

## Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta

Modelbouw, kalibratie en validatie



**Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta**  
Modelbouw, kalibratie en validatie

## Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta

Modelbouw, kalibratie en validatie

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Overijsselse Vechtdelta, D-HYDRO, zesde generatie, kalibratie, validatie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	0.10
<b>Datum</b>	21-12-2021
<b>Projectnummer</b>	11206813-008
<b>Document ID</b>	11205258-007-ZWS-0007
<b>Pagina's</b>	218
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

<b>Aukje Spruyt</b>		
<b>Asako Fujisaki</b>		

<b>Doc. Versie</b>	<b>Auteur</b>	<b>Controle</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Publicatie</b>
<b>0.1</b>	Aukje Spruyt Asako Fujisaki			
<b>0.5</b>	Aukje Spruyt Asako Fujisaki	Migena Zagonjolli		
<b>0.10</b>	Aukje Spruyt	Migena Zagonjolli	Bianca Peters	

# Samenvatting

Deze rapportage beschrijft de opzet van het zesde-generatie hydraulische riviermodel van de Overijsselse Vechtdelta in opdracht van Rijkswaterstaat en de Waterschappen Drents Overijsselse Delta en Vechtstromen. In de zesde generatie is de Overijsselse Vechtdelta van Emlichheim tot de Ramspolbrug gemodelleerd met D-HYDRO. D-HYDRO werkt op basis van een ongestructureerd rooster en biedt daardoor mogelijkheden die in eerdere generaties modellen niet aanwezig waren. De uitlijning van het rooster met de lokale geometrie en stroomrichting kan hierdoor significant worden verbeterd.

Vanuit de geografische database Baseline 6 zijn nieuwe modelschematisaties van de Overijsselse Vechtdelta opgezet voor 1998, 2007 en 2019. Het model is gekalibreerd om te compenseren voor onbekenden en onnauwkeurigheden in de modelbouw. De kalibratie vindt plaats op de zomerbedruwheid door hier een kalibratiefactor toe te passen die bovenop de alluviale achtergrondruwheid werkt. De kalibratie is uitgevoerd op de hoogwaters van 1998 en op perioden in de jaren 2017-2019. Bij de kalibratie is de bias tussen modelresultaten en metingen geminimaliseerd. De kalibratie is uitgevoerd met het DuD-algoritme van OpenDA. Uit de uitgebreide analyse blijkt dat de kalibratie technisch succesvol is uitgevoerd en het model na kalibratie over het algemeen duidelijk betere resultaten geeft dan voor kalibratie.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
1.1	Achtergrond	10
1.2	Doel	10
1.3	Gebruikte programmatuur en hardware	10
1.4	Organisatie en bijdragen	11
1.5	Leeswijzer	11
1.6	Terminologie	12
<b>2</b>	<b>Systeembeschrijving</b>	<b>13</b>
2.1	Overijsselse Vecht	13
2.2	Zwarte Water	15
2.3	Zwarte Meer	15
2.4	Overige gebieden	16
2.4.1	Kampereiland	16
2.4.2	Kadoelermeer en Vollenhovermeer	17
2.4.3	Meppelerdiep	17
2.5	Belangrijke kenmerken	17
2.5.1	Kunstwerken	17
2.5.1.1	Stuwen Overijsselse Vecht	17
2.5.1.2	Coevordersluis en Overijsselse Stuw	19
2.5.1.3	Overige schutsluizen en keringen	20
2.5.1.4	Duikers en inlaatsluizen	21
2.5.1.1	Bruggen	21
2.5.2	Retentiegebieden en nevengeulen	21
2.5.2.1	Inlaatwerken nevengeulen	22
2.5.2.2	Inlaten Noord- en Zuid-Meene	24
2.5.3	Beken, rivieren en gemalen	25
2.5.4	Dijkkringen en hoge gronden	26
<b>3</b>	<b>Toepassingen van het model</b>	<b>27</b>
3.1	Toepassingen voor RWS	27
3.2	Toepassingen voor de Waterschappen	28
3.3	Overige toepassingen	28
3.3.1	Beschermen achterland tegen hoog water (Waterveiligheid)	28
3.3.2	Leveren van voldoende water (Zoetwatervoorziening)	29
3.3.3	Scheepvaart accommoderen (Scheepvaart)	29
3.4	Koppeling met andere modellen	29
3.4.1	Golven	29
3.4.2	Morfologie	30
3.4.3	Waterkwaliteit	30

3.4.4	Grondwater	30
3.4.5	Meteorologie	30
3.4.6	Regionale modellen	31
<b>4</b>	<b>Beschikbare data</b>	<b>32</b>
4.1	Geometrie in Baseline	32
4.2	Randvoorwaarden en meetgegevens ten behoeve van kalibratie en validatie	34
4.2.1	Aangeleverde data	34
4.2.2	Waterstanden Kloosterzijk	35
4.2.3	Waterstanden Kadoelen	35
4.2.4	Afvoer Ommen (vs Dalfsen)	36
4.2.5	Afvoer Emlichheim	37
<b>5</b>	<b>Modelopzet</b>	<b>38</b>
5.1	Roosterontwerp	38
5.1.1	Methodiek	38
5.1.2	Aanpak	39
5.1.3	Roostereigenschappen	41
5.1.4	Roosterontwerp in overlapgebieden	42
5.2	Projectie vanuit Baseline	42
5.3	Randvoorwaarden	43
5.3.1	Open randen	43
5.3.2	Lateralen	45
5.3.3	Initiële condities	46
5.3.4	Windforcering	46
5.3.5	Niet-gemodelleerde processen	47
5.4	Schematisatie en aansturing kunstwerken	48
5.4.1	Stuwen Overijsselse Vecht	48
5.4.1.1	Schematisering	48
5.4.1.2	Aansturing	49
5.4.2	Inlaatwerken nevengeulen	50
5.4.3	Inlaten Noord- en Zuid-Meene	51
5.4.4	Overige schutsluizen en keringen	52
5.4.5	Duikers en inlaatsluizen	53
5.4.6	Bruggen	53
5.5	Definitie ruwheden	54
5.5.1	Zomerbed	54
5.5.2	Winterbed	55
5.6	Fysisch-numerieke instellingen	55
5.6.1	Bodemhoogtediscretisatie	56
5.6.2	Overlaatformulering	57
5.6.3	Horizontale viscositeit en diffusiviteit	57
5.6.4	Wandruwheid	57
5.6.5	DIMR en rekentijdstappen	58
<b>6</b>	<b>Kalibratie en validatie</b>	<b>59</b>
6.1	Methodiek	59
6.1.1	Kalibratiefactor	59
6.1.2	Kalibratietrajecten	60

6.1.3	Kalibratie- en validatieperioden afvoer	62
6.1.4	Niet-stationariteit tussen kalibratiemodellen	65
6.1.6	Windvalidatie	69
6.2	Resultaat	69
6.2.1	Kalibratiefactoren	70
6.2.2	Vergelijking met metingen	73
6.2.3	Validatie van afvoerniveau laag (L1)	81
6.2.4	Windvalidatie	82
6.3	Conclusies	84
<b>7</b>	<b>Actualisatie</b>	<b>85</b>
7.1	Toevoegen Meppelerdiep	85
7.2	Testen Noord- en Zuid Meene	87
<b>8</b>	<b>Samenvatting, conclusies en aanbevelingen</b>	<b>89</b>
8.1	Data	89
8.2	Modelopzet	90
8.3	Kalibratie en validatie	91
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>94</b>
<b>A</b>	<b>Programma van eisen</b>	<b>97</b>
<b>B</b>	<b>Systeembeschrijving</b>	<b>102</b>
B.1	Meetstations	102
B.2	Afvoerraaien	103
B.3	Bruggen	104
<b>C</b>	<b>Roosterontwerp</b>	<b>106</b>
C.1	Totaaloverzicht rooster	106
C.2	Statistieken	106
C.2.1	Orthogonaliteit	106
C.2.2	Smoothness	107
C.2.3	Aspect ratio en grootte roosterzellen	107
C.3	Locatiespecifieke keuzes	108
<b>D</b>	<b>Baseline, projectie en geometrie</b>	<b>111</b>
D.1	Baseline varianten	111
D.1.1	Aanpassingen RWS-ON	111
D.1.2	Aanpassingen Waterschappen	112
D.1.3	Opbouw varianten	112
D.2	Conversie naar Baseline 6 en Baseline 6-maatregelen	113
D.3	Datastructuur Baseline6 en projectie naar rekenrooster	114
D.4	Projectie door initialisatie van Flexible Mesh	116
D.4.1	Punt-elementen: observation points, lateral sources,	116
D.4.2	Lijn-elementen: thin dams, fixed weirs, structures, cross-sections	116

D.4.3	Brugpijlers	118
D.4.4	Open randen	119
D.5	Ruwheidsbestand als invoer in D-Flow FM (trachytopendefinitiebestand)	119
D.6	Voorbeeld projectie van j19	131
<b>E</b>	<b>Maatregelen Overijsselse Vechtdelta</b>	<b>132</b>
<b>F</b>	<b>Schematisatie kunstwerken</b>	<b>133</b>
F.1	Aansturing kunstwerken operationeel	133
F.1.1	Stuw De Haandrik	133
F.1.2	Stuw Hardenberg	133
F.1.3	Stuw Mariënberg	133
F.1.4	Stuw Junne	133
F.1.5	Stuw Vilsteren	134
F.1.6	Stuw Vechterweerd	134
F.1.7	Kadoelerkeersluis	134
F.1.8	Stuw Plaggenmars	134
F.1.9	Inlaat nevengeul Junne	134
F.1.10	Meppelerdiepsluis	135
F.1.11	Gemaal Zedemuden	135
F.1.12	Inlaat Noord-Meene	135
F.1.13	Inlaat Zuid-Meene	136
<b>G</b>	<b>Model definition Unstructured (MDU-bestand)</b>	<b>137</b>
<b>H</b>	<b>Randvoorwaarden en metingen</b>	<b>146</b>
H.1	Achtergrond	146
H.1.1	Aanlevering metingen	146
H.1.2	Afvoermetingen	146
H.2	Lateralen	146
H.4	Winddata	150
<b>J</b>	<b>Modelresultaten, voor en na kalibratie</b>	<b>155</b>
J.1	Afvoerniveau M1	155
J.1.1	Kalibratievenster	155
J.1.2	Validatievenster	156
J.2	Afvoerniveau M2	157
J.2.1	Kalibratievenster	157
J.2.2	Validatievenster	158
J.3	Afvoerniveau H1	159
J.3.1	Kalibratievenster	159
J.3.2	Validatievenster	160
J.4	Afvoerniveau H2	160
J.4.1	Kalibratievenster	160
J.5	Jan-mrt 2019	161
J.5.1	Statistieken waterstand	161
J.5.2	Statistieken afvoer	161
J.5.3	Tijdseries waterstanden	162



J.5.4	Tijdseries afvoer	171
J.6	2017-2018	172
J.6.1	Statistieken waterstand	172
J.6.2	Statistieken afvoer	172
J.6.3	Tijdseries waterstanden	173
J.6.4	Tijdseries afvoer	182
J.7	Jan-mrt 2017	183
J.7.1	Statistieken waterstand	183
J.7.2	Statistieken afvoer	183
J.7.3	Tijdseries waterstanden	184
J.7.4	Tijdseries afvoer	193
J.8	Hoogwater 1998	194
J.8.1	Statistieken waterstand	194
J.8.2	Tijdseries waterstanden	194
J.8.3	Tijdseries afvoer	201
J.9	Storm januari 2007	202
J.9.1	Statistieken waterstand	202
J.9.2	Tijdseries waterstanden	202
J.10	Storm januari 2018	205
J.10.1	Statistieken waterstand	205
J.10.2	Tijdseries waterstanden	206
J.11	Storm maart 2018	211
J.11.1	Statistieken waterstand	211
J.11.2	Tijdseries waterstanden	212

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Met het in gebruik nemen van de D-HYDRO Suite stapt RWS over van modelschematisaties in de vijfde generatie naar modelschematisaties in de zesde generatie. Het doel is om uiterlijk in 2021 de modellen voor alle watersystemen in D-HYDRO ter beschikking te hebben. Vanaf 2016 zijn hiervoor al een aantal pilotstudies gedaan en is gestart met de opzet van de eerste modellen. Op basis hiervan en een aantal klankbordsessies, zijn generieke specificaties voor de opzet van de zesde generatie modellen opgesteld (Minns, Spruyt & Kerkhoven; 2020).

Alleen tijdens de ontwikkeling van nieuwe generatie modellen kunnen methodieken gewijzigd worden, die van invloed zijn op de kalibratie en validatie (bijv. numerieke instellingen, bepaling van laterale toestromingen en Qf-relaties of de kalibratiestrategie). Ook het rekenrooster wordt in de basis éénmaal opnieuw gemaakt, waarbij er in navolgende jaren alleen een mogelijkheid is tot uitbreiding. Tevens wordt er overgestapt op een nieuw softwarepakket: de D-HYDRO Suite. Een nieuwe generatie modellen biedt dus de kans voor een kwaliteitsimpuls.

De modelopzet, kalibratie en validatie van het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta worden beschreven in deze rapportage. Hierbij is zoveel mogelijk aangesloten bij die van de overige zesde-generatie modellen, die zijn opgezet (o.a. Maas en Rijntakken). Daarnaast zijn de generieke specificaties voor de opzet van de zesde generatie modellen zoveel mogelijk in acht genomen.

## 1.2 Doel

Het doel is de ontwikkeling van een model van de Overijsselse Vechtdelta in de D-HYDRO Suite. Dit model wordt opgezet voor meerdere historische situaties en gekalibreerd en gevalideerd op historische metingen. Het model moet geschikt zijn voor verschillende toepassingen, die staan beschreven in Hoofdstuk 2.6.

## 1.3 Gebruikte programmatuur en hardware

Binnen het project is continue gewerkt met recente versies van de software. Op die manier zijn zowel autonome ontwikkelingen als specifieke features voor dit project meegenomen. Op dit moment wordt gebruik gemaakt van de volgende versies:

- D-HYDRO Suite 2021.03 (de uiteindelijke modellen worden opgeleverd in 2021.04<sup>1</sup>)
- Rekenharten op Linux:
  - dimr 2.01.16\_57933
  - dflowfm 1.2.13.62682
  - D-RTC 1.4.2.1145
- Baseline 6.2
  - BAS2FM 1.3.4 (in ArcGIS 10.3)
- Baseline 6.2.1 (in ArcGIS 10.5)
- Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM) 2.3.0

---

<sup>1</sup> Of de 2022.01\_patch, waarin recentelijk een software-bug m.b.t. de afhandeling van structures is corrigeerd.

Hieronder volgt een korte beschrijving van de softwarepakketten.

**Baseline:** Baseline bestaat uit een ArcGIS-applicatie en een ArcGIS-database. De ArcGIS-database bevat de ruimtelijke gebiedsinformatie waarmee het door middel van de ArcGIS-applicatie mogelijk is om een modelschematisatie af te leiden voor D-HYDRO. De database zorgt voor een gestructureerde opslag van gebiedgegevens, de applicatie voor een reproduceerbare werkwijze voor de bewerking en actualisatie van de gebiedgegevens en voor een geautomatiseerde werkwijze naar de modelschematisatie van de hydraulische modellen.

**D-HYDRO Suite:** De D-HYDRO Suite is de opvolger van Simona (Waqua, Triwaq) en Delft3D 4 voor toepassing op de Nederlandse markt. De kern van de D-HYDRO Suite is de D-Flow Flexible Mesh module (D-Flow FM) waarmee eendimensionale (1D), tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde rekenroosters. Daarnaast kan een koppeling gemaakt worden met de D-RTC (D-Realtime Control) module, waarmee de aansturing van kunstwerken geregeld kan worden.

**Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM):** De RGWM is een tool waarmee afvoeren kunnen worden gegenereerd voor laterale toestromingen of onttrekkingen. Dit is mogelijk door het opgeven van relaties op basis van beschikbare (gemeten of fictieve) afvoeren.

## 1.4 Organisatie en bijdragen

Aan dit project is bij Deltares vooral gewerkt door Asako Fujisaki en Aukje Spruyt (tevens deelprojectleider en projectleider KPP Modelschematisaties Zoet). Verder is veelvuldig gebruik gemaakt van de ervaring die door Jurjen de Jong en Anna Kusters is opgedaan bij het opzetten van het zesde-generatie model van de Maas en Rijntakken en heeft Mohamed Yossef bijgedragen door het definiëren van een basisruwheid. Door Migena Zagonjoli is de review van de rapportage uitgevoerd

Tijdens de uitvoering heeft veel afstemming plaatsgevonden met RWS en de Waterschappen Drents Overijsselse Delta (WDOD) en Vechtstromen (WVS). Hierbij waren met name Martin Scholten (RWS-WVL), Dénes Beyer (RWS-ON), Gerben Tromp (WDOD) en Jeroen van der Scheer (WVS) betrokken.

## 1.5 Leeswijzer

Het rapport is opgezet volgens een generieke structuur voor de zesde-generatie modellen.

Allereerst volgt een uitgebreide beschrijving van het systeem van de Overijsselse Vechtdelta, de diverse geometrische elementen die hierin voorkomen en andere belangrijke aspecten voor modelopzet en –toepassingen (Hoofdstuk 2), gevolgd door een overzicht van de gewenste toepassingen (Hoofdstuk 3). Hierna volgt een beschrijving van een selectie van beschikbare data voor de opzet van het model (Hoofdstuk 4).

Vanaf Hoofdstuk 5 wordt begonnen met de opbouw van het model. Allereerst wordt hier het ontwerp van het rooster gegeven en daarna de verdere opzet en configuratie van het model. Na de opzet volgen de kalibratie en validatie van het model in Hoofdstuk 6. Ten slotte wordt het model getoetst aan de toepassing (Hoofdstuk 7).

In Hoofdstuk 8 volgt een samenvatting met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

## 1.6 Terminologie

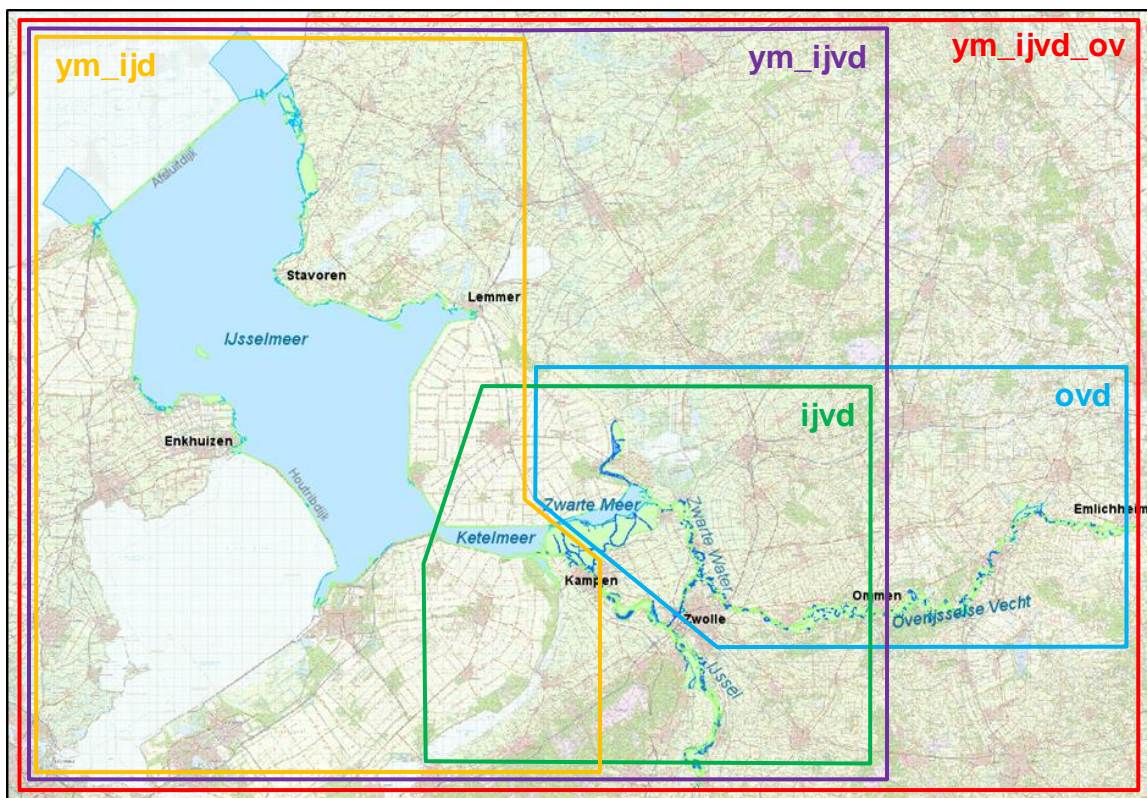
In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedsschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode (volgens Baseline software protocol).	baseline-ovd-j19_6-v1 (software: Baseline, watersysteem: Overijsselse Vechtdelta, periode: 2019)
<i>modelschematisatie (of model)</i>	Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	dflowfm2d-ovd-j19_6-v1a (software: D=Flow FM 2D watersysteem: Overijsselse Vechtdelta, periode: 2019)
<i>software</i>	Een softwarepakket waarmee modellen kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen	D-Flow FM, WAQUA
<i>modelsoftwaresuite</i>	Een samenhangend geheel van modelsoftware systemen	D-HYDRO, SIMONA

Wanneer alleen het woord 'model' wordt gebruikt, wordt hier specifiek een 'modelschematisatie' mee bedoeld.

## 2 Systeembeschrijving

In dit rapport beschouwen we de Overijsselse Vechtdelta (OVD) bestaande uit de Overijsselse Vecht, Zwarte Water en Zwarte Meer. Dit is een onderdeel van het IJsselmeer-IJsselVechtDelta-Overijsselse Vecht (ym\_ijvd\_ov) gebied, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Verschillende deelgebieden binnen het IJsselmeer-IJsselVechtDelta-Overijsselse Vecht gebied.

### 2.1 Overijsselse Vecht

De Overijsselse Vecht is een regenwaterrievier in Duitsland en Nederland. Zij is 167 kilometer lang waarvan 60 km in Nederland, zie Figuur 2.2. Haar oorsprong ligt in het Münsterland, ze komt ten oosten van De Haandrik Nederland binnen en mondt bij Zwolle uit in het Zwarte Water. Het stroomgebied van de Overijsselse Vecht beslaat 3780 vierkante kilometer. In Duitsland wordt de rivier Vechte genoemd. Belangrijke zijrivieren die zich bij de Overijsselse Vecht voegen zijn de Steinfurter Aa, de Dinkel, het afwateringskanaal bij Gramsbergen, dat de functie van de Kleine Coevordense Vecht heeft overgenomen waar een deel van Zuidoost-Drenthe op afwatert, en de Regge.

In Nederland stroomt de Overijsselse Vecht tussen de hoger gelegen regio's Drenthe en Twente door langs de zuidzijde van een voor deze rivier opvallend breed dal.

De Vecht is een echte regenrivier en heeft daardoor een zeer fluctuerende afvoer. In de zomer kan een afvoer van slechts enkele  $m^3/s$  voorkomen, terwijl in de wintermaanden een afvoer van 100 tot 200  $m^3/s$  zeker niet ongebruikelijk is (zie ook Tabel 2.1). De looptijd van een afvoergolf door de 60 km lengte in Nederland bedraagt circa 14 uur.



Figuur 2.2 Stroomgebied Overijsselse Vecht (bron: presentatie POV Vecht).

In 1908 werd de rivier en het Zwarte Water gekanaliseerd en werden er vele bochten afgesneden. In Nederland daalde haar lengte daardoor van 85 naar 60 kilometer. Door deze en andere waterwerken daalde het water in de rivier naar een laag niveau en moest men in 1920 besluiten om stuwen te bouwen. Dat werden er zeven: De Haandrik, Ane (inmiddels afgebroken), Hardenberg, Mariëberg, Junne, Vilsteren en Vechterweerd. In 2018 zijn de twee nieuwe schutsluizen gebouwd bij Junne en Mariëberg zodat de Vecht vanaf medio 2019 helemaal bevaarbaar is tussen Zwolle en de Duitse grens. Tot aan Ommen is de Overijsselse Vecht bevaarbaar voor bootjes met een diepgang van 1 meter. Bovenstrooms van Ommen met bootjes met een diepgang van 0,50 meter.

Tabel 2.1 Ontwerpafvoeren op verschillende locaties langs de Vecht (bron: Waterschap Vechtstromen).

	Emlichheim	De Haandrik	Hardenberg	Mariëberg	Junne	Ommen	Eind beheergebied WVS <sup>2</sup>
T=200	247	249	315	336	347	355	500
T=100	236	238	300	320	330	338	478
T=25	214	215	266	284	293	300	420
T=10	199	200	248	264	272	279	384
T=1	115	116	150	160	165	169	239
1/2Q	55	56	74	79	82	84	121
1/4Q	23	23	30	32	34	35	53
1/100Q	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	2,4

Naar aanleiding van het hoogwater in 1998, met wateroverlast tot gevolg in delen van Coevorden, Hardenberg en Ommen, werd besloten tot de inrichting van twee nieuwe noodoverloopgebieden in het stroomgebied van de Vecht: Noord- en Zuid-Meene. De in 2002 gerealiseerde noodoverloopgebieden zijn gelegen in de buurt van Gramsbergen. De Inlaat van Noord-Meene ligt langs het Afwateringskanaal, die van Zuid-Meene langs de Vecht, net bovenstrooms van stuw de Haandrik. In dit 375 hectare grote gebied kan bij extreem hoge waterstand van de Overijsselse Vecht water worden ingelaten. Zo kan ruim 4 miljoen kubieke meter water worden geborgen.

<sup>2</sup> Dit is dus inclusief debiet Regge/Linderbeek en Ommerkanaal. Voor WDOD is met name de werklijn bij Dalfsen relevant (GRADE). De hier getoonde afvoeren zijn wat aan de hoge kant.

Er is afgesproken dat de Vecht een half natuurlijke laaglandrivier moet worden waarbij natuurlijke erosie en sedimentatieprocessen weer een rol krijgen. In het kader hiervan zijn diverse projecten uitgevoerd en staan er op de korte termijn een aantal op de planning. O.a. aanleggen meanders en verlengen stuwpasserende nevengeulen.

## 2.2 Zwarte Water

Het Zwarte Water (Figuur 2.3) is een 19 kilometer lange rivier in de Nederlandse provincie Overijssel en heeft een breedte van ca. 100 tot 200 m. De oorsprong van de rivier ligt in Zwolle, waar ze ontstaat uit de Soestwetering en de Nieuwe Wetering. De rivier mondt uit in het Zwarte Meer. Ten noorden van Zwolle mondt de Overijsselse Vecht uit in het Zwarte Water. Het Zwarte Water stroomt vervolgens langs de plaatsen Hasselt, Zwartsluis en Genemuiden en eindigt in het Zwarte Meer. Het kanaal bij Zwolle dat tegenwoordig het Zwarte Water verbindt met de IJssel is het Zwolle-IJsselkanaal en wordt bij Zwolle afgesloten met een keersluis. Tussen de IJssel en het Zwolle-IJsselkanaal bevindt zich de sluis Spolde.



Figuur 2.3 Ligging Zwarte Water.

## 2.3 Zwarte Meer

Het Zwarte Meer (Figuur 2.4) ontstond in de jaren 1940 door de aanleg van de noordwestelijk ervan gelegen Noordoostpolder. Het meer is 1700 hectare groot en behoort tot de Randmeren Noord van het IJsselmeer (de andere twee zijn het Ketelmeer en het Vossemeer). In westelijke richting gaat het Zwarte Meer via de Ramsgeul ter hoogte van de balgstuw bij Ramspol over in het Ketelmeer, in noordoostelijke richting in het Kadoelermeer en in zuidoostelijke richting in het Zwarte Water. Het Zwarte Meer is als vrij ondiep: buiten de vaargeulen die door de scheepvaart worden gebruikt, is het meer niet dieper dan één tot twee meter. Het bestaat grotendeels uit open water. Sinds het najaar van 2015 liggen er twee nieuwe eilanden in het Zwarte Meer, naast het grotere Vogeleiland.



Figuur 2.4 Ligging Zwarte Meer.

## 2.4 Overige gebieden

### 2.4.1 Kampereiland

Het Kampereiland is gelegen langs het Zwarte Meer, het Ketelmeer, het Vossemeer, het Ganzendiep en de (monding van de) IJssel (Figuur 2.5). Het buiten de oude Zuiderzeedijk (nu Kamperzeedijk en primaire kering) gelegen gebied is ontstaan door bedijking van op- en aanwassen langs de zich steeds verleggende rivier- en kreeklopen in het deltagebied. In feite bestaat Kampereiland uit meerdere (voormalige) eilanden. De Kampereilanden zijn buitendijks gebied (worden niet beschermd door primaire keringen maar regionale keringen). Het is geen noodoverloopgebied zoals Noord- en Zuid-Meene, maar het gebied is planologisch aangemerkt als waterberging, het loopt bij extreme waterstanden onder water en remt daarmee de waterstandsstijging elders. In de recente geschiedenis is het Kampereiland niet ondergelopen, maar de regionale keringen die het gebied beschermen zijn wel opgehoogd.



Figuur 2.5 Ligging Kampereiland.



#### 2.4.2 Kadoelermeer en Vollenhovermeer

Het Kadoelermeer en Vollenhovermeer zijn kleine meren en liggen op de grens van Overijssel en Flevoland en maken deel uit van de randmeren van de Noordoostpolder. Het water is er vrij ondiep, behalve in de vaargeul die veel wordt gebruikt voor de recreatievaart. Het overtollige water uit de Noordoostpolder wordt door het Gemaal Smeenge in de Kadoelermeer geloosd. Daarnaast loost ook gemaal Stroink (WDOD) het wateroverschot van de boezem van Noordwest Overijssel op dit systeem. Er liggen twee kleine eilandjes in die zijn ontstaan bij het uitdiepen van de vaargeul. Het Kadoelermeer is verbonden met het Zwarte Meer via de Kadoelersluis. Deze sluis wordt gesloten bij hoge waterstanden op het Zwarte Meer.

#### 2.4.3 Meppelerdiep

Het Meppelerdiep is een kanaal in Overijssel van ca. 11 km lang, een breedte van 50 tot 110 m en een diepte van ca. -3.35 MP en loopt van Meppel tot Zwartsluis. Het verbindt de Drentsche Hoofdvaart en de Hoogeveense Vaart (twee kanalen met enig belang voor de scheepvaart) met het Zwarte Water en is van belang voor de waterhuishouding in Drenthe. Het kanaal is sinds enige tijd via de nieuwe Meppelerdiepsluis af te sluiten bij te lage of te hoge waterstanden. Het naastgelegen gemaal Zedemuden zorgt in tijden van extra neerslag voor waterafvoer uit de provincie Drenthe. Gemaal Zedemuden maalt alleen als vrije afwatering naar Zwarte Water niet meer mogelijk is. Dan wordt de Meppelerdiepsluis gesloten en zorgt het gemaal voor de afvoer van het water.

### 2.5 Belangrijke kenmerken

#### 2.5.1 Kunstwerken

Binnen het modelgebied van de Overijsselse Vechtdelta zijn de nodige kunstwerken aanwezig. Deze moeten ook worden meegenomen in de hydraulische modellen, aangezien ze grote invloed kunnen hebben op de verdeling van water en de waterstanden. Bij voorkeur worden kunstwerken zodanig gemodelleerd zodat ze zo goed mogelijk aansluiten bij de realiteit, aansluitend bij de beoogde toepassingen van het model en de functie van het kunstwerk hierin. Hierbij wordt bij voorkeur aangesloten bij de werkzaamheden zoals deze binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken worden uitgevoerd (Van der Wijk & de Groot-Wallast, 2017).

##### 2.5.1.1 Stuwen Overijsselse Vecht

Het waterpeil van de Overijsselse Vecht wordt het grootste deel van het jaar geregeld door middel van stuwen. In de Overijsselse Vecht zijn zes stuwen aanwezig (zie Figuur 2.6 t/m Figuur 2.11).

Voor de stuwen kunnen de volgende doelen onderscheiden worden:

- Peilhandhaving ten behoeve van gebiedsfuncties, voornamelijk om het uitzakken van grondwater te voorkomen. Door de regulering van de Vecht zakten de waterstanden fors en waren dus stuwen noodzakelijk.
- Recreatievaart: Door de stuwen wordt de waterstand opgestuwd om recreatievaart mogelijk te maken (diepgang 0.5 m tot 1.0 m). Bij lage en normale afvoer maakt de recreatievaart gebruik van de sluis; bij hoge afvoer is de stuw gestreken.
- Vistrap: Ten behoeve van de vismigratie zijn bij alle stuwen vistrappen aangelegd zodat de vissen ook in bovenstroomse richting kunnen zwemmen.
- Daarnaast werden de stuwen initieel ook gebruikt om in de winter bevoeiing van het winterbed mogelijk te maken.

In normale omstandigheden sturen de stuwen op winter- en zomerpeilen. Als de afvoer toeneemt dalen de kleppen tot ze “plat” liggen. Voor alle zes de stuwen geldt dat de stuw gestreken is als de klep plat op de bodem ligt. Met de term “gestreken” wordt hier bedoeld dat de stuwen volledig open staan en dus voor zo min mogelijk weerstand zorgen in de rivier. Als de stuw in werking is, komt de klep los van de bodem en neemt de drempelhoogte toe. Bij een negatief verval in benedenstroomse richting worden de stuwen altijd gesloten. Bij hoogwater stroomt er ook veel water over maaiveld langs de stuwen. De stuwen worden gestuurd op de waterstand bovenstrooms van de stuw, het zogeheten ‘setpoint’. Voor een overzicht van de stuwen, zie Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Overzicht van stuwen in de Overijsselse Vecht

Kunstwerk	Aantal kleppen	Breedte / klep (m)	Maximale drempelhoogte (m+NAP)	Minimale drempelhoogte (m+NAP)	Setpoint winter (zomer) <sup>3</sup> (m+NAP)
stuw de Haandrik	2	10,5	9,17	6,96	9,10
stuw Hardenberg	3	9	7,10	5,12	6,80
stuw Mariëberg	3	9	5,77	3,88	5,30
stuw Junne	3	9	4,51	2,67	4,15
stuw Vilsteren	4	9	2,81	0,60	2,35 (2,65)
stuw Vechterweerd	4	9	1,41	-0,90	1,00 (1,25)



Figuur 2.6 Stuw de Haandrik. (bron: Vechtstromen).



Figuur 2.7 Stuw Hardenberg (bron: Vechtstromen).

<sup>3</sup> Dit betreffen de theoretische sturingswaarden voor de stuwen op de Overijsselse Vecht. In de praktijk kunnen door menselijke factoren de werkelijk gehanteerde stuwpeilen afwijken.



Figuur 2.8 Stuw Mariënberg (bron: beeldbank RWS).



Figuur 2.9 Stuw Junne, voor aanleg sluis (bron: projectplan Sluis Junne).



Figuur 2.10 Stuw Vilsteren (bron: sluizenenstuwen.nl).



Figuur 2.11 Stuw Vechterweerd (bron: wdodelta.nl).

### 2.5.1.2 Coevordersluis en Overijsselse Stuw

Wanneer het peil in de Vecht stijgt, bestaat het risico dat het Vechtpeil terugstuwt naar Coevorden. Daarom worden de deuren in de Coevordersluis (zie Figuur 2.12) automatisch gesloten wanneer de Vecht een waterstand bereikt van 9,25 m+NAP en wordt, indien nodig, de Overijsselse stuw ingezet<sup>4</sup>. In dat geval gaat alle water vanuit ZO Drenthe via het Afwateringskanaal. Dit komt gemiddeld ongeveer 1x per 2 jaar voor. De waterstand waaraan getoetst wordt is de waterstand op de Vecht waar het Coevorden-Vechtkanaal de Vecht instroomt (de Haandrik Kruisbrug).

Ook sluiten de deuren wanneer de stromingsrichting omdraait vanaf de Vecht richting Coevorden.

<sup>4</sup> Dit is alleen noodzakelijk bij (heel) hoog water, in eerste instantie kan het via de Drentse stuw.



Figuur 2.12 Luchtfoto van de Overijsselse Stuw (links) en de Coevordersluis (rechts).

Volgens Waterschap Vechtstromen<sup>5</sup> zijn de berging in het Coevorden-Vechtkanaal en het Afwateringskanaal niet relevant voor de waterstanden op de Vecht. Het zijn relatief beperkte lengtes en oppervlak. Daarnaast speelt de eigen afvoer van deze kanalen een rol in benutting van de berging. Dit betekent dat het D-Flow FM model stopt bij de Coevordersluis en de Overijsselse stuw en de kunstwerken zelf daarom niet hoeven te worden opgenomen in de schematisatie. In het huidige ééndimensionale model van de Overijsselse Vecht in SOBEK3 zijn de kunstwerken wel opgenomen.

### 2.5.1.3 Overige schutsluizen en keringen

Op de Overijsselse Vechtdelta zijn vele kanalen aangesloten. Schutsluizen en keringen gelegen op de modelrand zijn de Spooldersluis op het Zwolle-IJsselkanaal en de Ramspolkering op de overgang tussen Ketelmeer en Zwarte Meer.

Daarnaast is er de keersluis bij Kadoelen, die er voor zorgt dat de waterstand in het Vollenhovermeer niet te hoog oploopt. De vijf hefdeuren van de Kadoelerkeersluis worden neergelaten, als de waterstand in het Zwarte Water een hoogte van 1,00 m+NAP bereikt. De totale breedte van de keersluis is 24,3 meter.

Het Meppelerdiep watert in normale omstandigheden onder vrije afstroming af naar het Zwarte Water. Als het waterpeil in het Meppelerdiep bij Zedemuden stijgt tot +0.47 m NAP dan wordt de Meppelerdiepsluis (breedte van 20 meter en drempel op -5.15 m+NAP) gesloten en wordt het Meppelerdiep bemalen door gemaal Zedemuden, zie Tabel 2.3. Dit gemaal probeert vervolgens het peil van het Meppelerdiep op +0.30 m NAP te brengen en te handhaven. De Meppelerdiepsluis gaat weer open als Zwartsluis buiten onder de +0.45 m+NAP is gezakt en Galgenkampsbrug onder de +0.55 m+NAP en de waterstand eendalende trend heeft.

Tabel 2.3 Karakteristieken van gemaal Zedemuden.

Aantal pompen	3
Capaciteit per pomp	41,3 m <sup>3</sup> /s
Totale capaciteit	124 m <sup>3</sup> /s

<sup>5</sup> Persoonlijke communicatie met Jeroen van der Scheer (WVS).

#### 2.5.1.4 Duikers en inlaatsluizen

Binnen de uiterwaarden liggen op diverse plaatsen duikers om de in- en uitstroming van de uiterwaarden enigszins te kunnen controleren. Deze liggen binnen het gebied, bijvoorbeeld in zomerkades. Ook zijn er op diverse plekken tunnels aanwezig in bijvoorbeeld bruggenhoofden. Bij stroming door de uiterwaarden zullen deze tunnels mogelijk veel water afvoeren door de plaatselijke vernauwing van dit bruggenhoofd. Het effect van het meenemen van deze openingen op het verloop van een hoogwatergolf kan significant zijn, zie ook eerdere studie hiernaar voor de Rijntakken (De Jong, 2015). In de uiterwaarden van de Vecht zijn deze duikers en inlaatsluizen niet noemenswaardig aanwezig. Langs het Zwarte Water zijn wel verschillende gebieden die via een inlaatsluis of klep eerder onder water kunnen worden gezet. De exacte locatie van de inlaatwerken is echter niet bekend en ook niet de betreffende dimensies en bediening. Ze zijn o.a. in beheer bij Staatsbosbeheer (en dus niet bij de waterschappen of RWS) en worden ingezet om gebieden te kunnen inunderen in het kader van natuurbeheer. Het effect op de resultaten van het model is waarschijnlijk klein en daarom worden ze niet meegenomen in het model. De gebieden lopen dan pas onder als de kade overstroomt.

Er zijn echter twee belangrijke duikers die een grotere invloed hebben en daarom wel moeten worden meegenomen. De eerste is nabij stuw Mariënberg, waar de Stuwdijk de nevengeul langs de stuw kruist. De tweede is bij Noord Meene onder de N34 door.

#### 2.5.1.1 Bruggen

Ten behoeve van diverse vervoerstromen zoals voetgangers, autoverkeer en treinverkeer zijn er verschillende bruggen over de riviertakken, zie Figuur 2.13. Deze bruggen beïnvloeden de stroming doordat er brugpijlers in de rivier staan en soms omdat het water tot het brugdek komt. Daarnaast hebben de bruggen vaak een talud met een bruggenhoofd waardoor de doorgaande stroming door de uiterwaarden voorkomen of gehinderd wordt.



Figuur 2.13 Brug bij Dalfsen.

#### 2.5.2 Retentiegebieden en nevengeulen

In de Overijsselse Vechtdelta zijn verschillende retentiegebieden en nevengeulen aanwezig, die met name bij hoge afvoeren moeten zorgen voor een (lokale) verlaging van de waterstand. Deze retentiegebieden en nevengeulen bevatten vaak een specifieke drempel of een in- of uitlaatconstructie waardoor de waterstand waarbij instroming plaats vindt nauwkeurig bekend is. Naast bestaande retentiegebieden en nevengeulen zijn er ook voor de toekomst een aantal maatregelen gepland, welke in een toekomstige versie van het model moeten worden meegenomen. Indien mogelijk (en bekend) is het rooster hier wel zo goed mogelijk op voorbereid.

**Inlaatwerk nevengeul Vilsteren (stuw Plaggenmars)**

Naast stuw Vilsteren is een nevengeul aangelegd, waarin een inlaatwerk is opgenomen, zie Figuur 2.10. De karakteristieken hiervan zijn weergegeven in onderstaande tabel:

Aantal kleppen	Breedte klep (m)	Maximale drempelhoogte (m+NAP)	Minimale drempelhoogte (m+NAP)	Setpoint winter (zomer) <sup>6</sup> (m+NAP)
3	6,5 / 2 / 6,5	2,75	1,2	2,35 (2,65)



Figuur 2.14 Stuw Plaggenmars (inlaatwerk nevengeul Vilsteren).

Bij reguliere en lage afvoeren van de Vecht is de prioriteitsvolgorde voor de waterverdeling over de verschillende elementen:

- 1 Afvoer via de vispassage (1,5 m<sup>3</sup>/s)
- 2 Afvoer via de nevengeul, totdat peil benedenstrooms van het inlaatwerk 1,75 m+NAP bereikt.
- 3 Afvoer via de stuw/hoofdgeul

De hoofdtrandvoorwaarde is dat het peil bovenstrooms zo lang mogelijk op streefpeil gehandhaafd blijft. Bij lage afvoeren wordt eerst de vistrap van water voorzien (ca 1,5 m<sup>3</sup>/s). Als de afvoer groter is wordt er allereerst water via de nevengeul afgevoerd, met als randvoorwaarde dat:

- de peilen bovenstrooms van het inlaatwerk op streefpeil blijven, én
- de peilen in de nevengeul (benedenstrooms van het inlaatwerk niet hoger worden dan 1,75 m NAP (om te voorkomen dat de percelen langs de nevengeul vernatten).
- in principe wordt zoveel mogelijk via klep 2 (de smalle klep) afgevoerd.

De rest van het beschikbare water wordt via de hoofdgeul (stuw Vilsteren) afgevoerd.

Bij hoogwatersituaties zal stuw Vilsteren verdrinken en zal ook het bovenstroomse peil in de Vecht tot boven het reguliere streefpeil oplopen. In dergelijke situaties mag ook het peil in de nevengeul hoger worden dan de bovengrens van 1,75 m NAP. De peilbeheerder oordeelt dan of en hoever de kleppen van het inlaatwerk zakken.

Samenvattend

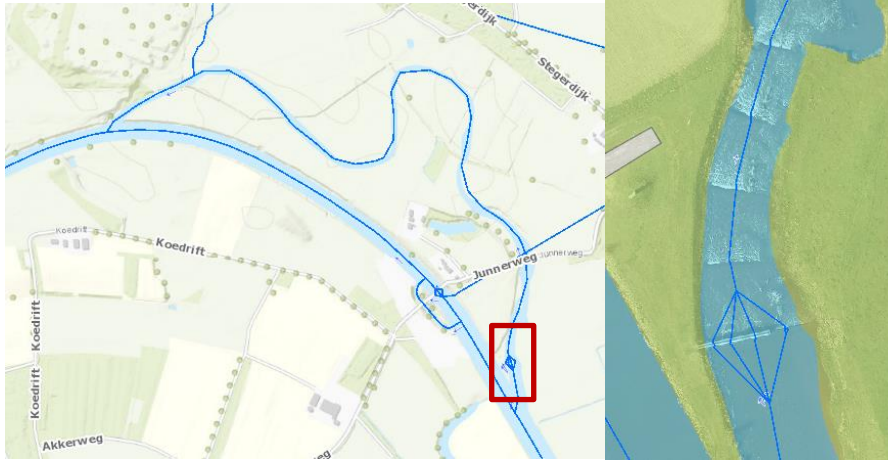
Bij lage afvoeren (2-15 m<sup>3</sup>/s) regelt stuw Plaggenmars het bovenstroomse peil in de Vecht, totdat het peil benedenstrooms van de inlaat (in de nevengeul) oploopt tot 1,75 m NAP. Vanaf dat moment regelt stuw Vilsteren het peil in de Vecht. Bij hoogwatersituaties springt stuw Plaggenmars weer bij als het bovenstroomse streefpeil niet kan worden gehandhaafd.

<sup>6</sup> Dit betreffen de theoretische sturingswaarden voor de stuwen op de Overijsselse Vecht. In de praktijk kunnen door menselijke factoren de werkelijk gehanteerde stuwpeilen afwijken.

### Inlaatwerk nevengeul Junne

Aan het begin van de nevengeul bij Junne is een inlaatkunstwerk aanwezig (zie Figuur 2.15), bestaande uit:

- 3 afsluitbare overlaten met een breedte van 6,5 m.
- 1 vaste drempel met een breedte van 14,9 m en hoogte van 4,42 m+NAP en daaronder een kleine doorlaatopening (gat in damwand)
- Daarachter drie vistrapdrempels (in stortsteen).



Figuur 2.15 Inlaatwerk nevengeul Junne.

### Nevengeul stuw Mariënberg

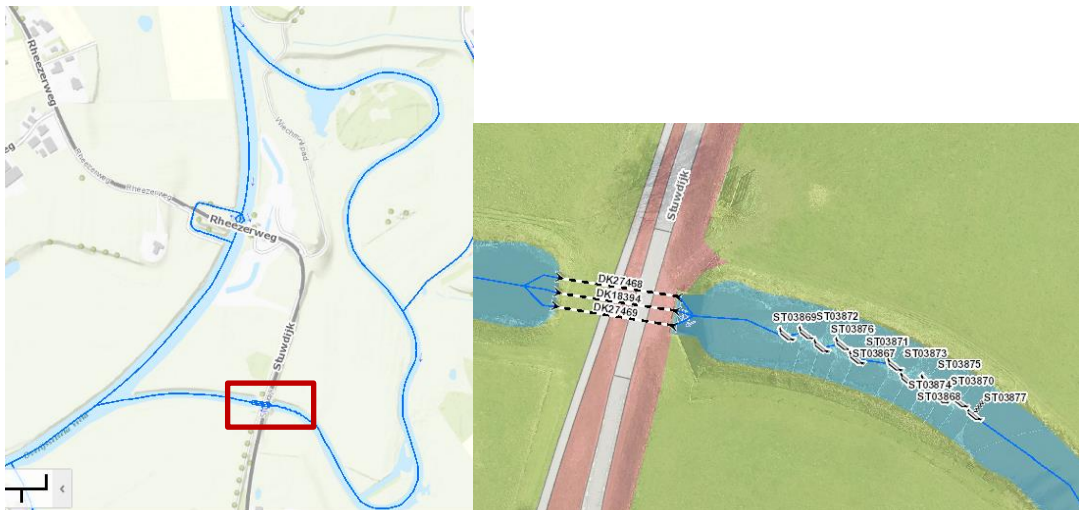
Het regelwerk zit net bovenstrooms de Stuw dijk, zie Figuur 2.16. Dit bestaat uit een vertical slot vistrap met 11 damwanden.

Afmetingen bovenste trap:

- slot: B=0,25 m H (onderkant)=4,87 m + NAP
- Overlaat B=20 m H=5,66 m + NAP

Elke volgende trap ligt 12,5 cm lager.

Onder de Stuw dijk liggen drie duikers met een diameter van 3 m, bok 2,5 m.



Figuur 2.16 Inlaatwerk nevengeul stuw Mariënberg.

### Rond stuw Hardenberg

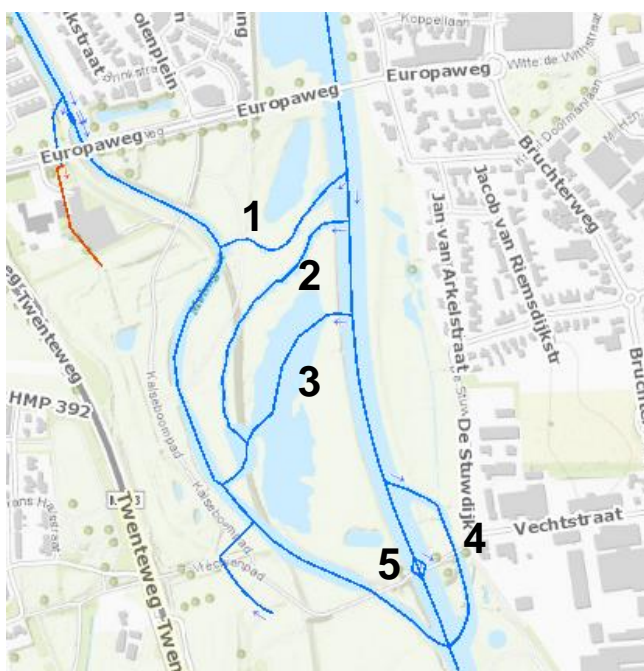
Rond stuw Hardenberg is een complexe situatie bestaande uit verschillende kunstwerken (zie Figuur 2.17):

- 1 Kanogoot
- 2 Vistrap
- 3 Lokstroom voor vistrap
- 4 Sluis
- 5 Stuwkleppen

De kanogoot, lokstroom en sluis gaan dicht bij hoogwater.

Voor de vistrap geldt het volgende:

- Begint bovenstrooms met een schuif die open kan tot de volgende afmetingen:
  - Breedte = 5,8 m
  - Bok = 5,99 m + NAP
- Benedenstrooms daarvan tredes met een breedte van 8 m, hoogte 7,14 m + NAP met daarin een opening  $B=0,9$  m en bok 5,97 m + NAP
- Elke volgende trede ligt 10 cm lager (18 tredes in totaal)



Figuur 2.17 Situatie rond stuw Hardenberg.

#### 2.5.2.2 Inlaten Noord- en Zuid-Meene

De informatie in deze paragraaf is gebaseerd op Vechtstromen (2012). De noodoverloopgebieden Noord- en Zuid-Meene worden ingezet bij zeer hoge afvoer van de Vecht. De inzet van deze noodoverloopgebieden is afhankelijk van waar de afvoergolf hoog is. Dit kan op het Afwateringskanaal en/of op Vecht zelf zijn. De waterstand bovenstrooms van stuw De Haandrik is richting gevend voor de inzet van de noodoverloopgebieden Zuid- en Noord-Meene. Elk gebied beschikt over één inlaat, die bestaat uit 4 schuiven. Telkens wordt 1 schuif per keer opengezet totdat het kritische peil weer wordt bereikt, dan wordt de volgende schuif ingezet. De schotten worden handmatig met een kraan uitgelicht en ook weer teruggezet wanneer het gebied tot een diepte van ca. 75 cm is gevuld.



Voorafgaand aan het moment dat de Noord en Zuid wordt ingezet gaat bij een peil van 9,20 m+NAP de sluis Almelo-De Haandrik automatisch dicht. Bij een peil van 9,25 m+NAP gaat de Coevordersluis automatisch dicht en wordt de Overijsselse stuw ingezet. In dat geval gaat alle water vanuit Zuidoost Drenthe via het Afwateringskanaal. Dit komt gemiddeld ongeveer 1x per 2 jaar voor.

Het kritische peil op het Afwateringskanaal wordt bepaald door het kritische peil van 10,50 m+NAP in de grachten van Coevorden. De hoogte van het kritische peil in de grachten van Coevorden wordt bepaald door de hoogte van de kades rond de grachten. Die hoogte moet zijn 11.00 m+NAP.

Het normale peil in de Vecht bovenstrooms van de stuw De Haandrik is 9,10 m+NAP, benedenstrooms is normaalpeil 7,10 m + NAP. (In 1998 was het peil beneden stuw De Haandrik 10,35 + NAP en daarboven 10,48 + NAP).

Het kritische peil bij stuw De Haandrik is 10,60 m+NAP (1,5 m boven normaal peil en 40 cm onder kruinhoogte). Dit is het peil waarbij de Noord- en Zuid-Meene in principe worden ingezet. Of het gebied bij dit peil ook daadwerkelijk wordt ingezet hangt af van het advies van de adviseurs watersysteem.

Hun advies is gebaseerd op de weersverwachtingen voor de komende uren en dagen en de daarmee samenhangende afvoer van de Vecht.

Voor het openen van de inlaat bij Zuid-Meene moet er een hoge waterstand zijn bij De Haandrik (boven 10,6 m+NAP) en er moet ook ruimte zijn in die polder (polderpeil lager dan 10,1 m+NAP). De noodoverloopgebieden worden alleen ingezet bij zeer extreme omstandigheden ( $\pm T=200$  en dit was tot nu toe niet het geval). Voor een overzicht van de karakteristieken van de inlaatgebieden, zie Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Karakteristieken noodoverloopgebieden Zuid- en Noord-Meene (WDOD, 2012; Lassche, 2014).

Karakteristieken	Noord-Meene		Zuid-Meene	
<b>Ligging</b>	<b>Aan het Afwateringskanaal</b>		<b>Aan de Vecht bovenstrooms van stuw De Haandrik</b>	
Oppervlakte noodoverloopgebied	158	[ha]	214	[ha]
Maximaal toelaatbaar peil in ret.geb.	9,60	[m+NAP]	10,10	[m+NAP]
Laagste punt in noodoverloopgebied	7,90	[m+NAP]	7,90	[m+NAP]
Waterdiepte noodoverloopgebied	0,40 – 1,60	[m]	0,20 – 2,20	[m]
Bergingscapaciteit	1,78	[milj. m <sup>3</sup> ]	2,57	[milj. m <sup>3</sup> ]
<i>Inzetpeil - peil boven stuw De Haandrik</i>	<b>10,60</b>	<b>[m+NAP]</b>	<b>10,60</b>	<b>[m+NAP]</b>
Openingsbreedte schuiven	4	[m]	4	[m]
Aantal schuiven	4		4	
Maximaal stuw niveau (open) (Van der Mheen, 2014)	9,9	[m+NAP]	10,90	[m+NAP]
Minimaal stuw niveau (dicht) (Van der Mheen, 2014)	8,3	[m+NAP]	9,30	[m+NAP]

### 2.5.3 Beken, rivieren en gemalen

Op de Overijsselse Vechtdelta lozen en onttrekken tientallen beken, rivieren en gemalen. Er is zoveel mogelijk rekening gehouden met alle belangrijke uitwisselpunten, waarbij wel clusteringen aangebracht zijn door kleine lozingen samen te voegen tot grotere. Een overzicht van de locaties die ook als laterale in- of uitstroming zullen worden meegenomen in het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta is gegeven in bijlage H.2 .

#### 2.5.4 Dijkringen en hoge gronden

De begrenzing van de uiterwaarden van de Overijsselse Vechtdelta wordt voor een groot traject bepaald door bandijken. Benedenstreams van Ommen (westelijk van de N348, zie Figuur 4.3) zijn dit primaire keringen, maar bovenstreams van Ommen zijn het 'overige' keringen en deze overstromen snel (overstromingskans 1/200 jaar). Een deel van de primaire keringen (tussen Dalfsen en Ommen) bestaat uit hoge gronden. Dit geldt ook voor de keringen van Vechtstromen.

## 3 Toepassingen van het model

De modellen van de Overijsselse Vecht Delta worden binnen RWS en de Waterschappen gebruikt in verschillende toepassingen die gerelateerd zijn aan de functies van het watersysteem en dienen geschikt te zijn om vragen die hierop betrekking hebben te helpen beantwoorden. Elke toepassing stelt zijn eigen eisen aan de te gebruiken modellen. In onderstaande paragrafen wordt verder ingegaan op de verschillende toepassingen voor RWS en de Waterschappen. Er wordt verder ingegaan op een paar belangrijke functies en aangegeven welke wensen daaruit voortkomen aan het nieuwe zesde-generatie model. Daarna wordt kort het modelinstrumentarium en de koppeling met andere modellen besproken

### 3.1 Toepassingen voor RWS

Voor RWS zijn de algemene eisen, wensen en verwachtingen voor de zesde-generatie modellen geïnventariseerd in Minns, Spruyt & Kerkhoven (2020) volgens een indeling langs de lijn van de RWS-missie:

Samen met anderen werken we aan een land dat

- beschermd is tegen overstromingen,
- waar voldoende groen is,
- voldoende en schoon water
- en waar je vlot en veilig van A naar B kunt.

Deze eisen zijn ook opgenomen in het Programma van Eisen van RWS voor de zesde-generatie modellen (bijlage A). Op deze manier staan de toepassingen voor RWS centraal en worden de modellen hiervoor gebouwd, in plaats van dat er eerst een model wordt gemaakt en dat iedere toepassing hiervan gebruik moet maken (of het geschikt is of niet).

Toepassing van hydraulische modellen van de Overijsselse Vechtdelta zou in alle RWS-processen plaats kunnen vinden:

- Aanleg en onderhoud
  - Verkenningen en planstudies
- Informatievoorziening
  - toeleverend: gegevensinwinning (bodem, water, etc.)
  - aanleverend: vervaardigen betrekkinglijnen
- Slagvaardig crisismanagement
  - operationele waterverwachting
  - overige crisissituaties
- Omgevings- en assetmanagement
  - AM: vergunningverlening en handhaving
- Verkeer- en watermanagement
  - dagelijkse berichtgeving (RWsOS)
- Kennis en netwerkkwaliteit
  - bouw, ontwikkeling, actualisatie, software
  - beleidsadvies (bv. BOI, Deltaprogramma)
  - netwerkmonitoring (Advies Monitoring Hoogwaterveiligheid)
  - onderzoek

## 3.2 Toepassingen voor de Waterschappen

De Overijsselse Vecht zelf is in beheer van de Waterschappen Vechtstromen (Nederlandse grens tot Ommen) en Drents Overijsselse Delta (Ommen tot het Zwarte Water). Deze waterschappen hebben specifieke toepassingen voor de modellen van de Overijsselse Vechtdelta. Deze (toekomstige) toepassingen overlappen deels met de toepassingen van RWS en worden hieronder kort benoemd:

- Beoordelings en OntwerpInstrumentarium<sup>7</sup> (BOI): bepaling hydraulische belastingen voor de primaire keringen
- Bepaling hydraulische belastingen voor de 'overige keringen'
- Vergunningverlening
- Scenariostudies en ontwerp (o.a. ontwerp van Ruimte voor de Rivier maatregelen zowel voor lage als hoge afvoeren)
- Operationele verwachtingen in het hoogwatervoorspelsysteem FEWS-Vecht<sup>8</sup>
- Operationele verwachtingen in het hoogwatervoorspelsysteem RWSOS-Meren
- Bepalen extreme afvoeren i.h.k.v. GRADE-Vecht
- Waterverdeling (waterbalans)
- Beheer van vegetatie (bijv. binnen het Lumbricus project)
- Overstromingsmodellering<sup>9</sup>
- Bepalen van afvoer door nevengeulen rond stuwen<sup>10</sup>.

## 3.3 Overige toepassingen

### 3.3.1 Beschermen achterland tegen hoog water (Waterveiligheid)

Nederland ligt voor een groot deel onder het niveau van de zeespiegel en moet daarom altijd alert zijn op mogelijke overstromingen. Ook hoge waterstanden op de rivieren vragen om een wakend oog. Door klimaatverandering neemt de kwetsbaarheid voor overstromingen toe. Nederland kent een uitgebreid stelsel van zogenaamde primaire en regionale waterkeringen, die bescherming bieden tegen overstromingen bij hoogwater en deze bestaan voornamelijk uit dijken. Het voorkomen van overstromingen (o.a. door het onderhouden van de (primaire) keringen, maar ook door de rivier meer ruimte te geven) en het tijdig waarschuwen voor hoogwater zijn belangrijke kerntaken van Rijkswaterstaat en de Waterschappen.

Van oudsher zijn de hydraulische modellen voor de Overijsselse Vechtdelta met name opgezet om deze kerntaken te kunnen ondersteunen. Dit blijft ook in de toekomst een erg belangrijke toepassing van de modellen. Er is echter een verschil tussen het traject boven- en benedenstrooms van Ommen. Benedenstrooms van Ommen wordt de Overijsselse Vecht beschermd door primaire keringen, terwijl dit bovenstrooms van Ommen niet het geval is (beschermd door 'overige' keringen). De beschermingsniveaus zijn dus verschillend tussen deze twee trajecten. Dit heeft implicaties o.a. voor gegevens, modelbouw en betrokken partijen.

Voor het Beoordelings en OntwerpInstrumentarium (BOI) zullen de zesde-generatiemodellen worden gebruikt in toekomstige toetsronden en hiervoor is een goede berekening van de waterstanden van belang.

---

<sup>7</sup> Samenvoeging van het huidige Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium (WBI) en Ontwerp Instrumentarium (OI).

<sup>8</sup> Hiervoor wordt op dit moment een ééndimensionaal SOBEK3-model gebruikt. Een tweedimensionaal model vergt zeer waarschijnlijk teveel rekentijd.

<sup>9</sup> In eerste instantie wordt een tweedimensionaal model opgezet dat loopt tot de bandijk. Hier kan in de toekomst wel het binnendijks gebied aan worden toegevoegd.

<sup>10</sup> Hiervoor is een hoog detailniveau gewenst, wat niet geheel past binnen de globale opzet van het model in dit rapport.

### 3.3.2 Leveren van voldoende water (Zoetwatervoorziening)

De Overijsselse Vecht is ook belangrijk voor de zoetwatervoorziening in dit deel van Nederland. In droge periodes wordt er water via het Twentekanaal uit de IJssel ingelaten dat via het kanaal Almelo-De Haandrik naar de Vecht gaat. Voor vraagstukken rond zoetwaterverdeling wordt momenteel met name gebruik gemaakt van het Landelijk SOBEK Model (LSM). De meest recente versie (LSM-RWS) bevat de meest recente 1D-schematisaties (SOBEK3) van de Overijsselse Vechtdelta met hieraan gekoppeld het Meppelerdiep (en de overige gebieden van RWS). In de toekomst zal een update van het 1D-model plaatsvinden op basis van de resultaten van het zesde-generatie 2D model dat in dit rapport wordt beschreven.

### 3.3.3 Scheepvaart accommoderen (Scheepvaart)

Met de aanleg van de twee laatste sluisen in de Overijsselse Vecht bij Junne en Mariënberg is de Vecht bevaarbaar van Ommen tot aan de Duitse grens. De diepgang is bovenstrooms van Ommen een halve meter waardoor de Vecht uitermate geschikt is voor kleine vaartuigen zoals sloepen, platbodems en kano's, (alleen voor recreatievaart, dus). De sluisen zijn qua afmetingen hierop gebouwd. Benedenstrooms van Ommen is de Vecht bevaarbaar tot een vaardiepte van 1 meter.

Maximaal toegestane diepgang vaartuigen:

- van Zwolle tot Hessel Mulertbrug Ommen: tot max. 1 m
- van Hessel Mulertbrug Ommen tot Duitse grens: tot max. 0,5 m

Interesse vanuit WVS zit daarom vooral op morfologie en zandtransport: hoe verplaatst het zand zich, waar zijn dieptes en ondieptes? Deze ondiepten zijn ook vanuit veiligheid en bevaarbaarheid dan weer interessant. Het zesde-generatie hydraulische 2D model, dat in dit rapport wordt beschreven, kan in de toekomst in principe dienen als basis voor een morfologische model, waarmee deze vragen kunnen worden beantwoord.

Er is ook beroepsscheepvaart op het Zwarte Water, deels naar Zwolle, deels via Zwartsluis naar Meppel.

## 3.4 Koppeling met andere modellen

De eis aan de opzet van de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging is dat deze voor zoveel mogelijk toepassingen geschikt dienen te zijn. Er is daarom al bij ontwerp en opzet rekening gehouden met de koppeling met andere modellen. Dit is in algemene zin uitgewerkt in hoofdstuk 3 van Minns, Spruyt & Kerkhoven (2020) en in deze paragraaf wordt specifiek ingegaan op de implicaties voor het zesde-generatie 2D-model van de Overijsselse Vechtdelta.

### 3.4.1 Golven

Voor het bepalen van de hydraulische belasting zijn naast de waterstand ook de golven van belang. De golven worden berekend met golfmodellen. Voor het Zwarte Meer (inclusief Kampereiland) is hiervoor een 2D golfmodel (SWAN) beschikbaar.

Op de Overijsselse Vecht en het Zwarte Water wordt op dit moment in het kader van BOI nog geen gebruik gemaakt van 2D-golfmodellen (SWAN), maar wordt voor het effect van wind op golven gebruik gemaakt van de simpelere Bretschneider aanpak op basis van strijklengte. Hierbij wordt de golfoploop bepaald op basis van het beschikbare vrije wateroppervlak. Aangezien de invloed van golven op de hydraulische belasting op de rivieren is toegenomen in de nieuwe normering is er de wens om in de toekomst over te gaan op een nauwkeurigere berekening van golven op de rivieren. Op dit moment is echter nog niet duidelijk hoe dit precies vorm gaat krijgen en of dit ook speelt voor de Overijsselse Vecht en het Zwarte Water, dus hier is dan ook niet expliciet rekening mee gehouden bij het opzetten van het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta. Koppeling van een D-HYDRO model met SWAN is echter in principe gewoon mogelijk (zie ook paragraaf 3.2 uit Minns, Spruyt & Kerkhoven; 2020).

#### **3.4.2 Morfologie**

Voor de morfologische modellering is er op dit moment nog geen model beschikbaar voor de Overijsselse Vechtdelta. Bij het opzetten van de zesde-generatie modelschematisatie voor de waterbeweging is er echter al zoveel mogelijk rekening mee gehouden dat de modellen in de toekomst kunnen worden uitgebreid om ook morfologie door te kunnen rekenen. Dit houdt in dat zo veel mogelijk aan de eisen wordt voldaan die noodzakelijk zijn voor de goede uitvoering van morfologische berekeningen (zie ook paragraaf 3.3 uit Minns, Spruyt & Kerkhoven; 2020)

Voor berekening van morfologie in nevengeulen is waarschijnlijk een gedetailleerder model nodig dan nu wordt opgezet (misschien ook zelfs 3D). Voor globale sedimentbalansen zou het nu op te zetten model wel als basis kunnen dienen. Hiervoor dient dan nog wel de morfologische invoer te worden toegevoegd aan het model en de morfologie te worden afgeregeld.

Daarnaast zijn er ook tools beschikbaar voor eerste inschatting morfologie op basis van waterbeweging. Dit zijn nu WAQBank en WAQMorf op basis van WAQUA-resultaten, maar er komen in de toekomst ook tools beschikbaar met vergelijkbare functionaliteit die werken op basis van D-Flow FM resultaten.

#### **3.4.3 Waterkwaliteit**

Binnen de D-HYDRO suite is het ook mogelijk om waterkwaliteit door te rekenen via de module D-Water Quality (D-WAQ). Deze module is een opvolger van Delft3D-WAQ. Op dit moment vindt er echter weinig modellering plaats met behulp van Delft3D-WAQ in de Overijsselse Vechtdelta en het is ook niet bekend of dit in de toekomst wel het geval zal zijn. Daarom is hier bij de eerste opzet van het 2D hydrodynamische model in eerste instantie niet expliciet rekening mee gehouden.

#### **3.4.4 Grondwater**

Voor laagwatersituaties is ook de koppeling met het grondwater van belang. Hiervoor is het gewenst dat het model kan worden gekoppeld met IMOD (grondwatermodellering). Bij de eerste opzet van het 2D hydrodynamische model is in eerste instantie echter niet expliciet rekening mee gehouden met de mogelijke latere koppeling met grondwater.

#### **3.4.5 Meteorologie**

De forcering door wind speelt een belangrijke rol op het benedenstroomse deel van de Overijsselse Vechtdelta, met name het Zwarte Meer en Zwarte Water, vooral als de koppeling met de volledige IJsselmeer-IJssel-Vechtdelta wordt gemaakt. Daarom is dit proces ook meegenomen in de modellering, zie ook paragraaf 0. Er is in eerste instantie voor het 2D-model geen koppeling met neerslag-afvoermodellen noodzakelijk.

### 3.4.6 Regionale modellen

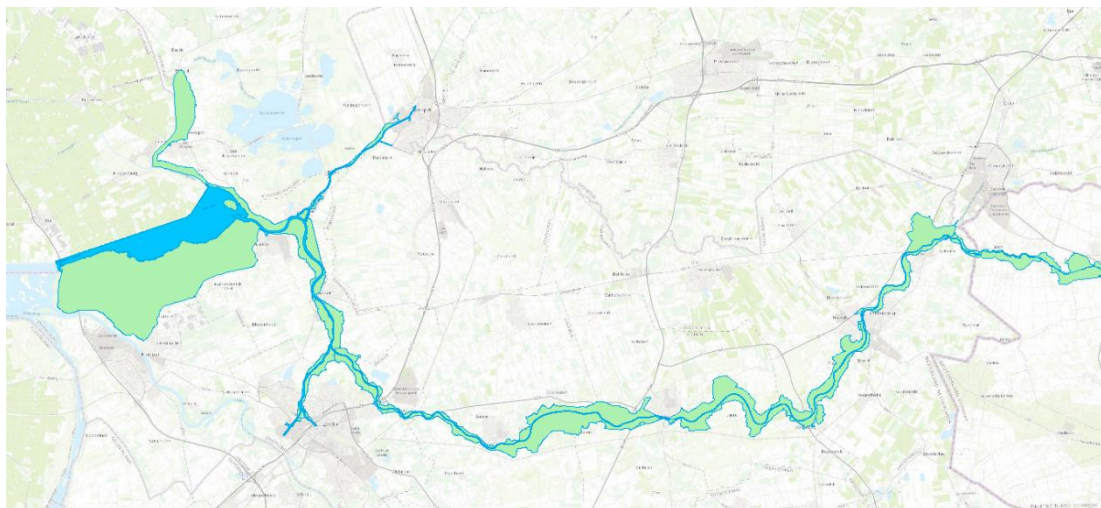
Er zal rekening gehouden moeten worden met de toekomstige koppeling van zesde generatie modellen met de overige modellen van RWS en de modellen van de waterschappen (vooral in 1D). In het kader van het Landelijk Sobek Model (LSM) wordt hier al aandacht aan gegeven. Hierbij moet gedacht worden aan de locatie van de punten waarop de modellen zullen gaan aantakken of uitwisselen en eventuele kunstwerken op de grensvlakken tussen de modellen. De benodigde informatie is opgenomen in de overkoepelende Baseline boom van heel Nederland (Baseline-NL) en komt zo via automatische conversie ook in de modellen terecht.

Daarnaast is er vanuit de Waterschappen ook de wens om overstromingsmodellering toe te kunnen passen. Het rooster (en de onderliggende data) zijn dus makkelijk uit te breiden om ook het binnendijks gebied mee te kunnen nemen. Voor het zesde-generatie Maas-model en Rijntakken model zijn hiervoor al de eerste succesvolle pilots uitgevoerd.

## 4 Beschikbare data

### 4.1 Geometrie in Baseline

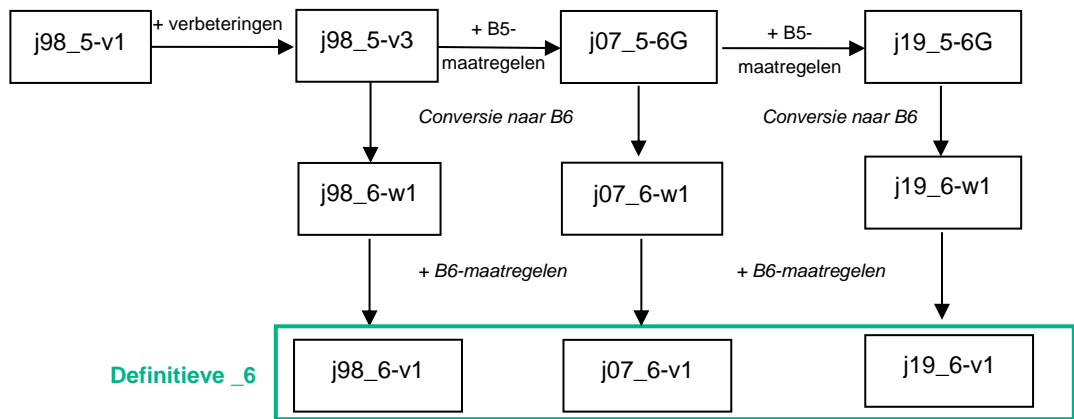
Rijkswaterstaat beheert de geografische informatie ten behoeve van modellen in de GIS-databases van de applicatie Baseline. In deze database wordt data uit lodingen, het digitaal terrein bestand (DTB), ontwerptekeningen en vele andere databronnen gecombineerd. De database is daarna geschikt voor de conversie naar een hydrodynamisch model. Baseline biedt de mogelijkheid om met behulp van lokale maatregelen aanpassingen in de database te maken en zo op een reproduceerbare manier een nieuwe gebiedsbeschrijving te maken om een vergelijking mee uit te voeren. De dekking van de Baseline-schematisatie van de Overijsselse Vechtdelta is gegeven in Figuur 4.1. Een overzicht van de datalagen in Baseline is gegeven in Bijlage A. De nauwkeurigheid van de onderliggende geometrische data is van erg grote invloed op de nauwkeurigheid van het afgeleide hydrodynamische model. Ook voor de roostergeneratie is het noodzakelijk dat deze goed wordt uitgelijnd met de lokale geometrie (zie ook paragraaf 4.7). Daarom is voor aanvang van de modelopzet de geometrische data eerst op orde gebracht.



*Figuur 4.1 Dekking Baseline-schematisatie zesde-generatie Overijsselse Vechtdelta model.*

Voor de zesde-generatie hydrodynamische modellen zijn nieuwe Baseline-databases opgezet voor historische en actuele perioden (voor details zie bijlage D.1). Als basis geldt een verbeterde schematisatie van 1998. Hierop zijn maatregelen ingemixt om tot schematisaties te komen voor perioden die noodzakelijk zijn voor de kalibratie, validatie en actualisatie van het model van de Overijsselse Vechtdelta. De nieuwe schematisaties zijn aangeleverd in Baseline 5 door RWS-ON en de Waterschappen en vervolgens geconverteerd naar Baseline 6 waarin nog enkele Baseline 6-maatregelen zijn ingemixt. Dit proces is weergegeven in Figuur 4.2.





Figuur 4.2 Werkwijze upgrade Baseline-schematisaties naar Baseline 6.

De schematisaties geven de situatie in het hoogwaterseizoen (de winter), en het jaartal in de naamgeving is een verwijzing naar de start hiervan. De schematisaties die zijn gebruikt ten behoeve van de kalibratie, validatie en actualisatie van het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta zijn opgesomd in Tabel 4.1.

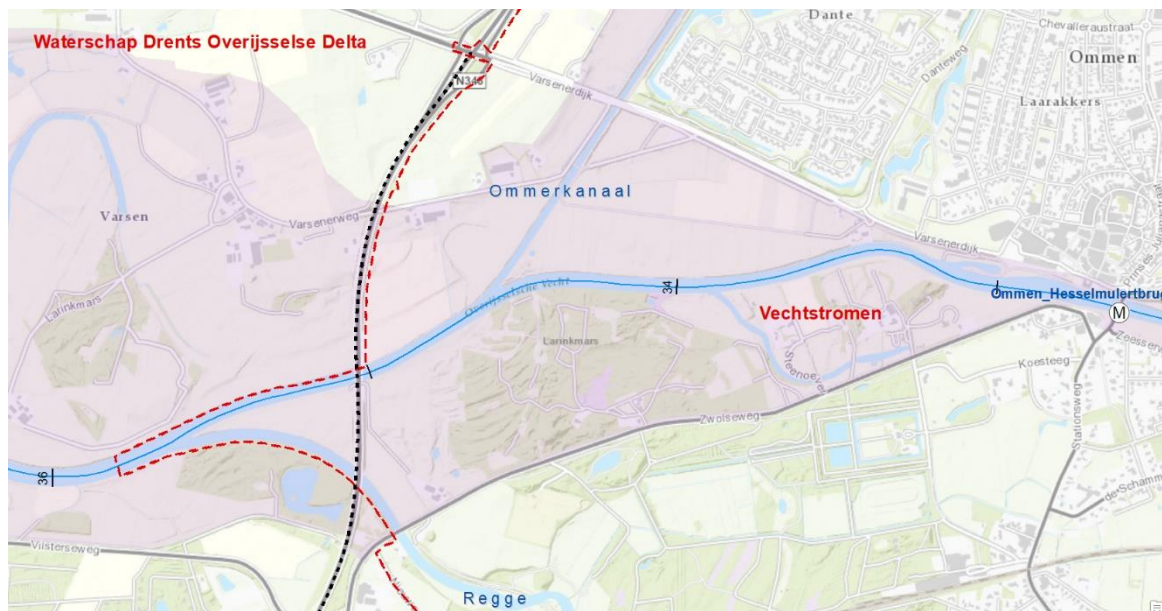
De j07 schematisatie is gebaseerd op de geometrie van het j98-schematisatie, waarbij de bathymetrie in het zomerbed is geactualiseerd naar 2007.

Tabel 4.1 Overzicht van Baseline-schematisaties gebruikt in de opzet van de zesde-generatie modellen van de Overijsselse Vechtdelta.

Baseline-schematisatie	Doel in dit rapport
baseline-ovd-j98_5-v2	Roosterontwerp
baseline-ovd-j98_6-v1	Kalibratie / Validatie van H2 (zie Tabel 6.3)
baseline-ovd-j07_6-v1	Validatie van storm 2007
baseline-ovd-j19_5-v1	Roosterontwerp
baseline-ovd-j19_6-v1	Kalibratie / Validatie van alle perioden behalve H2 (zie Tabel 6.3) en stormen in 2018

De beheerders van de verschillende gebieden zijn (in principe) verantwoordelijk voor de data in hun eigen beheergebied, zie ook Figuur 4.3:

- RWS-ON: Zwarte Water en Zwarte Meer (deze laatste valt eigenlijk onder RWS-MN).
- WDOD: Overijsselse Vecht van Ommen (inclusief N348) tot het Zwarte Water; het Kampereiland
- WVS: Overijsselse Vecht vanaf de Nederlandse grens tot Ommen (tot N348).
- RWS-WVL & WVS: Overijsselse Vecht van Emlichheim tot de Nederlandse grens.



Figuur 4.3 Overzicht van de situatie en grenzen bij Ommen. Rood gestreepte lijn: beheergrenzen waterschappen. Zwart gestreepte lijn (ligging N348): afgesproken clipgrens voor verantwoordelijkheid Baseline schematisaties.

## 4.2 Randvoorwaarden en meetgegevens ten behoeve van kalibratie en validatie

### 4.2.1 Aangeleverde data

De Overijsselse Vechtdelta wordt al vele decennia bemeten. Voor de kalibratie en validatie van een model wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van zo recent mogelijke en tevens zo accuraat mogelijke metingen, maar het is ook belangrijk om minder frequente piekafvoeren mee te nemen. Voor perioden van lage en middelhoge afvoer wordt gebruik gemaakt van de recente periode 2016-2019. De laatste echt hoge afvoeren hebben plaatsgevonden tijdens het hoogwater van 1998, dus deze worden gebruikt voor kalibratie en validatie van dit niveau, zie ook Tabel 4.2. Verder wordt er ook naar specifieke stormperiodes in januari 2007, januari 2018 en maart 2018 gekeken voor de windvalidatie.

Tabel 4.2 Overzicht relevante periodes

Periode	Begin	Eind
HW1998	01-11-1998	31-12-1998
Storm2007	01-01-2007	31-01-2007
2016/2017	01-01-2017	31-03-2017
2017/2018	15-11-2017	31-03-2018
2018/2019	25-01-2019	31-03-2019

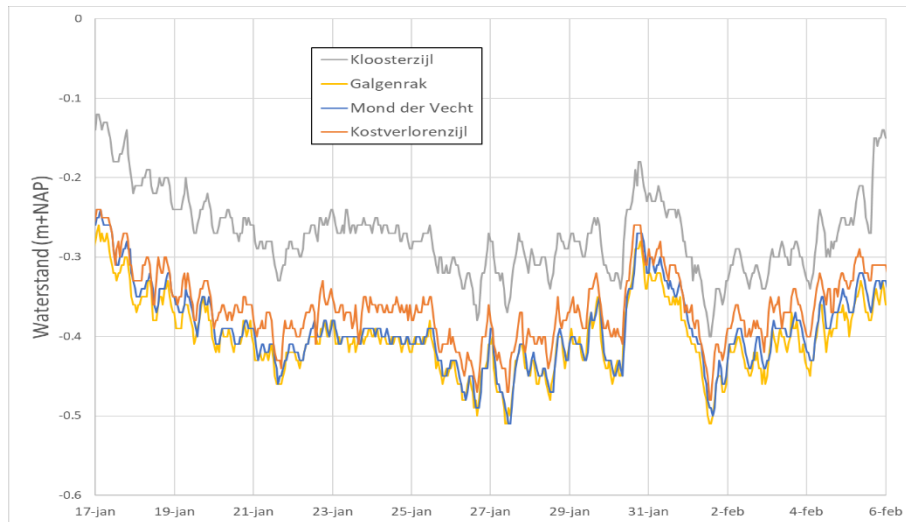
Van deze perioden zijn nieuwe of verbeterde meetgegevens beschikbaar (zie bijlage H). De aanlevering bevat zowel waterstanden als afvoeren voor diverse jaren en daarnaast ook winddata. De aangeleverde afvoerreeksen worden gemaakt door middel van ADM-metingen, Qh-relaties<sup>11</sup> en relaties op basis van onderlinge verhoudingen tussen afvoeren. In Bijlage H is verdere informatie en een overzicht van de metingen in figuren en tabellen opgenomen voor alle jaren. De nieuwe data bevat vele verschillen met de data die gebruikt zijn in eerdere projecten met de vijfde generatie modellen van de Overijsselse Vechtdelta. Er is, in tegenstelling tot vorige projecten, nu veel tijd en aandacht is besteed aan het op orde

<sup>11</sup> Bij een Qh-relatie wordt de lokale waterstand gebruikt om de afvoer te bepalen.

brenge van de meetgegevens door ze onderling te correleren, andere informatiebronnen te gebruiken, etc. Hierdoor is de data nu beter dan bij vorige projecten. De mate en de oorzaak van deze verschillen is daarom niet onderzocht.

#### 4.2.2 Waterstanden Kloosterzijl

De aangeleverde waterstandsdata bij meetpunt Kloosterzijl bleek tijdens de uitvoering van het project niet betrouwbaar te zijn, in ieder geval voor de meer recente perioden. De waterstand bij Kloosterzijl is structureel ca. 10 cm te hoog als je het vergelijkt met omliggende meetstations, zie Figuur 4.4. Waterschap Drents Overijsselse Delta bevestigt deze bevinding ook op basis van andere beschikbare metingen in hun gebied<sup>12</sup>. De waterstandsmetingen bij Kloosterzijl worden daarom niet gebruikt in de kalibratie van het model voor de recente perioden (2016-2019), maar wel voor 1998.



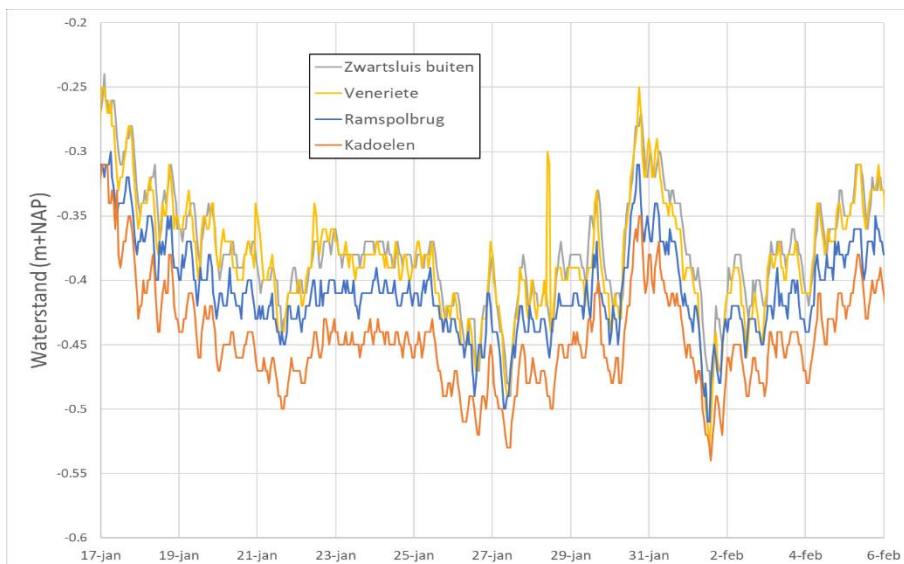
Figuur 4.4 Verschillende waterstandsmetingen langs het Zwarte Water voor de periode begin 2017.

#### 4.2.3 Waterstanden Kadoelen

De aangeleverde waterstandsdata bij meetpunt Kadoelen bleek tijdens de uitvoering van het project niet betrouwbaar te zijn, in ieder geval voor de meer recente perioden. De waterstand bij Kadoelen is structureel ca. 5 cm te laag als je het vergelijkt met omliggende meetstations, zie Figuur 4.5. Dit is intern ook bij RWS aangekaart en wordt hopelijk in de toekomst verbeterd. De waterstandsmetingen bij Kadoelen worden daarom niet gebruikt in de kalibratie<sup>13</sup> van het model.

<sup>12</sup> Persoonlijke communicatie met Gerben Tromp (WDOD).

<sup>13</sup> Dit meetpunt bleek daarnaast ook niet nodig voor kalibratie van het Zwarte Water. Hiervoor wordt de locatie Genemuiden gebruikt.



Figuur 4.5 Verschillende waterstandsmetingen langs het Zwarte Meer voor de periode begin 2017.

#### 4.2.4 Afvoer Ommen (vs Dalfsen)

Tijdens de analyse van de eerste resultaten kwam naar voren dat er grote verschillen zitten tussen de gemeten afvoeren bij Ommen en Dalfsen. De data bij Ommen en Dalfsen kunnen niet beide goed zijn, want dit klopt niet met de volumebalans op basis van afwaterend oppervlak. Het oppervlak tussen Ommen en Dalfsen is ca. 28% van het totale oppervlak bij Dalfsen. Volgens de "metingen" zit er echter maar 14% tussen Ommen en Dalfsen. Kortom, het "gemeten" verschil in afvoer tussen Ommen en Dalfsen is veel te klein.

Tijdens de opzet van het vijfde-generatie model in WAQUA zagen we ook grote verschillen met de afvoer bij Ommen tussen meting en berekening. Deze is daarom niet gebruikt. Als je het (op 1998) gekalibreerde WAQUA-model afknipt en de gemeten afvoer bij Ommen oplegt (voor de 2007 som), krijg je veel te hoge waterstanden

In deze rapportage en de opzet van het zesde-generatie model van de Overijsselse Vecht kiezen we ervoor om er vanuit te gaan dat Dalfsen 'goed' is, omdat:

- De debietmeter bij Dalfsen het meest recent is gekalibreerd (2012 t.o.v. 2009 voor Ommen). De debietmeter maakt gebruik van de waterstandsmeting in de debietmeter zelf. Hiermee is het mogelijke probleem dat er een te lage waterstand wordt gebruikt niet aan de orde.
- Het profiel bij Dalfsen is ingemeten in 2012, maar op basis van multibeampelingen, lijkt het profiel niet erg veel veranderd. Bij Ommen is de situatie wel veranderd, wat van invloed kan zijn op de metingen.

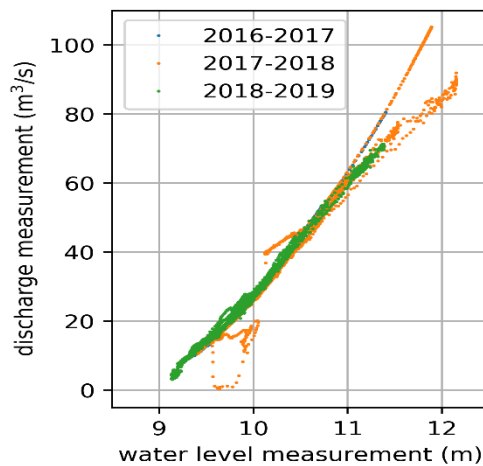
Het debiet bij Ommen is in principe de som van het debiet bij Emlichheim en de tussenliggende laterale toestromingen. Van deze lateralen zijn echter nauwelijks tot geen metingen beschikbaar en ze zijn daarom vooral gebaseerd op relaties. Het is dus erg lastig om hiervoor een algemeen kloppende waterbalans op te stellen.

Tussen Ommen en Dalfsen komen er ook nog een paar laterale lozingen bij. Hiervan zijn echter ook niet veel metingen en ze zijn grotendeels gebaseerd op relaties (ook op basis van de afvoer bij Ommen). De 'metingen' die er zijn, zijn daarnaast vaak gebaseerd op stuwrelaties (met een beperkte nauwkeurigheid in met name de hogere afvoerbereiken).

#### 4.2.5 Afvoer Emlichheim

De afvoeren bij Emlichheim worden door het Duitse waterschap Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) berekend aan de hand van een Q-h relatie. Deze gegevens van Emlichheim zijn door Waterschap Vechtstromen aangeleverd. Over de betrouwbaarheid van de Q-h relatie bij Emlichheim bestaat discussie (met name voor extreem lage en hoge afvoeren). In 2020 is er een nieuw akoestisch meetpunt geplaatst. Analyse van deze data heeft echter nog niet plaatsgevonden en er is sindsdien ook niet een echt hoogwater event geweest.

Aan het eind van het project is gebleken dat de aangeleverde afvoerdata vanaf 1 januari 2018 bestaat uit ongecontroleerde data (niet nabewerkt). Hierdoor zijn in de Qh-relatie van de aangeleverde data voor de hogere afvoeren twee verschillende takken te zien: één van de periode vóór 1-1-2018 en één van de periode daarna, zie Figuur 4.6. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de duiding van de resultaten.



Figuur 4.6 Qh-relatie voor de meetgegevens van Emlichheim voor de verschillende recente relevante periodes.

## 5 Modelopzet

Aan de hand van beschikbare gegevens over de geometrie (zie sectie 4.1) is eerst een rooster gebouwd (sectie 5.1). Vervolgens zijn ruimtelijke eigenschappen met Baseline op dit rooster geprojecteerd voor verschillende Baseline-schematisaties en aangevuld met handmatige aanpassingen en bestanden (sectie 5.2). Randvoorwaarden en externe forceringen worden opgelegd om het model aan te sturen (zie sectie 5.3). Ten slotte volgen de schematisatie en de sturing van de kunstwerken (zie sectie 5.4), de definitie van de ruwheden (zie sectie 5.5) en de fysisch-numerieke instellingen (zie sectie 0).

### 5.1 Roosterontwerp

Het rekenrooster is het fundament van het model en is zeer bepalend voor de nauwkeurigheid en de rekentijd van een model. De inspanning die bij de roostergeneratie wordt besteed om een zo optimaal mogelijke verhouding van nauwkeurigheid versus rekentijd te verkrijgen zal zich terugbetalen in alle simulaties die vervolgens met het model gemaakt worden. Daarom is het rekenrooster met veel zorg opgesteld.

#### 5.1.1 Methodiek

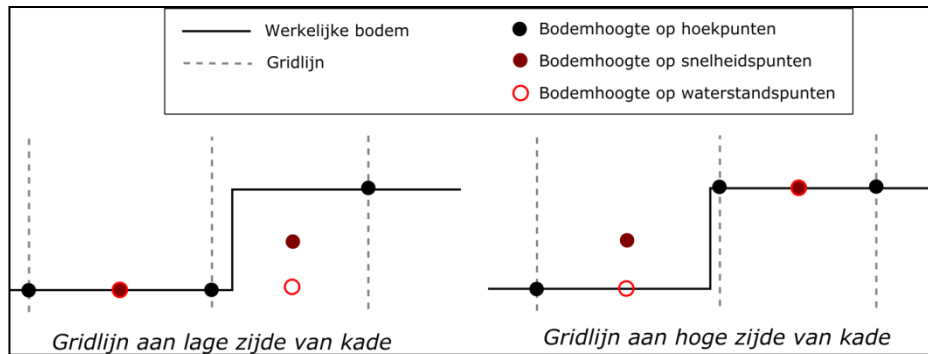
Centraal in de opzet van het ongestructureerde rooster voor de zesde-generatie modellen staan de extra mogelijkheden om het rooster uit te lijnen met de lokale geometrie. Hierbij is de volgende prioritering toegepast (van belangrijk naar minder belangrijk):

- Normaallijnen/oeverlijnen (zomerbed).
- Kunstwerken.
- Stroomlijnen; In de stroomlijnen zitten veel van onderstaande elementen automatisch meegenomen, waaronder nevengeulen, zomerbedverbredingen en belangrijke (stroomgeleidings)kades.
- Bruggen: (talud van) aanbruggen, doorstroomoppervlak en indien aanwezig zeer brede pijlers.
- Ingang van plassen aangetakt aan de rivier (ook rekening houdend met bodemhoogte).
- Belangrijke (stroomgeleidings)kades en inlaatkades retentiegebieden.
- Eilanden en nevengeulen.
- Toekomstige maatregelen.
- Aansluiting met kanalen.
- Bandijken.

De afvoer stroomt grotendeels tussen de oeverlijnen van het zomerbed. Hier zijn ook de hoogste stroomsnelheden waardoor uitlijning van het rooster belangrijk is. De oeverlijnen worden aangevuld met stroomlijnen op basis van modelresultaten uit de eerdere generatie. In de stroomlijnen zijn nevengeulen, zomerbedverbredingen en stroomgeleidingskades duidelijk terug te herkennen.

Het is belangrijk om de discretisatie van de bodemhoogte op het rooster mee te nemen in de opzet van het rooster. De bodemhoogte wordt (door Baseline) bepaald door op de hoekpunten van het rooster de bodemhoogte te prikken in het hoogtebestand (*terrain*). Het waterbewegingsmodel bepaalt zelf de bodemhoogte op de snelheidspunten door het gemiddelde te nemen van de hoekpunten; en bepaalt de bodemhoogte op de waterstandspunten met het minimum van alle snelheidspunten (zie ook paragraaf 0).

Dit is met name belangrijk bij grote verandering in de bodem, bijvoorbeeld bij verticale kaden rondom stuwen (zie Figuur 5.1). Een kleine verplaatsing van de roosterlijn op de kade heeft hier grote gevolgen voor de discretisatie van de bodem. De bodemhoogte op snelheidspunten is van belang op het stroomvoerende profiel, terwijl de bodemhoogte op waterstandspunten enkel het bergende effect bepaalt. Het is daarom vooral van belang dat de snelheidspunten een goede bodemhoogte bevatten. Dit wordt bereikt door de roosterlijn altijd aan de lage zijde van de kade te leggen en de kade zelf ook te modelleren als overlaat in het model.



Figuur 5.1 Een dwarsdoorsnede van de bodemhoogte bij een kade met hierop het effect van de plaatsing van de drie gridlijnen op de discretisatie naar snelheids- en waterstandspunten.

De begrenzing van het rekenrooster is gebaseerd op de begrenzing van de actuele Baseline-schematisatie van 2019 met hierop enkele uitbreidingen. Het rooster loopt aan de bovenstroomse zijde door tot Emlichheim (Duitsland) en aan de benedenstroomse zijde tot Ramspolkering (op het Zwarte Meer). Voor het Zwarte Water is er afstemming geweest met het rooster van de Rijntakken, zodat ook de aansluiting richting de IJssel (via het Kampereiland) goed is geregeld.

Daarnaast dient het ook mogelijk te zijn om in de toekomst het Zwolle-IJsselkanaal (bij de Spoldersluis) aan te laten sluiten op het rooster van de Rijntakken.

De resolutie van het rooster is vergelijkbaar met de resolutie van de vijfde-generatie modellen:

- In het zomerbed zijn er 6-10 cellen van minimaal 5 meter breedte. Deze hebben een aspectratio van maximaal 1:4 en zijn in de lengterichting ca. 20 meter.
- In het winterbed (uiterwaarden) wordt gericht op cellen met een aspect ratio van 1:1. Deze hebben dezelfde resolutie als de lengterichting van het zomerbed: 20 tot 25 meter.

De cellen moeten een minimale resolutie van 10-15 meter hebben, omdat we in D-Flow FM uitgaan van globale modellering (en geen detailmodellering) en er daarom een subgrid-aanpak met behulp van overlaten wordt toegepast om relatief smalle lijnelementen goed mee te kunnen nemen (De Goede & Van Kester, 2013).

### 5.1.2 Aanpak

#### Overijsselse Vecht en Zwarte Water

Er is gekozen voor een methode waarbij het rooster zoveel mogelijk wordt uitgelijnd met stroombanen en waar vierhoekige roostercellen de voorkeur hebben boven driehoeken. Dit heeft de volgende voordelen (De Jong, 2017):

- Minder numerieke diffusie door uitlijning van het rooster met de stroomrichting.
- Een grotere rekentijdstep mogelijk door het grotere volume van vierhoeken ten opzichte van driehoeken.
- Minder roostercellen nodig door de betere gridconvergentie van vierhoeken.

Nadelen van deze methode zijn:

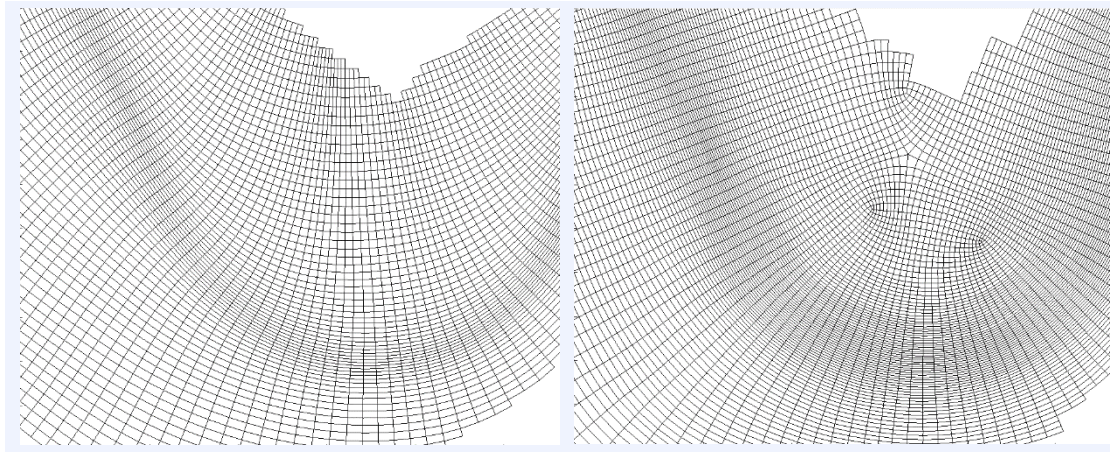
- Het ontwerp van het rooster is arbeidsintensiever.
- Eisen aan orthogonaliteit en smoothness zijn lastiger te halen.

De methode die gebruikt wordt voor het ontwerp kan benoemd worden als een blok-gestructureerd (of multiblok) rooster waarin verschillende kromlijnige blokken door de ongestructureerde administratie toch op elkaar aangesloten kunnen worden.

De algemene werkwijze kan samengevat worden in de volgende punten:

- 1 Allereerst wordt een kromlijnig rooster in het zomerbed gemaakt door met behulp van *splines* de oeverlijnen zo goed mogelijk te volgen.
- 2 Hierna volgt een exponentieel groeiende laag waarbij de langgerekte cellen van het zomerbed groeien tot vierkanten met een laag aspectratio.
- 3 Generatie overige uitglijnde waterlichamen (kanalen, nevengeulen, etc.).
- 4 Vervolgens wordt het winterbed opgedeeld in blokken met vier hoekpunten die aansluiten op bestaande of toekomstige stukken rooster. Binnen ieder blok wordt een rooster van vierhoeken gegenereerd.
- 5 Afwerking om de roosterkwaliteit te verbeteren.

Een voorbeeld van een vergelijking met het rooster zoals gebruikt in het vijfde-generatie WAQUA-model voor de Overijsselse Vecht is gegeven in Figuur 5.2.



Figuur 5.2 Uitsnede uit het rooster bij Stegeren in WAQUA (links) en in D-HYDRO (rechts).

### Zwarte Meer

Het Zwarte Meer is meer windgedomineerd en conform de roosteropzet van het Ketelmeer (en overige meren) is gekozen voor een rooster dat voornamelijk bestaat uit driehoeken. Echter op locaties waar er een dominante stroomrichting aanwezig is (voornamelijk in de vaargeul) wordt deze gevolgd met curvilineaire roostercellen.

Algemeen gelden de volgende uitgangspunten voor het Zwarte Meer:

- Rooster is in principe opgezet in driehoeken.
- Hoge resolutie aan de randen i.v.m. volgen geometrie. In het midden is de resolutie lager.
- In gebieden met een dominante stroomrichting (o.a. vaargeul en aansluiting Ramspol/Ramsdiep) zijn curvilineaire cellen toegepast.
- Tijdstap Zwarte Meer moet bij voorkeur niet beperkend zijn voor het totale model.
- Zo min mogelijk overgangen in roostertype, in ieder geval niet op locaties waar we hier last van kunnen krijgen.



### 5.1.3 Roostereigenschappen

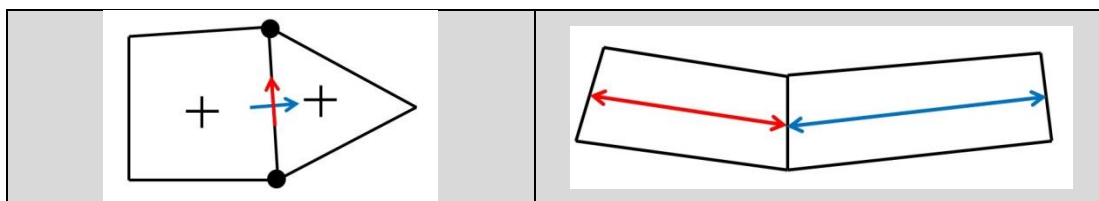
Na initialisatie van het model kan uit het uitvoerbestand (\*\_map.nc) worden uitgelezen hoeveel roostercellen (waterstandspunten) en flow links (snelheidspunten) er uiteindelijk actief zijn na toepassing van de rekenroosterbegrenzing. Dit is vergeleken met het (naar D-HYDRO geconverteerde) vijfde-generatie WAQUA-rooster in Tabel 5.1. Door de uitbreiding van het roostergebied (o.a. met het Meppelerdiep) en het gebruik van een fijner rooster (met name op de Overijsselse Vecht) is het aantal roostercellen bijna verdubbeld. Dat er in het D-Flow FM model relatief minder nodes worden gebruikt dan in het WAQUA rooster, komt omdat er ook driehoekige cellen worden toegepast.

Tabel 5.1 Vergelijking van aantal roostercellen en flow nodes voor de roosters van de vijfde en zesde generatie

	vijfde generatie (40 m)	zesde generatie (25 m)
Aantal roostercellen	224.722	416.370
Aantal nodes	230.196	389.185

Traditioneel wordt een rekenkundig rooster getoetst aan met name de volgende eigenschappen:

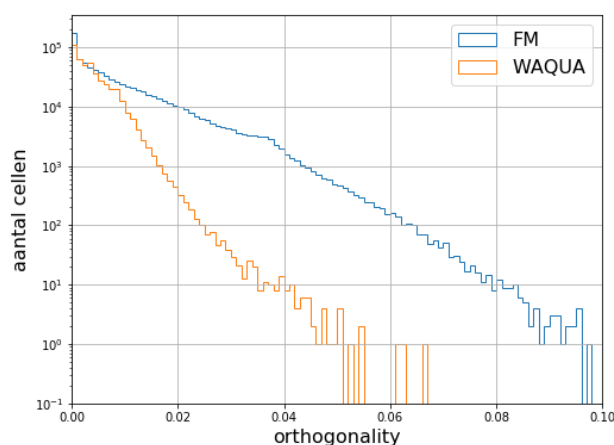
- De orthogonaliteit: dit is de hoek tussen een netlink en een flowlink (Figuur 5.3 links).
- De gladheid (smoothness): dit is de verhouding van de lengte van twee aansluitende roostercellen (Figuur 5.3 rechts).



Figuur 5.3 Illustratie van orthogonaliteit (links) en gladheid/smoothness (rechts).

Beide eigenschappen zorgen voor een hoge nauwkeurigheid in het oplossen van de numerieke vergelijkingen. Daarbij is ook belangrijk wat de oriëntatie van het rooster ten opzichte van de stroomrichting is. Bij een kromlijning rooster (WAQUA) waren hiervoor de mogelijkheden in zeer bochtige delen van de Overijsselse Vecht beperkt, omdat dit zeer grote consequenties zou hebben op de orthogonaliteit en gladheid. Voor een ongestructureerd rooster zijn de consequenties van uitlijnen met de stroomrichting veel kleiner, waardoor de afweging gemaakt is om deze uitlijning te prefereren ten koste van de orthogonaliteit en gladheid.

In Figuur 5.4 is een verdeling gemaakt van de orthogonaliteit en gladheid van het rooster. Hierbij is vergeleken met het vijfde-generatie WAQUA-rooster (geconverteerd naar D-HYDRO). Uit de figuren blijkt dat voor beide eigenschappen de kwaliteit van het rooster is verminderd. Dit wordt veroorzaakt doordat in het vijfde-generatie rooster deze eigenschappen leidend waren in de roostergeneratie, maar dat nu ook naar aanvullende eisen is gekeken (met name uitlijnen op geometrie en belangrijke kunstwerken) en daardoor op orthogonaliteit en gladheid wordt ingeleverd. In Bijlage C is een totaaloverzicht van het rooster opgenomen en worden locatiespecifieke keuzes getoond.



Figuur 5.4 Verdeling van orthogonaliteit in het zesde-generatie rooster (FM) ten opzichte van het vijfde-generatie rooster (WAQUA).

Voor de orthogonaliteit is ernaar gestreefd om deze voor het merendeel van het rooster lager dan 0,01 te brengen. Lokaal kon echter niet voorkomen worden dat er vlakken met een orthogonaliteit tot 0,02 zouden ontstaan. Daarnaast zijn er enkele roostercellen met een orthogonaliteit tot 0,10. Deze zijn vooral buiten de stroomlijnen gehouden en vooral omringd door roostercellen met een lagere orthogonaliteit. Er zijn geen roostercellen in het model met een orthogonaliteit tussen 0,10 en 0,50 (het rekenkundig maximum van D-HYDRO).

Aan de gladheid zijn geen harde eisen gesteld. Dit neemt niet weg dat geprobeerd is om roosterovergangen zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen.

#### 5.1.4 Roosterontwerp in overlapgebieden

De Overijsselse Vechtdelta kent aansluitingen met de Rijntakken. Hoewel de modelgebieden van de Overijsselse Vechtdelta en de Rijntakken geen overlap hebben, raken ze wel aan elkaar en moet het mogelijk zijn om de gebieden aan te kunnen sluiten. Er zijn twee aansluitingspunten, namelijk bij de overgang van het Zwarte Water naar het Ketelmeer (bij de Ramspolkering en het Kampereiland) en de aansluiting van het Zwolle-IJsselkanaal op de IJssel. Op deze locaties zijn beide rekenroosters op elkaar afgestemd, zodat ze aangesloten kunnen worden zonder in te leveren op roosterkwaliteit. Afbeeldingen van het rooster zijn te vinden in Bijlage C.1.

## 5.2 Projectie vanuit Baseline

Voor de opzet van het model wordt grotendeels gebruik gemaakt van de geometrische gebiedsbeschrijving zoals deze opgenomen is in Baseline (zie Paragraaf 4.1). Met behulp van de tool BAS2FM zijn de bestanden geconverteerd naar de invoer voor D-HYDRO.

Vanuit Baseline worden de bestanden aangemaakt zoals weergegeven in Tabel 5.2. Een workflow van de Baseline-database naar deze bestanden is te vinden in Bijlage D.3. De wijze waarop de invoer door D-HYDRO naar het rooster geprojecteerd wordt is beschreven in Bijlage D.4.

Tabel 5.2 Overzicht van de modelbestanden uit Baseline6, met hierbij de vergelijking met de namen in WAQUA.

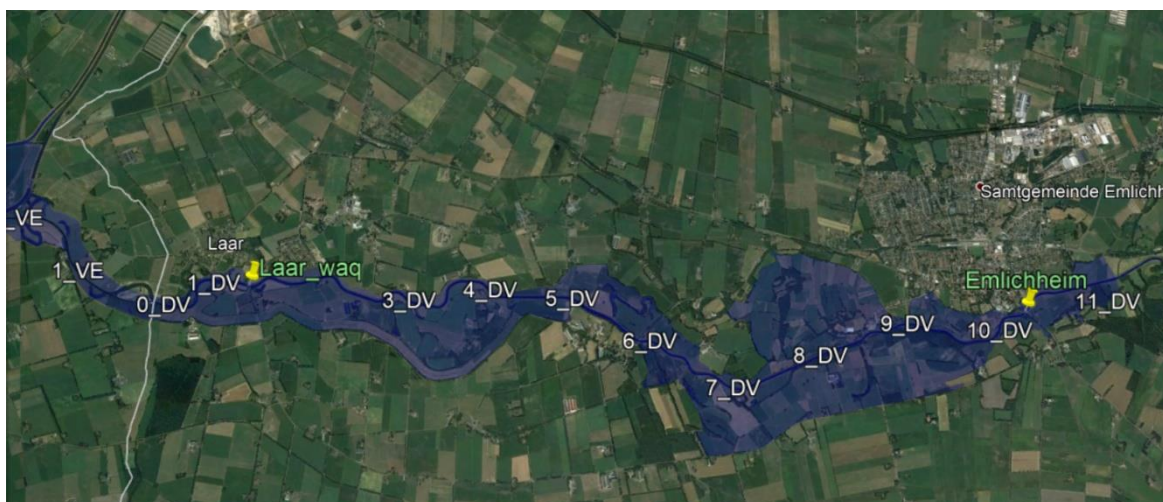
Naamgeving FM	Extensie FM	Naamgeving WAQUA	Beschrijving
netwerk	_.net.nc	rooster & bodem	De bodemhoogte wordt toegevoegd aan het rooster op de hoekpunten.
landboundaries fixed_weirs	.ldb	secties	<i>Enkel voor visualisatie</i>
	.pliz	overlaten	Subgrid afhandeling voor lokale bodemveranderingen, door een drempelwaarde op de snelheidspunten
trachytopen	.arl	ruwheid	Voor iedere snelheidslink is aangegeven uit welke trachytopen de ruwheid bestaat en in welke verhouding.
dry_areas enclosure	.pol	schotjes	Definieert dat een roostercel niet actief is.
	.pol	rekenrooster-begrenzing	Actieve deel van het rekenrooster
thin_dams source_sinks	.pli	schotjes	Definieert dat een snelheidspunt niet actief is.
	.pli	lateraal	Een lokale in- of uitstroming op een roostercel die niet aan de rand van het rooster zit.
structures	.pli	kunstwerken	In tijd-variabele kunstwerken, afgehandeld als overlaat
output_locations	.xyn	uitvoerlocaties	Locaties (waterstandspunten) waarop de waterstand met een hogere frequentie wordt weggeschreven
cross_sections calibration_sections	.pli	-	Langsdoorsnede voor afvoerbepaling
	.cll	-	Indeling van snelheidspunten in kalibratiesecties

## 5.3 Randvoorwaarden

### 5.3.1 Open randen

#### *Emlichheim*

De bovenstroomse rand van het model bevindt zich in het Duitse gedeelte van de Overijsselse Vecht 1 kilometer bovenstrooms van Emlichheim. Hier worden afvoeren die bij Emlichheim zijn bepaald, opgelegd als randvoorwaarde in het model. De totale afvoer die wordt opgelegd wordt automatisch verdeeld over de breedte van de rand. Er is voor gekozen om de rand van het model iets verder bovenstrooms van Emlichheim te plaatsen zodat de gemeten waterstanden bij Emlichheim gebruikt kunnen worden. Bij het doorrekenen van het model verandert de afvoer van de rand tot aan Emlichheim niet.



Figuur 5.5 Ligging rand bij Emlichheim.

### *Ommen*

Voor verschillende toepassingen (o.a. BOI en RWsOS-Meren) wordt de grens van het model (meestal gekoppeld met het IJsselmeer en de IJsseldelta) bij Ommen gekozen. De grens ligt dan bij het meetpunt van Ommen bij de Hessel Mulertbrug (zie Figuur 4.3). Benedenstrooms van Ommen (westelijk van de N348) beginnen namelijk de primaire keringen. Als afvoerrandvoorwaarde wordt dan vaak het gecombineerde debiet van de Overijsselse Vecht bij Ommen Hessel Mulertbrug en die van de Regge en het Ommerkanaal (die eigenlijk pas westelijk van dit meetpunt de Overijsselse Vecht instromen) opgelegd. Deze laatste twee worden dan niet apart als lateraal meegenomen. Bij de kalibratie en validatie van het model wordt echter de bovenstroomse grens bij Emlichheim gebruikt en de afvoer alleen gevalideerd bij Ommen en worden Regge en Ommerkanaal wel als lateraal opgenomen.

### *Ramspolbrug*

De benedenstroomse rand van het model ligt bij Ramspolbrug (Figuur 5.6) en hier worden waterstanden opgelegd. LMW<sup>14</sup>-locatie Ramspolbrug ligt binnen de Ramspolkering, dus de data hiervan is ook bruikbaar bij een gesloten kering. Onder normale omstandigheden bestaat de rand bij Ramspolbrug echter uit twee delen namelijk de Ramsgeul en het Ramsdiep. Er wordt echter aangenomen dat de waterstanden hier hetzelfde zijn en dus wordt voor allebei de gemeten waterstanden van LMW-locatie Ramspolbrug als randvoorwaarde opgelegd. De waterstand wordt hier elke 10 minuten gemeten en is aangeleverd door RWS-ON.



Figuur 5.6 Ligging rand bij Ramspolbrug.

### *Meppel*

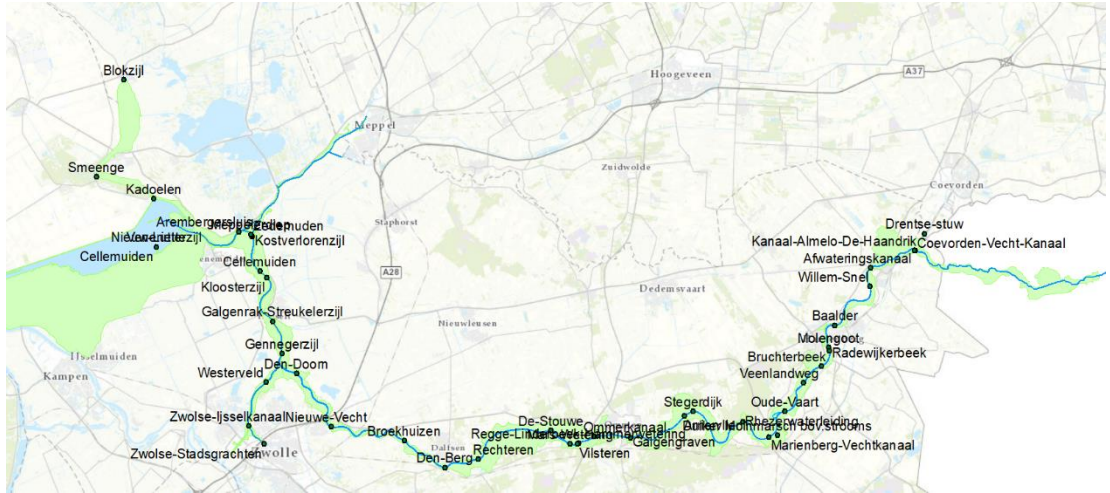
Tijdens de kalibratie en validatie van het model is het Meppelerdiep niet meegenomen (de afvoer wel, als gecombineerde lateraal van Meppelerdiepsluis en Gemaal Zedemuden). In het operationele model is het Meppelerdiep wel toegevoegd en ligt er een afvoerrand bij Galgenkampsbrug in Meppel.

<sup>14</sup> LMW = Landelijk Meetnet Water

### 5.3.2 Lateralen

Lateralen zijn toestromen die lozen op of onttrekken aan het riviersysteem. Deze zijn te klein om op te nemen als tak of voegen geen berging toe aan het systeem en worden daarom als puntlozing (of onttrekking) opgenomen. Het gaat hier om gemalen, schutverliezen bij sluizen en instromende rivieren en beken met een breedte kleiner dan het rekenrooster. De grootte van de in- en uitstromende afvoer is vaak niet precies bekend en wordt daarom afgeleid op basis van beschikbare metingen en regressie-formuleringen.

De locatie van de lateralen in Baseline is zodanig gekozen dat deze niet 'droog' kunnen komen te liggen tijdens de berekeningen (Figuur 5.7).



Figuur 5.7 Overzicht van opgenomen lateralen in het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta.

Van veel van deze lateralen zijn er echter geen of beperkte gegevens van de afvoer beschikbaar. In dit geval is een zo goed mogelijke schatting bij deze lateralen opgelegd, op basis van gebiedskennis en bestaande modellen (zodat bijv. het totaal van de lateralen bovenstrooms van Ommen klopt met de gegevens van het debietmeetpunt). Ook de kwaliteit van de afvoergegevens die wel beschikbaar zijn verschilt per lateraal en per periode. Voor laterale toestromingen worden in veel gevallen de afvoer bij stuwen (die tussen het regionale systeem en het hoofdwatersysteem liggen) berekend, maar in hoogwatersituaties zijn deze berekeningen echter onbetrouwbaar. In de meeste gevallen wordt de afvoer van de gemalen bepaald aan de hand van het aantal draaiuren en de maximale capaciteit. In een aantal gevallen zijn er gemeten afvoeren van een debietmeter beschikbaar.

Voor het afleiden van laterale onttrekkingen en toestromingen wordt gebruik gemaakt van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) (Tanis, 2020). In deze software is een database aan regressies opgenomen waarmee uit een beperkte set randvoorwaarden, een volledige set verkregen kan worden, zie ook bijlage H.2.

Voor aanvang van de kalibratie van het model is er voor gezorgd dat de waterbalans zo goed mogelijk op orde is, zodat de afvoer bij Dalveen zo goed mogelijk wordt berekend met het model, omdat in de afvoer van Dalveen het meeste vertrouwen in is.

### 5.3.3 Initiële condities

Voor het juist modelleren van een afvoergolf is het belangrijk dat de berging correct wordt opgenomen in de modelinvoer. Hiervoor is het belangrijk dat de waterstand in het zomerbed en in plassen goed ingevoerd wordt. Voor rivieren geldt over het algemeen dat initieel alleen het zomerbed (gedeeltelijk) gevuld moet zijn en de plassen in de uiterwaarden. Bij een gevuld winterbed verlies je het bergend effect van de uiterwaarden als er een hoogwatergolf moet worden doorgerekend. Als de plassen niet gevuld zijn, is er juist teveel berging in het systeem.

Als basis voor het aanmaken van een initieel waterstandveld wordt gebruik gemaakt van de 'Create initial waterlevel' Tool (vergelijkbaar met WaqINI voor WAQUA). Deze tool genereert een waterstandsveld (bestandstype: hoogtemodel) op basis van de land/water grens zoals deze is opgeslagen in de Baseline-database. Dit waterstandsveld kan dan als basis worden gebruikt om goede initiële condities te genereren. Hierbij dient een initiële (stationaire) berekening plaats te vinden met de randcondities zoals die aan het begin van de uiteindelijke (eventueel dynamische) simulatie gebruikt gaan worden. Deze initiële berekening dient voldoende lang te zijn, zodanig dat er een stationaire toestand wordt bereikt (Spruyt, 2017).

Naast de initiële condities van het D-Flow FM-rekenhart dient ook D-RTC (RealTimeControl) een initiële toestand te krijgen met de toestand van de kunstwerken. Met name de initiële stand van de stuwen is belangrijk, omdat meerdere (simulatie)dagen kan duren vóór de stuwpanden weer op streefpeil zijn. Dit gebeurt door het vervangen van het state\_import bestand. Dit kan vervangen worden door de definitieve toestand van een eerdere simulatie (state\_export) of door post-processing van het tijdserie-bestand met een python script.

### 5.3.4 Windforcering

De forcering door de wind heeft een belangrijke invloed op het benedenstroomse deel van het Overijsselse Vecht stroomgebied, vooral op het Zwarte Meer en het Zwarte Water. Een deel hiervan wordt meegenomen doordat de windopzet vanuit het Ketelmeer al onderdeel is van de randvoorwaarden bij Ramspolbrug. De windopzet binnen het model (op het Zwarte Water en Zwarte Meer) zitten hier echter niet in. Uit eerdere gevoeligheidsanalyses blijkt dat het weglaten van wind op secties die bovenstrooms van Mond der Vecht gelegen zijn nog nauwelijks effect heeft op de berekende waterstanden op de rivier (Mheen, de Keizer & de Jong; 2015). Dit was echter onder kalibratieomstandigheden. Voor extremere situaties zal het effect groter zijn.



Figuur 5.8 Ruimtelijke verdeling van de KNMI-metstations van windrichting en windsnelheid over Nederland in 2003.

Voor de kalibratie en validatie wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk homogeen windveld op basis van de meetstations Stavoren, Marknesse en Lelystad, met dezelfde weegfactoren als in het vijfde generatie WAQUA-model, zie Tabel 5.3. Daarnaast wordt er ook een validatie uitgevoerd op basis van alleen het station Marknesse. Om het windveld te bepalen, wordt de potentiële windsnelheid bij deze stations gebruikt. Dit potentieel windveld wordt door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) bepaald aan de hand van de gemeten windsnelheid op 10 meter hoogte. De potentiële wind zoals deze door het KNMI wordt bepaald, heeft een temporele resolutie van 1 uur. Deze potentiële wind wordt vervolgens geconverteerd naar open water wind (Bak & Vlag, 1999).

Tabel 5.3 Weegfactoren voor het aanmaken van een ruimtelijk homogeen windveld op basis van het vijfde generatie WAQUA model.

Station	Weegfactor
Stavoren	0.804
Lelystad	0.115
Marknesse	0.081

De validatie met windvelden (HIRLAM en/of HARAMONIE) zal plaatsvinden met het gekoppelde model waarin ook het IJsselmeer en de IJsseldelta zijn opgenomen, en valt nu buiten de scope van dit rapport.

### 5.3.5 Niet-gemodelleerde processen

Naast de forcering van het hydrodynamische model met diverse hydraulische randvoorwaarden zijn er ook andere processen actief die in de modellering niet meegenomen worden omdat de effecten verwaarloosbaar klein zijn, of te veel data of rekenkracht vragen om te modelleren:

- Neerslag en verdamping dragen bij aan de volumebalans. Ten opzichte van de rivierafvoer wordt dit echter verwaarloosbaar klein geacht. Een deel hiervan zal door infiltratie in de grond trekken. Tijdens perioden van lage afvoer kan dit echter niet verwaarloosd worden. Dit wordt deels opgevangen door opname in de laterale condities.

Daarnaast wordt in de keuze van de kalibratieperiode voorkomen dat er teveel neerslag viel.

- Ook de interactie van het oppervlaktewater met het grondwater beïnvloedt de volumebalans. Dit zorgt voor uitwisseling tussen de Overijsselse Vechtdelta en niet-aangetakte plassen. De waterstand in een plas kan alvast stijgen nog voordat er overslag van water over een inlaatwerk plaatsvindt. Om dit proces te kunnen modelleren, moet er ook een grondwatermodule worden gekoppeld aan het hydrodynamische model, maar dit valt nu buiten de scope van de huidige opzet.

## 5.4 Schematisatie en aansturing kunstwerken

De kunstwerken zoals geïntroduceerd in Hoofdstuk 2.5.1 worden ieder op hun eigen manier geschematiseerd in het model. In dit hoofdstuk worden alle verschillende typen kunstwerken langsgelopen. Voor ieder type wordt hierbij ook geschetst hoe deze aangestuurd worden door middel van FeedBackControl in D-RTC (RealTimeControl). De controlgroups van alle kunstwerken zijn te vinden in Bijlage F.

### 5.4.1 Stuwen Overijsselse Vecht

#### 5.4.1.1 Schematisering

De stuwen op de Overijsselse Vecht (zie ook paragraaf 2.5.1.1 voor een volledige beschrijving), bestaan allemaal uit regelbare kleppen en worden daarom met het kunstwerk-type “general structure” (zie Figuur 5.9 en Figuur 5.10) opgenomen, als één regelbare drempel. De kunstwerken hebben de geometrische instellingen volgens Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Schematisering van stuwen in de Overijsselse Vecht.

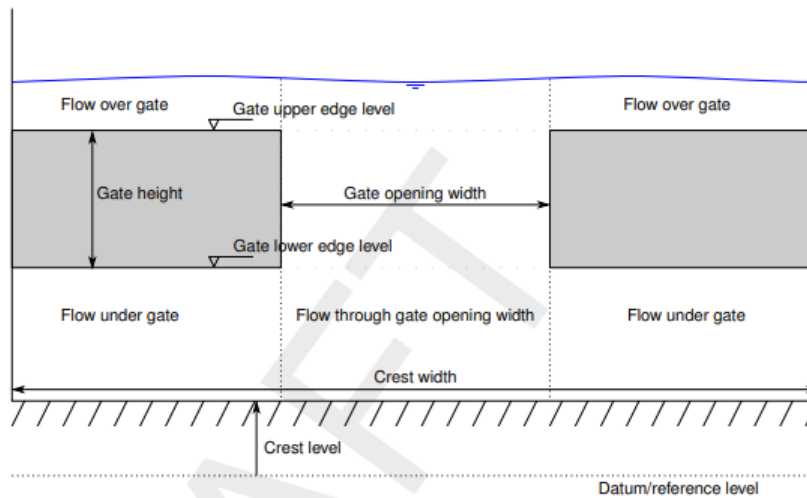
Kunstwerk	Crest width* (m)	Level 1** (m NAP)	Level 2** (m+NAP)	Crest level *** (m+NAP)
stuw de Haandrik	21 (=2x10,5 m)	6,86	6,91	6,96
stuw Hardenberg	27 (=3x9 m)	5,02	5,07	5,12
stuw Mariënberg	27 (=3x9 m)	3,78	3,83	3,88
stuw Junne	27 (=3x9 m)	2,57	2,62	2,67
stuw Vilsteren	36 (=4x9 m)	-0,50	0,55	0,60
stuw Vechterweerd	36 (=4x9 m)	-1,00	-0,95	-0,90

\*Zie Figuur 5.9.

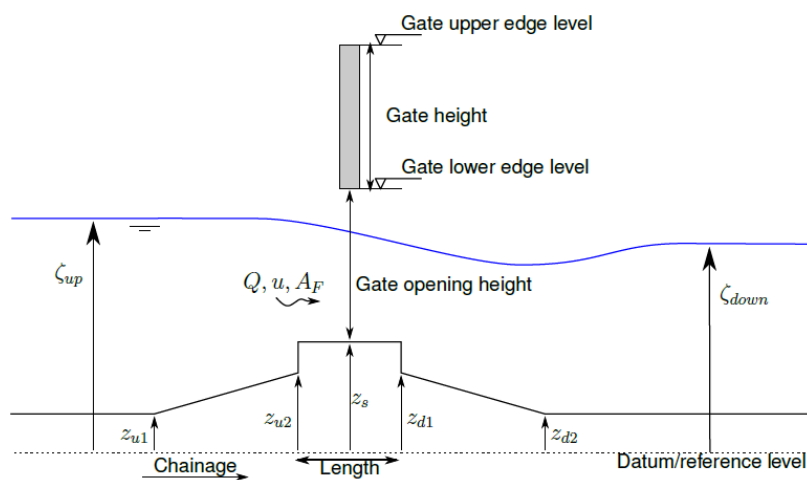
\*\* Level 1 =  $z_{u1}$  en Level 2 =  $z_{u2}$  in Figuur 5.10. Volgens de generieke specificaties (Minns et al., 2020) moet Level 2 5 cm onder de hoogte van de Crest level worden gekozen en de hoogte van Level 1 nog weer 5 cm lager.

\*\*\* De crest level wordt gestuurd met D-RTC.





Figuur 5.9 General structure: vooraanzicht (bron: D-Flow FM User Manual).



Figuur 5.10 General structure: zij-aanzicht (bron: D-Flow FM User Manual).

#### 5.4.1.2 Aansturing

De schematisatie van het kunstwerk is bedoeld om de werking van het kunstwerk in het systeem te reproduceren. Bij het gebruik van het model wordt het stuwpeil bepaald op basis van de waterstand bovenstrooms van de stuw, en bij kalibratie is het stuwpeil gegeven op basis van gemeten tijdseries van het setpoint. De stuwhoogte wordt in beide gevallen gecontroleerd met een PID-controller (vernoemd naar de drie coëfficiënten; zie hieronder). Deze PID-controller probeert de waterstanden bovenstrooms van de stuw zo goed mogelijk op het stuwpeil (het *setpoint*) te krijgen. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van de volgende formulering, waarin  $f(t)$  de nieuwe stuwhoogte op de volgende tijdstap is en  $e(t)$  het verschil tussen de waterstand en het stuwpeil:

$$f(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

De kalibratiecoëfficiënten zijn als volgt:

$K_p$       *Proportional*      Deze term regelt de snelheid van de stuwbeweging op basis van de actuele waterstand (of afvoer) en is effectief in het reduceren van de fout, maar zal altijd een resterende fout overhouden

$K_I$	<i>Integral</i>	<i>Deze term kijkt naar de voorgaande veranderingen in waterstand (of afvoer) en beïnvloedt de tijd naar en de schommelingen rond het streefpeil, maar heeft maar beperkte invloed.</i>
$K_D$	<i>Derivative</i>	<i>Deze term dient toegevoegd worden aan de <math>K_P</math> om de setpoint te behalen.</i>

Er zijn twee verschillende versies van de stuwsturing ontwikkeld voor verschillende toepassingen. Bij simulaties van historische perioden wordt gestuurd op daadwerkelijk toegepaste setpoints. Als in werkelijkheid in de stuwsturing is afgeweken van de officiële setpoints dan zal dit hierdoor worden meegenomen in de simulatie.

Bij simulaties met synthetische afvoergolven of voor operationeel gebruik (toekomstige perioden), wordt gebruik gemaakt van de sturingsregels conform het beleid. Dit wordt ook wel de operationele stuwsturing genoemd. Deze stuwsturing is opgenomen in een logica van de stuwsturing in D-RTC.

De controlgroups van alle kunstwerken zijn te vinden in Bijlage F.1. De instellingen van de PID-controllers zijn gegeven in Tabel 5.5. Deze zijn bepaald door het gedrag van de kunstwerken te kalibreren voor een relatief steile synthetische afvoergolf van 115 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim.

Tabel 5.5 Overzicht van instellingen van de PID-controllers (op basis van winterpeil).

Control group	Setpoint (m+NAP)	Max (m+NAP)	Min (m+NAP)	MaxSpeed (m/s)	$K_P$ (-)	$K_I$ (-)	$K_D$ (-)
stuw de Haandrik	9,10*	9,17	6,96	0,0005	1	0,02	-1
stuw Hardenberg	6,80*	7,10	5,12	0,0005	1,5	0,01	-50
stuw Mariëberg	5,30*	5,77	3,88	0,0005	1	0,04	-10
stuw Junne	4,15*	4,51	2,67	0,0005	1	0,01	-10
stuw Vilsteren	2,35*	2,81	0,60	0,0005	1	0,06	-50
stuw Vechterweerd	1,00*	1,41	-0,90	0,0005	5	0,02	-50

\* Deze setpoint is tijdens de kalibratie en validatie variabel en wordt gestuurd volgens daadwerkelijk gebruikte setpoints

#### 5.4.2 Inlaatwerken nevengeulen

De inlaatwerken bij de nevengeulen bij Vilsteren (stuw Plaggenmars) en Junne (zie ook paragraaf 2.5.2.1 voor een volledige beschrijving), worden met het kunstwerk-type "general structure" opgenomen, als één regelbare drempel. De kunstwerken hebben de geometrische instellingen volgens Tabel 5.6.

Inlaatwerk nevengeul Junne wordt als volgt opgenomen in het model:

- Vaste overlaat met breedte = 14,9 m en hoogte = 4,42 m+NAP.
- De drie bewegende overlaten worden samengevoegd tot één opening met breedte = 6,5 x 3 = 19,5 m en bij lage afvoer hoogte = 4,50 m+NAP. Bij hoge afvoer (peil boven 4,13<sup>15</sup> m+NAP bij Junne) dalend tot hoogte = 3,85 m+NAP.

<sup>15</sup> Vanwege de stabiliteit van de PID-controller bij Junne is dit iets lager gekozen dan het streefpeil van 4,15 m+NAP, omdat Junne hetzelfde streefpeil heeft.

Het gestuurde deel van de inlaat bij Junne wordt gestuurd met een time-rule op basis van de waterstand:

- Dicht: Crest level in 1 uur van 3,85 m+NAP naar 4,5 m+NAP als waterstand > 4,13 m+NAP
- Open: Crest level in 1 uur van 4,5 m+NAP naar 3,85 m+NAP als waterstand > 4,13 m+NAP

Tabel 5.6 Schematisering van de inlaatwerken bij nevengeulen in de Overijsselse Vecht.

Kunstwerk	Crest width (m)	Level 1 (m_NAP)	Level 2 (m+NAP)	Crest level (m+NAP)
stuw Plaggenmars	15,0	1,10	1,15	1,20*
Inlaat nevengeul Junne (vast)	14,9	4,32	4,37	4,42
Inlaat nevengeul Junne (gestuurd)	19,5	3,75	3,8	4,5*

\*De crest level wordt gestuurd met D-RTC.

Voor stuw Plaggenmars worden de in de Tabel 5.7 aangegeven instellingen gebruikt voor de PID-controllers. Vanwege stabiliteitsredenen wordt stuw Plaggenmars gestuurd op een setpoint dat 10 cm hoger ligt dan het setpoint van stuw Vilsteren. Door deze settings heeft de nevengeul in het model alleen een functie als de afvoer/waterstanden oplopen. Bij lagere afvoeren wijkt dit af van de dagelijkse situatie, maar deze is vanwege de complexiteit niet meegenomen.

Tabel 5.7 Overzicht van instellingen van de PID-controllers voor stuw Plaggenmars.

Control group	Setpoint (m+NAP)	Max (m+NAP)	Min (m+NAP)	MaxSpeed (m/s)	K <sub>P</sub> (-)	K <sub>I</sub> (-)	K <sub>D</sub> (-)
Stuw Plaggenmars <sup>16</sup>	2,45	2,75	1,2	0,0005	5	0,05	-10

De situatie bij Nevengeul stuw Mariënberg en rond stuw Hardenberg zijn te gedetailleerd om in het model op te kunnen nemen. Dit zal echter vooral een lokaal effect hebben en maar een beperkt effect op het globale stroombeeld. Er wordt echter wel voor gezorgd dat er water door de Stuwdijk bij Mariënberg kan stromen.

### 5.4.3 Inlaten Noord- en Zuid-Meene

De inlaten bij Noord- en Zuid-Meene bestaan allebei uit vier schuiven (zie ook paragraaf 2.5.2.2 voor een volledige beschrijving), en worden daarom met het kunstwerk-type "gate" opgenomen, als één regelbare schuif.

Voor de sturing van deze kunstwerken wordt geen gebruik gemaakt van een PID-controller, maar van een "rule", op basis van de waterstanden zoals genoemd in paragraaf 2.5.2.2, waarmee de 'GateLowerEdgeLevel' wordt aangestuurd, met een (standaard) sluitings- en openingsperiode van een half uur. Tijdens de kalibratie en validatie is er geen sturing nodig, omdat de inlaten toen niet zijn ingezet of nog niet aanwezig waren.

Tabel 5.8 Schematisering van de inlaten Noord- en Zuid-Meene.

Kunstwerk	Crest width (m)	Level 1 (m_NAP)	Level 2 (m+NAP)	Crest level (m+NAP)
Zuid-Meene (1-2)	8,0 (=2x4 m)	9,2	9,25	9,3*
Zuid-Meene (3-4)	8,0 (=2x4 m)	9,2	9,25	9,3*
Noord-Meene	16,0 (=4x4 m)	8,2	8,25	8,3*

\*De crest level wordt gestuurd met D-RTC

<sup>16</sup> Alleen in het j19-model

Omdat beide noodoverloopgebieden enig verhang kennen, is de verwachting dat de gebieden leeg kunnen worden gepompt met behulp van de twee aanwezige uitwateringsgemalen aan het Afwateringskanaal. Het opnemen van uitlaatconstructies, conform het SOBEK 3-model, is in D-Flow FM echter niet mogelijk, omdat er zich meerdere gridcellen bevinden tussen de instroomopening en de uitstroomopening. Er kan daarom geen pomp worden toegepast. In de toekomst is het wenselijk dat er een zogeheten 'lange pomp' kan worden gebruikt, waarmee dit wel mogelijk moet zijn. Hiervoor is echter eerst een uitbreiding van de software nodig.

#### 5.4.4 Overige schutsluizen en keringen

De Spooldersluis op het Zwolle-IJsselkanaal en de Ramspolkering op de Zwarte Water liggen op de rand van het model en kunnen daarom niet in het model zelf worden opgenomen. Deze moeten worden toegevoegd als het model gekoppeld wordt aan de Rijntakken.

De Kadoelerkeersluis is met het kunstwerk-type "general structure" opgenomen, als één regelbare 'gate'. Het kunstwerk heeft de geometrische instellingen volgens Tabel 5.9. Daarnaast gelden de volgende sturingsregels, waarbij gestuurd wordt op de waterstand bij het LMW meetpunt Kadoelen:

- Open: GateLowerEdgeLevel in 1 uur van -3,7 m+NAP naar 3,5 m+NAP als waterstand > 1,0 m+NAP
- Dicht: GateLowerEdgeLevel in 1 uur van 3,5 m+NAP naar -3,7 m+NAP als waterstand < 1,0 m+NAP

Tabel 5.9 Schematisering van de Kadoelerkeersluis.

Kunstwerk	Crest width (m)	Level 1 (m_NAP)	Level 2 (m+NAP)	Crest level (m+NAP)
Kadoelerkeersluis	24,3	-3,8	-3,75	-3,7

De Meppelerdiepsluis is met het kunstwerk-type "general structure" opgenomen, als één regelbare 'gate', waarbij de deur vanaf de zijkant sluit. Het kunstwerk heeft de geometrische instellingen volgens Tabel 5.10. Daarnaast gelden de volgende sturingsregels, waarbij gestuurd wordt op de waterstand op de eerste beschikbare locatie "MD\_1.00" (360 m bovenstrooms van de sluis) op het Meppelerdiep:

- Dicht: GateOpeningWidth in 1 uur van 10 m naar 0 m als waterstand > 0,47 m+NAP op het Meppelerdiep ("MD\_1.00")
- Open: GateOpeningWidth in 1 uur van 0 m naar 10 m als waterstand < 0,45 m+NAP bij Zwartsluis buiten en waterstand < 0,55m bij Galgenkampsbrug.

Tabel 5.10 Schematisering van de Meppelersluis.

Kunstwerk	Crest width (m)	Level 1 (m_NAP)	Level 2 (m+NAP)	Crest level (m+NAP)
Meppelerdiepsluis	10*	-5,25	-5,20	-5,15

\* De crest width wordt gestuurd met D-RTC

De pomp bij Zedemuden is als 'pump' opgenomen in het model, direct naast de Meppelerdiepsluis, zie voor de instellingen Tabel 5.11. In werkelijkheid ligt de pomp verder naar het zuiden, maar kan op deze locatie niet worden opgenomen in het model, omdat hier meerdere roostercellen tussen de in- en uitlaat liggen. Hiervoor is eerst nieuwe functionaliteit in de software voor nodig. De pomp stopt met als de Meppelerdiepsluis opengaat. In werkelijkheid pompt hij nog een half uur door, maar deze extra tijd kan niet worden meegenomen in het model.

Tabel 5.11 Overzicht van instellingen van de PID-controllers voor gemaal Zedemuden.

Control group	Setpoint (m+NAP)	Max (m <sup>3</sup> /s)	Min (m <sup>3</sup> /s)	MaxSpeed (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> )	K <sub>P</sub> (-)	K <sub>I</sub> (-)	K <sub>D</sub> (-)
pomp Zedemuden	0,3	124	0	10	-1	-3	0

Zowel de Meppelerdiepsluis als pomp Zedemuden zijn alleen opgenomen in het operationele j19-model.

#### 5.4.5 Duikers en inlaatsluizen

Zoals in paragraaf 0 aangegeven, zijn in de uiterwaarden van de Vecht duikers en inlaatsluizen niet noemenswaardig aanwezig. Langs het Zwarte Water zijn wel verschillende gebieden die via een inlaatsluis of klep eerder onder water kunnen worden gezet. De exacte locatie van deze inlaatwerken is niet bekend en ook niet de betreffende dimensies en bediening. Het effect op de resultaten van het model is waarschijnlijk klein en daarom worden ze niet meegenomen in het model. De gebieden lopen in het model dan pas onder als de kade overstroomt.

De duiker onder de Stuwijk bij stuw Marienberg is niet echt als duiker geschematiseerd maar door de Stuwijk plaatselijk te verwijderen, zodat het water door kan stromen in de nevengeul. De duiker bij Noord-Meene is nog niet geïmplementeerd, omdat hier aanvullende functionaliteit in de software nodig is, vanwege het feit dat de duiker meerdere gridcellen kruist. Dit kan eventueel in een toekomstige versie van het model worden geïmplementeerd, als deze functionaliteit wel beschikbaar is.

#### 5.4.6 Bruggen

De opstuwing van een brug bestaat uit twee aspecten:

- 1 Allereerst belemmert het grondlichaam van het bruggenhoofd de stroming door de uiterwaarden. Dit is in de Baseline-schematisatie meegenomen als hoogwatervrij terrein (dry area) en zal daardoor altijd niet-overstroombaar zijn in het model.
- 2 Daarnaast bevat een brug veelal pijlers in zowel zomerbed als winterbed. Bij hoge stroomsnelheden zal hierdoor de lokale doorstroming beperkt worden met tot gevolg een waterstandsverhoging tussen de benedenstroomse en bovenstroomse zijde van de brug. In de vijfde-generatie modellen werd dit geschematiseerd door een verhoging van de zomerbedruwheid van roostercellen met brugpijlers. Uit onderzoek is echter gebleken dat dit een forse onderschatting gaf van de hydraulische weerstand. In de zesde-generatie worden brugpijlers gemodelleerde als een kwadratische weerstandsterm in de impulsvergelijking. De weerstand is hierbij afhankelijk van de breedte van de brugpijler (dwars op de stroomrichting) en een coëfficiënt. Uit onderzoek is gebleken dat deze coëfficiënt niet enkel afhankelijk is van de vorm van de brugpijler, maar ook van het lokale stroombeeld (stroomsnelheid/stroomrichting). Omdat hierdoor onvoldoende kennis is om de coëfficiënt op voorhand te bepalen is besloten de coëfficiënt voor alle pijlers op 1.0 te houden (De Jong et al., 2019a).

Omdat bruggen met een sub-grid aanpak zijn geïmplementeerd, leveren twee brugpijlers in één rooster cel een te groot energieverlies op. Voor beide pijlers wordt het verlies in dat geval immers berekend met de originele (onverstoorde) aanstroomsnelheid. Om een onrealistisch energieverlies te voorkomen, zijn brugpijlers die kort achter elkaar staan (in stroomrichting) deels verwijderd in de Baseline schematisatie. De vuistregel daarbij is dat de minimale afstand tussen twee pijlers minstens twee volledige roostercellen moet beslaan. Bij verschillende diameters is altijd de kleinste pijler verwijderd. Een overzicht van alle bruggen is te vinden in bijlage B.3.

## 5.5 Definitie ruwheden

In het model wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk variërende ruwheid. In Baseline is een ruwheidsklasse (ecotoop) gespecificeerd, en bij de conversie naar D-Flow FM wordt voor ieder snelheidspunt (flow link) bepaald voor hoeveel procent de ruwheid afhankelijk is van de verschillende ecotopen rondom dit snelheidspunt. Binnen de trachytopen-module van D-HYDRO wordt vervolgens berekend welke ruwheid hierbij hoort. In tegenstelling tot de vijfde generatie worden deze waarden niet omgerekend naar Chézy, maar (eerst) naar de gespecificeerde uniforme ruwheidsdefinitie van het model. Voor de zesde generatie is dit gespecificeerd als Manning.

De definitie van de parameters voor de ruwheidsformuleringen per ruwheidsklasse staat in het trachytopen-definitie-bestand *roughcombination-all-2021-v4.ttd*, een geconverteerde versie van het bestand *roughcombination-general-2015\_5-v1* uit de vijfde generatie waaraan nieuwe definities van het zomerbed van de nieuwe modellen zijn toegevoegd. In onderstaande paragrafen wordt de inhoud hiervan verder uitgewerkt voor het zomerbed en het winterbed. Het gehele trachytopen-definitie-bestand is opgenomen in Bijlage D.5.

### 5.5.1 Zomerbed

In tegenstelling tot de modellen van de vijfde generatie wordt de zomerbedruwheid zelf niet gebruikt voor de kalibratie. In plaats daarvan wordt een kalibratiefactor toegepast bovenop een achtergrondruwheid (meer informatie volgt in paragraaf 6.1.1). De achtergrondruwheid wordt bij voorkeur zo realistisch mogelijk gekozen op basis van de fysische eigenschappen van het segment van de rivier. Hierbij moet gedacht worden aan de opbouw van het sediment en de variatie van bodemvormen in tijd en ruimte.

Voor de bepaling van de achtergrondruwheid voor het zomerbed van de Overijsselse Vecht en het Zwarte Water is gebruik gemaakt van de Van Rijn formule (1984), een ruwheidsschatteer op basis van duinhoogtes. Op basis van de gevonden (gekalibreerde) zomerbedruwheden in het vijfde generatie WAQUA model (Van der Mheen; 2014) en zandtransportberekeningen op basis van metingen uit de periode 1958-1964 (RWS; 1965) is een indeling in trajecten en een eerste schatting van de achtergrondruwheid gemaakt, zie Tabel 5.12. Op basis van de eerste (ongekalibreerde) testberekeningen met het zesde generatie D-Flow FM model zijn de waarden voor het gedeelte van de Overijsselse Vecht vervolgens iets aangepast, zodat de situatie bij de start van de kalibratie al voldoende aansluit.

Voor de twee kanalen (Zwolle IJsselkanaal en Meppelerdiep) is een standaard Nikuradse waarde gekozen, aangezien hier geen duinvorming plaatsvindt. Ook zal de ruwheid hier relatief weinig invloed hebben op de berekende waterstanden, aangezien de stroomsnelheden in deze kanalen klein is. Voor het Zwarte Meer is dezelfde waarde genomen als die voor het Ketelmeer wordt toegepast, welke overeenkomt met de initiële waarde van het vijfde generatie WAQUA model.

Tabel 5.12 Ruwheidstrajecten en achtergrondruwheid in het zomerbed van de Overijsselse Vechtdelta.

Traject	Nummer	Formulering	Waarde (initieel)	Waarde (definitief)
Emlichheim – Hardenberg	2300	Van Rijn	$a = 0,08; b = 2,5$	$a = 0,06; b = 2,5$
	2301	Van Rijn	$a = 0,06; b = 2,5$	$a = 0,05; b = 2,5$
Hardenberg – Mond der Vecht	2302	Nikuradse		0,15
Zwolle IJsselkanaal	2303	Van Rijn		$a = 0,04; b = 2,5$
Zwarte Water	2304	Manning		0,0263
Zwarte Meer	2305	Nikuradse		0,15
Meppelerdiep				

## 5.5.2 Winterbed

Ook binnen het winterbed wordt gebruik gemaakt van verschillende ruwheidsformuleringen voor verschillende klassen maar nu op basis van het handboek stromingsweerstand (Velzen et. al, 2003a/2003b), zoals dit ook in WAQUA werd toegepast, zie Tabel 5.13. In de tabel is ook af te lezen dat het mogelijk is om van een klasse een combinatie van andere ruwheidsklassen te maken. Dit werkt ook recursief waardoor soms voor één klasse tientallen subklassen worden gebruikt. Meer informatie over de ruwheidsformuleringen en hun coëfficiënten is te vinden in de D-Flow FM User Manual (Deltares, 2021).

Van een grote lijst met enkele honderden klassen is slechts een klein deel in gebruik in de schematisatie van het actuele model van de Overijsselse Vechtdelta. Naast de ruwheidsklassen van polygonen is er ook nog een klein deel van de ruwheden verwerkt in punten en lijnen.

*Tabel 5.13 Overzicht ruwheidsformuleringen in het winterbed. Aangegeven is ook de reservering van de ruwheidscodes voor verschillende type formuleringen. In tegenstelling tot WAQUA zijn deze reserveringen niet hard-coded gekoppeld aan een formule, maar wordt in de trachytopen-definitie expliciet de formulecode opgegeven.*

Ruwheidsformulering	Formulecode in D-HYDRO	Trachytoopcodes (ruwheidsklasse)
Hoogwatervrij terrein	1	1 – 3
White-Colebrook	51	101 – 300
Manning	53	301 – 500
Chézy	52	501 – 600
Simplified van Rijn	101	601 – 900
Barneveld 2 <sup>17</sup>	152	1201 – 1400
Bomen	251	1501 – 1600
Hedges 2 <sup>18</sup>	202	1601 – 1700
Combinaties	2	1801 – 2000

## 5.6 Fysisch-numerieke instellingen

In het model zijn diverse numerieke of geometrische instellingen belangrijk voor het verkrijgen van nauwkeurige modelresultaten. Een overzicht van alle instellingen is gegeven in Bijlage G. In onderstaande secties zijn enkele belangrijke keuzes toegelicht (deels overgenomen uit Minns et al., 2020). Voor de overige instellingen wordt verwezen naar Paragraaf 4.3 en Bijlage C in Minns et al. 2020. Hier wordt alleen in uitzonderlijke gevallen van afgeweken en alleen als hier een goed onderbouwde reden voor is.

<sup>17</sup> Formulering gebaseerd op het werk van Klopstra et al. (1996), met de aanpassing door Van Velzen et al. (2003ab), zie ook de D-Flow FM User Manual.

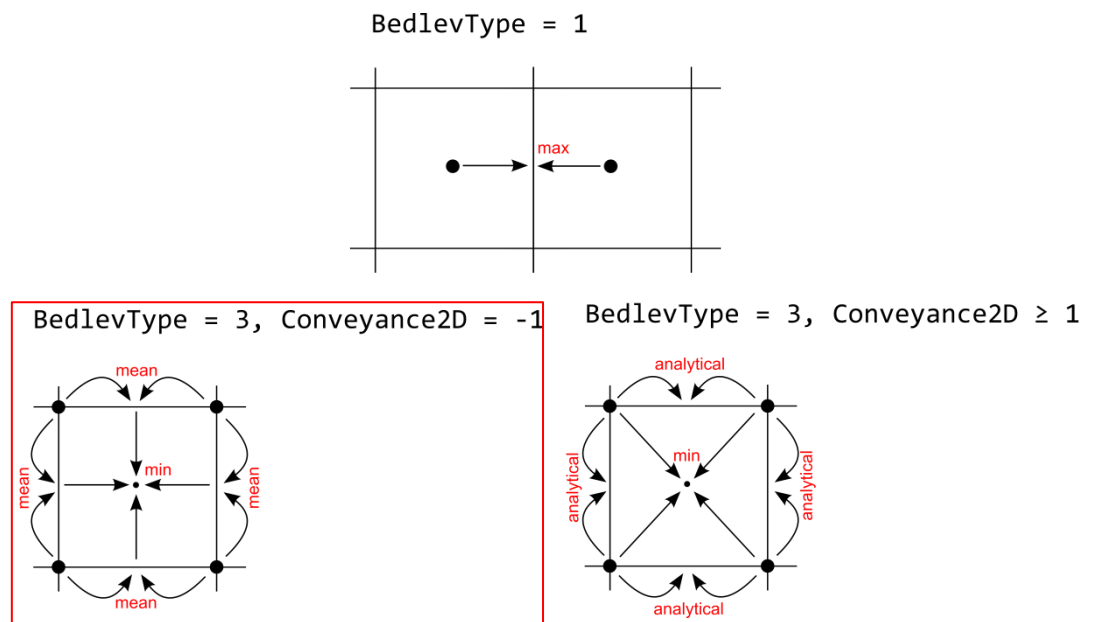
<sup>18</sup> Formulering voor het modelleren van lijnelementen zoals heggen, waarbij er vanuit wordt gegaan dat deze volledig overstromd is (zelfde formulering als in WAQUA werd toegepast), zie ook de D-Flow FM User Manual.

### 5.6.1 Bodemhoogtediscretisatie

In D-HYDRO zijn diverse instellingen mogelijk voor de locatie van de definitie van de bodemhoogtes binnen een roostercel (zie de *BedlevTypes* in Figuur 5.11). Voor hydrodynamische modelschematisaties zijn beide aanpakken bodemhoogte in het centrum van de cellen (*BedlevType=1*) en bodemhoogte in hoekpunten (*BedlevType=3*) mogelijk. Voor toepassing van morfologie is alleen voor 'bodemhoogtes in celcentra' een volledige en gevalideerde implementatie beschikbaar. Deze aanpak is overgenomen uit Delft3D. De verschillen in resultaten zijn voor de Nederlandse rivieren niet erg groot voor de verschillende opties en zijn weg te kalibreren. De ervaring bij zeeën en kusten is dat de verschillen groter zijn (met name vanwege de grovere resolutie) en daarom is besloten om bij zesde-generatie hydrodynamische modellen gebruik te maken van een discretisatie van de *bodemhoogte in hoekpunten* (*BedlevType=3*). Voor morfologie is deze optie niet mogelijk. Daarom staat in bijlage G van Minns et al. (2020) beschreven hoe uitgaande van een hydrodynamisch model met de bodemhoogte op hoekpunten een morfologiemodel kan worden afgeleid.

Er wordt geen gebruik gemaakt van interpolatie-(averaging-)algoritmen in D Flow-FM. In plaats daarvan wordt de bodemhoogte direct in het roosterbestand verwerkt door BAS2FM. Deze bodemhoogte wordt geprikt uit het Baseline-hoogtemodel op de locatie van de hoekpunten.

Naast de bodemhoogtes in hoekpunten (*BedlevType=3*) wordt de optie *Conveyance2D = -1* (bodemhoogte in de snelheidspunten is het gemiddelde van de bodemhoogte in de naastliggende hoekpunten en bodemhoogte in het centrum van de cel is het minimum van de bodemhoogte in de omringende snelheidspunten) toegepast. Deze optie is gekozen omdat dit de **enige optie** is die ook beschikbaar is voor 3D-modellen en we de instellingen voor 2D en 3D modellen zo veel mogelijk op elkaar willen laten aansluiten in de zesde-generatie modellering.



Figuur 5.11 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van *BedlevType* en *Conveyance2D* de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd. Rood omlijnd is de gekozen discretisatie. *BeLevType=1*: bodemhoogtes in de celcentra, *BeLevType=3*: bodemhoogtes in hoekpunten.



### 5.6.2 Overlaatformulering

Vanwege de gebruikte roosterresolutie kunnen niet alle lijnelementen in de bodem worden meegenomen. Er wordt daarom, net als in de vijfde generatie, een subgrid aanpak toegepast waarin vaste constructies (o.a. kribben en overlaten) als zogeheten 'fixed weirs' in het model worden opgenomen. Bij de opbouw van het rooster dient er voor gezorgd te worden dat deze elementen zo goed mogelijk op het rooster geprojecteerd kunnen worden.

In de opzet van de zesde-generatie modellen wordt gebruik gemaakt van de zogeheten 'Villemonthe' formulering (`FixedWeirScheme=9`), omdat deze meer flexibiliteit biedt in de modellering van overlaten dan de 'Tabellenboek'-formulering (`FixedWeirScheme=8`), die tot nu toe standaard in de vijfde generatie wordt toegepast.

Als coëfficiënten wordt standaard gebruik gemaakt van  $C1=1$  en  $C2=10$ . Deze zijn erop gericht om de resultaten van het Tabellenboek zo goed mogelijk te benaderen en vormen daardoor coëfficiënten voor een gladde overlaat vanuit de schaalmodelexperimenten gebruikt voor de opzet van het Tabellenboek. Een voorstel van Sieben (2010) is om de coëfficiënten te baseren op de ruwere overlaten van Bloemberg en daarom de coëfficiënten  $C1=0.8$  en  $C2=30$  te gebruiken. Er is voor de zesde-generatie modellen besloten om deze ruwere overlaten niet toe te passen.

### 5.6.3 Horizontale viscositeit en diffusiviteit

Binnen D-Flow FM worden de ondiep watervergelijkingen opgelost voor een niet-samendrukbare vloeistof. Over het algemeen is het rooster te grof en de tijdstap te groot om alle turbulente bewegingen te kunnen vatten. De turbulente processen zijn dan 'sub-grid'. Het is binnen D-HYDRO nog niet mogelijk om gebruik te maken van HLES (Horizontal Large Eddy Simulation), een sub-grid model voor 2D-turbulentie. Wel is er een simpeler model beschikbaar, het zogeheten Smagorinsky model. Hiermee is het mogelijk om automatisch om te gaan met grote verschillen in celgrootte en mogelijk daarbij behorende stroomsnelheidsverschillen.

Om het effect van een 3D snelheidsprofiel mee te nemen in 2D dieptegemiddelde modellen kan een constante achtergrondwaarde worden gebruikt.

Daarom wordt in de zesde-generatie modellen gebruik gemaakt van de Smagorinsky-formulering (met constante  $C_s = 0,20$ ) samen met de constante achtergrondviscositeit (waarde van 0,1).

### 5.6.4 Wandruwheid

Wanneer er geen stroming is door een celwand (edge), dan kan de diffusie van de ruwheid van deze celwand niet worden uitgerekend op basis van de stroomsnelheid en wordt er gebruik gemaakt van een slip-randvoorwaarde. Er zijn drie instellingen mogelijk:

- Vrije slip.
- Gedeeltelijke slip.
- Geen slip.

Bij vrije slip is er geen wandwrijving en dus een lagere weerstand, terwijl een simulatie zonder slip (geen slip) zal zorgen voor een grotere weerstand. Vrije slip komt overeen met de aanpak in WAQUA.

Rapporten van eerdere onderzoeken benadrukken de noodzaak van het gebruik van gedeeltelijk slip voor een juiste berekening van de circulatie in kribvakken bij gebruik van een rekenrooster met een hogere resolutie in deelmodellen (Yossef, 2005 en Platzek & Patzwahl, 2015b). Door gebruik te maken van gedeeltelijke slip wordt de fysica beter gerepresenteerd en kan de instelling gelijk blijven voor verschillende resoluties.

Omdat we bij de opzet van de zesde-generatie modellen, net als in de vijfde generatie modellen, uitgaan van overzichtsmoellering is het effect echter zeer klein en wordt in de zesde-generatie modellen (net als in de vijfde generatie) gebruik gemaakt van ruwheid op basis van de vrije slip ( $i_{rov}=0$ ).

#### 5.6.5 DIMR en rekestijdstappen

Om de rekenharten (D-RTC en D Flow-FM) aan te sturen, wordt gebruik gemaakt van de Deltares Integrated Model Runner (DIMR). In de DIMR wordt gebruik gemaakt van een eigen tijdstap waarop gecommuniceerd wordt tussen beide componenten (D-RTC en D Flow-FM). Deze communicatietijdstap is gespecificeerd op 1 minuut. Na iedere 5 minuten worden waterstanden en afvoeren van DFlow-FM doorgegeven aan D-RTC. Met behulp van de gegeven logica uit Paragraaf 5.4 berekent D-RTC een nieuwe stand van de kunstwerken waarna deze worden teruggegeven aan DFlow-FM. Deze stuw- en keringstanden worden gedurende de volgende 5 minuten gebruikt in de berekening van DFlow-FM, waarna dit proces zich herhaalt.

Binnen deze communicatietijdstap hanteert het impliciete rekenhart van DFlow-FM een eigen rekestijdstap. Deze tijdstap wordt automatisch gelimiteerd op basis van het CFL-criterium en het ingegeven Courant-nummer (gespecificeerd op CFLMax = 0.7). Bij een combinatie van hoge stroomsnelheden en/of kleine roostercellen zal het CFL-criterium de rekestijdstap verkleinen. Omdat slechts één rekencel hierdoor de rekestijdstap van het hele model kan beïnvloeden dienen kleine rekencellen op locaties met hoge stroomsnelheid voorkomen te worden.

## 6 Kalibratie en validatie

Het model wordt gekalibreerd om te compenseren voor onbekenden en onnauwkeurigheden in de modelopzet. Onbekend is bijvoorbeeld de ruwheid van het zomerbed, onnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd door bijvoorbeeld geometrische variaties van een subgrid resolutie. De kalibratie zal ook compenseren voor onbedoelde fouten in Baseline-schematisaties (waaronder ook een onzekerheid in de inschatting van de ruwheid van het winterbed) en randvoorwaarden.

### 6.1 Methodiek

#### 6.1.1 Kalibratiefactor

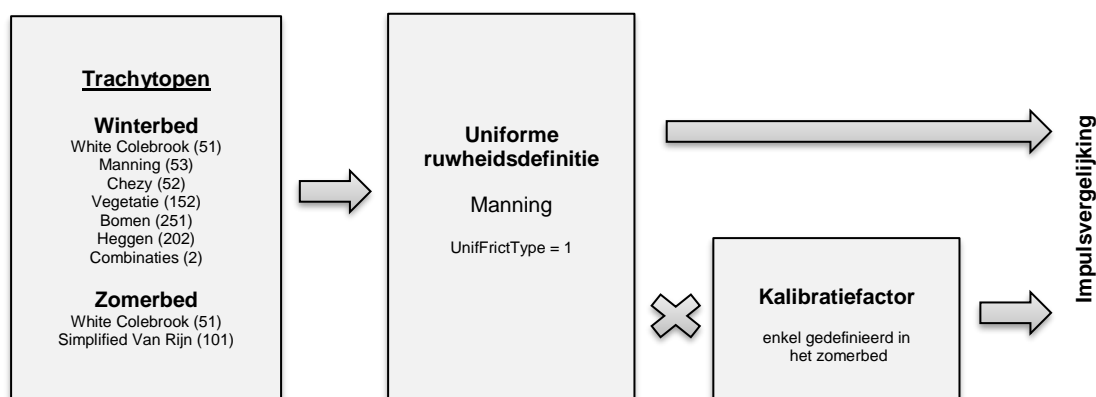
Voor de kalibratie van het model worden niet langer aanpassingen gedaan aan de definitie van de trachytopenruwheden (in het .ttd-bestand) zelf, maar wordt gebruik gemaakt van een nieuwe ruimtelijke variabele: de kalibratiefactor.

De werking van de kalibratiefactor is weergegeven in *Figuur 6.1*. Eerst wordt de trachytopen ruwheid omgerekend naar de uniforme ruwheidsdefinitie zoals dit aangegeven staat in het mdu-bestand (in dit geval Manning). Deze Manning-ruwheid wordt vermenigvuldigd met een kalibratiefactor en pas daarna toegepast in de impulsvergelijking.

De invoer van de kalibratiefactor is vergelijkbaar aan de trachytopen en bestaat uit twee bestanden:

- Per roostercel wordt een kalibratiecode gespecificeerd (.cII-bestand).
- Per kalibratiecode wordt een (afvoerafhankelijke) kalibratiefactor toegekend (.cld-bestand).

Een kalibratiefactor van 1.0 betekent dat er geen veranderingen aan de ruwheid gedaan worden. Roostercellen waar geen specifieke kalibratiecode aan is toegewezen, krijgen de kalibratiefactor 1.0.



Figuur 6.1 Werking van de kalibratiefactor.

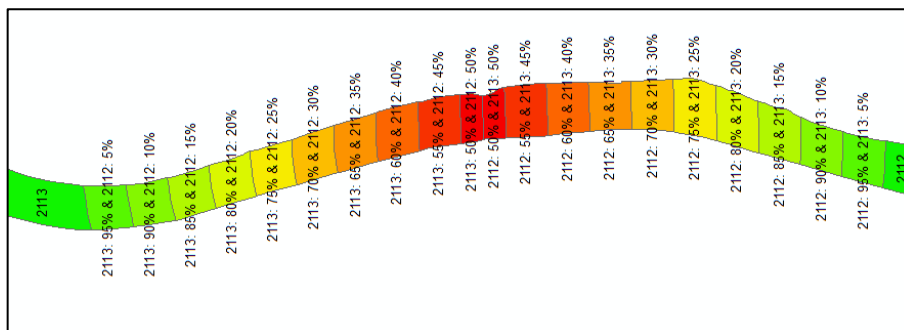
### 6.1.2 Kalibratietrajecten

Voor de toepassing van de kalibratiefactor wordt de Overijsselse Vechtdelta opgedeeld in kalibratietrajecten. De kalibratietrajecten worden op analoge manier gekozen als in de vijfde generatie. De trajecten zijn onafhankelijk van de ruimtelijke verdeling van de trachytopen en laten daardoor toe om zowel het zomerbed als het winterbed (buiten zomerbed om of uiterwaarden) te kalibreren. Hierdoor is het mogelijk om daar te kalibreren waar de onzekerheden het grootst zijn. Het kalibreren van het winterbed introduceert echter complicaties bij studies t.b.v. vergunningverlening, waardoor is besloten de kalibratiefactor enkel toe te passen op het zomerbed. De polygonen voor de kalibratiefactoren worden in de breedte begrensd door de smalste ligging tussen 1998 en 2019 van het zomerbed. Voor meer informatie en achtergrond van deze keuze wordt verwezen naar het memo van Spruyt & De Jong (2018).

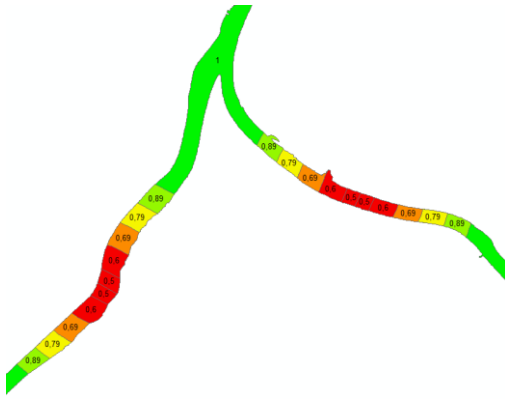
Er wordt dus gebruik gemaakt van de zomerbedomhulling zoals deze in de Baseline-schematisaties is opgenomen, opgeknipt op plekken waar volgens het huidige systeem waterstandsmetingen aanwezig zijn. Stations die in het verleden op een andere locatie lagen zullen wel worden gebruikt bij de kalibratie, maar het kalibratietraject zal gedefinieerd worden op basis van de huidige locaties. Een overzicht van de trajecten zoals gebruikt in de zesde generatie is gegeven in Tabel 6.1 in combinatie met de beschikbare meetstations in 1998 en de huidige. Daarnaast is in Tabel 6.2 een overzicht gegeven van de meetstations die niet gebruikt worden voor de kalibratietrajecten, maar wel voor de validatie worden gebruikt. Het traject Kloosterzijk – Zwartsluis (2313) is in de uiteindelijke kalibratieberekeningen samengevoegd met het bovenstroomse traject Mond der Vecht – Kloosterzijk (2312), omdat de metingen bij Kloosterzijk niet betrouwbaar bleken te zijn.

Een ander verschil met de kalibratietrajecten in de vijfde-generatie modellen is dat de kalibratietrajecten nu van stuw tot stuw lopen. In de vijfde generatie werd het traject tussen de twee meetpunten (*stuw<sub>boven</sub>* tot *stuw<sub>beneden</sub>*) gekalibreerd door de ruwheid aan te passen. In de huidige modelopzet ligt de grens tussen twee kalibratietrajecten op de stuw, waarmee het korte kalibratietraject over de stuw komt te vervallen. Het verval over de stuw kan in principe worden gekalibreerd door de verliescoëfficiënt van de stuw in volledig geopende toestand te kalibreren. Bij het opzetten van het model van de Maas en Rijntakken is gebleken dat kalibratie van deze waarde niet echt mogelijk was. Daarom is hier in de huidige opzet van het OVD-model ook geen gebruik van gemaakt. Dit betekent dat de onzekerheid in de opstuwing van stuwen (en bruggen) dus ook in de kalibratie van het zomerbed wordt meegenomen.

De aansluiting tussen de trajecten gebeurt geleidelijk over een traject van 2 km in 20 stapjes. Door deze geleidelijke overgang ontstaat er geen plotselinge versnelling of vertraging van de waterbeweging wat nadelig zou zijn voor morfologische toepassingen. Het aanmaken van deze overgangen is gedaan met een hiervoor ontwikkelde tool (Create smooth transitions) in Baseline. In Figuur 6.2 is de transitie met polygonen in Baseline 6 weergegeven.



Figuur 6.2 Een voorbeeld van de transitie tussen twee kalibratietrajecten. Voor iedere polygoon is aangegeven voor hoeveel procent dit afhankelijk is van de twee kalibratiefactoren 2112 en 2113.



Figuur 6.3 Een voorbeeld van de transitie tussen drie kalibratietrajecten: overgang vind plaats op de bovenstroomse takken.

Omdat een gladde overgang tussen drie kalibratietrajecten (nog) niet mogelijk is, worden de overgangen bij de samenvloeiing van de Overijsselse Vecht in het Zwarte Water (bij Mond der Vecht) in de bovenstroomse takken gelegd, zie Figuur 6.3.

Tabel 6.1 Kalibratietrajecten en bijbehorende meetstations in het zesde-generatie model.

traject	code	meetstations 1998	Huidige meetstations	rkm
<i>Duitse Vecht (VE)</i>				
Rand Model - Emlichheim	2300	Emlicheim	Emlicheim	10,4
Emlichheim - Grens	2301			
<i>Overijsselse Vecht (OV)</i>				
Grens – de Haandrik	2302			
De Haandrik - Hardenberg	2303	De Haandrik beneden	De Haandrik beneden	2,6
Hardenberg – Mariënberg	2304	Hardenberg beneden	Hardenberg beneden	12,7
Mariënberg – Junne	2305	Mariënberg beneden	Mariënberg beneden	19,6
Junne - Ommen	2306	Junne beneden	Junne beneden	26,8
Ommen – Vilsteren	2307	Ommen	Ommen	32,7
Vilsteren - Dalfsen	2308	Vilsteren beneden	Vilsteren beneden	39,1
Dalfsen – Vechterweerd	2309		Dalfsen	45,3
Vechterweerd - Mond der Vecht	2308	Vechterweerd beneden	Vechterweerd beneden	49,3
<i>Zwarte Water (ZW)</i>				
Zwolle – Mond der Vecht	2311	-	-	
Mond der Vecht - Kloosterzijl	2312	Mond der Vecht	Mond der Vecht	6,7
Kloosterzijl - Zwartsluis	2313	Kloosterzijl	Kloosterzijl	12,7
Zwartsluis buiten – Genemuiden	2314	Zwartsluis buiten	Zwartsluis buiten	15,8
Genemuiden – Zwarte Meer	2315	Genemuiden	Genemuiden	19,4
<i>Zwarte Meer (ZM)</i>				
Zwarte Meer	2316	Kadoelen	Kadoelen	-

Tabel 6.2 Overige meetstations in de Overijsselse Vechtdelta.

LMW-station	waterlichaam	rkm
Haandrik Kruisbrug	OV	2,3
De Haandrik boven	OV	2,5
Hardenberg boven	OV	12,6
Mariënberg boven	OV	19,5
Junne boven	OV	26,7
Ommerkanaal	OV	34,6
Vilsteren boven	OV	39,0
Vechterweerd boven	OV	49,2
Westerveld	ZW	5,0
Galgenrak	ZW	9,29

LMW-station	waterlichaam	rkm
Meppelerdiep	MD	2,5
Galgenkampsbrug	MD	11,0
Spoldersluis binnen	ZK	0,9
Ramspolbrug	ZM	-

### 6.1.3 Kalibratie- en validatieperioden afvoer

Het model wordt afvoerafhankelijk gekalibreerd. Dit betekent dat voor verschillende afvoeren een andere kalibratiefactor gebruikt zal worden. Voor tussenliggende afvoeren wordt de kalibratiefactor geïnterpoleerd, buiten de afvoerniveaus wordt de kalibratiefactor constant gehouden.

De keuze van de afvoerniveaus en de kalibratiemethodiek heeft grote invloed op de resultaten van validatie en modeltoepassingen, zoals onderzocht in Domhof et al. (2017). Er zijn verschillende methoden om de kalibratieniveaus te bepalen:

- Op basis van terugkeertijd.
- Op basis van geometrie.
- Op basis van beschikbare metingen.
- Op basis van grootste fout in modelresultaten.

Er is besloten vooral te kijken naar de geometrie en de beschikbare metingen. Hierop zijn de afvoerniveaus besloten zoals gegeven in Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Gebruikte afvoerniveaus voor kalibratie, validatie en systeemtest.

Niveau		Afvoer bij Emlichheim (m <sup>3</sup> /s)	Afvoer bij Dalfsen (m <sup>3</sup> /s)	Beschrijving
Laag <sup>19</sup>	L	ca. 0,5	ca. 1,5	Dit zijn de laagste afvoeren die regelmatig voorkomen.
	M1	ca. 30	ca. 60	Stuwen in bedrijf, maar wel verhang.
Midden 1	M2	ca. 50	ca. 100	Bij deze afvoer is het zomerbed grotendeels gevuld.
Midden 2	H1	ca. 100	ca. 200	Bij deze afvoer zijn de uiterwaarden net gevuld, maar stromen nog niet mee.
Hoog 1	H2	ca. 200	ca. 400	Dit is de hoge afvoer van het Hoogwater (januari) 1998 die ook bij WAQUA diende voor de kalibratie van het hoogste afvoerniveau.
Hoog 2				

Er kan niet worden gekalibreerd op de extreme afvoeren die bijvoorbeeld vanuit GRADE worden berekend, omdat deze in de werkelijkheid nog nooit zijn voorgekomen. De berekende waarden zijn dus een extrapolatie vanuit het hoogste gekalibreerde afvoerniveau. Wel is er beperkt gekeken of het gedrag van het model stabiel en plausibel is voor extremere afvoeren.

Bij de keuze voor kalibratie- en validatieperioden is gekeken naar de volgende onderdelen:

- Is het een periode met een stabiele afvoer?
- Zijn er binnen de periode grote veranderingen in de geometrie waardoor de metingen en schematisatie niet goed op elkaar aansluiten?
- Welke metingen zijn er per periode beschikbaar? Naast de beschikbaarheid van standaardmetingen (afvoer, ADM, waterstanden en belangrijke lateralen) kan hier ook gekeken worden naar: vloedmerken, inundatiekaarten en overige waterstandsmetingen.
- Bij voorkeur een zo recent mogelijke periode.
- Zoveel mogelijk afwezigheid van stormperiodes.

<sup>19</sup> Bij het afvoerniveau 'Laag' is er nauwelijks tot geen verhang op de Overijsselse Vechtdelta. Kalibratie (door het toepassen van een factor op de ruwheid van het zomerbed) is dan ook niet mogelijk. Er wordt dan ook alleen een systeemtest gedaan om te kijken of de waterbalans in orde is en de stuwen correct functioneren.

Daarnaast wordt een periode in de zomer liever niet gebruikt, aangezien dan andere vegetatieruwheden gelden. In Tabel 6.4 en Tabel 6.5 worden de uiteindelijk gekozen kalibratie- en validatieperiodes samengevat.

Voor de kalibratie van het 1998 hoge afvoer is er j98 schematisatie gebruikt. Voor het valideren van het storm van het jaar 2007 is er gekozen om de j07 schematisatie te gebruiken. Voor de andere perioden is de meeste recente schematisatie gebruikt (j19).

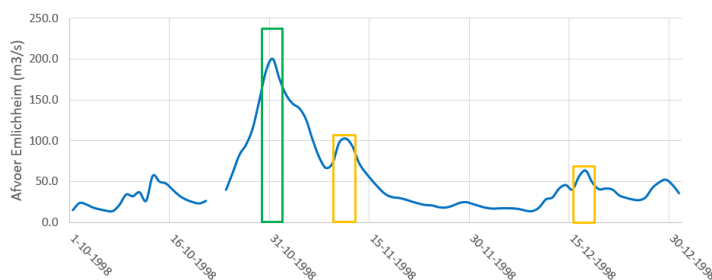
Tabel 6.4 Keuze kalibratie- en validatieperiodes. K = kalibratie, V = validatie.

Randvoorwaarden	Te kalibreren/valideren afvoerniveaus			
	M1	M2	H1	H2
01-10-1998 – 31-12-1998				K
01-01-2017 – 31-03-2017	V		V	
15-11-2017 – 31-03-2018	K		K	V
25-01-2019 – 28-03-2019		K		

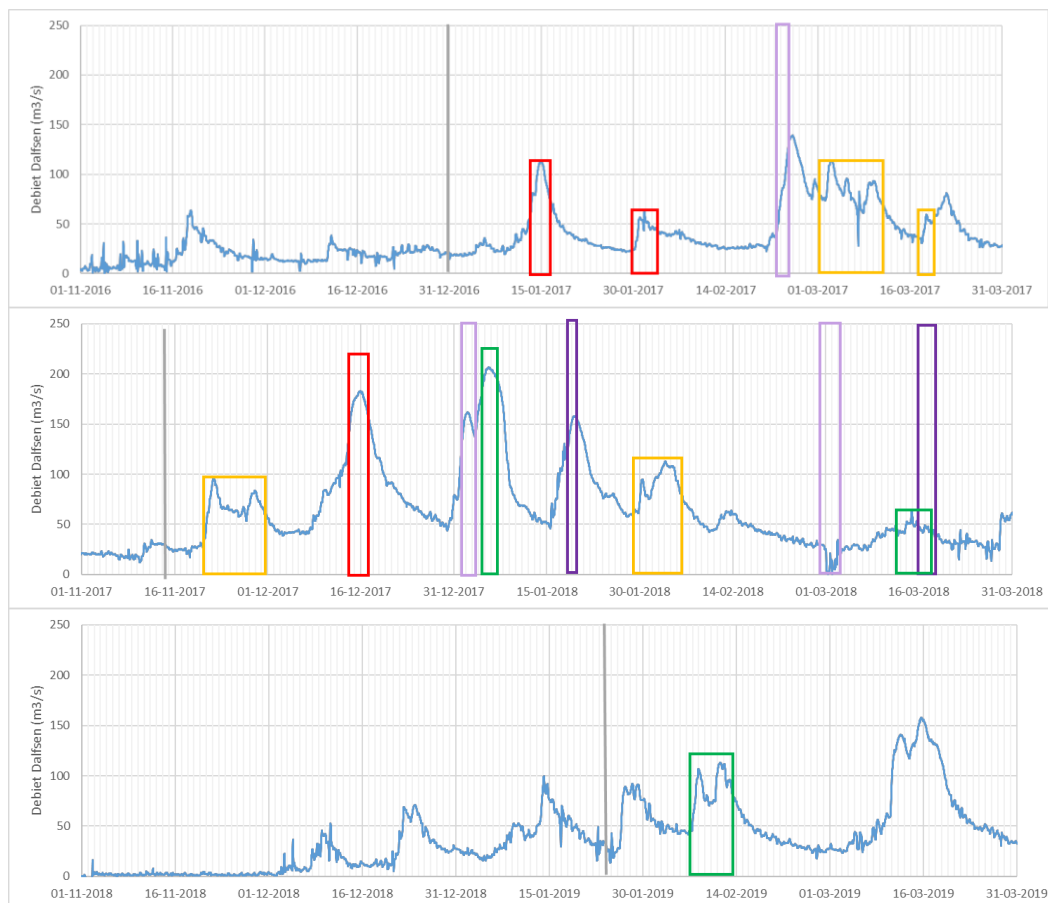
Tabel 6.5 Gebruikte kalibratie- en validatieperiodes voor afvoer

Niveau	Afvoer Emlichheim (m <sup>3</sup> /s)	Afvoer Dalfsen (m <sup>3</sup> /s)	Kalibratie	Validatie
M1	30	70	13-03-2018 – 17-03-2018	30-01-2017 – 04-02-2017
M2	50	110	08-02-2019 – 14-02-2019	23-02-2017 – 11-03-2017
H1	85	210	03-01-2018 – 08-01-2018	14-12-2017 – 18-12-2017
H2	195	360	30-10-1998 – 04-11-1998	-

Het afvoerniveau laag (L) wordt alleen getest op basis van een constante afvoer van 1,5 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim en een constante waterstand van -0.25m +NAP bij Ramspol, waarbij alle lateralen op nul worden gezet. Dit wordt gedaan om te checken of het systeem functioneert zoals zou moeten (m.n. kunstwerken en nevengeulen). Bij laag water is het systeem te complex om goed te kunnen modelleren, vanwege de grote impact van de verschillende (onzekere) lozingen en onttrekkingen en het feit dat de stroming dan door de nevengeulen en vispassages gaat, die vanwege de resolutie van het rooster, minder goed in het model zijn opgenomen. De afvoermetingen zijn dan van onvoldoende kwaliteit, maar zijn juist relatief erg belangrijk. Daarnaast wordt er ook op andere manieren water onttrokken en toegevoegd aan het systeem (o.a. via kwel), die niet in het model zijn opgenomen. Dit maakt een nuttige validatie op metingen zo goed als onmogelijk. De test is alleen bedoeld om na te gaan of de kunstwerken (PID-controllers en andere RTC-settings) stabiel zijn.



Figuur 6.4 Afvoer bij Emlichheim samen met de kalibratieperiode (groen, H1) en andere perioden rond een kalibratieniveau (geel, H1 en M2) voor de winterperiode van 1998.



Figuur 6.5 Afvoer bij Dalfsen samen met de verschillende kalibratieperioden (groen), validatieperioden (rood), periodes van windvalidatie (donker paars), andere perioden rond een kalibratieniveau (geel) en andere windperioden (lichtpaars) voor de winterperiode van 2016/2017 (boven), 2017/2018 (midden) en 2018/2019 (onder). De grijze lijnen geven de start van de totale validatieperiode voor een langere periode aan.

In Tabel 6.6 staan voor ieder gedefinieerd kalibratietraject (zie Tabel 6.1) de gebruikte afvoeren bij ieder afvoerniveau. Door instromingen en onttrekkingen en veranderingen in de golfvorm verandert de hoogte van de niveaus in de langsrichting van de rivier. De belangrijkste veranderingen zijn te zien bij de instroming van het Afwateringskanaal (vanaf traject 2303), de instroming van het Ommerkanaal, de Regge en Linderbeek (vanaf traject 2308), de samenvoeging met het Zwarte Water (vanaf traject 2312) en de instroming van het Meppelerdiep (vanaf traject 2314). Voor het laagste niveau M1, is in principe geen afvoervenster meegegeven, maar is gekalibreerd op een specifiek tijdsvenster (waarin de weergegeven afvoeren voorkomen). Voor de overige niveaus is tijdens de kalibratie alleen een minimaal niveau meegegeven en wordt het maximale niveau bepaald door de maximale afvoer binnen het specifieke tijdsvenster. De trajecten waarbij bij een afvoerniveau een streepje (-) is weergegeven zijn niet meegenomen in de kalibratie voor dit specifieke niveau (maar samengenomen met het bovenstroomse traject).

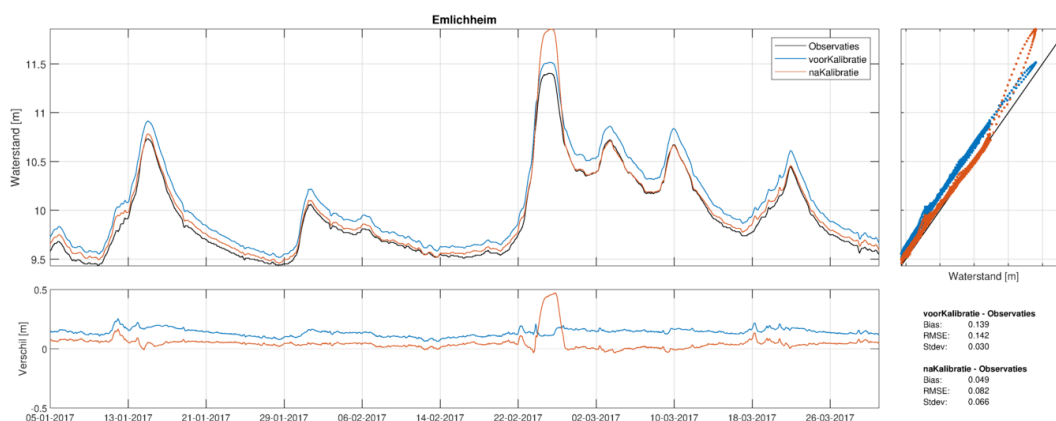


Tabel 6.6 Afvoerbereik ( $m^3/s$ ) tijdens kalibratie en (tussen haakjes) het bijbehorende kalibratieniveau ( $m^3/s$ ) en afvoerraai per kalibratietraject.

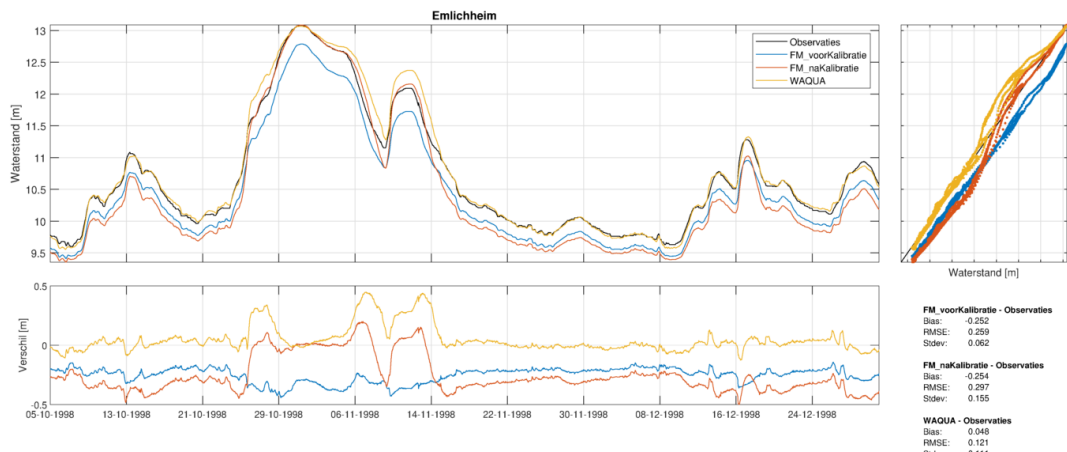
code	Debiet uit afvoerraai	M1	M2	H1	H2 (+H1j98)
2300	VT-10.4_QO_Q-Vechte-begin	20-30 (30)	45-55 (50)	80-90 (85)	85-200 (195)
2301	VT_10.4_L_Emlichheim	20-30 (30)	45-55 (50)	80-90 (85)	85-200 (195)
2302	OV_0.0_QO_Q-Vecht-grens	20-30 (30)	45-55 (50)	80-90 (85)	85-200 (195)
2303	OV_2.6_QL_De-Haandrik-beneden	20-30 (30)	45-55 (50)	80-90 (85)	85-200 (195)
2304	OV_12.7_QL_Hardenberg-beneden	30-50 (45)	55-65 (55)	110-130 (130)	130-260 (250)
2305	OV_19.6_QL_Marienberg-beneden	30-55 (50)	60-65 (60)	110-135 (135)	- (270)
2306	OV_26.8_QL_Junne-beneden	30-55 (55)	60-70 (65)	120-140 (140)	140-280 (275)
2307	OV_32.7_C_LMW-Q_Ommen-Hesselmulertbrug	35-60 (55)	60-70 (65)	120-140 (140)	- (275)
2308	OV_39.1_QL_Vilsteren-beneden	50-75 (70)	90-115 (110)	180-210 (210)	- (365)
2309	OV_45.3_C_WDOD-Q_Dalsen	50-75 (70)	90-115 (110)	180-210 (210)	- (365)
2310	OV_49.3_QL_Vechterweerd-beneden	40-100 (70)	90-115 (110)	180-210 (210)	210-350 (358)
2311	Zwolle – Mond der Vecht	-	-	-	-
2312	ZW_6.7_QL_Mond-der-Vecht	30-100 (85)	110-140 (130)	210-270 (250)	250-410 (410)
2313	ZW_12.7_QL_Kloosterzijl	- (90)	- (140)	- (270)	- (440)
2314	ZW_15.8_R_LMW-H_Zwartsluis-buiten	30-125 (110)	150-190 (170)	270-370 (350)	350-550 (550)
2315	ZW_19.4_C_LMW-Q_Genemuiden	15-125 (110)	150-200 (170)	270-370 (350)	- (550)
2316	Zwarte Meer (Kadoelen)	-	-	-	-

#### 6.1.4 Niet-stationariteit tussen kalibratiemodellen

Zoals aangegeven in de voorgaande paragraaf is voor de kalibratie gebruik gemaakt van twee verschillende modellen van j98 en j19 (die een verschillende periode representeren) om de kalibratie over het gehele afvoerbereik te realiseren. Ze zijn beide noodzakelijk omdat enerzijds gekalibreerd wordt op zo recent mogelijke jaren (2018 en 2019), maar anderzijds voor de echt hoge afvoeren verder naar het verleden gekeken moet worden (jaar 1998). Er zijn echter grote verschillen tussen de waterstanden in de modellen door de uitvoering van waterstandsverlagende maatregelen (aanwezig in j19 model maar niet in j98) en de nauwkeurigheid van de beschikbare meetdata (zowel in Baseline als in waterstanden/afvoeren).



Figuur 6.6 Waterstanden bij Emlichheim vóór kalibratie (blauw), na kalibratie (rood), en metingen (zwart) voor de periode jan-mrt 2017.



Figuur 6.7 Waterstanden bij Emlichheim vóór kalibratie (blauw), na kalibratie (rood), WAQUA (geel) en metingen (zwart) voor de periode okt-dec 1998.

Uit een evaluatie van het ongekalibreerde model (zie blauwe lijnen in Figuur 6.6 en Figuur 6.7) valt uit te lezen dat het verschil met metingen voor vastgestelde afvoerclassen grote verschillen kan geven voor de verschillende modellen. In dit voorbeeld zien we dat het model een overschatting van de waterstanden geeft met het j19 model voor de periode in 2017, terwijl voor het j98 model voor de periode van eind 1998 de modelresultaten onder de metingen liggen. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in kwaliteit van de baseline-schematisaties en randvoorwaarden/metingen, maar ook doordat aannames in de modellering (zoals zomerbedruwheid en discretisatie) in het ene model anders uitpakken dan in andere modellen.

Door het model te kalibreren kan voor een gegeven model het waterstandsverschil met de metingen kleiner worden, terwijl dit in een ander model ten gevolge van deze kalibratie juist verslechtert. Als voorbeeld geldt dat een kalibratie van Emlichheim met het j19-model op metingen uit 2017 zal resulteren in een lagere kalibratiefactor (resultaten liggen initieel boven de metingen). Als je deze kalibratiefactoren vervolgens toepast op het j98 model voor de periode in 1998, zal dit een negatief effect hebben op de berekende waterstanden voor 1998. Deze zullen namelijk over een groot deel van het afvoerbereik nog lager worden (en ze waren al te laag).

Bij de aanname dat een kalibratie van een gegeven model ook toepasbaar is op een ander model gaan we uit van voldoende *stationariteit* (Berends, 2020) tussen de modellen. De voorgaande analyse geeft echter twijfels bij deze aanname. Tegelijkertijd wordt er waarde aan gehecht om beschikbare metingen van de zeer hoge afvoeren in 1998 toch mee te nemen in de kalibratie.

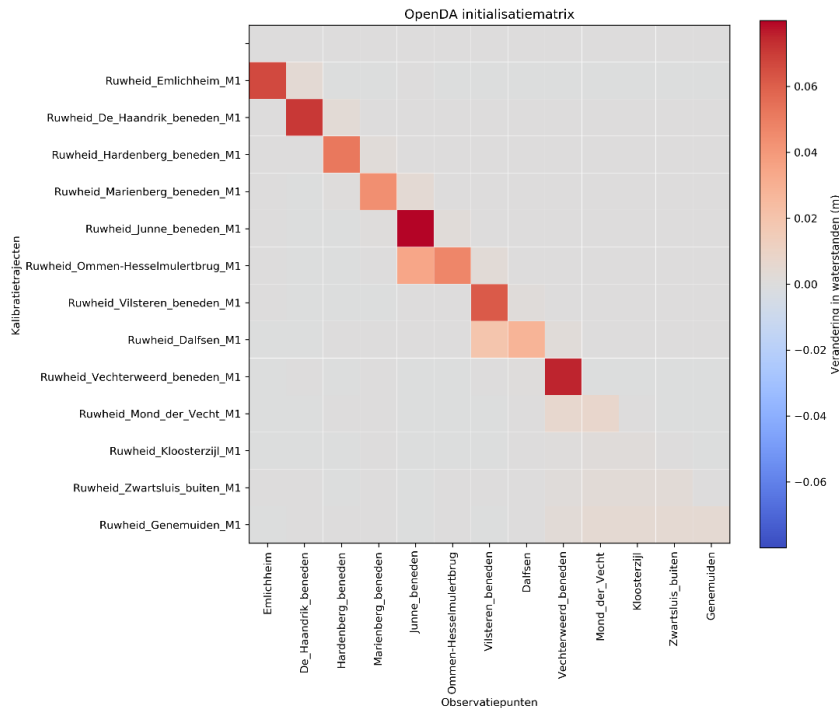
Uit een eerdere fase van de kalibratie is gebleken dat bij toepassing van kalibratie op 2018 (H1) bij de kalibratie op 1998 (H2) de relatief lage kalibratiefactor van niveau H1 door de kalibratiemethode wordt gecompenseerd met een relatief hoge kalibratiefactor voor niveau H2. Om deze overcompensatie te voorkomen zijn de kalibratiefactoren H1 (en lager) niet gebruikt in de kalibratie van 1998, maar is dit vervangen door een nieuw niveau H1j98 dat gekalibreerd is op de oplopende en aflopende golf van H2. Hierdoor zijn de resultaten voor de gehele afvoergolf van 1998 verbeterd en wordt daadwerkelijk alleen de waterstand rondom de piek gekalibreerd. Hiervoor is de kalibratieperiode verlengd door te starten op 26-10-1998 12:00 (i.p.v. 30-10-1998 00:00), zodat ook het afvoervenster van H1 wordt meegenomen. Alleen de kalibratiefactoren van zowel H2 als H1j98 worden tegelijk gekalibreerd (de factoren van M1 en M2 worden niet meegenomen).

Voor de uiteindelijke validatie wordt de oorspronkelijk gevonden kalibratiewaarden van H1 (o.b.v. 2018) gebruikt en niet de waarden van H1j98. Deze kalibratiemethodiek is ook toegepast voor de Maas en de resultaten hiervan staan verder uitgewerkt in De Jong (2020).

### 6.1.5 Kalibratieprocedure en OpenDA

Voor de kalibratie is gebruik gemaakt van de data-assimilatie tool OpenDA (OpenDA, 2016). Het DuD-algoritme (*Doesn't Use Derivative*) van OpenDA is gebaseerd op een zelf lerend concept waarbij op basis van opgegeven *predictors* (de waterstanden bij de meetstations) en opgegeven *regularisationConstants* (de kalibratietrajecten) zelf wordt ontdekt welke kalibratietrajecten invloed hebben op verschillende meetstations. Het doel is om voor de predictors de afwijking tussen metingen en modelresultaten zo klein mogelijk te maken.

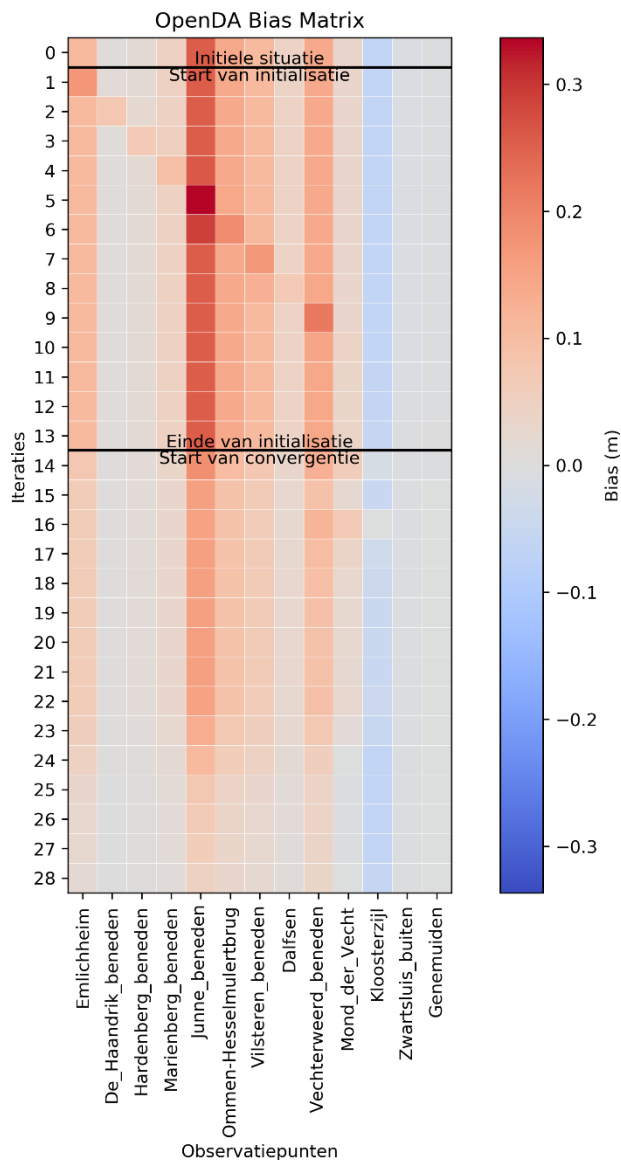
Om de correlatie tussen kalibratietrajecten en meetstations te bepalen wordt tijdens de initialisatie van OpenDA ieder traject individueel aangepast en doorgerekend. Het resultaat is een matrix zoals te zien in Figuur 6.8. Uit deze weergave blijkt direct of er onlogische correlaties in het model zitten ten gevolge van bijvoorbeeld stuwsturing. Onlogische of ongevoelige correlaties zullen een probleem opleveren voor de convergentie van OpenDA en dienen voorkomen te worden. In onderstaande initialisatie zien we dat ieder kalibratietraject ook een (klein) effect heeft op het benedenstroomse observatiepunt. Dit wordt veroorzaakt doordat de geleidelijke overgang in de kalibratiefactor net benedenstrooms van het observatiepunt door loopt.



Figuur 6.8 Voorbeeld-initialisatiematrix van OpenDA (Midden 1) bij een verhoging van de kalibratiefactor naar 1.105. Het gaat hierbij om de gemiddelde verandering in de waterstanden binnen het tijds- en afvoervenster in OpenDA.

Een kalibratie in OpenDA geeft na uitvoering een resultaat zoals te zien in Figuur 6.9. Hierin is te zien hoe na de initialisatie (dus vanaf iteratie 14) de bias (ook wel gemiddeld verschil, zie paragraaf I.3) flink gereduceerd wordt. Het kan voorkomen dat OpenDA na een tijdje niet verder kalibreert, ook al is er nog verbetering mogelijk. In dat geval is de kalibratie nogmaals vanaf het eindresultaat gestart tot een geconvergeerde toestand is bereikt met een bias tot slechts enkele millimeters. In deze figuur is ook te zien dat de waarden bij Kloosterzijk sterk afwijken (wat wordt veroorzaakt door een fout in de metingen en de reden is dat dit station in de uiteindelijke kalibratie niet is meegenomen).

Het exact kalibreren op een bias geeft wel een risico. Het kan namelijk zijn dat de waterstand grote schommelingen rond de metingen vertoont, maar gemiddeld goed zit. Daarom dienen ook andere criteria beschouwd te worden. Deze goodness-of-fit-criteria worden nader beschouwd in Paragraaf I.3.



Figuur 6.9 Iteratieproces van OpenDA.

Rondom stuwen kan een extra uitdaging ontstaan als gestuurd wordt op metingen, omdat zowel RTC als OpenDA proberen de waterstand bovenstrooms zo goed mogelijk te benaderen. Om dit te voorkomen wordt in het D-Flow FM model van de Overijsselse Vechtdelta gestuurd op de daadwerkelijk gebruikte streefpeilen (setpoints).

Na kalibratie worden afvoerafhankelijke ruwheden geïnterpoleerd tussen de gekalibreerde afvoerniveaus. Er is gekozen om de kalibratie te beginnen bij het laagste niveau en dan naar boven te werken, omdat de lage kalibratieniveaus wel invloed hebben op de kalibratie van hoge afvoerniveaus (afvoergolven), maar niet andersom.

### 6.1.6 Windvalidatie

Naast kalibratie en validatie voor verschillende rivierafvoeren, heeft er ook validatie plaatsgevonden op een aantal stormperiodes. Dit zijn de groen gemarkeerde periodes in Tabel 6.7 en Tabel 6.8.

Tabel 6.7 Overzicht van de drie stormperiodes die gebruikt zijn voor de validatie van de vijfde generatie modellen (op basis van windsnelheid en richting bij Stavoren). De groen gearceerde periode is ook gebruikt in de validatie van het zesde-generatie model.

Storm	Begin	Eind	Windsnelheid (m/s)	Beaufort	Windrichting
Okt 2006	30-10 01:00	02-11 23:00	20	9	NNW
Jan 2007	18-01 08:00	19-01 01:00	22	9	Z → NW
Dec 2011	06-12 23:00	10-12 00:00	18	8	NW
Mrt 2013	21-03 12:00	25-03 23:00	14	7	O

Tabel 6.8 Overzicht van recente stormperiodes op basis van windsnelheid (gemiddeld per uur) en richting bij Stavoren (tussen haakjes voor een aantal perioden ook de windsnelheid bij Marknesse). In de oranje gekleurde periode zijn er problemen met meetgegevens (en was er ijsvorming). De groen gearceerde perioden zijn gebruikt in de validatie van het zesde-generatie model.

Storm	Begin	Eind	Wind-snelheid (m/s)	Beaufort	Windrichting
Feb 2020	02-09 3:00	02-12 16:00	18	8	ZWW
Mrt 2019	03-07 8:00	03-09 18:00	17	8	ZWW
Mrt 2018	02-28 21:00	03-02 16:00	14 (13)	7 (6)	O
Mrt 2018	03-16 0:00	03-19 0:00	13 (13)	6 (6)	O
Jan 2018	01-18 3:00	01-18 15:00	20 (17)	9 (7)	Z → NW
Jan 2018	01-02 20:00	01-04 3:00	20 (15)	9 (7)	ZWW
Feb 2017	02-23 8:00	02-24 5:00	19 (15)	8 (7)	W
Jan 2017	01-13 16:00	01-14 6:00	16	7	NW
Nov 2016	11-20 6:00	11-20 19:00	18	8	ZOO → ZW
Mrt 2016	03-28 1:00	03-28 19:00	17	8	Z → ZW
Jan 2016	01-16 5:00	01-16 12:00	17	8	NNW
Nov 2016	11-28 18:00	11-30 6:00	17	8	ZW → W
Nov 2016	11-17 16:00	11-18 7:00	17	8	ZWW → NWW

Er moet aanvullend (in een later stadium) ook een validatie worden uitgevoerd met het totale IJVD-gebied waarbij o.a. de werking van de Ramspolkering en de totale windopzet moet worden bekeken. Dit valt nu echter buiten de scope van deze rapportage.

## 6.2 Resultaat

Met behulp van OpenDA is de kalibratie technisch succesvol uitgevoerd. Dit betekent dat bij iedere kalibratie net zo lang gedraaid en doorgestart is tot voor alle stations de fout is geminimaliseerd. Bij een kalibratie op bias betekent dit dat de bias in het gegeven afvoer- en tijdsvenster voor alle afvoerniveaus, behalve H2, kleiner was dan 0.005 m.

De speciale methodiek voor de kalibratie van H2, waarbij ook de kop en staart van de afvoergolf opnieuw gekalibreerd zijn als niveau H1j98, heeft goede resultaten gegeven in het verkrijgen van significante verbeteringen in de modelresultaten voor de grootste afvoergolf van HW1998.

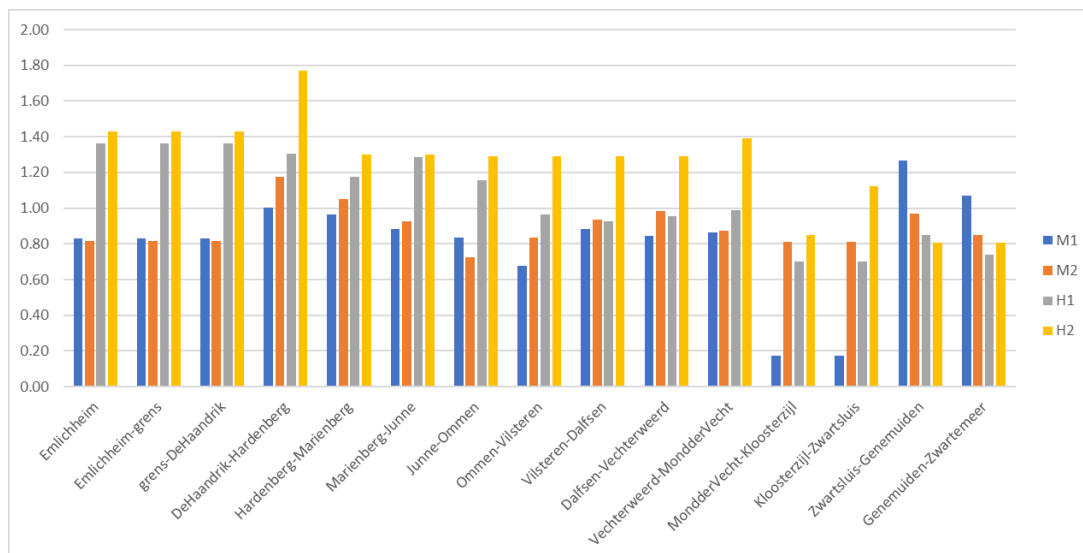
In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de kalibratie en validatie gegeven. Allereerst worden de resulterende kalibratiefactoren met enkele algemene conclusies gepresenteerd (paragraaf 6.2.1, daarna volgen de resultaten in waterstands- en afvoerstatistieken (paragraaf 6.2.2). Deze worden ten slotte in Paragraaf 6.3 besproken.

### 6.2.1 Kalibratiefactoren

De resulterende kalibratiefactor voor de 15 kalibratietrajecten en de 4 afvoerniveaus is gegeven in Tabel 6.9 en Figuur 6.10. De trajecten 2300, 2301 en 2302 gebruiken allemaal dezelfde metingen van Emlichheim en daarom zijn de kalibratiefactoren identiek. Omdat de metingen uit de recente periodes voor Kloosterzijl niet betrouwbaar zijn (zie paragraaf 4.2.2) zijn ook traject 2312 en 2313 gebaseerd op dezelfde metingen van Mond der Vecht voor M1, M2 en H1. Voor de stations Mariënberg, Ommen, Vilsteren, Dalfsen en Genemuiden is geen data beschikbaar voor 1998 (niveau H2) en daarom zijn zij gekalibreerd op de data van het dichtstbijzijnde bovenstroomse station.

Tabel 6.9 Uiteindelijke kalibratiefactoren per traject en kalibratieniveau.

	traject	M1	M2	H1	H2	mean	stdev
2300	Emlichheim	0,83	0,82	1,36	1,43	1,11	0,33
2301	Emlichheim-grens	0,83	0,82	1,36	1,43	1,11	0,33
2302	grens-DeHaandrik	0,83	0,82	1,36	1,43	1,11	0,33
2303	DeHaandrik-Hardenberg	1,00	1,18	1,30	1,77	1,31	0,33
2304	Hardenberg-Marienberg	0,96	1,05	1,18	1,30	1,12	0,15
2305	Marienberg-Junne	0,88	0,93	1,29	1,30	1,10	0,22
2306	Junne-Ommen	0,84	0,72	1,15	1,29	1,00	0,27
2307	Ommen-Vilsteren	0,68	0,83	0,96	1,29	0,94	0,26
2308	Vilsteren-Dalfsen	0,88	0,94	0,93	1,29	1,01	0,19
2309	Dalfsen-Vechterweerd	0,85	0,98	0,95	1,29	1,02	0,19
2310	Vechterweerd-MdV	0,86	0,87	0,99	1,39	1,03	0,25
2312	MdV-Kloosterzijl	0,17	0,81	0,70	0,85	0,63	0,31
2313	Kloosterzijl-Zwartsluis	0,17	0,81	0,70	1,12	0,70	0,40
2314	Zwartsluis-Genemuiden	1,26	0,97	0,85	0,80	0,97	0,21
2315	Genemuiden-Zwartemeer	1,07	0,85	0,74	0,80	0,87	0,14
min		0,17	0,72	0,70	0,80	0,63	0,14
mean		0,81	0,89	1,06	1,25	1,00	0,26
max		1,26	1,18	1,36	1,77	1,31	0,40



Figuur 6.10 Kalibratiefactor voor alle kalibratietrajecten voor de verschillende afvoerniveaus.

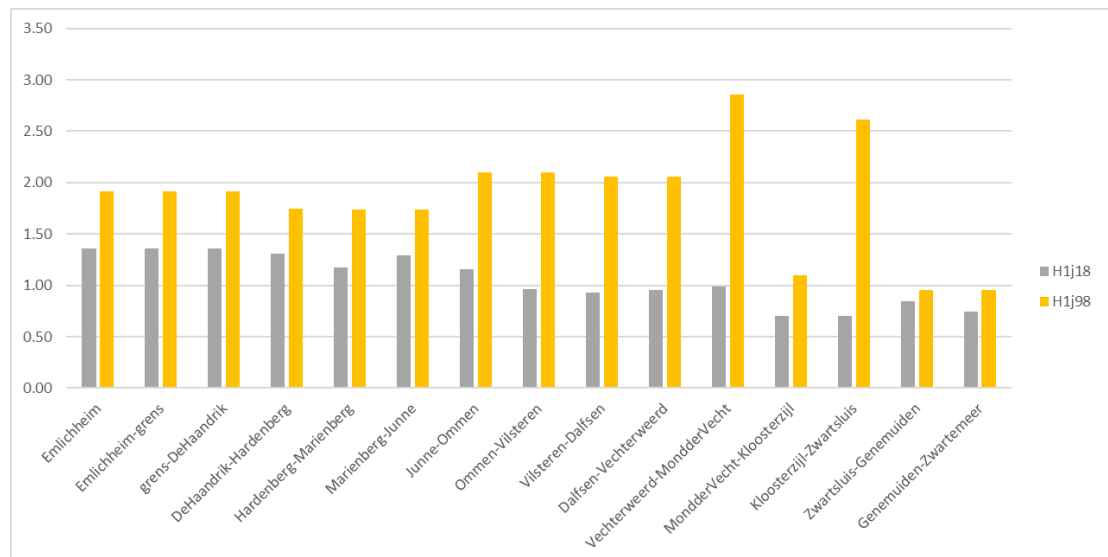
Uit de afvoerafhankelijke en ruimtelijke kalibratie worden de volgende algemene conclusies getrokken:

- De kalibratiefactoren hebben voor de 4 afvoerniveaus een gemiddelde waarde van respectievelijk 0,81, 0,89, 1,06 en 1,25. De gemiddelde ruwheid is dus bij de hoogste twee afvoerniveaus verhoogd en voor de andere twee verlaagd, waarbij een grotere correctie nodig was voor lagere en hogere afvoeren. Bij H1 zit de kalibratiefactor gemiddeld dicht bij 1,0, wat betekent dat er (gemiddeld) maar beperkte kalibratie nodig was. Dit verschilt echter wel sterk per station.
- Er is geen heel duidelijk onderscheid te zien tussen de kalibratiefactoren op het eerste deel van de Overijsselse Vecht (Emlichheim tot Hardenberg), het tweede deel van de Overijsselse Vecht (Hardenberg tot Mond-der-Vecht) en het Zwarte Water. De drie trajecten laten vergelijkbare kalibratiefactoren en afvoerafhankelijkheid zien, al is er wel een lichte afname van de kalibratiefactor zichtbaar (met name voor H1) in benedenstroomse richting. De keuze van de basisruwheid (zie paragraaf 5.5.1) is dus van vergelijkbare kwaliteit voor de drie onderscheiden trajecten.
- De minimale kalibratiefactor is 0,17 en de maximale kalibratiefactor is 1,77. De lage kalibratiefactoren zijn vooral bij de lage afvoerniveaus (specifiek op het Zwarte Water), terwijl de hoge kalibratiefactoren bij de hoge afvoerniveaus zitten. We verwachten fysisch gezien waarden tussen de 0,5 en 1,5. Beide uitschieters geven aan dat er lokaal grote correcties in de modellering nodig zijn om de resultaten overeen te laten komen met de metingen.
- Bij de meeste stations is er bij een toenemende afvoer een toename in de kalibratiefactor, behalve voor de trajecten benedenstrooms van Zwartsluis. De modellering (geometrie en ruwheden) geven vóór de kalibratie te hoge waterstanden bij lagere afvoeren. De keuze voor een ruwheidsformulering met een grotere waterstandsafhankelijkheid (bijv. een grotere factor A of B in de Van Rijn-formulering) zou dit ook op kunnen lossen. De keuze in ruwheidsformulering (en parameters) heeft ook invloed op de waterstanden bij extreme afvoeren (de extrapolatie van de kalibratie).
- De kalibratiefactor is enkel toegepast op een (deel van) het zomerbed. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van het smalste zomerbed. In de kalibratiefactor wordt daarom ook gecorrigeerd voor eventuele hogere ruwheden bij zomerbedverbredingen. Daarnaast worden alle benodigde correcties voor de geometrie of ruwheid van het winterbed nu samengevat in de kalibratiefactor van het zomerbed. Hierdoor zal de kalibratiefactor bij een (deels) meestromend winterbed sterker variëren dan wanneer een bredere kalibratiepolygoon was toegepast.

Als we kijken naar de individuele trajecten dan valt hier het volgende uit te concluderen:

- Het afvoerniveau M1 heeft een dip in de kalibratiefactor op de trajecten tussen Monder-Vecht-Zwartsluis en juist een sterke piek op het traject Zwartsluis-Zwartemeer. Dit geeft het vermoeden dat er lokaal nog onvolkomenheden zitten in de geometrie of de metingen. Daarbij moet wel worden aangetekend dat er bij het laagste afvoerniveau op het Zwarte Water weinig verhang aanwezig is en een aanpassing in de kalibratiefactor daardoor relatief weinig effect heeft. Het aanpassen van de lage kalibratiewaarden van 0,17 naar een meer fysische waarde van bijv. 0,5, zal daarom weinig invloed hebben op de resultaten.
- Het traject DeHaandrik-Hardenberg heeft een grote toename van de kalibratiefactor bij stijgende afvoer (van 1,0 naar 1,77). Dit kan ook betekenen dat bij hoge afvoeren te weinig ruwheid in het model wordt gegeven of een te lage bodemhoogte. Daarnaast kan het ook zo zijn dat de opgelegde afvoer niet correct is. De trajecten tussen Zwartsluis-Zwarte Water geven juist een afvoerafhankelijke afname in de kalibratiefactor wat het omgekeerde kan betekenen.
- De trajecten tussen Emlichheim en Hardenberg hebben een zeer sterke toename in de kalibratiefactoren bij de hoogste niveaus. Dit betekent dat de weerstand in het model te laag is of dat de opgelegde afvoer niet correct is. Op dit traject gaat een groot gedeelte van de afvoer door het winterbed en zou het meenemen van het winterbed binnen de kalibratiepolygoon voor realistischere kalibratiefactoren kunnen zorgen (kalibratiefactor dicht bij 1.0). Daarnaast is de winterbedruwheid voor 1998 is gebaseerd op de ecotopenkaart die vrij recent is gemaakt. Het kan zijn dat in 1998 de uiterwaard op dit traject toch wat gladder was. Verder is de maaiveldhoogte van de uiterwaarden anders in het 1998 en 2019 model (bron is anders AHN1/DTB vs AHN3). Ook dit kan mogelijk een deel van de verschillen verklaren

Het verschil tussen de kalibratiewaarden voor H1 (o.b.v. 2018) en van H1j98 (gebruikt voor de kalibratie van H2 voor 1998) is weergegeven in Figuur 6.11). Alle waarden van H1j98 zijn hoger dan H1 en het verschil neemt over het algemeen toe in benedenstroomse richting (behalve voor de laatste twee trajecten).



Figuur 6.11 Kalibratiefactoren voor H1 (o.b.v. 2018): grijs, en H1j98 (gebruikt in de kalibratie van H2 voor 1998): geel.



Een uitgebreide discussie op de extrapolatie- en stationairiteitsnauwkeurigheid (vooral gericht op de Maas, maar ook van toepassing op de Overijsselse Vecht) is beschreven in De Jong (2021). Door Deltares en Rijkswaterstaat is geconcludeerd dat de kalibratiefactoren H2 vermoedelijk de waterstanden bij extreme afvoeren het best benaderen (De Jong, 2021). Dit wordt daarom ook toegepast voor de Overijsselse Vecht. Dit betekent dat de ruwheidswaarde van H2 ook gebruikt wordt voor de nog extremere afvoeren.

## 6.2.2 Vergelijking met metingen

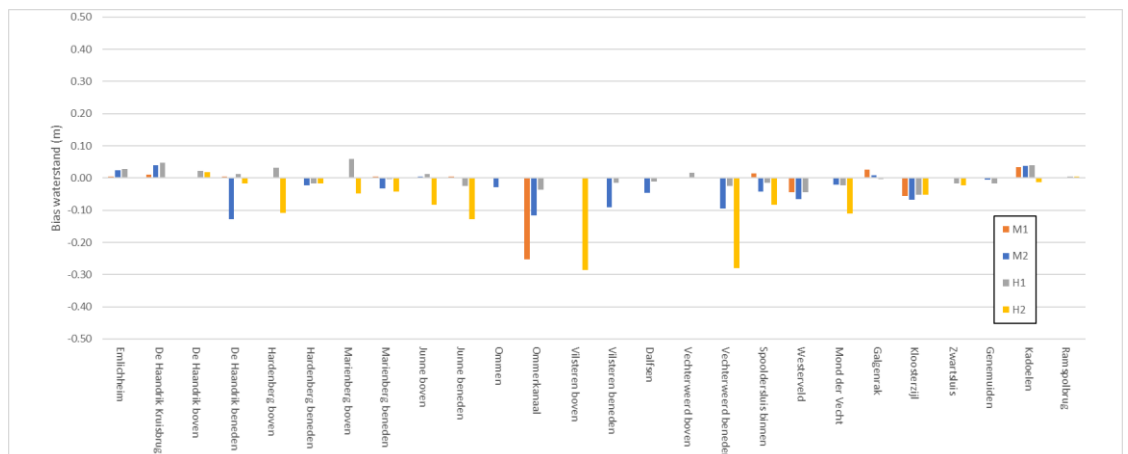
In deze paragraaf worden allereerst per kalibratieniveau en per traject de resulterende biases gepresenteerd. Vervolgens wordt ingegaan op de resultaten en worden eventueel onverwachte resultaten verder uitgewerkt.

Simulaties zijn uitgevoerd voor de volledige perioden (HW1998, jan-mrt 2017, nov 2017-mrt 2018, jan-mrt 2019) zonder kalibratie en met kalibratiefactoren. In deze paragraaf worden deze simulaties geëvalueerd door per station de bias te bepalen ten opzichte van de metingen. Dit is bepaald voor de deelperiode van de kalibratie (Figuur 6.12) en validatie (Figuur 6.13) en voor de gehele periode (Figuur 6.14). Voor de periode van de kalibratie is de daarbij de hele periode genomen, terwijl in OpenDA ook nog rekening wordt gehouden met een afvoervenster. De globale statistieken zijn samengevat in Tabel 6.10. De resultaten zijn gegeven voor alle beschikbare meetstations, dus niet alleen degenen die zijn gebruikt voor de kalibratie (dus ook voor bijvoorbeeld Kadoelen en Kloosterzijk en de locaties op het Zwolle-IJsselkanaal). Voor meer gedetailleerde tabellen per afvoerniveau zie bijlage J.1 t/m J.4.

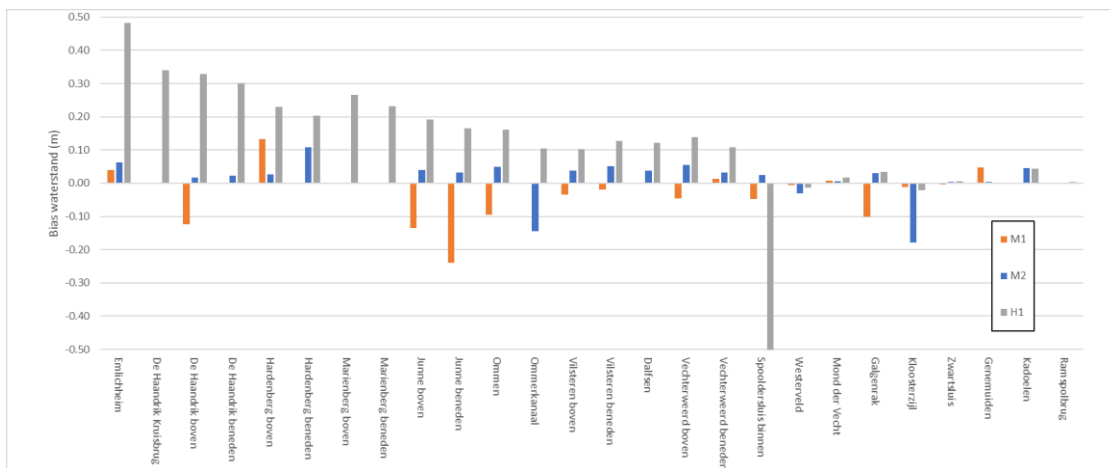
Figuren van de tijdseries (waterstanden en afvoeren) van de gehele perioden zijn opgenomen in Bijlage J. Dit zijn figuren gemaakt met het uiteindelijke gekalibreerde model.

Tabel 6.10 Bias en Stdev (RMS gemiddeld over alle stations) van de waterstand (m) voor de deelperioden van kalibratie, validatie, en de gehele periode. Verdere uitwerking van de perioden staat in Tabel 6.5.

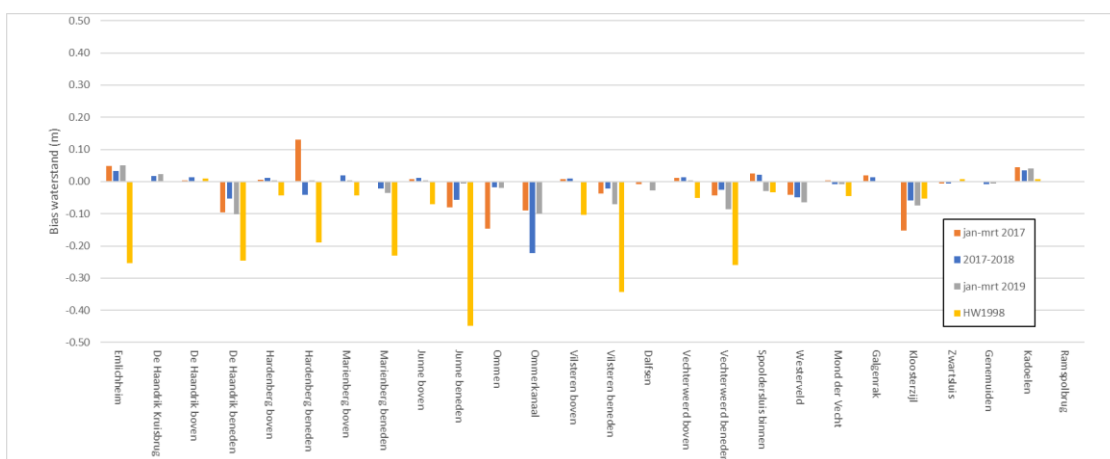
	Kalibratievenster			Validatievenster				Gehele periode	
	Periode	Bias	Stdev	Periode	Bias	Stdev		Bias	Stdev
M1	mrt '18	-0,009	0,052	feb '17	-0,027	0,077	HW1998	-0,126	0,182
M2	feb '19	-0,025	0,051	mrt '17	0,014	0,062	jan-mrt 2017	-0,017	0,065
H1	jan '18	-0,001	0,027	dec '17	0,120	0,220	2017-2018	-0,015	0,052
H2	nov '98	-0,074	0,114				jan-mrt 2019	-0,019	0,044



Figuur 6.12 Modelresultaten van het finale model voor het totale tijdsvenster van de kalibratie.



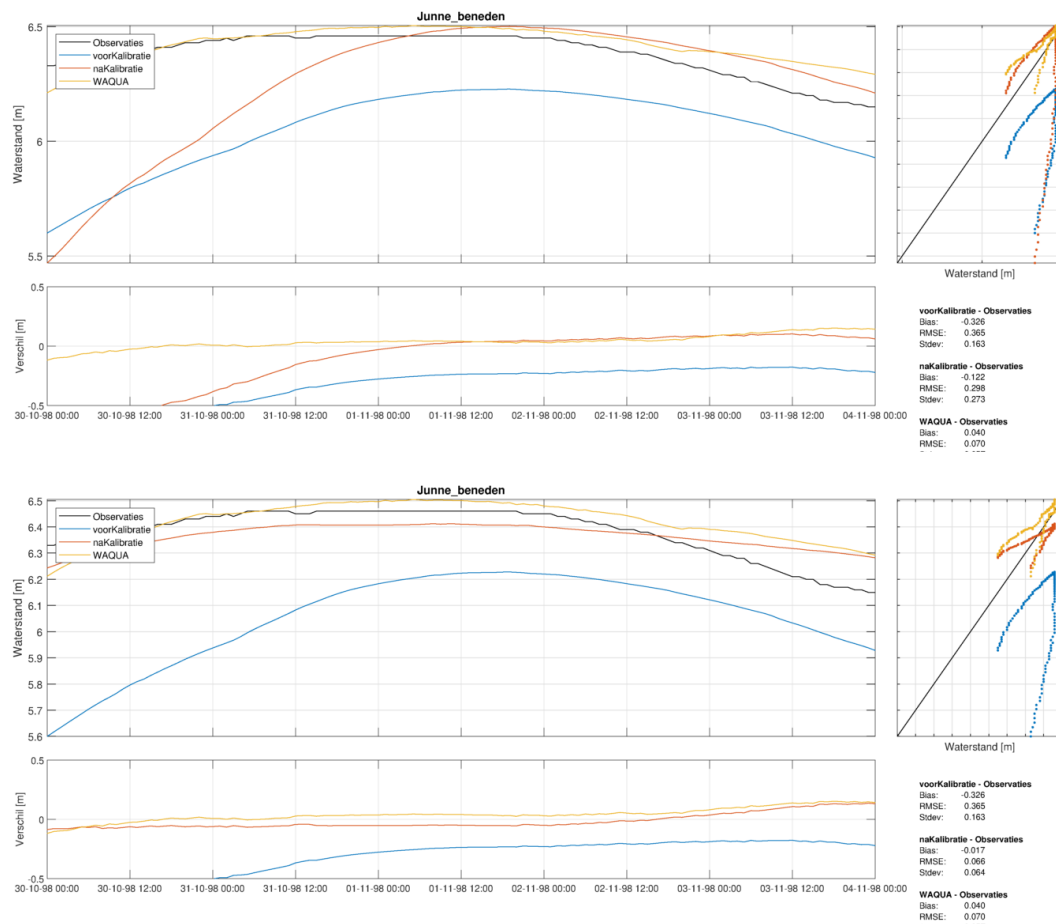
Figuur 6.13 Modelresultaten van het finale model voor het tijdsvenster van de validatie.



Figuur 6.14 Modelresultaten van het finale model voor de gehele periode.

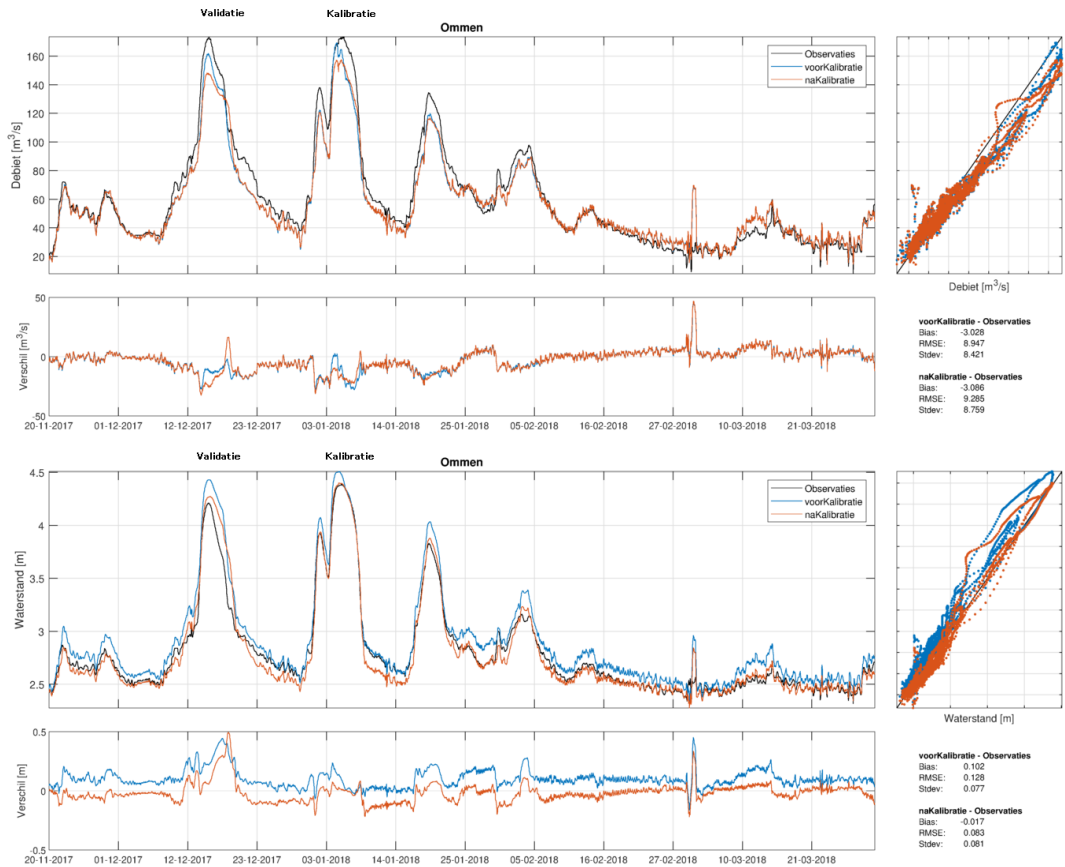
Op basis van de gegeven figuren kan uit het algemene beeld van de resultaten het volgende geconcludeerd worden:

- De resultaten van de kalibratieperiode zijn over het algemeen goed ter plekke van de daadwerkelijke kalibratiestations voor de recente periodes (niveaus M1, M2 en H1) met een bias tussen de -12 en + 5 cm. Dit is een grotere fout dan de 0,5 cm waarop de kalibratie door OpenDA is geconvergeerd. Deze afwijking tussen het resultaat in de OpenDA-kalibratie en de hier gepresenteerde vergelijking met metingen heeft de volgende oorzaken:
  - Hoewel de kalibratie niet enkel in de volgorde van M1 tot H2 is uitgevoerd, maar iteratief ook niveaus nogmaals zijn gekalibreerd, kan het nog steeds zijn dat de kalibratie van een onder- of bovengelegen afvoerniveau dusdanige invloed heeft op de resultaten binnen het beschouwde afvoerniveau dat de statistieken negatief zijn beïnvloed.
  - De precieze berekening van de bias is anders, doordat in OpenDA is gebruik gemaakt van een afvoervenster met een minimale afvoer om meegenomen te worden in de kalibratie, terwijl dit in de gepresenteerde analyses niet is meegenomen (en daardoor een grotere periode rond het afvoerniveau wordt meegenomen).
  - Voor H2 (i.c.m. H1j98) wordt het convergentiecriteria in OpenDA niet voor alle stations gehaald (max 1-2 cm i.p.v. 0,5 cm). Al is dit wel sterk verbeterd ten opzichte van de versie waarin de waarden van H1 worden gebruikt.
- De modelkwaliteit van het kalibratievenster H2 wordt sterk nadelig beïnvloed als de definitieve factoren worden toegepast. Bij het gebruik van de kalibratiefactor H1j98 i.p.v. H1 neemt de bias sterk af, zie Figuur 6.15.

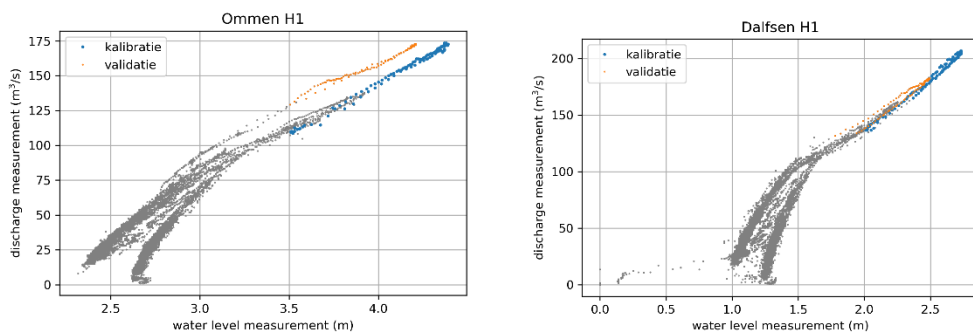


Figuur 6.15 Resultaten in het kalibratievenster voor 1998 voor Junne beneden (rode lijnen) met gebruik van H1 en H2 (boven) en gebruik van H1j98 en H2 (beneden).

- De validatie van niveau M2 laat goede resultaten zien ter plaatse van de kalibratiestations, met een maximale bias van 5 cm. Alleen bij Hardenberg beneden is een grotere afwijking van ca. 10 cm.
- Ook voor niveau M1 zijn de validatieresultaten over het algemeen goed ter plekke van de kalibratiestations, alleen zijn er lokaal wel grotere afwijkingen tot 20 cm zichtbaar (Junne beneden).
- De validatie van niveau H1 laat flink grote verschillen zijn. Dit kan worden verklaard doordat de kalibratieperiode ná 1 januari 2018 valt (o.b.v. onbewerkte afvoerdata van Emlichheim) en de validatieperiode hier vlak vóór (o.b.v. bewerkte data). Bij eenzelfde waterstand bij Emlichheim wordt in de validatieperiode een hogere afvoer opgelegd dan in de kalibratieperiode (zie Figuur 4.6). Deze afwijking neemt toe met de afvoer (tot ca. 20% hogere afvoer rond niveau H1, ca. 80 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim) en dit resulteert daarom in tot ca. 50 cm hogere waterstanden in de validatieperiode t.o.v. de kalibratieperiode. Deze afwijking neemt wel af in benedenstroomse richting. Toch is dit waarschijnlijk niet de hele verklaring. Als je namelijk kijkt naar de afvoer en waterstanden bij Ommen (Figuur 6.16) is te zien dat de piek van de afvoer in beide gevallen ongeveer gelijk is, maar dat de waterstand in de tweede piek ca. 20 cm hoger ligt. Deze inconsistente is ook zichtbaar in de Qh-relatie van de metingen bij Ommen (zie Figuur 6.17). Dit effect is bij Dalfsen echter grotendeels verdwenen. De vraag is dan ook of de verschillen daadwerkelijk worden verklaard door inconsistenties in de metingen of dat er fysische verschillen zijn opgetreden tussen de eerste en tweede golf, die niet worden meegenomen in het model (zoals een bepaalde blokkade).



Figuur 6.16 Vergelijking debieten (boven) en waterstanden (onder) bij Ommen voor de validatieperiode van H1 (eerste golf) en de kalibratieperiode van H1 (tweede golf).



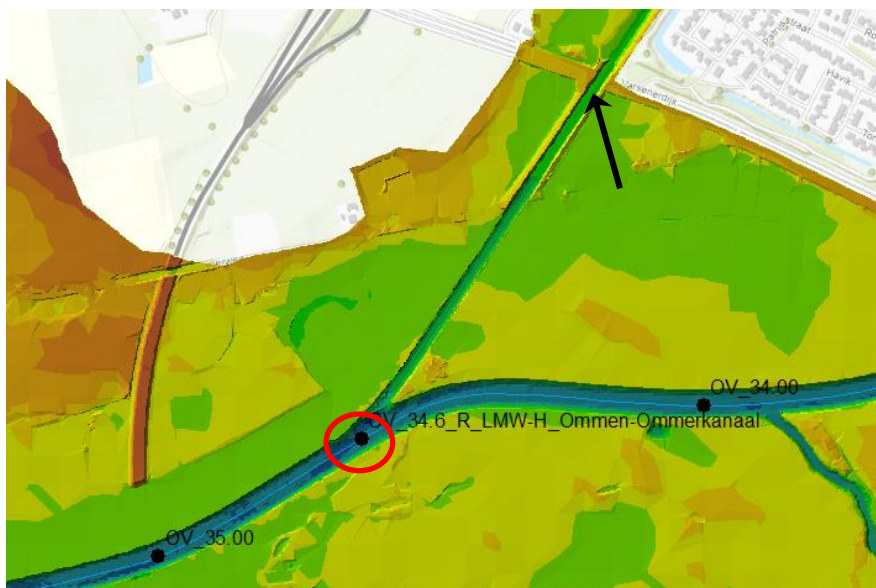
Figuur 6.17 Qh-relatie van de metingen bij Ommen (links) en Dalfsen (rechts) in de periode nov 2017 – mrt 2018. Uitgelicht zijn de metingen rond de kalibratie voor H1 (blauw) en de validatie van H1 (oranje).

- Bij de beschouwing van de gehele periode valt op dat het hoogwater van 1998 relatief slechte resultaten laat zien, zowel bij gebruik van de definitieve kalibratiefactoren als bij de variant met H1j98. Vooral bij de lagere afvoeren is er een grote modelfout. Deze negatieve resultaten zijn daarom niet verrassend. Als de vergelijking wordt gemaakt met het vijfde-generatie WAQUA model, dan presteert deze laatste beduidend beter voor de periode in 1998 (zie ook bijlage J.5). Dit is niet verrassend, aangezien het WAQUA-model alleen is gekalibreerd op 1998 (dus voor alle afvoerniveaus). Destijds (Van der Mheen, 2014) werd echter ook al geconcludeerd dat de resultaten voor een recentere periode (2007, wel met het hele IJVD-model) gemiddeld zo'n 20 cm te hoog lagen (met uitschieters richting de 50 cm). Dit is consistent met wat nu ook wordt gevonden: voor de periode in 1998 zijn veel hogere kalibratiewaarden nodig dan voor meer recente perioden.

De andere gehele perioden laten een positiever beeld zien, met een maximale afwijking op de kalibratiestations van ca. 15 cm. Wat wel opvalt is dat de modelresultaten over het algemeen iets lager zijn dan de metingen.

Hieronder wordt in meer detail ingegaan op individuele resultaten. De bevindingen zijn hierbij ook gebaseerd op de tijdseries in Bijlage J:

- De afwijking van ca. -5 cm bij Kadoelen in de metingen van recente perioden (zie 4.2.3 m.b.t. twijfel aan de kwaliteit van de meting) is ook terug te vinden in alle resultaten (de modelresultaten zijn structureel 5 cm te hoog).
- De afwijking van ca. +10 cm bij Kloosterzijl in de metingen van recente perioden (zie 4.2.2 m.b.t. twijfel aan de kwaliteit van de meting) is ook terug te vinden in de resultaten (de modelresultaten zijn structureel te laag).
- Ondanks dat het Zwolle-IJsselkanaal niet is gekalibreerd, laten de resultaten bij Spooldersluis binnen en Westerveld een goede overeenstemming met de metingen zien (gemiddelde bias van minder dan 5 cm).
- In de metingen bij Ommerkanaal zijn grote fluctuaties zichtbaar, die minder terugkomen in het model. Daarnaast zijn de waterstanden bij lage afvoeren structureel (veel) te laag t.o.v. de metingen (en bij hogere afvoeren soms juist te hoog). Na kalibratie zijn de resultaten slechter dan ervoor. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de uitvoerlocatie van het meetpunt in het model op de as van de rivier is gelegd, terwijl deze zich in werkelijkheid meer bovenstrooms in het kanaal zelf bevindt (zie Figuur 6.18). Deze verplaatsing is gedaan omdat vanwege de resolutie van het rekenrooster het kanaal zelf niet goed in het model wordt weergegeven.



Figuur 6.18 Locatie meetpunt Ommerkanaal (zwarte pijl) en uitvoerlocatie Ommerkanaal in het model (rode cirkel).

- De resultaten op het Zwarte Water en Zwarte Meer zijn over het algemeen beter dan op de Overijsselse Vecht (uitgezonderd de stations Kloosterzijl en Kadoelen met foutieve meetwaarden).
- Als je kijkt naar de gehele perioden worden de waterstanden bovenstrooms van de stuwen beter gevolgd dan de waterstanden benedenstrooms van de stuwen. Dit wordt veroorzaakt doordat de stuwen in het model tijdens de validatie worden gestuurd op de gemeten waterstand bovenstrooms.

- De periode jan-mrt 2019 is gebruikt voor de kalibratie van M2:
  - Er zijn relatief sterke schommelingen zichtbaar in de metingen, die door het model minder goed gevolgd worden. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt doordat deze ook minder aanwezig zijn in de opgelegde lateralen.
  - Een relatief groot deel van deze totale periode betreft afvoeren beneden het laagste niveau waarvoor is gekalibreerd (20-30 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim; 50-75 m<sup>3</sup>/s bij Dalfsen).
  - De resultaten bij Ommen en Junne zijn flink verbeterd na kalibratie, maar de resultaten net bovenstrooms van Mariënberg zijn juist slechter geworden.
  - Bij Vilsteren, Dalfsen en Vechterweerd zijn de resultaten ook iets slechter geworden in het lage afvoerbereik na kalibratie.
  - Bij Spooldersluis zijn er vreemde waarden te vinden in de metingen tussen 29-01-2019 en 9-02-2019 (en missen de waarden tussen 15-02-2019 en 20-02-2019).
  - Op het Zwarte Water is er weinig verschil tussen de resultaten vóór en na kalibratie en liggen ze allebei al relatief goed op de metingen. De waterstanden worden tot Vechterweerd vooral gedomineerd door de waterstandsrand benedenstrooms bij Ramspolbrug.
  - De afvoer en waterstanden volgen de piek in de metingen vrij goed, maar de timing is net te laat in het model. Hierdoor worden de statistieken negatief beïnvloed, terwijl de waarden van de pieken wel vrij netjes worden gevolgd. Vermoedelijk ligt de oorzaak van het faseverschil in de opgelegde lateralen.
- De periode nov 2017-mrt 2018 is gebruikt voor de kalibratie van M1 en H1 en ook voor de validatie van H1:
  - De eerste waterstandspiek is structureel te hoog (validatieperiode H1, o.b.v. bewerkte afvoerdata Emlichheim) en de tweede (net iets hogere) waterstandspiek (kalibratieperiode H1, o.b.v. onbewerkte afvoerdata Emlichheim) wordt over het algemeen wel goed gevolgd (net als de kleinere piekjes erna).
  - Begin maart is er een vreemde fluctuatie te zien in zowel de metingen als het model. Deze is ook zichtbaar in de afvoermetingen bij Emlichheim. Rond die periode was er flink veel ijsvorming (zie Figuur 6.19), wat zowel effect kan hebben op de meetgegevens (o.a. bij Dalfsen) als de werking van het watersysteem. Dit is ook de reden dat deze periode met sterke oostenwind is afgefallen in de windvalidatie.



*Figuur 6.19 Satellietbeeld met ijsvorming begin maart 2018.*

- Voor het bovenstroomse deel van de Overijsselse Vecht tot Vilsteren beneden geldt dat voor de lagere afvoeren de metingen in de periode vóór 15 januari 2018 beter worden gevolgd met het ongekalibreerde model en in de periode daarna met het gekalibreerde model. De kalibratieperiode voor M1 valt in het tweede deel.
- Voor de benedenloop worden de afvoerpiekjes redelijk goed gevolgd in het model. De afwijkingen in de waterstand zijn consistent met de afwijkingen in de afvoer.

- In de periode 20 november tot 20 december 2017 wijken de modelresultaten bij Spooldersluis sterk af van de metingen, terwijl dit bij Westerveld niet het geval is.
- De periode jan-maart 2017 is gebruikt voor de validatie van M1 en M2:
  - De waterstandspiek rond niveau M2 wordt op het bovenstroomse deel van de Overijsselse Vecht overschat.
  - De waterstand bij De Haandrik beneden is structureel ca. 20 cm te laag bij de lage afvoeren, terwijl deze bij Hardenberg beneden juist structureel ca. 10 cm te hoog is. De waterstanden op de bovenstroomse stations worden wel goed gevolgd, zolang de stuwen sturen (want er wordt gestuurd op de waterstand).
  - Er zijn geen metingen beschikbaar voor Mariënberg (zowel boven- als benedenstrooms van de stuw) voor deze periode.
  - Voor Junne beneden geldt dat de pieken rond de validatie van M1 en M2 (en ook de overige pieken) heel goed wordt gevolgd in het gekalibreerde model, maar dat voor lagere afvoeren de resultaten structureel te laag zijn (en het ongekalibreerde model hier eigenlijk beter presteert).
  - Voor Ommen geldt dat de hogere pieken tussen 22-02-2017 en 05-03-2017 goed worden gevolgd door het gekalibreerde model, maar dat voor lagere afvoeren de waterstanden hier ook structureel te laag zijn en het ongekalibreerde model eigenlijk betere resultaten geeft.
  - Voor Vilsteren beneden is eenzelfde beeld te zien als voor Junne beneden, al zijn de afwijkingen hier minder groot.
  - Bij Dalfsen worden de hogere pieken overschat, maar deze overschatting is wel minder groot na kalibratie. Dit hangt ook samen met het feit dat de afvoeren bij Dalfsen niet correct worden gesimuleerd in het model, deze liggen in het model aanzienlijk hoger dan de meting. In het eerste deel wordt de afvoer wel vrij goed gevolgd, maar vooral bij de hogere pieken is de afwijking groot.
  - Ook voor Vechterweerd beneden is een soortgelijk beeld te zien: pieken zijn beter na kalibratie (maar de hogere worden nog steeds iets overschat) en bij de lagere afvoeren is de waterstand te laag (en presteert het ongekalibreerde model beter).
- De periode okt-dec 1998 is gebruikt voor de kalibratie van H2 (i.c.m. H1j98):
  - De metingen voor Kloosterzijk en Kadoelen zijn voor deze periode wel bruikbaar.
  - Zoals verwacht wordt de piek van de kalibratieperiode redelijk goed gehaald, maar zijn de waterstanden in de rest van het afvoerbereik structureel (veel) te laag.
  - De afvoer voor Emlichheim is gecorrigeerd door WVS en ligt nu lager (op de top ca. 25 m<sup>3</sup>/s) dan die destijds gebruikt in het WAQUA model (zie bijlage J.8.3). Als dit wordt vergeleken met de varende afvoermetingen die destijds gedaan zijn langs de Overijsselse Vecht (bij rkm 3,6 (in de buurt van stuw De Haandrik) en bij rkm 55 (in de buurt van Berkum)) is te zien dat de berekende afvoer bij De Haandrik (rkm 3,6) in het nieuwe D-Flow FM redelijk goed overeenkomt met de metingen en beter lijken te passen dan in het WAQUA-model. De berekende afvoer bij Berkummerbrug (rkm 55) ligt in het D-Flow FM model echter veel te laag, vooral tijdens de top. Hier komen de door het WAQUA-model berekende waarden beter overeen. De vorm van de golf lijkt wel beter te passen in het deel na de piek. Waarschijnlijk zijn de opgelegde lateralen niet goed genoeg. De te lage afvoer verklaart wel waarom de initieel berekende waterstanden te laag zijn en er dus een relatief hoge kalibratiefactor moet worden toegepast.
  - Er is een sterk looptijdverschil zichtbaar in de voortplanting van de afvoergolf naar benedenstrooms met name in het opgaande deel van de afvoergolf, zie voor een uitleg hierover Kader 6.1.
  - Het WAQUA model is destijds voor alle afvoerniveaus gekalibreerd op deze periode in 1998, dus het is niet verwonderlijk dat deze voor de lagere niveaus beter presteert. Een ander belangrijk verschil tussen het WAQUA en D-Flow FM model voor 1998 is dat de opgelegde afvoeren anders zijn (zie eerder punt hierboven). Daarnaast is de bodemhoogte van j98 en j19 in het nieuwe D-Flow FM model in de uiterwaarden op

verschillende bronnen gebaseerd. Voor een deel kan dit ook een verschil in fit verklaren voor de lagere afvoerniveaus. Polder Flutmulde stond in 1998 in werkelijkheid niet onder water. In het model staat hier wel alles onder, waarbij het gebied volloopt vanuit het zuiden. Keringen zitten waarschijnlijk niet goed in de schematisatie: er zitten een paar (te) lage punten in. De polder is binnendijs gebied en moet eigenlijk niet onderlopen. Het verschil in afvoer boven- en benedenstrooms van dit gebied is niet erg groot tijdens de afvoergolf van 1998 en zal dus weinig invloed hebben op het verloop ervan.

Over het algemeen lijken de resultaten voor de lage afvoeren (debiet bij Dalfsen < 50 m<sup>3</sup>/s = lager dan niveau M1) na kalibratie te laag uit te vallen. De ongekalibreerde resultaten zijn daar vaak zelfs beter. De vraag is dan ook of het gekozen periode voor het afvoervenster voor M1 wel de juiste keus is geweest en of er voor de echt lage niveaus nog een niveau moet worden toegevoegd. Dit laatste was echter vooraf niet gewenst, omdat voor de lage afvoeren er veel meer onzekerheden zitten in de op te leggen afvoeren. Dit kan sowieso ook een rol spelen in de nu gebruikte afvoerdata, alleen is dit is echter niet goed zichtbaar in de afvoermetingen bij Dalfsen: deze worden over het algemeen beter door het model gevolgd bij lagere afvoeren (al zullen de relatieve verschillen daar ook groter zijn).

*Kader 6.1: Invloed van de kalibratiefactor op de looptijd (aangepast op basis van De Jong (2021b))*

Door kalibratie kan de looptijd van de afvoergolf worden beïnvloed. Modelresultaten van de validatie laten dit duidelijk zien, waardoor de vraag naar boven is gekomen hoe dit principe werkt. In dit kader worden een paar processen uitgelicht aan de hand van analytische formuleringen.

#### Constante kalibratiefactor

Allereerst een beschouwing met een constante kalibratiefactor. Bij een simpel rechthoekig profiel, zonder bergende breedte, uitgaande van een ruwheid van Manning, is de golfsnelheid ( $c$ ) een functie van de breedtegemiddelde stroomsnelheid ( $u$ ):

$$c = \frac{5}{3}u$$

Als door kalibratie de waterstand verhoogd moet worden, neemt hierdoor (bij gelijke afvoer) de stroomsnelheid af en daardoor ook de golfsnelheid. We zien in de resultaten van de kalibratiefactor voor met name H2 dat dit voor veel stations het geval is, waardoor de golfsnelheid is afgenomen.

Er is analytisch onderzocht of dit zou verbeteren als in plaats van het zomerbed, ook (of alleen) het winterbed zou worden gekalibreerd. Een oplossing waarbij de aanpassing van de ruwheid uitsluitend in het winterbed wordt verdisconteerd, blijkt uit deze analyse de golfvorm echter nog meer te vertragen.

Een beter resultaat kan worden verkregen door de opstuwung door de geometrie in het model te verhogen. Wat hiermee bedoeld wordt is bijvoorbeeld het verkleinen van het doorstroomoppervlak (verhoging bodemhoogte of versmalling zomerbed), of door aanpassing van de discretisatiekeuzes. Een hogere geometrische weerstand zou gecompenseerd worden met een lagere bodemruwheid (of kalibratiefactor) waardoor de afvoergolf zou versnellen.

#### Afvoerafhankelijke kalibratiefactor

Het tweede deel van deze analyse gaat in op het effect van een afvoerafhankelijke kalibratiefactor op de golfsnelheid. De golfsnelheid kan ook beschreven worden als een functie van de bergende breedte ( $B$ ) en de toename van de afvoercapaciteit bij toenemende waterstand ( $\partial Q/\partial h$ ).

$$c = \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial h}$$



Uitgaande van een waterstandsafhankelijke Chézy ruwheid ( $C$ ) die afneemt met toenemende waterstand volgens de formule  $C = C_0 - \gamma_c * h$  (met de waterstandsafhankelijkheidsfactor  $\gamma_c$ ) kan het effect van deze factor op de golfsnelheid beschreven worden (voor een rechthoekig profiel zonder berging) met de volgende formule.

$$\frac{c}{c_0} = \frac{C_0 - \gamma_c h \frac{5}{3}}{C_0} = 1 - \frac{\gamma_c h \frac{5}{3}}{C_0}$$

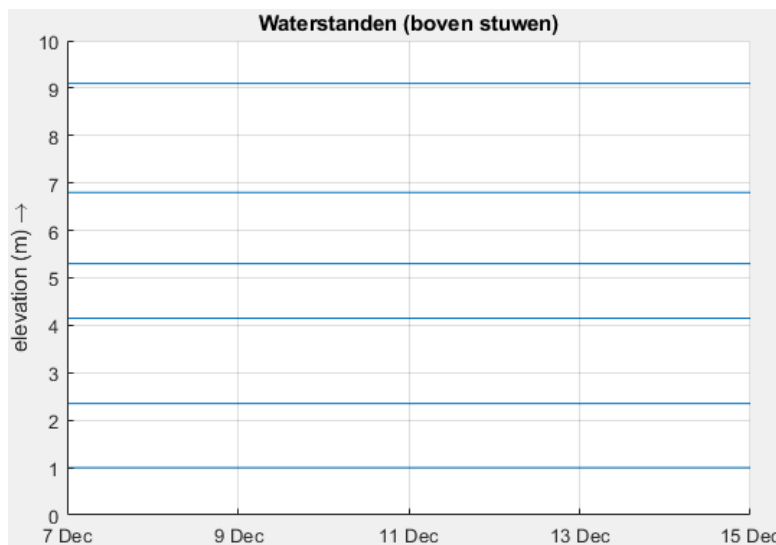
Hierin is  $c_0$  de golfsnelheid bij een ruwheid  $C_0$  zonder waterstandsafhankelijkheid.

De formule laat zien dat het effect van de factor  $\gamma_c$  op de golfsnelheid een factor 5/3 groter is dan het effect van de Chézy-factor. Een toenemende ruwheid bij toenemende waterstand (positieve  $\gamma_c$ ; afnemende Chézy) geeft een sterk vertragende golf, zoals we ook bij de modelresultaten zien gebeuren. Minder grote verschillen in de kalibratiefactor tussen afvoerniveaus zouden dus waarschijnlijk de golfsnelheid positief beïnvloeden en de golf minder vervormen.

Een negatieve waarde van  $c/c_0$  uit de voorgaande formule betekent dat het systeem instabiel zal worden.

### 6.2.3 Validatie van afvoerniveau laag (L1)

Het doel van deze test is om de stabiliteit van de PID controllers te controleren voor lage afvoeren. Hiervoor is een constante afvoer opgelegd van 1,5 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim en een waterstand van -0,25 m+NAP bij Ramspolbrug (zonder lateralen). Alle eerder doorgerekende periodes betreffen een wintersituatie. Stuw Vilsteren en Stuw Vechterweerd hebben echter een ander streefpeil in de zomer en de winter. In deze test is overal het winterpeil gebruikt. Het resultaat van deze test voor de waterstand bovenstrooms van de stuwen is te zien in Figuur 6.20 en hierin worden alle gewenste peilen gehaald (vergelijk met Tabel 2.2).

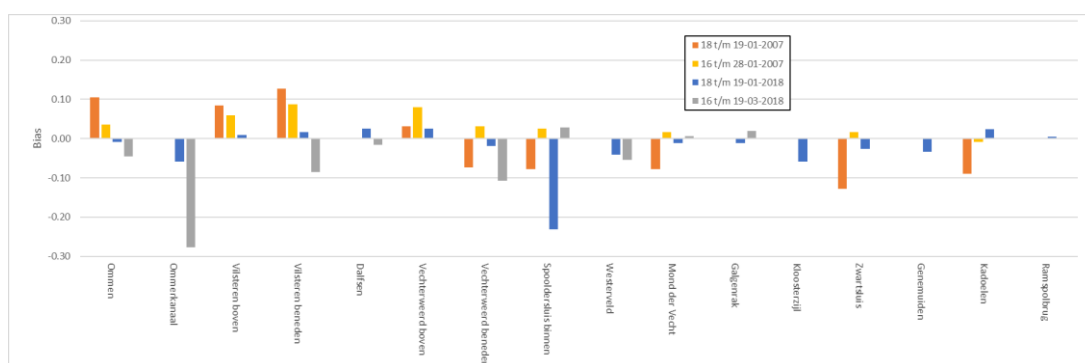


Figuur 6.20 Waterstand bovenstrooms van de stuwen op de Vecht bij het lage afvoerniveau. Van boven naar beneden: De Haandrik, Hardenberg, Mariëenberg, Junne, Vilsteren en Vechterweerd.

## 6.2.4 Windvalidatie

Voor de windvalidatie is gebruik gemaakt van een aantal stormen in 2007 en 2018 (zie Tabel 6.7 en Tabel 6.8). De validatieperiode in 2007 bevat naast de windpiek zelf ook een kleine afvoergolf. Voor de validatie in 2007 wordt gebruik gemaakt van een specifiek model, gebaseerd op de geometrie van het j98-model, waarbij de bathymetrie in het zomerbed is geactualiseerd naar 2007. Daarnaast is het model afgeknipt bij Ommen en wordt hier een (verbeterde) afvoer opgelegd. Voor 2007 zijn twee verschillende versies van de windinvoer gebruikt: eentje op basis van een gewogen gemiddelde van stations Stavoren, Lelystad en Marknesse en eentje op basis van alleen Marknesse (zie paragraaf 0). Voor 2018 is alleen het gewogen gemiddelde toegepast en is het hele model gebuikt.

Voor de windvalidatie t.o.v. de metingen wordt alleen gekeken naar de stations benedenstrooms van Ommen. De resultaten per station zijn gegeven in Figuur 6.21 en de globale statistieken zijn samengevat in Tabel 6.10. De resultaten zijn gegeven voor alle beschikbare meetstations, dus niet alleen degenen die zijn gebruikt voor de kalibratie. Figuren van de tijdseries van waterstanden van de gehele perioden zijn opgenomen in Bijlage J.



Figuur 6.21 De Bias per station voor de verschillende perioden voor windvalidatie.

Tabel 6.11 Bias en Stdev (RMS gemiddeld over alle stations) van de waterstand (m) voor de deelperioden van de windvalidatie.

	Validatievenster			
	Bias	Stdev	dmax	dmin
16 t/m 28-01-2007	0,088	0,074	0,077	-
18 t/m 19-01-2007	0,046	0,088	-0,083	-
18 t/m 19-01-2018	0,065	0,068	0,038	-
16 t/m 19-03-2018	0,083	0,026	-	0,077

Op basis van de gegeven figuren kan volgende geconcludeerd worden:

- Algemeen
  - De bias tijdens de perioden van de windvalidatie is over het algemeen niet veel groter dan 10 cm. Uitzonderingen worden met name veroorzaakt door onvolkomenheden in de metingen (o.a. bij Ommerkanaal en Spooldersluis).
  - Een groot deel van de windopzet in het model wordt bepaald door de opgelegde benedenstroomse waterstandsrand bij Ramspol.
  - Voor de perioden in 2018 geldt weer dat de metingen van Kadoelen en Kloosterzijk niet betrouwbaar worden geacht (maar zijn voor de volledigheid wel opgenomen in de rapportage).
- De storm en hoogwatergolf van 2007 (opwaaing):
  - De storm vindt plaats in de oploop van een afvoergolf met een debiet van ca. 100 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim (rond afvoerniveau H1).

- De berekende waterstanden zijn bij Ommen zijn te hoog. Dit kan ook worden veroorzaakt doordat de (aangepaste) opgelegde debieten bij Ommen nog steeds niet correct zijn. Dit effect werkt door naar benedenstrooms. In 2007 was de debietmeter bij Dalfts en echter nog niet aanwezig om de afvoeren te kunnen controleren.
- Vanaf Vilsteren beneden is tussen 19-01 en 20-01 een dip in de waterstanden te zien. Deze wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat in dit tijdsbestek Vechterweerd nog wordt gestuurd op waterstanden (geen klepstanden of ingesteld streefpeil) en daarna pas open komt te staan. Dit hangt ook samen met de te hoge afvoer bij Ommen.
- Kijken we specifiek naar de windpiek (18-01 t/m 19-01) dan zien we dat de stijgende lijn goed wordt gevolgd in de locaties benedenstrooms van Vechterweerd. Ook de piek op 19-01 wordt goed gehaald. De periode hier vlak voor zijn grotere verschillen te zien met name bij Zwartsuis en Kadoelen.
- Met de windinvoer op basis van alleen Marknesse wordt over het algemeen een iets lagere waterstand behaald dan met de windinvoer op basis van het gewogen gemiddelde. Dit effect is zichtbaar benedenstrooms van Vechterweerd en wordt groter naarmate je verder benedenstrooms komt (en het effect van de wind dus toeneemt).
- Voor Kadoelen geeft de wind op basis van het gewogen gemiddelde over het algemeen een beter resultaat. Voor de overige stations lijkt de wind op basis van Marknesse een betere keuze te zijn. Dit pleit voor het gebruik van een ruimtelijk variabel windveld.
- De storm van januari 2018 (ZW → N, opwaaiing):
  - De storm vindt plaats in de oploop van een afvoergolf met een debiet van ca. 150 m<sup>3</sup>/s bij Dalfts en (tussen afvoerniveau M2 en H1 in).
  - De Ramspolkering is een aantal uren gesloten geweest vanaf 12:10 op 18 januari. Dit is duidelijk zichtbaar door de dip in de metingen (en daarom ook in het model, doordat de waterstand hier wordt opgelegd). De waterstand aan de kant van het Ketelmeer is hierbij opgelopen tot de hoogst gemeten waterstand ooit bij de Ramspolkering van 1,6 m+NAP.
  - Vanaf Dalfts en is het effect van de storm duidelijk zichtbaar in zowel de metingen als de resultaten.
  - De kalibratie van het model heeft duidelijk een positieve invloed op de resultaten. De metingen worden over het algemeen goed gevolgd.
  - De metingen vanaf 16-1-2018 bij Spooldersuis komen absoluut niet overeen met de berekende waarden en zijn ook niet consistent met de metingen bij Westerveld. Hier lijkt dus iets mis te zijn gegaan met de metingen bij Spooldersuis.
- De storm van maart 2018 (oostendwind, dus afwaaiing):
  - De storm vindt plaats in een periode met een relatief constante afvoer van tussen de 40 en 60 m<sup>3</sup>/s bij Dalfts en (onder afvoerniveau M1).
  - Het effect op de waterstanden van de sterke oostenwind is duidelijk zichtbaar benedenstrooms van Mond der Vecht en op het Zwolle-IJsselkanaal. De waterstanden worden met ca. 30 cm verlaagd. Bovenstrooms hiervan is de waterstand in deze periode redelijk constant.
  - De kalibratie van het model heeft duidelijk een positieve invloed op de resultaten. De metingen worden over het algemeen goed gevolgd.
  - Bij Galgenrak zijn er missende metingen, juist op het moment van de grootste afwaaiing.

## 6.3 Conclusies

Het zesde-generatie model van de Overijsselse Vechtdelta is gekalibreerd voor vier afvoerniveaus, waarbij voor de keuze van kalibratie- en validatieperioden gebruik is gemaakt van perioden in de jaren 1998, 2007 (voor storm), 2017, 2018 en 2019 (zie paragraaf 6.1.3 en 6.1.6). Deze kalibratie is technisch gezien succesvol uitgevoerd door OpenDA.

De resultaten van de kalibratie zijn geanalyseerd op basis van hun kalibratiefactor (paragraaf 6.2.1) en de afvoer- en waterstandsstatistieken (paragraaf 6.2.2 en 0). Het gekalibreerde model presteert daarbij over het algemeen duidelijk beter dan het ongekalibreerde model. De kalibraties geven in principe goede resultaten binnen hun kalibratiebereik. De modellen van perioden van langer geleden (1998 en 2007) geven echter duidelijk minder goede resultaten door de verminderde stationariteit tussen de modellen. De kalibratiefactor van het ene modeljaar is niet zondermeer toepasbaar als kalibratiefactor voor een ander modeljaar als de verschillen in schematisatie (en betrouwbaarheid van de metingen) te groot zijn.

Daarnaast blijkt het heel lastig om met alle lateralen de totale afvoer betrouwbaar te reconstrueren, helemaal als de looptijd van de afvoer door de kalibratie ook nog verandert. Het ontbreken van kwalitatief goede afvoermetingen van zowel de lateralen als de afvoer van de Vecht heeft daarmee gevolgen voor de kwaliteit van het model. Kalibratie in het benedenstroomse deel van het model zorgt er namelijk voor dat ook de afvoer verandert doordat de kalibratie invloed heeft op de looptijden. Dit zorgt ervoor dat kalibratie van de zomerbedruwheid niet alleen direct doorwerkt op de waterstanden, maar ook indirect door de afvoer. Het zou daarom nuttig kunnen zijn om het benedenstroomse deel separaat te kalibreren, waarbij je de gemeten afvoer bij Dalfsen eenduidig oplegt en dit deel 'netjes' kunt kalibreren op de waterstanden.

De testsom met een (hele) lage afvoer laat zien dat de stuwen in dit bereik goed functioneren (zie paragraaf 6.2.3). Daarnaast is voor de validatie nog expliciet gekeken naar een paar perioden met een sterke wind, waarin is te zien dat de metingen in deze gevallen voldoende goed worden gevolgd en dat de kalibratie hier ook een positief resultaat geeft (zie paragraaf 0).

## 7 Actualisatie

Om te komen tot een definitief actueel model van de Overijsselse Vechtdelta moeten ook nog het Meppelerdiep (inclusief de Meppelerdiepsluis en gemaal Zedemuden) worden opgenomen in het model (paragraaf 7.1) en de inlaten bij Noord- en Zuid-Meene worden getest (paragraaf 7.2).

### 7.1 Toevoegen Meppelerdiep

Het Meppelerdiep is tot nu toe wel opgenomen in Baseline en beschikbaar in het D-Flow-FM model, maar tijdens de kalibratie/validatie is gemaal Zedemuden alleen als lateraal meegenomen. Voor het operationele model is het echter wenselijk om het Meppelerdiep zelf ook mee te kunnen nemen, aangezien dit valt onder het beheergebied van RWS. Hiervoor zijn in het uiteindelijke model de Meppelerdiepsluis en gemaal Zedemuden opgenomen in het D-Flow FM model.

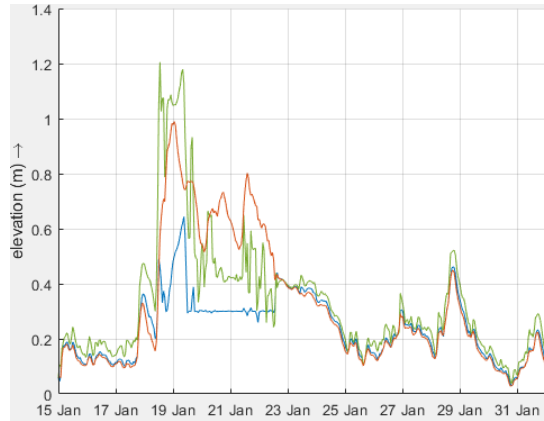
Het blijkt op dit moment niet mogelijk om gemaal Zedemuden als pomp op te nemen op de daadwerkelijke locatie van het kunstwerk, omdat er zich meerdere roostercellen tussen de in- en uitlaat bevinden (met hoge bodem ertussen). Er is daarom voor gekozen om het gemaal direct naast de Meppelerdiepsluis op te nemen, zie Figuur 7.1. Ze hebben dan elk één roostercel tot hun beschikking. Er moet daarom alleen worden gekeken naar het globale waterstanden op het Zwarte Water en Meppelerdiep en niet naar de lokale stroompatronen in dit gebied.

Op deze manier heeft de Meppelerdiepsluis ook maar de helft van de daadwerkelijke breedte beschikbaar. Dit heeft niet heel veel effect op het algemene waterstandsbeeld, maar kan bij hogere afvoeren op het Meppelerdiep en vrije lozing wel gevolgen hebben. De pompcapaciteit van gemaal Zedemuden is echter behoorlijk groot, wat nu kan leiden tot relatief hoge stroomsnelheden die de rekentijd van het model negatief beïnvloeden. Het is aan te bevelen om gemaal Zedemuden in de toekomst op de correcte locatie op te nemen, zodra de benodigde software-functionaliteit hiervoor beschikbaar is.

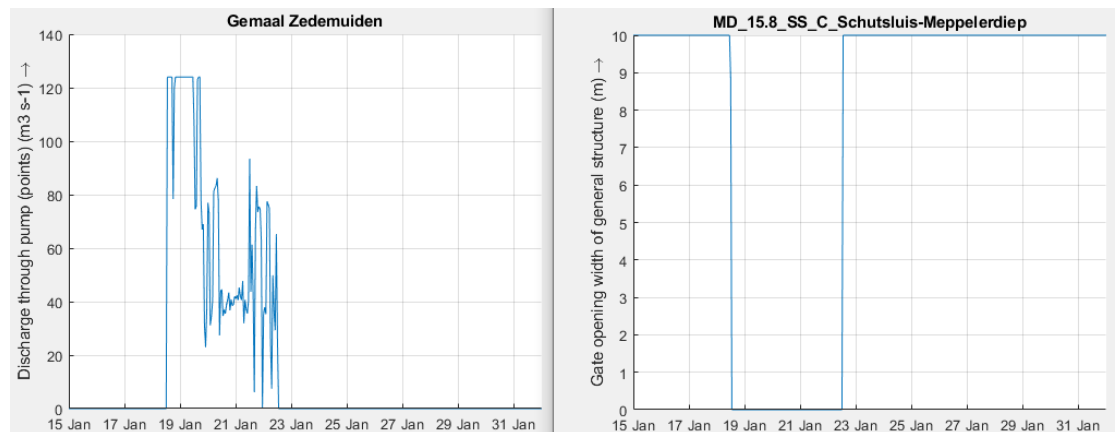


*Figuur 7.1 De ligging van de Meppelerdiepsluis en pomp Zedemuden. De lichtgroene en roze lijn geven aan waar respectievelijk de pomp en de sluis zijn opgenomen. Tussen de locaties van de werkelijke in- en uitlaat van Zedemuden liggen meerdere roostercellen, waardoor de pomp hier niet kan worden opgenomen.*

Het systeem is getest met de storm van januari 2007. Omdat voor deze periode geen afvoerdata van Meppel beschikbaar is, is de gemeten afvoerdata van Meppelerdiepsluis en Zedemuden bij elkaar opgeteld en met 90 minuten terug verschoven in de tijd bij Meppel opgelegd. De (negatieve) afvoer vanaf het Zwarte Meer (door de stormopzet) samen met de afvoer van Meppel zorgen ervoor dat de waterstand in het benedenstroomse deel van het Meppelerdiep (MD\_1.00) zo snel stijgt dat de pomp het streefpeil van 0,3 m+NAP niet direct kan handhaven op een volledig stabiele manier, zie Figuur 7.2. De werking van de Meppelerdiepsluis en de pomp bij gemaal Zedemuden is verder precies zoals zou moeten, zie Figuur 7.3.

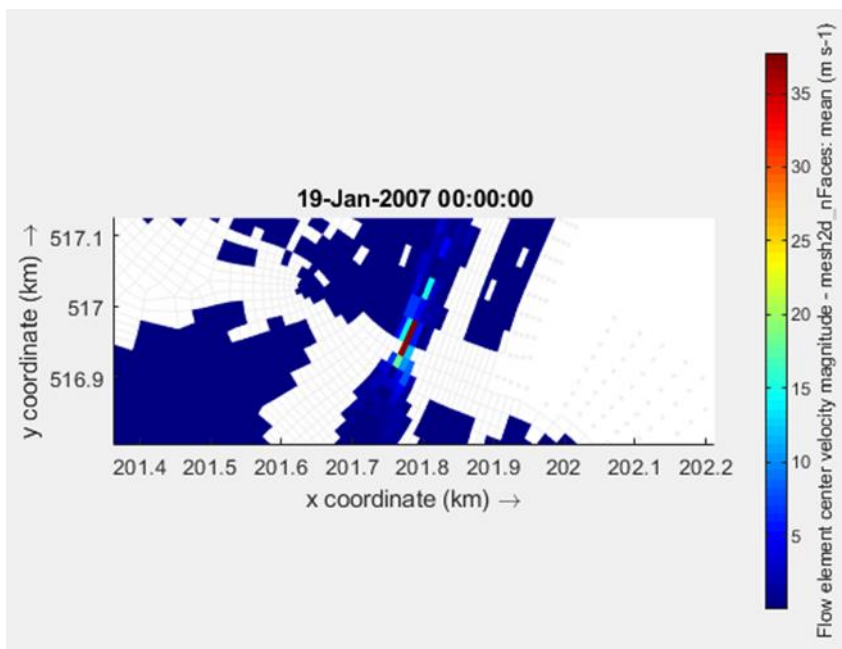


*Figuur 7.2 Berekende waterstanden bij MD\_1.00 (blauw), Zwartsluis buiten (rood) en Galgenkampsbrug (groen) tijdens de storm van 2007.*



*Figuur 7.3 Berekende afvoer door de pomp bij Zedemuden (links) en de breedte van de opening van de Meppelerdiepsluis (rechts) tijdens de storm van 2007.*

Als de Meppelerdiepsluis gesloten is en gemaal Zedemuden op maximale capaciteit draait, vinden er nu wel hele hoge stroomsnelheden plaats op die locatie (zie Figuur 7.4). Dit wordt veroorzaakt doordat al het water door een opening van 10 m moet worden gepompt (de breedte van de gridcel). Vanwege de expliciete tijdsintegratiemethode in D-Flow FM zorgt dit er voor dat de tijdstap (tijdelijk) ook sterk wordt geknepen. Dit probleem zal niet meer spelen als gemaal Zedemuden in de toekomst op de juiste locatie in het model kan worden opgenomen (met een breedte van 4 roostercellen).



Figuur 7.4 De berekende stroomsnelheid als de Meppelerdiepsluis is gesloten en pomp Zedemuden op maximale capaciteit draait (tijdens testsom van de storm van 2007).

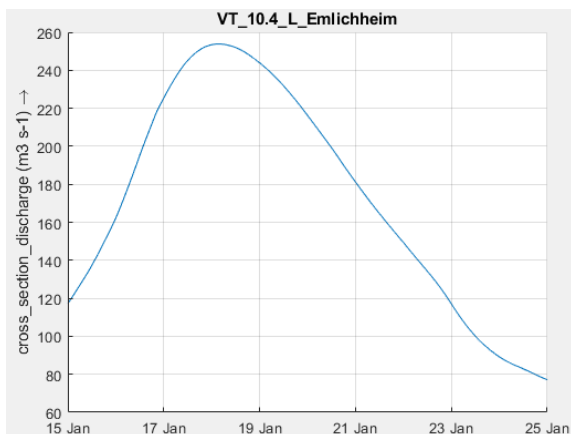
## 7.2 Testen Noord- en Zuid Meene

De retentiegebieden Noord- en Zuid-Meene zijn tot nu toe wel opgenomen in Baseline en beschikbaar in het D-Flow FM model, maar tijdens de kalibratie/validatie perioden treden ze niet in werking. Voor het operationele model moeten ze echter wel functioneren.

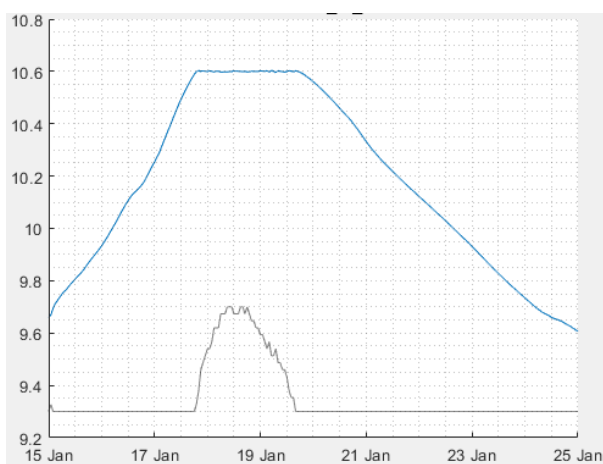
Er is daarom een testsom uitgevoerd met fictieve randvoorwaarden om te controleren of de kunstwerken correct zijn geïmplementeerd. In de testsom wordt gebruik gemaakt van een 1/1006 jaar afvoer uit GRADE Vecht (zie Figuur 7.5).

Uit de testsom kwam naar voren dat de (hoogtes van de) keringen rond de retentiegebieden Noord- en Zuid-Meene nu nog niet goed genoeg zijn opgenomen. In het model overstromen deze keringen nu al voordat de kunstwerken in werking treden, wat in werkelijkheid niet het geval zal zijn. Dit is nu handmatig dichtgezet in het D-Flow FM model waarin de werking van Noord- en Zuid-Meene wordt getest. Aanbeveling is om dit gebied in Baseline te controleren en eventueel aan te passen.

Het inzetprotocol van Noord- en Zuid Meene is vrij ingewikkeld en hangt grotendeels af van voorspellingen. Daarom is een FEWS-switch ingebouwd om in operationeel gebruik tijdseries op te kunnen leggen. Zonder deze switch gaan de inlaten open en dicht wanneer de waterstand bij Zuid Meene respectievelijk groter en kleiner of gelijk is aan 10,6 m +NAP. Dit kan er voor zorgen dat het model instabiel wordt als de afvoerpiek rond de 10,6-10,7 m+NAP is of als de stijging van de waterstand relatief langzaam is. Wanneer dan namelijk de inlaat opengaat, daalt de waterstand direct, wat er voor zorgt dat deze weer onder de 10,6 m+NAP komt, waardoor de inlaat weer dichtgaat. Dit kan zich meerdere keren herhalen, afhankelijk van de stromingscondities.



Figuur 7.5 De 1/1006 afvoer bij Emlichheim afgeleid met het SOBEK3 NL-DE SOBEK 1D2D Vecht model van GRADE Vecht.



Figuur 7.6 De waterstand bij de inlaat van Zuid Meene (blauw) en de hoogte van de onderkant van de gate bij Zuid Meene (grijs) voor de 1/1006 afvoergolf uit GRADE Vecht.

Het leegstromen van de retentiegebieden is op dit moment nog niet geïmplementeerd, aangezien dit nu niet mogelijk is met de huidige schematisatie en beschikbare software functionaliteiten.



## 8 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Deze rapportage beschrijft de opzet van het zesde-generatie 2D hydraulische model van de Overijsselse Vechtdelta in opdracht van Rijkswaterstaat en de Waterschappen Drents Overijsselse Delta en Vechtstromen. In de zesde generatie is de Overijsselse Vechtdelta van Emlichheim tot de Ramspolbrug gemodelleerd met D-HYDRO. Het functionele ontwerp van het model is vooraf bediscussieerd met verschillende stakeholders. Op basis daarvan is geconcludeerd dat het model in principe gebruikt kan worden in de volgende processen:

- Aanleg en onderhoud
- Informatievoorziening
- Slagvaardig crisismanagement
- Omgevings- en assetmanagement
- Verkeer- en watermanagement
- Kennis en netwerkkwaliteit

Hierbij dient in de toepassing echter wel rekening te worden gehouden met de onvolkomenheden van het model. Het nu opgezette model is echter het beste en meest actuele model wat in deze context beschikbaar is.

### 8.1 Data

#### Meetdata

Tijdens de uitvoering van het project is gebleken dat een aantal meetgegevens niet betrouwbaar zijn. Het gaat hierbij om:

- De waterstanden bij Kloosterzijl (zie paragraaf 4.2.2).
- De waterstanden bij Kadoelen (zie paragraaf 4.2.3).
- De afvoer bij Ommen (zie paragraaf 4.2.4)
- De afvoer bij Emlichheim (zie paragraaf 0).

Daarnaast mist er van een aantal andere stations data in bepaalde perioden of lijkt de data tijdelijk niet te kloppen. Aanbeveling is om na te gaan wat hier aan verbeterd kan worden, zodat deze data in de toekomst (beter) bruikbaar is. Verder is er lang niet van alle laterale lozingen en onttrekkingen meetdata beschikbaar met name in het beheergebied van Waterschap Vechtstromen. De nu gebruikte waarden zijn vaak bepaald op basis van relaties met andere lateralen.

Het blijkt nu heel lastig om met alle lateralen de totale afvoer betrouwbaar te reconstrueren, helemaal als de looptijd van de afvoer door de kalibratie ook nog verandert. Het ontbreken van kwalitatief goede afvoermetingen van zowel de lateralen als de afvoer van de Overijsselse Vecht heeft daarmee relatief grote gevolgen voor de kwaliteit van het model. Door de waterschappen is de afgelopen jaren geïnvesteerd in een goed (debiet)meetnet, maar uit het gebruik van de data blijkt dat de metingen onderling niet consistent zijn, waarschijnlijk veroorzaakt door gebrekkig beheer en onderhoud van de meetapparatuur en gebrek aan structurele validatie van de metingen.

Verder wordt aanbevolen om voor aanvang van de kalibratie/validatie de meetdata (nog) beter te controleren op onvolkomenheden, zodat deze van te voren bekend zijn en hier rekening mee kan worden gehouden in het verdere proces. Dit kan door een Qh-plot te maken voor elk station voor alle periodes en de meetdata van stations te vergelijken met die van omliggende stations.

## Baseline

Bij de start van het project is door RWS-ON en de Waterschappen gewerkt aan het verbeteren van de onderliggende Baseline-databases met geo-informatie. Tijdens de uitvoering van het project zijn vervolgens nog een paar verbeteringen doorgevoerd. De volgende punten verdienen in de toekomst nog aandacht:

- De (hoogtes van de) keringen rond de retentiegebieden Noord- en Zuid-Meene zijn nu nog niet goed genoeg opgenomen. In het model overstromen deze keringen nu al voordat de kunstwerken in werking treden. Dit is nu handmatig verbeterd in het D-Flow FM model waarin de werking van Noord- en Zuid-Meene wordt getest. Aanbeveling is om dit gebied in Baseline te controleren en eventueel aan te passen.
- Polder Flutmulde stond in 1998 in werkelijkheid niet onder water. In het model staat hier wel alles onder, waarbij het gebied volloopt vanuit het zuiden. Keringen zitten waarschijnlijk niet goed in de schematisatie: er zitten een paar (te) lage punten in. De polder is binnendijks gebied en moet eigenlijk niet onderlopen. Het verschil in afvoer boven- en benedenstrooms van dit gebied is niet erg groot tijdens de afvoergolf van 1998 en zal dus weinig invloed hebben op het verloop ervan. Aanbeveling is wel om dit gebied in Baseline te controleren en eventueel aan te passen.

## 8.2 Modelopzet

D-HYDRO werkt op basis van een ongestructureerd rooster en biedt daardoor mogelijkheden die in eerdere generaties modellen niet aanwezig waren. De uitlijning van het rooster met de lokale geometrie en stroomrichting kan hierdoor significant worden verbeterd. Hoewel zowel driehoeken als vierhoeken mogelijk zijn, wordt uit efficiëntie vooral gewerkt met vierhoeken. Het rooster is daardoor een combinatie van curvi-lineaire roosters die met behulp van lokaal handwerk samengevoegd zijn. Het rooster loopt van Emlichheim tot de Ramspolbrug en dekt de volledige baseline-schematisatie van de zesde generatie (inclusief Meppelerdiep).

Vanuit de geografische database Baseline 6 zijn een drietal nieuwe modelschematisaties van de Overijsselse Vechtdelta opgezet vanuit een verbeterde database van 1998. Deze zijn geprojecteerd naar een D-Flow FM-model, en daarna nog op enkele punten handmatig bijgewerkt. Uiteindelijk heeft dit geleid tot de volgende schematisaties in D-Flow FM:

- dflowfm2d-ovd-j98\_6-v1a
- dflowfm2d-ovd-j07\_6-v1a
- dflowfm2d-ovd-j19\_6-v2a

Naast de bodemhoogte op het rekenrooster worden lijnvormige bodemhoogteveranderingen van een kleinere schaal geschematiseerd met overlaten. Brugpijlers zijn meegenomen als een verkleining van de doorstroombreedte tussen de roostercellen. De aansturing van de kunstwerken wordt gedaan binnen D-RTC.

De ruwheid van het zomerbed en winterbed is gemodelleerd met trachytopen. De kalibratie van de zomerbedruwheid wordt niet meer in de trachytopen verwerkt, maar in een losse kalibratiefactor. Hierdoor is het belangrijk geworden om een fysisch-gebaseerde zomerbedruwheid te definiëren.

### Conclusies en aanbevelingen

- De modelopzet in de zesde generatie modellen is uitgevoerd in lijn met de vijfde generatie met hierop enkele kleinere correcties en aanvullingen. Het is echter onbekend hoe veel historische keuzes in de schematisatietechniek, zoals het grootschalig gebruik van overlaten, terug werken in de kwaliteit van het model. Voor toekomstige modelgeneraties wordt aanbevolen de keuzes die in de loop der jaren gemaakt zijn goed te evalueren.

- Het nu opgezette D-Flow FM model is niet geschikt voor de detailmodellering van de stroming door de nevengeulen rond stuwen. Het flexibele rooster wat gebruikt wordt binnen D-Flow FM maakt het wel mogelijk om hier (op relatief simpele wijze) aparte detailmodellen voor op te zetten.
- De dekking van het nu opgezette D-Flow FM model loopt tot de bandijken en is gekalibreerd voor afvoeren vanaf 20 tot 200 m<sup>3</sup>/s bij Emlichheim. Voor GRADE-toepassingen is een ander type model nodig, waarbij ook de overstroming van de dijken kan worden meegenomen.
- Gemaal Zedemuden is nu opgenomen als pomp naast de Meppelerdiepsluis in plaats van op de daadwerkelijke locatie, omdat er zich meerdere roostercellen tussen de in- en uitlaat bevinden (met hoge bodem ertussen). Het is aan te bevelen om gemaal Zedemuden in de toekomst op de correcte locatie op te nemen, zodra de benodigde software-functionaliteit hiervoor beschikbaar is.
- Het leeglopen van de retentiegebieden Noord- en Zuid-Meene is nu nog niet meegenomen in het model, aangezien dit nu niet mogelijk is met de huidige schematisatie en beschikbare software functionaliteiten. Als het in de toekomst mogelijk is om in het D-Flow FM model 'source sinks' toe te voegen die door D-RTC kunnen worden gestuurd, dan kan ook het leeglopen van de retentiegebieden worden meegenomen.
- Het model is maar in beperkte mate getest voor extreme afvoeren. Voor gebruik in BOI-toepassingen zal dit uitgebreider gedaan moeten worden.

### 8.3 Kalibratie en validatie

Het model is gekalibreerd om te compenseren voor onbekenden en onnauwkeurigheden in de modelbouw. De kalibratie vindt plaats op de zomerbedruwheid door hier een kalibratiefactor toe te passen die bovenop de alluviale achtergrondruwheid werkt. De Overijsselse Vechtdelta is opgedeeld in 15 kalibratietrajecten op basis van de stuwen en meetstations. Ieder van deze trajecten krijgt een afvoerafhankelijke ruwheid en is gekalibreerd en gevalideerd op perioden in 1998, 2007 (specifiek voor wind), 2017, 2018 (afvoer en wind) en 2019 zoals gegeven in Tabel 8.1. Bij de kalibratie is de bias tussen modelresultaten en metingen geminimaliseerd.

Tabel 8.1 Keuze kalibratie- en validatieperioden. K = kalibratie, V = validatie. Een (V) geeft aan dat deze afvoer wel voorkomt in de genoemde periode, maar niet gebruikt is voor validatie.

Randvoorwaarden	Te kalibreren/valideren afvoerniveaus				Wind	
	M1	M2	H1	H2	Z → NW	O
01-10-1998 – 31-12-1998	(V)	(V)		K		
16-01-2007 – 28-01-2007					V	
01-01-2017 – 31-03-2017	V	V				
15-11-2017 – 31-03-2018	K (V)	(V)	K	V	V	V
25-01-2019 – 28-03-2019	(V)	K (V)				

De kalibratie is uitgevoerd met het DuD-algoritme van OpenDA. Voor ieder afvoerniveau is een losse kalibratie ingericht, ieder van deze kalibraties is gedurende het project meerdere malen doorlopen om te convergeren tot een voldoende goede oplossing. De resultaten van de kalibratie zijn beschreven in Hoofdstuk 6.2 en Bijlage J, een samenvatting van de resultaten is gegeven in Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Samenvatting statistieken na kalibratie en validatie (m). Gegeven is RMS-gemiddelde van alle stations.

	Kalibratie		Validatie		Gehele periode		
	Bias	Stdev	Bias	Stdev		Bias	Stdev
M1	-0,009	0,052	-0.027	0,077	HW1998	-0,126	0,182
M2	-0.025	0,051	0,014	0,062	Storm2007	0,036	0.048
H1	-0.001	0,027	0,120	0,220	2016-2017	-0,017	0,065
H2	-0.074	0,114	-	-	2017-2018	-0,015	0,052
					2018-2019	-0,019	0,044

### Conclusie en aanbevelingen

Uit de uitgebreide analyse in Hoofdstuk 6.2 blijkt dat de kalibratie technisch succesvol is uitgevoerd en het model na kalibratie over het algemeen duidelijk betere resultaten geeft dan voor kalibratie. In de validatie van de recente jaren (2017-2019) blijkt de gemiddelde afwijking in waterstanden slechts enkele centimeters over het hele gekalibreerde afvoerbereik. De modellen van perioden van langer geleden (1998 en 2007) geven echter duidelijk slechtere resultaten door de verminderde stationariteit tussen de modellen. De kalibratiefactor van het ene modeljaar is niet zondermeer toepasbaar als kalibratiefactor voor een ander modeljaar als de verschillen in schematisatie (en betrouwbaarheid van de metingen) te groot zijn.

De testsom met een (hele) lage afvoer laat zien dat de stuwen in dit bereik goed functioneren. Daarnaast is voor de validatie nog expliciet gekeken naar een paar perioden met een sterke wind, waarin is te zien dat de metingen in deze gevallen ook voldoende goed worden gevolgd.

Tijdens validatieperioden kan de afwijking t.o.v. metingen echter toenemen tot enkele decimeters door de niet-stationariteit tussen modellen (zie onderstaande aanbeveling).

- Er is sprake van niet-stationariteit tussen de kalibratiemodellen: de kalibratiefactor gebaseerd op het ene modeljaar is niet volledig toepasbaar als kalibratiefactor voor een ander modeljaar als de verschillen in schematisatie te groot zijn. Vanwege de niet-stationariteit tussen de kalibratiemodellen is in het j98-model geen gebruik gemaakt van de kalibratiefactoren van H1 tijdens de kalibratie op H2. In plaats daarvan is voor de aanloop van de afvoergolf een tijdelijk kalibratieniveau H1j98 geïntroduceerd (een aangepaste versie van H1 dat gekalibreerd is op deze aanloop van de afvoergolf). Door deze aanpassing is de kalibratie H2 technisch succesvol en met betere resultaten uitgevoerd. De kalibratie H2 wordt overgenomen naar het actuele model zonder hieraan aanpassingen uit te voeren, terwijl op basis van deze zelfde niet-stationariteit ook de toepasbaarheid hiervan betwijfeld kan worden. Concreet rest hierdoor de vraag of kalibratieniveau H2 wel een verbetering van de modelresultaten bij hoge en extreem hoge afvoeren geeft, of misschien een verslechtering geeft ten opzichte van een kalibratie op een recentere afvoergolf zoals H1. Aanbevolen wordt op korte termijn verder onderzoek naar de gevoeligheid hiervan ten behoeve van toepassingen met zeer hoge afvoeren (zoals het BOI).
- De kalibratie is enkel toegepast op het zomerbed. Hierdoor is de variatie in kalibratiefactor groter dan wanneer ook het winterbed meegenomen zou worden in de kalibratiefactorpolygonen. Voor de Overijsselse Vecht is eerder de aanbeveling gedaan om ook het winterbed te kalibreren (Van der Mheen; 2014), gezien het feit dat het winterbed relatief breed is t.o.v. het zomerbed en daardoor de kalibratie van alleen het zomerbed waarschijnlijk niet effectief genoeg is. Er wordt vermoed dat een grotere kalibratiefactor polygoon ook betere resultaten zal geven bij extrapolatie. Aanbevolen wordt hier verder onderzoek naar te doen ten behoeve van keuzes in de kalibratie in een volgende generatie modellen. De nieuwe opzet met het gebruik van kalibratiefactoren maakt het mogelijk om zowel het zomer- als winterbed te kalibreren.

- Bij de meeste stations is er bij een toenemende afvoer een toename in de kalibratiefactor, behalve voor de trajecten benedenstrooms van Zwartsluis. De modellering (geometrie en ruwheden) geven vóór de kalibratie te hoge waterstanden bij lagere afvoeren. De keuze voor een ruwheidsformulering met een grotere waterstandsafhankelijkheid (bijv. een grotere factor A of B in de Van Rijn-formulering) zou dit ook op kunnen lossen. De keuze in ruwheidsformulering (en parameters) heeft ook invloed op de waterstanden bij extreme afvoeren (de extrapolatie van de kalibratie) en het wordt daarom aanbevolen om dit nader te onderzoeken voor de toepassing voor BOI.
- De berekende afvoer bij Dalfsen is nu maximaal 20-25 m<sup>3</sup>/s (ca. 15-20%) te hoog ten opzichte van de metingen met name in de periode begin 2017. Het is daarom te overwegen om het benedenstroomse deel van de Overijsselse Vechtdelta apart te kalibreren (en valideren) met als invoer de afvoer bij Dalfsen. Fouten in de afvoer (van lateralen) bovenstrooms hebben namelijk ook invloed benedenstrooms. Daarnaast beïnvloedt de kalibratie op zijn beurt ook het afvoerverloop. Het wordt aanbevolen om dit nader te onderzoeken, bij voorkeur voordat het model voor BOI-toepassingen wordt ingezet.

## 9 Referenties

- Bak, C.I. & D.P. Vlag (1999): Achtergronden Hydraulische Belasting Dijken IJsselmeergebied, deelrapport 5, Modellerings waterbeweging (Waqua), Riza rapport 99.042.
- Becker, A. & A. Spruyt (2018): Trapjeslijnen vs boundary fitted langs bandijken rivieren in D-HYDRO. Deltares memo 11202220-013-ZWS-0003, 14 mei 2018.
- Berends, K.D. (2020). Human intervention in rivers. Quantifying the uncertainty of hydraulic model predictions.
- Domhof, B.C.A., K.D. Berends, J.J. Warmink, A. Spruyt & S.J.M.H. Hulscher (2017): Discharge and location dependency of calibrated main channel roughness for the River Waal (concept).
- Genseberger, M., Niesten, I., & Fujisaki, A. (2018). Aansluiting overlapgebied zesde-generatie modelschematisaties IJVD en Rijntakken. Deltares memo 11202220-008-ZWS-004-v2. Delft: Deltares.
- De Goede, E. & Van Kester, J. (2013): Toepasbaarheid van kleine roosterzellen in WAQUA voor overlaten. Deltares memo 1207880-006-ZWS-0009.
- De Graaf, J. (2004): Inzet retentiegebieden Noord en Zuid Meene. Universiteit Twente, Enschede.
- De Jong, J.S. (2015): Onderzoek naar modelleren van inlaatsluizen met Simona. Deltares memo 1209448-002-ZKS-0007 (30 november 2015).
- De Jong, J.S. (2017): Het effect van het roosterontwerp van de Waal. Het gebruik van vierhoeken of driehoeken? Deltares memo 11200569-003-ZWS-0008.
- De Jong, J.S., J. van Kester, E. de Goede (2019a): Implementation, validation and application of bridge piers in D-Flow Flexible Mesh. Deltares memo 11202220-003-ZWS-0004, d.d. 5 juni 2019.
- De Jong, J.S (2019b): Gebiedsspecifieke nummering van trachytopen en kalibratiefactor. Deltares memo 11203714-013-ZWS-0006, d.d. 17 december 2019.
- De Jong, J.S. (2019c): Kunstwerken in de zesde generatie: Methodiek voor het bepalen van afvoercoëfficiënten. Deltares memo 11203714-003-ZWS-0003.
- De Jong, J.S. (2020) Resultaten kalibratie 1995 op 2 afvoerniveaus (meerwerk in het kader van kalibratiemodellen Maas 6G). Deltares memo 11205258-002-ZWS-0008 d.d. 9 september 2020.
- De Jong, J.S. (2021a): Advisering in de keuze van kalibratiefactoren voor MHW-afvoeren. Deltares rapport 11206813-002-ZWS-0012, v0.3.
- De Jong, J.S. (2021b): Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model - Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014, v1.1.
- Kernkamp, H. (2017): D-Flow Flexible Mesh quality criteria for unstructured meshes. Deltares memo 9 januari 2017.

- Klopstra, D., H. J. Barneveld and J. M. Van Noortwijk (1996): Analytisch model hydraulische ruwheid van overstromde moerasvegetatie. Tech. Rep. PR051, HKV consultants, Lelystad. Commissioned by Rijkswaterstaat/RIZA, The Netherlands.
- Klopstra, D., H. J. Barneveld, J. M. Van Noortwijk & E. H. van Velzen (1997): "Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation." In The 27th IAHR Congress, San Francisco, 1997; Proceedings of Theme A, Managing Water: Coping with Scarcity and Abundance, pagina 775–780. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York.
- Niesten, I., A. Kusters & A. Spruyt (2020): *Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model - Modelbouw, kalibratie en validatie*. Deltares rapport 11205258-004-ZWS-0008 (tussentijdse rapportage).
- LievenseCSO (2019). Dataprotocol Baseline 6.1.1. Version Final, January 2019.
- Mheen, M. van der (2014): 5de generatie IJVD WAQUA model – Bouw, kalibratie en verificatie. Deltares rapport nr. 1209449-007-ZWS-0008.
- Mheen, M. van der, A. de Keizer, J. de Jong (2015): SOBEK 3-model van de Overijsselse Vecht - Modelbouw, kalibratie en verificatie. Deltares rapport nr. 1220072-006-ZWS-0008.
- Mooiman, J. (2017). PID controller mass-spring-damper system. SVN: 52376.*
- Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2020): Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO 2020 - Generieke technische en functionele specificaties. Deltares rapport 11205258-014-ZWS-0001.
- OpenDA (2016). OpenDA User Documentation.
- Rijkswaterstaat (2019). Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat. Memo Martin Scholten d.d. 14 februari 2019.
- Rura-Arnhem (2015): Modelling Duitse Vecht in SOBEK3. Rura-Arnhem rapport P150526R.
- Vechtstromen: Kengetallen Noodretentie Gebieden (Zuid- en Noordmeene), Onbekend.
- Spruyt, A. (2017). Brugpijlers in zesde-generatie modellen RWS. Deltares memo 11200569-012-ZWS-0008.
- Spruyt, A. & J. de Jong (2018): Keuze kalibratiepolygonen zesde generatie riviermodellen. Deltares memo 11202220-005-ZWS-0007.
- Vechtstromen (2012): Handleiding inzet Noord en Zuid Meene. Eenheid. Bouwen & Beleid, 14 november 2012.
- Vechtstromen (2015): Geoweb Waterschap Vechtstromen (stuw KSTOK001).
- Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen en H. Coops (2003a): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, Deel 1, RIZA rapport 2003.028. ISBN 9036956439, Arnhem, november 2003.
- Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen en H. Coops (2003b): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, Deel 2, RIZA rapport 2003.029. ISBN 9036956439, Arnhem, november 2003.
- Wijk, R. van der, I. de Groot-Wallast (2017): Schematisatie van kunst- en regelwerken in modelschematisaties van het (hoofd)watersysteem. Deltares rapport 11200741-002-HYE-0002.

WDOD - Eenheid Bouwen & Beleid (2012): Handleiding inzet Noord en Zuid Meene. Versie 14 november 2012.

Lassche, A. (2014): Draaiboek Retentievoorziening Noord en Zuid Meene. PPOA Versie 11 april 2014.

RWS (1965): Het zandtransport van de Overijsselse Vecht. Rapport 22043.



# A Programma van eisen

## Programma van eisen zesde generatie Watermodellen 2D en 3D

Versie 2, na verwerking opmerkingen van: Deltares, Jan Rolf Hendriks, Siebolt Folkertsma, Yann Friocourt, Dénes Beyer, Hans Hartholt, Aad Dollee, Arthur Kors

Versie 3, kleine tekstuele aanpassingen, toevoegen Rijntakken

Versie 4, toevoegen Overijsselse Vecht Delta, Overijsselse Vecht

In september 2015 is het D-HYDRO Suite softwarepakket door Deltares opgeleverd. Deze software lijn gaat de WAQUA en TRIWAQ software lijn en de SOBEK RE software lijn van RWS vervangen. Dit betekent dat voor alle RWS beheergebieden waar momenteel WAQUA, TRIWAQ en SOBEK RE modellen worden gebruikt, de bestaande modellen moeten worden vervangen door nog te ontwikkelen/in ontwikkeling zijnde modellen gebaseerd op de D-HYDRO Suite. Voor een aantal toepassingen, met name waterkwaliteit, is het noodzakelijk om nog enige tijd Delft2d/3d software toe te passen. De D-HYDRO Suite lijn moet in de toekomst echter ook deze schematisaties gaan vervangen. Dat biedt de mogelijkheid om alle gebieden goed op elkaar te laten aansluiten, zowel qua gebied en toepassing als ook in te hanteren uitgangspunten en aannames. Het resultaat is een nieuwe lijn modellen, de zogenoemde zesde-generatie Watermodellen.

In dit memo worden de eisen benoemd die RWS aan de nieuwe modellen stelt. De hier genoemde eisen hebben alleen betrekking op de 2D en 3D modellen. De 1D modellen zijn hier buiten beschouwing gelaten.

In principe wordt er één model gemaakt voor het gehele RWS beheergebied. Het is echter nog niet mogelijk om met behulp van één 2d/3d model van het gehele beheergebied effectief door te rekenen. Daarom wordt het totale RWS beheergebied opgeknipt in meerdere modellen. Samen vormen deze modellen één logisch aan elkaar passend modelsysteem voor het totale RWS beheergebied wat in de toekomst, als de rekencapaciteit toeneemt en/of code verder geoptimaliseerd is, als één model kan functioneren

Hieronder volgen eerst de eisen die voor het gehele modelsysteem gelden, daarna volgt een verdere specificatie per deelmodelgebied.

### Algemeen

- De hoofdeis: de zesde-generatie modellen presteren minimaal gelijk en bij voorkeur beter dan de vijfde generatie modellen. Dit geldt voor zowel de nauwkeurigheid van de rekenresultaten, de gebruiksvriendelijkheid en de presentatiemogelijkheden.
- De modellen moeten bij oplevering door Deltares onder het DeltaShell UI kunnen draaien.
- De modellen moeten bij oplevering ook zonder het DeltaShell UI kunnen draaien op zowel Windows als Linux omgevingen.
- Als op termijn de computer rekencapaciteit voldoende is toegenomen, moet het zesde-generatie model als één landelijk model van Nederland kunnen rekenen.
- Bij de ontwikkeling dient rekening gehouden te worden met de actuele situatie, de situatie tijdens kalibratie en validatie en met reeds bekende toekomstige ontwikkelingen.

### Gebiedsdekking

- De modellen dekken minimaal het beheergebied van RWS.
- Indien het voor het verkrijgen van goede begincondities en resultaten noodzakelijk is om een groter gebied te bestrijken dan wordt het gebied uitgebreid.
- De modellen zijn gebaseerd op de Baseline 6-gebiedsbeschrijving en beschrijven zoveel mogelijk een vergelijkbare actuele situatie.
- De modellen worden gevuld vanuit de gebiedsbeschrijving in Baseline. Buiten de kustzone is nog geen Baseline gebied beschrijving aanwezig. Deze moet worden toegevoegd. De Baseline data van het Nederlandse deel is in het RD coördinatenstelsel, het deel buiten de kustzone wordt opgeslagen in een nog af te stemmen coördinatenstelsel.
- Modelgrenzen van de individuele watersystemen moeten zodanig worden geplaatst dat er een naadloze koppeling tussen de modelsystemen mogelijk is.

### Rekenrooster

- Het rekenrooster bedekt het te modelleren gebied, waarbij rekening wordt gehouden met de actuele situatie, de situaties tijdens kalibratie en validatie en de situatie van reeds bekende toekomstige gebiedsontwikkelingen.
- Roosterovergangen moeten zeer geleidelijk verlopen (factor 1.1) Gelijk aan de eisen voor de vijfde generatie modellen. Hoe de vertaling van deze eis naar een ander type rooster dan curvi lineair moet zijn is nog niet duidelijk.
- Kunstwerken in het RWS beheergebied moeten precies op de roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd. Minimaal één roostercel per kunstwerk, tenzij dit onevenredig veel invloed op de minimale rekentijdstep gaat hebben.
- Belangrijke stroombepalende elementen moeten op roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd.
- Er dient een logische verklaring te worden gegeven indien er verschillende soorten roosters (curvi lineair, driehoeken, veelhoeken) worden gebruikt.
- Het rekenrooster bevat voldoende resolutie in de interessegebieden. De rekentijden zijn grotendeels afhankelijk van de resolutie van het rekenrooster. De te verwachten rekentijden van de nieuwe roosters moeten worden afgezet tegen de rekentijden van de vijfde generatie modellen. Absolute rekentijden zijn op voorhand niet te geven. Wat wel en niet haalbaar is moet in overleg worden vastgesteld.
- Er is een sterke wens om rekenrooster indien nodig automatisch te kunnen verfijnen. Waar mogelijk moet met deze wens rekening gehouden worden, maar niet ten koste van andere eisen.

### Kunstwerken

- Kunstwerken in het RWS beheergebied moeten precies op de roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd. Minimaal één roostercel per kunstwerk, tenzij dit onevenredig veel invloed op de minimale rekentijdstep gaat hebben. Bij de locatie van het kunstwerk gaat het om de bewegende delen zoals sluisdeuren en stuwbogen.
- Kunstwerken die op de rand van het beheergebied zijn gelegen kunnen via puntlozingen en onttrekkingen worden gemodelleerd.
- Kunstwerken in het RWS beheergebied zijn: stuwen, stormvloedkeringen, hoogwaterkeringen, regelwerken, scheepvaartsluizen, spuisluizen, schutsluizen, inlaatkunstwerken, uitwateringssluizen ed.
- Kunstwerken dienen, indien relevant, te kunnen overstorten
- Kunstwerken moeten aangestuurd kunnen worden via een beoogd beheer (bv. stuwprogramma), maar ook via een gerealiseerd beheer (in het geval van een kalibratie of validatie). Dus ook sturing op bijvoorbeeld gemeten waterstanden/afvoeren of openen/ sluiten op werkelijke tijdstippen.
- In crisis situaties moet het mogelijk zijn om de kunstwerken anders te sturen dan volgens het officiële stuurprogramma.

#### Kalibratie, validatie en verificatie (en modelonzekerheid)

- Voor het beoordelen van modelschematisaties worden de termen kalibratie, validatie en verificatie gebruikt en hier wordt het volgende onder verstaan:
  - De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, enz.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, enz) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.
  - De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tusseliggende meetpunten, of gemeten stroomsnelheden.
  - Tijdens de verificatie wordt nagegaan of het geoperationaliseerde model nog steeds consistente uitkomsten geeft. Het model wordt beoordeeld op de resultaten van de eerder gekalibreerde en gevalideerde parameters.
- Voor de kalibratie en validatie worden zo recent mogelijke perioden gekozen. Deze perioden moeten de omstandigheden waaronder het model goed moet werken afdekken.
- Voor de verschillende watersystemen moeten zoveel mogelijk dezelfde perioden worden gekozen. Er moet een overzicht worden gemaakt van alle in Nederland te gebruiken perioden voor kalibratie en validatie en per gebied aangeven welke periode in het gebied wordt gebruikt.
- Bij kalibratie bepaalt de automatische procedure (OpenDA) als eerste het resultaat. Er worden in deze fase zo weinig mogelijk begrenzings opgelegd aan de waarden voor de parameter waarmee wordt gekalibreerd. Vervolgens worden de gevonden waarden beoordeeld en vind in overleg met RWS zo nodig bijstelling plaats naar realistische waarden. Dit punt is strikt genomen geen functionele eis maar wel een belangrijk/gewenst punt.

#### Goodness-of-Fit criteria

- Het beoordelen van de nauwkeurigheid van de modellen wordt uitgedrukt in zogenaamde Goodness-of-Fit criteria. Het verschil in meting en berekening moet worden weergegeven voor:
  - De gemiddelde afwijking (GV of Bias)
  - De root mean square error (RMSE)
  - De standaard deviatie (SD)
  - Het verschil in het maximum (Dmax)
  - Het verschil in het minimum (Dmin)
  - Het verschil in het tijdstip van het maximum (Dtmax)
  - Het verschil in het tijdstip van het minimum (Dtmin)
- Voor deze criteria moet eenmalig de definitie worden beschreven en vervolgens dient deze voor de beoordeling van alle modellen te worden gebruikt. Afhankelijk van de beschikbare metingen of het type parameter of het modelgebied, kan het zijn dat niet alle criteria van toepassing zijn.

#### Geschiktheid voor koppeling met andere modellen

- De nu te ontwikkelen D-HYDRO modellen moeten geschikt zijn om middels uitvoerresultaten dan wel middels een directe koppeling een verbinding te leggen met andere modellen. Met golven (D-Wave), met morfologie (D-Morphology), met waterkwaliteit inclusief sediment (D-Water Quality) en met sturing van kunstwerken (D-RTC).

#### Rapportage en presentatie

- De rapportages van de verschillende watersystemen moeten zoveel mogelijk een gelijke opbouw en presentatie hebben. Dit geldt ten aanzien van onder meer: Hoofdstuk indeling, kaarten, grafieken, tabellen ed. Uiteraard heeft elk gebied zijn eigen accenten. Denk daarbij aan een hoofdrapport van één landelijk model met daaronder deelrapporten voor de modellen van de afzonderlijke gebieden.

Het toetsen van eisen kan afhankelijk zijn van metingen. Indien er geen metingen aanwezig zijn kan er ook niet getoetst worden aan de meting. Wel kan er iets gezegd worden over de plausibiliteit van de resultaten.

#### Gebiedsindeling

De hoofdindeling is gebaseerd op de indeling volgens het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021 (BPRW) in zes hoofdgebieden; Rivieren, Kanalen, Waddenzee, Noordzee en kust, IJsselmeergebied en Zuidwestelijke Delta. Indien nodig wordt een hoofdgroep verder onderverdeeld in watersystemen.

In de tabel hieronder wordt per hoofdgroep en watersysteem een nadere detaillering van de eisen en wensen gegeven. De onderwerpen en de weergegeven punten zijn mede weergegeven op "Bijlage B\_Samenvatting\_sheets\_RWS toepassingen.xlsx".

#### Rivieren: Overijsselse Vecht Delta en Overijsselse Vecht

Onderwerp	Eisen
Toepassing	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vergunningverlening</li><li>• Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen, MER, MIRT</li><li>• Waterveiligheid: HR, OR, instellen kunstwerken, advies hoogwaterveiligheid</li><li>• Waterverdeling: inzet retentiegebieden, instellen kunstwerken</li><li>• Scheepvaart: baggerstrategie, dwarsstroming, vaardiepte</li><li>• Afleiden basisgegevens waterbeheer, zoals betrekkinglijnen.</li><li>• Beantwoorden dagelijkse vragen</li><li>• Operationele verwachtingen</li></ul>
Interessegebied	<ul style="list-style-type: none"><li>• Het gehele gebied</li></ul>
Processen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debiet (waterbalans)</li><li>• Waterstand: dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag</li><li>• Stroomsnelheid en richting</li><li>• Zowel afvoergolven als stationaire afvoeren</li><li>• Wind</li><li>• Golven</li></ul>
Rekenrooster	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resolutie zomerbed variërend van ongeveer van 40 meter (Zwarte Meer, Ramspol)) tot 20 meter (bovenstrooms Emlichheim) in lengte</li><li>• Inlaat retentie gebieden, Noord en Zuid Meene</li><li>• Stroomgeleidingskaden</li><li>• Invaart van aangetakte plassen en geulen</li><li>• Ligging van kunstwerken: roosterlijn op het kunstwerk</li></ul>

Onderwerp	Eisen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li> </ul>
Kalibratieperioden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zo recent mogelijke perioden</li> <li>Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden</li> <li>In ieder geval het hoog water van 1998 (kalibratie)</li> <li>Lage, midden en hoge afvoer omstandigheden</li> <li>Perioden met wind, storm</li> </ul>
Kalibratie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke dat zijn, maar hoogstwaarschijnlijk het zomerbed van de rivier.</li> <li>Kalibreren op verschillende omstandigheden (van een lage tot hoge afvoer).</li> <li>Als eerste de gemiddelde afwijking (GV of BIAS) per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,005 en 0,005 m op de top van een afvoergolf, of op een periode met gelijkblijvende afvoer</li> <li>Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren</li> <li>Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. De categorie hoog water (1998) is bijzonder, aangezien er voor afvoeren hoger dan 1998 in alle toepassingen geëxtrapoleerd wordt. Wel bekijken op gelijkmatig verloop en in overleg aanpassen.</li> <li>Genoemde eisen gelden per specifieke periode (lage, midden, hoge afvoer) en over een langere periode (3 maanden tot een jaar)</li> </ul>
Validatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>Valideren op verschillende omstandigheden (van een lage tot hoge afvoer).</li> <li>Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) per station van plus of min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> <li>Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) over alle stations van plus of min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> <li>Genoemde resultaten gelden per specifieke periode (lage, midden, hoge afvoer) en over een langere periode (3 maanden tot een jaar)</li> <li>Afvoeren</li> <li>Stroomsnelheden, indien beschikbaar</li> <li>Wind, storm</li> </ul>
Berekening	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actueel en robuust zijn van belang en nauwkeurigheid iets minder en rekensnelheid nog iets minder</li> <li>Maximaal 10 uur voor een deelmodelgebied Ramspol-Ommen (eis voor vergunningverlening)</li> </ul>
Overig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geschikt voor zout</li> <li>geschikt voor temperatuur</li> <li>geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd</li> <li>geschikt voor koppeling met golven</li> <li>geschikt voor koppeling met morfologie</li> <li>geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li> <li>geschikt voor koppeling met waterkwaliteit</li> </ul>

# B Systeembeschrijving

## B.1 Meetstations

De meetstations (output\_locations) in het model zijn opgedeeld in vijf klassen:

- 1 Rivierkilometers
- 2 Meetstations
- 3 Uitvoerlocaties
- 4 WBI-locaties (niet opgenomen in model)
- 5 Hectometerpunten
- 6 20m-punten

Hieronder volgt een overzicht van alle meetstations en uitvoerlocaties die in het model zijn opgenomen. De naam van het meetstation is opgebouwd volgens de naamgevingsconventie (Rijkswaterstaat, 2019). Het bestaat uit de volgende delen:

- Naam riviertak
- Rivierkilometer
- Oever (L/R)
- Type station:
  - LMW-H: Landelijk Meetnet Water – Waterstandsmeeting
- Naam

Tabel 9.1 Overzicht meetstations (type 2)

Naam meetstation
VT_10.4_L_Emlichheim
AK_C_Drentse-stuw
OV_12.6_WVS-H_Hardenberg-boven
OV_12.7_WVS-H_Hardenberg-beneden
OV_19.5_WVS-H_Marienberg-boven
OV_19.6_WVS-H_Marienberg-beneden
OV_2.3_L_LMW-H_Haandrik-Kruisbrug
OV_2.5_WVS-H_De-Haandrik-boven
OV_2.6_WVS-H_De-Haandrik-beneden
OV_26.7_WVS-H_Junne-boven
OV_26.8_WVS-H_Junne-beneden
OV_32.7_L_LMW-H_Ommen-Hesselmulertbrug
OV_34.6_R_LMW-H_Ommen-Ommerkanaal
OV_39.0_WDOD-H_Vilsteren-boven
OV_39.1_WDOD-H_Vilsteren-beneden
OV_45.3_WDOD-H_Dalfsen
OV_49.2_WDOD-H_Vechterweerd-boven
OV_49.3_L_LMW-H_Vechterweerd-beneden
OV_49.3_WDOD-H_Vechterweerd-beneden
ZK_0.9_R_LMW-H_Spooldersluis-binnen
ZW_6.7_L_LMW-H_Mond-der-Vecht
ZW_12.7_R_WDOD-H_Kloosterzijl
ZW_15.8_R_LMW-H_Zwartsluis-buiten

Naam meetstation
ZW_19.4_L_LMW-L_Genemuiden
ZW_LMW-H_Ramspolbrug
MD_11.0_L_LMW-H_Galgenkampsbrug
MD_2.5_R_LMW-H_Meppelerdiep-km-2.5
ZM_LMW-H_Kadoelen

Sinds 1998 zijn er twee stations verplaatst, deze zijn daarom met een andere locatie opgenomen in de j98 schematisatie. Het gaat om de volgende stations:

- RA\_LMW-H\_Ramspolbrug-tot-2013
- ZW\_15.8\_R\_LMW-H\_Zwartsluis-buiten-tot-2016

## B.2 Afvoerraaien

De opbouw van de naam van afvoerraaien is vrijwel identiek aan meetpunten en wordt niet nogmaals herhaald. De volgende typen zijn gedefinieerd in de kolommen:

- 1 QK Afvoerraaien ter plekke van de rivier kilometer
- 2 QMI Afvoerraaien van incidentele metingen, en  
QML LMW afvoermeting of andere reguliere meting
- 3 QR Afvoerraaien ten behoeve van afvoerafhankelijke ruwheden
- 4 QL Afvoerraaai bij een LMW-station
- 5 QO Afvoerraaai voor overige toepassingen

Tabel: Overzicht afvoerraaien (alle types)

Naam afvoerraaai
VT_10.4_L_Emlichheim
VT-10.4_QO_Q-Vechte-begin
AK_WSV-Q_Afwateringskanaal
OV_0.0_QO_Q-Vecht-grens
OV_12.6_QL_Hardenberg-boven
OV_12.7_QL_Hardenberg-beneden
OV_19.5_QL_Marienberg-boven
OV_19.6_QL_Marienberg-beneden
OV_2.3_QO_Q-Vecht-spoorbrug
OV_2.5_C_WSV-Q_De-Haandrik
OV_2.5_QL_De-Haandrik-boven
OV_2.6_QL_De-Haandrik-beneden
OV_26.7_QL_Junne-boven
OV_26.8_QL_Junne-beneden
OV_32.7_C_LMW-Q_Ommen-Hesselmulertbrug
OV_34.6_R_QL_Ommen-Ommerkanaal
OV_35.0_QO_Q-Vecht-Brug-Varsen
OV_39.0_QL_Vilsteren-boven
OV_39.1_QL_Vilsteren-beneden
OV_45.3_C_WDOD-Q_Dalfsen
OV_49.2_QL_Vechterweerd-boven
OV_49.3_QL_Vechterweerd-beneden
OV_5.7_QO_Q-Vecht-na-Afwateringskanaal
OV_59.5_QO_Q-Vecht-eind

Naam afvoerraai
ZK_2.4_QO_Q-Zwolle-IJsselkanaal
ZW_1.0_QO_Q-Zwarte-Water-begin
ZW_15.8_R_LMW-H_Zwartsluis-buiten
ZW_19.2_QO_Q-Zwarte-Water-eind
ZW_19.4_C_LMW-Q_Genemuiden
ZW_5.4_QO_Q-Zwarte-Water-voor-Vecht
ZW_6.7_QL_Mond-der-Vecht
ZM_QL_Kadoelen
RA_QL_Ramspolbrug
MD_2.5_C_LMW-Q_Meppelerdiep-km-2.5

## B.3 Bruggen

De diameter van de brugpijlers zijn afkomstig uit de gegevens aanwezig in Baseline 5. In Baseline 5 zijn de brugpijlers als polygoon opgenomen in de ruwheidsvlakken. Voor Baseline 6 zijn deze met een Baseline 6-tool geconverteerd naar middelpunten en de maatgevende diameter. Deze diameter is bepaald als de smalle zijde van de oorspronkelijke polygoon, omdat dit over het algemeen de richting is die loodrecht op de stroming staat.

Hierop zijn diverse aanpassingen uitgevoerd zoals het verwijderen van brugpijlers die vlak achter elkaar staan. Deze zouden in D-HYDRO opgevat worden als naast elkaar, waardoor dit te veel weerstand zou geven (De Jong et al., 2019).

Tabel 9.2 Overzicht bruggen.

Naam brug
VT_1.1_Laar-Haupstrassebrucke
VT_10.4_Emlichheim-Wilsumerstrassebrucke
VT_5.9_Echteler-Echtelerstrassebrucke
VT_8.5_Emlichheim-Wildestrassebrucke
OV_10.5_JC-Kellerlaan-Hardenberg
OV_11.2_Koehierdesteeg-Hardenberg
OV_11.7_De-Brink-Hardenberg
OV_12.0_Europaweg-Hardenberg
OV_13.5_N343-Twenteweg-Hardenberg
OV_2.3_Coevordenweg-De-Haandrik
OV_2.3_Spoorbrug_De-Haandrik
OV_20.4_N36-Twentseweg-Beerze
OV_32.6_Hessel-Mulertbrug-Ommen
OV_35.0_Varsen_N348
OV_45.3_Dalfsen_N357
OV_5.7_De-Anderdijk-Gramsbergen
OV_52.8_Berkum_Spoorbrug
OV_55.0_Berkum_Berkumerbrug
OV_55.1_Berkum_A28
ZK_2.0_Zwolle-Hasselterbrug
ZK_2.1_Zwolle-Spoorbrug
ZK_2.5_Zwolle-Frankhuisbrug



**Naam brug**

ZW\_0.3\_Zwolle-A28

ZW\_0.5\_Zwolle-Blaloweg

ZW\_1.8\_Zwolle-Twistvlietbrug

ZW\_10.4\_Hasselt-Zwartewaterbrug

ZW\_2.8\_Zwolle-Mastenbroekerbrug

# C Roosterontwerp

## C.1 Totaaloverzicht rooster

In onderstaande figuur volgt het gehele rooster voor de Overijsselse Vechtdelta. In paragraaf 0 volgend enkele voorbeeldfiguren.

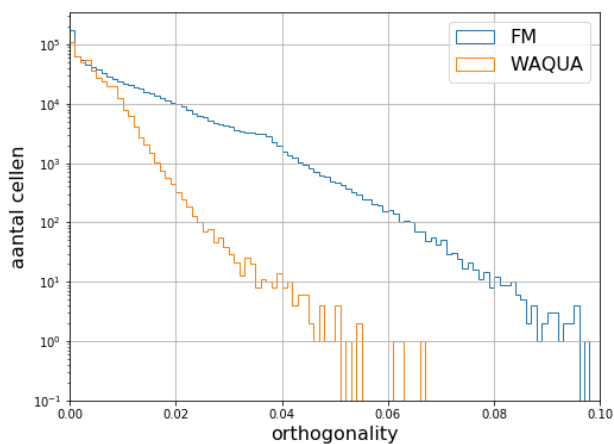


## C.2 Statistieken

In onderstaande secties zijn diverse eigenschappen van het rooster uitgelicht, waarbij deze worden vergeleken met het WAQUA rooster van de vijfde generatie.

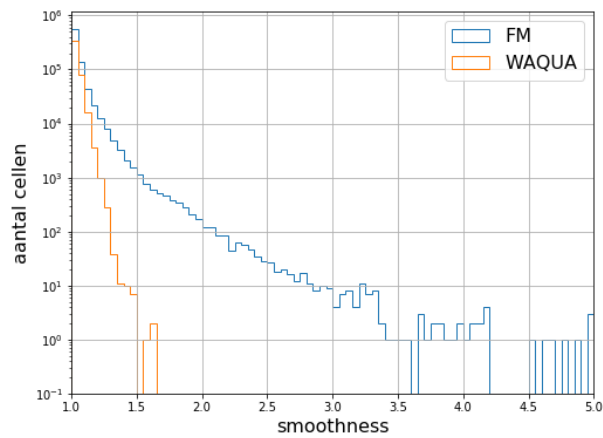
### C.2.1 Orthogonaliteit

Doordat het rooster is uitgelijnd met de geometrie, is de orthogonaliteit minder goed dan in het vijfde generatie WAQUA model. Voor de orthogonaliteit is ernaar gestreefd om deze voor het merendeel van het rooster lager dan 0,01 te brengen. Lokaal kon echter niet voorkomen worden dat er vlakken met een orthogonaliteit tot 0,02 zouden ontstaan. Daarnaast zijn er enkele roostercellen met een orthogonaliteit tot 0,10. Deze zijn vooral buiten de stroomlijnen gehouden en vooral omringd door roostercellen met een lagere orthogonaliteit. Er zijn geen roostercellen in het model met een orthogonaliteit tussen 0,10 en 0,50 (het rekenkundig maximum van D-HYDRO).

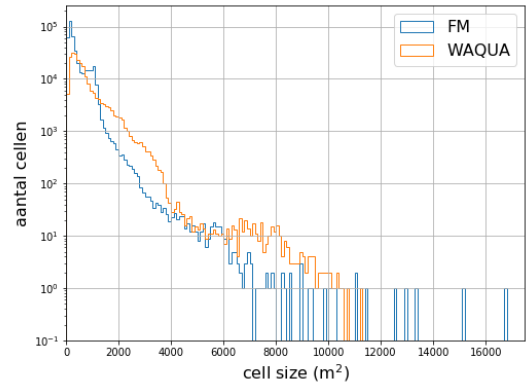
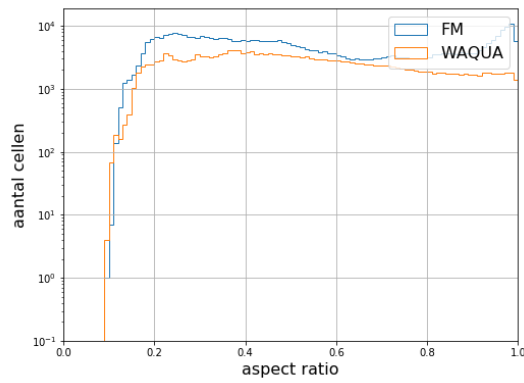


### C.2.2 Smoothness

De smoothness is op sommige locaties groter dan 3. Dit komt met name voor op locaties waar het rooster overgaat van curvilineair naar triangulair of op locaties met knooppunten.

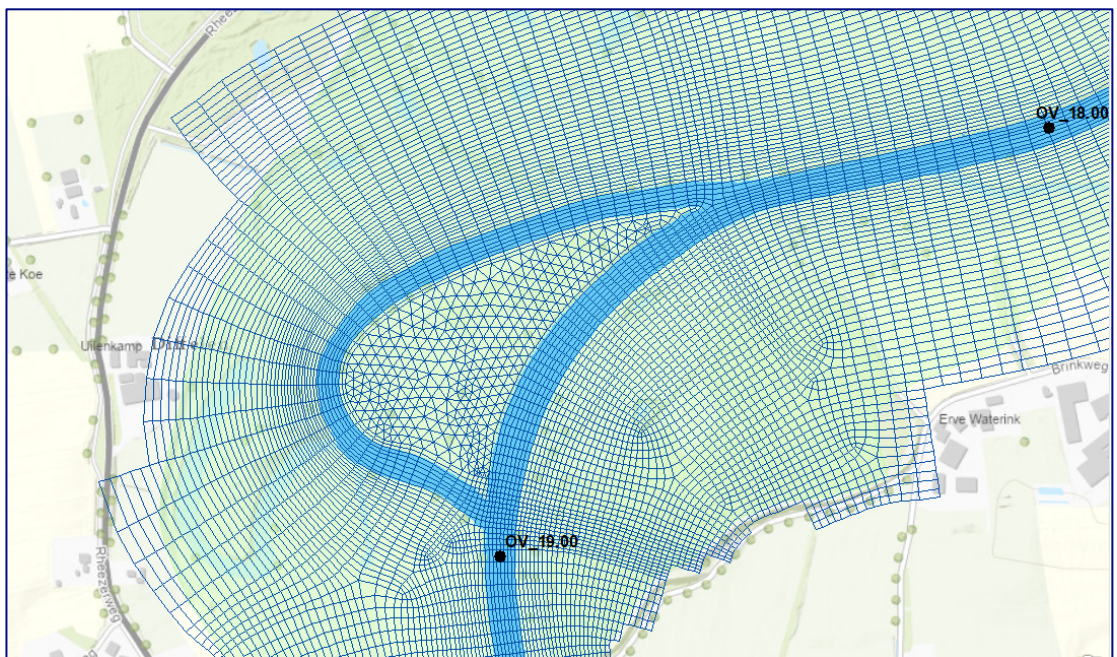
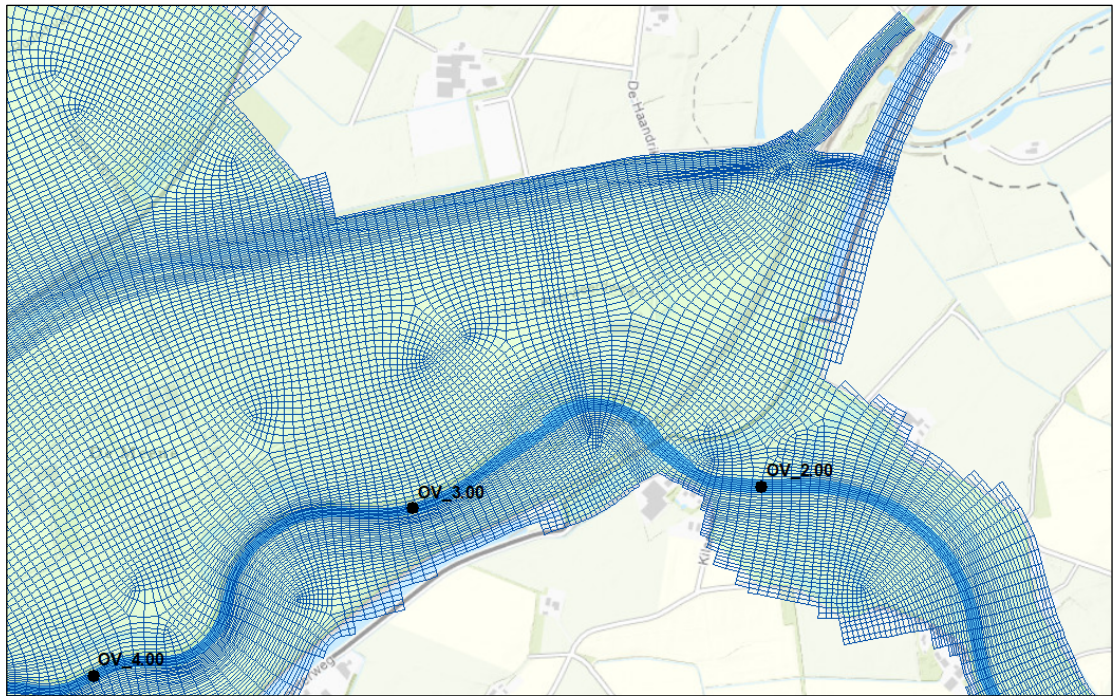


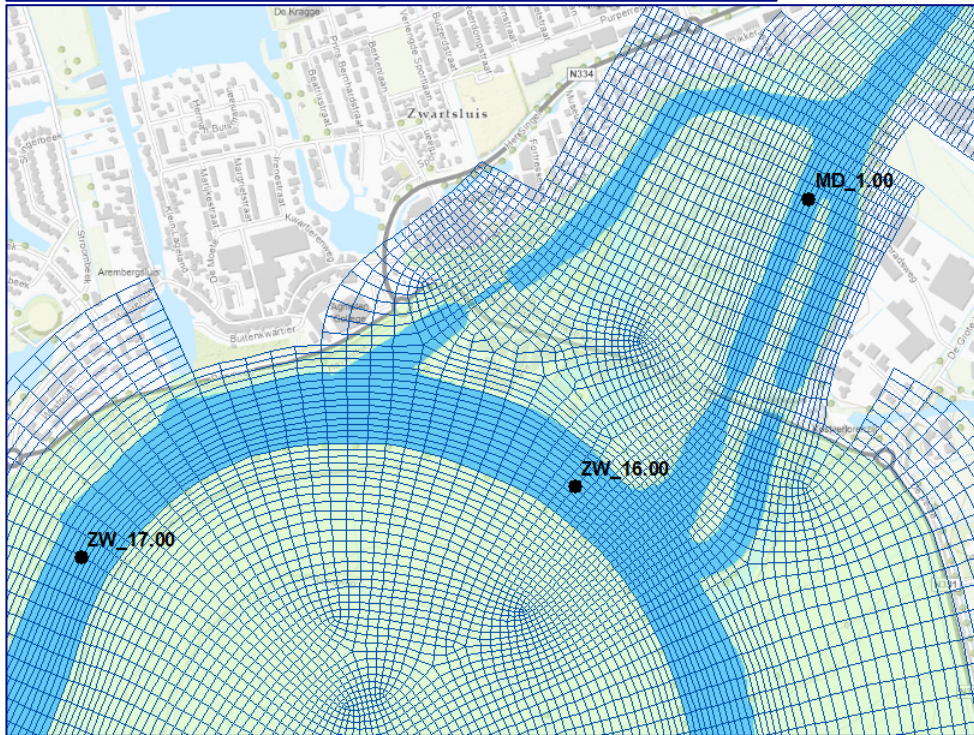
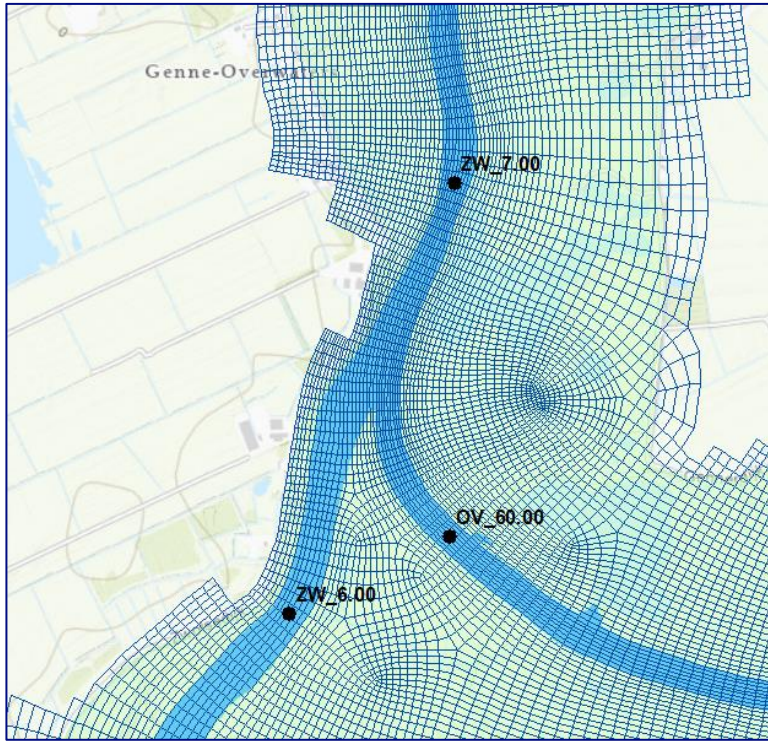
### C.2.3 Aspect ratio en grootte roosterzellen

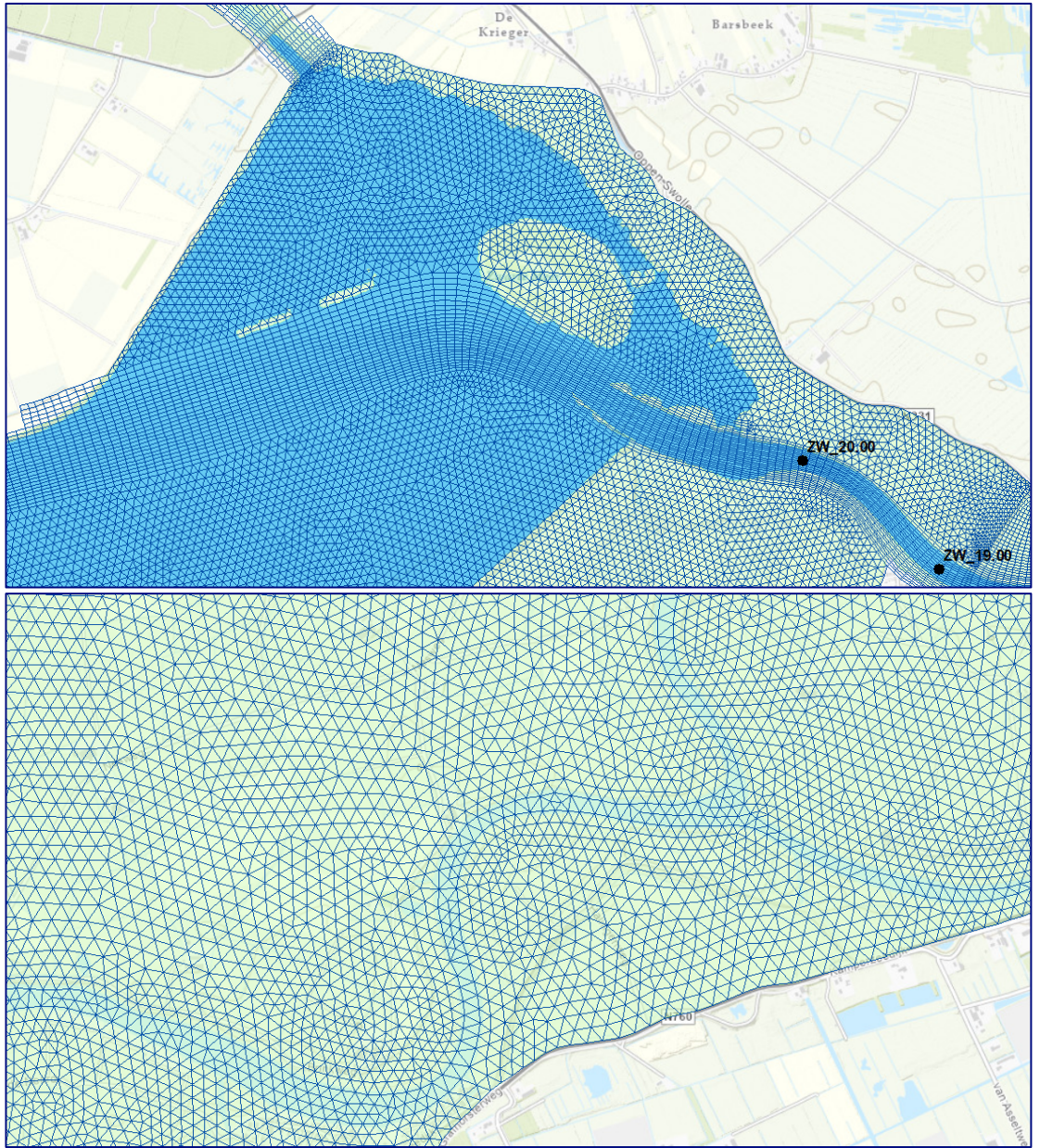


### C.3 Locatiespecifieke keuzes

Deze bijlage bevat voor een aantal locaties een voorbeeld van specifieke keuzes die zijn gemaakt tijdens het roosterontwerp.







## D Baseline, projectie en geometrie

### D.1 Baseline varianten

Er zijn verschillende verbeteringen doorgevoerd aan de onderliggende Baseline-schematisaties. Deze zijn apart opgezet voor het beheergebied van RWS-ON (inclusief Kampereiland) en het beheergebied van de Waterschappen Vechtstromen en Drents-Overijsselde Delta en vervolgens samengevoegd.

#### D.1.1 Aanpassingen RWS-ON

Voor het beheergebied van RWS-ON is hier gebruik gemaakt van koepelmaatregelen, waarin alle verbeteringen in één keer zijn uitgevoerd.

Verbeteringen aan de j98-schematisatie (vd-j98\_5-G6-w2):

- secties Zwarte Meer
- secties Zwarte Water
- Kadoelerkeersluis
- oever Zwartemeer
- Ramspolkering, Ramspolbrug en splitsingsdam Ramsgeul-Ramsdiep
- bodemligging Zwartemeer
- ecotopen 1998 op basis van ecotopenkaart 2012
- opname Meppelerdiep
- handmatige aanpassingen, o.a. kenmerken, lijnnumeringen, kunstwerkrichtingen, Villemonteparameters kribben

Opmerkingen

- Sluizen in Zwartsluis zijn eigenlijk gebaseerd op situatie 2018
- Actualisatie/verbeteringen Kampereiland nu niet opgenomen in j98 (want niet van belang voor kalibratie van het model).
- Diepteligging Zwolle IJsselkanaal nog niet overal goed, door ontbreken diepe breuklijnen
- Naam schutsluis Meppelerdiep is niet correct; dit moet Meppelerdiepsluis zijn.
- De naam van de rivierassen op het Meppelerdiep zijn niet correct. Er zijn 5 assen, en deze moeten verschillende namen hebben.
- j98 bevat de situatie na aanleg van de Ramspolkering. In 1998 was deze nog in aanbouw. De kunstwerken waren er nog niet, er lag een bouwkuip en er zat een gat in de scheidingsdam.

Actualisatie naar de actuele j19-schematisatie (vd-j19\_5-G6-w3):

- N50/nieuwe Ramspolbrug
- Aanleg twee eilandjes Zwarte Meer
- Ecotopen 2017
- Actualisatie/verbetering Kampereiland
- Zomerbed 2019 vanaf Vechtmonding

Opmerkingen:

- Verdieping voorhaven Zwartsluis nog niet opgenomen. Er zit nu een grote bodemsprong in j19.
- Er zijn twee kunstwerken op het Kampereiland. Deze hebben mogelijk nog niet de juiste lijnrichting. Onduidelijk is bij ons hoe deze functioneren.

### D.1.2 Aanpassingen Waterschappen

Voor de Waterschappen zijn de Baseline-gegevens verbeterd en geactualiseerd met behulp van losse maatregelen.

Verbeteringen aan de j98-schematisatie:

- Correctie van oevers, plassen en geulen langs de gehele Vecht (ve\_oevzb98\_a1)
- Actualisatie ecotopenkartering (ve\_eco17\_a1), met het terugzetten van een aantal locaties naar productiegrasland (ov\_prdgras\_a1).

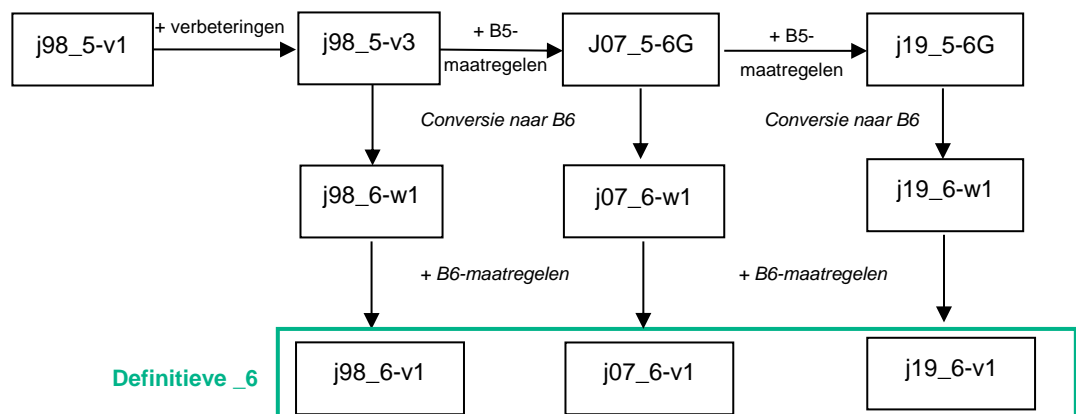
Verbeteringen en actualisaties voor de j19-schematisatie:

- Actualisatie winterbedhoogte naar AHN3 hoogte (ve\_wihn3\_a1)
- Ontstening langs de Vecht o.b.v. AHN3 (ov\_ontstng\_a1)
- Grensmeander 2019 o.b.v. CAD en AHN3 (ve\_grmea19\_a1)
- Vistrap Bruchterbeek (ve\_brucht\_a1)
- Vechtparken I t/m IV Hardenberg o.b.v. CAD en AHN3 (ve\_hardb19\_a1)
- Sluis Marienberg (ve\_slmarb\_a1)
- Sluis Junne (ve\_sljunne\_a1)
- Nevengeul Junne 2019 o.b.v. CAD en AHN3 (ve\_junne19\_a1)
- Nevengeul Ommen 2019 obv CAD en AHN3 (ve\_omm19\_a1)
- verbetering stuw Vilsteren (ov\_vilstrn\_a2)
- actualisatie kaden DOD obv AHN3 (ov\_kadeact\_a1)
- Verbetering Loozensche Linie (ov\_loozlin\_a2)
- Verbetering Molnmarsch (ov\_molnmar\_a2)
- Actualisatie ecotopenkartering (ve\_eco17\_a1)
- Verwijderen drempel voor stuw Junne (ov\_erdrJun\_a1)
- Aanpassen loop zomerbed bij Uilenkamp (ov\_Uilnkmp\_a1)
- Aanpassen zomerbed o.b.v. beschikbare lodingen uit 2019 (ve\_bath19\_b1).  
Bovenstrooms van Gramsbergen wordt een resolutie van 2,5x2,5 m gebruikt (i.p.v. 5x5).

Voor de tussenliggende j07-schematisatie wordt als basis de j98-schematisatie gebruikt, waarbij alleen de lodingen worden aangepast naar die van rond 2007 (ov\_zbhgt08\_b1).

### D.1.3 Opbouw varianten

Er wordt in deze rapportage gewerkt naar twee lijnen met definitieve Baseline-schematisaties: de Baseline 5-schematisaties ten behoeve van Baseline 6 (\_5) en de Baseline 6-schematisaties (\_6). Voor het maken van deze varianten wordt de volgende immixroutine gebruikt.





De lijsten “B6-maatregelen” bevatten maatregelen die pas uitgevoerd kunnen worden binnen Baseline 6. Deze lijst is zoveel mogelijk identiek gehouden voor de verschillende jaren. Dit bevat onder meer het verplaatsen en hernoemen van meetpunten. Een uitgebreid overzicht is te vinden in Bijlage D.2.

## D.2 Conversie naar Baseline 6 en Baseline 6-maatregelen

Voor ieder van de definitieve varianten worden de volgende acties uitgevoerd:

- Conversie van de hoogwatervrije\_vlakken. Daar waar enkel het kenmerk is gespecificeerd wordt dit aangevuld met de juiste ruwheidscode.
  - Kenmerk = 'pijlers' → Ruwheidscode = 3
  - Kenmerk = 'hvatvrij' → Ruwheidscode = 2
  - Overige features houden hun originele ruwheidscode
- Uitvoeren van de Converter van Baseline 5 naar Baseline 6.
- Aanmaken van initiële condities.
- Leeggoeien bridge\_points
- Conversie van (lege) bridge lines en points naar routes en events .
- Overlaatinstellingen van kribben (Elevated\_lines\_routes met type 'Groyne') aanpassen naar een breedte (CREST\_WIDTH) van 2.5 m, en een helling (SLOPE\_LEFT en SLOPE\_RIGHT) van 3.
- Inmixen van maatregelen: (zie onderstaande maatregellijst)
  - Vervangen van alle meetpunten
  - Vervangen van alle afvoerraaien
  - Vervangen van alle lateralen
  - Vervangen van alle bruggen
  - Vervangen van alle kunstwerken
  - Kalibratiefactor (aangemaakt met smooth transitions (L = 2000 m; n=19))
  - Zomerbedruwheid

Het inmixen van de maatregelen is een iteratief proces en is daarom meerdere malen uitgevoerd.

Vervolgens kan de conversie van Baseline 6 naar FM uitgevoerd worden. Hierbij worden alle onderdelen aangevinkt, behalve de volgende opties:

- In model boundary
- Use cdf enclosure if present

#
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant jXX_6-vX # De basis voor deze variant is : Geconverteerde jXX_5-6G-vX #
#
#
<pre> ..\..\ovd_maatr\ijvd_outploc_pnts_XX ..\..\ovd_maatr\ijvd_cross_sec-L_XX_a1 ..\..\ovd_maatr\ijvd_sosink_pnts_XX_a1 ..\..\ovd_maatr\ijvd_brug_routes_XX_a1 ..\..\ovd_maatr\ijvd_struc_lines_XX_a1 ..\..\ovd_maatr\ijvd_ov_calibf_XX_a1 </pre>

```
..\..\ovd_maatr\ijvd_zomerb_XX_a1
```

```
# einde
```

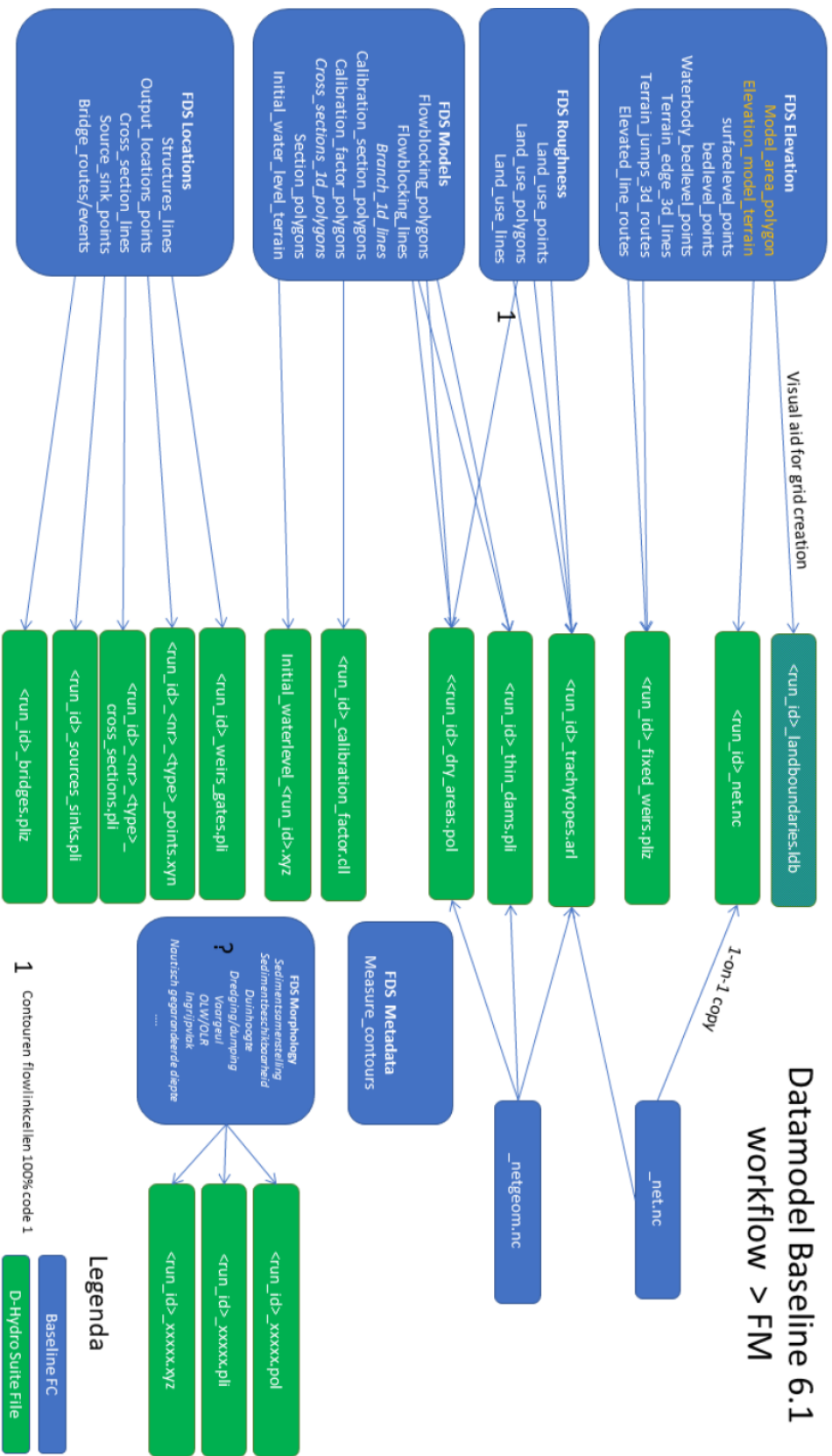
```
#
```

### D.3 Datastructuur Baseline6 en projectie naar rekenrooster

De projectie van de Baseline-geodatabase naar D-Flow FM gebeurt met de tool 'Conversion to D-Flow D-Flow FM' in Baseline (LievenceCSO, 2019). Deze tool is de vervanging van de applicatie BASWAQ ('Conversie Baseline naar WAQUA'). D-Flow FM maakt voor een groot deel gebruik van roosteronafhankelijke invoer, waardoor Baseline enkel de conversie hoeft uit te voeren naar bestandsformaten die door D-Flow FM gelezen kunnen worden.

Uitzonderingen hierop zijn de projectie van de ruwheden (trachytopen, land use), kalibratiesecties en de bodemhoogte.

- De bodemhoogte wordt bepaald op de hoekpunten van het rekenrooster. Op deze locaties wordt de hoogte in het bodemhoogtemodel *geprikt*.
- De ruwheden (trachytopen) worden beide bepaald voor de snelheidspunten van het rekenrooster, omdat dit gebruikt wordt voor de ruwheidsbepaling. Representatief voor dit snelheidspunt is alle informatie binnen een polygoon rondom dit snelheidspunt dat loopt tot beide waterstandspunten. De gebiedsbeschrijving van een punt kan daardoor meerdere typen gebieden bevatten zoals bijvoorbeeld 121 (Akker) en/of 1201 (Productiegrasland). Door D-Flow FM wordt dit omgerekend naar een ruwheid met de trachytopendefinitie (zie Bijlage E.3) en wordt hier een middeling op uitgevoerd (Deltares, 2019).
- Ook de kalibratiefactor wordt bepaald voor de snelheidspunten. De methode en bestanden zijn identiek aan de trachytopen. Ook hier kunnen per snelheidspunt meerdere kalibratiefactoren opgegeven worden, die door D-Flow FM worden gemiddeld.



Figuur: Beschrijving van de workflow in Baseline 6 (LieveenseCSO, 2019)

De totale projectie neemt ca. 4.5 uur in beslag op het WCF-cluster van Deltares. Dit genereert de bestanden, zoals gegeven in Tabel D.3.1.

Tabel D.3.1 Overzicht van elementen voor de j19-schematisatie. Tussen haakjes staat het totale aantal punten van de lijnen. Het aantal elementen van de overige schematisaties is vergelijkbaar.

	j19_6-v1
bridges	27 (147)
dry_areas	37 (350)
enclosures	1 (8612)
fixed_weirs	16002 (235997)
thin_dams	47 (469)
crosssections	48 (97)
output_locations	135
sources_sinks	44
structures	22

## D.4 Projectie door initialisatie van Flexible Mesh

### D.4.1 Punt-elementen: observation points, lateral sources,

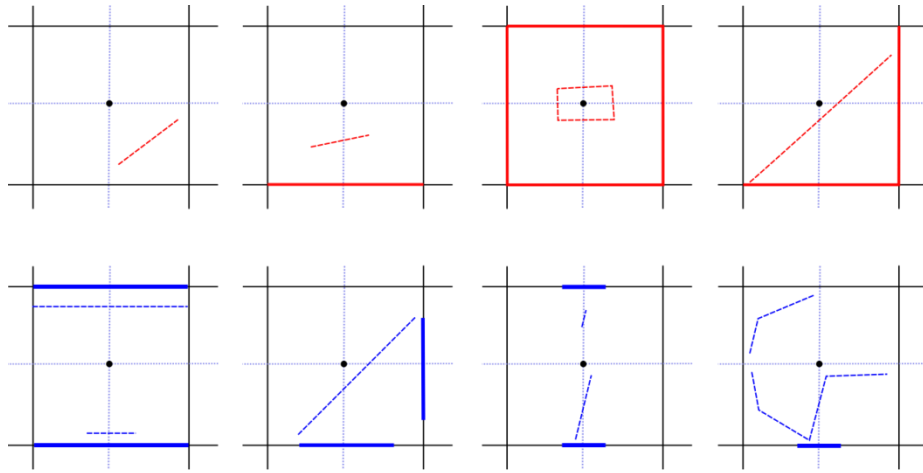
Als een punt-element binnen het rooster valt, dan wordt dit geprojecteerd op het dichtstbijzijnde waterstandspunt. Wanneer het punt niet binnen het rooster ligt, dan wordt hier een melding van gemaakt in het '.dia'-logbestand en worden er NaN of -999 uitgevoerd.

### D.4.2 Lijn-elementen: thin dams, fixed weirs, structures, cross-sections

In de onderstaande figuur wordt voor een achttal situaties 1 roostercel weergegeven met vier flow links naar nabijgelegen cellen. De bovenste vier figuren geven aan hoe een ongeprojecteerde hoogwatervrijelij (thin dam) wordt geprojecteerd op de flow celwand (edge), de onderste vier figuren geven aan hoe een ongeprojecteerde overlaat (fixed weir) op het rooster wordt geprojecteerd. De getekende breedte van de geprojecteerde overlaat geeft de breedte van de overlaat aan in verhouding tot de celbreedte. De breedte ( $wu$ ) van een overlaat (fixed weir) wordt enkel bepaald door de hoek ( $\alpha$ ) tussen de overlaat en de flow link.

$$wu = \cos(90 - \alpha) \cdot edgewidth$$

De FixedWeirType heeft geen invloed op de uitgevoerde projectie.

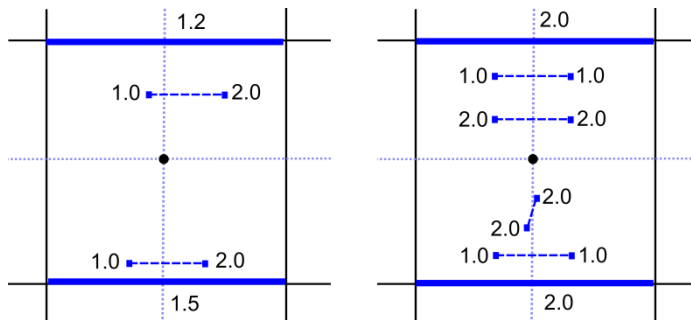


- Flow link
- Thin dam
- Projected thin dam
- Fixed weir
- Projected fixed weir

Figuur D.4.1 Schematische weergave van de wijze waarop schotjes (thin dams) en overlaten (fixed weir) worden geprojecteerd op het rekenrooster

In onderstaande afbeelding staat ook uitgewerkt hoe de hoogte wordt overgenomen in de geprojecteerde overlaat. Hierbij gelden de volgende regels:

- De hoogte is een gewogen gemiddelde (lineaire interpolatie) op de locatie waar de flow link doorsneden wordt.
- Indien meerdere overlaten de lijn doorkruisen:
  - Van de diverse hoogtes van de overlaten wordt de maximale hoogte gekozen.
  - Van de diverse breedtes van de overlaten wordt de maximale breedte gekozen.



Het principe is geheel anders dan in WAQUA. In WAQUA worden de volgende stappen gedaan:

- De steunpunten van een overlaat worden op de hoekpunten van een roostercel geprojecteerd. (met maximum kruinhoogte en maximale verval).
- Tussen deze hoekpunten worden celwandjes met elkaar verbonden.
- De hoogte van de overlaat wordt gemiddeld tussen de hoekpunten.
- De breedte van een overlaat wordt niet gevarieerd, een overlaat kan wel diagonaal zijn.

Wanneer we kijken naar de verschillen tussen WAQUA en D-Flow FM, dan blijkt:

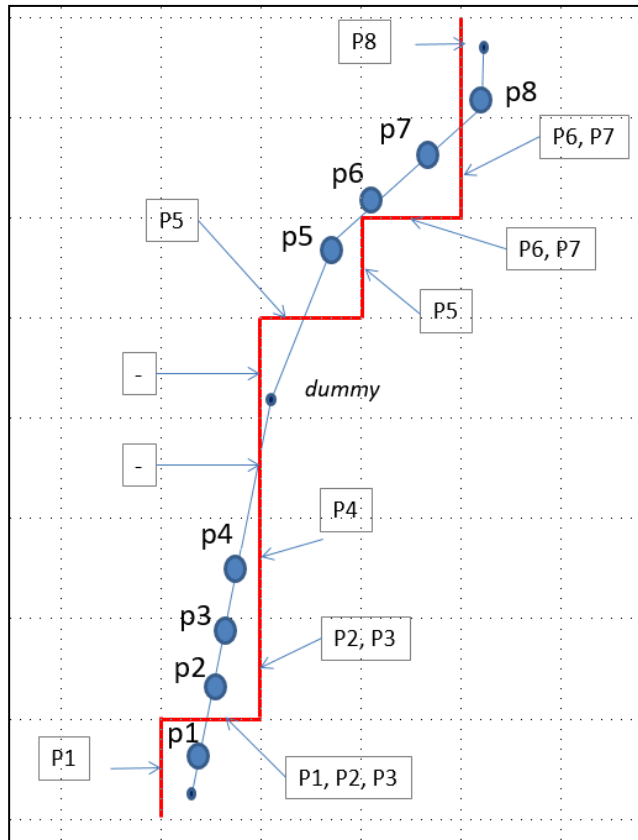
- De locatie van de overlaten identiek te zijn.
- De hoogtes van de overlaten worden op een andere manier gemiddeld, maar zullen weinig verschillen.
- De breedte tussen beide methoden is zeer verschillend voor overlaten die niet diagonaal lopen.

#### **D.4.3 Brugpijlers**

Voor de invoer van brugpijlers in D-Flow FM wordt een polyline-bestand gebruikt. Het bestand bevat voor iedere brugpijler het representatieve punt (x,y) met diameter en drag coëfficiënt. Als eerste en laatste punt worden dummy-punten (diameter van -999 m) gespecificeerd bij de bruggenhoofden. Dit wordt gebruikt om ervoor te zorgen dat ook de eerste en laatste brugpijlers (goed) geprojecteerd worden op het grid.

De lijnen in het brugpijlerbestand worden gebruikt om te bepalen welke flow links gekruisd worden door de brug. Vervolgens wordt voor iedere gekruiste flow link bepaald welke brugpijlers bij deze locatie horen.

Een voorbeeld van de discretisatie is weergegeven in onderstaande figuur. In de figuur is de blauwe lijn met de brugpijlers  $p$  de ongeprojecteerde invoer, en de rode lijn met brugpijlers  $P$  zijn de geprojecteerde brugpijlers. Allereerst wordt de brug-lijn gediscetiseerd naar het grid zoals andere lijnelementen (zie voorgaande paragraaf). Overal waar de lijn een flow link doorkruist is in de figuur rood gemarkeerd. In de tweede stap van het algoritme wordt voor iedere flow link bepaald welke brugpijlers hierbij horen. Het kan gebeuren dat een brugpijler op meerdere flow links wordt geplaatst voor verschillende stroomrichtingen. Daarnaast kan het ook gebeuren dat een flow link wel doorkruist wordt (rood gekleurd), maar dat er geen brugpijlers aan worden toegekend ('-'). In dat geval wordt er geen extra weerstand gemodelleerd.



Figuur: Voorbeeld van een projectie van brugpijlers. De blauwe lijn met de brugpijlers  $p$  is de ongeprojecteerde invoer. De rode lijn met brugpijlers  $P$  zijn de geprojecteerde brugpijlers.

#### D.4.4 Open randen

Open randen worden geprojecteerd op een modelrand als deze binnen een bepaalde marge van de rand zijn aangegeven. Ze hoeven dus niet exact op de modelrand te liggen. Standaard is deze marge ongeveer drie roosterzellen. Bij de Rijntakken is gekozen om de open randen wel op een roosterlijn te leggen.

## D.5 Ruwheidsbestand als invoer in D-Flow FM (trachytopendefinitiebestand)

Door Baseline wordt de gebiedsbeschrijving bepaald (zie Bijlage D.1). Door D-Flow FM wordt dit gecombineerd met de trachytopendefinitie in het bestand roughcombination-all-2021-v4.ttd. Hierin staat voor iedere ruwheidscode (bijvoorbeeld 121: Akker) de ruwheidsformulering en de benodigde coëfficiënten.

```

=====
#
# Roughcombination : Ruwheids karakteristieken voor de TRACHYTOPEN functionaliteit in D-Flow FM
voor RWS
#
#         De eerste kolom verwijst naar de ruwheidscode in de .arl file
#         De tweede kolom verwijst naar de ruwheidsformulering
#         De opvolgende kolommen verwijzen naar de parameters voor de specifieke ruwheidsformulering
#         Voor meer informatie zie de D-Flow FM User Manual:
#         https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf
#
#
#         De vegetatie waarden zijn afkomstig van het Handboek
#         Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden Deel 1 en 2

```

```

#           Riza rapport 2003.028 en Riza rapport 2003.029
#
#           De overige codes zijn :
#           - coderingen gebruikt in vergunningen
#           - specifieke ruwheden voor projecten
#           - basis ruheidswaarden voor specifieke gebieden (vanaf 2000)
#
#-----
# Versie 2021_6-v1 (11-02-2021):- gebaseerd op versie 2015_5-v1 van 'roughcombination-general'
voor WAQUA
#           - opschonen code
#           - samenvoegen basisruwheden voor alle specifieke gebieden
# Versie all-2021-v4 (31-8-2021): Opname van 3108, 3200 en 3201
#
#=====
# CODE 1-50      : Formulering voor bebouwing en hoogwatervrije terreinen
#
#=====
1 1              # gebouw
3 1              # pijler (hoort eigenlijk niet meer aanwezig te zijn)
#=====
#
# CODE 101-300  : Ruwheids formulering volgens de formule van White-Colebrook
# Formulenr     : 51
# Parameter     : k-Nikuradse (m)
#
101 51 0.20     # default waarde
102 51 0.15     # diepe bedding
103 51 0.15     # ondiepe bedding
104 51 0.15     # strang
105 51 0.20     # nevengeul
106 51 0.05     # plas/haven/slikkige oever
111 51 0.15     # kribvakstrand/zandplaat/grindplaat
112 51 0.40     # ruwe oever
113 51 0.30     # steenbekleding
114 51 0.60     # bebouwd/verhard terrein
115 51 1.00     # bebouwd terrein
116 51 0.20     # verhard terrein
121 51 0.20     # akker
122 51 0.25     # strooisel
131 51 0.63     # vaste laag Nijmegen
132 51 0.34     # vaste laag St. Andries
133 51 0.68     # bodem kribben Erlecom
#
161 51 3.00     # oever met begroeiing Brokx_kl, dit is een Ruimte voor de
Rivier maatregel
#
# De volgende codes zijn toegevoegd voor de Vegetatielegger
201 51 0.15     # water
202 51 0.60     # verhard
#
#=====
#

```



```

# CODE 301-500 : Ruwheids formulering volgens de formule van Manning
# Formulenr : 53
# Parameter : n-waarde (s/m^(1/3))
#
301 53 0.0263 # default waarde
302 53 0.0263 # diepe meerbodem
303 53 0.0283 # ondiepe meerbodem
304 53 0.024 # diep getijdewater
305 53 0.022 # ondiep getijdewater
#
#=====
#
# CODE 501-600 : Chezy waarde
# Formulenr : 52
# Parameter : Chezy-waarde (m^(1/2)/s)
#
501 52 45.0 # default waarde
#
#=====
#
# CODE 601-900 : Simplified van Rijn
# Formulenr : 101
# Parameter1 : alfa - A (m^(0.3))
# Parameter2 : beta - B (m^(0.3))
#
601 101 0.1 2.5 # zomerbed default
#
#=====
#
# CODE 1201-1400 : Ruwheids formulering voor door- en overstroomde vegetatie (Barneveld 2)
# Formulenr : 152
# Parameter1 : vegetatiehoogte - hv (m)
# Parameter2 : vegetatiedichtheid - n = m*D ((1/m), met m = het aantal stammen per m2 en D = de
diameter van de stammen
# Parameter3 : drag coefficient - CD (-)
# Parameter4 : k-Nikuradse - kb (m): (onderlaag begroeiing)
#
1201 152 0.06 45. 1.8 0.1 # productiegrasland
1202 152 0.10 12. 1.8 0.1 # natuurlijk gras/hooiland
1203 152 0.20 15. 1.8 0.1 # verruigd grasland
1211 152 0.30 3. 1.8 0.1 # akkerdistelruigte
1212 152 0.56 0.23 1.8 0.1 # droge ruigte
1213 152 0.50 0.56 1.8 0.1 # dauwbraamruigte
1214 152 0.95 0.13 1.8 0.1 # wilgenroosje ruigte
1215 152 2.00 0.16 1.8 0.1 # rietruigte
1221 152 0.35 0.25 1.8 0.1 # natte ruigte homogeen
1222 152 0.30 1.2 1.8 0.1 # zegge homogeen
1223 152 1.00 0.4 1.8 0.1 # rietgras homogeen
1224 152 0.50 1.2 1.8 0.1 # biezen homogeen
1225 152 1.50 0.35 1.8 0.1 # lisdodde homogeen
1226 152 2.50 0.37 1.8 0.1 # riet homogeen
1231 152 6.00 0.13 1.5 0.4 # zachthoutstruweel
1232 152 3.00 0.041 1.5 0.4 # griend
1233 152 5.00 0.17 1.5 0.4 # doornstruweel

```

```

1241 152 10.00 0.011 1.5 0.3      # productiebos hardhout
1242 152 10.00 0.010 1.5 0.3      # productiebos zachthout
1243 152 10.00 0.016 1.5 0.3      # productiebos naaldhout
1244 152 10.00 0.023 1.5 0.4      # hardhoutooibos
1245 152 10.00 0.028 1.5 0.6      # zachthoutooibos
1246 152 3.00 0.024 1.5 0.2      # boomgaard laagstam
1247 152 6.00 0.01 1.5 0.2      # boomgaard hoogstam
1250 152 0.15 0.15 1.8 0.1      # pioniervegetatie
#
# Aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#
1301 152 1.00 0.130 1.5 0.4      # zachthoutstruweel, hoogte 1.00 m
1305 152 2.00 0.130 1.5 0.4      # zachthoutstruweel, hoogte 2.00 m
1311 152 5.00 0.130 1.5 0.4      # zachthoutstruweel, hoogte 5.00 m
1316 152 8.00 0.130 1.5 0.4      # zachthoutstruweel, hoogte 8.00 m
1362 152 0.50 0.041 1.5 0.4      # griend, hoogte 0.50 m
1365 152 1.50 0.041 1.5 0.4      # griend, hoogte 1.50 m
1379 152 0.20 0.041 1.5 0.4      # griend, hoogte 0.20 m
#
# Einde aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#
#=====
#
# CODE 1501-1600 : Ruwheids formulering voor door- en overstromde bomen
# Formulenr      : 152
# Parameter1     : vegetatiehoogte - hv (m)
# Parameter2    : drag coefficient - CD (-)
#
1501 251 1.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 1.00 m
1502 251 2.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 2.00 m
1503 251 3.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 3.00 m
1504 251 4.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 4.00 m
1505 251 5.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 5.00 m
1506 251 6.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 6.00 m
1507 251 7.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 7.00 m
1508 251 8.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 8.00 m
1509 251 9.00 1.5      # individuele bomen, hoogte 9.00 m
1510 251 10.00 1.5     # individuele bomen, hoogte 10.00 m
#
#=====
#
# CODE 1601-1700 : Ruwheids formulering voor door- en overstromde heggen (hedges 2)
# Formulenr      : 202
# Parameter1     : de vegetatie hoogte - hv (m)
# Parameter2     : vegetatiedichtheid - n = m*D ((1/m), met m = het aantal stammen per m2 en D =
de diameter van de stammen
# Parameter3     : drag coefficient
# Parameter4     : overlaat coefficient
#
1601 202 1.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1602 202 1.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1603 202 1.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1604 202 2.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1605 202 2.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open

```

```

1606 202 2.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1607 202 3.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1608 202 3.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1609 202 3.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1610 202 4.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1611 202 4.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1612 202 4.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1613 202 5.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1614 202 5.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1615 202 5.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1616 202 6.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1617 202 6.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1618 202 6.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
#
#=====
#
# CODE 1801-1999 : Ruwheids combinatie
# Formulenr      : 2
# Parameter1     : de code van de eerste ruwheid - T1
# Parameter2     : de code van de tweede ruwheid - T2
# Parameter3     : het percentage van T1 - alpha (0.001 - 0.75 - 0.999)
# Parameter4     : het percentage van T2 - beta (0.001 - 0.25 - 0.999)
#
1801 2 1221 106 0.75 0.25      # 75% natte ruigte + 25% water
1802 2 1245 1801 0.05 0.95     # 5% zachthoutooibos + 95% (natte ruigte met 25% water)
1803 2 1222 122 0.75 0.25     # 75% zegge + 25% strooisel
1804 2 1223 106 0.75 0.25     # 75% rietgras + 25% water
1805 2 1224 106 0.75 0.25     # 75% biezen + 25% water
1806 2 1225 106 0.75 0.25     # 75% lisdodde + 25% water
1807 2 1226 122 0.75 0.25     # 75% riet + 25% strooisel

1808 2 1245 1231 0.50 0.50     # 50% zachthoutooibos + 50% zachthoutstruweel
1809 2 1203 1245 0.90 0.10     # 90% verruigd grasland + 10% zachthoutooibos

1811 2 1250 1245 0.95 0.05     # 95% pioniervegetatie + 5% zachthoutooibos
1812 2 1202 1245 0.80 0.20     # 80% natuurlijk gras/hooiland + 20% zachthoutooibos
1813 2 1203 1231 0.80 0.20     # 80% verruigd grasland + 20% zachthoutstruweel
1814 2 1223 1231 0.95 0.05     # 95% rietgras homogeen + 5% zachthoutstruweel
1815 2 1226 1231 0.70 0.30     # 70% riet homogeen + 30% zachthoutstruweel
1816 2 1231 1245 0.80 0.20     # 80% zachthoutstruweel + 20% zachthoutooibos
1817 2 1221 1245 0.95 0.05     # 95% natte ruigte homogeen + 5% zachthoutooibos
1818 2 1221 1231 0.70 0.30     # 70% natte ruigte homogeen + 30% zachthoutstruweel
1819 2 1212 1231 0.90 0.10     # 90% droge ruigte + 10% zachthoutstruweel

1820 2 1202 1241 0.75 0.25     # 75% natuurlijk gras/hooiland + 25% produktiebos hardhout
1821 2 1201 1241 0.75 0.25     # 75% produktiegrasland + 25% produktiebos hardhout
1822 2 121 1233 0.95 0.05     # 95% akker + 5% doornstruweel
1823 2 1202 1244 0.25 0.75     # 25% natuurlijk gras/hooiland + 75% hardhoutooibos

1850 2 1222 1231 0.80 0.20     # 80% zegge + 20% zachthoustruweel
1851 2 1202 1245 0.50 0.50     # 50% natuurlijk gras/hooiland + 50% zachthoutooibos
1852 2 1202 1231 0.95 0.05     # 95% natuurlijk gras/hooiland + 5% zachthoutstruweel
1853 2 1202 1231 0.75 0.25     # 75% natuurlijk gras/hooiland + 25% zachthoutstruweel
1854 2 1202 1231 0.90 0.10     # 90% natuurlijk gras/hooiland + 10% zachthoutstruweel

```

1855 2 1202 1212 0.90 0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland + 10% droge ruigte
1856 2 1231 1855 0.05 0.95	# 5% zachthoutstruweel + 95% 1855
1857 2 1202 1223 0.75 0.25	# 75% natuurlijk gras/hooiland + 25% rietgras homogeen
1858 2 1245 1857 0.05 0.95	# 5% zachthoutooibos + 95% 1857
1892 2 1226 106 0.75 0.25	# 75% riet homogeen + 25% plas/haven/slikkige
oever	
1893 2 1245 1892 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos + 80% 1892
1859 2 1212 1231 0.85 0.15	# 85% droge ruigte + 15% zachthoutstruweel
1860 2 111 1212 0.40 0.60	# 40% kribvak + 60% droge ruigte
1862 2 1245 1853 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos + 60% natuurlijk gras/hooiland + 20%
zachthoutstruweel	
1863 2 1860 1862 0.50 0.50	# 20% kribvak + 30% droge ruigte + 10% zachthoutooibos + 30%
natuurlijk gras/hooiland + 10% zachthoutstruweel	
1864 2 1202 1231 0.70 0.30	# 70% natuurlijk gras/hooiland + 30% zachthoutstruweel
1865 2 106 1231 0.83 0.17	# 83% slikkige oever + 17% zachthoutstruweel
1866 2 1245 1223 0.50 0.50	# 50% zachthoutooibos + 50% rietgras
1867 2 1865 1866 0.75 0.25	# 61% slikkige oever + 13% zachthoutstruweel + 13%
zachthoutooibos + 13% rietgras	
1868 2 111 1867 0.60 0.40	# 60% kribvak + 25% slikkige oever + 5% zachthoutstruweel +
5% zachthoutooibos + 5% rietgras	
1869 2 1203 1231 0.95 0.05	# 95% verruigd grasland + 5% zachthoutstruweel
1870 2 1202 1231 0.99 0.01	# 99% natuurlijk gras/hooiland + 1% zachthoutstruweel
1871 2 1202 1231 0.975 0.025	# 97,5% natuurlijk gras/hooiland + 2,5% zachthoutstruweel
1872 2 1202 1231 0.98 0.02	# 98% natuurlijk gras/hooiland + 2% zachthoutstruweel
1874 2 1212 1231 0.20 0.80	# 20% droge ruigte + 80% zachthoutstruweel
1875 2 1212 1231 0.95 0.05	# 95% droge ruigte + 5% zachthoutstruweel
1876 2 1231 1801 0.25 0.75	# 25% zachthoutstruweel + 75% (natte ruigte met 25% water)
1877 2 1231 1803 0.20 0.80	# 20% zachthoutstruweel+ 80% (zegge met 25% strooisel)
1879 2 114 1231 0.90 0.10	# 90% bebouwd/verhard terrein + 10% zachthoutstruweel
1880 2 1222 1223 0.50 0.50	# 50% zegge + 50% rietgras
1881 2 1202 1231 0.85 0.15	# 85% natuurlijk gras/hooiland + 15% zachthoutstruweel
1882 2 1203 1231 0.975 0.025	# 97,5% verruigd grasland + 2,5% zachthoutstruweel
1886 2 1203 1231 0.90 0.10	# 90% verruigd grasland + 10% zachthoutstruweel
1887 2 1202 1212 0.50 0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland + 50% droge ruigte
1888 2 1231 1887 0.05 0.95	# 5% zachthoutstruweel + 47,5% natuurlijk gras/hooiland +
47,5% droge ruigte	
1889 2 1231 1887 0.10 0.90	# 10% zachthoutstruweel + 45% natuurlijk gras/hooiland + 45%
droge ruigte	
1890 2 1202 1231 0.50 0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland + 50% zachthoutstruweel
1891 2 1203 1231 0.97 0.03	# 97% verruigd grasland + 3% zachthoutstruweel
1906 2 1202 1245 0.90 0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland + 10% zachthoutooibos
1907 2 111 1231 0.88 0.12	# 88% kribvakstrand/zandplaat + 12% zachthoutstruweel
1908 2 111 1231 0.80 0.20	# 80% kribvakstrand/zandplaat + 20% zachthoutstruweel
1909 2 1245 1804 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos + 80% (rietgras met 25% water)
1910 2 1202 1245 0.95 0.05	# 95% natuurlijk gras/hooiland + 5% zachthoutooibos
1911 2 1212 1231 0.80 0.20	# 80% droge ruigte + 20% zachthoutstruweel
1912 2 1202 1231 0.80 0.20	# 80% natuurlijk gras/hooiland + 20% zachthoutstruweel
1913 2 106 1226 0.75 0.25	# 75% water + 25% riet homogeen
1914 2 111 1912 0.40 0.60	# 40% kribvakstrand + 48% natuurlijk gras/hooiland + 12%
zachthoutstruweel	
1915 2 106 1222 0.40 0.60	# 40% water + 60% zegge homogeen
1916 2 1226 1915 0.50 0.50	# 50% riet homogeen + 20% water + 30% zegge homogeen

```

1917 2 1202 1212 0.95 0.05      # 95% natuurlijk grasland/hooiland + 5% droge ruigte
1918 2 1213 1231 0.90 0.10      # 90% dauwbraamruigte + 10% zachthoutstruweel
1919 2 1215 1231 0.95 0.05      # 95% rietruigte + 5% zachthoutstruweel
1920 2 1215 1231 0.90 0.10      # 90% rietruigte + 10% zachthoutstruweel
1921 2 1801 1245 0.80 0.20      # 80% natte ruigte met 25% water + 20% zachthoutoobos
1922 2 1212 1245 0.80 0.20      # 80% droge ruigte + 20% zachthoutoobos
1933 2 1801 1231 0.95 0.05      # 95% natte ruigte met 25% water + 5% zachthoutstruweel
1934 2 1801 1231 0.90 0.10      # 90% natte ruigte met 25% water + 10% zachthoutstruweel
1935 2 1801 1231 0.80 0.20      # 80% natte ruigte met 25% water + 20% zachthoutstruweel
1936 2 1803 1231 0.95 0.05      # 95% zegge met 25% strooisel + 5% zachthoutstruweel
1937 2 1803 1231 0.90 0.10      # 90% zegge met 25% strooisel + 10% zachthoutstruweel
1938 2 1807 1231 0.95 0.05      # 95% riet met 25% strooisel + 5% zachthoutstruweel
1939 2 1807 1231 0.90 0.10      # 90% riet met 25% strooisel + 10% zachthoutstruweel
1940 2 1807 1231 0.80 0.20      # 80% riet met 25% strooisel + 20% zachthoutstruweel
1941 2 1202 1212 0.70 0.30      # 70% natuurlijk grasland + 30% droge ruigte
#-----
# VEGETATIELEGGER
#-----
# Geaggregeerde klassen - Koen Volleberg - 15-06-2012
# Aangepast voor vegetatieverdeling 2012 (Bas van Dongen, Arcadis, 04-01-2015)
#
# tussenstappen voor Homogene klassen
1970 2 1201 1202 0.561757253 0.438242747      # Gras 1 (prod. gras & nat. gras)
1971 2 111 121 0.07415936 0.92584064      # Gras 2 (zand en akker)
1972 2 1212 1804 0.87552542 0.12447458      # Ruigte 1
1973 2 1242 1244 0.212045693 0.787954307      # Bos 1
1974 2 1245 1246 0.846018535 0.153981465      # Bos 2
1975 2 1973 1974 0.578653494 0.421346506      # Bos 3
1976 2 1970 1971 0.731872562 0.268127438      # Gras 3 (prod. gras, nat. gras, zand en akker)
#
# Homogene klassen
#
1981 2 1250 1976 0.036775031 0.963224969      # gras en akker
1982 2 1807 1972 0.126268683 0.873731317      # riet en ruigte
1983 2 1975 1247 0.972225202 0.027774798      # bos
1984 2 1231 1233 0.597832635 0.402167365      # struweel
#
# tussenstappen voor Mengklassen
1989 2 1981 1982 0.50 0.50      # 50% gras en akker + 50% riet en ruigte
1993 2 1981 1982 0.25 0.75      # 25% gras en akker + 75% riet en ruigte
#
# Mengklassen (op basis van verdelingspercentages interventiewaarden)
#
1996 2 1981 1984 0.80 0.20      # 80% gras en akker + 20% struweel
| Mengklasse 90/10
1997 2 1989 1984 0.60 0.40      # 30% gras en akker + 30% riet en ruigte + 40%
struweel | Mengklasse 70/30
1998 2 1993 1984 0.40 0.60      # 10% gras en akker + 30% riet en ruigte + 60%
struweel | Mengklasse 50/50
#
#-----
#
# CODE 2000-6000 : Zomerbed
#

```

```

#####
#
# RIJNTAKKEN          2000 t/m 2099
# MAAS                2100 t/m 2199
# RIJNMAASMONDING    2200 t/m 2299
# OVERIJSSELSE VECHT 2300 t/m 2399
# IJSSELMEER-IJSSELVECHTDELTA 2400 t/m 2499
# MARKERMEER-GOOIMEER-EEMMEER 2500 t/m 2599
# VELUWERANDMEREN    2600 t/m 2699
# VOLKERAK-ZOOMMEER  2700 t/m 2799
# GREVELINGEN        2800 t/m 2899
# OOSTERSCHELDE-VEERSEMEER 2900 t/m 2999
# WESTERSCHELDE      3000 t/m 3099
# WADDENZEE          3100 t/m 3199
# NOORDZEE           3200 t/m 3299
# NOORDZEEKANAAL-AMSTERDAM-RIJNKANAAL 3300 t/m 3399
# DUITSE RHEIN       5000 t/m 5099
#
#*****
#
# Basisruwheden zomerbed RIJNTAKKEN (6e generatie) startend vanaf 2000 t/m 2099
#
#*****
#-----
# Bovenrijn en Duitse Rijn (Simplified van Rijn)
#-----
2000 101 0.038 2.5          # DR_846.5-851.9
2001 101 0.038 2.5          # DR_851.9-856.7
2002 101 0.038 2.5          # BR_856.7-867.5
#-----
# Waal (Simplified van Rijn)
#-----
2003 101 0.055 2.5          # WL_867.5-873.2
2005 101 0.070 2.5          # WL_binnenbocht-bodemkribben-Erlecom
2006 101 0.055 2.5          # WL_876.0-883.1
2008 101 0.058 2.5          # WL_binnenbocht-vaste-laag-Nijmegen
2009 101 0.055 2.5          # WL_885.1-888.0
2010 101 0.083 2.5          # WL_888.0-904.0
2011 101 0.100 2.5          # WL_904.0-925.0
2013 101 0.100 2.5          # WL_binnenbocht-vaste-laag-Sint-Andries
2014 101 0.094 2.5          # WL_928.2-939.5
2015 101 0.075 2.5          # WL_939.5-951.0
#-----
# Vaste lagen Waal met Nikuradse
#-----
2004 51 0.68                # WL_Bodemkribben-Erlecom
2007 51 0.63                # WL_Vaste-laag-Nijmegen
2012 51 0.34                # WL_Vaste-laag-Sint-Andries
#-----
# Boven-Merwede (Simplified van Rijn)
#-----
2016 101 0.050 2.5          # BO_951.0-962.5
#-----
# Pannerdensch Kanaal (Simplified van Rijn)

```

```

#-----
2017 101 0.057 2.5          # PK_867.7-874.0
2018 101 0.040 2.5          # PK_874.0-878.6
#-----
# Neder-Rijn Lek (Simplified van Rijn)
#-----
2019 101 0.047 2.5          # NR_878.6-891.5
2020 101 0.047 2.5          # NR_891.5-922.3
2021 101 0.049 2.5          # NR_922.3-LE_946.8
2022 101 0.075 2.5          # LE_946.8-954.0
2023 101 0.050 2.5          # LE_954.0-960.0
2024 101 0.045 2.5          # LE_960.0-988.7
#-----
# IJssel (Simplified van Rijn)
#-----
2025 101 0.044 2.5          # IJ_878.6-920.0
2026 101 0.075 2.5          # IJ_920.0-937.0
2027 101 0.092 2.5          # IJ_937.0-954.0
2028 101 0.083 2.5          # IJ_954.0-965.0
2029 101 0.064 2.5          # IJ_965.0-980.0
2030 101 0.050 2.5          # IJ_980.0-992.0
2031 101 0.043 2.5          # IJ_992.0-1001.8
2032 101 0.043 2.5          # KE_1001.8-1006.0

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed MAAS (6e generatie) startend vanaf 2100 t/m 2199
#
#*****
# Opdeling in twee trajecten:
# - Grensmaas (tot stuw Linne): White Colebrook, ks - 0.30
# - Maas (vanaf stuw Linne): Simplified van Rijn, alpha - 0.10, beta - 2.5
2100 51 0.30                # Grensmaas (tot stuw Linne)
2101 101 0.1 2.5            # Maas (vanaf stuw Linne)
#
#*****
#
# Basisruwheden zomerbed RIJNMAASMONDING (6e generatie) startend vanaf 2200 t/m 2299
#
#*****
#-----
# Nieuwe Maas
#-----
2200 53 0.0260              # KrimpapLek-Geulhavn
#-----
# Nieuwe Waterweg
#-----
#2201 DISCHARGE NW_1024.00_QR_Maassluis-HoekvanHolland # Geulhaven-Maasmond
#2201 -1.0 53 0.0290 # landinwaarts, vloed
#2201 1.0 53 0.0100 # zeewaarts, eb
2201 53 0.0290              # Geulhaven-Maasmond (landinwaarts, vloed/eb,
bovenstaande geeft error)
#-----
# Beneden Merwede

```

```

#-----
2202 101 0.036 2.5 # Hardinxveld-Dordrecht
#-----
# Oude Maas
#-----
2203 53 0.0270 # Dordrecht-Geulhavn
#-----
# Noord
#-----
2204 53 0.0250 # Dordt-Krimp ad Lek
#-----
# Nieuwe Merwede
#-----
2205 101 0.027 2.5 # Hardinxveld-Moerdijk
#-----
# Dordtsche Kil
#-----
2206 53 0.0260 # Dordtsche Kil
#-----
# Spui
#-----
2207 53 0.0260 # splOMSpui - splSpuiHV
#-----
# Amer
#-----
2208 53 0.0240 # Keizersv-splNiMwAmer
#-----
# Hollandsch Diep
#-----
2209 53 0.0240 # Moerdijk - Rak noord
#-----
# Haringvliet
#-----
2210 53 0.0250 # Rak nrd-Hvsl
#-----
# Hollandsche IJssel
#-----
2211 53 0.0260 # KrimpadiJssl-Gouda
#-----
# Hartelkanaal
#-----
2212 53 0.0250 # Hartelbrug-Hartlhavn
#-----
# Calandkanaal
#-----
2213 53 0.0290 # Calandkanaal
#-----
# Beerkanaal
#-----
2214 53 0.0310 # Mississiphvn-Beerkan
#
#*****
#
# Basisruwheden zomerbed OVERIJSSELSE VECHT (6e generatie) startend vanaf 2300 t/m 2399

```



```

#
#*****
2300 101 0.06 2.5          # Emlichheim - Hardenberg: Simplified van Rijn
2301 101 0.05 2.5          # Hardenberg - Mond der Vecht: Simplified van Rijn
2302 51 0.15               # Zwolle-IJsselkanaal: Nikuradse
2303 101 0.04 2.5          # Zwarte Water: : Simplified van Rijn
2304 53 0.0263             # Zwarte Meer: Manning same value as Ketelmeer
2305 51 0.15               # Meppelerdiep: Nikuradse

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed IJSSELMEER-IJSSELVECHTDELTA (6e generatie) startend vanaf 2400 t/m 2499
#
#*****
2400 53 0.022              # IJsselmeer
2401 53 0.0263            # KM_Ketelmeer
2402 53 0.0263            # VS_Vossemeer

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed MARKERMEER-GOOIMEER-EEMMEER (6e generatie) startend vanaf 2500 t/m 2599
#
#*****
2500 53 0.0263            # Markermeer
2501 53 0.0263            # IJmeer
2502 53 0.0263            # Gooimeer
2503 53 0.0263            # Eemmeer
2504 51 0.05              # Eem

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed VELUWERANDMEREN (6e generatie) startend vanaf 2600 t/m 2699
#
#*****
2600 53 0.0263            # Nulderneau
2601 53 0.0263            # Wolderwijd
2602 53 0.0263            # Veluwemeer
2603 53 0.0263            # Drontermeer

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed VOLKERAK-ZOOMMEER (6e generatie) startend vanaf 2700 t/m 2799
#
#*****
2700 53 0.0270            # vo_krammersluizen_al
2701 53 0.0270            # Zoommeer
2702 53 0.0270            # Schelde-Rijnkanaal
2703 53 0.0270            # Bathse Spuikanaal
#Info van Meinard: in het huidige VZM model zijn geen ttd en cld-files gebruikt !!

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed GREVELINGEN (6e generatie) startend vanaf 2800 t/m 2899
#

```

```

#*****
2800 53 0.022                               # Grevelingen

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed OOSTERSCHELDE-VEERSEMEER (6e generatie) startend vanaf 2900 t/m 2999
#
#*****
2900 53 0.022                               # Oosterschelde deel 1 (westelijk)
2901 53 0.022                               # Oosterschelde deel 2 (midden)
2902 53 0.022                               # Oosterschelde deel 3 (oostelijk)
2910 53 0.022                               # Deze ruwheidscode vervangt de vorige
ruwheidsscode 102 (diepe beding) in de Oosterschelde
2950 53 0.023                               # Veerse meer

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed WESTERSCHELDE (6e generatie) startend vanaf 3000 t/m 3099
#
#*****
#3000 : Nog niet bekend                       # Westerschelde

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed WADDENZEE (6e generatie) startend vanaf 3100 t/m 3199
#
#*****
#3100                                         # Waddenzee
#3101                                         # EemsKust
#3102                                         # EemsDollardKust
#3103                                         # EemsDollard
#3104                                         # Eems
#3105                                         # Leda
#3106                                         # Jomme
#3107                                         # Waddenkust
3108 53 0.020                               # Hollandse kust
#Info van Roy van Weerdenburg: Ik ben niet bekend met *.ttf en *.cld bestanden. We leggen de
ruwheidsvelden nu op met een *.xyz bestand.
#Voor het Waddenzee model gebruiken we de ruwheidsvelden van DCSM-FM 2D 100m.

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed NOORDZEE (6e generatie) startend vanaf 3200 t/m 3299
#
#*****
3200 53 0.020                               # Noordzee nieuw (ZWD)
3201 53 0.020                               # Noordzee kust nieuw(RMM)
#307 53 0.020                               # Noordzee (RMM)
#308 53 0.020                               # Noordzee kust (RMM)
#Info van Firmijn: De kalibratie van DCSM-FM gaat niet via de trachytopen functionaliteit. We
geven manning ruwheden via de ext-file op,
#samen met een bij de afregeling bepaalde vermenigvuldigingsfactor. Vanuit DCSM-FM komen er dus
geen aanvullende waarden voor het ttd-bestand.

```

```

#*****
#
# Basisruwheden zomerbed NOORDZEEKANAAL-AMSTERDAM-RIJNKANAAL (6e generatie) startend vanaf 3300
t/m 3399
#
#*****
3300 51 0.15 # Noordzeekanaal # based on 102
3301 51 0.15 # Amsterdam-Rijnkanaal # based on 102
3302 51 0.15 # Lekkanaal # based on 102
3303 51 0.15 # Merwedekanaal # based on 102
3304 51 0.15 # Vaartse Rijn # based on 102
3305 51 0.15 # Oude Vaartse Rijn # based on 102
#
#=====
#
# Einde roughcombination
#
#=====

```

## D.6 Voorbeeld projectie van j19

Onderstaande figuren geven enkele voorbeelden van de projectie van het j19 model met het definitieve rooster. De verschillende kleuren weergegeven de fixed weirs (blauw), thin dams/dry area/enclosure (roze), kunstwerken (zwart), cross section (groen).

# E Maatregelen Overijsselse Vechtdelta

In onderstaande Tabel is een opsomming gegeven van verschillende maatregelen die zijn uitgevoerd in de Overijsselse Vechtdelta, die invloed hebben op de hydraulica. In oranje zijn de maatregelen vanaf 2016 aangegeven en in geel de geplande (toekomstige) maatregelen.

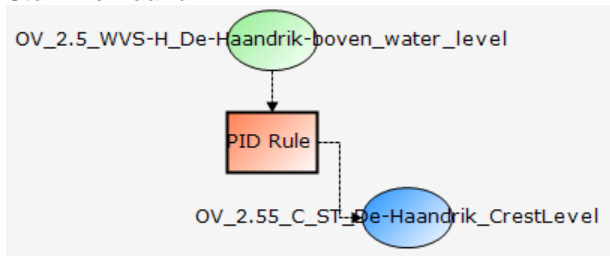
gereed	water	KMR	Oever	Beheerder	Data	naam + korte beschrijving van de maatregel
1998-2004	ZW	17-18	L	RWS-ON	DTB2004	Cellemuiden situatie na 1998: ophoging 3 kades tussen Zwartsluis en Genemuiden
2005	ZW	0-20	B	RWS-ON	-	ecotopenkartering 2005
2005	ZW	3,5	R	RWS-ON	DTB2011	wijziging bebouwing
2005	ZW	9,5	L	RWS-ON	DTB2009	sloop woningen langs bandijk en verlagings terrein
2007	ZW	10	R	RWS-ON	DTB2011	Hasselt egalisatie terrein voormalige scheepswerf
2008	ZW	0-20	B	RWS-ON	-	ecotopenkartering 2008
2008	ZW	10,5	R	RWS-ON	DTB2011	wijziging bebouwing scheepswerf Bodewesterrein
2008	ZW	11,5-12	R	RWS-ON	AHN	aanleg plasjes en rietmoeras
2009	ZW	13	R	RWS-ON	DTB2009	aantakking plas aan rivier
2012	ZW	0-20	B	RWS-ON	-	ecotopenkartering 2012
2013	ZW	1	R	RWS-ON	DTB2015	uitbreiding haven
2013?	ZW	2	L	RWS-ON	DTB2013	verlegging bandijk rivierwaarts+aanleg haven
2013?	ZW	11	L	RWS-ON	-	aanleg vooroeververdediging
2014	ZW	8,5	R	RWS-ON	-	aanleg plasjes in riet
2014	ZW	11	R	RWS-ON	-	aanleg plasjes in riet
2014?	ZW	11	R	RWS-ON	DTB2014	Molenwaardse streng, uitbaggeren en aanleg vooroeververdediging monding
2014	ZW	13	R	RWS-ON	-	aanleg plasjes en rietmoeras
2014	ZW	14-15	R	RWS-ON	-	aanleg plasjes en rietmoeras + nieuwe kade
2014	ZW	18	L	RWS-ON	DTB2017	vergroting industriehaven Genemuiden (zie ook vergunning)
2015	ZW	0	L	RWS-ON	-	wijziging terrein naast keersluis, sloop gebouw, verlegging weg
2015	ZW	8,5-10	L	RWS-ON	-	wijziging bebouwing industrieterrein Hasselt
2016	ZW	8	R	RWS-ON	AHN3	aanleg kades (paden), bruggetje
2017	ZW	0-20	B	RWS-ON	-	ecotopenkartering 2017
2017	ZW	16	R	RWS-ON	DTB2018	ombouw Nespelerdiepkeersluis tot schutsluis
2018	ZW	7	L	RWS-ON	-	wijziging bebouwing boerderij
2018	ZW	10,5	L	RWS-ON	-	aanleg plasje onderaan dijk
2013	ZM			RWS-ON	-	proefproject rietherstel zuidoever nabij Stikkenpolderweg (lufo2014)
2015	ZM			RWS-ON	-	aanleg twee eilandjes oostzijde met ondieptes (Snorre en Kraggenooog)
2017-2019	ZM			RWS-ON	-	rietherstel zuidoever Natuurmonumenten "Roerdamp-in-het-net"
2013	ZM			RWS-ON	DTB2014	Nieuwe Ramspluig in N50 + sloop oude brug
2018	ZM			WDOOD		dijkversterking Kampereilanden
2016	OV	36-37		WDOOD		Gebiedsontwikkeling Varse
ca 2002	OV	36		WDOOD		Aanleg Voorbeekplaspolder Vlisteren
2012	OV	37		WDOOD		Ontstening Varse
2015	OV	39-41		WDOOD		Aanleg nevengeul Vlisteren
2014	OV	40-43		WDOOD		Natuurvriendelijke oever Vlisteren-Dalfsen
ca 2015	OV	41-42		WDOOD		Dijkversterking Hessum
2014	OV	46		WDOOD		Aanleg Vechtpark Dalfsen
2014	OV	46		WDOOD		Aanleg waterfront Dalfsen
ca 2000	OV	46		WDOOD		Watervoorzieningsplan Dalfsen (Emmertochtsloot)
2015	OV	49		WDOOD		Aanleg groene geul Vechterweerd
2015	OV	49		WDOOD		Aanleg toegangbrug stuwwatercomplex Vechterweerd
2006	OV	49-51		WDOOD		Ontstening oever Vechterweerd
2014	OV	53-54		WDOOD		Aanleg Vechtcorridor
2007	OV	54		WDOOD		Aanleg struinaard Berkum
2012	OV	57-60		WDOOD		Ontstening oevers Vecht
ca 2010	OV	57		WDOOD		Aanleg natuurbuffer Agnietenberg
2010	OV	58-59		WDOOD		Aanleg nevengeul Den Doorn
2019/2020	OV			WVS		Karshoek-Stegeren
2019/2020	OV			WVS		Rheerzermaten
2014 - 2016	OV			WVS		Grensmeander
2010-2017?	OV			WVS		Vechtparken Hardenberg
2021	OV			WVS		Gramsbergen
2020	OV			WVS		Baelder Uiterwaard
2009	OV			WVS		Loozensche Linie
2004	OV			WVS		Ulenkamp
2012	OV			WVS		Nevengeul Junne fase 1
2008	OV			WVS		Molnarsch
2018	OV			WVS		Vechtoever Zuid
2016	OV			WVS		Vechtoever Noord
2019	OV			WVS		Sluis Junne
2019	OV			WVS		Sluis Marienberg
2013	OV			WVS		sluis Hardenberg
1999 - 2000	OV			WVS		Aanleg Noord en Zuid meene
2020/2021	OV			WVS		Stuw Junne
2017	OV			WVS		Kerlingen Vecht
2012	OV			WVS		Kerlingen Vecht
2008	OV			WVS		Brecht
??	OV			WVS		De Haandrik - Vecht
2017	DV	74.30		Lk Gs Bentheim		Gewässerentwicklung a. d. Vechte bei Laar
2001	DV	94.13		NLWKN		Wehr Tinhoht
2004	DV	101.98		NLWKN		Wehr Neuenhaus
2017 - 2019	DV	106.44		NLWKN		Wehr Grasdorf
2005	DV	106.44		NLWKN		Wehr Grasdorf
2018	DV	110.00		NLWKN		Frenswegen
2012	DV	109.63		Lk Gs Bentheim		Anschluss Altarm Frenswegen
2004	DV	114.68		NLWKN		Ölmühlenwehr Nordhorn
2008	DV	121.48		NLWKN		Wehr Brandlecht
2005	DV	124.49		NLWKN		Kulturstau Eistup
2006	DV	127.22		NLWKN		Kulturstau Rohrbach
2009	DV	129.22		NLWKN		Kulturstau Gansfort
2003	DV	131.13		NLWKN		Kulturstau Löbmann
2008	DV	135.59		NLWKN		Wehr Schüttorf
2010	DV	137.00		NLWKN		Wehr Samern
2009	DV	138.97		NLWKN		Kulturstau Samern
2018	DV	139.64		NLWKN		Herstellung der Durchgängigkeit d. Vechte bei Samern
2009	DV	141.97		NLWKN		Kulturstau Büter
2009	DV	143.93		NLWKN		Kulturstau Ohne

# F Schematisatie kunstwerken

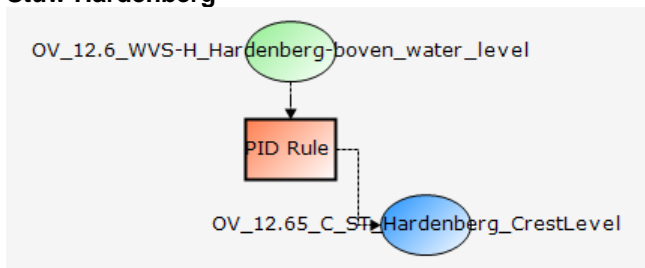
## F.1 Aansturing kunstwerken operationeel

De volgende afbeeldingen bevatten het stroomschema van de sturing zoals opgenomen in het *operationele* model.

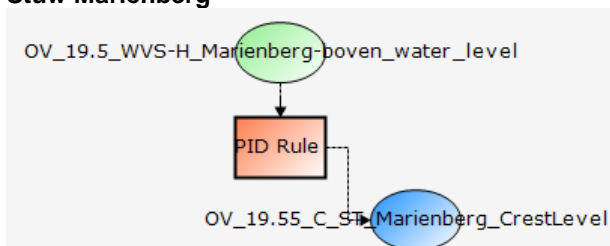
### F.1.1 Stuw De Haandrik



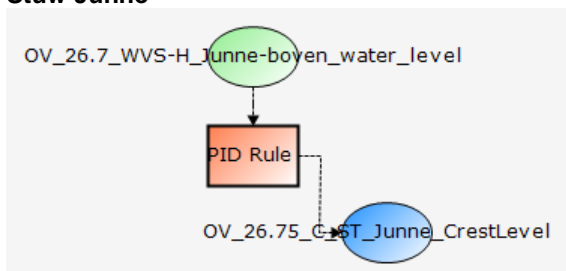
### F.1.2 Stuw Hardenberg



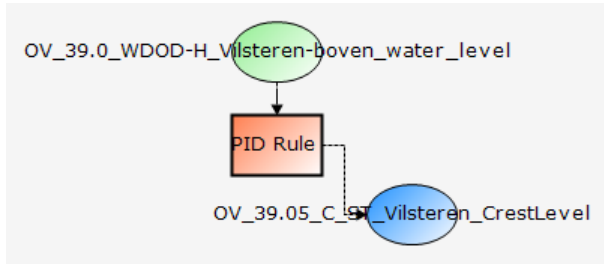
### F.1.3 Stuw Marienberg



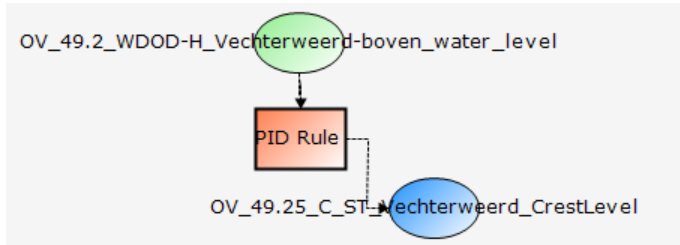
### F.1.4 Stuw Junne



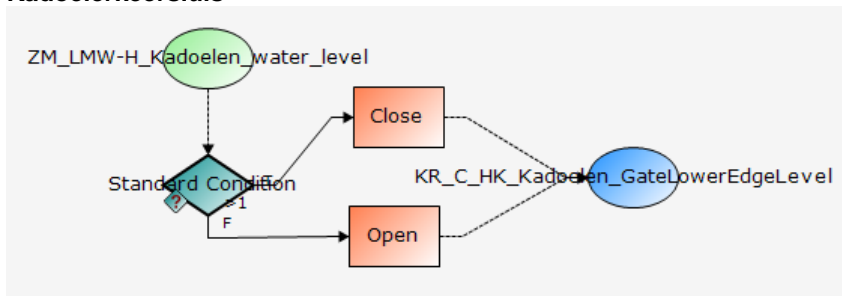
**F.1.5 Stuw Vilsteren**



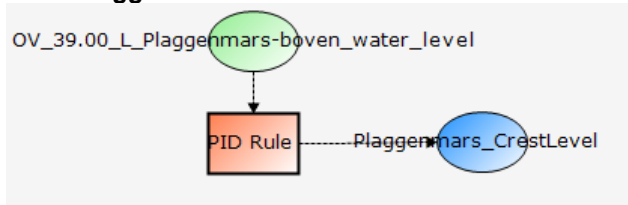
**F.1.6 Stuw Vechterweerd**



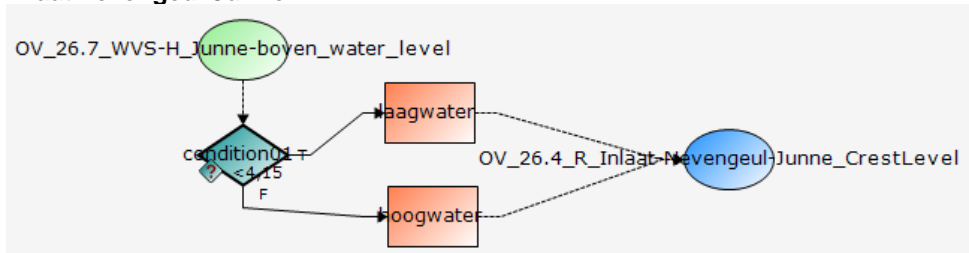
**F.1.7 Kadoelerkeersluis**



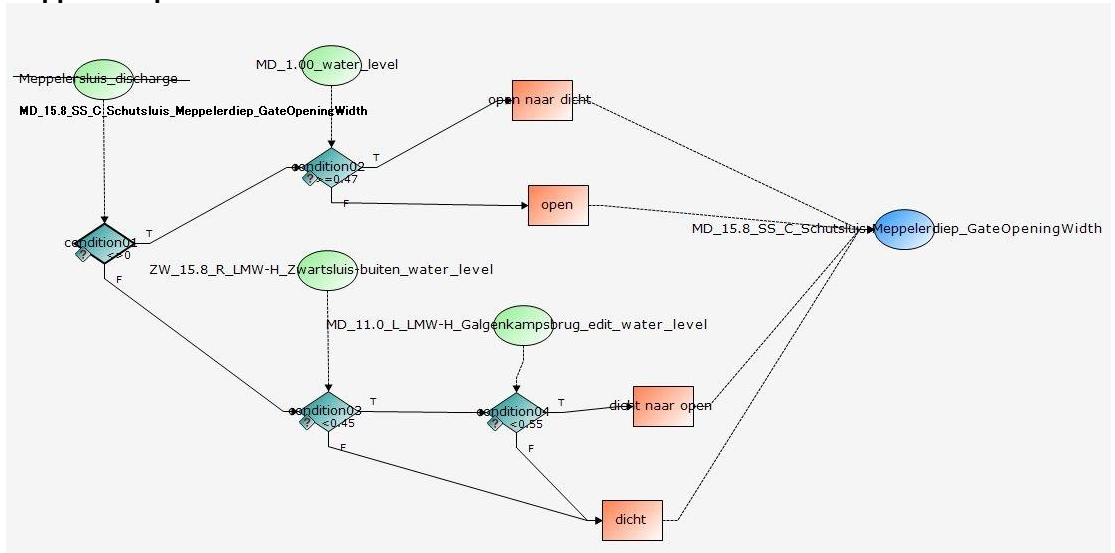
**F.1.8 Stuw Plaggenmars**



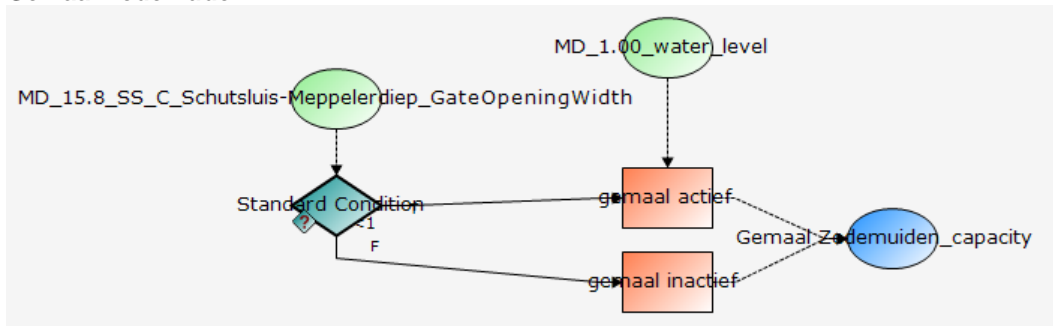
**F.1.9 Inlaat nevengeul Junne**



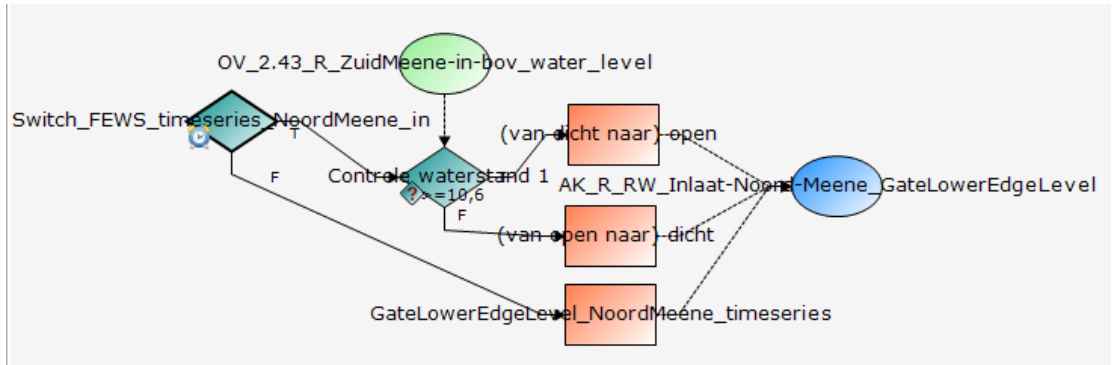
**F.1.10 Meppelerdiepsluis**

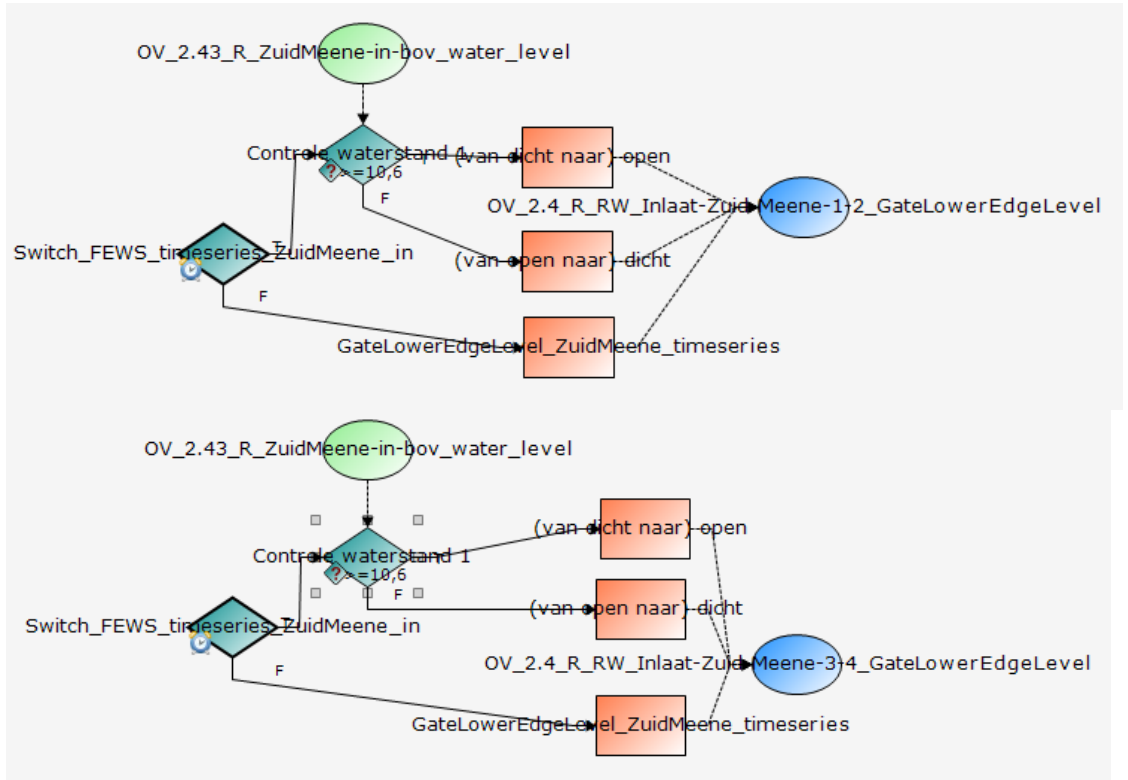


**F.1.11 Gemaal Zedemuden**



**F.1.12 Inlaat Noord-Meene**







# G Model definition Unstructured (MDU-bestand)

Onderstaande blok bevat kopie van het mdu-bestand van j19. Bij iedere regel staat achter het hekje (#) een uitleg van de instelling

```
#####
#
#                               Overijsselse-Vechtdelta model                               #
#                               D-HYDRO model: dflowfm2d-ovd-j19_6-v1a                       #
#                               #                                                         #
#                               Eigendom: Rijkswaterstaat-ON, Functioneel Beheer: RWS-WVL, Applicatie Beheer: Deltares #
#####
# Modeltype: D-Flow FM 2D + D-RTC                                                         #
#                               (bijv.: D-Flow FM 2D; D-Flow FM 2D + D-RTC; D-Flow FM 3D; D-Flow FM 3D + D-WAQ) #
# Bestandstype: Basis MDU-bestand zesde generatiemodellen RWS                           #
# Editable/Uneditable: Modeleigenschappen welke WEL/NIET mogen worden aangepast bij    #
# toepassen van model                                                                    #
# Invoer voor: validatieberekening 2017-01-01 - 2017-03-31                             #
#                                                                                           #
# Ontwikkelaar: Deltares, Asako Fujisaki                                                 #
# Datum: 03-09-2021                                                                      #
#                                                                                           #
# Opmerkingen:                                                                            #
# 1. DIMR-versie                                                                           #
# 2. Toe te passen in combinatie met D-RTC                                               #
# 3. Zie nadere info in de Factsheet op de Helpdeskwater                               #
# 4. ....                                                                                  #
#                                                                                           #
# Onregelmatigheden of problemen met deze modelschematisatie kunnen gemeld worden via het meldings- #
# formulier bij het Informatiepunt Leefomgeving (voorheen Helpdesk Water) onder Modelschematisaties: #
# https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/ #
#                                                                                           #
#####
[General]
#-----
# Uneditable
#-----
Program                = D-Flow FM
FileVersion            = 1.09 # File
format version (do not edit this)
PathsRelativeToParent = 1 #
Default: 0. Whether or not (1/0) to resolve file names (e.g. inside the *.ext file) relative to their direct
parent, instead of to the toplevel MDU working dir.
AutoStart              = 0 #
Autostart simulation after loading MDU (0: no, 1: autostart, 2: autostartstop)

#####
[geometry]
#-----
# Editable
```

```

#-----
NetFile = ovd-j19_6-v1a_net.nc #
Unstructured grid file *_net.nc, including bed level
GridEnclosureFile = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_enc_small.pol #
Enclosure polygon file *_enc.pol (third column 1/-1: inside/outside)
DryPointsFile = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_dry.pol # Dry
areas polygon file *_dry.pol (third column 1/-1: inside/outside)
ThinDamFile = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_thd.pli #
Polyline file *_thd.pli, containing thin dams
FixedWeirFile = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_fwx.pliz #
Polyline file *_fwx.pliz, containing fixed weirs with columns x, y, crest level, left ground level, right ground
level
PillarFile = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_bridges.pliz #
Polyline file *_pillar.pliz, containing bridge pillers with four colums with x, y, diameter and Cd coefficient
IniFieldFile = ../.././initial_conditions/initial_water_level_Q5.ini # File
*.ini containg initial water level and velocity fields
StructureFile = ../.././initial_conditions/OVD_structures_2019.ini # File
*.ini containing list of structures and their inititial state (pumps, weirs, gates and general structures)
UseCaching = 0 # Use
caching of flow model geometry input (1: yes, 0: no)
#-----
# Uneditable
#-----
WaterLevIni = -999. #
Initial water level at missing water depth points (cell centres) [m+dat]
BedlevUni = 999. #
Uniform bed level used at missing values at grid corners [m+dat]
AngLat = 52. # Angle
of latitude S-N [deg], 0: no Coriolis [deg]
AngLon = 5. # Angle
of longitude E-W [deg], 0: Greenwich, used in solar heat flux computation.
BedlevType = 3 #
Bathymetry specification [-] (3: at nodes, face levels mean of node values)
Conveyance2D = -1 #
Conveyance specficiation [-] (-1: uniform bed level at velocity points: average of two surrounding net nodes)
Sillheightmin = 0. # Weir
treatment only if both sills larger than this value [m]
OpenBoundaryTolerance = 3 # Search
tolerance factor between boundary polyline and grid cells [cell size]

#-----
[trachytopes]
#-----
# Editable
#-----
TrtL = ../.././geometry/ovd-j19_6-v1a_trachytopes.arl # File
(*.arl) including distribution of trachytopo definitions
#-----
# Uneditable
#-----
TrtRou = Y #
Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
TrtDef = ../.././general/roughcombination-all-2021-v4.ttd # File
(*.ttd) including trachytopo definitions

```

```

DtTrt                      = 60.                                #
Trachytopo roughness update time interval [s]

#####
[calibration]
#####
# Editable
#-----
AreaFile                    = ../../../../geometry/ovd-j19_6-vla_calibration.cll # File
(*.cll) including area distribution of calibration definitions
#-----
# Uneditable
#-----
UseCalibration              = 1                                #
Activate calibration factor friction multiplier (1 = yes, 0 = no)
DefinitionFile              = ../../../../general/calibration-ovd-2021-v1.cld # File
(*.cld) including calibration definitions

#####
[physics]
#####
# Uneditable
#-----
UnifFrictType               = 1                                #
Uniform friction type [-] (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook)
UnifFrictCoef               = 0.023                          #
Uniform friction coefficient [-] (0: no friction)
Vicouv                       = 0.1                            #
Uniform horizontal eddy viscosity [m2/s]
Dicouv                       = 0.1                            #
Uniform horizontal eddy diffusivity [m2/s]
Smagorinsky                 = 0.20                           #
Smagorinsky factor in horizontal turbulence [-]
Elder                        = 0.                            # Elder
factor in horizontal turbulence [-]
Irov                         = 0                            # Wall
roughness type [-] (0: free-slip, 1: partial-slip using wall_ks, 2: no-slip)
Rhemean                      = 1000                          #
Average water density [kg/m3]
Ag                           = 9.813                       #
Gravitational acceleration [m2/s]
VillemonteCD1               = 1.                            #
Calibration coefficient for Villemonte [-] (default = 1.0)
VillemonteCD2               = 10.                           #
Calibration coefficient for Villemonte [-] (default = 10.0)
Salinity                     = 0                            #
Include salinity [-], (0=no, 1=yes)
Temperature                  = 0                            #
Include temperature [-] (0: no, 1: only transport, 3: excess model of D3D, 5: composite (ocean) model)
SecondaryFlow                = 0                            #
Secondary flow [-] (0: no, 1: yes)

#####

```

```

[wind]
#-----
# Uneditable
#-----
ICdtyp = 2 # Wind
drag coefficient type [-] (2: S&B 2 breakpoints)
Cdbreakpoints = 0.0014 0.00275 # Wind
drag coefficient break points [-]
Windspeedbreakpoints = 7.8 30.85 # Wind
speed break points [m/s]
Rhoair = 1.2265 # Air
density [kg/m3]

#-----

[waves]
#-----
# No waves

#####

[numerics]
#-----
# Uneditable
#-----
CFLMax = 0.7 #
Maximum Courant number [-]
AdvecType = 33 #
Advection type [-] (33: Perot q(uio-u) fast)
TimeStepType = 2 # Time
step handling [-] (2: full implicit step-reduce)
Icgsolver = 4 # Solver
type [-] (4: sobekGS + Saadilud, 6: parallel/Petsc)
FixedWeirScheme = 9 # Fixed
weir scheme [-] (0: None, 6: Numerical, 8: Tabellenboek, 9: Villemonte)
Tlfsmo = 0 #
Fourier smoothing time on water level boundaries [s]
Teta0 = 0.55 # Theta
of time integration [-] (0.5 < theta < 1)
Qhrelax = 0.01 #
Relaxation on Q-h open boundaries [-]
EpsHu = 0.0001 #
Threshold water depth for wet and dry cells [m]

#####

[time]
#-----
# Editable
#-----
RefDate = 20170101 #
Reference date [YYYY-MM-DD HH:MM:SS]
TStart = 0 # Start
time w.r.t. RefDate (in TUnit)

```

```

TStop                      = 128160                                # Stop
time w.r.t. RefDate (in TUnit)
#-----
# Uneditable
#-----
Tzone                      = 1                                    # Time
zone assigned to input time series
DtUser                    = 60                                    # Time
interval for external forcing update [s]
DtMax                     = 30                                    #
Maximal computation timestep [s]
DtInit                    = 1                                    #
Initial computation timestep [s]
Tunit                     = M                                    # Time
unit for start/stop times (D, H, M or S)

#=====
[restart]
#-----
# Editable
#-----
RestartFile                =                                     #
Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc
RestartDateTime            =                                     #
Restart date and time when restarting from *_map.nc [YYYY-MM-DD HH:MM:SS]

#=====
[external forcing]
#-----
# Editable
#-----
ExtForceFile               = ../../../../boundary_conditions/hist/2016nov_2017mrt/meteo/wind.ext # Old
format for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
ExtForceFileNew            = ../../../../boundary_conditions/hist/2016nov_2017mrt/flow/OVD_2016_2017_bnd.ext
# format for external forcings file *.ext, link with bc-format boundary conditions specification

#####
#-----
[output]
#-----
# Editable
#-----
OutputDir                 = results                                # Output
directory of map-, his-, rst-, dat- and timings-files, default: DFM_OUTPUT_<modelname>. Set to . for current dir.
ObsFile                   = ../../../../geometry/output_locations/ovd-j19_6-v1a_0_all_obs.xyn # Points
file *_obs.xyn with observation stations with rows x, y, station name: *measurement_obs.pli is OBLIGATORY
CrsFile                   = ../../../../geometry/cross_sections/ovd-j19_6-v1a_all_cross_sections.pli #
Polyline file *_crs.pli defining observation cross sections: *calibration_crs.pli is OBLIGATORY
FouFile                   = ../../../../general/fourier_max.fou #
Fourier analysis input file *.fou
FouUpdateStep             = 1                                    #
Fourier update step type: 0=every user time step, 1=every computational timestep.
HisFile                   =                                     #
HisFile name *_his.nc

```

```

HisInterval                = 300.                                #
History output times, given as "interval" "start period" "end period" [s]
MapFile                    =                                  #
MapFile name *_map.nc
MapInterval                = 14400.                            # Map
file output, given as "interval" "start period" "end period" [s]
XLSInterval                = 0.                                #
Interval (s) between XLS history
RstInterval                = 0                                  #
Restart file output times, given as "interval" "start period" "end period" [s]
ClassMapFile               =                                  #
ClassMapFile name *_clm.nc
ClassMapInterval           =                                  # Class
map output times, given as "interval" "start period" "end period" [s]
WaterlevelClasses         =                                  # Class
map's list of class values for water levels
WaterDepthClasses         =                                  # Class
map's list of class values for water depths
StatsInterval              = 300.                              # Screen
step output interval in seconds simulation time, if negative in seconds wall clock time
TimingsInterval            =                                  #
Timings statistics output interval
#-----
# Write time series to his-file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrihis_balance             = 1                                  # mass
balance totals
Wrihis_sourcesink         = 1                                  #
sources-sinks statistics
Wrihis_structure_gen      = 1                                  #
general structure parameters
Wrihis_structure_dam      = 0                                  # dam
parameters
Wrihis_structure_pump     = 0                                  # pump
parameters
Wrihis_structure_gate     = 1                                  # gate
parameters
Wrihis_structure_weir     = 0                                  # weir
parameters
Wrihis_structure_orifice  = 0                                  #
orifice parameters
Wrihis_structure_bridge   = 1                                  # bridge
parameters
Wrihis_structure_culvert  = 0                                  #
culvert parameters
Wrihis_structure_damBreak = 0                                  # dam
break parameters
Wrihis_structure_uniWeir  = 1                                  #
universal weir parameters
Wrihis_structure_compound = 0                                  #
compound structure parameters
Wrihis_turbulence         = 1                                  # k, eps
and vicww

```

```

Wrihis_wind = 0 # wind
velocities
Wrihis_rain = 0 #
precipitation
Wrihis_temperature = 0 #
temperature
Wrihis_waves = 0 # wave
data
Wrihis_heat_fluxes = 0 # heat
fluxes
Wrihis_salinity = 0 #
salinity
Wrihis_density = 0 #
density
Wrihis_waterlevel_s1 = 1 # water
level
Wrihis_bedlevel = 0 # bed
level
Wrihis_waterdepth = 1 #
waterdepth
Wrihis_velocity_vector = 1 #
velocity vectors
Wrihis_upward_velocity_component = 0 # upward
velocity
Wrihis_sediment = 0 #
sediment transport
Wrihis_constituents = 0 #
tracers
Wrihis_zcor = 0 #
vertical coordinates
#-----
# Write spatial output to map-file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrimap_waterlevel_s0 = 0 # water
levels of previous time step
Wrimap_waterlevel_s1 = 1 # water
levels
Wrimap_volume1 = 0 #
volumes
Wrimap_waterdepth_hu = 0 # water
depths on u-points
Wrimap_ancillary_variables = 0 #
ancillary_variables attributes
Wrimap_flowarea_au = 0 # flow
areas au
Wrimap_velocity_component_u0 = 0 #
velocity component of previous time step
Wrimap_velocity_component_u1 = 1 #
velocity component
Wrimap_velocity_vector = 1 # cell-
center velocity vectors
Wrimap_velocity_magnitude = 1 # cell-
center velocity vector magnitude

```

```

Wrimap_velocity_vectorq          = 0                      # cell-
center velocity vectors (discharge-based)
Wrimap_upward_velocity_component = 0                      # upward
velocity component on cell interfaces
Wrimap_density_rho               = 0                      # flow
density
Wrimap_horizontal_viscosity_viu  = 1                      #
horizontal viscosity
Wrimap_horizontal_diffusivity_diu = 1                 #
horizontal diffusivity
Wrimap_flow_flux_q1              = 1                      # flow
flux
Wrimap_flow_flux_q1_main         = 0                      # flow
flux in main channel
Wrimap_numlimdt                  = 1                      # the
number times a cell was Courant limiting
Wrimap_taucurrent                 = 1                      # the
shear stress
Wrimap_chezy                      = 1                      # the
Chezy roughness
Wrimap_turbulence                 = 0                      # vicww,
k and eps
Wrimap_trachytopes               = 1                      #
trachytopes roughnesses
Wrimap_calibration                = 1                      #
roughness calibration factors
Wrimap_DTcell                     = 1                      # time
step per cell based on CFL
#-----
# Write grid-snapped features to shape file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrishp_crs                        = 0                      # cross
sections
Wrishp_obs                        = 0                      #
observation stations
Wrishp_weir                       = 0                      # weirs
Wrishp_thd                        = 0                      # thin
dams
Wrishp_gate                       = 0                      # gates
Wrishp_fxw                        = 0                      # fixed
weirs
Wrishp_src                        = 0                      #
source-sinks
Wrishp_pump                       = 0                      # pumps
Wrishp_dryarea                    = 0                      # dry
areas
Wrishp_genstruc                   = 0                      #
general structures
#-----
Writepart_domain                  = 0                      # Write
partition domain info. for postprocessing
WriteDFMinterpretedvalues         = 0                      # Write
DFMinterpretedvalues (1: yes, 0: no)

```



```

MapOutputTimeVector          =                               # File
(*.mpt) containing fixed map output times (s) w.r.t. RefDate

FullGridOutput               = 0                           # Full
grid output mode (0: compact, 1: full time-varying grid data)

EulerVelocities              = 0                           # Euler
velocities output (0: GLM, 1: Euler velocities)

Wrirst_bnd                   = 1                           # Write
waterlevel, bedlevel and coordinates of boundaries to restart files

#-----
# Uneditable
#-----

MapFormat                    = 4                           # Map
file format, 1: netCDF, 2: Tecplot, 3: netCFD and Tecplot, 4: NetCDF-UGRID

NcFormat                     = 3                           # Format
for all NetCDF output files (3: classic, 4: NetCDF4+HDF5)

NcWriteLatLon                = 0                           # Write
extra lat-lon coordinates for all projected coordinate variables in each NetCDF file (for CF-compliancy).

#=====
#####

```

# H Randvoorwaarden en metingen

## H.1 Achtergrond

### H.1.1 Aanlevering metingen

De gebruikte metingen zijn afkomstig van Rijkswaterstaat-Oost Nederland (vanuit het Landelijk Meetnet Water oftewel LMW), Waterschap Drents Overijsselse Delta (vanuit de WISKI database), Waterschap Vechtstromen (afdeling Gegevensbeheer Water), Waterschap Zuiderzeeland (vanuit de Lizard database) en het KNMI (winddata). De metingen zijn per dag, per uur, per kwartier of per 10 minuten aangeleverd.

### H.1.2 Afvoermetingen

Op de Overijsselse Vecht is een afvoertijdserie beschikbaar op een aantal locaties:

- Emlichheim (o.b.v. Qf-relatie<sup>20</sup>). Aangezien dit als bovenstroomse randvoorwaarde dient in diverse modellen is een hoge nauwkeurigheid hiervan gewenst. Dit blijkt in de praktijk echter tegen te vallen. Een Qf-relatie is een uitbreiding op een stationaire Qh-relatie waardoor afhankelijkheden met het stuwbeheer en andere niet-stationaire effecten kunnen worden meegenomen. In de Qf-relatie van Emlichheim wordt een afvoer berekend als functie van de waterstand bij Emlichheim.
- Ommen Hesselmulertbrug (o.b.v. ADM-meting). Hier wordt het debiet continu geregistreerd met een akoestische debietmeter (ADM). Daarnaast worden er ook incidentele metingen met een ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) uitgevoerd. De laatste wordt vervolgens gebruikt om de ADM metingen te controleren en te corrigeren d.m.v. een correctiefactor.
- Dalfsen (o.b.v. ADM-meting). Deze is vanaf 2012 actief. Voor kalibratie-/validatieperioden na deze periode kunnen deze metingen ook worden gebruikt om de lateralen tussen Ommen en Dalfsen af te regelen, zodat fouten in de volumebalans gecorrigeerd worden.

## H.2 Lateralen

Voor de lateralen worden de gegevens gebruikt zoals aangegeven in Tabel H.2.1.

Tabel H.2.1 Bepaling afvoergegevens voor de verschillende lateralen in de Overijsselse Vechtdelta voor de verschillende perioden. De dikgedrukte lateralen zijn beschikbaar als gemeten tijdseries.

Naam lateraal	1998	2007	2016-2019
OV_2.3_R_Coevorden-Vecht-Kanaal	0,0 m <sup>3</sup> /s (sluis dicht)	-	0,0 m <sup>3</sup> /s (sluis dicht)
OV_2.3_L_Kanaal-Almelo-De-Haandrik	0,0 m <sup>3</sup> /s (sluis dicht)	-	0,0 m <sup>3</sup> /s (sluis dicht)
AK_C_Drentse-stuw	<b>ST Drentse stuw</b>	-	<b>ST Drentse stuw</b>
OV_5.6_R_Beek_Afwateringskanaal	0,0 m <sup>3</sup> /s	-	<b>DM Ane Gramsbergen - ST Drentse stuw</b>
OV_6.9_L_Gemaal_Willem-Snel	obv DM Ane Gramsbergen (max 1,4 m <sup>3</sup> /s)	-	obv DM Ane Gramsbergen (max 1,4 m <sup>3</sup> /s)
OV_10.8_L_Gemaal_Baalder	obv DM Ane Gramsbergen (max 0,6 m <sup>3</sup> /s)	-	obv DM Ane Gramsbergen (max 0,6 m <sup>3</sup> /s)
OV_12.8_R_Gemaal_Molengoot	obv DM Ane Gramsbergen (max 2,3 m <sup>3</sup> /s)	-	obv DM Ane Gramsbergen (max 2,3 m <sup>3</sup> /s)
OV_13.0_L_Beek_Radewijkerbeek	obv Ommerkanaal (max 10 m <sup>3</sup> /s)	-	<b>ST Vrouwenhoek</b>
OV_14.1_L_Beek_Bruchterbeek	obv DM Ane Gramsbergen	-	obv DM Ane Gramsbergen

<sup>20</sup> Intussen is er ook een debietmeter geïnstalleerd bij Emlichheim, maar daar is nog geen data van beschikbaar.

Naam lateraal	1998	2007	2016-2019
OV_15.7_L_Waterloop_Veenlandweg	obv DM Ane Gramsbergen (max 0,5 m <sup>3</sup> /s)	-	obv DM Ane Gramsbergen (max 0,5 m <sup>3</sup> /s)
OV_18.2_L_Beek_Oude-Vaart	obv DM Ane Gramsbergen (max 2,0 m <sup>3</sup> /s)	-	obv DM Ane Gramsbergen (max 2,0 m <sup>3</sup> /s)
OV_20.4_L_Beek_Marienberg-Vechtkanaal	obv Ommerkanaal (max 8 m <sup>3</sup> /s)	-	<b>ST TSM Marienberg</b>
OV_22.5_R_Waterloop_Rhezerwaterleiding	obv DM Ane Gramsbergen	-	obv DM Ane Gramsbergen
OV_27.5_R_Waterloop_Stegerdijk	obv DM Ane Gramsbergen	-	obv DM Ane Gramsbergen
OV_28.2_R_Waterloop_Arriervliet	obv DM Ane Gramsbergen	-	obv DM Ane Gramsbergen
OV_32.2_R_Waterloop_Galgengraven	obv DM Ane Gramsbergen	-	obv DM Ane Gramsbergen
OV_34.6_R_Beek_Ommerkanaal	<b>DM Ommerkanaal</b>	-	<b>DM Ommerkanaal</b>
OV_35.6_L_Beek_Regge-Linderbeek-Hammerwetering	<b>(ST Archem+ST Linderbeek)+10%</b>	-	<b>(ST Hankate+ST Linderbeek)+10%</b>
OV_36.2_L_Gemaal_Mars-Wetering	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
OV_37.8_R_Gemaal_De-Stouwe	max 1,0 m <sup>3</sup> /s	max 1,0 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Stouwe</b>
OV_43.5_R_Gemaal_Rechters	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
OV_46.0_L_Gemaal_Den-Berg	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
OV_48.8_R_Inlaat_Broekhuizen	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
OV_54.4_L_Beek_Nieuwe-Vecht	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
OV_58.R_L_Gemaal_Den-Doorn	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
ZK_0.9_C_Beek_Zwolle-IJsselkanaal	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
ZW_0.0_C_Beek_Zwolse-Stadsgrachten	<b>Keersluis Zwolle*</b>	<b>Keersluis Zwolle</b>	<b>Keersluis Zwolle</b>
ZW_4.9_R_Gemaal_Westerveld	<b>GM Westerveld</b>	<b>GM Westerveld</b>	<b>GM Westerveld</b>
ZW_7.1_R_Inlaat_Gennegerszijl	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
ZW_9.3_R_Beek_Galgenrak-Streukelerzijl	<b>GM Galgerak + GM Streukelerzijl</b>	<b>GM Galgerak + GM Streukelerzijl</b>	<b>GM Galgerak + GM Streukelerzijl</b>
ZW_12.7_R_Gemaal_Kloosterzijl	<b>GM Kloosterzijl</b>	<b>GM Kloosterzijl</b>	<b>GM Kloosterzijl</b>
ZW_13.3_L_Gemaal_Cellemuiden	max 0,83 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Cellemuiden</b>	<b>GM Cellemuiden</b>
ZW_15.6_R_Gemaal_Kostverlorenzijl	<b>GM Kostverlorenzijl</b>	<b>GM Kostverlorenzijl</b>	<b>GM Kostverlorenzijl</b>
ZW_15.7_R_Gemaal_Zedemuden	<b>GM Zedemuden</b>	<b>GM Zedemuden</b>	0,0 m <sup>3</sup> /s**
ZW_15.8_R_Sluis_Meppelerdiep	<b>SL Meppelerdiep</b>	<b>SL Meppelerdiep</b>	<b>SL Meppelerdiep**</b>
ZW_16.8_R_Sluis_Arembergerluis	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
VK_Gemaal_Smeenge	max 20,7 m <sup>3</sup> /s	max 20,7 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Smeenge</b>
VK_Gemaal_Stroink	max 53,3 m <sup>3</sup> /s	max 53,3 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Stroink</b>
ZM_R_Beek_Kadoelen***	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
ZM_L_Gemaal_Nieuw-Lutterzijl****	max 9,25 m <sup>3</sup> /s (= 4,25+5,0)	max 9,25 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Lutterzijl Koekoek + GM Lutterzijl Mastenbroek</b>
ZM_L_Inlaat_Cellemuiden	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s	0,0 m <sup>3</sup> /s
ZM_L_Gemaal_Veneriete	max 8,25 m <sup>3</sup> /s	max 8,25 m <sup>3</sup> /s	<b>GM Veneriete</b>

Maximale afvoeren van gemalen benedenstrooms van Ommen gebaseerd op informatie uit: [www.gemalen.nl](http://www.gemalen.nl).

\* Voor 1998 is dit een reconstructie (metingen vanaf 2007)

\*\* Meetlocatie is in het Meppelerdiep zelf en afvoer wordt via Sluis Meppelerdiep en Gemaal Zedemuden op het Zwarte Water geloosd. Hierbij loost Sluis Meppelerdiep onder vrij verval en Zedemuden is een gemaal. Het gaat alleen om het totaal debiet, dus nu is Zedemuden op 0.0 m<sup>3</sup>/s gezet en alles gaat via Sluis Meppelerdiep (lozingslocaties liggen nagenoeg op elkaar).

\*\*\* Kadoelen is eigenlijk geen losse lateraal, maar is de som van Gemaal Smeenge en gemaal Stroink.

\*\*\*\* Gemaal Nieuw-Lutterzijl bestaat uit 5 vizels: 3 voor de Koekoekspolder + 2 voor de Mastenbroekpolder.

Voor de lateralen in het gebied van Waterschap Vechtstromen zijn relaties opgesteld voor de afvoeren van verschillende lateralen en de debietmetingen, zie Tabel H.2.2. Deze relaties zijn opgenomen in de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM) om zo afvoeren voor alle lateralen te kunnen creëren en missende data op te vullen.

Daarbij worden de volgende regels gebruikt:

- 1 De basis in principe DM Ane Gramsbergen.
- 2 Indien metingen van DM Ane Gramsbergen niet beschikbaar of onbetrouwbaar zijn, wordt deze in eerste instantie afgeleid vanuit de metingen van Drentse Stuw.
- 3 Indien er ook geen geschikte metingen voor Drentse Stuw beschikbaar zijn, wordt Ane Gramsbergen afgeleid uit Ommerkanaal.

Tabel H.2.2 Relaties tussen de verschillende afvoeren en lateralen voor verschillend herhalingstijden in het beheergebied van Waterschap Vechtstromen.

Lateraal	1/100Q	1/4Q	1/2Q	T=1	T=10	T=25	T=100	T=200
Emlichheim	0.5	23.0	55.0	115.0	199.0	213.6	236.2	246.8
De Haandrik	0.5	23.2	55.6	116.2	201.0	215.7	238.6	249.3
OV_2.3_R_Coevorden-Vecht-Kanaal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OV_2.3_L_Kanaal-Almelo-De-Haandrik	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AK_C_Drentse-stuw	0.1	6.4	15.7	34.1	48.8	52.6	62.9	66.8
DM Ane Gramsbergen	<b>0.1</b>	<b>7.0</b>	<b>17.0</b>	<b>36.6</b>	<b>51.4</b>	<b>55.1</b>	<b>65.4</b>	<b>69.4</b>
OV_6.9_L_Gemaal_Willem-Snel	0.0	0.3	0.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
OV_10.8_L_Gemaal_Baalder	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
OV_12.8_R_Gemaal_Molengoot	0.0	0.4	0.9	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
OV_13.0_L_Beek_Radewijkerbeek	0.0	0.9	2.3	4.9	8.9	9.7	11.5	12.3
OV_14.1_L_Beek_Bruchterbeek	0.0	0.2	0.6	1.1	2.1	2.4	2.8	2.9
OV_15.7_L_Waterloop_Veenlandweg	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5
OV_18.2_L_Beek_Oude-Vaart	0.0	0.3	0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
OV_20.4_L_Beek_Marienberg-Vechtkanaal	0.0	0.9	2.1	3.8	6.9	7.4	8.3	8.7
OV_22.5_R_Waterloop_Rhezerwaterleiding	0.0	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3
OV_27.5_R_Waterloop_Stegerdijk	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
OV_28.2_R_Waterloop_Arriervliet	0.0	0.3	0.4	0.7	1.2	1.3	1.4	1.5
OV_32.2_R_Waterloop_Galgengraven	0.0	0.3	0.5	0.8	1.3	1.4	1.6	1.7
Ommen Hesselmulertbrug	0.6	35.0	83.0	173.3	283.2	303.8	340.9	357.3
OV_34.6_R_Beek_Ommerkanaal	0.0	3.3	8.5	14.4	20.4	23.0	27.6	28.3
OV_35.6_L_Beek_Regge-Linderbeek-Hammerwetering	1.6	13.8	27.7	54.6	83.1	95.2	110.3	114.6

Ook voor een aantal lateralen in het beheergebied van Waterschap Drents Overijsselse Delta worden voor de situatie van 1998 eenvoudige relaties gebruikt op basis van het debiet bij DM Ane Gramsbergen, omdat er voor die periode geen meetdata beschikbaar is voor deze lateralen. Hierbij wordt rekening gehouden met de minimale en maximale gemaalcapaciteit, zie Tabel H.2.3.

Tabel H.2.3 Relaties tussen de verschillende afvoeren en lateralen voor verschillend herhalingstijden in het beheergebied van Waterschap Drents Overijsselse Delta.

Lateraal	Q1	Q2	Q3	Q4
DM Ane Gramsbergen	<b>0.0</b>	<b>5.0</b>	<b>20.0</b>	<b>50.0</b>
GM_Lutterzijl_Koekoek	1.25	1.25	4.25	4.25
GM_Lutterzijl_Mastenbroek	0.0	0.0	5.0	5.0
VK_Gemaal_Smeenge	0.0	0.0	20.7	20.7
ZM_L_Gemaal_Veneriete	0.0	0.0	8.25	8.25
ZW_13.3_L_Gemaal_Cellemuiden	0.0	0.0	0.83	0.83

### H.3 Herkomst van metingen

In onderstaande tabellen wordt per kalibratie- en validatieperioden een overzicht gegeven van de beschikbare meetdata voor zowel afvoeren (Tabel H.2.4), waterstanden (Tabel H.2.5) als klepstanden en stuwpeilen (Tabel H.2.6) en de herkomst van deze metingen.

Tabel H.2.4 Overzicht van beschikbaarheid, bron en kwaliteit (groen=goed, oranje=onvolledig of (deels) onbetrouwbaar, rood=afwezig of ongeschikt) van afvoergegevens in het OVD gebied voor de verschillende kalibratie- en validatieperioden.

Naam	1998	2007	jan-mrt 2017	2017-2018	jan-mrt 2019	Bron
Emlichheim	24 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
DM De Haandrik	-		-	1 uur	1 uur	WVS
ST Drentse Stuw	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
DM Ane Gramsbergen	-		-	1 uur	1 uur	WVS
ST Vrouwenhoek	-		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
ST TSM Marienberg	-		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
DM Ommen	-	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	WVS
DM Ommerkanaal	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	WVS
ST Archem Regge	1 uur/24 uur	1 uur	-	-	-	WVS
ST Hankate	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WVS
ST Linderbeek	1 uur/24 uur	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	WVS
GM Stouwe	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
DM Dalfsen	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
Keersluis Zwolle	1 uur	24 uur	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Westerveld	1 uur	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Galgerak	1 uur	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Streukelerzijl	1 uur	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Kloosterzijl	1 uur	variabel	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Cellemuiden	-	variabel	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Kostverlorenzijl	1 uur	variabel	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Zedemuden	1 uur	1 uur	-	-	-	WDOD
SL Meppelerdiep	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Lutterzijl Koekoek	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Lutterzijl Mastenbroek	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Veneriete	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Stroink	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
GM Smeenge	-	-	15 min	15 min	15 min	Waterschap Zuiderzeeland

Tabel H.2.5 Overzicht van beschikbaarheid, bron en kwaliteit (groen=goed, oranje=onvolledig of (deels) onbetrouwbaar, rood=afwezig of ongeschikt) van waterstandgegevens in het OVD gebied voor de verschillende kalibratie- en validatieperioden. Dikgedrukte waarden zijn meetstations die zijn gebruikt in de kalibratie van het model.

Naam	1998	2007	jan-mrt 2017	2017-2018	jan-mrt 2019	Bron
<b>Emlichheim</b>	<b>24 uur</b>		<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
De Haandrik Kruisbrug	-		-	1 uur	1 uur	WVS
De Haandrik boven	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
<b>De Haandrik beneden</b>	<b>1 uur</b>		<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
Hardenberg boven	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
<b>Hardenberg beneden</b>	<b>1 uur</b>		<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
Marienberg boven	1 uur		-	1 uur	1 uur	WVS
<b>Marienberg beneden</b>	<b>1 uur</b>		<b>-</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
Junne boven	15 min		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
<b>Junne beneden</b>	<b>15 min</b>		<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
<b>Ommen</b>	<b>-</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WVS</b>
Ommerkanaal	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WVS
Vilsteren boven	1 uur	30 min	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
<b>Vilsteren beneden</b>	<b>1 uur</b>	<b>30 min</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WDOD</b>
<b>Dalfsen</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WDOD</b>
Vechterweerd boven	1 uur	variabel	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
<b>Vechterweerd beneden</b>	<b>1 uur</b>	<b>variabel</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WDOD</b>
Spoldersluis binnen	1 uur	1 uur	10 min	10 min	10 min	RWS-ON
Westerveld	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
<b>Mond der Vecht</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>10 min</b>	<b>10 min</b>	<b>10 min</b>	<b>RWS-ON</b>
Galgenrak	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
Kloosterzijl	1 uur	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
<b>Zwartsluis</b>	<b>1 uur</b>	<b>10 min</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>1 uur</b>	<b>WDOD</b>
<b>Genemuiden</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>10 min</b>	<b>10 min</b>	<b>10 min</b>	<b>WDOD</b>
Kadoelen	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	RWS-ON
Ramspolbrug	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	RWS-ON

Tabel H.2.6 Overzicht van beschikbaarheid, bron en kwaliteit (groen=goed, oranje=onvolledig of (deels) onbetrouwbaar, rood=afwezig of ongeschikt) van klepstanden en streefpeilen in het OVD gebied voor de verschillende kalibratie- en validatieperioden.

Naam	1998	2007	jan-mrt 2017	2017-2018	jan-mrt 2019	Bron
Stuw de Haandrik	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
Stuw Hardenberg	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
Stuw Marienberg	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
Stuw Junne	1 uur		1 uur	1 uur	1 uur	WVS
Stuw Vilsteren	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD
Stuw Vechterweerd	-	-	1 uur	1 uur	1 uur	WDOD

## H.4 Winddata

Voor de kalibratie en validatie wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk homogeen windveld op basis van de meetstations Stavoren, Marknesse en Lelystad. De data van de meetstations is door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) aangeleverd en bevat het potentieel windveld bepaald aan de hand van de gemeten windsnelheid op 10 meter hoogte. De potentiële wind zoals deze door het KNMI wordt bepaald, heeft een temporele resolutie van 1 uur.

# I Definities modelbeoordeling

## I.1 Achtergrond

In het kader van de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen voor RWS wordt gestreefd naar een uniforme aanpak voor heel Nederland. In deze bijlage wordt een aantal definities voor de beoordeling van de modellen vastgelegd die voor alle modellen toegepast worden.

## I.2 Definities

Voor het beoordelen van modelschematisaties worden de termen kalibratie, validatie en verificatie gebruikt en hier wordt het volgende onder verstaan:

### I.2.1 Kalibratie

De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, hoge afvoer, lage afvoer, etc.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, etc.) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.

### I.2.2 Validatie

De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Er kunnen namelijk meerdere parametersets aan de kalibratiecriteria voldoen. De beste set is dan degene die tijdens de validatie het beste presteert. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tussenliggende meetpunten, of op stroomsnelheden i.p.v. waterstanden.

### I.2.3 Verificatie

Tijdens de verificatie wordt nagegaan of het geoperationaliseerde model nog steeds consistente uitkomsten geeft. Het model wordt beoordeeld op de resultaten van de eerder gekalibreerde en gevalideerde parameters.

## I.3 Goodness-of-fit criteria

Een goodness-of-fit (GOF) criterium is een maat voor de overeenkomst van twee dataseries. Voor het beoordelen van de resultaten worden verschillende criteria gebruikt. Deze worden in de volgende paragrafen weergegeven. Hierbij zijn de eerste drie: bias, standaardafwijking en RMSE, de belangrijkste.

Deze kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast, zoals:

- waterstand;
- snelheid;
- debiet;
- zoutgehalte;
- watertemperatuur;
- timing en hoogte van hoogwaters;
- timing en hoogte van laagwaters;
- getijamplitude en fase (per component);
- scheve opzet;
- etc.

### I.3.1 Bias

De absolute bias wordt ook wel gemiddeld verschil (GV) genoemd:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{sim,k} - y_{ref,k}$$

met  $n$  het totaal aantal datapunten in de periode waarover de bias berekend wordt,  $y_{sim}$  de gesimuleerde eenheid en  $y_{ref}$  de referentiewaarden (meestal metingen).

De bias is een maat om aan te geven of de resultaten systematisch worden overschat of onderschat. Alleen een kleine bias is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. Als er grote schommelingen rond het gemiddelde plaatsvinden, levert dit een lage bias op, terwijl de fout lokaal wel groot kan zijn.

### I.3.2 Standaardafwijking

De standaardafwijking of  $\sigma$  (*StDev*) van de fout

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n ((y_{sim,k} - y_{ref,k}) - bias)^2}$$

Dit is een maat voor de afwijking van de resultaten vanaf de bias. Hierbij worden grotere afwijkingen zwaarder meegewogen dan kleinere. Alleen een kleine standaardafwijking is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. De resultaten kunnen dan namelijk nog systematisch worden overschat of onderschat.

### I.3.3 Root Mean Square Error (RMSE)

De RMSE is een maat die zowel de bias als de standaardafwijking combineert:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_{sim,k} - y_{ref,k})^2} \approx \sqrt{\sigma^2 + bias^2}$$

Als er geen bias is, is de RMSE gelijk aan de standaardafwijking. En andersom is de RMSE gelijk aan de bias indien de standaardafwijking gelijk aan nul is. Een RMSE van nul is een garantie dat twee datasets exact met elkaar overeenkomen.

### I.3.4 Relatieve bias

Naast de absolute bias kan er ook worden gekeken naar de relatieve bias, wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$Relatieve\ Bias = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{y_{sim,k} - y_{ref,k}}{y_{ref,k}}$$



### I.3.5 Variatiecoëfficiënt

Naast de standaardafwijking kan er ook worden gekeken naar de variatiecoëfficiënt (coëfficiënt of variation, CV), wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$CV = \frac{\sigma}{\text{gemiddelde}}$$

De variatiecoëfficiënt is een relatieve spreidingsmaat, wat inhoudt dat de spreiding gemeten wordt ten opzichte van het gemiddelde.

### I.3.6 Verskil in waarden rond extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre extreme waarden goed worden gerepresenteerd. Hierbij wordt vaak niet gekeken naar één enkele waarde, maar naar bijvoorbeeld een gemiddelde over waarden rond de piek (om zo toevallige uitschieters uit te sluiten). Dit kan zowel de maximale waarde zijn ( $\Delta\zeta_{\max}$ ) of de minimale waarde ( $\Delta\zeta_{\min}$ ):

$$\begin{aligned}\Delta\zeta_{\max} &= \max(y_{sim,k}) - \max(y_{ref,k}) \\ \Delta\zeta_{\min} &= \min(y_{sim,k}) - \min(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan o.a. worden gebruikt voor de amplitude van de getijbeweging, afvoergolven en bij stormpieken.

### I.3.7 Verskil in tijdstip van extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre de timing van de extreme waarden van verschillende datasets met elkaar overeenkomen. Er wordt dan gekeken naar het tijdstip waarop de maximale ( $t_{\max}$ ) of minimale ( $t_{\min}$ ) waarde voorkomt:

$$\begin{aligned}\Delta t_{\max} &= t_{\max}(y_{sim,k}) - t_{\max}(y_{ref,k}) \\ \Delta t_{\min} &= t_{\min}(y_{sim,k}) - t_{\min}(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan worden gebruikt om te bepalen hoe groot de faseverschuiving is.

### I.3.8 Overschrijdingsduur

Naast bias, RMSE en standaarddeviatie kan ook worden gekeken naar de duur van een bepaalde normoverschrijding of het aantal overschrijdingen. Dit geldt met name voor grootheden zoals saliniteit.

### I.3.9 Gemiddelde over stations

Naast waarden per afzonderlijk (meet)station kunnen de statistieken ook worden samengevat in zowel een gemiddelde over een aantal stations en het RMS (Root Mean Square)-gemiddelde. Voor dit laatste wordt de volgende formulering gebruikt:

$$\begin{aligned}Mean\_stations &= \frac{\Sigma (\text{Statistiek per station})}{\text{Aantal stations}} \\ RMS\_stations &= \sqrt{\frac{\Sigma (\text{Statistiek per station}^2)}{\text{Aantal stations}}}\end{aligned}$$

Het gebruik van RMS heeft als voordeel dat fouten niet tegen elkaar uitgemiddeld worden.

## I.4 Middelingsduur variabelen

Van te voren moet goed worden afgesproken welke middelingsduur er wordt toegepast voor zowel de in- als uitvoervariabelen. Hanteer je bijvoorbeeld 10-minuutgemiddelden voor wind/waterstand, uurgemiddelden, 2-/3-/4-/6-uurgemiddelden.

Dit hangt sterk af van de specifieke toepassing en beschikbare data. Meteomodellen kunnen bijvoorbeeld fenomenen met tijdschalen kleiner dan een uur niet goed oppakken en dan is het ook niet te verwachten dat het waterstandsmodel schommelingen van deze tijdsschaal (of kleiner) wel goed weergeeft. Hetzelfde geldt als voor historische afvoerreeksen alleen uurwaarden (of soms alleen dagwaarden) beschikbaar zijn. Anderzijds moet de middelingsduur niet te groot worden gekozen in verband met het goed kunnen weergeven van de nodige fysische processen (zoals getij).

Algemeen kan worden gezegd dat je voor de middeling de kleinste tijdschaal wilt gebruiken die op basis van de data nog verantwoord is.

## I.5 Nauwkeurigheidscriterium

Het nauwkeurigheidscriterium bepaalt welke waarde voor de goodness-of-fit criteria gehaald moet worden om te kunnen spreken van een geslaagde kalibratie of validatie. Afhankelijk van het model, toepassing, grootte en periode kan er worden gekeken naar de GOF-criteria voor verschillende situaties, zoals:

- Stormpiek
- Hoge afvoer
- Lage afvoer
- Gemiddeld getij
- Springvloed
- Hoogwater seizoen
- Heel jaar

# J Modelresultaten, voor en na kalibratie

## J.1 Afvoerniveau M1

### J.1.1 Kalibratievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.109	0.111	0.021	0.004	0.026	0.026
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	0.012	0.014	0.008	0.011	0.014	0.008
<i>De Haandrik boven</i>	0.000	0.003	0.003	0.000	0.003	0.003
De Haandrik beneden	0.008	0.105	0.105	0.004	0.105	0.106
<i>Hardenberg boven</i>	0.000	0.003	0.003	0.000	0.003	0.003
Hardenberg beneden	0.019	0.068	0.065	0.003	0.064	0.064
<i>Marienberg boven</i>	0.001	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003
Marienberg beneden	0.051	0.082	0.064	0.004	0.058	0.058
<i>Junne boven</i>	0.000	0.003	0.003	0.000	0.003	0.003
Junne beneden	0.256	0.295	0.148	0.004	0.134	0.135
Ommen	0.139	0.150	0.058	0.002	0.045	0.045
<i>Ommerkanaal</i>	-0.159	0.179	0.081	-0.253	0.263	0.075
<i>Vilsteren boven</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vilsteren beneden	0.104	0.127	0.073	0.002	0.068	0.068
Dalfsen	0.042	0.048	0.025	0.001	0.022	0.022
<i>Vechterweerd boven</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vechterweerd beneden	0.138	0.160	0.081	0.003	0.084	0.085
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.048	0.052	0.021	0.015	0.021	0.015
<i>Westerveld</i>	-0.012	0.028	0.025	-0.044	0.048	0.019
Mond der Vecht	0.034	0.039	0.021	0.003	0.015	0.015
<i>Galgenrak</i>	0.033	0.041	0.024	0.026	0.034	0.022
<i>Kloosterzijk</i>	-0.061	0.065	0.023	-0.055	0.060	0.022
Zwartsluis	-0.010	0.015	0.011	0.003	0.014	0.013
Genemuiden	-0.003	0.014	0.013	0.003	0.014	0.014
<i>Kadoelen</i>	0.031	0.036	0.018	0.034	0.040	0.021
Ramspolbrug	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.068	0.093	0.053	0.003	0.050	0.050
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.101	0.121	0.067	0.003	0.063	0.064
<i>Gemiddelde totaal</i>	0.030	0.063	0.035	-0.009	0.044	0.033
<i>RMS Gemiddelde totaal</i>	0.080	0.095	0.051	0.052	0.071	0.048

J.1.2

Validatievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.137	0.138	0.019	0.040	0.040	0.007
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	-	-	-	-	-	-
<i>De Haandrik boven</i>	-0.119	0.139	0.072	-0.124	0.144	0.073
De Haandrik beneden	0.000	0.003	0.003	0.000	0.003	0.003
<i>Hardenberg boven</i>	0.141	0.145	0.033	0.133	0.137	0.033
Hardenberg beneden	-	-	-	-	-	-
<i>Marienberg boven</i>	-	-	-	-	-	-
Marienberg beneden	0.001	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003
<i>Junne boven</i>	0.066	0.131	0.113	-0.136	0.161	0.086
Junne beneden	-0.136	0.164	0.092	-0.239	0.249	0.069
Ommen	-0.024	0.040	0.032	-0.095	0.101	0.033
<i>Ommerkanaal</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Vilsteren boven</i>	0.049	0.086	0.071	-0.035	0.067	0.057
Vilsteren beneden	0.012	0.029	0.027	-0.019	0.029	0.021
Dalfsen	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Vechterweerd boven</i>	0.066	0.113	0.093	-0.045	0.085	0.073
Vechterweerd beneden	0.039	0.046	0.024	0.014	0.023	0.019
<i>Spooldersluis binnen</i>	-0.023	0.028	0.016	-0.048	0.050	0.014
<i>Westerveld</i>	0.017	0.027	0.021	-0.006	0.016	0.015
Mond der Vecht	0.015	0.024	0.019	0.008	0.019	0.017
<i>Galgenrak</i>	-0.102	0.103	0.016	-0.100	0.101	0.017
<i>Kloosterzijk</i>	-0.018	0.021	0.011	-0.011	0.017	0.013
Zwartsuis	-0.006	0.011	0.009	-0.004	0.011	0.010
Genemuiden	0.045	0.046	0.009	0.047	0.047	0.009
<i>Kadoelen</i>	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
Ramspolbrug	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.007	0.042	0.020	-0.021	0.044	0.016
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.059	0.067	0.031	0.077	0.081	0.024
<i>Gemiddelde totaal</i>	0.007	0.056	0.030	-0.027	0.057	0.025
<i>RMS Gemiddelde totaal</i>	0.065	0.079	0.044	0.077	0.086	0.036

## J.2 Afvoerniveau M2

### J.2.1 Kalibratievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.170	0.171	0.023	0.025	0.039	0.030
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	0.041	0.043	0.014	0.039	0.041	0.014
<i>De Haandrik boven</i>	0.002	0.009	0.009	0.002	0.009	0.009
<b>De Haandrik beneden</b>	<b>-0.246</b>	<b>0.272</b>	<b>0.118</b>	<b>-0.128</b>	<b>0.209</b>	<b>0.166</b>
<i>Hardenberg boven</i>	0.003	0.017	0.017	0.003	0.017	0.017
<b>Hardenberg beneden</b>	<b>-0.036</b>	<b>0.076</b>	<b>0.068</b>	<b>-0.022</b>	<b>0.078</b>	<b>0.075</b>
<i>Marienberg boven</i>	0.002	0.017	0.016	0.002	0.017	0.016
<b>Marienberg beneden</b>	<b>0.011</b>	<b>0.049</b>	<b>0.048</b>	<b>-0.033</b>	<b>0.064</b>	<b>0.055</b>
<i>Junne boven</i>	0.003	0.017	0.017	0.004	0.017	0.017
<b>Junne beneden</b>	<b>0.204</b>	<b>0.214</b>	<b>0.066</b>	<b>0.001</b>	<b>0.070</b>	<b>0.070</b>
<b>Ommen</b>	<b>0.091</b>	<b>0.109</b>	<b>0.060</b>	<b>-0.029</b>	<b>0.070</b>	<b>0.063</b>
<i>Ommerkanaal</i>	<b>-0.028</b>	<b>0.073</b>	<b>0.067</b>	<b>-0.116</b>	<b>0.133</b>	<b>0.065</b>
<i>Vilsteren boven</i>	0.001	0.016	0.016	0.001	0.016	0.016
<b>Vilsteren beneden</b>	<b>-0.004</b>	<b>0.097</b>	<b>0.098</b>	<b>-0.091</b>	<b>0.139</b>	<b>0.106</b>
<b>Dalfsen</b>	<b>-0.013</b>	<b>0.048</b>	<b>0.047</b>	<b>-0.047</b>	<b>0.071</b>	<b>0.053</b>
<i>Vechterweerd boven</i>	0.000	0.023	0.023	-0.001	0.022	0.022
<b>Vechterweerd beneden</b>	<b>0.050</b>	<b>0.120</b>	<b>0.110</b>	<b>-0.095</b>	<b>0.143</b>	<b>0.107</b>
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.011	0.061	0.061	-0.042	0.075	0.063
<i>Westerveld</i>	-0.014	0.040	0.038	-0.066	0.072	0.029
<b>Mond der Vecht</b>	<b>0.030</b>	<b>0.045</b>	<b>0.033</b>	<b>-0.020</b>	<b>0.032</b>	<b>0.024</b>
<i>Galgenrak</i>	0.034	0.050	0.037	0.008	0.030	0.029
<i>Kloosterzijl</i>	-0.058	0.065	0.029	-0.068	0.072	0.023
<b>Zwartsluis</b>	<b>0.003</b>	<b>0.017</b>	<b>0.017</b>	<b>0.001</b>	<b>0.013</b>	<b>0.013</b>
<b>Genemuiden</b>	<b>-0.001</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	<b>-0.006</b>	<b>0.019</b>	<b>0.018</b>
<i>Kadoelen</i>	0.040	0.044	0.019	0.037	0.041	0.018
<b>Rampolbrug</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.001</b>
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	<b>0.020</b>	<b>0.095</b>	<b>0.055</b>	<b>-0.034</b>	<b>0.073</b>	<b>0.060</b>
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	<b>0.105</b>	<b>0.123</b>	<b>0.065</b>	<b>0.055</b>	<b>0.093</b>	<b>0.075</b>
<i>Gemiddelde totaal</i>	<i>0.011</i>	<i>0.066</i>	<i>0.041</i>	<i>-0.025</i>	<i>0.058</i>	<i>0.043</i>
<i>RMS Gemiddelde totaal</i>	<i>0.077</i>	<i>0.092</i>	<i>0.052</i>	<i>0.051</i>	<i>0.076</i>	<i>0.057</i>

J.2.2

Validatievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.150	0.152	0.018	0.062	0.156	0.143
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	-	-	-	-	-	-
<i>De Haandrik boven</i>	0.001	0.003	0.003	0.016	0.050	0.047
De Haandrik beneden	-0.121	0.204	0.165	0.022	0.262	0.261
<i>Hardenberg boven</i>	0.016	0.047	0.044	0.026	0.075	0.070
Hardenberg beneden	0.083	0.117	0.083	0.108	0.157	0.114
<i>Marienberg boven</i>	-	-	-	-	-	-
Marienberg beneden	-	-	-	-	-	-
<i>Junne boven</i>	0.060	0.146	0.133	0.039	0.106	0.098
Junne beneden	0.251	0.292	0.149	0.033	0.191	0.188
Ommen	0.201	0.300	0.223	0.049	0.235	0.230
<i>Ommerkanaal</i>	-0.019	0.119	0.118	-0.145	0.179	0.104
<i>Vilsteren boven</i>	0.066	0.132	0.115	0.038	0.078	0.069
Vilsteren beneden	0.148	0.213	0.154	0.052	0.164	0.156
Dalfsen	0.093	0.165	0.136	0.038	0.121	0.115
<i>Vechterweerd boven</i>	0.093	0.175	0.148	0.054	0.110	0.095
Vechterweerd beneden	0.164	0.217	0.143	0.032	0.141	0.137
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.085	0.104	0.060	0.024	0.045	0.038
<i>Westerveld</i>	0.030	0.069	0.062	-0.030	0.051	0.041
Mond der Vecht	0.065	0.086	0.057	0.006	0.035	0.034
<i>Galgenrak</i>	0.064	0.083	0.053	0.031	0.046	0.035
<i>Kloosterzijl</i>	-0.161	0.166	0.041	-0.178	0.180	0.031
Zwartsluis	0.012	0.034	0.031	0.004	0.022	0.022
Genemuiden	0.013	0.031	0.029	0.003	0.023	0.023
<i>Kadoelen</i>	0.051	0.056	0.023	0.045	0.050	0.021
Ramspolbrug	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.088	0.151	0.099	0.034	0.126	0.119
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.132	0.179	0.120	0.045	0.151	0.144
<i>Gemiddelde totaal</i>	0.059	0.127	0.087	0.014	0.108	0.090
<i>RMS Gemiddelde totaal</i>	0.108	0.151	0.105	0.062	0.129	0.113

## J.3 Afvoerniveau H1

### J.3.1 Kalibratievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	-0.241	0.291	0.165	0.028	0.059	0.052
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	0.003	0.020	0.020	0.048	0.077	0.061
<i>De Haandrik boven</i>	0.000	0.003	0.003	0.023	0.057	0.052
De Haandrik beneden	-0.257	0.268	0.076	0.012	0.099	0.098
<i>Hardenberg boven</i>	0.000	0.003	0.003	0.031	0.055	0.045
Hardenberg beneden	-0.163	0.173	0.058	-0.016	0.100	0.099
<i>Marienberg boven</i>	0.002	0.007	0.006	0.059	0.076	0.047
Marienberg beneden	-0.143	0.157	0.066	-0.004	0.070	0.070
<i>Junne boven</i>	0.037	0.058	0.045	0.012	0.020	0.015
Junne beneden	-0.026	0.104	0.101	-0.024	0.062	0.058
Ommen	0.079	0.109	0.075	0.002	0.027	0.027
<i>Ommerkanaal</i>	0.036	0.060	0.048	-0.037	0.048	0.031
<i>Vilsteren boven</i>	0.053	0.066	0.040	0.003	0.008	0.008
Vilsteren beneden	0.073	0.085	0.044	-0.015	0.035	0.031
Dalfsen	0.062	0.088	0.063	-0.010	0.044	0.043
<i>Vechterweerd boven</i>	0.087	0.103	0.055	0.016	0.031	0.027
Vechterweerd beneden	0.071	0.089	0.055	-0.025	0.055	0.049
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.131	0.145	0.064	-0.015	0.034	0.031
<i>Westerveld</i>	0.104	0.118	0.056	-0.044	0.051	0.025
Mond der Vecht	0.124	0.135	0.053	-0.022	0.034	0.026
<i>Galgenrak</i>	0.106	0.118	0.052	-0.004	0.040	0.040
<i>Kloosterzijl</i>	0.030	0.054	0.045	-0.052	0.060	0.030
Zwartsluis	0.050	0.056	0.024	-0.016	0.028	0.023
Genemuiden	0.033	0.041	0.024	-0.017	0.033	0.028
<i>Kadoelen</i>	0.070	0.074	0.024	0.039	0.046	0.024
Rampolbrug	0.004	0.005	0.003	0.004	0.005	0.003
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	-0.026	0.123	0.062	-0.008	0.050	0.047
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.127	0.147	0.073	0.017	0.057	0.054
<i>Gemiddelde totaal</i>	0.013	0.093	0.049	-0.001	0.048	0.040
<i>RMS Gemiddelde totaal</i>	0.102	0.118	0.059	0.027	0.054	0.046

J.3.2

Validatievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.126	0.131	0.038	0.483	0.491	0.090
De Haandrik Kruisbrug	0.098	0.118	0.066	0.340	0.383	0.178
De Haandrik boven	0.097	0.117	0.067	0.329	0.371	0.174
De Haandrik beneden	0.032	0.098	0.094	0.300	0.363	0.205
Hardenberg boven	0.136	0.156	0.077	0.230	0.269	0.141
Hardenberg beneden	0.094	0.138	0.101	0.204	0.259	0.160
Marienberg boven	0.202	0.228	0.106	0.265	0.308	0.158
Marienberg beneden	0.148	0.206	0.143	0.232	0.305	0.200
Junne boven	0.245	0.269	0.110	0.191	0.237	0.141
Junne beneden	0.237	0.260	0.108	0.166	0.232	0.163
Ommen	0.302	0.316	0.093	0.161	0.193	0.107
Ommerkanaal	0.241	0.266	0.115	0.104	0.159	0.121
Vilsteren boven	0.217	0.244	0.114	0.103	0.148	0.107
Vilsteren beneden	0.248	0.271	0.111	0.127	0.165	0.107
Dalfsen	0.239	0.263	0.111	0.122	0.153	0.094
Vechterweerd boven	0.253	0.272	0.100	0.138	0.163	0.087
Vechterweerd beneden	0.232	0.253	0.101	0.108	0.139	0.088
Spooldersluis binnen	-0.425	0.442	0.122	-0.538	0.577	0.146
Westerveld	0.122	0.125	0.031	-0.013	0.018	0.012
Mond der Vecht	0.149	0.154	0.039	0.017	0.023	0.015
Galgenrak	0.122	0.127	0.034	0.034	0.039	0.020
Kloosterzijl	0.041	0.045	0.020	-0.021	0.024	0.013
Zwartsluis	0.052	0.053	0.012	0.005	0.011	0.010
Genemuiden	0.033	0.035	0.011	-0.001	0.008	0.008
Kadoelen	0.062	0.063	0.014	0.043	0.044	0.010
Rampolbrug	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.001
Gemiddelde kalibratiestations	0.146	0.168	0.074	0.148	0.180	0.096
RMS Gemiddelde kalibratiestations	0.174	0.194	0.087	0.199	0.231	0.118
Gemiddelde totaal	0.127	0.179	0.075	0.120	0.196	0.098
RMS Gemiddelde totaal	0.188	0.206	0.085	0.220	0.249	0.118

J.4

Afvoerniveau H2

J.4.1

Kalibratievenster

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd H2 + H1J98			Gekalibreerd H2			WAQUA		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	-0.333	0.335	0.035	0.001	0.014	0.014	-0.007	0.016	0.015	0.021	0.036	0.029
De Haandrik Kruisbrug	-0.377	0.380	0.052	0.019	0.073	0.070	0.016	0.072	0.070	0.042	0.053	0.033
De Haandrik beneden	-0.452	0.457	0.067	-0.017	0.081	0.079	-0.020	0.082	0.079	0.015	0.047	0.045
Hardenberg boven	-0.233	0.268	0.090	-0.109	0.159	0.115	-0.111	0.162	0.118	-0.009	0.059	0.058
Hardenberg beneden	-0.173	0.199	0.099	-0.017	0.123	0.122	-0.019	0.126	0.125	0.021	0.076	0.073
Marienberg boven	-0.208	0.270	0.188	-0.048	0.216	0.230	-0.056	0.237	0.252	-0.002	0.092	0.100
Marienberg beneden	-0.231	0.288	0.189	-0.042	0.215	0.231	-0.050	0.238	0.255	0.029	0.096	0.100
Junne boven	-0.251	0.296	0.157	-0.084	0.246	0.232	-0.079	0.271	0.260	0.054	0.077	0.055
Junne beneden	-0.326	0.365	0.163	-0.128	0.274	0.243	-0.122	0.298	0.273	0.040	0.070	0.057
Ommen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ommerkanaal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vilsteren boven	-0.388	0.407	0.124	-0.285	0.371	0.238	-0.286	0.383	0.256	-0.008	0.062	0.062
Vilsteren beneden	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dalfsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vechterweerd boven	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vechterweerd beneden	-0.445	0.468	0.146	-0.280	0.432	0.330	-0.297	0.455	0.347	-0.017	0.083	0.081
Spooldersluis binnen	0.060	0.083	0.058	-0.083	0.140	0.113	-0.087	0.151	0.124	0.124	0.127	0.026
Westerveld	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mond der Vecht	0.030	0.075	0.069	-0.111	0.163	0.120	-0.114	0.172	0.129	0.067	0.075	0.035
Galgenrak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kloosterzijl	0.013	0.040	0.038	-0.052	0.099	0.085	-0.081	0.112	0.079	-0.003	0.033	0.033
Zwartsluis	0.072	0.080	0.035	-0.022	0.060	0.056	-0.043	0.069	0.054	0.014	0.030	0.027
Genemuiden	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadoelen	0.011	0.020	0.016	-0.013	0.023	0.019	-0.018	0.026	0.019	0.005	0.014	0.014
Rampolbrug	0.006	0.006	0.002	0.005	0.005	0.001	0.004	0.005	0.001	0.004	0.004	0.001
Gemiddelde kalibratiestations	-0.184	0.231	0.084	-0.066	0.147	0.128	-0.075	0.157	0.136	0.019	0.055	0.048
RMS Gemiddelde kalibratiestations	0.266	0.285	0.103	0.106	0.192	0.164	0.113	0.205	0.175	0.029	0.062	0.056
Gemiddelde totaal	-0.191	0.238	0.090	-0.074	0.158	0.135	-0.081	0.169	0.144	0.023	0.061	0.049
RMS Gemiddelde totaal	0.263	0.283	0.107	0.114	0.198	0.165	0.119	0.211	0.178	0.041	0.068	0.056



## J.5.1

## Statistieken waterstand

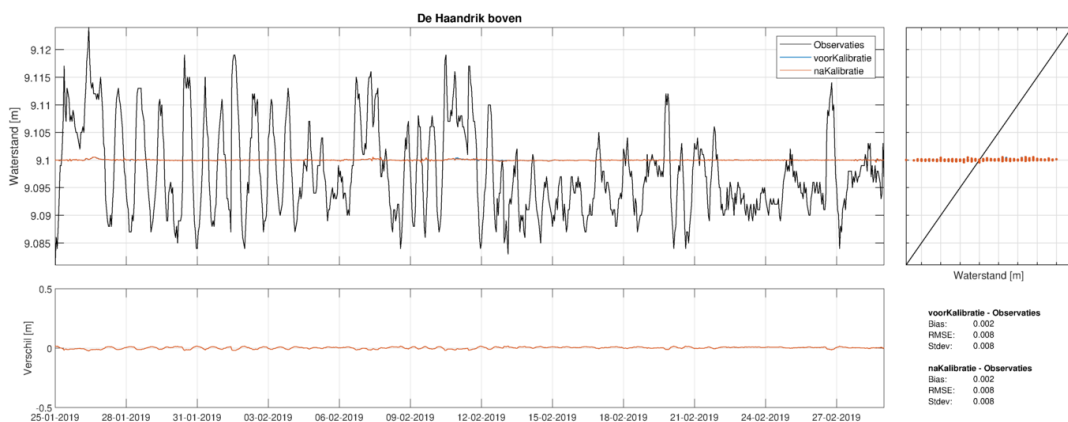
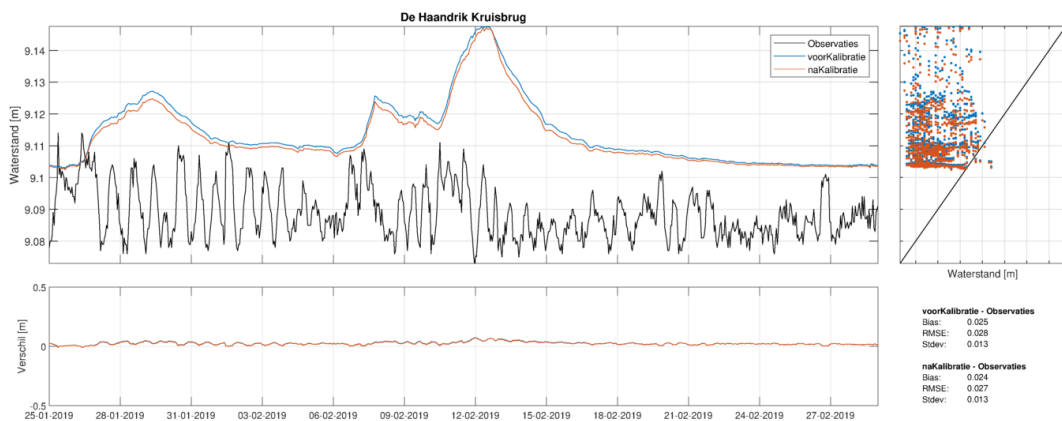
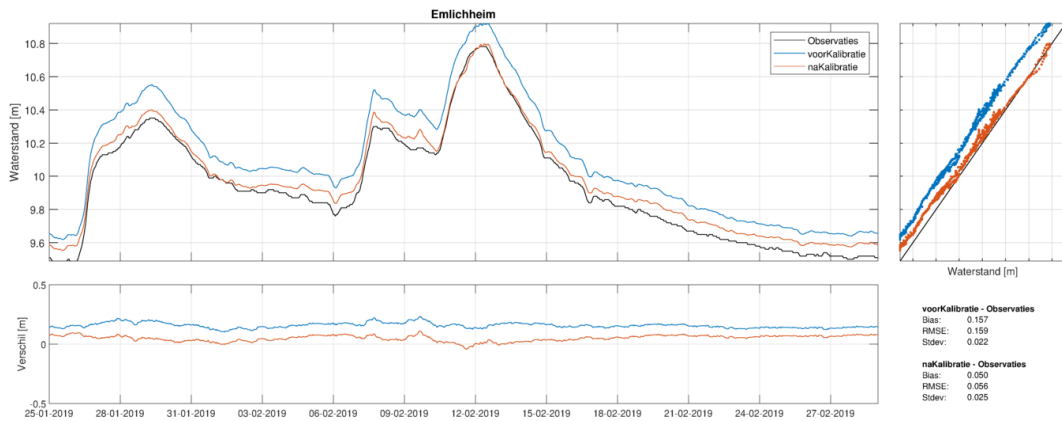
	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.157	0.159	0.022	0.050	0.056	0.025
De Haandrik Kruisbrug	0.025	0.028	0.013	0.024	0.027	0.013
De Haandrik boven	0.002	0.008	0.008	0.002	0.008	0.008
De Haandrik beneden	-0.124	0.173	0.122	-0.101	0.153	0.114
Hardenberg boven	0.004	0.016	0.016	0.004	0.016	0.016
Hardenberg beneden	0.008	0.056	0.056	0.004	0.056	0.055
Marienberg boven	0.003	0.016	0.016	0.003	0.016	0.016
Marienberg beneden	-0.004	0.038	0.038	-0.035	0.051	0.037
Junne boven	0.003	0.018	0.017	0.003	0.018	0.017
Junne beneden	0.148	0.162	0.067	-0.007	0.056	0.055
Ommen	0.062	0.074	0.042	-0.020	0.049	0.045
Ommerkanaal	-0.044	0.064	0.047	-0.100	0.114	0.055
Vilsteren boven	0.001	0.015	0.015	0.001	0.015	0.015
Vilsteren beneden	-0.007	0.064	0.064	-0.070	0.101	0.072
Dalfsen	-0.004	0.034	0.034	-0.027	0.048	0.040
Vechterweerd boven	0.003	0.021	0.021	0.003	0.021	0.020
Vechterweerd beneden	0.016	0.075	0.074	-0.086	0.112	0.073
Spooldersluis binnen	-0.001	0.060	0.060	-0.030	0.072	0.066
Westerveld	-0.038	0.048	0.029	-0.065	0.069	0.022
Mond der Vecht	0.017	0.028	0.021	-0.009	0.019	0.017
Galgenrak	0.011	0.028	0.025	0.001	0.020	0.020
Kloosterzijl	-0.074	0.077	0.020	-0.075	0.077	0.018
Zwartsluis	-0.007	0.016	0.015	-0.003	0.015	0.015
Genemuiden	-0.007	0.016	0.014	-0.007	0.015	0.014
Kadoelen	0.041	0.045	0.017	0.041	0.045	0.017
Rampspolbrug	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gemiddelde	0.007	0.052	0.034	-0.019	0.048	0.033
RMS Gemiddelde	0.055	0.069	0.043	0.044	0.061	0.042

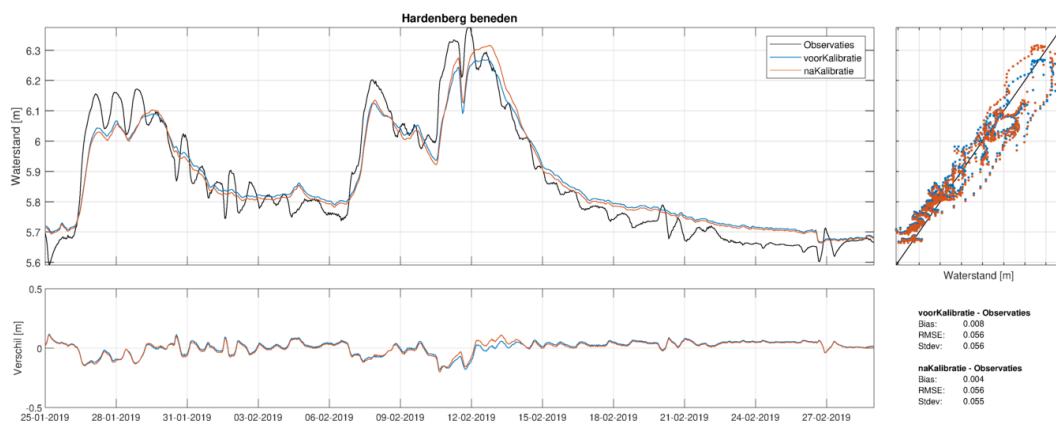
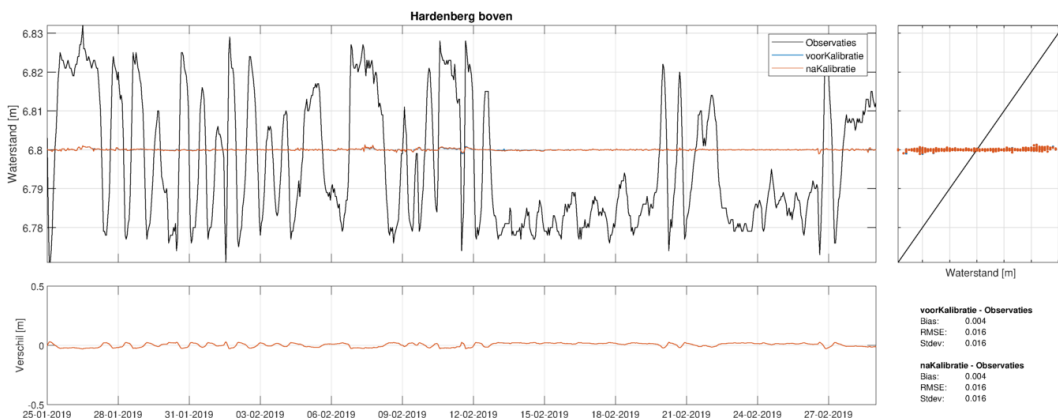
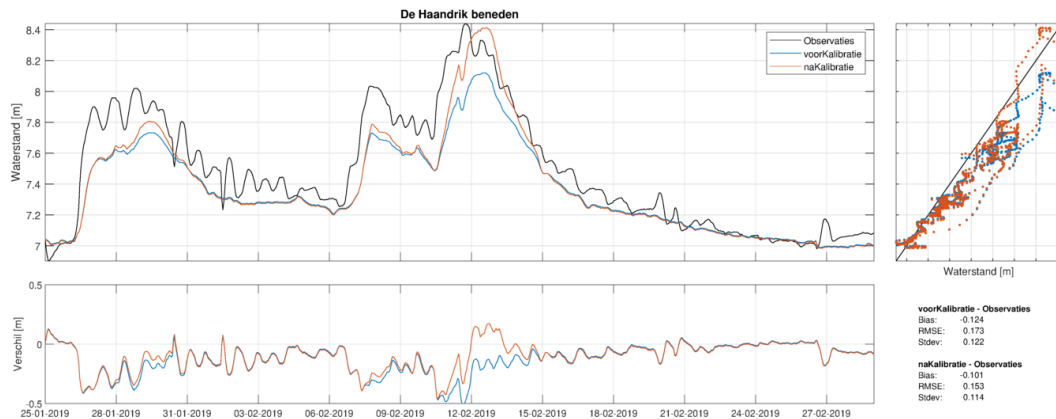
## J.5.2

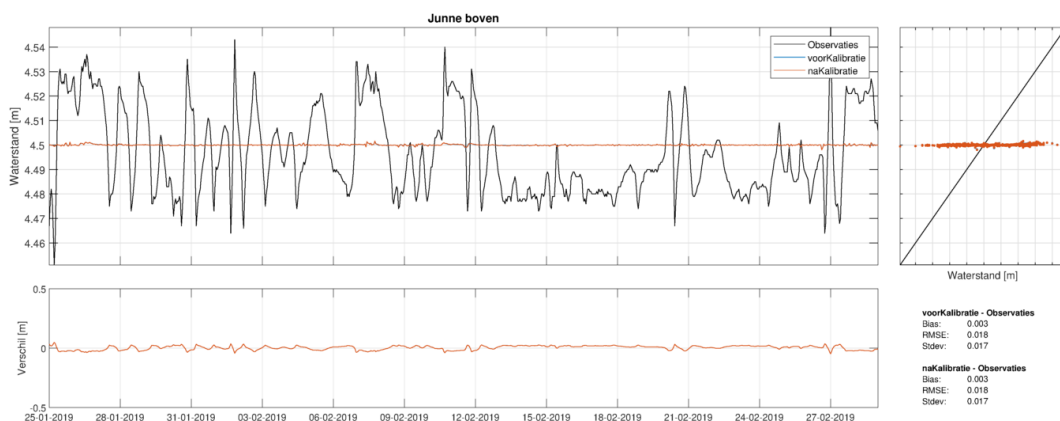
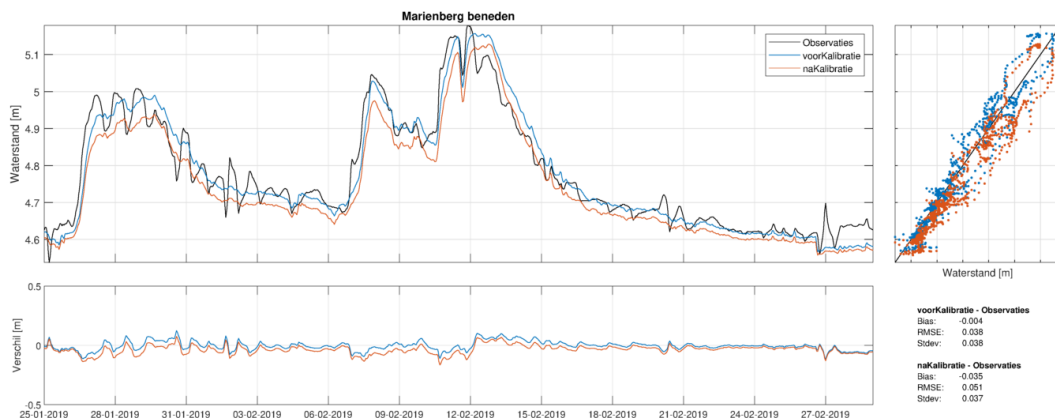
## Statistieken afvoer

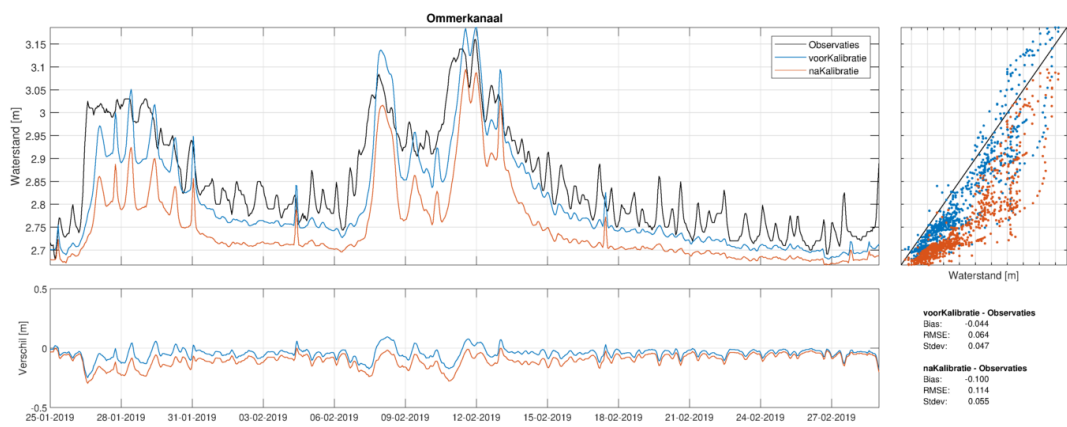
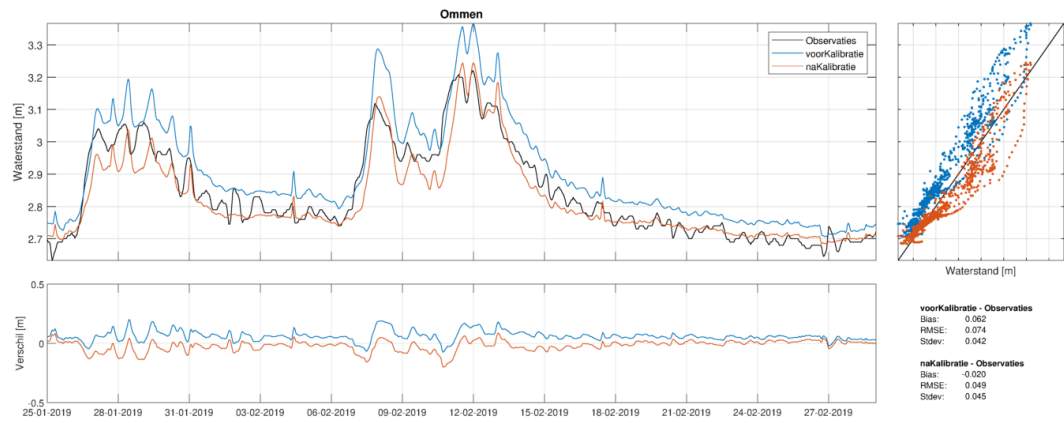
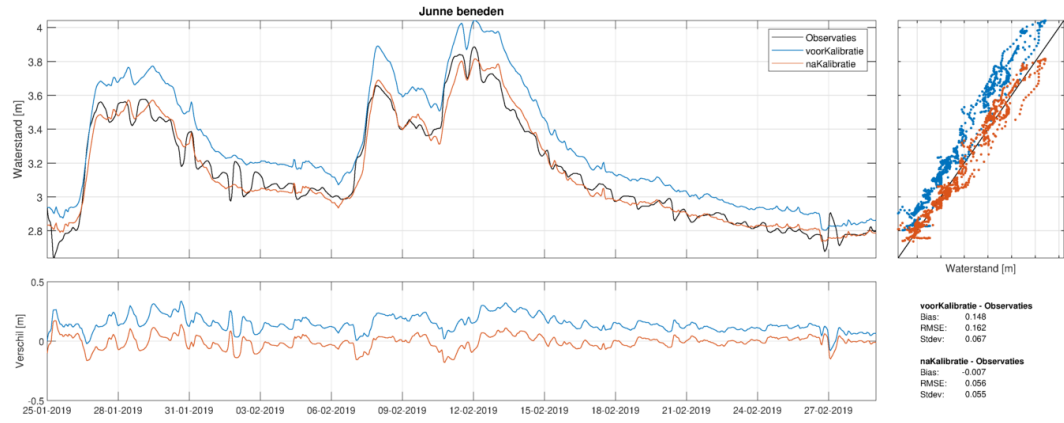
meetstation	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	-0.001	0.132	0.132	0.000	0.123	0.124
Ommen	-2.843	6.072	5.369	-2.852	6.055	5.344
Dalfsen	-1.119	6.553	6.461	-1.106	6.488	6.397
Gemiddelde	-1.321	4.252	3.987	-1.319	4.222	3.955
RMS Gemiddelde	1.764	5.159	4.850	1.766	5.124	4.813

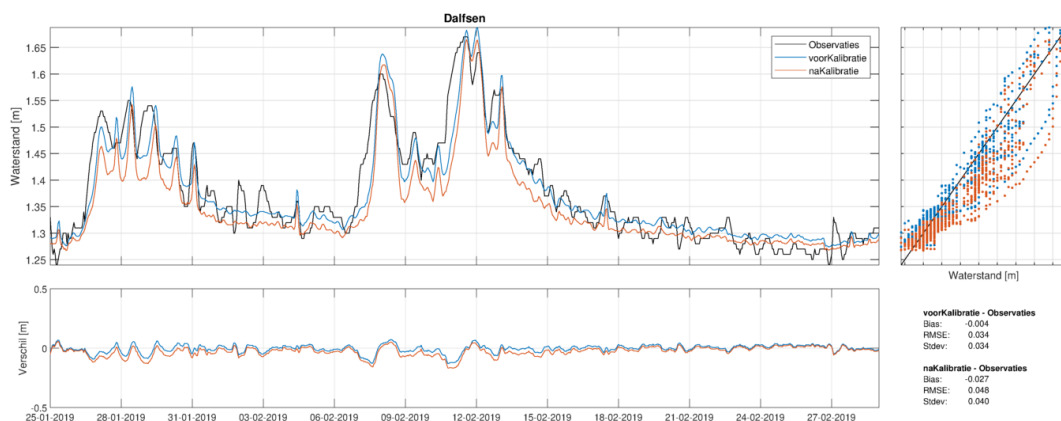
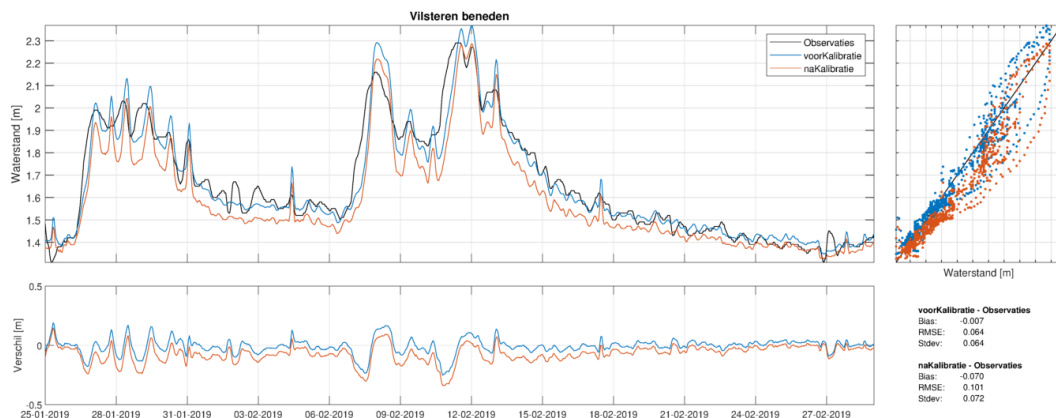
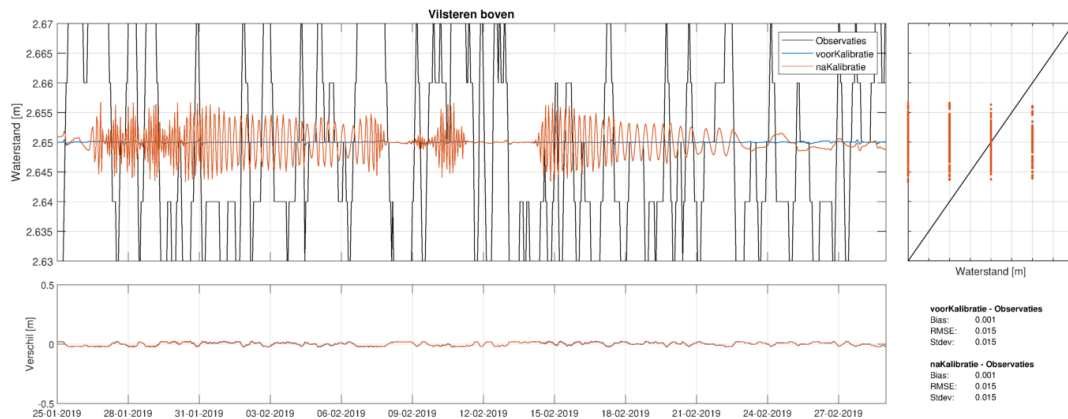
### J.5.3 Tijdsreeksen waterstanden

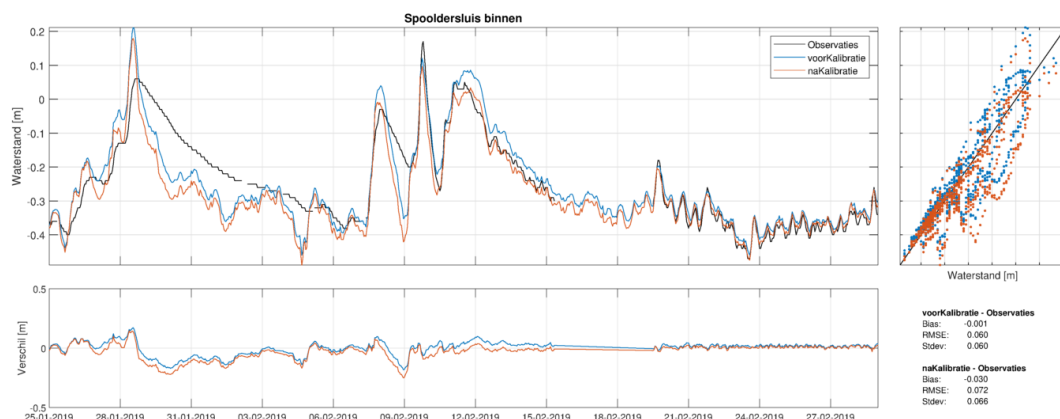
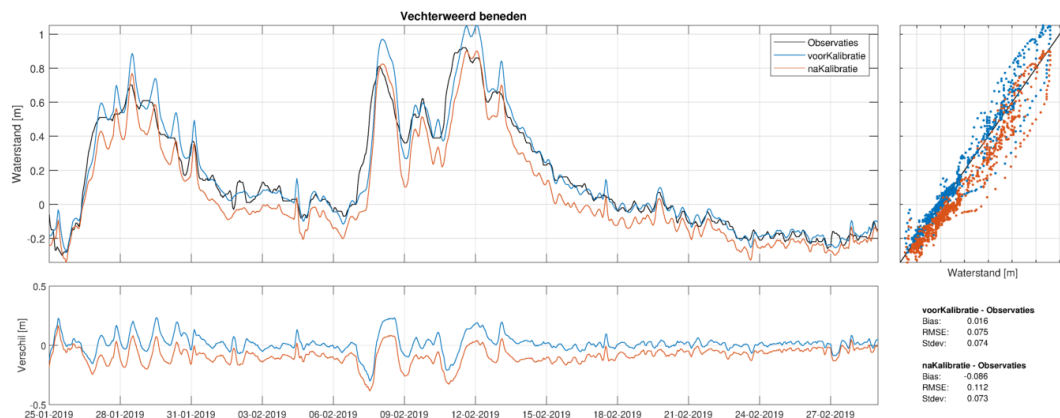
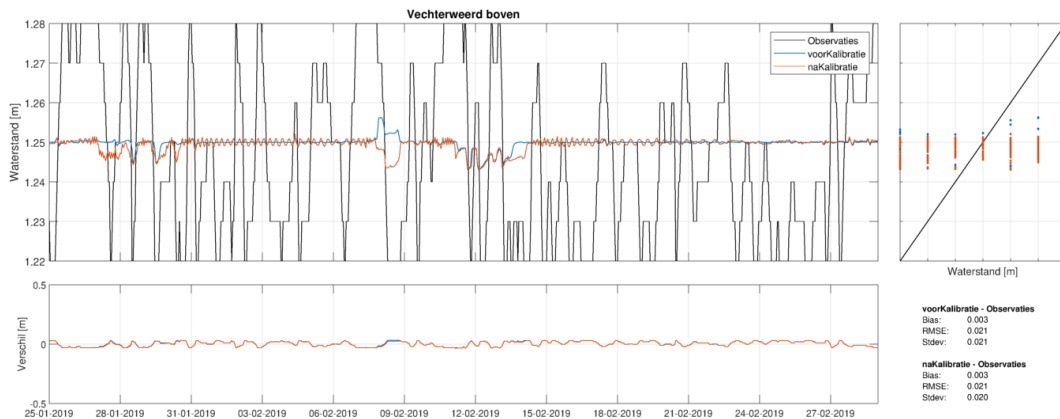


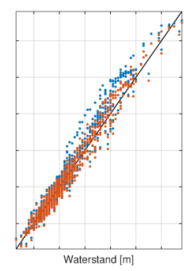
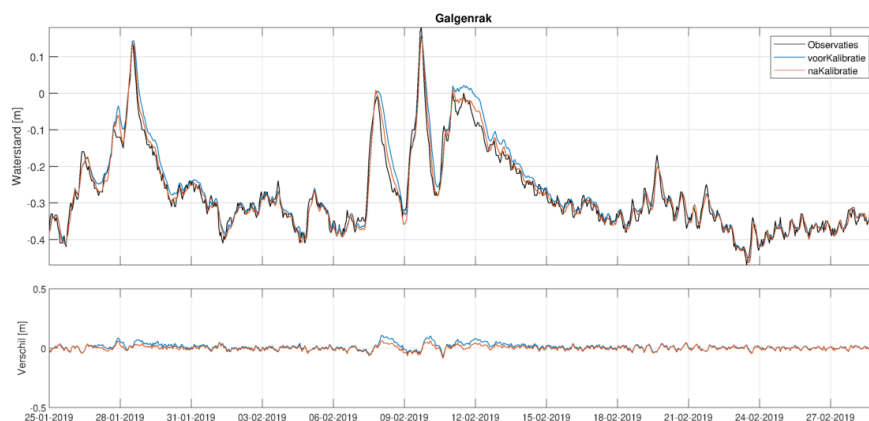
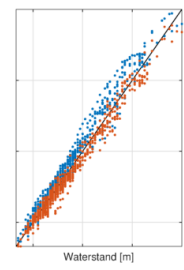
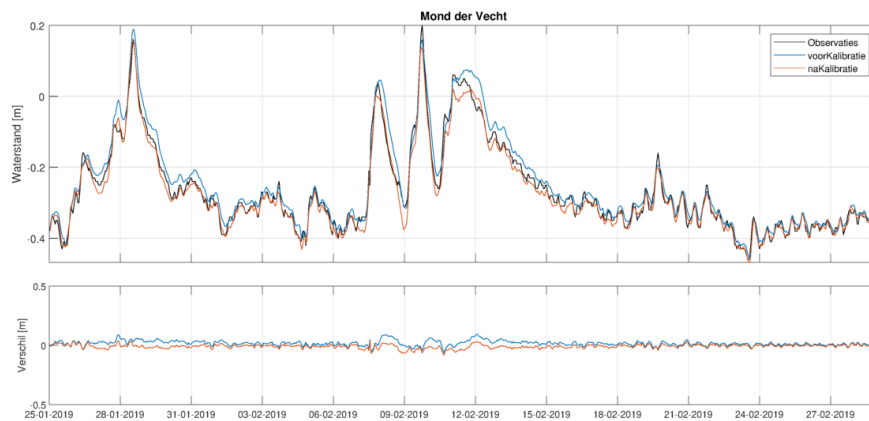
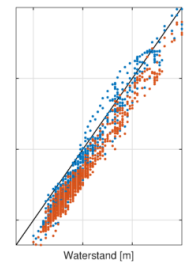
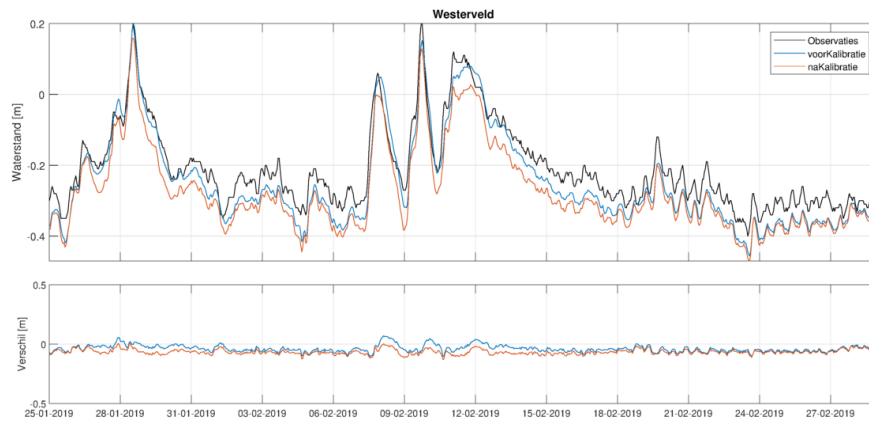




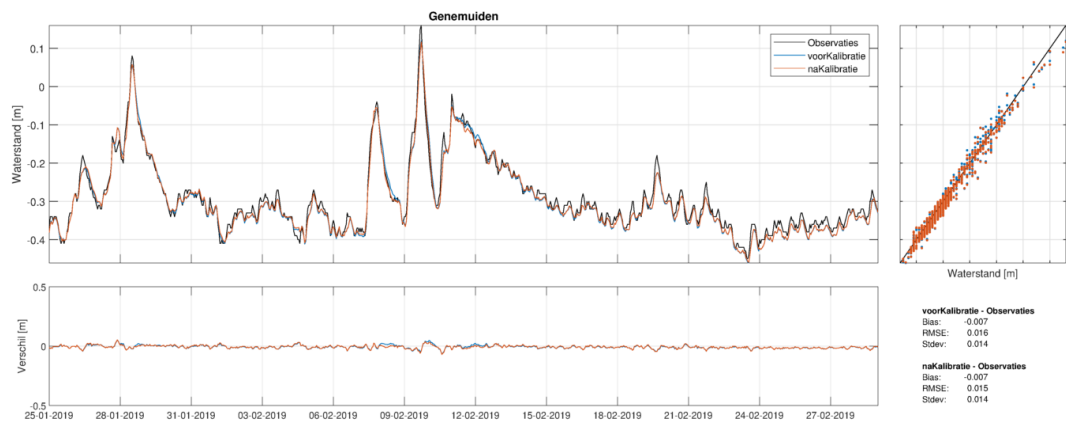
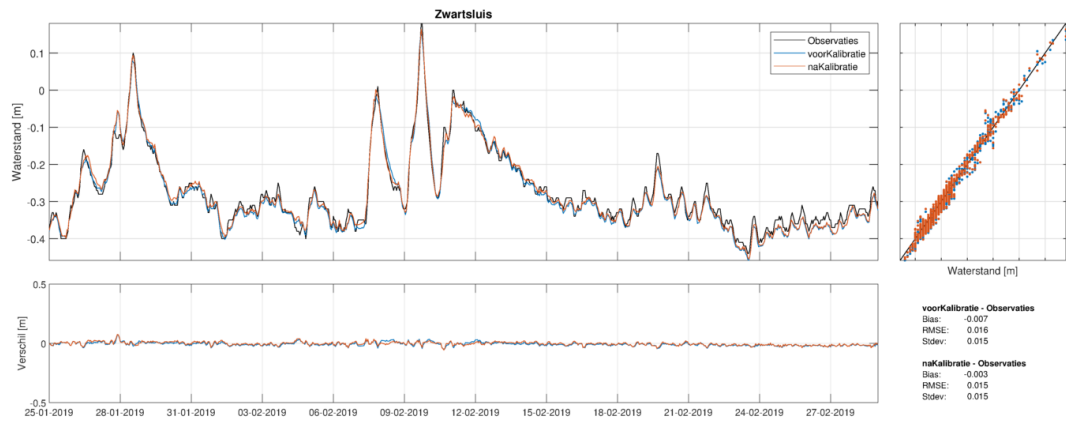
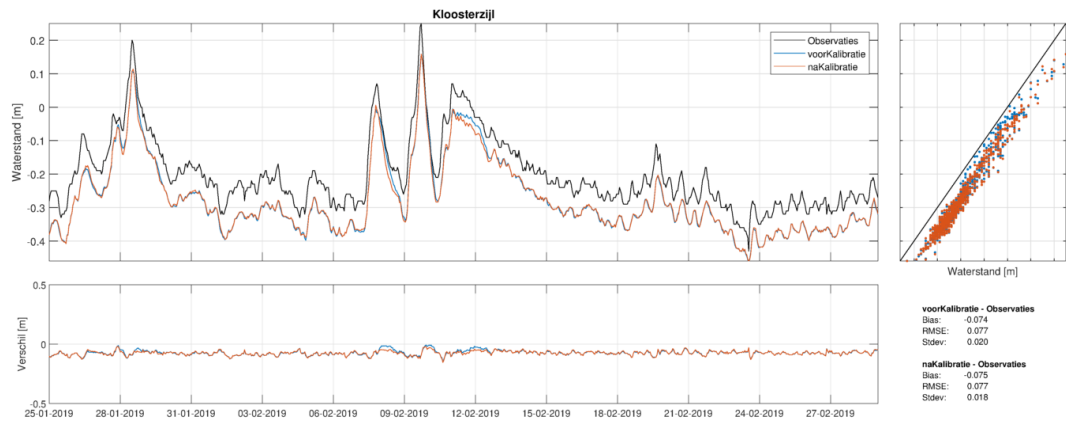


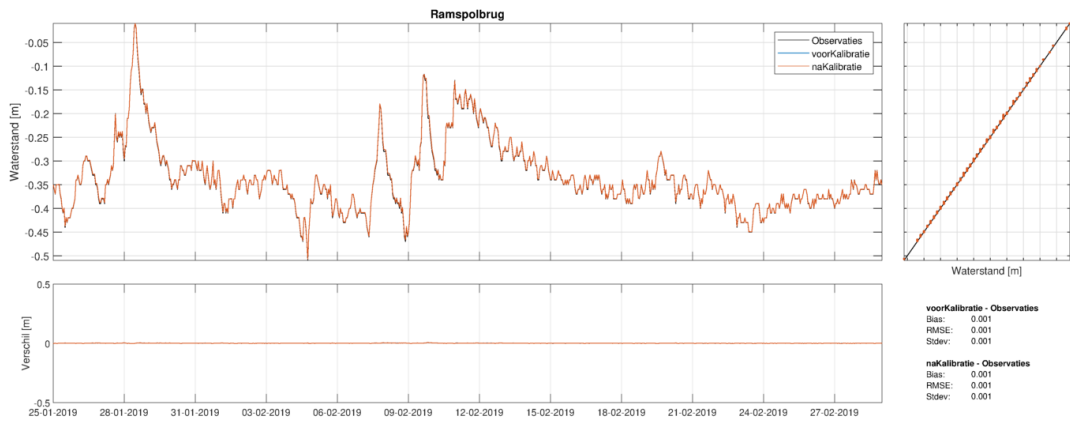
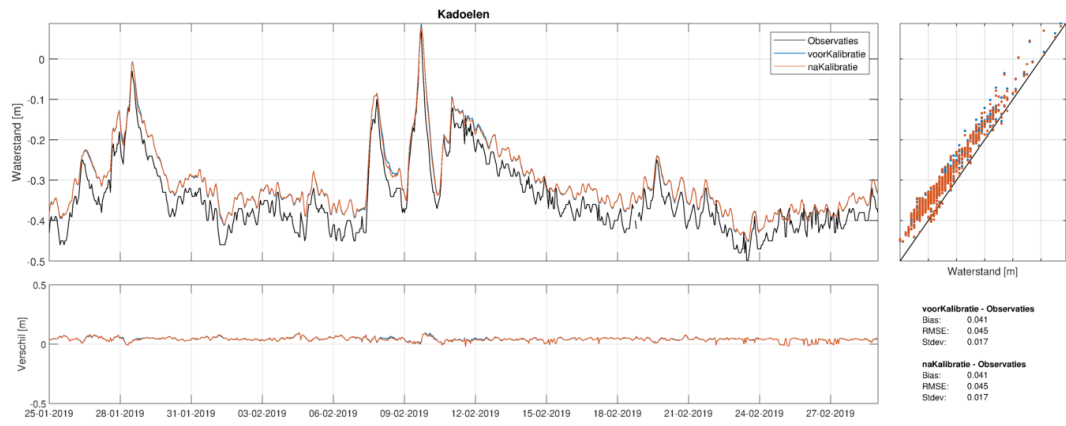




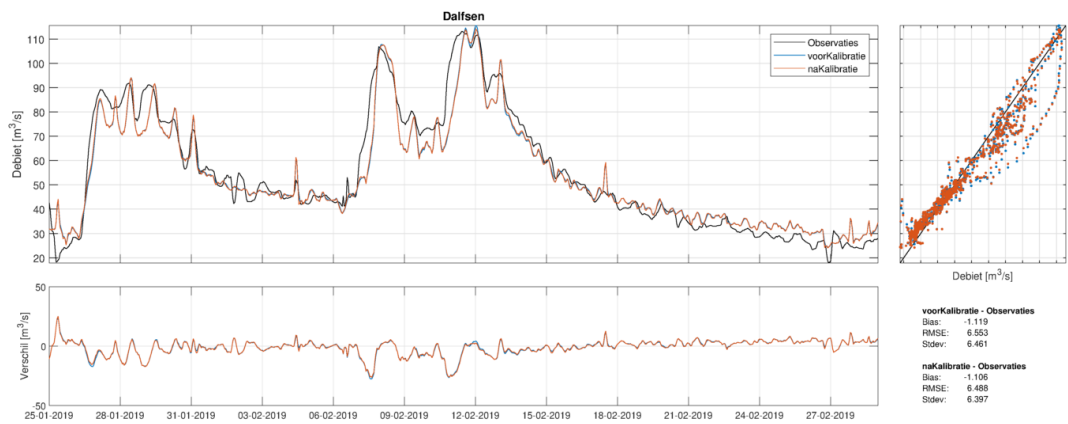
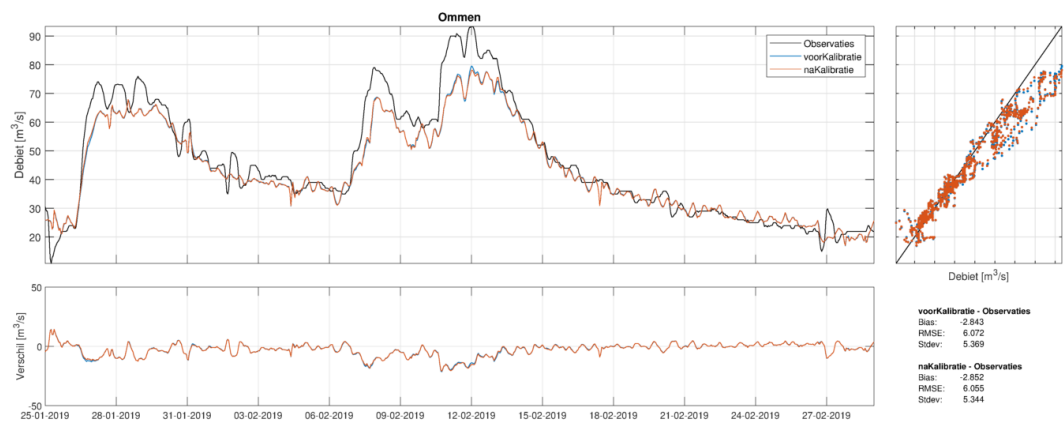
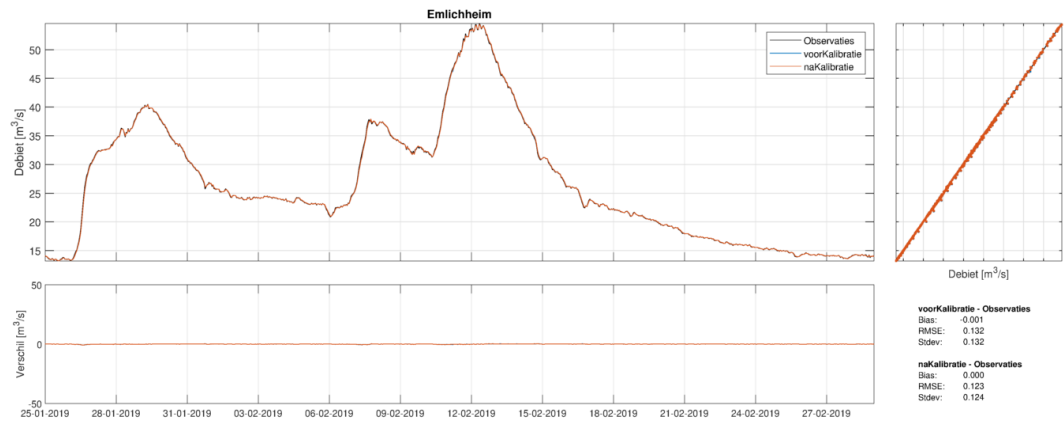








## J.5.4 Tijdsreefs afvoer



## J.6.1

## Statistieken waterstand

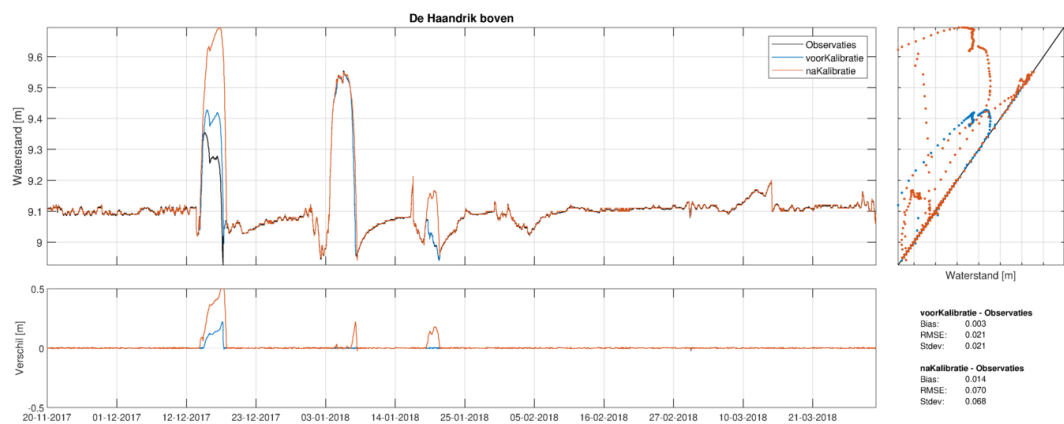
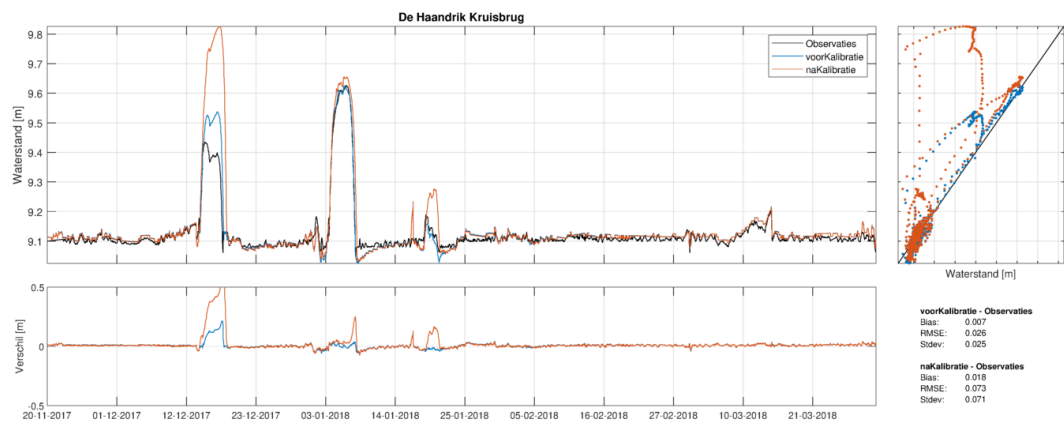
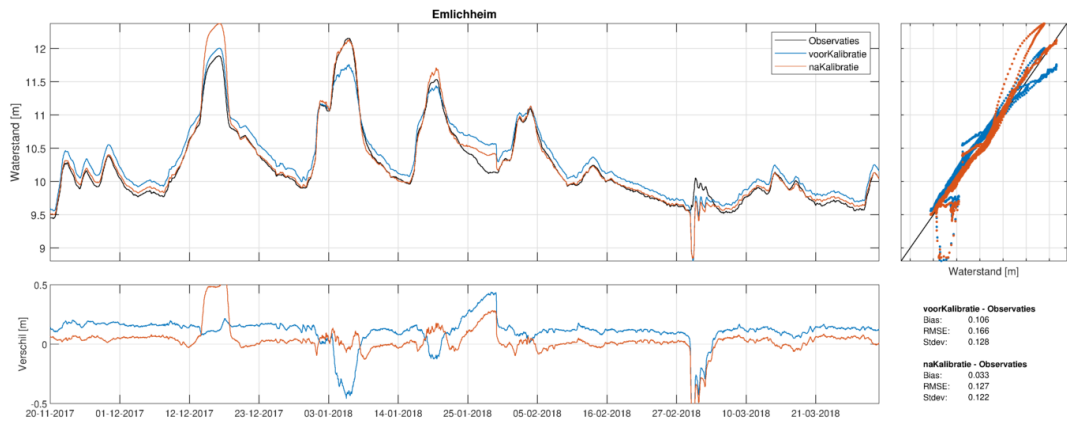
	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.106	0.166	0.128	0.033	0.127	0.122
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	0.007	0.026	0.025	0.018	0.073	0.071
<i>De Haandrik boven</i>	0.003	0.021	0.021	0.014	0.070	0.068
<i>De Haandrik beneden</i>	-0.114	0.173	0.129	-0.052	0.166	0.158
<i>Hardenberg boven</i>	0.005	0.027	0.027	0.011	0.055	0.054
<i>Hardenberg beneden</i>	-0.057	0.110	0.095	-0.042	0.121	0.114
<i>Marienberg boven</i>	0.011	0.046	0.044	0.019	0.075	0.073
<i>Marienberg beneden</i>	0.000	0.082	0.082	-0.022	0.109	0.106
<i>Junne boven</i>	0.014	0.056	0.055	0.011	0.057	0.056
<i>Junne beneden</i>	0.145	0.199	0.137	-0.056	0.147	0.136
<i>Ommen</i>	0.102	0.128	0.077	-0.017	0.083	0.081
<i>Ommerkanaal</i>	-0.134	0.195	0.142	-0.223	0.260	0.133
<i>Vilsteren boven</i>	0.020	0.064	0.061	0.009	0.043	0.042
<i>Vilsteren beneden</i>	0.071	0.113	0.088	-0.022	0.089	0.086
<i>Dalfsen</i>	0.044	0.126	0.118	-0.001	0.111	0.111
<i>Vechterweerd boven</i>	0.030	0.082	0.076	0.013	0.048	0.046
<i>Vechterweerd beneden</i>	0.085	0.121	0.087	-0.026	0.084	0.080
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.065	0.177	0.165	0.021	0.178	0.177
<i>Westerveld</i>	-0.005	0.050	0.050	-0.049	0.055	0.026
<i>Mond der Vecht</i>	0.035	0.057	0.045	-0.008	0.026	0.025
<i>Galgenrak</i>	0.037	0.053	0.038	0.013	0.028	0.025
<i>Kloosterzijk</i>	-0.045	0.060	0.040	-0.058	0.065	0.029
<i>Zwartsluit</i>	0.000	0.029	0.029	-0.007	0.022	0.021
<i>Genemuiden</i>	-0.001	0.024	0.024	-0.009	0.022	0.020
<i>Kadoelen</i>	0.041	0.047	0.023	0.035	0.040	0.019
<i>Ramspolbrug</i>	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002
<b>Gemiddelde</b>	0.018	0.086	0.070	-0.015	0.083	0.072
<b>RMS Gemiddelde</b>	0.063	0.104	0.082	0.052	0.101	0.086

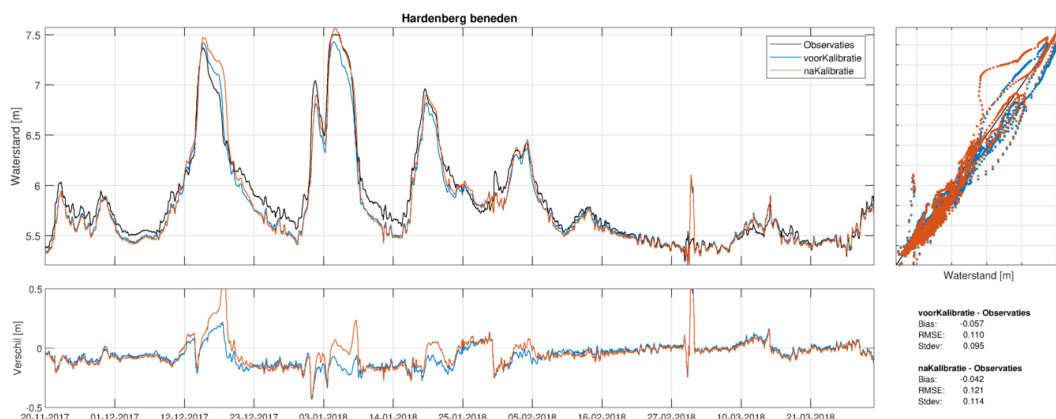
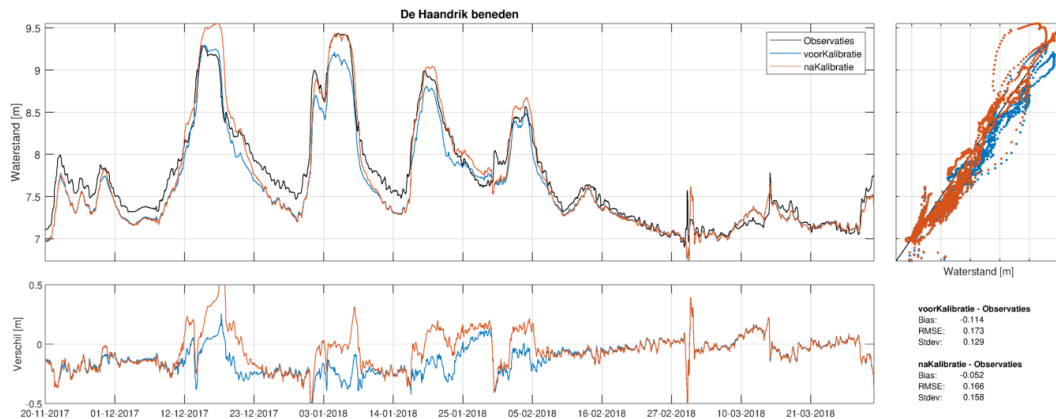
## J.6.2

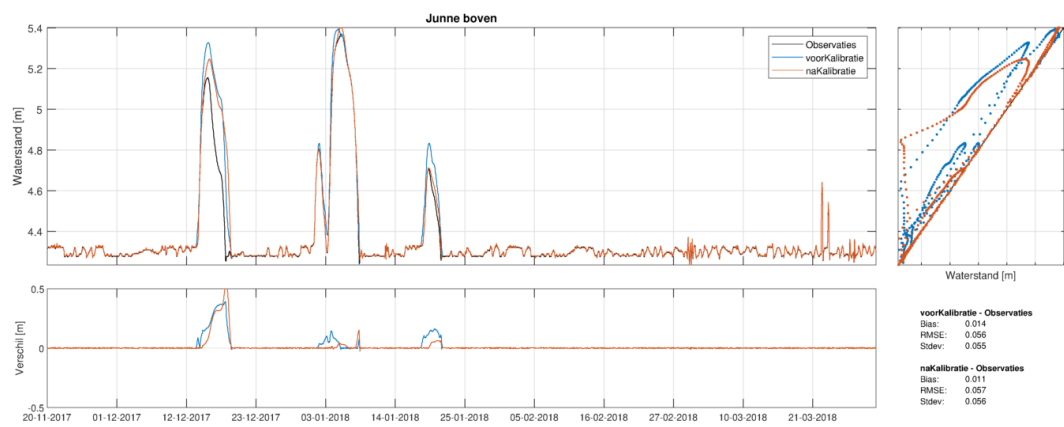
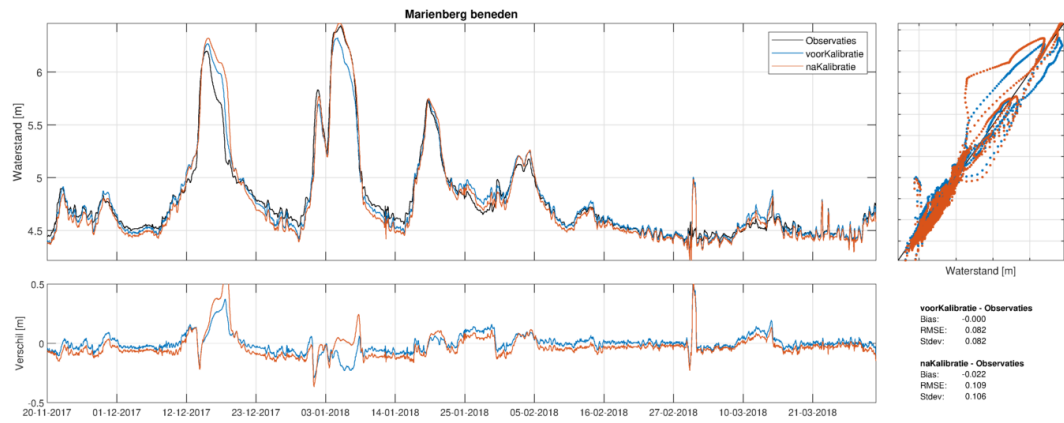
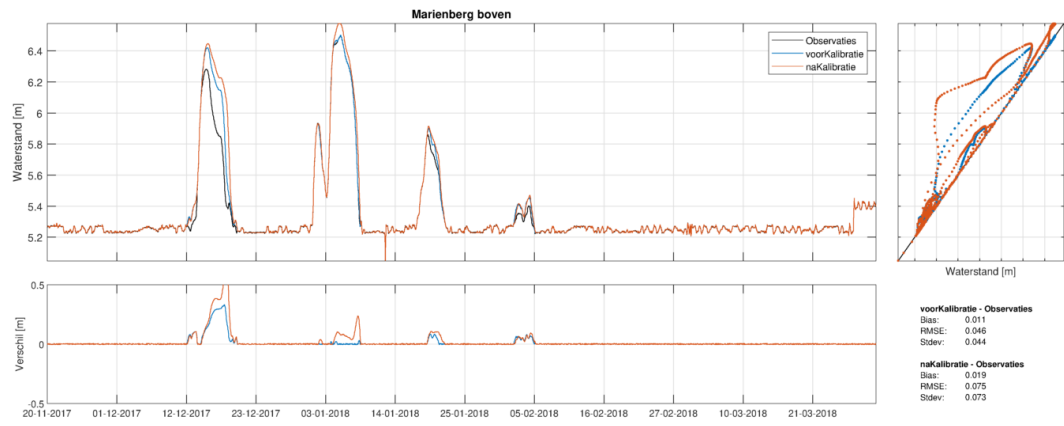
## Statistieken afvoer

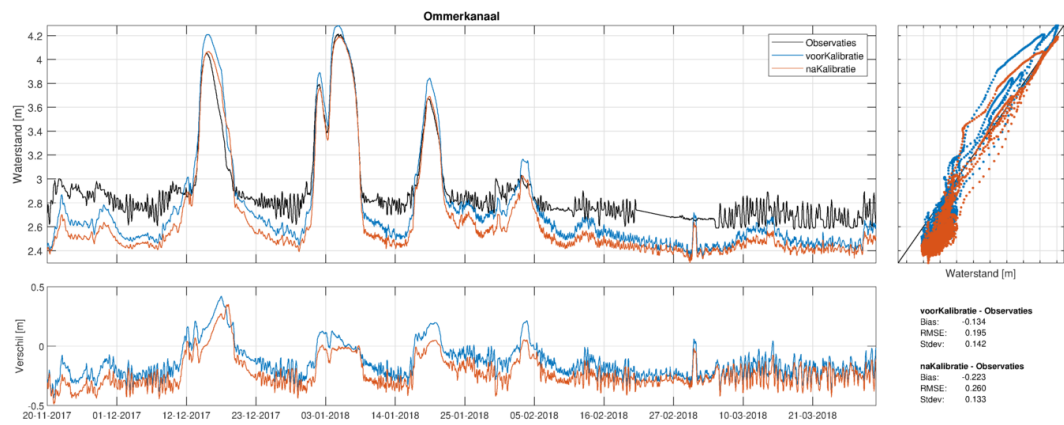
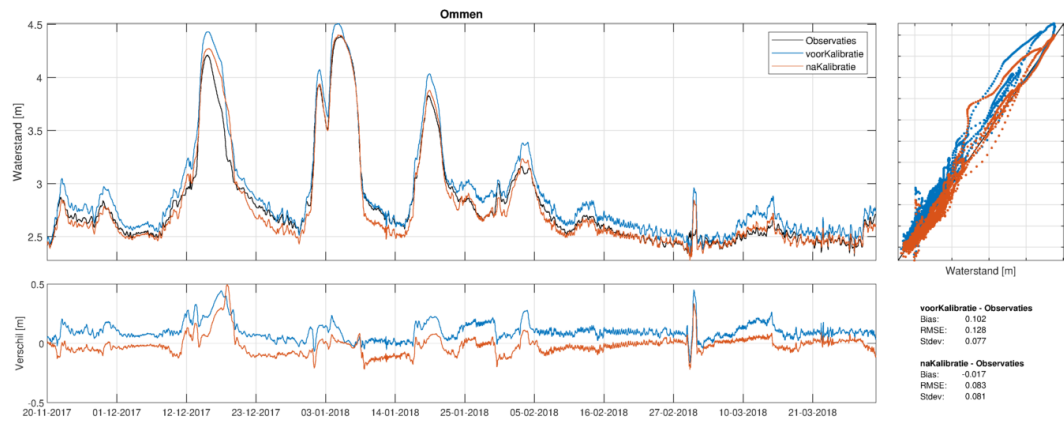
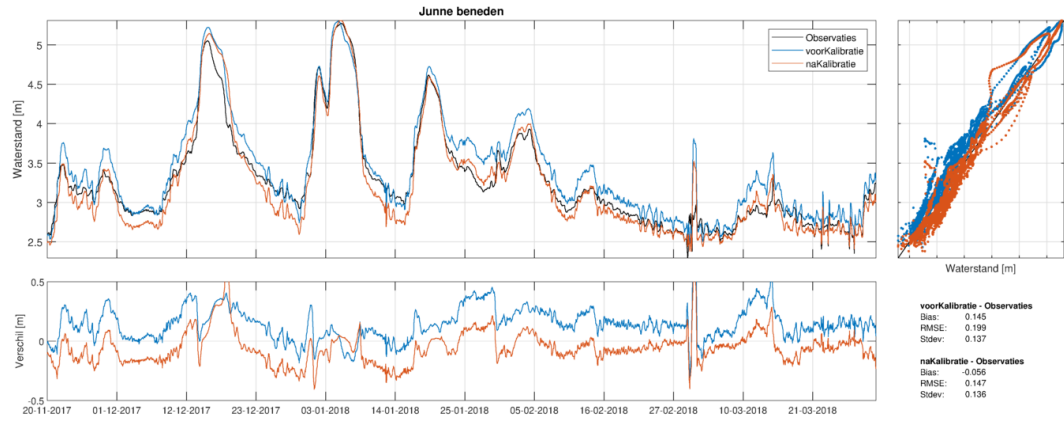
meetstation	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	-0.002	0.196	0.196	-0.003	0.278	0.278
Ommen	-3.028	8.947	8.421	-3.086	9.285	8.759
Dalfsen	6.232	10.084	7.929	6.200	9.951	7.785
<b>Gemiddelde</b>	1.067	6.409	5.515	1.037	6.505	5.607
<b>RMS Gemiddelde</b>	4.000	7.784	6.679	3.999	7.860	6.767

### J.6.3 Tijdsreeksen waterstanden

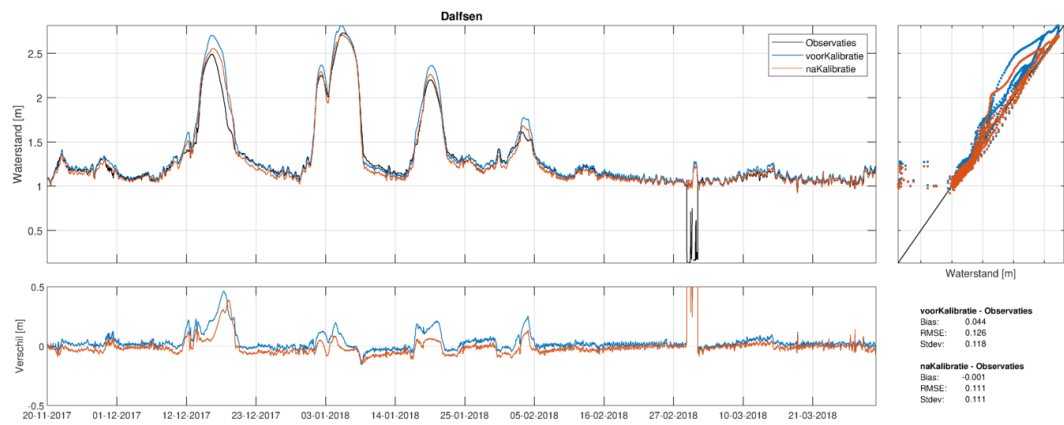
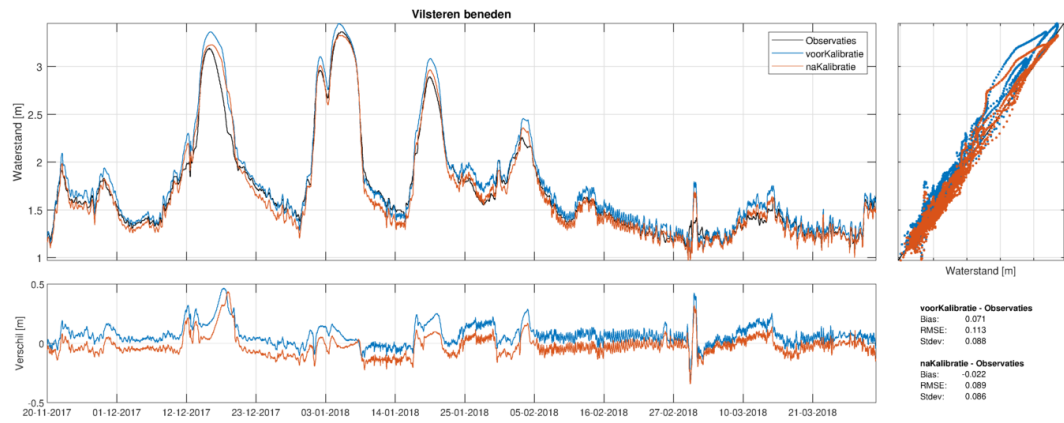
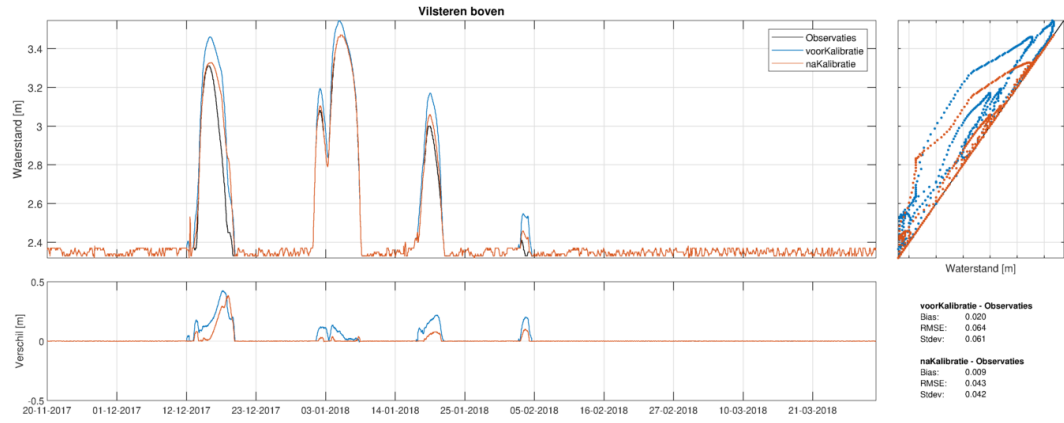


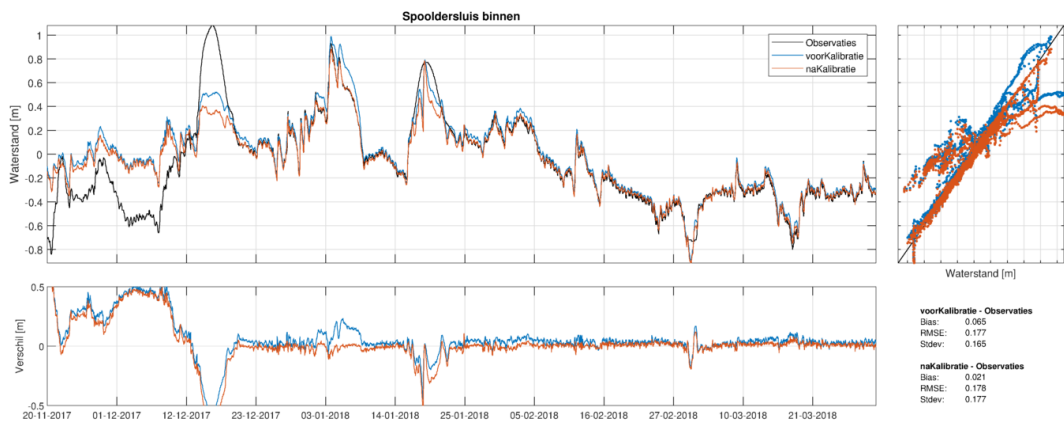
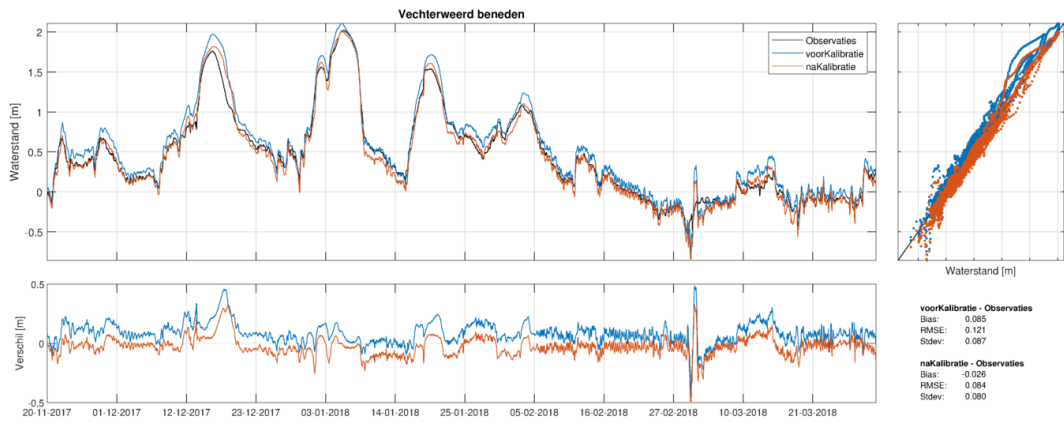
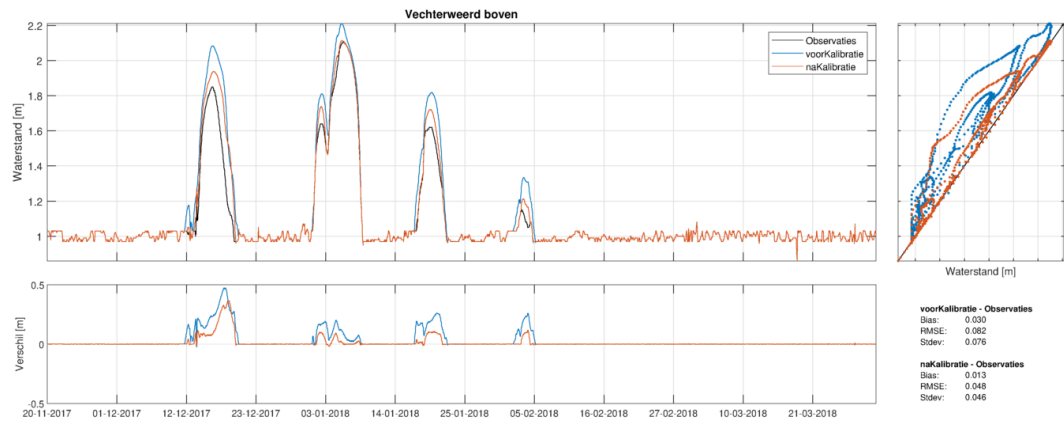


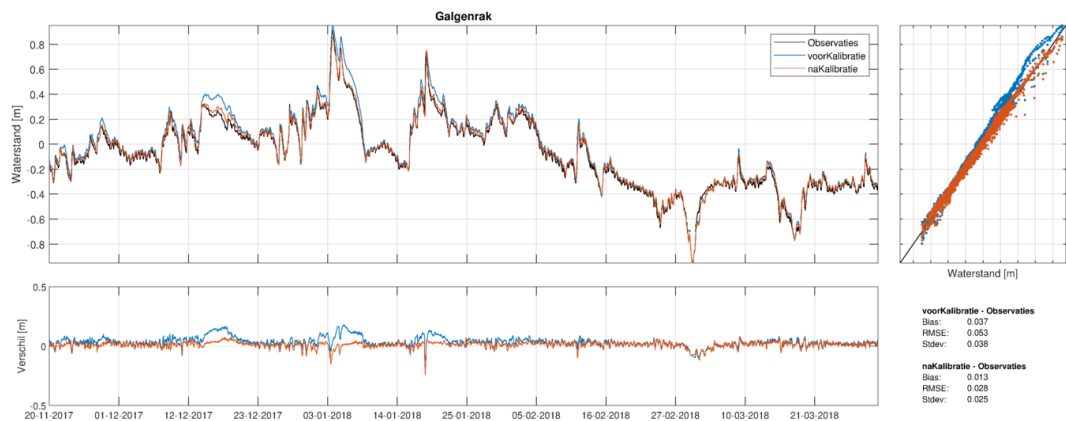
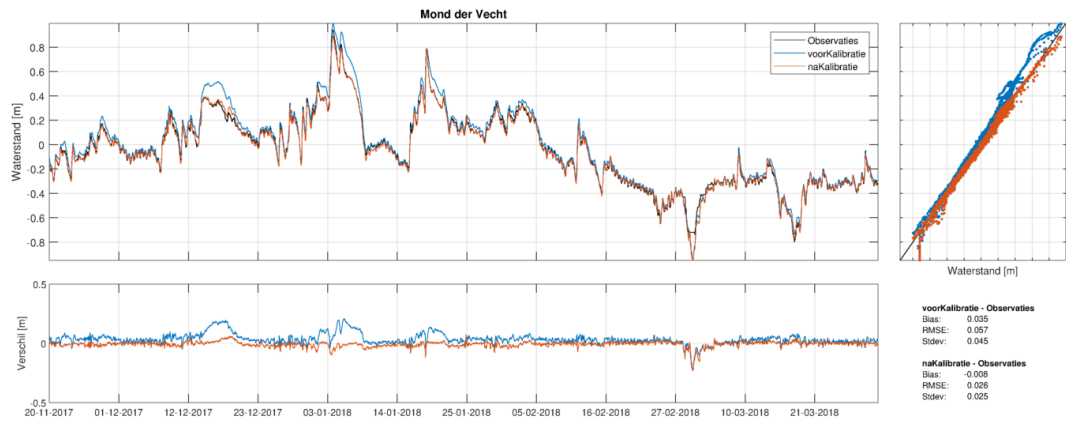
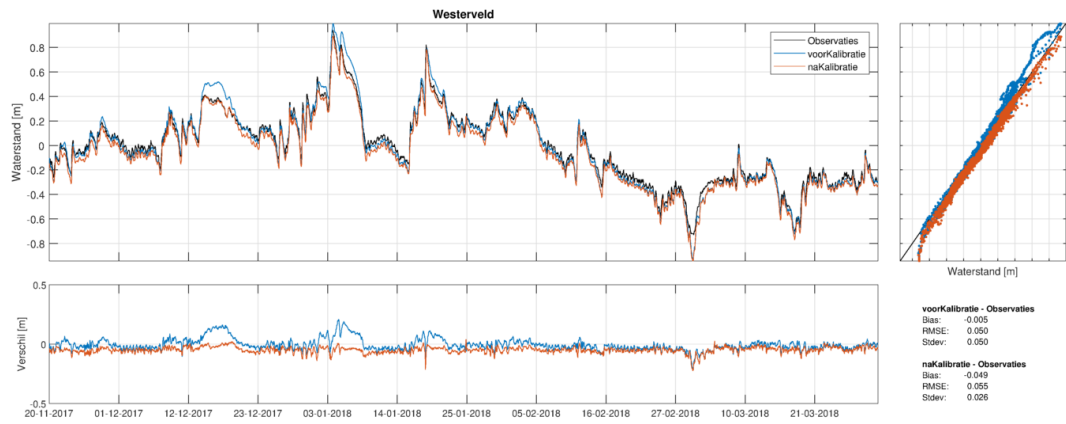


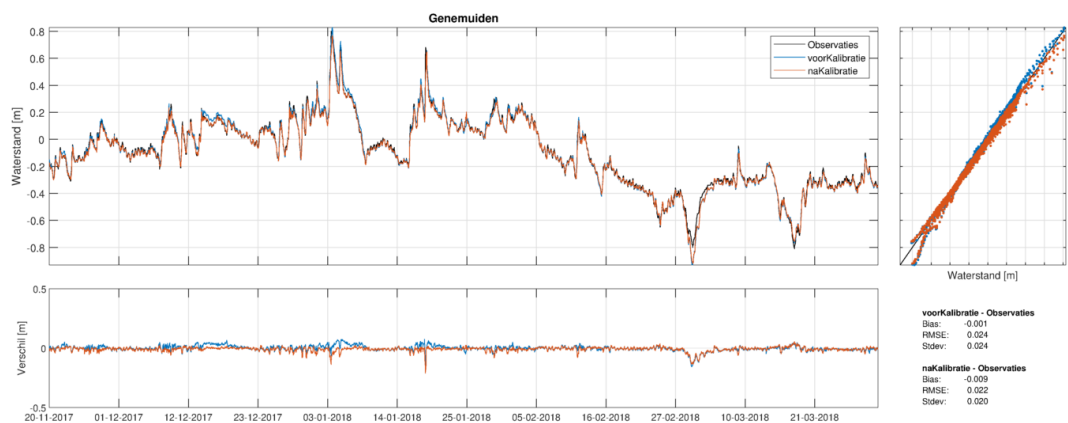
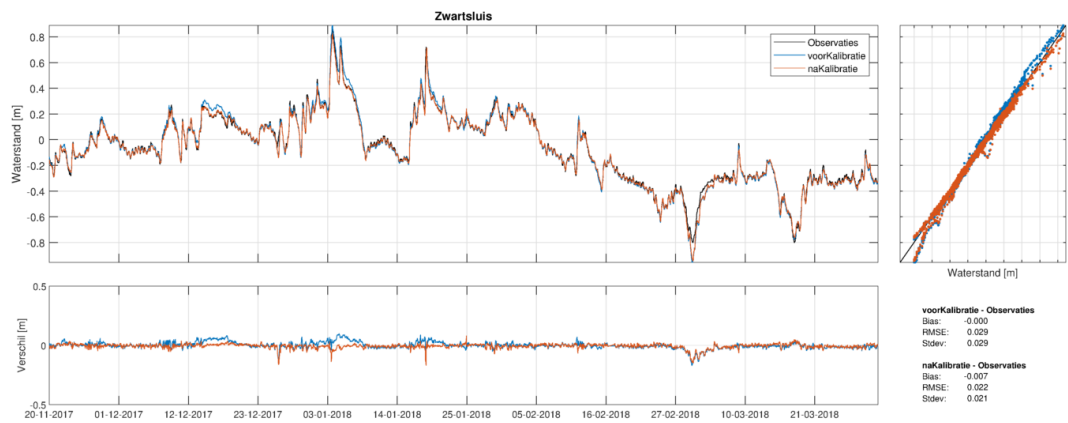
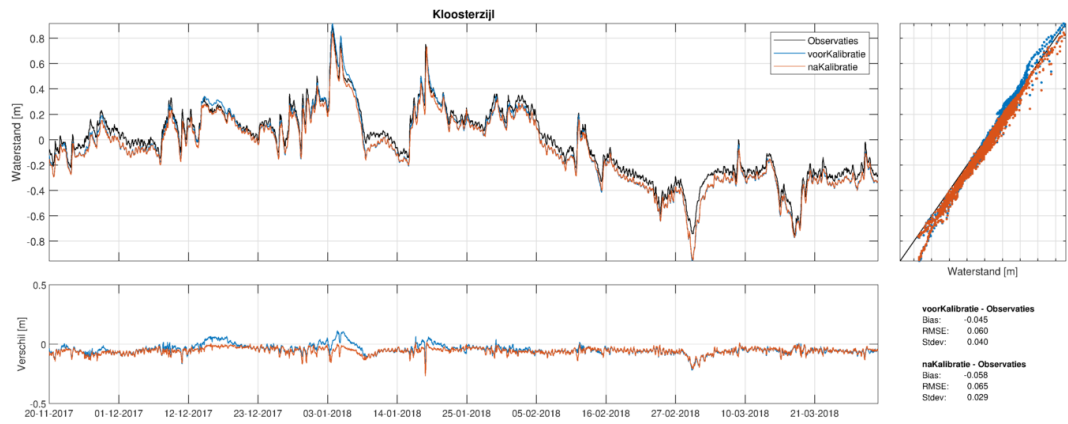


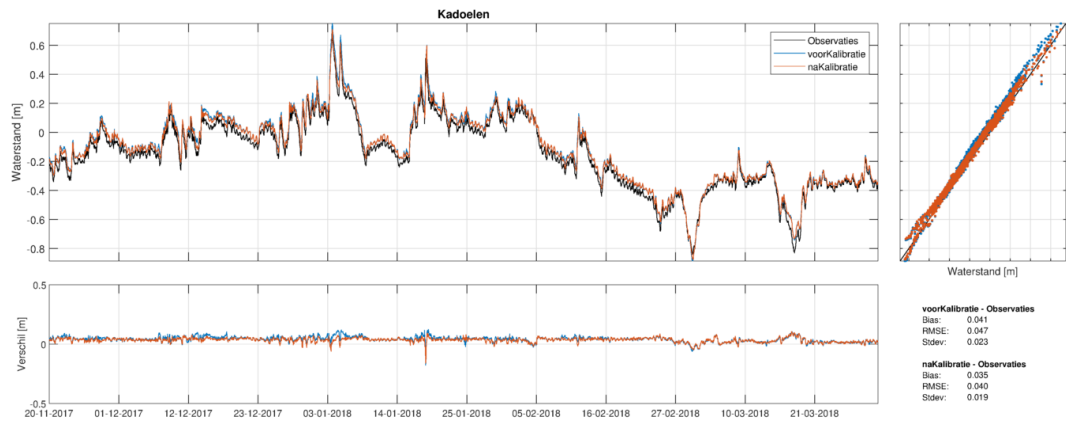


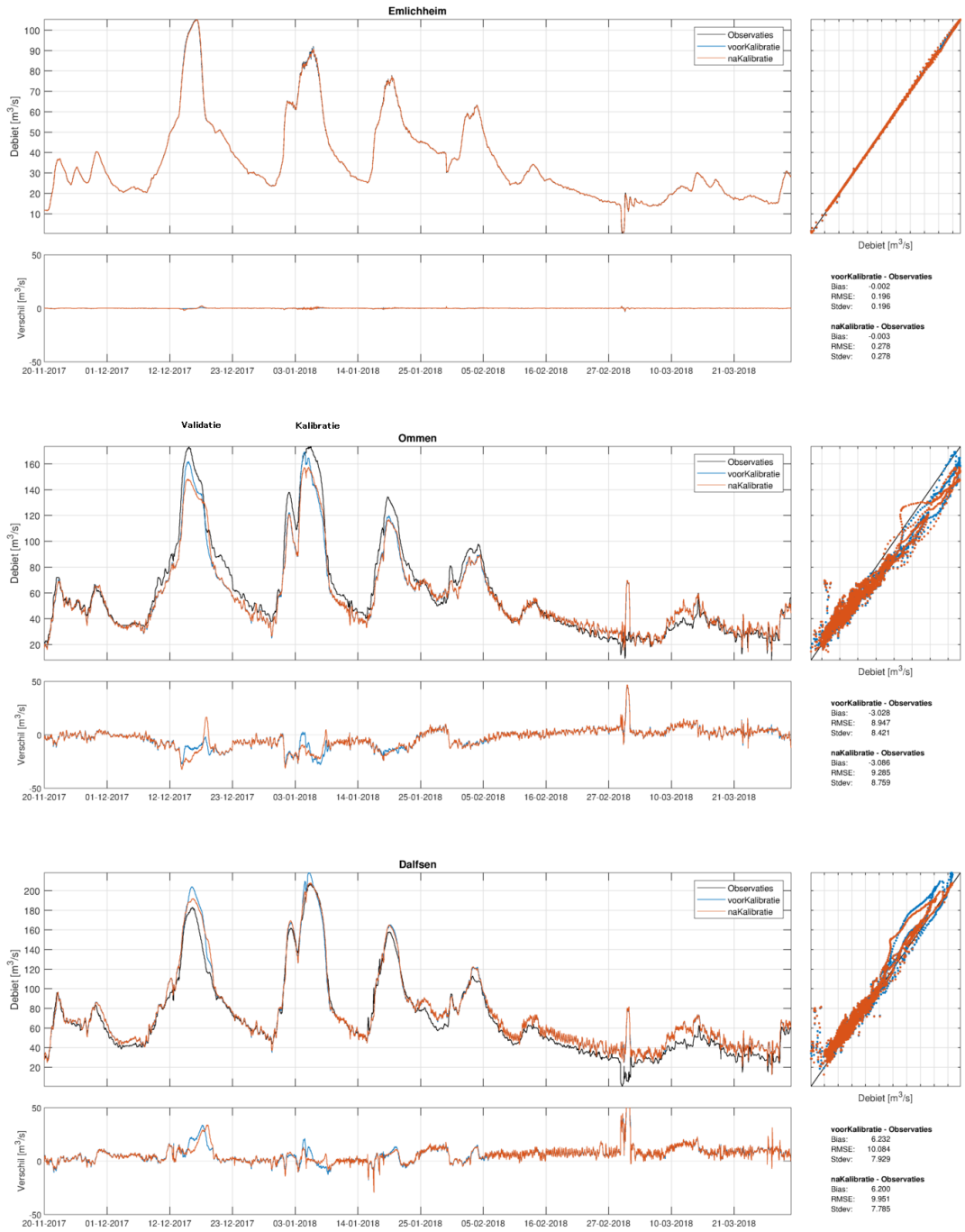












## J.7.1

## Statistieken waterstand

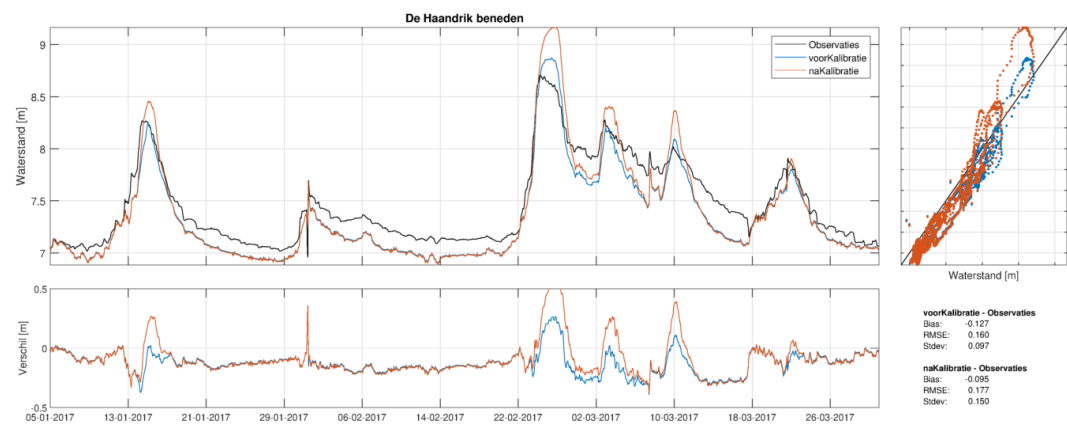
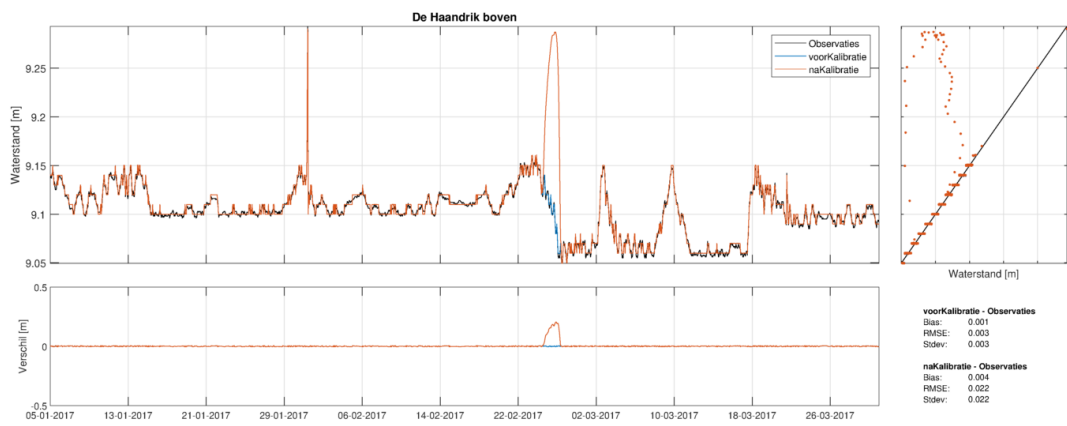
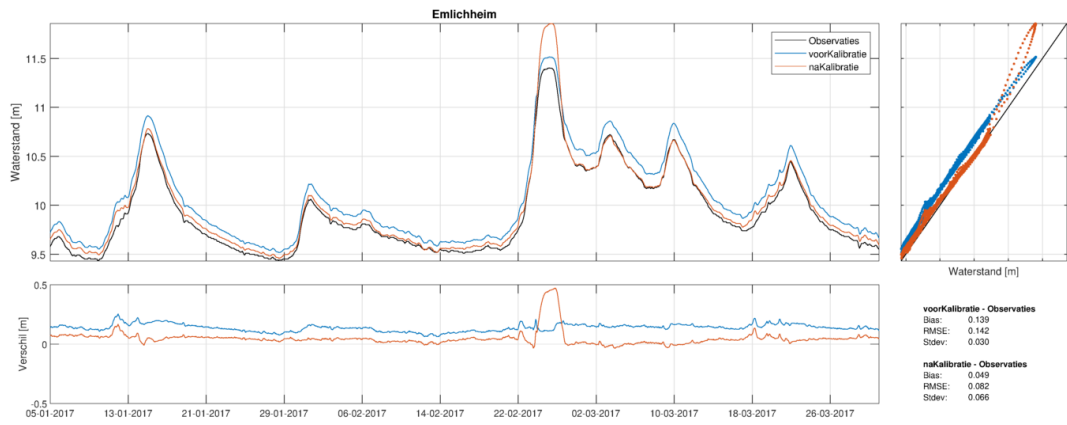
	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.139	0.142	0.030	0.049	0.082	0.066
<i>De Haandrik Kruisbrug</i>	-	-	-	-	-	-
<i>De Haandrik boven</i>	0.001	0.003	0.003	0.004	0.022	0.022
<i>De Haandrik beneden</i>	-0.127	0.160	0.097	-0.095	0.177	0.150
<i>Hardenberg boven</i>	0.003	0.021	0.020	0.005	0.033	0.032
<i>Hardenberg beneden</i>	0.130	0.141	0.056	0.131	0.145	0.061
<i>Marienberg boven</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Marienberg beneden</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Junne boven</i>	0.012	0.063	0.062	0.008	0.046	0.045
<i>Junne beneden</i>	0.077	0.171	0.153	-0.080	0.150	0.127
<i>Ommen</i>	-0.061	0.212	0.203	-0.147	0.226	0.172
<i>Ommerkanaal</i>	-0.027	0.065	0.059	-0.090	0.116	0.073
<i>Vilsteren boven</i>	0.014	0.059	0.057	0.008	0.034	0.033
<i>Vilsteren beneden</i>	0.026	0.111	0.108	-0.038	0.102	0.095
<i>Dalfsen</i>	0.018	0.077	0.074	-0.009	0.060	0.059
<i>Vechterweerd boven</i>	0.020	0.079	0.077	0.011	0.049	0.047
<i>Vechterweerd beneden</i>	0.042	0.123	0.115	-0.044	0.102	0.092
<i>Spooldersluis binnen</i>	0.051	0.065	0.040	0.025	0.036	0.026
<i>Westerveld</i>	-0.015	0.048	0.046	-0.041	0.050	0.029
<i>Mond der Vecht</i>	0.028	0.048	0.039	0.003	0.023	0.023
<i>Galgenrak</i>	0.030	0.048	0.037	0.019	0.032	0.026
<i>Kloosterzijl</i>	-0.149	0.155	0.043	-0.152	0.158	0.042
<i>Zwartsluis</i>	-0.008	0.025	0.023	-0.007	0.020	0.019
<i>Genemuiden</i>	0.000	0.019	0.019	-0.001	0.017	0.017
<i>Kadoelen</i>	0.045	0.048	0.017	0.044	0.047	0.016
<i>Ramspolbrug</i>	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001
<b>Gemiddelde</b>	0.011	0.082	0.060	-0.017	0.075	0.055
<b>RMS Gemiddelde</b>	0.064	0.100	0.077	0.065	0.096	0.071
<b>Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.019	0.086	0.067	-0.012	0.076	0.062
<b>RMS Gemiddelde kalibratiestations</b>	0.062	0.106	0.085	0.060	0.099	0.079

## J.7.2

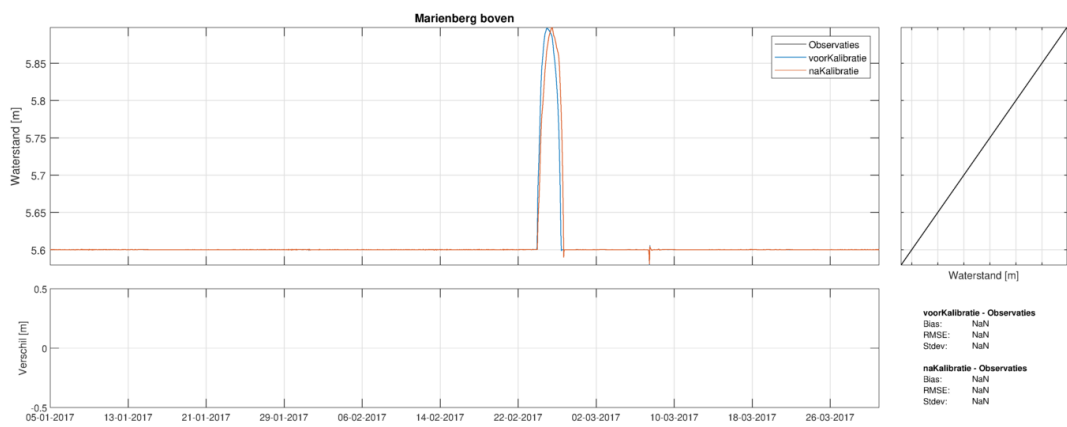
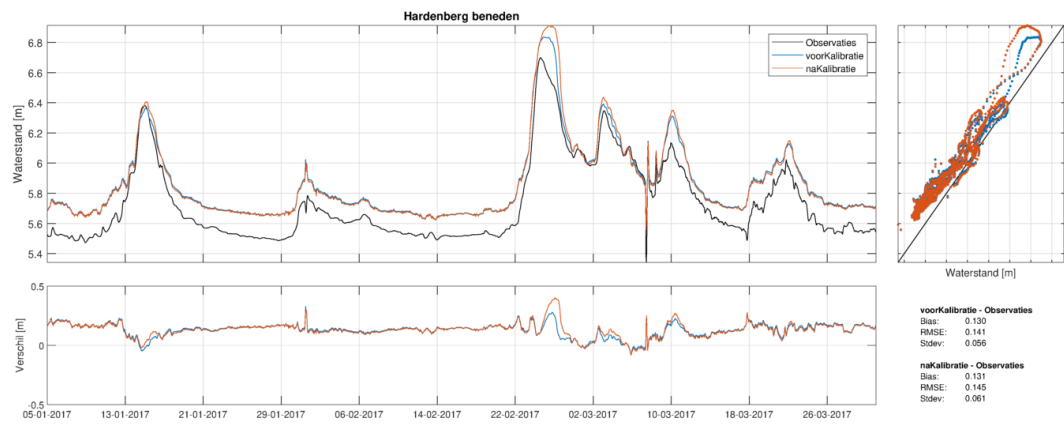
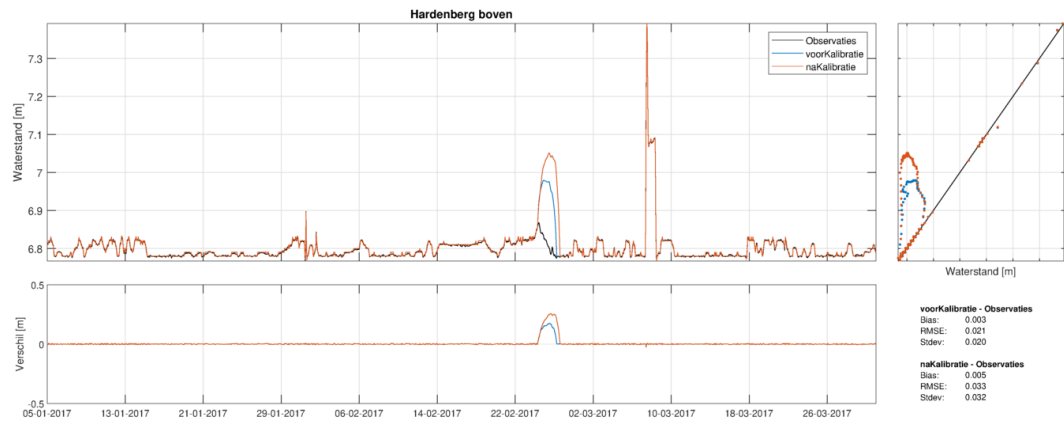
## Statistieken afvoer

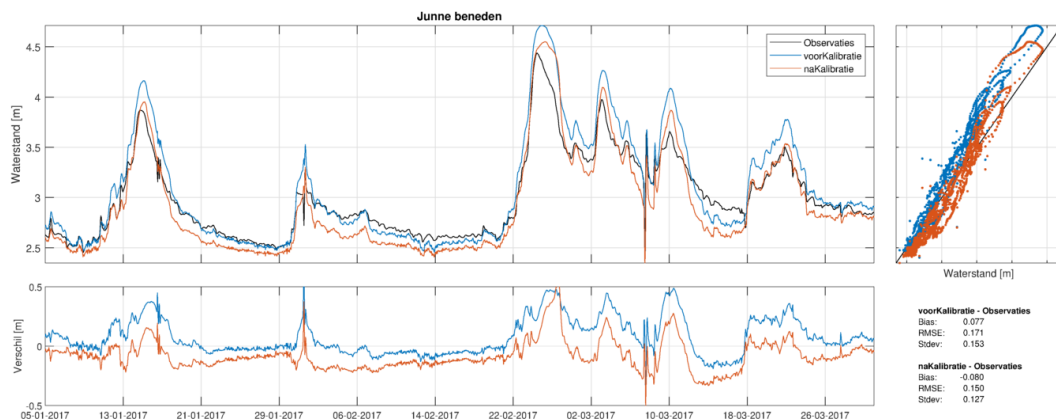
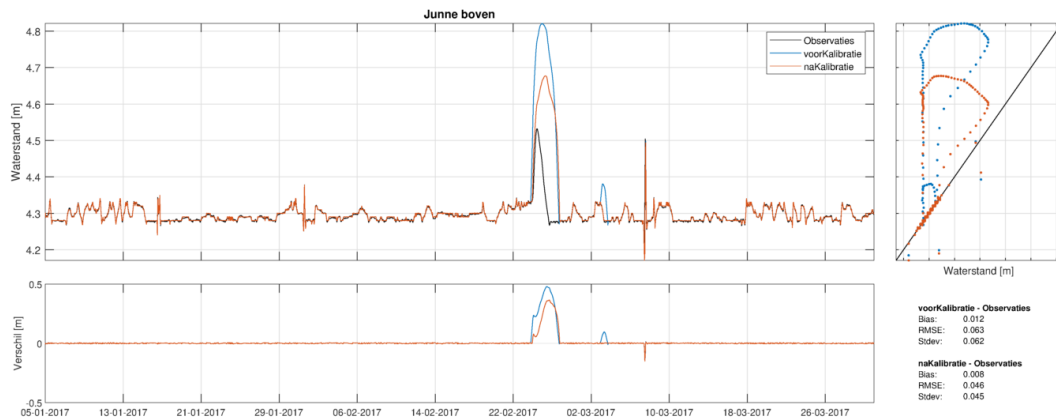
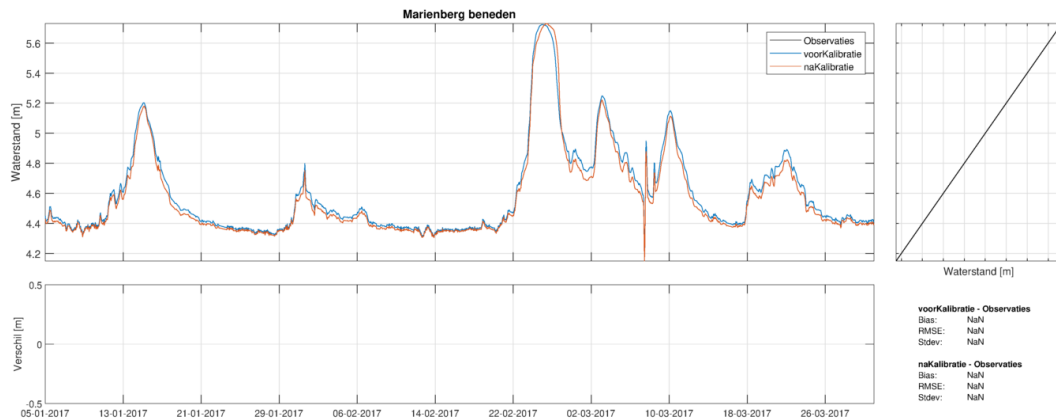
meetstation	Ongekalibreerd			Gekalibreerd		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	0.000	0.130	0.130	0.000	0.142	0.142
Ommen	-0.029	4.422	4.423	-0.037	4.640	4.641
Dalfsen	3.171	7.476	6.772	3.190	7.495	6.784
<b>Gemiddelde</b>	1.047	4.009	3.775	1.051	4.092	3.855
<b>RMS Gemiddelde</b>	1.831	5.015	4.671	1.842	5.090	4.746

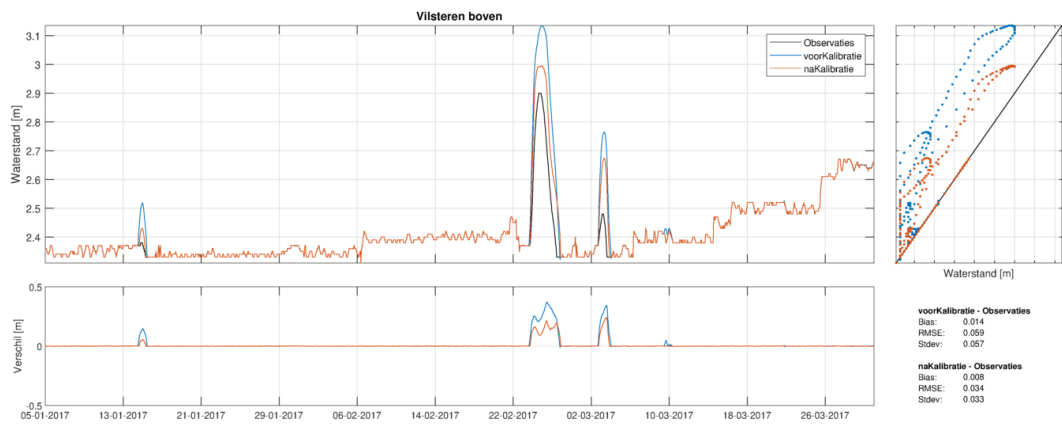
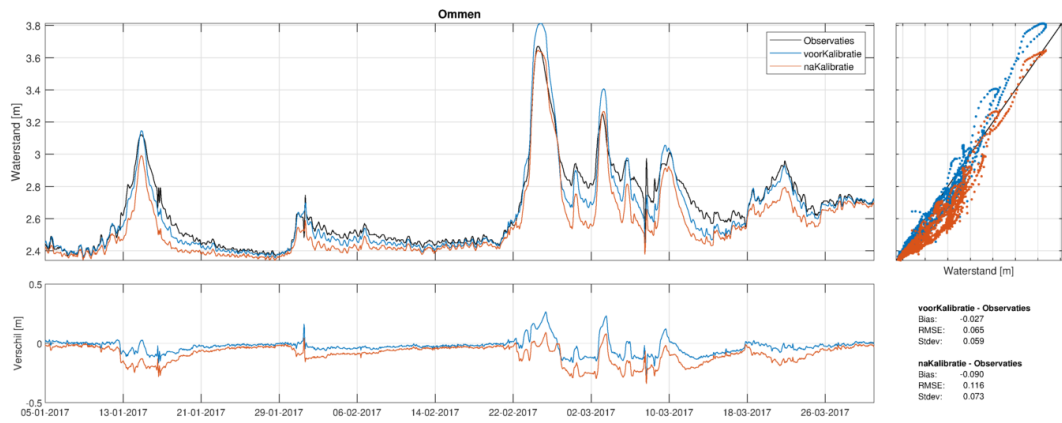
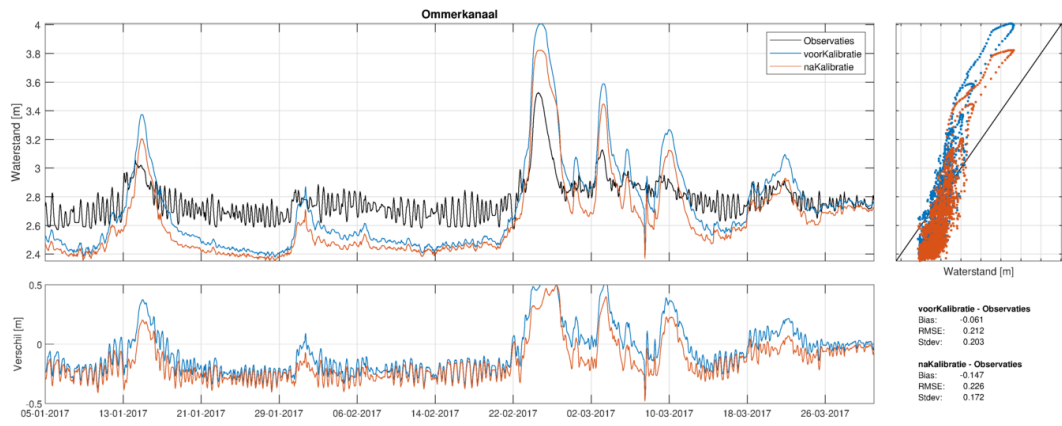
### J.7.3 Tijdsreeksen waterstanden

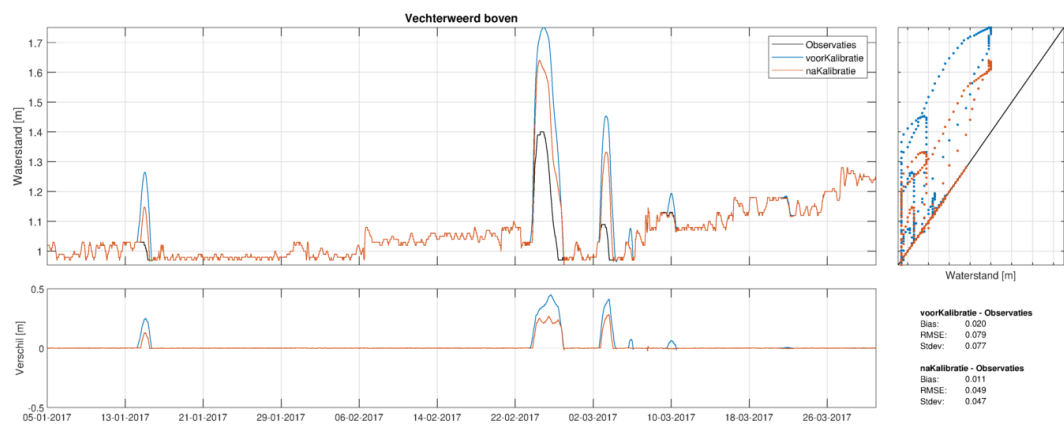
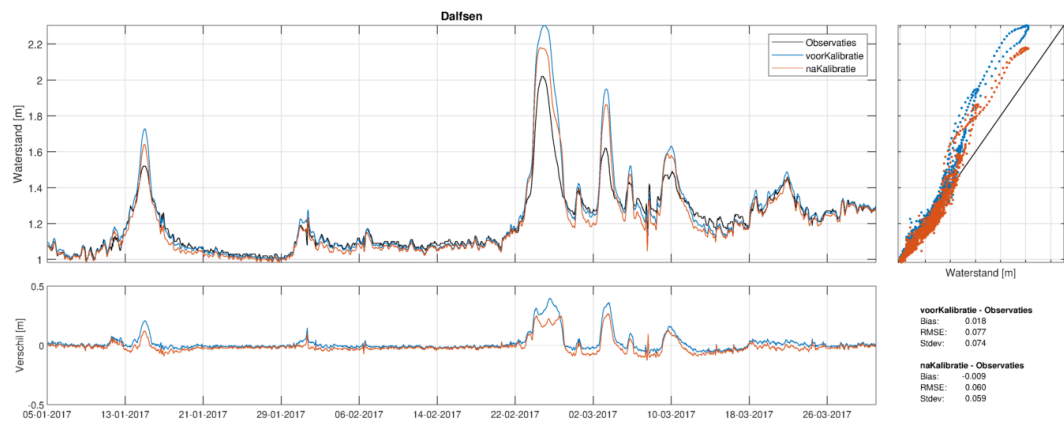
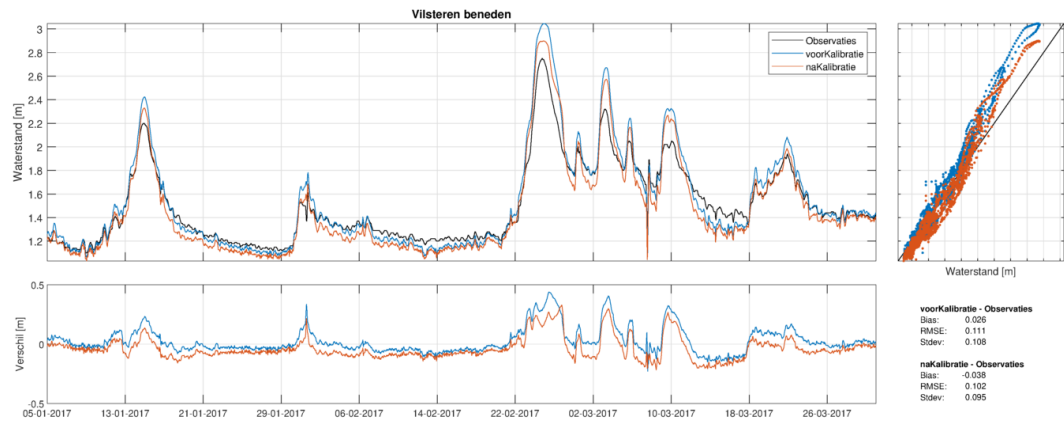


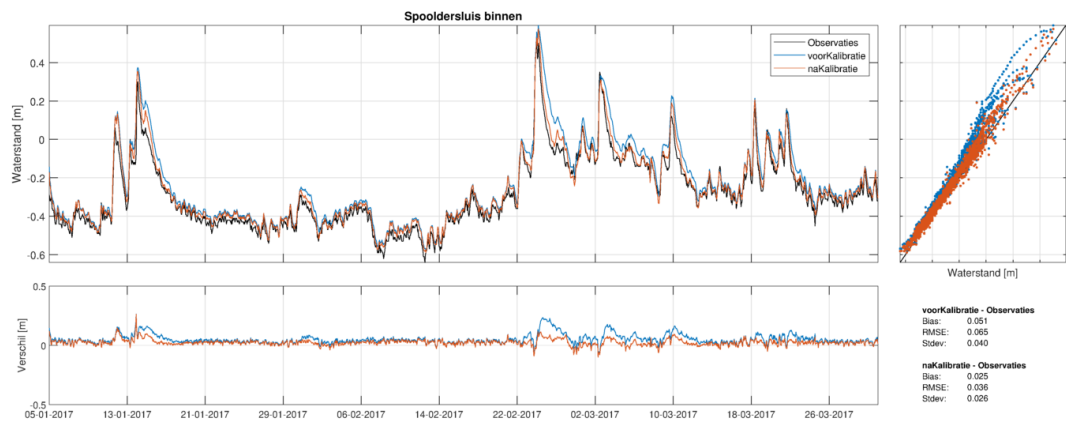
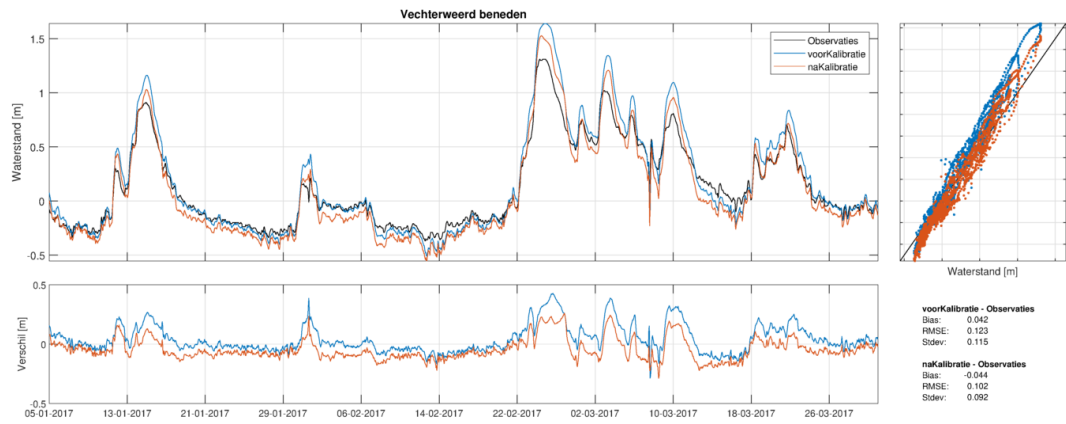


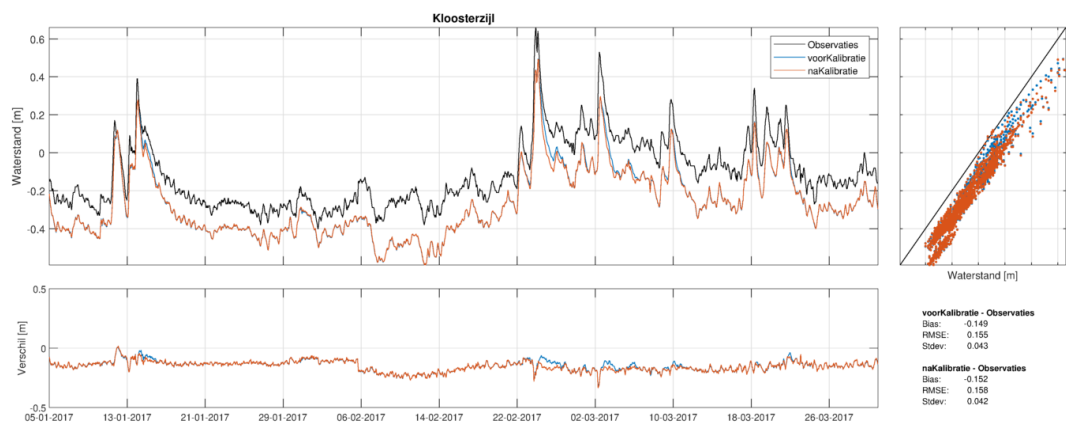
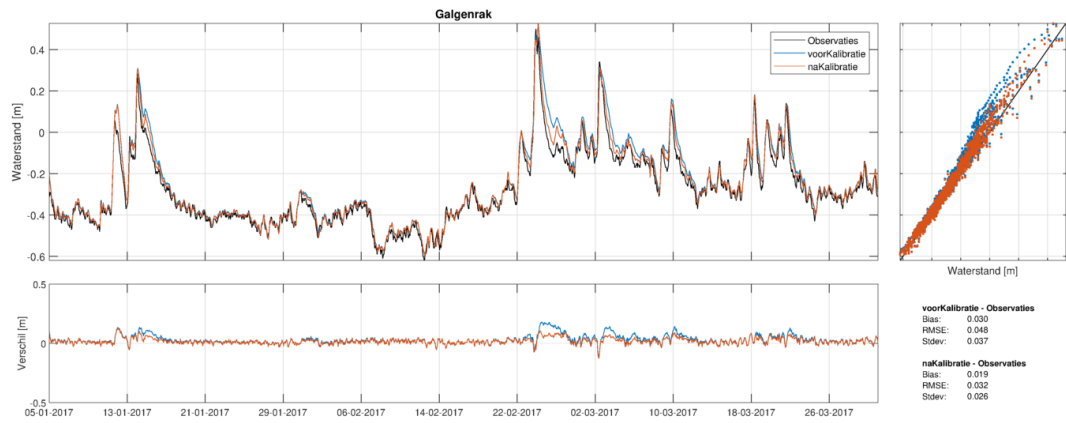
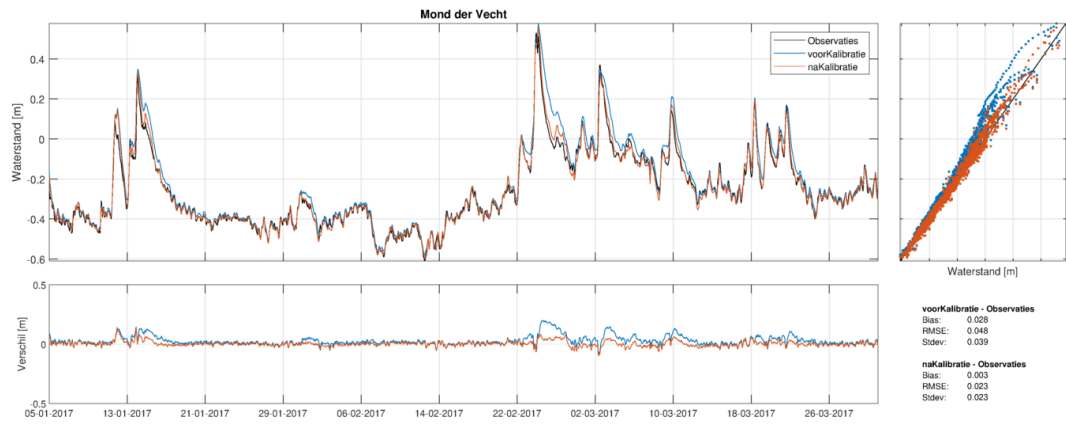


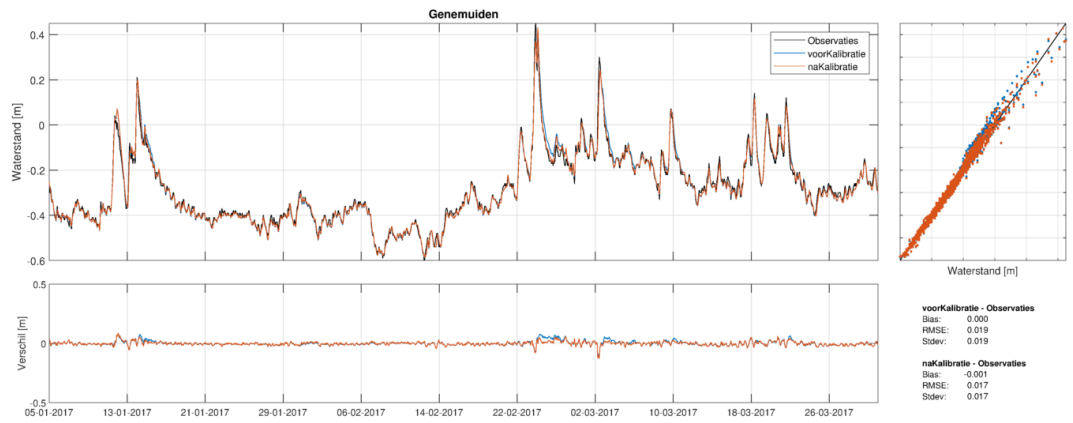
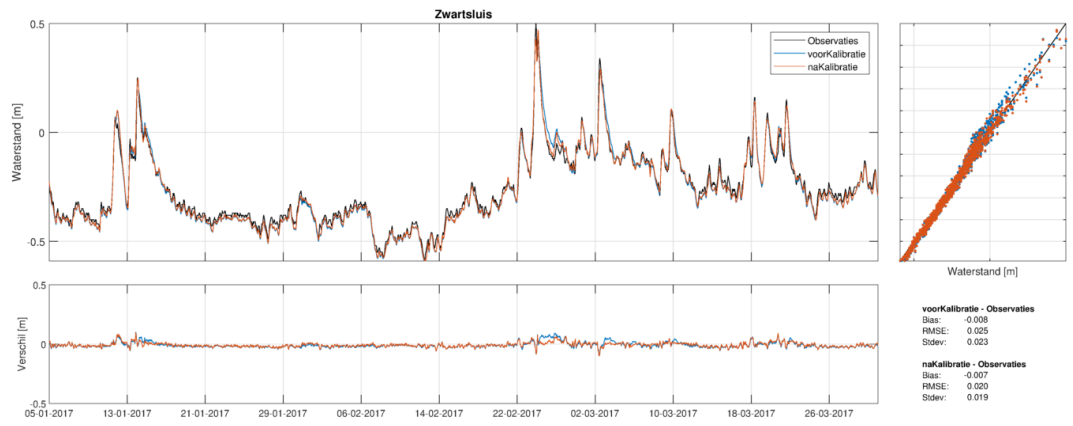


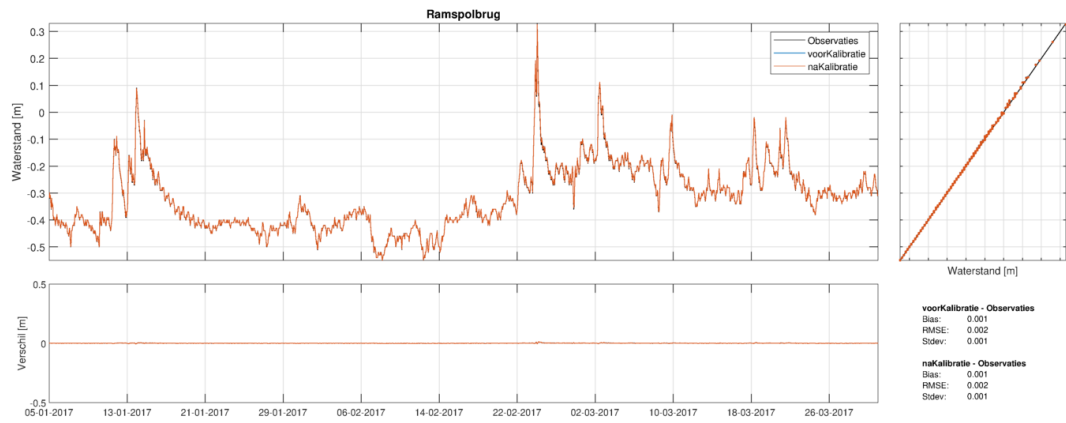
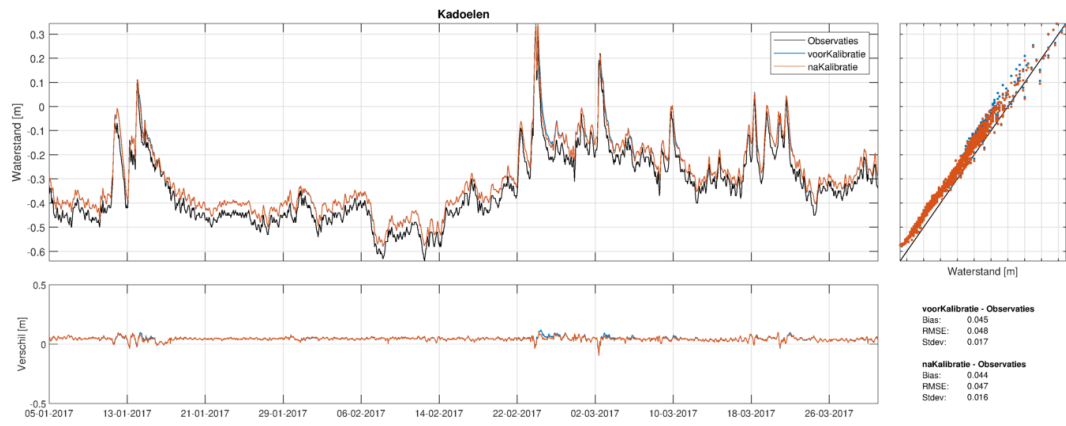






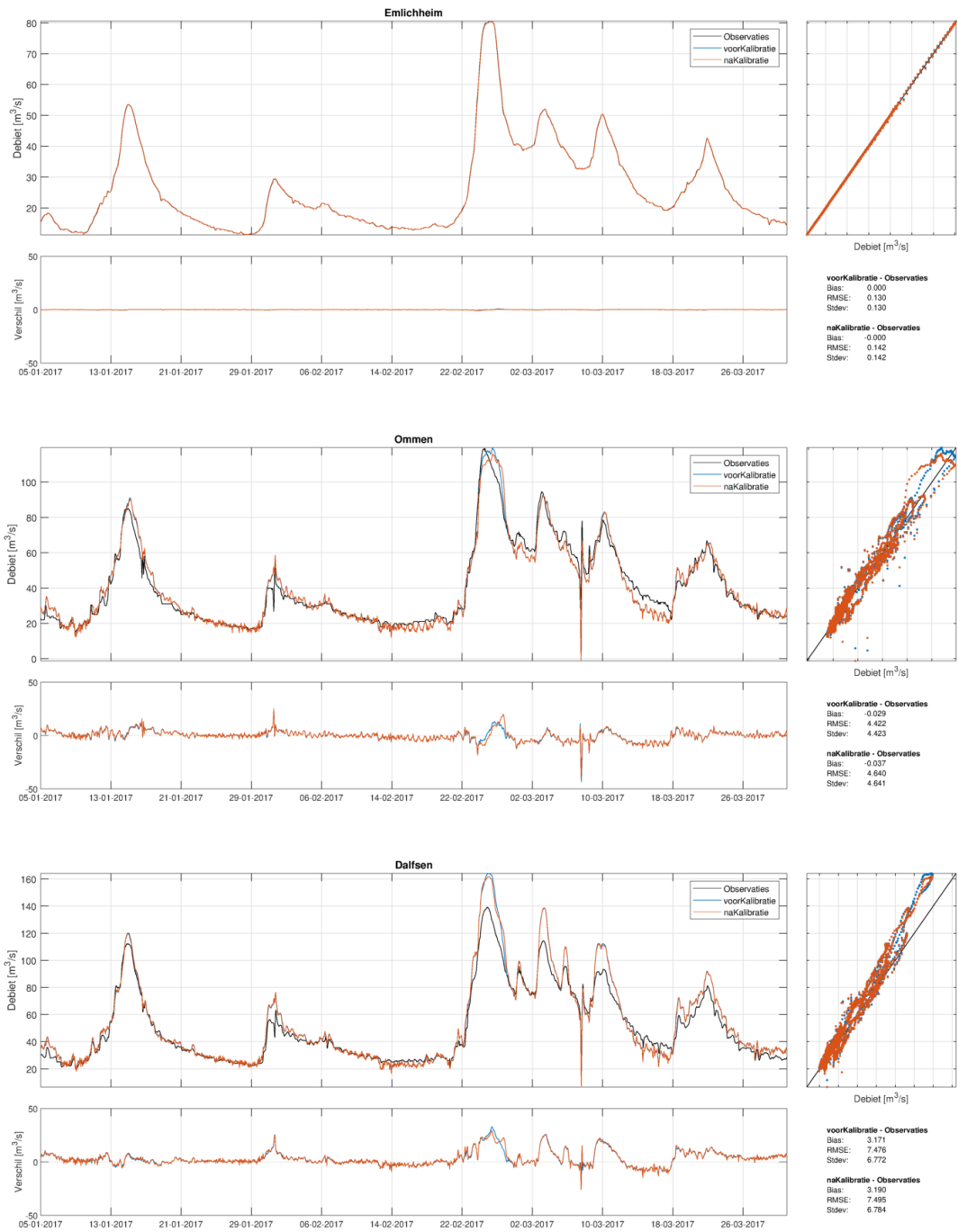








## J.7.4 Tijdsreefs afvoer

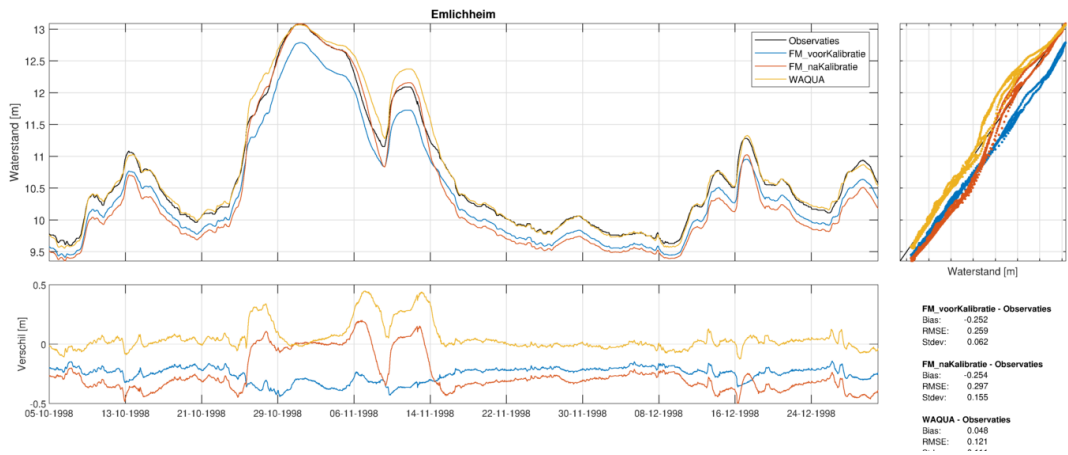


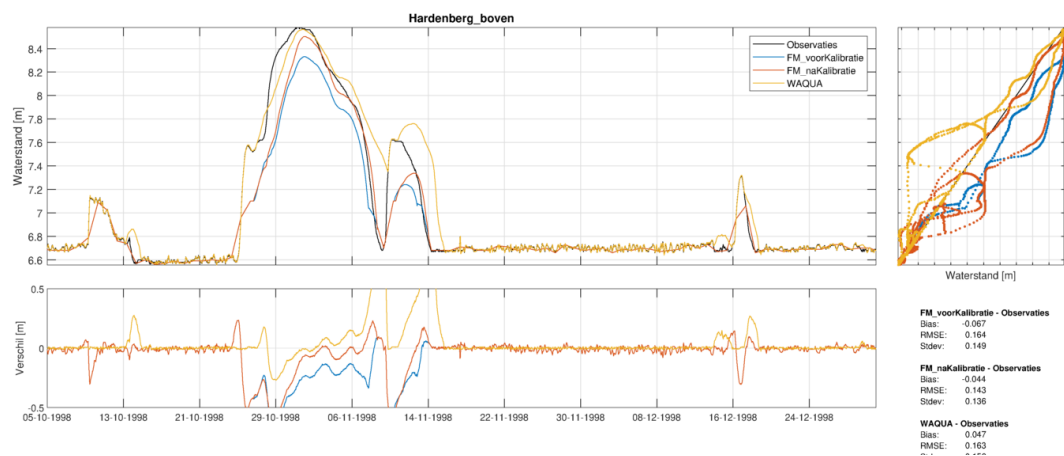
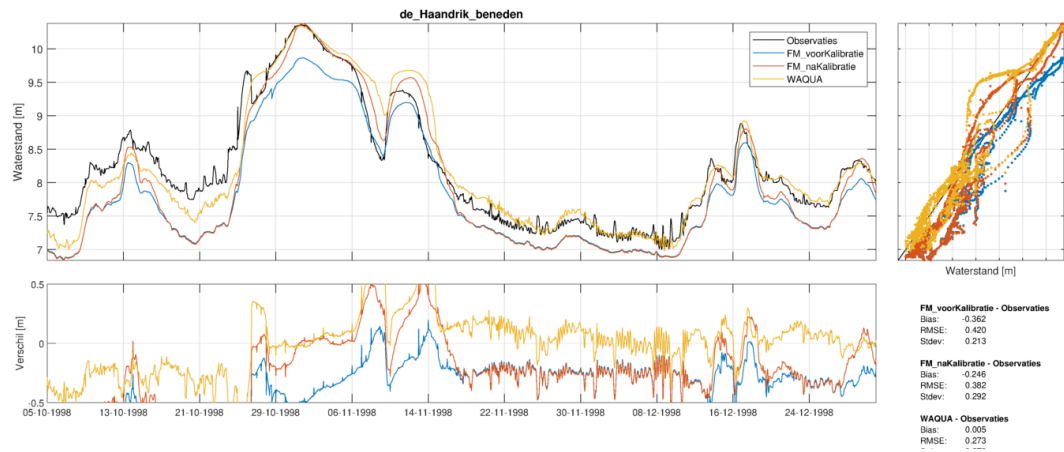
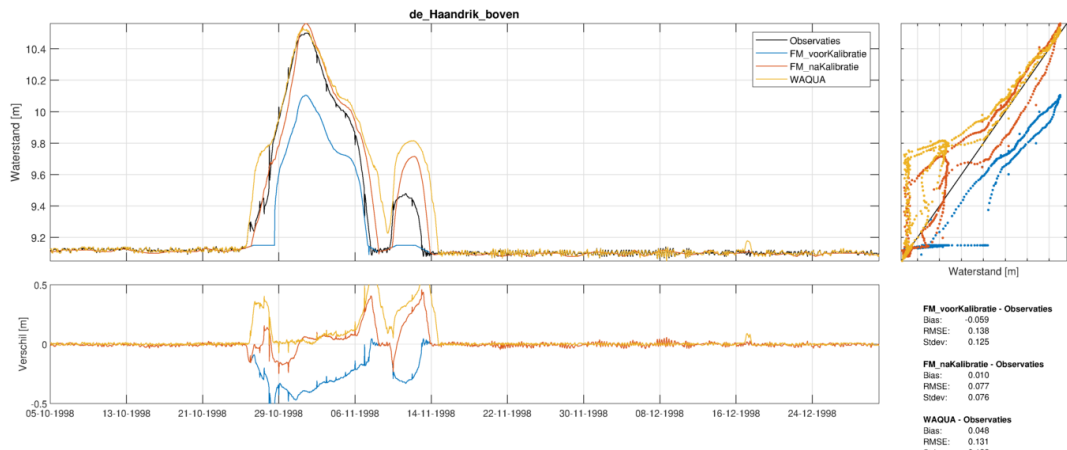
# J.8 Hoogwater 1998

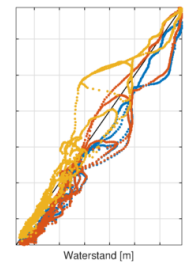
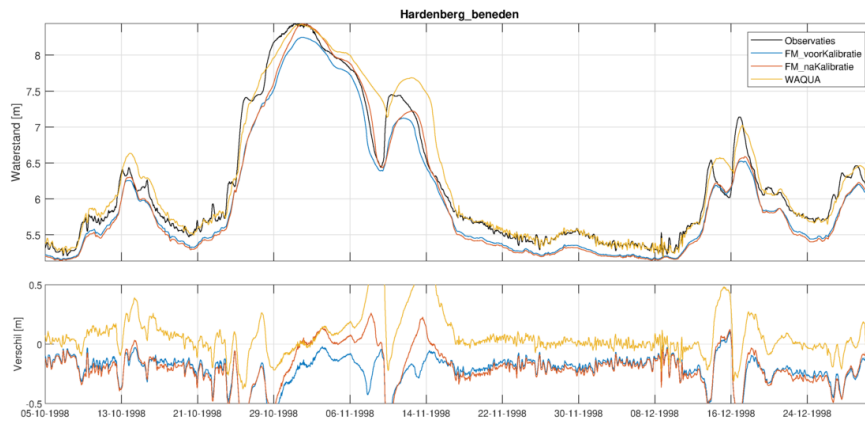
## J.8.1 Statistieken waterstand

	Ongekalibreerd			Gekalibreerd			WAQUA		
	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv	Bias	RMSE	stdv
Emlichheim	-0.252	0.259	0.062	-0.254	0.297	0.155	0.048	0.121	0.111
De Haandrik Kruisbrug	-	-	-	-	-	-	-	-	-
De Haandrik boven	-0.059	0.138	0.125	0.010	0.077	0.076	0.048	0.131	0.122
De Haandrik beneden	-0.362	0.420	0.213	-0.246	0.382	0.292	0.005	0.273	0.273
Hardenberg boven	-0.067	0.164	0.149	-0.044	0.143	0.136	0.047	0.163	0.156
Hardenberg beneden	-0.211	0.246	0.127	-0.190	0.248	0.160	0.077	0.220	0.206
Marienberg boven	-0.042	0.149	0.143	-0.043	0.158	0.152	0.043	0.117	0.109
Marienberg beneden	-0.181	0.239	0.157	-0.230	0.285	0.169	0.044	0.175	0.169
Junne boven	-0.084	0.195	0.176	-0.071	0.210	0.198	0.079	0.197	0.181
Junne beneden	-0.295	0.333	0.155	-0.448	0.497	0.215	0.082	0.236	0.221
Ommen	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ommerkanaal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vilsteren boven	-0.105	0.230	0.204	-0.104	0.250	0.227	0.055	0.166	0.157
Vilsteren beneden	-0.260	0.298	0.145	-0.343	0.376	0.155	0.090	0.211	0.191
Dalfsen	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vechterwaard boven	-0.039	0.111	0.104	-0.051	0.146	0.136	0.065	0.174	0.162
Vechterwaard beneden	-0.195	0.237	0.135	-0.260	0.302	0.155	0.060	0.189	0.179
Spooldersluis binnen	0.012	0.042	0.040	-0.033	0.059	0.050	0.063	0.092	0.067
Westerveld	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mond der Vecht	0.000	0.037	0.037	-0.045	0.067	0.049	0.048	0.075	0.058
Galgenrak	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kloosterzijk	-0.041	0.053	0.034	-0.053	0.063	0.034	-0.003	0.044	0.044
Zwartsluis	0.017	0.034	0.029	0.008	0.028	0.026	0.020	0.038	0.032
Genemuiden	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadoelen	0.011	0.021	0.017	0.008	0.020	0.018	0.012	0.022	0.019
Rampolbrug	0.001	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.006	0.006
Gemiddelde	-0.113	0.169	0.108	-0.126	0.190	0.127	0.047	0.139	0.130
RMS Gemiddelde	0.162	0.205	0.126	0.182	0.235	0.149	0.054	0.158	0.149

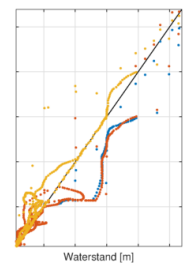
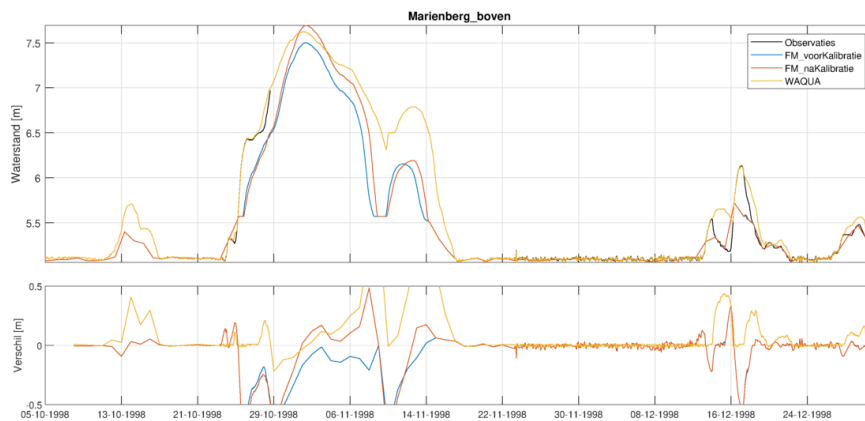
## J.8.2 Tijdsreeks waterstanden



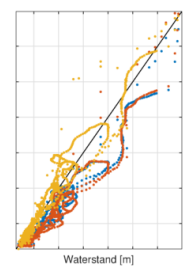
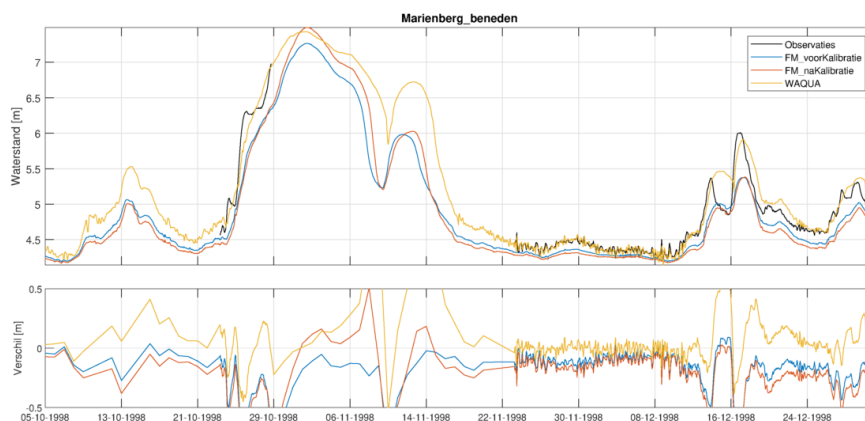




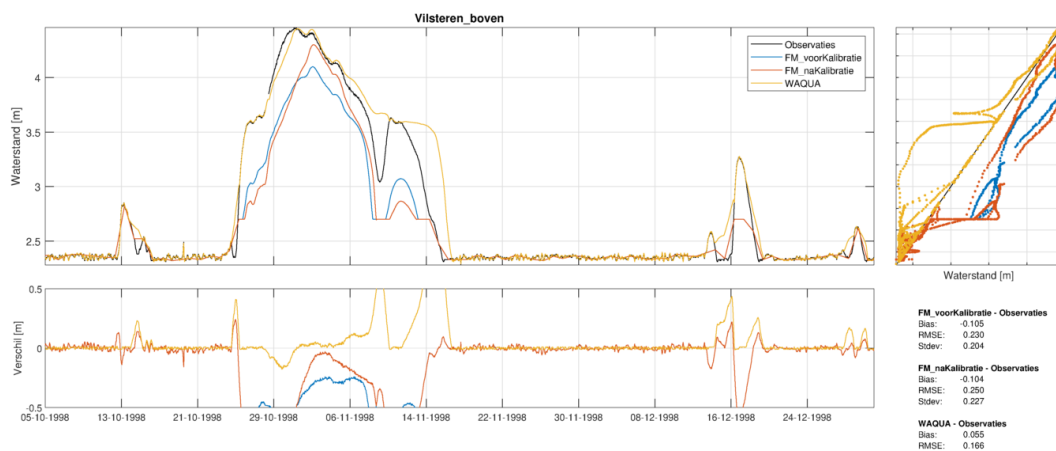
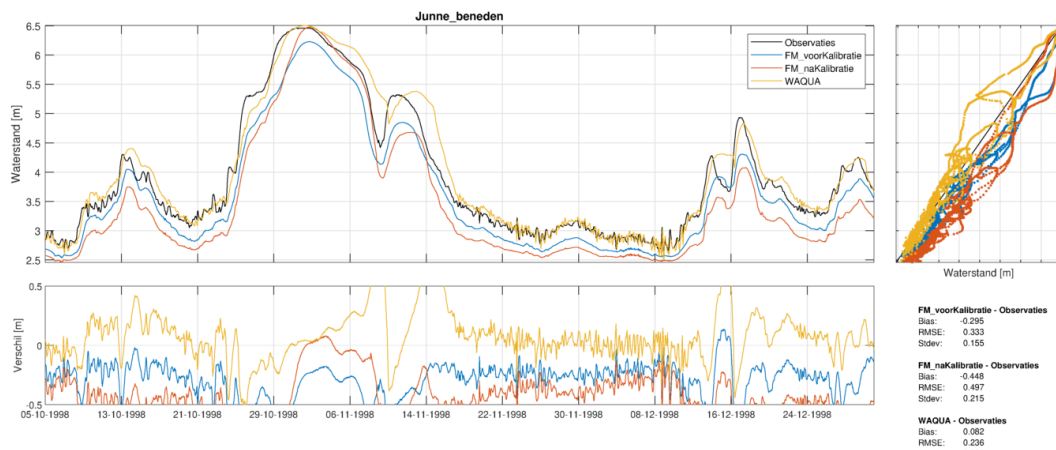
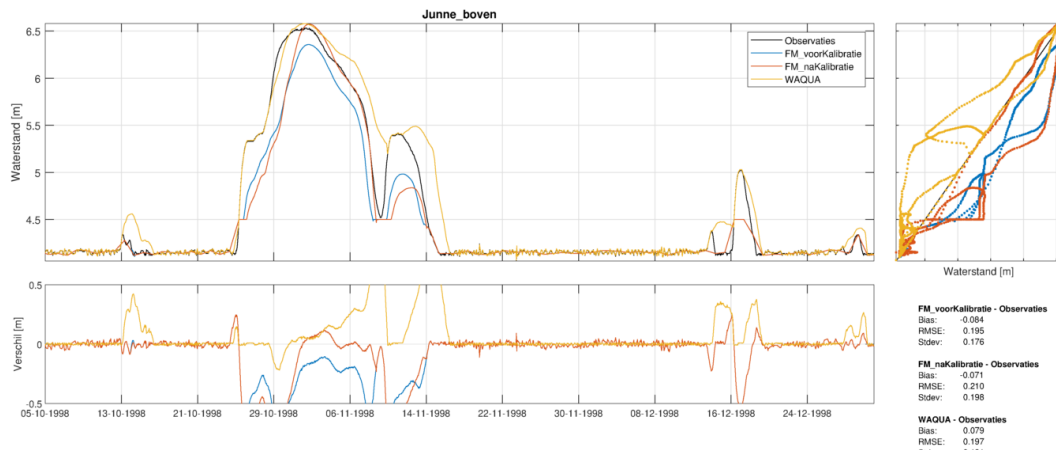
<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.211
RMSE: 0.245
Stdev: 0.127
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.190
RMSE: 0.248
Stdev: 0.160
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.077
RMSE: 0.220
Stdev: 0.117

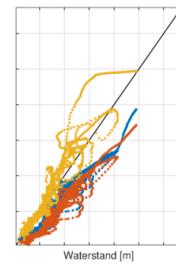
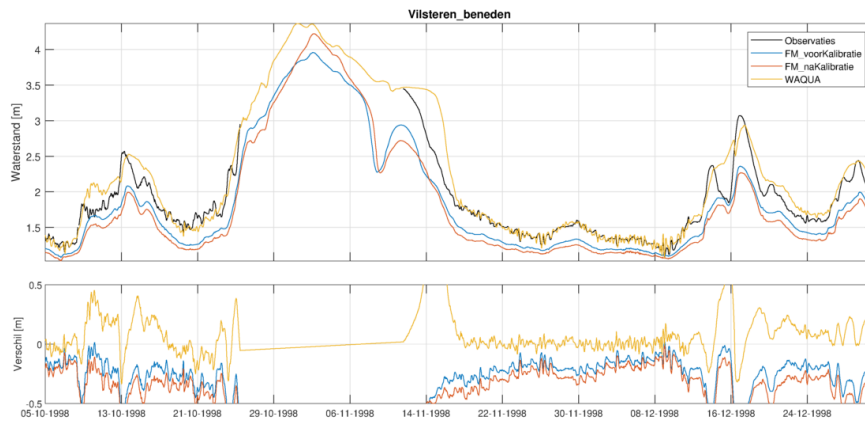


<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.042
RMSE: 0.149
Stdev: 0.143
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.043
RMSE: 0.158
Stdev: 0.152
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.043
RMSE: 0.117
Stdev: 0.117

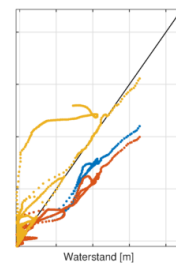
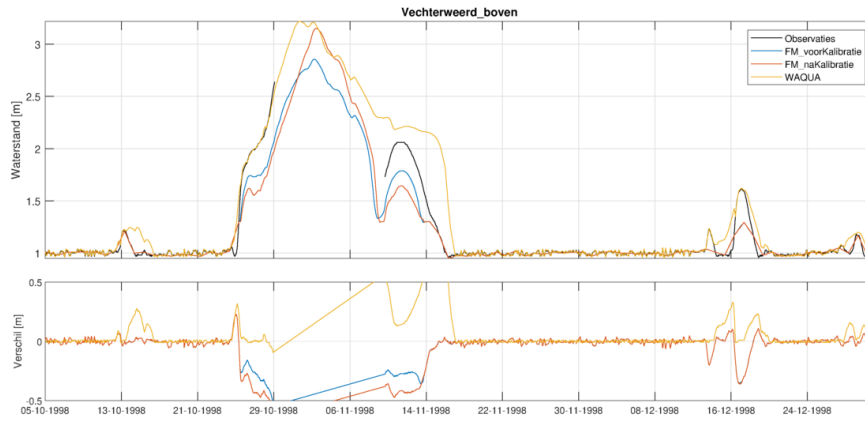


<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.161
RMSE: 0.239
Stdev: 0.157
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.230
RMSE: 0.285
Stdev: 0.169
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.044
RMSE: 0.175
Stdev: 0.117

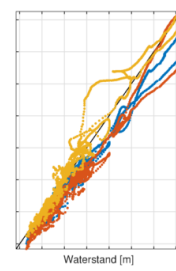
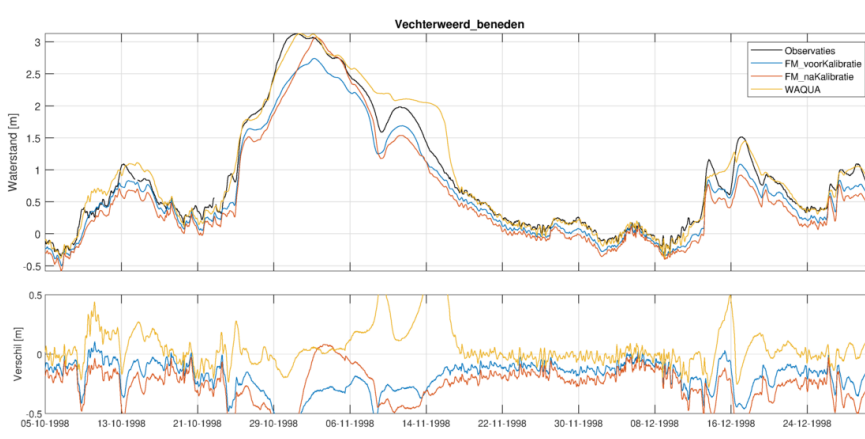




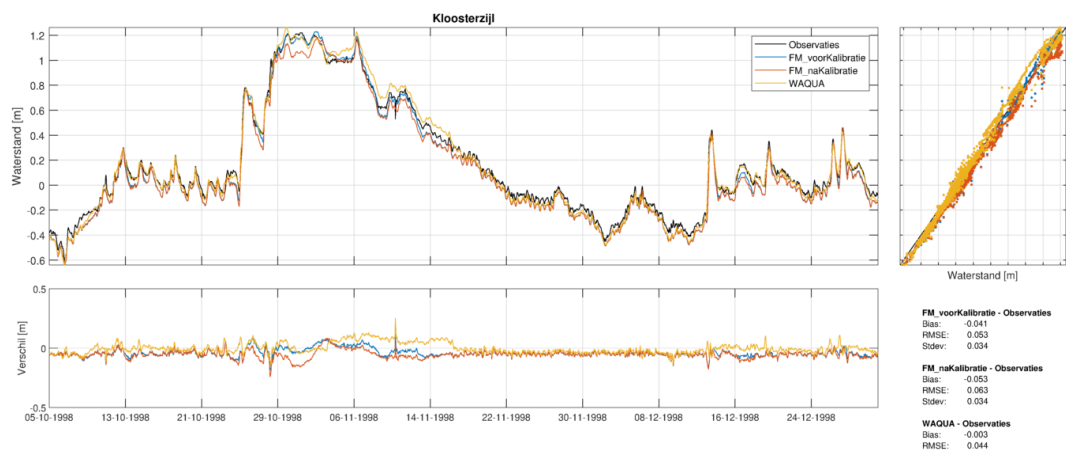
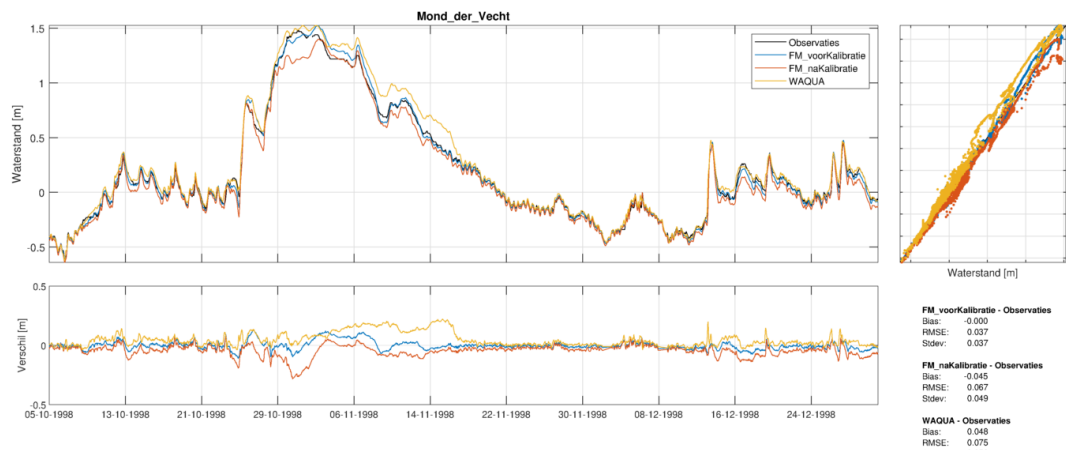
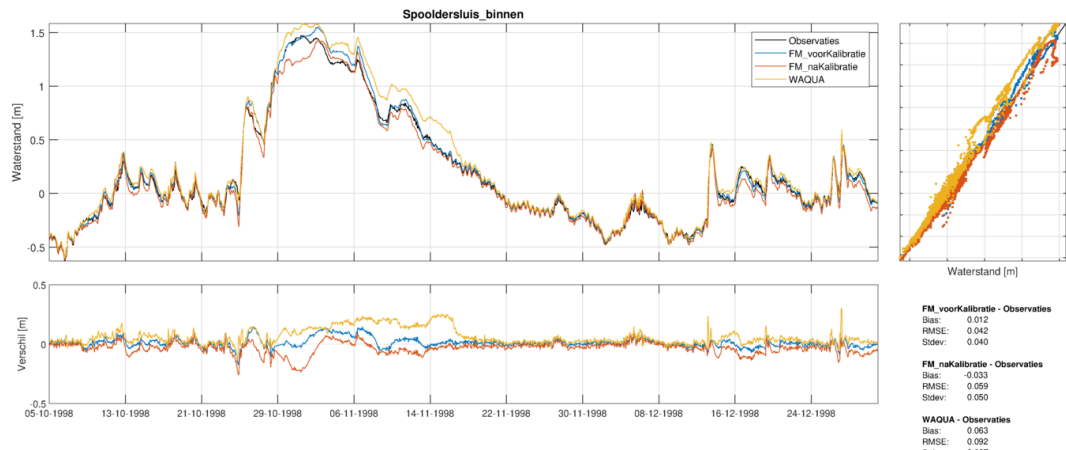
<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.260
RMSE: 0.298
Stdev: 0.145
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.343
RMSE: 0.376
Stdev: 0.155
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.090
RMSE: 0.211

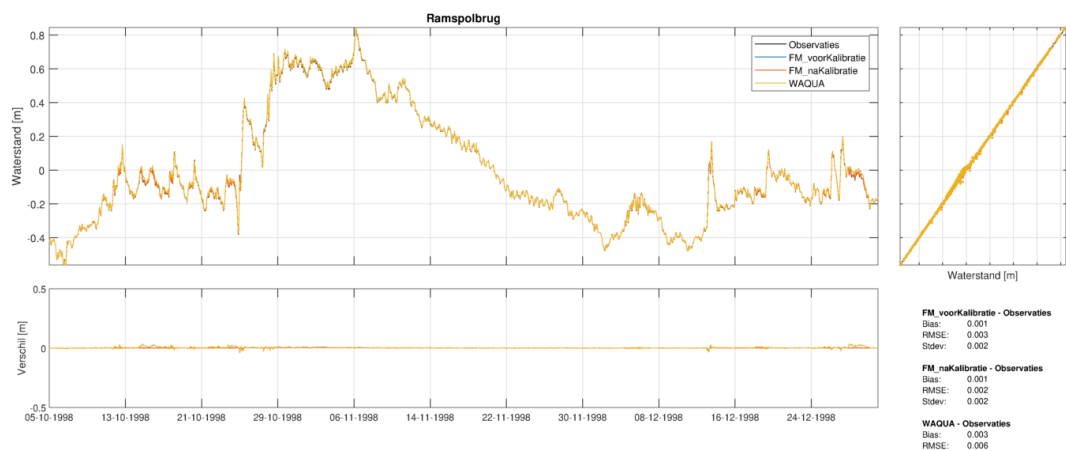
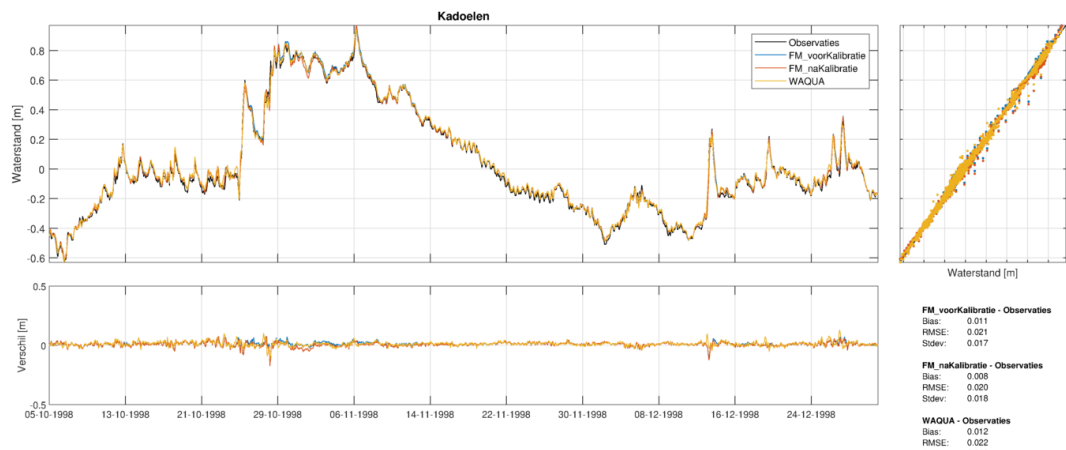
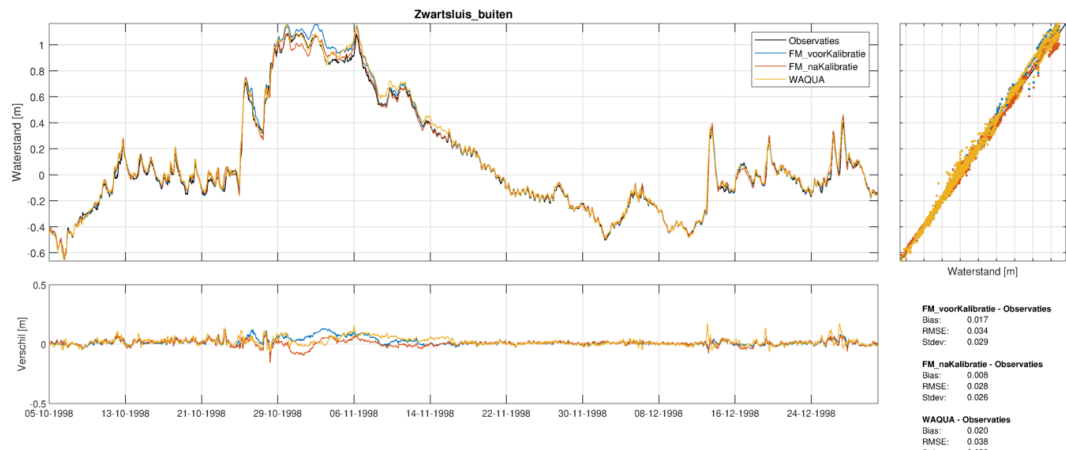


<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.039
RMSE: 0.111
Stdev: 0.104
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.051
RMSE: 0.146
Stdev: 0.136
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.065
RMSE: 0.174



<b>FM_voorKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.195
RMSE: 0.237
Stdev: 0.135
<b>FM_naKalibratie - Observaties</b>
Bias: -0.260
RMSE: 0.302
Stdev: 0.155
<b>WAQUA - Observaties</b>
Bias: 0.090
RMSE: 0.189



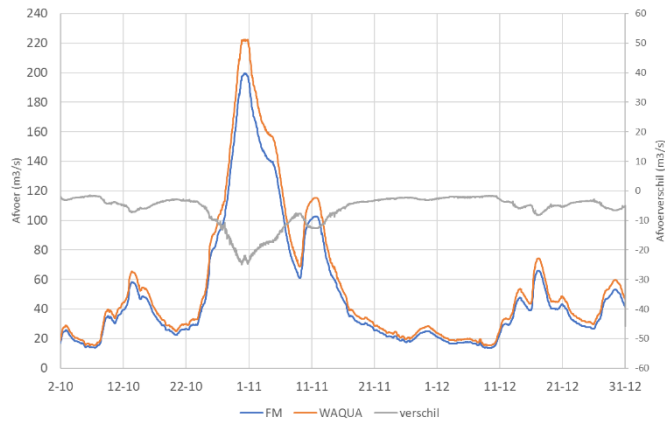




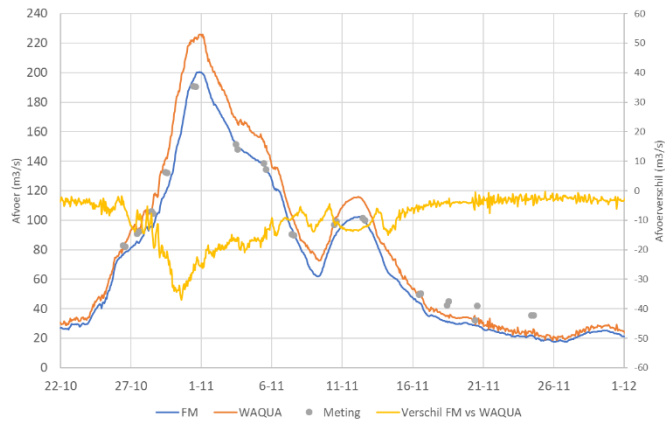
### J.8.3

### Tijdsreefs afvoer

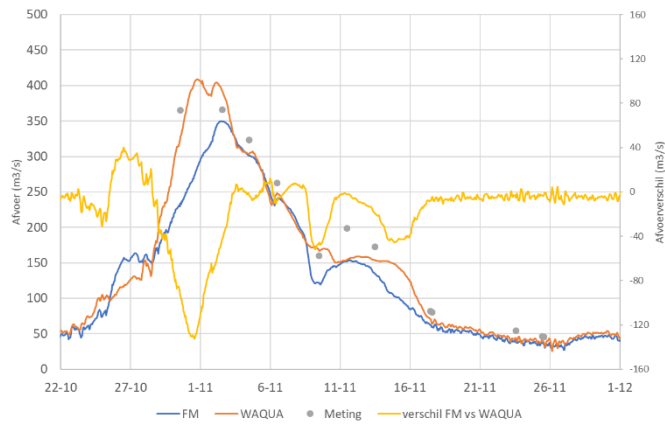
Emlichheim:



De Haandrik (rkm 3,6):



Berkummerbrug (rkm 55):

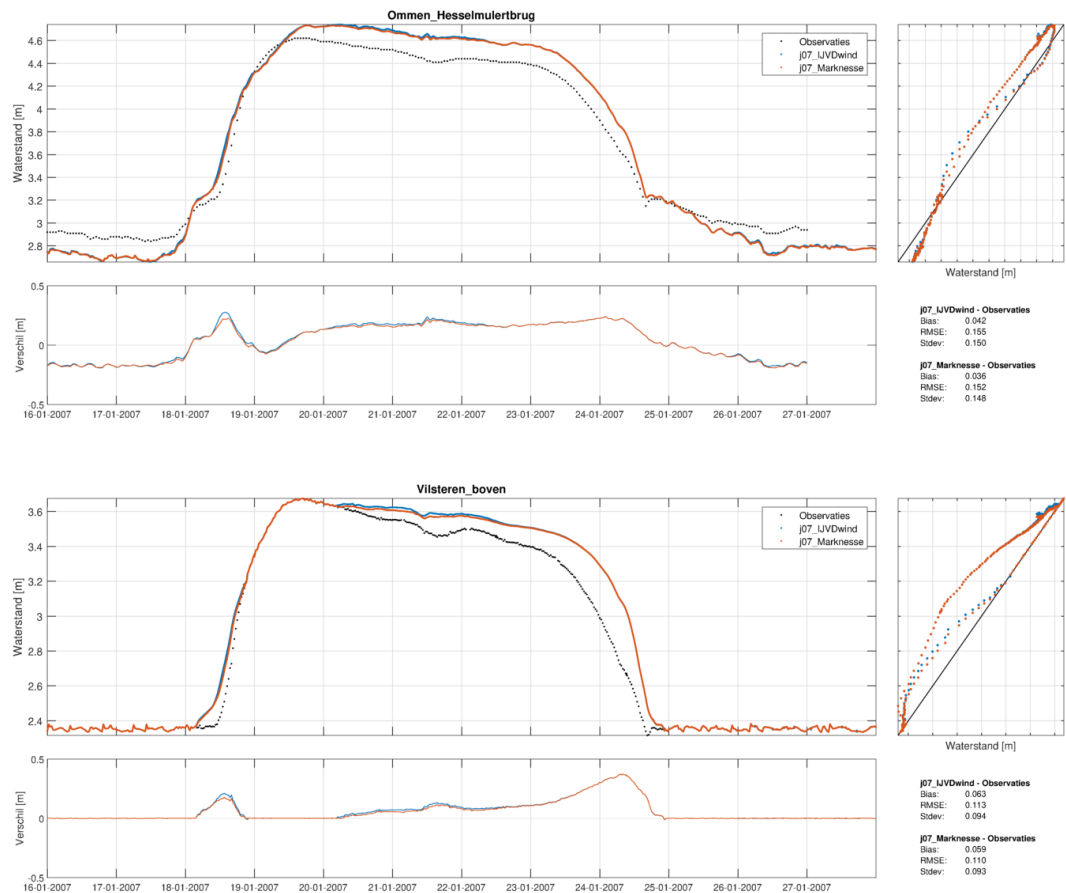


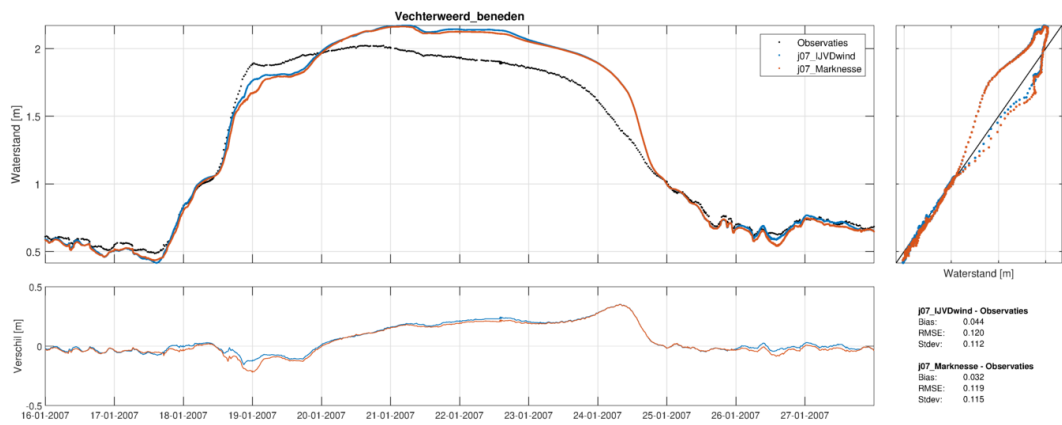
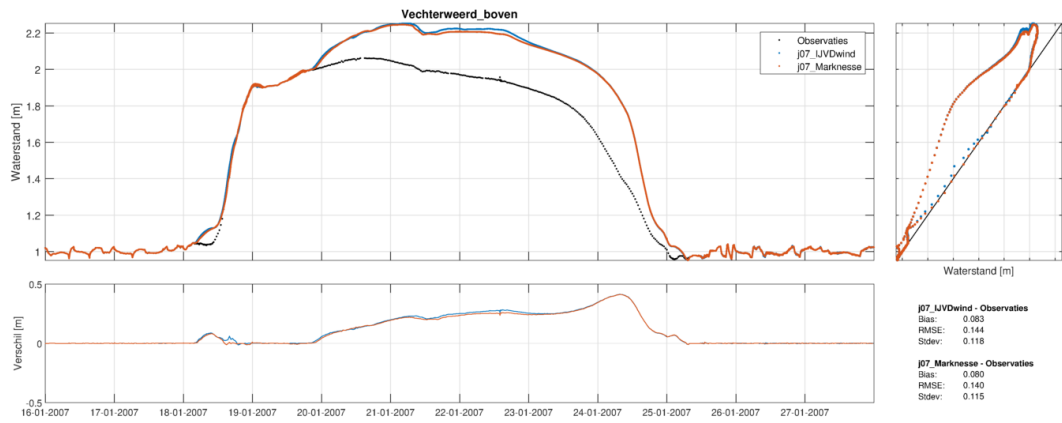
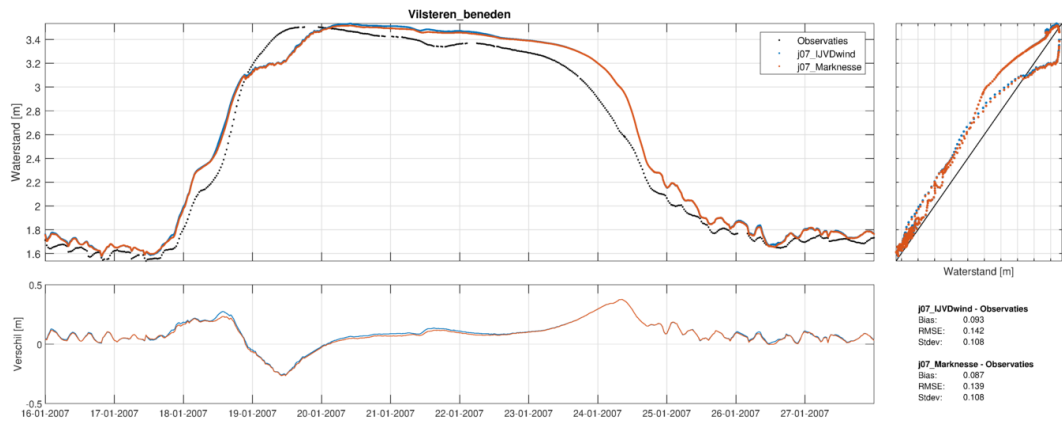
# J.9 Storm januari 2007

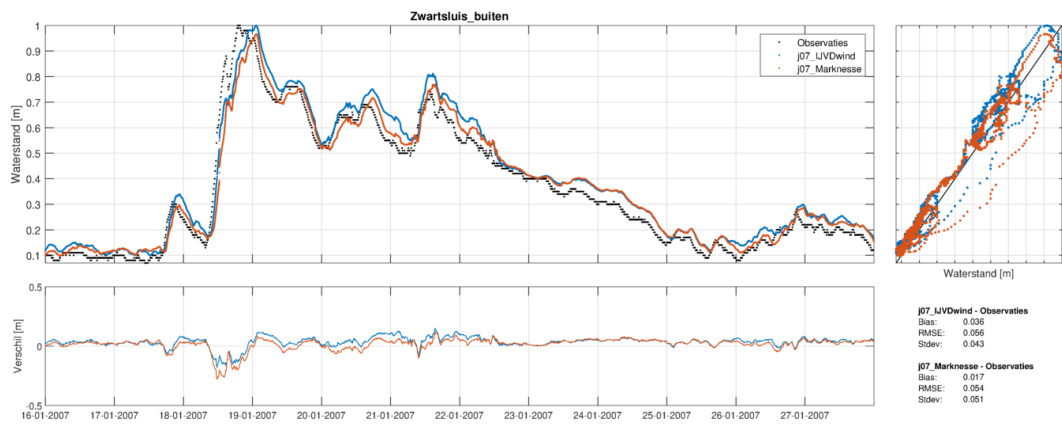
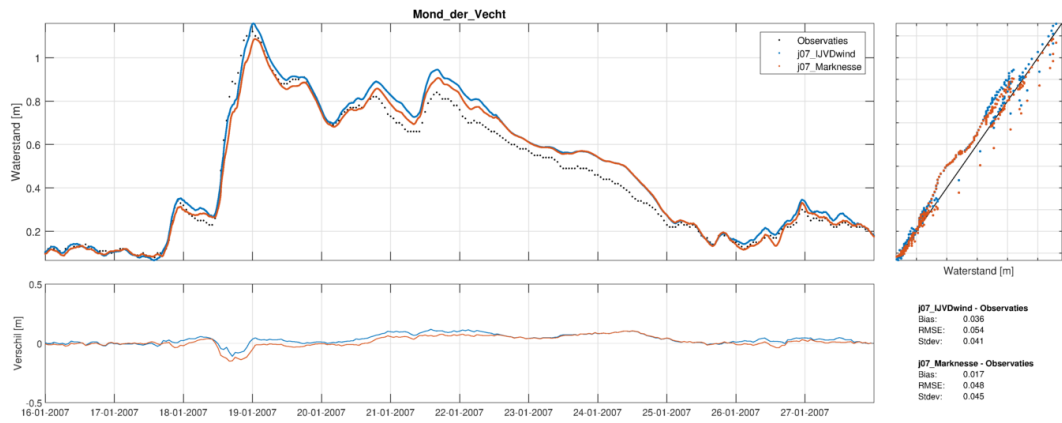
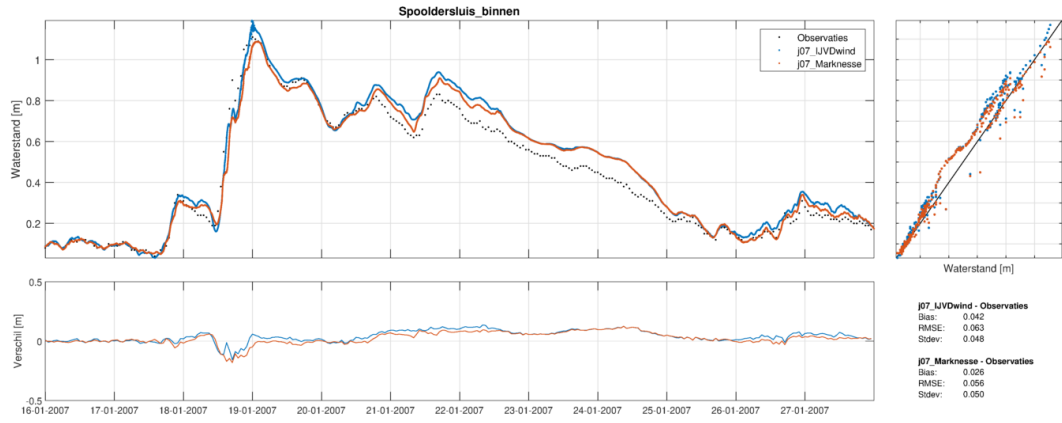
## J.9.1 Statistieken waterstand

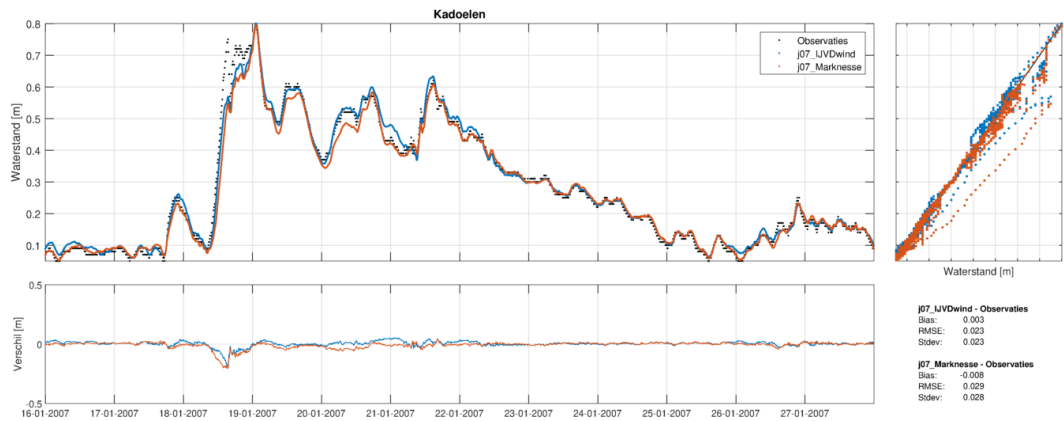
meetstation	Gekalibreerd					
	Bias	RMSE	stdv	dmax	dmin	diffmax
Ommen	0.036	0.152	0.148	0.111	-0.172	0.241
Ommerkanaal	-	-	-	-	-	-
Vilsteren boven	0.059	0.110	0.093	0.000	0.019	0.374
Vilsteren beneden	0.087	0.139	0.108	0.012	0.041	0.376
Dalfsen	-	-	-	-	-	-
Vechterweerd boven	0.080	0.140	0.115	0.184	-0.005	0.412
Vechterweerd beneden	0.032	0.119	0.115	0.142	-0.051	0.351
Spooldersluis binnen	0.026	0.056	0.050	-0.022	0.010	0.181
Westerveld	-	-	-	-	-	-
Mond der Vecht	0.017	0.048	0.045	-0.034	0.014	0.151
Galgenrak	-	-	-	-	-	-
Kloosterzijl	-	-	-	-	-	-
Zwartsluis	0.017	0.054	0.051	-0.034	0.028	0.278
Genemuiden	-	-	-	-	-	-
Kadoelen	-0.008	0.029	0.028	-0.005	0.002	0.204
Rampolbrug	0.002	0.003	0.003	0.000	0.002	0.021
<b>Gemiddelde</b>	<b>0.035</b>	<b>0.085</b>	<b>0.076</b>	<b>0.035</b>	<b>-0.011</b>	<b>0.259</b>
<b>RMS Gemiddelde</b>	<b>0.046</b>	<b>0.099</b>	<b>0.088</b>	<b>0.083</b>	<b>0.059</b>	<b>0.284</b>

## J.9.2 Tijdsreeksen waterstanden







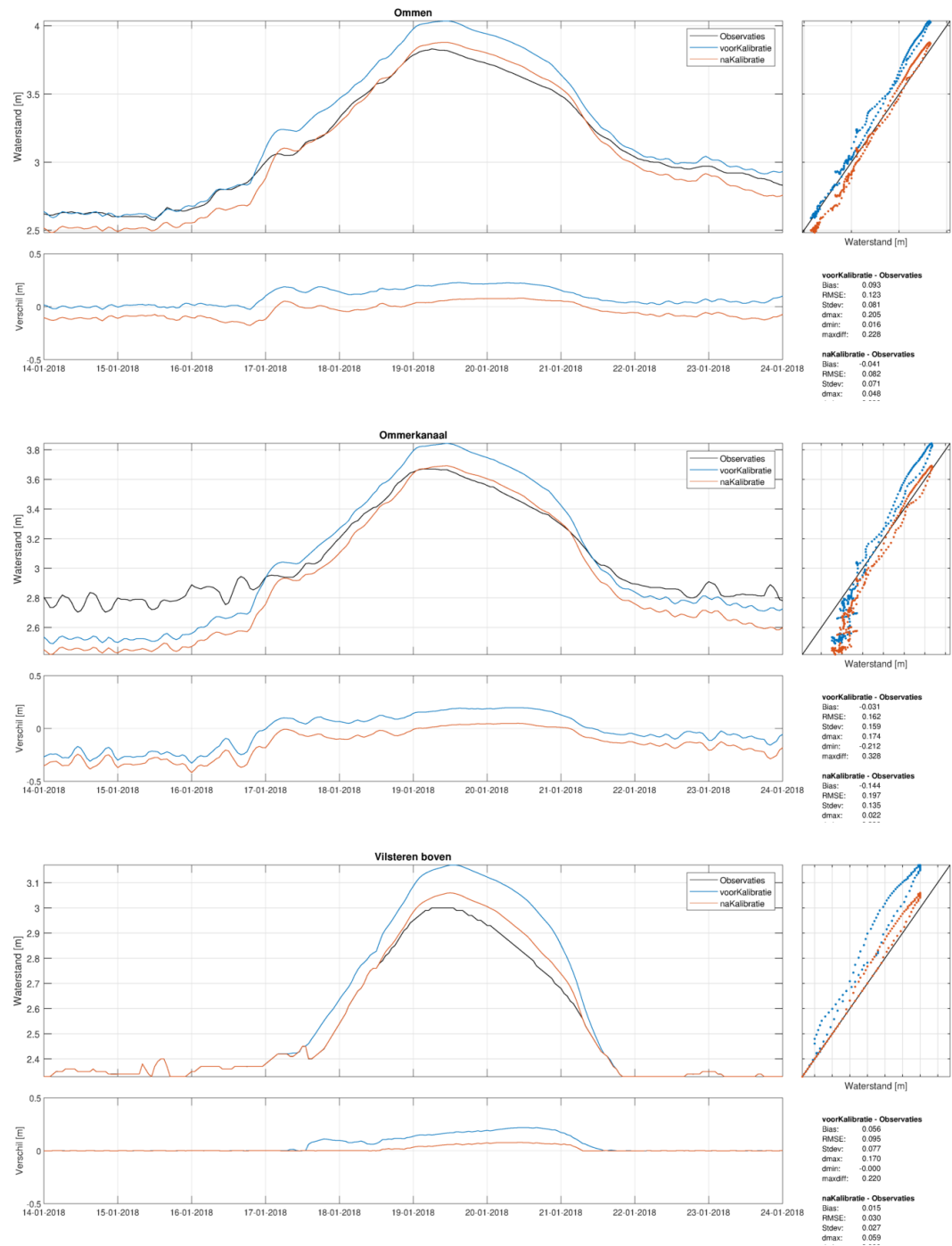


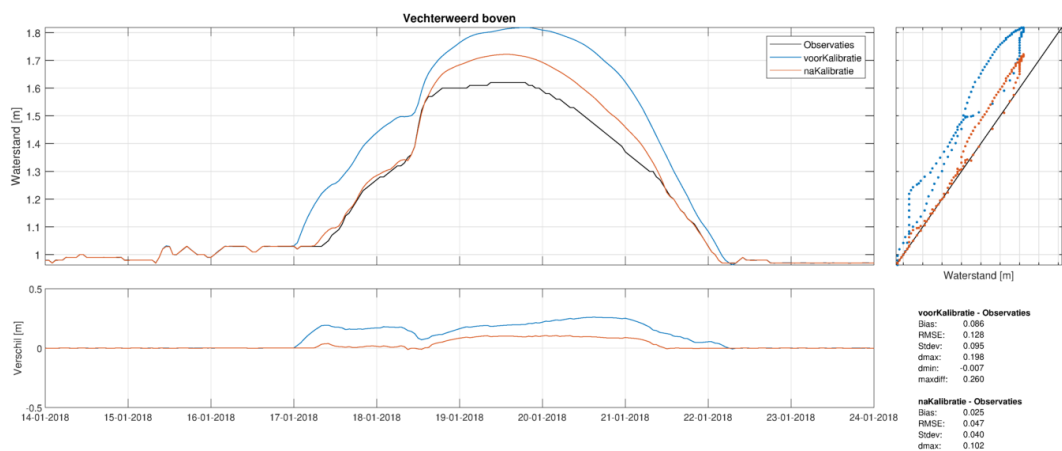
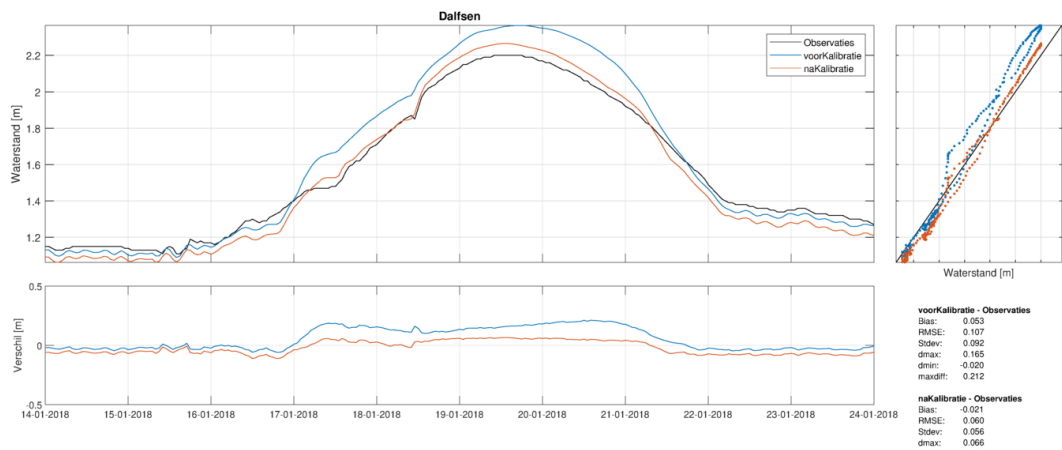
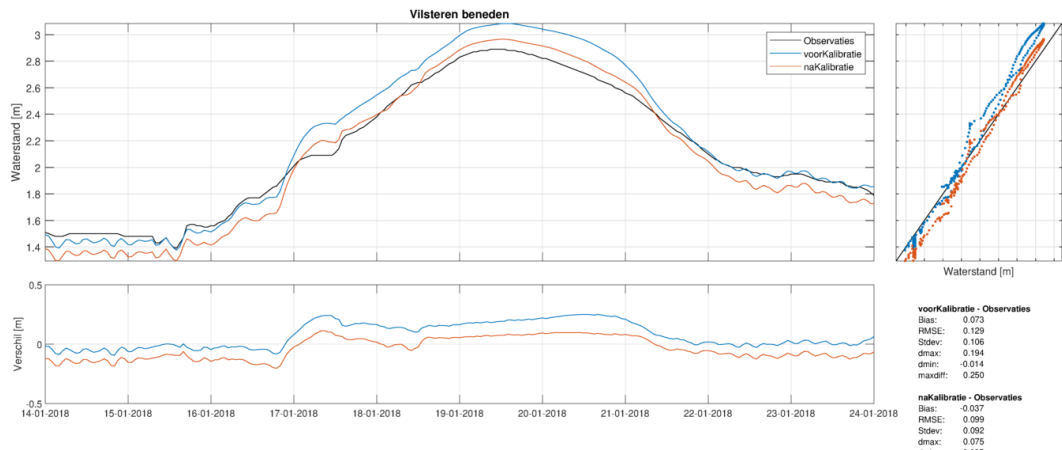
## J.10 Storm januari 2018

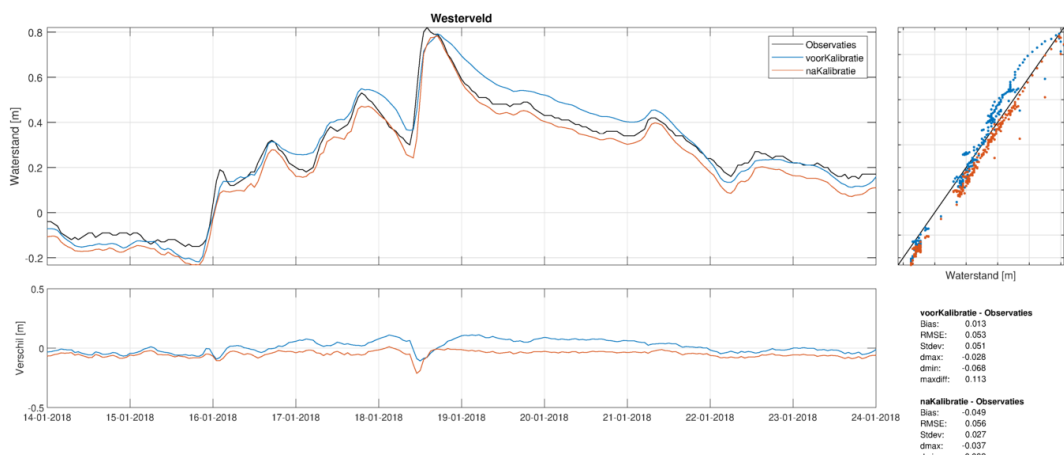
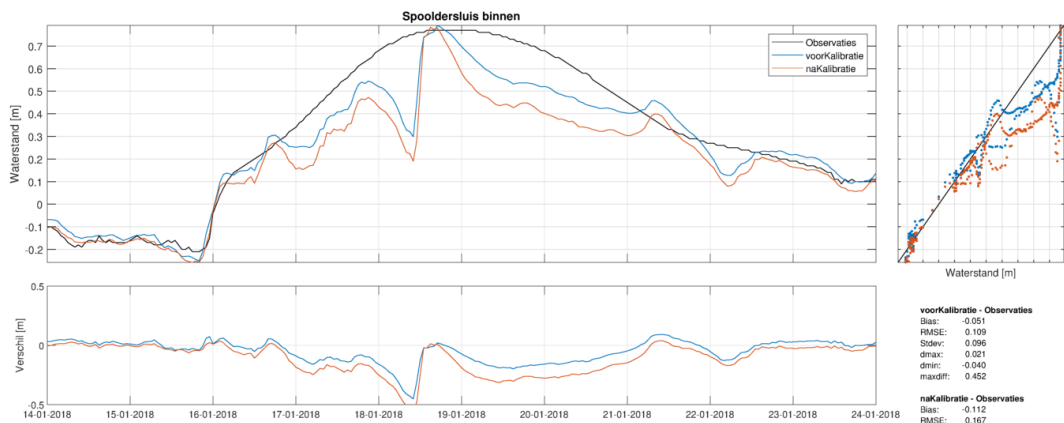
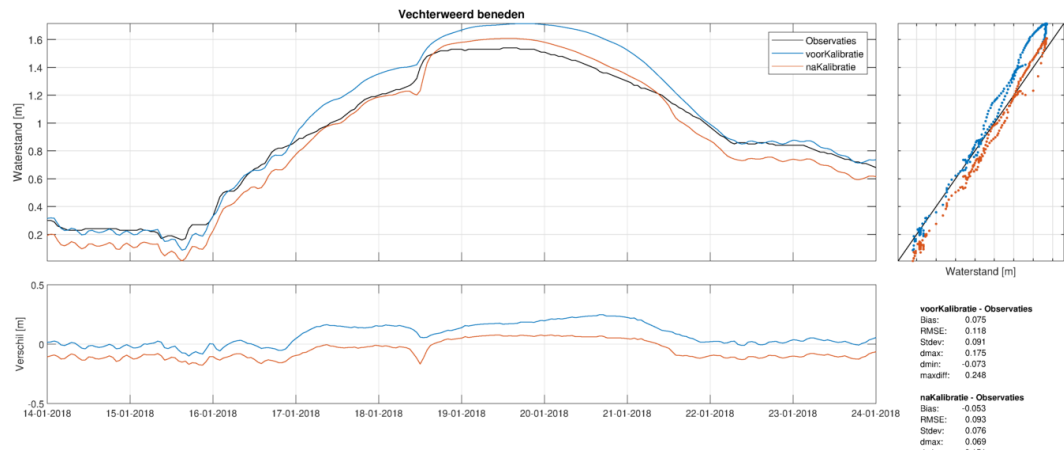
### J.10.1 Statistieken waterstand

meetstation	Ongekalibreerd						Gekalibreerd					
	Bias	RMSE	stdv	dmax	dmin	diffmax	Bias	RMSE	stdv	dmax	dmin	diffmax
Omnen	0.148	0.150	0.024	0.191	0.141	0.191	-0.008	0.026	0.025	0.029	-0.036	0.047
Ommerkanaal	0.090	0.093	0.026	0.143	0.067	0.143	-0.059	0.065	0.028	-0.009	-0.099	0.104
Vilsteren boven	0.096	0.098	0.022	0.136	0.096	0.136	0.009	0.014	0.011	0.034	0.000	0.034
Vilsteren beneden	0.143	0.144	0.018	0.163	0.165	0.165	0.016	0.040	0.038	0.054	0.017	0.060
Dalflen	0.125	0.126	0.017	0.136	0.156	0.162	0.026	0.036	0.025	0.059	0.027	0.059
Vechterweerd boven	0.138	0.143	0.036	0.164	0.169	0.180	0.025	0.038	0.029	0.084	0.015	0.084
Vechterweerd beneden	0.119	0.124	0.034	0.138	0.153	0.161	-0.019	0.057	0.055	0.050	-0.013	0.168
Spooldersluis binnen	-0.158	0.220	0.157	0.021	-0.382	0.452	-0.232	0.299	0.192	0.013	-0.490	0.560
Westerveld	0.035	0.076	0.069	-0.028	0.064	0.111	-0.041	0.071	0.059	-0.037	-0.058	0.213
Monst der Vecht	0.063	0.082	0.053	0.010	0.086	0.123	-0.012	0.039	0.038	0.000	-0.033	0.118
Galgenrak	0.048	0.096	0.085	0.005	0.078	0.128	-0.011	0.090	0.091	0.010	-0.018	0.244
Kloosterzijl	-0.010	0.076	0.077	-0.027	0.017	0.213	-0.058	0.099	0.082	-0.021	-0.072	0.267
Zwartsluis	0.016	0.059	0.058	-0.014	0.067	0.146	-0.026	0.052	0.046	-0.007	-0.020	0.168
Genemuiden	0.004	0.071	0.073	-0.025	0.064	0.186	-0.033	0.074	0.067	-0.032	0.000	0.210
Kadoelen	0.053	0.089	0.073	0.041	0.106	0.177	0.024	0.065	0.061	0.038	0.039	0.161
Ramspolbrug	0.005	0.008	0.005	0.001	0.006	0.017	0.005	0.008	0.006	0.001	0.006	0.019
Gemiddelde	0.057	0.103	0.052	0.066	0.066	0.168	-0.025	0.067	0.053	0.017	-0.046	0.157
RMS Gemiddelde	0.095	0.113	0.063	0.103	0.142	0.188	0.065	0.093	0.068	0.038	0.129	0.203

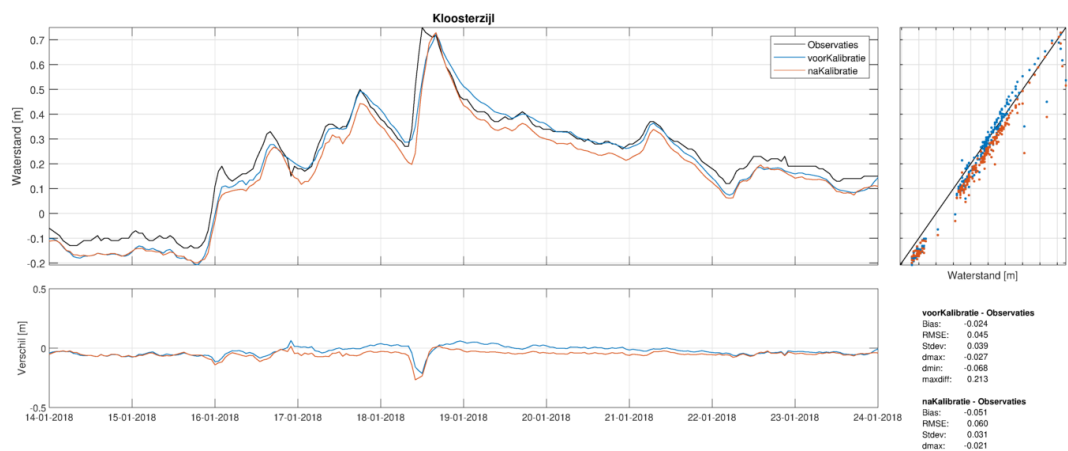
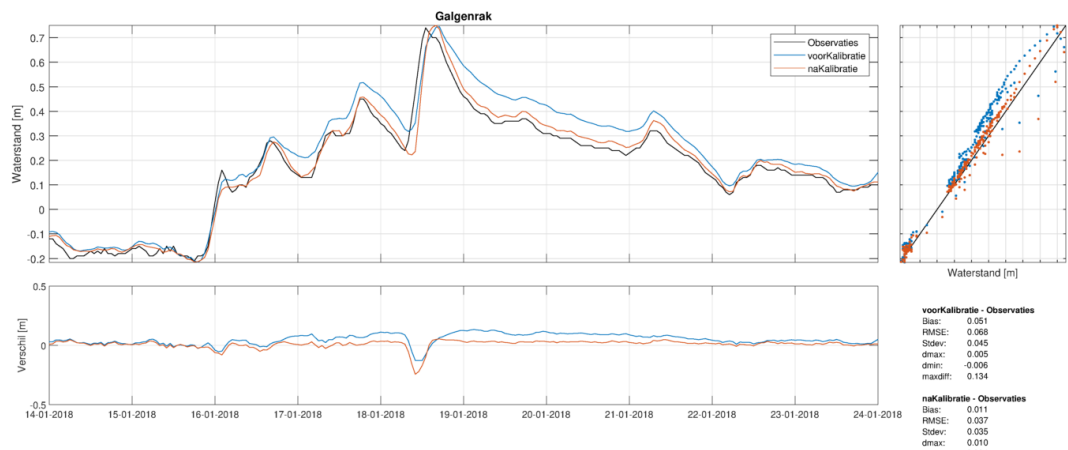
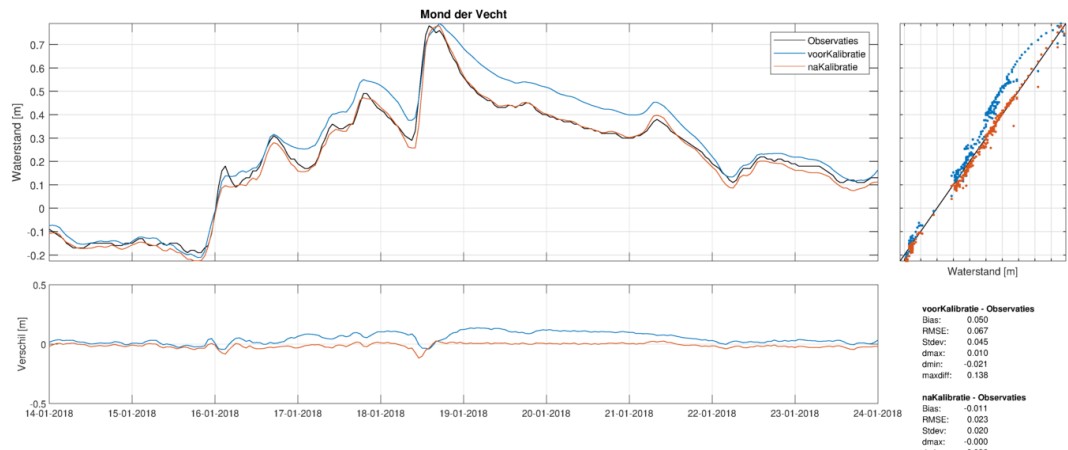
## J.10.2 Tijdsreeksen waterstanden

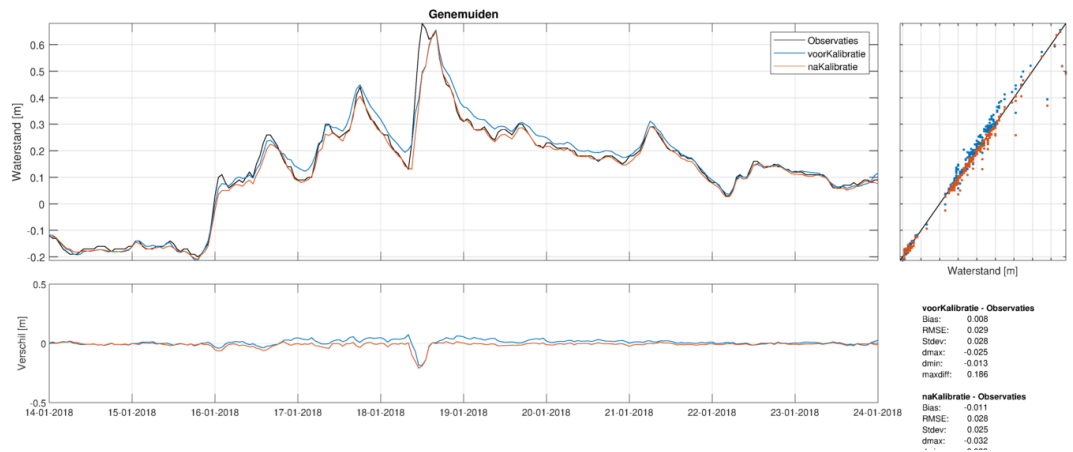
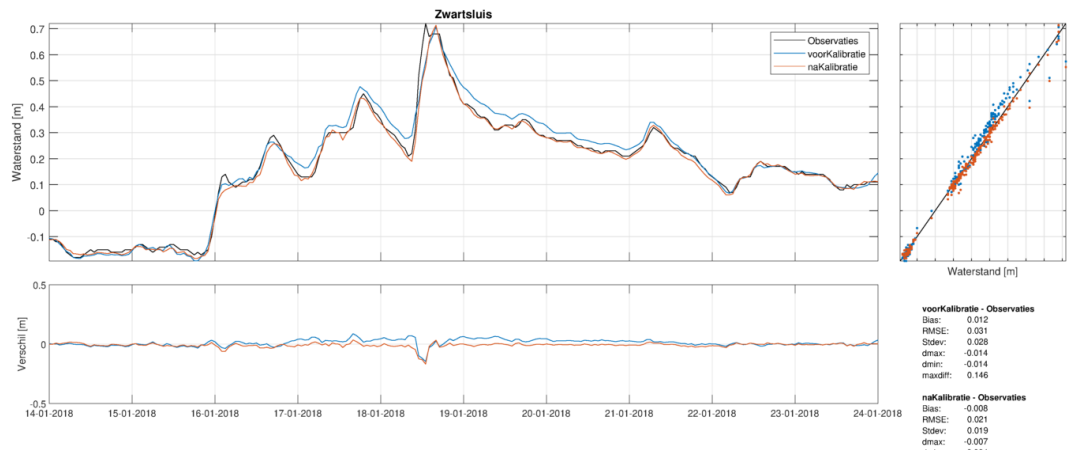


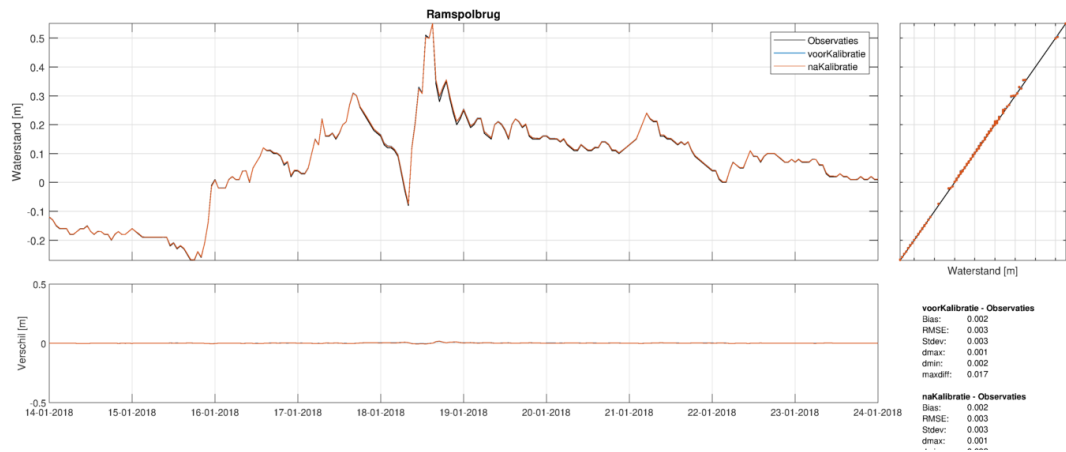
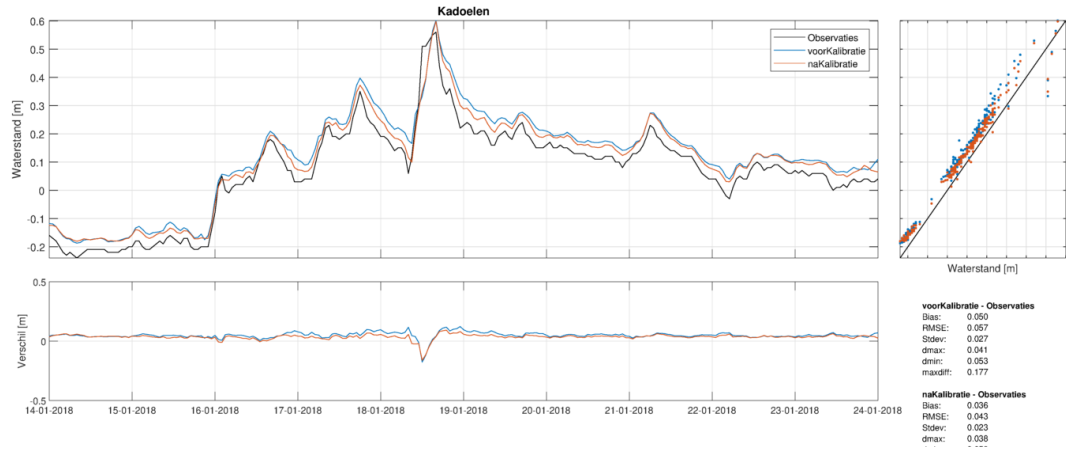










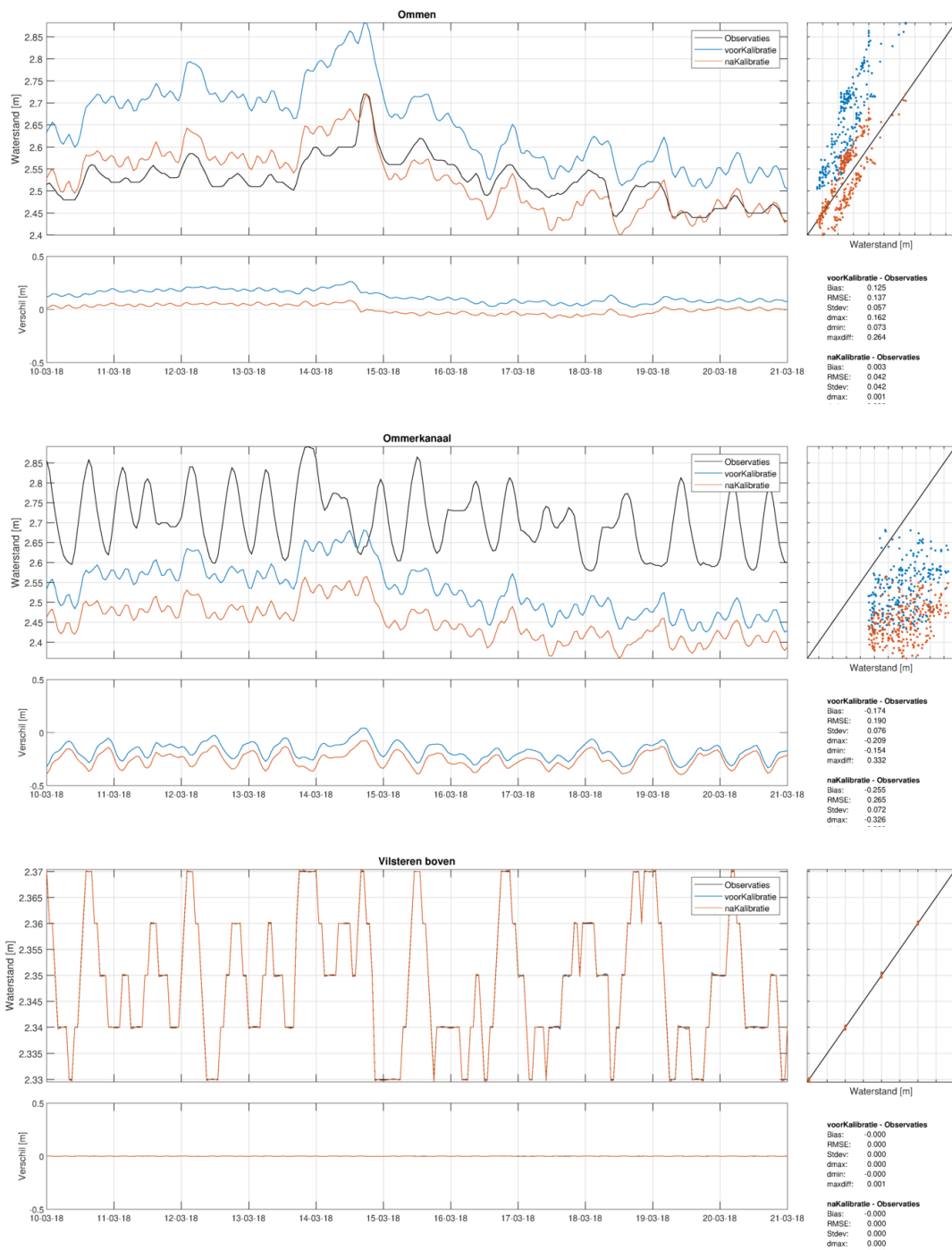


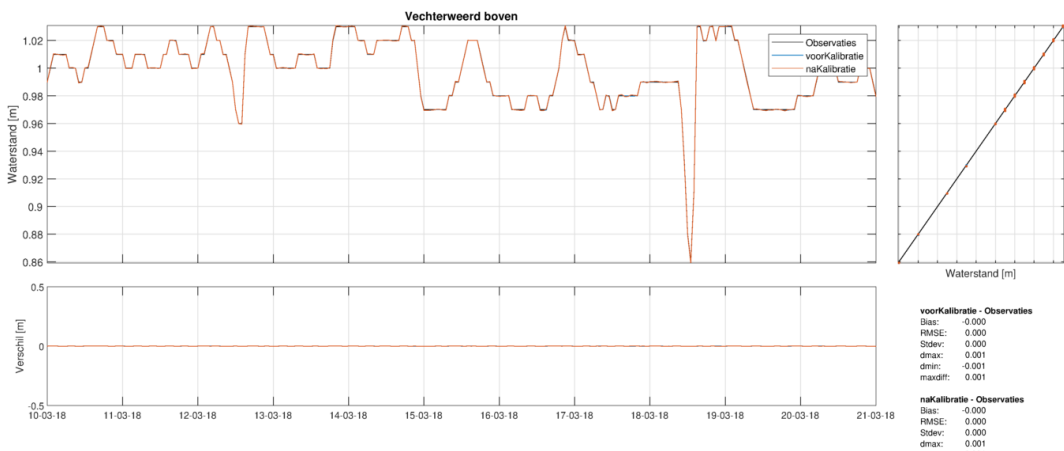
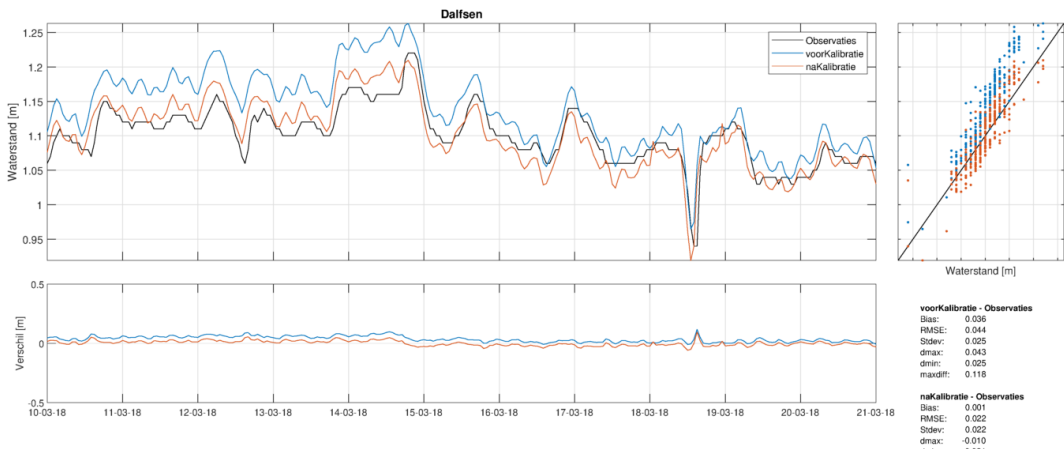
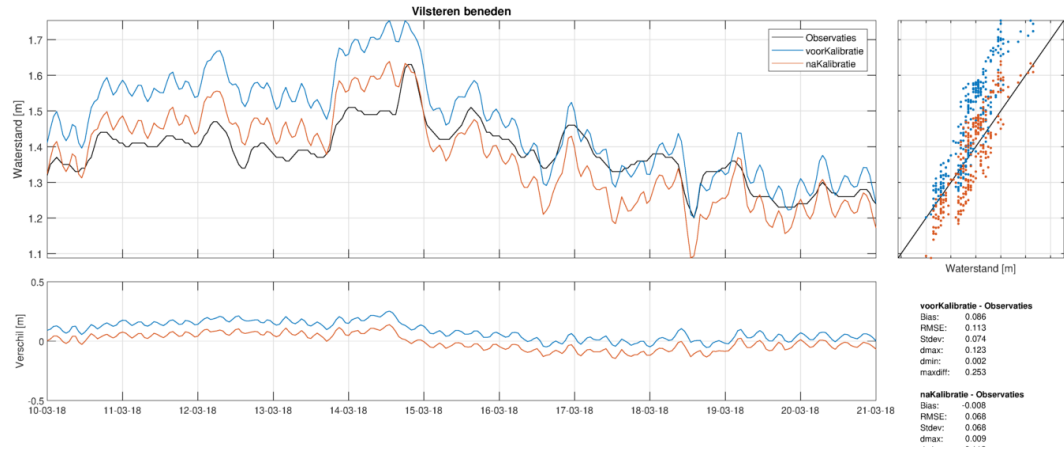
## J.11 Storm maart 2018

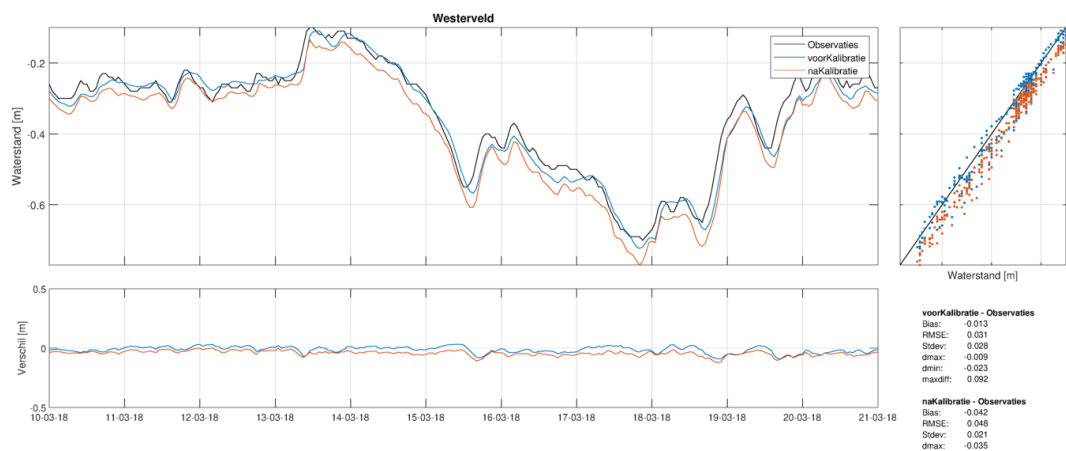
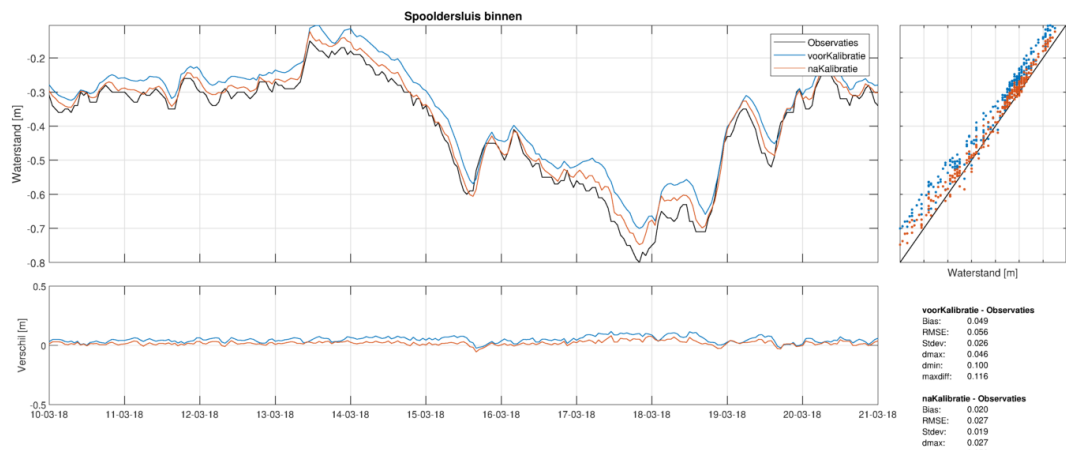
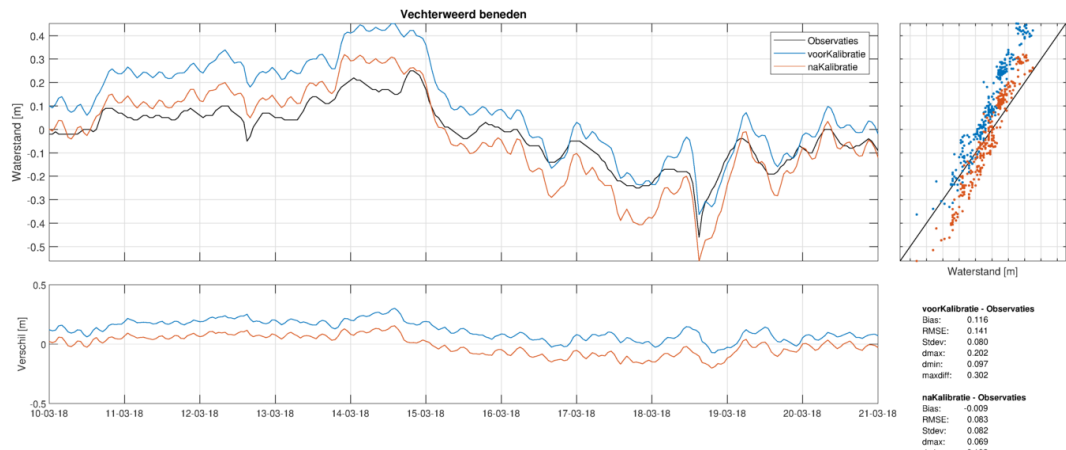
### J.11.1 Statistieken waterstand

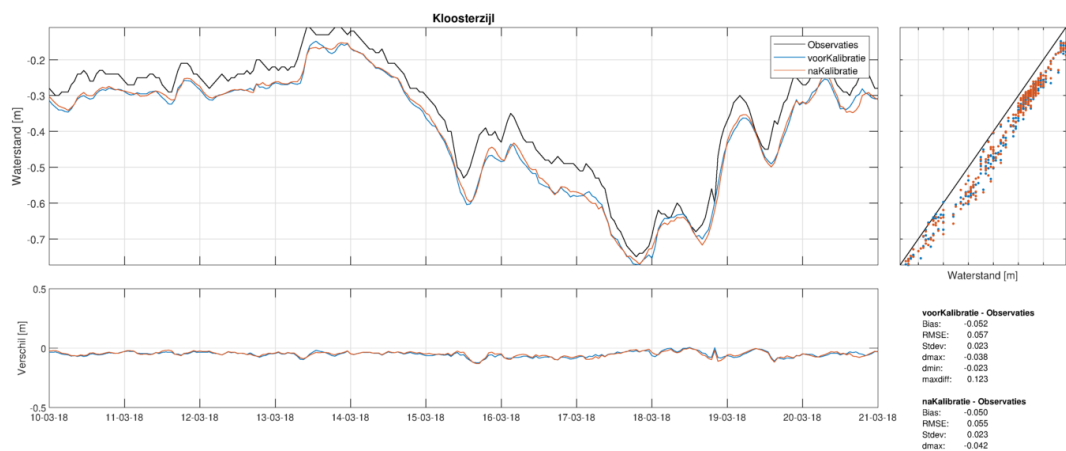
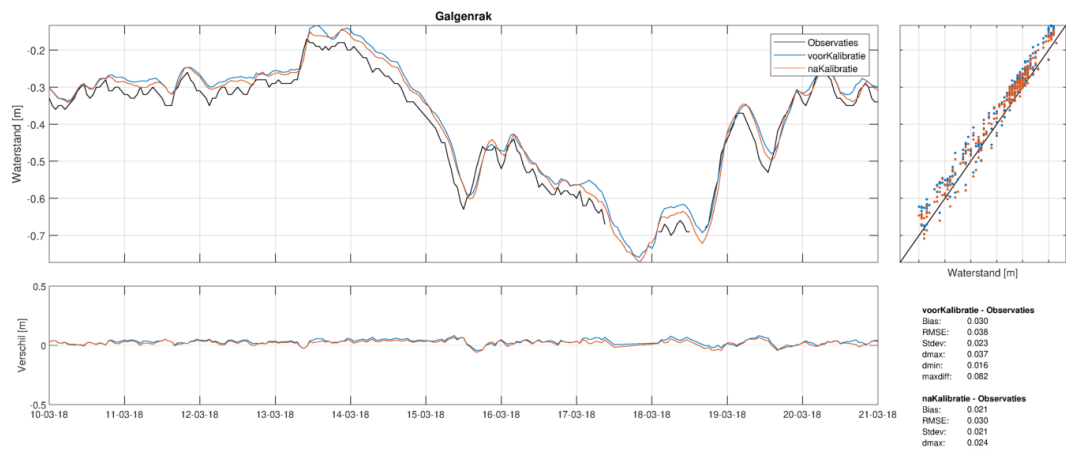
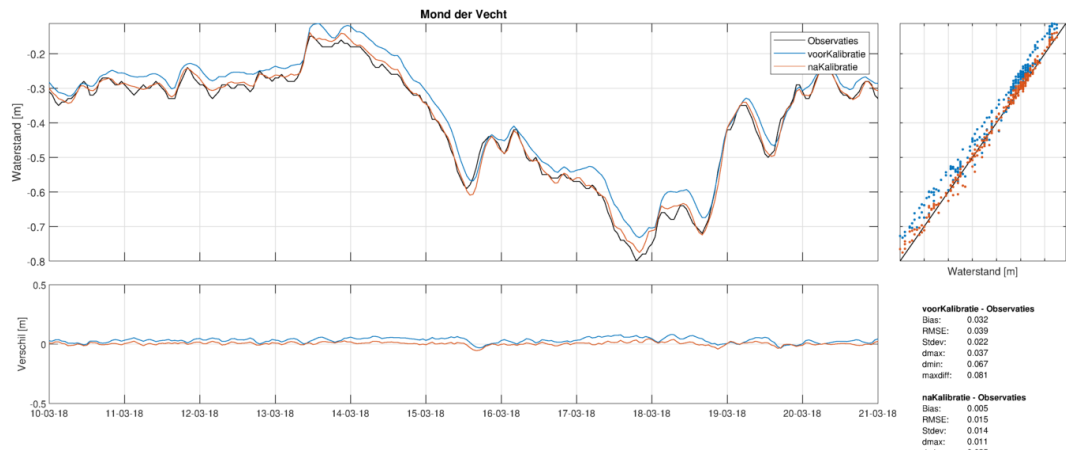
meetstation	Ongekalibreerd						Gekalibreerd					
	Bias	RMSE	stdv	dmax	dmin	diffmax	Bias	RMSE	stdv	dmax	dmin	diffmax
Omnen	0.065	0.070	0.025	0.105	0.070	0.136	-0.046	0.049	0.017	-0.020	-0.042	0.080
Ommerkanaal	-0.205	0.214	0.061	-0.241	-0.146	0.322	-0.277	0.284	0.064	-0.324	-0.220	0.389
Viilsteren boven	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Viilsteren beneden	0.008	0.036	0.036	0.064	0.002	0.105	-0.085	0.090	0.030	-0.031	-0.112	0.146
Dalfsen	0.016	0.024	0.017	0.031	0.025	0.118	-0.016	0.025	0.019	-0.005	-0.021	0.095
Vechterweerd boven	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.001	0.001
Vechterweerd beneden	0.040	0.063	0.050	0.085	0.097	0.147	-0.107	0.115	0.042	-0.040	-0.102	0.202
Spooldersluis binnen	0.065	0.072	0.031	0.102	0.100	0.116	0.029	0.037	0.023	0.001	0.052	0.081
Westerveld	-0.018	0.033	0.028	-0.046	-0.023	0.091	-0.054	0.058	0.021	-0.053	-0.070	0.121
Mond der Vecht	0.041	0.047	0.023	0.011	0.067	0.081	0.006	0.017	0.016	0.005	0.025	0.045
Galgenrak	0.033	0.040	0.023	0.015	0.016	0.077	0.020	0.031	0.024	0.020	-0.008	0.054
Kloosterzijl	-0.054	0.061	0.029	-0.084	-0.023	0.100	-0.055	0.062	0.028	-0.076	-0.021	0.110
Zwartsluis	0.006	0.018	0.017	-0.017	0.023	0.040	0.012	0.022	0.018	-0.012	0.036	0.047
Genemuiden	0.014	0.022	0.017	-0.008	0.043	0.045	0.015	0.024	0.019	-0.008	0.054	0.054
Kadoelen	0.065	0.068	0.022	0.043	0.088	0.105	0.065	0.069	0.023	0.040	0.096	0.106
Ramspolbrug	-0.001	0.001	0.001	-0.001	0.000	0.003	-0.001	0.001	0.001	-0.001	0.000	0.003
<b>Gemiddelde</b>	<b>0.005</b>	<b>0.048</b>	<b>0.024</b>	<b>-0.002</b>	<b>0.021</b>	<b>0.093</b>	<b>-0.031</b>	<b>0.055</b>	<b>0.022</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.021</b>	<b>0.096</b>
<b>RMS Gemiddelde</b>	<b>0.063</b>	<b>0.069</b>	<b>0.029</b>	<b>0.076</b>	<b>0.062</b>	<b>0.119</b>	<b>0.083</b>	<b>0.087</b>	<b>0.026</b>	<b>0.086</b>	<b>0.077</b>	<b>0.133</b>

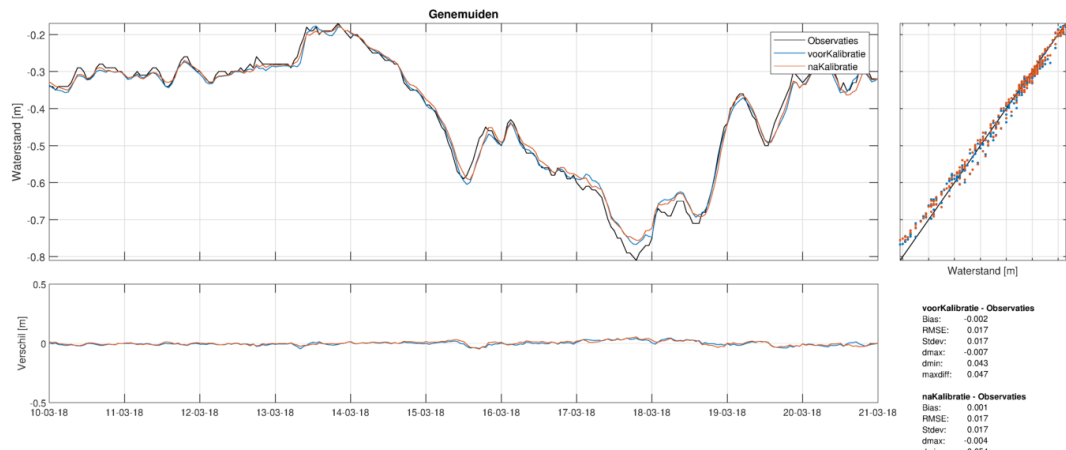
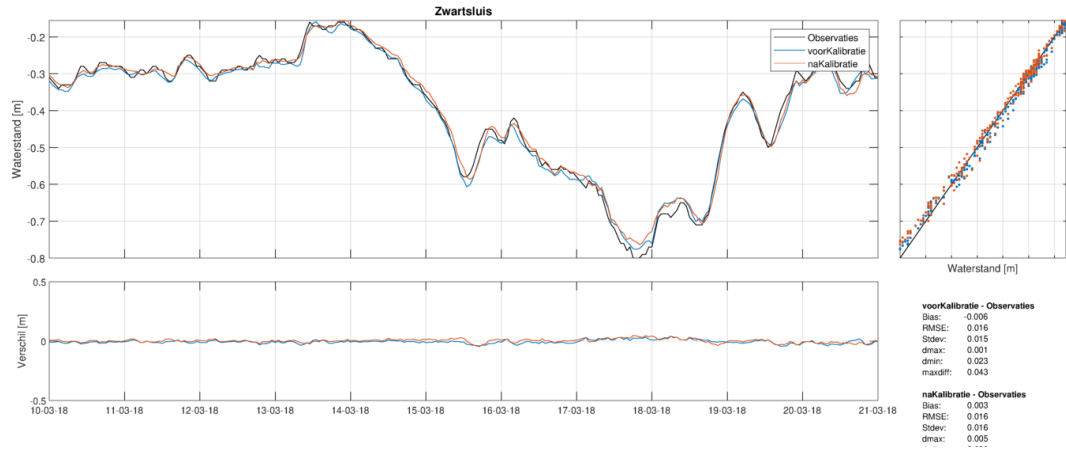
## J.11.2 Tijdsreeksen waterstanden



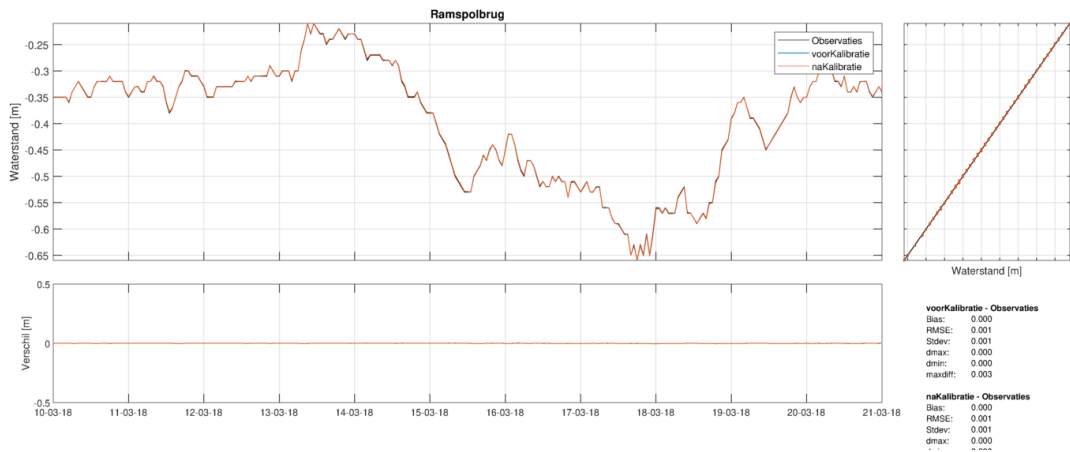
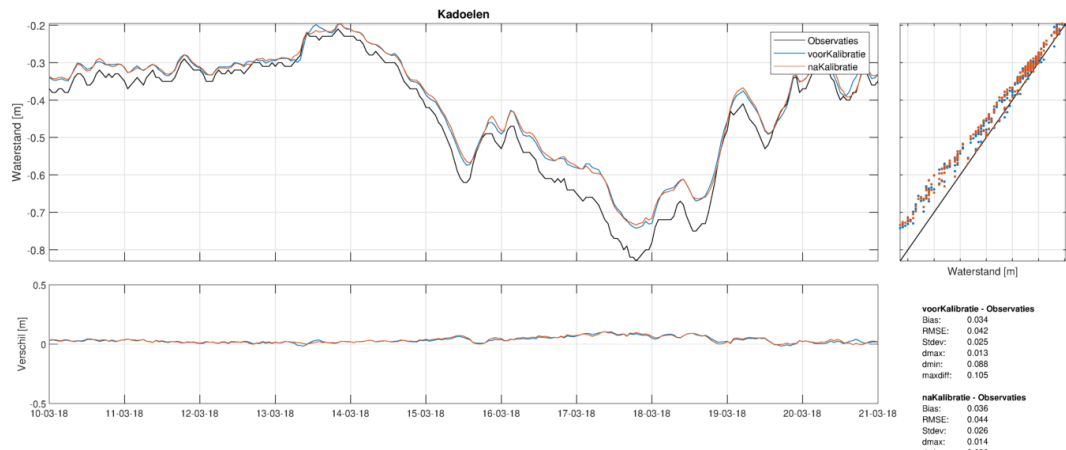












Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)