



**Vlaanderen**  
is wetenschap

19\_065\_1  
WL rapporten

## Update van de Evaluatiemethodiek

Getij-opzet in het Schelde estuarium

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# Update van de Evaluatiemethodiek

## Getij en storm in het Schelde estuarium

Meire, D.; Plancke, Y.

### 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 2024  
D/2024/3241/422

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Meire, D.; Plancke, Y.** (2024). Update van de Evaluatiemethodiek: Getij en storm in het Schelde estuarium. Versie 4.0. WL Rapporten, 19\_065\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen



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

### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2024R19_065_1
Trefwoorden (3-5):	getij; Schelde estuarium, opzet, stormvloed		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Hydrodynamica > Getij > In situ metingen Waterbeheer > Meetnetten > Waterpeilen > In situ metingen		
Tekst (p.):	22	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Meire, D.
------------	-----------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2025-01-17 10:18:33 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2024-12-20 11:05:49 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2024-12-20 10:38:43 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	--

## Abstract

De Vlaams-Nederlandse Schelde-Commissie (VNSC) evalueert iedere zes jaar de toestand van het Schelde-estuarium. In deze evaluatie wordt ingegaan op het functioneren van het Schelde – estuarium, op basis van de drie hoofdfuncties: veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid. In voorliggend rapport wordt de parameter getijvoortplanting beschreven. Er werd nagegaan of een parameter kan opgesteld worden die de getijvoortplanting, met focus op stormen, beschrijft en de mogelijke evoluties ervan, bv. als reactie op beheersmaatregelen, kan capteren. Uiteindelijk kon geen parameter weerhouden worden.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren .....	VII
1 Inleiding .....	1
2 Evaluatiemethodiek.....	2
3 Schelde estuarium .....	3
3.1 Getijstations .....	3
3.2 Menselijke invloeden .....	5
4 Getijvoortplanting doorheen het estuarium .....	8
4.1 Verhang voor verschillende getijklassen.....	8
5 Analyse stormen .....	14
5.1 Waterstanden te Antwerpen .....	14
5.1.1 Lage stormtijden .....	14
5.1.2 Hoge stormtijden .....	17
6 Conclusie.....	21
7 Referenties .....	22
Bijlage 1 Evolutie waterstanden (jaarlijkse figuren).....	B1
Bijlage 2 Relatie debiet vs. verhang .....	B6

## Lijst van de tabellen

Tabel 1: Overzicht van de verschillende getijstations waarop de analyse werd toegepast, het deel van het Schelde estuarium waarin ze gelegen zijn en de periode die beschikbaar en gebruikt werd in de analyse ....	4
Tabel 2: Overzicht van de verschillende overstromingsgebieden, type (GOG/GGG), datum van inwerkingstreding, functionele oppervlakte, hoogte overlooptdijk (mTAW) en ligging t.o.v. getijstations .....	6
Tabel 3: Overzicht van de fits voor de parameters $\mu$ , $\lambda$ , $\alpha$ voor het verhang tussen het beschouwde meetstation en Antwerpen, voor hoogwaters tussen 5,90 mTAW – 6,10 mTAW te Antwerpen (ns = niet significant) .....	9
Tabel 4: Overzicht van de parameters van de lineaire fit $y = a + bx$ , tussen debiet en verschil tussen het beschouwde station en Antwerpen. Alleen significante parameters zijn weerhouden. ....	13
Tabel 5: Aantal events per decade voor 2 getijklassen, voor hoog en laag debiet. ....	14

## Lijst van de figuren

Figuur 1: Piramide “Veiligheid” uit Evaluatiemethodiek, zoals weergegeven in Maris et al. (2014).....	2
Figuur 2: Overzicht van de ligging van de verschillende getijstations in het Schelde estuarium, gebruikt in voorliggende analyse.....	3
Figuur 3: Resultaten trendanalyse op de jaargemiddelde hoogwaters te Antwerpen, met bijhorende betrouwbaarheids- (c.i.) en predictie- (p.i.) intervallen (uit Barneveld et al., 2018) .....	4
Figuur 4: Overzicht van GOG’s en GGG’s langs de Zeeschelde en bijrivieren (uit Coen et al., 2017) .....	6
Figuur 5: Geschetste evolutie van waterhoogtes voor 2 getijstations, waarbij $\mu$ & $\alpha$ station 2 > station 1, en verschil tussen beide stations .....	9
Figuur 6: Verschil tussen Vlissingen en Antwerpen (links) en Hansweert en Antwerpen (rechts) .....	10
Figuur 7: Verschil tussen Prosperpolder en Antwerpen (links) en Hemiksem en Antwerpen (rechts).....	10
Figuur 8: Verschil tussen Temse en Antwerpen (top, links), St. Amands en Antwerpen (top, rechts), Dendermonde en Antwerpen (midden, links), Schoonaarde en Antwerpen (midden, rechts) en Melle (onder, links). Een fit op basis van de significante parameters is steeds weergegeven. ....	12
Figuur 9: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verschil [ $m$ ] voor Antwerpen - Melle voor de verschillende hoogteklassen.....	12
Figuur 10: Verloop van de getijen met waterstand te Antwerpen tussen 6,5 mTAW en 6,7 mTAW, met laag debiet (< 100 $m^3/s$ , links) en hoog debiet (> 100 $m^3/s$ , rechts).....	15
Figuur 11: Verhang tussen elk tijstation, voor de verschillende getijkrommes weergegeven in Figuur 10 met laag debiet (< 100 $m^3/s$ , links) en hoog debiet (> 100 $m^3/s$ , rechts) .....	15
Figuur 12: Getijkrommes voor periode 2010 -2019 met een waterstand te Antwerpen tussen 6,5 en 6,7 mTAW, met laag debiet (links) en hoog debiet (rechts).....	16
Figuur 13: Relatie tussen verschil in de Westerschelde (Prosperpolder – Vlissingen) en de Beneden-Zeeschelde (Prosperpolder – Temse).....	16
Figuur 14: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen en daggemiddeld debiet te Melle .....	17
Figuur 15: Verloop van de getijen met waterstand te Antwerpen groter dan 6,7 mTAW, met laag debiet (< 100 $m^3/s$ , links) en hoog debiet (>100 $m^3/s$ , rechts).....	18
Figuur 16: Verhang tussen elk tijstation, voor de verschillende getijkrommes weergegeven in Figuur 15 met laag debiet (< 100 $m^3/s$ , links) en hoog debiet (>100 $m^3/s$ , rechts) .....	18
Figuur 17: Verloop van de getijen in de periode 2010 - 2019 met waterstand te Antwerpen groter dan 6,7 mTAW, met laag debiet (< 100 $m^3/s$ , links) en hoog debiet (>100 $m^3/s$ , rechts).....	19
Figuur 18: Relatie tussen verschil in de Westerschelde (Prosperpolder – Vlissingen) en de Beneden-Zeeschelde (Prosperpolder – Temse).....	19
Figuur 19: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen en daggemiddeld debiet te Melle .....	20
Figuur 20: Verschil tussen Vlissingen en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B1
Figuur 21: Verschil tussen Hansweert en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3).....	B1
Figuur 22: Verschil tussen Prosperpolder en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B2
Figuur 23: : Verschil tussen Hemiksem en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B2



Figuur 24: Verschil tussen Temse en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3).....	B3
Figuur 25: Verschil tussen St. Amands en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B3
Figuur 26: Verschil tussen Dendermonde en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3).....	B4
Figuur 27: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B4
Figuur 28: Verschil tussen Melle en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3) .....	B5
Figuur 29: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verhang [m] voor het meetstation Temse voor de verschillende hoogteklassen .....	B6
Figuur 30: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verhang [m] voor het meetstation St. Amands voor de verschillende hoogteklassen .....	B6
Figuur 31: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verhang [m] voor het meetstation Dendermonde voor de verschillende hoogteklassen .....	B7
Figuur 32: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verhang [m] voor het meetstation Schoonaarde voor de verschillende hoogteklassen .....	B7
Figuur 33: Relatie tussen het debiet [ $m^3/s$ ] en het verhang [m] voor het meetstation Melle voor de verschillende hoogteklassen .....	B8

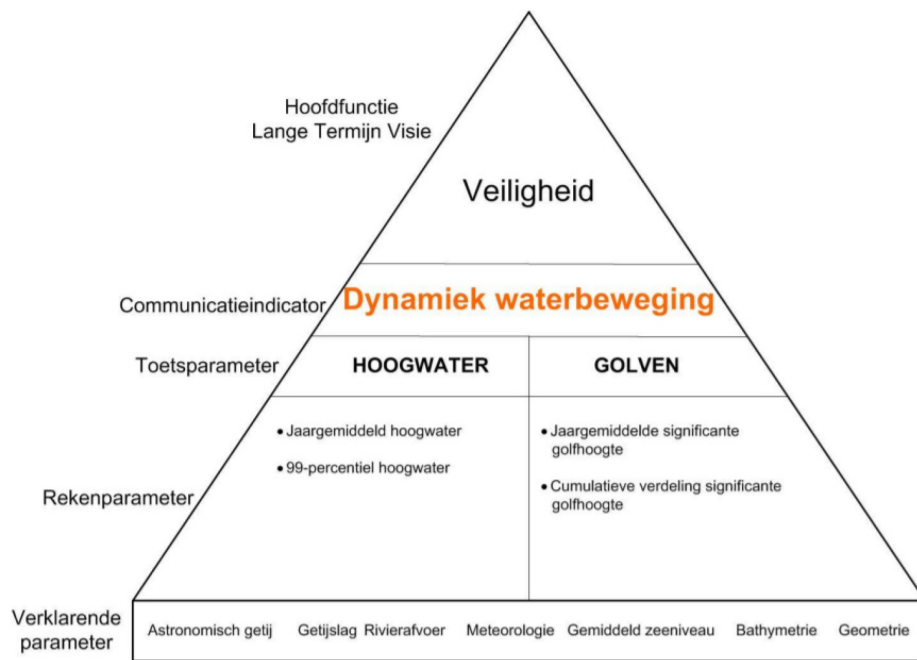
# 1 Inleiding

De Vlaams-Nederlandse Schelde-Commissie (VNSC) evalueert iedere zes jaar de toestand van het Schelde-estuarium. In deze evaluatie wordt ingegaan op het functioneren van het Schelde – estuarium, op basis van de drie hoofdfuncties: veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid. Deze evaluatie wordt opgemaakt op basis van een vooropgestelde evaluatiemethodiek (Holzhauer et al., 2011). Tussen de T2015, de evaluatie voor het jaar 2015 en de eerstvolgend geplande T2021, wordt een update van deze evaluatiemethodiek voorzien. In het kader van deze update wordt door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL), in samenwerking met Rijkswaterstaat, nagegaan of en hoe enkele parameters zouden opgenomen kunnen worden in de evaluatiemethodiek voor het Schelde-estuarium. Hierbij wordt gekeken naar getijvoortplanting (bij stormen), nautische aspecten en sedimentbalans.

In voorliggend rapport wordt de parameter getijvoortplanting beschreven. Er wordt nagegaan of een parameter kan opgesteld worden die de getijvoortplanting, met focus op stormen, beschrijft en de mogelijke evoluties ervan kan capteren. In hoofdstuk 2 wordt een kort overzicht gegeven van de huidige evaluatiemethodiek die de hoofdfunctie “Veiligheid” beschrijft. In hoofdstuk 3 worden de meetstations beschreven die gebruikt worden in deze analyse. In hoofdstuk 4 en 5 wordt de analyse zelf uitvoerig beschreven.

## 2 Evaluatiemethodiek

In de evaluatiemethodiek (Maris et al., 2014) wordt de hoofdfunctie Veiligheid getoetst met behulp van de piramide “Dynamiek waterbeweging”. Er worden 2 toetsparameters geëvalueerd: hoogwater en golven. Als rekenparameter voor hoogwater worden de evoluties van het jaargemiddeld hoogwater en het 99-percentiel hoogwater opgevolgd. Binnen de projectgroep “Evaluatie en Rapportage” werd voorgesteld om een extra toetsparameter “stormvloed” toe te voegen. Deze parameter zou de relatie tussen de waterstanden, met name de getijvoortplanting, moeten beschrijven, specifiek bij hogere waterstanden. De haalbaarheid ervan wordt in dit rapport nagegaan.



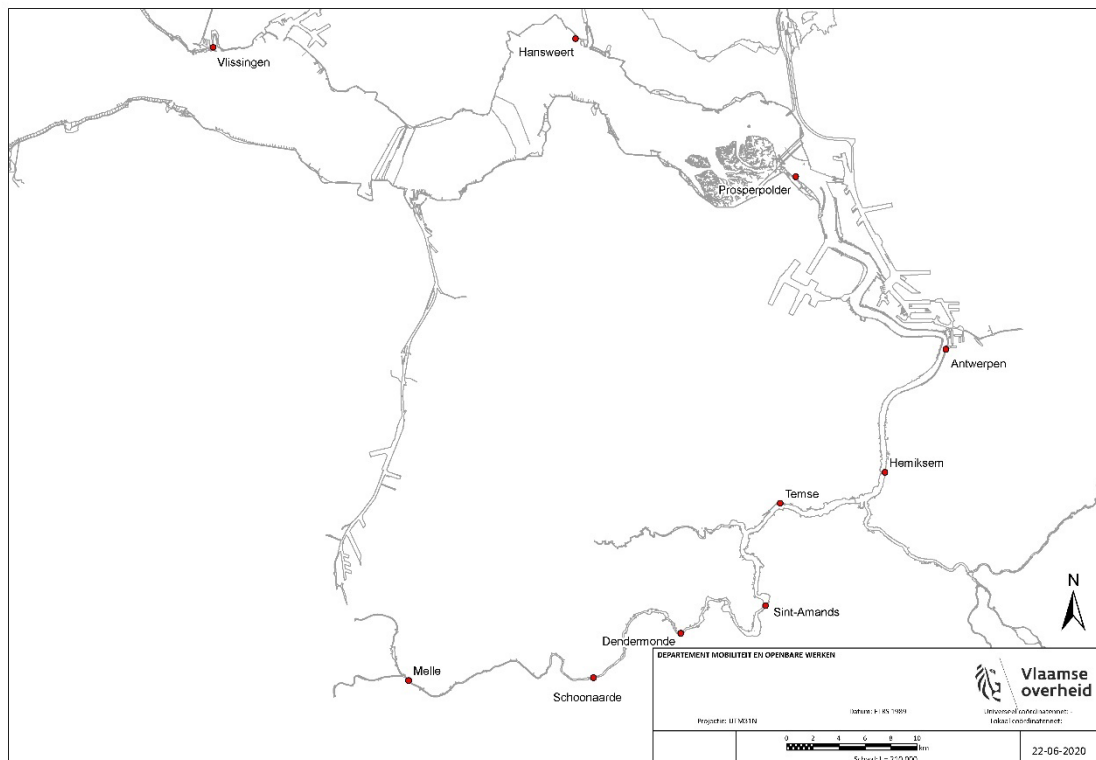
Figuur 2-1: Weergave indicator dynamiek waterbeweging en onderliggen de toets-, reken- en verklarende parameters

Figuur 1: Piramide “Veiligheid” uit Evaluatiemethodiek, zoals weergegeven in Maris et al. (2014)

## 3 Schelde estuarium

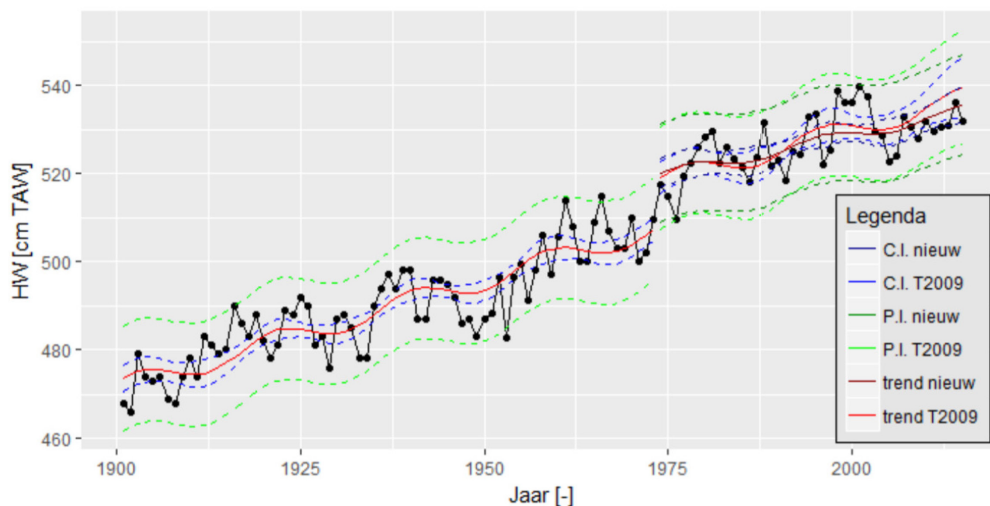
### 3.1 Getijstations

Er zijn heel wat meetstations in het Schelde estuarium, die gebruikt kunnen worden voor het in beeld brengen van de getijgolf doorheen het estuarium. In deze studie worden twee getijstations gebruikt in de Westerschelde (Vlissingen en Hansweert) en 8 stations in de Zeeschelde (Prosperpolder, Antwerpen, Hemiksem, Temse, Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde en Melle). Een overzicht van deze stations is weergegeven in Figuur 2 en Tabel 1.



Figuur 2: Overzicht van de ligging van de verschillende getijstations in het Schelde estuarium, gebruikt in voorliggende analyse

Aangezien in de analyse van hoogwaters (bv. Barneveld et al., (2018), zie Figuur 3) trendbreuken worden gedetecteerd in de jaren '70, variërend tussen 1960 en 1981, worden in dit rapport de data van de getijstations beschouwd vanaf 1980. Er wordt enkel gewerkt met de opgeleverde hoogwaters, voor elk station.



Figuur 3: Resultaten trendanalyse op de jaargemiddelde hoogwaters te Antwerpen, met bijhorende betrouwbaarheids- (c.i.) en predictie- (p.i.) intervallen (uit Barneveld et al., 2018)

Tabel 1: Overzicht van de verschillende getijstations waarop de analyse werd toegepast, het deel van het Schelde estuarium waarin ze gelegen zijn en de periode die beschikbaar en gebruikt werd in de analyse

Station	Afstand tot monding (Vlissingen – Breskens)	Deelgebied	Periode
Vlissingen	2	Westerschelde	1980 -2019
Hansweert	35	Westerschelde	1980 – 2019
Prosperpolder	56	Beneden - Zeeschelde	1980 – 2019
Antwerpen	77,6	Beneden - Zeeschelde	1980 – 2019
Hemiksem	91,2	Beneden - Zeeschelde	1980 – 2019
Temse	98,3	Boven – Zeeschelde	1980 – 2019
Sint – Amands	108,8	Boven – Zeeschelde	1980 – 2019
Dendermonde	121,8	Boven – Zeeschelde	1980 – 2019
Schoonaarde	132,7	Boven – Zeeschelde	1980 – 2019
Melle	150,9	Boven – Zeeschelde	1980 – 2019

## 3.2 Menselijke invloeden

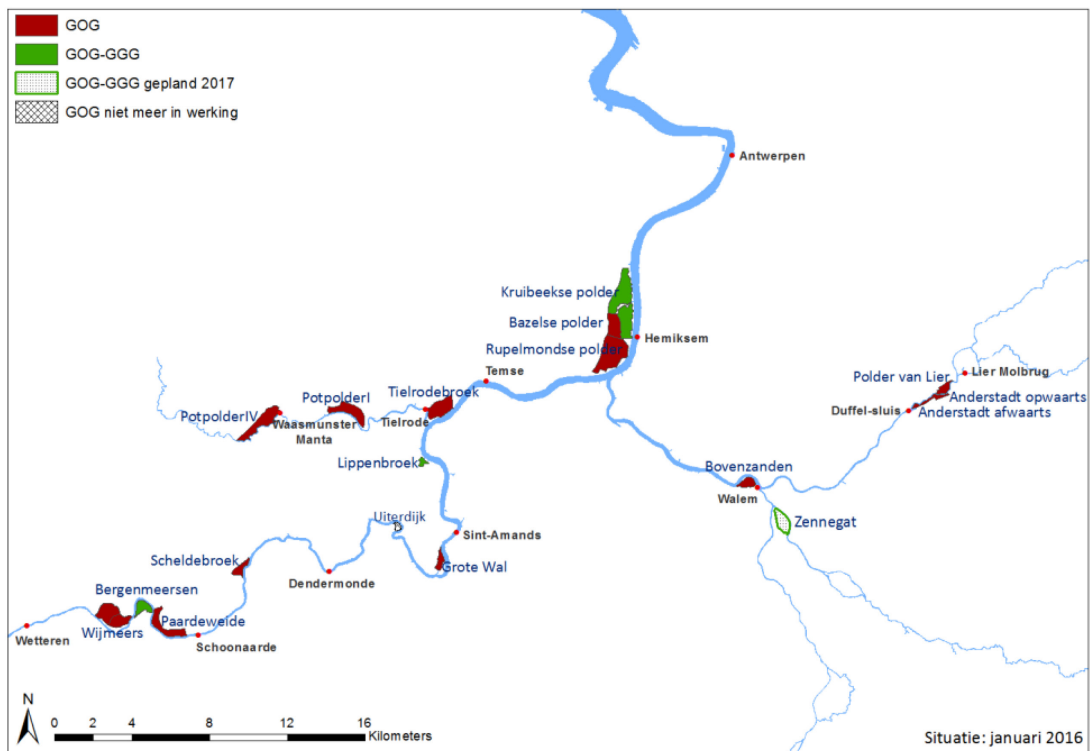
In het Schelde estuarium werden heel wat beheersmaatregelen genomen, waarvan een overzicht is weergegeven in o.a. eerdere uitgebreide studies (Van Braeckel et al., 2012) of het analyserapport van T2015 (Barneveld et al., 2018).

### Westerschelde

In de Westerschelde werd volgend op de grote stormvloed van 1953 het Deltaplan uitgevoerd, wat resulteerde in dijkverhogingen. In tegenstelling tot andere zeearmen in het deltagebied, werden er in de Westerschelde geen werkzaamheden uitgevoerd in het estuarium zelf. In de beschouwde periode vonden er in de Westerschelde grootschalige zandonttrekkingen (2 Mm<sup>3</sup>/jaar) plaats, terwijl ook de tweede ('97 – '98) en derde ('10 – '11) verruiming van de vaargeul uitgevoerd werden. Voorts vonden er werken (suppleties, bestortingen) plaats aan de vooroever die als doel hadden de stabiliteit van de dijken te garanderen. Ook vonden er een aantal in- of ontpolderingen (Sieperda, Perkpolder) plaats, waarbij het totale areaal van de Westerschelde, gering verkleinde tussen 1980 en 2001, vooral in het stuk Hansweert – Liefkenshoek. De laatste periode waren er geen veranderingen (Vandenbruwaene et al, 2020).

### Zeeschelde

In de Zeeschelde werd naar aanleiding van een reeks overstromingen in 1976, het Sigmaplan opgesteld. In dit kader worden naast dijkverhogingen, ook de aanleg van GOG's (gecontroleerde overstromingsgebieden) al dan niet in combinatie met GGG-werking (gereduceerde getijgebieden) uitgevoerd. De dijkhoogtes variëren ruimtelijk (afhankelijk van de positie in het estuarium), terwijl de overstromingsgebieden als doel hebben om de hoogste hoogwaters te verlagen. De GOG/GGG's zijn langsheen het hele Schelde estuarium terug te vinden, zoals weergegeven in Figuur 4. Een overzicht van de verschillende overstromingsgebieden die in de Zeeschelde zijn ingericht, met hun oppervlakte en de start van de werking, is weergegeven in Tabel 2. De meeste gebieden die momenteel functioneel zijn, werden reeds in de jaren '80 aangelegd. Uitzondering hierop is de polder van Kruikeke (functioneel sinds 2015), en Wijmeers (sinds 2016). Het eerste GGG werd aangelegd te Lippenbroek (operationeel sinds 2006), dat als pilootproject fungeerde. Op de Rupel werd het Zennegat in 2017 in werking gesteld. De Rupel wordt in dit rapport echter niet beschouwd.



Figuur 4: Overzicht van GOG's en GGG's langs de Zeeschelde en bijrivieren (uit Coen et al., 2017)

Tabel 2: Overzicht van de verschillende overstromingsgebieden, type (GOG/GGG), datum van inwerkingstreding, functionele oppervlakte, hoogte overlooppdijk (mTAW) en ligging t.o.v. getijstations

Overstromingsgebied	GOG/GGG	In werking sinds ...	Oppervlakte (ha)	Hoogte overlooppdijk (mTAW)	Getijstations
KBR	GOG/ GGG	2015 2018	600	6,80	Antwerpen – Hemiksem / Temse
Tielrodebroek	GOG	1982	91	6,70	Temse – St. Amands
Lippenbroek	GOG/GGG	2006	10	6,85	Temse – St. Amands
Grote Wal	GOG	< 1980	25	6,85	St. Amands - Dendermonde
Uiterdijk	GOG	< 1980	10	6,85	St. Amands - Dendermonde
Scheldebroek	GOG	<1980	29	6,35	Dendermonde - Schoonaarde

Paardeweide	GOG	1986	80	6,5	Schoonaarde – Melle
Bergenmeersen	GOG/GGG	1989	40	6,43	Schoonaarde - Melle
Wijmeers	GOG	03/2016	130	6,85 (afwaarts) 7,15 (opwaarts)	Schoonaarde - Melle
	ontpoldering	11/2015	18		Schoonaarde - Melle
Durme: - Potpolder I - Potpolder IV		Voor 1981		6,80 6,80	Durme
Bovenzanden		1983		6,80	Rupel
Zennegat		2017		6,55	



## 4 Getijvoortplanting doorheen het estuarium

In tegenstelling tot de reeds gebruikte statistieken in de Evaluatiemethodiek (zie hoofdstuk 2) wordt hier niet gefocust op algemene statistieken van de individuele stations, maar effectief naar de verschillen tussen de stations voor bepaalde getijden (stormtijden). Deze statistieken worden met name berekende voor getijden met een hogere waterstand (sectie 4.1) en stormen (hoofdstuk 5). Voor het selectie criterium van getijden wordt het station Antwerpen-Loodsgebouw als referentie gebruikt, met name vanaf 1980. Dit startjaar werd geselecteerd aangezien voor 1980 in vele meetstations een trendbreuk werd gevonden in de meetreeksen van de hoogwaterstanden (T2009 (Depreiter et al., 2014); T2015 (Barneveld et al., 2018)).

### 4.1 Verhang voor verschillende getijklassen

Als een referentie wordt eerst gekeken naar tijden met een hogere waterstand. Deze kunnen als referentie gebruikt worden en er zijn nog voldoende metingen beschikbaar zodat een evolutie in de tijd kan besproken worden. De volgende hoogteklassen, voor de metingen te Antwerpen-Loodsgebouw, worden afgelijnd:

$$5,90 \text{ mTAW} - 6,10 \text{ mTAW}$$

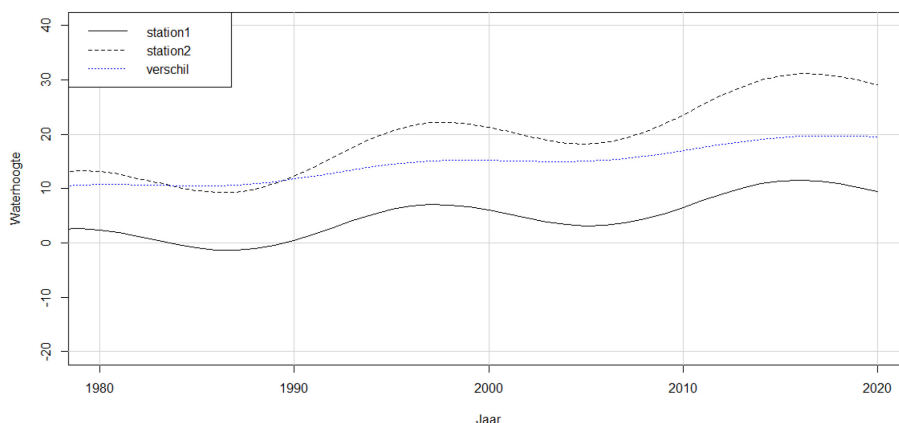
$$6,10 \text{ mTAW} - 6,30 \text{ mTAW}$$

$$6,30 \text{ mTAW} - 6,50 \text{ mTAW}$$

Voor de volledige beschouwde periode betekent dit dat er 1229 getijden zich in de laagste categorie bevinden, 452 in de middelste categorie en 169 in de hoogste categorie. Dit betekent respectievelijk een gemiddelde van 31, 11 en 4 getijden per jaar. Net zoals bij de analyse van de hoogwaterstanden (zie Figuur 3), wordt als verklarend model op de verschillen tussen de meetstations een combinatie van lineaire fit met de 18,6 jarige cyclus gebruikt:

$$\Delta H = \mu + \lambda \text{ jaar} + \alpha \sin(\omega * \text{jaar} - \phi)$$

Hierbij is  $\omega$  de frequentie van de 18,6 jarige cyclus ( $\omega = 2\pi/18,6$ ) en  $\phi$  het faseverschil: 0,1395. Deze fit werd steeds toegepast op de jaargemiddelde gegevens. Dergelijke fit wordt eveneens gebruikt voor hoog- en laagwatergegevens in T2009, T2015. Wanneer 2 stations, bv. Antwerpen en Vlissingen, met eenzelfde fase voor de 18,6 jarige cyclus en  $\alpha_{\text{Antwerpen}} > \alpha_{\text{Vlissingen}}$  en  $\lambda_{\text{Antwerpen}} > \lambda_{\text{Vlissingen}}$  (cfr. Barneveld et al. (2018), Levy et al. (2013)) volgt het verschil eveneens een gelijkaardige fit (blauwe curve in Figuur 5). Het is te verwachten, door het kleiner aantal metingen, dat de spreiding toeneemt naarmate men de getijklassen beschouwt met hogere waterstanden.



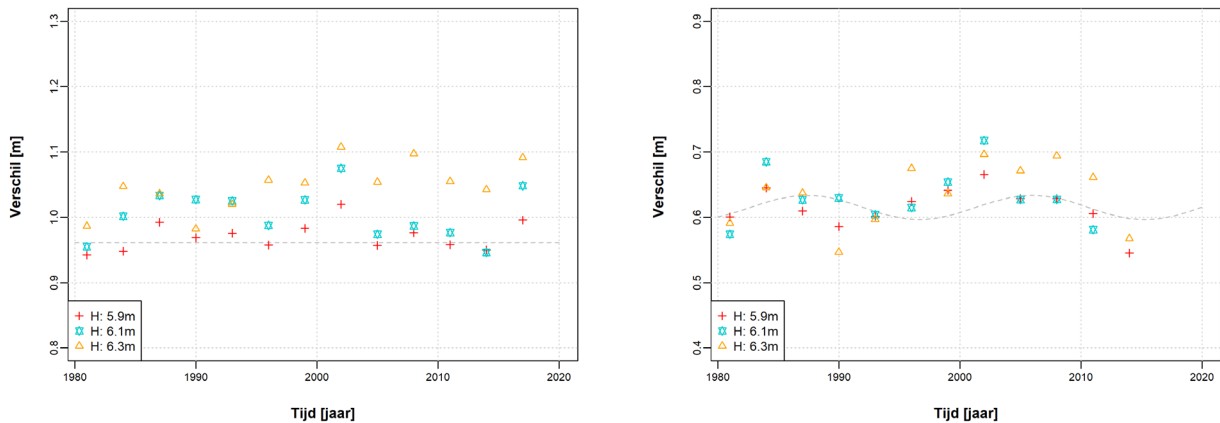
Figuur 5: Geschetste evolutie van waterhoogtes voor 2 getijstations, waarbij  $\mu$  &  $\alpha$  station 2 > station 1, en verschil tussen beide stations

In Figuur 6 t.e.m. Figuur 8 is het verschil weergegeven tussen de verschillende beschouwde stations en de waterstand in Antwerpen, waarbij voor de visuele duidelijkheid, steeds een gemiddelde per 3 jaar is weergegeven. In Bijlage 1 is ook de jaarlijkse variatie weergegeven; In Tabel 3 is een overzicht weergegeven van de resultaten van de parameters fits, met name  $\mu$  [m],  $\lambda$  [m/jaar] en  $\alpha$  [m], met name de resultaten voor de laagste categorie, hoogwaters te Antwerpen tussen 5,90 mTAW en 6,10 mTAW. Hierbij wordt steeds een fit geprobeerd met alle parameters, indien deze niet alle significant zijn, wordt een nieuwe fit opgesteld waarbij niet significante parameters niet worden weerhouden. Deze fits zijn steeds weergegeven in Figuur 6 t.e.m. Figuur 8.

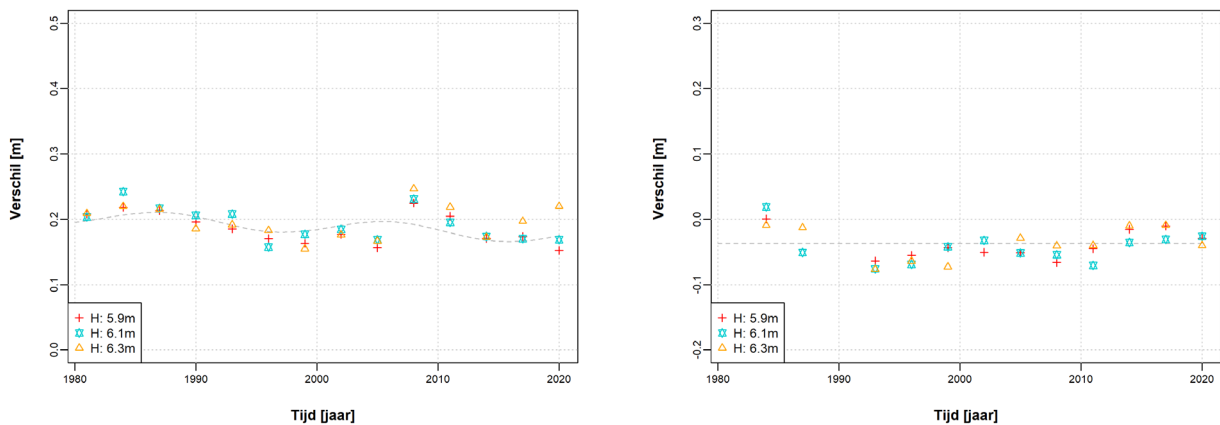
Tabel 3: Overzicht van de fits voor de parameters  $\mu$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$  voor het verhang tussen het beschouwde meetstation en Antwerpen, voor hoogwaters tussen 5,90 mTAW – 6,10 mTAW te Antwerpen (ns = niet significant).

Meetstations	Parameters		
	$\mu$ [m]	$\lambda$ [m/jaar]	$\alpha$ [m]
Vlissingen	$0.961 \pm 0,009$	ns	ns
Hansweert	$0.615 \pm 0,006$	ns	$-0,018 \pm 0,009$
Prosperpolder	$0,204 \pm 0.007$	$-0,0007 \pm 0,0003$	$-0,011 \pm 0,006$
Hemiksem	$-0,04 \pm 0,01$	ns	ns
Temse	$-0,134 \pm 0,01$	$-0,002 \pm 0,0004$	ns
St.-Amands	$-0,156 \pm 0,008$	$-0,002 \pm 0,0003$	ns
Dendermonde	$0,141 \pm 0,016$	$-0,001 \pm 0,0007$	ns
Schoonaarde	$0,316 \pm 0,03$	ns	ns
Melle	$0,421 \pm 0,04$	ns	ns

Voor de Westerschelde zijn in Figuur 6 het verschil tussen Antwerpen en respectievelijk Vlissingen en Hansweert weergegeven. Hier lijkt voor beide stations een bepaalde periodiciteit aanwezig te zijn. Voor Vlissingen – Antwerpen kan deze niet statistisch worden gelinkt aan de 18,6 jarige cyclus (parameter  $\alpha$  is niet significant). Voor Hansweert kon wel een statistisch significant verband worden gevonden, waarbij deze wel in tegenfase is t.o.v. de hoogwaters (negatieve  $\alpha$  waarde, zie Tabel 3). In Figuur 6 kan visueel wel worden opgemerkt dat de de maximale waarden van het getijverschil gedefaseerd zijn t.o.v. de fase van de hoog en laagwaters. Het totale verhang neemt (logischerwijs) steeds toe met de hogere getijklassen, m.u.v. de meting in 1980 voor Hansweert ( $> 6,3$  mTAW).



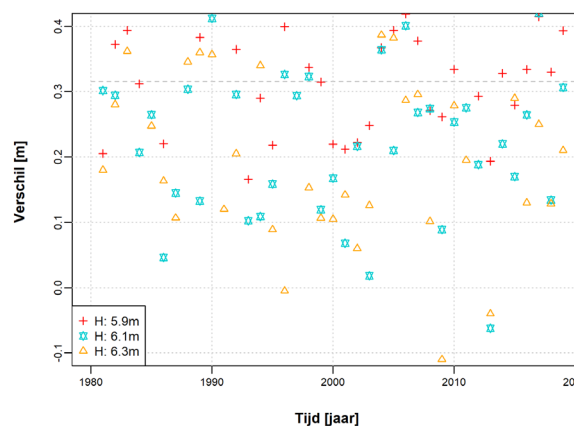
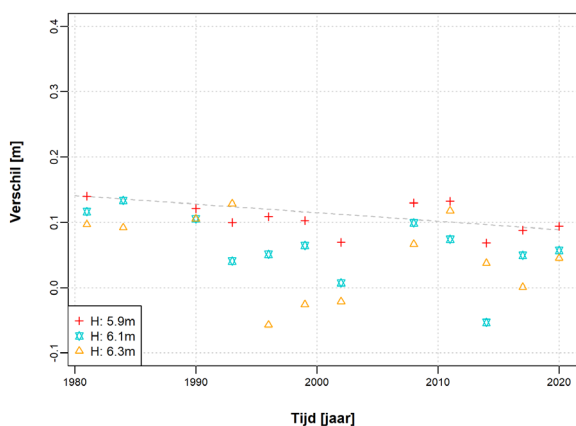
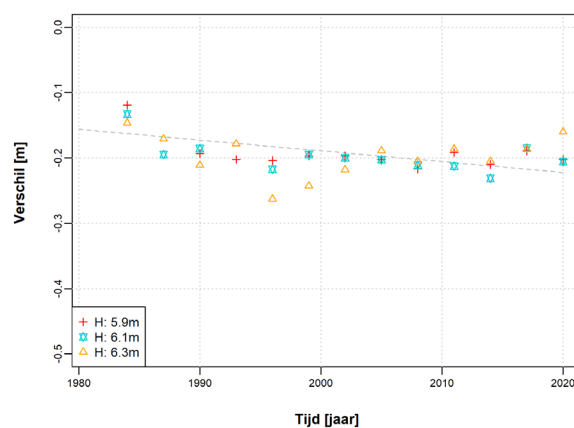
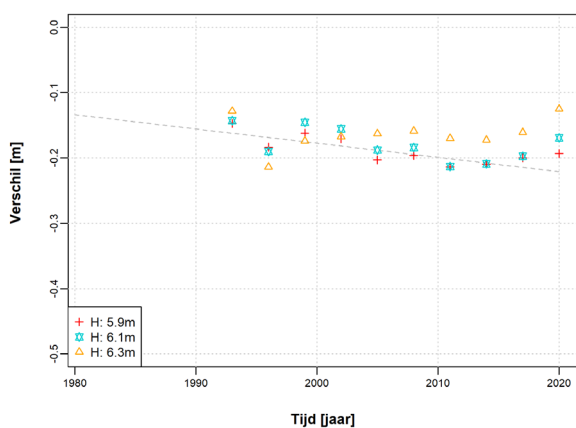
Figuur 6: Verschil tussen Vlissingen en Antwerpen (links) en Hansweert en Antwerpen (rechts)

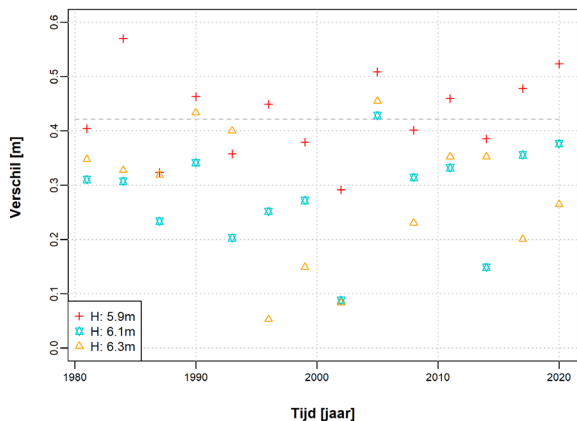


Figuur 7: Verschil tussen Prosperpolder en Antwerpen (links) en Hemiksem en Antwerpen (rechts)

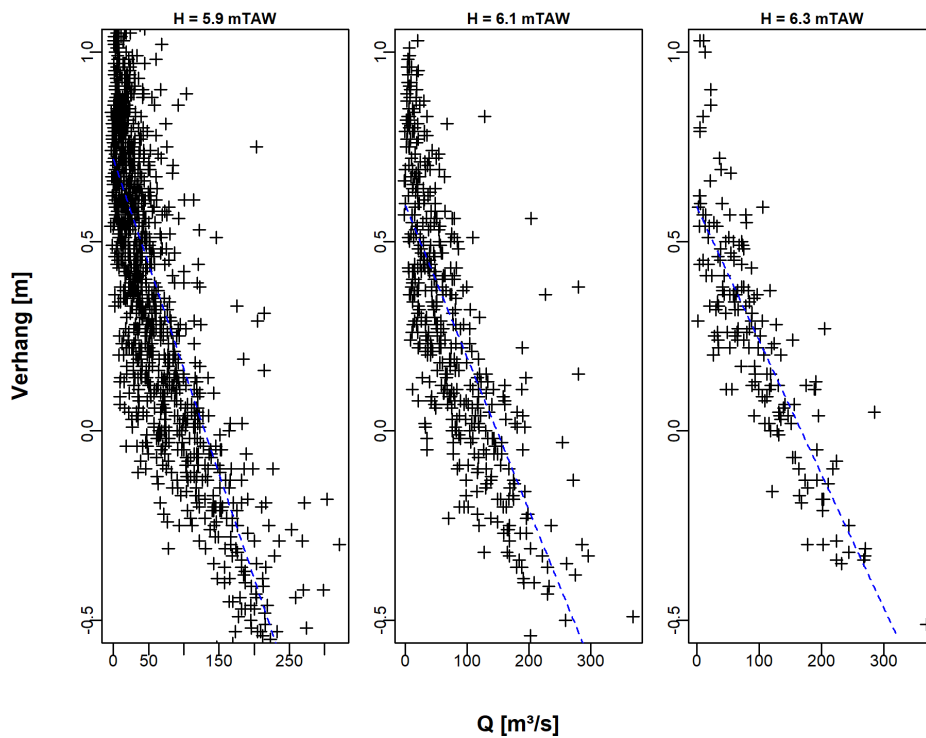
In de verschillen in de Beneden – Zeeschelde, tussen Prosperpolder, Hemiksem en Antwerpen, is er nagenoeg geen verschil voor de verschillende getijklassen (Figuur 7). Voor Prosperpolder zijn alle parameters significant, al is de waarde voor de lineaire trend ( $\lambda$ ) zeer klein (ca. 1 cm). Prosperpolder en Hansweert zijn de enige meetstations t.o.v. Antwerpen, waar een 18,6 jarige periodiciteit (statistisch) kan worden teruggevonden. Voor Hemiksem is geen trend waar te nemen in de loop van de tijd.

In de Boven – Zeeschelde (Figuur 8) is het verschil voor de verschillende getijklassen klein, zowel voor Temse als St. Amands. In Temse zijn de verschillen voor de hogere tijdclassen, zeker de laatste jaren, iets kleiner, voor St. Amands is geen duidelijk beeld te vinden. Een duidelijke verklaring hiervoor kan niet worden gegeven. In Dendermonde is dit verschil reeds groter. Voor deze stations wordt steeds een kleine, negatieve evolutie van de verschillen waargenomen. Voor Temse en St. Amands betekent dit dat het verschil iets toeneemt t.o.v. Antwerpen bij hogere waterstanden, de waterstanden worden dus iets hoger. Voor Dendermonde betekent dit dat het verschil kleiner wordt, de waterstanden t.o.v. Antwerpen worden dus iets lager. Voor Schoonaarde en Melle is het verschil is de spreiding tussen de verschillende getijklassen veel groter, door de grotere invloed van het bovenstrooms debiet. Deze afhankelijkheid wordt weergegeven in Figuur 9 en Tabel 4. Voor Melle wordt 65% ( $R^2$  is respectievelijk 65, 64 en 72 voor de verschillende getijklassen) van de variatie in het verhang verklaard door het opwaartse debiet. Voor Schoonaarde daalt dit tot 63 en 50 %. Voor Temse en St. Amands zijn de parameters van het lineair model nog wel significant, maar verklaren ze slechts een beperkt deel van de variatie (respectievelijk 5 en 23 %). De relatie tussen het verhang Antwerpen en het beschouwde stations is weergegeven in Bijlage 2. Als debiet werd steeds het dagdebiet waarin het getij voorkomt gehanteerd. Eventueel zouden hier nog betere relaties kunnen worden gevonden door gebruik te maken van een cumulatief debiet over een aantal (voorgaande) dagen.





Figuur 8: Verschil tussen Temse en Antwerpen (top, links), St. Amands en Antwerpen (top, rechts), Dendermonde en Antwerpen (midden, links), Schoonaarde en Antwerpen (midden, rechts) en Melle (onder, links). Een fit op basis van de significante parameters is steeds weergegeven.



Figuur 9: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verschil [m] voor Antwerpen - Melle voor de verschillende hoogteklassen

Tabel 4: Overzicht van de parameters van de lineaire fit  $y = a + bx$ , tussen debiet en verschil tussen het beschouwde station en Antwerpen. Alleen significante parameters zijn weerhouden.

	H = 5,9 mTAW			H = 6,1 mTAW			H = 6,3 mTAW		
	a	b	R <sup>2</sup>	A	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Temse	-0,162 ± 0,003	- 0,0003± 0,00004	0,05	-0,145± 0,006	- 0,0003± 0,00006	0,08	- 0,102± 0,023	- 0,0005± 0,0002	0,05
St, Amands	-0,162 ± 0,002	-0,0052 ± 0,00002	0,23	-0,155± 0,004	-0,0005 ± 0,0004	0,25	-0,160 ± 0,008	-0,0004 ± 0,00007	0,20
Dendermonde	0,225 ± 0,004	-0,0021 ± 0,0005	0,55	0,210 ± 0,008	- 0,0018± 0,00008	0,53	0,215 ± 0,014	-0,0017 ± 0,0001	0,56
Schoonaarde	0,495 ± 0,009	-0,0034 ± 0,0001	0,63	0,446 ± 0,011	-0,002 ± 0,0001	0,59	0,421 ± 0,018	-0,002 ± 0,0001	0,58
Melle	0,716 ± 0,009	-0,0055 ± 0,0001	0,65	0,595 ± 0,015	-0,004 ± 0,0001	0,64	0,592 ± 0,020	-0,0035 ± 0,0001	0,72

## 5 Analyse stormen

### 5.1 Waterstanden te Antwerpen

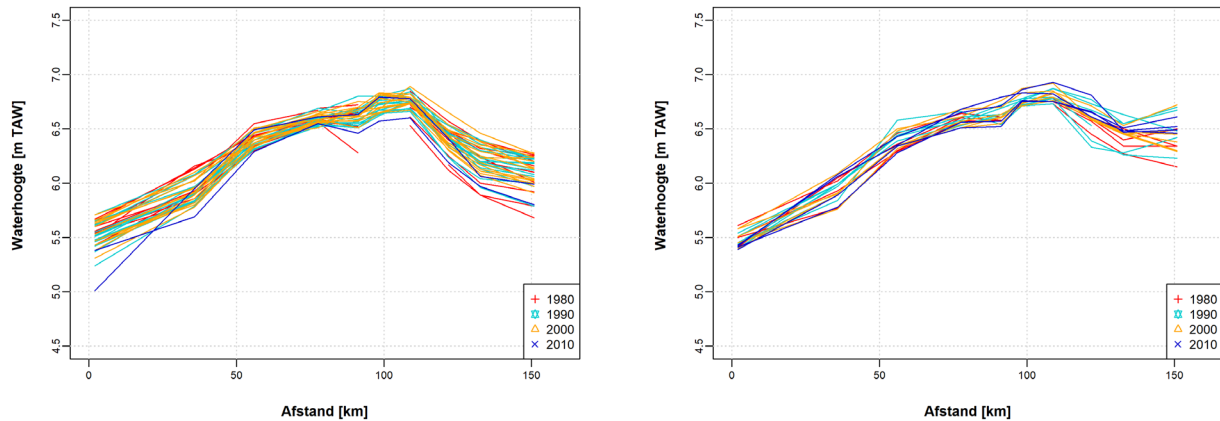
De werking van heel wat GOG gebieden worden gelinkt aan de waterstanden in Antwerpen in Coen et al. (2017). In het algemeen kan gesteld worden dat de GOG's en GGG's die zich langsheen de Zeeschelde bevinden, beginnen te werken vanaf een waterstand van 6,7 mTAW te Antwerpen, m.u.v. Tielrodebroek, Scheldebroek en het (kleine) Lippenbroek, waar werking vanaf 6,50 m TAW en 6,60 m TAW vooropgesteld wordt. Voor de opwaartse GOG/GGG gebieden is de werking ook afhankelijk van de debieten. Bij hogere debieten wordt ook sneller GOG werking waargenomen (cfr. relatie tussen verhang en bovenafvoer, Tabel 1). In dit rapport wordt  $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$  gehanteerd als limiet tussen "hoog" en "laag" debiet, aangezien voor waarden hoger dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  de opwaartse overstromingsgebieden sneller operationeel worden (op basis van Coen et al. (2017)).

Tabel 5: Aantal events per decade voor 2 getijklassen, voor hoog en laag debiet.

	Q < 100 m <sup>3</sup> /s				Q > 100 m <sup>3</sup> /s			
	1980	1990	2000	2010	1980	1990	2000	2010
H > 6,5 & H < 6,7	10	15	14	2	4	6	6	4
H >= 6,7	3	14	5	4	6	9	3	3

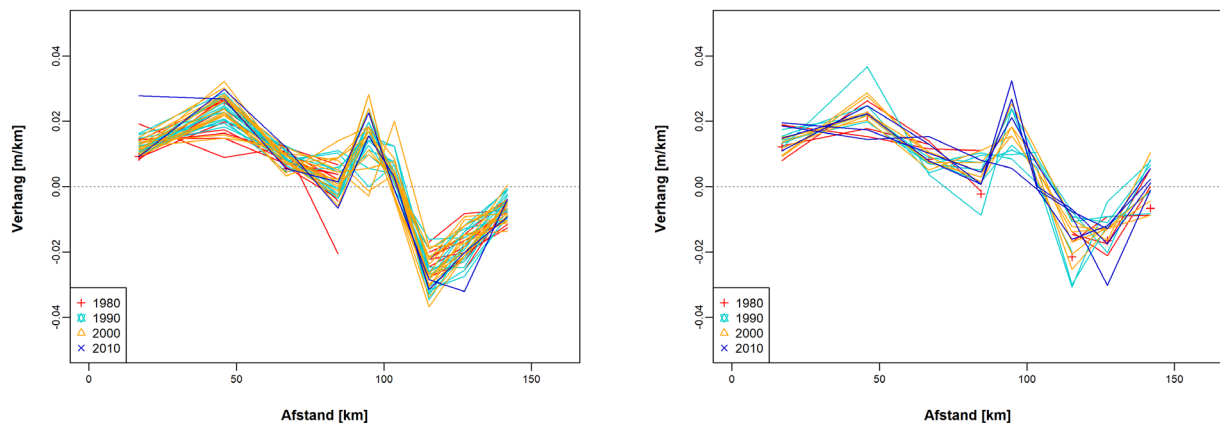
#### 5.1.1 Lage stormtijen

In Tabel 5 is het aantal getijen waarin de waterstand te Antwerpen groter is dan 6,5 mTAW en kleiner dan 6,7 mTAW. Voor debieten lager dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  zijn er 41 events, voor debieten hoger dan  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  zijn er 20 events opgemeten. In het laatste decade werden veel minder events waargenomen bij lage debieten.



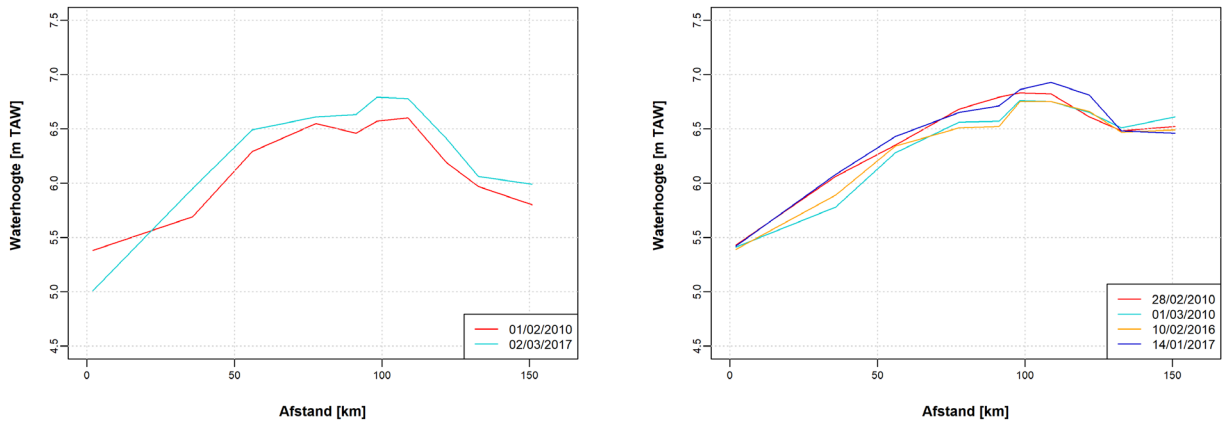
Figuur 10: Verloop van de getijden met waterstand te Antwerpen tussen 6,5 mTAW en 6,7 mTAW, met laag debiet ( $< 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , links) en hoog debiet ( $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , rechts)

In Figuur 10 is het verloop weergegeven van de getijkrommes, met een laag debiet (links) en hoog debiet (rechts). De verschillende kleuren geven een aanduiding van het decade waarin het getij voorkwam. Visueel kan geen evolutie waargenomen worden in de vorm van de krommes tussen de verschillende decades. In de Westerschelde, tot km. 60, stijgen de waterhoogtes snel. In de Zeeschelde is deze stijging kleiner, met maximale waterhoogtes te Temse (km 98) of St. Amands (km 108). In het opwaartse deel kan wel een duidelijk onderscheid vastgesteld worden in functie van het debiet. In Figuur 11 is het verhang tussen elk tijstation weergegeven voor de verschillende getijkrommes.



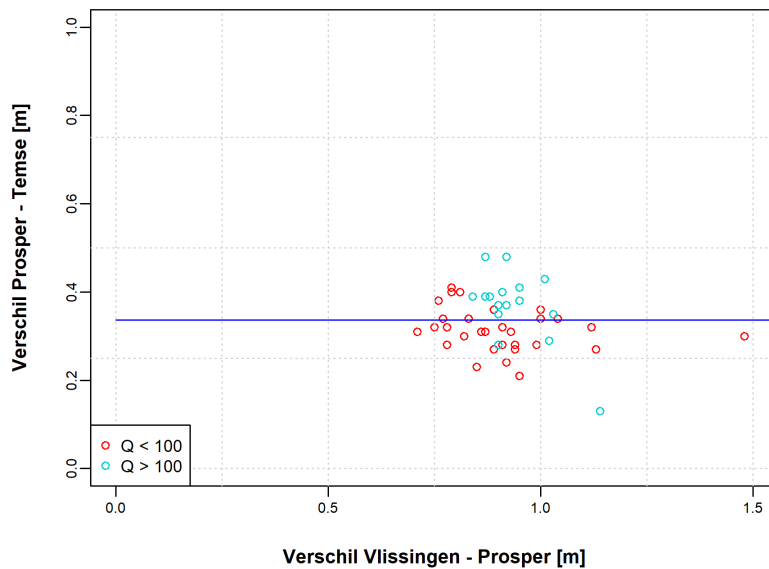
Figuur 11: Verhang tussen elk tijstation, voor de verschillende getijkrommes weergegeven in Figuur 10 met laag debiet ( $< 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , links) en hoog debiet ( $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , rechts)



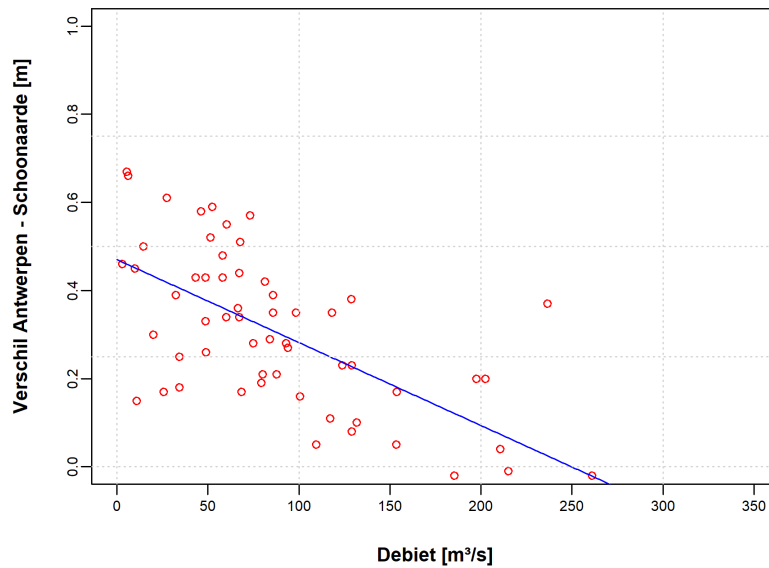


Figuur 12: Getijkrommes voor periode 2010 -2019 met een waterstand te Antwerpen tussen 6,5 en 6,7 mTAW, met laag debiet (links) en hoog debiet (rechts)

In Figuur 12 zijn de getijkrommes weergegeven voor het decade 2010-2019. In Figuur 13 is nagegaan of een relatie kan gevonden worden tussen het verschil in de Westerschelde, berekend op basis van de waterstanden te Vlissingen en Prosperpolder, en het verschil in de Zeeschelde, berekend op basis van de waterstanden Prosperpolder en Temse. Hierbij werd geopteerd voor Temse, aangezien hier meestal de maximale waterstanden worden waargenomen (zie Figuur 10 en Figuur 12). Tussen beide parameters kon echter geen verband worden gevonden, zoals te zien in Figuur 13, links. De sterkte van stijging van de waterstanden in de Westerschelde kan dus niet gelinkt worden met de stijging in de Zeeschelde.



Figuur 13: Relatie tussen verschil in de Westerschelde (Prosperpolder – Vlissingen) en de Beneden-Zeeschelde (Prosperpolder – Temse)



Figuur 14: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen en daggemiddeld debiet te Melle

In Figuur 10 en Figuur 12 is duidelijk te zien dat te Schoonaarde een knik in de getijkromme waar te nemen is, waarvan de hoogte afhankelijk is van het debiet. De relatie tussen beide is weergegeven in Figuur 14. Een lineaire, beste fit is eveneens weergegeven ( $y = 0.47 - 0.0018x$ ,  $R^2 = 0,40$ ) die sterk gelijkend is aan de fit die gevonden werd voor de andere getijhoogtes (Tabel 4). Hier werd als intercept respectievelijk 0,49; 0,45 en 0,42 gevonden, en een helling van -0,0034; -0.002 en -0,002 m/m<sup>3</sup>/s.

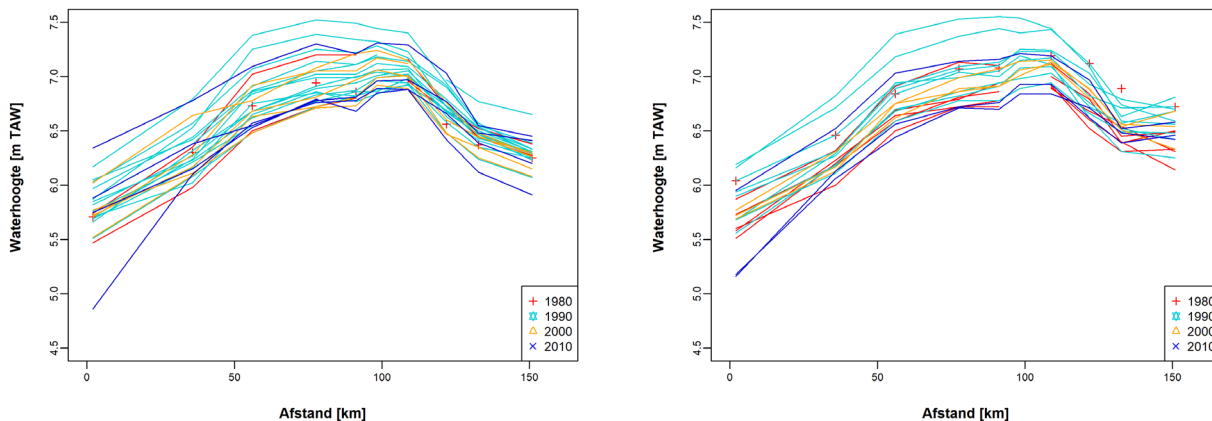
### 5.1.2 Hoge stormtijden

In Tabel 5 is het aantal getijen met een waterstand te Antwerpen groter dan 6,7 mTAW weergegeven. Voor debieten lager dan 100 m<sup>3</sup>/s zijn er in totaal 26 events, voor debieten hoger dan 100 m<sup>3</sup>/s zijn er 21 events opgemeten. Het grootste aantal stormtijden werd duidelijk waargenomen in de jaren '90, met in totaal 23 events.

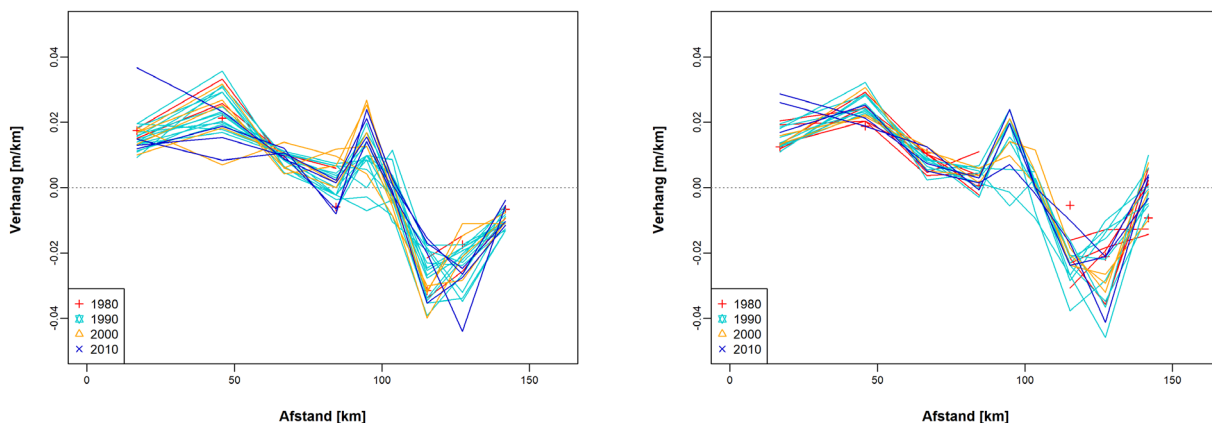
In Figuur 10 is het verloop weergegeven van de getijkrommes, met een laag debiet (links) en hoog debiet (rechts). De verschillende kleuren geven een aanduiding van het decade waarin het getij voorkwam. Er is een grote spreiding in de getijkrommes waar te nemen, alsook in de verschillen tussen de stations (Figuur 16). Maximale waterhoogtes van respectievelijk 7,52 mTAW en 7,53 mTAW te Antwerpen werden opgemeten voor laag en hoog debiet. Voor de hoogste getijen en lage debieten komen de maximale waarden reeds in Antwerpen (km 77) of Hemiksem (km 91) voor, al zijn de verschillen tussen de stations kleiner.

In Figuur 17 is opnieuw het verschil tussen Prosperpolder en Vlissingen, gerelateerd aan het verschil tussen Temse en Antwerpen. In tegenstelling tot Figuur 13 kan hier wel een relatie worden gevonden tussen beide parameters. De verschillen in de Zeeschelde worden kleiner wanneer het verschil in de Westerschelde toeneemt (en ook de waterstand in Antwerpen). Dit is ook te zien in Figuur 15, waar voor de hoogste tijden een soort van plateau wordt bereikt in hoogwaterstanden tussen Prosperpolder en Temse. De lineaire relatie  $y = 0,47 - 0,17 * \Delta H_{\text{Westerschelde}}$  ( $R^2 = 0,16$ ) is weergegeven in Figuur 17. In tegenstelling tot de relatie tussen het debiet en het verhang Antwerpen – Schoonaarde voor de lagere getijen (Figuur 14) kan voor de hogere getijen geen relatie meer gevonden tussen beide parameters (zie Figuur 18).

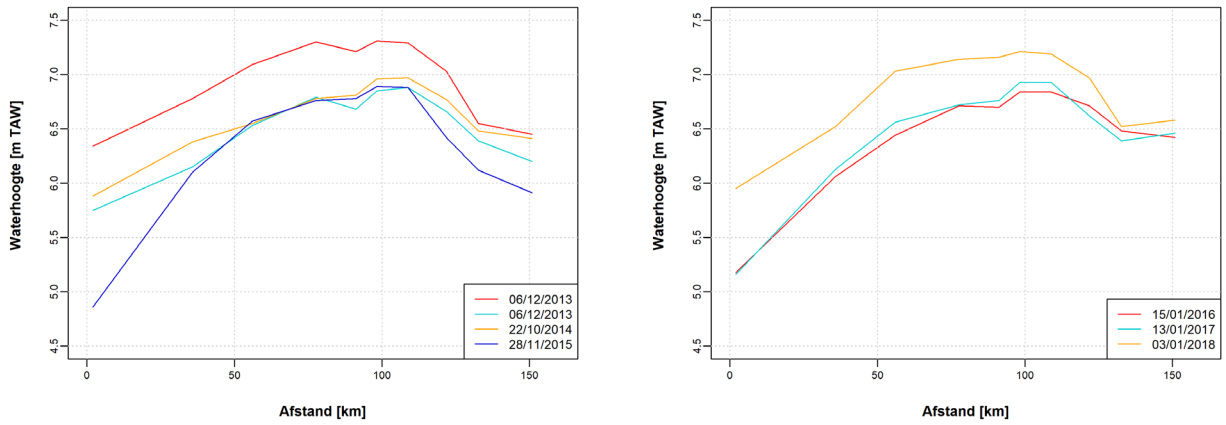
Zoals weergegeven in Tabel 2 zijn het aantal nieuwe, recente GOG/GGG gebieden beperkt, evenals het aantal tijden waarin deze effectief werden aangesproken (Tabel 5). Hierdoor was het niet mogelijk het effect ervan op de getijvoortplanting in te schatten.



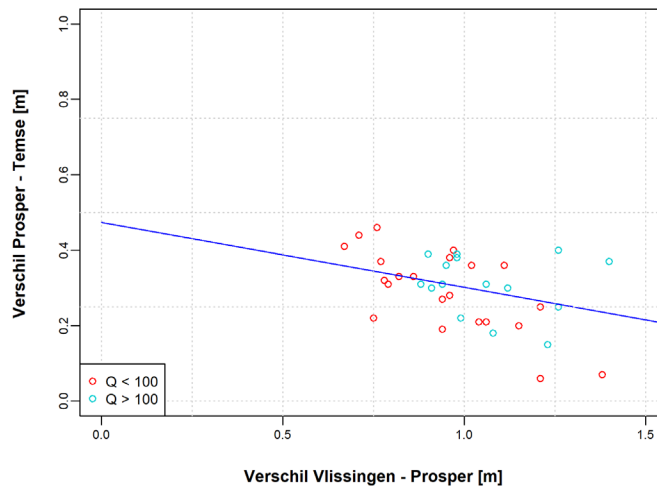
Figuur 15: Verloop van de getijden met waterstand te Antwerpen groter dan 6,7 mTAW, met laag debiet (< 100 m³/s, links) en hoog debiet (>100 m³/s, rechts)



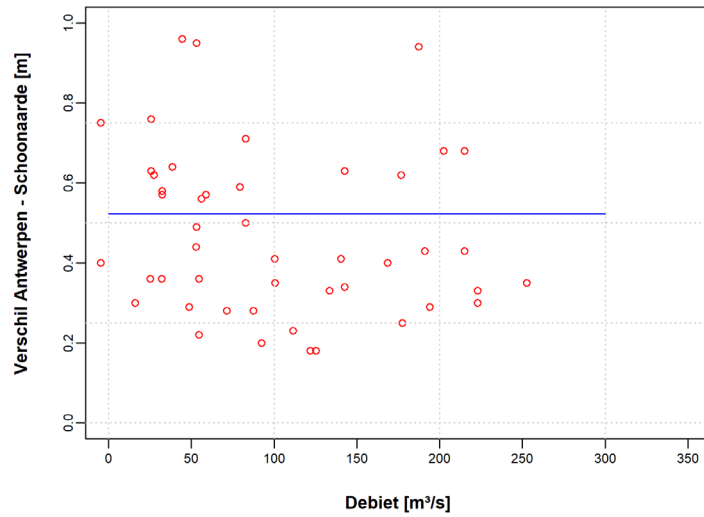
Figuur 16: Verhang tussen elk tijdstation, voor de verschillende getijkrommes weergegeven in Figuur 15 met laag debiet (< 100 m³/s, links) en hoog debiet (>100 m³/s, rechts)



Figuur 17: Verloop van de getijden in de periode 2010 - 2019 met waterstand te Antwerpen groter dan 6,7 mTAW, met laag debiet (< 100 m<sup>3</sup>/s, links) en hoog debiet (>100 m<sup>3</sup>/s, rechts)



Figuur 18: Relatie tussen verschil in de Westerschelde (Prosperpolder – Vlissingen) en de Beneden-Zeeschelde (Prosperpolder – Temse)



---

Figuur 19: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen en daggemiddeld debiet te Melle

---

## 6 Conclusie

In dit rapport werd gefocust op de getijvoortplanting van de hoogwaters boven 5,9 mTAW te Antwerpen doorheen het Schelde estuarium. De hoogwater-data van 10 getijstations langsheen het Schelde estuarium werden gebruikt, vanaf 1980.

De evolutie doorheen de tijd werd nagegaan. Voor de Westerschelde kon geen evolutie in de tijd worden waargenomen voor de beschouwde getijden. Bij de verschillen tussen Hansweert-Antwerpen en Prosperpolder – Antwerpen bleek de periodiciteit van de 18,6 jarige cyclus wel relevant. Voor de Boven-Zeeschelde (Temse – Antwerpen en Sint-Amands) is de trend in het verhang licht negatief, de hoogwaters worden dus iets hoger t.o.v. Antwerpen. Voor Dendermonde wordt het omgekeerde waargenomen.

In het opwaartse deel kon geen evolutie in de worden waargenomen. Voor de verschillende indelingen van het getij (categorieën 5,9 - 6,1 mTAW, 6,1 – 6,3 mTAW en 6,3 – 6,5 mTAW) werden per station gelijkaardige relaties tussen het verhang met Antwerpen en het debiet waargenomen, waarbij deze relatie sterker wordt richting de opwaartse rand.

Voor de hogere tijen (> 6,5 mTAW) is het aantal events voor een analyse beperkt. Voor de tijen, > 6,5 mTAW en < 6,7 mTAW, werd geen relatie gevonden tussen het verschil in de Westerschelde en in de Zeeschelde. Wel werd een duidelijke relatie gevonden tussen het opwaartse debiet en het verhang Antwerpen-Schoonaarde, gelijkaardig aan de relatie voor lagere tijen. De hoogste tijen, > 6,7 mTAW, werd wel een negatieve relatie gevonden tussen het verhang in de Westerschelde en in de Zeeschelde. Voor deze tijen kon geen verband meer worden gevonden met het verhang tussen Antwerpen en de opwaartse stations en het opwaartse debiet.

Zoals weergegeven in Tabel 2 zijn het aantal nieuwe, recente GOG/GGG gebieden beperkt, evenals het aantal tijen waarin deze effectief werden aangesproken (Tabel 5). Hierdoor was het niet mogelijk het effect ervan op de getijvoortplanting in te schatten en een parameter op te stellen hieromtrent in het kader van de evaluatiemethodiek.

## 7 Referenties

Coen, L.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen: Deelrapport 2 – GOG-werking langs de Zeeschelde. Versie 7.0. WL Rapporten, 16\_016\_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

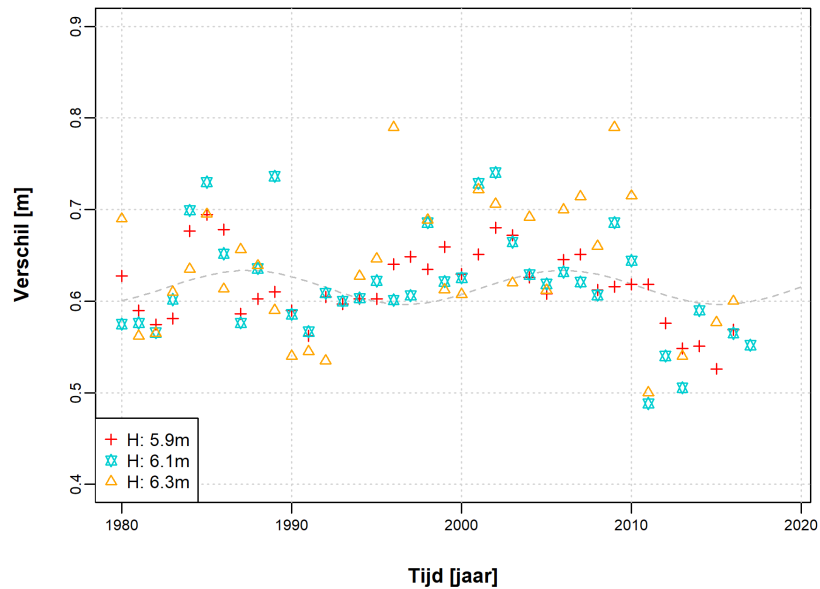
Depreiter, D.; Cleveringa, J.; van der Laan, T.; Maris, T.; Ysebaert, T.; Wijnhoven, S. (2014). T2009-rapport Schelde-estuarium. IMDC/Arcadis/Universiteit Antwerpen/Imares/NIOZ: [s.l.]. 522 + 2 bijlagen pp.

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. (2018). Analyserapport. T2015-rapportage Schelde-estuarium. HKV Lijn in Water: Lelystad. Iv, 428 + bijlagen pp.

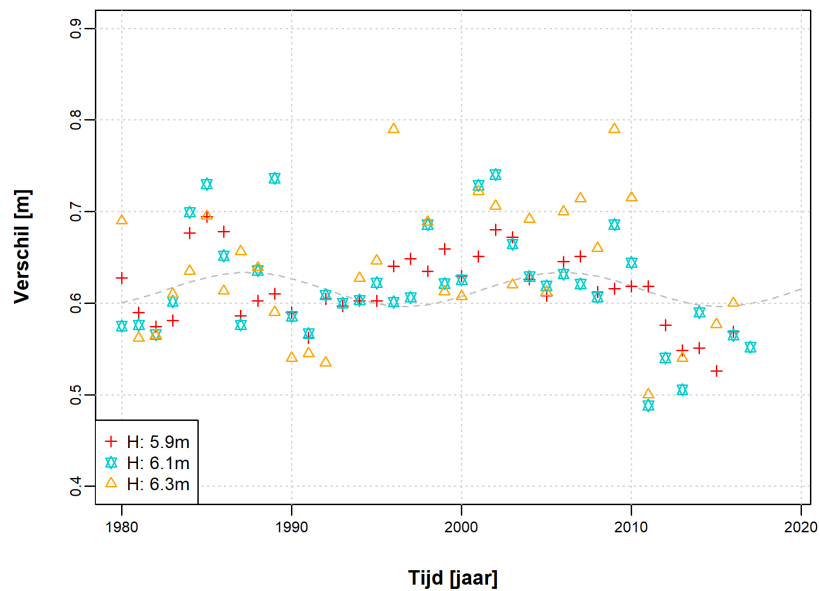
Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters, P.; Plancke, Y.; Mikkelsen, J.; Van den Bergh, E. (2012). Historische evolutie van Zeescheldehabitats: kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2012(59). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek/Waterbouwkundig Laboratorium: Brussel. 111 + bijlagen pp

Vandenbruwaene, W.; Beullens, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020). Agenda voor de Toekomst – Schelde estuarium, Historische evolutie getij en morfologie: Deelrapport 2 – Data-analyse morfologie en getij. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_147\_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

# Bijlage 1 Evolutie waterstanden (jaarlijkse figuren)

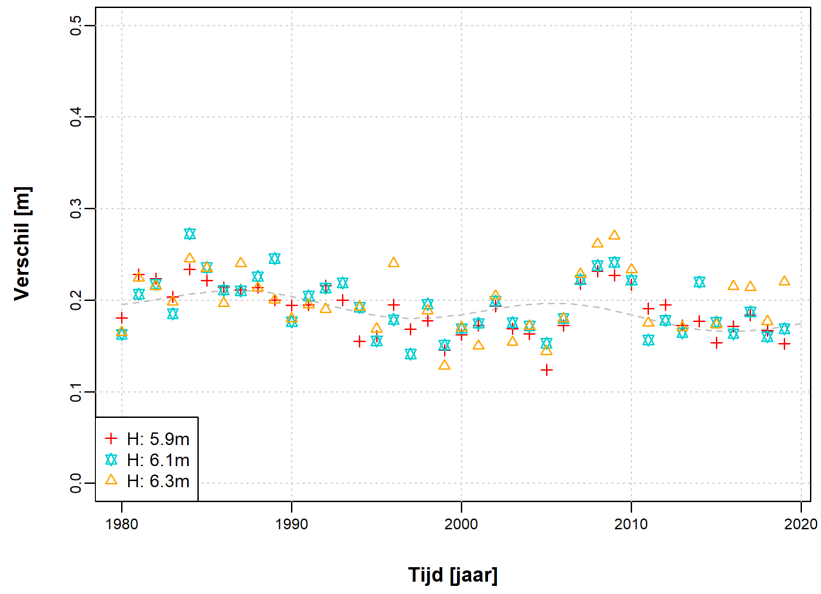


Figuur 20: Verschil tussen Vlissingen en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)

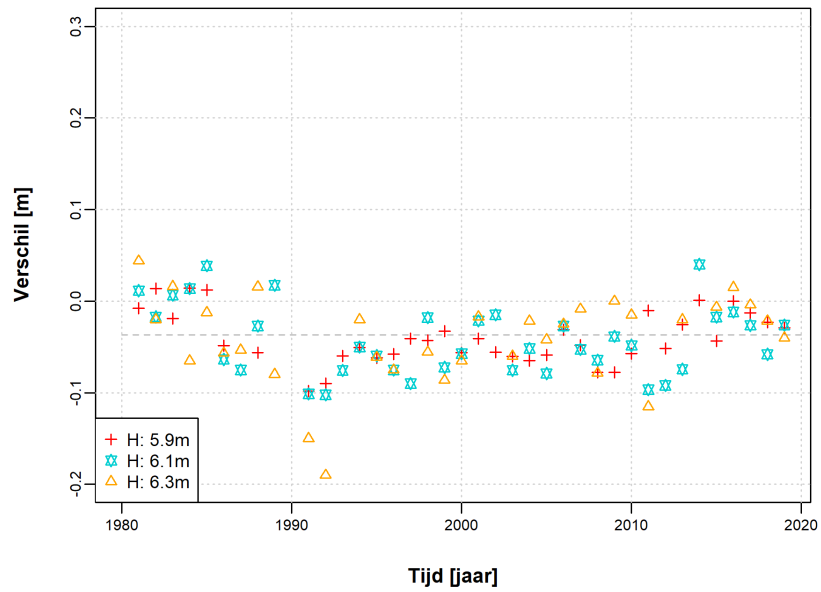


Figuur 21: Verschil tussen Hansweert en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)

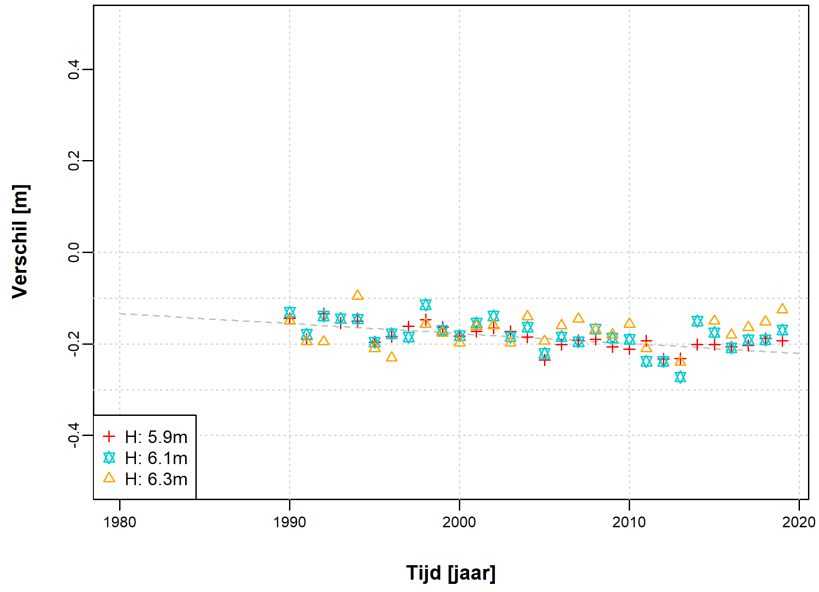




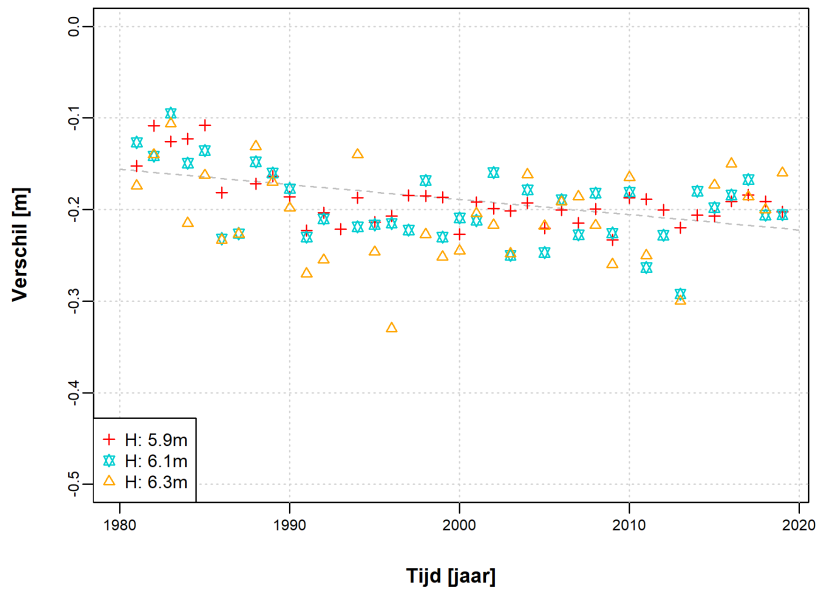
Figuur 22: Verschil tussen Prosperpolder en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)



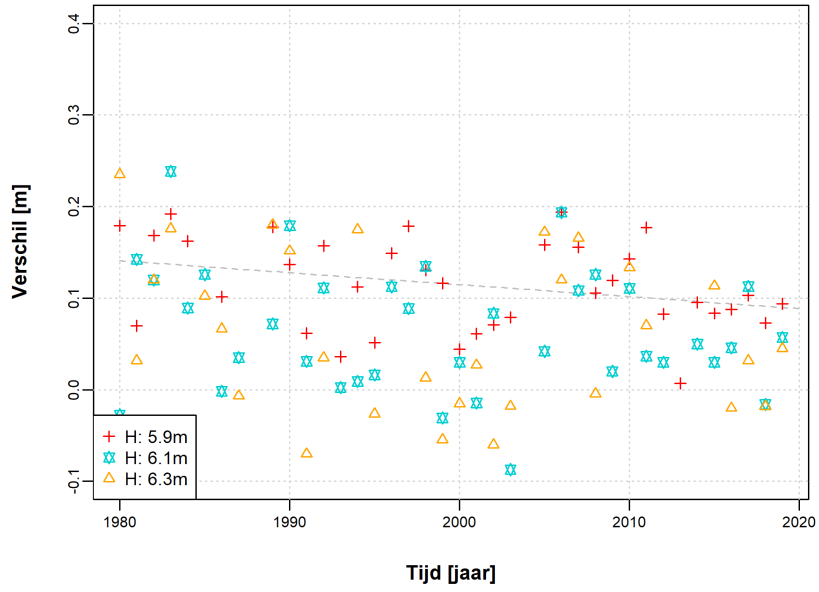
Figuur 23: : Verschil tussen Hemiksem en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)



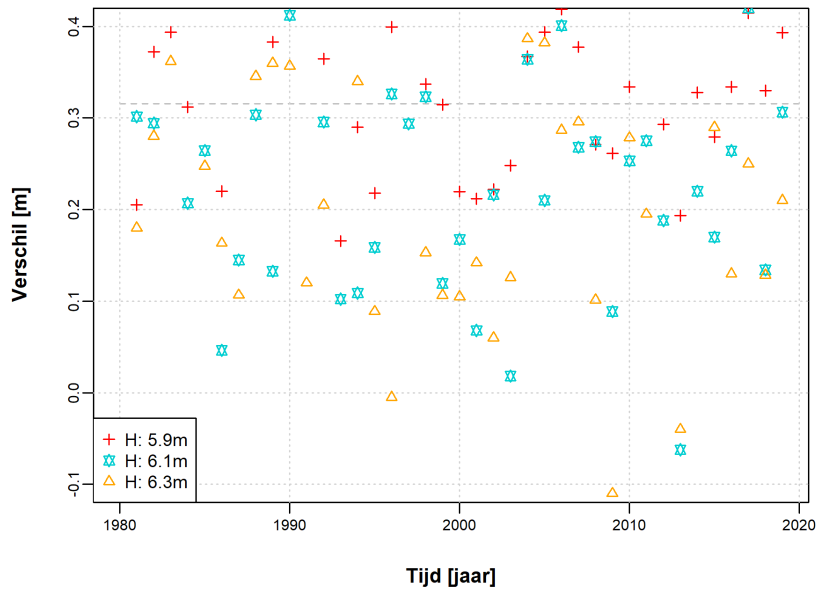
Figuur 24: Verschil tussen Temse en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)



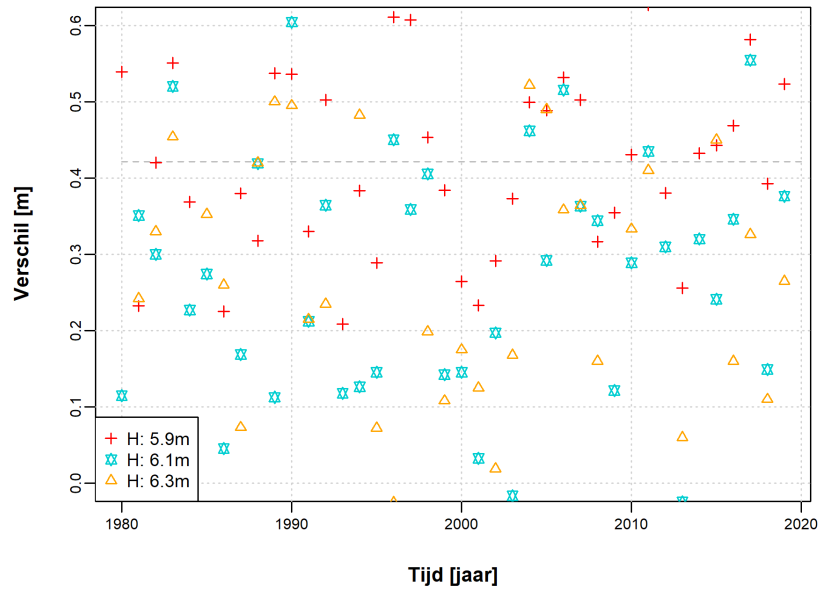
Figuur 25: Verschil tussen St. Amands en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)



Figuur 26: Verschil tussen Dendermonde en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)

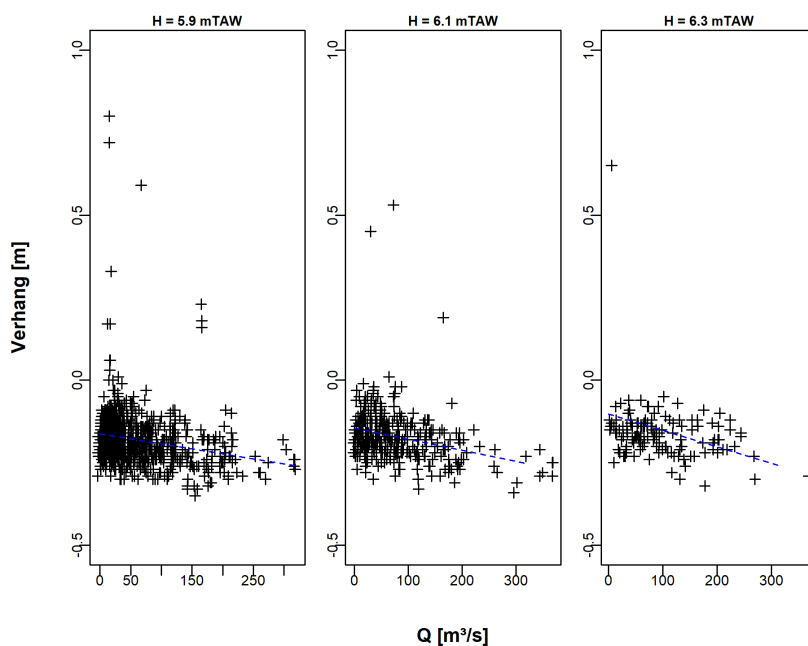


Figuur 27: Verschil tussen Schoonaarde en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)

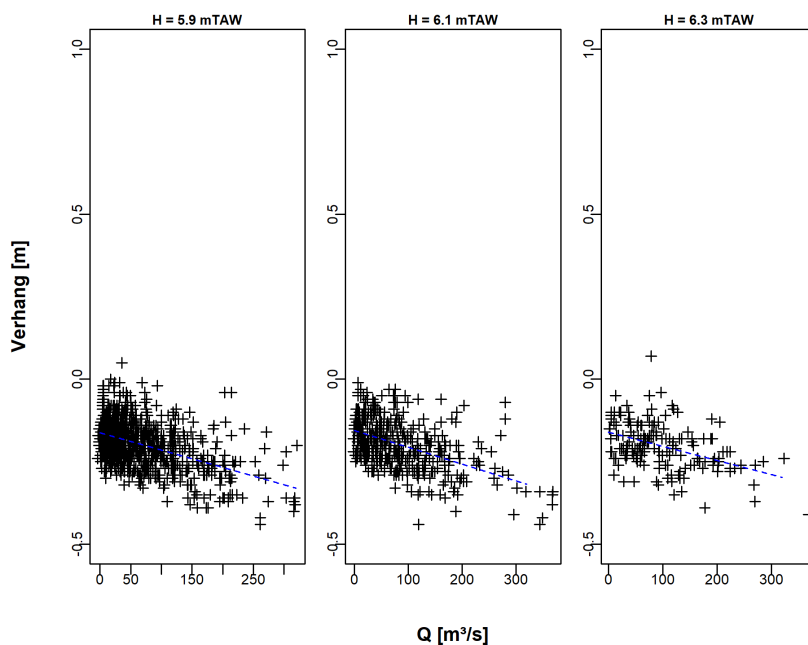


Figuur 28: Verschil tussen Melle en Antwerpen, jaargemiddeld met fit (zie Tabel 3)

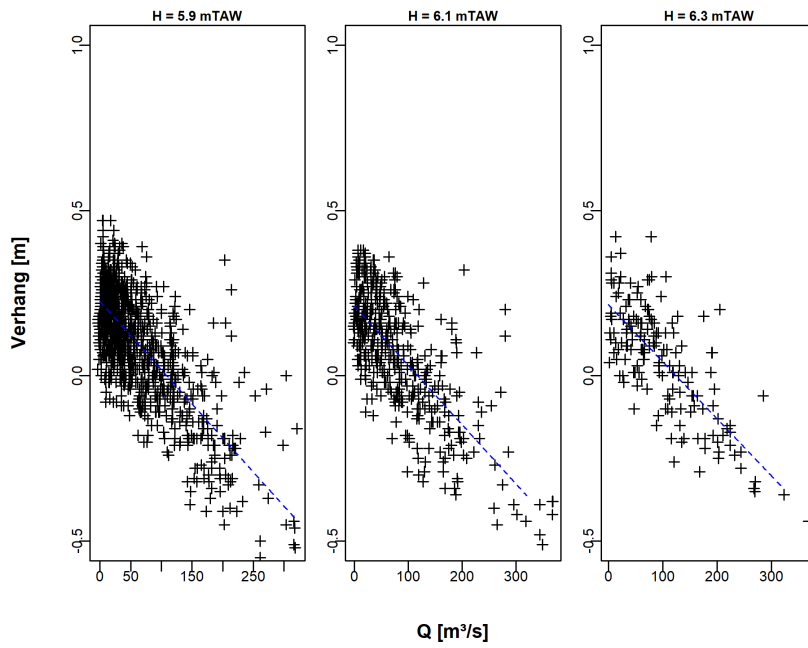
## Bijlage 2 Relatie debiet vs. verhang



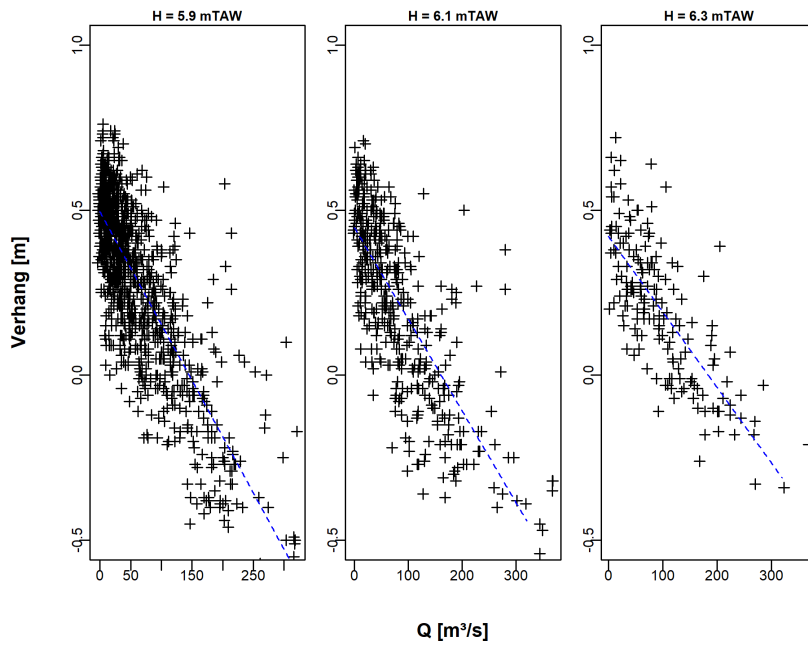
Figuur 29: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verhang [m] voor het meetstation Temse voor de verschillende hoogteklassen



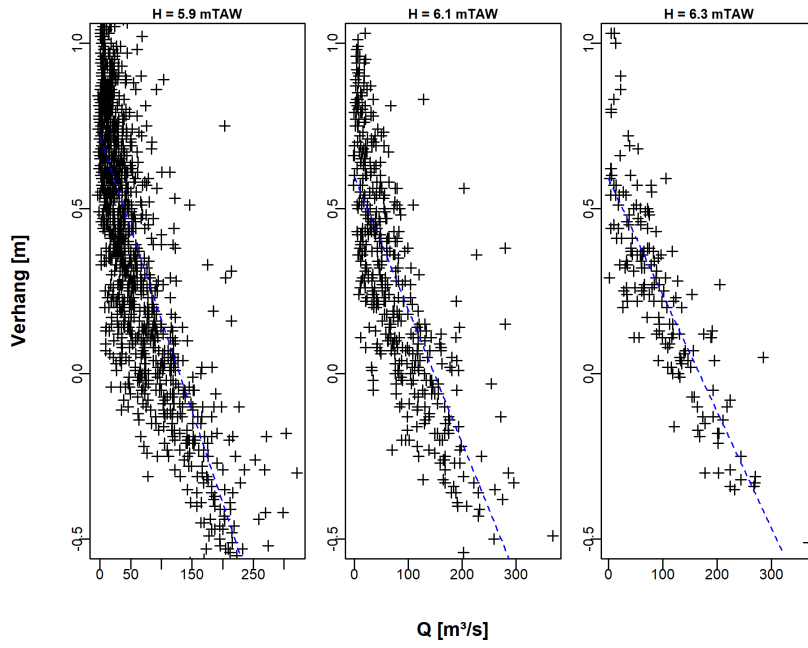
Figuur 30: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verhang [m] voor het meetstation St. Amands voor de verschillende hoogteklassen



Figuur 31: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verhang [m] voor het meetstation Dendermonde voor de verschillende hoogteklassen



Figuur 32: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verhang [m] voor het meetstation Schoonaarde voor de verschillende hoogteklassen



Figuur 33: Relatie tussen het debiet [m³/s] en het verhang [m] voor het meetstation Melle voor de verschillende hoogteklassen

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](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)