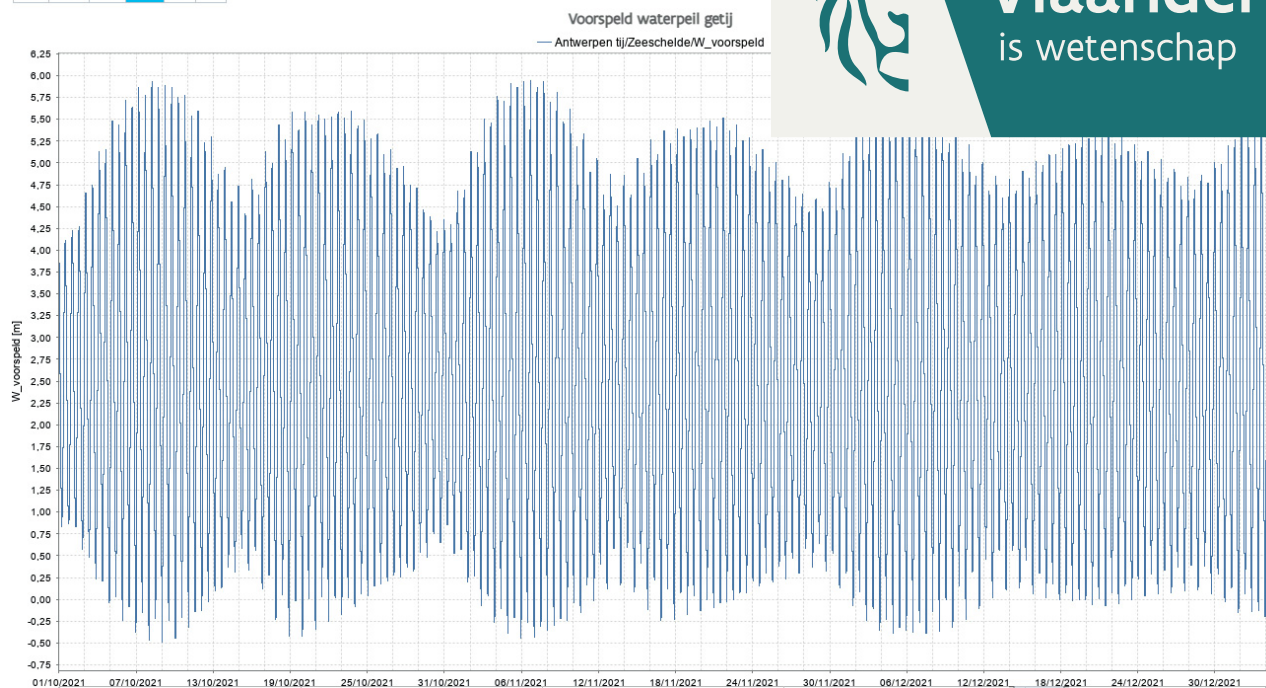


Antwerpen tij/Zeeschelde

3d 10d 1m 3m 1y ∞



Vlaanderen
is wetenschap

PA013_2
WL rapporten

Opstellen astronomische voorspellingen

Deelrapport 2
Validatie Prospermodel

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Opstellen astronomische voorspellingen

Deelrapport 2 – Validatie Prospermodel

Coen, L.; Vanlede, J.; Deschamps, M.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2021
D/2021/3241/016

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Coen, L.; Vanlede, J.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2021). Opstellen astronomische voorspellingen: Deelrapport 2 – Validatie Prospermodel. Versie 3.0. WL Rapporten, PA013_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2021RPA013_2
Trefwoorden (3-5):	Getij, 1D numeriek model		
Kennisdomeinen:	Waterbeheer > Hydraulica > Hydrodynamische modellen > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	15	Bijlagen (p.):	17
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Coen, L.
------------	----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanlede, J.	Getekend door:Joris Vanlede (Signature) Getekend op:2021-02-04 16:20:12 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Joris Vanlede</i>
Projectleider:	Deschamps, M.	Getekend door:Maarten Deschamps (Sig) Getekend op:2021-02-02 16:43:49 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC:	Deschamps, M.	Getekend door:Maarten Deschamps (Sig) Getekend op:2021-02-02 16:44:29 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door:Frank Mostaert (Signature) Getekend op:2021-02-02 17:19:45 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>



Abstract

Jaarlijks worden door het Waterbouwkundig Laboratorium astronomische voorspellingen opgesteld voor het gebied van de Zeeschelde om te publiceren in het tijdschrift dat wordt opgesteld door Afdeling Kust en voor gebruik in de operationele voorspellingssystemen. Voor het bepalen van de astronomische waterpeilen ter hoogte van de meetposten te Antwerpen en Wintam, en de andere meetposten langs de Zeeschelde, wordt gebruikt gemaakt van 1D-numerieke modellering. Hierbij wordt een 1D-numeriek model van de Zeeschelde gebruikt met afwaartse rand in Prosperpolder.

Het Prospermodel wordt gevalideerd voor een periode met lage tot gemiddelde bovenafvoer tijdens de maand juli 2017.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Kader.....	1
1.2 Opbouw van het rapport.....	1
2 1D-numeriek model.....	2
2.1 Basismodel.....	2
2.2 Model PA013_Prospers2018.....	2
2.3 Software	3
2.4 Geografische referentie en tijdszone	3
2.5 Versiebeheer	3
2.6 Randvoorwaarden	3
2.6.1 Afwaarts waterpeil	3
2.6.2 Opwaartse debieten	4
2.7 Simulatieperiode	7
3 Validatie	8
3.1 Gegevens	8
3.2 Methode validatie - VIMM	8
3.3 Validatieresultaten	10
3.3.1 Zeeschelde	10
3.3.2 Durme	12
3.3.3 Rupel	12
3.3.4 Benedennete	12
3.3.6 Dijle	13
3.3.7 Zenne	13
4 Conclusies	14
5 Referenties	15

BIJLAGE A	Tijdreeksen waterpeilen rivieren.....	B1
	Legende	B1
	Zeeschelde	B1
	Durme	B6
	Rupel.....	B6
	Benedennete	B7
	Dijle	B8
	Zenne	B9
BIJLAGE B	Tabellen en figuren statistische analyse waterpeilen rivieren.....	B10
	Zeeschelde.....	B10
	Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne	B14

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht beschikbare gemeten debietreeksen	4
Tabel 2 – Opgelegde (gemeten) debietreeksen aan opwaartse randen van het model.....	4
Tabel 3 – Herschaalde debietreeksen opgelegd aan onbemeten deelbekkens.....	6
Tabel 3 – Overzicht beschikbare meetreeksen waterpeilen voor validatie	8
Tabel 4 – Resultaten statistische analyse meetposten Zeeschelde	10
Tabel 5 – Resultaten statistische analyse meetposten Durme	12
Tabel 6 – Resultaten statistische analyse meetposten Rupel	12
Tabel 7 – Resultaten statistische analyse meetposten Benedennete.....	12
Tabel 8 – Resultaten statistische analyse meetposten Dijle	13
Tabel 9 – Resultaten statistische analyse meetposten Zenne	13
Tabel 11 – Waarden BIAS en RMSE – meetposten Zeeschelde.....	B10
Tabel 12 – Waarden BIAS en RMSE – meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne.....	B14

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht Prospermodel	2
Figuur 2 – Opgelegd waterpeil afwaartse rand Prosperpolder	3
Figuur 3 – Verloop opgelegde debieten aan opwaartse modelranden	5
Figuur 4 – M2 amplitude gesimuleerde versus gemeten waterpeilen – meetposten Zeeschelde	11
Figuur 5 – Z0 gesimuleerde versus gemeten waterpeilen – meetposten Zeeschelde	11
Figuur 6 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Liefkenshoek	B1
Figuur 7 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Kallo	B2
Figuur 8 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Antwerpen	B2
Figuur 9 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Temse	B3
Figuur 10 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Sint-Amands	B3
Figuur 11 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Dendermonde	B4
Figuur 12 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Schoonaarde	B4
Figuur 13 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Wetteren	B5
Figuur 14 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Melle	B5
Figuur 15 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Durme te Tielrode	B6
Figuur 16 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Rupel te Walem	B6
Figuur 17 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Benedennete te Duffel-sluis	B7
Figuur 18 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Benedennete te Lier Molbrug	B7
Figuur 19 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Dijle te Mechelen-Benedensluis	B8
Figuur 20 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zenne te Hombeek	B9
Figuur 21 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zenne te Zemst	B9
Figuur 22 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – hoogwaters	B11
Figuur 23 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde - laagwaters	B11
Figuur 24 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – volledige tijdreeks	B12
Figuur 25 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde - hoogwaters	B12
Figuur 26 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – laagwaters	B13
Figuur 27 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – volledige tijdreeks	B13
Figuur 28 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – hoogwaters	B14

Figuur 29 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – laagwaters	B15
Figuur 30 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – volledige tijdreeks.....	B15
Figuur 31 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – hoogwaters	B16
Figuur 32 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – laagwaters	B16
Figuur 33 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – volledige tijdreeks.....	B17

1 Inleiding

1.1 Kader

Jaarlijks worden door het Waterbouwkundig Laboratorium astronomische voorspellingen opgesteld voor het gebied van de Zeeschelde om te publiceren in het tijdschrift dat wordt opgesteld door Afdeling Kust. Daarnaast worden de voorspellingen ook gebruikt in de operationele voorspellingssystemen.

Voor het tijdschrift zijn astronomische voorspellingen voor hoogwater en laagwater voor Prosperpolder, Antwerpen en Wintam noodzakelijk. De opmaak van de astronomische voorspellingen voor Prosperpolder op basis van astronomische componenten wordt beschreven in (Vanlede *et al.*, 2020).

Voor het bepalen van de astronomische waterpeilen ter hoogte van de meetposten te Antwerpen en Wintam, en de andere meetposten langs de Zeeschelde, wordt gebruikt gemaakt van 1D-numerieke modellering. Hierbij wordt een 1D-numeriek model van de Zeeschelde gebruikt met afwaartse rand in Prosperpolder (Vanlede *et al.*, 2014).

Astronomische voorspellingen beschrijven typisch de te verwachten waterstanden in het gebied van de Schelde op basis van gemiddelde weersomstandigheden. Aangezien in de op WL toegepaste methodiek ook een 1D-numeriek model wordt gebruikt (zie bovenstaande alinea) is het nuttig om een idee te hebben van de correctheid van dit model. Er is immers al heel wat onzekerheid in de randvoorwaarden, meer bepaald de afwaartse rand (= de astronomische waterstand) te Prosperpolder én de opgelegde “gemiddelde” opwaartse afvoer, dat extra onzekerheid door de modelaanpak zo laag mogelijk wordt gehouden. Om een inschatting te maken van de correctheid van de modelsimulaties wordt dit model gevalideerd voor een periode met lage tot gemiddelde bovenafvoer, tijdens de maand juli 2017 (zie §2.6.2).

1.2 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft het toegepaste 1D-numeriek model.

In hoofdstuk 3 wordt de validatie van het model beschreven.

Hoofdstuk 4 besluit met de conclusies.

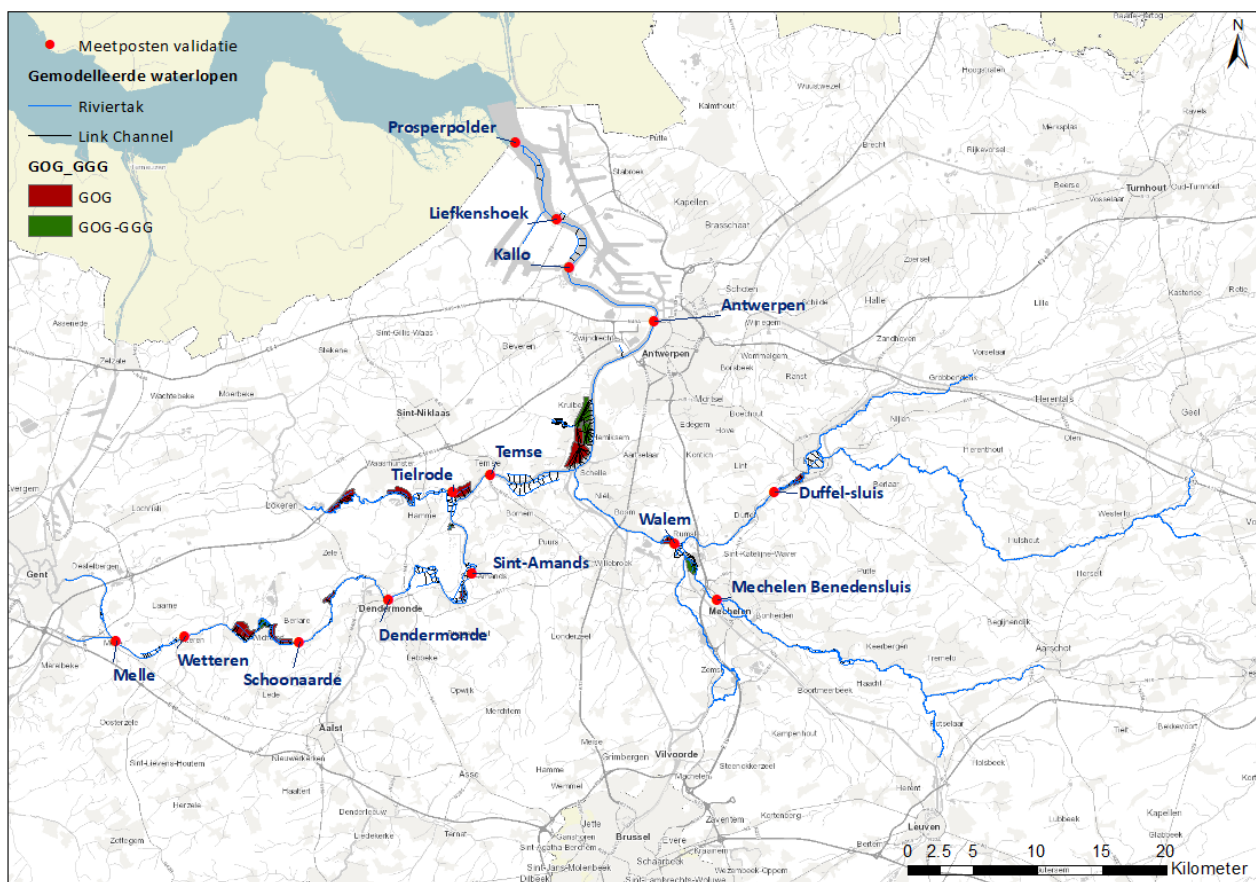
2 1D-numeriek model

2.1 Basismodel

Het basismodel is een hoofdwaterlopenmodel van de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren. De niet-gecontroleerde overstromingsgebieden zijn niet opgenomen in het model. De (actieve) gecontroleerde overstromingsgebieden zijn wel opgenomen in het model. Het model werd gebruikt voor de hindcast van storm van januari 2018, die wordt beschreven in (Coen *et al.*, 2018). Een verdere beschrijving van het model wordt gegeven in (Bogman *et al.*, 2018). Voor de hindcast van de storm van januari 2018 werd de bathymetrie van de Durme opwaarts Waasmunster brug in het model geactualiseerd volgens de opmetingen van december 2017.

2.2 Model PA013_Prospers2018

Voor de opmaak van de astronomische voorspellingen wordt het basismodel aan de afwaartse rand geknipt ter hoogte van de meetpost te Prosperpolder. Figuur 1 toont de gemodelleerde waterlopen in het Prospermodel.



Figuur 1 – Overzicht Prospermodel

2.3 Software

De software gebruikt van de 1D-hydrodynamische berekeningen is Mike11, versie 2017 SP2 (DHI, 2017).

Voor de verwerking van de gegevens in GIS wordt gebruik gemaakt van ArcMAP 10.4.1 (ESRI, 2015).

2.4 Geografische referentie en tijdszone

Het verticaal referentievlak is TAW, en als coördinatenstelsel wordt voor het 1D-model Lambert1972 gebruikt.

De gebruikte tijdsreferentie is GMT+1 (winteruur).

2.5 Versiebeheer

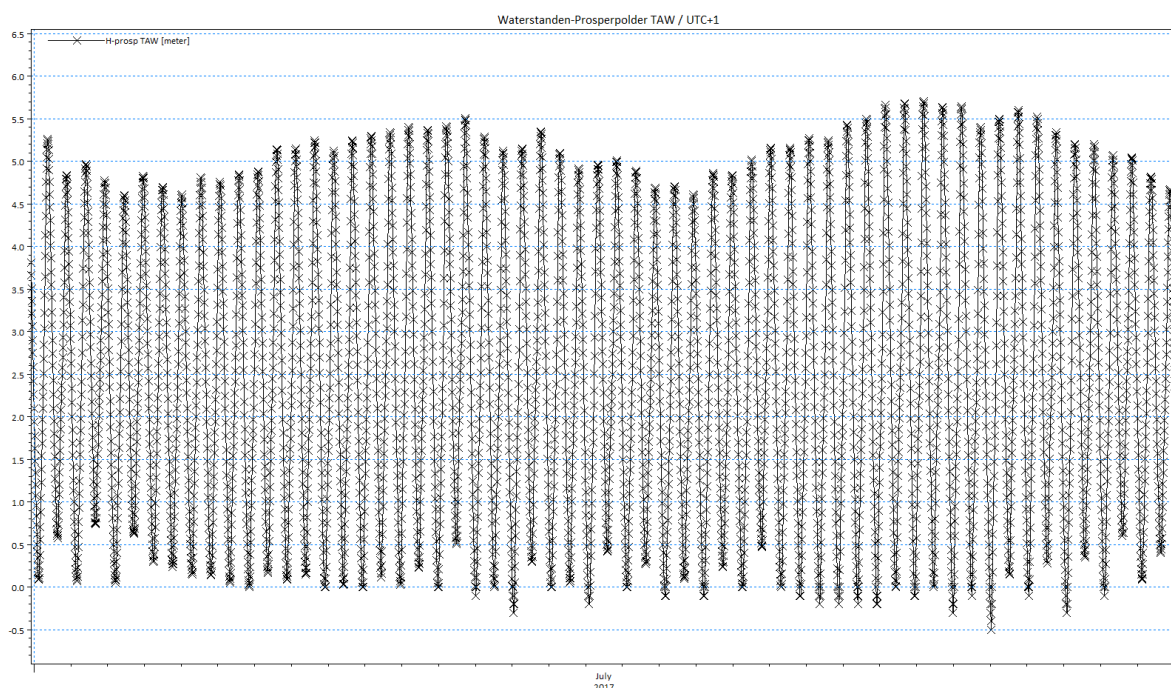
De modellen die gebruikt zijn in het kader van deze studie zijn gearcheeerd in het versiebeheer: https://wl-subversion.vlaanderen.be/svn/repoSpNumMod/MIKE11/Sigma/SIGMA20210112_PA013 revisie 4682

2.6 Randvoorwaarden

Voor de validatie van het Prospermodel wordt gebruik gemaakt van gemeten waterpeilen en debieten voor de maand juli 2017.

2.6.1 Afwaarts waterpeil

Aan de afwaartse rand wordt het gemeten waterpeil ter hoogte van de meetpost te Prosperpolder opgelegd (zie Figuur 2). Deze periode omvat twee doottij-springtijcycli, zonder extreme waarden.



Figuur 2 – Opgelegd waterpeil afwaartse rand Prosperpolder

2.6.2 Opwaartse debieten

Beschikbare data

Aan de opwaartse randen van het model worden debieten opgelegd. Indien beschikbaar, wordt gebruik gemaakt van gemeten debietreeksen. Deze zijn beschikbaar via waterinfo.be. Tabel 1 geeft een overzicht van de beschikbare debietreeksen.

Tabel 1 – Overzicht beschikbare gemeten debietreeksen

Waterloop	Locatie	Nr meetpost	Bron	Frequentie
Barbierbeek	Bazel	008	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Kleine Molenbeek	Liezele	036	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Grote Molenbeek	Malderen	037	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Kleine Nete	Grobbendonk	knt03a	Waterinfo, HIC	Kwartierlijks
Grote Nete	Geel-Zammel	gnt07	Waterinfo, HIC	Kwartierlijks
Grote Laak	Tessenderlo	087	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Dijle	Wilsele	093	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Demer	Aarschot	dem02a	Waterinfo, HIC	Kwartierlijks
Winge	Rotselaar	141	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Grote Loting	Wezemaal	143	Waterinfo, VMM	Kwartierlijks
Zenne	Eppegem	zen03a	Waterinfo, HIC	Kwartierlijks
Dender	Dendermonde	zes47a	Waterinfo, HIC	Daggemiddeld
Zeeschelde	Melle	zes57a	Waterinfo, HIC	Daggemiddeld

Opwaartse randen - bemeten bekken

In het hoofdwaterlopenmodel zijn er voor de opwaartse randen van de waterlopen gemeten debietreeksen beschikbaar, uitgezonderd voor de Grote Nete. Tabel 2 geeft een overzicht van de opwaartse randen en de opgelegde debietreeksen. Figuur 3 toont het verloop van de opgelegde debieten aan de opwaartse modelranden. Voor de Zeeschelde te Melle en de Dender te Dendermonde zijn deze debieten over de hele periode lager dan het gemiddelde van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien in 2017, zoals weergegeven in het Moneos Jaarboek voor 2017 (Plancke *et al.*, 2018)(Vandenbruwaene *et al.*, 2018).

Tabel 2 – Opgelegde (gemeten) debietreeksen aan opwaartse randen van het model

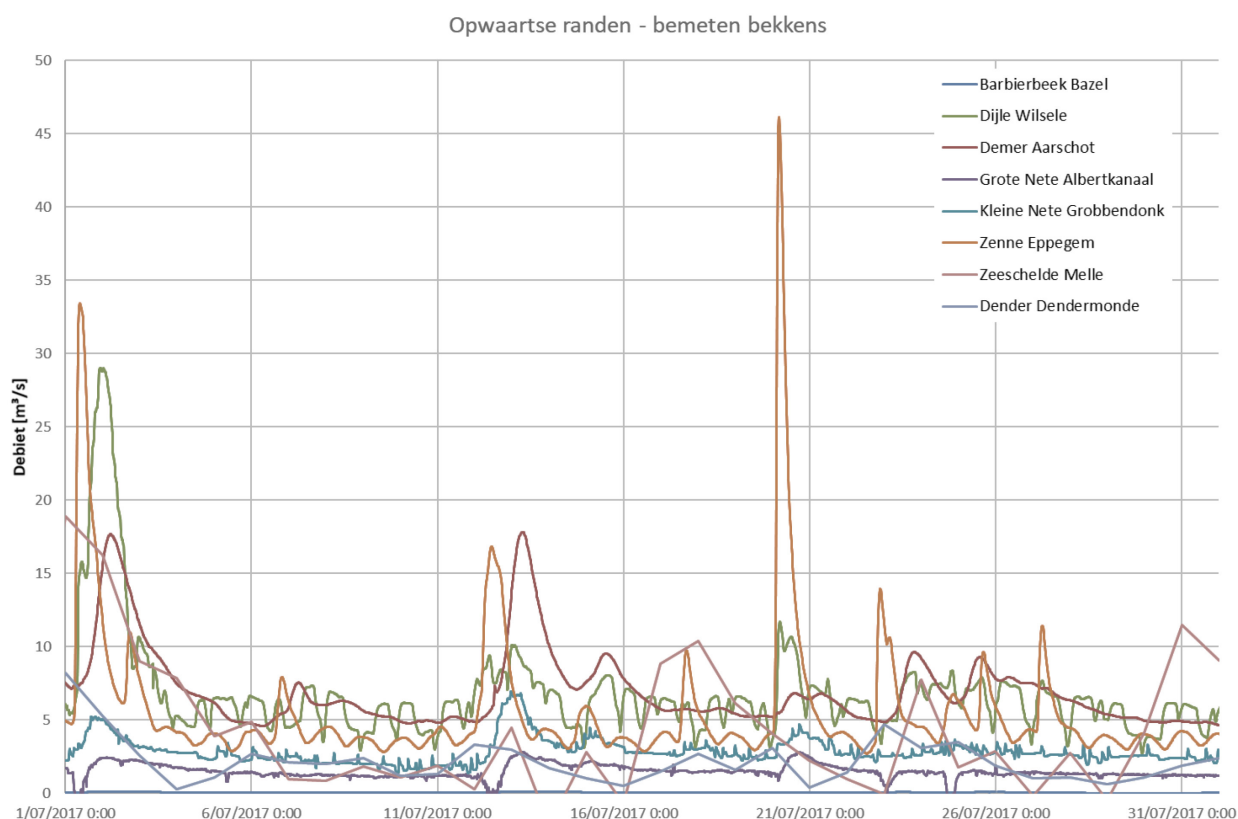
Opwaartse rand	Meetpost gemeten debietreeks
Barbierbeek, Bazel	008 – Bazel/Barbierbeek
Demer, Aarschot	dem02a – Aarschot/Demer
Dijle, Wilsele	093 – Wilsele/Dijle
Durme, Lokeren	*
Grote Nete, Albertkanaal	gnt07a – Geel-Zammel/ Grote Nete**
Kleine Nete, Grobbendonk	knt03a – Grobbendonk/Kleine Nete
Zenne, Eppegem	zen03a – Zenne/Eppegem
Zeeschelde, Dendermonde	zes47a – Dendermonde/Dender***
Zeeschelde, Merelbeke	zes57a – Zeeschelde/Melle****

*Aan de opwaartse rand van de Durme wordt een constant debiet van 0,78 m³/s opgelegd, als zijnde afkomstig van de RWZI Lokeren.

** Het debiet aan de opwaartse rand van de Grote Nete, ter hoogte van het Albertkanaal, wordt berekend als het verschil tussen het debiet te Geel-Zammel en het debiet afkomstig van de Grote Laak. Dit laatste wordt berekend door middel van een herschaling van het debiet van de Grote Laak te Tessenderlo.

*** De Dender wordt niet als een aparte waterloop meegenomen in het model. Het daggemiddelde debiet van de Dender wordt wel als een randvoorwaarde opgelegd aan de Schelde in Dendermonde.

**** Aan de opwaartse rand van de Zeeschelde dienen debieten opgelegd te worden aan de stuw te Merelbeke. Het gemeten daggemiddelde debiet te Melle wordt opgelegd aan de opwaartse rand te Merelbeke.



Figuur 3 – Verloop opgelegde debieten aan opwaartse modelranden

Zijdelingse instroom – onbemeten (deel)bekkens

In het hoofdwaterlopenmodel is de rainfall-runoff voor de afvoer vanuit zijrivieren en bijhorende bekken verdeeld over de hoofdwaterlopen.

Voor de zijdelingse instroom vanuit (deel)bekkens zijn niet steeds gemeten debietreeksen beschikbaar. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van herschaalde debietreeksen van naburige (deel)bekkens. De herschaling wordt uitgevoerd op basis van de relatieve oppervlakte van de betrokken deelbekkens.

Tabel 3 geeft een overzicht van de onbemeten (deel)bekkens die opgenomen zijn in het model en de meetpost waarvan de debietreeks herschaald werd.

Tabel 3 – Herschaalde debietreeksen opgelegd aan onbemeten deelbekkens

Onbemeten (deel)bekken	ID deelbekken	Meetpost herschaalde debietreeks
Durme-Zuid	V04DUR000080	008
Durme-Noord	V04DUR000090	008
Ledebeek (Durme)	V04LED000220	008
Lokerenbeek (Durme)	V04LOK000060	008
Rupel-RO (Rupel)	V04RUP000150	036
Molenbeek-Vliet (Rupel)	V04VLI000140	036
Zebeek (Durme)	V04ZEL000050	008
Zielbeek (Durme)	V04ZIE000120	008
Zwarthebeek (Rupel)	V04ZWA000130	036
Barebeek (Dijle)	V08BAR000375	110 / 093*
Dijle	V08DIJ000390	110 / 093*
Dijle	V08DIJ000440	110 / 093*
Dijle	V08DIJ000455	110 / 093*
Vunt	V08DIJ000425	093
Grote Laakbeek (Dijle)	V08GLA000450	122
Leibeek (Dijle)	V08LEI000420	110 / 093*
Lier (Benedennete)	V08LIE000510	052
Vrouwvliet (Dijle)	V08VRO000460	110 / 093*
Weesbeek (Dijle)	V08WEE000410	110 / 093*
Zenne-onbemeten	V08ZEN000480	175
Heilaakbeek (Demer)	V09HEI000290	122
Moutlaak (Demer)	V09MOU000280	122
Winge (Demer)	V09WIN000320	141
Bergebeek (Grote Nete)	V10BER000100	087
Bevelsebeek (Grote Nete)	V10BEV000120	087
Gestelbeek (Grote Nete)	V10GES000130	087
Goorloop (Grote Nete)	V10GOO000080	087
Kleine Laak (Grote Nete)	V10KLA076030	087
Krekelbeek (Kleine Nete)	V10KRE000110	052 / 076*
Molenbeek (Grote Nete)	V10MOL000060	087
Molenbeek/Bollaak (Kleine Nete)	V10MOP000150	087
Benedennete-LO	V10NET000170	052 / 076*
Benedennete-RO	V10NET000180	052 / 076*
Rode Laak (Grote Nete)	V10ROL000040	087
Steenkensbeek (Grote Nete)	V10STE000070	087
Tappelbeek (Kleine Nete)	V10TAP000160	087
Wimp (Grote Nete)	V10WIM000090	087

*In sommige gevallen is de meetreeks van een meetpost niet volledig over de beschouwde periode. De gaten in deze meetreeksen worden opgevuld door herschaling van het debiet van een andere nabijge meetpost.

2.7 Simulatieperiode

Op basis van beschikbare data en initiële condities werd volgende simulatieperiode gekozen:

1/07/2017 3:00:00 – 01/08/2017

Deze periode begint bij een laagwater in Prosperpolder.

3 Validatie

3.1 Gegevens

Voor de evaluatie van de simulatieresultaten wordt gebruik gemaakt van gemeten waterpeilen langs de Zeeschelde en zijrivieren. Deze zijn beschikbaar via waterinfo.be.

Tabel 3 geeft een overzicht van de beschikbare meetreeksen van waterpeilen voor validatie.

Tabel 4 – Overzicht beschikbare meetreeksen waterpeilen voor validatie

Waterloop	Locatie	Nr meetpost	Bron
Zeeschelde	Prosperpolder	zes01a	Waterinfo, HIC
	Liefkenshoek	zes10a	Waterinfo, HIC
	Kallo	zes14a	Waterinfo, HIC
	Antwerpen	zes21a	Waterinfo, HIC
	Temse	zes36a	Waterinfo, HIC
	Sint-Amands	zes42a	Waterinfo, HIC
	Dendermonde	zes47a	Waterinfo, HIC
	Schoonaarde	zes49a	Waterinfo, HIC
	Wetteren	zes55c	Waterinfo, HIC
	Melle	zes57a	Waterinfo, HIC
Durme	Tielrode	dur01a	Waterinfo, HIC
Rupel	Walem	rup03a	Waterinfo, HIC
Benedennete	Duffel	bnt03	Waterinfo, HIC
	Lier Molbrug	bnt07a	Waterinfo, HIC
Dijle	Mechelen-benedensluis	dij06a	Waterinfo, HIC
Zenne	Hombeek	zen01a	Waterinfo, HIC
	Zemst	zen02a	Waterinfo, HIC

3.2 Methode validatie - VIMM

Voor de vergelijking van de gesimuleerde en de gemeten waterpeilen wordt gebruik gemaakt van VIMM.

VIMM staat voor Visualisatie Model en Metingen, en is een Matlab Toolbox ontwikkeld door het WL om op een gestandaardiseerde manier een hydraulisch model (waterbeweging) te vergelijken met een set meetgegevens.

De VIMM functionaliteiten met betrekking tot waterstand zijn:

- Plots van tijdreeksen
- Rechte analyse: statistiek op volledige tijdreeksen
- Scheve analyse: statistiek op HW/LW
- Harmonische analyse
- Omgaan met modellen en metingen in TAW en NAP

Voor deze studie zal gebruik gemaakt worden van de plots van de tijdreeksen, de statistische analyse van de tijdreeksen, en HW en LW, en van de harmonische analyse.

De plots met de gemeten en gesimuleerde tijdreeksen worden voor de verschillende meetposten langs de rivieren weergegeven in BIJLAGE A.

Statistische analyse

Bij de statistische analyse van de tijdreeksen worden de bias en RMSE berekend. Deze parameters worden als volgt gedefinieerd:

- Laat x de referentiereeks of de metingen zijn, met waardes x_i en y de te testen reeks of de modelresultaten met waardes y_i .

De *bias* is het verschil tussen de gemiddelden van de beschouwde tijdreeksen. Hoe kleiner de bias, hoe groter de overeenkomst tussen de beschouwde tijdreeksen. Een negatieve waarde van de *bias* geeft aan dat het model de meting onderschat.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$bias = \bar{y} - \bar{x}$ met $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$ waarbij N de lengte van de tijdreeksen is.

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

- De RMSE wordt als volgt gedefinieerd: $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}}$

Tijdreeksen die sterk overeenkomen, zullen resulteren in kleine RMSE-waarden.

Harmonische analyse

Met behulp van T-TIDE worden de harmonische componenten van het getij in de beschouwde tijdreeksen berekend. T-TIDE is een functie die de harmonische analyse van een tijdreeks berekent. Een beschrijving van de theoretische achtergrond van de analyse en enkele details van de implementatie kunnen teruggevonden worden in (Pawlowicz *et al.*, 2002).

Voor deze studie worden de harmonische component M2 en Z0 beschouwd. Bij de harmonische component M2 wordt naast de waarden van de amplitude steeds een waarde voor de fout op de berekende amplitude weergegeven. Deze wordt gedefinieerd als het 95%-betrouwbaarheidsinterval. De M2-amplitude komt overeen met de amplitude van het dubbeldaags maansgetij. Z0 is de middenstand of de gemiddelde hoogte van het wateroppervlak over alle fasen van het getij.

3.3 Validatieresultaten

De grafieken met tijdreeksen van gemeten en gesimuleerde waterpeilen worden weergegeven in BIJLAGE A.

De figuren met de resultaten van de statistische analyse worden weergegeven in BIJLAGE B.

De resultaten van de VIMM-analyse kunnen eveneens teruggevonden worden op volgende locatie op de netwerkschijf: P:\PA013-AstrVoorspelli\3_Uitvoering\Tijboekje\Tijboekje 2022\03_Run-Prospermodel\PA013_Prosper2018_2017\VIMM

3.3.1 Zeeschelde

Langs de Zeeschelde worden de gesimuleerde en gemeten waterpeilen vergeleken ter hoogte van de meetposten te Liefkenshoek, Kallo, Antwerpen, Temse, Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde, Wetteren en Melle.

Tabel 4 geeft een overzicht van de resultaten van de statistische analyse voor de meetposten langs de Zeeschelde. De absolute waarde van BIAS van de volledige tijdreeks is voor alle meetposten, uitgezonderd Melle, kleiner dan 10 cm. De RMSE voor de volledige tijdreeks neemt toe naar opwaarts toe.

Ter hoogte van Temse is zowel de BIAS als de RMSE voor de hoogwaters het hoogst. Voor de andere meetposten zijn deze (absolute) waarden kleiner of gelijk aan 10 cm. Tussen Liefkenshoek en Schoonaarde worden de hoogwaters onderschat door het model.

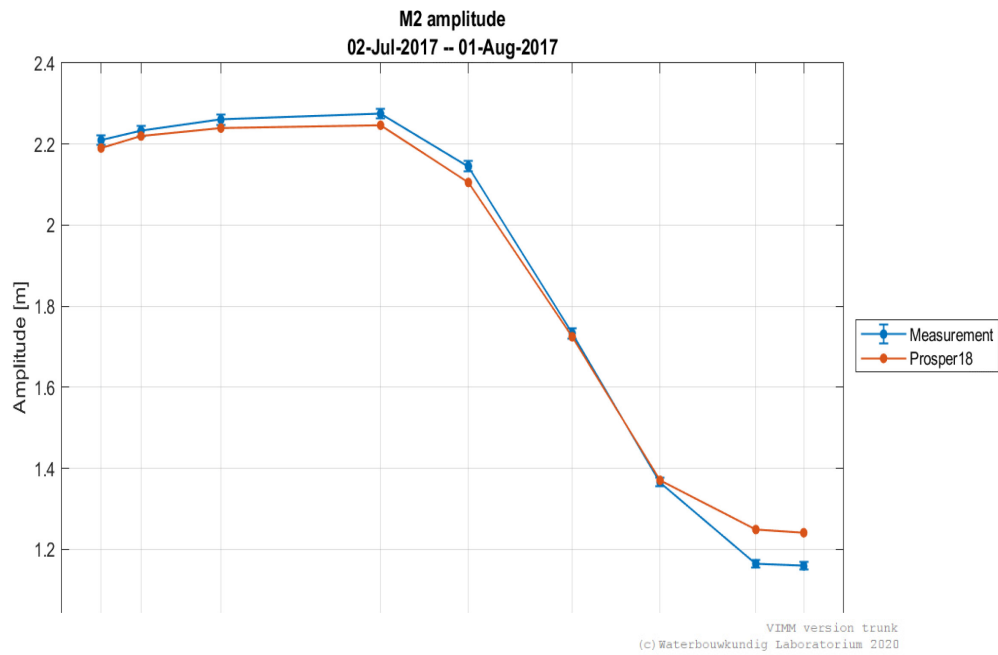
Zowel de BIAS als de RMSE van de laagwaters is tot en met Schoonaarde kleiner of gelijk aan 5 cm. De laagwaters vanaf Antwerpen worden onderschat door het model. De hogere waarden ter hoogte van Wetteren en Melle zijn mogelijks te verklaren door het opleggen van het dagelijks debiet te Melle aan de opwaartse rand.

Figuur 4 toont de M2 amplitude voor de gemeten en gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van de meetposten langs de Zeeschelde. Afwaarts Dendermonde wordt de M2 amplitude onderschat in de simulatie. Het verschil bedraagt echter maximum 4 cm ter hoogte van Sint-Amands. Ter hoogte van Wetteren en Melle is de gesimuleerde M2 amplitude te groot, met een verschil van 8 cm.

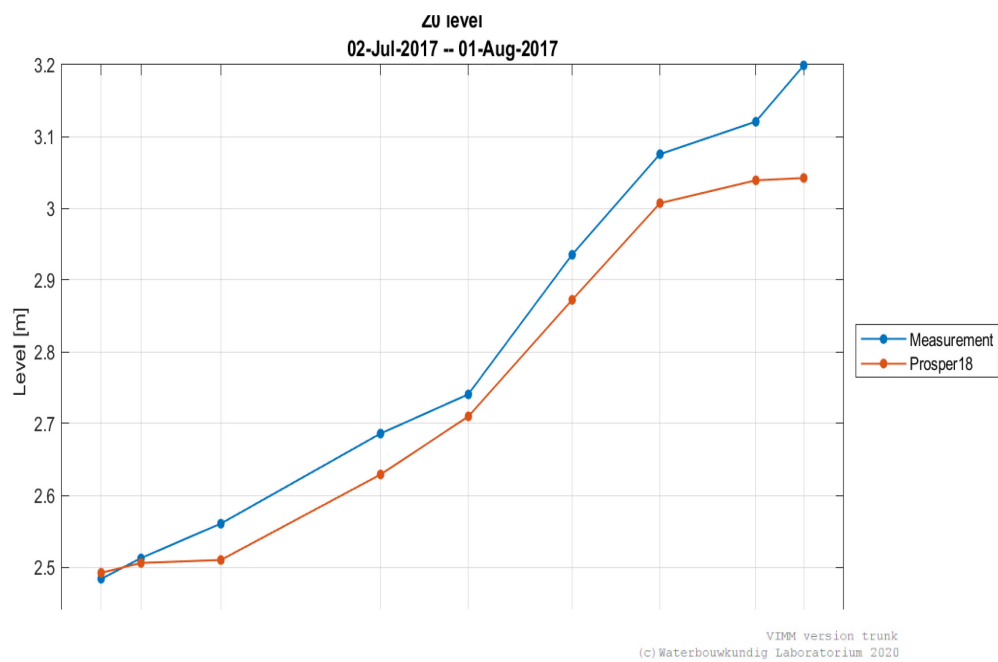
Figuur 5 toont de Z0 voor de gemeten en gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van de meetposten langs de Zeeschelde. Vanaf Kallo is de Z0 van gesimuleerde waterpeilen kleiner dan deze van gemeten waterpeilen. Het verschil wordt groter naar opwaarts toe, met een maximum verschil van 16 cm te Melle.

Tabel 5 – Resultaten statistische analyse meetposten Zeeschelde

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Liefkenshoek	0.01	0.04	-0.01	0.01	0.04	0.05
Kallo	-0.01	0.06	0.00	0.01	0.02	0.04
Antwerpen	-0.05	0.10	-0.06	0.07	-0.01	0.04
Temse	-0.06	0.14	-0.11	0.11	-0.03	0.04
Sint-Amands	-0.03	0.15	-0.06	0.07	0.00	0.03
Dendermonde	-0.06	0.14	-0.04	0.05	-0.04	0.05
Schoonaarde	-0.07	0.17	-0.06	0.07	-0.02	0.04
Wetteren	-0.08	0.16	0.08	0.10	-0.11	0.12
Melle	-0.16	0.19	0.06	0.08	-0.22	0.23



Figuur 4 – M2 amplitude gesimuleerde versus gemeten waterpeilen – meetposten Zeeschelde



Figuur 5 – Z0 gesimuleerde versus gemeten waterpeilen – meetposten Zeeschelde

3.3.2 Durme

Langs de Durme worden enkel voor de meetpost te Tielrode de gemeten en gesimuleerde waterpeilen vergeleken (zie Tabel 5). De afwijking van de hoogwaters ter hoogte van Tielrode is, net als bij de meetpost te Temse, groter dan de afwijking van de laagwaters. De hoogwaters worden onderschat door het model, en de laagwaters overschat. Dit geeft een onderschatting van de getijamplitude.

Tabel 6 – Resultaten statistische analyse meetposten Durme

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Tielrode	-0.05	0.16	-0.09	0.09	0.01	0.04

3.3.3 Rupel

Langs de Rupel worden enkel voor de meetpost te Walem de gemeten en gesimuleerde waterpeilen vergeleken (Tabel 6). De afwijking is bij de hoog- en laagwaters quasi gelijk, met 6 tot 7 cm. Zowel de hoog- als laagwaters worden onderschat door het model.

Tabel 7 – Resultaten statistische analyse meetposten Rupel

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Walem	-0.06	0.13	-0.06	0.07	-0.07	0.07

3.3.4 Benedennete

Langs de Benedennete worden voor de meetposten te Duffel-sluis en Lier Molbrug de gemeten en gesimuleerde waterpeilen vergeleken (Tabel 7). De afwijking bij de laagwaters is kleiner dan deze bij de hoogwaters. De maximale absolute waarde voor de bias bedraagt 5 cm voor de volledige tijdreeks en de hoogwaters, en 2 cm voor de laagwaters. Voor beide meetposten worden de hoogwaters onderschat door het model.

Tabel 8 – Resultaten statistische analyse meetposten Benedennete

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Duffel-sluis	-0.05	0.08	-0.05	0.06	0.02	0.03
Lier Molbrug	-0.03	0.07	-0.04	0.05	-0.01	0.03

3.3.6 Dijle

Langs de Dijle worden enkel voor de meetpost te Mechelen-benedensluis de gemeten en gesimuleerde waterpeilen vergeleken (zie Tabel 8). De afwijking van de hoogwaters is groter dan de afwijking van de laagwaters. De maximale absolute waarde voor de bias bedraagt 2 cm voor de volledige tijdreeks en de hoogwaters, en 25 cm voor de laagwaters. De hoogwaters worden onderschat, en de laagwaters worden overschat door het model.

Tabel 9 – Resultaten statistische analyse meetposten Dijle

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Mechelen-benedensluis	0.02	0.22	-0.02	0.05	0.25	0.27

3.3.7 Zenne

Langs de Zenne worden voor de meetposten te Hombeek en Zemst de gemeten en gesimuleerde waterpeilen vergeleken (Tabel 9). De afwijking bij de hoogwaters is kleiner dan deze bij de laagwaters. De maximale absolute waarde voor de bias bedraagt 9 cm voor de volledige tijdreeks, 7 cm voor de en de hoogwaters, en 11 cm voor de laagwaters. Voor de laagwaters te Hombeek bedraagt de bias 0 cm. Voor beide meetposten worden de hoogwaters onderschat.

Tabel 10 – Resultaten statistische analyse meetposten Zenne

	Volledige tijdreeks		HW		LW	
	BIAS TS	RMSE TS	BIAS HW	RMSE HW	BIAS LW	RMSE LW
	[m]	[m]	[m]	[m]		[m]
Hombeek	-0.02	0.13	-0.03	0.01	0	0.06
Zemst	-0.09	0.15	-0.07	0.08	-0.11	0.13

4 Conclusies

Voor de opmaak van de astronomische voorspellingen voor de meetposten langs de Zeeschelde opwaarts Prosperpolder wordt gebruik gemaakt van 1D-numerieke modellering. Het gebruikte 1D-model is gebaseerd op het hoofdwaterlopenmodel van de Zeeschelde, afgeknipt aan de meetpost te Prosperpolder. Aan de afwaartse rand te Prosperpolder worden waterpeilen opgelegd.

Ter validatie van dit model werd een zomermaand, juli 2017, doorgerekend. Hierbij werden zowel voor de afwaartse waterpeilen als opwaartse debieten gemeten of herschaalde waarden gebruikt. De gesimuleerde waterpeilen ter hoogte van de meetposten langs de Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren zijn vergeleken met gemeten waarden. Langs de Zeeschelde wordt de afwijking tussen de gemeten en gesimuleerde waterpeilen, zoals te verwachten, groter naar opwaarts toe. Tot Schoonaarde worden de hoogwaters door het model onderschat. In combinatie met een kleinere afwijking, veelal onderschatting, op de laagwaters leidt dit tot een onderschatting van de M2-amplitude afwaarts Schoonaarde. Ter hoogte van Temse is de afwijking van de hoogwaters iets groter. Dit is mogelijk te wijten aan een lokaal effect. Bij de meetposten van Wetteren en Melle zijn de afwijkingen op de laagwaters groter dan 10 cm, met een onderschatting door het model. De hoogwaters worden hier overschat. De bovenafvoer heeft hier echter een grotere invloed op de waterpeilen en mogelijk speelt ook het effect van het gebruik van een daggemiddeld debiet aan de opwaartse rand te Melle.

Ter hoogte van de meetposten langs de zijlopen zijn de (absolute) waarden RMSE en BIAS voor de hoogwaters steeds kleiner dan 10 cm. Ook hier worden de hoogwaters onderschat door het model. Voor de laagwaters zijn deze waarden enkel op de Dijle ter hoogte van Mechelen-benedensluis en op de Zenne ter hoogte van Zemst groter dan 10 cm, met respectievelijk een overschatting en onderschatting door het model.

5 Referenties

Bogman, P.; Gullentops, C.; Deschamps, M.; Peeters, D.; Mostaert, F. (2018). Uitbreiding functionaliteit voorspellingssysteem HIC: FEWS Vlaanderen 2: deelrapport 2. Klaarmaken modellen voor inbouw in FEWS Vlaanderen. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 15_105_2. IMDC: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=292686>

Coen, L.; Deschamps, M.; Vanderkimpfen, P.; Mostaert, F. (2018). Hindcast storm 3 januari 2018 met 1D-modellen: 30/12/2017 - 09/01/2018: Antwerpen

Pawlowicz, R.; Beardsley, B.; Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci.* 28(8): 929–937

Plancke, Y.; Schramkowski, G.; Vandenbruwaene, W.; Mostaert, F. (2018). ANPHYECO-Seine – Hydro-geomorphology of the Seine estuary: ‘Cubage’ calculation. Version 4.. *FHR reports*, 14_120_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=300204>

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michielsens, S.; Van De Moortel, I.; Vos, G.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2018). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2017: Deelrapport 7. Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2017. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 12_070_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://www.vliz.be/nl/open-marien-archief?module=ref&refid=300451>

Vanlede, J.; Coen, L.; Deschamps, M. (2014). Tidal Prediction in the Sea Scheldt (Belgium) Using a Combination of Harmonic Tidal Prediction and 1D Hydraulic Modeling. *Nat. Resour.* 05(11): 627–633. doi:10.4236/nr.2014.511055

Vanlede, J.; Plancke, Y.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2020). PA013 – Opstellen astronomische voorspellingen: Deelrapport 1 – Update harmonische componenten Prosperpolder. Versie 0.1. *WL Rapporten*, PA013_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

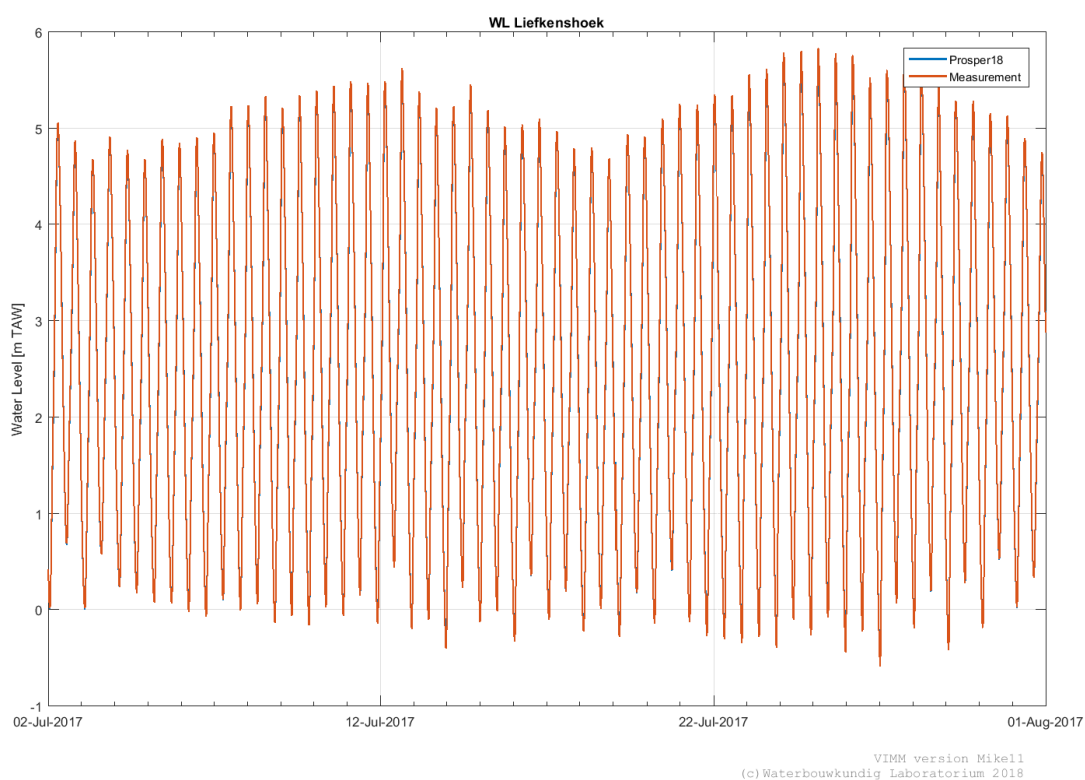
BIJLAGE A Tijdreeksen waterpeilen rivieren

Legende

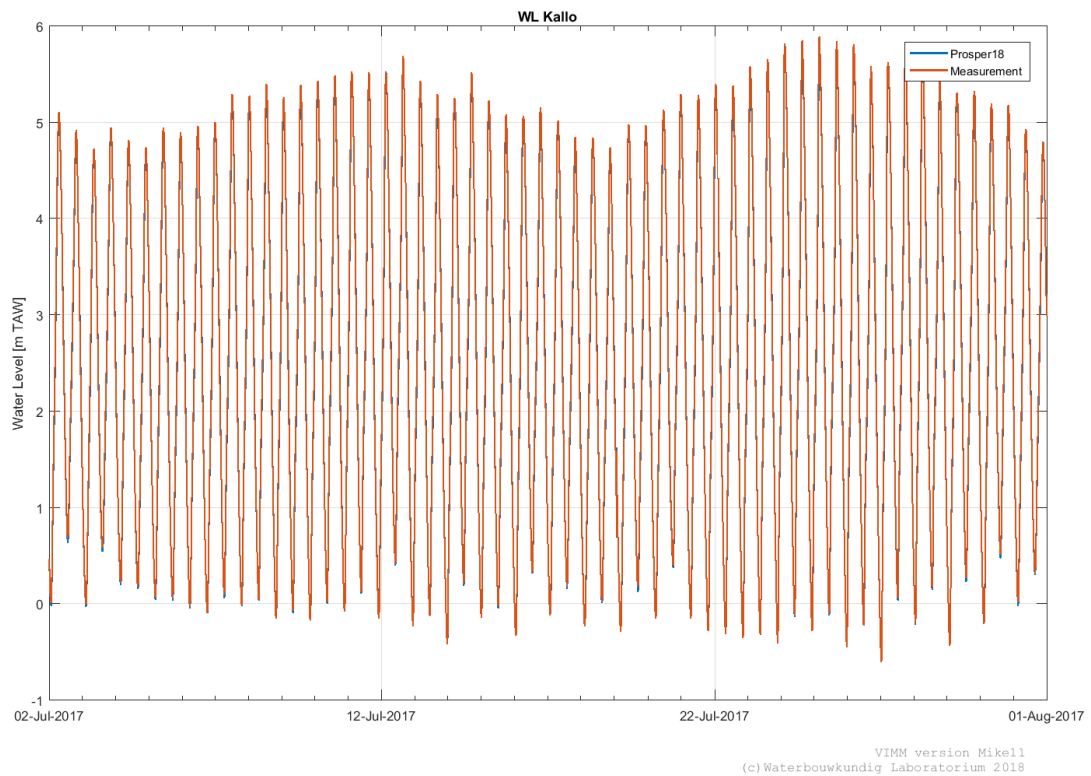
Blauw = gesimuleerd waterpeil

Oranje = gemeten waterpeil

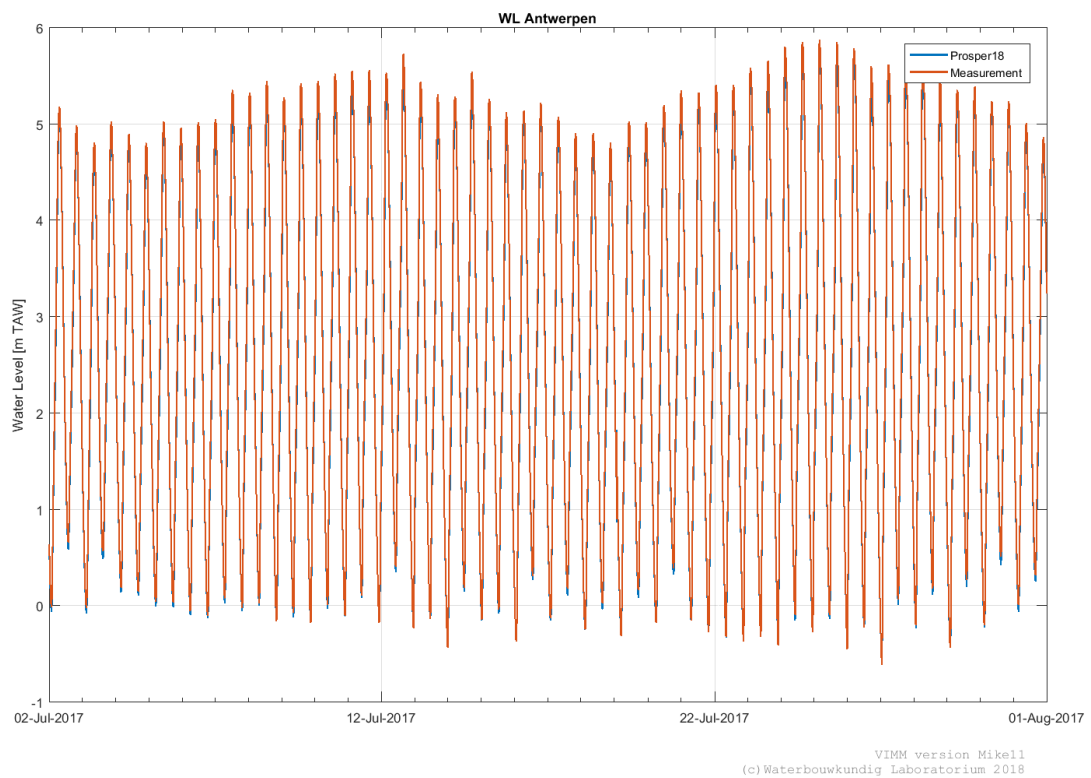
Zeeschelde



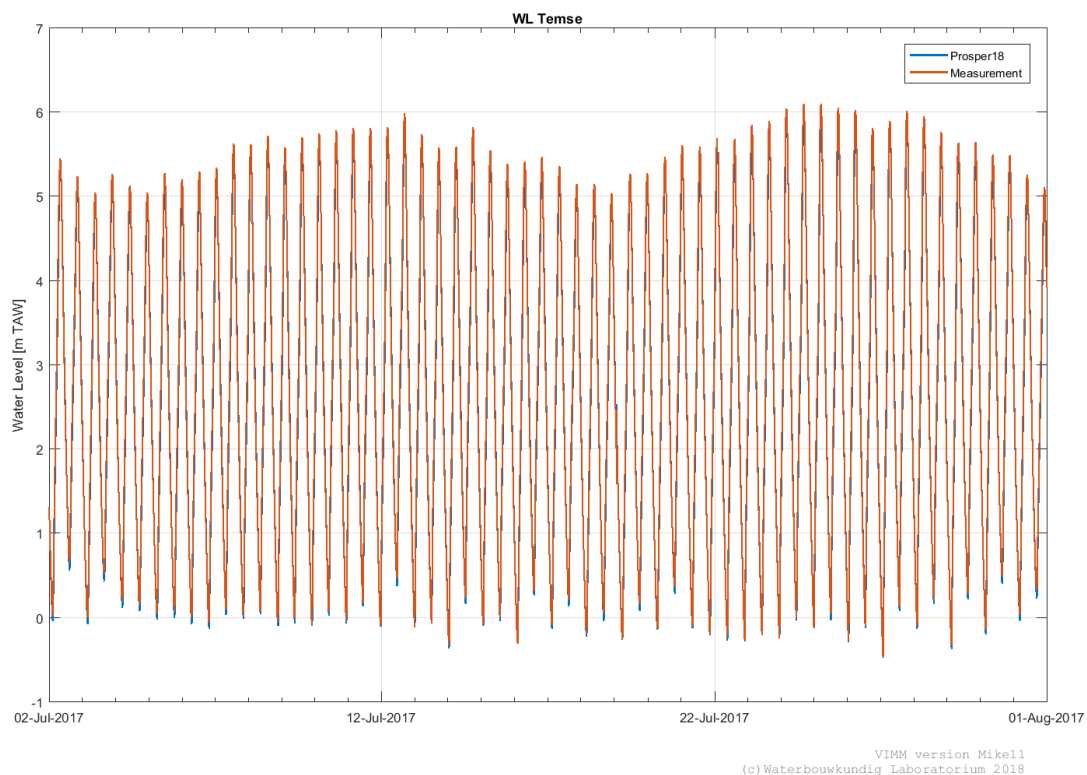
Figuur 6 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Liefkenshoek



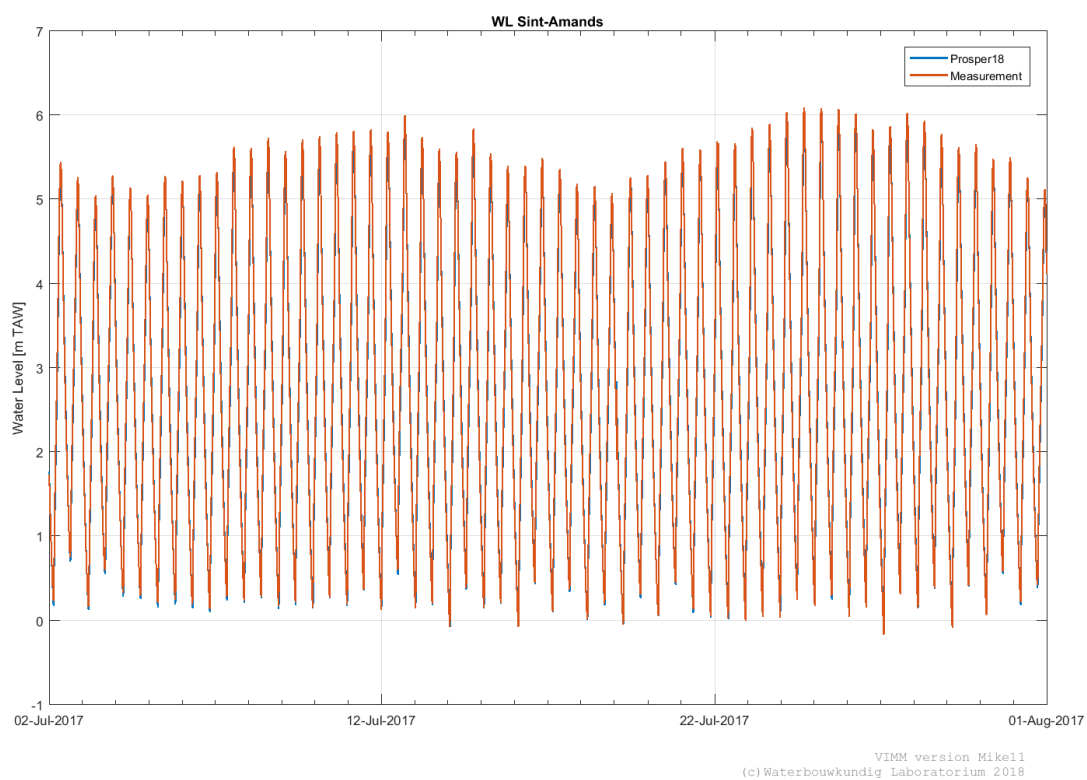
Figuur 7 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Kallo



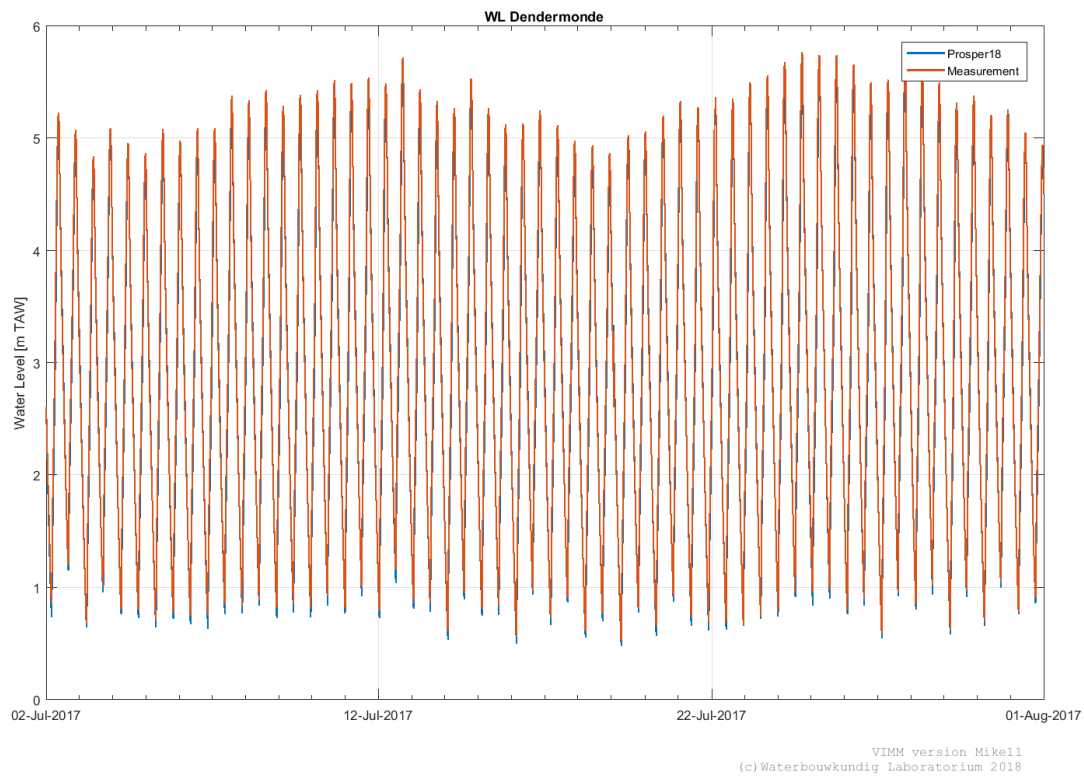
Figuur 8 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Antwerpen



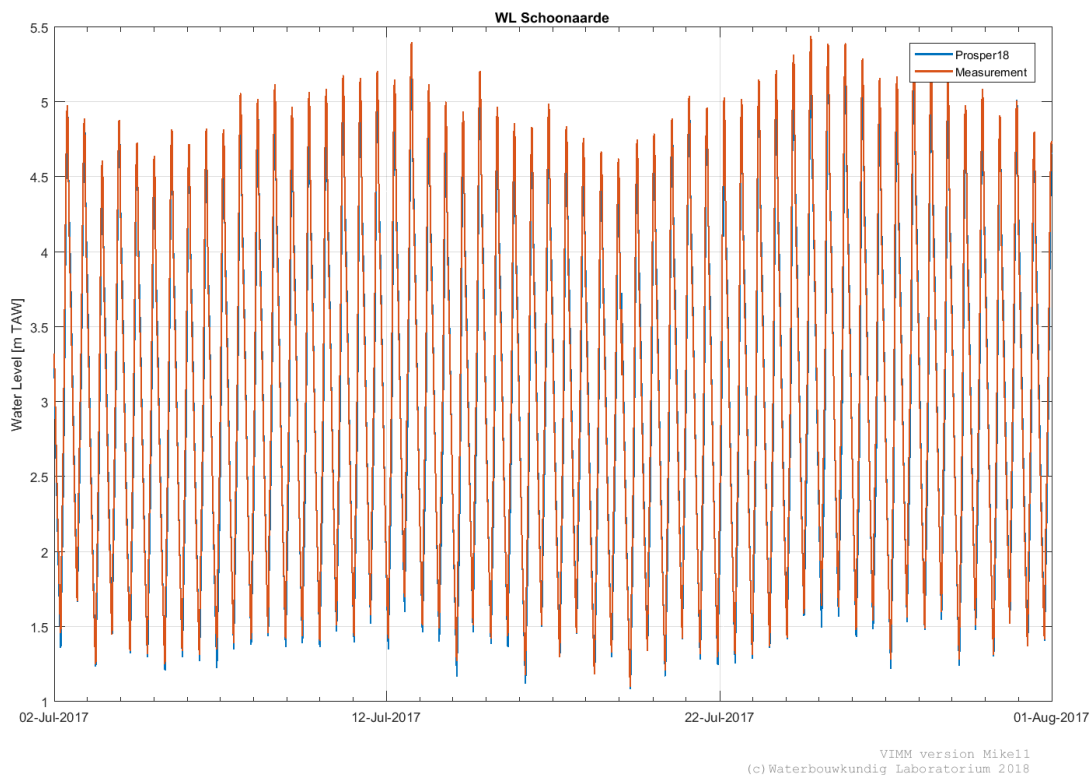
Figuur 9 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Temse



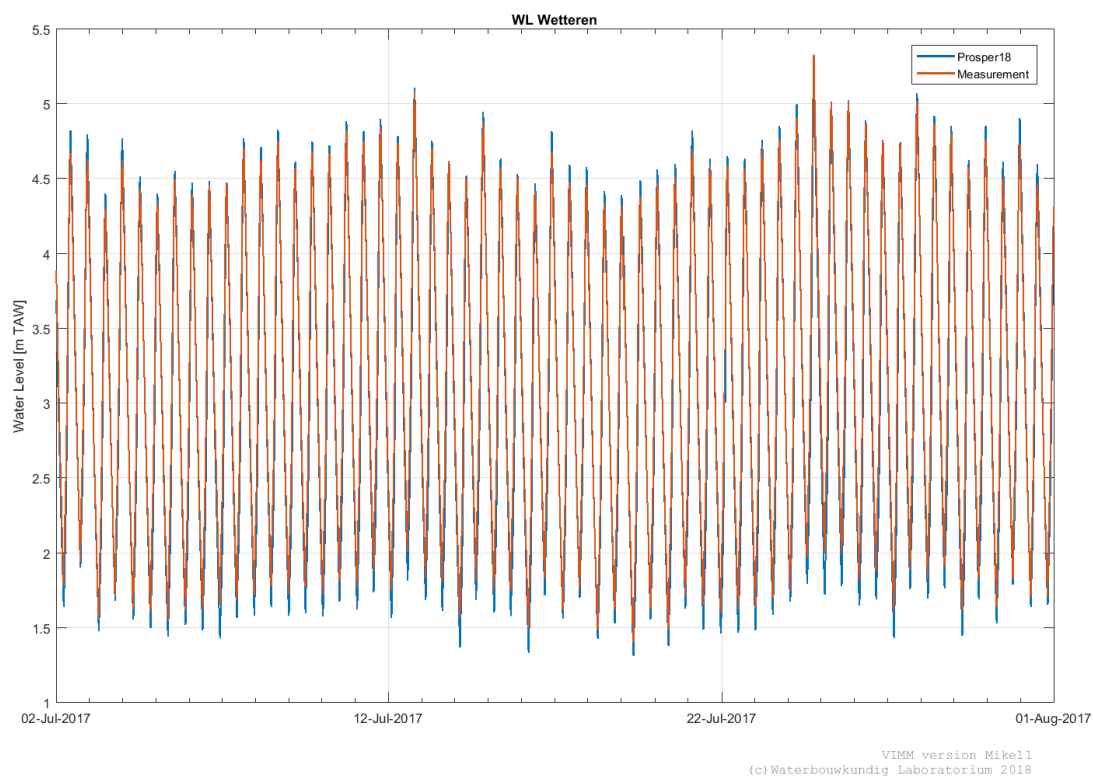
Figuur 10 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Sint-Amands



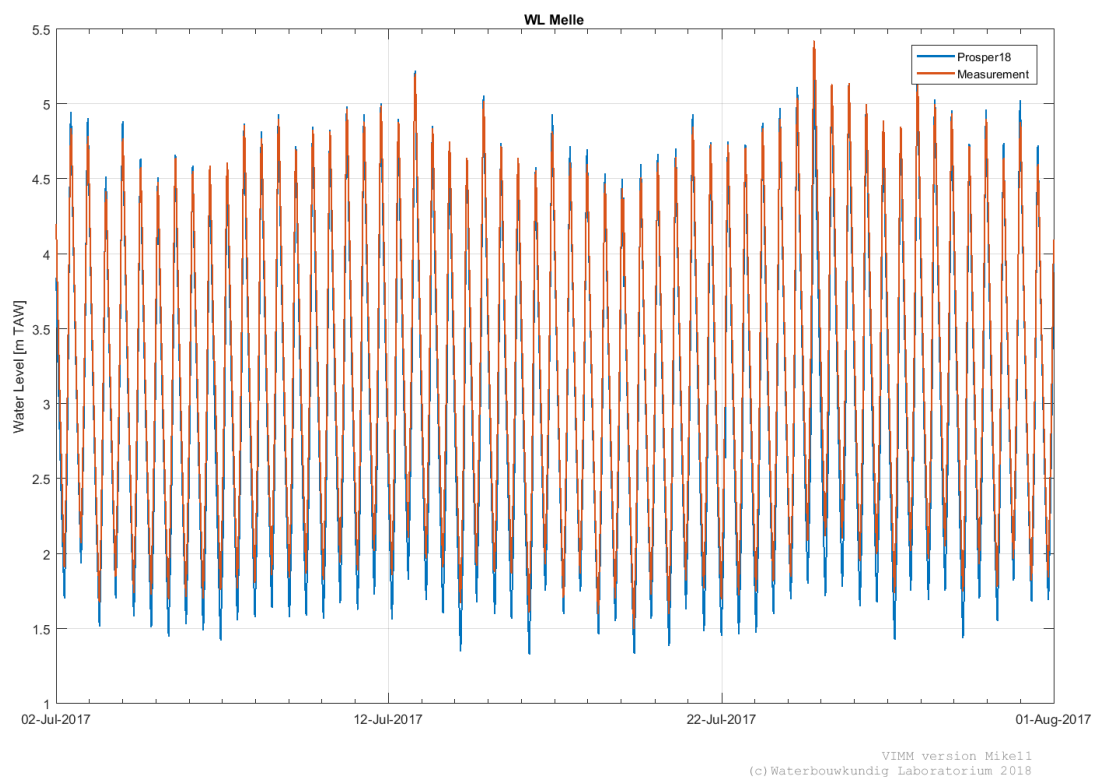
Figuur 11 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Dendermonde



Figuur 12 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Schoonaarde

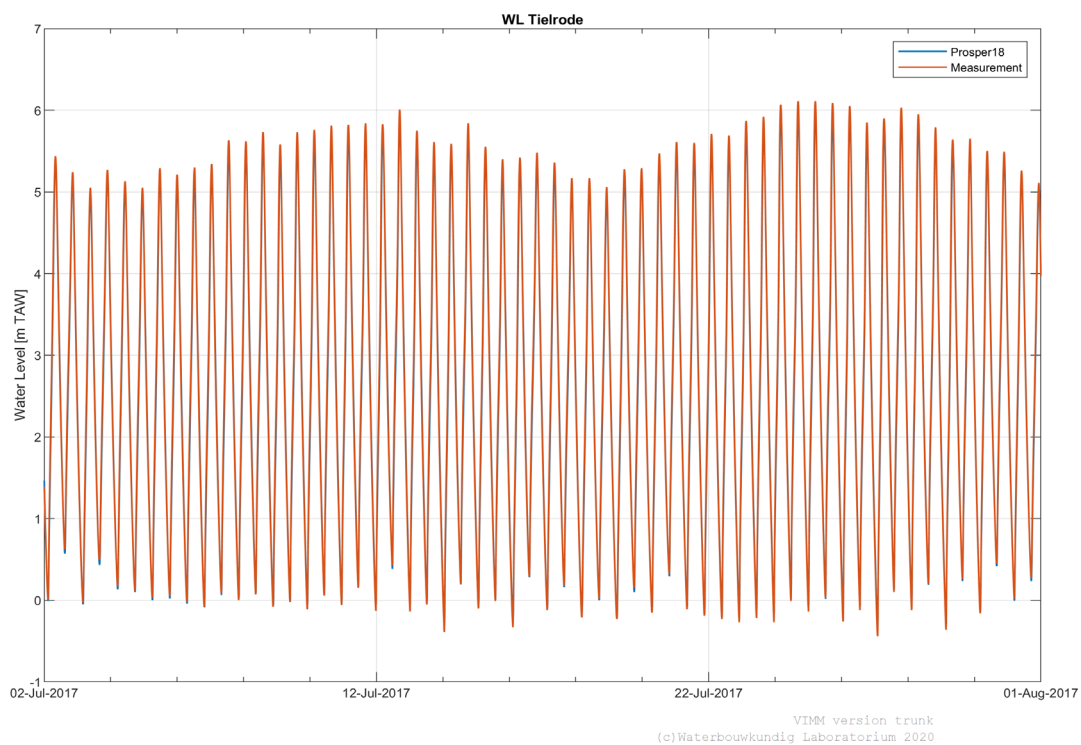


Figuur 13 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Wetteren



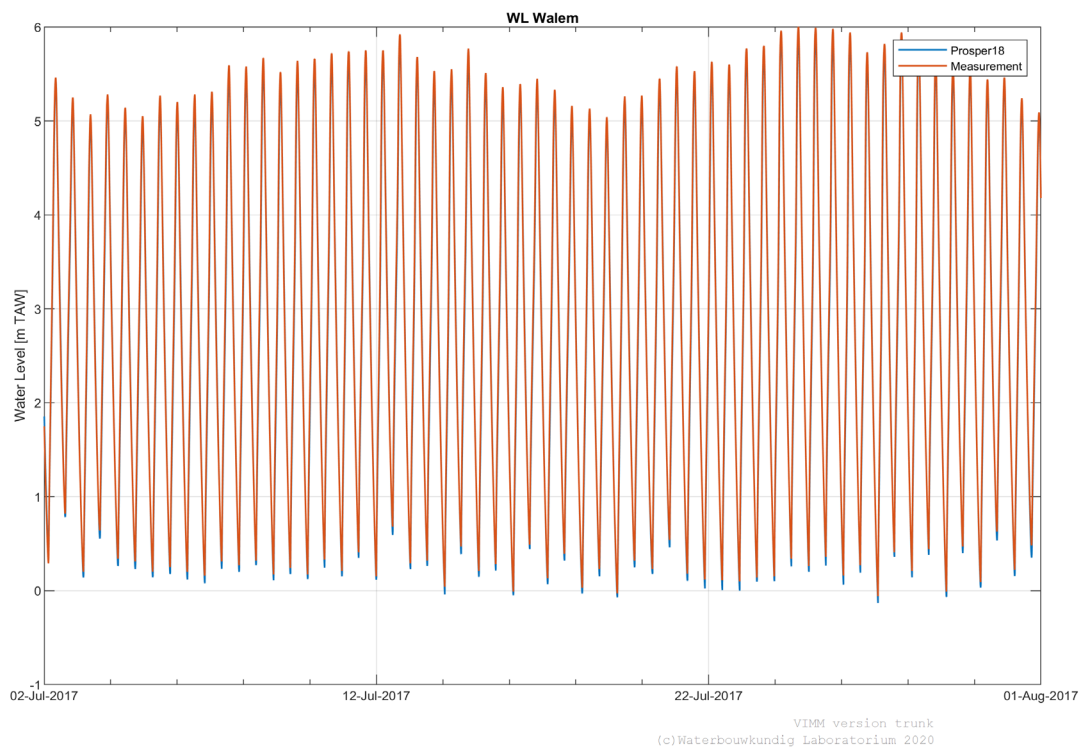
Figuur 14 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zeeschelde te Melle

Durme



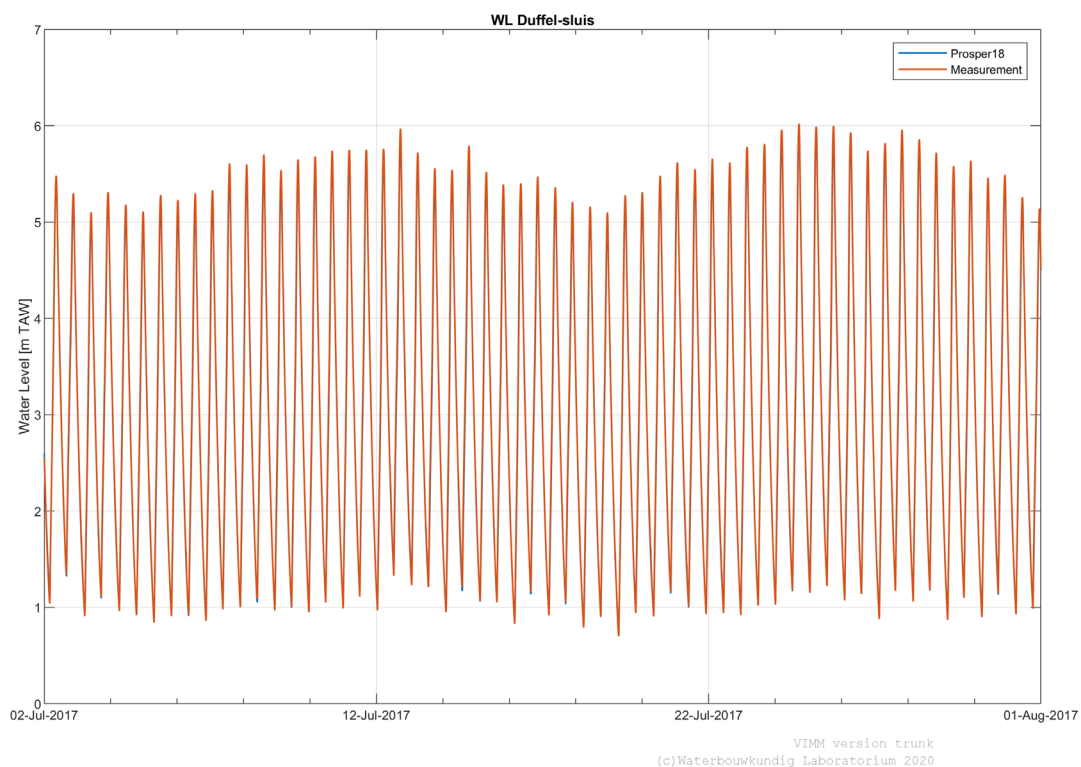
Figuur 15 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Durme te Tielrode

Rupel

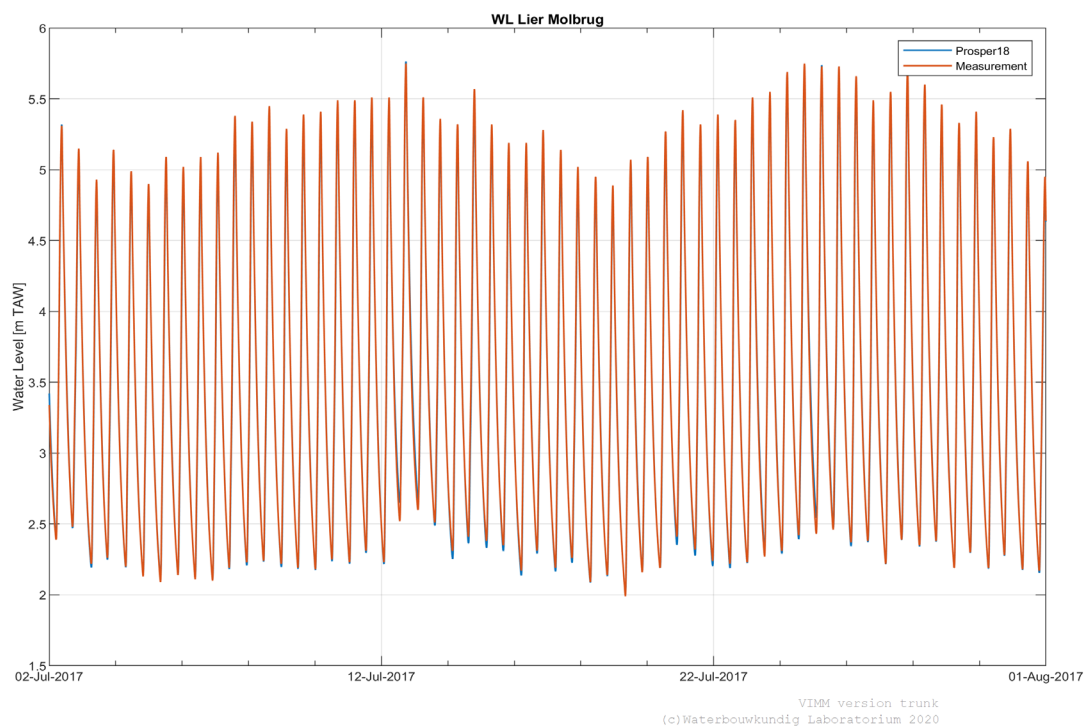


Figuur 16 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Rupel te Walem

Benedennete

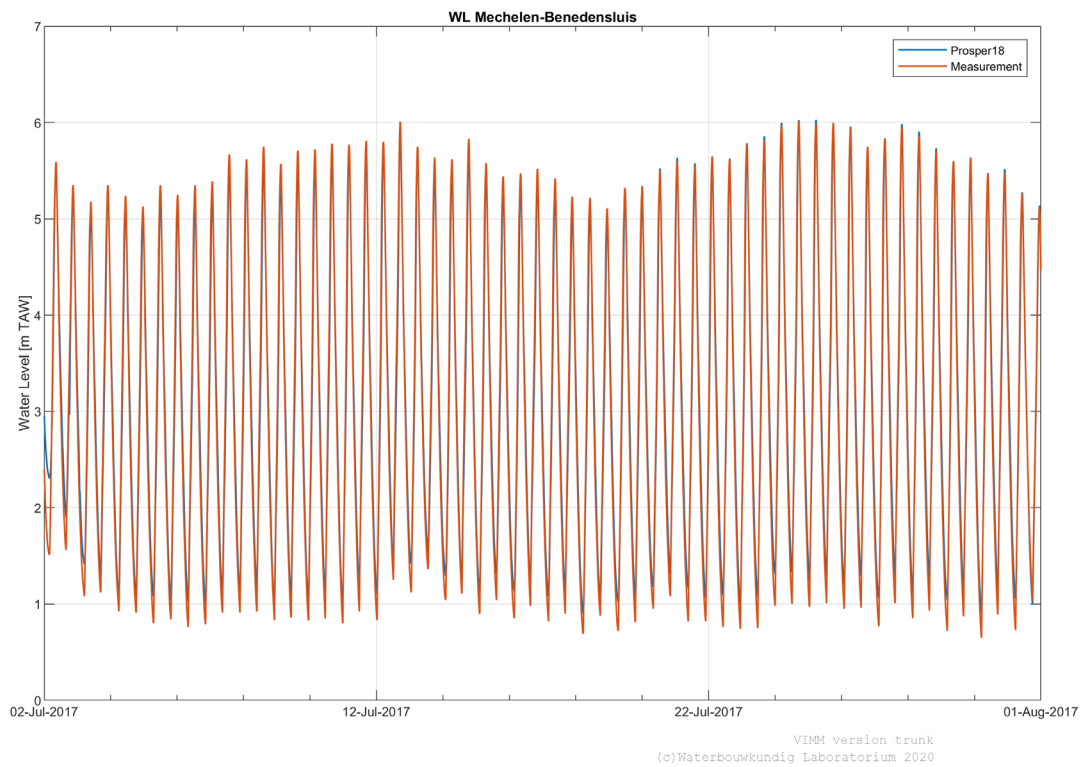


Figuur 17 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Benedennete te Duffel-sluis



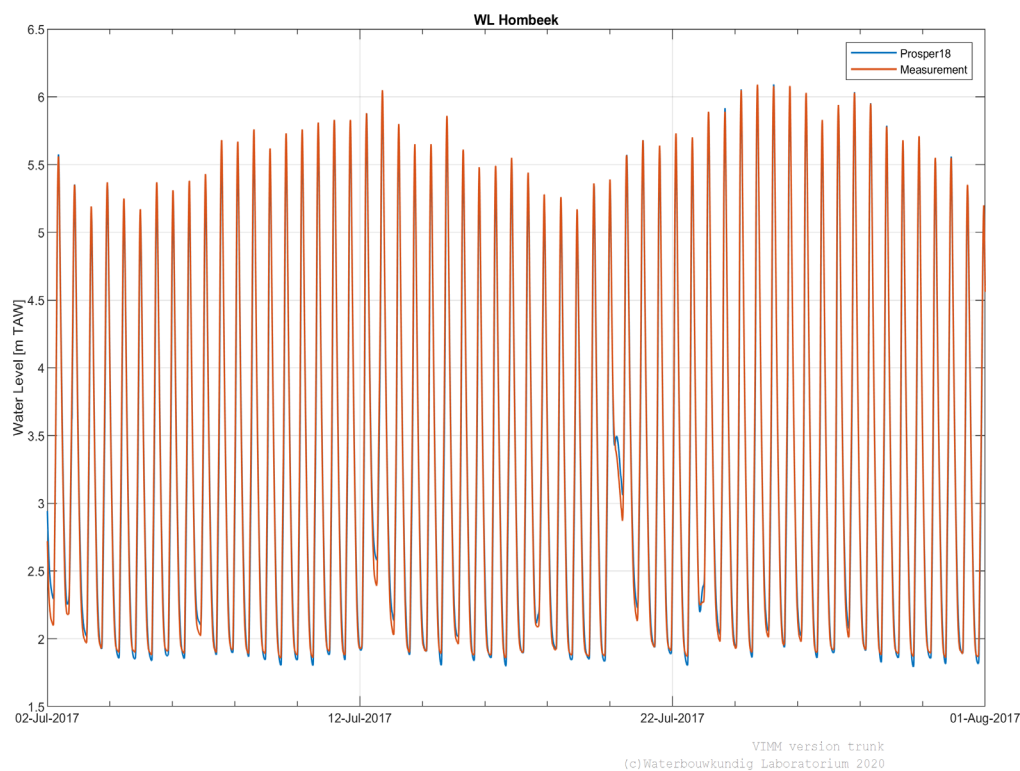
Figuur 18 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Benedennete te Lier Molbrug

Dijle

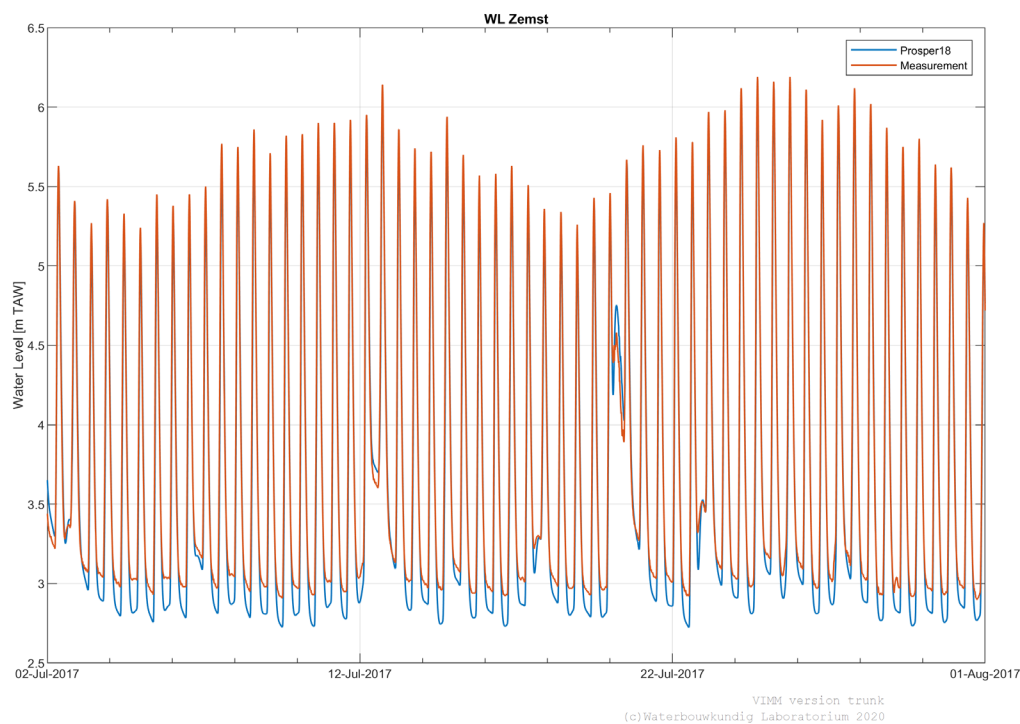


Figuur 19 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Dijle te Mechelen-Benedensluis

Zenne



Figuur 20 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zenne te Hombeek



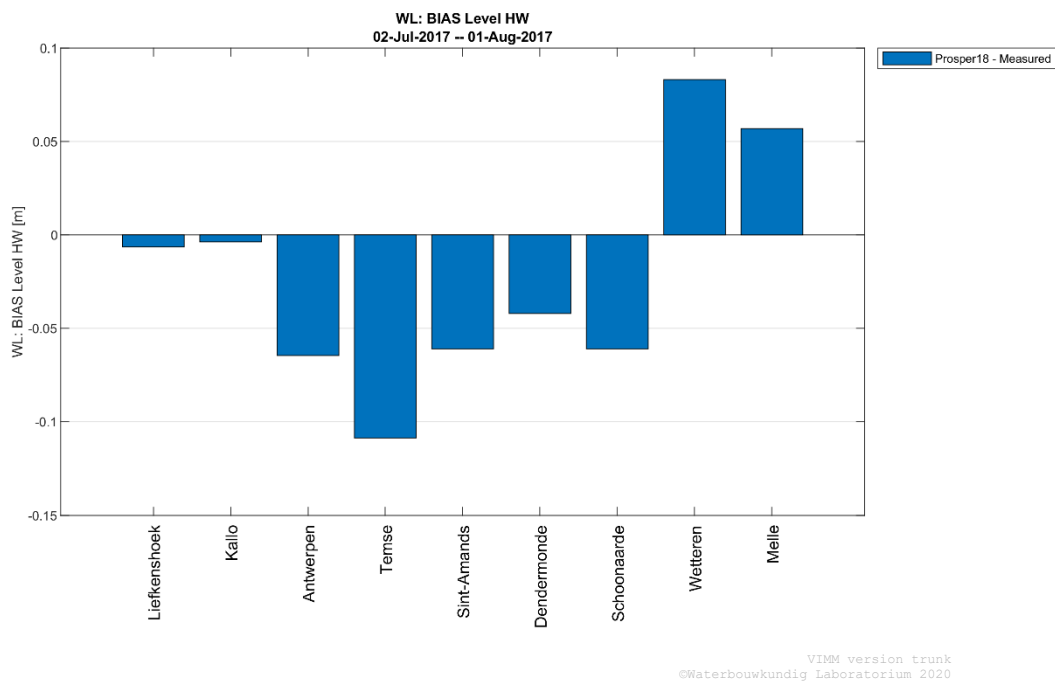
Figuur 21 – Tijdreeksen gemeten en gesimuleerde waterpeilen Zenne te Zemst

BIJLAGE B Tabellen en figuren statistische analyse waterpeilen rivieren

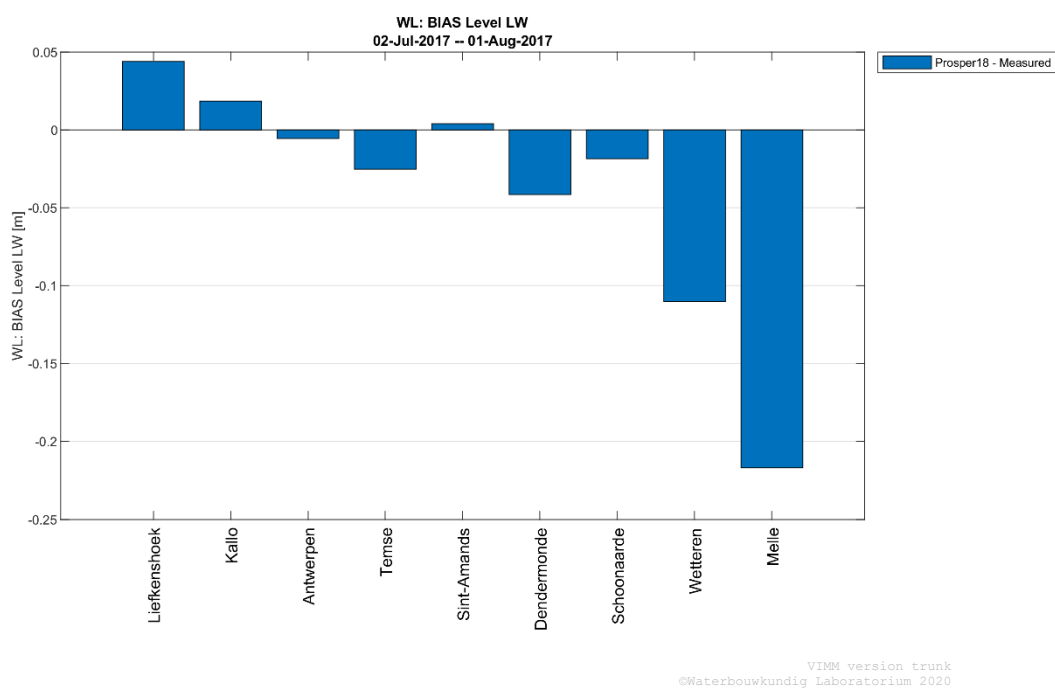
Zeeschelde

Tabel 11 – Waarden BIAS en RMSE – meetposten Zeeschelde

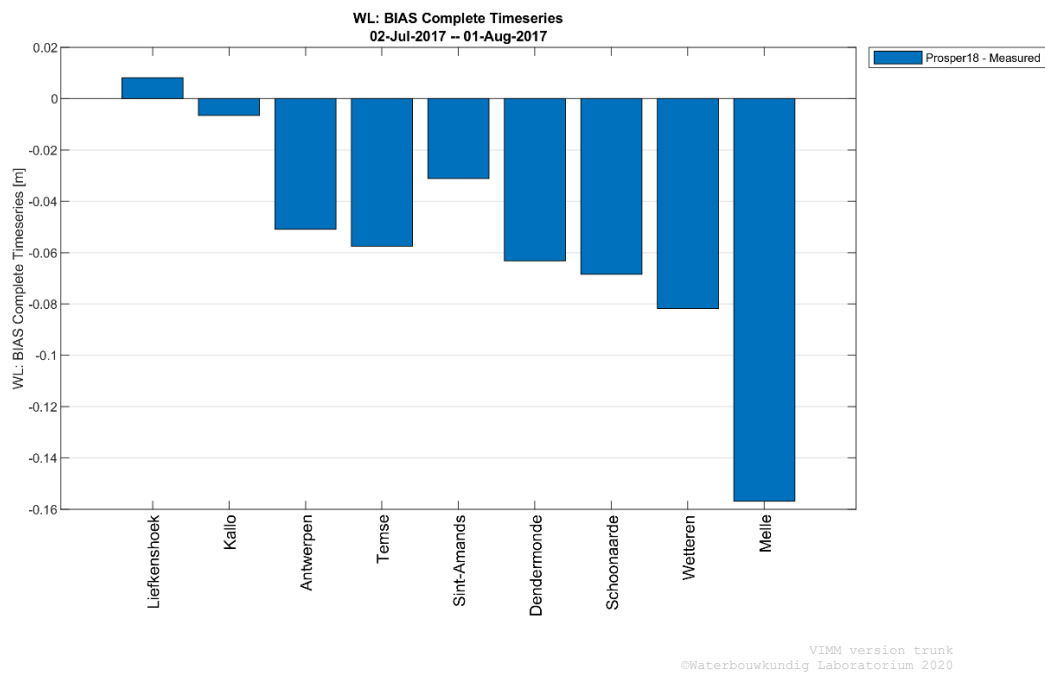
Meetpost	BIAS [m]			RMSE [m]		
	HW	LW	TS	HW	LW	TS
Liefkenshoek	-0.01	0.04	0.01	0.01	0.05	0.01
Kallo	0.00	0.02	-0.01	0.01	0.04	-0.01
Antwerpen	-0.06	-0.01	-0.05	0.07	0.04	-0.05
Temse	-0.11	-0.03	-0.06	0.11	0.04	-0.06
Sint-Amands	-0.06	0.00	-0.03	0.07	0.03	-0.03
Dendermonde	-0.04	-0.04	-0.06	0.05	0.05	-0.06
Schoonaarde	-0.06	-0.02	-0.07	0.07	0.04	-0.07
Wetteren	0.08	-0.11	-0.08	0.10	0.12	-0.08
Melle	0.06	-0.22	-0.16	0.08	0.23	-0.16



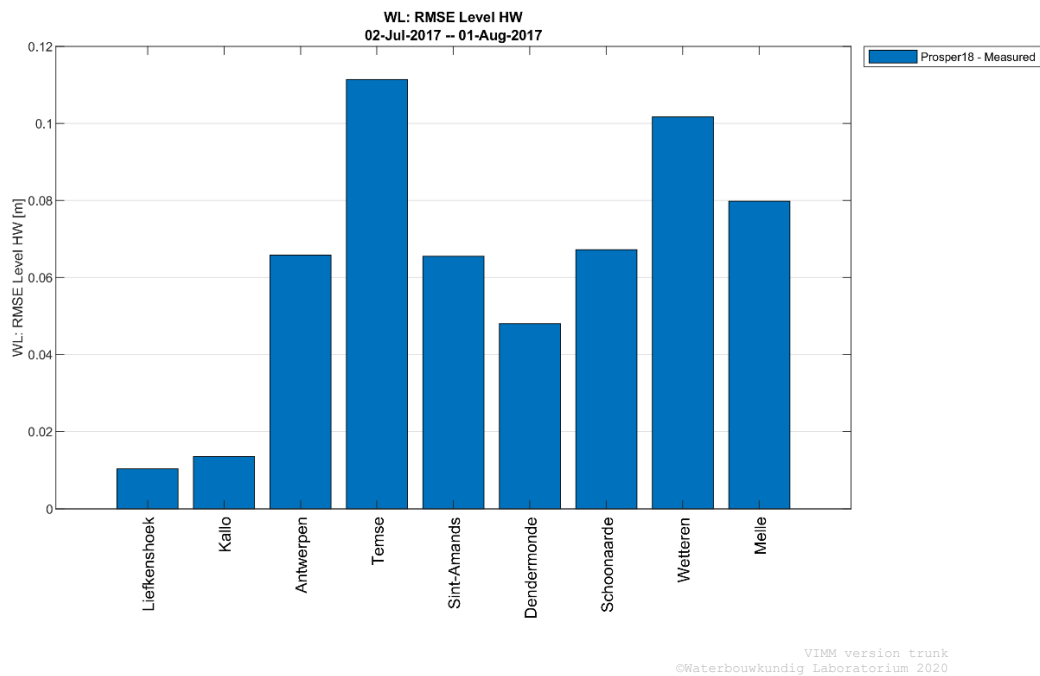
Figuur 22 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – hoogwaters



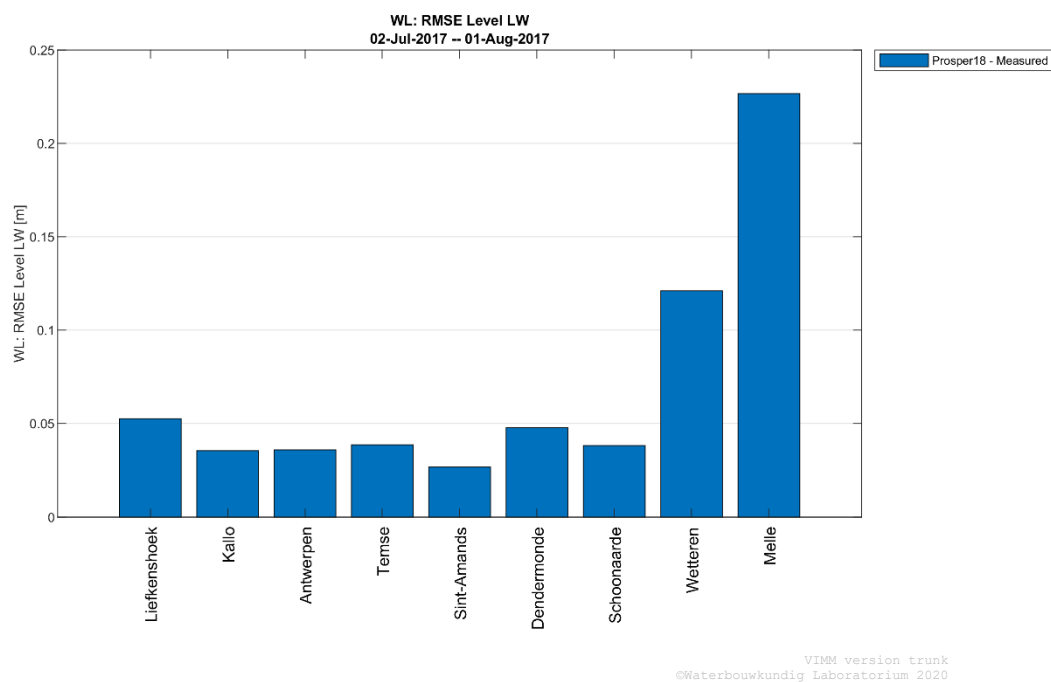
Figuur 23 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde - laagwaters



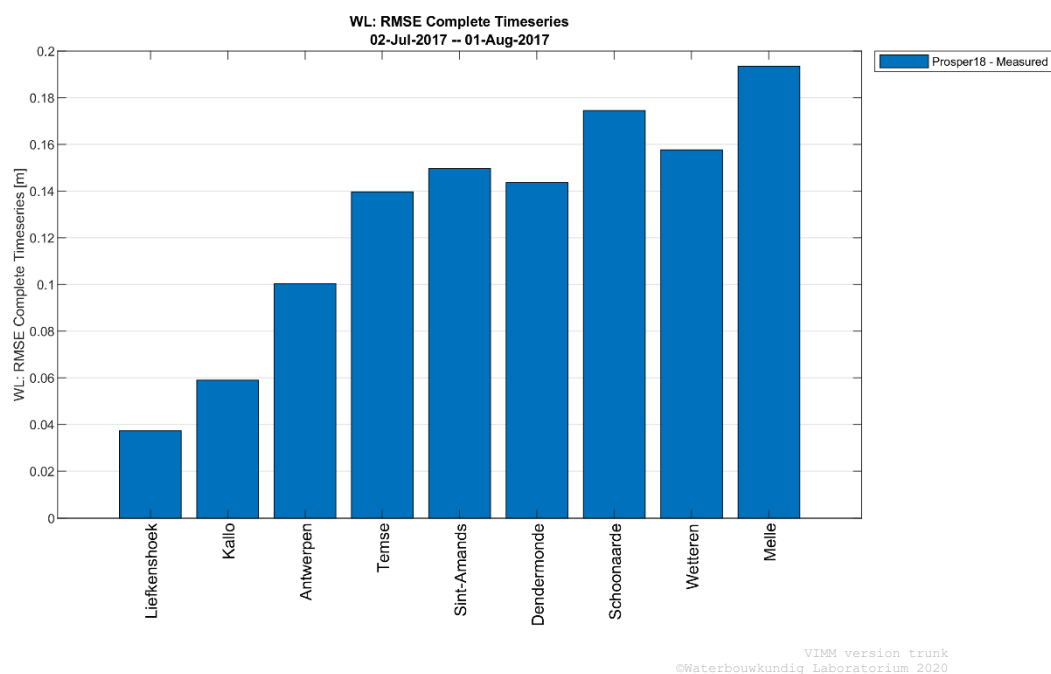
Figuur 24 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – volledige tijdreeks



Figuur 25 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde - hoogwaters



Figuur 26 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – laagwaters

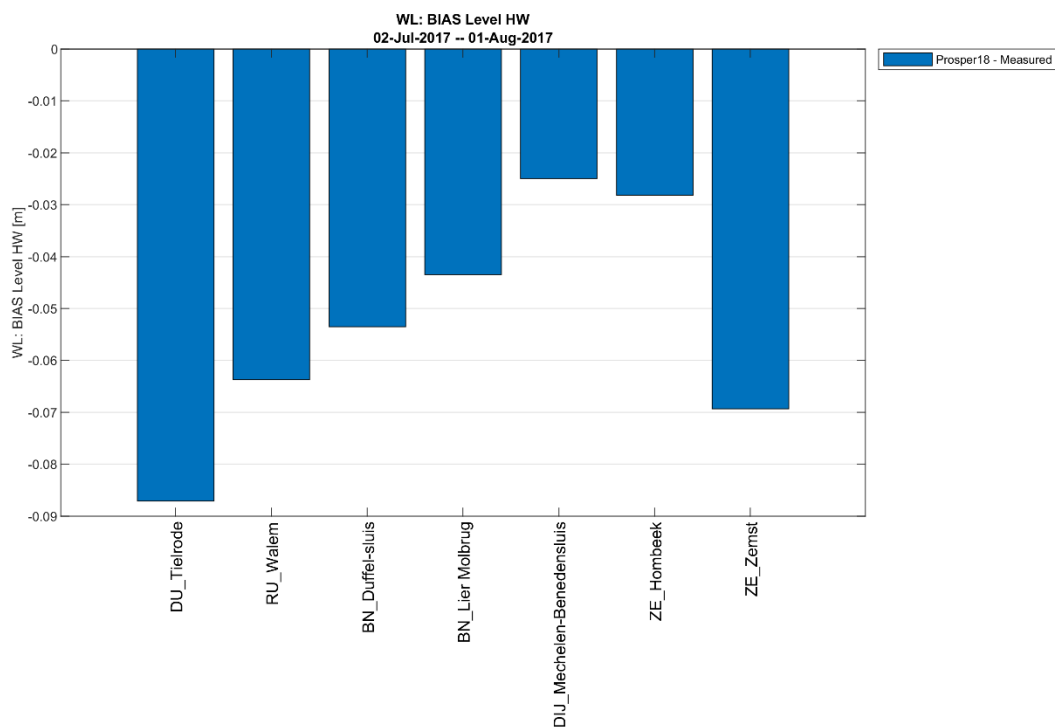


Figuur 27 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Zeeschelde – volledige tijdreeks

Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne

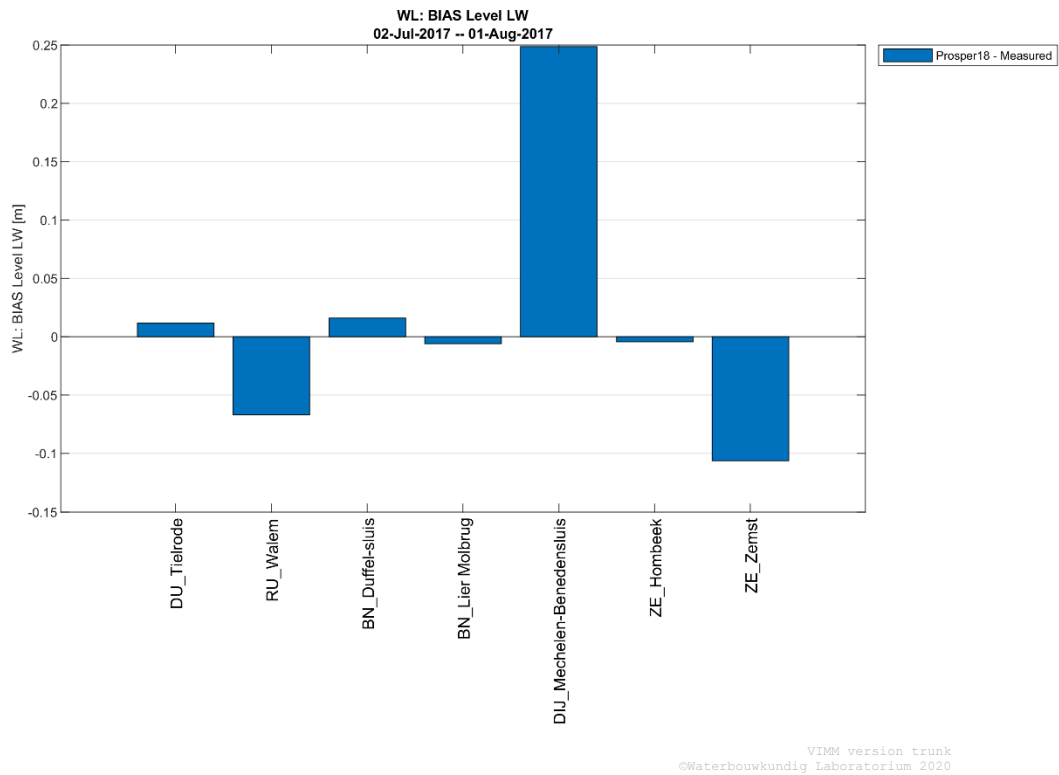
Tabel 12 – Waarden BIAS en RMSE – meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne

Meetpost	BIAS [m]			RMSE [m]		
	HW	LW	TS	HW	LW	TS
DU_Tielrode	-0.09	0.01	-0.05	0.09	0.04	0.16
RU_Walem	-0.06	-0.07	-0.06	0.07	0.07	0.13
BN_Duffel-sluis	-0.05	0.02	-0.05	0.06	0.03	0.08
BN_Lier Molbrug	-0.04	-0.01	-0.03	0.05	0.03	0.07
DIJ_Mechelen-Benedensluis	-0.02	0.25	0.02	0.05	0.27	0.22
ZE_Hombeek	-0.03	0.00	-0.02	0.04	0.06	0.13
ZE_Zemst	-0.07	-0.11	-0.09	0.08	0.13	0.15

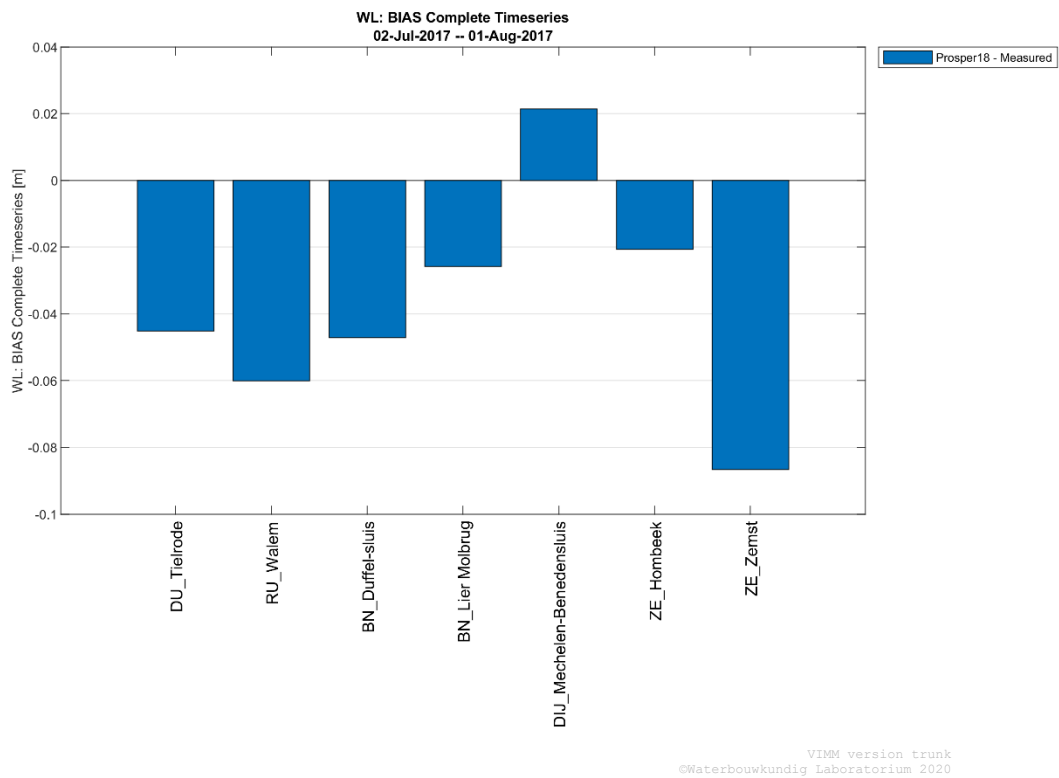


VIMM version trunk
©Waterbouwkundig Laboratorium 2020

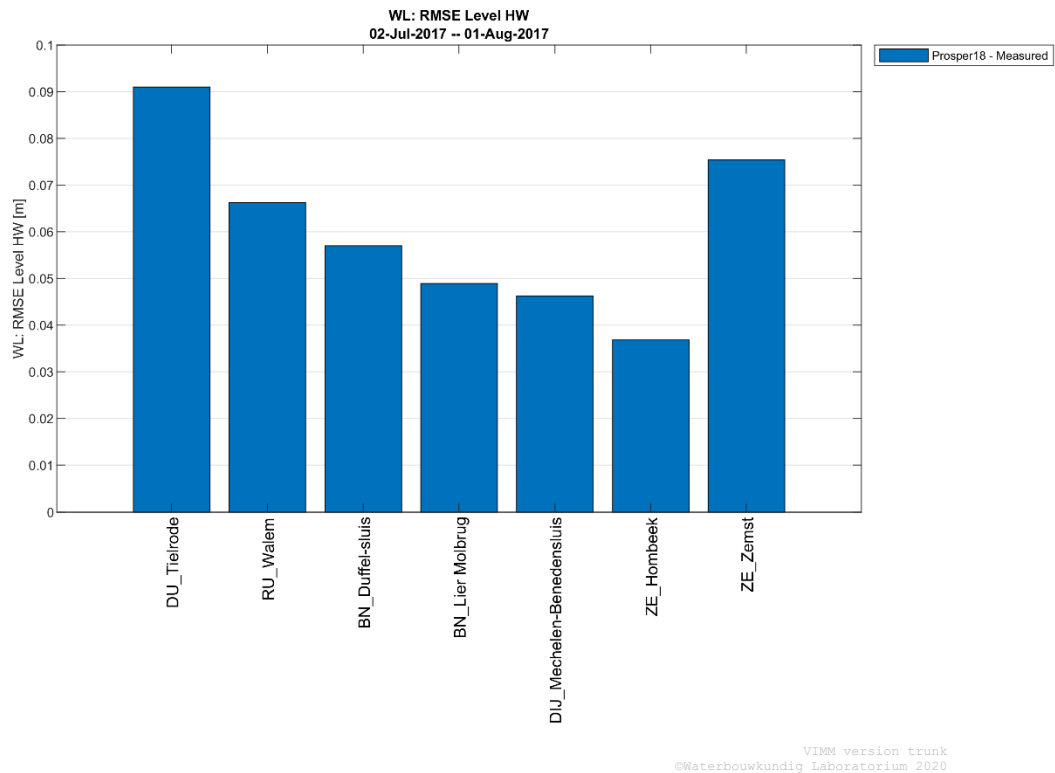
Figuur 28 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – hoogwaters



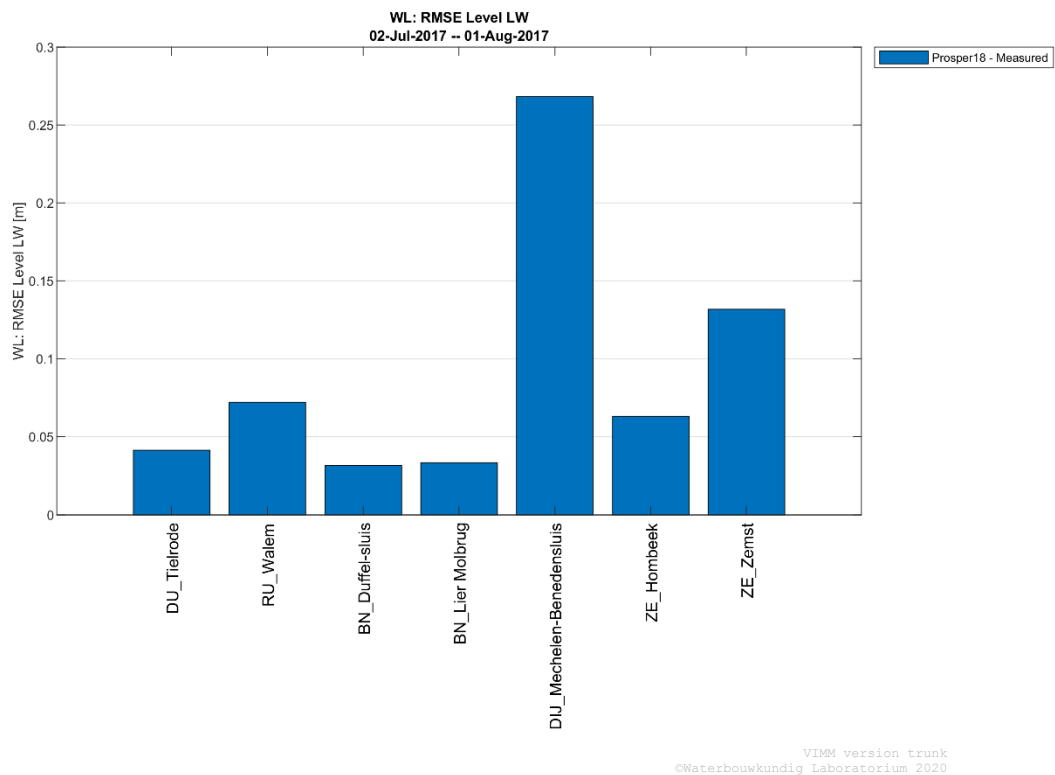
Figuur 29 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – laagwaters



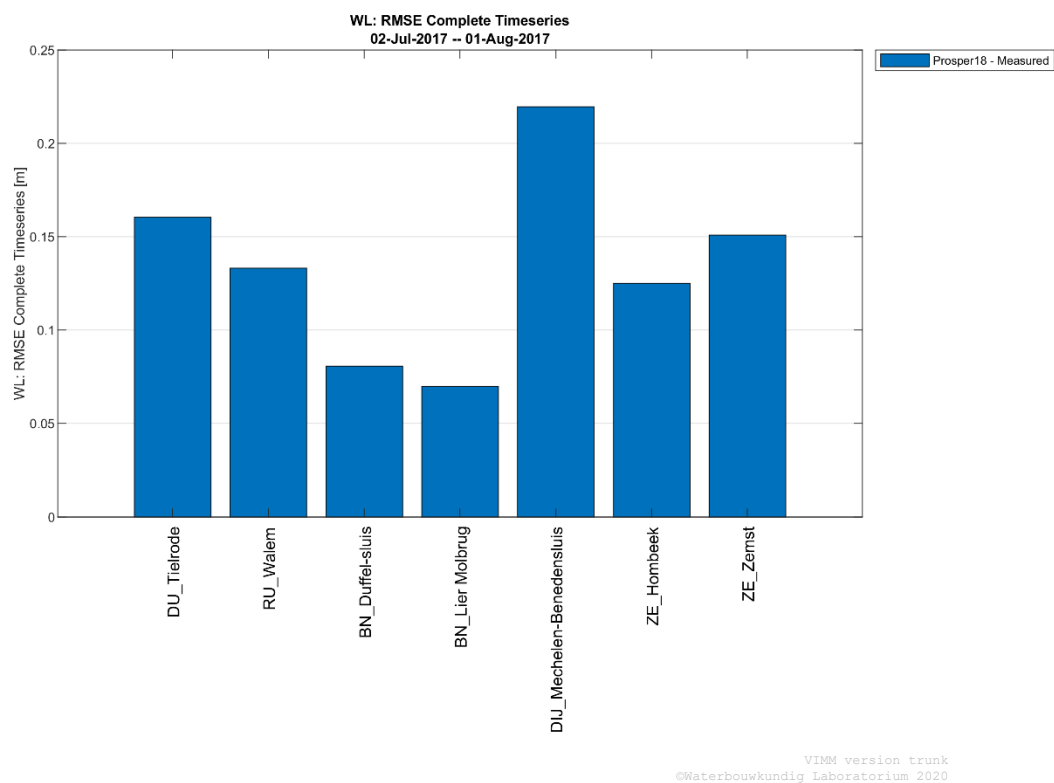
Figuur 30 – BIAS gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – volledige tijdreeks



Figuur 31 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – hoogwaters



Figuur 32 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – laagwaters



Figuur 33 – RMSE gesimuleerde versus gemeten waterpeilen meetposten Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne – volledige tijdreeks

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