹	22,8
	U Hansw bij HW [Bft] ¹⁰	9
	Ud VdR bij HW [°] ¹¹	235
	Ud VrR bij HW [streken] ¹²	ZW
	U VdR bij HW [m/s] ¹³	22,9
U VdR bij HW [Bft] ¹⁴	9	
ANTWERPEN	Tijdstip HW gemeten ¹⁵	18/01/2007
	Meting (mTAW) ¹⁶	6,32
	Verschil A-O	1,64
	Verschil A-V	1,21
	Tijdstip HW astronomisch ¹⁷	18/01/2007
	Astrovoorspelling (mTAW) ¹⁸	5,16
	opzet ¹⁹	1,16
	Ud Hansw bij HW [°] ²⁰	240
	Ud Hansw bij HW [streken] ²¹	WZW
	U Hansw bij HW [m/s] ²²	22,6
	U Hansw bij HW [Bft] ²³	9
	Ud VdR bij HW [°] ²⁴	238
	Ud VrR bij HW [streken] ²⁵	WZW
U VdR bij HW [m/s] ²⁶	25,7	
U VdR bij HW [Bft] ²⁷	10	

BIJLAGE E: Verband hoogwaters Oostende-Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW)

Tabel 14: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 66 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	 <p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.051 + 0.835 x$</p> <p>$y \pm 0.06857 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 4.973)^2}{35.97}}$</p>
<p>HHW</p>	 <p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 3.551 + 0.555 x$</p> <p>$y \pm 0.04467 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	 <p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.241 + 0.787 x$</p> <p>$y \pm 0.0438 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 15: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 80 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.051 + 0.835 x$</p> <p>$y \pm 0.2001 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 4.973)^2}{35.97}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 3.551 + 0.555 x$</p> <p>$y \pm 0.1305 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.241 + 0.787 x$</p> <p>$y \pm 0.128 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 16: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 95 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.051 + 0.835 x$</p> <p>$y \pm 0.3067 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 4.973)^2}{35.97}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 3.551 + 0.555 x$</p> <p>$y \pm 0.2005 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.241 + 0.787 x$</p> <p>$y \pm 0.1967 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 17: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Oostende en Antwerpen (met het 99 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.051 + 0.835 x$</p> <p>$y \pm 0.4043 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 4.973)^2}{35.97}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 3.551 + 0.555 x$</p> <p>$y \pm 0.265 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Oostende (mTAW)</p> <p>$y = 2.241 + 0.787 x$</p> <p>$y \pm 0.2602 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

BIJLAGE F: Verband hoogwaters Vlissingen-Antwerpen (HHW+EHW, HHW, EHW)

Tabel 18: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 66 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.121 + 0.988 x$</p> <p>$y \pm 0.0453 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 5.144)^2}{29}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 2.023 + 0.822 x$</p> <p>$y \pm 0.04467 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.015 + 1.008 x$</p> <p>$y \pm 0.0438 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 19: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 80 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.121 + 0.988 x$</p> <p>$y \pm 0.1322 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 5.144)^2}{29}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 2.023 + 0.822 x$</p> <p>$y \pm 0.1305 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.015 + 1.008 x$</p> <p>$y \pm 0.128 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 20: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 95 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.121 + 0.988 x$</p> <p>$y \pm 0.2026 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 5.144)^2}{29}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 2.023 + 0.822 x$</p> <p>$y \pm 0.2005 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.015 + 1.008 x$</p> <p>$y \pm 0.1967 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

Tabel 21: Verband geselecteerde hoogwatermetingen in Vlissingen en Antwerpen (met het 99 % voorspellingsinterval)

<p>HHW+ EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.121 + 0.988 x$</p> <p>$y \pm 0.2671 \sqrt{1.004 + \frac{(x - 5.144)^2}{29}}$</p>
<p>HHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 2.023 + 0.822 x$</p> <p>$y \pm 0.265 \sqrt{1.008 + \frac{(x - 5.397)^2}{4.33}}$</p>
<p>EHW</p>	<p>Meting Antwerpen (mTAW)</p> <p>Meting Vlissingen (mTAW)</p> <p>$y = 1.015 + 1.008 x$</p> <p>$y \pm 0.2602 \sqrt{1.009 + \frac{(x - 4.866)^2}{7.832}}$</p>

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