

## Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model

Modelbouw, kalibratie en validatie



# Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model

Modelbouw, kalibratie en validatie

## Auteur(s)

Anna Kusters

Aukje Spruyt

Iris Niesten

## Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model

Modelbouw, kalibratie en validatie

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer M. Scholten
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	D-HYDRO, Rijn, zesde generatie, D-Flow FM, D-RTC, Baseline, kalibratie, validatie, OpenDA

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	21-09-2022
<b>Projectnummer</b>	11206813-003
<b>Document ID</b>	11206813-003-ZWS-0012
<b>Pagina's</b>	764
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Iris Niesten	
	Anna Kusters	
	Aukje Spruyt	

# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de opzet, kalibratie en validatie van het zesde-generatiemodel van de Rijntakken in D-HYDRO. Anders dan in vorige modelgeneraties wordt in dit model gebruik gemaakt van een ongestructureerd rooster, dat nauwkeurig kan worden uitgelijnd met de lokale geometrie en stroomrichting. Naast de roosteropzet zijn ook de methodieken voor modelopzet, kalibratie en validatie aangepast ten opzichte van de vijfde generatie, met als doel om de kwaliteit van het resulterende model te verbeteren.

Kalibratie en validatie zijn uitgevoerd voor vijf afvoerniveaus, in het bereik van 800 tot 12.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Hiertoe zijn met behulp van de geografische database Baseline modelschematisaties opgezet voor de jaren 1993, 1995, 2010/2011, 2015/2016 en 2016/2017. Kalibratie heeft plaatsgevonden door de zomerbedruwheid te vermenigvuldigen met een ruimtelijk variërende en afvoerafhankelijke kalibratiefactor.

Het model is gekalibreerd op waterstanden en afvoerverdeling. Met een geautomatiseerde procedure zijn de kalibratiefactoren iteratief aangepast om de bias van modelresultaten ten opzichte van metingen te minimaliseren. Om de waterstanden te kunnen kalibreren zonder gelijktijdig de afvoerverdeling te beïnvloeden zijn de riviertakken Waal, Neder-Rijn – Lek en IJssel eerst los gekalibreerd op waterstanden, waarbij de afvoer als bovenstroomse randvoorwaarde is opgelegd. Vervolgens is het totaalmodel gekalibreerd op de afvoerverdeling over de takken en de waterstanden op Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal.

De resulterende kalibratiefactoren liggen over het algemeen dicht bij 1. Dit is een indicatie dat de vooraf bepaalde basisruwheid een goede benadering is van de uiteindelijke ruwheid van het zomerbed. Voor recente validatieperioden (2015 - 2017) presteert het model over het algemeen goed, met een bias en standaarddeviatie van enkele centimeters gemiddeld over alle waterstandsstations. De prestatie wordt over het algemeen slechter naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt, met bias- en standaarddeviatiewaarden die oplopen tot ca. 15 cm.

Uit de validatie van middelhoge afvoeren blijkt dat ook bij gelijkblijvende afvoer de verschillen tussen model en meting groter worden naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt. Dit kan betekenen dat de meer historische perioden minder bruikbaar zijn als basis voor een model van de huidige situatie. Omdat de twee hoogste afvoerniveaus zijn gekalibreerd op historische perioden (2011 en 1995), is het modelresultaat in dit bereik mogelijk minder betrouwbaar. Dit geldt ook voor nog hogere afvoeren, omdat hiervoor de factor van het hoogste kalibratieniveau wordt aangehouden. De verwachting is dat met deze kalibratie de waterstanden voor hoge en zeer hoge afvoeren worden overschat. Door validatie op recente hoogwaters uit te voeren (bijv. het hoogwater van 2018) kan het modelresultaat voor hoge afvoeren mogelijk worden verbeterd en kan modelonzekerheid worden verkleind. Voor lage en middelhoge afvoeren, die met recente perioden zijn gekalibreerd, presteert het model goed en kunnen de resultaten zonder voorbehoud worden gebruikt.

Ten slotte wordt voor de volgende kalibratie van het Rijntakkenmodel aanbevolen om (indien mogelijk) afvoerverdeling en waterstanden tegelijk te kalibreren. Dit maakt de kalibratie aanzienlijk minder tijdrovend en complex.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>12</b>
1.1	Achtergrond	12
1.2	Doel	12
1.3	Gebruikte programmatuur en hardware	12
1.4	Organisatie en bijdragen	13
1.5	Leeswijzer	13
1.6	Terminologie	13
<b>2</b>	<b>Systeembeschrijving</b>	<b>14</b>
2.1	Algemeen	14
2.1.1	Stroomgebied	14
2.1.2	Sediment en morfologie	14
2.1.3	Afvoer en afvoerverdeling	14
2.2	Duitse Rijn, Boven-Rijn en Waal	16
2.3	Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn Lek	18
2.4	IJssel	19
2.5	Belangrijke kenmerken	20
2.5.1	Kunstwerken	20
2.5.1.1	Stuwcomplexen Neder-Rijn Lek	20
2.5.1.2	Regelwerken	21
2.5.1.3	Kunstwerken in het Amsterdam-Rijnkanaal	23
2.5.1.4	Overige schutsluizen en keringen	24
2.5.1.5	Duikers en inlaatsluizen	24
2.5.1.6	Bruggen	25
2.5.2	Retentiegebieden en nevengeulen	26
2.5.2.1	Nevengeul bij Veur-Lent	26
2.5.2.2	Veessen-Wapenveld	26
2.5.2.3	Reevediep	27
2.5.2.4	Rijnstrangen	27
2.5.2.5	Varik-Heesselt	28
2.5.3	Beken, rivieren en gemalen	29
2.5.4	Dijkkringen en hoge gronden	29
2.6	Toepassingen van het model	29
2.7	Verbindingen met andere gebieden	31
<b>3</b>	<b>Beschikbare data</b>	<b>32</b>
3.1	Geometrie in Baseline	32
3.1.1	Werkwijze	32
3.1.2	Baseline-rijn-j95_5-G6-w15	33
3.1.2.1	Werkwijze	33

3.1.2.2	Verbeteringen	34
3.1.3	Overige schematisaties	35
3.1.4	Roostergeneratie	36
3.1.4.1	Aangeleverde gegevens	36
3.2	Randvoorwaarden en meetgegevens ten behoeve van kalibratie en validatie	37
3.2.1	Aangeleverde data	37
3.2.1.1	Waterstanden	38
3.2.1.2	Afvoermetingen	39
3.2.1.3	Afvoerreeksen Lobith en splitsingspunten	40
3.2.1.4	Afvoeren Pannerdense overlaat	40
3.2.1.5	Afvoeren sturing Driel en Hagestein	40
3.2.1.6	Kunstwerksturing	41
3.2.1.7	Verschillen met eerdere meetgegevens	41
3.2.2	Randvoorwaarden laterale uitwisselingen	41
3.3	Fictieve randvoorwaarden	43
<b>4</b>	<b>Modelopzet</b>	<b>45</b>
4.1	Roosterontwerp	45
4.1.1	Methodiek	45
4.1.2	Aanpak	47
4.1.3	Roostereigenschappen	48
4.1.4	Roosterontwerp in overlapgebieden	50
4.2	Projectie vanuit Baseline	51
4.3	Randvoorwaarden	52
4.3.1	Open randen	52
4.3.1.1	Emmerich	52
4.3.1.2	Ketelbrug	53
4.3.1.3	Ramspolbrug	53
4.3.1.4	Hardinxveld	54
4.3.1.5	Krimpen aan de Lek	55
4.3.2	Lateralen	56
4.3.3	Niet-gemodelleerde processen	56
4.3.4	Initiële condities	56
4.4	Schematisatie en aansturing kunstwerken	57
4.4.1	Stuwen Neder-Rijn – Lek	57
4.4.1.1	Schematisering	57
4.4.1.2	Aansturing	58
4.4.2	Regelwerken	60
4.4.3	Inlaat Veessen-Wapenveld	60
4.4.4	Kunstwerken Betuwepand	61
4.4.4.1	Bernhardsluizen, Marijkesluizen en keerschuij Ravenswaaij	61
4.4.4.2	Gemaal Marijkesluizen	62
4.4.5	Duikers en inlaatsluizen	62
4.4.6	Bruggen	64
4.5	Definitie ruwheden	65
4.5.1	Zomerbed	65
4.5.2	Winterbed	67
4.6	Fysisch-numerieke instellingen	68
4.6.1	Bodemhoogtediscretisatie	68
4.6.2	Overlaatformulering	69

4.6.3	Horizontale viscositeit en diffusiviteit	70
4.6.4	Wandruwheid	70
4.6.5	DIMR en rekentijdstappen	71
<b>5</b>	<b>Kalibratie</b>	<b>72</b>
5.1	Methodiek	72
5.1.1	Kalibratiefactor	72
5.1.2	Kalibratietrajecten	73
5.1.3	Afvoerraaian voor kalibratie	76
5.1.4	Kalibratieperioden	80
5.1.5	Kalibratie takmodellen per afvoerniveau	81
5.1.5.1	Laag (L1)	82
5.1.5.2	Midden 1 (M1)	84
5.1.5.3	Midden 2 (M2)	85
5.1.5.4	Hoog 1 (H1)	87
5.1.5.5	Hoog 2 (H2)	88
5.1.6	Kalibratie totaalmodel	90
5.1.7	Kalibratie stuwen	91
5.1.8	Kalibratieprocedure en OpenDA	91
5.2	Kalibratieresultaat	91
5.2.1	Kalibratiefactoren	92
5.2.2	Vergelijking met metingen	95
5.2.2.1	Overzicht	95
5.2.2.2	L1	96
5.2.2.3	M1	99
5.2.2.4	M2	102
5.2.2.5	H1	106
5.2.2.6	H2	110
5.2.3	Discussie	114
5.2.4	Toepassing in modellen	116
<b>6</b>	<b>Validatie</b>	<b>119</b>
6.1	Methodiek	119
6.1.1	Algemeen	119
6.1.2	Bewerking verhanglijnmetingen	120
6.2	Validatieresultaat LMW-stations	120
6.2.1	Overzicht	121
6.2.2	L1	121
6.2.3	M1	123
6.2.4	M2	124
6.2.5	H1	124
6.2.6	H2	128
6.3	Validatie op overige meetgegevens	129
6.3.1	Algemeen	129
6.3.2	2016-2017	130
6.3.2.1	Afvoeren	130
6.3.2.2	Waterstanden LMW-stations	130
6.3.2.3	Verhanglijnmetingen	131
6.3.2.4	Waterstanden waterschappen	132
6.3.3	2015-2016	132
6.3.4	HW2011	133

6.3.4.1	Afvoeren	133
6.3.4.2	Waterstanden	133
6.3.4.3	Verhanglijnmetingen	134
6.3.5	HW1995	135
6.3.6	HW1993	137
6.4	Discussie	137
6.4.1	Stationariteit tussen modelschematisaties	137
6.4.2	Modelprestatie bij Sint-Andries Waal	138
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>139</b>
7.1	Modelopzet	139
7.2	Kalibratie en validatie	140
<b>8</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>142</b>
8.1	Modelopzet	142
8.2	Kalibratie en validatie	143
8.3	Modeltoepassing	144
8.3.1	Rekentijd	144
8.3.2	Extreme condities	144
8.3.3	Bruikbaarheid resultaten	144
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>145</b>
<b>A</b>	<b>Programma van Eisen</b>	<b>148</b>
<b>B</b>	<b>Roosterontwerp</b>	<b>153</b>
B.1	Totaaloverzicht rooster	153
B.2	Locatiespecifieke keuzes	153
B.2.1	Splitsingspunt Pannerdensche Kop	153
B.2.2	Splitsingspunt IJsselkop	154
B.2.3	Regelwerk Pannerden en Regelwerk Hondsbroeksche Pleij	154
B.2.4	Inlaat en nevengeul Nijmegen Lent	155
B.2.5	Traject langsdammen	155
B.2.6	Afgedamde Maas	156
B.2.7	Groene rivier Arnhem	157
B.2.8	Inlaat hoogwatergeul Veessen-Wapenveld	158
<b>C</b>	<b>Baseline, projectie en geometrie</b>	<b>159</b>
C.1	Overzicht Baselinevarianten	159
C.2	Toelichting toegeleverde gegevens RWS-ON	160
C.3	Maatregellijsten Baseline 5	161
C.4	Conversie naar Baseline 6 en Baseline 6-maatregelen	177
C.5	Datastructuur Baseline6 en projectie naar rekenrooster	178
C.6	Projectie door initialisatie van Flexible Mesh	180
C.6.1	Punt-elementen: observation points, lateral sources	180
C.6.2	Lijn-elementen: thin dams, fixed weirs, structures, cross-sections	180
C.6.3	Brugpijlers	182



C.6.4	Open randen	183
C.7	Ruwheden	183
C.7.1	Aangeleverde gegevens RWS-ON	183
C.7.1.1.	Algemeen	183
C.7.1.2.	Korrelgroottes	184
C.7.1.3.	Duinhoogtes	186
C.7.2	Afleiding zomerbedruwheden	186
C.7.3	Aanpassing basisruwheid eerste traject Boven-Rijn	187
C.7.4	Ruwheidsbestand als invoer in D-HYDRO	189
<b>D</b>	<b>Schematisatie kunstwerken</b>	<b>204</b>
D.1	Aansturing kunstwerken operationeel	204
D.1.1	Stuw Driel	204
D.1.2	Stuw Amerongen	205
D.1.3	WKC Amerongen	205
D.1.4	Stuw Hagestein	205
D.1.5	Prinses Marijkesluis West	205
D.1.6	Prinses Marijkesluis Oost (pomp)	206
D.1.7	Keerschuij Ravenswaaij	206
D.1.8	Prins Bernhardsluizen	206
D.1.9	Pomp inlaat nevengeul Lent	206
D.1.10	Regelwerk Pannerden	206
D.1.11	Regelwerk Hondsbroeksche Pleij	206
D.1.12	Inlaat Veessen-Wapenveld, 1ste serie	207
D.1.13	Inlaat Veessen-Wapenveld, 2e, 3e en 4e serie	207
D.2	Aansturing kunstwerken kalibratie	207
D.3	Validatie verval stuwen	208
<b>E</b>	<b>Overzicht modelinstellingen</b>	<b>210</b>
<b>F</b>	<b>Randvoorwaarden en metingen</b>	<b>218</b>
F.1	Overzicht metingen per meetstation	218
F.2	Randvoorwaarden Generator Water Modellen	219
F.2.1	Methode	220
F.2.2	Invoer	222
F.2.3	Uitvoer	223
F.3	Meetgegevens waterstanden en afvoeren	225
F.3.1	Algemeen	225
F.3.2	Waterstanden	225
F.3.3	Afvoeren	226
F.3.4	Sturing stuwen	227
F.3.4.1.	Driel	228
F.3.4.2.	Hagestein	228
F.3.5	Bepaling afvoerreeksen Lobith en takken	229
F.3.6	Nadere uitwerking meetgegevens periodes	231
F.3.6.1.	1993/1995	231
F.3.6.2.	HW2011	232
F.3.6.3.	LW2011	235
F.3.6.4.	2015/2016	235
F.3.6.5.	2016/2017	238

F.4	Memo totstandkoming afvoertijdreeksen t.b.v. 6e generatie modellen Rijntakken en Rijn-Maasmonding	241
F.5	Meetgegevens lateralen	249
F.5.1	Algemeen	249
F.5.2	Meetgegevens	250
F.5.3	Overige gegevens	251
F.5.4	Gegevens per periode	253
F.5.4.1.	Algemeen	253
F.5.4.2.	Gemaal Marijkesluizen	253
F.5.4.3.	1993	254
F.5.4.4.	1995	256
F.5.4.5.	2010/2011	257
F.5.4.6.	2015/2016	261
F.5.4.7.	2016/2017	263
F.5.5	Resterende tekortkomingen	264
F.6	Referenties	264
<b>G</b>	<b>Definities modelbeoordeling</b>	<b>266</b>
G.1	Achtergrond	266
G.2	Definities	266
G.2.1	Kalibratie	266
G.2.2	Validatie	266
G.2.3	Verificatie	266
G.3	Goodness-of-fit criteria	266
G.3.1	Bias	267
G.3.2	Standaardafwijking	267
G.3.3	Root Mean Square Error ( <i>RMSE</i> )	267
G.3.4	Relatieve bias	268
G.3.5	Variatiecoëfficiënt	268
G.3.6	Vershil in waarden rond extremen	268
G.3.7	Vershil in tijdstip van extremen	268
G.3.8	Overschrijdingsduur	268
G.3.9	Gemiddelde over stations	269
G.4	Middelingsduur variabelen	269
G.5	Nauwkeurigheidscriterium	269
<b>H</b>	<b>Kalibratie</b>	<b>270</b>
H.1	Resultaten kalibratie afvoerverdeling	270
H.1.1	L1	270
H.1.1.1.	Boven-Rijn	270
H.1.1.2.	Pannerdens Kanaal	271
H.1.1.3.	Waal	271
H.1.1.4.	Neder-Rijn – Lek	272
H.1.1.5.	IJssel	273
H.1.2	M1	273
H.1.2.1.	Boven-Rijn	273
H.1.2.2.	Pannerdens Kanaal	274
H.1.2.3.	Waal	275
H.1.2.4.	Neder-Rijn – Lek	275
H.1.2.5.	IJssel	276

H.1.3	M2	277
H.1.3.1.	Boven-Rijn	277
H.1.3.2.	Pannerdens Kanaal	277
H.1.3.3.	Waal	278
H.1.3.4.	Neder-Rijn – Lek	279
H.1.3.5.	IJssel	279
H.1.4	H1	280
H.1.4.1.	Boven-Rijn	280
H.1.4.2.	Pannerdens Kanaal	281
H.1.4.3.	Waal	281
H.1.4.4.	Neder-Rijn – Lek	282
H.1.4.5.	IJssel	283
H.1.5	H2	283
H.1.5.1.	Boven-Rijn	283
H.1.5.2.	Pannerdens Kanaal	284
H.1.5.3.	Waal	285
H.1.5.4.	Neder-Rijn – Lek	285
H.1.5.5.	IJssel	286
H.2	Waterstanden takken totaalmodel	287
H.2.1	L1	287
H.2.1.1.	Waal	287
H.2.1.2.	Neder-Rijn – Lek	288
H.2.1.3.	IJssel	288
H.2.2	M1	289
H.2.2.1.	Waal	289
H.2.2.2.	Neder-Rijn – Lek	289
H.2.2.3.	IJssel	290
H.2.3	M2	290
H.2.3.1.	Waal	290
H.2.3.2.	Neder-Rijn – Lek	291
H.2.3.3.	IJssel	291
H.2.4	H1	292
H.2.4.1.	Waal	292
H.2.4.2.	Neder-Rijn – Lek	292
H.2.4.3.	IJssel	293
H.2.5	H2	293
H.2.5.1.	Waal	293
H.2.5.2.	Neder-Rijn – Lek	294
H.2.5.3.	IJssel	294
<b>I</b>	<b>Validatie</b>	<b>295</b>

# 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. In 2016 zijn hiervoor al een drietal pilotstudies gedaan o.a. voor de Waal. Op basis hiervan en een aantal klankbordsessies zijn generieke specificaties voor de opzet van de zesde-generatiemodellen opgesteld (Spruyt et al., 2017a).

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 opnieuw gemaakt, en er wordt overgestapt op nieuwe software. Een nieuwe generatie modellen biedt dus de kans voor een kwaliteitsimpuls.

Als eerste riviermodel in de zesde generatie is in 2017 gewerkt aan de Maas. De modelopzet, kalibratie en validatie van dit model worden beschreven in de rapportage (De Jong, 2020). Conclusies en beslissingen genomen in dit traject hebben invloed gehad op alle verdere modellen binnen de zesde generatie.

De modelopzet, kalibratie en validatie van het zesde-generatiemodel van de Rijntakken worden beschreven in deze rapportage.

## 1.2 Doel

Het doel is de ontwikkeling van een 2D hydrodynamisch model van de Rijntakken 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 continu gewerkt met recente versies van de software. Op die manier zijn zowel autonome ontwikkelingen als specifieke features voor dit project meegenomen. Op het moment van schrijven wordt gebruik gemaakt van de hieronder genoemde versies. Bij elk softwarepakket is een referentie toegevoegd met een beschrijving van de software:

- D-HYDRO Suite 2021.01 (Deltares, 2022a, 2022b)
- Rekenharten op Linux
  - dimr 2.00.00.67460
  - dflowfm 1.2.105.67460
  - D-RTC 1.6.1.1206
- Baseline 6.1.1 in ArcGIS 10.3 (Rijkswaterstaat, 2019)
  - Bas2Fm 1.0.11
- Baseline 6.2.0 in ArcGIS 10.5 (Rijkswaterstaat, 2021)
  - Bas2Fm 1.0.15
- RGWM 2.3.0 (Deltares, 2020)

## 1.4 Organisatie en bijdragen

Aan dit project is bij Deltares vooral gewerkt door Anna Kusters, Iris Niesten en Aukje Spruyt (tevens deelprojectleider en projectleider KPP Modelschematisaties Zoet). Verder is veelvuldig gebruik gemaakt van de ervaring die door Jurjen de Jong is opgedaan bij het opzetten van het zesde-generatiemodel van de Maas en heeft Mohamed Yossef bijgedragen door het definiëren van een basisruwheid. Met Anke Becker heeft de afstemming plaatsgevonden over het overlapgebied Rijntakken – Rijn-Maasmonding, in samenwerking met Jelmer Veenstra en Remi van der Wijk. De modelopzet in het overlapgebied Rijntakken – IJssel-Vechtdelta heeft plaatsgevonden in samenwerking met Menno Genseberger en Asako Fujisaki, met ondersteuning van Alfons Smale.

Tijdens de uitvoering heeft veel afstemming plaatsgevonden met RWS. Hierbij waren Dénes Beyer (RWS-ON) en Martin Scholten (RWS-WVL) betrokken. Vooral vanuit RWS-ON is veel belangrijke input geleverd voor dit project, en zijn ook bijdragen aan het rapport gedaan.

## 1.5 Leeswijzer

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

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

Vanaf Hoofdstuk 4 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 5 en 6. De vergelijking met het vijfde-generatie WAQUA-model (de verschilanalyse) wordt beschreven in een aparte rapportage (Domhof en de Jong, 2022).

In Hoofdstuk 7 volgt een samenvatting met de belangrijkste conclusies. Ten slotte wordt in Hoofdstuk 8 en aantal aanbevelingen gedaan voor verbetering en gebruik van het model.

## 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	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedsschematisatie Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	waqua-rijn-j15_5-v1 (software: WAQUA, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelsoftware</i>	Een softwarepakket waarmee modelschematisaties 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

### 2.1 Algemeen

#### 2.1.1 Stroomgebied

De Rijn ontspringt in de Zwitserse Alpen uit twee bronrivieren en is een zogeheten gemengde rivier. Dit betekent dat het rivierwater afkomstig is van smeltende gletsjers en neerslag in het stroomgebied. Vanuit de Alpen stroomt de Rijn via Duitsland (en de grens met Frankrijk) richting de Noordzee. In Nederland begint de delta en splitst de Rijn zich op in meerdere takken (zie ook Figuur 2.1):

- Waal (paragraaf 2.2).
- Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn Lek (paragraaf 2.3).
- IJssel (paragraaf 2.4).

De Rijndelta is van oorsprong een zeer dynamisch systeem, waarvan de lopen zich regelmatig hebben verlegd. In de 19e en 20e eeuw zijn er echter grootschalige Rijn-normalisaties uitgevoerd, waardoor de vorm van de lopen tegenwoordig, ondanks hun meanderende uiterlijk, vast ligt tussen versterkte oevers en kribben. Hierdoor is de rivier enerzijds, door de aanleg van dijken en kribben, minder breed geworden en anderzijds, door het afsnijden van bochten, korter.

Na de hoogwaters van 1993 en 1995 is er voor gekozen om op een groot aantal plaatsen rivierverruimende maatregelen te nemen in het kader van het project Ruimte voor de Rivier (RvdR) om de kans op overstromingen te verminderen.

#### 2.1.2 Sediment en morfologie

Op de Boven-Rijn is het sediment van de rivierbodem relatief grof (zand/grind mengsel). Naarmate je verder stroomafwaarts gaat wordt het sediment steeds fijner (naar zand/slib), waarbij er een zand/grind overgang is op de Waal rond rkm 910. De rivierbodem bij Lobith daalt door erosie ongeveer twee centimeter per jaar en snijdt daarmee als het ware in in het landschap. Deze lange-termijn bodemerosie is gunstig voor de waterveiligheid (waterstanden dalen min of meer mee) maar bedreigt de stabiliteit van kribben, oeververdediging, vaste lagen, stuwen en sluizen, is ongunstig voor de ecologie van de uiterwaarden (verdroging) en kan hinder voor de scheepvaart veroorzaken. Om deze daling proberen tegen te gaan worden er proeven gedaan met sedimentsuppleties op de Boven-Rijn.

#### 2.1.3 Afvoer en afvoerverdeling

De waterbeweging in de Rijntakken wordt met name bepaald door de bovenstroomse afvoer bij Lobith. Het jaargemiddelde van de Boven-Rijnafvoer te Lobith is ca. 2.200 m<sup>3</sup>/s. De laagste Rijnafvoer bij Lobith werd gemeten in 1947, bij een waterstand van 7,54 m. Toen stroomde er 620 kubieke meter water per seconde door de rivier. Extreme afvoeren in 1926 en 1995 bedroegen ca. 12.280 respectievelijk 11.885 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Dit zijn de hoogste waargenomen afvoeren van de Rijn, waarbij de afvoer nauwkeurig berekend kon worden. Vanaf een afvoer van ca. 4.000 m<sup>3</sup>/s beginnen de uiterwaarden tussen dijk en rivier te overstromen.

Onder normale omstandigheden (bij geopende stuwen) verdeelt de afvoer zich ongeveer als volgt:

- 2/3 – Waal.
- 1/3 – Pannerdensch kanaal (naar het splitsingspunt Neder-Rijn/IJssel)
  - 2/3 – Neder-Rijn Lek (2/9 van totaal)
  - 1/3 – IJssel (1/9 van totaal).

Bij Boven-Rijnafvoeren onder de 2.700 m<sup>3</sup>/s treden de stuwen in de Neder-Rijn en Lek in werking en wordt bij dalende afvoeren steeds minder water over de Neder-Rijn Lek gestuurd. De afvoerverdeling bij de Pannerdensch Kop bij maatgevende afvoer bij Lobith, 16.000 m<sup>3</sup>/s, is wettelijk vastgelegd en wordt zoveel mogelijk gehandhaafd via regelwerken en gebiedsinrichting. Bij nog hogere afvoeren wordt de Neder-Rijn Lek (in de toekomst) in principe zoveel mogelijk ontzien.

De Rijn wordt zowel gevoed door regen, als door smeltwater vanuit sneeuw en gletsjers. Het aandeel smeltwater vanuit gletsjers is op jaarbasis niet erg groot, maar zorgt in de hoogzomer (juli – september) wel voor een belangrijke bijdrage, zodat echt lage afvoeren dan niet optreden. Vanwege de oorsprong in het hooggebergte treedt de laagste afvoer normaal pas in het najaar op, als de aanvoer vanuit sneeuw, gletsjers en meren minimaal is.



Figuur 2.1 Stroomgebied van de Rijn.

## 2.2 Duitse Rijn, Boven-Rijn en Waal

De Rijn komt Nederland binnen bij Spijk als de Boven-Rijn. Bovenstrooms hiervan spreekt men van de Duitse Rijn (of, in Duitsland, van de Niederrhein). Na ongeveer tien kilometer splitst de Boven-Rijn zich in de Waal en het Pannerdensch Kanaal bij de Pannerdensch Kop, zie Figuur 2.2. De Waal is de grootste rivier van de Rijntakken met een lengte van ruim 90 kilometer en een gemiddelde breedte van zo'n 250 meter bovenstrooms tot 400 meter benedenstrooms. Na haar afsplitsing van de Boven-Rijn (rivierkilometer 867) bij de Pannerdensch Kop volgen twee relatief scherpe bochten bij Erlecom en Nijmegen. Door natuurlijke processen was er bij deze bochten sprake van erosie in de buitenbocht en sedimentatie in de binnenbocht, waardoor de voor de scheepvaart gegarandeerde minimale diepte en breedte niet gehaald werden. Om deze problemen te reduceren is besloten tot aanleg van bodemkribben (bij Erlecom) en een vaste laag (bij Nijmegen).



De vaste laag bij Nijmegen lag er reeds in 1995 (aangelegd in 1988); de bodemkribben bij Erlecom slechts gedeeltelijk. De bodemkribben bij Erlecom waren gereed in 1996, en zijn niet opgenomen in de modellen die de situatie van 1995 beschrijven. De Waal kent nog een relatief scherpe bocht verder benedenstrooms bij Sint Andries, nabij Zaltbommel. Na het afronden van de bodemkribben bij Erlecom is begonnen aan het leggen van een vaste laag in deze buitenbocht. Deze vaste laag is in 1999 gereedgekomen (Van Reen, 2002).

De Waal heeft twee belangrijke zijtakken. Bij Tiel (rivierkilometer 913) takt het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal aan op de Waal. Het kanaal en de Waal zijn gescheiden door de Prins Bernhardsluizen, die bij waterstanden van lager dan 3 m + NAP bij Tiel open zijn, waardoor de Waal in directe verbinding komt te staan met de Lek. De tweede zijtak is de Afgedamde Maas op rivierkilometer 953. De Afgedamde Maas verbindt de Waal met de (Bergsche) Maas. Dit is echter geen vrij stromende verbinding. De Waal eindigt bij de aantakking van de Afgedamde Maas en gaat verder als de Boven Merwede. De Boven Merwede splitst na ongeveer 9 km in de Beneden- en Nieuwe Merwede bij Hardinxveld.

Sinds 2015 is er in het kader van RvdR de nevengeul bij Lent in werking getreden. Bij waterstanden hoger dan de inlaatdrempel (10.5 m+NAP) stroomt deze nevengeul mee.

De waterstanden in de Boven-Rijn en Waal zijn een directe afgeleide van de afvoer: bij toenemende afvoer stijgen de waterstanden. Vanaf Zaltbommel wordt echter de getijdendynamiek (en eventuele stormopzet) vanuit de Rijn-Maasmonding merkbaar (met name bij lage afvoeren).



Figuur 2.2 Ligging Boven-Rijn en Waal.

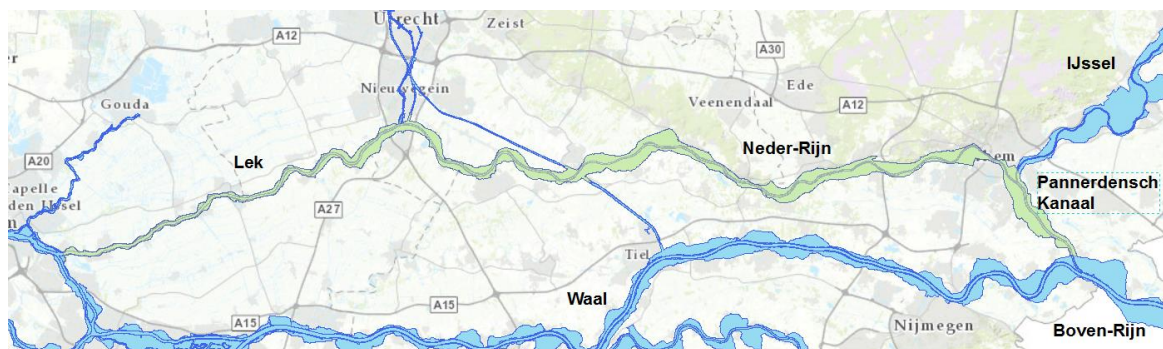
## 2.3 Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn Lek

Het Pannerdensch Kanaal splitst zich na zo'n 10 kilometer in de Neder-Rijn en de IJssel bij de IJsselkop, zie Figuur 2.3. De Neder-Rijn (en Lek) onderscheidt zich van de andere Rijntakken doordat het over een groot deel een gestuwde rivier is. De drie stuwcomplexen bij Driel (rivierkilometer 891,5), Amerongen (rivierkilometer 922) en Hagestein (rivierkilometer 947) reguleren de waterstand bij relatief lage afvoeren; bij hogere afvoeren openen de stuwen waardoor de rivier vrij stromend is. De stuw bij Driel regelt tevens de waterverdeling. De Neder-Rijn is verbonden met het Amsterdam Rijnkanaal bij Wijk bij Duurstede. De Prinses Irenesluizen (voor het noordelijke pand) en Prinses Marijkesluizen (voor het Betuwepand) scheiden het kanaal en de Neder-Rijn. De Neder-Rijn gaat over in de Lek bij rivierkilometer 929. De Lek eindigt bij de samenvloeiing met de Nieuwe Maas en de Noord bij Krimpen aan de Lek.

Bij lage afvoeren (lager dan gemiddelde afvoeren) worden de waterstanden in de Neder-Rijn Lek volledig gereguleerd door de stuwen. Daarboven worden de stuwen één voor één omhoog getrokken en worden de waterstanden een directe afgeleide van de afvoer: bij toenemende afvoer stijgen de waterstanden.

Als de waterstand bij Lobith tot onder de ca. 7,80 m +NAP zakt, worden de Prins Bernhardsluizen in het Amsterdam-Rijnkanaal bij Tiel geopend en ontstaat er een open verbinding tussen Waal, Amsterdam-Rijnkanaal en Lek. De waterstanden in het stuwpannd Amerongen-Hagestein zijn vanaf die afvoer niet meer gestuwd en fluctueren mee met de waterstand in de Waal. De prinses Marijkesluizen en kering Ravenswaaij, die het Betuwepand met de Lek verbinden, staan normaal gesproken open. Deze kering sluit tijdens hoogwater (voordat de waterstand op het Betuwepand het peil 5.50 m +NAP bereikt, anders wordt de belasting op de waterkeringen te groot).

Benedenstreams van de stuw bij Hagestein wordt de getijdedynamiek (en eventuele stormopzet) vanuit de Rijn-Maasmonding merkbaar (met name bij lage afvoeren). Zodra de stuw Hagestein omhoog getrokken wordt (boven een waterstand bij Lobith van 11,40 m +NAP) kan het getij ook tot bovenstreams van de stuw doordringen.



Figuur 2.3 Ligging Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn en Lek.

## 2.4 IJssel

De IJssel is de kleinste (maar wel de langste) van de Rijntakken, zie Figuur 2.4. Zij stroomt vanaf de IJsselkop over een lengte van ruim 125 kilometer uit in het Ketelmeer bij Kampen. De IJssel kent in tegenstelling tot de Waal en Neder-Rijn Lek een meer meanderend verloop. Bij hoog water leidt dit tot afwijkende stroomlijnen, wanneer het water een 'kortsluiting' neemt over de uiterwaarden. Dit speelt voornamelijk bij de Rhederlaag en de uiterwaarden bij Doesburg. Binnen de bandijken ligt de Wilpse (en Nijenbeker) Kleipolder. Bij hoogwater fungeert deze polder als een retentiegebied. Bij het hoogwater van 1995 is deze polder onder water gelopen. Sinds 2016 is er in het kader van RvdR de hoogwatergeul bij Veessen-Wapenveld in werking getreden. Bij waterstanden hoger dan 5.65 m +NAP bij het inlaatwerk stroomt deze hoogwatergeul mee.

De IJssel kent twee grote (en verschillende kleine) zijstromen. De Oude IJssel takt aan bij Doesburg (rivierkilometer 902). Het Twentekanaal takt aan op rivierkilometer 931. Beide zijn relatief grote zijstromen die significant bijdragen aan de afvoer in de IJssel.

De waterstanden in de IJssel zijn een directe afgeleide van de afvoer: bij toenemende afvoer stijgen de waterstanden. Benedenstrooms wordt de waterstand ook beïnvloed door het peil van het IJsselmeer en door windopzet. Het effect van het IJsselmeer (via het Ketelmeer) werkt door tot Olst.



Figuur 2.4 Ligging IJssel.

## 2.5 Belangrijke kenmerken

### 2.5.1 Kunstwerken

Binnen het modelgebied van de Rijntakken 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 dat 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 Stuwcomplexen Neder-Rijn Lek

In de Neder-Rijn Lek zijn drie stuwcomplexen aanwezig (aangelegd tussen 1958 en 1970). Elke stuw is hier voorzien van twee zogenaamde vizierschuiven: een halfronde klep met een gewicht van ongeveer 200 ton (Figuur 2.6). Deze schuif wordt met behulp van kabels geheven. De manier van bewegen van de schuif doet denken aan het oogvizier van een oude ridderhelm. Bij hoge rivierwaterafvoer openen de stuwen door de bogen omhoog te brengen.

Ieder stuwcomplex bestaat uit een stuw, een sluis, een bedieningsgebouw en een vistrap (aangelegd na 1995). Elke stuw is gevormd door twee landhoofden, een middenpijler en twee vizierschuiven. Elke opening is 48 m breed. De stuwen bij Hagestein en Amerongen hebben daarnaast ook een waterkrachtcentrale. De waterkrachtcentrale bij Hagestein is sinds de renovatie in 2005 gesloten, en wordt daarom niet opgenomen in het zesde-generatiemodel. De waterkrachtcentrale bij Amerongen<sup>1</sup> is wel opgenomen (maar is nu nog niet actief, zie paragraaf 4.4.1.2). Elke stuw heeft 4 omloopriolen (+ cilinderschuif), die in de landhoofden zijn verwerkt. Hiermee wordt bij heel laag water de afvoer geregeld. De stuw bij Driel is gemiddeld 75 dagen per jaar geopend. De stuwen bij Amerongen en Hagestein zijn gemiddeld 25 dagen per jaar geopend.

De stuwen in de Neder-Rijn Lek worden bediend op basis van een stuwprogramma. Het vigerende stuwprogramma dateert uit 2016 (Bol, 2016). De afvoerverdeling over IJssel en Neder-Rijn is het belangrijkste uitgangspunt van het stuwprogramma. De stuw bij Driel zorgt voor de waterverdeling bij de IJsselkop over de IJssel en de Neder-Rijn en stuurt de waterstanden, en daarmee de vaardiepte, op het traject Driel-IJsselkop. Bij lage afvoeren reikt de invloed van Driel veel verder, tot aan Lobith toe, waardoor ook de waterverdeling tussen de Waal en het Pannerdensch Kanaal er door wordt beïnvloed. Verder zorgt de stuw ervoor dat er extra veel water over de IJssel stroomt, zodat die over de hele lengte meer waterdiepte krijgt en beter bevaarbaar is.

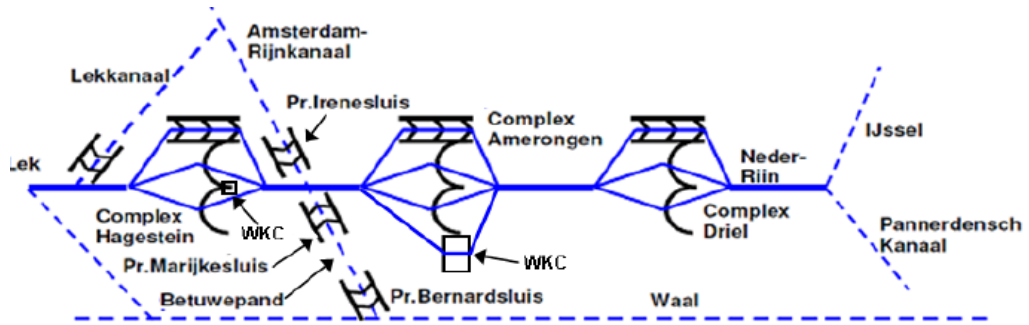
Voor de stuwen kunnen de volgende doelen onderscheiden worden:

- **Scheepvaart:** Door de stuwen wordt de waterstand opgestuwd om scheepvaart mogelijk te maken (CEMT-klasse Va). Bij lage afvoer maakt de scheepvaart gebruik van de sluis; bij hoge afvoer is de stuw gestreken en is scheepvaart door de stuw mogelijk.
- **Vistrap:** Ten behoeve van de vismigratie zijn bij alle stuwen vistrappen aangelegd zodat de vissen ook in bovenstroomse richting kunnen zwemmen.
- **Waterkrachtcentrale:** Door het aanwezige verval bij lage afvoer zijn er waterkrachtcentrales aangelegd bij stuw Hagestein (1,8 MW) en Amerongen (10 MW).

---

<sup>1</sup> officieel bij Maurik, maar vanwege praktische overwegingen genoemd bij Amerongen.

De interactie van de sluiscomplexen met andere sluisen in de omgeving wordt schematisch weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Interactie van de sluiscomplexen op de Neder-Rijn en Lek met andere sluisen in de omgeving.

De stuwmeester is verantwoordelijk voor het behalen van de stuwpeilen, maar heeft ook de mogelijkheid om hiervan af te wijken, waardoor in de praktijk afwijkingen kunnen ontstaan tussen het officiële stuwprogramma en de metingen.



Figuur 2.6 Overzichtsfoto van het stuwcomplex Amerongen in benedenstroomse richting, met links direct naast de vizierschuiven de WKC Amerongen en meest links de vistrap (bron: wikimapia.org)

### 2.5.1.2 Regelwerken

De regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij zijn in 2013 en 2012 aangelegd om de afvoerverdeling over de riviertakken te kunnen handhaven tijdens en na de uitvoeringsfase van Ruimte voor de Rivier. Het regelwerk Pannerden bestaat uit 32 afzonderlijke openingen van 5 m breed (dus in totaal 160 m breed), zie Figuur 2.7. In deze openingen kunnen maximaal 5 schotten geplaatst worden van 1 m hoog en deze zijn stapelbaar vanaf 12,00 (drempelhoogte) tot 17,00 m+NAP. De schotten worden vóór elk hoogwaterseizoen opnieuw ingesteld en worden daarna niet meer aangepast.

Het regelwerk Pannerden is in werking sinds november 2013. Het regelwerk Pannerden stroomt mee vanaf ca. 8.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (afhankelijk van de instelling van het regelwerk) en heeft een regelbereik op de Waal van ca. 500 m<sup>3</sup>/s (bij 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith).



Figuur 2.7 Regelwerk Pannerden (bron: [www.rijnwaardenseuiterwaarden.nl](http://www.rijnwaardenseuiterwaarden.nl)).



Figuur 2.8 Regelwerk Hondsbroeksche Pleij (bron: beeldbank RWS).

De Hondsbroeksche Pleij ligt ten zuidoosten van Arnhem op de plek waar het Pannerdensch Kanaal zich splitst in de Neder-Rijn en de IJssel. De dijkteruglegging Hondsbroeksche Pleij en het regelwerk zijn destijds aangelegd omdat de Ruimte voor de Riviermaatregel Meinerswijk veel waterstandsdeling zou realiseren. Toen besloten werd om Meinerswijk kleiner uit te voeren, was de extra afvoercapaciteit naar de IJssel voor de korte termijn (2015) niet meer nodig. Het regelwerk staat daarom nu dicht, met een tijdelijke uitzondering van één opening om meetgegevens te kunnen verzamelen. Het regelwerk bestaat uit 30 afzonderlijke openingen van 5 m breed (dus in totaal 150 m breed), zie Figuur 2.8. In deze openingen kunnen maximaal 4 schotten geplaatst worden van 1,05 m hoog en deze zijn stapelbaar vanaf 11,00 (drempelhoogte) tot 15,20 m+NAP. Met behulp van een kraan kunnen de schotten geplaatst en weggehaald worden. De schotten worden vóór elk hoogwaterseizoen opnieuw ingesteld en worden daarna niet meer aangepast.

Er is nog een discussie gaande in hoeverre het regelwerk in de toekomst praktisch ingezet kan worden om de Neder-Rijn en Lek te kunnen ontzien. Het regelwerk Hondsbroeksche Pleij is in werking sinds 2012. Het regelbereik van regelwerk Hondsbroeksche Pleij op de IJssel is ca. 170 m<sup>3</sup>/s (bij 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith).

### 2.5.1.3 Kunstwerken in het Amsterdam-Rijnkanaal

Het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal verbindt de Waal met de Lek en wordt daarbij afgesloten door twee kunstwerkcomplexen: de Prinses Marijkesluizen en keersluis Ravenswaaij bij de verbinding met de Lek en de Prins Bernhardsluizen bij de verbinding met de Waal, zie ook Figuur 2.5. Bij normale tot verhoogde afvoeren staat het Betuwepand in open verbinding met de Lek (en staat de keersluis Ravenswaaij open en zijn de Prins Bernhardsluizen gesloten). Op dit deel van het kanaal stijgt en daalt het waterpeil dan mee met dat van de Lek. Bij een verwachte waterstand van 5,5 meter boven NAP op de Lek ter hoogte van de Prinses Marijkesluizen wordt het kanaalpeil te hoog en vóór deze waterstand wordt bereikt, wordt de verbinding met de Lek bij de Prinses Marijkesluizen dichtgezet. Bij laag water (waterstanden bij Tiel < 3.00 m+NAP) staat de Lek in open verbinding met de Waal via het Betuwepand en zijn allebei de sluiscomplexen geopend. De waterstand op het stuwpand Hagestein beweegt dan mee met de waterstand op de Waal.

Daarnaast is de Lek verbonden met het noordelijke deel van het Amsterdam-Rijnkanaal via de Prinses Beatrix- en Prinses Irenesluis. In het Rijntakkenmodel ligt op deze locaties een dichte rand; de onttrekkingen via beide sluisen worden opgelegd als lateraal.

#### Prinses Marijkesluizen

De Prinses Marijkesluizen zijn gelegen in het Amsterdam-Rijnkanaal aan de noordzijde van het Betuwepand. Het complex bestaat uit twee schutkolken en de keerschuij Ravenswaaij om het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal af te sluiten van de Lek.



*Figuur 2.9 Keerschuij Ravenswaaij (bron: [www.rijkswaterstaat.nl](http://www.rijkswaterstaat.nl)).*

De keerschuij Ravenswaaij (zie Figuur 2.9) gaat als eerste dicht als de verwachte waterstand hoog genoeg is; de sluisen blijven dan nog open. Als het kanaal “vol” is, gaan ook de sluisdeuren dicht. Een gemaal zorgt dan eerst voor het verlagen en daarna voor het handhaven van het peil op het kanaal. Het gemaal bestaat uit vier pompen in een gebouw naast het sluisencomplex. Daarnaast zijn sinds 2013 twee pompen (daarvoor één) aanwezig in de keerschuij, die ook onderdeel van het gemaal uitmaken. De keerschuij wordt in het model opgenomen met één kunstwerk met één sturing. Het gemaal wordt geschematiseerd met een pomp.

#### Prins Bernhardsluizen

De Prins Bernhardsluizen vormen de verbinding tussen het zuidelijke gedeelte van het Amsterdam-Rijnkanaal en de Waal, zie Figuur 2.10. Beide sluisdeuren zijn opgenomen als kunstwerk.



Figuur 2.10 Prins Bernhardsluizen bij Tiel (bron: beeldbank RWS).

#### 2.5.1.4 Overige schutsluizen en keringen

Op de Rijntakken zijn vele kanalen aangesloten. Een deel van de kanalen is in beheer bij Rijkswaterstaat en zal in de toekomst ook gemodelleerd worden en de aansluiting vormen naar andere modellen. Schutsluizen en keringen gelegen op de modelrand zijn de sluizen bij Weurt en Sint Andries op de Waal, de Wilhelminasluis in de Afdamde Maas, de reeds genoemde Prinses Irenesluizen en Prinses Beatrixsluizen op de Neder-Rijn/Lek, de sluizen bij Eefde en de Spooldersluis bij Zwolle, de Roggebotsluis en de Ramspolkering in het IJsselmeergebied.

#### 2.5.1.5 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, zie Figuur 2.11.



Figuur 2.11 Inlaatsluis in de zomerdijk bij Wageningen (bron: Nationale Beeldbank).

Een overzicht van enkele belangrijke duikers en coupures, zoals geselecteerd door RWS-ON, is gegeven in Tabel 2.1. Al deze inlaatwerken zijn opgenomen in de kalibratie- en validatieschematisaties voor hoogwater (zie ook paragraaf 3.1). In de toekomst kunnen ze eventueel ook worden opgenomen in de actuele (en beno-) modellen, maar daarvoor moet ook de sturingsinformatie bekend zijn en worden geïmplementeerd.



Tabel 2.1 Overzicht van belangrijke duikers en coupures in de uiterwaarden.

Naam	Tak	Type inlaat
Winssense waarden	WA	Coupure
Gouverneurspolder	WA	Coupure
Drutense waarden	WA	Duiker
Stiftse waarden	WA	Coupure
Heerewaarden	WA	Coupure
Scherpekamp	PK	Duiker
Huissen Noord	NR	Duiker
Opheusden	NR	Duiker
Randwijk	NR	Duiker
Maurik	NR	Coupure
Amerongen 917.9	NR	Coupure
Amerongen 918.9	NR	Coupure
Beusichem	LK	Coupure
Middelwaard	LK	Coupure

### 2.5.1.6 Bruggen

Ten behoeve van diverse vervoerstromen zoals voetgangers, autoverkeer en treinverkeer zijn er verschillende bruggen over de riviertakken (zie Figuur 2.12 en 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 landhoofd waardoor de doorgaande stroming door de uiterwaarden voorkomen of gehinderd wordt.



Figuur 2.12 Brug N325 (Andrej Sacharovbrug) bij Arnhem (Neder-Rijn rkm 880).



Figuur 2.13 Spoorbrug bij Zutphen (IJssel rkm 928).

## 2.5.2 Retentiegebieden en nevengeulen

In de Rijntakken 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 een aantal toekomstige maatregelen bekend.

### 2.5.2.1 Nevengeul bij Veur-Lent

De hoogwatergeul bij Lent (inclusief inlaatwerk) is sinds 2016 in werking. Het inlaatwerk bestaat uit een drempel met twee keer drie openingen op drie verschillende hoogtes die bij verschillende waterstanden gaan mee stromen, zie Figuur 2.14. Bij hoogwater (>12.5 m +NAP bij Lobith) overstroomt de drempel zelf ook.



Figuur 2.14 Duikers in inlaatwerk bij de hoogwatergeul bij Veur-Lent (bron: [www.nijmegency.nl](http://www.nijmegency.nl)).

### 2.5.2.2 Veessen-Wapenveld

De hoogwatergeul Veessen-Wapenveld is aangelegd om de waterstand op de IJssel te verlagen bij hoge afvoeren ten behoeve van de waterveiligheid. De nevengeul Veessen-Wapenveld omvat de IJssel tussen km 961,09 en 973,56. De instroom van Veessen-Wapenveld wordt gereguleerd met een inlaatwerk (zie Figuur 2.15). Op het moment dat de waterstand voor het inlaatwerk hoger wordt dan 5,65 m+NAP worden de schuiven van het inlaatwerk in 8 uur tijd geopend van 4,6 m+NAP naar 6,6 m+NAP (hoogte onderkant schot). Dit gebeurt in vier stappen. De meest recente procedure is beschreven in AVI (2017). Het regelwerk is sinds januari 2016 gereed.



Figuur 2.15 Inlaatwerk Veessen Wapenveld (bron: [www.rijkswaterstaat.nl](http://www.rijkswaterstaat.nl)).

### 2.5.2.3 Reevediep

Het Reevediep is een bypass vanuit de IJssel bij Kampen naar het Drontermeer, zie Figuur 2.16. Het project is in 2019 opgeleverd, waarbij de verbinding met de IJssel vooralsnog dicht is. Deze verbinding wordt pas in de loop van 2023 actief (bij hoge afvoeren), net als de verbinding met het Vossemeer door verwijdering van de Roggebotsluis.



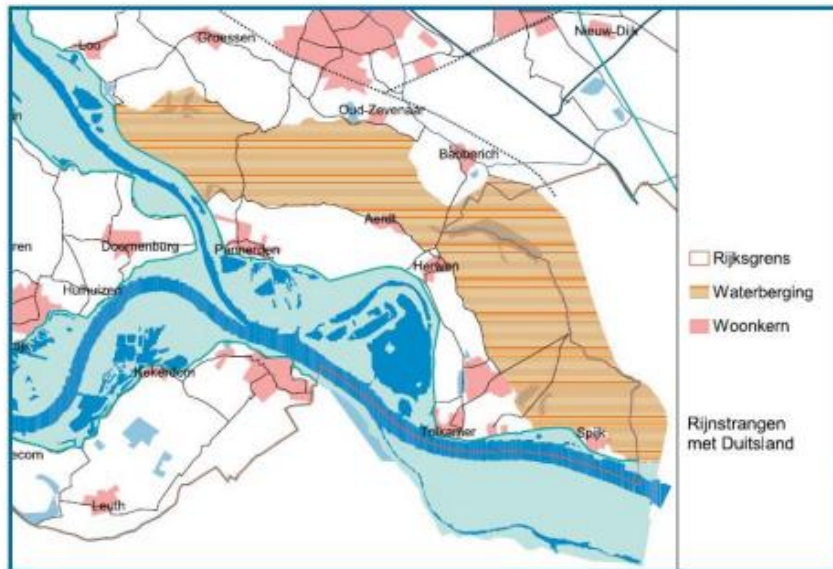
Figuur 2.16 Ligging Drontermeer, Vossemeer en Reevediep.

Door de directe verbinding met het IJsselmeer (via het Drontermeer, Vossemeer en Ketelmeer) kent het Reevediep onder normale omstandigheden de waterstanden en peildynamiek van het IJsselmeergebied. Bij hoge afvoeren door de IJssel stroomt het IJsselwater bij Kampen over de inlaatkade de bypass in. Naar verwachting gebeurt dit eens in de vijf jaar. Ook is het mogelijk dat water vanuit het IJsselmeer en Reevediep door noordwestelijke storm wordt opgestuwd waardoor de stroombaan volloopt en het de drempel van het inlaatwerk overstroomt. Bij normale afvoer op de IJssel staat het inlaatsysteem droog. Het inlaatwerk zelf bestaat uit een brug, een overlaatkade (drempel) en een stroombaan (bron: [www.ruimtevoorderivierijsseldelta.nl](http://www.ruimtevoorderivierijsseldelta.nl)).

### 2.5.2.4 Rijnstrangen

De Rijnstrangen zijn voorheen onderzocht als mogelijk toekomstig retentiegebied in de Gelderse Poort, waar de Rijn in de Waal en het Pannerdensch Kanaal splitst, zie Figuur 2.17. Dit gebied zit nu niet in het huidige vijfde-generatie model, maar is wel opgenomen in het rooster en er is een Baseline database van beschikbaar.

In het rooster van de zesde generatie is dit gebied nog niet opgenomen. Wel is het rooster zó opgezet dat dit gebied kan worden toegevoegd zonder aanpassingen in het huidige modelgebied.



Figuur 2.17 Gebied Rijnstrangen.

#### 2.5.2.5 Varik-Heesselt

De bocht bij Sint-Andries vormt een knelpunt voor hoogwaterafvoer. Daarom heeft er een MIRT-verkenning plaatsgevonden met alternatieven om de rivier op deze plek meer ruimte te geven tijdens verhoogde afvoeren. Hieruit zijn verschillende alternatieven gekomen, waarvan er één bestaat uit het realiseren van een hoogwatergeul ten noorden van Varik en Heesselt, met ruimte voor natuur en recreatie (zie Figuur 2.18).



Figuur 2.18 Ligging Varik en Heesselt en de hoogwatergeul zoals voorzien in één van de gebiedsvisies (bron: [www.varikheesselt.gelderland.nl](http://www.varikheesselt.gelderland.nl)).

Een andere variant bestaat uit het versterken van de bestaande dijken met watercompensatie in de uiterwaarden. Hoewel deze laatste de voorkeursvariant is, is in de roosteropzet in het zesde-generatiemodel rekening gehouden met de hoogwatergeul.

### 2.5.3 **Beken, rivieren en gemalen**

Op de Rijntakken lozen en onttrekken honderden beken, rivieren en gemalen. Er is zoveel mogelijk rekening gehouden met alle uitwisselpunten, waarbij wel clusteringen aangebracht zijn door kleine lozingen samen te voegen tot grotere. Een overzicht van de locaties die als laterale in- of uitstroming worden meegenomen in het zesde-generatie Rijntakkenmodel is gegeven in bijlage F.2. Ook schutverliezen, onttrekkingen via inlaten (vaak onder vrij verval) en lozingen van RWZI's worden via lateralen meegenomen.

### 2.5.4 **Dijkkringen en hoge gronden**

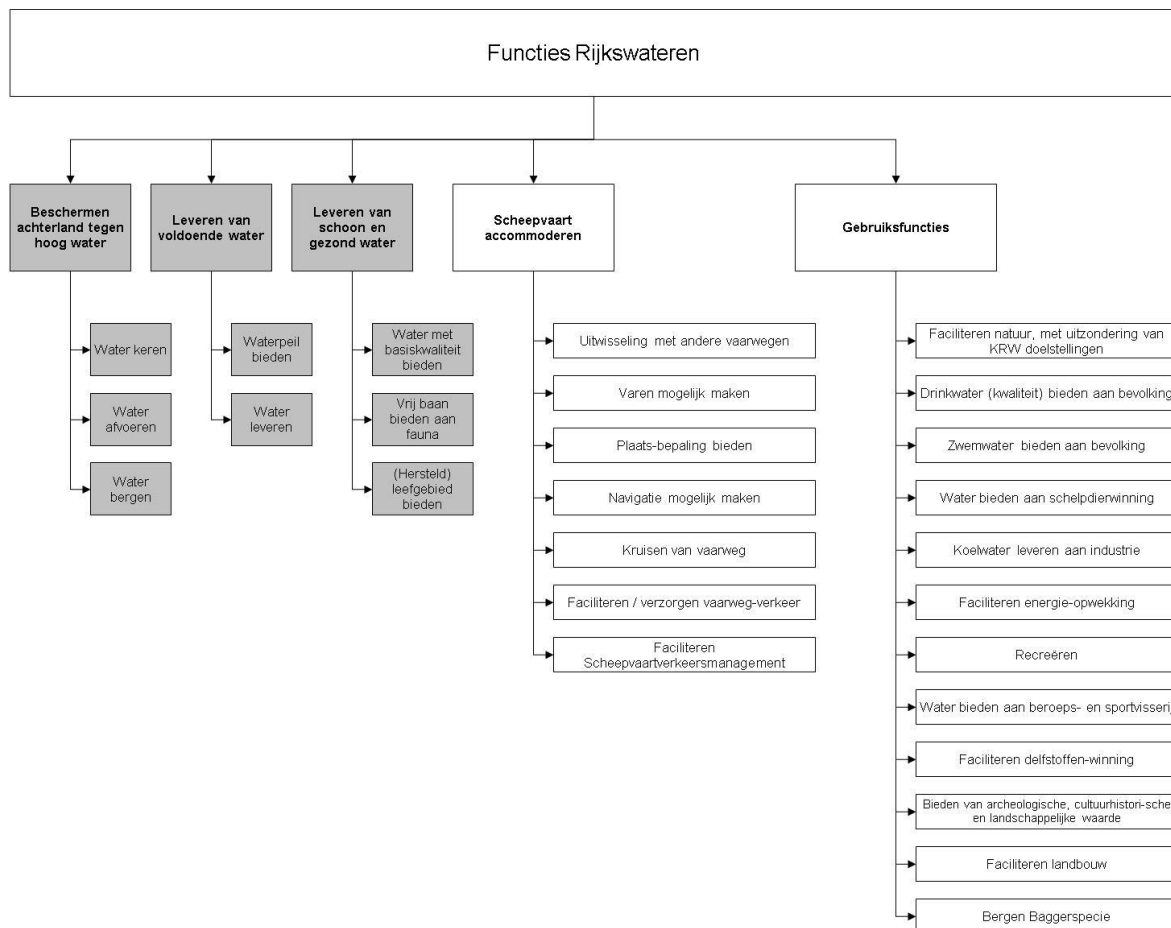
De begrenzing van de uiterwaarden van de Rijntakken wordt voor een groot traject bepaald door een banddijk. Op een aantal plaatsen worden de modellen echter niet begrensd door een banddijk, maar door zogeheten hoge gronden. De begrenzing bij de hoge gronden in de vijfde-generatie modellen is gebaseerd op een 1/1250 afvoer bij Lobith (16.000 m<sup>3</sup>/s). Deze grenzen zijn zodanig gekozen dat deze afvoer nog kan worden doorgerekend zonder dat het effect van 'glazen wanden' optreedt. In het kader van BOI (en, hiervoor, WBI) worden echter veel hogere afvoeren doorgerekend (tot 24.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith), waarbij het 'glazen wand'-effect wel optreedt. De grens van de hoge gronden zou daarom eigenlijk opnieuw vastgesteld moeten worden, zodat dit effect niet meer optreedt.

## 2.6 **Toepassingen van het model**

De modellen van de Rijntakken worden gebruikt in verschillende toepassingen die gerelateerd zijn aan de functies van het watersysteem (zie Figuur 2.19) 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. Deze eisen, wensen en verwachtingen zijn geïnventariseerd in Spruyt et al. (2016) volgens een indeling langs de lijn van de RWS-missie:

- Veilig.
- Schoon.
- Voldoende.
- Vlot.

De eisen zijn ook opgenomen in het Programma van Eisen van RWS voor het zesde-generatiemodel van de Rijntakken, dat is opgenomen in 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).



Figuur 2.19 Functieboom Rijkswateren (Bron: Basisspecificatie Rijkswateren versie 5.2).

Toepassing van hydraulische modellen van de Rijntakken vindt in alle RWS-processen plaats:

- Aanleg en onderhoud
  - Ruimte voor de Rivier
  - Verkenningen en planstudies
- Informatievoorziening
  - toeleverend: gegevensinwinning (bodem, water, etc.)
  - aanleverend: vervaardigen betrekkinglijnen
- Slagvaardig crisismanagement
  - operationele waterstandsverwachting
  - 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 (RiverCare)

## 2.7 Verbindingen met andere gebieden

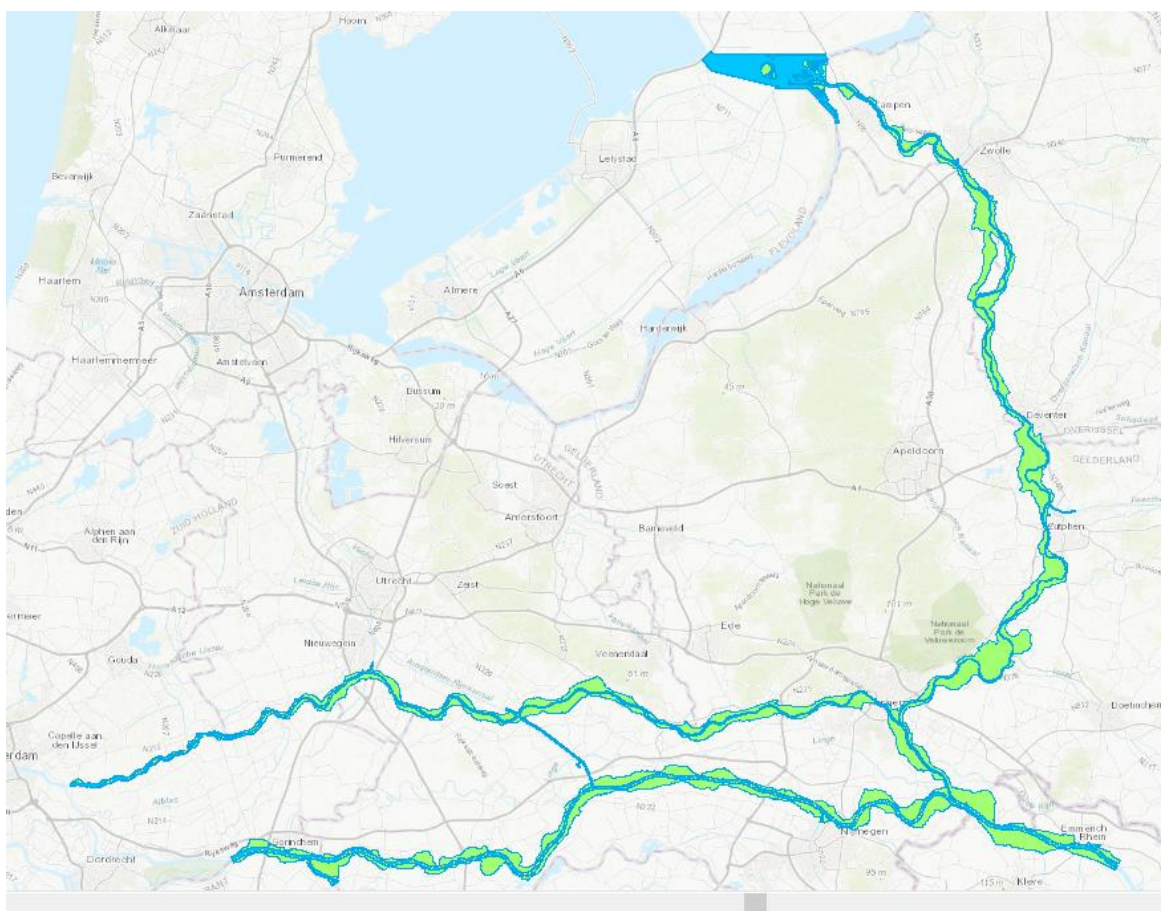
In het ontwikkelproces van de zesde-generatiemodellen staat voorop dat de modellen van de verschillende deelgebieden gecombineerd kunnen worden waardoor het belangrijk is om zowel de numerieke instellingen als het rooster op elkaar aan te laten sluiten. De belangrijkste aansluitingen voor de Rijntakken zitten benedenstrooms. Daarom is er voor gezorgd dat de roosters van de modellen van de Rijntakken en Rijn-Maasmonding aan de ene kant en de IJssel-Vechtdelta aan de andere kant goed op elkaar aansluiten. Hiervoor is er een overlap gerealiseerd tussen de modellen. Daarnaast is ook de aansluiting op de Maas op een aantal locaties gerealiseerd en is er nagedacht over de toekomstige aansluiting met het Amsterdam-Rijnkanaal. In Hoofdstuk 4.1.4 wordt verder ingegaan op het roosterontwerp in deze overlapgebieden.

## 3 Beschikbare data

### 3.1 Geometrie in Baseline

#### 3.1.1 Werkwijze

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. Een overzicht van de datalagen in Baseline is gegeven in Bijlage C.

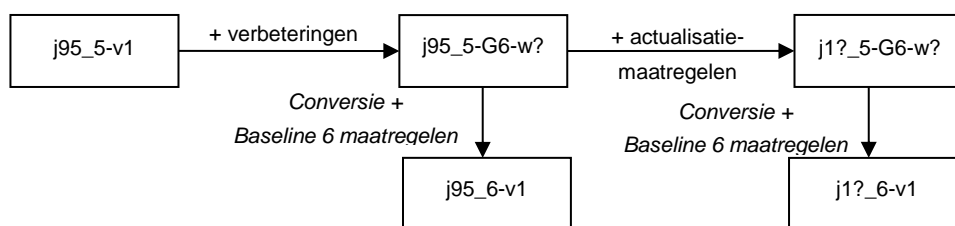


Figuur 3.1 Dekking zesde-generatie Rijntakken model.

Voor de zesde-generatie hydrodynamische modellen zijn nieuwe Baseline-databases opgezet voor historische en actuele perioden. Als basis geldt een verbeterde schematisatie van 1995. Hierop zijn maatregelen ingemixt om tot schematisaties te komen voor perioden die noodzakelijk zijn voor de kalibratie, validatie en actualisatie van het Rijntakken-model. Figuur 3.1 laat de dekking van de nieuwe schematisaties zien.



De nieuwe schematisaties zijn opgezet in Baseline 5 door RWS-ON en vervolgens geconverteerd naar Baseline 6 waarin nog enkele Baseline 6-maatregelen zijn ingemixt. Dit proces is weergegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 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 uitzondering is j95, dat vernoemd is naar het hoogwater in januari 1995). Om onderscheid te maken tussen de nieuwe en de standaard protocol 5 schematisaties is in de naam “-G6” toegevoegd. De extensie “-w” duidt aan dat het om werkversies gaat. Het complete overzicht van de gemaakte schematisaties is gegeven in Bijlage C. De keuze voor de kalibratie- en validatieschematisaties is gebaseerd op de toe te passen periodes (zie paragraaf 5.1.4 voor nadere toelichting). De uiteindelijke schematisaties die zijn gebruikt ten behoeve van het roosterontwerp, de kalibratie en de validatie van het zesde-generatiemodel van de Rijntakken zijn opgesomd in Tabel 3.1. De volgende paragrafen geven een toelichting op de door RWS-ON aangeleverde gegevens.

Tabel 3.1 Overzicht van Baseline-schematisaties gebruikt in de opzet van de zesde-generatie Rijntakkenmodellen. De schematisaties met achtervoegsel “-w\*” geven een werkversie aan. Zie ook Scholten (2019) voor naamgevingsconventies van modelschematisaties.

Roosterontwerp	Kalibratie	Validatie	Definitieve schematisatie in Baseline 5
		j93_6-w2	j93_5-G6-w1
j95_5-w8, j95_5-w9 (testen overlaten), j95_6-v1	j95_6-w16	j95_6-w18	j95_5-G6-w15
	j11_6-w6	j11_6-w8	j11_5-G6-w6
	j15_6-w5	j15_6-w7	j15_5-G6-w5
j16_5-w4, j16_6-v1	j16_6-w10	j16_6-w12	j16_5-G6-w9
j18_tmp_plus			
beno15_5-v2 (stroombeelden bij extreme afvoer)			

Voor testsommen en roosterontwerp in het overlapgebied is gebruik gemaakt van ym\_ijvd\_ov-hr2017\_5-v4.

### 3.1.2 Baseline-rijn-j95\_5-G6-w15

#### 3.1.2.1 Werkwijze

De schematisatie die zo goed en volledig mogelijk de situatie van de Rijntakken weergeeft ten tijde van het hoogwater van 1995, is grootschalig verbeterd ten opzichte van de schematisatie die is gebruikt voor de bouw van de 5<sup>e</sup> generatie modellen (j95\_5-v1). Vrijwel alle onderdelen van de schematisatie zijn aangepast of aangevuld.

De basis wordt gevormd door de 4<sup>e</sup> generatieschematisatie j95\_4\_3. Deze schematisatie is gelijk aan j95\_5-v1 minus de modelmaatregelen die daarin zijn opgenomen. Eerst zijn de gecontroleerde 4<sup>e</sup> generatie verbeteringsmaatregelen uit de JAMR-cycli 2011 t/m 2015 opgenomen die na de aanlevering van RWS-ON ten behoeve van j95\_5-v1 nog beschikbaar zijn gekomen. Dit betreft in totaal 48 maatregelen. Na een aantal kleine aanpassingen is de resulterende schematisatie geconverteerd naar protocol 5. Hierna zijn alle 5<sup>e</sup> generatie verbeteringsmaatregelen uit de JAMR-cycli 2012 t/m 2019 opgenomen die na de aanlevering van RWS-ON ten behoeve van j95\_5-v1 beschikbaar zijn gekomen. In totaal zijn 112 maatregelen toegevoegd. Voor een groot deel (72 stuks) zijn dit maatregelen die verbeteringen van een bepaald gebied beschrijven en die ook zijn meegenomen in de reguliere 5<sup>e</sup> generatie JAMR-cycli. De rest van deze maatregelen (40 stuks) zijn specifiek gemaakt voor de overstap naar de 6<sup>e</sup> generatie en is nog niet eerder toegepast. Om een aantal onderdelen van de schematisatie goed te laten functioneren in D-HYDRO zijn 12 zogenaamde modelmaatregelen gemaakt. Dit zijn maatregelen die specifiek op het rekenrooster zijn afgestemd, rekening houdend met de verwerking in BAS2FM en D-HYDRO.

### 3.1.2.2 Verbeteringen

- Voor de zomerbedligging van 1995 is een nieuwe, ruimtelijk gedifferentieerde correctie toegepast voor de correctie van singlebeam naar multibeam. Voorheen werd een vaste correctie van -15 cm toegepast. Voor een verbetering van de correctie is een analyse uitgevoerd op de parallelpeilingen uit 2002. In de analyse is per hectometervak het gemiddelde verschil bepaald. In Excel zijn vervolgens hiervan rollende gemiddeldes gemaakt om de 'springerigheid' in de lengterichting van de rivier te verkleinen. Het resultaat is een correctie van 0-20 cm met uitschieters naar 40 cm. Bij de meetpunten zijn de verschillen kleiner dan (midden) tussen meetpunten.
- De bodemligging van kribvakken is verbeterd door het toevoegen van multibeamgegevens en laseraltimetrie uit verschillende jaren tussen 2002 en 2013. Daarnaast is op de volledige oeverlijn een breuklijn neergelegd op basis van het DTB-rivieren.
- Alle kribben zijn indien nodig verbeterd, 16 ontbrekende kribben zijn toegevoegd en ruim 60 te korte kribben op de Lek zijn verlengd. Van alle kribben zijn opnieuw teenhoogtes bepaald. Ook zijn de Villemonteparameters aangepast naar de nieuwe standaardwaarden 2.5 m (kruinbereedte), en 3 (voor taludhelling).
- Van 124 plassen zijn meetgegevens toegevoegd voor de bodemhoogte. Daarnaast zijn er nog diverse plassen verbeterd via lokale verbeteringsmaatregelen van uiterwaarden. Van alle plassen zijn ontbrekende breuklijnen op de oeverlijn toegevoegd.
- Het sectiebestand voor de situatie in 1995 is volledig opnieuw opgebouwd. Sectie 1 loopt overal over de kribkop. Bij L-kribben loopt de sectie 1 lijn over de kriblijn. Bij gestrekte oevers loopt de sectie 1 lijn over de waterniveaulijn. Bij verticale taluds loopt de sectie 1 lijn over de diepe breuklijn als die er is en anders over de waterniveaulijn. Tussen de genoemde locaties zijn vloeiende overgangen toegepast. Sectie 2 ligt op de oeverlijn, en sectie 3 is de winterbedbegrenzing.
- De schematisatie is in bovenstroomse richting met vijf kilometer uitgebreid tot Dornick, rivierkilometer 848. Hierdoor is nu ook het meetpunt Emmerich opgenomen, waardoor het meest bovenstroomse deel nu ook gekalibreerd kan worden. De basis is een 4<sup>e</sup> generatie Duits model.
- Het Betuwepand is toegevoegd.
- De schematisatie van alle kunstwerken is verbeterd. De stuwen in de Neder-Rijn en Lek zijn opnieuw geschematiseerd inclusief de schutsluizen en de waterkrachtcentrale (WKC) bij Amerongen. Voor de hoogwaterschematisaties zijn de belangrijke inlaatkunstwerken geschematiseerd (coupures en inlaatduikers).

- Voor 1995 is het volledige bestand van rivieras en rivierkilometrerings vervangen en waar nodig uitgebreid. Er zijn enkele kilometerpunten met meer dan 40 m verplaatst en bij Tiel is de rivieras 40 m in de breedte verplaatst.
- Op vele tientallen locaties is de geometrie grootschalig verbeterd inclusief de ligging en hoogte van kades. Belangrijke stroombepalende kades hebben een juiste kruinbreedte en taludhellingen gekregen voor toepassing in de Villemonte formulering voor fixed weirs.
- Alle brugpijlers zijn omgezet naar bruggen. Hele brede pijlers zijn als hoogwatervrij vlak opgenomen, brugpijlers te dicht bij elkaar (in de lengterichting van de stroming) zijn verwijderd.
- Van alle LMW-stations is de ligging opnieuw bepaald op basis van een tekening van de meetopstelling. Op basis van de omschrijving en tekeningen is de ligging van het uiteinde van de meetbuis bepaald.
- Van de nieuwe lateralen zijn locaties bepaald waar deze aflaten/onttrekken aan de rivier. Indien nodig is de locatie aangepast aan het rekenrooster.
- Cross-secties zijn gemaakt ter plaatse van de LMW-locaties; vervolgens zijn raaien toegevoegd voor metingen, kunstwerksturingen, relevante locaties en rivierkilometers. Ook de raaien voor de ruwheidsbepaling zijn toegevoegd.
- Zowel voor de basisruwheden als de kalibratiepolygonen zijn bestanden gemaakt.

### 3.1.3 Overige schematisaties

De schematisatie **j93\_5-G6-w1** voor 1993 is gemaakt door het opnemen van het zomerbed van 1993 in de 1995 schematisatie, op dezelfde manier gecorrigeerd voor de overstap van singlebeam naar multibeam.

De recentere kalibratie- en validatiejaren (2011, 2015 en 2016) zijn opgebouwd vanaf de nieuwe 1995 schematisatie. Normaalgesproken wordt hiervoor een lijst met actualisatiemaatregelen ingemixt. Vanwege tijdsefficiëntie is er echter voor gekozen om te werken met koepelmaatregelen. Hierbij worden alle actualisatiemaatregelen voor een bepaald kalibratiejaar samengevoegd tot één Baseline-maatregel (de koepelmaatregel). Dit wordt bereikt door alle actualisatiemaatregelen te mixen in een lege variant, en vervolgens de erase-vlakken van de maatregelen samen te voegen. Het voordeel hiervan is dat er veel sneller gemixt kan worden, omdat er maar één maatregel gemixt hoeft te worden. De koepelmaatregelen zijn allemaal nagelopen en indien nodig zijn er fouten na het mixen hersteld. Omdat de kalibratiejaren voor RMM afwijken van de Rijntakken, zijn twee extra koepelmaatregelen gemaakt. In de varianten zijn ook handmatige aanpassingen gedaan. Tenslotte zijn modelmaatregelen opgenomen.

In **j11\_5-G6-w6** zijn 233 actualisatiemaatregelen en 14 modelmaatregelen opgenomen. Belangrijke actualisaties zijn weergegeven in Tabel 3.2.

In **j15\_5-G6-w5** zijn 69 actualisatiemaatregelen en 14 modelmaatregelen opgenomen. Belangrijke actualisaties in 2015 betreffen het zomerbed, en een groot deel van de Ruimte voor de Rivier projecten.

In **j16\_5-G6-w9** zijn 19 actualisatiemaatregelen en 15 modelmaatregelen opgenomen. Belangrijke actualisaties in 2016 betreffen het zomerbed, en een deel van de Ruimte voor de Rivier projecten zoals dijkverlegging Cortenoever, hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, dijkverlegging Westenholte, nevengeulen Scheller en Oldeneler Buitenwaarden en zomerbedverdieping Beneden-IJssel.

Tabel 3.2 Overzicht belangrijke actualisaties in j11\_5-G6-w6.

Actualisatie	Jaar
het zomerbed	
de ecotopenkartering 2012	
aanleg van de bodemkribben bij Erlecom	1997
vaste laag bij Sint Andries	1998
natuurontwikkeling Gameraen	1999
slibdepot IJsseloog	2000
verlaging Millingse dam	2001
verhoging weg naar Fort Pannerden	2001
herinrichting Klompenwaard	2001
dijkverlegging Bakenhof	2002
verlaging stuweiland en toegangsweg Driel	2002
zandwinning Dreumel	2003
doorlaatbaar maken deel spoorbrug Oosterbeek	2003
natuurontwikkeling en nevengeul Vreugderijkerwaard	2003
natuurontwikkeling Ketelmeer en Vossemeer	2003
natuurontwikkeling en dijkverlegging Stichtse Rijnlanden	2005
pilot kribverlaging Waal	2009
rivierverruiming Lexkesveer	2009
dijkverlegging Hondsbroekse Pleij	2011 (wel opgenomen, maar dichtgezet omdat deze nog niet gereed was)

### 3.1.4 Roostergeneratie

#### 3.1.4.1 Aangeleverde gegevens

Voor de roostergeneratie is een groot aantal gegevens aangeleverd. De roosterbouw is gestart begin 2018 toen de ontwikkeling van de Baselineschematisaties nog in volle gang was. Daarom zijn de volgende schematisaties aangeleverd:

- Baseline j95\_5\_def\_rooster. Dit is een speciaal voor de roosterbouw gemaakte tusserversie van de situatie 1995 met alle tot 5-1-2018 beschikbare verbeteringsmaatregelen. Dit zijn alle in het kader van JAMR gemaakte verbeteringsmaatregelen voor de situatie 1995 tot en met JAMR2018. De schematisatie is aangevuld met een eerste set maatregelen die speciaal voor de roosterbouw als eerste zijn gemaakt. Dit betreft onder andere de verbeteringen ter plaatse van de drie sluis-stuwcomplexen op de Neder-Rijn en Lek, en de opname van het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en de modeluitbreiding in Duitsland richting Dornick.
- Baseline j17\_5-v1. Dit is de op het moment van aanleveren meest actuele beschrijving van het Rijntakkengebied

- Baseline j18\_tmp\_plus. Dit is een tijdelijke Baselineschematisatie met een aantal belangrijke en grootschalige actualisaties en ontwikkelingen die al wel in Baseline beschikbaar waren. Ook zijn hierin enkele gebieden en kunstwerken opgenomen conform hun werkelijke ligging (zonder de aanpassingen uit modelmaatregelen om ze te laten passen op het WAQUA-rooster). De database is alleen gevuld ter plaatse van deze gebieden.
- var\_raven95\_definitief. In deze database zit de verbeterde schematisatie van de Ravenswaarden, een kronkelwaard met ruggen en geulen op de rechteroever van de IJssel tussen Zutphen en Deventer.
- clip\_tiwa-2b\_a1. In deze database zit de planschematisatie voor de hoogwatergeul Varik-Heesselt. Ondanks het besluit van de minister om deze niet aan te leggen is er bij de roosterbouw wel rekening mee gehouden.
- 14\_j95\_5\_zalk-v2. Een clip uit de verbeterde j95 database met hierin de verbeterde schematisatie van de uiterwaard bij Zalk op de linkeroever van de IJssel.
- Diverse werkversies van j95\_5-G6. Hierin zijn steeds voortgaande verbeteringen opgenomen.
- Baseline beno15\_5-v2.

Een deel van de noodzakelijke gegevens was nog niet in Baseline beschikbaar. Dit betreft onder andere de bodemligging in het Ketelmeer-Vossemeer-Zwartemeer, de Ramspolkering en de Reevedam/Reevesluis. Voor het zomerbed zijn sectie 1 vlakken uit diverse Baselineschematisaties als lijnen aangeleverd. Ook voor het winterbed zijn extra begrenzingen aangegeven van de primaire waterkeringen en de hoge gronden.

Het is van groot belang om een aantal belangrijke elementen in het modelgebied exact of zo goed mogelijk te volgen met het rooster. Naast het zomerbed gaat het dan om de kunstwerken, belangrijke stromingsbepalende kades, toegangen van grote plassen, verticale kademuren, sluiskolken, brugopeningen, etc. Daarvoor is uit alle beschikbare gegevens een selectie gemaakt in de vorm van een aantal lijnen en vlakkenbestanden. Er is onderscheid gemaakt in dwanglijnen (waar het rooster overheen moet lopen) en wenslijnen (waar het gewenst is dat het rooster overheen loopt).

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

### 3.2.1 Aangeleverde data

De Rijntakken worden al vele decennia bemeten. Voor de kalibratie en validatie van een model wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van zo recent mogelijke en accurate metingen, maar daarnaast is het belangrijk om minder frequente piekafvoeren mee te nemen. Voor perioden van lage en middelhoge afvoer wordt gebruik gemaakt van de recente periode 2015-2017 (na afronding van Ruimte voor de Rivier) en voor iets hogere piekafvoeren wordt teruggevallen op het winterseizoen 2010-2011. De laatste echt hoge afvoeren hebben plaatsgevonden tijdens de hoogwaters van 1993 en 1995, dus deze worden gebruikt voor kalibratie en validatie van dit niveau, zie ook Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Overzicht relevante periodes.

Periode	Begin	Eind
HW1993	01-11-1993	31-01-1994
HW1995	01-12-1994	28-02-1995
HW2011	01-11-2010	31-01-2011
2015/2016	01-10-2015	31-03-2016
2016/2017	01-10-2016	31-03-2017

Van de eerste drie periodes zijn de meetgegevens al eerder verzameld en toegepast in het kader van de 5<sup>e</sup> generatie modelontwikkeling en modeltoepassing (Becker, 2012; de Jong en Visser, 2014). Deze gegevens zijn gecontroleerd, verbeterd en aangevuld. Voor de twee recente periodes zijn de gegevens volledig nieuw samengesteld (zie Bijlage F). De aanlevering bevat zowel waterstanden als afvoeren voor diverse jaren. Hierna volgt een korte beschrijving van de verschillende gegevens.

### 3.2.1.1 Waterstanden

Van de LMW meetlocaties zijn 10-minuten, uur- of daggegevens beschikbaar. De 10-minutengegevens zijn centraal uurgemiddeld om slingeringen te verwijderen; dit is niet gedaan voor de getij- en merenlocaties en de twee locaties in de groene rivier Pannerden. Het meetnet is na 1995 fors uitgebreid met nieuwe locaties, vaak nabij locaties waar al metingen per dag werden gedaan. Ook na 2011 zijn er locaties bijgekomen zoals Lobithhaven en Hondsbroeksche Pleij IJssel.

Alle gegevens van Arnhem zijn niet gebruikt omdat dit sinds 2010 geen echte meting is maar een berekening. De metingen van Driel-boven en Driel-beneden vanaf 22-1-2011 2:00 zijn ook niet gebruikt. Eén of beide reeksen is niet correct omdat het verval over de stuw tussen de 2 locaties niet klopt.

Van de BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) in Duitsland zijn de 15-minutenwaterstanden ontvangen van Emmerich, gemeten door de Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Met het bijgeleverde peilschaalnulpunt zijn de waterstanden omgerekend naar NAP.

Ook de diverse waterschappen meten automatisch waterstanden op meerdere locaties langs de rivier. Vaak gebeurt dit bij objecten zoals gemalen. Enige voorzichtigheid is geboden bij het gebruik aangezien het gemaal de meting kan beïnvloeden. De meetfrequentie varieert per waterschap en meetstation. Van de recente periodes zijn vrijwel alleen metingen op de IJssel beschikbaar. Metingen die overduidelijk een droogvalsituatie weergeven zijn verwijderd met het oog op de berekening van statistieken in de validatie. In de gegevens voor HW2011 komen metingen voor die niet de rivierwaterstand weergeven, maar een waterstand bovenstrooms van het gemaal. Op basis van vergelijkingen met LMW-stations zijn onbetrouwbare gegevens verwijderd.

Van de waterschapslocaties liggen er een aantal in een smal toeleidingskanaal. Deze worden in het model niet goed weergegeven op het rooster. In een aantal van deze gevallen zijn in het model extra meetlocaties opgenomen met de aanduiding "laag". Deze liggen in de rivier en geven de rivierwaterstand weer en kunnen voor lagere afvoeren worden toegepast. Voor de hoogwaterperiodes van 1993 en 1995 zijn handmatige peilschaalaflezingen beschikbaar langs alle Rijntakken. Een nieuwe locatie is gemaal Bolwerk waarvan de gegevens zijn ontleend aan het Gelders Archief (archieff Waterschap Oost-Veluwe).

Eind 2010 zijn langs de Rijntakken op 45 locaties divers geplaatst langs het zomerbed. Deze meten de waterstand via een druksensor die gecorrigeerd wordt voor de luchtdruk.

De divers staan ongeveer 5 km uit elkaar, soms minder en soms meer daar waar andere meetlocaties van bv. waterschappen zijn. De divers registeren bij hogere afvoeren en worden aan het eind van het hoogwaterseizoen uitgelezen. Tijdens HW2011 zijn uurwaterstanden beschikbaar, voor vier getijlocaties ook 10-minutenwaterstanden.

In twee periodes zijn varende verhanglijnmetingen beschikbaar. Daarbij wordt met een schip in de as van de rivier het wateroppervlak en de bodemhoogte gemeten. Er is gecorrigeerd voor de inzinking van het schip door de meting te vergelijken met de LMW-waterstanden op hetzelfde moment. Voor de Boven-Rijn, Waal en IJssel zijn de verhanglijnmetingen beschikbaar bij afvoeren van rond 1.000, 1.600 en 2.500 m<sup>3</sup>/s, en bij hoogwater. Op het Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn en Lek wordt alleen gemeten tijdens hoogwater. Er is een selectie gemaakt uit de beschikbare verhanglijnmetingen. Voor de periode HW2011 worden alle takken gevalideerd op drie metingen op 13 en 14 januari, en drie metingen op 18 en 19 januari. Op deze dagen rond de hoogwatertop bedraagt de afvoer bij Lobith ongeveer 7.500 m<sup>3</sup>/s. Voor de periode 2016/2017 is gevalideerd op:

- BR/Waal 1000 m<sup>3</sup>/s: 12-10-2016 (vanaf rkm 849.5);
- IJssel 1000 m<sup>3</sup>/s: 13-10-2016;
- BR/Waal 2500 m<sup>3</sup>/s: 23/24-3-2017 (vanaf rkm 849.5).

Tijdens de hoogwaterperiodes van 1993 en 1995 zijn door Rijkswaterstaat vanaf een boot aflezingen gedaan van de peilschalen die staan opgesteld naast de kilometerborden. De aflezing is daarna omgerekend naar een NAP-waarde met behulp van het nulpunt van de peilschaal. Op enkele locaties langs de rivier staan borden opgesteld met daarop de hoogste waterstand van de hoogwaters van 1993 en 1995. Vaak is op deze locatie ook een peilschaal aanwezig.

### 3.2.1.2 Afvoermetingen

In het kader van MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) worden jaarlijks afvoermetingen gedaan door (of in opdracht van) RWS-CIV op 9 locaties langs de Rijntakken. Het betreft Lobith, de 4 takken op de splitsingspunten, aangevuld met Tiel, Hagestein en Olst. Op het Pannerdensch kanaal zijn twee meetlocaties, één bij de Pannerdensch Kop en één bij de IJsselkop. De meting vindt varend plaats met een ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler). Per locatie worden meerdere meettraaien gebruikt, afhankelijk van de waterstand. Zo worden de afvoermetingen bij Olst bij hoge afvoeren gedaan bij Deventer. Bij Tiel en Deventer zijn bij hoogwater grote delen van het dwarsprofiel die niet bemeten kunnen worden. Daarvoor wordt een aanname gedaan.

Oudere metingen uit 1993 en 1995 zijn gedaan met een Ott-molen. Met dit apparaat kon op meerdere locaties en dieptes in een raai de stroomsnelheid gemeten worden waarna een afvoer kon worden berekend. Een meting kon al gauw 2-3 uur duren.

Bij Driel-boven en Hagestein-boven zijn ADM-meetopstellingen aanwezig die continu de afvoer meten. Dit vindt plaats door in een meetkruis op één NAP-niveau de stroomsnelheid te meten die met een dwarsprofiel, de waterstand en een factor wordt omgerekend naar een afvoer. In de gemeten afvoer zit ook de afvoer van de vistrap naast de stuw. Het schutverlies van de naastgelegen sluis ontbreekt in de metingen. Net als bij de LMW-waterstanden zijn vanaf eind 2013 10-minutenwaarden beschikbaar, en hiervoor alleen uurwaarden (10-minutenwaarden op het hele uur). Door slingeringen in de gemeten afvoer door bv. scheepvaartbewegingen en translatiegolven zijn 10-minutenwaarden op het hele uur minder betrouwbaar. De ADM-gegevens van Driel-boven voor 2001 zijn minder betrouwbaar. NB: Er zijn meer ADM's aanwezig langs de Rijntakken, deze worden besproken in paragraaf 3.2.2.

### 3.2.1.3 Afvoerreeksen Lobith en splitsingspunten

Voor de kalibratie en validatie zijn gevalideerde afvoerreeksen nodig bij Lobith en de splitsingspunten. Een belangrijke voorwaarde is dat de afvoerreeksen een sluitende waterbalans bevatten (dat heeft het hydraulische model ook). Anders ontstaan problemen bij de kalibratie van het totaalmodel na de kalibratie van de losse takken. De standaard beschikbare afvoerreeksen die ook zijn opgenomen in het LMW zijn niet voldoende nauwkeurig. Daarom zijn voor dit project aparte afvoerreeksen samengesteld. De aangeleverde afvoerreeksen worden gemaakt door middel van ADCP-metingen, ADM-metingen, Qf-relaties<sup>2</sup>.

Voor de afvoer bij Lobith en op de splitsingspunten worden de vereffende afvoerreeksen gebruikt die aangeleverd zijn door RWS-ON. De basis hiervoor zijn de beschikbare Qf-relaties (Qf09). De afvoertijdserie van de Nederrijn bestaat niet alleen uit waarden vanuit de Qf, maar ook voor een groot deel uit afvoergegevens bepaald met de ADM van Driel-Boven. Hiaten in de ADM zijn opgevuld met een regressiefunctie. De resulterende afvoeren worden vervolgens gecorrigeerd op basis van beschikbare ADCP metingen. Daarvoor wordt een ruimere periode toegepast dan strikt benodigd om meer afvoermetingen beschikbaar te hebben. Daarna wordt de waterbalans zo goed mogelijk kloppend gemaakt, rekening houdend met een constante looptijd (maar zonder het meenemen van de lateralen bij gemaal Kandia en Pannerling).

Voor HW1993 en HW1995 is de beschreven methode uiteindelijk niet toegepast omdat er met name tijdens de zeer hoge rivierafvoeren verschillen waren tussen de oude en de nieuwe tijdseries, maar ook met de metingen. Er kon niet worden aangetoond dat de nieuw bepaalde reeksen beter waren dan degene die gebruikt zijn bij de bouw van de 5<sup>e</sup> generatie modelschematisaties (Becker, 2012, en Beyer, 2012). Daarom is besloten om de oude reeksen opnieuw toe te passen. Deze reeksen zijn gebaseerd op WAQUA-berekeningen (met dus een sluitende waterbalans). De afvoeren zijn gecorrigeerd op basis van de Afvoerverdeling 1996.0, een stationaire afvoerverdeling die is vastgesteld met medeneming van de afvoermetingen tussen december 1993 en februari 1995. In de aanloop naar de hoogwatertop zijn de afvoeren van Neder-Rijn en IJssel gecorrigeerd voor het geleidelijk onderlopen van de Huissensche waarden. De reeksen zijn vergeleken met de afvoermetingen rond de hoogwatertop.

Ondanks beperkingen is dit de beste beschrijving van de afvoer die op dit moment beschikbaar is voor de verschillende perioden.

### 3.2.1.4 Afvoeren Pannerdense overlaat

Voordat het regelwerk Pannerden is gebouwd lag iets bovenstrooms de Pannerdense overlaat. Voor HW1993 en HW1995 zijn "gemeten" afvoeren over de overlaat bepaald met behulp van de afvoerrelatie die is gebaseerd op 2D en 3D modelonderzoek (WL, 1983). Op basis van de gemeten boven- en benedenstroomse waterstand (Groene rivier Pannerden boven en beneden) kan een afvoer worden berekend. Bij toenemende benedenstroomse waterstanden is er sprake van geleidelijke verdrinking, hetgeen tot uitdrukking komt in een reductiefactor voor de afvoer.

### 3.2.1.5 Afvoeren sturing Driel en Hagestein

Bij lage afvoeren is het nodig om de stuwen Driel en Hagestein in het model te sturen op afvoer. Hiervoor zijn afvoerreeksen nodig.

Voor stuw Driel lijkt het logisch om hiervoor de ADM afvoermeting bij Driel-boven te gebruiken. Er zijn drie beperkingen. In de afvoer van de ADM zit wel de afvoer door de vistrap, maar niet het schutverlies van de sluis.

---

<sup>2</sup> Bij een Qh-relatie wordt de lokale waterstand gebruikt om de afvoer te bepalen. Bij een Qf-relatie wordt meer meegenomen dan enkel de waterstand.



De ADM-reeks is gebruikt bij de afleiding van de afvoerreeks voor de Neder-Rijn. Daarbij is mogelijk ten onrechte geen rekening gehouden met een looptijd. Er zijn enkele lateralen (toestromingen) tussen IJsselkop en Driel-boven die ook verwaarloosd zijn. Aangezien de afvoer naar de Neder-Rijn leidend is in de modelontwikkeling, is het niet mogelijk om de stuw te sturen op de ADM-afvoer. Daarom is de afvoerreeks van de Neder-Rijn als uitgangspunt gekozen. Om de sturingsreeks voor stuw Driel te maken, zijn de 4 lateralen tussen IJsselkop en Driel-boven met een looptijd van 1 uur hierbij opgeteld.

Ook voor stuw Hagestein zou de ADM-afvoer toegepast kunnen worden. Inspectie van de gegevens laat echter negatieve gemeten afvoeren zien, en er is veel fluctuatie in de gemeten afvoer, ook bij een 1-uurs- of een 2-uursmiddeling. Het is nog niet gelukt dit te verklaren. Uit de logboeken voor de laagwaters van 2015 en 2016/2017 is gebleken dat de stuwbogen gesloten waren en de cylinderschuif ook. Dit betekent dat de zichtbare afvoervariaties niet gerelateerd zijn aan de stuw. De afvoer door de stuw is daarom gebaseerd op de afvoer door de vispassage bij Hagestein; de relatie hiervoor is afgeleid in Schropp (2011). Met deze werkwijze wordt het schutverlies door de sluis verwaarloosd.

#### 3.2.1.6 Kunstwerksturing

In de berekeningen vindt de aansturing van kunstwerken plaats op basis van tijdreeksen gebaseerd op gemeten gegevens. Omdat bedieningsgegevens niet beschikbaar zijn, is het openen en sluiten van kunstwerken afgeleid uit de beschikbare waterstandsmetingen. Ook de overgang tussen sturing op afvoer en waterstand bij Driel is afgeleid uit metingen. Ditzelfde geldt voor het openen en sluiten van de Prins-Bernhardsluizen. Het is niet altijd eenduidig om uit meetgegevens het exacte moment af te leiden. Daarom zijn aannames gedaan.

Voor de overgang tussen sturing op waterstanden en afvoer bij Driel is gekeken naar een klein waterstandsverhang tussen IJsselkop en Driel-boven, waterstanden Driel-boven en IJsselkop hoger dan 8.20 m +NAP, en de afvoer van de ADM Driel-boven. Voor de Prins-Bernhardsluizen is gekeken naar het verval tussen Tiel-Waal en Tiel-kanaal, maar ook naar de waterstanden en afvoer bij Hagestein-boven. Het openen en sluiten van de sluizen vindt vaak plaats bij waterstanden rond 3.10 m +NAP. Na sluiting wordt vaak water afgelaten via Hagestein om de waterstand weer op stuwpeil te brengen.

#### 3.2.1.7 Verschillen met eerdere meetgegevens

De nieuwe data bevat vele verschillen met de data die gebruikt zijn in eerdere projecten met de vijfde generatie Rijntakken-modellen. De belangrijkste verschillen zijn:

- verbetering waterstandsgegevens 2011 (hiaten, uitsluiten onbetrouwbare gegevens)
- toevoegen ontbrekende gegevens, bv. 10-minutengegevens voor getij- en merenstations, waterstanden Tiel-kanaal en Emmerich.
- afvoerbeschrijving bij Lobith en de splitsingspunten voor 2011.

De mate van deze verschillen is niet onderzocht.

### 3.2.2 Randvoorwaarden laterale uitwisselingen

Naast de metingen op de Rijntakken zijn verschillende meetgegevens aangeleverd voor de bepaling van de laterale in- en uitstromingen. Het betreft afvoermetingen van enkele aangetakte kanalen en beken, waterstanden voor de bepaling van vervallen bij sluizen en de afvoer van het gemaal Marijkesluizen. Er zijn echter vele laterale in- en uitstromingen die niet bekend zijn. Hiervoor zijn nieuwe regressieformuleringen afgeleid (Van der Veen, 2018) en verwerkt in de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM) (Deltares, 2020). Wel beschikbare meetgegevens zijn opgenomen in invoerbestanden voor de RGWM. De basis hiervoor zijn spreadsheets die in 2018 zijn vervaardigd (Rura, 2018). Voor gebruik in de kalibratie en validatie zijn alle invoergegevens voor de door te rekenen periodes gecontroleerd, verbeterd en aangevuld. Daarbij zijn zoveel mogelijk meetgegevens toegepast. Er is speciale aandacht besteed aan het opvullen van hiaten in de metingen.

Een uitgebreide beschrijving van de gegevens staat in Bijlage F.5.

Er moet extra aandacht besteed worden aan de beschikbaarheid van betrouwbare meetdata voor de Oude IJssel en het Twentekanaal. Dit zijn namelijk belangrijke laterale toestromingen, waarbij in de RGWM de meeste andere laterale toestromingen worden afgeleid van de Oude IJssel (zie ook Bijlage F.2). Met name voor het deel van de IJssel benedenstrooms van de Oude IJssel en het Twentekanaal is het cruciaal dat er goede meetdata voor deze lateralen beschikbaar is. In Bijlage F.5.4.1 staat een tabel met alle toegepaste afvoergegevens per periode.

Voor de Oude IJssel worden gegevens van waterschap Rijn en IJssel gebruikt. De hoofdlocatie is stuw de Pol en deze afvoer wordt vertaald naar Doesburg. Er zijn ook gegevens van stuw Doesburg gebruikt, bv. om hiaten in te vullen. Bij lage afvoeren is gebleken dat de afvoer bij de Pol niet helemaal representatief is voor de afvoer bij Doesburg, omdat deze wordt bepaald door schutverliezen en het peilbeheer. Dit is in de huidige RGWM niet oplosbaar.

Voor het Twentekanaal zijn vanuit het LMW de ADM-afvoermetingen gebruikt bij Almen (beschikbaar sinds 1996). Van Almen zijn pas vanaf eind 2013 10-minutengegevens bewaard gebleven, en daarvoor alleen urengegevens (10-minutenwaarde op het gehele uur). Helaas zijn deze urengegevens door slingeringen op het kanaal niet echt betrouwbaar, met name bij lagere afvoeren. De fout kan oplopen tot 20 m<sup>3</sup>/s. Daar komt bij dat door telecomproblemen er veel hiaten aanwezig zijn in de gegevens van 2015-2017. Hiaten zijn ingevuld met regressie op de afvoer van de Oude IJssel. Dit is helaas niet voldoende nauwkeurig. Inmiddels is duidelijk dat er nog een andere meetreeks van de afvoer op het Twentekanaal is, namelijk van de ADM Markelose-brug. Deze reeks is veel vollediger dan die van Almen. Tussen Markelose-brug en Almen vinden lozingen plaats (de grootste is de aflat van de Berkel bij Lochem), en onttrekkingen. Hiervan zijn metingen beschikbaar bij Waterschap Rijn en IJssel. Het is de moeite waard om te kijken of de reeks van Markelose-brug kan worden bewerkt tot een reeks bij Almen op basis van lozingen, onttrekkingen en looptijd om zo de lateralen voor de laagwaterperiodes te verbeteren.

Vóór 1996 zijn slechts dagafvoeren van sluis Eefde beschikbaar (identiek aan de 5<sup>e</sup> generatie). Het is niet precies bekend hoe deze zijn bepaald en op welk tijdstip. De dagwaarden zijn als puntwaarde om 12:00 uur opgelegd; daartussen wordt geïnterpoleerd. Eigenlijk zou een blokfunctie dan beter zijn.

Van waterschap Rijn en IJssel zijn de volgende andere urenafvoergegevens gebruikt: de Zwalm (Liemers), Broekhuizerwater (Bevermee), Grote Beek, Baakse Beek, Kanaal van Hackfort, afleidingskanaal Berkel en de Schipbeek. Ondanks de aanwezigheid van uurgemiddelde afvoeren zitten er behoorlijke slingeringen in de metingen, met name bij lage afvoeren. Omdat op voorhand niet duidelijk was hoe D-HYDRO hierop zou reageren, zijn de metingen verder gemiddeld. Hiaten zijn opgevuld via lineaire interpolatie of via regressie, al dan niet passend gemaakt op de metingen.

Van de meetgegevens van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) zijn de inlaat Kromme Rijn (ADM) bij Wijk bij Duurstede gebruikt. De 15-minutengegevens zijn gemiddeld tot 2-uurgemiddelde afvoeren. Daarnaast zijn ook metingen beschikbaar bij de inlaat Vreeswijk, maar hier was teveel twijfel over.

Voor het Amsterdam-Rijnkanaal bij Wijk bij Duurstede (beschikbaar sinds 1998), en het Lekkanaal bij Nieuwegein (sinds 1994) zijn ADM-afvoeren uit het LMW toegepast. Van beide locaties zijn over de hele periode 10-minutengegevens beschikbaar; deze zijn omgewerkt naar een centraal 2-uurgemiddelde afvoer. Voor hiaten is uiteindelijk gekozen voor een lineaire interpolatie tussen de 2-uurgemiddelde afvoeren.

Specifiek voor HW2011 is nog extra beschikbaar de inlaat bij de Grebbesluis (alleen tijdens lagere afvoeren actief).

Voor de bepaling van de schutverliezen bij sluisen zijn vervallen nodig. Extra nodig zijn de waterstanden op de Maas bij Mook (voor sluis Weurt) en Heesbeen (voor de Wilhelminasluis op de Afdamde Maas). Er worden correcties toegepast voor de periodes dat de keersluizen bij Heumen dan wel Andel gesloten zijn.

Hiaten in de meetgegevens worden automatisch door de RGWM opgevuld. Echter worden daarbij de regressiefuncties toegepast die gemiddeld goed werken, maar dat hoeft in de betreffende periode niet zo te zijn. Daarom is het nodig om kleine hiaten in de meetgegevens handmatig op te vullen. Dit is gebeurd op verschillende manieren. Lineaire interpolatie is de meest eenvoudige en in veel gevallen geschikt. Het toepassen van de beschikbare regressiefunctie is beter als het hiaat langer is en er van omringende meetlocaties duidelijke afvoervariaties zijn. De regressiefunctie is indien nodig passend gemaakt op de wel beschikbare metingen door deze iets aan te passen. In gemeten afvoeren komen ook negatieve waardes voor. Dit kan voorkomen onder invloed van wind of door lokale onttrekkingen. Omdat er op de locaties niet onttrokken wordt uit de rivier worden negatieve waardes vervangen door 0.

Belangrijke lateralen waarvan geen meetgegevens beschikbaar waren zijn de gemalen Pannerling, Kuijkgemaal en van Beuningengemaal op de Linge, en gemaal Veluwe op de IJssel. Ook van de onttrekkingen tijdens laagwater op de IJssel (Ankersmit, Terwolde, Antlia) ontbreken meetgegevens.

Een bijzondere laterale uitwisseling in de kalibratie- en validatieberekeningen is de afvoer van het gemaal Marijkesluizen. Deze wordt niet door de RGWM bepaald. Aangezien er geen meetgegevens zijn (alleen totale pompuren), is de gemaalafvoer berekend op basis van een waterbalans op het kanaalpand. Daarbij is het doel het kanaalpeil (waterstand Tiel-kanaal) zo goed mogelijk te volgen. Uit de waterstandsverandering per uur bij Tiel-kanaal is met de oppervlakte van het Betuwepand de netto afvoer per uur te berekenen. De afvoer door het gemaal is de netto afvoerverandering plus de toevoer door de lateralen op het Betuwepand. De berekende afvoer is begrensd op de maximale gemaalcapaciteit (30 m<sup>3</sup>/s vóór 2013, 36 m<sup>3</sup>/s erna). In de berekening komen ook periodes voor met afvoeren kleiner dan 0 m<sup>3</sup>/s; deze zijn op 0 m<sup>3</sup>/s gezet. De berekende afvoeren zijn een benadering. In werkelijkheid worden pompen aan- en uitgezet en vindt een meer trapsgewijs afvoerverloop plaats. Op basis van beschikbare draaiuren van pompen voor HW2011 is bepaald dat de berekende afvoeren ongeveer een factor 2 te laag zijn. In werkelijkheid waren de afvoeren door het gemaal dus groter. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een bijdrage van kwel aan de afvoer door het gemaal van Beuningen.

Met deze berekening lukt het niet om de waterstanden tijdens het hoogwater van 1995 te volgen. Oorzaak is een onverklaarbare toename in de gemeten waterstand op 1 februari 1995 van 40 cm in 4 uur tijd.

### 3.3 Fictieve randvoorwaarden

Naast de historische randvoorwaarden wordt tijdens de opzet van het model vaak gebruik gemaakt van (semi-)stationaire afvoeren en fictieve afvoergolven. Deze randvoorwaardensets dienen de volgende doelen:

- Validatie stuwsturing.
- Controle stabiliteit onder extreme afvoeren.
- Analyse verschillen in modellen door actualisatie Baseline.
- Validatie droogvallen rekencellen.

In alle gevallen wordt dit gecombineerd met de huidige Qh-relaties bij Hardinxveld Boven (qh\_Werkendam\_j15\_5) en Krimpen aan de Lek (qh\_Krimpen\_ad\_Lek\_j15\_5) zoals afgeleid met het WAQUA-model van de Rijnmaasmonding (waqua-rmm-j15\_5) (Van der Wijk, 2016) en een relatie voor de Ketelbrug (qh\_ketelbrug.T\_1250\_18000). In de toekomst worden nieuwe Qh-relaties afgeleid op basis van de zesde-generatiemodellen van de Rijnmaasmonding en de IJsselmeer-IJssel-Vechtdelta.

## 4 Modelopzet

Aan de hand van beschikbare gegevens over de geometrie (zie sectie 3.1) is eerst een rooster gebouwd (sectie 4.1). Vervolgens zijn ruimtelijke eigenschappen met Baseline op dit rooster geprojecteerd voor verschillende Baseline-schematisaties en aangevuld met handmatige aanpassingen en bestanden (sectie 4.2). Randvoorwaarden en externe forceringen zijn geconverteerd vanuit de RGWM (zie sectie 4.3). Ten slotte volgen de schematisatie en de sturing van de kunstwerken (zie sectie 4.4), de definitie van de ruwheden (zie sectie 4.5) en de fysisch-numerieke instellingen (zie sectie 4.6).

### 4.1 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.

#### 4.1.1 Methodiek

Centraal in de opzet van het ongestructureerde rooster voor de zesde-generatiemodellen 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):

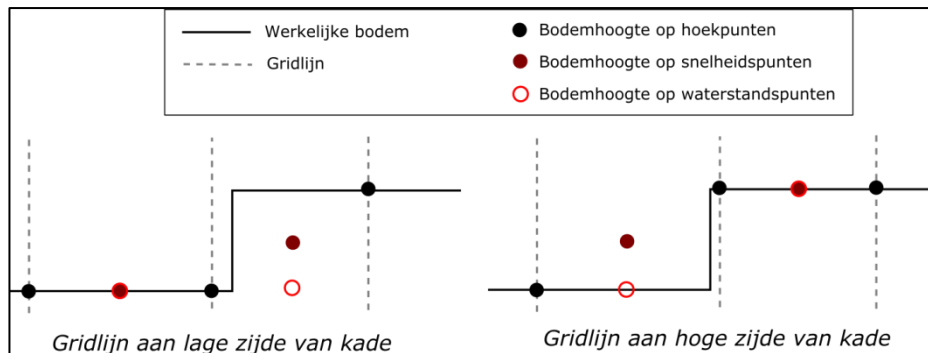
- Normaallijnen/oeverlijnen (zomerbed plus aansluitende grote kanalen en het Reevediep).
- Kunstwerken.
- Stroomlijnen; Als hoofdelement wordt gekeken naar de stroomlijnen uit zowel het j17-model als het beno15-model. In de stroomlijnen zijn veel van onderstaande elementen automatisch meegenomen, waaronder nevengeulen, zomerbedverbredingen en belangrijke (stroomgeleidings)kades.
- Bruggen: (talud van) aanbruggen, doorstroombreedte 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 (bijv. Deltaprogramma).
- Aansluiting met kleinere kanalen.
- Beekdalen (beken zelf niet noodzakelijk).
- Bandijken en hoge gronden. Becker (2018) heeft de mogelijkheden om de bandijken in het rooster te volgen onderzocht. Vanwege de nadelen voor roostereigenschappen als orthogonaliteit, celgrootte en uitlijning met andere elementen is hier niet voor gekozen.

De afvoer stroomt grotendeels tussen de normaallijnen van het zomerbed (langs kribkoppen en gestrekte oevers). 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 vijfde generatie (j15-model en beno15-model). 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 Baseline-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 4.6.1).

Dit is met name belangrijk bij grote verandering in de bodem, bijvoorbeeld bij verticale kaden rondom stuwen (zie Figuur 4.1). 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 4.1 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 Dornick (Duitsland) en aan de benedenstroomse zijde tot Hardinxveld boven (op de Waal), Krimpen aan de Lek (op de Lek) en de Ketelbrug en Ramspolkering (op het Ketelmeer). Het traject tussen Tiel en Hardinxveld (op de Waal) en tussen Hagestein en Krimpen aan de Lek (op de Lek) wordt ook overgenomen in het model van de Rijnmaasmonding en dient dus de mogelijkheid te bieden uit te breiden richting de Rijnmaasmonding.

Voor het deel benedenstrooms van Olst is er afstemming geweest, zodat ook de aansluiting richting het IJsselmeer, het Zwarte Meer (en Kampereiland) en het Veluwerandmeer goed is geregeld. Het Reevediep is daarbij ook al meegenomen in het rooster.

Daarnaast dient het mogelijk te zijn om in de toekomst kanalen aan te laten sluiten op het rooster van de Maas.

Voor de roosterresolutie zijn de volgende richtlijnen aangehouden:

- In het zomerbed zijn er 6 tot 10 (maar meestal 8) cellen van minimaal 10 meter breedte. Deze hebben een aspectratio van maximaal 1:4 en zijn in de lengterichting 40 meter.
- In het winterbed wordt gericht op cellen met een aspect ratio van 1:1. Deze hebben dezelfde resolutie als de lengterichting van het zomerbed: 40 meter.

De cellen moeten een minimale resolutie van 10-15 meter hebben vanwege de subgrid-aanpak van overlaten (De Goede & Van Kester, 2013). Subgrid wil zeggen dat de weerstand van overlaten met een aparte formulering wordt berekend en niet automatisch volgt uit de bewegingsvergelijkingen, omdat de dimensies van de overlaten kleiner zijn dan de resolutie van het rooster.

De resolutie van het rooster is vergelijkbaar met de resolutie van de vijfde-generatie modellen (Becker, 2012). Alleen op de IJssel is het rooster duidelijk grover. In de vijfde generatie was het rooster hier relatief fijn om in gebieden met bochten voldoende cellen in het zomerbed te krijgen.

#### 4.1.2 Aanpak

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:

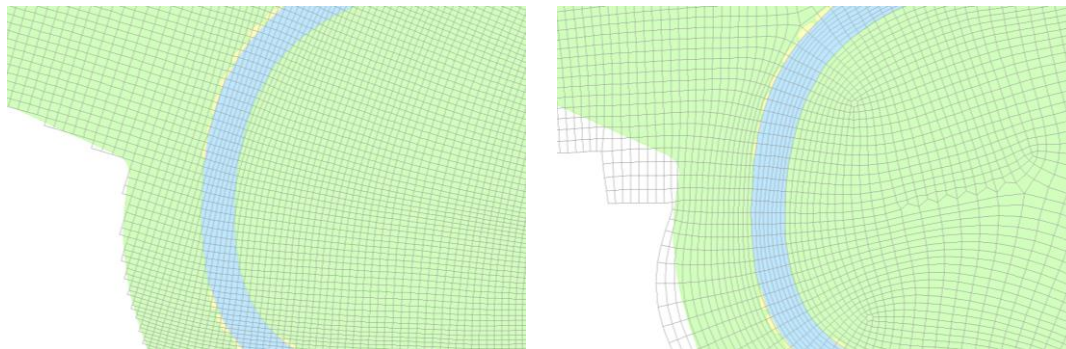
- Het ontwerp van het rooster is arbeidsintensiever.
- Eisen aan orthogonaliteit en smoothness zijn lastiger te halen.

De methode die gebruikt wordt voor het ontwerp kan benoemd worden als een blok-gestructureerd (of multiblok) rooster waarin verschillende kromlijnjige 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 kromlijnjig 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 uitgelijnde 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. Hierbij is veel aandacht besteed aan de orthogonaliteit en gladheid van de roostercellen, zie paragraaf 4.1.3. Daarnaast is het rooster geoptimaliseerd voor de rekentijd, door tijdstaplimiterende cellen aan te passen (zie ook paragraaf 4.6.5).

Een voorbeeld van een vergelijking met het rooster zoals gebruikt in het vijfde-generatie WAQUA-model is gegeven in Figuur 4.2. Hierin is te zien dat het lokaal niet altijd mogelijk is om enkel vierhoeken te gebruiken. Bijlage B.2 toont enkele andere voorbeelden waar gebruik gemaakt is van driehoeken, vijfhoeken en zeshoeken.



Figuur 4.2 Uitsnede uit het rooster bovenstrooms van de inlaat van Veessen-Wapenveld in WAQUA (links) en in D-HYDRO (rechts).

### 4.1.3 Roostereigenschappen

Het resulterende aantal roosterzellen (waterstandspunten) en flow links (snelheidspunten) in het nieuwe rooster is vergeleken met het (naar D-HYDRO geconverteerde) vijfde-generatie WAQUA-rooster in

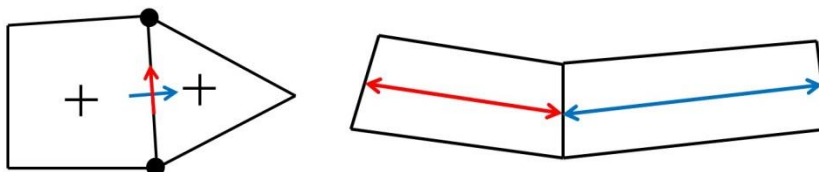
Tabel 4.1. Ondanks de uitbreiding van het roostergebied is toch het aantal cellen afgenomen. Dit komt met name omdat de roosterzellen in de uiterwaarden van de IJssel groter zijn geworden.

Tabel 4.1 Vergelijking van aantal roosterzellen en flow links voor de roosters van de vijfde en zesde generatie.

	vijfde generatie (40 m)	zesde generatie (40 m)
<b>Aantal roosterzellen</b>	902.653	628.470
<b>Aantal flow links</b>	1.761.174	1.228.270

Het rekenkundig rooster wordt getoetst aan met name de volgende eigenschappen:

- De orthogonaliteit: dit is de hoek tussen een netlink en een flowlink (Figuur 4.3 links).
- De gladheid (smoothness): dit is de verhouding van de lengte van twee aansluitende roosterzellen (Figuur 4.3 rechts).



Figuur 4.3 Illustratie van orthogonaliteit (links) en gladheid/smoothness (rechts).

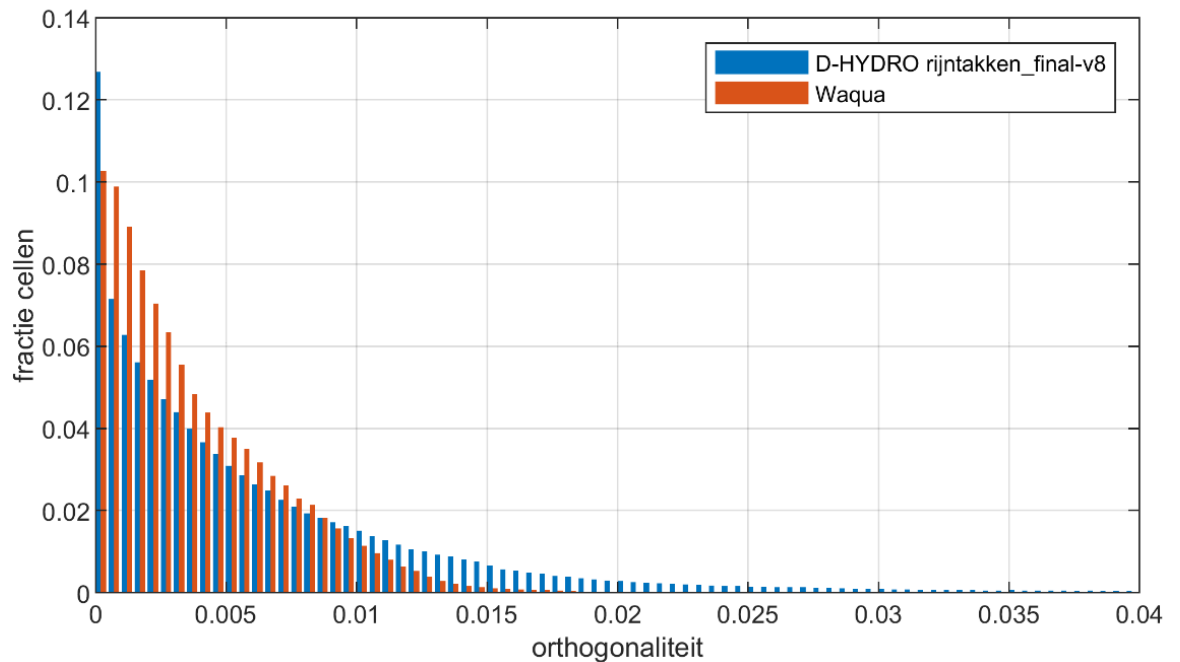
Beide eigenschappen bepalen de nauwkeurigheid in het oplossen van de numerieke vergelijkingen. Daarbij is ook belangrijk wat de oriëntatie van het rooster ten opzichte van de stroomrichting is. Bij een kromlijinig rooster (WAQUA) waren hiervoor de mogelijkheden in zeer bochtige delen van de Rijntakken beperkt, omdat dit zeer grote consequenties zou hebben voor de orthogonaliteit en gladheid. Voor een ongestructureerd rooster zijn de negatieve consequenties van uitlijnen met de stroomrichting veel kleiner. Daarom is besloten hier voorrang aan te geven, zonder dat dit al teveel ten koste gaat van de orthogonaliteit en gladheid.



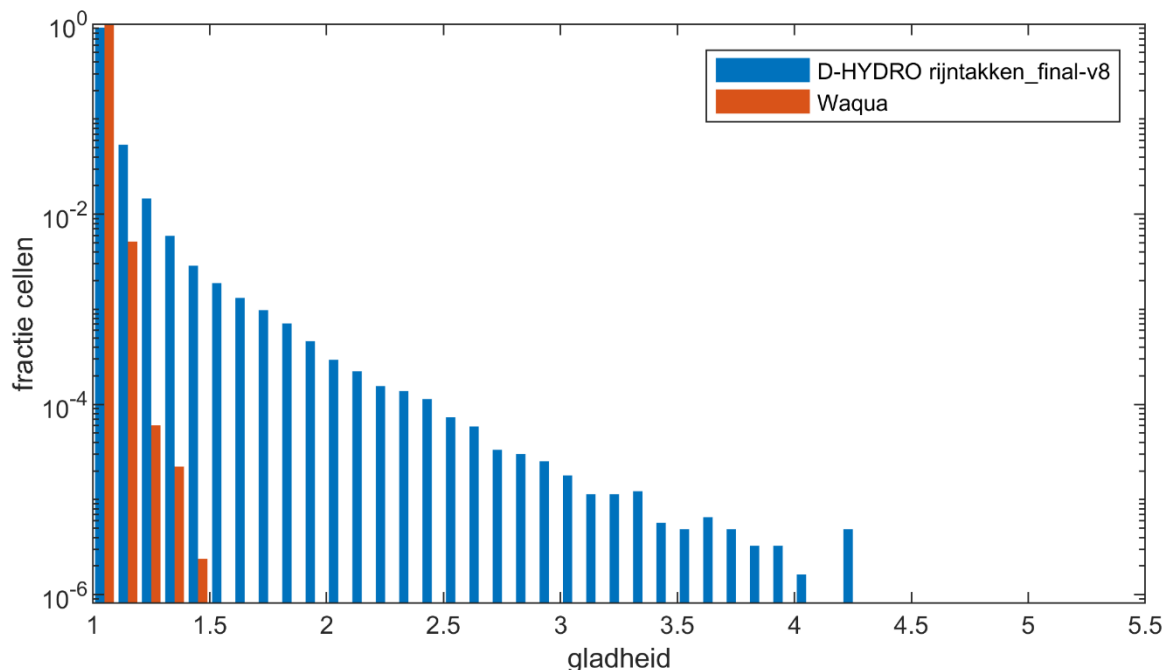
In Figuur 4.4 is de orthogonaliteit van de roosters uit de vijfde en zesde generatie vergeleken. In Figuur 4.5 is hetzelfde gedaan voor de gladheid. Uit de figuren blijkt dat voor beide eigenschappen de kwaliteit van het rooster is verminderd. Dit wordt veroorzaakt doordat in het vijfde-generatierooster deze eigenschappen leidend waren in de roostergeneratie, maar dat nu ook naar aanvullende eisen is gekeken (met name uitlijnen op stroomrichting, geometrie en belangrijke kunstwerken) en daardoor op orthogonaliteit en gladheid wordt ingeleverd. In Bijlage A is een totaaloverzicht van het rooster opgenomen en worden locatiespecifieke keuzes beschreven.

Voor de orthogonaliteit is ernaar gestreefd om deze voor het merendeel van het rooster lager dan 0,01 te brengen. Voor ongeveer 80% van de cellen is dit gelukt. Lokaal kon echter niet voorkomen worden dat er vlakken met een orthogonaliteit tot 0,02 zouden ontstaan (15%). 5% van de roostercellen heeft een orthogonaliteit tussen 0,02 en 0,10. Deze cellen zijn vooral buiten de stroomlijnen gehouden en vooral omringd door roostercellen met een lagere orthogonaliteit. Ten slotte hebben enkele cellen (0,0018%) een orthogonaliteit tussen 0,10 en 0,16. Er zijn geen roostercellen in het model met een orthogonaliteit tussen 0,16 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.



Figuur 4.4 Verdeling van orthogonaliteit in het vijfde- en zesde-generatierooster.



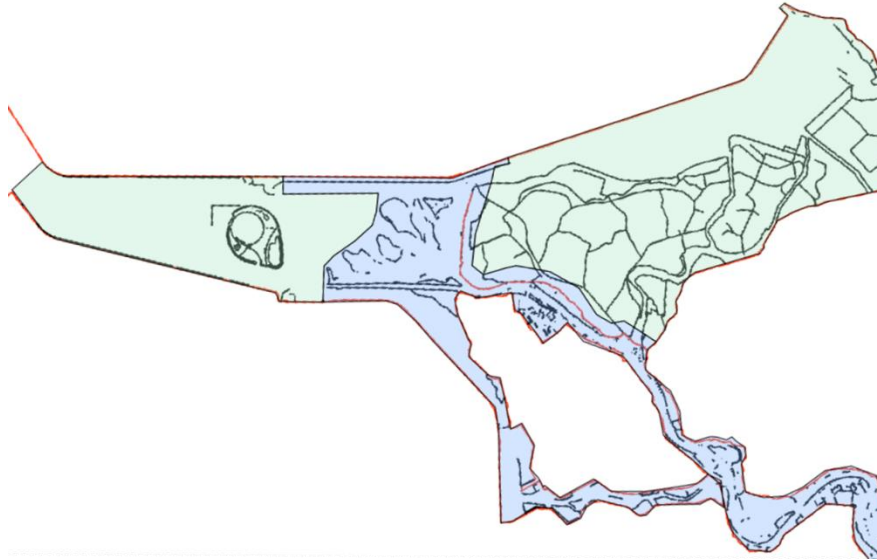
Figuur 4.5 Verdeling van gladheid in het vijfde- en zesde-generatierooster. Let op de logaritmische schaal op de y-as.

#### 4.1.4 Roosterontwerp in overlapgebieden

Het Rijntakkegebied kent aansluitingen en/of overlap met drie andere modelgebieden, namelijk de Maas, de Rijn-Maasmonding (RMM) en de IJsselmeer-IJssel-Vechtdelta (zie ook hoofdstuk 2.7). Voor het roosterontwerp in deze gebieden zijn de volgende afspraken gemaakt:

- 1 **De Maas:** Hoewel de modelgebieden van de Maas en de Rijntakken geen overlap hebben, raken ze wel aan elkaar en moet het mogelijk zijn om de gebieden aan te kunnen sluiten. Bovendien zijn beide takken samen onderdeel van het RMM-rooster. Er zijn drie aansluitingspunten, namelijk de sluizen bij Weurt (Maas-Waalkanaal), de bandijk bij Heerewaarden / Sint-Andries en de Wilhelminasluis in de Afgedamde Maas. Op deze locaties zijn beide rekenroosters op elkaar afgestemd, zodat ze aangesloten kunnen worden zonder in te leveren op roosterkwaliteit. Over de bandijk bij Heerewaarden is wel ingeleverd op orthogonaliteit, omdat hier over een afstand van ongeveer 2 km de bandijk zo goed mogelijk gevolgd wordt. Afbeeldingen van het rooster op deze locaties zijn te vinden in Bijlage B.1.
- 2 **De Rijn-Maasmonding:** Het modelgebied van de Rijntakken komt overeen met dat van de Rijn-Maasmonding op de Lek tussen Hagestein en Krimpen aan de Lek en op de Waal tussen Tiel en Hardinxveld. Er is besloten om het rooster in dit overlapgebied op dezelfde manier op te zetten als het rooster van het rivierengebied en het dan over te nemen in het RMM-rooster. Dit is gedaan vanuit het gebruiksoogpunt: de beheergrenzen tussen RWS-ON en RWS-WNZ liggen bij Vuren op de Waal en Schoonhoven op de Lek.
- 3 **IJsselmeer - IJssel-Vechtdelta:** Het modelgebied van IJsselmeer – IJssel-Vechtdelta start op de IJssel bij Olst. Met name op het meer benedenstroomse deel van de IJssel (vanaf Zwolle / Kampen), het Reevediep en Keteldiep / Ketelmeer wordt de waterbeweging meer afhankelijk van wind dan van afvoer, en is de vraag of het rooster curvilineair of met driehoeken moet worden opgezet. Op locaties waar een dominante stromingsrichting is als gevolg van sturing door de geometrie, hebben vierhoekige cellen de voorkeur. Op locaties waar geen duidelijke stromingsrichting is, hebben driehoekige cellen de voorkeur.

De uiteindelijke keuze voor het roosterontwerp in dit gebied is beschreven in (Genseberger, Niesten, & Fujisaki, 2018) en weergegeven in Figuur 4.6. De keuzes voor het Zwarte Meer zijn nader bepaald in de ontwikkeling van het zesde-generatiemodel van de Overijsselse Vechtdelta (Spruyt en Fujisaki, 2021).



*Figuur 4.6 Keuze voor het roosterontwerp in het overlapgebied met IJsselmeer en IJssel-Vechtdelta, met in blauw het gebied voor een curvilineair rooster, en in groen het gebied waarin een triangulair rooster is gebruikt.*

## 4.2 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 3.1). Met behulp van de tool BAS2FM zijn de bestanden geconverteerd naar de invoer voor D-HYDRO.

Vanuit Baseline wordt de D-HYDRO-invoer aangemaakt zoals weergegeven in Tabel 4.2. Een workflow van de Baseline-database naar deze bestanden is te vinden in Bijlage C.5. De wijze waarop de invoer door D-HYDRO naar het rooster geprojecteerd wordt is beschreven in Bijlage C.6.

Tabel 4.2 Overzicht van de modelbestanden uit Baseline6, met hierbij de vergelijking met de namen in WAQUA (Engelse naamgeving) en de Baseline5-projectie met BASWAQ (Nederlandse naamgeving).

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

## 4.3 Randvoorwaarden

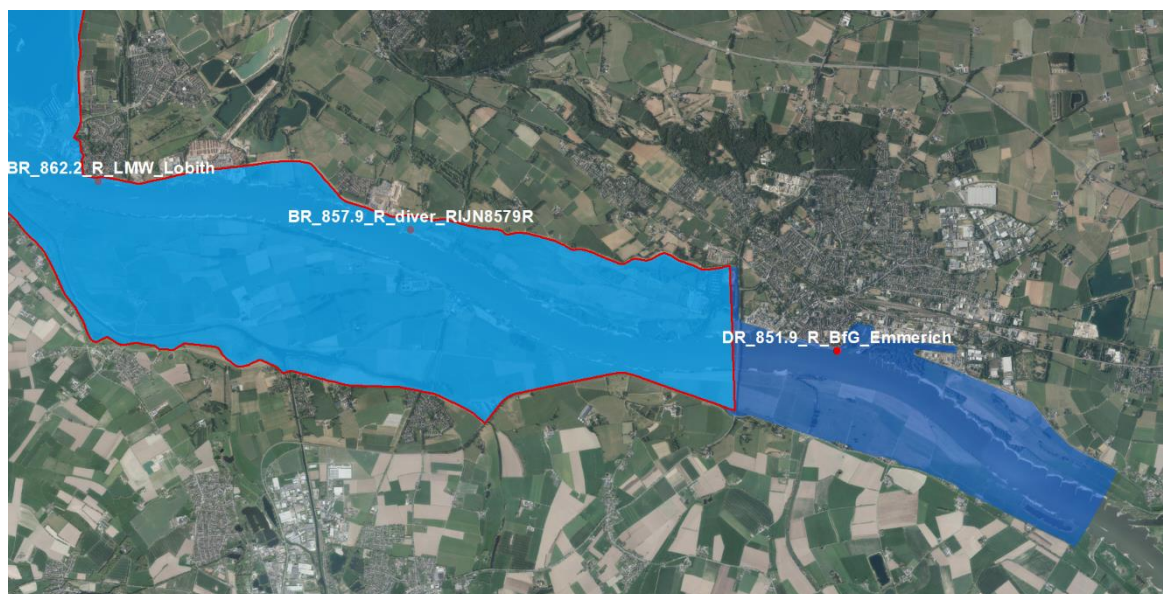
### 4.3.1 Open randen

#### 4.3.1.1 Emmerich

De locatie van de bovenstroomse rand in de vijfde generatie ligt bij de brug bij Emmerich (ca. 10 km bovenstrooms van meetpunt Lobith). Deze is nu iets verder richting bovenstrooms verplaatst naar Dornick (ca. 5 km bovenstrooms van de werkelijke locatie van het meetpunt Emmerich, zie Figuur 4.7). Dit heeft als bijkomend voordeel dat er geen plas meer direct bij de instroomopening ligt en dat het meetpunt Emmerich nu meegenomen kan worden in de kalibratie. Voor deze bovenstroomse uitbreiding is extra Baseline-data beschikbaar gekomen.

Op de bovenstroomse rand wordt een afvoerrandvoorwaarde opgelegd. De totale afvoer die wordt opgelegd wordt automatisch verdeeld over de breedte van de rand. In berekeningen voor historische periodes wordt de afvoer ontleend aan de Qf-relatie bij Lobith. Kort gezegd geeft deze de relatie weer tussen de afvoer bij Lobith en de waterstand. De relatie houdt rekening met niet-stationaire effecten (hysterese van de afvoer), het stuwprogramma en bodemontwikkeling in de tijd. Vervolgens wordt deze afvoer handmatig verbeterd (zie paragraaf 3.2.1).

De op de bovenstroomse rand opgelegde afvoer bij Dornick wordt afgeleid van de afvoer bij Lobith door een looptijdcorrectie van 2 uur toe te passen op de meetreeks. Met de zo verkregen randvoorwaarde wordt in een testsom het verschil tussen gemodelleerde en gemeten afvoer bij Lobith bepaald. Dit verschil wordt vervolgens afgetrokken van de reeks bij Dornick.



Figuur 4.7 Locatie meetpunt Emmerich. Het donkerblauwe gebied geeft het gebied aan dat in het zesde-generatiemodel is toegevoegd ten opzichte van de vijfde generatie. (Rode lijn = dekking vijfde-generatie model).

#### 4.3.1.2 Ketelbrug

De locatie van de benedenstroomse rand op de IJssel ligt bij de Ketelbrug, zie Figuur 4.8. Hier worden de gemeten waterstanden van LMW<sup>3</sup>-locatie Kamperhoek<sup>4</sup> opgelegd of beschikbare Qh-relaties. De modelgrens bij de Ketelbrug ligt precies over de brug. In het vijfde-generatie model lag deze rand op vrijwel dezelfde locatie.

#### 4.3.1.3 Ramspolbrug

Er is ook een open rand bij de Ramspolbrug, die in de vijfde-generatie modellen niet wordt meegenomen. In het zesde-generatiemodel ligt hier wel een open rand. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de LMW-locatie Ramspolbrug zich achter de Ramspolkering (balgstuw), bevindt (zie §2.5.1.4), terwijl het model hiervoor al stopt, zie Figuur 4.9. Dit betekent dat hier geen correcte randvoorwaarden kunnen worden opgelegd wanneer de Ramspolkering gesloten is. De huidige grens bij de Ramspolbrug blijft echter gehandhaafd, omdat anders de Ramspolkering in het Rijntakkenmodel moet worden opgenomen.

<sup>3</sup> LMW = Landelijk Meetnet Water

<sup>4</sup> Dit meetpunt is pas beschikbaar vanaf 2003, daarvoor was het dichtstbijzijnde meetpunt Ramspolbrug.

Tijdens de modelontwikkeling is bij deze rand nog geen randvoorwaarde opgelegd, omdat hiervoor onvoldoende data beschikbaar is. Dit kan lokaal invloed hebben op de resultaten, maar het effect is naar verwachting klein.



Figuur 4.8 Locaties benedenrand(en) IJssel en bijbehorende LMW-meetpunten (rood). Blauw=dekking zesde-generatiemodel.



Figuur 4.9 Locatie benedenrand Ramspolbrug en bijbehorend LMW-meetpunt (rood omcirkeld). Blauw=dekking zesde-generatiemodel.

#### 4.3.1.4 Hardinxveld

De locatie van de benedenstroomse rand op de Boven Merwede ligt, net als in het vijfde-generatie model, bij Hardinxveld boven, vlak voor de splitsing van de Boven Merwede in de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede, zie Figuur 4.10. Hier ligt echter helaas geen meetlocatie. Als randvoorwaarde wordt daarom gebruik gemaakt van de gemeten tijdreeksen van LMW-locatie Werkendam buiten, die met een relatie zijn vertaald naar de locatie van de rand. Hiervoor is een nieuwe relatie afgeleid met recentere WAQUA-modellen van het Rijn-Maasmonding gebied (Spruyt, 2019):

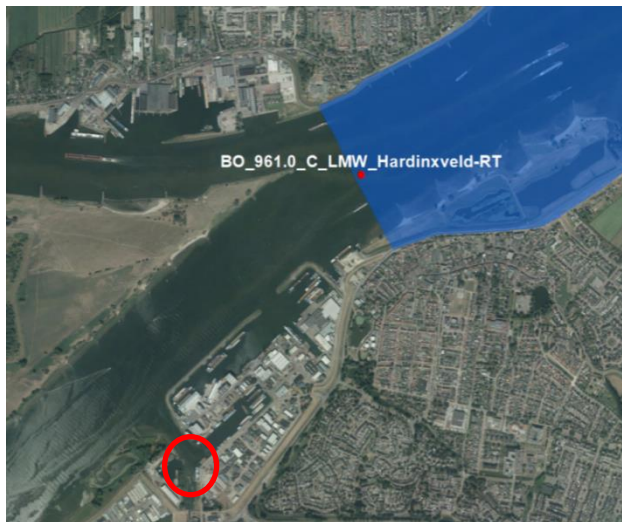
$$H_{\text{Hardinxveld}} = \begin{cases} 1.053 * H_{\text{Werkendam}} - 0.019 & \text{als } H_{\text{Werkendam}} < 2.5 \\ 1.592 * H_{\text{Werkendam}} - 1.367 & \text{als } 2.5 < H_{\text{Werkendam}} < 3.0 \\ 0.876 * H_{\text{Werkendam}} + 0.781 & \text{als } H_{\text{Werkendam}} > 3.0 \end{cases}$$

Deze relatie is pas geldig vanaf de het moment dat de Noordwaard kan meestromen (vanaf 2012), omdat deze in het actuele model van de Rijn-Maasmonding is opgenomen. Voor historische perioden (voor 2012) wordt daarom de oude relatie gebruikt:

$$H_{Hardinxveld} = 1.0501 * H_{Werkendam} - 0.0107$$

Voor lage afvoeren (tot 2.5 m bij Werkendam) is er nauwelijks verschil tussen beide relaties.

In operationele toepassingen wordt nu nog rechtstreeks de tijdreeks van LMW-locatie Werkendam opgelegd. Voor de toekomst wordt aanbevolen bovengenoemde relatie ook in operationele modellen te implementeren.



Figuur 4.10 Locatie benedenrand Hardinxveld-boven en LMW-meetpunt Werkendam buiten (rood omcirkeld). Blauw=dekking vijfde- en zesde-generatiemodel.

#### 4.3.1.5 Krimpen aan de Lek

De locatie van de benedenstroomse rand op de Lek ligt, net als in het vijfde-generatie model, bij Krimpen aan de Lek bij het LMW-meetpunt met dezelfde naam, zie Figuur 4.11. De tijdreeksen van dit meetpunt kunnen dus rechtstreeks worden opgelegd of er kan gebruik worden gemaakt van beschikbare Qh-relaties.



Figuur 4.11 Locatie benedenrand Krimpen aan de Lek en bijbehorend meetpunt (rood). Blauw=dekking vijfde- en zesde-generatiemodel.

#### 4.3.2 Lateralen

Om diverse redenen zijn er laterale lozingen en onttrekkingen aan het model toegevoegd. 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.

Voor het afleiden van laterale onttrekkingen en toestromingen wordt gebruik gemaakt van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) (Deltares, 2020). In deze software is een database aan regressies opgenomen waarmee uit een beperkte set randvoorwaarden een volledige set verkregen kan worden. De RGWM is de opvolger van de Lateralen Afvoergenerator (LAG) en de Hulpprogrammatuur.

Het totale overzicht van laterale instromingen is gegeven in bijlage F.2, volgens de naamgeving vanuit Baseline. De locatie van de lateralen in Baseline is zodanig gekozen dat deze niet 'droog' kunnen komen te liggen tijdens de berekeningen.

De tijdseries van alle lateralen worden uitgerekend met de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (zie paragraaf 3.2.2).

#### 4.3.3 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:

- Meteorologische condities zoals luchtdruk en wind beïnvloeden de waterstand van de rivier. Door lokale hoge en lage drukgebieden en door de schuifspanning door wind kan een opstuwning van een of enkele decimeters ontstaan (Zagonjoli, 2018). De ruimtelijke variabiliteit en de lokale beschutting van de rivier maken het echter complex om deze meteorologische forcering mee te nemen. In de keuze van de kalibratieperioden is er rekening mee gehouden dat de invloed in deze perioden door wind beperkt is.
- 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 van de RGWM.
- Ook de interactie van het oppervlaktewater met het grondwater beïnvloedt de volumebalans. Ook zorgt dit voor uitwisseling tussen de Rijntakken en niet-aangetakte plassen. De waterstand in een plas kan alvast stijgen nog voordat er overslag van water over een inlaatwerk plaatsvindt. Er zijn ook aanwijzingen dat kwel tijdens hoogwater vanuit de rivier naar bijvoorbeeld de Betuwe van invloed is op de grootte van de afvoer van gemalen.

#### 4.3.4 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 initiële waterstand in het zomerbed en in plassen goed ingevoerd wordt. Voor rivieren geldt over het algemeen dat initieel alleen het zomerbed (gedeelte) 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 Waterlevel Creation 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, 2017a).

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 het meerdere (simulatie)dagen kan duren voor de stuwpannen 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.

## 4.4 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). In Bijlage D.1 zijn de *D-RTC control groups* van alle kunstwerken schematisch weergegeven.

De geometrie van de kunstwerken wordt opgegeven in een apart invoerbestand. Hierin wordt ook de doorstroombreedte van het kunstwerk opgegeven, die wordt gebruikt in de berekening. Deze waarde kan kleiner dan of gelijk aan de breedte in het rooster zijn.

### 4.4.1 Stuwen Neder-Rijn – Lek

#### 4.4.1.1 Schematisering

De drie stuwcomplexen op de Neder-Rijn – Lek bestaan allen uit twee vizierschuiven (zie ook hoofdstuk 2.5 voor een volledige beschrijving), en zouden daarom bij voorkeur met het kunstwerk-type “gate” worden opgenomen. Ten tijde van de modelopzet is er echter geen afvoercoëfficiënt beschikbaar in combinatie met de *gate*, daarom is ervoor gekozen om de stuwen te implementeren als “general structure”. Dit type kunstwerk is complexer dan een *gate* maar kan gebruikt worden om een *gate* te beschrijven. De afzonderlijke schuiven hebben de volgende afmetingen:

Tabel 4.3 Schematisering van de stuwen.

	Breedte (m)	Drempelhoogte (m+NAP)	Deurhoogte (m)	Coëfficiënt
Driel	48.3	1.25	8.9	1.0
Amerongen	48.3	-2	9.1	1.0
Hagestein	48.3	-4.5	9.0	1.0

In werkelijkheid zijn de vizierschuiven gebogen. De breedte in D-FM is gelijk genomen aan de kortste afstand tussen de linker- en rechteroever. De deurhoogte (afstand tussen de onder- en bovenkant van de deur) is niet exact bekend. Deze is afgeleid van het hoogteverschil tussen de landhoofden en de drempelhoogte van de stuwen.

In operationele toepassingen zal de deurhoogte niet van belang zijn, omdat er in principe geen stroming over de deuren plaatsvindt. De deurhoogte is opgenomen zodat ook een situatie kan worden gesimuleerd waarin de vizierschuif zou falen en dicht blijft. Bovengenoemde eigenschappen zijn vast. D-RTC controleert de “hoogte onderkant deur” (gate lower\_edge\_level).

Voor het afregelen van de contractie en energieverliezen bij een kunstwerk kan met een correctiecoëfficiënt de afvoer over het kunstwerk gekalibreerd worden. Hiermee kan invloed worden uitgeoefend op het moment waarop de stuw volledig gestreken is en op het verval over de stuw in de volledig gestreken toestand. Uit onderzoek is gebleken dat door de complexe wisselwerking van de stroming en formulering van de General Structure het niet mogelijk is om het energieverlies te *verlagen* en daarbij de waterstand bovenstrooms van de stuw te verlagen. Daarom is ervoor gekozen geen verdere aanpassingen te doen aan de correctiecoëfficiënt.

Het verval over de stuw in geopende toestand is wel gevalideerd voor de hoogwaterperiode van januari 2011. De resultaten hiervan zijn gegeven in Bijlage D.3.

#### 4.4.1.2 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 (of in sommige gevallen de afvoer door de stuw) bepaald op basis van de waterstand bij Lobith, en bij kalibratie is het stuwpeil (of de afvoer) gegeven op basis van gemeten tijdseries. De stuwhoogte wordt in beide gevallen gecontroleerd met een PID-controller (vernoemd naar de drie coëfficiënten). Deze PID-controller probeert de waterstanden bovenstrooms van de stuw of de afvoer door de stuw zo goed mogelijk op het stuwpeil of de opgelegde afvoer (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 berekende waterstand of afvoer en het *setpoint*:

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

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

Er zijn twee verschillende versies van de stuwsturing ontwikkeld voor verschillende toepassingen. Bij simulaties van historische perioden wordt gestuurd op metingen. Als in werkelijkheid in de stuwsturing is afgeweken van de officiële stuwsturing dan zal dit hierdoor worden meegenomen in de simulatie. In principe wordt in de sturing gebruik gemaakt van gemeten waterstanden direct bovenstrooms van de stuw. In sommige situaties is echter een sturing op gemeten afvoeren nodig. Dit wordt nader toegelicht in Bijlage F.3.4. De overgang tussen sturing op waterstand en sturing op afvoer (of andersom) is afgeleid uit de meetgegevens. De resulterende stuwsturing wordt kort beschreven in Bijlage D.2.

Bij simulaties met synthetische afvoergolven of voor operationeel gebruik (toekomstige perioden), wordt zoveel mogelijk uitgegaan van de sturingsregels conform het vernieuwde Stuwprogramma 2016. Dit wordt ook wel de operationele stuwsturing genoemd.

In principe wordt hierbij gestuurd op de waterstand bovenstrooms van de stuw. Echter, voor zeer lage afvoeren ( $Q_{\text{Lobith}} < \text{ca. } 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wordt gebruik gemaakt van een andere sturing, waarbij stuw Driel en stuw Hagestein worden gestuurd op afvoer. Stuw Amerongen wordt in dit geval op een constante waterstand gestuurd.

De *control groups* van alle kunstwerken zijn te vinden in Bijlage D.1. De instellingen van de PID-controllers zijn gegeven in Tabel 4.4. In deze tabel is ook aangegeven wanneer de overgang naar sturing op afvoer bij lage afvoeren plaatsvindt. Voor stuw Driel wordt hiervoor gekeken naar de waterstand bij Lobith, terwijl de sturing van stuw Amerongen en Hagestein verandert wanneer de Bernhardsluizen open of dicht gaan. Dit laatste is weer afhankelijk van de waterstand bij station Tiel-Waal, zie ook paragraaf 4.4.4.

Tabel 4.4 Overzicht van de instellingen van de PID-controllers voor kalibratie en validatie. \*Waarden tussen haakjes zijn alleen gebruikt in de kalibratie, en daarna aangepast.

ControlGroup	Condition	Station	Min [m +NAP]	Max [m +NAP]	MaxSpeed [m/s]*	K <sub>P</sub>	K <sub>I</sub>	K <sub>D</sub>
Stuw Driel	$H_{\text{Lobith}} \leq 8.80 \text{ m +NAP}$	NR_890.6_QML_ADM-Driel-boven	1.25	12.25	2.5e-3 (5e-5)	1e-5	1e-6	1e-2
	$H_{\text{Lobith}} > 8.80 \text{ m +NAP}$	NR_891.2_R_LM W_Driel-boven	1.25	12.25	2.5e-3	-1	-0.05	10
Stuw Amerongen	$H_{\text{Tiel-Waal}} < 3.00 \text{ m +NAP}$	-	-	-	-	-	-	-
	$H_{\text{Tiel-Waal}} \geq 3.00 \text{ m +NAP}$	NR_922.0_R_LM W_Amerongen-boven	-2	9	2.5e-3	-1	-0.05	10
Stuw Hagestein	$H_{\text{Tiel-Waal}} < 3.00 \text{ m +NAP}$	LE_946.9_QO_St uw-Hagestein-zuid	-4.5	6.5	2.5e-3 (5e-5)	1e-3	1e-5	1e-2
	$H_{\text{Tiel-Waal}} \geq 3.00 \text{ m +NAP}$	LE_946.6_R_LM W_Hagestein-boven	-4.5	6.5	2.5e-3 (1e-3)	-1	-0.05	10

#### WKC Amerongen

Net als de stuwbogen zelf is de WKC bij Amerongen geïmplementeerd als general structure, die opent door de schuif omhoog te bewegen. Feitelijk zijn het 4 turbines die worden gemodelleerd met een twee cellen breed kunstwerk. Geometrische gegevens zijn opgenomen in Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Schematisering WKC Amerongen.

	Breedte (m)	Drempelhoogte (m+NAP)	Deurhoogte (m)	Coëfficiënt
WKC Amerongen	32	-5	nvt	1.0

De WKC heeft een capaciteit van maximaal  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bij afvoeren lager dan  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  ter plaatse van het stuwcomplex neemt de WKC de sturingsfunctie van de stuw over; de stuw is dan dicht.

Bij afvoeren groter dan 400 m<sup>3</sup>/s gaat 400 m<sup>3</sup>/s door de WKC en de rest door de stuw. De WKC staat dan dus helemaal open, en de stuw wordt op de waterstand bovenstrooms van de stuw gestuurd.

Voor functioneren van de WKC is daarnaast een verval van minimaal 70 cm over het stuwcomplex nodig en een afvoer door de WKC van minimaal 25 m<sup>3</sup>/s.

Samengevat zijn de volgende regels van toepassing op de sturing van de WKC:

- Bij een verval van minder dan 70 cm over het stuwcomplex sluit de WKC.
- Bij een afvoer van minder dan 25 m<sup>3</sup>/s sluit de WKC.
- Bij een totale afvoer van meer dan 400 m<sup>3</sup>/s gaat er 400 m<sup>3</sup>/s door de WKC en de resterende afvoer door de stuwen. De WKC staat helemaal open, de stuw stuurt op de waterstand bovenstrooms van het complex.
- In alle andere gevallen neemt de WKC de sturing (op waterstanden) over van de stuw.

In de praktijk is het met de huidige modelopzet nog niet mogelijk om deze regels in het model te implementeren. Bij afvoeren groter dan 400 m<sup>3</sup>/s kan niet worden gegarandeerd dat er daadwerkelijk 400 m<sup>3</sup>/s door de WKC gaat, ook al staat deze helemaal open, terwijl tegelijkertijd de stuw aan het sturen is. Daarom is besloten om op dit moment nog geen gebruik te maken van de WKC, hoewel deze wel in het model is opgenomen. Dat wil zeggen dat de WKC nu altijd dicht staat en dat voor de sturing alleen van de stuw gebruik wordt gemaakt.

#### 4.4.2 Regelwerken

De regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij bestaan elk uit een aantal schotten. Omdat telkens één roostercel twee openingen bedekt, worden in D-HYDRO de schotten per twee vastgezet. De regelwerken zijn geïmplementeerd als general structure. Tijdens de kalibratie van het model wordt voor de regelwerken géén gebruik gemaakt van D-RTC. De instellingen van de regelwerken tijdens de kalibratie- en validatieperioden zijn bekend. De hoogte van de schotten wordt ingevoerd als drempelhoogte van het kunstwerk.

In het operationele model hebben beide regelwerken een vaste instelling. Per regelwerk hebben alle schotten hetzelfde niveau. Dit niveau is zo bepaald dat bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (zonder lateralen) de gewenste afvoerverdeling ter plaatse van de splitsingspunten zo goed mogelijk wordt gehandhaafd. Het niveau wordt bepaald op basis van een berekening met een actieve sturing voor de regelwerken (die dus niet operationeel wordt gebruikt). Met behulp van een PID-controller (zie paragraaf 4.4.1) wordt het niveau van de overlaat gestuurd op de gewenste afvoer naar de Waal ter plaatse van de Pannerdensche Kop (regelwerk Pannerden) en de gewenste afvoer naar de Neder-Rijn bij de IJsselkop (regelwerk Hondsbroeksche Pleij). De afvoer naar de andere takken (Pannerdens Kanaal, IJssel) klopt dan automatisch ook. Met deze simulatie wordt per regelwerk de gemiddelde drempelhoogte vastgesteld. Voor toepassing in de praktijk wordt dit niveau door RWS vertaald naar een instelling per schot. De schotten kunnen immers niet elk gewenst niveau hebben, maar kunnen met stappen van 1 m (Pannerden) en 1,05 m (Hondsbroeksche Pleij) verhoogd of verlaagd worden. Hierbij mag de drempelhoogte van Regelwerk Pannerden variëren tussen 12.0 en 17.0 m +NAP, en de drempelhoogte van de Hondsbroeksche Pleij tussen 11.0 en 15.2 m +NAP.

#### 4.4.3 Inlaat Veessen-Wapenveld

De inlaat van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld bestaat uit 60 schotten, die bij hoge waterstanden op de IJssel (>5.65 m+NAP) worden geopend, zie ook de beschrijving in hoofdstuk 2.5.2.2).

In het zesde-generatiemodel wordt dit kunstwerk bedekt door 30 roostercellen, iedere cel beslaat dus twee schotten. De afzonderlijke schotten zijn per twee geïmplementeerd als *general structure*, en hebben de volgende dimensies:

- Drempelhoogte: 4.65 m+NAP.
- Hoogte schotten: 1.06 m.
- Hoogte onderkant geopende schuif: 6.60 m+NAP.
- Breedte (dubbele) schuiven: 24 m.

De sturing van het kunstwerk gebeurt op basis van het bovenstroomse uitvoerpunt *IJ\_961.2\_L\_ov\_Inlaat-Veessen-boven*. Zodra de waterstand op dit punt 5.65 m +NAP overschrijdt, opent de eerste serie schuiven. In tegenstelling tot de werkelijke situatie wordt er vervolgens niet gewacht tot de waterstand benedenstrooms van het kunstwerk voldoende is gestegen. In het model wordt ervan uitgegaan dat het twee uur duurt tot de waterstand achter het kunstwerk voldoende is gestegen. Twee uur na het openen van de eerste 10 kleppen wordt dus gestart met het openen van de volgende serie schuiven.

De sturing is in het model met een *relative time rule* als volgt geïmplementeerd:

Tijd (seconden)	Tijd (minuten)	Schot	Hoogte onderkant schot
0 - 5040	0 – 84	11 - 24	van 4.65 naar 6.60 m +NAP
12240 - 16560	204 – 276	25 - 36	van 4.65 naar 6.60 m +NAP
16560 - 20160	276 – 336	1 – 10	van 4.65 naar 6.60 m +NAP
20160 - 28800	336 – 480	37 – 60	van 4.65 naar 6.60 m +NAP

Het sluiten van het kunstwerk gaat volgens het protocol direct van start als de waterstand tot onder de drempel is gezakt. In werkelijkheid zal de drempel nog moeten worden vrijgemaakt van obstakels. In het D-HYDRO-model wordt het volledige kunstwerk in 6 uur gesloten nadat de waterstand onder de drempel komt.

#### 4.4.4 Kunstwerken Betuwepand

##### 4.4.4.1 Bernhardsluizen, Marijkesluizen en keerschuif Ravenswaaij

Zowel de Bernhardsluizen als de Marijkesluizen zijn geïmplementeerd met het kunstwerktipe 'gate' (hoewel de Marijkesluizen eigenlijk deuren hebben die horizontaal bewegen). De keerschuif Ravenswaaij is opgenomen als 'general structure'. De dimensies van de kunstwerken in het model zijn opgenomen in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Schematisering kunstwerken Betuwepand.

Naam	Drempelhoogte (m+NAP)	onderkant deur (open) (m+NAP)	Breedte (m)
Ravenswaaij	-2,35	11,65	84,65
Prinses Marijkesluis oost	-2,00	8,00	21,80
Prinses Marijkesluis west	-2,00	8,00	21,80
Prins Bernhardsluis oost	-2,00	8,00	27,00
Prins Bernhardsluis west	-2,00	8,00	20,80

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 2.5.1.3, waarmee de 'GateLowerEdgeLevel' wordt aangestuurd.

Tijdens de kalibratie en validatie vindt sturing plaats op basis van een tijdreeks waarin de momenten van openen en sluiten zijn opgenomen.

#### 4.4.4.2 Gemaal Marijkesluizen

De Marijkesluis oost is voorlopig gebruikt als pomp om het gemaal te kunnen modelleren. Het werkelijke gemaal ligt naast het sluisencomplex (en er zitten pompen in de keerschuif). Het bleek niet mogelijk om een andere locatie voor een kunstwerk te vinden. Voor de aansturing van de pomp kan in D-HYDRO helaas geen gebruik gemaakt worden van een gemeten waterstand (bij Tiel-kanaal). Voor de kalibratie en validatie is daarom het pompdebiet berekend uit waterstanden en opgelegd als lateraal (zie verder Bijlage F.5.4.2). Operationeel stuurt de pomp op een streefwaterstand.

#### 4.4.5 Duikers en inlaatsluizen

De inlaatwerken zoals genoemd in hoofdstuk 2.5.1.5 betreffen twee typen kunstwerken, namelijk duikers en coupures. De zomerdijken waarvan de inlaatwerken onderdeel zijn, bestrijken altijd meerdere roosterzellen (orde grootte van deze dijken is enkele kilometers). De zomerkades zijn opgenomen in D-HYDRO als overlaat (fixed weir). Wanneer de waterstand lager is dan de opgegeven kruinhoogte van de zomerdijk, wordt de stroming geblokkeerd. Omdat de inlaatwerken meestal kleiner zijn dan een enkele roostercel, is ervoor gekozen om deze te schematiseren als kunstwerken. Omdat projectie van een kunstwerk in principe "voorrang heeft" op de projectie van een overlaat, wordt de zomerdijk op de locatie van het inlaatwerk onderbroken door de duiker of coupure. De drempelhoogtes en breedtes van de afzonderlijke inlaatwerken zijn aangeleverd door RWS-ON. Via bodemaanpassingen aan weerszijden van het kunstwerk is ervoor gezorgd dat er bij waterstanden hoger dan de drempelhoogte ook water bij het kunstwerk kan komen.

Tabel 4.7 Dimensies en modelinstellingen duikers en inlaatsluizen.

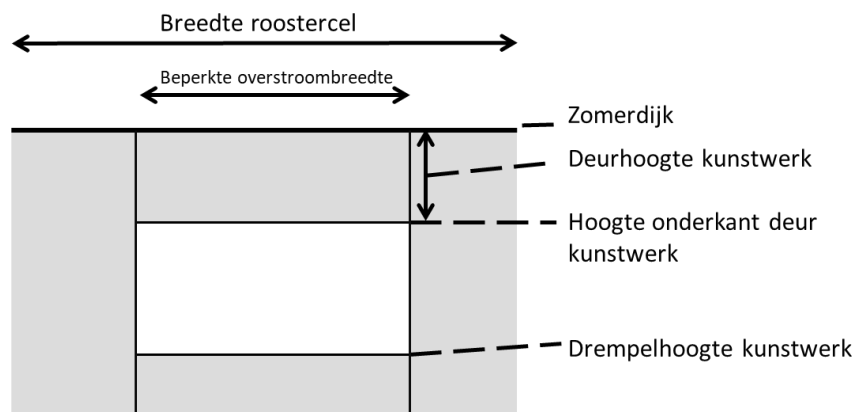
Naam	Type structure	Hoogte zomerkade (m+NAP)	Crest Level (m+NAP)	Crest Width (m)	Gate Lower Edge Level (m+NAP)	Gate Height (m)	Gate Opening Width (m)
Wissense waarden	general structure	10,90	9,59	33,83	9,59	1,31	8,80
Gouverneurspolder	general structure	9,50	8,94	37,85	8,94	0,56	3,60
Drutense waarden	gate	9,05	6,10	3,00	7,60	1,45	0,00
Stiftse waarden	general structure	7,80	6,36	18,40	6,36	1,44	4,00
Heerewaarden	general structure	8,08	7,68	28,43	7,68	0,40	11,00
Scherpekamp	gate	15,56	11,20	6,00	13,00	2,56	0,00
Huissen Noord	gate	13,54	10,30	15,00	10,88	2,66	0,00
Opheusden	gate	9,80	7,10	9,00	7,60	1,40	0,00
Randwijk	gate	10,20	7,60	15,00	8,10	2,10	0,00
Maurik	general structure	8,30	6,13	26,20	6,13	2,17	2,40

<b>Amerongen 917.9</b>	general structure	8,50	6,40	38,10	6,40	2,10	2,30
<b>Amerongen 918.9</b>	general structure	8,40	6,45	32,50	6,45	1,95	2,50
<b>Beusichem</b>	general structure	6,80	5,58	40,90	5,58	0,95	2,70
<b>Middelwaard</b>	general structure	5,00	2,85	38,40	2,85	2,15	2,95

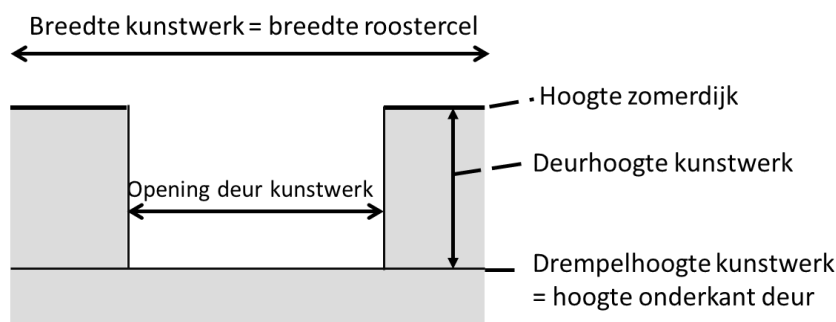
Voor duikers is ervoor gekozen om deze te implementeren als kunstwerk type “gate” en voor coupures kunstwerktype “general structure” (waarvan “gate” in principe een speciaal geval is). Een *gate* heeft de eigenschappen *CrestLevel* (drempelhoogte), *CrestWidth* (breedte van de opening), *GateLowerEdgeLevel* (hoogte onderkant deur), *GateHeight* (deurhoogte) en *GateOpeningWidth* (horizontale opening deur). Een general structure heeft nog veel meer eigenschappen, maar alleen bovengenoemde eigenschappen van de *gate* worden specifiek gebruikt.

De duikers en coupures worden als volgt geschematiseerd:

- **Duiker** (Figuur 4.12): De drempelhoogte (*CrestLevel*) is gelijk aan het laagste punt van de duiker (onderkant buis), en de hoogte onderkant deur (*GateLowerEdgeLevel*) wordt gelijk gezet aan de drempelhoogte plus doorstroomhoogte van de duiker (bovenkant buis). De deurhoogte (*GateHeight*) wordt berekend als kruinhoogte van de zomerkade minus bovenkant buis ( $GateHeight = hoogte\ zomerdijk - GateLowerEdgeLevel$ ). Op deze manier loopt de zomerkade door in de cel waar de duiker wordt geprojecteerd en laat de zomerdijk al water door wanneer de waterstand de drempelhoogte van de duiker bereikt. Bij hogere waterstanden kan de duiker ook overstromen. Omdat de overlaat (zomerdijk) wordt onderbroken door het kunstwerk (duiker), ligt er in de volledige cel geen zomerdijk. De overstromingsbreedte is dus gelijk aan de kunstwerkbreedte (*CrestWidth*), en wordt daarmee beperkt door de breedte van de duiker. Voor de huidige toepassing is geconcludeerd dat dit geen beperking vormt: over de totale lengte van de zomerdijk (orde grootte kilometers), is een vermindering van enkele meters verwaarloosbaar.
- **Coupure** (Figuur 4.13): Voor de schematisatie van een coupure wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheid om een ‘general structure’ in horizontale richting te openen. De drempelhoogte (*CrestLevel*) is gelijk aan het laagste punt van de coupure (en dit is tevens de waarde van *GateLowerEdgeLevel*). De deurhoogte van het kunstwerk (*GateHeight*) is gelijk aan de kruinhoogte van de zomerdijk minus de drempelhoogte van de coupure ( $GateHeight = hoogte\ zomerdijk - CrestLevel$ ). De totale breedte van het kunstwerk (*CrestWidth*) is (ongeveer) gelijk aan de lengte van de rooster cel, waarbij de deuren in horizontale richting geopend zijn met de breedte van de coupure zelf (*GateOpeningWidth*). Op deze manier laat het kunstwerk met de juiste breedte water door bij zowel lage als hoge waterstanden.



Figuur 4.12 Schematisatie van een duiker door middel van een kunstwerk type "gate".



Figuur 4.13 Schematisatie van een coupure door middel van een kunstwerk type "general structure".

In de toekomst wordt het mogelijk om duikers en coupures, maar ook andere doorlaatmiddelen zoals bijvoorbeeld tunnels en sluiskolken te modelleren met een 1D-2D-koppeling.

#### 4.4.6 Bruggen

De opstuwung van een brug bestaat uit twee aspecten:

- 1 Allereerst belemmert het grondlichaam van het bruggenhoofd de stroming door de uiterwaarden.
- 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 roosterzellen met brugpijlers. Uit onderzoek is echter gebleken dat dit een forse onderschatting gaf van de hydraulische weerstand. In de zesde-generatie worden brugpijlers gemodelleerd 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, 2019b).

Wanneer twee of meer brugpijlers samen in één roostercel terechtkomen levert deze implementatie een te groot energieverlies op.



Daarom zijn brugpijlers die kort achter elkaar staan (in stroomrichting) deels verwijderd<sup>5</sup>. 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.

## 4.5 Definitie ruwheden

In het model wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk variërende ruwheid. In Baseline is een ruwheidsklasse gespecificeerd, en bij de conversie naar D-HYDRO wordt voor ieder snelheidspunt (flow link) bepaald voor hoeveel procent de ruwheid afhankelijk is van de verschillende ruwheidsklassen 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-2019\_6\_rijntakken-v1.ttd*, een geconverteerde versie van het bestand *roughcombination-all-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 C.7.4.

### 4.5.1 Zomerbed

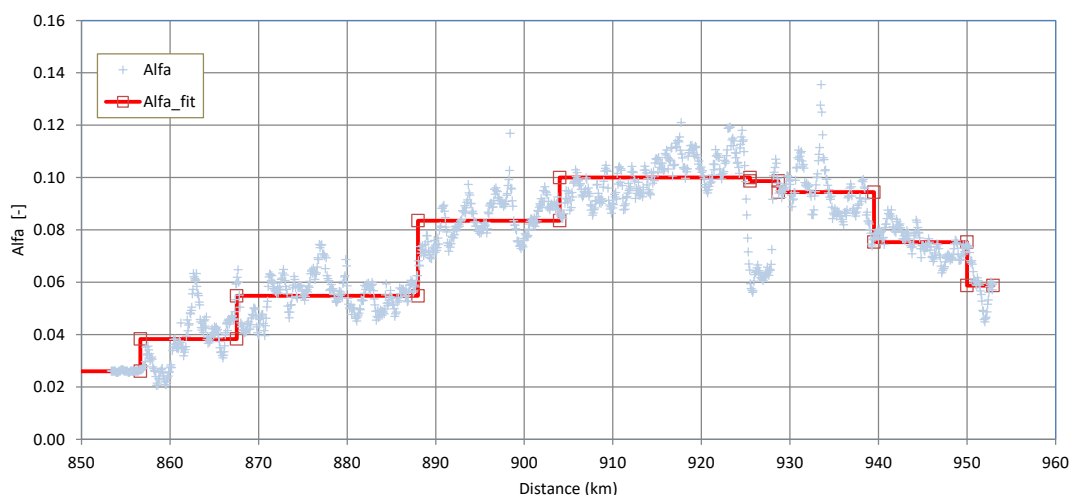
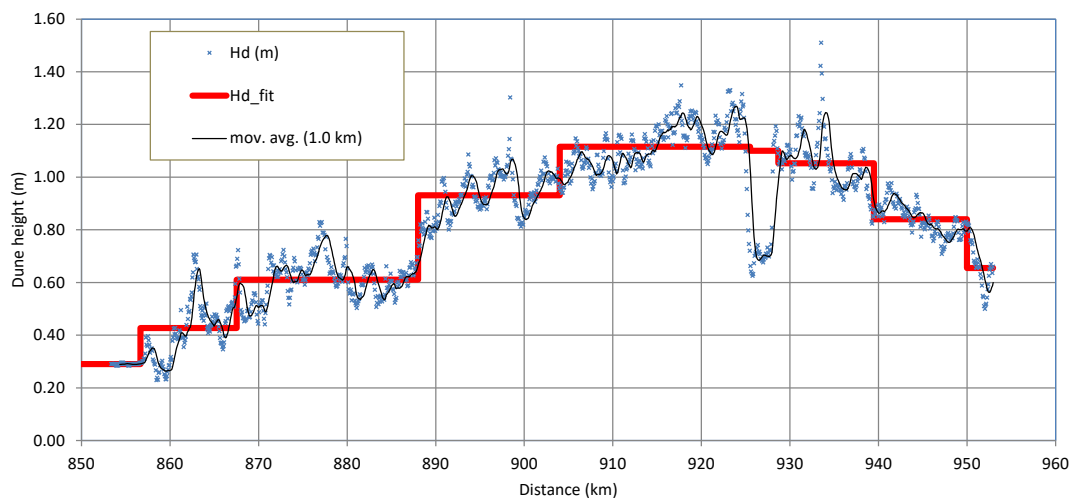
In tegenstelling tot de modellen van de vijfde generatie wordt de zomerbedruwheid niet direct gebruikt voor de kalibratie. In plaats daarvan wordt een kalibratiefactor toegepast bovenop een achtergrondruwheid (meer informatie volgt in paragraaf 5.1.1). De achtergrondruwheid is de basis van de kalibratie en 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 is gebruik gemaakt van de Van Rijn formule (1984), een ruwheidsschatter op basis van duinhoogtes waarin de korrelweerstand is genegeerd en alleen naar duinhoogtes is gekeken (zie voor de volledige analyse Bijlage C.7.2). Uit verschillende datasets (zie Bijlage C.7.1) is een gemiddelde duinhoogte en ruwheidscoëfficiënt bepaald. Op basis van de ruimtelijke trends in duinhoogte zijn alle takken opgesplitst in trajecten met verschillende ruwheidscoëfficiënten. Voor trajecten met vaste lagen en bodemkribben is een aparte aanpak gebruikt. Het resultaat voor de Boven-Rijn en Waal is weergegeven in Figuur 4.14. Het resultaat voor de overige takken en de volledige afleiding van de achtergrondruwheid zijn gegeven in Bijlage C.7.2.

Later is nog één handmatige aanpassing doorgevoerd op de Boven-Rijn (zie Bijlage 0). Tijdens de kalibratie van het model kwam namelijk naar voren dat de op bovengenoemde wijze bepaalde initiële ruwheid voor het meest bovenstroomse traject in Duitsland aan de lage kant lijkt te zijn. De initiële ruwheid is namelijk alleen bepaald op basis van de duinhoogte en de korreldiameter is niet meegenomen. De korreldiameter neemt echter toe naarmate je verder bovenstrooms gaat, waardoor verwacht wordt dat dit de ruwheid verder verhoogt. Er is dus uiteindelijk voor gekozen om de waarde van het meest bovenstroomse traject gelijk te nemen aan het traject direct benedenstrooms hiervan. Dit wordt nader uitgelegd in Bijlage 0.

---

<sup>5</sup> De verwijderde brugpijlers zijn apart in Baseline bewaard zodat deze in de toekomst eventueel weer kunnen worden toegevoegd.



Figuur 4.14 Ruwheidstrajecten op de Boven-Rijn en Waal, waarin  $H_d$  de duinhoogte is, en Alfa de ruwheidscoëfficiënt zoals in de Van Rijn-formule. De trajecten met vaste lagen en bodemkribben zijn apart behandeld (zie Bijlage C.7.2).

De uiteindelijke indeling van het zomerbed in trajecten voor de achtergrondruwheid is gegeven in Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Trajecten voor achtergrondruwheid van het zomerbed.

#	Traject	Formule	Parameter Simplified van Rijn: $A [m^{0.3}]$ Nikuradse: $k [m]$
<b>Boven-Rijn en Duitse Rijn</b>			
2000	DR_846.5-851.9	Simplified van Rijn	0.038
2001	DR_851.9-856.7	Simplified van Rijn	0.038
2002	BR_856.7-867.5	Simplified van Rijn	0.038
<b>Waal</b>			
2003	WL_867.5-873.2	Simplified van Rijn	0.055
2004	WL_Bodemkribben-Erlecom	Nikuradse	0.68
2005	WL_binnenbocht-bodemkribben-Erlecom	Simplified van Rijn	0.070
2006	WL_876.0-883.1	Simplified van Rijn	0.055
2007	WL_Vaste-laag-Nijmegen	Nikuradse	0.63

#	Traject	Formule	Parameter Simplified van Rijn: A [m <sup>0.3</sup> ] Nikuradse: k [m]
2008	WL_binnenbocht-vaste-laag-Nijmegen	Simplified van Rijn	0.058
2009	WL_885.1-888.0	Simplified van Rijn	0.055
2010	WL_888.0-904.0	Simplified van Rijn	0.083
2011	WL_904.0-925.0	Simplified van Rijn	0.100
2012	WL_Vaste-laag-Sint-Andries	Nikuradse	0.34
2013	WL_binnenbocht-vaste-laag-Sint-Andries	Simplified van Rijn	0.100
2014	WL_928.2-939.5	Simplified van Rijn	0.094
2015	WL_939.5-951.0	Simplified van Rijn	0.075
<b>Boven-Merwede</b>			
2016	BO_951.0-962.5	Simplified van Rijn	0.050
<b>Pannerdensch Kanaal</b>			
2017	PK_867.7-874.0	Simplified van Rijn	0.057
2018	PK_874.0-878.6	Simplified van Rijn	0.040
<b>Neder-Rijn</b>			
2019	NR_878.6-891.5	Simplified van Rijn	0.047
2020	NR_891.5-922.3	Simplified van Rijn	0.047
2021	NR_922.3-LE_946.8	Simplified van Rijn	0.049
2022	LE_946.8-954.0	Simplified van Rijn	0.075
2023	LE_954.0-960.0	Simplified van Rijn	0.050
2024	LE_960.0-988.7	Simplified van Rijn	0.045
<b>IJssel</b>			
2025	IJ_878.6-920.0	Simplified van Rijn	0.044
2026	IJ_920.0-937.0	Simplified van Rijn	0.075
2027	IJ_937.0-954.0	Simplified van Rijn	0.092
2028	IJ_954.0-965.0	Simplified van Rijn	0.083
2029	IJ_965.0-980.0	Simplified van Rijn	0.064
2030	IJ_980.0-992.0	Simplified van Rijn	0.050
2031	IJ_992.0-1001.8	Simplified van Rijn	0.043
2032	KE_1001.8-1006.0	Simplified van Rijn	0.043

#### 4.5.2 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 4.9. 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, 2022).

Van een grote lijst met enkele honderden klassen (zie Bijlage C.7.4) is slechts een klein deel in gebruik in de schematisatie van het actuele model van de Rijntakken. Naast de ruwheidsklassen van polygonen is er ook nog een klein deel van de ruwheden verwerkt in punten en lijnen.

Tabel 4.9 Overzicht ruwheidsformuleringen in het winterbed. Aangegeven is ook de reservering van de ruwheidscodes voor verschillende types 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	Trachytopencodes (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>6</sup>	152	1201 – 1400
Bomen	251	1501 – 1600
Hedges 2 <sup>7</sup>	202	1601 – 1700
Combinaties	2	1801 – 2000

## 4.6 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 E. In onderstaande secties zijn enkele belangrijke keuzes toegelicht (deels overgenomen uit Spruyt et al. (2017a)). Voor de overige instellingen wordt verwezen naar Paragraaf 4.3 en Bijlage C in Spruyt et al. (2017a). Hier wordt alleen in uitzonderlijke gevallen van afgeweken en alleen als hier een goed onderbouwde reden voor is.

### 4.6.1 Bodemhoogtediscretisatie

In D-HYDRO zijn diverse instellingen mogelijk voor de locatie van de bodemhoogtes (zie de *BedlevTypes* in Figuur 4.15). Voor toepassing van morfologie is alleen voor 'bodemhoogtes in roostercellen' een volledige en gevalideerde implementatie beschikbaar. Deze aanpak is overgenomen uit Delft3D. Voor hydrodynamische modelschematisaties zijn beide aanpakken (*BedlevType*=1 of 3) mogelijk. De verschillen in resultaten zijn voor 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 Spruyt et al. (2017a) beschreven hoe uitgaande van een hydrodynamisch model met de bodemhoogte op hoekpunten een morfologiemodel kan worden afgeleid.

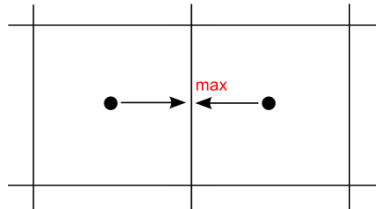
<sup>6</sup> Formulering gebaseerd op het werk van Klopstra et al. (1996), met de aanpassing door Van Velzen et al. (2003ab), zie ook de D-Flow FM User Manual (Deltares, 2022a).

<sup>7</sup> Formulering voor het modelleren van lijnelementen zoals heggen, waarbij er vanuit wordt gegaan dat deze volledig overstroomd zijn (zelfde formulering als in WAQUA werd toegepast), zie ook de D-Flow FM User Manual (Deltares, 2022a).

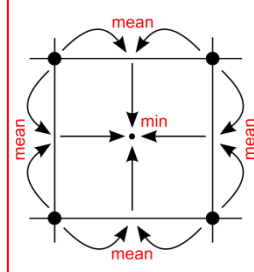
Er wordt geen gebruik gemaakt van interpolatie-(averaging-)algoritmen in DFlow-FM. In plaats daarvan wordt de bodemhoogte direct in het roosterbestand verwerkt door BAS2FM. Deze bodemhoogte wordt geprikt uit het Baseline-hoogtemodel op de locatie van de hoekpunten.

Naast de bodemhoogtes in hoekpunten ( $BedlevType=3$ ) wordt  $Conveyance2D = -1$  toegepast. Deze goed werkende optie is gekozen omdat de overige opties voor  $Conveyance2D$  niet beschikbaar zijn in 3D-modellen en we ook de instellingen voor 2D en 3D modellen zo veel mogelijk op elkaar willen laten aansluiten.

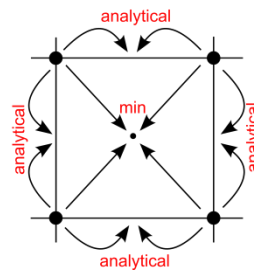
$BedlevType = 1$



$BedlevType = 3, Conveyance2D = -1$



$BedlevType = 3, Conveyance2D \geq 1$



Figuur 4.15 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van  $BedlevType$  en  $Conveyance2D$  de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd. Rood omljnd is de gekozen discretisatie.

#### 4.6.2 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 kunstwerken (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-generatiemodellen wordt gebruik gemaakt van de zogeheten ‘Villemonte’ 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-generatiemodellen besloten om deze ruwere overlaten niet toe te passen.

#### 4.6.3 Horizontale viscositeit en diffusiviteit

D-HYDRO lost de ondiep watervergelijkingen op 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'.

De horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiviteit worden meestal geassocieerd met de bijdrage van horizontale turbulente bewegingen en forceringen die niet worden weergegeven op het rooster of door de Reynolds-gemiddelde ondiep-watervergelijkingen. De horizontale coëfficiënten worden verondersteld te bestaan uit drie delen:

- i. Een deel door moleculaire viscositeit.
- ii. Een deel door '2D-turbulentie'.
- iii. Een deel door '3D-turbulentie'.

Voor de horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiviteit kan een constante (of ruimtelijk variërende) achtergrondwaarde worden opgegeven. 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-generatiemodellen gebruik gemaakt van de Smagorinsky-formulering (met constante  $C_s = 0,20$ ) samen met de constante achtergrondviscositeit (waarde van 0,1).

#### 4.6.4 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 deze instelling 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-generatiemodellen uitgaan van overzichtsmodellering is het effect echter zeer klein en wordt in de zesde-generatiemodellen (net als in de vijfde generatie) gebruik gemaakt van ruwheid op basis van de vrije slip (irov=0).

#### 4.6.5 DIMR en rekentijdstappen

Om de rekenharten (D-RTC en DFlow-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 modellen. Deze communicatietijdstap is gespecificeerd op 1 minuut. Na iedere minuut worden waterstanden en afvoeren van DFlow-FM doorgegeven aan D-RTC. Met behulp van de gegeven logica uit Paragraaf 4.4 berekent D-RTC een nieuwe stand van de kunstwerken waarna deze worden teruggegeven aan DFlow-FM. Deze stuw- en keringstanden worden gedurende de volgende minuut gebruikt in de berekening van DFlow-FM, waarna dit proces zich herhaalt.

Het rekenhart van DFlow-FM hanteert een eigen rekentijdstap. 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 kleine roosterzellen zal het CFL-criterium de rekentijdstap verkleinen. Omdat slechts één rekencel hierdoor de rekentijdstap van het hele model kan beïnvloeden dienen kleine rekencellen op locaties met hoge stroomsnelheid voorkomen te worden.

Door de gebruiker wordt daarnaast een *User time step* gespecificeerd. Dit is het interval waarmee randvoorwaarden worden geüpdatet (en is dus iets anders dan de communicatietijdstap tussen D-Flow en D-RTC). Het interval waarmee modeluitvoer wordt gegenereerd is een veelvoud van de *User time step*. Om te zorgen dat op de juiste momenten modeluitvoer beschikbaar is wordt de rekentijdstap zo aangepast dat de *User time step* hier een veelvoud van is.

## 5 Kalibratie

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 of door fouten in de berekende energieverliezen van kribben. De kalibratie zal ook compenseren voor onbedoelde fouten in Baseline-schematisaties en randvoorwaarden.

### 5.1 Methodiek

#### 5.1.1 Kalibratiefactor

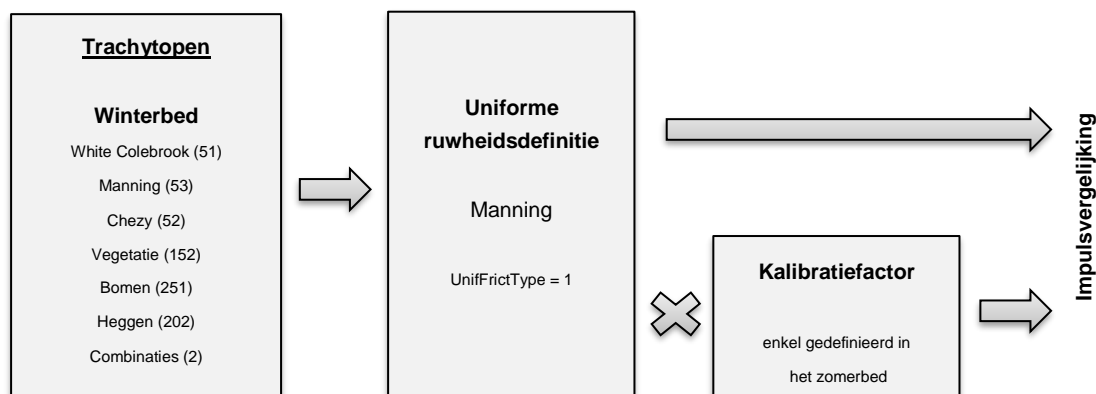
Voor de kalibratie van het model worden niet langer aanpassingen gedaan aan de definitie van de trachytopenruwheden (in het .ttd-bestand), maar wordt gebruik gemaakt van een nieuwe ruimtelijke variabele: de kalibratiefactor.

De werking van de kalibratiefactor is weergegeven in Figuur 5.1. 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 (.cfl-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 5.1 Werking van de kalibratiefactor.



### 5.1.2 Kalibratietrajecten

Voor de toepassing van de kalibratiefactor worden de Rijntakken opgedeeld in kalibratietrajecten. De kalibratietrajecten worden op analoge manier gekozen als in de vijfde generatie. De trajecten zijn onafhankelijk van de trachytopen en laten daardoor toe om zowel het zomerbed als het winterbed 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 van het zomerbed (sectie 1) volgens de meest recente informatie (de bodemligging uit 2016). Voor meer informatie en achtergrond van deze keuze wordt verwezen naar het memo van Kusters & Niesten (2019).

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 (Landelijk Meetnet Water (LMW-)stations en het Duitse meetpunt Emmerich (BfG)). 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. In principe worden alleen meetstations met een hoge meetfrequentie (10 minuten of één uur) gebruikt voor de kalibratie. Meetstations met etmaalwaarden zullen gebruikt worden ter validatie. Een overzicht van de trajecten zoals gebruikt in de zesde generatie is gegeven in Tabel 5.1 in combinatie met de beschikbare LMW-stations in 1995 en de huidige. Om hoge afvoeren te kalibreren worden perioden in 2011 en 1995 gebruikt. Hiervoor zijn minder LMW-stations met hoogfrequente metingen beschikbaar dan voor de recentere kalibratieperioden. Kalibratietrajecten behorend bij een in 2011 of 1995 missend station worden samen met het eerstvolgende bovenstroomse traject gekalibreerd. Hierbij wordt de verhouding tussen de kalibratiefactoren op deze trajecten, zoals bepaald in recente kalibratieperioden, behouden.

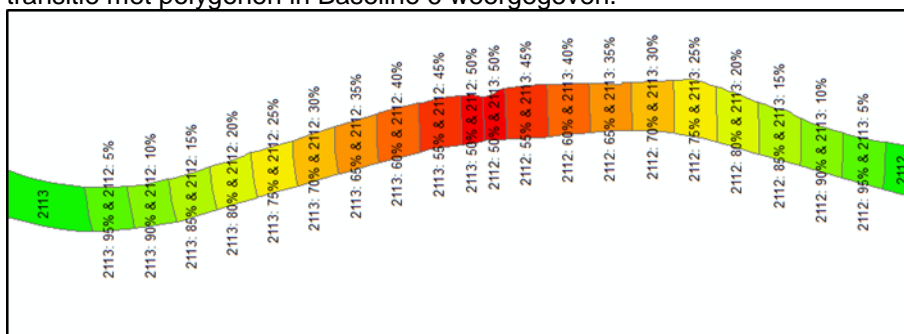
Eén van de nieuwe stations in de zesde generatie is Tiel-kanaal. Dit ligt in het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en wordt gebruikt als kalibratie- en validatiestation en was ook al aanwezig in 1995. In feite wordt het traject Amerongen beneden-Culemborg gesplitst door het extra meetstation. Het Betuwepand wordt niet apart gekalibreerd, omdat hier geen nauwkeurige afvoermetingen beschikbaar zijn en omdat het verhang te klein is. Eenzelfde redenering geldt voor Eefde-beneden dat in het Twentekanaal nabij sluis Eefde ligt.

In afstemming met de Rijn-Maasmonding loopt het kalibratietraject op de Boven-Merwede tot aan de Merwedekop en niet tot het meetpunt Werkendam-buiten dat voorbij de kop ligt.

Daarnaast zijn de kalibratietrajecten gesplitst op een aantal locaties waar het water via een parallelle tak kan stromen zoals bij Varik-Heesselt en Veessen-Wapenveld. Op deze manier is het mogelijk om de afvoerafhankelijke ruwheid alleen te baseren op de afvoer door de hoofdstroom.

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<sup>boven</sup>* tot *stuw<sup>beneden</sup>*) 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. Alleen het meetpunt benedenstrooms van de stuw wordt gebruikt bij de kalibratie van de ruwheid. Het verval over de stuw wordt nu gekalibreerd door de verliescoëfficiënt van de stuw in volledig geopende toestand te kalibreren (zie ook paragraaf 4.4.1.1 en 5.1.7). Voor de Rijntakken worden voor zowel ruwheids- als kalibratiefactorcodes waardes startend vanaf 2000 gebruikt (De Jong, 2019a).

De overgang 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 in Baseline. In Figuur 5.2 is de transitie met polygoon in Baseline 6 weergegeven.



Figuur 5.2 Transitie tussen twee kalibratietrajecten. Voor iedere polygoon is aangegeven voor hoeveel procent dit afhankelijk is van de kalibratiefactoren van 2112 en 2113.

Omdat een glatte overgang tussen drie kalibratietrajecten (nog) niet mogelijk is, worden de overgangen bij de drie splitsingspunten (Pannerdensche Kop, IJsselkop en de splitsing Keteldiep-Kattendiep) in de benedenstroomse takken gelegd. Voor kalibratie van de afzonderlijke takken is deze keuze nog niet van belang: omdat het bovenstroomse kalibratietraject dan niet is opgenomen in het model (bijvoorbeeld Boven-Rijn in het geval van het Waal-takmodel), is de glatte overgang op de bovenrand verwijderd.

Tabel 5.1 Kalibratietrajecten en bijbehorende LMW-meetstations in het zesde-generatiemodel. Let op: dit zijn niet dezelfde trajecten als in Tabel 4.8 (ruwheidstrajecten), hoewel de nummering in beide gevallen bij 2000 begint en oploopt in benedenstroomse richting.

traject	code	LMW-stations 1995	Huidige LMW-stations	rkm
<b>Boven-Rijn</b>				
Emmerich – Lobith	2000	Lobith	Emmerich (BfG)	851,9
Lobith – Lobith haven	2001		Lobith	862,2
Lobith Haven – Pannerdensche Kop	2002		Lobith Haven	863,9
<b>Waal</b>				
Pannerdensche Kop – Nijmegen	2003	Pannerdensche Kop	Pannerdensche Kop	867,2
Nijmegen – Dodewaard	2004	Nijmegenhaven	Nijmegenhaven	884,9
Dodewaard – Tiel	2005		Dodewaard	901,4
Tiel – Varik	2006	Tiel Waal	Tiel Waal	913,3
Varik – Sint Andries	2007			
Sint Andries - Heesselt	2008			
Heesselt - Zaltbommel	2009			
Zaltbommel – Vuren	2010	Zaltbommel	Zaltbommel	934,8
Vuren – Merwedekop	2011	Vuren	Vuren	951,8
<b>Pannerdensch Kanaal</b>				
Pannerdensche Kop – Pannerden	2012	Pannerdensche Kop	Pannerdensche Kop	867,2
Pannerden – Looveer	2013		Pannerden	871,8
Looveer – IJsselkop	2014		Looveer	876,4
<b>Neder-Rijn / Lek</b>				
IJsselkop – Arnhem	2015	IJsselkop	IJsselkop	878,5
Arnhem – stuw Driel	2016			

traject	code	LMW-stations 1995	Huidige LMW-stations	rkm
Stuw Driel – Grebbe	2017	Driel beneden	Driel beneden	891,7
Grebbe – stuw Amerongen	2018		Grebbe	908,1
Stuw Amerongen – Tiel kanaal	2019	Amerongen beneden	Amerongen beneden	922,5
Tiel kanaal – Culemborg	2020		Tiel Kanaal	70,8
Culemborg – stuw Hagestein	2021	Culemborgbrug	Culemborg	939,8
Stuw Hagestein – Schoonhoven	2022	Hagestein beneden	Hagestein beneden	947,1
Schoonhoven – Krimpen a/d Lek	2023	Schoonhoven	Schoonhoven	971,6
<b>IJssel</b>				
IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij	2024	IJsselkop	IJsselkop	878,5
Hondsbroeksche Pleij – Westervoort	2025		Hondsbroeksche Pleij IJssel	879,6
Westervoort – De Steeg	2026		Westervoort- IJsseldijkerwaard	881,1
De Steeg – Doesburg	2027		De Steeg	890,7
Doesburg – Zutphen	2028	Doesburgbrug	Doesburg brug	903,0
Zutphen – Eefde beneden	2029	Zutphen noord	Zutphen noord	929,3
Eefde beneden – Deventer	2030		Eefde beneden	931,2
Deventer – Olst	2031		Deventer	945,0
Olst – Veessen	2032	Olst	Olst	957,1
Veessen - Wijhe	2033		Wijhe	965,2
Wijhe – Wapenveld	2034			
Wapenveld – Katerveer	2035	Katerveer	Katerveer	980,8
Katerveer – Reevediep	2036			
Reevediep – Kampen	2037			
Kampen – Keteldiep	2038	Kampenbovenhaven	Kampenbovenhaven	994,5
Keteldiep – einde Keteldiep	2039		Keteldiep	1001,3

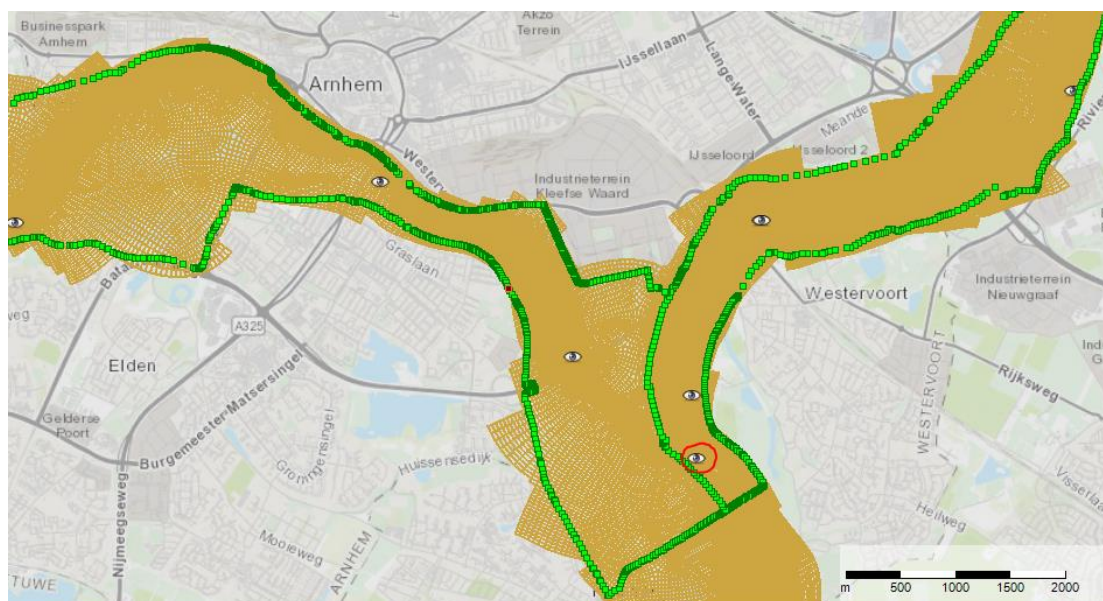
\* metingen bij meetpunt Arnhem voor de gebruikte jaren van 2010-2017 zijn geen echte meting, maar een berekening op basis van omliggende meetstations (en worden daarom niet gebruikt in de kalibratie).

Tabel 5.2 Overige LMW-stations.

LMW-station	Waterlichaam	rkm
Groene Rivier Pannerden boven	Pannerdensch Kanaal	869,3
Groene Rivier Pannerden beneden	Pannerdensch Kanaal	869,4
Driel boven	Neder-Rijn	891,2
Amerongen boven	Neder-Rijn	922,0
Hagestein boven	Lek	946,6
Werkendam buiten	Nieuwe Merwede	961,0
Krimpen aan de Lek	Lek	988,7
Hondsbroeksche Pleij hoogwatergeul	IJssel	879,1
Ramspolbrug	Ketelmeer	
Roggebotsluis noord	Vossemeer	
Ketelhaven	Ketelmeer	
Kamperhoek	Ketelmeer	

Om de afvoerverdeling tijdens de kalibratie te garanderen, worden alle takken (Waal, Neder-Rijn Lek en IJssel) eerst apart gekalibreerd. Het is namelijk van belang dat het aanpassen van de ruwheden niet leidt tot een andere afvoerverdeling. Door de takken apart te kalibreren kan de afvoer expliciet worden opgelegd. Na kalibratie van de afzonderlijke takmodellen worden de takken samengevoegd en worden voor alle afvoerniveaus de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal gekalibreerd. In de ideale situatie is dan ook de afvoerverdeling over de takken in orde. In de praktijk wordt ook de afvoerverdeling meegenomen in de kalibratie (zie paragraaf 5.1.6). Er is één uitzondering op deze aanpak: met het laagste afvoerniveau L1 worden de Waal en Neder-Rijn Lek samengevoegd en samen gekalibreerd. Deze keuze is gemaakt omdat tijdens lage afvoeren ( $< 1.350 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith) zowel de Marijkesluizen en keerschuijf Ravenswaaij (noordzijde Betuwepand) als de Bernhardsluizen (zuidzijde Betuwepand) open staan. De Waal en de Neder-Rijn – Lek staan dan in open verbinding met elkaar en dienen dus als één systeem te worden beschouwd.

De begrenzing van de takmodellen is zo gekozen dat het meest bovenstroomse meetpunt (Pannerdense Kop of IJsselkop) ruim binnen de modelgrenzen valt. Bij de IJsselkop is de scheiding tussen het takmodel van de Neder-Rijn – Lek en dat van de IJssel bepaald op basis van het stroombeeld in een som met het totaalmodel. De scheiding is voor lage afvoeren anders gekozen dan voor hoge afvoeren. Ook voor de Waal zijn twee verschillende grenzen gebruikt op basis van het stroombeeld bij lage en hoge afvoeren. Het LMW-meetstation IJsselkop ligt met deze begrenzing niet in het takmodel van de Neder-Rijn – Lek, zie Figuur 5.3. Om toch het traject IJsselkop – Driel te kunnen kalibreren is het meetpunt in het takmodel van de Neder-Rijn – Lek verplaatst tot binnen de modelgrenzen. Dit is gedaan op basis van lijnen van gelijke waterstand resulterend uit een som met het totaalmodel.



Figuur 5.3 Bovenstroomse begrenzing van de takmodellen IJssel en Neder-Rijn – Lek (bij lage afvoeren). In oranje het totale rooster, in groen de begrenzingen van beide takmodellen. Het meetpunt IJsselkop is rood omcirkeld.

### 5.1.3 Afvoerraaien voor kalibratie

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.

Vanwege deze afvoerafhankelijkheid moet voor elk ruwheidstraject een afvoerraai worden gedefinieerd. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

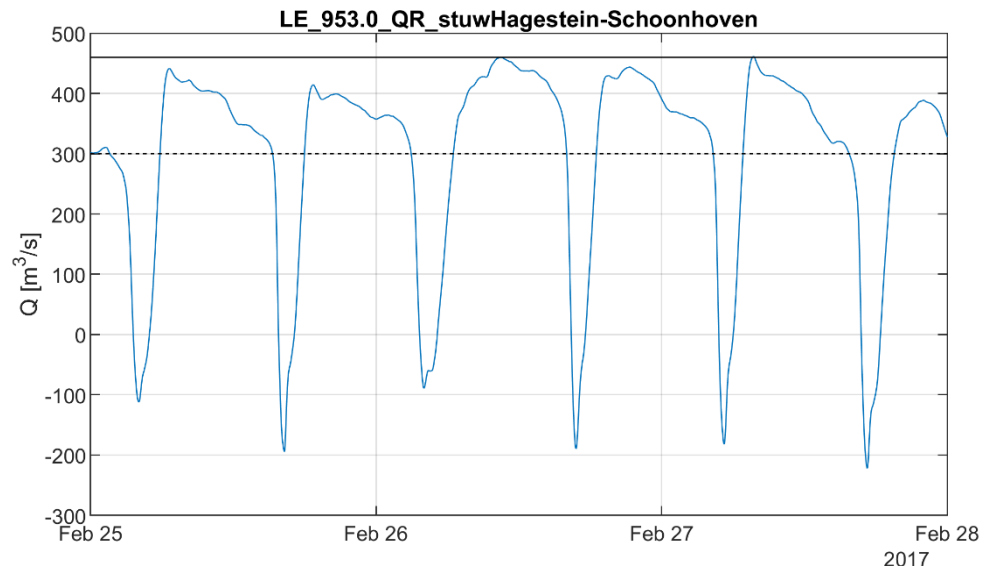
- Afvoer van bandijk tot bandijk.
- Afvoerraai volgt bij voorkeur een roosterlijn.
- Raai ligt zo dicht mogelijk bij meetpunt.
- Stabiele afvoer over gehele afvoerbereik. Dat betekent geen instabiliteiten door neren. Geen overige verstoringen zoals benedenstreams instromen van uiterwaarden (leidt tot een afname van de totale afvoer door de raai) of raaien dwars door aangetakte plassen. (Daar vindt bij normale afvoeren uitwisseling plaats tussen rivier en plas. De totale afvoer door de raai is dan niet gelijk aan de afvoer door het zomerbed.)
- Rekening houdend met toekomstige projecten (is de raai daarna nog steeds geschikt?).
- Rekening houdend met latere splitsing van trajecten.

Voor de getijgedomineerde trajecten wordt niet gekalibreerd op de lokale afvoer, maar wordt gebruik gemaakt van de eerste bovenstroomse afvoerraai, waarbij het getij weinig tot geen invloed meer heeft op de afvoer. Het gaat hierbij om de volgende trajecten:

#### Lek

- Hagestein beneden – Schoonhoven
- Schoonhoven – Krimpen a/d Lek

Voor beide trajecten wordt gebruik gemaakt van de afvoer door *LE\_953.0\_QR\_stuwHagestein-Schoonhoven*. Dit is besloten in overeenstemming met de aanpak in RMM. Echter, bij lage en middelhoge afvoeren is getij nog steeds sterk zichtbaar in zowel de waterstanden als de afvoer door deze afvoerraai. Daarom is voor kalibratie van afvoerniveau L1 het afvoerniveau verhoogd tot boven de hoogst voorkomende afvoer tijdens de kalibratieperiode. Het getij zorgt namelijk voor een grote afvoervariatie van enkele honderden m<sup>3</sup>/s ten opzichte van de rivierafvoer. Het verhogen van het afvoerniveau zorgt ervoor dat de gehele periode met de volledige getijcyclus wordt gekalibreerd en voorkomt dat de kalibratiefactor boven het oorspronkelijke afvoerniveau en dus binnen een getijcyclus wordt geïnterpoleerd. Het afvoerniveau M1 is gekalibreerd zonder het kalibratieniveau L1 mee te nemen. De kalibratiefactor voor M1 geldt hiermee ook voor alle afvoeren lager dan dit afvoerniveau. Dit voorkomt dat de kalibratiefactor binnen een getijcyclus wordt geïnterpoleerd tussen de waarden voor L1 en M1. Daarnaast is het afvoerniveau van M1 tijdens kalibratie verhoogd zodat ook geen interpolatie tussen M1 en M2 plaatsvindt, zie Figuur 5.4. Uit het kalibratieresultaat moet blijken of de gevonden kalibratiefactoren voor L1 en M1 vergelijkbaar zijn; bij voorkeur worden voor deze afvoerniveaus gelijke kalibratiefactoren gekozen, om ook tijdens gebruik van het model te voorkomen dat er binnen een getijcyclus wordt geïnterpoleerd tussen twee kalibratiefactoren. De uiteindelijke kalibratiefactor voor L1 en M1 wordt afgestemd met RMM (zie paragraaf 5.2.4).



Figuur 5.4 Afvoer LE\_953.0\_QR\_stuwHagestein-Schoonhoven in de M1-kalibratieperiode voor de Neder-Rijn – Lek (zoals gemodelleerd in de validatie). De zwarte doorgetrokken lijn geeft het verhoogde afvoerniveau voor de trajecten Hagestein beneden-Schoonhoven en Schoonhoven-Krimpen aan de Lek weer. De stippellijn is het afvoerniveau voor de meer bovenstrooms gelegen trajecten.

#### Waal

- Tiel – Zaltbommel
- Zaltbommel – Vuren
- Vuren – Hardinxveld

Voor Tiel – Zaltbommel wordt gebruik gemaakt van de raai WL\_924.3\_QR\_Tielwaal-Zaltbommel, terwijl voor de andere twee trajecten de raai WL\_934.6\_QR\_Zaltbommel wordt gebruikt. Deze keuze is een compromis tussen a) het gebruik van een meer bovenstroomse raai om afvoervariaties binnen een getijcyclus te vermijden en b) het gebruik van een meer benedenstroomse raai die dicht bij het kalibratietraject ligt. Hoewel de raai bij Zaltbommel behoorlijk ver benedenstrooms ligt, is het getij in mindere mate terug te zien tijdens hoge rivierafvoeren. Er kan dus afvoerafhankelijk gekalibreerd worden, wanneer de afvoer riviergedomineerd is. Om alle getijvariatie uit te bannen, zou ook voor de twee meest benedenstroomse trajecten de afvoerraai bij Tiel gekozen moeten worden. Dit is echter geen optie vanwege het voorkomen van lateralen tussen Tiel en Zaltbommel, en aanwezigheid van de mogelijke bypass Varik-Heesselt. Tegelijkertijd ligt de nu gekozen raai voor deze trajecten niet te ver bovenstrooms van meetstations Vuren en Zaltbommel, zodat looptijdefecten worden verminderd.

Voor de uiteindelijke ruwheid van deze trajecten dient afstemming plaats te vinden met de ruwheidsdefinitie zoals deze in het zesde-generatiemodel van de Rijn-Maasmonding wordt gehanteerd.

In Tabel 5.3 is voor elk kalibratietraject aangegeven welke afvoerraai is gebruikt.

Tabel 5.3 Afvoerradien behorend bij de kalibratietrajecten, ten behoeve van afvoerafhankelijke kalibratie.

traject	code	afvoerradi
<b>Boven-Rijn</b>		
Emmerich – Lobith	2000	RH_852.6_QR_Emmerich-Lobith
Lobith – Lobith haven	2001	RH_852.6_QR_Emmerich-Lobith
Lobith Haven – Pannerdensch Kop	2002	BR_862.7_QR_Lobith-Pannkop
<b>Waal</b>		
Pannerdensch Kop – Nijmegen	2003	WL_876.6_QR_Pannkop-Nijmegen
Nijmegen – Dodewaard	2004	WL_894.8_QR_Nijmegen-Dodewaard
Dodewaard – Tiel	2005	WL_910.4_QR_Dodewaard-Tielwaal
Tiel – Varik	2006	WL_924.3_QR_Tielwaal-Zaltbommel
Varik – Sint Andries	2007	WL_924.3_QR_Tielwaal-Zaltbommel
Sint Andries - Heesselt	2008	WL_924.3_QR_Tielwaal-Zaltbommel
Heesselt - Zaltbommel	2009	WL_924.3_QR_Tielwaal-Zaltbommel
Zaltbommel – Vuren	2010	WL_934.6_QR_Zaltbommel
Vuren – Merwedekop	2011	WL_934.6_QR_Zaltbommel
<b>Pannerdensch Kanaal</b>		
Pannerdensch Kop – Pannerden	2012	PK_872.5_QR_Pannkop-IJsselkop
Pannerden – Looveer	2013	PK_872.5_QR_Pannkop-IJsselkop
Looveer – IJsselkop	2014	PK_872.5_QR_Pannkop-IJsselkop
<b>Neder-Rijn / Lek</b>		
IJsselkop – Arnhem	2015	NR_882.3_QR_IJsselkop-stuwDriel
Arnhem – stuw Driel	2016	NR_882.3_QR_IJsselkop-stuwDriel
Stuw Driel – Grebbe	2017	NR_899.7_QR_stuwDriel-Grebbe
Grebbe – stuw Amerongen	2018	NR_908.2_QR_Grebbe-stuwAmerongen
Stuw Amerongen – Tiel kanaal	2019	LE_928.7_QR_stuwAmerongen-Tielkanaal
Tiel kanaal – Culemborg	2020	LE_934.4_QR_Tielkanaal-Culemborg
Culemborg – stuw Hagestein	2021	LE_941.5_QR_Culemborg-stuwHagestein
Stuw Hagestein – Schoonhoven	2022	LE_953.0_QR_stuwHagestein-Schoonhoven
Schoonhoven – Krimpen a/d Lek	2023	LE_953.0_QR_stuwHagestein-Schoonhoven
<b>IJssel</b>		
IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij	2024	IJ_880.4_QR_IJsselkop-Westervoort
Hondsbroeksche Pleij – Westervoort	2025	IJ_880.4_QR_IJsselkop-Westervoort
Westervoort – De Steeg	2026	IJ_884.8_QR_Westervoort-Doesburg
De Steeg – Doesburg	2027	IJ_884.8_QR_Westervoort-Doesburg
Doesburg – Zutphen	2028	IJ_915.4_QR_Doesburg-Zutphen
Zutphen – Eefde beneden	2029	IJ_928.4_QR_Zutphen-Eefdebeneden
Eefde beneden – Deventer	2030	IJ_945.0_QR_Eefdebeneden-Deventer
Deventer – Olst	2031	IJ_956.3_QR_Deventer-Olst
Olst – Veessen	2032	IJ_957.4_QR_Olst-Wijhe
Veessen - Wijhe	2033	IJ_957.4_QR_Olst-Wijhe
Wijhe – Wapenveld	2034	IJ_980.1_QR_Wijhe-Katerveer

traject	code	afvoerraai
Wapenveld – Katerveer	2035	IJ_980.1_QR_Wijhe-Katerveer
Katerveer – Reevediep	2036	IJ_987.2_QR_Katerveer-Keteldiep
Reevediep – Kampen	2037	IJ_987.2_QR_Katerveer-Keteldiep
Kampen – Keteldiep	2038	IJ_997.1_QR_Kampen-Keteldiep-2
Keteldiep – einde Keteldiep	2039	IJ_997.1_QR_Kampen-Keteldiep-2

#### 5.1.4 Kalibratieperioden

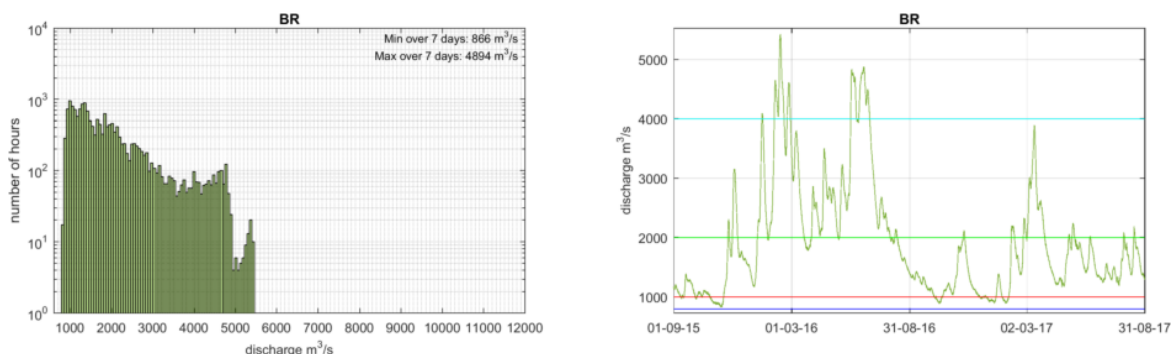
De keuze van de afvoerniveaus en de kalibratiemethodiek heeft grote invloed op de resultaten van validatie en modeltoepassingen, zoals onderzocht in Domhof et al. (2017). Er zijn verschillende methoden om de kalibratieniveaus te bepalen:

- 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 5.4. De hoogte van de verschillende afvoerniveaus wordt verder geïllustreerd in Figuur 5.5.

Tabel 5.4 Gebruikte afvoerniveaus voor kalibratie.

Niveau		Afvoer bij Lobith (m <sup>3</sup> /s)	Opmerkingen
Laag	L	800 – 1.000	Dit zijn de laagste afvoeren die regelmatig voorkomen.
Midden 1	M1	2.000	Bij deze afvoer is het zomerbed grotendeels gevuld. Tevens ongeveer de gemiddelde afvoer, stuwen nog in bedrijf met net voldoende verhang op de stuwpannen om te kunnen kalibreren.
Midden 2	M2	4.000	Bij deze afvoer is het zomerbed volledig gevuld, begin van meestromen lagere delen oevers. Uiterwaarden nog droog. Stuwen in principe geopend.
Hoog 1	H1	8.000	Piekafvoer hoogwater januari 2011.
Hoog 2	H2	12.000	Piekafvoer extreem hoogwater januari 1995, dat ook in het 5 <sup>e</sup> generatie model diende voor de kalibratie van het hoogste afvoerniveau.



Figuur 5.5 Afvoer Lobith: 1 september 2015 – 31 augustus 2017 (uurwaarden). De horizontale lijnen in de rechterfiguur geven de afvoerniveaus L1 (rood), M1 (groen) en M2 (lichtblauw) aan.



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 geen grote veranderingen in de geometrie in uitvoering waardoor de schematisatie niet representatief is voor die periode?
- 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, verhanglijnmetingen en overige waterstandsmetingen.
- Bij voorkeur een zo recent mogelijke periode.
- Zoveel mogelijk afwezigheid van stormperiodes.

Daarnaast wordt een periode in de zomer liever niet gebruikt, aangezien dan andere vegetatieruwheden gelden. Voor extreem lage afvoeren worden bij voorkeur meerdere periodes of een langere kalibratieperiode gebruikt, want een juiste afvoerbeschrijving komt erg nauw bij lage afvoeren. In Tabel 5.5 worden de uiteindelijk gekozen kalibratieperiodes samengevat. Voor sommige afvoerniveaus zijn meerdere periodes genoemd. Dit betekent dat de gekozen periode verschilt per tak. Voor een motivatie en meer precieze beschrijving van de periodes en bijbehorende afvoervensters wordt verwezen naar het memo van Niesten (2019).

Tabel 5.5 Gebruikte kalibratieperioden. De afvoeren verwijzen naar de afvoer bij Lobith.

	Afvoer	Kalibratie
<b>Laag (L)</b>	1.000	jan 2017/ okt 2016 - jan 2017
<b>Midden 1 (M1)</b>	2.000	feb – mrt 2017
<b>Midden 2 (M2)</b>	4.000	jan 2016 / mrt 2017
<b>Hoog 1 (H1)</b>	8.000	jan 2011
<b>Hoog 2 (H2)</b>	11.800	jan - feb 1995

Voor het laagste afvoerniveau geldt dat er weinig tot geen verval is over de stuwpanden van de Neder-Rijn/Lek. Aanpassingen van de zomerbedruwheid hebben dan nauwelijks invloed op de waterstanden. Dit afvoerniveau wordt daarom niet meegenomen voor de betreffende trajecten (conform de aanpak op de Maas). Voor het niveau M1 geldt dat er nog steeds erg weinig verval is over de twee benedenstroomse stuwpanden, maar deze worden toch (op een iets hogere afvoer) gekalibreerd. Na de kalibratie wordt gekeken in hoeverre niveau M1 en M2 eventueel moeten worden samengevoegd.

Op trajecten die (bij lage rivierafvoer) door getij worden gedomineerd is een afvoerafhankelijke kalibratie problematisch. Dit zou ertoe leiden dat gedurende een getijcyclus steeds andere ruwheden worden gebruikt. In paragraaf 5.1.3 is toegelicht hoe hiermee om is gegaan.

### 5.1.5 Kalibratie takmodellen per afvoerniveau

Om te zorgen dat in de kalibratie alleen relevante modeluitkomsten met metingen worden vergeleken kunnen in OpenDA grenzen worden opgelegd aan de tijdsperiode en de afvoer die wordt meegenomen (zie paragraaf 5.1.8). Deze tijd- en afvoervensters kunnen in een kalibratiesom per meetstation verschillen, bijvoorbeeld om rekening te houden met de looptijd en topvervlakking van een afvoergolf, of met laterale instroming. In onderstaande paragrafen worden het tijd- en afvoervenster steeds voor het meest bovenstroomse traject van de betreffende tak gegeven.

### 5.1.5.1 Laag (L1)

Voor Waal en Neder-Rijn Lek (met elkaar verbonden via het Betuwepand) geldt een kalibratieperiode van 28-12-2016 tot 10-01-2017 (berekening van 20-12-2016 tot 11-01-2017). Deze kalibratieperiode is gekozen rekening houdend met:

- De stuwrenovatie Driel (19-10-2016 t/m 11-11-2016). Tijdens werkdagen wordt de afvoer geknepen (tussen 8:00 en 17:00). Deze periode is daarom niet opgenomen in de kalibratieperiode.
- Openen en sluiten van de Bernhardsluizen. Om discontinuïteiten tijdens de kalibratie te voorkomen is gekozen voor een periode waarin de Bernhardsluizen altijd open staan (zie Figuur 5.6).

Tevens zijn er periodes geweest met harde wind in de periode 15-12-2016 t/m 15-1-2017 (zie Figuur 5.7). Gezien de bovenstaande overwegingen is er toch gekozen voor een periode met wind.

In de kalibratie van de vijfde-generatie modellen zijn de stuwen op de Neder-Rijn Lek gestuurd op waargenomen waterstanden. Dit bleek echter een direct effect op de kalibratie van de Waal te hebben: wanneer de gemodelleerde waterstand bij Hagestein-boven te hoog was, ging de stuw open om meer afvoer door te laten. In werkelijkheid blijkt de stuw tijdens periodes van lage afvoer dicht te staan, en kan water uit het stuwpannd Hagestein via de open verbinding door het Betuwepand naar de Waal stromen, of andersom. Een stuwsturing gebaseerd op waterstanden kan dus resulteren in een te lage afvoer over de Waal. Daarom is er tijdens de huidige kalibratie bij lage afvoeren voor gekozen om Hagestein op afvoer te sturen. In paragraaf 3.2.1.5 wordt nader ingegaan op de metingen die gebruikt zijn om de afvoerreksen op te stellen.

Daarnaast wordt voor afvoerniveau L1 ook stuw Driel op afvoeren gestuurd in plaats van op waterstanden. De belangrijkste reden hiervoor is dat bij lage afvoeren het verval tussen IJsselkop en Driel te klein wordt. Bij dezelfde waterstand kunnen dan verschillende debieten worden doorgelaten. Een sturing op waterstanden is voor deze situatie niet geschikt.

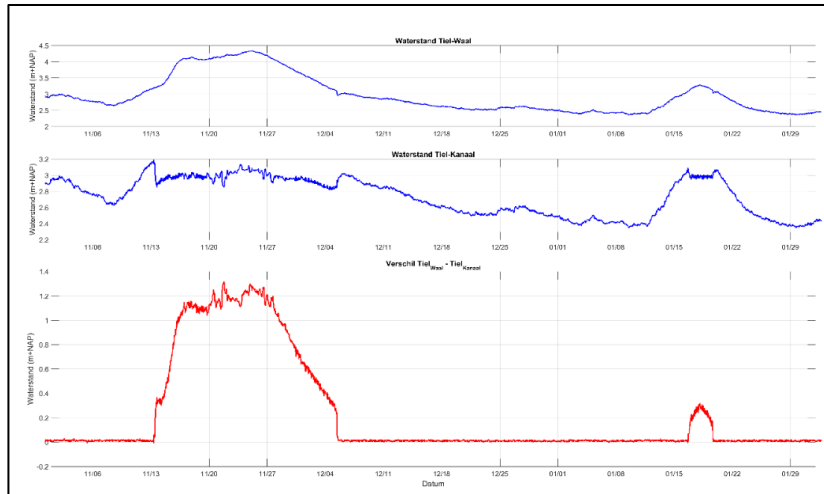
Voor Amerongen leidde een sturing op gemeten waterstanden in het model tot grote afvoerfluctuaties door de stuw. Mogelijk is dit veroorzaakt doordat er een relatief kleine afvoer in het model door de twee stuwopeningen gaat. Juist de afvoer vanuit Amerongen bepaalt mede de kalibratie van de Waal beneden Tiel. Daarom is besloten om stuw Amerongen vast te zetten op een stand waarmee de gemeten waterstand op het stuwpannd kan worden benaderd. De WKC bij stuw Amerongen staat dicht, conform de beschrijving in paragraaf 4.4.1.

De kalibratieperiode op de IJssel loopt van 08-10-2016 tot 10-01-2017. De keuze voor deze relatief lange kalibratieperiode is gemaakt op basis van een aantal overwegingen. Ten eerste is rekening gehouden met de beschikbare data, met name beschikbaarheid van laterale afvoeren vanuit de Oude IJssel en Twentekanaal (zie Figuur 5.8).

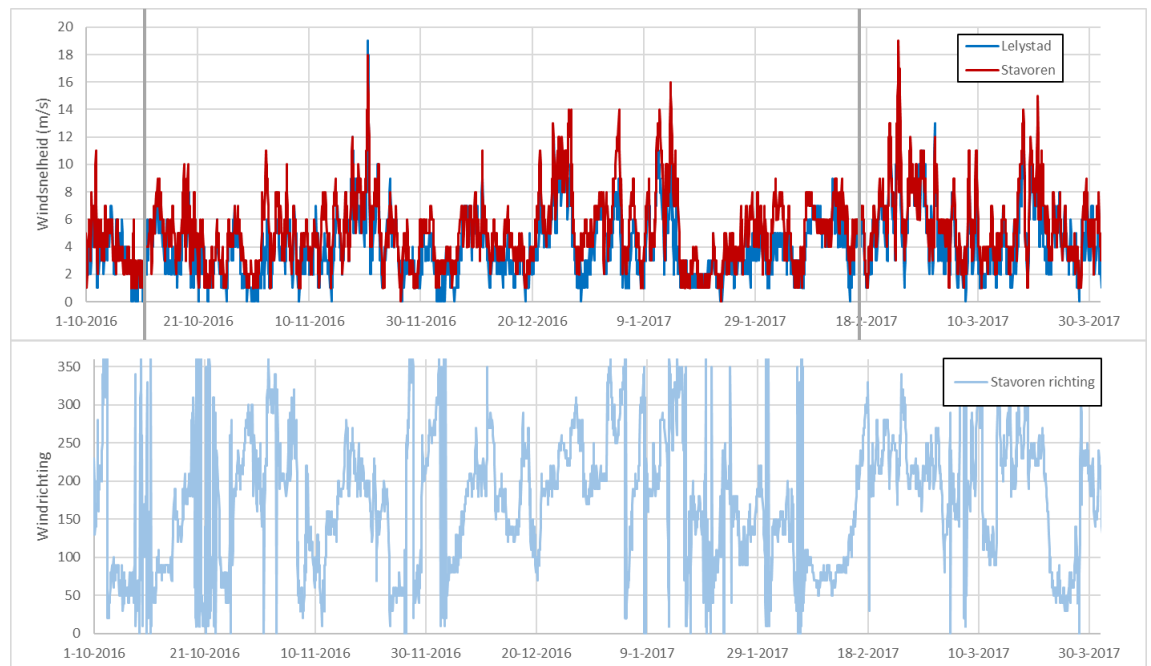
Ook kunnen voor de IJssel, en dan met name het benedenstroomse deel tot en met Zutphen, windeffecten een rol spelen voor de waterstand (vooral bij lagere afvoeren). De pieken in de windsnelheid zijn dan ook direct terug te zien in de waterstanden, met name als de wind uit westelijke tot noordelijke richting komt (270 tot 360 graden), zie Figuur 5.7 (boven) en Figuur 5.7 (onder). Omdat de effecten van wind niet worden gemodelleerd is getracht om deze een zo klein mogelijke rol te laten spelen. In deze relatief lange periode is de windrichting en windsnelheid variabel, waardoor het effect naar verwachting enigszins wordt uitgemiddeld. Ten slotte zijn waterstanden op de IJssel gevoelig voor de afvoer: Tijdens periodes van lage afvoer kan op de IJssel een extra afvoer van 1 m<sup>3</sup>/s al een waterstandsverschil van bijna 1 cm opleveren. De beschikbaarheid en nauwkeurigheid van laterale afvoeren en de afvoer op de bovenstroomse rand is daarom van groot belang.

Bij een langere kalibratieperiode wordt de invloed van incidentele, niet-systematische onnauwkeurigheden in de metingen kleiner.

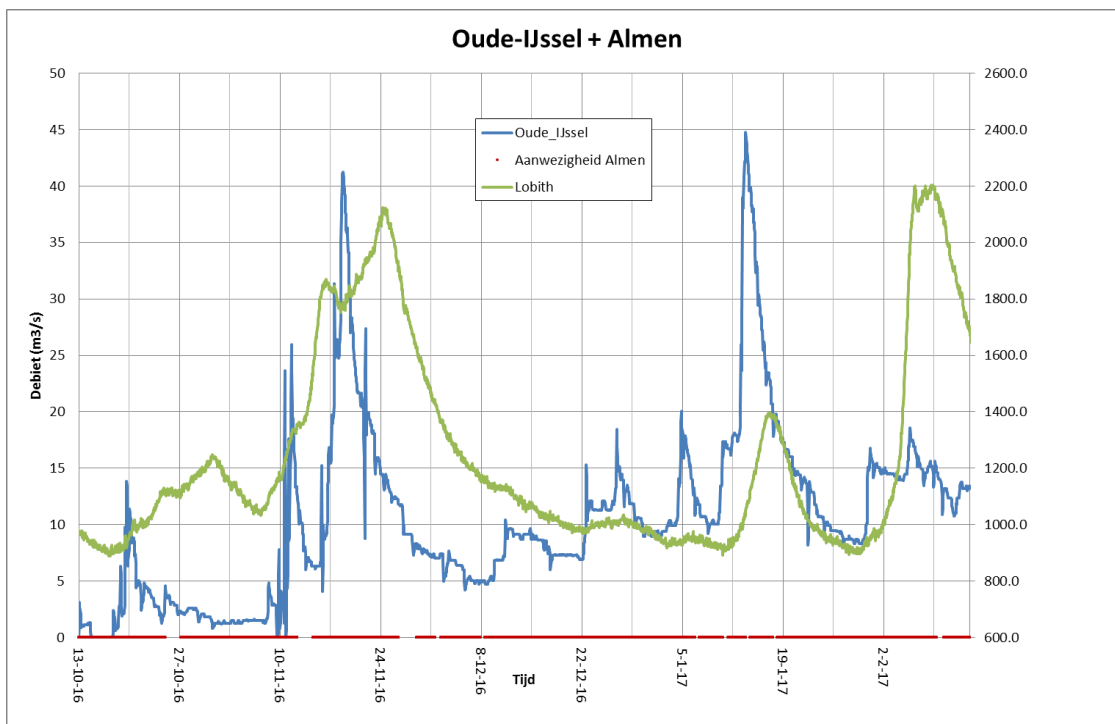
Door een bovengrens in te stellen voor de afvoer waarbij kalibratie plaatsvindt (200 tot 220 m<sup>3</sup>/s op het betreffende kalibratietraject) hebben perioden met afvoeren hoger dan deze grens geen invloed op het kalibratieresultaat.



Figuur 5.6 Openen van de Bernhardsluizen zoals zichtbaar in de waterstandsverschillen tussen meetstation Tiel-Waal en Tiel-Kanaal.



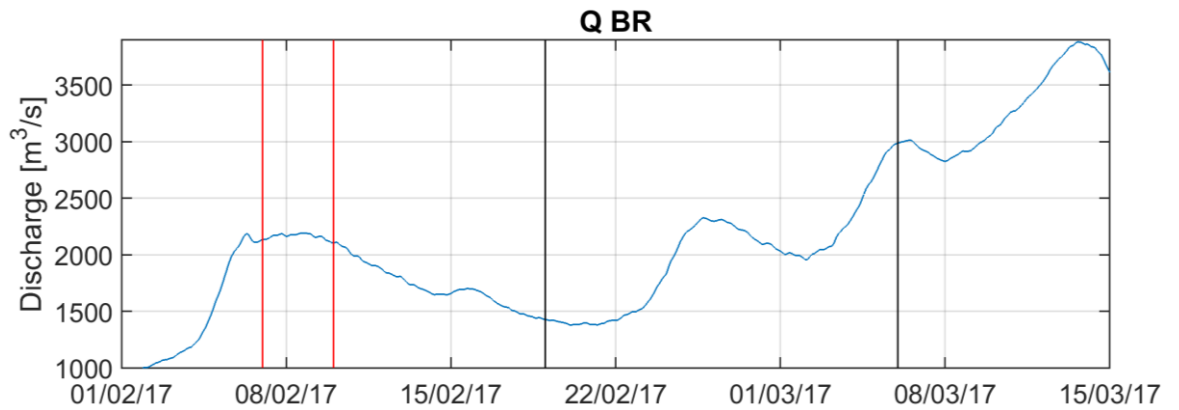
Figuur 5.7 Windsnelheid en -richting (gemiddelde uurwaarden) voor een aantal meetstations. De grijze verticale lijnen geven de kalibratieperiode aan (bron: KNMI <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie-metingen-en-waarnemingen>).



Figuur 5.8 Afvoer Oude-IJssel en Twentekanaal voor de kalibratieperiode voor L1 en M1, samen met de afvoer bij Lobith. De rode lijn geeft aan wanneer er metingen bij Almen (Twentekanaal) beschikbaar zijn. Ter gebruik in de RGWM zijn de afvoerreksen bewerkt om onrealistische uitschieters te vermijden (zie ook bijlage F).

#### 5.1.5.2 Midden 1 (M1)

Het kalibratieniveau van M1 (2.000 m<sup>3</sup>/s) komt het dichtst in de buurt van het laagste kalibratieniveau in het vijfde-generatie model (2.700 m<sup>3</sup>/s). De beste recente periode met dit afvoerniveau is het afvoerpiekje van begin februari 2017, met een vrij constante (hoewel iets te hoge) afvoer van 2.200 m<sup>3</sup>/s gedurende enkele dagen (zie Figuur 5.9). Deze periode kan echter niet gebruikt worden op de Neder-Rijn Lek: het verval over de stuwpanen gedurende deze periode is met 0 - 5 cm te klein om te kalibreren op ruwheden. Voor de Waal en de IJssel is wel voor deze periode gekozen. Omdat de aanloop naar de afvoerpiek erg steil is wordt een tijdvenster ingesteld vanaf 7 februari 2017, om te voorkomen dat de kalibratie beïnvloed wordt door een verkeerde timing van de piek in het model. De kalibratie loopt tot 10 februari 2017, daarna neemt de afvoer weer af. Een aandachtspunt hierbij is de beschikbaarheid van de afvoermeting bij Almen (zie ook Figuur 5.8). Om aan te sluiten bij de kalibratieperiode is het afvoerniveau op 2.200 m<sup>3</sup>/s ingesteld voor de Boven-Rijn.



Figuur 5.9 Afvoer bij Lobith tussen 29 januari 2017 en 13 februari 2017. De kalibratieperiode voor M1 Waal en IJssel is aangegeven met rode lijnen. De periode voor de Neder-Rijn Lek is met zwarte lijnen aangeduid.

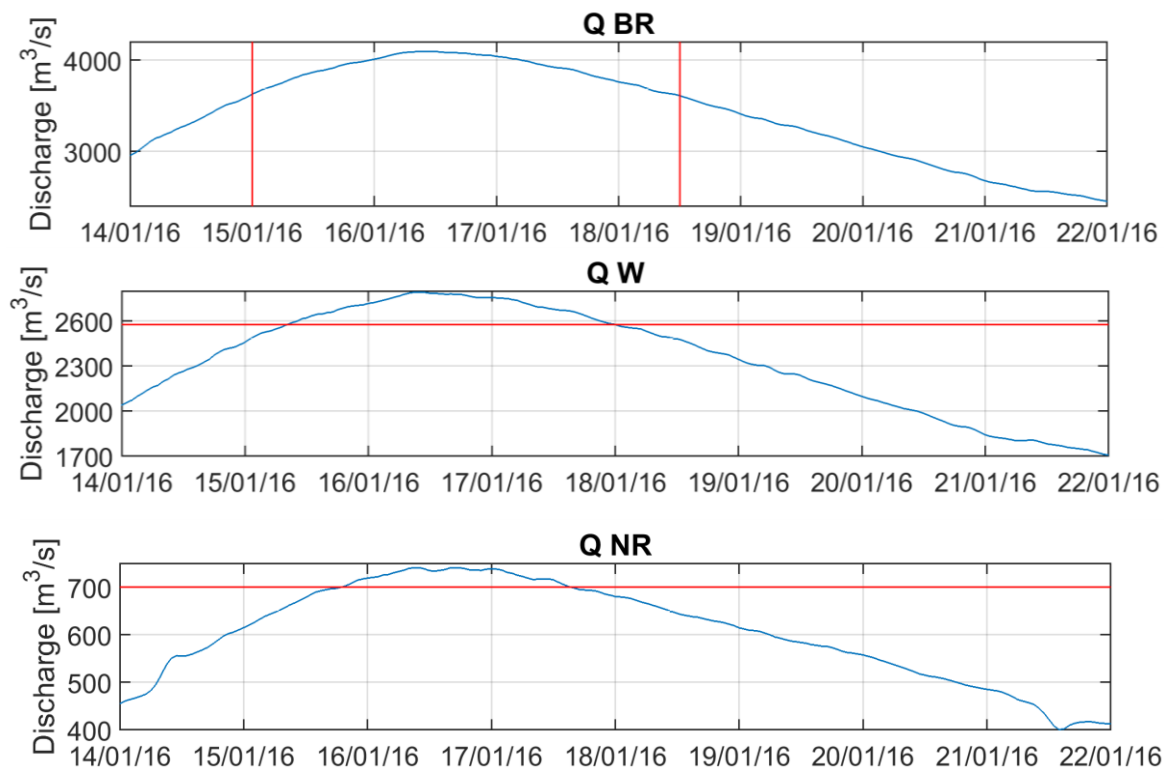
Voor de Neder-Rijn Lek wordt een periode enkele weken later gekozen, rond 26 februari 2017 (zie Figuur 5.9). Op dat moment treedt een iets hogere afvoerpiek op, met een maximum van ongeveer 2.350 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Het kalibratieniveau voor M1 op de Neder-Rijn Lek verschilt dus van dat op de Waal en de IJssel. Dit is noodzakelijk om met voldoende verval over de stuwpanden te rekenen. Om te zorgen dat in de kalibratie te hoge en te lage afvoeren niet worden meegenomen is een afvoervenster ingesteld.

In deze periode worden alle stuwen op gemeten waterstand gestuurd. De WKC bij stuw Amerongen staat dicht, conform de beschrijving in paragraaf 4.4.1.

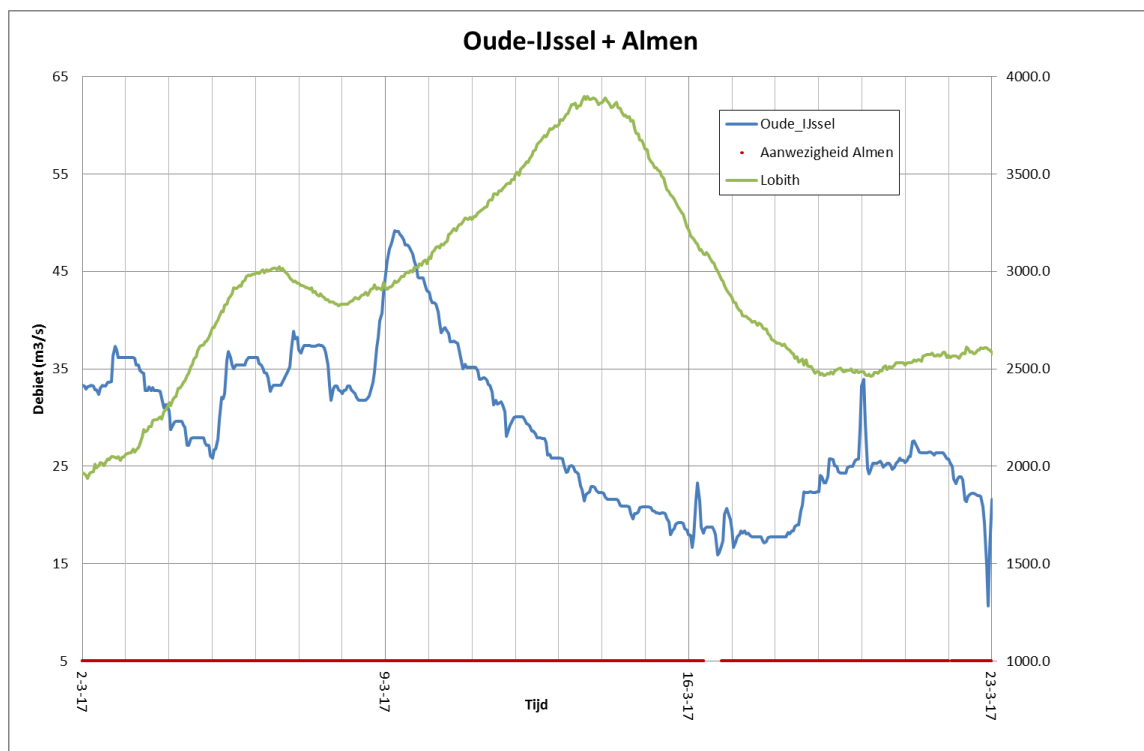
#### 5.1.5.3 Midden 2 (M2)

Het afvoerniveau M2 zou overeen moeten komen met een afvoer van ongeveer 4.000 m<sup>3</sup>/s op de Boven-Rijn. De afvoerpiek van 17 januari 2016 is hiervoor het meest geschikt, zie Figuur 5.10. Om te zorgen dat te lage afvoeren niet worden meegenomen in de kalibratie is een afvoervenster ingesteld met 2.575 m<sup>3</sup>/s als ondergrens voor de Waal en 700 m<sup>3</sup>/s voor de Neder-Rijn Lek. Stuw Driel staat binnen dit venster helemaal open. Om te voorkomen dat de stuw toch gaat sturen wanneer de waterstanden bij Driel-boven te laag zijn wordt de stuw in deze periode geforceerd opengezet. In tegenstelling tot wat op basis van de afvoer mag worden verwacht zijn de stuwen bij Amerongen en Hagestein niet volledig geopend geweest. Dat betekent dat de kalibratie niet bij vrij afstromende rivier heeft plaatsgevonden.

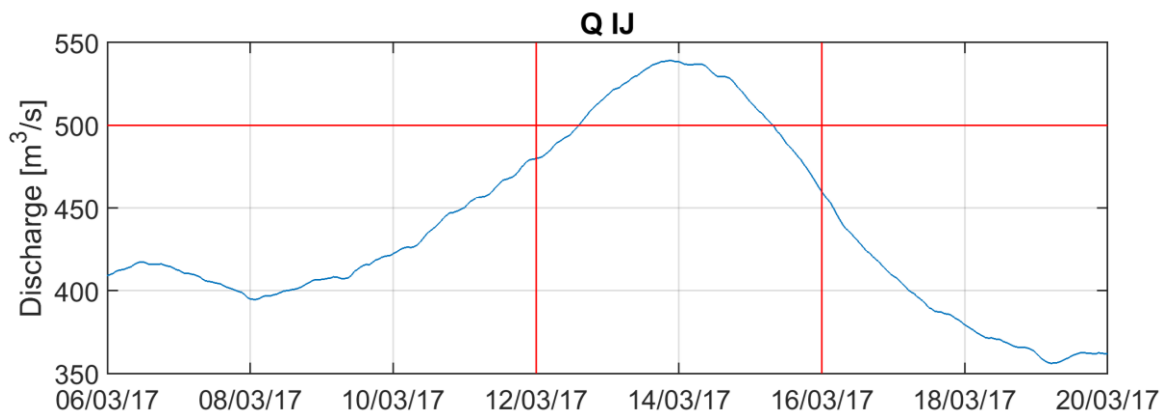
Het nadeel van de genoemde periode is dat er geen data van de afvoer van het Twentekanaal bij Almen beschikbaar is. Omdat dit een belangrijke lateraal is voor de IJssel, moet voor deze tak een andere kalibratieperiode gekozen worden. Hiervoor komt de afvoerpiek van 12 maart 2017 in aanmerking (Figuur 5.11). Deze afvoerpiek is lager en bereikt niet het afvoerniveau van 4.000 m<sup>3</sup>/s. Gezien de eigenschappen van de IJssel is dit echter juist een voordeel, omdat de uiterwaarden al bij lagere afvoeren onderlopen. Figuur 5.12 geeft het afvoer- en tijdvenster weer voor de IJssel. Met het tijdvenster is rekening gehouden met de beschikbaarheid van de laterale afvoeren.



Figuur 5.10 Afvoer op Boven-Rijn, Waal en Neder-Rijn Lek voor kalibratieperiode M2. De verticale rode lijnen geven het kalibratievenster aan (Boven-Rijn), de horizontale rode lijnen afvoervensters (Waal en Neder-Rijn Lek).



Figuur 5.11 Beschikbaarheid van metingen Almen (Twentekanaal) voor afvoerniveau M2.

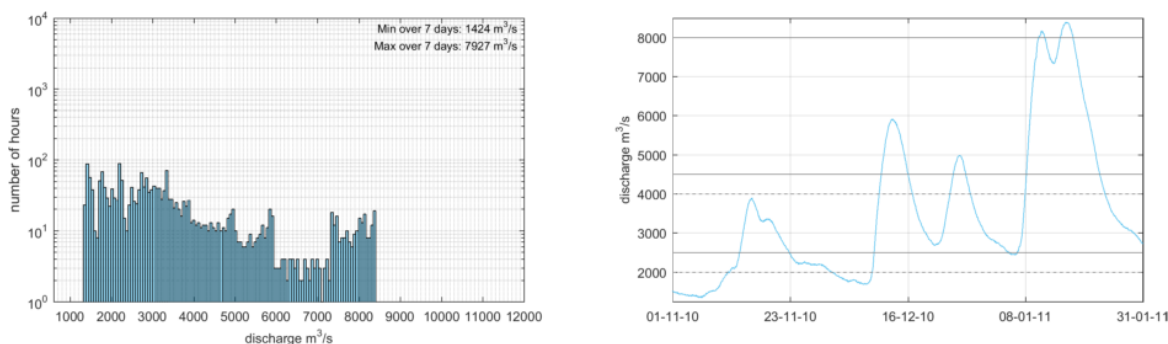


Figuur 5.12 Kalibratieperiode M2 voor de IJssel met het tijd- en afvoervenster afgebakend met rode lijnen.

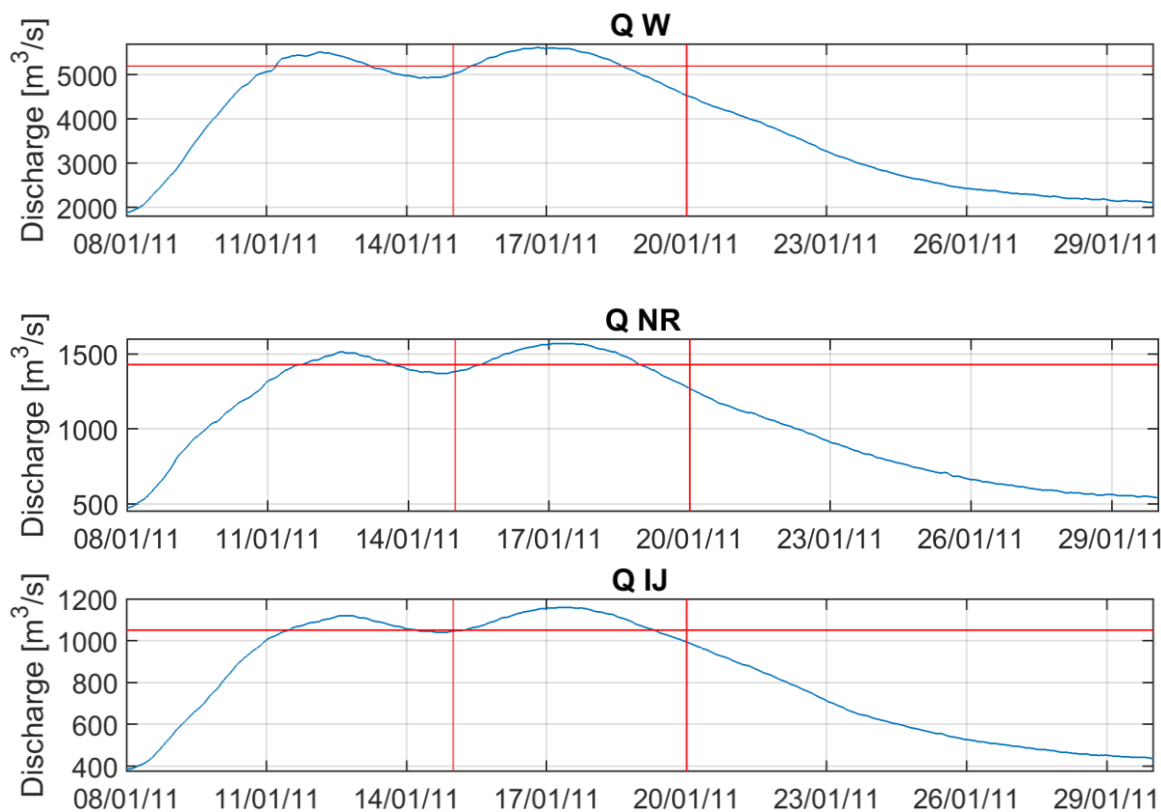
#### 5.1.5.4 Hoog 1 (H1)

Het kalibratieniveau H1 ligt rond een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s. Hiervoor wordt de afvoergolf van januari 2011 gebruikt. Deze afvoergolf bestaat uit twee opvolgende hoogwaterpieken, waarvan de eerste op 12 januari optreedt, en de tweede op 17 januari (zie Figuur 5.13). De tweede piek is iets hoger, met een afvoer tot bijna 8.400 m<sup>3</sup>/s (de top van de eerste afvoerpiek ligt rond 8.060 m<sup>3</sup>/s). Er wordt gekalibreerd op de tweede afvoerpiek, om te voorkomen dat de kalibratie beïnvloed wordt door een verschil in onderlopen van de uiterwaarden tussen model en werkelijkheid. Door te kalibreren op de tweede piek, kan de kalibratie starten met volgelopen uiterwaarden en wordt de afvoer door het zomerbed binnen het kalibratievenster zo goed mogelijk benaderd. Voor alle riviertakken wordt dezelfde kalibratieperiode gekozen van 8 januari tot 30 januari 2011. Met een tijdvenster en een afvoervenster wordt ervoor gezorgd dat alleen wordt gekalibreerd op de tweede piek (zie Figuur 5.14).

Om te voorkomen dat de stuwen op de Neder-Rijn Lek gaan sturen wanneer de waterstanden bovenstrooms van de stuwen te laag zijn worden deze geforceerd opengezet tijdens de kalibratie.



Figuur 5.13 Afvoer Lobith: 1 november 2010 – 31 januari 2011 (uurwaarden).



Figuur 5.14 Kalibratieperiode H1 voor Waal, Neder-Rijn Lek en IJssel met de tijd- en afvoervensters afgebakend met rode lijnen.

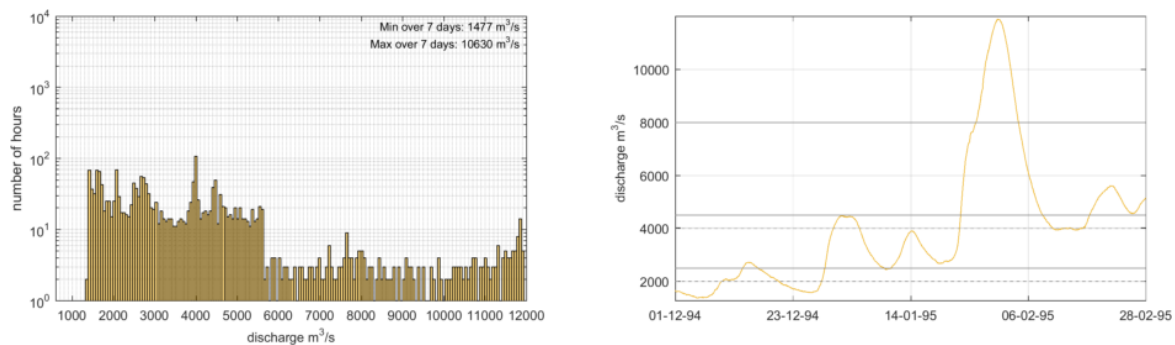
#### 5.1.5.5 Hoog 2 (H2)

Er wordt getracht om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de kalibratieperiodes die voor het vijfde-generatie model gebruikt zijn, dat wil zeggen dat voor H2 gekalibreerd wordt op ongeveer twee dagen rond de top van het hoogwater 1995, zie Figuur 5.15.

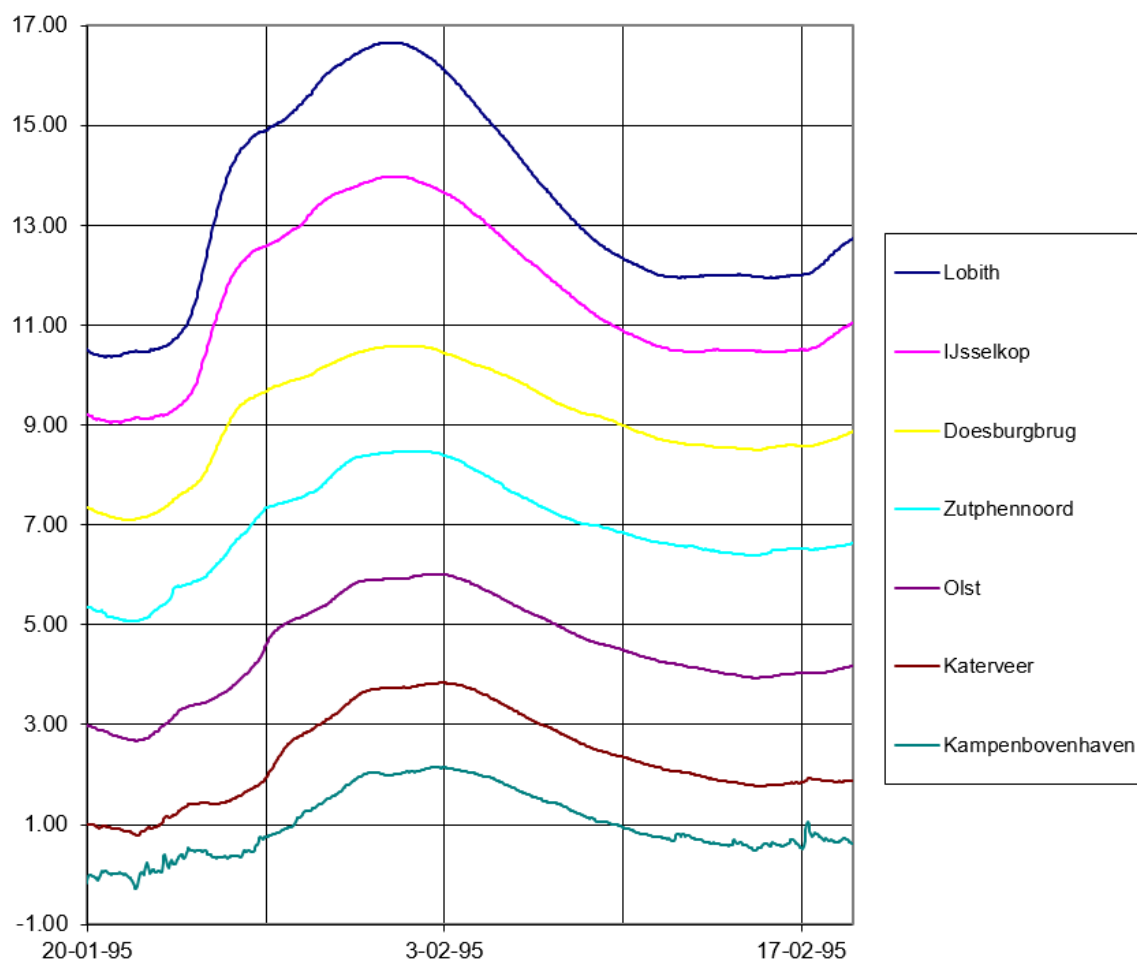
Op de Waal en Neder-Rijn Lek is dit hoogwater als één piek zichtbaar in het waterstandsverloop. Deze takken worden dan ook gekalibreerd op de gehele hoogwaterperiode. Op de IJssel, met name verder benedenstrooms, worden twee pieken zichtbaar in het waterstandsverloop (zie Figuur 5.16). Dit wordt veroorzaakt door topvervlakking als gevolg van het onderlopen van de Wilpse en Nijenkamp Kleipolder langs de IJssel. Wanneer deze gevuld zijn, stijgt de waterstand verder. Bij de kalibratie van het vijfde-generatie model bleek dat het vollopen van de uiterwaarden op de IJssel niet goed kon worden gereproduceerd. We willen voorkomen dat de kalibratie resulteert in een niet-realistische (te hoge) ruwheid, doordat wordt gecompenseerd voor het te laat instromen van de uiterwaarden. Daarom is voor de IJssel het afvoervenster zo ingesteld dat voor de benedenstroomse stations alleen op de tweede piek wordt gekalibreerd (zie Figuur 5.17). Hiermee wordt de tekortkoming van het model slechts deels omzeild, omdat het onderlopen van de bergingsgebieden ook invloed heeft op de hoogte van de tweede piek.

Om te voorkomen dat de stuwen op de Neder-Rijn Lek gaan sturen wanneer de waterstanden bovenstrooms van de stuwen te laag zijn worden deze geforceerd opengezet in de kalibratie.

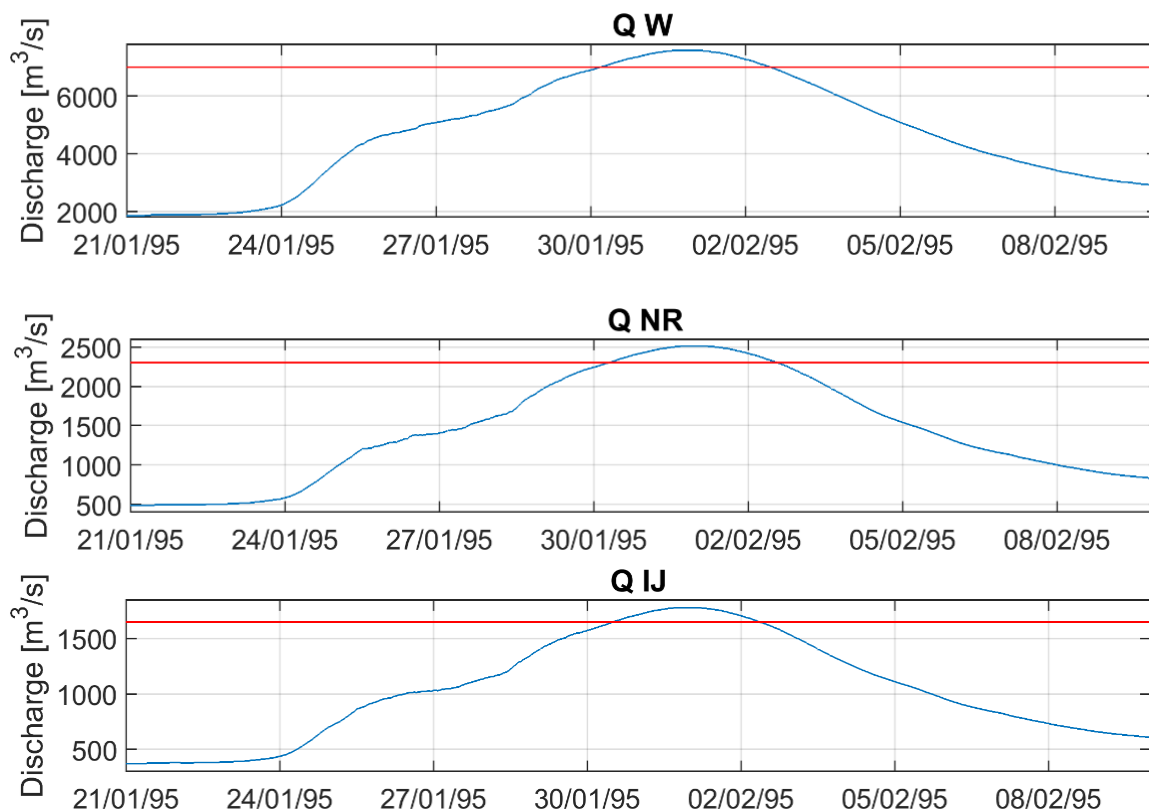




Figuur 5.15 Afvoer Lobith: 1 december 1994 – 28 februari 1995 (uurwaarden).



Figuur 5.16 Gemeten waterstanden tijdens het hoogwater van 1995 op de IJssel. Vanaf Olst en verder benedenstrooms is een dubbele waterstandspiek zichtbaar.



Figuur 5.17 Kalibratieperiode H2 voor Waal, Neder-Rijn Lek en IJssel met de afvoervensters afgebakend met horizontale rode lijnen.

### 5.1.6 Kalibratie totaalmodel

Na kalibratie van Waal, Neder-Rijn Lek en IJssel worden de takken samengevoegd met Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal, zodat één totaalmodel ontstaat. Met dit totaalmodel worden de nog ongekalibreerde trajecten op de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal gekalibreerd op waterstanden. Tegelijkertijd wordt de afvoerverdeling over de verschillende takken gekalibreerd. Dit wordt gedaan door ook de kalibratiefactor op het meest bovenstroomse traject van Waal, Neder-Rijn en IJssel aan te passen. De kalibratieperiodes voor het totaalmodel zijn gelijk aan de perioden voor de Waal.

Bij elk van de twee splitsingspunten (Pannerdensch Kop en IJsselkop) wordt gekalibreerd op de afvoer naar één van de twee takken. De afvoer naar de andere tak is dan automatisch ook goed, wanneer de waterbalans van gemeten afvoeren sluitend is. Omdat dit laatste niet altijd het geval is, is gekozen om te kalibreren op de tak waarvoor een juist gemodelleerde afvoer het meest van belang is. Dit betekent dat bij de IJsselkop wordt gekalibreerd op de afvoer naar de IJssel, omdat de waterstanden daar gevoeliger zijn voor de afvoer dan op de Neder-Rijn Lek. Bij de Pannerdensch Kop wordt gekalibreerd op de afvoer naar het Pannerdensch Kanaal. Hiervoor is gekozen omdat de afvoer naar het Pannerdensch Kanaal ook bepalend is voor de afvoer naar Neder-Rijn en IJssel. Daarnaast zijn waterstanden op de Waal minder gevoelig voor de afvoer dan de waterstanden op de andere takken.

De berekening voor H2 met het totaalmodel is de enige simulatie waarin de Pannerdense overlaat (in 2013 vervangen door regelwerk Pannerden) overstroomt. Omdat een significant percentage (> 10%) van de afvoer op het Pannerdensch Kanaal over de overlaat stroomt is het van belang dat deze goed wordt geschematiseerd. Een onjuiste afvoerverdeling over het zomerbed en de Groene Rivier zal tot ongewenste compensatie in de kalibratie leiden. Daarom wordt deze afvoerverdeling na kalibratie gevalideerd.

### 5.1.7 Kalibratie stuwen

In de vijfde-generatie modellen zijn ook de (korte) trajecten over de stuwen gekalibreerd via de zomerbedruwheid, terwijl de coëfficiënten van de kunstwerken op de default waarde werden gehouden. Dit had echter als resultaat dat er onrealistische ruwheidswaarden werden gevonden. Voor de zesde-generatiemodellen worden ook de afvoercoëfficiënten van de stuwen gekalibreerd, om tot een correct verval over de stuw te komen. Op het moment van schrijven is het nog niet mogelijk om deze kalibratie uit te voeren, omdat de huidige formuleringen in D-HYDRO waarmee de stroming door de stuwen wordt bepaald dit niet toelaten (zie ook paragraaf 4.4.1.1). Mogelijk kan deze kalibratie met een toekomstige versie van de software wel worden uitgevoerd. Het verval over de stuw in geopende toestand is wel gevalideerd voor de hoogwaterperiode van januari 2011. De resultaten hiervan zijn gegeven in Bijlage D.3.

### 5.1.8 Kalibratieprocedure en OpenDA

Voor de kalibratie is het model eerst in aparte takken opgesplitst (Waal, IJssel, Neder-Rijn Lek). Op die manier kan de gewenste afvoerverdeling als bovenrand worden opgelegd. Voor het kalibreren van de overige trajecten is het model vervolgens samengevoegd, waarbij de waarden van de kalibratiecoëfficiënten van de al gekalibreerde trajecten worden vastgezet. Voor het laagste niveau staan de Waal en de Neder-Rijn Lek met elkaar in open verbinding via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal. Voor de kalibratie van dit niveau zijn deze twee takken daarom samengevoegd.

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.

Voor de kalibratieprocedure is gebruik gemaakt van de data-assimilatie tool OpenDA. Het DuD-algoritme van OpenDA is gebaseerd op een zelflerend concept waarbij op basis van ingegeven *predictors* (de waterstanden bij de meetstations) en ingegeven *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.

Het is in OpenDA slechts mogelijk om per station één specifiek tijdvenster op te geven voor de kalibratie. Voor de perioden op de IJssel waarvoor geen betrouwbare metingen voor de afvoer van het Twentekanaal bij Almen beschikbaar zijn wordt daarom wel de hele periode gebruikt voor de kalibratie, maar worden uit de tijdreeksen van de waterstandsmetingen (waarop OpenDA kalibreert) de waarden gedurende de onbetrouwbare afvoermetingen verwijderd (als er namelijk geen metingen beschikbaar zijn, doet OpenDA hier ook niets mee). Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat de looptijd van een afvoergolf van Doesburg (locatie van de instroom van de Oude IJssel) naar Katerveer ca. 17 uur bedraagt.

## 5.2 Kalibratieresultaat

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de kalibratie gegeven. Allereerst worden de resulterende kalibratiefactoren met enkele algemene conclusies gepresenteerd, daarna volgen de resultaten in waterstands- en afvoerstatistieken. Deze worden verder bediscussieerd in paragraaf 5.2.3.

### 5.2.1 Kalibratiefactoren

Tabel 5.6 geeft de kalibratiefactoren per traject en per kalibratieniveau, zoals bepaald met OpenDA. Dit resultaat kan om verschillende redenen nog (handmatig) worden aangepast voordat het wordt toegepast in modellen:

- 1 De validatie kan aanleiding geven om kalibratiefactoren aan te passen, zodat voor de (relatief lange) validatieperioden een beter resultaat wordt bereikt. De validatie wordt dan in wezen een (gedeeltelijke) herkalibratie.
- 2 In afstemming met RMM moeten de kalibratiefactoren op de overgangsgebieden worden bepaald.
- 3 In de kalibratieprocedure worden alle stations als even belangrijk gezien. In de praktijk kan een bepaalde afwijking tussen model en meting voor het ene station zwaarder wegen dan voor een ander station. Op basis van deze afweging kan ervoor worden gekozen om een kalibratiefactor zoals bepaald met OpenDA aan te passen, om zo het resultaat op een belangrijker station te verbeteren. Met deze aanpassing wordt dan geaccepteerd dat het resultaat op andere, minder belangrijke stations slechter wordt.
- 4 De kalibratie met OpenDA kan fysisch onrealistische ruwheden opleveren. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als het verval over een kalibratietraject nul nadert. Een aanpassing in ruwheid levert dan een dermate kleine verandering in de waterstand op, dat de kalibratiefactor onrealistisch hoog of laag wordt.

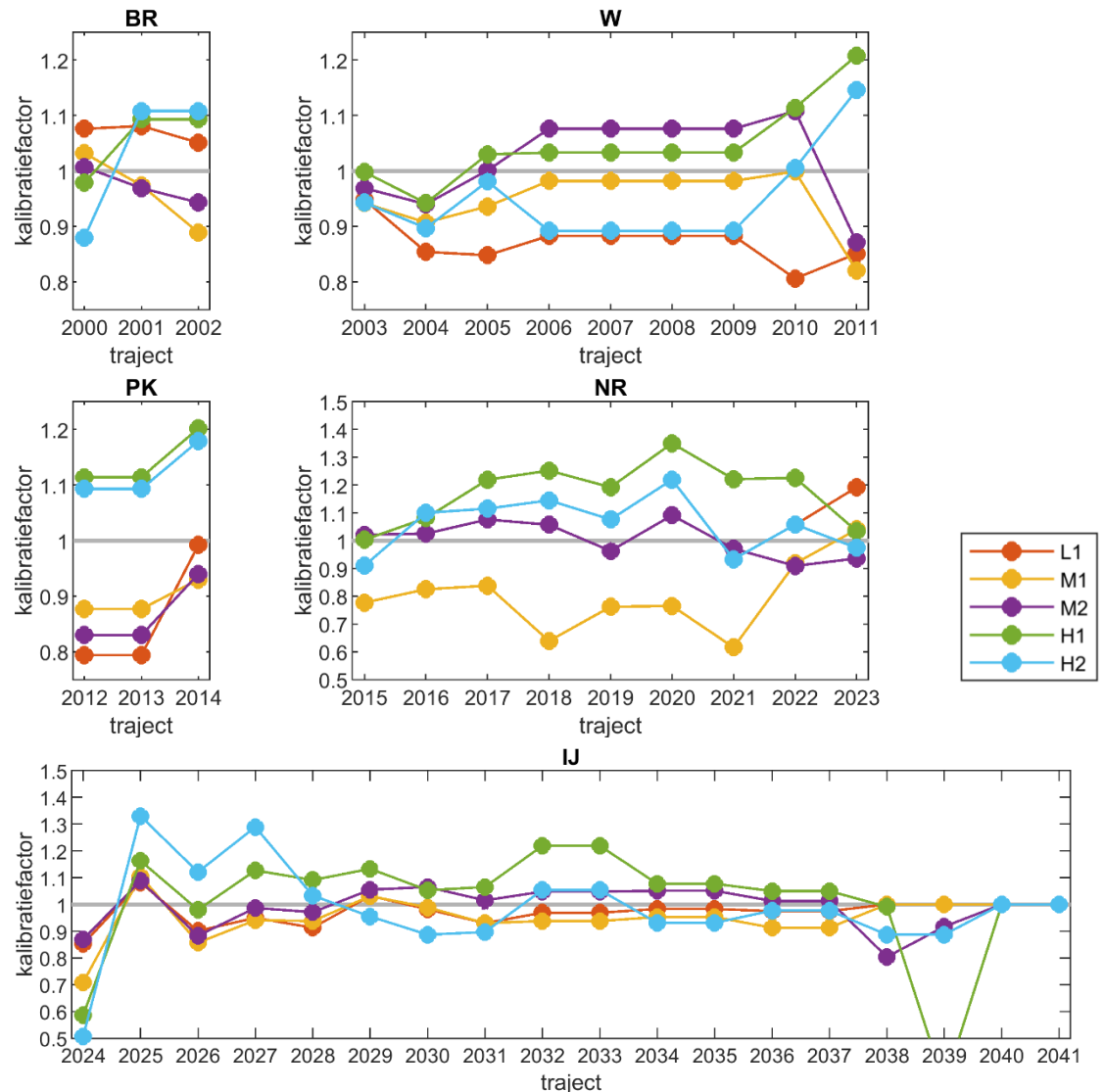
De aanpassingen op basis van bovenstaande overwegingen worden besproken in paragraaf 5.2.4.

Tabel 5.6 Kalibratiefactoren zoals bepaald met OpenDA, voorafgaand aan handmatige aanpassingen. Waarden lager dan 0.75 en hoger dan 1.25 zijn oranje gearceerd. De blauw gearceerde kalibratietrajecten zijn voor het betreffende kalibratieniveau niet meegenomen omdat het verhang te klein is. Voor de definitieve kalibratiefactoren, zie Tabel 5.9.

Traject	code	L1	M1	M2	H1	H2
<b>Boven-Rijn</b>						
Emmerich – Lobith	2000	1.076	1.032	1.007	0.979	0.880
Lobith – Lobith haven	2001	1.081	0.974	0.969	1.093	1.108
Lobith Haven – Pannerdensch Kop	2002	1.051	0.889	0.943	1.093	1.108
<b>Waal</b>						
Pannerdensch Kop – Nijmegen	2003	0.948	0.942	0.969	0.998	0.943
Nijmegen – Dodewaard	2004	0.854	0.907	0.940	0.942	0.897
Dodewaard – Tiel	2005	0.848	0.936	1.001	1.030	0.981
Tiel – Varik	2006	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Varik – Sint Andries	2007	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Sint Andries - Heesselt	2008	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Heesselt - Zaltbommel	2009	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Zaltbommel – Vuren	2010	0.806	0.999	1.108	1.114	1.005
Vuren – Werkendam	2011	0.851	0.820	0.871	1.208	1.146
<b>Pannerdensch Kanaal</b>						
Pannerdensch Kop – Pannerden	2012	0.794	0.877	0.830	1.114	1.093
Pannerden – Looveer	2013	0.794	0.877	0.830	1.114	1.093
Looveer – IJsselkop	2014	0.992	0.930	0.940	1.202	1.179
<b>Neder-Rijn Lek</b>						
IJsselkop – Arnhem	2015		0.777	1.021	1.003	0.910
Arnhem – stuw Driel	2016		0.825	1.025	1.081	1.100
Stuw Driel – Grebbe	2017		0.838	1.076	1.219	1.115
Grebbe – stuw Amerongen	2018		0.639	1.057	1.252	1.145
Stuw Amerongen – Tiel Kanaal	2019		0.762	0.963	1.192	1.076
Tiel Kanaal – Culemborg	2020		0.765	1.091	1.350	1.219
Culemborg – stuw Hagestein	2021		0.616	0.971	1.221	0.933
Stuw Hagestein – Schoonhoven	2022	1.057	0.918	0.909	1.226	1.058
Schoonhoven – Krimpen a/d Lek	2023	1.192	1.040	0.936	1.034	0.974
<b>IJssel</b>						
IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij	2024	0.852	0.708	0.870	0.586	0.506
Hondsbroeksche Pleij – Westervoort	2025	1.082	1.106	1.088	1.163	1.330
Westervoort – De Steeg	2026	0.901	0.857	0.883	0.980	1.121
De Steeg – Doesburg	2027	0.950	0.941	0.987	1.127	1.289
Doesburg – Zutphen	2028	0.913	0.938	0.971	1.091	1.033
Zutphen – Eefde beneden	2029	1.032	1.031	1.055	1.133	0.955
Eefde beneden – Deventer	2030	0.982	0.989	1.065	1.053	0.887
Deventer – Olst	2031	0.930	0.930	1.015	1.065	0.897
Olst – Veessen	2032	0.969	0.938	1.048	1.219	1.054
Veessen - Wijhe	2033	0.969	0.938	1.048	1.219	1.054
Wijhe – Wapenveld	2034	0.983	0.953	1.051	1.077	0.931
Wapenveld – Katerveer	2035	0.983	0.953	1.051	1.077	0.931
Katerveer – Reevediep	2036	0.975	0.913	1.013	1.050	0.977
Reevediep – Kampen	2037	0.975	0.913	1.013	1.050	0.977
Kampen – Keteldiep	2038			0.804	0.991	0.887
Keteldiep – einde Keteldiep	2039			0.917	0.328	0.887
Ketelmeer – Ketelbrug	2040					
Vossemeer	2041					

De waarden zijn per tak gevisualiseerd in Figuur 5.18. Op basis van dit resultaat kunnen een aantal algemene opmerkingen worden gemaakt:

- De kalibratiefactoren liggen over het algemeen dicht bij 1. Dat betekent dat de basisruwheid een goede benadering is van de uiteindelijke ruwheid van het zomerbed. De grootste waarde is 1.35 voor H1, traject 2020 (Tiel-kanaal – Culemborg). De kleinste waarde is 0.328 voor H1, traject 2039 (Keteldiep – einde Keteldiep). Het gemiddelde van alle waarden is 0.987 (de ongekalibreerde trajecten niet meegenomen). Per afvoerniveau is de gemiddelde waarde respectievelijk 0.948, 0.905, 0.991, 1.070 en 1.006. Over het algemeen was voor niveaus L1 t/m M2 dus een lichte verlaging van de ruwheid nodig en voor H1 en H2 een lichte verhoging om de waterstanden beter te benaderen. In alle gevallen is de gemiddelde correctie echter klein. Ook is geen duidelijke algemene trend zichtbaar in de waarden voor toenemende afvoer.
- Het eerste traject van de IJssel (2024, IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij) vormt een uitzondering vergeleken met de rest van die tak. De kalibratiefactor is hier voor alle afvoerniveaus lager dan 1, en wordt lager voor toenemende afvoer (niveau M2 uitgezonderd).
- Voor M1 heeft het eerste traject bovenstrooms van stuw Amerongen (2018) en Hagestein (2021) een relatief lage kalibratiefactor. Het is nog niet duidelijk waardoor dit komt.



Figuur 5.18 Kalibratiefactoren langs de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn Lek en IJssel.

## 5.2.2 Vergelijking met metingen

In deze paragraaf wordt eerst een totaaloverzicht van de kalibratieresultaten gegeven. Vervolgens wordt per kalibratieniveau en per tak het kalibratieresultaat besproken in vergelijking met metingen. Hierbij wordt eerst naar de takmodellen gekeken en vervolgens naar het totaalmodel. In de figuren is het kalibratievenster steeds met rode verticale lijnen weergegeven. Ook de niet-gekalibreerde stations Sint-Andries Waal en Pannerden zijn in de figuren opgenomen. Deze stations hebben 1 meting per dag. De bias wordt alleen voor de kalibratieperiode gegeven en geldt dus niet voor de hele berekening. De figuren behorende bij de afvoerkalibratie in het totaalmodel zijn opgenomen in Bijlage H.1. In Bijlage H.2 zijn de waterstanden op de takken na kalibratie van het totaalmodel gegeven.

### 5.2.2.1 Overzicht

In Tabel 5.7 is voor de kalibratieperioden de gemiddelde bias van de gemodelleerde waterstanden t.o.v. de gemeten waterstanden gegeven. De bias is voor alle stations kleiner dan 1 cm, en blijft in de regel beperkt tot afgerond nul of enkele millimeters.

Tabel 5.8 geeft eenzelfde overzicht voor de afvoerverdeling. De bias in afvoerverdeling blijft veelal beperkt tot minder dan 1 of enkele m<sup>3</sup>/s. De afwijking in afvoer naar de Waal in de H1-kalibratieperiode vormt hierop een uitzondering, met 15 m<sup>3</sup>/s.

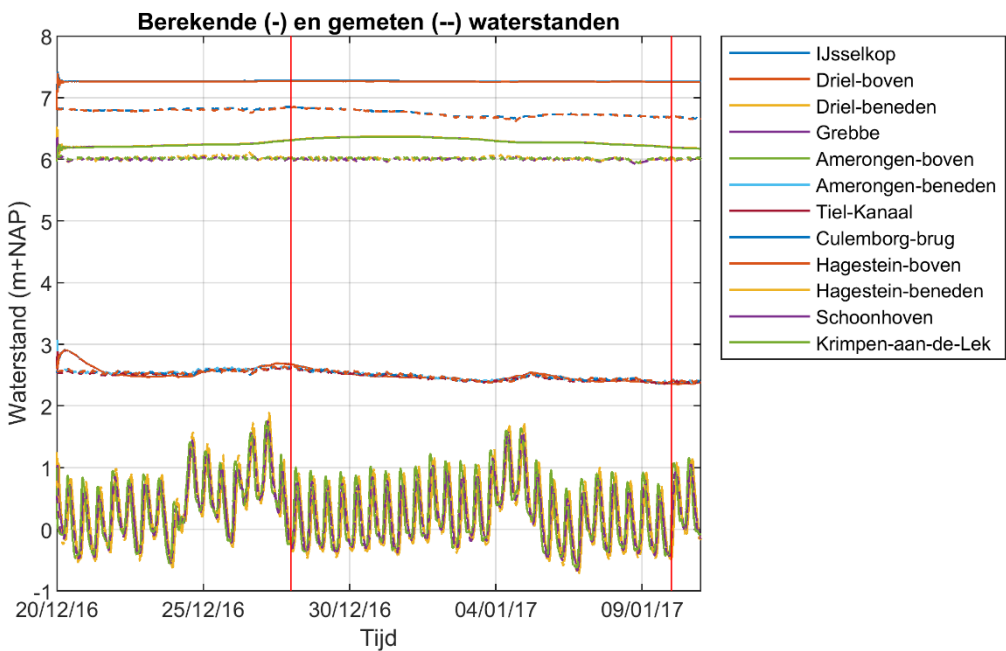
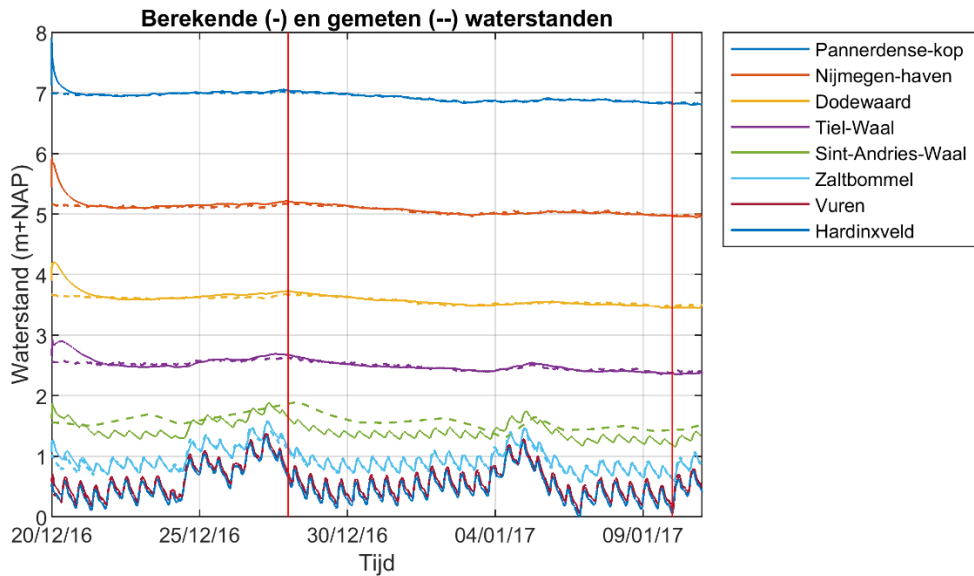
*Tabel 5.7 Verschil in waterstanden tussen model en meting (in meter) na kalibratie voor de kalibratievensters. Iedere waarde is het (root-mean-square) gemiddelde over de bias van alle meetstations die gebruikt zijn voor kalibratie.*

	Kalibratie Waterstanden				
	L1	M1	M2	H1	H2
<b>Bias [m]</b>	0,001	0,004	0,000	0,001	0,000

*Tabel 5.8 Verschil in afvoer tussen model en meting (in m<sup>3</sup>/s) na kalibratie voor de kalibratievensters.*

	Kalibratie Afvoer				
	L1	M1	M2	H1	H2
<b>Bias [m<sup>3</sup>/s]</b>					
<b>Boven-Rijn</b>	0,04	0,02	2,16	1,76	1,16
<b>Waal</b>	0,47	0,19	-1,91	-15,1	1,80
<b>Pan. Kanaal</b>	-0,06	-0,03	-0,10	-0,05	-0,13
<b>Neder-Rijn</b>	-0,26	-0,53	-2,15	2,26	-0,09
<b>IJssel</b>	-0,69	0,00	-0,07	-0,04	-0,12

**Waal en Neder-Rijn Lek**



Bias [m]:

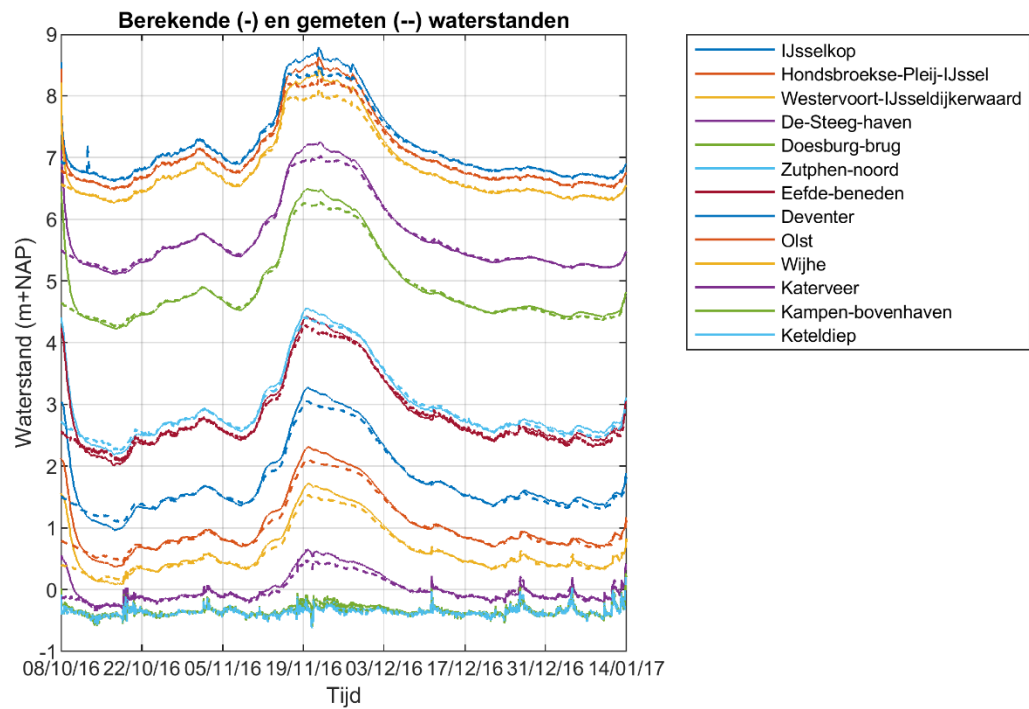
Pann. kop	Nijmegen	Dodewaard	Tiel	Zaltbommel	Vuren	Hagestein	Schoonhoven
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Voor de kalibratiestations is de bias 0 mm. Op de Waal is echter te zien dat de waterstanden bij Sint – Andries (geen kalibratiestation, want slechts één meting per dag) worden onderschat. Op de Neder-Rijn Lek zijn de waterstanden op het stuwpand van Driel en Amerongen veel te hoog. Deze waterstanden kunnen niet worden gekalibreerd vanwege een te klein verhang over de stuwpanden. Daarom is deze afwijking geaccepteerd. Het stuwpand van Hagestein staat in directe verbinding met de Waal. Omdat deze tak is gekalibreerd komen de waterstanden op het stuwpand van Hagestein wel goed overeen met de metingen.



## IJssel

In de waterstandsfiguur is het kalibratievenster niet met verticale lijnen aangegeven, omdat het venster hier ook wordt gelimiteerd door afvoergrenzen.



Bias [m]:

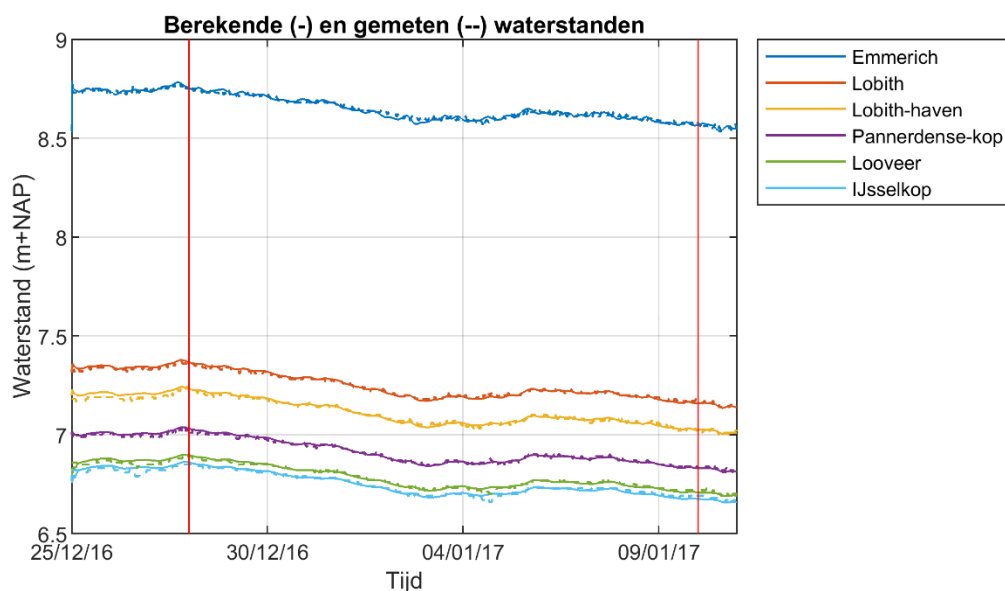
IJsselkop	Hpleij IJssel	Westervoort	De Steeg	Doesburg	Zutphen	Eefde beneden
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Deventer	Olst	Wijhe	Katerveer			
0.001	0.001	0.001	0.002			

Voor de perioden die binnen het afvoervenster vallen is de bias klein. Voor hogere afvoeren zijn de waterstanden over de hele tak te hoog (deze zijn nog niet gekalibreerd). In de eerste twee weken van de simulatieperiode zijn de waterstanden op alle trajecten iets te laag, terwijl de waterstanden juist iets te hoog zijn in de laatste drie weken. Vanaf Kampen is het verhang te laag om te kunnen kalibreren.

## Totaalmodel



*Bias waterstanden [m]:*

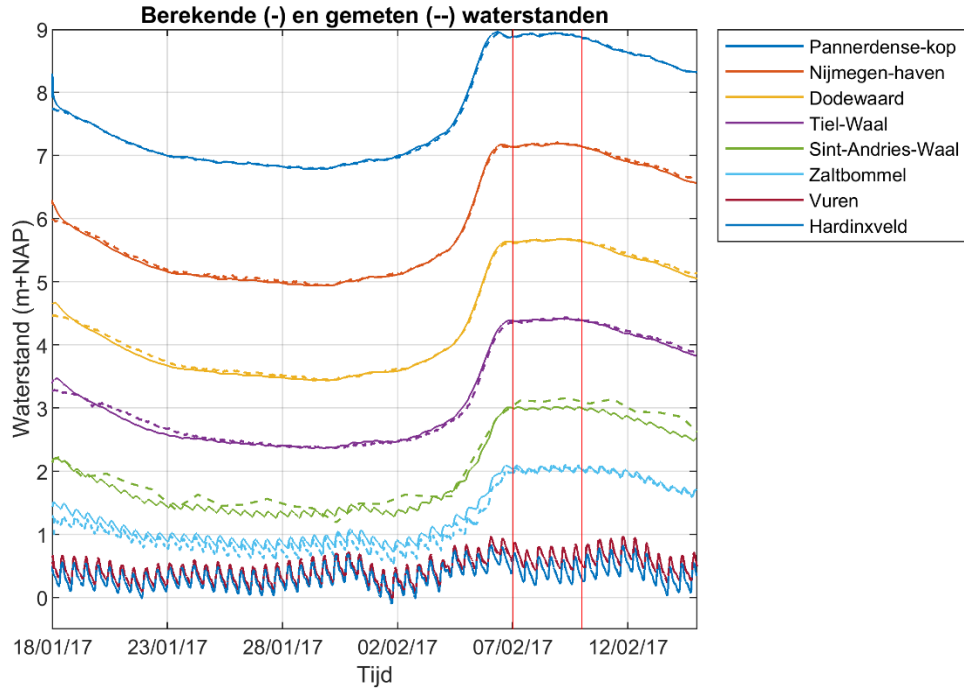
Emmerich	Lobith	Lobith-haven	Pann. kop	Looveer	IJsselkop
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

De gemeten waterstanden worden gedurende de hele periode goed gevolgd. Voor Looveer en IJsselkop zijn in de metingen 2 kleine dips te zien (26 december en 4 januari) die in het model niet goed worden gevolgd.

*Bias afvoeren in kalibratievenster [m<sup>3</sup>/s]:*

BR	W	PK	NR	IJ
0.04	0.47	-0.06	-0.26	-0.69

**Waal**

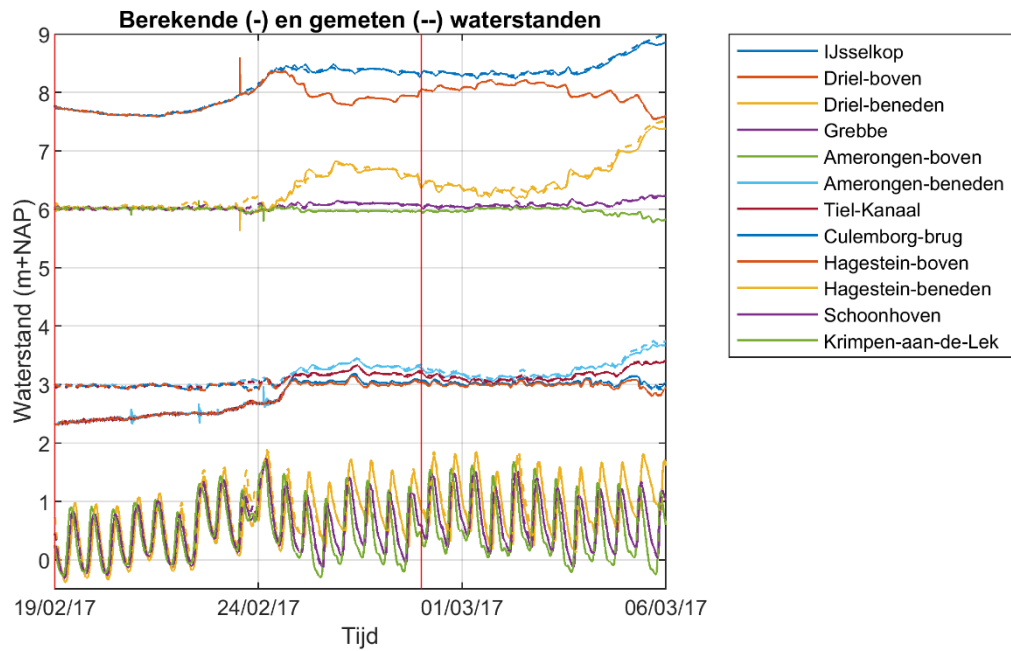


Bias [m]:

Pann. kop	Nijmegen	Dodewaard	Tiel	Zaltbommel	Vuren
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

Bij Sint-Andries zijn de waterstanden opnieuw te laag, voor Zaltbommel zijn ze in de aanloop juist te hoog.

**Neder-Rijn Lek**

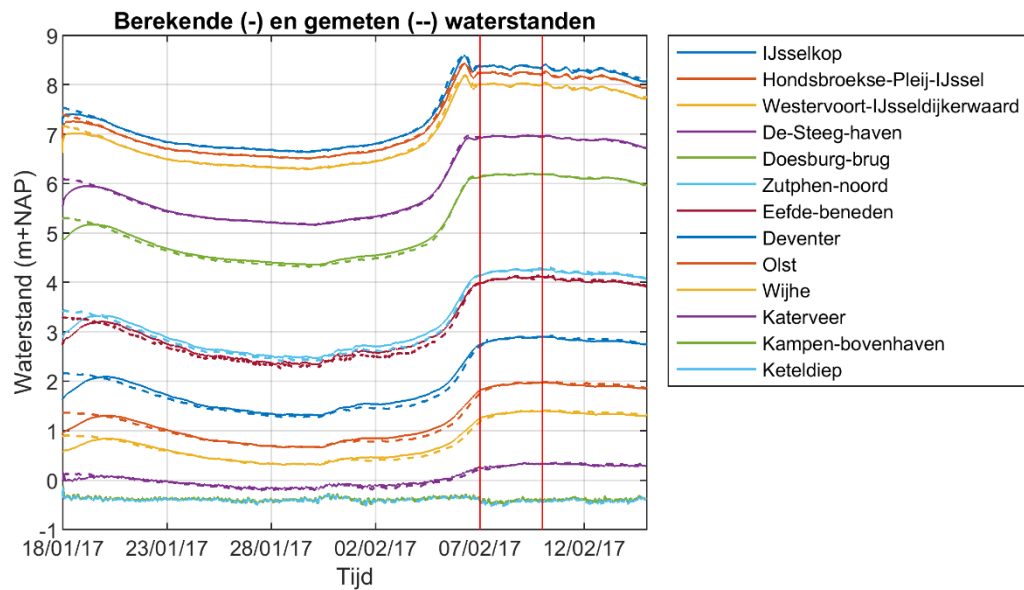


Bias [m]:

IJsselkop	Driel-beneden	Grebbe	Amerongen-beneden	Tielkanaal	Culemborg	Hagestein-beneden	Schoonhoven
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000

De stuwbewegingen bij Driel om de waterstand bij Driel-boven goed te volgen leiden tot fluctuaties in de waterstand bij IJsselkop en Driel-beneden die niet in de metingen terugkomen. In de eerste 5 dagen van de simulatie zijn instabiliteiten in de waterstanden te zien. Deze zijn het gevolg van de sturing op waterstanden, die in dit afvoerbereik niet stabiel is. In principe wordt in dit bereik sturing op afvoeren gebruikt, maar omdat deze periode niet wordt meegenomen in de kalibratie is dat in deze berekening niet geïmplementeerd. Daarnaast klopt de waterstand op het stuwpaand van Hagestein niet in deze aanloop. Dit is het gevolg van een verkeerde initiële waterstand.

### IJssel



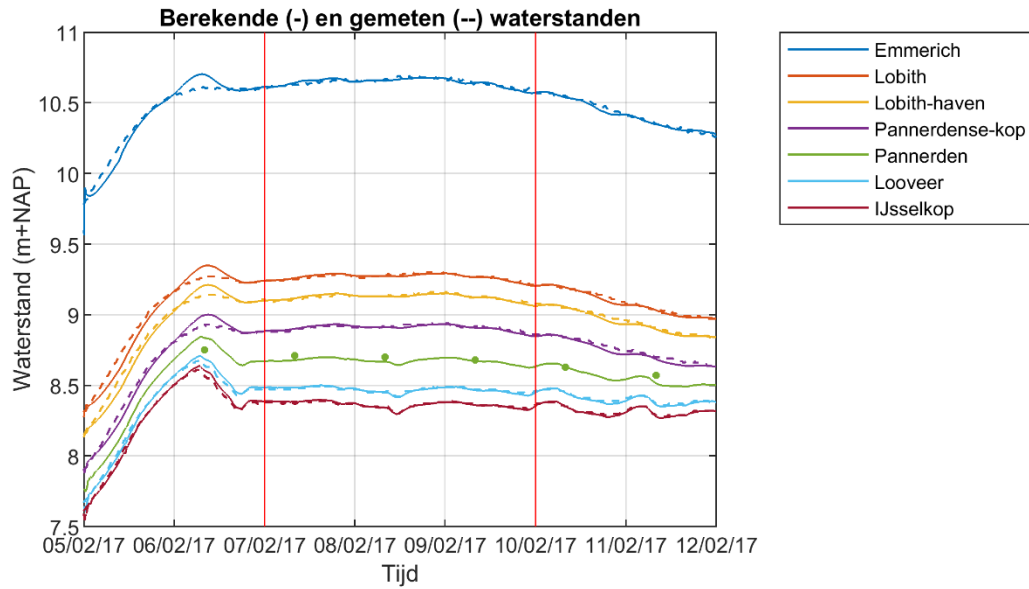
Bias [m]:

IJsselkop	Hpleij IJssel	Westervoort	De Steeg	Doesburg	Zutphen	Eefde beneden
0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Deventer	Olst	Wijhe	Katerveer
-0.002	0.002	0.004	0.008

In de aanloop zijn de waterstanden vanaf De Steeg veelal te hoog. Na de kalibratieperiode zijn de waterstanden juist iets te laag. Bij Wijhe en Katerveer is de bias relatief groot. Dit komt omdat de waterstanden bij Kampen en Keteldiep te hoog zijn. Dit beïnvloedt ook de waterstanden verder bovenstrooms. Omdat het verhang op deze trajecten te klein is kan vanaf Kampen niet goed gekalibreerd worden. Een aanpassing in de ruwheid heeft hier nauwelijks effect op de waterstand. Vanaf Kampen worden de resulterende kalibratiefactoren daarom niet gebruikt.

## Totaalmodel



### Bias waterstanden [m]:

Emmerich	Lobith	Lobith-haven	Pann. kop	Looveer	IJsselkop
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

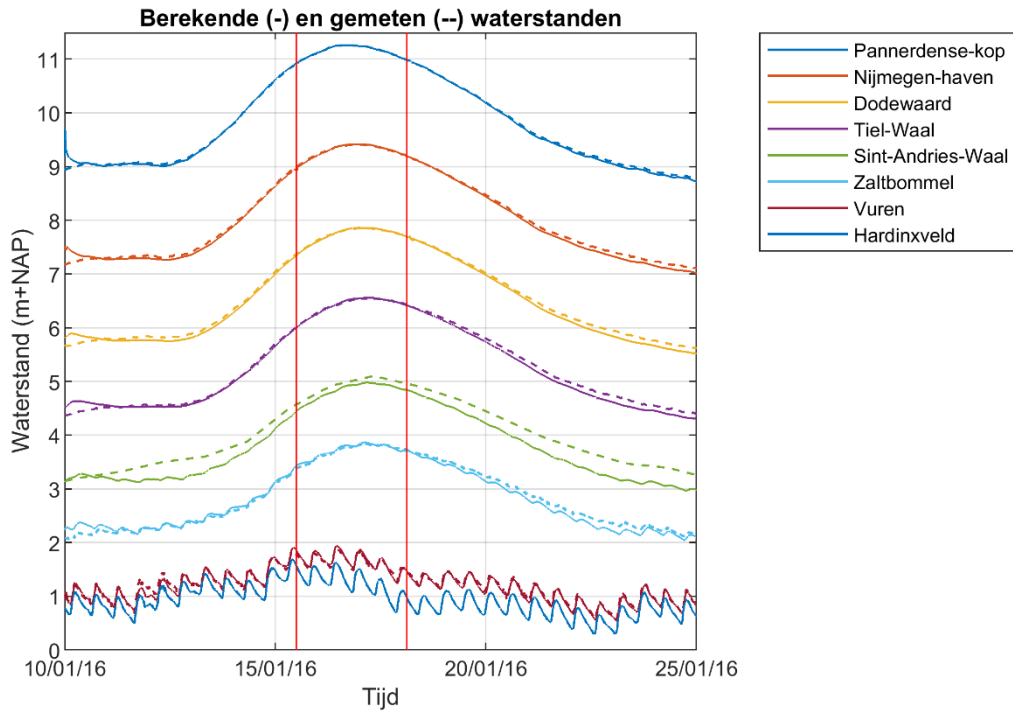
Bij Pannerden (geen kalibratiestation) zijn de waterstanden te laag (bias -0.024 m). Op 6 februari is in het model bij alle stations een waterstandspiek zichtbaar, die in de metingen alleen bij Looveer en IJsselkop optreedt. Vermoedelijk is deze piek bij IJsselkop ten onrechte omgezet in een afvoer bij Lobith, tijdens het samenstellen van de afvoerreeksen.

### Bias afvoeren in kalibratievenster [m<sup>3</sup>/s]:

BR	W	PK	NR	IJ
0.02	0.19	-0.03	-0.53	0.00

**Waal**

De rode lijnen geven hier (bij benadering) de begrenzing als gevolg van het afvoervenster weer.



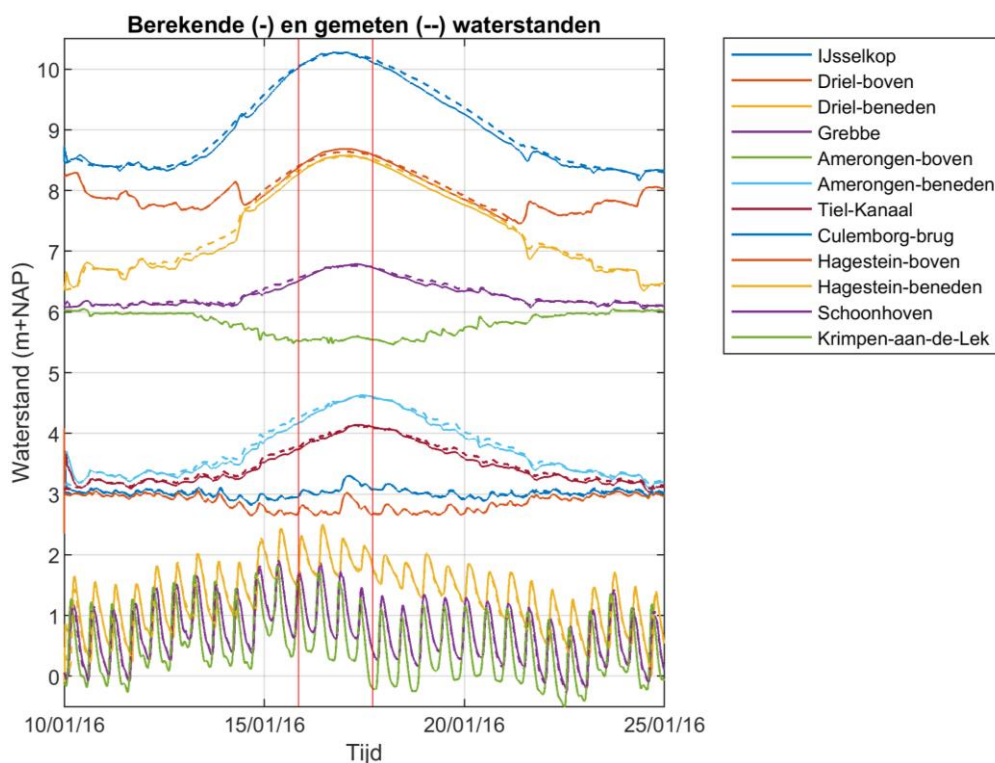
Bias [m]:

Pann. kop	Nijmegen	Dodewaard	Tiel	Zaltbommel	Vuren
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Net als voor M1 zijn de waterstanden bij Sint-Andries (veel) te laag. Ook bij de andere stations zijn de waterstanden rondom het kalibratievenster te laag, met name na de piek.

### Neder-Rijn Lek

De rode lijnen geven hier (bij benadering) de begrenzing als gevolg van het afvoervenster weer.



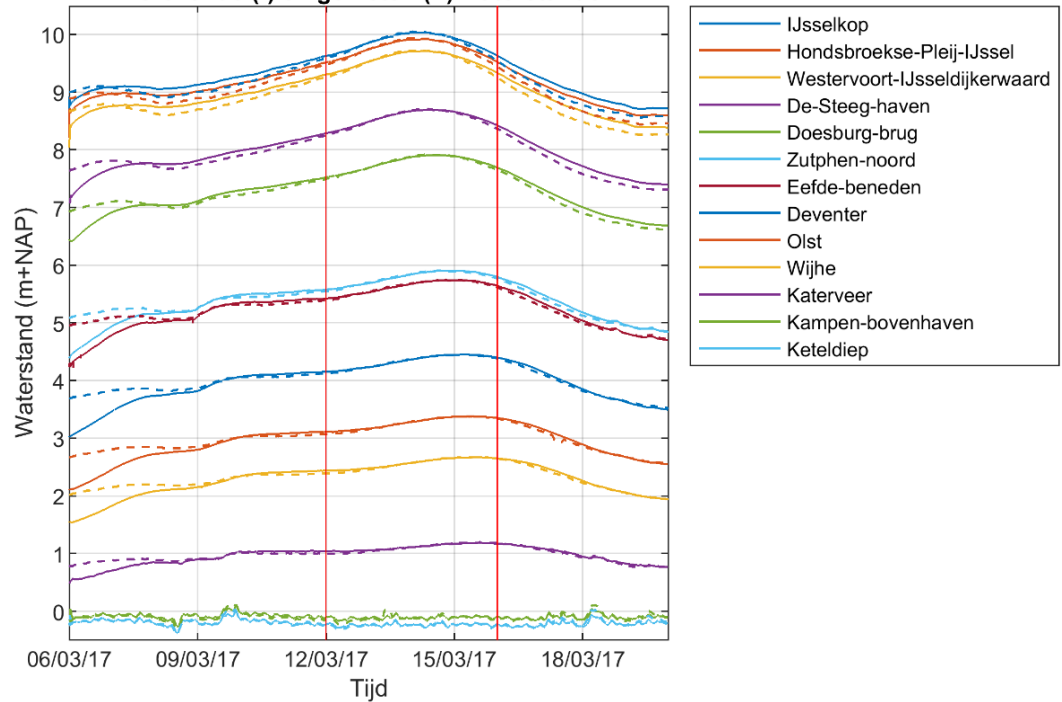
*Bias [m]:*

IJsselkop	Driel-beneden	Grebbe	Amerongen-beneden	Tielkanaal	Culemborg	Hagestein-beneden	Schoonhoven
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Rondom de kalibratieperiode zijn de waterstanden over het algemeen te laag. Het openen en sluiten van stuw Driel voor en na de kalibratieperiode heeft in het model ook een effect op de waterstanden bij IJsselkop, terwijl dit in de metingen niet terugkomt. Het verval over de geopende stuw Driel is iets te groot, zie ook Bijlage D.3.

## IJssel

Berekende (-) en gemeten (--) waterstanden



Bias [m]:

IJsselkop	Hpleij IJssel	Westervoort	De Steeg	Doesburg	Zutphen	Eefde beneden
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

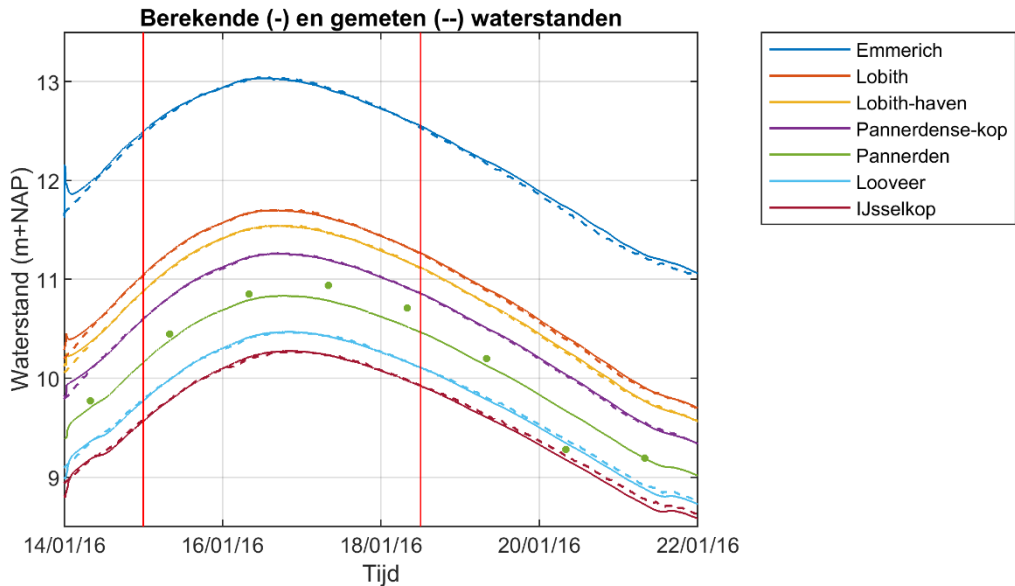
  

Deventer	Olst	Wijhe	Katerveer	Kampen	Keteldiep
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

In de eerste paar dagen van de simulatie zijn de waterstanden te laag als gevolg van onnauwkeurige initiële condities. In de dagen voor en na de kalibratieperiode zijn de waterstanden te hoog, met name bij de bovenstroomse stations. Dit in tegenstelling tot wat we voor de Waal en Neder-Rijn Lek zien. De stations Kampen en Keteldiep zijn nu voor het eerst meegenomen in de kalibratie.



## Totaalmodel



*Bias waterstanden [m]:*

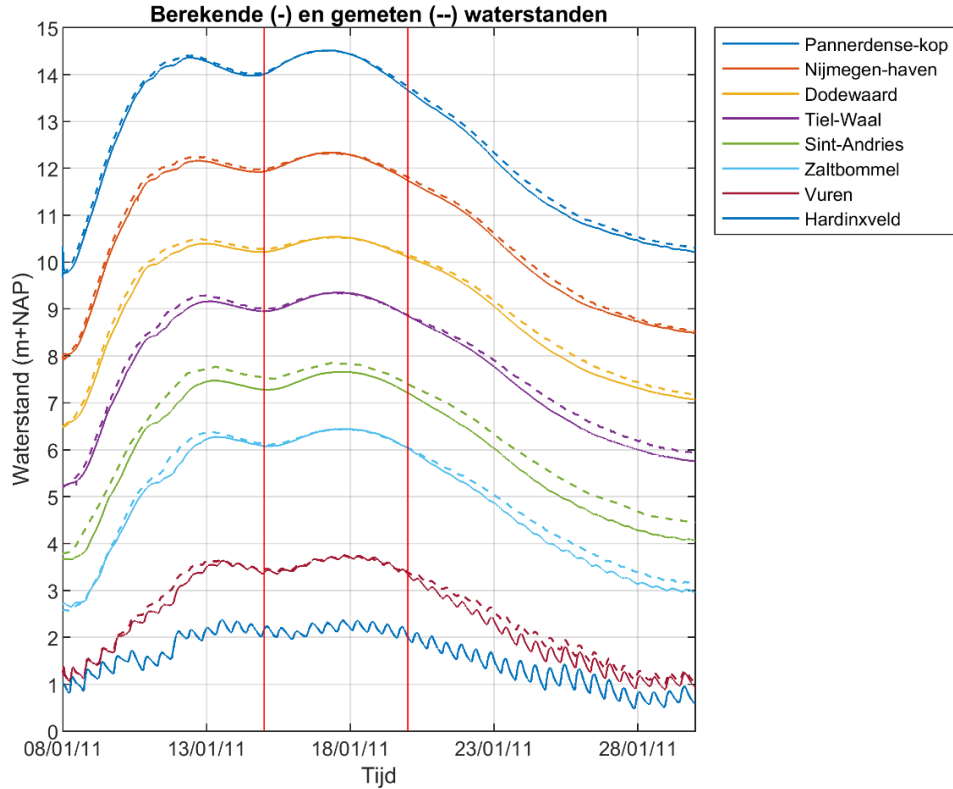
Emmerich	Lobith	Lobith-haven	Pann. kop	Looveer	IJsselkop
0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001

Net als voor M1 zijn de waterstanden bij Pannerden (geen kalibratiestation) te laag (bias - 0.119 m). In de laatste 3 dagen van de simulatie daalt de afvoer richting niveau M1 en wordt de afwijking tussen model en meting groter. Bovenstrooms van Pannerden zijn de waterstanden te hoog, benedenstrooms van Pannerden juist te laag.

*Bias afvoeren in kalibratievenster [m<sup>3</sup>/s]:*

BR	W	PK	NR	IJ
2.16	-1.91	-0.10	-2.15	-0.07

**Waal**

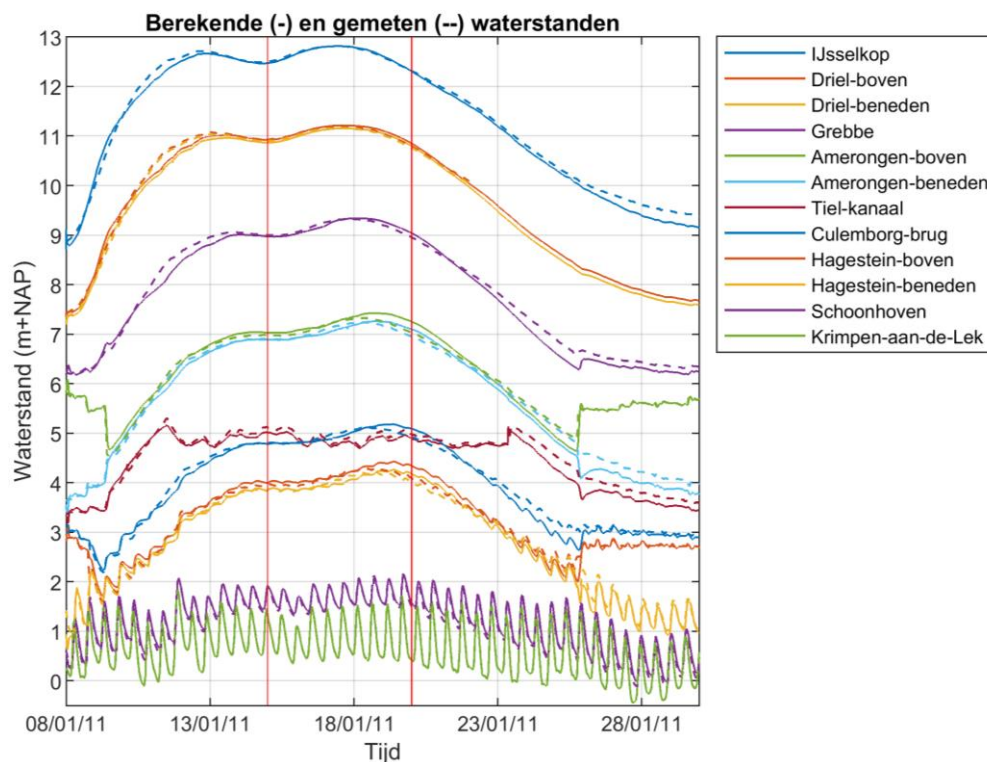


**Bias [m]:**

Pann. kop	Nijmegen	Dodewaard	Tiel	Zaltbommel	Vuren
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001

Opnieuw zijn de waterstanden bij Sint-Andries te laag gedurende de hele simulatie, en bij de overige stations voor en na de kalibratieperiode. Daarnaast wordt ook het verloop van de waterstanden tijdens de eerste piek niet goed gevolgd. Dit duidt erop dat het instromen van de uiterwaarden niet goed wordt gemodelleerd, ondanks de opname van diverse inlaatkunstwerken (coupures en duikers, zie paragraaf 2.5.1.5 en 4.4.5).

## Neder-Rijn Lek



**Bias [m]:**

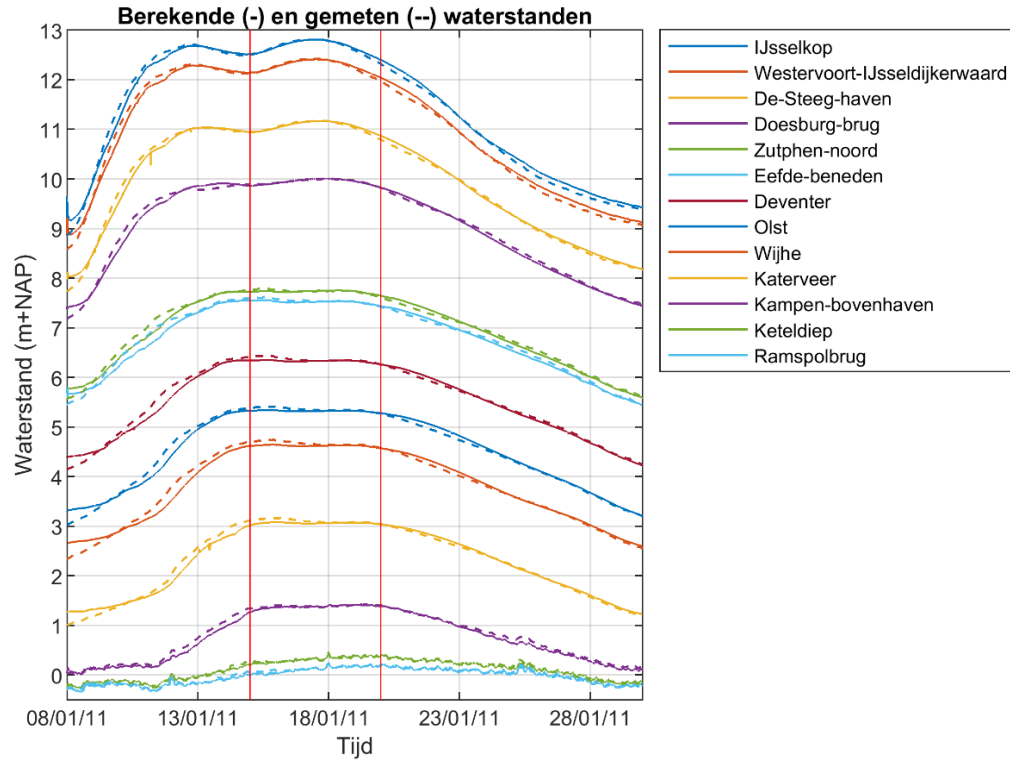
IJsselkop	Driel-beneden	Grebbe	Amerongen-beneden	Culemborg	Hagestein-beneden	Schoonhoven
0.000	-0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000

Als gevolg van de kalibratie lijkt de afvoergolf te zijn vertraagd: Aan het begin van de kalibratieperiode zijn de waterstanden te laag, aan het eind juist te hoog. Doordat de waterstanden voor kalibratie structureel te laag zijn moet de ruwheid flink omhoog, wat tot een langere looptijd leidt. Dit effect is vooral te zien tussen Grebbe en Hagestein-beneden. De piekwaterstanden worden overschat om te compenseren voor de te lage waterstanden in het eerste deel van de kalibratieperiode.

Net als op de Waal zien we dat in de eerste piek het waterstandsverloop niet goed wordt gevolgd. Ook hier wordt het instromen van uiterwaarden niet goed gemodelleerd, ondanks de opname van coupures en duikers. Het lijkt erop dat uiterwaarden te laat instromen: in de aanloop naar de eerste piek zijn de waterstanden eerst te hoog en daarna te laag. Daarnaast zijn de waterstanden met name na de kalibratieperiode te laag.

Het station Tiel-kanaal doet niet mee in de kalibratie. Door het sluiten van de keerschuiif Ravenswaaij staat het Betuwepand (en dus dit station) niet meer in verbinding met de Lek.

## IJssel



*Bias [m]:*

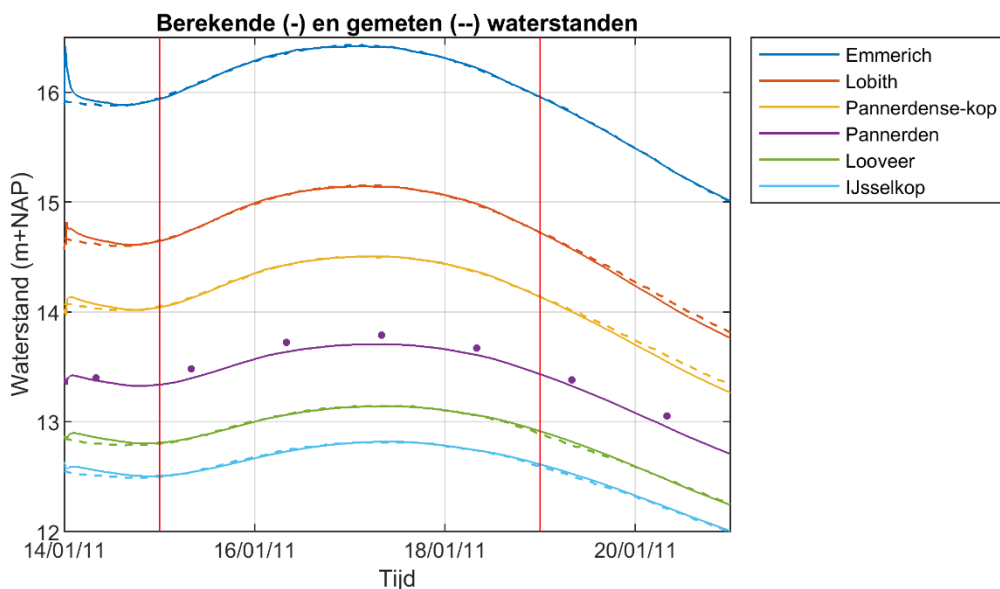
IJsselkop	Westervoort	De Steeg	Doesburg	Zutphen	Eefde beneden
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Deventer	Olst	Wijhe	Katerveer	Kampen	Keteldiep
0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001

Net als op de andere takken is te zien dat de uiterwaarden tijdens de eerste piek niet goed instromen. Ook is te zien dat vanaf Doesburg de vorm van de hoogwatertop minder goed wordt gevolgd, met name het eerste deel. Verder worden de waterstanden voor en na de kalibratieperiode over het algemeen beter gevolgd dan voor de andere takken het geval is.

## Totaalmodel



### Bias waterstanden [m]:

Emmerich	Lobith	Pann. kop	Looveer	IJsselkop
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Opnieuw zijn de waterstanden bij Pannerden te laag. In de laatste twee dagen van de simulatie daalt de afvoer richting niveau M2 en wordt de afwijking tussen model en meting groter (Emmerich uitgezonderd). Bovenstrooms van Pannerden zijn de waterstanden nu te laag, benedenstrooms van Pannerden juist te hoog. Met name op het Pannerdensch Kanaal (kalibratietrajecten 2012 t/m 2014) zijn de verschillen in factoren tussen M2 en H1 relatief groot (zie Figuur 5.18). Tussen deze twee afvoerniveaus wordt het resultaat dus sterk door interpolatie beïnvloed.

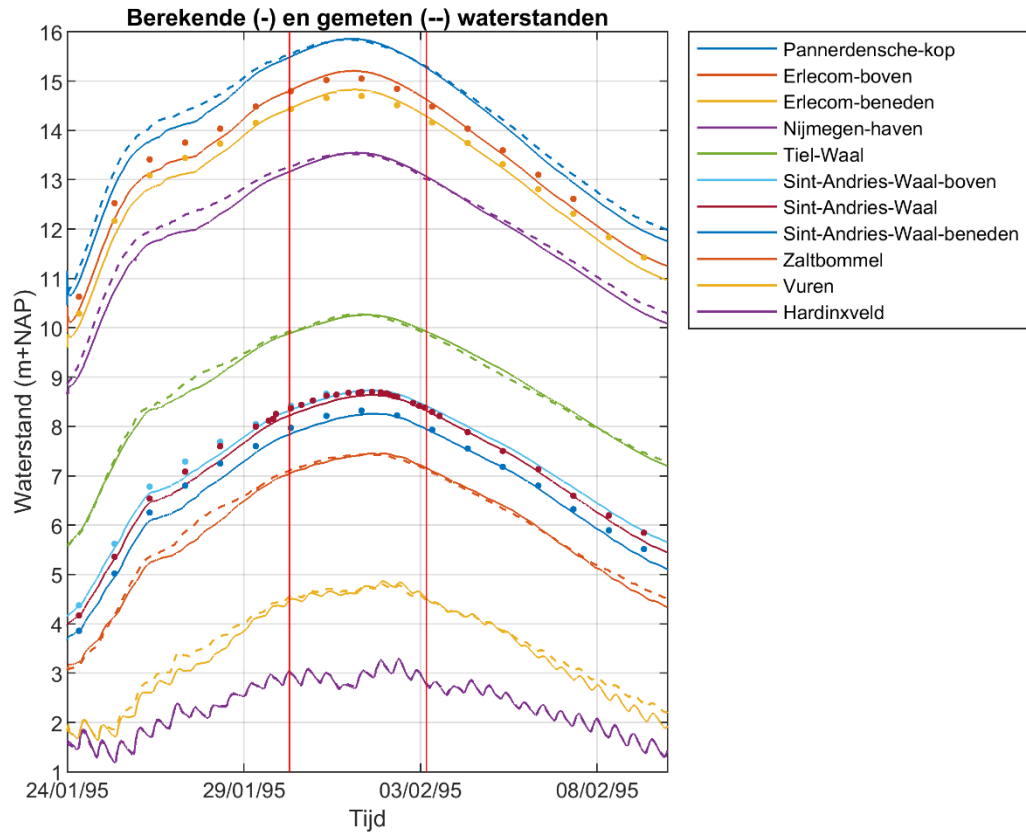
### Bias afvoeren in kalibratievenster [ $m^3/s$ ]:

BR	W	PK	NR	IJ
1.76	-15.1	-0.05	2.26	-0.04

5.2.2.6 H2

De rode lijnen geven hier (bij benadering) de begrenzing als gevolg van het afvoervenster weer.

**Waal**

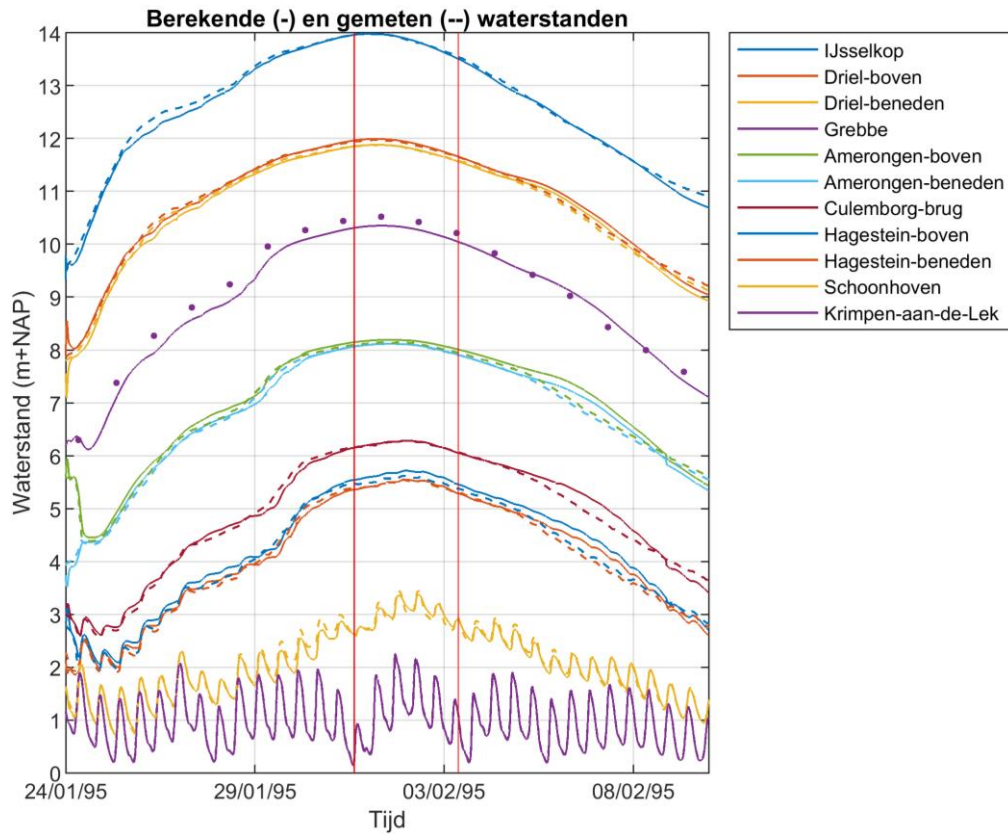


**Bias [m]:**

Pann. kop	Nijmegen	Tiel	Zaltbommel	Vuren
0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

In de aanloop naar de piek zijn opnieuw de effecten van het instromen van uiterwaarden te zien, rond de waterstanden die bij afvoerniveau H1 horen. Na de kalibratieperiode zijn de waterstanden over het algemeen te laag. De meetstations bij Erlecom en Sint-Andries (niet-gekalibreerd) geven een indicatie van de modelprestatie tussen de gekalibreerde stations in.

## Neder-Rijn Lek

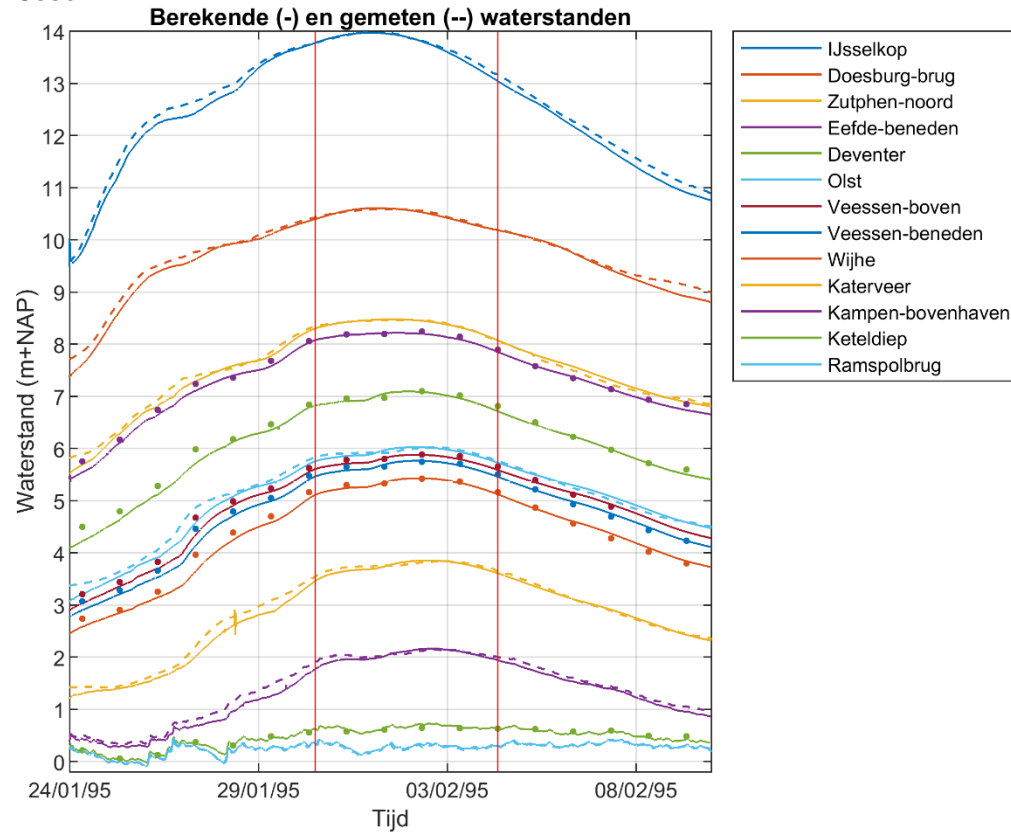


*Bias [m]:*

IJsselkop	Driel-beneden	Amerongen-beneden	Culemborg	Hagestein-beneden	Schoonhoven
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Voor de Neder-Rijn Lek valt met name op dat tussen 5 en 8 februari de waterstanden vanaf Driel-boven tot Hagestein – beneden te hoog zijn. De afvoer ligt in deze periode rond het niveau van H1, waarvoor de kalibratiefactoren relatief hoog zijn. Voor 1995 geven deze factoren echter geen goed resultaat. Voorafgaand aan de piek treedt hetzelfde retentieprobleem op als ook op de andere takken en in H1 zichtbaar is. De hoge kalibratiefactoren voor H1 compenseren hier echter voor, waardoor de waterstanden in de dagen voor de piek relatief goed gevolgd worden.

## IJssel



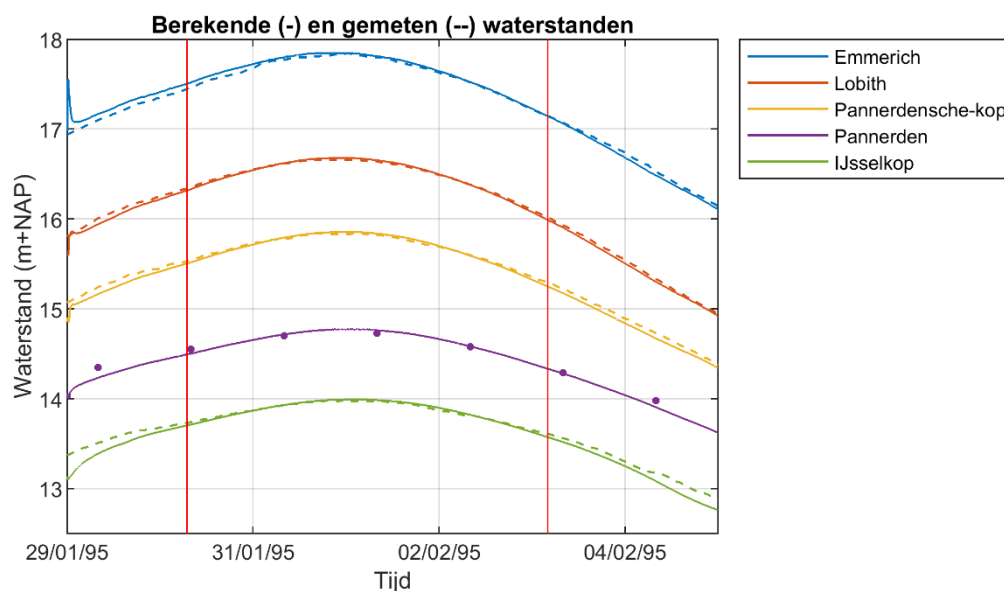
*Bias [m]:*

IJsselkop	Doesburg	Zutphen	Olst	Katerveer	Kampen
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Voor de IJssel is, afgezien van de retentieproblemen aan het begin van de simulatie, te zien dat het waterstandsverloop binnen de kalibratieperiode niet goed wordt gevolgd. Met name vanaf Deventer is te zien dat de waterstanden eerst te laag zijn, maar vervolgens te vroeg stijgen, waardoor de piekwaterstand te vroeg wordt bereikt. Het lijkt erop dat de Wilpse en Nijenkamp Kleipolder net bovenstrooms van dit traject te vroeg zijn ingestroomd, waardoor de waterstanden verder benedenstrooms te vroeg stijgen. Een testsom met lagere ruwheden op het traject Zutphen-Deventer leidde tot een beter verloop, maar ook tot lagere waterstanden bij Eefde.



## Totaalmodel



*Bias waterstanden [m]:*

Emmerich	Lobith	Pann. kop	IJsselkop
0.000	0.000	0.000	0.000

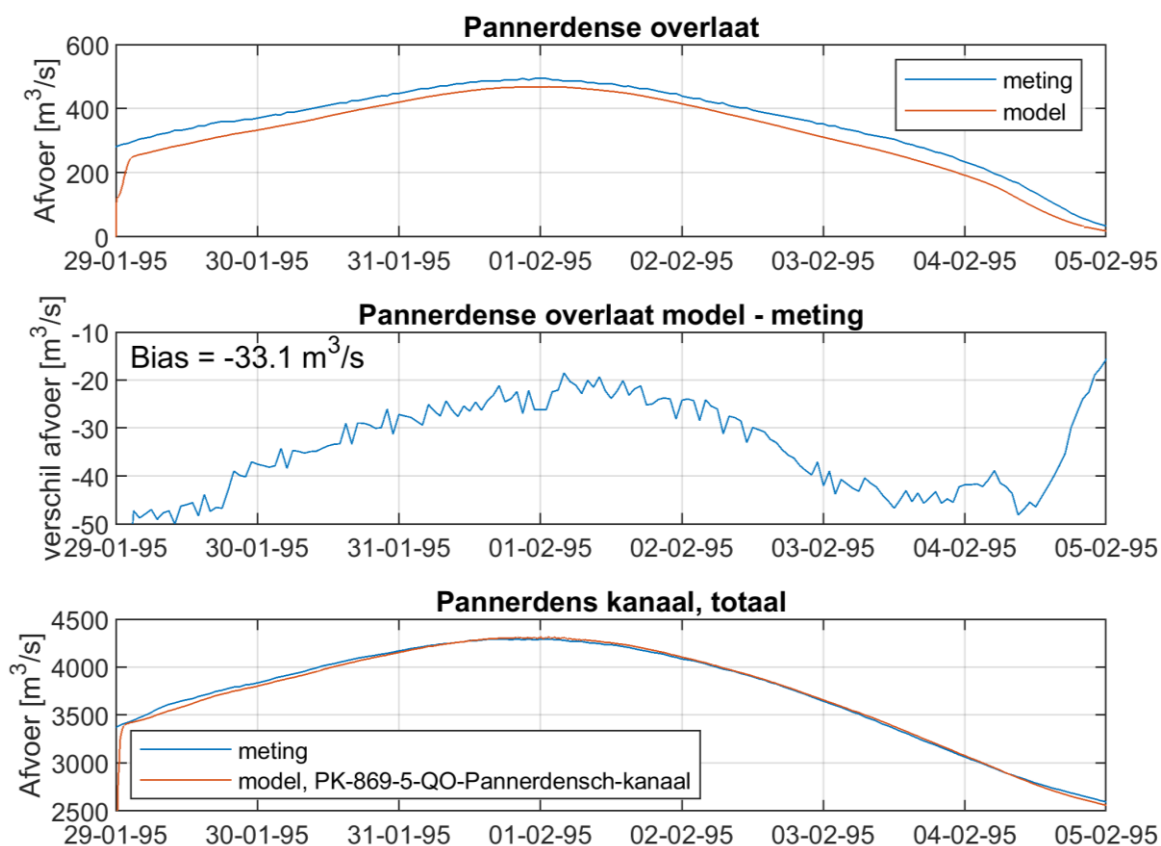
In de periode voor en na de kalibratie zijn de waterstanden te laag. Alleen bij Emmerich zijn de waterstanden in de aanloop te hoog. Bij Pannerden worden de metingen goed benaderd binnen het kalibratievenster.

*Bias afvoeren in kalibratievenster [m<sup>3</sup>/s]:*

BR	W	PK	NR	IJ
1.16	1.80	-0.13	-0.09	-0.12

*Validatie afvoerverdeling Pannerdensch Kanaal en Groene Rivier:*

Uit een vergelijking met metingen blijkt dat de afvoer over de Pannerdense overlaat wordt onderschat met zo'n 30 m<sup>3</sup>/s, waardoor de afvoer door het zomerbed iets te groot is (zie Figuur 5.19). Om voor het teveel aan afvoer te compenseren zal de kalibratiefactor op met name traject 2013 (Pannerden – Looveer) iets lager zijn dan in het geval van een juiste afvoerverdeling.



Figuur 5.19 Validatie afvoer Pannerdense overlaat.

### 5.2.3 Discussie

In deze paragraaf worden de resultaten zoals gepresenteerd in paragraaf 0 en 5.2.2 verder geïnterpreteerd.

#### Algemeen

- Binnen de kalibratieperioden werkt de kalibratiemethode goed. De resulterende bias valt vrijwel zonder uitzondering binnen het gestelde criterium ( $< 0.005$  m). Buiten de kalibratieperiode en voor stations die niet in de kalibratie zijn meegenomen is de prestatie van het model echter vaak veel minder goed.
- Een kalibratiecriterium op basis van de bias tussen model en meting is voor dit model over het algemeen een goede keuze. Voorafgaand aan de kalibratie is vaak sprake van een systematische afwijking, die met deze kalibratiemethode goed opgelost kan worden. Een goede weergave van de looptijd van een afvoergolf kan met deze methode echter niet worden gegarandeerd. Met een biascriterium is het mogelijk dat de waterstanden vlak voor een afvoerpiek te laag zijn en vlak erna te hoog, of andersom. De looptijd is dan te kort of juist te lang. Voor **H1 Neder-Rijn Lek** wordt de looptijd na kalibratie bijvoorbeeld minder goed weergegeven dan voor kalibratie. Doordat een grote verhoging van de ruwheid nodig is om aan het biascriterium te voldoen wordt de afvoergolf teveel vertraagd. Ook bij de kalibratie op afvoeren in het totaalmodel wordt dit probleem ondervonden, met name voor de **IJssel (M2 t/m H2)**. Voor kalibratie op afvoergolven kan een criterium op basis van de kwadratisch gemiddelde afwijking (RMSE) dit probleem mogelijk verminderen.

### *Kalibratiefactoren*

- Er bestaat een correlatie tussen afvoer en kalibratiefactor, al is deze correlatie niet zo sterk als voor de Maas (De Jong, 2020). Dit kan erop duiden dat de ruwheid in werkelijkheid sterker afhankelijk is van de waterstand dan nu is aangenomen in de gekozen ruwheidsformuleringen.
- De kalibratiefactoren voor niveau **H2** zijn over het algemeen lager dan die voor H1. Dit kan te maken hebben met de ruwheid van de uiterwaarden, die niet wordt gekalibreerd. In H2 stromen meer uiterwaarden mee dan in H1. Als de ruwheid van de uiterwaarden te hoog is, wordt dit gecompenseerd door de ruwheid van het zomerbed te verlagen. Dit zou kunnen verklaren waarom de factoren voor H2 over het algemeen lager zijn dan die voor H1.
- Op **traject 2024 (IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij)** zijn de kalibratiefactoren voor alle niveaus lager dan 0.9. Voor H1 en H2 zijn de factoren zelfs zeer laag (0.586 en 0.506, respectievelijk). Het is niet duidelijk wat hiervan de oorzaak is. Wel is duidelijk dat de ruwheid op dit traject sterk wordt beïnvloed door het benedenstroomse traject van het Pannerdensch Kanaal (2014). Dit komt omdat het zeer korte traject 2024 in het totaalmodel over de gehele lengte wordt beslagen door het overgangsgebied tussen traject 2014 en 2024. Op dit overgangsgebied wordt de kalibratiefactor geïnterpoleerd tussen de factoren die voor elk van deze trajecten zijn gevonden (zie Figuur 5.2). Op traject 2014 zijn de kalibratiefactoren voor H1 en H2 relatief hoog (1.202 en 1.179, respectievelijk). Om hiervoor te compenseren wordt de factor voor traject 2024 juist relatief laag voor deze afvoerniveaus.
- Op de IJssel is het verhang op de twee meest benedenstroomse trajecten (**2040 en 2041, Ketelbrug – Ketelmeer – Vossemeer**) voor alle afvoeren te klein om kalibratie op uit te kunnen voeren. Voor afvoerniveaus L1 en M1 is het verhang ook op trajecten **2038 en 2039 (Kampen – einde Keteldiep)** te klein. Daarnaast heeft de wind hier een groot effect op de waterstanden. Dit gedeelte van het model gedraagt zich bij lage afvoeren eerder als een meer dan als een rivier. De vraag rijst of deze trajecten voor kalibratie in het Rijntakkenmodel opgenomen zouden moeten zijn, met name voor de lagere afvoerniveaus. Het modelresultaat op de benedenstroomse IJssel (ruwweg vanaf Deventer) zou kunnen verbeteren als de benedenstroomse rand in bovenstroomse richting wordt verplaatst. De invloed van wind op het traject waarover de rand verplaatst is wordt dan via de randvoorwaarde opgelegd.

### *Individuele takken/afvoerniveaus*

- De waterstanden bij **Sint – Andries Waal** (geen kalibratiestation) zijn voor alle kalibratieperioden te laag. In het zesde-generatiemodel is de ruwheid op deze locatie aangepast ten opzichte van de vijfde generatie. De ruwheid van de vaste laag, die hier over een groot deel van de breedte van het zomerbed aanwezig is, is niet aangepast. Voor de resterende breedte in de binnenbocht is de ruwheid verlaagd. Mogelijk leidt deze schematisatie lokaal tot te lage waterstanden. Omdat het traject van de vaste laag kort is, kan een te lage ruwheid op deze locatie waarschijnlijk niet het hele verschil (tot meer dan 40 cm) verklaren. Een tweede mogelijkheid is dat de metingen zelf een grote positieve bias hebben.
- Plotselinge veranderingen in de stand van de stuwen op de Neder-Rijn Lek hebben een te groot effect op de waterstanden in boven- en benedenstroomse richting. Dit is vooral zichtbaar voor **stuw Driel** voor afvoerniveaus **M1 en M2**. Bij de IJsselkop zijn in het model de fluctuaties van de stuw bijvoorbeeld goed terug te zien, terwijl dit voor de metingen niet geldt. Dit kan te maken hebben met de schematisatie van de stuwen en de stroming hierdoorheen. Een andere mogelijke oorzaak kan zijn dat in het model niet genoeg demping plaatsvindt. Dit laatste zou ook een verklaring zijn voor het feit dat het getij te ver doordringt op de **Waal**. Dit is goed te zien bij niveau **M2 en hoger**.

- Voor de afvoergolven op de **Waal en Neder-Rijn Lek (M2 en hoger)** zijn de waterstanden rondom het kalibratievenster over het algemeen te laag. Dit kan twee dingen betekenen:
  - De kalibratiefactor voor het niveau eronder is onvoldoende geldig voor de gemodelleerde golf. In de kalibratie is aangenomen dat het kalibratieresultaat op basis van een bepaald jaar ook geldig is voor andere jaren, ook al is de geometrie in dat jaar anders. Het kan zijn dat deze aanname van stationariteit niet opgaat voor de genoemde perioden en gebieden.
  - Het resultaat van interpolatie tussen de kalibratiefactoren van twee opeenvolgende niveaus is onvoldoende geldig voor de gemodelleerde golf. Het modelresultaat kan dan worden verbeterd door een extra afvoerniveau toe te voegen in het interpolatiegebied. Dit niveau kan apart worden gekalibreerd, of de factor van het hogere niveau kan worden overgenomen. Dit laatste is voor bijvoorbeeld **H1 Waal** geen optie, omdat de factoren voor H1 hier weinig verschillen van de factoren voor M2. Een extra afvoerniveau is echter alleen een optie als dat op basis van fysica logisch lijkt. Het zonder goede reden (in de fysica) toevoegen van afvoerniveaus leidt tot een “overgekalibreerd” model dat weliswaar de kalibratieperiode goed reproduceert maar niet per se geschikt is voor andere perioden. Daarnaast kan het resultaat mogelijk worden verbeterd door het afvoervenster van het hogere niveau naar beneden uit te breiden, waardoor lagere afvoeren worden meegenomen. Voor deze lagere afvoeren wordt het resultaat dan beter, maar dit gaat ten koste van het resultaat rondom de piek.
- Het instromen van uiterwaarden wordt voor **H1 en H2** niet goed nagebootst in het model, ondanks verbeteringen in de geometrie ten opzichte van de vijfde generatie. Om het modelresultaat te verbeteren moet beter worden onderzocht hoe deze instroming precies plaatsvond tijdens de hoogwatergolven van 2011 en 1995 en hoe dit verschilt in het model.

#### 5.2.4 Toepassing in modellen

Tabel 5.9 toont de definitieve kalibratiefactoren. In de groen gearceerde cellen is de kalibratiefactor veranderd ten opzichte van Tabel 5.6. Daarnaast is in enkele gevallen het aantal afvoerniveaus aangepast (niet aangegeven in de tabel). In deze paragraaf wordt puntsgewijs besproken waarom deze veranderingen zijn aangebracht.

- **overgangsgebied RMM:** De zesde-generatiemodellen voor de Rijn-Maasmonding (RMM) en de Rijntakken overlappen op de Lek en de Waal. Voor de overlapgebieden zijn met beide modellen (verschillende) kalibratiefactoren bepaald. Omdat de modellen gekoppeld moeten kunnen worden, moet worden gekozen welke factoren in de uiteindelijke modellen worden toegepast. Zoals onderbouwd in het memo van Veenstra et al. (2020) is voor de Lek gekozen om de factoren uit RMM over te nemen, terwijl voor de Waal de factoren uit het Rijntakkenmodel worden gebruikt. Omdat het RMM-model alleen voor de afvoerniveaus L1 en M1 is gekalibreerd, zijn de factoren voor deze niveaus op de twee benedenstroomse trajecten van de Lek veranderd ten opzichte van het OpenDA-resultaat. Bovendien zijn de niveaus L1 en M1 in het RMM-model als één afvoerniveau beschouwd, waardoor de factoren voor beide niveaus gelijk zijn.

- **Afvoerverdeling M1/M2:** Uit de validatie met j16 (zie paragraaf 6.2) blijkt dat de afvoerverdeling tussen de afvoerniveaus M1 en M2 niet goed is. De afvoer naar de IJssel is te laag, terwijl er teveel naar de Neder-Rijn gaat. Ook gaat er iets te weinig afvoer naar het Pannerdens Kanaal en iets teveel naar de Waal. De afvoerverdeling is verbeterd door op trajecten 2003 (Waal, Pann. Kop – Nijmegen), 2012 (Pannerdens Kanaal, Pann. Kop - Pannerden) en 2024 (IJssel, IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij) een extra afvoerniveau toe te voegen, tussen M1 en M2 in. Voor traject 2003 en 2012 is het resultaat van M2 overgenomen, voor 2024 is het resultaat van M1 gebruikt. In wezen wordt het bovenstroomse traject van de Waal hiermee iets ruwer gemaakt, terwijl de bovenstroomse trajecten van Pannerdens Kanaal en IJssel iets gladder worden voor afvoeren tussen M1 en M2 in. Hierdoor gaat meer afvoer naar Pannerdens Kanaal en IJssel, terwijl er minder naar de Waal gaat. De consequentie hiervan is dat er ook iets meer afvoer naar de Neder-Rijn gaat, terwijl hier al teveel afvoer naartoe ging. Aan een juiste afvoer naar de IJssel wordt echter prioriteit gegeven, omdat op deze tak de waterstanden relatief sterk worden beïnvloed door de afvoer.
- **Looptijd golven Neder-Rijn – Lek:** Zoals genoemd in paragraaf 5.2.3 wordt de looptijd van afvoergolven op de Neder-Rijn – Lek voor niveau H1 na kalibratie minder goed weergegeven dan voor kalibratie. Doordat een grote verhoging van de ruwheid nodig is om aan het biascriterium te voldoen wordt de afvoergolf teveel vertraagd. Uiteindelijk is ervoor gekozen om een grotere bias te accepteren om de looptijd te verbeteren. Op basis van deze afweging zijn de kalibratiefactoren voor H1 op de trajecten 2020 t/m 2022 (Tielkanaal tot Schoonhoven) verlaagd ten opzichte van het OpenDA-resultaat.
- **Kalibratiefactoren IJssel benedenstroms:** Voor de trajecten 2038 en 2039 (Kampen – einde Keteldiep) is geen kalibratie uitgevoerd voor niveaus L1 en M1. Daarnaast is de kalibratiefactor voor niveau H1 op traject 2039 vanuit fysisch oogpunt onrealistisch laag. Voor deze niveaus is daarom gekozen om de kalibratiefactor van het eerstvolgende hogere niveau over te nemen.

Met deze aanpassingen is de laagste kalibratiefactor nu 0.506 (H2, traject 2024) en de hoogste 1.330 (H2, traject 2025).

Tabel 5.9 Definitieve kalibratiefactoren. Aanpassingen t.o.v. de factoren bepaald met OpenDA (zie Tabel 5.6) zijn groen gearceerd. De blauw gearceerde niveaus zijn niet gekalibreerd. In de betreffende cellen is schuingedrukt aangegeven welke kalibratiefactor geldt (indien aanwezig is dit de factor van het eerstvolgende hogere niveau, anders is de factor gelijk aan 1).

Traject	code	L1	M1	M2	H1	H2
<b>Boven-Rijn</b>						
Dornick – Lobith	2000	1.076	1.032	1.007	0.979	0.880
Lobith – Lobith haven	2001	1.081	0.974	0.969	1.093	1.108
Lobith Haven – Pannerdensche Kop	2002	1.051	0.889	0.943	1.093	1.108
<b>Waal</b>						
Pannerdensche Kop – Nijmegen	2003	0.948	0.942	0.969	0.998	0.943
Nijmegen – Dodewaard	2004	0.854	0.907	0.940	0.942	0.897
Dodewaard – Tiel	2005	0.848	0.936	1.001	1.030	0.981
Tiel – Varik	2006	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Varik – Sint Andries	2007	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Sint Andries - Heesselt	2008	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Heesselt - Zaltbommel	2009	0.883	0.982	1.076	1.033	0.892
Zaltbommel – Vuren	2010	0.806	0.999	1.108	1.114	1.005

Traject	code	L1	M1	M2	H1	H2
Vuren – Werkendam	2011	0.851	0.820	0.871	1.208	1.146
<b>Pannerdensch Kanaal</b>						
Pannerdensch Kop – Pannerden	2012	0.794	0.877	0.830	1.114	1.093
Pannerden – Looveer	2013	0.794	0.877	0.830	1.114	1.093
Looveer – IJsselkop	2014	0.992	0.930	0.940	1.202	1.179
<b>Neder-Rijn Lek</b>						
IJsselkop – Arnhem	2015	0.777	0.777	1.021	1.003	0.910
Arnhem – stuw Driel	2016	0.825	0.825	1.025	1.081	1.100
Stuw Driel – Grebbe	2017	0.838	0.838	1.076	1.219	1.115
Grebbe – stuw Amerongen	2018	0.639	0.639	1.057	1.252	1.145
Stuw Amerongen – Tiel Kanaal	2019	0.762	0.762	0.963	1.192	1.076
Tiel Kanaal – Culemborg	2020	0.765	0.765	1.091	1.320	1.219
Culemborg – stuw Hagestein	2021	0.750	0.750	0.971	1.220	0.933
Stuw Hagestein – Schoonhoven	2022	0.912	0.912	0.909	1.200	1.058
Schoonhoven – Krimpen a/d Lek	2023	0.916	0.916	0.936	1.034	0.974
<b>IJssel</b>						
IJsselkop – Hondsbroeksche Pleij	2024	0.852	0.708	0.870	0.586	0.506
Hondsbroeksche Pleij – Westervoort	2025	1.082	1.106	1.088	1.163	1.330
Westervoort – De Steeg	2026	0.901	0.857	0.883	0.980	1.121
De Steeg – Doesburg	2027	0.950	0.941	0.987	1.127	1.289
Doesburg – Zutphen	2028	0.913	0.938	0.971	1.091	1.033
Zutphen – Eefde beneden	2029	1.032	1.031	1.055	1.133	0.955
Eefde beneden – Deventer	2030	0.982	0.989	1.065	1.053	0.887
Deventer – Olst	2031	0.930	0.930	1.015	1.065	0.897
Olst – Veessen	2032	0.969	0.938	1.048	1.219	1.054
Veessen - Wijhe	2033	0.969	0.938	1.048	1.219	1.054
Wijhe – Wapenveld	2034	0.983	0.953	1.051	1.077	0.931
Wapenveld – Katerveer	2035	0.983	0.953	1.051	1.077	0.931
Katerveer – Reevediep	2036	0.975	0.913	1.013	1.050	0.977
Reevediep – Kampen	2037	0.975	0.913	1.013	1.050	0.977
Kampen – Keteldiep	2038	0.804	0.804	0.804	0.991	0.887
Keteldiep – einde Keteldiep	2039	0.917	0.917	0.917	0.887	0.887
Ketelmeer – Ketelbrug	2040	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vossemeer	2041	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

## 6 Validatie

### 6.1 Methodiek

#### 6.1.1 Algemeen

Het gekalibreerde model wordt getoetst door verschillende historische perioden met een duur van 2 tot 6 maanden door te rekenen (zie Tabel 6.1) en de resultaten te vergelijken met metingen. In tegenstelling tot de kalibratie wordt het model nu in principe niet meer aangepast. Naast een analyse van de resultaten per periode zijn ook een aantal vensters geselecteerd om elk afvoerniveau apart te valideren. Deze vensters zijn gegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.1 Validatieperioden.

Periode	Duur [mnd]
Dec 1993 - jan 1994	2
Dec 1994 - feb 1995	3
Nov 2010 - jan 2011	3
Okt 2015 - jan 2016*	4
Okt 2016 - mrt 2017	6

\*invoergegevens zijn voor een langere periode (tot maart 2016) beschikbaar.

Tabel 6.2 Kalibratie- en validatievensters per afvoerniveau.

Niveau	L1	M1	M2	H1	H2
$Q_{Lobith}$ [m <sup>3</sup> /s]	1000	2000	4000	8000	11800
Kalibratieperiode	jan 2017/okt 2016 – jan 2017	feb – mrt 2017	jan 2016/mrt 2017	jan 2011	jan – feb 1995
<b>Validatie</b>					
Venster 1	okt – nov 2015	dec 1994	dec 1994 – jan 1995	jan 1994	dec 1993
Venster 2	okt – nov 2016	nov – dec 2010	feb 1995		
Venster 3	dec 2016 – jan 2017	nov 2015	nov 2010		
Venster 4	jan – feb 2017	nov 2016	mrt 2017		

Modelresultaten zijn vergeleken met verschillende soorten data. Voor alle vergelijkingen zijn naast plots van de tijdseries ook standaarddeviatie, RMSE en bias bepaald per periode. De volgende databronnen zijn gebruikt voor alle perioden:

- Waterstandsmetingen op LMW-stations;
- ADM- en ADCP-metingen van de afvoer op verschillende locaties;
- Afvoerdeling op basis van Qf-relaties en gecorrigeerd o.b.v. metingen.

Daarnaast zijn, afhankelijk van de periode, verschillende extra vergelijkingen uitgevoerd, zie Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Extra meetdata ten behoeve van validatie. Tenzij anders aangegeven gaat het om waterstandsmetingen.

	j93	j95	j11	j15	j16
<b>Metingen waterschappen</b>					
<b>Verhanglijnmetingen</b>					
<b>Divers (registratie bij hoogwater)</b>					
<b>Peilschalen</b>					
<b>Km-borden</b>	IJ	IJ, NR			
<b>Topstanden</b>					
<b>Ott-metingen (afvoer)</b>					
<b>Afvoer Pann. overlaat</b>					

De analyse per afvoerniveau is alleen voor de waterstandsmetingen op LMW-stations uitgevoerd.

### 6.1.2 **Bewerking verhanglijnmetingen**

Voor de validatie zijn verhanglijnmetingen uit 2011 en 2016/2017 gebruikt (zie Tabel 6.3). Bij verhanglijnmetingen wordt met een schip langs een bepaald traject de bodemhoogte en de waterstand in de as van de rivier gemeten. Anders dan bij metingen op vaste locaties is nu sprake van 3 variabelen: de tijd, de locatie en de gemeten waarde (in deze validatie wordt alleen naar de waterstandsmetingen gekeken).

In de aangeleverde metingen (zie Bijlage F.3) is de waterstand ongeveer elke seconde tot elke anderhalve seconde bemeaten. Dit levert meetreeksen op die verstoord worden door kortdurende en lokale fluctuaties, bijvoorbeeld als gevolg van scheeps- en windgolven. Daarom is op de gemeten waterstanden een low-pass filter toegepast, waarmee kortdurende oscillaties uit het signaal worden verwijderd. Dit filter kon niet worden toegepast op de originele meetreeks, omdat hierin het tijdsinterval van de metingen niet constant was. Daarom is op de meetreeks eerst resampling toegepast, waarbij de data wordt geïnterpoleerd op een tijdreeks met constant interval.

Om een vergelijking tussen model- en meetresultaten te kunnen maken is in D-HYDRO gebruik gemaakt van een *moving observation point*. Hiervoor wordt de tijdreeks met bijbehorende xy-coördinaten ingevoerd. Het model voert dan op de gegeven tijd en locatie de berekende waterstand uit. Om een zo nauwkeurig mogelijke vergelijking te kunnen maken is het uitvoerinterval voor de validatieberekeningen j11 en j16 verkleind van 5 minuten naar 30 seconden. Het resultaat is vergeleken met de gefilterde meetreeks, zie Bijlage I. De vergelijking tussen gemeten en berekende waterstand is gemaakt op basis van het tijdstip, maar in de figuren is de tijd op de horizontale as vervangen door de bijbehorende rivierkilometer (die ook in de aangeleverde verhanglijnmetingen is gegeven).

## 6.2 **Validatieresultaat LMW-stations**

De volledige set figuren is per periode opgenomen in bijlage H. In deze paragraaf wordt alleen het resultaat per afvoerniveau gepresenteerd, samen met een aantal algemene opmerkingen t.a.v. de validatieresultaten. In paragraaf 6.2.1 wordt eerst een totaaloverzicht van de validatieresultaten gegeven. In de opvolgende paragrafen wordt vervolgens het resultaat per afvoerniveau besproken.



## 6.2.1 Overzicht

In Tabel 6.4 zijn de resultaten voor de validatievensters opgenomen, Tabel 6.5 geeft de resultaten voor de volledige validatieperioden. De verschillen tussen model en meting zijn voor de validatievensters en -perioden veel groter dan voor de kalibratieperioden. Voor de validatievensters loopt de gemiddelde bias uiteen van enkele centimeters tot meer dan een decimeter. De grote gemiddelde bias van -10 cm voor de validatieperiode november 2010 tot januari 2011 (Tabel 6.5) wordt met name door één uitschieter veroorzaakt (Groene Rivier boven, zie Bijlage H.3.1). De gemiddelde standaarddeviatie heeft waarden van 2 tot 17 cm. Over het algemeen worden de verschillen tussen model en meting groter naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt.

Tabel 6.4 Verschil in waterstanden tussen model en meting na kalibratie voor de validatievensters. Iedere waarde is het (root-mean-square) gemiddelde over de statistieken van alle meetstations.

Niveau	Venster 1		Venster 2		Venster 3		Venster 4	
	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]
L1	-0,024	0,032	-0,016	0,030	-0,007	0,031	-0,011	0,028
M1	-0,142	0,031	-0,076	0,028	-0,019	0,031	0,005	0,034
M2	-0,082	0,060	-0,134	0,038	-0,050	0,024	-0,013	0,017
H1	0,057	0,033						
H2	-0,048	0,162						

Tabel 6.5 Verschil in waterstanden tussen model en meting na kalibratie voor de volledige validatieperioden. Iedere waarde is het (root-mean-square) gemiddelde over de statistieken van alle meetstations.

Periode	Bias [m]	Std [m]
dec 1993 – jan 1994	-0,058	0,155
dec 1994 – feb 1995	-0,093	0,166
nov 2010 – jan 2011	-0,102	0,151
okt 2015 – jan 2016	-0,029	0,046
okt 2016 – mrt 2017	-0,011	0,038

## 6.2.2 L1

In Figuur 6.1 zijn per LMW-station de bias en standaarddeviatie gegeven voor de L1-validatievensters.

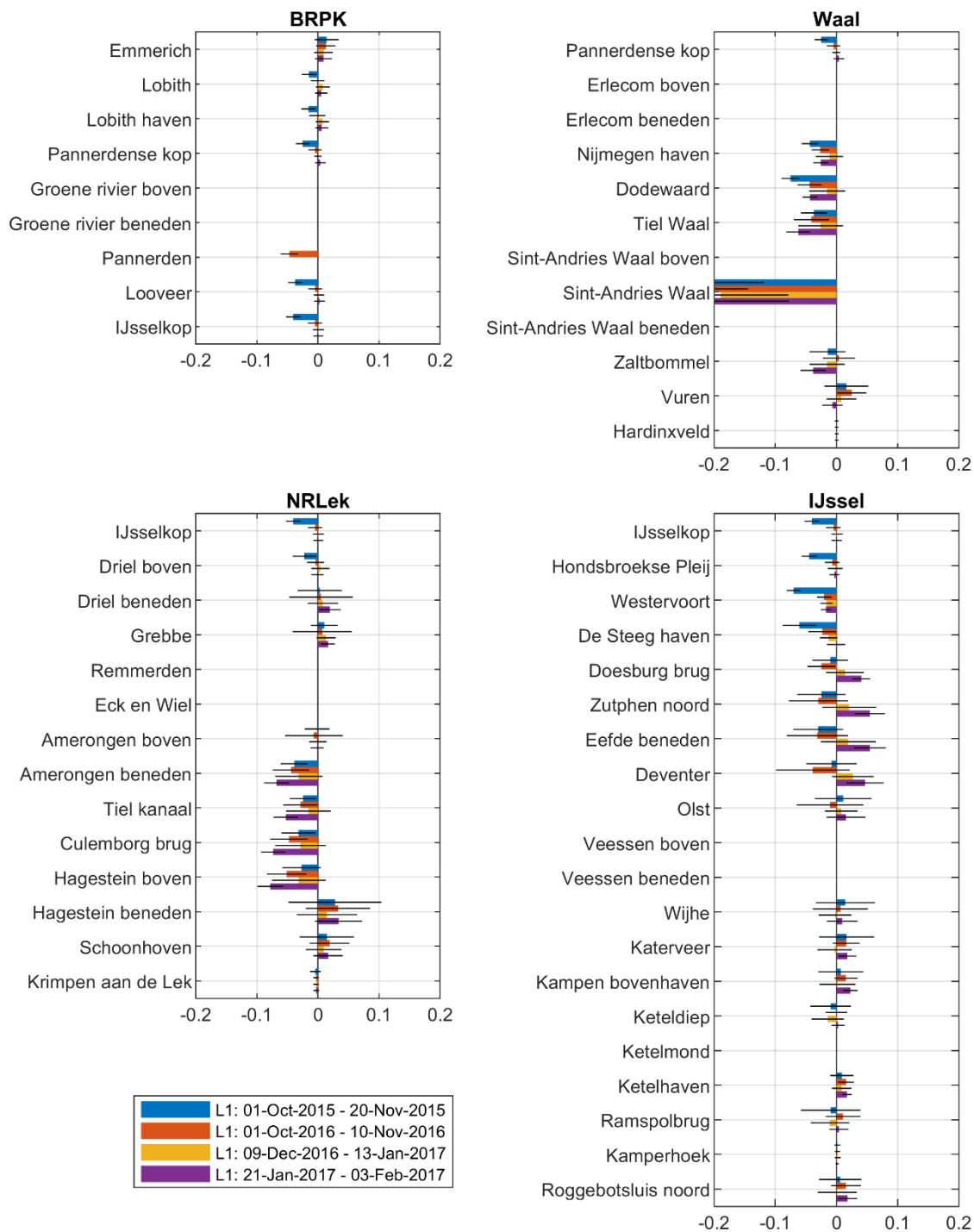
### Waal en Neder-Rijn - Lek

- De in geel weergegeven periode (dec 2016 – jan 2017) bevat de L1-kalibratieperiode voor Waal en Neder-Rijn – Lek (20 december 2016 tot 11 januari 2017). Op deze takken zien we voor de gele periode dan ook een relatief goed resultaat.
- Bij Sint-Andries Waal (niet gebruikt voor kalibratie) is het verschil tussen model en meting voor alle vensters zeer groot (bias ca. 20 cm).
- In L1-perioden, met afvoeren bij Lobith van ca. 800 tot 1000 m<sup>3</sup>/s, staat de Waal in open verbinding met de Neder-Rijn – Lek, via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal. De waterstanden op het stuwpannd Hagestein (Amerongen beneden, Tiel kanaal, Culemborg brug en Hagestein boven) worden bepaald door de waterstand op de Waal bij Tiel. In alle validatievensters is de gemodelleerde waterstand hier te laag, waardoor ook de waterstanden op het stuwpannd Hagestein te laag zijn.

- Hagestein beneden heeft voor alle vensters een relatief grote standaarddeviatie, maar met name voor het blauwe venster (okt – nov 2015). Het getijsignaal kan hier niet altijd goed gevolgd worden, mogelijk als gevolg van onnauwkeurigheden in de sturing van stuw Hagestein. Door deze onnauwkeurigheden kan de gemodelleerde afvoer door de stuw afwijken van de werkelijkheid. Bij lage afvoeren heeft dit een significant effect op de waterstanden benedenstrooms van de stuw.

### ***IJssel***

- De in rood en geel weergegeven perioden (okt – nov 2016 en dec 2016 – jan 2017) komen ook, al dan niet gedeeltelijk, voor in de L1-kalibratie voor de IJssel (kalibratieperiode 8 oktober 2016 tot 14 januari 2017). Voor deze validatievensters zien we dan ook een relatief goed resultaat op de IJssel.
- In ordegrootte van de afwijkingen van het model t.o.v. metingen geven de 4 validatievensters een vergelijkbaar beeld. Toch zijn ook duidelijke verschillen zichtbaar. Dit geldt met name op de IJssel, van IJsselkop tot en met Deventer. Voor het blauwe en rode venster (perioden uit 2015 en 2016) is de bias hier voor alle stations negatief (model geeft te lage waterstanden), terwijl voor het gele en paarse venster (perioden uit eind 2016 en 2017) de waterstanden in het model juist vaak te hoog zijn. Zoals eerder genoemd zijn het rode en gele venster gebruikt voor kalibratie. Doordat de waterstanden voor het rode venster op dit traject te laag zijn en voor het gele venster juist te hoog, geeft dit voor de hele periode een bias die dicht bij nul ligt (en dus een goed kalibratieresultaat).
- Bij lage afvoeren hebben laterale toestromingen een groot effect op de waterstand, maar hiervoor is vaak geen (goede) data beschikbaar. Dit probleem speelt met name op de IJssel. Een deel van de afwijkingen hier wordt veroorzaakt door hiaten in de afvoer bij Almen (Twentekanaal). Om de hiaten in te vullen zijn aannames gedaan, maar deze lijken niet altijd goed te kloppen. Ook voor diverse andere lateralen zijn aannames gedaan, waarvan de juistheid betwijfeld kan worden.



Figuur 6.1 Bias (staven) en standaarddeviatie (lijnen) in meter voor de L1-validatievensters. De grootte van de standaarddeviatie is aan weerszijden van de biaswaarde weergegeven.

### 6.2.3 M1

In Figuur 6.2 zijn per LMW-station de bias en standaarddeviatie gegeven voor de M1-validatievensters.

- In tegenstelling tot die van L1 liggen de M1-validatievensters ver uit elkaar in de tijd. Het blauwe venster is een periode uit 1994, het rode venster representeert een periode van M1-afvoeren in 2010, de gele periode is in 2015 en de paarse in 2016. De geselecteerde vensters geven zeer verschillende validatieresultaten.

In het blauwe venster en in mindere mate ook het rode venster zijn de afwijkingen tussen model en meting groot. In beide perioden zijn de waterstanden in het model meestal te laag.

Voor de gele periode is het validatieresultaat veel beter, maar ook hier zijn de gemodelleerde waterstanden vaak te laag. De parse periode presteert het best. Voor dit venster valt de bias vaak juist net positief uit.

- Net als in L1 zien we voor de M1-vensters relatief grote standaarddeviaties op de Neder-Rijn – Lek, die worden veroorzaakt doordat de sturing van de stuwen (nu op waterstand) leidt tot waterstandsfluctuaties die in werkelijkheid niet voorkomen.
- Bij Sint-Andries Waal zijn opnieuw voor alle perioden grote afwijkingen te zien tussen berekende en gemeten waterstand. Met name voor het rode en gele venster zijn de berekende waterstanden veel lager dan de gemeten waarden (bias respectievelijk -31 en -27 cm).
- Voor de periode 20 november tot 2 december 2015 (deels opgenomen in het gele venster) zijn geen gegevens voor de afvoer van het Twentekanaal beschikbaar. Dit leidt tot afwijkingen in de waterstand bij Zutphen en verder benedenstrooms, met name aan het eind van deze periode wanneer de afvoer snel stijgt.

#### 6.2.4 M2

In Figuur 6.3 zijn per LMW-station de bias en standaarddeviatie gegeven voor de M2-validatievensters.

- Ook hier constateren we dat de afwijkingen tussen model en meting steeds groter worden naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt. Het model geeft veelal te lage waterstanden. Uitzondering hierop zijn Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal voor de periode 11 tot 17 maart 2017 en de Neder-Rijn – Lek vanaf Amerongen voor de periode 31 december 1994 tot 7 januari 1995. De waterstanden zijn in deze periode niet gestuurd.
- De parse periode (11 tot 17 maart 2017) is ook gebruikt in de M2-kalibratie voor de IJssel. Hoewel het validatieresultaat hier relatief goed is ten opzichte van de andere perioden, zien we voor de meeste stations een onderschatting van de waterstand in het model. Dit komt voornamelijk omdat in het model teveel afvoer naar de Neder-Rijn gaat, ten koste van de IJssel. We hebben geprobeerd deze afwijking in afvoerverdeling te verminderen door op de splitsingspunten een extra afvoerniveau toe te voegen tussen M1 en M2 in (zie ook paragraaf 5.2.4). De afwijking wordt hierdoor kleiner, maar blijft wel bestaan.
- Het verschil tussen model en meting bij Sint-Andries Waal is voor dit niveau over het algemeen kleiner dan voor de lagere afvoeren.

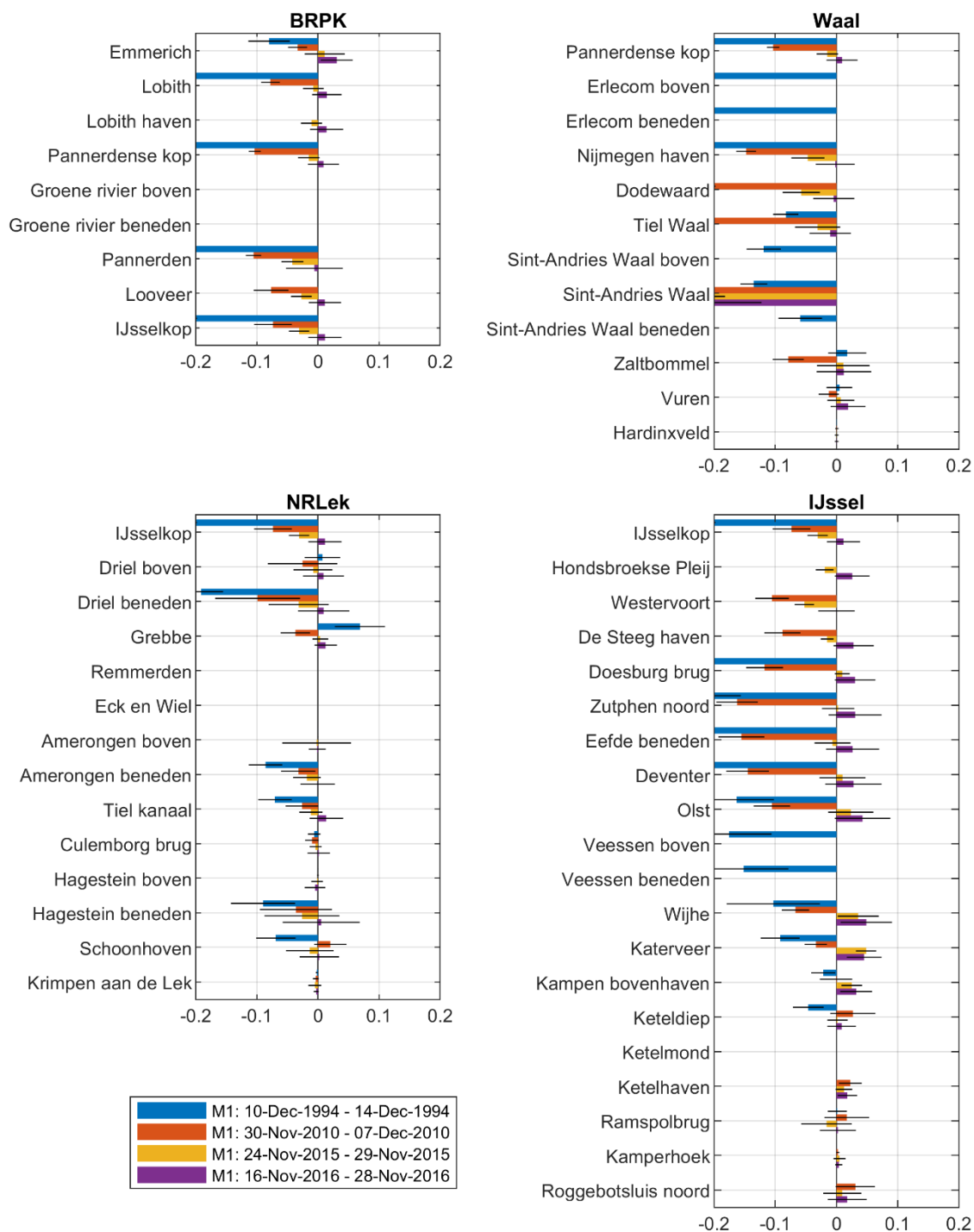
#### 6.2.5 H1

In Figuur 6.4 zijn per LMW-station de bias en standaarddeviatie gegeven voor het H1-validatievenster.

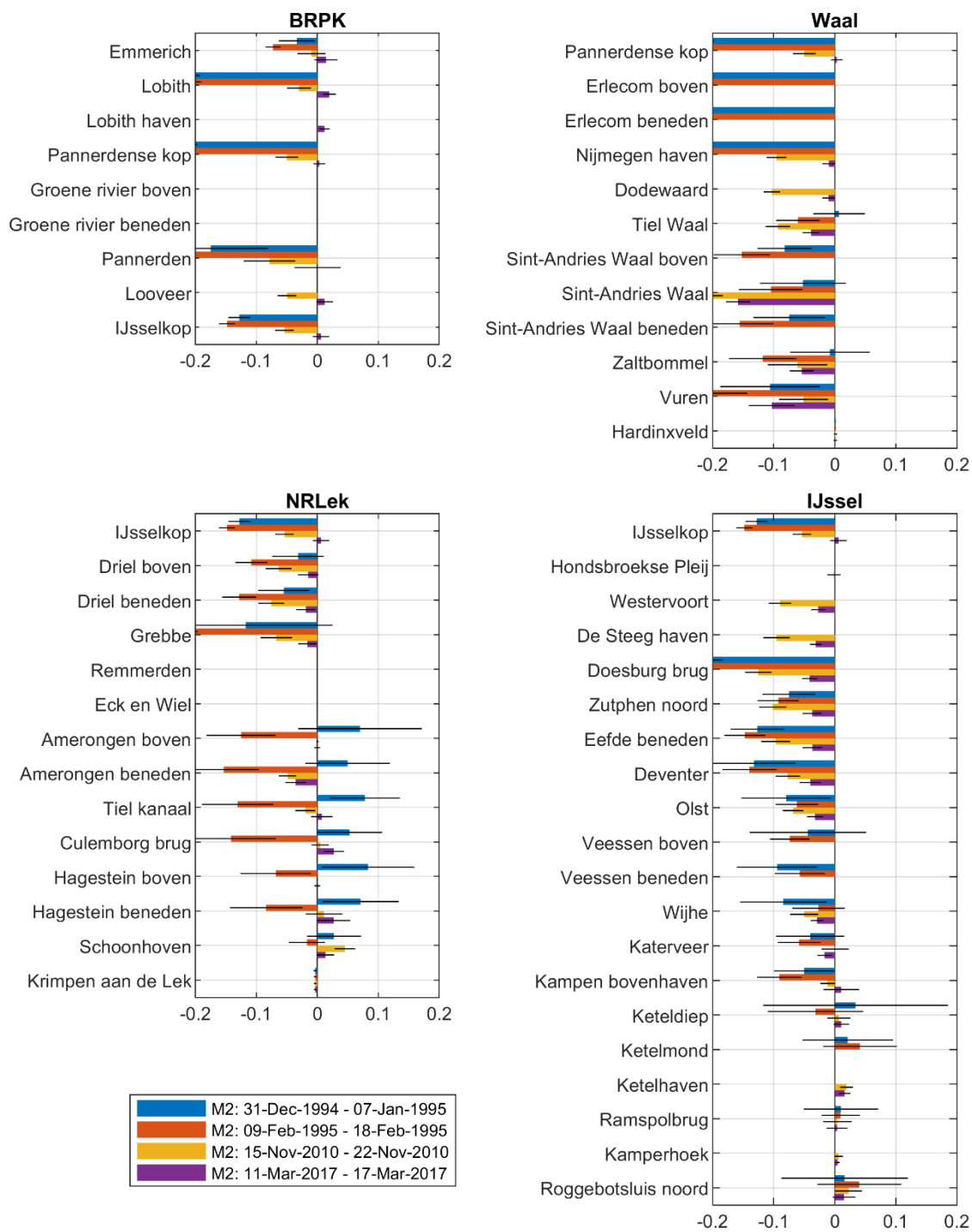
- Voor H1 is slechts 1 validatieperiode beschikbaar, 4 tot 13 januari 1994. Dit hoogwater ligt nog verder in het verleden dan de kalibratieperiode (januari 2011).
- Met name op de Neder-Rijn – Lek vanaf Amerongen boven zijn de afwijkingen tussen model en meting groot. De waterstanden worden hier flink overschat door het model. Dit suggereert dat de H1-kalibratiefactoren die voor dit traject gevonden zijn op basis van het hoogwater 2011 te groot zijn, temeer omdat de afvoer naar de Neder-Rijn in de validatieperiode te laag is in het model.
- Ook ter hoogte van de Groene Rivier Pannerden lijken de waterstanden in het model veel te hoog, met een bias van 43 cm (Groene Rivier boven) en 47 cm (Groene Rivier beneden). Het beeld wordt hier echter vertekend doordat de Groene Rivier na het hoogwater van december '93 niet goed leegstroomt in het model.

Daarnaast zijn deze statistieken slechts op enkele metingen aan het begin van de validatieperiode gebaseerd. Dit is goed te zien in de figuren voor Groene Rivier boven en beneden in Bijlage H.1.1.

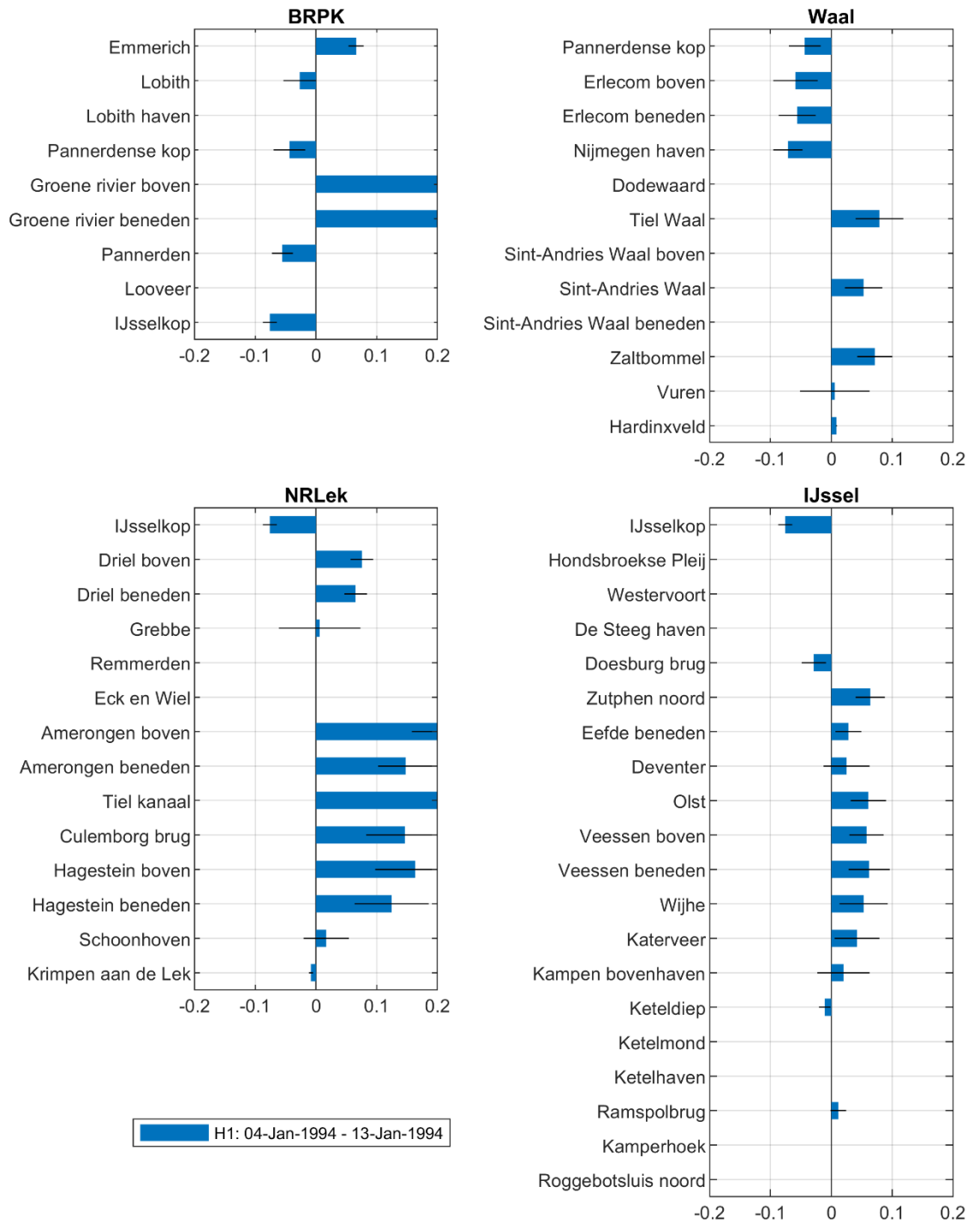
- Bij Sint-Andries Waal blijft de afwijking, anders dan in andere perioden, beperkt.



Figuur 6.2 Bias (staven) en standaarddeviatie (lijnen) in meter voor de M1-validatievensters. De grootte van de standaarddeviatie is aan weerszijden van de biaswaarde weergegeven.



Figuur 6.3 Bias (staven) en standaarddeviatie (lijnen) in meter voor de M2-validatievensters. De grootte van de standaarddeviatie is aan weerszijden van de biaswaarde weergegeven.



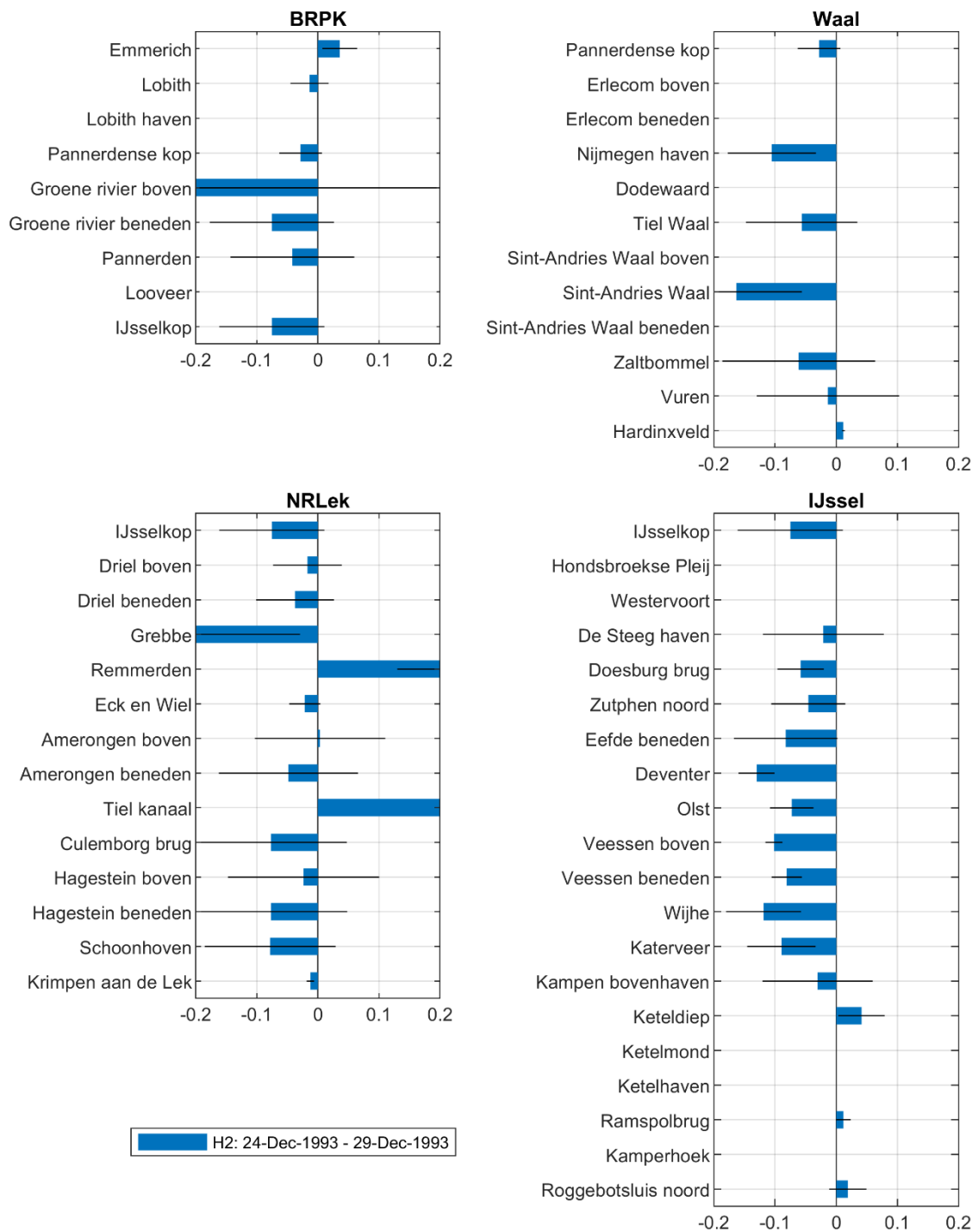
Figuur 6.4 Bias (staven) en standaarddeviatie (lijnen) in meter voor het H1-validatievenster. De grootte van de standaarddeviatie is aan weerszijden van de biaswaarde weergegeven.

## 6.2.6 H2

In Figuur 6.5 zijn per LMW-station de bias en standaarddeviatie gegeven voor het H2-validatievenster.

- Voor H2 is slechts één validatieperiode beschikbaar, 24 tot 29 december 1993. Dit hoogwater ligt nog verder in het verleden dan de kalibratieperiode (jan/feb 1995). De hoogwaterpiek in het validatievenster is iets lager (ca. 11.100 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) dan in de kalibratieperiode (ca. 11.800 m<sup>3</sup>/s bij Lobith).
- Voor de meeste stations worden de waterstanden in het model onderschat, terwijl we voor het H1-validatievenster (ca. 2 weken later) juist meestal een overschatting zien. Uitschieters zijn Groene Rivier boven, Sint-Andries Waal, Grebbe, Remmerden en Tiel kanaal. Daarnaast is bij veel stations de standaarddeviatie groot ten opzichte van andere validatievensters.
- De oorzaak van de grote standaarddeviatie en negatieve bias bij Groene Rivier boven is dat deze locatie in het model iets te laat overstroomt (zie ook de figuur in Bijlage H.1.1). De eerste paar metingen van het hoogwater worden hierdoor vergeleken met de bodemhoogte, die veel lager is. Bij Groene Rivier beneden speelt hetzelfde probleem. De piekwaterstanden worden op deze locaties juist goed gerepresenteerd.
- Bij Sint-Andries Waal wordt met name de piekwaterstand onderschat, met meer dan 30 cm.
- Bij Grebbe (rkm 908) zijn de berekende waterstanden veel te laag, en bij Remmerden (rkm 913) juist veel te hoog. Dit kan duiden op onnauwkeurige metingen bij Remmerden (Grebbe presteert bij andere validatievensters meestal goed).
- Bij Tiel kanaal (op het afgesloten Betuwepand) zijn de gemodelleerde waterstanden consequent te hoog, omdat de waterstand bij het sluiten van de Marijkesluizen (voorafgaand aan de piek) al te hoog is. Dit werkt door gedurende de hele periode dat het Betuwepand is afgesloten.
- De grote standaarddeviaties worden meestal veroorzaakt door een foutieve looptijd van de hoogwatergolf in het model. Op de meeste locaties wordt de piekwaterstand in het model te laat bereikt. De waterstanden zijn hierdoor voorafgaand aan de piek te laag, en na de piek juist te hoog.





Figuur 6.5 Bias (staven) en standaarddeviatie (lijnen) in meter voor het H2-validatievenster. De grootte van de standaarddeviatie is aan weerszijden van de biaswaarde weergegeven.

## 6.3 Validatie op overige meetgegevens

### 6.3.1 Algemeen

Het model is ook gevalideerd op verschillende extra meetgegevens. De beschikbaarheid verschilt per periode (zie Tabel 6.3). Van alle periodes zijn waterstandsgegevens beschikbaar van de waterschappen (voor HW1993 en HW1995 onder de naam peilschalen). Voor HW2011 zijn op ongeveer 50 diverlocaties waterstanden gemeten. Specifiek voor 1993 en 1995 is gevalideerd op peilschaalaflezingen bij kilometerborden en topstanden die zijn weergegeven op verschillende locaties langs de rivier.

Ook de topstanden van de LMW-locaties voor de hoogwaters 1995 en 1993 zijn apart gevalideerd. In twee periodes is vergeleken met varende verhanglijnmetingen in de as van de rivier. Zie ook paragraaf 3.2.1 en bijlage F.3. In totaal over alle periodes samen gaat het om ongeveer 180 waterschapslocaties (inclusief peilschalen), 280 kilometerborden, 45 diverlocaties, 10 topstanden en 9 verhanglijnmetingen.

Voor de afvoeren wordt apart vergeleken met de afvoerreeksen bij Lobith en de takken, met de ADM bij Driel-boven en Hagestein-boven, en met de varende afvoermetingen (ADCP/Ott). De validatie op deze gegevens draagt bij aan het beoordelen van het model tussen de LMW-locaties in, zowel in de as van de rivier, langs het zomerbed, en in het winterbed. Daarnaast geeft het inzicht in het modelgedrag tussen de gekalibreerde afvoerniveaus. Afvoermetingen bij Tiel, Hagestein en Olst, zowel van de ADM als de varende ADCP-metingen helpen bij de duiding van de waterstandsverschillen, namelijk in hoeverre de afvoerverandering door looptijd, lateralen en berging goed wordt weergegeven in het model. De vergelijking met de afvoerreeksen en de varende metingen op de splitsingspunten vullen elkaar aan, al moet bedacht worden dat de varende metingen zijn gebruikt bij het maken van de afvoerreeksen (zie paragraaf 3.2.1.3 en bijlage F.3). In sommige gevallen blijkt dat juist de metingen afwijken.

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van enkele resultaten van de uitgevoerde vergelijkingen. Daarbij worden de periodes van jong naar oud beschreven. Op deze manier is de beschrijving ook van lage naar hoge afvoeren. Alle figuren staan in bijlage I, onderverdeeld in paragrafen per periode en type meting. Zie aan het begin van bijlage I voor een inhoudsopgave. Enkele figuren zijn ter illustratie ook hieronder weergegeven.

### 6.3.2 2016-2017

In bijlage I.5 staan de figuren van de validatie op 2016-2017.

#### 6.3.2.1 Afvoeren

- De vergelijking van de afvoer met de ADCP-metingen laat bij Tiel in okt/nov 2016 een onderschatting zien van rond 80 m<sup>3</sup>/s. Echter de metingen lijken te hoog in vergelijking met de afvoer bij de Pannerdense kop. Er is geen logische verklaring waarom de metingen bij Tiel zoveel hoger zijn dan bij Pannerdense Kop. Wat ook kan is dat de metingen bij Pannerdense Kop te laag zijn. Ook bij het golfje in maart 2017 zijn de metingen bij Tiel hoger dan het model; een vergelijking met Pannerdense Kop is in deze periode lastiger door een gebrek aan metingen.
- Bij Olst zijn de afwijkingen tussen model en meting klein, maar wel het grootst in de meting van oktober 2016 (model te laag).
- In de berekening bij de locaties ADM Driel-boven en Hagestein-boven zijn slingeringen aanwezig in de periodes met sturing op waterstanden. Ook zijn bij Hagestein-boven enkele spikes zichtbaar.

#### 6.3.2.2 Waterstanden LMW-stations

In de figuren van de LMW-stations is duidelijk te zien dat de drie verschillende laagwaterperiodes verschillend berekend worden. De berekende waterstanden zijn over het algemeen te laag. Enkele observaties m.b.t. de waterstanden:

- Bij Zaltbommel is de vorm van de golftop in november niet goed (wind?).
- Vanaf Eefde nemen de verschillen toe, waarschijnlijk door de hiaten in de metingen van Almen (zie paragraaf 3.2.2).
- Bij Tiel-kanaal lijken de momenten van sluiten van de Prins-Bernhardsluizen te vroeg gekozen, bv. begin december en half januari. De berekende waterstanden zijn na sluiting te laag.

- Het getij bij Hagestein-beneden en Schoonhoven lijkt niet helemaal goed berekend te worden. Detailplaatjes van één week laten zien dat de getijhoogwaterstanden te hoog berekend worden. De getijlaagwaterstanden zijn goed en ook de fase lijkt bijna ok.

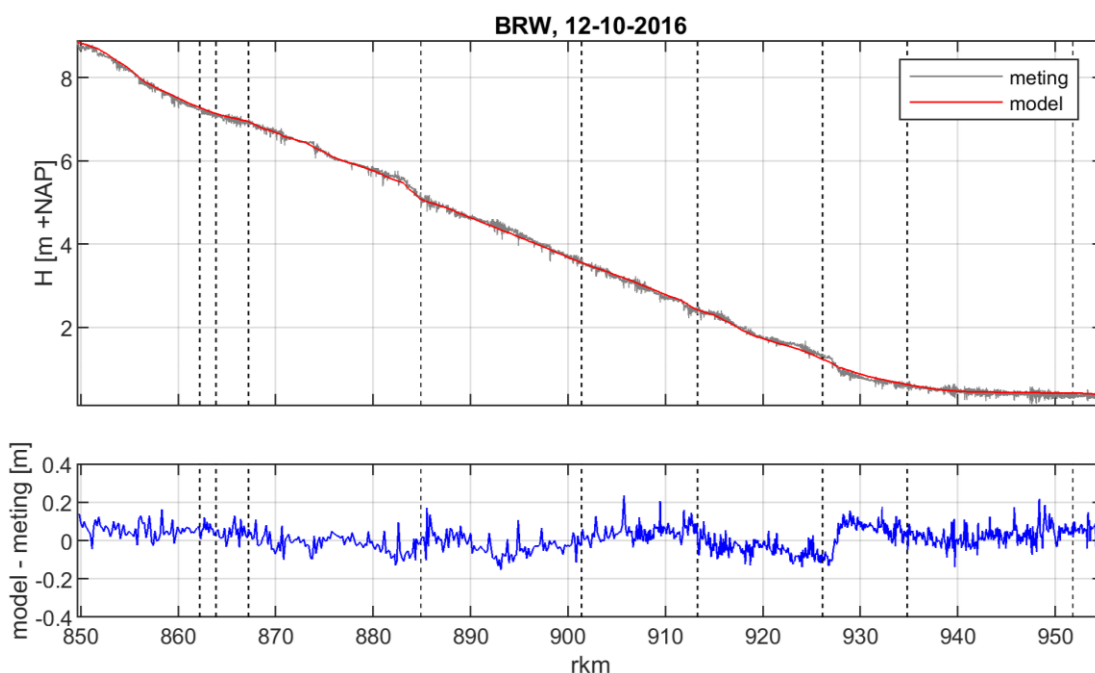
### 6.3.2.3 Verhanglijnmetingen

In deze periode zijn drie verhanglijnmetingen gevalideerd. Twee ervan hebben plaatsgevonden bij een afvoer van ongeveer 1000 m<sup>3</sup>/s Lobith, en één bij een afvoer van rond 2500 m<sup>3</sup>/s Lobith. Verschillen blijven binnen 20 cm en vaak binnen 5-10 cm.

#### Waal 12-10-2016, afvoer rond 1000 m<sup>3</sup>/s Lobith

Figuur 6.6 laat het validatieresultaat voor deze verhanglijn zien.

- Diverse verhangveranderingen worden heel goed gevolgd. Enkele korte trajecten kennen een afwijkend verhang, waarvan het meest opvallend de bocht bij Sint-Andries is. De meting laat een sterke waterstandstoename zien van beneden- naar bovenstrooms, terwijl het verhang in het model veel geleidelijker verloopt. De kalibratiefactor Tiel-Zaltbommel lijkt te hoog: benedenstrooms van de vaste laag is het berekende verhang groter dan de metingen laten zien. Ook bovenstrooms is het berekende verhang te groot.
- Voor het langsdammentraject Tiel-Sint Andries is validatie op de afvoeroverdeling over het zomerbed en de oevergeulen nodig.
- Rond de vaste laag Nijmegen berekent het model een rond 10 cm te klein verhang in vergelijking met de metingen.
- Tussen Nijmegen en Dodewaard ligt het model onder de metingen: het model heeft een vrij constant verhang terwijl de meting meer opstuwing laat zien, bv. rond rkm 892.



Figuur 6.6 Validatieresultaat verhanglijn Boven-Rijn/Waal, 12 oktober 2016. De verticale stippellijnen geven de locatie van LMW-stations aan.

#### Waal 23-3-2017, afvoer rond 2500 m<sup>3</sup>/s Lobith

- Een behoorlijk goede overeenkomst tussen model en meting. Er zijn twee trajecten met een overschatting van de waterstanden. Het eerste is Emmerich-Lobith. Meetpunt Emmerich wordt wel bijna goed berekend. Ook op het traject Nijmegen-Tiel wijkt het verhang lokaal af, met name tussen rkm 900 en 910 is de waterstand in het model iets te hoog.

- De vaste lagen Nijmegen en Sint-Andries lijken goed qua verhang. In de bocht Sint-Andries wel iets te lage waterstanden. De grote onderschatting die volgt uit de vergelijking met Sint-Andries-Waal wordt niet bevestigd.

#### **IJssel 13-10-2016, afvoer rond 1000 m<sup>3</sup>/s Lobith**

- Tot Wijhe geeft de validatie een behoorlijk goede overeenkomst.
- Het model overschat de waterstanden in het traject Westervoort-De Steeg-Doesburg. Dat is opvallend want uit de LMW-stations blijkt dat het model in deze periode juist een onderschatting heeft. Dit vergt nader uitzoekwerk.
- Tussen Doesburg en Deventer worden de waterstanden juist enigszins onderschat.
- Benedenstrooms van Wijhe overschat het model de waterstanden. Dit is consistent met de LMW-stations. Mogelijk is er sprake van wind in deze periode die zorgt voor lagere gemeten waterstanden.

#### **6.3.2.4 Waterstanden waterschappen**

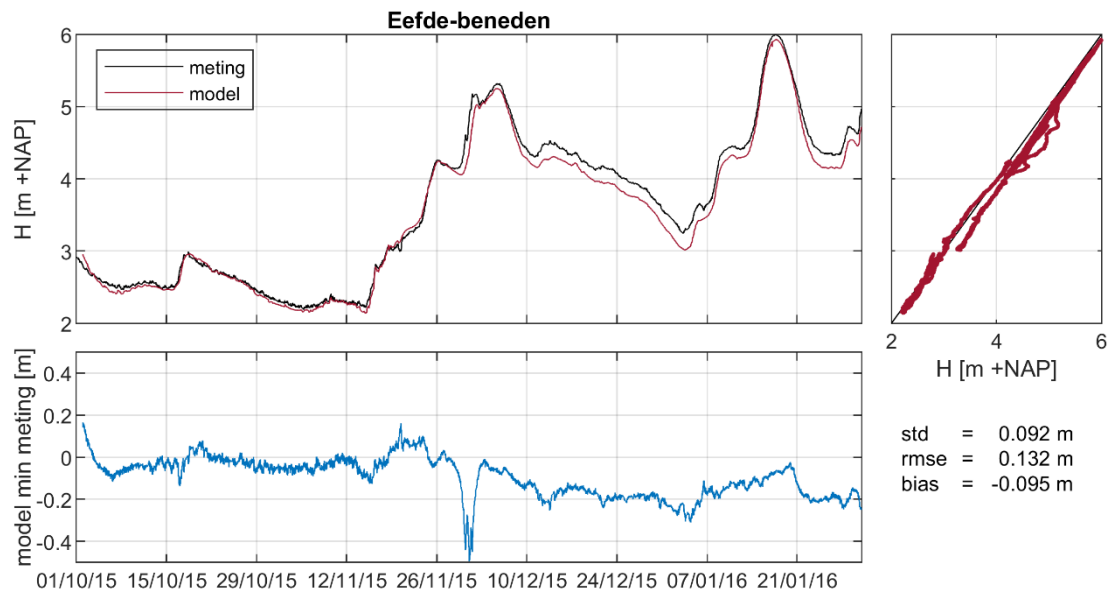
De waterschapslocaties laten een wisselend beeld zien, waarbij sommige locaties een goede overeenkomst met de metingen hebben, en anderen minder, zowel over- als onderschatting.

- Bij de locatie Vreeswijk lijkt het model de getijhoogwaterstanden te overschatten, maar dat komt waarschijnlijk door foute metingen. Er waren al gegevens verwijderd, maar waarschijnlijk te weinig.
- De metingen op de locatie Voorhavendijk zijn waarschijnlijk deels te laag; in periodes met waterstanden rond stuwpeil (bv. november 2016) liggen de metingen onder het model.

#### **6.3.3 2015-2016**

In bijlage I.4 staan de figuren van de validatie op 2015-2016. Het beeld voor deze periode is vergelijkbaar met dat van 2016-2017.

- Ook in deze periode zijn de afvoermetingen bij Tiel hoger dan bij Pannerdense Kop.
- Bij Olst is de overeenkomst met de metingen goed, maar er zijn geen metingen tijdens laagwater.
- Door problemen met de dataverbinding zijn er heel veel hiaten in de gemeten afvoer bij Almen. Deze zorgen voor een moeilijke interpretatie van de validatie op de IJssel. Een mooi voorbeeld van het ontbreken van meetgegevens bij Almen is te zien in de periode na 25 november 2015. De metingen ontbreken van 20 november tot 2 december. Bij Zutphen-noord en Eefde wordt het eerste piekje vrijwel gemist met als gevolg 40 cm onderschatting van de waterstand, zie Figuur 6.7. Dit zet zich voort verder benedenstrooms. Ook de onderschatting van de waterstanden in december en januari wordt grotendeels veroorzaakt door het ontbreken van metingen van Almen.



Figuur 6.7 Vergelijking tussen model en meting voor station Eefde-beneden in de periode oktober 2015 – januari 2016.

### 6.3.4 HW2011

In bijlage I.3 staan de figuren van de validatie op HW2011. Er wordt naar de hoogwatertop gekeken.

#### 6.3.4.1 Afvoeren

- In vergelijking met zowel de ADCP-metingen als in de ADM-Hagestein-boven onderschat het model de afvoer op de Lek met bijna  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . De getijvariatie klopt niet helemaal voor en na de hoogwatertop.
- Bij Olst/Deventer is de vorm van de hoogwatertop niet helemaal goed. De topafvoer lijkt te worden overschat. Echter de afvoer door het winterbed in de metingen is geschat, alleen de zomerbedmetingen zijn “echt” gemeten. Dat juist de metingen in het zomerbed niet goed gevolgd worden is vreemd. Het verschil in modelresultaat tussen de raai “hw” en “hw-zomerbed” is heel klein, en in de metingen veel groter. Verwachting is dat bij deze topwaterstand er meer water door het winterbed stroomt op de linkeroever. Dit verdient nadere aandacht.
- Bij Tiel is de berekende totale afvoer zo’n  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  kleiner dan de metingen. Het verschil met de berekende afvoeren in het zomerbed is groter (tot  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ook hier wordt de winterbedafvoer geschat en is de zomerbedafvoer echt gemeten. Inmiddels is duidelijk dat de zomerbedmeetraai in het model helaas niet goed is. De begrenzing van de raai aan de zuidkant ligt niet op de juiste plaats waardoor er onterecht water langs de raai kan.

#### 6.3.4.2 Waterstanden

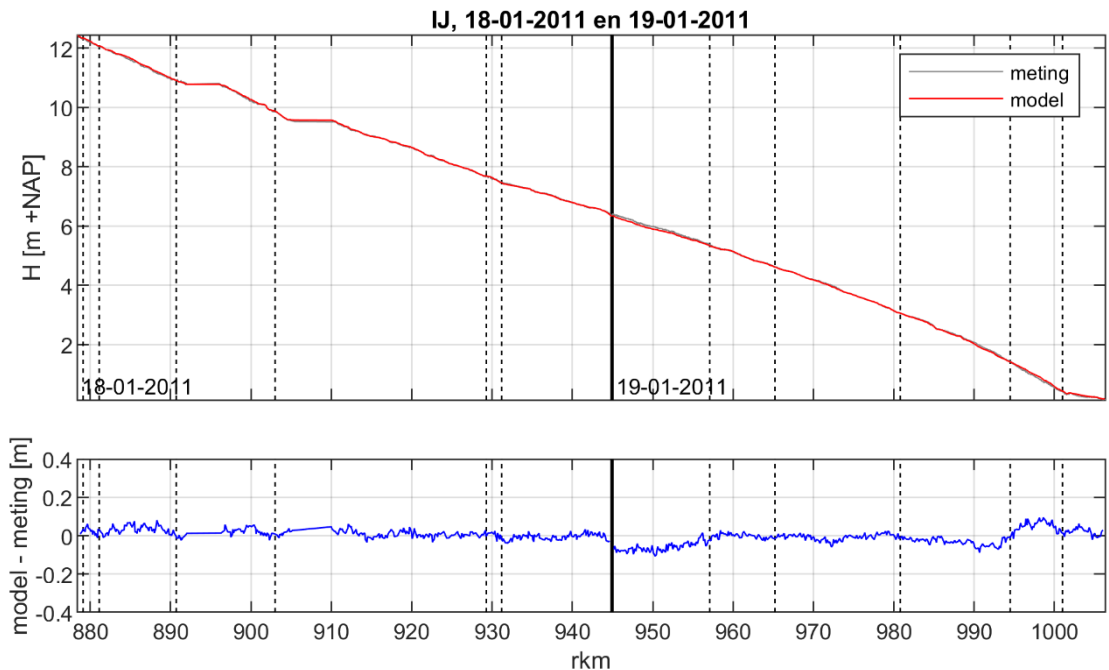
- De divers bevestigen over het algemeen de LMW-stations met een goede tweede hoogwatertop en een onderschatting van de eerste hoogwatertop.
- Voor de tweede top is op de Waal sprake van een onderschatting van het model tot 10 cm, behalve tussen rkm 895 en 909. Dat is eigenlijk onverwachts aangezien het model gekalibreerd is op deze top.
- Op de Neder-Rijn en Lek valt een te kleine getijslag op tijdens de hoogwatertop, evenals de looptijdvertraging vanaf rkm 913.4.

- Uit de LMW-locatie Groene-rivier-pannerden-boven blijkt dat het gebied bovenstrooms van de Pannerdense overlaat niet voldoende volstroomt. Het is nog niet bekend waarom niet. De metingen benedenstrooms van de overlaat worden wel goed gevolgd, maar het instromen begint te laat. Dit is in overeenstemming met de locatie gemaal Kandia (waterschap).
- De metingen bij gemaal Pannerling (ter hoogte van rkm 870.2) worden zo'n 15 cm onderschat.
- Er is twijfel over de juistheid van de metingen bij gemaal Leuvenheim: deze zijn veel lager dan van het nabijgelegen gemaal Grote Beek.
- Bij gemaal Hoenwaard (rkm 974.5) valt de grote onderschatting op; deze locatie ligt in de Hoenwaard. De divers bij rkm 970 en 975 zijn wel goed. Het onderlopen van de Hoenwaard vindt te laat plaats.

#### 6.3.4.3 Verhanglijnmetingen

In deze periode zijn per tak twee verhanglijnmetingen rond de top gevalideerd bij een afvoer van rond 7500 m<sup>3</sup>/s Lobith. Elke meting is uitgevoerd gedurende twee dagen. De meting is benedenstrooms gestart, dus het benedenstroomse deel is op dag 1 gevaren, het bovenstrooms deel op dag 2.

- De validatie op de verhanglijn van 13/14 januari geeft over het algemeen een minder goed resultaat dan de validatie op de verhanglijn van 18/19 januari door het anders onderlopen van het winterbed (vergelijkbaar met de LMW-waterstanden). Dit is goed te zien op de Waal waar benedenstrooms de grootste afwijkingen tot -20 cm zijn (gemeten 13 januari). Op de Boven-Rijn gaat het goed, tussen Pannerdensche Kop en Nijmegen zijn de waterstanden iets te laag. De validatie op 18/19 januari is beter.
- Op het Pannerdensch kanaal en Neder-Rijn wordt de meting van 13/14 januari goed gevolgd. Tussen Grebbe en Amerongen worden de grootste afwijkingen gevonden (tot -15 cm).
- Bij de meting van 18/19 januari moet bedacht worden dat er een looptijdvertraging optreedt in het model. Vooral tussen Hagestein en Schoonhoven geeft het model een onderschatting. Bij stuw Amerongen is de 10 cm te grote opstuwing te zien.
- Op de IJssel is de validatie op de eerste meting van 13/14 januari zeer goed. Tussen Deventer en Olst is sprake van een onderschatting. Ook tussen Katerveer en Keteldiep zijn afwijkingen waarbij tussen Katerveer en Kampen de berekende waterstanden te laag zijn, en tussen Kampen-Keteldiep te hoog (vergelijkbaar met LMW-waterstanden). De validatie op 18/19 januari is zeer goed (zie Figuur 6.8); de trajecten met afwijkingen zijn vergelijkbaar met 13/14 januari, alleen de verschillen zijn kleiner.



Figuur 6.8 Validatieresultaat verhanglijn IJssel, 18 en 19 januari 2011. De verticale stippellijnen geven de locatie van LMW-stations aan.

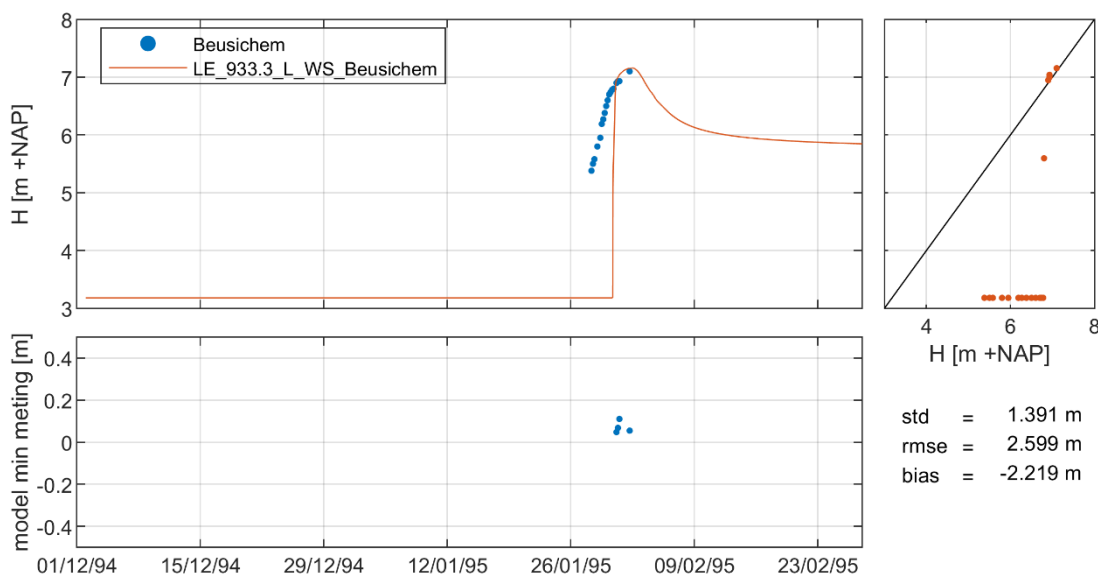
### 6.3.5 HW1995

In bijlage I.2 staan de figuren van de validatie op HW1995. Er wordt naar de hoogwatertop gekeken.

- Bij Tiel-kanaal kan het model tijdens de hoogwatertop de meting niet volgen. Op het moment van sluiten van de Marijkesluizen is de waterstand op de Lek te hoog. De lozing op de Lek van het gemaal is vooraf bepaald (zie paragraaf 3.2.2) dus in principe zijn alle waterstanden op het meetpunt te hoog. Echter in één periode neemt de waterstand op het kanaal sterk toe. Van 1-2-1995 12:00 tot 16:00 uur neemt de waterstand toe van 4.58 naar 4.99 m+NAP. Dit zou betekenen een lozing op het kanaal van 30-55 m<sup>3</sup>/s gedurende enkele uren. Dit is niet te verklaren uit de lateralen. Een verklaring voor deze gemeten waterstandsstijging ontbreekt vooralsnog.
- Bij de niet-gekalibreerde LMW-stations met dagwaterstanden zijn de waterstanden rond de top ongeveer goed. Dit geldt bv. voor Deventer en Wijhe. Dit bevestigt de gekozen werkwijze om de ruwheidsverhoudingen in de trajecten uit H1 te handhaven bij H2. Uitzondering is Grebbe met een onderschatting van rond 15 cm.
- In de ADM Hagestein-boven is er geen meting rond de hoogwatertop vanwege het overstromen van de toegangsweg naar het stuweiland (hoogte in 1995 rond 4.80 m+NAP, de weg is inmiddels verlaagd).
- Aflezingen van **peilschalen** leveren over het algemeen wat te hoge waterstanden op door het heen en weer klotsen van de waterstand. Een kleine onderschatting van het model is dus niet vreemd en is op veel locaties zichtbaar. Veel locaties laten rond de top een goede overeenkomst zien.
  - Er is een kleine onderschatting van de waterstanden bij de locaties Herwensedijk en Pannerdensedijk op de Boven-Rijn. Dit is consistent met de kleine onderschatting van de waterstand (en de afvoer) bij de Pannerdense overlaat.
  - De metingen bij Tiel-Bellevue op de Waal zijn waarschijnlijk te hoog, omdat de metingen vergelijkbaar zijn met Tiel-Waal dat 1.5 km bovenstrooms ligt.
  - Bij Beusichem (zie Figuur 6.9) was een groter effect van een coupure in de zomerkade verwacht zodat de metingen in de was beter gevolgd zouden worden.

Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een vertraging van de hoogwatergolf door het onderlopen over zomerkades elders. Toch is de aanwezigheid van de coupure zichtbaar in de val omdat de waterstand daalt richting de drempelhoogte van 5.85 m+NAP.

- De onderschatting bij IJsseldijk-Putman komt mogelijk door een verkeerde kadehoogte van de toegangsweg in Baseline. Iets verderop bij Lathum-Velpse-Veer zijn de waterstanden goed.
- De onderschatting bij Bahrsepol (15 cm) wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van gronddepots in de Vaalwaard tijdens het hoogwater. Deze hadden te maken met de beginnende ontzanding van de Vaalwaard. De depots liggen dwars op de stroming, zijn op luchtfoto's te zien, maar ontbreken in de schematisatie.



Figuur 6.9 Vergelijking tussen model en meting voor peilschaal Beusichem tijdens HW1995.

- De validatie op de **LMW-topstanden** ligt voor de kalibratiestations binnen 5 cm. Opgemerkt wordt dat niet op alle stations de weergegeven tijdstippen samenvallen met de hoogwatertop.
- De validatie op de **overige topstanden** is goed, behalve bij Wijk bij Duurstede; daar worden 20 cm te hoge waterstanden berekend. De oorzaak is onbekend. De meting is aanwezig op de poort in de stadsmuur waar ook een peilschaal hangt. Er is aangenomen dat de meting daar gedaan is, maar mogelijk klopt dit niet. De goede topstanden bij Griethausen en Schenkenschanz bevestigen dat ook op de Boven-Rijn/Rhein de topwaterstanden in de uiterwaarden goed zijn.
- De vergelijking van het model met de aflezingen op de **kilometerborden** op de **IJssel** laat een goede overeenkomst zien. De onderschatting tussen rkm 887 en 890 heeft waarschijnlijk te maken met de al eerder genoemde ontbrekende gronddepots Vaalwaard. Vanaf rkm 935 is het effect te zien van het nog niet correct onderlopen van de Wilpse en Nijenbeker kleipolder. Vooral vanaf rkm 939 is sprake van een overschatting van de topstand (consistent met peilschaal Ankersmit). Er is een duidelijke onderschatting bij rkm 950, mogelijk door een fout in de schematisatie.
- In de **kilometerborden** op het **Pannerdensch kanaal – Neder-Rijn – Lek** valt de onderschatting op bij rkm 870. Mogelijk is de ruwheid op de bovenloop van het Pannerdensch kanaal iets te klein. In de kalibratie is er geen meetpunt gebruikt tussen Pannerdensch Kop en Looveer. Bij meetpunt Pannerden (rkm 871.8) is het model wel goed. Op de Neder-Rijn is er sprake van een lichte onderschatting van de waterstanden. De Lek is over het algemeen goed, al zorgt de aanwezigheid van het getij voor een lastige vergelijking.



### 6.3.6 HW1993

In bijlage I.1 staan de figuren van de validatie op HW1993. In deze periode wordt naar de hoogwatertop gekeken, maar ook naar de tweede top in januari die ongeveer het niveau van H1 heeft (zie ook paragraaf 6.2.5).

- De waterstanden bij Tiel-kanaal zijn te hoog in het model. Het verloop wordt goed gevolgd, maar de overschatting komt vanaf het moment van sluiten van de keerschuij en Marijkesluizen.
- Bij de niet-gekalibreerde LMW-stations met dagwaterstanden zijn de afwijkingen in de waterstanden rond de hoogwatertop vergelijkbaar met de LMW-stations. Uitzondering zijn Grebbe (10 cm te laag) en Remmerden (30 cm te hoog).
- Bij Beusichem, een locatie in de uiterwaard met een peilschaal, is het effect te zien van de gemodelleerde coupure: een dalende waterstand na de top van het hoogwater en het verloop rond de tweede golf rond 12 januari duiden op het leeg- en vollopen van de uiterwaard. Het onderlopen in de was van de golf is nog wel te laat, mogelijk door een vertraging van de hoogwatergolf door onderlopen elders.
- De validatie op de LMW-topstanden ligt voor de kalibratiestations binnen 5 cm. Opgemerkt wordt dat van enkele stations het tijdstip niet in de hoogwaterperiode ligt.
- De validatie op de overige topstanden is vergelijkbaar met HW1995.
- Van de kilometerborden op de IJssel hebben vele locaties een goede overeenkomst, vergelijkbaar met de LMW-stations. Het traject rkm 880-897 geeft hier juist een goede overeenkomst, dit in tegenstelling tot de peilschalen. Blijkbaar verschillen de metingen. Net als in HW1995 wijkt rkm 950 af. Vanaf rkm 995-1000 is sprake van een overschatting van de waterstanden, overeenkomstig met LMW.
- Tijdens de **tweede hoogwatertop** lijkt er ongeveer 60 m<sup>3</sup>/s teveel water naar de Waal te gaan, en te weinig naar de andere takken. De afvoerverdeling lijkt met name afwijkend op de Pannerdensche Kop. Bij Hagestein-boven bedraagt de onderschatting van de afvoer zo'n 80 m<sup>3</sup>/s, groter dan de 40 m<sup>3</sup>/s op de Neder-Rijn. De getijslag in het model is groter dan in de ADM-meting.
- Bij de waterstanden valt het ontbreken van metingen rond de Pannerdensche overlaat op. Uit het model volgt een hernieuwd overstromen van de overlaat. Het leeglopen van het deel boven de overlaat (via een duiker naar het Pannerdensch kanaal) wordt niet door het model gereproduceerd.
- Het getij bij Vuren wordt niet goed gevolgd.
- Bij de niet-gekalibreerde LMW-stations met dagwaterstanden zijn de waterstanden rond deze tweede top vergelijkbaar met omliggende LMW-stations.
- Bij slechts enkele peilschalen zijn in deze periode aflezingen gedaan. Een goede overeenkomst is bv. bij Gemaal de Liemers op de IJssel. Verder valt de onderschatting tussen Westervoort-veerdam en Bahrse-Pol op van 10 tot 20 cm. Er is twijfel over de juistheid van de metingen bij gemaal Leuvenheim: deze zijn veel lager dan van het nabijgelegen gemaal Grote Beek.

## 6.4 Discussie

### 6.4.1 Stationariteit tussen modelschematisaties

Het meest opvallende resultaat van de validatie is dat de modelprestatie steeds slechter wordt naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt. Dit is goed zichtbaar in Tabel 6.5, waarin een overzicht van de statistieken voor de vijf volledige validatieperioden wordt gegeven. Uit Figuur 6.2 en Figuur 6.3 blijkt bovendien dat dit niet te maken heeft met de range van afvoeren die in de validatieperioden voorkomen: juist bij hetzelfde afvoerniveau zien we dat de afwijkingen tussen model en meting steeds groter worden naarmate we verder teruggaan in de tijd.

We kunnen deze vergelijking alleen voor M1- en M2-afvoeren goed maken; L1-afvoeren komen alleen in de recentere perioden (2015 – 2017) voor, terwijl H1- en H2-afvoeren juist alleen tijdens de hoogwaters van 1993, 1995 en 2011 voorkwamen.

De afvoerniveaus M1 en M2 zijn gekalibreerd op basis van recente perioden (januari 2016 en februari/maart 2017). Het lijkt dus logisch dat het model goed presteert voor de validatievensters uit die jaren. Dat voor oudere perioden het validatieresultaat zoveel slechter wordt is echter zorgwekkend. Hoewel we voor elke periode een aparte schematisatie gebruiken, die de geometrie en de winterbedruwheid voor die periode representeert, zijn in de tijd blijkbaar andere veranderingen opgetreden die we niet (goed) hebben meegenomen. Met name voor de perioden '93/'94 en '94/'95 kan ook mindere betrouwbaarheid van de gegevens (zowel voor modelinvoer als voor validatie) een rol spelen, hoewel de basisschematisatie voor j95 sterk is verbeterd ten opzichte van de vijfde generatie (zie paragraaf 3.1.2). De slechtere prestatie wijst erop dat de meer historische perioden minder bruikbaar zijn als basis voor een model van de huidige situatie.

Dit zegt ook iets over de betrouwbaarheid van de kalibratie op basis van historische perioden, in dit geval met name de kalibratie voor H1 en H2. De gevonden kalibratiefactoren worden gebruikt in actuele modellen, waarmee bijvoorbeeld waterstandsvoorspellingen worden gedaan. Het is de vraag in hoeverre de gevonden factoren geldig zijn voor de huidige situatie. Voor M1 en M2 zien we dat oudere perioden meestal lagere waterstanden geven dan recentere perioden. Als dit ook geldt voor H1 en H2 betekent dit dat we voor deze afvoerniveaus te hoge kalibratiefactoren hebben gevonden. In de huidige situatie zouden de waterstanden bij hoogwater dus worden overschat. Deze redenering wordt versterkt door het feit dat de kalibratiefactoren voor H1 en H2 relatief hoog zijn ( $> 1$ , zie paragraaf 0). Er was dus een grote aanpassing van de basisruwheid nodig voor een goed kalibratieresultaat. De H2-kalibratiefactoren zijn in dit perspectief belangrijker dan de H1-factoren, omdat voor nog hogere afvoeren ( $> 12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith) de H2-kalibratiefactor wordt aangehouden.

Het is echter de vraag of we met een kalibratie op recentere perioden een betrouwbaarder resultaat kunnen verkrijgen bij hoge afvoeren. De hoogste afvoer bij Lobith die in recente jaren is opgetreden is slechts ca.  $5000 \text{ m}^3/\text{s}$  (op het moment dat de kalibratie en validatie werden uitgevoerd was nog geen data beschikbaar voor 2018). Extrapoleren van de hiervoor gevonden kalibratiefactor tot afvoeren van  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en hoger brengt ook een grote onzekerheid met zich mee. Met de huidige methode schatten we de zomerbedruwheid bij hoge afvoeren conservatief in, en zitten we dus aan de veilige kant (we voorspellen eerder te hoge dan te lage waterstanden bij hoogwater).

#### 6.4.2 Modelprestatie bij Sint-Andries Waal

Zowel bij de kalibratie- als de validatieperioden is de modelprestatie bij Sint-Andries Waal opvallend slecht voor perioden in 2011 en 2015 – 2017, terwijl de resultaten bij stations direct boven- en benedenstrooms van deze locatie niet opmerkelijk zijn. In de perioden 1993 en 1995 springt het modelresultaat bij Sint-Andries er niet uit. Dit laatste is een aanwijzing dat de onderschatting van de waterstanden in recente perioden te maken heeft met de aanwezigheid van de vaste laag, die hier in de periode 1997 – 1999 in de buitenbocht is aangelegd (Van Reen, 2002). Dit blijkt ook uit de verhanglijnmeting die op 12 oktober 2016 is uitgevoerd op Boven-Rijn en Waal (zie Bijlage H.5.4). Omdat de afvoer op deze datum zeer laag was (ca.  $970 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith), worden de waterstanden sterk beïnvloed door de lokale bodemhoogte. Juist ter hoogte van de vaste laag blijkt dat het verhang onder deze condities niet goed wordt weergegeven in het model. Dit duidt erop dat de vaste laag zelf, of de alluviale binnenbocht op deze locatie, niet goed is geschematiseerd. Ook aan de waterstandsmetingen zelf kan getwijfeld worden, want de afwijking van het model ten opzichte van deze metingen is op deze locatie groter dan volgt uit de verhanglijnmetingen.

## 7 Conclusies

In dit rapport wordt de ontwikkeling van een 2D hydrodynamisch model van de Nederlandse Rijntakken in D-HYDRO beschreven. Dit model volgt op de ontwikkeling en inzet van 5 eerdere modelgeneraties en wordt daarom het zesde-generatiemodel genoemd. De belangrijkste reden om een nieuw model te ontwikkelen is om gebruik te kunnen maken van de D-HYDRO software suite, een recent door Deltares ontwikkeld softwarepakket dat nieuwe mogelijkheden biedt ten opzichte van Waqua, de software die voor de vijfde generatie is gebruikt. Deze overstap biedt echter ook een kans om andere aanpassingen te doen in de methodieken die voor modelopzet, kalibratie en validatie worden gebruikt, met als doel om de kwaliteit van het resulterende model te verbeteren. Dit geldt bijvoorbeeld voor de schematisaties in Baseline, het roosterontwerp, numerieke instellingen, de bepaling van laterale toestromingen en de kalibratie- en validatiemethodiek. Deze rapportage beschrijft de keuzes die in elke stap van het proces om tot een nieuw model te komen gemaakt zijn en laat zien tot welk resultaat dit heeft geleid.

### 7.1 Modelopzet

- De Baselineschematisatie j95\_5-G6 vormt de basis voor alle overige schematisaties die in de modelontwikkeling zijn gebruikt. Deze schematisatie is sterk verbeterd ten opzichte van de j95-schematisatie die voor de bouw van de vijfde-generatiemodellen is gebruikt (j95\_5-v1). Grote verbeteringen zijn o.a.:
  - Een nieuwe, ruimtelijk variërende correctie op de zomerbedligging voor het verschil tussen singlebeam- en multibeammetingen;
  - Uitbreiding van de schematisatie in bovenstroomse richting, tot aan Dornick (rkm 848). Door opname van het meetpunt Emmerich kan nu ook het meest bovenstroomse traject van de Boven-Rijn worden gekalibreerd.
  - Toevoeging van het Betuwepand, dat bij lage afvoeren Waal en Neder-Rijn – Lek met elkaar verbindt.
- De laterale toestromingen zijn volledig opnieuw bepaald. Het aantal uitwisselingslocaties is fors uitgebreid en er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van nieuwe metingen om de regressies vast te stellen. Bij de regressies is meer aandacht besteed aan lage afvoeren.
- Veel aandacht is besteed aan de ontwikkeling van een nieuw, ongestructureerd rooster, dat zoveel mogelijk is uitgelijnd met de lokale geometrie. Na zorgvuldige afweging is gekozen voor een kromlijng rooster voor het zomerbed, in combinatie met zoveel mogelijk vierhoeken in de uiterwaarden. Plaatselijk is gebruik gemaakt van driehoeken, vijfhoeken en zeshoeken om roosterdelen met elkaar te verbinden.
- Om de kunstwerken in het model aan te sturen is een nieuwe sturingslogica ontwikkeld in de D-Real Time Control module van D-HYDRO. Voor kalibratie- en validatieberekeningen wordt zoveel mogelijk gestuurd op gemeten waterstanden en afvoeren. Daarnaast is een aparte sturing voor operationele doeleinden ontwikkeld.
- De bodemruwheid is geschematiseerd met trachytopen. Voor het zomerbed zijn traject- en afvoerafhankelijke factoren bepaald, die worden vermenigvuldigd met een op fysica gebaseerde bodemruwheid om het model te kalibreren. Door gebruik te maken van een aparte, ruimtelijk variërende kalibratiefactor, in plaats van een directe aanpassing van de trachytopendefinitie (zoals in de vijfde generatie), is de keuze van kalibratietrajecten niet meer gebonden aan de ruwheidstrajecten.

## 7.2 Kalibratie en validatie

- Kalibratie is uitgevoerd voor vijf afvoerniveaus in het bereik van 800 tot 12.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, ten opzichte van drie niveaus (2700, 4450 en 11800 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) in de vijfde generatie. Voor lage en middelhoge afvoeren (L1, M1, M2) zijn geschikte kalibratieperioden geselecteerd uit de periode 2015 – 2017. Voor hoge afvoeren (H1) is het hoogwater 2011 gebruikt, en het hoogste afvoerniveau (H2) is gekalibreerd op het hoogwater 1995. Voor validatie van H1 en H2 zijn de twee hoogwaterpieken uit 1993 gebruikt. Zodoende zijn voor kalibratie en validatie de volgende modelschematisaties ontwikkeld:
  - dflowfm2d-rijn-j93\_6-v1a
  - dflowfm2d-rijn-j95\_6-v1a
  - dflowfm2d-rijn-j11\_6-v1a
  - dflowfm2d-rijn-j15\_6-v1a
  - dflowfm2d-rijn-j16\_6-v1a
- Ten opzichte van de vijfde generatie (waarin alleen j93 en j95 zijn gebruikt voor kalibratie en validatie) is voor de lage en middelhoge afvoeren gebruik gemaakt van recentere perioden, en is het aantal stations dat in de kalibratie wordt gebruikt uitgebreid. Voor de hoge afvoeren zijn de beschikbare meetgegevens verbeterd en aangevuld.
- Het model is gekalibreerd op waterstanden en afvoerverdeling. Met een geautomatiseerde procedure worden de kalibratiefactoren iteratief aangepast om het verschil tussen modelresultaat en metingen te minimaliseren. Om de waterstanden te kunnen kalibreren zonder gelijktijdig de afvoerverdeling te beïnvloeden zijn de riviertakken Waal, Neder-Rijn – Lek en IJssel eerst los gekalibreerd op waterstanden, waarbij de afvoer als bovenstroomse randvoorwaarde is opgelegd. Vervolgens is het totaalmodel gekalibreerd op de afvoerverdeling over de takken en de waterstanden op Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal.
- De resulterende kalibratiefactoren liggen over het algemeen dicht bij 1. Dat betekent dat de vooraf bepaalde basisruwheid een goede benadering is van de uiteindelijke ruwheid van het zomerbed. Over het algemeen was voor niveaus L1 t/m M2 een verlaging van de ruwheid nodig en voor H1 en H2 een verhoging om de waterstanden goed te benaderen.
- De bias tussen model en meting is na kalibratie voor alle LMW-stations kleiner dan 1 cm, en blijft in de regel beperkt tot afgerond nul of enkele millimeters. De bias in afvoerverdeling blijft veelal beperkt tot minder dan 1 of enkele m<sup>3</sup>/s.
- Het model is gevalideerd door 5 historische perioden met een duur van 2 tot 6 maanden door te rekenen en het modelresultaat te vergelijken met metingen. Naast een analyse van de resultaten per periode zijn ook een aantal vensters geselecteerd om elk afvoerniveau apart te kunnen valideren.
- De verschillen tussen model en meting zijn voor de validatievensters en -perioden veel groter dan voor de kalibratieperioden. De bias gemiddeld over alle stations loopt uiteen van enkele centimeters tot ca. 2 decimeter. De gemiddelde standaarddeviatie heeft waarden van 2 tot 17 cm.
- Uit de M1- en M2-validatie blijkt dat bij gelijkblijvende afvoer de verschillen tussen model en meting groter worden naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt. Dit kan betekenen dat de meer historische perioden minder bruikbaar zijn als basis voor een model van de huidige situatie. Omdat de afvoerniveaus H1 en H2 zijn gekalibreerd op historische perioden (2011 en 1995), is het modelresultaat voor deze range van afvoeren mogelijk minder betrouwbaar. Dit geldt ook voor afvoeren hoger dan het H2-niveau, omdat hiervoor de H2-kalibratiefactor wordt aangehouden. De verwachting is dat met deze kalibratie de waterstanden voor hoge en zeer hoge afvoeren worden overschat.

- Het gebruik van recente perioden met meer waterstandsstations voor kalibratie van lage en middelhoge afvoeren en de uitbreiding van de afvoerniveaus (o.a. richting lage afvoeren) vormen de belangrijkste vooruitgang ten opzichte van de kalibratie in de vijfde generatie.
- De uitgevoerde validatie op een uitgebreide set van waterstands- en afvoermetingen heeft veel inzicht opgeleverd. Over het algemeen bevestigen de tussenliggende meetstations de modelprestatie op de gekalibreerde LMW-stations.
- De validatie op verhanglijnmetingen is boven verwachting goed. Deze validatie heeft een grote informatiewaarde omdat hiermee de modelprestatie ook tussen de meetstations kan worden beoordeeld. Door het “meevaren” met de boot in het model wordt rekening gehouden met verschillen in afvoer gedurende de meting. Zowel bij de lagere afvoeren als de hoge afvoeren is het verhang tussen de meetstations goed en worden verhangveranderingen goed gevolgd. Diverse trajecten vallen op met grotere afwijkingen.
- Grote hiaten in de beschikbaarheid van gemeten afvoeren van het Twentekanaal bij Almen maken het lastig om de validatie op met name lage afvoeren goed te duiden. Met name vanaf Zutphen wordt een deel van de afwijkingen hierdoor veroorzaakt.

# 8 Aanbevelingen

## 8.1 Modelopzet

- De invloed van wind op waterstanden wordt in dit model niet meegenomen (behalve via de randvoorwaarden). In bepaalde gebieden kan deze invloed significant zijn, bijvoorbeeld op de IJssel benedenstrooms van Zutphen. Om de invloed van wind hier beter mee te kunnen nemen kan worden overwogen de benedenstroomse rand, die nu bij de Ketelbrug ligt, in bovenstroomse richting te verplaatsen, bijvoorbeeld naar Katerveer. De invloed van wind wordt dan via de randvoorwaarde expliciet opgelegd.
- De PID-coëfficiënten voor de stuwsturing zijn via een niet-systematisch en tijdrovend proces afgeleid. Aanbevolen wordt dit proces te automatiseren, of een systematische methode te bepalen voor PID-kalibratie in riviermodellen.
- WKC Amerongen is niet opgenomen in de kunstwerksturing en staat in het model altijd dicht. De afvoer die in de werkelijkheid door de WKC stroomt wordt in het model via de stuw doorgelaten. Hiervoor is gekozen omdat de ingewikkelde sturingsregels voor de WKC niet goed gerepresenteerd kunnen worden in het model. Onderzoek is nodig om te bepalen welke modelveranderingen nodig zijn om de werking van de WKC juist te simuleren.
- Het instromen van uiterwaarden bij hoogwater lijkt in het model niet goed gerepresenteerd te worden, ondanks de opname van diverse inlaatkunstwerken. Het functioneren van deze kunstwerken in het model moet nader worden bekeken. Mogelijk kan het instromen worden verbeterd met een recent beschikbaar gekomen softwarefunctionaliteit, waarmee duikers en inlaatsuizen beter geschematiseerd kunnen worden.
- Het weer leegstromen van deze gebieden wordt helemaal niet gemodelleerd. Om het instromen beter te simuleren moet eerst worden onderzocht wat er nu misgaat, bijvoorbeeld door modelresultaten te vergelijken met inundatiekaarten. Door extra processen zoals infiltratie mee te nemen kan het leeglopen van uiterwaarden worden gemodelleerd.
- Bij Sint-Andries worden waterstanden in recente perioden stelselmatig onderschat. Aanbevolen wordt te onderzoeken of de schematisatie van de vaste laag en de alluviale binnenbocht op deze locatie kan worden verbeterd. Ook moet worden onderzocht of de waterstandsmetingen op deze locatie betrouwbaar zijn. Validatie op extra verhanglijnmetingen kan hierbij een hulpmiddel zijn.
- Bij lage en middelhoge afvoeren heeft de beschrijving van de afvoer (voor de bovenrand, de splitsingspunten en de lateralen) een grote invloed op de berekende waterstanden. Meer onderzoek is nodig om deze beschrijving zo nauwkeurig mogelijk te maken. De afvoerreeksen voor het Twentekanaal bij Almen worden hierbij specifiek genoemd, omdat dit een belangrijke lateraal is waarvoor weinig betrouwbare data beschikbaar is. Onderzocht kan worden of de metingen van ADM Markelose-brug bewerkt kunnen worden op basis van lozingen, onttrekkingen en looptijd om zo de afvoerreeks voor het Twentekanaal in de laagwaterperiodes 2015-2017 te verbeteren.

## 8.2 Kalibratie en validatie

- Uit de validatie blijkt dat historische perioden minder bruikbaar zijn als basis voor een model van de huidige situatie. Omdat de afvoerniveaus H1 en H2 zijn gekalibreerd op historische perioden (2011 en 1995), is het modelresultaat voor deze range van afvoeren mogelijk minder betrouwbaar. Door validatie op recente hoogwaters uit te voeren (bijv. het hoogwater van 2018, met een piek rond het H1-afvoerniveau) kan het modelresultaat voor hoge afvoeren mogelijk worden verbeterd en kan modelonzekerheid worden verkleind.
- In het algemeen wordt aanbevolen meer onderzoek te doen naar modelonzekerheden die volgen uit het gebruik van historische schematisaties voor kalibratie, versus onzekerheden die volgen uit het extrapoleren van kalibratiefactoren die voor lagere afvoeren, maar recente perioden zijn gevonden.
- De gefaseerde kalibratiemethode, waarbij kalibratie eerst plaatsvindt voor losse takmodellen en daarna nogmaals voor het model als geheel is zeer tijdrovend en nodeloos complex. Tijdens de kalibratie van het totaalmodel is gebleken dat afvoerverdeling en waterstanden tegelijk gekalibreerd kunnen worden met behulp van OpenDA. Dit wordt aanbevolen voor de volgende kalibratie van het Rijntakkenmodel. Er dient dan wel bekeken te worden hoe de fout in afvoerverdeling beter over de takken kan worden verdeeld.
- De bias van het model ten opzichte van metingen is gebruikt als kalibratieparameter. Hiermee wordt een juiste weergave van de looptijd van afvoergolven niet gegarandeerd. Het kan in dat geval helpen om naast de bias ook de standaarddeviatie mee te nemen in de kalibratie. De weergave van het getij kan hierdoor mogelijk ook worden verbeterd.
- Voor kalibratie is gekozen relatief korte perioden rondom afvoerpieken te selecteren. Dit kan ertoe leiden dat modelprestatie rondom de gekalibreerde afvoerniveaus beter is dan tussen de niveaus in. Dit verschil kan worden verkleind door rondom afvoerpieken grotere vensters te definiëren, zodat ook de aan- en afloop van de golf wordt meegenomen in de kalibratie. De prestatie van het model op de piek wordt dan iets minder, maar de prestatie voor de hele golf wordt beter.
- Er zijn aanwijzingen dat de kalibratiefactoren op de Neder-Rijn – Lek voor H1 (met name vanaf Grebbe) te hoog zijn. De oorzaak hiervan moet nader worden onderzocht. De verwachting was dat verbeteringen in Baseline (zomerkades, kribvakken) zouden helpen, maar dit blijkt onvoldoende het geval.
- Op de Boven-IJssel worden juist (zeer) lage kalibratiefactoren gevonden. Hoewel dit gedeeltelijk wordt verklaard door de invloed van de ruwheid op het traject Looveer – Pannerdense Kop, is extra aandacht voor het traject IJsselkop – Westervoort zinvol.
- Toekomstige verbeteringen in de software maken het mogelijk het verval over de geopende stuwen te kalibreren. Op dit moment is dit verval te hoog in het model.
- Met de instelling *weakParameterConstraint=true* in OpenDA wordt minder voorkeur gegeven aan grote ruwheidsaanpassingen die weinig effect op de waterstanden hebben. Het gebruik van deze instelling leidt tot meer realistische kalibratiefactoren in gebieden waar het verval klein is, zonder in te leveren op modelprestatie (Veenstra et al., 2022).
- Met de kalibratie van zomerbedruwheden wordt niet alleen gecompenseerd voor fouten in de zomerbedruwheid, maar ook voor fouten in andere modelonderdelen, zoals de ruwheid van het winterbed. Door ook de ruwheid van het winterbed te kalibreren kunnen modelonzekerheden worden verkleind.
- Van de periode 2015/2016 is het deel februari-maart 2016 nog niet gevalideerd. In deze periode zitten vier afvoergolven waarvan de hoogste bijna 5.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith bereikt.

- Op stroomsnelheden heeft nog geen validatie plaatsgevonden, terwijl een goede weergave hiervan voor verschillende toepassingen van belang is. Op de Midden-Waal zijn stroomsnelheids- en afvoermetingen beschikbaar in het zomerbed en de kribvakken, o.a. voor de periode HW2011. Op de Boven-Rijn zijn stroomsnelheids- en afvoermetingen in het zomerbed beschikbaar uit het project Sedimentsuppleties Boven-Rijn.

## 8.3 Modeltoepassing

### 8.3.1 Rekeningtijd

In alle toepassingen van het model moet rekening worden gehouden met rekestijden. Over het algemeen kan de rekestijd worden verkort door het model op te delen in partities en deze parallel door te rekenen. Alle berekeningen in dit rapport zijn uitgevoerd op het Linux-rekencluster van Deltares, op 8 partities (2 nodes met elk 4 cores). Specificaties van het cluster zijn gegeven in Tabel 8.1. Berekeningen voor het totaalmodel duren, afhankelijk van de hydrodynamische condities, ca. 1 uur per gesimuleerde dag.

Tabel 8.1 Specificaties van het Linux-rekencluster van Deltares (Hydrax H6).

	Bare metal	Bare metal (v6 CPU)	Virtual
<b>Cores</b>	920/1840(HT)	128/256(HT)	224
<b>CPU</b>	Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60GHz	Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1270 v6 @ 3.80GHz	Intel Xeon CPU E5-2667 v3 @ 3.20GHz
<b>Memory</b>	7.3 TB	1 TB	1.8 TB
<b>Storage Filesystems</b>	Multiple PetaBytes (ZFS/NFSv3)	Multiple PetaBytes (ZFS/NFSv3)	Multiple PetaBytes (ZFS/NFSv3)
<b>Network</b>	10GE Interconnect	10GE Interconnect	10GE Interconnect

### 8.3.2 Extreme condities

Voor verschillende modeltoepassingen, zoals in BOI, voor vergunningverlening en voor beleidsstudies, worden extreme condities gesimuleerd, met afvoeren die hoger zijn dan ooit gemeten. Het ontwikkelde operationele model is getest op stabiliteit voor afvoeren bij Lobith tot 24.000 m<sup>3</sup>/s en kan in dit bereik zonder verdere aanpassing worden gebruikt, met de kanttekening dat de modelresultaten (waterstand en afvoerverdeling) onzeker zijn omdat het model niet gekalibreerd kan worden voor dit soort extreme omstandigheden. Voor modeltoepassing wordt aanbevolen geen afvoeren groter dan 24.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith op te leggen.

### 8.3.3 Bruikbaarheid resultaten

Een aantal gebieden die in het Rijntakkenmodel zijn opgenomen komen ook voor in andere modelschematisaties in de zesde generatie (bijv. Maas, RMM en IJVD). Het verschilt per toepassing welk van deze modellen het meest geschikt is voor de betreffende gebieden. Gebruikers van de modellen wordt aangeraden een afweging te maken welke processen voor de beoogde toepassing het meest belangrijk zijn en op basis daarvan een keuze te maken voor één van de modellen.



## 9 Referenties

- AVI (2017): Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijntakken 2017. AVI rapport P170217R
- Becker, A. (2012). Rijn-modellen 5de generatie. Modelopzet, kalibratie en verificatie WAQUA. Deltares rapport 1205994-002-ZWS-0007.
- Becker, A. (2018). Trapjeslijnen vs boundary fitted langs bandijken rivieren in D-HYDRO. Deltares memo 11202220-013-ZWS-0003.
- Beyer, D. (2012). Werkwijze bepaling afvoerreeksen op de takken j95\_5. Memo Rijkswaterstaat Oost-Nederland. 26 oktober 2012.
- Bol, R. (2016). Stuwprogramma Nederrijn/Lek. Achtergronden bij een nieuw stuwprogramma.
- Deltares (2020). Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) 2.3.0. Gebruikershandleiding RGWM. Preprocessing ten behoeve van Waqua, SOBEK3, D-HYDRO en FEWS (randvoorwaarden Maas en Rijn).
- Deltares (2022a). D-Flow Flexible Mesh. Computational Cores and User Interface. User Manual. [https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow\\_FM\\_User\\_Manual.pdf](https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf)
- Deltares (2022b). D-Flow Flexible Mesh. Technical Reference Manual. [http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow\\_FM\\_Technical\\_Reference\\_Manual.pdf](http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_Technical_Reference_Manual.pdf)
- 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)
- Domhof, B. en De Jong, J. (2022). Verschilanalyse overstap zesde-generatie modellering Rijntakken. Effect nieuwe generatie, modelinstellingen en beno-actualisaties. Deltares rapport 11206813-002-ZWS-0024.
- 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. en Van Kester, J. (2013). Toepasbaarheid van kleine roostercellen in WAQUA voor overlaten. Deltares memo 1207880-006-ZWS-0009
- De Jong, J.S. en Visser, T. (2014). Verificatie hoogwater 2011 Rijntakken. 5de generatie WAQUA en SOBEK. Deltares rapport 1209449-003-ZWS-0009, d.d. september 2014.
- 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., & Yossef, M. (2017). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model. Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-0003-ZWS-0014. Delft: Deltares
- De Jong, J.S. (2019a). Gebiedsspecifieke nummering van trachytopen en kalibratiefactor. Deltares memo 11203714-013-ZWS-0006, d.d. 17 december 2019

- De Jong, J.S. (2019b). Kunstwerken in de zesde generatie: Methodiek voor het bepalen van afvoercoëfficiënten. Deltares memo 11203714-003-ZWS-0003
- De Jong, J.S. (2020). Toepassing van D-HYDRO: Mappenstructuur en sommengenerator water modellen (SGWM). Deltares memo 11205259-002-ZKS-0004, concept v0.4 d.d. 11 april 2020
- 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.
- Kosters, A. en Niesten, I. (2019). Onderzoek breedte kalibratiepolygoon. Deltares memo 11203714-005-ZWS-0018, d.d. 25 oktober 2019.
- Kosters, A. (2022). Actualisatie zesde generatie Rijnmodellen. Schematisaties j19\_6 en beno19\_6. Deltares rapport 11206813-003-ZWS-0004.
- LievenseCSO (2019). Dataprotocol Baseline 6.1.1. Version Final, January 2019.
- Niesten, I. (2019). Voorstel kalibratieperiodes Rijntakken. Deltares memo 11203714-005-ZWS-0013, d.d. 15 mei 2019.
- OpenDA (2016). OpenDA User Documentation
- Platzek, F., Patzwahl, R. (2015a). Advection and grid effects in river computations: selling some error. Presentatie 12th UnTRIM User Workshop, 19 mei 2015
- Van Reen, M.J. (2002). Morfologische problemen rond bochtverbeteringen in de Waal. Afstudeerverslag.
- Rijkswaterstaat (2019). User Manual Baseline 6.1.1.
- Rijkswaterstaat (2021). User Manual Baseline 6.2.0.
- RURA (2018). Actualisatie beschrijving laterale toestroming Rijntakken. P180510R. 3 oktober 2018.
- Scholten, M. (2019). Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat memo d.d. 14 februari 2019.
- Schropp, M.H.I. (2011). Hydraulische metingen vispassages Neder-Rijn Lek, resultaten 2002-2007. Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Sieben, J. (2010). Overzicht en synthese beschikbare data overlaatproeven; update 2010. Rijkswaterstaat memo met datum 6 augustus 2010.
- Spruyt, A., Minns, T., Yossef, M., Kerkhoven, D., Zijl, F. en Genseberger, M. (2016). Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de 6e-generatie modellen van RWS.
- Spruyt, A, T. Minns, F. Zijl, M. Genseberger, M. Yossef, T. van der Kaaij, E. de Goede (2017a): Ontwikkeling Zesde-Generatie Modellen Met D-HYDRO - Generieke Technische En Functionele Specificaties." Concept 11200569-000. Delft: Deltares.
- Spruyt, A. (2019): Relatie waterstand Hardinxveld en Werkendam. Deltares memo 11203714-005-ZWS-0001.
- Spruyt, A. en Fujisaki, A. (2021). Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta. Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11205258-007-ZWS-0007.

- Van der Veen, R. (2018). Actualisatie beschrijving laterale toestroming Rijntakken. Kenmerk P180510R
- Veenstra, J., De Jong, J. en Kusters, A. (2020). Kalibratiefactoren overlapgebieden RMM, Rijntakken en Maas. Deltares memo 11205258-006-ZWS-0002, d.d. 24 september 2020.
- Veenstra, J., van der Kaaij, T., Visser, T., Becker, A. en van der Wijk, R. (2022). Ontwikkeling zesde-generatie Rijn-Maasmonding-model. Modelbouw, kalibratie en validatie 2D-model. Deltares rapport 11208053-004-ZWS-0003
- 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 (2016), Qh-relaties j15 en beno15 voor Keizersveer, Werkendam en Krimpen a/d Lek. Deltares memo d.d. 8 april 2016, kenmerk 1230071-004-ZWS-0010
- 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
- Yossef, M. F. M. (2005). Morphodynamics of rivers with groynes. (Ook verschenen als proefschrift Technische Universiteit Delft, 2005 PhD), DUP Science, Delft
- Zagonjoli, M. (2018). Wind invloed op waterstanden en op golfhoogten op rivieren. Deltares memo 11202700-002-ZWS-0003

# A Programma van Eisen

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

Versie 5, toevoegen Rijntakken, was per abuis niet meer aanwezig in versie 4

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 gebiedsbeschrijving 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, spuisluisen, 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 tussenliggende 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 hoofdingeling 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 voor de Rijn 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".

Onderwerp	Eisen
<b>Toepassing</b>	<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>• In de toekomst wellicht operationele verwachtingen</li></ul>
<b>Interessegebied</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Het gehele gebied</li></ul>
<b>Processen</b>	<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></ul>
<b>Rekenrooster</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resolutie zomerbed ongeveer 40 meter in lengte</li><li>• Inlaat retentie gebieden</li><li>• Stroomgeleidingskaden</li><li>• Invaart van aangetakte plassen</li><li>• Ligging van kunstwerken: roosterlijn op het kunstwerk</li><li>• Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li></ul>
<b>Kalibratieperioden</b>	<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 de hoog waters van 1995 (kalibratie) en 1993 (validatie)</li><li>• Lage, midden en hoge afvoer omstandigheden</li></ul>
<b>Kalibratie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li><li>• Afvoerdeling over de splitsingspunten op orde brengen.</li></ul>

Onderwerp	Eisen
	<ul style="list-style-type: none"> <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 (1995 en 1993) is bijzonder, aangezien er voor afvoeren hoger dan 1995 en 1993 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>
<b>Validatie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>• Afvoerdeling over de splitsingspunten 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</li> </ul>
<b>Berekening</b>	<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 (eis voor vergunningverlening)</li> </ul>
<b>Overig</b>	<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 morfologie</li> <li>• geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li> <li>• geschikt voor koppeling met waterkwaliteit</li> </ul>



## B Roosterontwerp

### B.1 Totaaloverzicht rooster

Vanwege de grootte van de rooster-atlas wordt deze bijlage apart aangeleverd.

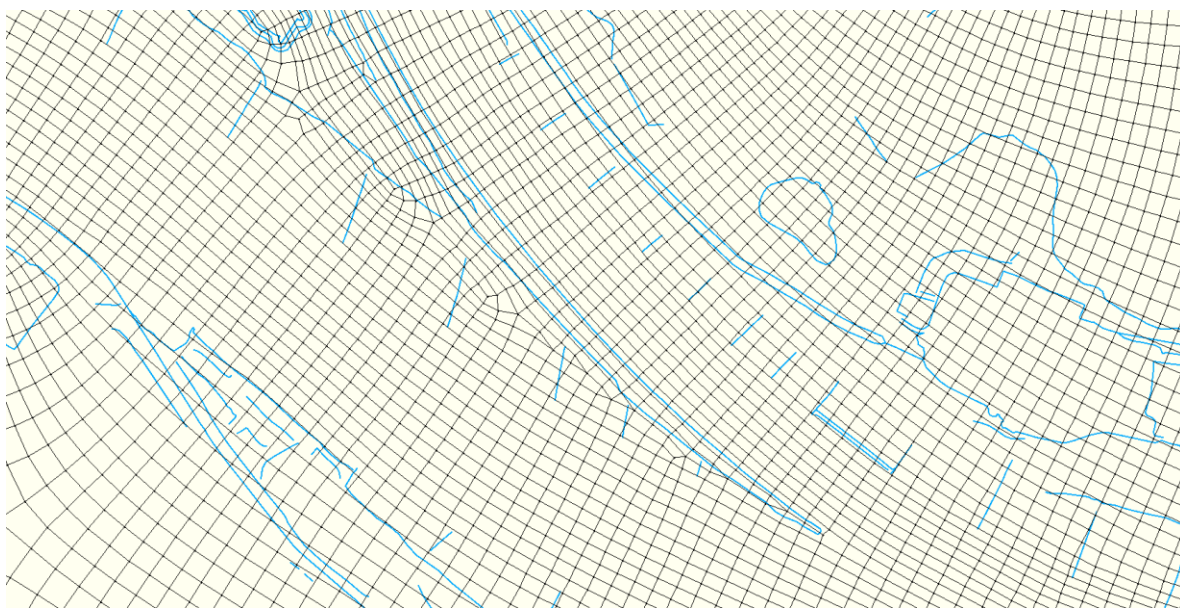
### B.2 Locatiespecifieke keuzes

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

#### B.2.1 Splitsingspunt Pannerdensch Kop

Op het splitsingspunt Pannerdensch Kop is ervoor gekozen om naast vierhoekige cellen ook driehoekige en vijfhoekige cellen te gebruiken om de zomerbedvolgende roosters van Waal en Pannerdensch Kanaal op de scheidingsdam tussen de twee takken aan te kunnen sluiten. Het resultaat is een volledig curvilineair rooster in het zomerbed van de Boven-Rijn, Waal en Pannerdensch Kanaal. Hierbij is ervoor gezorgd dat het zomerbedrooster op de Boven-Rijn 21 cellen in de breedte heeft. Dit aantal wordt verdeeld als 52 cellen op de Waal en 8 op het Pannerdensch Kanaal. Eén cel "loopt dood" op de Kop zelf, en wordt direct gesplitst door middel van een vijfhoek. Bij het invullen van het winterbed is verder gelet op:

- Locatie van de knopen: zoveel mogelijk buiten kribvakken.
- Projectie van de overlaten: met name de geleidingsdammen het dichtst bij de Kop.



*Figuur B.1 Bij splitsingspunt Pannerdensch Kop worden een vijfhoek en enkele driehoeken gebruikt om cellen te splitsen en zowel het zomerbed van de Waal als van het Pannerdensch Kanaal te volgen (achter het rooster zijn in blauw de overlaten uit j17 weergegeven).*

### B.2.2 Splitsingspunt IJsselkop

Het Pannerdensch Kanaal heeft vlak vóór de IJsselkop 15 cellen in de breedte. Dit aantal wordt gesplitst in 8 cellen op de Neder-Rijn en 6 op de IJssel. Net als bij de Pannerdensch Kop wordt één cel direct gesplitst op de IJsselkop door middel van een vijfhoek. De oriëntatie van het rooster bij de IJsselkop werd bemoeilijkt door de aanwezigheid van het regelwerk de Hondsbroeksche Pleij (aangegeven als rode lijn in Figuur B.2. Dit heeft geleid tot een lagere orthogonaliteit in het zomerbed (tot 0.051). Tevens zijn de cellen in zowel het zomerbed als het winterbed ingekort om te voldoen aan de vereiste lengte-breedte verhouding. Bij het opvullen van de IJsselkop is verder gelet op:

- Locatie van de knopen: zoveel mogelijk op de hoogwater vrije vlakken (weergegeven als rode vlakken in Figuur B.2) en buiten kribvakken.
- Het volgen van de zomerkades langs de IJssel en Nederrijn.



Figuur B.2 Het rooster op de IJsselkop en Hondsbroeksche Pleij. De achterliggende baseline-schematisatie is j16\_5-w4.

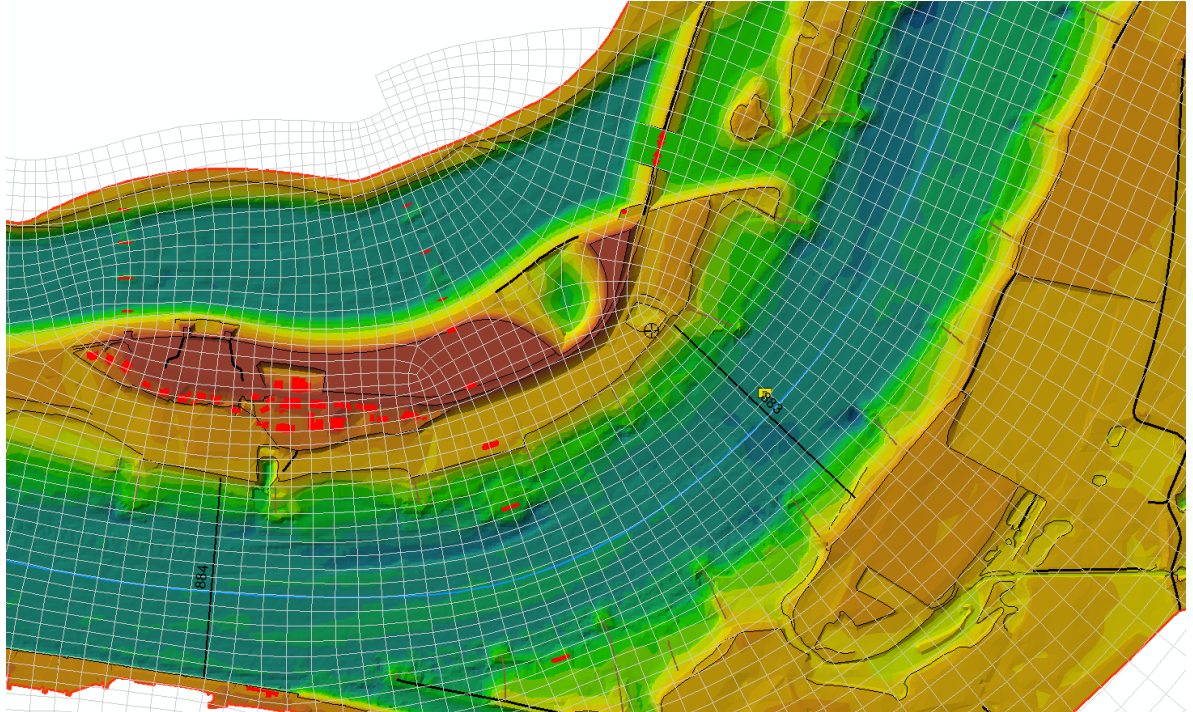
### B.2.3 Regelwerk Pannerden en Regelwerk Hondsbroeksche Pleij

De regelwerken worden bij de start van ieder hoogwaterseizoen opnieuw ingesteld om de hoogwaterverdeling over de takken te verdelen. Het Regelwerk Pannerden controleert de afvoerverdeling over de Waal – Pannerdensch Kanaal en heeft 32 schotten. Het Regelwerk Hondsbroeksche Pleij controleert de afvoerverdeling over de Neder-Rijn - Lek – IJssel en bestaat uit 30 schotten. Bij beide regelwerken is ervoor gekozen om in de breedte één cel over twee schotten te leggen. Op deze manier kan het regelwerk in het model per twee schotten worden ingesteld, en loopt er in het verfijnde rooster een cel over elk afzonderlijk schot.

Bij beide regelwerken is ervoor gezorgd dat er een roosterlijn precies op de drempel ligt. Daarbij is geprobeerd om de geleidingsdammen zo goed mogelijk te volgen.

#### B.2.4 Inlaat en nevengeul Nijmegen Lent

Bij hogere afvoer vormt de nevengeul bij Lent een belangrijke stroombaan, en het is van groot belang dat de inlaat (duikers en kade) goed worden opgenomen in het model. Met de gestructureerde blok-aanpak zijn nu zowel het zomerbed van de Waal als het inlaatwerk en de nevengeul van Lent gevolgd. De aansluitingspunten zijn zoveel mogelijk op het hoge deel van het eiland Lent geplaatst zodat de kleine cellen niet beperkend zullen zijn voor de rekentijdstep (Figuur B.3).

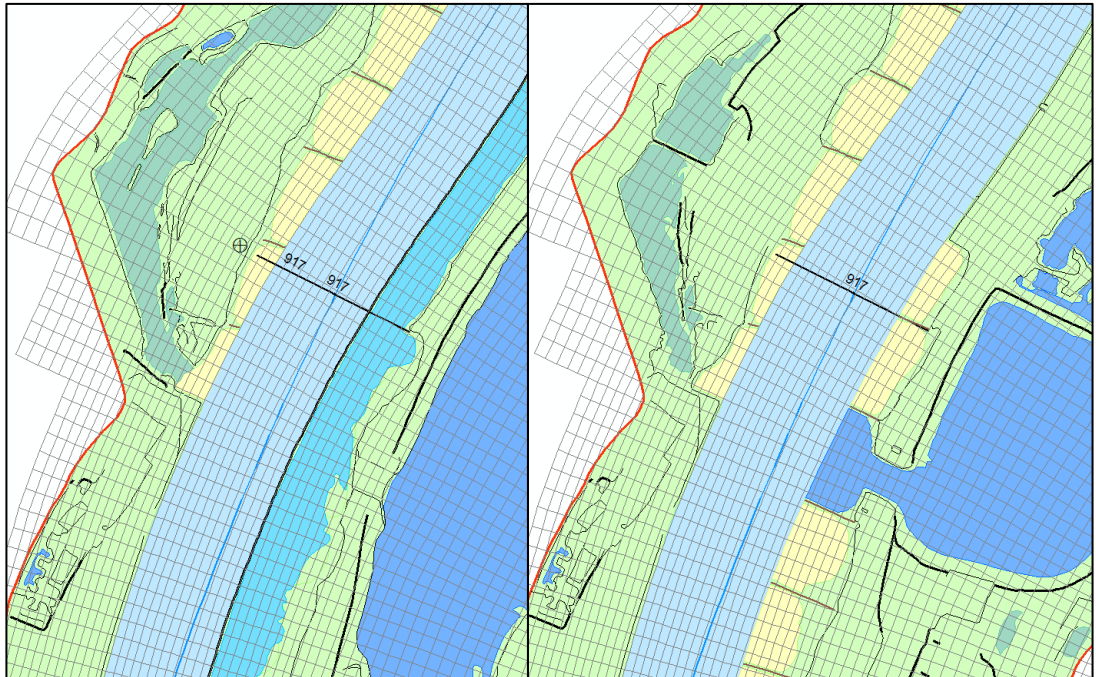


Figuur B.3 Grid bij Nijmegen Lent.

Tegenover de nevengeul op de Waal bij Nijmegen is een roosterlijn aan de diepe kant van de Waalkade gelegd. Op deze manier wordt het doorstroomoppervlak bij lage afvoeren gewaarborgd. Intussen wordt de flow link “dichtgezet” door projectie van de kade op dezelfde diepe roosterlijn. Zie paragraaf 4.1.1 voor een verdere toelichting op deze aanpak.

#### B.2.5 Traject langsdammen

De langsdammen bij Tiel zijn aangelegd in 2015. Het streven is om het rooster zoveel mogelijk uit te lijnen met het systeem zoals het er in de huidige situatie uitziet. Voor kalibratie is de situatie tijdens het hoogwater van 1995 echter van belang. Daarom is geprobeerd om de roosterlijnen aan te laten sluiten op zowel de kruin van de langsdammen (huidige situatie) als op de sectie 1-lijn in 1995 (zie Figuur B.4). Hierbij is voorrang gegeven aan uitlijning op de situatie mét langsdammen. De orthogonaliteit op dit traject is goed met waarden  $< 0.01$ .



*Figuur B.4 Rooster bij het langsdammen-traject in de situatie 2016 (links) en de situatie 1995 (rechts).*

### **B.2.6 Afgedamde Maas**

Bij hogere afvoeren vormt de Afgedamde Maas een belangrijke stroombaan. Het rooster op deze locatie is een duidelijk voorbeeld van een gestructureerde blok-aanpak (Figuur B.5). Bij de opzet van het rooster is de Afgedamde Maas behandeld als zomerbed en is het diepe deel curvilineair opgevuld met behulp van splines. Vervolgens is het rooster uitgebreid in het winterbed. Waar de gestructureerde blokken van de Waal en Afgedamde Maas elkaar tegenkomen, is het rooster geplakt door middel van “knopen”. De landtong tegenover Woudrichem is behandeld als splitsingspunt en bevat enkele vijfhoekige cellen om de celrijen te kunnen splitsen. Bij de aantakking van de Afgedamde Maas op de Waal / Boven Merwede is erop gelet dat er voldoende roosterzellen in de diepe geul liggen.



Figuur B.5 Het rooster volgt zowel de Afgedamde Maas als het zomerbed van de Waal en Boven-Merwede.

Omdat uit berekeningen met hoge afvoer bleek dat de cellen in de haven van Woudrichem beperkend waren voor de rekentijdstep, zijn de kleine cellen verwijderd of verplaatst naar de vesting Woudrichem (buiten modelgebied).

#### B.2.7 Groene rivier Arnhem

Net als de Afgedamde Maas is de nieuw ingerichte Groene Rivier bij Arnhem een belangrijke stroombaan tijdens hogere afvoeren. Er is daarom extra aandacht besteed aan het volgen van deze stroombaan (zie Figuur B.6). Daarnaast is rekening gehouden met de pijlervoeten van de John Frostbrug.

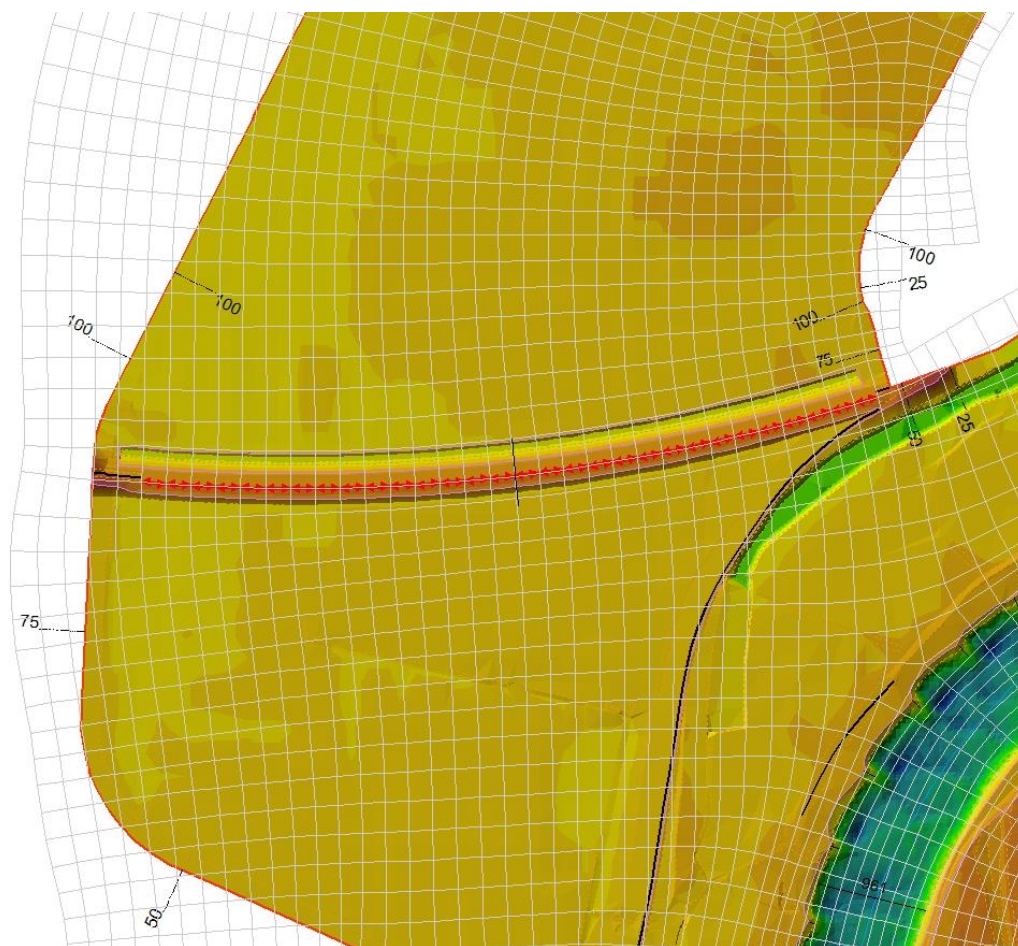


Figuur B.6 Rooster bij de Groene Rivier, Arnhem (instroom).

### B.2.8 Inlaat hoogwatergeul Veessen-Wapenveld

Bij de inlaat van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld is ervoor gekozen om het inlaatkunstwerk te volgen met een roosterlijn, zie Figuur B.1. Dit heeft de voorkeur gekregen boven het volgen van de stroombaan vanuit de IJssel over de zomerkade de hoogwatergeul in. De in totaal 60 beweegbare schotten zijn in de breedte opgedeeld in 30 roostercellen, dus één cel over twee schotten. Op deze manier kan het inlaatkunstwerk in het model per twee openingen worden bediend, en loopt er in het verfijnde rooster een cel over elk afzonderlijk schot. Niet elke roostercel is even breed, omdat elke 5<sup>e</sup> pijler een brede pijler is (vanwege de brug die eroverheen loopt).

De inlaat staat op een drempel die bovenstrooms vrijwel vlak ligt tot aan de schotten, en vanaf het kunstwerk naar benedenstrooms in hoogte afloopt. Daarna volgt een steil talud tot aan een sloot. Beide uiteinden van deze drempel zijn in Baseline geschematiseerd met `terrain_jump_3d_lines`. In D-HYDRO worden deze lijnen geschematiseerd met overlaten (fixed weirs). De eerstvolgende roosterlijn na het kunstwerk ligt precies voorbij de sloot. Bovenstrooms ligt de eerstvolgende roosterlijn vóór de inlaaddrempel. In het 40m-rooster komt de drempel nu in het hoogtemodel. De overlaten worden op dezelfde roosterlijn als het kunstwerk geprojecteerd, waarbij de overlaten worden overschreven door het inlaatkunstwerk. Na roosterverfijning komen er extra roosterlijnen te liggen, waardoor de overlaten niet meer op dezelfde roosterlijn als het kunstwerk worden geprojecteerd.

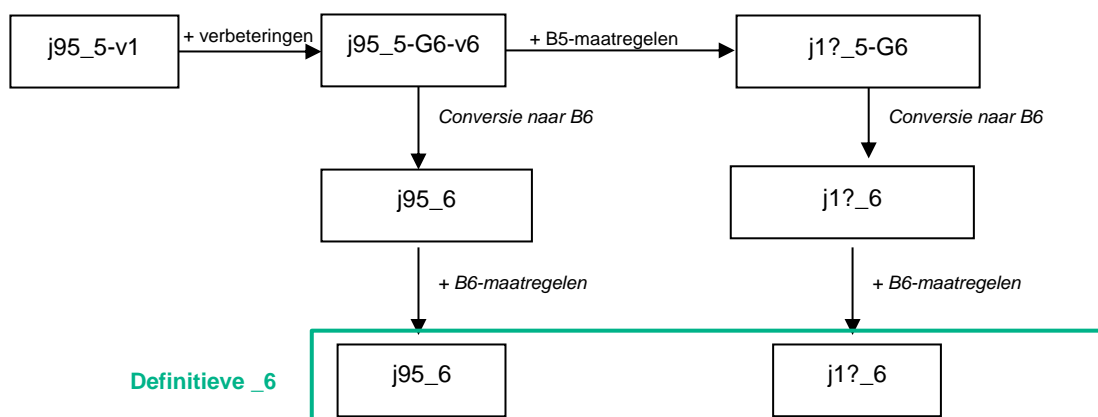


Figuur B.1 Rooster rondom het inlaatwerk van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld.

# C Baseline, projectie en geometrie

## C.1 Overzicht Baselinevarianten

Er wordt in deze rapportage gewerkt met twee lijnen met definitieve Baseline-schematisaties: de Baseline 5-schematisaties ten behoeve van Baseline 6 (\_5-G6) en de Baseline6-schematisaties (\_6). Voor het maken van deze varianten wordt de volgende inmixroutine 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 B.3.

Alle varianten in \_5-G6 die voor de Rijntakken gemaakt zijn, staan weergegeven in onderstaande tabel. De lijst bevat varianten die toegepast worden binnen de kalibratie en validatie van de Rijntakken en de kalibratie van de RMM-modellen (vanwege het overlapgebied). Daarnaast worden varianten genoemd die, vooruitlopend op de definitieve varianten, specifiek voor roosterbouw zijn gebruikt. De uitgang ‘-w’ duidt een werkversie aan.

Tabel C.1 Overzicht van de gemaakte Baseline-schematisaties.

B5-variant	Toepassing	B6-variant
j95_5_def_rooster	roosterbouw	
j17_5-v1	roosterbouw	
j18_tmp_plus	roosterbouw	
j95_5-G6-w? (diverse werkversies)	roosterbouw en testconversies	
beno15_5-v2	roosterbouw	
j93_5-G6-w1	kalibratie/validatie	j93_6-w2
j95_5-G6-w15	kalibratie/validatie	j95_6-w18
j11_5-G6-w6	kalibratie/validatie	j11_6-w8
j15_5-G6-w5	kalibratie/validatie	j15_6-w7
j16_5-G6-w9	kalibratie/validatie	j16_6-w12

## C.2 Toelichting toegeleverde gegevens RWS-ON





**RWS INFORMATIE**

Deltares

**RWS Oost-Nederland**

Eusebiusbuitensingel 66  
6828 HZ Arnhem  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht  
T 088 797 49 00  
F  
www.rijkswaterstaat.nl

**Contactpersoon**

Ir. Dénes Beyer  
Adviseur rivierkunde

T 06-11534197  
denes.beyer@rws.nl

**Datum**

21 februari 2022

**Bijlage(n)**

1

# memo

Toelichting toegeleverde gegevens Rijntakken 6<sup>e</sup>  
generatie modelschematisaties: Baseline

Beste lezer,

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
1.1	Overzicht toegeleverde gegevens.....	3
1.2	Naamgeving .....	3
<b>2</b>	<b>Roostergeneratie .....</b>	<b>3</b>
2.1	Inleiding.....	3
2.2	Schematisaties.....	3
2.3	Overige hoogtegegevens.....	5
2.4	Begrenzingsen.....	5
2.4.1	Zomerbed: sectie 1.....	5
2.4.2	Winterbed .....	6
2.4.3	Belangrijke elementen .....	6
<b>3</b>	<b>Modelschematisatie j95_5-G6-w15 .....</b>	<b>7</b>
3.1	Inleiding.....	7
3.2	Generieke werkwijze.....	7
3.2.1	Werkzaamheden in de 4e generatie .....	7
3.2.2	Werkzaamheden in de 5e generatie .....	8
3.3	Verbeteringen.....	9
3.3.1	Zomerbedligging 1995.....	9
3.3.2	Kribvakken + oeverlijn .....	10
3.3.3	Kribben .....	11
3.3.4	Plassen.....	11
3.3.5	Secties .....	13
3.3.6	Modeluitbreidingen .....	14
3.3.7	Kunstwerken .....	15

3.3.8	Rivieras en rivierkilometerpunten.....	16
3.3.9	Grootschalige winterbedaanpassingen .....	16
3.3.10	Toepassing Villemonte.....	20
3.3.11	Brugpijlers.....	21
3.3.12	Uitvoerlocaties en lateralen .....	23
3.3.13	Cross-secties .....	23
3.3.14	Basisruwheden en kalibratiepolygonen.....	23
3.3.15	Resterende tekortkomingen.....	24
<b>4</b>	<b>Modelschematisaties kalibratie en validatie .....</b>	<b>24</b>
4.1	<i>Werkwijze</i> .....	24
4.2	<i>j93_5-G6-w1</i> .....	25
4.3	<i>j11_5-G6-w6</i> .....	26
4.3.1	Opbouw.....	26
4.3.2	Handmatige aanpassingen .....	26
4.3.3	Koepelmaatregel rt_km08_a1.....	26
4.3.4	Koepelmaatregel rt_km11_a1.....	27
4.3.5	Modelmaatregelen.....	27
4.3.6	Belangrijkste actualisaties in rt_km08_a1 en rt_km11_a1 .....	28
4.3.7	Nieuwe maatregelen in rt_km08_a1 en rt_km11_a1 .....	28
4.4	<i>j15_5-G6-w5</i> .....	29
4.4.1	Opbouw.....	29
4.4.2	Handmatige aanpassingen .....	29
4.4.3	Koepelmaatregel rt_km13_a1.....	29
4.4.4	Koepelmaatregel rt_km15_a1.....	30
4.4.5	Modelmaatregelen.....	30
4.4.6	Belangrijkste actualisaties in rt_km13_a1 en rt_km15_a1 .....	31
4.4.7	Nieuwe maatregelen in rt_km13_a1 en rt_km15_a1 .....	31
4.5	<i>j16_5-G6-w9</i> .....	32
4.5.1	Opbouw.....	32
4.5.2	Handmatige aanpassingen .....	32
4.5.3	Koepelmaatregel rt_km16_a1.....	33
4.5.4	Modelmaatregelen.....	33
4.5.5	Belangrijkste actualisaties in rt_km16_a1.....	33
4.5.6	Nieuwe maatregelen in rt_km16_a1.....	34
4.6	<i>Resterende tekortkomingen</i> .....	34
<b>5</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>34</b>

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

BIJLAGE 1 MEMO SCHEMATISATIE BALGEN RAMSPOLKERING.  
10 JULI 2019, AANGEVULD MET KEUZE 11 JULI 2019.

## 1 Inleiding

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

### 1.1 Overzicht toegeleverde gegevens

Voor de bouw van de zesde generatie modelschematisaties voor de Rijntakken is een groot aantal gegevens aangeleverd. Dit memo beschrijft de Baselinegegevens. Het betreft:

- Gebiedsgegevens ten behoeve van de roostergeneratie (H2)
- Modelschematisatie j95 (H3)
- Modelschematisaties overig kalibratie en validatie (H4)

Apart in dit rapport staan de overige aangeleverde gegevens beschreven:

- Meetgegevens waterstanden en afvoeren
- Meetgegevens lateralen
- Meetgegevens bodem
- Kunstwerksturingen

### 1.2 Naamgeving

Vrijwel alle Baselinewerkzaamheden hebben plaatsgevonden in protocol 5; een klein deel vond plaats in protocol 4 in de opbouw van de schematisatie voor j95. Om onderscheid te maken tussen de nieuwe en de standaard protocol 5 schematisaties is in de naam "-G6" toegevoegd. De extensie "-w?" duidt aan het om werkversies gaat.

## 2 Roostergeneratie

### 2.1 Inleiding

Voor de roostergeneratie is een groot aantal gegevens aangeleverd. Deze beschrijven de ligging van het modelgebied en de wijzigingen daarin tussen 1995 en nu. Voorbeelden hiervan zijn Baseline-schematisaties, hoogtegegevens van gebieden die nog niet in Baseline zijn opgenomen, Ook is vooruitgekeken naar de toekomst door het rooster voor te bereiden op enkele gebiedsontwikkelingen. Op basis van beschikbare gegevens zijn selecties gemaakt van belangrijke elementen om in het rooster exact of zo goed mogelijk te volgen. In verschillende vormen van belangrijkheid zijn deze gebruikt bij het maken van het rooster. In dit hoofdstuk worden de verschillende typen gegevens beschreven.

### 2.2 Schematisaties

De roosterbouw is gestart begin 2018 en toen was de ontwikkeling van de Baselineschematisaties nog in volle gang (zie hoofdstuk 3). Daarom zijn de volgende schematisaties aangeleverd:

- Baseline j95\_5\_def\_rooster. Dit is een speciaal voor de roosterbouw gemaakte tussenversie van de situatie 1995 met alle tot 5-1-2018 beschikbare verbeteringsmaatregelen. Dit zijn alle in het kader van JAMR gemaakte verbeteringsmaatregelen voor de situatie 1995 tot en met JAMR2018. De schematisatie is aangevuld met een eerste set

maatregelen die speciaal voor de roosterbouw als eerste zijn gemaakt. Dit betreft onder andere de verbeteringen ter plaatse van de drie sluis-stuwcomplexen op de Neder-Rijn en Lek, en de opname van het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en de modeluitbreiding in Duitsland richting Dornick.

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022

- Baseline j17\_5-v1. Dit is de op het moment van aanleveren meest actuele beschrijving van het Rijntakkegebied
- Baseline j18\_tmp\_plus. Dit is een tijdelijke Baselineschematisatie met een aantal belangrijke en grootschalige actualisaties en ontwikkelingen die al wel in Baseline beschikbaar waren. Ook zijn hierin enkele gebieden en kunstwerken opgenomen conform hun werkelijke ligging (zonder de aanpassingen uit modelmaatregelen om ze te laten passen op het WAQUA-rooster). De database is alleen gevuld ter plaatse van deze gebieden. Het betreft

Gebied	Reden
Regelwerk Pannerden	werkelijke ligging kunstwerk
Groene rivier Pannerden	actualisatie strang
Rijnstrangen	toekomstig retentiegebied
Nevengeul Lent	inlaatkade en brede brugpijlervoeten
Langsdammen Waal	
RvdR Doorwerthse waarden	betere ligging zomerkade
RvdR Meinerswijk	ligging brede pijlervoeten John Frostbrug
Regelwerk Hondsbroeksche Pleij	werkelijke ligging kunstwerk
Ecoduct Ellecom	werkelijke ligging opening
Fraterwaard strang en boerderij	actualisatie
Reuversweerd strang	actualisatie
Marswaard Zutphen	actualisatie
Twentekanaal brug	werkelijke ligging kanaaloever
Veessen-Wapenveld	werkelijke ligging inlaat en uitlaat (DO)
Reevediep	planmaatregel
Zuiderzeehaven	actualisatie haven
Natuurontwikkeling Ketelmeer + Vossemeer	actualisatie

Van de in- en uitlaat van Veessen-Wapenveld zijn later betere gegevens toegeleverd.

- var\_raven95\_definitief. In deze database zit de verbeterde schematisatie van de Ravenswaarden, een kronkelwaard met ruggen en geulen op de rechteroever van de IJssel tussen Zutphen en Deventer.
- clip\_tiwa-2b\_a1. In deze database zit de planschematisatie voor de hoogwatergeul Varik-Heesselt. Ondanks het besluit van de minister om deze niet aan te leggen is er bij de roosterbouw wel rekening mee gehouden.
- 14\_j95\_5\_zalk-v2. Een clip uit de verbeterde j95 database met hierin de verbeterde schematisatie van de uiterwaard bij Zalk op de linkeroever van de IJssel. De verbeteringen betreffen de ligging en hoogte van alle kades en terreinruggen en de ligging van de oever bij het veer.
- Baseline j95\_5-G6-w?. Diverse werkversies van de schematisatie j95 in opbouw voor het gebruik bij de roosterbouw en het maken van testconversies. Hoe meer werd opgenomen in de werkversie, hoe minder andere gegevens nodig waren.

- Baseline beno15\_5-v2. Vooral bedoeld voor geometrieveranderingen die nog niet actueel beschikbaar zijn danwel nog niet gerealiseerd zijn.

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

### 2.3 Overige hoogtegegevens

Van een aantal belangrijke gebieden was op het moment van aanlevering nog geen Baselinemaatregel/Baselineschematisatie beschikbaar of was de beschikbare Baselinemaatregel niet voldoende nauwkeurig. Om toch een indruk te geven van de hoogteligging zijn aanvullende gegevens verzameld en beschikbaar gesteld. Hiervoor zijn diverse bronnen gebruikt, waaronder het DTB (Digitaal Topografisch Bestand) en lodingen. Het gaat om de volgende gebieden:

Gebied	Bron
Slibdepot Ketelmeer	DTB
Bodemligging Ketelmeer-Vossemeer-Zwartemeer	lodingen totaal 2013-2016 lodingen Ketelmeer 2016_2017
Reevedam/Reevesluis	20170303 Definitief concept ontwerp Projectplan Waterwet IJsseldelta Zuid Reevesluizen.pdf
	IJD-RSC-RAP-0100 SO Ontwerpnota Reeve sluiscomplex V1.0.pdf
	IJD-RSC-TEK-0002 Overzicht Reevesluiscomplex.pdf
Veessen-Wapenveld	DataBL_VW.gdb
	tin_relevantelijnen
	VW_GIS.gdb
Vispassage Hagestein	DTB

### 2.4 Begrenzings

In deze paragraaf wordt ingegaan op specifiek aangeleverde gegevens rondom de begrenzing van het rooster.

#### 2.4.1 Zomerbed: sectie 1

De basis van het nieuwe rekenrooster wordt gevormd door de ligging van het zomerbed. Daarom is bij de verbetering van Baseline veel aandacht besteed aan de ligging van het zomerbed. In Baseline is dit sectie 1. Voor een uitgebreide beschrijving van de aanpassingen wordt verwezen naar paragraaf 3.3.5. In Baseline bestaat secties uit vlakken. Bovendien is zowel de situatie in 1995 als actueel van belang. Voor de roosterbouw zijn aparte bestanden aangeleverd. Daarbij zijn de sectievlakken uit Baseline omgezet naar lijnen.

- sectie\_1\_lijnen: situatie 1995 voor de Rijntakken in het totale modelgebied. Is vervangen.
- sectie\_1\_lijnen\_wnz\_bo: Boven-Merwede in het beheergebied van WNZ
- sectie\_1\_lijnen\_rt95: situatie 1995 voor de Rijntakken in het beheergebied van ON.
- sectie\_1\_lijnen\_brwl\_actueel: actuele begrenzing voor de Boven-Rijn en Waal
- sectie\_1\_lijnen\_rt95\_deventer: verbeterde begrenzing langs de kade bij Deventer

- sectie\_1\_lijnen\_pkijs\_actueel: actuele begrenzing voor het Pannerdensch kanaal en de IJssel
- sectie\_1\_lijnen\_kmvm\_actueel: actuele begrenzing van het Ketelmeer en Vossemeer
- sectie\_1\_lijnen\_nrlk\_actueel: actuele begrenzing van de Neder-Rijn en Lek
- sectie\_1\_lijnen\_wnz\_lek: begrenzing van de Lek in het beheergebied van WNZ
- sectie\_1\_lijnen\_ark: begrenzing van het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal
- sectie\_1\_lijnen\_rt\_95\_emmerich: begrenzing van de Niederrhein tussen de brug bij Emmerich en Dornick.

**RWS Oost-Nederland**

**Datum**  
21 februari 2022

#### 2.4.2 Winterbed

In Baseline is de modelbegrenzing (sectie 3) nog niet overal juist en actueel. Daarom zijn voor de roosterbouw ook andere brongegevens toegeleverd. Het officiële bestand voor de primaire waterkeringen betreft Waterkeringen\_normtrajecten\_20160613.shp. Na inspectie bleek dit bestand op diverse locaties niet voldoende nauwkeurig. Daarom is een correctiebestand gemaakt, genaamd correctie\_aanvulling\_rwson.shp, d.d. 8 maart 2018. Het betreft 30 aanpassingen voor herstel van fouten en opname van een actuelere ligging. Ter plaatse van de diverse trajecten met hoge gronden is een ligging gekozen die een duidelijke topografische grens volgt en voldoende hoog ligt.

#### 2.4.3 Belangrijke elementen

Voor de roostergeneratie is het gewenst om een aantal belangrijke elementen in het modelgebied exact of zo goed mogelijk te volgen. Naast het zomerbed gaat het dan om de kunstwerken, belangrijke stromingsbepalende kades, toegangen van grote plassen, verticale kademuren, sluiskolken, brugopeningen, etc. Het meest belangrijk is het volgen van de actuele geometrie, maar ook oudere geometrie is in sommige gevallen belangrijk. Daarvoor is uit alle beschikbare gegevens een selectie gemaakt in de vorm van een aantal lijnen en vlakkenbestanden. Er is onderscheid gemaakt in dwanglijnen (waar het rooster overheen moet lopen) en wenslijnen (waar het gewenst is dat het rooster overheen loopt). De lijnen en vlakken zijn overgenomen uit Baseline en andere databronnen zoals het DTB. Voorafgaand aan de roosterbouw was niet duidelijk in hoeverre het mogelijk was om lijnen te volgen. Daarom zijn veel lijnen en vlakken geselecteerd. In de bestanden zijn actuele en oude situaties gezamenlijk opgenomen met een toelichting in de shapefile. Een deel van de gegevens is ook in geodatabases opgenomen. Een voorbeeld van een locatie met belangrijke oude en nieuwe geometrie is de Pannerdense overlaat en het Regelwerk Pannerden. Een belangrijke plastoegang is die naar de Bijland op de Boven-Rijn.

#### *Inlaat Veessen-Wapenveld*

Vooruitlopend op de schematisatie in Baseline is as-built data gebruikt voor de bepaling van de ligging van de inlaat, de landhoofden, de hartlijn van alle pijlers en de drempel waarop de inlaat staat. De sloot achter de drempel kan bij de roosterbouw net vermeden worden.

De Baselineschematisatie van de Rijntakken bevat de Ramspolkering tussen het Ketelmeer en het Zwartemeer niet. Het rooster in het Ketelmeer daarentegen moet wel exact uitlijnen op de drie balgen. Vanwege de complexe vormgeving van de balgen en de aansluiting op de landhoofden is de keuze voor de juiste geschematiseerde lengte en ligging van de balgen als kunstwerklijn niet op voorhand duidelijk. Vooruitlopend op een actuele schematisatie van de Ramspolkering in de Vechtdeltaschematisatie zijn keuzes gemaakt voor de ligging van de drie balgen in de Ramsgeul en het Ramsdiep.

**Datum**  
21 februari 2022

In bijlage 1 van dit memo is een apart beschrijving opgenomen met hierin de overwegingen en de keuze voor de ligging van de drie kunstwerklijnen. De tekst is gebaseerd op een RWS-ON memo van 10 juli 2019.

### 3 Modelschematisatie j95\_5-G6-w15

#### 3.1 Inleiding

Voor de bouw van de 6<sup>e</sup> generatie modellen is de schematisatie die zo goed en volledig mogelijk de situatie van de Rijntakken weergeeft ten tijde van het hoogwater van 1995, grootschalig verbeterd ten opzichte van de schematisatie die is gebruikt voor de bouw van de 5<sup>e</sup> generatie modellen (j95\_5-v1). Vrijwel alle onderdelen van de schematisatie zijn aangepast of aangevuld. In dit hoofdstuk wordt eerst de generieke werkwijze toegelicht. Daarna volgt een toelichting op specifieke onderdelen. Achtereenvolgens zijn dit de hoogteligging van het zomerbed, de hoogteligging van de kribvakken inclusief de oeverlijn, schematisatie van de kribben, de hoogteligging van plassen, het sectiebestand, modeluitbreidingen, kunstwerken, de rivieras en rivierkilometerpunten, grootschalige winterbedaanpassingen, de toepassing van Vилlemonthe voor overlaten, brugpijlers, meetlocaties en lateralen, cross-secties, basisruwheden en kalibratiepolygonen en een overzicht van bekende nog resterende tekortkomingen.

#### 3.2 Generieke werkwijze

Om de verbeteringen door te voeren zijn werkzaamheden uitgevoerd in de 4<sup>e</sup> generatie (met BASELINE versie 4.03) en in de 5<sup>e</sup> generatie (met BASELINE versie 5.3.1 en later ook versie 5.3.3).

##### 3.2.1 Werkzaamheden in de 4e generatie

De basis voor de 6<sup>e</sup> generatie schematisatie van 1995 is de 4<sup>e</sup> generatie schematisatie j95\_4\_3. Deze schematisatie is gelijk aan j95\_5-v1 minus de modelmaatregelen die daarin zijn opgenomen. Eerst zijn de gecontroleerde 4<sup>e</sup> generatie verbeteringsmaatregelen uit de JAMR-cycli 2011 t/m 2015 opgenomen die na de aanlevering van RWS-ON ten behoeve van j95\_5-v1 nog beschikbaar zijn gekomen. Dit betreft in totaal 48 maatregelen. Om dit succesvol te kunnen doen, was het nodig de toleranties van alle coverages in j95\_4\_3 aan te passen (te verkleinen). Dit is gedaan middels de daarvoor beschikbare tool in Baseline 4. Daarna is handmatig een sectiebestand aangemaakt en zijn de ruwhedescodes van Ketelmeer-Oost, Ketelmeer-West en Vossemeer aangepast zodat deze gelijk zijn

aan de IJssel-Vechtdeltaschematisatie (e-mail Aukje Spruyt d.d. 16-01-2015). Met deze schematisatie is een testconversie gedaan naar BASELINE protocol 5. Fouten die hierbij geconstateerd zijn, zijn handmatig (niet m.b.v. maatregelen) hersteld. Tevens zijn nog een aantal andere handmatige aanpassingen doorgevoerd. Dit betreft o.a. het herstellen van fouten uit de ContentCheck.log van j95\_5-v1 en het (deels) langslipen / opschonen van korte stukken hoogtelijnen (<0,01 m). De resulterende schematisatie is succesvol geconverteerd naar de 5<sup>e</sup> generatie.

**RWS Oost-Nederland**

**Datum**

21 februari 2022

### 3.2.2 Werkzaamheden in de 5e generatie

Na de conversie zijn alle 5<sup>e</sup> generatie verbeteringsmaatregelen uit de JAMR-cycli 2012 t/m 2019 opgenomen die na de aanlevering van RWS-ON ten behoeve van j95\_5-v1 beschikbaar zijn gekomen. Er is een overlap in de cycli omdat er een geleidelijke overgang heeft plaatsgevonden in het gebruik van de modellen; een aantal maatregelen is gemaakt in de 4<sup>e</sup> generatie en omgezet naar de 5<sup>e</sup> generatie en is pas na conversie opgenomen. In totaal zijn 112 maatregelen toegevoegd. Voor een groot deel (72 stuks) zijn dit maatregelen die verbeteringen van een bepaald gebied beschrijven en die ook zijn meegenomen in de reguliere 5<sup>e</sup> generatie JAMR-cycli. Voor een toelichting hierop wordt verwezen naar bijlage 02 van de rapportage van JAMR 2019 (Agtersloot Hydraulisch Advies, juni 2019). De rest van deze maatregelen (40 stuks) zijn specifiek gemaakt voor de overstap naar de 6<sup>e</sup> generatie en is nog niet eerder toegepast. Deze groep wordt in de latere paragrafen van dit hoofdstuk toegelicht.

Naast de verbeteringen die via maatregelen zijn opgenomen, zijn ook handmatige aanpassingen doorgevoerd. Dit betreft onder andere:

- het oplossen van slivers in hoogwatervrije vlakken en plascontouren;
- het afronden op 2 decimalen;
- het verwijderen van overbodige data;
- het verwijderen van dubbele hoogtedata (m.b.v. intersect);
- controle en aanpassing van hoogtepunten op het sectiebestand zodat deze in de correcte feature class zijn opgenomen;
- het verwijderen van hoogtelijnen zonder events;
- diverse aanpassingen aan het sectiebestand (na opname van de maatregel rt\_sect95\_a1, zie voor meer informatie de paragraaf over secties) inclusief een dissolve-actie;
- het clippen van ecotopen\_ruwheid op de winterbedpolygoon inclusief een dissolve-actie;
- het opschonen / aanvullen en aanpassen van pijlers;
- het vullen en uniformeren van alle kenmerken;
- hernummering van alle hoogtelijnen;
- het doorvoeren van Villemonte-parameters;
- aanpassing van de lijnrichting van kunstwerken.

Een volledige lijst met aanpassingen is opgenomen in het document aanpassingen.txt (zie de map metainfo in de schematisatie). NB: er zijn ook handmatige aanpassingen doorgevoerd in het beheergebied van RWS-WNZ.

Om een aantal onderdelen van de schematisatie goed te laten functioneren in D-HYDRO zijn 12 zogenaamde modelmaatregelen gemaakt. Dit zijn maatregelen die specifiek op het rekenrooster zijn afgestemd, rekening houdend met de



verwerking in BAS2FM en D-HYDRO. De maatregelen zijn samengevat in onderstaande tabel.

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022

Modelmaatregel	Korte omschrijving
rt_hwl95g6_a1	Hoogwatervrije lijnen om gebouwen 1995 (BR-WL-PK-NR-LE)
rt_hwl95g6_b1	Hoogwatervrije lijnen om gebouwen 1995 (IJ)
br_bijlg6_a1	Invaaropening Bijland
le_meetpg6_a1 <sup>1</sup>	Meetpunten Schoonhoven en Krimpen a/d Lek
nr_amwkc6g6_a1	WKC Amerongen
nr_inlwg6_a1	Inlaatwerken Neder-Rijn
pk_huisg6_a1	Noordelijk doorlaatwerk Huissensche waarden
pk_povg6_a1	Pannerdensche overlaat
pk_skmpg6_a1	Inlaatwerk Scherpekamp
rt_stuwg6_a1	Bodemhoogte stuwcomplexen NR en LE
wl_druteg6_a1	Invaaropening Kaliwaal Druten
wl_inlwg6_a1	Inlaatwerken Waal

Voor het maken van de overige kalibratie- en validatieschematisaties (j11, j15 en j16) is ook de variant zonder modelmaatregelen bewaard. De reden hiervoor is dat de samenstelling van de lijst met modelmaatregelen per jaar verschilt.

### 3.3 Verbeteringen

#### 3.3.1 Zomerbedligging 1995

Voor de zomerbedligging van 1995 is een nieuwe, ruimtelijk gedifferentieerde correctie toegepast voor de correctie van singlebeam naar multibeam. Achtergrond is dat sinds 2002 peilingen met multibeam worden uitgevoerd, en daarvoor met singlebeam. Bij de introductie van multibeam is al geconstateerd dat er significante verschillen optreden tussen beide meetmethodes [van Vuuren (2000); Wiegman (2002)], waarbij multibeam consequent een lagere bodemligging oplevert dan singlebeam. In de vorige generaties modellen is hiervoor gecorrigeerd met een generieke waarde van 15cm.

Voor een verbetering van de correctie is een analyse uitgevoerd door E. Kater op de parallelpeilingen uit 2002. In de analyse is per hectometervak het gemiddelde verschil bepaald. In Excel zijn vervolgens hiervan rollende gemiddeldes gemaakt om de 'springerigheid' in de lengterichting van de rivier te verkleinen. Uiteindelijk bleek een rollende gemiddelde van 1 km bovenstrooms tot 1 km benedenstrooms het beste resultaat te geven: lang genoeg om de springerigheid te minimaliseren, en kort genoeg om niet alle waarden over een lang traject uit te smeren. Er is overwogen ook in dwarsrichting te corrigeren, maar dit was technisch te bewerkelijk voor de verwachte winst.

Het resultaat (rode lijn in figuur 1) laat zien dat er een patroon langs de rivieras is: bij de meetpunten zijn de verschillen kleiner dan (midden) tussen meetpunten. Dit duidt op de meetverschillen door het gebruik van een verhanglijn bij singlebeam metingen. De verschillen zijn vooral groot boven Lobith, net bovenstrooms van Dodewaard en in de bocht van Sint-Andries.

In de correcties zijn handmatig nog aanpassingen verricht; dat is "sbmb\_M20m" geworden (groene lijn in figuur 1):

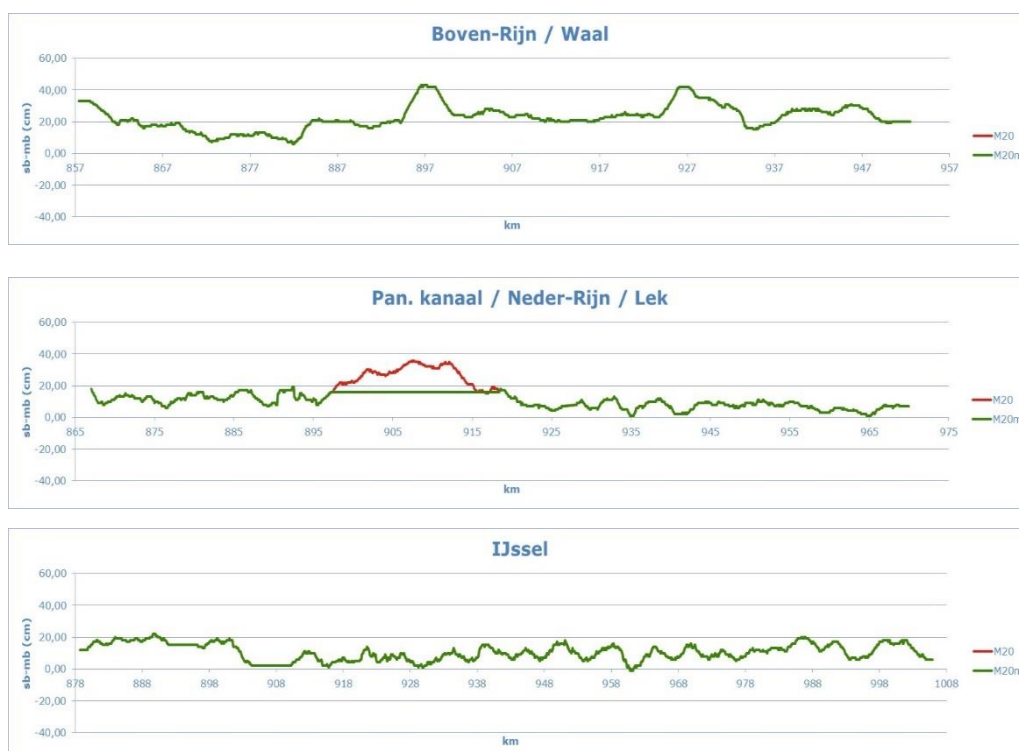
- op de Neder-Rijn is rond Grebbe de bult afgeplat

<sup>1</sup> Deze maatregel is later gesplitst in afzonderlijke maatregelen voor beide meetpunten.

- op begin en einde trajecten (ook op splitsingspunten) zijn de vakken die ontbreken vanwege rollende gemiddelde handmatig aangevuld
- op begin en einde trajecten (ook op splitsingspunten) zijn de vakken die ontbreken vanwege rollende gemiddelde handmatig aangevuld.

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022



Figuur 1 Toegepaste correctie singlebeam-multibeam (positief weergegeven, negatief oegepast)

De nieuwe correctie is toegepast op alle zomerbedhoogtes en plashoogte met kenmerk `\_mb`, welke in de 5<sup>e</sup> generatie aan de gecorrigeerde punten is toegevoegd. Voor punten boven- of benedenstrooms van de geanalyseerde hectometervakken is geen nieuwe correctie bepaald, deze behouden de oorspronkelijke correctie van 15 cm.

Uitgebreide verantwoording is opgenomen in de maatregel `rt_sbmb95_a1`, inclusief de gebruikte brondata en analysesresultaten.

Voor het zomerbed 1993 is dezelfde correctie toegepast in de maatregel `rt_zbhgt93_a3`. Daarbij is de maatregel voor 1993 verkleind tot een 10m versmald zomerbed, om een betere aansluiting op de oever / kribvakken te maken.

### 3.3.2 Kribvakken + oeverlijn

De bodemligging van kribvakken is dynamisch en notoir lastig te bemeten. Een deel kan bij laagwater met laseraltimetrie worden ingewonnen, de rest moet bij hogere waterstanden varend worden gemeten. In de modellen blijkt dat op veel plekken goede informatie ontbreekt.

Voor de 6<sup>e</sup> generatie modellen is gepoogd deze lacunes op te vullen. Hiertoe zijn gegevens van meerdere bronnen (laseraltimetrie en multibeam) en verschillende inwinjaren (2002-2013) gecombineerd tot een representatief raster voor de jaren

2003, 2007, 2009 en 2011. Deze zijn in afzonderlijke maatregelen verwerkt tot hoogtepunten. Voor de Waal zijn geen aanvullende maatregelen gemaakt, omdat de nieuwe data nauwelijks informatie toevoegde aan de 1995-schematisatie. Als laatste is data uit het destijds actuele model (j17) opgenomen in 1995, voor zover er nog geen data aanwezig was in 1995. Steeds is bekeken of kribvakdata past in de 1995-schematisatie. Wanneer dit niet het geval is (bijvoorbeeld bij eroderende oevers, uitgevoerde projecten), zijn geen punten opgenomen. Daarnaast is op de volledige oeverlijn een breuklijn neergelegd. Deze breuklijn is gemaakt op basis van het DTB-rivieren, en sluit aan op de sectie 3-grens in j95\_5. Met deze twee acties is nu voor grote delen van de kribvakken de bodemligging van kribvakken verbeterd.

### 3.3.3 Kribben

De gehele 1995 schematisatie is nagelopen op ontbrekende en te korte kribben, of kribben bestaande uit meerdere lijnstukken. Ook is de lijnrichting van kribben aangepast wanneer deze niet naar de rivieras was gericht. Ontbrekende kribben waren er bij Westervoort (cluster van 4), Dieren (cluster van 5), Terwolde (cluster van 7). Te korte kribben waren er voornamelijk op de Lek (ruim 60), vermoedelijk omdat het DTB daar was ingewonnen tijdens een (getij)hoogwater. Vervolgens is voor alle kribben opnieuw de teenhoogte bepaald door op een vaste afstand van 20m te prikken in de verbeterde kribvakligging (zie hiervoor).

### 3.3.4 Plassen

In de 1995 schematisatie is voor een deel van de plassen alleen een aanname van de hoogte aanwezig. Van al deze plassen is een selectie gemaakt (op basis van grootte plas en beschikbare brondata) en verbeterd. Hiervoor is in meerdere maatregelen gemeten hoogtedata opgenomen voor 124 plassen door Lieveense. Dit betrof:

- plasdata die al met actualisaties waren opgenomen in recentere modellen, en nu zijn gebruikt om 1995 aan te vullen (43 plassen);
- Singlebeam data (21 plassen);
- Multibeam data (60 plassen)

Daarnaast zijn er nog diverse plassen verbeterd via lokale verbeteringsmaatregelen van uiterwaarden. Informatie hierover staat bij de betreffende verbeteringsmaatregelen.

Ook is voor alle plassen een breuklijn ter plaatse van de oeverlijn toegevoegd, op eenzelfde wijze als langs het zomerbed, op basis van DTB-rivieren. Er is gecontroleerd of er al een breuklijn aanwezig was, in dat geval is de bestaande lijn behouden.

Tak	Locatie	Naam
Boven-Rijn	853 ro	Haven Emmerich
	854 ro	Plas Emmericher ward
	857 lo	Griethauser Altrhein (2km tussen Griethausen en Brienen)
	864 ro	Oude Waal
Waal	877 lo	Bisonbaai
	884 lo	Waalhaven Nijmegen
	886 ro	2 plassen Oosterhoutsewaarden

Tak	Locatie	Naam
	887 lo	Maas-Waalkanaal
	891 lo	Ontkleiing Ewijk
	897 ro	Haven Kerncentrale Dodewaard
	898 lo	Haven Deest
	901 ro	Haven Hiense waard
	903 lo	Havens Druten
	905 ro	Zandwinput Gouverneurspolder
	905 ro	Strang Gouverneurspolder
	907 lo	Diverse plassen Kaliwaal Druten
	909 ro	Zandwinputten Binnenwaard Willemspolder
	919 ro	De Stiftse Kil
	920 lo	Haven Dreumel
	921 ro	Zandwinput Stiftse waard
	926 lo	Kanaal Sint Andries
	935 lo	Havens Zaltbommel
	935 ro	Haven Tuil
	936 ro	Overnachtingshaven Haaften
	945 ro	Plas Herwijjnense Bovenwaard
	946 lo	Plas Brakel
	950 lo	Diverse plassen Munnikenland
Neder-Rijn	892 lo	Drielse plas
	897 ro	Haven Renkum
	903 ro	Haven Wageningen
	905 ro	Diverse plassen Plasserwaard
	906 ro	Diverse plassen Blauwe Kamer
	913 lo	Plas Tollewaard
	914 ro	Plas Elsterbuitenwaarden
	916 lo	Zandwinput Ingen
	926 ro	Inundatiekanaal
Lek	926 ro	Haven Wijk bij Duurstede
	933 lo	Haven Beusichem
	939 lo	Haven Culemborg
	944 ro	Fort Honswijk
	946 ro	Oude arm en sluiskanaal
	947 ro	Oude arm en sluiskanaal
	949 ro	Lekkanaal
	950 ro	Koninginnesluis
	951 ro	Haven Nieuwegein
	952 lo	Zandwinput Middelwaard
	953 lo	Haven Middelwaard
IJssel	887 ro	Plas Koppenwaard
	901 ro	Oude IJssel Doesburg
	911 lo	Apeldoorns kanaal
	927 ro	Vispoorthaven Zutphen
	929 ro	Houthaven Zutphen
	930 ro	Marshaven Zutphen
	943 lo	Bolwerksplas
	944 ro	Overijssels kanaal
	946 lo	Strangen Ossenwaard
	947 ro	Zandweerdhaven

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

Tak	Locatie	Naam
	948 ro	Deventer Hank
	950 ro	Munnikenhank
	952 ro	Hengforderwaarden
	971 lo	Zandwinput Werven
	979 ro	Het Engelse Werk
	980 ro	Katerveersluizen
	980 ro	Zwolle-IJsselkanaal
	988 lo	Plassen de Zande
	995 ro	Haven IJsselmuiden
	999 ro	Afwatering gemaal 't Raasje

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022

### 3.3.5 Secties

Het sectiebestand voor de situatie in 1995 is volledig opnieuw opgebouwd. Dit is gebeurd in twee fasen. Eerst m.b.v. een integrale maatregel voor het hele Rijntakkegebied (maatregel *rt\_sect95\_a1*; het dekkinggebied loopt van Emmerich tot aan de Ketelbrug, voor de Lek en de Boven-Merwede tot aan de afgesproken beheergrens). Daarna zijn nog diverse handmatige aanpassingen gedaan. Op beide fasen volgt hierna een toelichting.

#### *Maatregel rt\_sect95\_a1*

Gestart is met het maken van een nieuwe sectie 1 begrenzing. Leidend principe hierbij is geweest dat met sectie 1 het gebied wordt aangegeven waarbinnen duinvorming mogelijk is. Overgangen zijn in principe vloeiend, maar lokale verbredingen (bijvoorbeeld in kademuuren) zijn ook onderdeel van sectie 1. Bij reguliere kribben loopt de lijn over het laatste rivierwaartse punt van de kriblijn. Tussen de kribben is handmatig een kromming aangebracht. Er is onderscheid gemaakt tussen gestrekte oevers en L-kribben. Een L-krib heeft een verlaging aan de landzijde van de kribbrug (kan verzand zijn). Een gestrekte oever ligt helemaal hoog. Bij L-kribben loopt de sectie 1 lijn over de kriblijn. Bij gestrekte oevers loopt de sectie 1 lijn over de waterniveaulijn. Bij verticale taluds loopt de sectie 1 lijn over de diepe breuklijn als die er is en anders over de waterniveaulijn. De overgang tussen krib / L-krib en gestrekte oever of vertikaal talud verloopt zo vloeiend mogelijk.

Bij Zaltbommel is vooruitgelopen op een nog te maken verbetering voor de situatie in 1995; de grens tussen sectie 1 en 3 is hier gebaseerd op het DTB-Nat. Het Maas-Waalkanaal, de Afgedamde Maas, het Amsterdam-Rijnkanaal, het Twenthekanaal en het Zwolle-IJsselkanaal zijn nu opgenomen als sectie 1 en niet meer als plas.

Hierna is een nieuwe sectie 2 begrenzing gemaakt. Hiervoor zijn eerst alle 'oeverlijn rivieren' uit het DTB-Rivieren geselecteerd. Deze lijnen zijn vervolgens handmatig gecontroleerd (op volledigheid, soms heeft de begrenzing een andere codering in het DTB-Rivieren) en zonodig aangepast. De aanpassing betreft het rivierwaarts leggen van de delen van de oeverlijn waar deze samenvalt met de sectie 1 lijn. Er zijn dus alleen kruisingen van de sectie 2-lijn met de sectie 1-lijn, en geen dubbelingen. Dit is gedaan om te voorkomen dat er slivers ontstaan bij het maken van vlakken.

De sectie 3 grens overgenomen uit de referentieschematisatie (d.w.z. de laatste werkversie die beschikbaar was, en waarin alle beschikbare maatregelen al waren opgenomen) en op één plek aangepast: een fout bij de Haatlandhaven is hersteld.

Hierna is van elk van de sectiegrenzen één vlak gemaakt: een groot vlak sectie 3, een kleiner vlak sectie 2 en een nog kleiner vlak sectie 1. Het vlak sectie 2 is voor de lokaties waar de sectie 2-lijn en de sectie 1-lijn samen zouden vallen, dus smaller dan het sectie 1 vlak. Aan elk van de die vlakken is een kenmerk gehangen, vervolgens zijn ze met het commando union samengevoegd. Daarna zijn de vlakken die sectie 1 gaan vormen gemerged en de vlakken van sectie 2 en 3 van multipart omgezet naar singlepart.

Met deze maatregel zijn ook de plascontouren die aantakken op het zomerbed verbeterd (correcte aansluiting op sectie 1).

#### *Handmatige aanpassingen*

Na opname van maatregel rt\_sect95\_a1 zijn nog diverse handmatige aanpassingen gedaan aan het sectiebestand (dus rechtstreeks in de schematisatie). Dit betreft:

- het verwijderen van een extra sectie 1 vlak op de Lek in het beheergebied van RWS-WNZ;
- een aanpassing bij Zalk (o.b.v. DTB-Rivieren);
- het opnemen van het Lekkanaal in sectie 1 (inclusief het verwijderen van de plascontour);
- aanpassingen bij de Tollewaard en bij Amerongen (o.b.v. de in de schematisatie opgenomen waterniveaulijnen);
- op diverse plaatsen herstelacties aan plascontouren en/of sectiegrenzen voor correcte aansluitingen;
- secties Afgedamde Maas, Boven-Merwede en Lek (beheergebied RWS-WNZ): randen overal 10 cm achter de bandijk en geclipt op de afgesproken grenzen;
- verbetering secties (en plassen en hoogtepunten) op de Boven-Merwede en Lek (beheergebied WNZ);
- aanpassen sectiebestand op definitief rekenrooster (alle randen);
- dissolve uitgevoerd.

#### *3.3.6 Modeluitbreidingen*

##### *Duitsland*

In de 5<sup>e</sup> generatie begon de schematisatie bij de brug van Emmerich. In de 6<sup>e</sup> generatie is de schematisatie met vijf kilometer uitgebreid tot Dornick, rivierkilometer 848. Hierdoor is nu ook het meetpunt Emmerich opgenomen, waardoor het meest bovenstroomse deel nu ook gecalibreerd kan worden. De benodigde informatie is geleverd door de BfG en betreft een 4<sup>e</sup> generatie Duits model (nr20170703\_option2). Omdat diverse hoogteverschillijnen ontbraken, is ervoor gekozen overlaten te bepalen op basis van DGM1. Hiertoe heeft Lievense een script gebruikt dat hoogtesprongen in een raster omzet naar overlaten. Opgemerkt wordt dat er ook recentere schematisaties zijn ontvangen. Helaas ontbraken hierin vele hoogtelijnen die in het model overlaten worden.

Nieuw in de schematisatie is het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal tussen de Waal bij Tiel en de Lek bij Ravenswaaij. Aan de Waalzijde liggen de Prins Bernhardsluizen met twee kolken. Aan de Lekzijde liggen de Prinses Marijkesluizen met twee kolken en de keerschuif Ravenswaaij. Aan de noordzijde van de kruising liggen de Prinses Irenesluizen, ook met twee kolken. De oudst beschikbare volledige bodempeiling na 1995 dateert uit 2002. De haven van Tiel is opgenomen met een bodempeiling uit 1997. In de sluiscomplexen en bij de keerschuif is de waterniveaulijn opgenomen als diepe breuklijn; de hoogte hiervan is ontleend aan de bodempeiling (hier ontbreekt dus een breuklijn ter plaatse van de oeverlijn). Van de sluisdeuren zijn alleen de deuren aan de rivierzijde opgenomen als kunstwerk. De rivieras en de rivierkilometers zijn overgenomen uit de beschikbare 5<sup>e</sup> generatieschematisatie voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (nzk\_ark\_j10\_5-v1). Ecotopen\_ruwheden zijn gebaseerd op DTB-Nat.

### *3.3.7 Kunstwerken*

#### *Stuwen Neder-Rijn en Lek*

De sluis- en stuwcomplexen in de Neder-Rijn en Lek zijn opnieuw geschematiseerd om de in de 5<sup>e</sup> generatie gedane aanpassingen aan het rooster ongedaan te maken. Tevens zijn diverse verbeteringen doorgevoerd. Ook de middenpijlers zijn nu opgenomen zoals ze er in werkelijkheid liggen. Hiervoor is ook gebruik gemaakt van enkele beschikbare tekeningen. Van de sluisen is alleen de bovenstroomse sluisdeur opgenomen als kade, om te voorkomen dat er vreemde stroombeelden kunnen ontstaan in de sluiscolk.

#### *WKC Amerongen*

De waterkrachtcentrale naast de stuw bij Amerongen bestaat uit 4 turbines onder een groot gebouw. De basis is de situatie met een Met een modelmaatregel is het gehele gebouwcomplex vervangen door open water met een kunstwerklijn.

#### *Betuwepand*

Zie 3.3.6

#### *Inlaatkunstwerken*

Bij hoogwaters vullen diverse uiterwaarden door middel van inlaatkunstwerken, zoals coupures of duikers. Tot nog toe zijn deze inlaatkunstwerken niet in de modellen opgenomen. Voornaamste argument is de soms complexe sturing (op verwachte waterstanden), wat vooral operationeel een probleem is. Uit onderzoek (De Jong, 2015) blijkt dat de opname van inlaatkunstwerken vooral zinvol is voor calibratie & verificatie, vanwege een verbetering van het volgen van het verloop van een afvoergolf. Voor de 6<sup>e</sup> generatie is daarom besloten inlaatkunstwerken op te nemen in de schematisaties voor de hoogwaterperiodes (1993, 1995 en 2011), maar deze verder niet operationeel op te nemen.

Hierbij is de keus gemaakt om alleen inlaatkunstwerken van grote uiterwaarden op te nemen als kunstwerk, te weten: Winssense Waarden, Gouverneurspolder, Drutensche Waarden, Stiftse Waard, Heerewaarden, Huissense Waarden (2x), Randwijkse Waarden, Wolfswaard, Amerongse Bovenpolder (2x), Maurikse Waarden, Beusichemse Waard en Middelwaard (Vianen). Daarnaast is het

inlaatwerk in de Rijswaard opgenomen mbv een verlaagde kade, dit kunstwerk staat 's winters altijd open.

De dimensie van het kunstwerken zoals breedte en onderkant kunstwerk zijn overgenomen uit gegevens van het waterschap (Waterschap Rivierenland, 2016). Ook de sturing, vooral het moment van opengaan, is uit deze gegevens afgeleid. Andere belangrijke (ontbrekende) inlaatkunstwerken liggen op de Boven-Rijn in de Oude Waal, op de Waal in de Millingerwaard, Gendtse Waard, en de Stadswaard. Op de Neder-Rijn liggen nog duikers bij Meinerswijk, en waarschijnlijk ook in diverse uiterwaarden van Waterschap Vallei en Veluwe op de noordoever zoals de Rosandepolder. Op de IJssel ligt er een duiker in de Marsweg (Koppenwaard). Het instromen van de Hoenwaard langs de IJssel bij Hattem kan verbeterd worden via een inlaatkunstwerk ter plaatse van de brug over het Apeldoorns kanaal.

### 3.3.8 *Rivieras en rivierkilometerpunten*

Voor 1995 is het volledige bestand van rivieras en rivierkilometring vervangen. Deze zijn opgevraagd bij de gegevensbeheerder en opnieuw verwerkt. Grotere aanpassingen in de rivieras liggen op de Waal van km 906-919 met een maximale zijdelingse verplaatsing van 40 m bij km 914. Enkele kilometerpunten zijn verschoven in lengterichting, zoals NR 923 (70 m) en IJ 994 (55 m). Ook is de informatie bovenstrooms verder aangevuld, in verband met de 5 kilometer uitbreiding in bovenstroomse richting in Duitsland. Daarnaast zijn de assen voor de kanalen toegevoegd: Amsterdam-Rijnkanaal, Maas-Waalkanaal, Twentekanaal, Lekkanaal en Zwolle-IJsselkanaal).

### 3.3.9 *Grootschalige winterbedaanpassingen*

Hierna volgen een aantal tabellen waarin per riviertak de lokaties zijn aangegeven waar grootschalige aanpassingen en verbeteringen zijn doorgevoerd ten opzichte van de 5<sup>e</sup> generatie modelschematisaties. In de omschrijving is zeer bondig weergegeven welke verbeteringen hoofdzakelijk zijn doorgevoerd. Onder geometrie wordt hier verstaan de algehele geometrie, deze maatregelen bevatten meestal ook verbeteringen van kades en diepteliggingen van plassen.

In het beheergebied van RWS-WNZ zijn een aantal maatregelen opgenomen. Basis voor de geometrieverbetering is het DTB-Nat uit 2013. Vervolgens zijn met enkele zogenaamde terugzetmaatregelen de gebieden die tussen 1998 en de opname van het DTB-Nat zijn gewijzigd, teruggezet naar de situatie in 1998 (het basisjaar voor de RMM-schematisatie in de 5<sup>e</sup> generatie modellen). Hoewel voor de Rijntakken de situatie in 1995 benodigd is, is geoordeeld dat de zo verkregen geometrie een betere beschrijving is van de situatie in 1995 dan de geometrie uit de 5<sup>e</sup> generatie Rijntakkenschematisatie.

Boven-Rijn / Waal / Afgedamde Maas / Boven-Merwede

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Emmerich	847-853 BO	br_emm95_a1	modeluitbreiding
Tolkamer	859-864 RO	br_tolk95_a1	verbetering geometrie
Bijland	864-864 RO	rt_kade95_a1	verbetering kades
Rijnwaarden	865-869 RO	br_kade95_a1	verbetering kades
	866-867 RO	br_lob95_b1	verbetering geometrie
Millingen	867-875 LO	wl_mill95_a1	verbetering geometrie



Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Klompewaard	867-870 RO	wl_klomp95_a1	verbetering geometrie
Gendt	871-877 RO	wl_gendt95_a1	verbetering geometrie
Bemmel	877-881 RO	wl_bem95_a2	verbetering geometrie
Buiten Ooij	881-882 LO	wl_buito95_a1	verbetering geometrie
	880-884 LO	wl_buito95_b1	verbetering geometrie
	881-884 LO	wl_buito95_c1	verbetering geometrie
Beuningen	887-892 LO	wl_beun95_a1	verbetering geometrie
Loenen	889-894 RO	wl_loen95_a1	verbetering geometrie
Ewijk	892-895 LO	wl_ewijk95_a1	verbetering geometrie
Hiensche waard	898-900 RO	wl_hien95_a1	verbetering kades
Afferden / Deest	899-902 LO	wl_adw95_b1	verbetering kades
Gouverneurspolder	902-906 RO	wl_gouve95_a1	verbetering kades
Druten	903-906 LO	wl_drute95_a2	verbetering geometrie
	907-908 LO	wl_drute95_b1	verbetering geometrie
Ochten	906-907 RO	wl_ocht95_a1	verbetering geometrie
Willemspolder	911-913 RO	wl_wille95_a1	verbetering geometrie
Tiel	913-915 RO	wl_tiel95_a1	verbetering geometrie
Wamel	914-915 LO	wl_wamel95_a1	verbetering kades
Dreumel	919-920 LO	wl_dreum95_b1	verbetering geometrie
	916-920 LO	wl_dreum95_c1	verbetering plassen
	915-920 LO	wl_dreum95_d1	verbetering plassen
Heerwaarden	920-926 LO	wl_heere95_a1	verbetering geometrie
Gameren	936-937 LO	wl_gamer95_a1	verbetering geometrie
Crobsche waard	937-940 RO	wl_crobs95_a2	verbetering geometrie
Breemwaard	939-943 LO	wl_breem95_a1	verbetering geometrie
Dalemsche waard	950-951 RO	wl_dalem95_a1	verbetering plassen
	949-952 RO	wl_dalem95_b1	verbetering geometrie
Munnikenland	950-952 LO	wl_mun95_a1	verbetering geometrie
Afgedamde Maas	950-953 LO	af_95dtb13_a1	verbetering geometrie
Boven-Merwede	953-961 BO	bo_95dtb13_a1	verbetering geometrie
	953-955 LO	bo_98slee_a1	terugzetten geometrie
	958-960 RO	rm_retpl_a1	verbetering plassen
	953-961 BO	rm_secovl_a1	verbetering sectie 1

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

#### Pannerdensch kanaal

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Doornenburg	867-870 LO	pk_doorn95_a1	verbetering geometrie
	872-875 LO	pk_doorn95_b1	verbetering geometrie
	873-874 LO	pk_doorn95_c1	verbetering geometrie
Loowaard	873-876 RO	pk_loowa95_a2	verbetering geometrie
	873-873 RO	pk_loowa95_b1	verbetering plassen
Huissen	877-879 LO	pk_huiss95_a1	verbetering geometrie
	876-877 LO	pk_huiss95_b1	verbetering geometrie
	877-880 LO	pk_huiss95_c1	verbetering geometrie

#### Neder-Rijn / Lek

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Hondsbr. Pleij	877-878 RO	nr_hpley95_a1	verbetering geometrie

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Koningspleij	879-880 RO	nr_kpley95_a1	verbetering geometrie
	879-882 RO	nr_kpley95_b1	verbetering geometrie
Arnhem	882-885 RO	nr_arnh95_a1	verbetering geometrie
Meinerswijk	882-888 LO	nr_mein95_a1	verbetering geometrie
Rosandepolder	887-889 RO	nr_rosan95_a1	verbetering kades
Stuw Driel	890-893 BO	nr_driel95_a1	verbetering kades
	891-892 RO	rt_stuw95_b1	verbetering plassen
Randwijk	896-896 LO	nr_kade95_a1	verbetering kades
Wageningen	900-902 RO	nr_wagen95_a1	verbetering geometrie
Wolfswaard	902-906 LO	nr_kade95_a1	verbetering kades
	903-903 LO	nr_wolfs95_a1	verbetering geometrie
Blauwe Kamer	905-908 RO	nr_blkam95_a1	verbetering geometrie
Rhenen	909-911 RO	nr_rhene95_a1	verbetering geometrie
	909-910 RO	nr_rhene95_b1	verbetering geometrie
Palmerwaard	910-912 RO	nr_palm95_a1	verbetering geometrie
Tollewaard	911-912 LO	nr_tolle95_a1	verbetering geometrie
	912-914 LO	nr_tolle95_b1	verbetering geometrie
	911-914 LO	nr_tolle95_c2	verbetering geometrie
Elst	913-916 RO	nr_elst95_a1	verbetering geometrie
Ingen	916-916 LO	rt_kade95_a1	verbetering kades
	917-918 LO	nr_ingen95_a1	verbetering geometrie
	918-919 LO	nr_ingen95_b1	verbetering geometrie
	916-916 LO	nr_ingen95_c1	verbetering kades
Amerongen	916-917 RO	nr_amero95_a1	verbetering geometrie
	920-923 RO	nr_amero95_b1	verbetering geometrie
	917-920 RO	nr_amero95_c1	verbetering kades
	922-922 RO	rt_stuw95_b1	verbetering plassen
Maurik	919-929 LO	nr_mauri95_a1	verbetering kades
Lunenburgerwaard	922-926 RO	nr_lunen95_a1	verbetering geometrie
Boscherwaarden	929-932 RO	le_bosch95_a1	verbetering geometrie
Hagestein	945-948 RO	le_honsw95_a1	verbetering plassen
	945-948 RO	le_hage95_a1	verbetering geometrie
	945-950 BO	le_hage95_b1	verbetering geometrie
	947-947 RO	rt_stuw95_b1	verbetering plassen
Vreeswijk	949-950 RO	le_vrees95_a1	verbetering geometrie
Vianen	950-952 LO	le_viane95_a1	verbetering geometrie
Polder de Eendragt	951-952 LO	le_eendr95_a1	verbetering geometrie
	952-954 LO	le_eendr95_b1	verbetering geometrie
Polder Vogelzang	961-963 RO	le_vogel95_a1	verbetering geometrie
Koekoekse waard	965-966 LO	le_koek95_a1	verbetering geometrie
Langerak	965-971 BO	le_lange95_a1	verbetering geometrie
Lek	970-989 BO	le_95dtb13_a1	verbetering geometrie
	971-989 BO	le_98basl_a1	terugzetten geometrie
	974-989 RO	rm_retpl_a1	verbetering plassen
	970-989 BO	rm_secovl_a1	verbetering sectie 1

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

IJssel / Ketelmeer / Vossemeer

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Hondsbr. Pleij	878-881 RO	nr_hpley95_a1	verbetering geometrie

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Koningspleij	879-879 LO	nr_kpley95_a1	verbetering geometrie
	879-881 LO	nr_kpley95_b1	verbetering geometrie
Velperwaarden	885-886 LO	ij_velp95_a1	verbetering geometrie
Koppenwaard	885-887 RO	ij_kop95_a1	verbetering geometrie
De Steeg	889-891 LO	ij_steeg95_a1	verbetering geometrie
Ellecom	891-903 LO	ij_elle95_a1	verbetering geometrie
Havikerwaard	891-903 LO	ij_havik95_a1	verbetering geometrie
	897-899 LO	ij_havik95_c1	verbetering geometrie
Doesburg	903-903 RO	ij_doesb95_a1	verbetering geometrie
Fraterwaard	903-905 BO	ij_frate95_a1	verbetering geometrie
Olburgen	903-911 RO	ij_olbu95_a1	verbetering geometrie
	910-910 RO	ij_olbu95_b1	verbetering geometrie
	903-905 RO	ij_olbu95_c1	verbetering plassen
Brummen	911-916 LO	ij_brum95_a1	verbetering geometrie
Cortenoever	920-925 LO	ij_cort95_a1	verbetering geometrie
Stokebrandsweerd	924-926 RO	ij_stoke95_a1	verbetering geometrie
Zutphen	928-929 BO	ij_zutph95_a1	verbetering geometrie
	928-928 RO	ij_zutph95_b1	verbetering geometrie
	926-928 LO	ij_zutph95_c1	verbetering geometrie
Twentekanaal <sup>2</sup>	931-931 RO	ij_twent95_a2	verbetering geometrie
Rammelwaard	932-934 LO	ij_ramme95_a1	verbetering geometrie
Ravenswaarden	934-938 RO	ij_raven95_a1	verbetering geometrie
Wilpse Kleipolder	936-945 LO	ij_kade95_a1	verbetering kades
	937-945 LO	ij_wilp95_a1	verbetering kades
Epseweerdse pold.	939-943 LO	ij_epsew95_a1	verbetering geometrie
Deventer	944-946 RO	ij_deve95_a1	verbetering geometrie
	944-945 RO	ij_deve95_b1	verbetering kades
Terwoldedorperw.	949-951 LO	ij_terwo95_a1	verbetering geometrie
Katerstede	954-955 LO	ij_kater95_a2	verbetering geometrie
	955-956 LO	ij_kater95_b1	verbetering geometrie
Fortmond	958-964 RO	ij_fortm95_a1	verbetering geometrie
Harculose buitenw.	972-974 RO	ij_harcu95_a1	verbetering geometrie
Hatterem	977-978 LO	ij_hatte95_a1	verbetering geometrie
Vreugderijkerwaard	981-985 RO	ij_vreug95_a1	verbetering geometrie
Zalk	984-987 LO	ij_zalk95_a1	verbetering geometrie
Kampen	993-997 BO	ij_kampe95_a1	verbetering geometrie
IJsseldelta	996-1002 BO	ij_delta95_a1	verbetering geometrie
	996-1002 RO	ij_delta95_b1	verbetering kades
Ketelmeer-Vossem.	1002-1006	km_oever95_a1	verbetering geometrie
	1002-1006	km_oever95_b1	verbetering geometrie
	995-1006	km_oever95_c1	verbetering geometrie
	1001-1006	km_zbhgt95_a1	verbetering geometrie

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

#### Amsterdam-Rijnkanaal

Locatie	Rivierkm	Maatregelen	Omschrijving
Betuwepand	60-71	ar_betuw95_a1	verbetering geometrie

<sup>2</sup> Tot aan sluis Eefde.

### 3.3.10 Toepassing Villemonte

RWS Oost-Nederland

Voor een aantal onderdelen van de schematisatie is voor de berekening van het energieverlies door overlaatwerking gekozen voor aangepaste parameters in de Villemonte-formulering. Dit betreffen alle kribben, een aantal stromingsbepalende kades en enkele constructies met verticale taluds. De aanpassingen betreffen de kruinbreedte en de taludhellingen.

**Datum**  
21 februari 2022

#### *Kribben*

Voor de kribben zijn generieke waarden gekozen voor de kruinbreedte (2,5) en de taludhelling links en rechts (3). Deze zijn gebaseerd op een analyse van de langs de Rijntakken aanwezige "gewone" (niet-verlaagde) kribben. De waarden zijn RWS-breed afgestemd. De wijziging is doorgevoerd m.b.v. een Python-script.

#### *Stromingsbepalende kades*

Van een aantal stromingsbepalende kades zijn de Villemonte-parameters handmatig gewijzigd. De kades zijn geselecteerd op basis van de volgende argumenten:

- Nabij een meetpunt of in het splitsingspuntengebied;
- Forse drempelwaarden;
- Groot debiet over de kade.

De parameters zijn bepaald op basis van enkele representatieve dwarsdoorsneden uit het AHN2. Het betreft de volgende kades (tussen haakjes staan de gekozen waarden voor de kruinbreedte, taludhelling benedenstrooms en taludhelling bovenstrooms<sup>3</sup>):

- Zorgdijk (4-5-7);
- Pannerdensche overlaat<sup>4</sup> (0,2-1-1);
- Looveerweg (10-10-4);
- Koppenwaardse dam (4-6-4);
- Marsweg Koppenwaard (10-6-4);
- Zomerkade Havikerwaard (10-3-4);
- Bijlandse weg (6-4-4);
- Kade tussen De Bijland en de Oude Waal (5-6-10);
- Lobberdense weg (opgedeeld in stukken, variabele parameters);
- Grote Willemspolder / Amsterdam-Rijnkanaal (4-3-10);
- Ingense veerweg Elst (10-4-4);
- Kade Gravenbol (8-5-6);
- Veerweg Steenwaard (7-3-2);
- Ossenwaardse dam (5-8-10);
- Veerweg Welsum (10-2-3);
- Tichelstraat Fortmond (8-4-8).

#### *Vertikale taluds*

Van een aantal constructies met verticale taluds zoals kademuren en damwanden zijn eveneens handmatig de Villemonte-parameters gewijzigd. Dit betreft:

- Pannerdensche overlaat via modelmaatregel (0,3-0,1-0,1);

---

<sup>3</sup> NB: welke waarde links en rechts is hangt af van de lijnrichting.

<sup>4</sup> De Pannerdensche overlaat wordt via een modelmaatregel aangepast. In die maatregel is een andere keuze gemaakt voor de Villemonte-parameters. Zie onder verticale taluds.

- Stroomgeleidingsschermen WKC Amerongen (0,8-0,1-0,1);
- Stuwcomplexen Neder-Rijn / Lek (3-0,1-4).

RWS Oost-Nederland

Datum

21 februari 2022

Bij testberekeningen is gebleken dat D-Hydro niet goed kan omgaan met taluds kleiner dan 1. Ook kruinbreedtes kleiner dan 1 leiden tot problemen. De Villemonteformulering blijkt niet getest te zijn voor deze omstandigheden. In de definitieve Baseline 6-schematisatie zijn als minimumwaardes 1 gehanteerd voor zowel kruinbreedte als taludhelling.

### 3.3.11 Brugpijlers

In de 6<sup>e</sup> generatie modellen wordt het energieverlies door blokkering van stroming door (brug)pijlers subgrid meegenomen. De benodigde invoer bestaat uit lijnen waarop voor elke pijler met een punt waarden zijn aangegeven voor de (representatieve) diameter en de pijlervorm. Afsproken is dat RWS-ON de invoer aanlevert in GIS-formaat (een geodatabase) en dat Deltares de invoer bewerkt zodat deze geschikt is voor D-HYDRO.

De basis voor de invoer is een testconversie naar BASELINE protocol 6 geweest die door RWS-ON is uitgevoerd met de toen beschikbare werkversie van de j95-schematisatie en BASELINE 6 software. Bij de conversie van protocol 5 naar protocol 6 worden alle vlakken uit de feature class hoogwatervrij\_vlakken met ruwheidscode 3 omgezet naar een punt (centroid) en wordt een waarde berekend voor de diameter. Deze waarde is gelijk aan de maximale dwarsdoorsnede. Na de eerste testconversie bleek dat deze waarde niet goed werd berekend. Hierop is de BASELINE 6 software aangepast, waarna de conversie opnieuw is gedraaid. De berekende diameters zijn door RWS-ON afgerond op 2 decimalen.

De lijnen die de punten verbinden, zijn handmatig gemaakt. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De lijnen voor brugpijlers lopen van bandijk tot bandijk of, indien het landhoofd in het hoogtemodel is opgenomen, vanaf de hoge hoogteverschillijn. Dit is gedaan om visuele reden; voor D-HYDRO is het niet noodzakelijk (voorwaarde voor D-HYDRO is dat de lijn tenminste één gridcel verder doorloopt dan de laatste pijler);
- De lijnen voor overige pijlers (zoals grote meerpalen) lopen tenminste één gridcel verder door;
- Elke rij pijlers, waarvan de centroids in dwarsrichting gezien zijn uitgelijnd, is verbonden met een eigen lijn. Een brug kan dus zijn weergegeven met meerdere lijnen, bijvoorbeeld één voor de hoofdpijlers en nog enkele voor de pijlers onder de aanbruggen.
- Gaandeweg de ontwikkeling van de 6<sup>e</sup> generatie modellen zijn keuzes gemaakt met betrekking tot de pijlers, gebaseerd op onderzoek en/of de implementatie in D-HYDRO. Dit betreft:
  - Meerdere pijlers die naar dezelfde flowlink worden geprojecteerd, worden in D-HYDRO bij elkaar opgeteld. Indien dit gaat om pijlers die in dwarsrichting gezien naast elkaar staan, heeft dit niet geleid tot wijzigingen in het pijlerbestand. Echter voor pijlers die in de lengterichting van de rivier naast elkaar staan (dus parallel aan de stroming) is ervoor gekozen alleen de meest bovenstroomse pijler te handhaven, tenzij deze pijler niet de grootste dwarsdoorsnede uit de rij heeft (in dat geval is de pijler met de representatieve dwarsdoorsnede gehandhaafd);
  - Zeer grote pijlers (breedte in de orde van een roostercel) kunnen beter als hoogwatervrij vlak worden meegenomen dan als pijler;

- Pijlers op kunstwerklijnen (zoals inlaatwerk Scherpekamp) en op modelranden (zoals de Ketelbrug) worden niet meegenomen in de berekening;
- De pijlervorm kan nu nog niet gedifferentieerd meegenomen worden. Deze waarde is derhalve nu zo gekozen dat alle pijlers een ronde vorm hebben (waarde 1).

Het pijlerbestand is aangepast op de gemaakte keuzes. Tevens zijn in de loop van de tijd nog een aantal fouten en onvolkomenheden hersteld. Synchron met het aanpassen van het pijlerbestand is ook de j95-schematisatie aangepast, zodat deze eenduidig zijn. Er is geen nieuwe conversie gedaan; de diameters van toegevoegde pijlers zijn handmatig bepaald. De aanpassingen betreffen:

- Pijler haven IJzendoorn verwijderd;
- Pijlers woonboten Beneden-Leeuwen verwijderd;
- Noordpijler brug N323 (Prins Willem Alexanderbrug) Echteld toegevoegd (o.b.v. DTB-Nat);
- Pijler t.p.v. het zuidelijke landhoofd van de spoorbrug Zaltbommel verwijderd, hoogwatervrij vlak vergroot;
- Zuidelijkste pijler Bommelse brug toegevoegd (o.b.v. een oude rivierkaart);
- De twee zuidelijkste pijlers van de Martinus Nijhoffbrug zijn toegevoegd (o.b.v. DTB-Nat);
- Pijlers vluchthaven Gorinchem verwijderd;
- Pijlers Merwedeburg Gorinchem vervangen (o.b.v. DTB-Nat);
- De ontbrekende pijlers van de NATO brug Sleeuwijk - Gorinchem zijn toegevoegd (handmatig bepaald);
- Pijler westelijke landhoofd brug A12 Westervoort verwijderd, hoogwatervrij vlak aangepast;
- Pijlers brug A15 Tiel gesplitst in snelwegdeel en overige pijlers;
- Grote pijler Rijnbrug Emmerich gewijzigd in ruwheidscode 2 en kenmerk hwatvrij en verwijderd uit pijlerbestand;
- Pijlers inlaatwerk kade Scherpekamp verwijderd;
- Noordelijke hoofdpijler Westervoortse brug opgeknipt in twee delen;
- Ontbrekende pijlers IJsselbrug A12 toegevoegd (o.b.v. DTB-Nat), diameter ronde pijlers is aangenomen op 2 m;
- Een verschoven pijler van de Wilhelminabrug in Deventer is handmatig gecorrigeerd (o.b.v. HR-luchtfoto);
- Gebouw en noordelijke pijlers Pr. Marijkesluis samengevoegd tot een hoogwatervrij vlak;
- Landhoofden aanlegsteigers Pr. Marijkesluis en ARK verwijderd.

De definitieve lijnen en punten zijn opgeslagen in de geodatabase onder de namen "bridge\_points" en "bridge\_lines". Punten en lijnen die zijn verwijderd omdat de punten in één rooster cel terecht zouden komen, zijn opgeslagen als "bridge\_points\_removed\_vicinity" en "bridge\_lines\_removed\_vicinity". Punten die zijn verwijderd omdat een andere schematisatiekeuze is gemaakt (en in latere jaren omdat de brug gesloopt is) zijn opgeslagen als "bridge\_points\_removed" en "bridge\_lines\_removed".

Bij het maken van de invoer zijn door RWS-ON de verschillende pijlervormen wel onderscheiden. Deze invoer in de vorm van een nummer per vorm is bewaard; mocht het later toch mogelijk blijken de pijlervorm gedifferentieerd mee te nemen dan is dat mogelijk. De punten met gedifferentieerde pijlervorm zijn opgeslagen

als "bridge\_points\_shape". De pijlervormen en de corresponderende waarden zijn te vinden in het document "pijlervormen.pdf".

**RWS Oost-Nederland**

**Datum**

21 februari 2022

### *3.3.12 Uitvoerlocaties en lateralen*

Van alle LMW-stations is de ligging opnieuw bepaald. Dit is gedaan voor alle stations, zowel degene in 1995, als actueel. Daarna is de splitsing gemaakt in verschillende bestanden. Hiertoe zijn door de CIV van alle LMW-stations tekening aangeleverd van de meetopstelling. Op basis van de omschrijving en tekeningen zijn is de ligging van het uiteinde van de meetbuis bepaald. Deze coördinaten van deze locaties zijn afgerond op gehele meters. Vervolgens is op basis van een extreme laagwatersom bekeken of meetpunten kunnen droogvallen. Voor deze locaties is ofwel de schematisatie aangepast (Schoonhoven en Krimpen aan de Lek) met een modelmaatregel, dan wel het meetpunt verplaatst (Sint Andries Waal, Keteldiep en Kamperhoek).

De overige uitvoerlocaties zijn opgesplitst in de categoriën: topstanden, kilometerborden en waterschapspunten. De locaties zijn grotendeels overgenomen uit de 5<sup>e</sup> generatie modellen en aangevuld (bv. de topstanden). Per calibratiejaar zijn alleen die locaties opgenomen waar ook metingen van beschikbaar zijn.

Voor de 6<sup>e</sup> generatie modellen zijn nieuwe lateralen afgeleid in een separaat project. Het betreft een verdere detaillering naar bronnen, van 20 in de 5<sup>e</sup> generatie modellen naar ruim 90 in de 6<sup>e</sup> generatie modellen. Van al deze lateralen is bekeken waar deze aflaten/onttrekken aan de rivier. Dit is gedaan op basis van luchtfoto's, vergunningstekeningen van RWZI's, etcetera. Daarna is net als voor de LMW-locaties gecontroleerd of hier in het model bij laagwater wel water staat. Waar dit niet het geval is, is de locatie van de lateralen verlegd naar een natte cel.

### *3.3.13 Cross-secties*

Voor de 6<sup>e</sup> generatie modellen zijn de cross-secties opnieuw bepaald. Dit is gedaan voor alle jaren, zowel degene in 1995, als actueel. Daarna is de splitsing gemaakt in verschillende bestanden. Er is begonnen met de LMW-locaties; vervolgens zijn raaien toegevoegd voor metingen, ruwheidsbepaling, relevante locaties en rivierkilometers. De raaien voor de ruwheidsbepaling zijn gekoppeld aan de kalibratiepolygonen (zie de volgende paragraaf) en zijn samen met Deltares tot stand gekomen.

Er is rekening gehouden met roosterlijnen, hoewel dit op sommige locaties uitdagend bleek. Voor de rivierkilometers is ervoor gezorgd dat opeenvolgende cross-secties elkaar niet snijden.

Voor het functioneren van de cross-secties bleek de richting van de lijnen van rechts naar links te moeten zijn.

### *3.3.14 Basisruwheden en kalibratiepolygonen*

In Baseline 6 wordt onderscheid gemaakt in de basisruwheden in het zomerbed en de kalibratiefactor.

Voor de basisruwheden in het zomerbed is uitgegaan van het onderzoek van Yossef (2019). Polygonen zijn gebaseerd op sectie 1. De nummering start bij 2000 en loopt aaneengesloten door via de Waal, Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn, Lek en IJssel. Er is in de nummering rekening gehouden met de

bodemkribben Erlecom en de vaste laag Sint-Andries (beiden aangelegd na 1995). Kanalen hebben ruwheidscode 102 gekregen (diepe bedding). Voor de meren is de volgende keuze gemaakt: het Ketelmeer en het Vossemeer hebben aparte ruwheidscodes (2401, resp. 2402). De grens van het Ketelmeer ligt op de Ramspolkering.

Helaas zijn de vaste laag bij Spijk en stortstenen lagen rondom de stuwen (aangelegd in het kader van de stuwrenovatie) niet in de nummering opgenomen.

De kalibratiepolygonen zijn ook gebaseerd op sectie 1, maar liggen alleen in de rivierdelen. In beginsel worden ze begrensd door de ligging van LMW waterstandsstations. Hiervoor is een lijn getrokken vanaf het meetstation loodrecht op de rivieras. Bij elke kalibratiepolygoon hoort ook een afvoercrosssectie die gebruikt wordt bij de bepaling van de uiteindelijke zomerbedruwheid. Extra grenzen zijn opgenomen vanwege mogelijk nut in de toekomst. Deze liggen bij Varik en Heesselt in verband met een mogelijke hoogwatergeul, bij het voormalige LMW-station Arnhem, bij Veessen en Wapenveld in verband met de hoogwatergeul.

Ook van deze polygonen begint de nummering bij 2000 en deze loopt aaneengesloten door over de takken. Lokaal zijn aanpassingen gedaan in de begrenzing. Bij Tiel-Waal ligt de grens nabij km 911 omdat dit bovenstrooms van de langsdammen ligt, en de bovengrens is van het RMM-model. Bij Doesburgbrug is de grens naar bovenstrooms verplaatst bij de samenvloeiing met de Oude IJssel. De reden hiervoor is dat het kalibratiepolygoon gerelateerd is aan een afvoercrosssectie van het betreffende traject. Door de verplaatsing geldt voor het gehele kalibratiepolygoon nu de afvoer inclusief Oude IJssel.

### 3.3.15 Resterende tekortkomingen

Er zijn ook nog tekortkomingen waarvan het niet gelukt is om die te herstellen. Er zijn nog diverse kades die ontbreken, of gedeeltelijk aanwezig zijn. Sommige kades zijn wel in de bodemhoogte aanwezig, maar niet in de overlagen. In sommige gevallen wijkt de kruinhoogte af tot enkele dm af. Diverse kronkelwaarden langs de IJssel zijn nog onvolledig aanwezig zoals de Vaalwaard, en rond Bronckhorst. In het gebied rond de Vaalwaard waren tijdens het hoogwater gronddepots aanwezig voor de lopende ontzanding; deze ontbreken.

## 4 Modelschematisaties kalibratie en validatie

### 4.1 Werkwijze

De recentere kalibratie- en validatiejaren (2011, 2015 en 2016) zijn opgebouwd vanaf de nieuwe 1995 schematisatie j95\_5-G6-w15. Hiervoor is de schematisatie zonder modelmaatregelen gebruikt. De jaren 2015 en 2016 zijn opgebouwd uit respectievelijk 2011 en 2015, beide wederom zonder modelmaatregelen. De reden is dat de lijst met modelmaatregelen per jaar verschilt.

Normaalgesproken wordt voor het actualiseren een lijst met actualisatiemaatregelen ingemixt. Vanwege tijdsefficiëntie is er echter voor gekozen om te werken met koepelmaatregelen. Hierbij worden alle actualisatiemaatregelen voor een bepaald kalibratiejaar samengevoegd tot één Baseline-maatregel (de koepelmaatregel). Dit wordt bereikt door alle actualisatiemaatregelen te mixen in



een lege variant, en vervolgens de erase-vlakken van de maatregelen samen te voegen. Het voordeel hiervan is dat er veel sneller gemixt kan worden, omdat er maar één maatregel gemixt hoeft worden. Deze koepelmaatregelen zijn allemaal nagelopen of er na het mixen fouten ontstonden. Deze fouten zijn zoveel mogelijk hersteld door directe aanpassing van de koepelmaatregel, en dus niet van de onderliggende individuele Baseline-maatregel.

Na de koepelmaatregel(en) zijn de modelmaatregelen ingemixt. Per jaar verschilt namelijk de samenstelling van de lijst modelmaatregelen.

Voor het overlapgebied met het RMM-model is uitgebreide afstemming geweest met RWS-WNZ. Er is voor gekozen het gehele overlap gebied (Tiel – Hardinxveld & Hagestein – Krimpen aan de Lek) door RWS-ON te laten maken en verbeteren, en vervolgens deze in het RMM-model over te nemen. Omdat de calibratiejaren voor RMM afwijken van de Rijntakken, zijn voor de volgende jaren koepelmaatregelen gemaakt:

Koepelmaatregel	Actualisatiejaren
rt_km08_a1	1995 - 2008
rt_km11_a1	2009 - 2011
rt_km13_a1	2012 - 2013
rt_km15_a1	2014 - 2015
rt_km16_a1	2016

Hieruit blijkt dat de koepelmaatregel aanvullend op elkaar zijn. Voor bijvoorbeeld het maken van een schematisatie voor het jaar 2011 zijn de koepelmaatregelen van 2008 en 2011 nodig.

Ook de schematisatie voor 1993 is voor de validatie opgebouwd. Als basis is hiervoor de schematisatie voor 1995 gebruikt. Deze wordt hieronder als eerste beschreven. Daarna volgen de schematisaties voor 2011, 2015 en 2016.

#### 4.2 j93\_5-G6-w1

Basis voor deze variant is de schematisatie van 1995 inclusief modelmaatregelen. Hierin is één Baselinemaatregel opgenomen, namelijk van het zomerbed 1993. De maatregel\_lijst van de variant is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. Voor het zomerbed 1995 is een nieuwe correctie bepaald voor de overstap van singlebeam naar multibeam (zie paragraaf 3.3.1). Deze nieuwe correctie is toegepast op alle zomerbedhoogtes en plashoogte met kenmerk `'\_mb'`, welke in de 5<sup>e</sup> generatie aan de gecorrigeerde punten is toegevoegd. Voor punten boven- of benedenstreams van de geanalyseerde hectometervakken is geen nieuwe correctie bepaald, deze behouden de oorspronkelijke correctie van 15 cm. Voor het zomerbed 1993 is dezelfde correctie toegepast in de maatregel rt\_zbhgt93\_a3. Daarbij is de maatregel voor 1993 verkleind tot een 10m versmald zomerbed, om een betere aansluiting op de oever / kribvakken te maken.

Tussen de schematisatie van 1993 en 1995 zijn meer verschillen in geometrie aanwezig. Voorbeelden hiervan zijn de Olburgse waard langs de IJssel, de Ingensche waarden langs de Neder-Rijn, en de Drutensche waarden langs de Waal. Het is niet gelukt deze in Baseline beschikbaar te maken.

## 4.3 j11\_5-G6-w6

RWS Oost-Nederland

### 4.3.1 Opbouw

Datum

21 februari 2022

Basis voor deze variant is de schematisatie van 1995 zonder modelmaatregelen. Hierin zijn eerst de koepelmaatregel *rt\_km08\_a1* en het nieuwe sectiebestand voor 2008 (volledig dekkend en passend bij de actualisatiemaatregelen in koepel *rt\_km08\_a1*) opgenomen. Daarna zijn koepelmaatregel *rt\_km11\_a1* en het nieuwe sectiebestand voor 2011 (ook volledig dekkend en aangepast op de actualisatiemaatregelen in koepel *rt\_km11\_a1*) opgenomen. In de variant zijn diverse handmatige aanpassingen gedaan en er zijn nog 5 verbeterings- en actualisatiemaatregelen opgenomen, die beschikbaar zijn gekomen na de bouw van de koepelmaatregelen. Deze maatregelen zijn later ook toegevoegd aan de betreffende koepels, zodat deze consistent zijn met de varianten. Omdat een paar van de opgenomen maatregelen elkaar overlappen, maar niet goed op elkaar passen omdat ze voor verschillende doelen zijn gemaakt, is nog een reparatiemaatregel opgenomen om deze fouten te herstellen. Dit betreft de Marsweg in de Rhederlaag, de Marswaard bij Zutphen en de kade naar de Worp bij Deventer. Tenslotte zijn 14 modelmaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de variant is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. Hierna wordt per onderdeel een nadere toelichting gegeven.

### 4.3.2 Handmatige aanpassingen

In de variant zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Aanpassen Vилlemonte parameters kribben 3-4-4 naar 2,5-3-3 m.b.v. Python-script.
- Pijlers oude Stadsbrug Kampen verwijderen en pijlers nieuwe brug toevoegen.
- Veerweg Welsum: vилlemonte parameters cf 95: kruinbreedte = 10 m, helling links = 2, helling rechts = 3.
- Weg naar Fortmond: vилlemonte parameters: kruinbreedte = 8 m, helling links = 4, helling rechts = 8.
- Secties aanpassen op definitieve rooster t.p.v. Ramspol en Ketelbrug.
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.

### 4.3.3 Koepelmaatregel *rt\_km08\_a1*

In deze koepelmaatregel zijn 170 actualisatiemaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de koepelmaatregel is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. In de koepelmaatregel zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Plaspeilingen Kandia toegevoegd, tevens breuklijn verwijderd.
- Kade de Worp (bandijk - IJsselhotel) verwijderd, want al in j95 verbeterd.
- Bij *nr\_visamer\_a1* enkele hoogtelijnen (breuklijnen) aangepast i.v.m. gewijzigde referentieschematisatie.
- Zomerbedvlakken Erlecom en St. Andries aangepast aan sectie 1 j95.
- Overlapgebied RMM: zomerbedhoogtes in sectie 3 m.u.v. plassen verwijderd.
- Plashoogtes in sectie 1 of 2 verplaatst naar zomerbedhoogtes.
- Brugpijlers Boven-Merwede vervangen (Merwedebrug en NATO-brug).

- Plas naast zuidelijke landhoofd Merwedebrug verwijderd.
- Resterende zomerbedhoogtepunten uit maatregel km\_slibdep\_a1 verwijderd.
- Aanpassen erasecontour kribben le\_langera\_a3 (bij vier kribben te klein).
- Aanpassen sectiebestand op definitief rekenrooster.
- Ruwheidscode en kenmerk grote pijler brug Gorinchem aangepast naar respectievelijk 2 en hwastrvij.
- Kruinbreedte veerweg Huissen aangepast naar 10 m en taludhelling rechts eveneens naar 10 m.
- Kruinbreedte zuidelijke geleidedamwand waterkrachtcentrale Amerongen aangepast naar 0,8 m en taludhellingen naar 0,1.
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.
- Lijnrichtingen kunstwerken controleren => geen aanpassingen.

#### 4.3.4 Koepelmaatregel rt\_km11\_a1

In deze koepelmaatregel zijn 63 actualisatiemaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de koepelmaatregel is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. In de koepelmaatregel zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Overlapgebied RMM: zomerbedhoogtes in sectie 3 m.u.v. plassen verwijderd.
- Zomerbedhoogtes km\_zbhgt11\_a1 verwijderen binnen erasecontouren zomerbedhoogtes van maatregelen km\_slibdep\_a2 en km\_schokhv\_a1.
- Zomerbedhoogtes toevoegen uit maatregelen km\_slibdep\_a2 en km\_schokhv\_a1.
- Erasecontouren zomerbedhoogtes toevoegen uit maatregelen km\_slibdep\_a2 en km\_schokhv\_a1.
- Plashoogtes in sectie 1 of 2 verplaatst naar zomerbedhoogtes.
- Kenmerken bodemkribben Erlecom herstellen.
- Kenmerken br\_zbhgt10\_a1 herstellen.
- Aanpassen sectiebestand op definitief rekenrooster.
- Pijlers brug Vianen toevoegen.
- Pijlers brug Zaltbommel verwijderen.
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.
- Lijnrichtingen kunstwerken controleren => Hondsbroeksche Pleij aangepast (maatregel nr\_hpleij\_a3).

#### 4.3.5 Modelmaatregelen

Er zijn 14 modelmaatregelen opgenomen. Nieuw is de modelmaatregel voor de hoogwatervrije lijnen rond gebouwen die is geactualiseerd.

Modelmaatregel	Aanpassing
br_bijlg6_a1	bodemligging invaart Bijland
nr_amwkc6_a1	opname WKC Amerongen als kunstwerk
nr_inlwg6_a1	inlaatwerken Randwijk, Opheusden, Maurik, Amerongse bovenpolder (2x), Beusichem en de Middelwaard
nr_rwhpg6_a1	Hondsbroeksche Pleij: 1 kunstwerk per 2 openingen

<b>Modelmaatregel</b>	<b>Aanpassing</b>
pk_huisg6_a1	in/uitlaatwerk noordzijde Huissense Waarden
pk_povg6_a1	Pannerdense overlaat incl. Villemonte parameters
pk_skmpg6_a1	inlaatwerk Huissense Waarden bij Scherpekamp
wl_inlwg6_a1	inlaatwerken Winssense waarden, Gouverneurspolder, Drutense waarden, Stiftse waarden en Heerwaarden
wl_druteg6_a1	bodemligging invaart plas Drutensche waarden
rt_stuwg6_a1	bodemligging ter plaatse van kunstwerklijnen
rt_hwl11g6_a1	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen
le_schoog6_a1	omgeving meetpunt Schoonhoven
le_krimpg6_a1	omgeving meetpunt Krimpen aan de Lek
rt_hwl11g6_b1	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen

RWS Oost-Nederland

**Datum**  
21 februari 2022

#### 4.3.6 *Belangrijkste actualisaties in rt\_km08\_a1 en rt\_km11\_a1*

De diepteligging van het zomerbed van de Rijntakken is in drie stappen geactualiseerd naar de situatie in 2011. In koepel rt\_km08\_a1 is de loding van 2009 opgenomen (bij gebrek aan een loding van 2008; van de Boven-Rijn is alleen het Nederlandse deel opgenomen) en in koepel rt\_km11\_a1 die van 2009 (alleen het Duitse deel van de Boven-Rijn), 2010 (inclusief Duitse deel van de Boven-Rijn) en 2011 (2011 is inclusief Ketelmeer, Vossemeer en een gedeelte van het IJsselmeer). De ecotopen zijn in vijf stappen geactualiseerd naar de situatie in 2011. In koepel rt\_km08\_a1 zijn de karteringen van 1997, 2004, 2005, 2008 en 2012 opgenomen (2012 op verzoek van RWS-WNZ). In koepel rt\_km11\_a1 is de kartering van 2012 opgenomen. De gedachte achter het nogmaals opnemen van de kartering van 2012 is dat eventueel door maatregelen toegevoegde vegetatie in de periode 2008-2012 weer overschreven wordt. Daarnaast past de kartering van 2012 het beste bij j11.

Een aantal van de belangrijkste actualisaties in deze periode zijn de dijkverlegging bij Deventer (1996), aanleg van de bodemkribben bij Erlecom (1997), vaste laag bij Sint Andries (1998), natuurontwikkeling Gameren (1999), slibdepot IJsseloog (2000), verlaging Millingse dam (2001), verhoging weg naar Fort Pannerden (2001), herinrichting Klompenwaard (2001), dijkverlegging Bakenhof (2002), verlaging stuweiland en toegangsweg Driel (2002), zandwinning Dreumel (2003), spoorbrug Oosterbeek (2003), natuurontwikkeling en nevengeul Vreugderijkerwaard (2003), natuurontwikkeling Ketelmeer en Vossemeer (2003), natuurontwikkeling en dijkverlegging Stichtse Rijnlanden (2005), pilot kribverlaging Waal (2009), rivierverruiming Lexkesveer (2009), dijkverlegging Hondsbroekse Pleij (2011). Deze laatste was ten tijde van het hoogwater 2011 nog niet volledig uitgevoerd: de dijk was wel verlegd, maar de oude dijken waren boven- en benedenstrooms nog aanwezig. Er is voor gekozen deze in j11 dicht te zetten met hoogwatervrije lijnen.

Op basis van de nieuwe secties zijn aanpassingen gedaan aan de polygonen met basisruheden en de kalibratiepolygonen. De bruggen, uitvoerlocaties (waaronder de meetpunten) en cross-secties zijn geactualiseerd.

#### 4.3.7 *Nieuwe maatregelen in rt\_km08\_a1 en rt\_km11\_a1*

Ten opzichte van baseline-rijn-j18\_5 zijn enkele oude actualisatiemaatregelen aangepast/vervangen. Dit betreft het slibdepot IJsseloog (2000), het stuweiland,

de toegangsweg en de vispassage Driel (2002) en de zandwinning bij Dreumel (2003).

RWS Oost-Nederland

Tevens zijn enkele nieuwe actualisatiemaatregelen toegevoegd. Dit betreft de dijkverlegging in de Wamelsche uiterwaard (1996), de aantakking van de zandwinplas bij Heesselt (1997), de aanleg van een strand en een parkeerplaats bij de Schokkerhaven (2004), de zomerbedligging in het Duitse deel van de Boven-Rijn (2010) en de zomerbedligging van de bodemkribben Erlecom (2011).

Datum

21 februari 2022

#### **4.4 j15\_5-G6-w5**

##### *4.4.1 Opbouw*

Basis voor deze variant is de schematisatie van 2011, j11\_5-G6-w6 zonder modelmaatregelen. Hierin zijn eerst de koepelmaatregelen *rt\_km13\_a1* en *rt\_km15\_a1* opgenomen. Daarna is het nieuwe sectiebestand voor 2015 (volledig dekkend en passend bij de actualisatiemaatregelen in koepel *rt\_km15\_a1*) opgenomen (NB: voor 2013 was geen nieuw sectiebestand nodig). In de variant zijn diverse handmatige aanpassingen gedaan. Vervolgens zijn nog 7 aanvullende verbeterings- en actualisatiemaatregelen opgenomen, die beschikbaar zijn gekomen na de bouw van de koepelmaatregel. Deze maatregelen zijn later ook toegevoegd aan de betreffende koepels, zodat deze consistent zijn met de varianten. Omdat een paar van de opgenomen maatregelen elkaar overlappen, maar niet goed op elkaar passen omdat ze voor verschillende doelen zijn gemaakt en er in het plassenbestand nog een paar fouten zaten, is een reparatiemaatregel opgenomen. De herstelde fouten betreffen de Marsweg in de Rhederlaag, de Marswaard bij Zutphen, de kade naar de Worp bij Deventer, plassen RvdR Deventer en het toevoegen van ontbrekende plassen bij Fortmond en Kampen. Tenslotte zijn 14 modelmaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de variant is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. Hierna wordt per onderdeel een nadere toelichting gegeven.

##### *4.4.2 Handmatige aanpassingen*

In de variant zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Aanpassen Vилlemonthe parameters kribben 3-4-4 naar 2,5-3-3 m.b.v. Python-script.
- Instroom RvdR Voorsterklei: Vилlemonthe parameters kruinbreedte = 3 m, helling links = 7, helling rechts = 4.
- Wijzigen sectie 2 in sectie 3 t.p.v. nieuwe plassen uit maatregel *ij\_rep15\_a1* (1x).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.

##### *4.4.3 Koepelmaatregel *rt\_km13\_a1**

In deze koepelmaatregel zijn 24 actualisatiemaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de koepelmaatregel is opgenomen opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. In de koepelmaatregel zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Hele modelgebied: zomerbedhoogtes in sectie 3 verwijderd m.u.v. plassen en m.u.v. punten die in j15\_5-G6 zijn blijven liggen
- Plashoogtes in sectie 1 of 2 verplaatst naar zomerbedhoogtes.
- Pijlers tweede brug Ewijk toevoegen.
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Lijnrichtingen kunstwerken controleren => geen aanpassingen.

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022

#### 4.4.4 Koepelmaatregel rt\_km15\_a1

In deze koepelmaatregel zijn 45 actualisatiemaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de koepelmaatregel is opgenomen opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. In de koepelmaatregel zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Plashoogtes in sectie 1 of 2 verplaatst naar zomerbedhoogtes.
- Erasecontour brugpijlers Boven-Merwede aangepast (RvdR Avelingen, pijlers Merwedebrug blijven staan en pijlers NATO-brug zijn verwijderd)
- Kenmerken bodemkribben Erlecom herstellen.
- Aanpassen sectiebestand op definitief rekenrooster.
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.
- Lijnrichtingen kunstwerken controleren => geen aanpassingen.

#### 4.4.5 Modelmaatregelen

Er zijn 14 modelmaatregelen opgenomen. Nieuw zijn de modelmaatregel voor de hoogwatervrije lijnen rond gebouwen die is geactualiseerd, en maatregelen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij. Verdwenen zijn de modelmaatregelen voor de inlaatsluizen en duikers en voor de Pannerdense overlaat.

Modelmaatregel	Aanpassing
br_bijlg6_a1	bodemligging invaart Bijland
nr_amwkc6_a1	opname WKC Amerongen als kunstwerk
nr_rwhpg6_a1	Hondsbroeksche Pleij: 1 kunstwerk per 2 openingen
pk_rwpg6_a1	Pannerden: 1 kunstwerk per 2 openingen
wl_druteg6_a1	bodemligging invaart plas Drutensche waarden
ij_elleg6_a1	ecoduct Middachten
rt_stuwg6_a1	bodemligging ter plaatse van kunstwerklijnen
rt_hwl15g6_a1	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen
le_schoog6_a1	omgeving meetpunt Schoonhoven
le_krimpg6_a1	omgeving meetpunt Krimpen aan de Lek
wl_lentg6_a2	bodemligging toegang naar inlaatkade
br_pkopg6_a1	bodemligging net voor scheidingsdam
pk_ijkopg6_a1	bodemligging net voor scheidingsdam
rt_hwl15g6_b1	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen

#### 4.4.6 Belangrijkste actualisaties in rt\_km13\_a1 en rt\_km15\_a1

RWS Oost-Nederland

De diepteligging van het zomerbed van de Rijntakken is in vier stappen geactualiseerd naar de situatie in 2015. In koepel rt\_km13\_a1 zijn de lodingen van 2012 en 2013 opgenomen en in koepel rt\_km15\_a1 die van 2014 en 2015. Er is geen nieuwe ecotopenkartering opgenomen, dus de vegetatie in j15 is nog gebaseerd op de ecotopenkartering van 2012. Bij Zwolle is de spoorbrug vervangen (2012). In deze periode is een groot deel van de projecten die in het kader van Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd, gereed gekomen: uiterwaardvergraving Avelingen (2014), regelwerk Pannerden (2014), uiterwaardvergravingen Middelwaard, Tollewaard, Doorwerth en Elst (2014), uiterwaardvergraving Meinerswijk (2015), Ruimte voor de Lek (2015), nevengeul Hurwenen (2015), kribverlaging Waal (2015), langsdammen Waal (2015), Munnikenland (2015), Deventer (2015), dijkverlegging Lent (2015) en dijkverlegging Voorsterklei (2015). Ook de NURG-projecten Groene rivier Pannerden en IJsseluiterwaarden Olst zijn opgeleverd (2015).

**Datum**  
21 februari 2022

Bij het maken van de maatregelen voor de kribverlaging langs de Waal is uitgebreid aandacht besteed aan het bepalen van de kruinhoogte, de teenhoogte, de kruinbreedte en de taludhellingen. Hierbij is gekozen voor een standaard taludhelling van 1:3, omdat deze nog steeds als zodanig in het veld voorkomen. Voor de kruinbreedte is per punt op de krib bepaald hoe breed deze is. Voor het niet verlaagde deel van de kribben ('punt D', dat de aansluiting op de oever weergeeft, en landwaarts hiervan) is voor de kruinbreedte de standaard waarde 2,5 m gebruikt.

Deze maatregel is gekoppeld aan wl\_kribvl\_d2, en bevat alleen het deel boven de vastgestelde clipgrens. De maatregel wl\_kribvl\_d2 bevat het deel benedenstrooms van de clipgrens

Met het zomerbed 2015 is de vaste laag Spijk op de Boven-Rijn bij km 860 opgenomen in het model. Na overleg met Arjan Sieben (RWS-WVL) is in 2016 besloten om geen apart ruwheidstraject op te nemen voor deze vaste laag. Het materiaal van de vaste laag is niet heel afwijkend van de rest van het zomerbed en er is nog geen duidelijke ontgrondingskuil aanwezig. De bodemontwikkeling zal gevolgd worden en wellicht is er in de komende jaren wel een apart ruwheidstraject nodig.

#### 4.4.7 Nieuwe maatregelen in rt\_km13\_a1 en rt\_km15\_a1

Ten opzichte van baseline-rijn-j18\_5 zijn enkele oude actualisatiemaatregelen aangepast/vervangen. Dit betreft een opsplitsing van de maatregel met het inrichtingsplan IJsseluiterwaarden Olst (2015) in een deel voor linkeroever en een deel voor de rechteroever en de correctie van plascontouren in RvdR-projecten (2015). Uit deze laatste maatregel zijn alle plascontouren verwijderd van projecten waarvan een maatregel beschikbaar is gekomen op basis van as built data.

Tevens zijn enkele nieuwe actualisatiemaatregelen toegevoegd. Dit betreft de voortgaande ontzanding in de Rhederlaag en de Vaalwaard (2014), de zomerbedligging van de bodemkribben Erlecom (2015), de aanpassing van de rivieras en rivierkm ter plaatse van de langsdammen (2015), de aanpassing van de plascontouren van RvdR Avelingen (2015) en de zomerbedligging in het Duitse

deel Boven-Rijn (2016, maar aangenomen dat dit de situatie in 2015 beter beschrijft dan de oude peiling uit 2010).

RWS Oost-Nederland

Op basis van de nieuwe secties zijn aanpassingen gedaan aan de polygonen met basisruheden en de kalibratiepolygonen. De bruggen, uitvoerlocaties (waaronder de meetpunten) en cross-secties zijn geactualiseerd.

Datum  
21 februari 2022

## 4.5 j16\_5-G6-w9

### 4.5.1 Opbouw

Basis voor deze variant is de schematisatie van 2015, j15\_5-G6-w5 zonder modelmaatregelen. Hierin is eerst de koepelmaatregel *rt\_km16\_a1* opgenomen. Daarna is het nieuwe sectiebestand voor 2016 (volledig dekkend en passend bij de actualisatiemaatregelen in koepel *rt\_km16\_a1*) opgenomen. In de variant zijn diverse handmatige aanpassingen gedaan. Vervolgens zijn nog 8 aanvullende verbeterings- en actualisatiemaatregelen opgenomen, die beschikbaar zijn gekomen na de bouw van de koepelmaatregel. Deze maatregelen zijn later ook toegevoegd aan de betreffende koepels, zodat deze consistent zijn met de varianten. Omdat een paar van de opgenomen maatregelen elkaar overlappen, maar niet goed op elkaar passen omdat ze voor verschillende doelen zijn gemaakt en er in het plassenbestand nog een paar fouten zaten, zijn 2 reparatiemaatregelen opgenomen. De herstelde fouten betreffen de haven en het bedrijfsterrein van De Beijer in de Hiensche waard, de Marsweg in de Rhederlaag, de Marswaard bij Zutphen, de kade naar de Worp bij Deventer, plassen RvdR Deventer en Vreugderijkerwaard en het toevoegen van ontbrekende plassen bij Welsum, Fortmond en Kampen. Tenslotte zijn 15 modelmaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de variant is opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. Hierna wordt per onderdeel een nadere toelichting gegeven.

### 4.5.2 Handmatige aanpassingen

In de variant zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

- Aanpassen Villemonte parameters kribben 3-4-4 naar 2,5-3-3 m.b.v. Python-script.
- Instroom RvdR Cortenoever links: Villemonte parameters kruinbreedte = 8 m, helling links = 10, helling rechts = 4.
- Instroom RvdR Cortenoever rechts: Villemonte parameters kruinbreedte = 4 m, helling links = 10, helling rechts = 4 (aaname).
- Veerweg Welsum: Villemonte parameters links en rechts: cf 95: kruinbreedte = 10 m, helling links = 2, helling rechts = 3.
- Veerweg Welsum: Villemonte parameters midden: kruinbreedte = 10 m, helling links = 8,5, helling rechts = 3,5.
- Weg naar Fortmond: Villemonte parameters: kruinbreedte = 8 m, helling links = 4, helling rechts = 8.
- Instroomkade Westenholte: verlaagde deel: alle kruinhoogtes lager dan NAP + 0,9 m aangepast naar NAP + 0,9 m (drempels ook).
- Wijzigen sectie 2 in sectie 3 t.p.v. nieuwe plassen uit maatregel *ij\_rep16\_a1* (2x).
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering)
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.



#### 4.5.3 Koepelmaatregel *rt\_km16\_a1*

RWS Oost-Nederland

In deze koepelmaatregel zijn 19 actualisatiemaatregelen opgenomen. De volledige maatregel\_lijst van de koepelmaatregel is opgenomen opgenomen in een aparte bijlage van dit rapport. In de koepelmaatregel zijn handmatige aanpassingen gedaan. Dit betreft het herstel van fouten en het aanbrengen van verbeteringen:

**Datum**  
21 februari 2022

- Overlapgebied RMM: zomerbedhoogtes in sectie 3 m.u.v. plassen verwijderd.
- Plashoogtes in sectie 1 of 2 verplaatst naar zomerbedhoogtes.
- Aanpassen sectiebestand op definitief rekenrooster.
- Kenmerken nalopen en aanpassen (uniformering).
- Afronden getallen op 2 decimalen.
- Hernummeren alle hoogtelijnen.
- Lijnrichtingen kunstwerken controleren => Veessen-Wapenveld aangepast (maatregel *ij\_vewainl\_a1*).

#### 4.5.4 Modelmaatregelen

Er zijn 15 modelmaatregelen opgenomen. Nieuw zijn de twee modelmaatregelen voor de hoogwatervrije lijnen rond gebouwen die is geactualiseerd en de maatregel voor de inlaat Veessen-Wapenveld.

<b>Modelmaatregel</b>	<b>Aanpassing</b>
<i>br_bijlg6_a1</i>	bodemligging invaart Bijland
<i>nr_amwkc6_a1</i>	opname WKC Amerongen als kunstwerk
<i>nr_rwhpg6_a1</i>	Hondsbroeksche Pleij: 1 kunstwerk per 2 openingen
<i>pk_rwpg6_a1</i>	Pannerden: 1 kunstwerk per 2 openingen
<i>ij_vewag6_a1</i>	inlaat VW: 1 kunstwerk per 2 openingen
<i>wl_druteg6_a1</i>	bodemligging invaart plas Drutensche waarden
<i>ij_elleg6_a1</i>	ecoduct Middachten
<i>rt_stuwg6_a1</i>	bodemligging ter plaatse van kunstwerklijnen
<i>rt_hwl16g6_a1</i>	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen
<i>le_schoog6_a1</i>	omgeving meetpunt Schoonhoven
<i>le_krimpg6_a1</i>	omgeving meetpunt Krimpen aan de Lek
<i>wl_lentg6_a2</i>	bodemligging toegang naar inlaatkade
<i>br_pkopg6_a1</i>	bodemligging net voor scheidingsdam
<i>pk_ijkopg6_a1</i>	bodemligging net voor scheidingsdam
<i>rt_hwl16g6_b1</i>	hoogwatervrije lijnen rond gebouwen

#### 4.5.5 Belangrijkste actualisaties in *rt\_km16\_a1*

De diepteligging van het zomerbed van de Rijntakken is geactualiseerd naar de situatie in 2016. Er is geen nieuwe ecotopenkartering opgenomen, dus de vegetatie in j16 is nog gebaseerd op de ecotopenkartering van 2012. In deze periode is ook een groot deel van de projecten die in het kader van Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd, gereed gekomen: dijkverlegging Cortenoever, hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, dijkverlegging Westenholte, nevengeulen Scheller en Oldeneler Buitenwaarden en zomerbedverdieping Beneden-IJssel.

Op basis van de nieuwe secties zijn aanpassingen gedaan aan de polygonen met basisruwheden en de kalibratiepolygonen. De bruggen, uitvoerlocaties (waaronder de meetpunten) en cross-secties zijn geactualiseerd.

**RWS Oost-Nederland**

**Datum**

21 februari 2022

#### 4.5.6 Nieuwe maatregelen in *rt\_km16\_a1*

Ten opzichte van baseline-rijn-j18\_5 zijn er geen oude actualisatiemaatregelen aangepast/vervangen.

Wel is één nieuwe actualisatiemaatregel toegevoegd. Dit betreft de inlaatconstructie van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld (2016).

## 4.6 Resterende tekortkomingen

## 5 Literatuur

- Agtersloot Hydraulisch Advies, 2019. Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijntakken 2019. Met bijdragen van Riquet, RURA Arnhem en Acima. Rapport P0040.22. 24 juni 2019.
- de Jong, J., 2015. Onderzoek naar modelleren van inlaatsluizen met Simona. Deltares memo 1209448-002-ZKS-0007. 30 november 2015.
- van Vuuren, ir. W.E., 2000. Vergelijking bodempeilingen Singlebeam/Multibeam Bovenrijn-Waal juli-oktober 1999. Werkdocument 2000.094X. 1 december 2000.
- Wiegman, N., 2002. Onderzoek naar het verschil tussen multibeam / singlebeam op de rivieren. Rapport MD-GAM-2001-34. April 2002.
- Yossef, M., 2019. Analysis for the definition of the main channel roughness coefficient for the Rhine Branches model. Deltares memo 11203714-005-ZWS-0009. March 5, 2019.

Met vriendelijke groet,

Ir. Daniël van Putten  
Ing. Tijmen Vos  
Ir. Dénes Beyer  
*Adviseur rivierkunde*

Bijlage 1      Memo schematisatie balgen Ramspolkering  
10 juli 2019, aangevuld met keuze 11 juli 2019.

RWS Oost-Nederland

Datum  
21 februari 2022

Onderstaande tekst is gebaseerd op een memo van 10 juli 2019 met daarin twee voorstellen voor de schematisatie van de balgen van de Ramspolkering. Daaraan toegevoegd is de keuze die in overleg met Iris Niesten van Deltares op 11 juli 2019 is gemaakt.

### *Inleiding*

Voor het maken van het rekenrooster voor de nieuwe D-Hydro modellen voor de Rijntakken en de Overijsselse Vechtdelta zijn correcte lijnen nodig van de drie balgen van de Ramspolkering. Op basis van de luchtfoto is geconstateerd dat de balgen in de huidige Baselineschematisatie Ym-ijvd-ov-j16\_5-v1 niet voldoen.

Vanwege de complexe vormgeving van de balgen en de aansluiting op de landhoofden is de keuze voor de juiste geschematiseerde lengte en ligging van de balgen als kunstwerklijn niet op voorhand duidelijk. In dit memo staan twee voorstellen voor de kunstwerklijnen en de omliggende schematisatie. Eén hiervan is gekozen. In het kader van de verbetering van de Baselinedatabase voor de Overijsselse Vechtdelta is de Ramspolkering opnieuw geschematiseerd met de nu gekozen gegevens en uitgangspunten.

### *Beschrijving balgstuw*

De balgstuw Ramspol bestaat uit drie balgen waarvan één is gelegen in het Ramsdiep en twee in de Ramsgeul (figuur 1). Aan weerszijden staat een bedieningsgebouw (lichtgrijs op de foto). Tussen de balgen liggen kades met landhoofden. De balgen liggen normaalgesproken op de bodem.

Voor het vervolg wordt ingezoomd op de Ramsgeul; de balg in het Ramsdiep is vergelijkbaar.

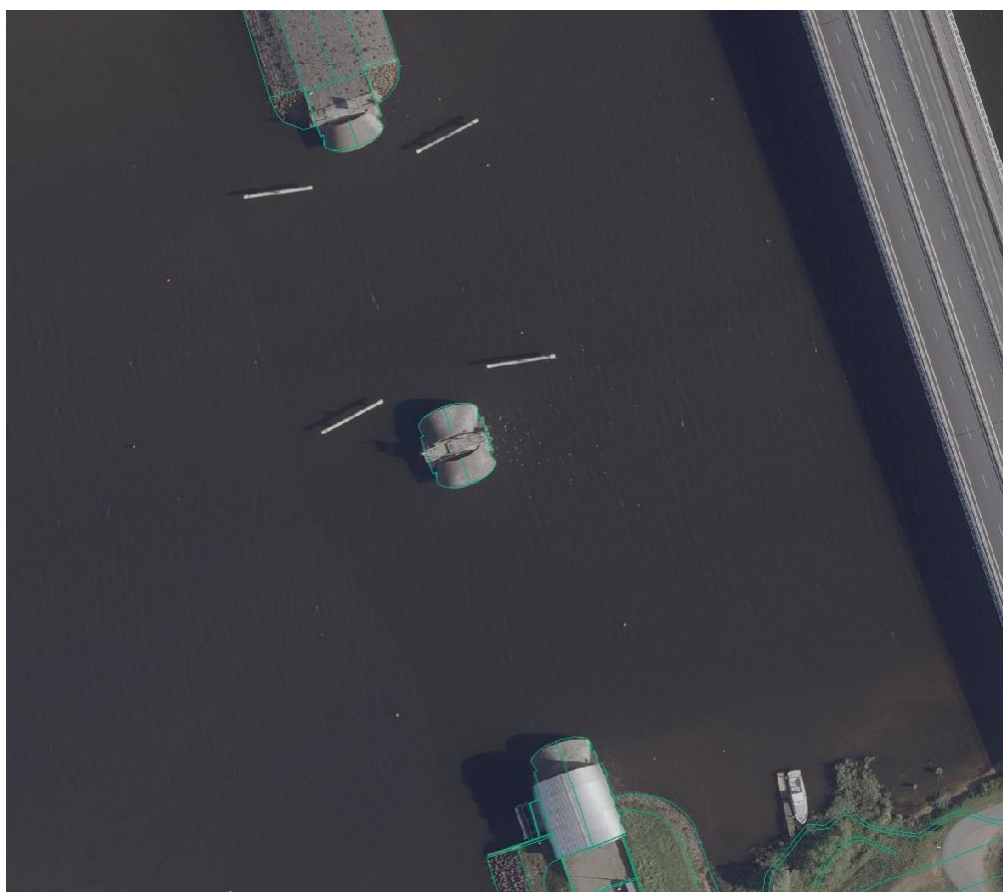
In principe wordt voor de schematisatie gebruik gemaakt van het DTB (Digitaal Topografisch Bestand). Indien nodig wordt dit aangevuld/aangepast op basis van andere bronnen zoals (lucht)foto's en AHN. De lijnen van het DTB en de luchtfoto zijn te zien in figuur 2. De lijnen passen goed op de luchtfoto. Om het DTB (en de luchtfoto) beter te begrijpen is het nodig beter naar de constructie te kijken, en dan in het bijzonder naar de landhoofden.

In figuur 3 is een aanzicht van de constructie te zien. Het bedieningsgebouw heeft een aantal segmenten met gekromde daken. Aan weerszijden van elke balg is ook een betonnen schaaldak te zien. In figuur 4 is het landhoofd met de rand van de balg beter te zien. Het betonnen schaaldak overkapt de aansluiting van de balg op het landhoofd. De balg ligt in een betonconstructie die vanaf het landhoofd schuin afloopt naar de bodem.

In de figuren 5 en 6 is de balg te zien in opgeblazen toestand. Goed te zien is dat het betonnen schaaldak schuin overhangt. Hieruit volgt dat de opening ter hoogte van de waterlijn breder is dan de opening tussen de betonnen schaaldaken. Het deel van de balg dat horizontaal ligt is smaller dan de opening op de luchtfoto.



Figuur 1 Luchtfoto 2017



Figuur 2: Luchtfoto 2017 en lijnen DTB



Figuur 3 Balgstuw (16-8-2017) (<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Herman Scholten)



Figuur 4 Zicht op het middenlandhoofd in de Ramsgeul vanaf het bedieningsgebouw aan de zuidkant, 5-7-2016 (foto: Dénes Beyer)



Figuur 5 Gesloten kering tijdens proefsluiting (16-8-2017)  
(<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Herman Scholten).



Figuur 6 Detail middelste landhoofd tijdens proefsluiting (16-8-2017)  
(<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Herman Scholten).

Voor de schematisatie is het van belang de juiste doorstroombreedte te hebben in het geval de balgstuw open is. Normale waterstanden liggen tussen -0.20 en -0.40 m+NAP. De kering sluit bij een waterstand van 0.50 m+NAP. Voor WBI worden ook berekeningen gemaakt met falende kering (geopende kering en waterstanden hoger dan 0.50 m+NAP).

**Datum**  
21 februari 2022

Uit de foto's is duidelijk dat de doorstroombreedte niet constant is met de waterstand. Boven water is dit te zien in figuur 6 door de aanwezigheid van een dak. Onder water geeft figuur 3 een aanwijzing aangezien de betonconstructie waar de balg inligt schuin wegloopt richting de bodem. Dit is consistent met gegevens dat de balgbreedte op de bodem 60 meter bedraagt en aan het oppervlak (boven de waterlijn) 80 meter. Er dient derhalve een keuze gemaakt te worden.

Op basis van het DTB zijn er in hoofdlijnen twee opties (zie ook figuur 8):

#### Optie 1

De overeenkomst tussen het DTB en de luchtfoto in combinatie met de omschrijving van de lijnen maakt duidelijk dat in het DTB de betonnen dakconstructie (schaaldak) aanwezig is. Wanneer uitgegaan wordt van het DTB wordt een balglengte van rond 64 meter bepaald.

De gebogen vorm van het "landhoofd" is niet logisch en dient nog wat rechtgetrokken te worden. Mogelijk wordt de lengte dan nog iets groter.

#### Optie 2

Op basis van figuur 6 is echter te zien dat de doorstroomopening ter hoogte van de normale waterlijn breder is. Bij toenemende waterstand wordt de opening smaller. Een redelijk uitgangspunt lijkt om uit te gaan van een doorstroombreedte bij normale waterstand. Dan kan op basis van het DTB een aanname gedaan worden waar deze begrenzing ligt. Dat is uitgewerkt in figuur 7. Op basis hiervan wordt een balglengte van rond 70 meter bepaald.

Wanneer wordt meegenomen dat onder water de betonnen bak met de balg schuin naar de bodem afloopt, is een breedte van 70 meter te groot. Gemiddeld over de waterdiepte onder normale tot verhoogde waterstanden zal de breedte tussen 60 en 70 meter liggen.

#### Keuze

Er is gekozen voor optie 2. Het beste lijkt om de breedte te baseren op het gemiddelde van de breedte op de bodem en de breedte aan het oppervlak. Dit resulteert in een lengte van 65 m.

#### Detailuitwerking

Ten opzichte van de waterlijn wordt aan elke kant een marge van 10 cm aangehouden. De kunstwerklijn wordt dus 20 cm korter gemaakt dan de waterlijn. Dit om het rekenrooster in het diepe deel te maken. Bij de schematisaties voor de Rijntakken is ter plaatse van constructies de waterlijn diep gelegd. Voordeel is dat sectie 1 (tussen de waterlijnen) gebruikt kan worden om het rekenrooster te maken.

Een andere optie is om op 10 cm afstand van de waterlijn een diepe breuklijn te maken. Als het rooster daar tussenligt kan altijd nog gekozen worden voor de eerste optie.

Er zit een klein verschil tussen de kunstwerklijn in de schematisatie en degene die nodig is voor de roosterbouw. Voor de roosterbouw is het van belang een lijn te hebben die het diepste deel tussen de landhoofden weergeeft. Voor de schematisatie is het logischer een lijn op te nemen die aansluit op het hoge deel van het landhoofd.

**RWS Oost-Nederland**

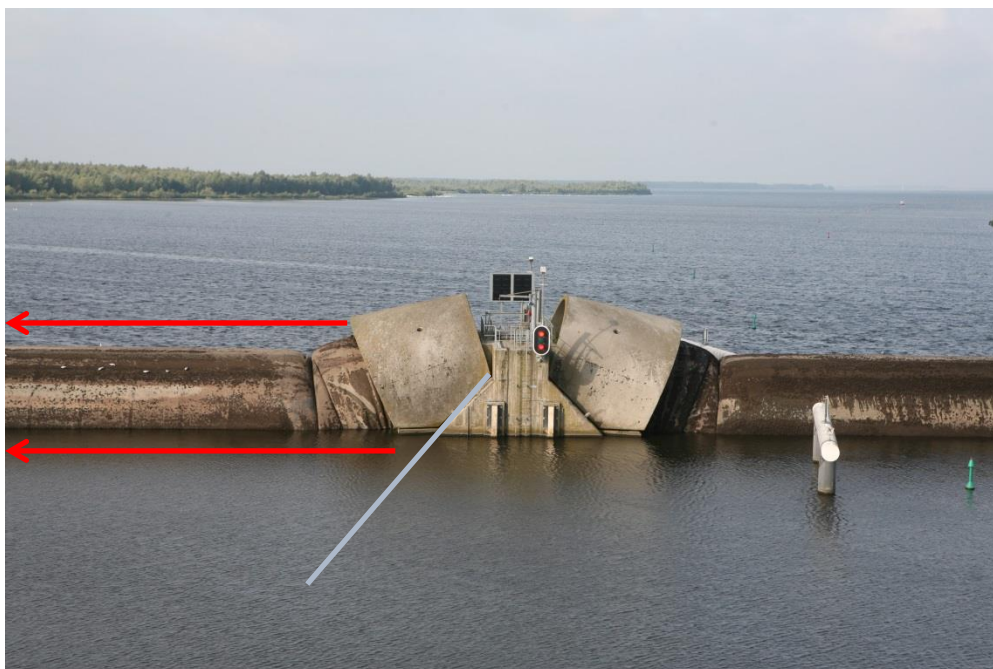
**Datum**

21 februari 2022



Figuur 7 Twee opties voor de waterlijn op basis van het DTB en daarmee voor de balglengte: in blauw het DTB (dak), in oranje een aangepaste begrenzing in overeenstemming met figuur 6. Onder detail van het middenlandhoofd.





Figuur 8 Detail middelste landhoofd tijdens proefsluiting met mogelijk kunstwerkbreedtes in rood. In blauw is de betonnen bak met balg te aangegeven die schuin naar de bodem afloopt. (<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Herman Scholten).

## C.3 Maatregellijsten Baseline 5

```
baseline-rijn-j95_5-G6-w15
# *****
#
# De naam voor deze variant is: baseline-rijn-j95_5-G6-w15
# De basis voor deze variant is: baseline-rijn-j95_4_3
#
# *****
#
# RWS Oost-Nederland
# 26 juli 2019
#
# Met deze maatregel_lijst kan j95_5-G6-w15 opgebouwd worden.
#
# Deze variant geeft zo goed en volledig mogelijk de situatie van de Rijn-
# takken weer ten tijde van het hoogwater van 1995. Het bevat alle beschik-
# bare maatregelen ter verbetering van j95 en is daarnaast ook handmatig
# verbeterd. Het doel van deze variant is te dienen als calibratieschemati-
# satie bij de overstap naar een nieuwe modelgeneratie of bij een eventuele
# tussentijdse hercalibratie, en als basis voor verdere verbeterings- en
# actualisatiemaatregelen.
#
# De schematisatie j95_4_3 is aangevuld met 4e generatie maatregelen die
# na de calibratie voor de 5e generatie beschikbaar zijn gekomen. Deze maat-
# regelen zijn geclusterd per JAMR-cyclus (JAMR2011 t/m JAMR2015).
# Opmerking: voorafgaand aan het inmixen van de JAMR2011-maatregelen zijn
# de toleranties van alle coverages aangepast m.b.v. de tool in Baseline
# 4.03. De reden hiervoor was dat sommige maatregelen uit JAMR2012 niet
# goed ingemixt konden worden (lijnen werden verkeerd gesnapt); nader
# onderzoek wees uit dat de toleranties van sommige coverages te groot
# waren ingesteld. De te grote toleranties hebben geen nadelig effect gehad
# op de tot dan toe ingemixte maatregelen (deze zijn steeds na het inmixen
# gecontroleerd).
#
# Voor de overstap van de 5e generatie naar de 6e generatie modellen zijn
# de maatregelen ook geclusterd per JAMR-cyclus (JAMR2012 t/m JAMR2019).
# Er is een overlap in de cycli omdat er een geleidelijke overgang heeft
# plaatsgevonden in het gebruik van de modellen; een aantal maatregelen zijn
# gemaakt in de 4e generatie en omgezet naar de 5e generatie en zijn pas
# later in deze variant opgenomen.
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2011
#
# *****
#
# ../rijn-maatr/ij_vreug95_a1
# ../rijn-maatr/ij_stoke95_a1
# ../rijn-maatr/le_honsw95_a1
#
# *****
```

```

#
# Maatregelen JAMR2012
#
# *****
#
../rijn-maatr/pk_kribvak_a2
../rijn-maatr/wl_kribvak_a2
../rijn-maatr/ij_fortm95_a1
../rijn-maatr/pk_doorn95_a1
../rijn-maatr/le_lange95_a1
../rijn-maatr/wl_gamer95_a1
../rijn-maatr/wl_dalem95_a1
../rijn-maatr/nr_amero95_a1
../rijn-maatr/nr_wagen95_a1
../rijn-maatr/ij_steeg95_a1
../rijn-maatr/wl_wille95_a1
../rijn-maatr/ij_zutph95_a1
../rijn-maatr/le_hage95_a1
../rijn-maatr/ij_havik95_a1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2013
#
# *****
#
../rijn-maatr/le_eendr95_a1
../rijn-maatr/ij_hatte95_a1
../rijn-maatr/nr_ingen95_a1
../rijn-maatr/nr_tolle95_a1
../rijn-maatr/nr_rhene95_a1
../rijn-maatr/nr_wolfs95_a1
../rijn-maatr/wl_buito95_a1
../rijn-maatr/nr_hpley95_a1
../rijn-maatr/ij_olbur95_a1
../rijn-maatr/nr_tolle95_b1
../rijn-maatr/pk_huiss95_a1
../rijn-maatr/ij_olbur95_b1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2014
#
# *****
#
../rijn-maatr/wl_dreum95_b1
../rijn-maatr/nr_palm95_a1
../rijn-maatr/ij_olbur95_c1
../rijn-maatr/nr_rosan95_a1
../rijn-maatr/wl_drute95_a2
../rijn-maatr/nr_rhene95_b1
../rijn-maatr/wl_tiel95_a1
../rijn-maatr/wl_buito95_b1
../rijn-maatr/nr_ingen95_b1

```

```
../rijn-maatr/br_lob95_b1
../rijn-maatr/wl_hien95_a1
../rijn-maatr/nr_kpley95_a1
../rijn-maatr/rt_meetp95_a2
../rijn-maatr/rt_uitvl95_a2
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2015
#
# *****
#
../rijn-maatr/ij_twent95_a2
../rijn-maatr/wl_buito95_c1
../rijn-maatr/ij_doesb95_a1
../rijn-maatr/ij_ramme95_a1
../rijn-maatr/rt_stuw95_b1
#
# *****
#
# Einde van de maatregel_lijst van j95_4_def
# Handmatig herstellen van fouten uitgevoerd
# Conversie naar Baseline protocol 5 uitgevoerd
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2012
#
# *****
#
../rijn-maatr/wl_klomp95_a1
../rijn-maatr/wl_breem95_a1
../rijn-maatr/wl_adw95_b1
../rijn-maatr/wl_mill95_a1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2013
#
# *****
#
../rijn-maatr/le_eendr95_b1
../rijn-maatr/wl_ewijk95_a1
../rijn-maatr/wl_bem95_a2
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2014
#
# *****
#
../rijn-maatr/wl_beun95_a1
../rijn-maatr/pk_loowa95_a2
../rijn-maatr/ij_brum95_a1
```

```
../rijn-maatr/ij_epsew95_a1
../rijn-maatr/ij_terwo95_a1
../rijn-maatr/nr_tolle95_c2
../rijn-maatr/ij_harcu95_a1
../rijn-maatr/ij_elle95_a1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2015
#
# *****
#
../rijn-maatr/br_tolk95_a1
../rijn-maatr/wl_dalem95_b1
../rijn-maatr/wl_loen95_a1
../rijn-maatr/le_koek95_a1
../rijn-maatr/le_viane95_a1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2016
#
# *****
#
../rijn-maatr/le_bosch95_a1
../rijn-maatr/wl_crobs95_a2
../rijn-maatr/wl_gendt95_a1
../rijn-maatr/ij_kribvak_a2
../rijn-maatr/ij_zutph95_b1
../rijn-maatr/ij_zutph95_c1
../rijn-maatr/pk_doorn95_b1
../rijn-maatr/pk_doorn95_c1
../rijn-maatr/ij_delta95_a1
../rijn-maatr/ij_delta95_b1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2017
#
# *****
#
../rijn-maatr/pk_huiss95_b1
../rijn-maatr/ij_kribvak_b2
../rijn-maatr/ij_kribvak_c1
../rijn-maatr/ij_kater95_a2
../rijn-maatr/ij_kater95_b1
../rijn-maatr/km_oever95_a1
../rijn-maatr/le_vrees95_a1
../rijn-maatr/nr_ingen95_c1
../rijn-maatr/le_vogel95_a1
../rijn-maatr/pk_loowa95_b1
../rijn-maatr/pk_oever95_a1
../rijn-maatr/nr_arnh95_a1
../rijn-maatr/nr_mein95_a1
```

```
../rijn-maatr/ij_havik95_c1
../rijn-maatr/km_oever95_b1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2018
#
# *****
#
../rijn-maatr/pk_kribvak_b1
../rijn-maatr/nr_kribvak_a1
../rijn-maatr/pk_kribvak_c1
../rijn-maatr/nr_kribvak_b1
../rijn-maatr/le_kribvak_a1
../rijn-maatr/nr_kribvak_c1
../rijn-maatr/le_kribvak_b1
../rijn-maatr/wl_dreum95_c1
../rijn-maatr/rt_oevrl95_a1
../rijn-maatr/ij_cort95_a1
../rijn-maatr/ij_frate95_a1
../rijn-maatr/nr_kpley95_b1
../rijn-maatr/km_oever95_c1
../rijn-maatr/km_zbhgt95_a1
../rijn-maatr/af_95dtb13_a1
../rijn-maatr/bo_95dtb13_a1
../rijn-maatr/le_95dtb13_a1
../rijn-maatr/bo_98slee_a1
../rijn-maatr/le_98basl_a1
../rijn-maatr/ij_deve95_a1
../rijn-maatr/rt_mvpl95_a1
../rijn-maatr/rt_mbpl95_a1
../rijn-maatr/rt_mbpl95_b1
../rijn-maatr/rt_sbpl95_a1
../rijn-maatr/rt_krib95_a1
../rijn-maatr/ij_kampe95_a1
../rijn-maatr/ij_kribvak_d1
../rijn-maatr/ij_kribvak_e1
../rijn-maatr/rt_krbv95_a1
../rijn-maatr/nr_blkam95_a1
../rijn-maatr/ar_betuw95_a1
../rijn-maatr/rt_sect95_a1
../rijn-maatr/rt_sbmb95_a1
../rijn-maatr/rt_rep95_a1
../rijn-maatr/wl_mun95_a1
../rijn-maatr/ij_deve95_b1
../rijn-maatr/rt_krib95_b1
../rijn-maatr/pk_huiss95_c1
#
# *****
#
# Maatregelen JAMR2019
#
# *****
#
```

```
../rijn-maatr/ij_kop95_a1
../rijn-maatr/ij_velp95_a1
../rijn-maatr/nr_lunen95_a1
../rijn-maatr/nr_elst95_a1
../rijn-maatr/bo_kv95_a1
../rijn-maatr/le_kv95_a1
../rijn-maatr/rm_secovl_a1
../rijn-maatr/nr_amero95_b1
../rijn-maatr/nr_driel95_a1
../rijn-maatr/rm_repl95_a1
../rijn-maatr/br_kade95_a1
../rijn-maatr/ij_kade95_a1
../rijn-maatr/nr_kade95_a1
../rijn-maatr/wl_gouve95_a1
../rijn-maatr/br_emm95_a1
../rijn-maatr/le_hage95_b1
../rijn-maatr/nr_amero95_c1
../rijn-maatr/nr_mauri95_a1
../rijn-maatr/wl_dreum95_d1
../rijn-maatr/ij_raven95_a1
../rijn-maatr/wl_wamel95_a1
../rijn-maatr/wl_heere95_a1
../rijn-maatr/wl_ocht95_a1
../rijn-maatr/ij_zalk95_a1
../rijn-maatr/wl_inlw95_a1
../rijn-maatr/rt_rkmas95_a1
../rijn-maatr/ij_wilp95_a1
../rijn-maatr/wl_drute95_b1
../rijn-maatr/rt_kade95_a1
#
# *****
#
# Modelmaatregelen
#
# *****
#
../rijn-maatr/nr_amwkcg6_a1
../rijn-maatr/pk_skmpg6_a1
../rijn-maatr/pk_huisg6_a1
../rijn-maatr/wl_inlwg6_a1
../rijn-maatr/nr_inlwg6_a1
../rijn-maatr/pk_povg6_a1
../rijn-maatr/br_bijlg6_a1
../rijn-maatr/wl_druteg6_a1
../rijn-maatr/le_meetpg6_a1
../rijn-maatr/rt_stuwg6_a1
../rijn-maatr/rt_hwl95g6_a1
../rijn-maatr/ij_fortmon_b1
../rijn-maatr/rt_hwl95g6_b1
#
# *****
#
# Einde lijst
#
```

```

# *****
#
# baseline-rijn-j93_5-G6-w1
# *****
#
# De naam voor deze variant is: baseline-rijn-j93_5-G6-w1
# De basis voor deze variant is: baseline-rijn-j95_5-G6-w15
#
# *****
#
# RWS Oost-Nederland
# 12 december 2019
#
# Met deze maatregel_lijst kan j93_5-G6-w1 opgebouwd worden.
#
# *****
#
# ../rijn-maatr/rt_zbhgt93_a3
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****

```

```

# *****
#
# baseline-rijn-j11_5-G6-w6
# *****
#
# De naam voor deze variant is: baseline-rijn-j11_5-G6-w6
# De basis voor deze variant is: baseline-rijn-j95_5-G6-w15
#
# *****
#
# RWS Oost-Nederland
# 26 juli 2019
#
# Met deze maatregel_lijst kan j11_5-G6-w6 opgebouwd worden. In versie w4
# zijn alleen de Villemonte-parameters van de kribben aangepast. In versie w5
# zijn de richtingen van sommige kunstwerklijnen aangepast. In versie w6 zijn
# twee aanvullende maatregelen en een extra modelmaatregel opgenomen.
#
# NB: de basis voor deze variant (baseline-rijn-j95_5-G6-w15) betreft een
# versie zonder modelmaatregelen. Voor elke schematisatie is een keuze
# gemaakt welke modelmaatregelen opgenomen dienden te worden.
#
# *****
#
# Koepelmaatregelen, secties en aanvullende maatregelen
#
# *****
#
# ../rijn-maatr/rt_km08_a1
# ../rijn-maatr/rt_sect08_a1

```



```

../rijn-maatr/rt_km11_a1
../rijn-maatr/rt_sect11_a1
../rijn-maatr/rm_sect11_a1
../rijn-maatr/wl_drute95_b1
../rijn-maatr/km_slibdep_a2
../rijn-maatr/km_schokhv_a1
../rijn-maatr/rt_kade95_a1
../rijn-maatr/ij_fortmon_b1
../rijn-maatr/ij_rep11_a1
#
# *****
#
# Modelmaatregelen
#
# *****
#
../rijn-maatr/br_bijlg6_a1
../rijn-maatr/nr_amwkc6g6_a1
../rijn-maatr/nr_inlwg6_a1
../rijn-maatr/nr_rwhpg6_a1
../rijn-maatr/pk_huisg6_a1
../rijn-maatr/pk_povg6_a1
../rijn-maatr/pk_skmpg6_a1
../rijn-maatr/wl_inlwg6_a1
../rijn-maatr/wl_druteg6_a1
../rijn-maatr/rt_stuwg6_a1
../rijn-maatr/rt_hwl11g6_a1
../rijn-maatr/le_schoog6_a1
../rijn-maatr/le_krimpg6_a1
../rijn-maatr/rt_hwl11g6_b1
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****

```

### koepelmaatregel rt\_km08\_a1

```

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl_ewijkse_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl_buitooy_a2
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl_beuning_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij_havikrw_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\ij_dvldeve_a2
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br_tolkamr_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr_wagenin_a2
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij_olburg_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo_eco97_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le_eco97_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt_eco97_b1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt_eco97_c1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt_eco97_d1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt_eco97_e1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl_passew_a2
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl_dvsdale_a1

```

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\le\_dvsvia\_n\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_dvscrib\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl\_druteno\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_dvskamp\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_ingen\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij\_have998\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_havikrw\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\wl\_dvlnijm\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_vlaagan\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_crobsw\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_breemw\_a4  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\ij\_dvlhatt\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_hathave\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\nr\_amerong\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\wl\_gameren\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\wl\_stdhees\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_havikrw\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\km\_slibdep\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\le\_baarsem\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\le\_goilber\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl\_bemmel\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br\_tolkamr\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\km\_ketdiep\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\wl\_hurwene\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\wl\_lentse\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\wl\_stiftse\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_gendtse\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\nr\_palmwr\_d\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_amerong\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_dvsloen\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\bo\_dtb13on\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\ij\_rheder\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_steenw\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_mildam\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_wegfort\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br\_tolkamr\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\nr\_dvsarnh\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\ij\_engelse\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_klommen\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\wl\_dvstiel\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\pk\_loowaar\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\wl\_milling\_a4  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\br\_lobberd\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\pk\_doorneb\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_amerong\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\le\_langera\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_lekwr\_d\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl\_druteno\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_crobsw\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_olburg\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_afdeest\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\nr\_bakenh\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_tollew\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\pk\_huissen\_a2

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\nr\_konpley\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2010\ij\_mvpl18\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_brugn50\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\nr\_meiner\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl\_buitooy\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br\_tolkamr\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_willems\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_ossenw\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_vuren\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br\_tolkamr\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_spoorbr\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\hr2006\wl\_zaltbom\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_gendtse\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\km\_ketelp\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\km\_natontw\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\nr\_doorwer\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij\_pijper\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\ij\_vreugde\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_vianoev\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\pk\_huissen\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_tollew\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_veg04\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_veg04\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_veg04\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_veg04\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_veg04\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_veg04\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_visamer\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\pk\_loowaar\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_elstmac\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_vogelza\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_rheder\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_eco05\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_eco05\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco05\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco05\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco05\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_eco05\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2010\ij\_putman\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_strijnl\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl\_tiel\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_vreesw\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\km\_keteil\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_loenbp\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_bkriber\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_olburg\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2010\nr\_mvpl01\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2010\ij\_olstac3\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_zbzwkom\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\pk\_loowaar\_c2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_milling\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\le\_beuswr\_d\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_kvduurs\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_willems\_b1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_havikrw\_g2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl\_buitooy\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_mvpl20\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_everdin\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\ij\_twentka\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_afdeest\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_gendtse\_c2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_eco08\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_eco08\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco08\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco08\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco08\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_eco08\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\br\_tolkamr\_f1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\ij\_stokebr\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_zalk\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij\_zzeehvn\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\wl\_buitooy\_d2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_rheder\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\le\_eendrag\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_fortmon\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_olburg\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_wykbyds\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_zbzwkom\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_marswr\_d\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_eendrag\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\nr\_elster\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_eco12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_eco12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_eco12\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_zbhgt09\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_zbhgt09\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt09\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt09\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt09\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt09\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\wl\_dreumel\_a5  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\wl\_dvlwame\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\nr\_driel\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\wl\_heeslt\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\km\_slibdep\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\km\_schokhv\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\rt\_sect08\_a1

#### **koepelmaatregel rt\_km11\_a1**

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\rt\_meetp09\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2011\ij\_stokebr\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_honswyk\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_amerong\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_elstmac\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_wolfsw\_b1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl\_willems\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_dalemse\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\wl\_gameren\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\nr\_doorwer\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\wl\_kribvl\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_frater\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\nr\_bakenh\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\le\_zlekdyk\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\nr\_schout\_v01  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\wl\_buitooy\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\rt\_mbpl\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\wl\_kribvl\_b3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\br\_zbhgt09\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_hathave\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\ij\_olburg\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2010\wl\_vlaagan\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_tollew\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\pk\_huissen\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\nr\_meiner\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_zbhgt10\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_zbhgt10\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt10\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt10\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt10\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt10\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\le\_koekoek\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\rt\_meetp10\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\ij\_welsum\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_beuswr\_d\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2012\le\_lekwr\_d\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\wl\_ewijkse\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\nr\_arnhk\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\nr\_driel\_b2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\rt\_sbpl\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2013\nr\_hpleij\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\ij\_harcbw\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_havikrw\_h2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_zbhgt11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_zbhgt11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt11\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt11\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt11\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt11\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\km\_zbhgt11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ym\_zbhgt11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\le\_dtb13on\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_eco12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_eco12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_eco12\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_eco12\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\rt\_tmphwv\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\br\_zbhgt10\_a1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\wl\_bkerl11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\rm\_sect11\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\rt\_sect11\_a1

### baseline-rijn-j15\_5-G6-w5

```
# *****  
#  
# De naam voor deze variant is: baseline-rijn-j15_5-G6-w5  
# De basis voor deze variant is: baseline-rijn-j11_5-G6-w6  
#  
# *****  
#  
# RWS Oost-Nederland  
# 24 juli 2019  
#  
# Met deze maatregel_lijst kan j15_5-G6-w5 opgebouwd worden. In versie w3  
# zijn alleen de Villemonte-parameters van de kribben aangepast. In versie w4  
# zijn de richtingen van sommige kunstwerklijnen aangepast. In versie w5 zijn  
# twee aanvullende maatregelen en een extra modelmaatregel opgenomen.  
#  
# NB: de basis voor deze variant (baseline-rijn-j11_5-G6-w6) betreft een  
# versie zonder modelmaatregelen. Voor elke schematisatie is een keuze  
# gemaakt welke modelmaatregelen opgenomen dienden te worden.  
#  
# *****  
#  
# Koepelmaatregelen, secties en aanvullende maatregelen  
#  
# *****  
#  
../rijn-maat/rt_km13_a1  
../rijn-maat/rt_km15_a1  
../rijn-maat/rt_sect15_a1  
../rijn-maat/rm_sect11_a1  
../rijn-maat/bo_avab_b1  
../rijn-maat/wl_drute95_b1  
../rijn-maat/km_slibdep_a2  
../rijn-maat/km_schokhv_a1  
../rijn-maat/rt_kade95_a1  
../rijn-maat/ij_fortmon_b1  
../rijn-maat/ij_rep15_a1  
#  
# *****  
#  
# Modelmaatregelen  
#  
# *****  
#  
../rijn-maat/br_bijlg6_a1  
../rijn-maat/nr_amwkcg6_a1  
../rijn-maat/nr_rwhpg6_a1  
../rijn-maat/pk_rwpg6_a1  
../rijn-maat/wl_druteg6_a1  
../rijn-maat/ij_elleg6_a1
```

../rijn-maatr/rt\_stuwg6\_a1  
../rijn-maatr/rt\_hwl15g6\_a1  
../rijn-maatr/le\_schoog6\_a1  
../rijn-maatr/le\_krimpg6\_a1  
../rijn-maatr/wl\_lentg6\_a2  
../rijn-maatr/br\_pkopg6\_a1  
../rijn-maatr/pk\_ijkopg6\_a1  
../rijn-maatr/rt\_hwl15g6\_b1  
#  
# \*\*\*\*\*  
#  
# Einde lijst  
#  
# \*\*\*\*\*

### koepelmaatregel rt\_km13\_a1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\pk\_huissen\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\ij\_havikrw\_i1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\ij\_welsum\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\ij\_ellecom\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\ij\_spbzwol\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\wl\_deest\_e2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_zzeehvn\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_zbhgt12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_zbhgt12\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt12\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt12\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt12\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt12\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_bemmel\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\nr\_konpley\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\wl\_gandel\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\wl\_buitooy\_f1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\ij\_rammelw\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt13\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt13\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt13\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt13\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\bo\_zbhgt13\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\le\_zbhgt13\_a1

### koepelmaatregel rt\_km15\_a1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\bo\_avab\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2014\pk\_rwpann\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\nr\_middelw\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\nr\_tollew\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\nr\_doorwer\_c2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\ij\_rheder\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\nr\_arnhk\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\pk\_huissen\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2015\nr\_elster\_f1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt14\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt14\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\rt\_zbhgt14\_d1

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\rt\_zbhgt14\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2017\le\_lekkn1\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2017\nr\_meiner\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2017\wl\_hurwene\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_kribvl\_c3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_kribvl\_d2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_kribvl\_e2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_kribvl\_f2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_kribvl\_g2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\rt\_zbhgt15\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\rt\_zbhgt15\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\rt\_zbhgt15\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\rt\_zbhgt15\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\wl\_ldam\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\ij\_olstin8\_a2  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2015\le\_hwwdam\_a11  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\le\_rvdlvin\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2015\wl\_mun\_vka3d  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2015\wl\_mun\_ruwh  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\ij\_bsob4\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2015\ij\_ksh\_a5  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2017\wl\_lentuo\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\rt\_plasvr\_a3  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\pk\_grpdo\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\ij\_vodob20\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2016\wl\_munref\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\ij\_mbplvr\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2018\rt\_mbpl\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\br\_zbhgt16\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\rt\_rkmasld\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\wl\_bkerl15\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\rt\_sect15\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maat\jamr2019\bo\_avab\_b1

### baseline-rijn-j16\_5-G6-w9

# \*\*\*\*\*  
#  
# De naam voor deze variant is: baseline-rijn-j16\_5-G6-w9  
# De basis voor deze variant is: baseline-rijn-j15\_5-G6-w5  
#  
# \*\*\*\*\*  
#  
# RWS Oost-Nederland  
# 22 juli 2019  
#  
# Met deze maatregel\_lijst kan j16\_5-G6-w9 opgebouwd worden. In versie w7  
# zijn alleen de Villemonte-parameters van de kribben aangepast. In versie w8  
# zijn de richtingen van sommige kunstwerklijnen aangepast. In versie w9 zijn  
# twee aanvullende maatregelen en een extra modelmaatregel opgenomen.  
#  
# NB: de basis voor deze variant (baseline-rijn-j15\_5-G6-w5) betreft een  
# versie zonder modelmaatregelen. Voor elke schematisatie is een keuze  
# gemaakt welke modelmaatregelen opgenomen dienden te worden.  
#



```

# *****
#
# Koepelmaatregelen, secties en aanvullende maatregelen
#
# *****
#
../rijn-maatr/rt_km16_a1
../rijn-maatr/rt_sect16_a1
../rijn-maatr/ij_vewainl_a1
../rijn-maatr/rm_sect11_a1
../rijn-maatr/bo_avab_b1
../rijn-maatr/rt_rep16_a1
../rijn-maatr/wl_drute95_b1
../rijn-maatr/km_slibdep_a2
../rijn-maatr/km_schokhv_a1
../rijn-maatr/rt_kade95_a1
../rijn-maatr/ij_fortmon_b1
../rijn-maatr/ij_rep16_a1
#
# *****
#
# Modelmaatregelen
#
# *****
#
../rijn-maatr/br_bijlg6_a1
../rijn-maatr/nr_amwkc6g_a1
../rijn-maatr/nr_rwhpg6_a1
../rijn-maatr/pk_rwpg6_a1
../rijn-maatr/ij_vewag6_a1
../rijn-maatr/wl_druteg6_a1
../rijn-maatr/ij_elleg6_a1
../rijn-maatr/rt_stuwg6_a1
../rijn-maatr/rt_hwl16g6_a1
../rijn-maatr/le_schoog6_a1
../rijn-maatr/le_krimpg6_a1
../rijn-maatr/wl_lentg6_a2
../rijn-maatr/br_pkopg6_a1
../rijn-maatr/pk_ijkopg6_a1
../rijn-maatr/rt_hwl16g6_b1
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****

```

### Maatregellijst koepelmaatregel rt\_km16\_a1

```

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\ij_olstin8_b1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij_codob23_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij_vwdo_a1
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij_schela9_a1

```

C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij\_wholta7\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2016\ij\_zutphvn\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_zbvkamp\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\wl\_waalwrdr\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt16\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt16\_c1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt16\_d1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\rt\_zbhgt16\_e1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\bo\_zbhgt16\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2017\le\_zbhgt16\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2018\ij\_mbplrvr\_b1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\wl\_bkerl15\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\ij\_vewainl\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\rt\_sect16\_a1  
C:\Baseline\JAMR\koepelmaat\rijn-maatr\jamr2019\rt\_rep16\_a1

## C.4 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
- Leeggooien bridge\_points
- Conversie van (lege) bridge lines en points naar routes en events
- Overlaattinstellingen 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, daar waar de standaardinstellingen 3,4,4 golden.
- Aanpassen crest\_width van terrain\_jump\_3d naar 10 m.
- Inmixen van maatregelen: (zie onderstaande maatregellijst)
  - Vervangen van alle meetpunten
  - Vervangen van alle lateralen
  - Vervangen van alle afvoerraaien
  - Opnemen van alle bruggen
  - Vervangen van alle kunstwerken
  - Zomerbedruwheid
  - Kalibratiefactor (aangemaakt met smooth transitions (L = 2000 m; n=19))

Het inmixen van de maatregelen is een iteratief proces en is daarom meerdere malen uitgevoerd. De maatregelen zijn per jaar gemaakt voor het volledige modelgebied.

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

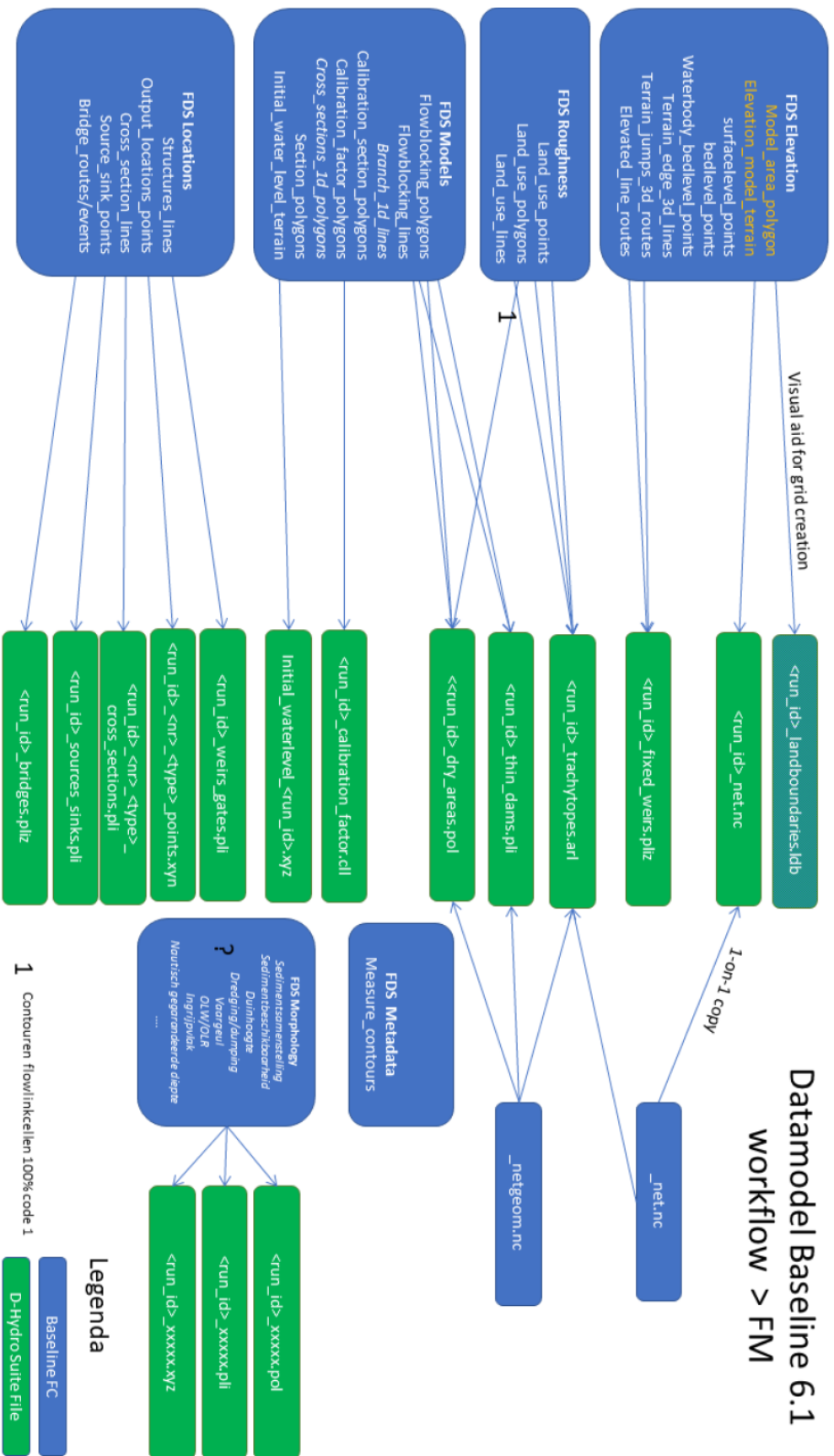
- In model boundary
- Use cdf enclosure if present

#
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant jXX_6-vX # De basis voor deze variant is : Geconverteerde jXX_5-6G-vX #
#
#
<pre> ..\..\rijn6_maatr\rt_kalibf_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_zomerb_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_crs_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_meetp_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_struct_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_sourcesink_jXX_a1 ..\..\rijn6_maatr\rt_bruggen_jXX_a1  # einde # </pre>

## C.5 Datastructuur Baseline6 en projectie naar rekenrooster

De projectie van de Baseline-geodatabase naar D-Flow FM gebeurt met de tool 'Conversion to D-Flow FM' in Baseline (LievensCSO, 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 in Baseline *geprikt*.
- De ruwheden (trachytopen) worden bepaald voor de snelheidspunten van het rekenrooster, omdat die gebruikt worden voor de ruwheidsbepaling. Representatief voor een snelheidspunt is alle informatie binnen een polygoon rondom dit snelheidspunt dat loopt tot beide waterstandspunten. De ruwheidsbeschrijving 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 B.7.4) en wordt hier een middeling op uitgevoerd (Deltares, 2022a).
- 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 C.1 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 C.2 Overzicht van elementen voor de j16-schematisatie. Tussen haakjes staat het totale aantal vertices van de lijnen. Het aantal elementen van de overige schematisaties is vergelijkbaar.

	j16_6-v1
bridges	98 (756)
dry_areas	132 (5138)
enclosures	1 (29673)
fixed_weirs	8973 (530700)
thin_dams	297 (4572)
cross_sections	485 (5157)
output_locations	534
sources_sinks	95
structures	38

Voor een beschrijving van de bestandsopbouw van het model wordt verwezen naar De Jong (2020).

## C.6 Projectie door initialisatie van Flexible Mesh

### C.6.1 Punt-elementen: observation points, lateral sources

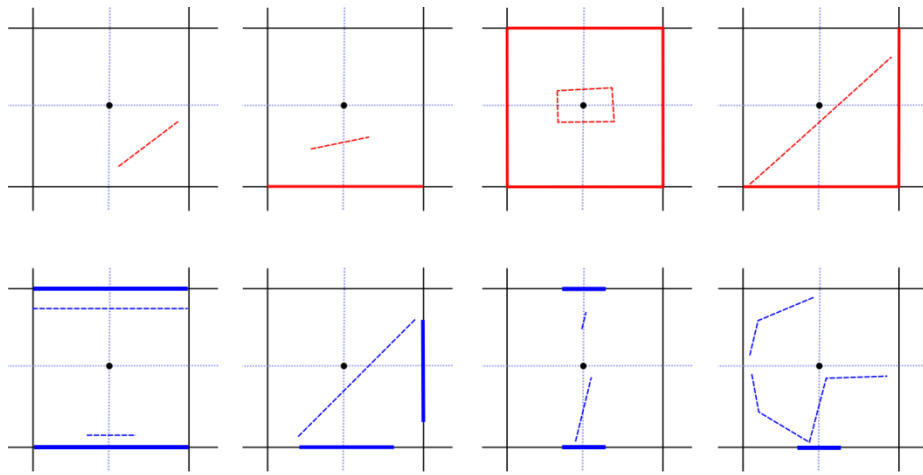
Als een punt-element binnen het rooster valt, dan wordt dit geprojecteerd op het dichtstbijzijnde waterstandspunt. Wanneer het punt niet binnen het rooster ligt, dan wordt hier een melding van gemaakt in het '.dia'-logbestand en worden er NaN of -999 uitgevoerd.

### C.6.2 Lijn-elementen: thin dams, fixed weirs, structures, cross-sections

In de onderstaande figuur wordt voor een achttal situaties 5 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.

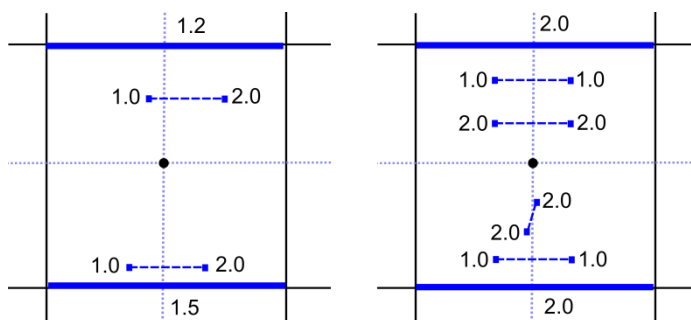


- Flow link
- Thin dam
- Projected thin dam
- Fixed weir
- Projected fixed weir

Figuur C.2 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 (zie ook Deltares, 2022b):

- 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 (geïnterpoleerde) hoogte gekozen.
  - Van de diverse breedtes van de overlaten wordt de maximale breedte gekozen.
  - Van de diverse teenhoogtes van de overlaten wordt de minimale hoogte gekozen.
  - Voor overige parameters (zoals helling en kruinbreedte) worden de waarden van de overlaat met de maximale kruinhoogte gebruikt.



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 rooster cel 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.

### C.6.3 Brugpijlers

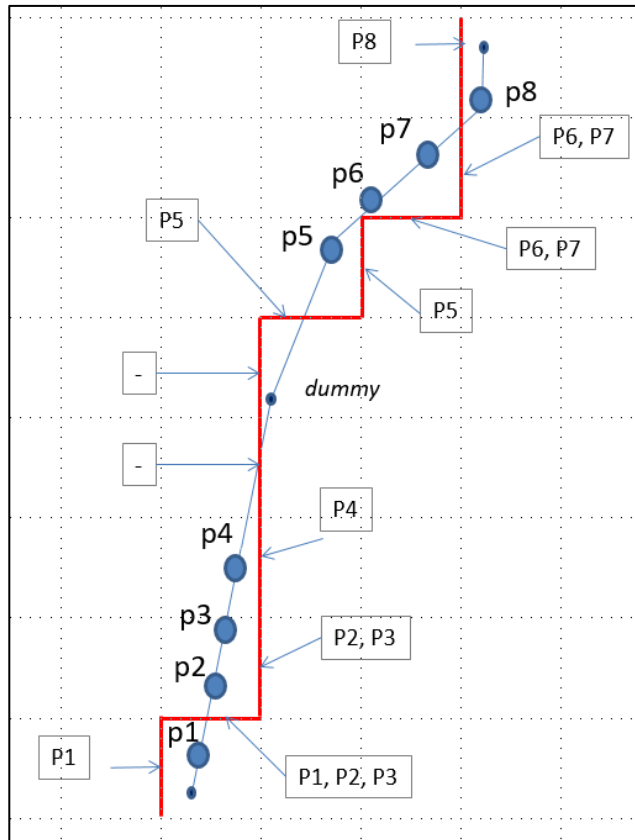
De diameter van de brugpijlers zijn afkomstig uit de gegevens aanwezig in Baseline 5. In Baseline 5 zijn de brugpijlers als polygoon opgenomen in de ruwheidsvlakken. Voor Baseline 6 zijn deze met een Baseline 6-tool geconverteerd naar middelpunten en de maatgevende diameter. Deze diameter is bepaald 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).

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 lijnenelementen (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 C.3 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.

#### C.6.4 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.

### C.7 Ruwheden

Deze bijlage bevat achtereenvolgens:

- Een beschrijving van de gegevens aangeleverd door RWS-ON, ter bepaling van de basisruwheden van het zomerbed (Bijlage C.7.1);
- De afleiding van de basisruwheden van het zomerbed op basis van deze gegevens (Bijlage C.7.2);
- Onderbouwing van de aanpassing van de basisruwheid op het meest bovenstroomse traject van de Boven-Rijn (Bijlage 0);
- Het ruwheidsbestand zoals wordt ingevoerd in D-HYDRO (Bijlage C.7.4).

#### C.7.1 Aangeleverde gegevens RWS-ON

##### C.7.1.1. Algemeen

Tot nu toe werd in de WAQUA modellen de ruwheid van het zomerbed volledig bepaald door de kalibratie van riviertrajecten tussen waterstandsmeeetstations in. In D-Hydro is gekozen voor een basisruwheid van het zomerbed en een aparte kalibratiefactor. Dit biedt de mogelijkheid om ruwheidsvariaties niet alleen door te voeren op de locatie van een meetstation, maar via de basisruwheid ook daar waar dit in de rivier optreedt.



Hoewel de relatie tussen bodemeigenschappen en ruwheid complex is, spelen de korrelgrootte en de vorming van duinen een rol. De hoop bij de start van de modelontwikkeling was dat dit gebruikt zou kunnen worden om een ruimtelijke trajectindeling te maken. Dat is complex gebleken, maar wel gelukt (zie Bijlage C.7.2).

#### C.7.1.2. Korrelgroottes

De eerste bron voor een trajectindeling zijn de korrelgroottes van de bodem. Diverse bestanden en rapporten zijn ter beschikking gesteld. Het gaat om de volgende gegevens:

##### *Algemeen*

Een goed overzicht wordt gegeven in het document 2D Korrelgrootte.doc van Wilfried ten Brinke. Het is onderdeel van de Rivierkundige Informatiemap die beschikbaar is bij RWS-ON. In het document staat een toelichting hoe de korrelgrootte in de database tot stand zijn gekomen. Ook detailonderzoeken rond de Pannerdensch Kanaal, en de IJsselkop komen aan de orde, evenals de grensoverschrijdende data van Nederrijn/Boven-Rijn en Waal.

##### *Rijntakken*

korreldiameters rijntakken.xlsx

Bevat data voor:

- Boven-Rijn/Waal
  - IJssel
  - Pannerdensch Kanaal/Nederrijn/Lek
- Jaren: 1966, 1976, 1984, 1995

##### *Waal/IJssel*

Ook de rapporten met de data zijn beschikbaar, vooral van belang:  
TenBrinke1997\_bodemsamenstelling\_Waal\_IJssel\_RIZArapport97.009.pdf  
(let op: gaat alleen over Boven-Rijn/Waal/IJssel)

##### *Pann.Kan-Nederrijn-Lek*

Ontvangen van Arjan Sieben op 11-8-2016, zonder verdere toelichting bij de getallen.

- D50 Percentielen Pann.Kan-Nederrijn-Lek.xls
  - D90 Percentielen Pann.Kan-Nederrijn-Lek.xls
- In de Excel zitten korrelgroottes voor 1966, 1976, 1984, 1995. Steeds voor "links", "midden", "rechts". De Excel bevat D10, D50, D90 en DM.  
Daarnaast is een gemiddelde berekend (gemiddelde van deze 3 posities)

Van de 1984-metingen is een "rapport" beschikbaar van Han de Ruiter

- RWS\_(Ruiter)\_1988\_Bodemmonsters\_1984\_Pann.kan.-Nederrijn-Lek\_67388\_Deel1.pdf
  - RWS\_(Ruiter)\_1988\_Bodemmonsters\_1984\_Pann.kan.-Nederrijn-Lek\_67388\_Deel2.pdf
- Steeksproefsgewijs zijn getallen vergeleken en de data lijkt overeen te komen  
Steeds 25, 50, 75 meter uit de Rechter Oever (R.O.).

In de Excel zitten ook bewerkingen. Waarschijnlijk om de data te kunnen gebruiken voor SOBEK-model van de Rijntakken. (Waarschijnlijk van de hand van Kees Sloff).

Er is dus alleen voor de 1984 data een directe referentie gevonden.  
Van de overige jaren lijkt dat er niet te zijn.

Wel is de volgende info beschikbaar:

\* Sloff\_1998\_Toepassing van SOBEK-gegradeerd\_Q2352\_6917\_rapport.pdf

Als startsituatie voor de ijkingsberekeningen is de bodemligging en bodemsamenstelling van 1963 gekozen. Een gemeten bodemsamenstelling van dat jaar was niet beschikbaar, zodat hiervoor de meetgegevens van sleepemmermonsters in 1966 zijn aangenomen. De gegevens betreffen waarden voor D10, D50, D90, en Dm op verschillende locaties in de rivier, en in de meeste gevallen voor zowel de linker- en rechterzijde, en de middenas van de rivier. Echter, er zijn geen gegevens beschikbaar betreffende de fractieverdeling van het materiaal. Als eindsituatie voor de ijking kan worden uitgegaan van de gegevens van 1995 (1993 gegevens zijn eveneens niet beschikbaar). De gegevens van 1995 zijn uitgebreider (ook percentages van fracties zijn beschikbaar) en betrouwbaarder, maar niet beschikbaar voor het Pannerdensch Kanaal. Een vergelijking van meetwaarden uit 1963 en 1995 (1963 en 1984 voor het Pannerdensch Kanaal) toont dat gedurende de tussenliggende periode het materiaal in alle takken iets fijner is geworden. Desondanks zijn er sterke fluctuaties over verschillende jaren waarneembaar. Een analyse van de bodemsamenstelling van de Waal en de IJssel voor deze gegevens is gepresenteerd in Ten Brinke (1997a).

\* Sloff\_2006\_Uitbreiding SOBEK-RT\_model\_naar\_niet-uniform\_sediment\_Q4130\_10.pdf

"Voor de Waal, het Pannerdensch Kanaal, Neder Rijn, Lek en de IJssel zijn in 1995 gemeten korrelverdelingen van de bodemsamenstelling beschikbaar gesteld door RIZA. De gegevens zijn per kilometer voor de linker oever, rivieras en de rechteroever gedefinieerd. Voor de modelschematisatie zijn deze gegevens eerst gemiddeld over de breedte, en vervolgens gemiddeld over een afstand van 20 km (lopend gemiddelde)." (p. 2-3) Er wordt geen referentie voor de data gegeven.

\* RWS\_2001\_(JesseKroekenstoel)\_1-D Morfologisch model Rijntakken\_RIZA2001.040.pdf

In dit rapport staat een figuur van het korrelgrootte-verloop in PK/Nederrijn/Lek. Er wordt gerefereerd naar Ten Brinke (1997b). Dat betreft echter ongepubliceerde data.

Op basis van de volgende argumenten wordt de korrelgrootte betrouwbaar geacht:

- De jaren met beschikbare metingen voor PK/Nederrijn/Lek komen overeen met die van Waal/IJssel. Het is aannemelijk dat de data op een gelijke wijze is ingewonnen/verwerkt.
- Voor 1984 is een rapport beschikbaar met zeefkrommes en de percentielen die daar bij horen.

#### *Referenties*

- Jesse, P. & Kroekenstoel, D.F. (2001) 1-D Morfologisch model Rijntakken. RIZA rapport 2001.040. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraal-Generaal Rijkswaterstaat, RIZA.
- Sloff, C.J. (1998) Toepassing van SOBEK-GEGRADEERD op de Rijntakken. Rapport Q2352, WL | Delft Hydraulics, Januari 1998.
- Ten Brinke, W.B.M., 1997a. De bodemsamenstelling van Waal en IJssel in de jaren 1966, 1976, 1984 en 1995. RIZA rapport 97.009.
- Ten Brinke, W.B.M., 1997b. Data bodemsamenstelling Nederrijn-Lek. (ongepubliceerd).

#### *Recente gegevens*

In de Exceltabel zijn de meest recente gegeven van 1995. Inmiddels is er een nieuwe Rijntakken-dekkende meetcampagne geweest in 2020, maar deze was er nog niet toen de data werd verzameld. Wel zijn er op specifieke locaties metingen uitgevoerd, bijvoorbeeld rond de splitsingspunten (Frings, Kleinhans, et al.).

#### C.7.1.3. Duinhoogtes

In eerste instantie zijn kaarten aangeleverd met hierop een analyse van bodemvormen op basis van bodempeilingen. Om deze ook te kunnen gebruiken, zijn daarna ook de onderliggende grids toegeleverd. Hiermee zijn in Yossef (2019) de duinhoogtes bepaald. Deze gegevens zijn samengesteld door Arjan Sieben (RWS-WVL) vanuit een project voor kabels en leidingen; dezelfde gegevens zijn ook gebruikt door RWS-ON voor het samenstellen van waterdieptekaarten. De data is gebaseerd op beschikbare peilingen tussen 1999 en 2012 (de jmp's, afhankelijk per tak 1 of 2 per jaar). Deze worden in het algemeen met 'normale' condities gevaren, in het algemeen tussen 1700 – 3000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Deze peilingen zijn vervolgens cel voor cel gemiddeld in een rechthoek van 20 m breed en 250 m lang. De consequente afwijking van de peilingen ('bias') tov gemiddelde leveren dan de plaatsvaste vormen op (dit zijn de kribben, oevers, brugpijlers, ...). De standaardafwijking van de peilingen tov de gemiddelde zijn de verplaatsende bodemvormen (=duinen). Het bestand bevat duinhoogte van top tot trog, dus 2x de amplitude. Gezien de gebruikte methode is voorzichtigheid geboden met scherpe overgangen (splitsingspunten, stuwen, gestrekte oevers, brugpijlers).

#### C.7.2 Afleiding zomerbedruwheden



## Memo

To  
Dénes Beyer, Martin Scholten

<b>Date</b>	<b>Our reference</b>	<b>Number of pages</b>
March 5, 2019	11203714-005-ZWS-0009	18
<b>Contact person</b>	<b>Direct number</b>	<b>E-mail</b>
Mohamed Yossef	+31(0)88 335 8149	Mohamed.Yossef@deltares.nl

**Subject**  
Analysis for the definition of the main channel roughness coefficient for the Rhine Branches model

---

This memo includes an analysis aimed to deduce the roughness definitions which can be used as initial values, prior to the calibration, for the 6<sup>th</sup> generation Rhine Branches model.

Based on the simplified approach (Section 1.2), we are able to define spatially varying values of the roughness coefficient ALFA. The variability is correlated to the dune heights. It is further simplified into reaches for convenience of use in the model; these values can be found in Table 1.2. We note that there are abrupt changes in the values of the roughness coefficient at the boundaries of the roughness reaches. We recommend that a smooth transition is applied between these reaches; with a transition length of 2000 m. Moreover, the values at the locations of the fixed layers are noted separately, mostly based on an earlier analysis carried out by RWS and used in the 5<sup>th</sup> generation model.

We recommend that the values proposed in this memo are used to set the background roughness of the model, before calibration. We further recommend monitoring and evaluating the model performance during the calibration stage. Before the calibration is finalised, we should reflect on the results in order to evaluate the sensibility of the choices made herein.

The analysis carried out herein highlights a knowledge gap about our ability to make estimates of the background roughness values, that are physically based, and about the status of bedform datasets. It is recommended to formulate a research that address this knowledge gap with in the next couple of years, such that the next round of model updates, this knowledge gap is covered. The research can start by reevaluating the bedform datasets and collect new data; associate the collected data with accurate water depth measurements, such that the roughness estimates are made based on consistent bedform and water level data. A research programme such as the KPP-river dynamics may be suitable for this kind of research.

**Copy to**  
Project team Hydraulica schematisaties zoet | Rijn G6



Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-  
0009

Page  
2 of 18

## 1 Analysis for the definition of the main channel roughness coefficient for the Rhine Branches model

### 1.1 Analysis based on available data

The calibration approach for the 6<sup>th</sup> generation models is described in Deltares (2017). In this approach, the most relevant change from the earlier calibration method is the use of a calibration factor, which is applied on the initially defined background roughness. The background roughness sets the starting point of calibration and can be defined as the physically-based roughness of the river reach, which can be deduced from sediment and bedform characteristics; including spatial and temporal variabilities. Information about dune heights and sediment characteristics in the Rhine were made available from three main sources. A dataset processed by Arjan Sieben (2008), a raster dataset, provided by RWS-ON, and the DVR model sediment input dataset and the results of the dune height predictor. Herein, we used data on sediment size as used in the DVR model, which has been based on an extensive analysis of measurements. The data is shown in Figure 1.1, see as well Figure 1.2. The data shows that, for the Waal, the discrepancy between the different sources of data is relatively large. For the Nederrijn there is a somewhat good similarity between the three different datasets. For the upstream part of the IJssel (up to rkm 930), there is some resemblance between the DVR model results and the data. Around rkm 930, there is a discontinuity in the pattern calculated by the DVR-model, due to changing from graded to uniform sediment model. In general, there some discrepancies between the different sources of data with a level of correspondence in patterns that captures the general trend. Given the uncertain nature of dune height estimates, such discrepancy may be considered acceptable.

Roughness estimates, based on sediment size and bedform characteristics can be made using the formula of Van Rijn (1984)

$$k_{s,1} = 3D_{90} + 1.1h_d \left( 1 - e^{-25 \frac{h_d}{L_d}} \right) \quad (1.1)$$

With,  $k_s$  as White-Colebrook/Nikuradse roughness value,  $h_d$  dune height,  $L_d$  dune length. The subscript (1) denotes that  $k_{s,1}$  follows the formulation of Equation 1.1.

Assuming  $h_d \propto h$  &  $L_d \propto h$  and ignoring grain roughness, a simplified representation of the formula of Van Rijn can be written as;

$$k_{s,2} = Ah^{0.7} \left( 1 - e^{-Bh^{0.3}} \right) \quad (1.2)$$

with  $A$  and  $B$  as calibration coefficients; with  $B$  value of 2.5 as most common. The subscript (2) denotes that  $k_{s,2}$  follows the formulation of Equation 1.2.

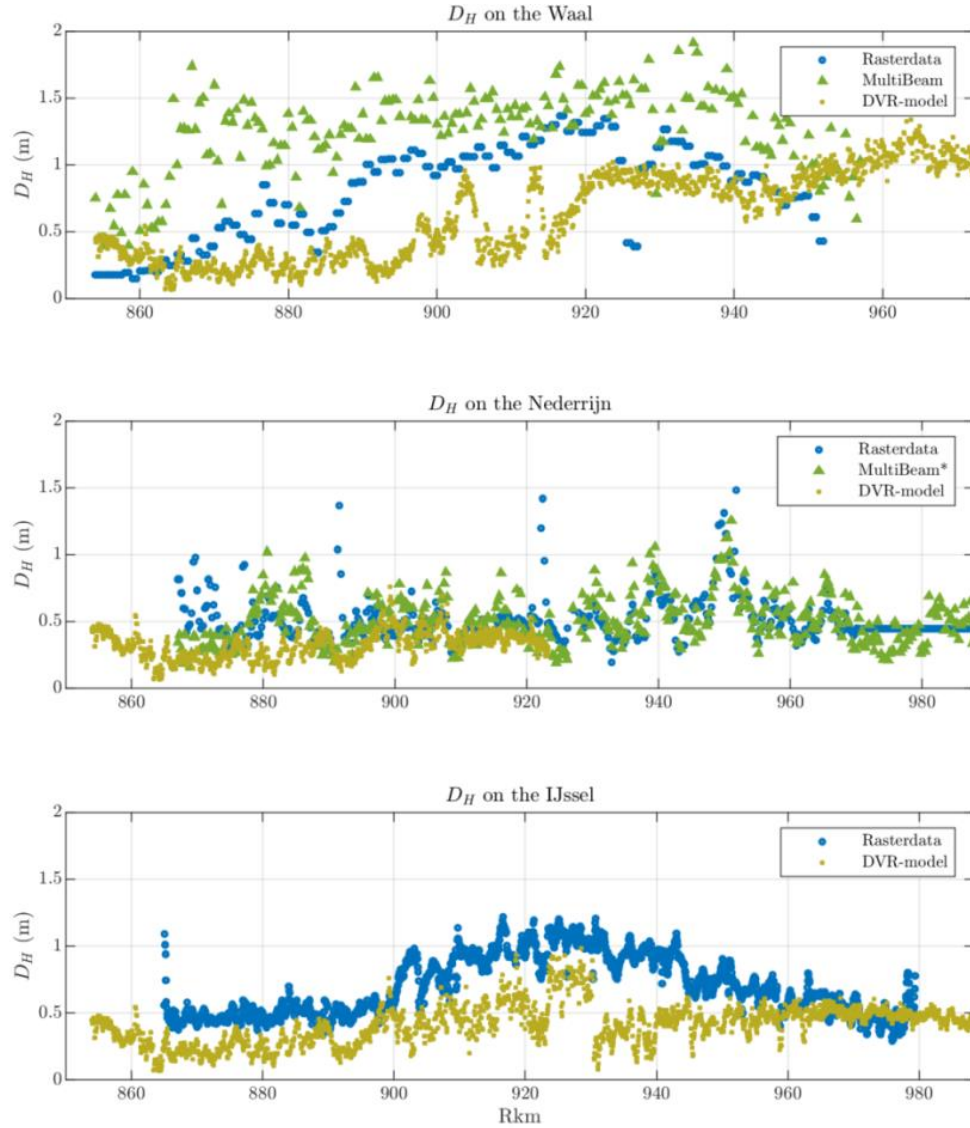


Figure 1.1 Bedform height as a function of river chainage for the Waal, the Nederrijn, and the IJssel, the most upstream part of all graphs covers the Bovenrijn.

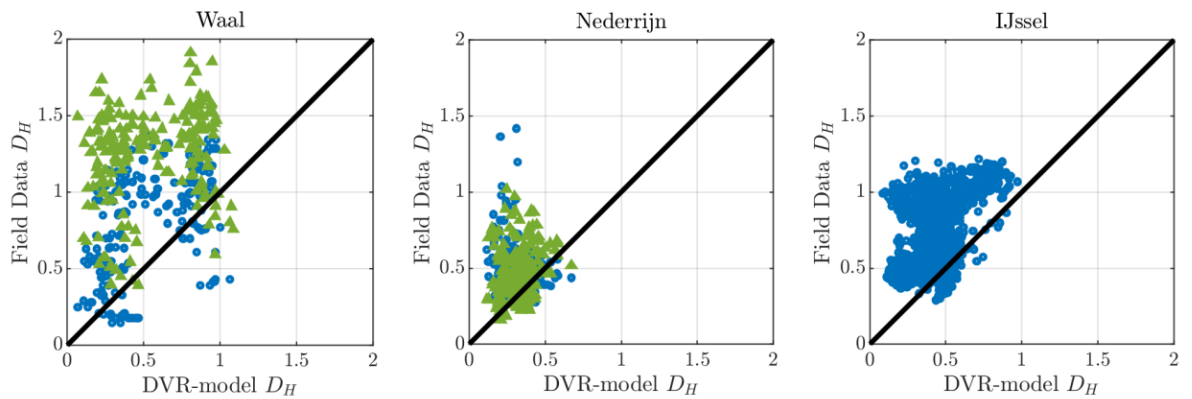


Figure 1.2 Comparison between the average bedform height calculated by the DVR model and that from the field measurements.



Date	Our reference	Page
March 5, 2019	11203714-005-ZWS-0009	4 of 18

The value of  $k_s$  can be estimated based on the Equation 1.1 ( $k_{s,1}$ ) see Figure 1.3. The value of  $A$  can be then found such that the deviation (RMSE) between the value of  $k_{s,2}$  and  $k_{s,1}$  is minimum. We are able to calculate the value in of  $A$  in three different ways: as a single value per branch, a single value per calibration reach, or spatially varying values (point by point).

Figure 1.4 & Table 1.1 give the values of the calibration coefficient  $A$  as a single value per branch based on the two data sources as well as the DVR-model results. The resulting single calibration coefficient for the Waal has large variations whereas the values for the Nederrijn are more consistent. The  $A$  value for the IJssel based on the raster dataset is 0.19 compared to around 0.07 based on the DVR-model results. The issue with this is that in all three cases, the correspondence of  $k_{s,2}$  to  $k_{s,1}$  is poor.

If the same analysis is made for reaches corresponding to the calibration reaches of the Waqua 5<sup>th</sup> generation model; the corresponding values of  $A$  are shown in Figure 1.5. For the Waal, the values based on the DVR-model are the closest to the values of the Waqua model. The values based on the multibeam dataset are much higher (0.4 to 0.5), which is expected as this dataset have the largest dunes. The  $A$  values based on the raster dataset is between 0.1 and 0.3, which is still higher than the WAQUA calibration values, but it is fairly comparable in trend to that of the DVR-model or the Waqua model calibration. For the Nederrijn, the correspondence between the  $A$  values based on the different data sources are in the same range, and in the same range of the values of the calibrated Waqua model. For the IJssel, the resulting  $A$  values based on the DVR-model corresponds better to the values of the calibrated Waqua model.

Based on the  $k_s$  values calculated along the river (based on cross-section averaged dune heights and depth), it is possible to calculate the local values of  $A$ , that minimises the deviation between of  $k_{s,2}$  and  $k_{s,1}$ . In this case, and because the analysis is made locally, the resulting of  $k_{s,2}$  values are identical to Figure 1.3. The resulting  $A$  values are given in Figure 1.7, with comparison with the mean values of the 5<sup>th</sup> generation WAQUA model calibration values; values of all calibration discharge levels are shown in Figure 1.6. Figure 1.7, top panel, shows that there is deviation between the  $A$  values based on the three different data sets, this is expected, in accordance with the discrepancy in bedform data shown in Figure 1.1. The range of variations is somewhat large (ca. from 0.05 to 0.6). For the Nederrijn, the results from the field datasets and the DVR-model give similar behaviour. The values of  $A$  though in the same range of the calibrated WAQUA model, the pattern is somewhat different. For the IJssel, the data-based  $A$  values has a much larger range than that of the calibrated Waqua model.

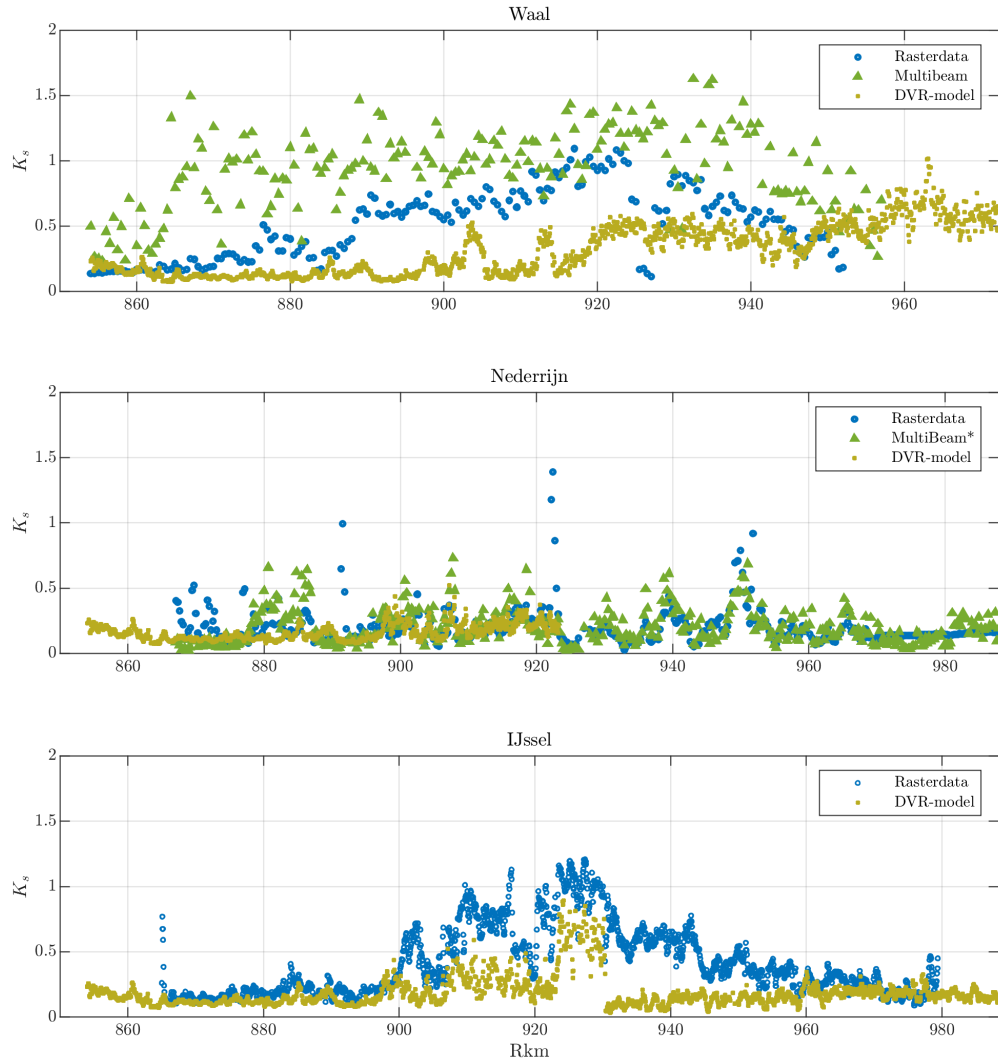


Figure 1.3  $K_s$  values based on Equation 1.1 ( $K_{s,1}$ ) –DVR-model data (sampled at  $Q = 3824 \text{ m}^3/\text{s}$ ).





Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-0009

Page  
6 of 18

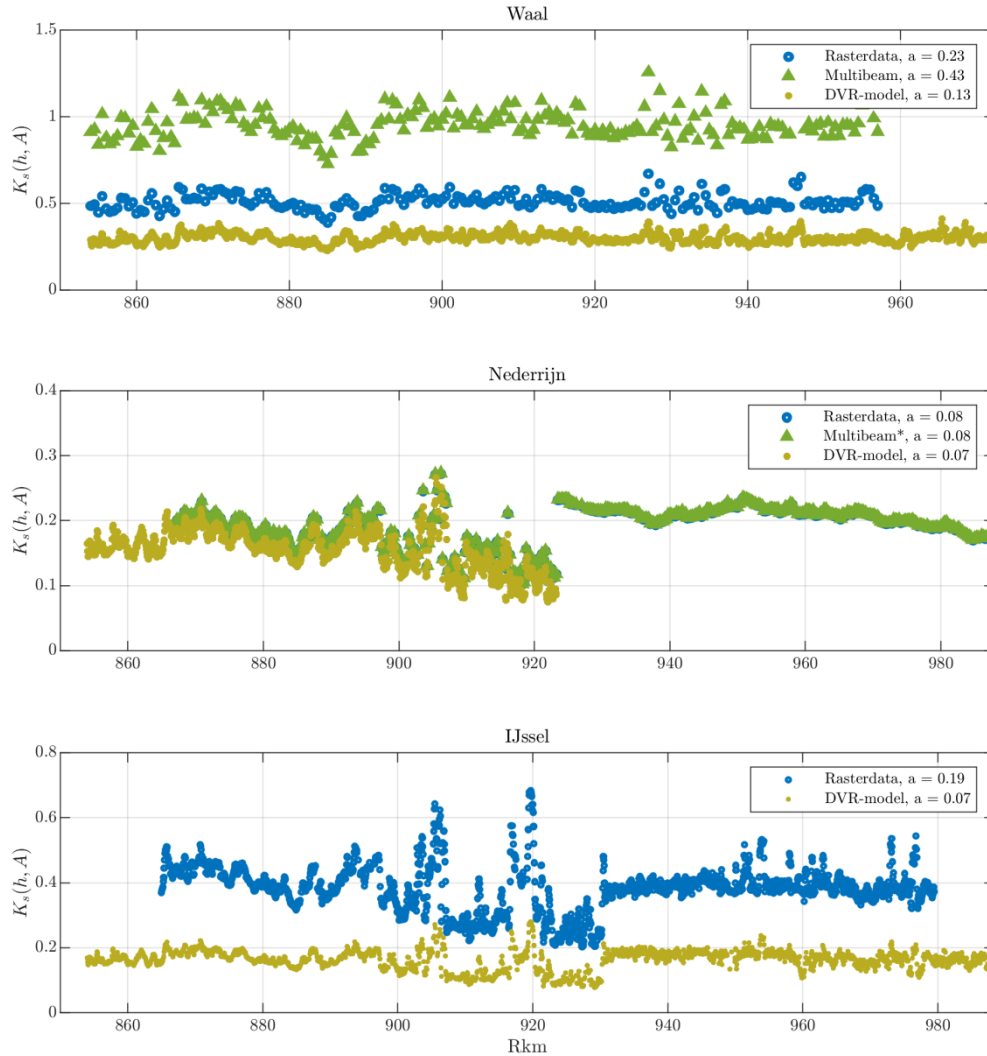


Figure 1.4  $K_s$  values based on  $A$  as a single value per branch; values of  $A$  are in legend, DVR uses  $Q=3824 \text{ m}^3/\text{s}$ . table below gives an overview of the values of  $A$ .

Table 1.1 Values of calibration factor  $A$ , as a single value per branch

	Field Data		DVR-Model, function of discharge								
	Mbeam	Raster	Q=1203	Q=1635	Q=2252	Q=2250	Q=3053	Q=3824	Q=4717	Q=6151	Q=8592
Waal	0.43	0.23	0.2018	0.1752	0.1605	0.1673	0.1734	0.132	0.1193	0.1071	0.0970
Nederrijn	0.08	0.08	0.1122	0.0890	0.0798	0.0825	0.0857	0.0673	0.0603	0.0548	0.0483
IJssel	-	0.19	0.0642	0.0602	0.0623	0.0706	0.0795	0.0696	0.082	0.0866	0.0723

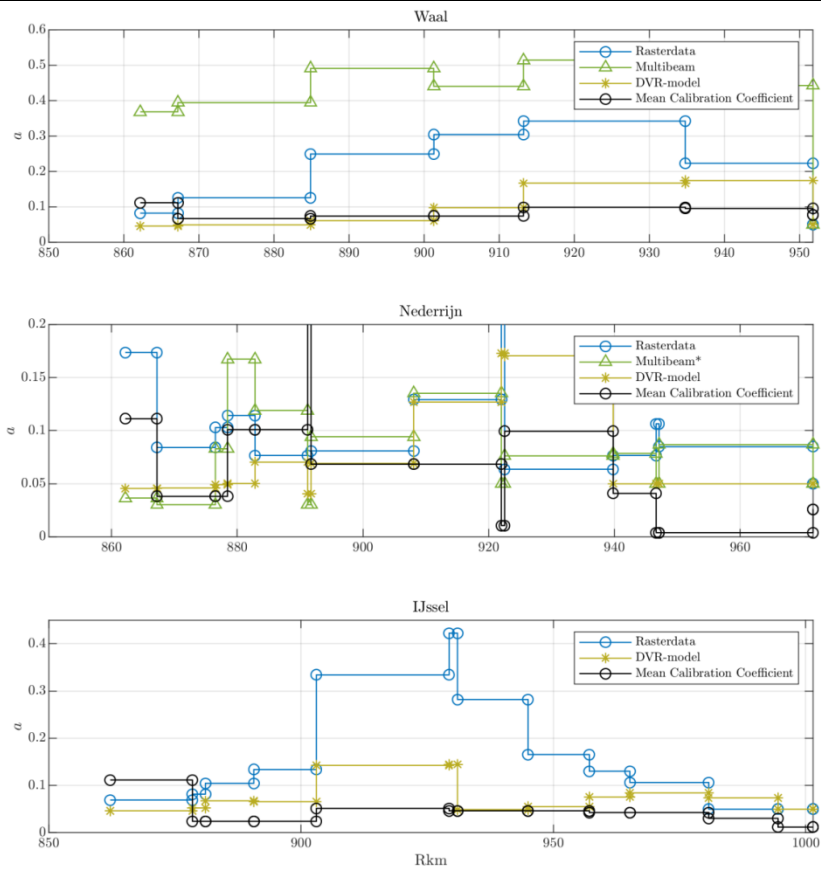


Figure 1.5 Spatial variations of the calibration coefficient  $A$  based optimised over each calibration reach of the Waqua 5<sup>th</sup> generation model – the mean values of the Waqua calibration coefficients are added for visual comparison (all values of the Waqua model calibration coefficient are shown in Figure 1.6)

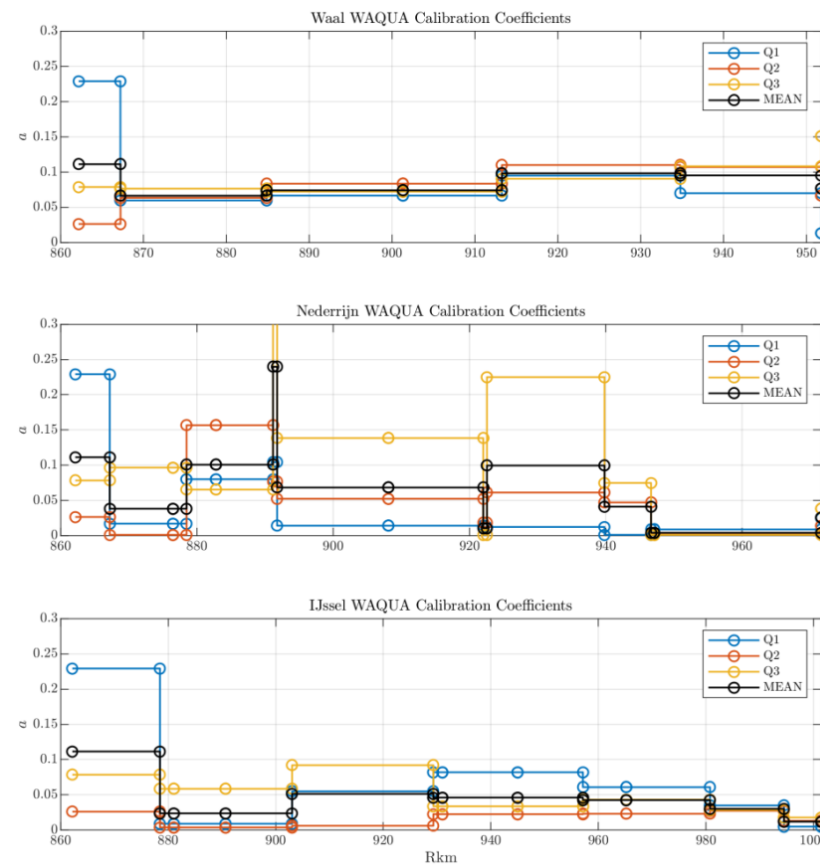


Figure 1.6 Spatial variability of the calibration coefficient  $A$  used in the 5<sup>th</sup> generation model



Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-  
0009

Page  
8 of 18

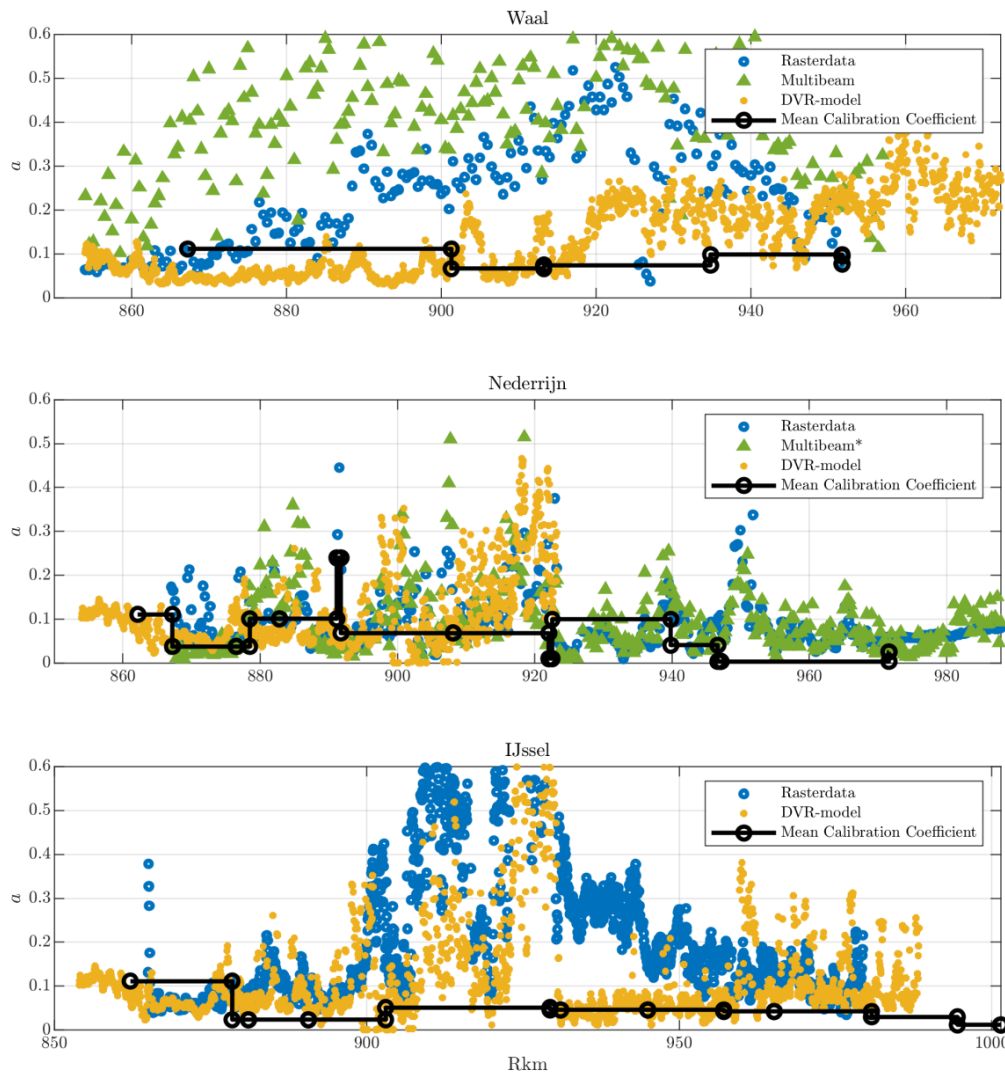


Figure 1.7 Spatial variations of the calibration coefficient  $A$  ( $A(Ks2 = Ks1)$ ). The mean calibration coefficient of the 5<sup>th</sup> generation Waqua model is added for visual comparison (all values of the Waqua model are shown in Figure 1.6)

The analysis made in this Section (see as well the analysis made by White in [Annex A](#)) indicates that it is rather difficult to reach a reliable definition of the spatial variations of the values of the background roughness calibration coefficient Alfa. Particularly for the Waal, there is a large discrepancy between the results based on the different datasets and the magnitude of the calibration coefficients seem to be high. Based on this we can only recommended to use a constant Alfa value for all branches; a typical value of Alfa = 0.1 may be used. In this way, the calibration result would be easy to understand and analyse.

However, in the next Section, we attempt a different simpler approach to define the calibration coefficient in order to include the spatial variability of dune heights and sediment size.

## 1.2 Simplified approach

The analysis presented in the previous Section gives inconclusive answer for defining spatially varying roughness calibration coefficient. Accordingly, we follow a simplified approach in which we attempt to correlate the roughness to the measured sediment size and/or the dune heights.

### 1.2.1 Using sediment size as a bases for predicting roughness

An approach to estimate a physically-based roughness coefficient goes via the use of the measured sediment size (D50) as a starting point for the estimates of Alfa. This can be made by finding a correlation between the dune height and D50 (Figure 1.9); and then calculating the roughness coefficient as a function of the sediment size, via a transformation that takes into consideration the dune heights. In this, the estimated  $\text{Alfa} = f(\text{Dh} = f(\text{D50}))$ . Based on  $\text{Hd} = f(\text{D50})$  from Figure 1.9, we can calculate the dune height  $\text{Hd} = f(\text{D50})$  (see Figure 1.10). The correlation between the measured dune heights and that which is a function of D50 is shown in Figure 1.11.

The deviation between the estimated  $\text{Dh} = f(\text{D50})$  and the measured Dh is rather large; particularly for the larger dunes. In addition, the downstream fining in the Waal is coupled with an increase followed by a decrease in dune heights. Such behaviour is not possible to capture if we correlate to sediment size.

Accordingly, instead of taking an intermediate step via D50, we go for the direct transformation from dune heights to Alfa.

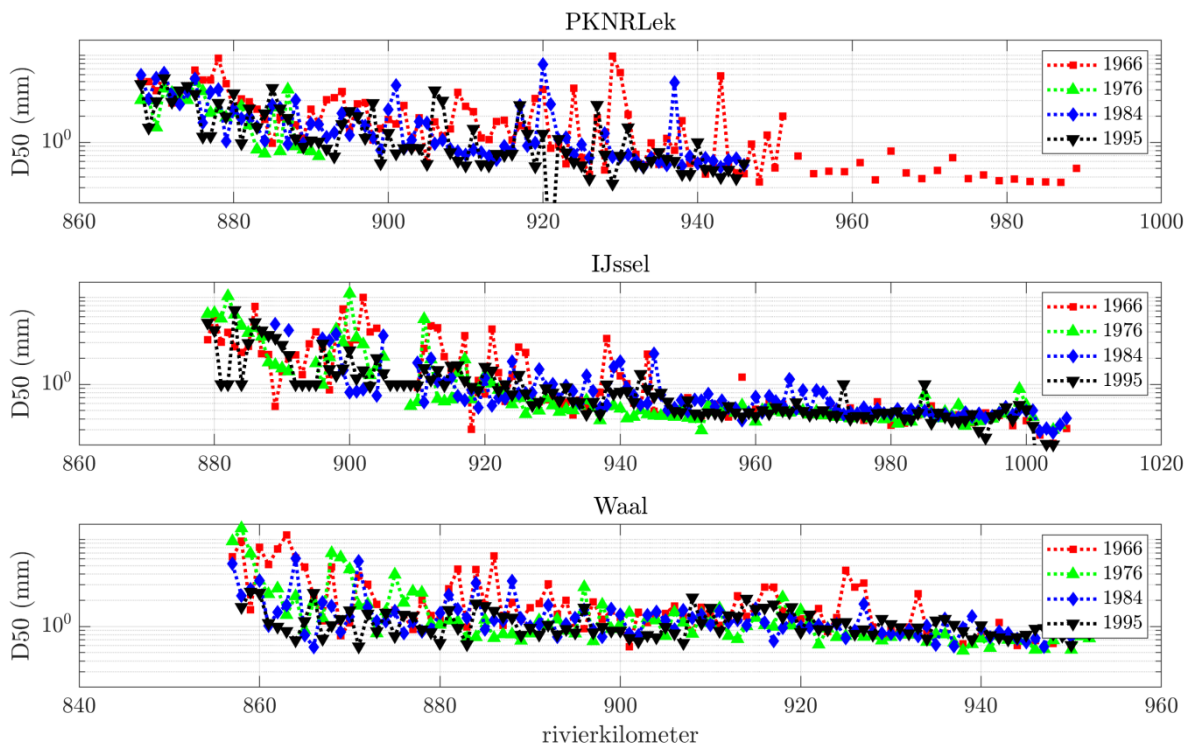


Figure 1.8 Sediment data along the Rhine branches (source: RWS)

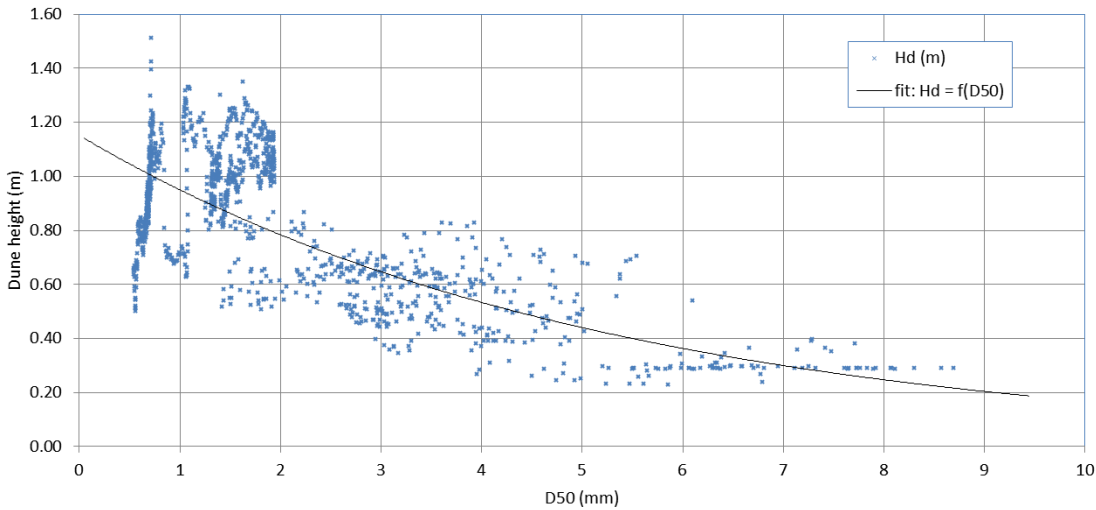


Figure 1.9 Correlation between Sediment size and dune height for the Waal

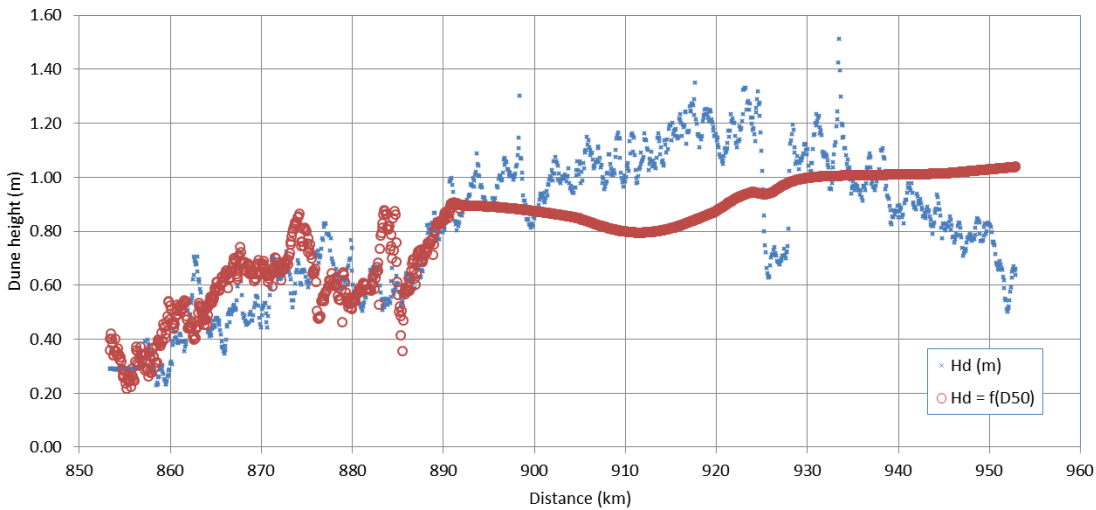


Figure 1.10 Longitudinal profile of dune heights, measured and as a function of sediment size.

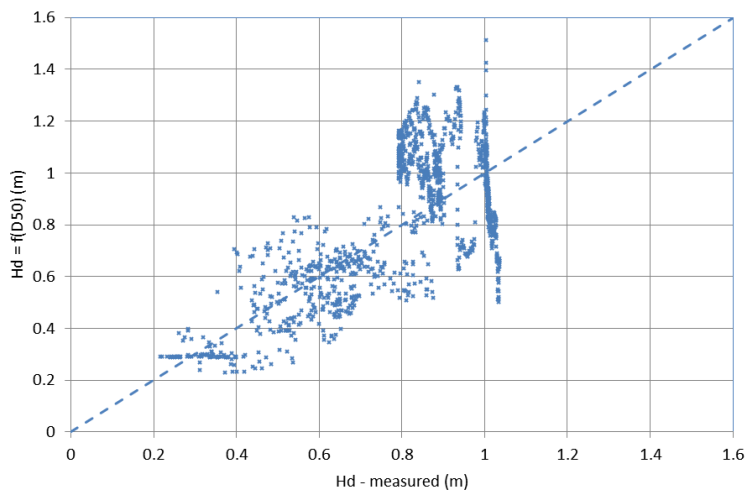


Figure 1.11 Correlation between measured dune height and dune height ads function of sediment size

### 1.2.2 Simplified conversion from dune height to roughness calibration coefficient

Herein, we follow a simplified approach by making a direct correlation between the roughness coefficient and the measured dune height. We assume that;

- the roughness calibration coefficient (Alfa) is linearly proportionate to the dune height;
- the maximum calibration coefficient of the Rhine Branches can be set to equal a value of 0.1; based on experience from past calibrations.

Subsequently, we fit a step-wise function to the measured dune height; this fit is made as follows:

- The locations of transition of the stepwise function are selected based on visual observation of transition in dune height or sediment size; or on a branch boundary. This defines sub reaches.
- The fitted dune heights are calculated based on the average dune height per sub-reach.

Finally, a linear conversion is made from the stepwise dune heights to a stepwise calibration coefficient. In this conversion a single scaling parameter is used for all branches. The scaling parameter is defined as the ratio between the maximum defined calibration coefficient Alfa and the maximum fitted dune height; such that the Alfa(maximum dune) = maximum Alfa. The result is given in Figure 1.17 Figure 1.18 Figure 1.19 and summarised in Table 1.2.

The following notes are important to consider:

- For the most upstream part of the model (from Lobith until Emmarich), the sediment size and dune heights are rather consistent. Subsequently, we used a spatial extrapolation of the most upstream part of the Boven Rijn to the upstream.
- The transition in roughness values between branches is made at the location of the bifurcation, which we believe is a safe choice.
- The most downstream reaches of the Waal and Nederrijn (Merwede and Lek) overlap with the RMM model. For the overlapping reaches, the roughness of the two models must be the same. We recommend using the roughness values from the calibrated RMM model.
- The most downstream reach of the IJssel (1001.80 to 1006), takes the same values as its upstream reach (see Figure 1.20).
- For the fixed layers, a different roughness type (Nikuradse roughness length  $k_s$ ), must be used. The values can be based on the analysis earlier made earlier by RWS; viz. we use similar values as in the 5<sup>th</sup> generation model. The alluvial part of the cross-section near the fixed layers, takes an ALFA value based on its adjacent reaches. Accordingly, these values replace those in Table 1.2:
  - Erlecom:
    - $k_s(\text{bendway weirs}) = 0.68 \text{ m}$
    - $\text{alfa}(\text{inner bend}) = 1.27 \times \text{alfa}(\text{its upstream reach})$
  - Nijmegen
    - $k_s(\text{fixed layer}) = 0.63 \text{ m}$
    - $\text{alfa}(\text{inner bend}) = 1.05 \times \text{alfa}(\text{its upstream reach})$
  - St. Andries
    - $k_s(\text{fixed layer}) = 0.34 \text{ m}$
    - $\text{alfa}(\text{inner bend}) = 1.0 \times \text{alfa}(\text{its upstream reach})$ ; note that this value deviates from the 5<sup>th</sup> generation model; but it is based on Figure 1.14.



Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-  
0009

Page  
12 of 18

The dune height dataset stops at km 952.95. In order to extend the roughness definition until the Merwedekop (rkm 961.2), we firstly look at the available sediment size dataset provided by RWS, though old (1983 & 1985), it shows a rapid reduction of sediment size after ca. rkm 951, which is an indication of a plausible roughness transition location (Figure 1.15). Figure 1.9 shows an inverse relation between D50 and dune height, with a rather large scatter at small sediment size. The evidence from the dune height data measured until 952.95 shows rapid reduction that starts at ca. rkm 930. So, we base our estimates of on a rough extrapolation of the dune heights, and ALFA values as per the trend line in Figure 1.16. Based on that, we can the last two roughness reaches to reflect this as shown in the same figure, the values are show in Table 1.2.

Table 1.2 Dune heights and roughness coefficient ALFA along the different Rhine Branches

Bovenrijn & Waal			PK & Nederrijn			IJssel		
RKM (km)	H <sub>d</sub> (m)	Alfa	Rkm (km)	H <sub>d</sub> (m)	Alfa	Rkm (km)	H <sub>d</sub> (m)	Alfa
847.80	0.290	0.026	867.70	0.638	0.057	879.00	0.489	0.044
856.65	0.290	0.026	874.00	0.638	0.057	920.00	0.489	0.044
856.65	0.427	0.038	874.00	0.448	0.040	920.00	0.831	0.075
867.53	0.427	0.038	878.60	0.448	0.040	937.00	0.831	0.075
867.53	0.611	0.055	878.60	0.525	0.047	937.00	1.025	0.092
888.00	0.611	0.055	891.50	0.525	0.047	954.00	1.025	0.092
888.00	0.931	0.083	891.50	0.524	0.047	954.00	0.925	0.083
904.00	0.931	0.083	922.30	0.524	0.047	965.00	0.925	0.083
904.00	1.115	0.100	922.30	0.542	0.049	965.00	0.712	0.064
925.50	1.115	0.100	946.80	0.542	0.049	980.00	0.712	0.064
925.50	1.100	0.099	946.80	0.837	0.075	980.00	0.562	0.050
928.70	1.100	0.099	954.00	0.837	0.075	992.00	0.562	0.050
928.70	1.053	0.094	954.00	0.557	0.050	992.00	0.480	0.043
939.50	1.053	0.094	960.00	0.557	0.050	1001.80	0.480	0.043
939.50	0.833	0.075	960.00	0.504	0.045	1001.80	0.480	0.043
951.00	0.833	0.075	987.00	0.504	0.045	1006.00	0.480	0.043
951.00	0.613	0.055						
962.80	0.613	0.055						

*Values from 5<sup>th</sup> generation model*

Alfa values:  
 binnenbocht bodem kribben Erlecom , alfa = 1.27 \* alfa traject 613  
 binnenbocht vaste laag Nijmegen , alfa = 1.05 \* alfa traject 614  
 binnenbocht vaste laag St. Andries , alfa = 1.37 \* alfa traject 617

ks values:  
 r\_code = 133 a = 0.68 # bodem kribben Erlecom  
 r\_code = 131 a = 0.63 # vaste laag Nijmegen  
 r\_code = 132 a = 0.34 # vaste laag St. Andries

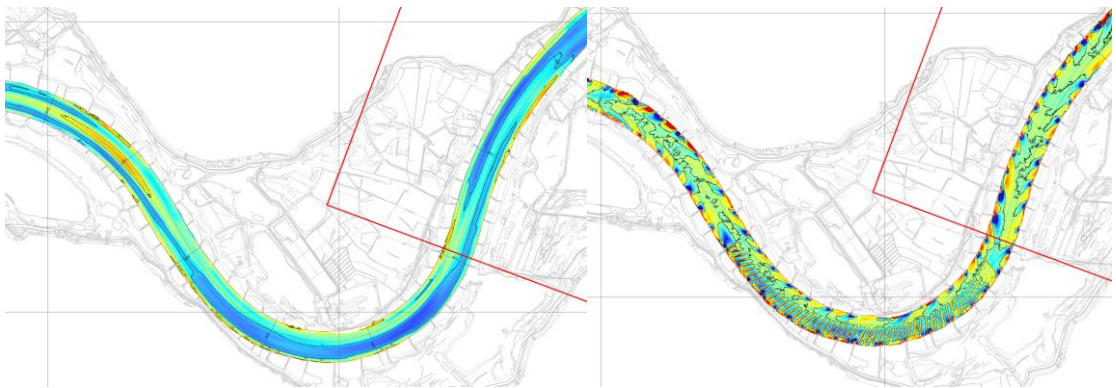


Figure 1.12 Erlecom: Bodemvormen Verplaatsend (left) & Bodemvormen Plaatsvast (right)

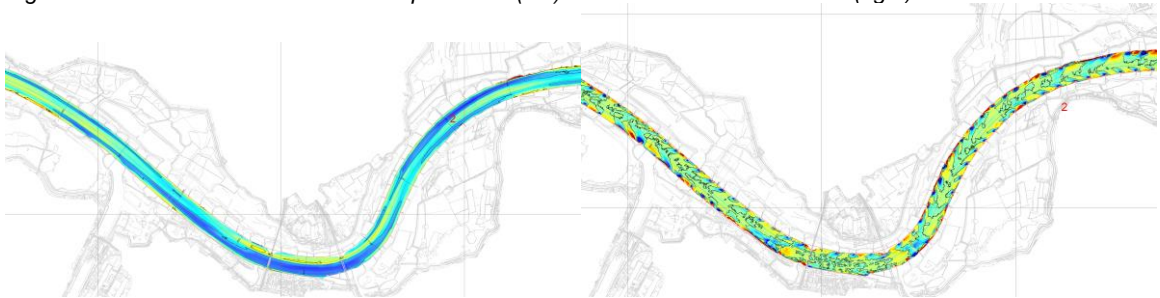


Figure 1.13 Nijmegen: Bodemvormen Verplaatsend (left) & Bodemvormen Plaatsvast (right)

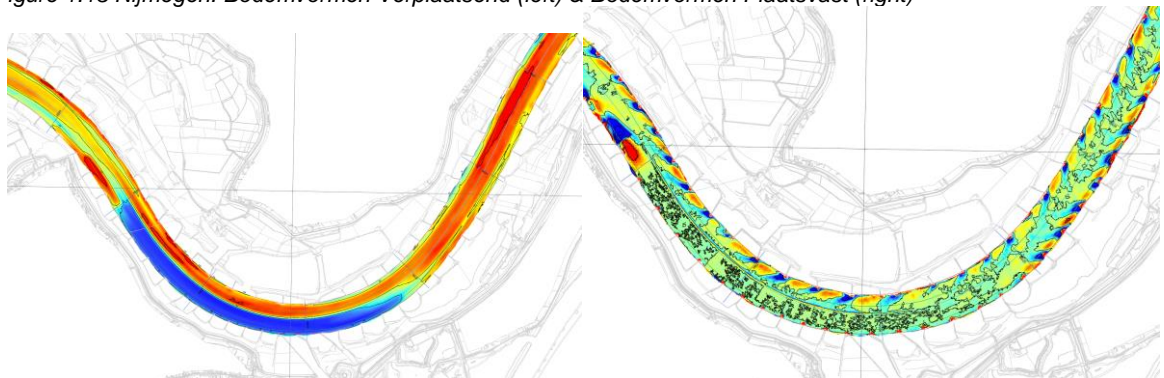


Figure 1.14 St. Andries: Bodemvormen Verplaatsend (left) & Bodemvormen Plaatsvast (right)





Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-0009

Page  
14 of 18

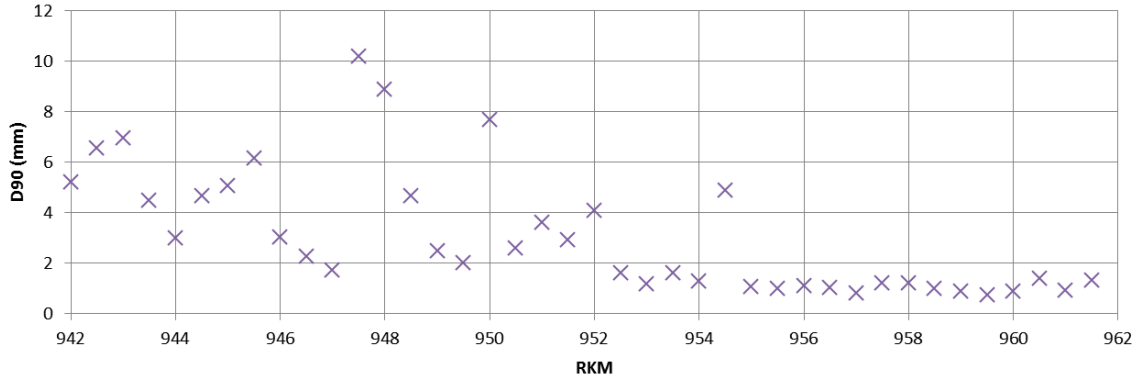


Figure 1.15 Longitudinal variation of sediment size in the Boven Merwede.

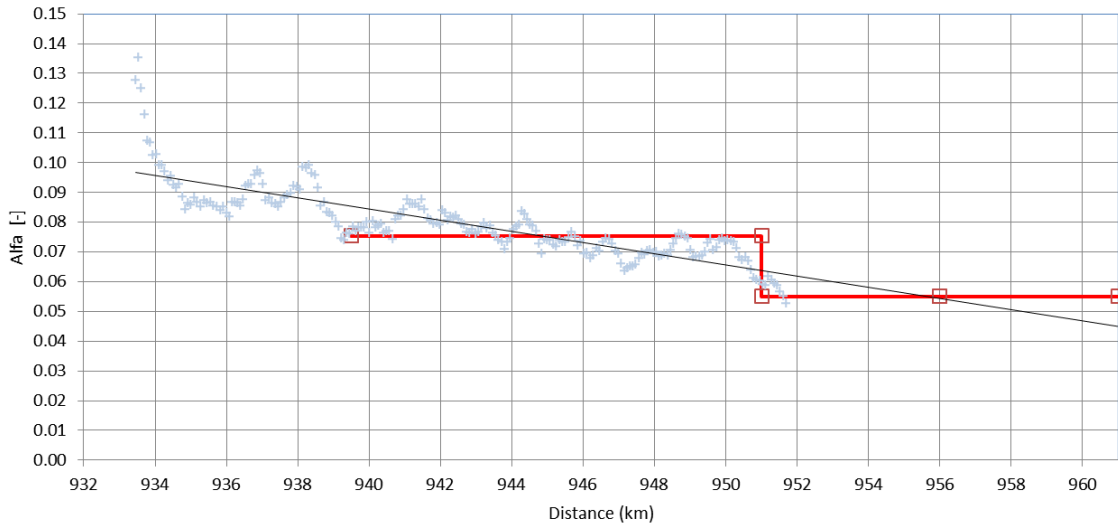


Figure 1.16 Extrapolation of the ALFA values until the Merwedekop (see as well Figure 1.17).

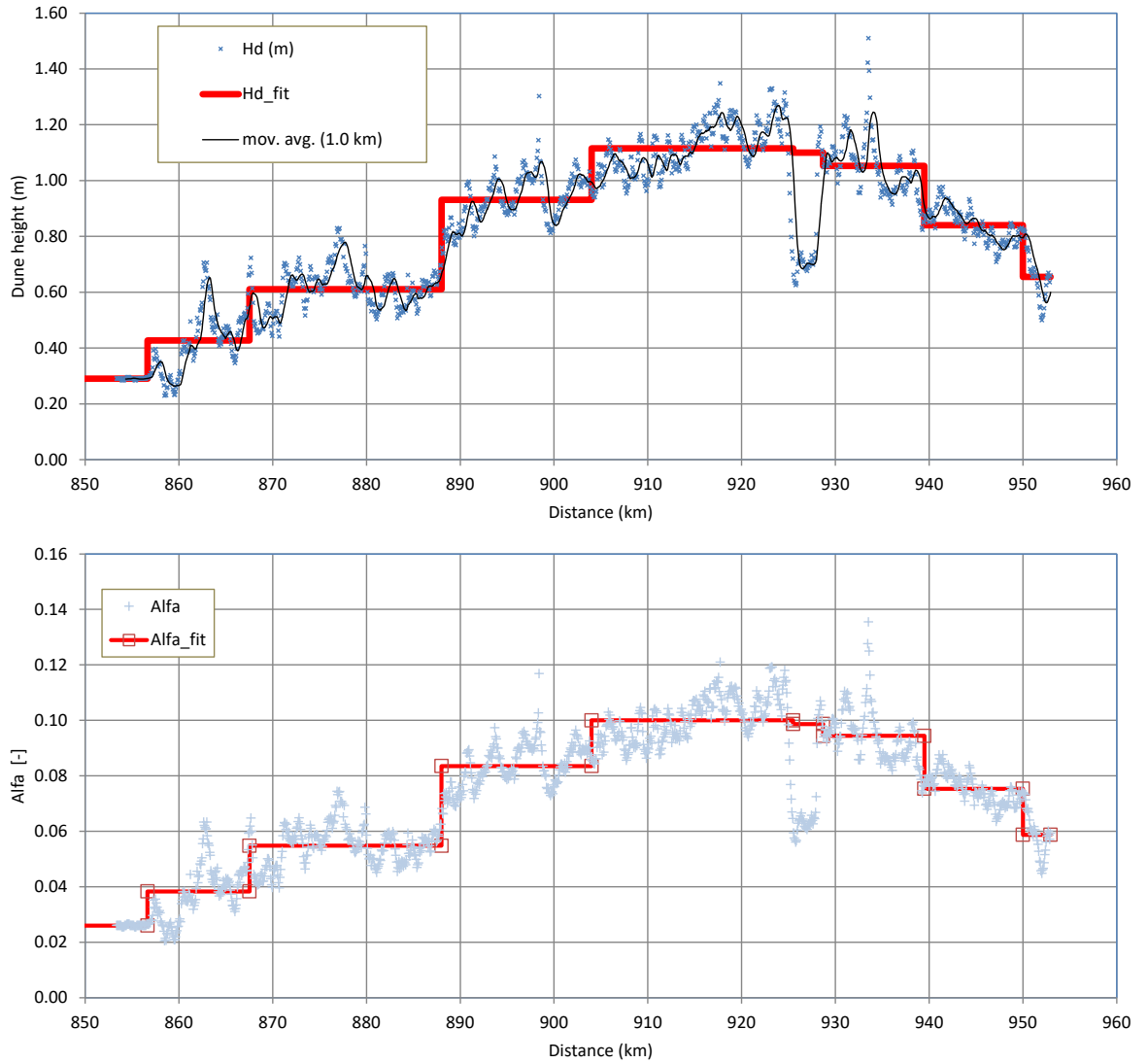


Figure 1.17 Bovenrijn & Waal: Stepwise fit of dune heights (upper panel), and corresponding calibration coefficient (lower panel).



Date  
March 5, 2019

Our reference  
11203714-005-ZWS-  
0009

Page  
16 of 18

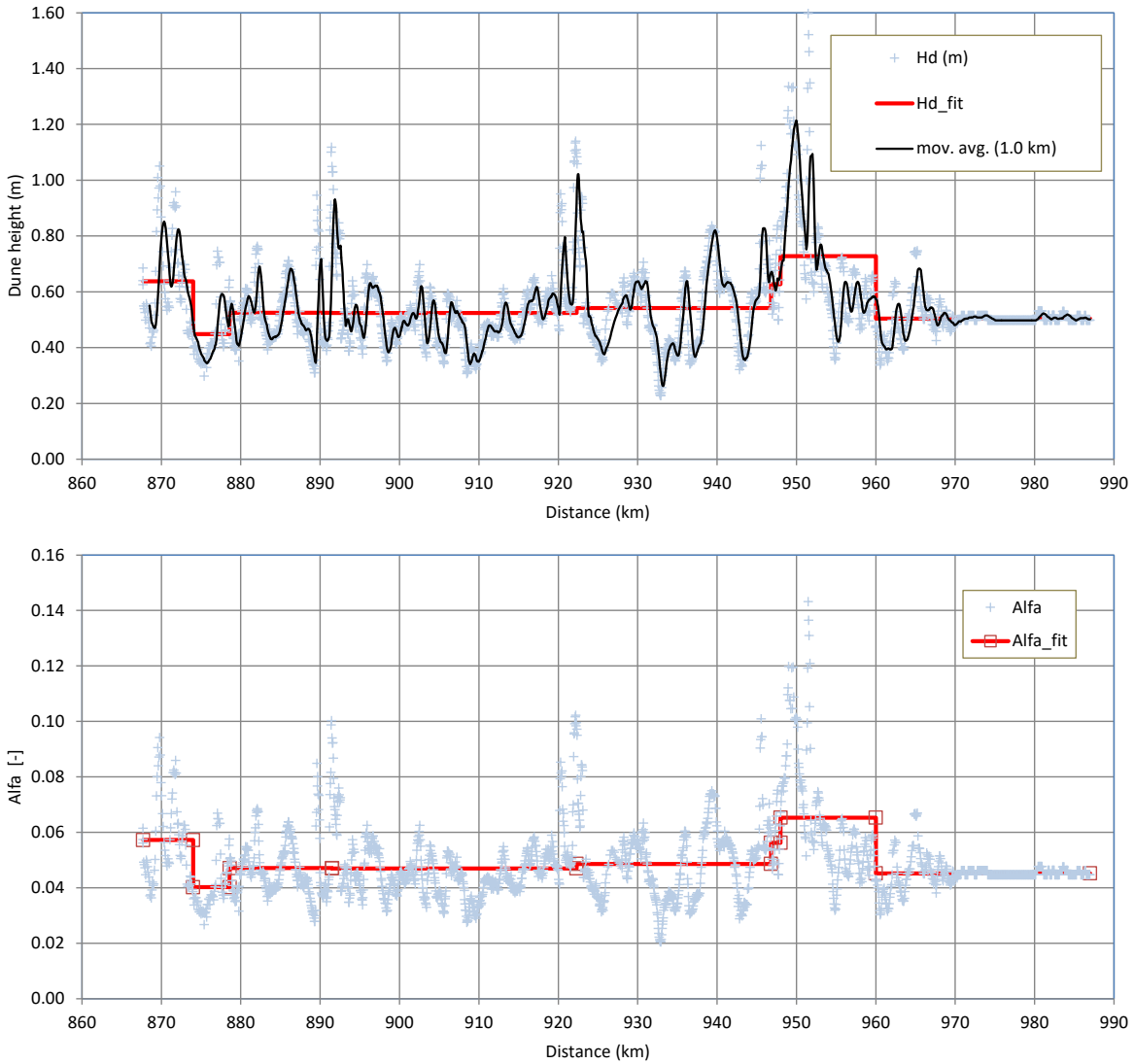


Figure 1.18 PK & Nederrijn: Stepwise fit of dune heights (upper panel), and corresponding calibration coefficient (lower panel).

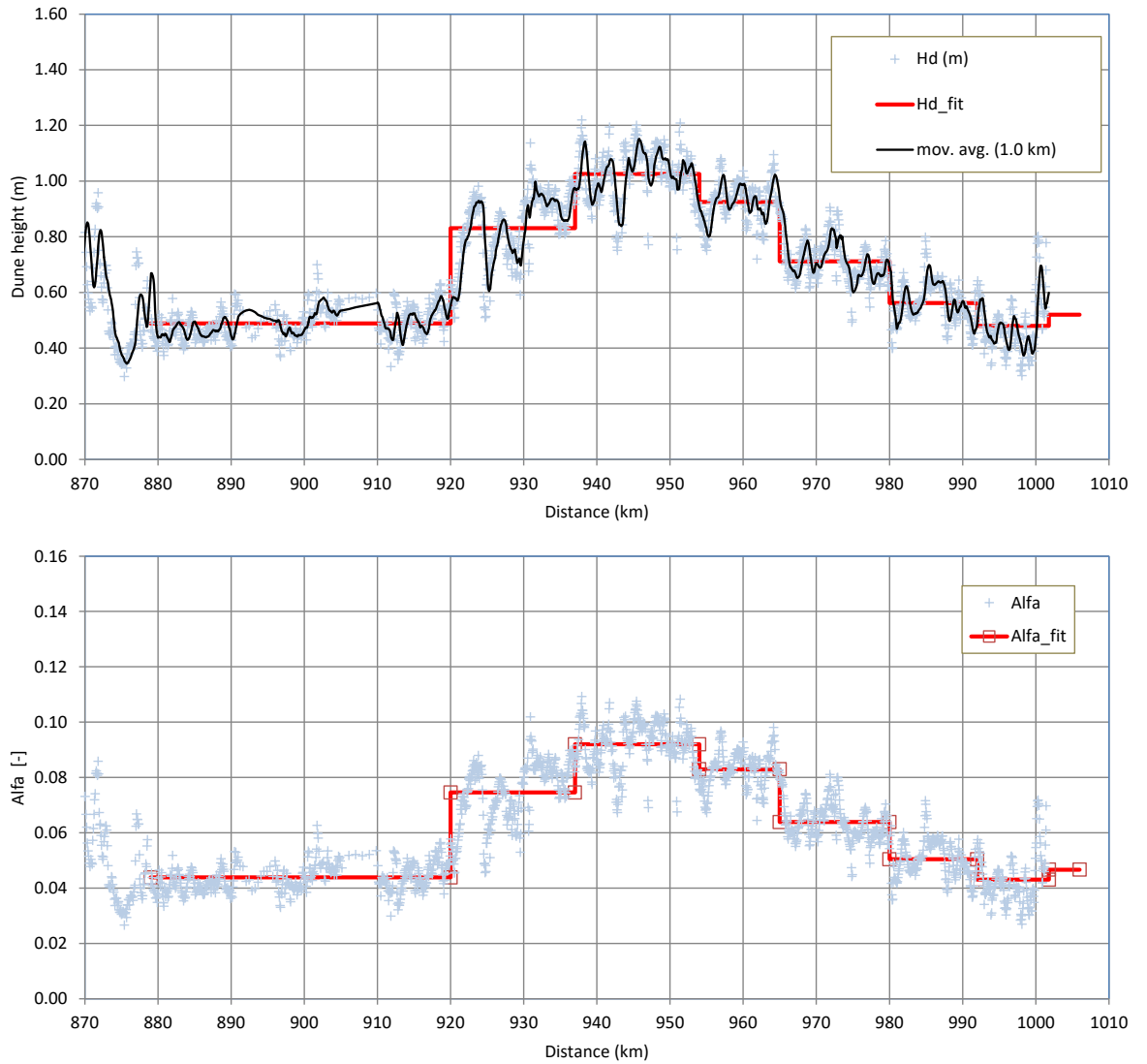


Figure 1.19 IJssel: Stepwise fit of dune heights (upper panel), and corresponding calibration coefficient (lower panel).

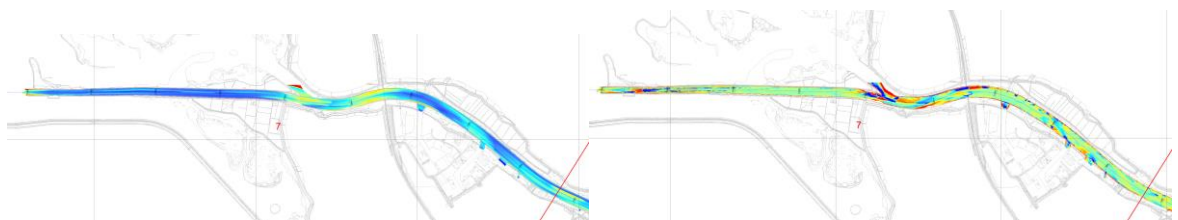


Figure 1.20 IJssel into Ketelmeer: Bodenvormen Verplaatsend (left) & Bodenvormen Plaatsvast (right)



**Date**  
March 5, 2019

**Our reference**  
11203714-005-ZWS-  
0009

**Page**  
18 of 18

### 1.3 Concluding remarks

Based on the simplified approach, we are able to define spatially varying values of the roughness coefficient ALFA. The variability is correlated to the dune heights. It is further simplified into reaches for convenience of use in the model; these values can be found in Table 1.2. The roughness coefficients at the locations of the fixed layers are noted separately, mostly based on an earlier analysis carried out by RWS and used in the 5<sup>th</sup> generation model. The choices made in the vicinity of fixed layers were also motivated by the changes in the dimensions of bed forms shown in Figure 1.12 to Figure 1.14.

We note that there are abrupt changes in the values of the roughness coefficient at the boundaries of the roughness reaches. We recommend that a smooth transition is applied between these reaches. Based on the analysis made in the pilot study for the sixth generation models (2017), and the analysis for the Maas model made in 2018, we recommend a transition length of 2000 m (1 km upstream and 1 km downstream); to be discretised on 20 steps.

We recommend that the values proposed in this memo are used to set the background roughness of the model, before calibration. We further recommend monitoring and evaluating the model performance during the calibration stage. Before the calibration is finalised, we should reflect on the results in order to evaluate the sensibility of the choices made herein.

The analysis carried out herein highlights a knowledge gap about our ability to make estimates of physically-based roughness values and about the status of bedform datasets of the Rhine Branches. It is recommended to formulate a research that addresses this knowledge gap with in the next couple of years, such that the next round of model updates, this knowledge gap is covered. The research can start by reevaluating the bedform datasets and collect new data; associate the collected data with accurate water depth measurements, such that the roughness estimates are made based on consistent bedform and water level data. A research programme such as the KPP-river dynamics may be suitable for this kind of research.

## References

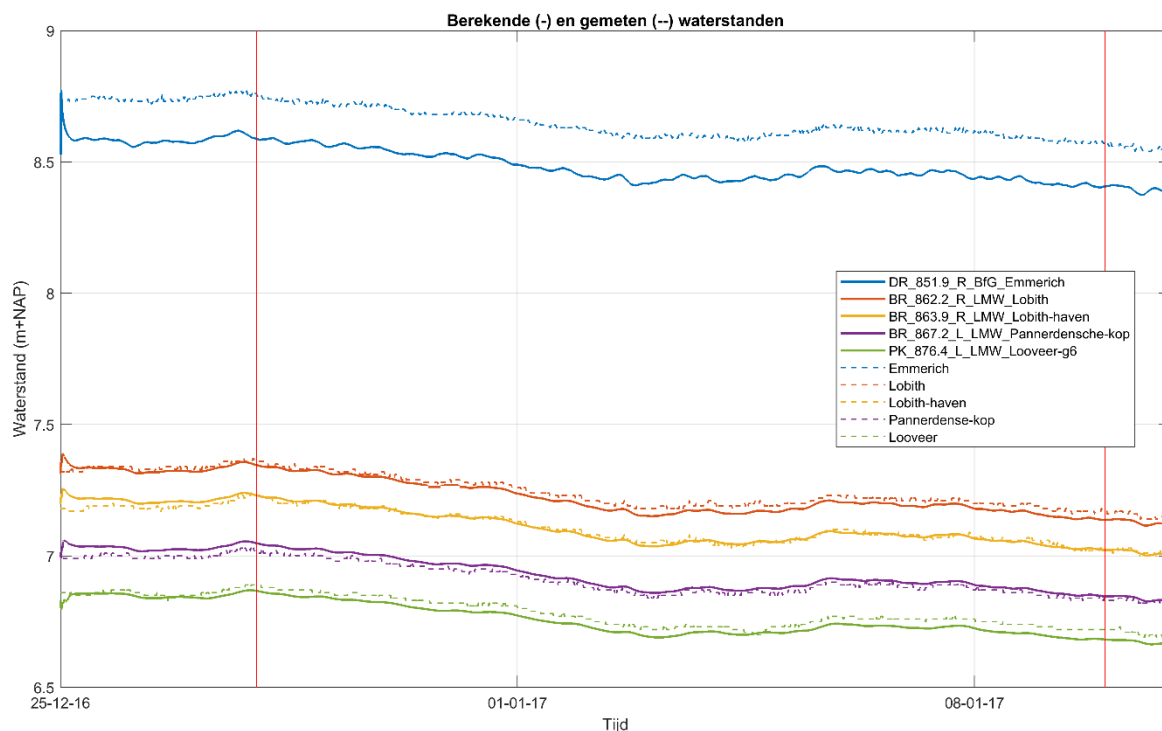
- Sieben, J. (2008) Taal van de rivierbodem: parameters voor morfodynamiek in rivieren. Rijkswaterstaat.
- van Rijn, L. (1984). Sediment Transport, Part III: Bed forms and Alluvial Roughness.

### C.7.3 Aanpassing basisruwheid eerste traject Boven-Rijn

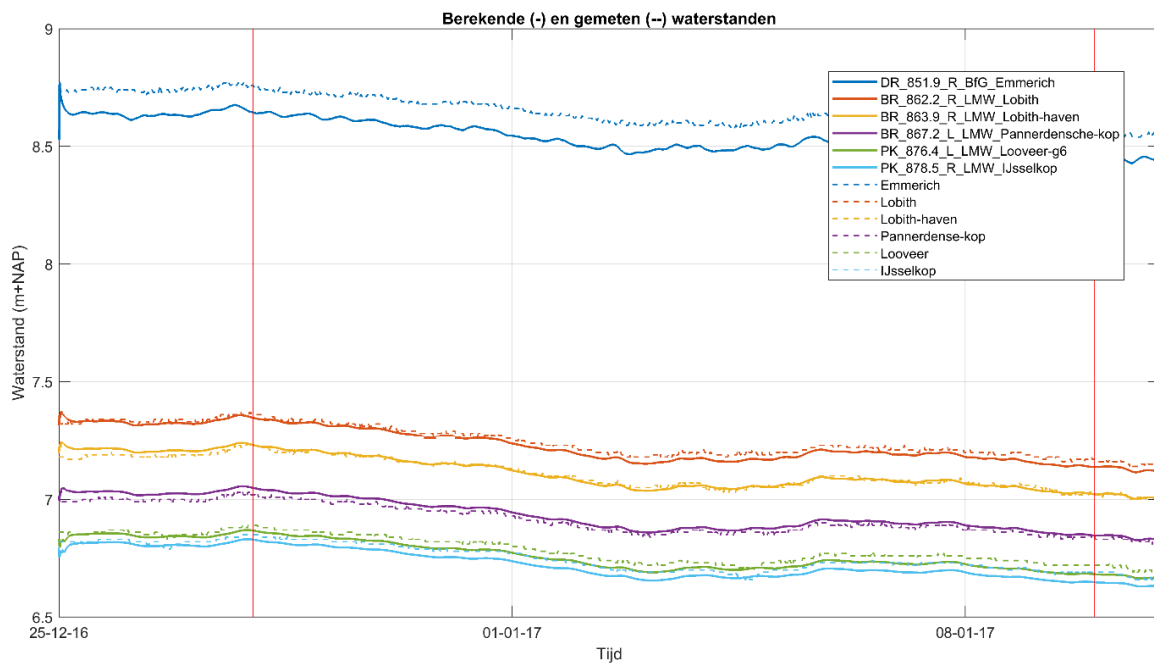
In de eerste simulaties (voorafgaand aan kalibratie) met het totaalmodel voor afvoerniveau L1 werd opgemerkt dat de waterstanden bij Emmerich consequent zo'n 15 cm te laag waren, zie Figuur C.4.

Een verklaring voor dit grote verschil werd gezocht in de basisruwheid die voor het traject rondom Emmerich was afgeleid, zie Bijlage C.7.2. In de afleiding is gekozen om de basisruwheden te baseren op duinhoogtedata en het effect van korrelgrootte niet mee te nemen. Deze procedure leidt tot een relatief lage alfa-waarde (0.026) voor het meest bovenstroomse traject van de Boven-Rijn, omdat dit traject wordt gekenmerkt door relatief lage duinen. Het sediment is hier echter juist relatief grof. Als korrelgroottes wel waren meegenomen in de analyse had dit waarschijnlijk in een grotere alfa-waarde voor dit traject geresulteerd.

Op basis van de constatering dat de waterstanden bij Emmerich met de alfa-waarde van 0.026 significant te laag zijn wordt geconcludeerd dat het meenemen van de korrelgrootte voor dit traject waarschijnlijk in een meer realistische ruwheidswaarde zou resulteren. Omdat het opnieuw uitvoeren van de analyse veel tijd zou kosten is als meer pragmatische oplossing besloten om de basisruwheid op het meest bovenstroomse traject van de Boven-Rijn gelijk te stellen aan de basisruwheid op het traject direct benedenstreams hiervan, en dus van 0.026 aan te passen naar 0.038. Hiermee werd de bias van het model ten opzichte van de metingen bij Emmerich met enkele centimeters verminderd, zie Figuur C.5.



Figuur C.4 Waterstanden voor de L1-kalibratieperiode op Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal voorafgaand aan kalibratie, en voorafgaand aan de aanpassing van de basisruwheid.



Figuur C.5 Waterstanden voor de L1-kalibratieperiode op Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal voorafgaand aan kalibratie, maar na de aanpassing van de basisruwheid op het meest bovenstroomse traject.

#### C.7.4 Ruwheidsbestand als invoer in D-HYDRO

Deze bijlage bevat een kopie van het bestand *roughcombination-all-2021-v4.ttd*, dat de definities van de winterbedruwheden en de basisruwheden van het zomerbed bevat voor alle KPP-modelschematisaties.

```
#-----
#
# 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 ruwheidswaarden 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 overstroomde 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 overstroomde 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% zachthoutoibos + 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%
zachthoustruweel	
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% zachthoustruweel
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% zachthoutooibos
1922	2	1212	1245	0.80	0.20	# 80% droge ruigte + 20% zachthoutooibos
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 5 (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 5
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
# OVERIJSELSE 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          # Nuldernauw
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_a1
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                                # Jumme
#3107                                # Waddenkust
3108 53 0.020                        # Hollandse kust
#Info van Roy van Weerdenburg: Ik ben niet bekend met *.ttd 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
#
*****
**

```

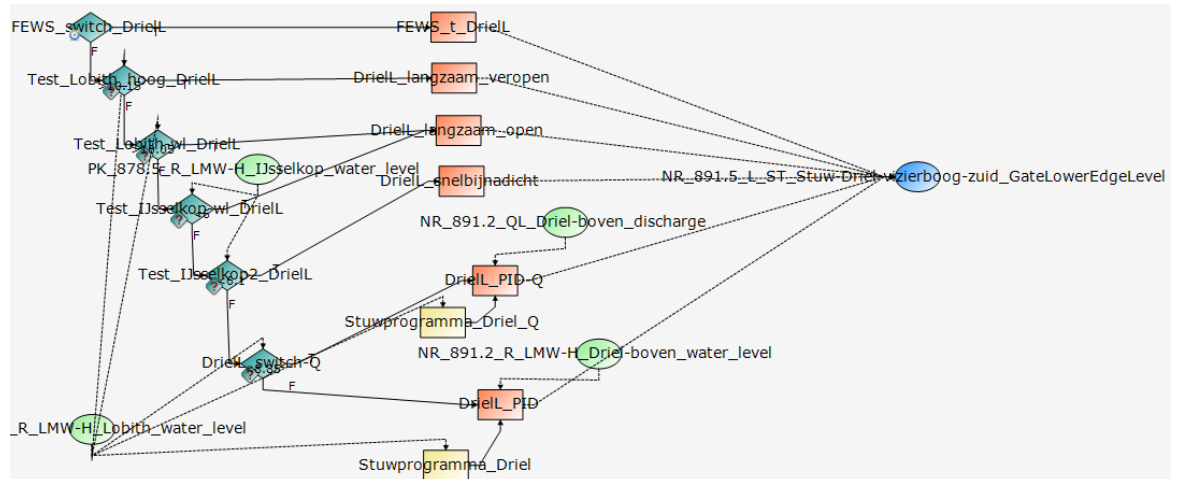
```
3300 51 0.15 # Noordzeekanaal # based on 102
3301 51 0.15 # Amsterdam-Rijnkanaal # based on 102
3302 51 0.15 # Lekkanaal # based on 102
3303 51 0.15 # Merwedekanaal # based on 102
3304 51 0.15 # Vaartse Rijn # based on 102
3305 51 0.15 # Oude Vaartse Rijn # based on 102
#
#=====
==
#
# Einde roughcombination
#
#=====
==
```

# D Schematisatie kunstwerken

## D.1 Aansturing kunstwerken operationeel

De volgende afbeeldingen bevatten de stroomschema's van de sturing zoals opgenomen in het *operationele* model. Een uitgebreide toelichting van deze operationele sturing is opgenomen in Kusters, 2022. De werkelijke aansturing van de kunstwerken is in meer detail beschreven in hoofdstuk 2.5.1.1.

### D.1.1 Stuw Driel



In bovenstaande figuur zijn verschillende componenten zichtbaar:



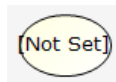
**Conditie:** test of de gedefinieerde conditie waar of onwaar is.

**Voorbeeld:** de conditie *Test\_IJsselkop\_wl\_Driell* in bovenstaand stroomschema kijkt of de waterstand bij IJsselkop kleiner is dan 6 m +NAP. Zo ja, dan wordt de lijn aangegeven met T (True) gevolgd naar *Driell\_langzaam\_open*. Zo nee, dan wordt de lijn aangegeven met F (False) gevolgd naar *Test\_IJsselkop2\_Driell*.



**Regel:** definieert een waarde of tijdserie voor de uitvoerlocatie, eventueel op basis van een opzoektabel (gele rechthoeken).

**Voorbeeld:** als de regel *Driell\_langzaam\_open* geactiveerd wordt gaat de vizierschuif in 1 uur naar een niveau van 10 m +NAP (hoogte onderkant schuif).



**Invoer/uitvoerlocatie:** geeft aan voor welke meetlocatie in het model de conditie of regel geldt. Per stroomschema kan slechts één uitvoerlocatie worden gekozen (het kunstwerk dat bestuurd moet worden). Invoerlocaties zijn groen, de uitvoerlocatie is blauw.

**Voorbeeld:** met bovenstaand stroomschema wordt de hoogte onderkant schuif (*GateLowerEdgeLevel*) van de zuidelijke vizierboog van stuw Driel bestuurd.

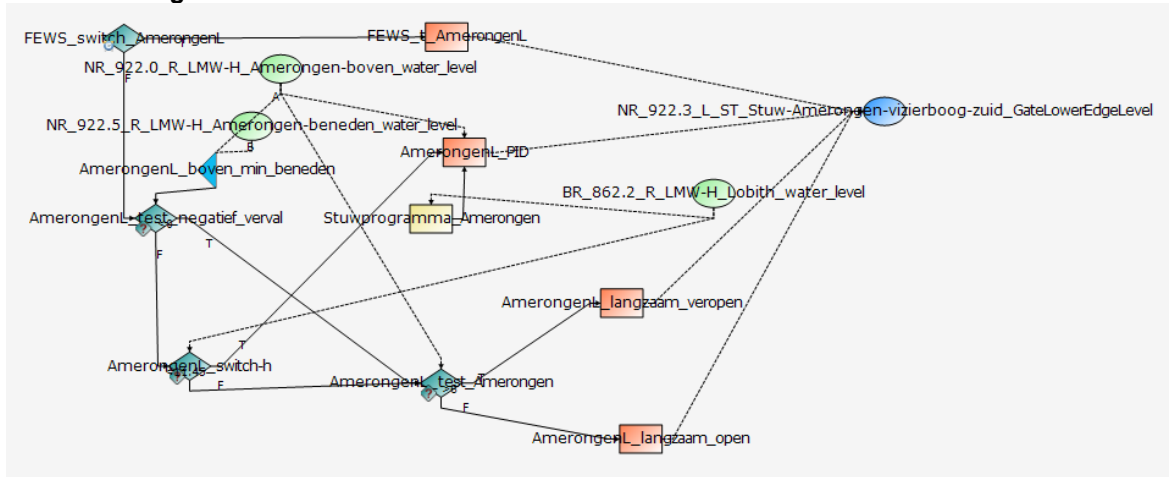


**Wiskundige uitdrukking:** rekent een waarde uit op basis van een wiskundige uitdrukking.

**Voorbeeld:** in bovenstaand stroomschema komt geen wiskundige uitdrukking voor. In het stroomschema van stuw Amerongen (zie paragraaf D.1.2) wordt een wiskundige uitdrukking gebruikt om het verval over de stuw te berekenen (waterstand bij Amerongen boven minus waterstand bij Amerongen beneden). De resulterende waarde wordt vervolgens in een conditie gebruikt.

Met deze informatie kunnen alle stroomschema's gelezen worden.

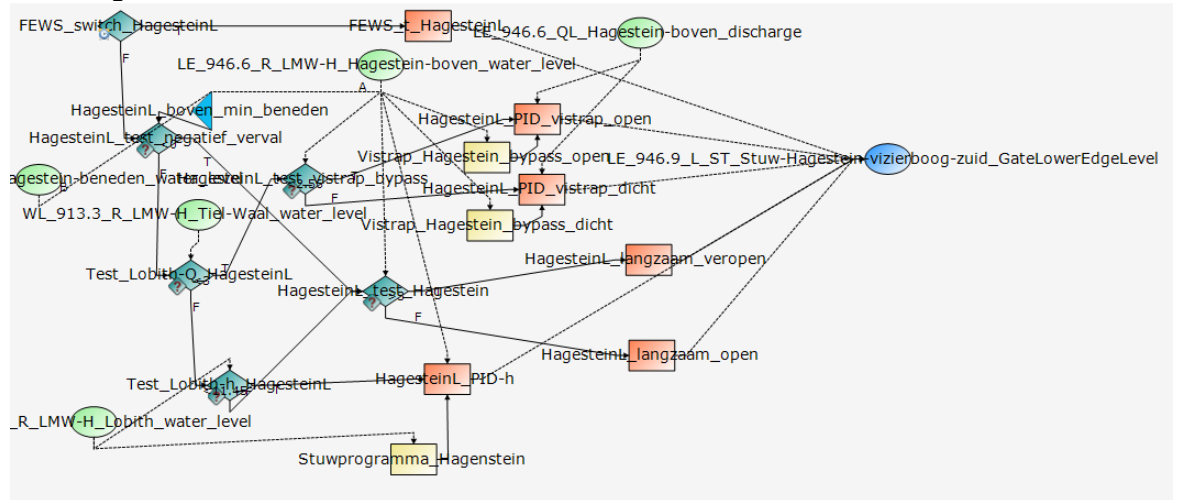
### D.1.2 Stuw Amerongen



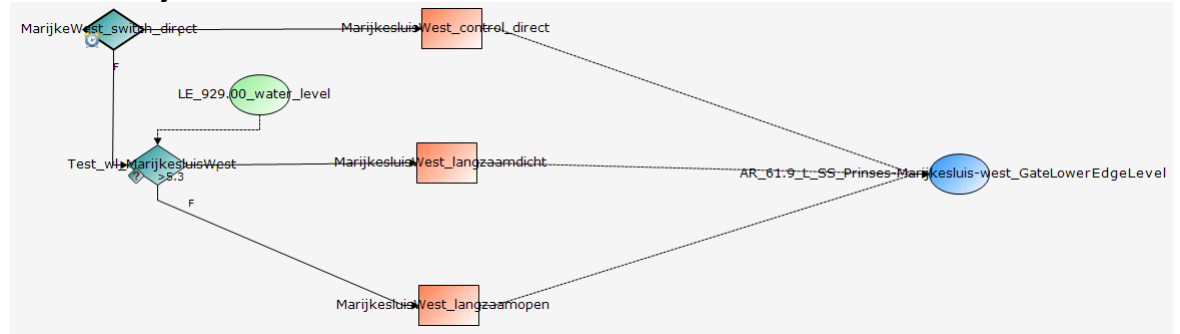
### D.1.3 WKC Amerongen

Voor WKC Amerongen is (nog) geen operationele sturing ontwikkeld.

### D.1.4 Stuw Hagestein

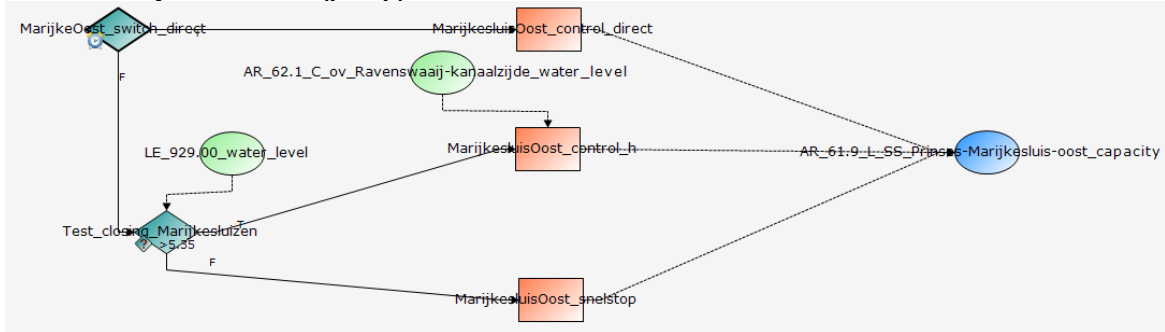


### D.1.5 Prinses Marijkesluis West

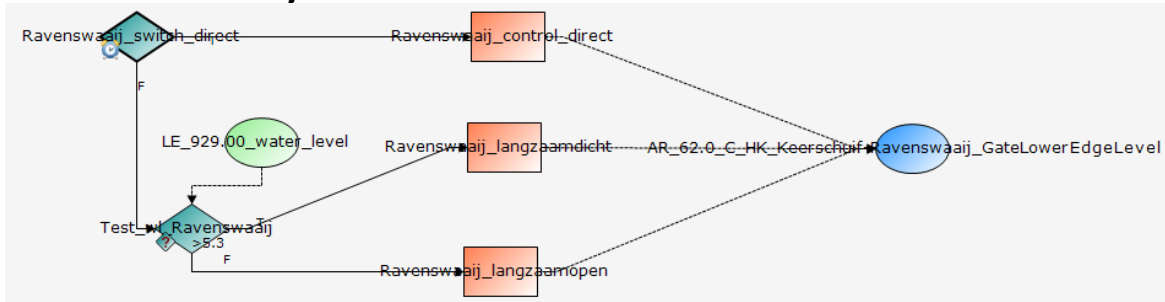




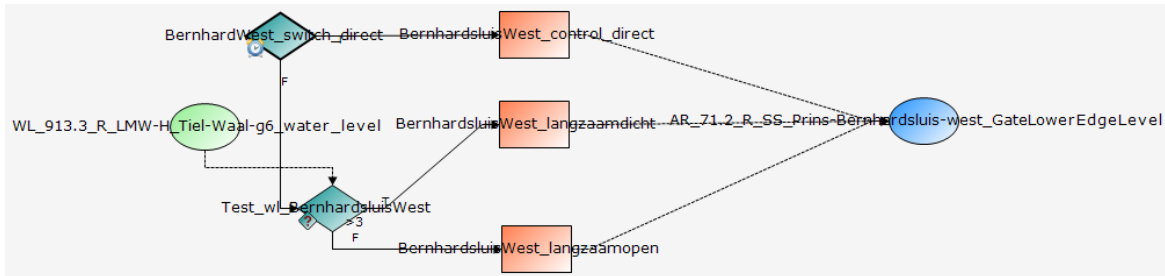
**D.1.6 Prinses Marijkesluis Oost (pomp)**



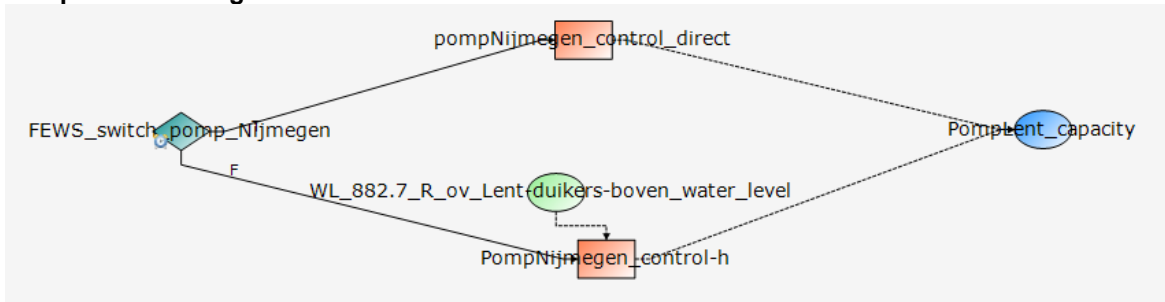
**D.1.7 Keerschuij Ravenswaaij**



**D.1.8 Prins Bernhardsluizen**



**D.1.9 Pomp inlaat nevengeul Lent**



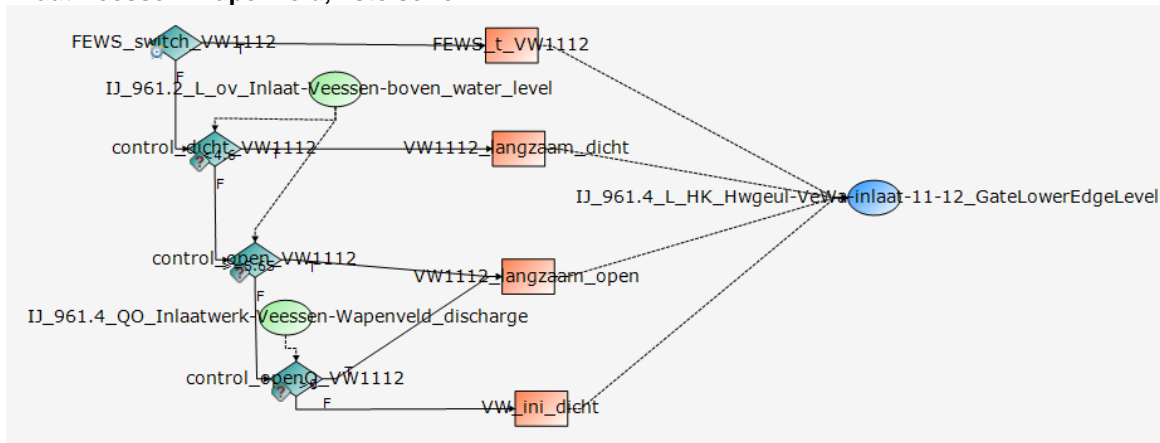
**D.1.10 Regelwerk Pannerden**

Het regelwerk Pannerden heeft in het operationele model een vaste instelling.

**D.1.11 Regelwerk Hondsbroeksche Pleij**

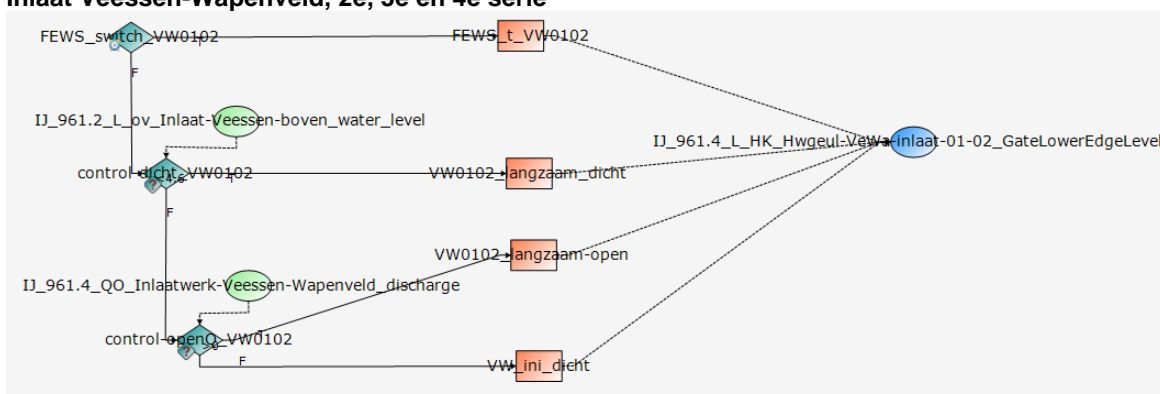
Het regelwerk Hondsbroeksche Pleij heeft in het operationele model een vaste instelling.

### D.1.12 Inlaat Veessen-Wapenveld, 1ste serie



Na het maken van deze figuur is de volgende wijziging doorgevoerd: De conditie control\_openQ\_VW1112 is gewijzigd van > 0 naar ≠ 0.

### D.1.13 Inlaat Veessen-Wapenveld, 2e, 3e en 4e serie



Na het maken van deze figuur is de volgende wijziging doorgevoerd: De conditie control\_openQ\_VW0102 is gewijzigd van > 0 naar ≠ 0.

## D.2 Aansturing kunstwerken kalibratie

Voor kalibratie en validatie wordt geen operationele kunstwerksturing gebruikt, maar wordt gebruik gemaakt van meetdata om de besturing van de kunstwerken tijdens de kalibratie- en validatieperioden te simuleren.

De momenten waarop de stuwen op de Neder-Rijn – Lek en de sluiscomplexen op het Betuwepand (Prins Bernhardsluizen, Prinses Marijkesluizen en keerschuij Ravenswaaij) openen en sluiten zijn door RWS-ON zo goed mogelijk ingeschat op basis van waterstanden en/of schutgegevens. Hetzelfde geldt voor de momenten dat stuw Driel in het model overgaat van sturing op waterstanden naar sturing op afvoeren, en andersom.

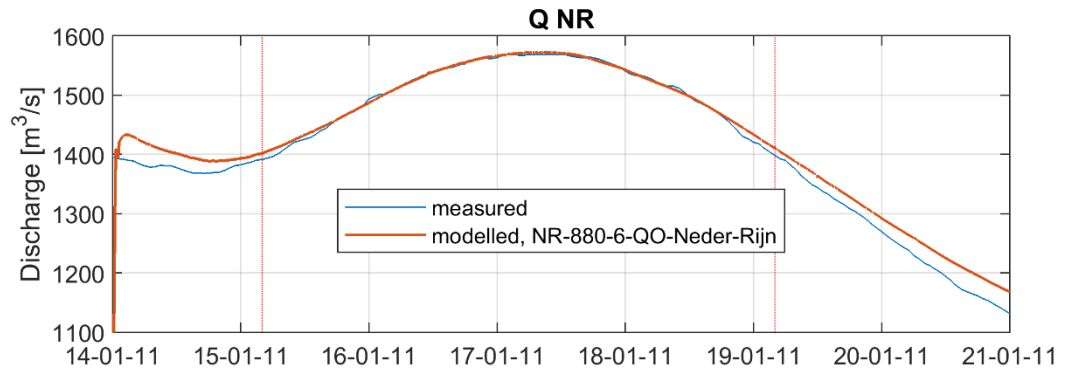
De stuwen op de Neder-Rijn – Lek worden in principe gestuurd op basis van gemeten waterstanden direct bovenstrooms van de stuwen (Driel-boven, Amerongen-boven en Hagestein-boven). Bij zeer lage afvoeren voldoet een sturing op waterstanden echter niet. Voor Driel en Hagestein wordt in deze perioden een sturing op gemeten afvoeren door de stuw gebruikt. De onderbouwing en uitwerking van deze methode is beschreven in Bijlage F.3.4. Amerongen is voor de kalibratieperioden wél gestuurd op gemeten waterstanden. Bij zeer lage afvoeren wordt in principe een constante waterstand van 6 m +NAP gehandhaafd bij Amerongen-boven.

Gemeten waterstanden bij Amerongen-boven in dergelijke perioden fluctueren rond deze waarde. In de validatieberekeningen komen langere perioden met zeer lage afvoeren voor. Voor deze perioden is een gemiddelde van de gemeten waterstanden bij Amerongen-boven bepaald, dat vervolgens is gebruikt om de stuw mee aan te sturen. Dit levert een meer stabiele sturing op, waarbij (onrealistische) fluctuaties in de stuwstanden zoveel mogelijk worden voorkomen.

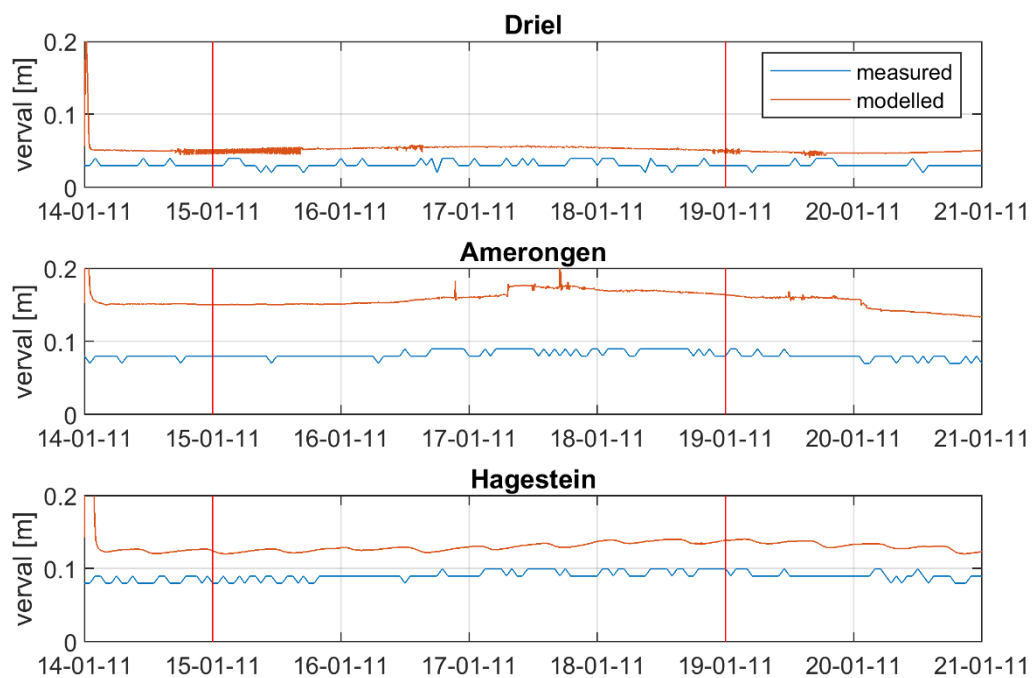
### D.3 Validatie verval stuwen

Voor kalibratieniveau H1 is het verval over de stuwen op de Neder-Rijn – Lek gevalideerd met metingen. In Figuur D.1 is de afvoer op de Neder-Rijn gegeven voor dit niveau, in de periode van 14 tot 21 januari 2011. Figuur D.2 geeft voor dezelfde periode het verval over de stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein. Gedurende deze periode zijn de drie stuwen volledig geopend. Het verval wordt op dit moment dus niet beïnvloed door de stuwsturing. Te zien is dat voor alle drie de stuwen het gemodelleerde verval hoger is dan het gemeten verval. Voor Driel is het verschil tussen model en meting ongeveer 2,5 cm. Voor Amerongen is dit ongeveer 8 cm en voor Hagestein geldt een verschil van ongeveer 4 cm.

Op het moment van schrijven kan dit verval nog niet gekalibreerd worden in D-HYDRO. Omdat het verschil tussen het gemodelleerde en het gemeten verval significant is wordt aanbevolen deze kalibratie uit te voeren wanneer de functionaliteit hiervoor beschikbaar is.



Figuur D.1 Afvoer op de Neder-Rijn voor kalibratieniveau H1. De kalibratieperiode is afgebakend met rode verticale lijnen.



Figuur D.2 Verval over de stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein voor kalibratieniveau H1. De kalibratieperiode is afgebakend met rode verticale lijnen.

# E      Overzicht modelinstellingen

Deze bijlage bevat een overzicht van de parameters in het mdu-bestand. Hiervoor is het mdu-bestand van de modelschematisatie dflowfm2d-rijn-j16\_6-w12 als voorbeeld gebruikt.

```

[model]
Program                = D-Flow FM      # Program name
FileVersion            = 1.09          # File format version (do not edit this)
AutoStart              = 0              # Autostart simulation after loading MDU (0: no, 1: autostart, 2: autostartstop)
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.

[geometry]
NetFile                = j16_6-w13_net.nc          # Unstructured grid file *_net.nc
BedlevelFile           =                       # Bedlevels points file e.g. *.xyz, only needed for bedlevtype not equal 3
DryPointsFile          = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_dry_areas.pol          # Dry points file *.xyz (third column dummy z values), or
dry areas polygon file *.pol (third column 1/-1: inside/outside)
GridEnclosureFile     = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_enclosures.pol          # Enclosure polygon file *.pol (third column 1/-1:
inside/outside)
IniFieldFile          = ../../../../initial_conditions/j16_6-w12_initial_water_level.ini    # Initial water levels sample file *.xyz
LandBoundaryFile      =                       # Land boundaries file *.ldb, used for visualization
ThinDamFile           = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_thin_dams.pli          # Polyline file *_thd.pli, containing thin dams
FixedWeirFile         = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_fixed_weirs.pliz       # Polyline file *_fxw.pliz, containing fixed weirs with
rows x, y, crest level, left ground level, right ground level
PillarFile            = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_bridges.pliz          # Polyline file *.pliz, containing bridge pillars with rows x,
y, drag coefficient and diameter
StructureFile         = ../../../../general/Structures_j16_v4.ini                      # File *.ini containing list of structures (pumps, weirs,
gates and general structures)
WaterLevIni           = -999            # Initial water level at missing s0 values
BedlevUni              = 999            # Uniform bed level used at missing z values if BedlevType > 2
BedlevType            = 3              # Bathymetry specification (1: at cell centers (from BathymetryFile), 2: at cell interfaces (from
BathymetryFile), 3: at nodes, face levels mean of node values, 4: at nodes, face levels min. of node values, 5: at nodes, face levels max. of node values, 6:
at cell centers, cell levels mean of node values)
Blmeanbelow           = -999            # If not -999d0, below this level the cell center bed level is the mean of surrounding net nodes
Blminabove            = -999            # If not -999d0, above this level the cell center bed level is the min. of surrounding net nodes
PartitionFile         =                 # Domain partition polygon file *_part.pol for parallel run
AngLat                = 52              # Angle of latitude S-N, 0: no Coriolis
AngLon                = 0              # Angle of longitude E-W, 0: Greenwich, used in solar heat flux computation.
Conveyance2D          = -1              # -1: R=HU, 0: R=H, 1: R=A/P, 2: K=analytic-1D conv, 3: K=analytic-2D conv

```

```

Sillheightmin           = 0           # Weir treatment only if both sills larger than this value
Makeorthocenters       = 0           # Switch from circumcentres to orthocentres in geominit (1: yes, 0: no)
Dcenterinside          = 1           # Limit cell center (1.0: in cell, 0.0: on c/g)
Bamin                  = 1E-06       # Minimum grid cell area, in combination with cut cells
OpenBoundaryTolerance  = 3           # Search tolerance factor between boundary polyline and grid cells, in cell size units
RenumberFlowNodes      = 1           # Renumber the flow nodes (1: yes, 0: no)

[numerics]
CFLMax                 = 0.7         # Maximum Courant number
AdvecType               = 33         # Advection type (0: none, 1: Wenneker, 2: Wenneker q(ui-o-u), 3: Perot q(ui-o-u), 4: Perot q(ui-u), 5:
Perot q(ui-u) without itself, 33: Perot q(ui-o-u) fast
TimeStepType           = 2           # Time step handling (0: only transport, 1: transport + velocity update, 2: full implicit step-reduce, 3:
step-Jacobi, 4: explicit)
Limtypphu               = 0           # Limiter type for waterdepth in continuity eqn. (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone
central)
Limtypmom               = 4           # Limiter type for cell center advection velocity (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone
central)
Limtypsa                = 4           # Limiter type for salinity transport (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone central)
Icgsolver               = 6           # Solver type (1: sobekGS_OMP, 2: sobekGS_OMPthreadsafe, 3: sobekGS, 4: sobekGS + Saadilud, 5:
parallel/global Saad, 6: parallel/Petsc, 7: parallel/GS)
Maxdegree               = 6           # Maximum degree in Gauss elimination
FixedWeirScheme         = 9           # Fixed weir scheme (0: None, 6: Numerical, 8: Tabellenboek, 9: Villemonte)
FixedWeirContraction    = 1           # Fixed weir flow width contraction factor
Izbnbdpos               = 0           # Position of z boundary (0: Delft3D-FLOW, 1: on net boundary, 2: on specifiend polyline)
Tlfsmo                  = 0           # Fourier smoothing time on water level boundaries
Slopedrop2D             = 0           # Apply drop losses only if local bed slope > Slopedrop2D, (<=0: no drop losses)
Chkadvd                 = 0.1        # Check advection terms if depth < chkadvd, => less setbacks
Teta0                   = 0.55       # Theta of time integration (0.5 < theta < 1)
Qhrelax                 = 0.01       # Relaxation on Q-h open boundaries
cstbnd                  = 0           # Delft3D type velocity treatment near boundaries for small coastal models (1: yes, 0: no)
Turbulencemodel         = 3           # Turbulence model (0: none, 1: constant, 2: algebraic, 3: k-epsilon, 4: k-tau)
Turbulenceadvection     = 3           # Turbulence advection (0: none, 3: horizontally explicit and vertically implicit)
AntiCreep                = 0         # Include anti-creep calculation (0: no, 1: yes)
Maxwaterleveldiff       = 0           # Upper bound on water level changes (<=0: no bounds)

```

```

Maxvelocitydiff      = 0          # Upper bound on velocity changes (<=0: no bounds)
Epslu                = 0.0001    # Threshold water depth for wet and dry cells

[physics]
UnifFrictCoef        = 0.023     # Uniform friction coefficient (0: no friction)
UnifFrictType        = 1         # Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook)
Umodlin              = 0         # Linear friction umod, for ifrctyp=4,5,6
Vicouv               = 0.1       # Uniform horizontal eddy viscosity
Dicouv              = 0.1       # Uniform horizontal eddy diffusivity
Vicoww               = 5E-05    # Uniform vertical eddy viscosity
Dicoww              = 5E-05    # Uniform vertical eddy diffusivity
Vicwminb             = 0        # Minimum viscosity in prod and buoyancy term
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)
wall_ks              = 0        # Nikuradse roughness for side walls
Rhomean              = 1000     # Average water density
Idensform            = 2        # Density calculation (0: uniform, 1: Eckart, 2: UNESCO, 3: baroclinic case)
Ag                   = 9.813    # Gravitational acceleration
TidalForcing         = 0        # Tidal forcing, if jsferic = 1 (0: no, 1: yes)
Doodsonstart         = 55.565   # TRIWAQ: 55.565, D3D: 57.555
Doodsonstop          = 375.575  # TRIWAQ: 375.575, D3D: 275.555
Doodsoneps           = 0        # TRIWAQ = 0.0 400 cm/s , D3D = 0.03 60 cm/s
VillemonteCD1        = 1.       # Calibration coefficient for Villemonte. Default = 1.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
VillemonteCD2        = 10.      # Calibration coefficient for Villemonte. Default = 10.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
Salinity              = 0        # Include salinity, (0: no, 1: yes)
InitialSalinity       = 0        # Uniform initial salinity concentration
Sal0abovezlev        = -999     # Vertical level above which salinity is set 0
DeltaSalinity         = -999     # for testcases
Backgroundsalinity    = 30       # Background salinity for eqn. of state
InitialTemperature    = 6        # Uniform initial water temperature
Secchidepth          = 1        # Water clarity parameter
Stanton               = -1       # Coefficient for convective heat flux
Dalton                = -1       # Coefficient for evaporative heat flux

```



```

Backgroundwatertemperature = 6 # Background water temperature for eqn. of state
SecondaryFlow = 0 # Secondary flow (0: no, 1: yes)
EffectSpiral = 0 # Weight factor of the spiral flow intensity on transport angle

BetaSpiral = 0 # Weight factor of the spiral flow intensity on flow dispersion stresses
Temperature = 0 # Include temperature (0: no, 1: only transport, 3: excess model of D3D, 5: composite (ocean) model)

[time]
RefDate = 20161001 # Reference date [YYYY-MM-DD HH:MM:SS]
Tzone = 0 # Time zone assigned to input time series
DtUser = 30 # Time interval for external forcing update [Dd HH:MM:SS.ZZZ]
DtNodal = # Time interval (s) for updating nodal factors in astronomical boundary conditions [Dd HH:MM:SS.ZZZ]
DtMax = 30 # Maximal computation timestep
DtInit = 1 # Initial computation timestep
Tunit = S # Time unit for start/stop times (H, M or S)
TStart = 0 # Start time w.r.t. RefDate (in TUnit)
TStop = 15638400 # Stop time w.r.t. RefDate (in TUnit)

[restart]
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]
ExtForceFile = ../../../../boundary_conditions/j16/verhanglij_n_j16.ext # Old format
for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
ExtForceFileNew = ../../../../boundary_conditions/j16/j16_6-w12_totaal.ext # New format for external forcings file *.ext, link
with bc-format boundary conditions specification

[trachytopes]
TrtRou = Y # Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N:
no)
TrtDef = ../../../../general/roughcombination-all-2019_6_rijntakken-v3.ttd # File (*.ttd) containing trachytopo definitions
TrtL = ../../../../geometry_j16_6-w12/j16_6-w12_trachytopes.arl # File (*.arl) containing distribution of trachytopo
definitions

```

```

DtTrt                = 60                                # Trachytopo roughness update time interval

[calibration]
UseCalibration        = 1                                # Activate calibration factor friction
multiplier (1 = yes, 0 = no)
DefinitionFile        = totaalmodel-v20042021.cld        # File (*.cld) including calibration
definitions
AreaFile              = ../../../../geometry_j16_6-wl2/j16_6-wl2_calibration_sections_corr.cll # File (*.cld) including area distribution of
calibration definitions

[output]
OutputDir             = Results                          # Output directory of map-, his-, rst-, dat- and timings-files, default: DFM_OUTPUT_<modelname>. Set to .
for current dir.
FlowGeomFile          =                                # Flow geometry NetCDF *_flowgeom.nc
ObsFile               = ../../../../geometry_j16_6-wl2/output_locations/j16_6-wl2_all_points.xyn          # Points file *.xyn with
observation stations with rows x, y, station name
CrsFile               = ../../../../geometry_j16_6-wl2/cross_sections/j16_6-wl2_2_m_crs.pli ../../../../geometry_j16_6-wl2/cross_sections/j16_6-
wl2_3_o_crs.pli ../../../../geometry_j16_6-wl2/cross_sections/IJ_handm_4_crs.pli ../../../../geometry_j16_6-wl2/cross_sections/j16_6-wl2_5_crs.pli # Polyline
file *_crs.pli defining observation cross sections
HisFile               =                                # History output file *_his.nc in NetCDF format
HisInterval           = 30                              # History output times, given as 'interval' 'start period' 'end period'
XLSInterval           = 0                              # Interval between XLS history [Dd HH:MM:SS.ZZZ]
MapFile               =                                # Map file output file *_map.nc in NetCDF format
MapInterval           = 86400                          # Map file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period'
RstInterval           = 0                              # Restart file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period'
MapFormat             = 4                              # Map file format (1: NetCDF, 2: Tecplot, 3: NetCFD and Tecplot)
NcFormat              = 3                              # Format for all NetCDF output files (3: classic, 4: NetCDF4+HDF5)
NcWriteLatLon         = 1                              # Write extra lat-lon coordinates for all projected coordinate variables in each NetCDF file (for CF-
compliance).
Wrihis_balance        = 1                              # Write mass balance totals to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_sourcesink     = 1                              # Write sources-sinks statistics to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_gen  = 1                              # Write general structure parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_dam  = 1                              # Write dam parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_pump = 1                              # Write pump parameters to his file (1: yes, 0: no)

```

Wrihis_structure_gate	= 1	# Write gate parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_weir	= 1	# Write weir parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_orifice	= 1	# Write orifice parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_bridge	= 1	# Write bridge parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_culvert	= 1	# Write culvert parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_damBreak	= 1	# Write dam break parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_uniWeir	= 1	# Write universal weir parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_compound	= 1	# Write compound structure parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_turbulence	= 1	# Write k, eps and vicww to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_heat_fluxes	= 0	# Write heat fluxes to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_salinity	= 0	# Write salinity to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_density	= 0	# Write density to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_waterlevel_sl	= 1	# Write water level to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_bedlevel	= 0	# Write bed level to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_waterdepth	= 1	# Write water depth to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_velocity_vector	= 1	# Write velocity vectors to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_upward_velocity_component	= 0	# Write upward velocity to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_sediment	= 1	# Write sediment transport to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_constituents	= 1	# Write tracers to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_zcor	= 1	# Write vertical coordinates to his file (1: yes, 0: no)
Wrimap_waterlevel_s0	= 0	# Write water levels for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_waterlevel_sl	= 1	# Write water levels to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_component_u0	= 1	# Write velocity component for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_component_ul	= 1	# Write velocity component to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_vector	= 1	# Write cell-center velocity vectors to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_magnitude	= 1	# Write cell-center velocity vector magnitude to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_upward_velocity_component	= 0	# Write upward velocity component on cell interfaces (1: yes, 0: no)
Wrimap_density_rho	= 1	# Write flow density to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_horizontal_viscosity_viu	= 1	# Write horizontal viscosity to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_horizontal_diffusivity_diu	= 1	# Write horizontal diffusivity to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_flow_flux_q1	= 0	# Write flow flux to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_spiral_flow	= 1	# Write spiral flow to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_numlimdt	= 1	# Write the number times a cell was Courant limiting to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_taucurrent	= 1	# Write the shear stress to map file (1: yes, 0: no)

```

Wrimap_chezy           = 1           # Write the Chezy roughness to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_turbulence      = 1           # Write vicww, k and eps to map-file (1: yes, 0: no)
Wrimap_wind            = 0           # Write wind velocities to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_trachytopes     = 1           # Write trachytope roughnesses to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_calibration     = 1
Wrimap_heat_fluxes     = 0           # Write heat fluxes to map file (1: yes, 0: no)
MapOutputTimeVector    =             # File (*.mpt) containing fixed map output times 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)
ClassMapFile           =             # Class map file *_clm.nc
WaterlevelClasses      = 0.0         # Water level classes
WaterdepthClasses      = 0.0         # Water depth classes
ClassMapInterval       = 0           # Class output interval [Dd HH:MM:SS.ZZZ]
StatsInterval          =             # Interval (in s) between simulation statistics output [Dd HH:MM:SS.ZZZ]
Writebalancefile       = 0           # Write balance file (1: yes, 0: no)
TimingsInterval       =             # Timings statistics output interval [Dd HH:MM:SS.ZZZ]

```

# F Randvoorwaarden en metingen

## F.1 Overzicht metingen per meetstation

Tabel F.1 Beschikbare waterstandsmetingen voor de vijf perioden. Een grijze cel geeft aan dat er geen data aanwezig is voor dit station voor het desbetreffende jaar. De aanduiding 24h betekent dat één meting per dag beschikbaar is.

meetstations	rkm	HW1993	HW1995	HW2011	2015	2016
<b>Boven-Rijn</b>						
Emmerich	851.9					
LMW.Lobith	862.2					
LMW.Lobith Haven	863.9					
<b>Waal</b>						
LMW.Pannerdensch Kop	867.2					
LMW.Erlecom boven	872.8	24h	24h			
LMW.Erlecom beneden	876.0	24h	24h			
LMW.Nijmegenhaven	884.9					
LMW.Dodewaard	901.3					
LMW.Tiel Waal	913.3					
LMW.Sint-Andries Waal boven	924.7		24h			
LMW.Sint-Andries Waal	926.1	24h	24h	24h	24h	24h
LMW.Sint-Andries Waal beneden	929.1		24h			
LMW.Zaltbommel	934.8					
LMW.Vuren	951.8					
LMW.Werkendam	961.0					
<b>Pannerdensch Kanaal</b>						
LMW.Pannerdensch Kop	867.2					
LMW.Groene Rivier Pannerden boven	869.3					
LMW.Groene Rivier Pannerden beneden	869.4					
LMW.Pannerden	871.8	24h	24h	24h	24h	24h
LMW.Looveer	876.5					
<b>Neder-Rijn/Lek</b>						
LMW.IJsselkop	878.5					
LMW.Arnhem	882.8					
LMW.Driel boven	891.2					
LMW.Driel beneden	891.8					
LMW.Grebbe	908.1	24h	24h			
LMW.Remmerden	912.7	24h				
LMW.Eck en Wiel	918.6	24h				
LMW.Amerongen boven	922.0					
LMW.Amerongen beneden	922.5					
LMW.Tiel kanaal	70.8	24h				
LMW.Culemborg	939.8					
LMW.Hagestein boven	946.6					
LMW.Hagestein	947.1					
LMW.Schoonhoven	971.6					
LMW.Krimpen aan de Lek	988.7					
<b>IJssel</b>						
LMW.IJsselkop	878.5					

meetstations	rkm	HW1993	HW1995	HW2011	2015	2016
LMW.Hondsbroeksche Pleij IJssel	879.6					
LMW.Westervoort	881.1					
LMW.De Steeg	890.7	24h				
LMW.Doesburg	903.0					
LMW.Dieren	911.6	24h				
LMW.Zutphen	929.3					
LMW.Eefde beneden	931.0	24h	24h			
LMW.Deventer	945.0	24h	24h			
LMW.Olst	957.1					
LMW.Veessen boven	959.4	24h	24h			
LMW.Veessen beneden	960.9	24h	24h			
LMW.Wijhe	965.2	24h	24h			
LMW.Katerveer	980.8					
LMW.Kampenbovenhaven	994.5					
LMW.Keteldiep	1001.4	24h	24h			
LMW.Ketelmond	-					
LMW.Ketelhaven	-					
LMW.Ramspolbrug	-					
LMW.Kamperhoek	-					
LMW.Roggebotsluis noord	-					

Tabel F.2 Overzicht data belangrijke beken. De eerste letter geeft informatie over de tijdstap ( $t = 10$ -minuten-waarden;  $u =$  uurwaarden;  $e =$  etmaalwaarden). De tweede letter geeft informatie over de volledigheid van de reeks ( $v =$  volledig;  $h =$  hiaten).

Periode	HW1993	HW1995	HW2011	2015/2016	2016/2017
Oude IJssel	uv	uv	uh	uv	uh
Twente kanaal Almen	ev	ev	uh	th	th
Twentekanaal Afleidingskanaal	h	h	uh	uh	uv
Schipbeek	uh	uh	uh	uv	uv
Liemers	h	h	h	uh	uh
Bevermeer	h	h	uh	uh	uh
Grote beek	h	h	uh	uh	uv
Baakse beek	h	h	uh	uv	uh
Kanaal van Hackfort	h	h	uh	uh	uv
Wijk bij Duurstede	h	h	th	th	th
Nieuwegein	h	th	th	th	th

## F.2 Randvoorwaarden Generator Water Modellen

Voor het afleiden van laterale onttrekkingen en toestromingen (als ook voor het aanmaken van tijdreeksen voor de modelranden (afvoeren en waterstanden)) wordt gebruik gemaakt van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) (Deltares, 2020). In deze software is een database aan regressies opgenomen waarmee uit een beperkte set randvoorwaarden een volledige set verkregen kan worden. De RGWM is de opvolger van de Laterale Afvoergenerator (LAG) en de Hulpprogrammatuur. Indien metingen beschikbaar zijn kunnen deze worden aangeboden aan de RGWM.

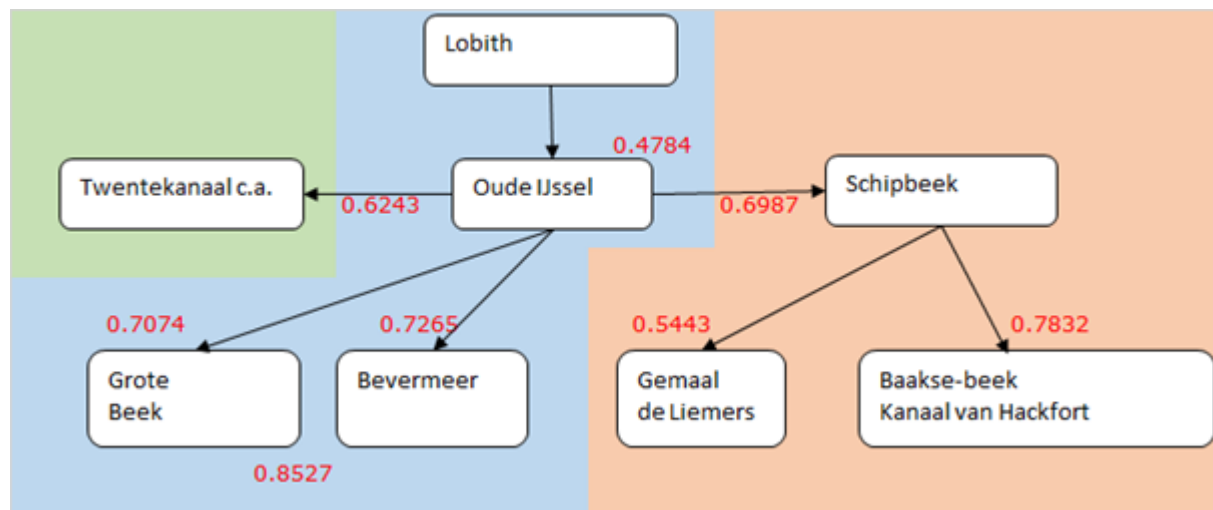
### F.2.1 Methode

In deze paragraaf wordt de methode waarop de RGWM de lateralen bepaalt beschreven. Alle lateralen zijn genoemd in Tabel F.3. In sommige stappen wordt in de RGWM een andere methode toegepast bij standaardafvoergolven dan bij historische perioden. In deze tekst wordt enkel ingegaan op de methode voor historische perioden.

Als basis wordt uitgegaan van afvoergegevens bij Lobith en metingen van enkele *belangrijke beken* van de Rijntakken. De belangrijke beken zijn (allemaal langs de IJssel):

- Oude IJssel.
- Twentekanaal.
- Schipbeek.
- Grote beek.
- Broekhuizerwater (Bevermeer).
- De Zwalm (Liemers).
- Baakse beek.
- Kanaal van Hackfort.

Er wordt uitgegaan van de locatie van het meetstation. Voor historische perioden kan de RGWM gebruikt worden om voor deze beken hiaten op te vullen. Hiervoor zijn statistische regressierelaties opgesteld tussen de beken en Lobith volgens de boomstructuur uit Figuur F.1. In de figuur staat de kwaliteit van de regressies aangegeven. Na deze stap zijn er volledige tijdreeksen voor de belangrijke beken.



Figuur F.1 Gevonden correlatiecoëfficiënten belangrijke beken (Van der Veen, 2018).

In een tweede stap worden de belangrijke beken vertaald naar de *overige beken*. Deze overige beken worden afgeleid op basis van oppervlakte-oppervlakte relaties met de nabijgelegen belangrijke beek. Hierbij worden de belangrijke beken ook vertaald naar hun monding in de Rijntakken en worden er aanvullende correcties uitgevoerd op beperking van de instroming door hoge waterstanden in de Rijntakken (een lozingsbeperking). Er wordt ook onderscheid gemaakt tussen de vrije afstroming van beken en de inzet van gemalen.

Voor waterinlaatpunten en lozingspunten van Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) worden constante waarden aangenomen.

Er is geen rekening gehouden met pompen bij sluizen. Bij enkele schutsluizen die tijdens hoge afvoer afgesloten worden van de rivier, dient het op peil houden van het kanaal te gebeuren door het model.

Bij schutsluizen wordt gebruik gemaakt van de wekelijkse variabiliteit (per uur) en seizoensvariabiliteit (per maand) welke is afgeleid uit IVS-gegevens voor de scheepvaart. In combinatie met de oppervlakte van de sluiskolken is daarmee een schutintensiteit afgeleid (uitgedrukt in m<sup>3</sup>/s/m verval). Het verval kan worden ingegeven als invoer voor de RGWM, of (indien afwezig) worden afgeleid uit het debiet bij Lobith.

Tabel F.3 Overzicht laterale lozingen en onttrekkingen. Naamgeving volgens Baseline. Met groen zijn de belangrijke beken weergegeven.

Lateraal	type	Afgeleid van
BR_852.4L_Beek_Kalflack		Oude IJssel
BR_859.0L_Beek_Kellener_Alrhein		Oude IJssel
BR_859.0L_Beek_Spoykanal		Oude IJssel
WL_877.0R_RWZI_Millingen_Gendt_buitendijks		Oude IJssel
WL_883.4L_Beek_Het_Meertje		Oude IJssel
WL_887.0L_Sluis_Weurt	schutdebiet	
WL_887.0L_RWZI_Nijmegen_buitendijks		Oude IJssel
WL_904.3L_RWZI_Druten_buitendijks		Oude IJssel
WL_914.6R_Inlaatgemaal_Echteldsedijk_Tiel	inlaat	
WL_926.2L_Sluis_Sint_Andries	schutdebiet	
WL_933.0L_RWZI_Bommelerwaard-Oost_buitendijks		Oude IJssel
WL_936.0R_RWZI_Haafden_buitendijks		Oude IJssel
WL_943.0L_RWZI_Aalst		Oude IJssel
BO_952.7L_Pomp_Andel	pomp	
BO_952.7B_Sluis_Andel	schutdebiet	
BO_952.7L_Inlaat_Woudrichem	Inlaat	
BO_954.6R_Inlaat_Gorinchem_Benedenstad	Inlaat	
BO_957.8L_Gemaal_Land_van_Heusden_en_Altena		Oude IJssel
PK_870.3L_Inlaat_Doorneburg	Inlaat	
PK_873.5R_Gemaal_Kandia_Rijnstrangen		Oude IJssel
PK_876.2L_Inlaatgemaal_Vitens_Arnhem-Zuid	Inlaat	
NR_881.9R_Gemaal_t_Broek_Arnhem		Oude IJssel
NR_882.8R_Gemaal_Sint_Jansbeek		Oude IJssel
NR_887.6L_Gemaal_Arnhem_zuid		Oude IJssel
NR_889.7R_Beek_Oosterbeekse_Beken		Oude IJssel
NR_897.0R_Beek_Heelsumse_beken		Oude IJssel
NR_897.5R_RWZI_Renkum_buitendijks		Oude IJssel
NR_899.5R_Beek_Renkumse_beken		Oude IJssel
NR_902.0L_Gemaal_Kuyk_Linge_1		Oude IJssel
NR_908.0R_Inlaat_Valleikanaal	inlaat	
NR_913.0R_RWZI_Rhenen_buitendijks		Oude IJssel
NR_919.0L_RWZI_Eck_en_Wiel_buitendijks		Oude IJssel
NR_927.0R_Inlaat_Kromme_Rijn	Inlaat	
NR_929.0R_Prinses_Irenesluizen	schutdebiet	
LE_950.0R_Prinses_Beatricesluizen	schutdebiet	
LE_950.4L_Grote_sluis_Vianen	schutdebiet	
LE_950.5R_Inlaat_Oude_Sluis_Vreeswijk	inlaat	
LE_950.6R_Koninginnensluis_Vreeswijk	schutdebiet	
LE_952.0R_RWZI_Nieuwegein_buitendijks		Oude IJssel
LE_962.0L_Inlaat_Ameide	Inlaat	
LE_962.5R_RWZI_Lopik_buitendijks		Oude IJssel
LE_965.0R_Gemaal_Lopikerwaard		Oude IJssel
LE_971.0L_RWZI_Gelkenes_buitendijks		Oude IJssel
LE_980.1R_Gemaal_Krimpenerwaard		Oude IJssel
LE_986.6L_Gemaal_RWZI_Nw_Lekkerland_buitendijks		Oude IJssel
LE_988.1L_Gemaal_Elshoutsluis		Oude IJssel
YS_883.5R_RWZI_Nieuwgraaf	lozing	
YS_885.7L_Gemaal_Rozendaalsebeek_Beekhuizerbeek		Oude IJssel
YS_890.7L_Gemaal_Beekhuizerbeek_Oost		Oude IJssel
YS_897.2R_Gemaal_Liemers_De_Zwalm		Oude IJssel
YS_901.8R_Gemaal_Broekhuizerwater		Bevermeer
YS_901.8R_Beek_Oude_IJssel		Oude IJssel
YS_904.8L_Beek_Havikerwaard		Oude IJssel
YS_911.6L_Inlaat_sluis_Dieren_Apeldoorns_kanaal	Inlaat	



Lateraal	type	Afgeleid van
YS_913.7L_Gemaal_Soerense_bEEK		Oude IJssel
YS_916.6R_Gemaal_Grote_BEEK		Grote Beek
YS_918.3L_Gemaal_Leuvenheimse_bEEK		Oude IJssel
YS_921.5R_Gemaal_Baakse_BEEK		Baakse Beek
YS_923.5R_Gemaal_Groene_kanaal		Kanaal van Hackfort
YS_925.9L_Gemaal_Oekense_bEEK_Rhienderense_bEEK		Oude IJssel
YS_927.7R_Gemaal_Vierakkerse_laak_Berkel		Oude IJssel
YS_932.4R_BEEK_Flierderbeek		Oude IJssel
YS_935.2L_Gemaal_Voorsterbeek_Lage_Leiding		Oude IJssel
YS_939.1R_Gemaal_Dommerbeek		Oude IJssel
YS_942.3R_BEEK_Schipbeek		Schipbeek
YS_943.9R_Gemaal_Overijssels_kanaal		Oude IJssel
YS_948.8L_Gemaal_Toevoerkanaal_Terwolde		Oude IJssel
YS_958.0R_RWZI_Olst_buitendijks		Oude IJssel
YS_974.8R_Inlaatgemaal_Harculo	Inlaat	
YS_977.7L_Gemaal_Grote_wetering_Wapenveld		Oude IJssel
YS_980.0R_Gemaal_Zwolle-zuid_en_polder_Vijf_marken		Oude IJssel
YS_982.2L_Gemaal_Gelderse_Stouwe		Oude IJssel
YS_990.1L_Gemaal_Laag_en_hoog_Zalk		Oude IJssel
YS_999.0L_RWZI_Kampen	lozing	
YS_999.9R_Gemaal_Raasje		Oude IJssel
YS_1001.R_Gemaal_Vosje		Oude IJssel
YS_1002.R_Gemaal_t_Katje		Oude IJssel
AR_71.4C_Prins_Bernhardsluis_zuid	schutdebiet	
AR_71.0C_Prins_Bernhardsluis_noord	schutdebiet	
AR_69.0R_RWZI_Tiel	lozing	
AR_68.5L_Gemaal_van_Beuningen_Linge_2		Oude IJssel
AR_64.7L_Gemaal_Rijkwijkse_veld		Oude IJssel
AR_62.3R_Inlaat_Drielandenpunt	Inlaat	
AR_62.2L_Prinses_Marijkesluizen_lozing	schutdebiet	
AR_61.9L_Prinses_Marijkesluizen_onttrekking	schutdebiet	
TK_3.3R_BEEK_Twentekanaal_Sluis_Eefde		Twentekanaal
TK_3.3R_Pomp_Onttrekking_Twentekanaal	Onttrekking	
TK_3.2R_Afleidingskanaal_Berkel		Twentekanaal
TK_0.8L_Eefsebeek		Oude IJssel

## F.2.2 Invoer

De afvoerrelaties zijn aangepast ten opzichte van de vijfde-generatie modellen, omdat er veel lateralen zijn toegevoegd en/of uitgesplitst. De afvoerrelaties zijn gegeven in “.yaml-bestanden”. De gebruikte afvoerrelaties voor kalibratie en validatie zijn geleverd in de volgende bestanden:

- rgwm\_lat-rijn-j93-v1.yaml
- rgwm\_lat-rijn-j95-v2.yaml
- rgwm\_lat-rijn-j11-v2.yaml
- rgwm\_lat-rijn-j15-v2.yaml
- rgwm\_lat-rijn-j16-v2.yaml

Invoer tijdreeksen: Dit zijn alle in de kalibratie en validatie gebruikte bestanden om te werken met gemeten tijdreeksen. De RGWM is zo gemaakt dat ook voor de andere lateralen en locaties met tijdreeksen gewerkt kan worden. De beschikbaarheid van metingen verschilt per periode.

0\_01\_Lobith.tim  
1\_01\_Emmerich.tim  
1\_02\_Lobith.tim  
1\_03\_Hardinxveld.tim  
1\_04\_Krimpen\_ad\_Lek.tim  
1\_05\_Ketelmond.tim  
1\_06\_Ketelbrug.tim  
2\_01\_Liemers\_De\_Zwalm.tim

2\_02\_Bevermeer.tim  
2\_03\_Oude\_Ijssel\_De\_Pol.tim  
2\_04\_Grote\_beek.tim  
2\_05\_Baakse\_beek.tim  
2\_06\_Kanaal\_van\_Hackfort.tim  
2\_07\_Twentekanaal\_Almen.tim  
2\_08\_Twentekanaal\_Afleidingskanaal.tim  
2\_09\_Schipbeek\_kloosterstuw.tim  
2\_11\_Wijk\_bij\_Duurstede\_ADM.tim  
2\_12\_Nieuwegein\_ADM.tim  
5\_17\_Inlaat\_Kromme\_Rijn.tim  
6\_01\_Sluis\_Weurt.tim  
6\_03\_Sluis\_Andel.tim  
6\_09\_Sluis\_Bernhard.tim

### F.2.3

#### **Uitvoer**

Onderstaande lijst geeft de uitvoer van de RGWM voor de Rijntakken. De bestanden met extensie “.bc” vormen de open randen en hebben een nieuw format in D-HYDRO. Hierin zijn de afvoeren en waterstanden van alle open randen opgenomen. Alle overige bestanden (.tim) vormen de laterale afvoeren en onttrekkingen op de Rijntakken, overeenkomend met de laterale lozingen en onttrekkingen zoals genoemd in Tabel F.3.

20162017.bc  
AR\_61.9L\_Prinses\_Marijkesluizen\_onttrekking.tim  
AR\_62.2L\_Prinses\_Marijkesluizen\_lozing.tim  
AR\_62.3R\_Inlaat\_Drielandenpunt.tim  
AR\_64.7L\_Gemaal\_Rijkwijkse\_veld.tim  
AR\_68.5L\_Gemaal\_van\_Beuningen\_Linge\_2.tim  
AR\_69.0R\_RWZI\_Tiel.tim  
AR\_71.0C\_Prins\_Bernhardsluis\_noord.tim  
AR\_71.4C\_Prins\_Bernhardsluis\_zuid.tim  
BO\_952.7B\_Sluis\_Andel.tim  
BO\_952.7L\_Inlaat\_Woudrichem.tim  
BO\_952.7L\_Pomp\_Andel.tim  
BO\_954.6R\_Inlaat\_Gorinchem\_Benedenstad.tim  
BO\_957.8L\_Gemaal\_Land\_van\_Heusden\_en\_Altena.tim  
BR\_852.4L\_Beek\_Kalflack.tim  
BR\_859.0L\_Beek\_Kellener\_Altrhein.tim  
BR\_859.0L\_Beek\_Spoykanal.tim  
LE\_950.0R\_Prinses\_Beatricesluizen.tim  
LE\_950.4L\_Grote\_sluis\_Vianen.tim  
LE\_950.5R\_Inlaat\_Oude\_Sluis\_Vreeswijk.tim  
LE\_950.6R\_Koninginnensluis\_Vreeswijk.tim  
LE\_952.0R\_RWZI\_Nieuwegein\_buitendijks.tim  
LE\_962.0L\_Inlaat\_Ameide.tim  
LE\_962.5R\_RWZI\_Lopik\_buitendijks.tim  
LE\_965.0R\_Gemaal\_Lopikerwaard.tim  
LE\_971.0L\_RWZI\_Gelkenes\_buitendijks.tim  
LE\_980.1R\_Gemaal\_Krimpenerwaard.tim  
LE\_986.6L\_Gemaal\_RWZI\_Nw\_Lekkerland\_buitendijks.tim  
LE\_988.1L\_Gemaal\_Elshoutsluis.tim  
NR\_881.9R\_Gemaal\_t\_Broek\_Arnhem.tim  
NR\_882.8R\_Gemaal\_Sint\_Jansbeek.tim  
NR\_887.6L\_Gemaal\_Arnhem\_zuid.tim

NR\_889.7R\_Beek\_Oosterbeekse\_Beken.tim  
NR\_897.0R\_Beek\_Heelsumse\_beken.tim  
NR\_897.5R\_RWZI\_Renkum\_buitendijks.tim  
NR\_899.5R\_Beek\_Renkumse\_beken.tim  
NR\_902.0L\_Gemaal\_Kuyk\_Linge\_1.tim  
NR\_908.0R\_Inlaat\_Valleikanaal.tim  
NR\_913.0R\_RWZI\_Rhenen\_buitendijks.tim  
NR\_919.0L\_RWZI\_Eck\_en\_Wiel\_buitendijks.tim  
NR\_927.0R\_Inlaat\_Kromme\_Rijn.tim  
NR\_929.0R\_Prinses\_Irenesluizen.tim  
PK\_870.3L\_Inlaat\_Doorneburg.tim  
PK\_873.5R\_Gemaal\_Kandia\_Rijnstrangen.tim  
PK\_876.2L\_Inlaatgemaal\_Vitens\_Arnhem-Zuid.tim  
TK\_0.8L\_Eefsebeek.tim  
TK\_3.2R\_Afleidingskanaal\_Berkel.tim  
TK\_3.3R\_Beek\_Twentekanaal\_Sluis\_Eefde.tim  
TK\_3.3R\_Pomp\_Onttrekking\_Twentekanaal.tim  
WL\_877.0R\_RWZI\_Millingen\_Gendt\_buitendijks.tim  
WL\_883.4L\_Beek\_Het\_Meertje.tim  
WL\_887.0L\_RWZI\_Nijmegen\_buitendijks.tim  
WL\_887.0L\_Sluis\_Weurt.tim  
WL\_904.3L\_RWZI\_Druten\_buitendijks.tim  
WL\_914.6R\_Inlaatgemaal\_Echteldsedijk\_Tiel.tim  
WL\_926.2L\_Sluis\_Sint\_Andries.tim  
WL\_933.0L\_RWZI\_Bommelerwaard-Oost\_buitendijks.tim  
WL\_936.0R\_RWZI\_Haaften\_buitendijks.tim  
WL\_943.0L\_RWZI\_Aalst.tim  
YS\_883.5R\_RWZI\_Nieuwgraaf.tim  
YS\_885.7L\_Gemaal\_Rozendaalsebeek\_Beekhuizerbeek.tim  
YS\_890.7L\_Gemaal\_Beekhuizerbeek\_Oost.tim  
YS\_897.2R\_Gemaal\_Liemers\_De\_Zwalm.tim  
YS\_901.8R\_Beek\_Oude\_IJssel.tim  
YS\_901.8R\_Gemaal\_Broekhuizerwater.tim  
YS\_904.8L\_Beek\_Havikerwaard\_.tim  
YS\_911.6L\_Inlaat\_sluis\_Dieren\_Apeldoorns\_kanaal.tim  
YS\_913.7L\_Gemaal\_Soerense\_beek.tim  
YS\_916.6R\_Gemaal\_Grote\_Beek.tim  
YS\_918.3L\_Gemaal\_Leuvenheimse\_beek.tim  
YS\_921.5R\_Gemaal\_Baakse\_Beek.tim  
YS\_923.5R\_Gemaal\_Groene\_kanaal.tim  
YS\_925.9L\_Gemaal\_Oekense\_beek\_Rhienderense\_beek.tim  
YS\_927.7R\_Gemaal\_Vierakkerse\_laak\_Berkel.tim  
YS\_932.4R\_Beek\_Flierderbeek.tim  
YS\_935.2L\_Gemaal\_Voorsterbeek\_Lage\_Leiding.tim  
YS\_939.1R\_Gemaal\_Dommerbeek.tim  
YS\_942.3R\_Beek\_Schipbeek.tim  
YS\_943.9R\_Gemaal\_Overijssels\_kanaal.tim  
YS\_948.8L\_Gemaal\_Toevoerkanaal\_Terwolde.tim  
YS\_958.0R\_RWZI\_Olst\_buitendijks.tim  
YS\_974.8R\_Inlaatgemaal\_Harculo.tim  
YS\_977.7L\_Gemaal\_Grote\_wetering\_Wapenveld.tim  
YS\_980.0R\_Gemaal\_Zwolle-zuid\_en\_polder\_Vijf\_marken.tim  
YS\_982.2L\_Gemaal\_Gelderse\_Stouwe.tim  
YS\_990.1L\_Gemaal\_Laag\_en\_hoog\_Zalk.tim

YS\_999.0L\_RWZI\_Kampen.tim  
YS\_999.9R\_Gemaal\_Raasje.tim  
YS\_1001.R\_Gemaal\_Vosje.tim  
YS\_1002.R\_Gemaal\_t\_Katje.tim

## F.3 Meetgegevens waterstanden en afvoeren

*Dit betreft een toelichting van RWS-ON op door hen aangeleverde gegevens.*

### F.3.1 Algemeen

Voor de kalibratie en validatie zijn vele meetgegevens van waterstanden en afvoeren nodig. Het gaat om de volgende periodes:

Jaar	Periode
HW1993	1 november 1993 – 31 januari 1994
HW1995	1 december 1994 – 28 februari 1995
HW2011	1 november 2010 – 31 januari 2011
LW2011 *	1 oktober 2011 – 31 december 2011
2015/2016	1 oktober 2015 – 31 maart 2016
2016/2017	1 oktober 2016 – 31 maart 2017

\* uiteindelijk niet toegeleverd en toegepast

Van deze periodes zijn zoveel mogelijk meetgegevens verzameld. Er is voor langere periodes gegevens verzameld dan in de validatie gebruikt. Van de periodes 5993, 1995, HW2011 en LW2011 waren reeds gegevens verzameld en toegepast voor de 5<sup>e</sup> generatie; deze gegevens zijn gecontroleerd, verbeterd en aangevuld. De gegevens voor 2015-2016 en 2016-2017 zijn nieuw samengesteld. De uiteindelijke dataverzameling is breder geweest waardoor ook nog gegevens zijn verzameld die buiten deze periodes liggen.

In deze paragraaf staan de algemene gegevens; specifieke gegevens en opmerkingen volgen per periode in Bijlage F.3.6.

De afvoergegevens zijn verzameld en samengesteld door Susanne Quartel. Ook de bepaling van de afvoerreksen voor Lobith en de takken is door haar gedaan. Dit verdient grote dank en waardering.

### F.3.2 Waterstanden

Van waterstanden zijn de volgende gegevens verzameld:

- LMW-stations  
Dit zijn de door Rijkswaterstaat gemeten waterstanden in het kader van het Landelijk Meetnet Water (LMW). Vanaf eind 2013 zijn de waterstanden in 10-minutengegevens bewaard gebleven, daarvoor als 50-minutenwaarden op het hele uur (NB: er werden al eerder 10-minutengegevens ingewonnen, maar deze zijn om onbekende reden niet bewaard gebleven). Van getij- en merenlocaties zijn de 10-minutengegevens wel over een langere periode beschikbaar. Er zijn ook meetstations die slechts éénmaal per etmaal om 8:00 uur een meetwaarde hebben. In de huidige situatie gaat het om Sint-Andries-Waal en Pannerden, in 1993 en 1995 betreft het meer locaties. Een deel van de locaties heeft tot en met 31 december 1993 gefunctioneerd. Het meetstation Arnhem is rond 2009 opgeheven; de latere gegevens zijn wel verzameld, maar worden niet gebruikt omdat het een berekening betreft.

- **BfG**  
Voor de locatie Emmerich zijn van de Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) waterstanden (en afvoeren) ontvangen. Het betreft waterstanden ten opzichte van het peilschaalnulpunt (Pegelnulpunkt) op 15-minutenbasis. Ook is de omrekeningstabel ontvangen waarmee de waterstand ten opzichte van NormaalNull (NN) kan worden berekend. De omrekening verschilt per periode. Er is aangenomen dat NN gelijkgesteld kan worden aan NAP.  
De waterstanden op het hele en halve uur zijn overgenomen in de tabel met daarin de 10-minutenwaterstanden uit het LMW.
- **Diverlocaties.**  
Eind 2010 zijn langs de Rijntakken op 45 locaties divers geplaatst langs het zomerbed. Deze meten de waterstand via een druksensor die gecorrigeerd wordt voor de luchtdruk. De divers staan ongeveer 5 km uit elkaar, soms minder en soms meer daar waar andere meetlocaties van bv. waterschappen zijn (zie verderop). De divers registreren bij hogere afvoeren en worden aan het eind van het hoogwaterseizoen uitgelezen.
- **Waterstanden waterschappen**  
Ook de diverse waterschappen meten automatisch waterstanden op meerdere locaties langs de rivier. Vaak gebeurt dit bij objecten zoals gemalen. Enige voorzichtigheid is geboden bij het gebruik aangezien het gemaal de meting kan beïnvloeden. De meetfrequentie varieert per waterschap en meetstation. Soms zijn 15-minutenwaterstanden beschikbaar, soms urengegevens en soms gegevens met een willekeurig interval.  
Een andere categorie betreft handmatige peilschaalaflezingen, met name beschikbaar voor de hoogwaterperiodes van 1993 en 1995 en in mindere mate voor 2011.  
Niet van alle waterschappen zijn gegevens ontvangen.
- **Verhanglijnmetingen**  
Van 2005-2017 zijn varende verhanglijnmetingen beschikbaar. Daarbij wordt met een schip in de as van de rivier het wateroppervlak en de bodemhoogte gemeten. Er is gecorrigeerd voor de inzinking van het schip door de meting te vergelijken met de LMW-waterstanden op hetzelfde moment. Voor de Boven-Rijn, Waal en IJssel zijn de verhanglijnmetingen beschikbaar bij afvoeren van rond 1.000, 1.600 en 2.500 m<sup>3</sup>/s, en bij hoogwater. Op het Pannerdensch kanaal, Nederrijn en Lek wordt alleen gemeten tijdens hoogwater. Veel verhanglijnmetingen zijn verdeeld over twee dagen gedaan. Tot en met 2015 werden de metingen tegen de stroming in gedaan, vanaf 2016 met de stroming mee. Het is onbekend wat het effect van deze verandering is.
- **Waterstanden kilometerborden**  
Tijdens de hoogwaterperiodes van 1993 en 1995 zijn door Rijkswaterstaat vanaf een boot aflezingen gedaan van de peilschalen die staan opgesteld naast de kilometerborden. De aflezing is daarna omgerekend naar een NAP-waarde met behulp van het nulpunt van de peilschaal.
- **Topstanden**  
Op enkele locaties staan borden opgesteld met daarop de hoogste waterstand van de hoogwaters van 1993 en 1995. Vaak is op deze locatie ook een peilschaal aanwezig.

### F.3.3 Afvoeren

Van afvoeren zijn de volgende gegevens verzameld.

- **MWTL afvoermetingen**  
In het kader van MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) worden jaarlijks afvoermetingen gedaan door (of in opdracht van) RWS-CIV op 9 locaties langs de Rijntakken. Het betreft Lobith, de 4 takken op de splitsingspunten, aangevuld met Tiel, Hagestein en Olst. Op het Pannerdensch kanaal zijn twee meetlocaties, één bij de Pannerdensch Kop en één bij de IJsselkop. De meting vindt varend plaats met een ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler).

Per locatie worden meerdere meetraaien gebruikt, afhankelijk van de waterstand. Zo worden de afvoermetingen bij Olst bij hoge afvoeren gedaan bij Deventer. Bij Tiel en Deventer zijn grote delen van het dwarsprofiel die niet bemeten kunnen worden. Daarvoor wordt een aanname gedaan. Elders zijn speciale hoogwaterraaien in het winterbed aanwezig, zoals in de Millingerwaard (na et overstromen van de Millingerdam) en bij de Hondsbroeksche Pleij.

Oudere metingen uit 1993 en 1995 zijn gedaan met een Ott-molen. Met dit apparaat kon op meerdere locaties en dieptes in een raai de stroomsnelheid gemeten worden waarna een afvoer kon worden berekend. Een meting kon al gauw 2-3 uur duren.

- ADM-afvoermetingen

Op twee locaties zijn ADM-meetopstellingen aanwezig die continu de afvoer meten. Dit vindt plaats door in een meetkruis op één NAP-niveau de stroomsnelheid te meten die met een dwarsprofiel, de waterstand en een factor wordt omgerekend naar een afvoer. Het betreft de locaties Driel-boven en Hagestein-boven, beiden in het stuwkanaal bovenstrooms van de stuw. In de gemeten afvoer zit ook de afvoer van de vistrap naast de stuw. Het schutverlies van de naastgelegen sluis ontbreekt in de metingen. Net als bij de LMW waterstanden zijn vanaf eind 2013 10-minutenwaarden beschikbaar, en hiervoor alleen uurwaarden (10-minutenwaarden op het hele uur). Door slingeringen in de gemeten afvoer door bv. scheepvaartbewegingen en translatiegolven zijn 10-minutenwaarden op het hele uur minder betrouwbaar. De ADM-gegevens van Driel-boven voor 2001 zijn minder betrouwbaar.

NB: Er zijn meer ADM's aanwezig langs de Rijntakken, maar deze worden besproken in Bijlage F.5 (Meetgegevens lateralen).

- Projectafvoermetingen

Ook projectmatig vinden afvoermetingen (en soms extra waterstandsmetingen) plaats. Deze zijn slechts beperkt verzameld.

Voorbeelden hiervan zijn:

- afvoermetingen op het Betuwepand en de kruising Lek-ARK tijdens de laagwaterperiode van 2011
- waterstands- en afvoermetingen op de Midden-Waal in het kader van de kribverlaging tijdens het hoogwater van 2011
- metingen in het kader van de monitoring langsdammen.
  - Er is besloten om deze in een later stadium apart te verzamelen en toe te passen in een validatie.

- Afvoeren BfG

Voor de locatie Emmerich zijn van de Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) afvoeren (en waterstanden) ontvangen. Het betreft afvoer-waterstandsrelaties (QH) voor verschillende periodes. Op basis van de gemeten waterstanden kan dan een afvoer worden berekend.

- Overige gegevens

- QH-relaties  
Bij Tiel en Olst zijn QH-relaties beschikbaar. Deze zijn inmiddels verouderd. Daarom zijn de gegevens niet toegeleverd.

- H-ADCP meetlocaties

Bij Lobith-Haven en Westervoort staan horizontale ADCP-meetlocaties. Deze zijn nog niet voldoende gevalideerd voor gebruik.

#### F.3.4 Sturing stuwen

Normaalgesproken worden de stuwen in kalibratie- en validatieberekeningen gestuurd op de gemeten waterstand bovenstrooms van de stuw. Er zijn echter situaties waarin dit geen juiste werkwijze is. In die situaties is een sturing op afvoer nodig. Hieronder wordt dit uitgewerkt.

#### F.3.4.1. Driel

Tijdens lage afvoeren is het verhang tussen IJsselkop en Driel-boven heel klein. In dat geval wordt de waterstand bij Driel-boven slechts zeer beperkt bepaald door de stuw, maar door de IJssel. De afvoer naar de IJssel in combinatie met de ruwheid zorgt voor een waterstand op de IJsselkop. De afvoer die bij stuw Driel wordt doorgelaten zorgt voor een klein verhang tussen IJsselkop en Driel-boven. In die situatie dient de stuw op afvoer gestuurd te worden. Het lijkt logisch om hiervoor de ADM afvoermeting bij Driel-boven te gebruiken. Er zijn drie beperkingen:

- 1 In de afvoer van de ADM zit wel de afvoer door de vistrap, maar niet het schutverlies van de sluis. In het lateralenonderzoek (RURA Arnhem, 2018a) is een methode ontwikkeld om dit schutverlies te kwantificeren op basis van IVS'90 schutgegevens (RURA Arnhem, 2018c), maar dit is nog niet toegepast op de sluizen in de Neder-Rijn en Lek. Op dit moment wordt deze bijdrage verwaarloosd.
- 2 De ADM-reeks is gebruikt bij de afleiding van de afvoerreeks voor de Neder-Rijn. Daarbij is mogelijk ten onrechte geen rekening gehouden met een looptijd.
- 3 Er zijn enkele lateralen (toestromingen) tussen IJsselkop en Driel-boven.

Aangezien de afvoer naar de Neder-Rijn leidend is in de modelontwikkeling, is het niet mogelijk om de stuw te sturen op de ADM-afvoer. Daarom is de afvoerreeks van de Neder-Rijn als uitgangspunt gekozen. Om de sturingsreeks voor stuw Driel te maken, zijn de 4 lateralen tussen IJsselkop en Driel-boven met een looptijd van 1 uur hierbij opgeteld. Het zijn de volgende lateralen:

- NR\_881.9\_R\_Gemaal\_t-Broek-Arnhem
- NR\_882.8\_R\_Beek\_Sint-Jansbeek
- NR\_887.6\_L\_Gemaal\_Drielsedijk-Arnhem-zuid
- NR\_889.7\_R\_Beek\_Oosterbeekse-Beken

Voor de toekomst wordt aanbevolen om een betere manier te vinden om de ADM afvoer te verwerken in de afvoer van de Neder-Rijn. Daarbij is het nodig om rekening te houden met een schutverlies, looptijd en de (on)nauwkeurigheid van de ADM.

#### F.3.4.2. Hagestein

Bij geopende Prins-Bernhardsluizen staat het stuwpannd Hagestein via het Betuwepand in open verbinding met de Waal. De waterstand op het stuwpannd wordt dan bepaald door de waterstand op de Waal. In aanvulling hierop is inmiddels ook vastgesteld uit de waterstandsmetingen, dat de wind ook invloed heeft. Sturen op gemeten waterstanden bij stuw Hagestein is dan niet correct. Bij dezelfde waterstand kan een ander debiet worden doorgelaten, afhankelijk van de stand van de cilinderschuij. De stuwbogen zijn gesloten. Daarmee is de waterstand niet geschikt en is sturing op afvoer nodig. Ook hier zou de ADM-afvoer toegepast kunnen worden. Inspectie van de gegevens laat echter een aantal opvallende zaken zien:

- 1 Er komen negatieve gemeten afvoeren voor. Dit zou kunnen komen door een stroming richting het oosten, bv. bij een grote onttrekking naar het ARK via de Prinses Irenesluizen, of als de Waal daalt. Een andere oorzaak voor negatieve afvoeren lijkt de wind te zijn: bij westenwind ontstaat een verhang van Hagestein naar Amerongen.
- 2 Er is veel fluctuatie in de gemeten afvoer, ook bij een 1-uurs- of een 2-uursmiddeling. Het is nog niet gelukt deze te verklaren.

Eigenlijk kunnen alleen de stuwlogboeken echt vertellen hoe de stuw was ingesteld. Omdat deze pas in een laat stadium beschikbaar kwamen, en er dan nog een afvoer berekend moest worden, is een andere oplossing gekozen.

De afvoer door de stuw bestaat uit 4 componenten:

- 1 De afvoer door de stuwbogen danwel de cylinderschuif. Uit de logboeken voor de laagwaters van 2015 en 2016/2017 is gebleken dat de stuwbogen gesloten waren en de cylinderschuif ook.
- 2 De afvoer door de vispassage bij Hagestein is gebaseerd op de relatie die is afgeleid in Schropp (2011). Met een aantal afvoermetingen is de ontwerprelatie aangepast. Er zijn twee situaties mogelijk, met een open en een gesloten bypass. De schakelwaterstand waarbij de bypass automatisch opent is 2.56 m+NAP; daarboven is de bypass gesloten.
- 3 De afvoer door de sluis door schutverlies. Deze is vooralsnog onbekend, al zijn er wel schattingen.
- 4 Lekverlies onder de stuwbogen.

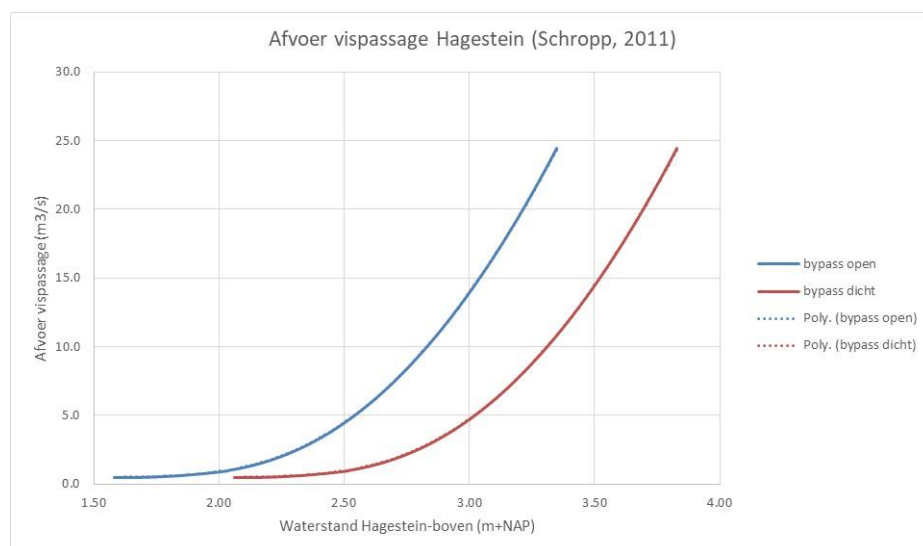
Er is gekozen om de stuw te sturen op de berekende afvoer door de vistrap. De berekening is gebaseerd op de gemeten waterstand bij Hagestein-boven. Bij waterstanden rond 2.56 m+NAP (de waterstand waarbij er een sprong in de afvoer optreedt), is de reeks handmatig aangepast zodanig dat slingeringen in de afvoer voorkomen worden. Opgemerkt wordt dat eigenlijk het schutverlies en het lekverlies meegenomen zouden moeten worden.

Voor de toekomst wordt aanbevolen om na te denken hoe de afvoer door stuw Hagestein bepaald moet worden, rekening houdend met stuwinstellingen, vistrap, schutverlies en lekverlies. Ook wordt aanbevolen om te kijken of sturing op waterstanden terecht is in omstandigheden met een stuwpeil van rond 3 m+NAP en vrijwel geen verhang op het stuwpland.

### F.3.5 Bepaling afvoerreeksen Lobith en takken

Voor de kalibratie en validatie zijn gevalideerde afvoerreeksen nodig bij Lobith en de splitsingspunten. Een belangrijke voorwaarde is dat de afvoerreeksen een sluitende waterbalans bevatten (dat heeft het hydraulische model ook). Anders ontstaan problemen bij de kalibratie van het totaalmodel na de kalibratie van de losse takken.

De standaard beschikbare afvoerreeksen die ook zijn opgenomen in het LMW zijn niet voldoende nauwkeurig. Daarom zijn voor dit project aparte afvoerreeksen samengesteld. De uitgebreide beschrijving is te vinden in Bijlage 0. Dit is geschreven door Susanne Quartel die ook de reeksen heeft samengesteld.





De basis van de methodiek bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Afvoertijdseries genereren met specifieke Qf-relatie  
Voor het continu presenteren van een afvoerwaarde op de verschillende riviertakken *Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn* en *IJssel*, worden afvoerwaterstandsrelaties gebruikt. Voor de Rijntakken zijn dit de zogeheten Qf-relaties: dynamische functies waarin naast een lokale waterstand ook veranderingen van bodemligging, stuwbeheer en hysteresis zijn meegenomen. De input van de functie zijn waterstandstijdseries van de peilstations *Lobith, Pannerdensch Kop, IJsselkop* en *Driel Boven*. Deze tijdseries hebben een frequentie van een uur en mogen geen missing values bevatten.  
Er zijn verschillende Qf-relaties beschikbaar. Per periode is een geschikte Qf als basis gekozen.
- 2 Opvullen van hiaten afvoertijdserie NR  
De afvoertijdserie van de Nederrijn bestaat niet alleen uit waarden vanuit de Qf, maar ook voor een groot deel uit afvoergegevens bepaald met de ADM van Driel-Boven (pers.comm. Ton Kremer, RWS CIV). Ook kent de ADM periodes van uitval. Daarom is gekozen voor een andere benadering om de gegevens op te vullen. Op basis van de waterstanden bij IJsselkop, Driel-Boven, Driel-Beneden, Doesburg en het onderlinge verval, wordt er een regressieboom opgesteld om een afvoer te genereren. De regressieboom wordt getraind op de momenten dat er wel ADM-afvoerwaardes beschikbaar zijn. Met deze methodiek worden meerdere situaties meegenomen voor het bepalen van een afvoerwaarde dan alleen de gemiddelde situatie.
- 3 Correctie op basis van afvoermetingen  
Op regelmatige basis worden er vurende afvoermetingen gedaan bij de splitsingspunten. Voor 2002 werden deze metingen met de Ott-molen uitgevoerd. Daarna is er geleidelijk overgestapt op het gebruik van de ADCP. Deze afvoermetingen worden gebruikt om te tijdseries te corrigeren. De correcties worden per tijdperiode opgesteld, omdat door de tijd heen de kwaliteit van de Qf-relaties kan veranderen.
- 4 Vereffening  
De tijdseries uit stappen 1-3 kennen nog geen onderlinge verbinding waarmee zekerheid is over een kloppende waterbalans. Vereffening van de tijdseries zorgt voor deze samenhang. Hiervoor wordt in de basis een bestaande methode gebruikt. Alleen wordt er een extra stap toegevoegd waarmee rekening wordt gehouden met looptijd.

In totaal zijn voor 5 periodes afvoerreeksen nodig. Twee hiervan zijn specifiek voor de modelbouw van RMM nodig; dit betreft periode II en IV. Hiervoor is met name de afvoer bij Lobith nodig vanwege de afleiding van de lateralen voor de Rijntakken. Binnen de genoemde periode zijn ook de beschikbare vurende afvoermetingen gebruikt.

- |      |                           |
|------|---------------------------|
| I.   | 01-09-1993 t/m 31-08-1995 |
| II.  | 01-01-2007 t/m 31-12-2008 |
| III. | 01-02-2010 t/m 31-01-2012 |
| IV.  | 01-09-2012 t/m 31-08-2014 |
| V.   | 01-09-2015 t/m 31-08-2017 |

### *Resultaten*

Alle resultaten zijn terechtgekomen in spreadsheets waarvan de definitieve reeks is opgenomen in de spreadsheets met meetgegevens per periode.

Voor periode I is de beschreven methode uiteindelijk niet toegepast omdat met name tijdens de zeer hoge rivierafvoeren er verschillen waren tussen de tijdseries, maar ook met de metingen. Er kon niet worden aangetoond dat de nieuw bepaalde reeksen beter waren dan degene die gebruikt zijn bij de bouw van de 5<sup>e</sup> generatie modelschematisaties (Becker, 2012, en Beyer, 2012).

Voor de periode II tot en met IV zijn de stappen van de methode doorlopen. Na het genereren van de afvoertijdreeksen met Qf09T (stap 1), zijn de hiaten van de ADM-tijdserie opgevuld (stap 2).

Voor periode V is een extra stap noodzakelijk gebleken, namelijk een correctie om de aansluiting tussen ADM en Qf voor de Nederrijn te verbeteren.

#### *Aanpassingen*

Het bleek toch nodig om nog aanpassingen te doen. Dit betreft:

- centrale middeling om de slingeren in de afvoer er zoveel mogelijk uit te halen. Oorzaak voor de slingeren is mede het gebruik van 10-minutenwaterstanden op het hele uur bij het samenstellen van de Qf als basis voor de afvoerreeks (zie ook Bijlage 0). Het nadeel van deze middeling is dat de waterbalans niet precies meer klopt. Helaas is in 2016/2017 een 4-uursmiddeling toegepast, terwijl in de periode 2015-2016 een 2-uursmiddeling is toegepast.

### **F.3.6 Nadere uitwerking meetgegevens periodes**

#### **F.3.6.1. 1993/1995**

De meetgegevens voor 1993 en 1995 zijn toegeleverd in één spreadsheet (Meetgegevens\_93-95\_def\_2020-11-26.xlsx). Belangrijke aanpassingen ten opzichte van de gegevens uit de 5<sup>e</sup> generatie zijn:

- beter onderscheid maken in gegevens van LMW/BfG en waterschappen.
- toevoegen van beschikbare 10-minutengegevens voor de locaties:
  - Zaltbommel, Vuren, Werkendam-buiten
  - Hagestein-beneden, Schoonhoven en Krimpen aan de Lek
  - Ramspolbrug, Ketelmond (alleen jan-feb 1995), Roggebotsluis-noord (alleen nov-dec 1993 en jan-feb 1995).
  - Groene rivier Pannerden boven en beneden
- toevoegen van de locatie Hardinxveld op basis van een berekening uit Werkendam-buiten volgens  $H_{Har} = 1.0501 * H_{Werk} - 0.0107$ . In de 5e generatie was de waterstand bij Hardinxveld-boven gebaseerd op een Sobek-berekening. Vanwege consistentieoverwegingen is nu voor alle periodes de genoemde functie toegepast.
- toevoegen van 10-minutengegevens van Tiel-kanaal voor 1995. Deze zijn omgerekend naar een centraal uurgemiddelde om slingeren uit te dempen. De waarden op het hele uur zijn toegevoegd aan de uurwaterstanden. Hiaten en de complete periode 1993 zijn ingevuld met 8-uurwaterstanden uit de logboeken van stuw Hagestein.
- toevoegen van extra gegevens op 31-12-1993 voor Remmerden, Eck en Wiel, De Steeg en Dieren
- Emmerich is vervangen door de nieuwe gegevens van de BfG.
- locaties waterschappen:
  - gemaal Bolwerk toegevoegd op basis van gegevens uit het archief van Waterschap Oost-Veluwe; dit betreft zowel een overzicht van meetgegevens aangevuld met gegevens uit logboeken.
  - stuw Doesburg aangevuld met meetgegevens van Polderdistrict Rijn en IJssel (voorheen waren alleen gegevens van Dijkkring 49 IJsselland meegenomen)
- één meting van de km-borden is verwijderd; dit betreft de metingen van de locatie IJ\_884 op 27-1-1995. Op basis van de omliggende metingen kan de waarde niet kloppen.

- voor 5 locaties zijn topstanden opgenomen. Deze zijn ontleend aan bordes met daarop de hoogste waterstand van de hoogwaters van 1993 en 1995. Het zijn de locaties Griethausen, Schenkenschans, Blauwe Kamer, Wijk-bij-Duurstede en Dieren aan 't Veer. Ook bij Tiel staat een bord in de Waterpoort, maar de genoemde waterstanden kunnen niet van toepassing zijn op de locatie omdat deze vrijwel even hoog zijn als de topstanden van het zo'n 1.5 km bovenstrooms gelegen LMW Tiel-Waal.
- toevoegen van de 10-minutengegevens van de ADM bij Driel-boven en Hagestein-boven. Bij vergelijking van de afvoer bij Driel-boven met de afvoerreeks van de Nederrijn is geconcludeerd dat de ADM niet voldoende betrouwbaar is. Van de afvoeren bij Hagestein-boven zijn de afvoeren verwijderd die zijn gemeten bij een waterstand hoger dan 4.80 m+NAP. De reden hiervoor is dat de toegangsweg naar het sluiscomplex op 4.90 m+NAP ligt. Bij hogere waterstanden is de meting in het stuwkanaal onvolledig. De waarden op het hele uur zijn toegevoegd aan de uurafvoeren.
- toevoegen van de afvoergegevens van de Pannerdense overlaat. De afvoeren zijn bepaald met behulp van de afvoerrelatie die is gebaseerd op modelonderzoek (WL, 1983).). Op basis van de gemeten boven- en benedenstroomse waterstand (Groene rivier Pannerden boven en beneden) kan een afvoer worden berekend. Daarbij worden 3 regimes onderscheiden:
  - tot 75 m<sup>3</sup>/s op basis van 2D-modelproeven
  - tot 150 m<sup>3</sup>/s (overgangscurve)
  - groter dan 150 m<sup>3</sup>/s (3D-modelonderzoek).
 Bij toenemende benedenstroomse waterstanden is er sprake van geleidelijke verdrinking; hiervoor is een reductiefactor bepaald.

#### F.3.6.2. HW2011

De meetgegevens voor de hoogwaterperiode van 2011 zijn toegeleverd in het spreadsheet (HW2011\_01\_v20201210.xlsx). De basis voor de gegevens is gelegd in het project Hoogwaterevaluatie uit 2011 (RURA, 2011a). Daarbij zijn de LMW-gegevens verzameld, inclusief de afvoermetingen en is een inventarisatie gedaan van waterstands- en afvoergegevens bij de waterschappen (RURA, 2011b). De LMW waterstanden en afvoeren zijn toegepast in de validatie van de 5<sup>e</sup> generatie WAQUA in 2014 (de Jong en Visser, 2014).

#### *LMW-gegevens*

Belangrijke aanpassingen ten opzichte van de gegevens uit de 5<sup>e</sup> generatie zijn:

- toevoegen van beschikbare 10-minutengegevens voor de locaties:
  - Zaltbommel, Vuren, Werkendam-buiten
  - Hagestein-beneden, Schoonhoven en Krimpen aan de Lek
  - Keteldiep, Ramspolbrug, Ketelhaven, Kamperhoek en Roggebotsluis-noord.
  - Tiel-kanaal
- toevoegen van de locatie Hardinxveld op basis van een berekening uit Werkendam-buiten volgens  $H_{Har} = 1.0501 * H_{Werk} - 0.0107$
- Emmerich is vervangen door de nieuwe gegevens van de BfG.
- diverse hiaten in de urengegevens zijn ingevuld op basis van opnieuw opgevraagde gegevens (Waterinfo). Oorzaak voor de hiaten ligt in de periode waarin de gegevens zijn samengesteld, in 2011 na het hoogwater. Aan het begin van elk jaar wordt door RWS-CIV een controle uitgevoerd op alle waterstandsgegevens, waarbij hiaten worden opgevuld door interpolatie. Voor deze gegevens is dat dus in 2012 gedaan.
- de meetgegevens van Arnhem zijn uitgedrukt omdat dit geen echte meting betreft maar een berekening. In 2010 is het meetstation opgeheven.
- Driel-boven en Driel-beneden zijn vanaf 22-1-2011 2:00 uitgedrukt. Eén of beide reeksen is niet correct omdat het verval over de stuw tussen de 2 locaties niet klopt. Het is onbekend of één van de twee wel correct is.

### Meetgegevens waterschappen

In de waterstandsmetingen van de waterschappen zijn diverse aanpassingen gedaan (originele gegevens zijn bewaard). De analyse heeft plaatsgevonden door gegevens te vergelijken met die van omliggende locaties (ook LMW-locaties).

Locatie	Bewerking
Algemeen	waterstanden die een drooggevallen situatie weergeven zijn verwijderd. In de metingen is een vrijwel constante waterstand aanwezig.
Hollandsch-Duitschgemeaal	onrealistische waterstanden verwijderd (meetreeks lijkt deels bovenstroomse waterstanden te bevatten op basis van vergelijking met Nijmegen-haven)
Gemaal Willemspolder	verwijderd 9-1-2011 11:00 uur t/m 11-1-2011 4:00 uur. waarden kloppen niet met omliggende meetstations (Tiel-Waal). topstand 11 cm lager dan Tiel-Waal, terwijl identiek zou moeten zijn
Pannerling	waterstanden lager dan 9 m+NAP verwijderd, want hoger dan Pannerdensch Kop
Gemaal Kandia	verwijderd 26-1-2011 18:00 uur t/m 27-1-2011 7:00 uur (klopt niet met Looveer)
Gemaal Bonte Morgen	waterstanden in lage bereik ongeveer 15 cm te hoog
Wijk-bij-Duurstede	uit 15-minutenwaarden een uurgemiddelde bepaald (tabblad Waterschap-15min). kleine hiaten toch uurgemiddelde bepaald; grotere hiaten geen uurgemiddelde rond stuwpeil meetwaarden 15 cm te hoog
Voorhavendijk	uit 15-minutenwaarden een 2-uurgemiddelde bepaald (tabblad Waterschap-15min). kleine hiaten toch uurgemiddelde bepaald; grotere hiaten geen uurgemiddelde
Vreeswijk	op 8-11-2010 laagwaterwaardes verwijderd; klopt niet met Hagestein-beneden, droogval (in 15-min waarden)
Stuw-Doesburg beneden	meetwaarden 11-12-2010 20:00 - 12-12-2010 14:00 verwijderd meetwaarden 26-1-2011 18:00 - 27-1-2011 9:00 verwijderd
Soerense beek	waterstand niet gelijk aan IJsselstand door peilregulering uiterwaard rond 8.25 m+NAP meetwaarden 23-1-2011 23:00 - 24-1-2011 18:00 verwijderd
Gemaal Leuvenheim	twijfel over metingen: veel hoger dan op grond van de locatie en nabijgelegen meting Grote Beek verwacht mag worden
Cortenoever	zoveel mogelijk bovenwaterstand verwijderd uit meetreeks. vergeleken met Zutphen en Helbergen
Middelbeek	tot 8-11-2010 7:00 uur verwijderd, deels droogval, deels hogere waterstanden dan Zutphen. verwijderd 14-1-2011 0:00 uur t/m 20-1-2011 11:00 uur, waarde constant 7 m+NAP, maximale meetwaarde)
Dommerbeek	data aangevuld met meetgegevens WRIJ. tot 11-11-2010 17:00 uur verwijderd, deels droogval, deels hogere waterstanden dan Zutphen
Gemaal ter Hunnepe	volledig verwijderd, twijfel of representatief is voor de waterstand op de IJssel; mogelijk alleen voor hoge waterstanden
Bolwerk	vele waarden verwijderd die een bovenwaterstand weergeven en lager zijn dan de waterstand bij Deventer
Gemaal Veluwe	enkele waarden eruit

Locatie	Bewerking
Gemaal Katerveer	twee waarden eruit
Gemaal Antlia	vele waarden eruit
Melkfabriek-Kampen	mogelijk waterstanden te hoog; slechts 300 m bovenstrooms van LMW Kampen
Raasje	volledig verwijderd, niet betrouwbaar, klopt niet met Keteldiep

Van de waterstandsmetingen van de waterschappen is het volgende te zeggen over de kwaliteit in relatie tot omliggende meetstations:

- de topstand van gemaal Willemspolder is 51 cm lager dan LMW Tiel-Waal, terwijl deze op vrijwel dezelfde locatie meten.
- de waterstanden van gemaal Bonte-Morgen zijn bij stuwpeil ongeveer 15 cm te hoog. Dit geldt ook voor Wijk-bij Duurstede.
- er is twijfel over gemaal Leuvenheim; de waterstanden zijn veel hoger dan het nabijgelegen gemaal Grote Beek
- de waterstanden van Melkfabriek-Kampen zijn mogelijk te hoog; de locatie ligt ongeveer 300 meter bovenstrooms van LMW Kampen-bovenhaven, maar de topstand is 25 cm hoger.
- de metingen van Gemaal Leuvenheim en gemaal Bolwerk slingeren.

#### *Divermetingen*

De waterstanden van de diverlocaties zijn opgenomen volgens DIVERREGISTRATIES seizoen 2010-2011.xlsx. De 10-minutenwaarden zijn omgezet naar uurwaarden. De metingen buiten de twee hoogwatergolven zijn verwijderd. Verder zijn de volgende aanpassingen gedaan

- De gegevens van IJSSL8812L zijn ongeveer 4 dagen in de tijd verschoven. In het oorspronkelijke diverspreadsheet staat een periode vermeld met de hoogste waterstand; dat is 56-1-2011 23:00 - 17-1-2011 21:40. In die periode is de waterstand 12.42 of 12.43 m+NAP. De meetreeks is zo verschoven dat dit overeenkomt. Er is een tijdverschuiving toegepast door de start van de meetreeks te verschuiven van 13-1-2011 12:00 naar 9-1-2011 5:00 uur. Het is mogelijk dat de reeks toch nog één of meer uur in de tijd verschoven is.
- Voor 4 locaties op de Lek met duidelijk getij-invloed is het beter om de 10-minutengegevens toe te passen. Deze staan op het tabblad Diverlocaties-10min. De header van deze locaties is op het uurtabblad uitgegrisd Het betreft:
  - LEK9526R
  - LEK9566R
  - LEK9628R
  - LEK9669R

#### *Verhanglijnmetingen*

In deze 3-maandenperiode zijn de volgende verhanglijnmetingen beschikbaar (in grijs de metingen die nu niet gebruikt worden):

- Midden-Waal 5500 m3/s: 15-12-2010 (Dodewaard-Tiel)
- Midden-Waal 3350 m3/s: 26-1-2011 (Nijmegen-Tiel)
- BR/Waal 2500 m3/s: 4/5-1-2011
- IJssel 2500 m3/s: 4/5-1-2011 (IJsselkop-Keteldiep)
- BR/Waal 7500 m3/s: 13/14-1-2011
- PK/NR/Lek 7500 m3/s: 13/14-1-2011

- IJssel 7500 m3/s: 13/14-1-2011 (De Steeg-Keteldiep)
- BR/Waal 7500 m3/s: 18/19-1-2011
- PK/NR/Lek 7500 m3/s: 18/19-1-2011
- IJssel 7500 m3/s: 18/19-1-2011 (IJsselkop-Keteldiep)

Voor deze periode wordt gefocust op de hoogwatermetingen. In recentere periodes wordt gevalideerd op lagere afvoeren.

#### *ADM-afvoeren*

Van de ADM-afvoeren van Driel-boven en Hagestein-boven zijn in deze periode 10-minutenwaarden op het hele uur beschikbaar.

De definitieve meetreeksen bestaan voor Driel-boven uit:

- In het zeer lage afvoerbereik is de 2-uurgemiddelde afvoer toegepast om slingeringen uit te middelen.
- Zodra het stuwprogramma in werking treedt zijn de 10-minutenwaarden toegepast vanwege de snelle afvoerveranderingen. NB: In de afleiding van de afvoer naar de Nederrijn zijn de 2-uurgemiddelde afvoeren van de ADM als basis gebruikt; dit is nu niet aangepast.

Voor Hagestein-boven bestaat de meetreeks uit:

- De hele reeks bestaat hier uit de 10-minutenwaarden. In korte periodes is een middeling beter, maar er zijn ook periodes met snelle afvoerveranderingen (bv. 5-8 november 2010). Een middeling geeft dit niet goed weer. In het hogere bereik geeft middeling ook de afvoerveranderingen niet goed weer, met name als het getij aanwezig is.
- Doordat alleen meetwaarden op het hele uur beschikbaar zijn, kan de afvoer in aanwezigheid van getij niet goed weergegeven worden.

#### *ADCP afvoermetingen*

Op basis van de eerder genoemde hoogwaterevaluatie, de MWTL jaaroverzichten, een inventarisatie van projectmetingen, en de spreadsheets van de CIV die zijn gemaakt voor het project Qf-Rijntakken. Voor zover bekend zijn de meetlocaties en de bron (meetboot) toegevoegd.

Extra ADCP metingen zijn toegevoegd:

- Olst: 4-1-11 en 25-1-11
- Waal Tiel: 22-1, 24-1 en 25-1
- Lek Hagestein: 24-1 en 25-1

Voor het Pannerdensch kanaal is onderscheid gemaakt in de metingen op de Pannerdense Kop en nabij de IJsselkop. Op het Pannerdensch kanaal zijn tijdens het hoogwater parallelmetingen uitgevoerd met twee verschillende boten. Voor de locaties Waal-Tiel en IJssel-Olst zijn van de hoogwatermetingen niet alleen de totale afvoer opgenomen, maar ook de "zomerbed"afvoer tot de zomerkade. NB: de zomerbedafvoer wordt gemeten, het onbemetendeel in het winterbed wordt bijgeschat.

#### F.3.6.3. LW2011

Omdat deze periode uiteindelijk niet is gebruikt in de validatie, zijn de gegevens niet toegeleverd. Daarom is besloten hier geen beschrijving op te nemen.

#### F.3.6.4. 2015/2016

De meetgegevens voor de periode 1 oktober 2015 – 31 maart 2016 zijn toegeleverd in het spreadsheet (waterstanden\_20151001\_20160401\_v20201218.xlsx). De gegevens zijn volledig nieuw verzameld.

### LMW/BfG

Waterstanden zijn opgevraagd uit Waterinfo. Helaas bleken er nog afwijkende waarden voor te komen. Deze zijn handmatig aangepast.

- toevoegen van de locatie Hardinxveld op basis van een berekening uit Werkendam-buiten volgens  $H_{Har} = 1.0501 * H_{Werk} - 0.0107$ .
- Bij Vuren zijn op 6,17 en 18 februari 2016 handmatig afwijkende waarden verwijderd.
- Met uitzondering van de getijlocaties en de merenlocaties zijn de 10-minutenwaterstanden gemiddeld tot een centraal uurgemiddelde.
- Emmerich is opgenomen door de nieuwe gegevens van de BfG.

### Waterschappen

Van enkele waterschappen zijn gegevens ontvangen / gedownload. Het gaat om downloads van Waterschap Rijn en IJssel en HDSR, en ontvangen gegevens van Vallei en Veluwe en Drents Overijsselse Delta. Helaas is het niet gelukt om gegevens te krijgen van Waterschap Rivierenland.

In de waterstandsmetingen van de waterschappen zijn diverse aanpassingen gedaan (originele gegevens zijn bewaard). De analyse heeft plaatsgevonden door gegevens te vergelijken met die van omliggende locaties (ook LMW-locaties).

Locatie	Bewerking
Algemeen	waterstanden die een drooggevalen situatie weergeven zijn verwijderd. In de metingen is dan een vrijwel constante waterstand aanwezig.
Wijk-bij-Duurstede	uurgemiddelde waterstand bepaald uit 15-minutenwaarden er treden slingeringen op tot onder stuwpeil. Deze zijn niet verwijderd
Voorhavendijk	2-uurgemiddelde waterstand bepaald uit 15-minutenwaarden bij waterstanden rond stuwpeil zijn de metingen ongeveer 10 cm te hoog.
Vreeswijk, Koekoek	15-minutenwaarden gebruiken i.v.m. getij. Uurwaarden uitgegrisd.
Gemaal Liemers	droogvalwaarden verwijderd (5.99)
Grote Beek	droogvalwaarden verwijderd (5.35)
Leuvenheim	waterstanden rond 6 deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar). deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Baakse beek	waterstanden rond 4.5 à 5 m+NAP deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar) deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Gemaal Cortenoever	waterstanden rond 5.15 m+NAP en lager deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar) deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Helbergen	droogval verwijderd (4 m+NAP)
Kattenhave	droogval verwijderd (3.46 m+NAP) meetwaardes van 6-12-2015 0:00 - 8-12-2015 2:00 verplaatst vanaf 5-12-2015 2:00 uur (past beter bij verloop Helbergen) meetwaardes van 12-12-2015 1:00 - 13-12-2015 0:00 uur eruit (blijft hangen op één waarde)

Locatie	Bewerking
Eefde aflatwerk	droogval verwijderd (rond 2.90 m+NAP). waterstanden iets hoger dan LMW Eefde beneden
Dommerbeek	droogval verwijderd (rond 3.30 en later 4.10 m+NAP)
Bolwerk	droogval verwijderd (rond 2.62 m+NAP)
Gemaal ter Hunnepe	verwijderd, niet of slecht en dele representatief voor de IJssel
Terwolde	centraal 2-uurgemiddelde berekend (3 uurwaardes) om slingeren te verwijderen. afwijkende meetwaardes verwijderd (18/20-11-2015, 30-11-2015)
Gemaal Veluwe	centraal 4-uurgemiddelde berekend (5 uurwaardes) om slingeren te verwijderen tot 15-11-2015 verwijderd. Meting slingert en geeft niet benedenstroomse waterstand weer
Gemaal Hoenwaard	peil Veluwse wetering. Waterstand soms hoger, soms lager dan bij gemaal Veluwe terwijl deze meet op hetzelfde water (Veluwse wetering) en benedenstrooms ligt van gemaal Veluwe metingen van het peil Hoenwaard zijn ook opgenomen omdat het gemaal buitendijks ligt, en het peil van de Hoenwaard relevant is als de Hoenwaard onderloopt. Locatie ontbreekt vooralsnog in Baseline.
Gemaal Katerveer	uitschieters in waterstanden eruit; bv. waterstanden die lager waren dan LMW Katerveer (gemaal ligt bovenstrooms van LMW Katerveer)
Gemaal Antlia	centraal 2-uurgemiddelde waterstand bepaald (3 uurwaarden) om slingeren te verkleinen waterstanden tot 13-11-2015 verwijderd, niet correct en hoger dan LMW Katerveer van 14 tot 23-11-2015 verwijderd vanwege twijfel over juistheid
Rondeel-Kampen	waterstanden lijken structureel te hoog (orde 5 cm) in vergelijking met omliggende stations (niet aangepast)
Vosje	in december 2015 en januari 2016 enkele periodes verwijderd, bleek lineaire interpolatie

#### *Verhanglijnmetingen*

Er zijn in deze periode geen verhanglijnmetingen beschikbaar.

#### *ADM-afvoeren*

Van de ADM-afvoeren van Driel-boven en Hagestein-boven zijn in deze periode 10-minutenwaarden beschikbaar.

In de beschikbare 10-minutengegevens zitten diverse slingeren. Er zijn diverse middelingen bekeken om deze eruit te halen. Er is uiteindelijk gekozen voor:

- Driel-boven: 2-uursmiddeling indien de stuw gestuurd wordt op afvoer. Daarbuiten een 1-uursmiddeling. Bij snelle afvoerveranderingen door een stuwbeving, is een 1-uursmiddeling eigenlijk te lang.
- Hagestein-boven: 2-uursmiddeling indien de stuw gestuurd wordt op afvoer. Daarbuiten een 20-minutenmiddeling. Deze korte middeling is nodig om de stuwbevingen te volgen en de getijslag.

#### *ADCP-metingen*

Hier zijn de afvoermetingen verzameld gedaan in het kader van MWTL en projecten voor zover van toepassing. Op de Boven-Rijn en Waal zijn er twee dubbele metingen gedaan door twee verschillende boten. Mogelijk zijn de metingen van de Flevomeer aan de hoge kant; de metingen zijn niet verwijderd.



Op het Pannerdensch kanaal zijn de metingen nabij de IJsselkop (km 878) apart gezet. Er zijn geen afvoermetingen bij Hagestein. Afvoermetingen bij Olst worden deels bij Deventer gedaan; de locatie is dan rond km 945.

#### F.3.6.5. 2016/2017

De meetgegevens voor de periode 1 oktober 2015 – 31 maart 2016 zijn toegeleverd in het spreadsheet (waterstanden\_20161001\_20170401\_v20201218.xlsx). De gegevens zijn volledig nieuw verzameld.

#### LMW/BfG

Waterstanden zijn opgevraagd uit Waterinfo. Helaas bleken er nog afwijkende waarden voor te komen. Deze zijn handmatig aangepast.

- Toevoegen van de locatie Hardinxveld op basis van een berekening uit Werkendam-buiten volgens  $H_{Har} = 1.0501 * H_{Werk} - 0.0107$ .
- Emmerich is opgenomen door de nieuwe gegevens van de BfG.
- De 10-minutenwaterstanden zijn gemiddeld tot een centraal uurgemiddelde van 7 meetwaardes. Uitzondering hierop zijn de getijlocaties, de merenlocaties, en Emmerich.
- Bij Pannerden is de meting van 5-202017 verwijderd.

#### Waterschappen

Van enkele waterschappen zijn gegevens ontvangen / gedownload. Het gaat om downloads van Waterschap Rijn en IJssel en HDSR, en ontvangen gegevens van Vallei en Veluwe en Drents Overijsselse Delta. Helaas is het niet gelukt om gegevens te krijgen van Waterschap Rivierenland.

In de waterstandsmetingen van de waterschappen zijn diverse aanpassingen gedaan (originele gegevens zijn bewaard). De analyse heeft plaatsgevonden door gegevens te vergelijken met die van omliggende locaties (ook LMW-locaties).

Locatie	Bewerking
Algemeen	waterstanden die een drooggevalen situatie weergeven zijn verwijderd. In de metingen is dan een vrijwel constante waterstand aanwezig.
Wijk-bij-Duurstede	uurgemiddelde waterstand bepaald uit 15-minutenwaarden er treden slingeringen op tot onder stuwpeil. Deze zijn niet verwijderd
Voorhavendijk	2-uurgemiddelde waterstand bepaald uit 15-minutenwaarden bij waterstanden rond stuwpeil zijn de metingen ongeveer 5-10 cm te laag.
Vreeswijk	15-minutenwaarden gebruiken i.v.m. getij. Uurwaarden uitgedrukt. Veel periodes verwijderd vanwege een laagste meetwaarde rond -0,36 m+NAP in periodes als Hagestein-beneden duidelijk lager wordt. ook problemen met hoogwaterstanden, bv 4-18 okt 2016, waarbij de waterstanden boven ongeveer 0.66 m+NAP ontbreken.
Koekoek	15-minutenwaarden gebruiken i.v.m. getij. Uurwaarden uitgedrukt.
Stuw Doesburg	vanaf 16-12-2016 11:00 verwijderd; na storing zijn waterstanden ongeveer 10 cm te laag
Soerense beek	verwijderd, zijn bovenstroomse waterstanden
Grote Beek	droogvalwaarden verwijderd (5.35) op 22-11-2016 enkele waarden verwijderd (uitschieters)

Locatie	Bewerking
Leuvenheim	waterstanden rond 6 deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar). deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Baakse beek	waterstanden rond 4.5 à 5 m+NAP deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar) deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Gemaal Cortenoever	waterstanden rond 5.15 m+NAP en lager deels bepaald door waterstand uiterwaard en deels door afvoer gemaal (pieken duidelijk zichtbaar) deze waterstanden geven niet de waterstand op de IJssel weer, en zijn verwijderd
Helbergen	droogval verwijderd (4 m+NAP)
Kattenhave	droogval verwijderd (3.46 m+NAP)
Eefde aflaatwerk	droogval verwijderd (rond 2.90 m+NAP). waterstanden iets hoger dan LMW Eefde beneden
Dommerbeek	droogval verwijderd (rond 3.30 en later 4.10 m+NAP)
Bolwerk	droogval verwijderd (rond 2.62 m+NAP) centraal 2-uurgemiddelde waterstand berekend
Gemaal ter Hunnepe	verwijderd, niet of slechts ten dele representatief voor de IJssel
Terwolde	centraal 2-uurgemiddelde berekend (3 uurwaardes) om slingeren te verwijderen.
Gemaal Veluwe	verwijderd, slingert veel, past niet bij meting gemaal Hoenwaard en LMW Katerveer
Gemaal Hoenwaard	peil Veluwse wetering. Waterstand soms hoger, soms lager dan bij gemaal Veluwe terwijl deze meet op hetzelfde water (Veluwse wetering) en benedenstrooms ligt van gemaal Veluwe metingen van het peil Hoenwaard zijn ook opgenomen omdat het gemaal buitendijks ligt, en het peil van de Hoenwaard relevant is als de Hoenwaard onderloopt. Locatie ontbreekt vooralsnog in Baseline.
Gemaal Katerveer	uitschieters in waterstanden eruit; bv. waterstanden die lager waren dan LMW Katerveer (gemaal ligt bovenstrooms van LMW Katerveer)
Gemaal Antlia	centraal 2-uurgemiddelde waterstand bepaald (3 uurwaarden) om slingeren te verkleinen waterstanden hoger dan LMW Katerveer verwijderd
Rondeel-Kampen	waterstanden lijken structureel te hoog (orde 5 cm) in vergelijking met omliggende stations (niet aangepast)

#### Verhanglijnmetingen

In deze periode zijn de volgende verhanglijnmetingen beschikbaar (in grijs de metingen die nu niet gebruikt worden):

- BR/Waal 1000 m<sup>3</sup>/s: 12-10-2016 (vanaf km 849.5!)
- IJssel 1000 m<sup>3</sup>/s: 13-10-2016
- IJssel 1000 m<sup>3</sup>/s: 26/27-1-2016
- IJssel 1600 m<sup>3</sup>/s: 16-2-2017
- BR/Waal 2500 m<sup>3</sup>/s: 23/24-3-2017 (vanaf km 849.5!)

De meting op de BR/Waal van maart is de enige recente meting van deze afvoer, en hiermee kunnen de verhangen over de vaste lagen/bodemkribben goed beoordeeld worden.

### *ADM-afvoeren*

Van de ADM-afvoeren van Driel-boven en Hagestein-boven zijn in deze periode 10-minutenwaarden beschikbaar.

In de beschikbare 10-minutengegevens zitten diverse slingeringen. Er zijn diverse middelingen bekeken om deze eruit te halen.

De definitieve meetreeksen bestaan voor Driel-boven uit:

- 2-uursmiddeling indien de stuw gestuurd wordt op afvoer.
- Daarbuiten een 1-uursmiddeling. Bij snelle afvoerveranderingen door een stuwbeving, is een 1-uursmiddeling eigenlijk te lang. Soms treedt in het lage afvoerbereik toch een snelle afvoerverandering op. In dat geval zou het beter zijn om toch 20-minutengemiddelden of zelfs 50-minutenwaarden toe te passen. Dit is alleen zinvol als ook de waterstanden niet uurgemiddeld worden, en de sturing op afvoer van de stuw op 10-minutenbasis plaatsvindt. Voorbeeld 13-11-2015 14:30 uur
- In de periode 7 t/m 23 maart 2017 zijn uitschieters aanwezig in de 10-minutengegevens van de ADM. De stuw is geopend, dus dit kan niet komen door stuwbevingen. De afwijkingen zijn in de 10-minutengegevens gecorrigeerd met lineaire interpolatie.

De definitieve meetreeksen bestaan voor Hagestein-boven uit:

- 2-uursmiddeling indien de stuw gestuurd wordt op afvoer.
- Daarbuiten een 20-minutenmiddeling. Deze korte middeling is nodig om de stuwbevingen te volgen en de getijslag.
- In een enkele periode is de 10-minutenwaarde overgenomen. Eigenlijk zou dan ook de waterstandsmiddeling niet moeten worden toegepast (rond 8-12-2015 14:00 uur). Nadeel is een iets meer fluctuerende afvoerreeks omdat kortdurende slingeringen door bv. scheepvaart minder goed uitgemiddeld worden.

Het verdient aanbeveling om beter te bedenken hoe de afvoer gemiddeld moet worden, in relatie tot de middeling van de waterstand en het interval waarop de stuw stuurt. Ook het toepassen van filters kan helpen.

### *ADCP-metingen*

Hier zijn de afvoermetingen verzameld gedaan in het kader van MWTL en projecten voor zover van toepassing. Op het Pannerdensch kanaal zijn de metingen nabij de IJsselkop (km 878) apart gezet. Er zijn geen afvoermetingen bij Hagestein. Afvoermetingen bij Olst worden deels bij Deventer gedaan; de locatie is dan rond km 945.

### *Afvoerreeksen*

In de verbeterde reeksen zijn aanpassingen gedaan aan PK en NR. De aangepaste aansluiting tussen ADM en Qf09 pakt toch nog niet goed uit. De vorm van de afvoergolf verandert, waardoor deze niet meer in fase is met de waterstanden op de NR, bv. bij Driel-boven. Daarom zijn in de periode 11 t/m 16- maart 2017 de afvoeren van PK en NR overgenomen van de gecorrigeerde en vereffende reeksen. In de periode 7-23 maart 2017 zijn uitschieters aanwezig in de ADM afvoer bij Driel (zie ook hierboven). Dit werkt door in de afvoer van de NR en PK. Het is helaas niet gelukt dit te herstellen.

## F.4 Memo totstandkoming afvoertijdreeksen t.b.v. 6e generatie modellen Rijntakken en Rijn-Maasmonding

Susanne Quartel

### Inleiding

Voor het kalibreren en valideren van de 6<sup>e</sup> generatie modellen voor de Rijntakken (RT) en de Rijn-Maasmonding (RMM) zijn tijdreeksen van de rivierafvoer nodig. Hoewel het Landelijk Meetnet Water (LMW) afvoerwaarden genereert voor de verschillende Rijntakken, kunnen deze waarden niet één-op-één gebruikt worden. Dit komt door:

- a) bekende onnauwkeurigheden van de zogeheten Qf-relatie waarmee een afvoer berekend wordt (o.b.v. de gemeten lokale waterstand);
- b) deze Qf-relaties geen rekening houden met een kloppende waterbalans bij de splitsingspunten;
- c) op de Nederrijn onder sommige condities de afvoer bepaald wordt met de ADM, maar de tijdseries bepaald door de ADM niet altijd goed aansluiten op de waarden gegenereerd door de Qf-relatie.

De afvoertijdseries zijn daarom bewerkt voor een verbetering van de afvoertijdreeksen. Deze memo beschrijft welke bewerkingen er zijn gedaan en de daarbij horende overwegingen.

### Methode

De calibratie gebeurt bij verschillende kenmerkende condities. Voor de RT-model richten die condities zich op de afvoer. Bij het RMM-model spelen de condities vanuit zee meer een rol, maar zijn wel de afvoertijdseries nodig als bovenstroomse randvoorwaarde. De geselecteerde condities beslaan meestal een periode van een paar maanden.

Voor het aanpassen van de tijdseries is het wenselijk een wat langere periode te hebben om een robuuster resultaat te krijgen. De periodes omvatten de geselecteerde condities en zijn:

- |      |                           |
|------|---------------------------|
| I.   | 01-09-1993 t/m 31-08-1995 |
| II.  | 01-01-2007 t/m 31-12-2008 |
| III. | 01-02-2010 t/m 31-01-2012 |
| IV.  | 01-09-2012 t/m 31-08-2014 |
| V.   | 01-09-2015 t/m 31-08-2017 |

De tijdseries uit de periodes I, III en V zijn voor het RT-model, II en IV voor het RMM-model.

De basis van de methodiek bestaat uit de volgende stappen:

1. Afvoertijdseries genereren met specifieke Qf-relatie
2. Opvullen van hiaten afvoertijdserie NR
3. Correctie o.b.v. afvoermetingen
4. Vereffening

#### **Stap 1: Afvoertijdseries genereren met specifieke Qf-relaties**

Voor het continu presenteren van een afvoerwaarde op de verschillende riviertakken *Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn* en *IJssel*, worden afvoerwaterstandsrelaties gebruikt. Voor de Rijntakken zijn dit de zogeheten Qf-relaties: dynamische functies waarin naast een lokale waterstand ook veranderingen van bodemligging, stuwbeheer en hysteresis zijn meegenomen. De input van de functie zijn waterstandstijdseries van de peilstations *Lobith, Pannerdensch Kop, IJsselkop* en *Driel Boven*. In deze tijdseries hebben een frequentie van een uur en mogen geen missing values bevatten.

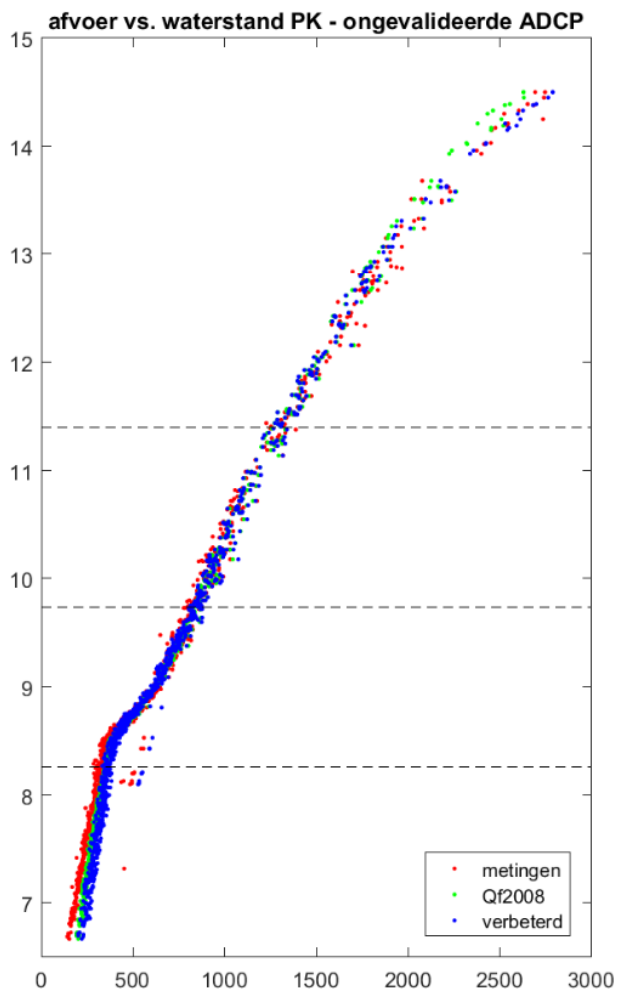
Van de Qf-relaties bestaan verschillende versies. *HKV (2009)* heeft een tweetal relaties ontwikkeld: Qf9395 en Qf2008. Qf9395 kan gebruikt worden voor de periode 1993 en 1998. Echter, *Rura (2010a)* stelt dat met de bodemligging-correctie van *HKV (2009)*, het niet zinvol is onderscheid te maken tussen Qf9395 en Qf2008. En ontwikkelt daarbij een andere vorm van de correctie van bodemliggingveranderingen. Deze vorm wordt toegepast in de Qf2008, waarmee deze valide is vanaf 1993. Bij het opstellen van de afvoertijdreeksen t.b.v. de calibratie van WTI2011 ook voor de afvoeren uit 1993 en 1995 uitgegaan van deze Qf2008 (Beyer, 2012). Hierom is deze functie de basis van de tijdseries voor periode I.

Daarnaast is de aangepaste Qf2008 geïmplementeerd in het Landelijk Meetnet Water en zijn afvoerwaardes (met terugwerkende kracht) vanaf 1 mei 2003 berekend. Na een periode van ervaringen opdoen met de Qf2008 werden onnauwkeurigheden geconstateerd. Dit leidde tot een verbeteringsslag van de methodiek met bijbehorende relaties, Qf09T (*Svasek, 2018 en Svasek 2019*). Hoewel de aanpassingen geen verbeteringen opleverde in het lagere afvoerbereik, verbeterde de kwaliteit in het hogere afvoerbereik aanzienlijk (figuur 1). Deze functies zijn daarom de basis van tijdseries voor de periodes II – V.

### **Stap 2: Opvullen van hiaten afvoertijdserie NR**

De afvoertijdserie van de Nederrijn bestaat niet alleen uit waarden vanuit de Qf, maar ook voor een groot deel uit afvoergegevens bepaald met de ADM van Driel-Boven. De ADM functioneert tot en met een waterstand van 9,04 m+NAP bij Driel-Boven (pers.comm. Ton Kremers, RWS CIV) omdat dan het stuweiland gaat meestromen. Volgens de indicatieve verhanglijnen 2016 is de waterstand bij IJsselkop dan 10,75 m +NAP, en bij Lobith 12,26 m +NAP. Daarboven neemt Qf2008 het over om afvoerwaarden te genereren.

Echter, de ADM kent periodes van uitval. Hiervoor zijn een twee versies van opvulfuncties beschikbaar:



Figuur 1. Afvoer-waterstand relatie van afvoermetingen en afvoeren benaderd met Qf2008 en Qf09T (=verbeterd)

- 1) Een functie van het verval tussen IJsselkop en Driel Boven welke geldig is als  $H_{IJsselkop} < 8,82 \text{ m} + \text{NAP}$  en verval  $< 1,50 \text{ m}$  (HKV, 2009). Deze functie is opgenomen in het LMW.
- 2) Verschillende functies die verschillende stadia van het stuweffect omschrijven welke voor  $H_{IJsselkop} < 8,31 \text{ m} + \text{NAP}$  op basis van waterstand IJsselkop is en voor  $8,30 < H_{IJsselkop} < 8,84 \text{ m} + \text{NAP}$  op basis van het verval tussen IJsselkop en Driel-Boven (Rura, 2010b). Een voordeel van deze functie is dat deze ook een afvoerwaarde berekend wanneer het verval negatief of nul is.

Voor beide opvulfuncties geldt dat deze een fit representeert en daarmee een gemiddelde situatie is. Deze opvulfuncties zijn niet flexibel m.b.t. afwijkend stuwbeheer. Daarom is gekozen voor een andere benadering om de gegevens op te vullen. Op basis van de waterstanden bij IJsselkop, Driel-Boven, Driel-Beneden, Doesburg en het onderlinge verval, wordt er een regressieboom opgesteld om een afvoer te genereren. De regressieboom wordt getraind op de momenten dat er wel ADM-afvoerwaarden beschikbaar zijn. Met deze methodiek worden meerdere situaties meegenomen voor het bepalen van een afvoerwaarde dan alleen de gemiddelde situatie.

De ADM gegevens kennen veel variatie tussen de opeenvolgende meetmomenten door o.a. resonantie van golven bij de stuwen. Daarom worden de 10-minuten ADM-gegevens eerst gefilterd voor het opstellen van de regressieboom. De filtering gebeurt meteen moving-window waarmee de waarden worden gemiddeld in de periode van -1 uur tot en met +1 uur. Daarna worden de uurwaarden geselecteerd en apart weggeschreven.

Wanneer deze procedure andersom wordt uitgevoerd, dus eerst uurwaarden selecteren en daarna middelen, blijft het signaal erg variabel. Dit kan niet worden voorkomen door het window dan te vergroten, omdat dan andere veranderingen (welke meer natuurlijk lijken) dan worden afgevlakt. Echter, voor sommige periodes zijn geen 10min-waarden beschikbaar zijn (Tabel 1). Hier wordt daarom toch de uurwaarden gefilterd over een zelfde periode van -1 tot en met +1 uur.

Tabel F.1. Beschikbare frequentie van ADM-gegevens

Periode	Frequentie
01-01-1990 00:00 tot 01-10-2000 00:00	10 min
01-10-2000 00:00 tot 26-11-2013 00:00	1 uur
26-11-2013 00:00 tot heden	10 min

Voor twee verschillende condities is een regressieboom opgesteld waarvan de basis ligt in *Rura (2010b)* en  $H_{\text{Driel-Boven}} \leq 9,04 \text{ m} + \text{NAP}$ :

- Verval tussen  $H_{\text{IJsselkop}}$  en  $H_{\text{Driel-Boven}} < 0,1 \text{ m}$  en  $H_{\text{IJsselkop}} < 8,84 \text{ m} + \text{NAP}$
- Verval tussen  $H_{\text{IJsselkop}}$  en  $H_{\text{Driel-Boven}} \geq 0,1 \text{ m}$  of  $H_{\text{IJsselkop}} \geq 8,84 \text{ m} + \text{NAP}$

De gefilterde ADM-reeks wordt vervolgens met gegenereerde waarden uit de regressieboom opgevuld en samengevoegd met de afvoerwaarde uit Stap 1.

### Stap 3: Correctie o.b.v. afvoermetingen

Op regelmatige basis worden er varende afvoermetingen gedaan bij de splitsingspunten. Vóór 2002 werden deze metingen met de OTT-molen uitgevoerd. Daarna is er geleidelijk overgestapt op het gebruik van de ADCP. Deze afvoermetingen worden gebruikt om te tijdseries te corrigeren. De correcties worden per tijdperiode opgesteld, omdat door de tijd heen de kwaliteit van de Qf-relaties kan veranderen. Voor de Nederrijn wordt geen correctie opgesteld, omdat er wordt uitgegaan dat de kwaliteit van de ADM in lagere bereik goed is en de kwaliteit van Qf09T (*Svasek, 2018*) in het hogere bereik redelijk lijkt.

Voor de correctie worden de afvoermetingen vergeleken met de afvoerwaarde uit de tijdserie. Daarna wordt een Loess-filter gebruikt voor het opstellen van een functie waarmee er met afvoersteps van  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  een correctie wordt berekend.

### Stap 4: Vereffening

De tijdseries uit stappen 1-3 kennen nog geen onderlinge verbinding waarmee zekerheid is over een kloppende waterbalans. Vereffening van de tijdseries zorgt voor deze samenhang. Hiervoor wordt in de basis de methode van *HKV (2011)* gebruikt. Alleen wordt er een extra stap toegevoegd waarmee rekening wordt gehouden met looptijd. De looptijd varieert in werkelijkheid met de afvoer, maar hier wordt de looptijd benaderd met één waarde. De gemiddelde looptijd vanaf Lobith tot Pannerdensch Kop is 5 uur en tot de IJsselkop is 5 uur (*Rijkswaterstaat, 2013*). De tijdseries worden gecorrigeerd voor de looptijd, vervolgens wordt de vereffening uitgevoerd, daarna wordt de looptijd er weer uitgehaald.

## Resultaten

De hierboven omschreven methode is voor de vijf periodes gebruikt. Echter leverde het resultaat voor sommige periodes aanvullende vragen op, waardoor er specifieke aanpassingen op de methode gedaan zijn. Hieronder worden de resultaten per periode beschreven.

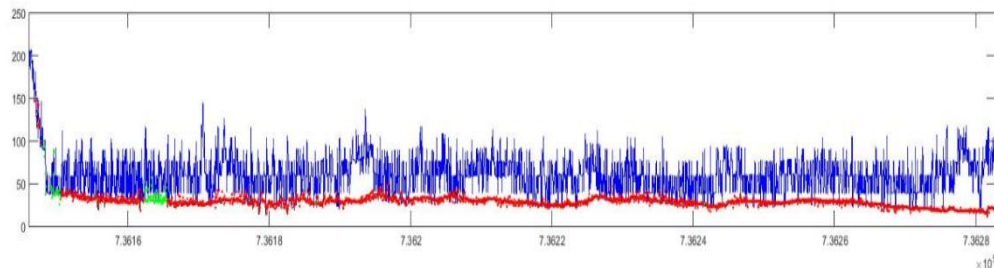
### **Periode I: WTI 2011**

De gecorrigeerde en vereffende tijdreeksen voor 1993 – 1995 zijn vergeleken met de tijdreeksen die eerder zijn opgeleverd voor de kalibratie en validatie van de 5<sup>e</sup> generatie modelschematisaties (Beyer, 2012). Opvallend was dat met name tijdens de zeer hoge rivierafvoeren er verschillen waren tussen de tijdseries, maar ook met de metingen. Deze hoge rivierafvoeren zijn echter juist uniek en essentieel in de modelcalibratie, omdat deze uiteindelijk mede de waterstanden in het zeer extreme afvoerbereik bepalen (bv. bij afvoer Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s). Een verandering van de eerder toegepaste afvoerreksen is alleen te verantwoorden als de nieuwe reeksen aantoonbaar beter zijn. Dat is niet het geval gebleken, en helaas is er vanwege de tijd geen verklaring gevonden.

De tijdseries van WTI2011 zijn met veel aandacht voor de kwaliteit opgesteld. Daarom is besloten om voor deze ronde van modelkalibratie alsnog van deze tijdseries uit te gaan.

### **Periode II – IV**

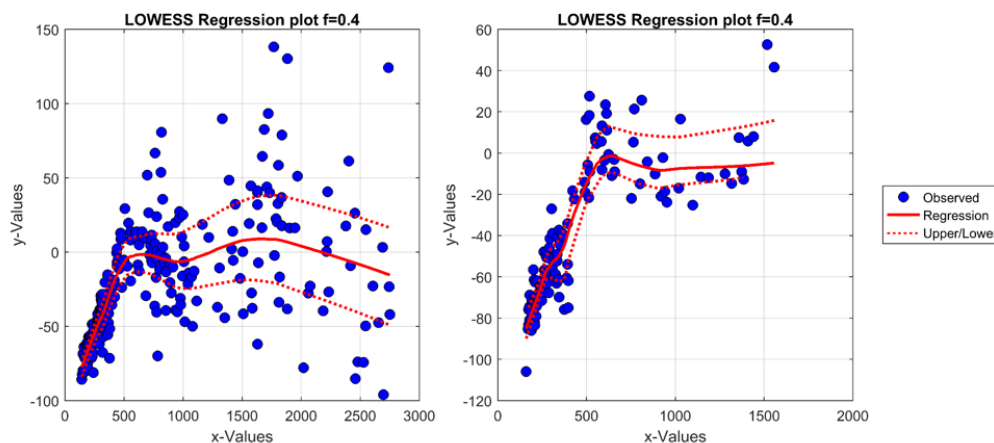
Voor de periode II tot en met IV zijn de stappen van de methode doorlopen. Na het genereren van de afvoertijdreeksen met Qf09T (stap 1), zijn de hiaten van de ADM-tijdserie opgevuld (stap 2). Figuur 2 laat zien dat er een groot verschil zit in de afvoerwaarden wanneer de opvulfunctie van Rura wordt vergeleken met de ADM-afvoeren. Ervan uitgaande dat de ADM gevalideerd wordt voor het gebruik van de afvoeren binnen LMW, zijn deze waarde daarom leidend. De afvoerwaarden gegenereerd met de regressieboom sluiten beter aan in de ADM tijdreeks.



*Figuur 2. Tijdserie met afvoergegevens (y-as) bij Driel-Boven: ADM-waarden (rood), opvulwaarden volgens Rura (2011b; blauw) en afgeleid met de regressieboom (groen)*

De correcties van de tijdserie op basis van de metingen (stap 3) gebeuren voor elke tijdsperiode om te voorkomen dat de veranderingen in het systeem (merkbaar in metingen maar ook versimpeld opgenomen in de Qf09T) teveel gemiddeld worden. Hierdoor kunnen correcties van de verschillende tijdsperiodes verschillen. Echter welke afvoeren er zijn geweest en de beschikbare metingen van een tijdsperiode, kunnen ook verschillen veroorzaken (zie figuur 3). Na het corrigeren volgt de vereffening (stap 4).





Figuur 3. Absolute afvoercorrectie (y-as) t.o.v. de afvoer (x-as) [ $m^3/s$ ] van het Pannerdensch Kanaal voor periode III (links) en V (rechts) waarbij de rode lijn het resultaat van het Loess-filter is. Let op: de schaalverdeling is verschillend.

De verschillen tussen de ADCP-meting en de gemodelleerde afvoer na de verschillende stappen staan weergegeven in Figuur 4 voor periode III. Hierin kan het effect van de stappen worden gezien. De grootste veranderingen is merkbaar wanneer stap 3 wordt uitgevoerd (verschil blauwe punten met rode punten). Zo neemt het afvoerverschil bij lagere afvoeren op de Bovenrijn, Waal en Pannerdensch Kanaal duidelijk af. In figuur 4 daalt het verschil van -20 tot -10% naar enkele % voor de Bovenrijn. De beoogde kwaliteit van de afvoermeting voor 'normale' afvoercondities is  $\pm 5\%$ , wat vertrouwen geeft in de afvoerwaardes na stap 3.

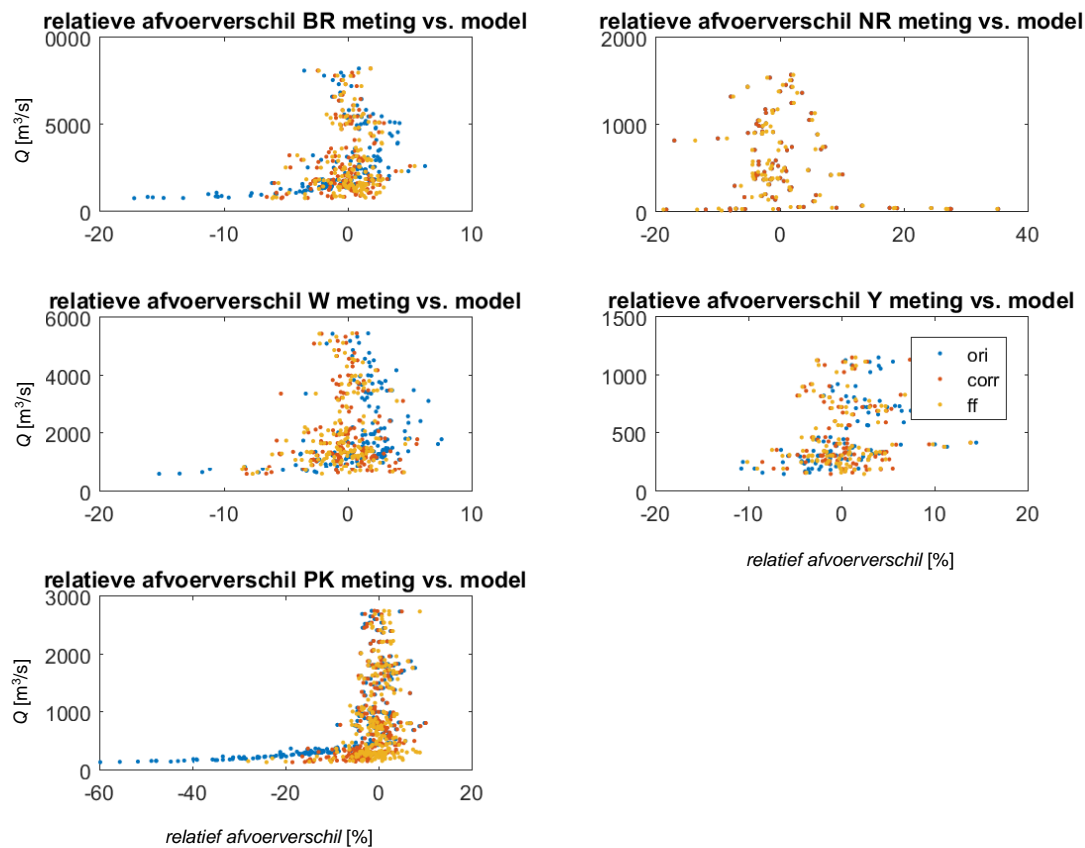
De vereffening (stap 4) zorgt voor kleinere aanpassingen (zie Figuur 4). Deze stap heeft als doel de waterbalans kloppend te maken en verstoort dus niet de kwaliteit na stap 3.

#### **Periode V: aansluiting ADM- en berekende afvoergegevens**

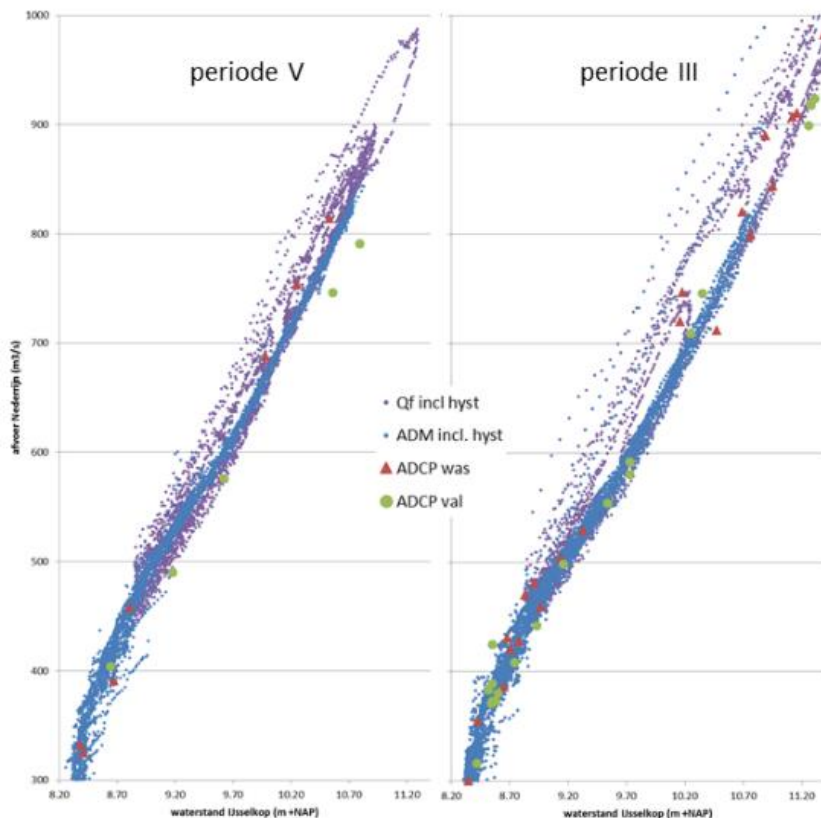
Na de uitvoering van de vier stappen zijn 'sprongen' geconstateerd in de tijdserie V. De oorzaak van deze sprongen bleek te liggen in de overgang van de ADM-tijdserie naar de Qf-relatie, wat na vereffening ook zichtbaar is op de andere takken. In de andere tijdseries was deze sprong minder of niet aanwezig.

Boven de 8,84 m+NAP als waterstand bij de IJsselkop is de Qf-relatie geldig (Rura, 2010b). Tot circa 10,75 m+NAP functioneert dan de ADM ook. Wanneer over dit waterstandsbereik de afvoeren van de ADM met de originele resultaten uit Qf09T worden vergeleken, vallen er 3 punten op (Figuur 5):

- de ADM-waarden kennen weinig spreiding in vergelijking met de Qf09T-waarden;
- de trend van de puntenwolken volgen beginnen te verschillen bij een waterstand boven circa 9 m+NAP;
- de ADCP-metingen volgen de trend van de ADM, maar hebben ook een grotere spreiding.



Figuur 4. Relatieve afvoerverschil [%] tussen ADCP meting en de berekende afvoerwaarde (ori = stap 1, corr = stap3, ff = stap 4) per riviertak voor periode III.



Figuur 5. Dynamische QH-plots voor periode V (links) en periode III (rechts)

Dat Qf09T hogere waarden berekent dan gemeten wordt met de ADCP in deze periode, blijkt ook uit de negatieve correctie, die het resultaat is van stap 3. Maar met deze aanpassing bleken de sprongen bij overgang van de 2 methodieken alleen maar erger te maken.

De beperkte spreiding van het ADM-signaal suggereert dat de ADM beperkt de hysteresis weergeeft. De ADCP-metingen bevestigen het idee dat de hysteresis meer variatie in de afvoer geeft. Daarnaast laten de andere periodes minder grote sprongen zien. In periode III geeft de ADM wel hysteresis loops weer (Figuur 5). De waterstand bij de IJsselkop steeg toen veel sneller dan er in periode V is voorgekomen. Wat hierbij wel moet worden meegenomen is dat de waterstand en ADCP-metingen rond de IJsselkop (rkm 878.460) uitgevoerd worden. De Qf09T bepaalt dus een Nederrijn afvoer voor bij het splitsingspunt. De ADM is verder benedenstrooms gestationeerd (rkm 890.6) en representeert in meer of mindere mate een andere situatie.

Door tijdgebrek was er geen mogelijkheid om de oorzaak verder uit te diepen en de methode robuust aan te passen. Daarom is een pragmatische oplossing gekozen op basis van bovenstaande bevindingen:

- 1) Aan het ADM signaal is een hysteresis effect toegevoegd. De afvoerwaarde uit de ADM is vermenigvuldigd met de hysteresis-factor zoals deze in de Qf09T wordt gebruikt. Het ADM-signaal wordt gewoon gebruikt voor de situaties dat  $H_{\text{DrielBoven}} \leq 9,04\text{m} + \text{NAP}$ .
- 2) De Qf09T is gecorrigeerd o.b.v. gemiddelde ADM-waarden. De afvoerwaarde voor Qf09T zijn berekend zonder hysteresis mee te nemen ( $Qf09T_{\text{stat}}$ ). Met de originele ADM-gegevens is een QH-functie afgeleid en het verschil tussen deze Qh en de  $Qf09T_{\text{stat}}$  is de correctiewaarde voor Qf09T geworden (oftewel een alternatieve waarde voor stap 3). Bij  $H_{\text{IJsselkop}} > 10,4\text{m} + \text{NAP}$  wordt een vaste waarde toegepast. De Qf09T geldt voor situaties dat  $H_{\text{DrielBoven}} > 9,05\text{m} + \text{NAP}$ .

Met deze nieuwe, gecorrigeerde Q-tijdseries is de vereffening, conform stap 4, gedaan.

### **Discussiepunten met enkele aanbevelingen**

Voor de verschillende stappen in de werkwijze zijn aandachtspunten te benoemen:

#### Stap 1

- De kwaliteit van de beschikbare Qf-relaties had duidelijk beperkingen waardoor de correctie stap nodig was. De verbeterpunten die uit dit project duidelijk werden, hebben bijgedragen aan de ontwikkeling van een nieuwe relatie. Eind 2019 is er een nieuwe relatie ontwikkeld, welke voor een volgende modelkalibratie ronde kan worden ingezet (Svasek, 2019).
- De nauwkeurigheid van de waterstandsmetingen is in centimeters en dit kan per 10 minuten veranderen. Daardoor wordt de tijdseries van de afvoer vrij grillig. Het zou beter zijn om de afvoer te berekenen op basis van een gefilterd (stabiel) waterstandssignaal.

#### Stap 2

- Het ADM-signaal is gefilterd met een moving window bemiddeling. Het zou goed zijn om een keer een verdiepingsslag te doen op hoe dit ADM-signaal het beste gefilterd kan worden. Daarbij is van belang te kijken naar de snelheid van afvoerveranderingen door stuw aanpassingen.
- De waterstand bij Doesburg wordt beïnvloed door laterale toestroming. De Steeg of De Steeg Haven zou een betere optie zijn, maar beschikbaarheid speelt een rol: De Steeg alleen dagwaarden tot 31-12-1993 en De Steeg Haven vanaf 24-2-2005 als uurwaarden, en vanaf 26-11-2013 als 50-minuten waarden.
- $H_{\text{IJsKop}} = 8,84\text{m} + \text{NAP}$  wordt gesteld als de waarde wanneer de stuw bij Driel eruit is en kwam in oudere betrekkinglijnen overeen met 10m +NAP Lobith. Volgens IV

2016 zou is de waterstand bij IJsselkop nu 8,81m +NAP wanneer de waterstand bij Lobith 10 m is. Naast deze systeemveranderingen, is deze grens niet hard door het menselijk handelen. Hierdoor is het gebruik van zo'n grenswaarde misschien niet heel handig. Echter het gedrag van de afvoer tijdens volledig gesloten of geopende stuw is duidelijk anders waardoor onderscheid van die condities wel noodzakelijk is.

- Er wordt aangenomen dat de ADM gevalideerd wordt en daardoor kwalitatief goed is. Een onderbouwing hiervan zou goed en daarmee inzicht in welk dwarsprofiel. Wellicht zijn ook afvoermetingen nabij de ADM zinvol om meer zicht te krijgen op de aansluiting van de ADM op de Qf, en op de hysteresis in de afvoeren.

#### Stap 3

- De beschikbaarheid van ADCP-metingen en randeffecten spelen een grote rol bij het opstellen van de correctiefuncties. Het was goed geweest om een check op consistentie in de correcties te hebben om grote veranderingen te voorkomen.

De aangepaste methode voor tijdserie V is handmatig en niet robuust, maar puur een pragmatische oplossing voor de slechte aansluiting tussen ADM-gegevens en Qf-relatie. Dit soort sprongen waren niet alleen nu een probleem, maar zijn ook niet wenselijk voor het LMW en het aansturen van operationele modellen. Hiervoor is meer zekerheid over de kwaliteit van de ADM-gegevens nodig (validatierapporten), maar ook worden nagedacht over de compatibiliteit van de twee methodieken.

### Referenties

- 
- Beyer, 2012. Werkwijze bepaling afvoerreksen op de takken j95\_5. Memo Rijkswaterstaat Oost-Nederland. 26 oktober 2012.*
- HKV (2009). Beheer en onderhoud afvoerreksen Rijntakken. Deelonderzoek A: Operationaliseren Qf-relatie Bovenrijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn en IJssel. Rapport PR1444.20*
- HKV (2011). Afvoervereffening Rijntakken: handleiding. Rapport PR1444.40*
- Rijkswaterstaat (2013). Sluitende waterbalans bij laagwater 2011. Memo 26-06-2013*
- Rura (2010a). Bodemparameters in Qf-relatie. Memo 1004290Rb-1*
- Rura (2010b). Tekortkomingen Qf-relatie. Memo 1004290Rb-3*
- Svasek (2018). Verbeterde Qf-relaties Rijntakken. Rapport 1903/U17294/B*
- Svasek (2019). Opstellen Qf relatie 2018. Data-analyse en modelstudie. Rapport 1961/U19462/E/BvL. 24 december 2019.*

## F.5 Meetgegevens lateralen

*Dit betreft een toelichting van RWS-ON op door hen aangeleverde gegevens.*

### F.5.1 Algemeen

Een belangrijk onderdeel van de invoergegevens voor een historische periode betreft de laterale uitwisseling tussen rivier en het regionale of overige landelijke watersysteem. In 2017 zijn hiervoor meetgegevens verzameld en geanalyseerd (Rura, 2017). In 2018 zijn aanvullende onderzoeken gedaan en invoerbestanden gemaakt voor gebruik in de RGWM die weer zijn gebaseerd op Excel-spreadsheets. (Rura, 2018a).

In deze paragraaf wordt ingegaan op de toegeleverde gegevens voor de analyse uit 2017. Deze zijn ook verwerkt in het aanmaken van de invoerbestanden in 2018.

De basis voor de gegevens is verzameld in 2017. Het betreft langjarige meetgegevens voor de analyse (paragraaf F.5.2) en overige gegevens (paragraaf F.5.3). Voor de kalibratie en validatie zijn de meetgegevens volledig gecontroleerd, verbeterd, en aangevuld. Algemene opmerkingen staan in paragraaf F.5.4. Tevens wordt ingegaan op de bepaling van de afvoer van het gemaal Marijkesluizen. Daarna volgt in afzonderlijke paragrafen de beschrijving van de gegevens per periode (vanaf paragraaf F.5.4.3).

**Meetgegevens**

- **Afvoer Lobith**  
De afvoer Lobith is op 11 juli 2017 ontvangen van de Servicedesk Data. De afvoeren zijn ontleend aan DONAR. Tot 24 oktober 1996 zijn alleen dagelijkse afvoeren van Lobith opgeslagen; dit betreft etmaalgemiddelden. Daarna zijn het uur danwel 10-minutenafvoeren. Vanaf 2003 zijn het Qf afvoeren (Qf08).
- **ADM-afvoeren Rijkswaterstaat**  
Op enkele locaties zijn ADM-metingen beschikbaar. Het betreft het Twentekanaal bij Almen (sinds 5996), het Amsterdam-Rijnkanaal bij Wijk bij Duurstede (sinds 5998), het Lekkanaal bij Nieuwegein (sinds 5994).  
Van Almen zijn wederom slechts 50-minutengegevens bewaard gebleven sinds eind 2013, en daarvoor urengegevens (10-minutenwaarde op het gehele uur). Helaas is dit door slingeringen op het kanaal niet echt betrouwbaar bij lagere afvoeren. Dit heeft tot veel hoofdbreken geleid. Vóór 1996 zijn slechts dagafvoeren van sluis Eefde beschikbaar (identiek aan de 5<sup>e</sup> generatie). Er is geen tijd besteed aan een herinventarisatie van die gegevens om te zien of de oude gegevens nog gewijzigd zijn. Een reden hiervoor kan zijn dat de gegevens nu op 12 uur 's middags opgelegd worden, terwijl ze mogelijk het gemiddelde zijn van de voorgaande dag (van 8:00 uur tot 8:00 uur). Als dat klopt wordt de afvoer nu te laat opgelegd.  
Van Wijk bij Duurstede en Nieuwegein zijn wel 10-minutengegevens beschikbaar; deze zijn omgewerkt naar een centraal 2-urugemiddelde afvoer.  
Er is lang nagedacht over de hiaatinvulling van kleine hiaten. In eerste instantie is een lineaire interpolatie toegepast in de 10-minutengegevens. Dat leverde soms grote afwijkingen op. Uiteindelijk is gekozen voor een lineaire interpolatie tussen de uren gemiddelde afvoeren.
- **Waterschap Rijn en IJssel**  
Alle beschikbare gegevens zijn gedownload van de website. Dit betreft ongevalideerde gegevens. Er was helaas geen tijd om het waterschap te vragen naar gevalideerde gegevens. Belangrijke afvoergegevens zijn van gemaal Kandia, de Oude IJssel, Broekhuizerwater, Grote Beek, Baakse Beek, Veengoot, afleidingskanaal Berkel, Schipbeek.
- **Waterschap Vallei en Veluwe**  
Naar aanleiding van een overleg over het waterakkoord zijn gegevens opgevraagd bij waterschap Vallei en Veluwe. Dit betreft de uitwisselingspunten, en beschikbare meetgegevens. Helaas waren weinig afvoergegevens beschikbaar. Van het grote gemaal Veluwe waren beperkt afvoergegevens bekend, maar niet van de vrije lozing.
- **Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)**  
Van vier locaties zijn afvoergegevens gedownload van de website via LIZARD. Hierna is contact geweest met een medewerker over de gegevens en de kwaliteit. Toegepast zijn de afvoergegevens van de inlaat Kromme Rijn (ADM) bij Wijk bij Duurstede, de inlaat Voorhavendijk en de inlaat Vreeswijk . De afvoergegevens van gemaal Koekoek bleken niet betrouwbaar.
- **Waterschap Rivierenland**  
Het is helaas niet gelukt om afvoergegevens van de Linge te verkrijgen. Op drie locaties vindt uitwisseling plaats: inlaat Doornenburg op het Pannerdensch kanaal, gemaal Kuijk en gemaal van Beuningen op het Betuwepand. Op deze laatste twee locaties vindt zowel vrije lozing plaats, als lozing door het gemaal als de inlaat van water. Meetgegevens zijn niet of moeilijk beschikbaar aangezien het peilbeheer zich richt op waterstanden. Er zijn wel gegevens beschikbaar uit 1993 en 1995 die zijn gebruikt in de analyse. Doordat deze niet overeenkwamen met de lateralen is besloten om ze voorlopig niet toe te passen. De vermoedelijke reden is de aanwezigheid van kwel in de meetgegevens die in de analysemethode ontbreekt (RURA, 2018d).
- **Drinkwaterwinning Nieuwegein**  
Op het Lekkanaal zit een drinkwaterinnamepunt genaamd Cornelis Biemond. De

afvoermeting van de ADM Nieuwegein moet gecorrigeerd worden voor deze waterinname aangezien de drinkwaterinname een extra onttrekking is aan de Lek. De grootte van de waterinname is ontleend aan het rapport "Gebiedsdossier oppervlaktewaterwinning Nieuwegein Cornelis Biemond (Lekkanaal)." (Provincie Utrecht, 2012). De hoeveelheden fluctueren per jaar; voor 2010 is er 94,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar geleverd. Voor 2011 is dit met 14 miljoen m<sup>3</sup> uitgebreid tot 108,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Omgerekend betekent dit ongeveer 3 m<sup>3</sup>/s.

### F.5.3 Overige gegevens

- **Uitwisselpunten**
  - **Uitwisselpunten Vallei en Veluwe**  
Van het waterschap is een overzicht ontvangen van alle uitwisselpunten langs de IJssel met kenmerken en stroomgebieden (8-11-2017).
  - **Deichverband Xanten-Kleve**  
Van de website van het Deichverband Xanten-Kleve zijn de gegevens gedownload van de drie gemalen op de Niederrhein. Het gaat om het Kalflack-Schöpfwerk bij km 852, het Altrhein-Schöpfwerk bij km 856.5 en het Spoy-Schöpfwerk bij km 859. Beide laatstgenoemde lozen op de Altrhein die rond km 863.9 uitmondt in de Boven-Rijn.
  - **De overige uitwisselpunten van de waterschappen Rijn en IJssel, Rivierenland, Drenths Overijsselse Delta en Hoogheemraadschap de Sictse Rijnlanden zijn gebaseerd op diverse bronnen zoals websites, documenten en luchtfoto's.**
  - **Rioolwaterzuiveringen (RWZI's)**  
Op basis van [www.watersector.nl](http://www.watersector.nl) is een overzicht gemaakt van de RWZI's die op de rivier lozen met bouwjaar en capaciteit.
  - **Uitwisselpunten totaaloverzicht.**  
Op basis van alle verzamelde gegevens is op 17 november 2017 een overzicht van alle uitwisselpunten aangeleverd aan Rura Arnhem. Hierbij zijn zoveel mogelijk gegevens opgenomen over de uitwisselpunten zoals inslagpeilen van gemalen, gemaalcapaciteiten, etc.
- **GIS-bestanden stroomgebieden**  
Voor een eenduidige bepaling van de oppervlaktes van de stroomgebieden zijn de INSPIRE-gegevens toegepast. Helaas waren de gegevens op dat moment nog in ontwikkeling. Het betreft alleen de Nederlandse delen van de stroomgebieden; dat betekent dat de Duitse delen ontbreken. Ook is geconstateerd dat de oppervlaktes afwijken van de van Vallei en Veluwe ontvangen gegevens. Vanwege eenduidigheid zijn de stroomgebiedsoppervlakken gebaseerd op INSPIRE. Van de grensoverschrijdende stroomgebieden worden wel de totale oppervlakten gebruikt uit andere gegevens.
- **Afmetingen sluiskolken**  
Voor het afleiden van de schutdebieten is informatie nodig over de afmetingen van de sluiskolken. Helaas bleek het niet eenvoudig om eenduidige informatie te vinden. Een mogelijke oorzaak kan zijn dat er voor de scheepvaart een andere afmeting wordt gehanteerd dan de werkelijke. De reden kan zijn dat voor de scheepvaart van belang is welk scheepstype(n) in de sluiskolk kunnen. De werkelijke kolkafmeting (deur tot deur) kan groter zijn. Vanwege verschillen in kolkafmetingen uit bv. [www.vaarweginformatie.nl](http://www.vaarweginformatie.nl) en de luchtfoto's/DTB is uiteindelijk besloten om uit te gaan van het DTB en de luchtfoto. Bijvoorbeeld bij de Wilhelminasluis in Andel en de Prinses Marijkesluizen is duidelijk te zien dat de kolk veel breder is dan waar schepen kunnen liggen. Het lijkt erop dat dat ook bij Heumen oostkolk aan de hand is.
- **Looptijden**  
Om een relatie te leggen tussen een lokale waterstand en de afvoer bij Lobith (of Oude IJssel) is informatie nodig over de looptijden. Hiervoor zijn modelresultaten van j17\_5-v1 gebruikt.

- Schutgegevens  
Uit het NIS zijn schutgegevens gehaald die afkomstig zijn uit IVS'90. Hierin worden per sluiskolk per uur bijgehouden hoeveel schuttingen er zijn. Tevens is aangegeven in welke richting de schutting plaatsvindt, of het een lege schutting is, en of de gehele sluiskolk is gebruikt of een deel.
- Scheepvaartstromingen
  - Vermindering scheepvaart  
In Duitsland geldt vanaf Marke II een algeheel vaarverbod. Aanname is dat vanaf dan de scheepvaart drastisch afneemt, bijvoorbeeld tot 1/3. Voor Emmerich bedraagt Marke II 8.70 meter, ofwel 16.70 m+NAP. De waterstand bij Lobith is dan 15.51 m+NAP (betrekkingslijnen 2010).
  - Algehele stremming  
Basis voor de keuze ligt in het document "Beleidslijn voor de invoering van scheepvaartbeperkingen of stremming bij hoogwater op de Rijn en de Maas.", vastgesteld 17 februari 1999 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1999). Hierin staat dat er geen algemene stremming komt bij hoogwater. Citaat: "Een stremming van de scheepvaart tengevolge van hoogwater komt alleen aan de orde indien daar zeer ernstige redenen voor zijn. Als het toch nodig is dan is het goed mogelijk, door flexibel in te spelen op de omstandigheden, bij het instellen van een vaarverbod op de Nederlandse rivieren maatwerk te leveren. Door rekening te houden met het verloop van het hoogwater, met de feitelijke toestand van de dijken en de eventuele bedreigde gebieden langs de rivieren blijven de stremmingen tot een minimum beperkt. Zodra het thans lopende Deltaplan Grote Rivieren gereed is zijn in beginsel alle dijken zo sterk dat alleen in zeer uitzonderlijke omstandigheden (gemiddelde kans één keer per 1000 jaar) niet gevaren kan worden. Vaste peilen per riviervak waarbij een vaarverbod automatisch van kracht wordt, worden niet ingevoerd. Omdat deze peilen aan de veilige kant gekozen moeten worden zou dit leiden tot onnodig vaak stremmen van de scheepvaart."  
blz 3: "Bedreigende situaties zullen zich doorgaans alleen voordoen bij zeer hoge waterstanden. Wanneer echt gevaar voor de dijken dreigt kan de vaarwegbeheerder op verzoek van de dijkbeheerder in die gevallen dat de door de scheepvaart veroorzaakte golfslag over de dijk kan slaan, een vaarverbod instellen gedurende de tijd dat deze situatie zich voordoet. Een indicatie hiervoor is een waterstand van minder dan 0,5 m onder de kruin van de dijk."  
Het ligt voor de hand dat er toch vaarverboden worden ingesteld, al is niet op voorhand duidelijk waar. Voorstel is om uit te gaan van een algeheel verbod vanaf afvoeren van 1/1000.
  - Hoogwater 1993 en 1995  
Citaat uit "Een zee van rivieren. RWS Oost-Nederland. 1995": "De scheepvaart heeft zich over het algemeen keurig gehouden aan het vaarverbod dat op 29 januari 1995 door de directie Oost-Nederland werd afgekondigd voor de Gelderse en Overijsselse rivieren. Het opheffen van het verbod op 6 februari in fasen heeft dank zij de bereidwillige medewerking van de Duitse vaarwegbeheerder Wasser- und Schiffahrtamt (WSA) Duisburg-Rhein evenmin tot problemen geleid.". De stremming was dus van 29-1 tot en met 5-2.  
Omdat het niet mogelijk is in de RGWM om te werken met een datum, is de datum vertaald naar een vaste afvoer bij Lobith vanaf waar het vaarverbod geldt. In de was is dit rond 10.000 m<sup>3</sup>/s, de afvoer op 6 februari is veel lager. Er moet rekening gehouden worden met looptijd. Dit levert niet een precieze stremmingsperiode op.

## F.5.4 Gegevens per periode

### F.5.4.1. Algemeen

In de volgende tabel staat de beschikbaarheid van meetgegevens van lateralen vermeld. In de hierna volgende paragrafen wordt ingegaan op de aanpassingen die zijn gedaan per periode. Als basis geldt de oplevering van RURA (2018). Aanpassingen zijn gedaan in een invoerspreadsheet; deze zijn overgenomen in invoerbestanden voor de RGWM.

Van de locaties inlaat Vreeswijk en Gemaal Veluwe zijn in enkele periodes meetgegevens beschikbaar. Het kost meer tijd om deze te controleren en te verwerken. Bij de inlaat Vreeswijk is twijfel over de vele periodes waarin er niet wordt ingelaten.

Lateraal	1993/1994	1994-1995	2011	2015-2016	2016-2017
Oude IJssel	x	x	x	x	x
Eefde	x	x			
Almen			x	x	x
Afl. kanaal Berkel			x	x	x
Schipbeek	x	x	x	x	x
de Liemers			x	x	x
Bevermeer			x	x	x
Grote Beek			x	x	x
Baakse beek			x	x	x
Kanaal van Hackfort			x	x	x
Inlaat Kromme Rijn Wijk bij Duurstede			x	x	x
Inlaat Grebbesluis			x		
ADM Wijk bij Duurstede			x	x	x
ADM Nieuwegein		x	x	x	x

### F.5.4.2. Gemaal Marijkesluizen

Bij toenemende afvoeren sluit de keerschuij Ravenswaaij en daarna de Prinses Marijkesluizen om het Betuwepand te beschermen tegen hoge waterstanden van de Lek. Het gemaal van de Marijkesluizen zorgt voor het handhaven van het peil van het Betuwepand door de lozingen op het Betuwepand naar de Lek uit te slaan. Het gemaal bevat vier pompen; daarnaast zijn er nog twee (tot 2013 één) pompen in de keerschuij zelf aanwezig. Er zijn geen metingen beschikbaar van de afvoer door het gemaal. Het sturen van het gemaal via een pomp op de gemeten waterstand bij Tiel-kanaal bleek in D-Hydro niet mogelijk. Daarom is de afvoer handmatig berekend en opgelegd als lozing en onttrekking. Hieronder volgt de algemene aanpak; in de volgende paragrafen volgen verdere details per periode.

Uit gegevens van 2011 is gebleken dat eerst de keerschuij wordt gesloten; de scheepvaart kan dan nog gebruik maken van de open sluisen. Als de waterstand het sluitpeil benadert, wordt ook de sluis gesloten. Dan wordt het gemaal aangezet om het kanaalpeil te verlagen. Als het water op de Lek is gedaald, wordt het gemaal uitgezet. Het kanaalpeil loopt dan op, tot ongeveer gelijk water. Dan opent de sluis. Het openen van de keerschuij vindt later plaats. De vaarweg onder de schuij moet gecontroleerd worden en vrijgemaakt worden (boeien verleggen e.d.). Dit neemt enige tijd in beslag.



Het gemeten peil op het Betuwepand is bekend via de waterstand Tiel-kanaal. Uit de waterstandsverandering per uur bij Tiel-kanaal is met de oppervlakte van het Betuwepand de netto afvoer per uur te berekenen. De afvoer door het gemaal is de netto afvoerverandering plus de toevoer door de lateralen. Het gaat om de volgende lateralen:

- Marijkesluizen\_lozing
- Inlaat-drielandenpunt
- Gemaal-Rijswijkseveld
- Gemaal-van-Beuningen
- Bernhardsluizen-lozing
- RWZI\_Tiel

De tijdreeksen hiervan zijn afkomstig van de oplevering van RURA (2018). Indien nodig dienen deze te worden aangepast. Voor de oppervlakte uit Baseline is uitgegaan van  $1.502.011 \text{ m}^2$  kanaal +  $96.245 \text{ m}^2$  haven Tiel =  $1.598.256 \text{ m}^2$ . De afvoer is berekend als een positieve waarde.

Alle lateralen worden opgegeven in een tijdreeks met een waarde op het hele uur. Dat betekent dat ook de gemaalafvoer op het hele uur bepaald moet worden. De berekening van de netto afvoerverandering op het kanaal gaat uit van een constante afvoer gedurende het gehele voorafgaande uur. Immers de waterstandsverandering is berekend ten opzichte van het voorgaande uur. Op het hele uur is de bijdrage berekend als het gemiddelde van het huidige uur en het volgende uur. De berekende afvoer is begrensd op de maximale gemaalcapaciteit ( $30 \text{ m}^3/\text{s}$  vóór 2013,  $36 \text{ m}^3/\text{s}$  erna). In de berekening komen ook periodes voor met afvoeren kleiner dan  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ; deze zijn op  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  gezet. De oorzaak ligt in een onderschatting van de afvoer van het gemaal van Beuningen.

Er zijn ook geen tijdstippen bekend waarop het gemaal is aan- of uitgezet. Daarom zijn deze afgeleid uit waterstandsmetingen en aannames over het sluiten van het complex. Voor 1993 en 1995 zijn de waterstanden op de Lek ter plaatse van de Marijkesluizen geschat. Voor het hoogwater van 2011 zijn er waterstandsmetingen bij de locatie Voorhavendijk nabij de Prinses Irenesluizen.

Voor de momenten van sluiten en openen van keerschuijven en sluisen zijn aannames gedaan die ook worden gebruikt in de aansturing van de kunstwerken in D-Hydro.

De berekende afvoeren zijn een benadering. In werkelijkheid worden pompen aan- en uitgezet en vindt een meer trapsgewijs afvoerverloop plaats. In werkelijkheid waren de afvoeren door het gemaal groter.

#### F.5.4.3. 1993

Dit betreft de periode 1 november 1993-31 januari 1994.

##### *Schipbeek*

In de meetreeksen voor de Schipbeek, locatie Kloosterstuw zijn grote hiaten ingevuld met regressie in plaats van lineaire interpolatie. Hiervoor is de regressiefunctie gebruikt, die door RURA is afgeleid voor 1995:  $Q_{\text{Schipbeek}} = 0.4701 Q_{\text{OY}+13 \text{ uur}} - 3.6619$ . Per periode is bekeken of de regressiefunctie moet worden aangepast om beter aan te sluiten bij metingen. Dat kan een verandering van de looptijd zijn, of een verandering van de factor, of de constante.

periode van	tot	aanpassing
14-11-1993 12:00	19-11-1993 19:00	enkele meetwaarden verwijderd omdat niet betrouwbaar; vervangen door regressie
21-12-1993 13:00	23-12-1993 10:00	regressie + 2.5 m <sup>3</sup> /s
25-12-1993 03:00	30-12-1993 22:00	regressie, 11 uur looptijd, met factor die lineair terugloopt van 1.46 naar 1
6-1-1994 19:00	13-1-1994 14:00	regressie + 2 m <sup>3</sup> /s, 7 uur looptijd,

#### *Afleidingskanaal Berkel*

De berekening voor de afvoer van het afleidingskanaal voor de Berkel is aangepast. Deze was gebaseerd op de regressie tussen de totale afvoer Twentekanaal met de afvoer van de Oude IJssel. Dit is niet nodig want er zijn afvoergegevens bij Eefde. Daarom is de berekening aangepast door uit te gaan van de functie op basis van de afvoer bij Almen (zie Memo1 Belangrijke beken Rijn pagina 8). Dit leidt met name voor hoge afvoeren van het Twentekanaal (>100 m<sup>3</sup>/s) tot een grote toename van de afvoer.

#### *Vervallen*

Voor het gemeten verval van de Prins Bernhardsluizen is de nieuwe meetreeks voor Tielkanaal gebruikt (zie ook paragraaf F.3.6.1). De waterstanden om 8:00 zijn geïnterpoleerd naar uurwaarden. Ook ontbrekende 8:00 uur waterstanden zijn ingevuld via lineaire interpolatie.

Toegevoegd is het verval voor de Prinses Marijkesluizen. Dit is gebaseerd op de metingen van Tielkanaal, en een schatting van de waterstand op de Lek. Vanwege het huidige meetpunt wordt deze locatie "Voorhavendijk" genoemd. Er is uitgegaan van de waterstandsmetingen van Amerongen-beneden, Tielkanaal en Culemborg-brug. Zowel voor als na de top is de factor bepaald om uit het verval tussen Amerongen-beneden en Culemborg-brug de waterstand bij Tielkanaal te berekenen (vóór het afsluiten van het Betuwepand). Er is rekening gehouden met 1 uur looptijd naar Tielkanaal, en 6 uur naar Culemborg-brug. Rond de top is geïnterpoleerd in de factor van 0.38 voor de top naar 0.33 na de top.

#### *Schutverliezen Prins Bernhardsluizen en Prinses Marijkesluizen*

Door betere vervallen (zie hiervoor) veranderen ook de schutverliezen. Omdat deze een rol spelen in de berekening van de gemaalafvoer van de Marijkesluizen (zie verderop) zijn deze handmatig herberekend. Er kon niet gewacht worden op een herberekening via de RGWM. De berekening is complex vanwege de invloed van de scheepvaartbeperking/scheepvaartstremming.

#### *Afvoer gemaal Marijkesluizen*

Door het verbeteren van het verval van de Prins Bernhardsluizen, verandert ook de lateraal die wordt gebruikt in de berekening van het gemaaldebiet. Datzelfde geldt voor het schutverlies van de Marijkesluizen. Daarom zijn beide herberekend op basis van de hierboven genoemde vervallen.

Rond het sluiten en openen van het Betuwepand is een aanname gedaan voor de tijdstippen. De interpolatie is daarop aangepast. De tijdstippen zijn bepaald op basis van de waterstanden bij "Voorhavendijk" en vergelijkbare situaties in 1995 en 2011.

Wat betreft de aansturing van de keerschuiф Ravenswaaij en de Marijkesluizen heb ik de volgende tijdstippen afgeleid:

Sluiting (moment gesloten zijn):

- Keerschuiф: 22-12-1993 om 8:00 uur (dag en tijdstip is een aanname; een dag eerder dan de Marijkesluizen)
- Marijkesluizen: 23-12-1993 om 4:00 uur (aanname op basis van waterstanden). Op grond van Tiel-kanaal is zeker dat de keerschuiф en sluis dicht zijn op 22-12-1993 om 8:00; de binnenwaterstand is 4.91 m+NAP; de buitenwaterstand 5.20 m+NAP. Het sluittijdstip ligt niet vóór het moment dat de buitenwaterstand 4.91 m+NAP bereikt; dit is 22-12-1993 om 22:00 uur. Aangenomen is dat er een later moment gekozen is zodat het gemaal dan vol aangezet wordt. Gekozen is voor 23-12-1993 om 4:00 voor sluiting van de sluis en aanzetten van het gemaal; waterstand 5.09 m+NAP. Dit is midden in de nacht, een vreemd moment.

Openen (moment geopend zijn):

- Keerschuiф: 16-1-1994 om 12:00 uur (het tijdstip is een aanname, gebaseerd op waterstandsmetingen Tiel-kanaal en aanname voor de buitenwaterstand op de Lek en een aanname voor het tijdstip waarop het gemaal uitgezet is)
- Marijkesluizen: 17-1-1994 om 12:00 uur. Dit is gebaseerd op een aanname. De vaarweg onder de schuiф moet gecontroleerd worden en vrijgemaakt worden (boeien verleggen e.d.). Dit neemt enige tijd in beslag. Gezien de lange sluitingsduur is aangenomen dat de controle langer in beslag neemt, en de sluis pas de volgende dag is geopend.

De met de RGWM berekende afvoer door het gemaal van Beuningen is ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s lager dan de metingen.

F.5.4.4. 1995

Dit betreft de periode 1 december 1994-28 februari 1995.

#### *ADM Nieuwegein*

De meetreeks is volledig vervangen aangezien de aanwezige reeks niet correct bleek (de reeks kwam niet overeen met deze periode). Kleine hiaten zijn ingevuld met interpolatie, soms lineair, soms in beschikbare 2-uurgemiddelde waarden. Grote hiaten zijn gehandhaafd (27-1-1995 16:20 t/m 28-1-1995 23:50, en vanaf 14-2-1995); deze worden via de RGWM ingevuld.

Op 10-2-1995 van 3:20-4:20 uur zijn diverse hoge afvoerwaarden in de meetreeks aanwezig (tot 175 m<sup>3</sup>/s). Als 2-uurgemiddelde komt dit neer op ongeveer 60 m<sup>3</sup>/s. Deze meetwaarden zijn verwijderd, ook al zijn deze afvoeren mogelijk als er water wordt ingelaten

NB: In de beschikbare totaalreeks van Nieuwegein in de oplevering van de lateralen zijn alle waardes >75 en <-75 verwijderd. Dit is onterecht. Het is niet helemaal duidelijk wat wel nog een reële afvoer is en wat niet.

#### *Vervallen*

Het verval voor de Prinses Marijkesluizen is verbeterd, vergelijkbaar met 1993. Voor Tiel-kanaal is een iets betere meetreeks beschikbaar met extra 8:00-waterstanden. De reeks is opgevuld met lineaire interpolatie. Deze reeks had ook toegepast kunnen worden voor de de Prins Bernhardsluizen, maar dit is niet gedaan. Voor de locatie "Voorhavendijk" is dezelfde procedure gevolgd.

In de vervallen voor de Wilhelminasluis in de Afgedamde Maas wordt de waterstand bij Heesbeen gebruikt. Voor Heesbeen wordt nu een drempelwaarde van 3.50 m+NAP toegepast.

Dat is onterecht aangezien de keersluis in het Heusdensch kanaal nog niet aanwezig was. De fout in het verval is niet groot, aangezien de maximale waterstand in Heesbeen 3.71 m+NAP bedraagt. Dit is niet hersteld.

#### *Modelranden*

De afvoerreeks Emmerich is aangepast naar de reeks van Lobith minus 2 uur looptijd.

#### *Afvoer gemaal Marijkesluizen*

De bepaling van de afvoer is zeer vergelijkbaar met 1993. Voor de tijdstippen van sluiten en openen zijn de keuzes gemaakt.

Sluiting (moment gesloten zijn):

- Keerschuij: 25-1-1995 om 11:00 uur (dag en tijdstip is een aanname)
- Marijkesluizen: 26-1-1995 om 14:00 uur (aanname op basis van waterstanden, 1 uur eerder dan de hoogste waterstand bij Tiel-kanaal conform hw2011)

Openen (moment geopend zijn):

- Keerschuij: 8-2-1995 om 21:00 uur (het tijdstip is een aanname, gebaseerd op waterstandsmetingen Tiel-kanaal)
- Marijkesluizen: 9-2-1995 om 14:00 uur. Dit is gebaseerd op een aanname. De vaarweg onder de schuif moet gecontroleerd worden en vrijgemaakt worden (boeien verleggen e.d.). Dit neemt enige tijd in beslag. Omdat de opening van de keerschuij 's avonds plaatsvond, is aangenomen dat de sluis de volgende dag aan het begin van de middag is geopend.

NB: dit is omgekeerd dan bedoeld, gezien de toelichtende tekst.

Afvoeren kleiner dan 0 zijn vervangen door 0 m<sup>3</sup>/s. Het restant is genegeerd. Dit komt voor in drie periodes. In twee van de drie periodes is dit waarschijnlijk onterecht omdat de lozing van gemaal van Beuningen veel groter is (ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s) dan volgt uit de RGWM.

Met de afgeleide reeks voor de gemaalafvoer gaat het niet lukken om de waterstand op het Betuwepand te volgen. Tot 1 februari 1995 gaat het wel goed; daarna niet meer. Oorzaak is een toename in de waterstand van 40 cm in 4 uur tijd, van 4.58 m+NAP naar 4.99 m+NAP. Dit betekent een lozing op het kanaal van 30-55 m<sup>3</sup>/s gedurende enkele uren. Dit is niet te verklaren uit de lateralen. De scheepvaart was gestremd van 29-1 t/m 6-2 dus die levert geen noemenswaardige bijdrage via schutverliezen. Gemaal van Beuningen heeft ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s (maximaal 16 m<sup>3</sup>/s). De andere lateralen zijn klein.

Er moet, bewust of onbewust, water zijn ingelaten, of uit de Waal of uit de Lek. In hoogwaterbeschrijvingen is hier niets over te vinden. Omdat niet bekend is wat er is gebeurd, is dit niet in de gemaalafvoer opgenomen. In de dagen erna wordt de afwijking met de metingen steeds groter; dat komt doordat er onterecht periodes met afvoer 0 zijn. Op het moment van openen van de keerschuij zal de waterstand op het Betuwepand fors te laag zijn.

#### F.5.4.5. 2010/2011

Dit betreft de periode 1 november 2010-31 december 2011. Dit is een lange periode, bij de controle en aanpassingen lag de nadruk op de hoogwaterperiode (1 november 2010-31 januari 2011) en de laagwaterperiode (1 oktober 2011-31 december 2011). De rest van de periode is gemaakt voor gebruik in de modelontwikkeling voor RMM.

#### *Oude IJssel*

In met name periodes met lage afvoeren is de afvoer bij de Pol vreemd in relatie tot de afvoer bij Doesburg. De afvoer bij de Pol is dan groter dan die bij Doesburg

Na omrekening van de Pol naar Doesburg wordt de afvoer nog groter door vergroting van het stroomgebied. De mogelijke oorzaken hiervoor zijn dat er tijdens lage afvoeren minder of geen water wordt toegevoegd tussen de Pol en Doesburg. Een andere oorzaak kan zijn dat een deel van het aangevoerde water wordt vastgehouden om de waterstand op peil te kunnen houden. Een derde oorzaak kan zijn dat de afvoer bij de Pol niet goed is. De keuze is gemaakt om de afvoer bij Doesburg meer te vertrouwen dan die bij de Pol.

Daarom is de afvoer van de Pol bepaald door terugrekening uit de afvoer bij Doesburg. Het gaat om:

- 1-11-2010 t/m 26-11-2010 12:00
- 21-1-2011 8:00 t/m 29-1-2011 7:00 uur
- 1-3-2011 t/m 31-12-2011

### *Almen*

De metingen van Almen zijn helaas alleen beschikbaar als 50-minutenwaarden op het hele uur. Dit is vervelend omdat er sprake is van slingeringen in het afvoersignaal, bv. door scheepvaart. Voor hogere afvoeren is dat nog redelijk betrouwbaar, voor lagere afvoeren is er een spreiding van 20 m<sup>3</sup>/s rond de momentane uurwaarde (zie rapportage lateralen RURA 2018). Dit is onderzocht door voor de periode vanaf eind november 2013 de momentane uurwaardes te vergelijken met echte uurgemiddelden (o.b.v. 7 10-min. waarden), en met diverse middelingen van momentane uurwaardes. Middeling van meerdere momentane uurwaardes is een mogelijkheid om de spreiding te verminderen, maar deze blijft bestaan. Er zijn 3 opties bekeken:

- 1 Middeling van uurwaardes van Almen  
Uit het lateralenonderzoek is gebleken dat middeling van 5 uurwaardes in het lagere afvoerbereik iets beter is dan 3 uurwaardes. In het hogere bereik is 3 uurwaardes beter. In het lage bereik is middeling beter dan een momentane waarde, maar soms zijn de afwijkingen rond 10 m<sup>3</sup>/s. Bv. als de gemiddelde afvoer -3 is, kan de momentane waarde +10 zijn.
- 2 Er zijn ook afvoermetingen bij Markelosebrug beschikbaar, ook hier helaas alleen 10-minutenwaarden op het hele uur. Voor gebruik dienen ook deze gemiddeld te worden met dezelfde aandachtspunten. Voor hoogwater zijn er tussen Markelo en Almen twee lozingspunten, namelijk Bolksbeek/Haarlo en Lochem/Berkel. De meetgegevens hiervan zijn via de website van WRIJ beschikbaar. De som van Markelo, Haarlo en Lochem zou dicht in de buurt moeten zijn van Almen, rekening houdend met een looptijd. Voor laagwater zijn er enkele onttrekkingspunten tussen Almen en Markelo, waar maximaal enkele m<sup>3</sup>/s worden onttrokken. Ook de twee lozingspunten kunnen actief zijn.
- 3 Er is ook een regressie afgeleid tussen de afvoer van het Twentekanaal en de Oude IJssel bij de Pol. Voor laagwater is er een extra onttrekking nodig om deze regressie te verbeteren. Zie rapport lateralen. Voordeel is dat deze gemiddeld genomen weergeeft wat er gebeurt. Nadeel is dat diverse variaties over een dag heen ontbreken.

Ook de waterstandsmetingen van Almen en Eefde-boven zijn beschouwd. Hoge afvoeren gaan gepaard met lage waterstanden. Bediening van het aflatwerk bij Eefde kan zorgen voor lagere waterstanden, en een plotselinge hogere afvoer.

Hetzelfde probleem speelde al eerder. Daarom is ook gekeken naar eerder bepaalde afvoerreksen en de modelberekeningen die hiermee zijn gemaakt. In 2017 is een afvoerreeks aangeleverd op basis van een 4-uurs middeling. Hiermee is een laagwatervalidatie gedaan (Visser, 2017). In 2018 is deze reeks voor de herkalibratie van SOBEK3 vervangen door de regressiefunctie, wel gebaseerd op hogere afvoeren voor de Pol dan hier (Visser, 2018).

Met de regressie kunnen diverse waterstandsvariatiën niet worden berekend. Daarentegen zijn er ook variatiën in de uurgemiddelden die niet kloppen met de variatie in de rivierwaterstanden.

Er is een voorkeur voor het gebruik van metingen, ondanks alle beperkingen. Dit vooral om het afvoerpatroon te kunnen volgen. Door gebruik van lange middelperiode tijdens lage afvoeren worden de meest extreme meetwaarden eruit gefilterd. De volgende middeling is toegepast:

- hoger dan 90 m<sup>3</sup>/s: momentane uurwaarde (niet in deze reeks)
- tot 90 m<sup>3</sup>/s: 2-uurgemiddelde
- kleiner dan 40 m<sup>3</sup>/s: 4-uurgemiddelde
- kleiner dan 10 m<sup>3</sup>/s: 12-uurgemiddelde

Handmatige aanpassingen

- bij overgang rond 10 m<sup>3</sup>/s
- als Almen kleiner is dan afluut Lochem+afluut Haarlo en afvoer Almen > 0

Hiatperiode 1-12 juli 2011 ingevuld op basis van regressie met Oude IJssel

De nauwkeurigheid van de afvoer Almen bij met name lagere afvoeren bedraagt + - 10 m<sup>3</sup>/s

#### *Schipbeek*

Grote periodes met hiaten die waren opgevuld met regressie wijzigen door aanpassing van de afvoer van de Oude IJssel. De minimale waarde is op 0 m<sup>3</sup>/s gezet; alle afvoeren zijn afronden op 2 decimalen

#### *Grote Beek*

De reeks is vrijwel volledig. Twee afwijkende waarden zijn aangepast met lineaire interpolatie (14-1-2011 12:00 en 17:00). Slingeringen in de afvoer zijn uitgemiddeld met 2-uur gemiddelde in de periode 7-1-2011 10:00 - 9-1-2011 15:00. Alle afvoeren zijn afronden op 2 decimalen

#### *Bevermeer*

Grote hiaten zijn ingevuld met regressie en niet met interpolatie.

- 8-11-2010 18:00:00 - 1-12-2010 11:00:00
- 25-1-2011 16:00:00 - 1-2-2011 00:00:00

Enkele periodes slingeren zijn uitgemiddeld

- 19-12-2011 01:00 t/m 20-12-2011 14:00
- 22-12-2011 18:00 t/m 24-12-2011 17:00
- 27-12-2011 18:00 t/m 1-1-2012 00:00

Negatieve waarden zijn handmatig op 0 gezet in de twee 3-maandenperiodes; er kan hier niet worden onttrokken.

#### *Baakse beek / Kanaal van Hackfort*

Kleine hiaten Kanaal van Hackfort ingevuld met lineaire interpolatie

De regressie som Baakse Beek+Kanaal van Hackfort indien nodig aangepast om beter aan te sluiten op beschikbare metingen

- 4-11-2011 02:00:00 - 9-11-2011 16:00

- 14-11-2011 10:00 - 18-11-2011 20:00
- 8-12-2011 10:00 - 23-12-2011 12:00

Daarmee hiaat ontbrekende meetreeks ingevuld (Baakse beek)

Alle afvoeren zijn afronden op 2 decimalen

#### *Afleidingskanaal van de Berkel*

Alle afvoeren zijn afronden op 2 decimalen

#### *Wijk bij Duurstede Kromme Rijn*

Meetreeks toegevoegd op basis van ADM via HDSR in 15min-waarden. De basismetreeks is 5 uur verschoven aangezien de meting van HDSR in GMT is. Van de afvoeren is een centraal 2-uurs gemiddelde berekend. Waarden < 0 zijn verwijderd (zou een lozing worden; aangenomen dat dat niet gebeurt. De afvoeren zijn omgerekend naar onttrekking (negatieve waarde). De definitieve reeks is op uurbasis.

NB: de RGWM kan ook 15-min reeks verwerken, maar vanwege tijd en complexiteit is dit niet zo verwerkt in YML.

#### *Inlaat Grebbesluis*

De meetgegevens zijn toegevoegd tussen 1-11-2010 en 31-1-2011 op basis van de inventarisatie in het kader van de hoogwaterevaluatie 2011 (RURA, 2011b).

Kleine hiaten zijn opgevuld met lineaire interpolatie.

#### *ADM Wijk bij Duurstede en Nieuwegein*

Van de 10-minutengegevens zijn een centraal 2-uurgemiddelde bepaald (13 waarden). De hiaatopvulling van kleine hiaten vindt plaats door lineaire interpolatie tussen 2-uurgemiddelden die wel beschikbaar zijn (interpoleren tussen sterk wisselende 10-minutenwaarden is niet zinvol). In een hiaatperiode zijn enkele losse 10-minutenwaarde verwijderd om de interpolatie te vereenvoudigen (een losse 10-minutenwaarde is niet representatief). Grotere hiaatperioden zijn gehandhaafd.

Bij Wijk bij Duurstede komen ook negatieve 2-uurgemiddelde waardes voor; hoe dit kan is niet helemaal duidelijk. Als lateraal zou dit een lozing betekenen, en dat kan niet, dus deze zijn eruitgehaald.

Voor zover nu bekend kan dit niet in de RGWM. In de betreffende periodes komt dit niet op de hele uren voor, dus zijn geen aanpassingen gedaan. Wel zijn de negatieve 2-uurgemiddelden gemarkeerd

#### *Vervallen*

De waterstanden bij Tiel-kanaal zijn vervangen (dit betrof de verkeerde periode). uurgemiddelde bepaald voor gehele periode

Het gemeten verval bij de Marijkesluizen is toegevoegd voor de periode dat de sluisen gesloten zijn; daarbuiten bedraagt het verval = 0. Daarbij zijn de tijdstippen overeenkomstig het sluiten en openen van de keerschuijven en sluisen (zie verderop).

#### *Modelranden*

De afvoer bij Dornick is opnieuw bepaald als de afvoer bij Lobith twee uur eerder. De reeks is volledig gemaakt over volledige periode.

De waterstand bij Hardinxveld is voor de volledige periode berekend uit Werkendam-buiten via  $H_{Hard} = 1,0501 * H_{Werk} - 0,0107$

In de waterstand bij Krimpen aan de Lek zijn ontbrekende waarden toegevoegd tussen 31-1-2011 23:00 en 1-2-2011 0:00 uur.

De waterstandsrand bij de Ketelbrug is aangepast; de waterstand bij Ketelhaven is vervangen door de waterstand bij Kamperhoek

#### *Lozing/onttrekking gemaal Marijkesluizen*

De bepaling van de gemaalafvoer is vergelijkbaar met 1993 en 1995. Er is gebruik gemaakt van waterstandsmetingen van Voorhavendijk nabij de Irenesluizen. Vanwege betere vervallen bij de sluisen zijn de schutverliezen van Bernhardsluizen en Marijkesluizen herberekend.

Wat betreft de aansturing van de keerschuij Ravenswaaij en de Marijkesluizen:

Sluiting (moment gesloten zijn):

- Keerschuij: 9-1-2011 om 11:00 uur (dag is bekend op basis van intranetbericht; het tijdstip is een aanname)
- Marijkesluizen: 11-1-2011 om 11:00 uur (exact bekend op basis van intranetbericht)

Openen (moment geopend zijn):

- Keerschuij: 23-1-2011 om 9:00 uur (het tijdstip is een aanname, maar hierna gaat de waterstand op het kanaalpand met 15 cm per uur omhoog)
- Marijkesluizen: 23-1-2011 om 20:00 uur. Dit is gebaseerd op de schutgegevens. In principe is er vanaf 23-1-2011 12:00 gelijk water. Waarom de schuttingen nog zo lang doorgaan is niet bekend. In andere periodes met sluitingen van de keerschuij gebeurt dit niet. De vaarweg onder de schuij moet gecontroleerd worden en vrijgemaakt worden (boeien verleggen e.d.). Misschien nam dat meer tijd. Het is onbekend waarom de sluis niet openkon.

Het gemaal is aan op 11-1-2011 om 12:00 uur, en is weer uit op 23-1-2011 om 2:00 (totaal 278 uur).

Van de pompen van het gemaal zijn draaiuren beschikbaar gesteld door RWS Midden-Nederland, Areaalgegevens.

Pompen	Draaiuren	Capaciteit (m <sup>3</sup> /s)
pomp 1	252	7
pomp 2	237	7
pomp 3	236	5
pomp 4	259	5
OWP1	240	6

De afgeleide reeks geeft 3449 m<sup>3</sup>/s/uur. Op basis van de draaiuren is er 7338 m<sup>3</sup>/s/uur gepompt. Dit is ongeveer een factor 2 hoger. Een deel wordt veroorzaakt door de ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s onderschatting van de afvoer van gemaal van Beuningen.

F.5.4.6. 2015/2016  
Dit betreft de periode 1 september 2015 - 31 maart 2016.

#### *Almen*

In de meetreeks zitten vele hiaten. In deze periode zijn in ieder geval wel aanwezig: 1-10 okt, 5-13 nov, 15-19 nov, 17-23 dec, 22-31 jan. Eigenlijk zou dit de periodes moeten zijn waarbinnen het model vanaf Zutphen bekeken wordt, rekening houdend met looptijd.

Uurgemiddelde reeks toegevoegd als check voor aanpassingen aan 10-minutenwaarden. Kleine hiaten op uurwaarden zijn niet via regressie, maar op basis van uurgemiddelde ingevuld. Enkele losse meetwaardes zijn verwijderd zodat er grotere hiaten ontstaan.



Een enkele meetwaarde is niet representatief voor de afvoer en kan dus niet gebruikt worden om mee te interpoleren.

Als de regressie niet past bij uurgemiddelde meting, bv 19-10-2015 zijn handmatige aanpassingen gedaan aan de regressiefunctie door een waarde erbij op te tellen of af te trekken. Doel is om een betere aansluiting te maken met de metingen. Dit is ook gedaan op 21-10, 27-10, 6-3 en 7-3-2016.

Inmiddels is duidelijk dat er nog een andere meetreeks van de afvoer op het Twentekanaal is, namelijk Markelose-brug. Deze reeks is veel vollediger dan die van Almen. Tussen Markelose-brug en Almen vinden lozingen plaats (de grootste is de aflat van de Berkel bij Lochem), en onttrekkingen. Hiervan zijn metingen beschikbaar bij Waterschap Rijn en IJssel. Het is de moeite waard om te kijken of de reeks van Markelose-brug kan worden bewerkt tot een reeks bij Almen op basis van lozingen, onttrekkingen en looptijd. Dit lijkt mogelijk, maar is vanwege de tijd nog niet gelukt. Daarmee kunnen hiaten beter opgevuld worden aangezien de variatie binnen een dag van de afvoer groot is, zeker in laagwaterperiodes met onttrekkingen.

#### *Schipbeek*

Voor een stabielere afvoer is van de meting Schipbeek A1 een 2-uurs gemiddelde bepaald, en van de meting Schipbeek Bathmen een 6-uurs gemiddelde. De formule voor de berekening van Schipbeek Kloosterstuw is aangepast zodat bij het ontbreken van Bathmen wel A1 wordt gebruikt. Tevens is een looptijd van 1 uur toegevoegd conform Memo Belangrijke Beken Rijn  
Waardes kleiner dan 0 op 0 gezet.

#### *Wijk bij Duurstede Kromme Rijn*

Meetreeks toegevoegd op basis van ADM via HDSR in 15min-waarden. De basismetreeks is 5 uur verschoven aangezien de meting van HDSR in GMT is. Van de afvoeren is een centraal 2-uurs gemiddelde berekend. Waarden < 0 zijn verwijderd (zou een lozing worden; aangenomen dat dat niet gebeurt. De afvoeren zijn omgerekend naar onttrekking (negatieve waarde). De definitieve reeks is op uurbasis.

NB: RGWM kan ook 15-min reeks verwerken, maar vanwege tijd en complexiteit is dit nu niet zo verwerkt in YML.

#### *Grote Beek*

De meetreeks is volledig, maar diverse periodes met slingeren zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde:

- 1-12-2015 22:00 - 8-12-2015 14:00
- 4-2-2016 3:00-20:00
- 8-2-2016 0:00-20:00
- 11-2-2016 9:00 - 15-2-2016 4:00
- 16-2-2016 17:00 - 18-2-2016 20:00
- 21-2-2016 11:00 - 22-2-2016 16:00
- 4-3-2016 03:00:00 - 6-3-2016 3:00
- 8-3-2016 00:00:00 - 18-3-2016 2:00

#### *Gemaal de Liemers*

Diverse periodes met slingeren zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde. De slingingering is niet volledig weg; kenmerk gemaal.

- 14-1-2016 13:00 - 21-1-2016 22:00
- 2-2-2016 19:00 - 14-2-2016 4:00

- 18-2-2016 0:00- 20-2-2016 22:00
- 25-2-2016 0:00 - 16-3-2016 5:00

De toegepaste hiaatopvulling met regressie lijkt een verschuiving in de tijd te geven. Vergelijking met data die er wel is, lijkt te suggereren dat Schipbeek+12 uur beter is dan Schipbeek-12uur

Nieuwe data van website WRIJ geeft tweemaal zo hoge afvoeren van 10-12-2015 tot 15-1-2016. Er zijn nu geen aanpassingen gedaan.

#### *Bevermeer*

Negatieve waarden verwijderd (op 0 gezet); er kan hier niet worden onttrokken

#### *Baakse beek*

Diverse periodes met slingeren zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde

#### *ADM Wijk bij Duurstede en Nieuwegein*

Van de 10-minutengegevens zijn een centraal 2-uurgemiddelde bepaald (13 waarden). De hiaatopvulling van kleine hiaten vindt plaats door lineaire interpolatie tussen 2-uurgemiddelden die wel beschikbaar zijn (interpoleren tussen sterk wisselende 10-minutenwaarden is niet zinvol). In een hiaatperiode zijn enkele losse 10-minutenwaarde verwijderd om de interpolatie te vereenvoudigen (een losse 10-minutenwaarde is niet representatief). Grotere hiaatperiodes zijn gehandhaafd (worden opgevuld door de RGWM). Er komen ook negatieve 2-uurgemiddelde waardes voor; hoe dit kan is niet helemaal duidelijk. Als lateraal zou dit een lozing betekenen, en dat kan niet. Voor zover bekend kan dit niet in de RGWM. Daarom zijn nu handmatig één of meer 10-minutenwaarde aangepast. De aanpassingen zijn zodanig gedaan dat de laagste 2-uurgemiddelde op het hele uur op 0 uitkomt. Dit komt bij Wijk bij Duurstede voor op 15-1-2016 en 25-2-2016.

#### *Modelranden*

Definitieve afvoerreeks Lobith opgenomen in tabblad Modelranden  
Afvoer Emmerich opnieuw bepaald als de afvoer bij Lobith twee uur eerder

#### F.5.4.7. 2016/2017

Dit betreft de periode 1 september 2016 - 31 maart 2017.

#### *Almen*

Bij ontbrekende waarden in de meetreeks is het symbool #N/B toegevoegd. Voorheen werd een ontbrekende waarde als 0 gelezen. In deze periode zijn er langere hiaten op: 25-27 okt, 12-14 nov, 15/16 nov (kort), 26-28 nov, 1-2 dec, 4 dec (deel), 8 dec, 1 jan, 3 jan, 6-7 jan, 9-10 jan, 10-11 jan, 13-14 jan, 16 jan, 18 jan, 9-10 feb, 15-17 feb, 16 mrt, 25 mrt, 27-28 mrt. De waarden voor 2017 zijn verbeterd.

#### *ADM Wijk bij Duurstede en Nieuwegein*

De gegevens van 1-1-2017 t/m 31-3-2017 zijn toegevoegd.

#### *Wijk bij Duurstede Kromme Rijn*

Meetreeks toegevoegd op basis van ADM via HDSR in 15min-waarden. De basismetreeks is 5 uur verschoven aangezien de meting van HDSR in GMT is. Van de afvoeren is een centraal 2-uurs gemiddelde berekend. Waarden < 0 zijn verwijderd (zou een lozing worden; aangenomen dat dat niet gebeurt. De afvoeren zijn omgerekend naar onttrekking (negatieve waarde). De definitieve reeks is op uurbasis.

Het hiaat van 27-12-16 t/m 23-1-17 is gehandhaafd; dit wordt door RGWM ingevuld.

NB: RGWM kan ook 15-min reeks verwerken, maar vanwege tijd en complexiteit nu niet zo verwerkt in YML

### *Grote Beek*

De meetreeks is volledig, maar slingeringen rond 25 februari en in groot deel van maart 2017 zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde.

### *Gemaal de Liemers*

Slingeringen in groot deel maart 2017 zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde.

### *Bevermeer*

Negatieve waarden verwijderd (op 0 gezet); er kan hier niet worden onttrokken

### *Baakse beek*

Het hiaat in januari 2017 is ingevuld op basis van regressie van de totale afvoer Baakse Beek+Kanaal van Hackfort met Schipbeek (voorheen lineaire interpolatie).

De looptijd is aangepast aan de meetgegevens om de regressie beter te laten aansluiten; er is gekozen voor 7 uur in plaats van 12 uur.

Slingeringen in een klein deel van maart 2017 zijn uitgemiddeld met een 6-uurs centraal gemiddelde.

## **F.5.5 Resterende tekortkomingen**

### *Ontbrekende lateralen*

Bij het samenstellen van alle lozingspunten en relaties zijn twee locaties ten onrechte niet meegenomen. Dit is te laat ontdekt. Het betreft:

- ontbreken Neder-Rijn locatie gemaal Bontemorgen: onttrekking bij laagwater ongeveer 1 m<sup>3</sup>/s.
- ontbreken IJssel locatie Berkel Kattenhave: lozing resterende debiet Berkel. Het betreft een klein debiet aangezien het grootste deel wordt geloosd bij Eefde via het afleidingskanaal van de Berkel.

Dit is te laat ontdekt om te kunnen verwerken.

### *Inlaten/lozingen en getij*

Op diverse locaties wordt voor het lozen of inlaten van water gebruik gemaakt van de aanwezigheid van getij. Dit speelt bijvoorbeeld bij de inlaat Vreeswijk waar bij hoogwater water wordt ingelaten. Bij het gemaal Elshoutsluis op de Lek nabij Kinderdijk wordt juist tijdens getijlaagwater geloosd. De huidige lateralenformulering is alleen gebaseerd op de rivierafvoer bij Lobith.

## **F.6 Referenties**

Becker, A., 2012. Rijn-modellen 5de generatie. Modelopzet, kalibratie en verificatie WAQUA. Deltares rapport 1205994-002. Versie 2.0 November 2012.

Beyer, 2012. Werkwijze bepaling afvoerreksen op de takken j95\_5. Memo Rijkswaterstaat Oost-Nederland. 26 oktober 2012.

de Jong, J., 2015. Onderzoek naar modelleren van inlaatsluizen met Simona. Deltares memo 1209448-002-ZKS-0007. 30 november 2015.

de Jong, J. en T. Visser, 2014. Verificatie hoogwater 2011 Rijntakken. 5de generatie WAQUA en SOBEK. Deltares rapport 1209449-003. September 2014.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1999. Beleidslijn voor de invoering van scheepvaartbeperkingen of stremming bij hoogwater op de Rijn en de Maas. Vastgesteld 17 februari 1999.

- Schropp, M.H.I., 2011. Hydraulische metingen vispassages Nederrijn-Lek. Resultaten 2002-2007. RWS Waterdienst. 16 januari 2011.
- Provincie Utrecht, 2012. Gebiedsdossier oppervlaktewaterwinning Nieuwegein Cornelis Biemond (Lekkanaal). Rapport 10 oktober 2012.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1999. Beleidslijn voor de invoering van scheepvaartbeperkingen of stremming bij hoogwater op de Rijn en de Maas." Vastgesteld 17 februari 1999.
- Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 1995. Een zee van rivieren.
- RURA, 2011a. Hoogwaterevaluatie Rijn 2011. Deel 1: Evaluatie van het hoogwater. Rapport P110517R. 15 oktober 2011.
- RURA, 2011b. Memo 110517R-2 Inventarisatie gegevens waterschappen bij *hoogwater januari 2011 op de Rijn*. 8 juli 2011.
- RURA, 2017. Actualisatie beschrijving laterale toestroming Rijntakken. P170523Rb. 13 december 2017.
- RURA, 2018a. Actualisatie beschrijving laterale toestroming Rijntakken. P180510R. 3 oktober 2018.
- RURA, 2018b. Memo P180510R-1: Belangrijke beken Rijntakken. 3 oktober 2018
- RURA, 2018c. Memo P180510R-5: Schutdebieten. 3 oktober 2018.
- RURA, 2018d. Memo P180510R-10: Afvoermetingen bij gemalen. 3 oktober 2018
- van Vuuren, ir. W.E., 2000. Vergelijking bodempeilingen Singlebeam/Multibeam Bovenrijn-Waal juli-oktober 1999. Werkdocument 2000.094X. 1 december 2000.
- Visser, T., 2017. Validatie laagwaterperiode (WAQUA + SOBEK3) Rijntakken. Deltares memo 11200569-004-ZWS-0031. 22 december 2017.
- Visser, T., 2018. Verbeteringen SOBEK3-model Rijntakken. Deltares rapport 11202220-004-ZWS-0027. december 2018.
- Waterschap Rivierenland, 2016. Inlaatbeleid buitenpolders tijdens hoge rivierafvoeren. Afdeling Beheer en Onderhoud. Bedrijfsbureau. Versie april 2016.
- Wiegman, N., 2002. Onderzoek naar het verschil tussen multibeam / singlebeam op de rivieren. Rapport MD-GAM-2001-34. April 2002.
- WL, 1983. Overlaat in de Groene Rivier Pannerden. Vaststelling van de afvoerbetrekking. Verslag modelonderzoek M1905. Waterloopkundig Laboratorium. Maart 1983

# G Definities modelbeoordeling

## G.1 Achtergrond

In het kader van de ontwikkeling van de zesde-generatiemodellen 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.

## G.2 Definities

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

### G.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.

### G.2.2 Validatie

De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan de 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.

### G.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.

## G.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.

### G.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.

### G.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.

### G.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.

### G.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:

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

### G.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.

### G.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.

### G.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.

### G.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.

### G.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:

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

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

## G.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 tijdschaal (of kleiner) wel goed weergeeft. Hetzelfde geldt als voor historische afvoerrekeningen 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.

## G.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



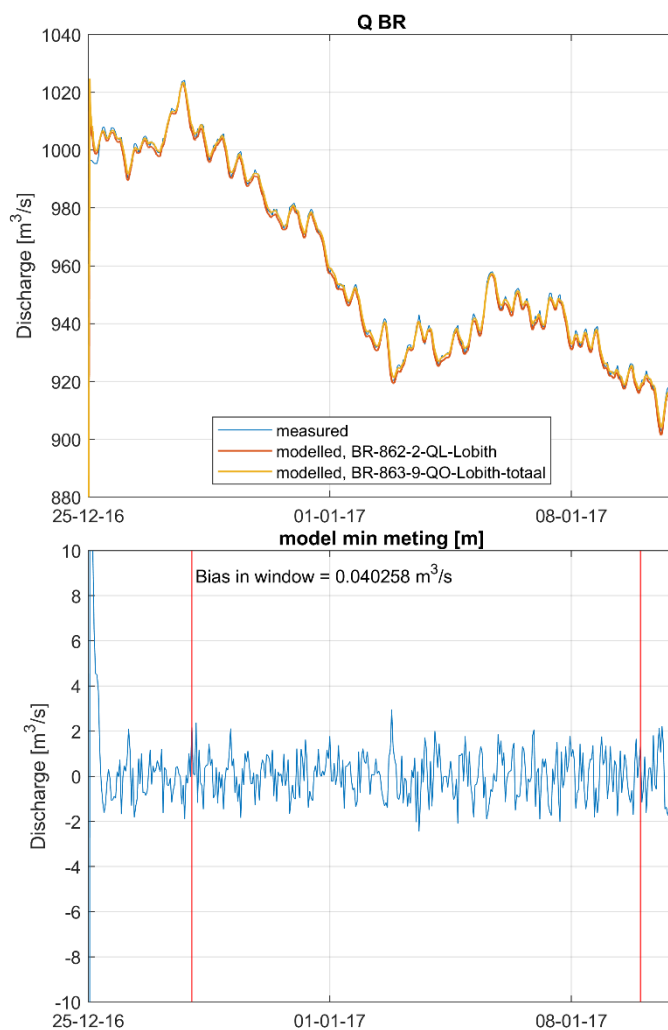
# H Kalibratie

## H.1 Resultaten kalibratie afvoerverdeling

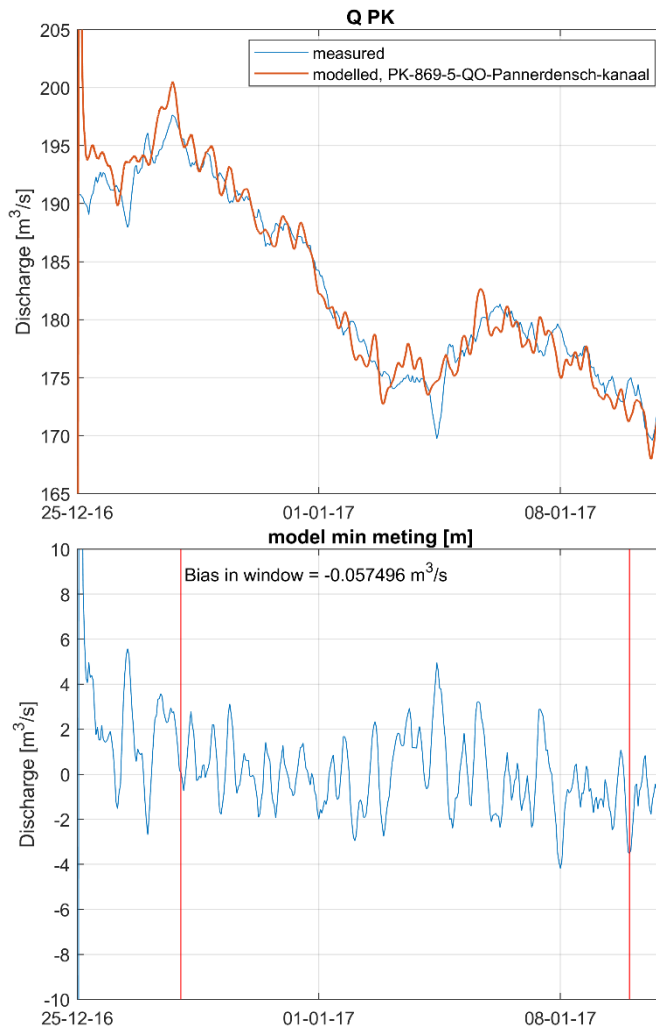
In onderstaande figuren is steeds per kalibratieniveau de in het totaalmodel gekalibreerde afvoerverdeling gegeven, in vergelijking met de o.b.v. metingen afgeleide afvoerrekenen (zie ook Bijlage F.3.5 en 0). Per tak is een figuur met de 'gemeten' en berekende afvoeren gegeven, en daaronder een figuur met het verschil tussen die twee. In de onderste figuur is ook de bias van het model t.o.v. de meting binnen het kalibratievenster gegeven. NB: de titel van de onderste figuur is steeds 'model min meting [m]', dit moet zijn 'model min meting [m<sup>3</sup>/s]'.

### H.1.1 L1

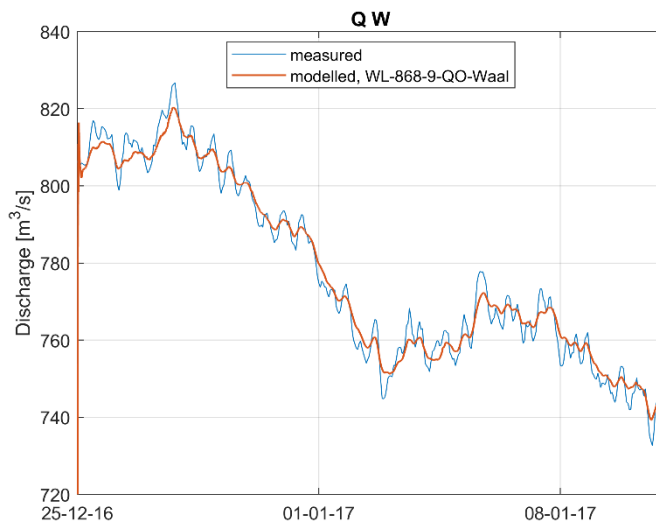
#### H.1.1.1. Boven-Rijn

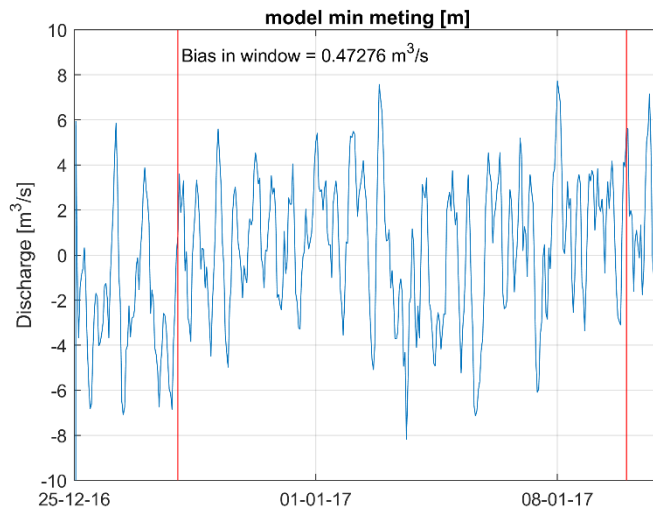


### H.1.1.2. Pannerdens Kanaal

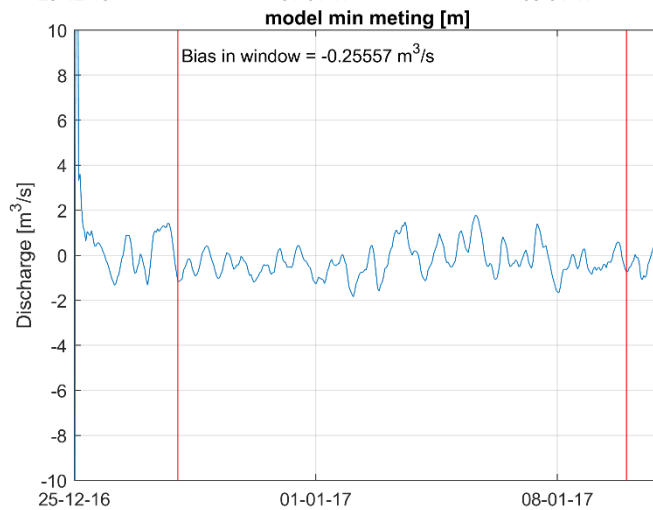
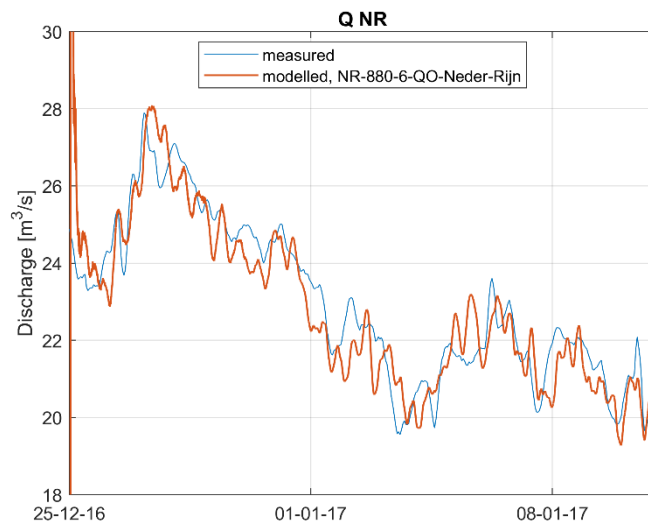


### H.1.1.3. Waal





H.1.1.4. Neder-Rijn – Lek

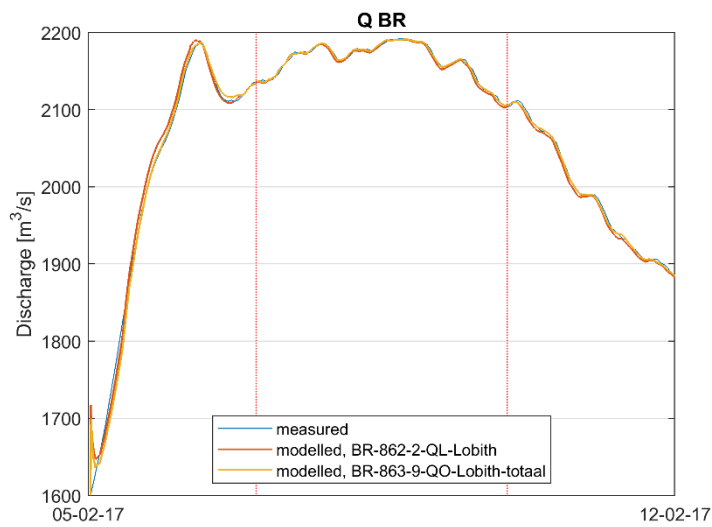


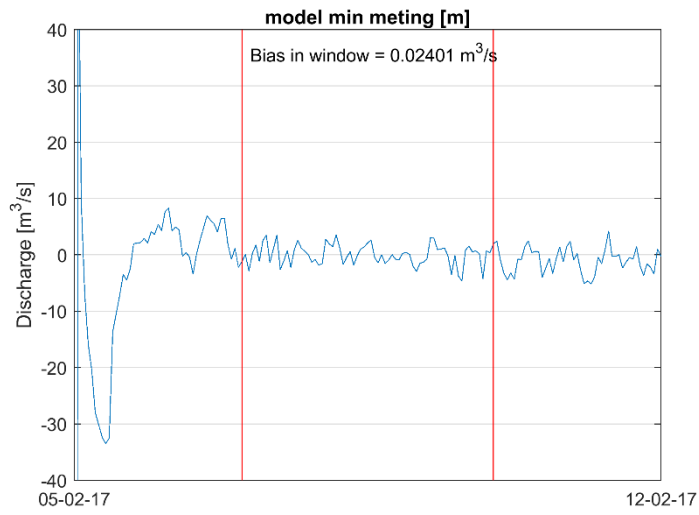
H.1.1.5. IJssel



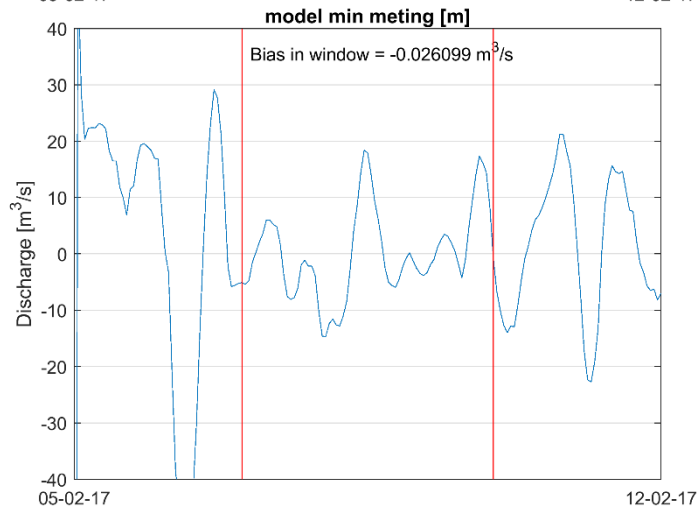
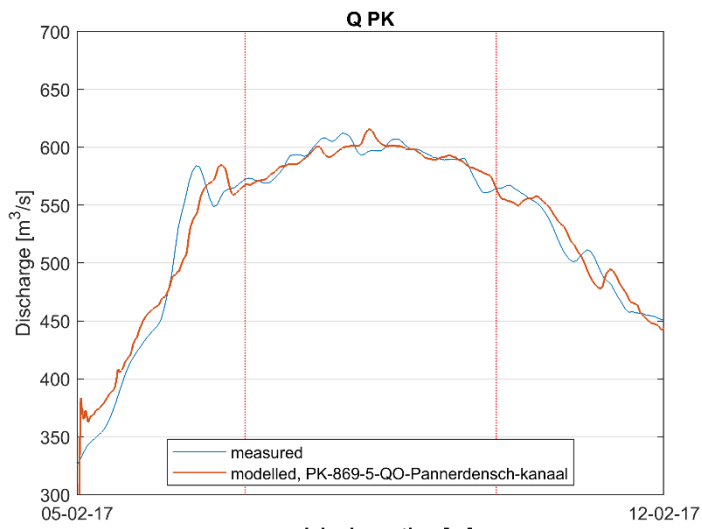
H.1.2 M1

H.1.2.1. Boven-Rijn

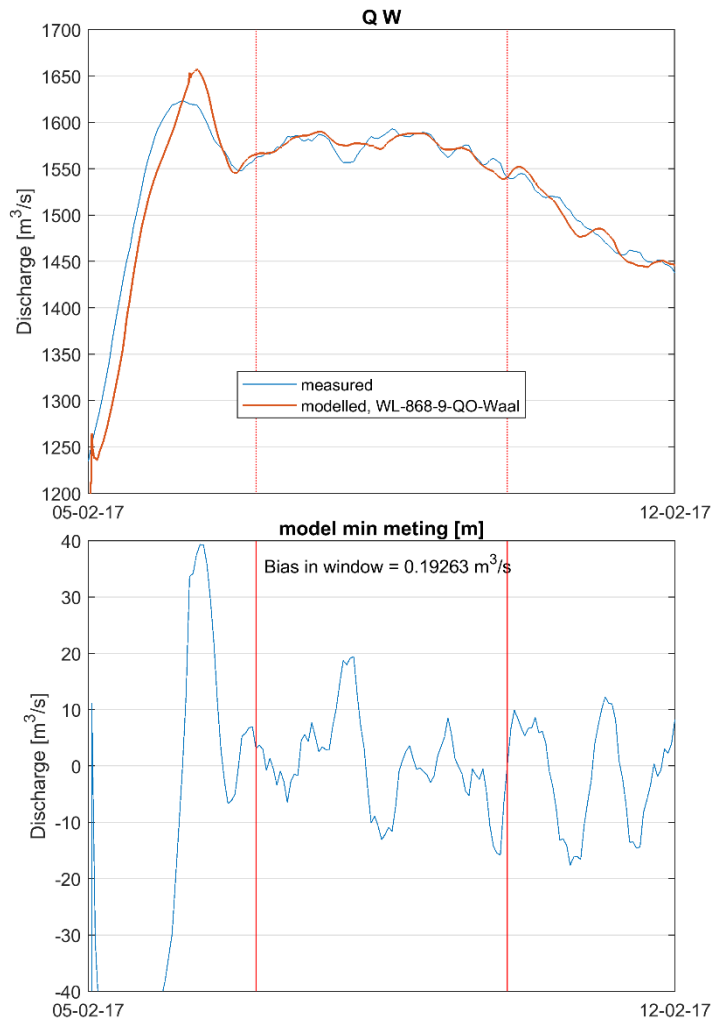




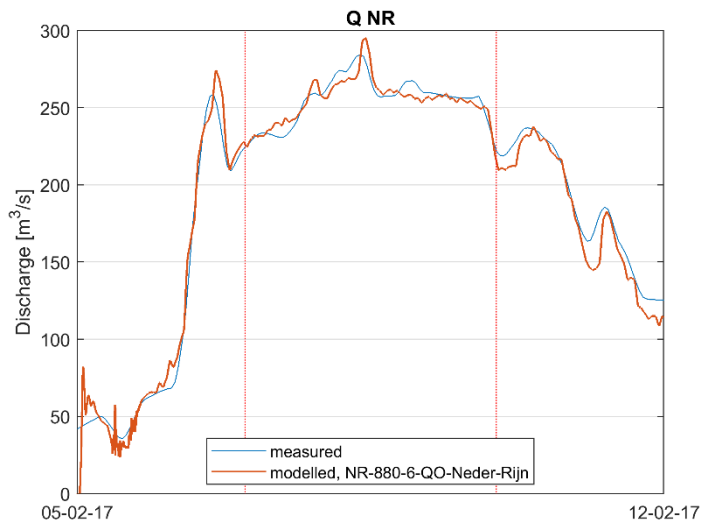
H.1.1.2.2. Pannerdens Kanaal

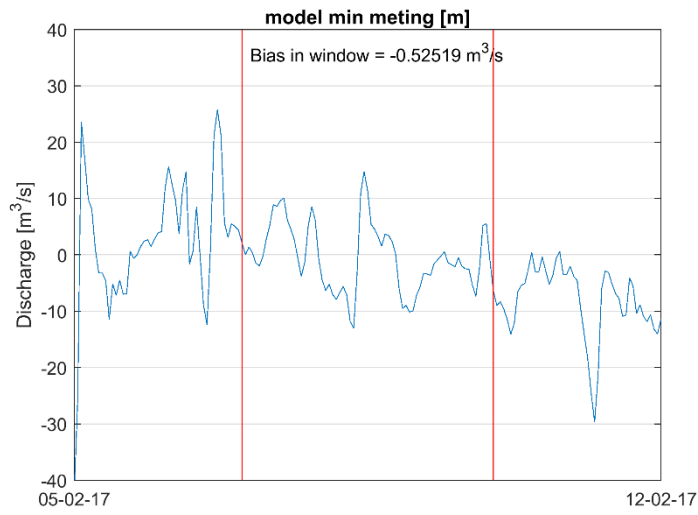


H.1.2.3. Waal

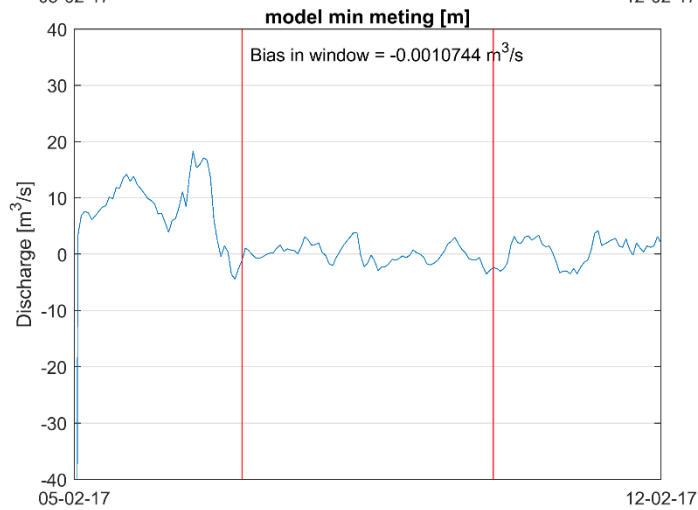
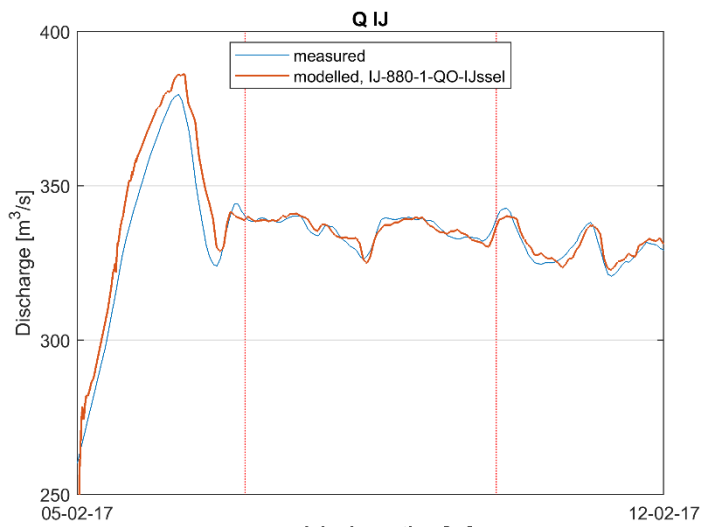


H.1.2.4. Neder-Rijn – Lek



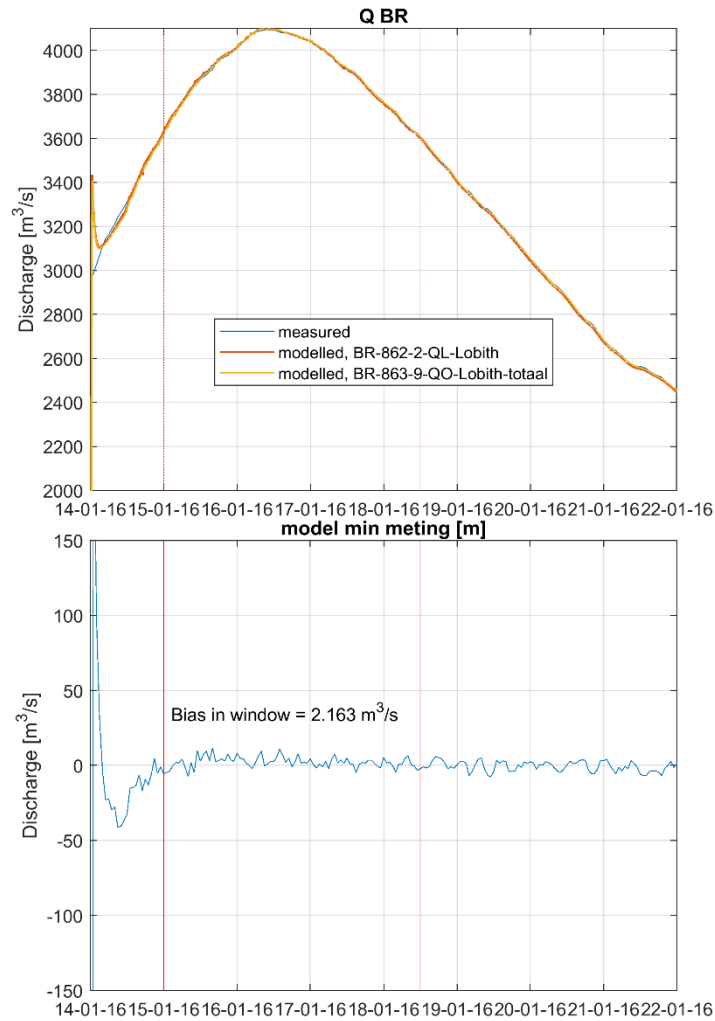


H.1.2.5. IJssel

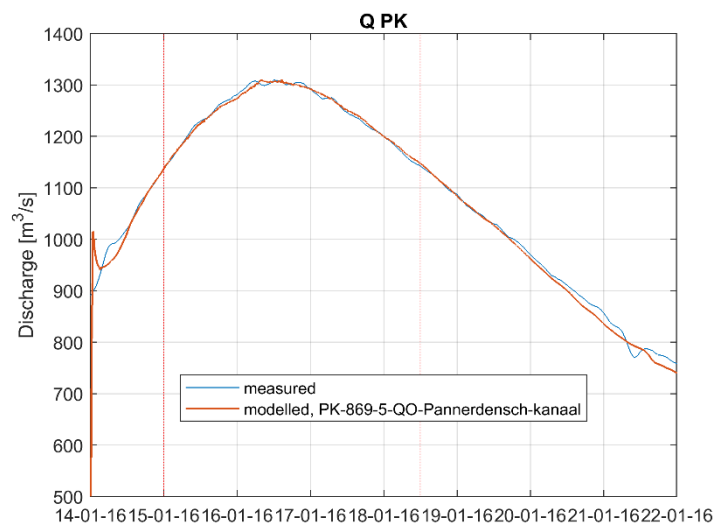


## H.1.3 M2

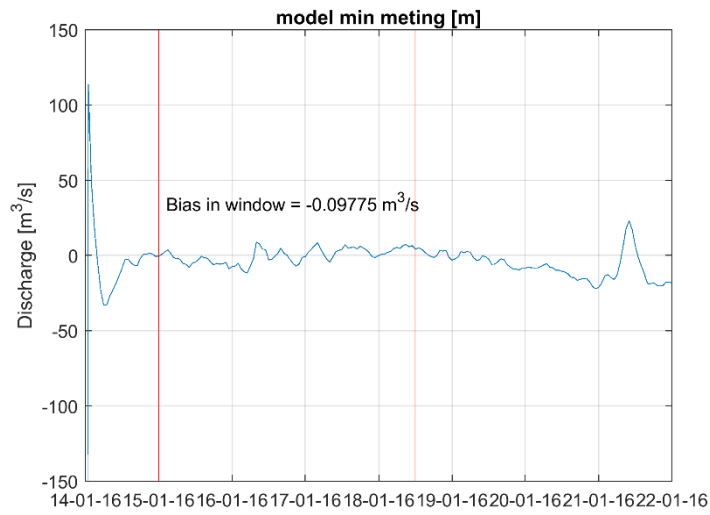
### H.1.3.1. Boven-Rijn



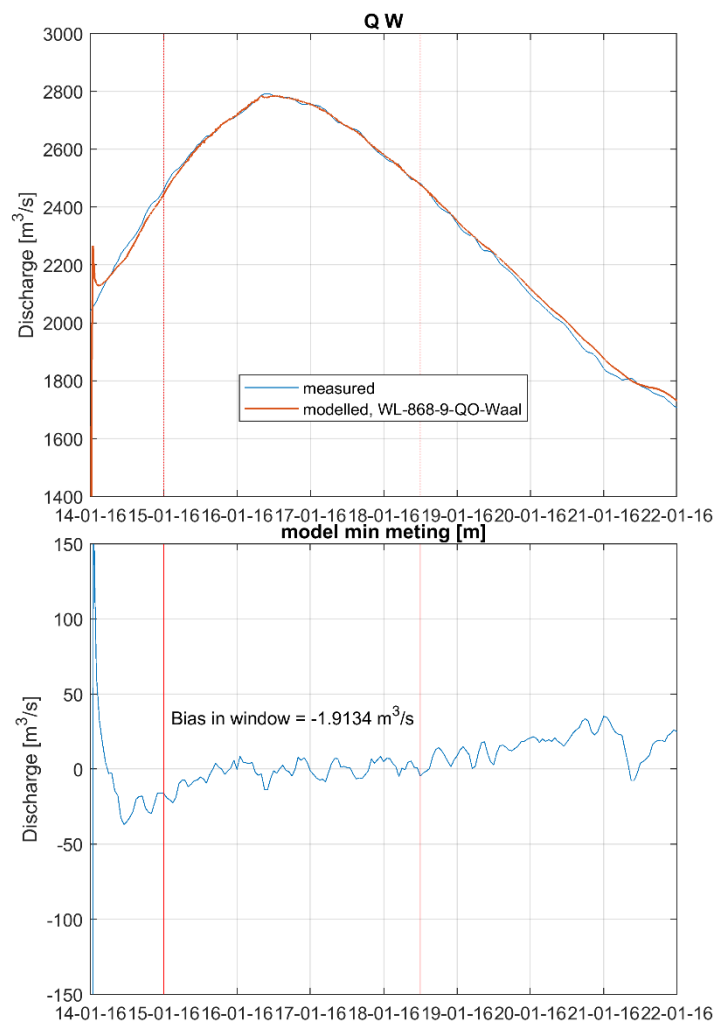
### H.1.3.2. Pannerdens Kanaal



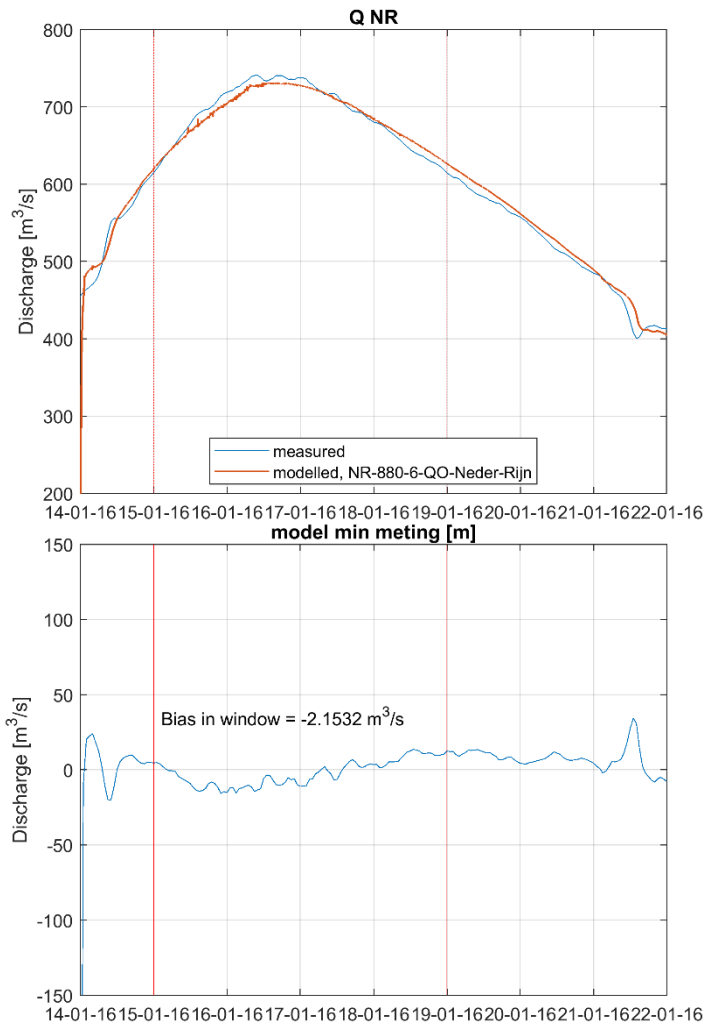




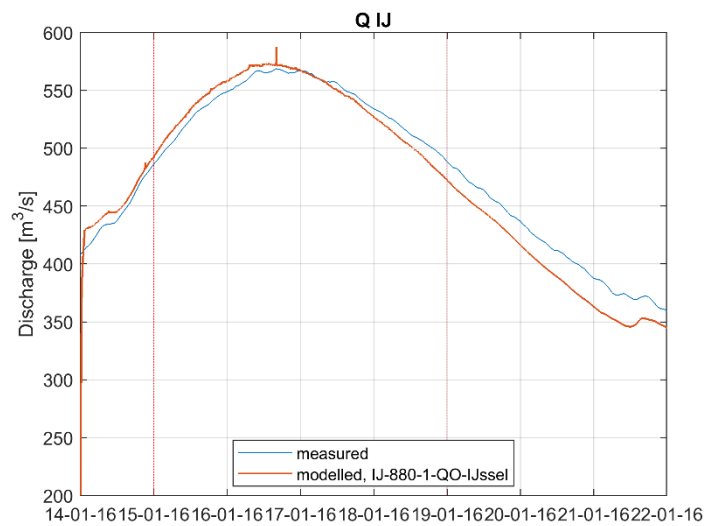
### H.1.3.3. Waal

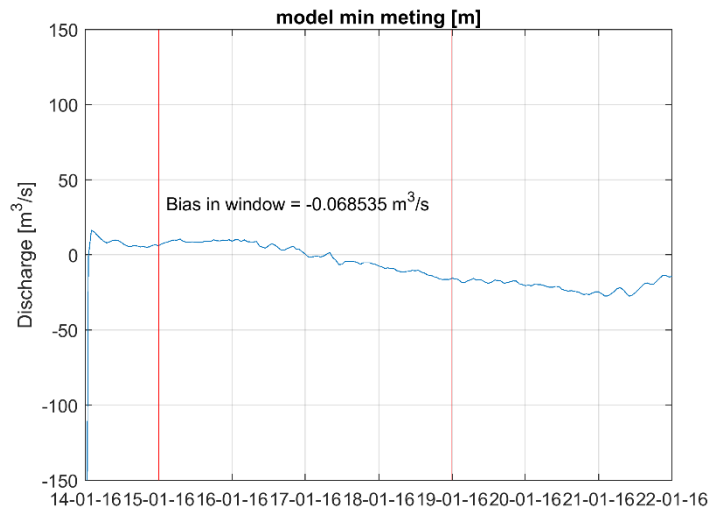


### H.1.3.4. Neder-Rijn – Lek



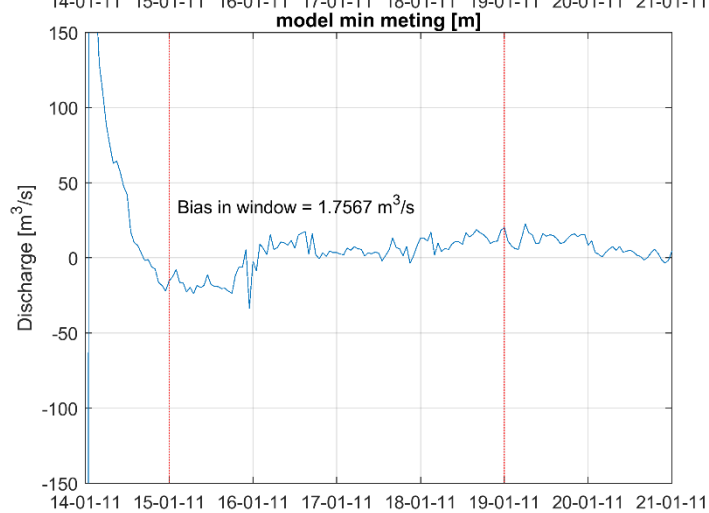
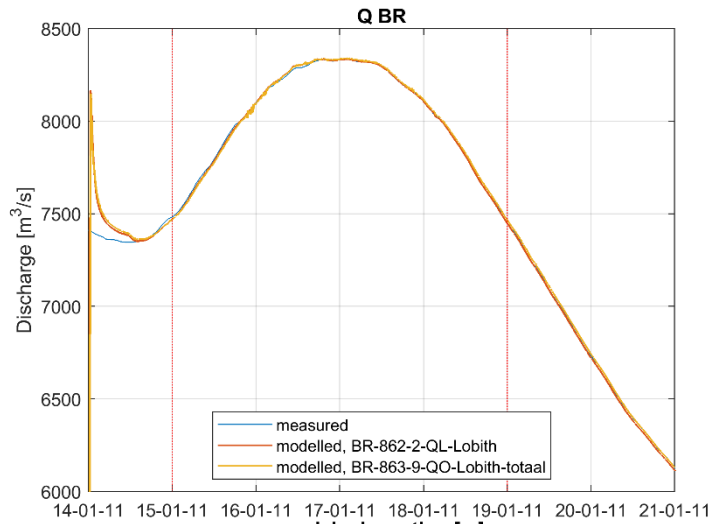
### H.1.3.5. IJssel



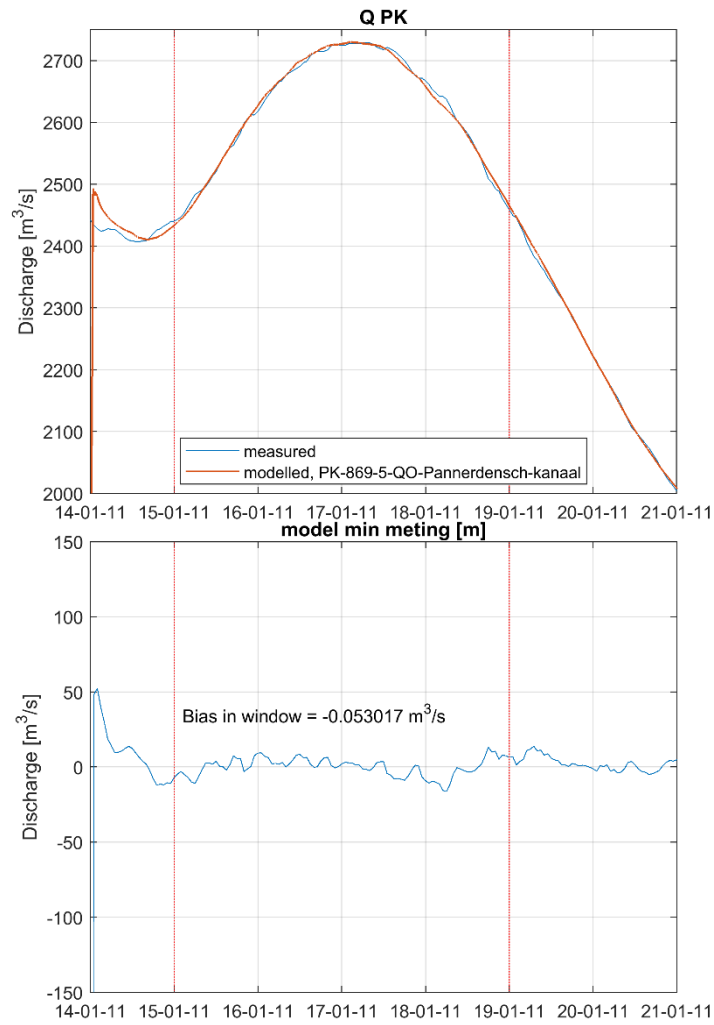


**H.1.4 H1**

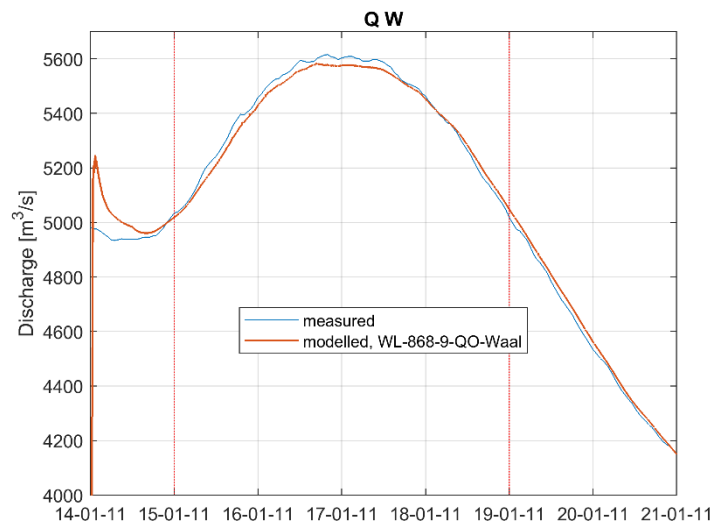
**H.1.4.1. Boven-Rijn**

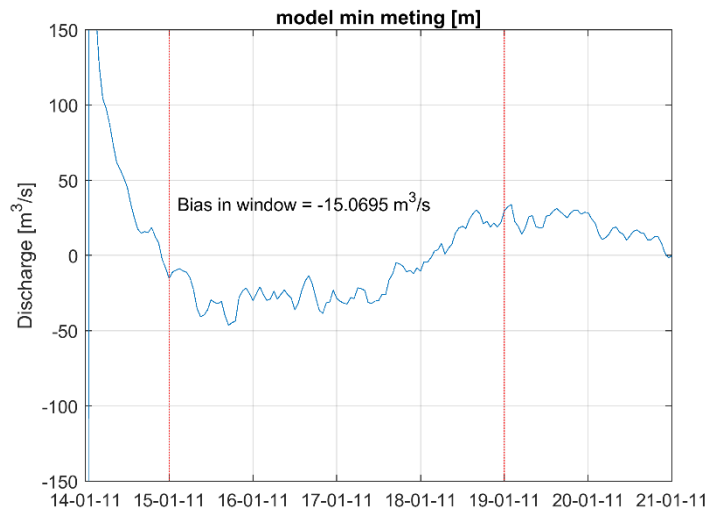


H.1.4.2. Pannerdens Kanaal

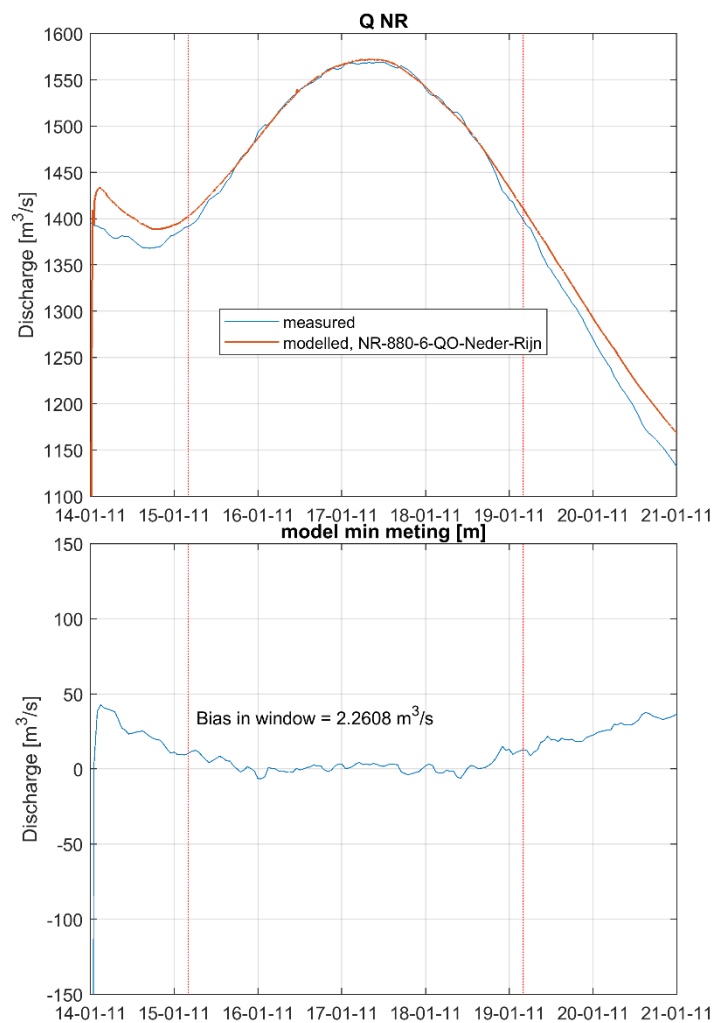


H.1.4.3. Waal

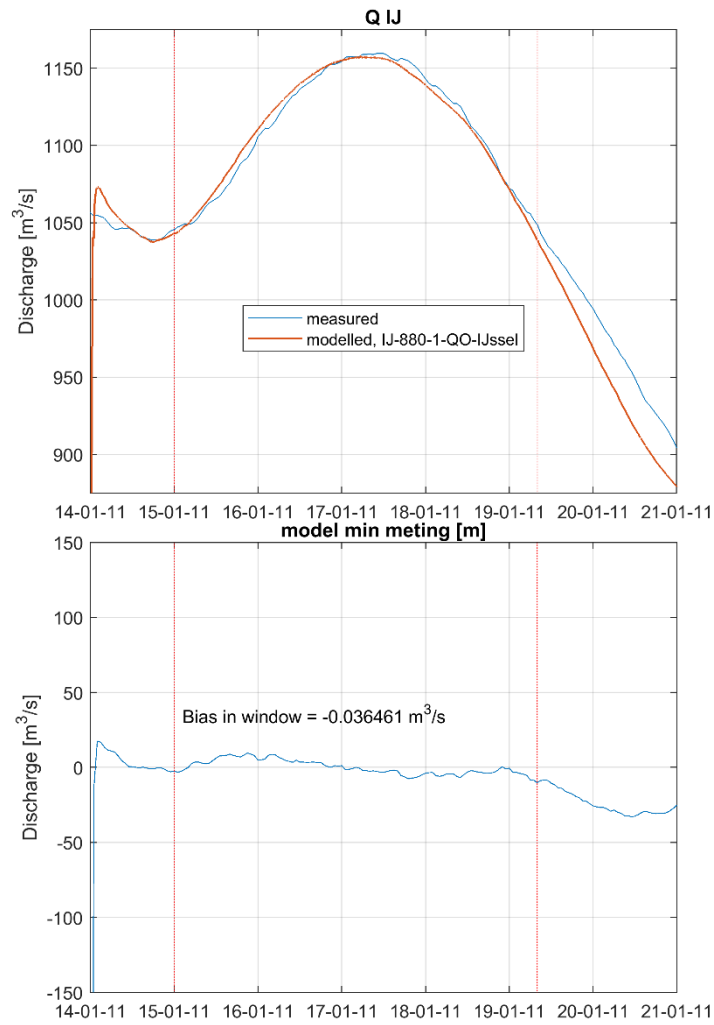




#### H.1.4.4. Neder-Rijn – Lek

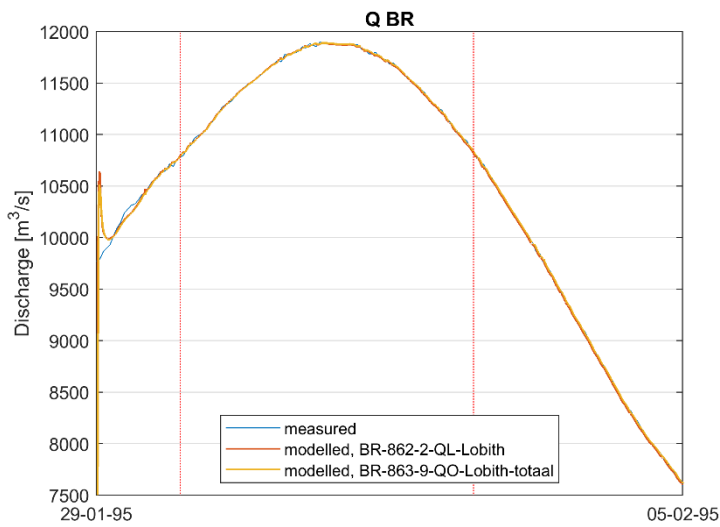


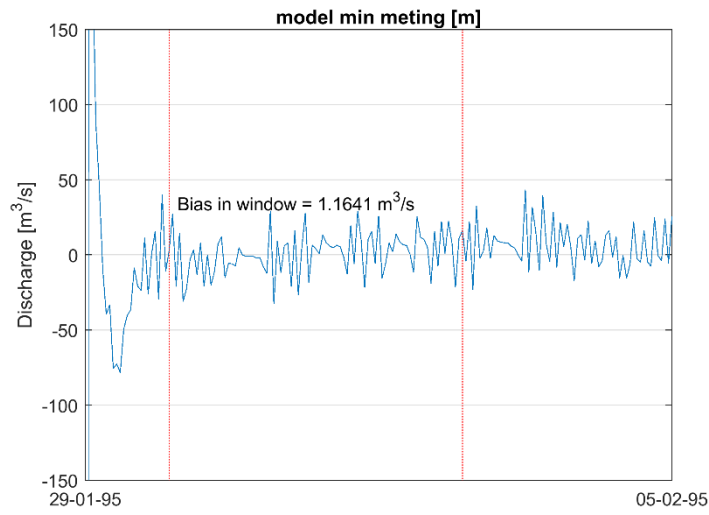
H.1.4.5. IJssel



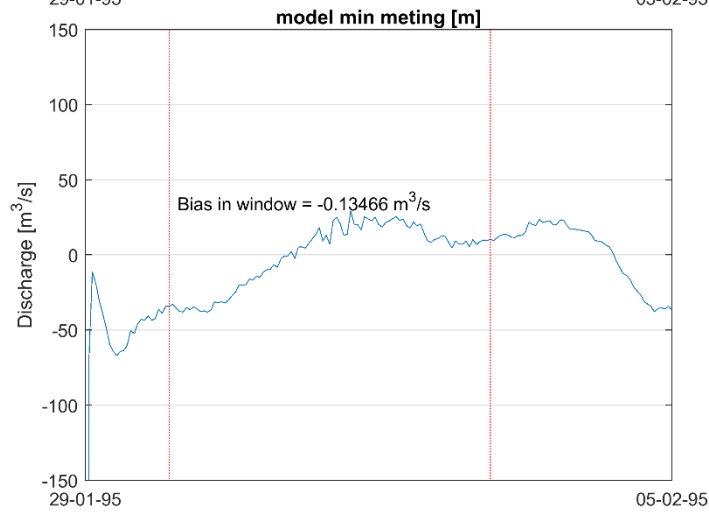
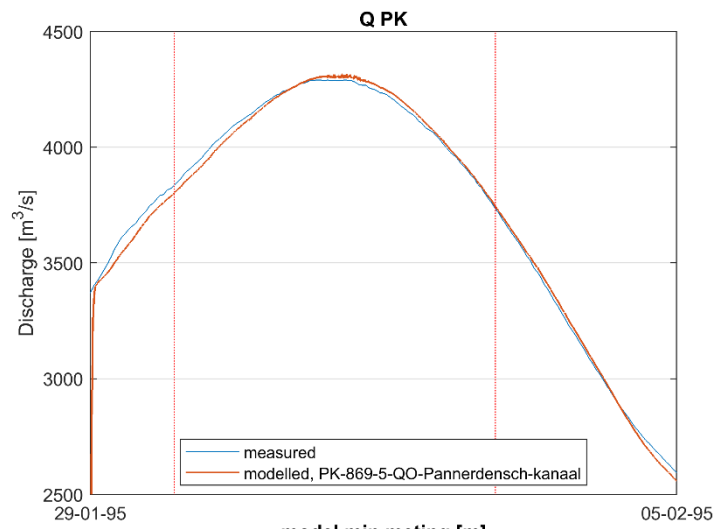
H.1.5 H2

H.1.5.1. Boven-Rijn

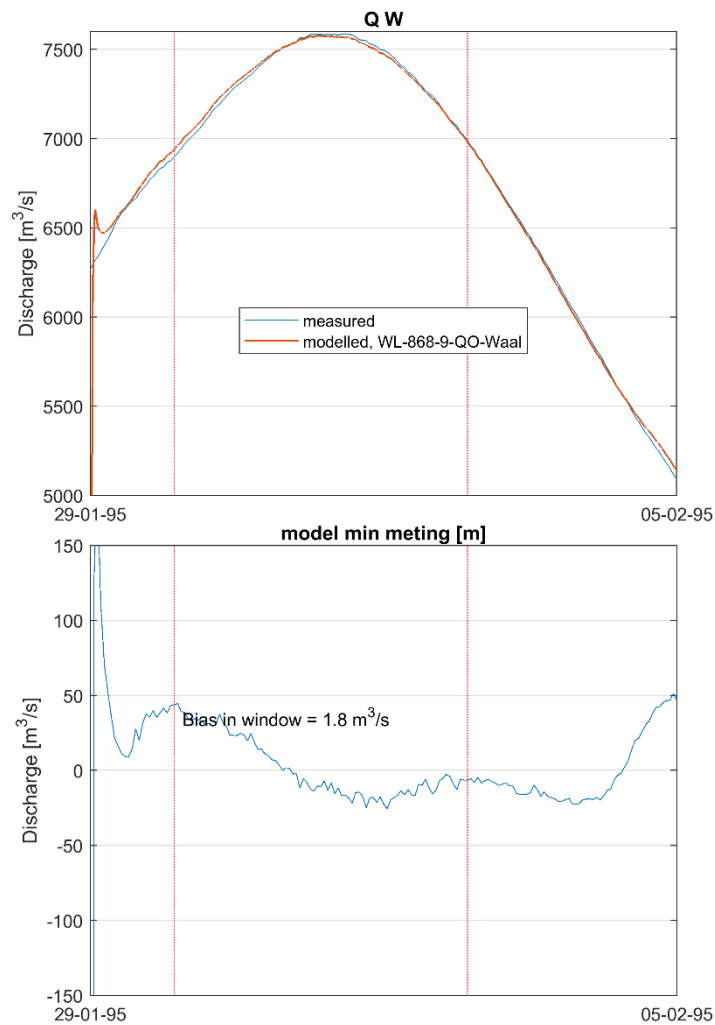




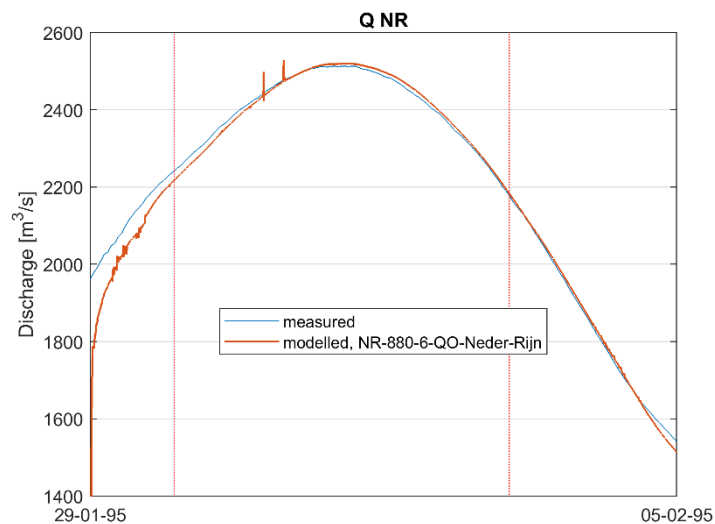
H.1.5.2. Pannerdens Kanaal



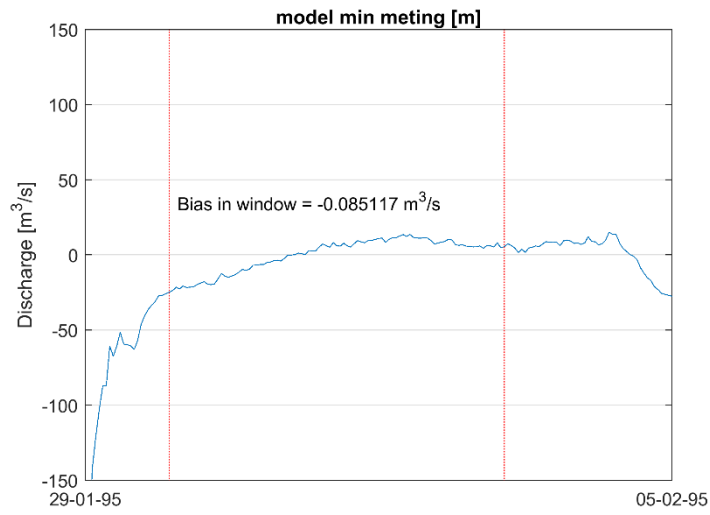
### H.1.5.3. Waal



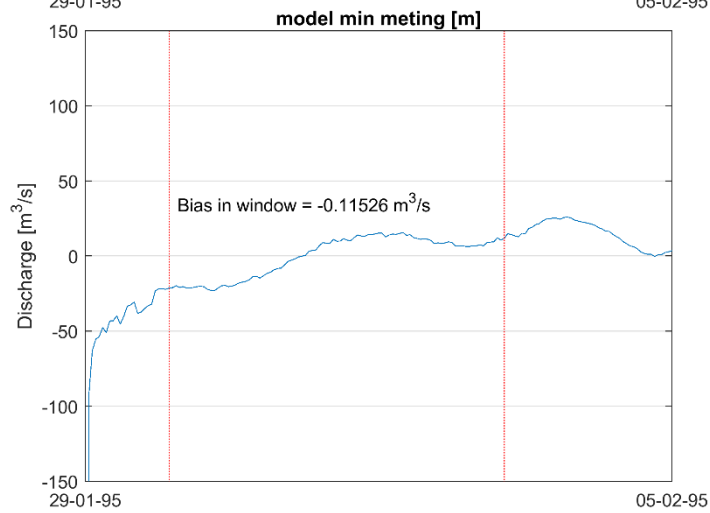
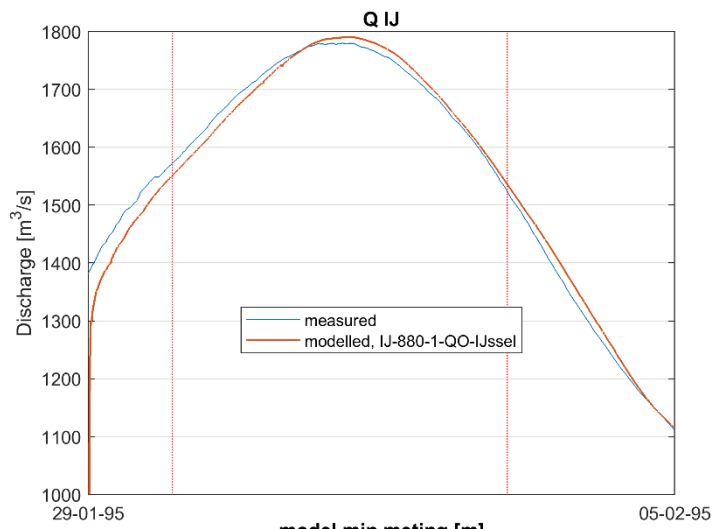
### H.1.5.4. Neder-Rijn – Lek







H.1.5.5. IJssel

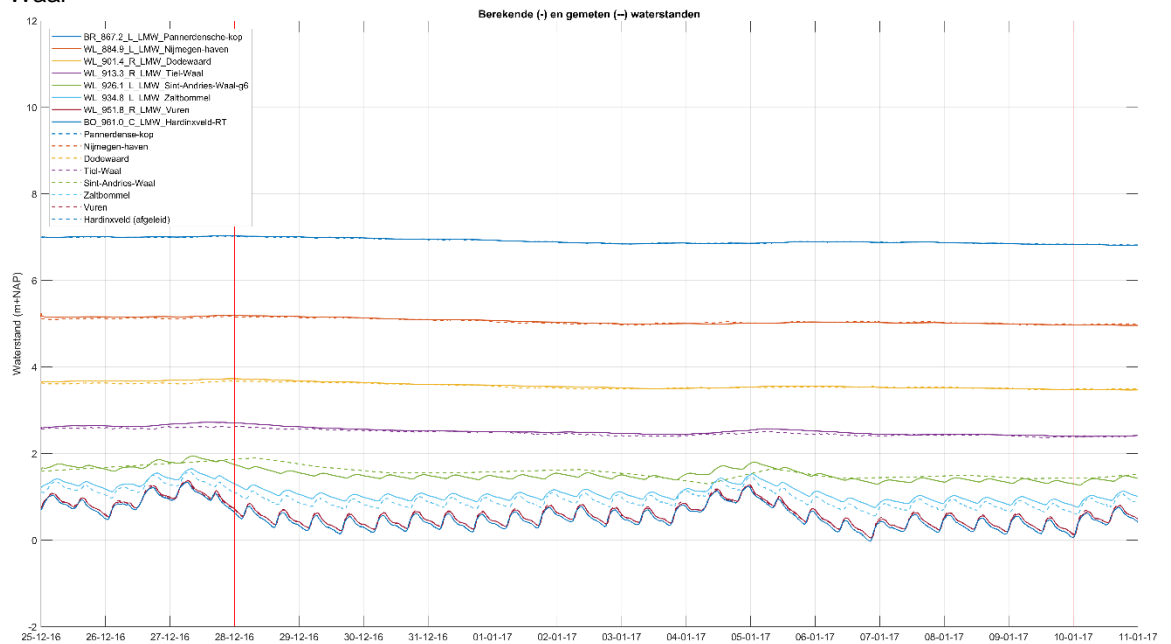


## H.2 Waterstanden takken totaalmodel

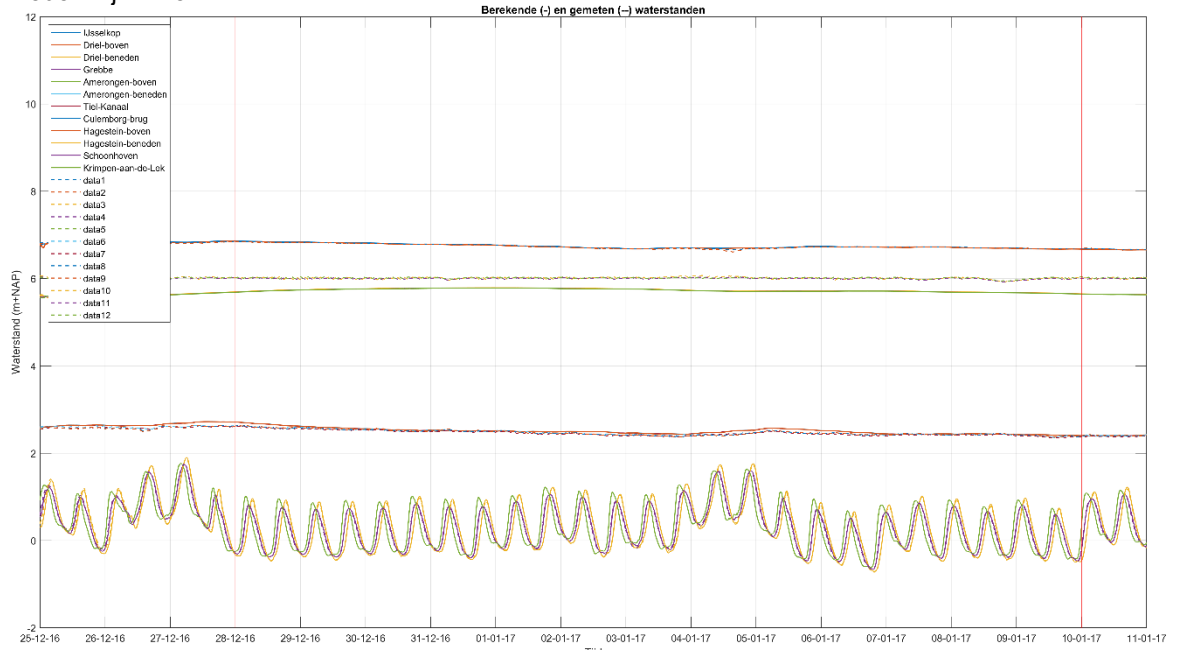
In het totaalmodel zijn alleen de waterstanden op Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal, en de afvoerverdeling gekalibreerd. In deze bijlage zijn de waterstanden op Waal, Neder-Rijn – Lek en IJssel gegeven voor de kalibratiesommen met het totaalmodel. Voor de kalibratie van de waterstanden op deze takken zijn soms andere perioden gebruikt dan voor het totaalmodel. Ook als dezelfde periode is gebruikt kunnen waterstanden op de takken afwijken van de kalibratie omdat de afvoerverdeling anders is. (Omdat op de splitsingspunten van slechts één van de twee takken de afvoer is gekalibreerd (de kleinste, zie paragraaf 5.1.6) is de afvoer naar de andere tak mogelijk veranderd. Een andere mogelijke reden is de afvoerverandering tussen de modelrand bij Dornick en het begin van de takken door bijvoorbeeld berging.)

### H.2.1 L1

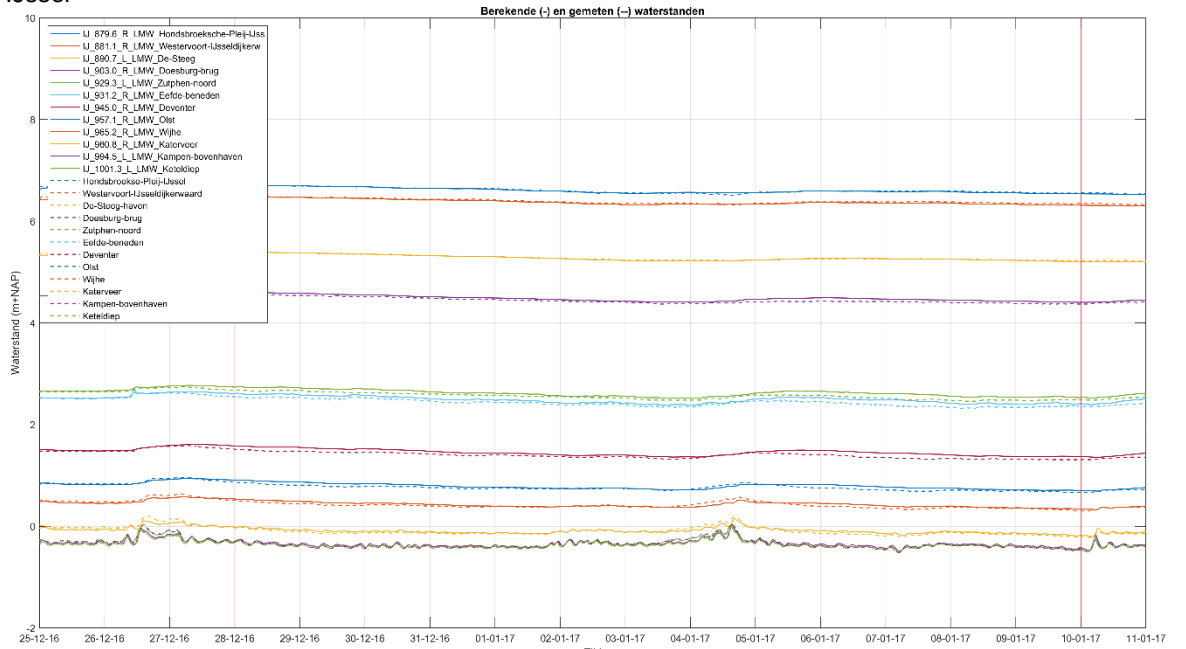
#### H.2.1.1. Waal



### H.2.1.2. Neder-Rijn – Lek

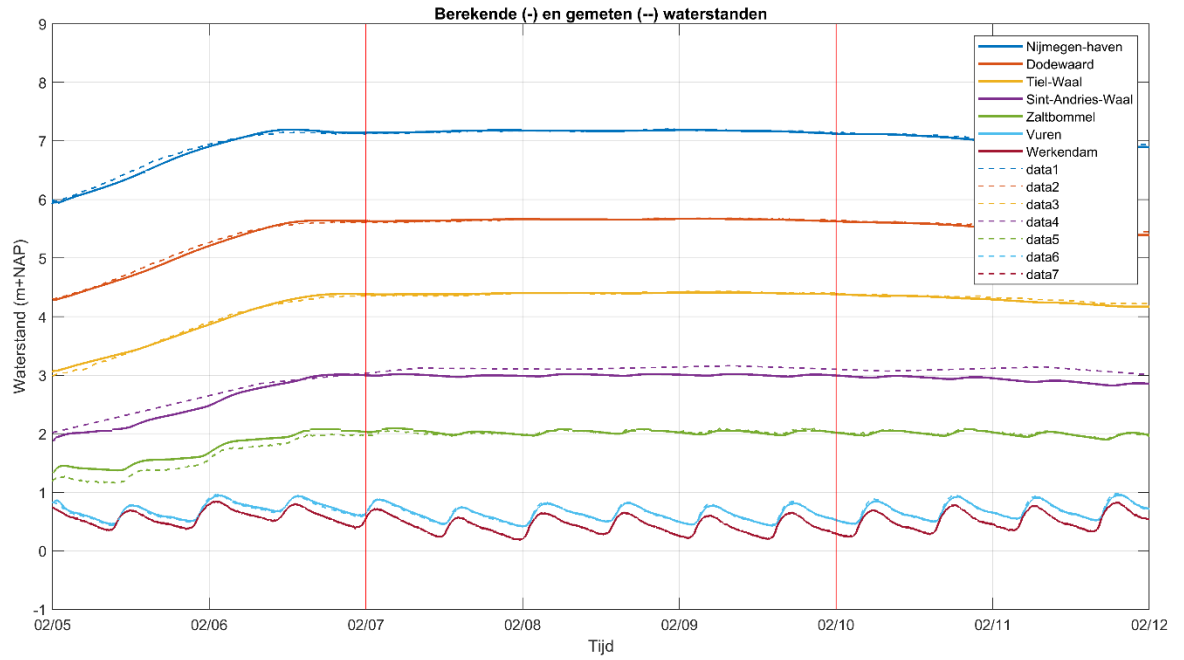


### H.2.1.3. IJssel

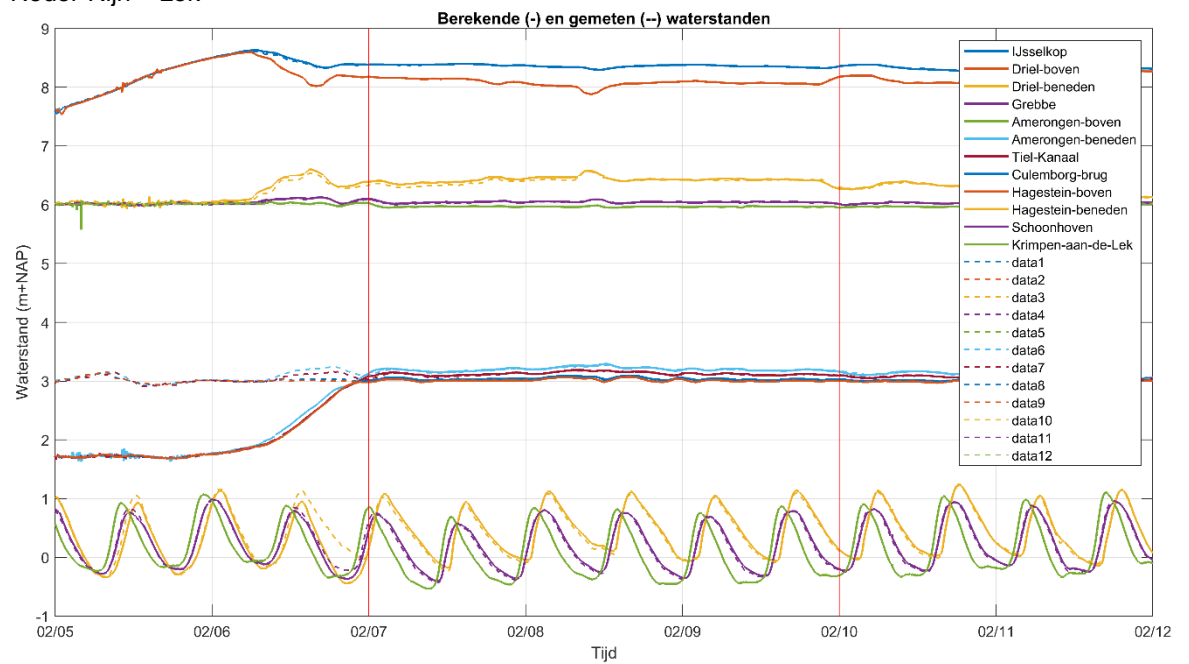


## H.2.2 M1

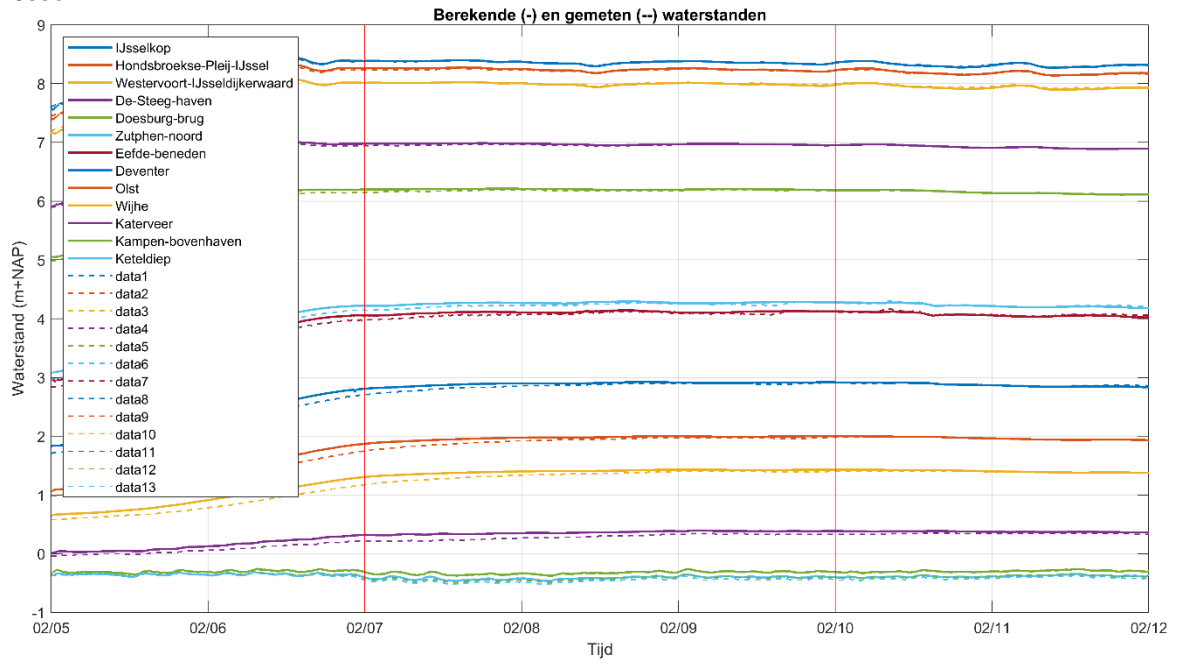
### H.2.2.1. Waal



### H.2.2.2. Neder-Rijn – Lek

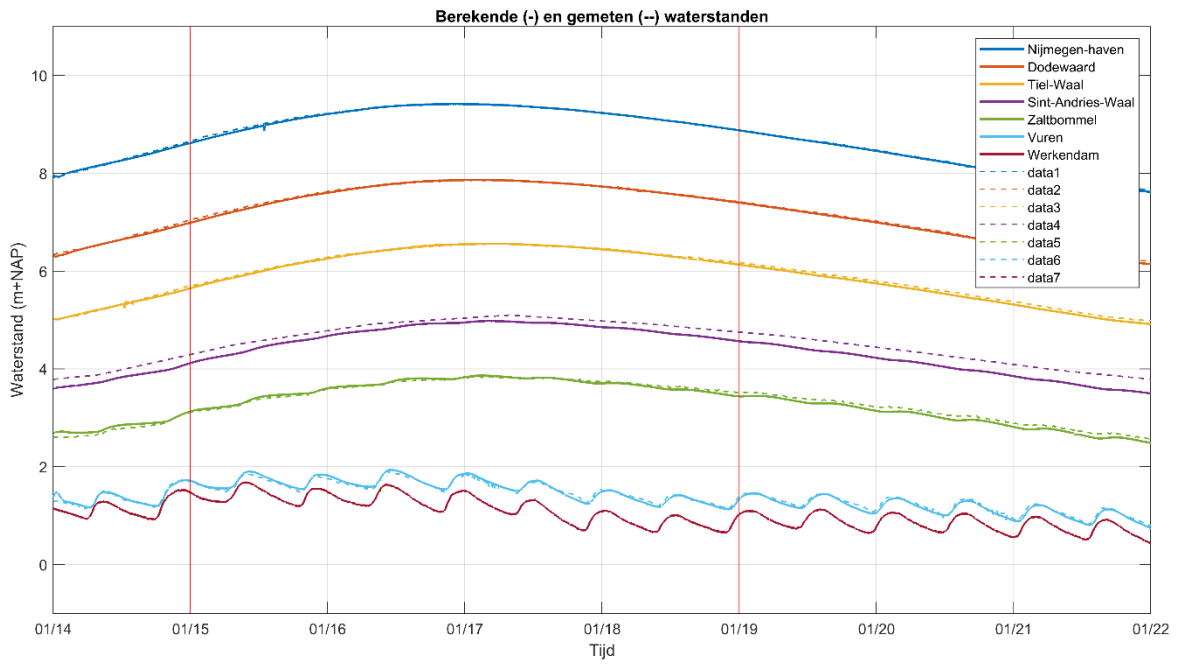


H.2.2.3. IJssel

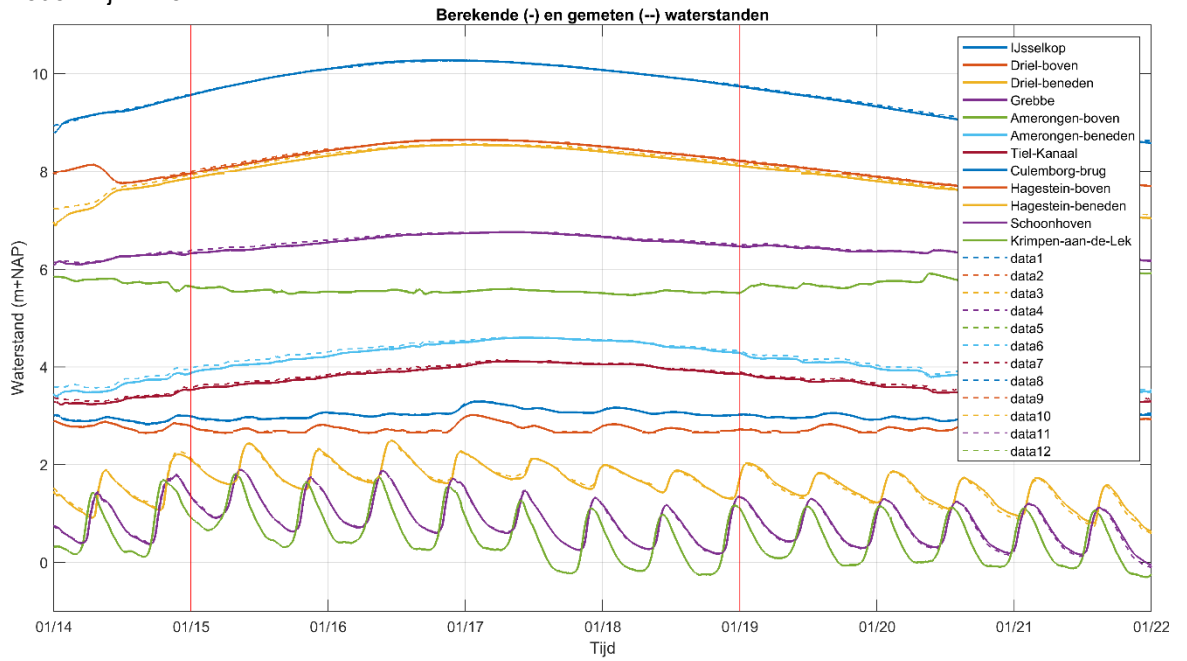


H.2.3 M2

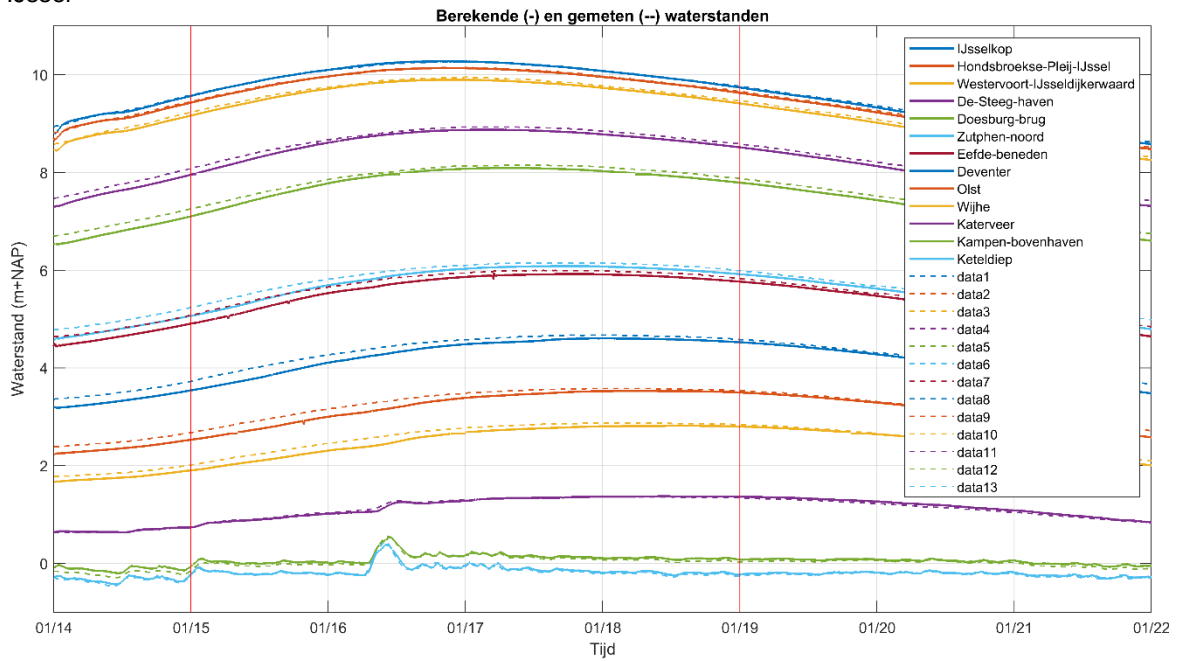
H.2.3.1. Waal



H.2.3.2. Neder-Rijn – Lek

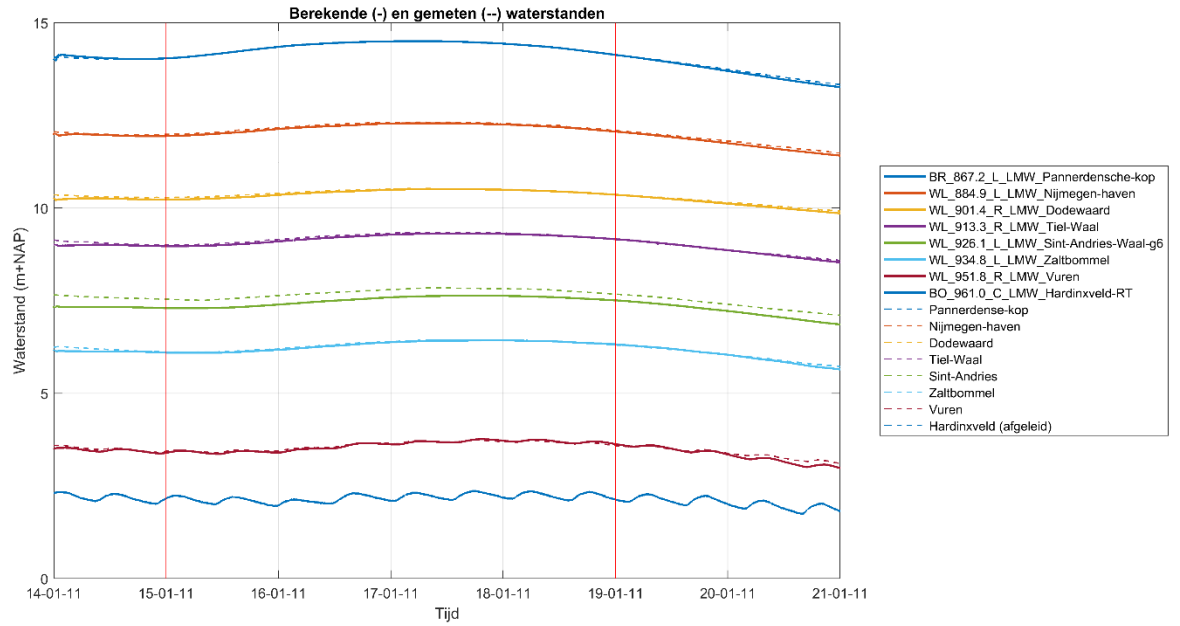


H.2.3.3. IJssel

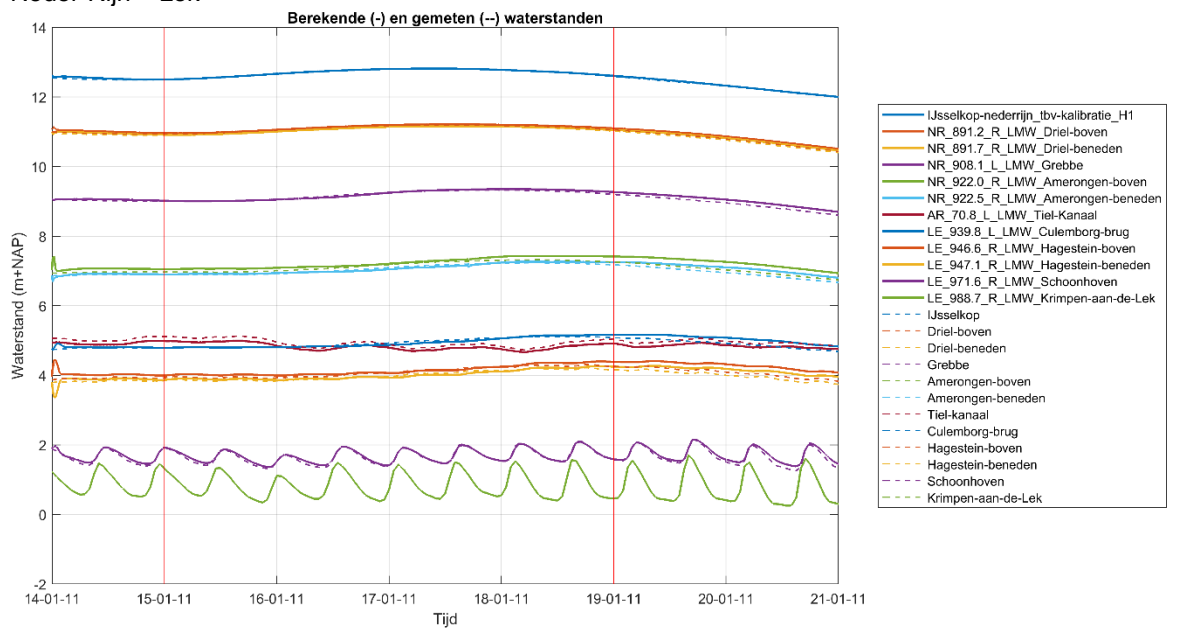


## H.2.4 H1

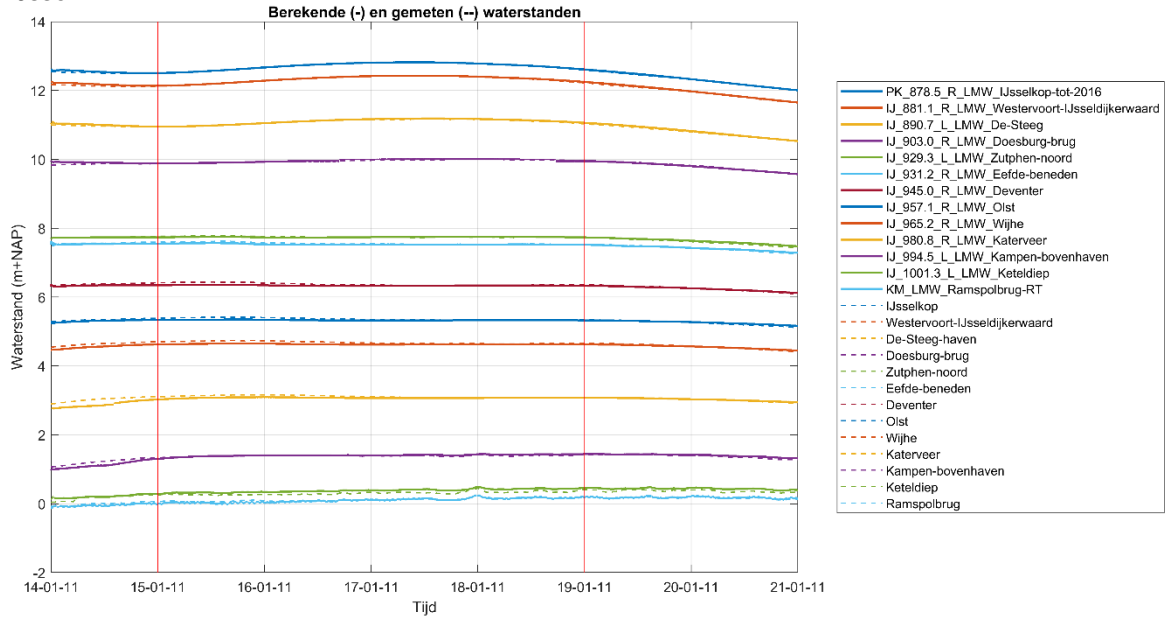
### H.2.4.1. Waal



### H.2.4.2. Neder-Rijn – Lek

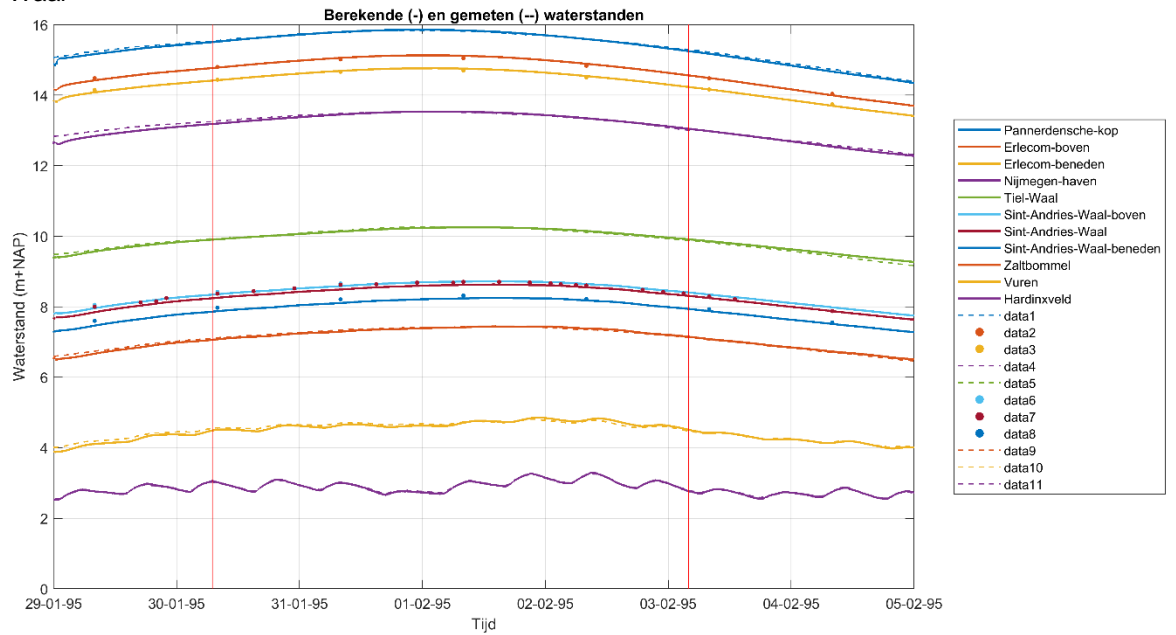


H.2.4.3. IJssel



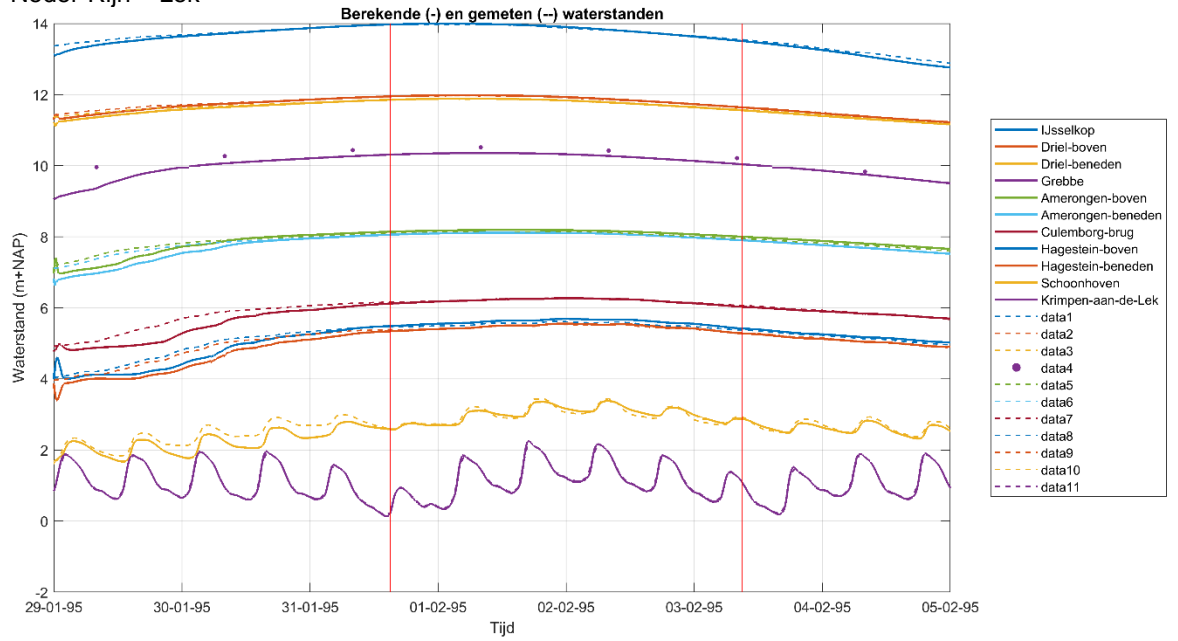
H.2.5 H2

H.2.5.1. Waal

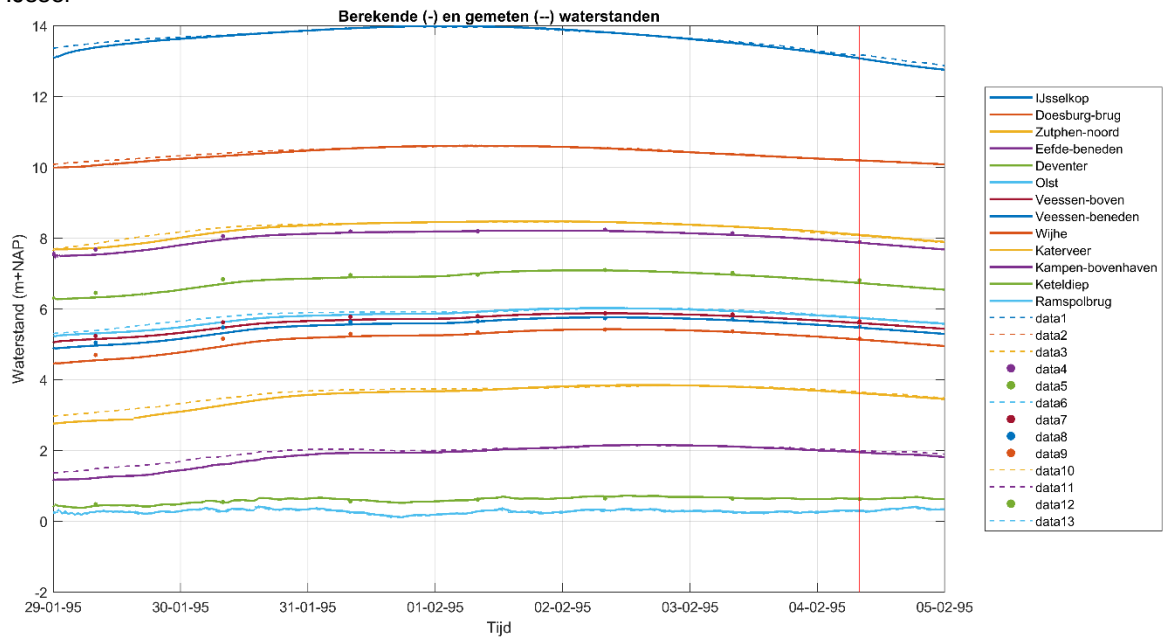




### H.2.5.2. Neder-Rijn – Lek



### H.2.5.3. IJssel



# I Validatie

# Contents

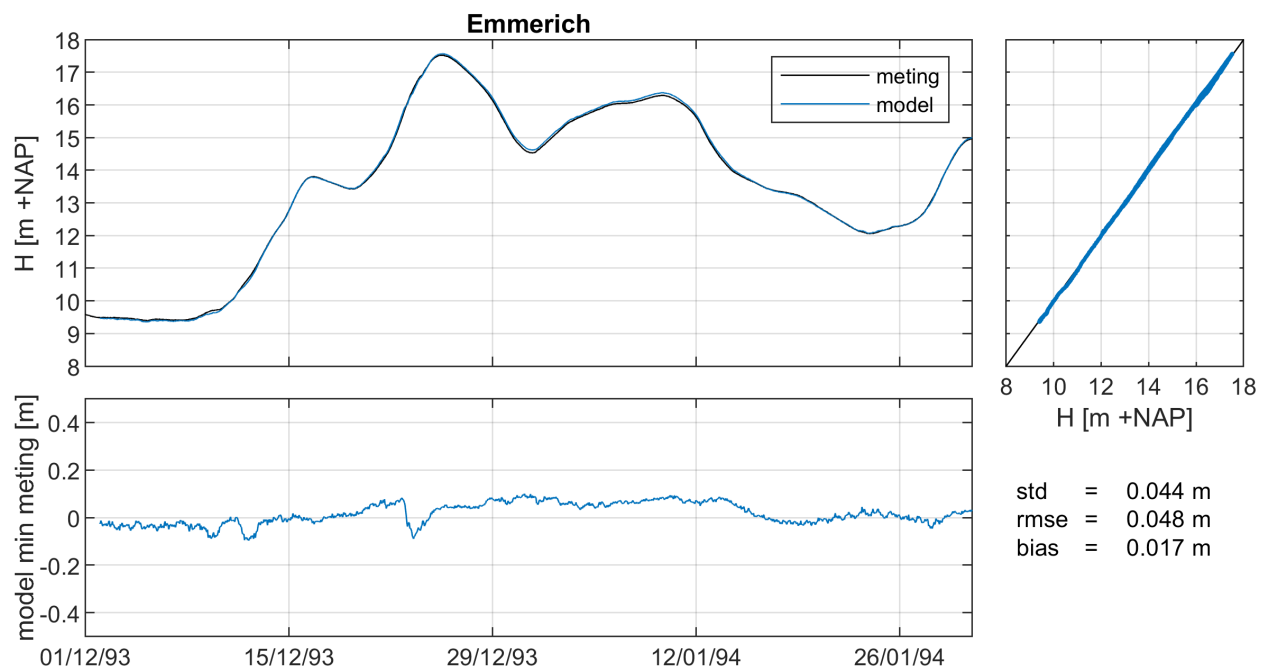
I.1	j93	2
I.1.1	Waterstanden LMW	2
I.1.2	Tabellen topstanden LMW	28
I.1.3	Afvoeren	30
I.1.4	Peilschalen	33
I.1.5	Km-borden IJssel	51
I.1.6	Topstanden	85
I.1.7	Ott-metingen	88
I.1.8	Afvoer Pannerdense overlaat	92
I.1.9	Stuwen	93
I.2	j95	95
I.2.1	Waterstanden	95
I.2.2	Tabellen topstanden LMW	120
I.2.3	Afvoeren	122
I.2.4	Peilschalen	125
I.2.5	Km-borden IJssel	154
I.2.6	Km-borden Neder-Rijn	182
I.2.7	Topstanden	215
I.2.8	Ott-metingen	218
I.2.9	Afvoer Pannerdense overlaat	222
I.2.10	Stuwen	223
I.3	j11	225
I.3.1	Waterstanden	225
I.3.2	Afvoeren	250
I.3.3	Metingen waterschappen	258
I.3.4	Verhanglijnmetingen	281
I.3.5	Divers	284
I.3.6	Stuwen	309
I.4	j15	310
I.4.1	Waterstanden	310
I.4.2	Afvoeren	335
I.4.3	Metingen waterschappen	343
I.4.4	Stuwen	357
I.5	j16	359
I.5.1	Waterstanden	359
I.5.2	Afvoeren	384
I.5.3	Metingen waterschappen	391
I.5.4	Verhanglijnmetingen	407
I.5.5	Stuwen	408

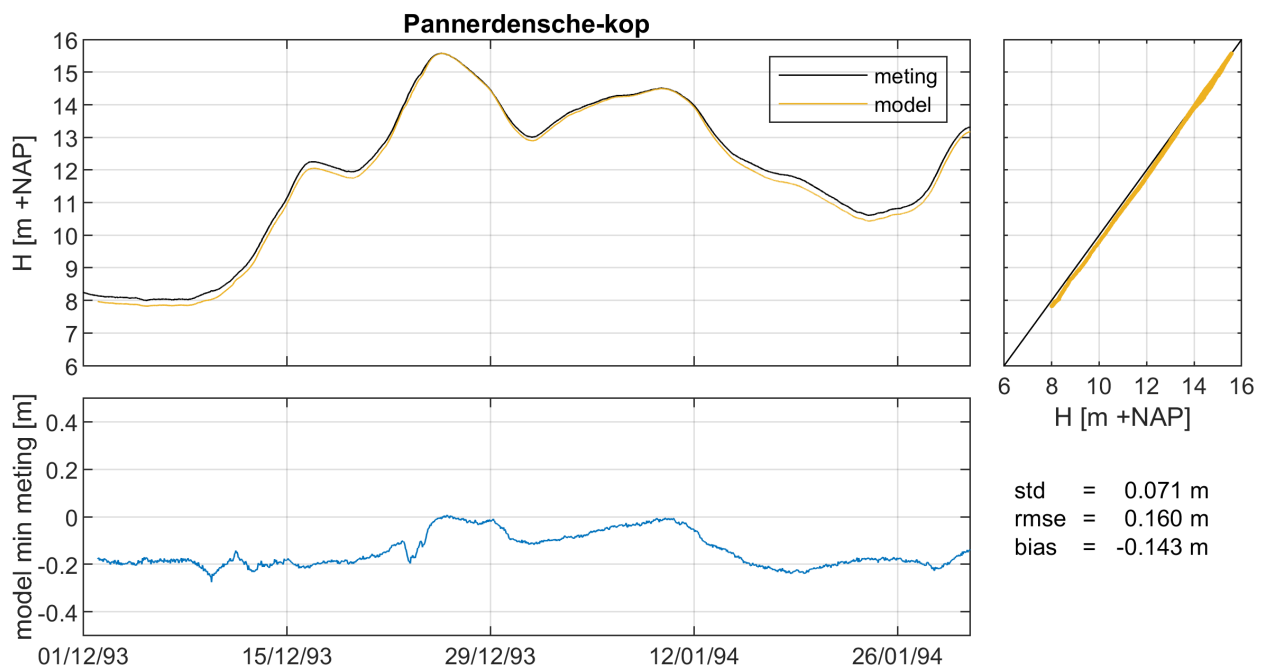
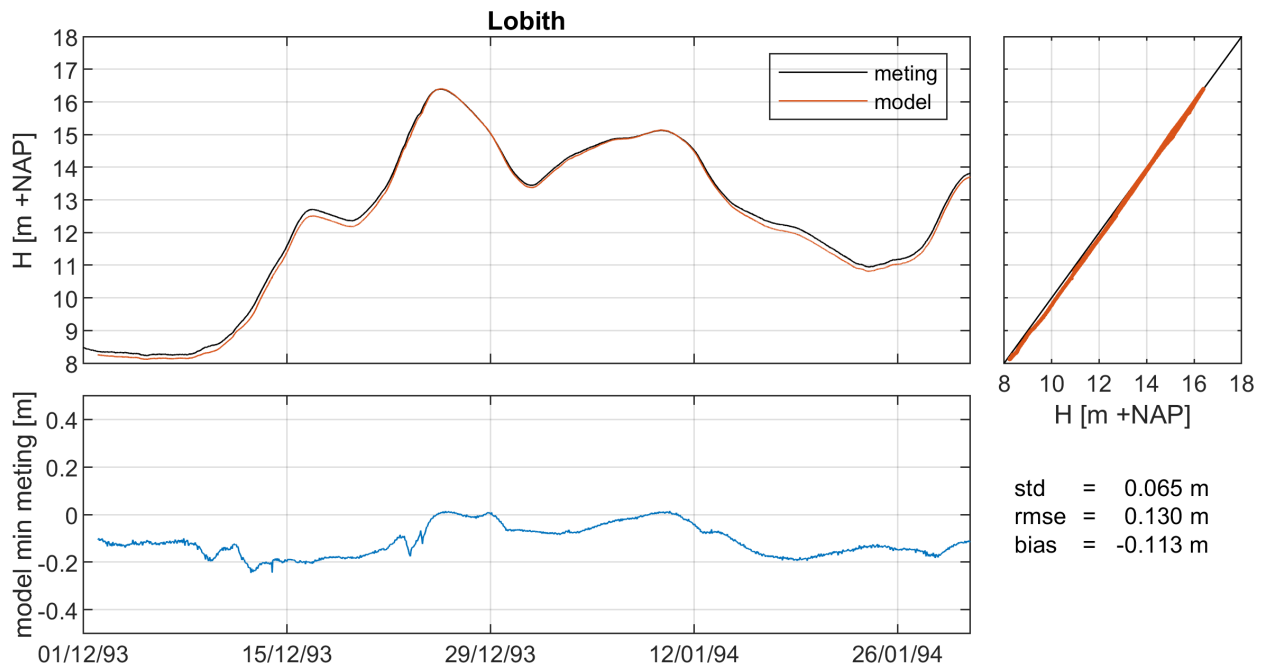
# I. Validatie

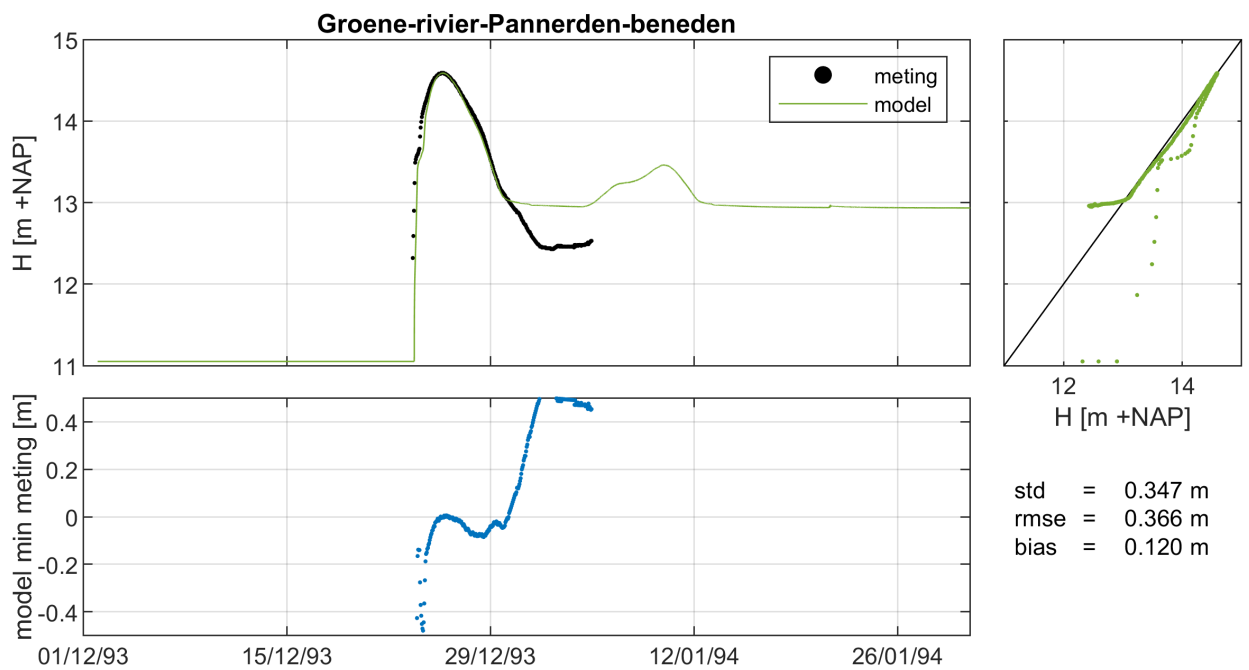
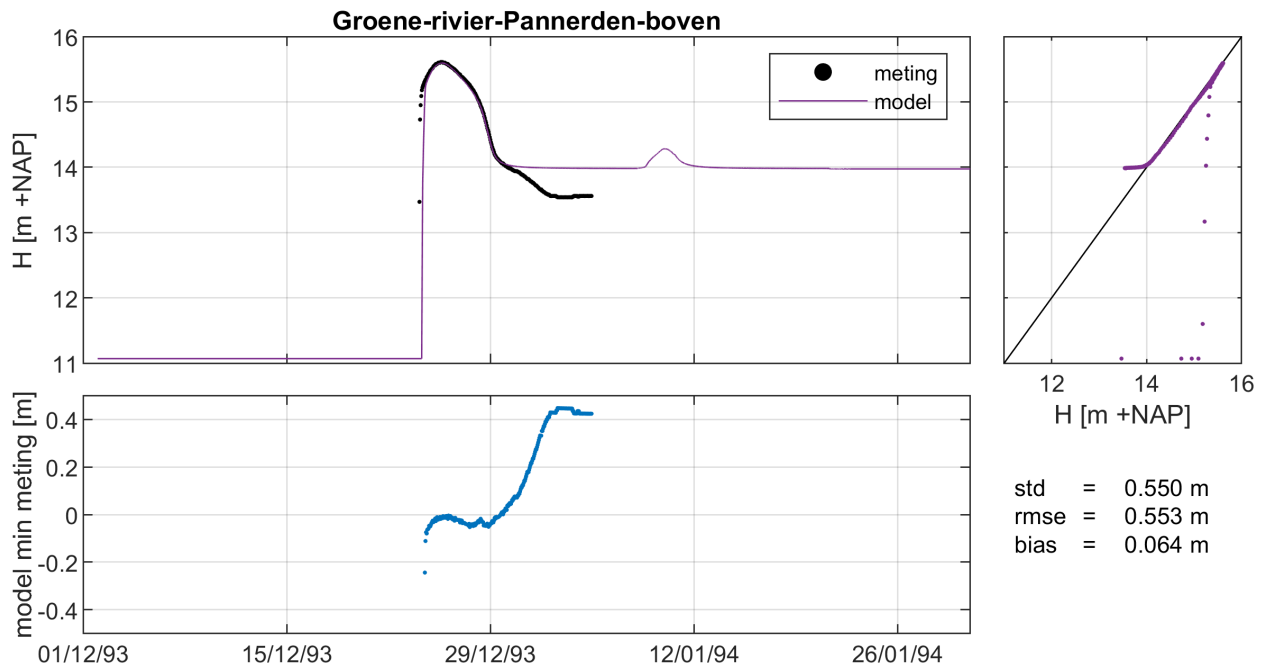
## I.1 j93

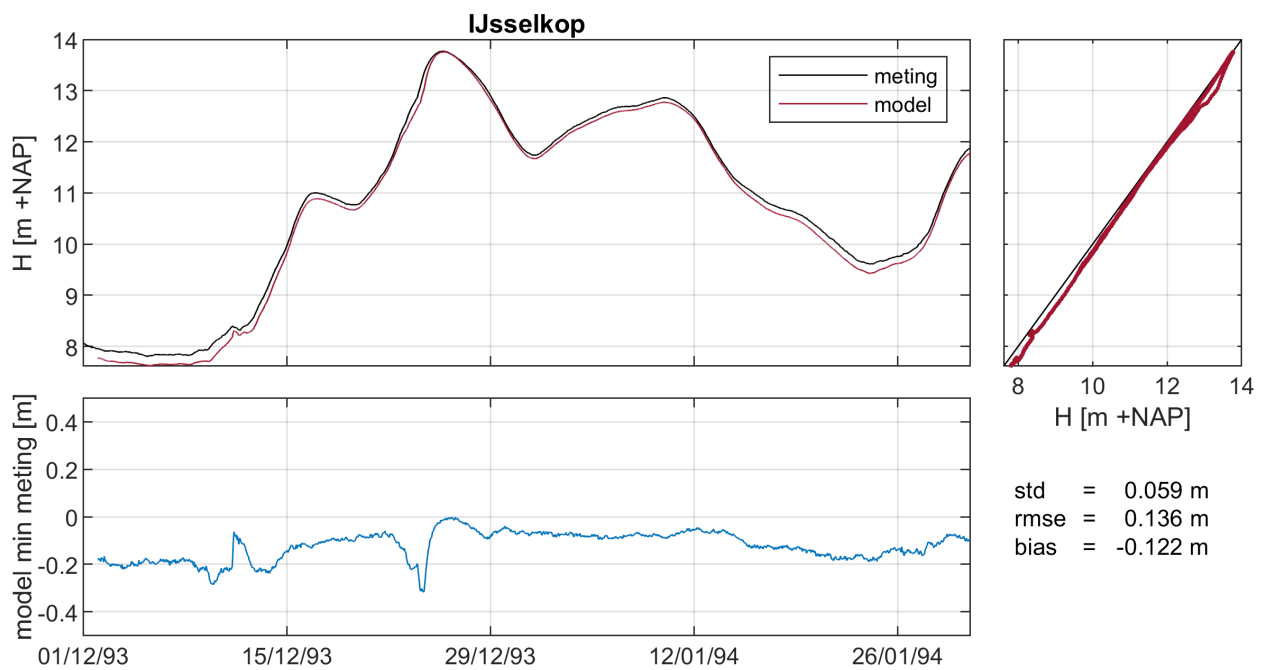
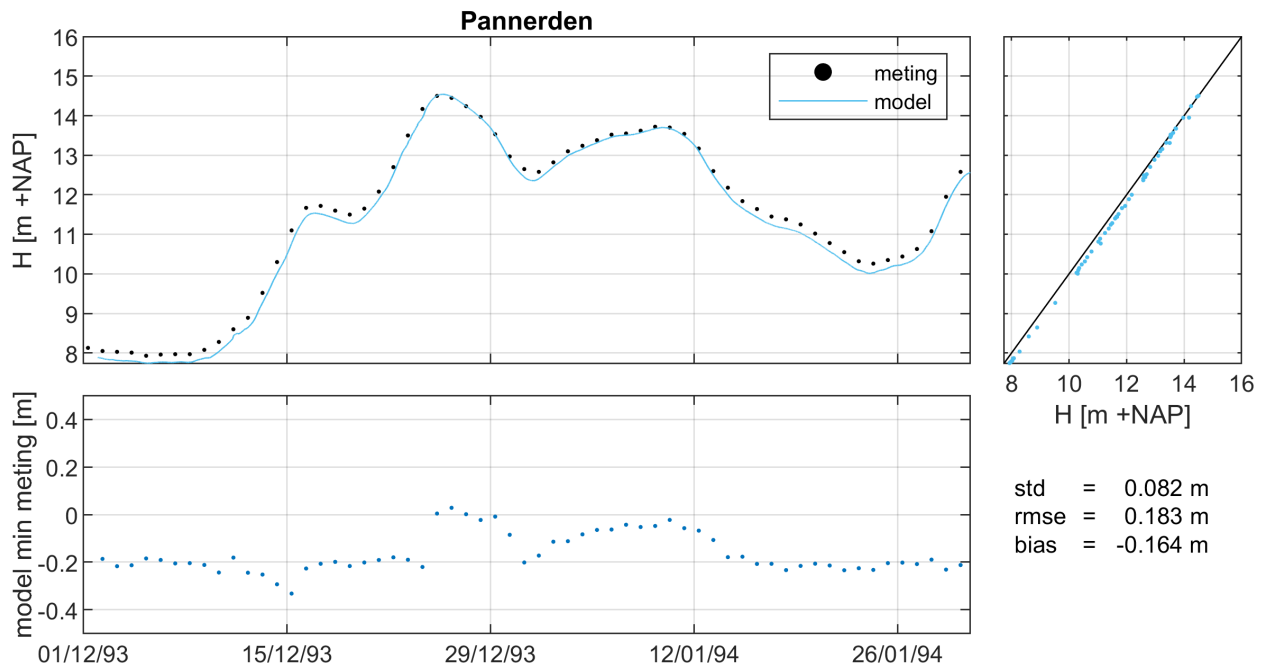
### I.1.1 Waterstanden LMW

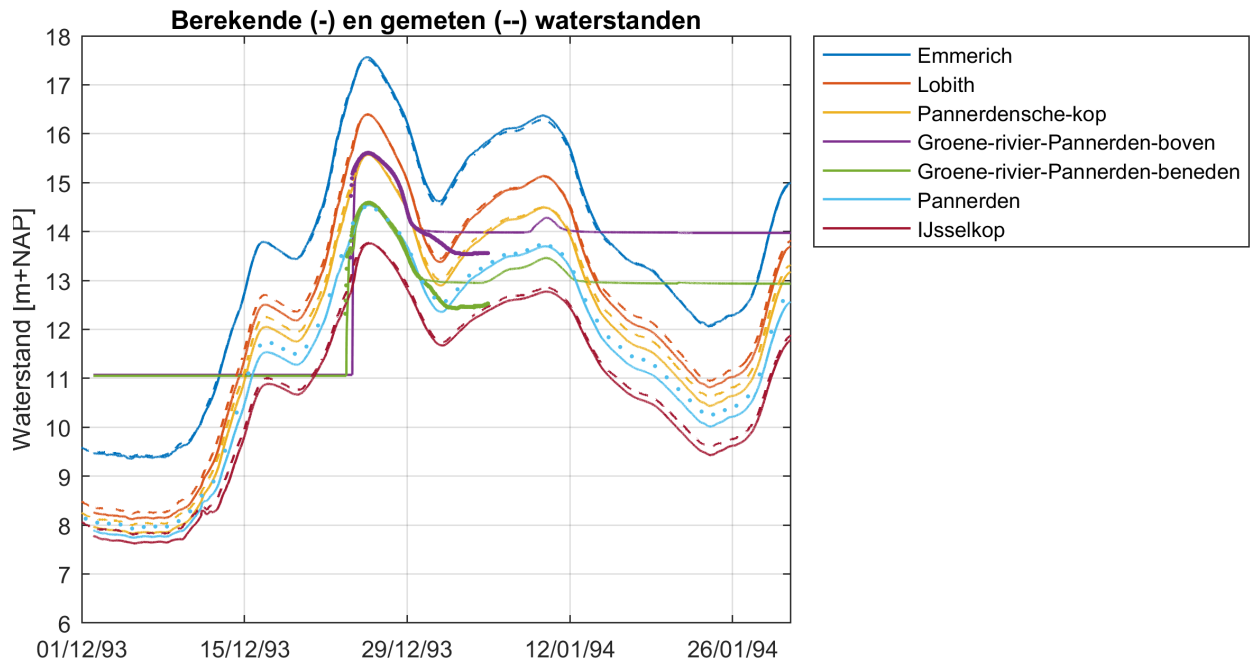
Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal



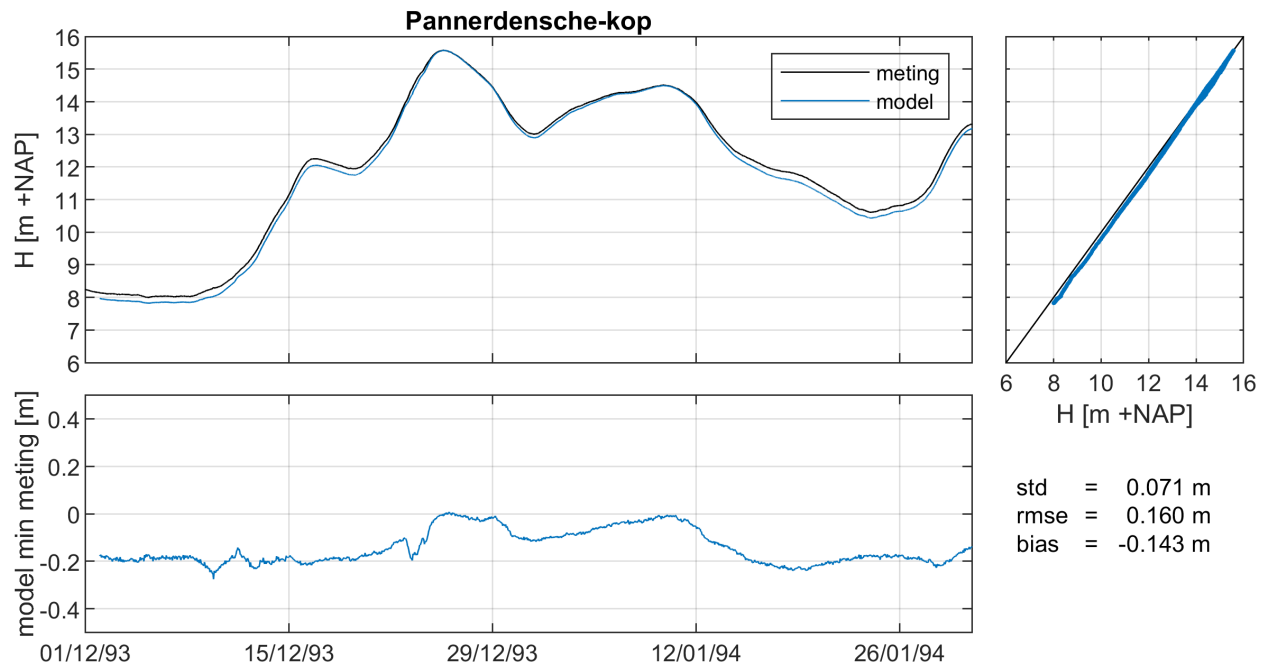




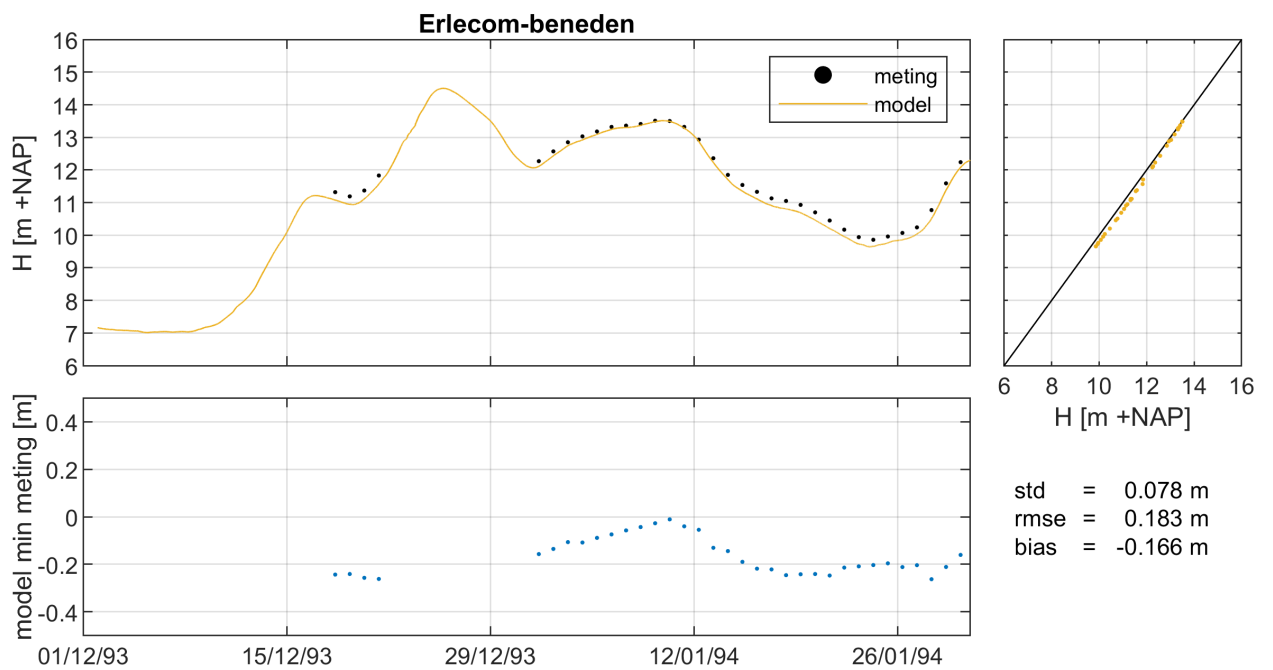
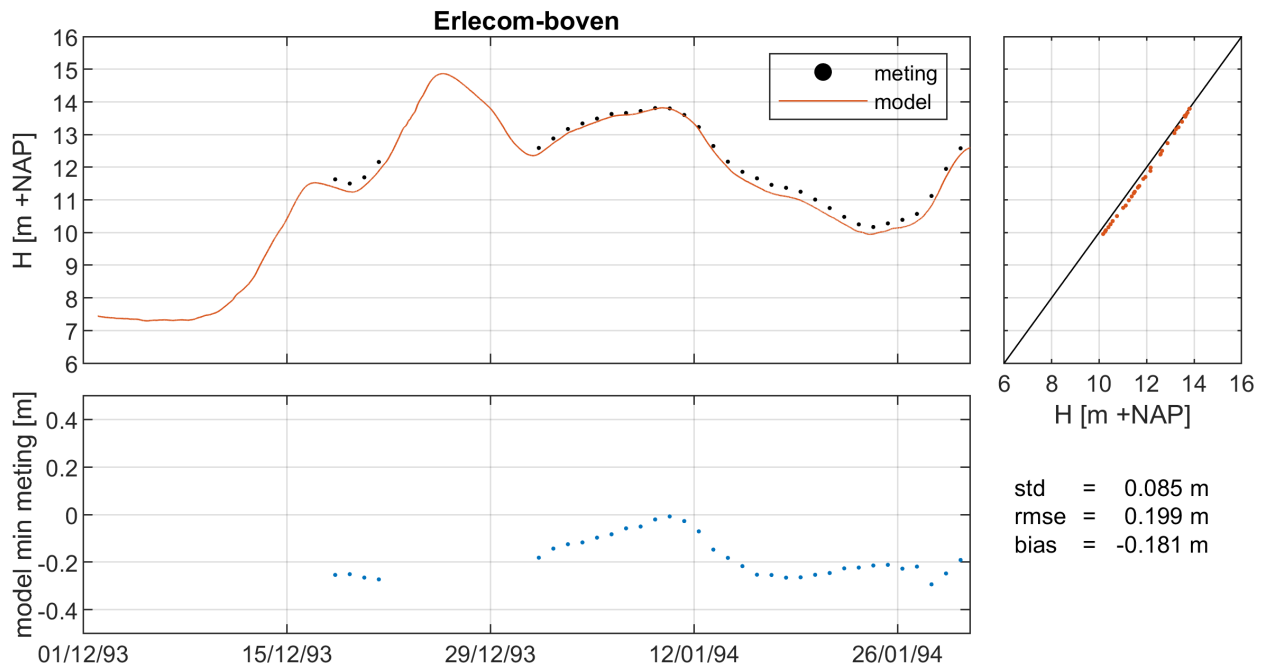


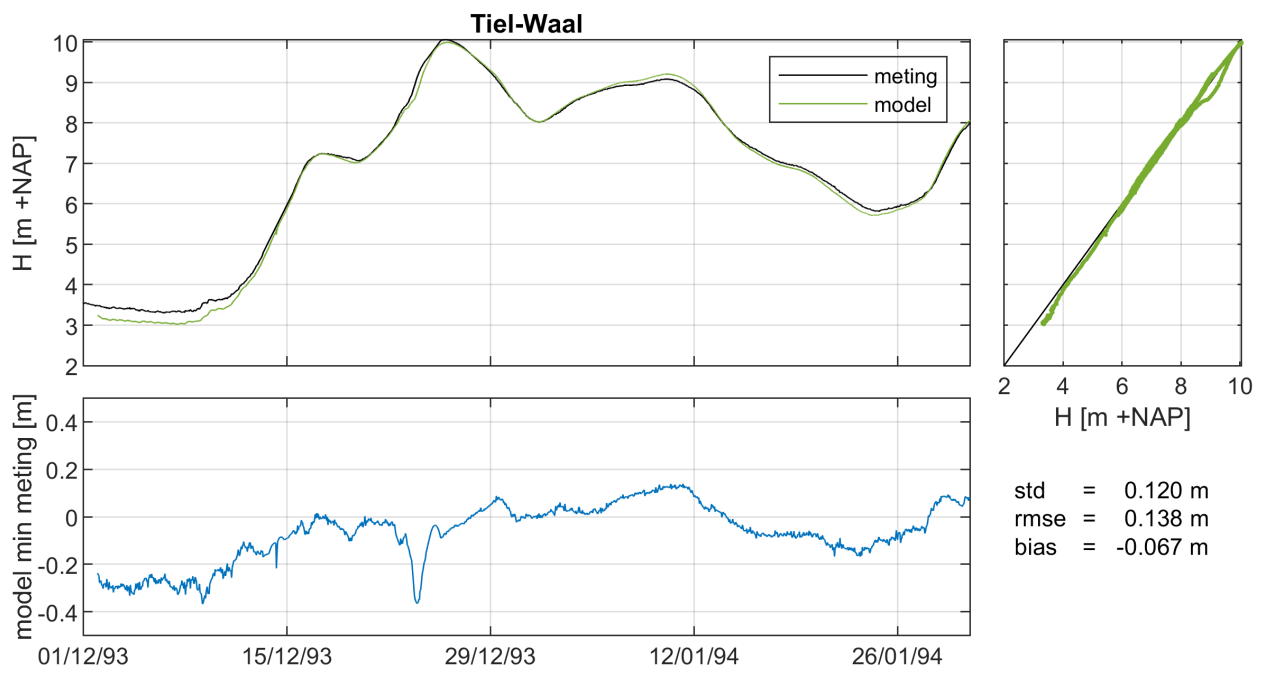
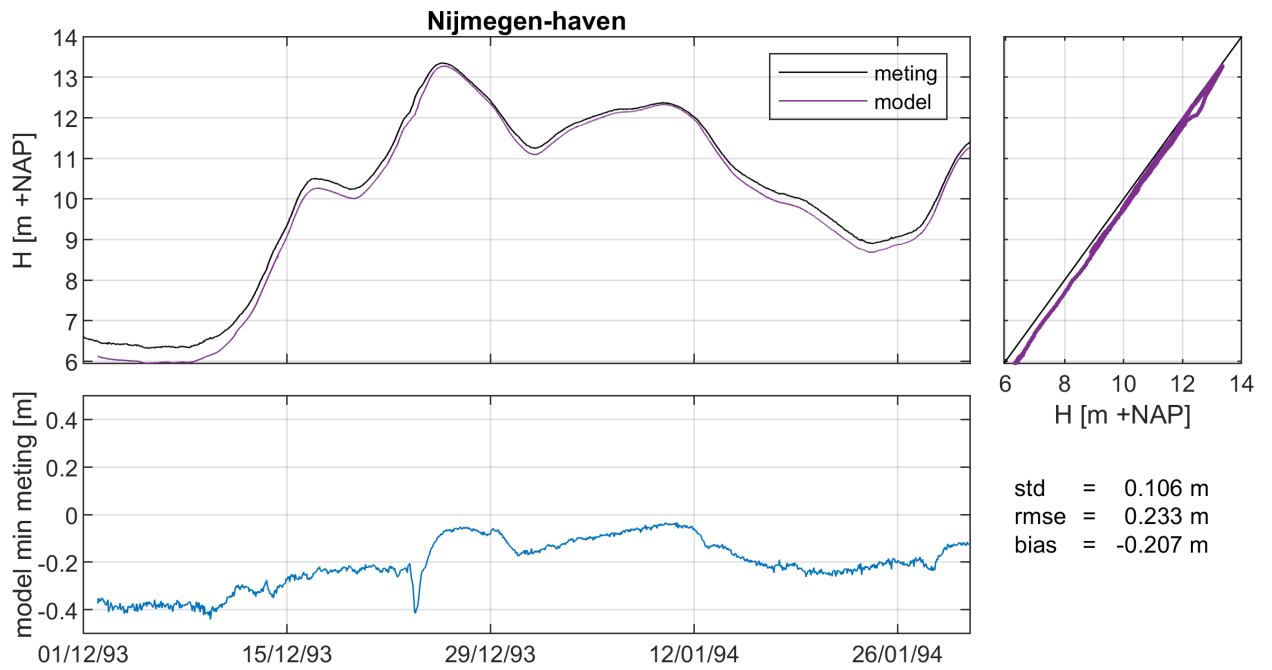


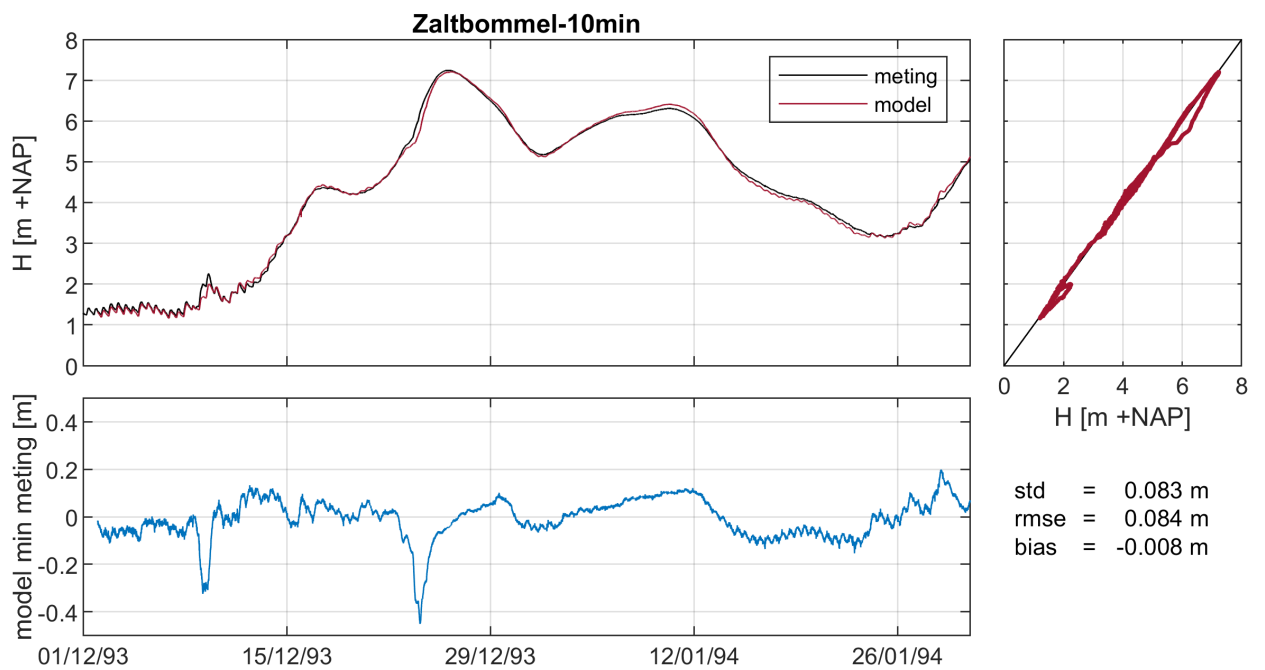
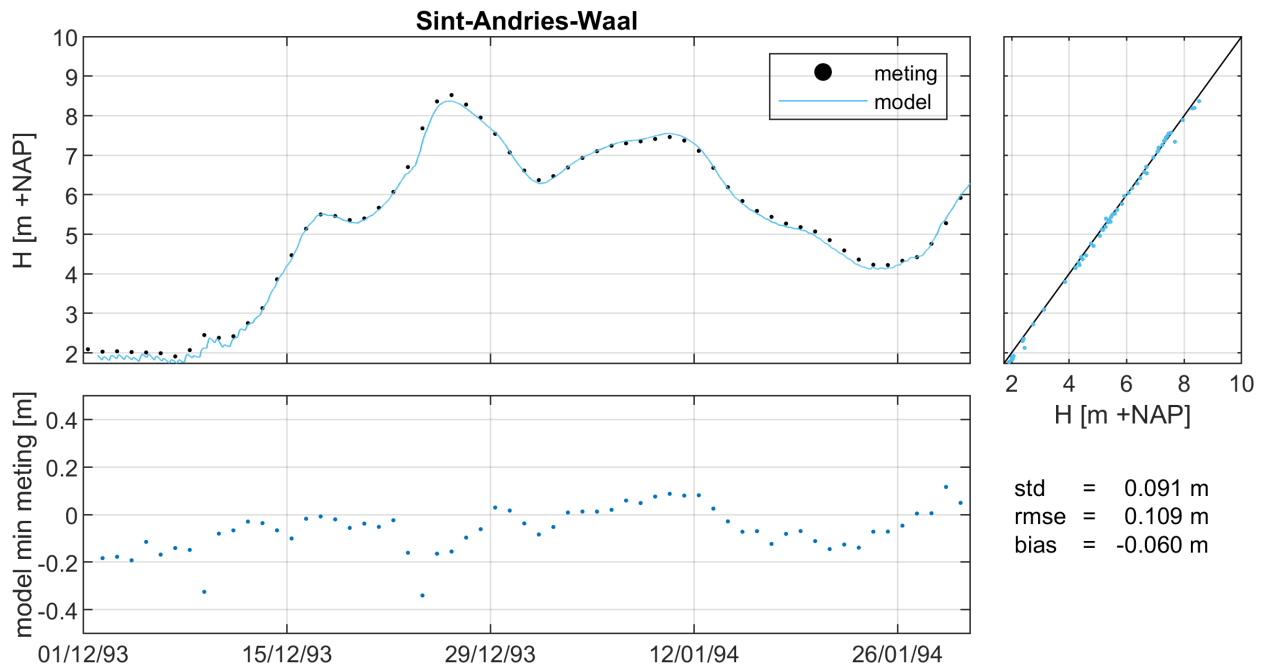
### Waal

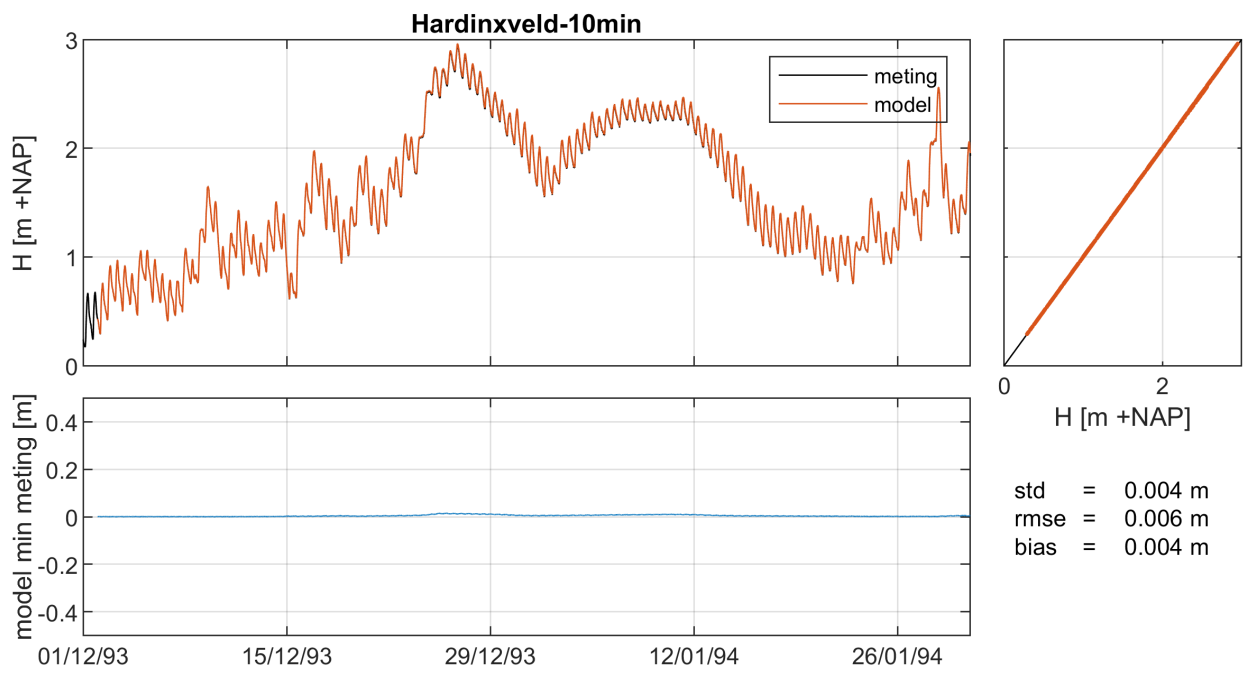
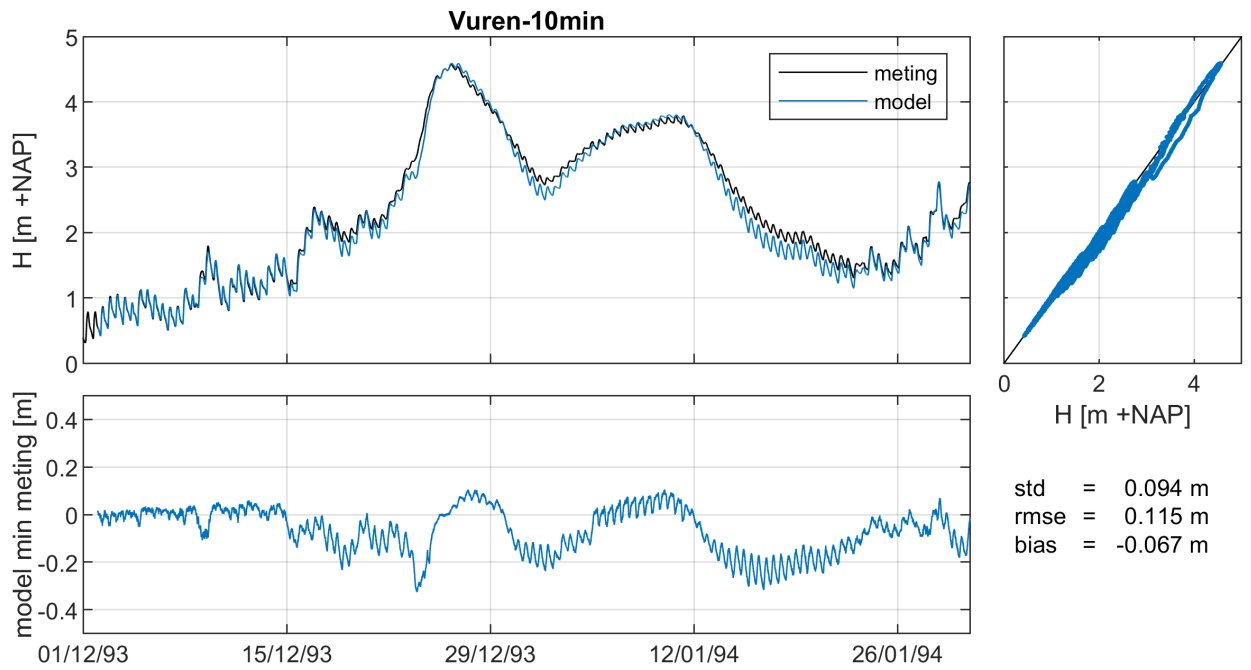


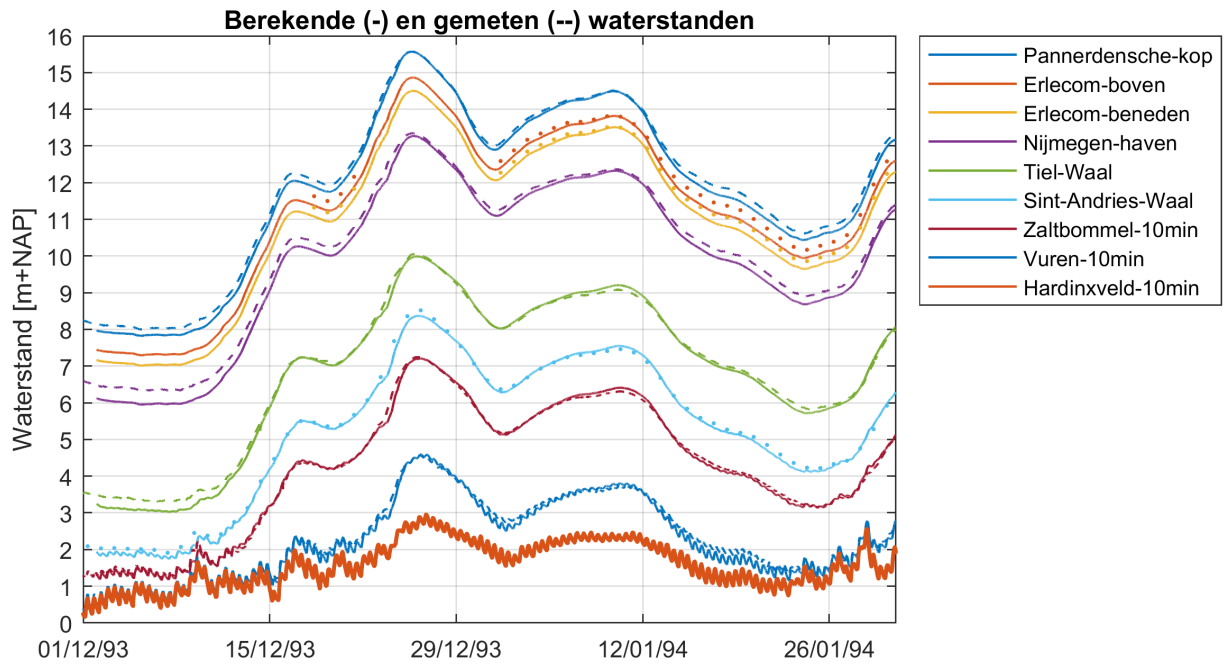




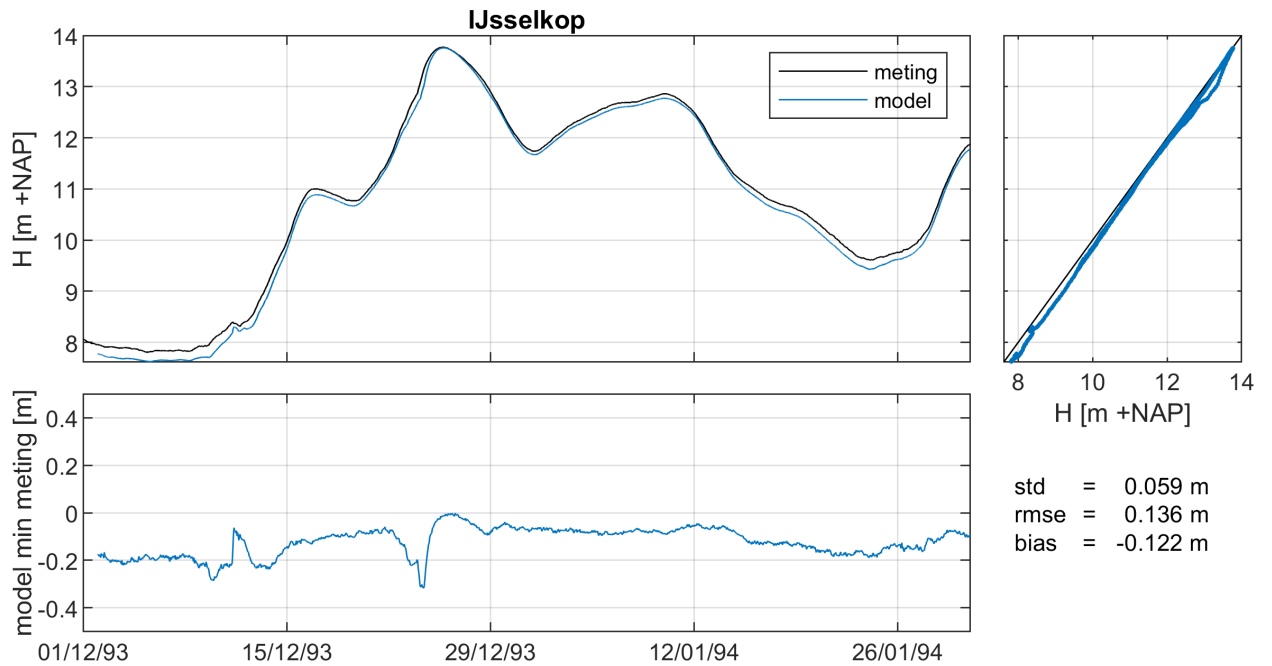


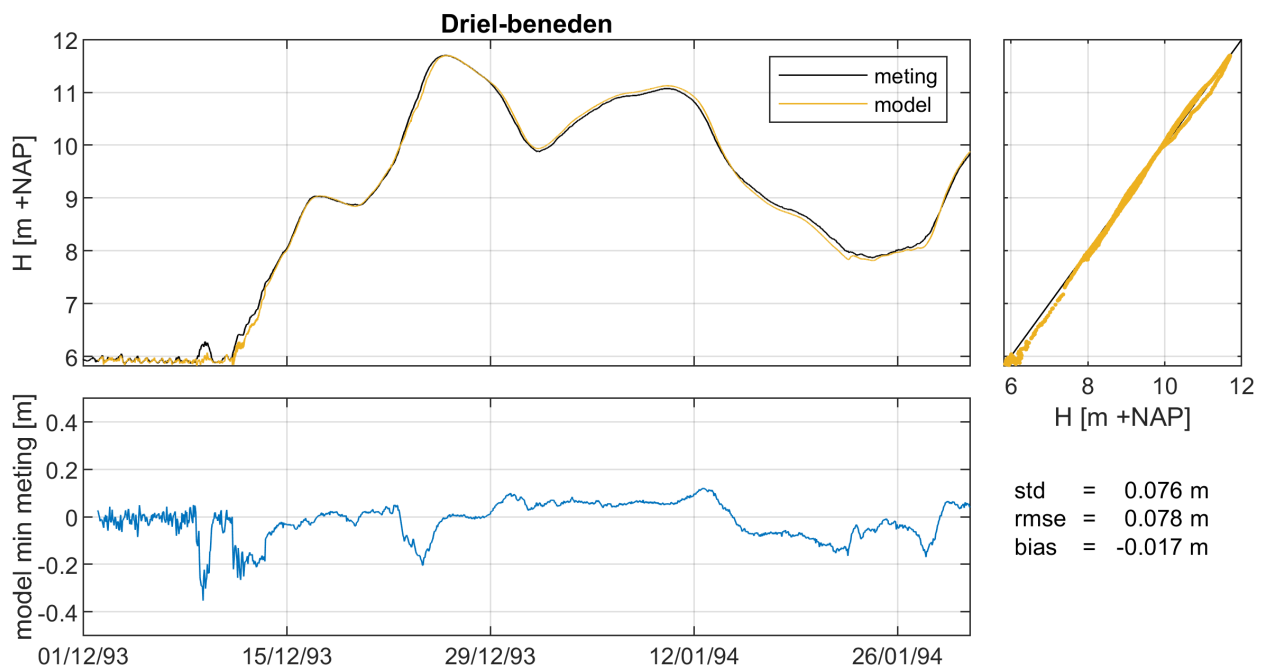
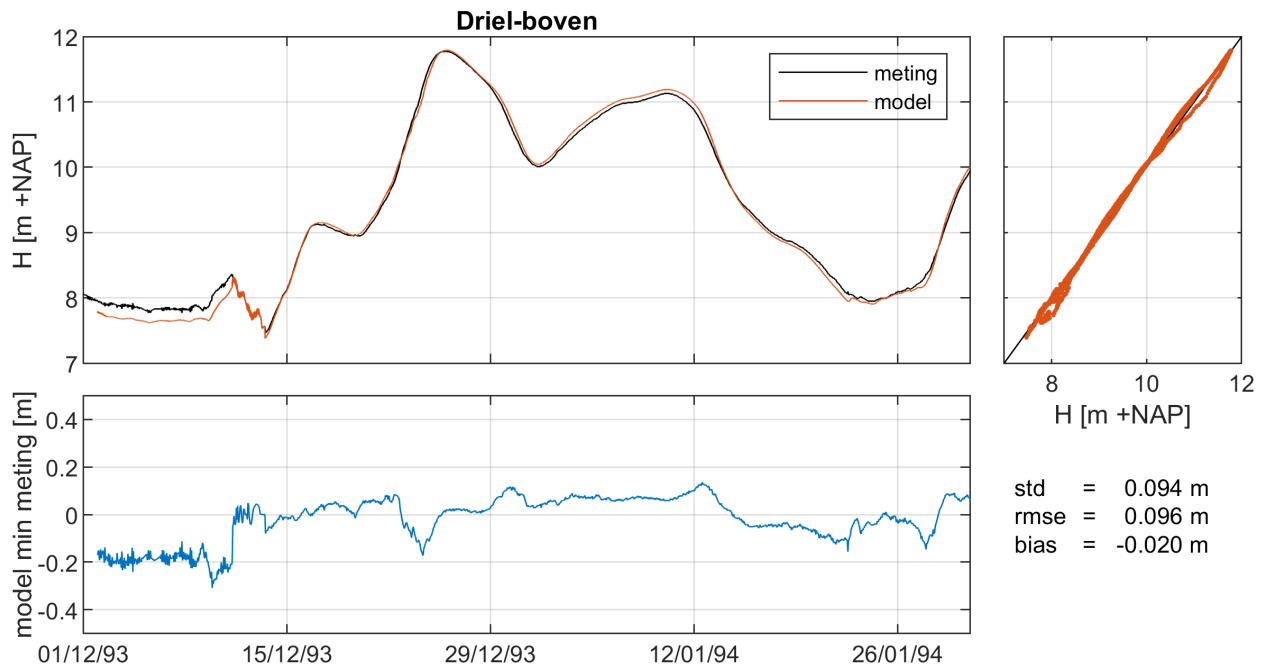


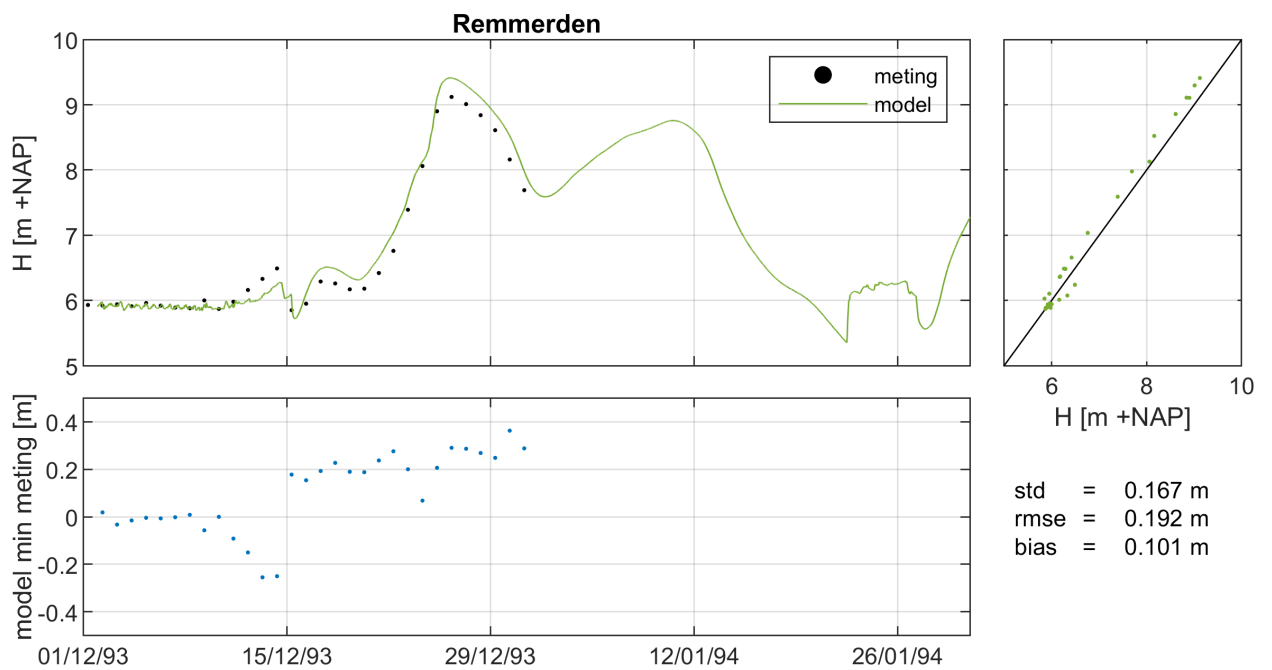
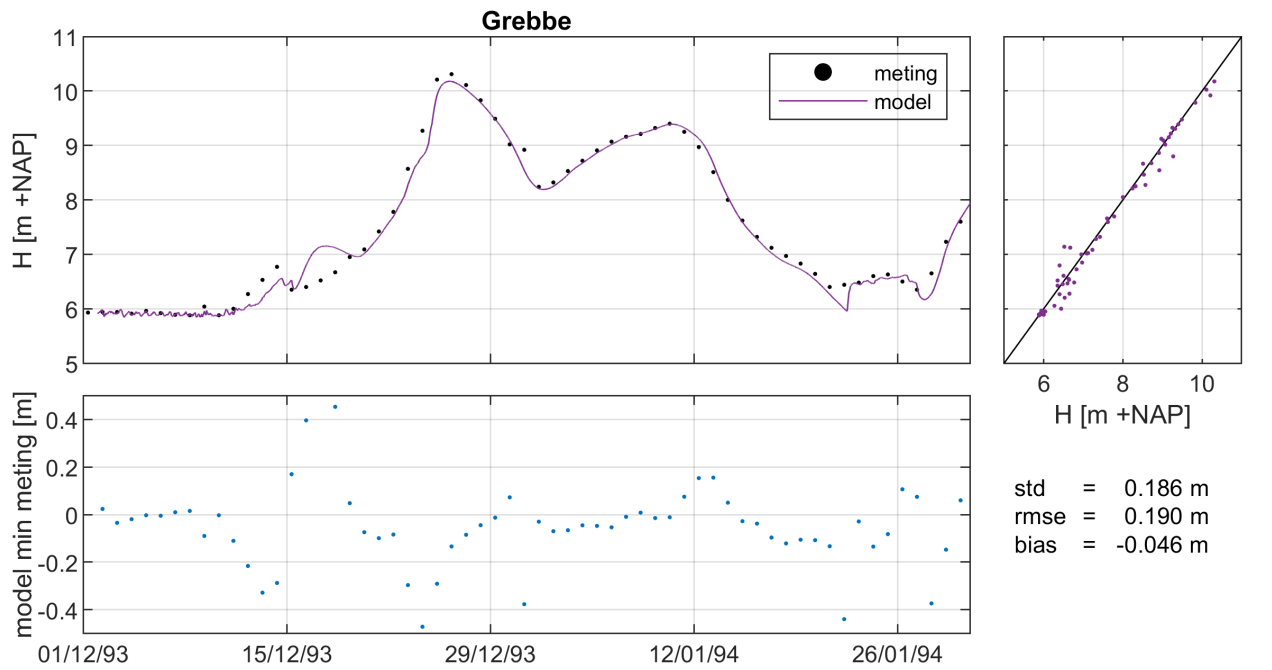


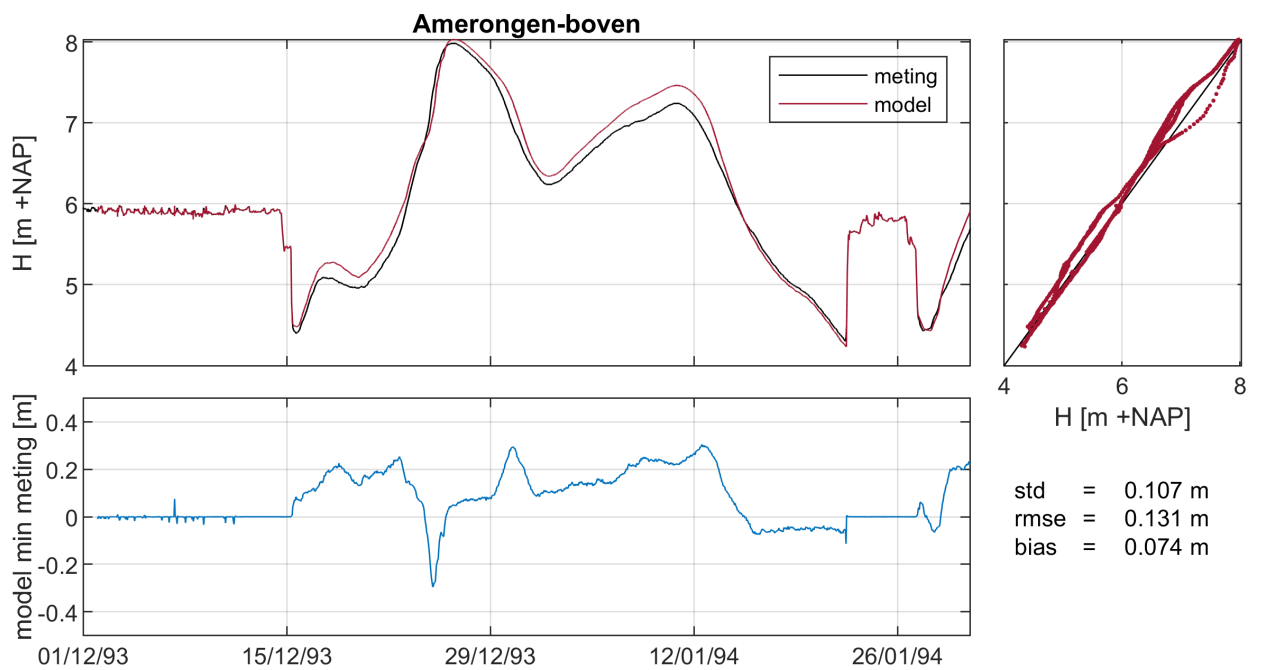
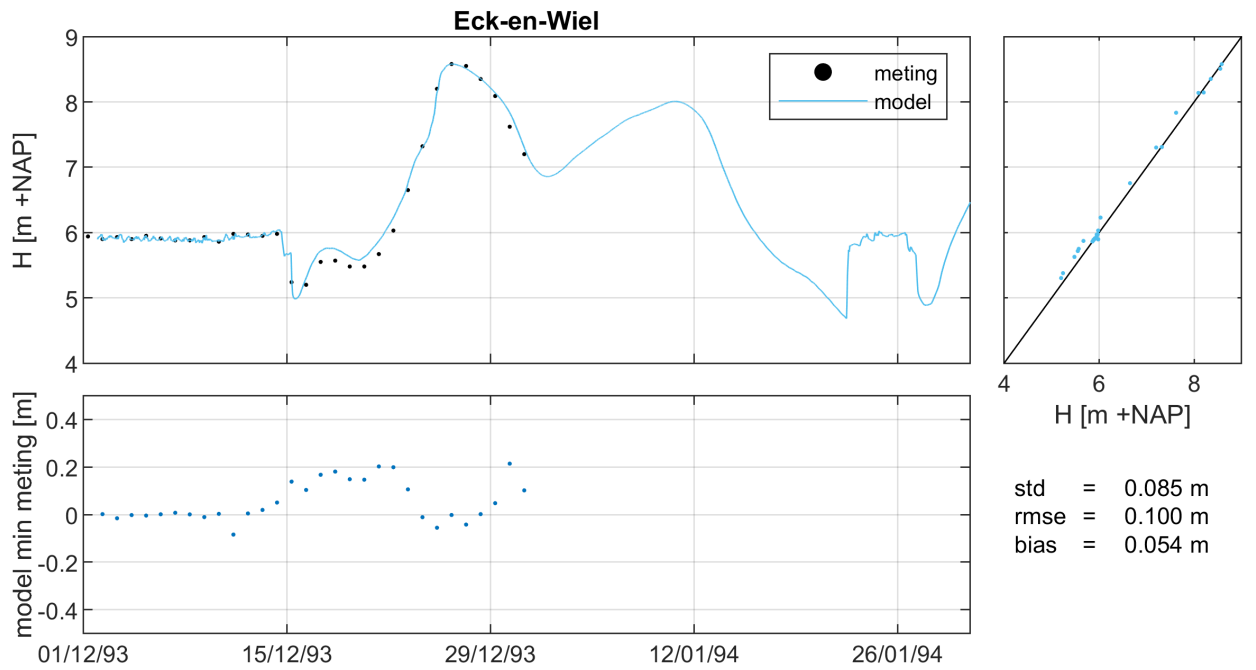


### Neder-Rijn - Lek

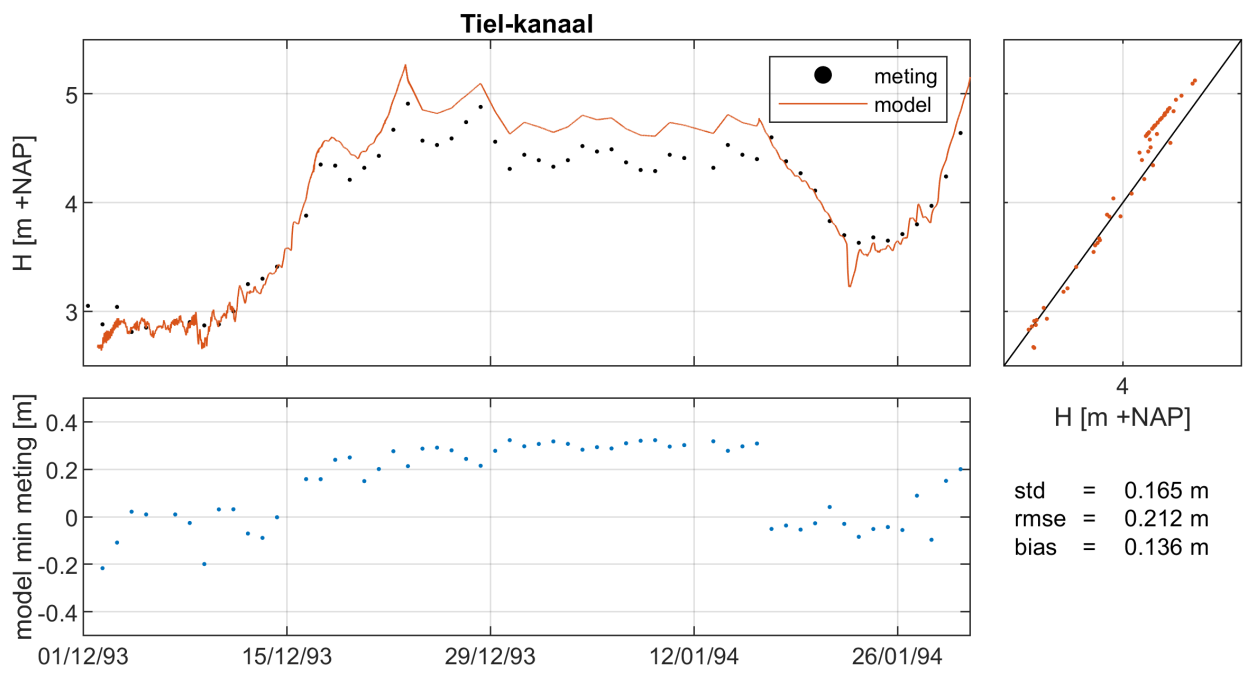
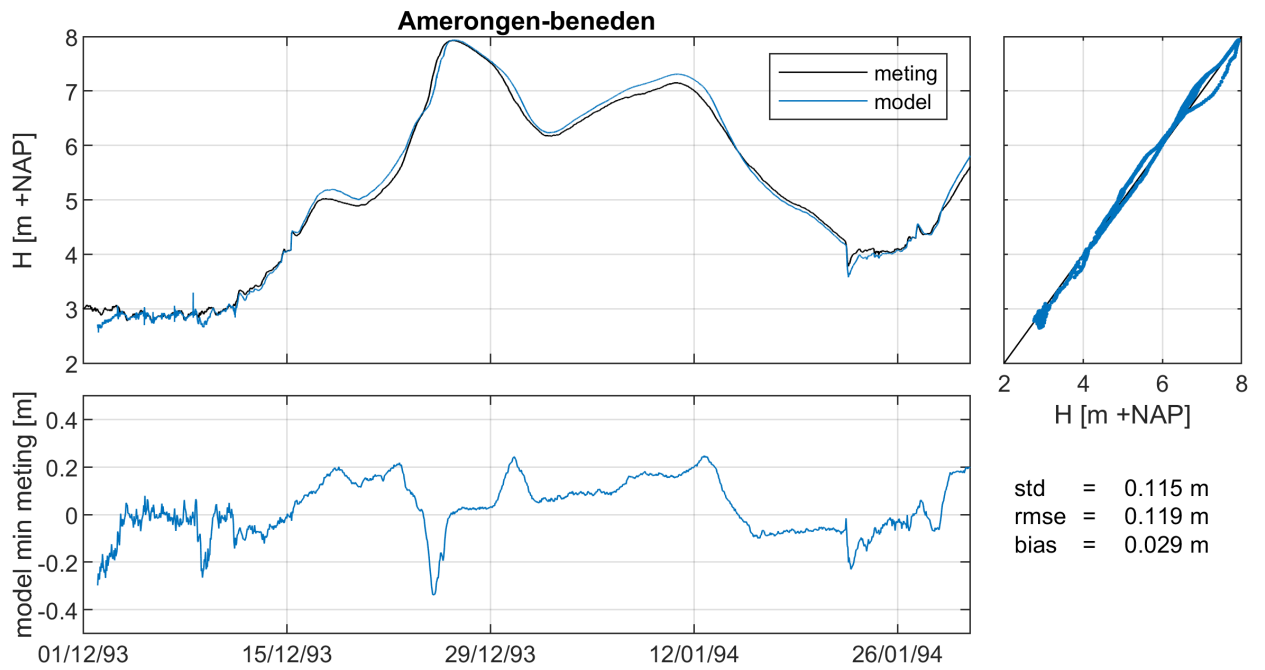


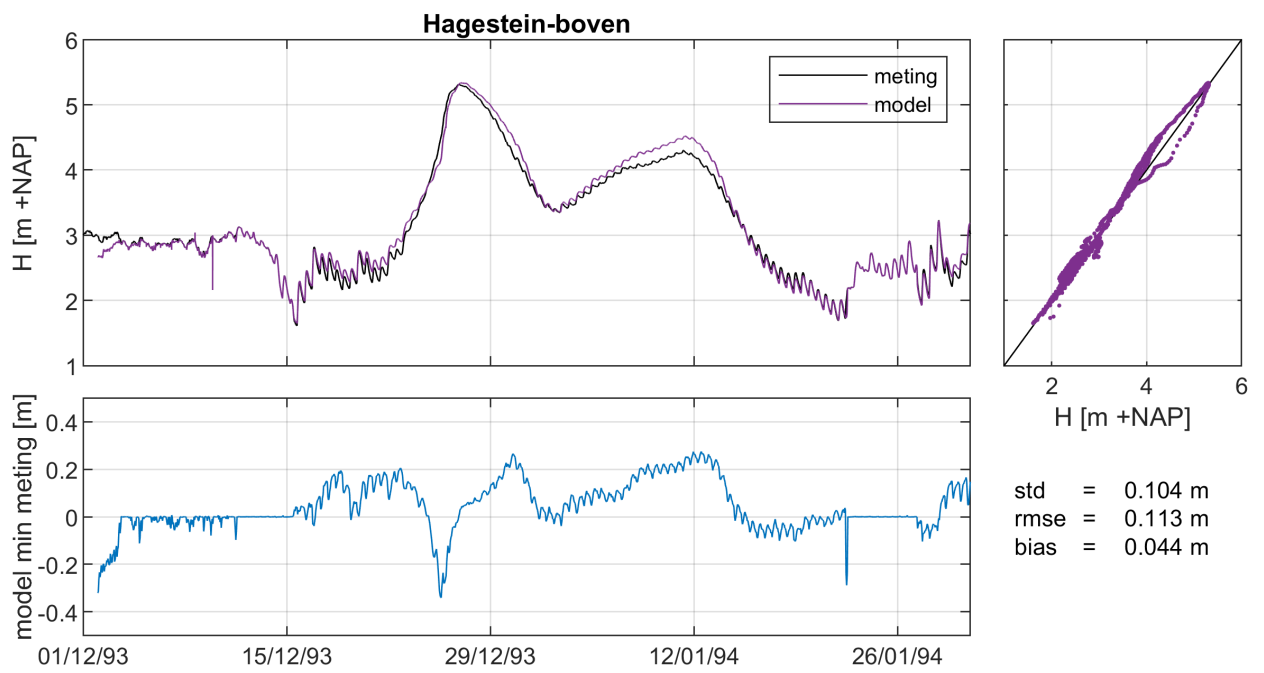
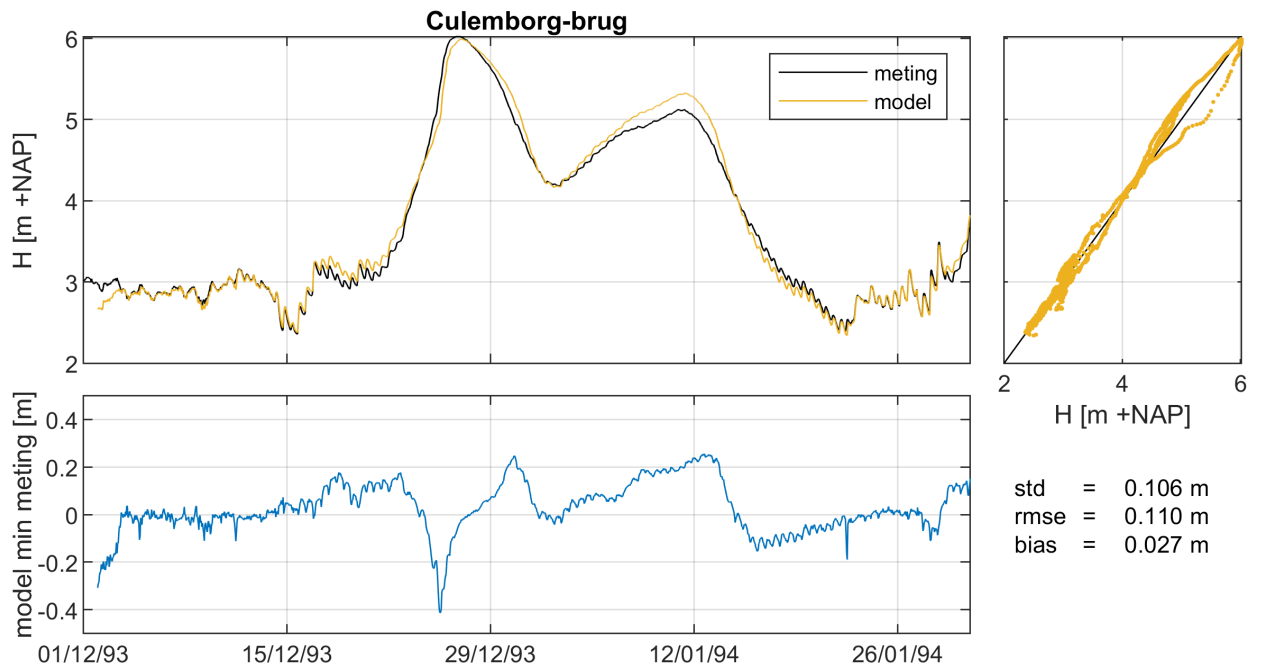


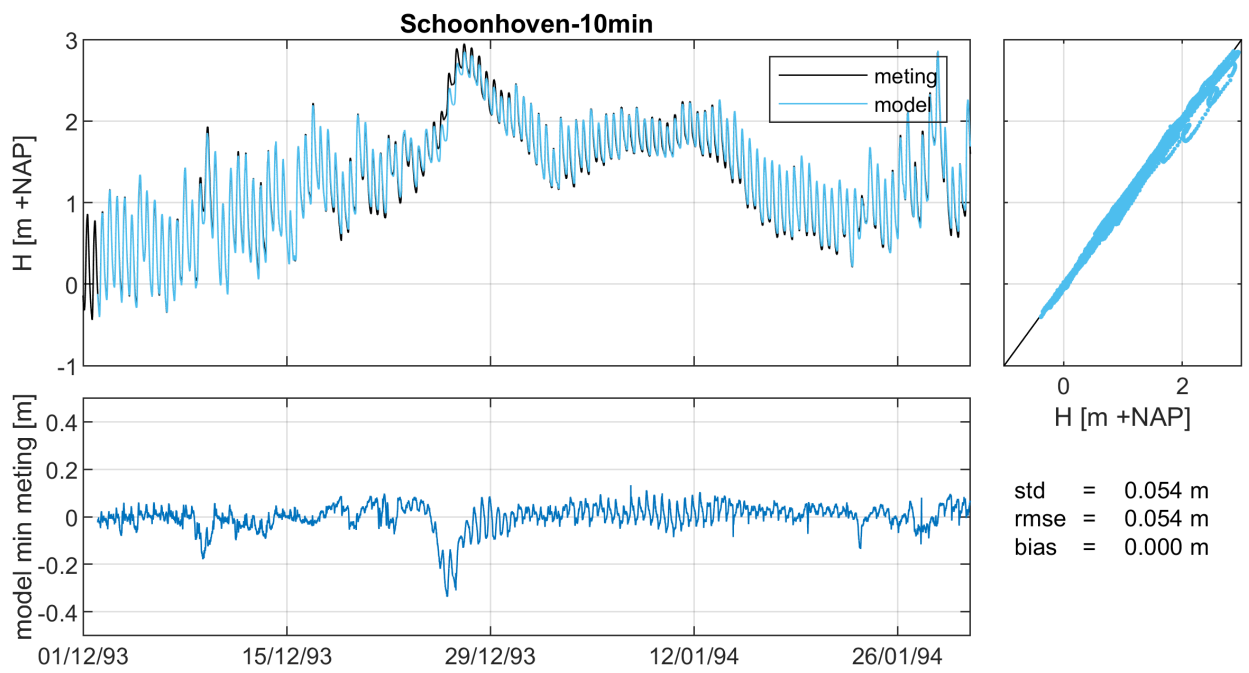
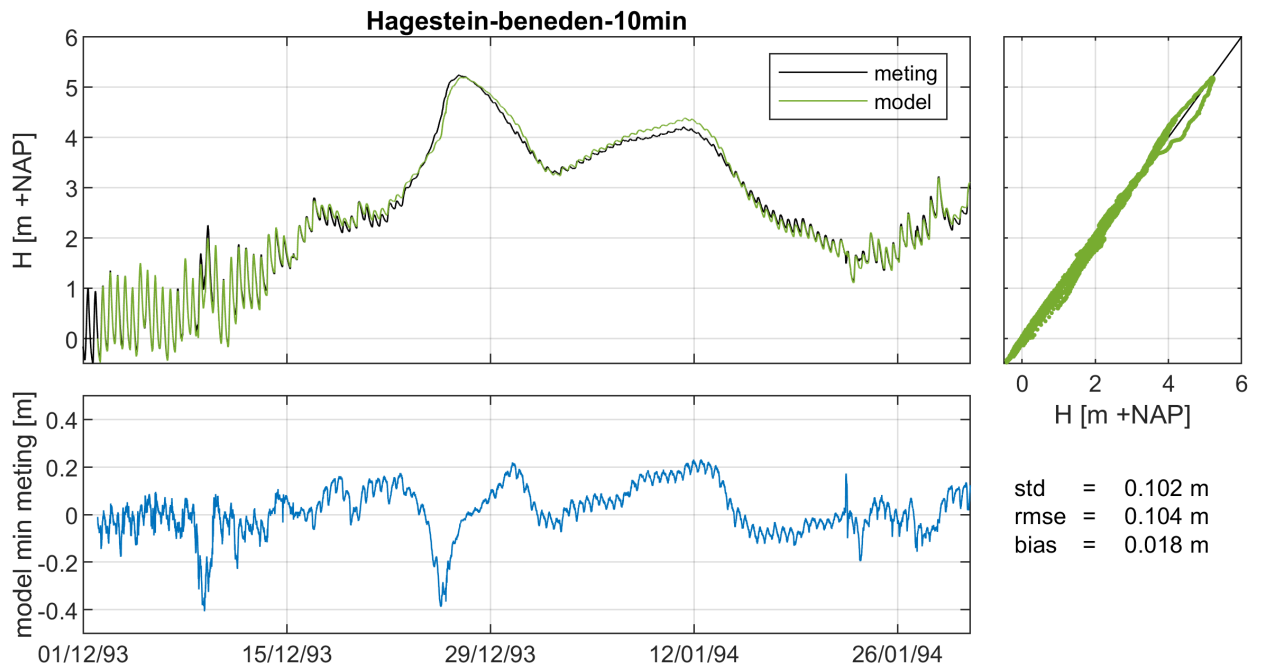


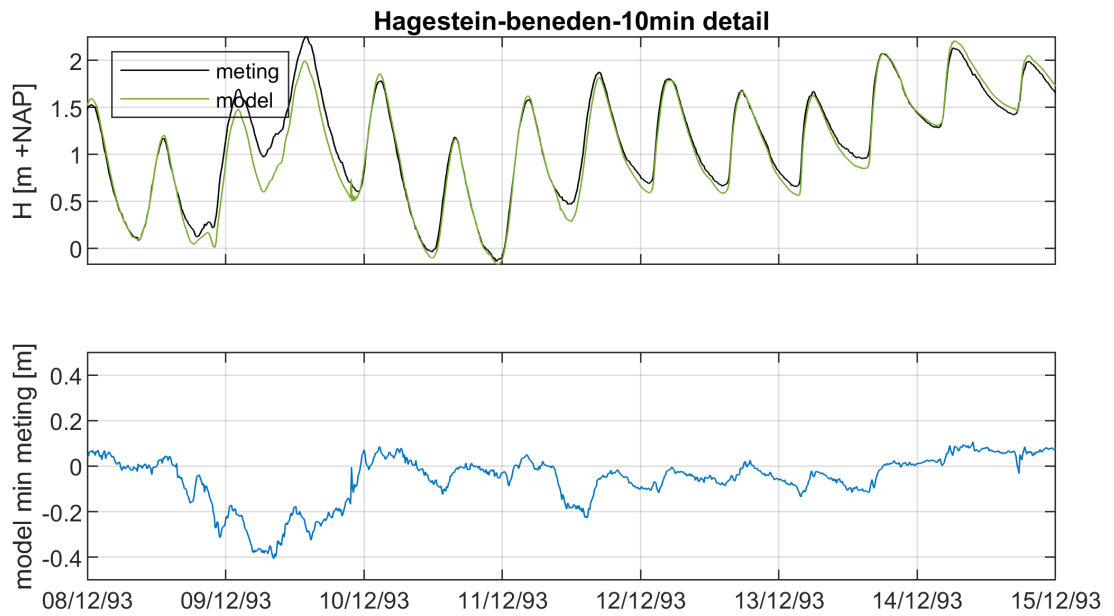
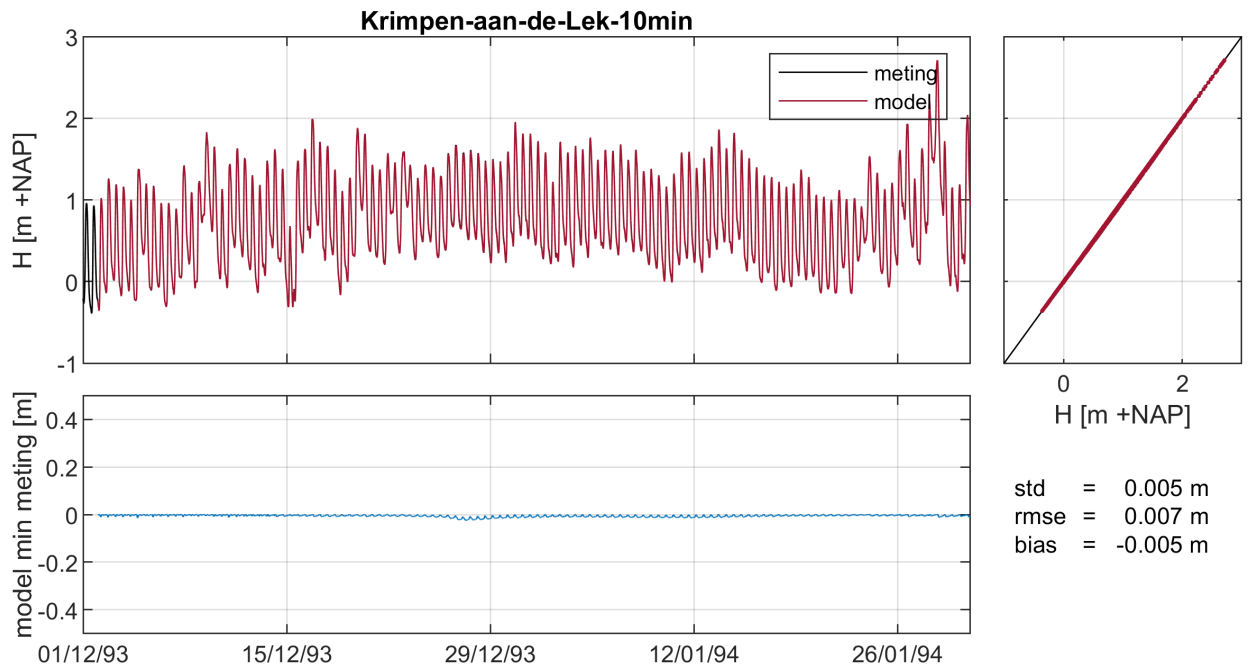


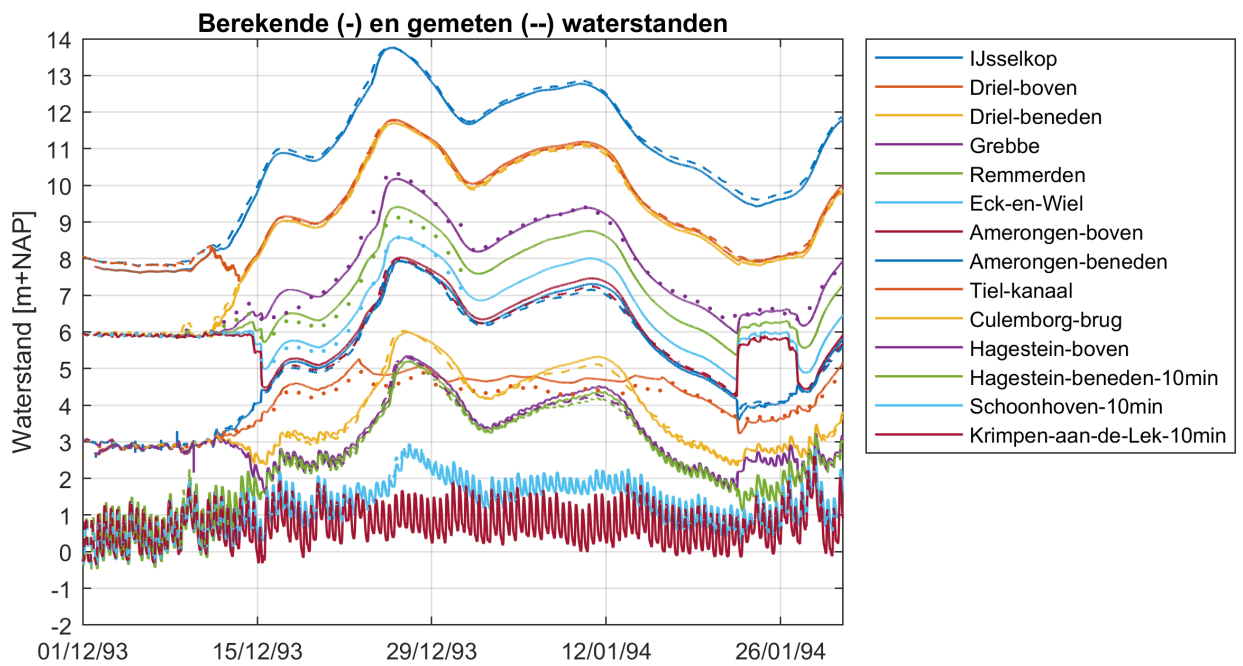
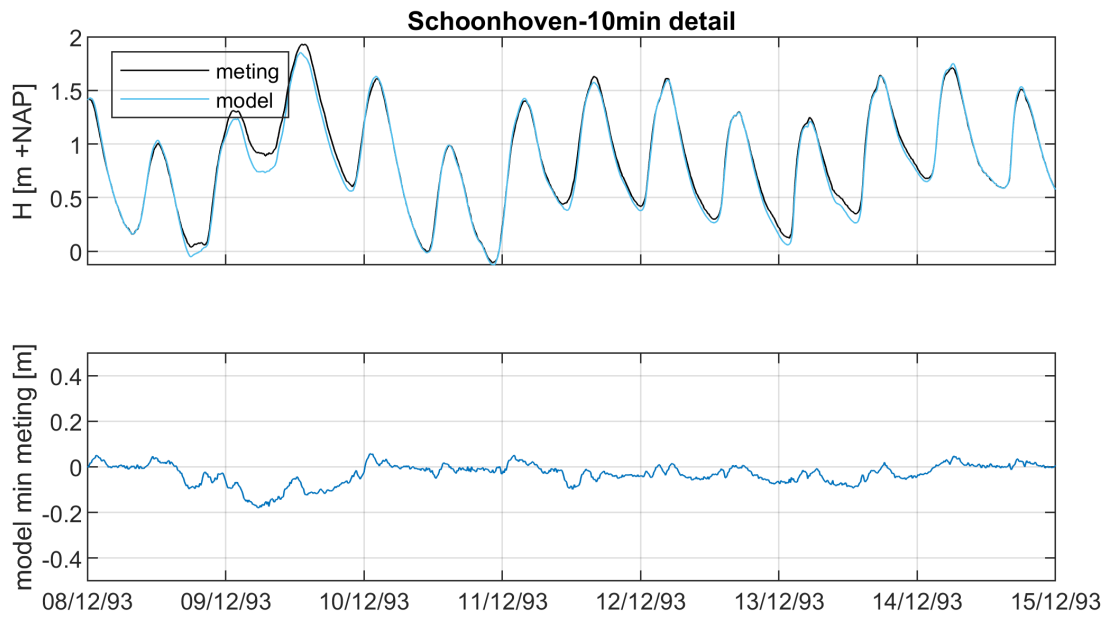




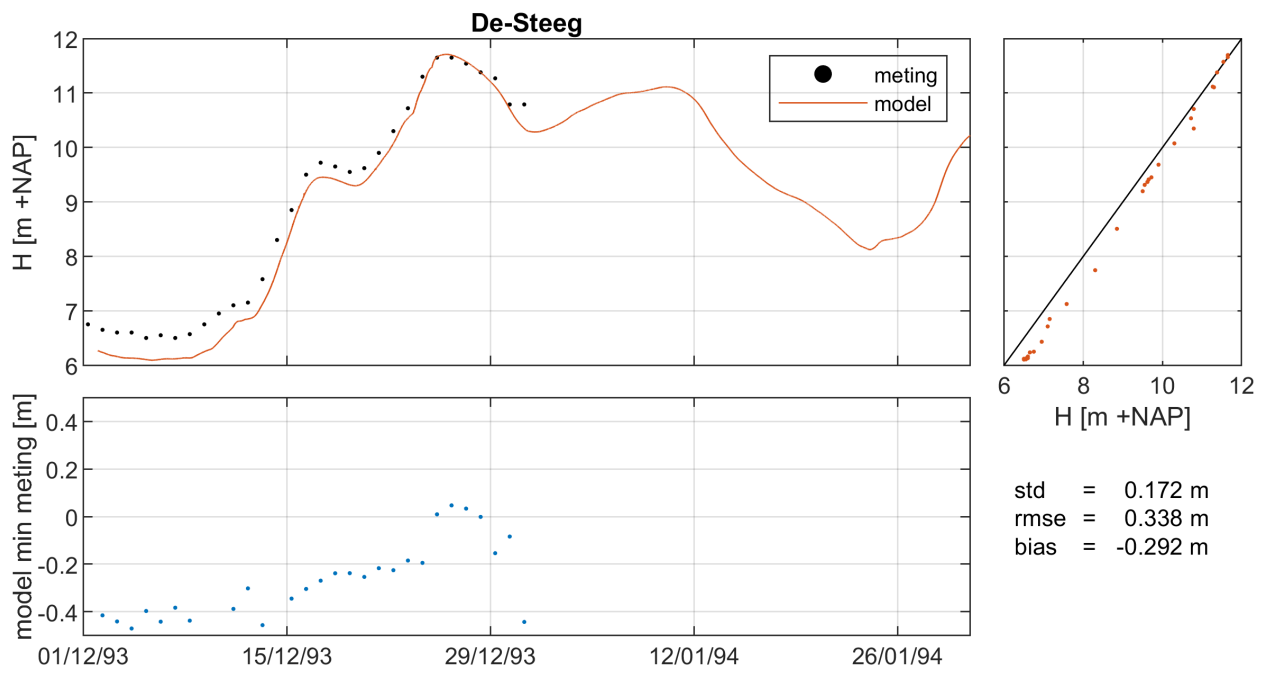
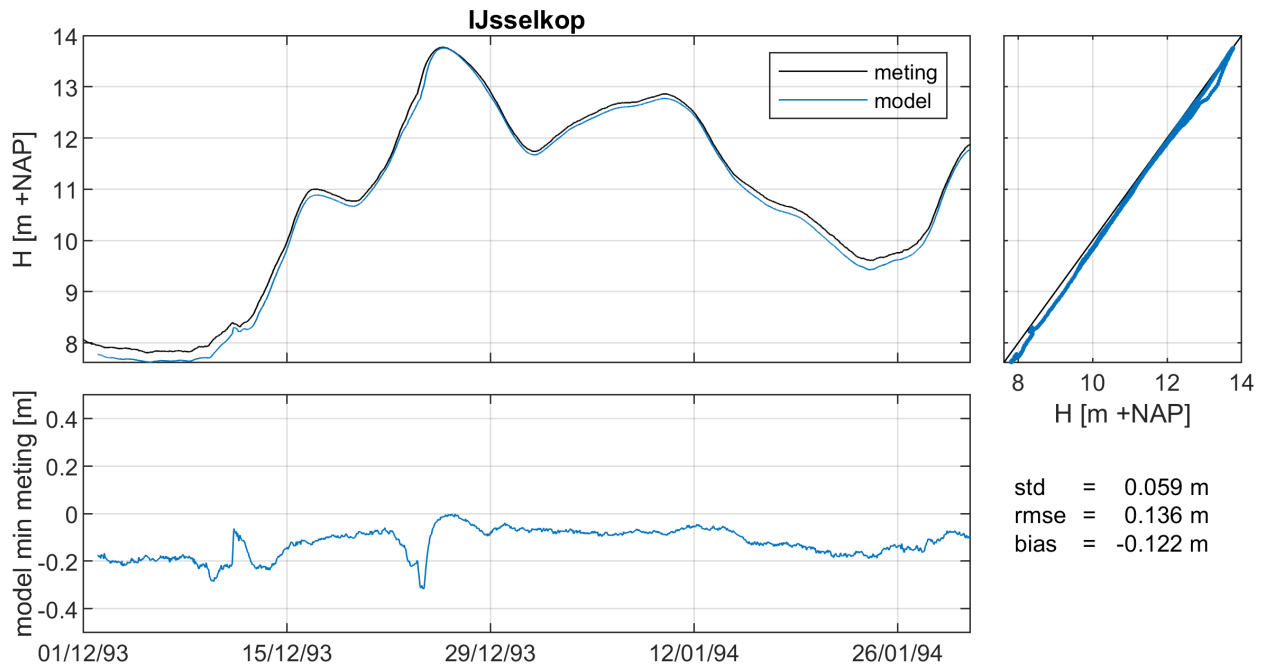


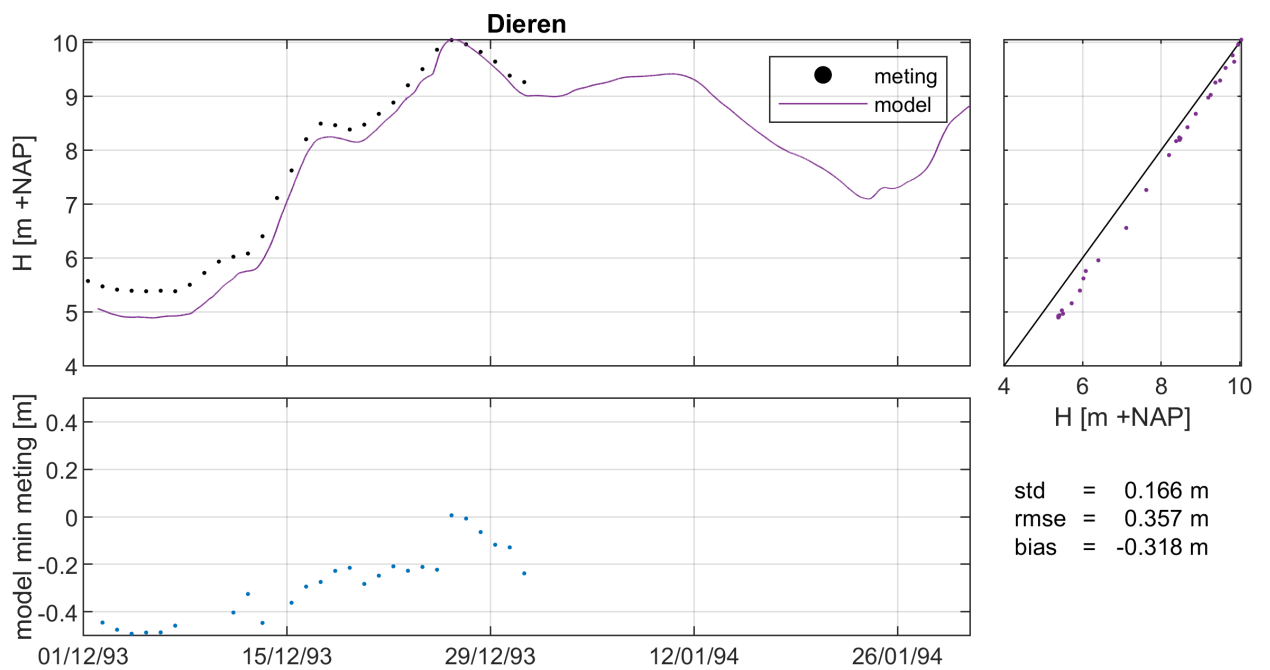
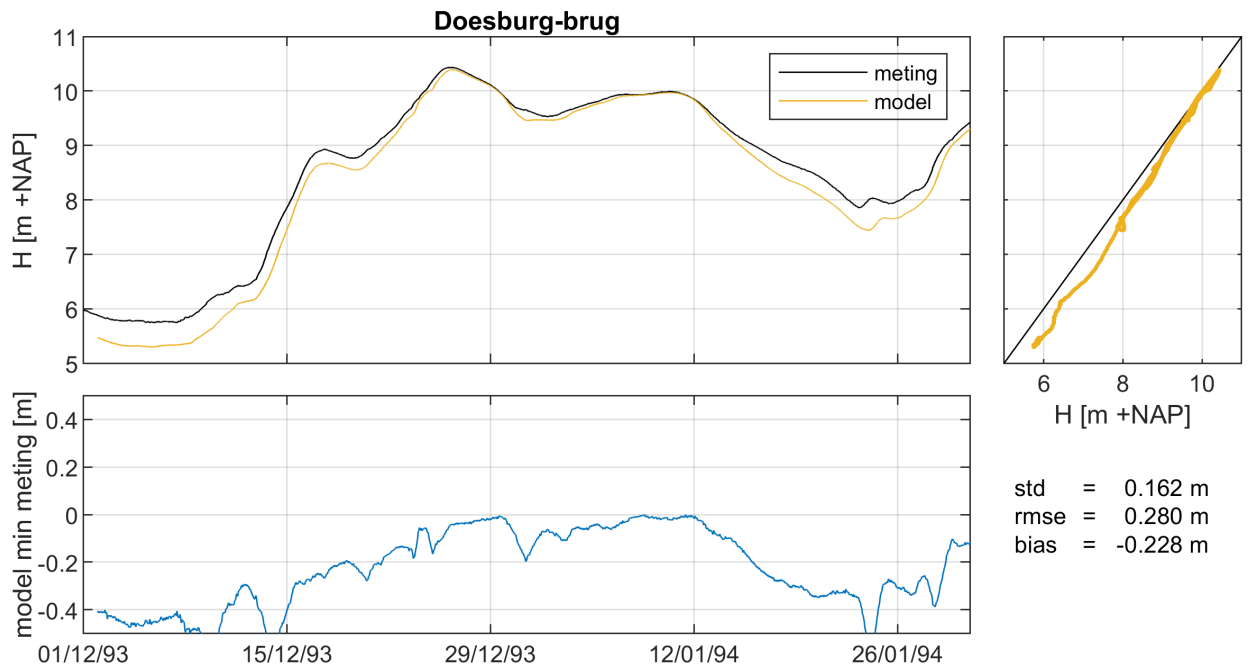


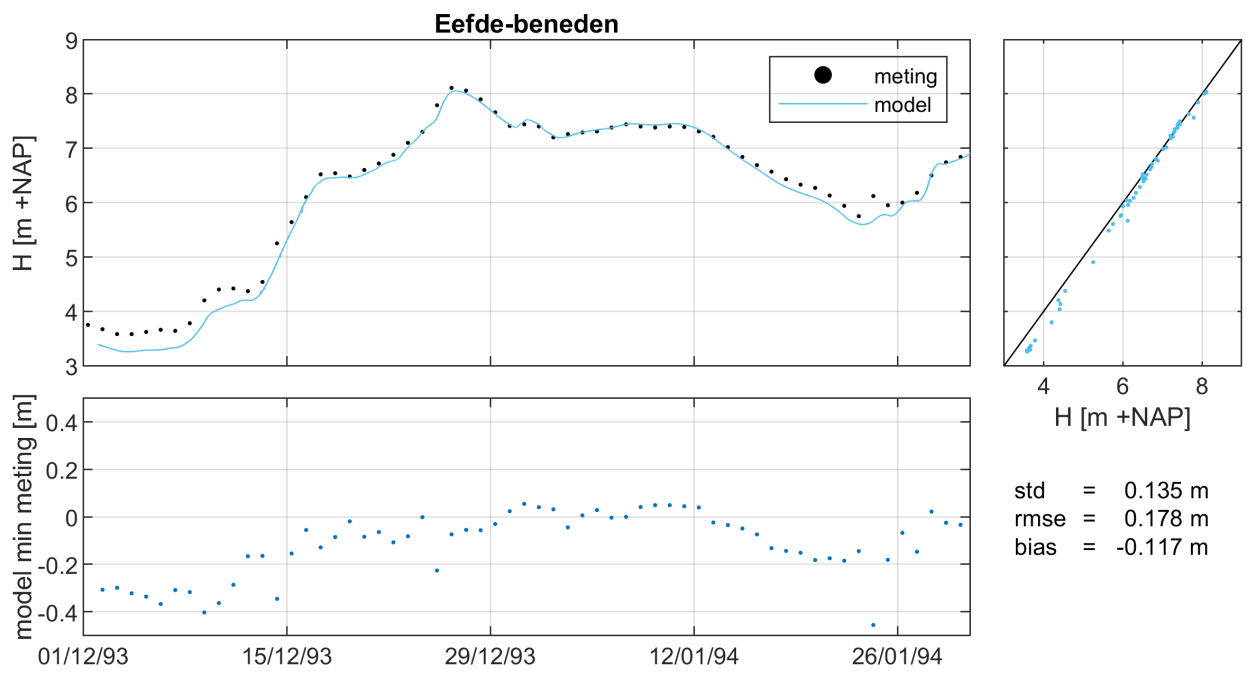
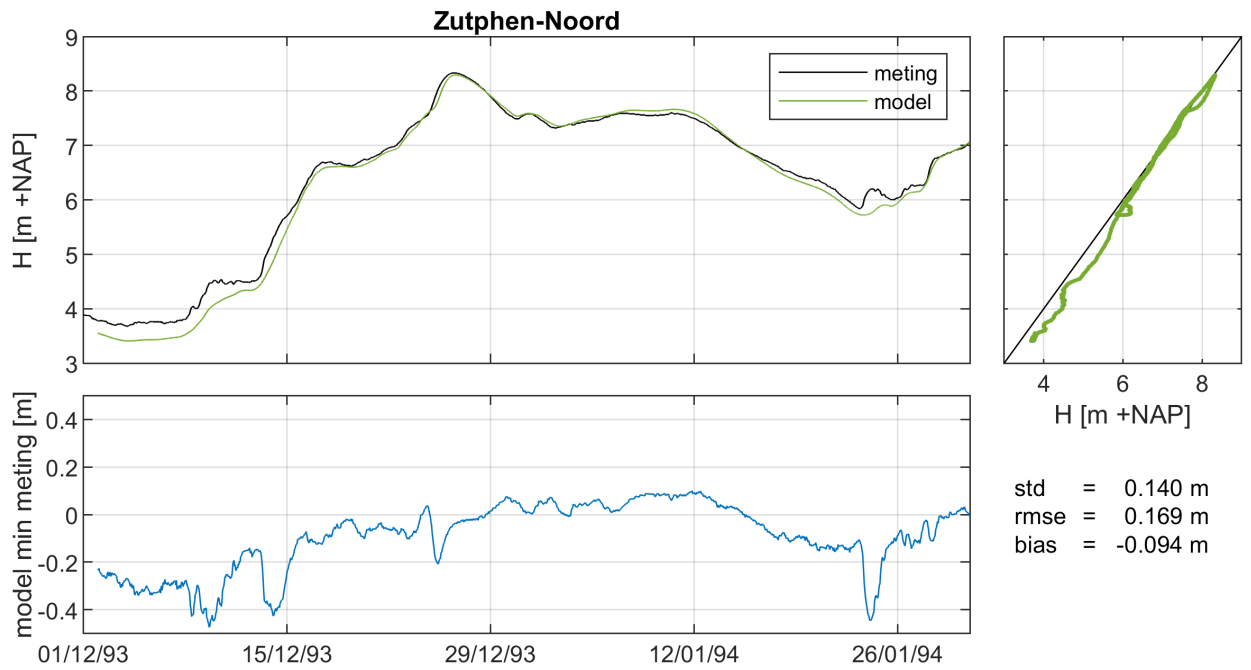




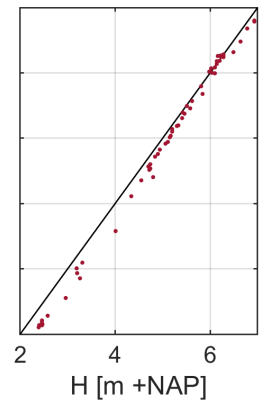
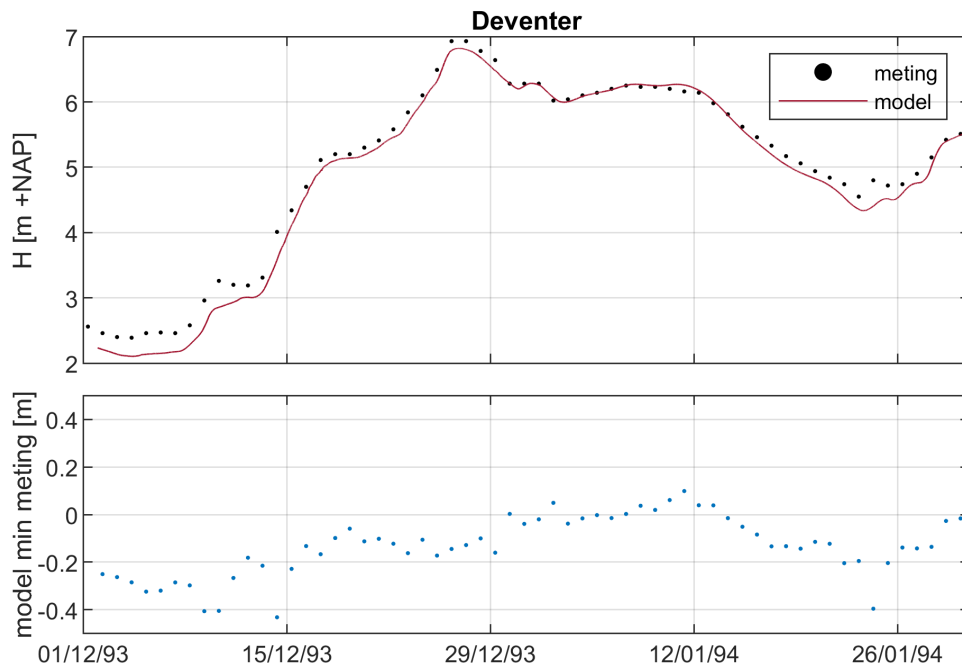
### IJssel



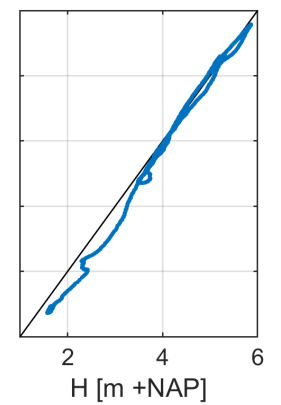
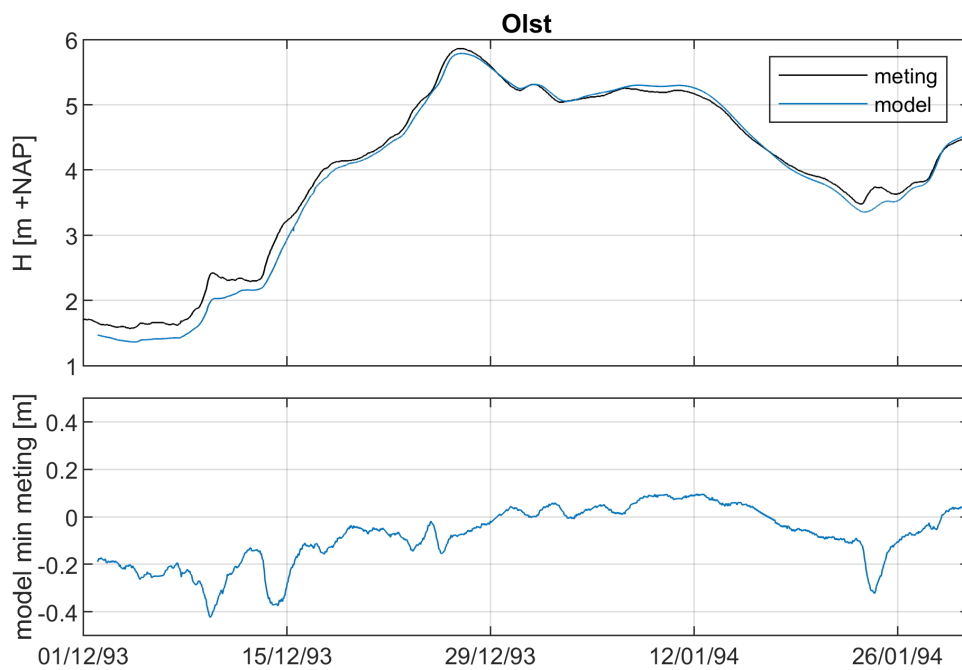




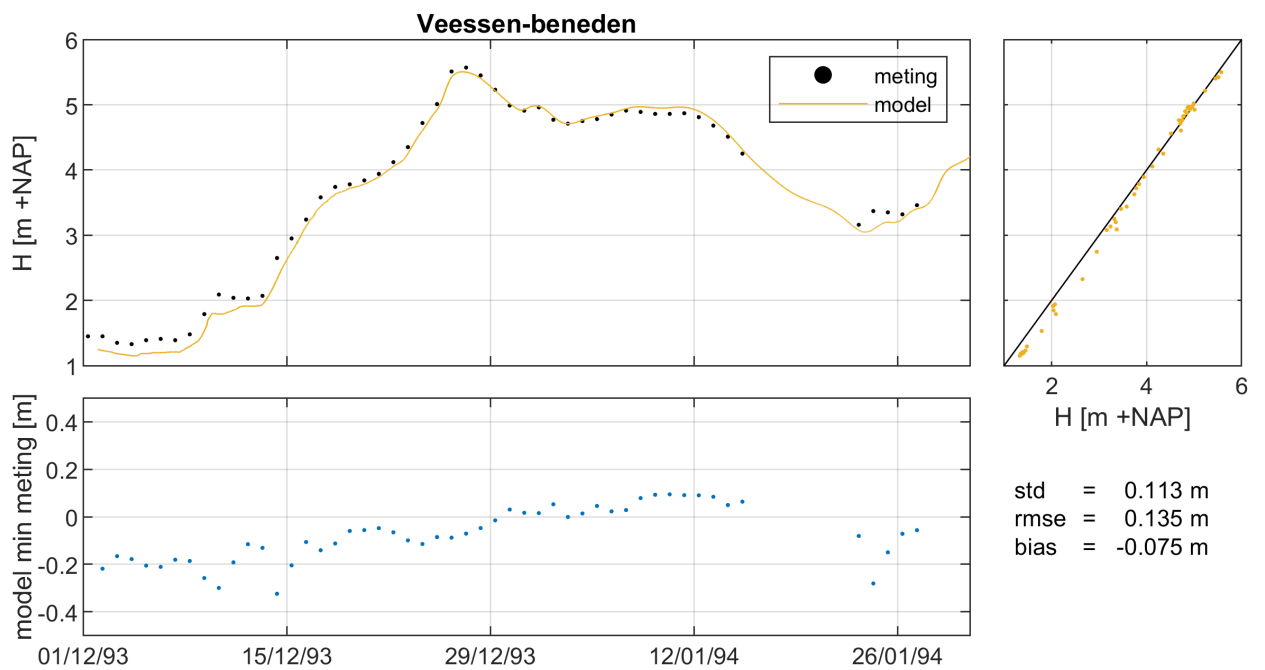
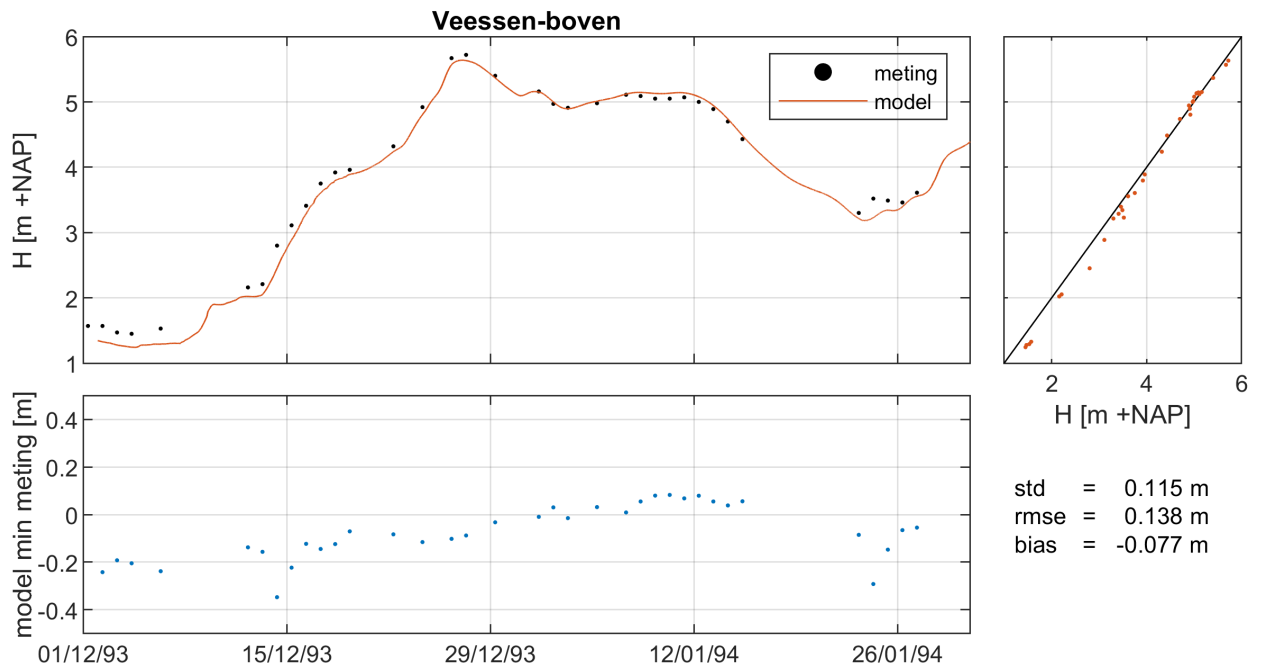


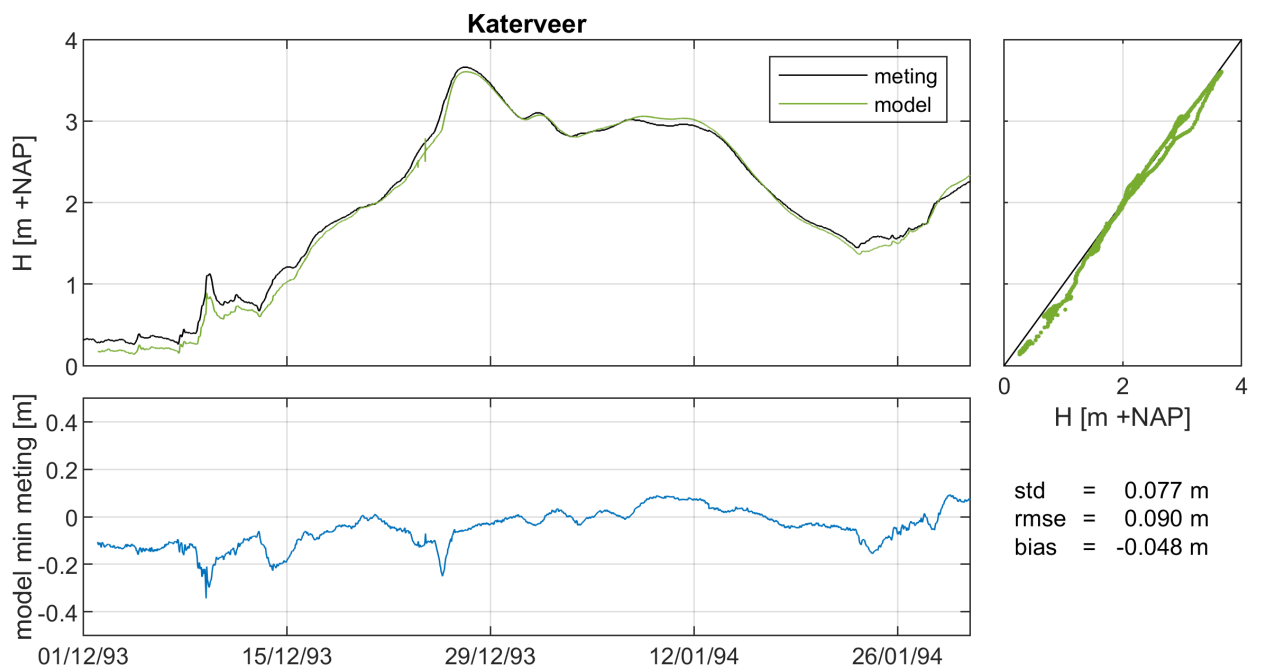
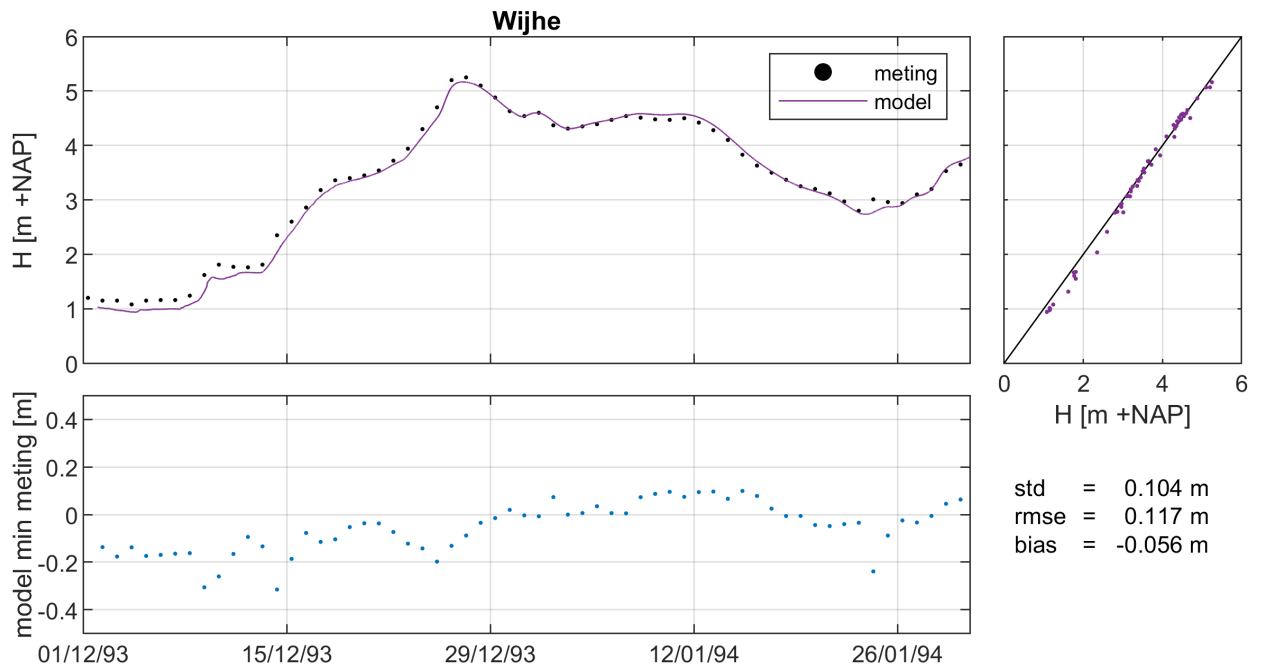


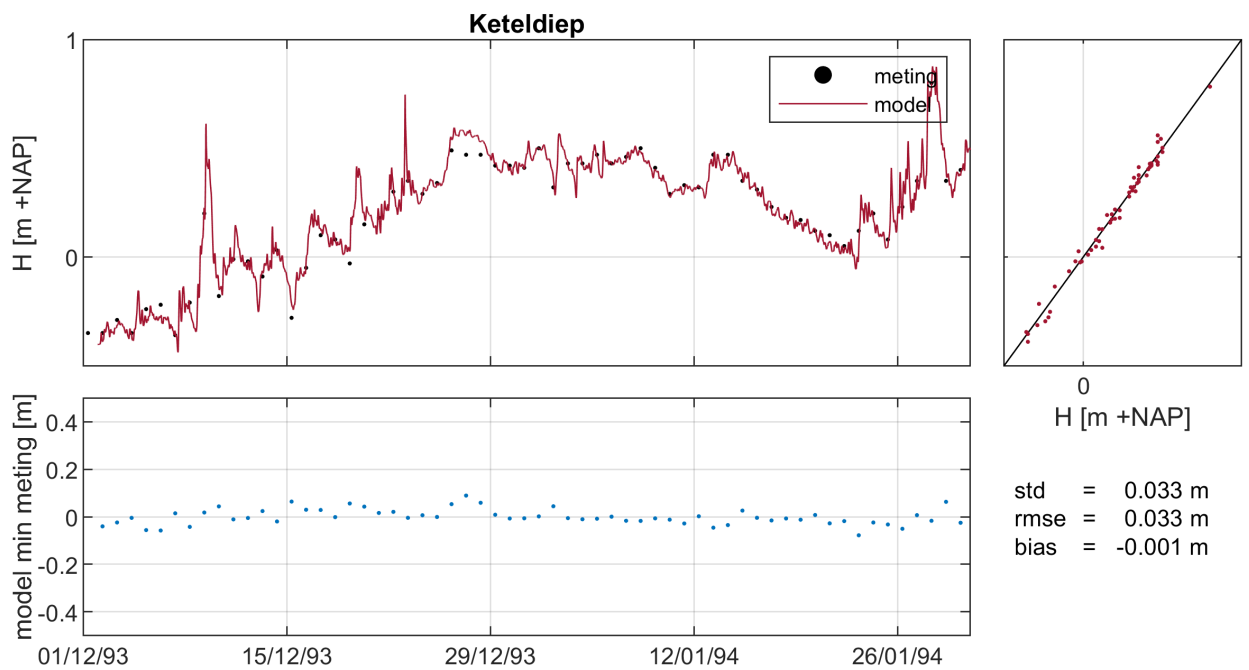
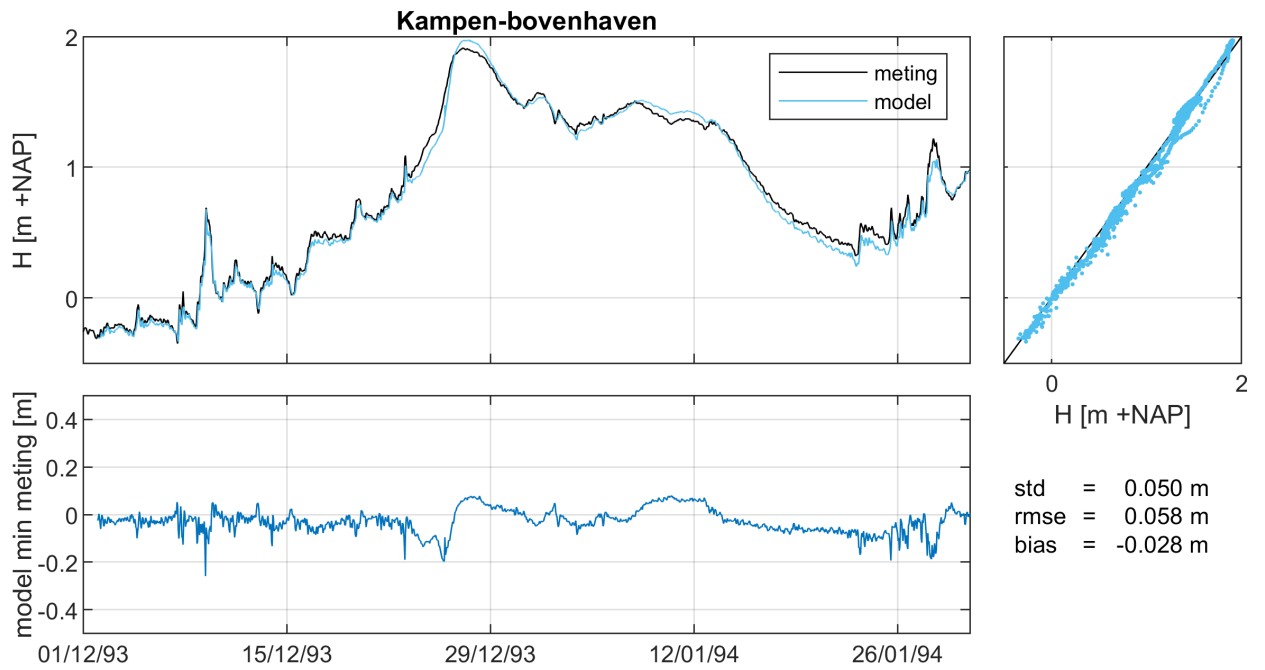
std = 0.126 m  
 rmse = 0.182 m  
 bias = -0.133 m

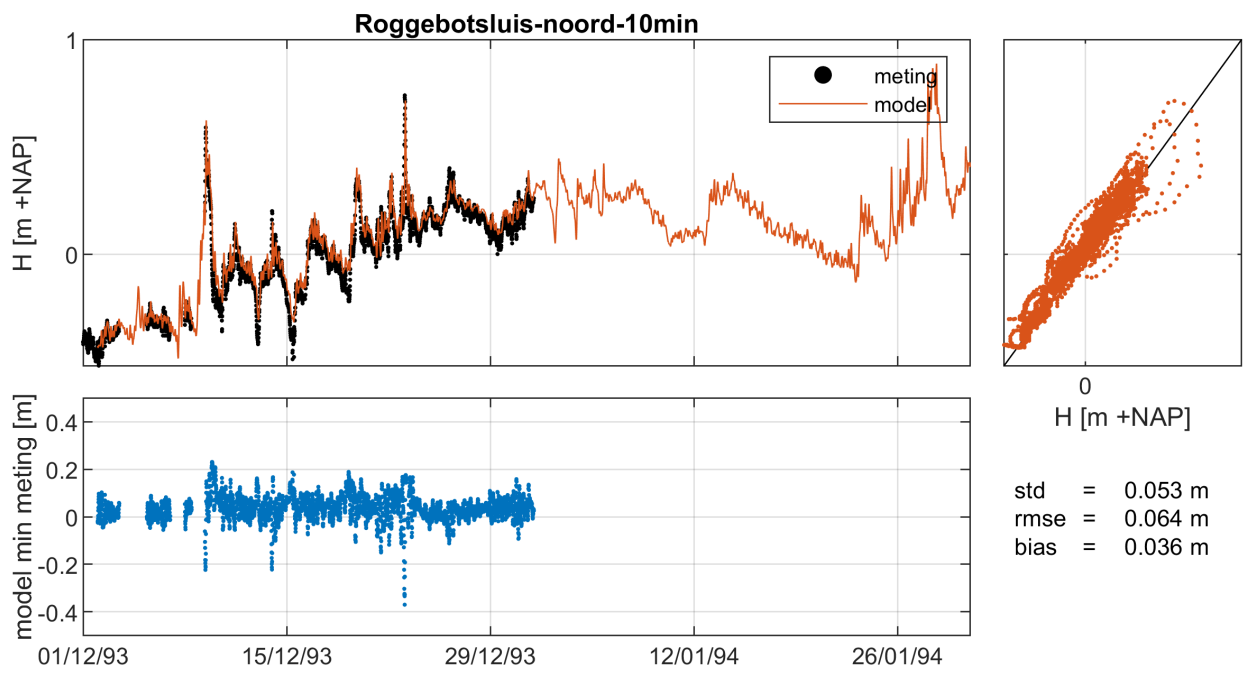
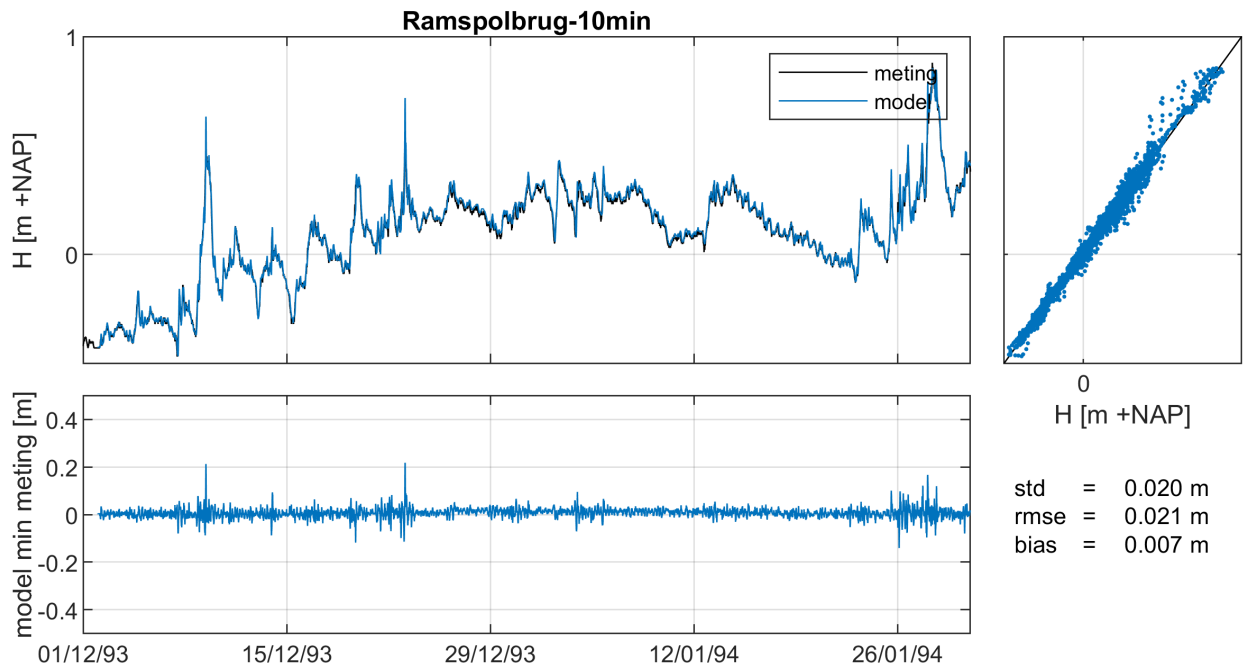


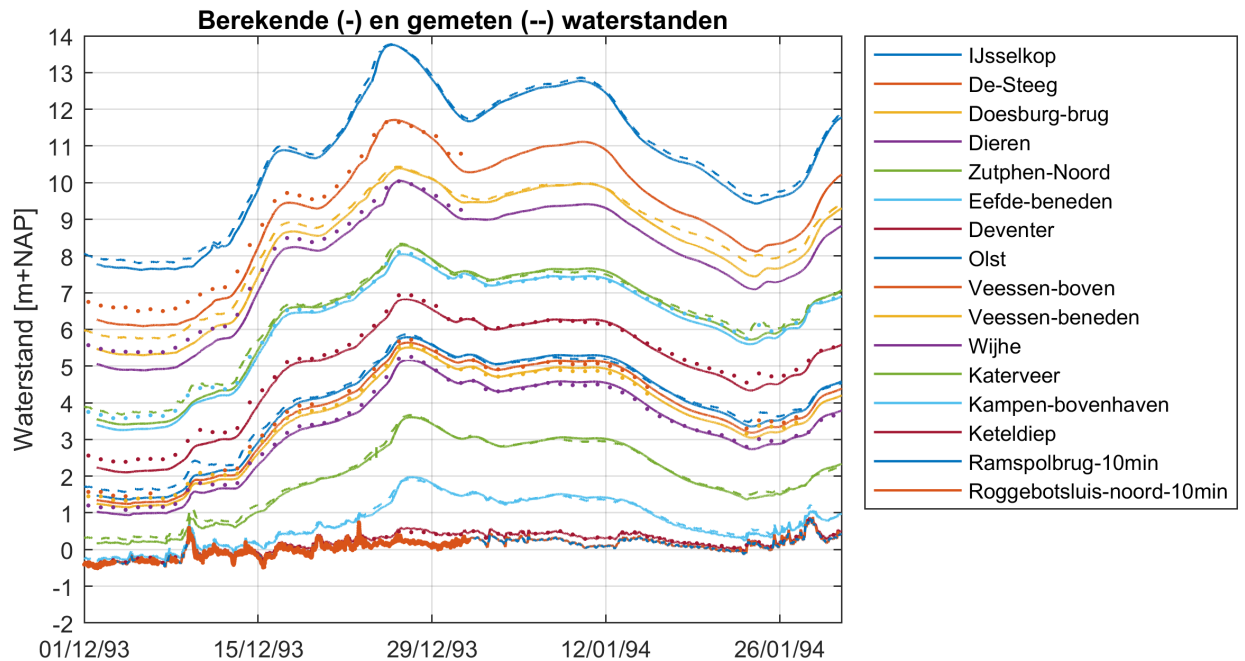
std = 0.120 m  
 rmse = 0.143 m  
 bias = -0.078 m











## I.1.2 Tabellen topstanden LMW

### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal

stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
Emmerich	17.57	25-Dec-1993 14:10:00	17.52	25-Dec-1993 09:00:00	0.05
Lobith	16.4	25-Dec-1993 15:00:00	16.39	25-Dec-1993 12:00:00	0.01
Pannerdense kop	15.57	25-Dec-1993 16:10:00	15.58	25-Dec-1993 15:00:00	-0.01
Groene rivier boven	15.6	25-Dec-1993 15:55:00	15.61	25-Dec-1993 14:00:00	-0.01
Groene rivier beneden	14.59	25-Dec-1993 17:15:00	14.59	25-Dec-1993 15:00:00	-0
Pannerden	14.54	25-Dec-1993 17:25:00	14.5	25-Dec-1993 08:00:00	0.04
IJsselkop	13.76	25-Dec-1993 19:05:00	13.77	25-Dec-1993 13:00:00	-0.01

### Waal

stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
Pannerdense kop	15.57	25-Dec-1993 16:10:00	15.58	25-Dec-1993 15:00:00	-0.01
Erlecom boven	14.86	25-Dec-1993 17:25:00	12.16	21-Dec-1993 08:00:00	2.7
Erlecom beneden	14.5	25-Dec-1993 17:45:00	11.83	21-Dec-1993 08:00:00	2.67
Nijmegen haven	13.27	25-Dec-1993 19:45:00	13.35	25-Dec-1993 16:00:00	-0.08
Tiel Waal	9.99	26-Dec-1993 01:10:00	10.06	25-Dec-1993 22:00:00	-0.07
Sint-Andries Waal	8.37	26-Dec-1993 02:20:00	8.52	26-Dec-1993 08:00:00	-0.15
Zaltbommel	7.21	26-Dec-1993 08:45:00	7.24	25-Dec-1993 21:40:00	-0.03
Vuren	4.59	26-Dec-1993 07:50:00	4.57	26-Dec-1993 06:20:00	0.02
Hardinxveld	2.96	26-Dec-1993 18:20:00	2.95	26-Dec-1993 17:30:00	0.01

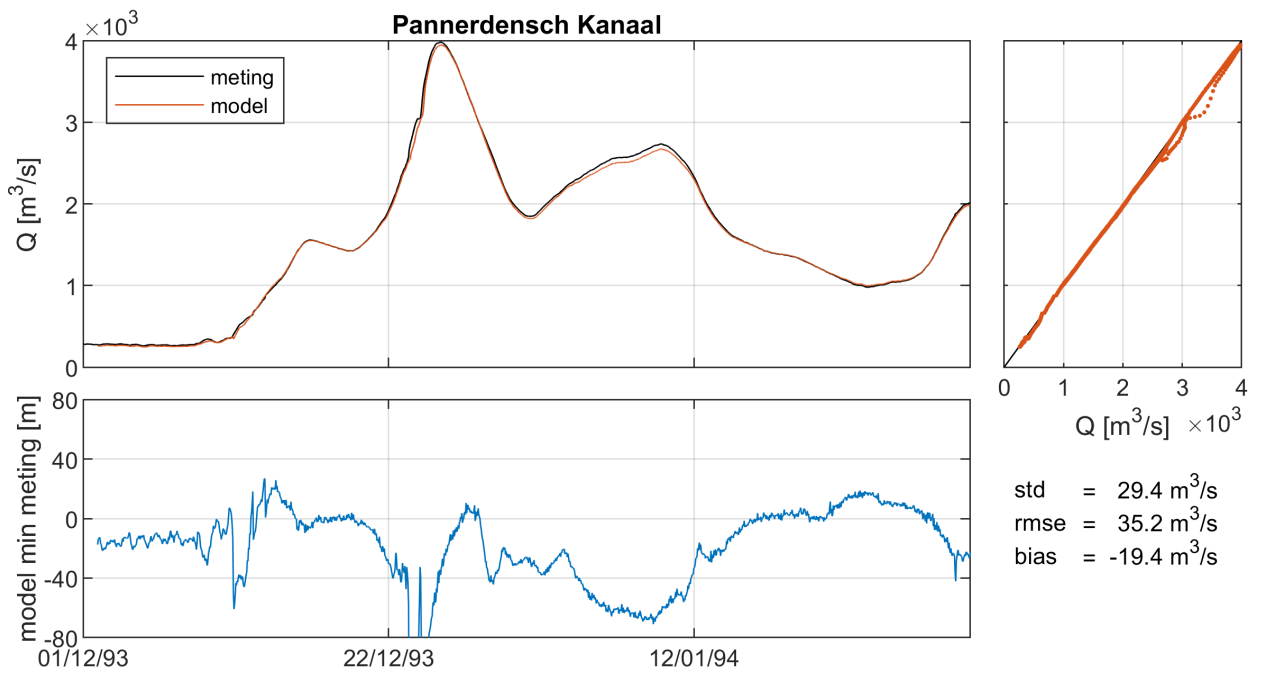
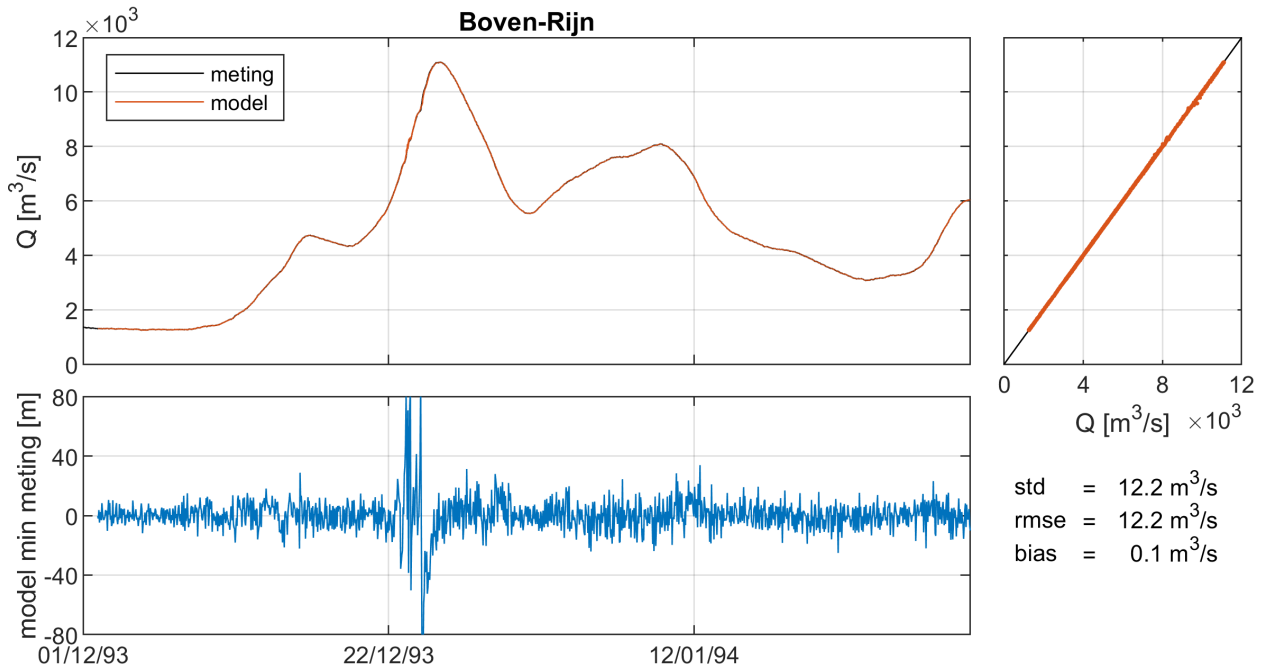
### Neder-Rijn - Lek

stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
IJsselkop	13.76	25-Dec-1993 19:05:00	13.77	25-Dec-1993 13:00:00	-0.01
Driel boven	11.79	25-Dec-1993 23:50:00	11.78	25-Dec-1993 22:00:00	0.01
Driel beneden	11.69	26-Dec-1993 01:55:00	11.7	25-Dec-1993 20:00:00	-0.01
Grebbe	10.18	26-Dec-1993 04:55:00	10.31	26-Dec-1993 08:00:00	-0.13
Remmerden	9.41	26-Dec-1993 06:50:00	9.12	26-Dec-1993 08:00:00	0.29
Eck en Wiel	8.58	26-Dec-1993 09:05:00	8.58	26-Dec-1993 08:00:00	-0
Amerongen boven	8.03	26-Dec-1993 11:20:00	7.98	26-Dec-1993 06:00:00	0.05
Amerongen beneden	7.93	26-Dec-1993 11:35:00	7.93	26-Dec-1993 09:00:00	0
Tiel kanaal	5.27	23-Dec-1993 04:05:00	4.91	23-Dec-1993 08:00:00	0.36
Culemborg brug	5.99	27-Dec-1993	6.02	26-Dec-1993 15:00:00	-0.03
Hagestein boven	5.34	27-Dec-1993 00:05:00	5.31	26-Dec-1993 19:00:00	0.03
Hagestein beneden	5.19	27-Dec-1993 07:25:00	5.23	26-Dec-1993 18:40:00	-0.04
Schoonhoven	2.85	27-Dec-1993 05:35:00	2.95	27-Dec-1993 04:50:00	-0.1
Krimpen aan de Lek	1.95	30-Dec-1993 17:00:00	1.95	30-Dec-1993 17:00:00	-0

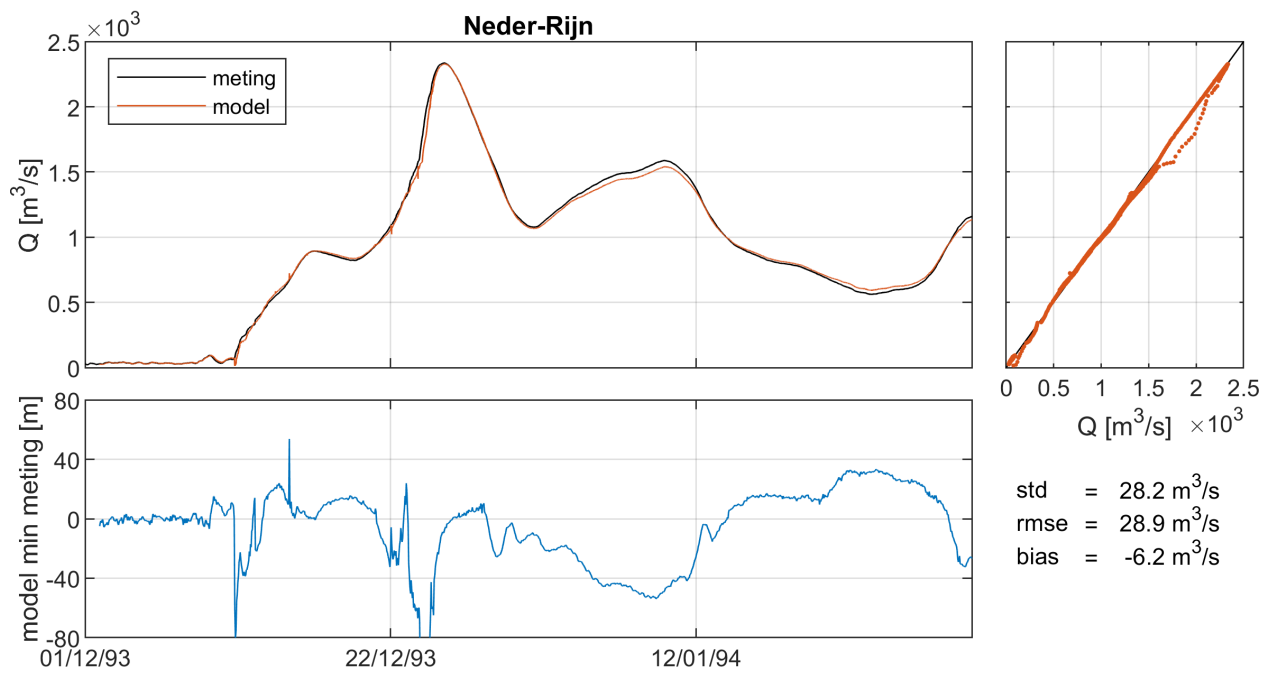
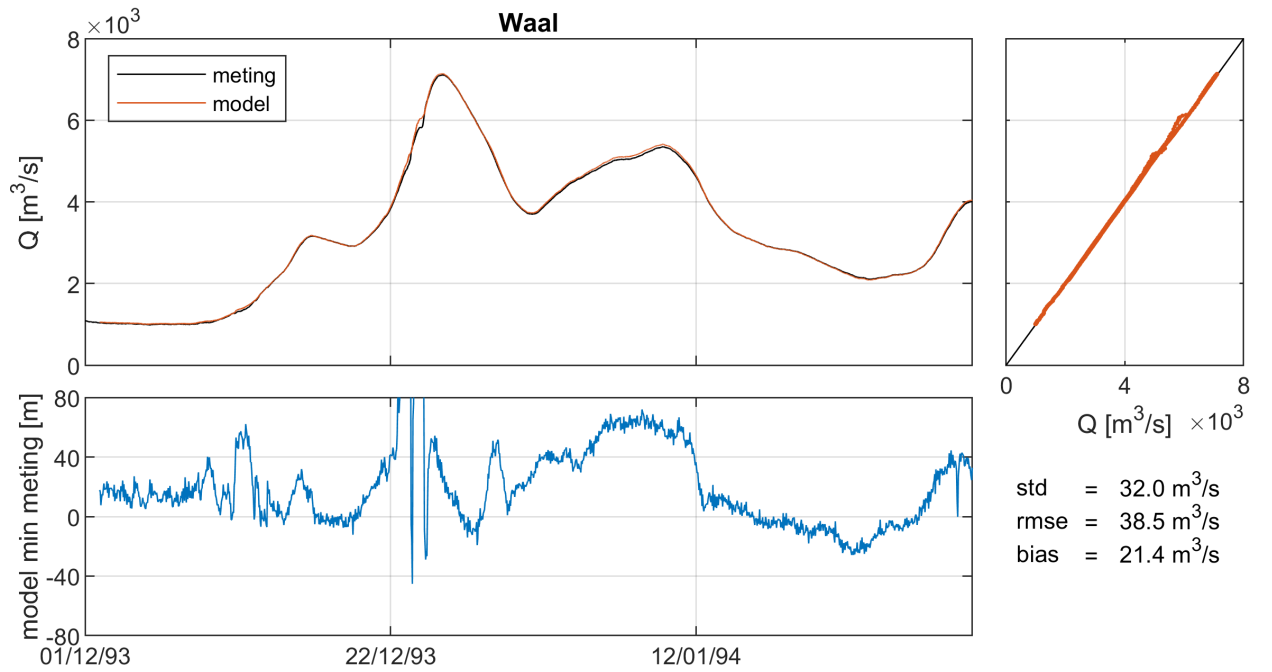
### IJssel

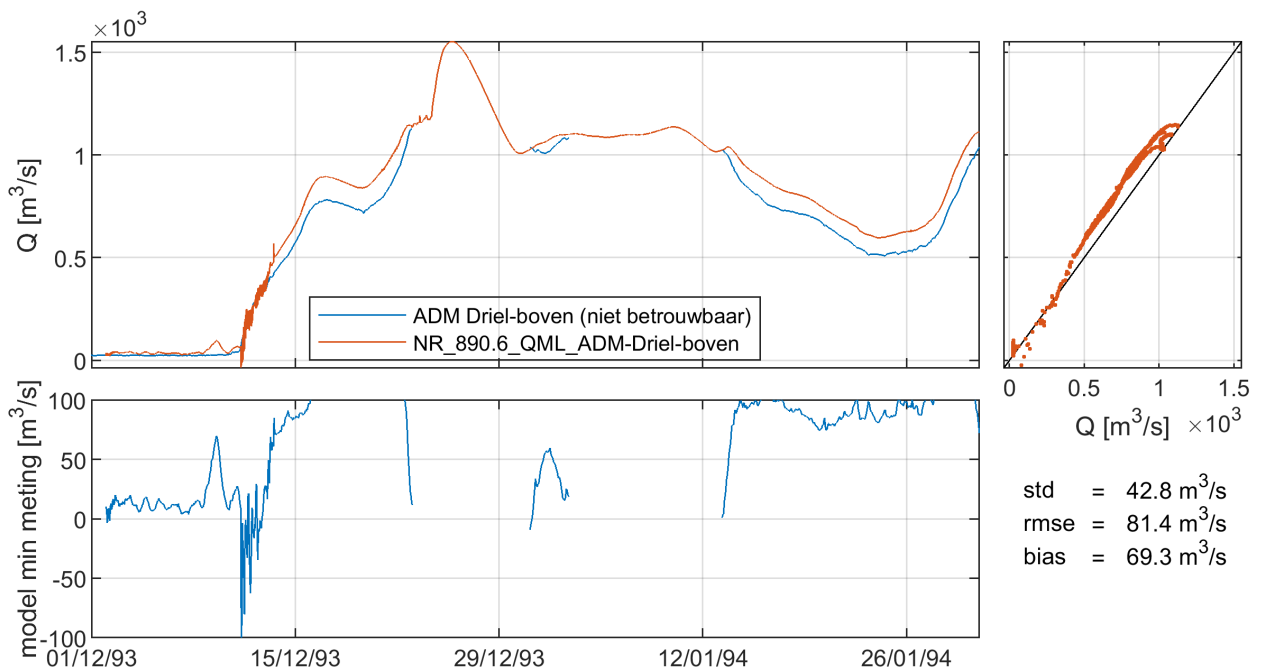
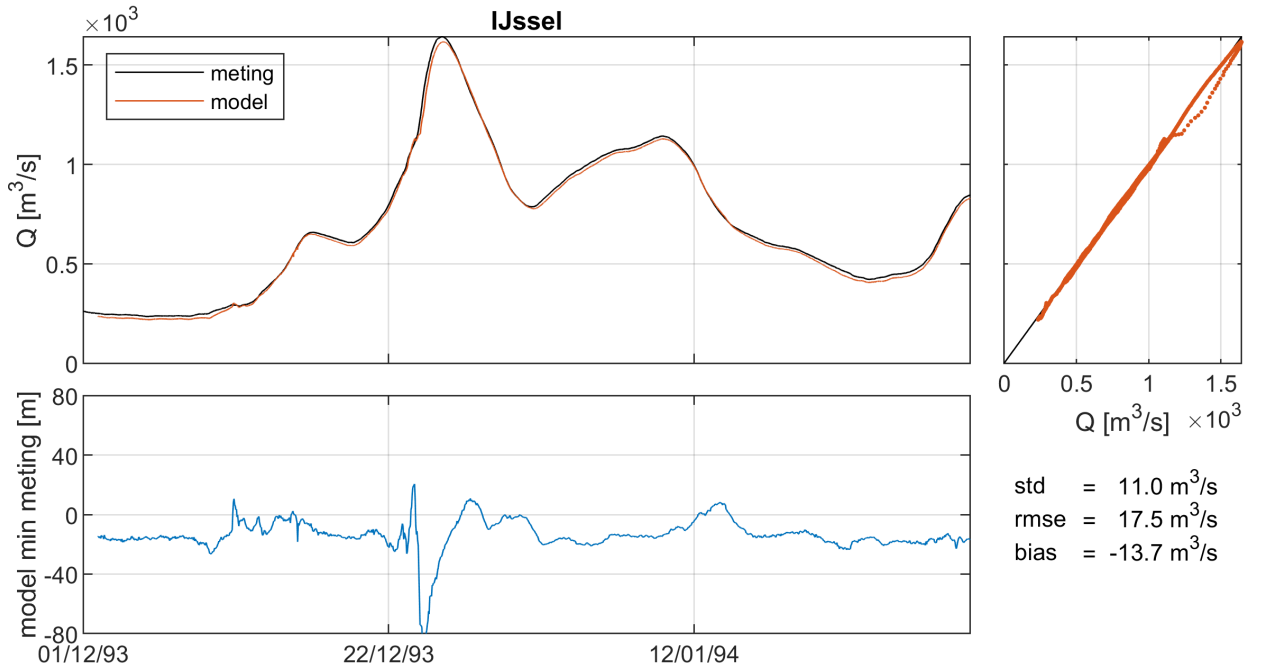
stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
IJsselkop	13.76	25-Dec-1993 19:05:00	13.77	25-Dec-1993 13:00:00	-0.01
De Steeg haven	11.71	26-Dec-1993 00:05:00	11.65	25-Dec-1993 08:00:00	0.06
Doesburg brug	10.39	26-Dec-1993 09:10:00	10.43	26-Dec-1993 01:00:00	-0.04
Dieren	10.05	26-Dec-1993 10:55:00	10.04	26-Dec-1993 08:00:00	0.01
Zutphen noord	8.29	26-Dec-1993 14:50:00	8.33	26-Dec-1993 08:00:00	-0.04
Eefde beneden	8.05	26-Dec-1993 14:55:00	8.11	26-Dec-1993 08:00:00	-0.06
Deventer	6.82	26-Dec-1993 19:05:00	6.93	26-Dec-1993 08:00:00	-0.11
Olst	5.79	27-Dec-1993 01:55:00	5.86	26-Dec-1993 17:00:00	-0.07
Veessen boven	5.64	27-Dec-1993 02:15:00	5.72	27-Dec-1993 08:00:00	-0.08
Veessen beneden	5.51	27-Dec-1993 02:25:00	5.57	27-Dec-1993 08:00:00	-0.06
Wijhe	5.17	27-Dec-1993 02:55:00	5.25	27-Dec-1993 08:00:00	-0.08
Katerveer	3.6	27-Dec-1993 07:40:00	3.66	27-Dec-1993 02:00:00	-0.06
Kampen bovenhaven	1.97	27-Dec-1993 14:30:00	1.91	27-Dec-1993 01:00:00	0.06
Keteldiep	0.75	23-Dec-1993 03:20:00	0.49	26-Dec-1993 08:00:00	0.26
Ramspolbrug	0.72	23-Dec-1993 03:20:00	0.5	23-Dec-1993 02:50:00	0.22
Roggebotsluis noord	0.72	23-Dec-1993 03:55:00	0.74	23-Dec-1993 02:50:00	-0.02

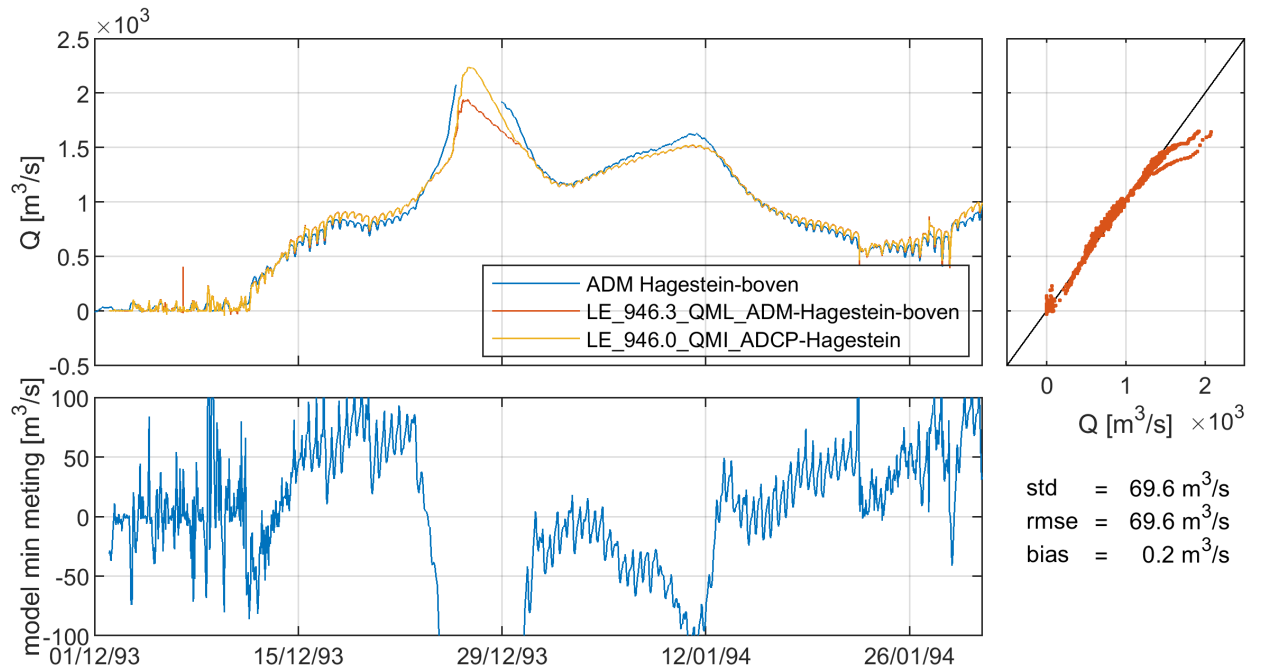
### I.1.3 Afvoeren



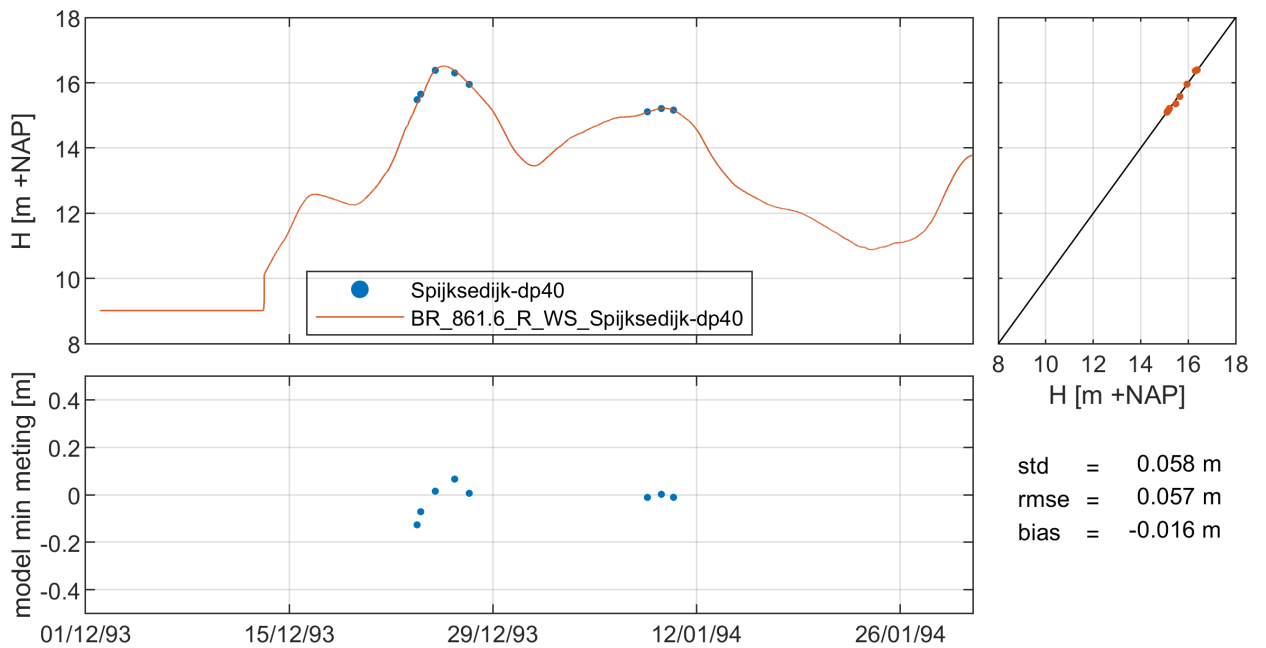


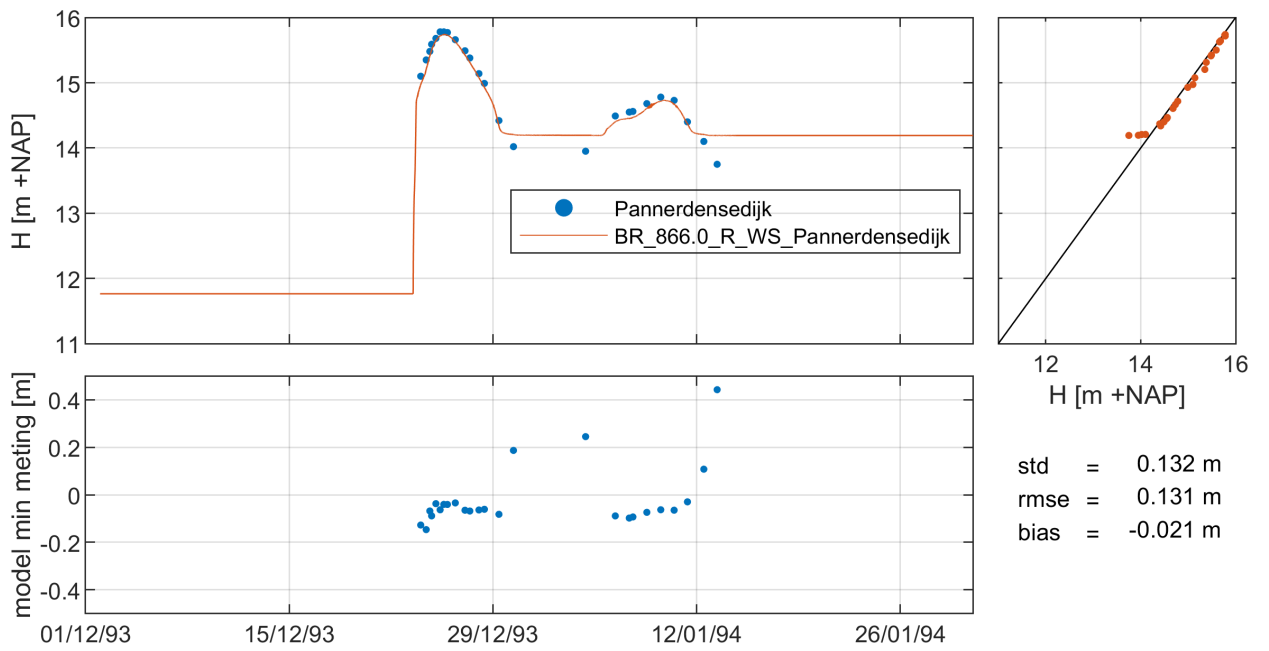
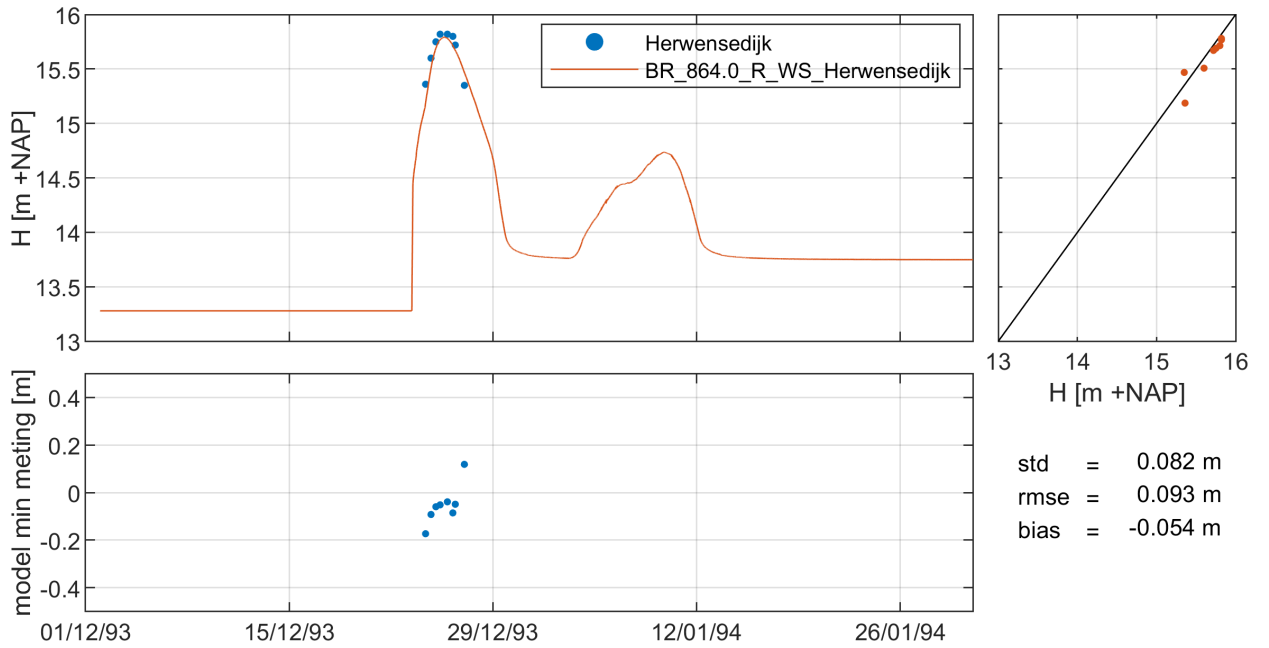


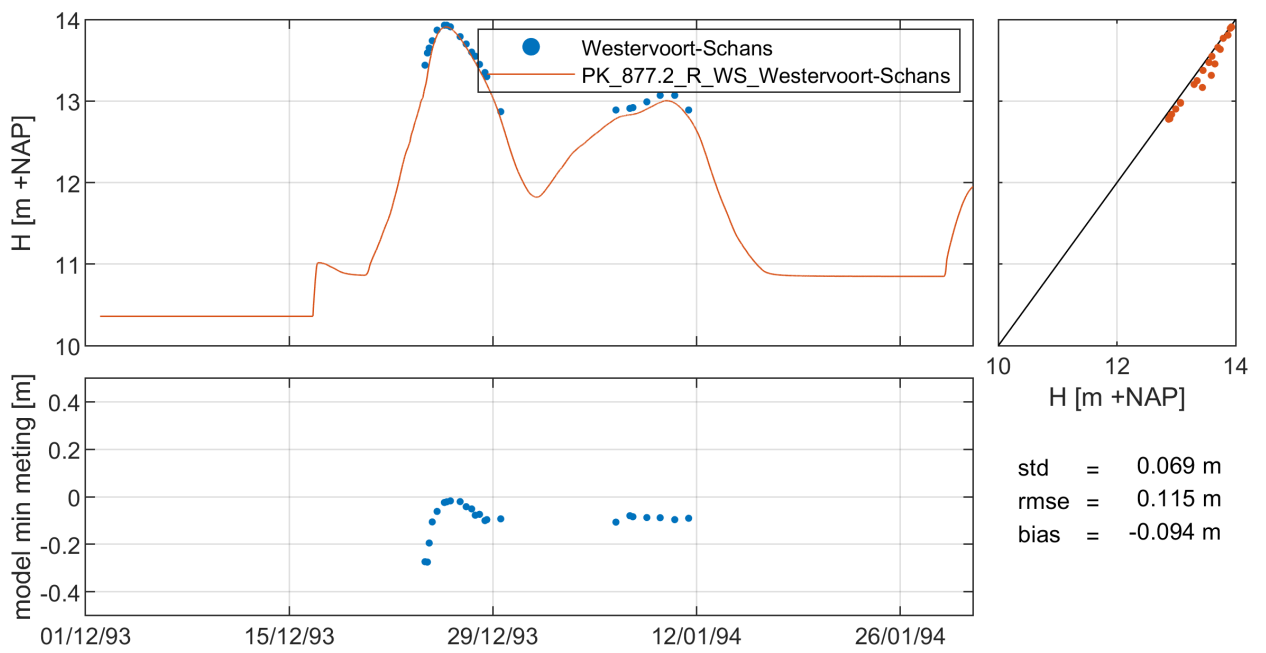
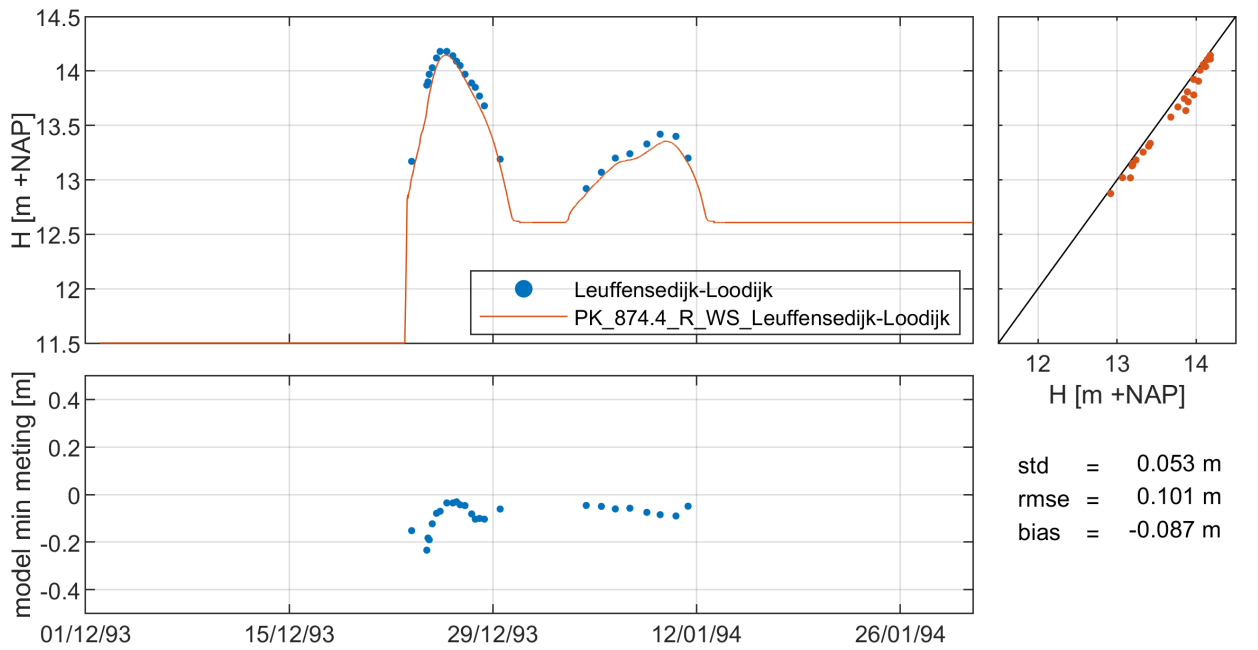


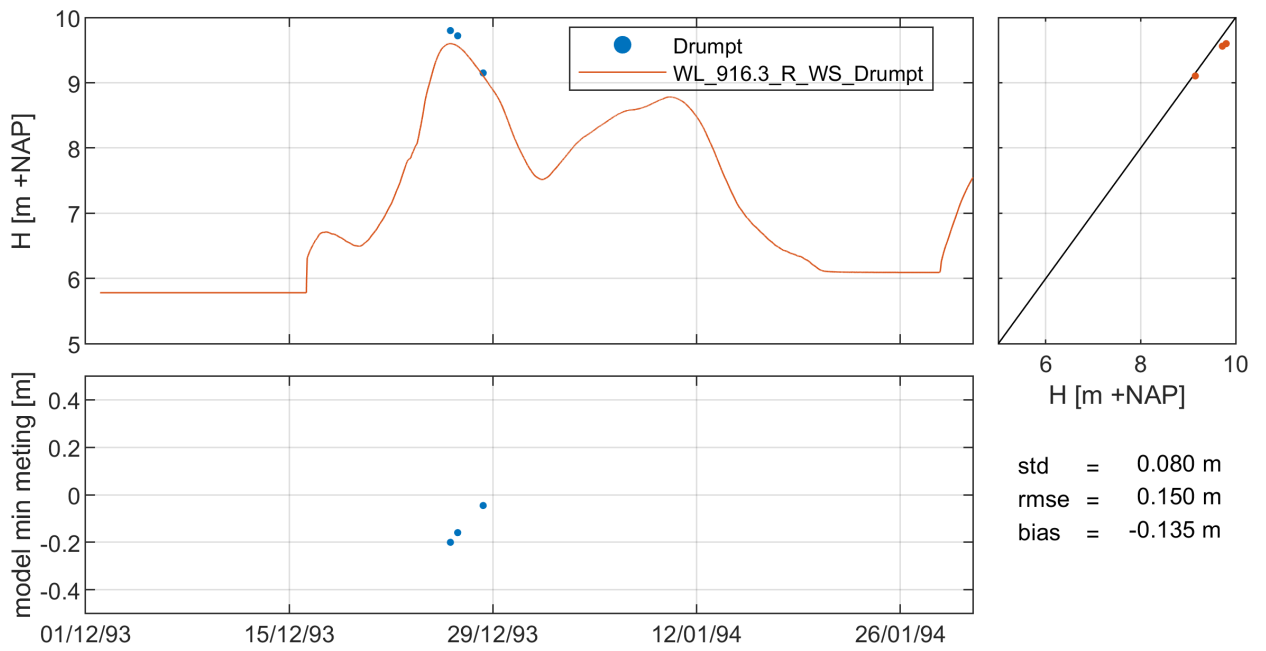
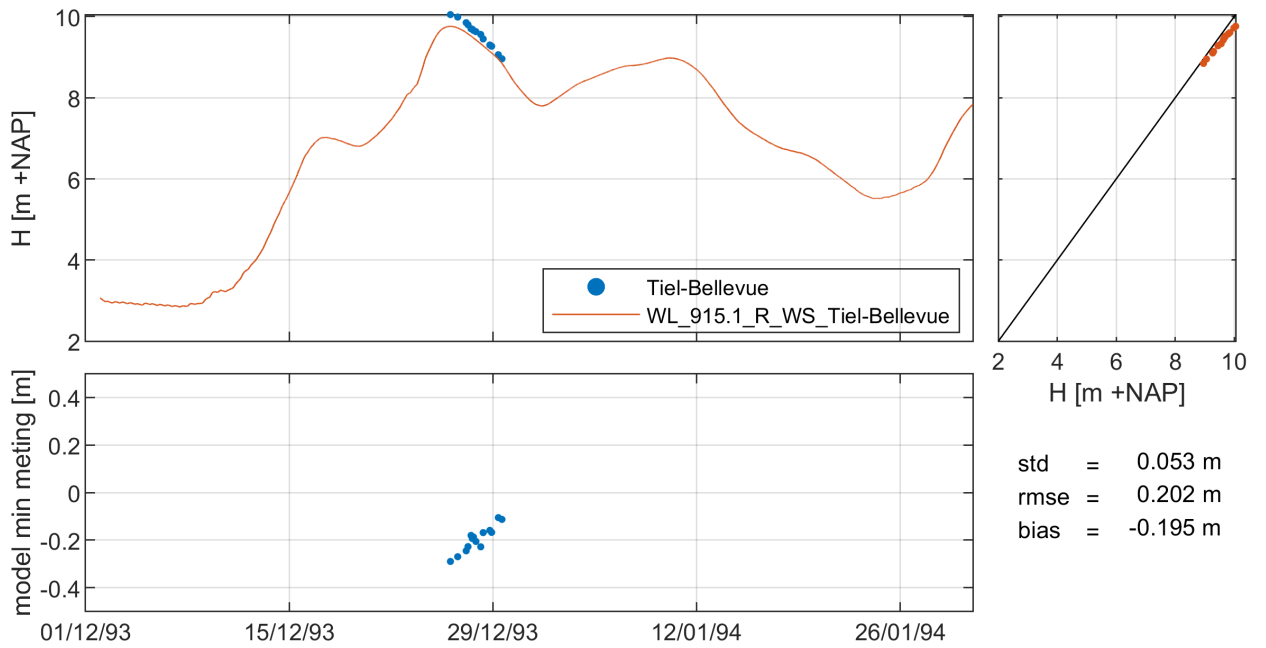


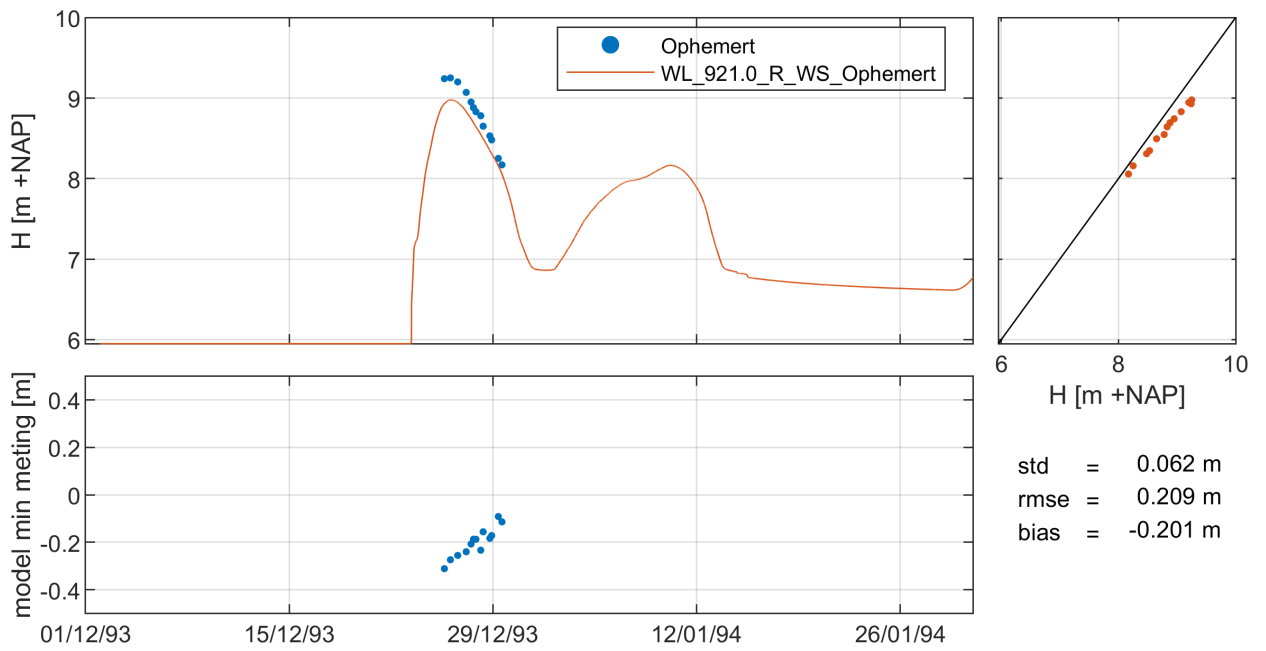
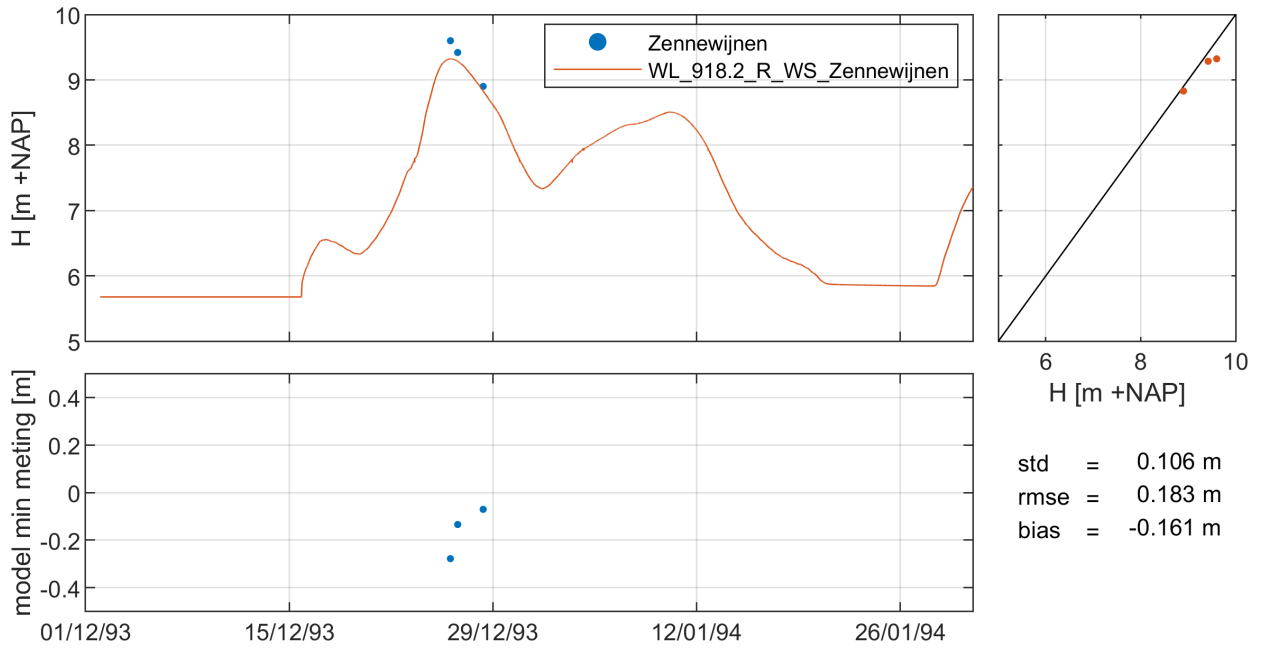
#### I.1.4 Peilschalen

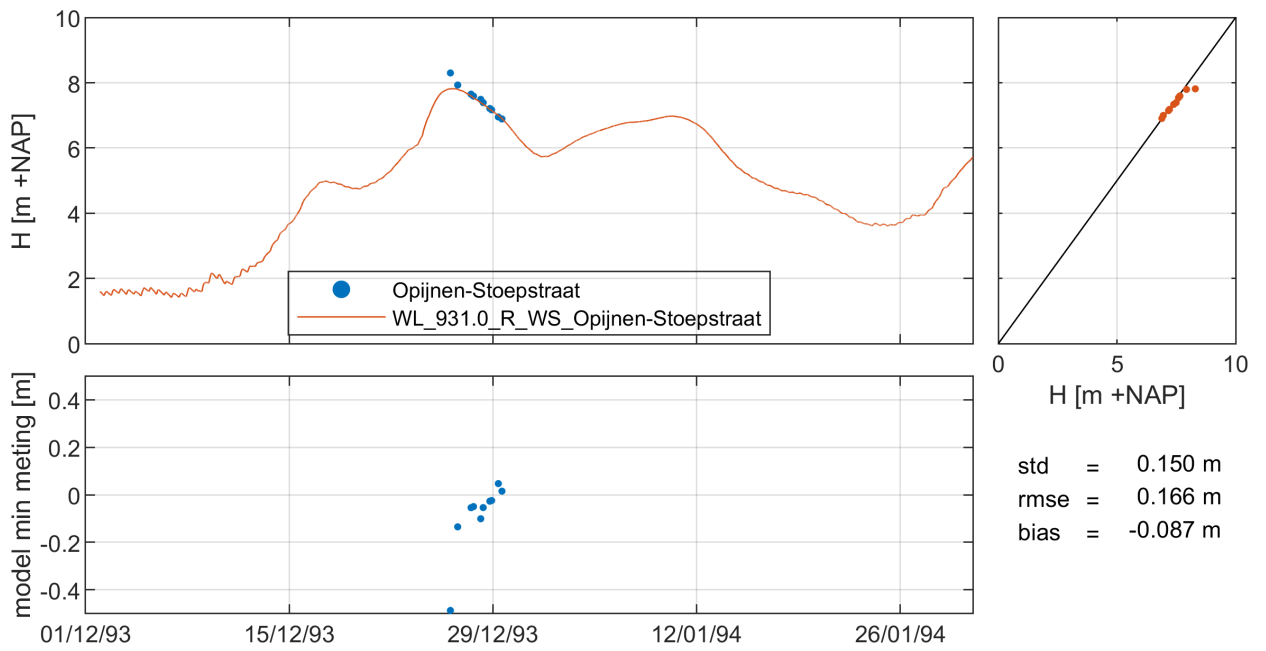
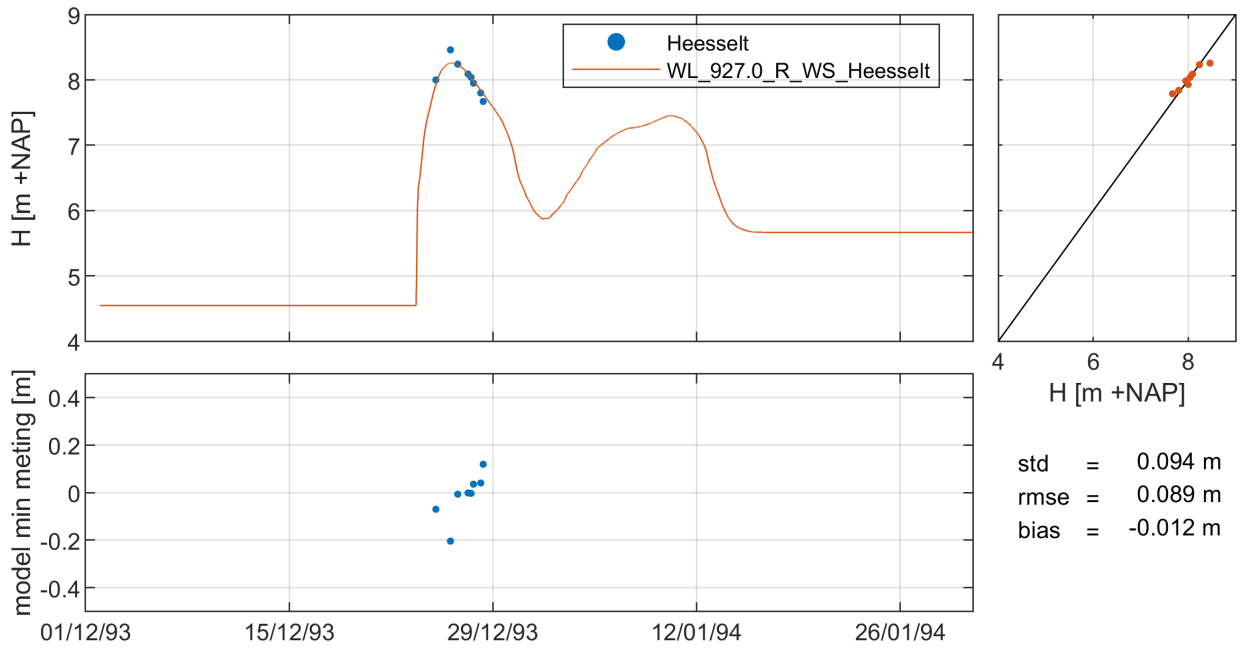




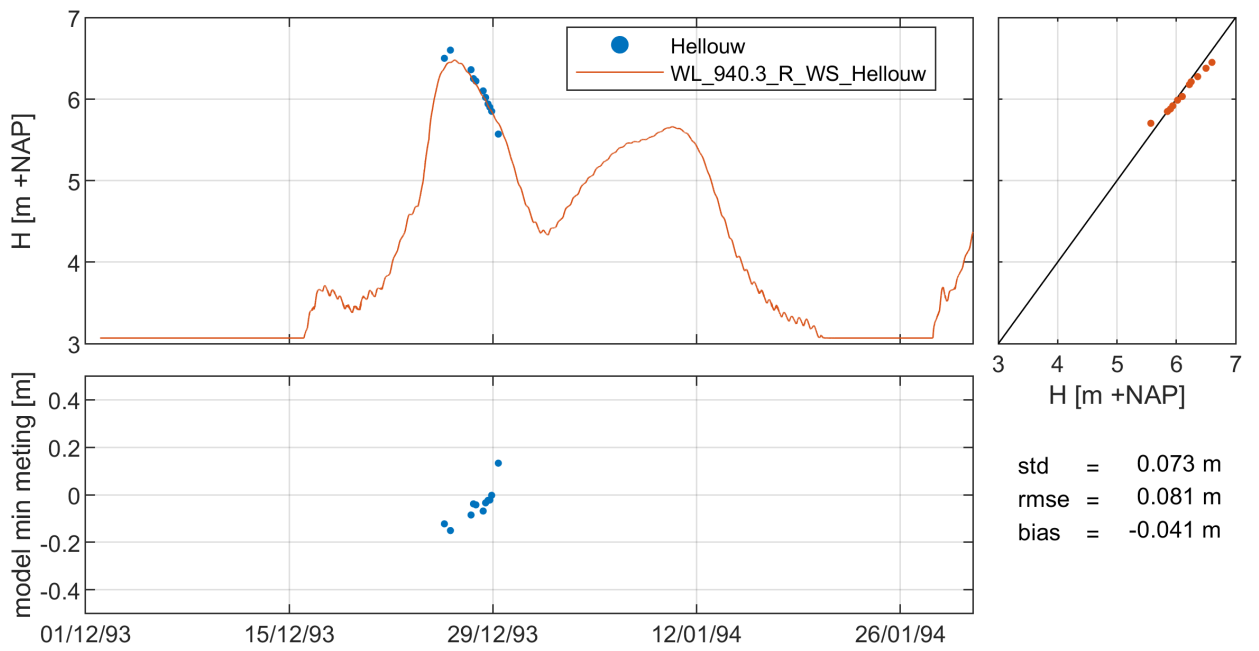
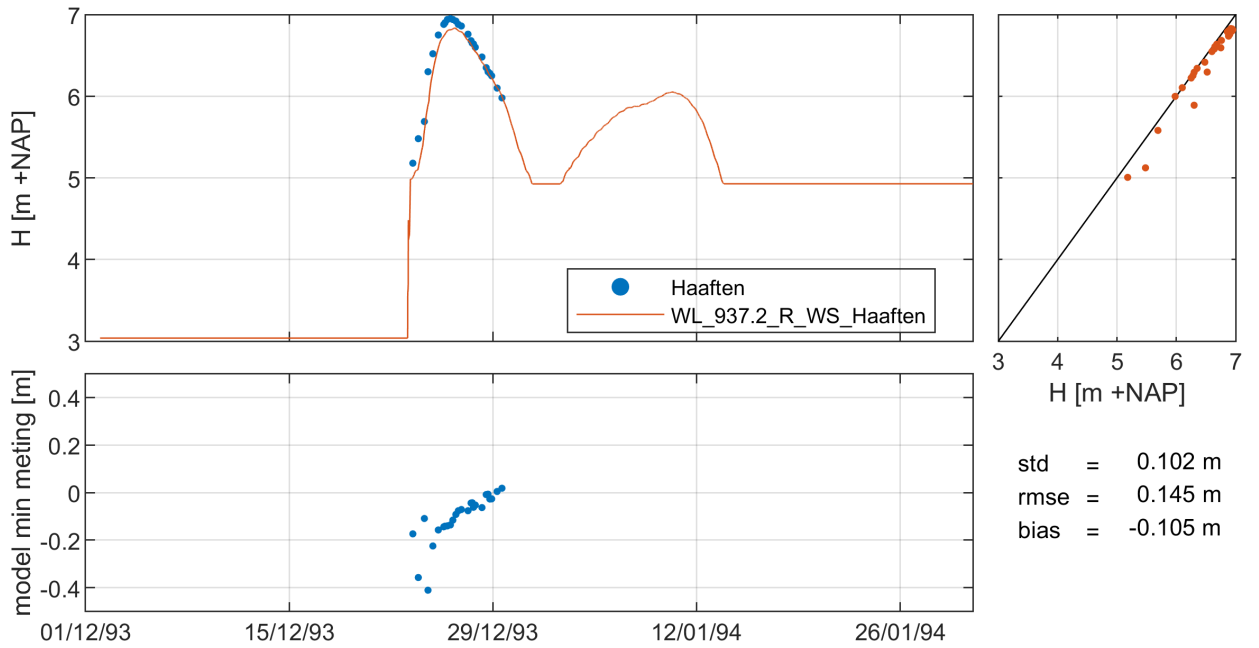


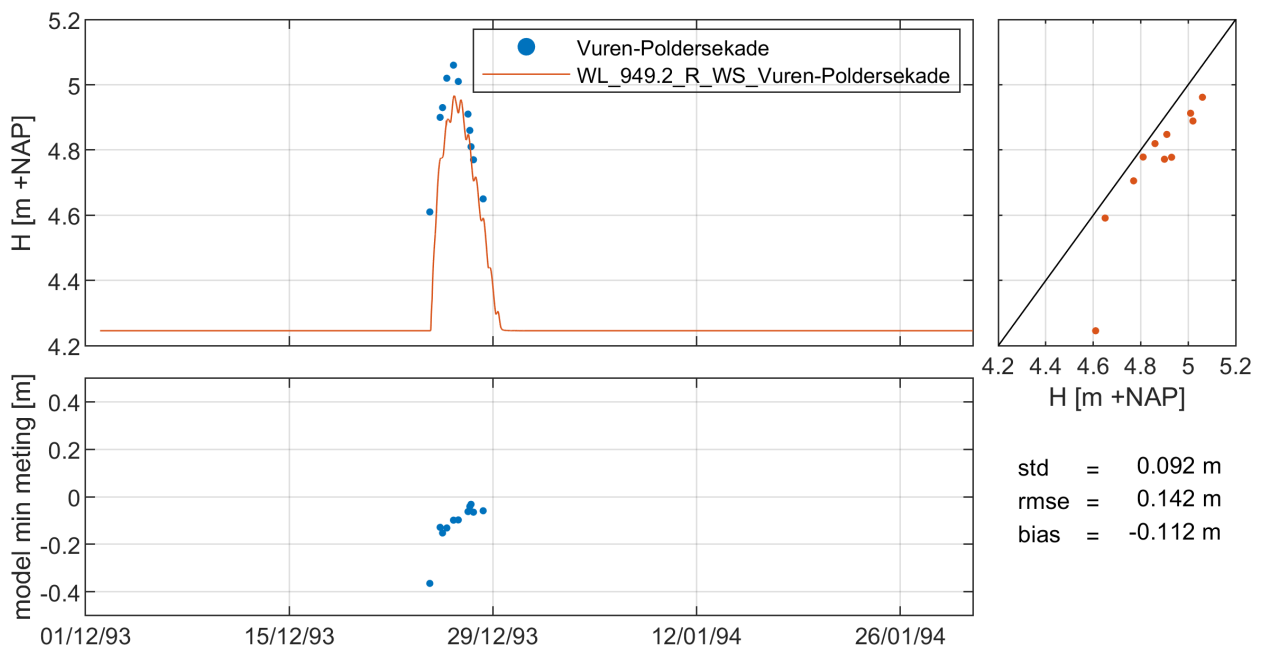
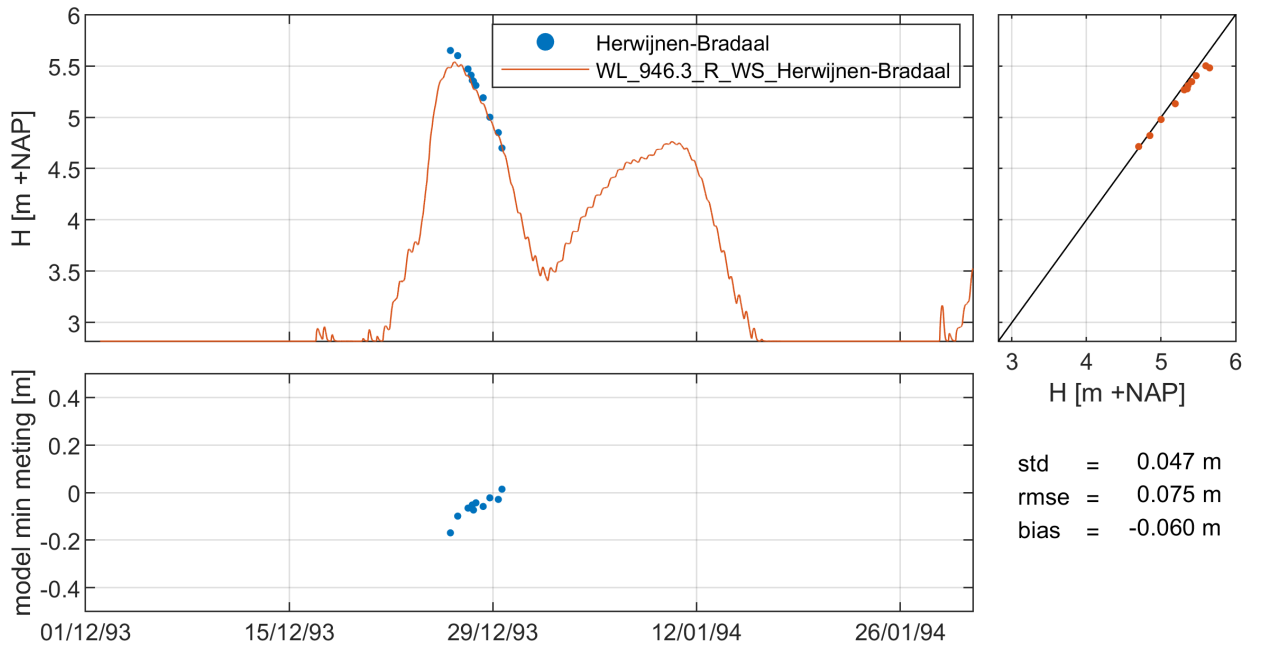


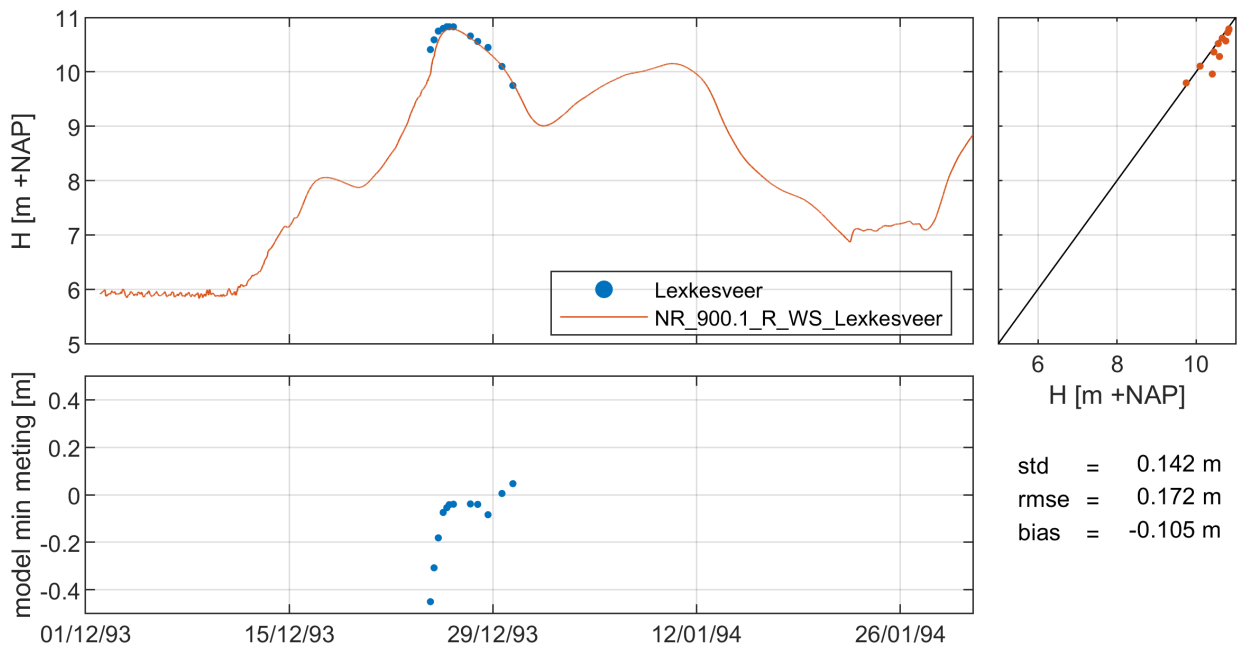
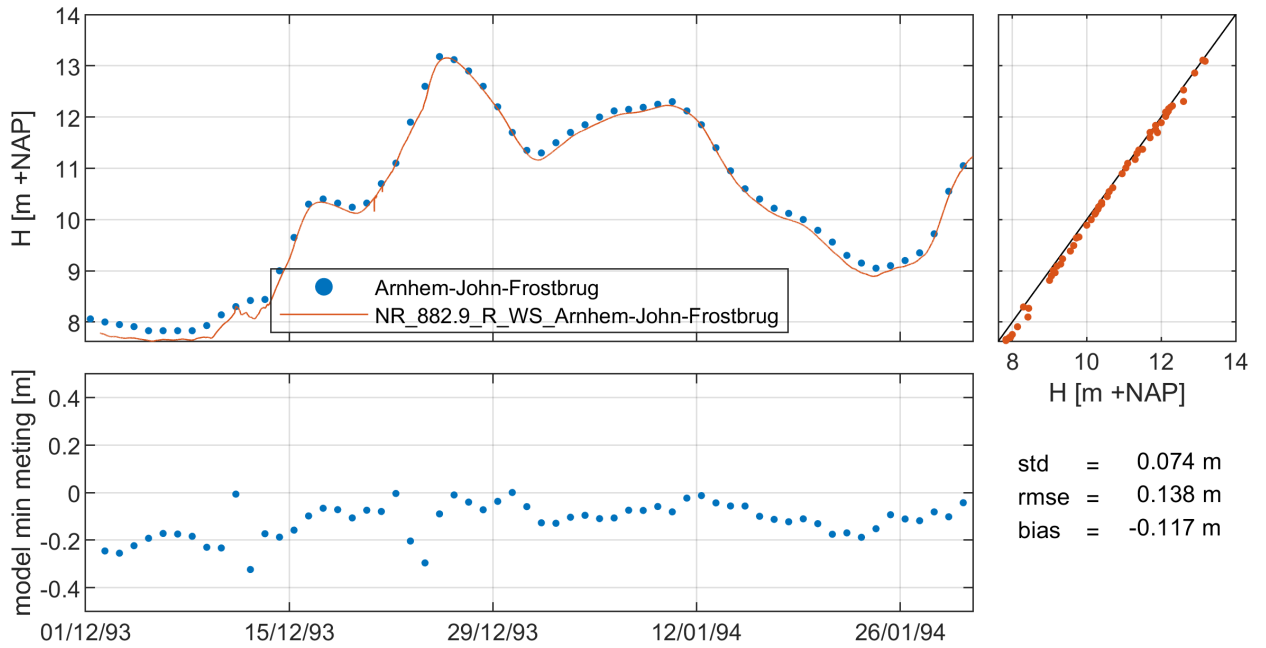


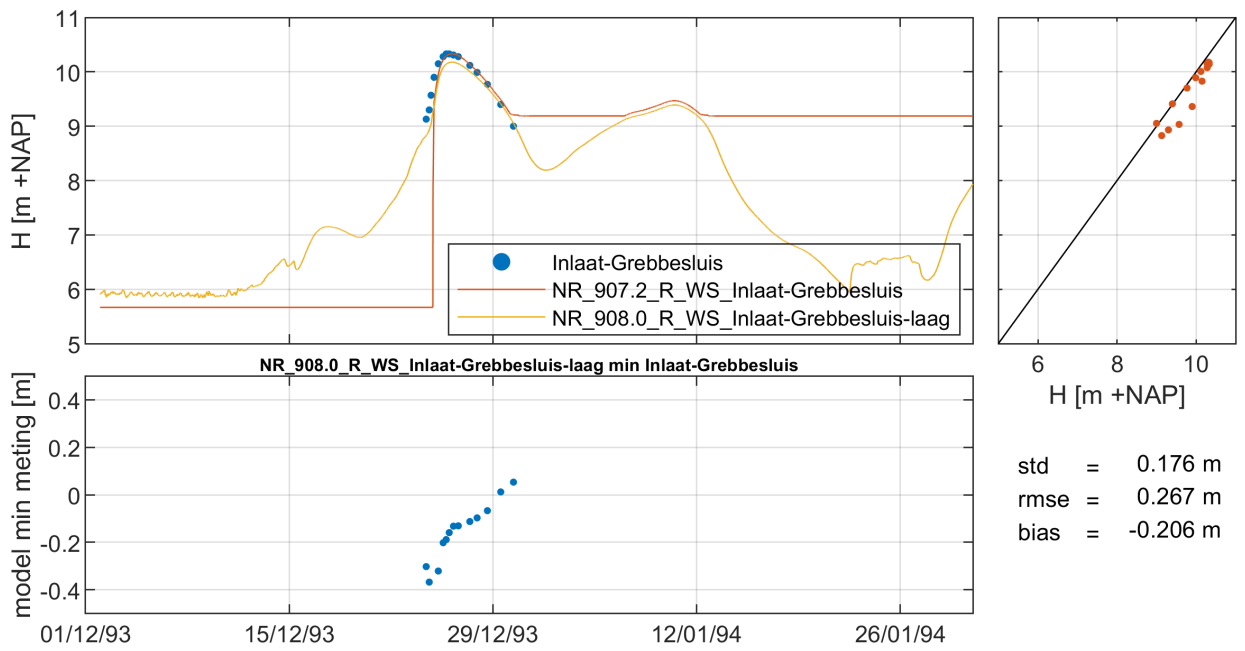
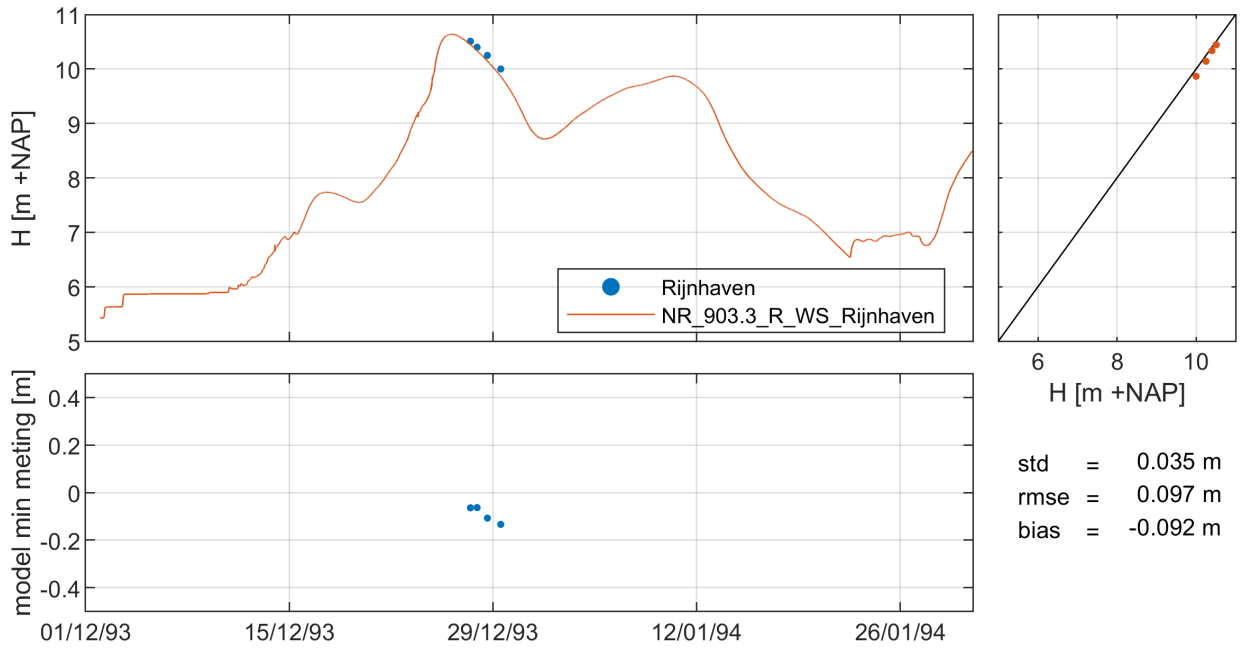


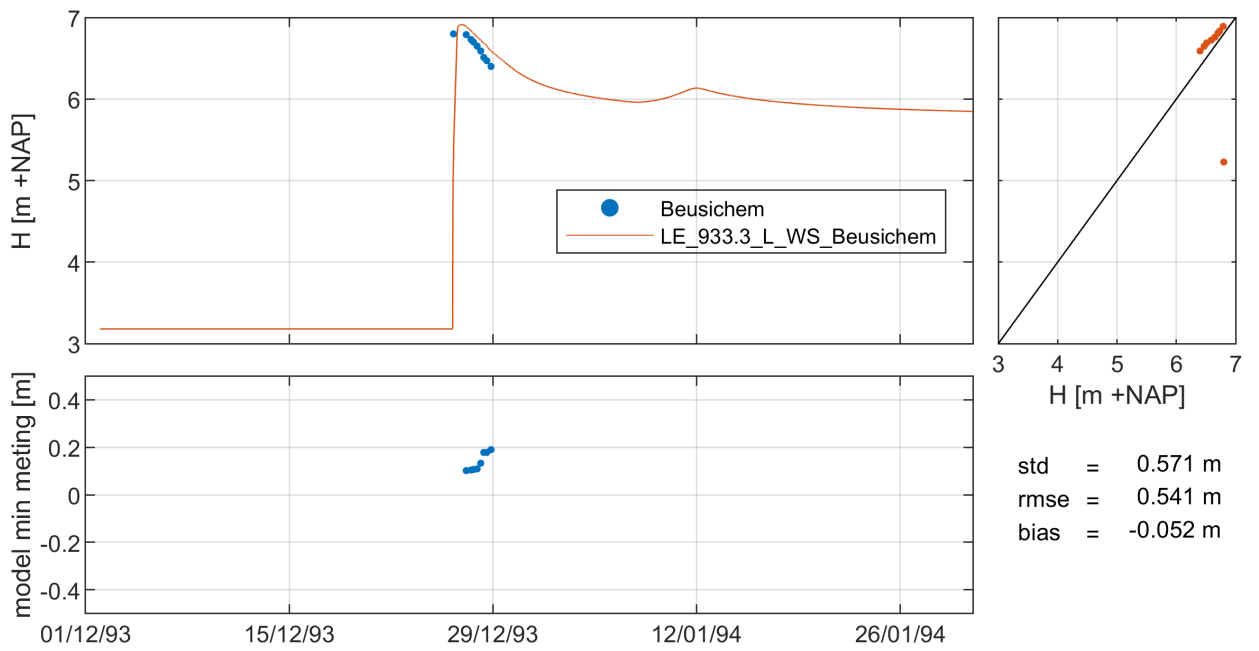
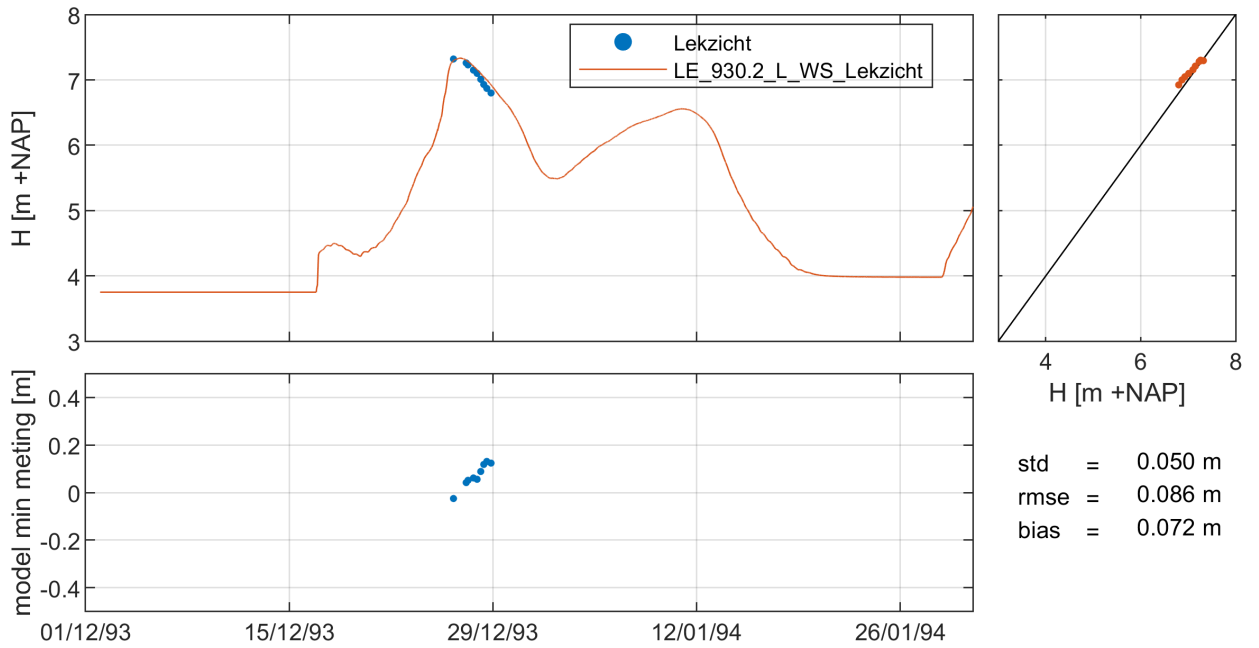


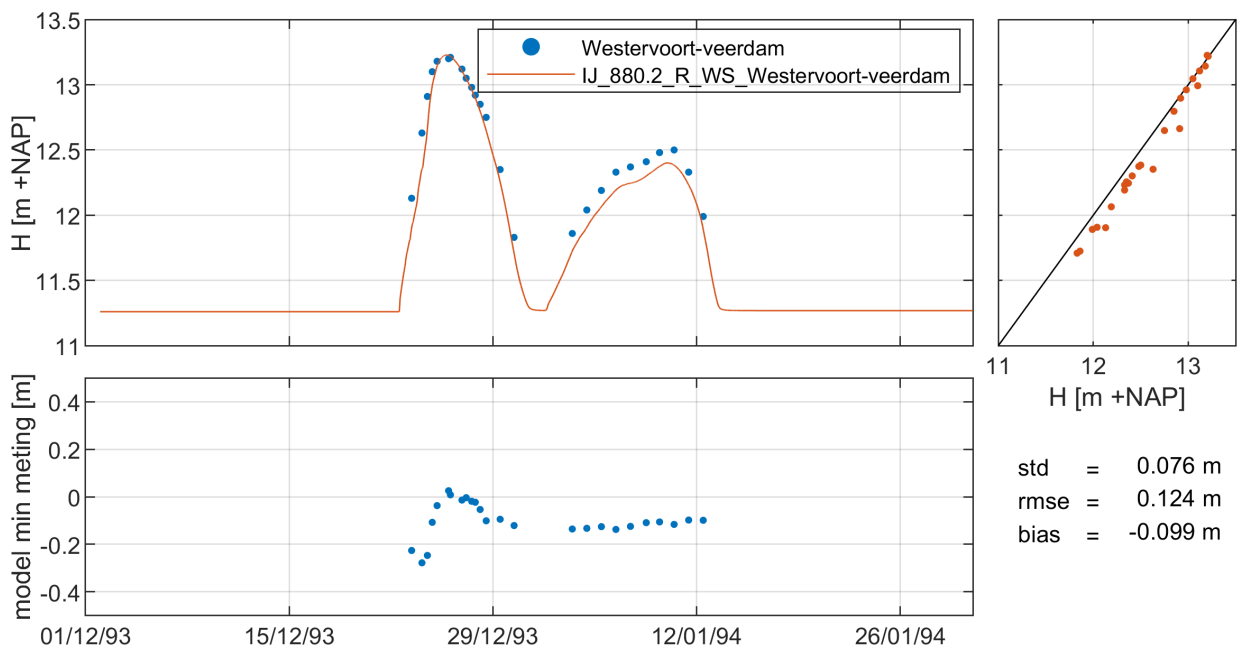
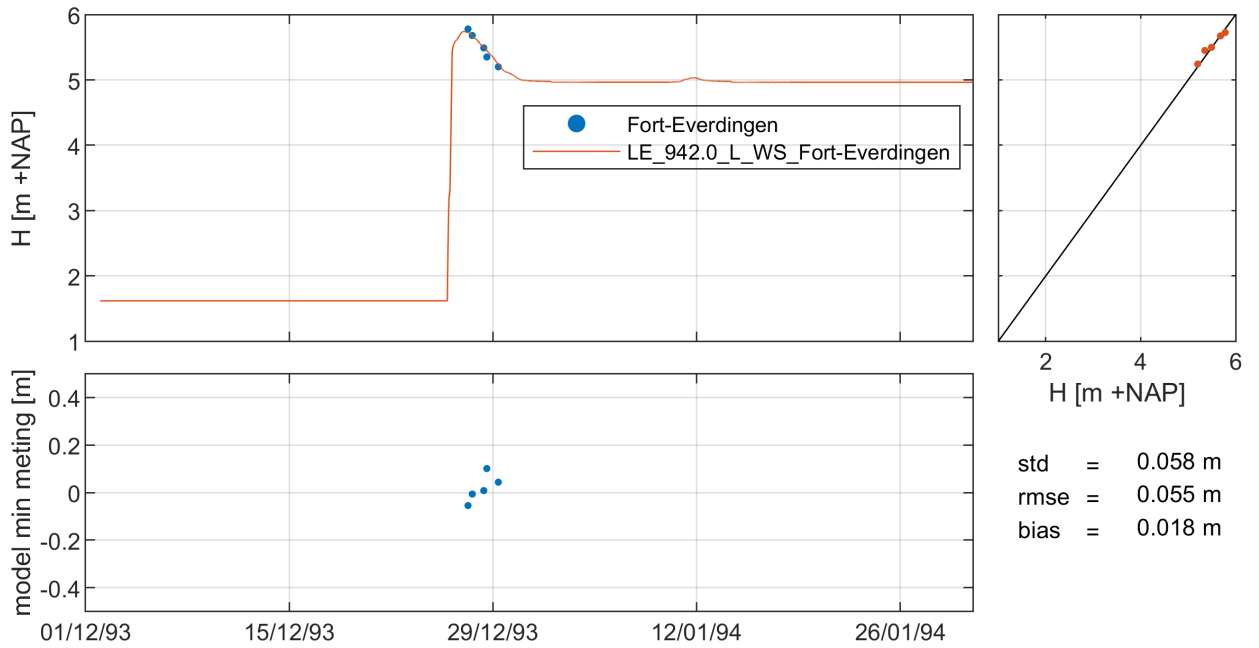


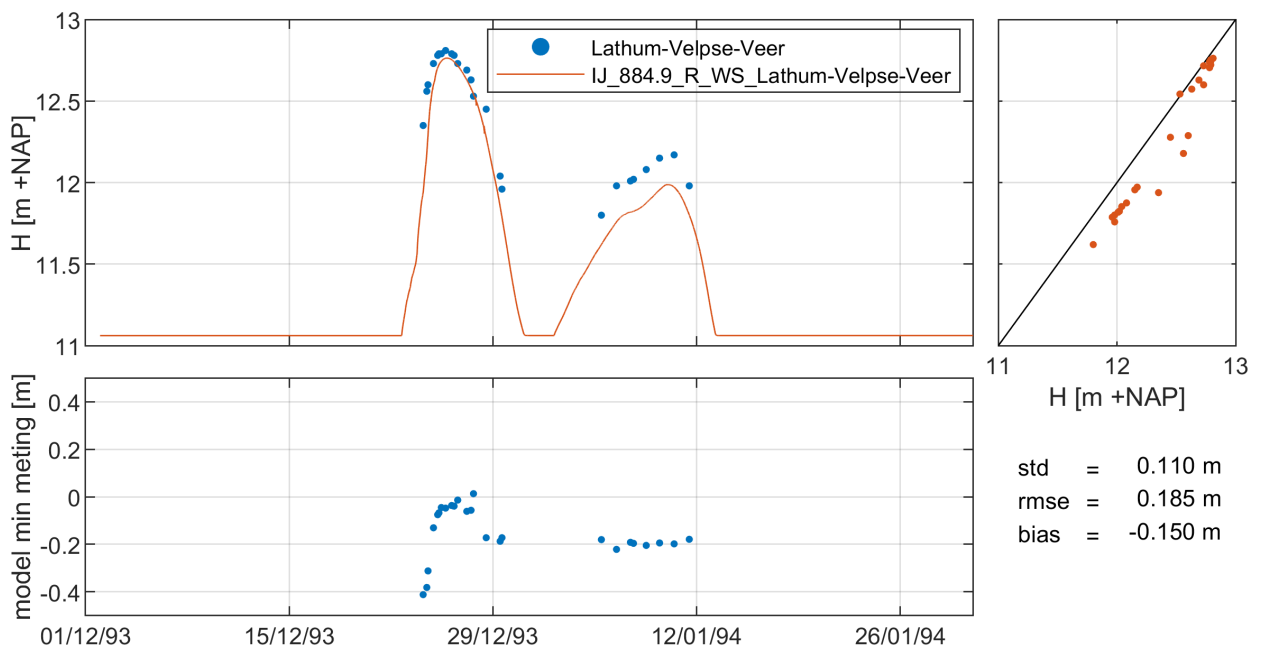
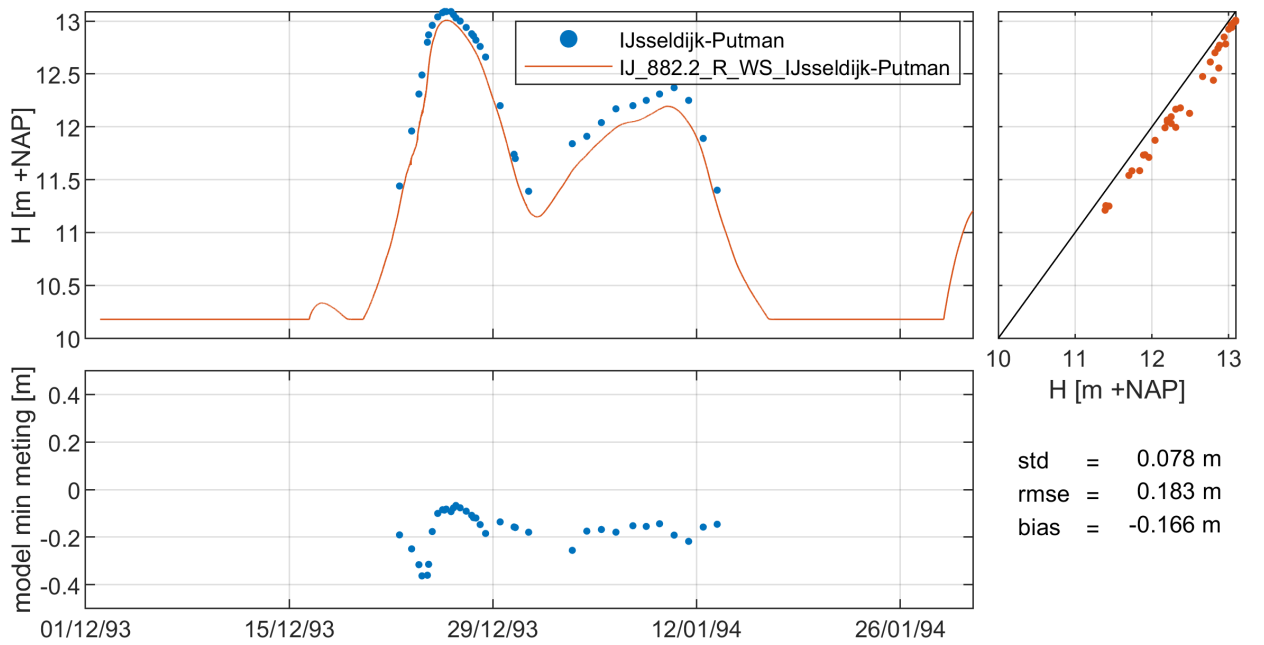


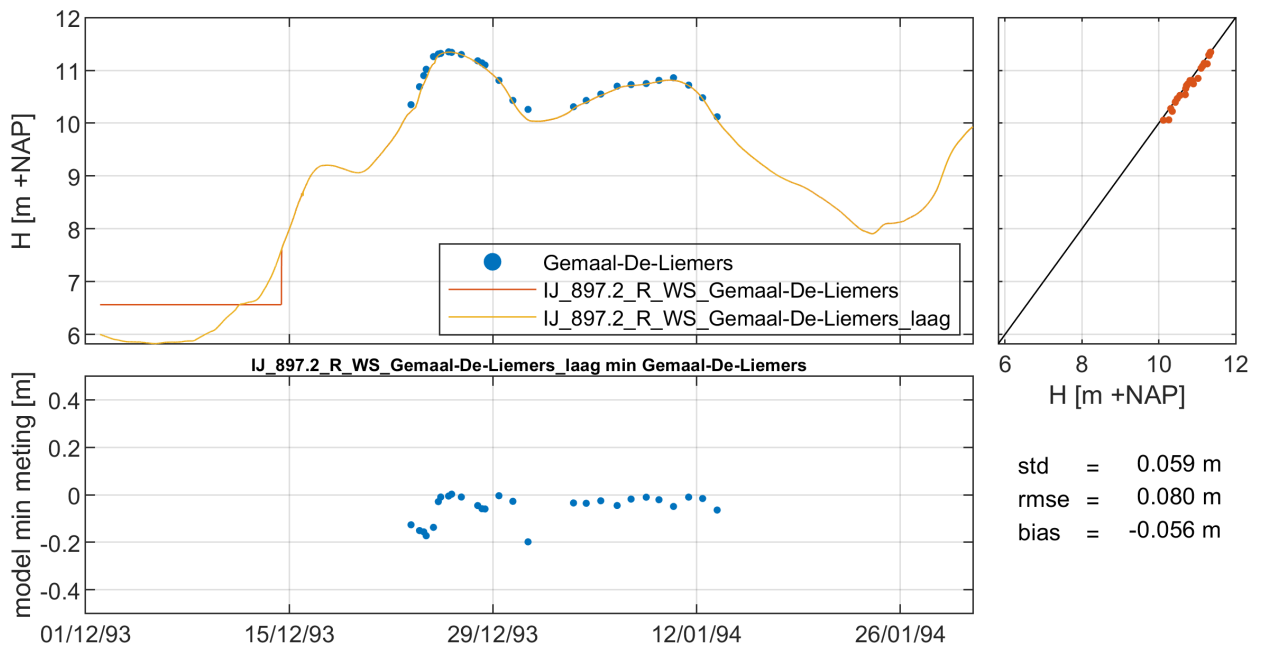
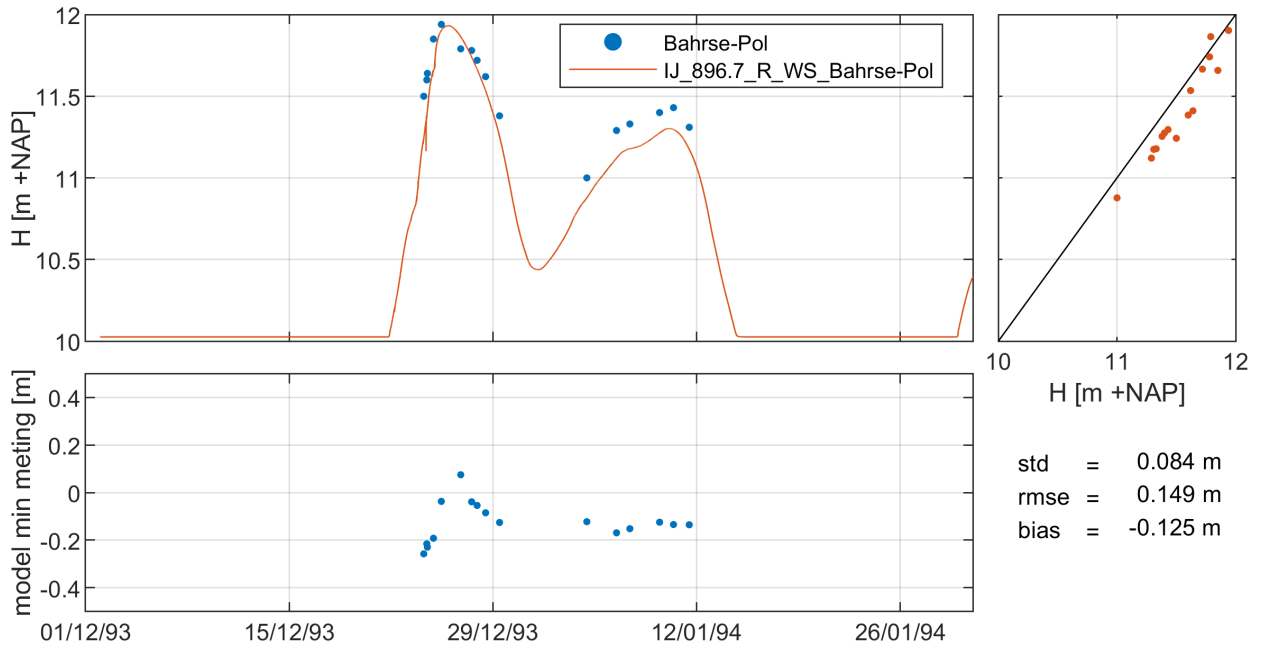




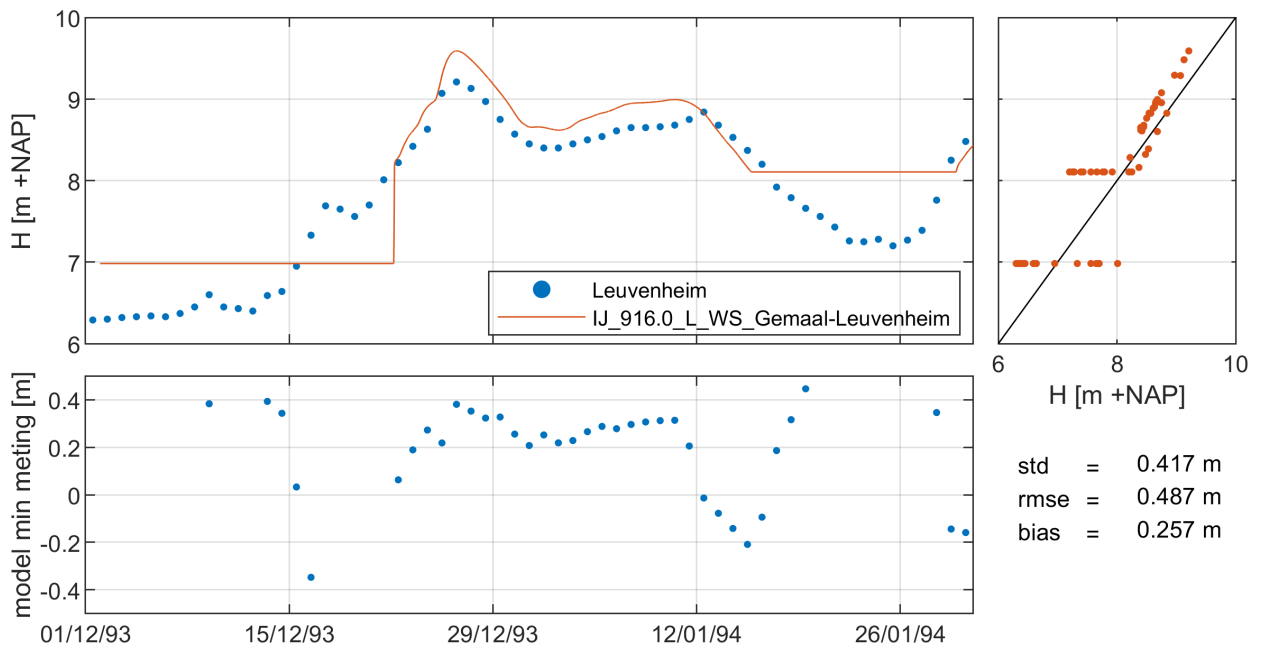
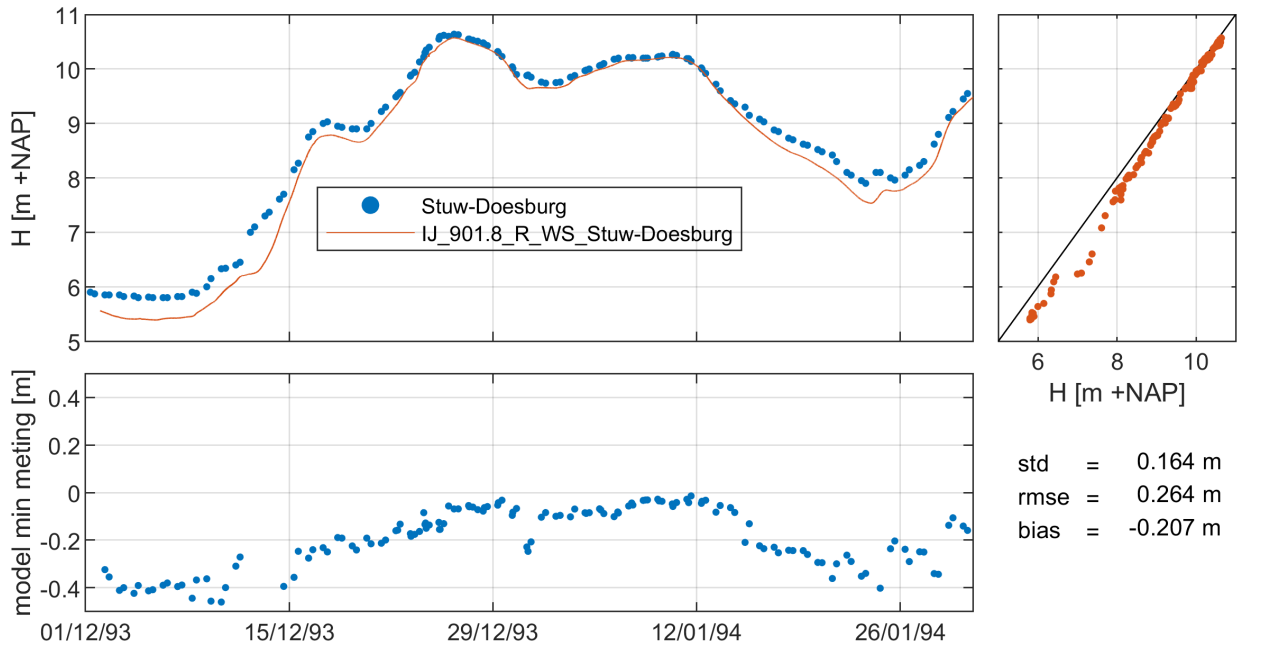


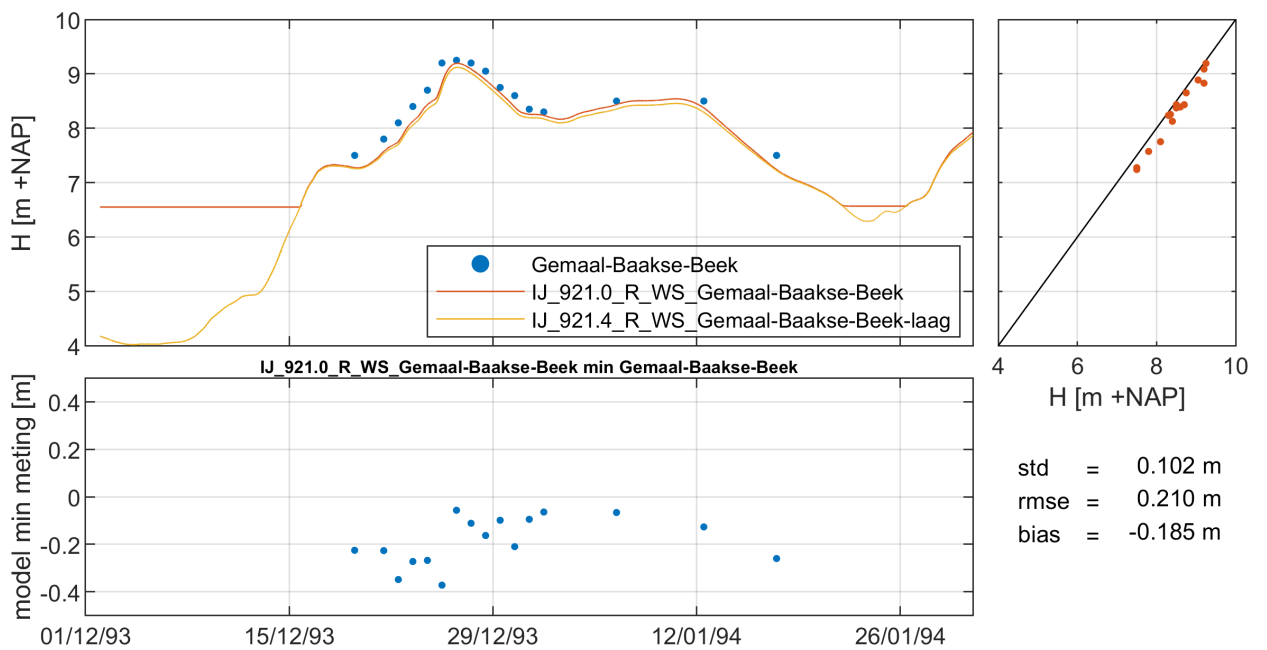
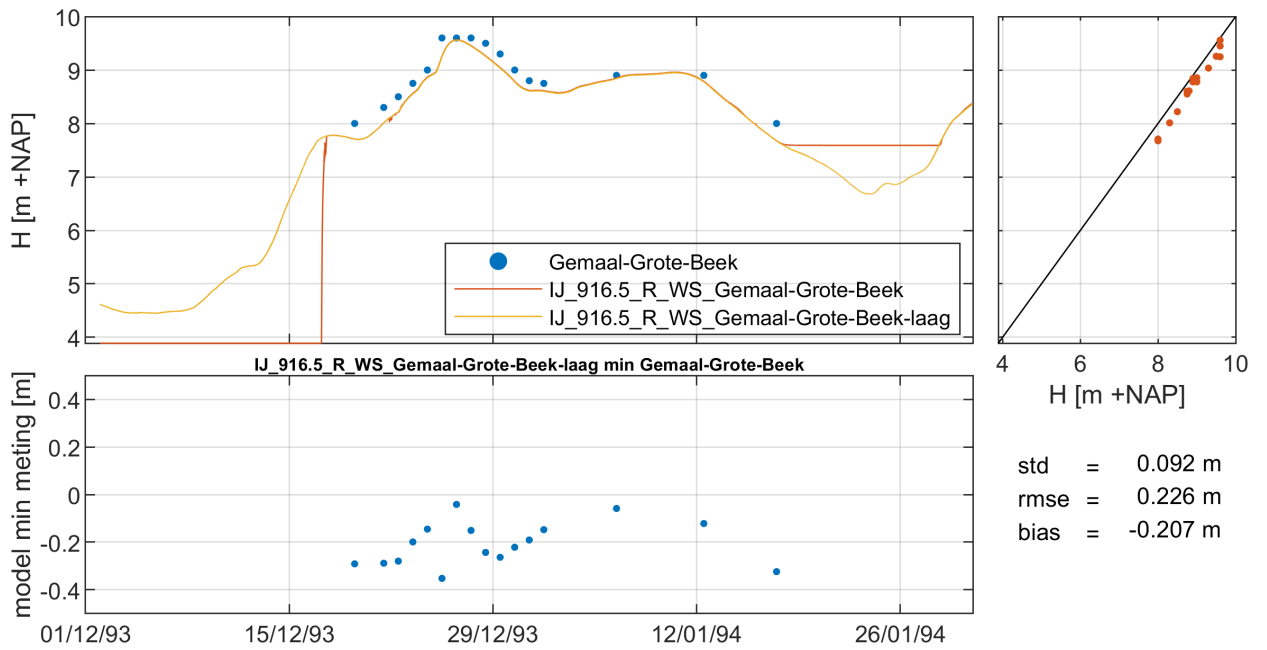


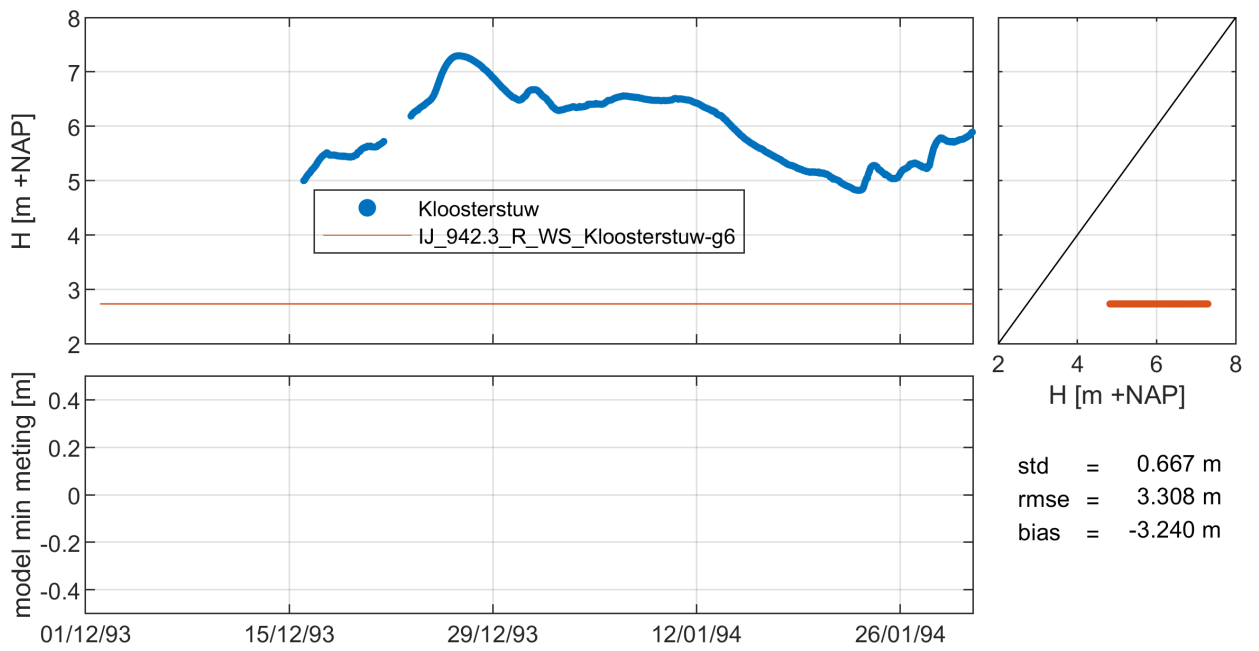
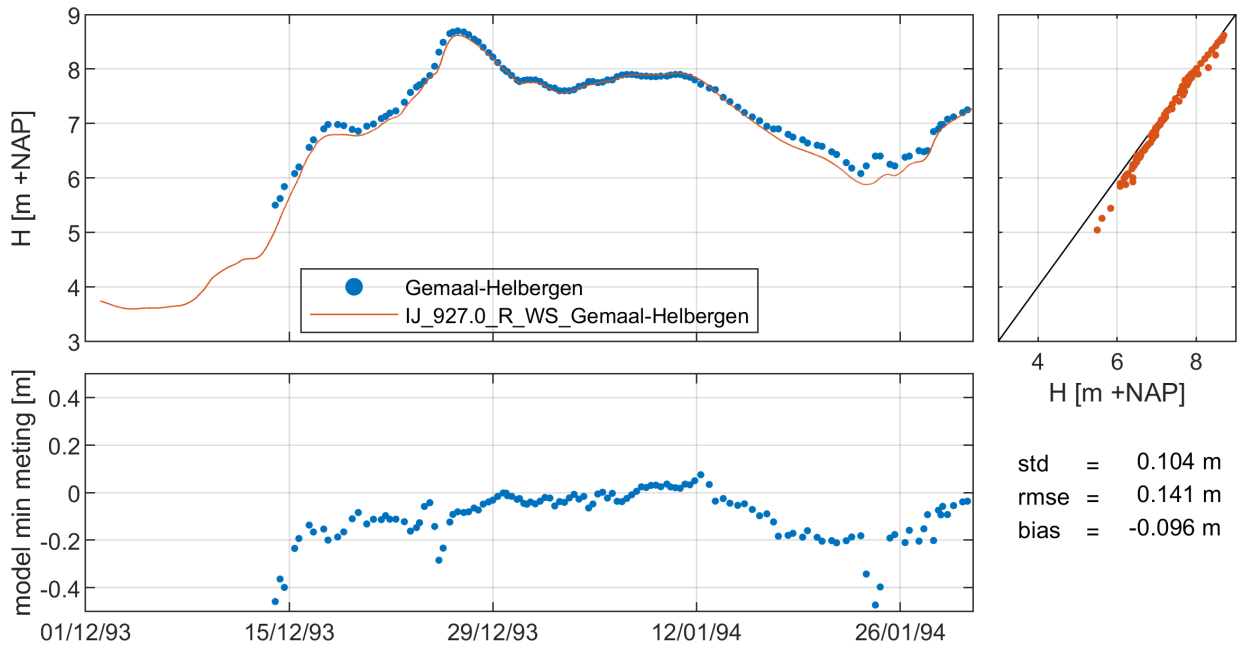


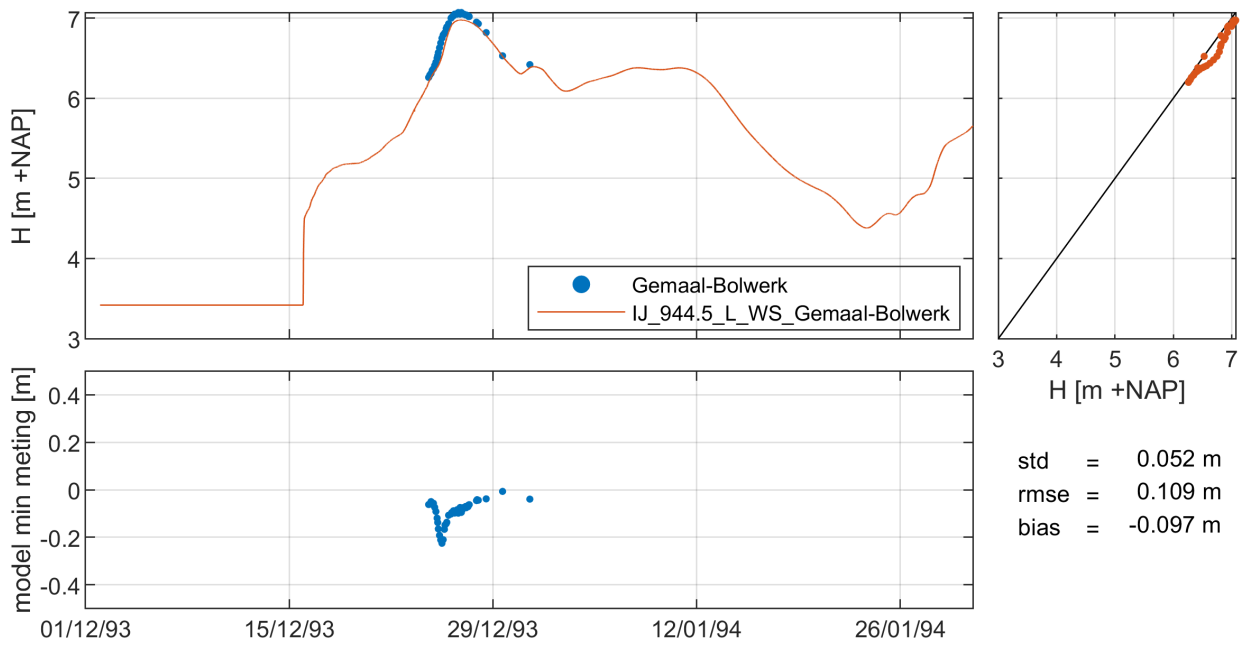
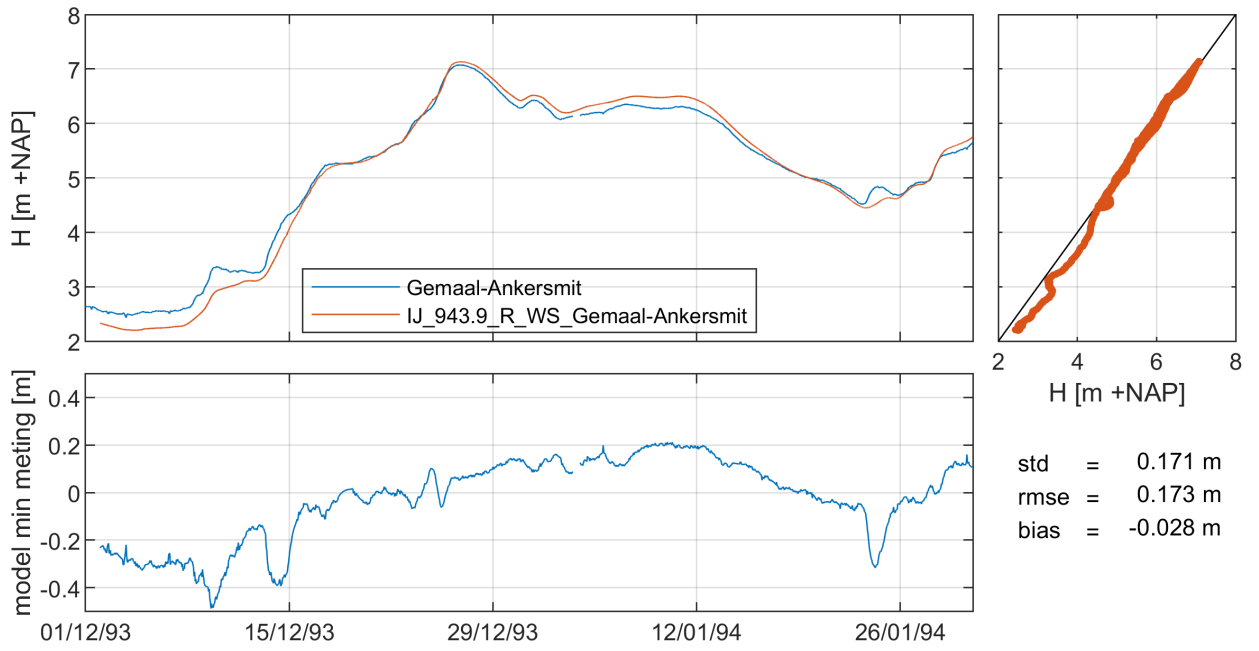




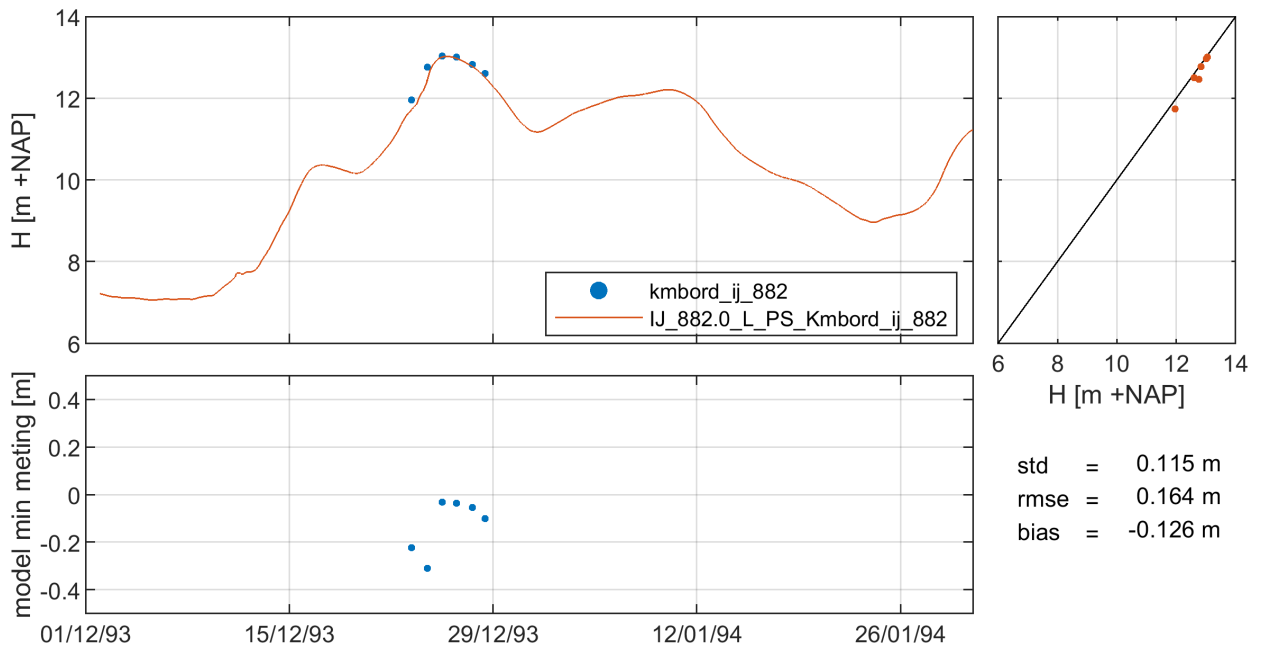
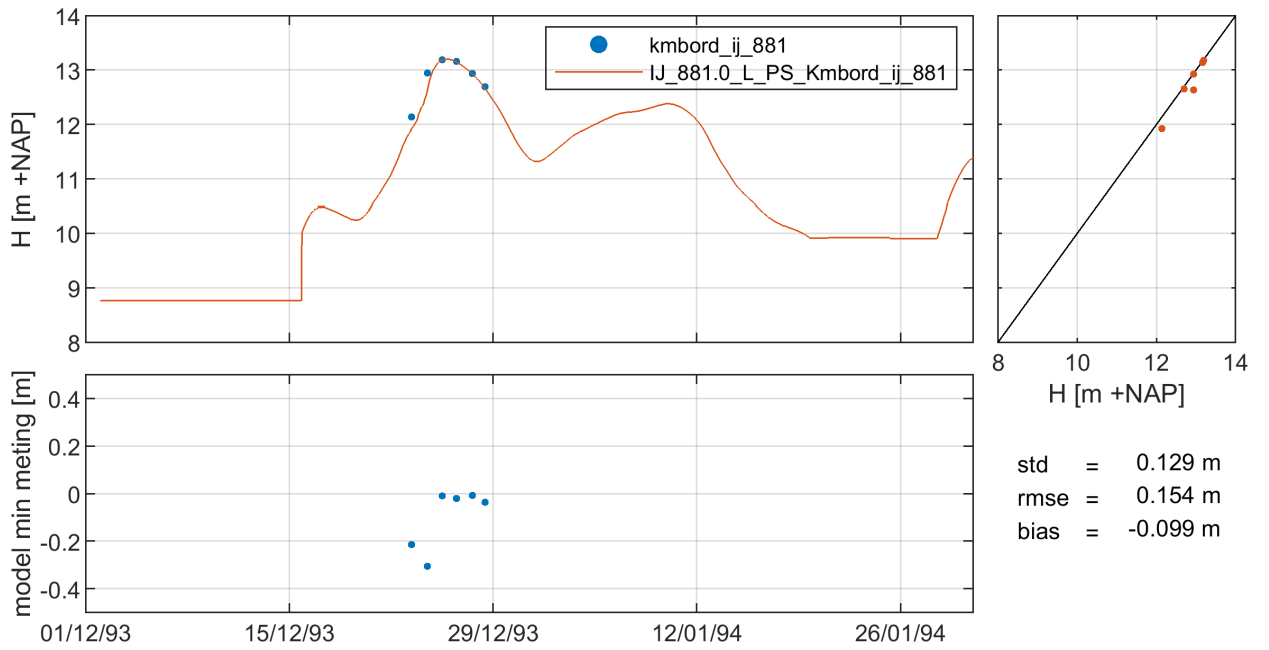


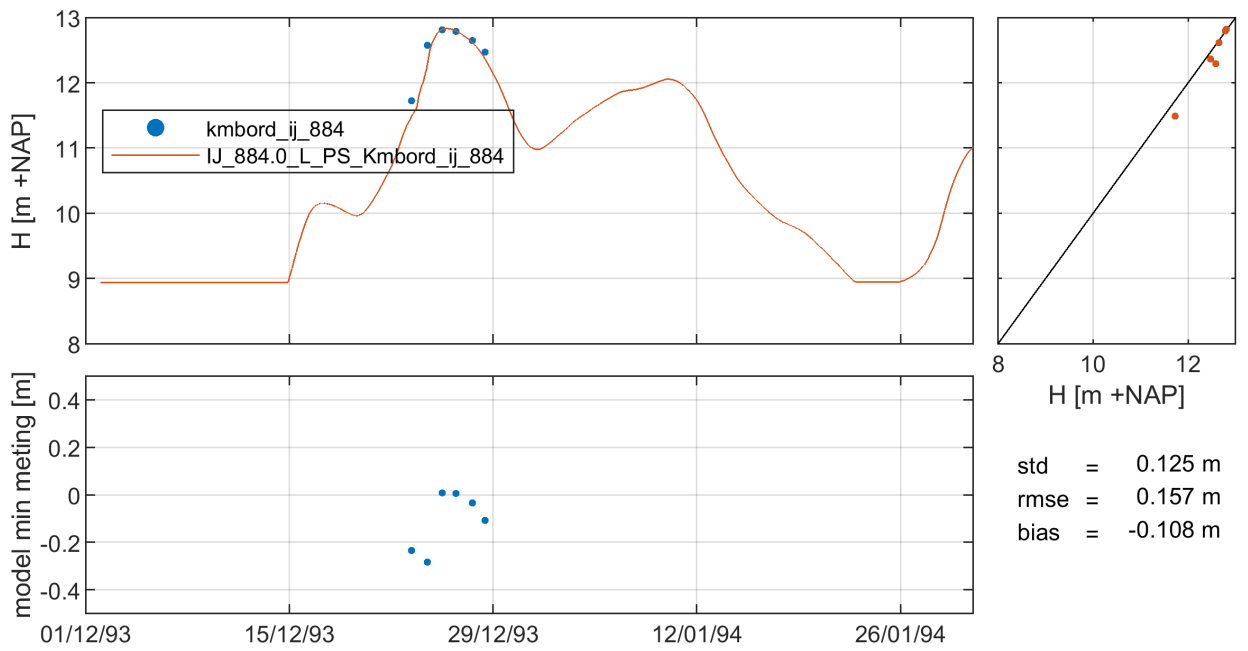
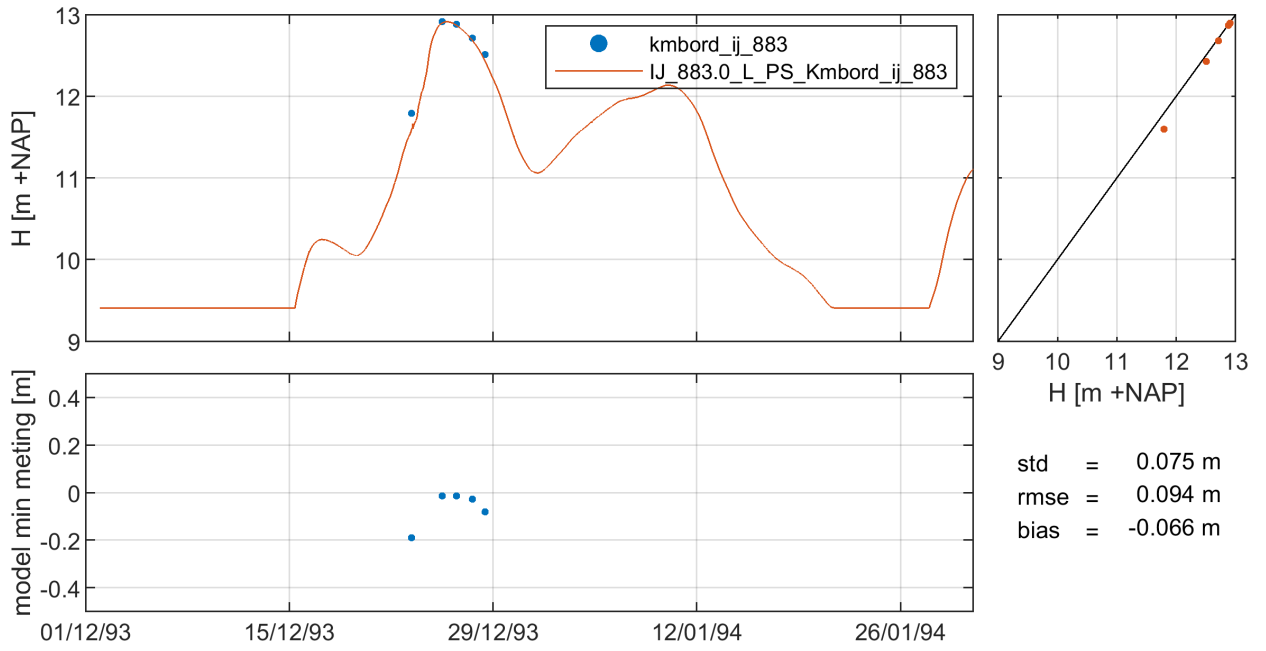


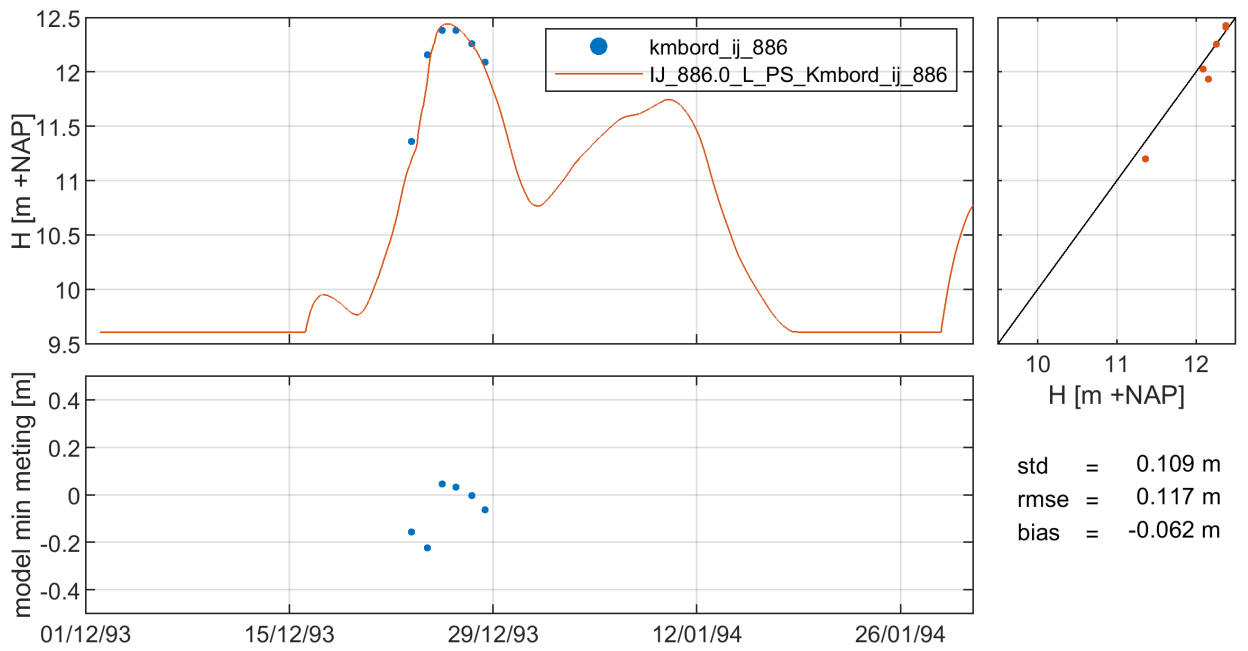
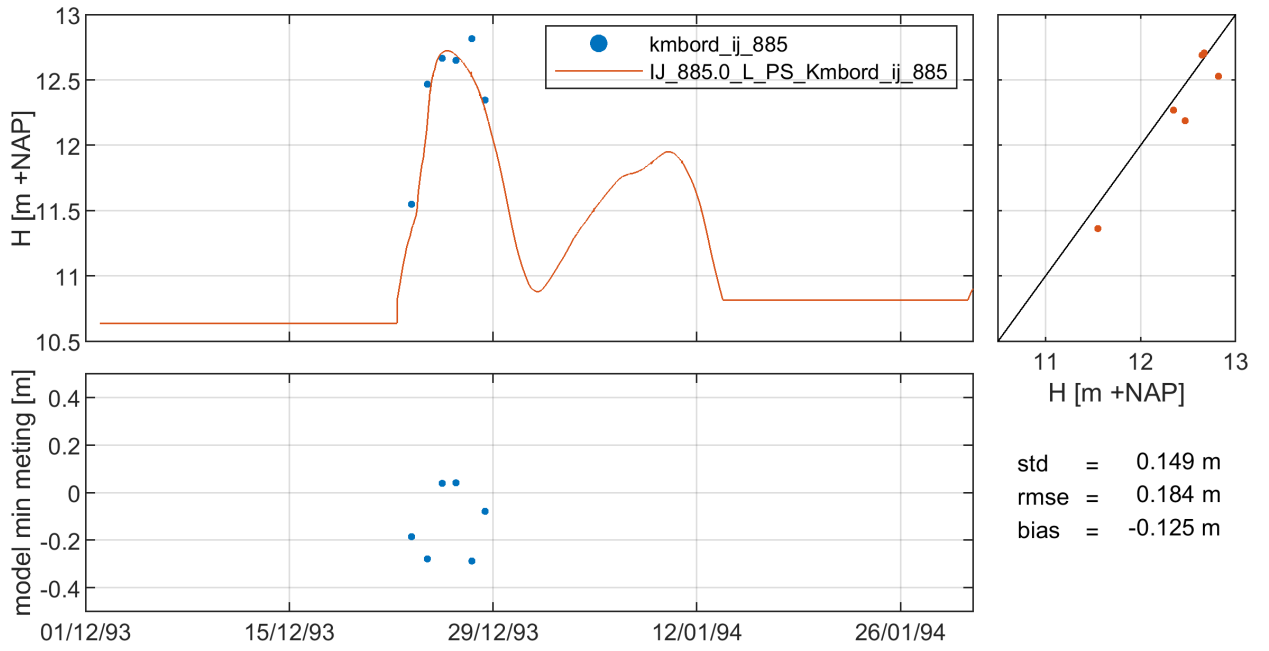


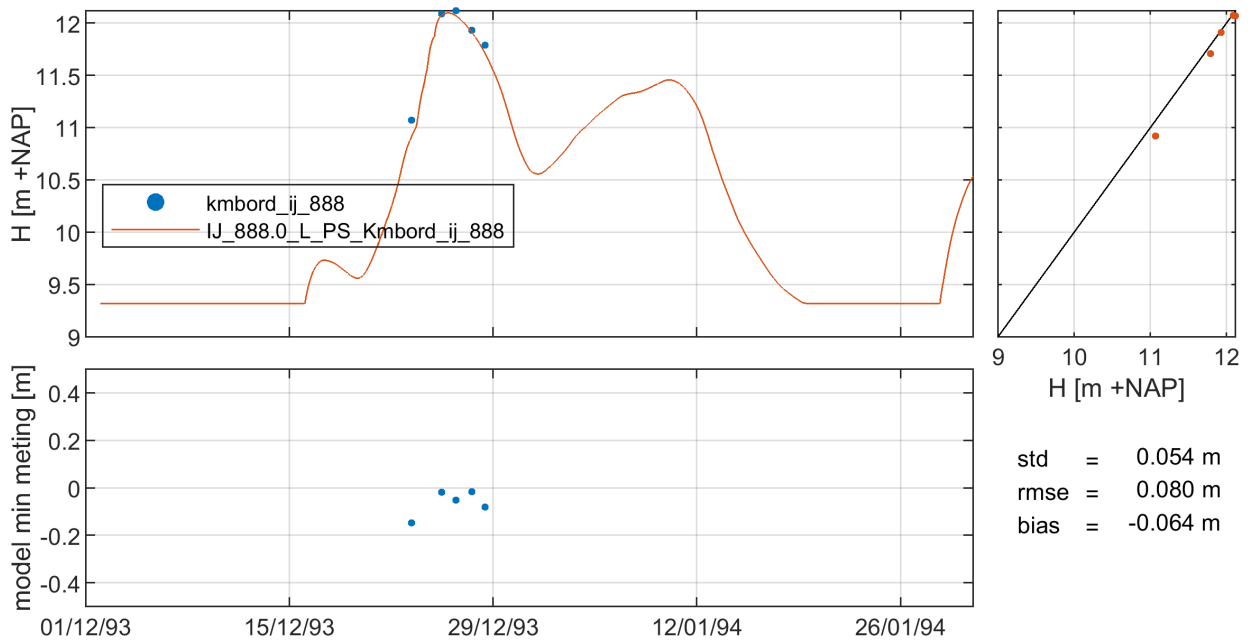
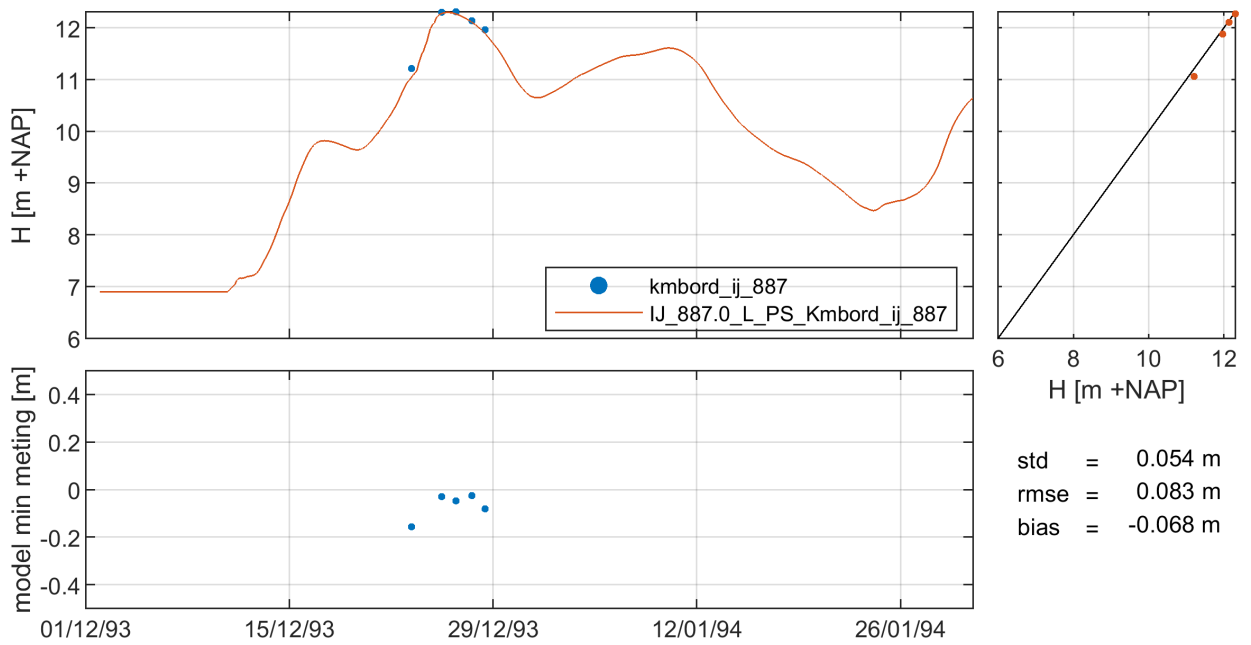


### I.1.5 Km-borden IJssel

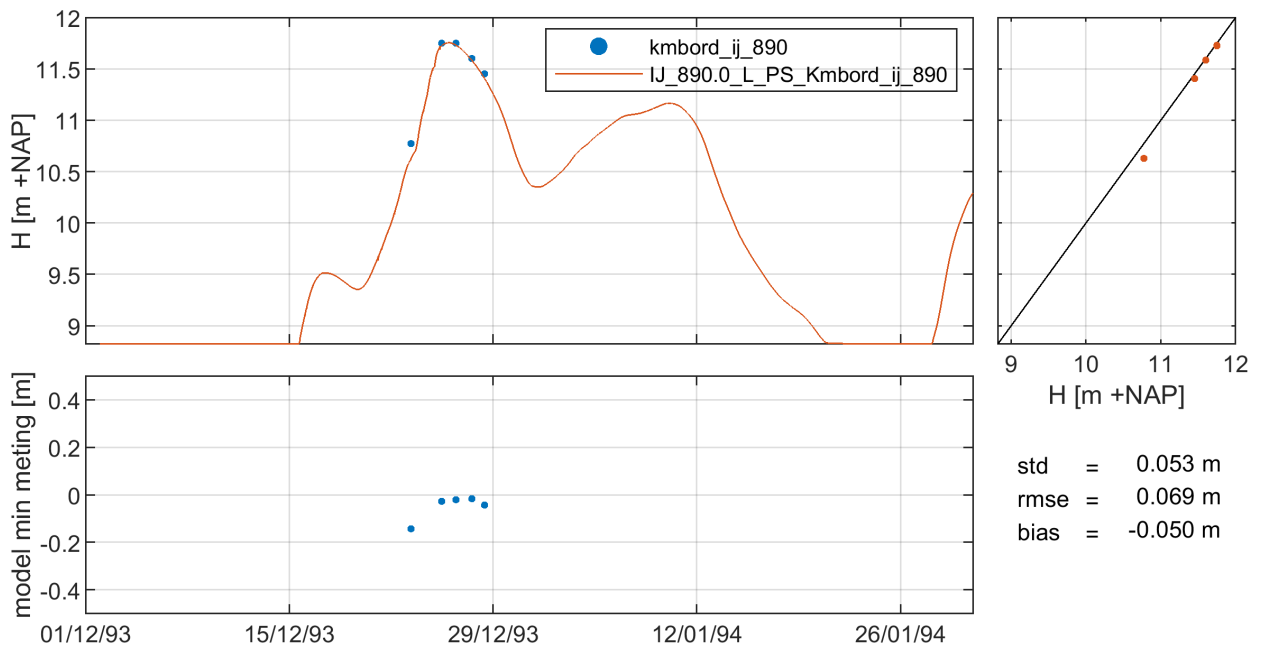
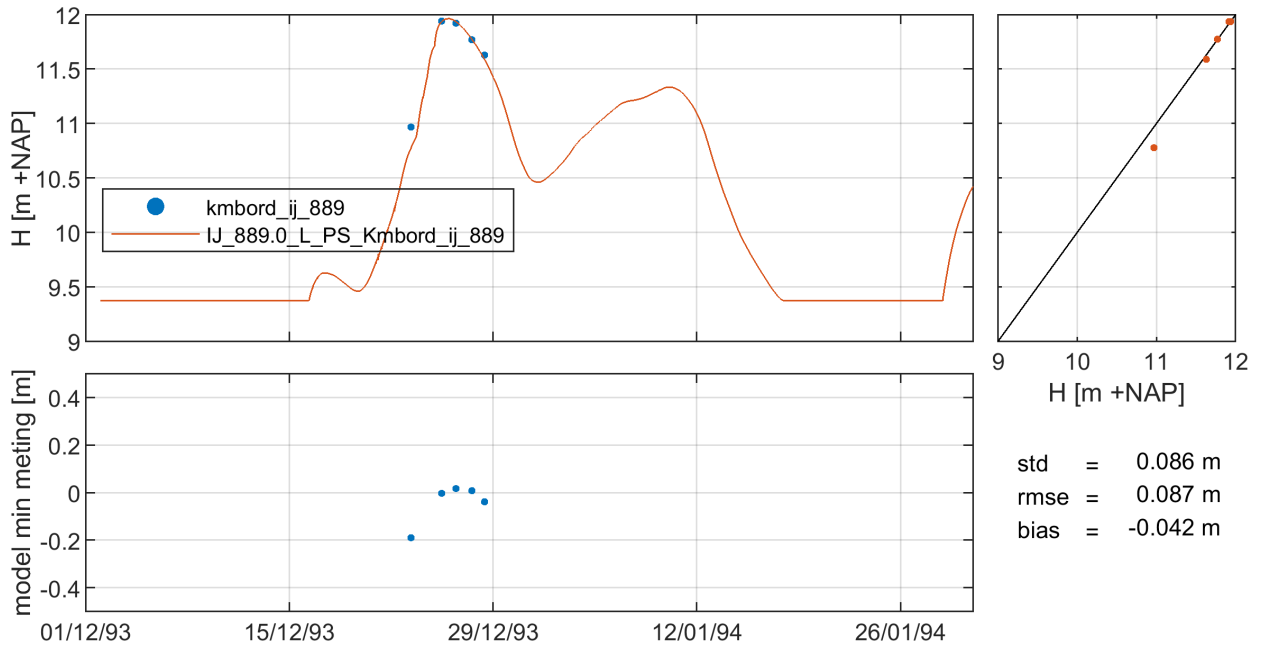


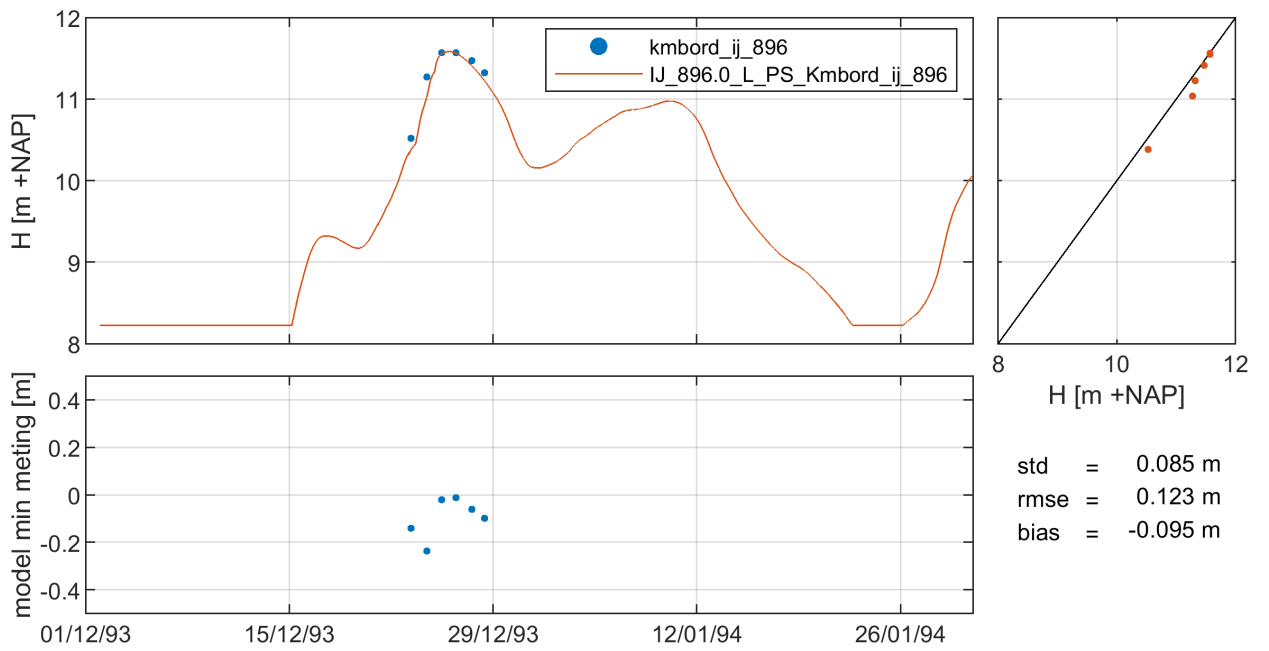
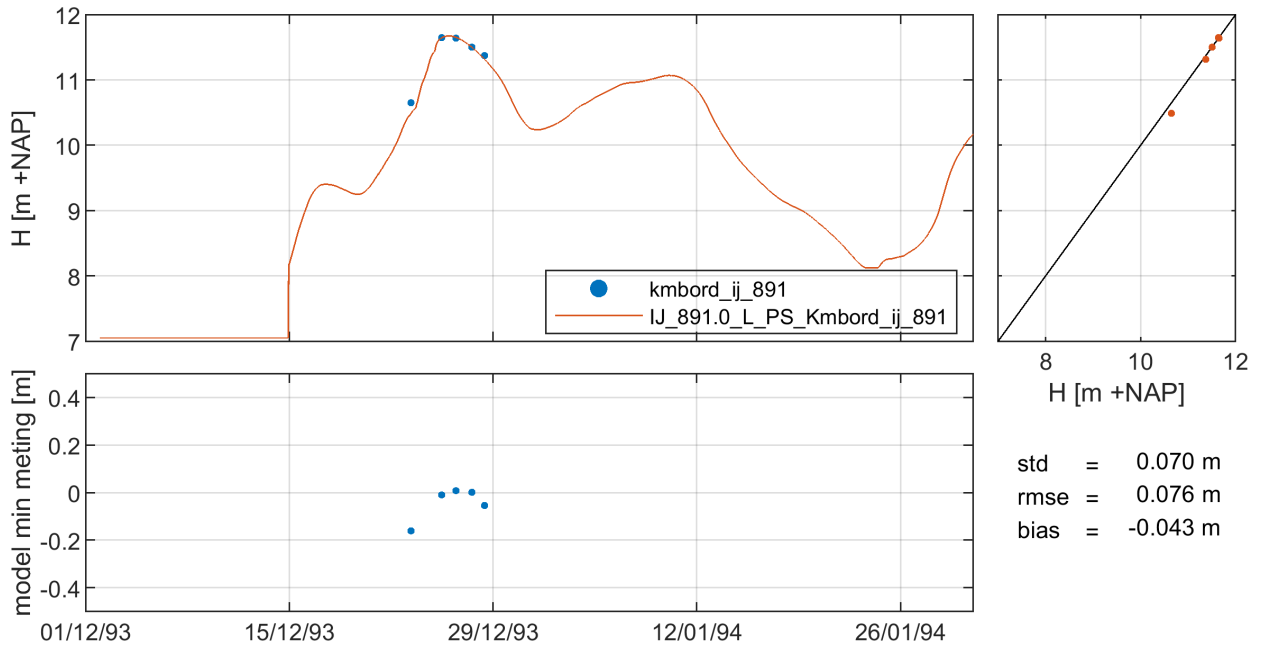


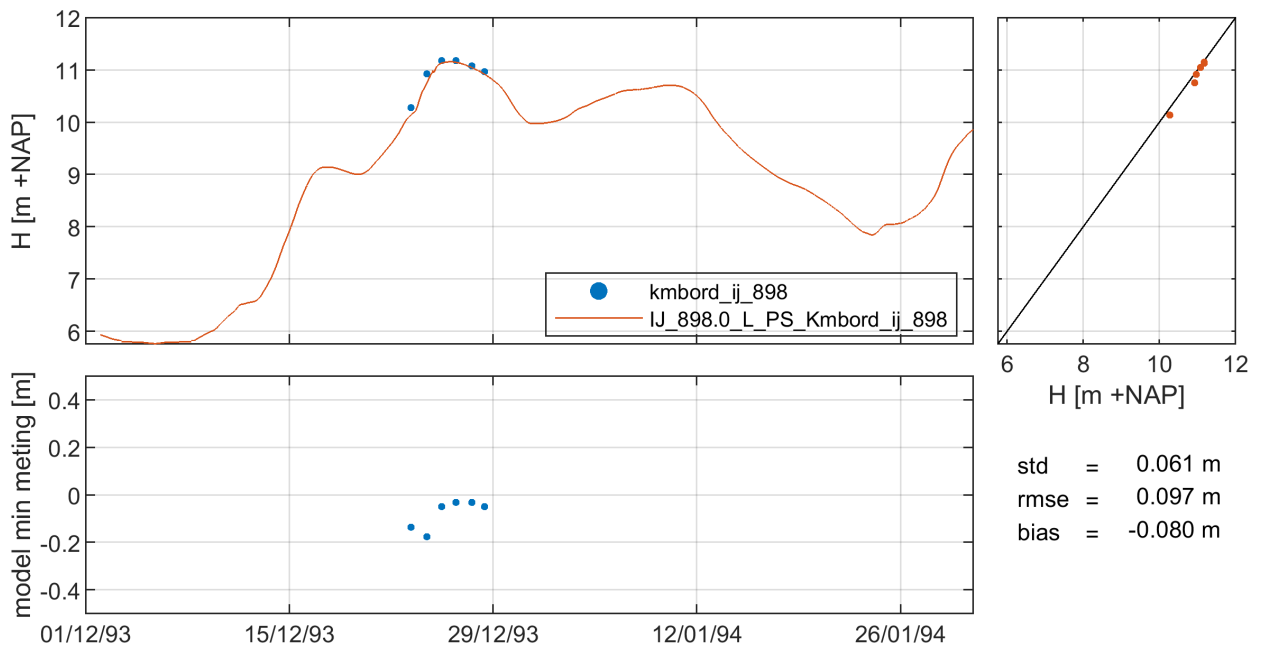
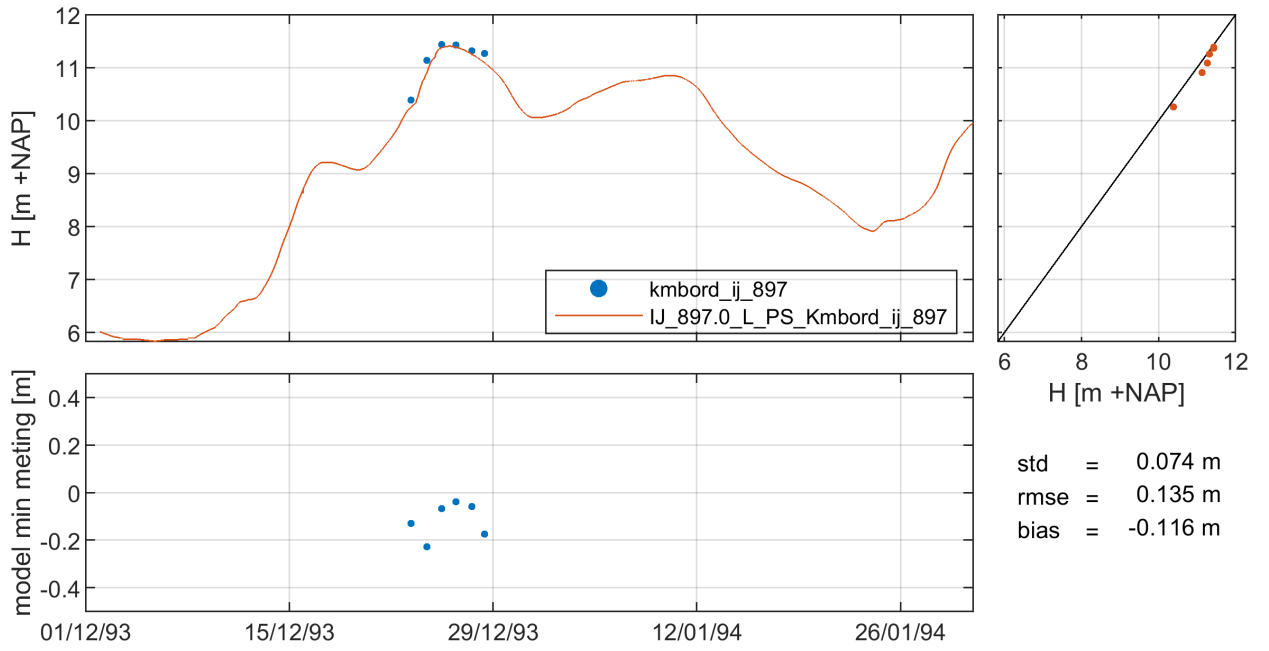


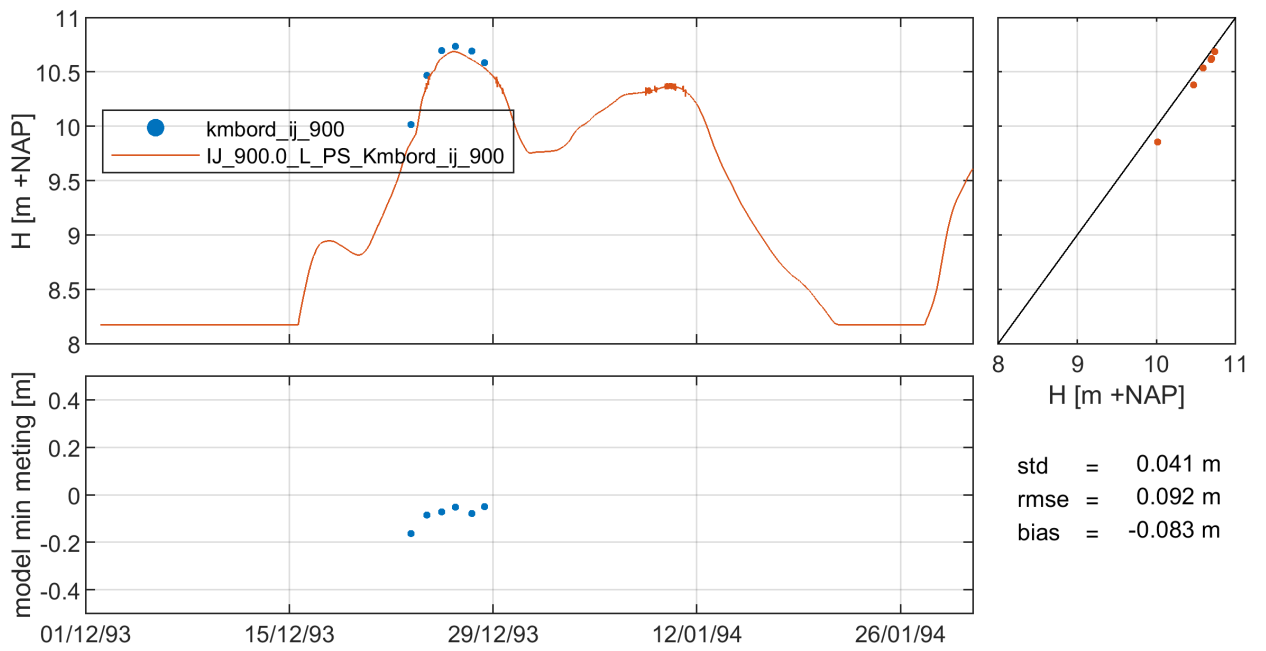
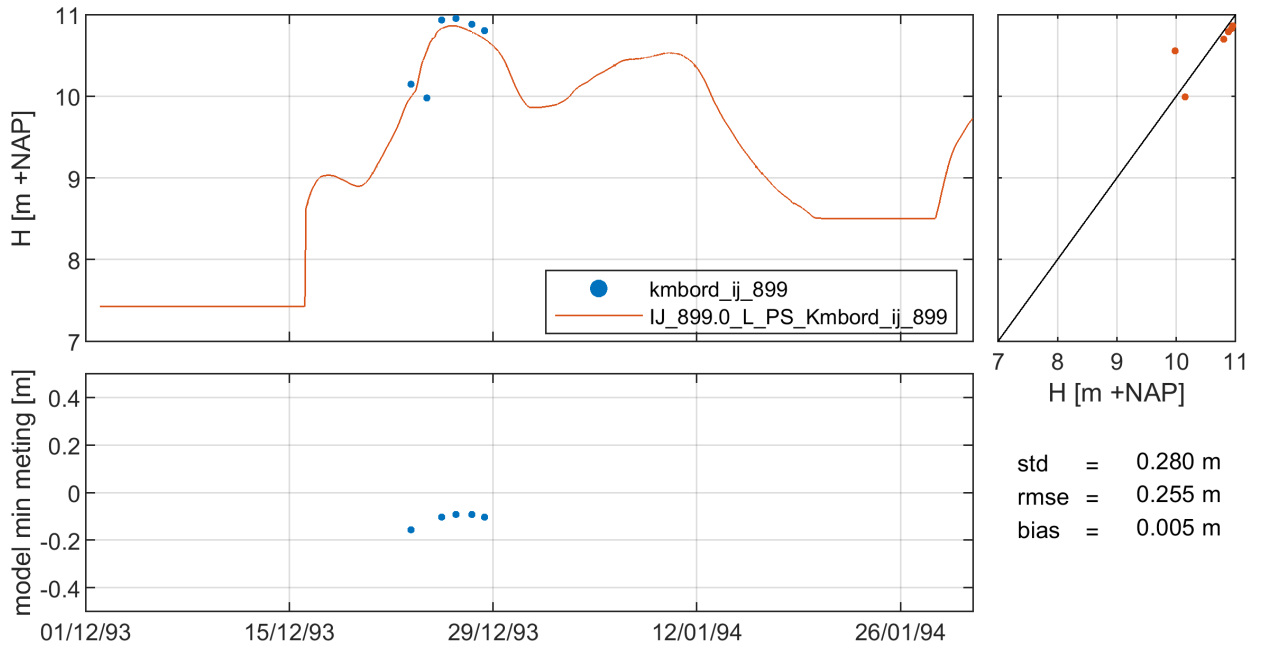


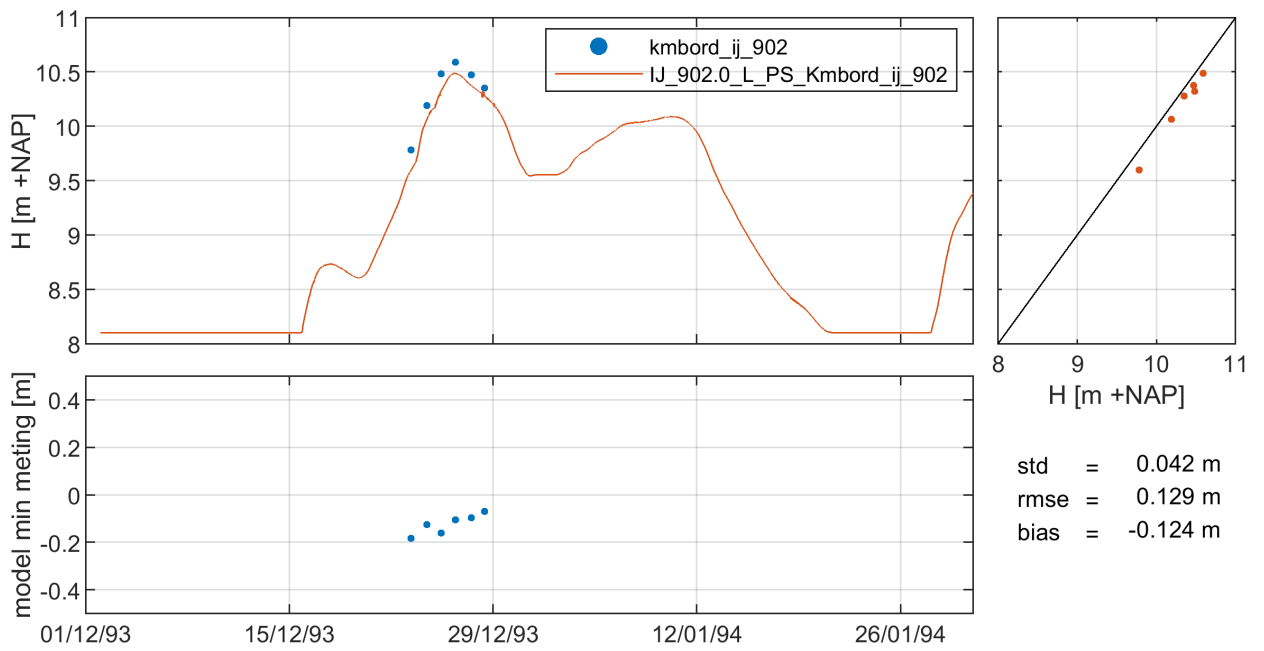
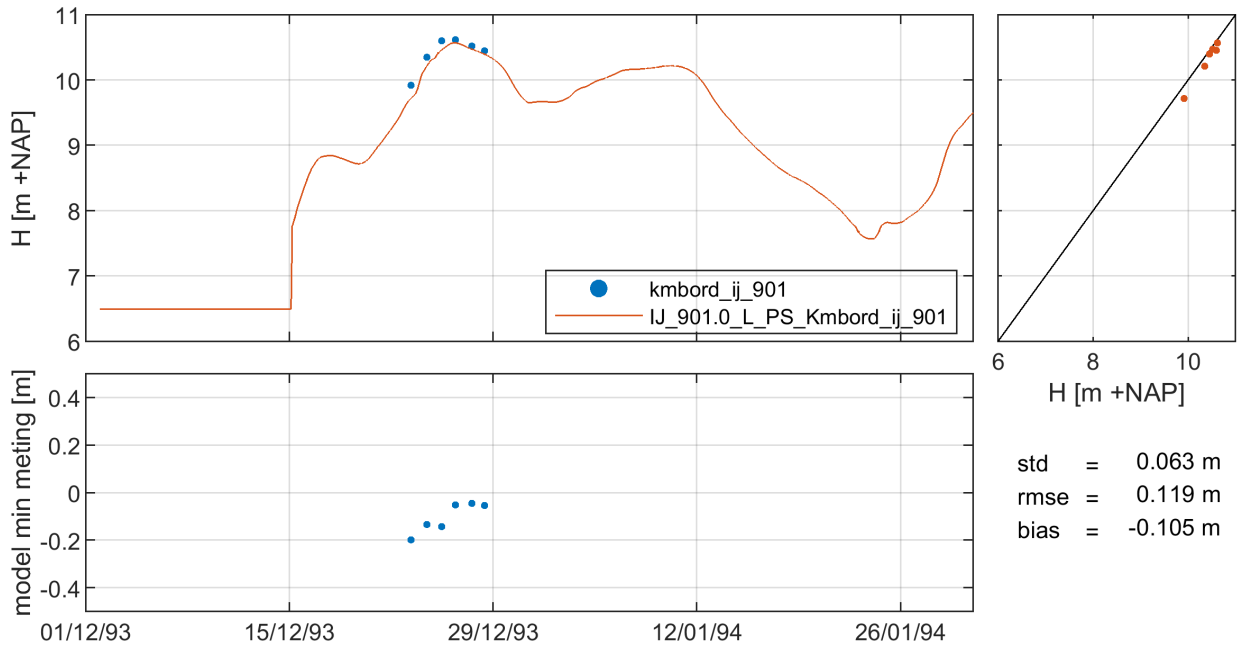


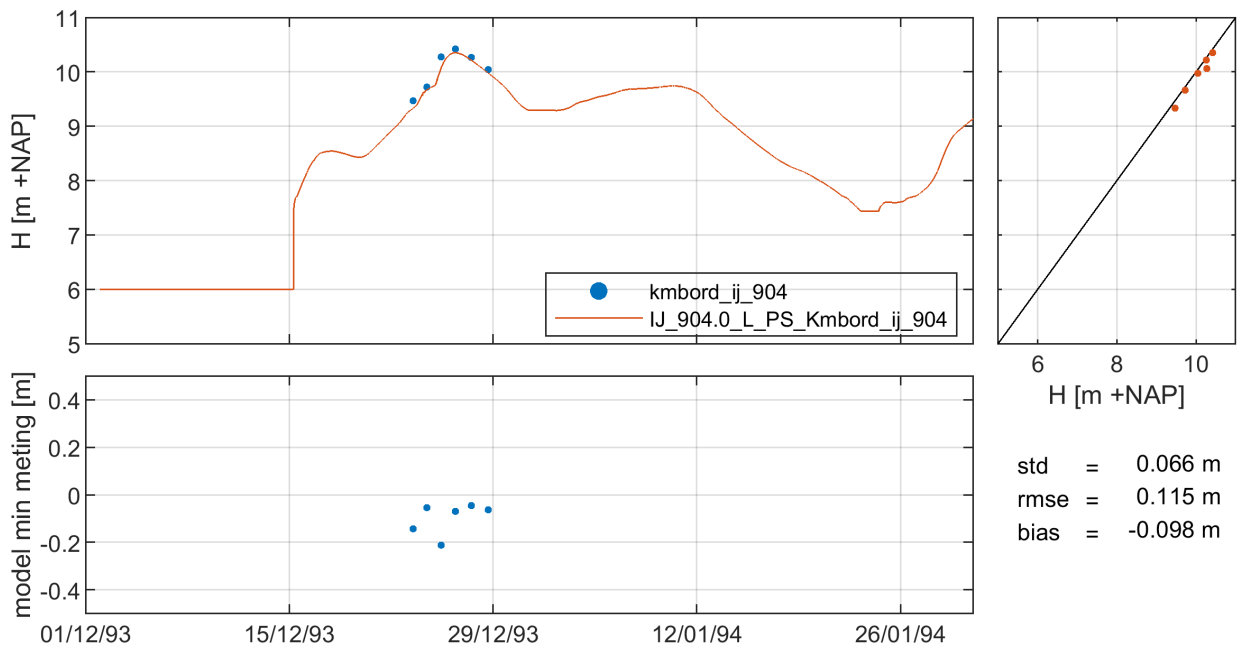
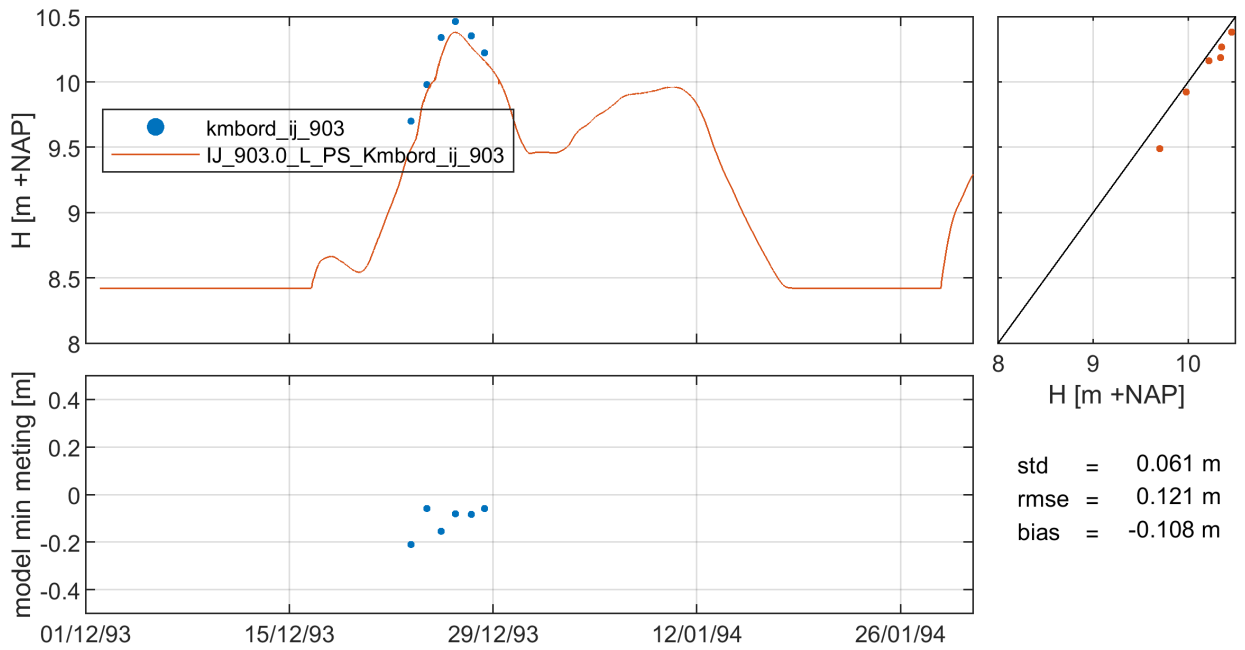


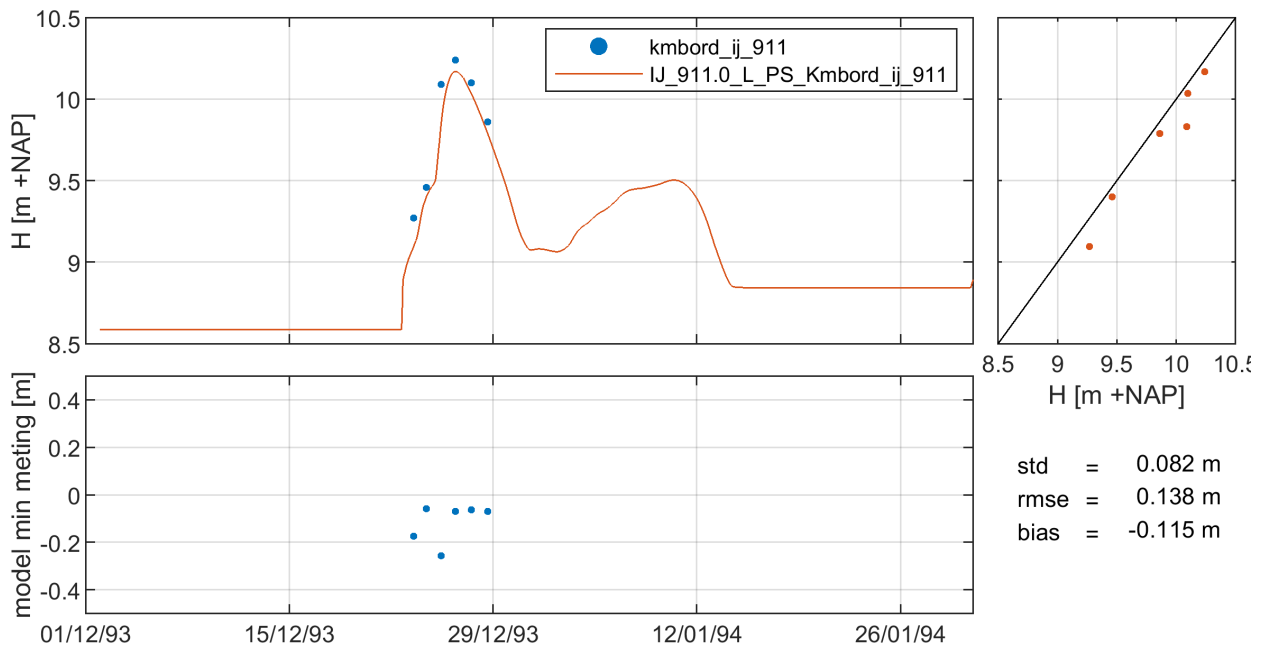
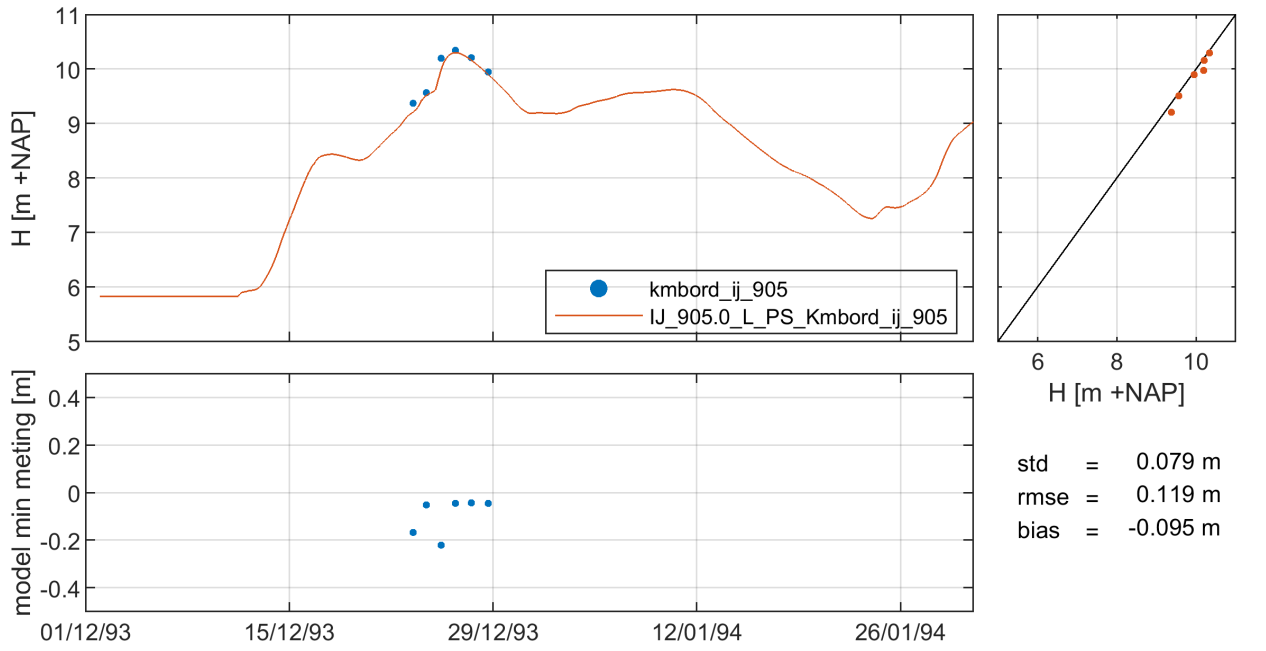


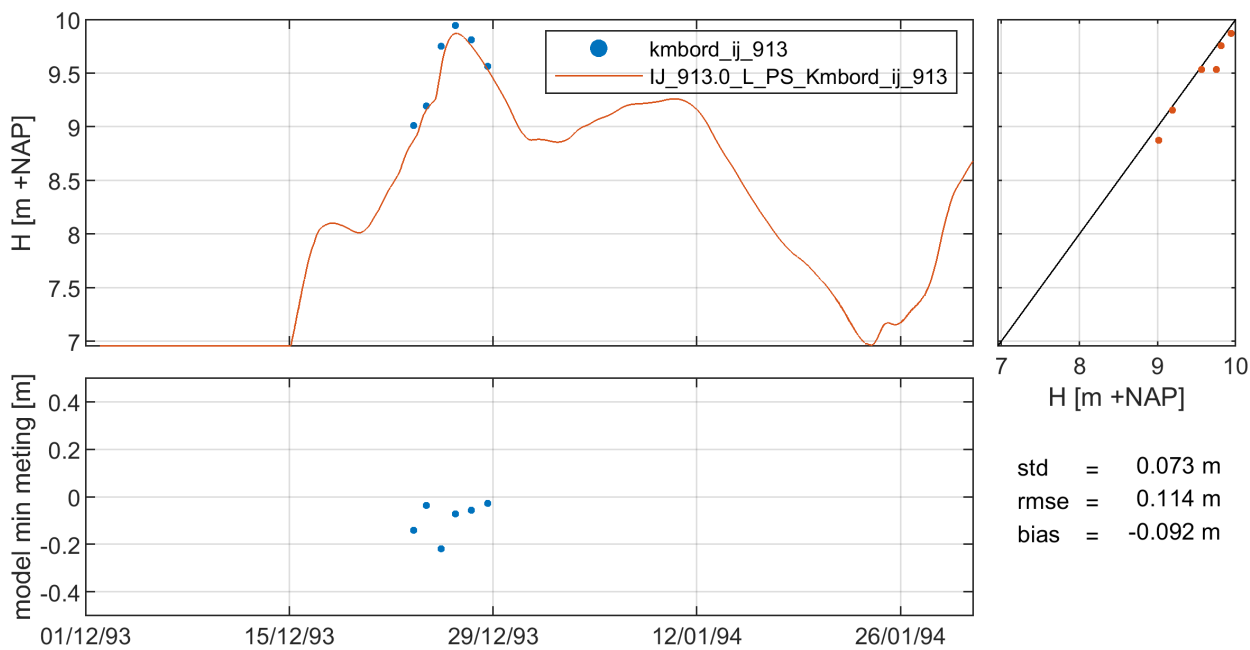
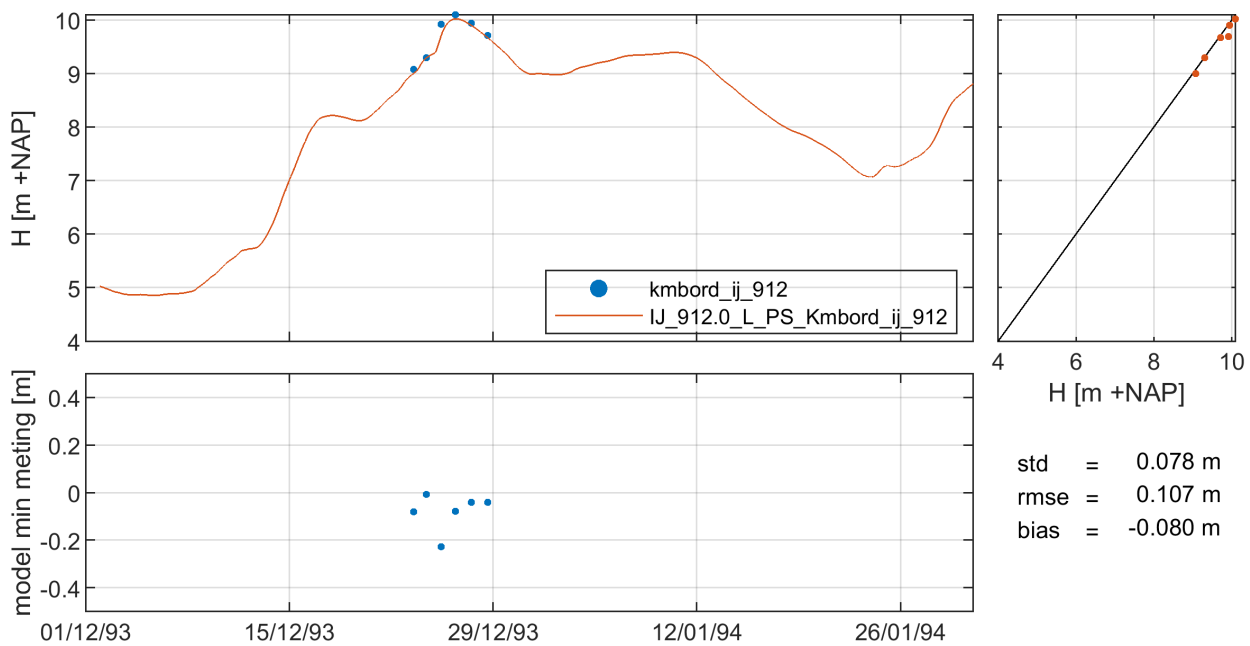




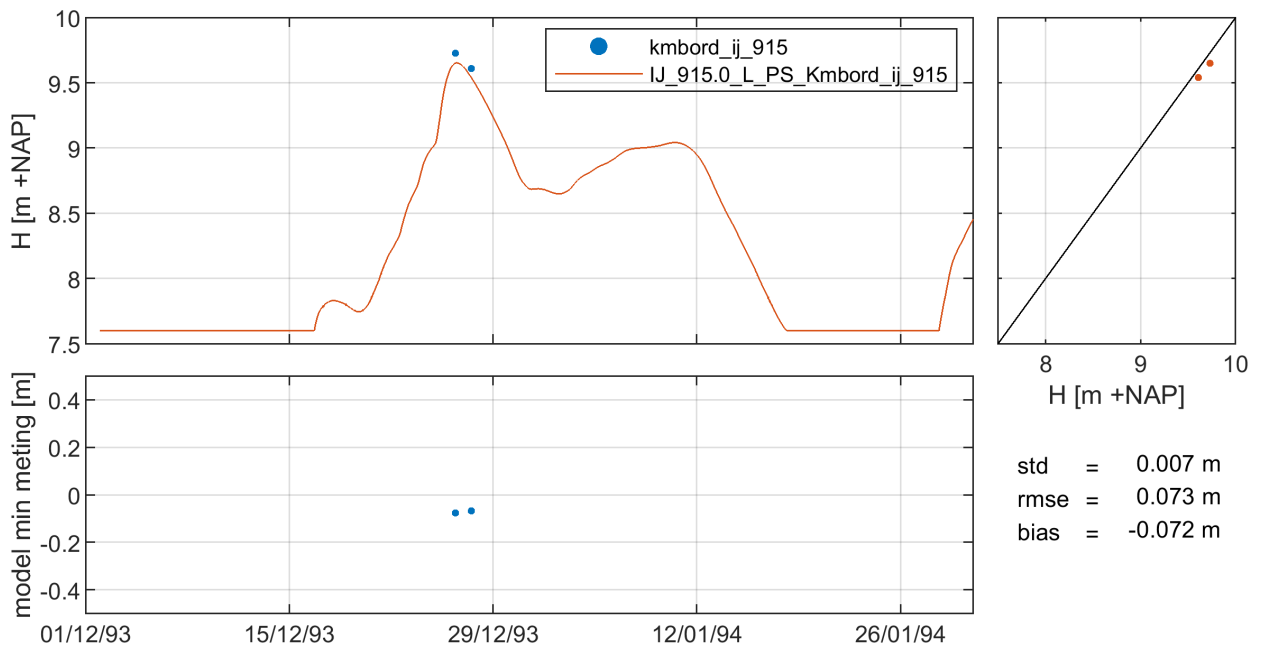
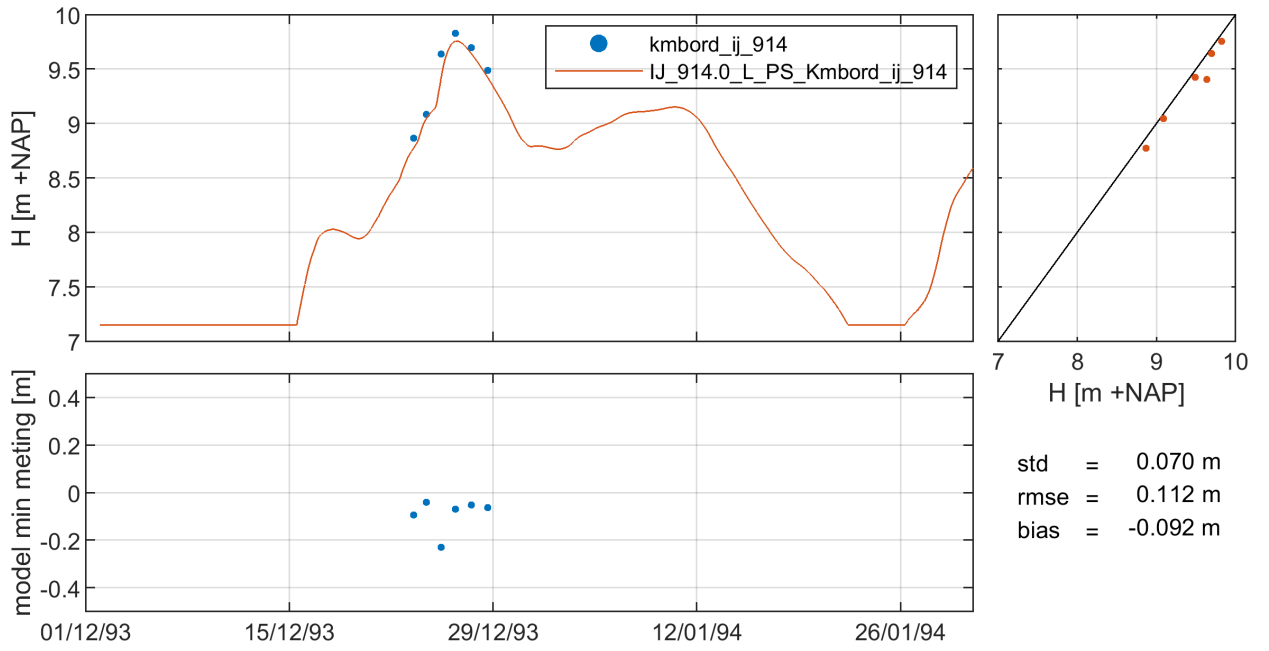


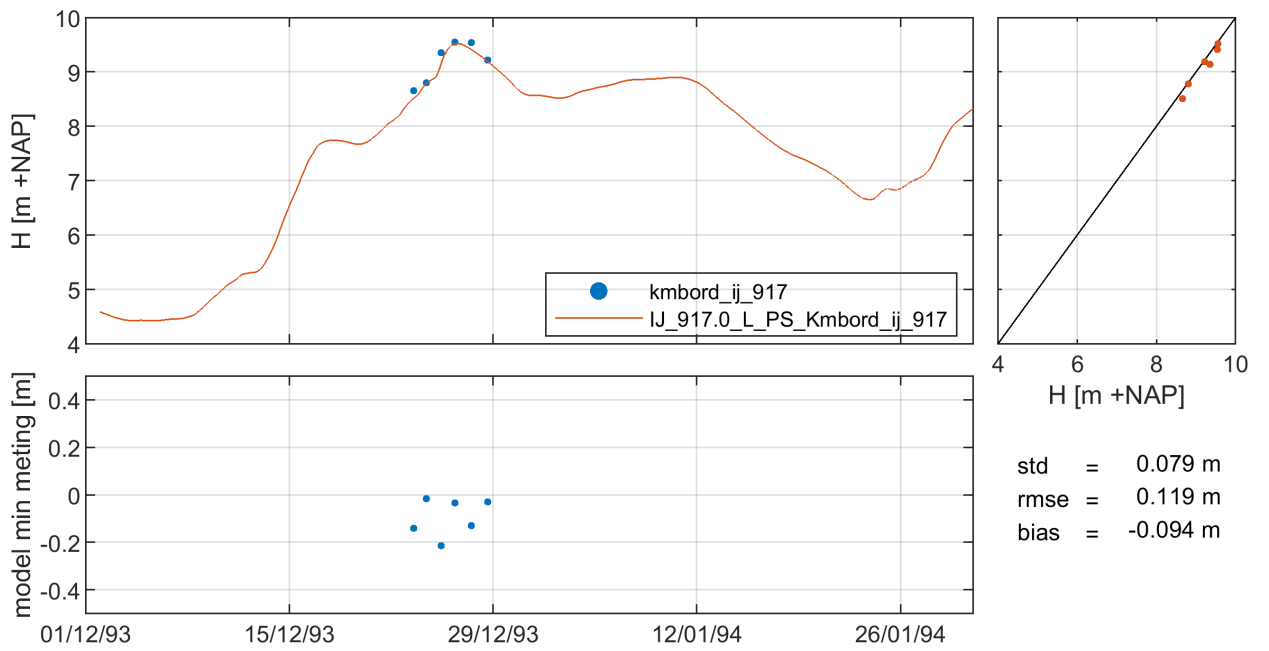
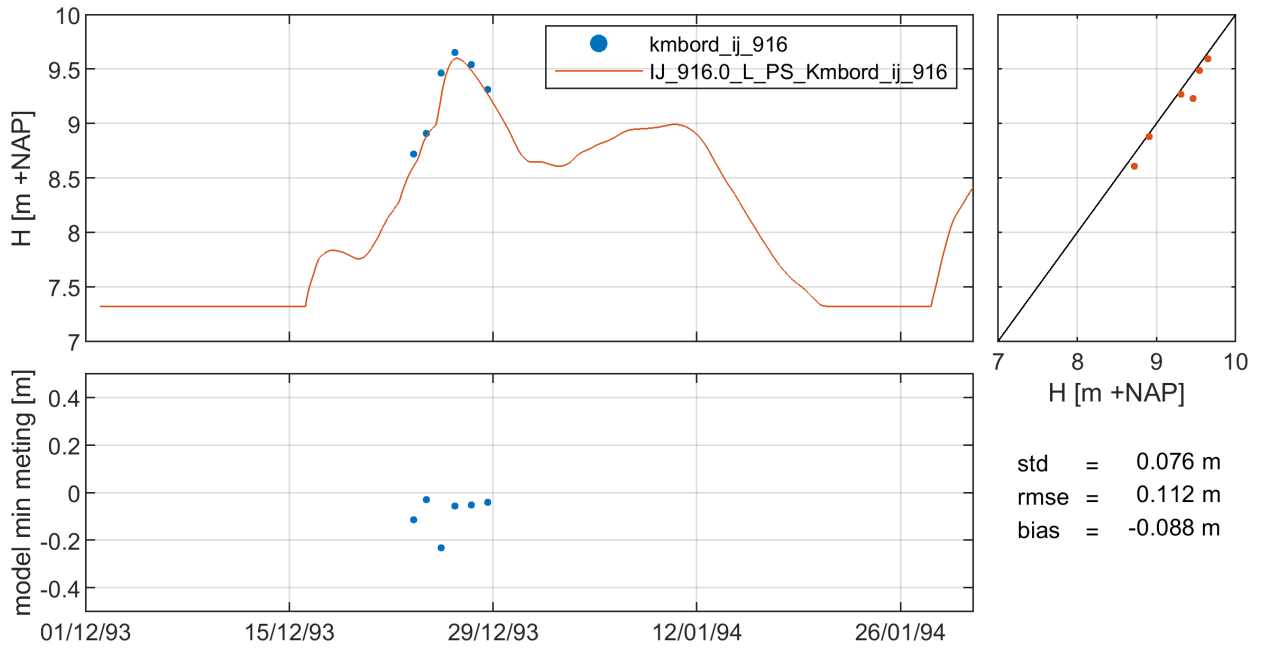


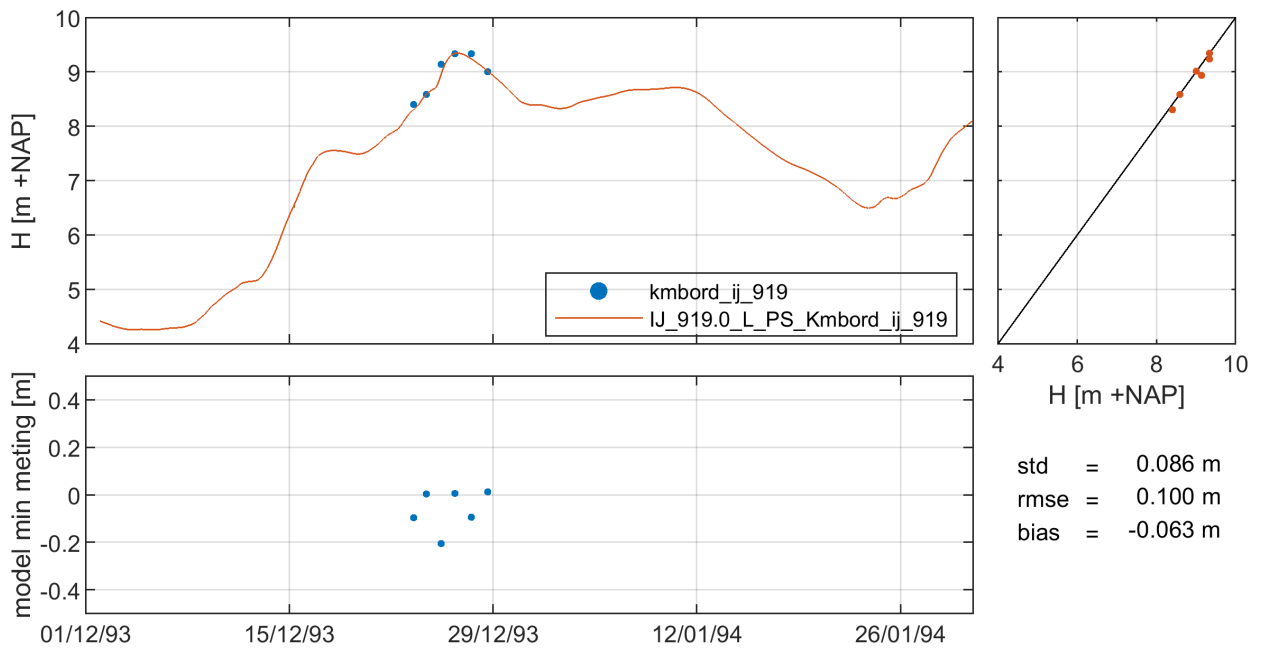
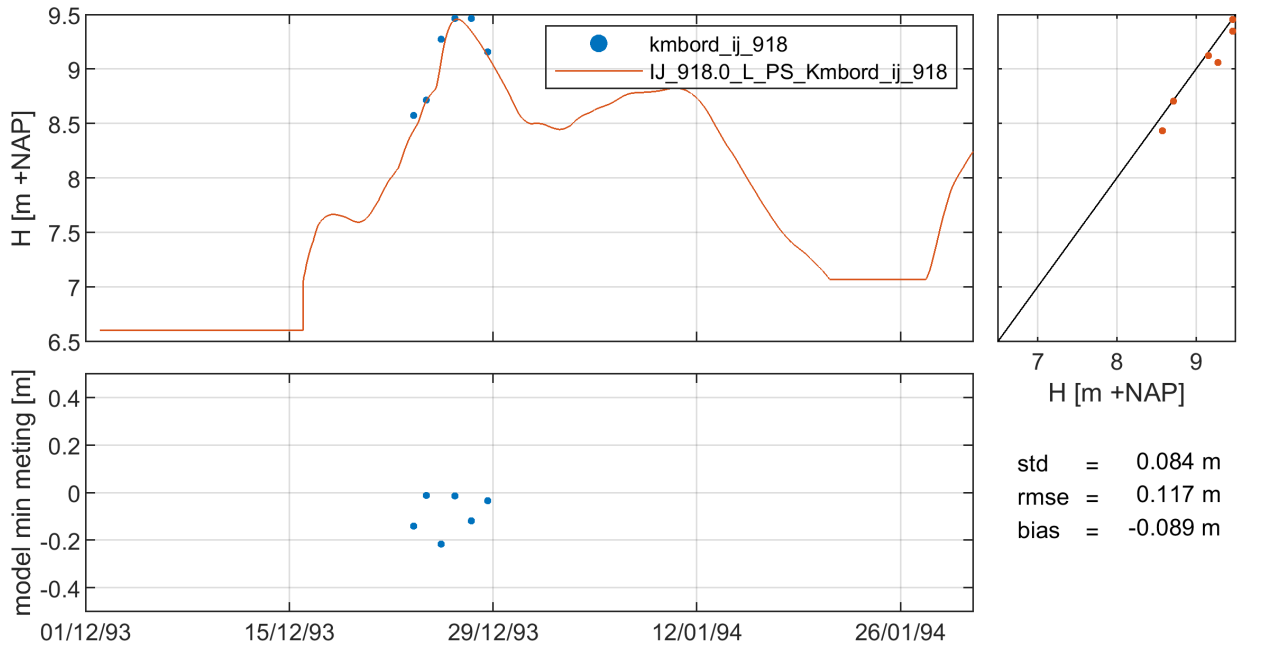


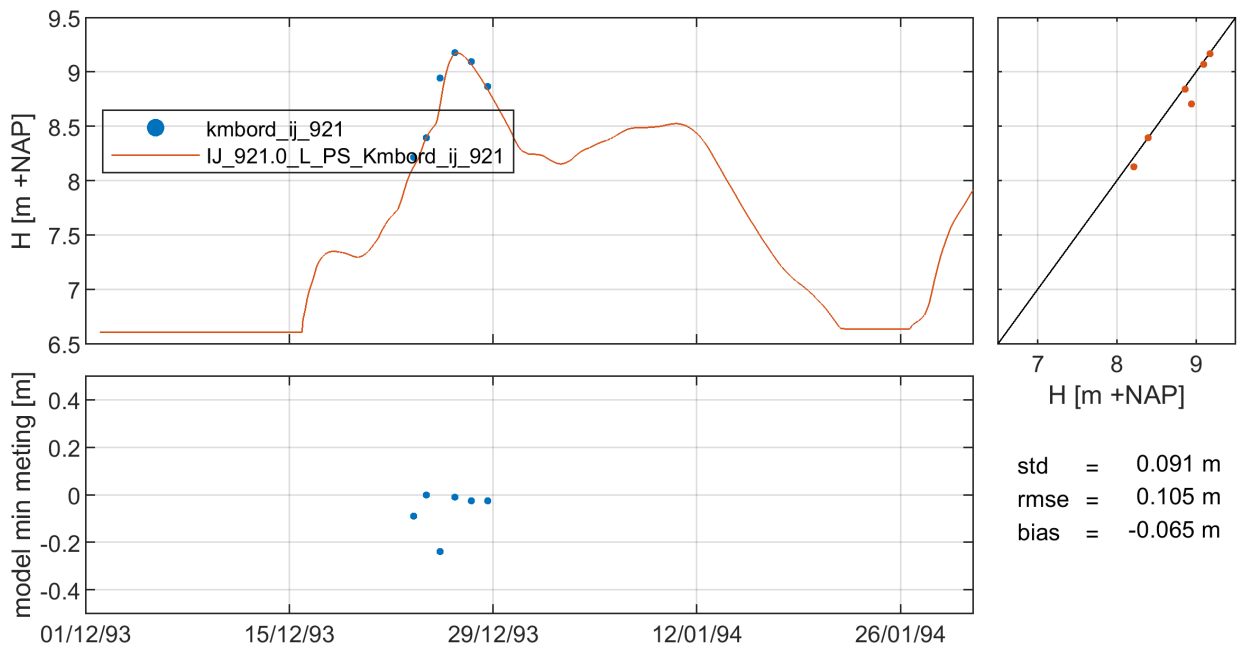
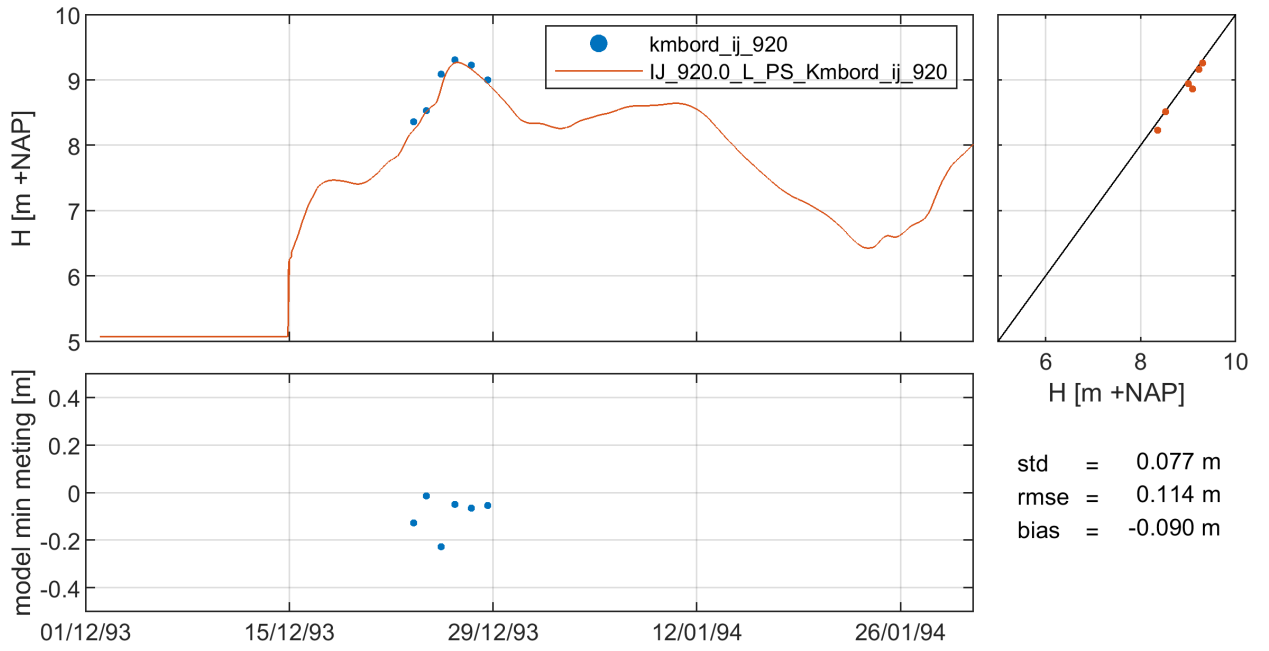


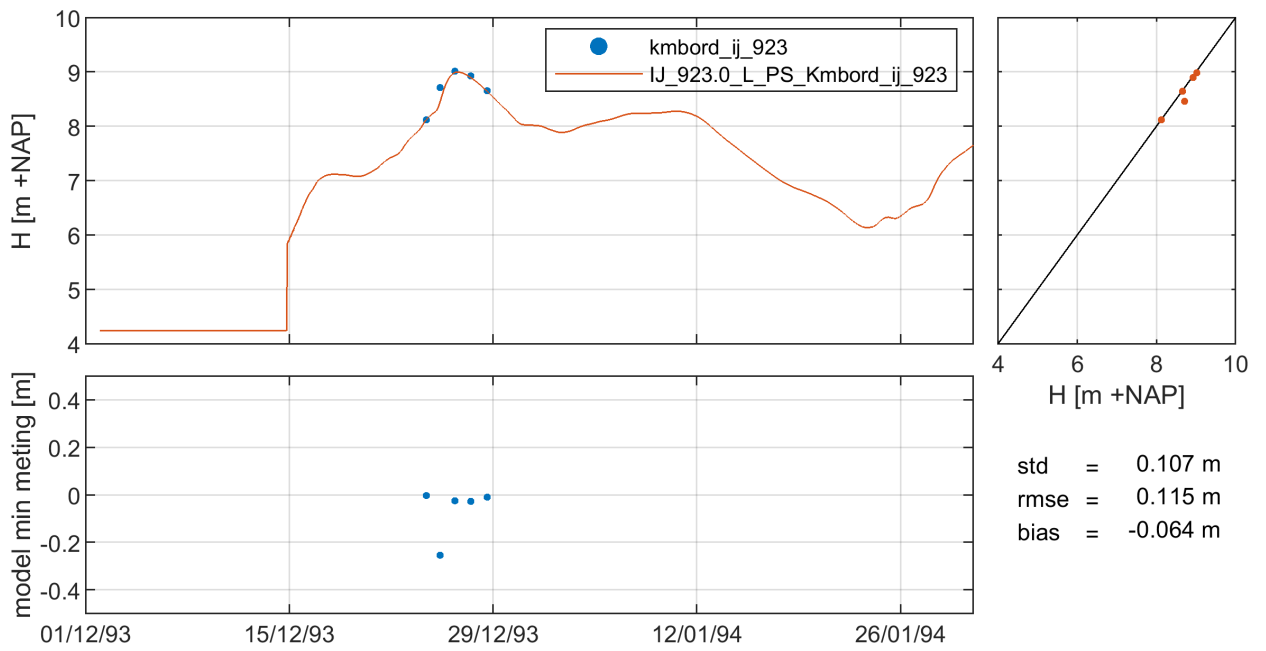
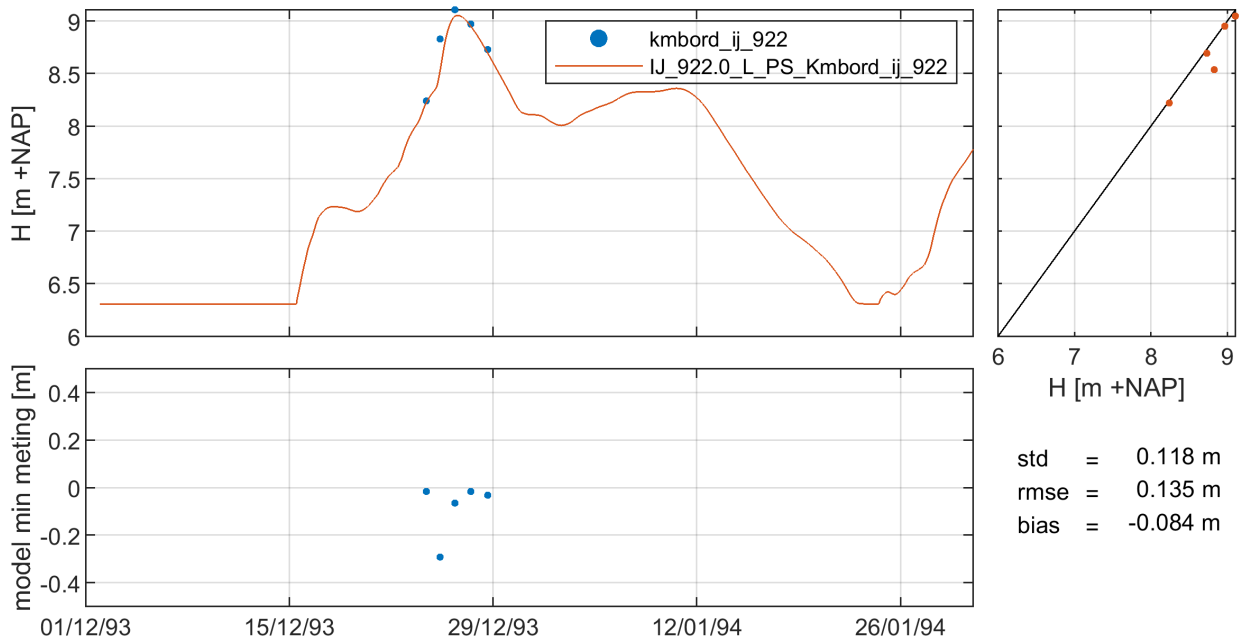


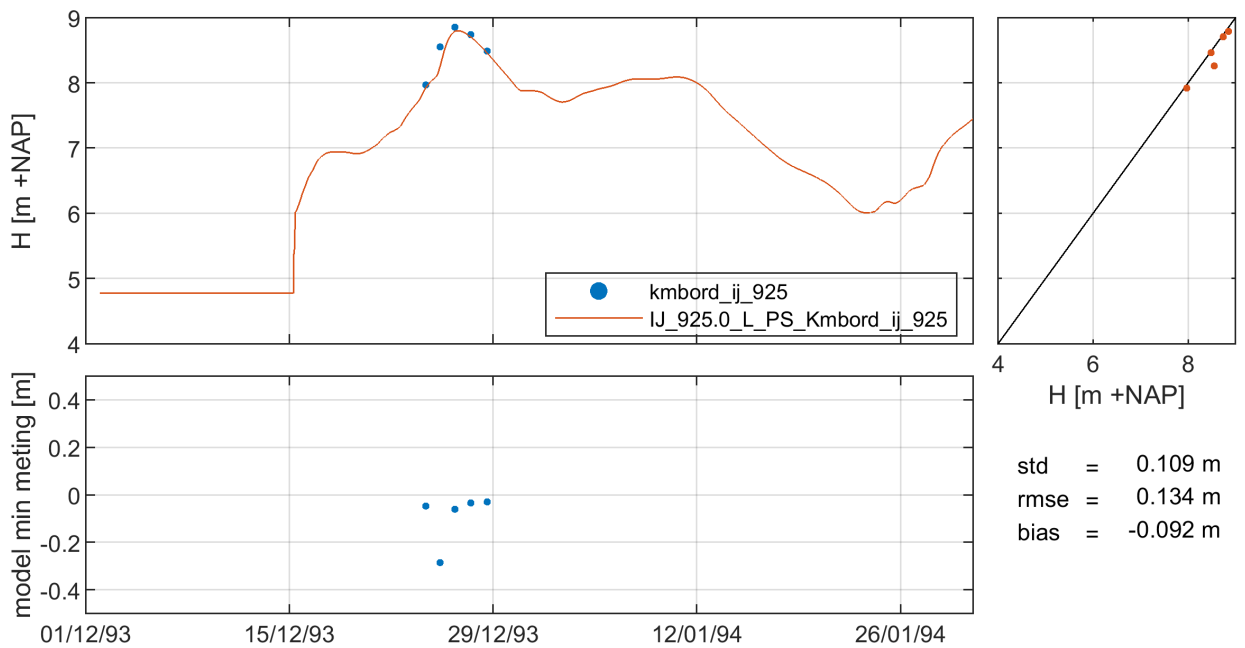
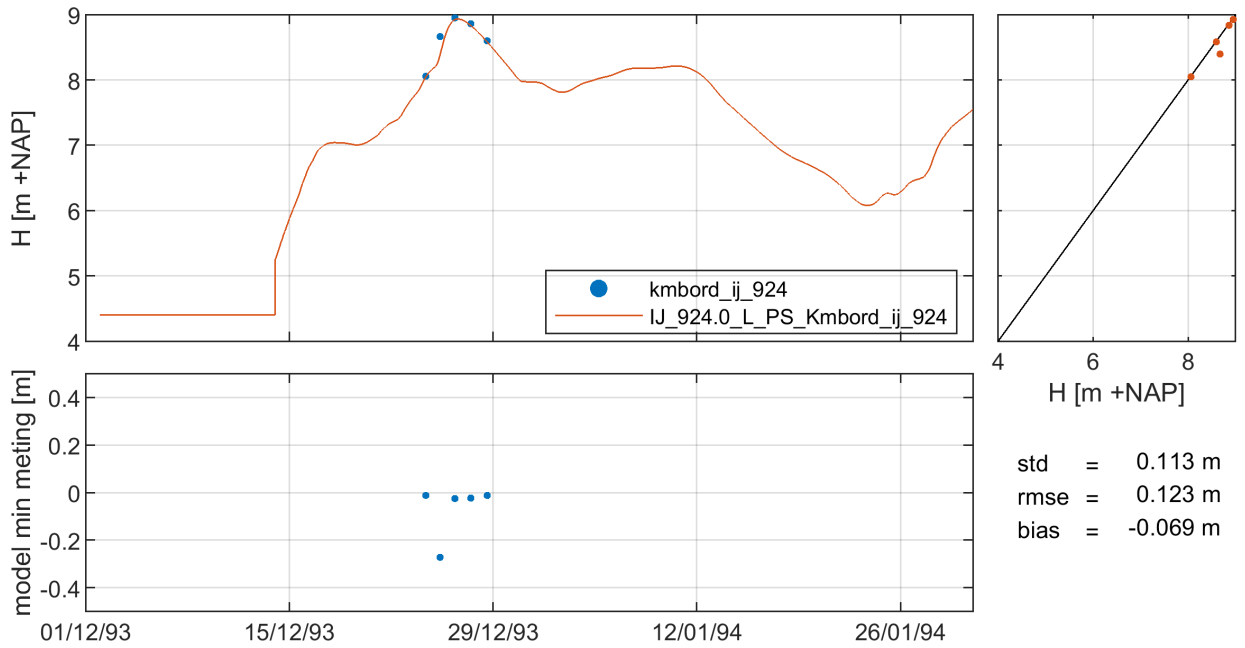


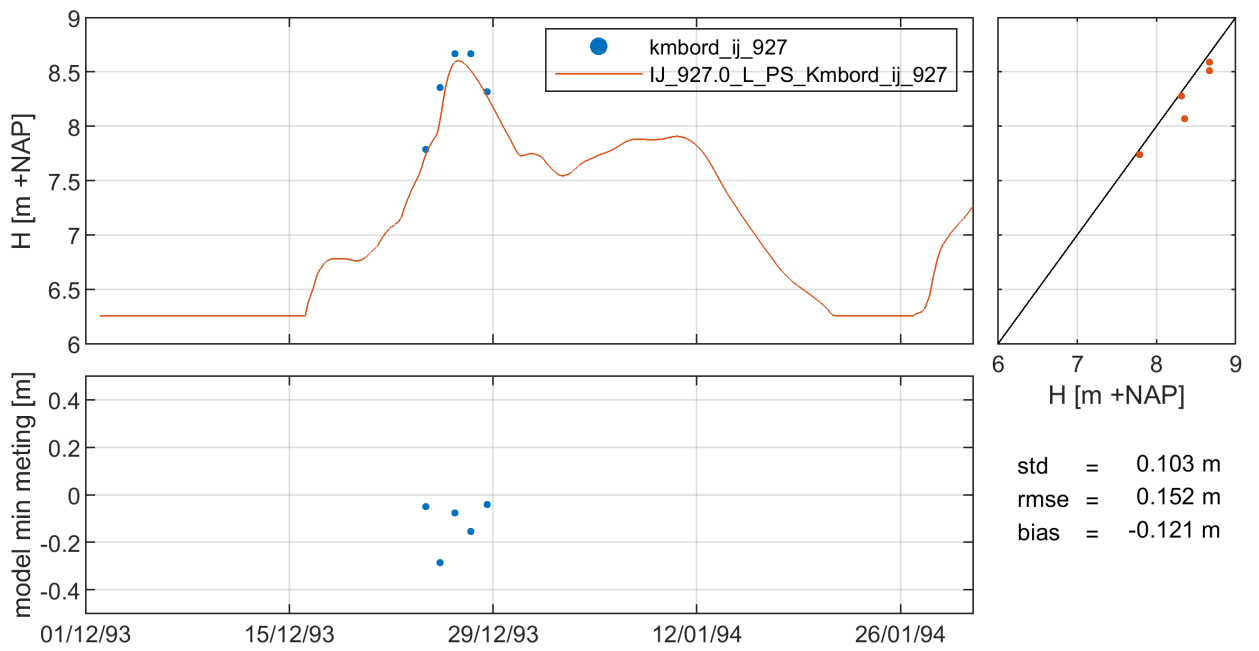
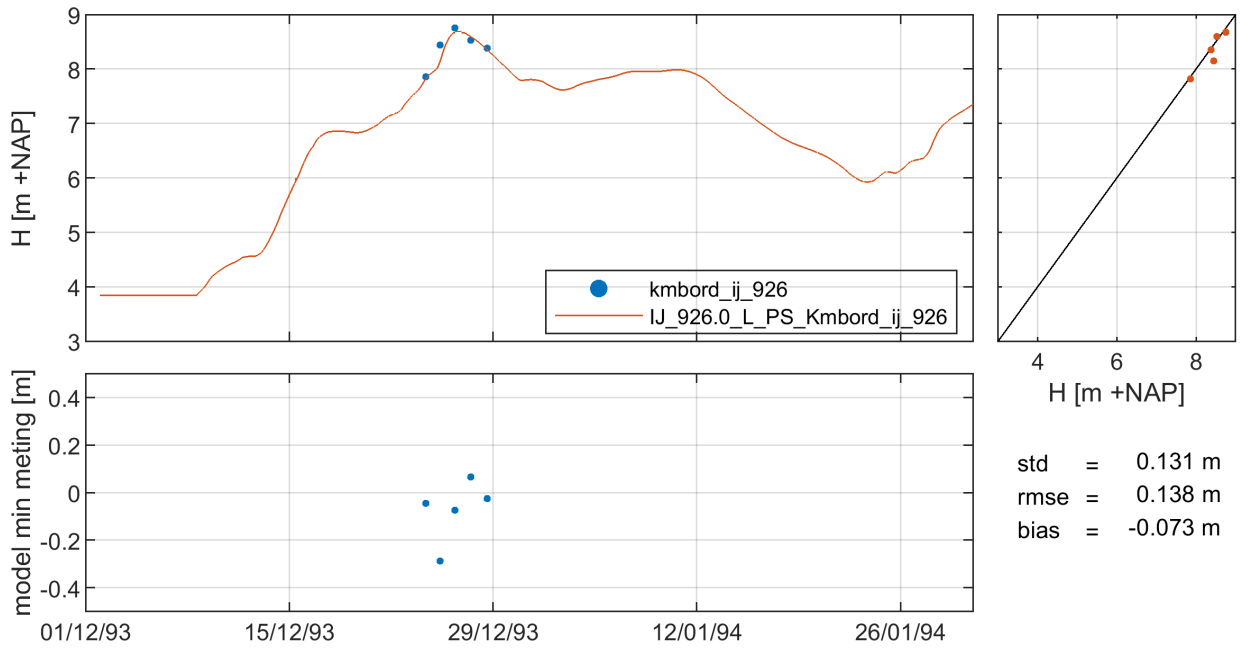


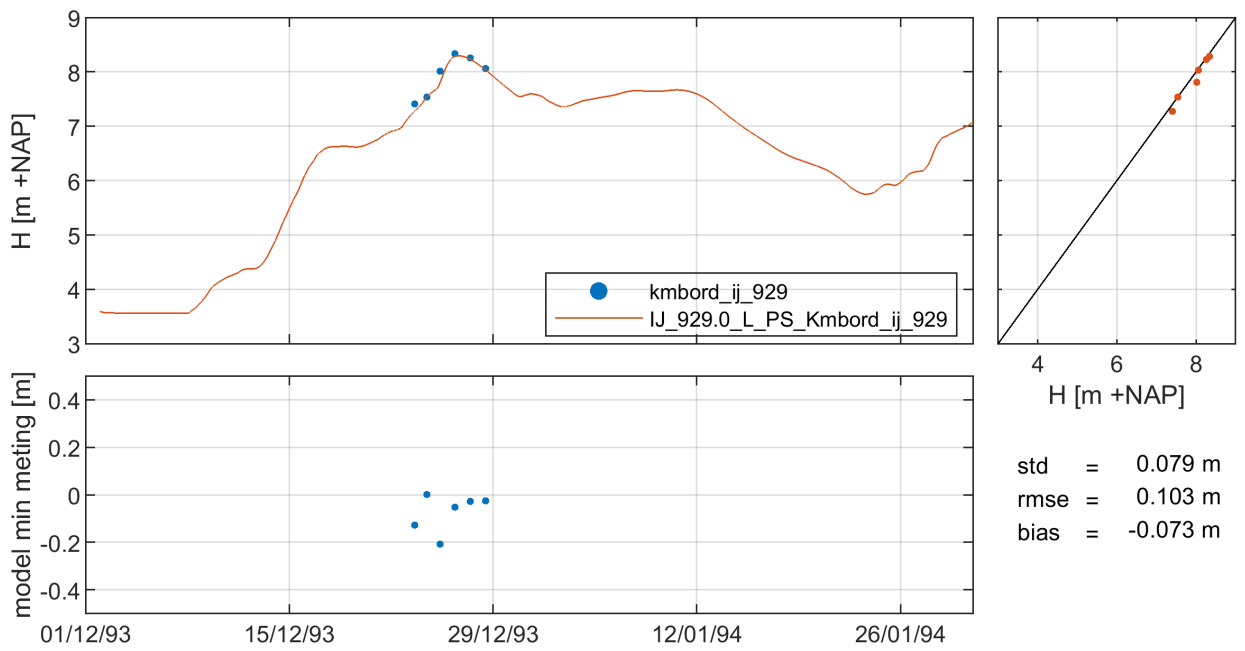
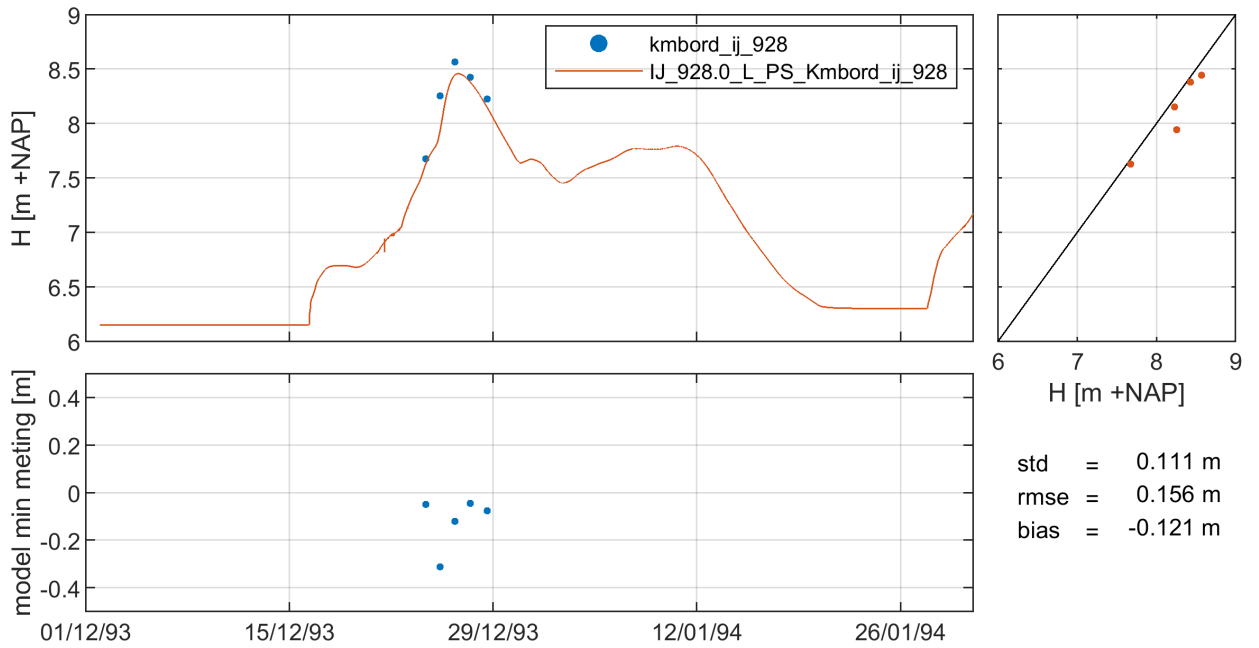




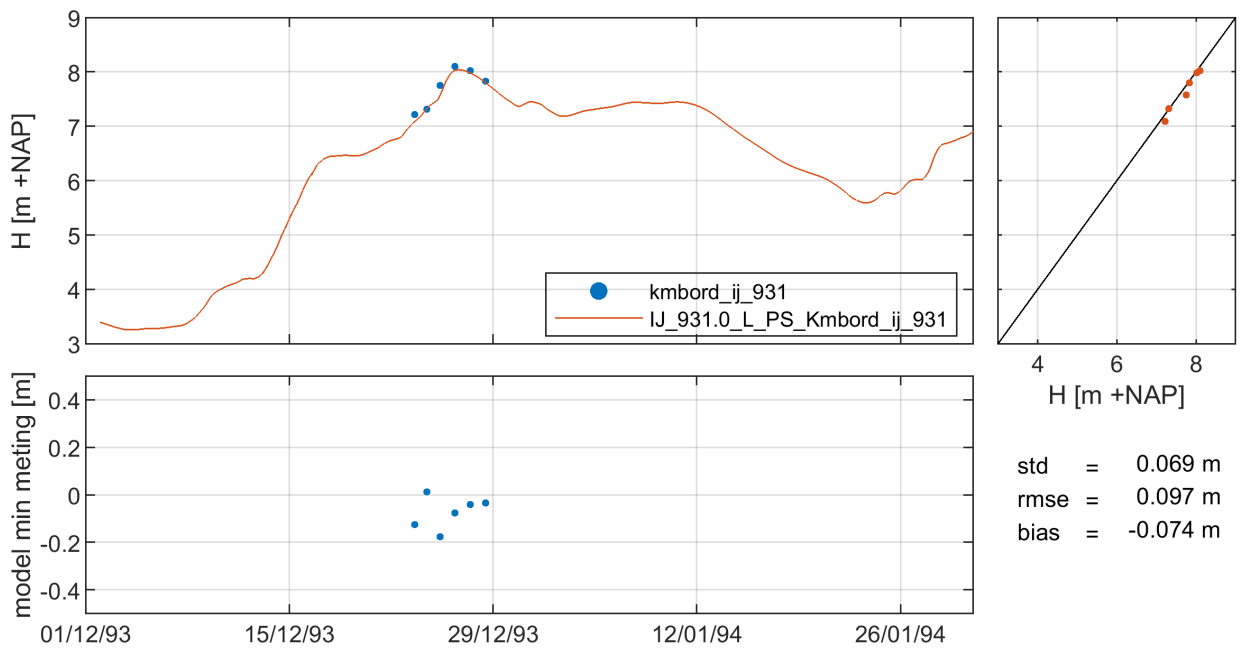
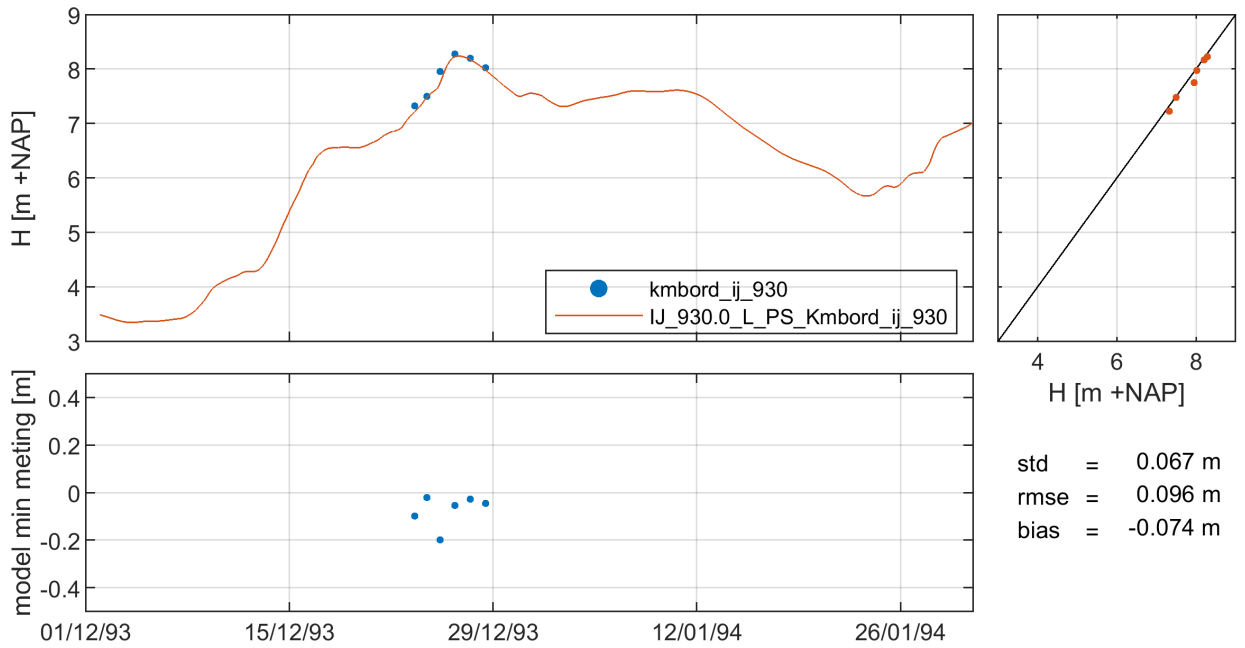


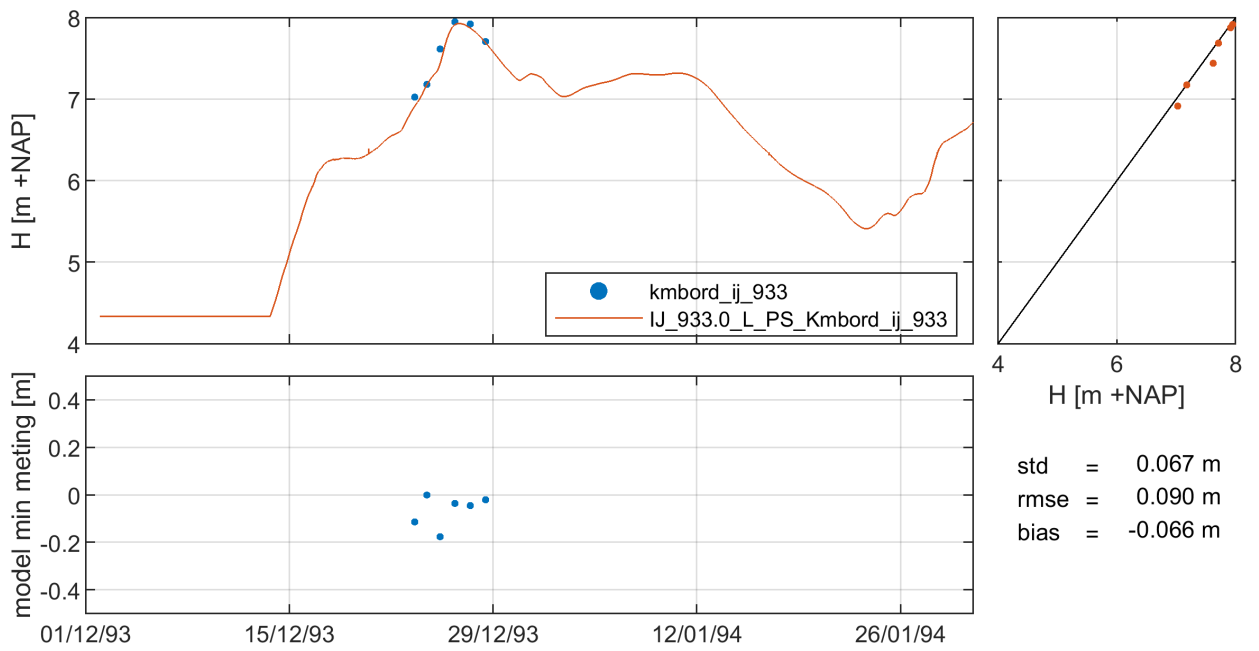
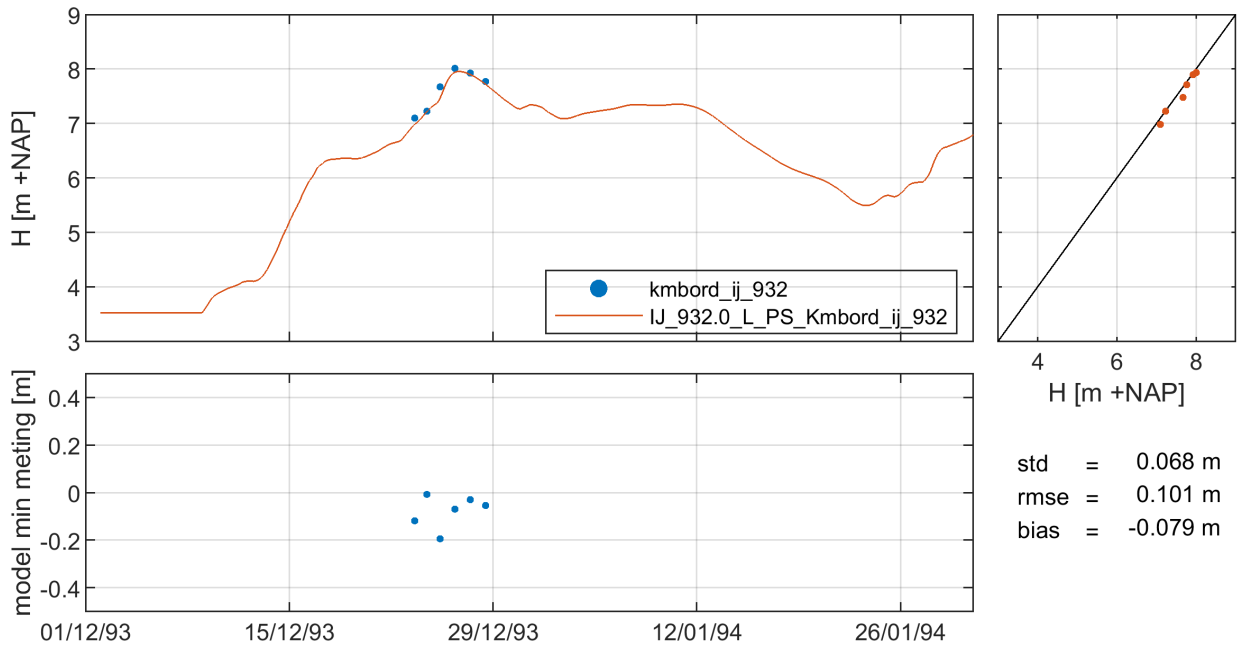


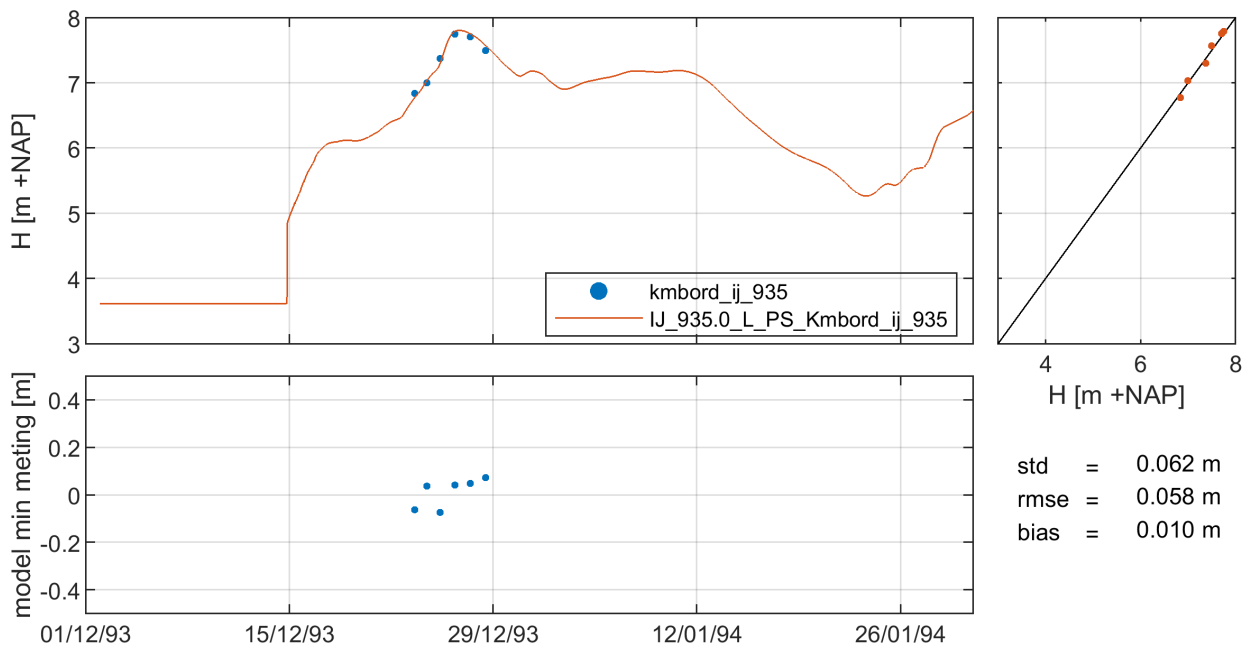
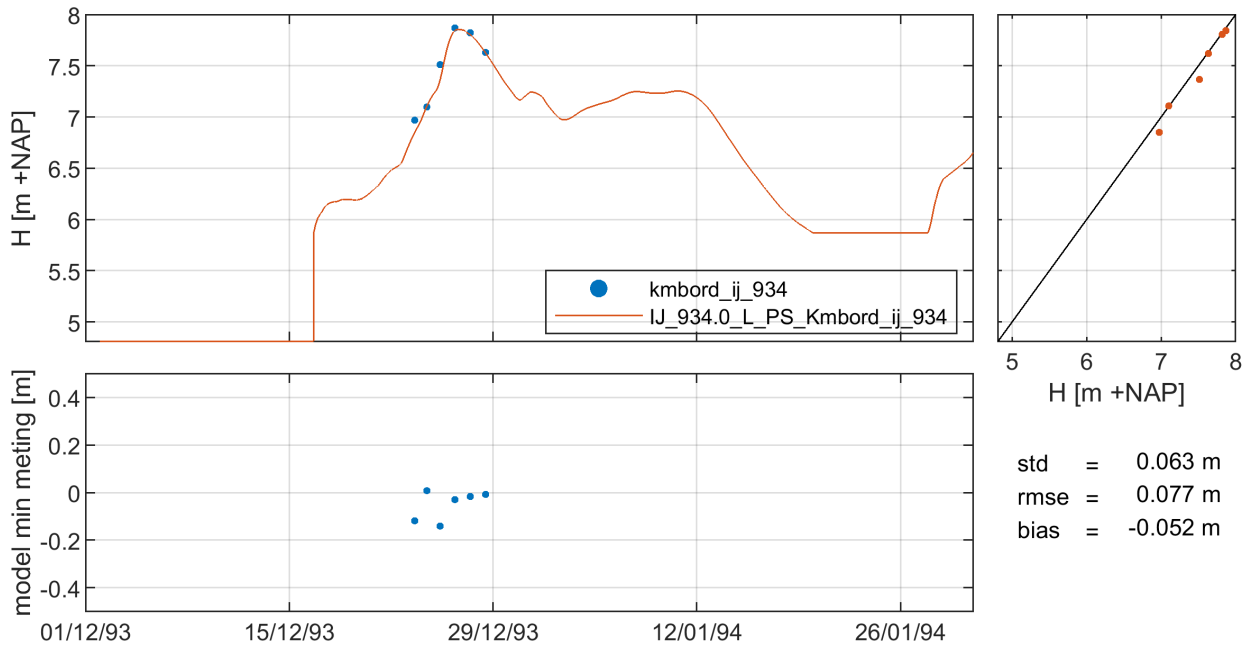


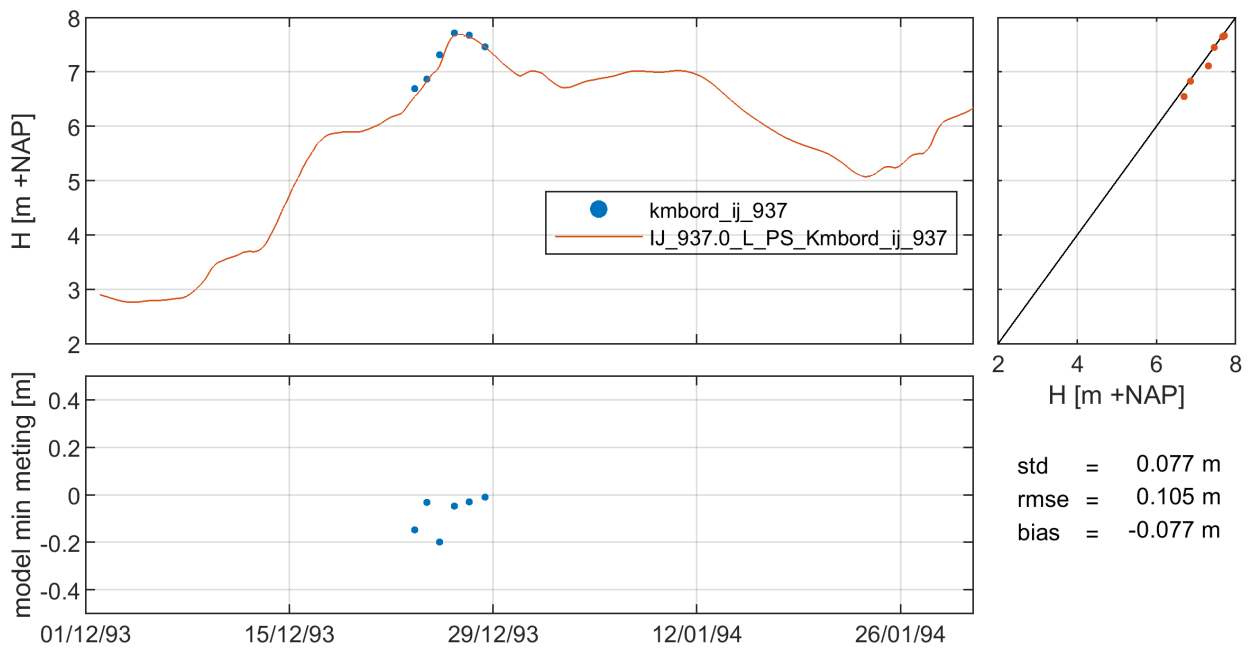
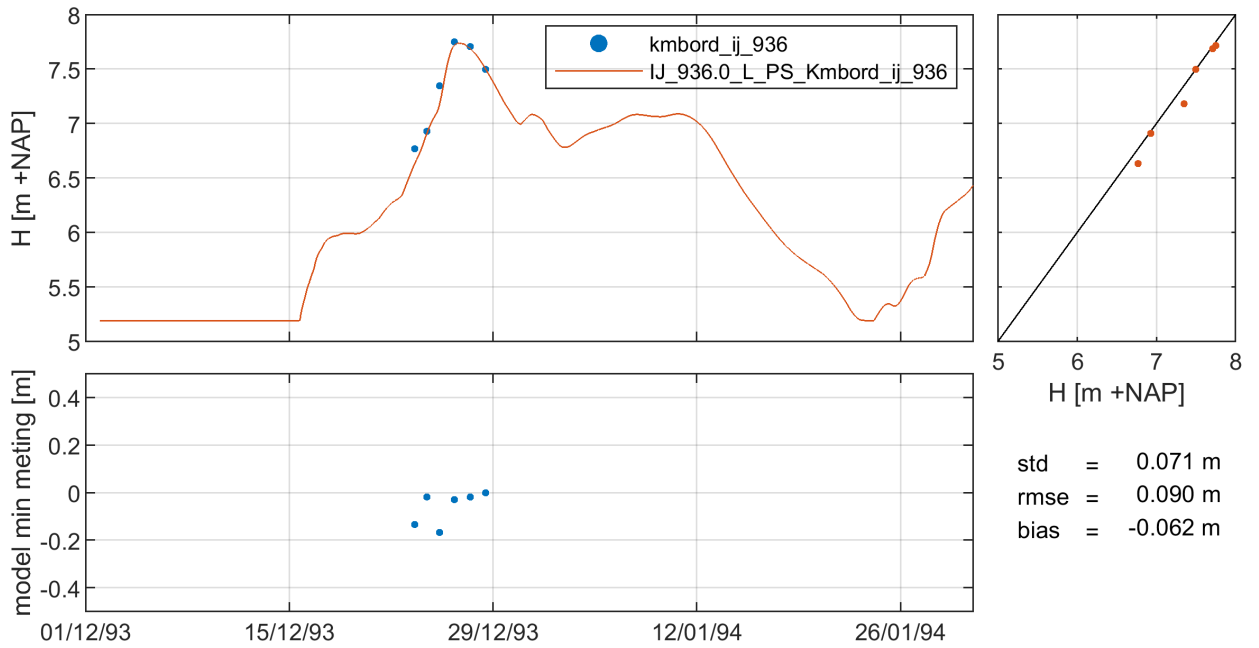


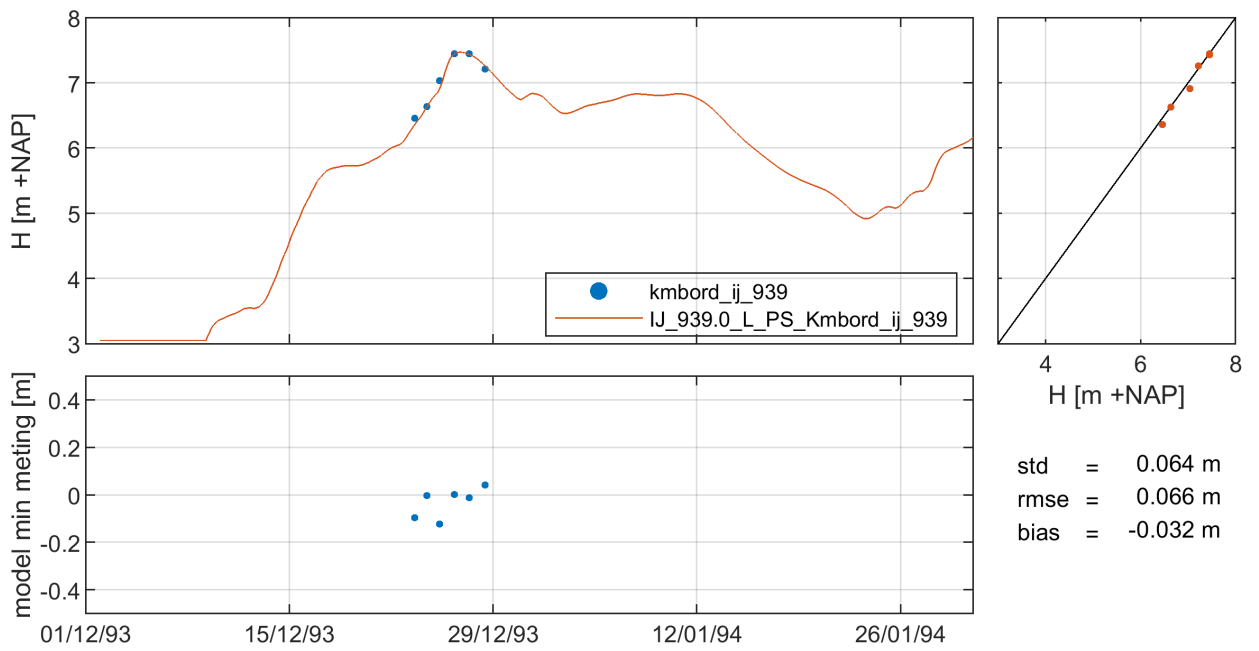
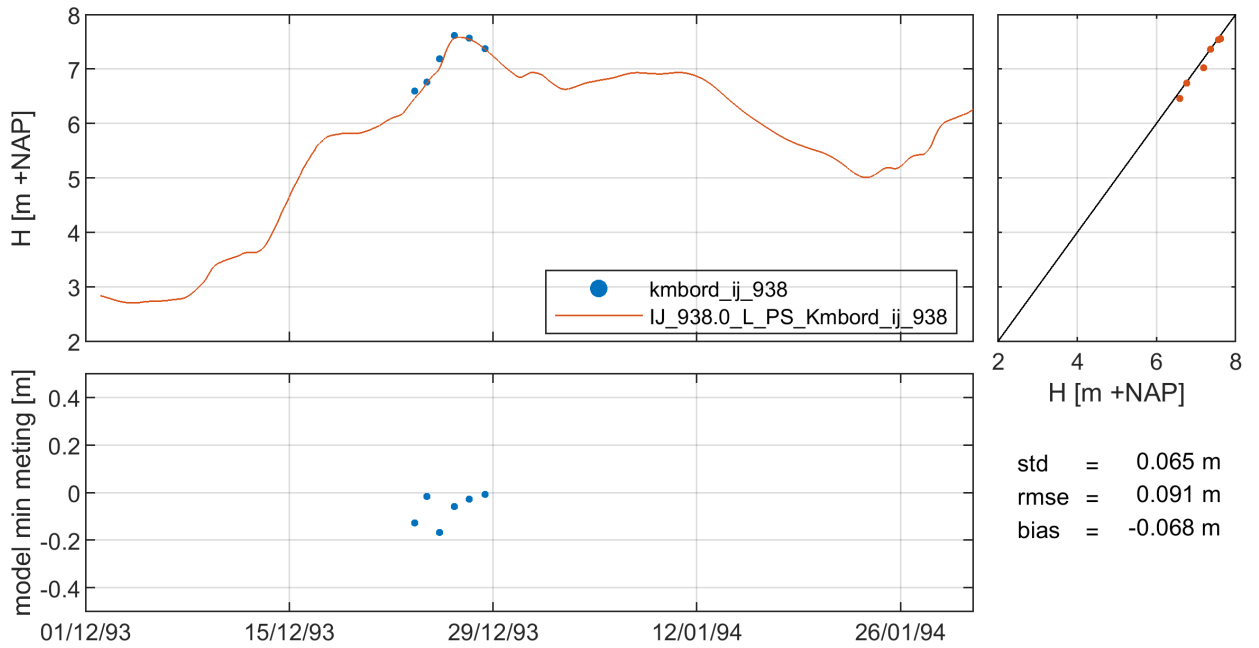


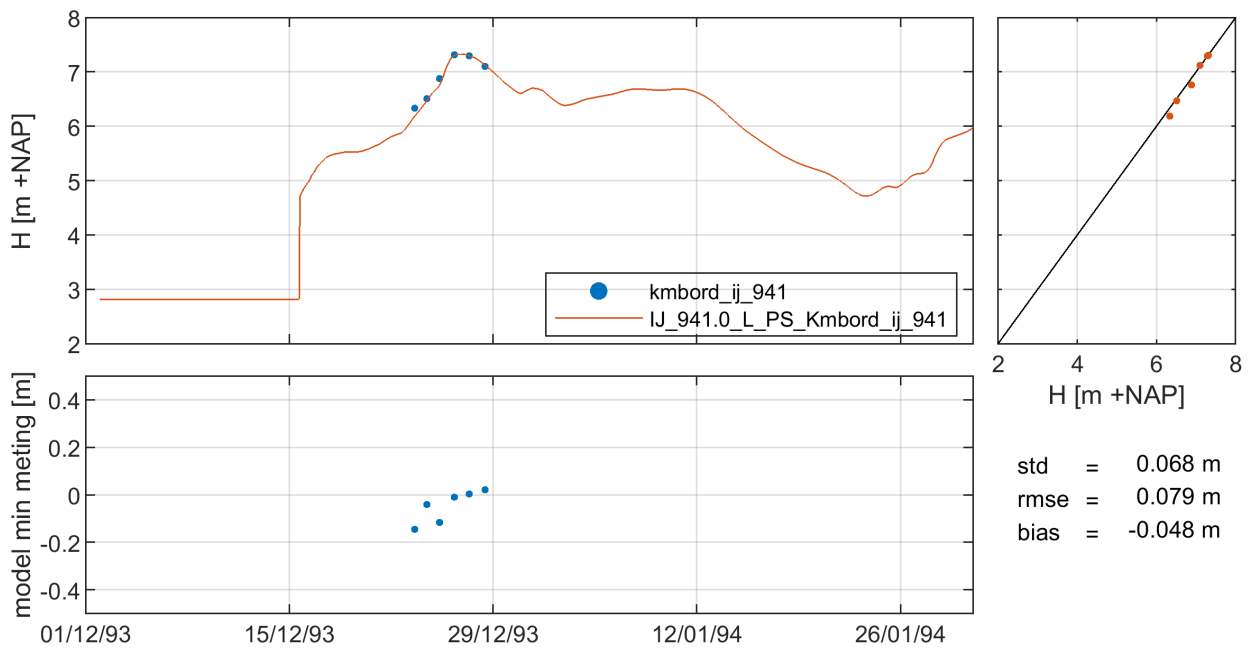
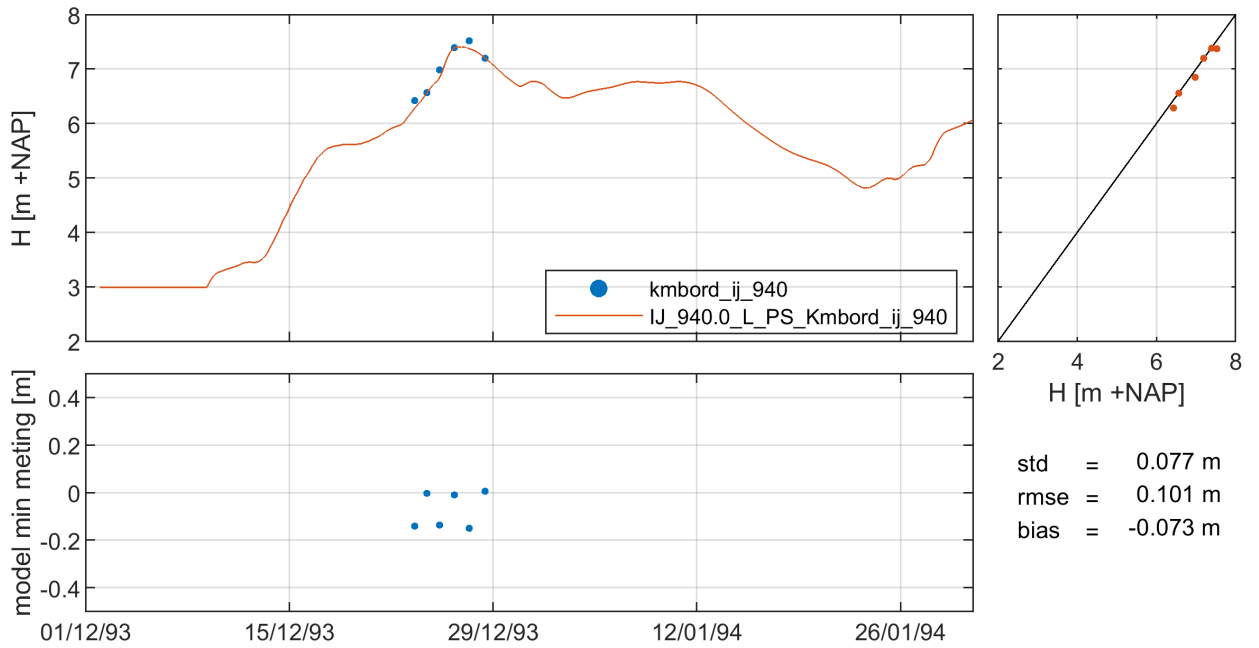


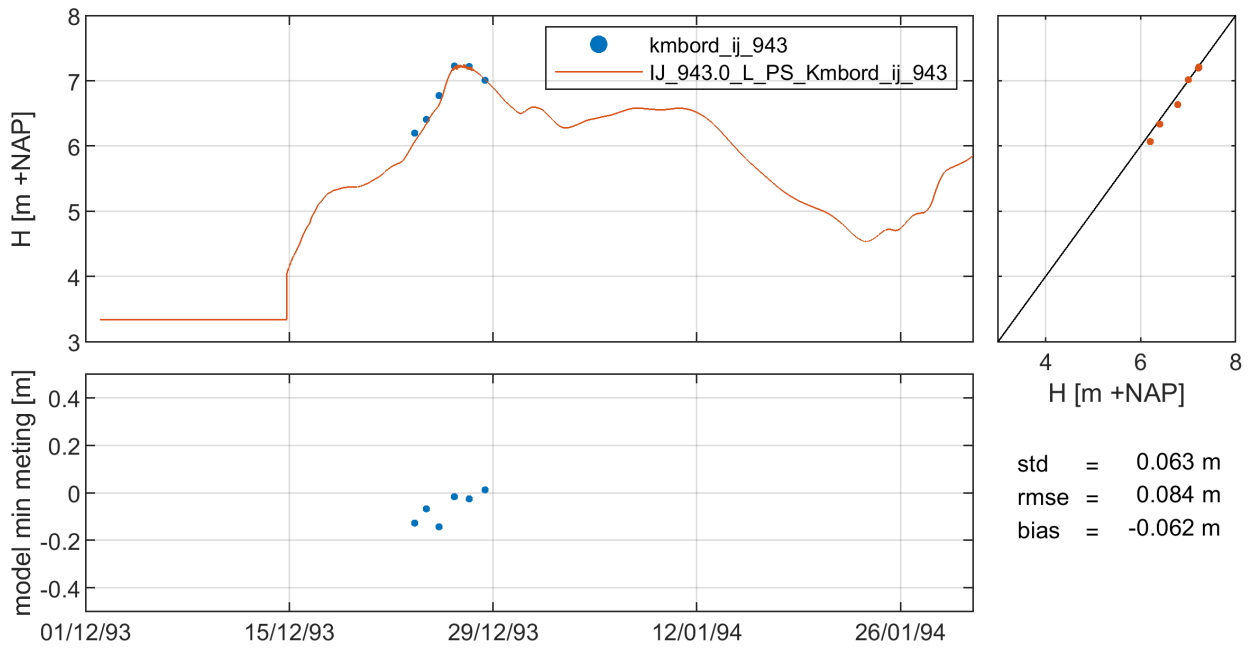
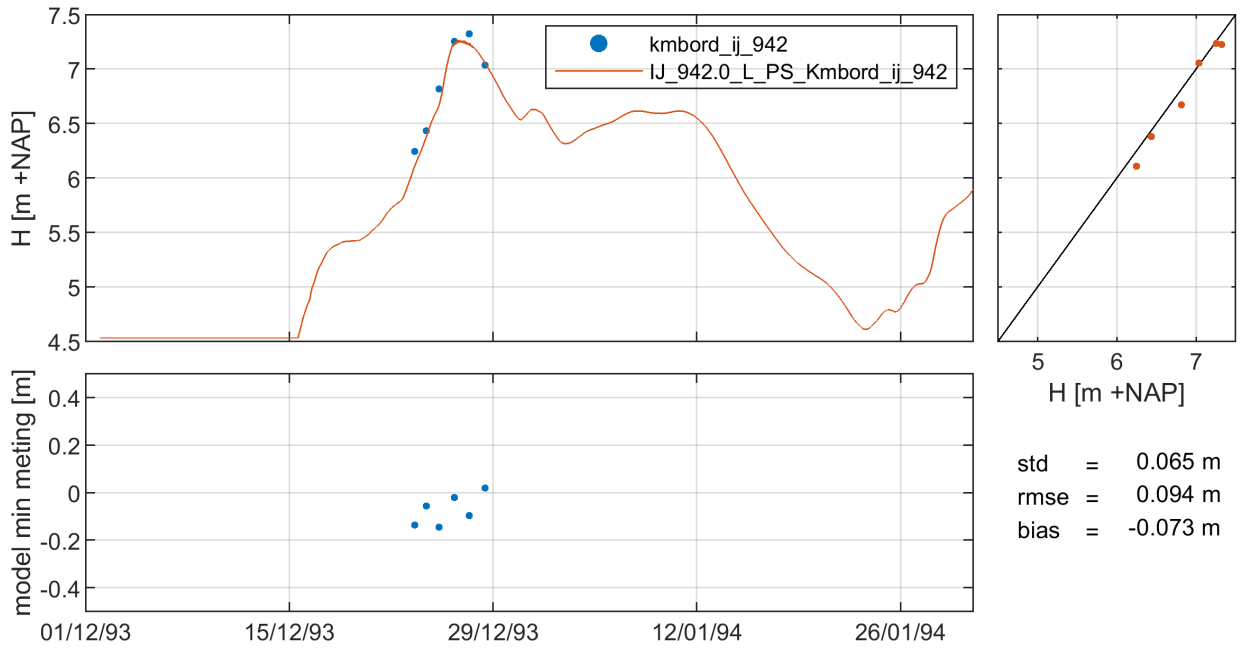


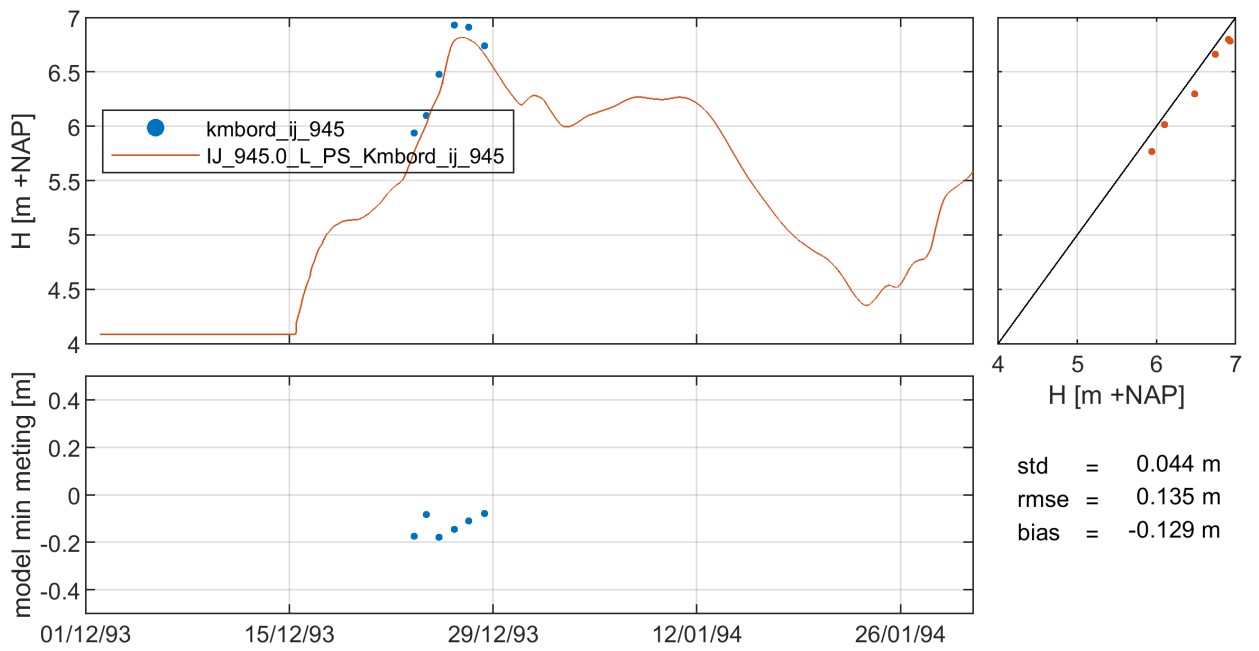
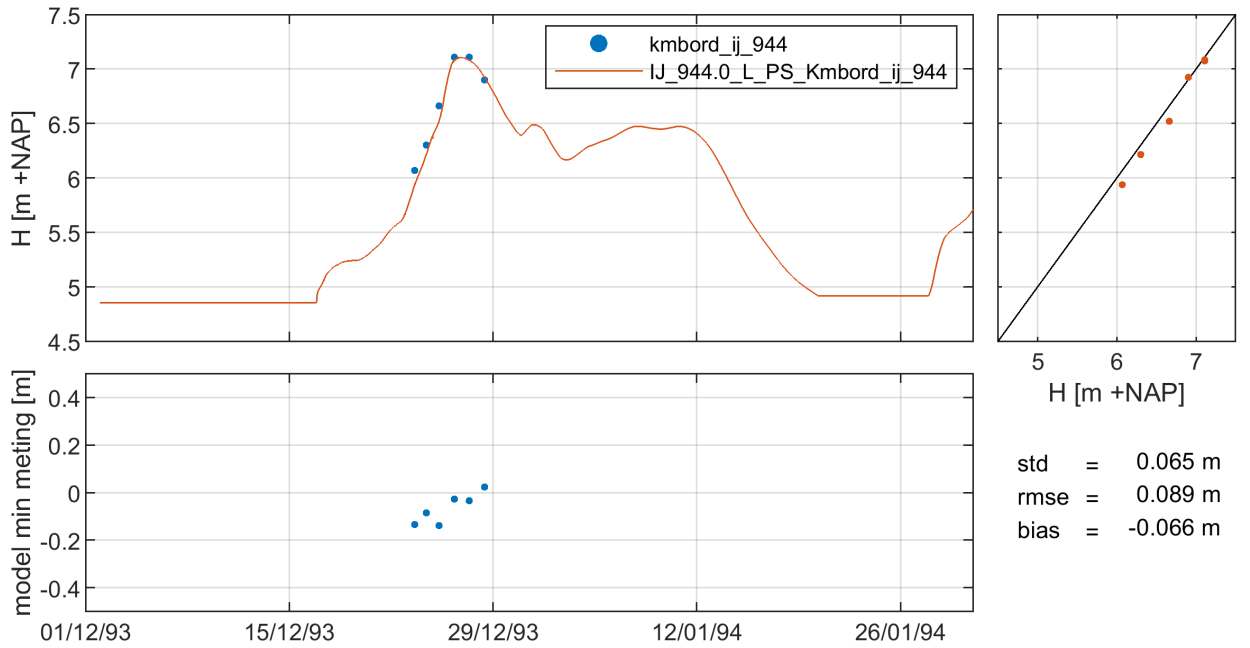




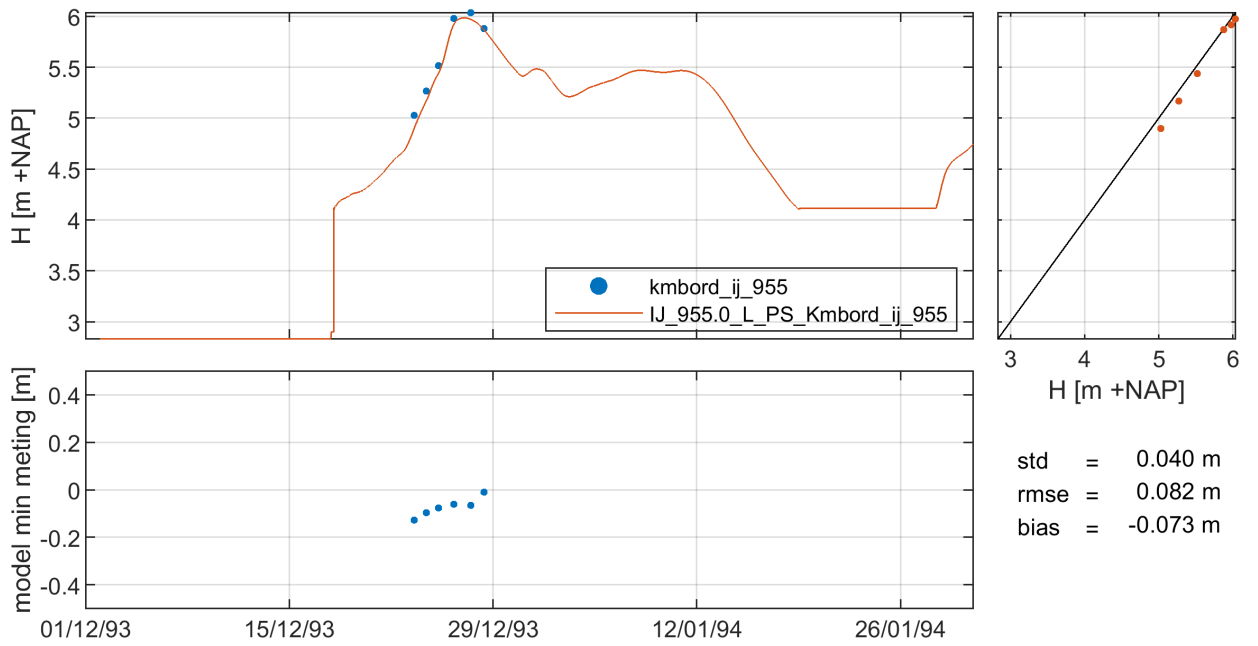
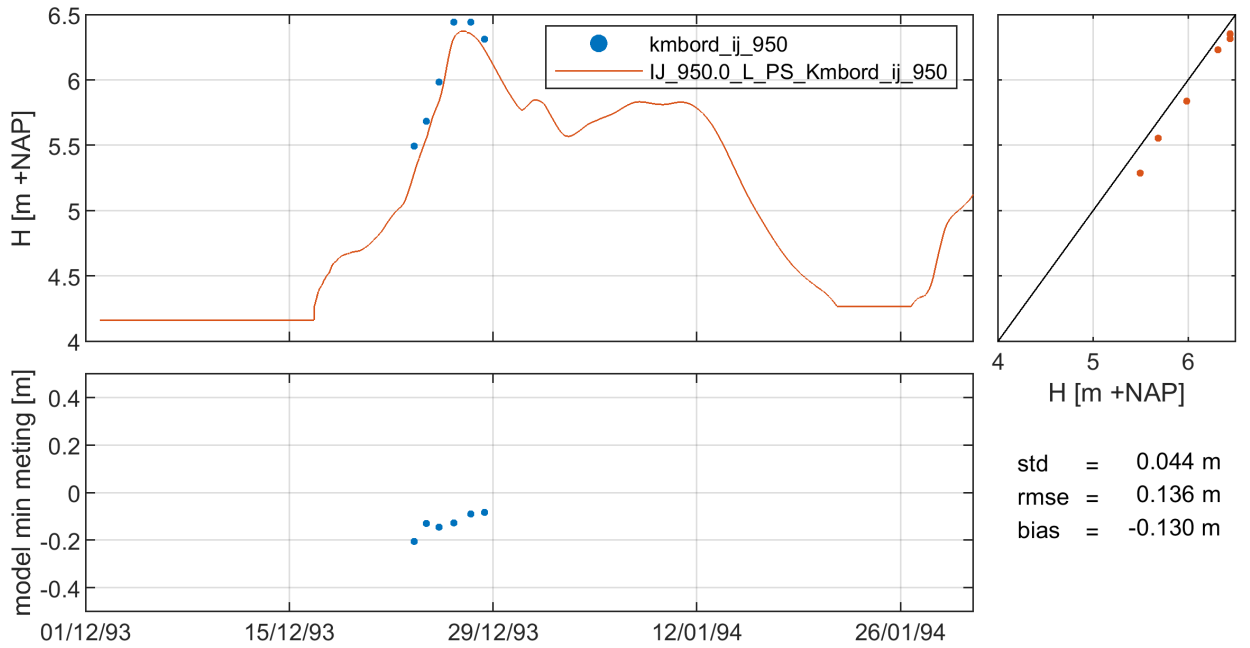


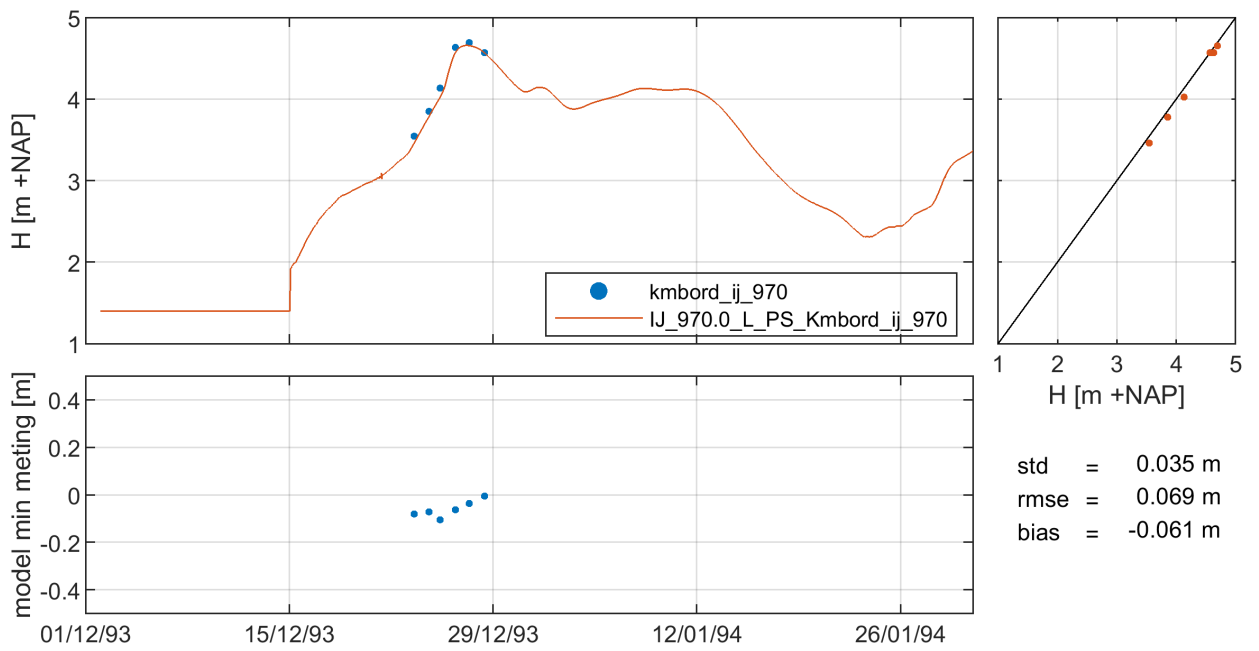
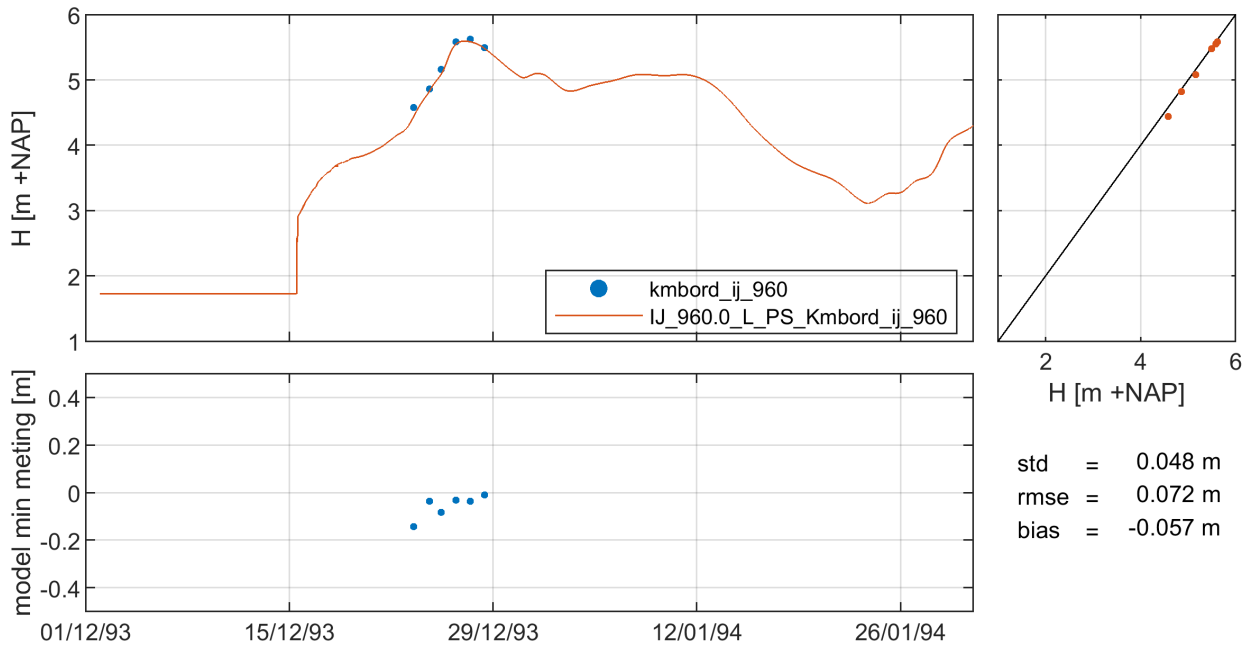


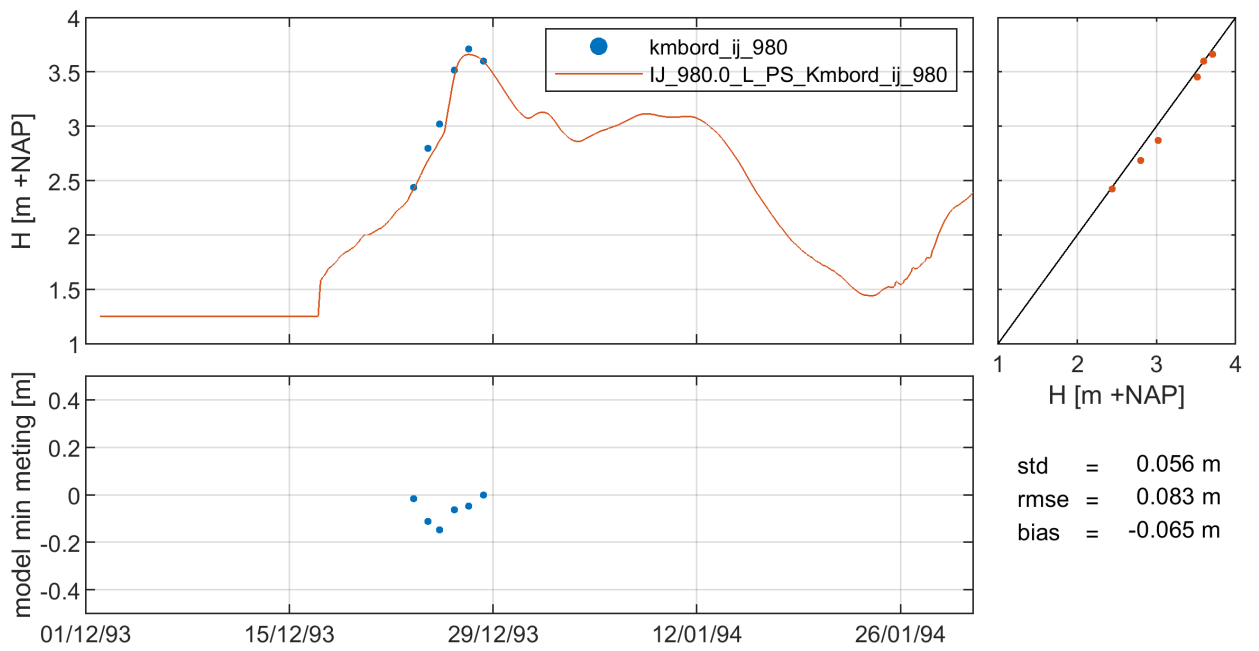
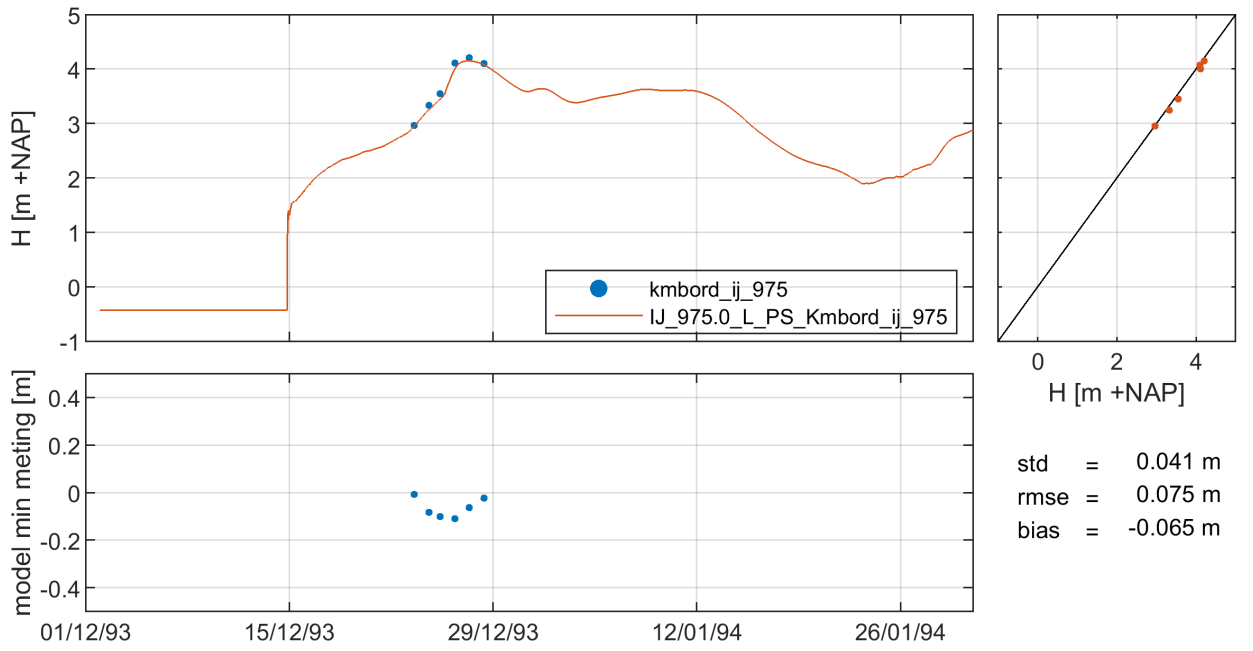


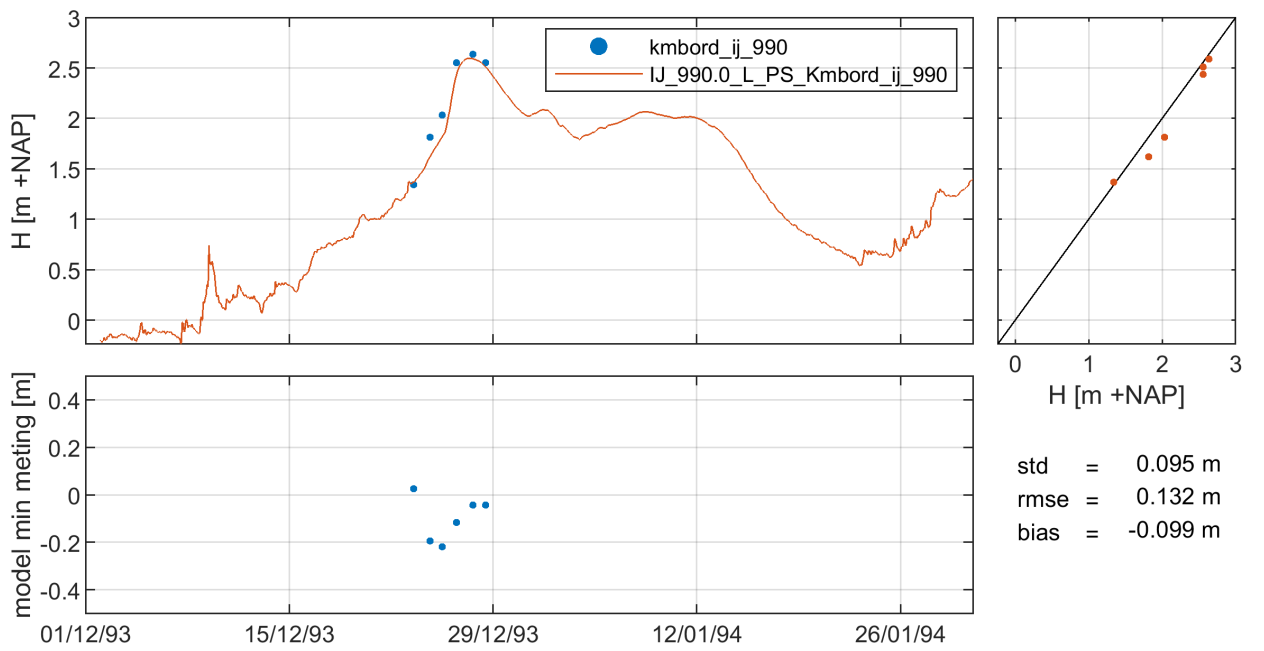
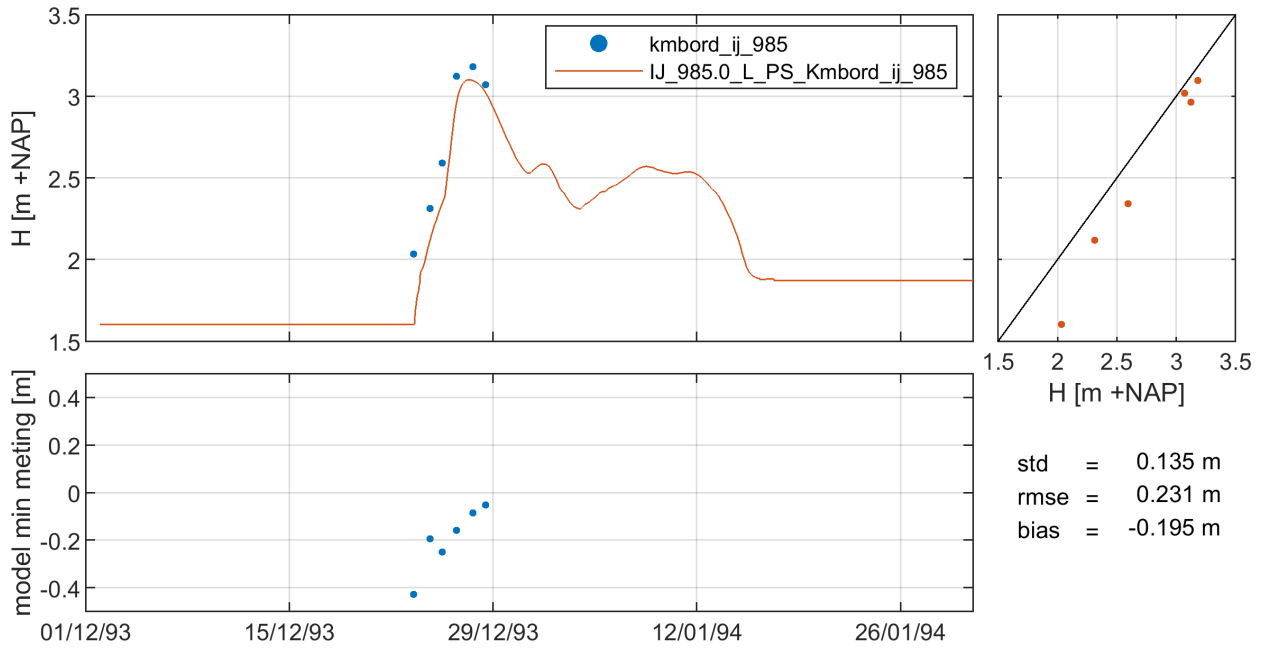


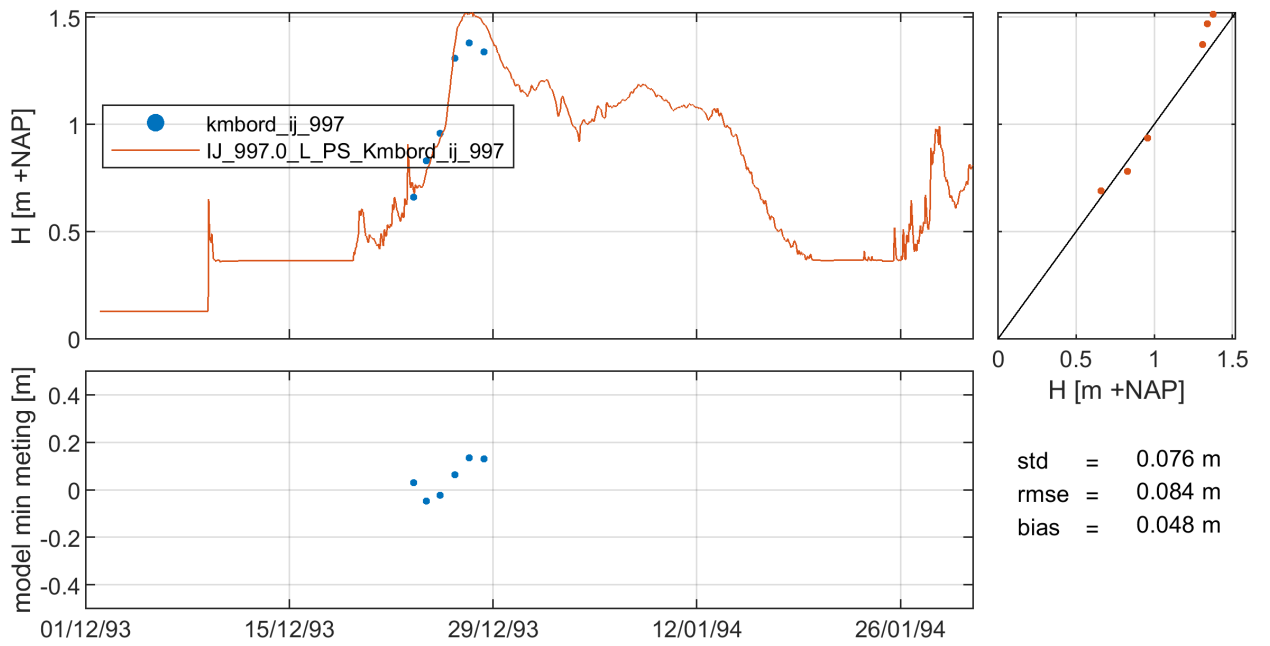
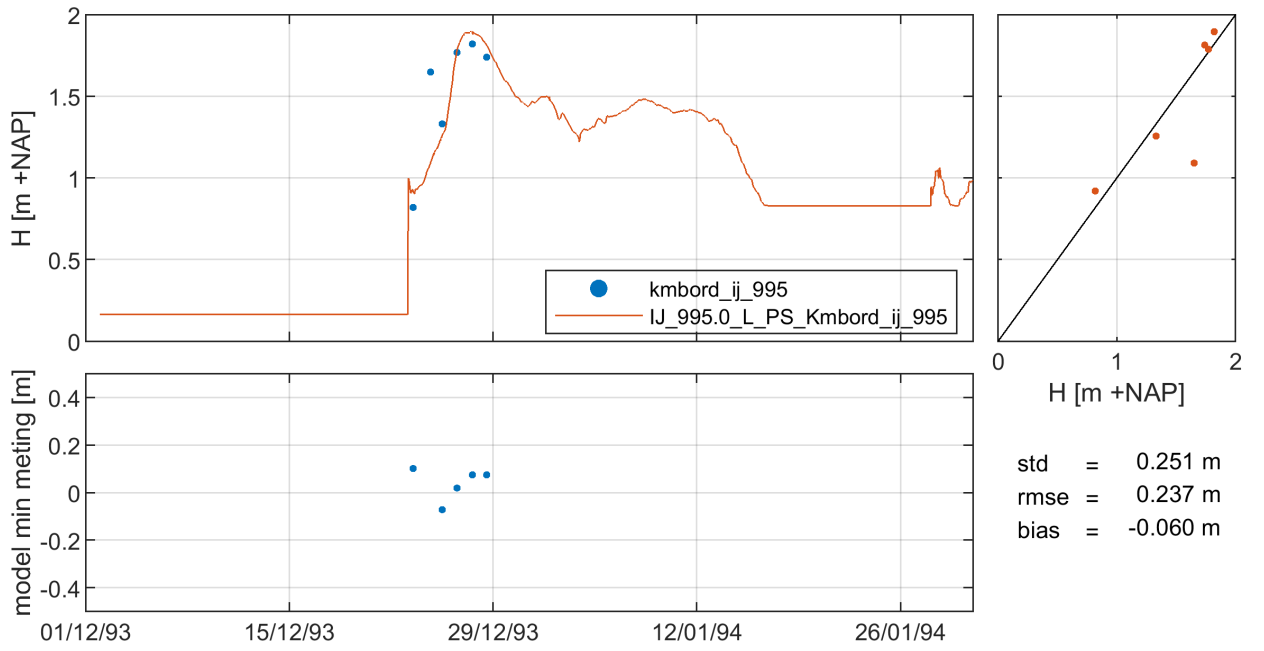


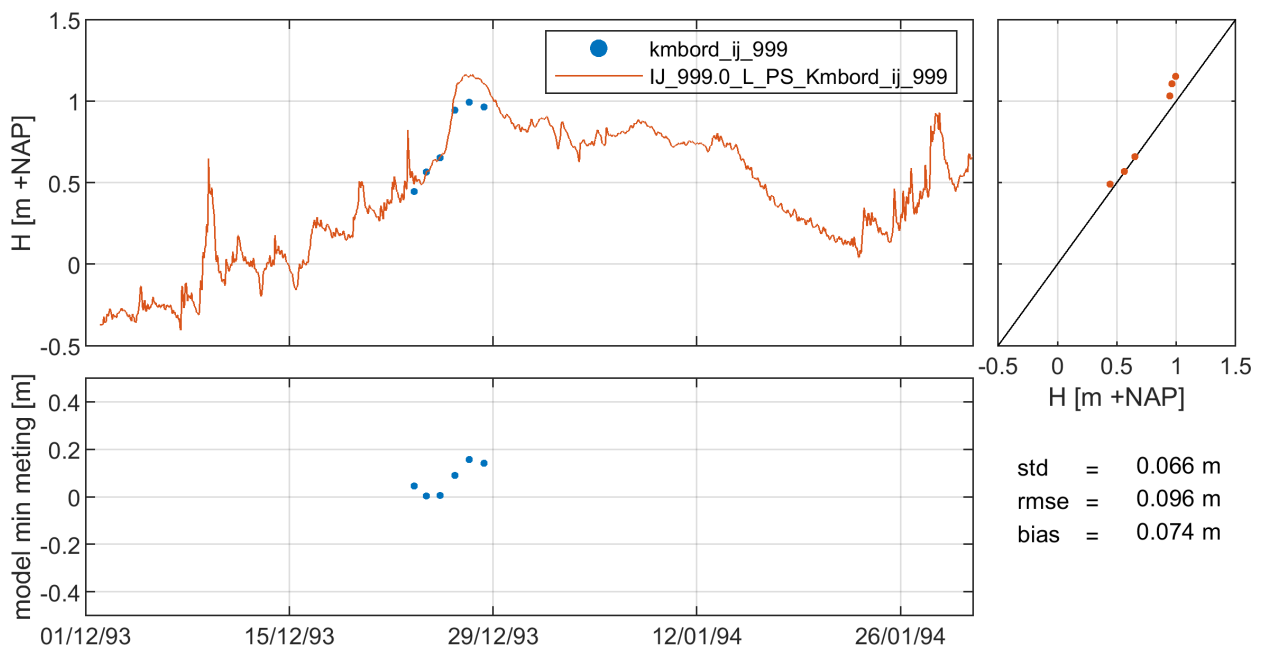
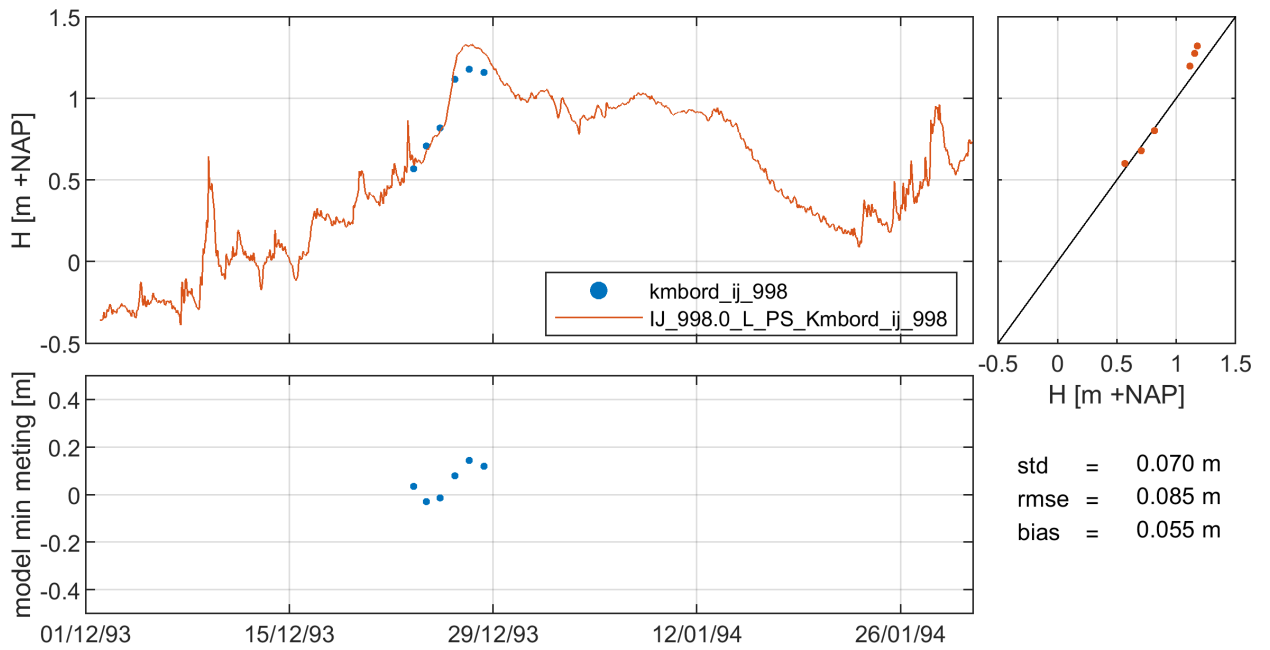


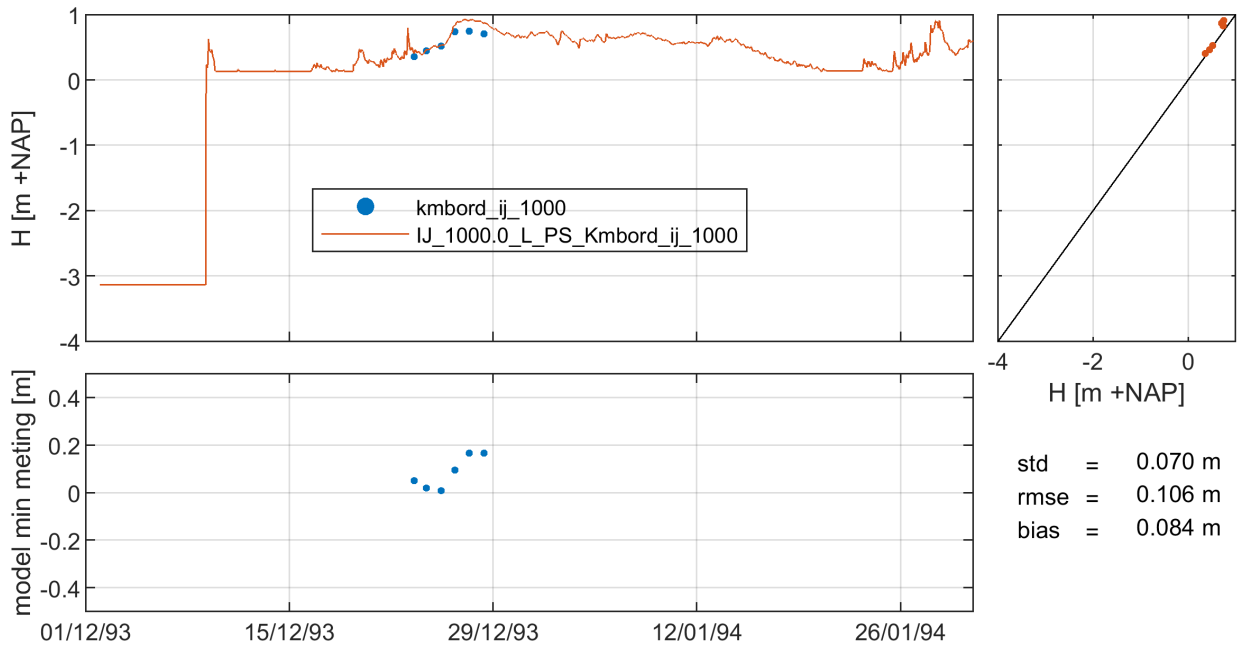




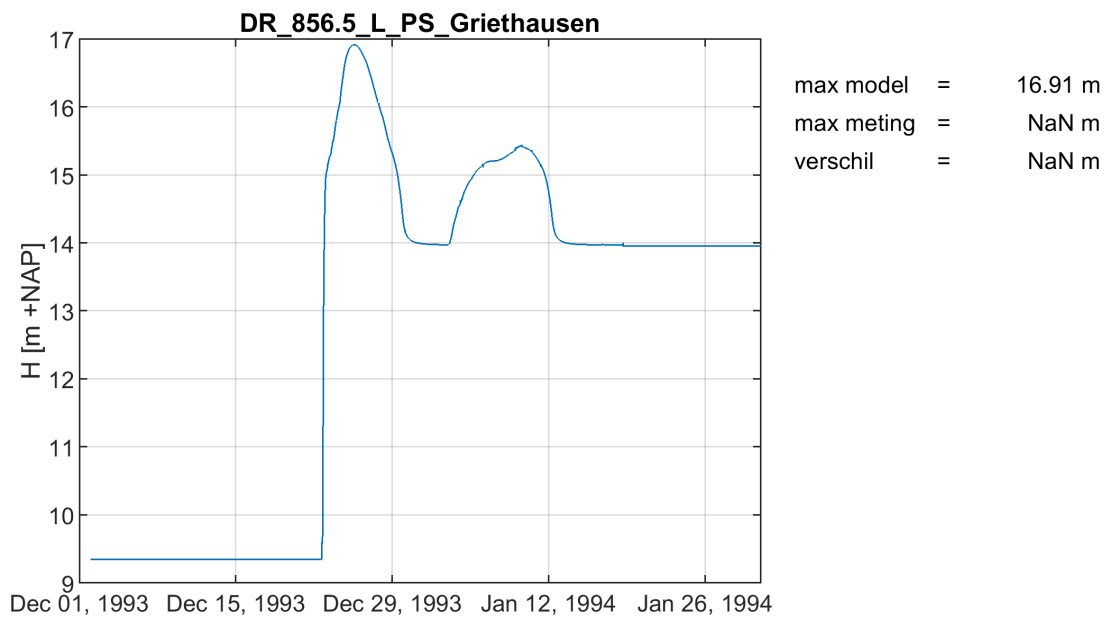


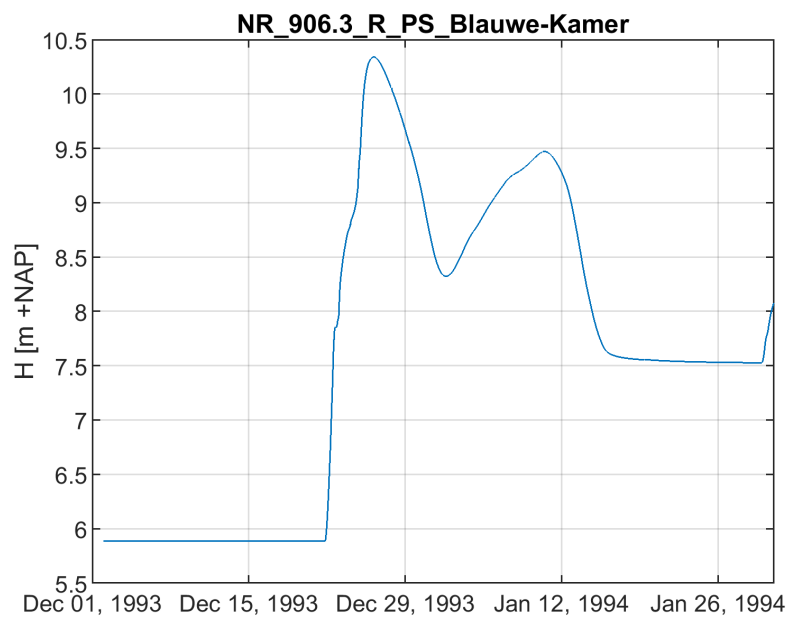
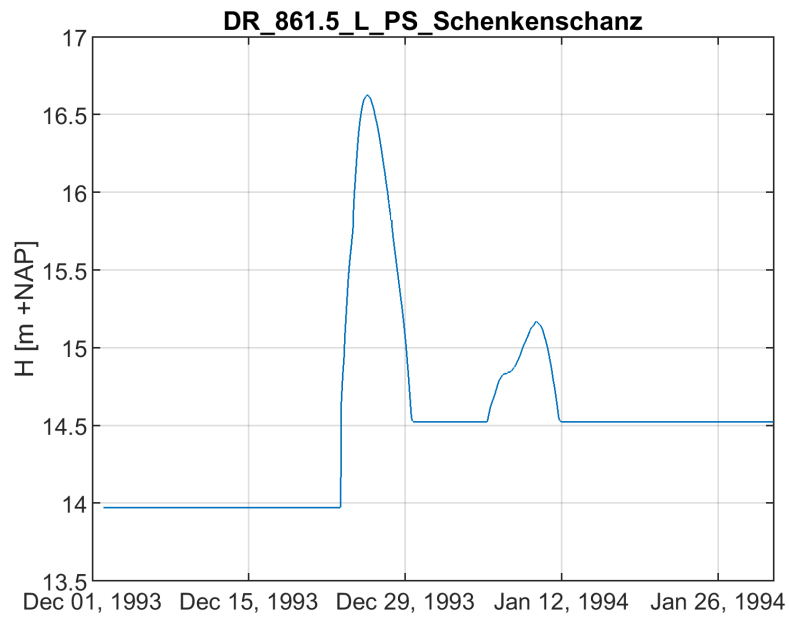




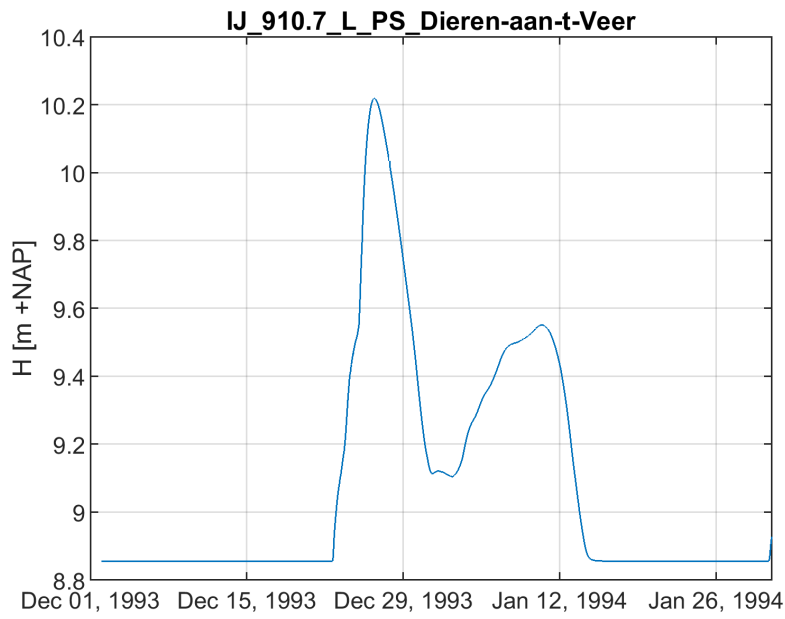
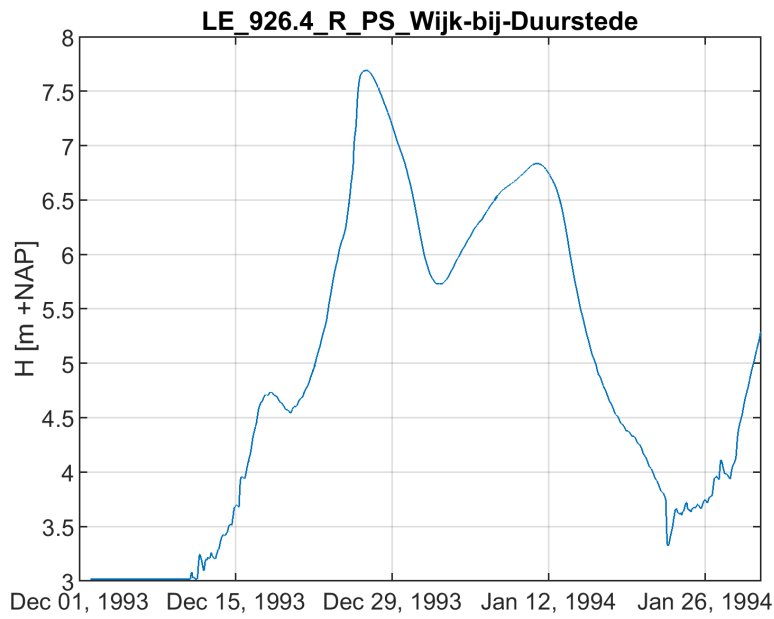


### I.1.6 Topstanden

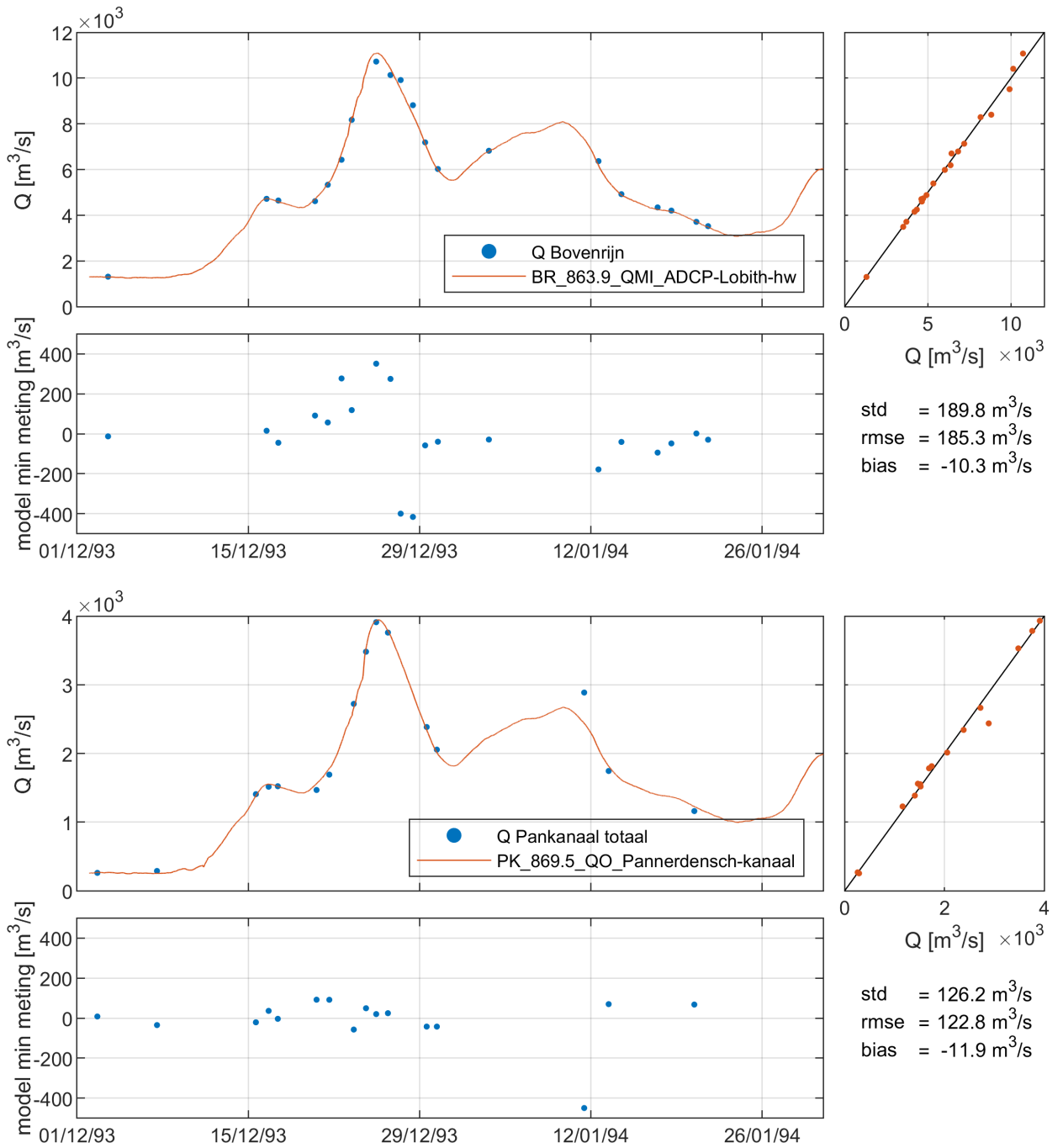


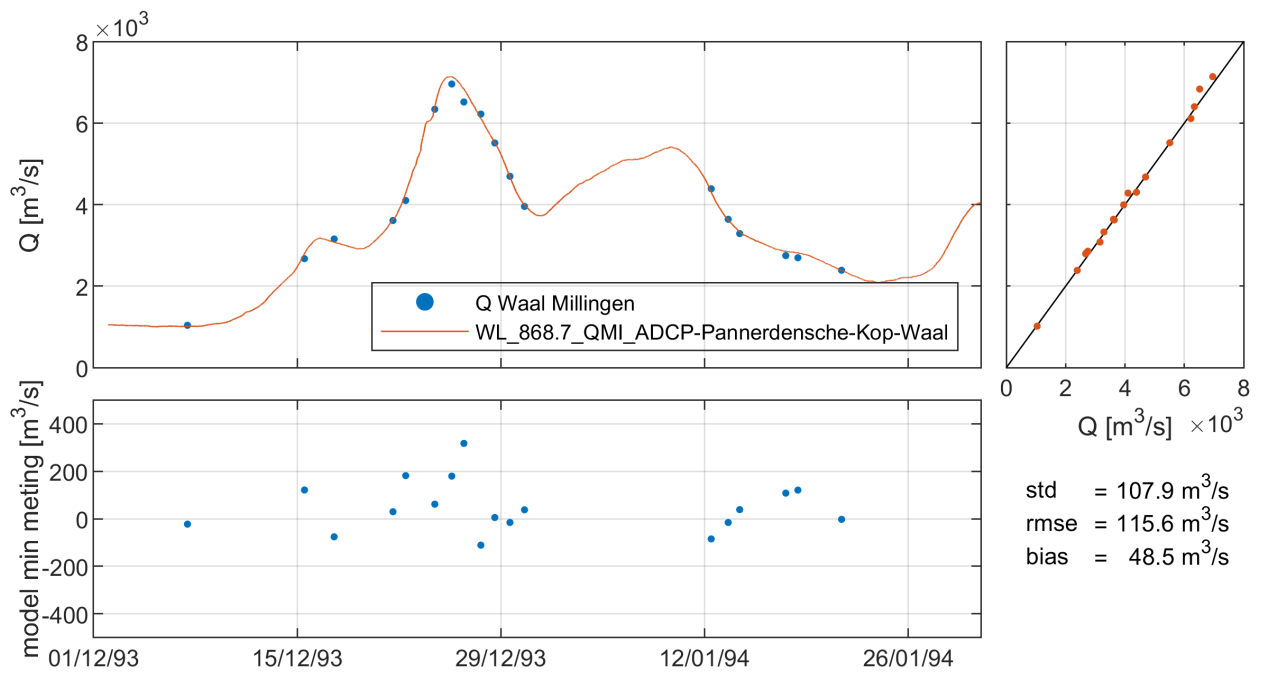
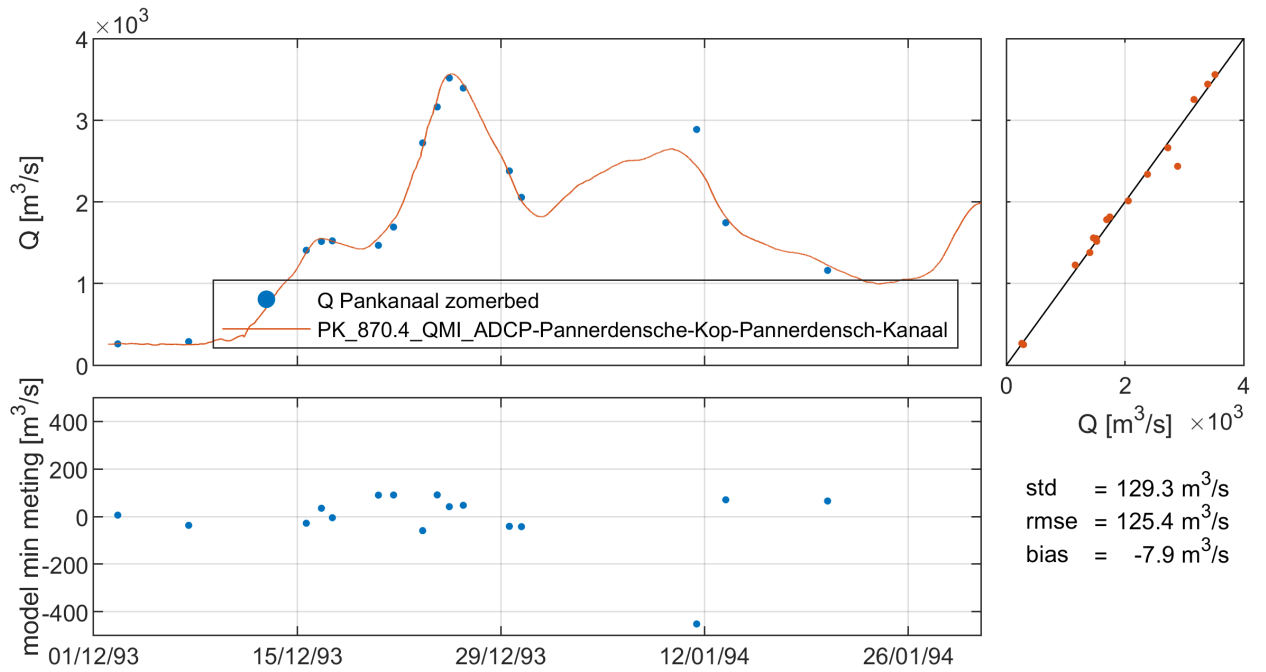


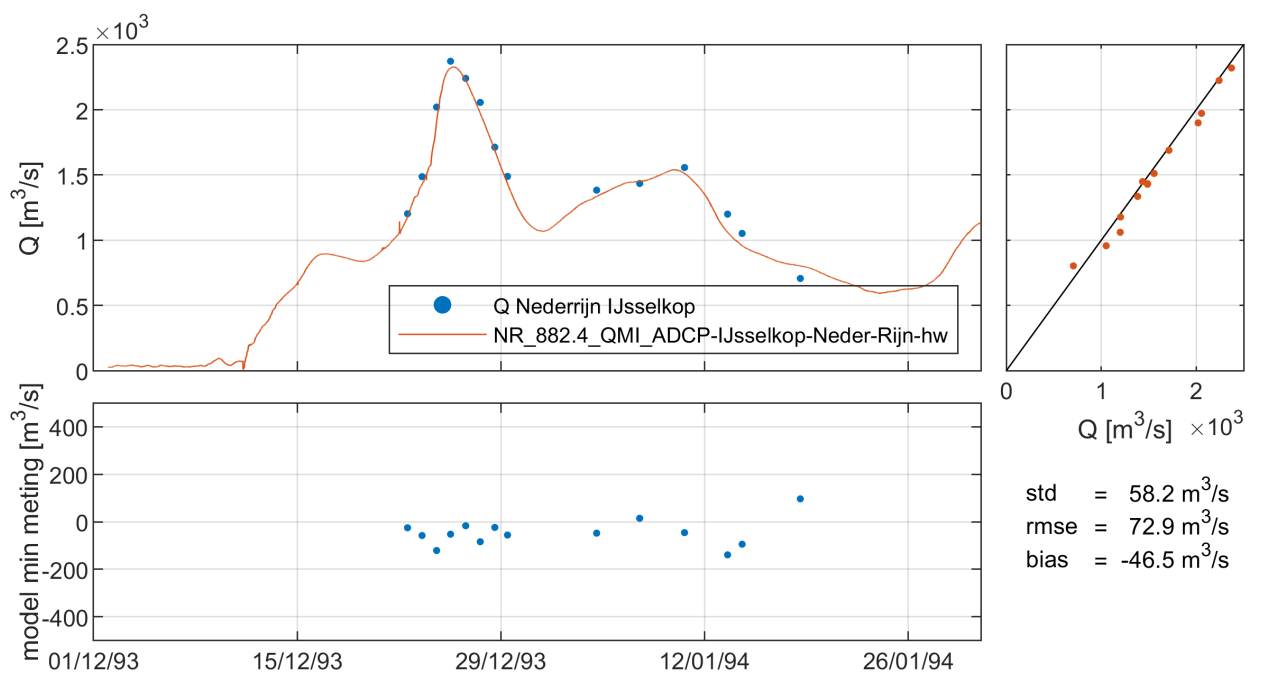
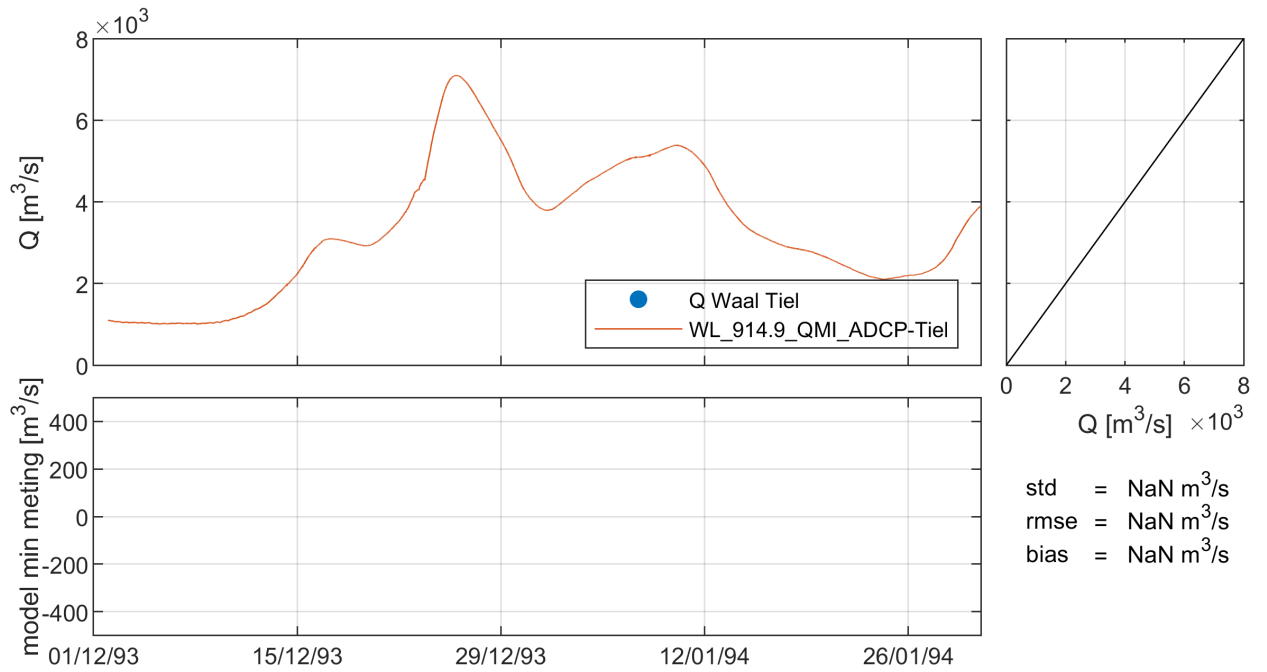


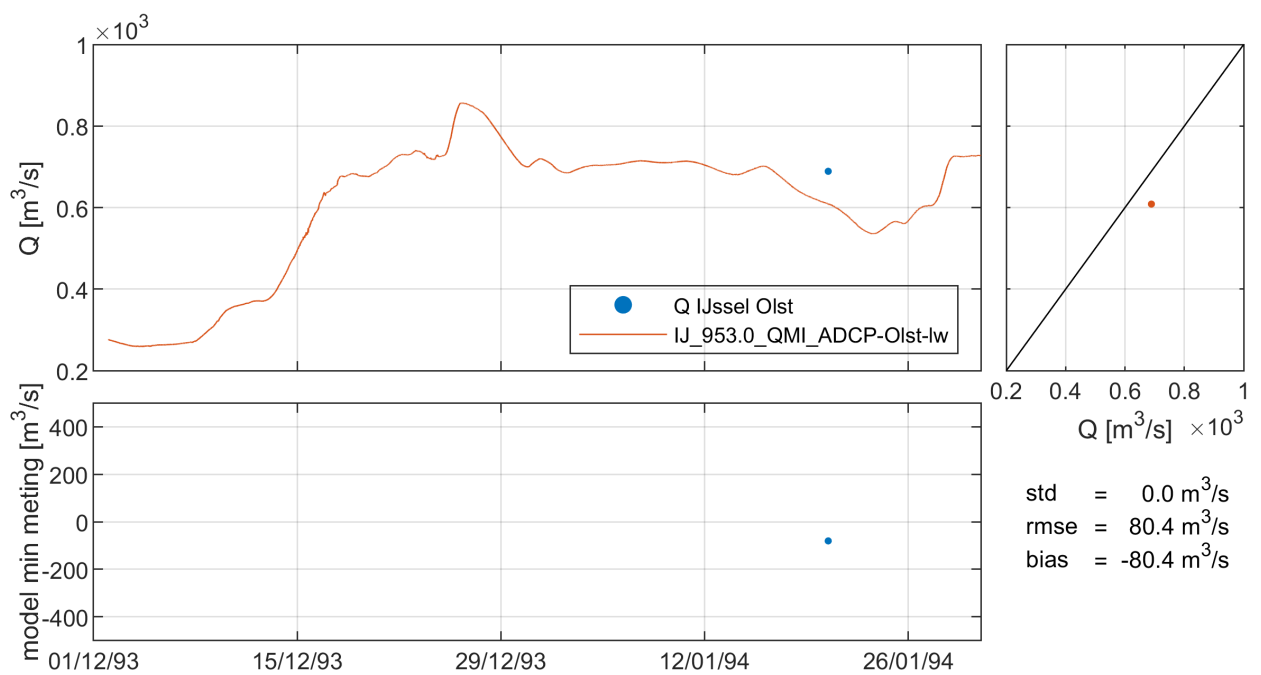
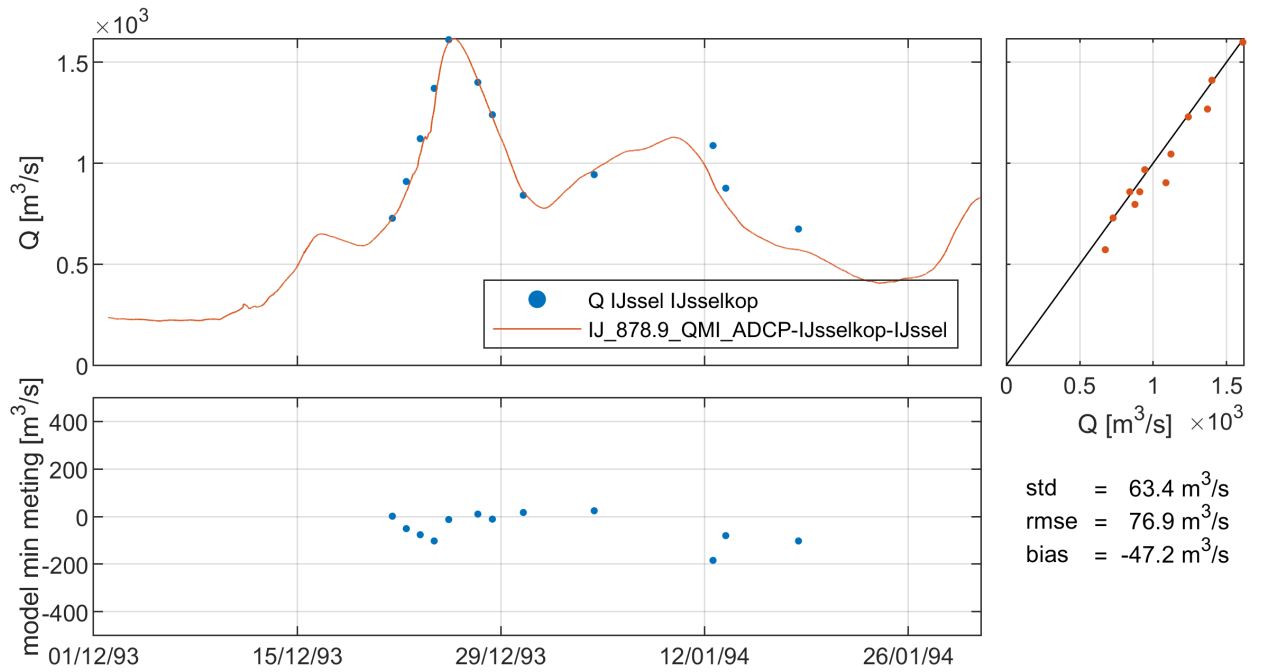


### I.1.7 Ott-metingen

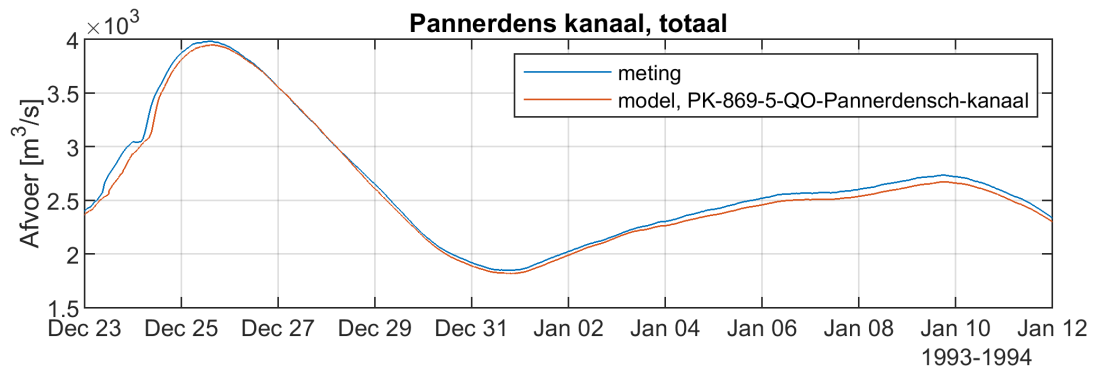
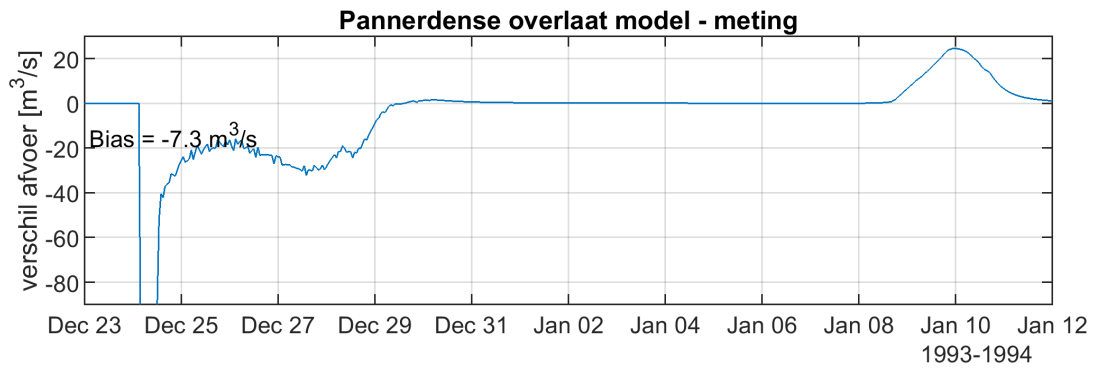
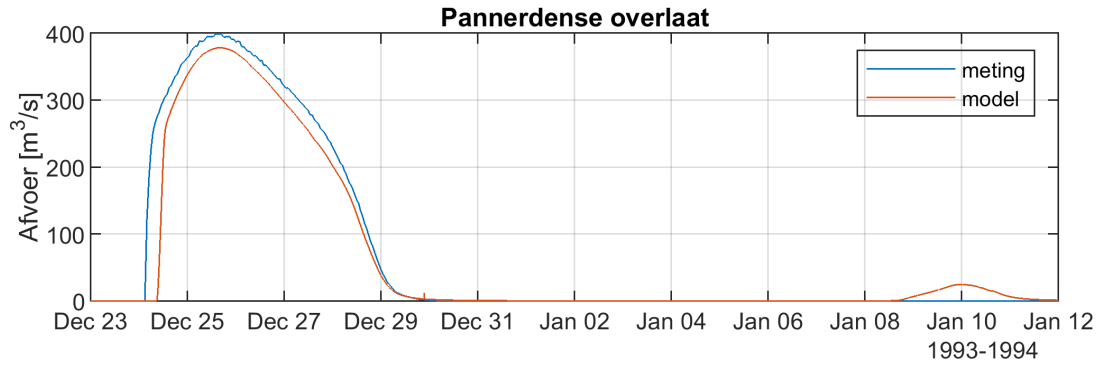


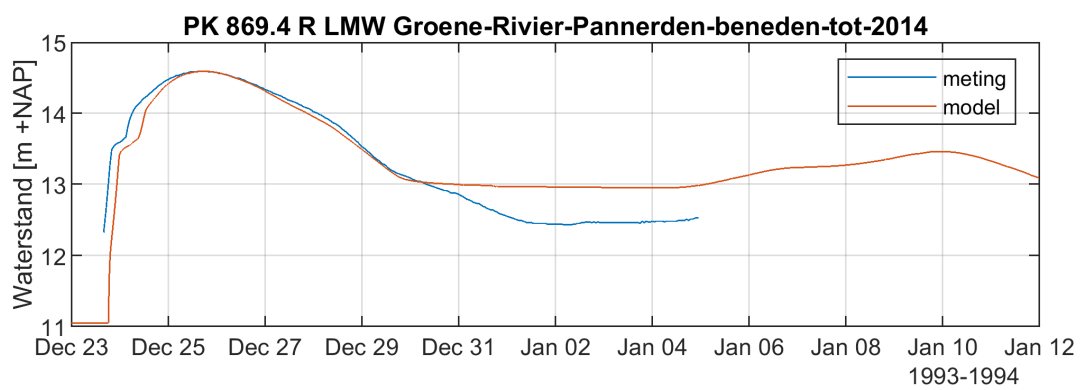
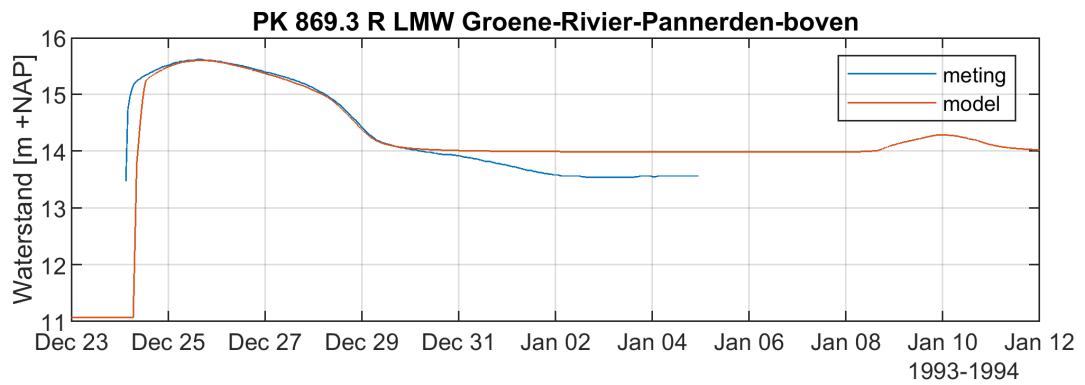




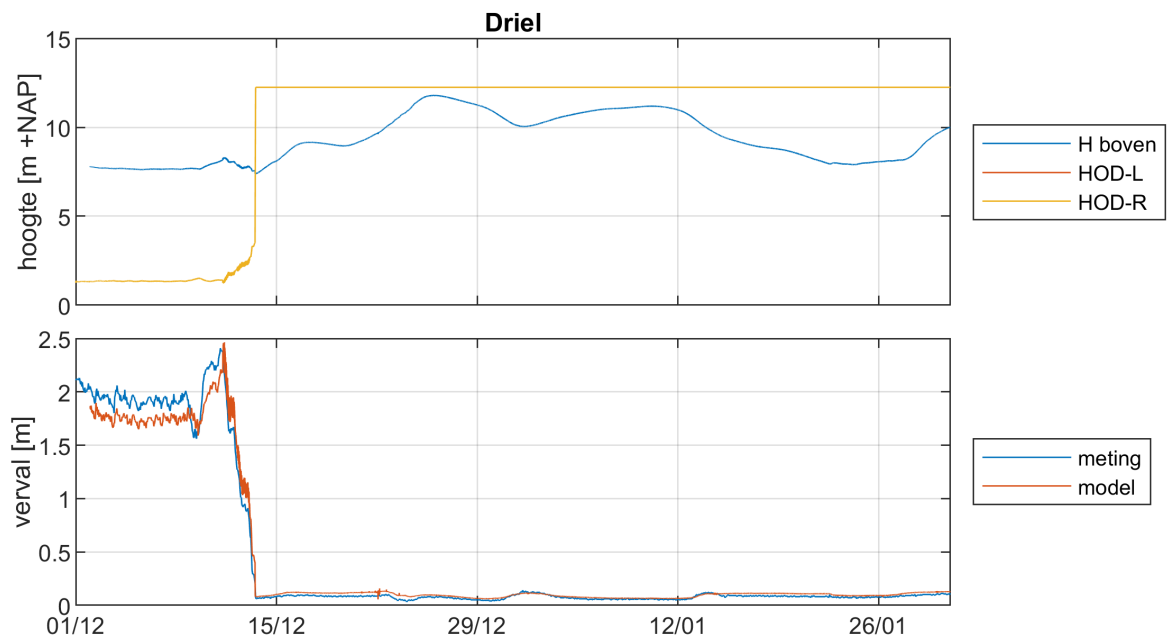


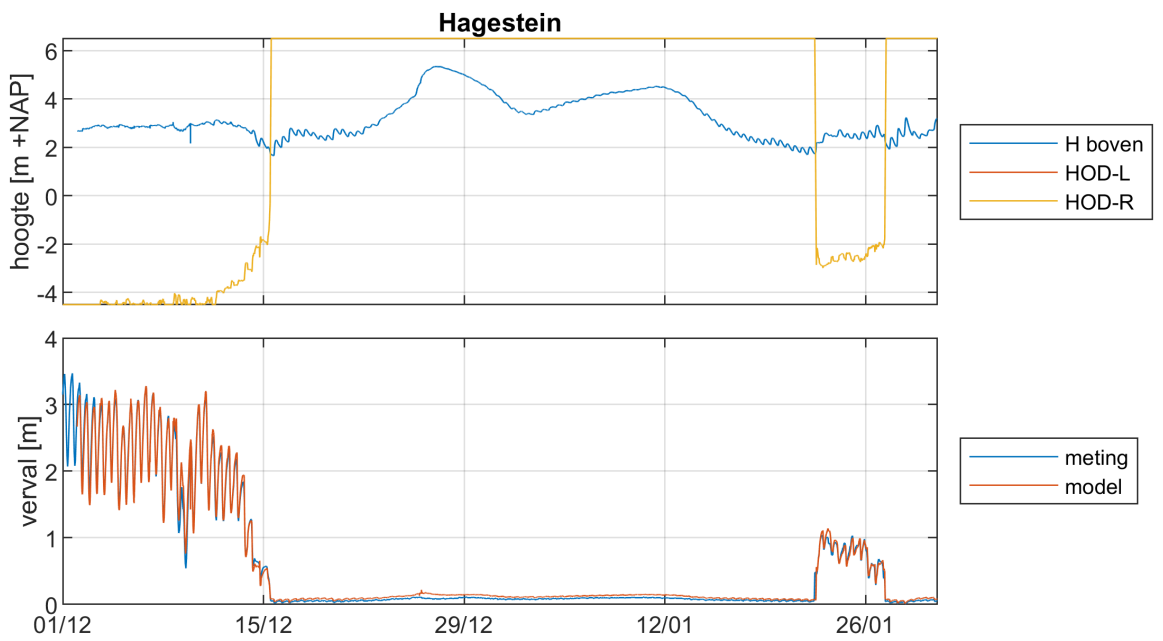
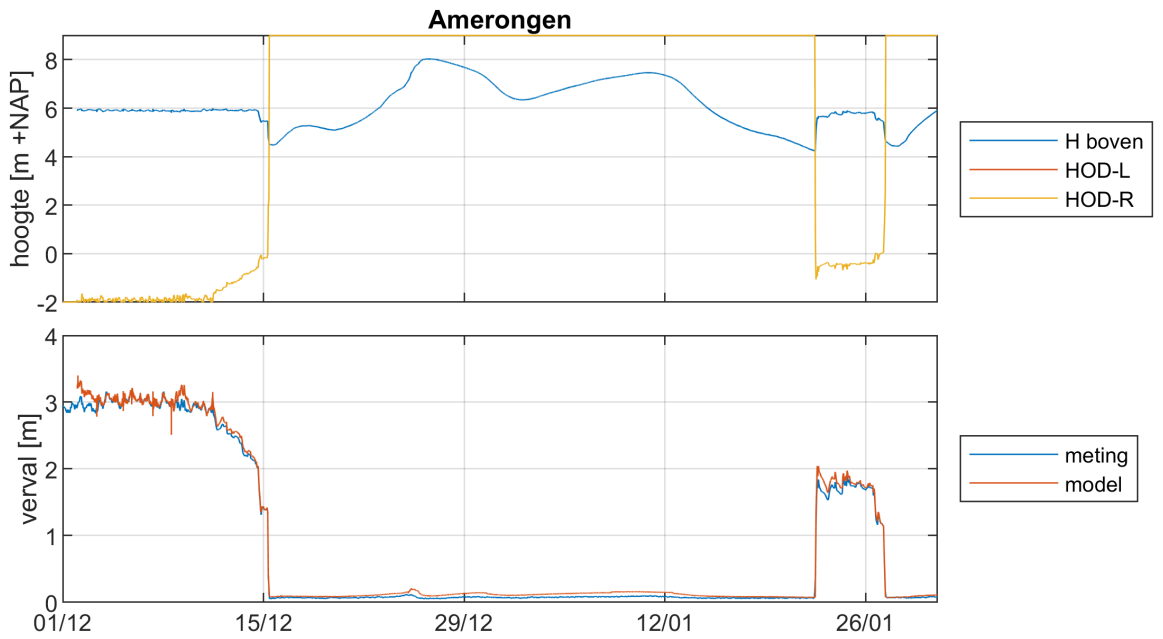
### I.1.8 Afvoer Pannerdense overlaat





### I.1.9 Stuwen



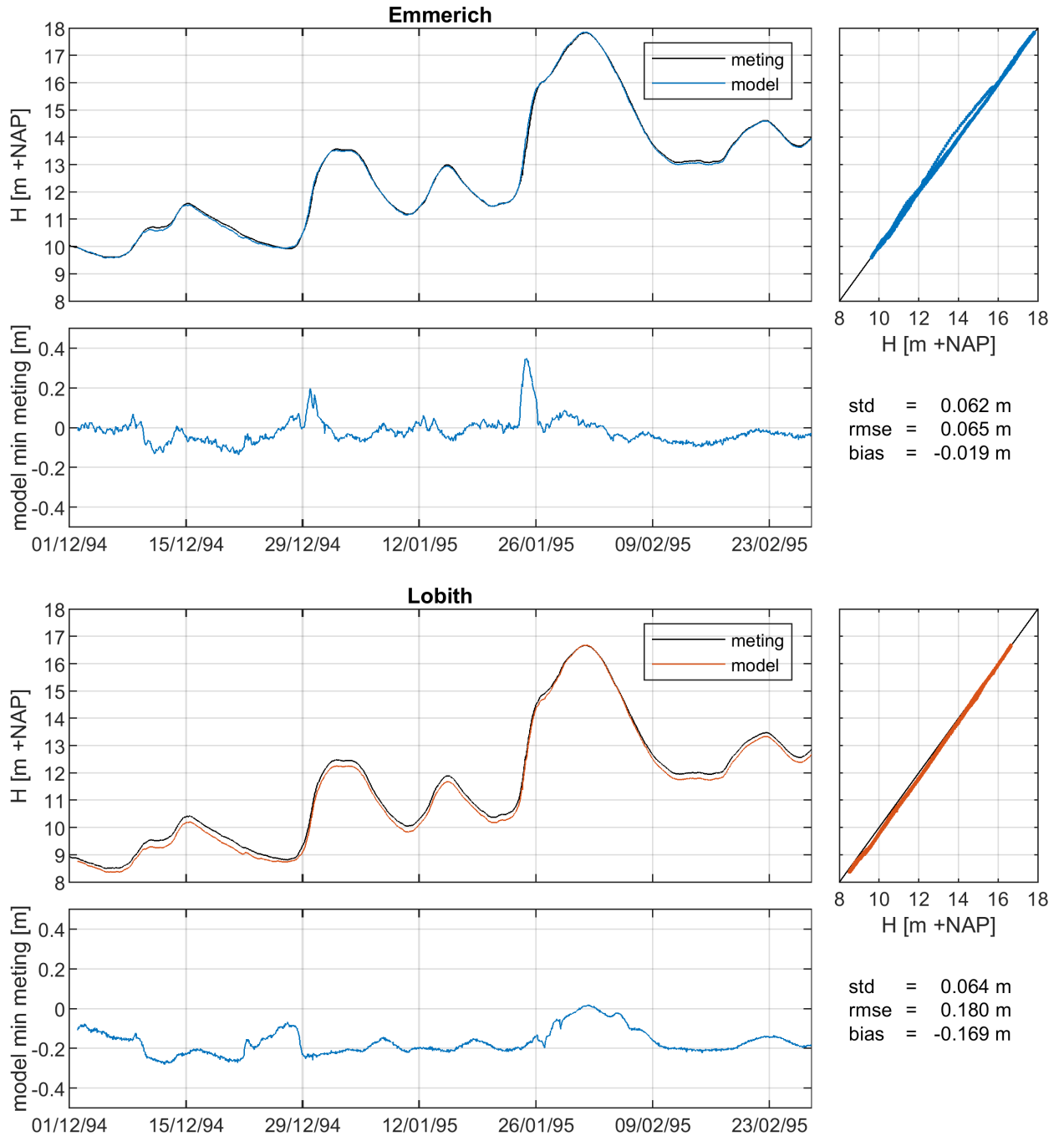


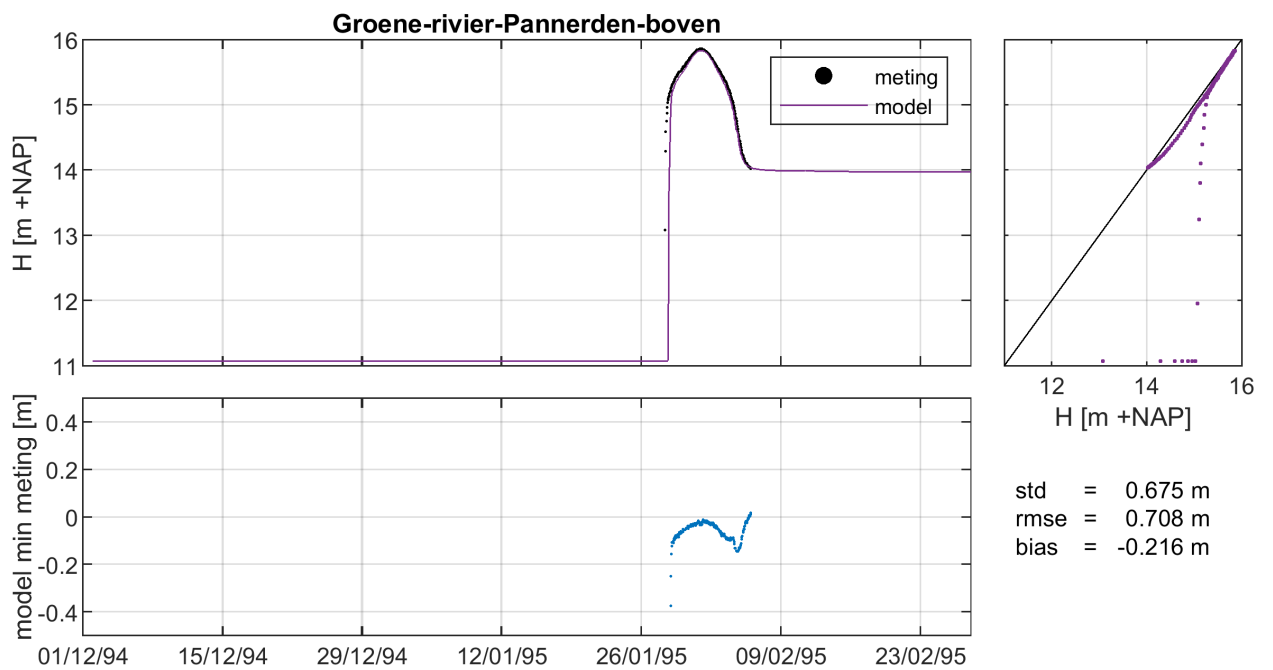
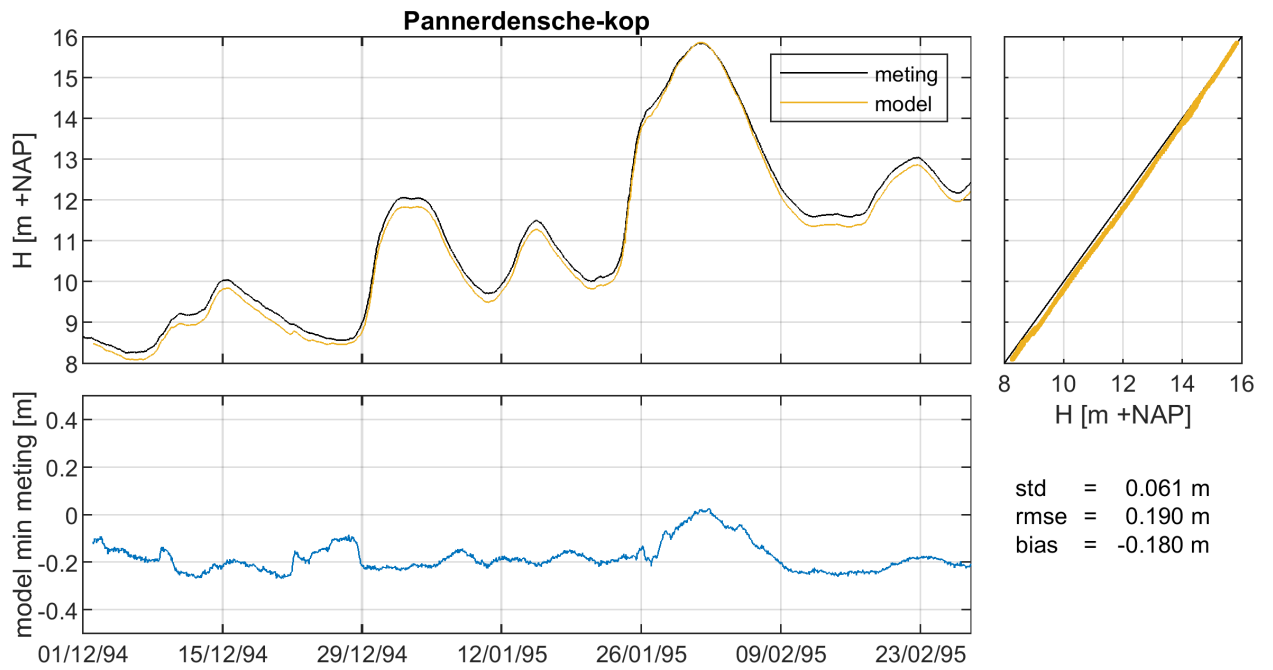


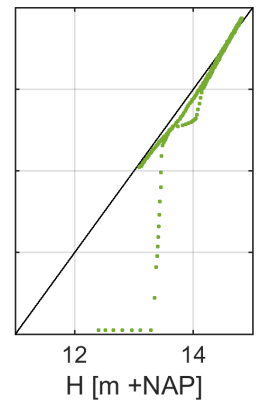
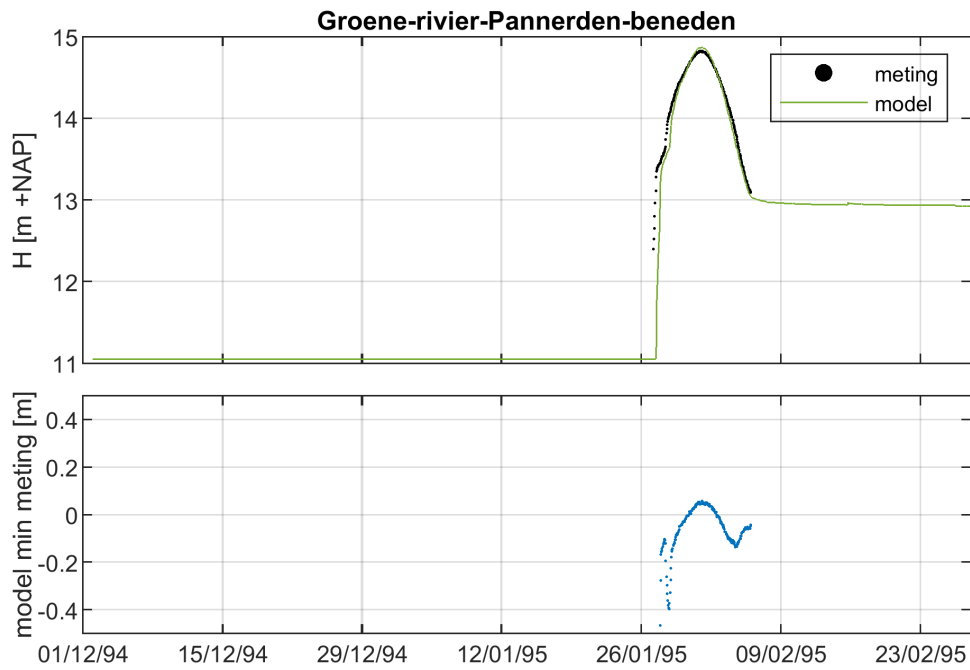
## I.2 j95

### I.2.1 Waterstanden

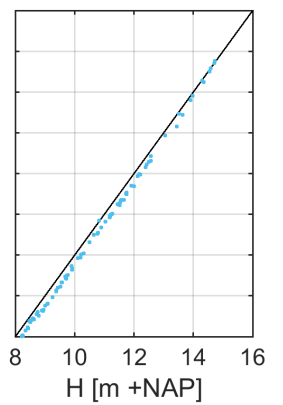
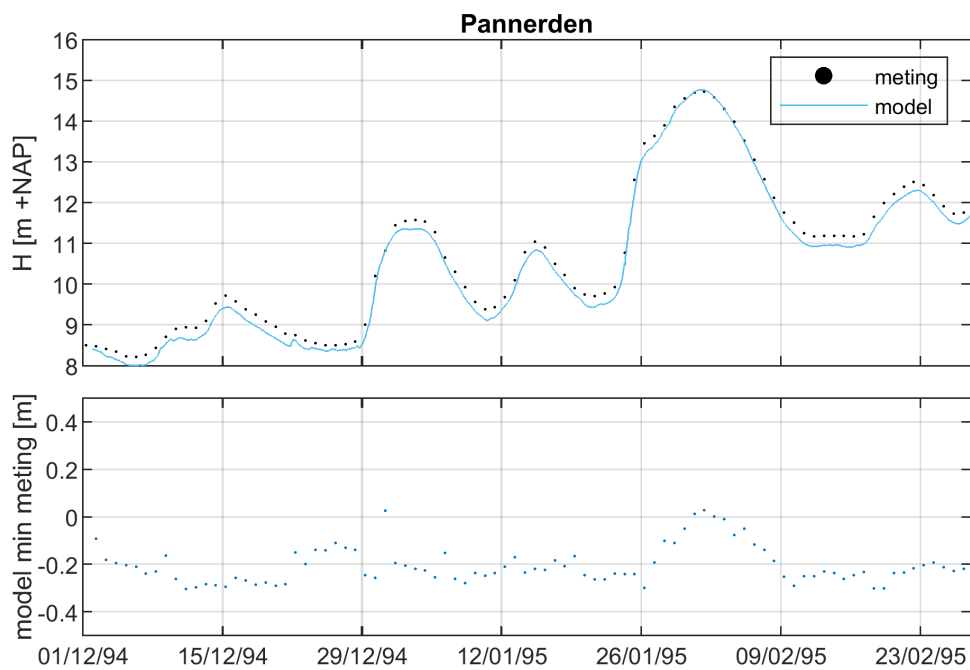
#### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal



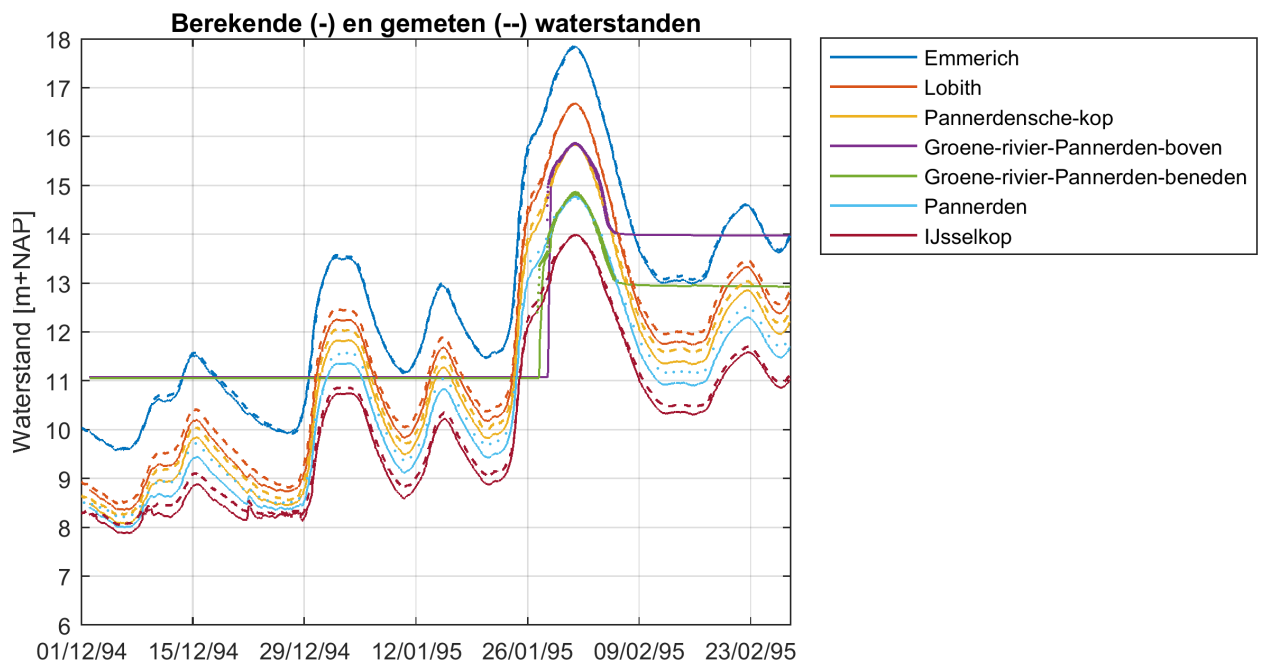
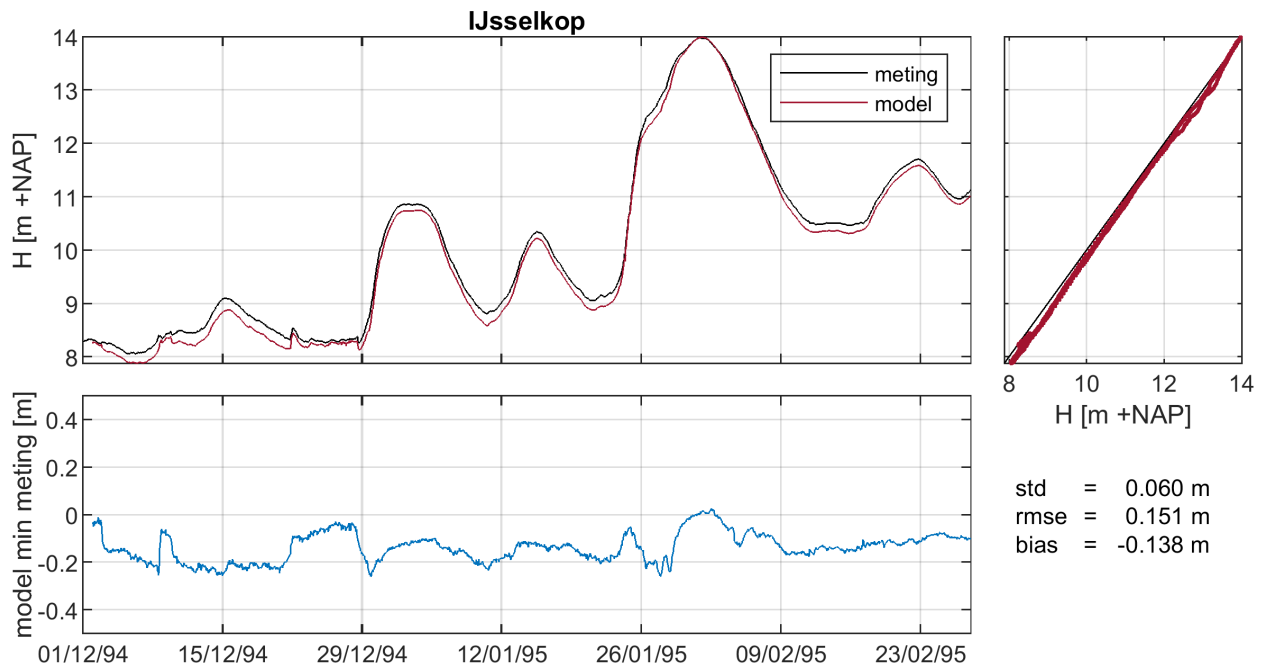




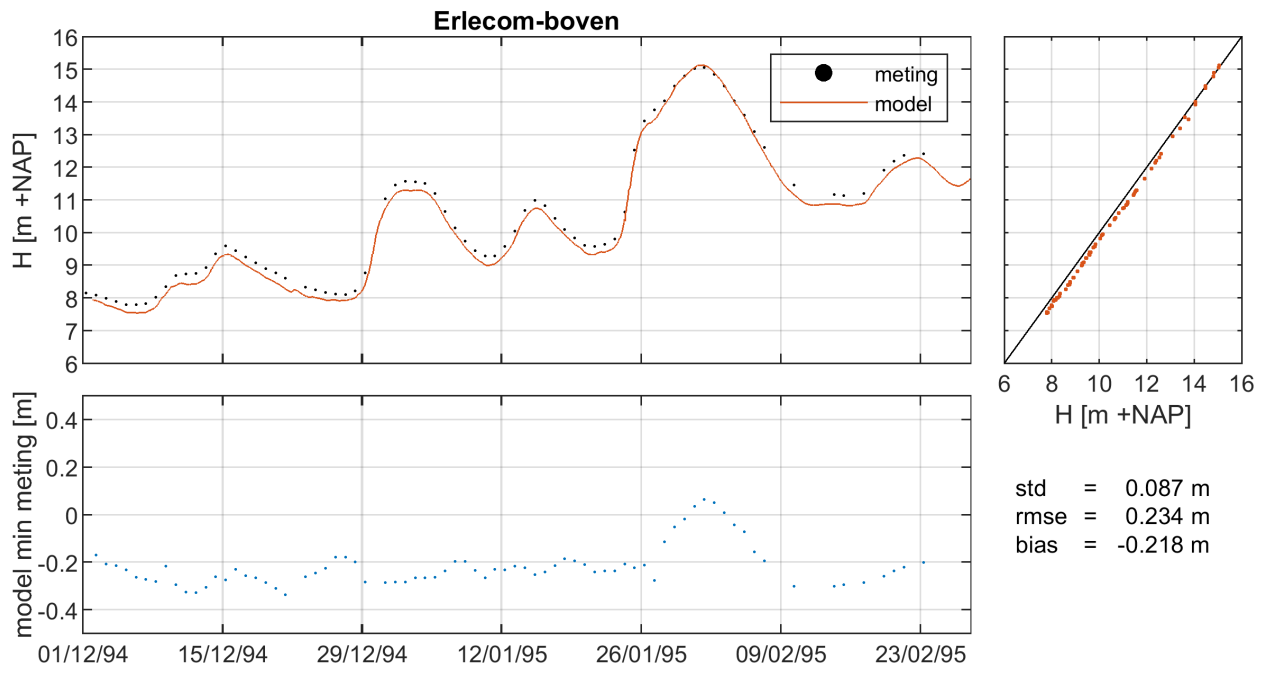
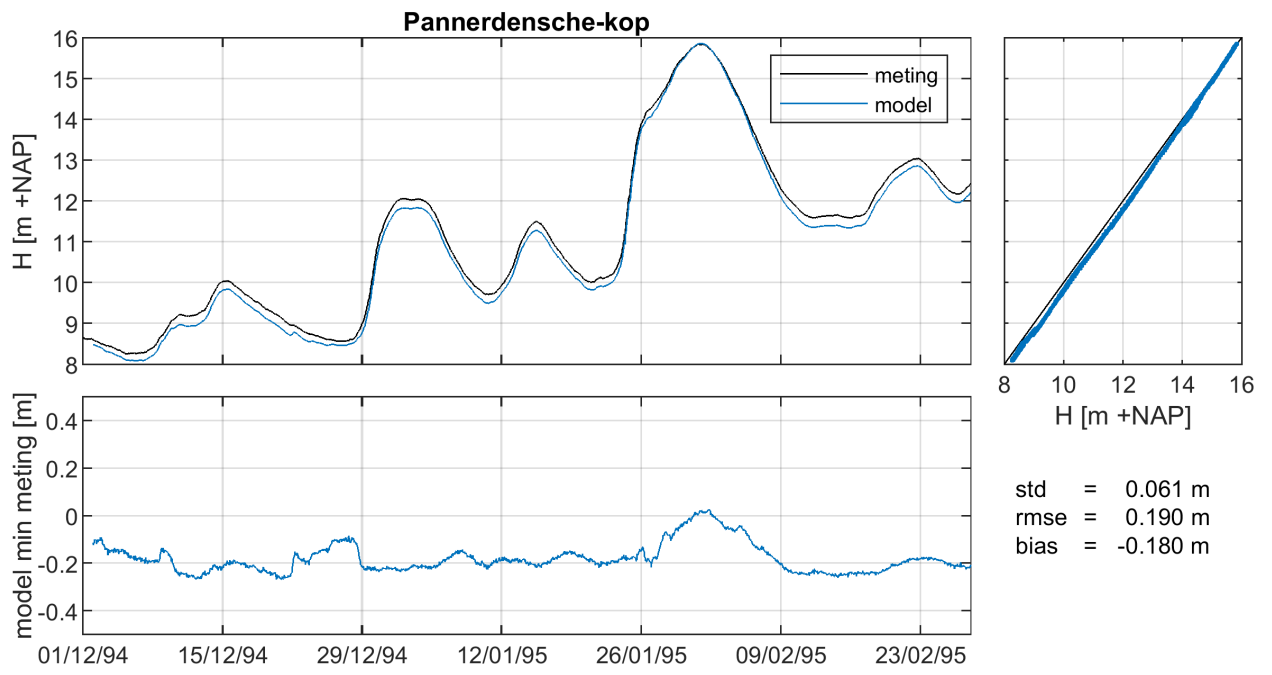
std = 0.382 m  
 rmse = 0.412 m  
 bias = -0.156 m

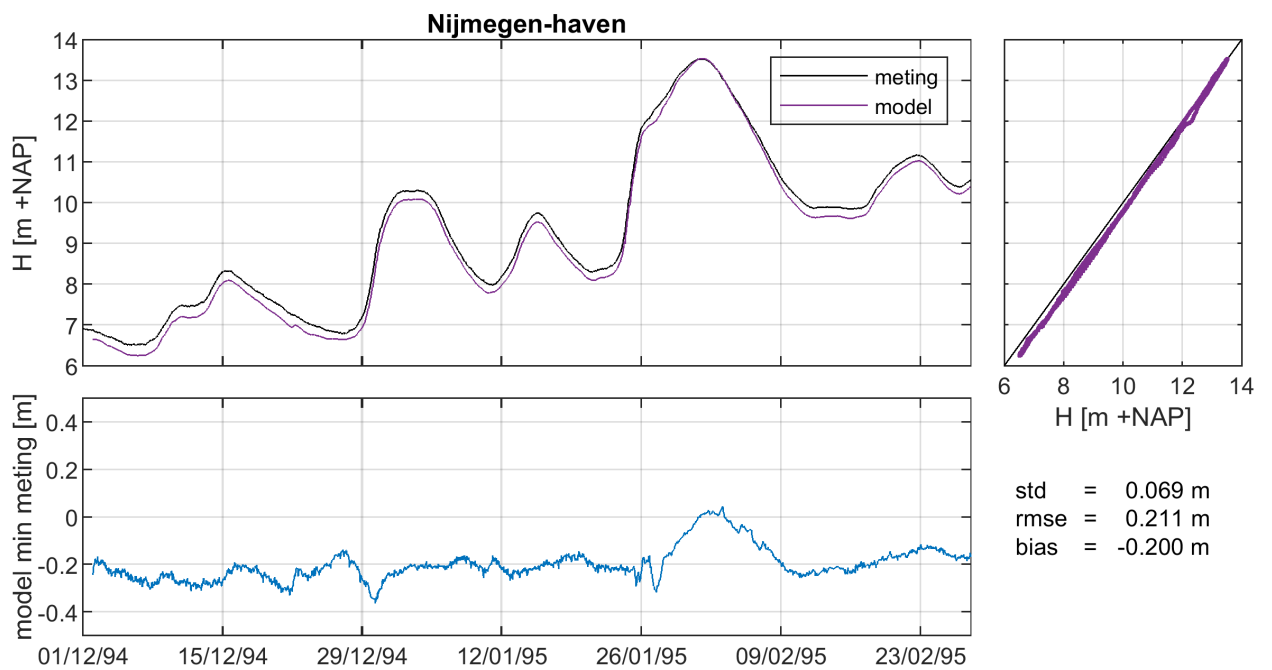
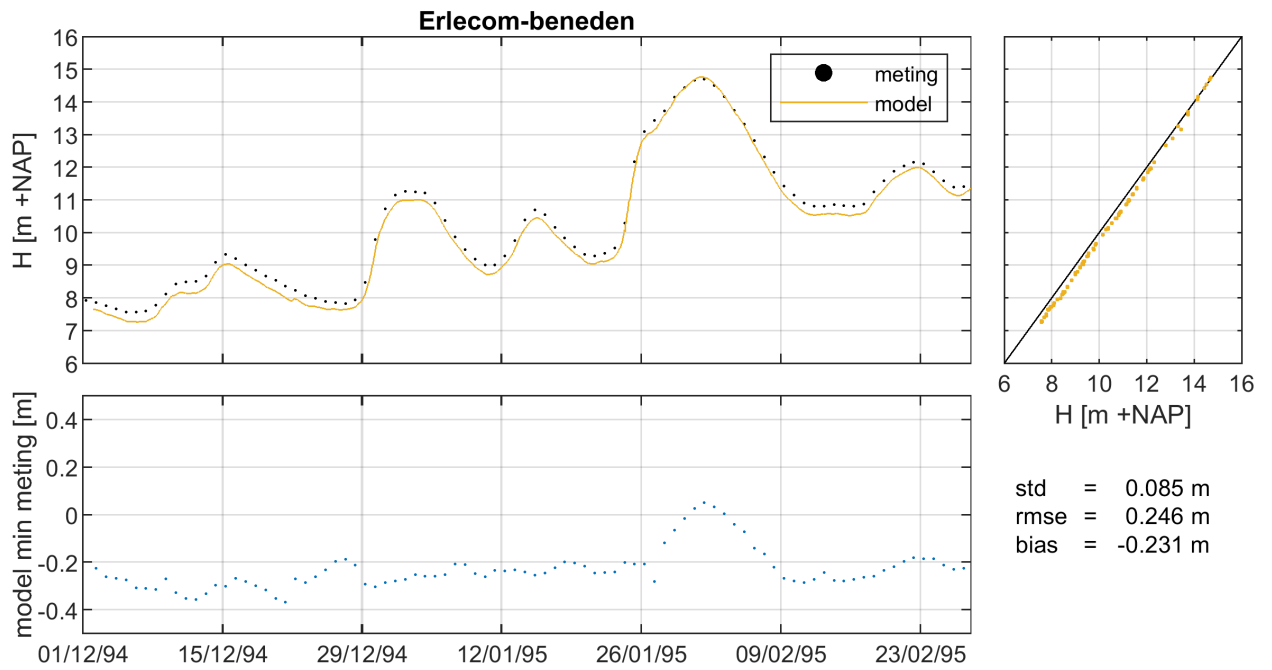


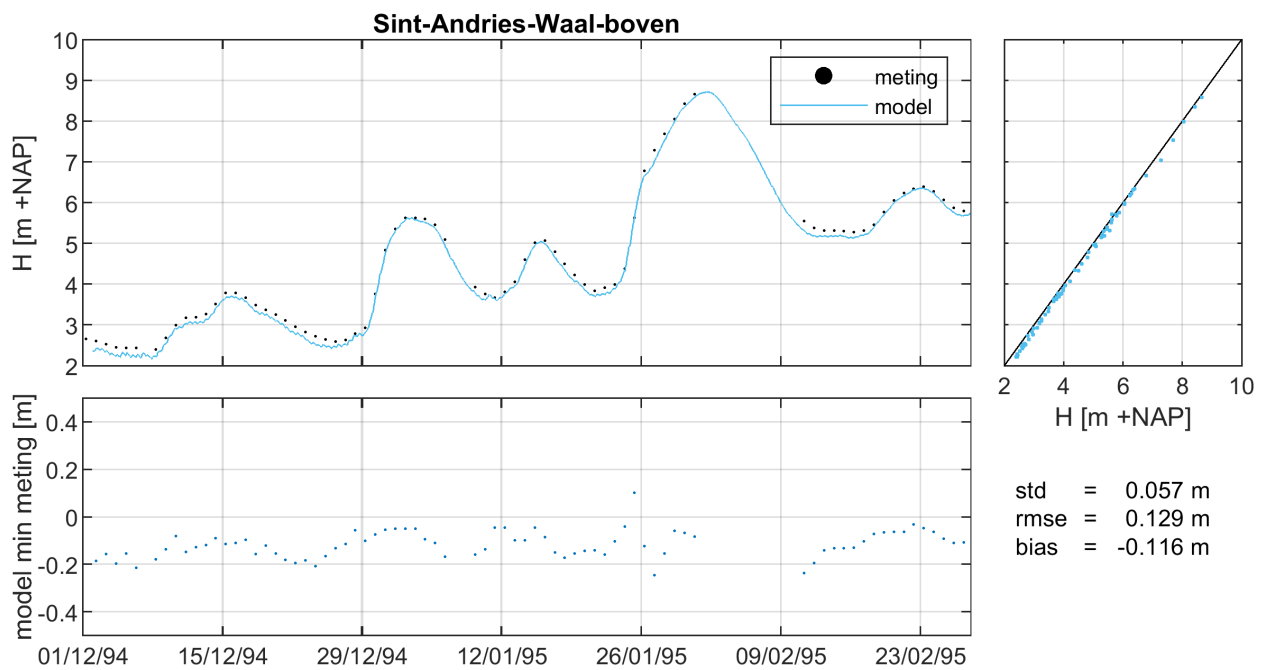
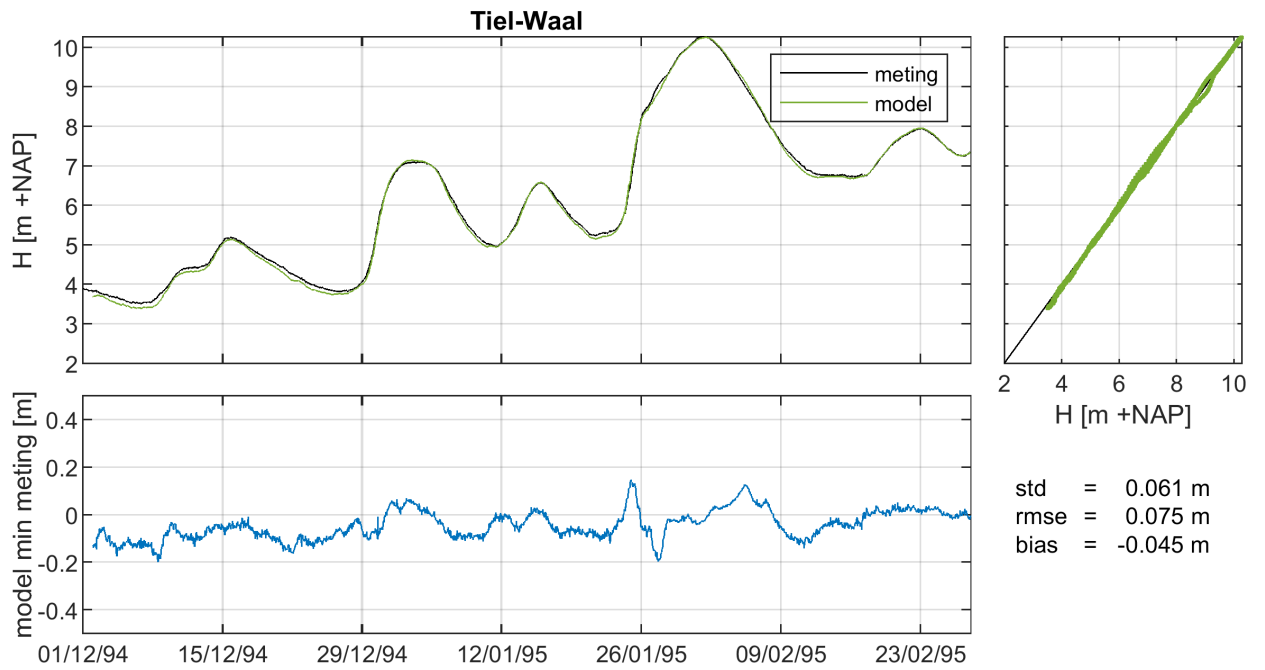
std = 0.079 m  
 rmse = 0.218 m  
 bias = -0.203 m

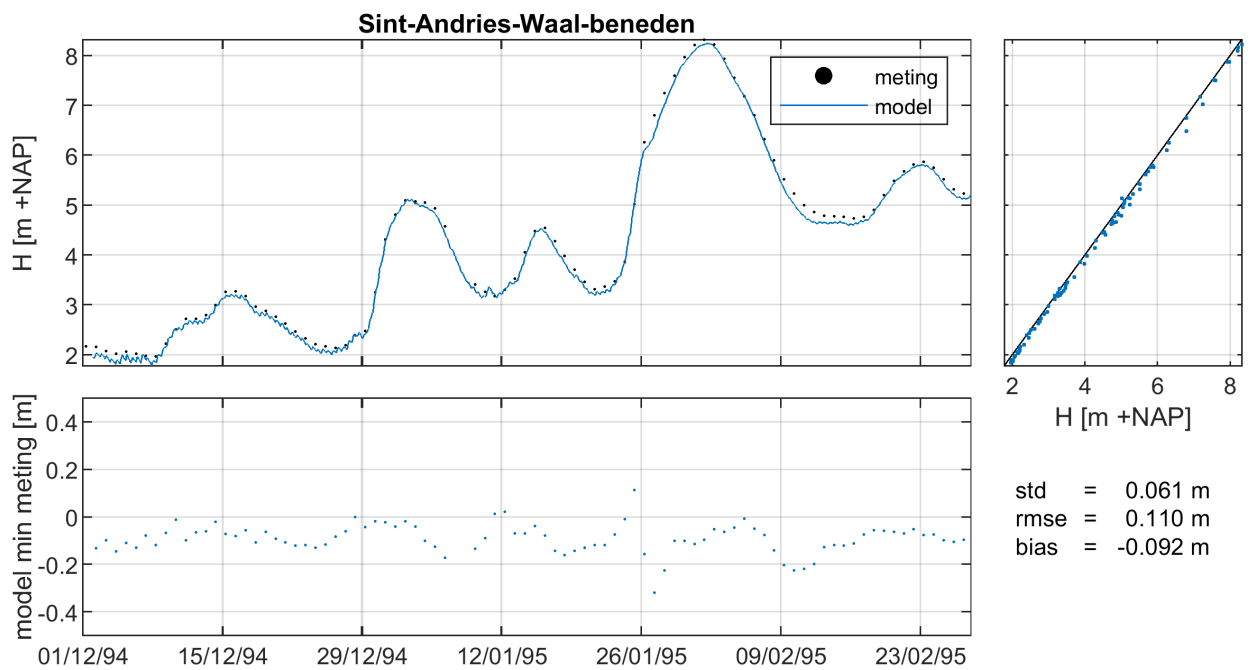
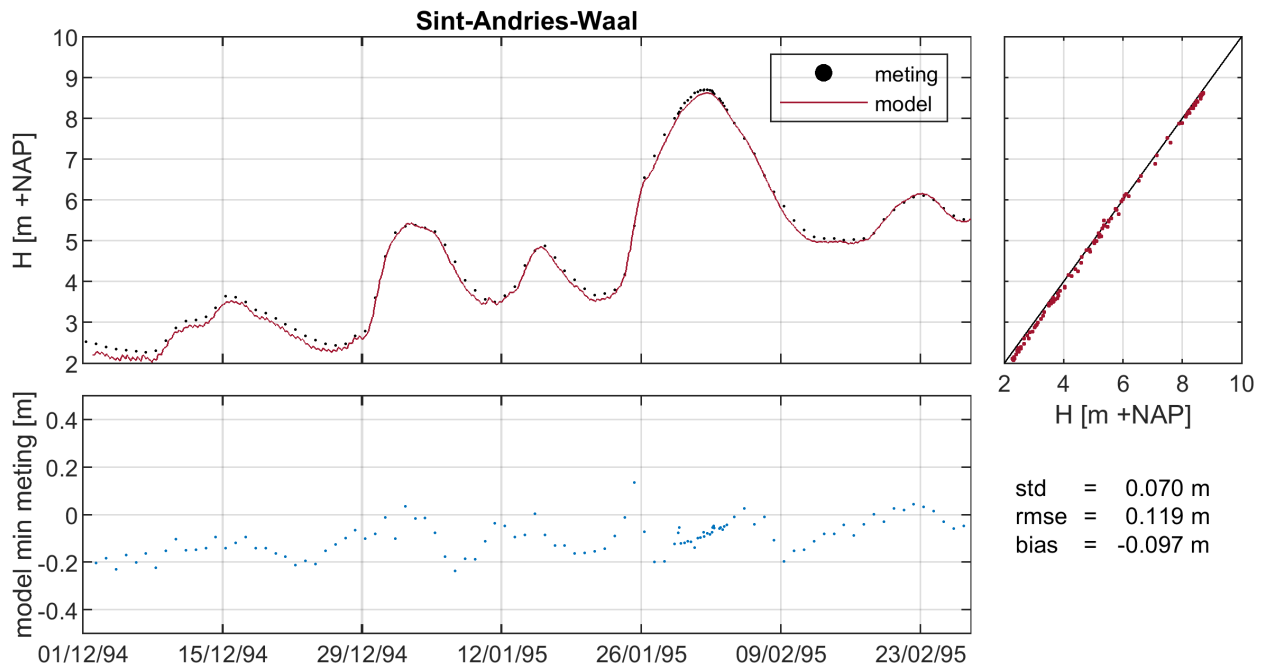


Waal

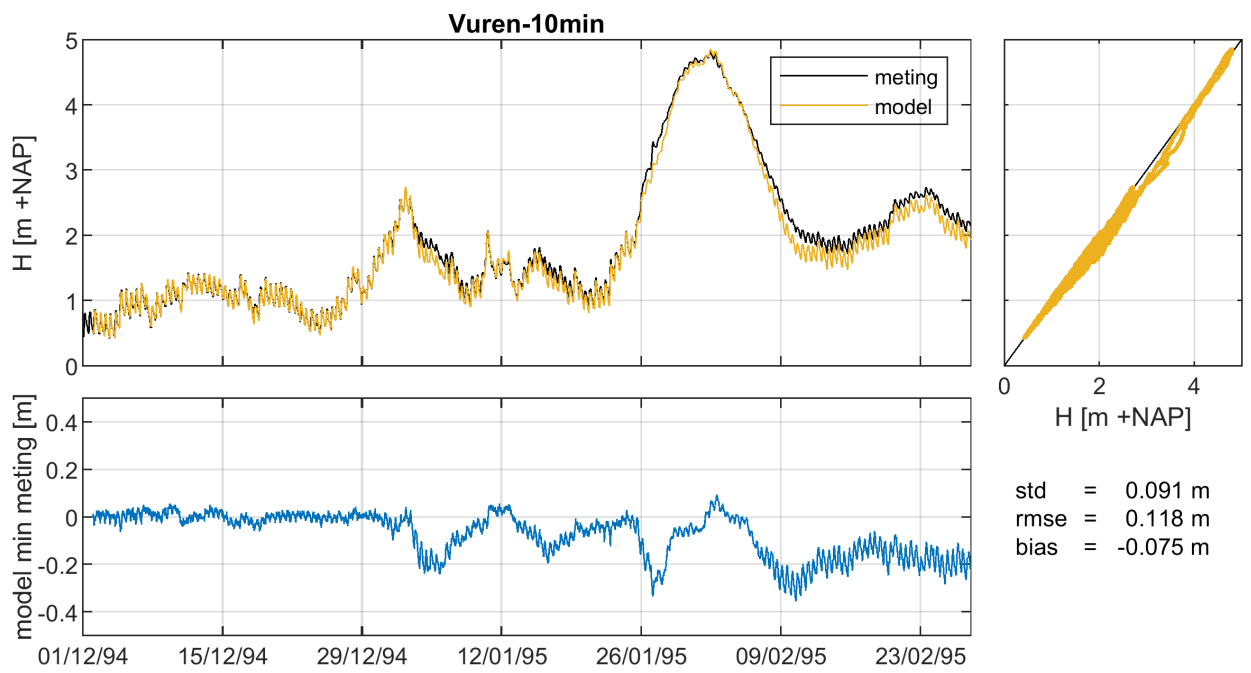
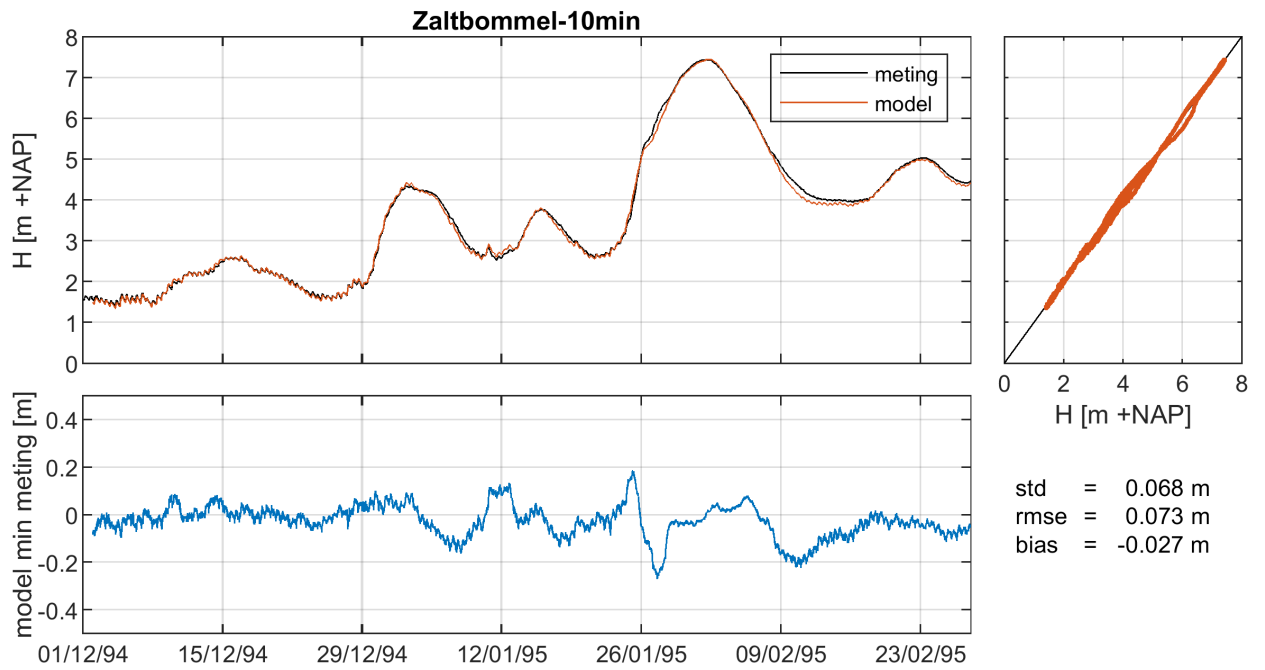


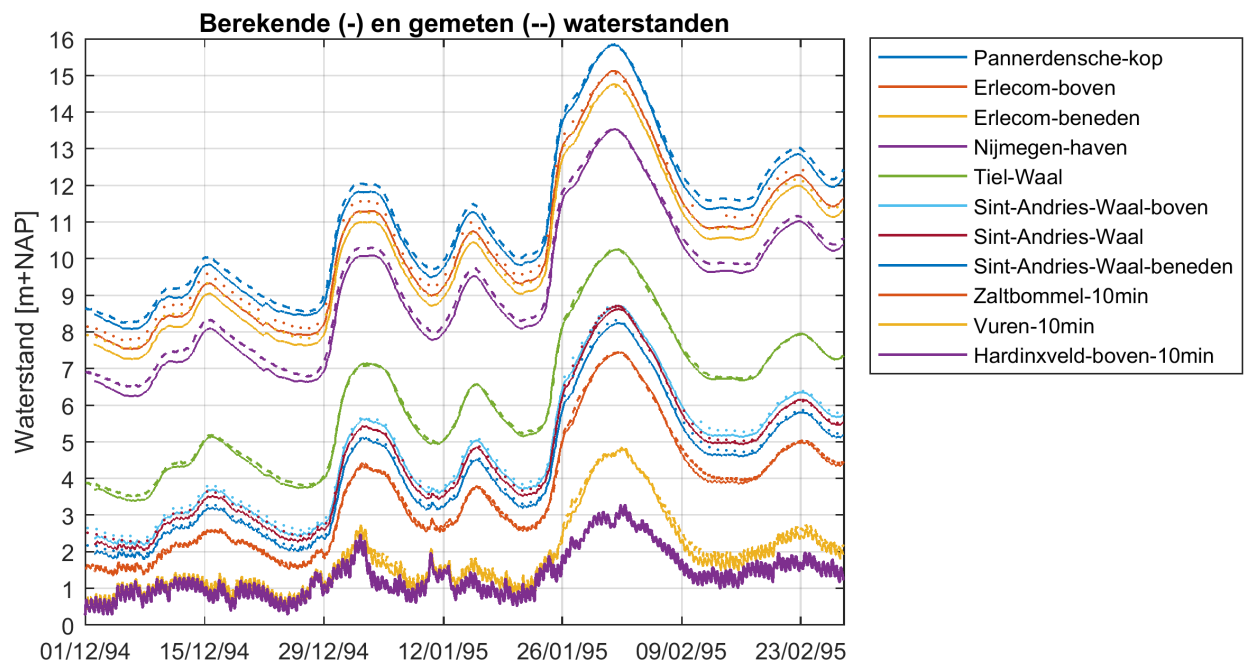
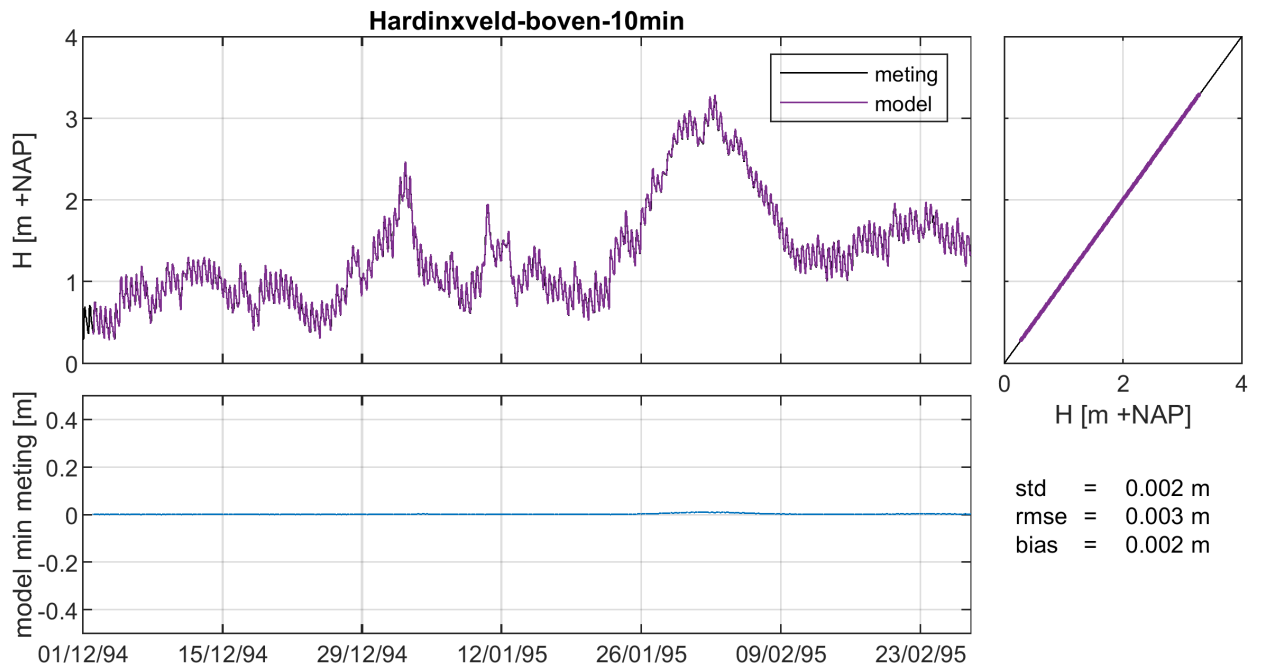




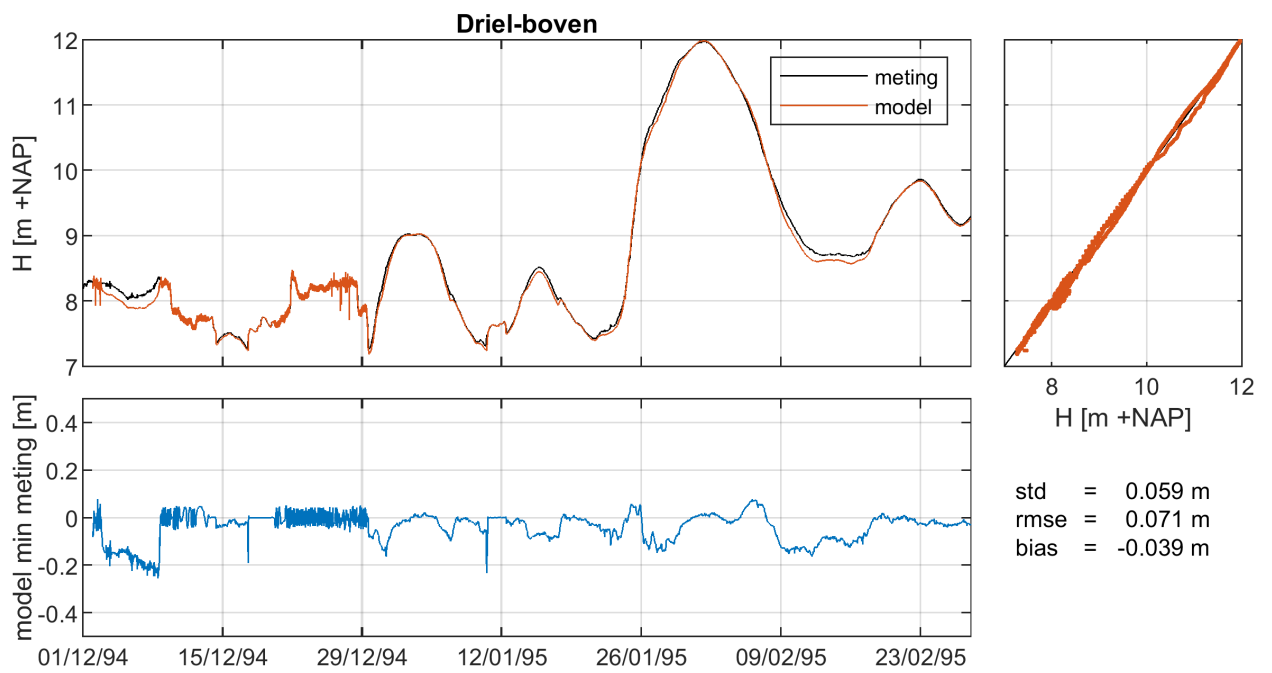
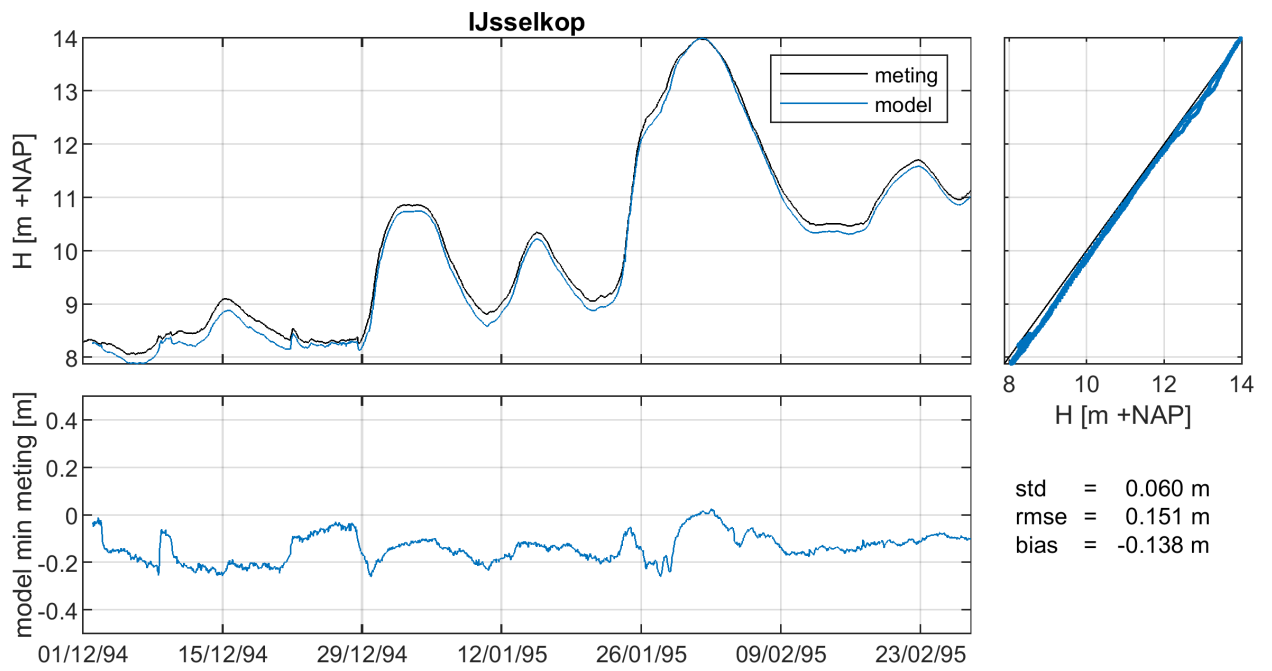


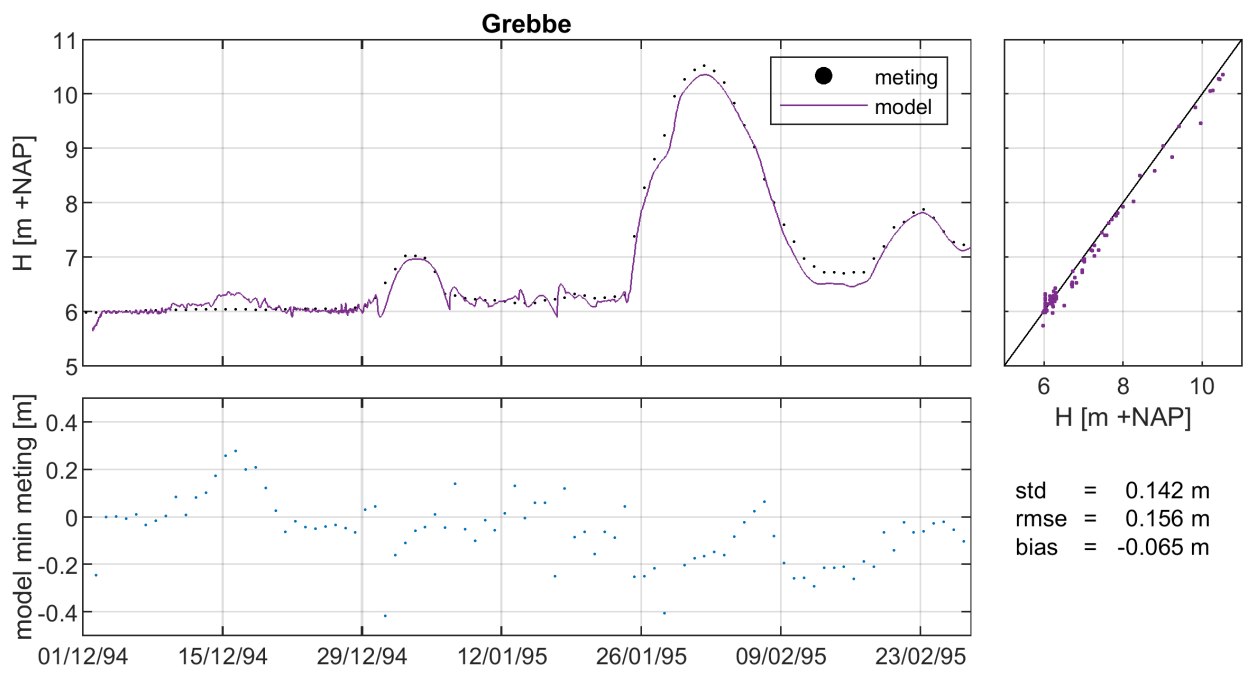
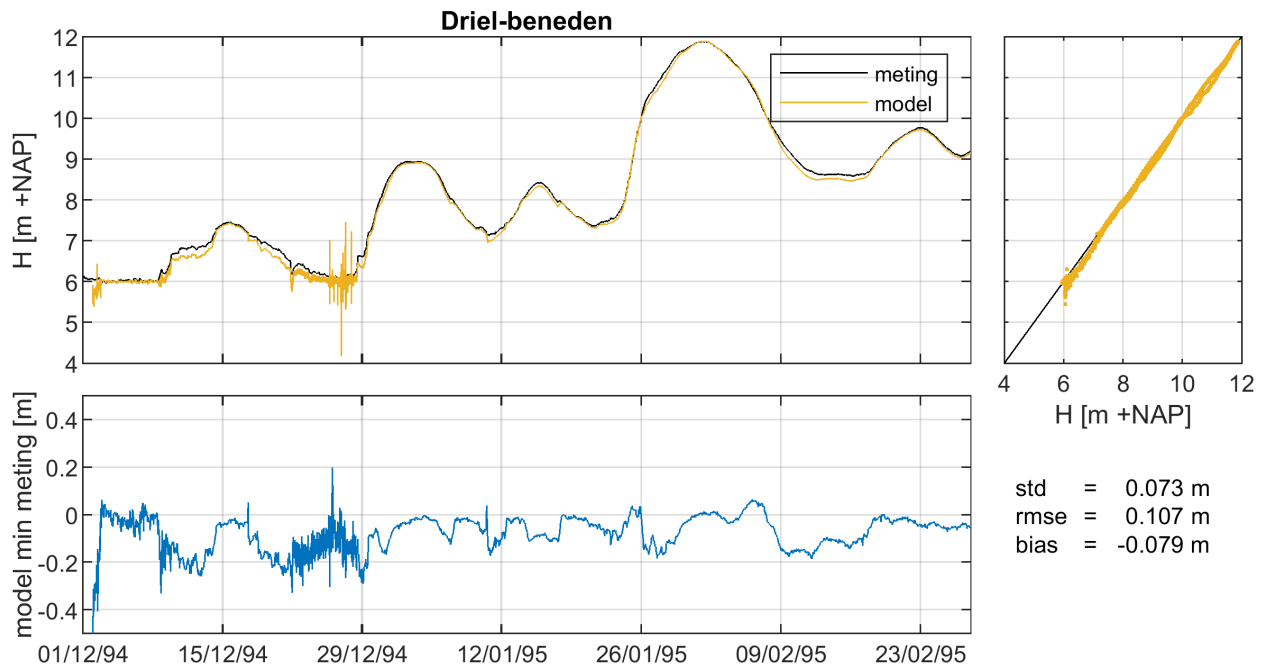


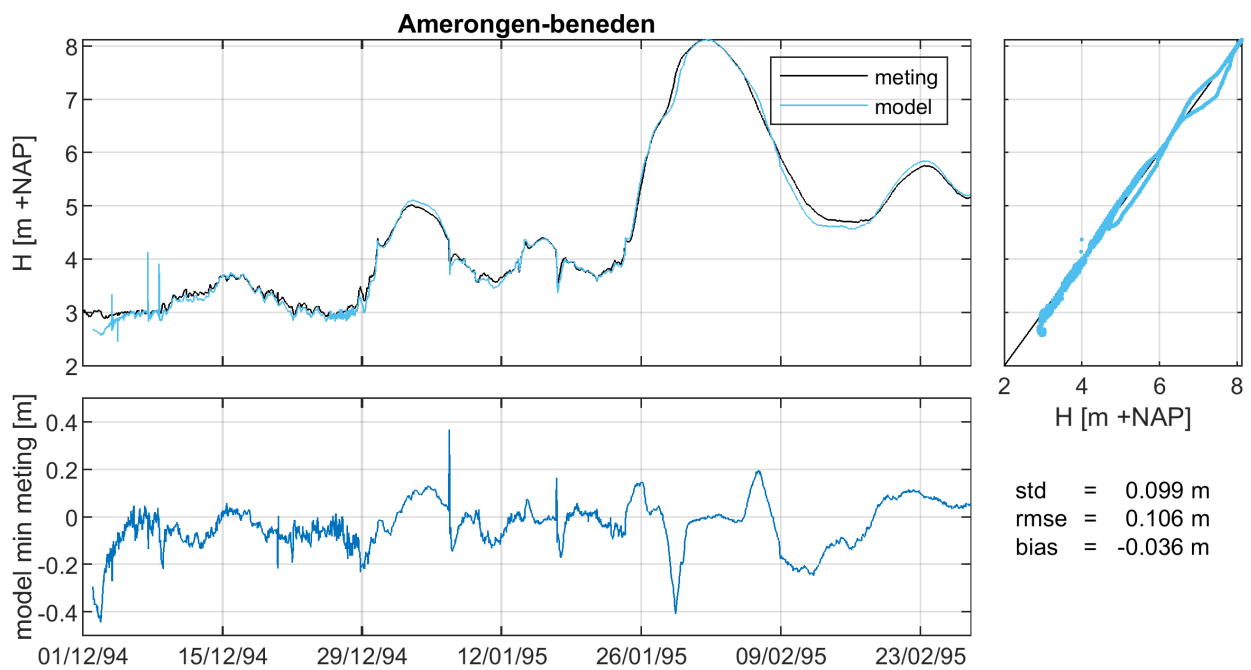
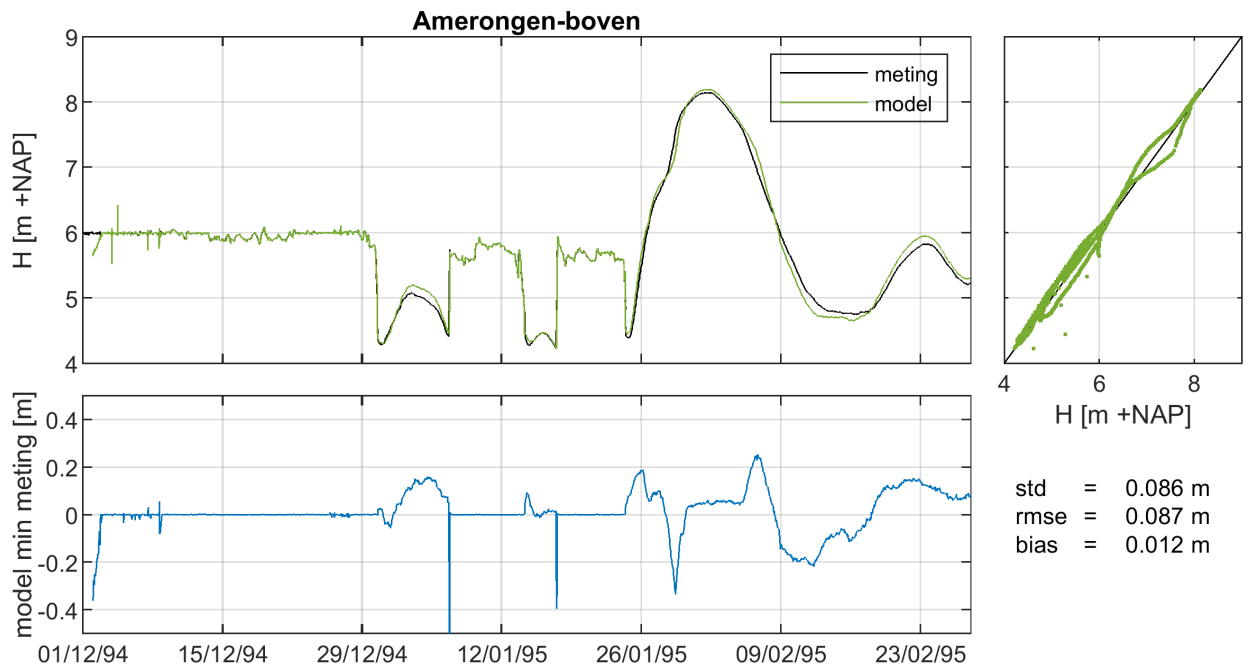


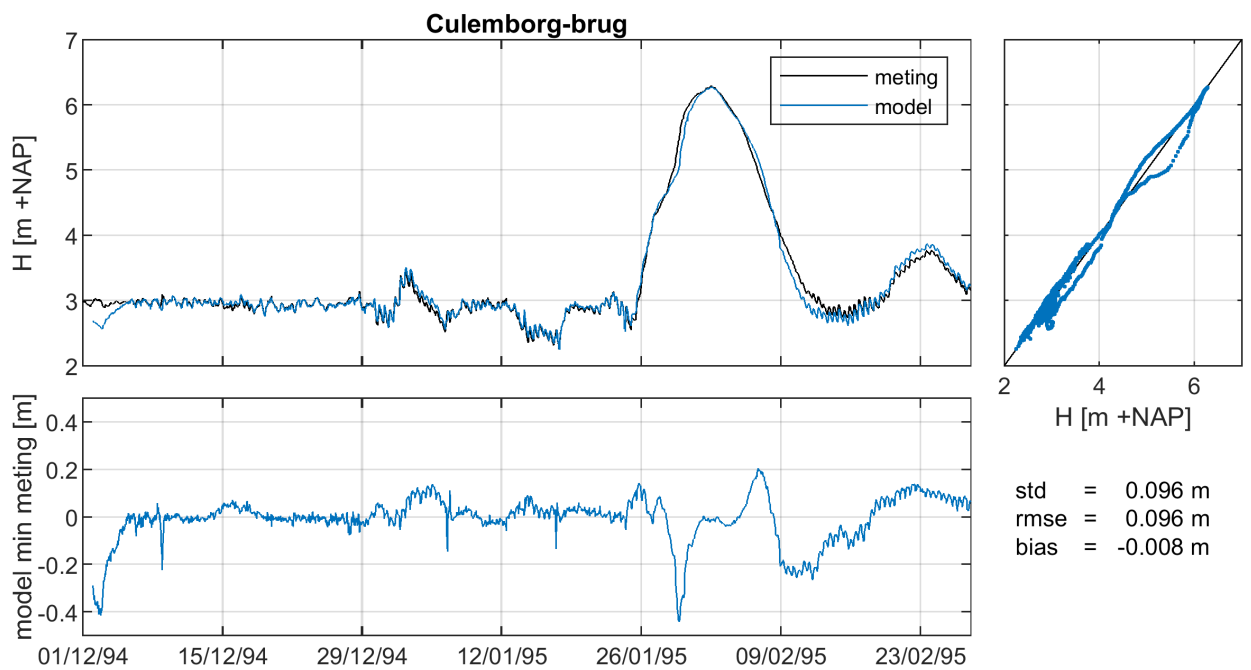
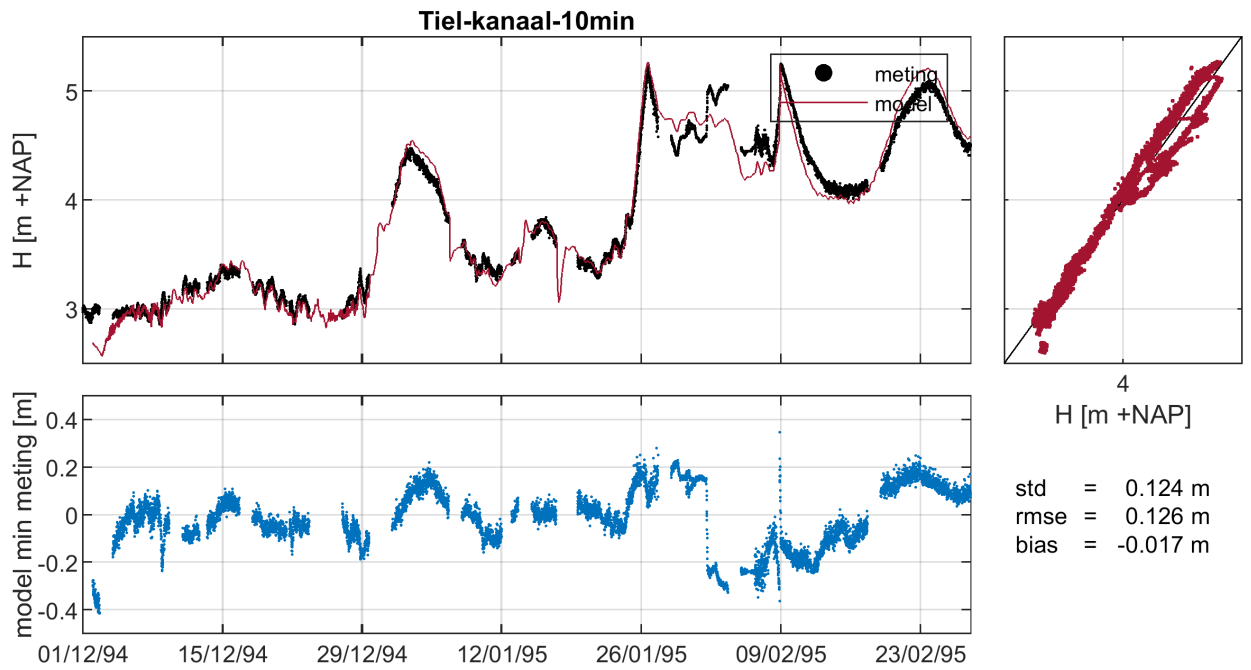


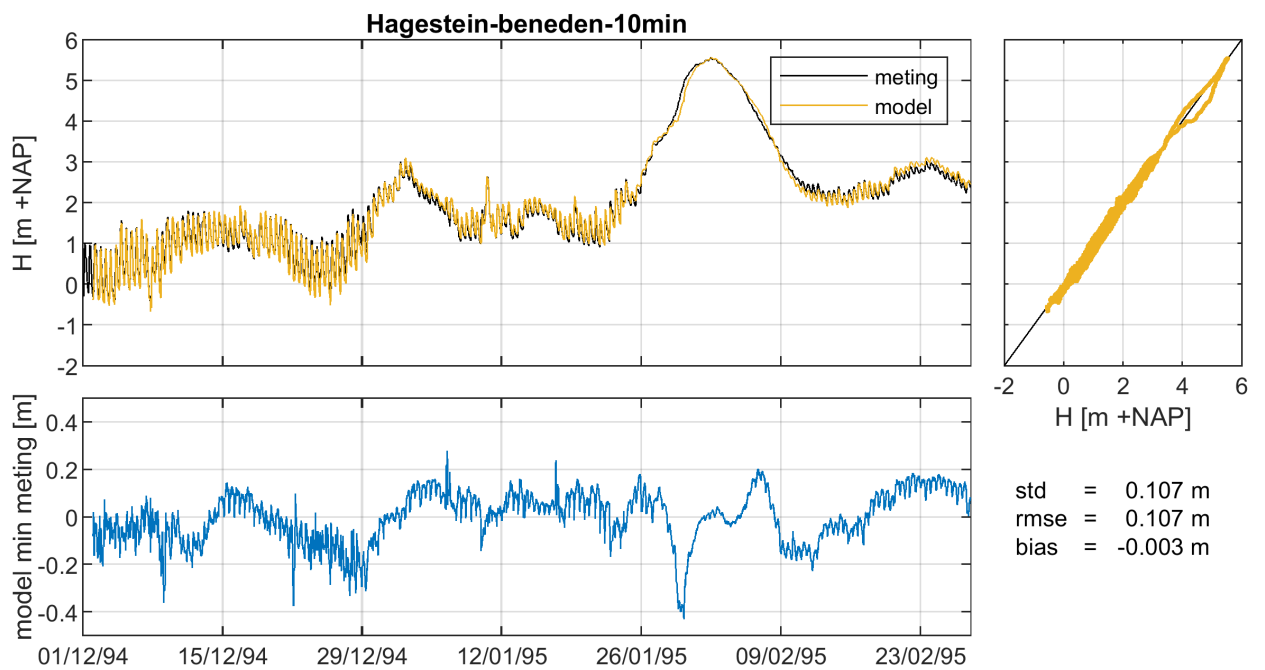
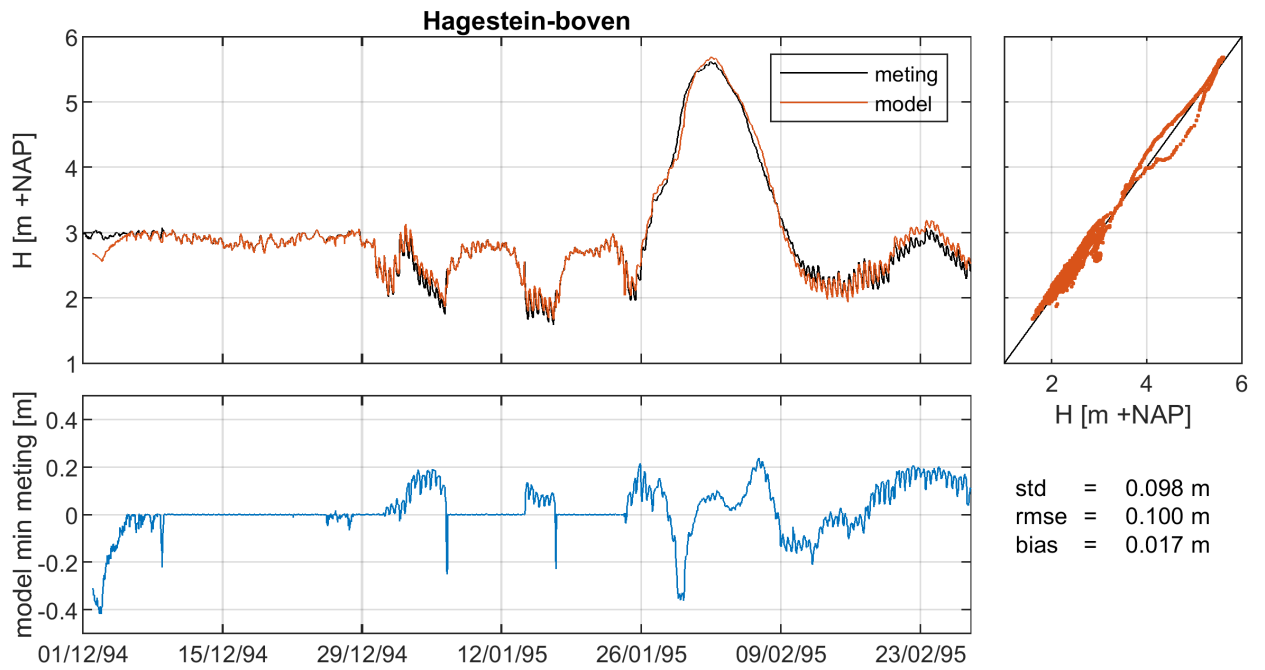
Neder-Rijn - Lek

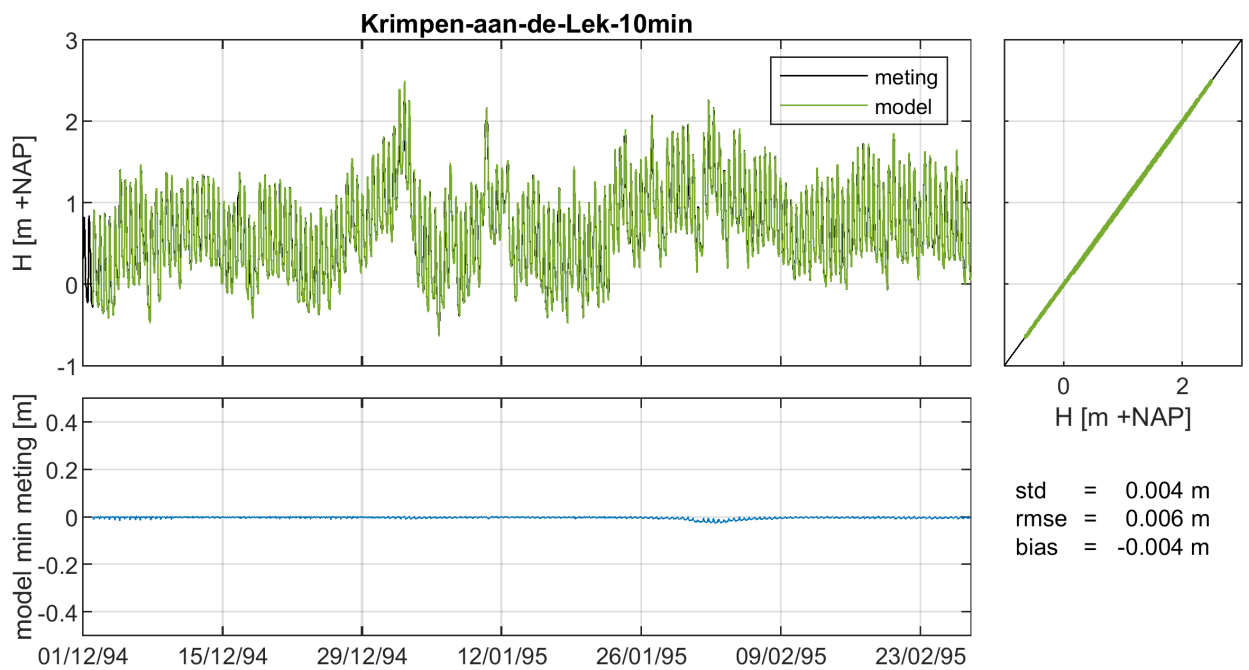
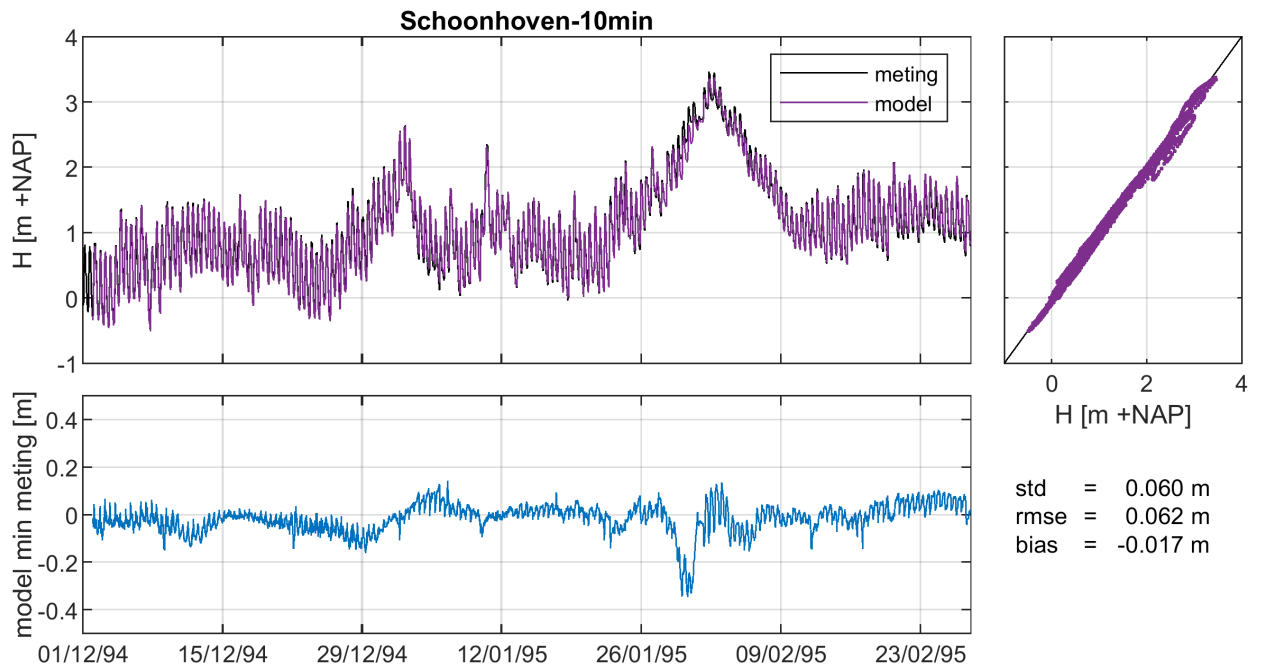




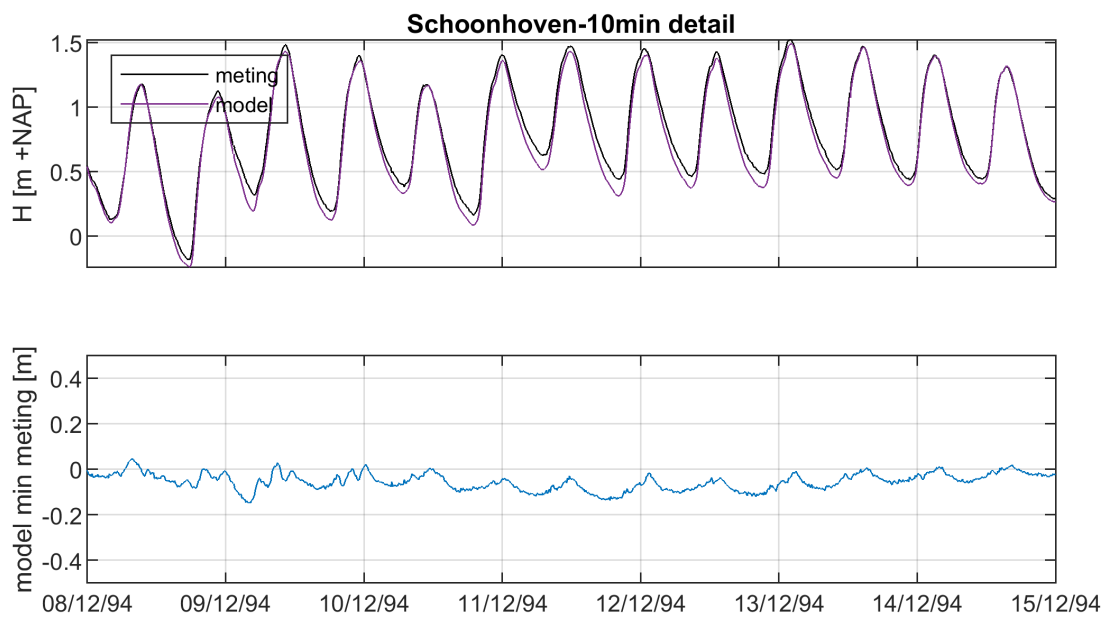
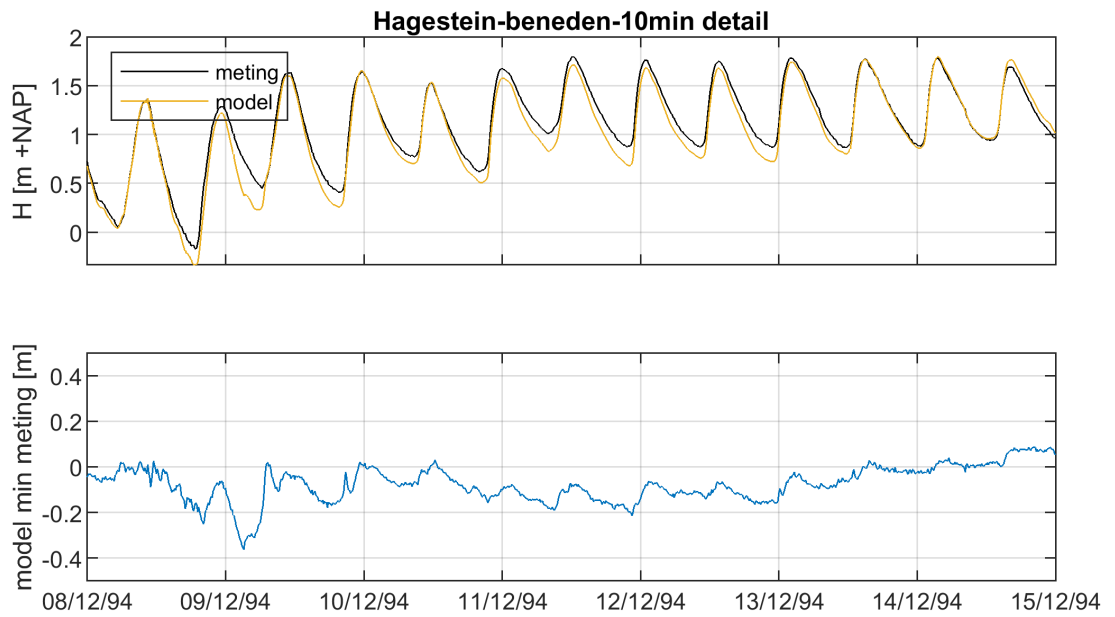


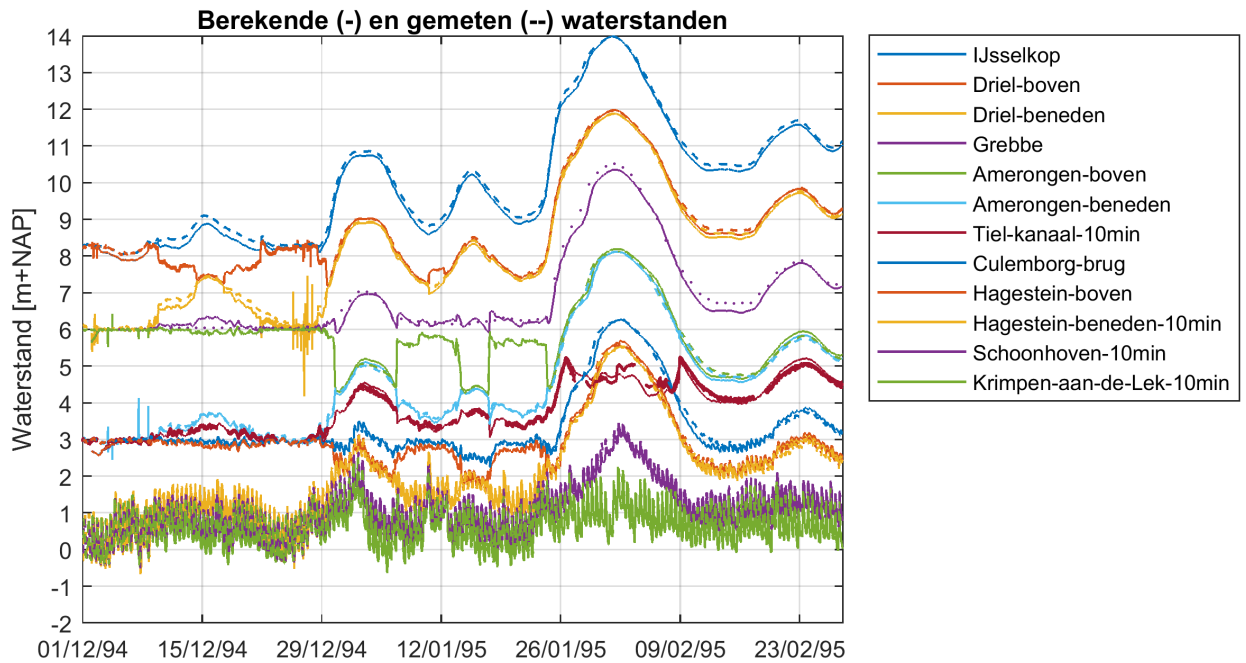




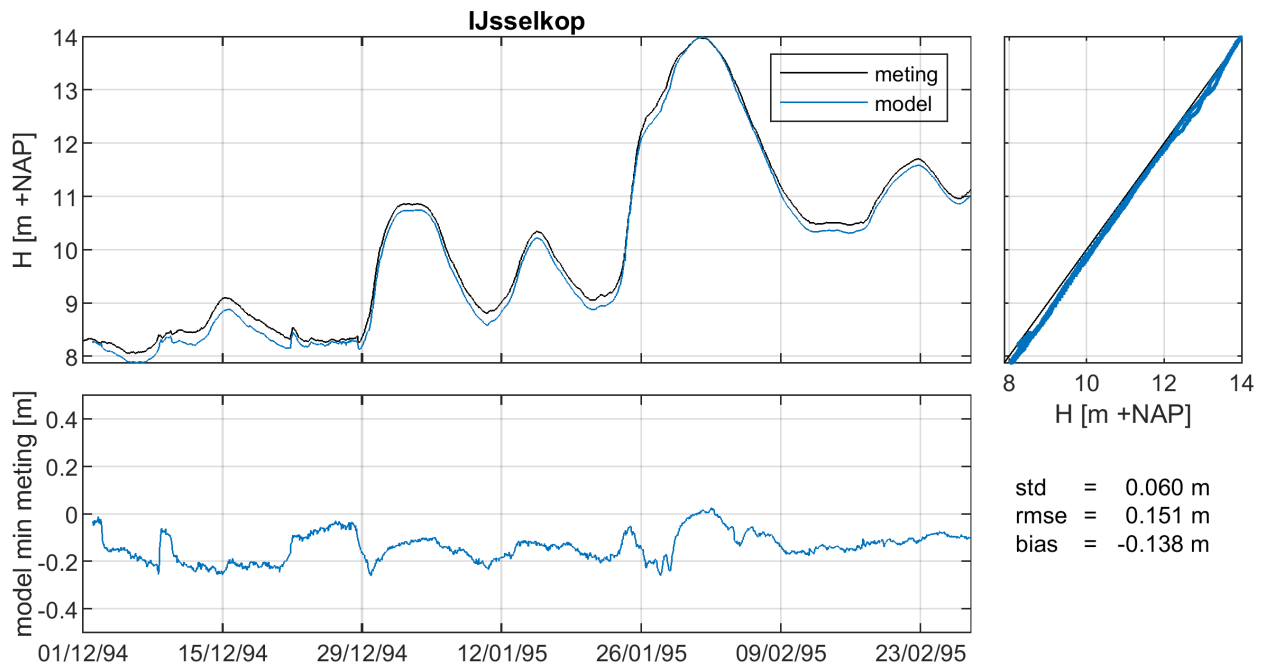


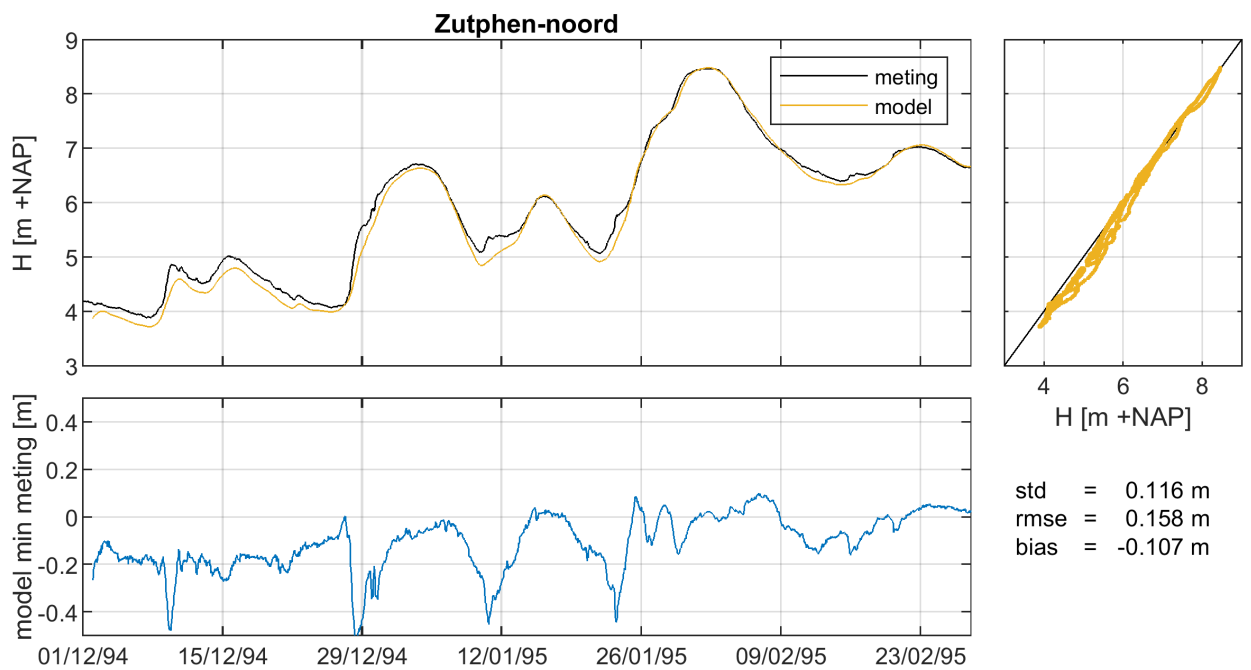
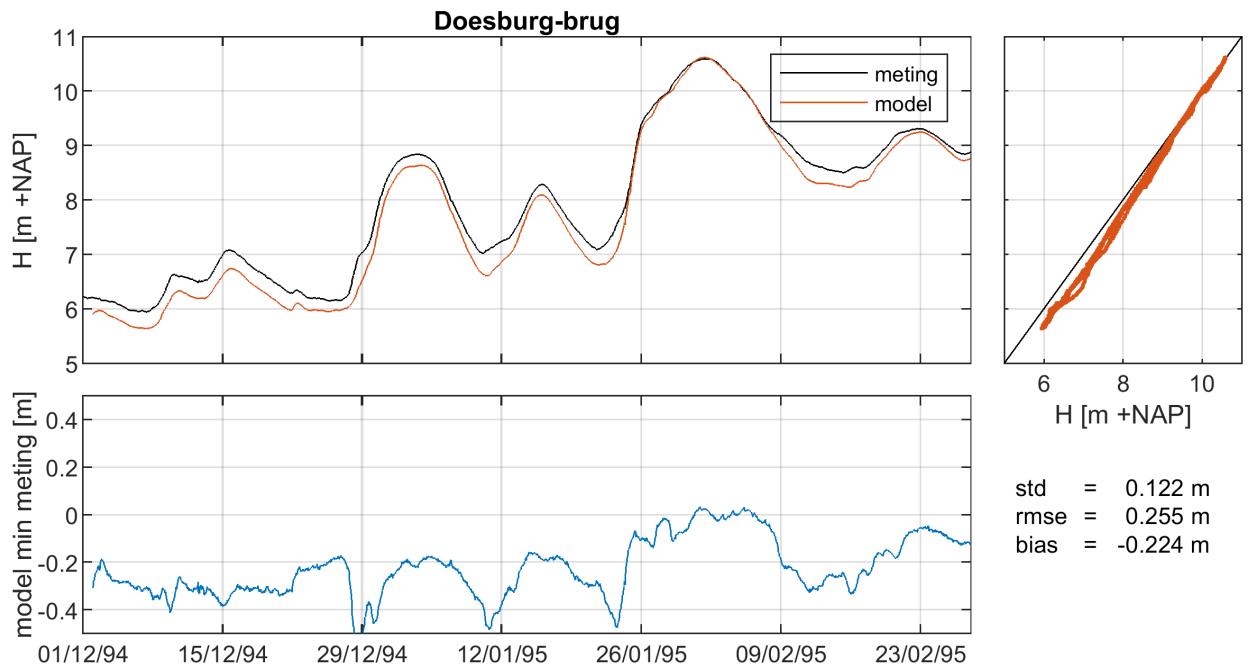


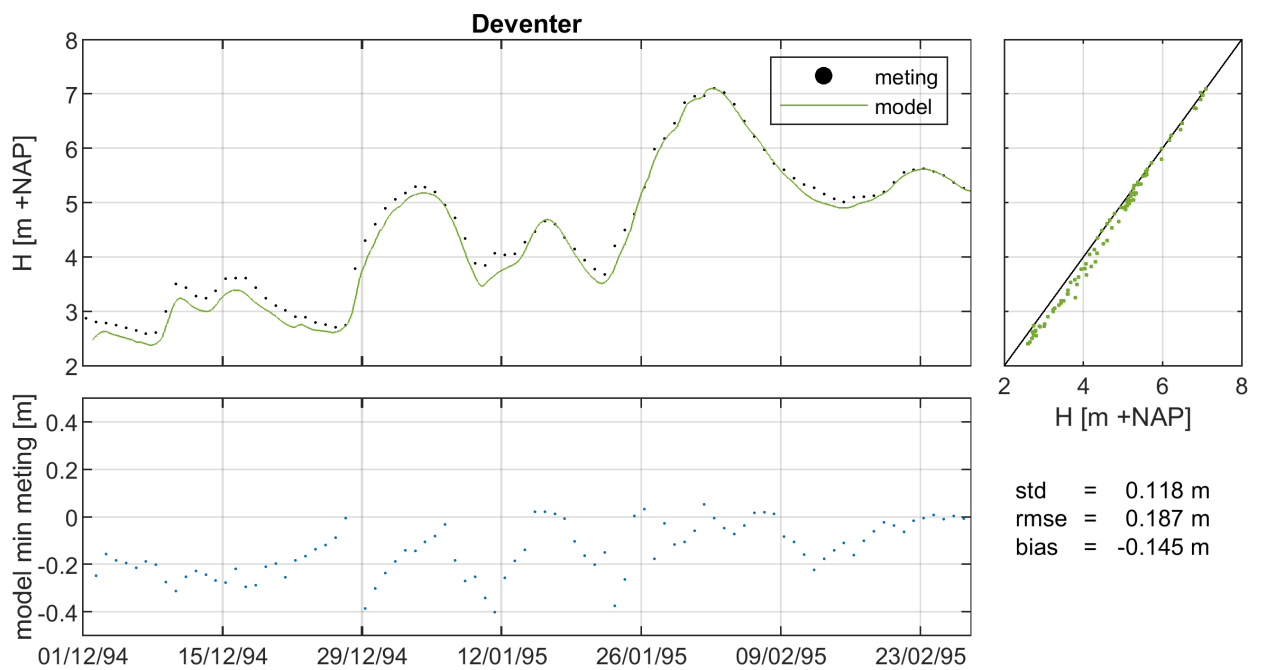
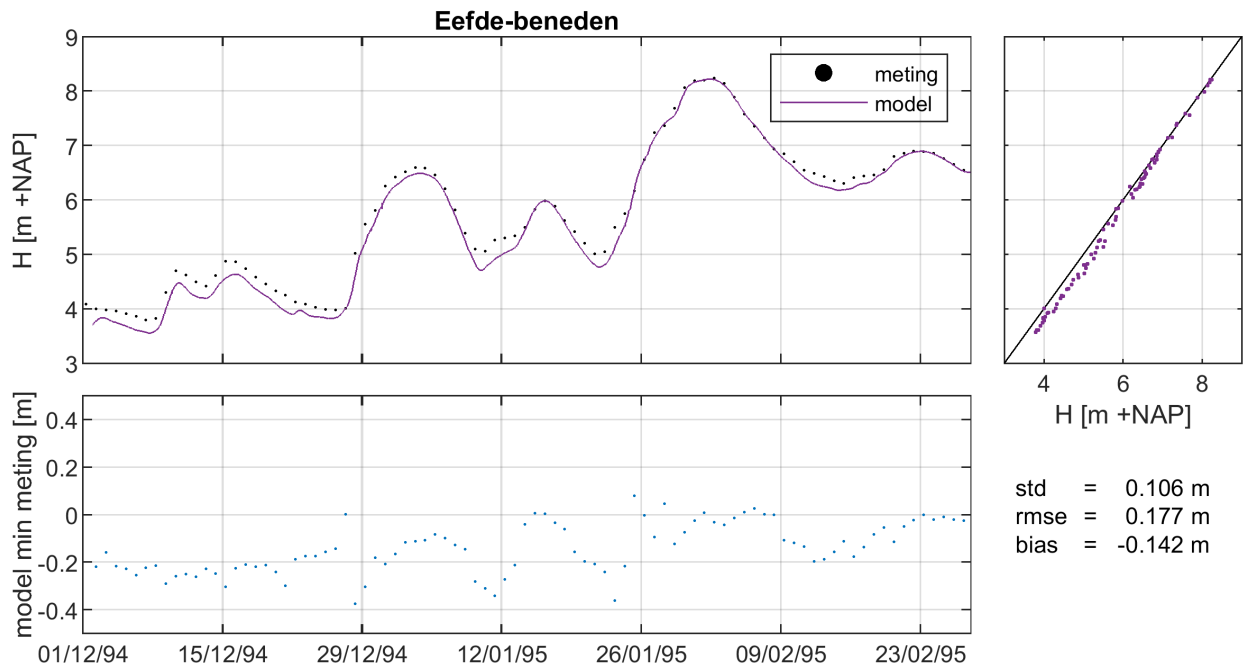


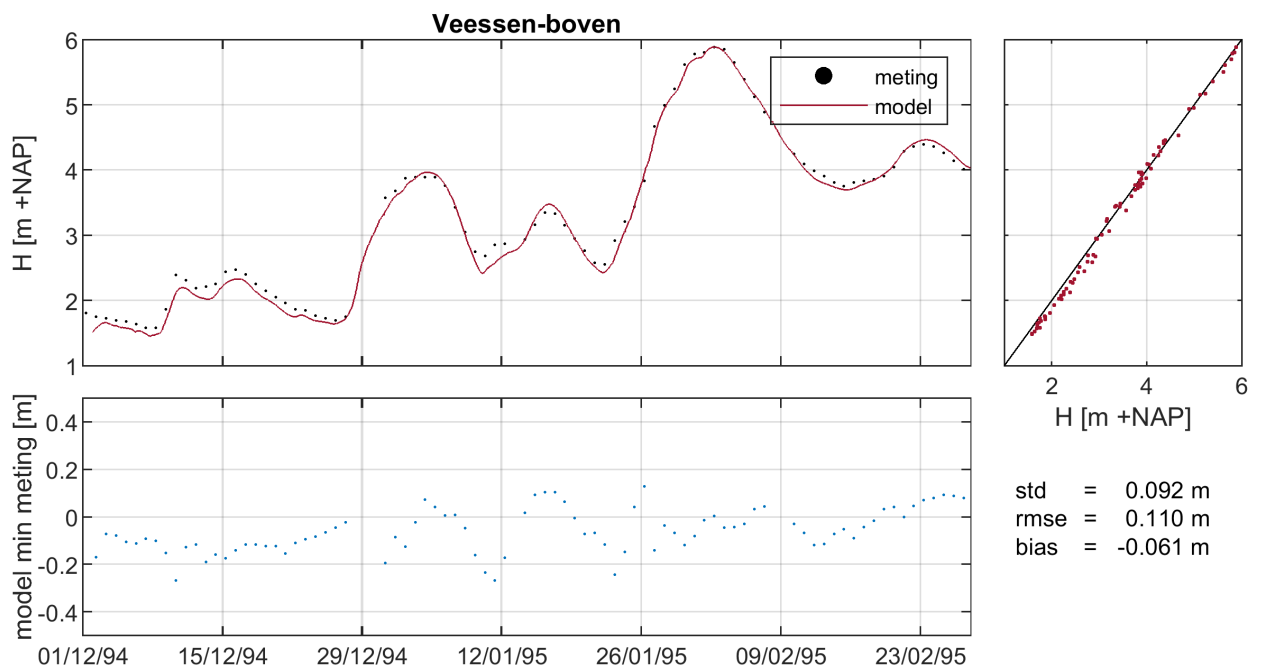
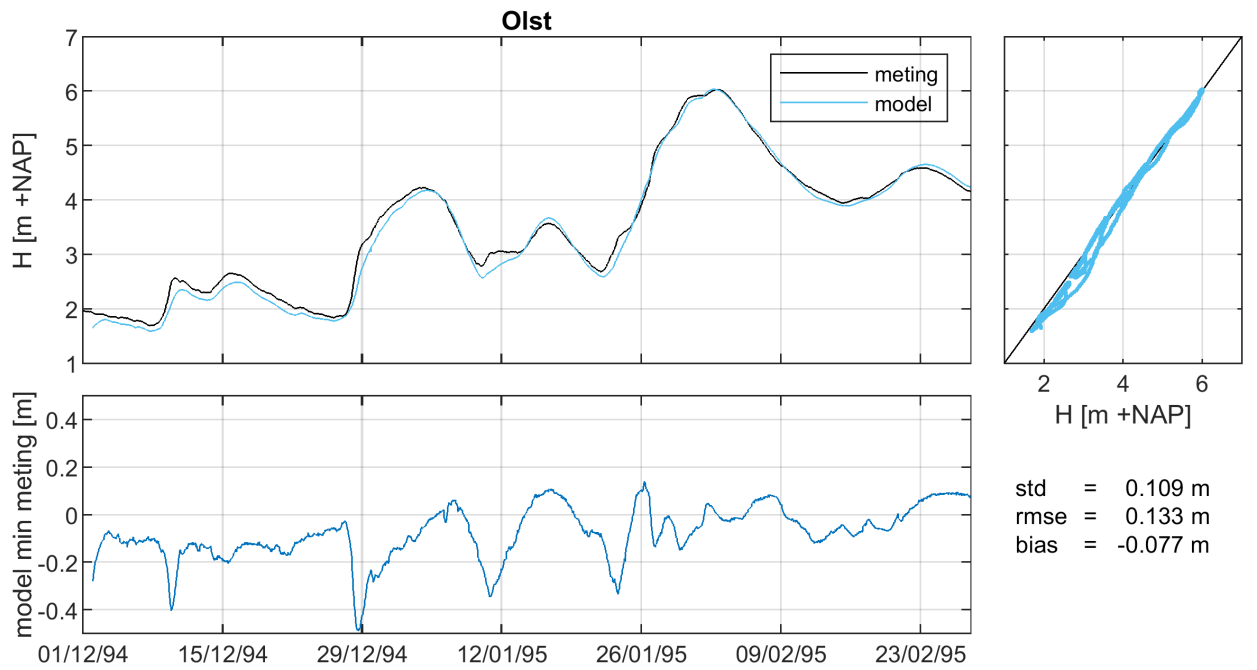


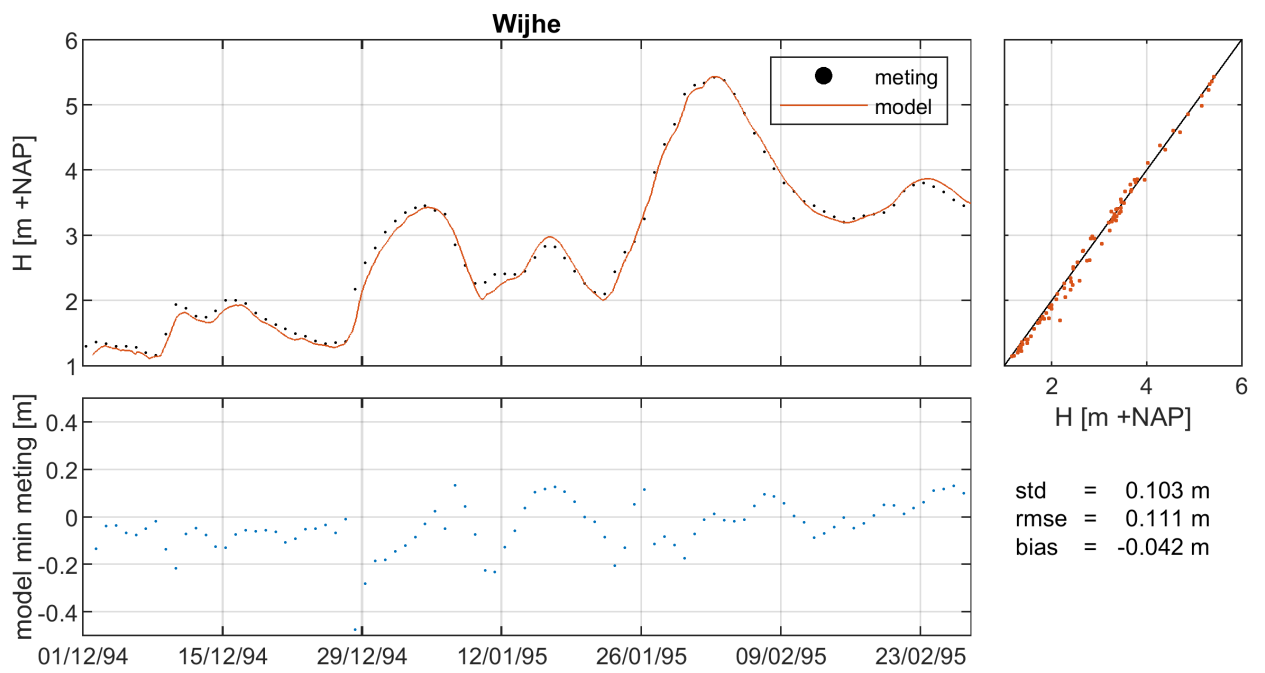
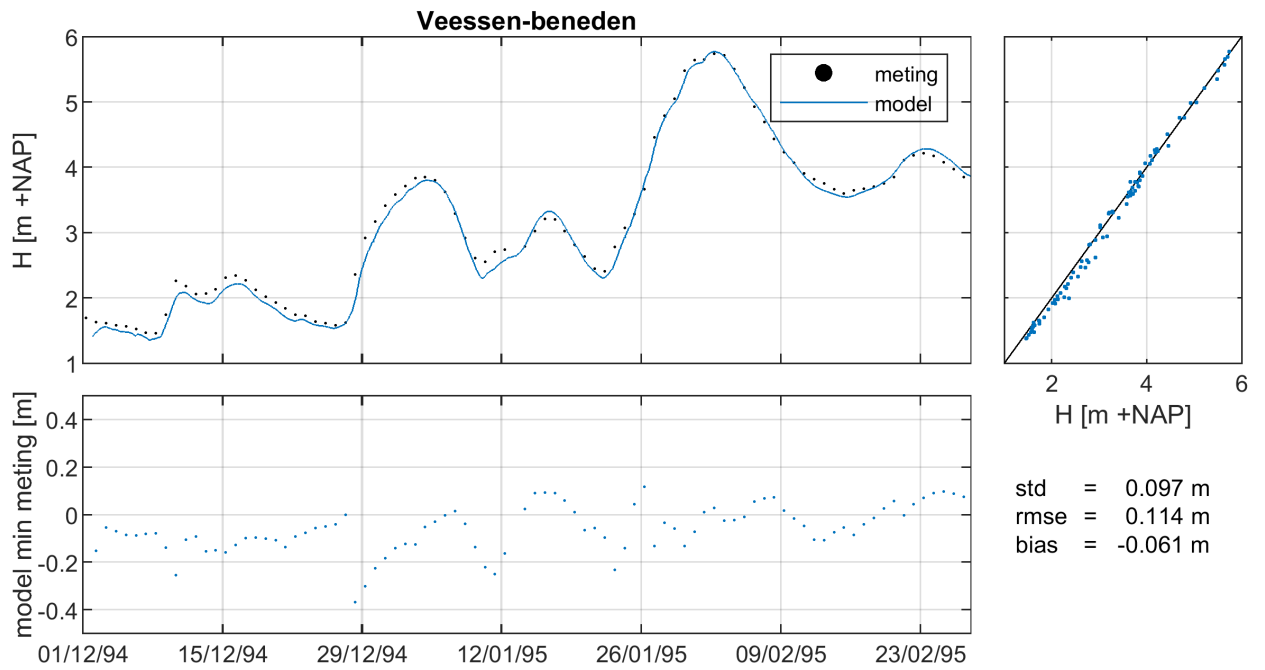
**IJssel**

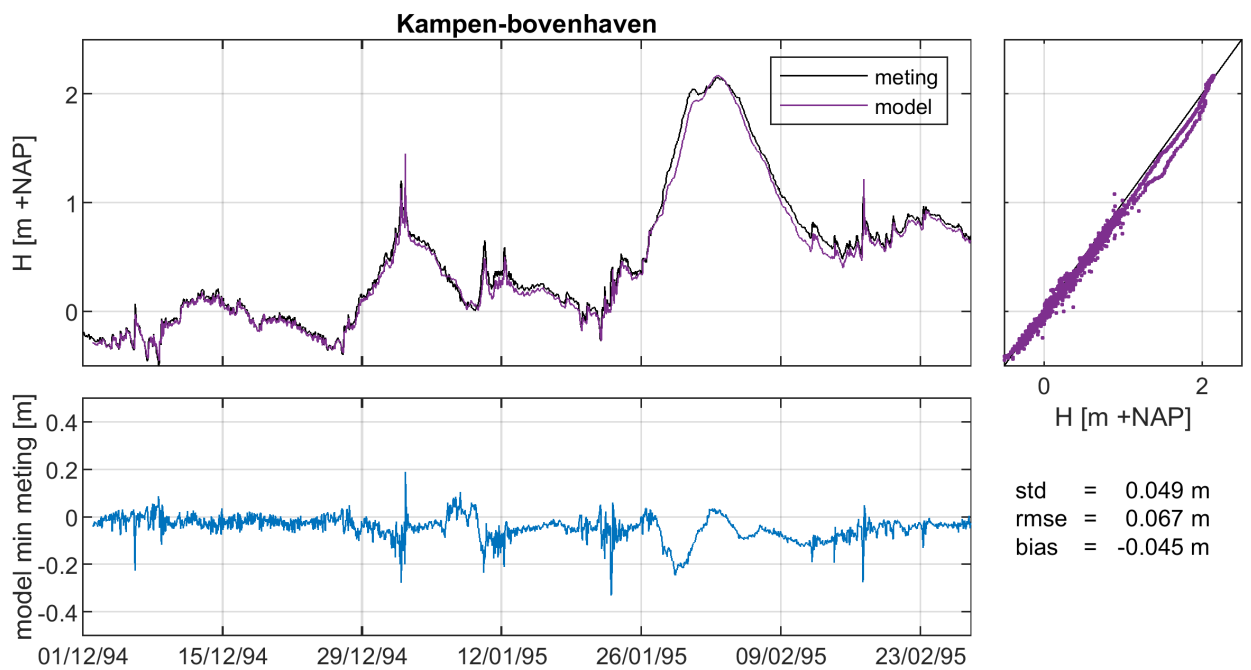
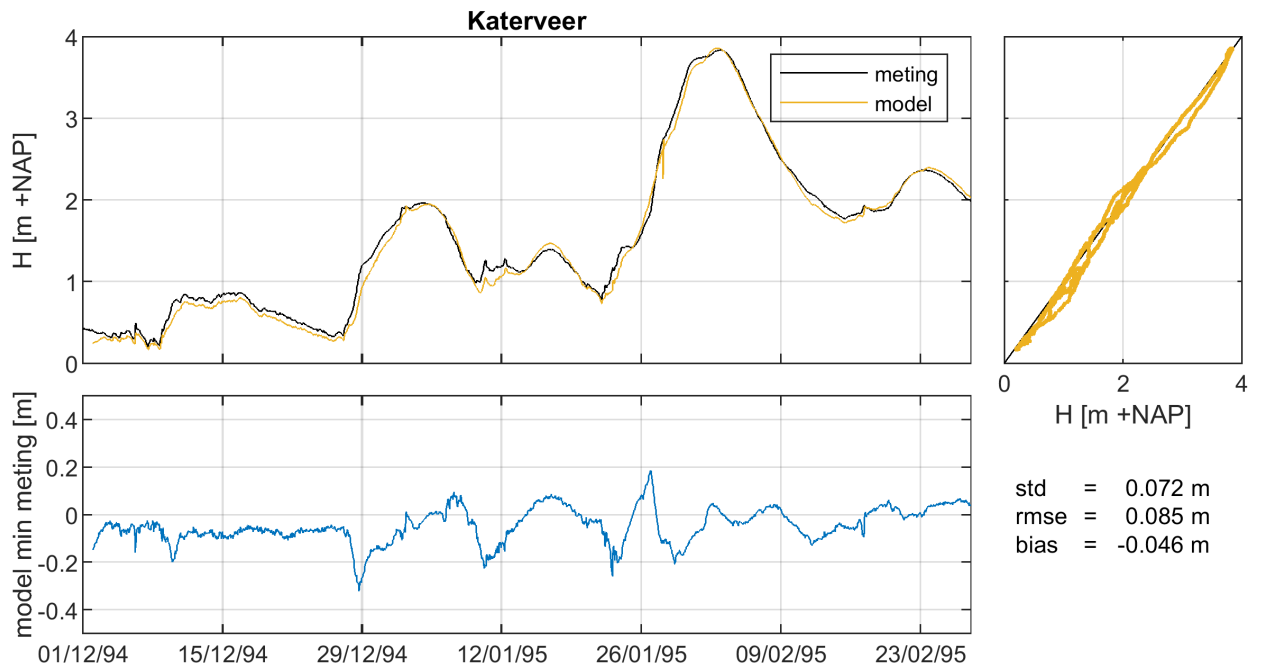


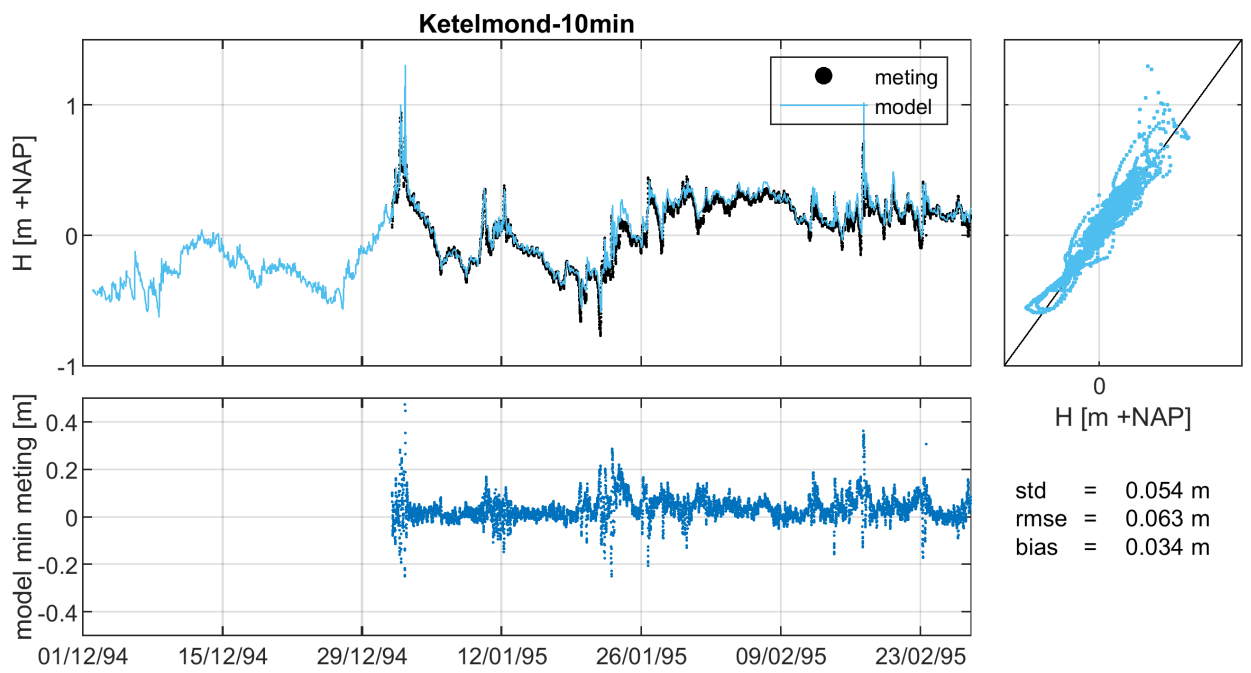
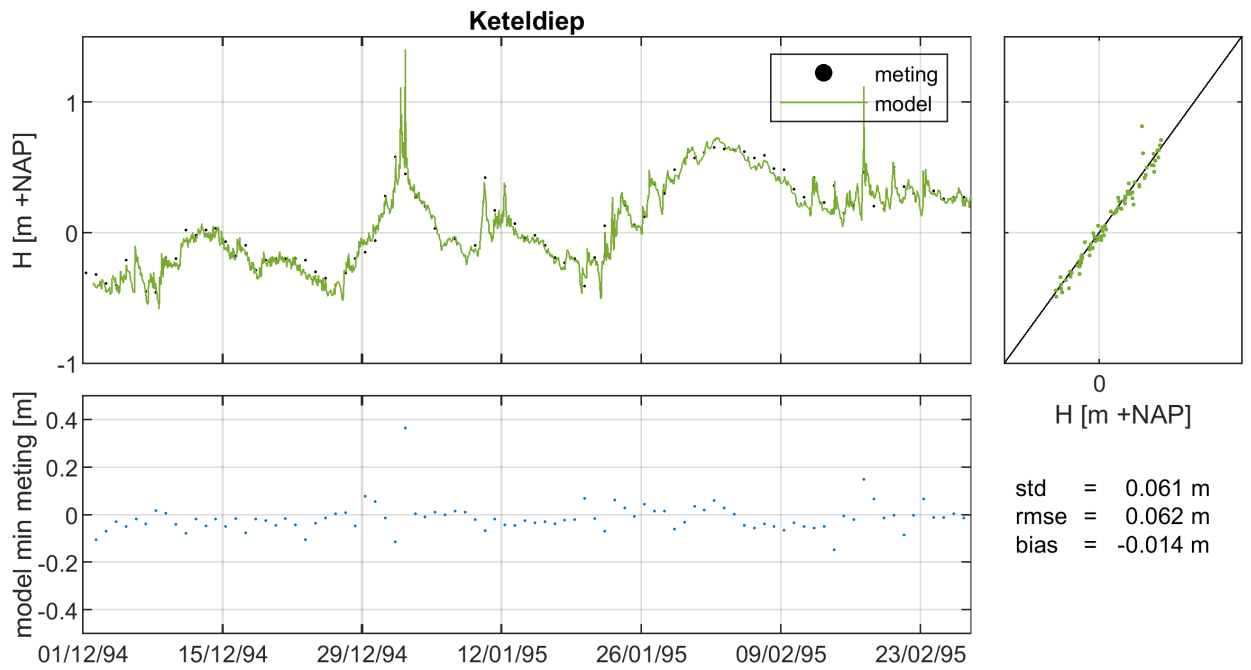




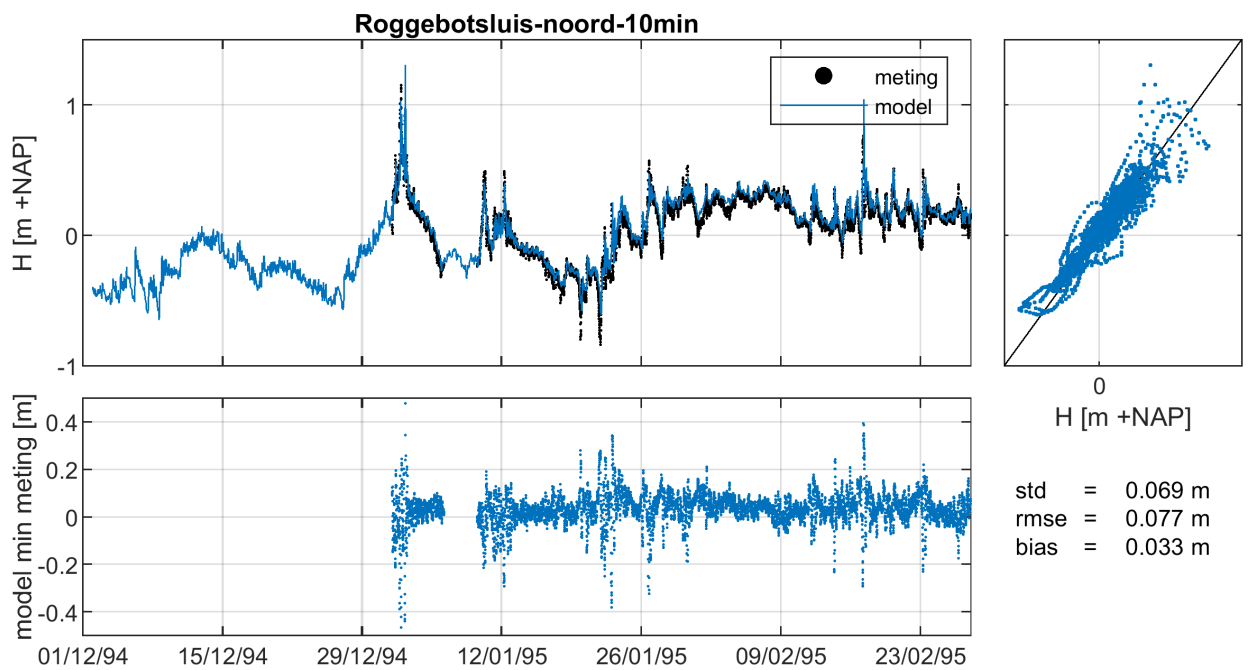
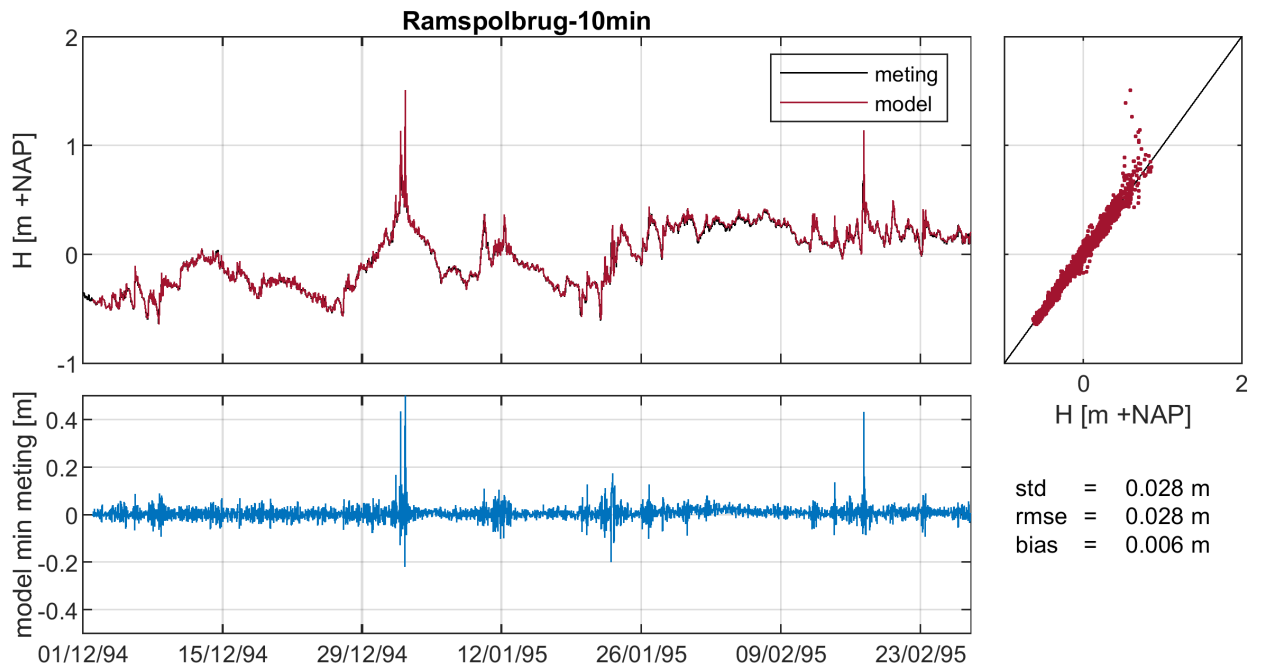


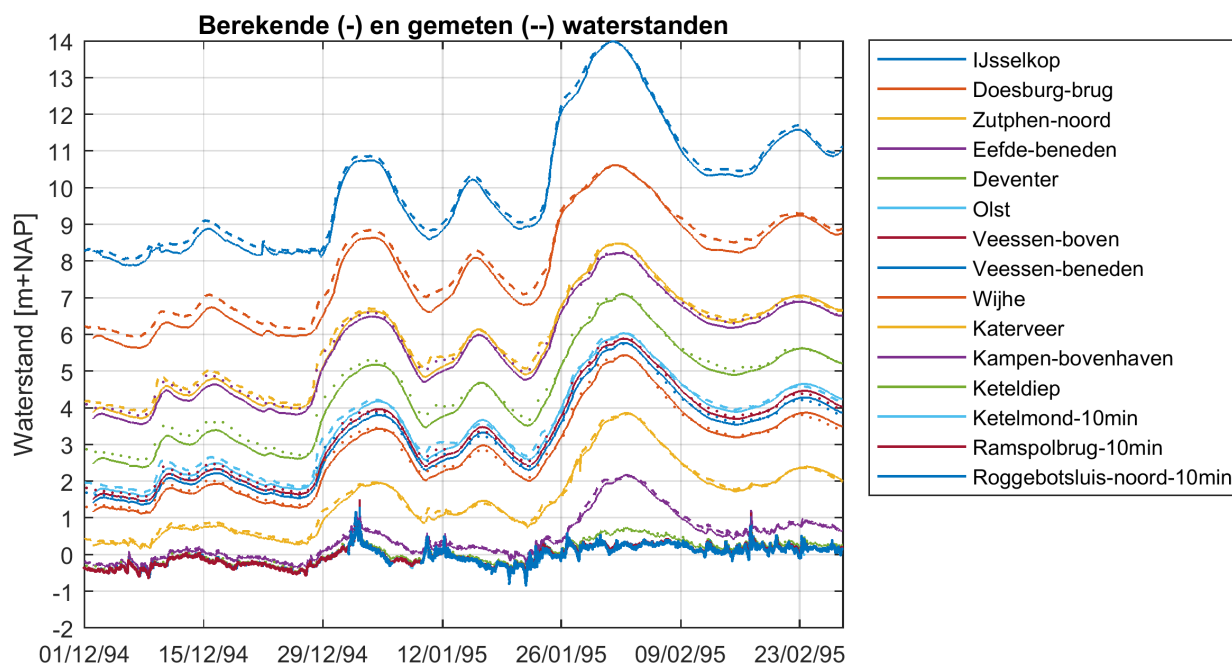












## I.2.2 Tabellen topstanden LMW

### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal

stations	model topstand		meting topstand		model min meting [m]
	[m+NAP]	tijd	[m+NAP]	tijd	
Emmerich	17.84	31-Jan-1995 16:30:00	17.84	01-Feb-1995	0
Lobith	16.68	01-Feb-1995 02:30:00	16.66	31-Jan-1995 16:00:00	0.02
Pannerdense kop	15.85	01-Feb-1995 02:50:00	15.84	31-Jan-1995 16:00:00	0.01
Groene rivier boven	15.83	01-Feb-1995 03:15:00	15.86	31-Jan-1995 21:00:00	-0.03
Groene rivier beneden	14.87	01-Feb-1995 03:00:00	14.82	31-Jan-1995 20:00:00	0.05
Pannerden	14.78	01-Feb-1995 03:20:00	14.73	01-Feb-1995 08:00:00	0.05
IJsselkop	13.99	01-Feb-1995 03:20:00	13.98	31-Jan-1995 19:00:00	0.01

### Waal

stations	model topstand		meting topstand		model min meting [m]
	[m+NAP]	tijd	[m+NAP]	tijd	
Pannerdense kop	15.85	01-Feb-1995 02:50:00	15.84	31-Jan-1995 16:00:00	0.01
Erlecom boven	15.13	01-Feb-1995 03:20:00	15.05	01-Feb-1995 08:00:00	0.08
Erlecom beneden	14.76	01-Feb-1995 03:35:00	14.7	01-Feb-1995 08:00:00	0.06
Nijmegen haven	13.53	01-Feb-1995 04:20:00	13.53	31-Jan-1995 22:00:00	0
Tiel Waal	10.25	01-Feb-1995 10:45:00	10.27	01-Feb-1995 03:00:00	-0.02
Sint-Andries Waal boven	8.72	01-Feb-1995 13:45:00	8.66	31-Jan-1995 08:00:00	0.06
Sint-Andries Waal	8.62	01-Feb-1995 13:45:00	8.7	01-Feb-1995 08:00:00	-0.08
Sint-Andries Waal beneden	8.24	01-Feb-1995 14:00:00	8.32	01-Feb-1995 08:00:00	-0.08
Zaltbommel	7.44	01-Feb-1995 14:05:00	7.44	01-Feb-1995 10:00:00	0
Vuren	4.86	01-Feb-1995 22:30:00	4.81	01-Feb-1995 20:40:00	0.05
Hardinxveld	3.29	02-Feb-1995 09:40:00	3.28	02-Feb-1995 08:50:00	0.01

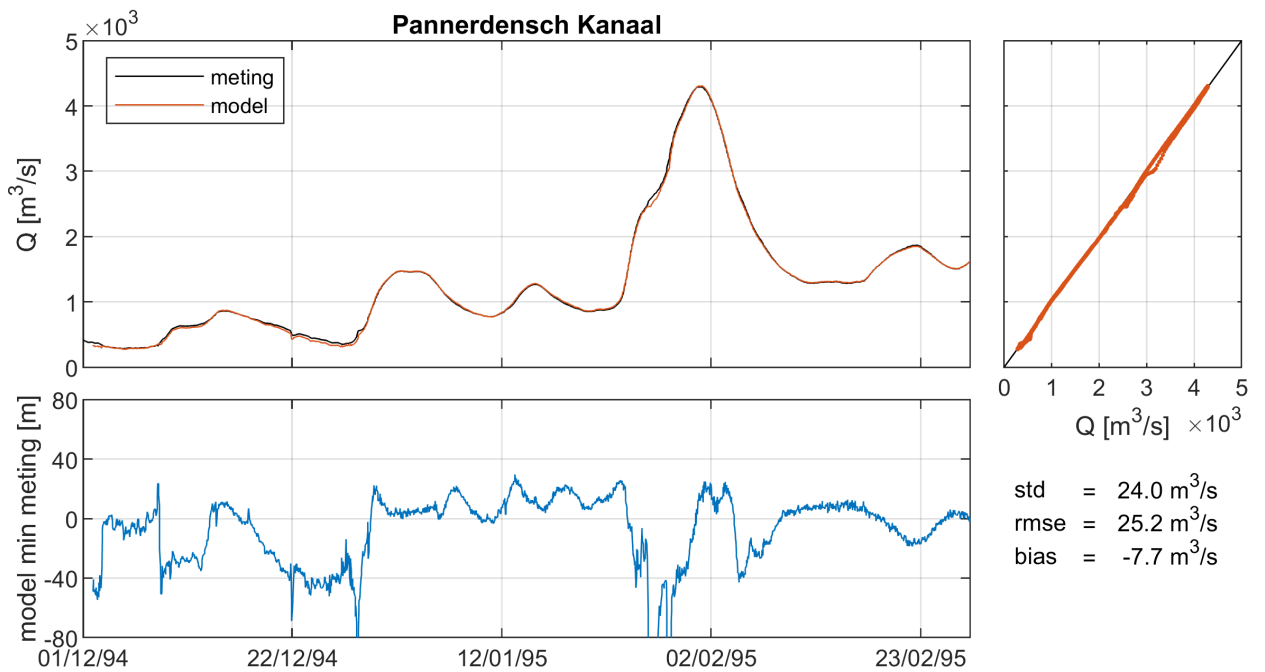
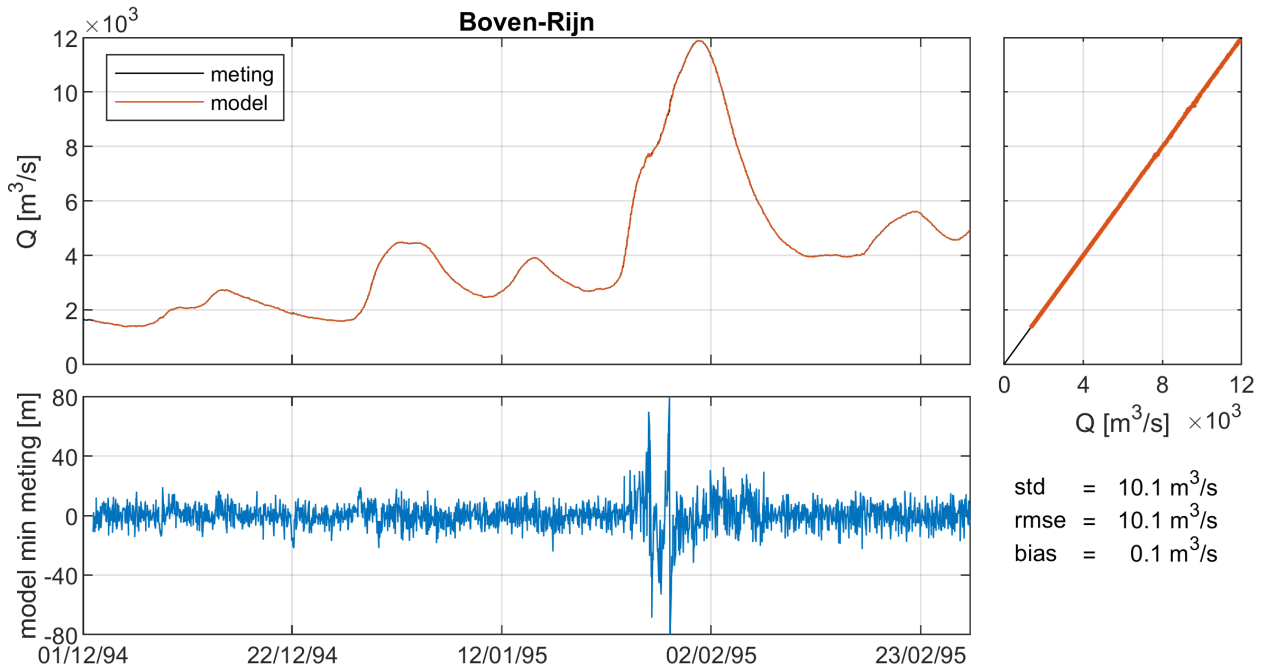
### Neder-Rijn - Lek

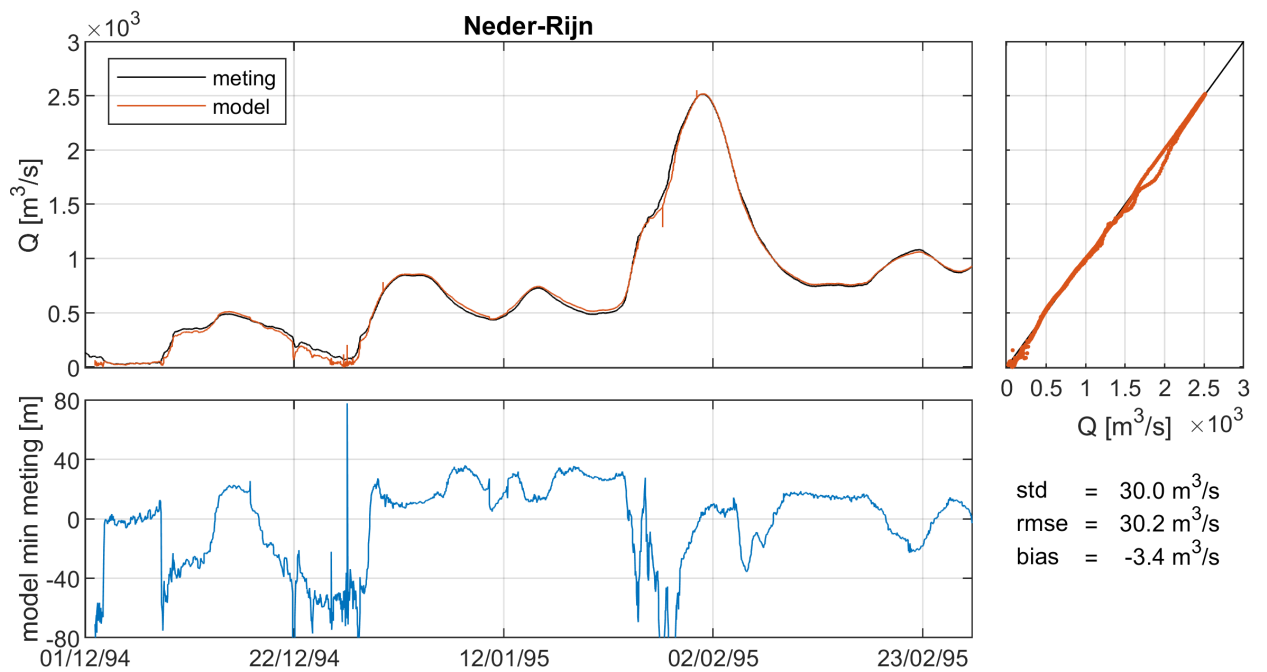
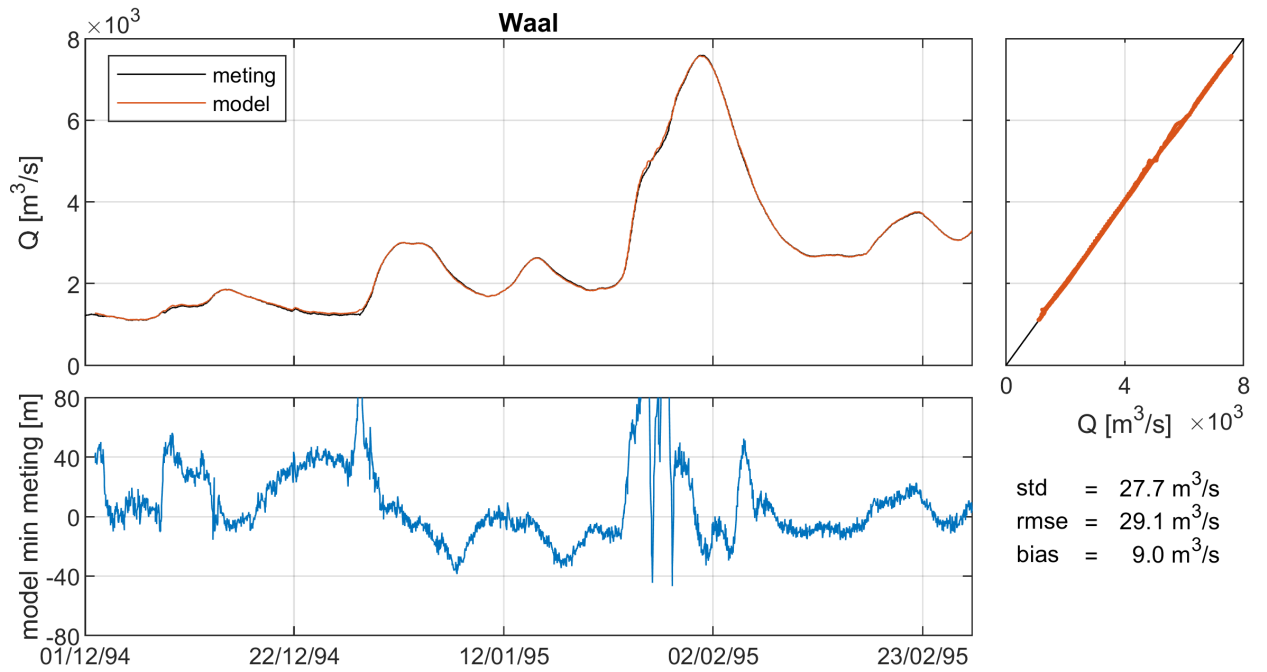
stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
IJsselkop	13.99	01-Feb-1995 03:20:00	13.98	31-Jan-1995 19:00:00	0.01
Driel boven	11.98	01-Feb-1995 05:10:00	11.97	01-Feb-1995 02:00:00	0.01
Driel beneden	11.88	01-Feb-1995 05:05:00	11.88	01-Feb-1995 01:00:00	0
Grebbe	10.35	01-Feb-1995 08:40:00	10.52	01-Feb-1995 08:00:00	-0.17
Amerongen boven	8.19	01-Feb-1995 14:20:00	8.14	01-Feb-1995 06:00:00	0.05
Amerongen beneden	8.11	01-Feb-1995 14:30:00	8.12	01-Feb-1995 08:00:00	-0.01
Tiel kanaal	5.27	26-Jan-1995 15:30:00	5.25	08-Feb-1995 23:40:00	0.02
Culemborg brug	6.27	02-Feb-1995 00:45:00	6.28	01-Feb-1995 21:00:00	-0.01
Hagestein boven	5.68	01-Feb-1995 23:50:00	5.62	01-Feb-1995 22:00:00	0.06
Hagestein beneden	5.55	01-Feb-1995 23:45:00	5.55	01-Feb-1995 21:40:00	0
Schoonhoven	3.38	02-Feb-1995 07:55:00	3.46	01-Feb-1995 18:10:00	-0.08
Krimpen aan de Lek	2.25	01-Feb-1995 17:00:00	2.26	01-Feb-1995 17:00:00	-0.01

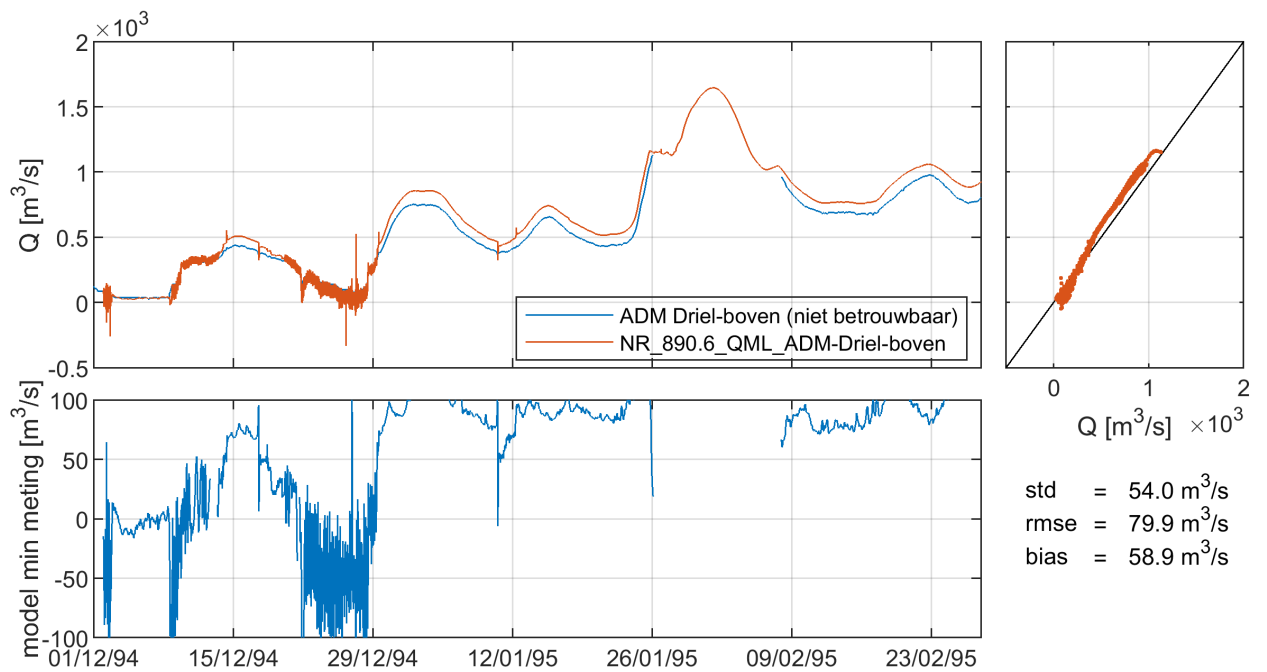
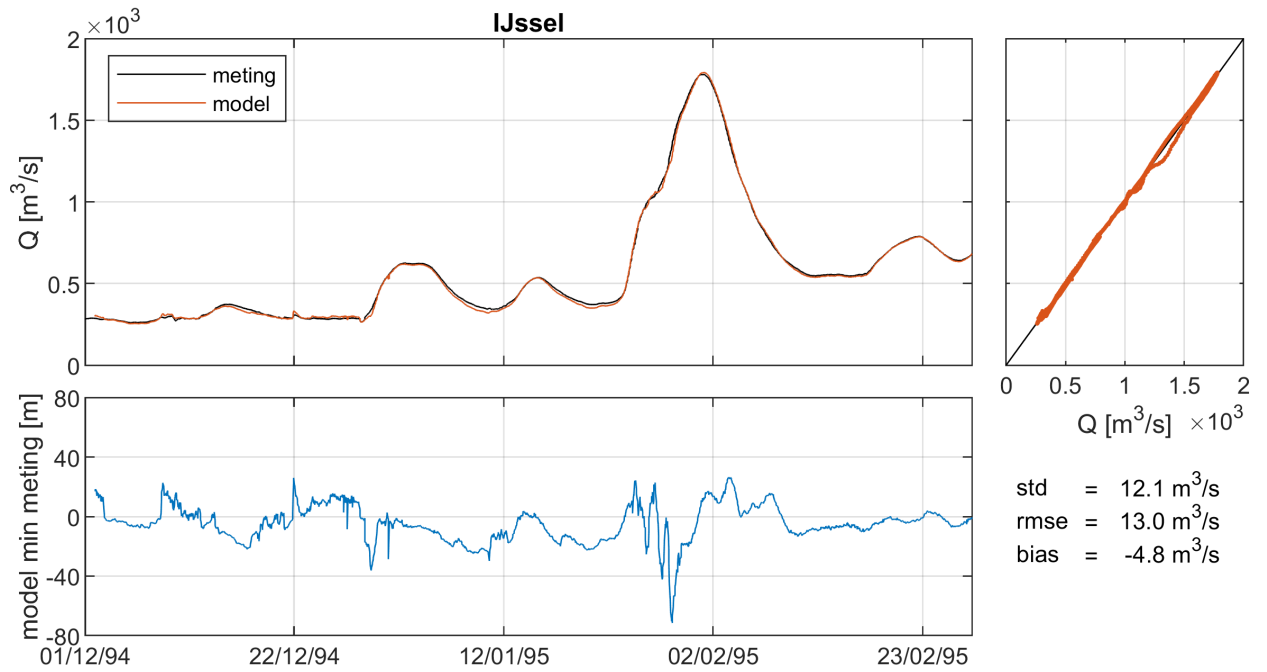
### IJssel

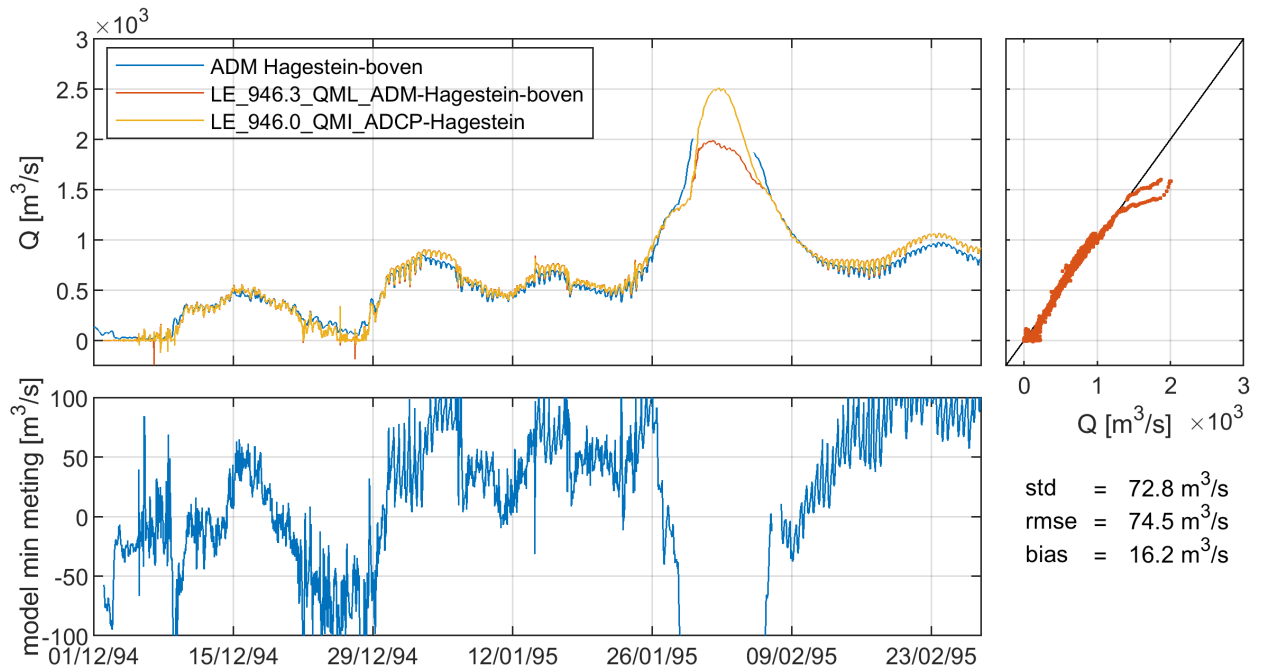
stations	model		meting		model min meting [m]
	topstand [m+NAP]	tijd	topstand [m+NAP]	tijd	
IJsselkop	13.99	01-Feb-1995 03:20:00	13.98	31-Jan-1995 19:00:00	0.01
Doesburg brug	10.61	01-Feb-1995 06:25:00	10.59	01-Feb-1995	0.02
Zutphen noord	8.48	01-Feb-1995 18:05:00	8.46	01-Feb-1995	0.02
Eefde beneden	8.22	01-Feb-1995 21:00:00	8.24	02-Feb-1995 08:00:00	-0.02
Deventer	7.1	02-Feb-1995 02:55:00	7.1	02-Feb-1995 08:00:00	-0
Olst	6.03	02-Feb-1995 07:10:00	6.02	02-Feb-1995 09:00:00	0.01
Veessen boven	5.88	02-Feb-1995 07:25:00	5.88	02-Feb-1995 08:00:00	0
Veessen beneden	5.77	02-Feb-1995 07:55:00	5.74	02-Feb-1995 08:00:00	0.03
Wijhe	5.43	02-Feb-1995 09:15:00	5.42	02-Feb-1995 08:00:00	0.01
Katerveer	3.86	02-Feb-1995 14:55:00	3.84	02-Feb-1995 19:00:00	0.02
Kampen bovenhaven	2.17	02-Feb-1995 18:00:00	2.15	02-Feb-1995 12:00:00	0.02
Keteldiep	0.73	02-Feb-1995 12:10:00	0.65	02-Feb-1995 08:00:00	0.08
Ketelmond	0.42	26-Jan-1995 18:00:00	0.45	30-Jan-1995 13:40:00	-0.03
Ramspolbrug	0.44	26-Jan-1995 18:05:00	0.42	07-Feb-1995 07:20:00	0.02
Roggebotsluis noord	0.47	26-Jan-1995 18:30:00	0.57	26-Jan-1995 17:30:00	-0.1

### 1.2.3 Afvoeren

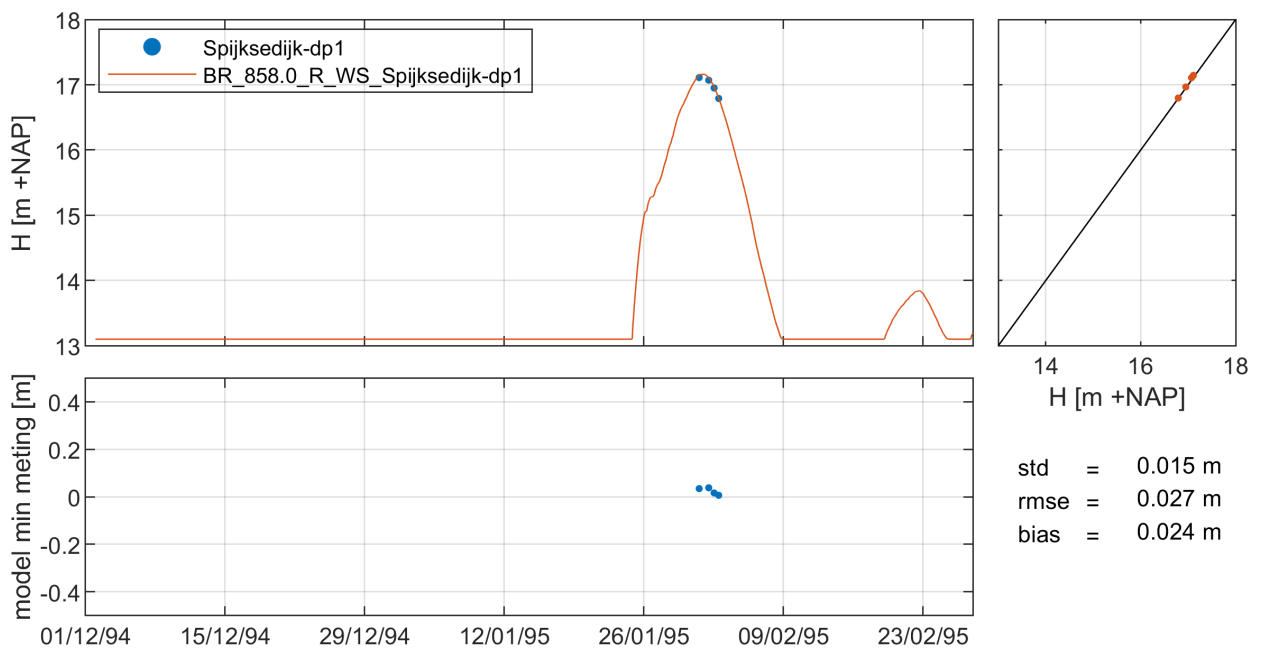


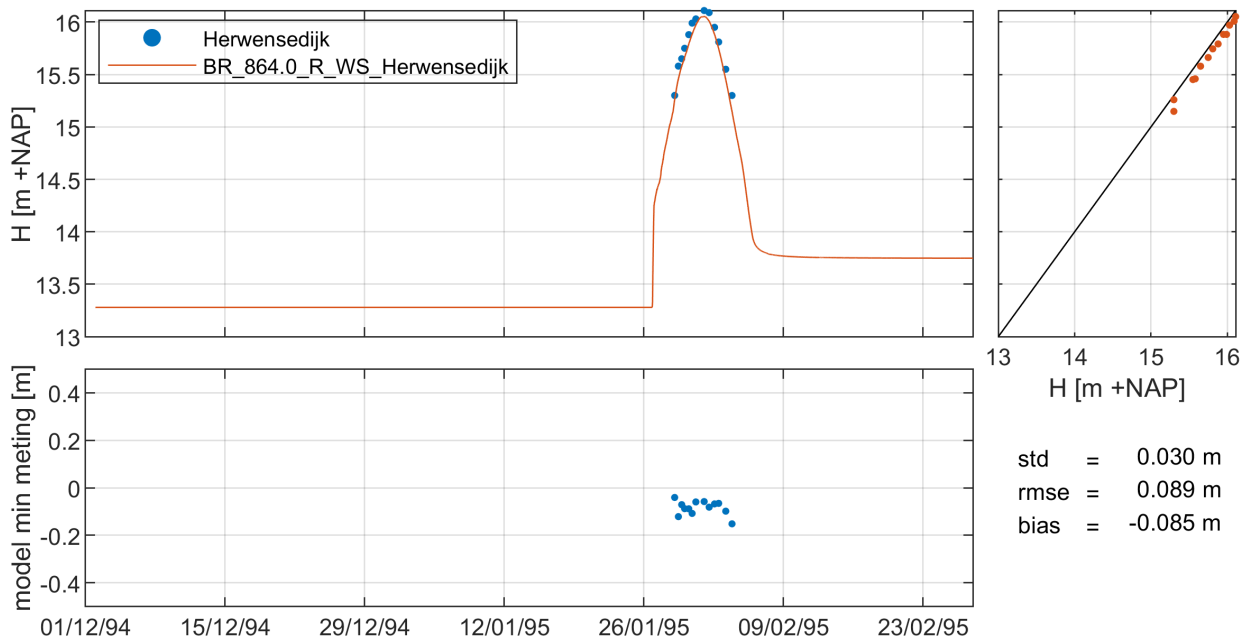
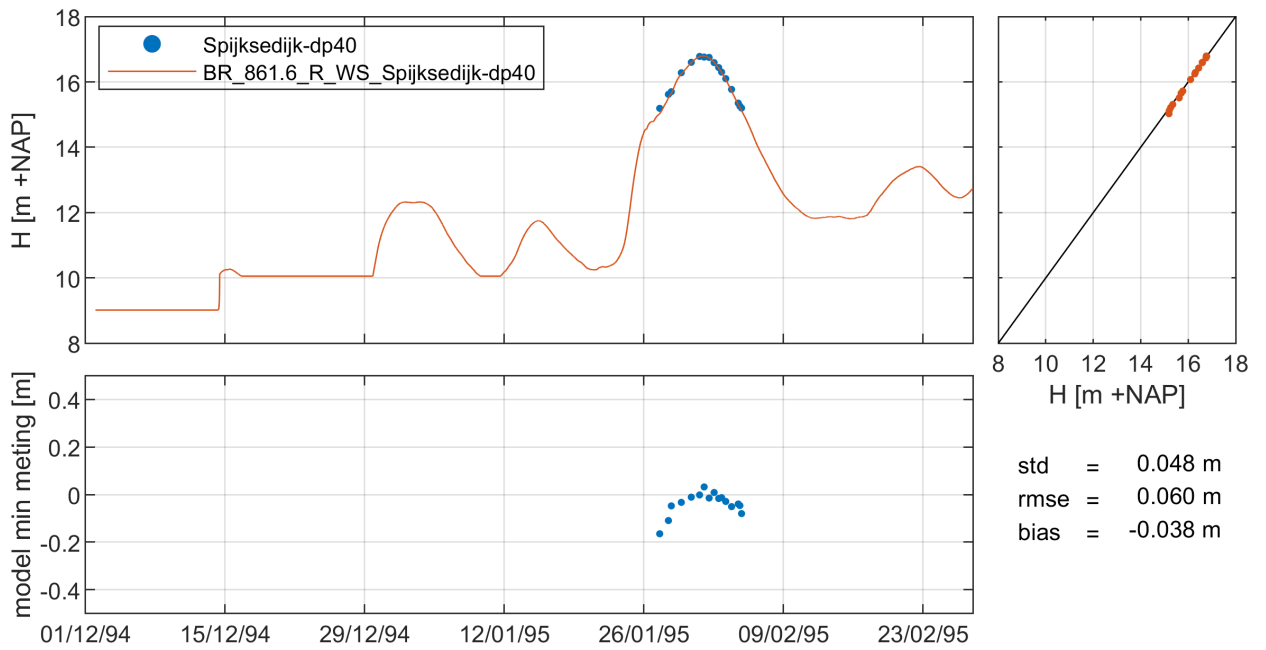




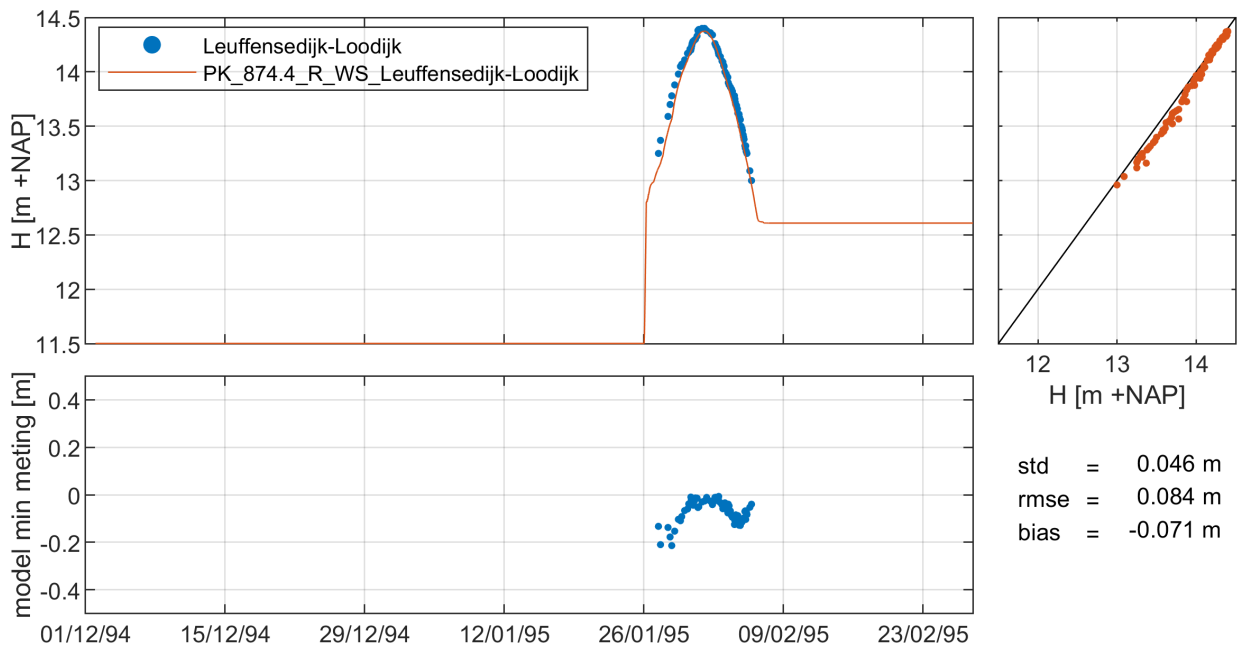
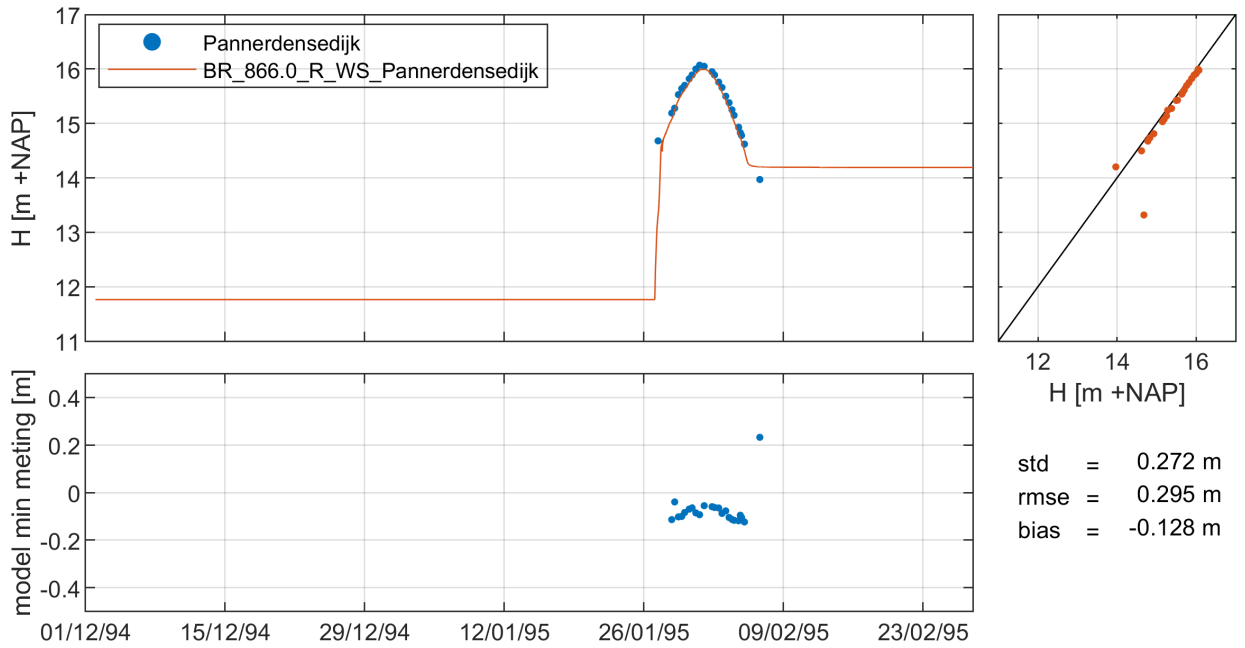


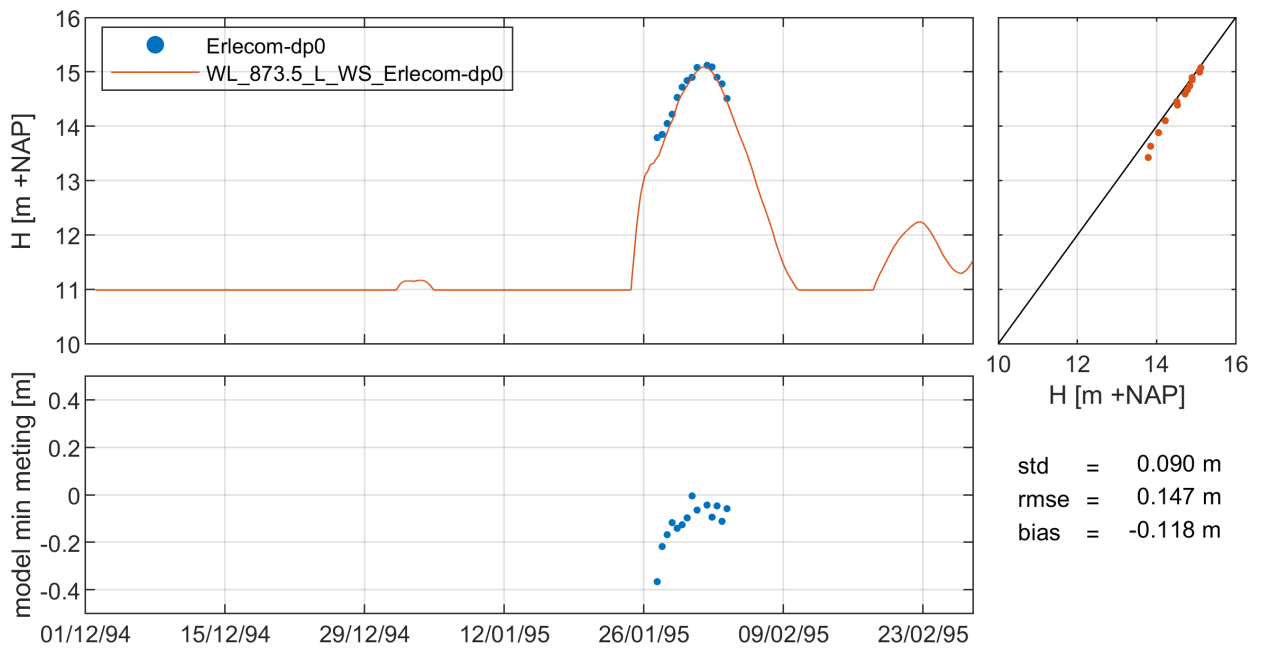
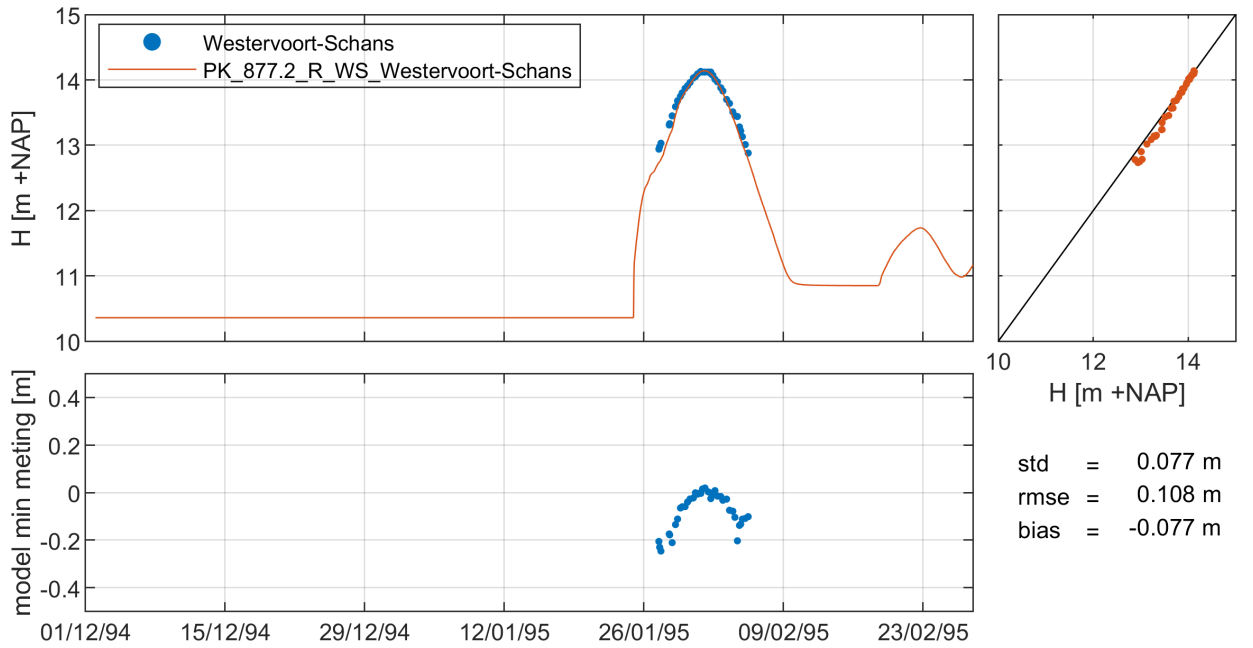
### I.2.4 Peilschalen

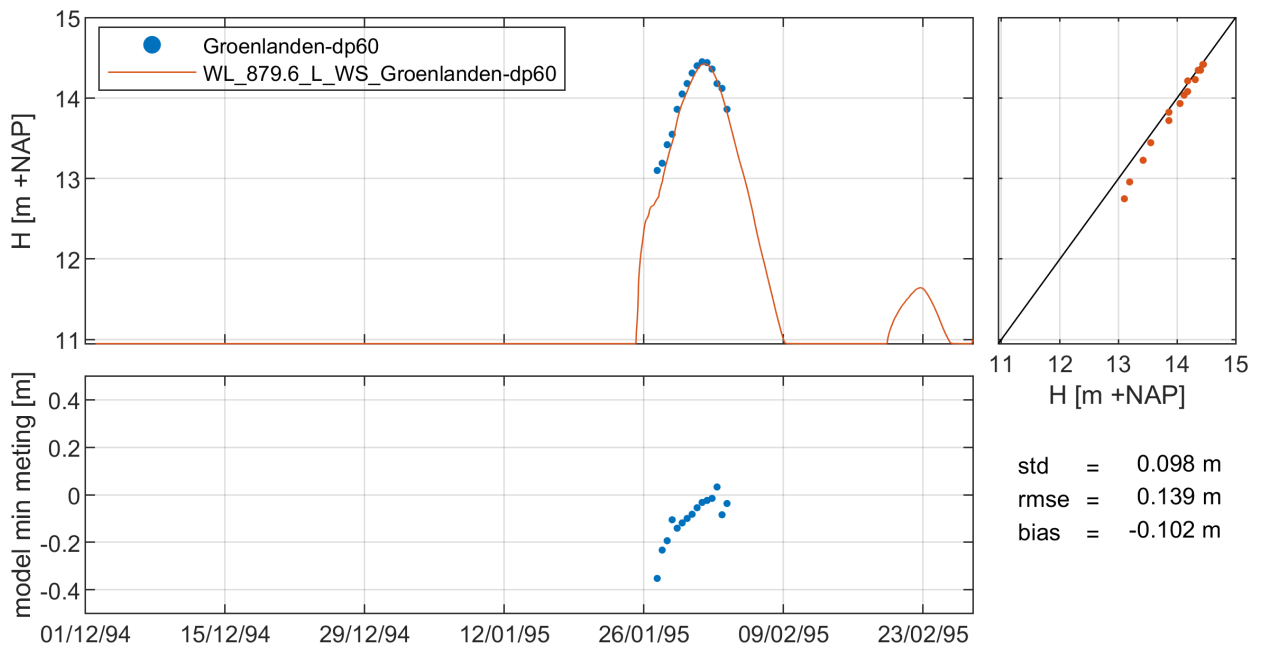
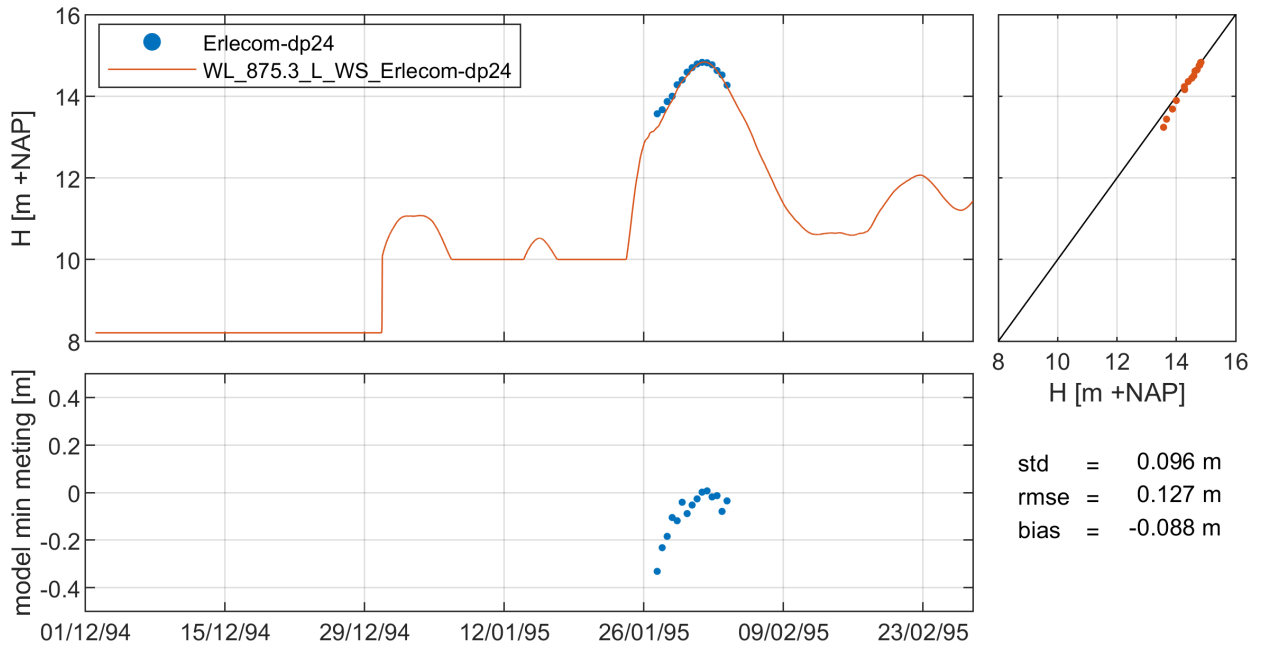


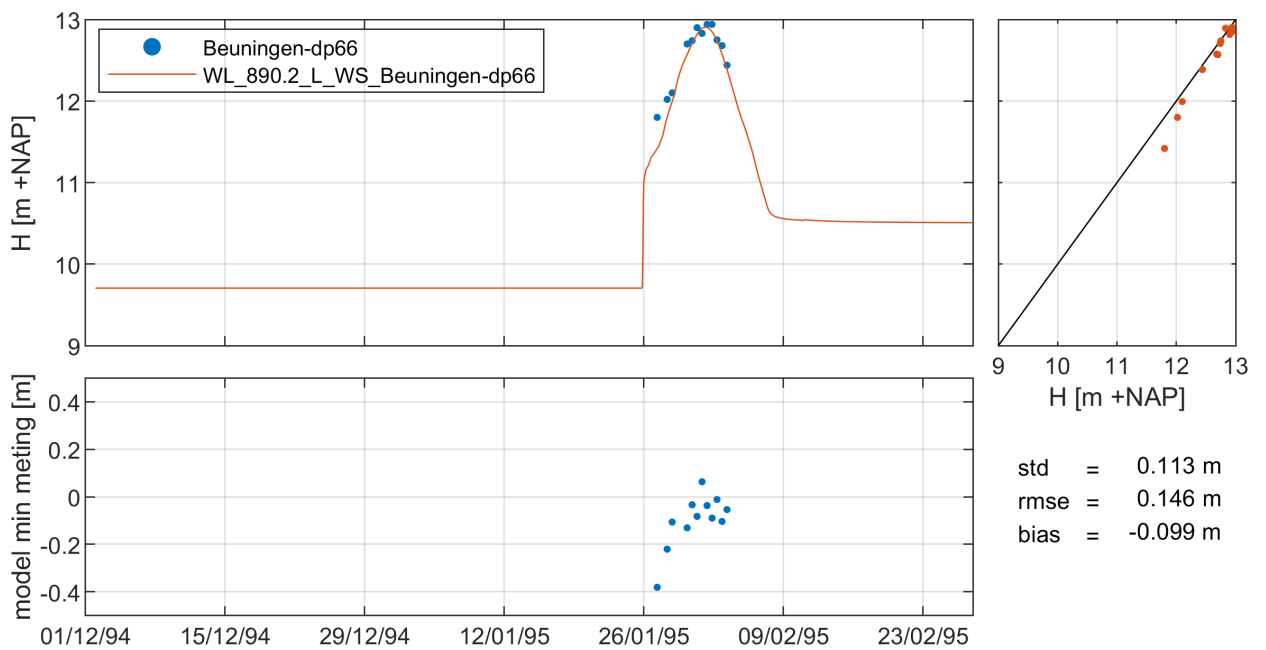
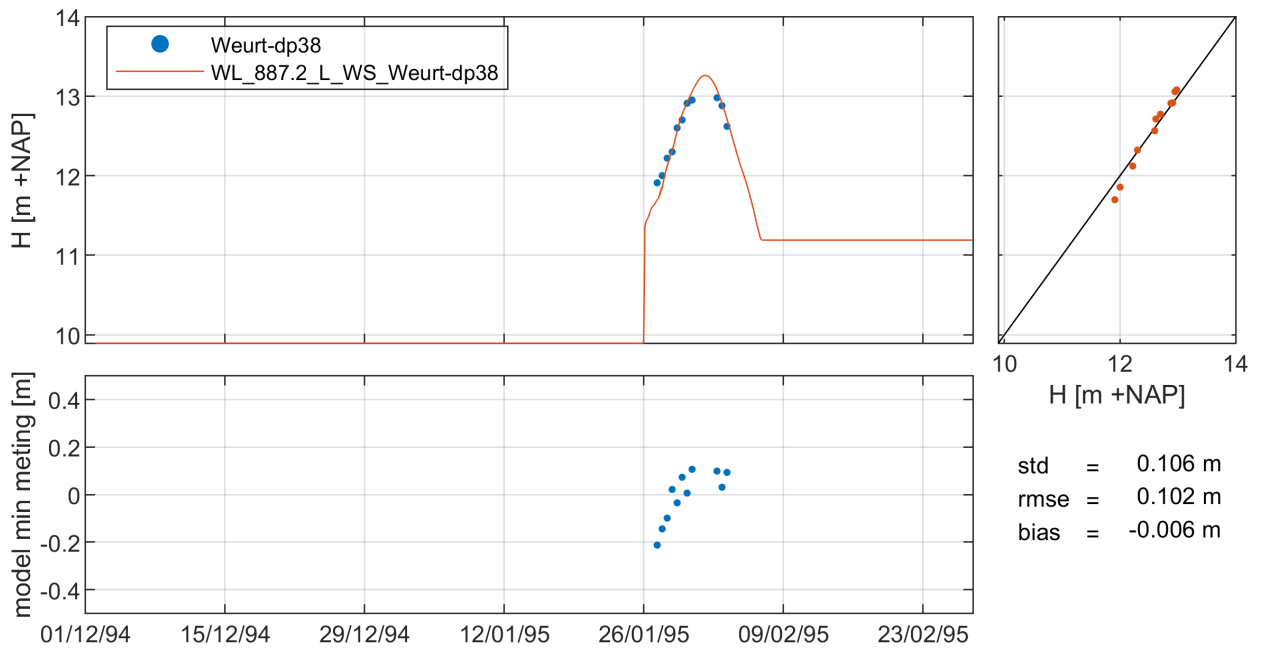


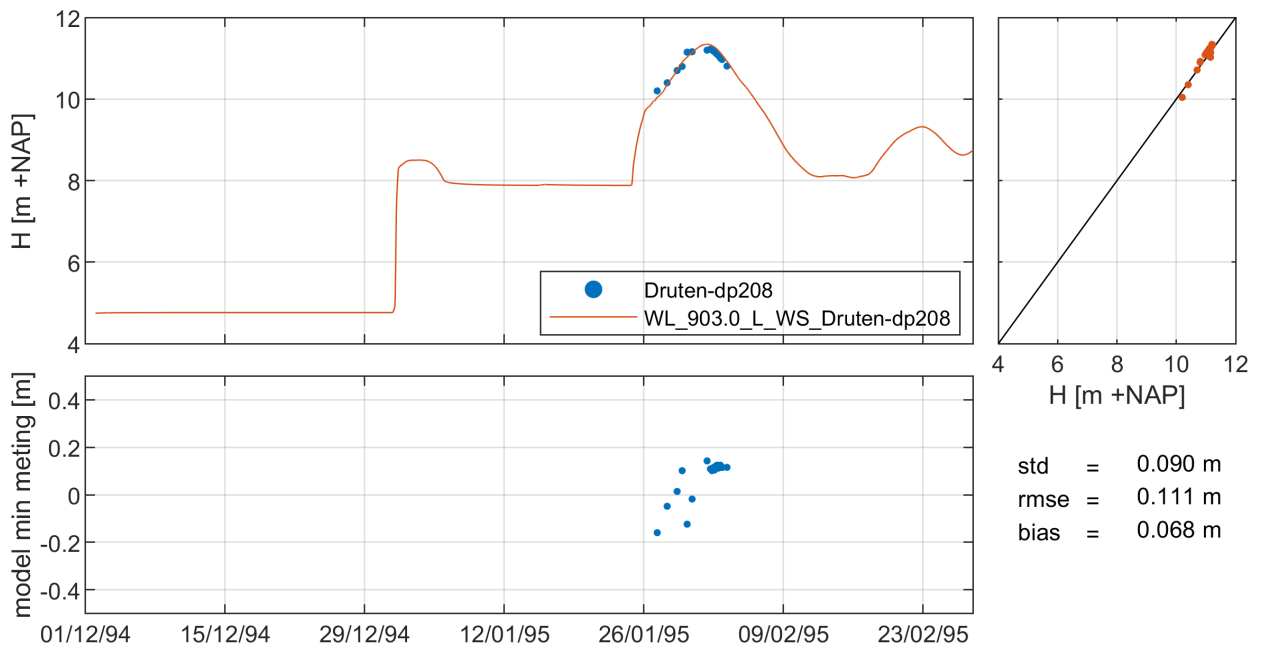
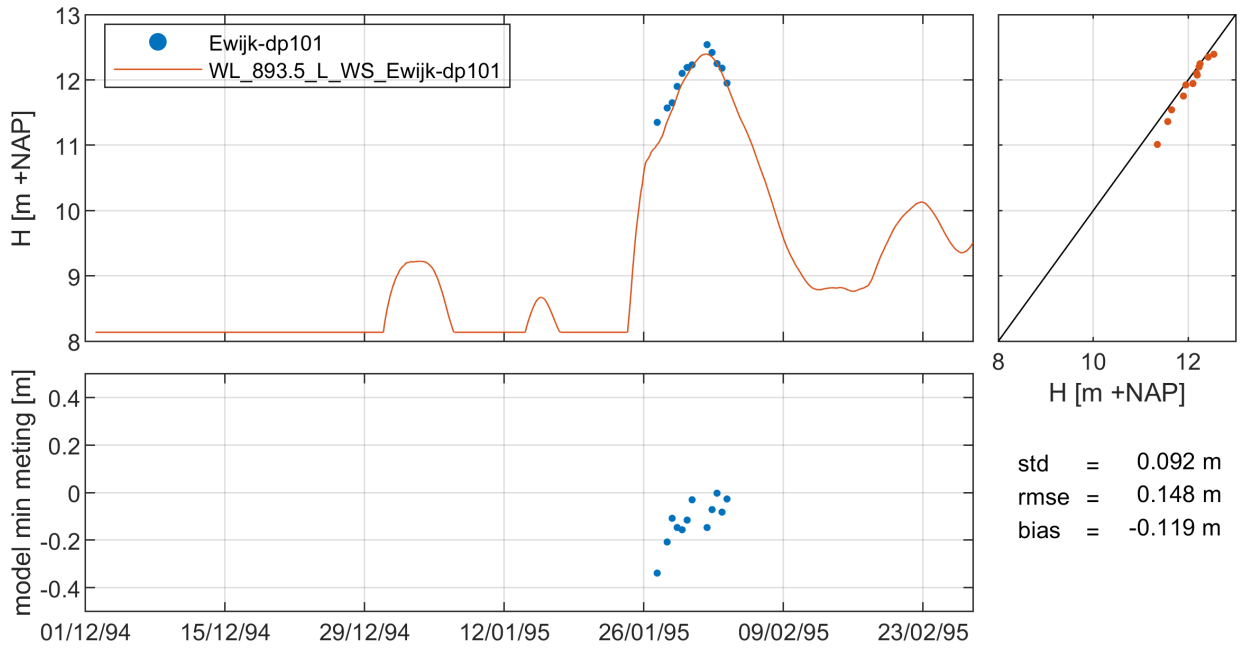


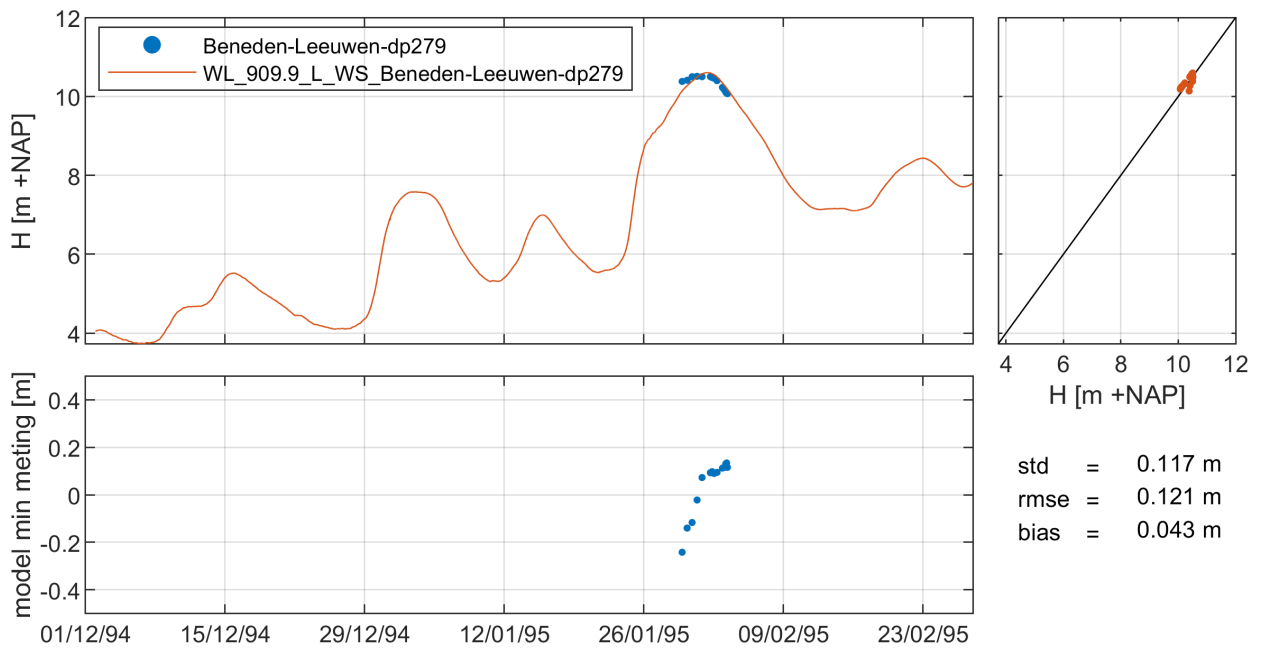
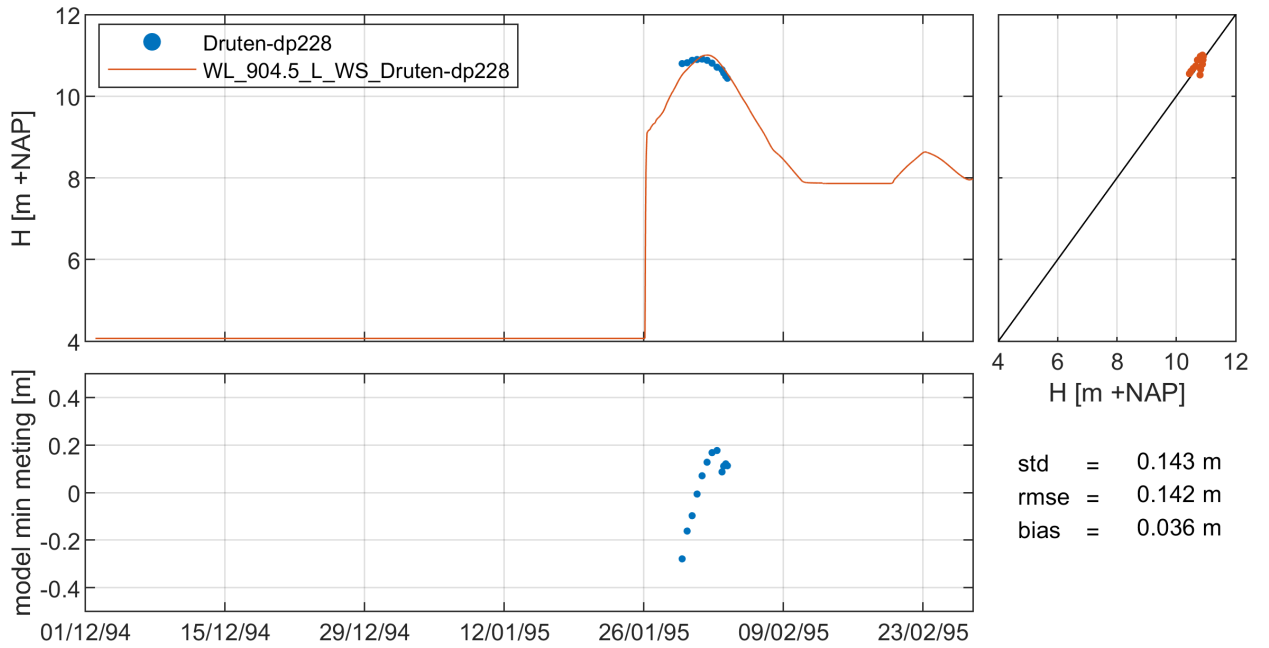


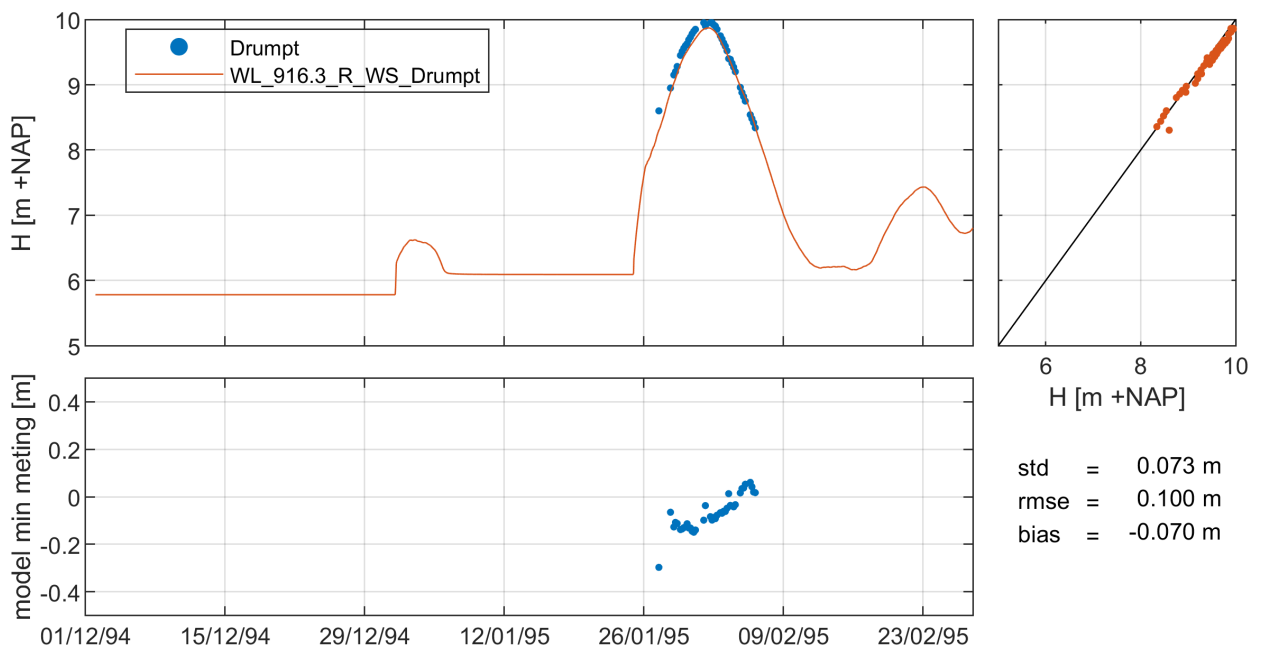
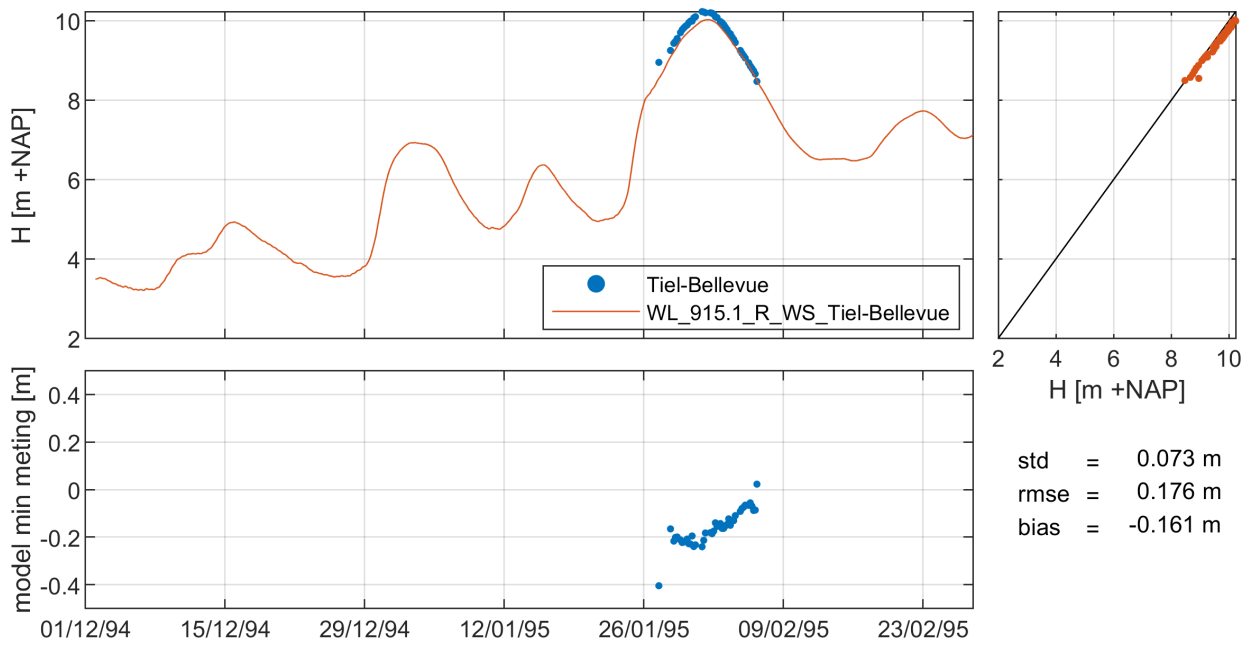


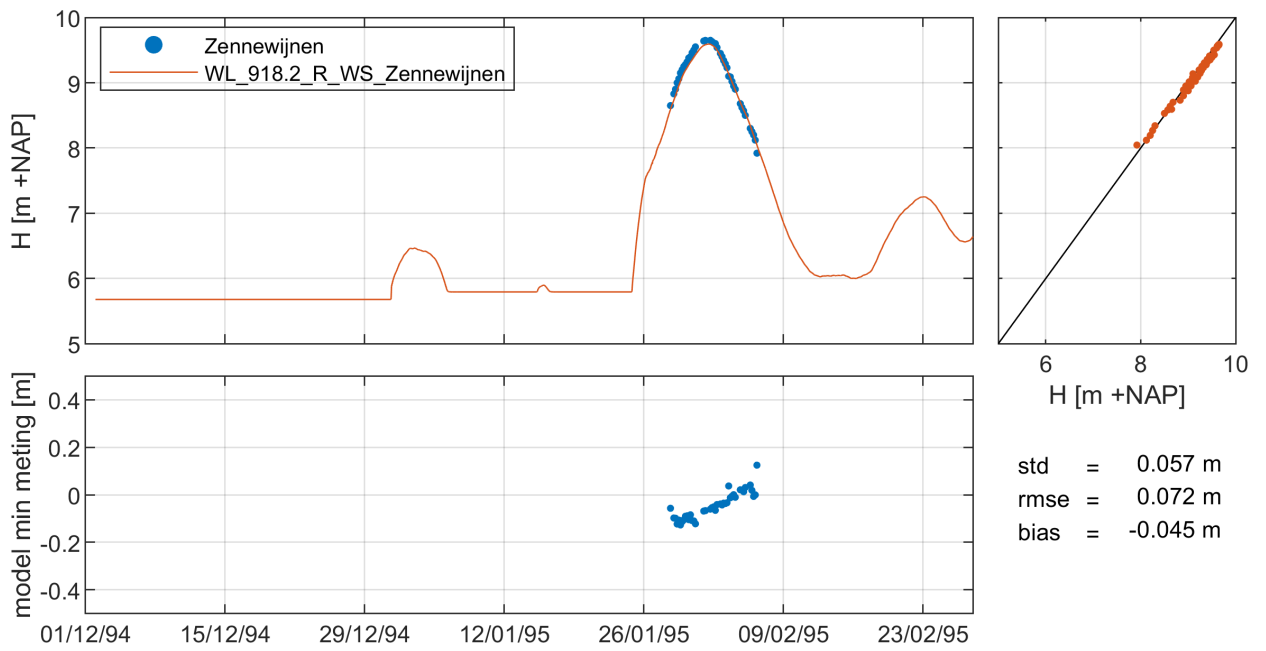
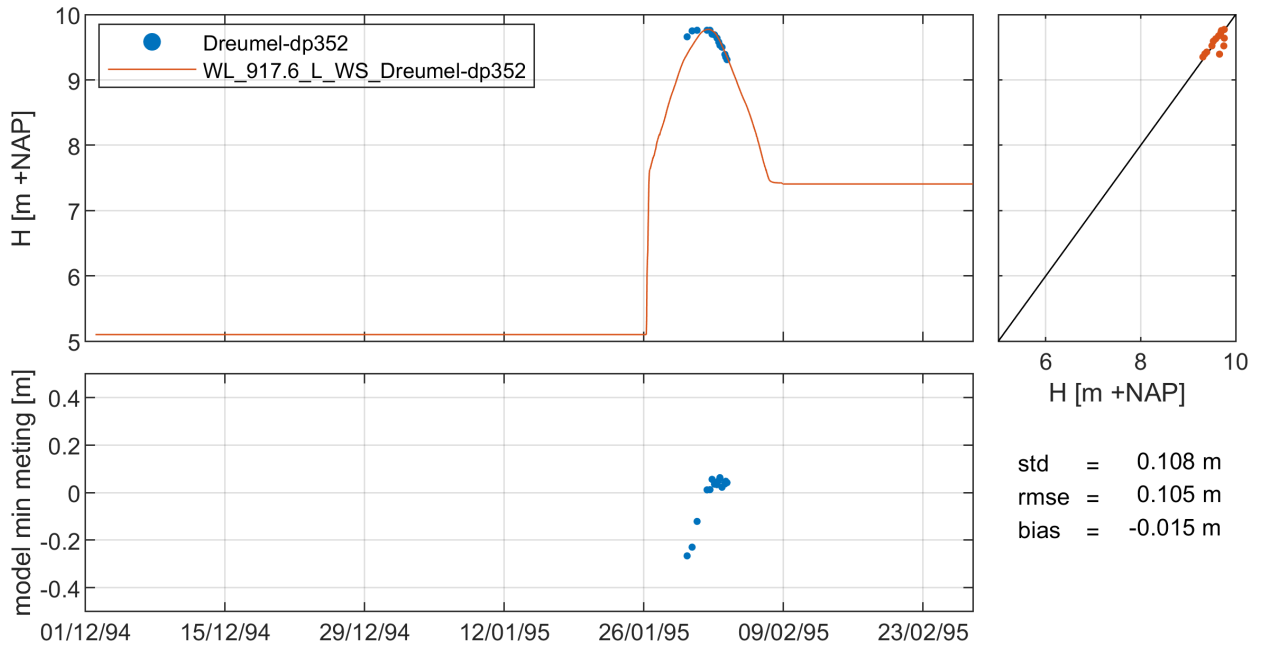




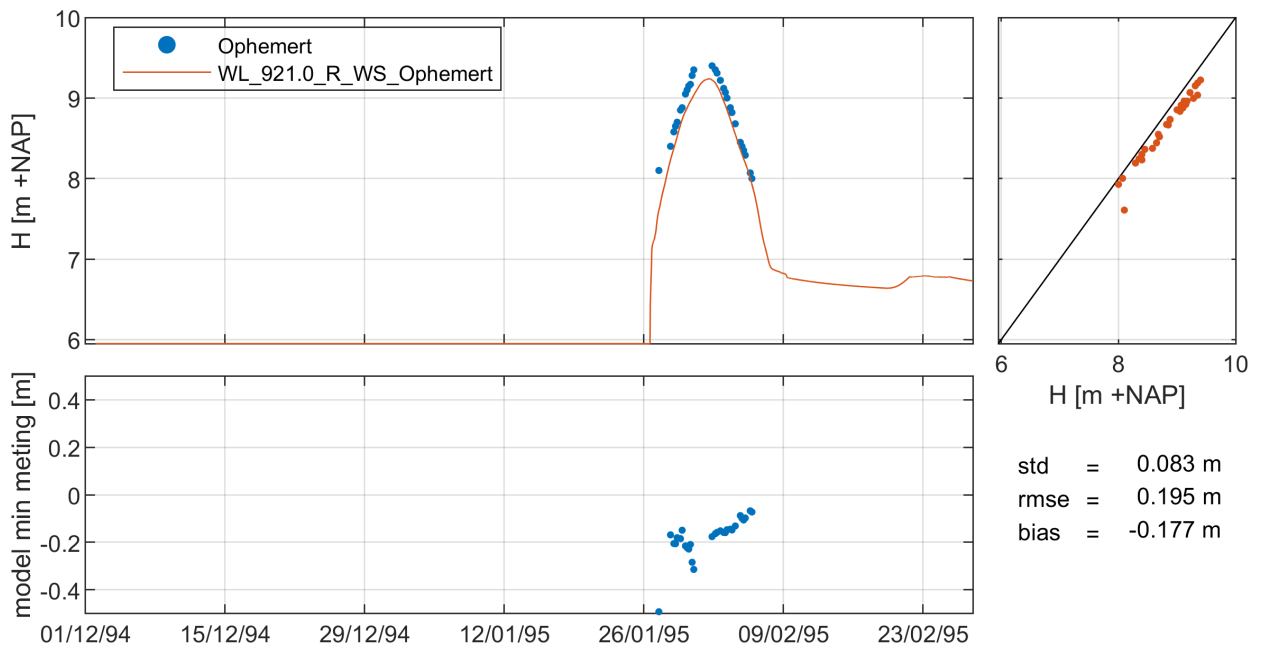
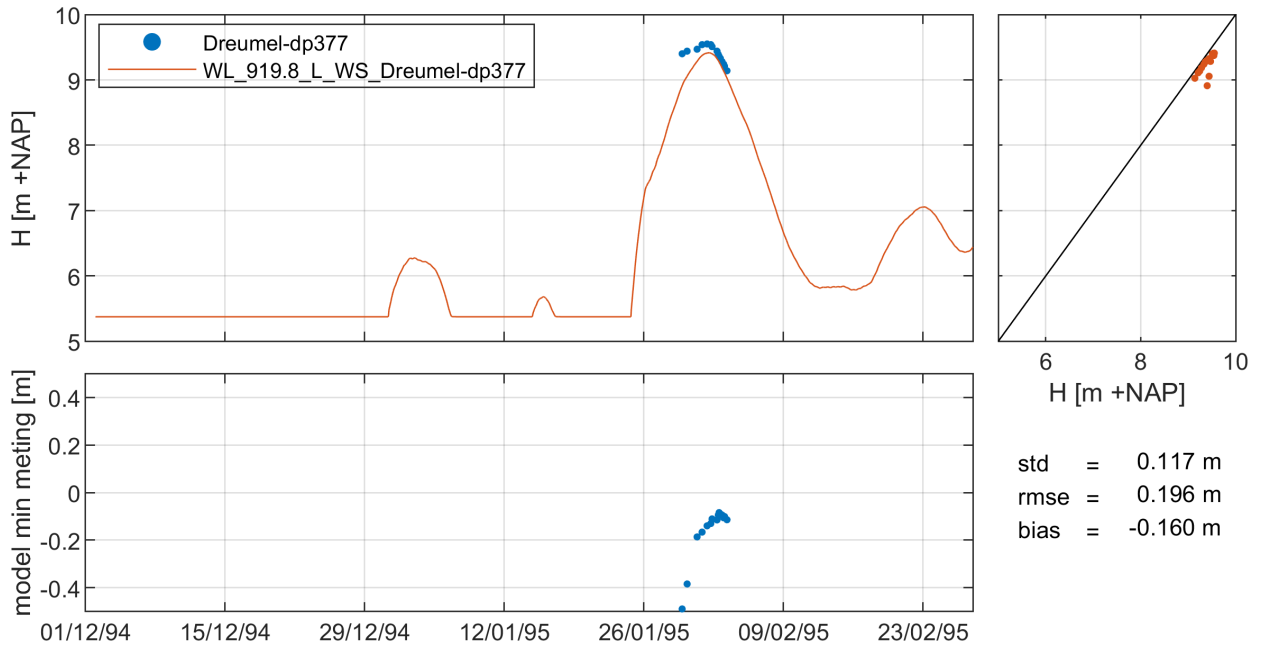


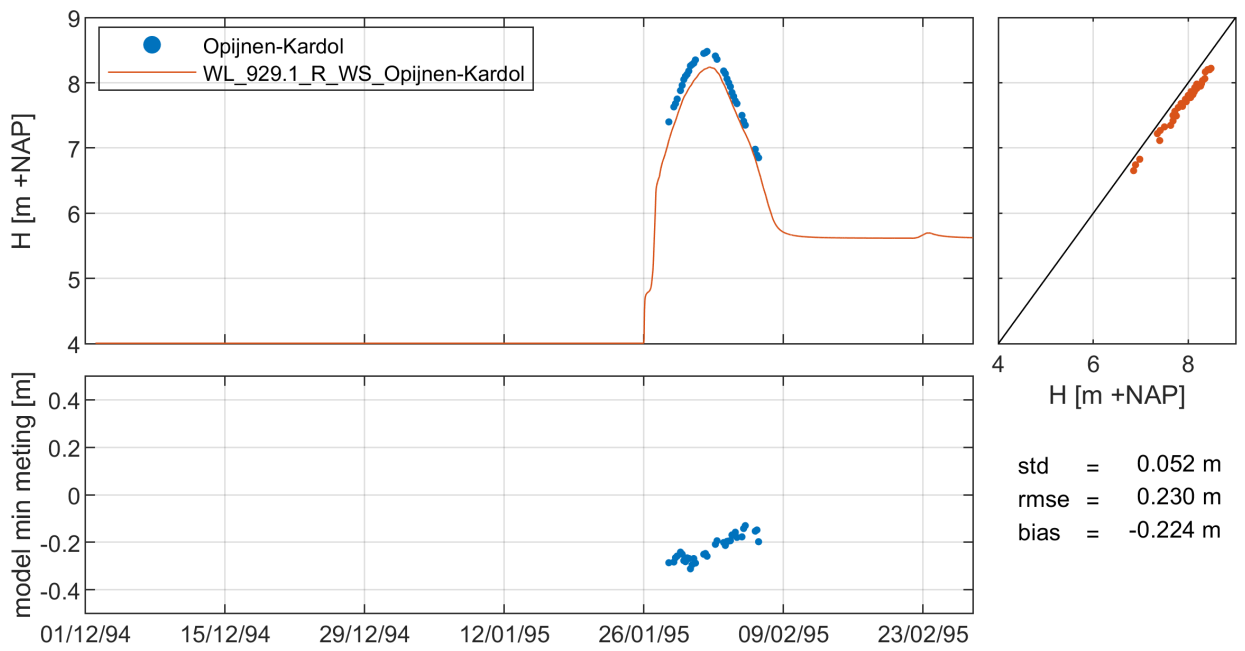
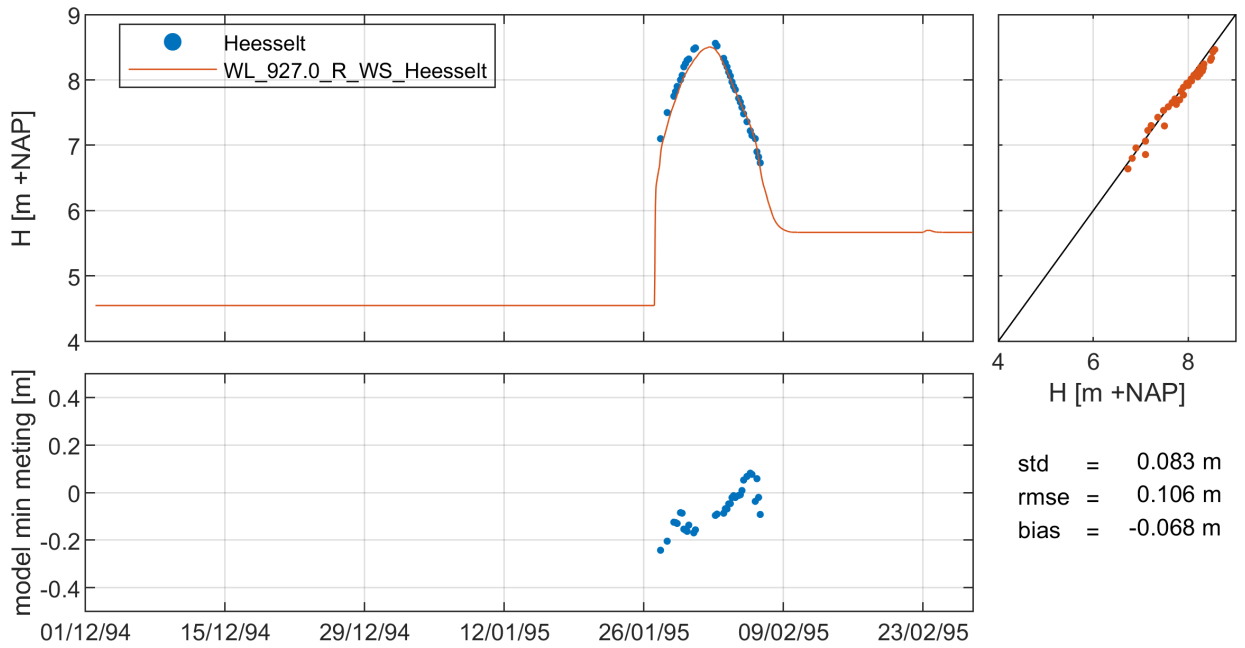


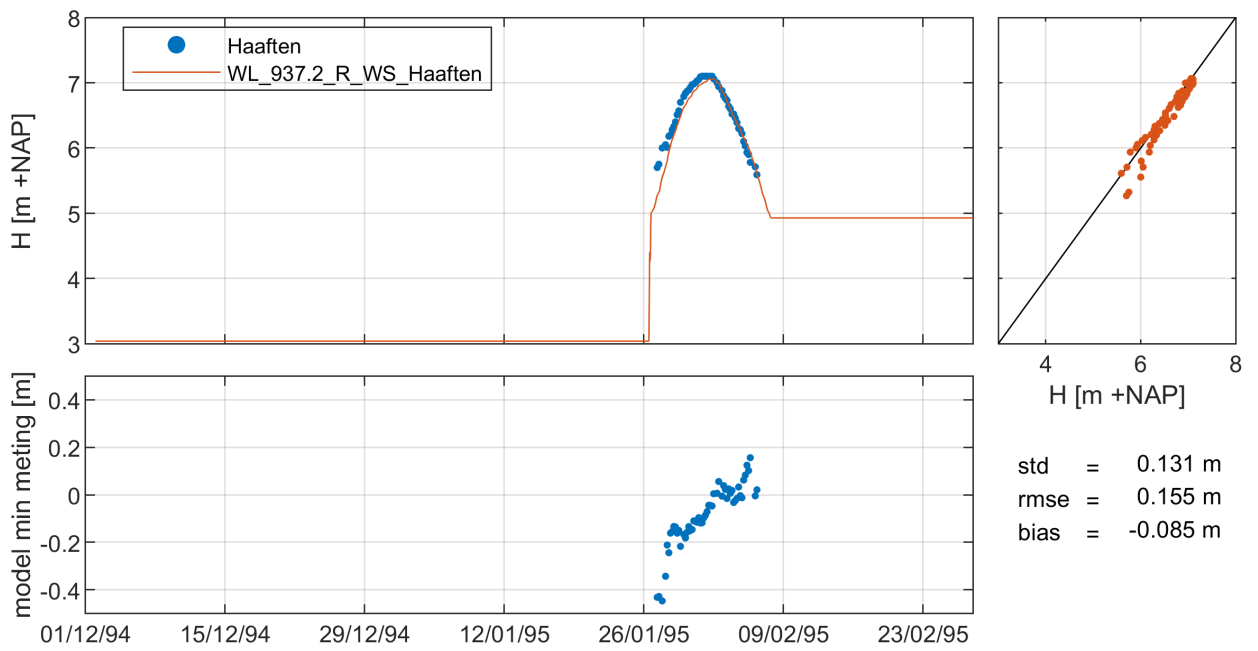
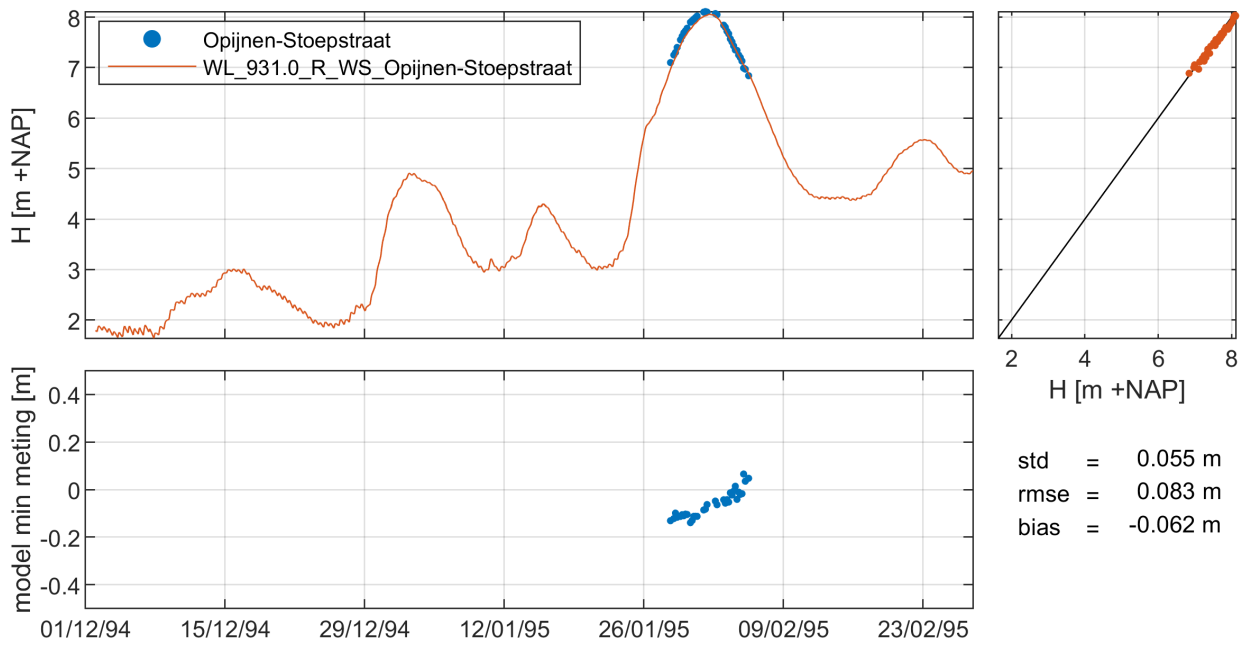


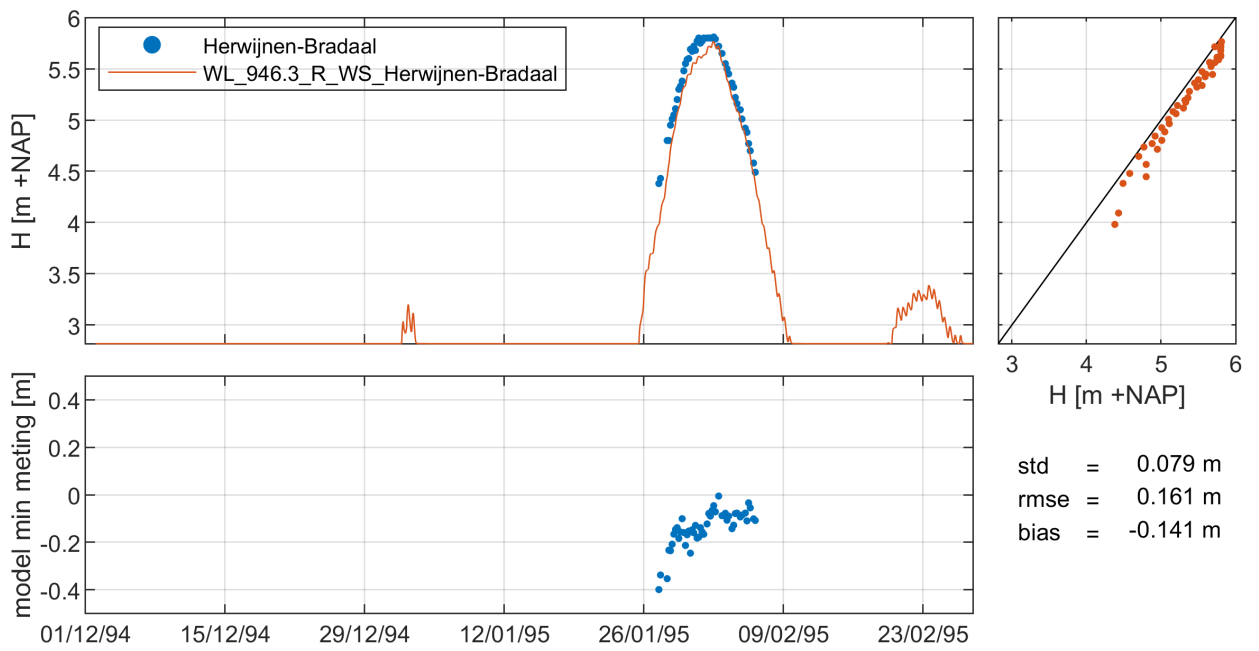
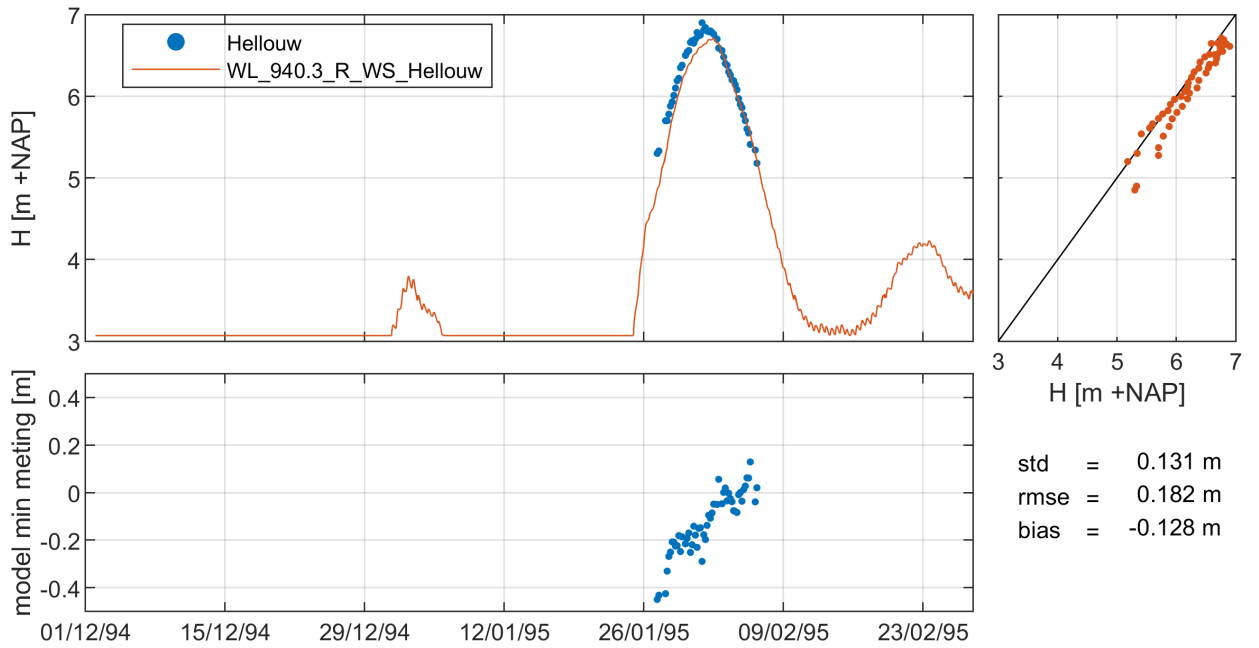


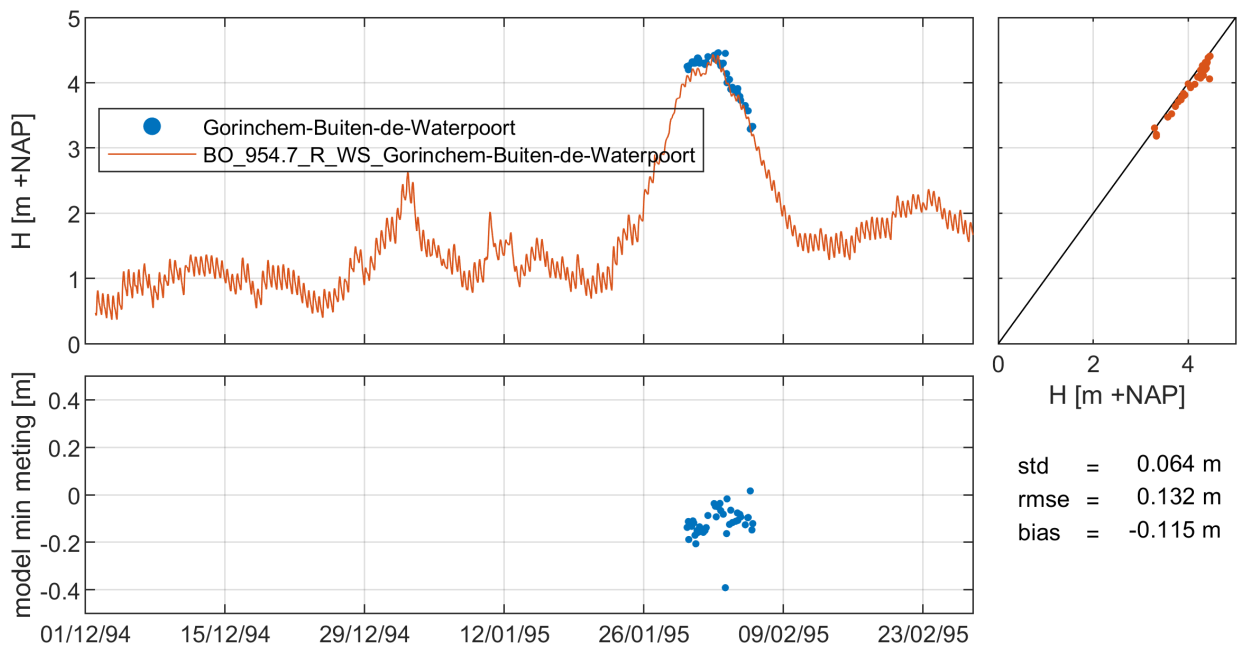
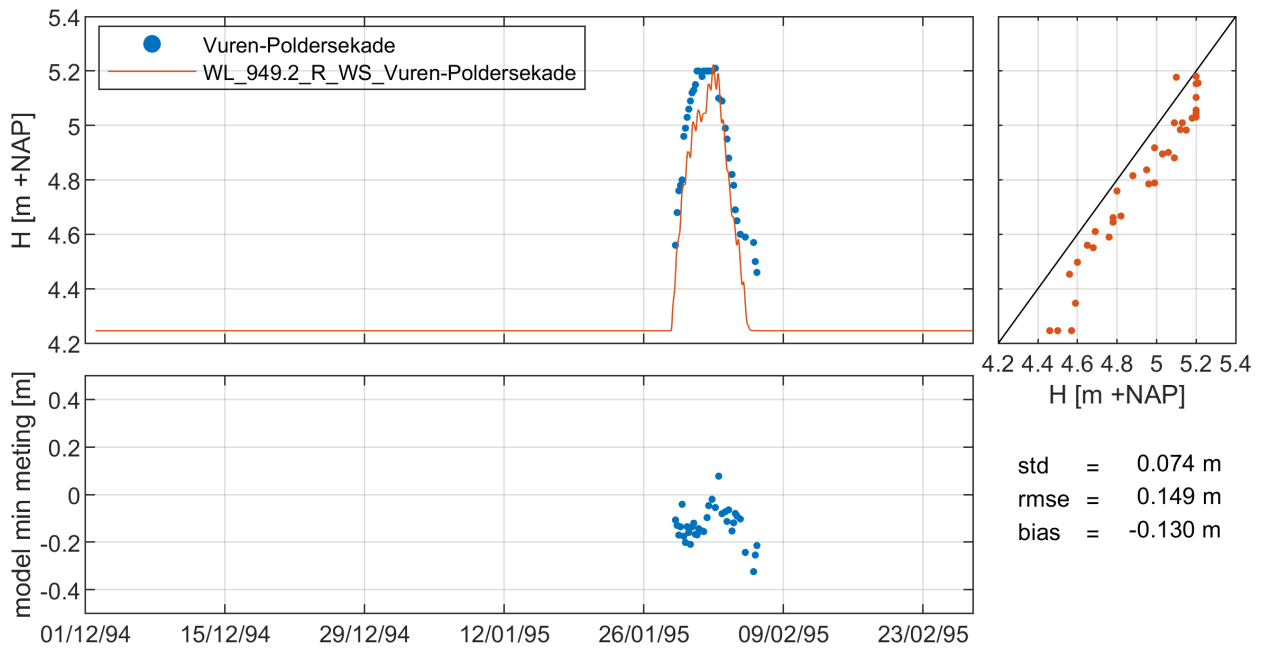


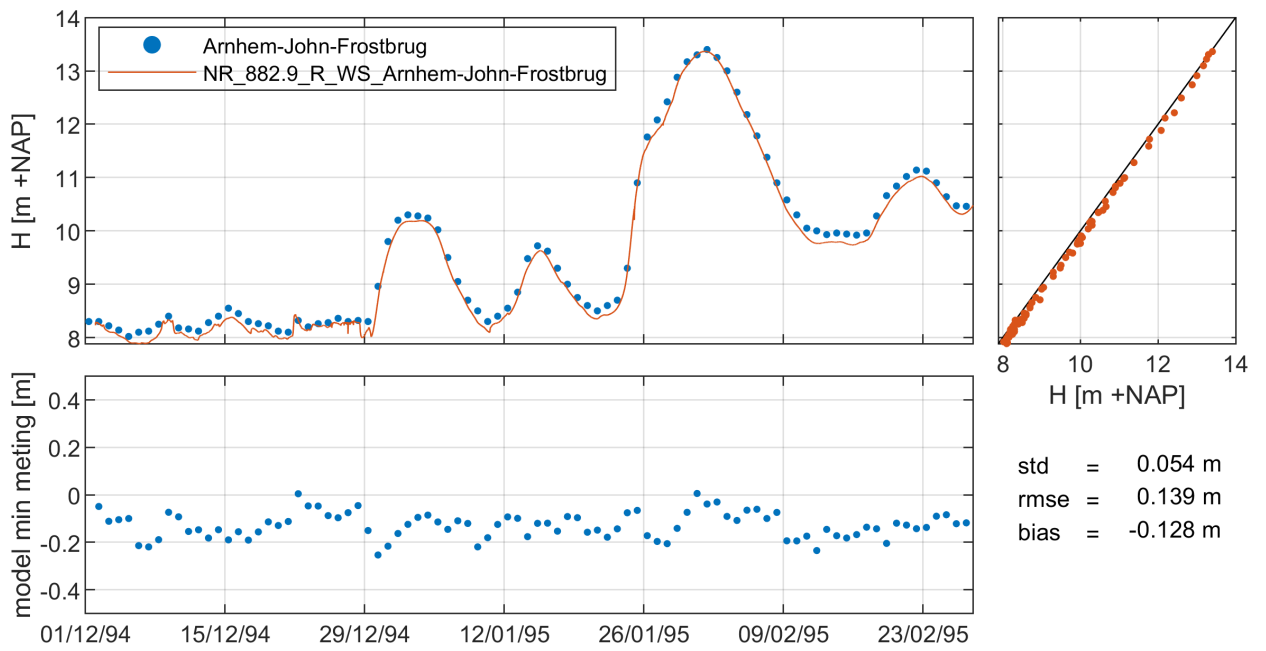
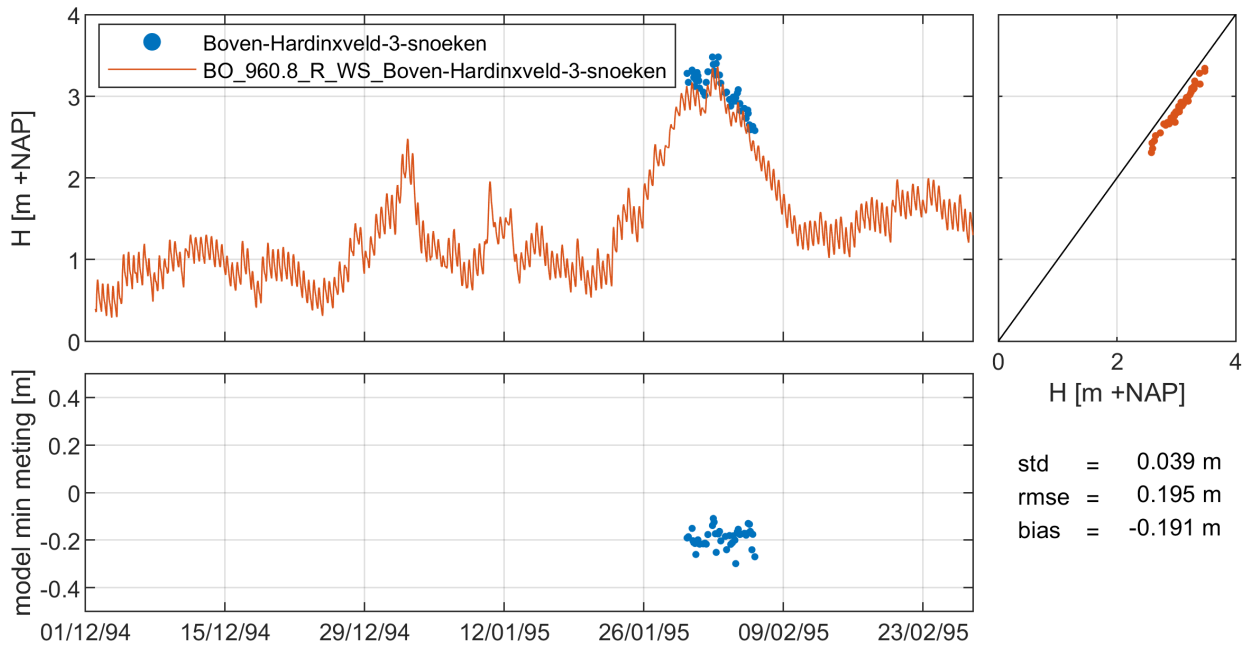


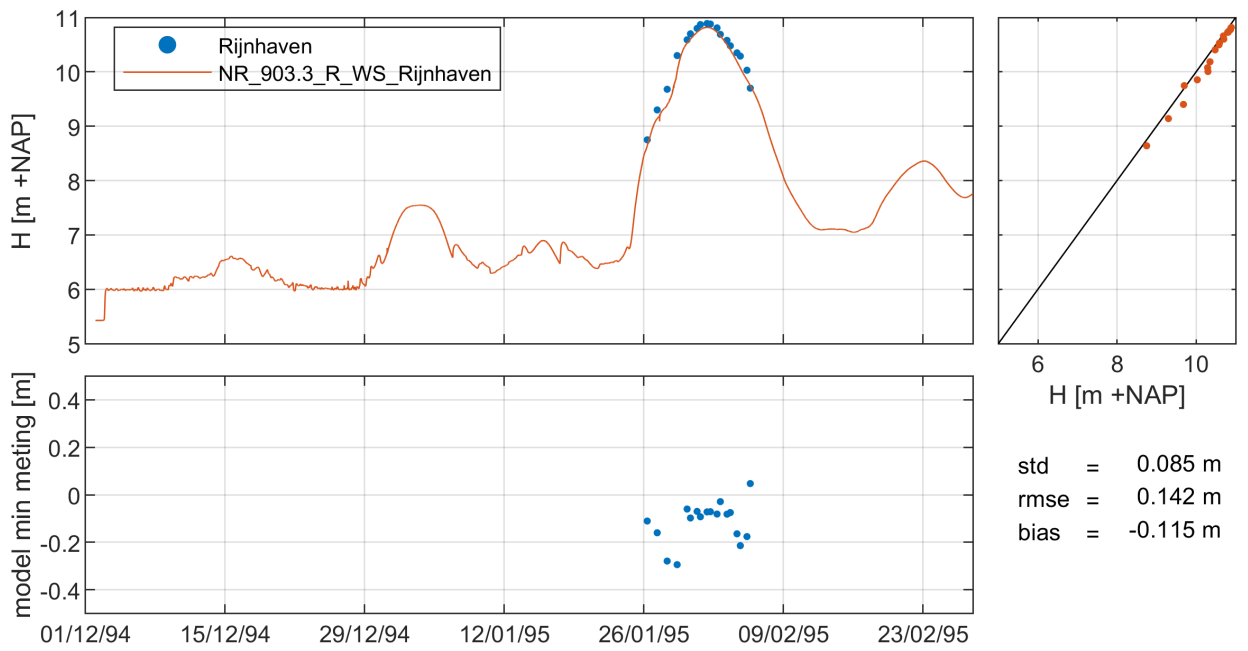
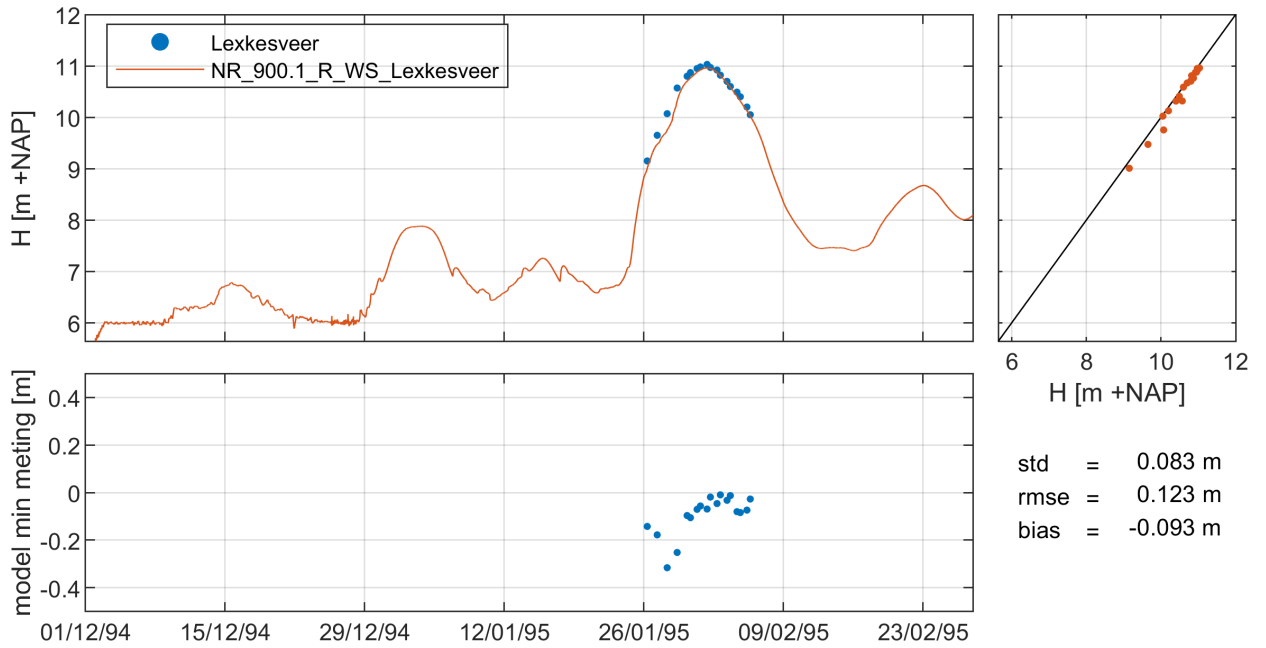


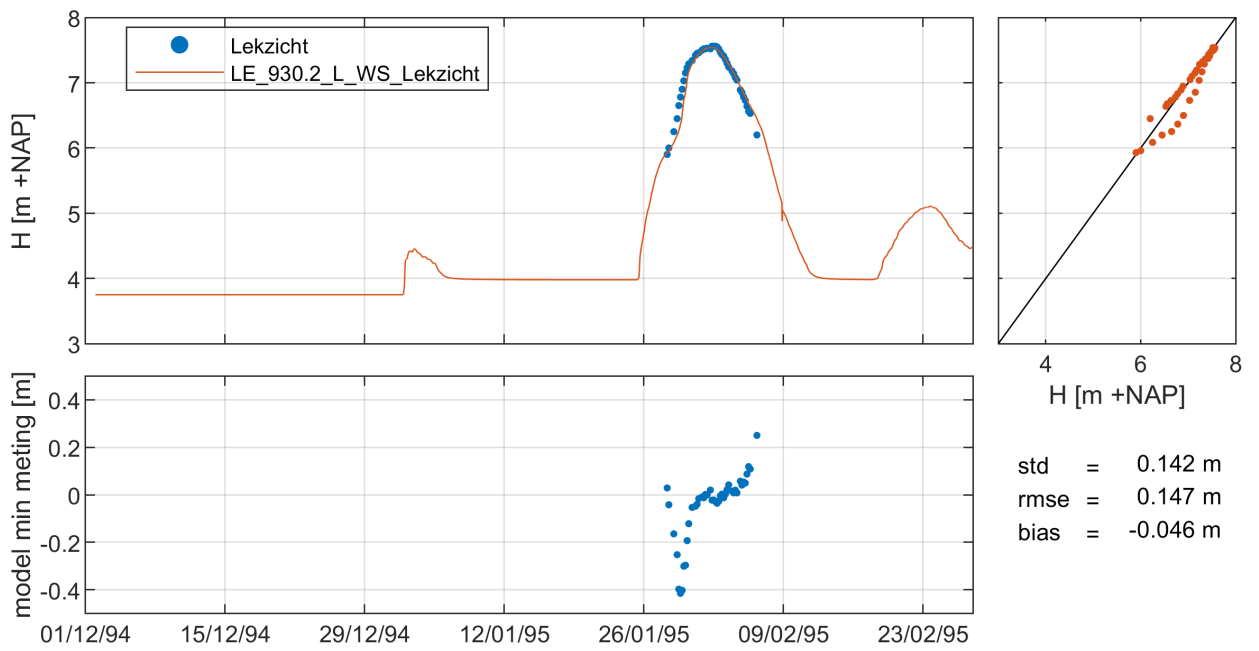
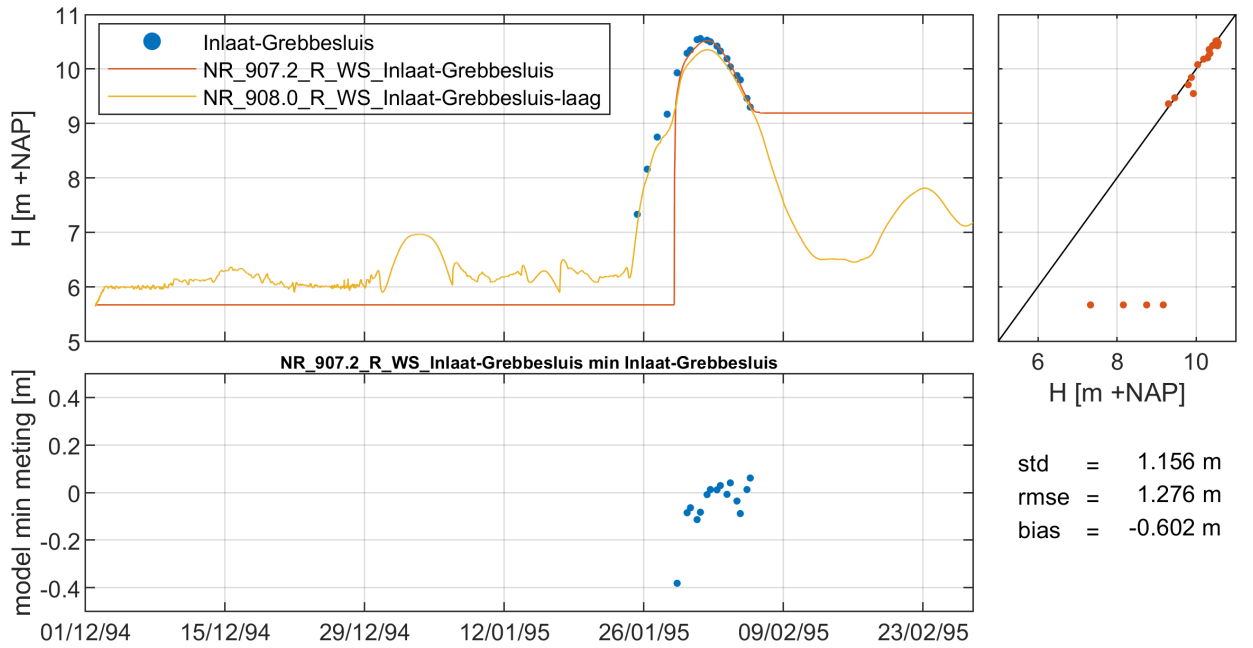




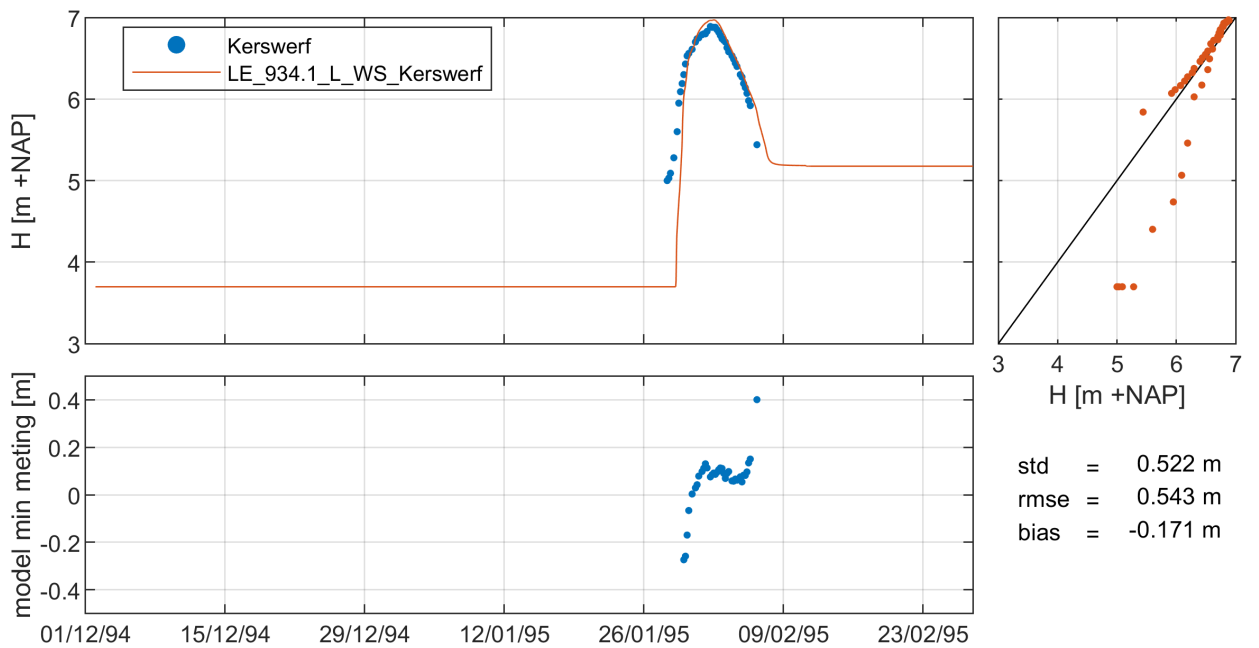
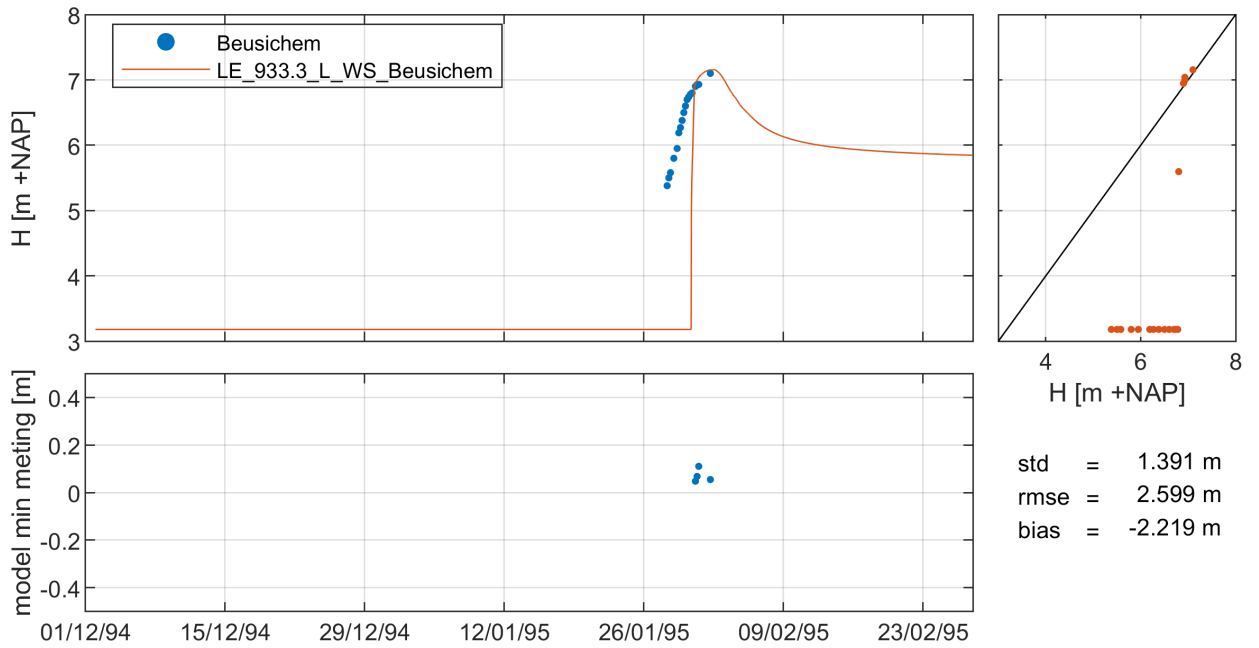


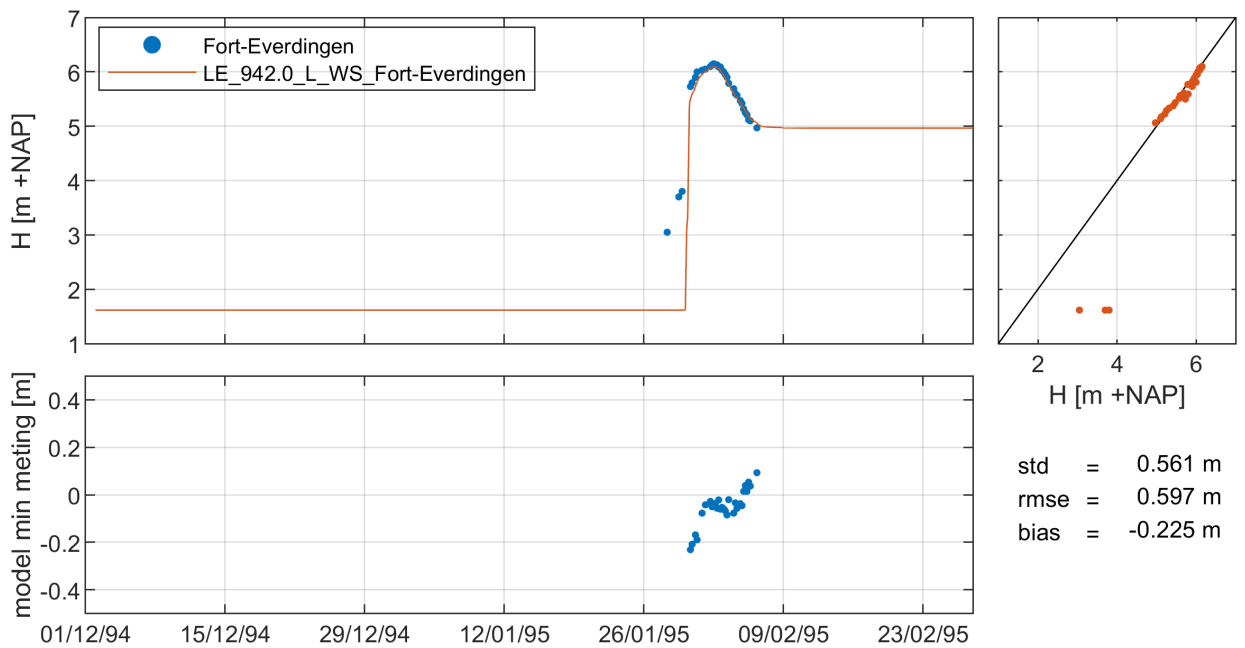
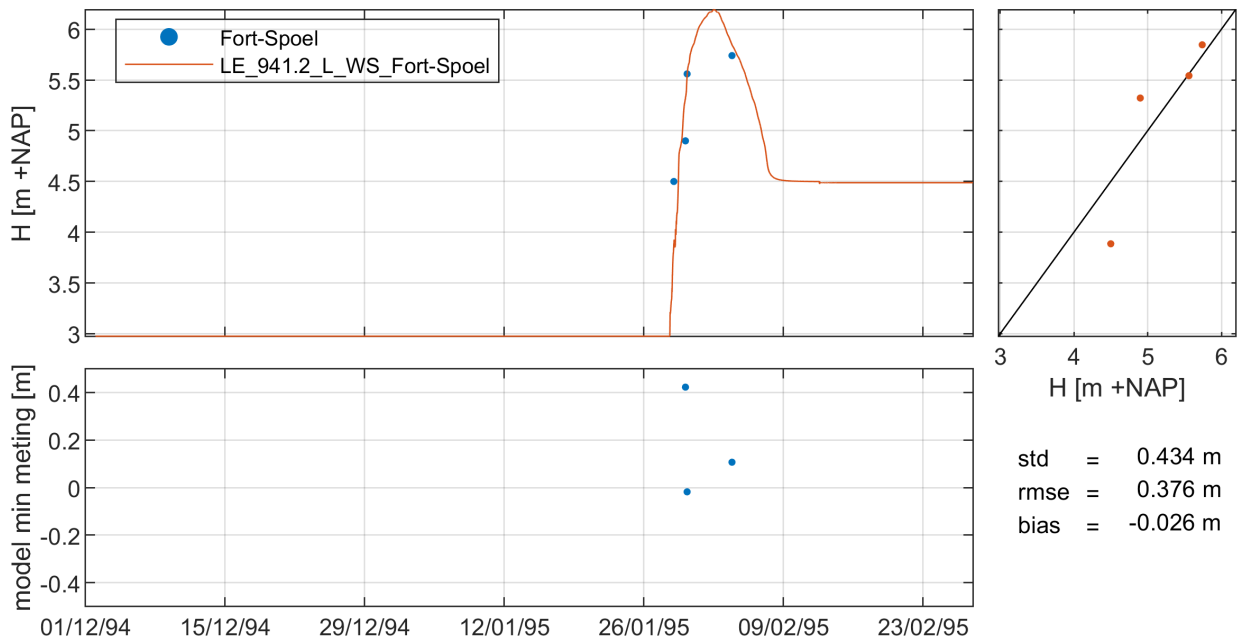


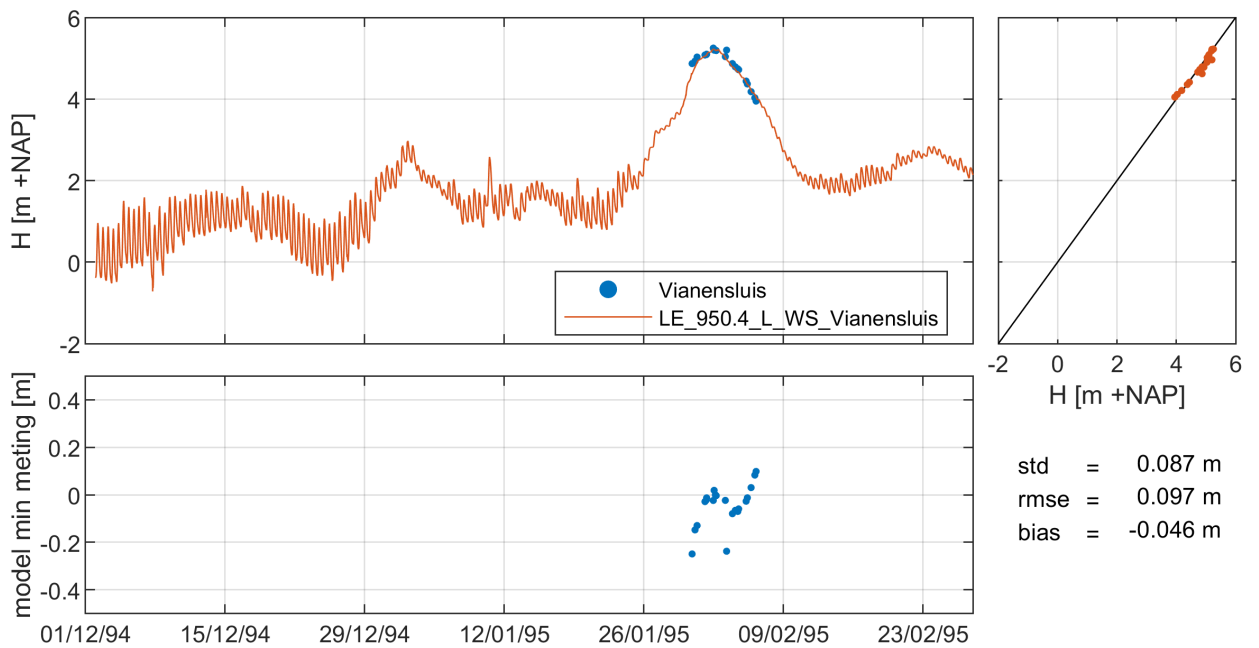
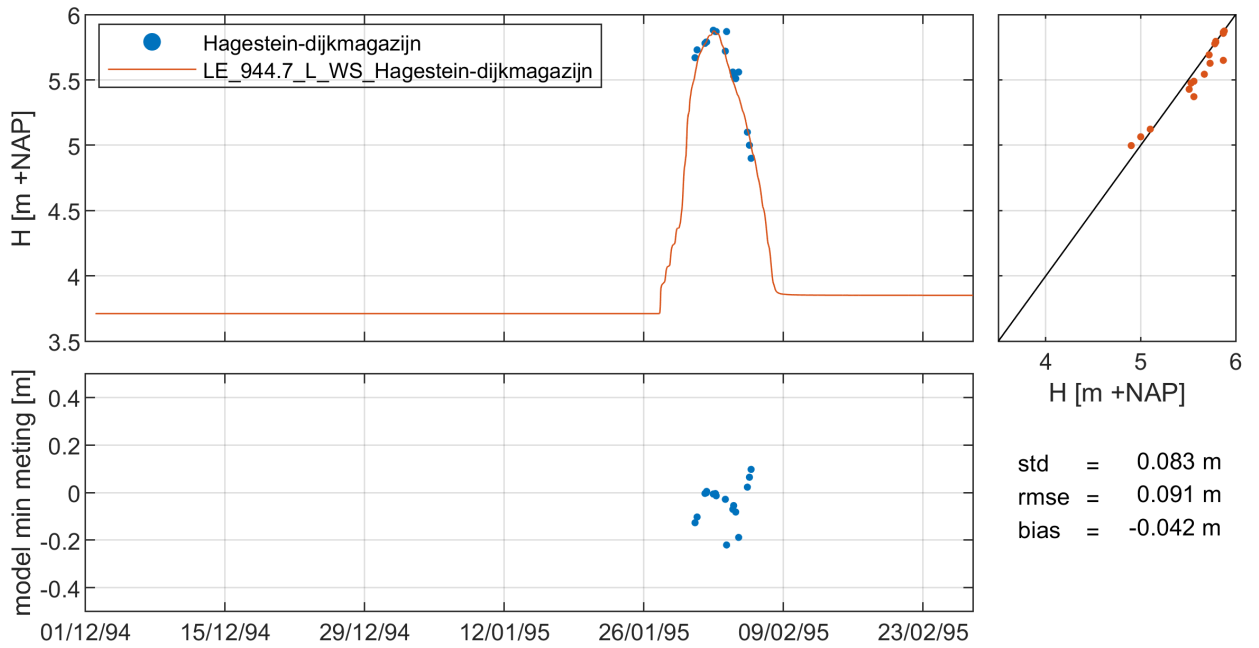


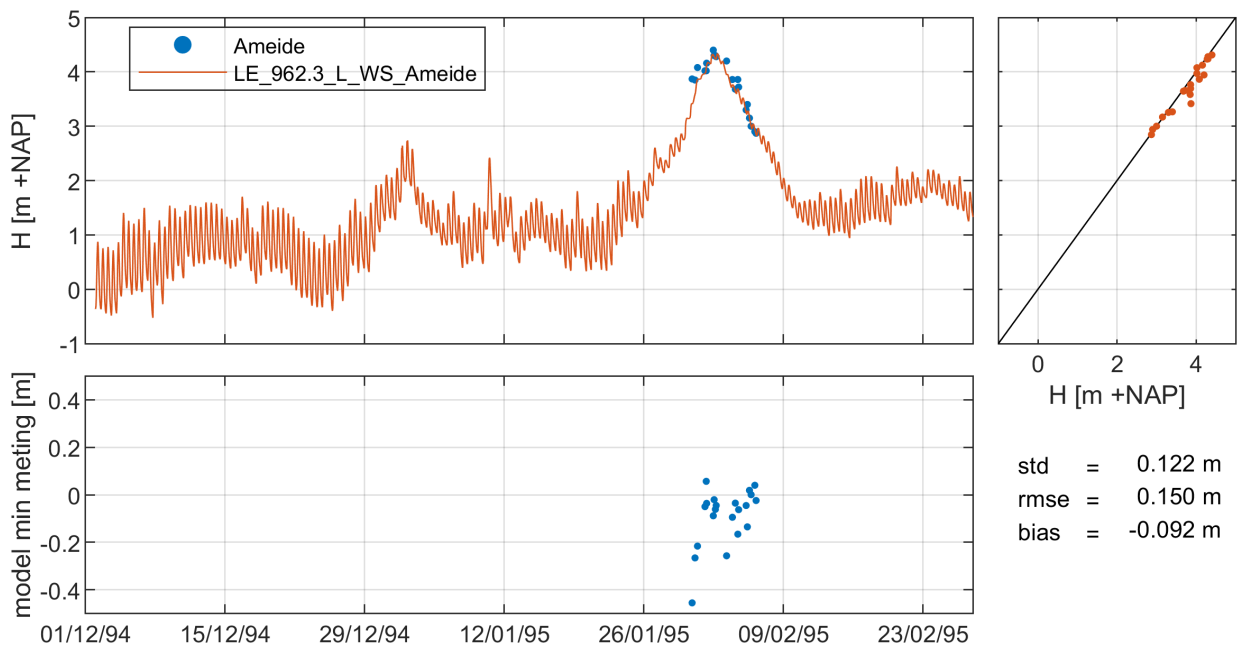
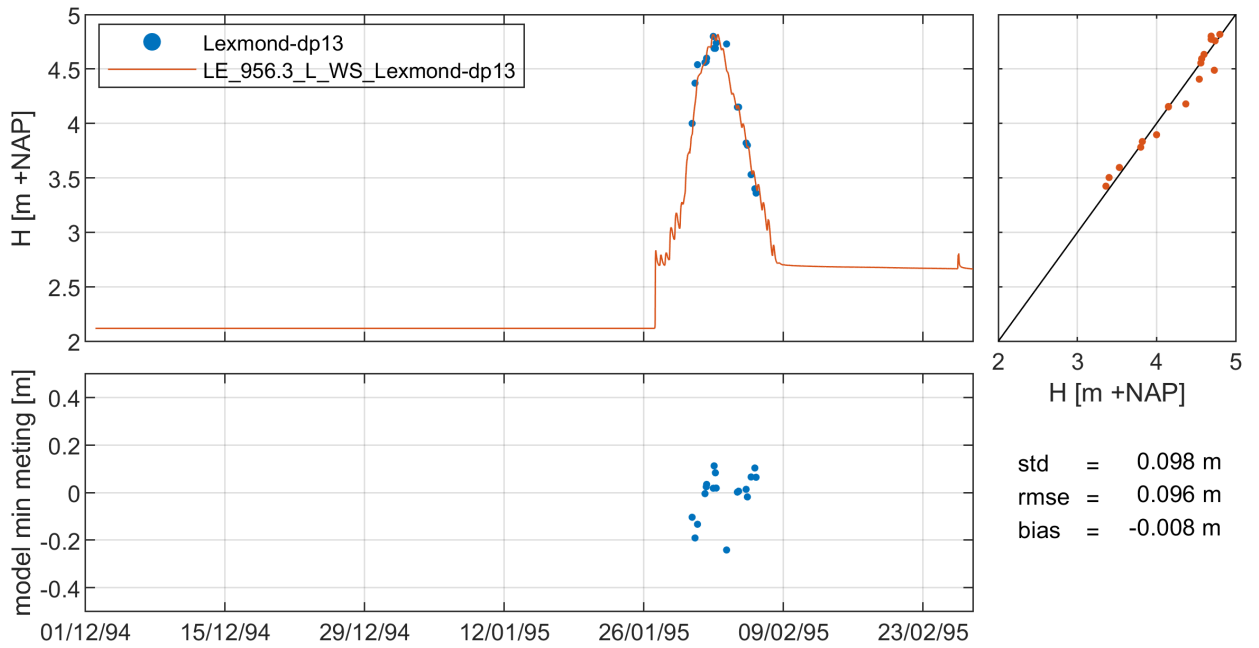


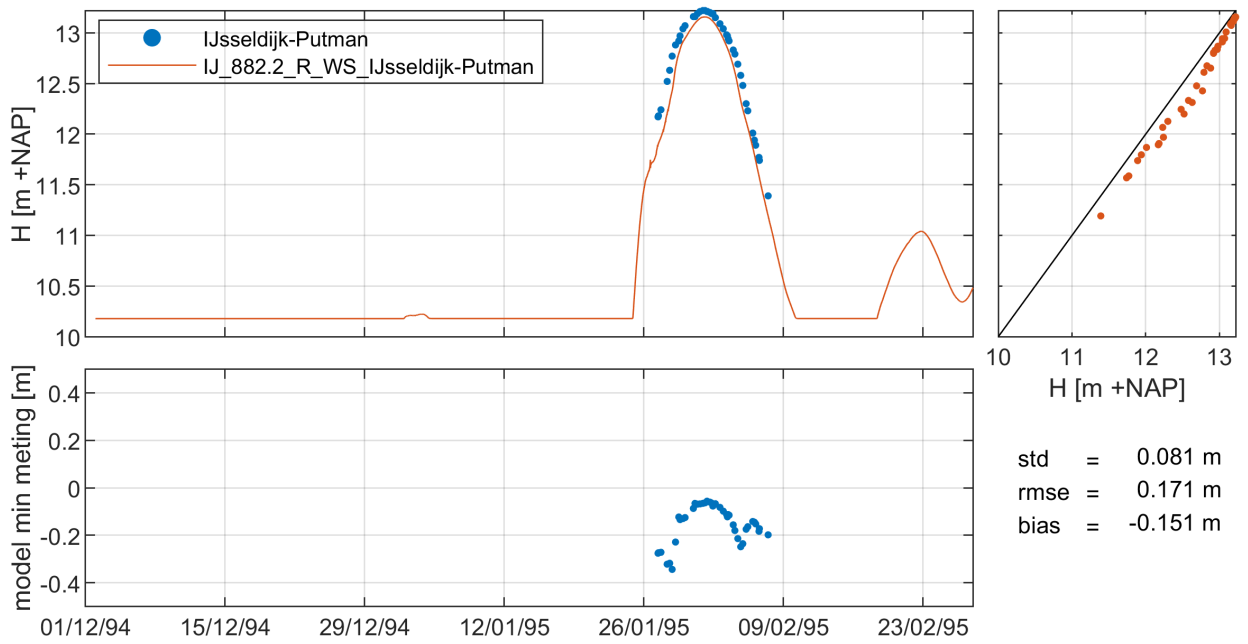
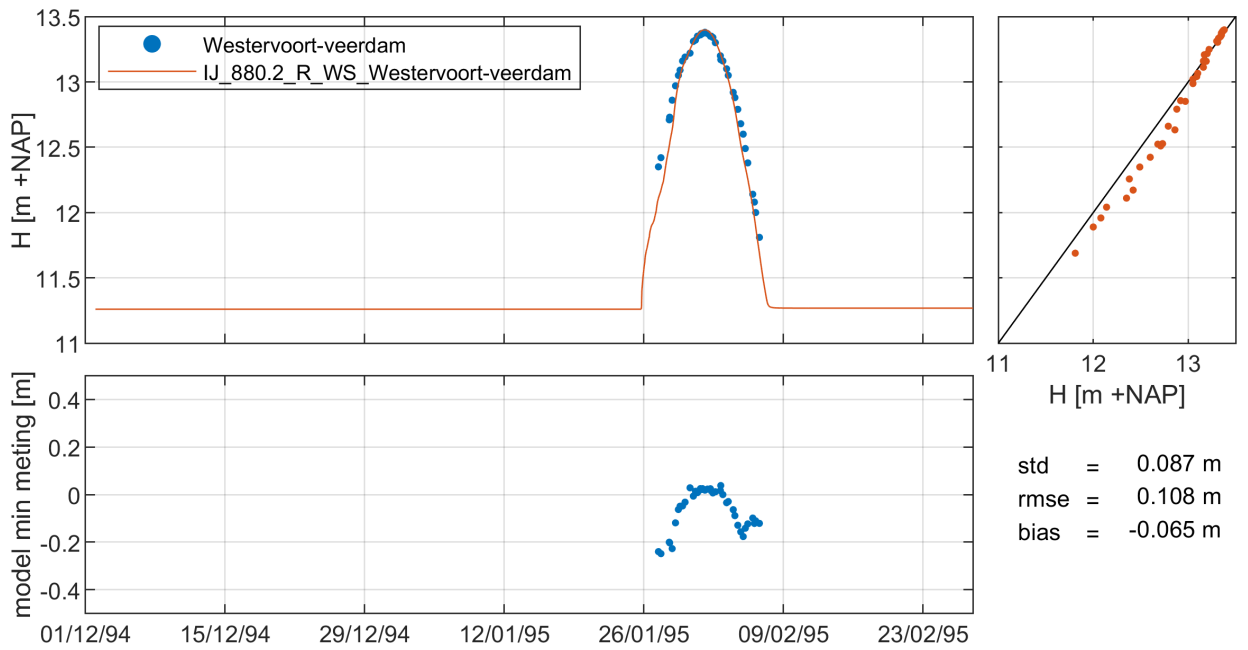


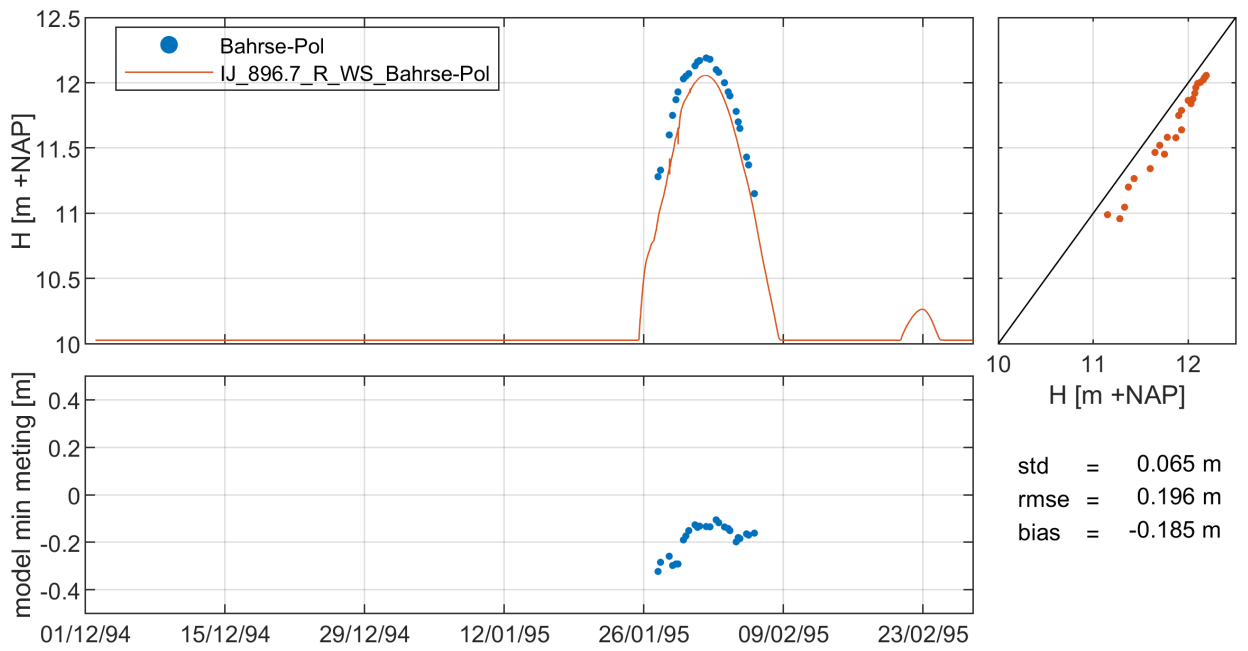
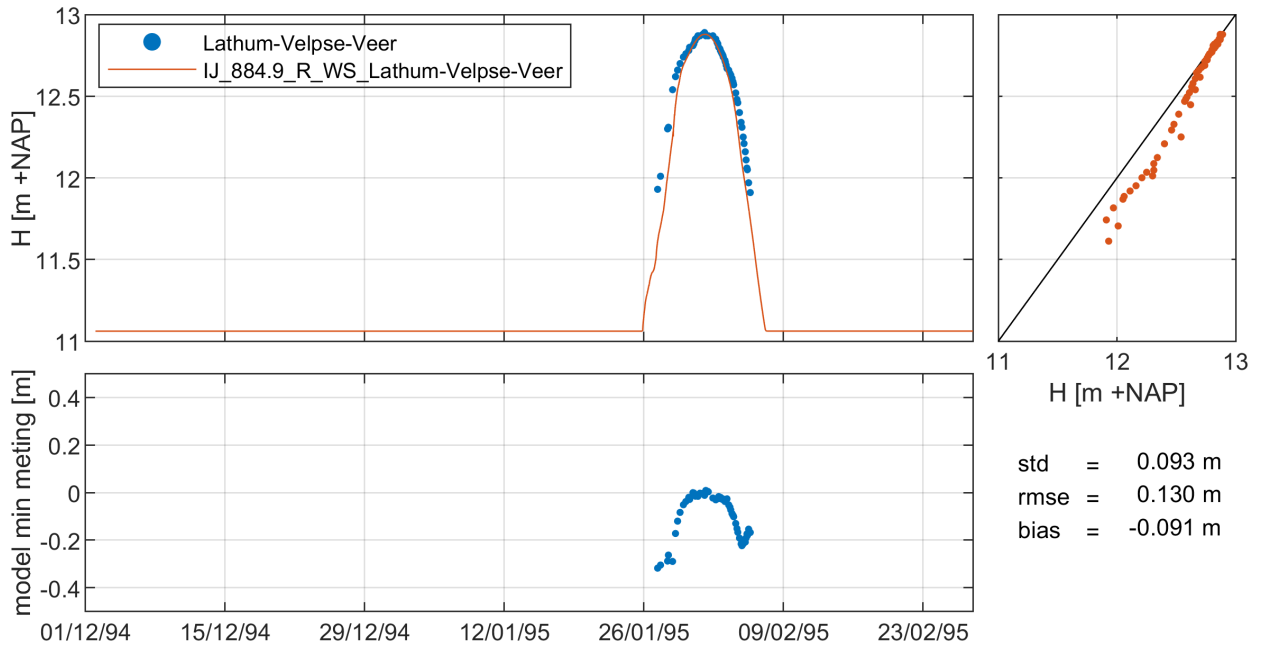


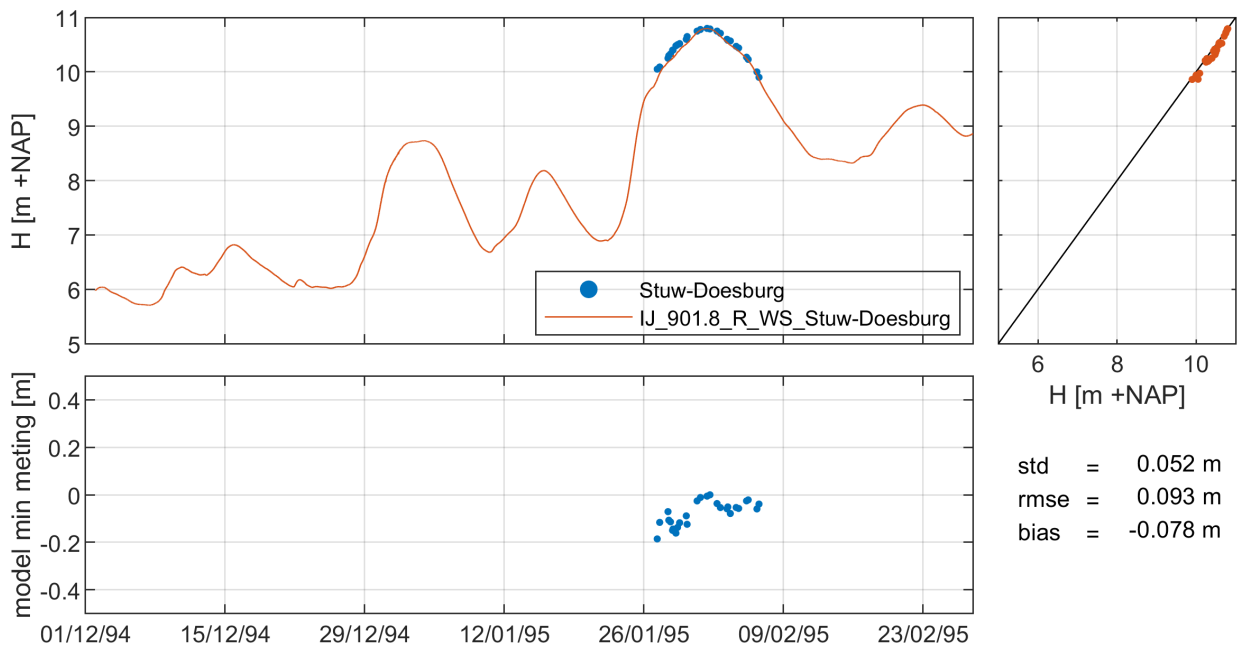
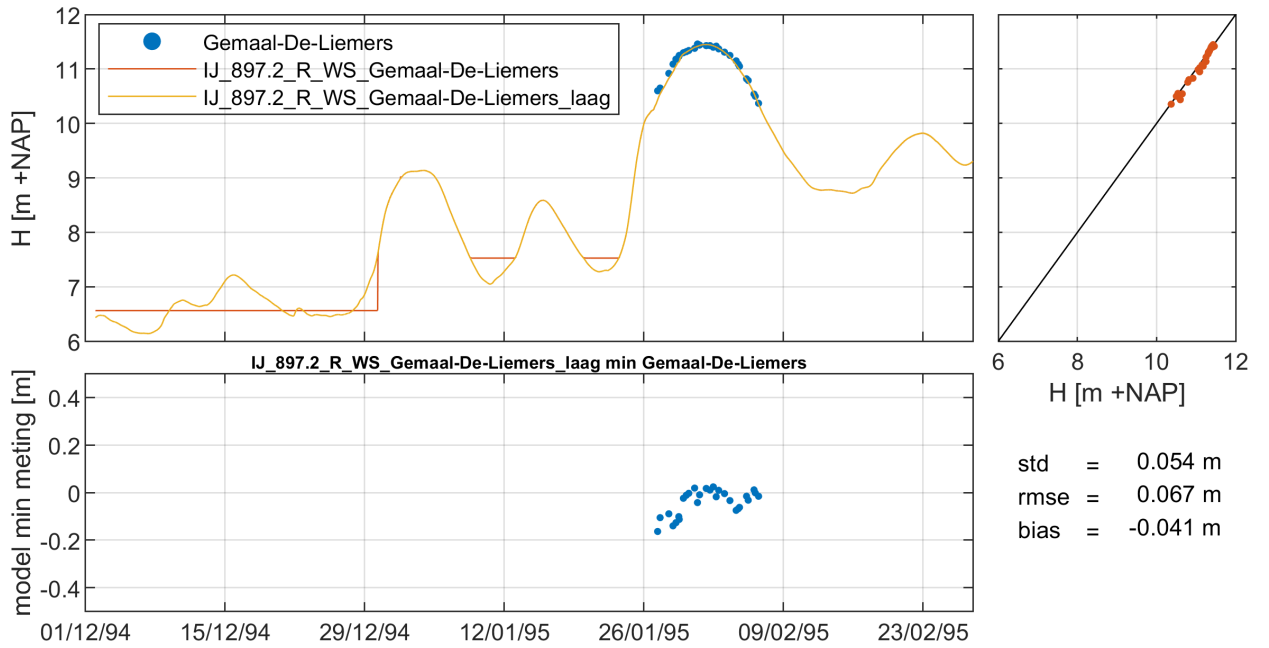


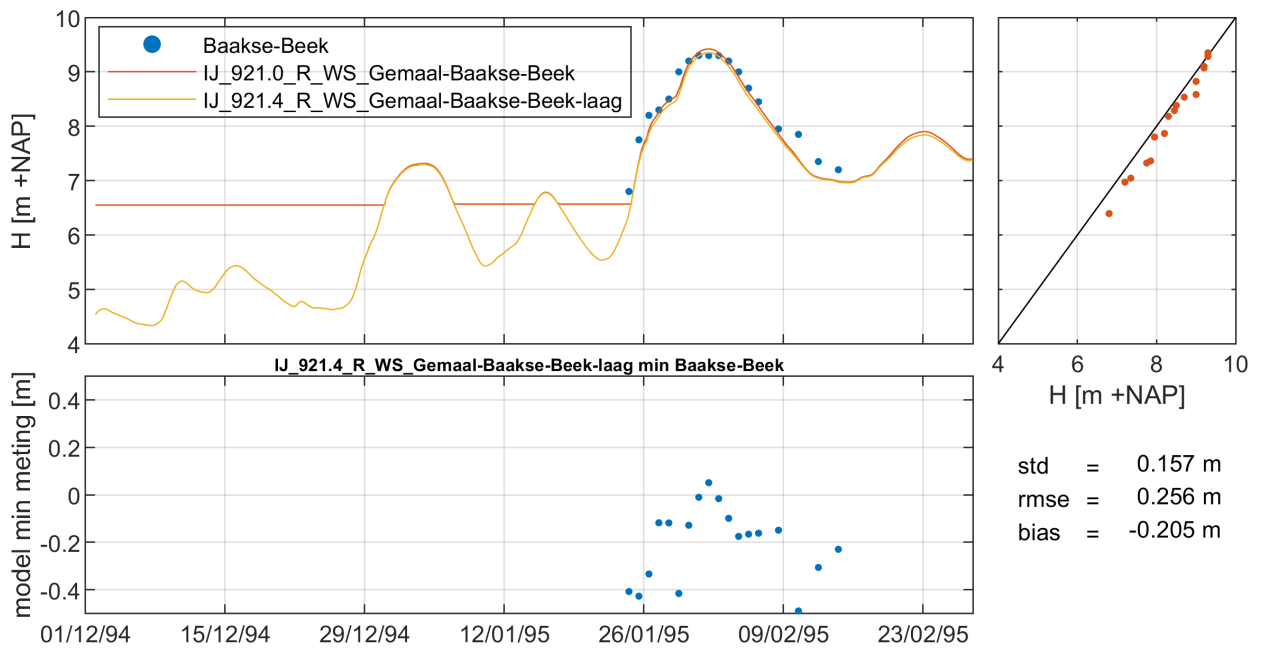
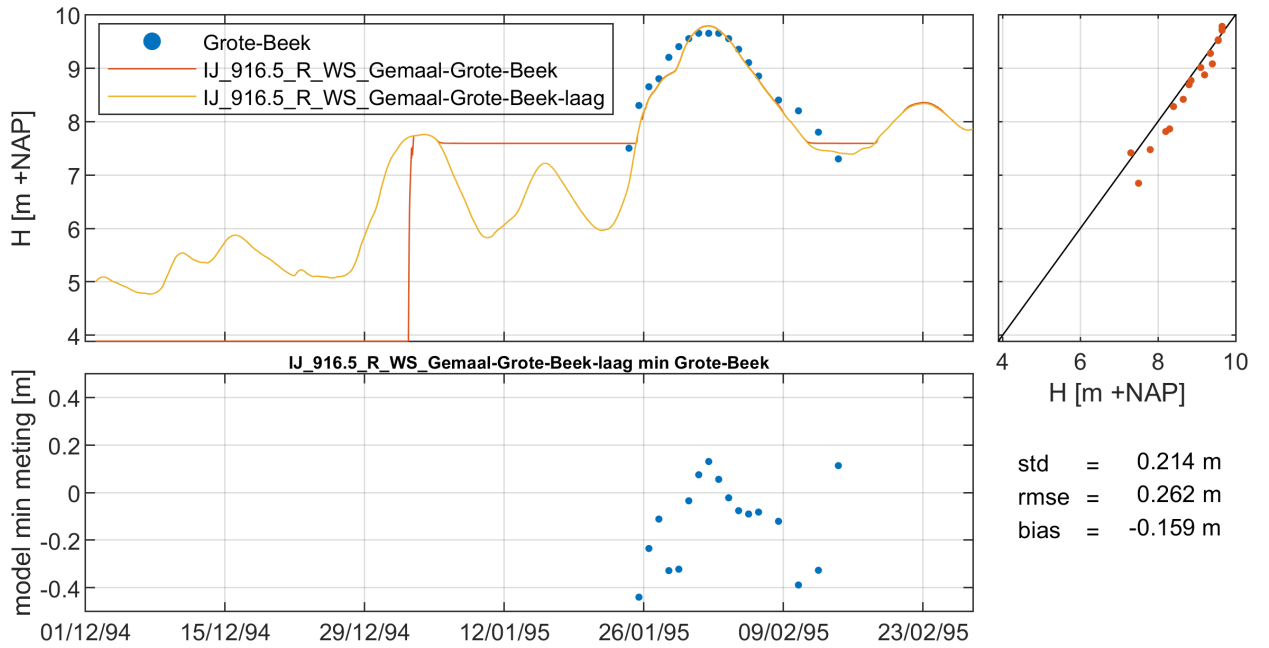




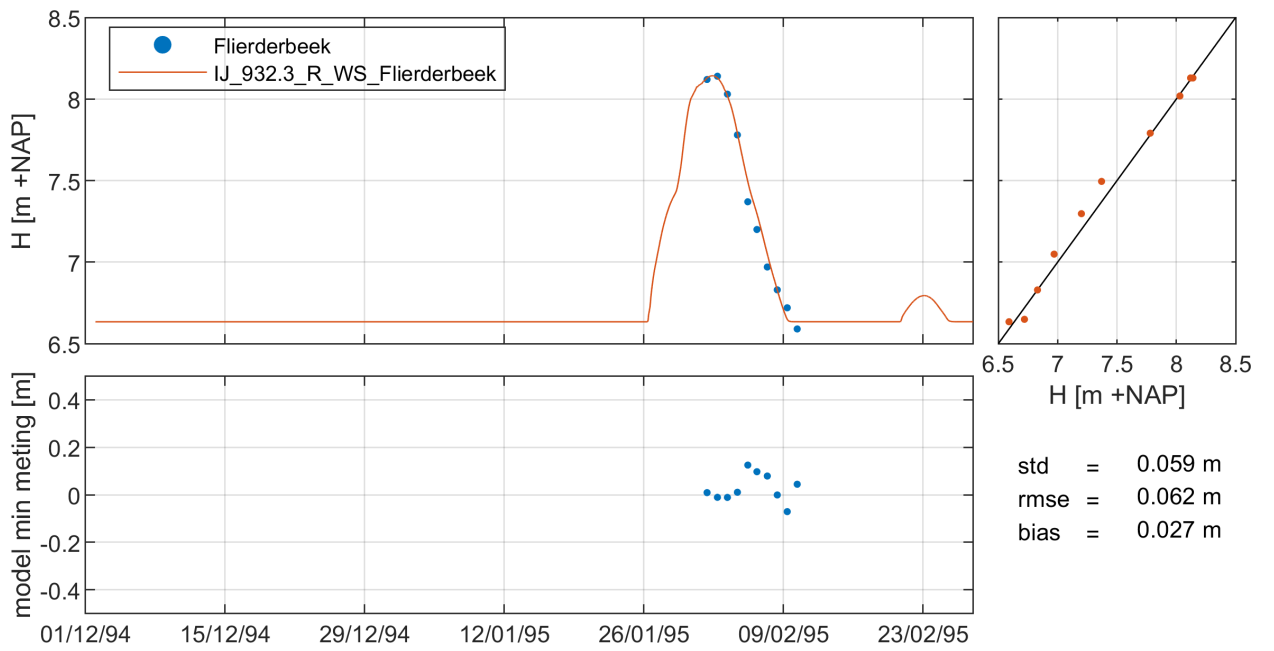
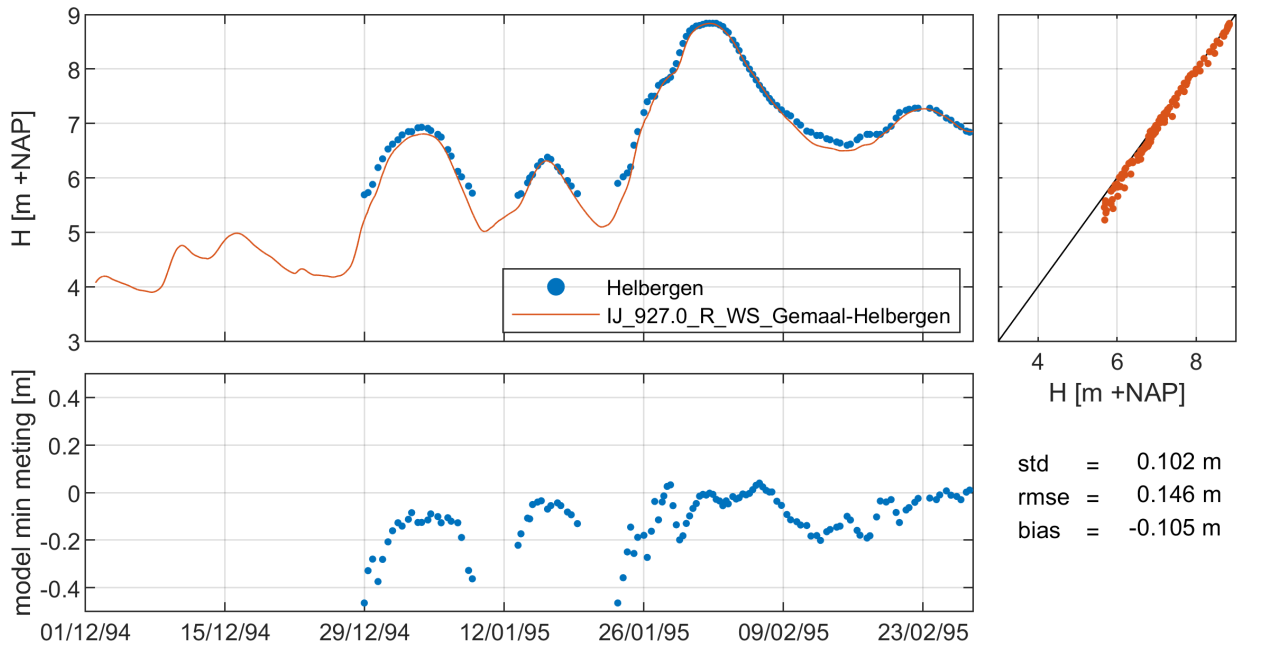


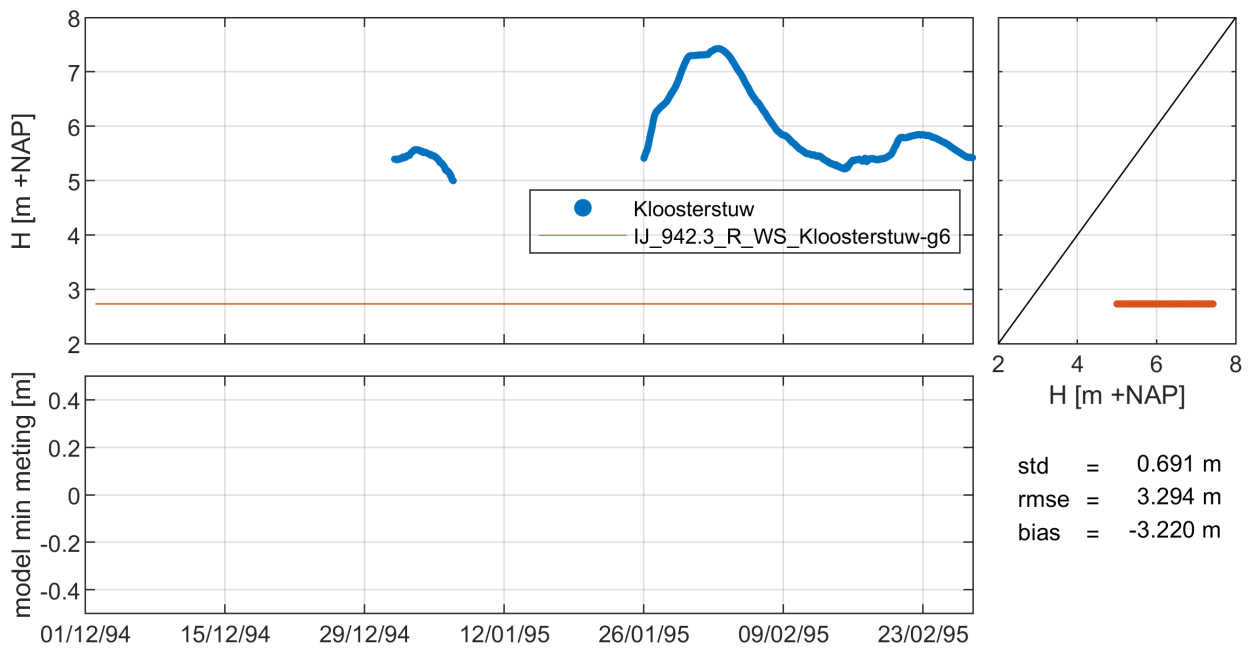
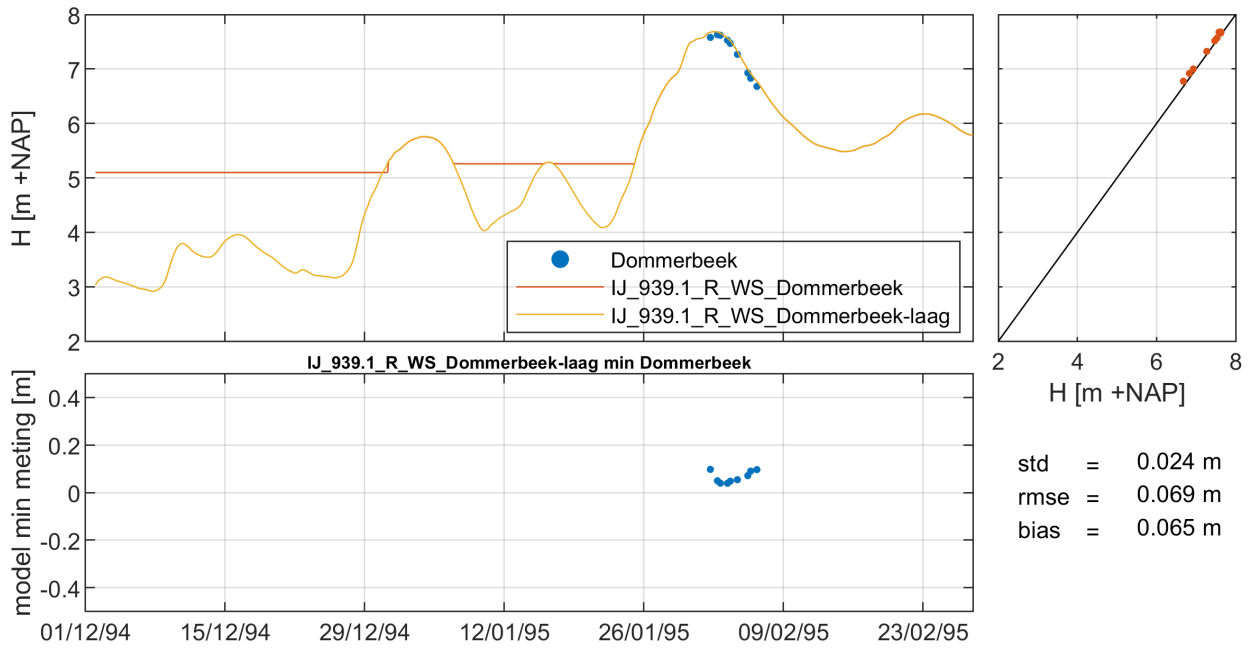


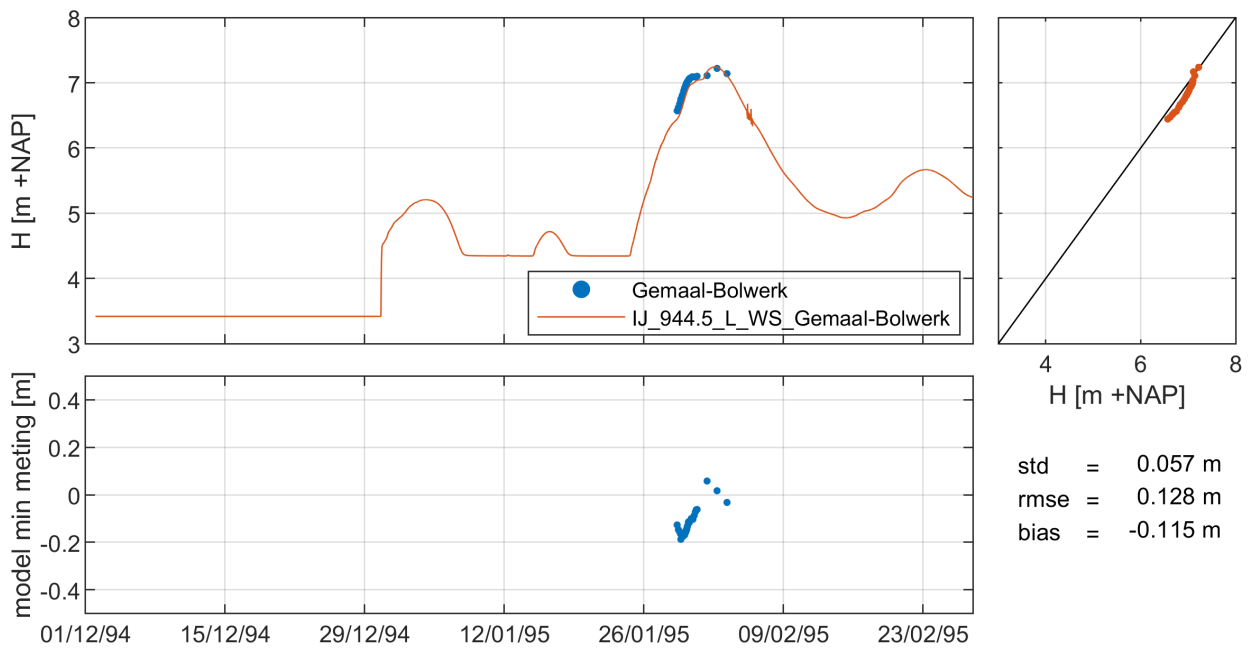
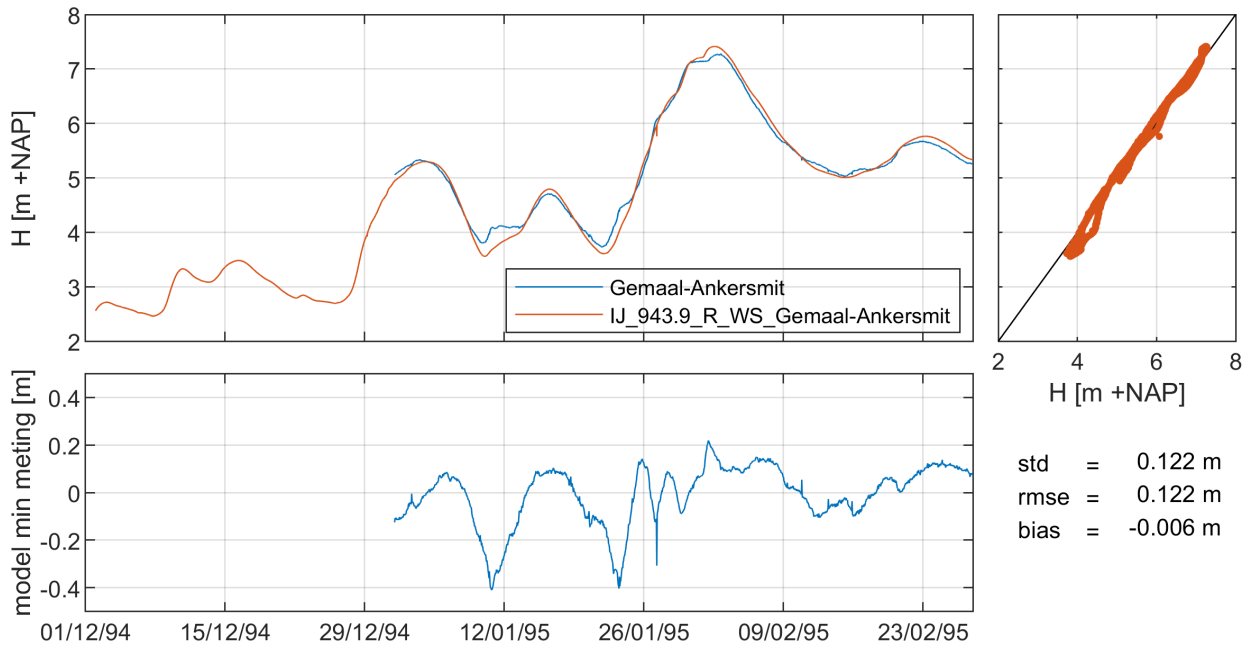




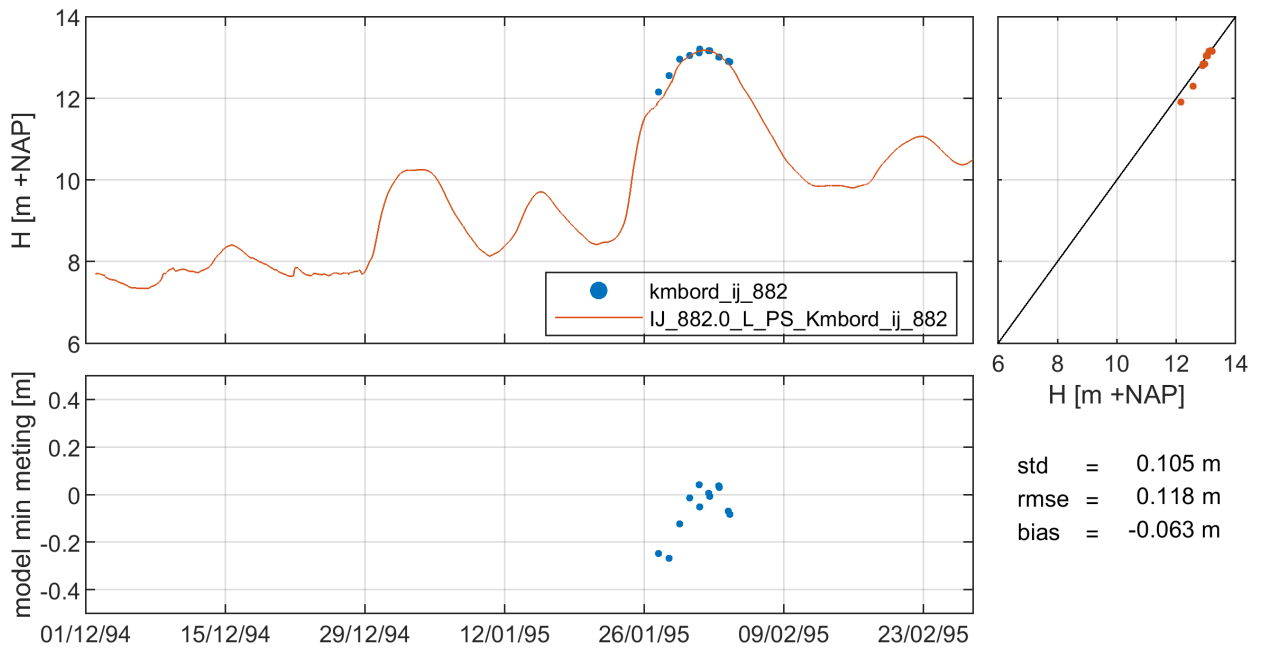
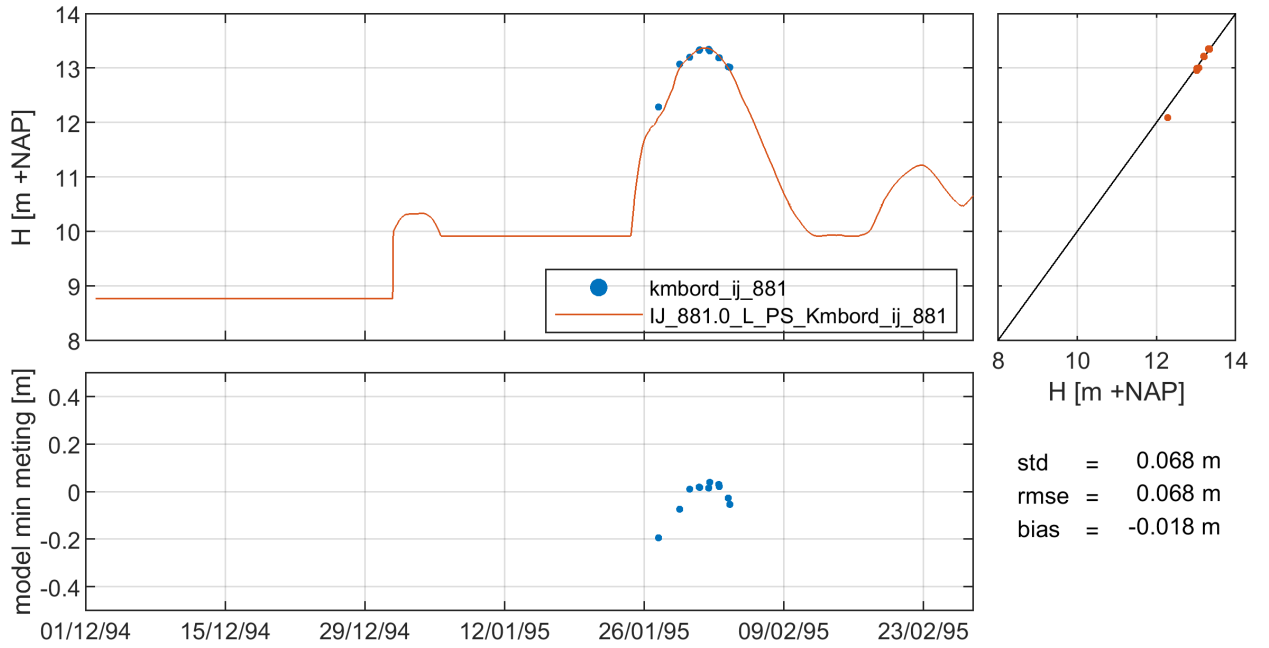


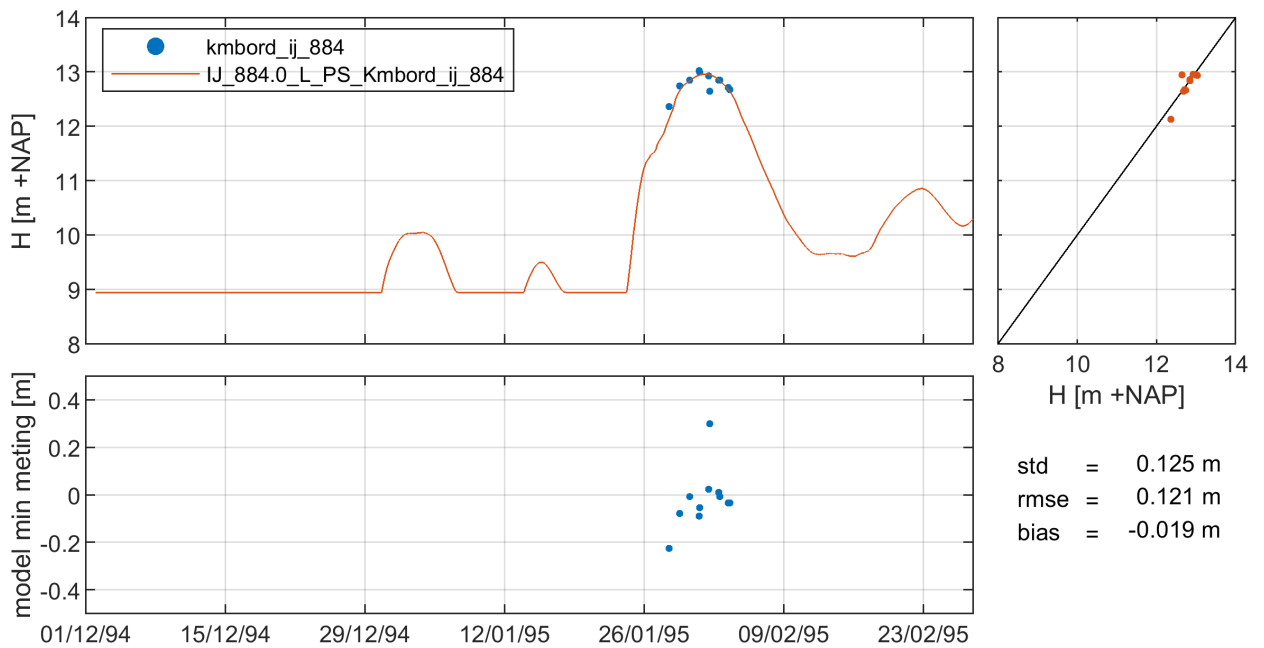
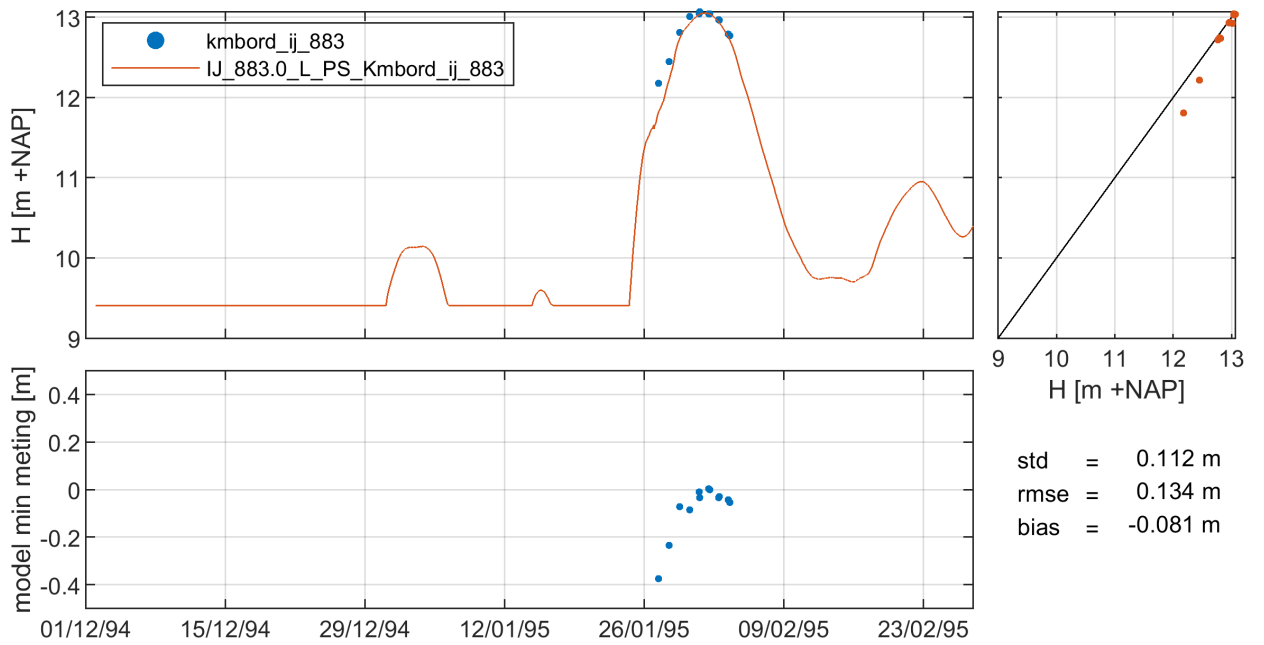


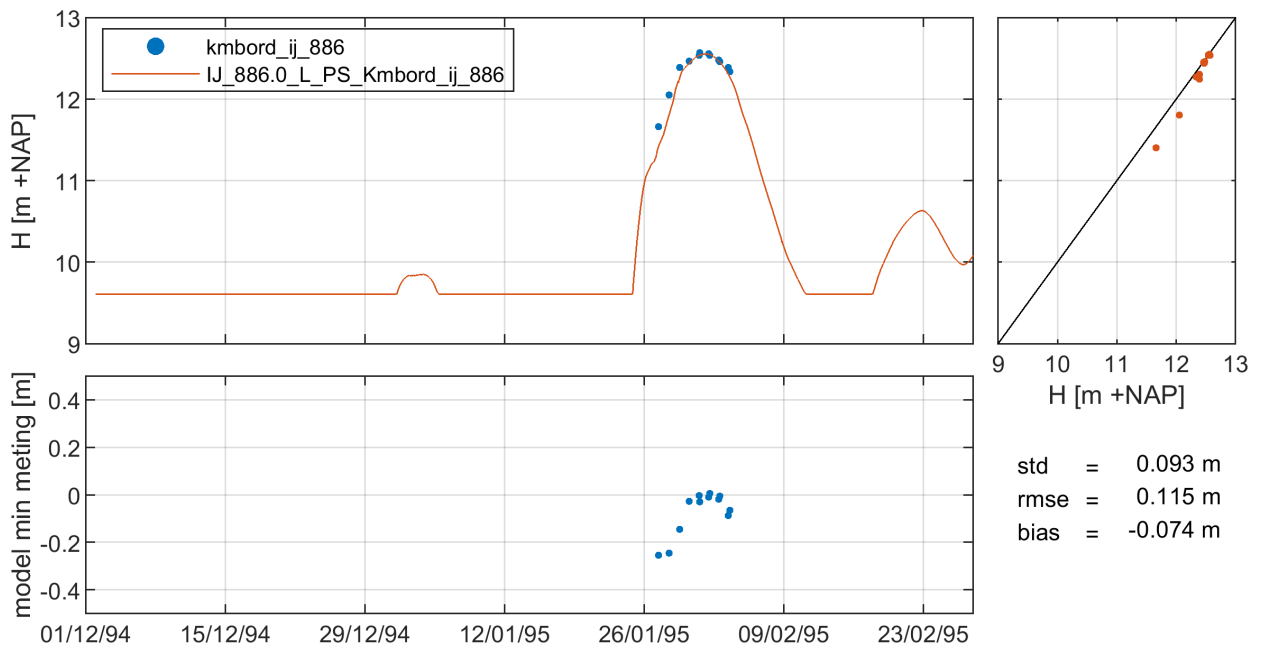
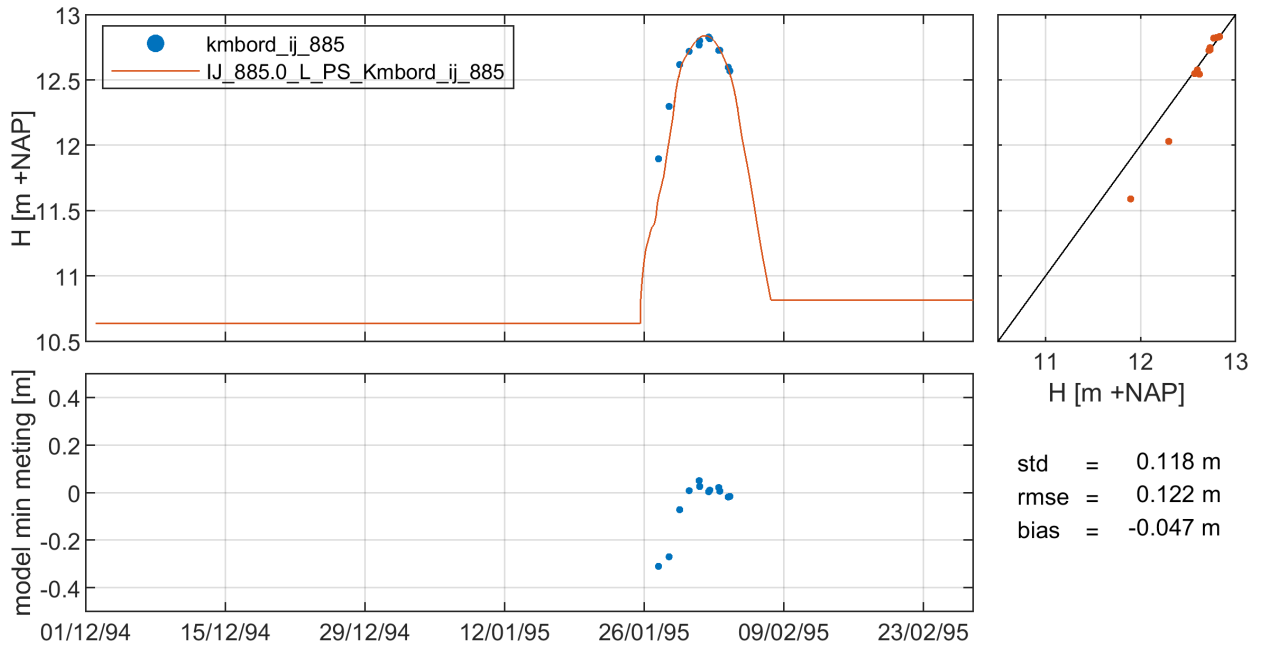


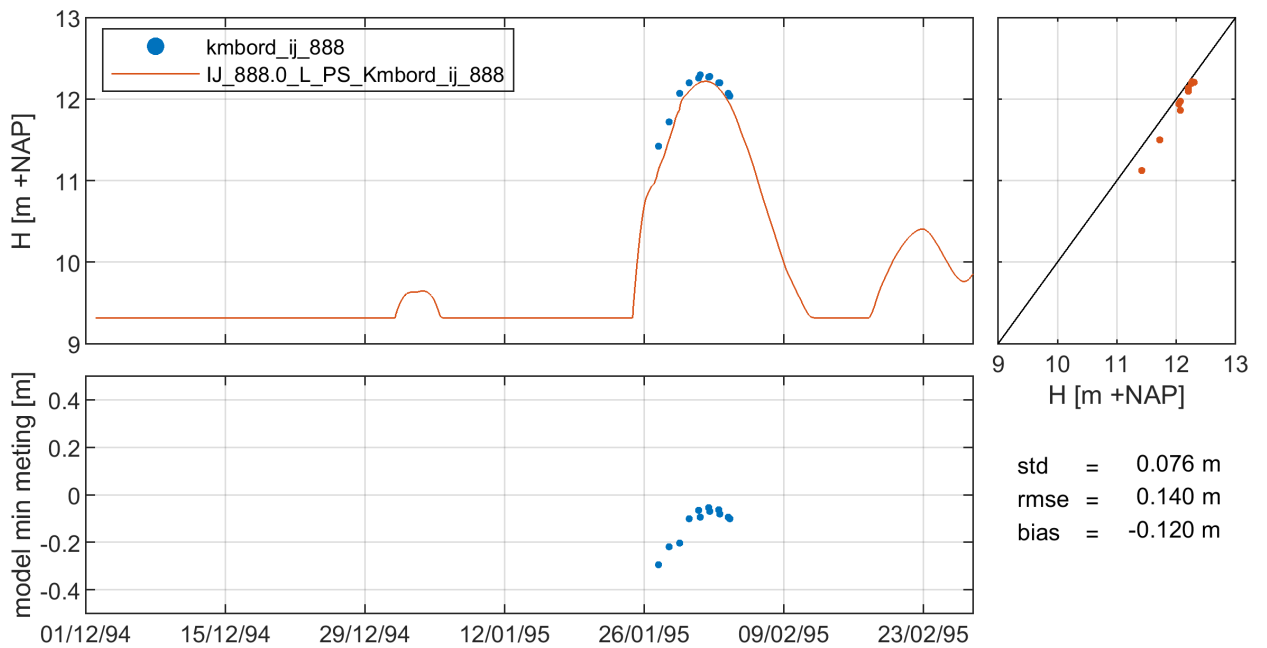
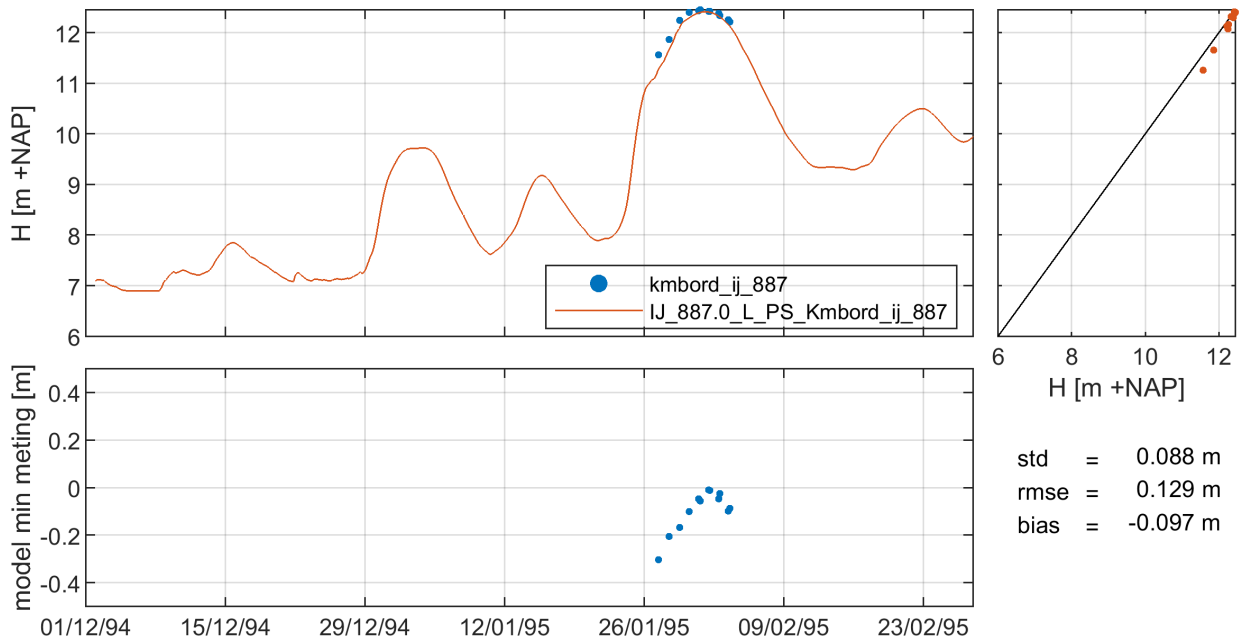


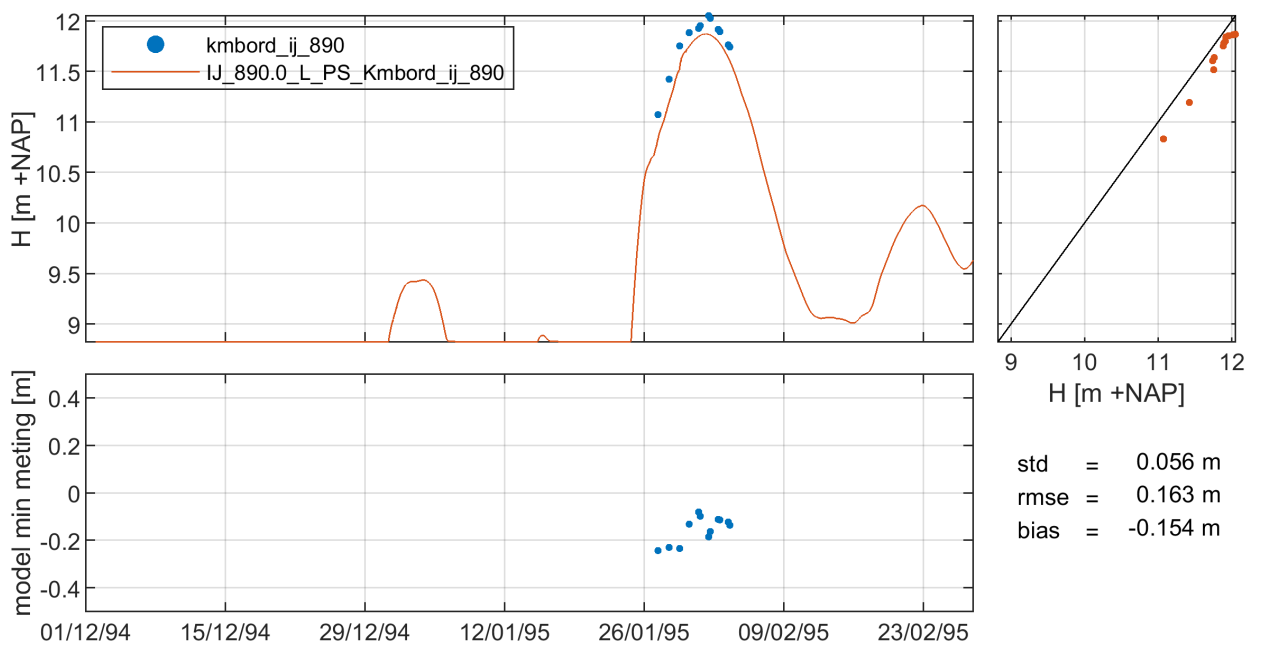
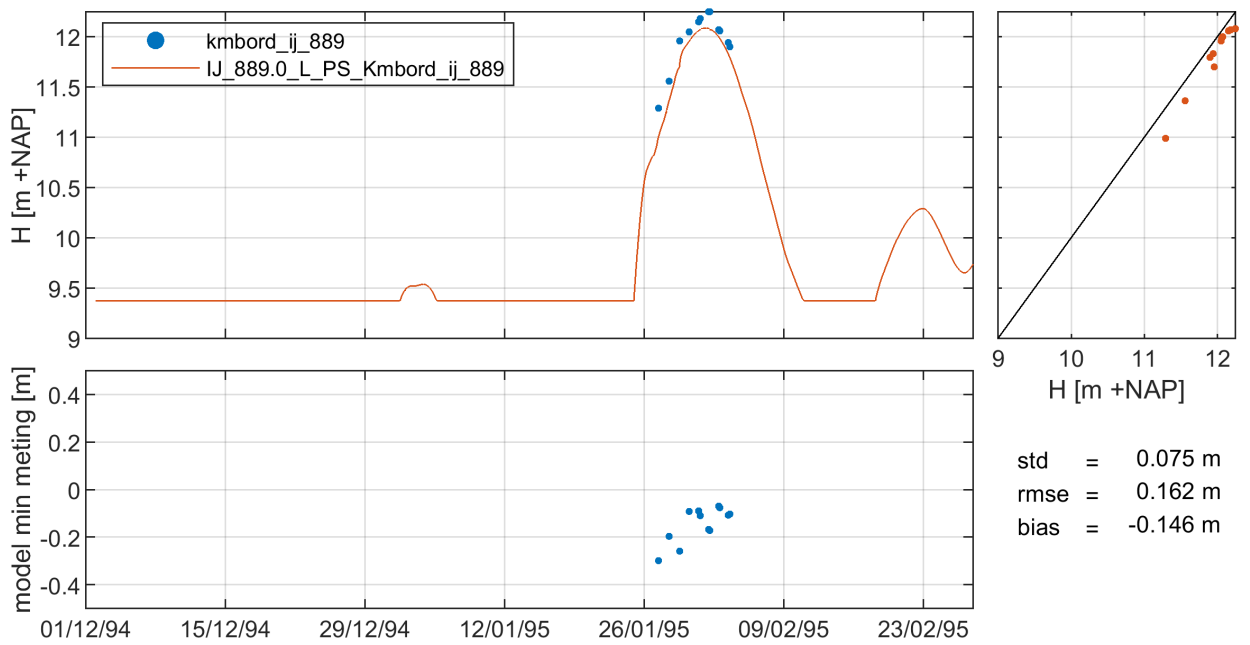
### 1.2.5 Km-borden IJssel



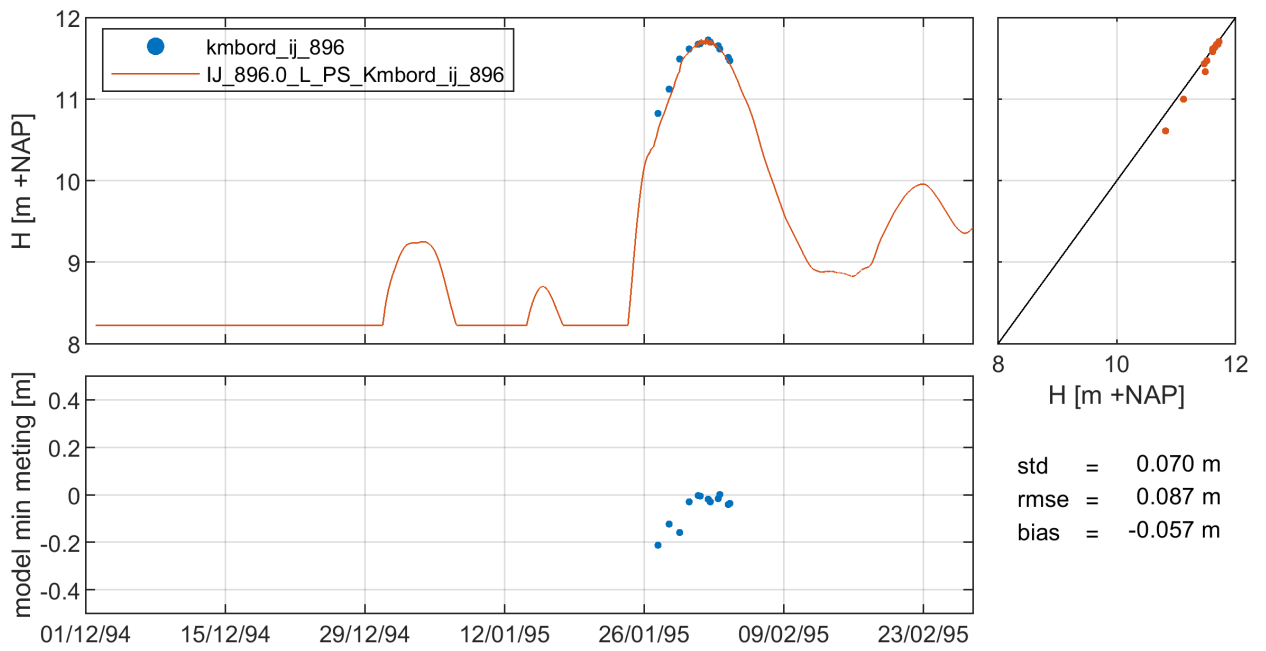
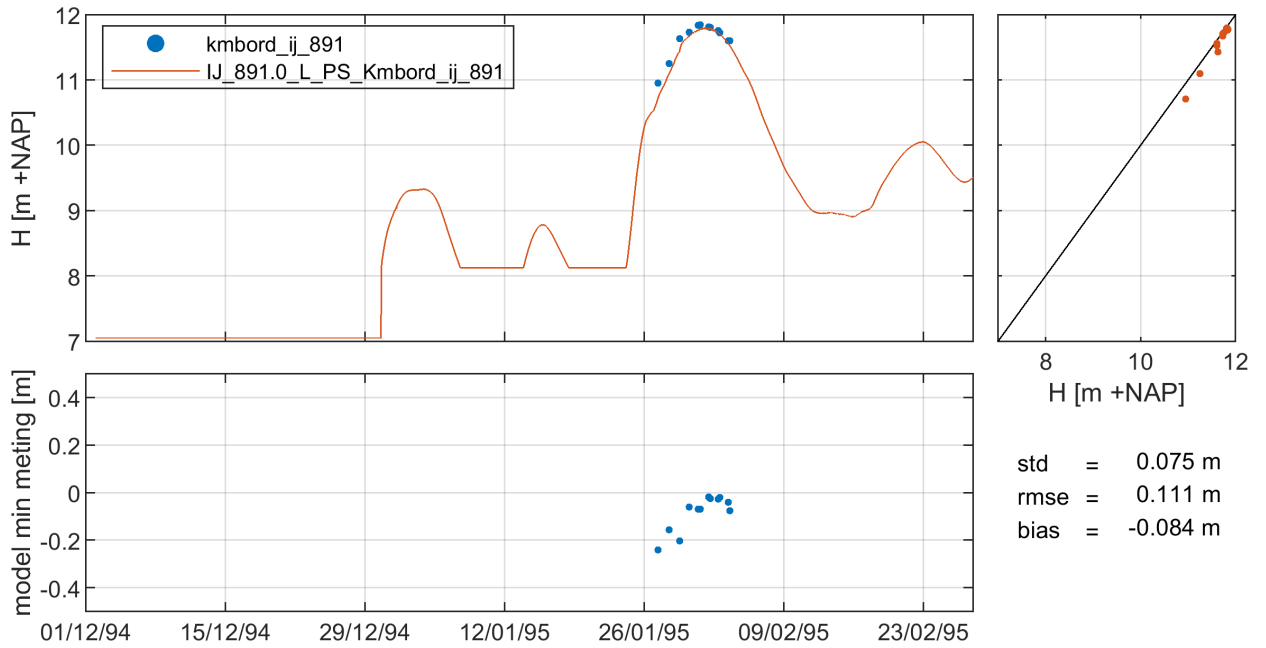


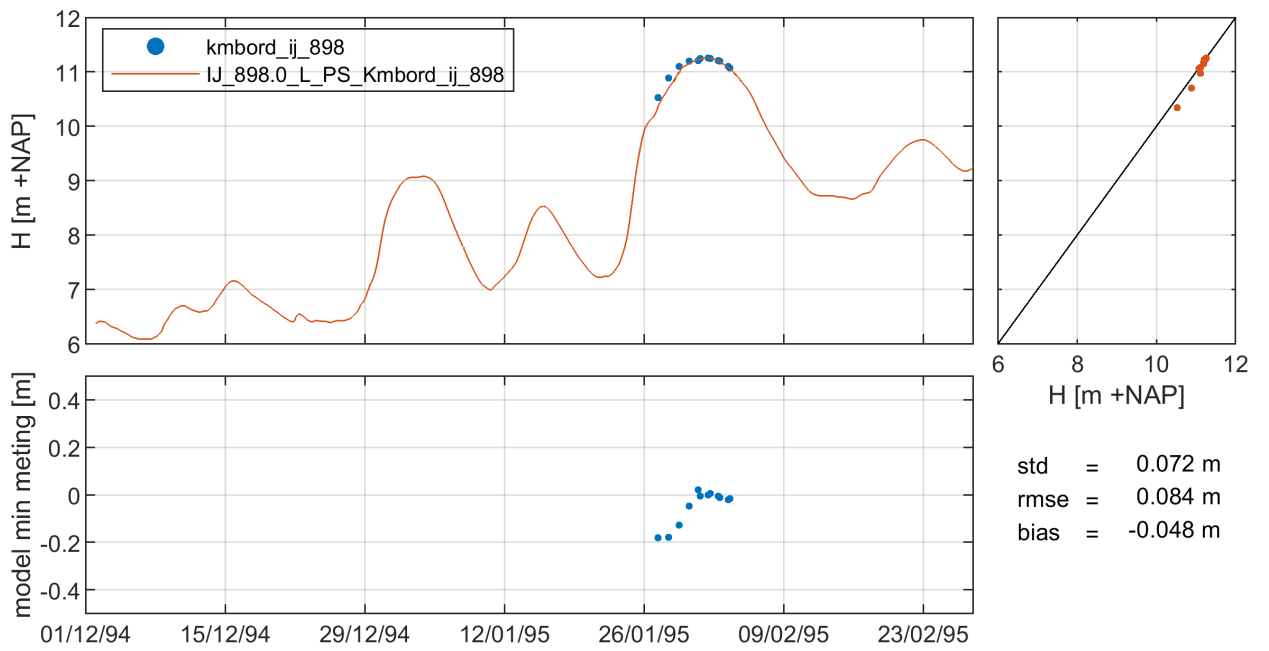
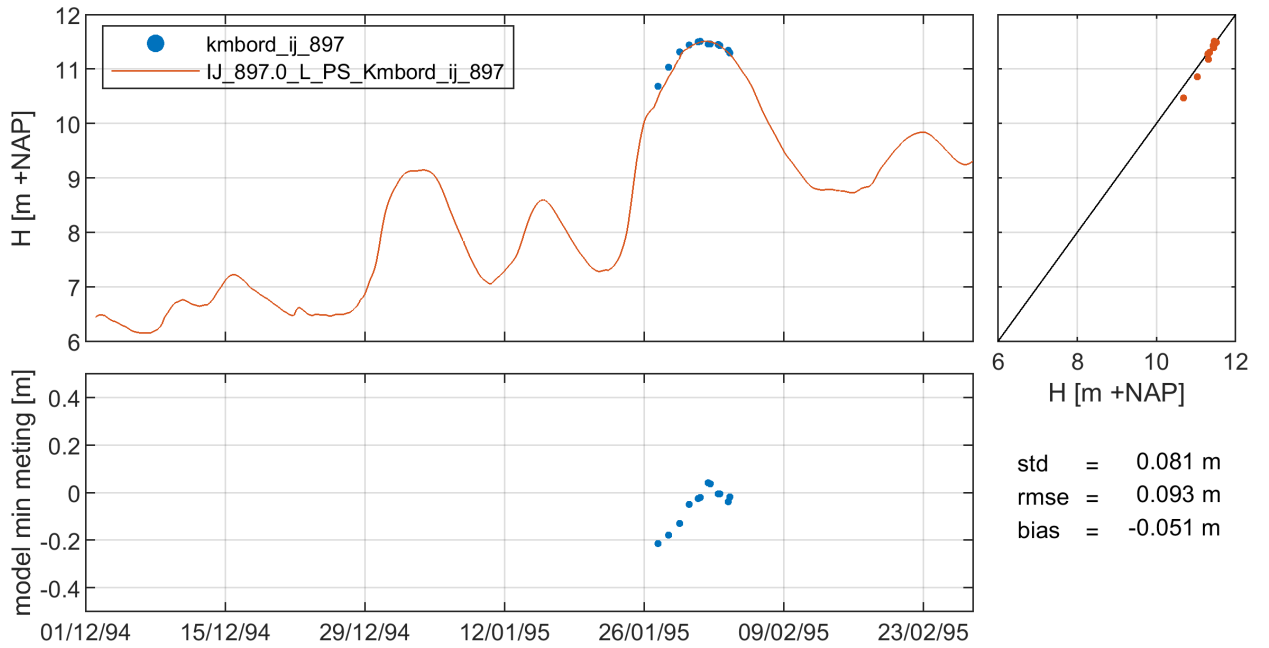


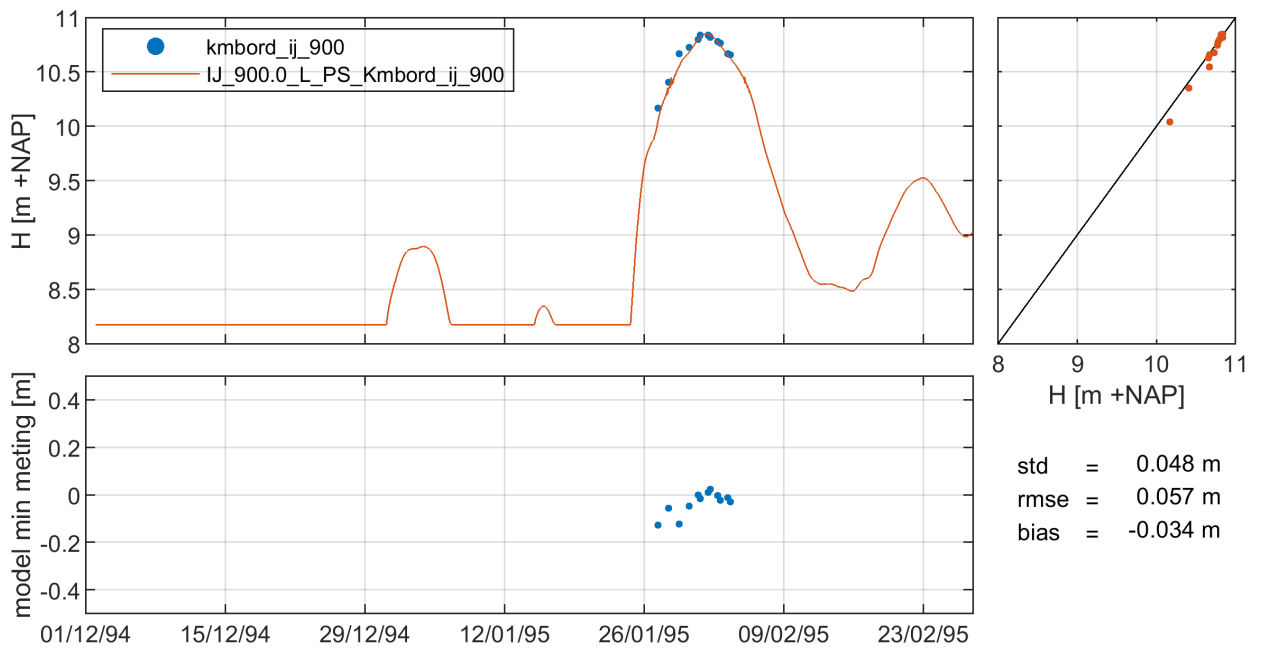
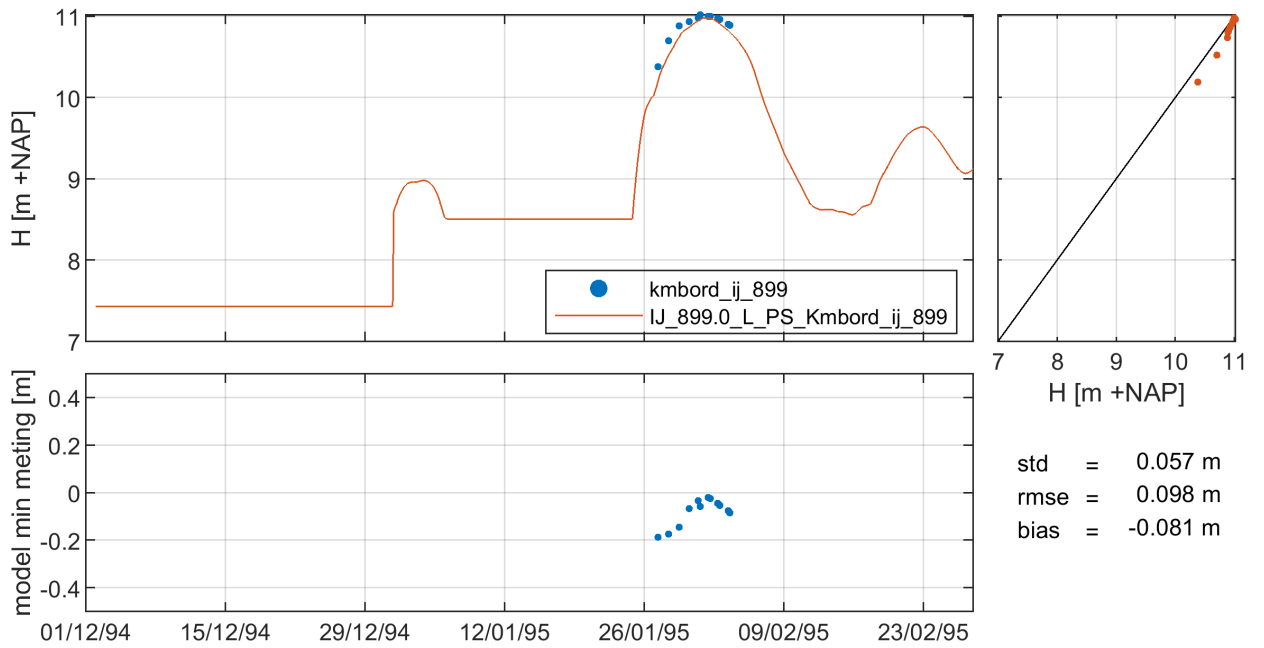


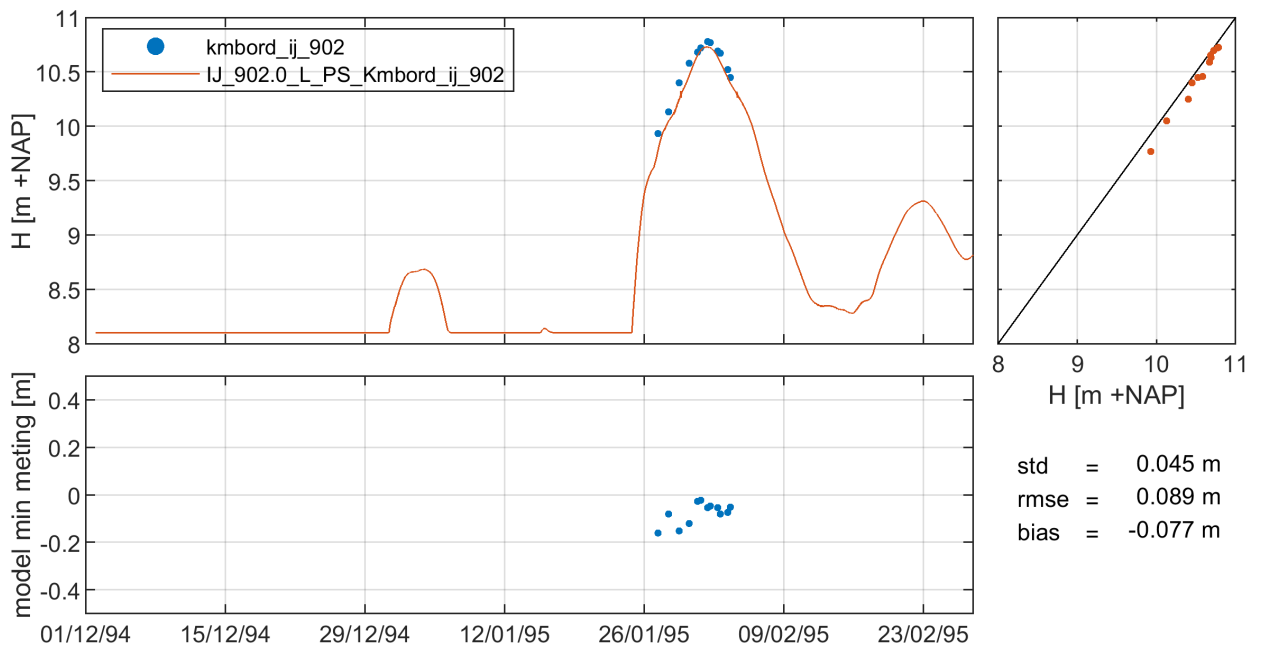
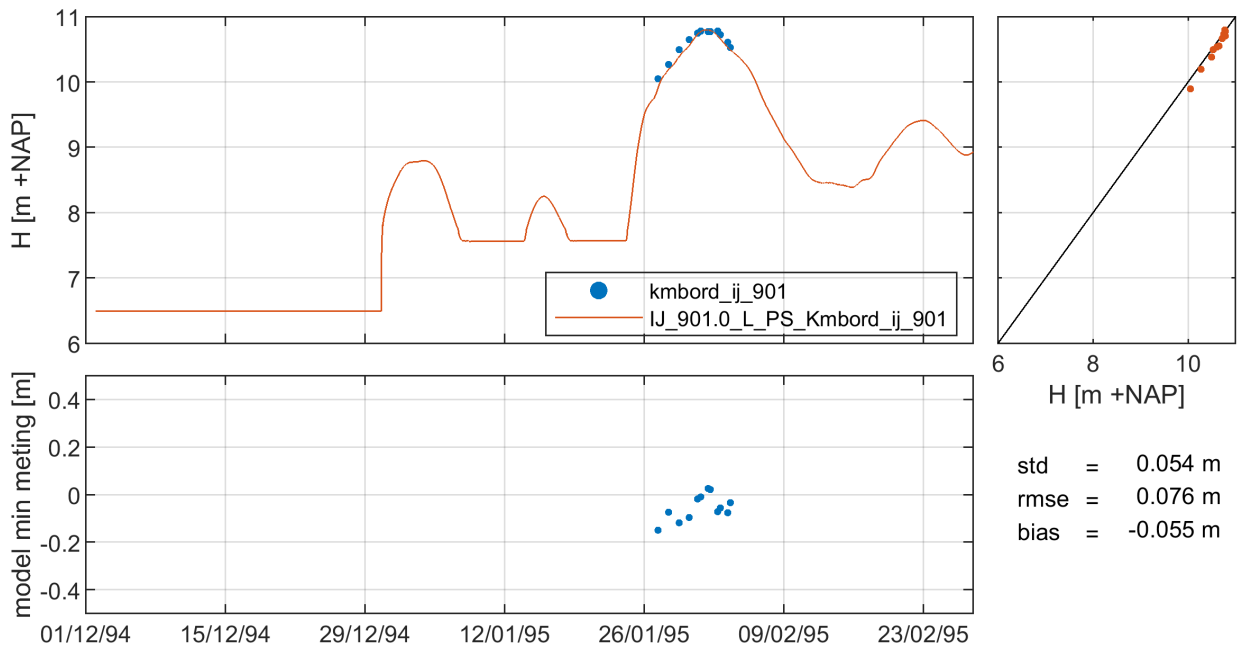


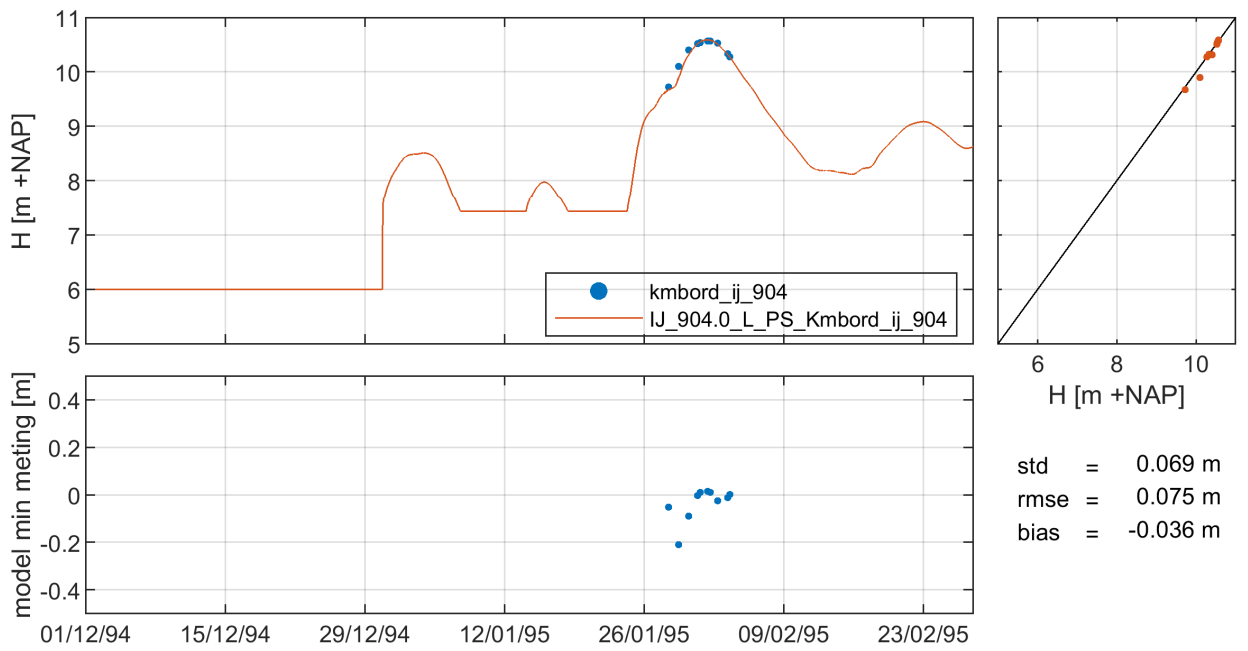
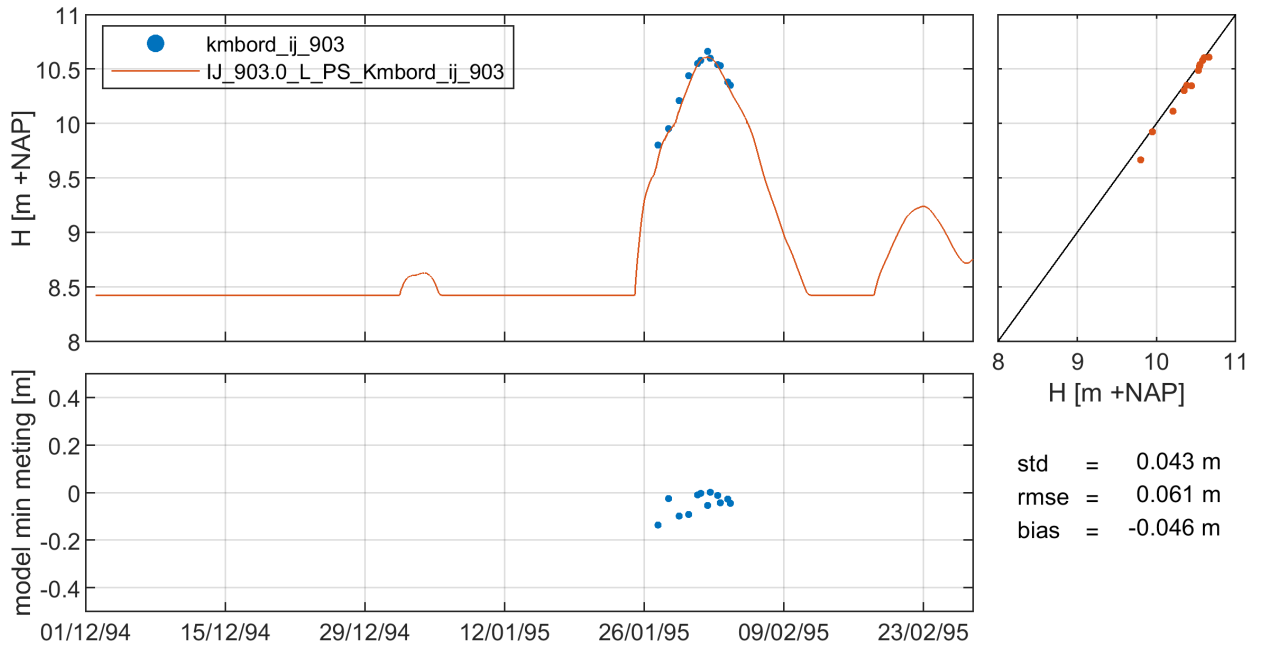


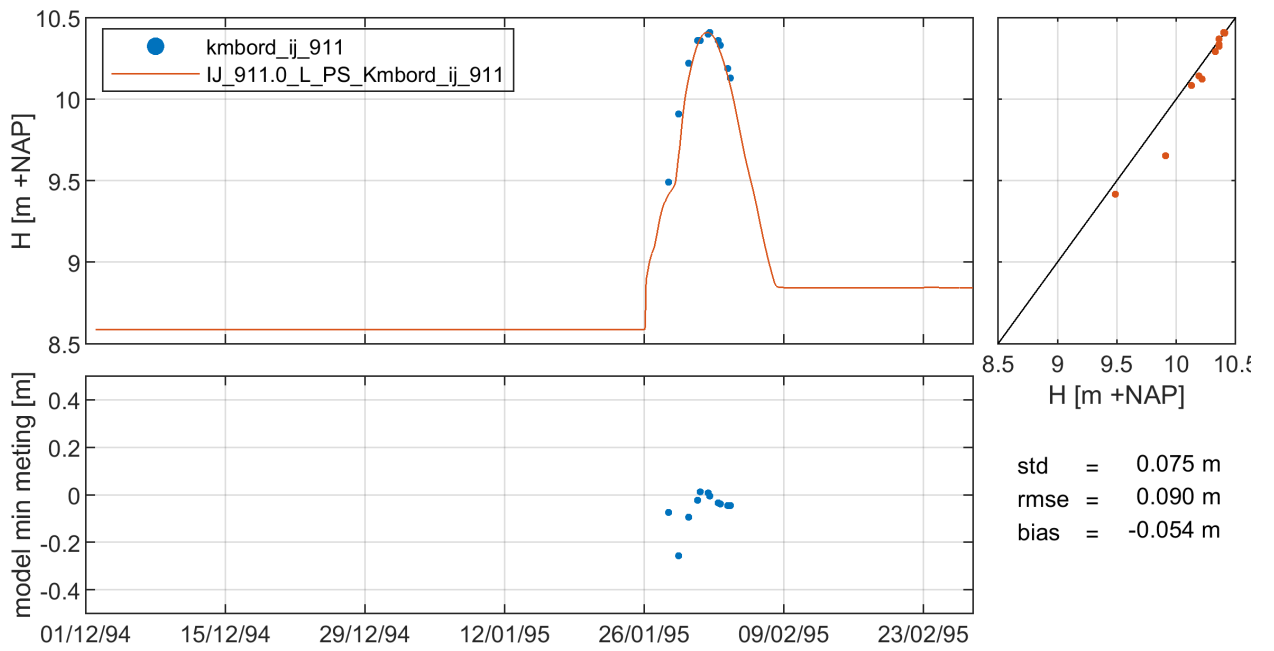
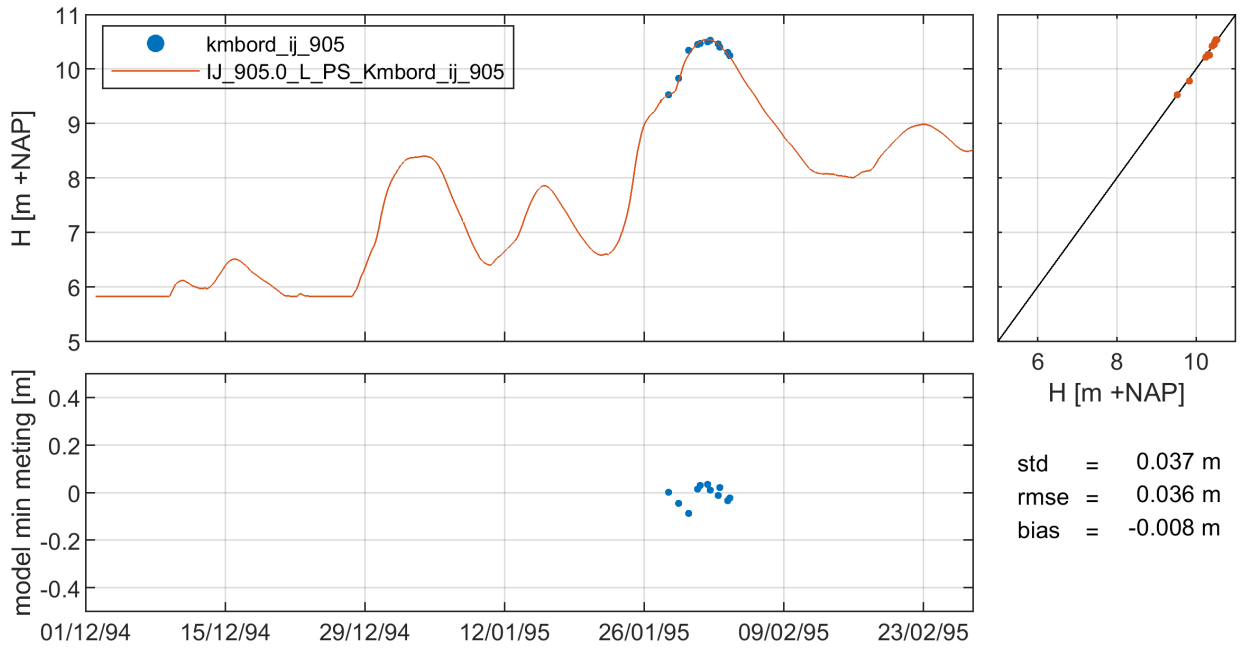


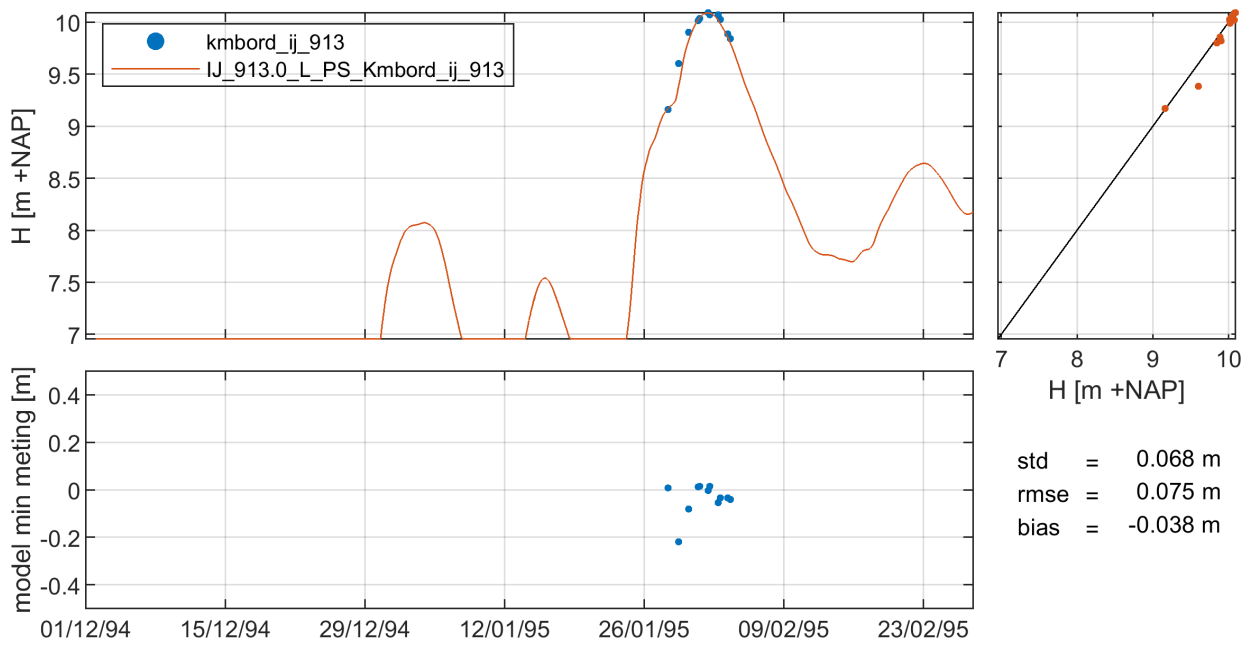
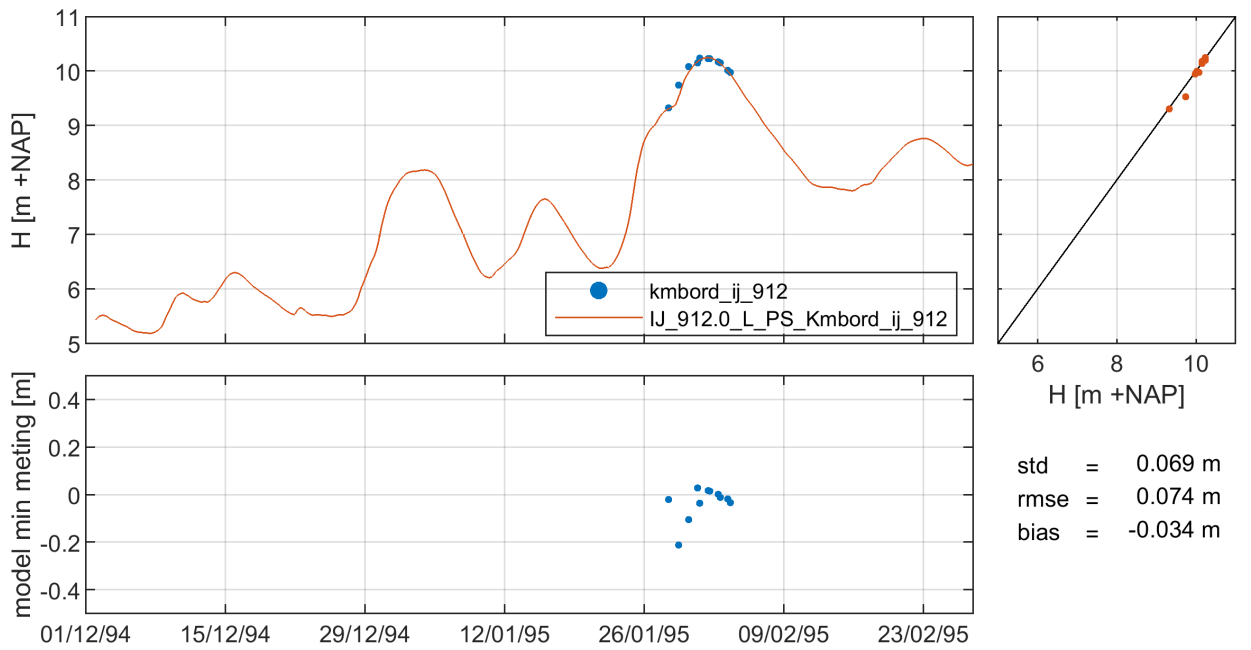


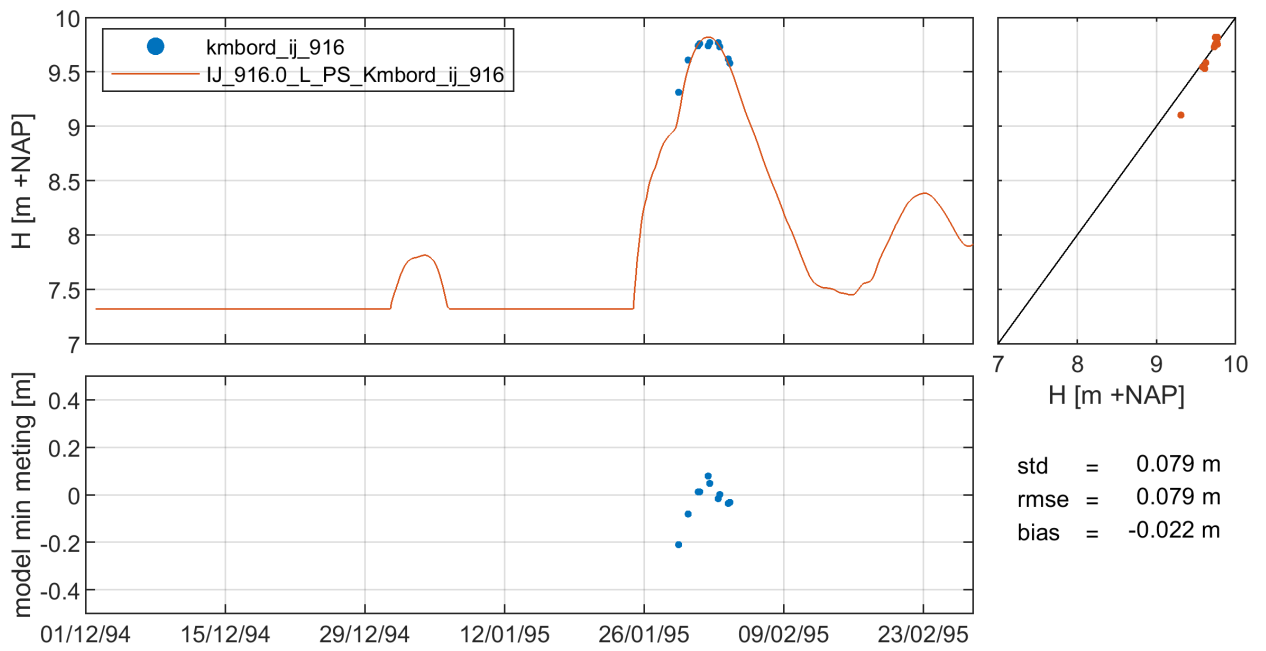
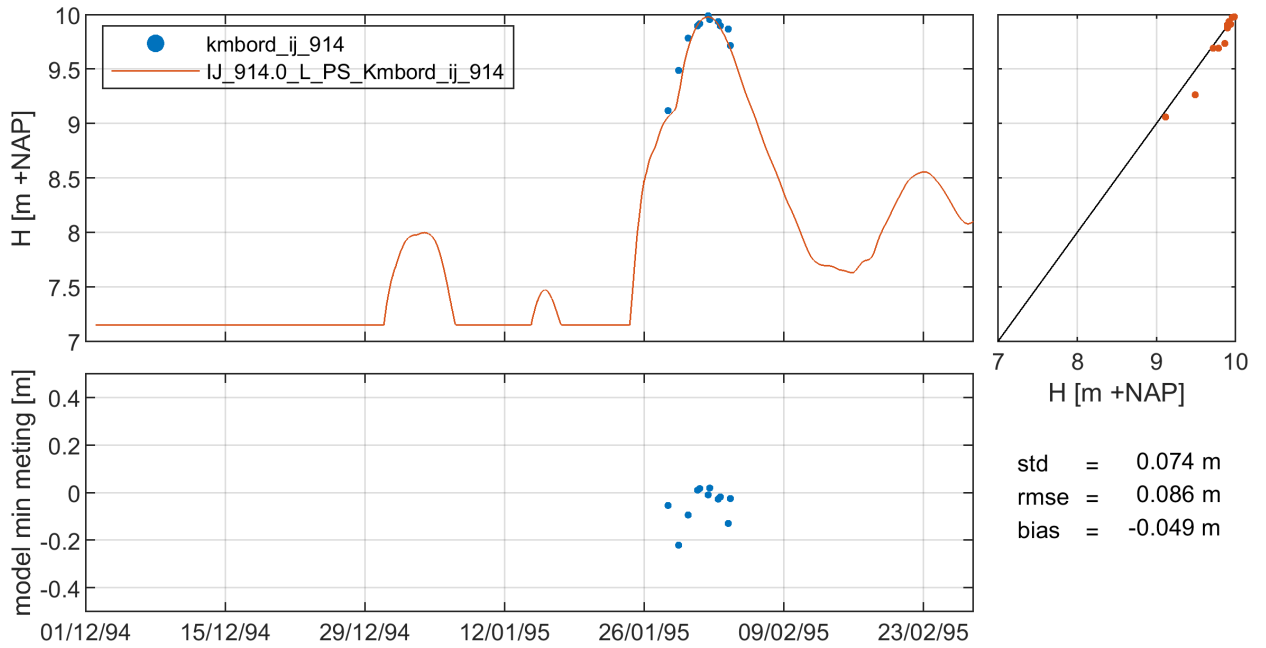




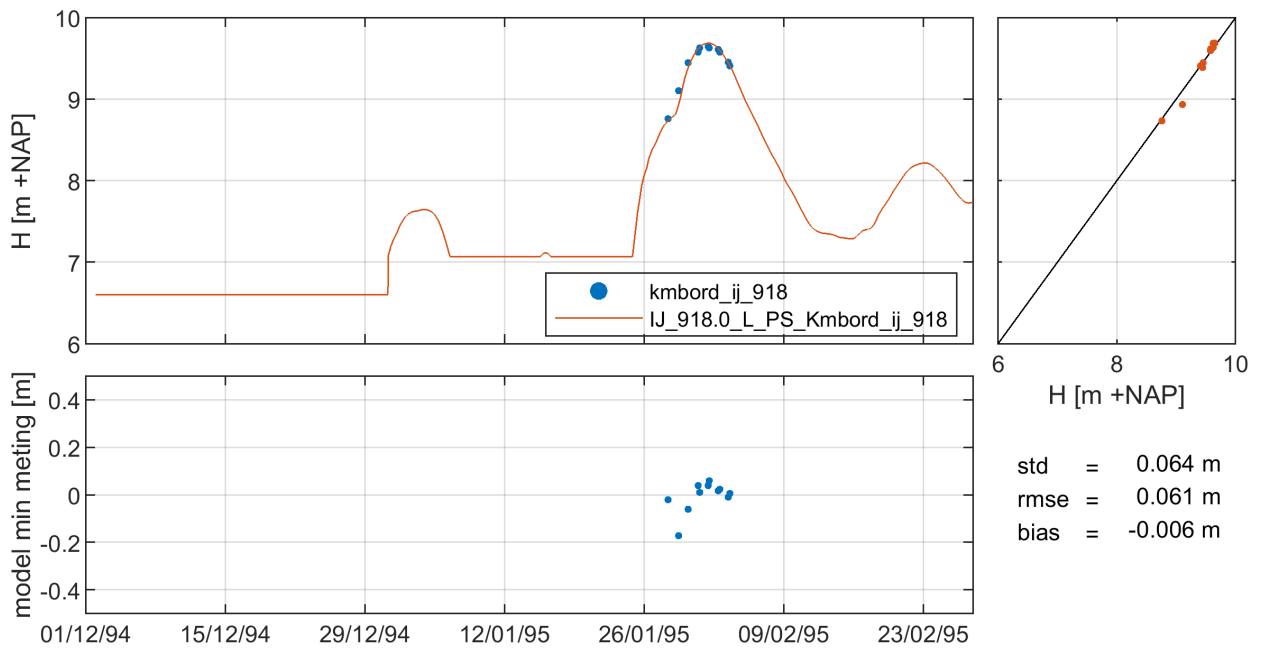
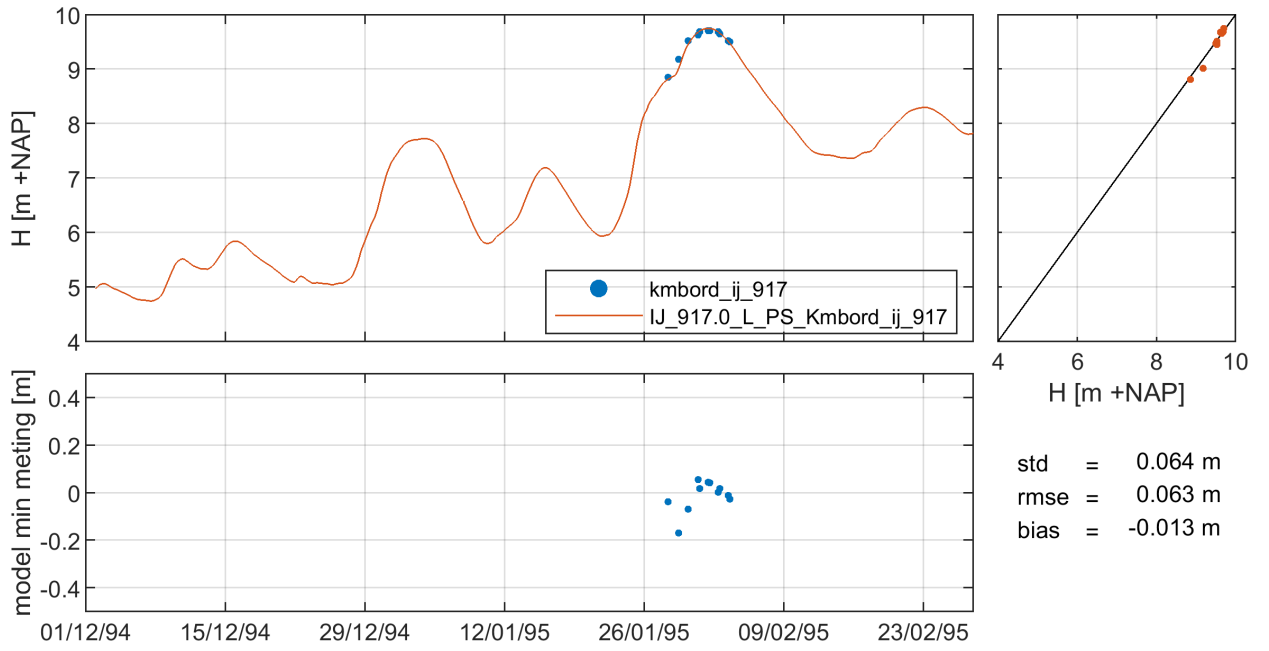


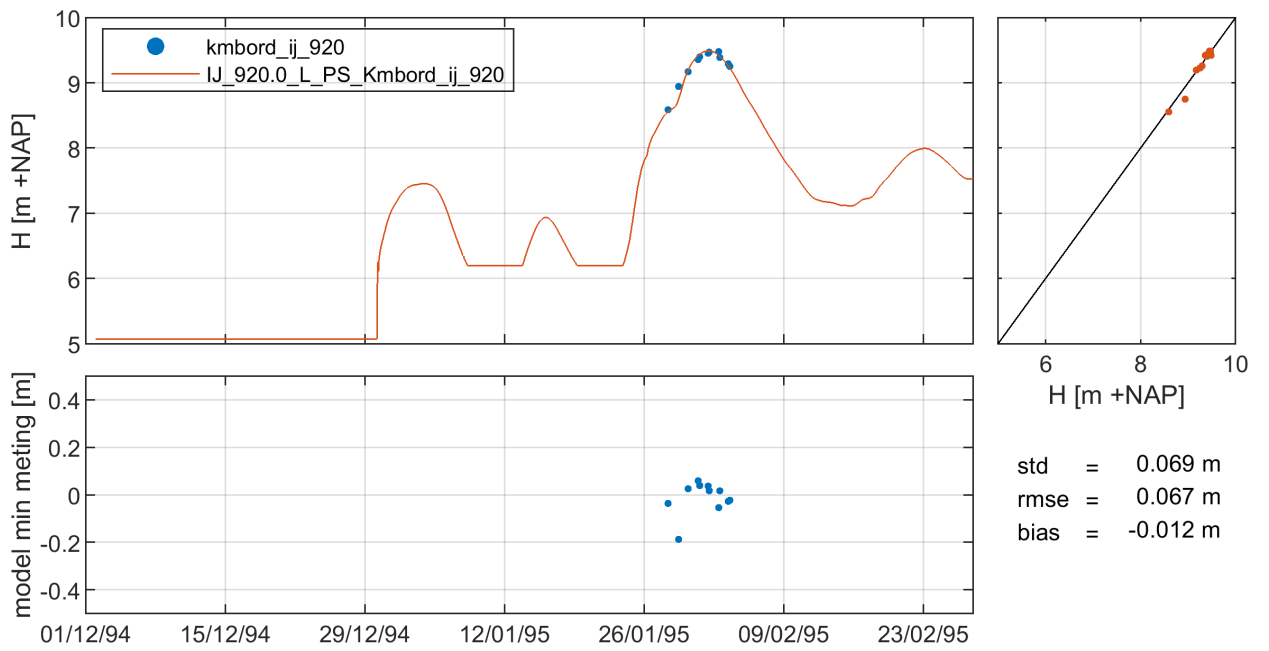
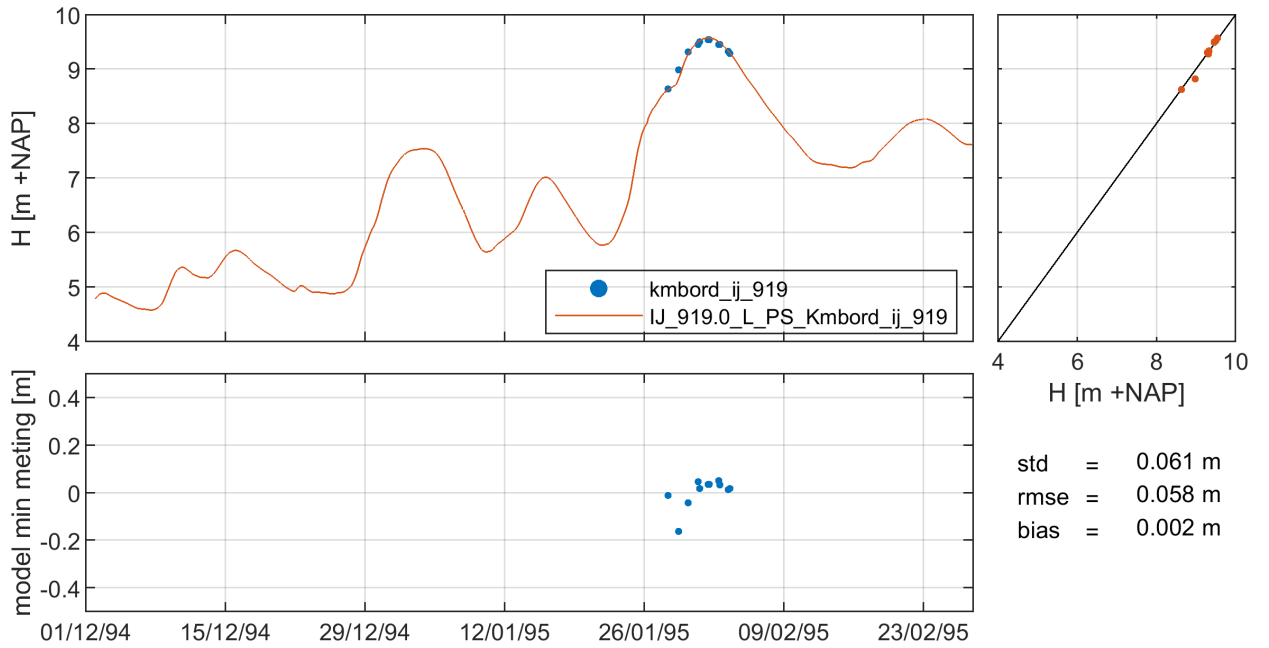


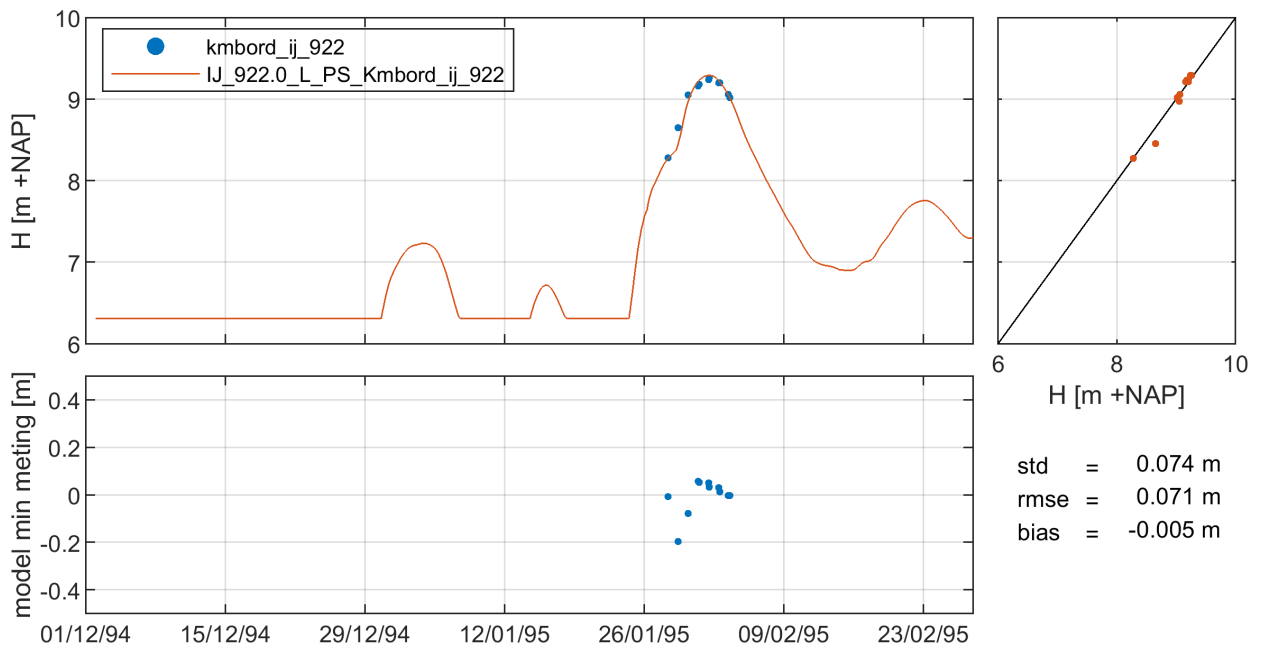
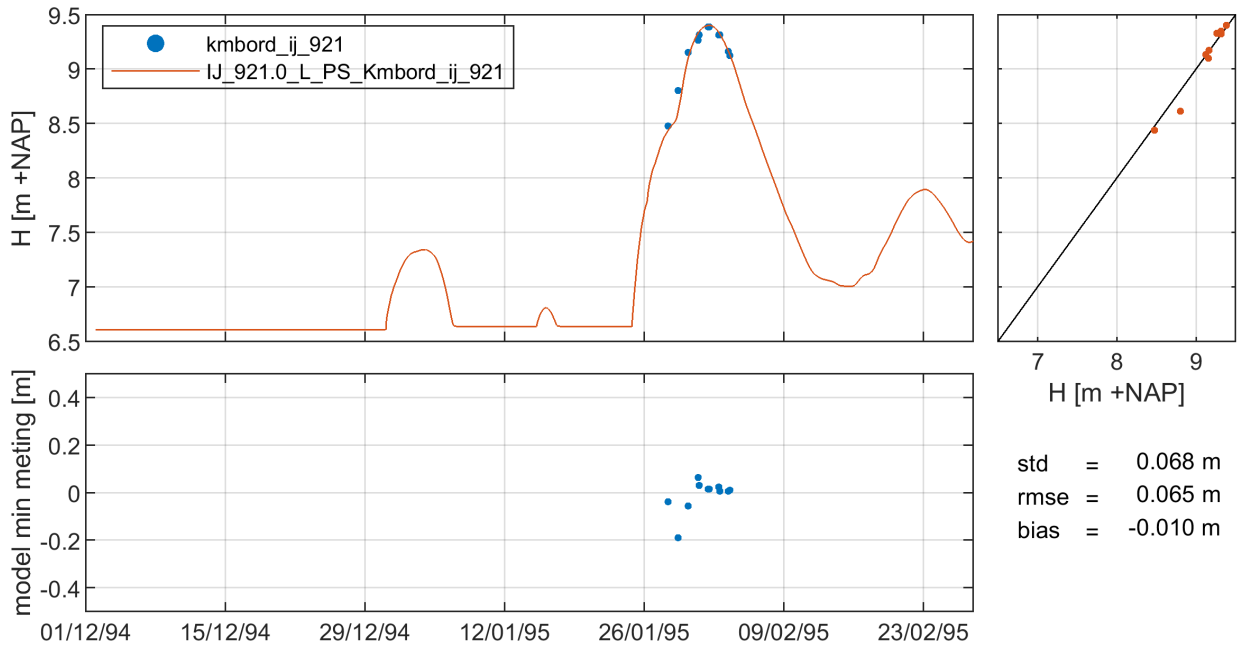


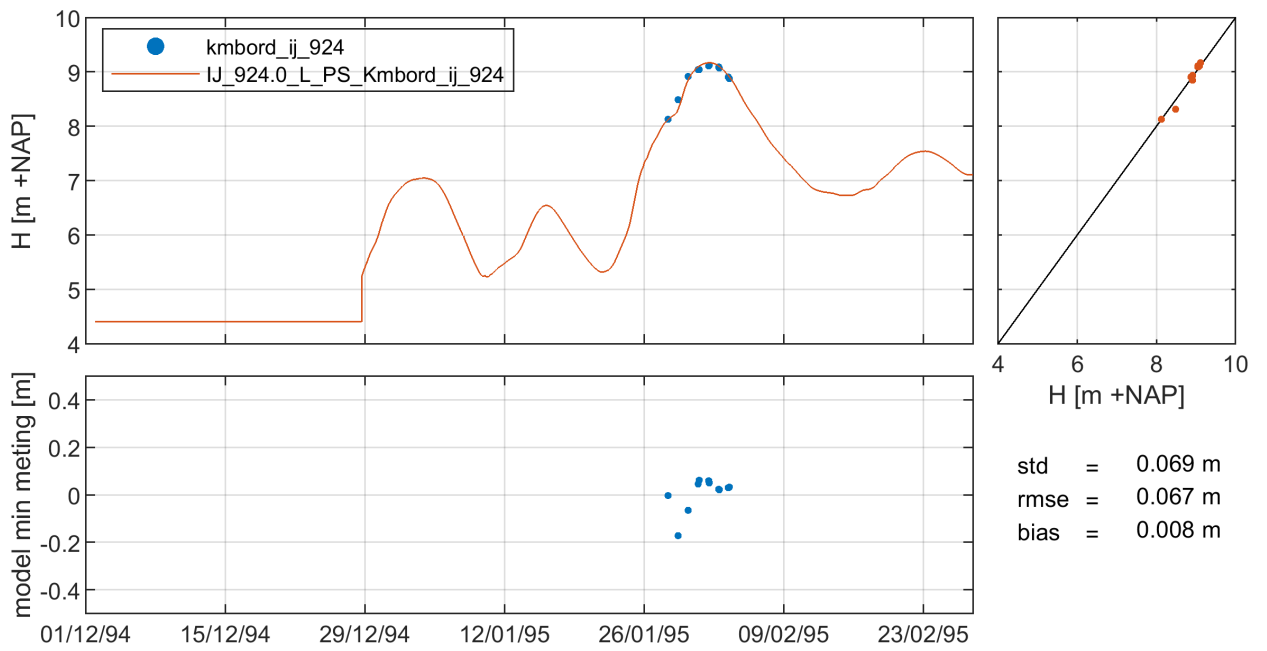
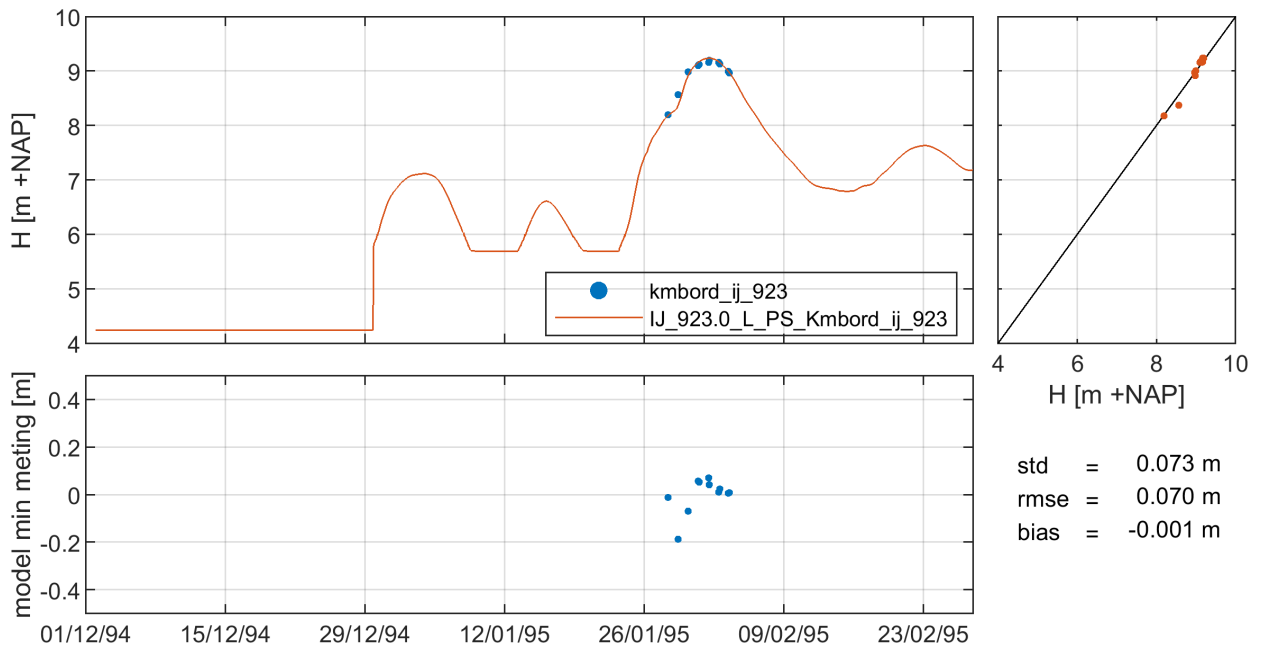


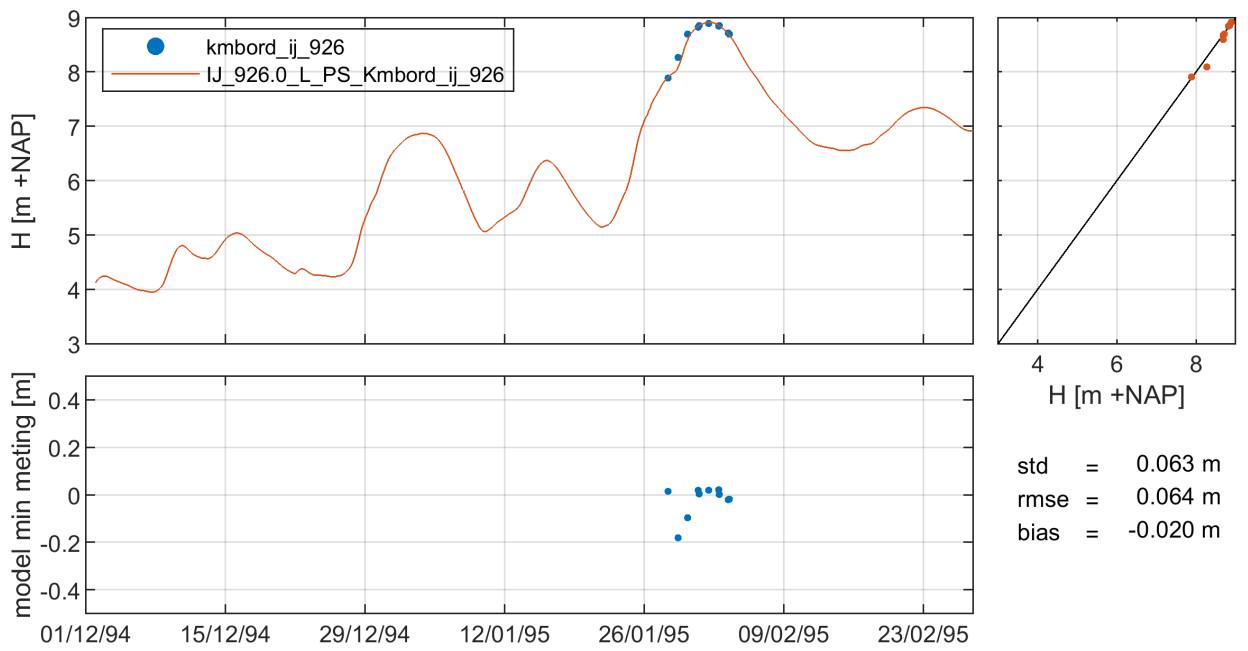
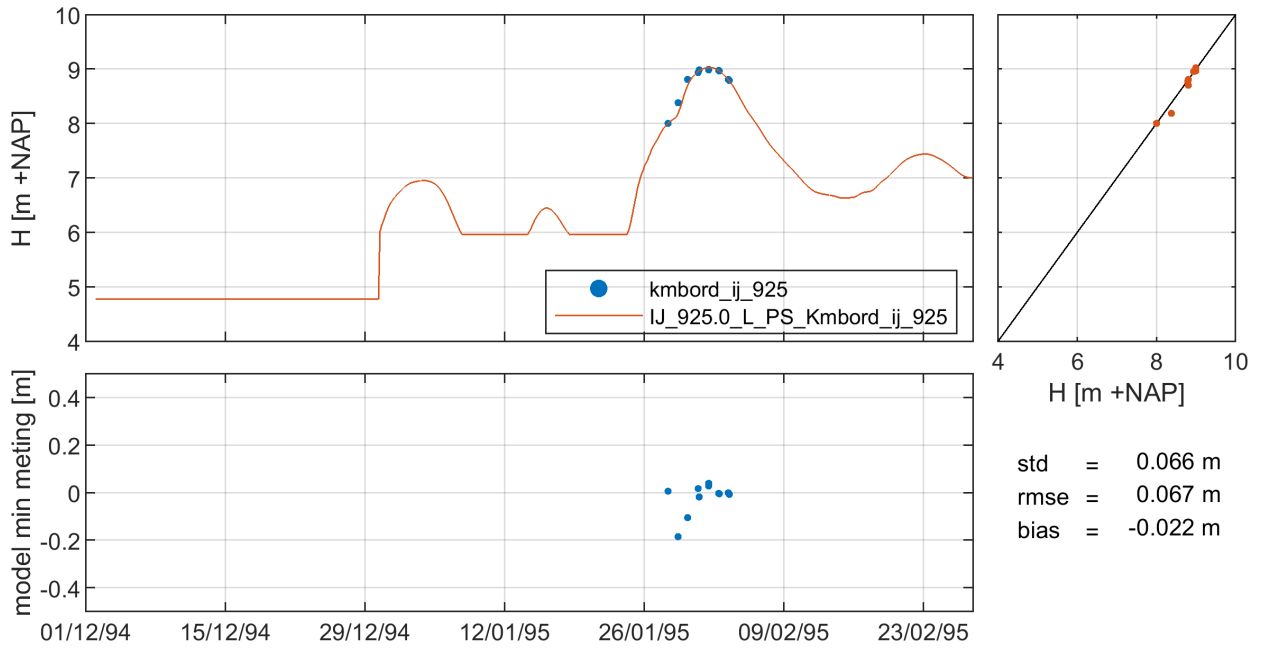


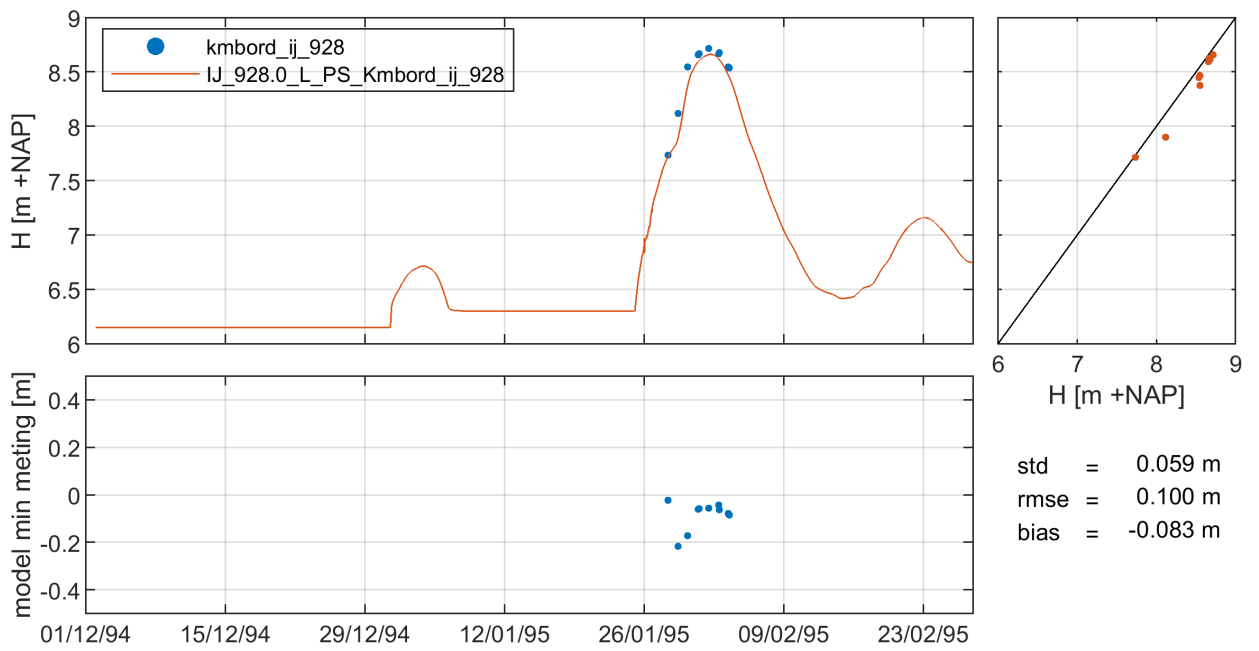
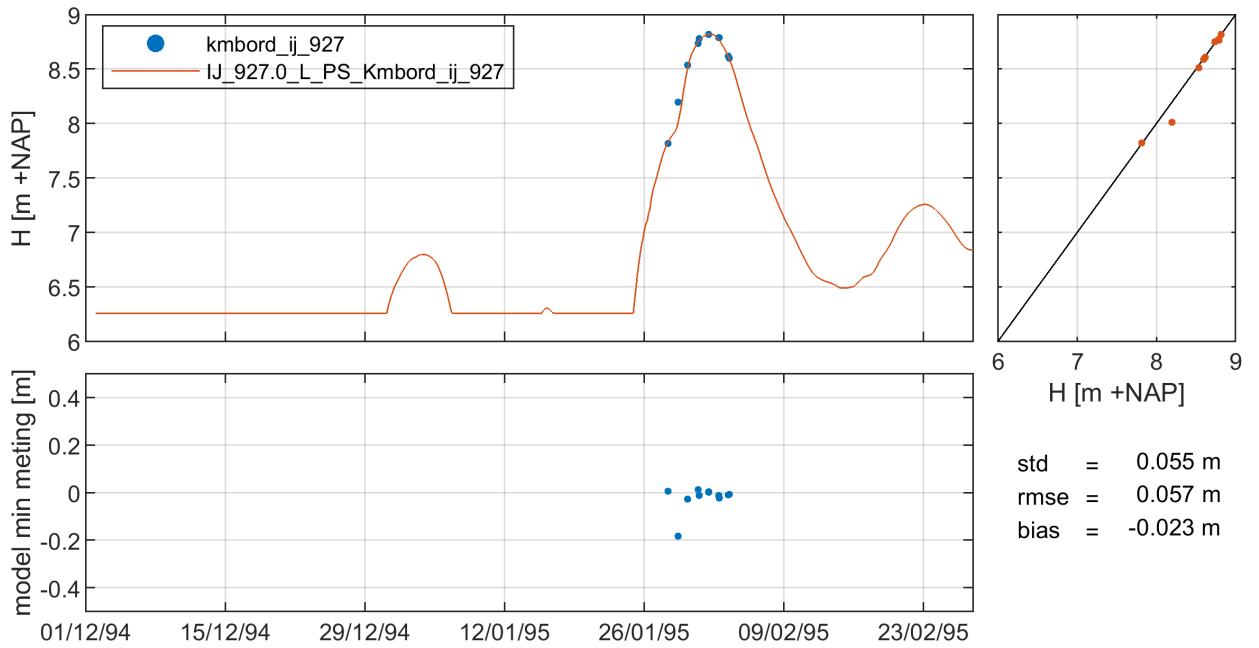


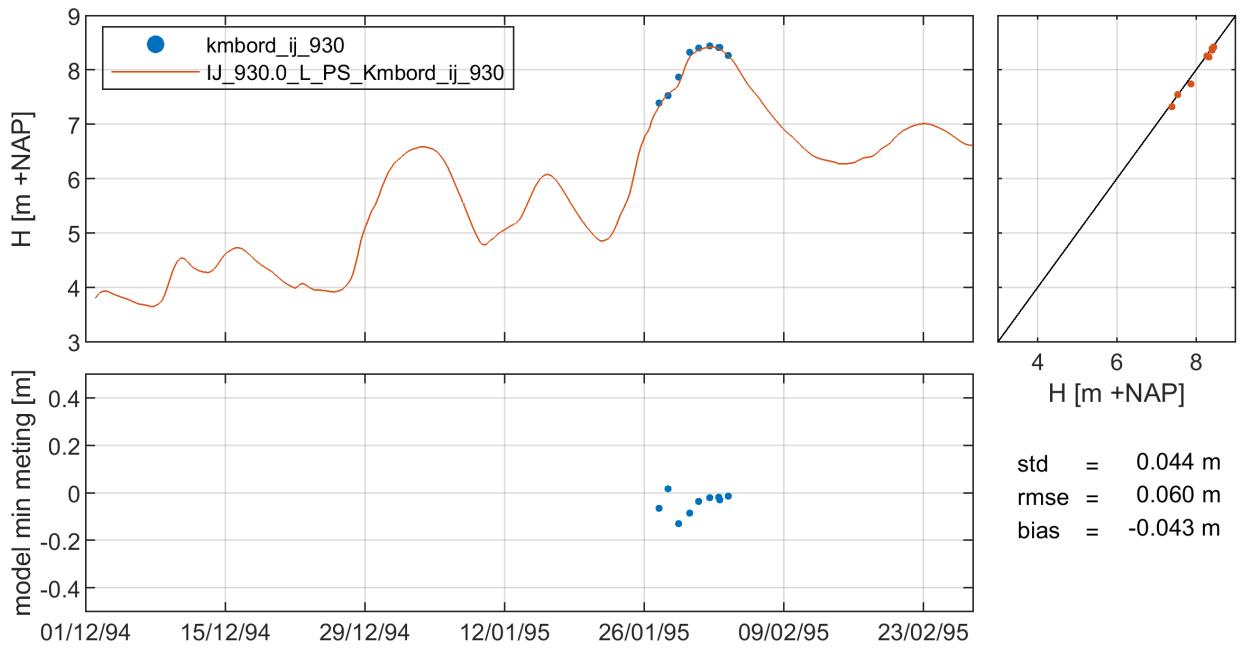
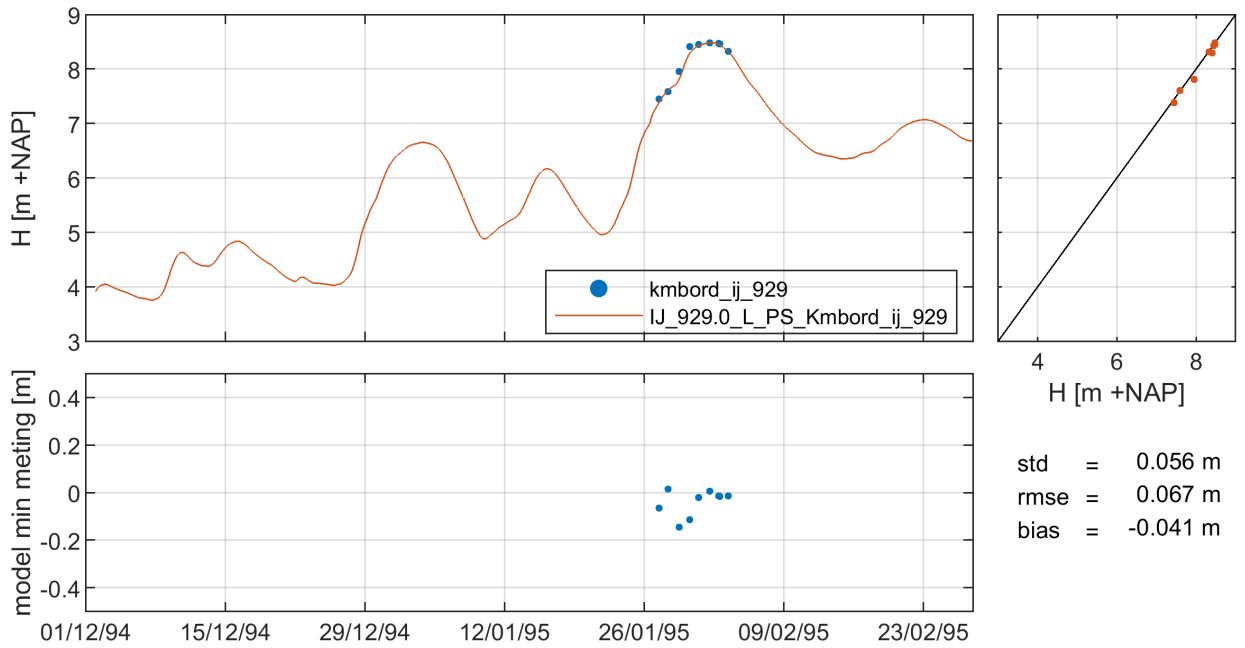


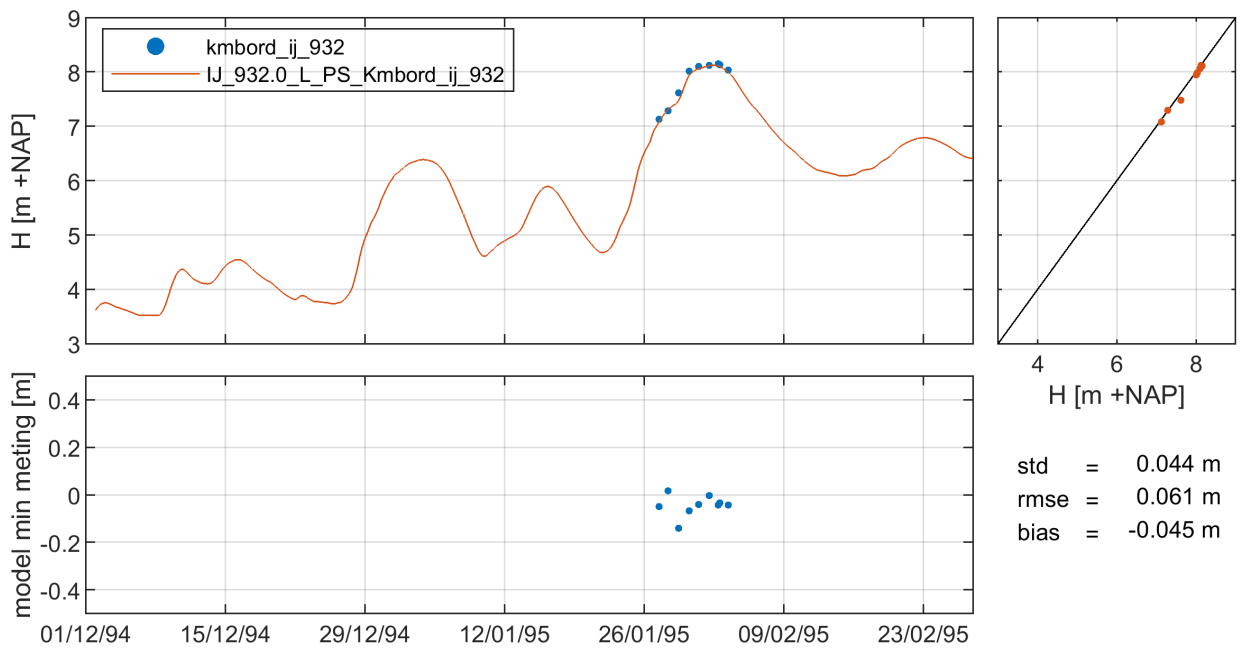
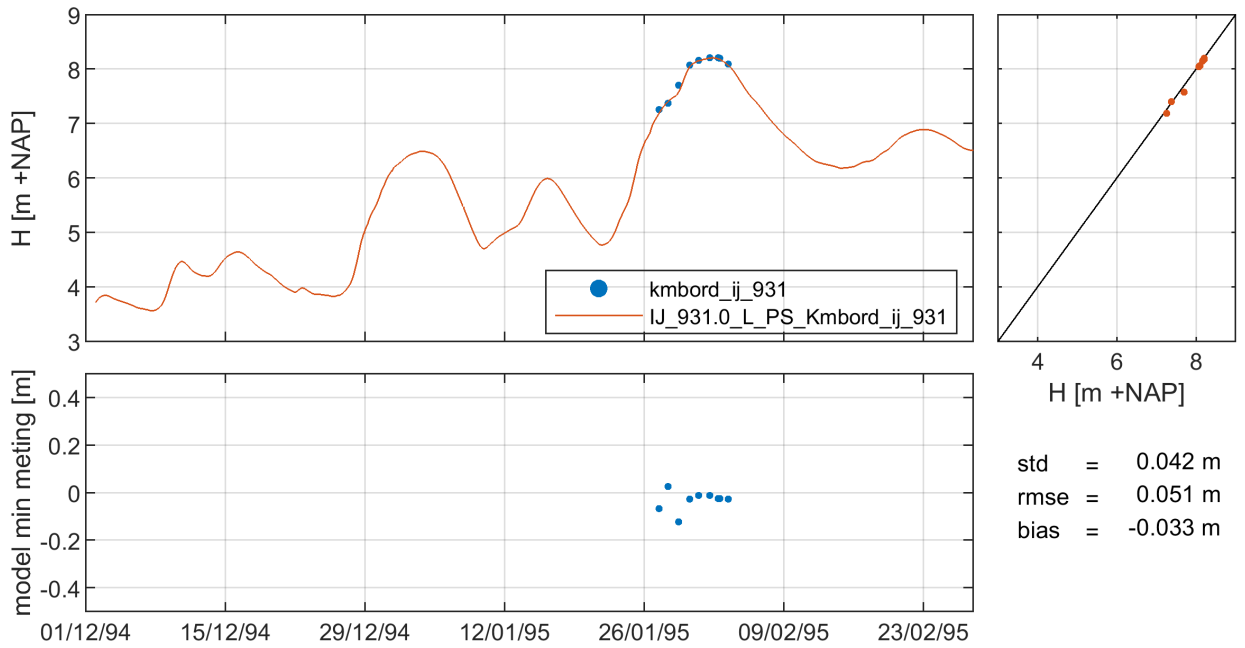




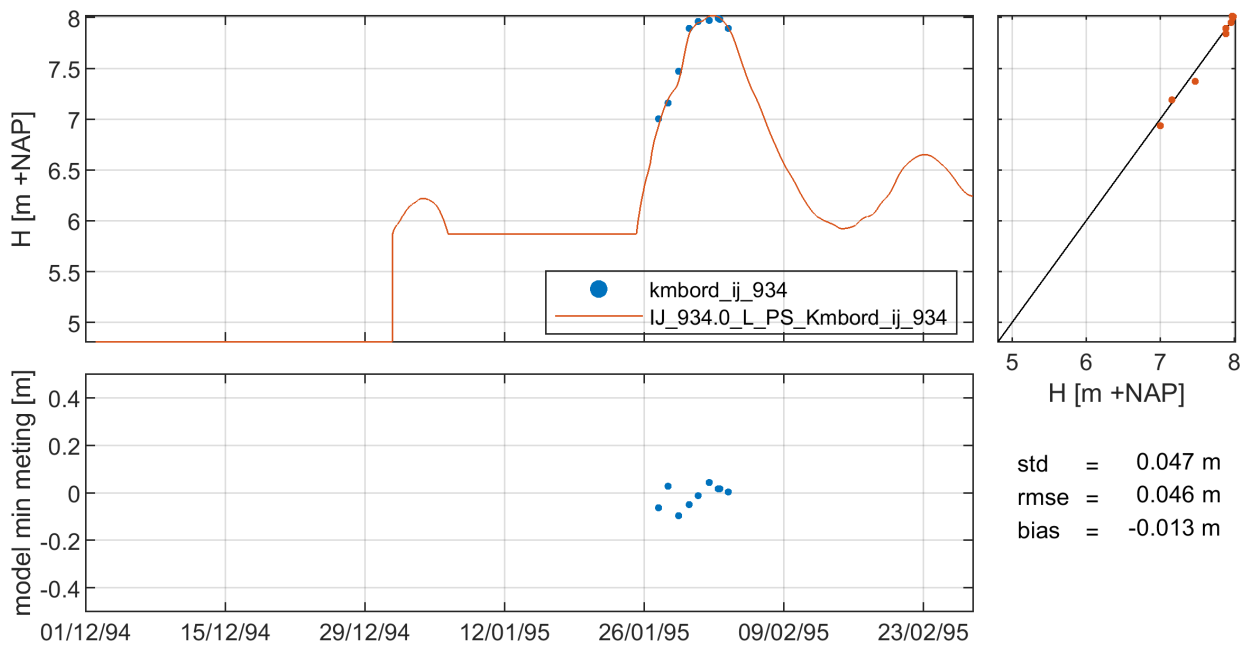
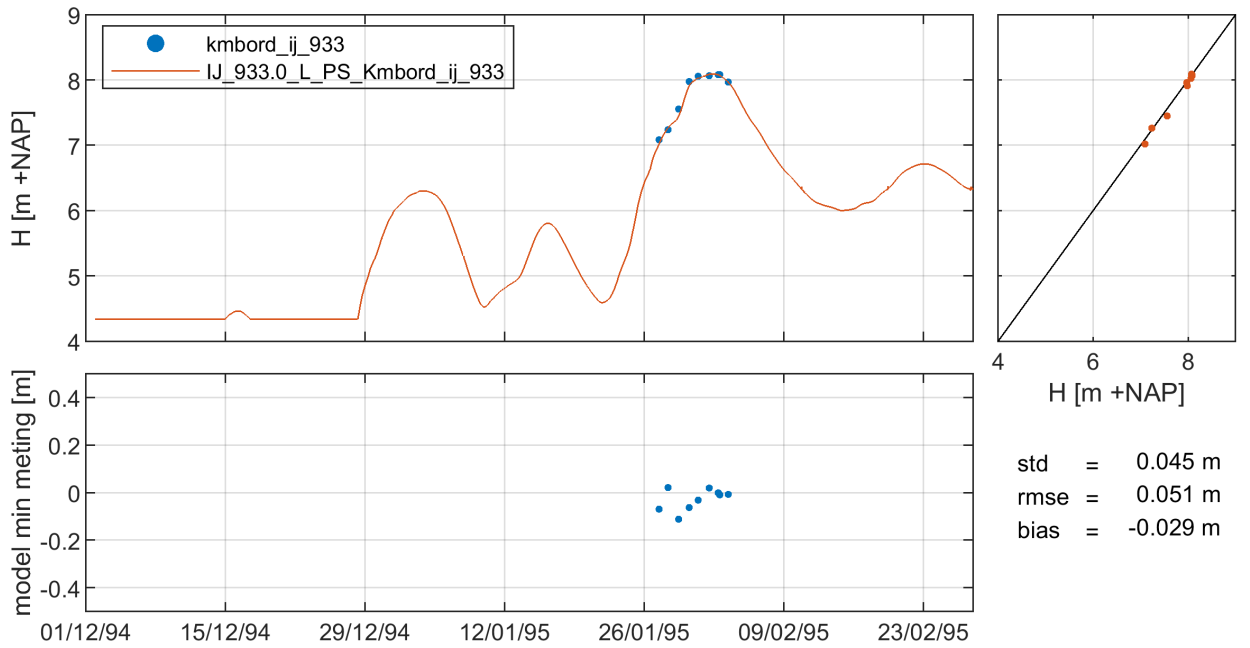


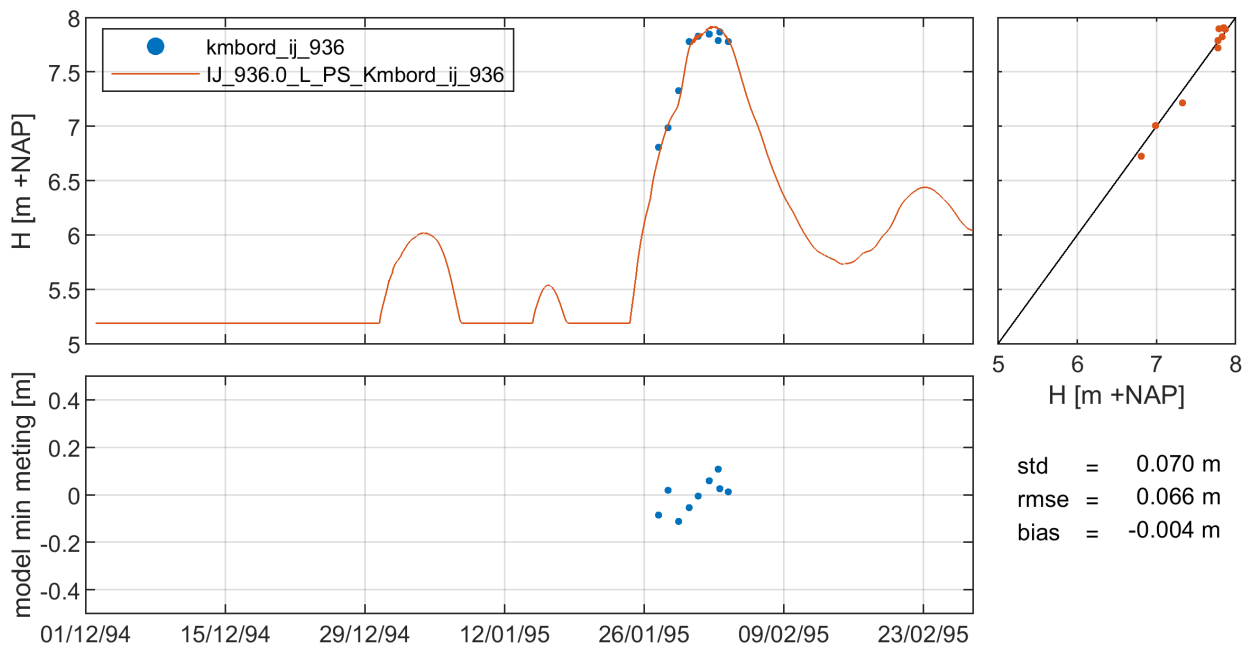
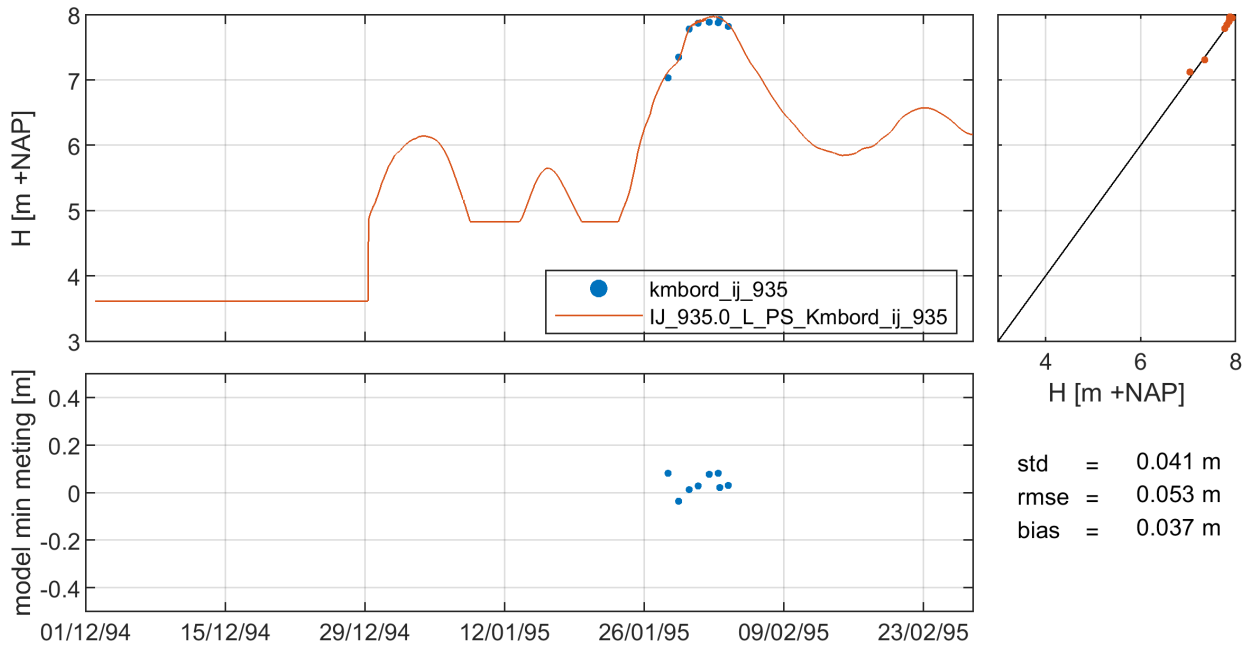


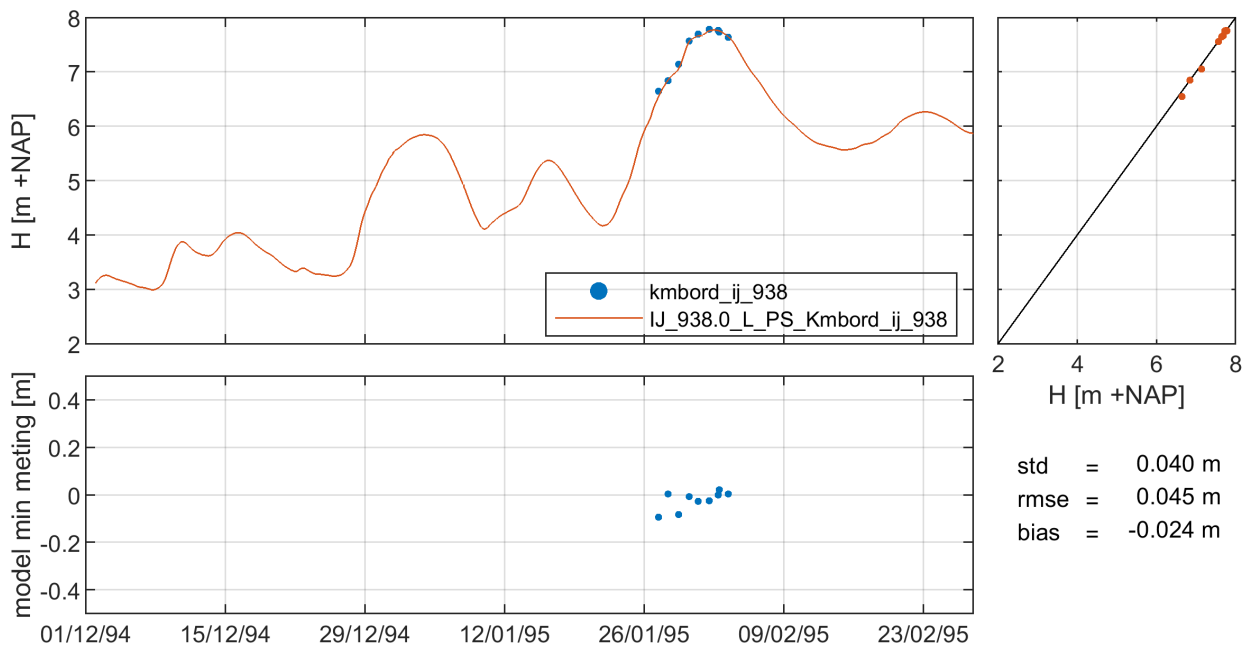
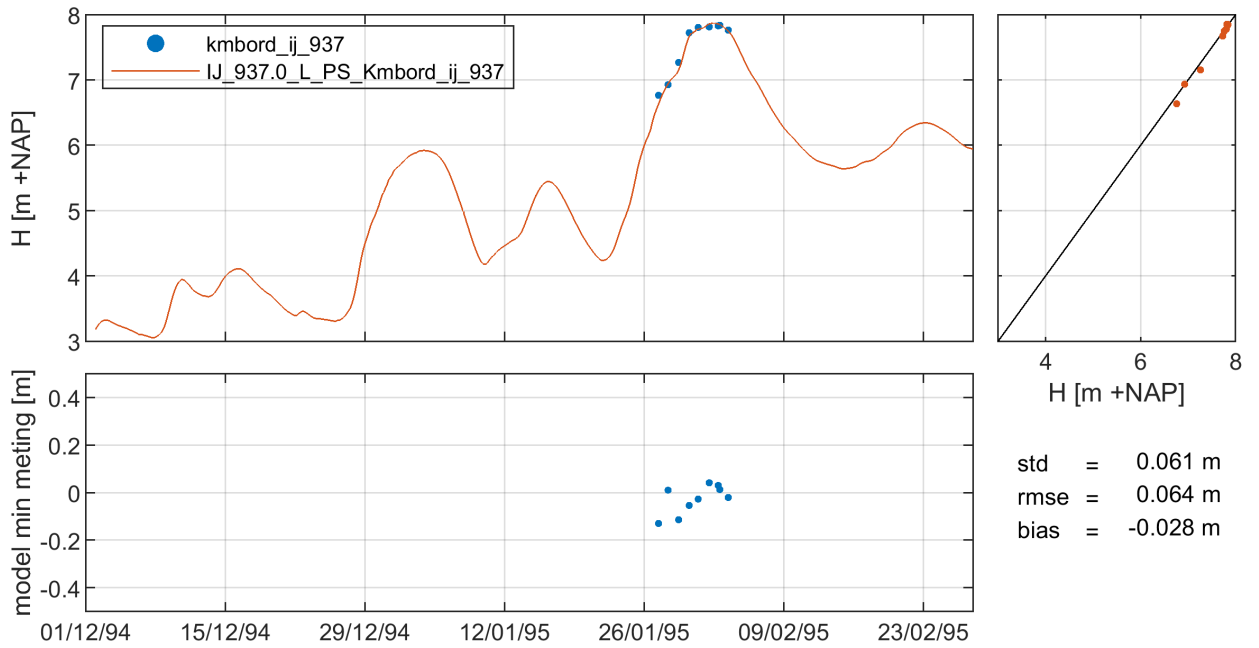


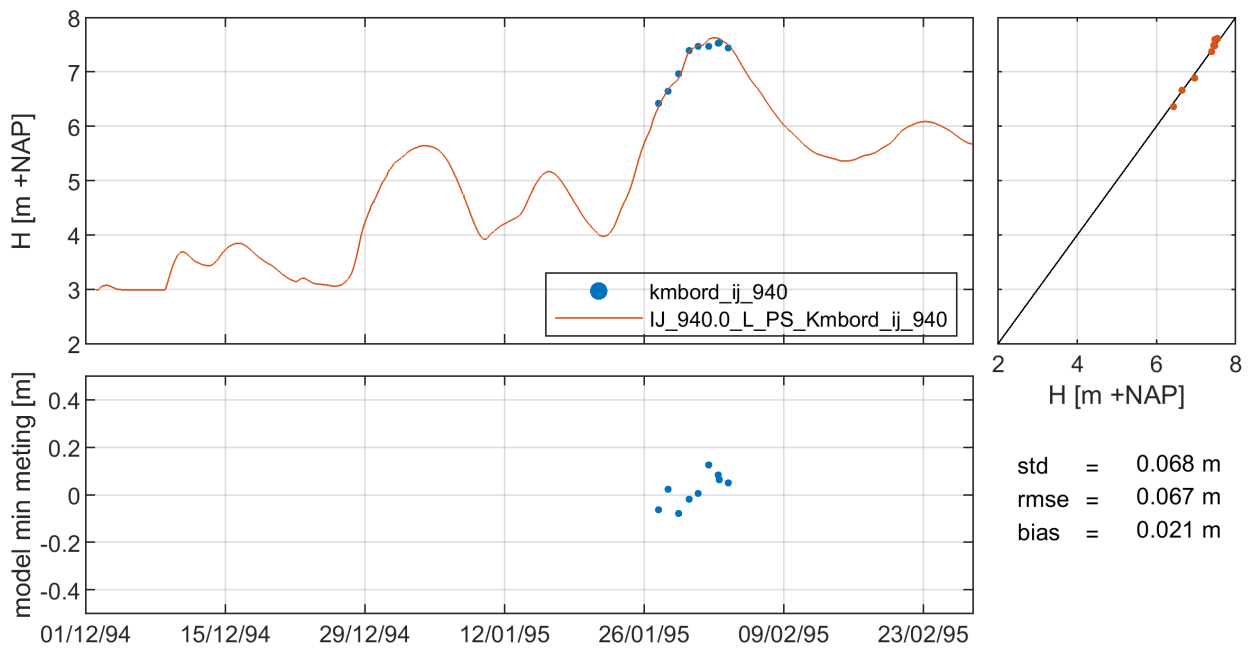
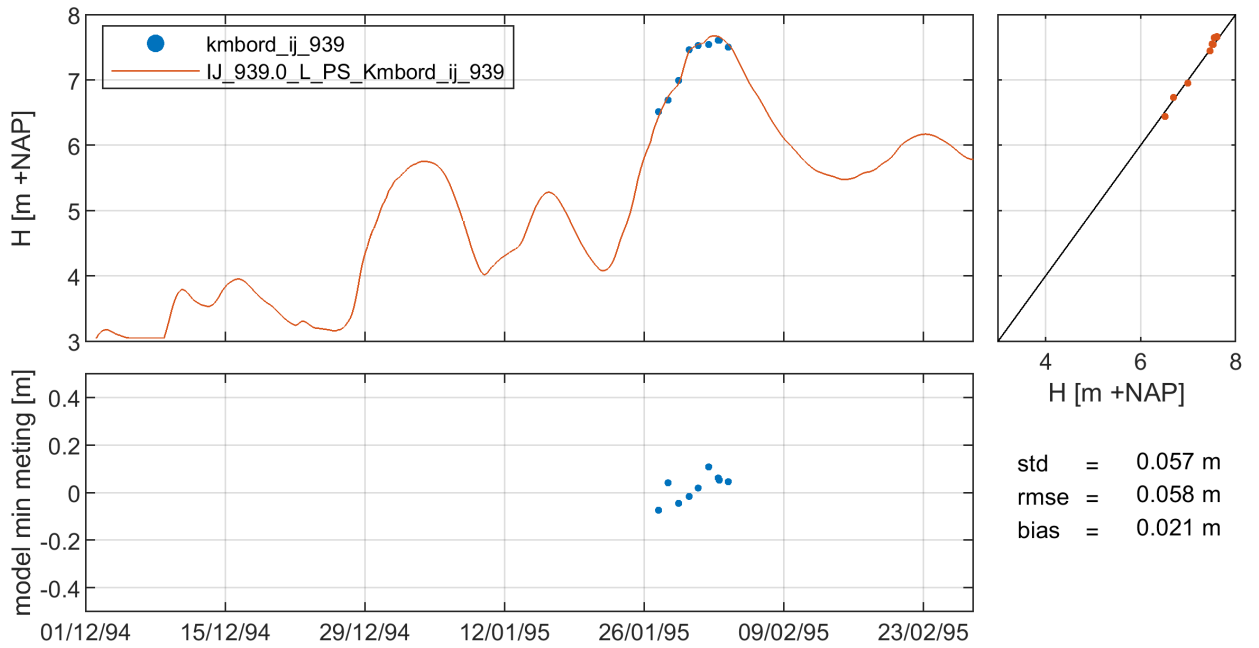


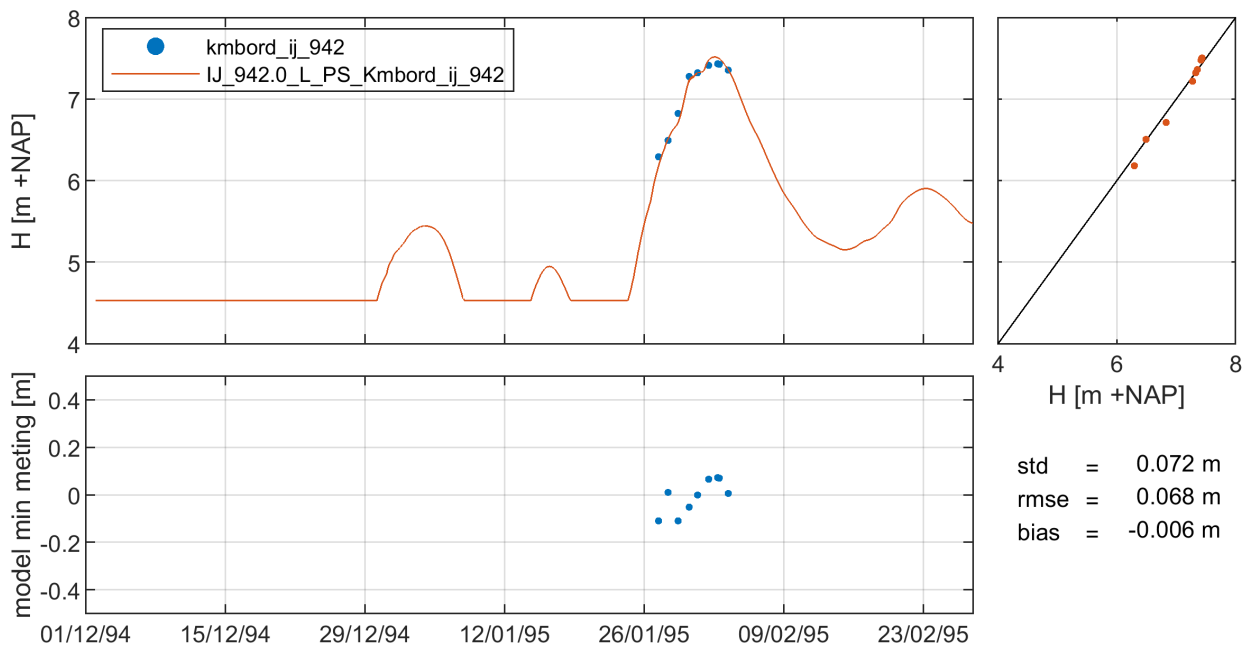
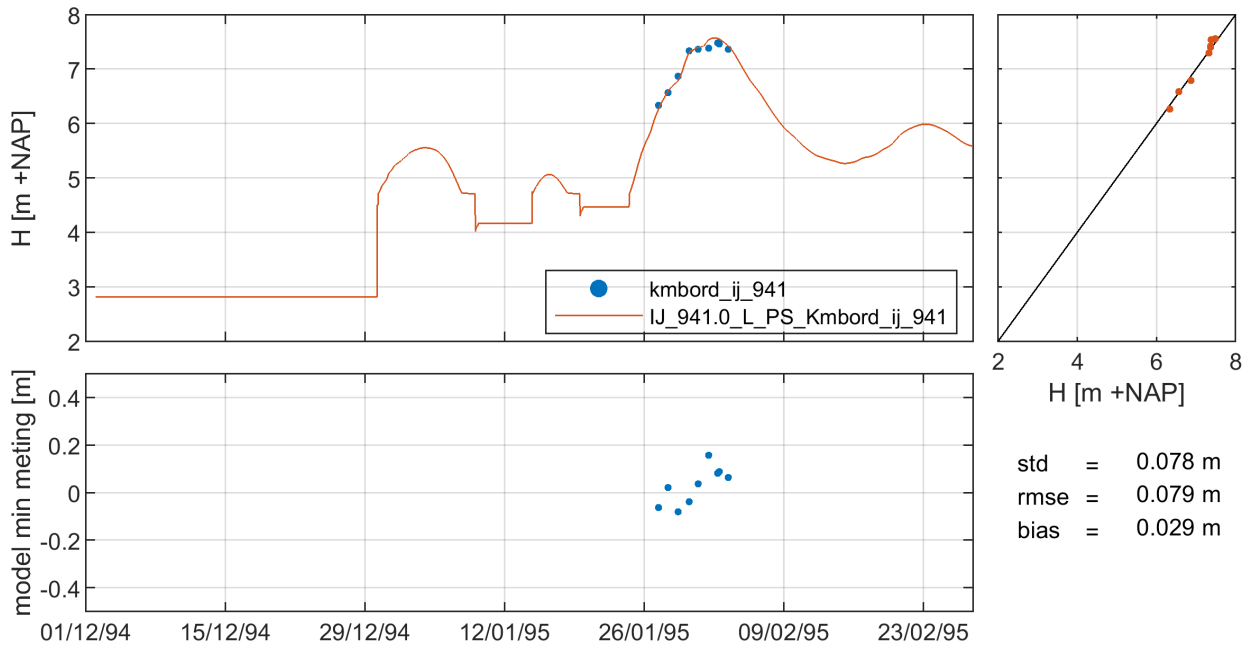


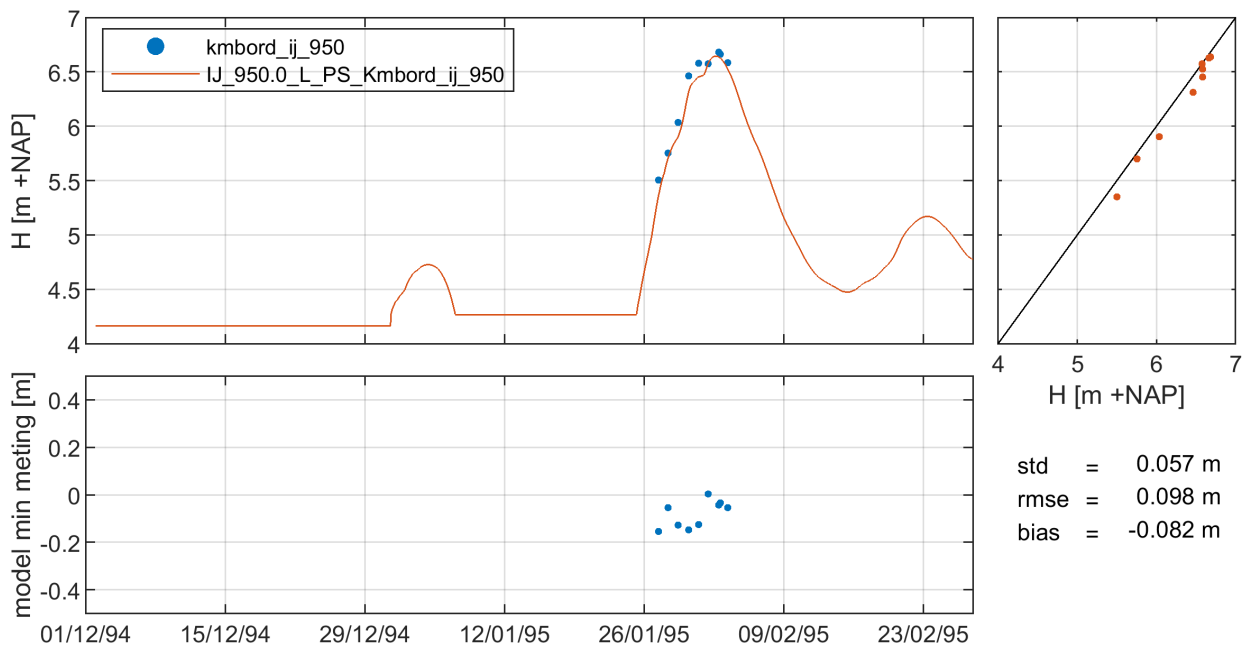
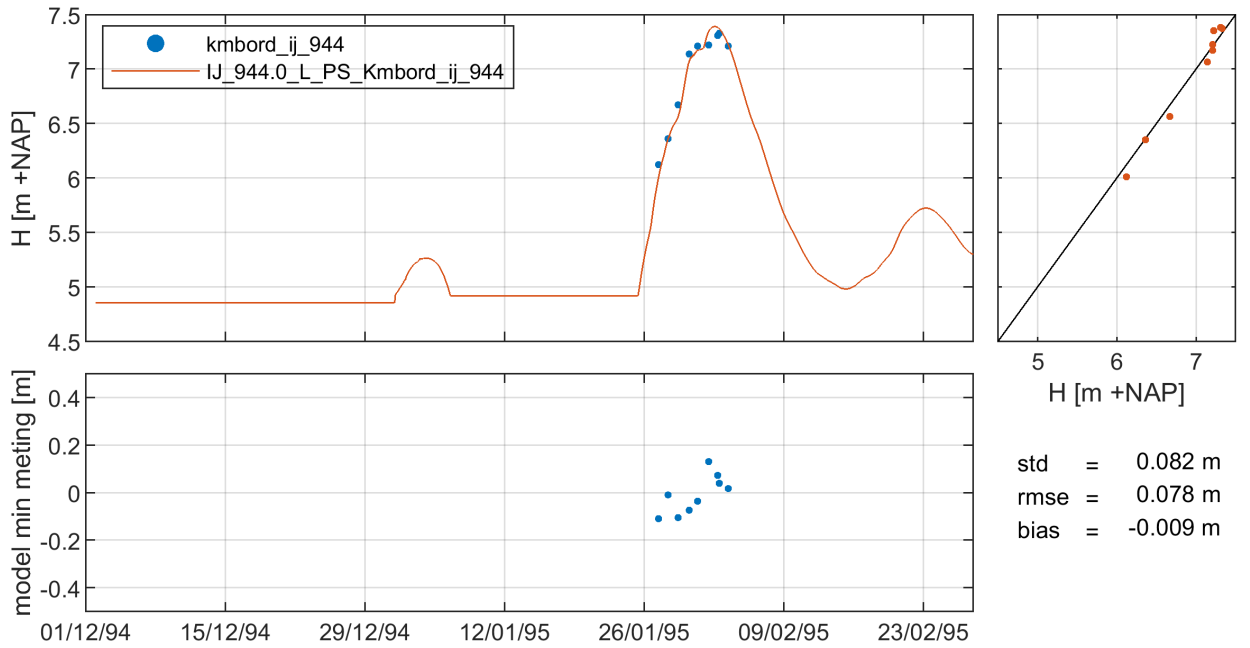


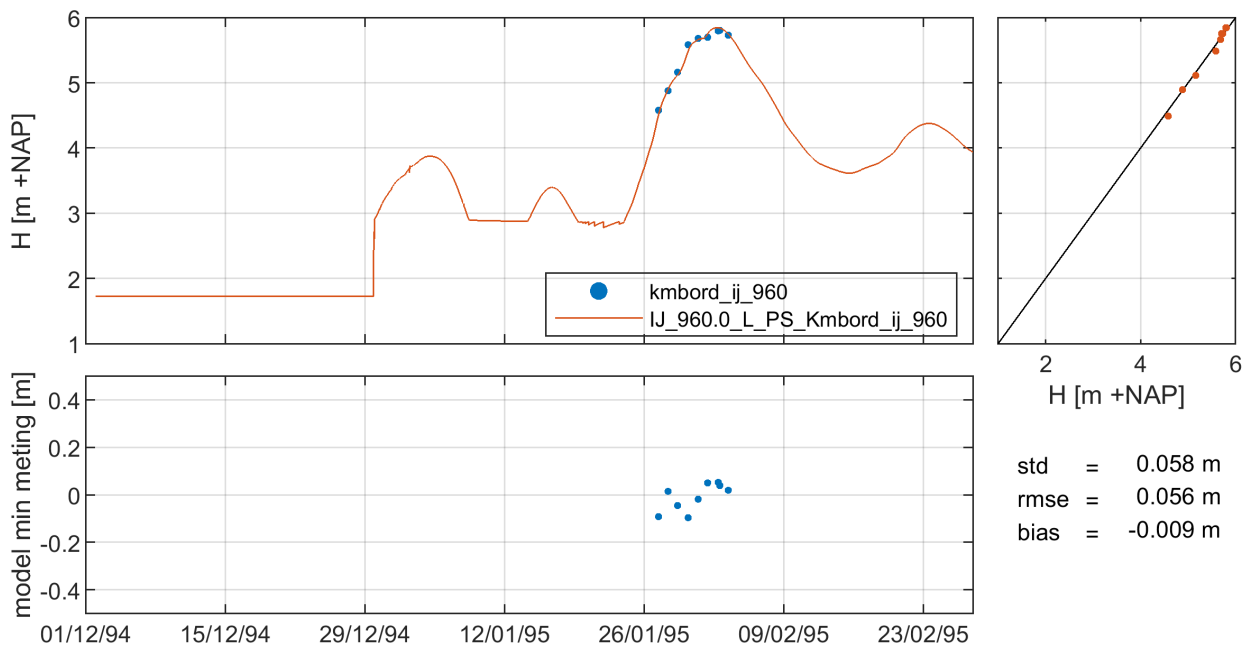
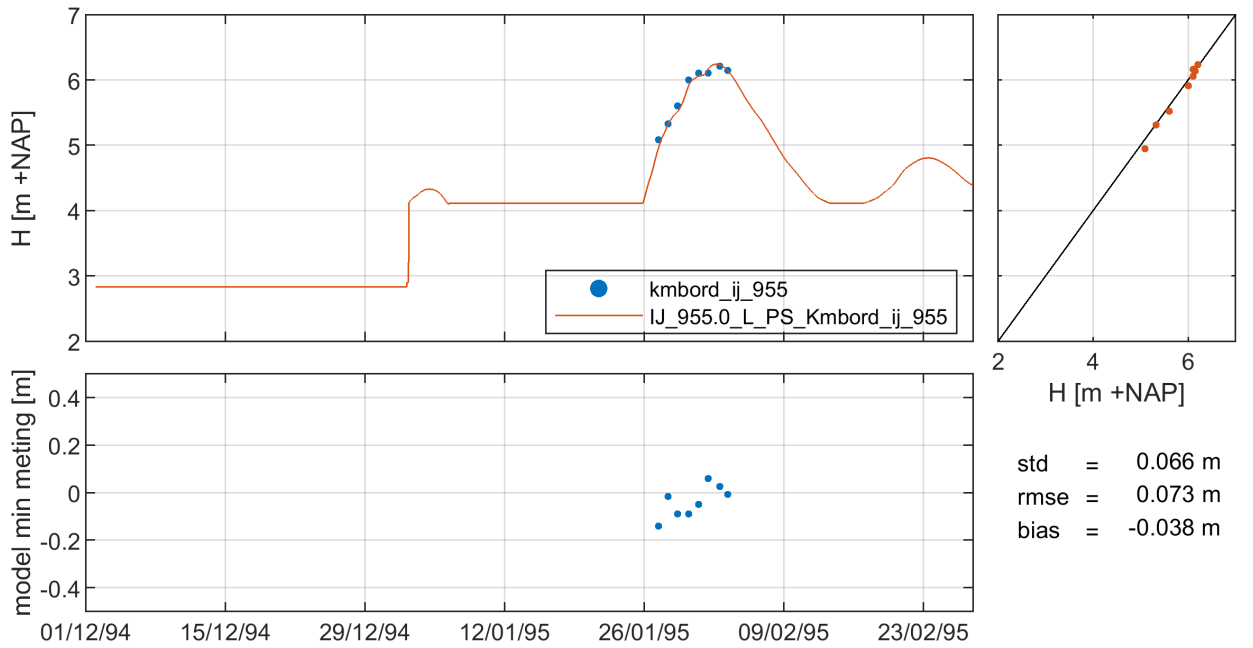


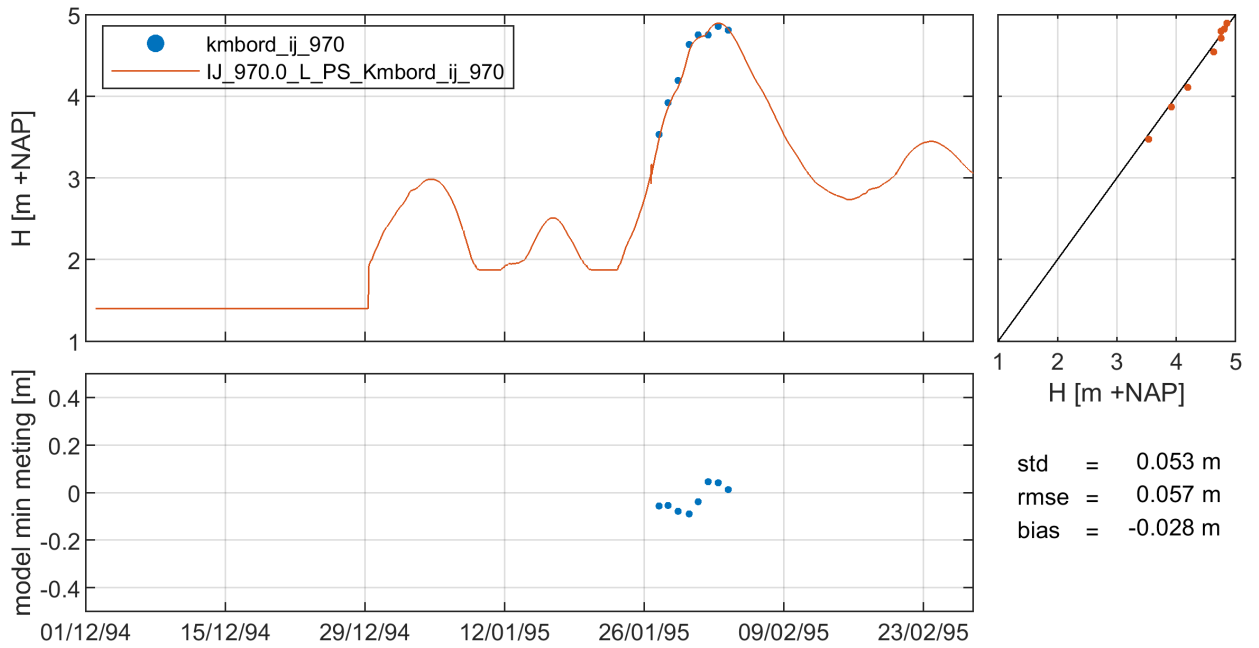




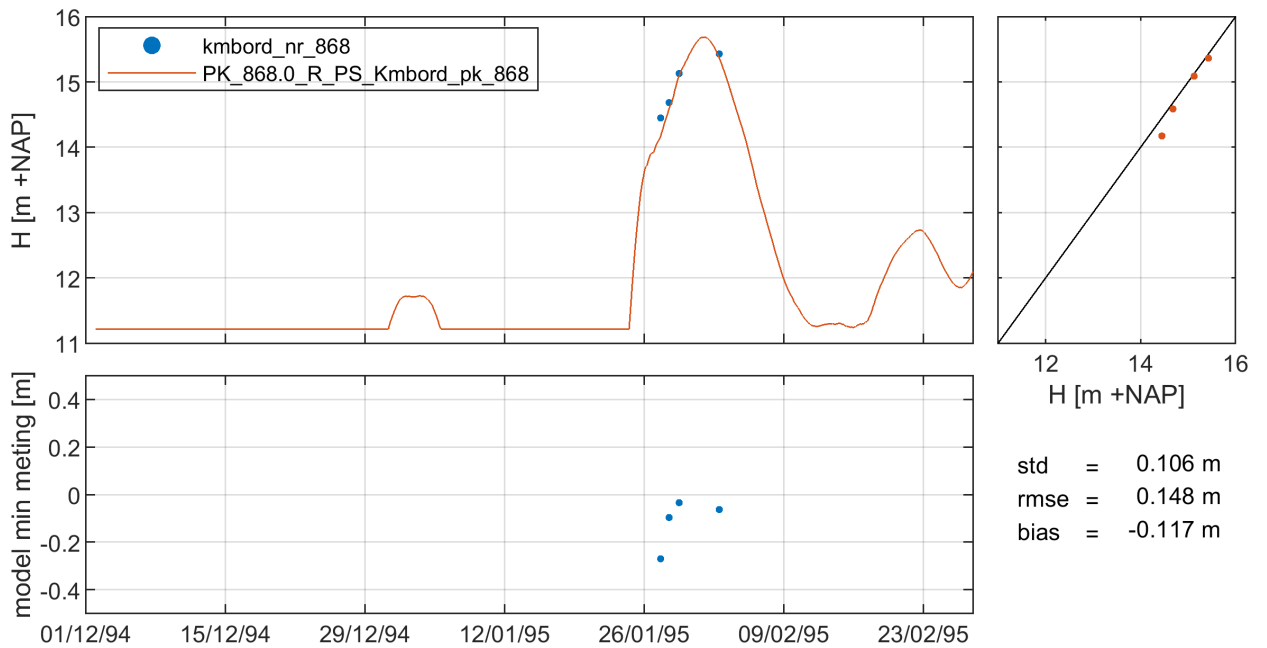




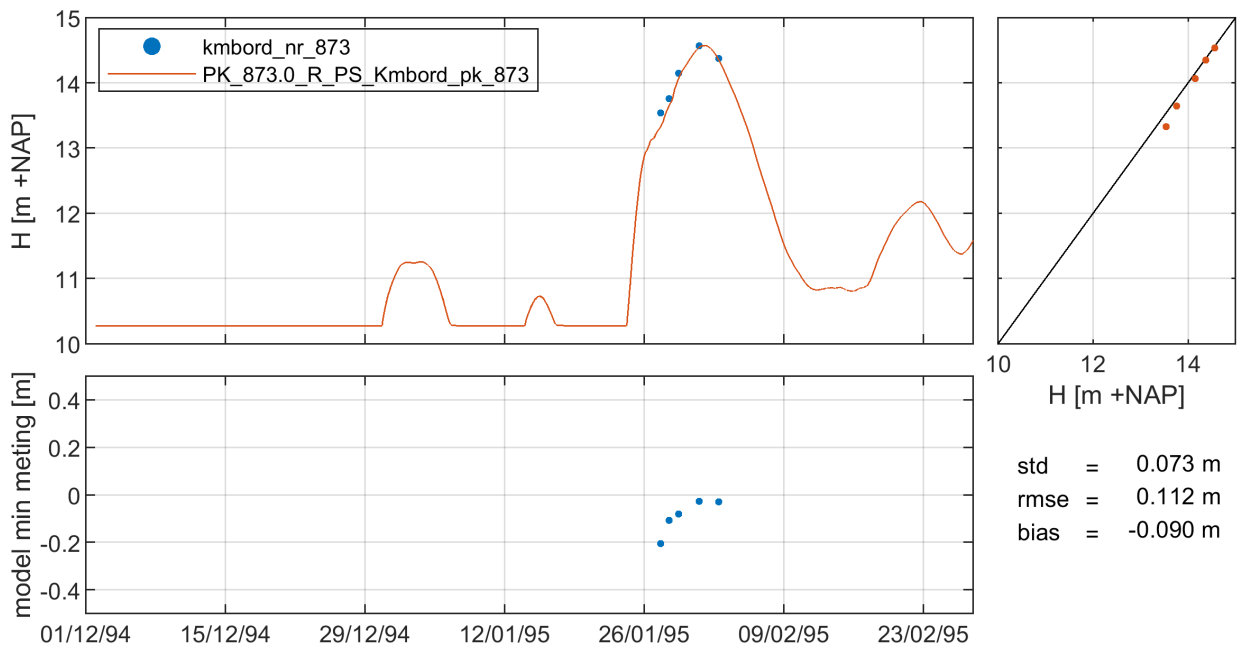
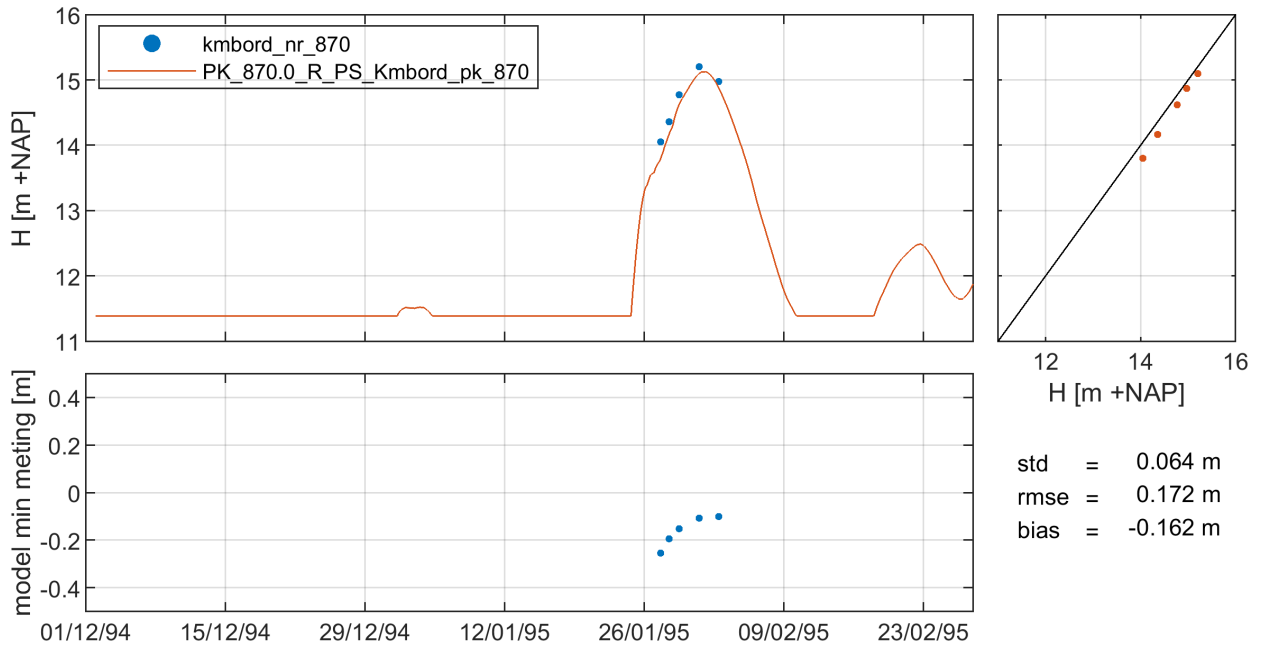


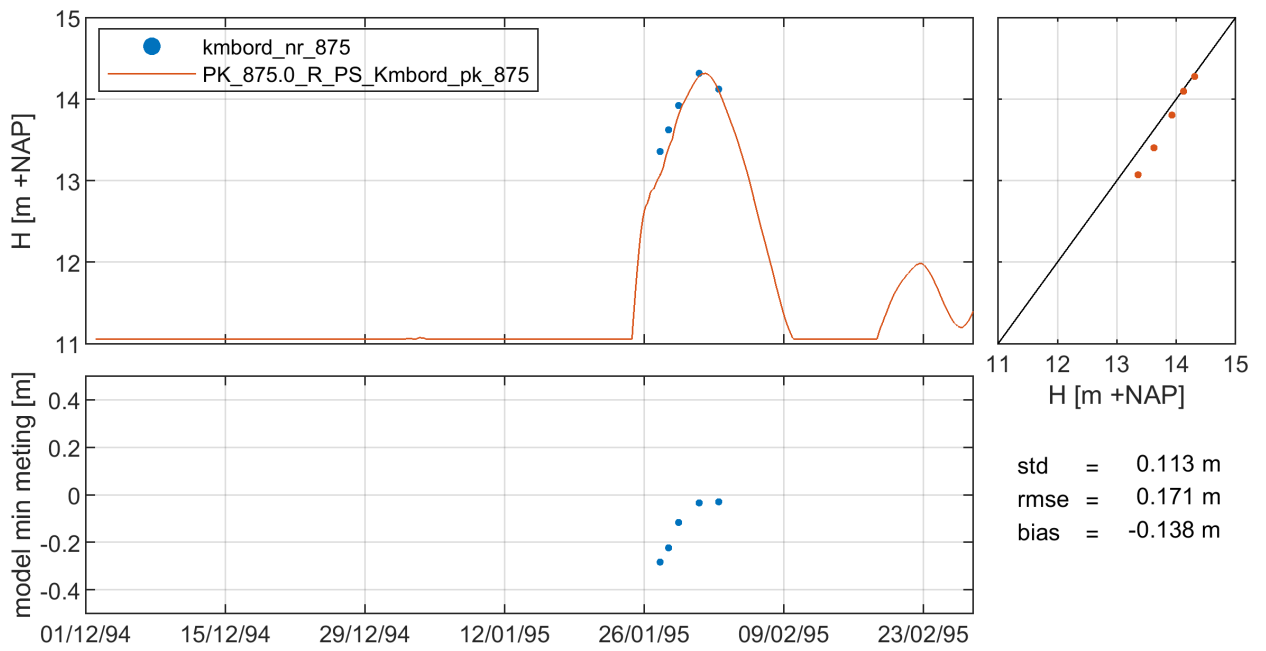
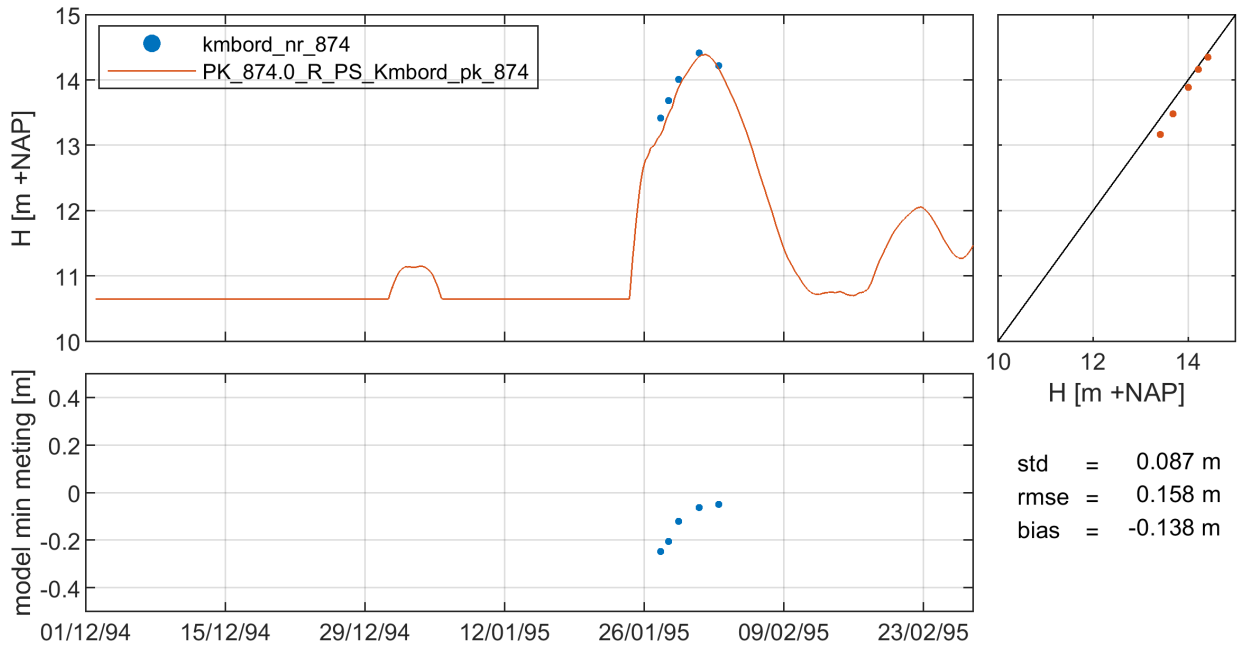


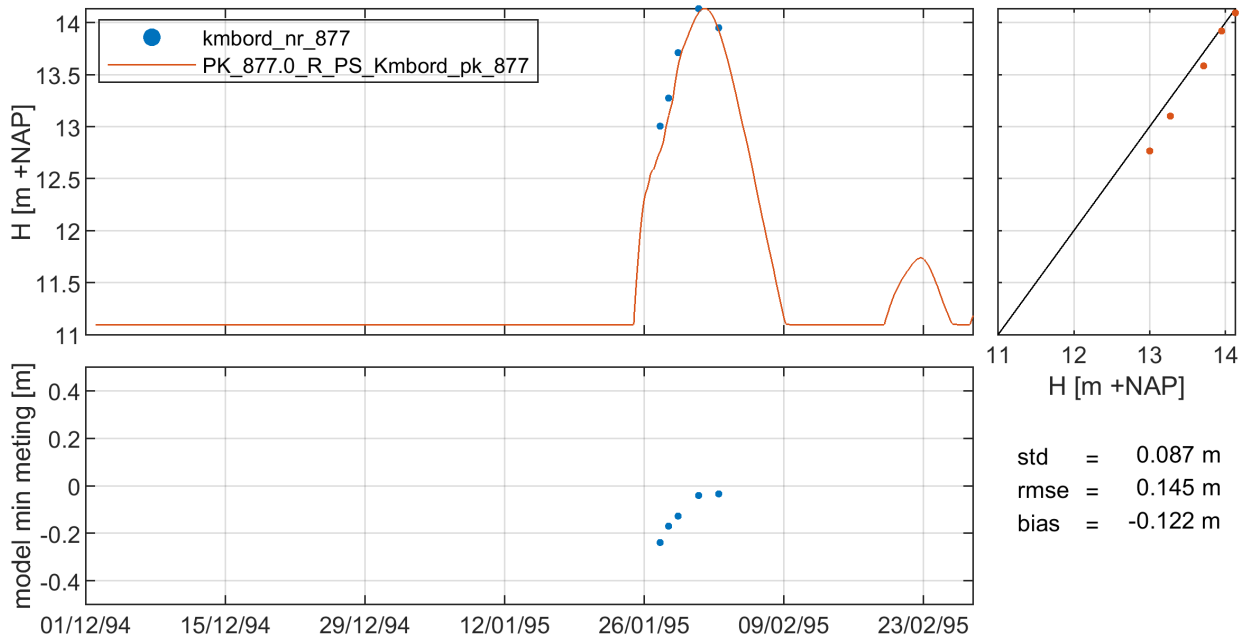
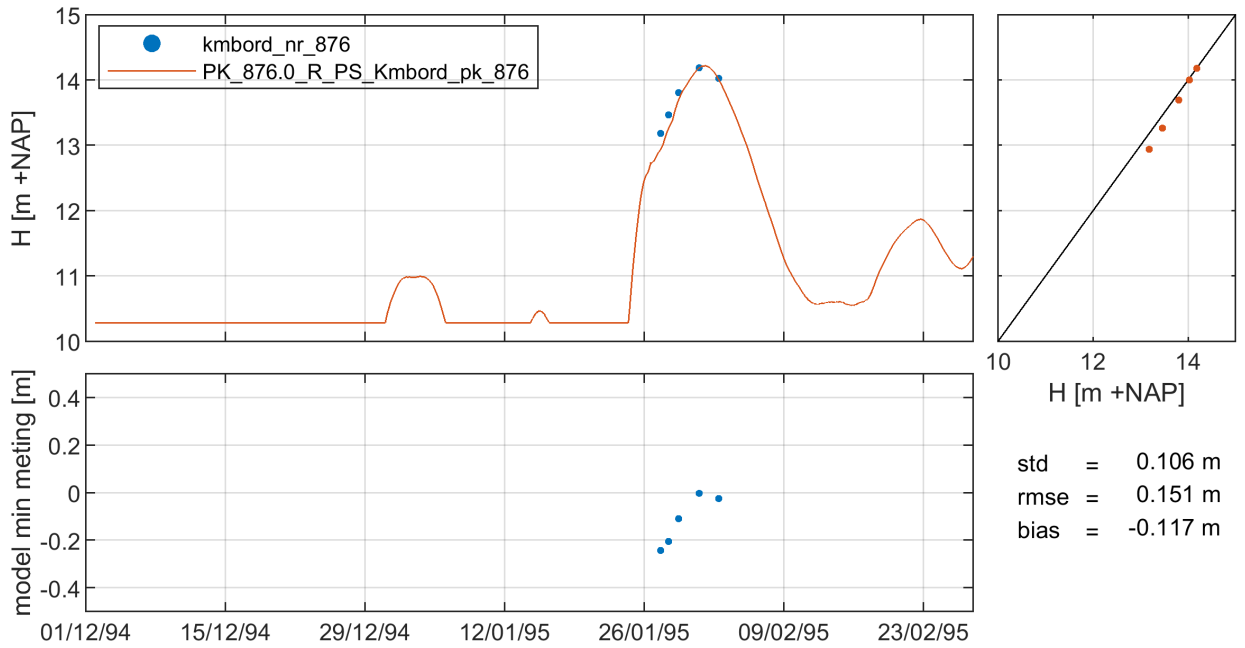
### I.2.6 Km-borden Neder-Rijn

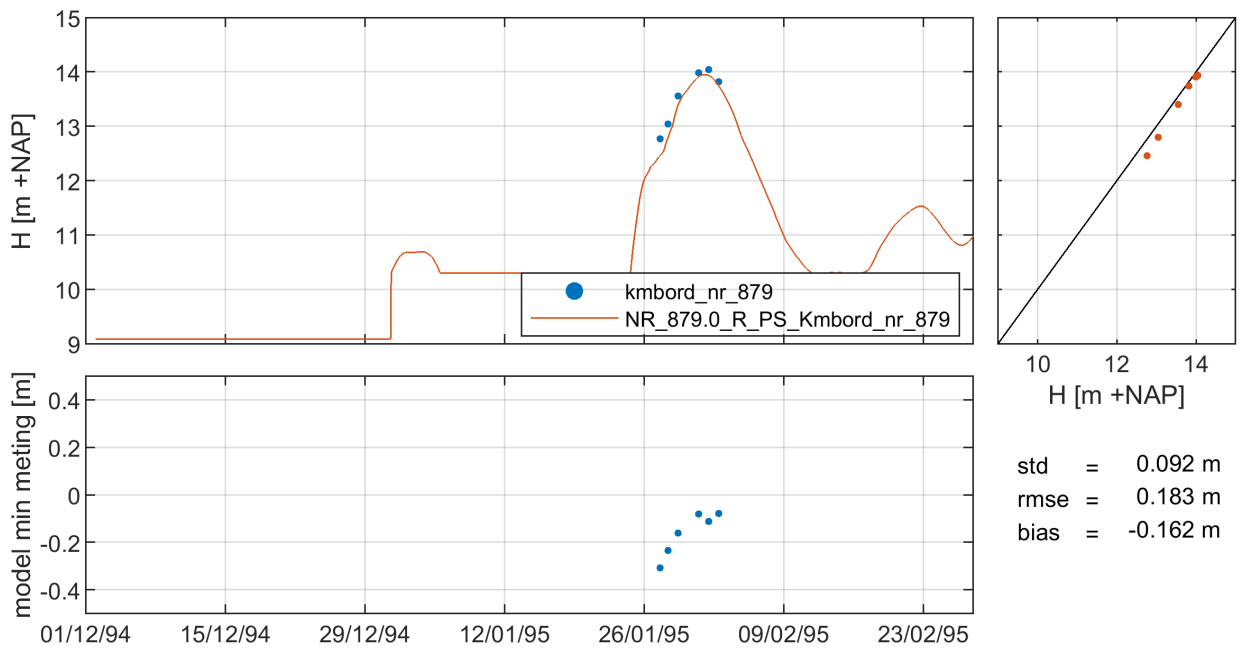
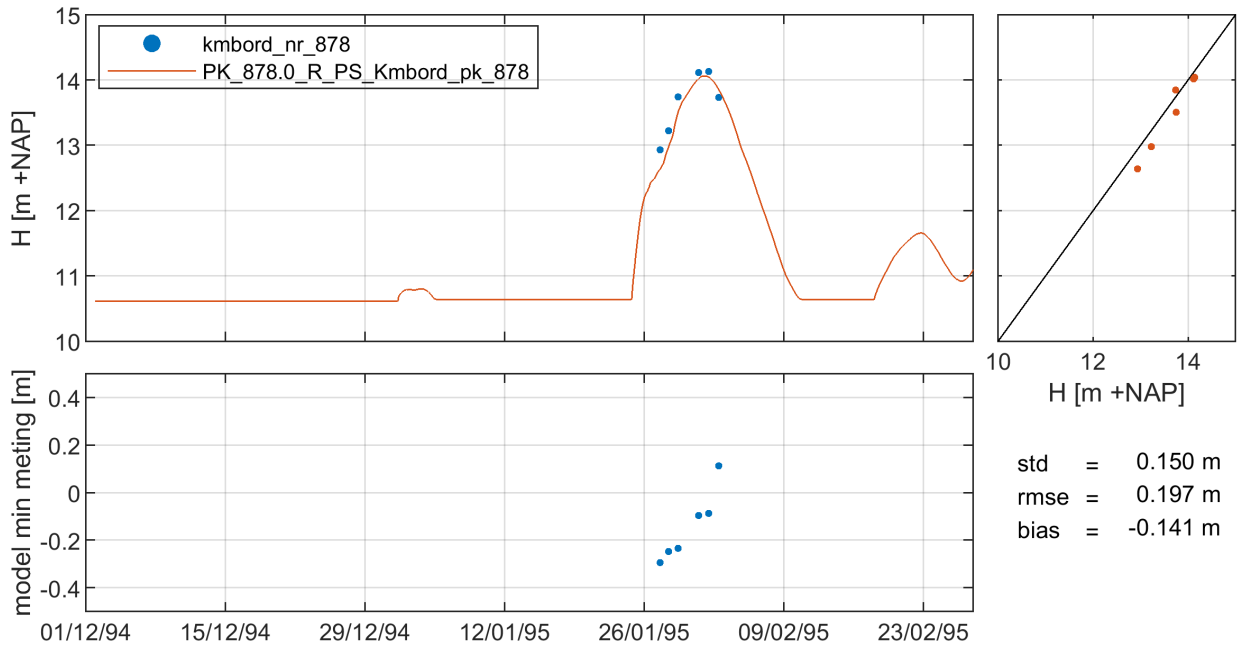


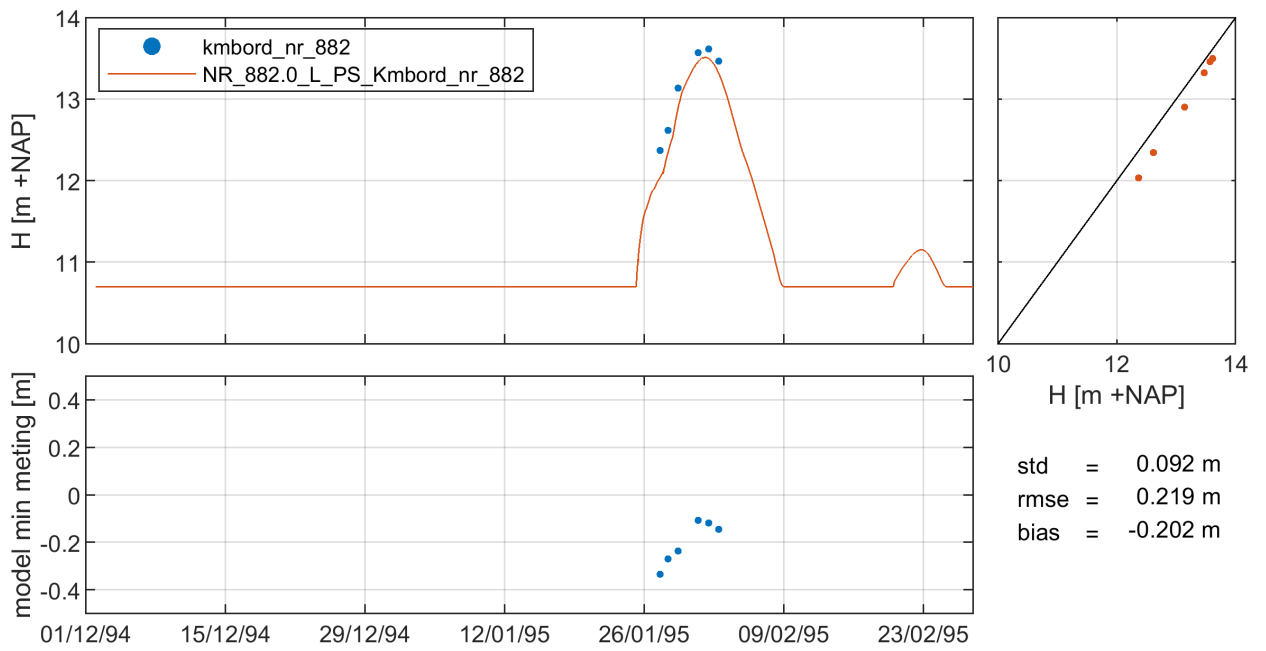
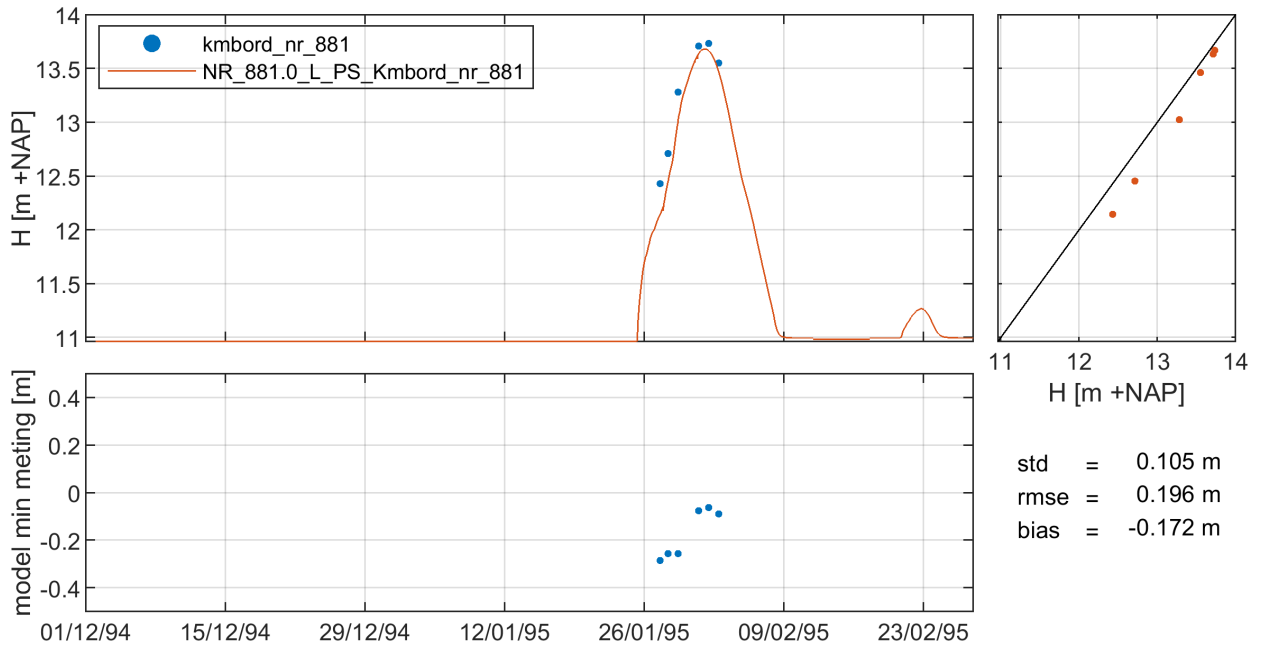


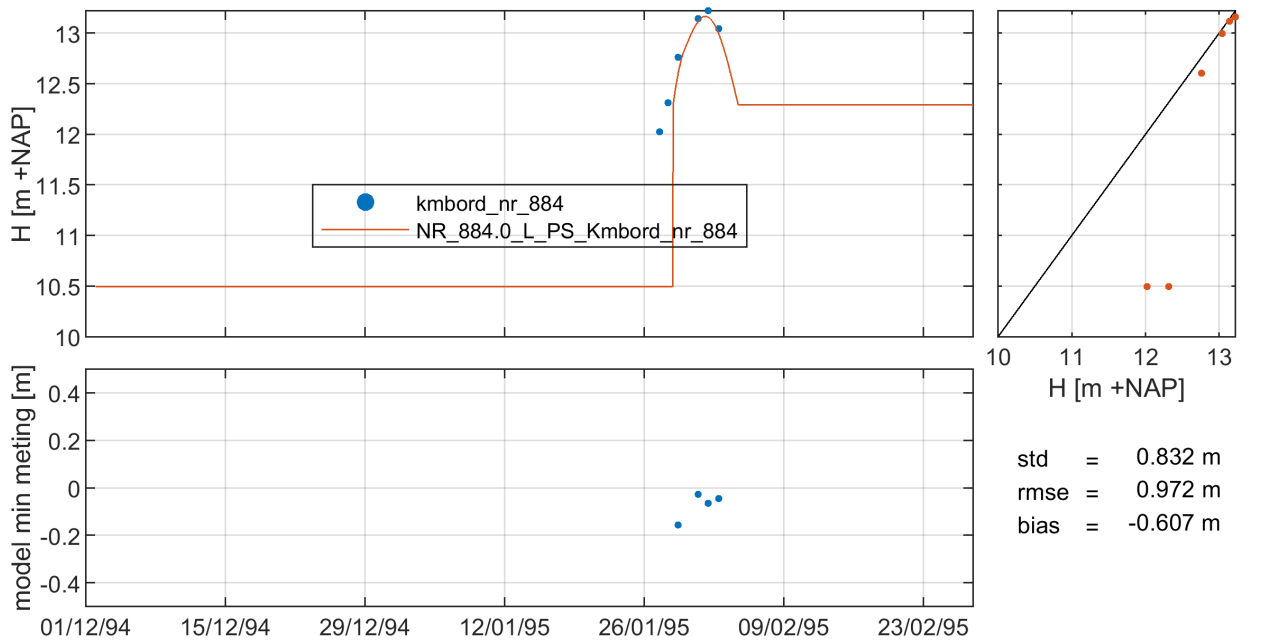
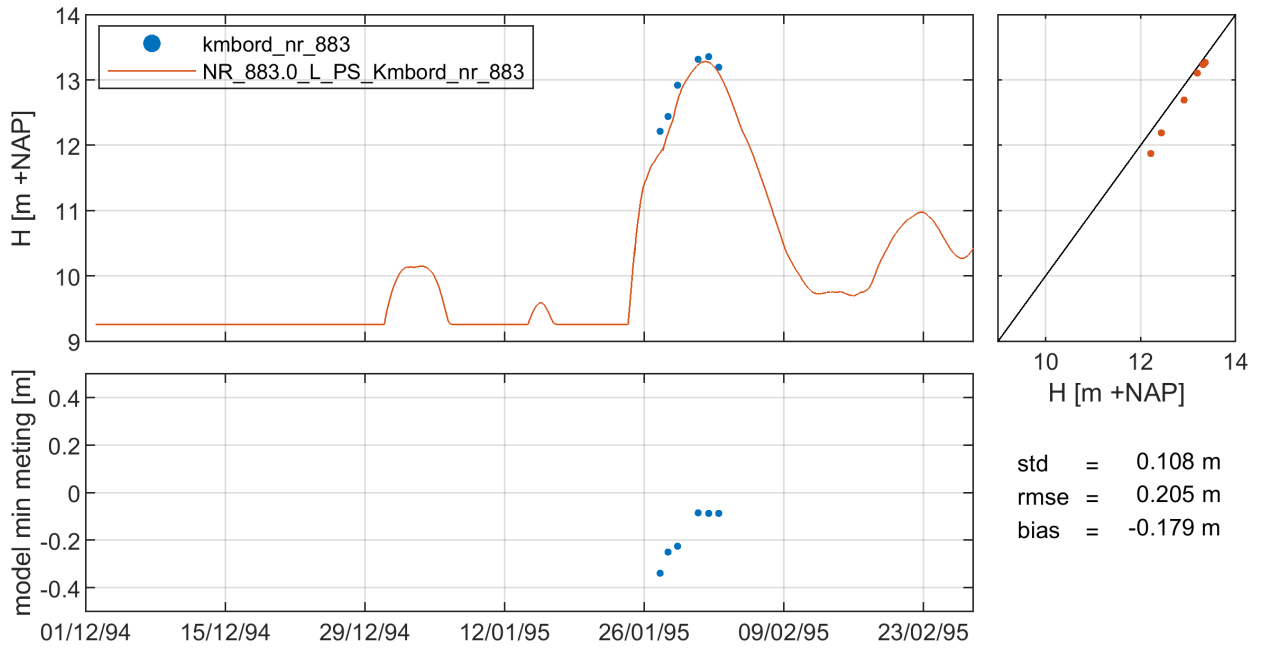


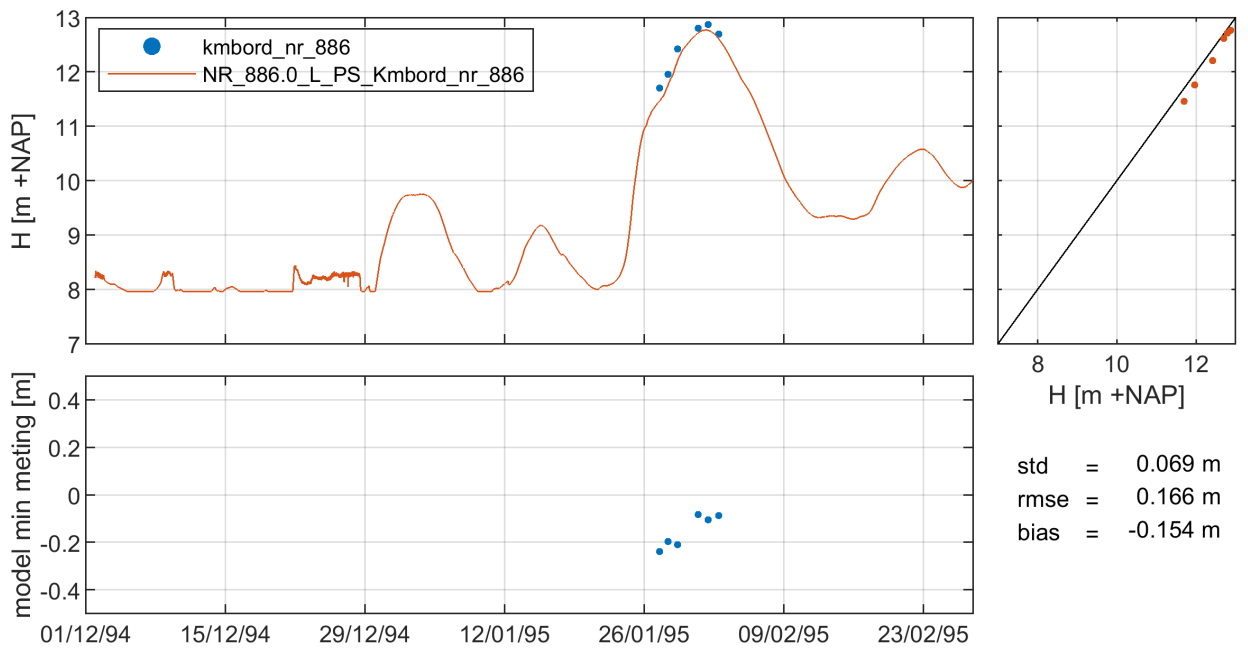
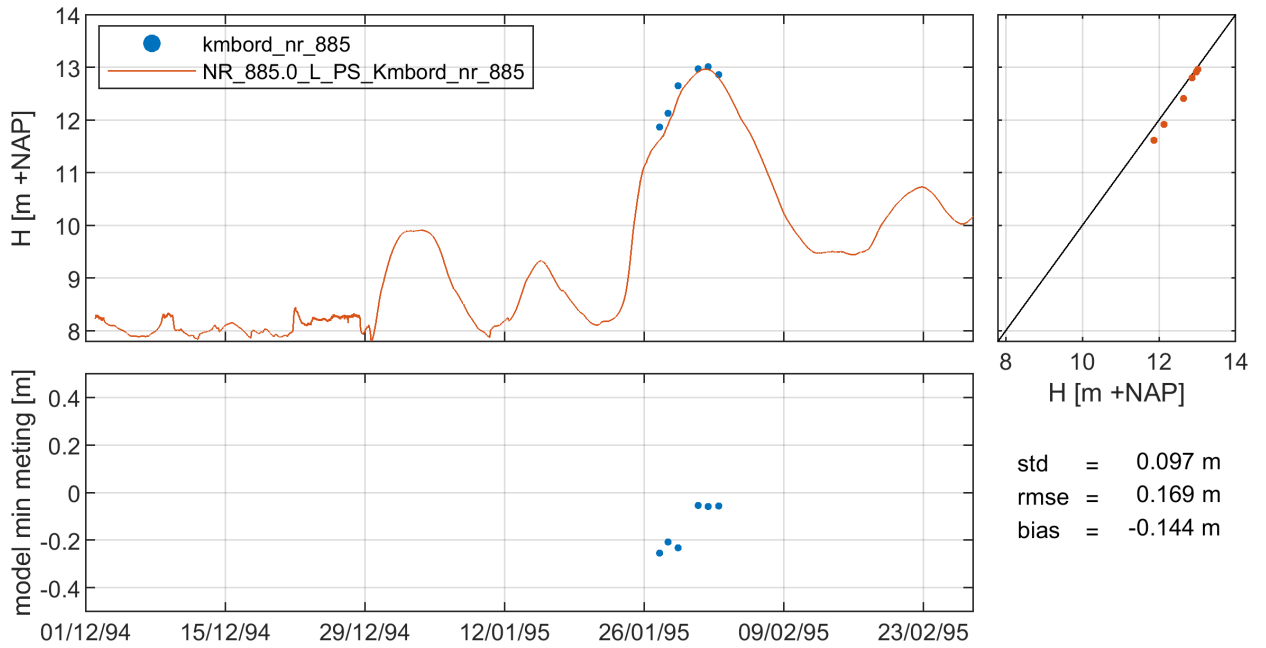


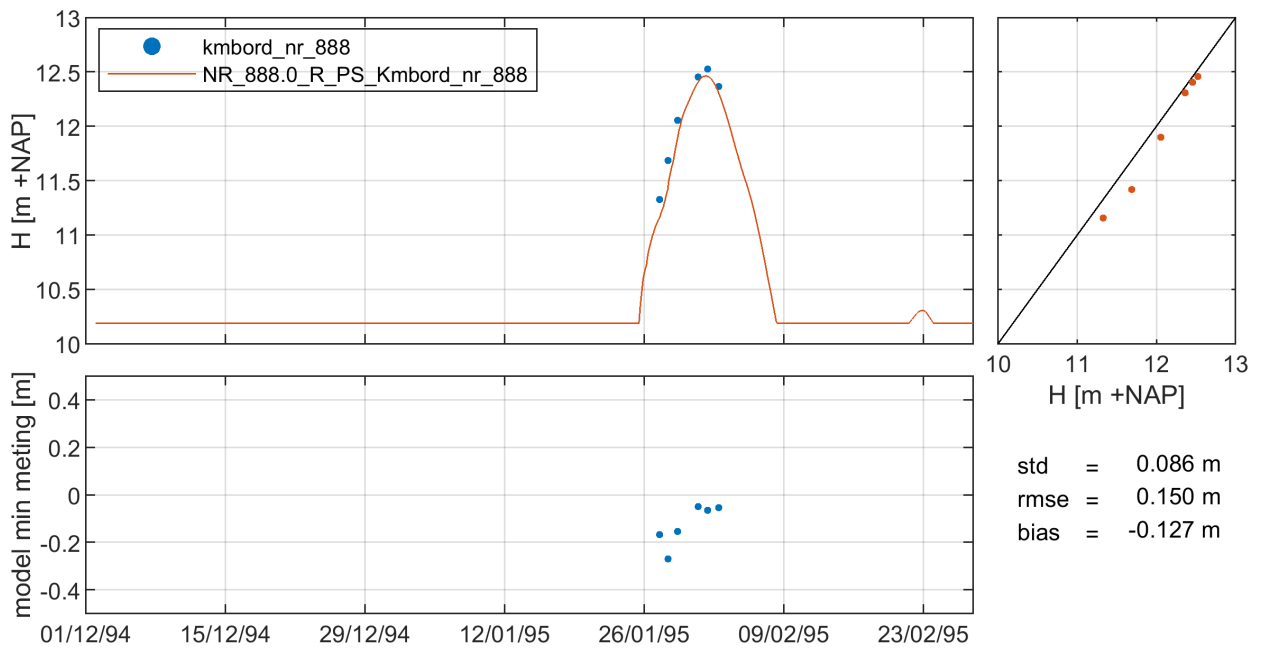
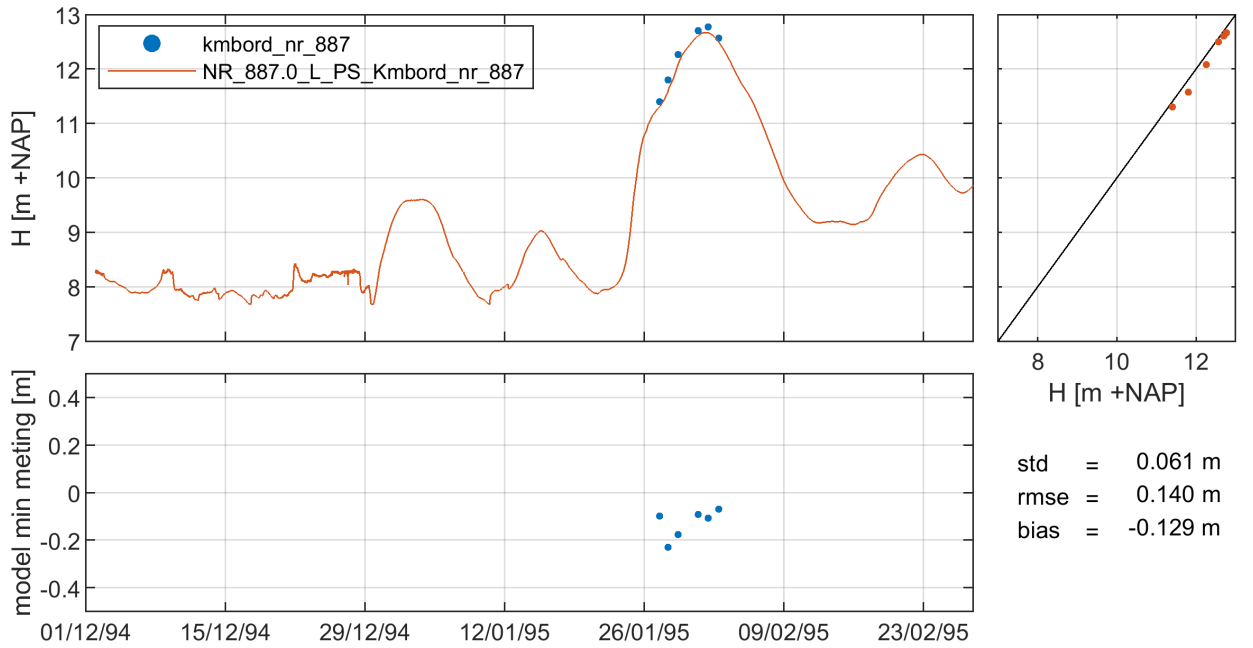




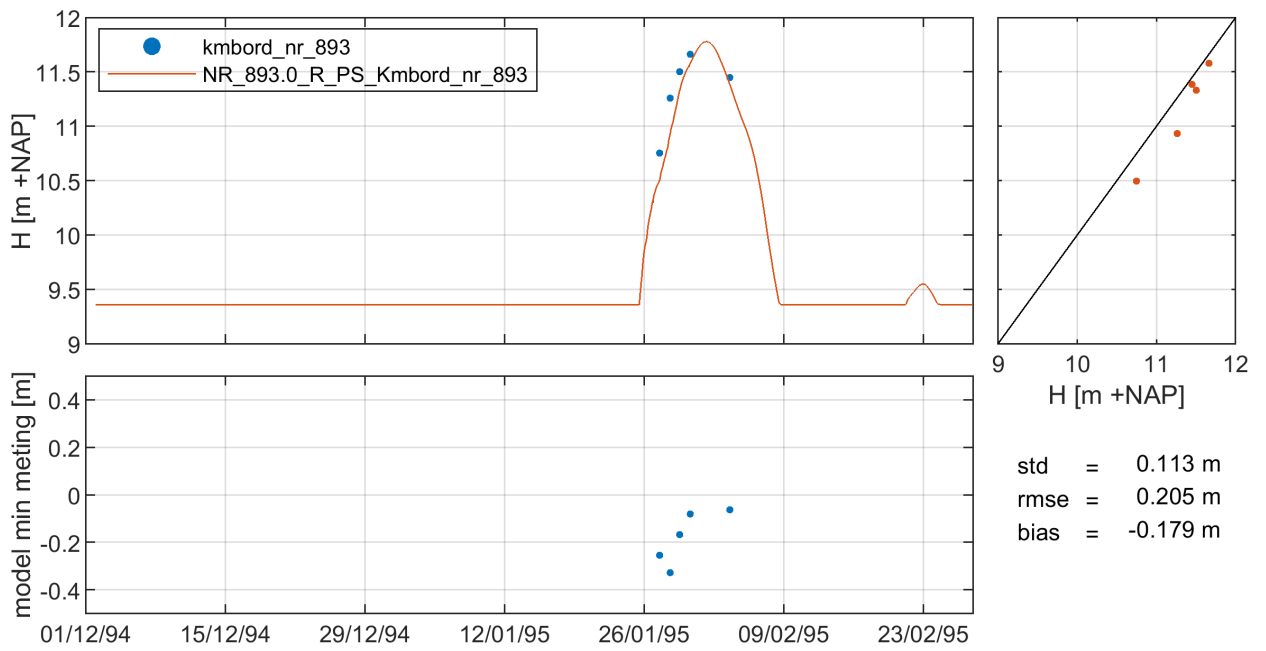
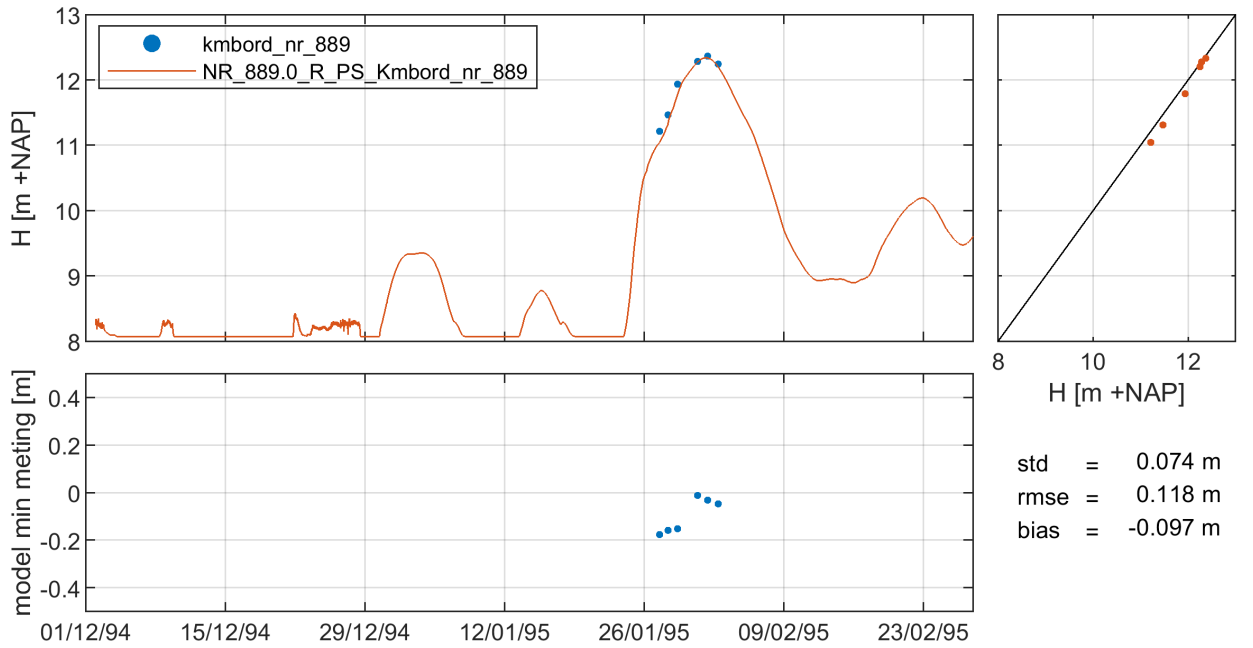


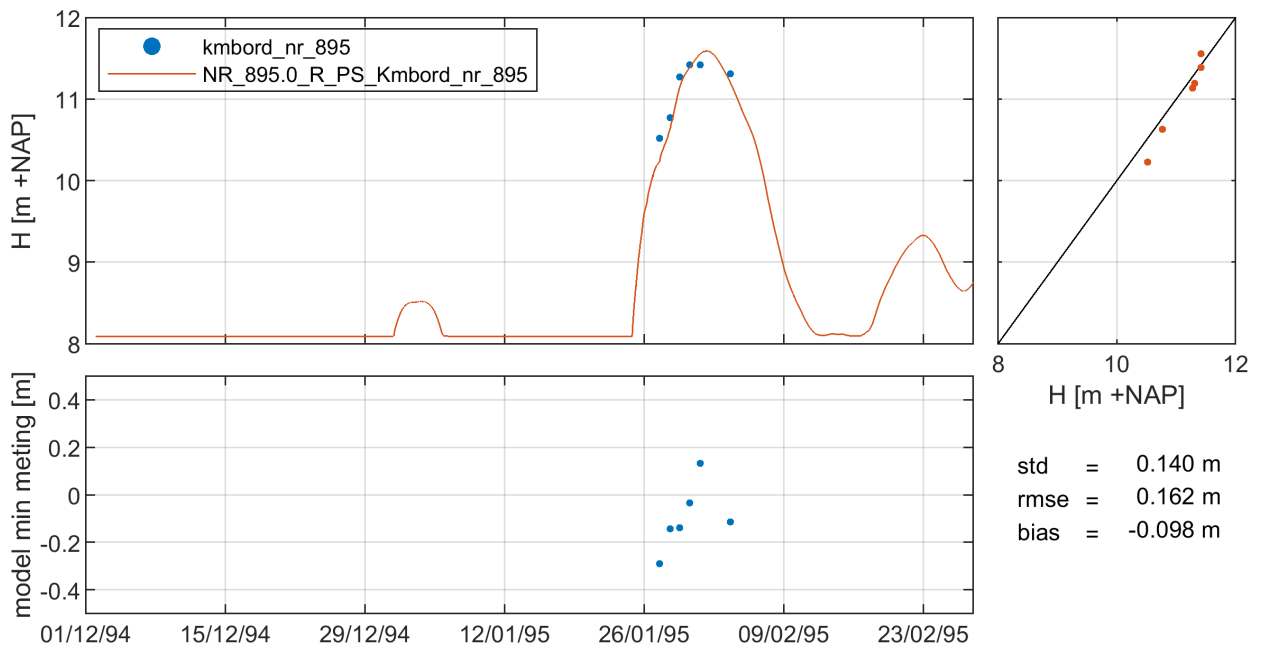
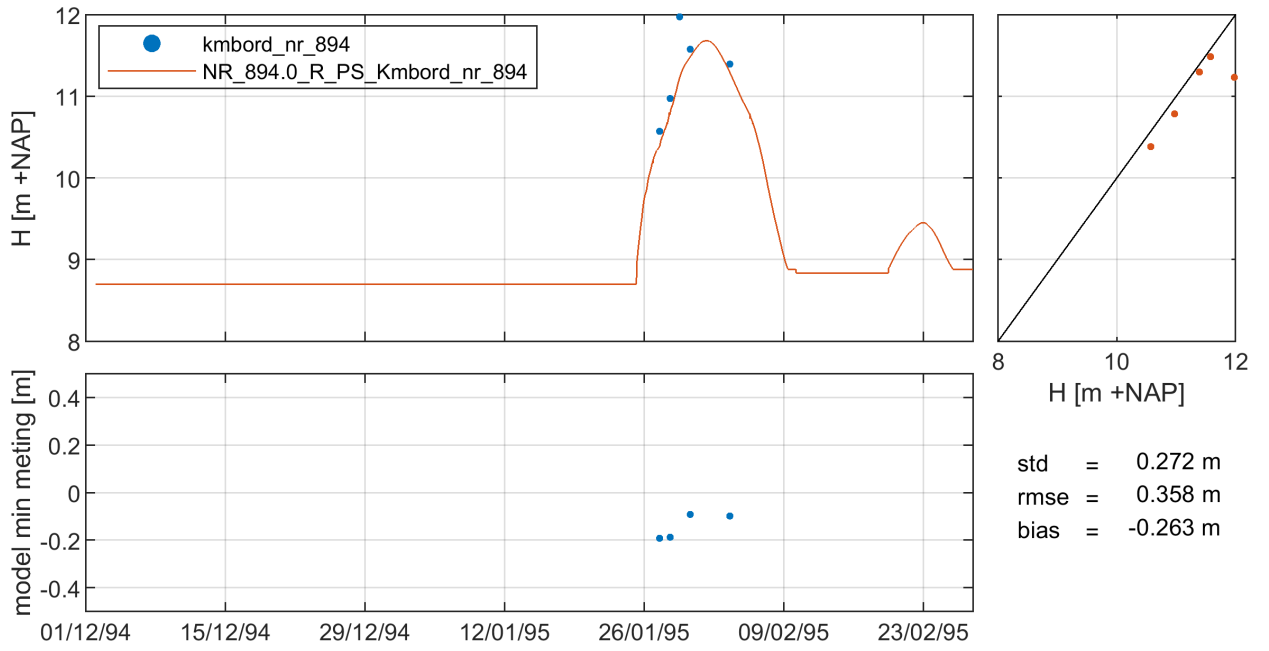


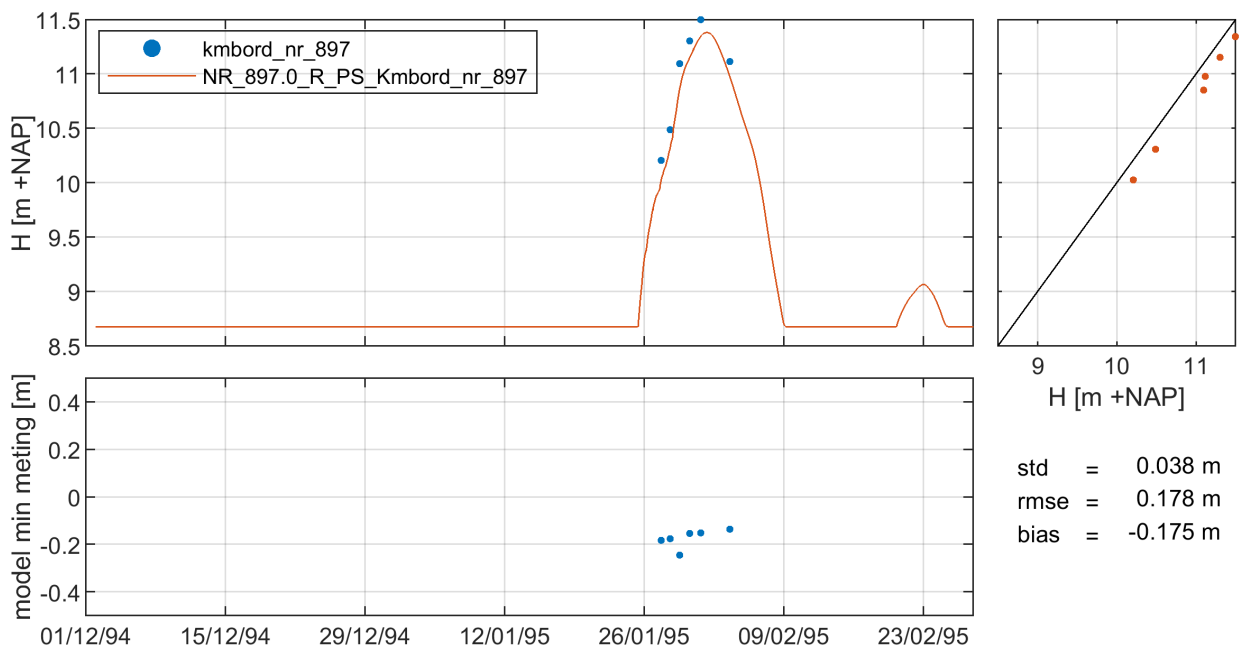
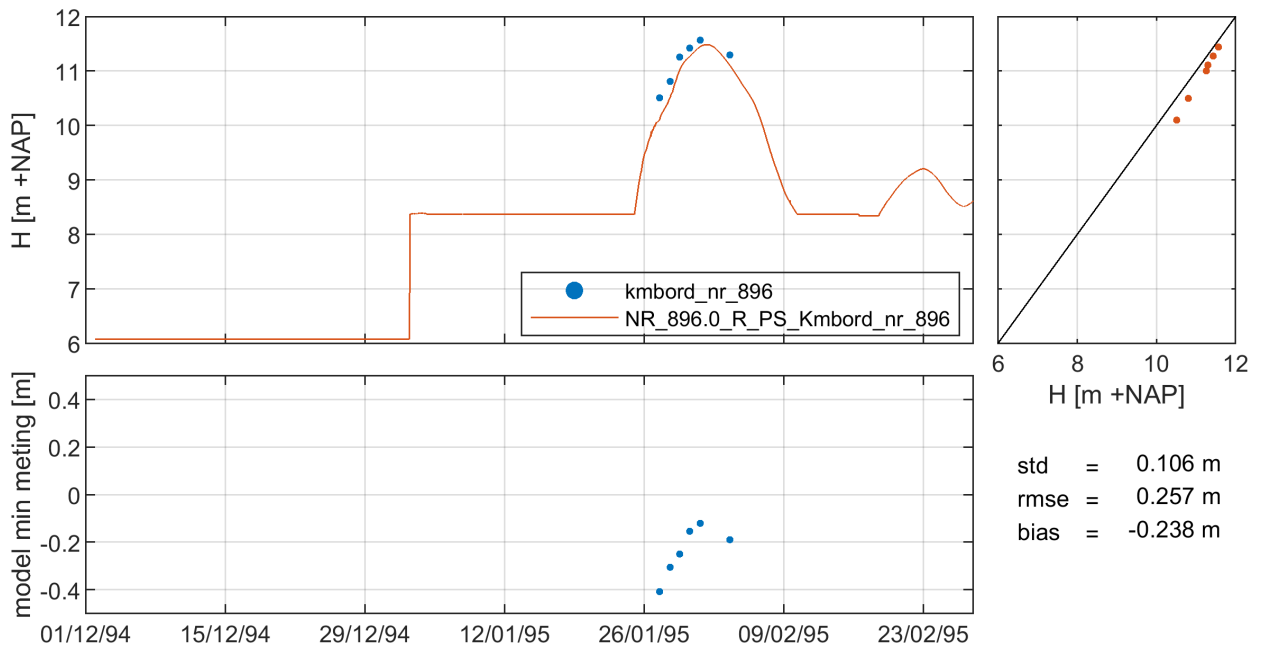


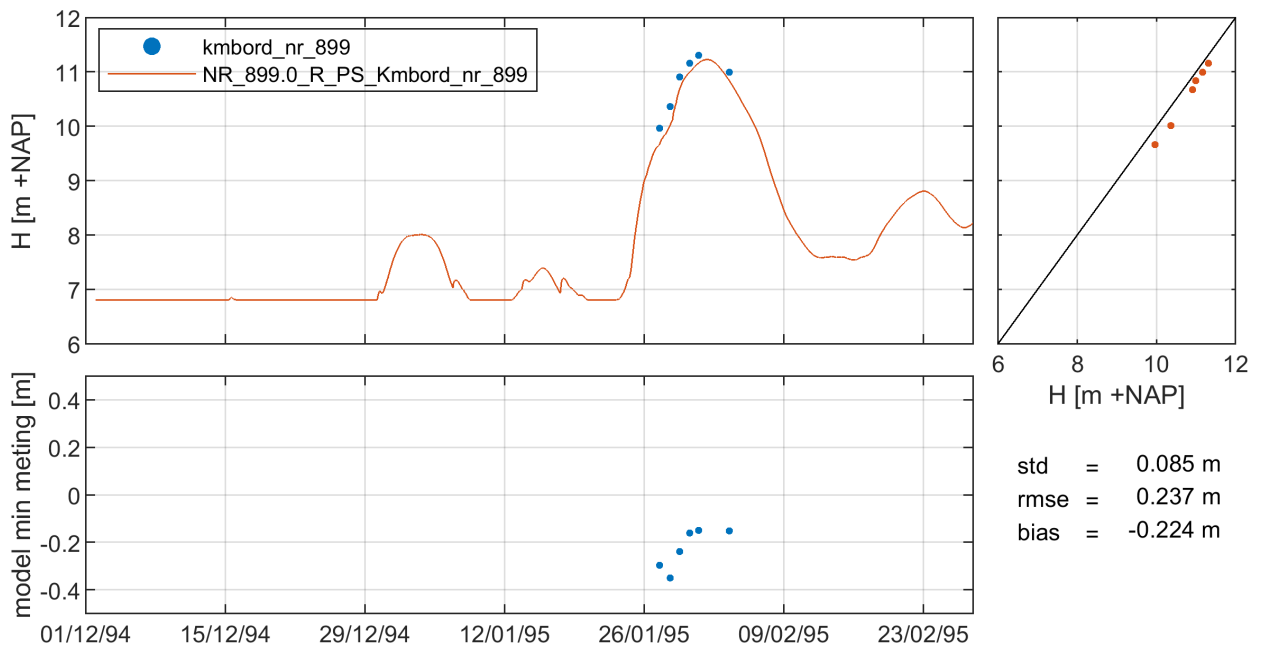
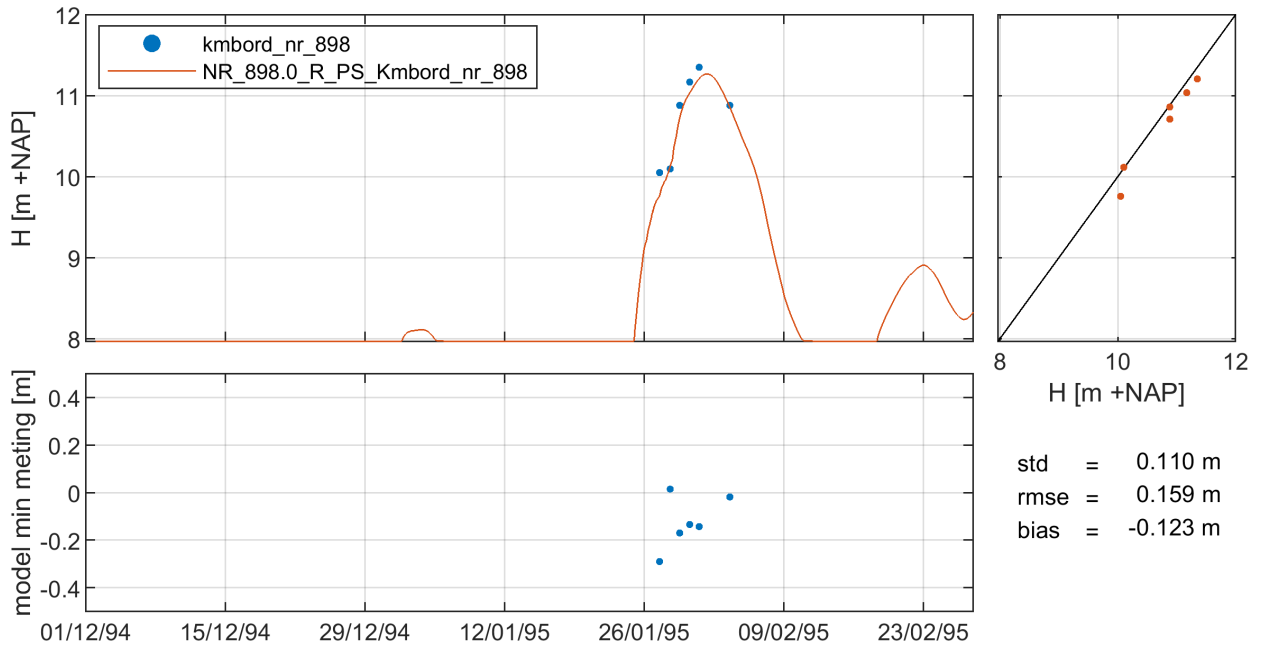


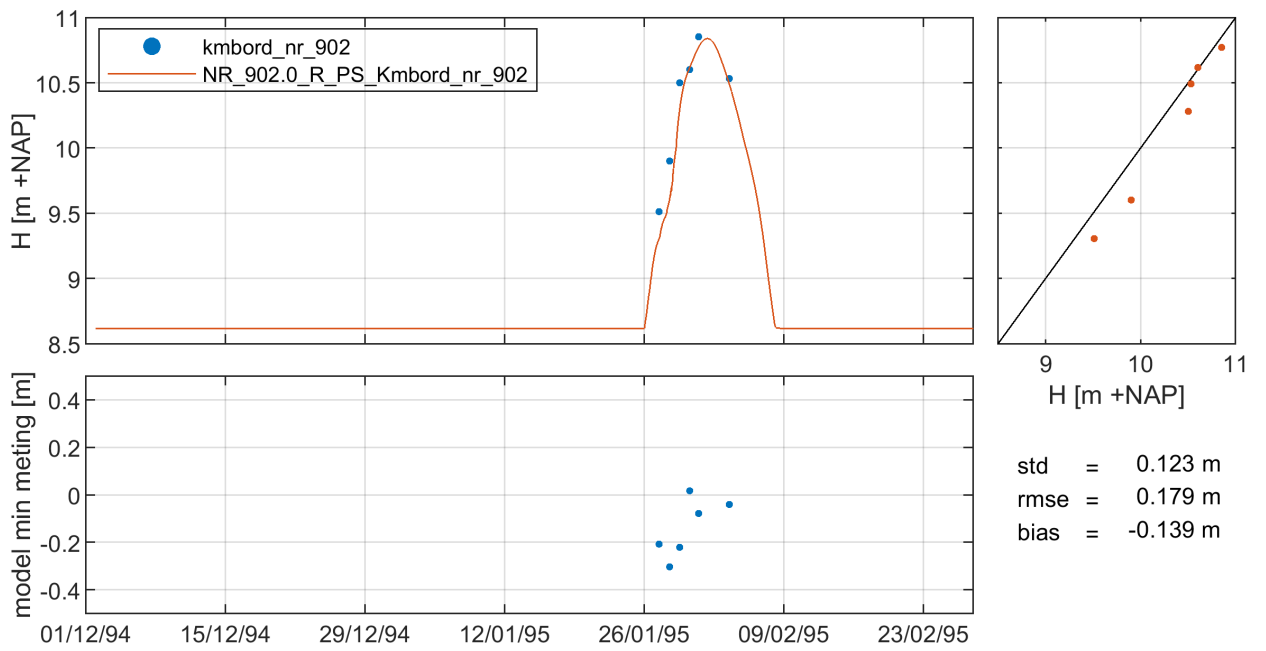
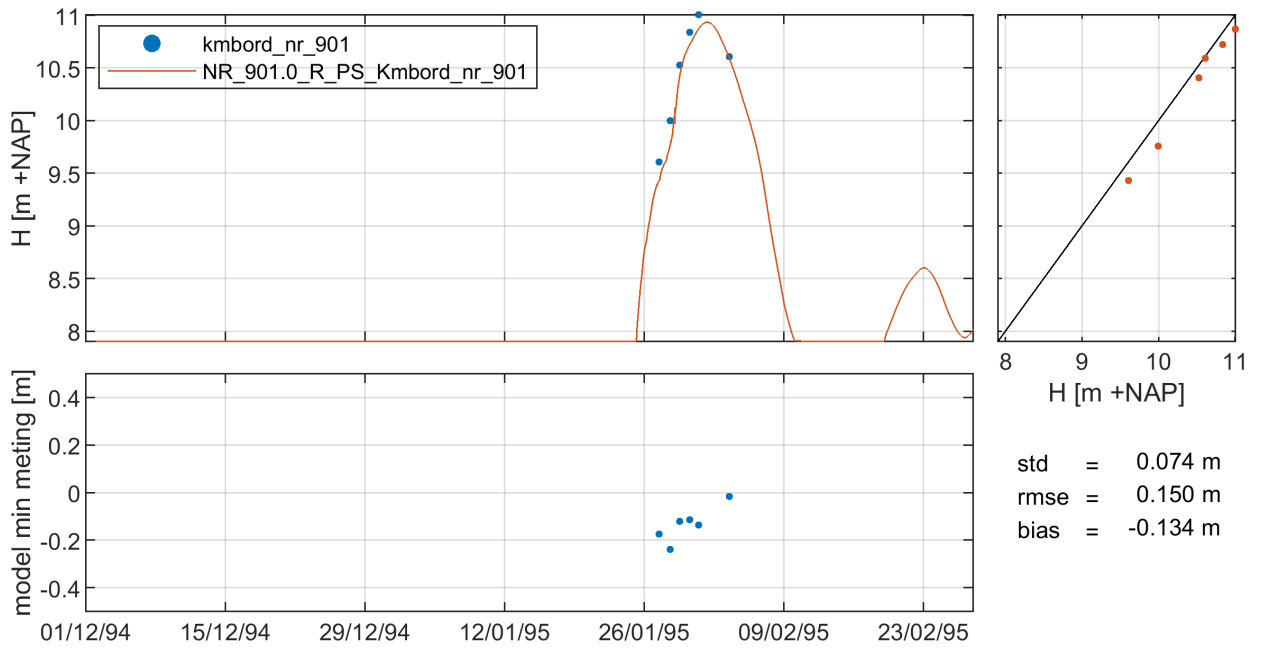


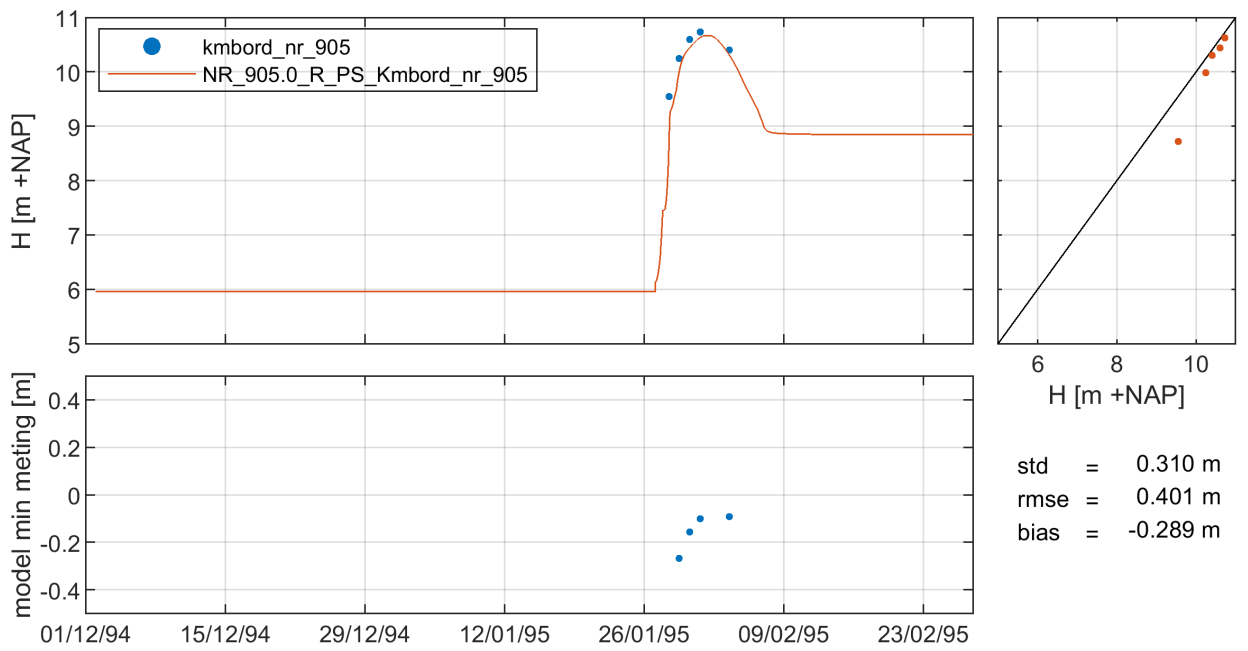
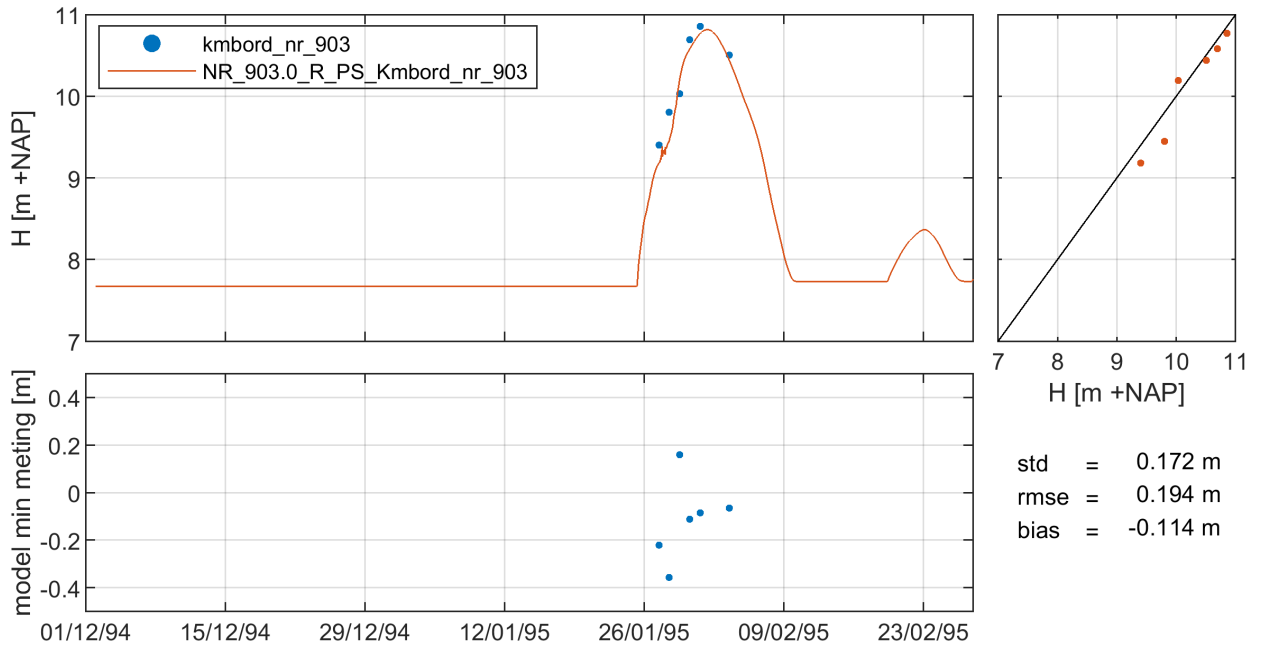


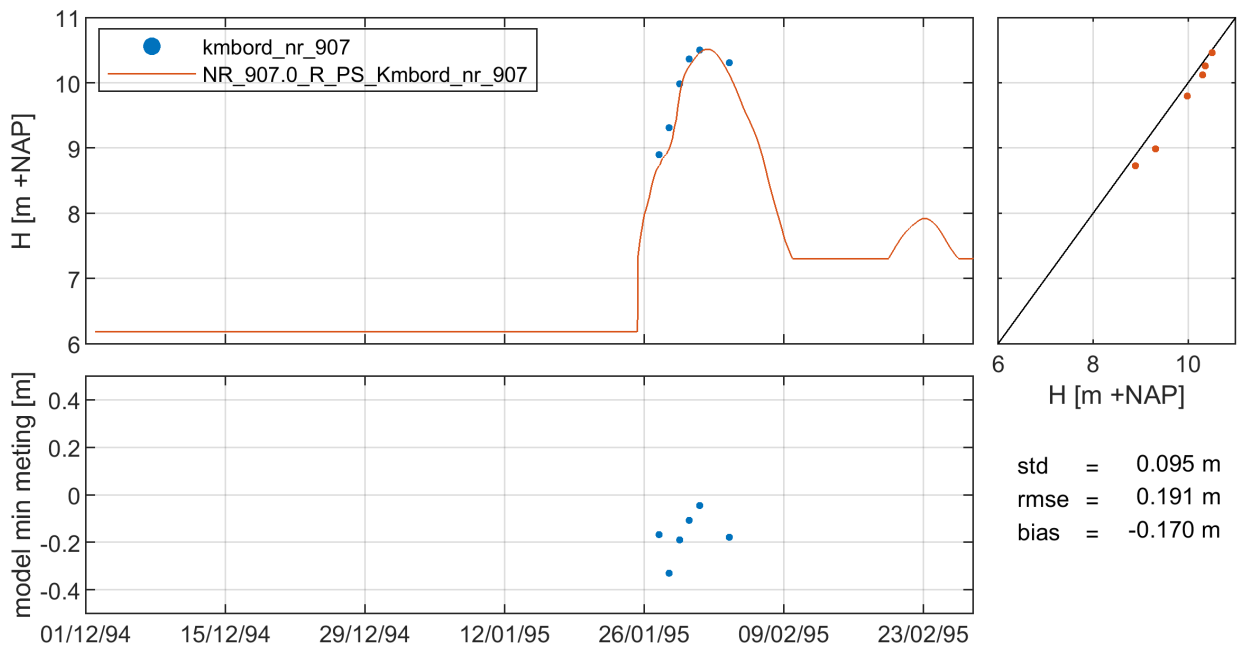
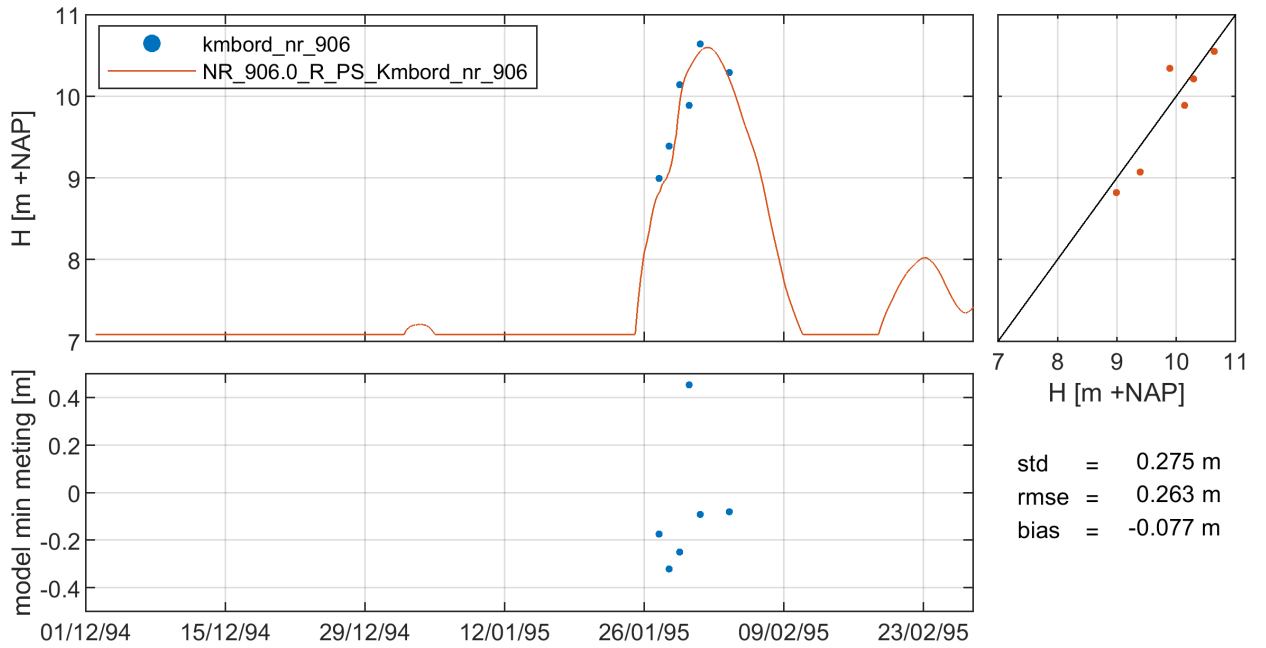


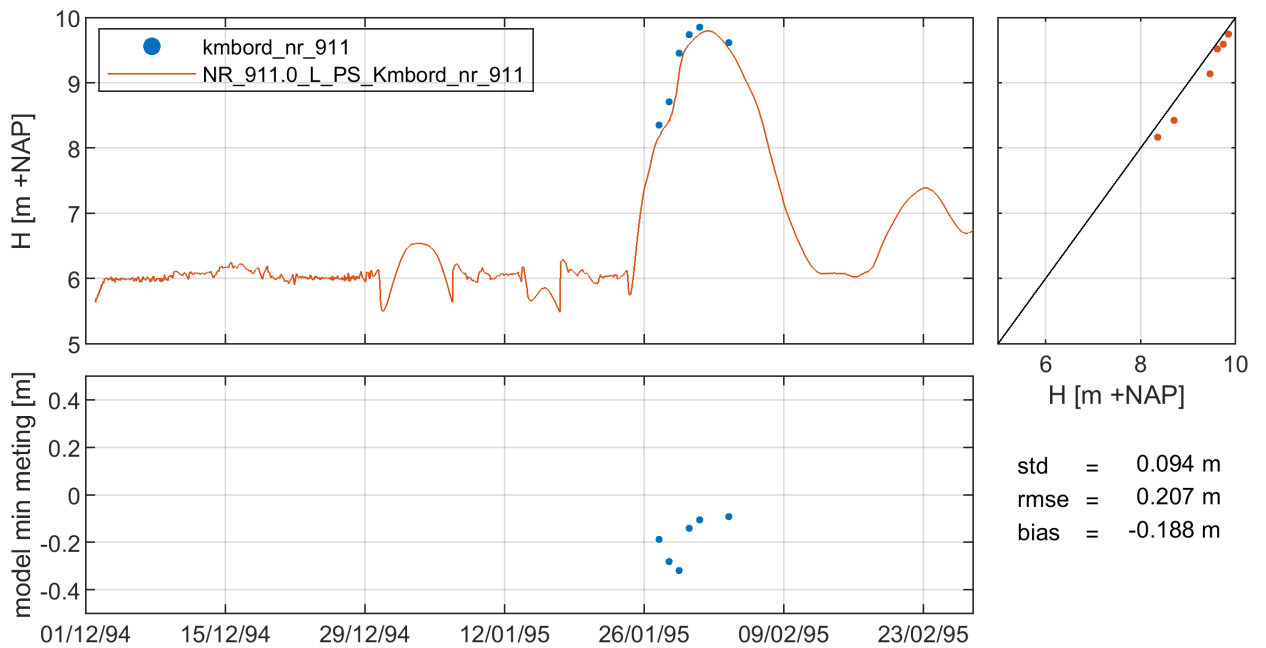
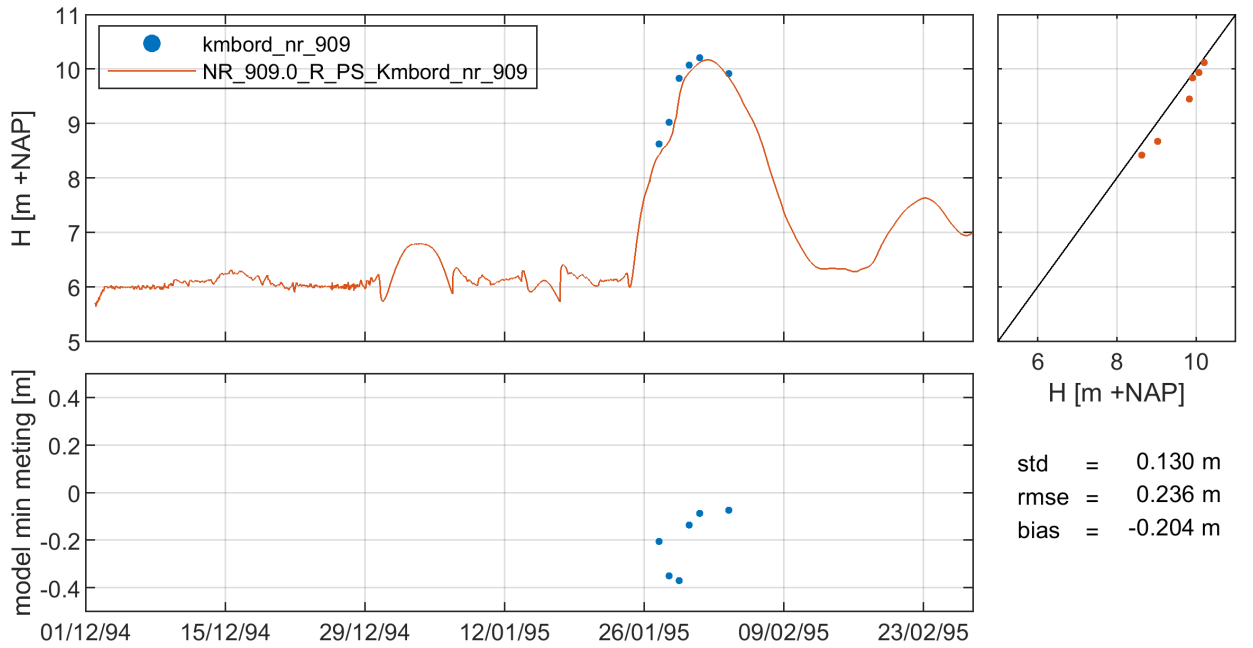




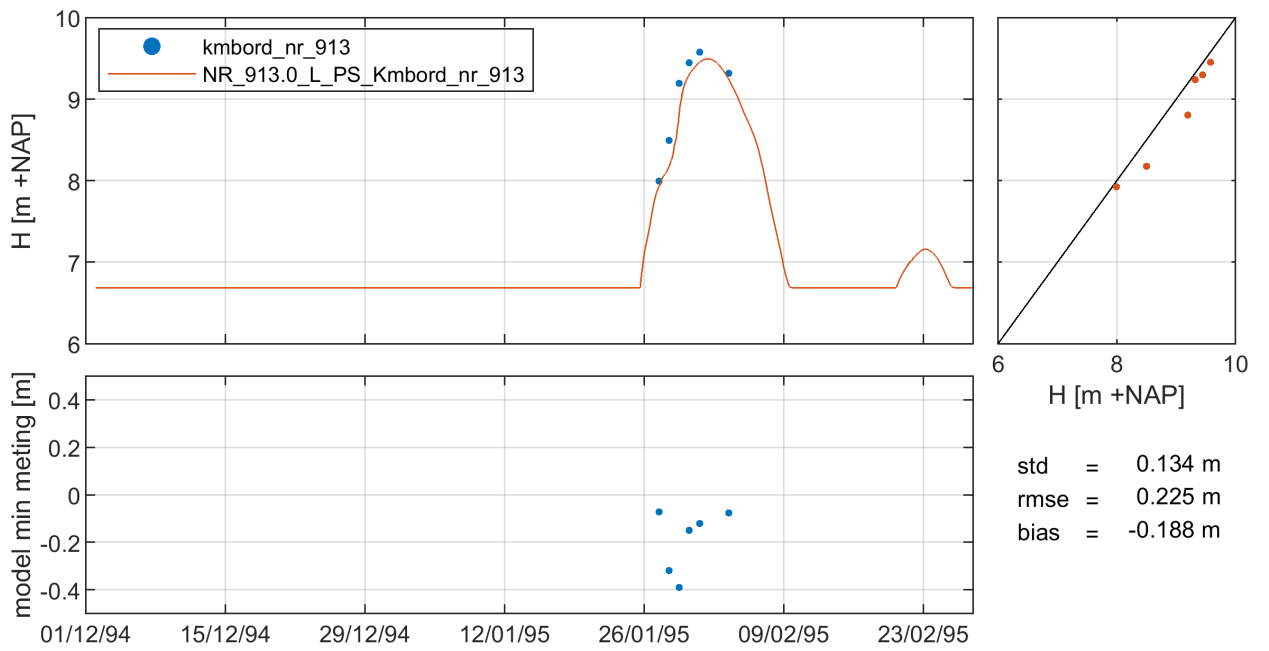
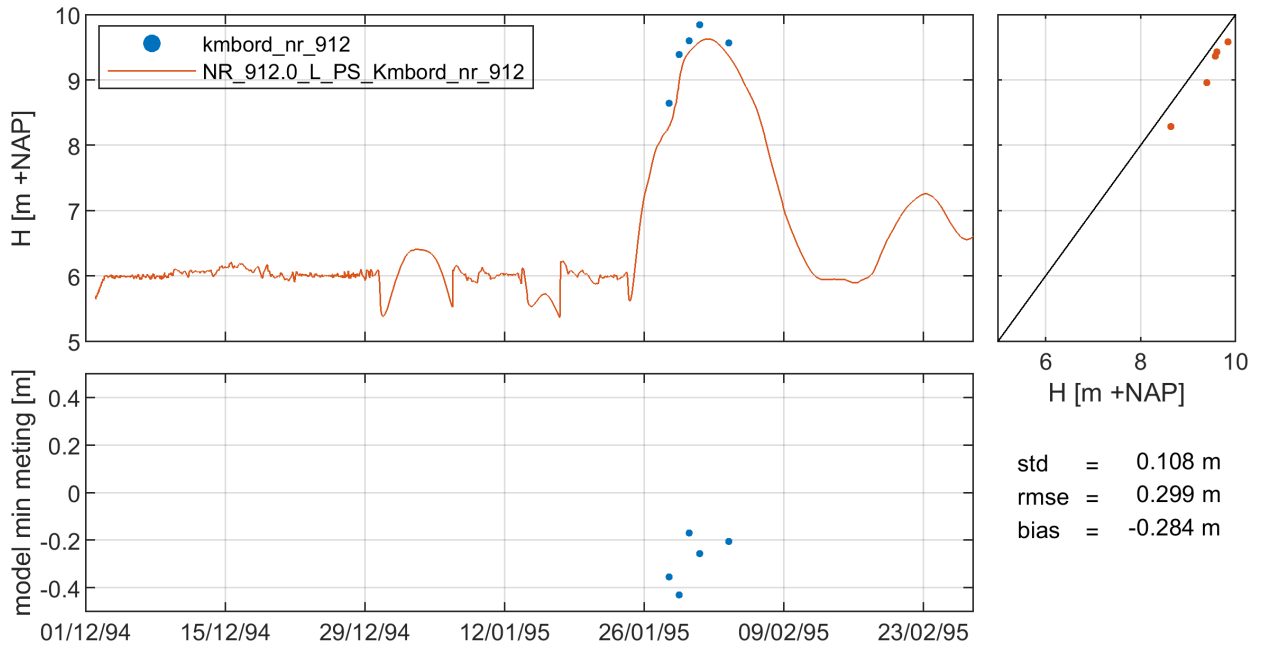


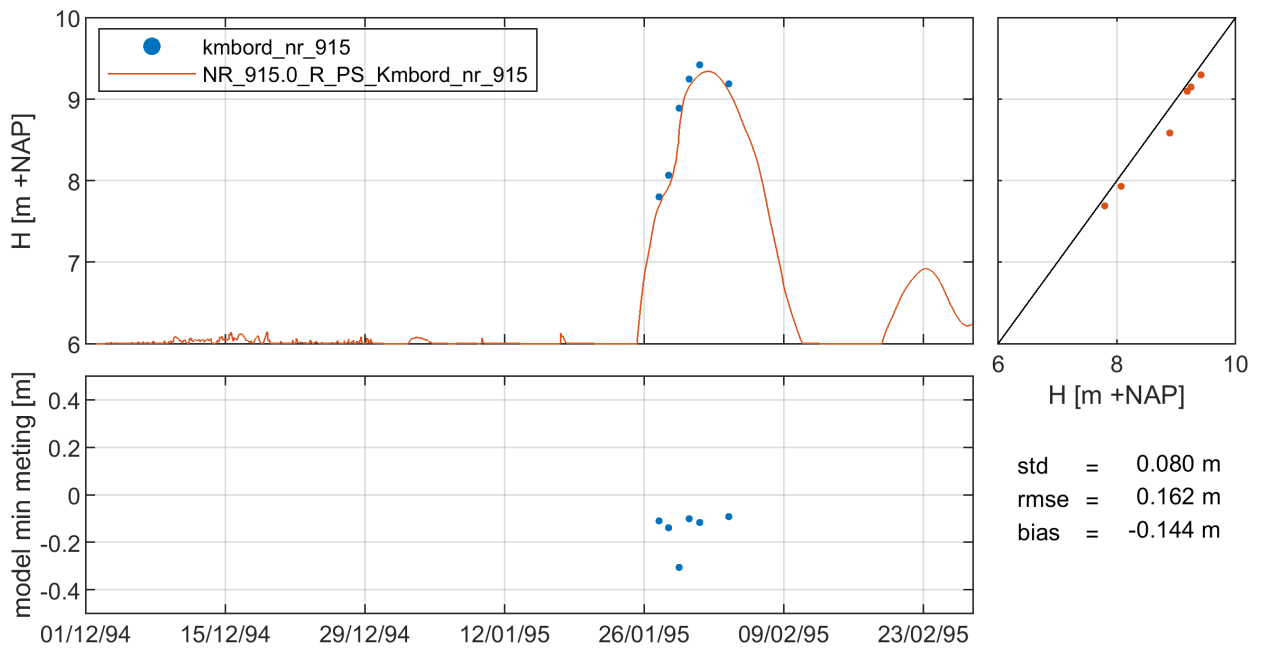
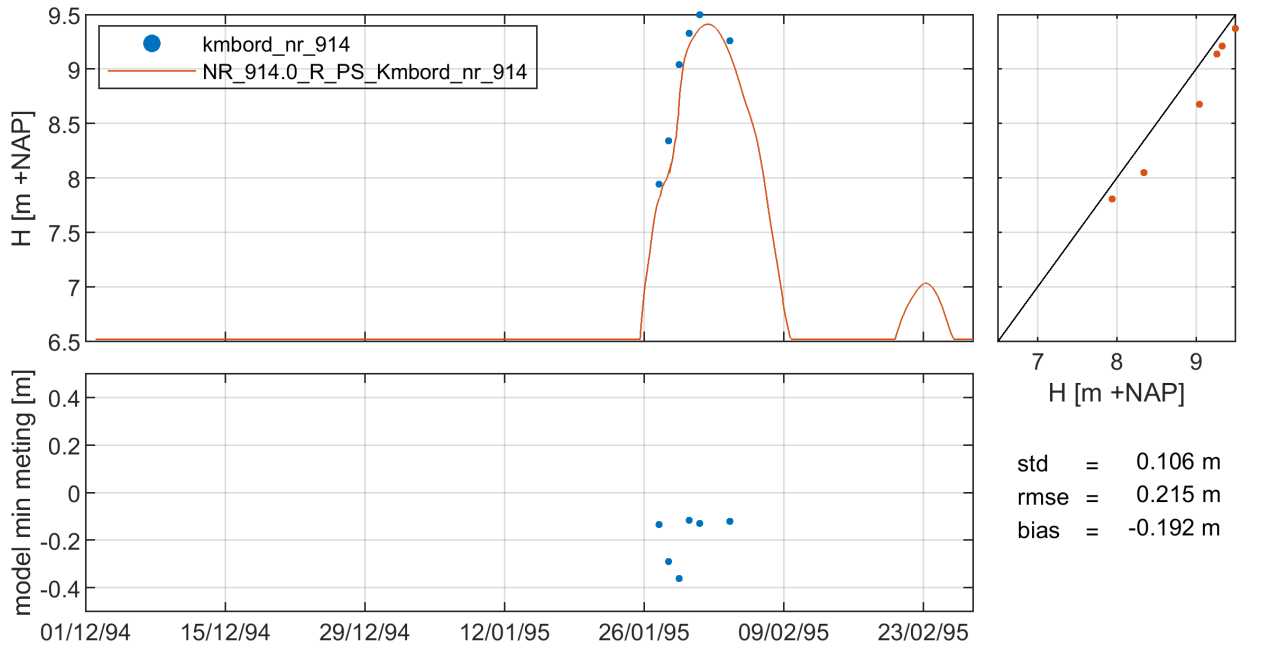


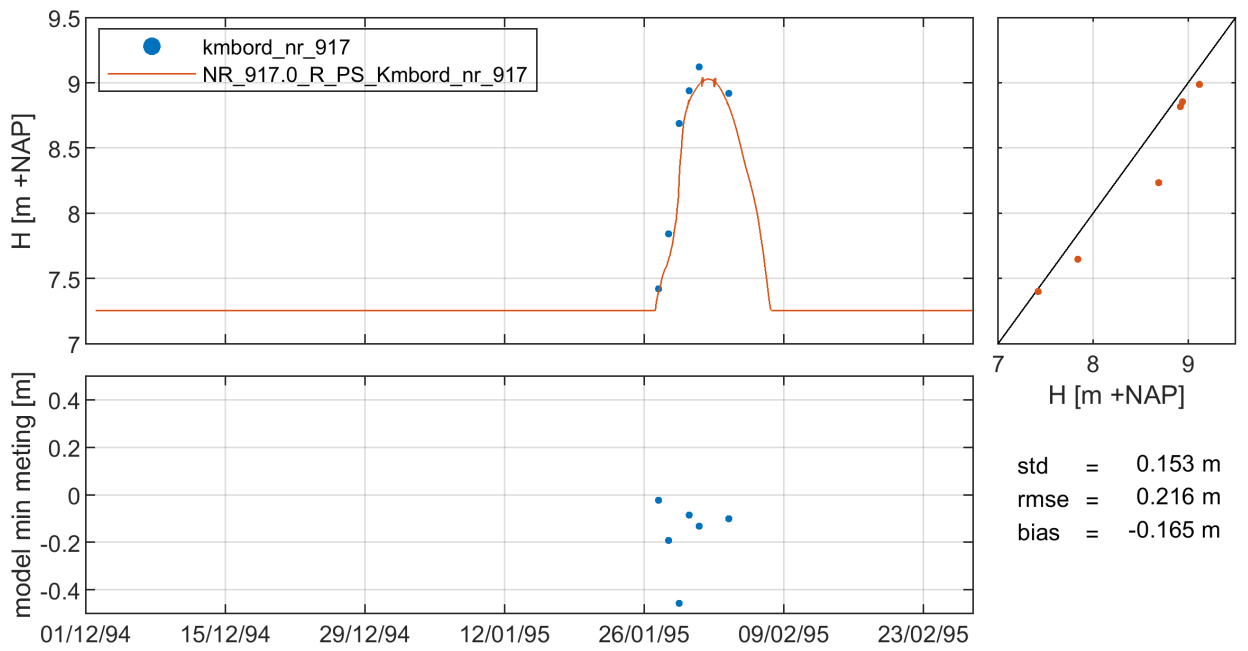
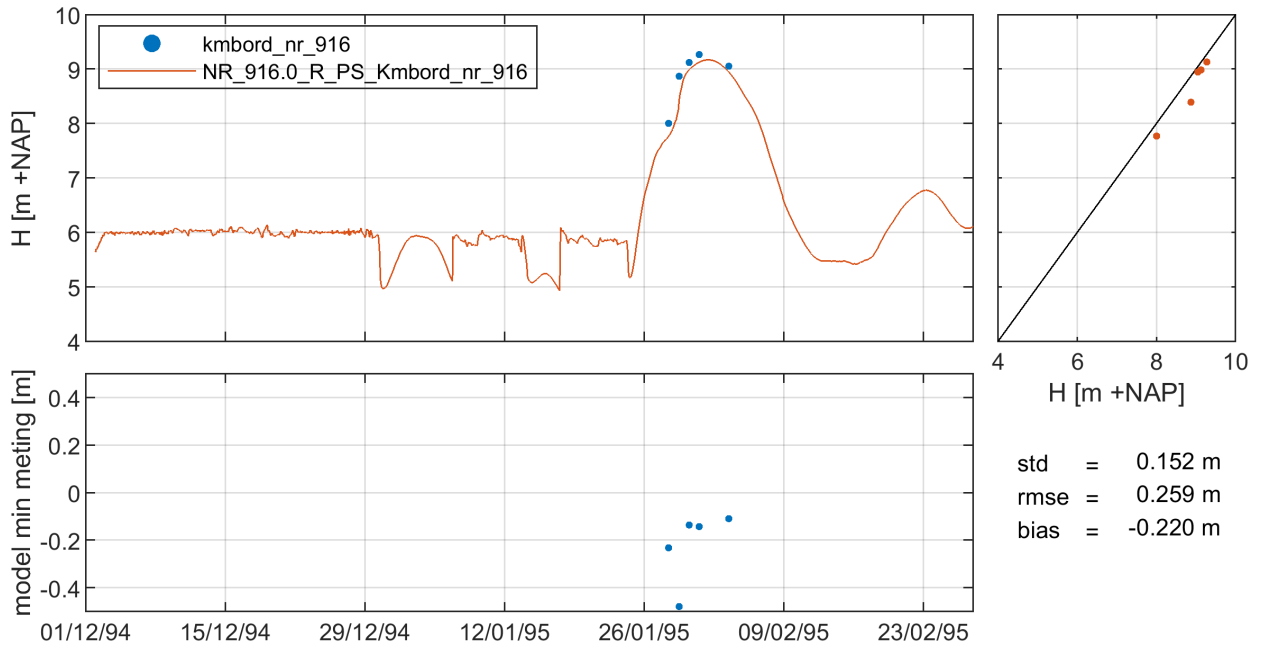


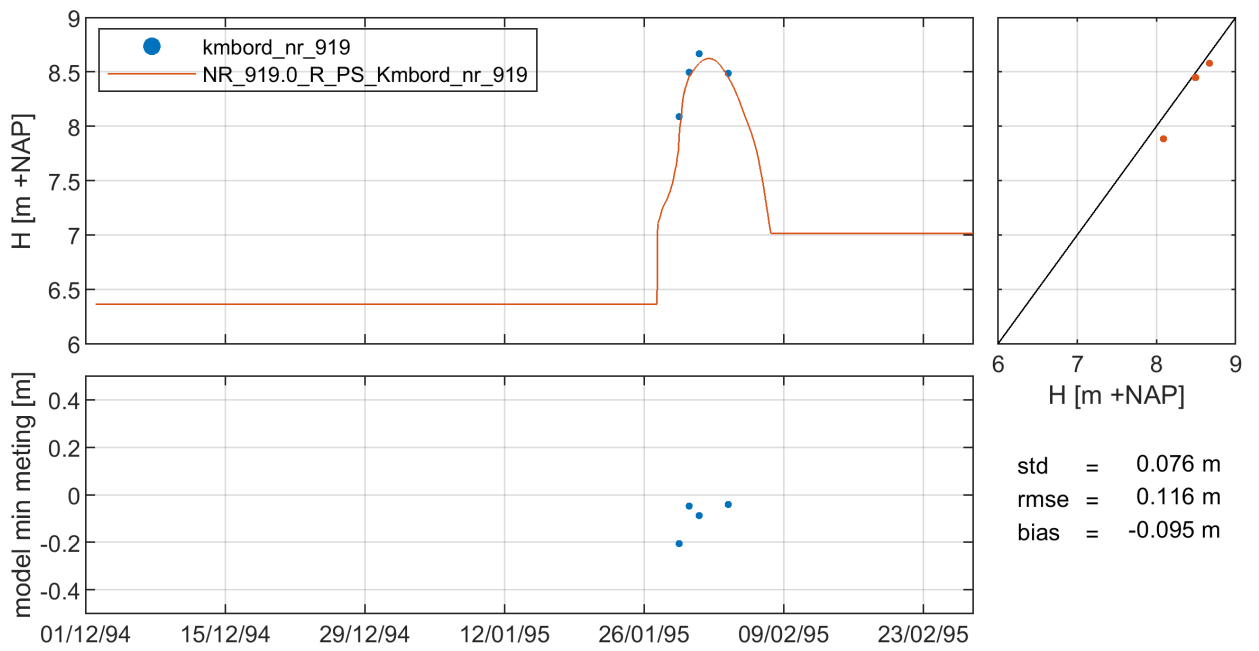
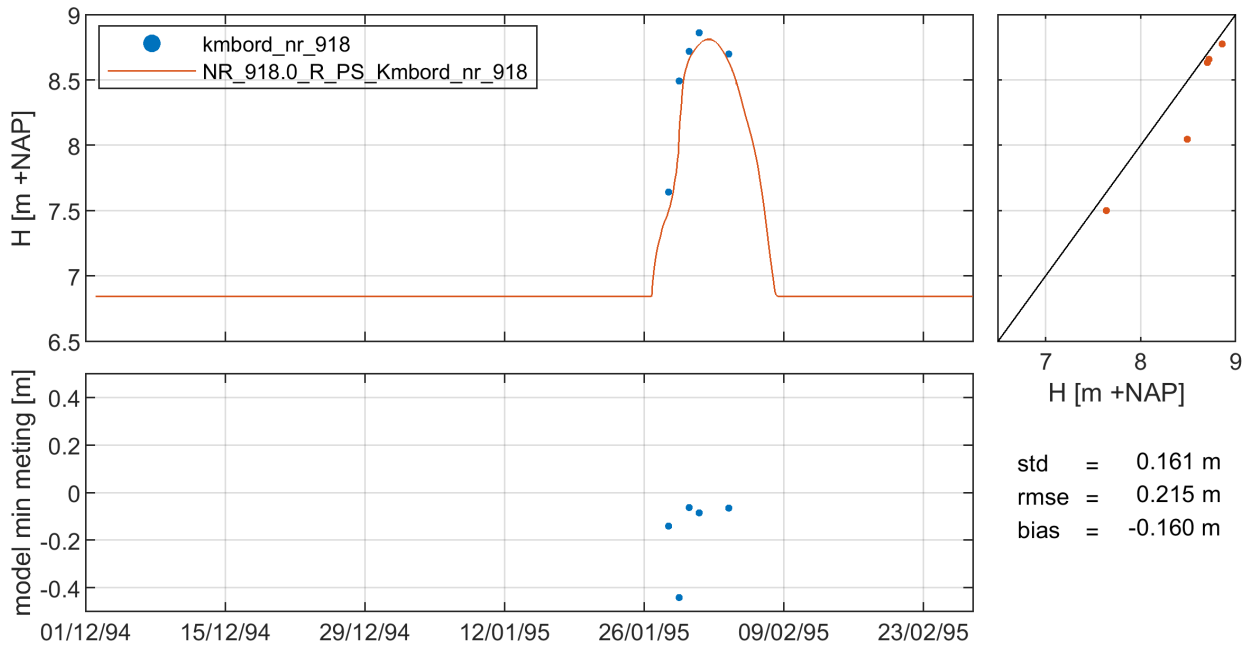


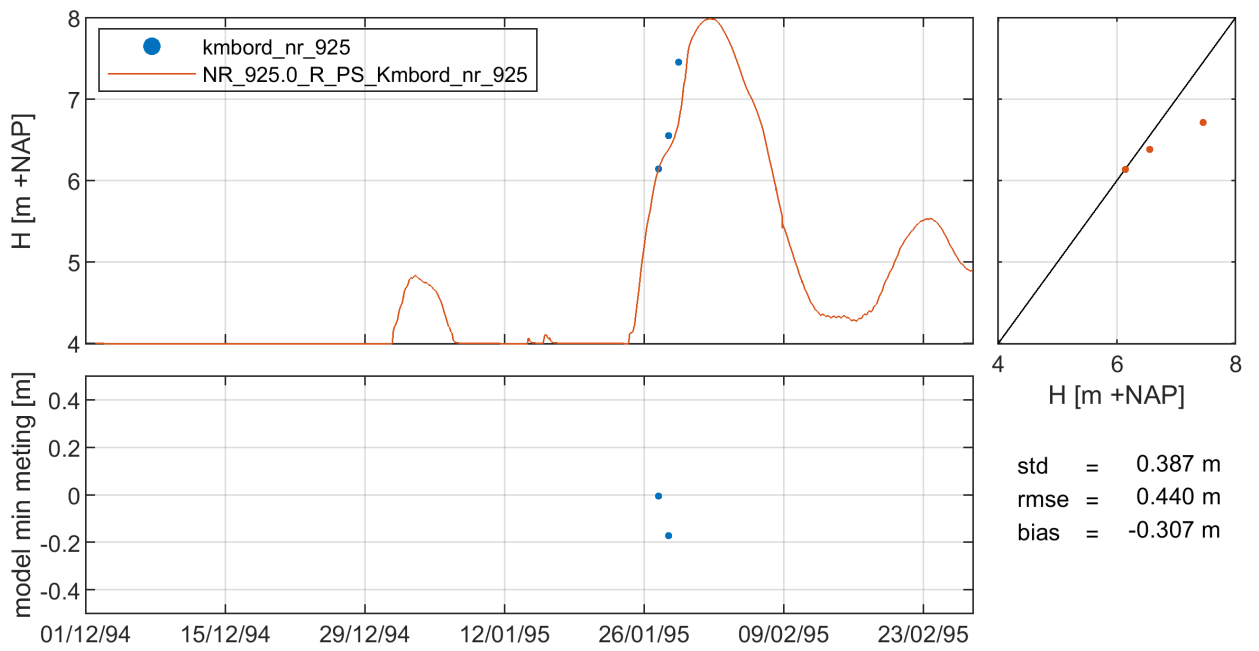
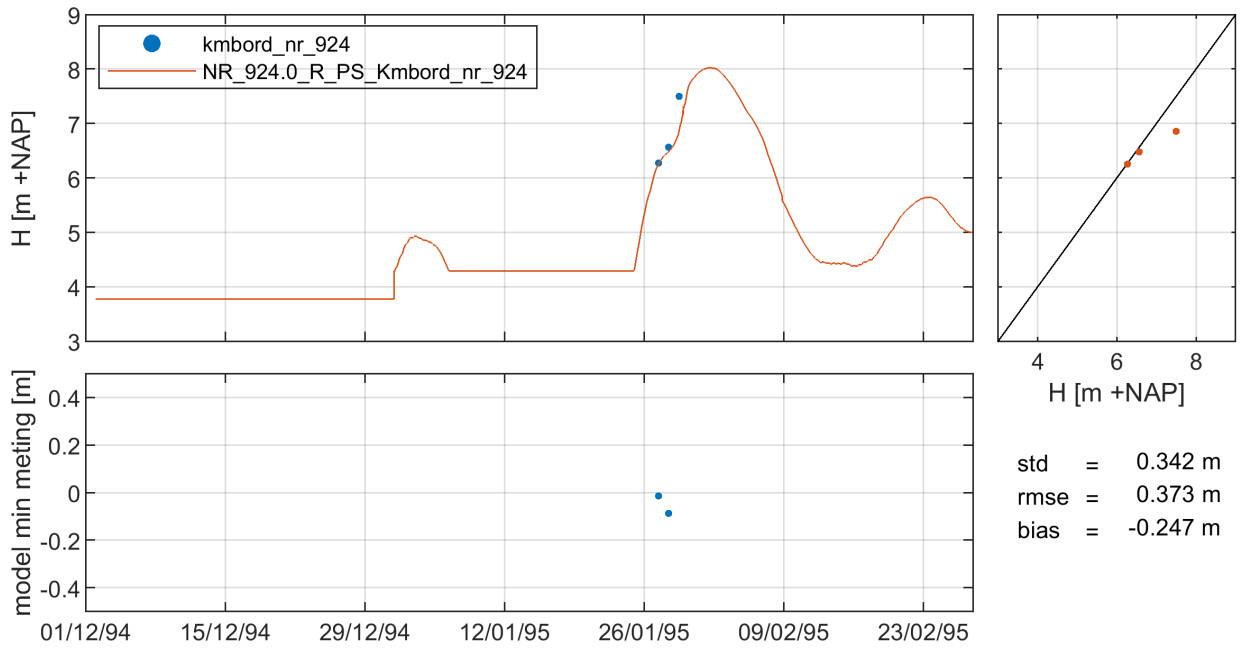


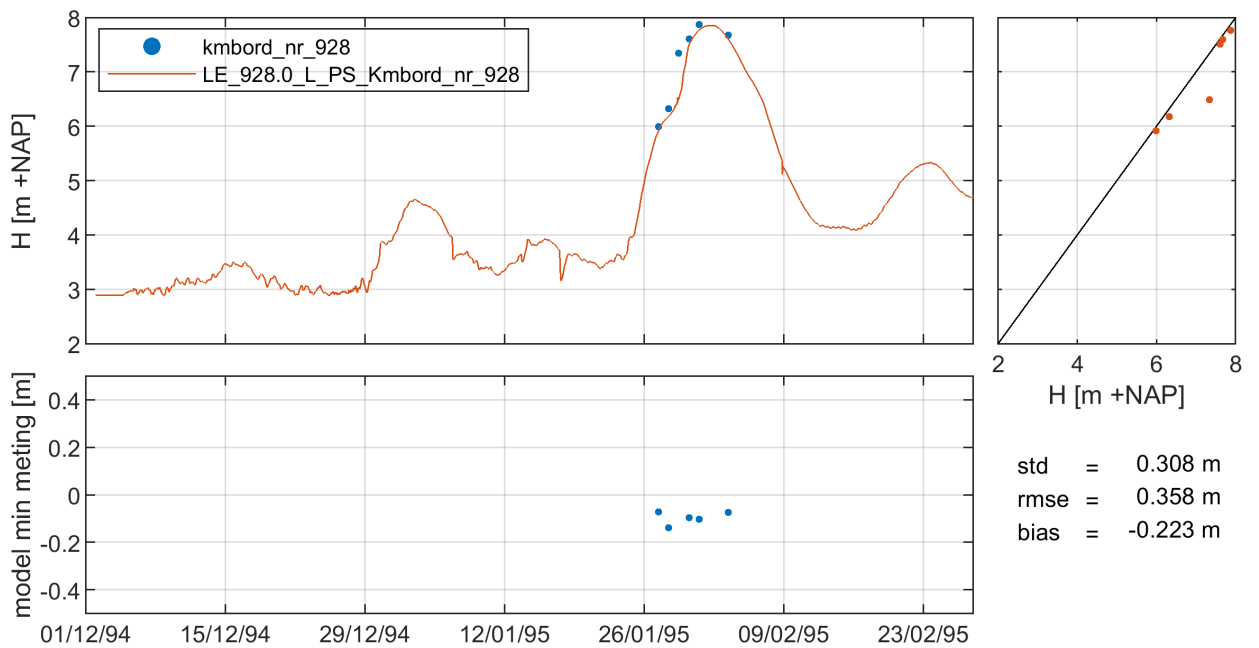
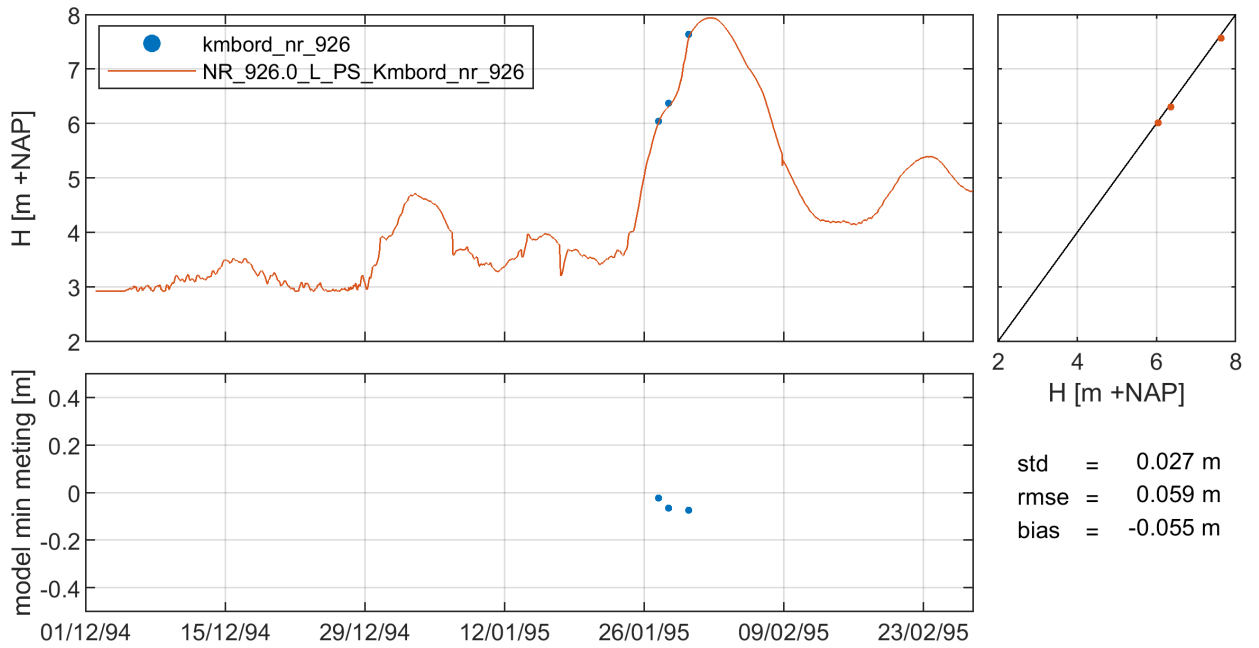


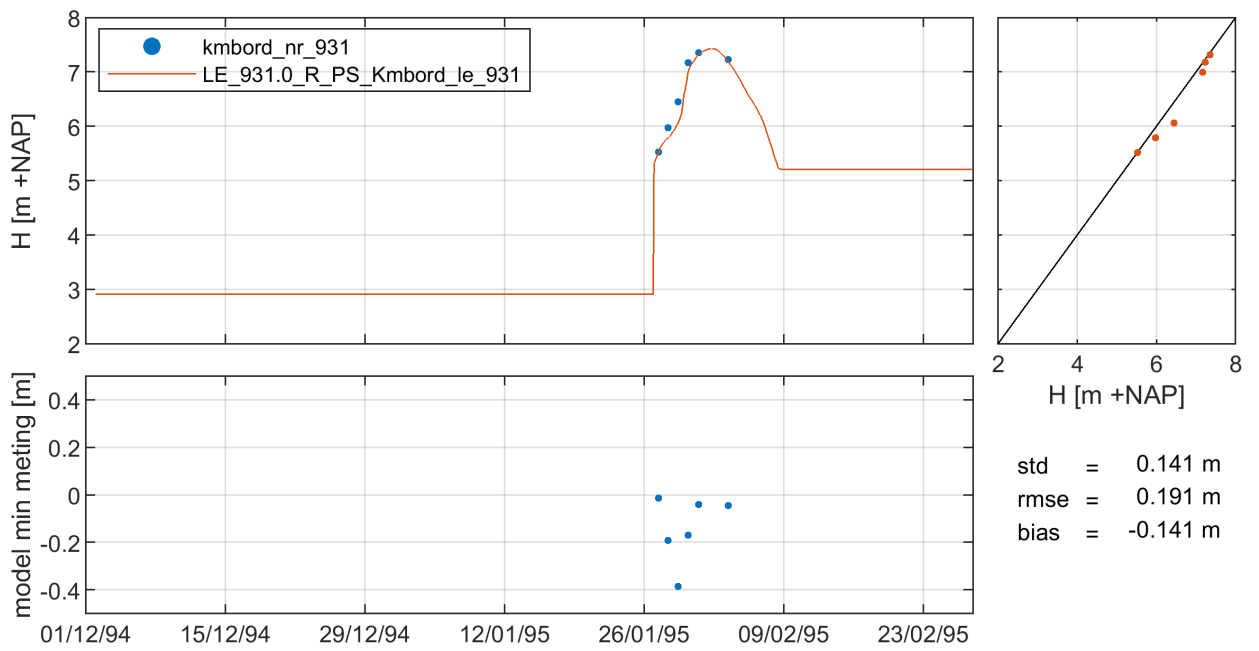
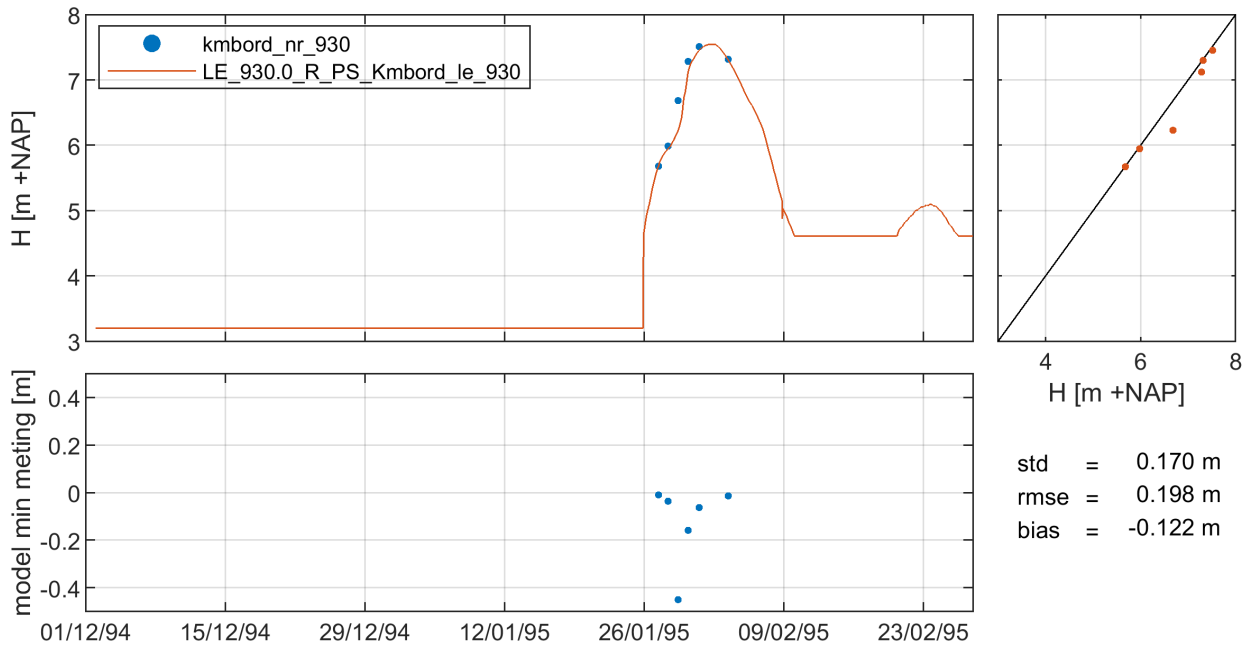


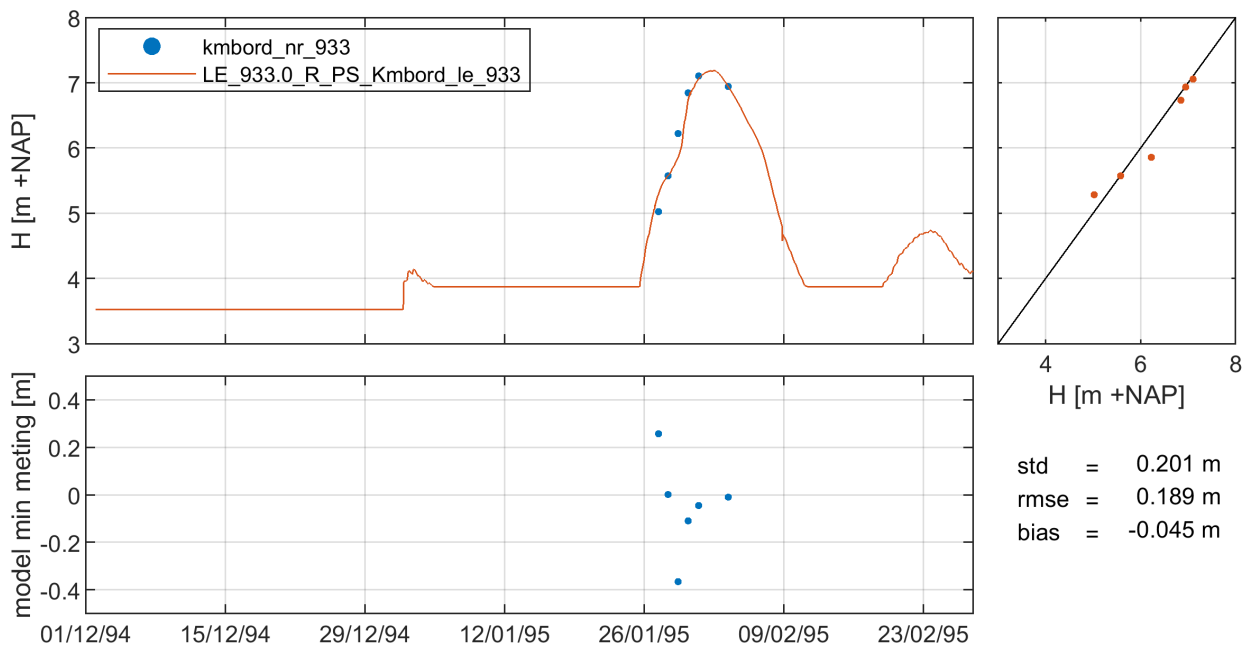
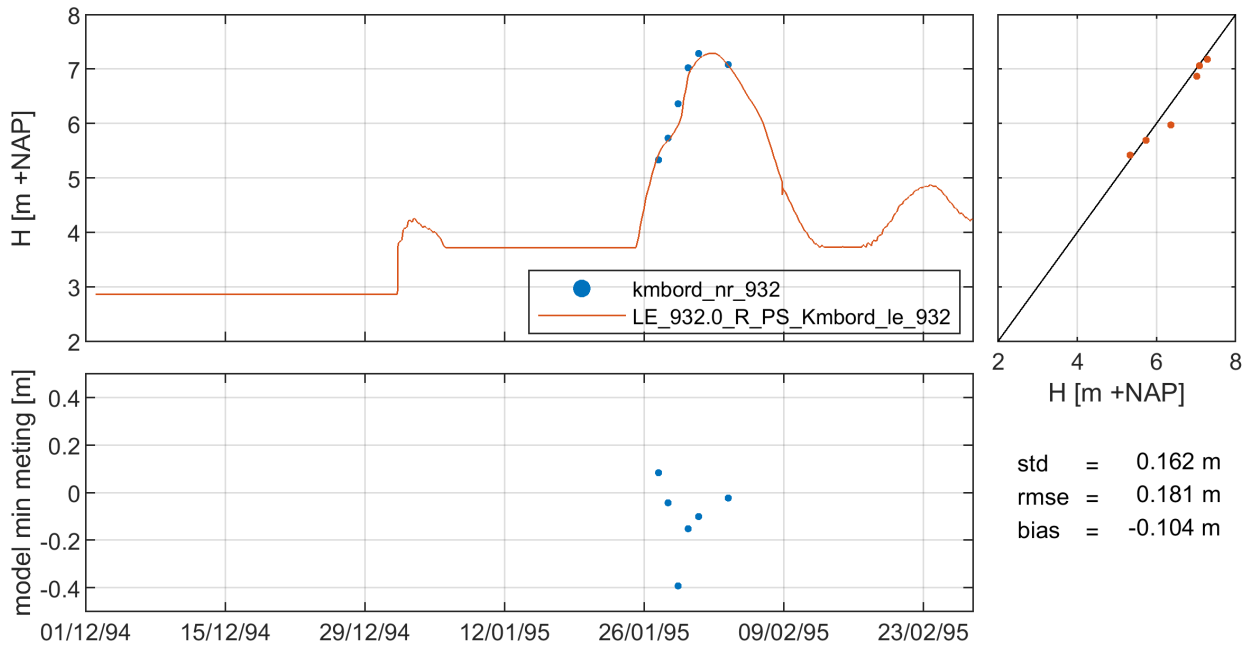




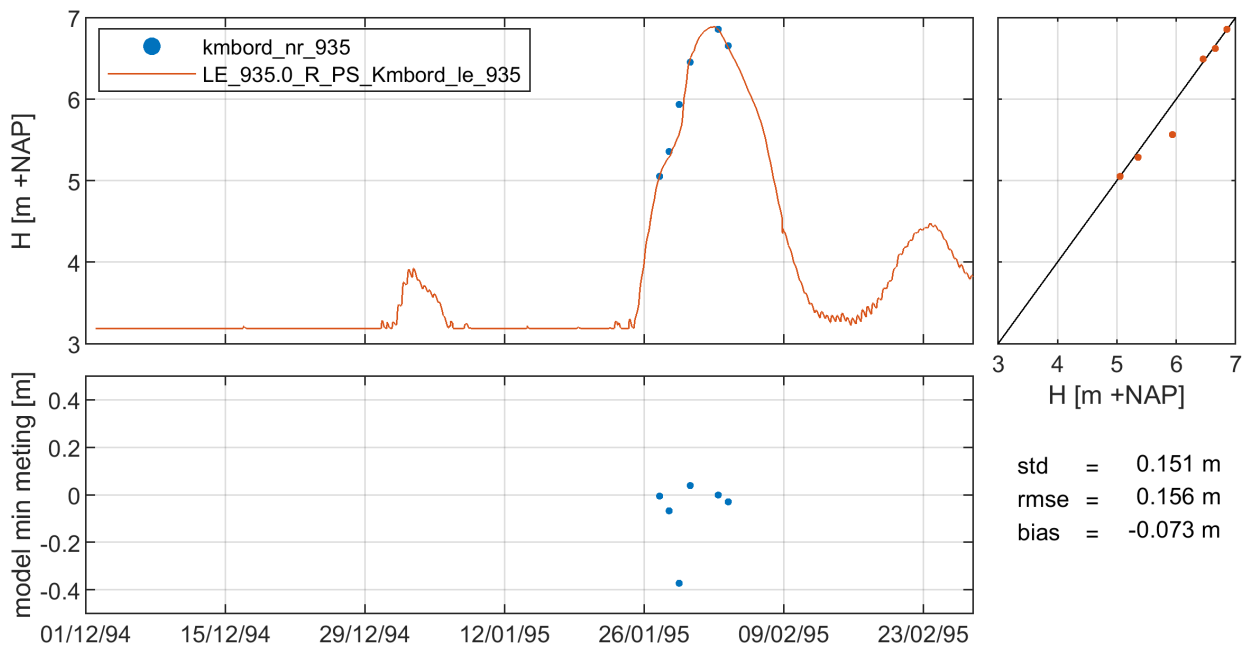
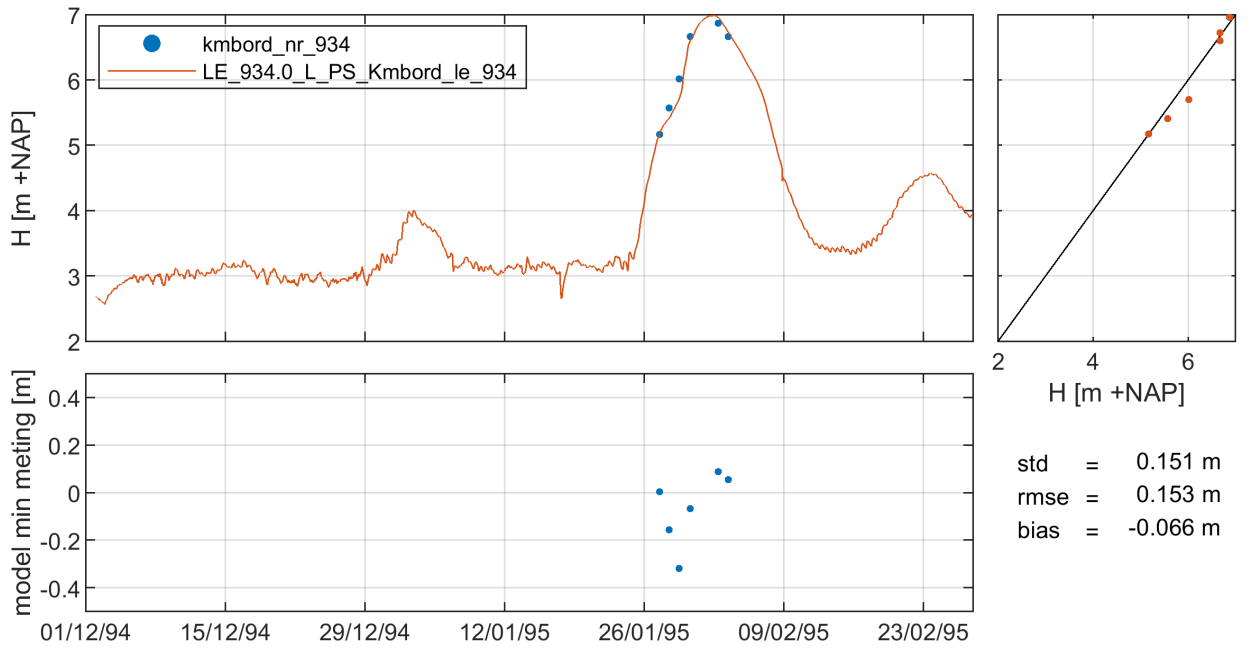


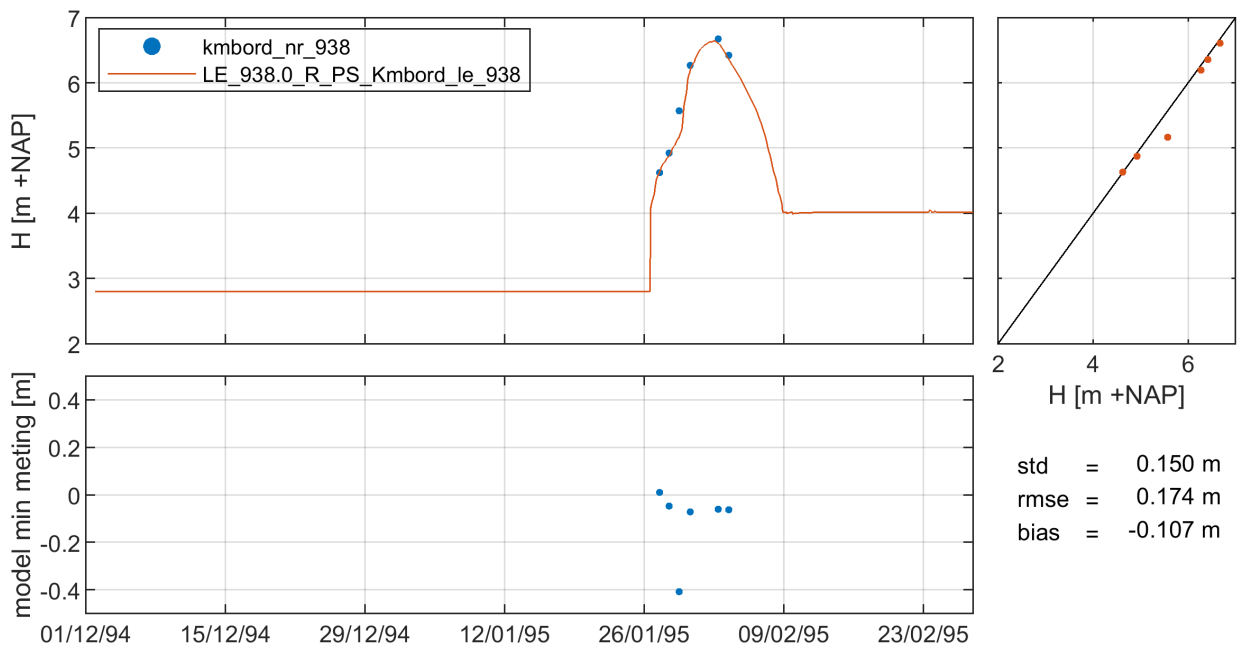
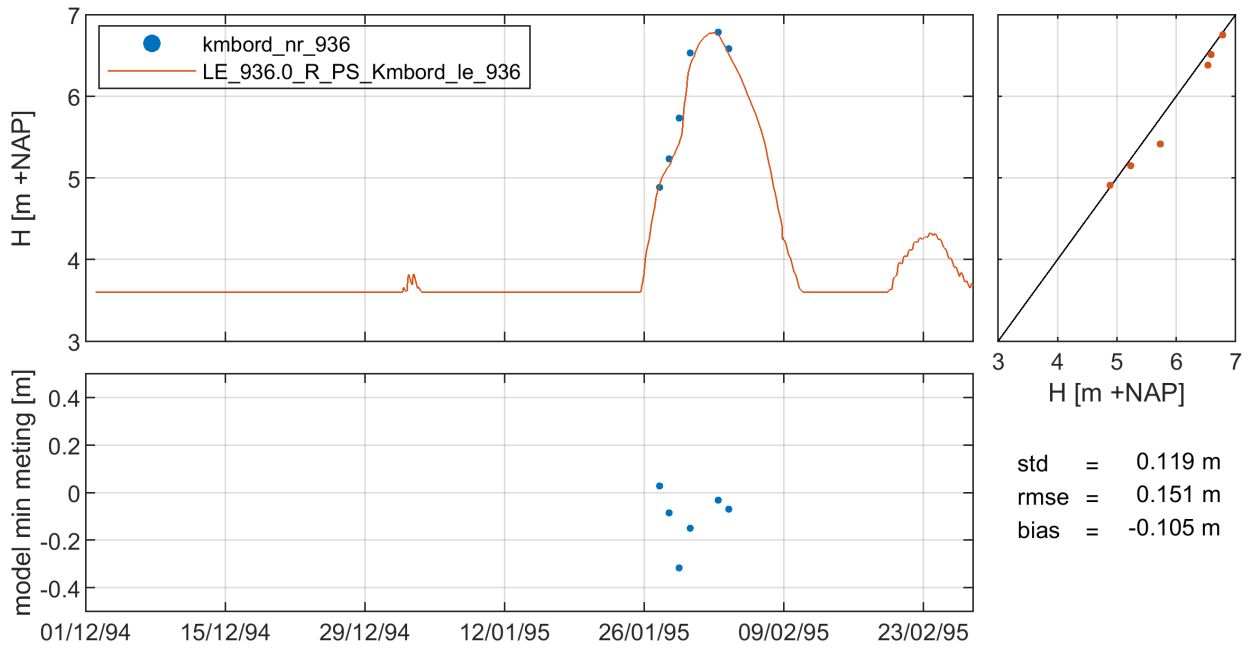


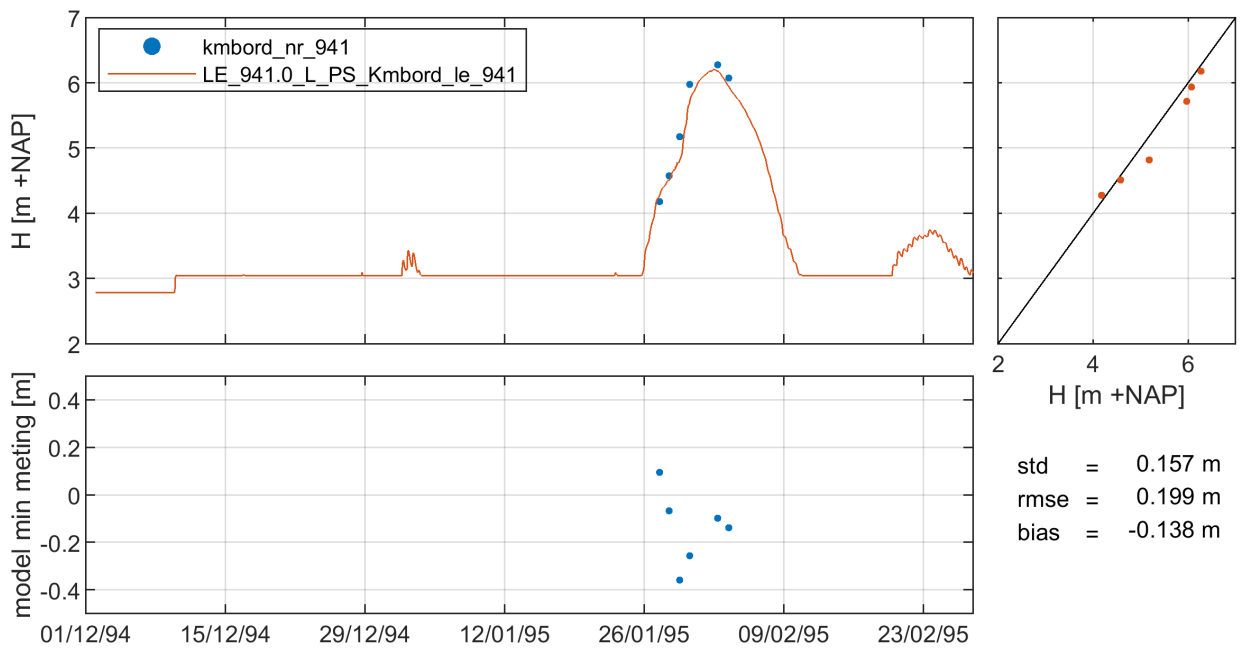
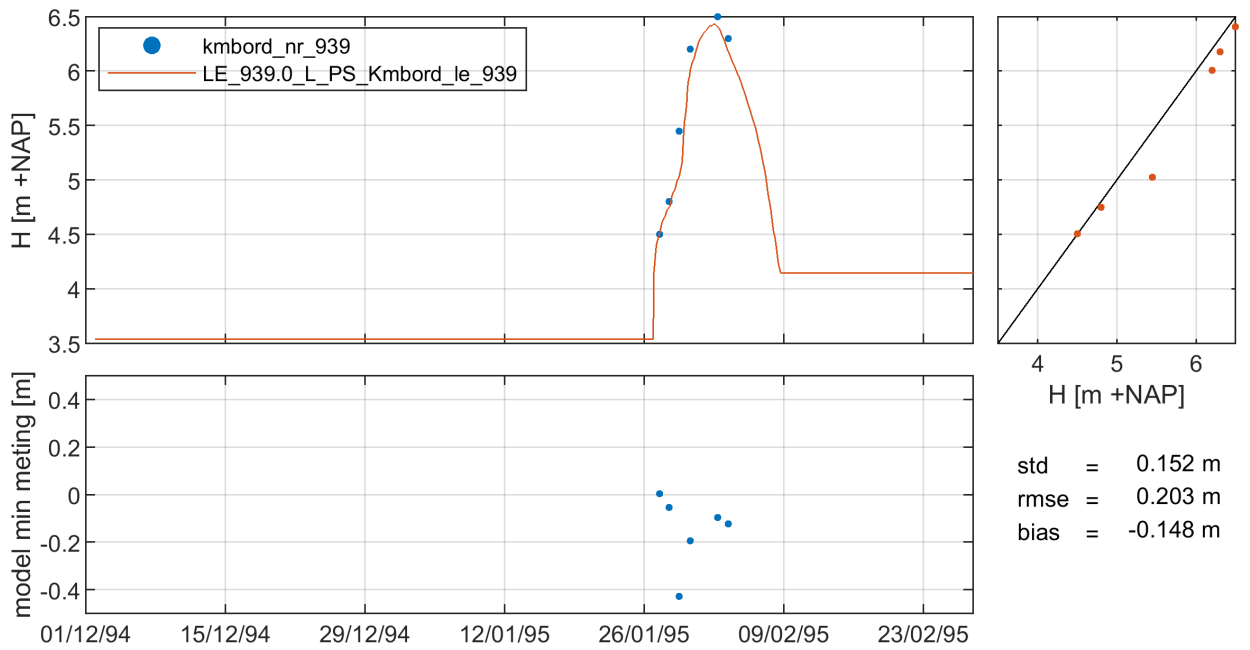


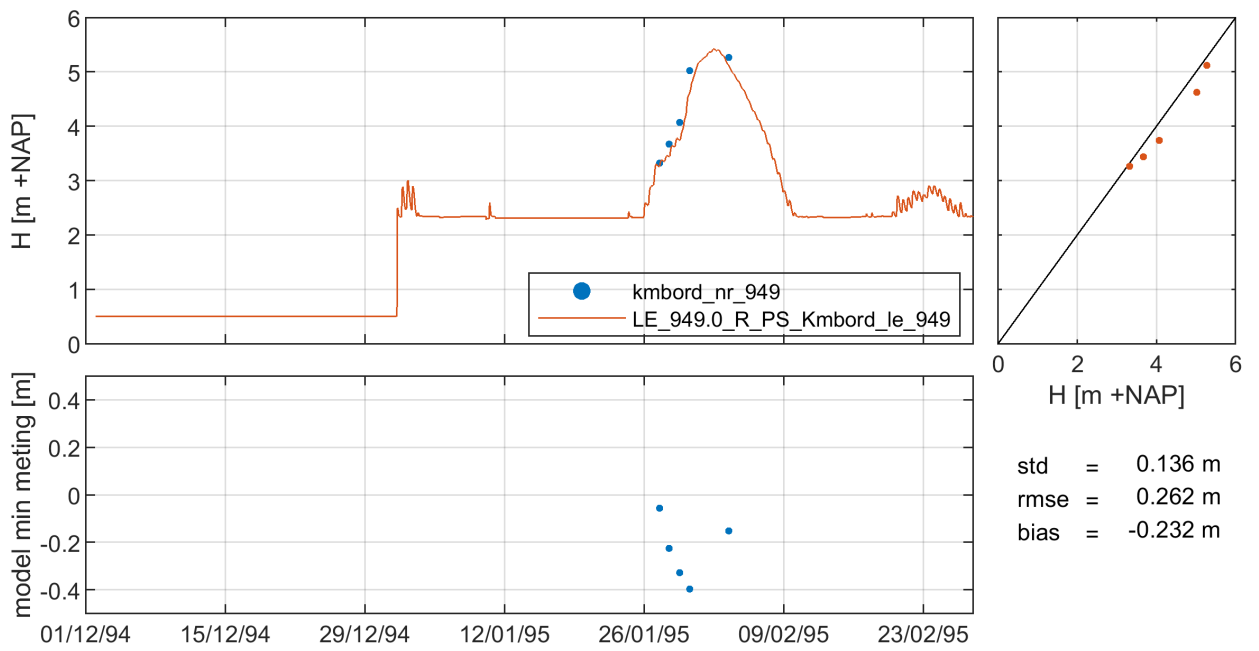
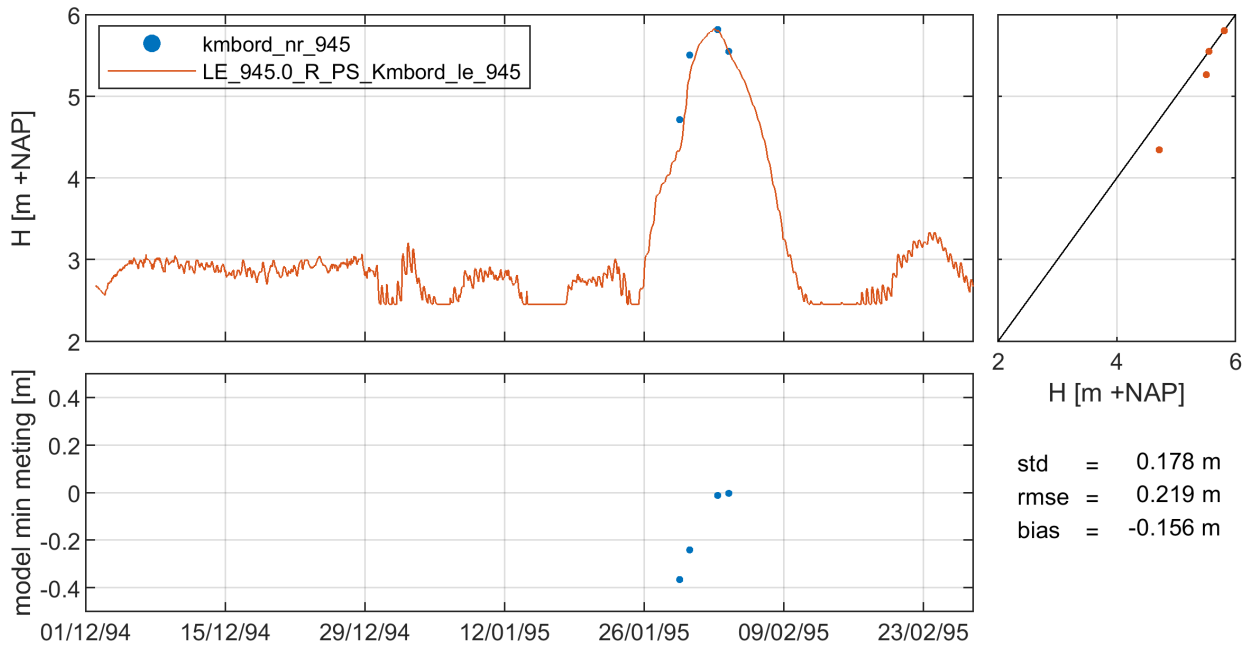


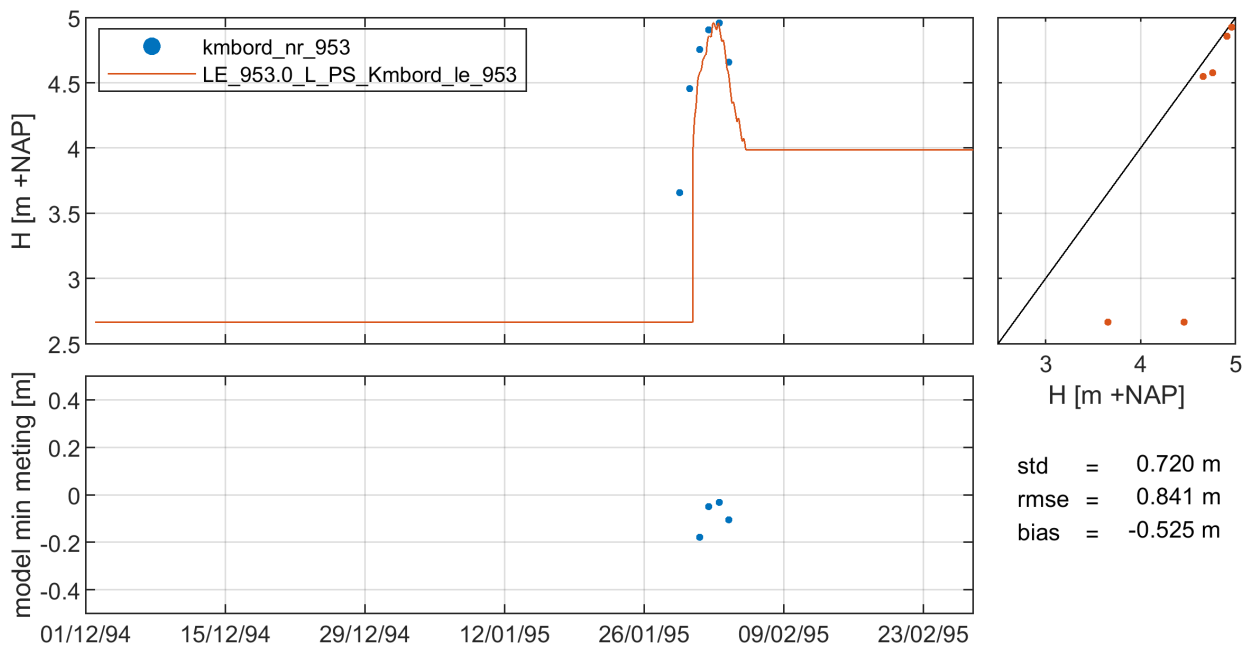
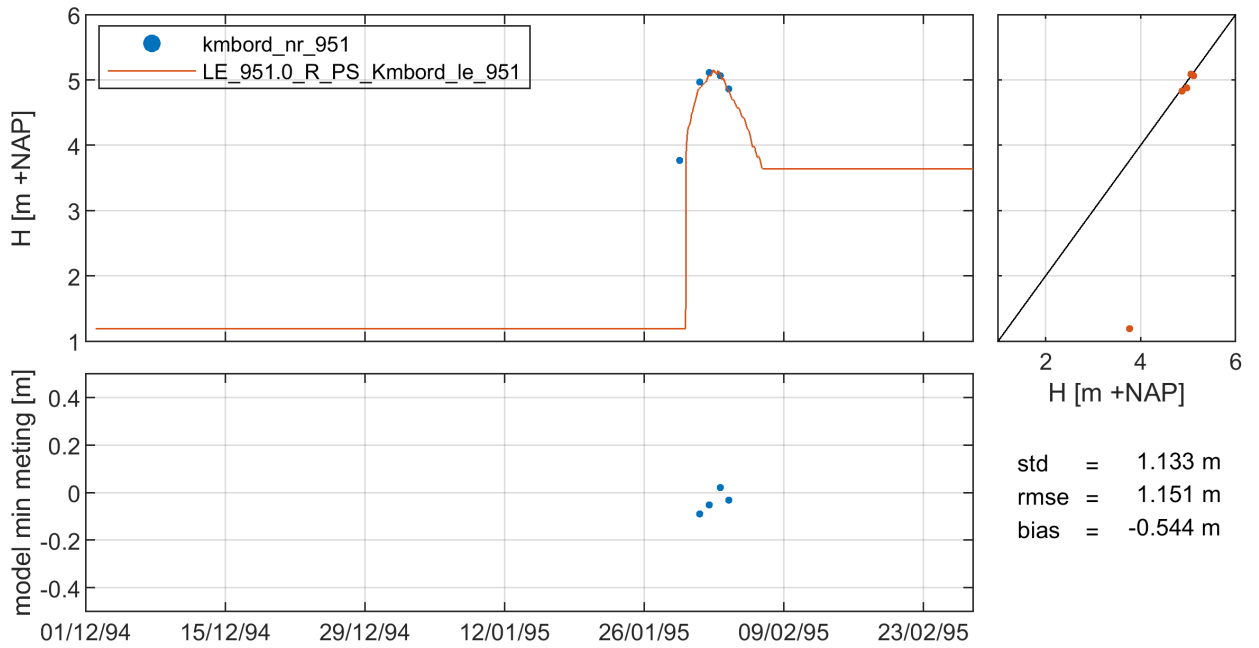


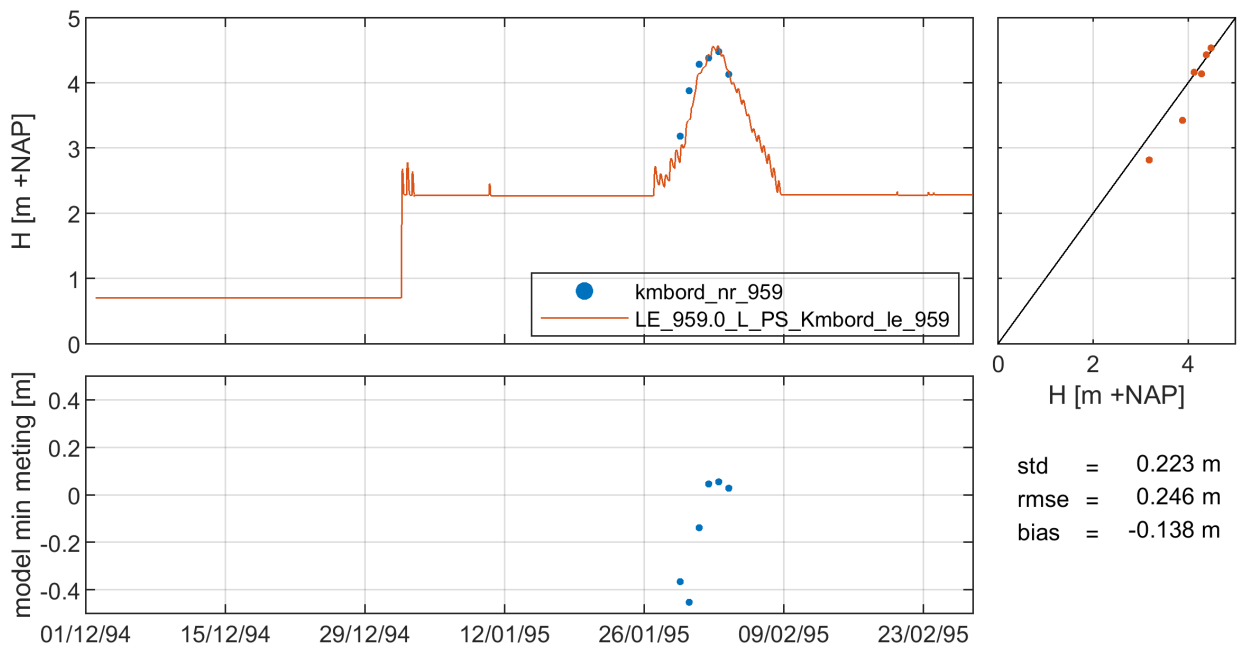
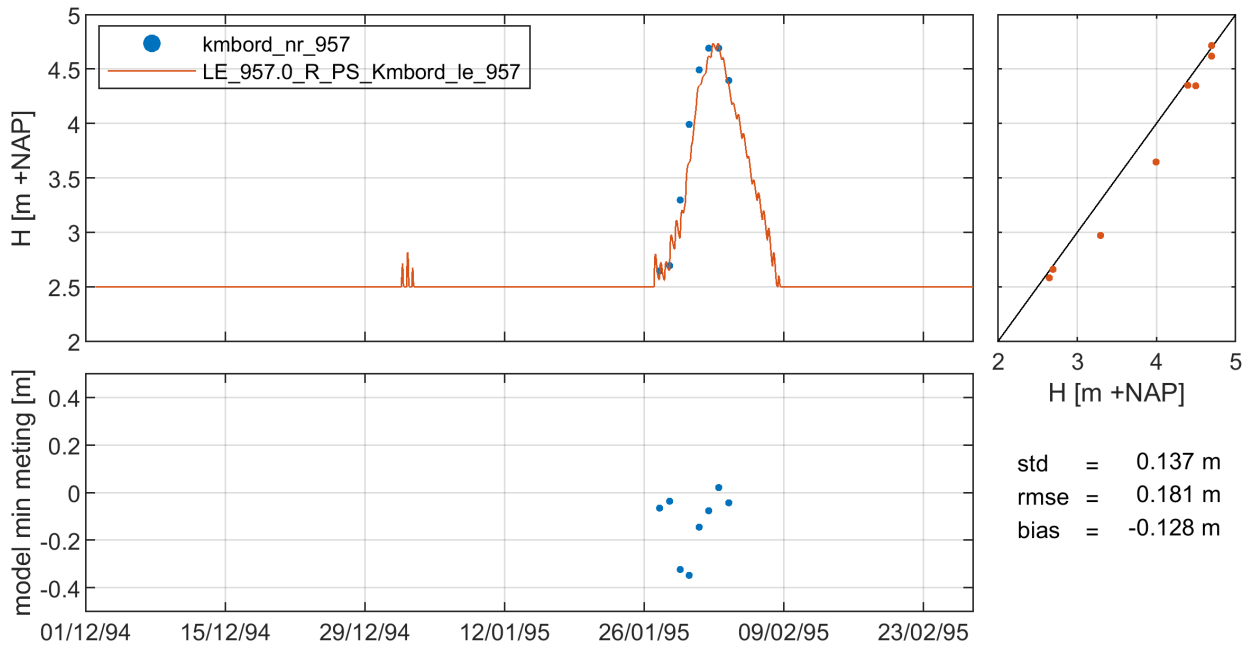


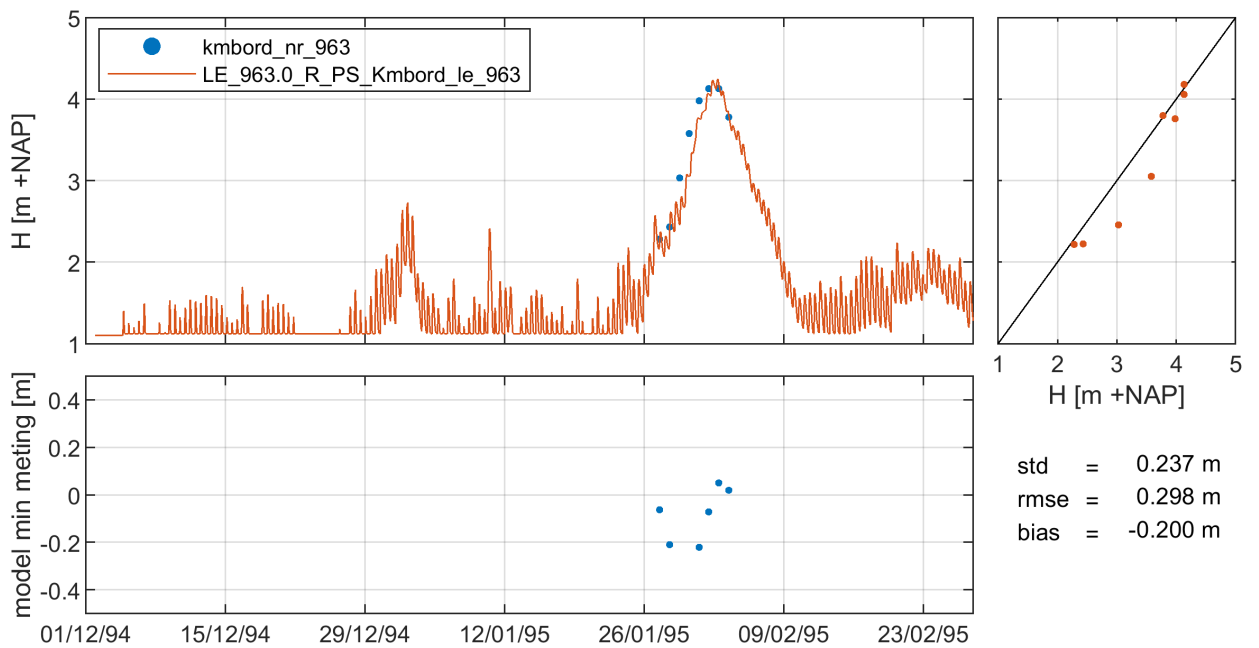
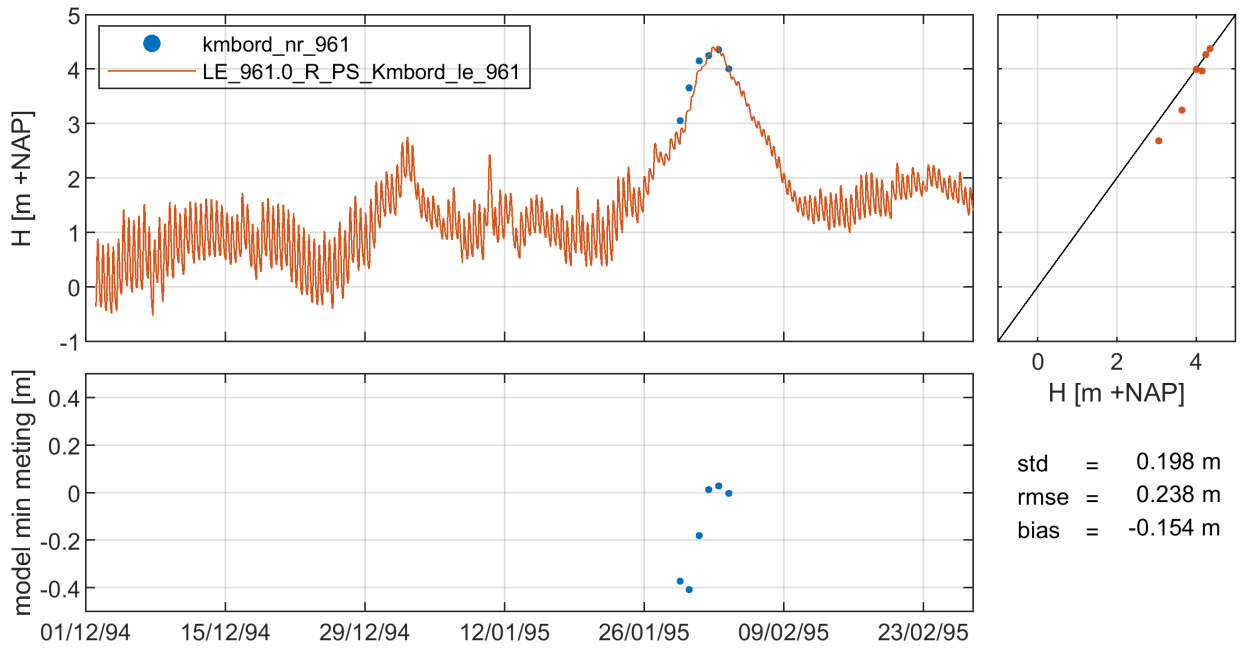


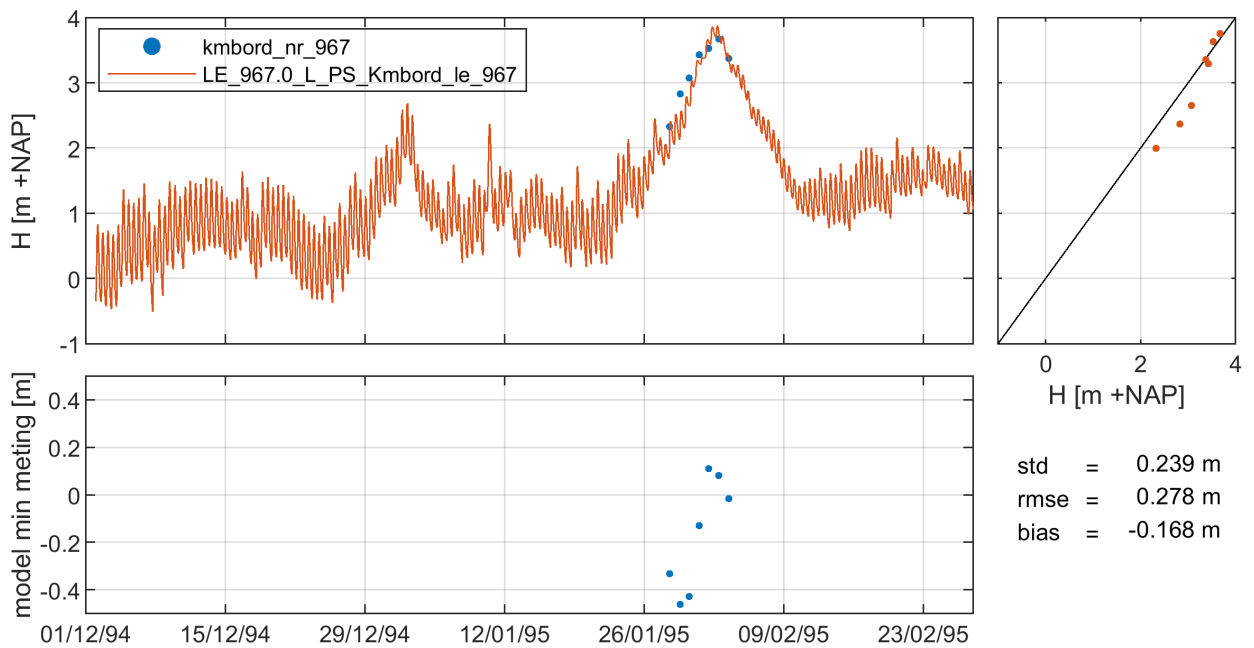
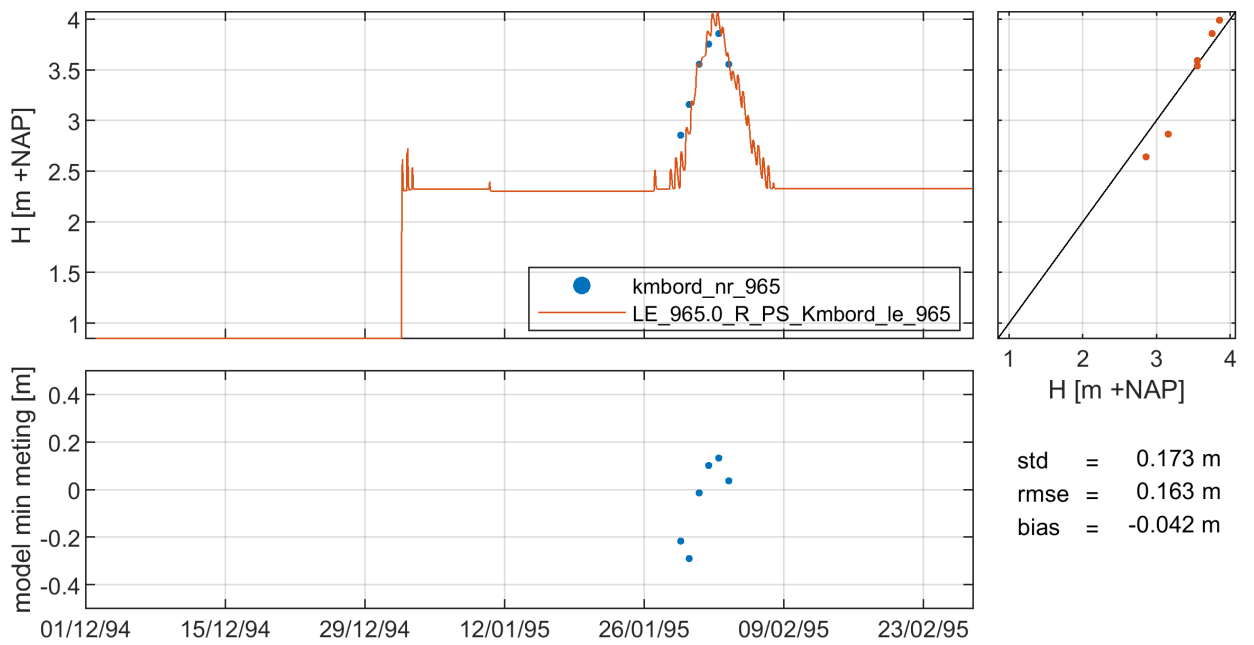




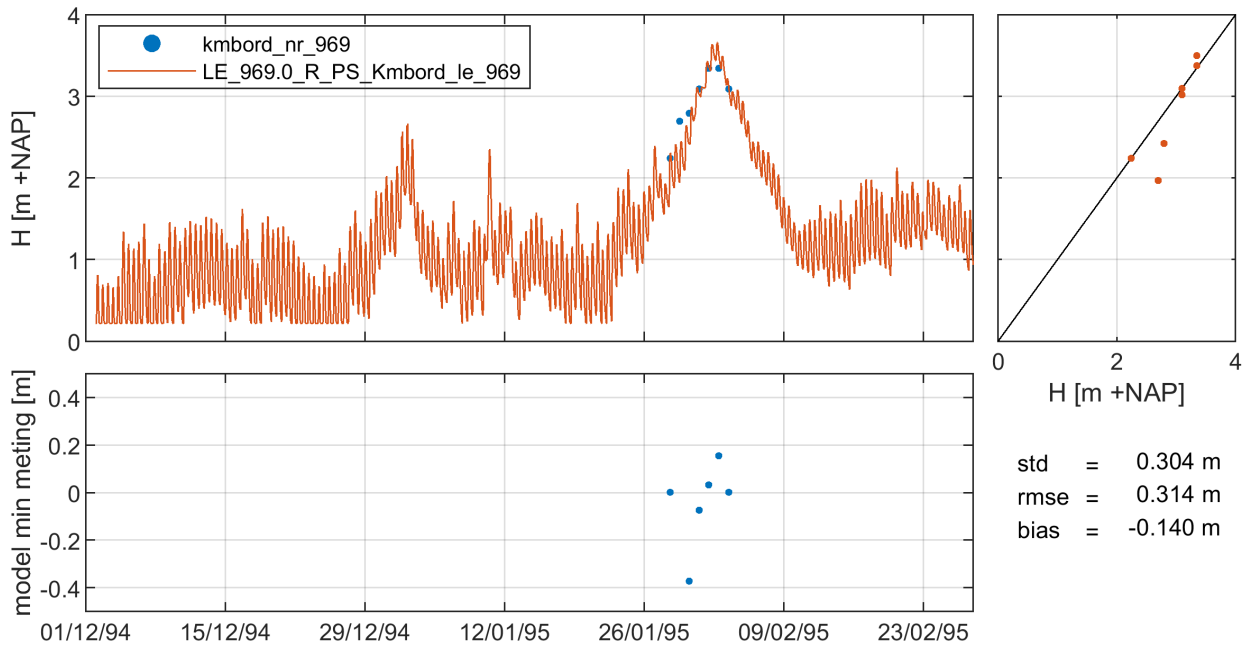




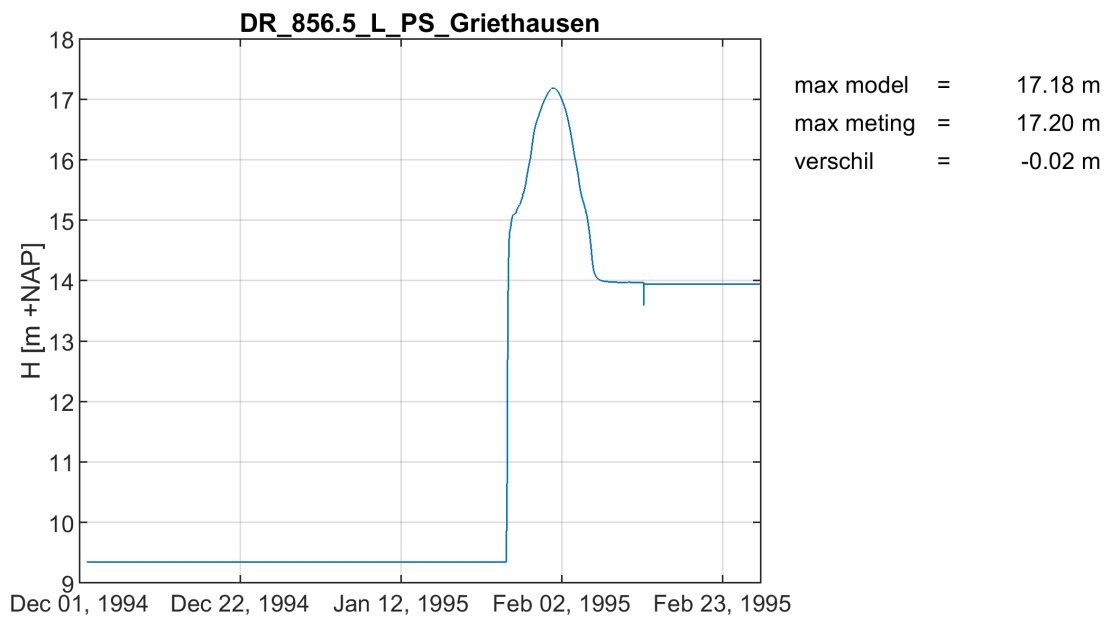


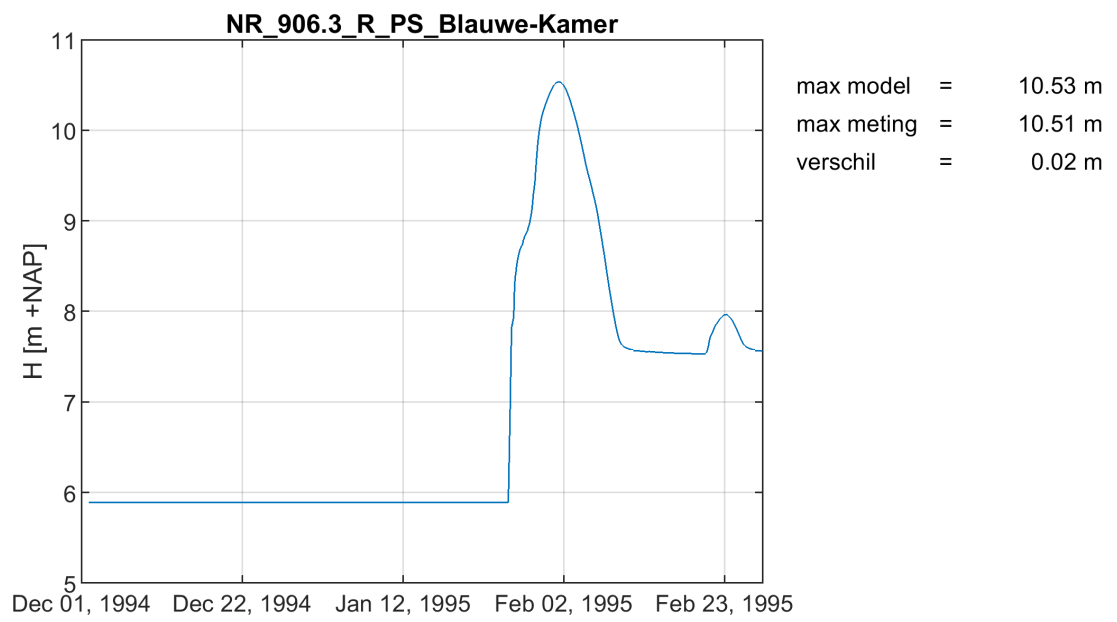
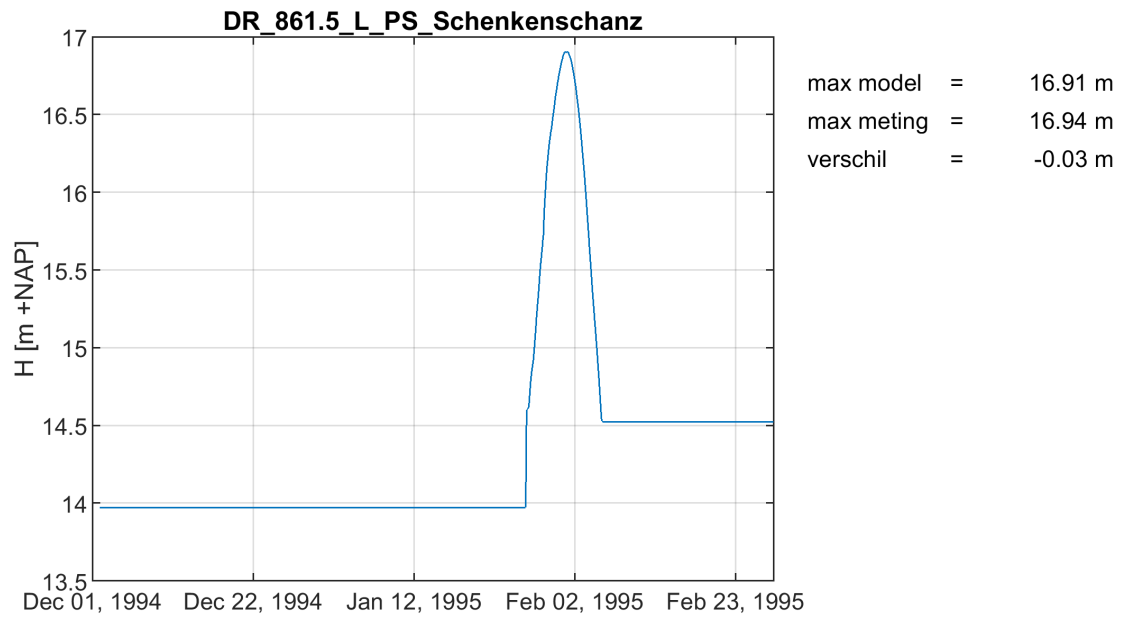


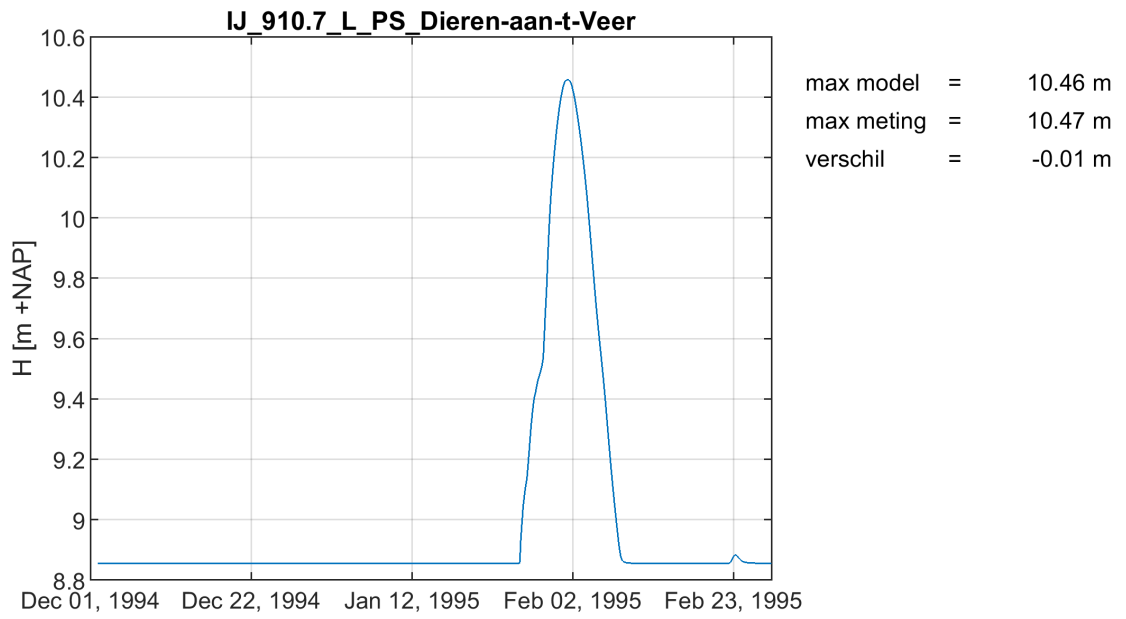
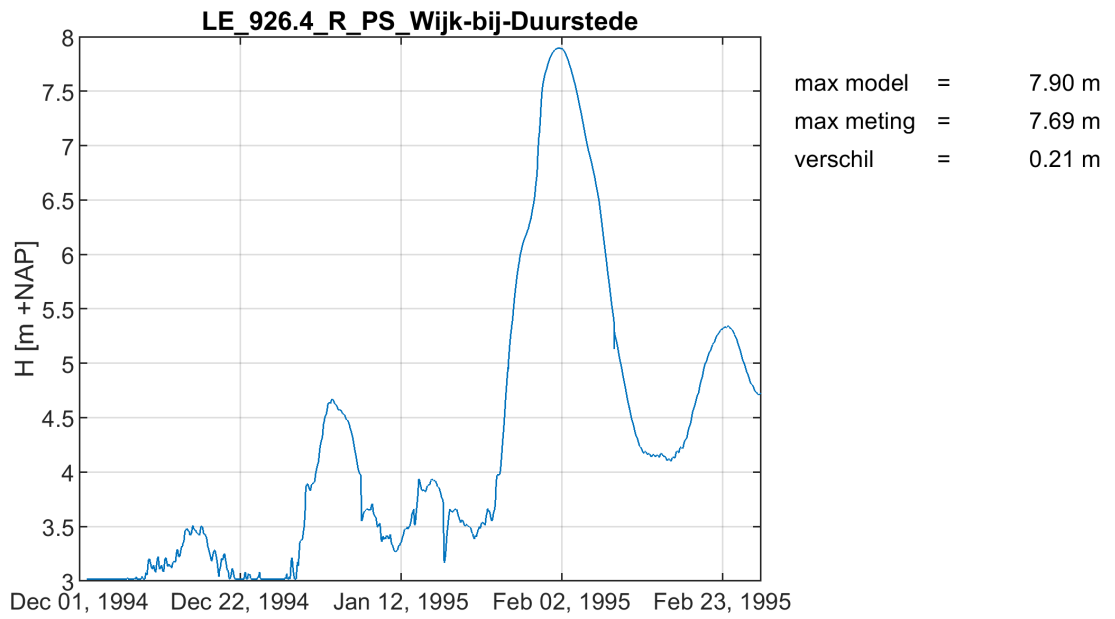




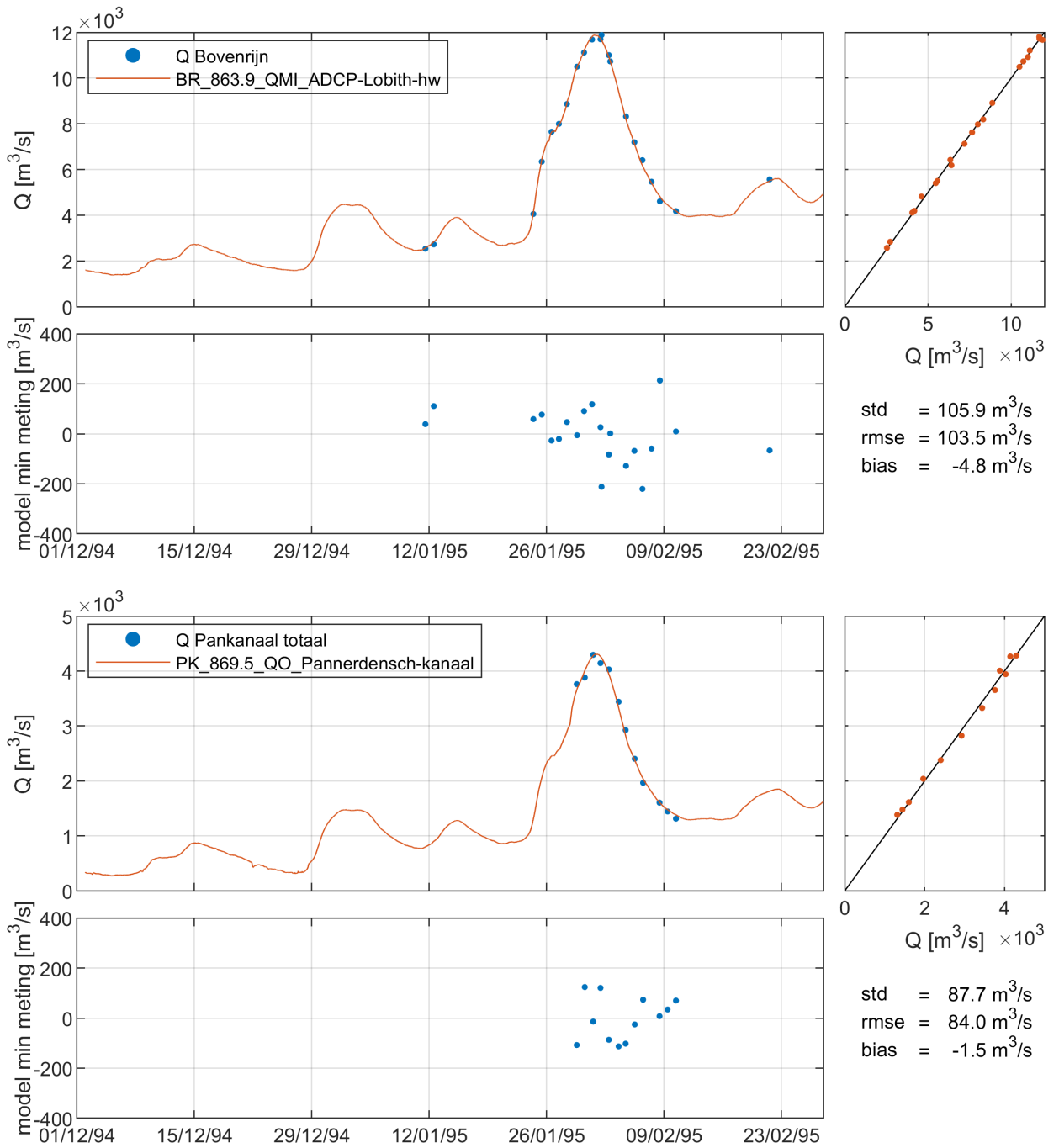
### I.2.7 Topstanden

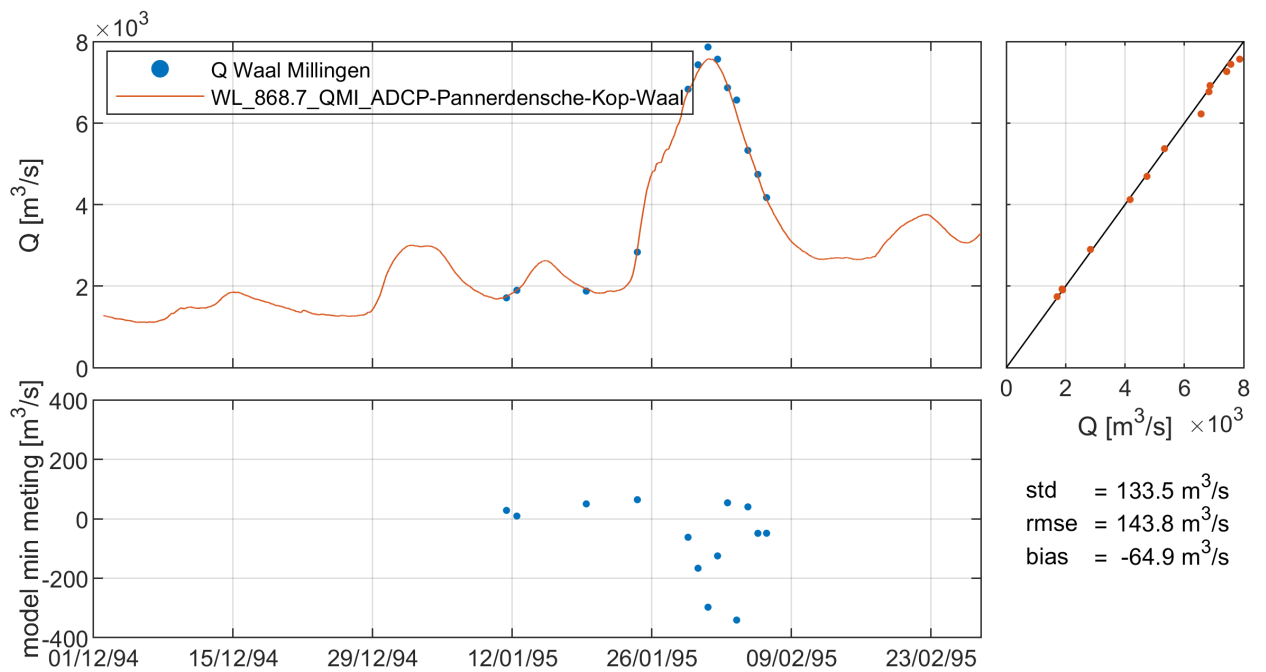
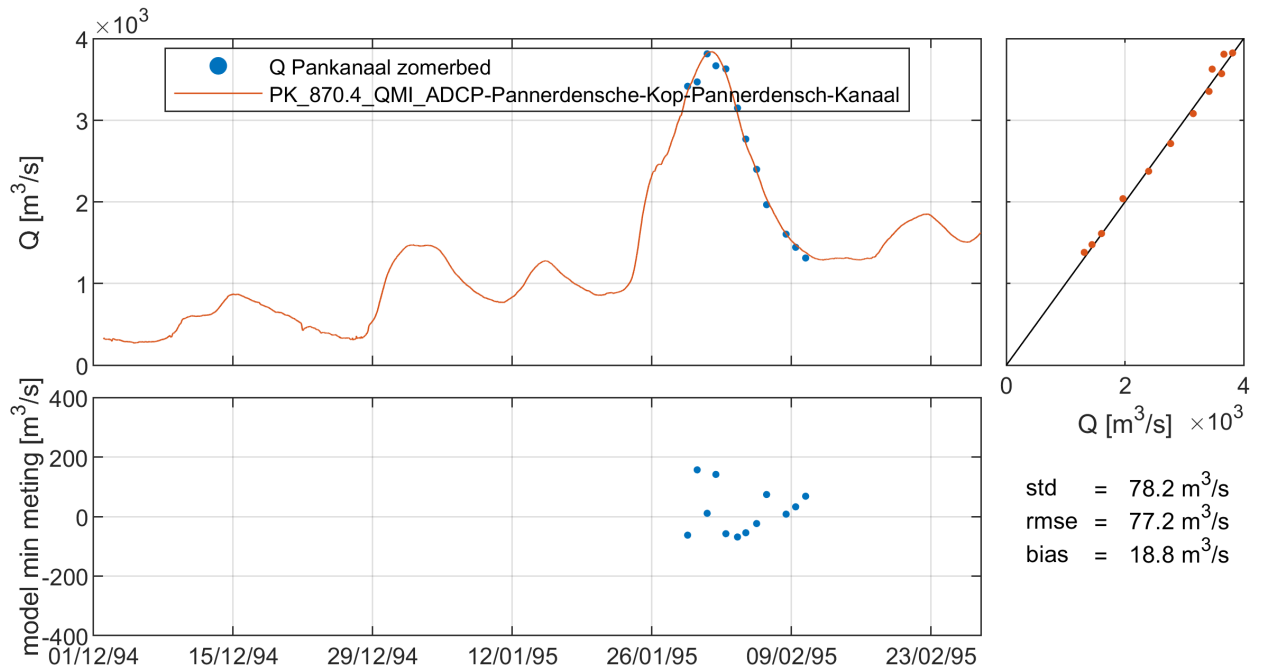


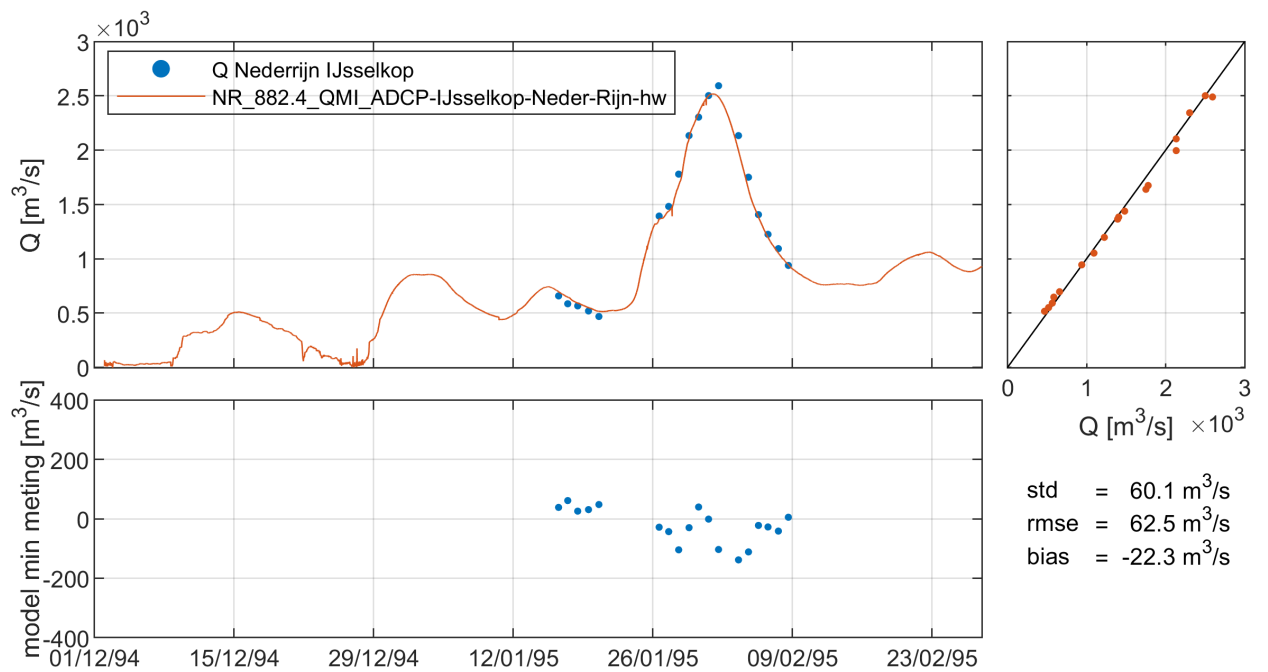
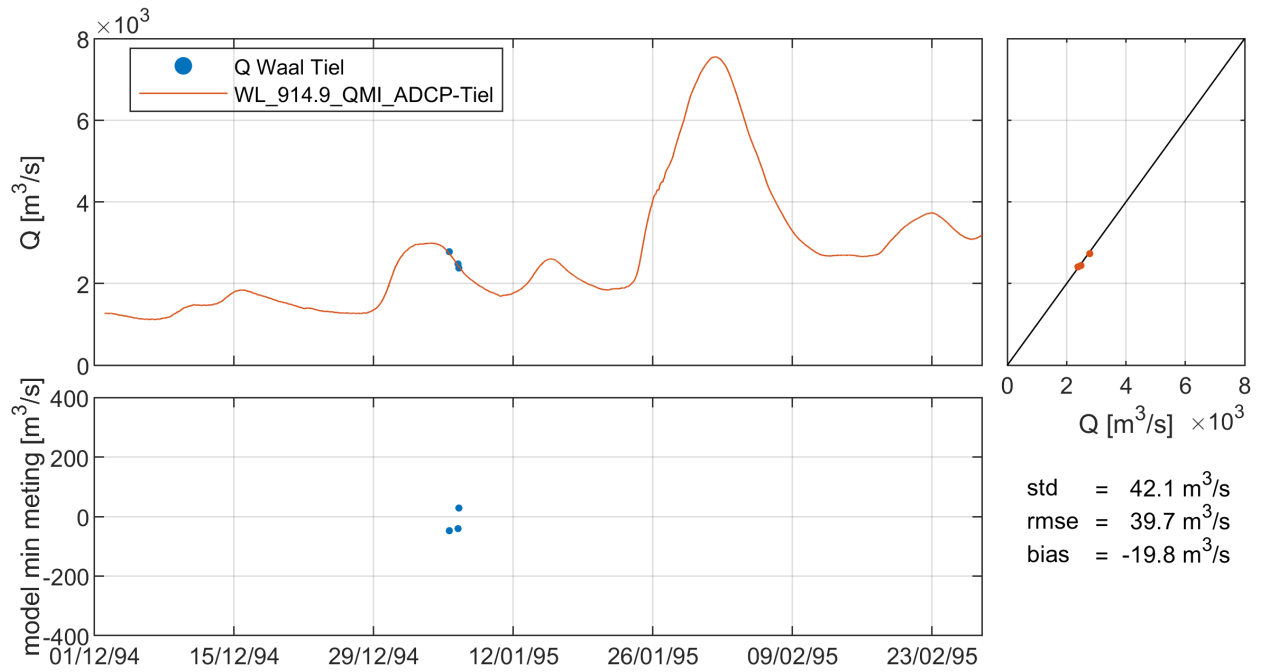


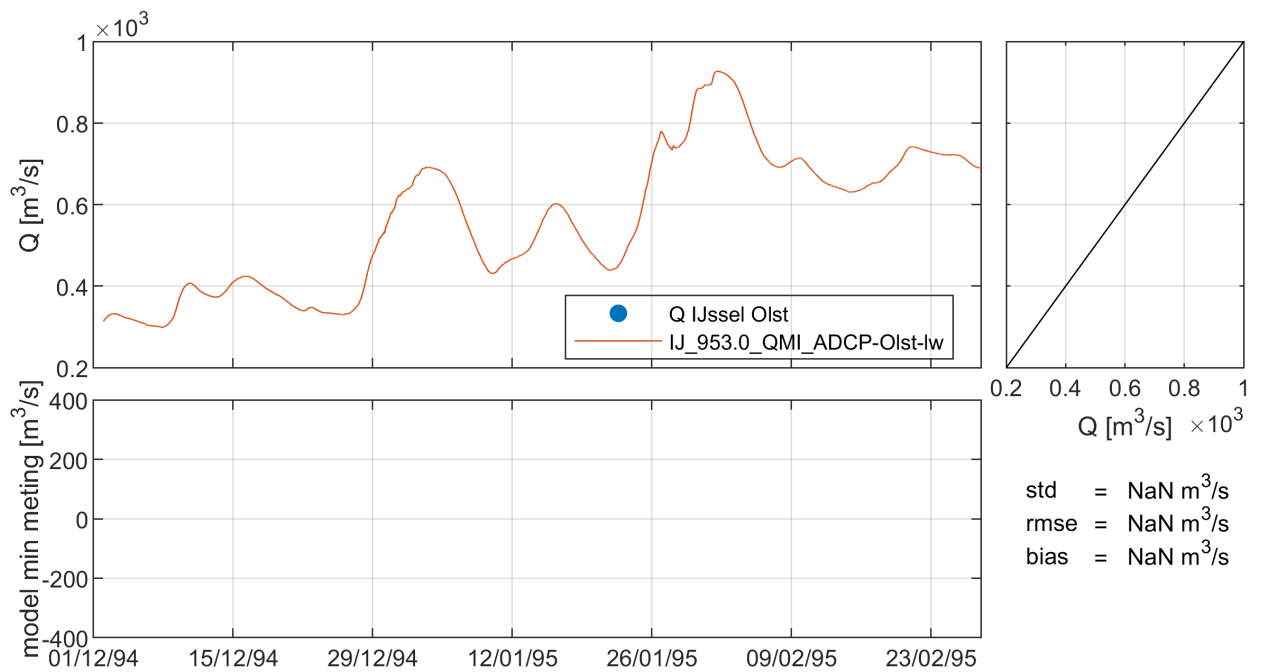
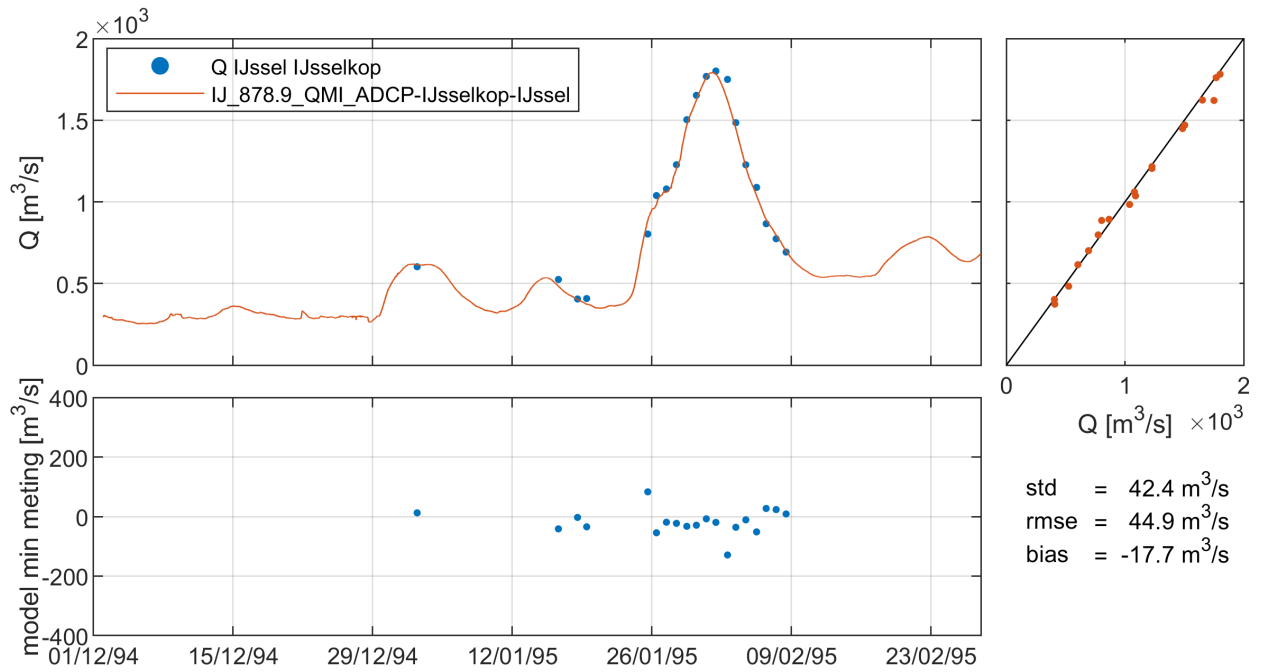


## 1.2.8 Ott-metingen

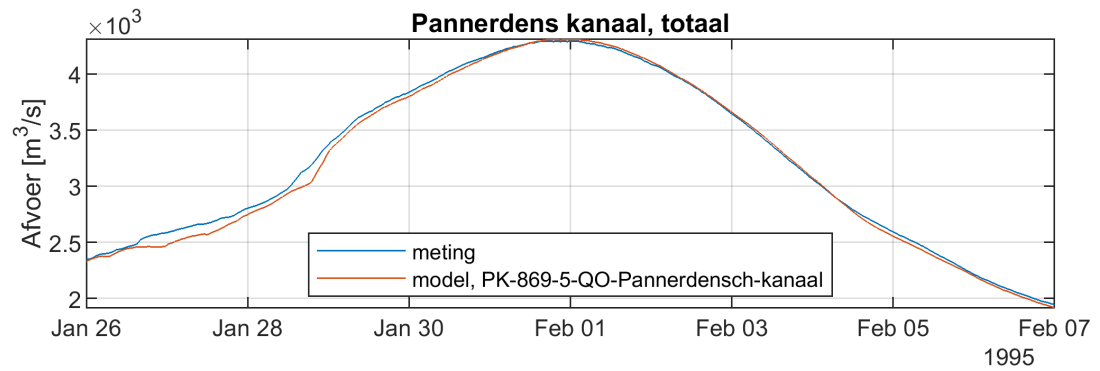
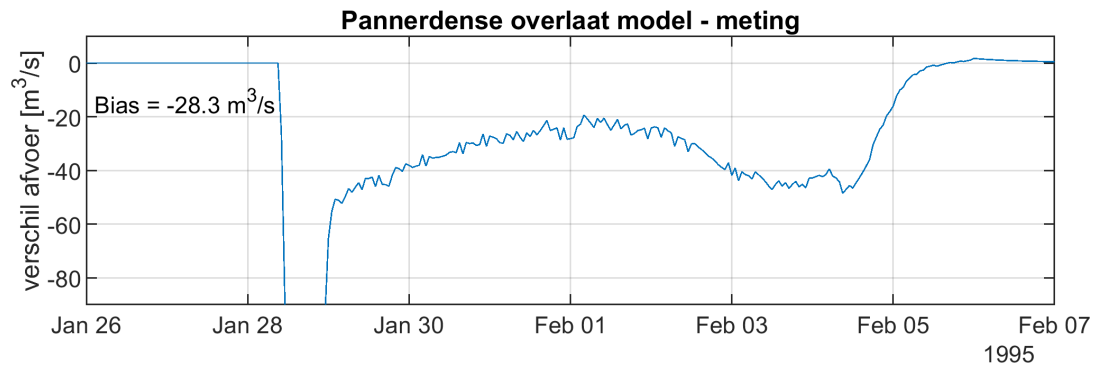
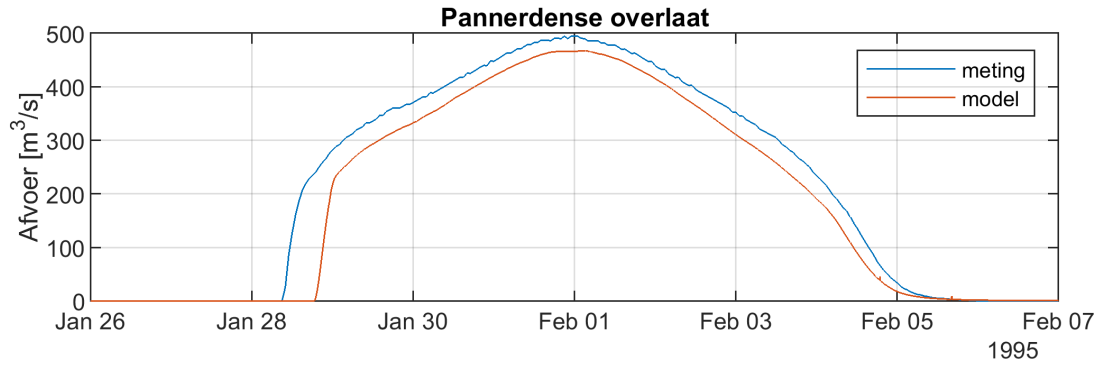




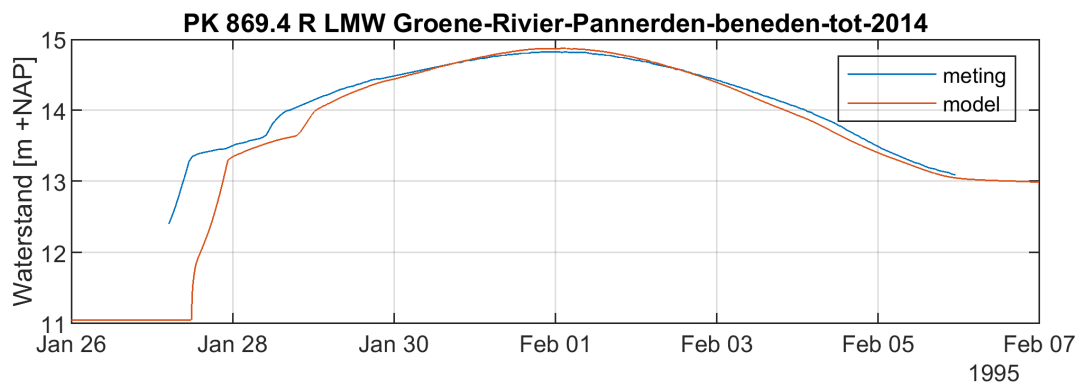
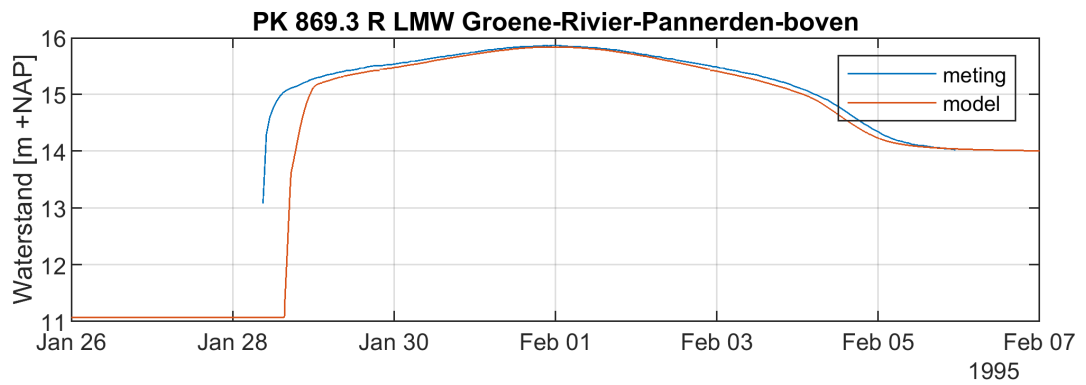




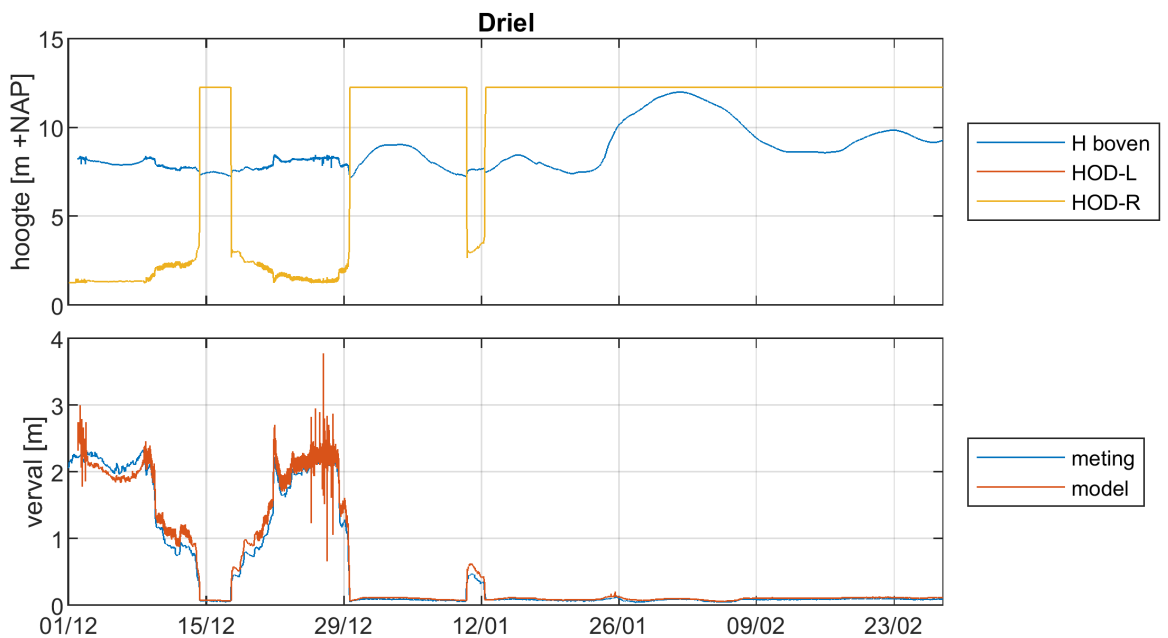
## I.2.9 Afvoer Pannerdense overlaat

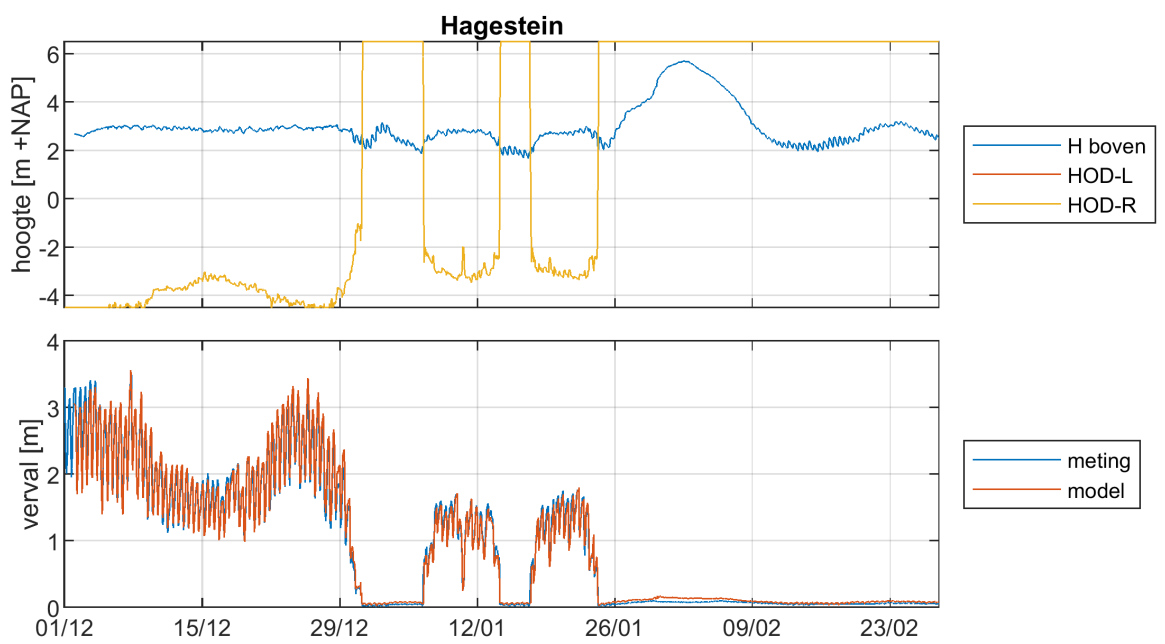
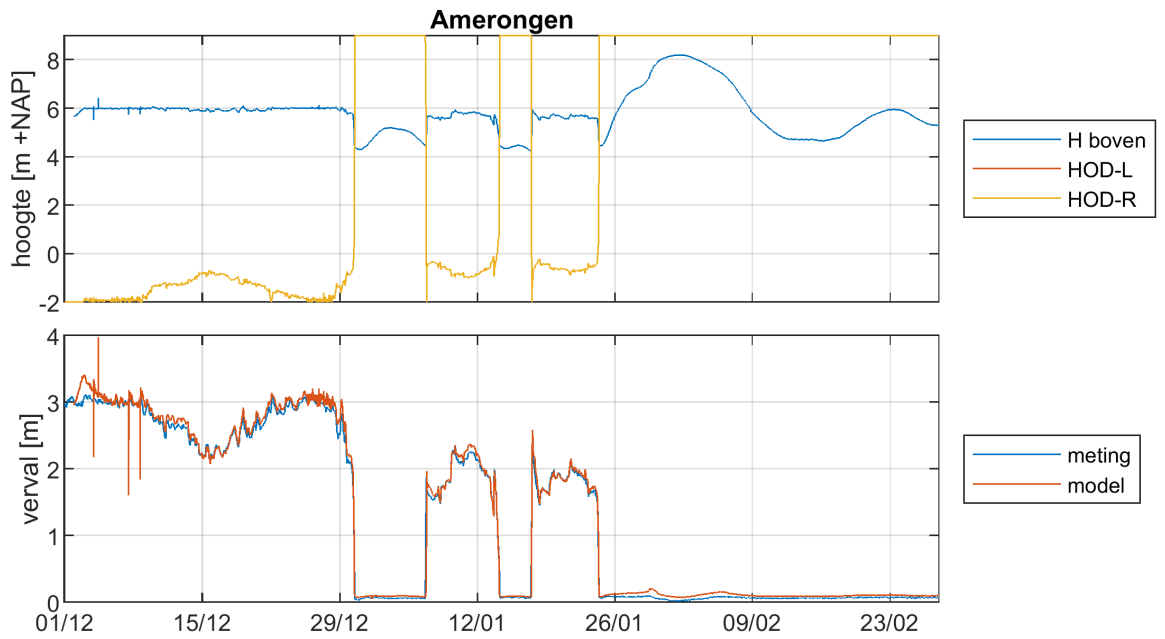






## I.2.10 Stuwen

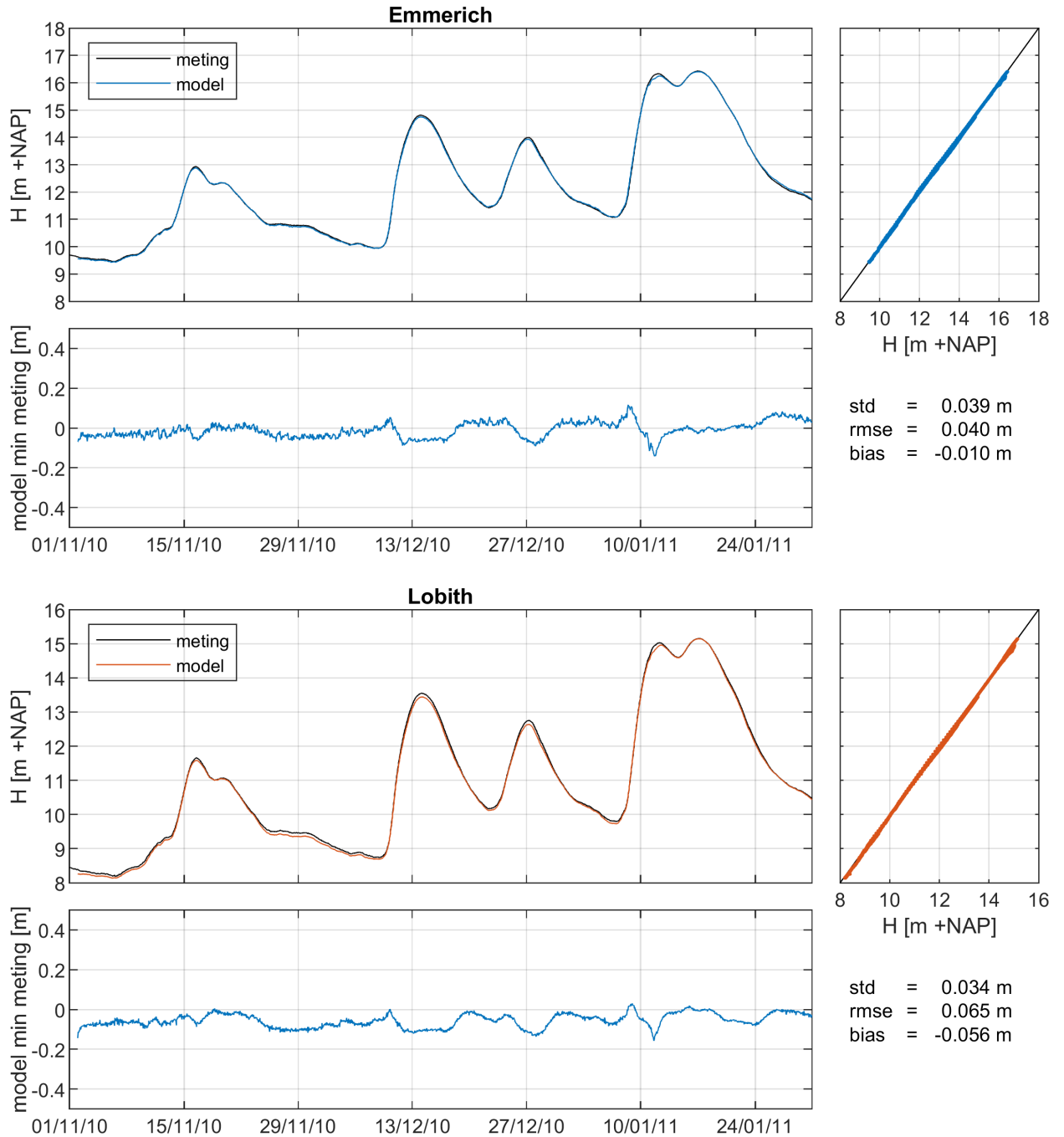


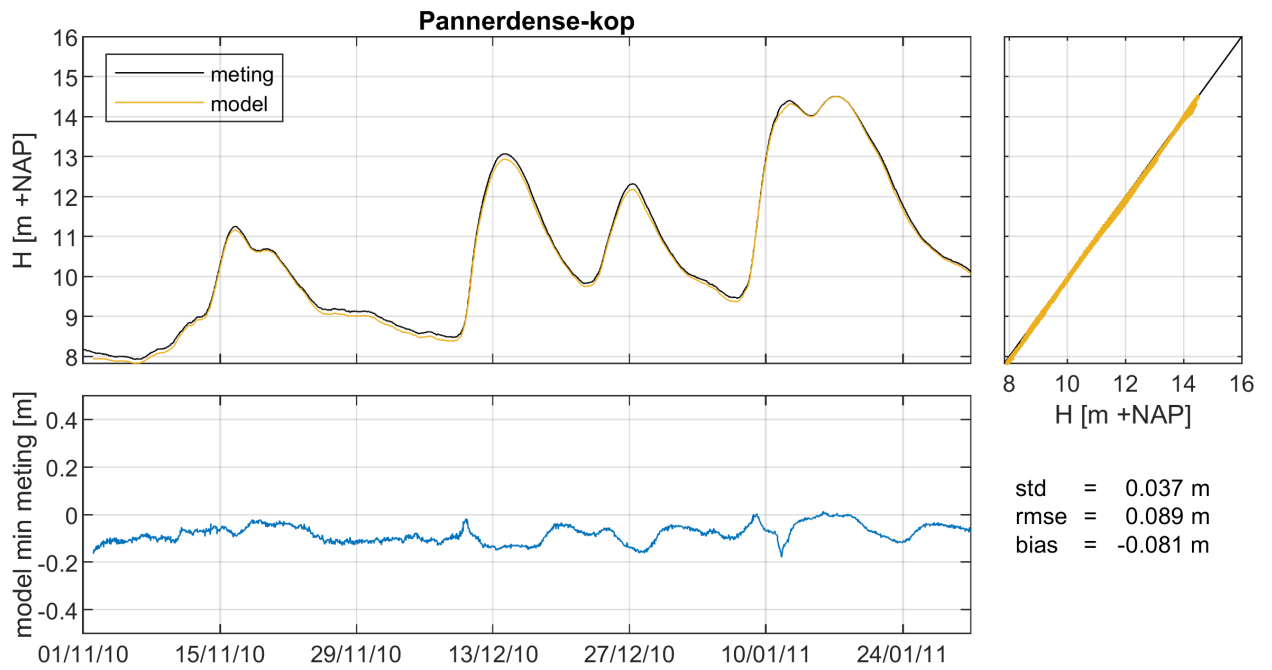


## I.3 j11

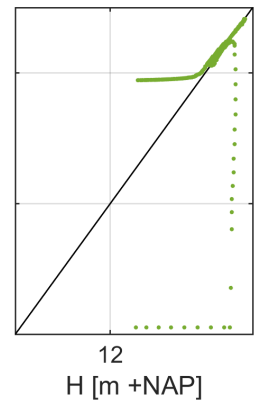
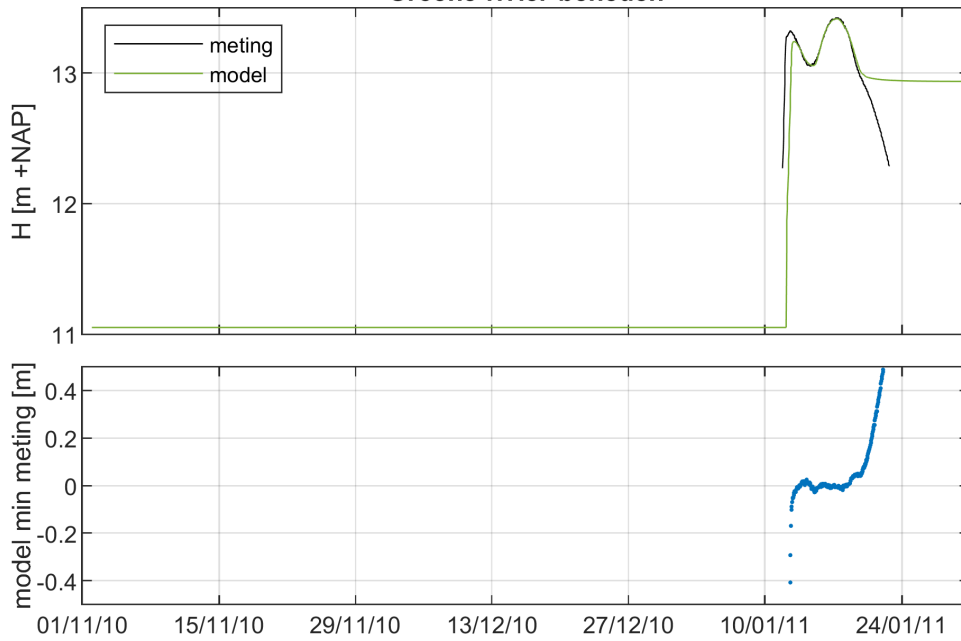
### I.3.1 Waterstanden

#### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal



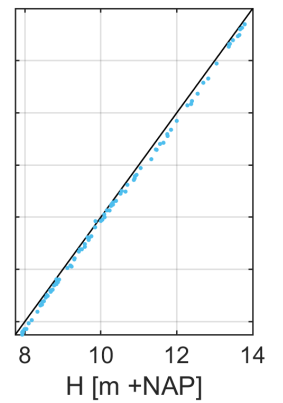
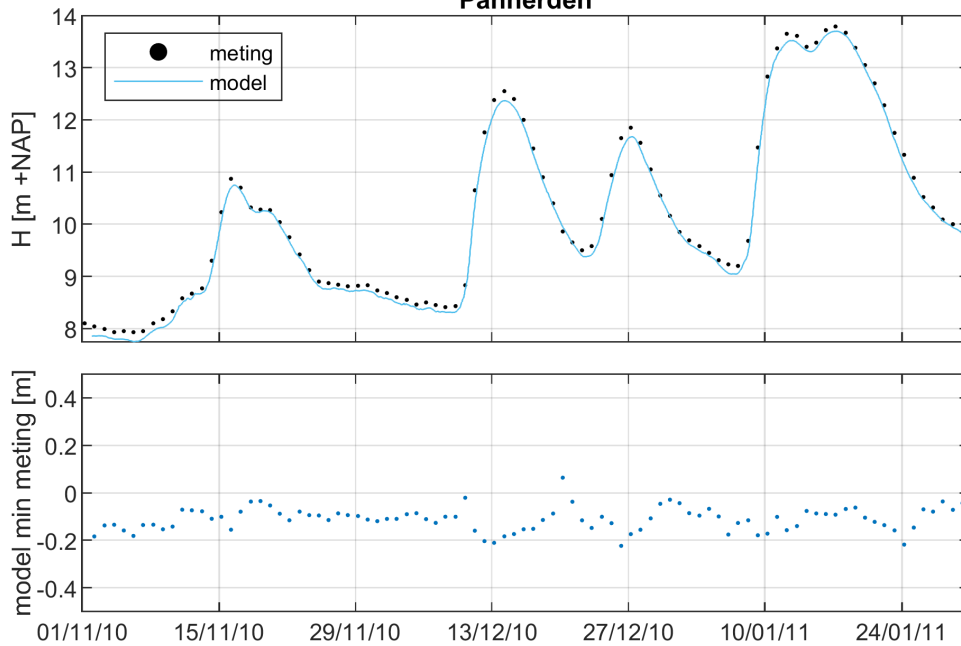


### Groene-rivier-beneden

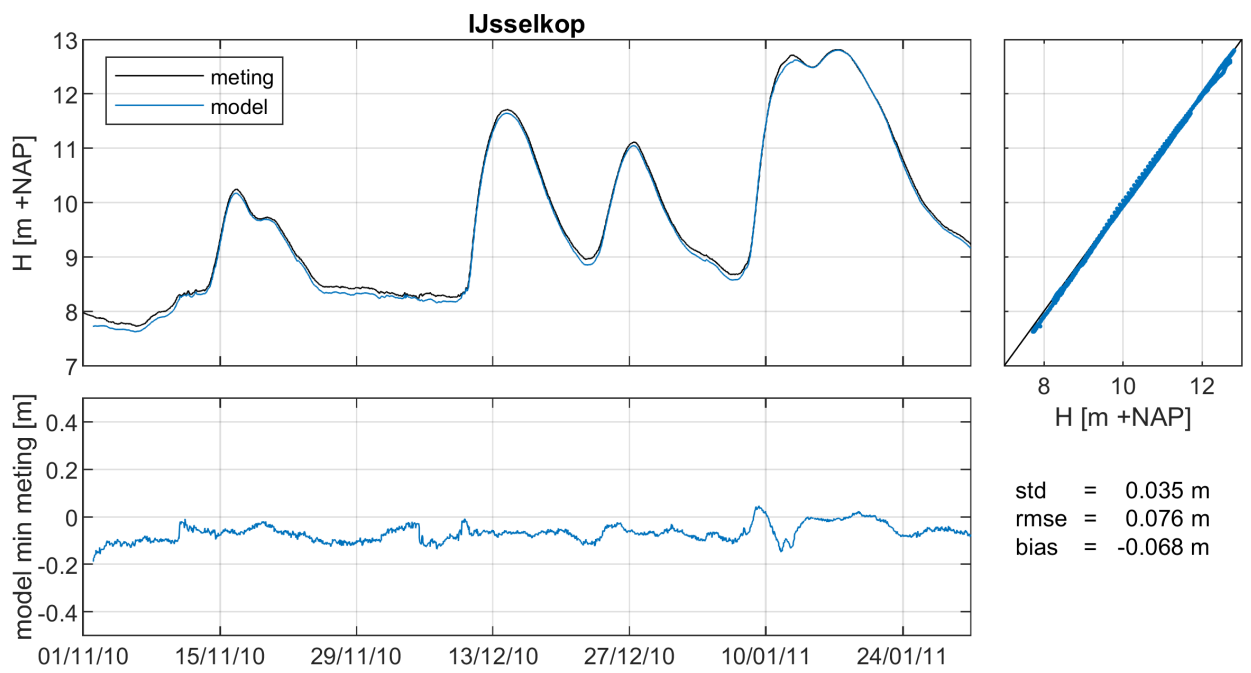
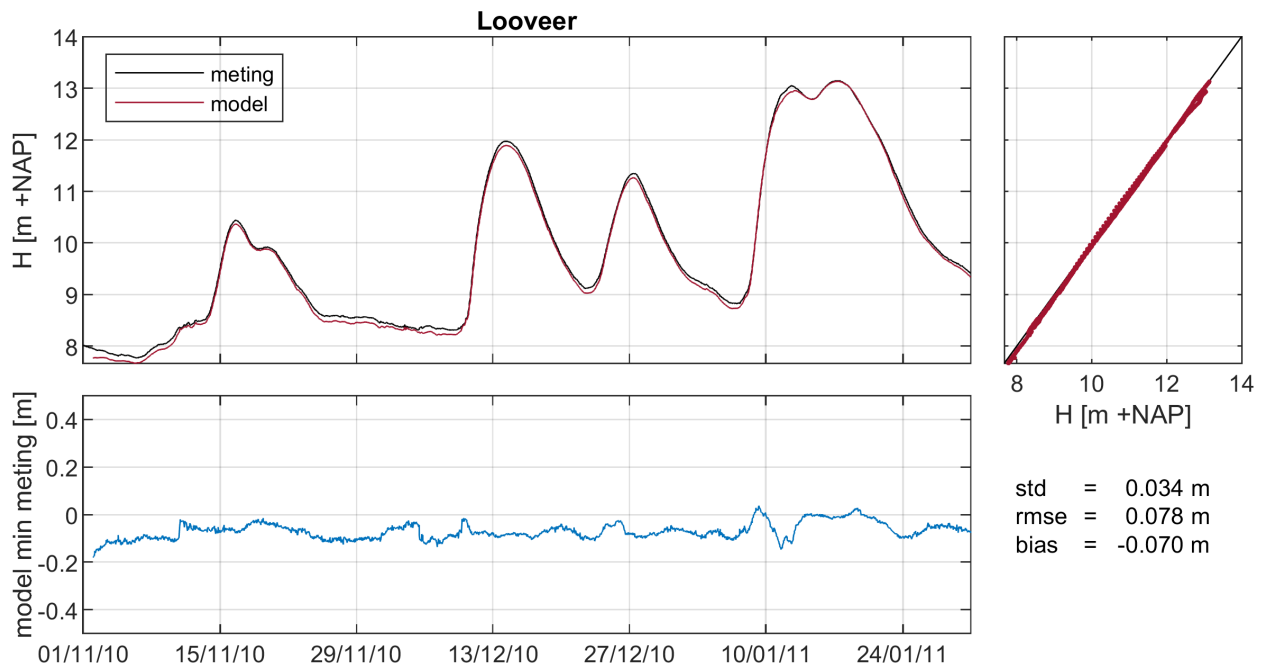


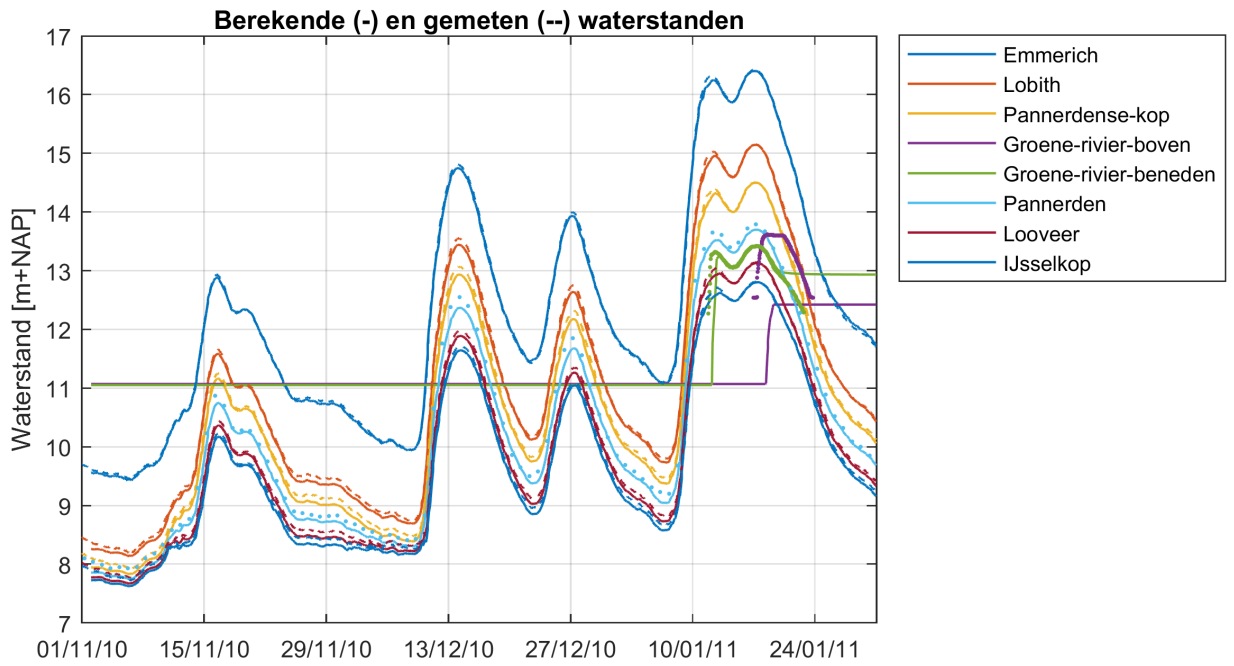
std = 0.448 m  
 rmse = 0.448 m  
 bias = -0.031 m

### Pannerden

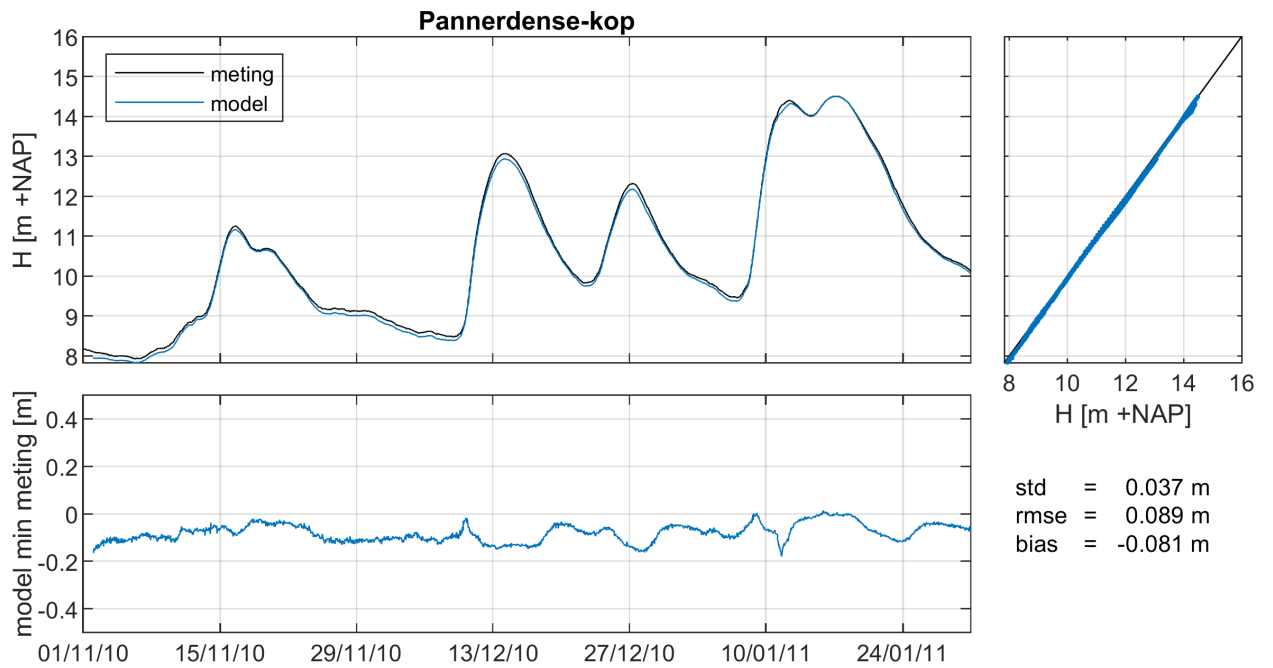


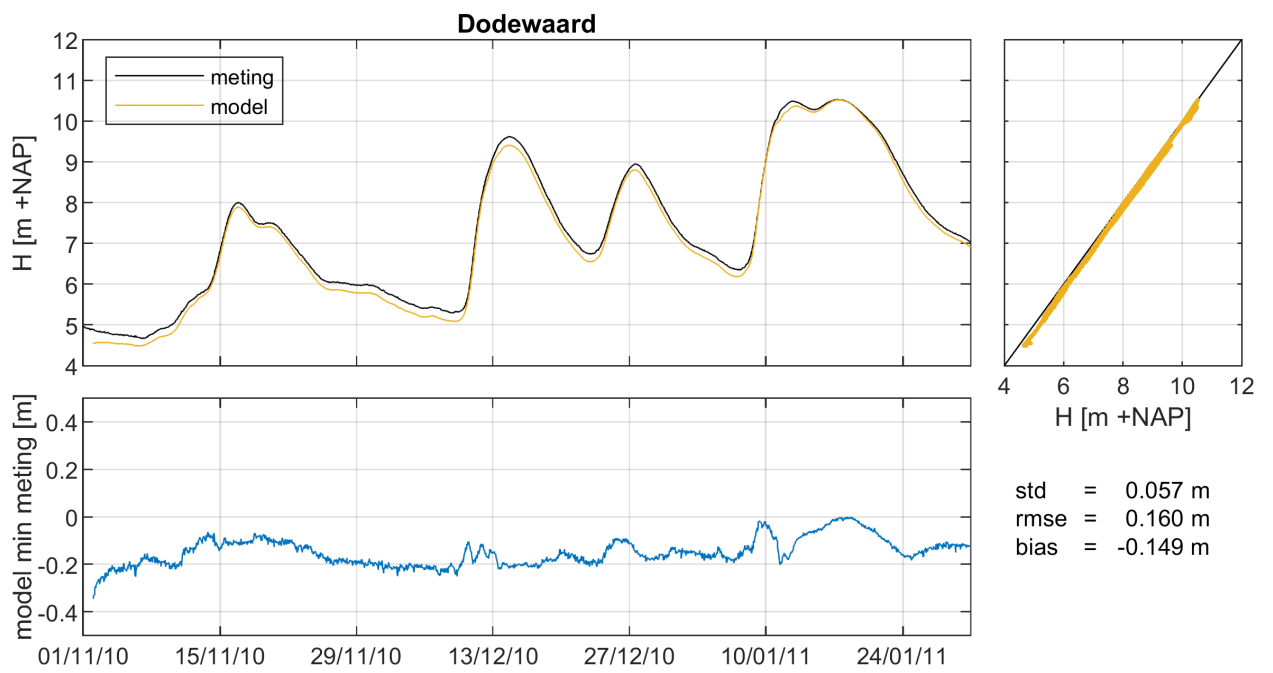
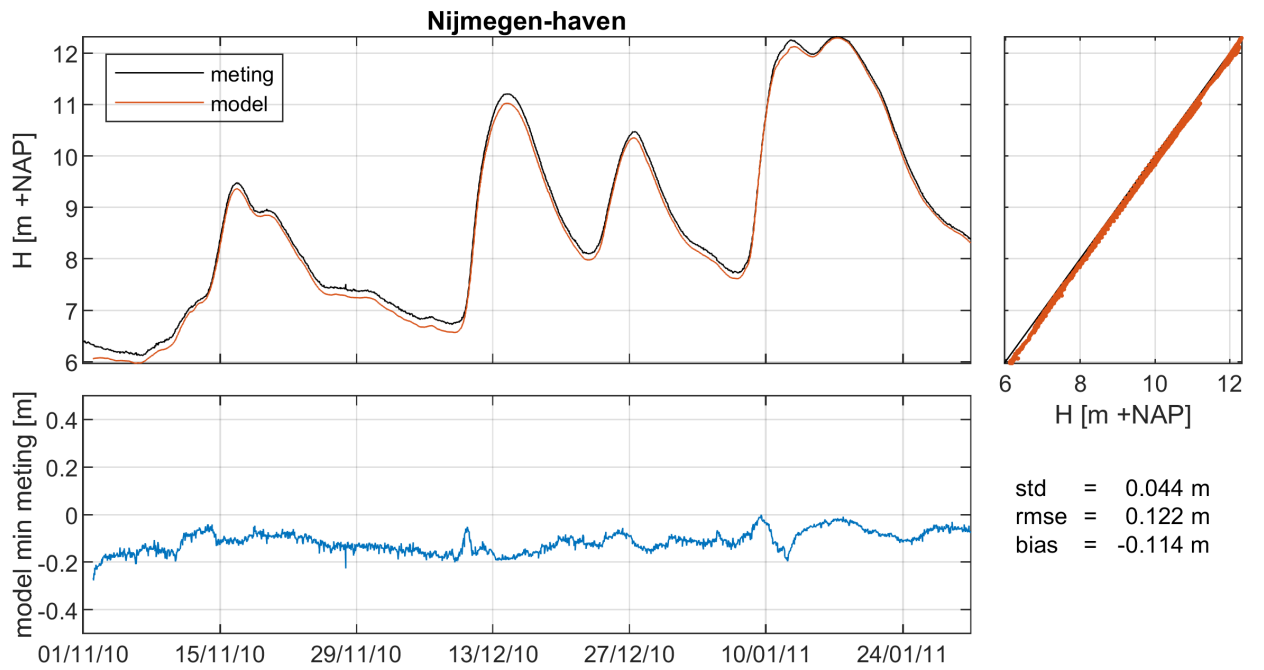
std = 0.049 m  
 rmse = 0.121 m  
 bias = -0.111 m



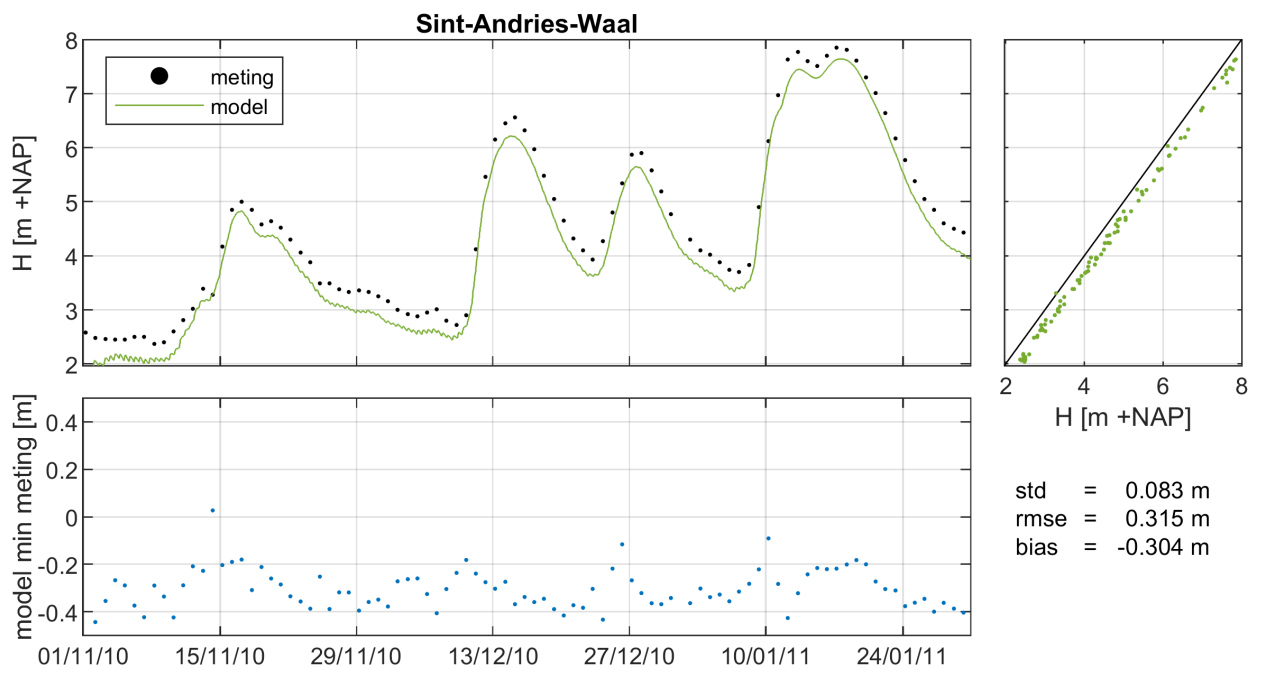
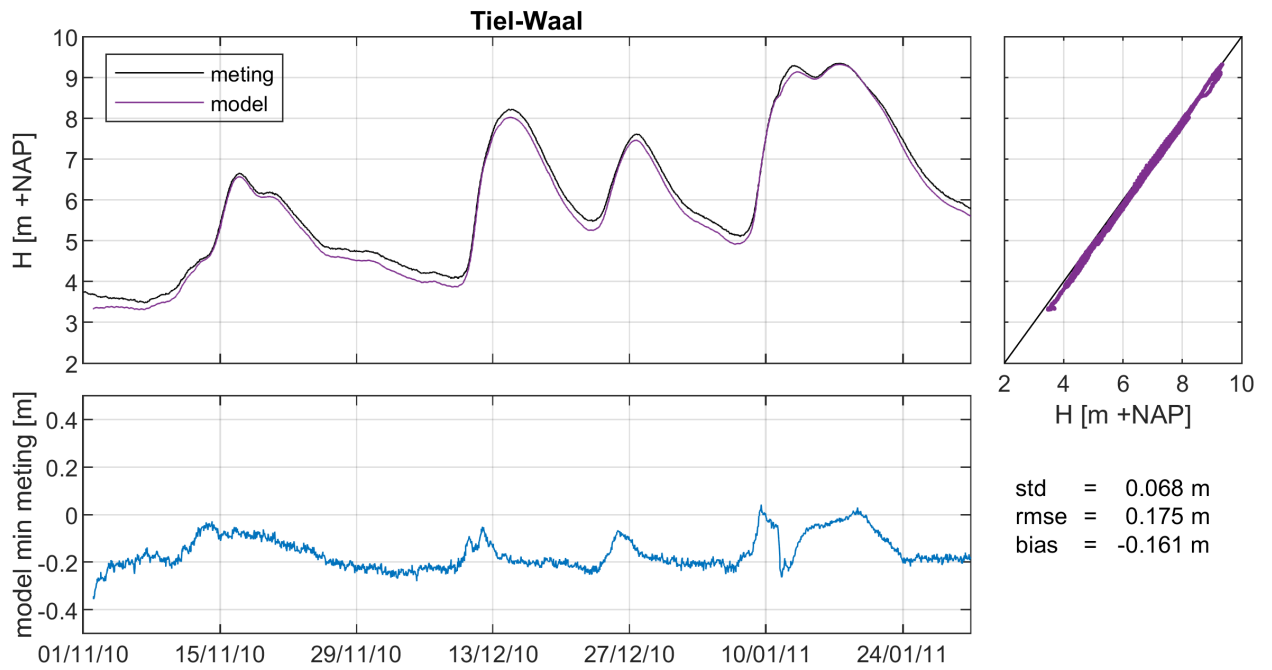


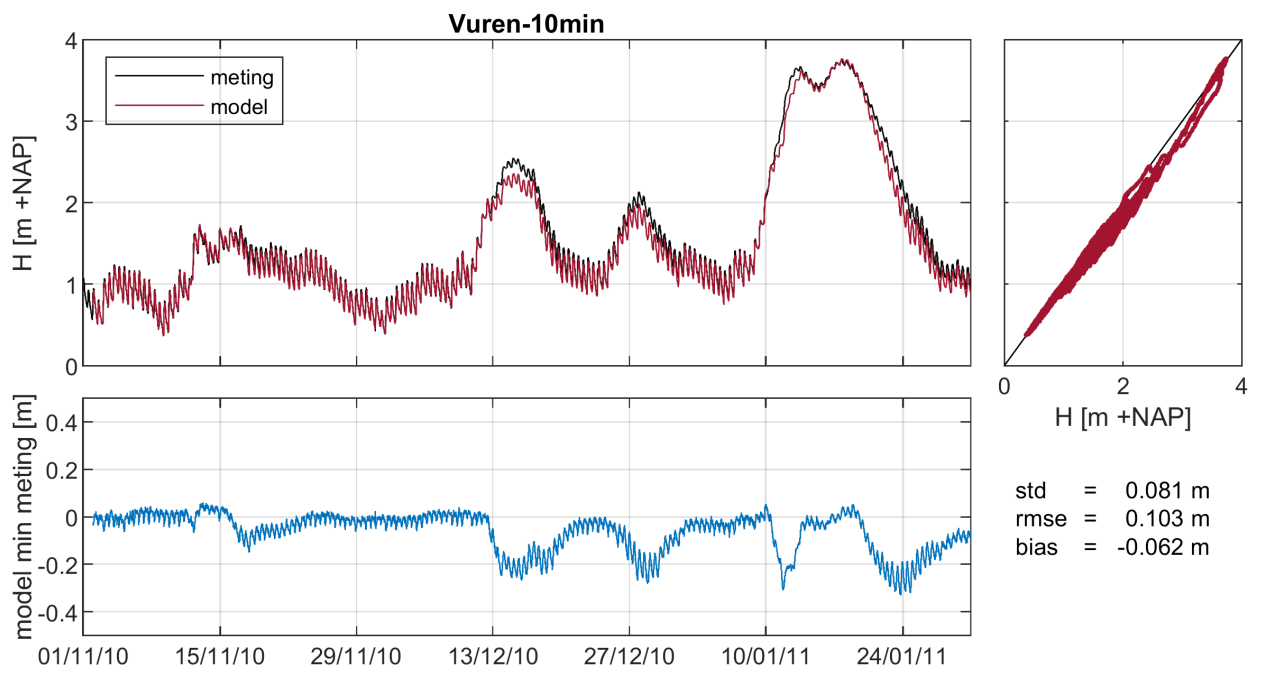
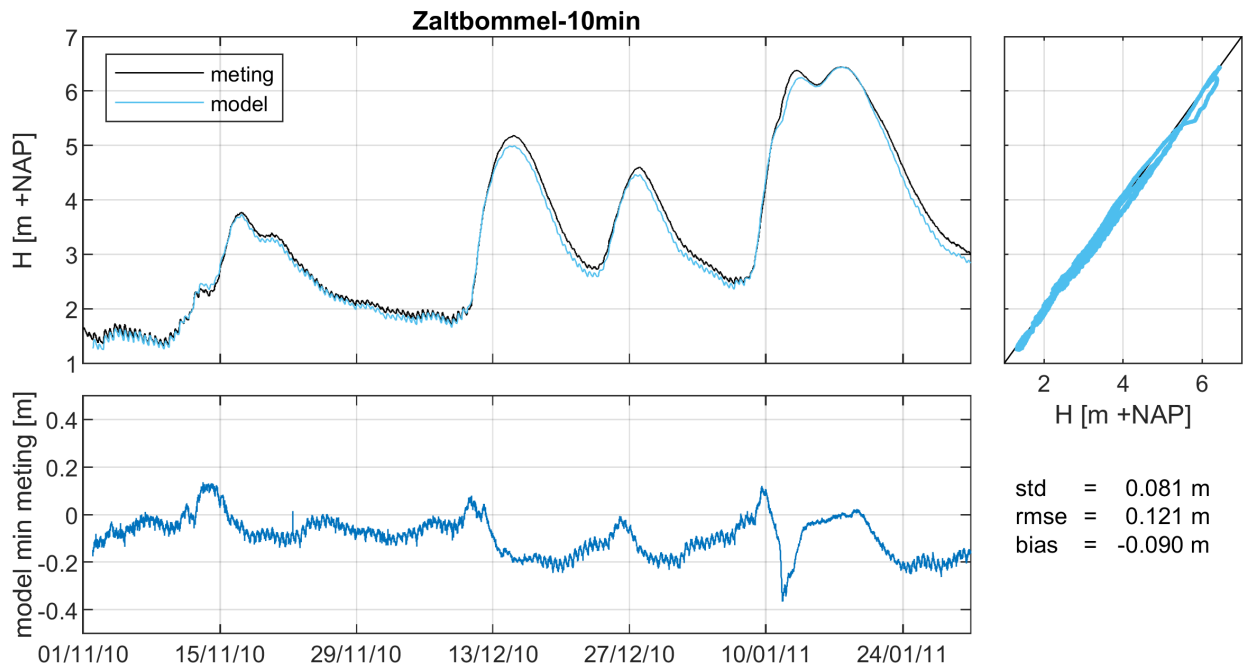
### Waal

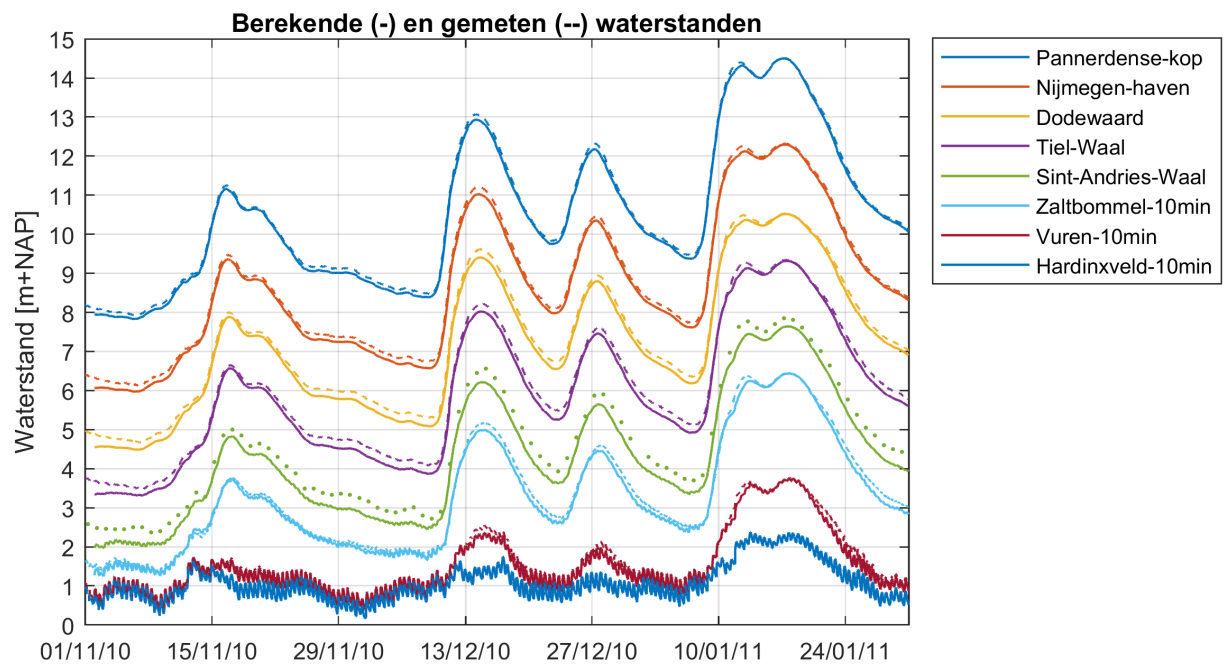
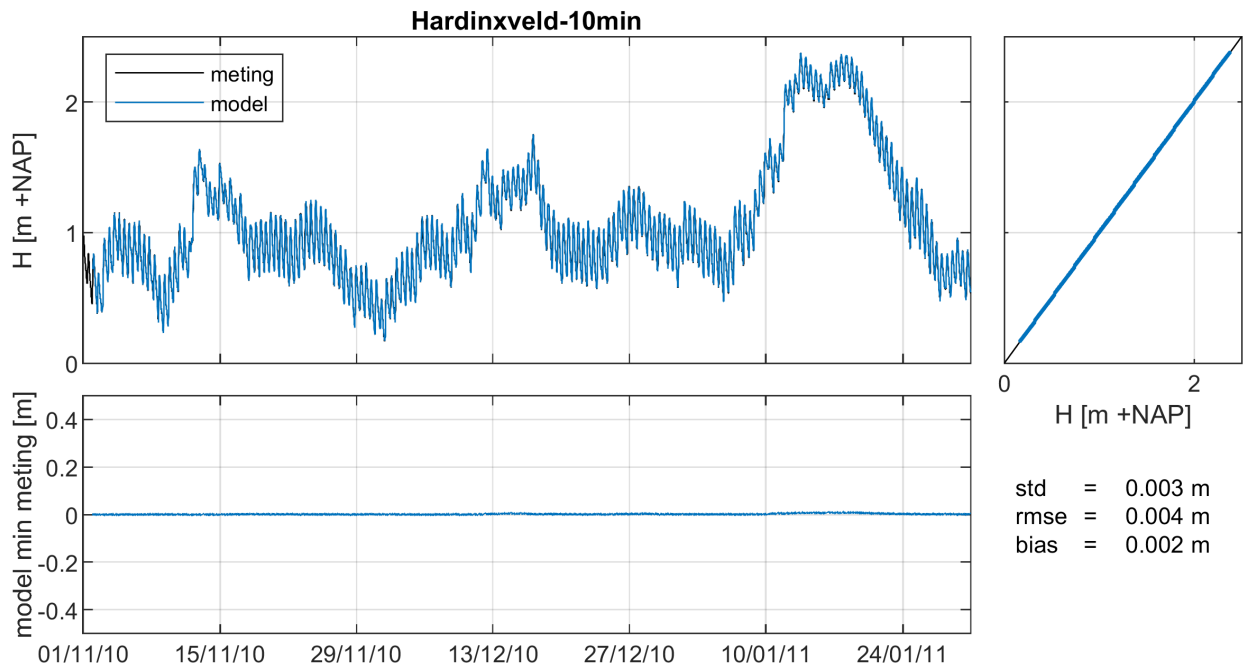




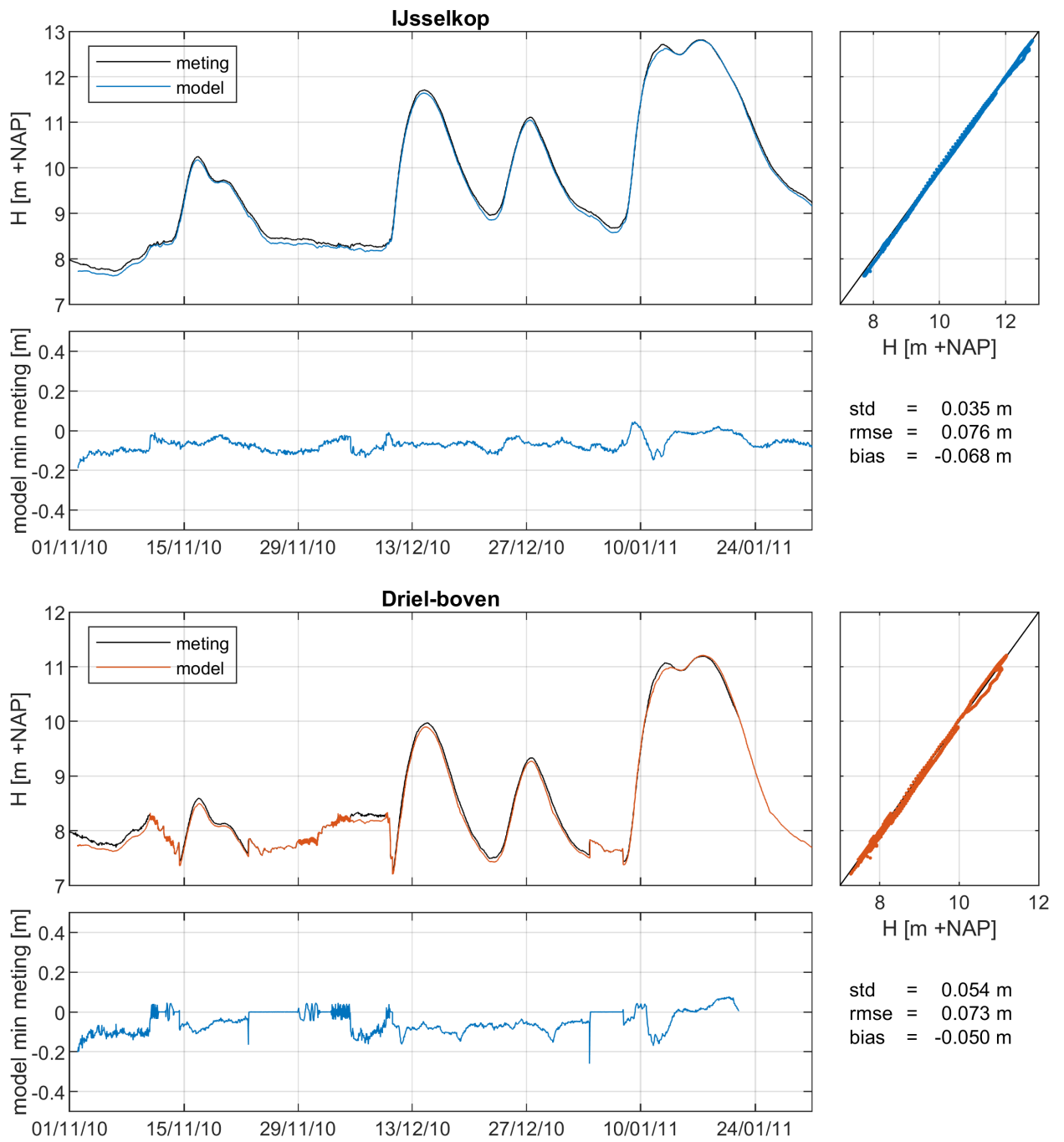


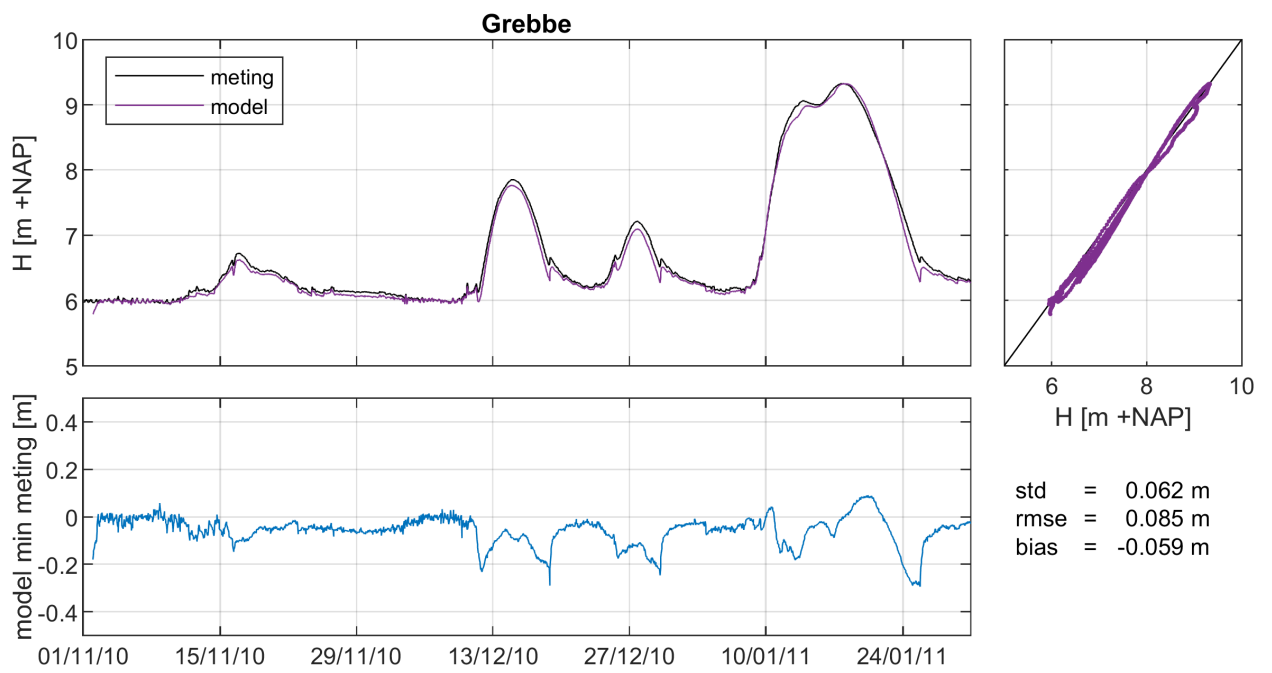
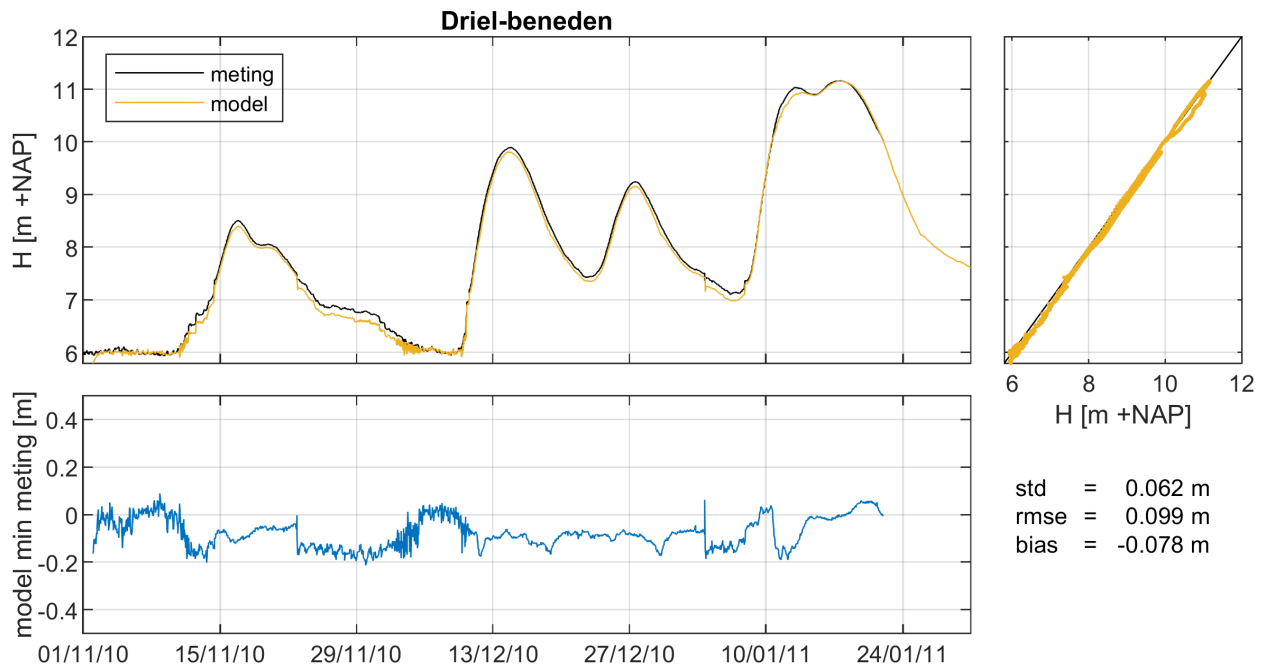


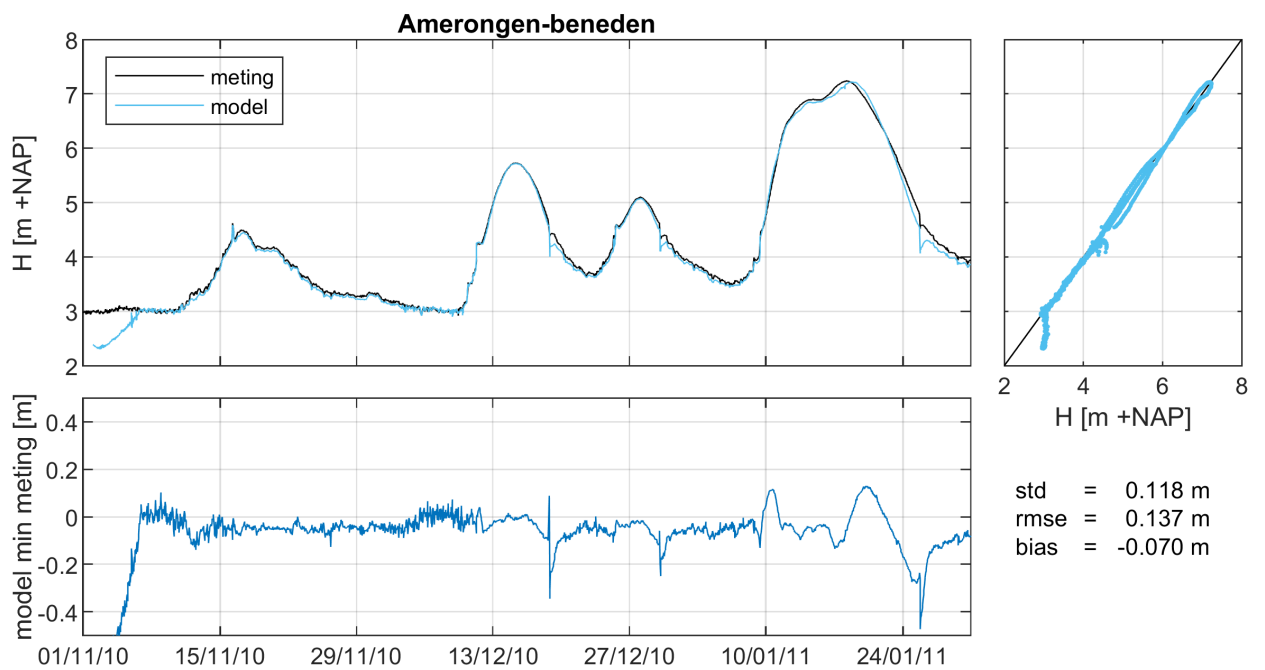
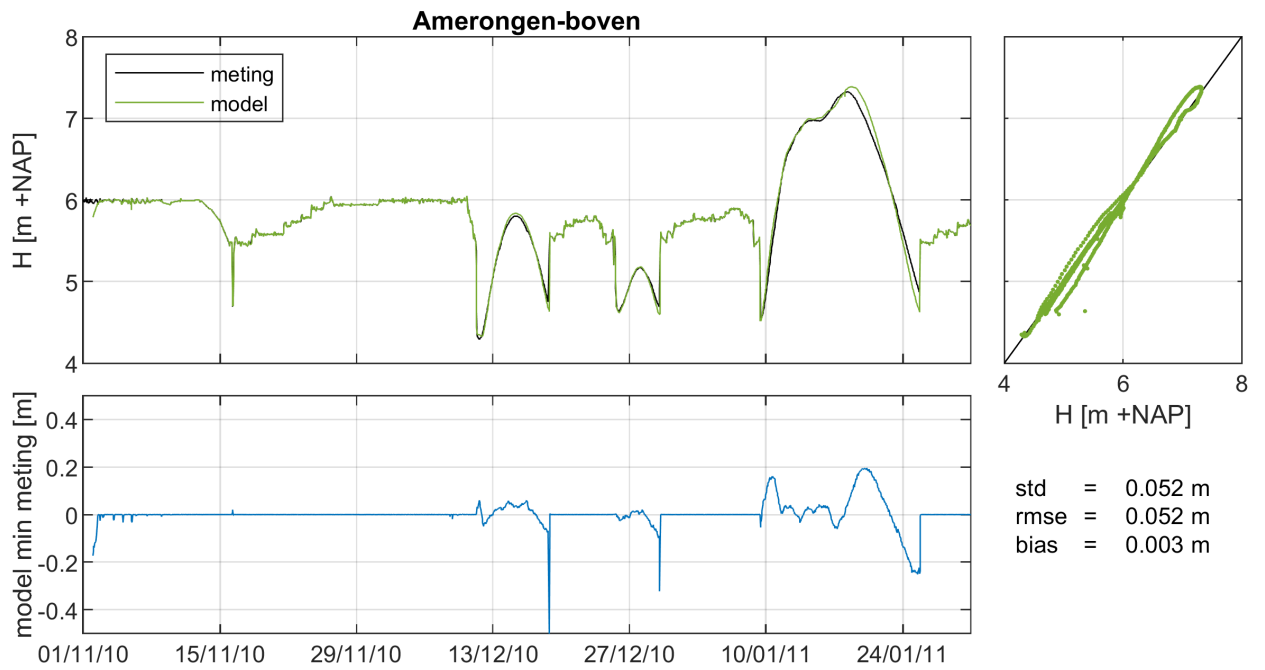


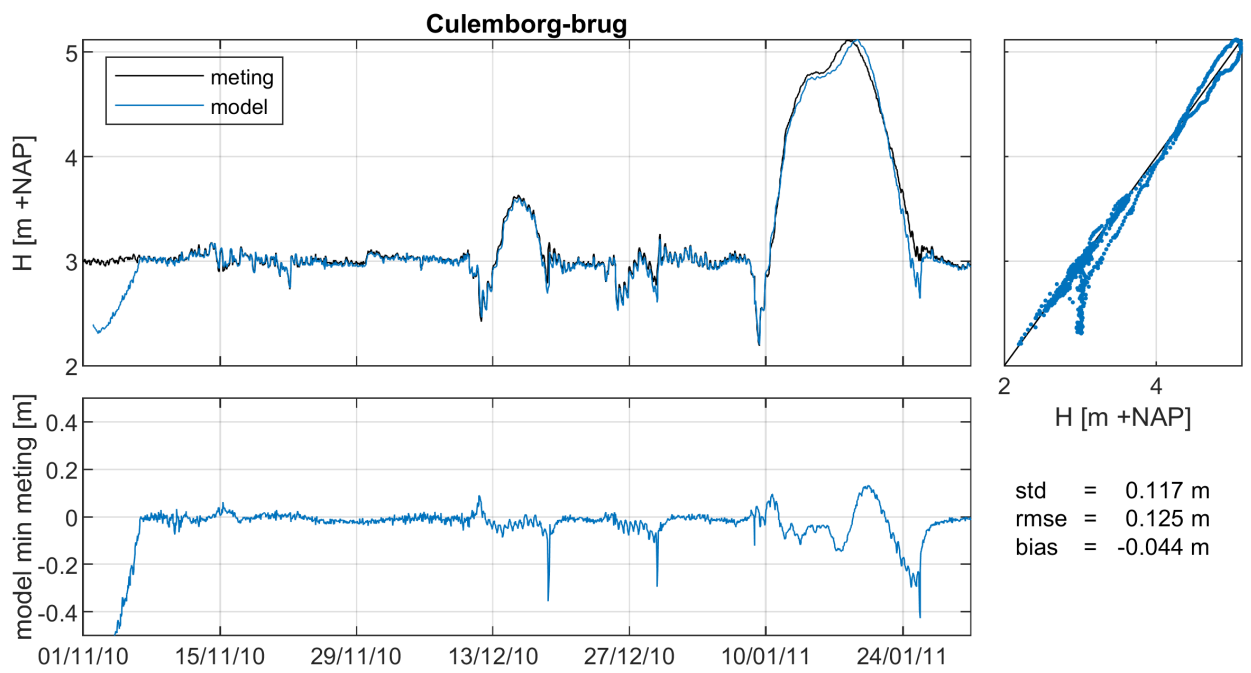
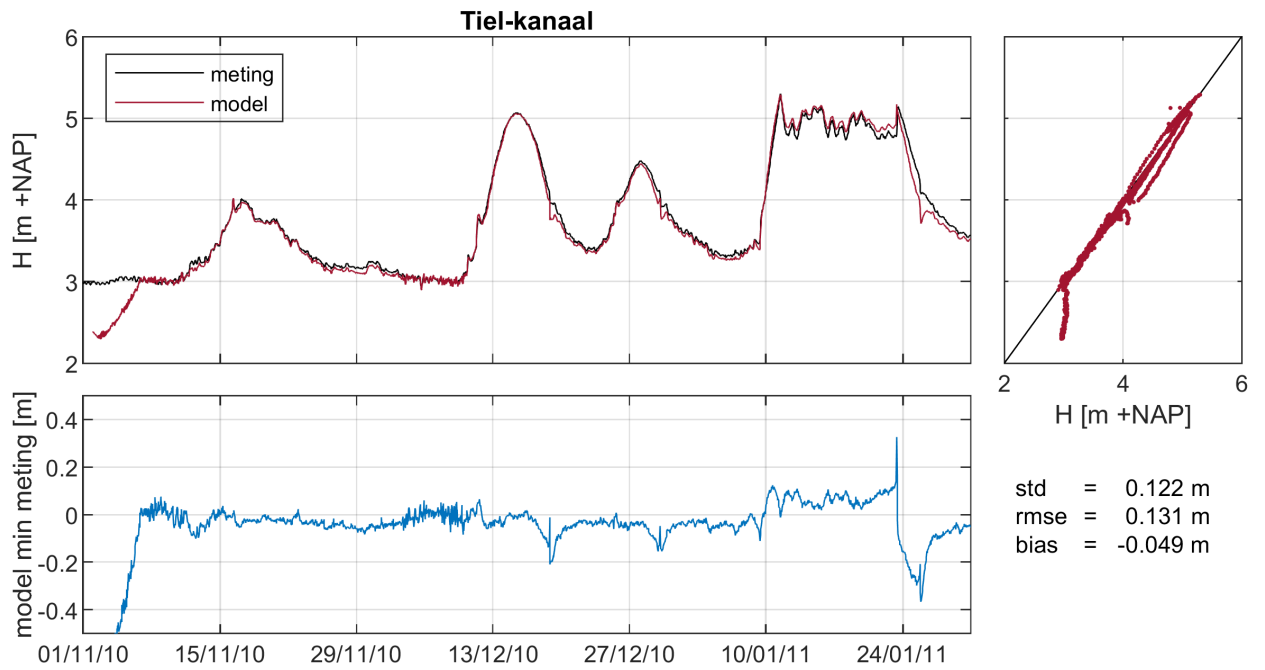


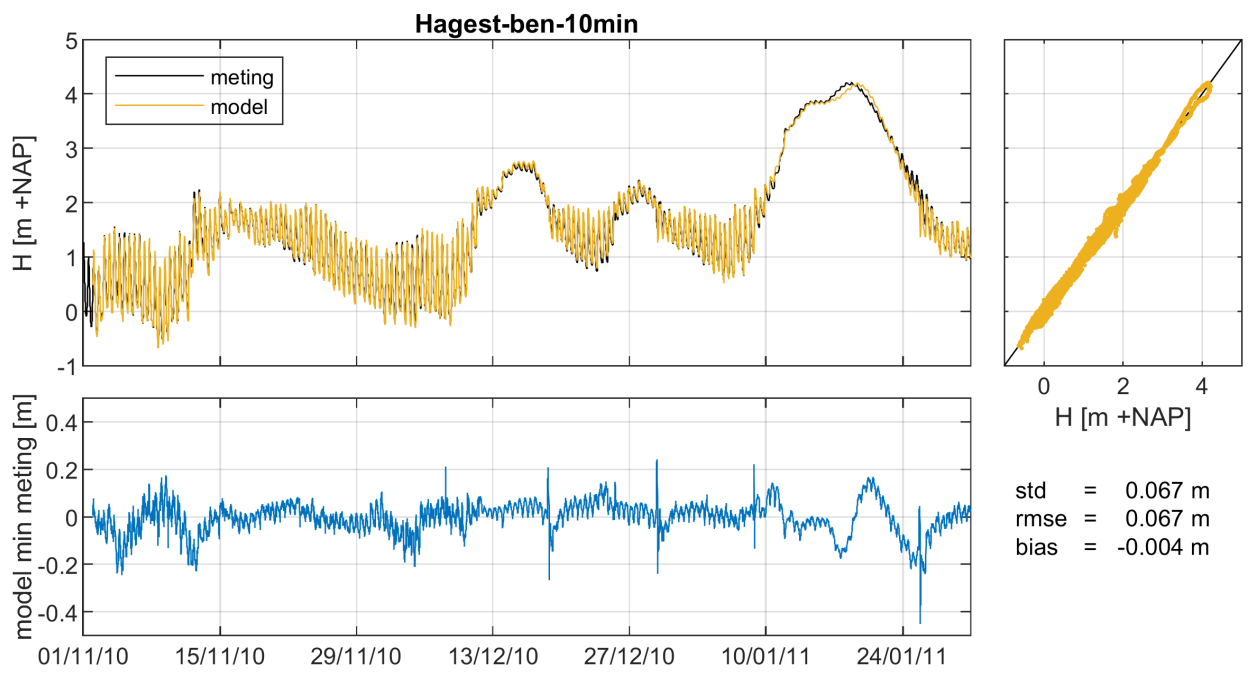
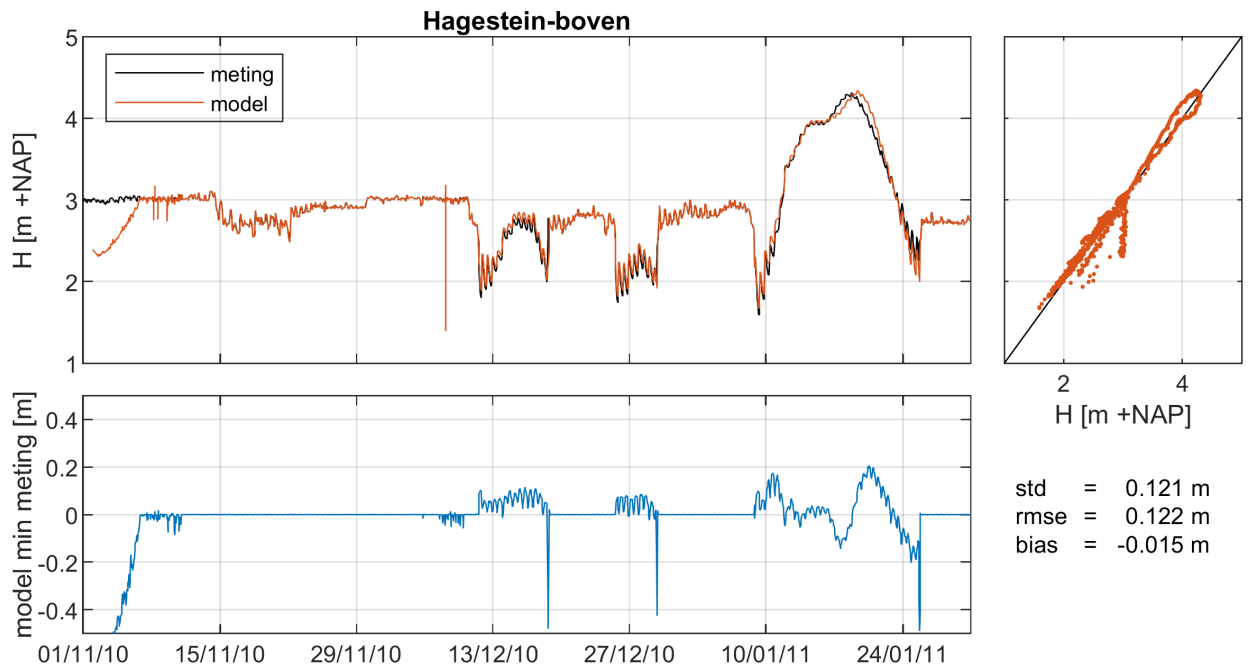
## Neder-Rijn - Lek



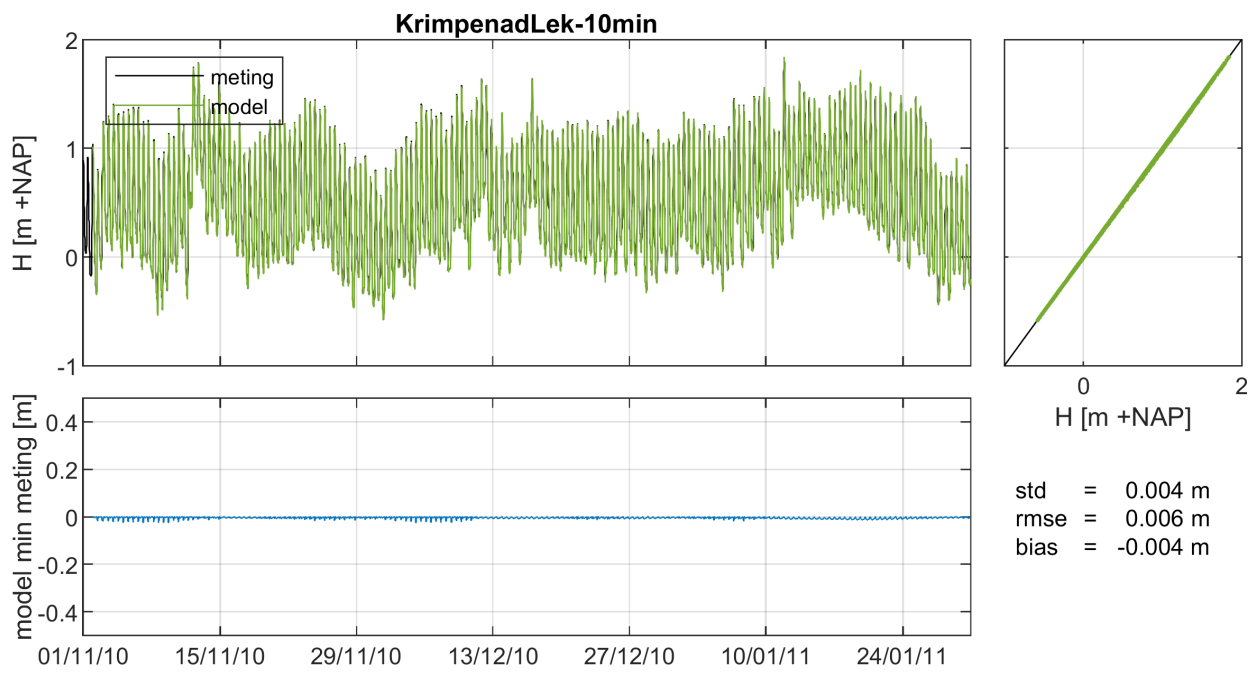
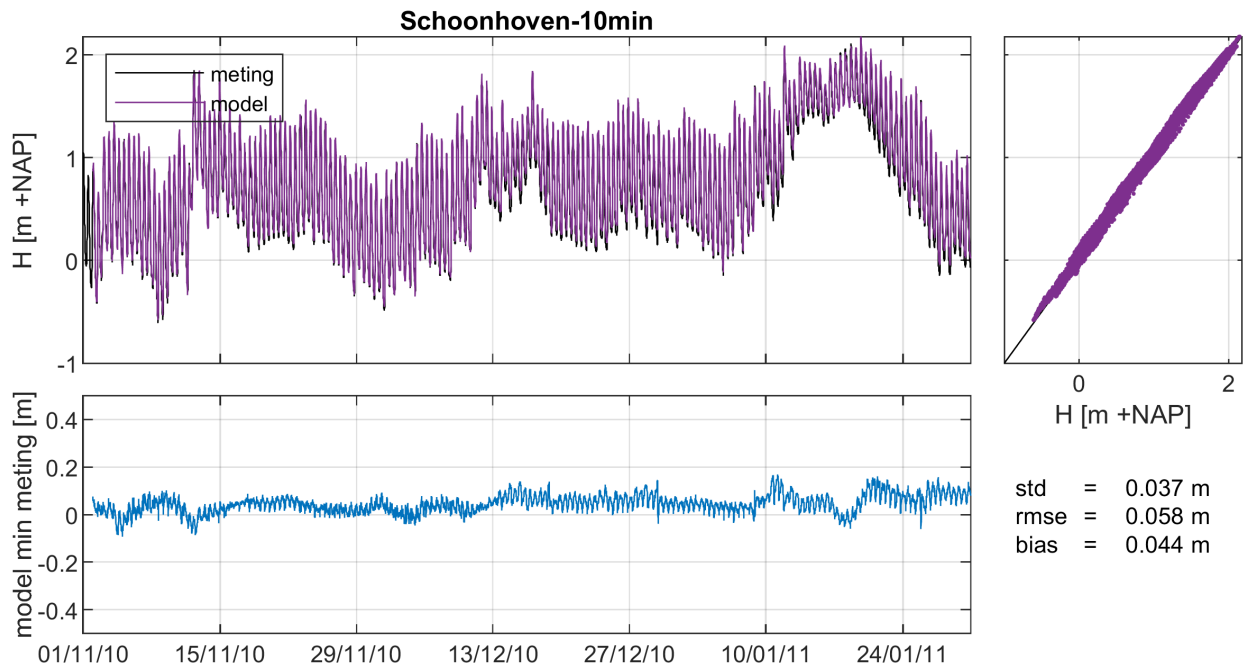


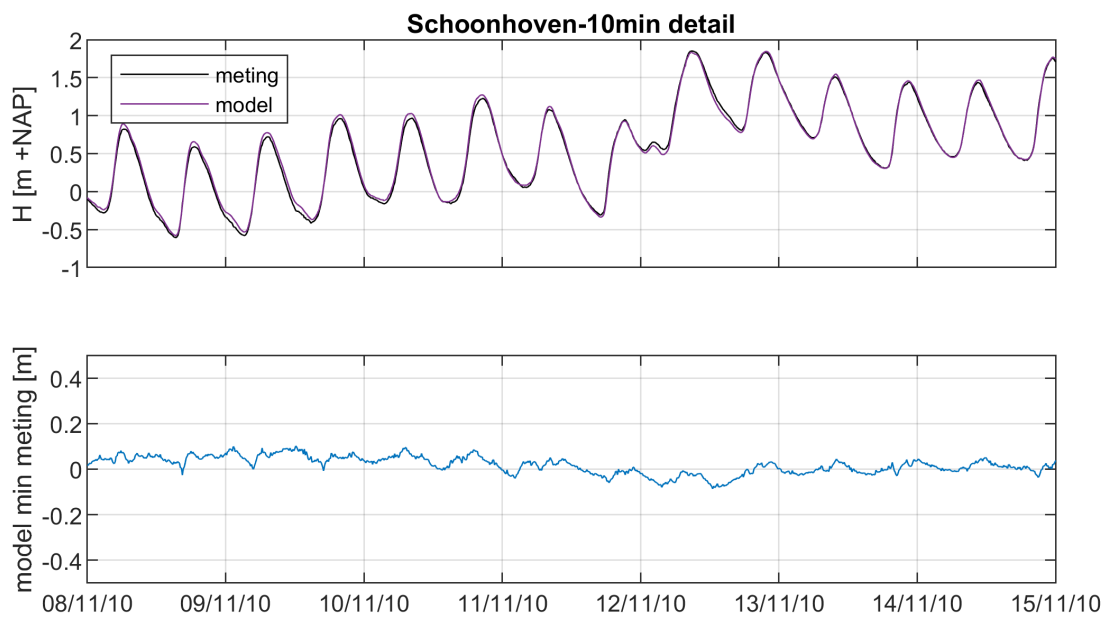
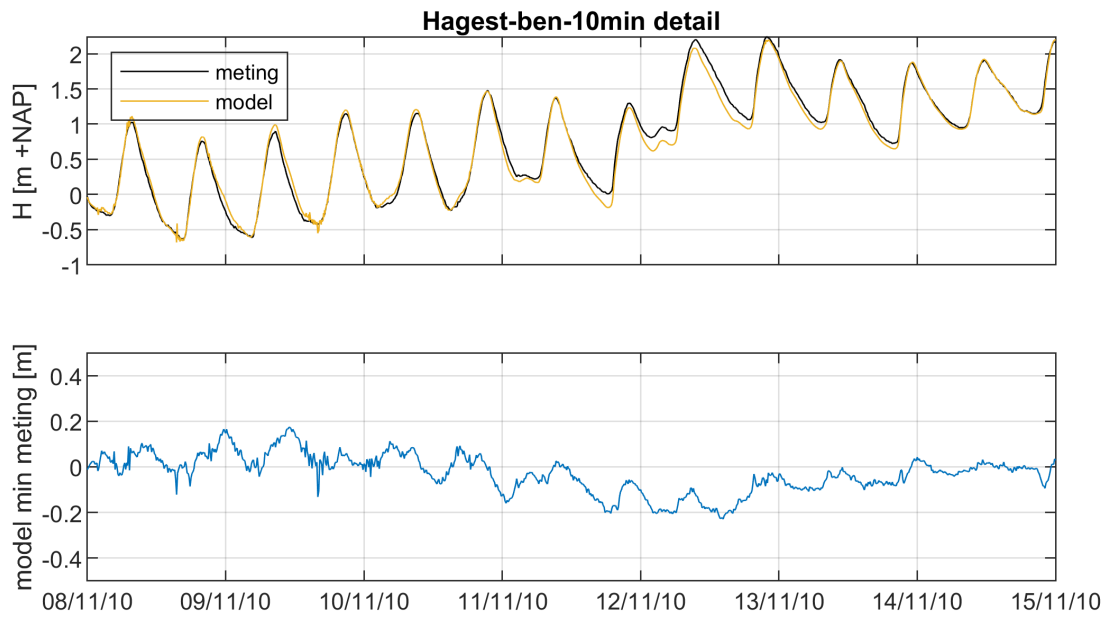


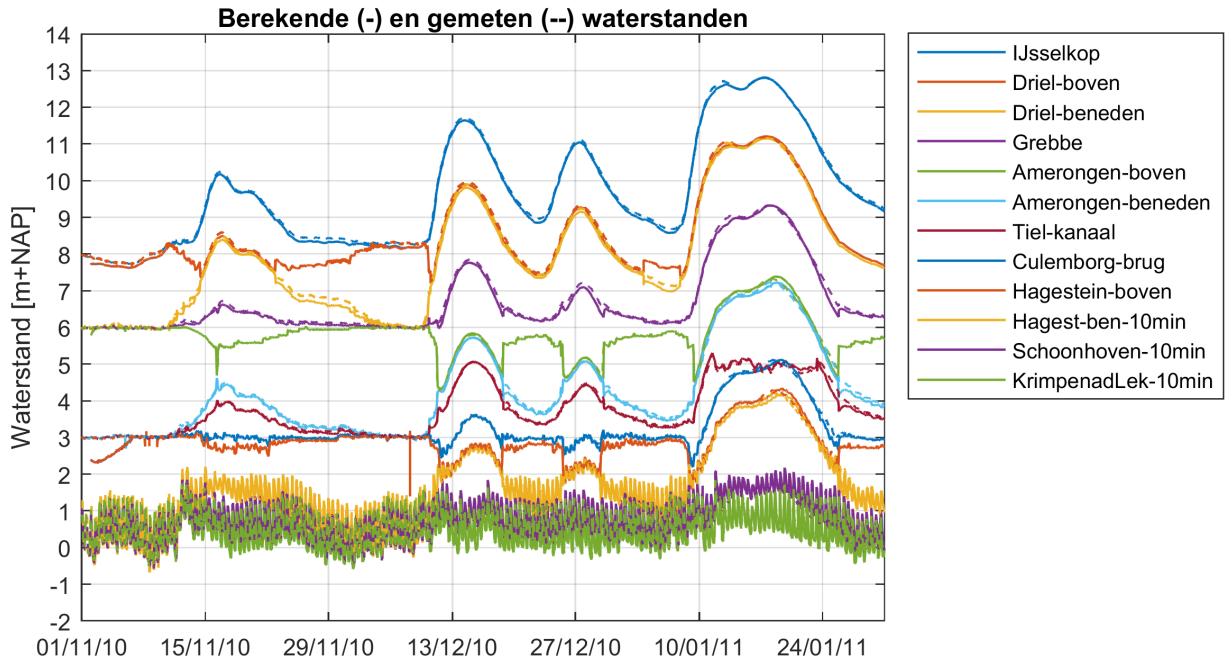




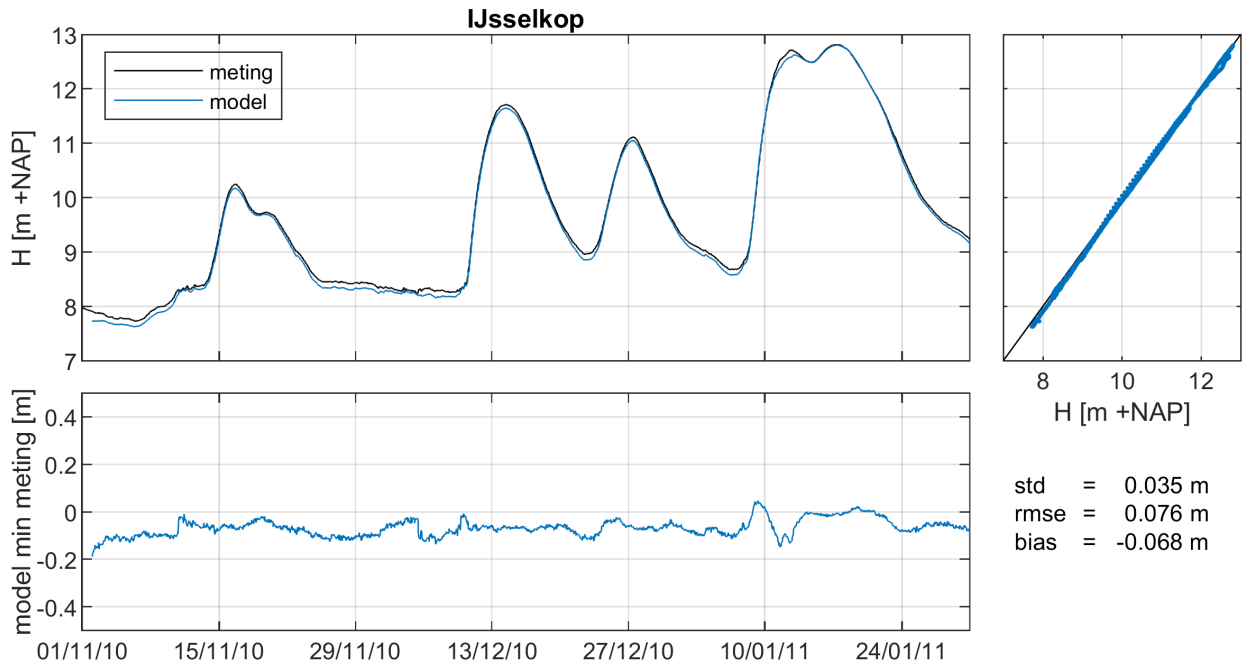


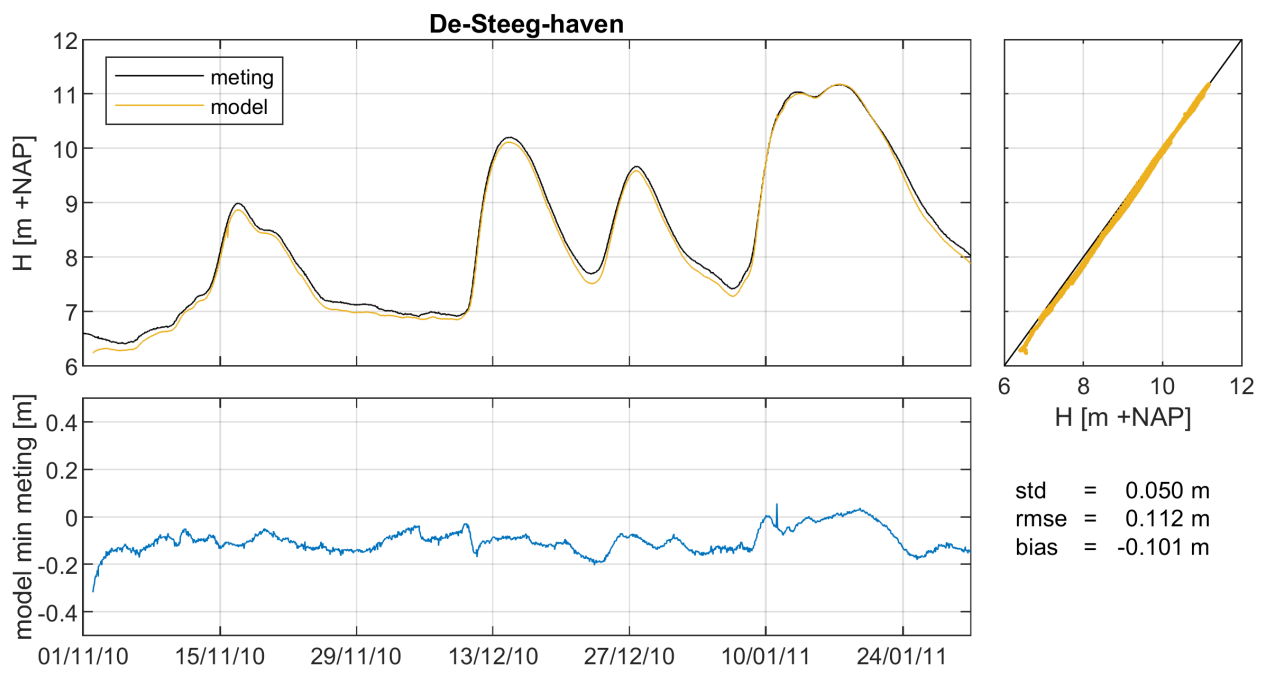
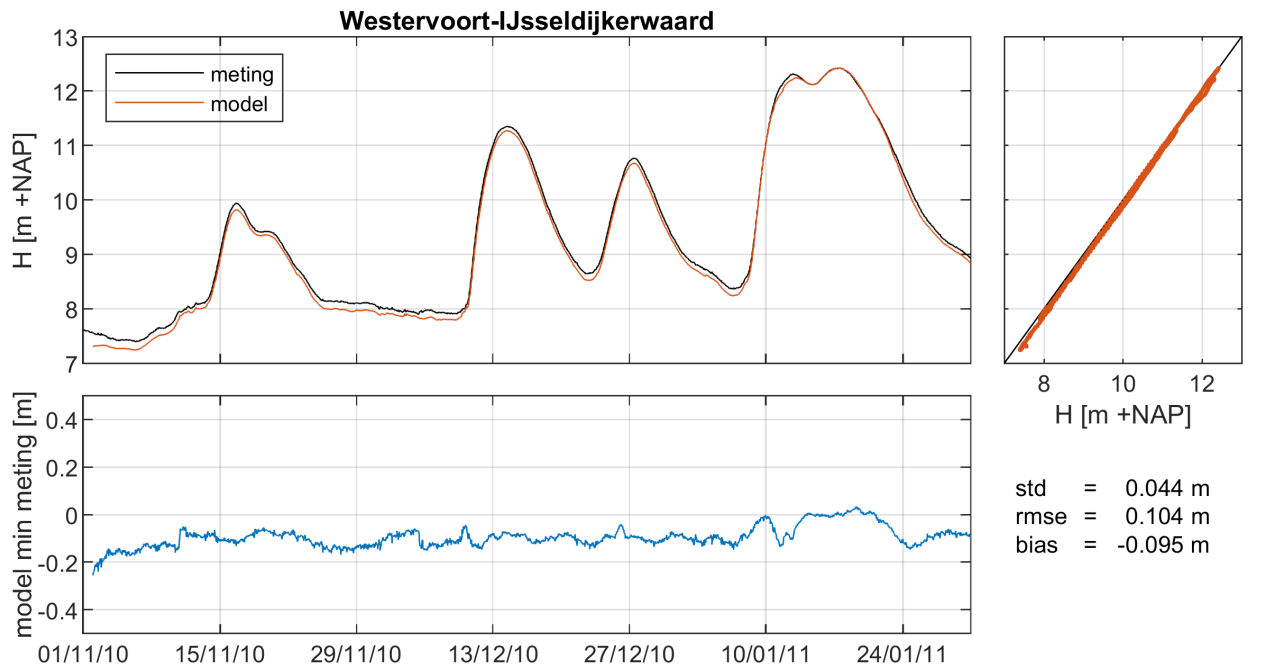


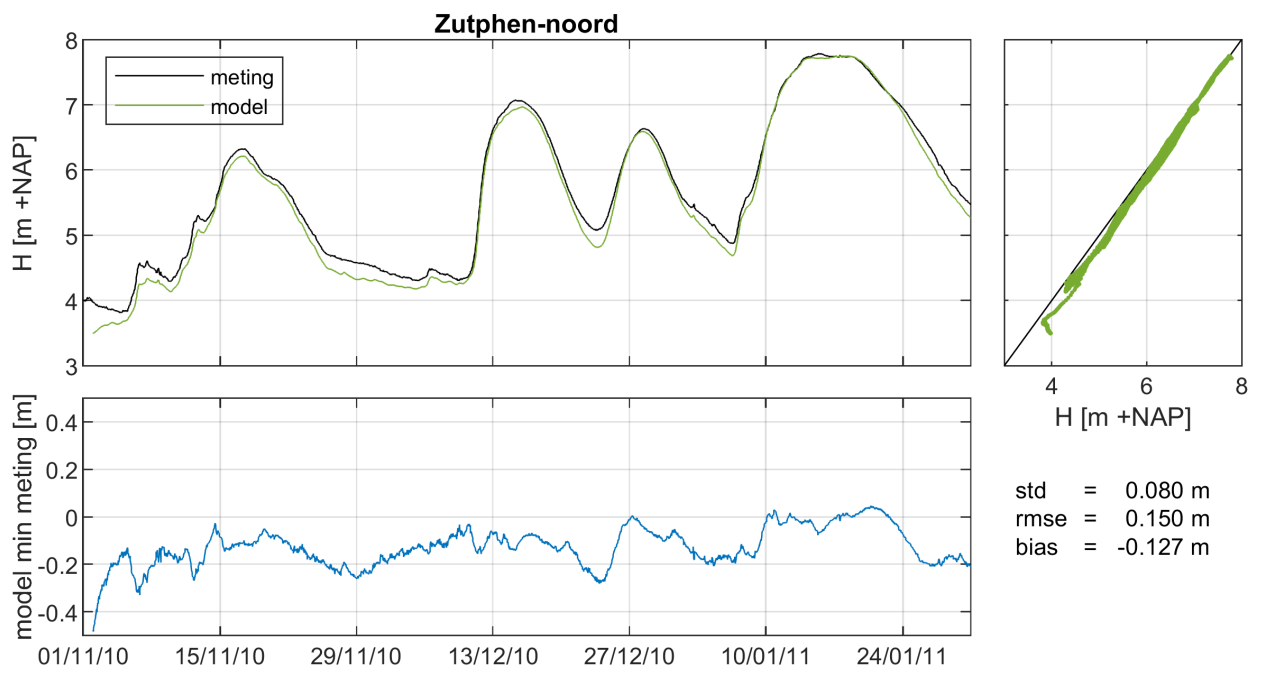
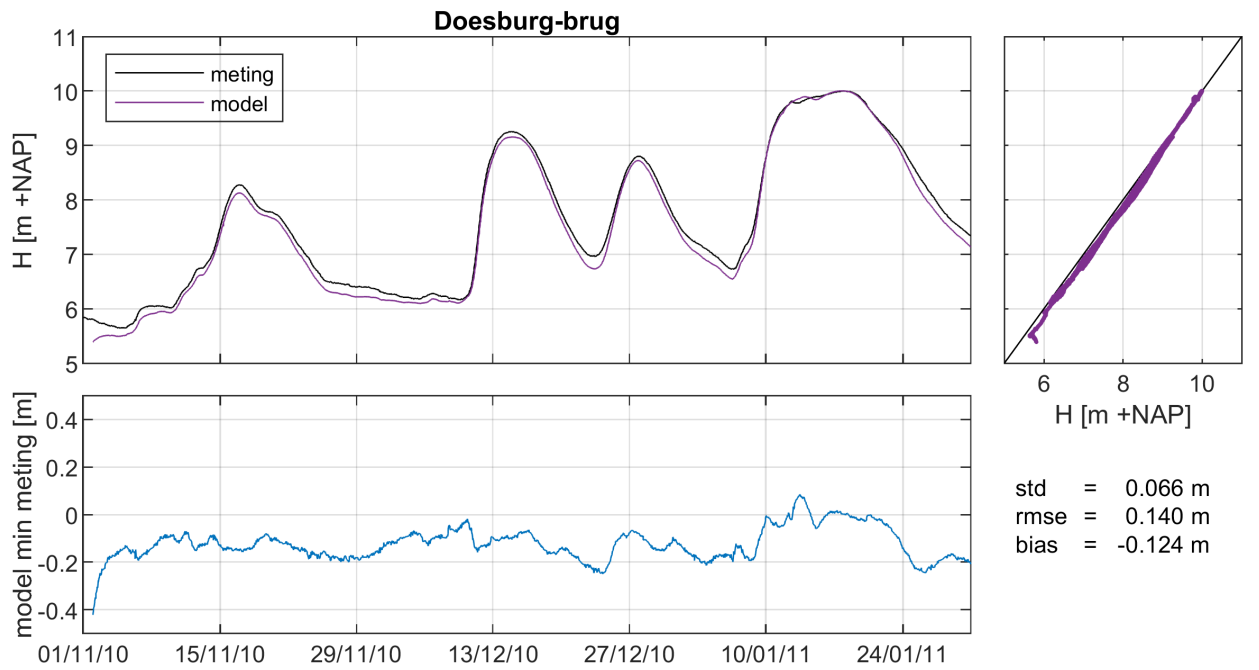


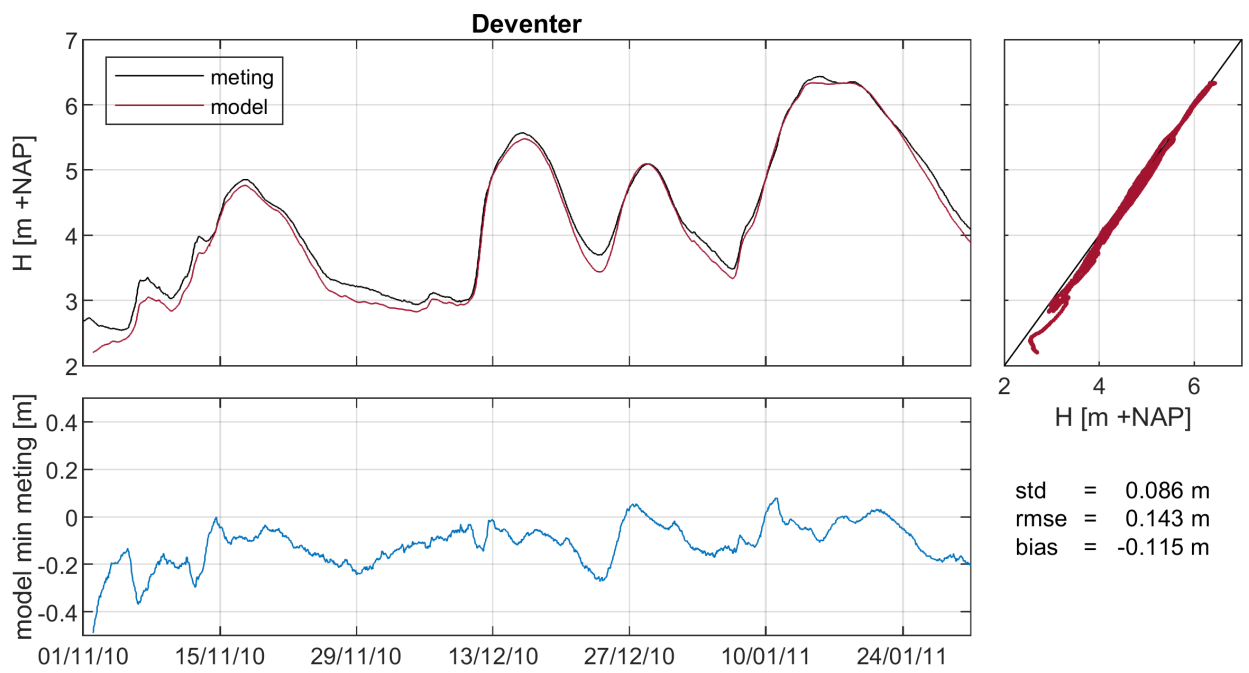
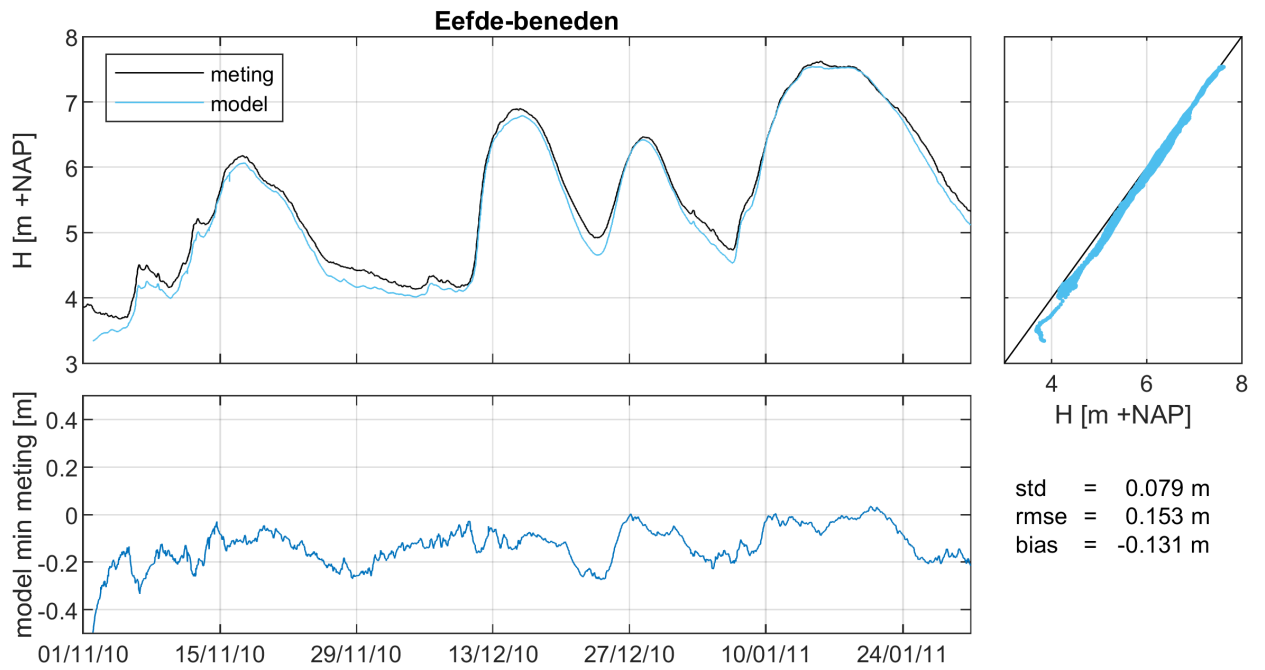


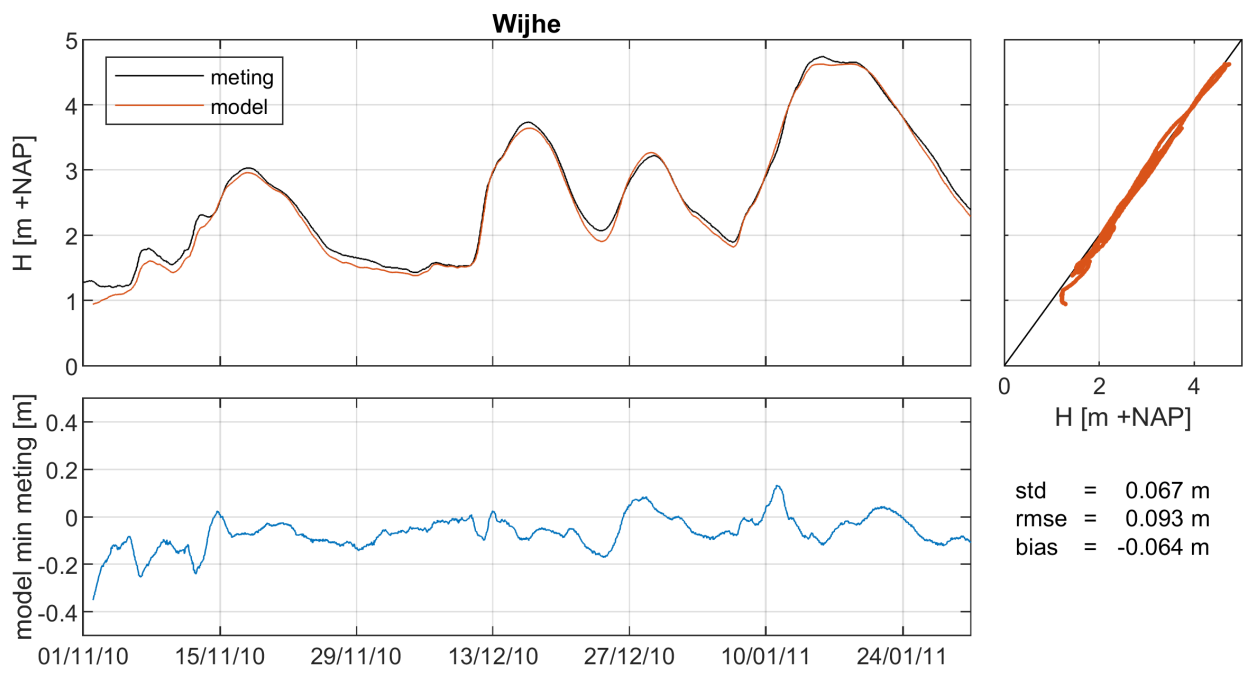
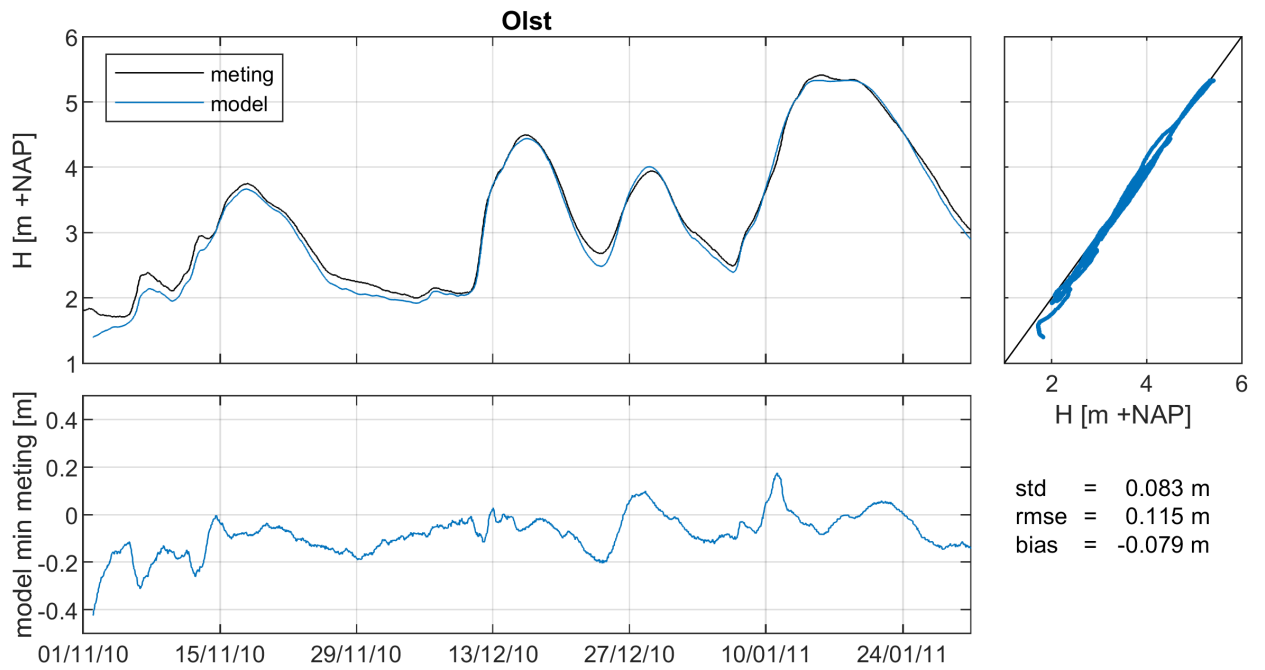
## IJssel

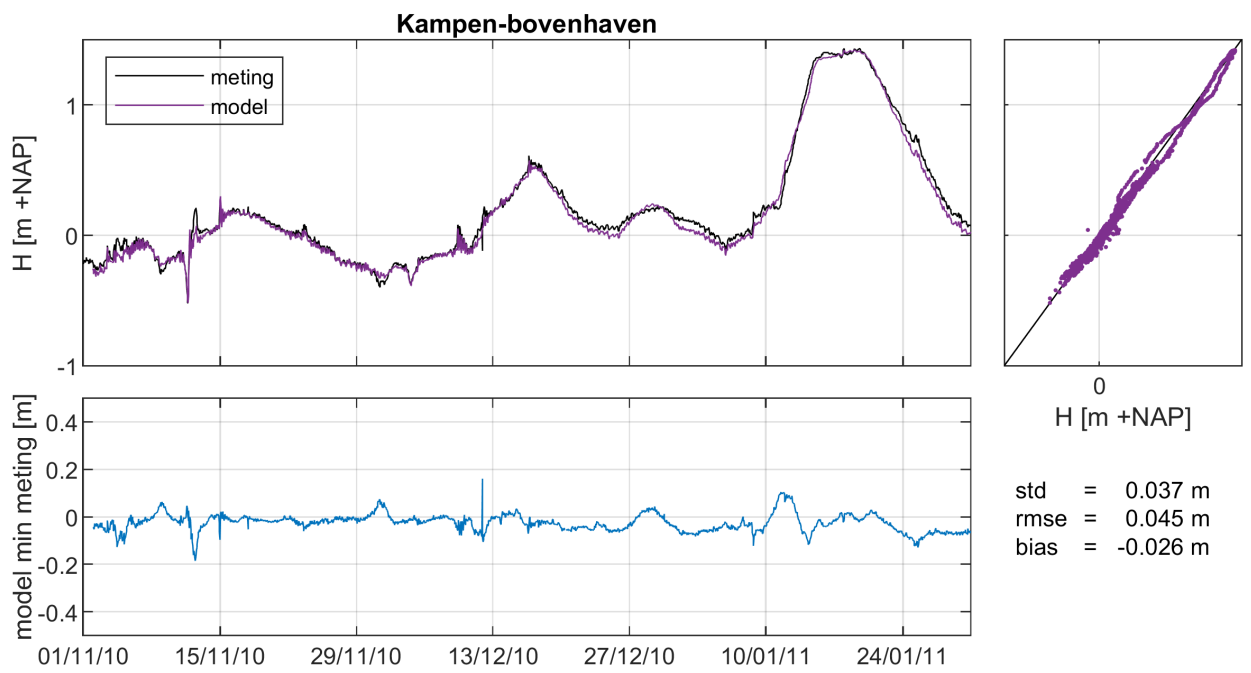
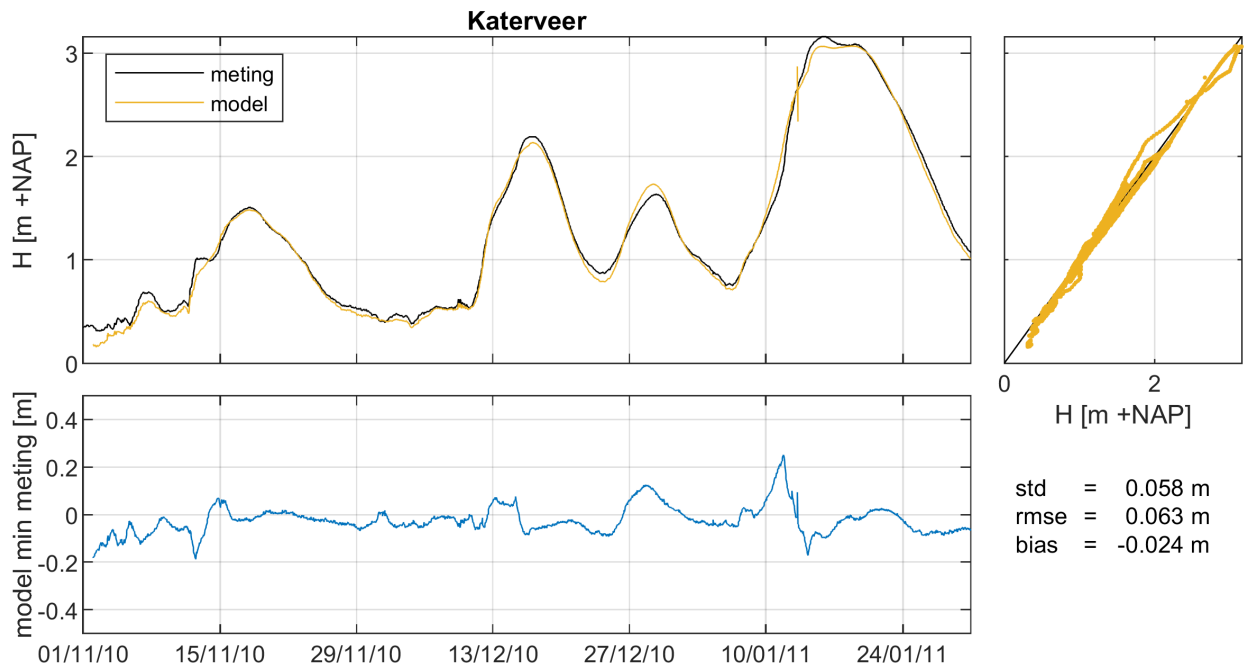




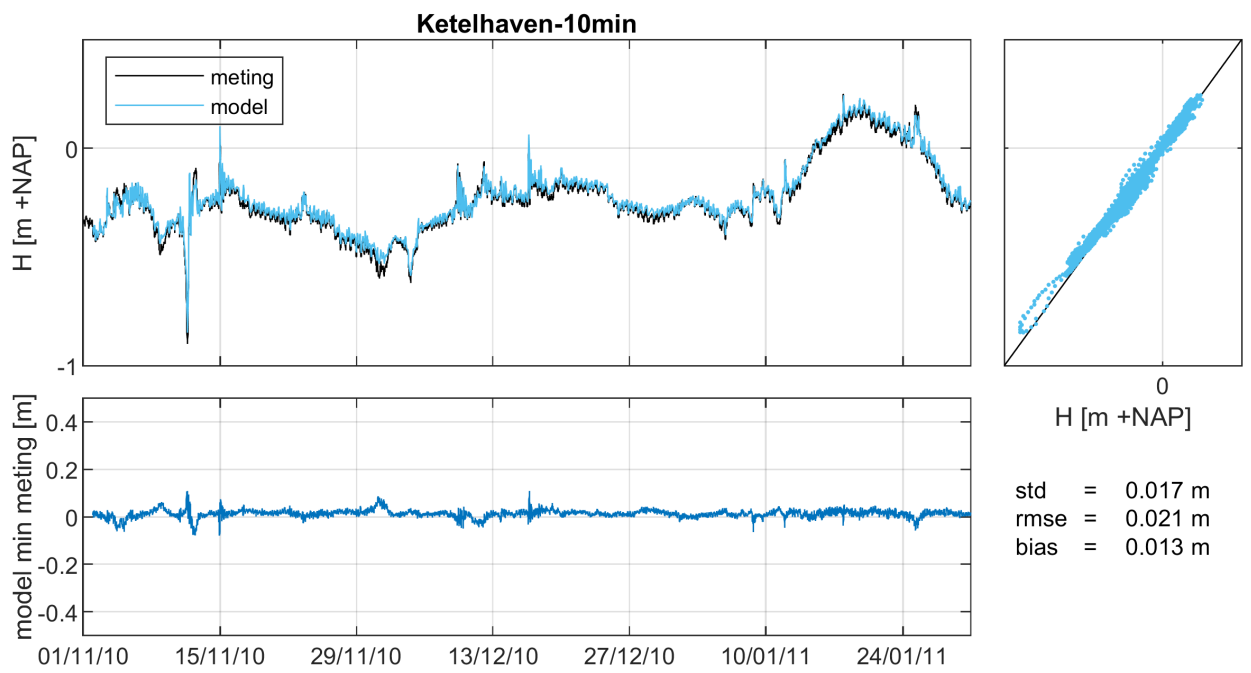
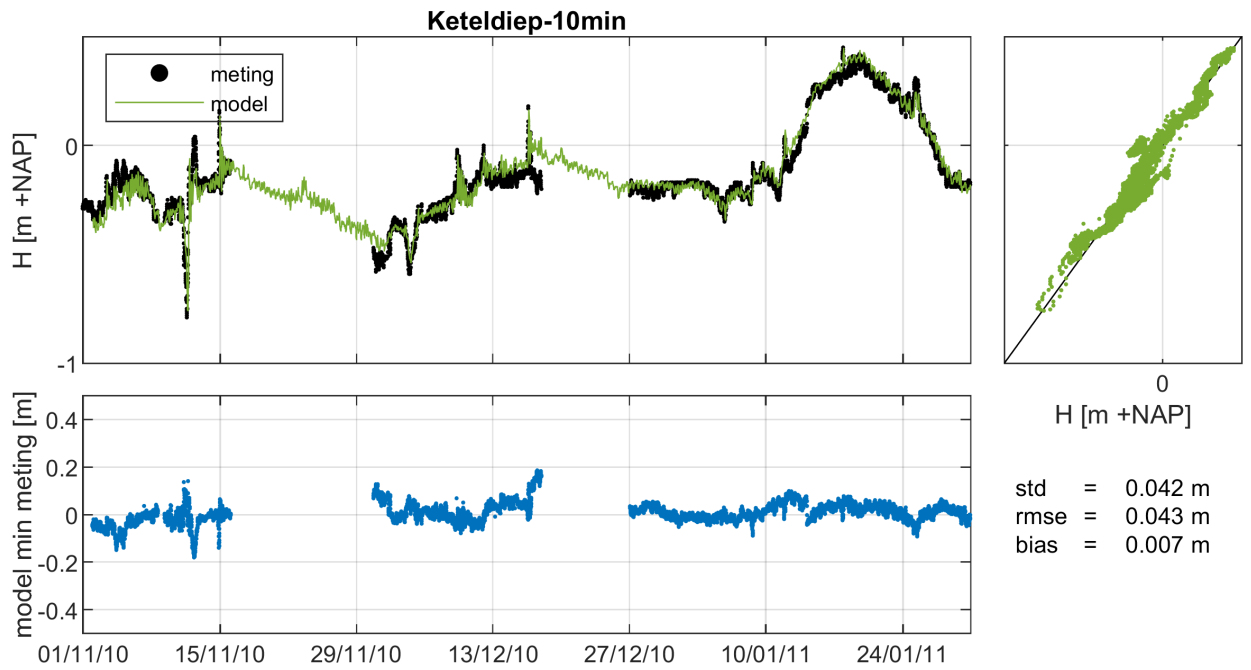




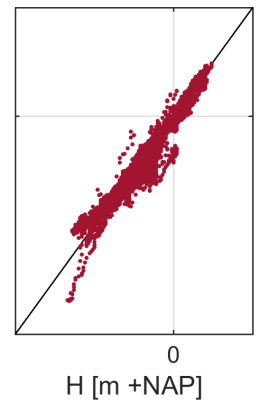
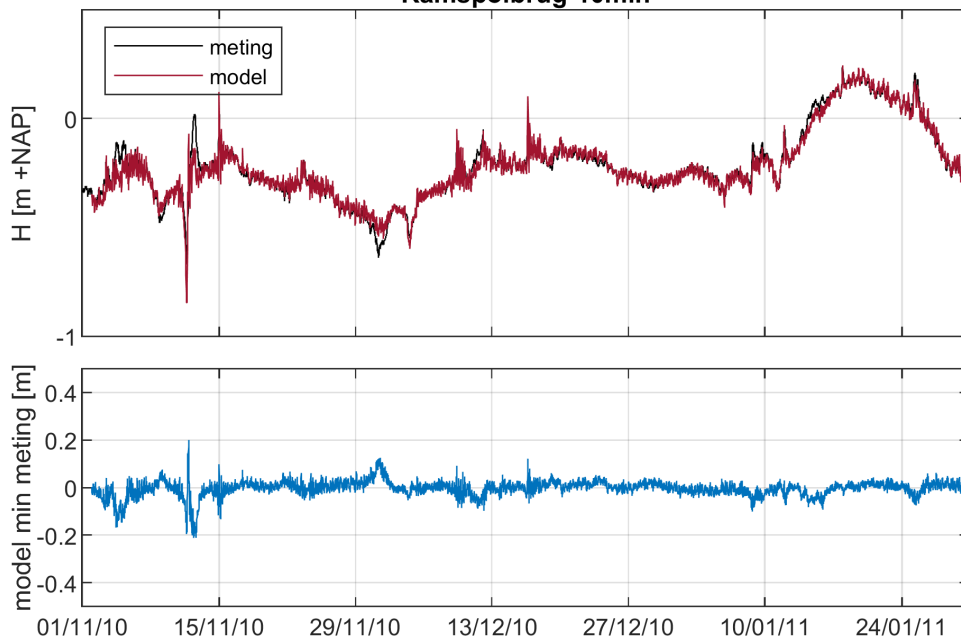






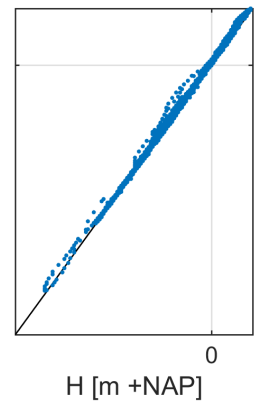
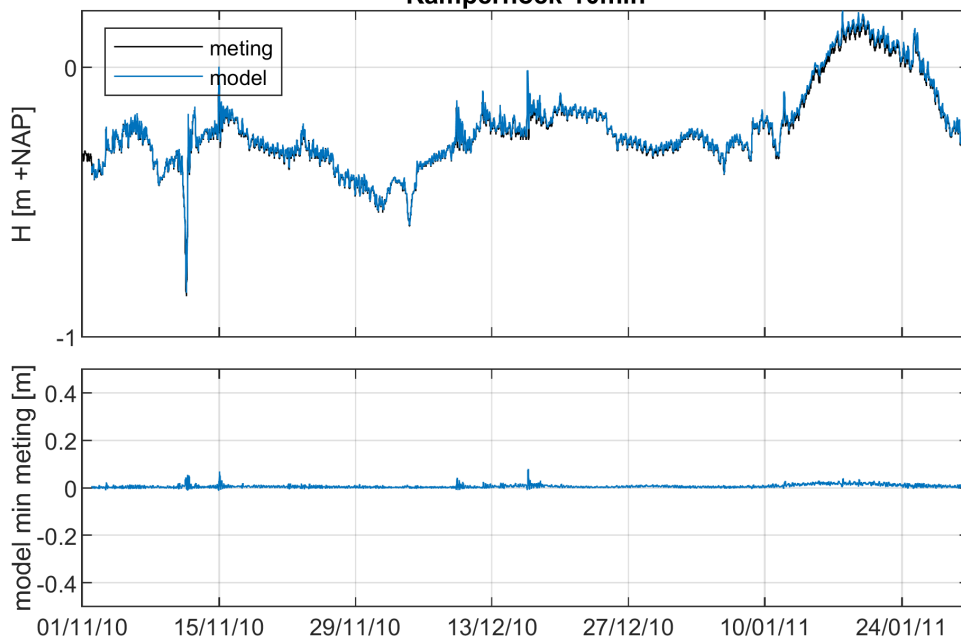


### Ramspolbrug-10min

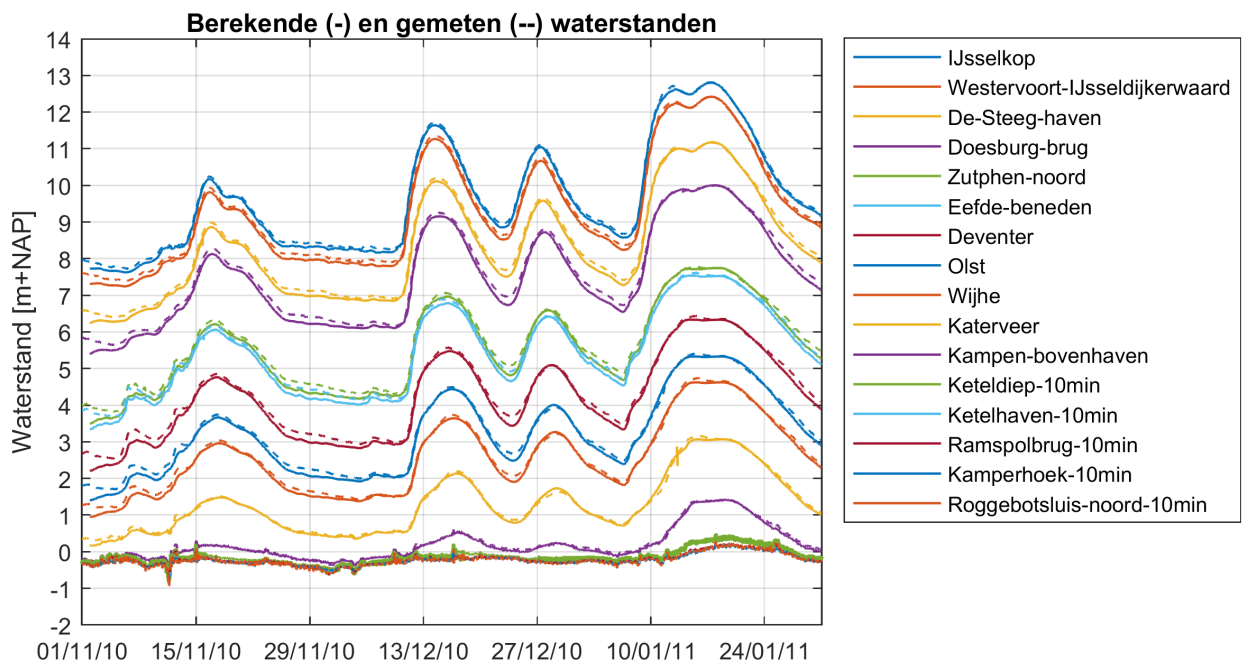
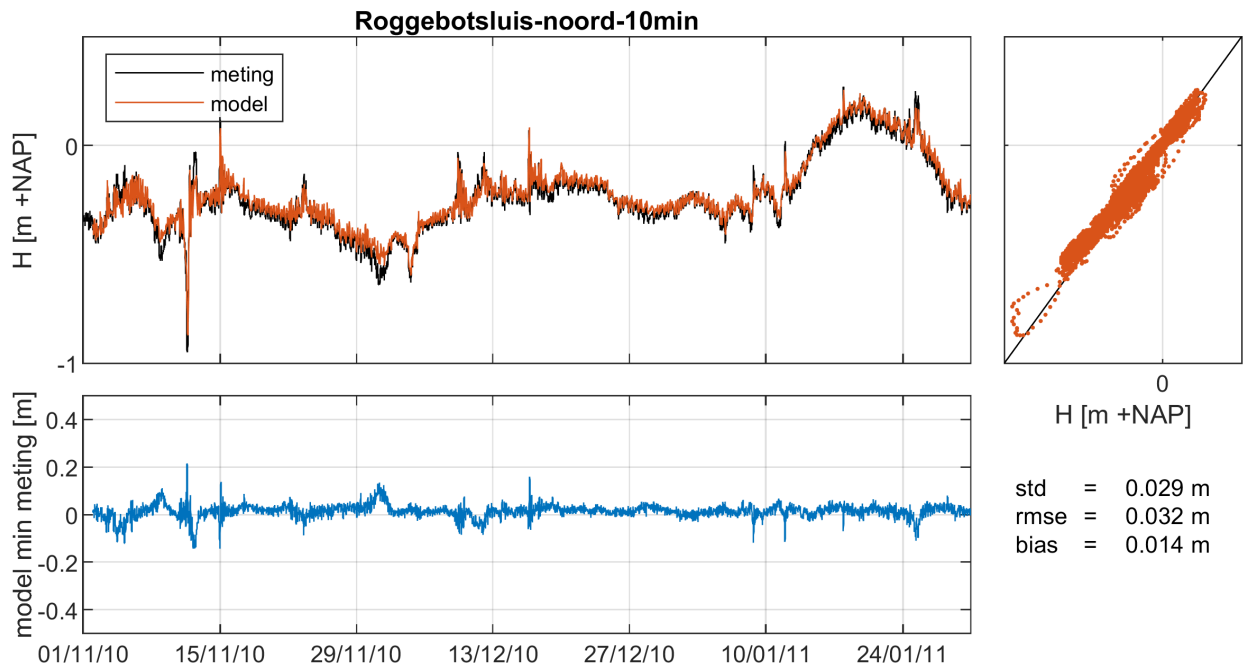


std = 0.033 m  
rmse = 0.034 m  
bias = -0.004 m

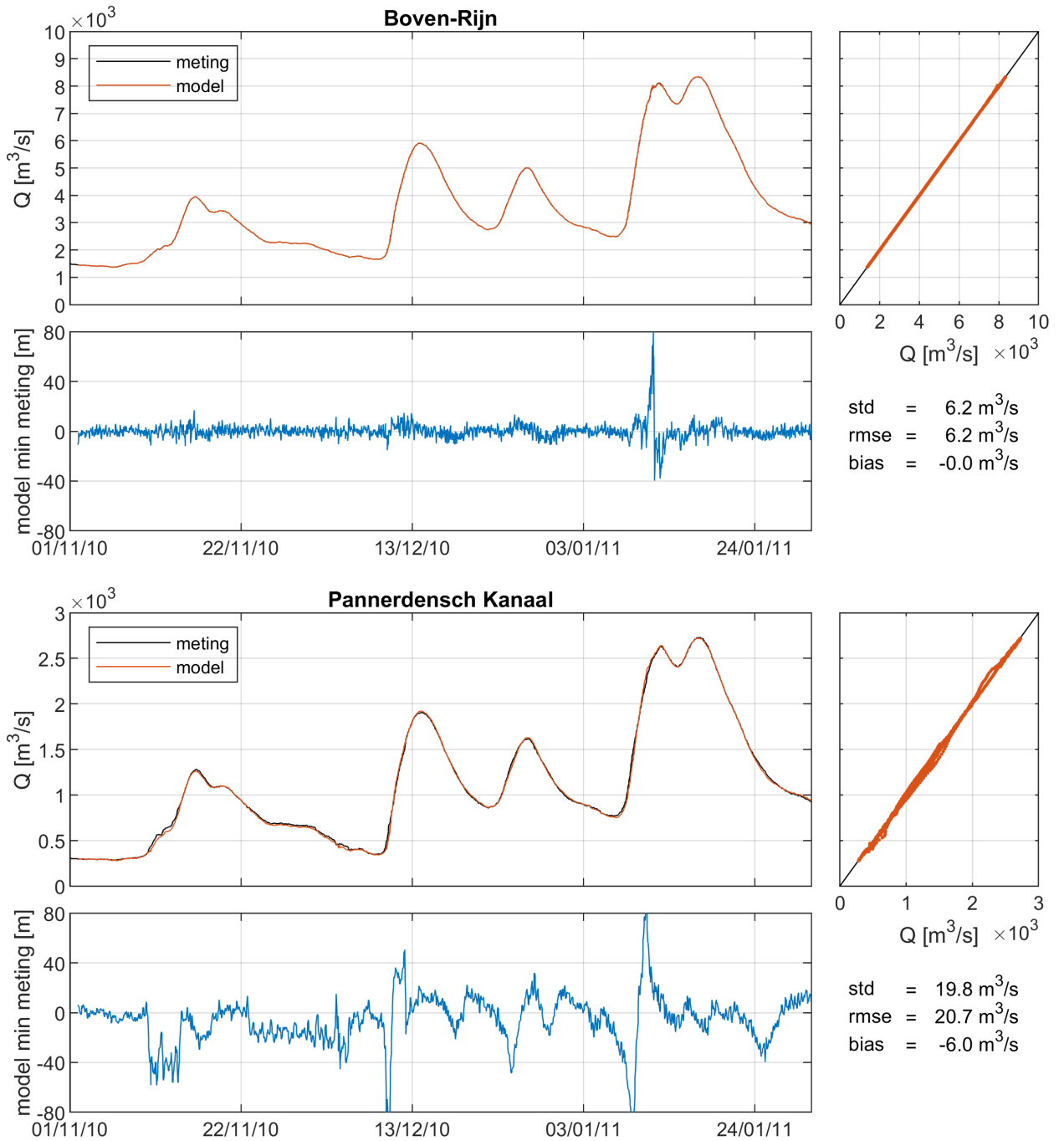
### Kamperhoek-10min

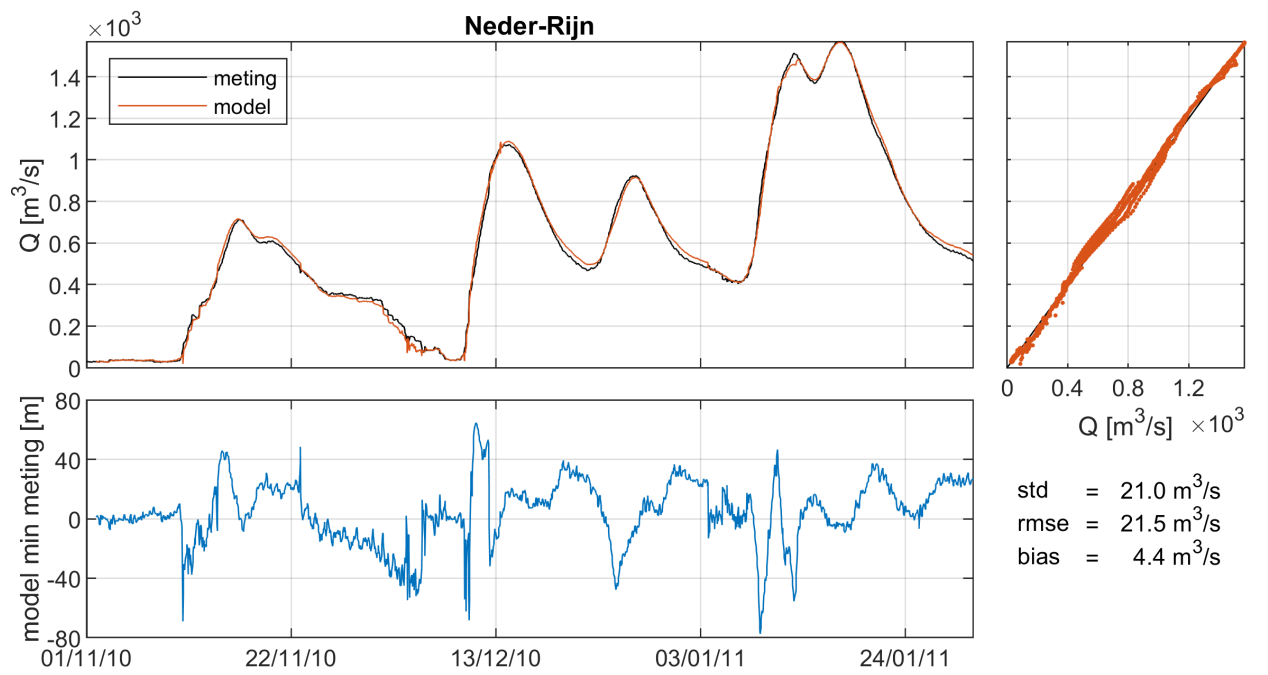
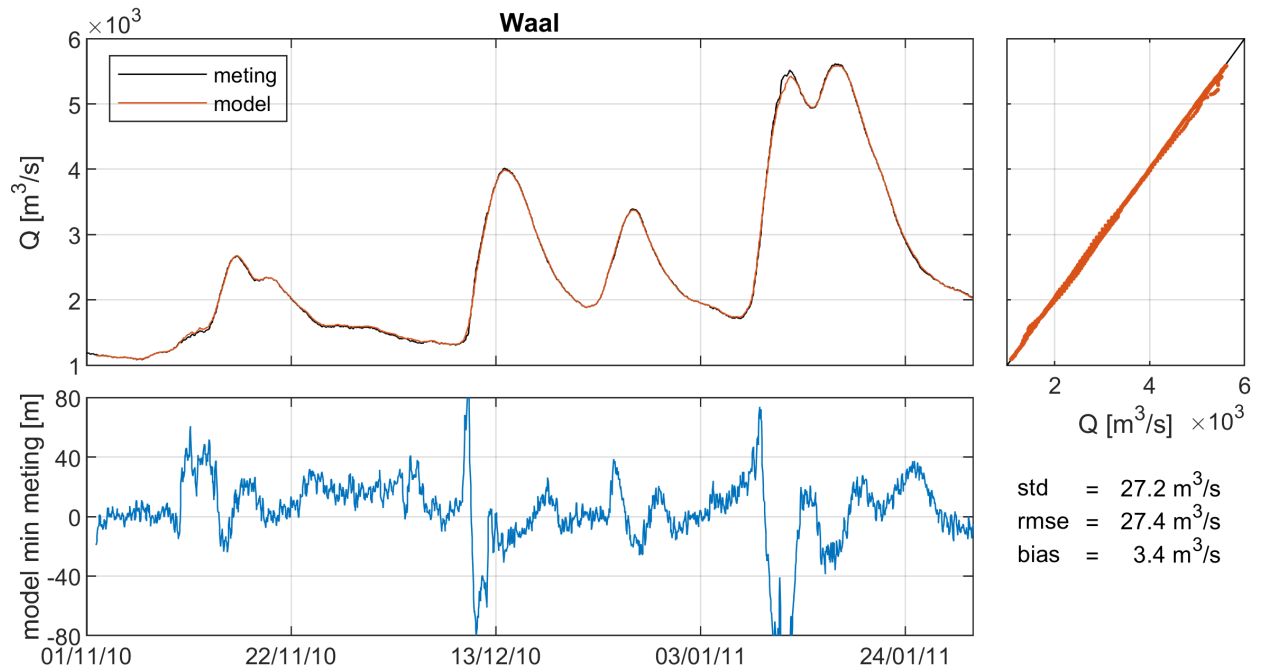


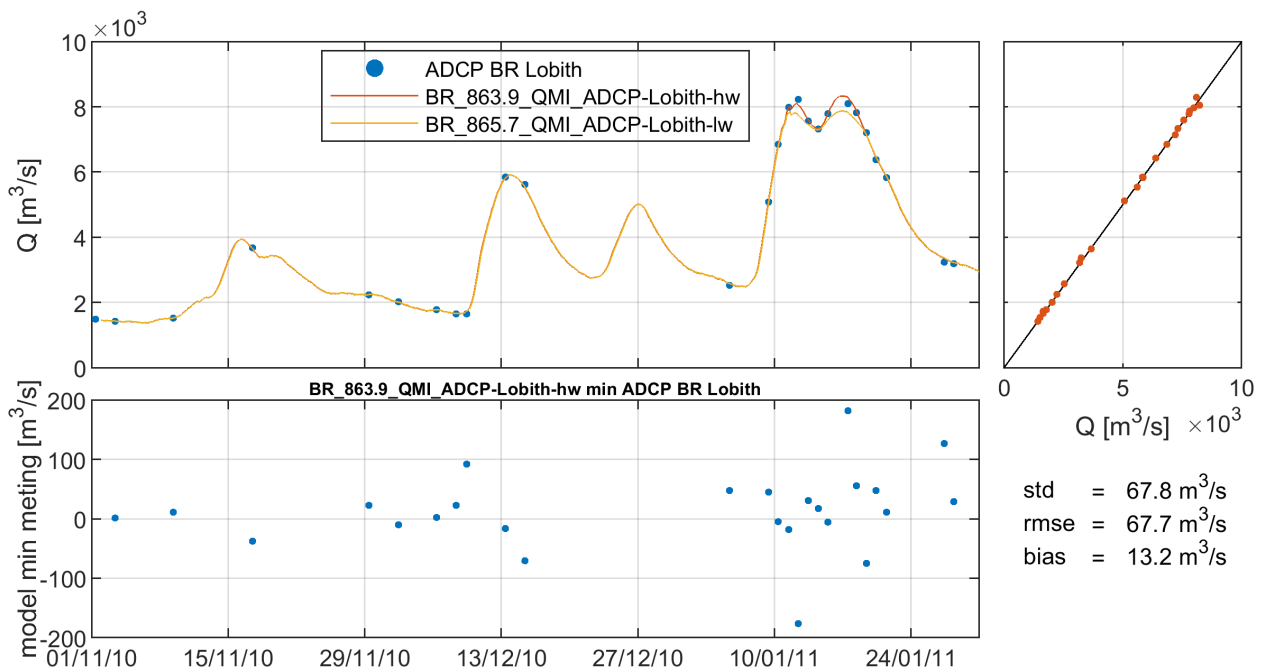
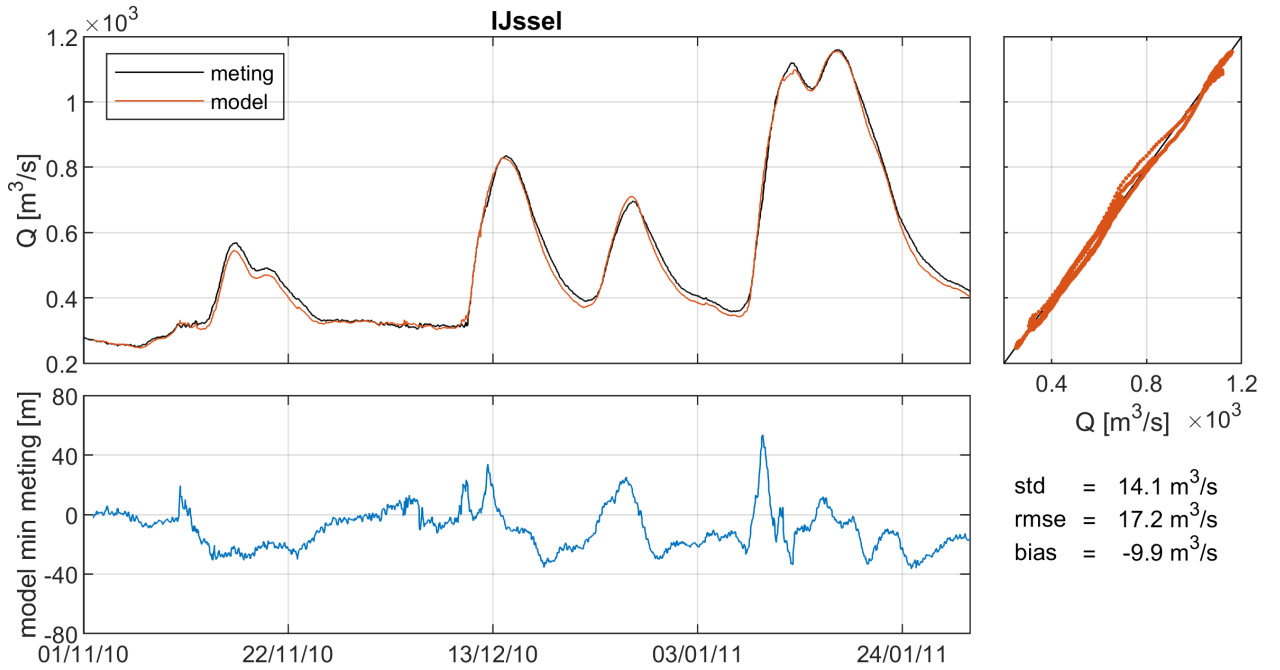
std = 0.007 m  
rmse = 0.009 m  
bias = 0.006 m

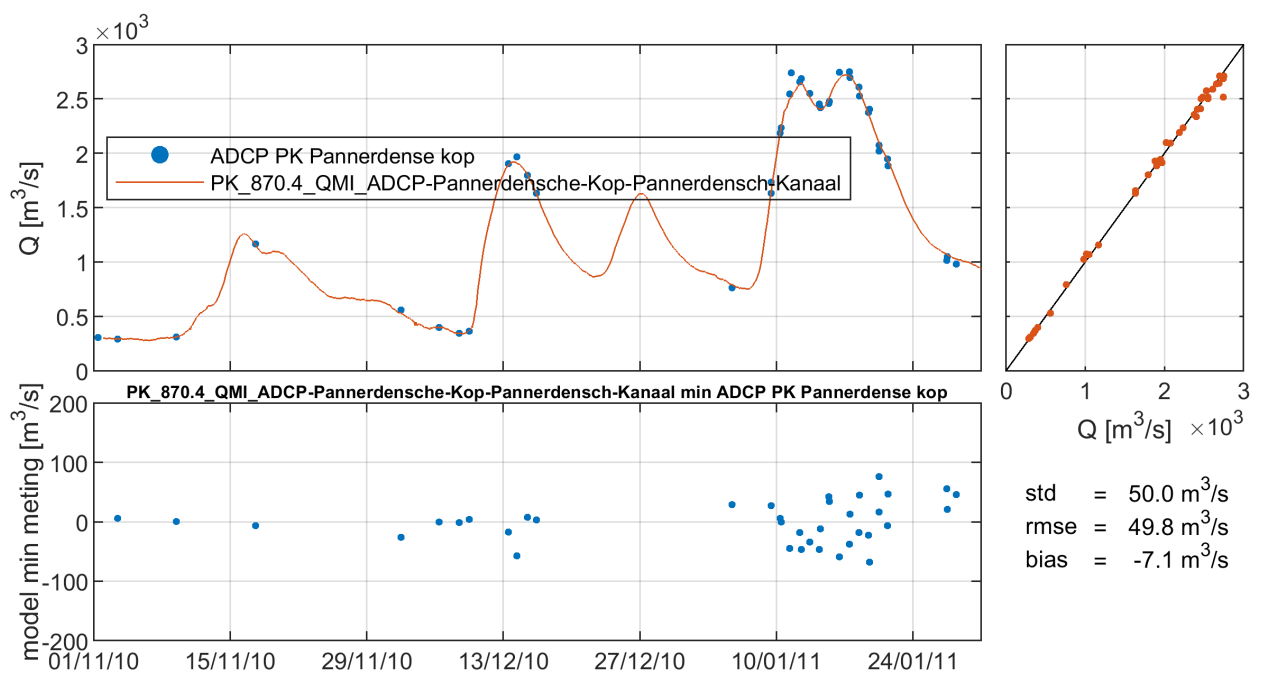
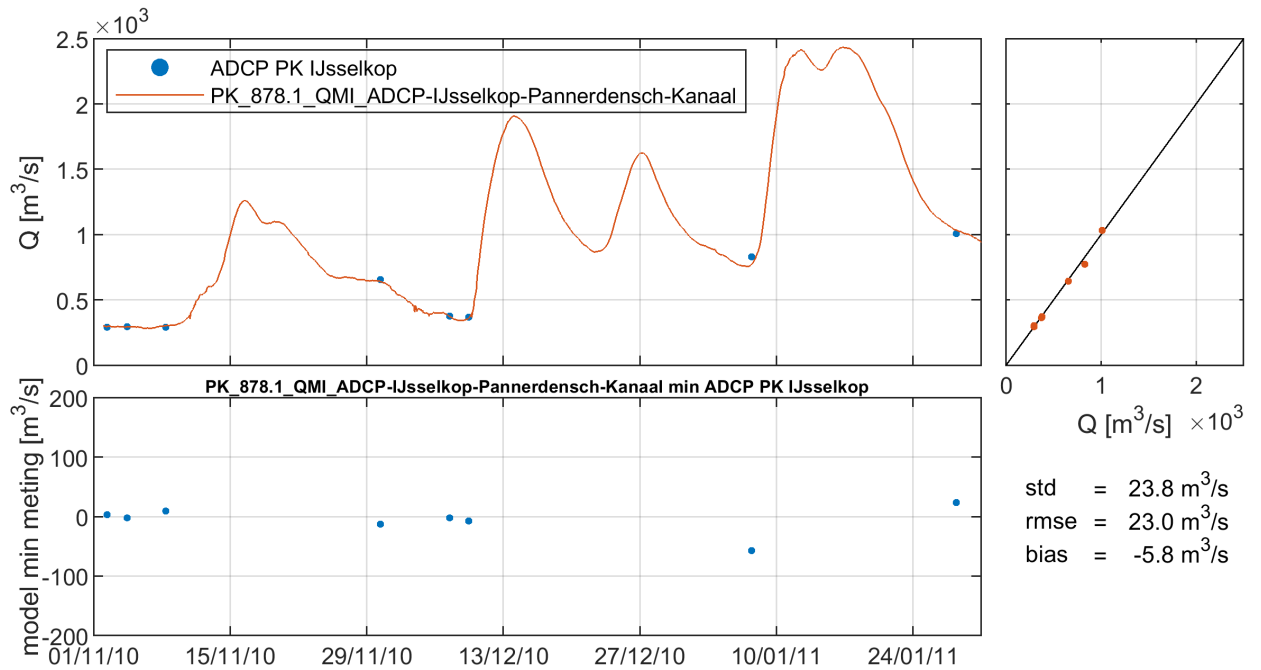


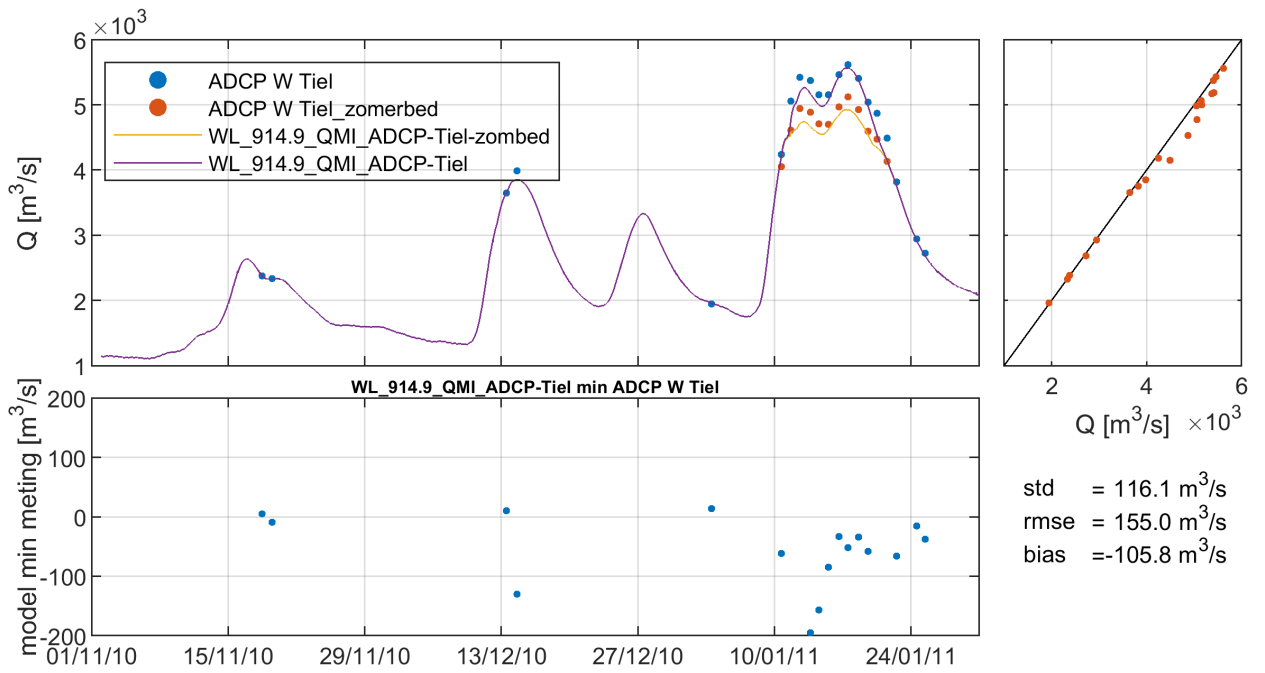
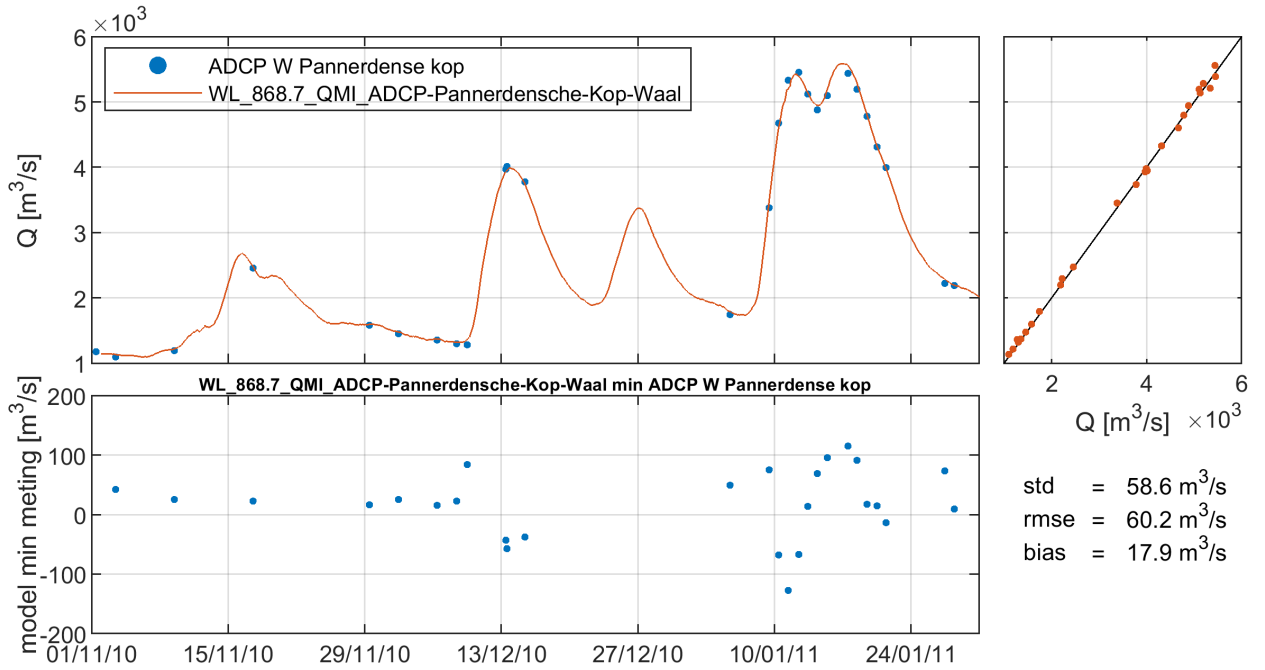
### I.3.2 Afvoeren



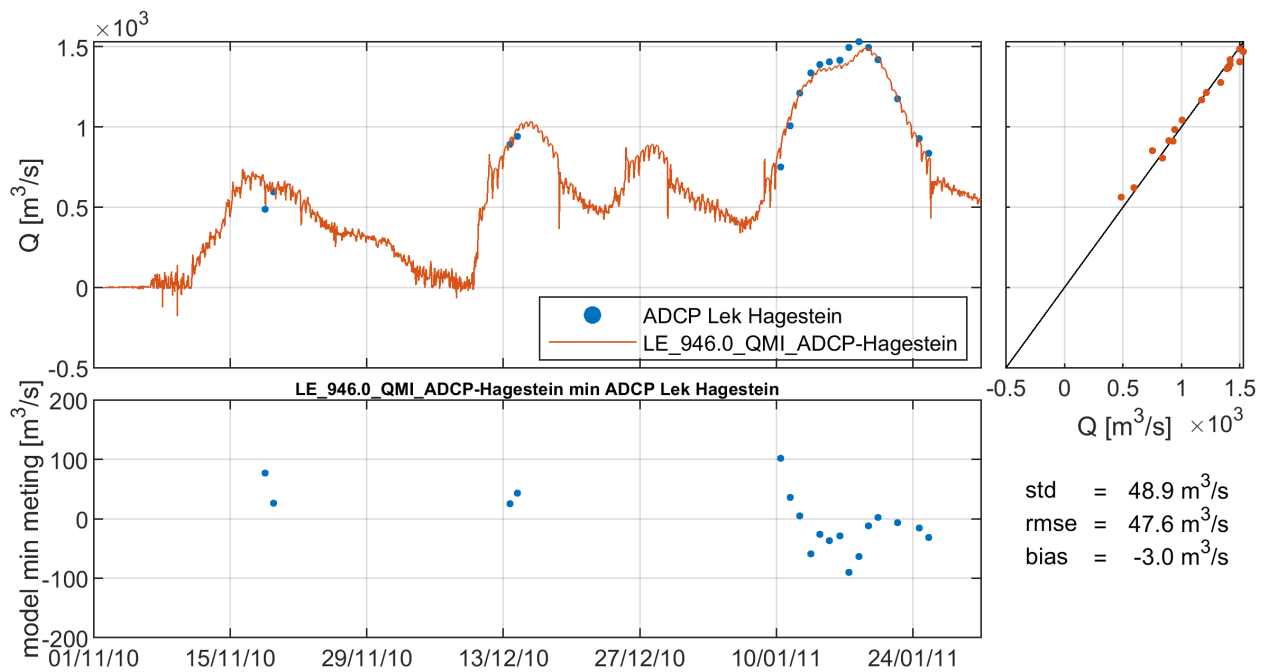
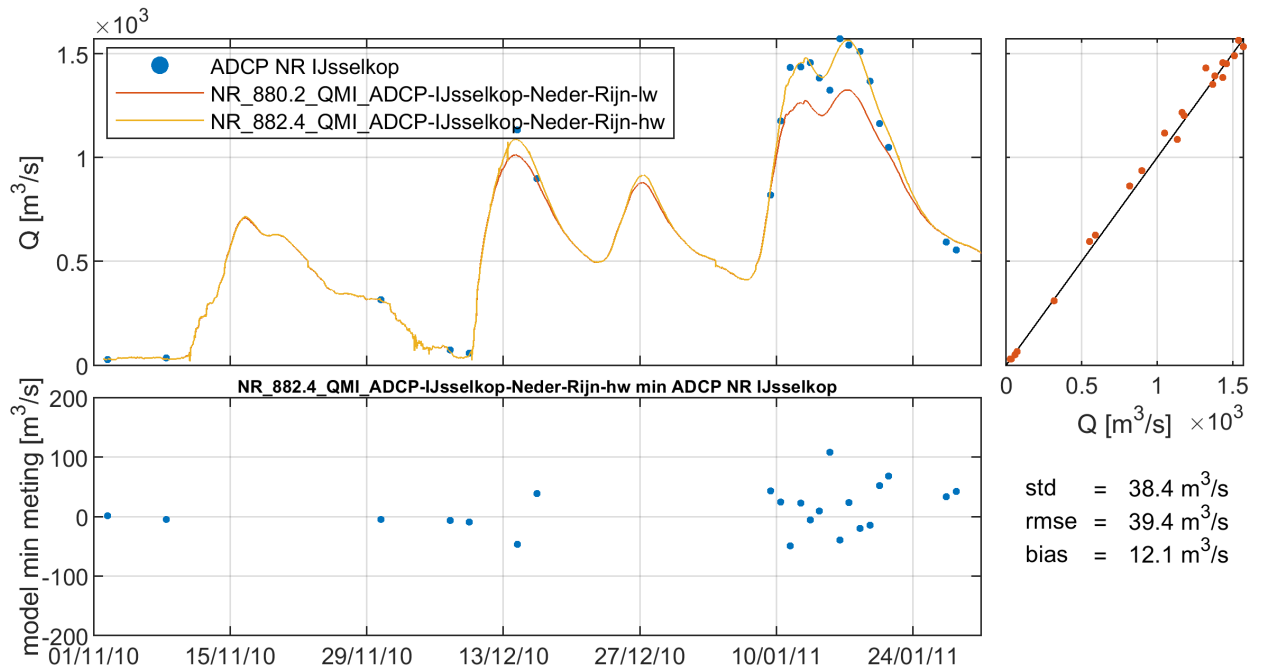


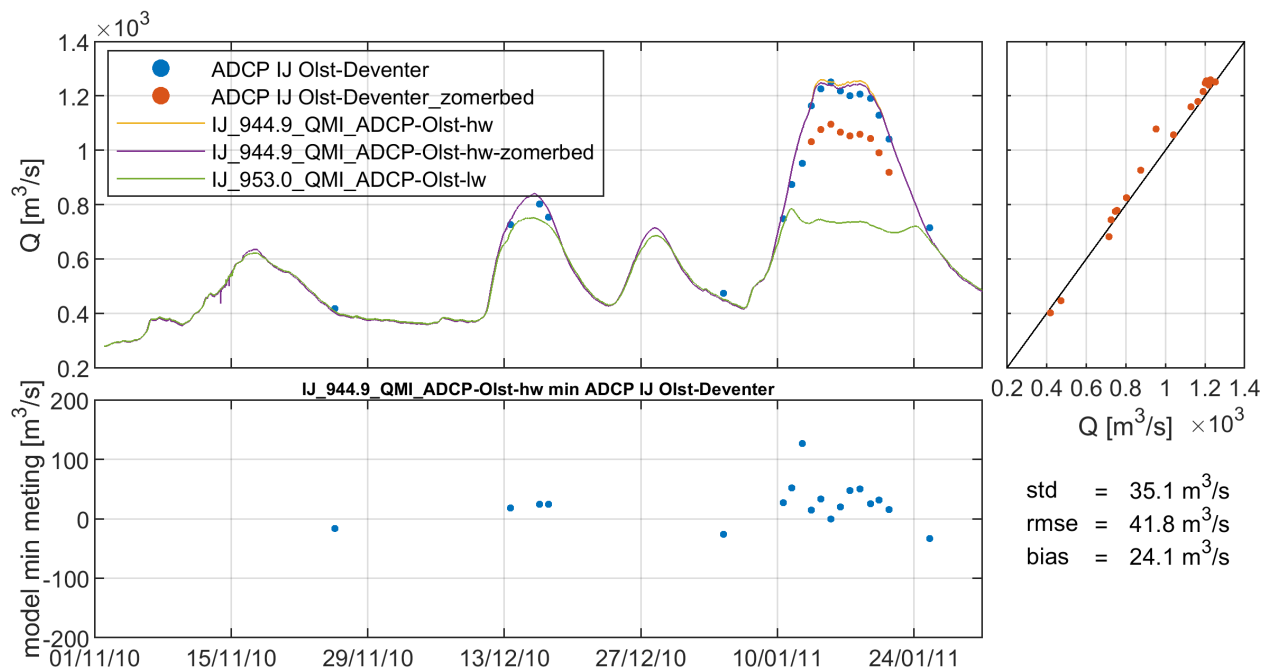
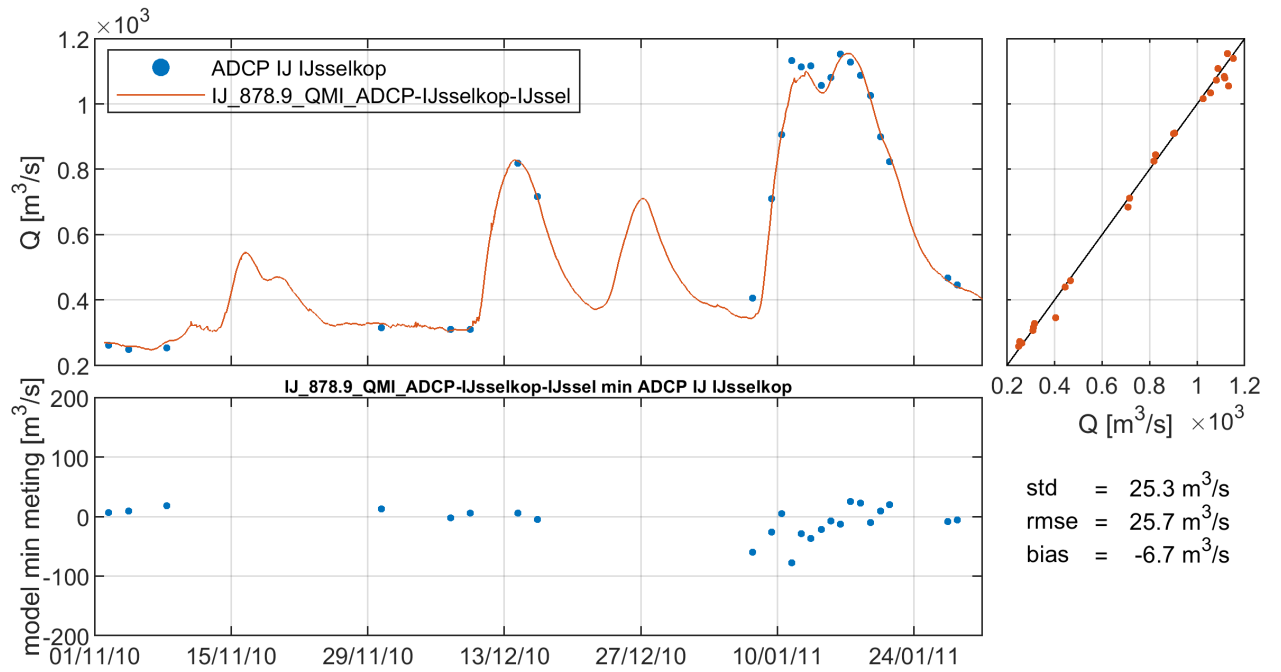


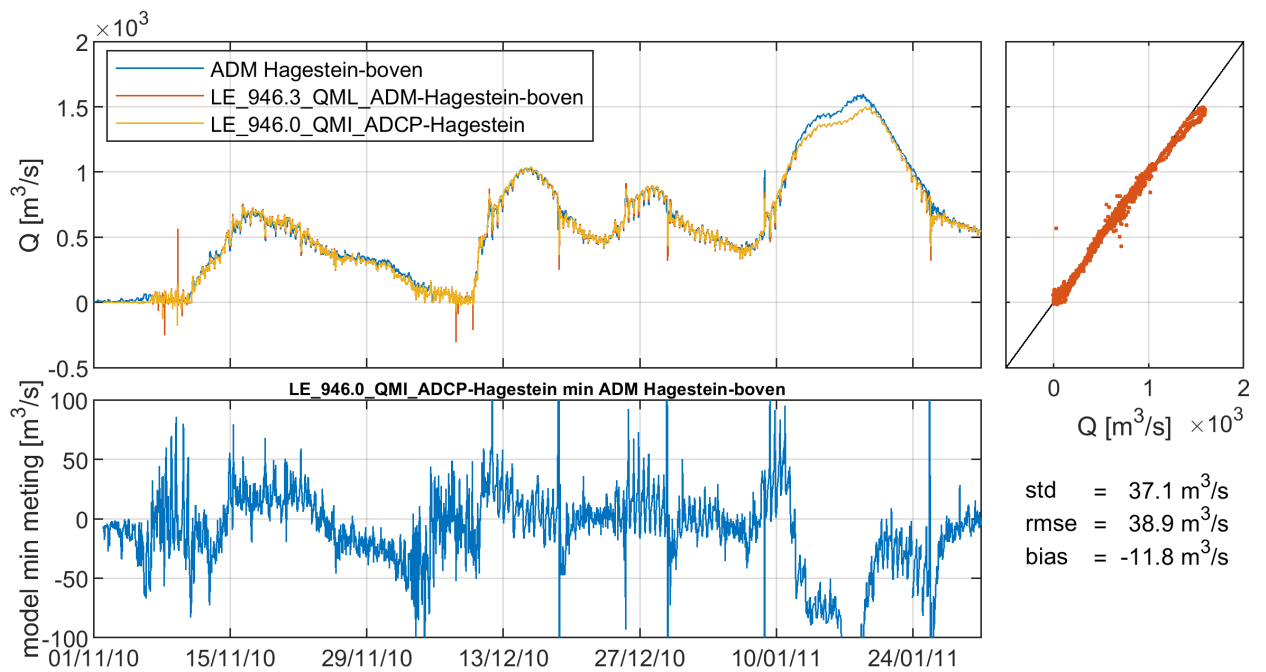
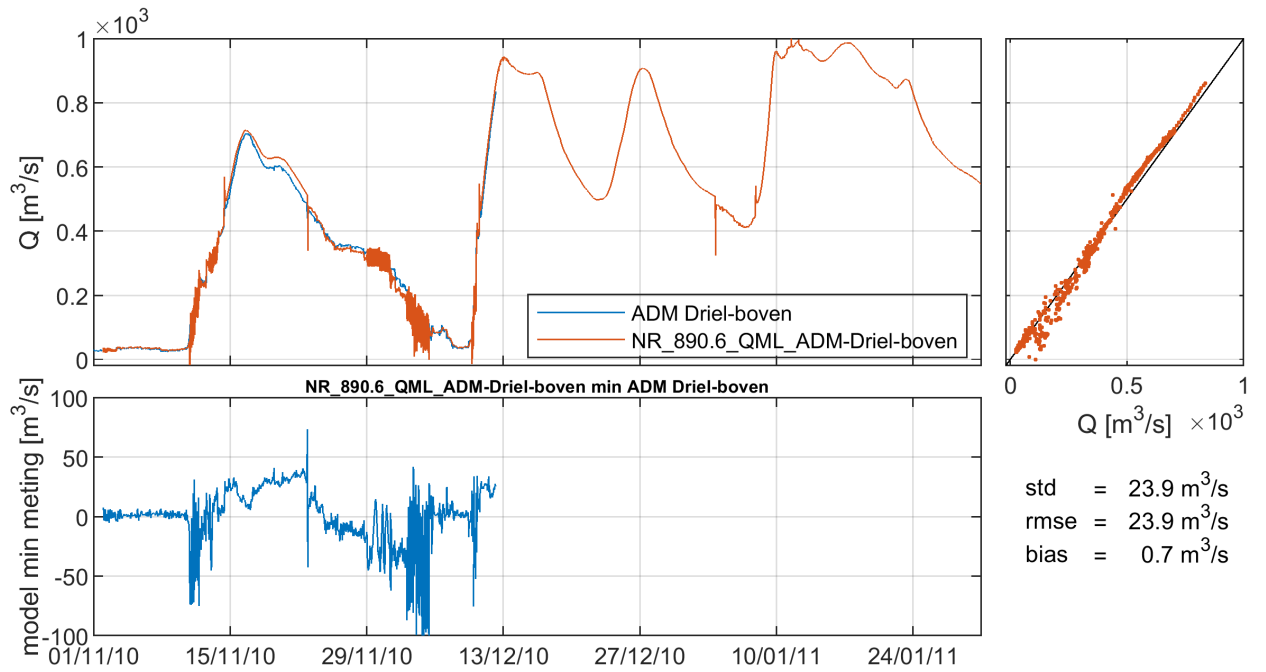






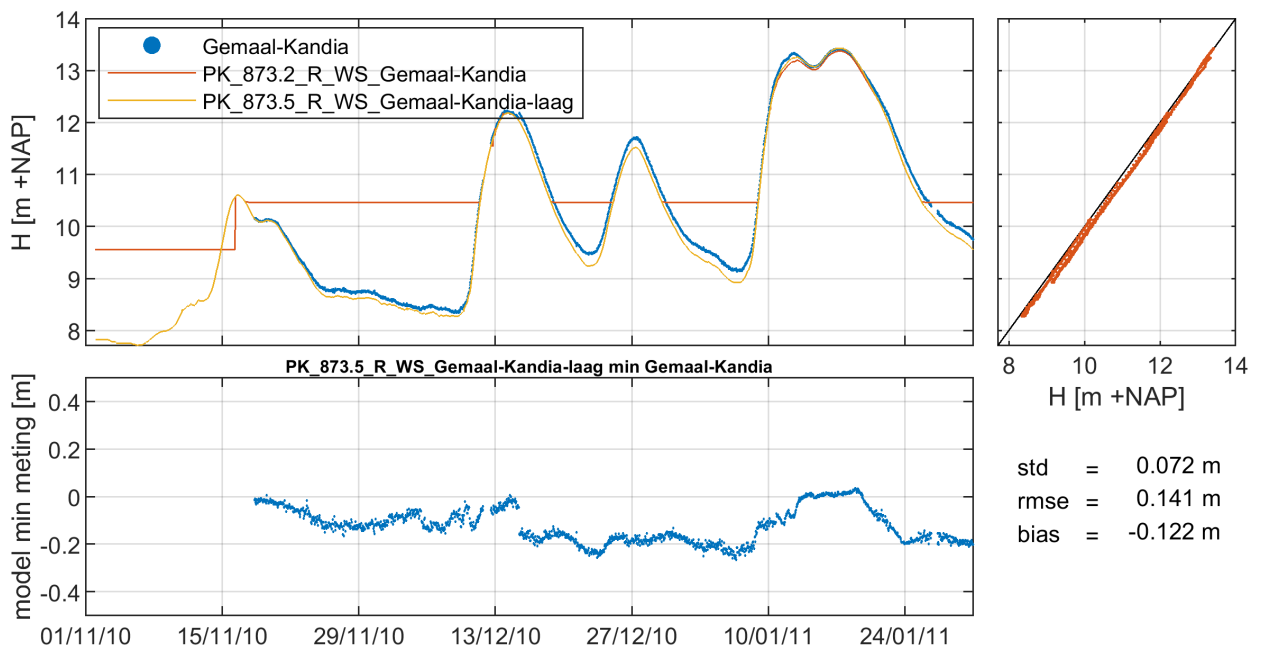
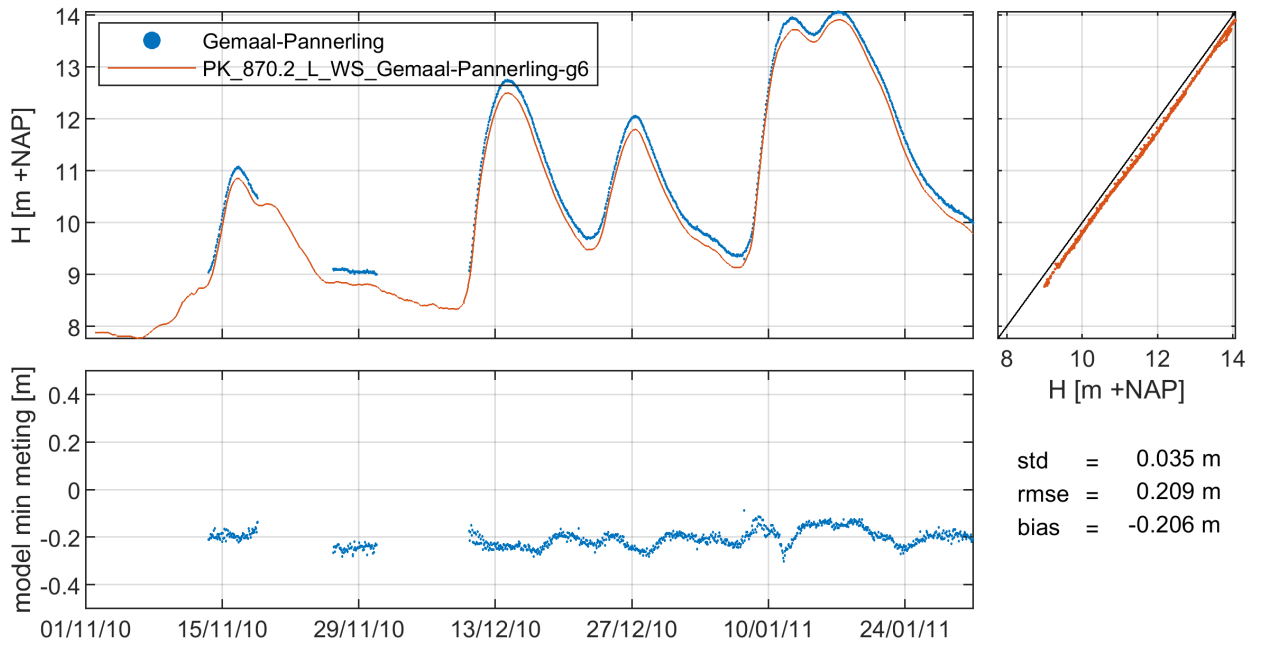


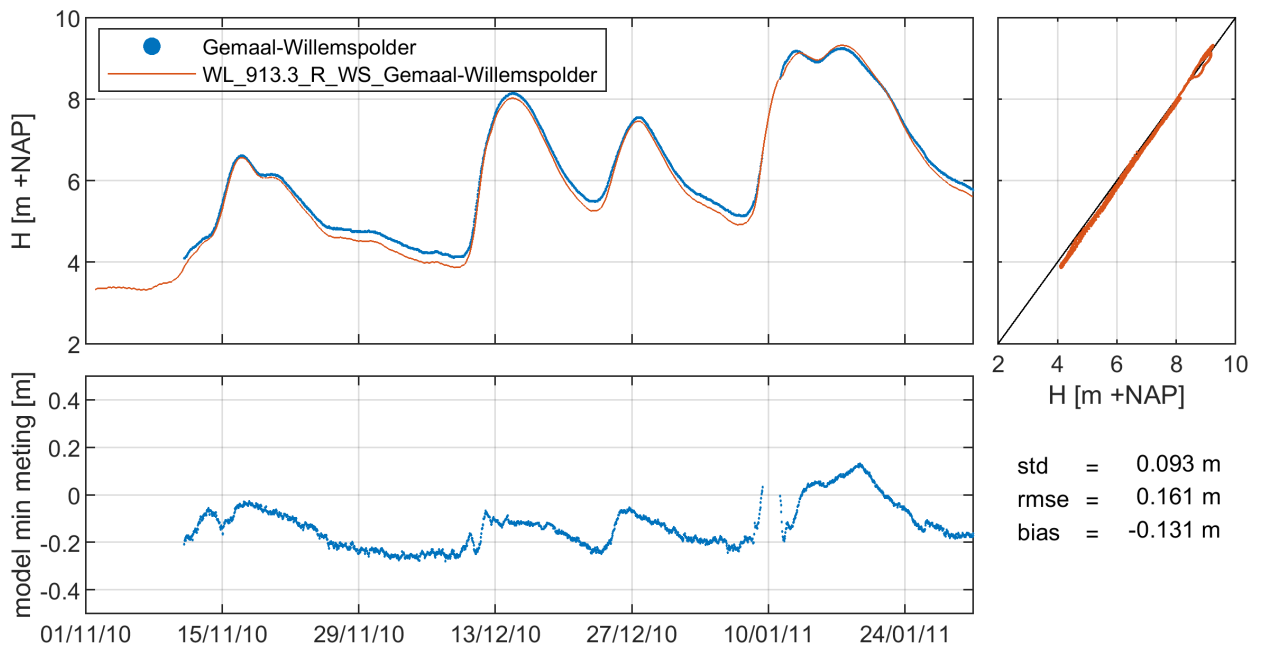
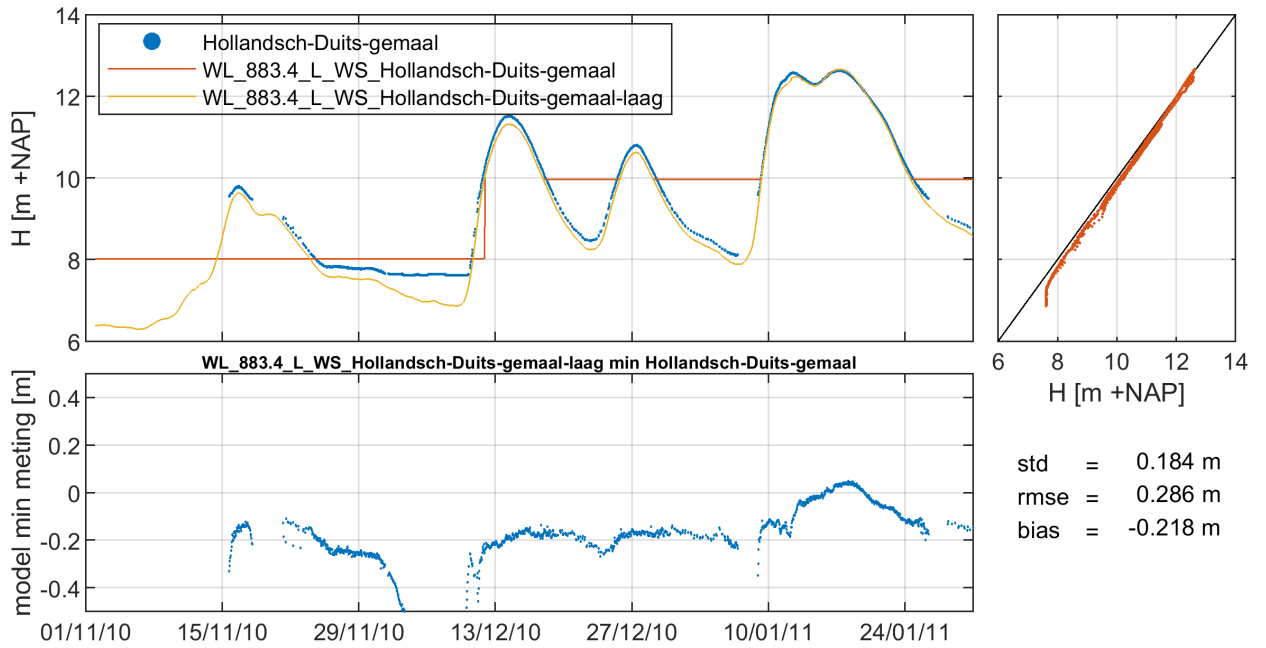


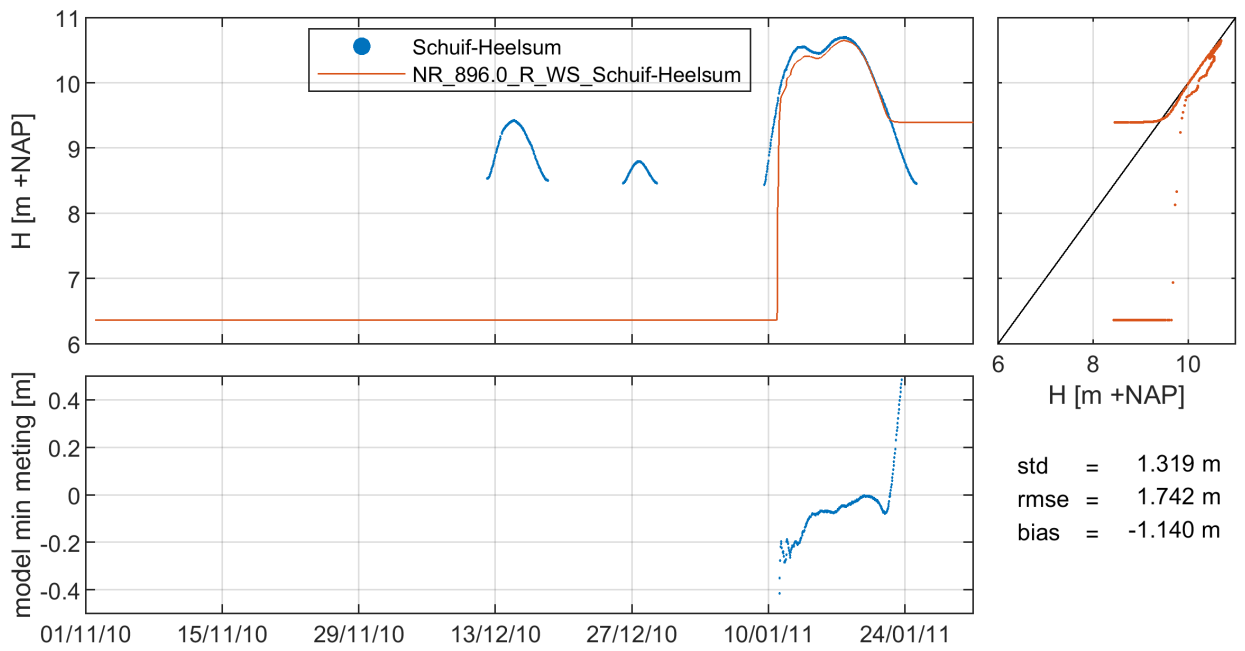
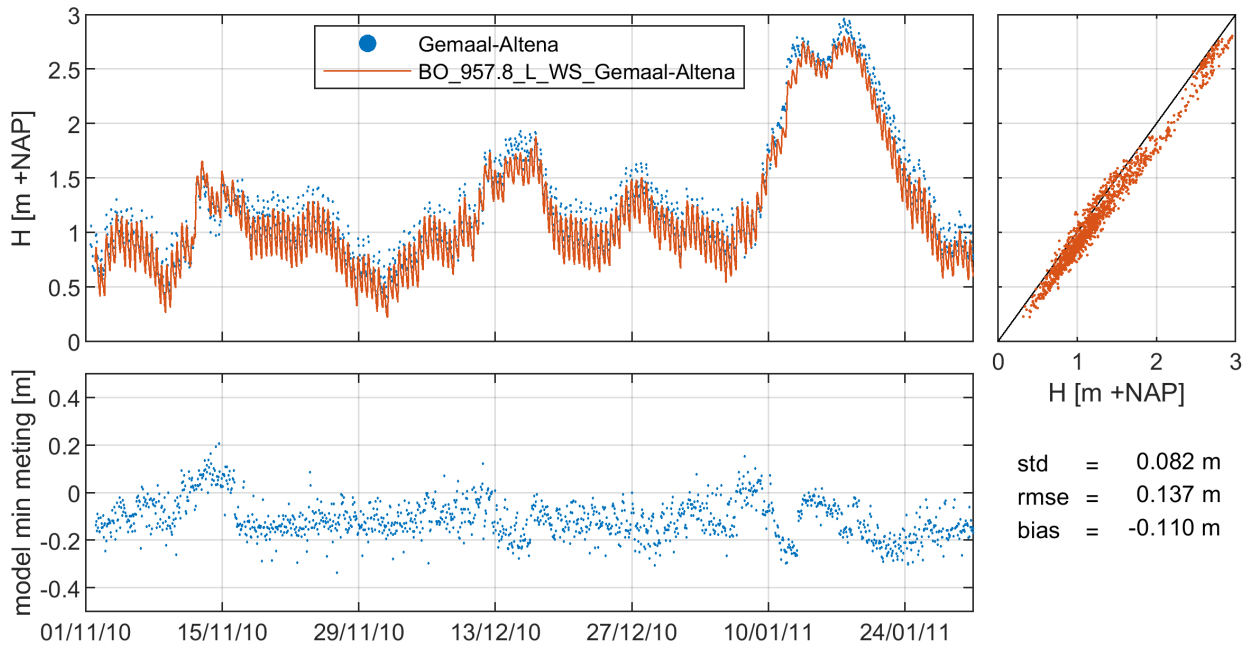


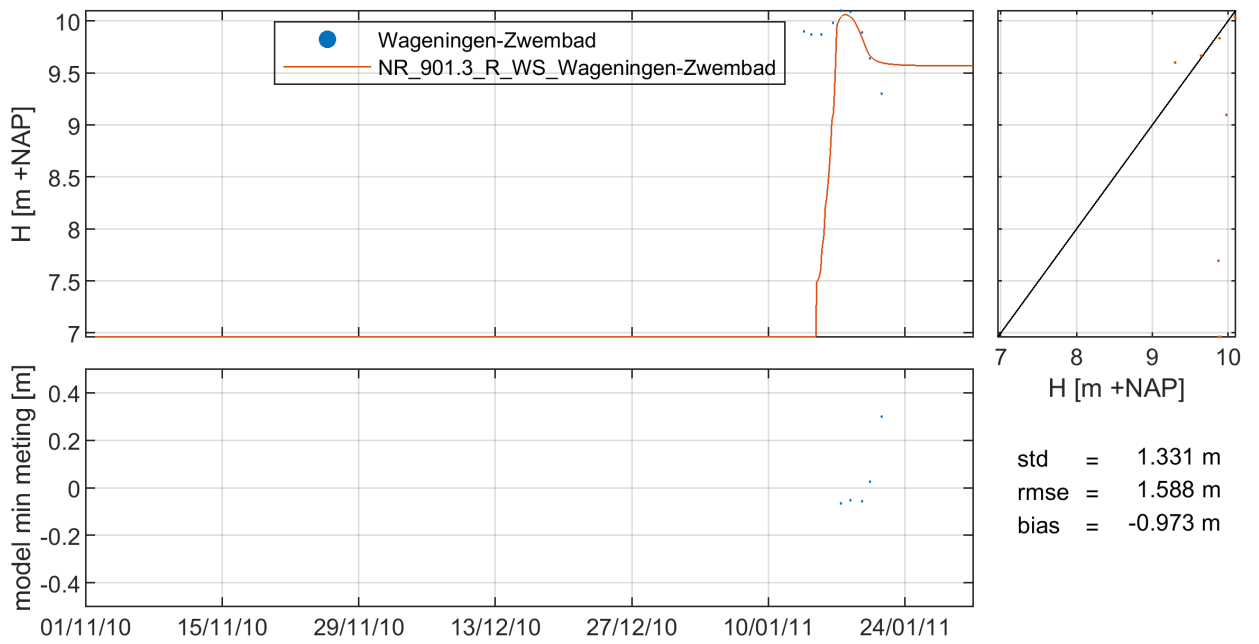
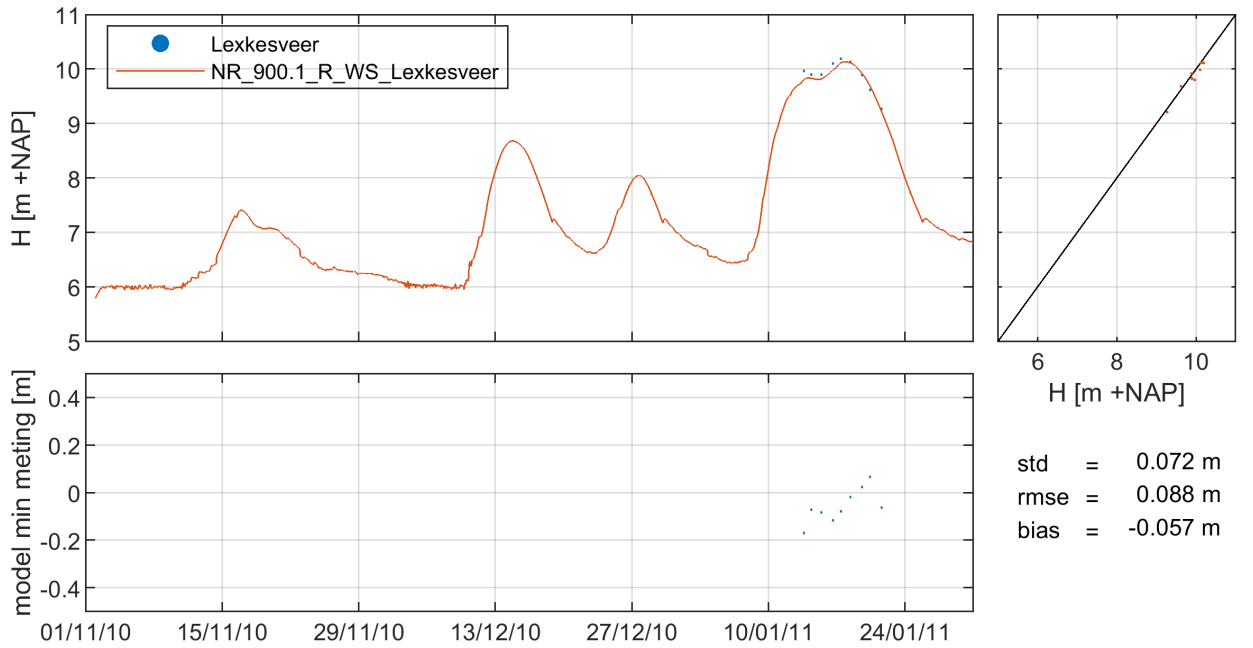
### I.3.3 Metingen waterschappen

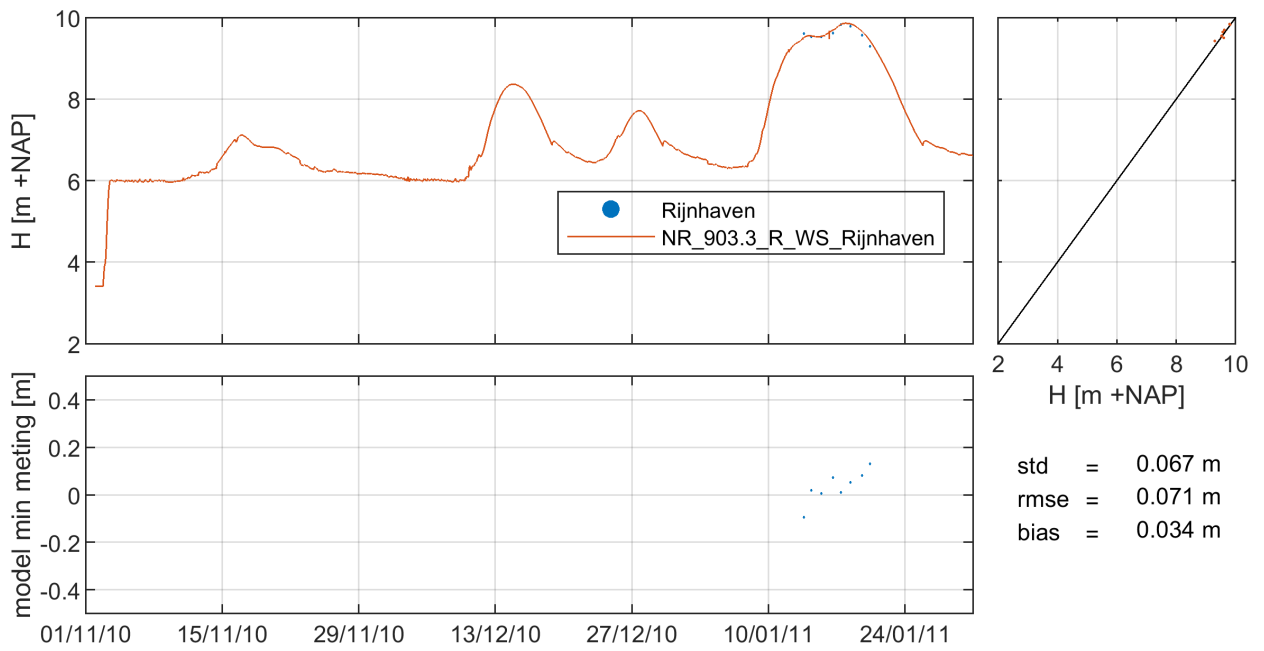
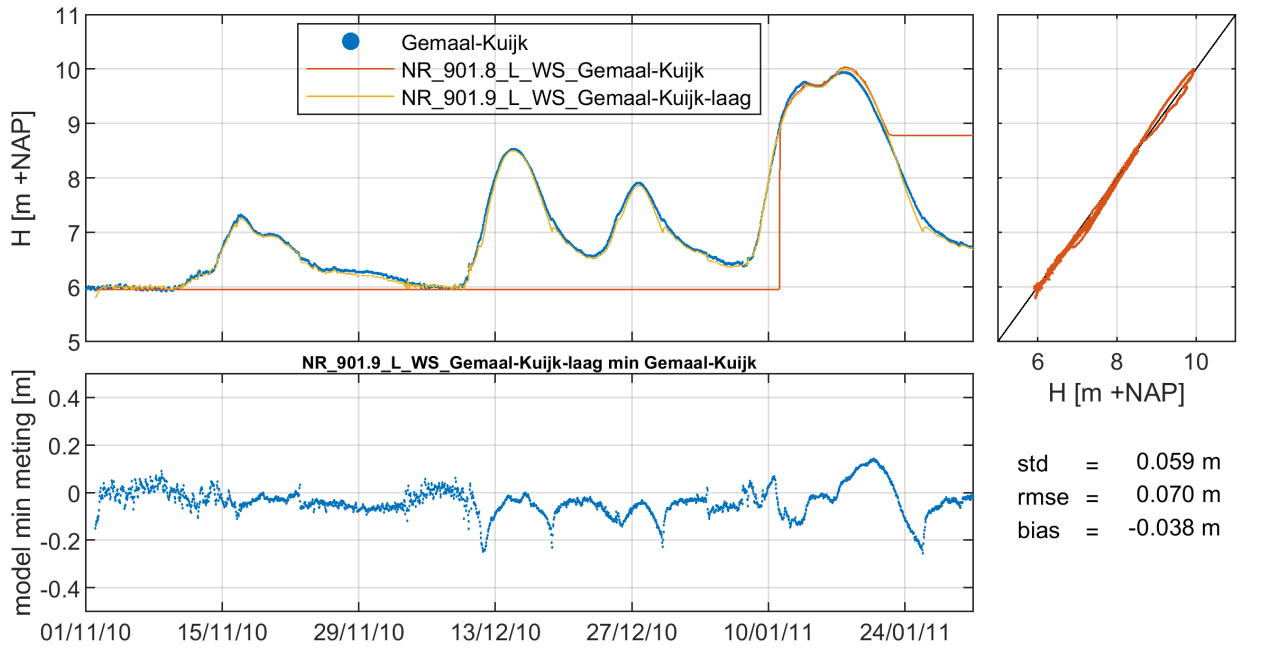
#### uurwaarden



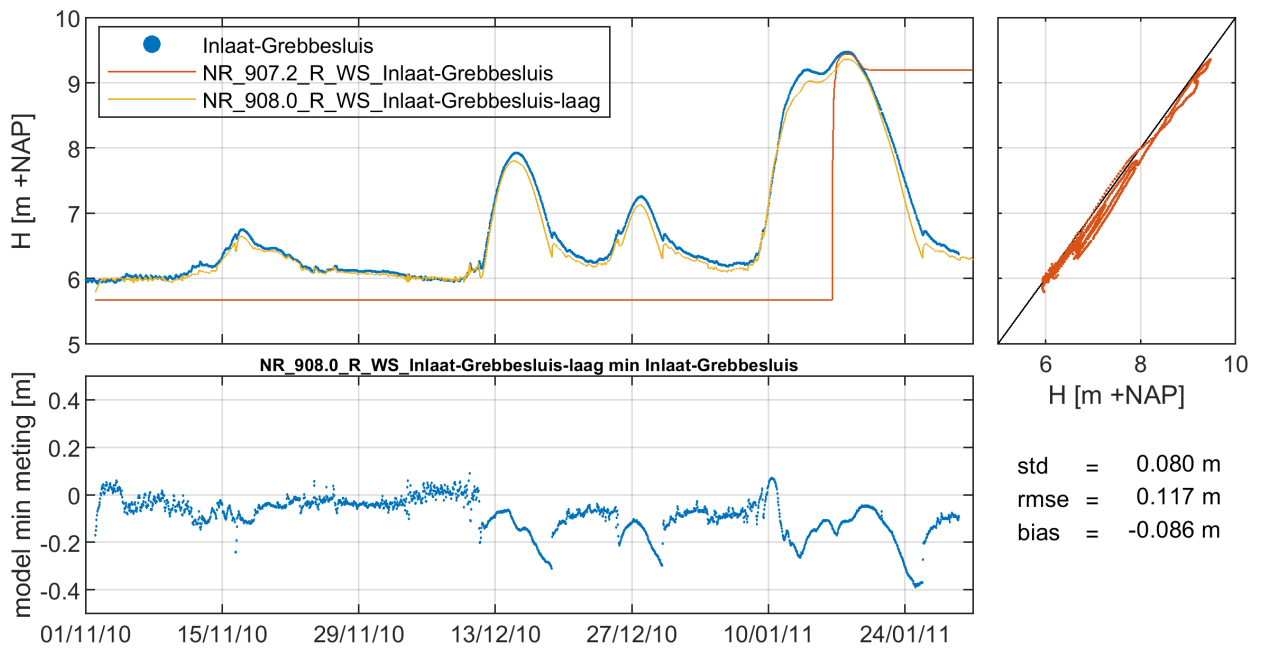
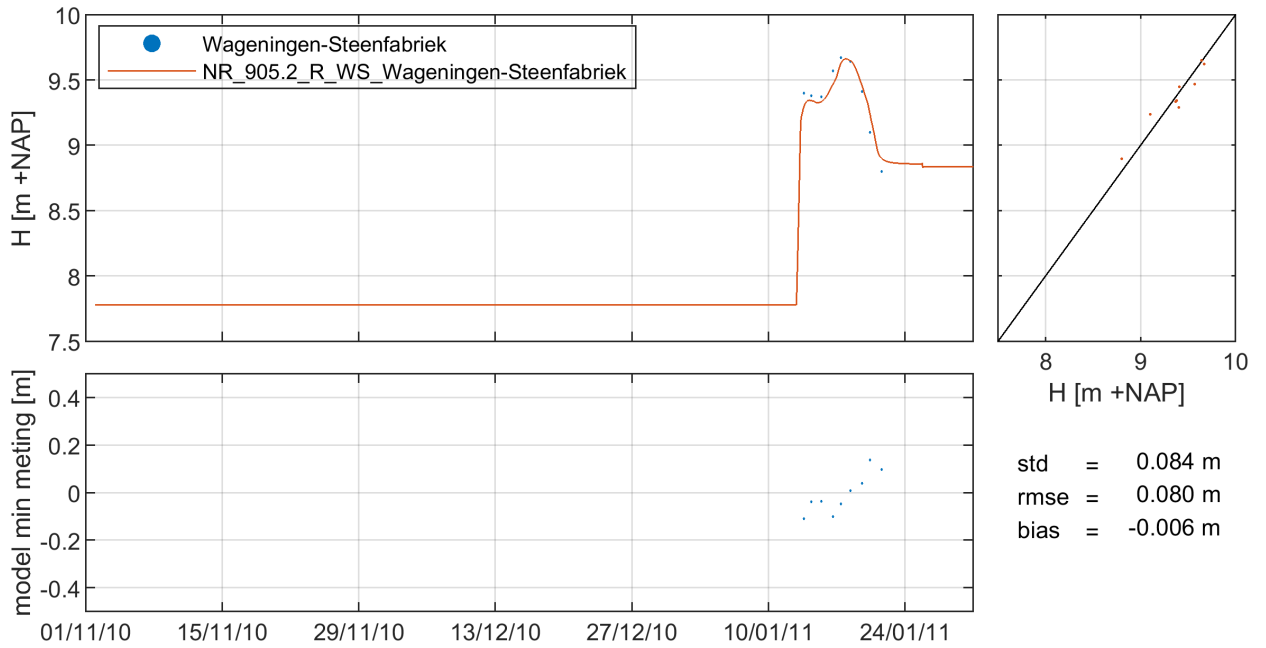


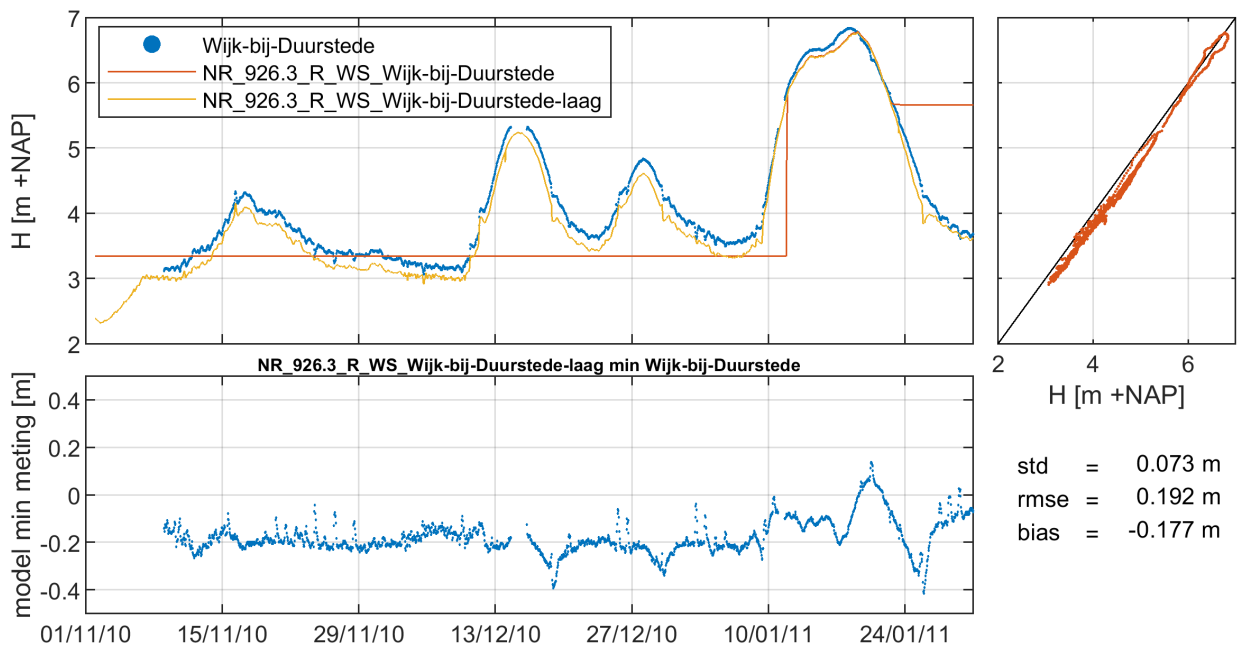
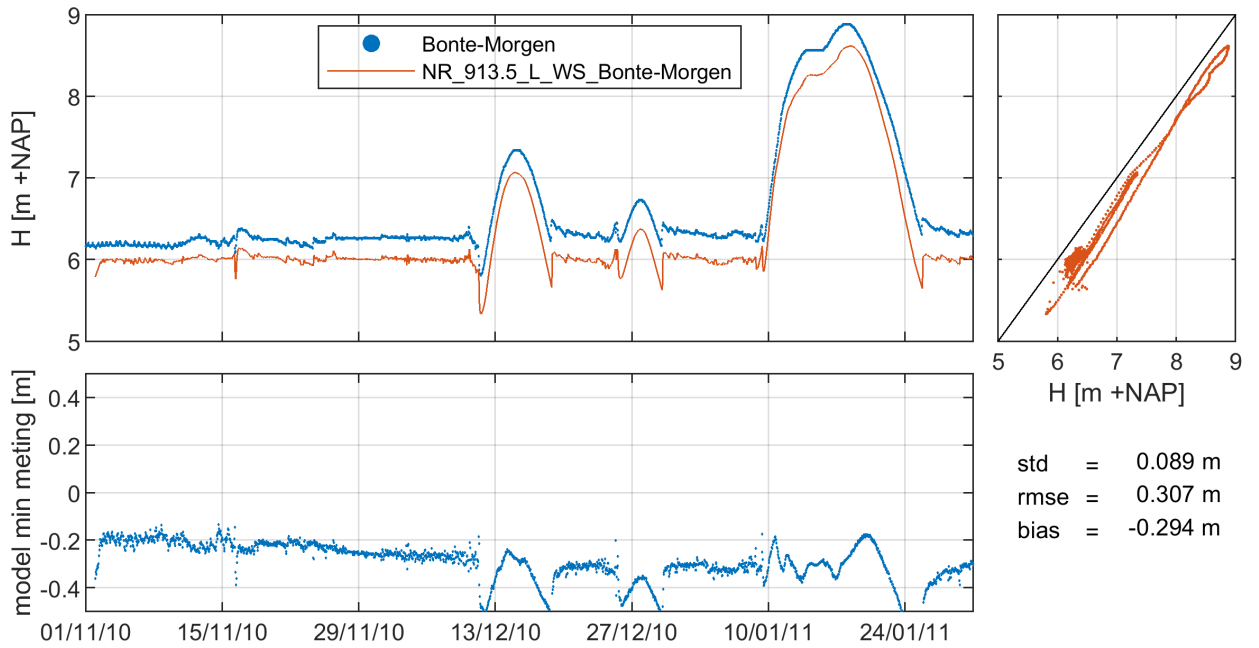


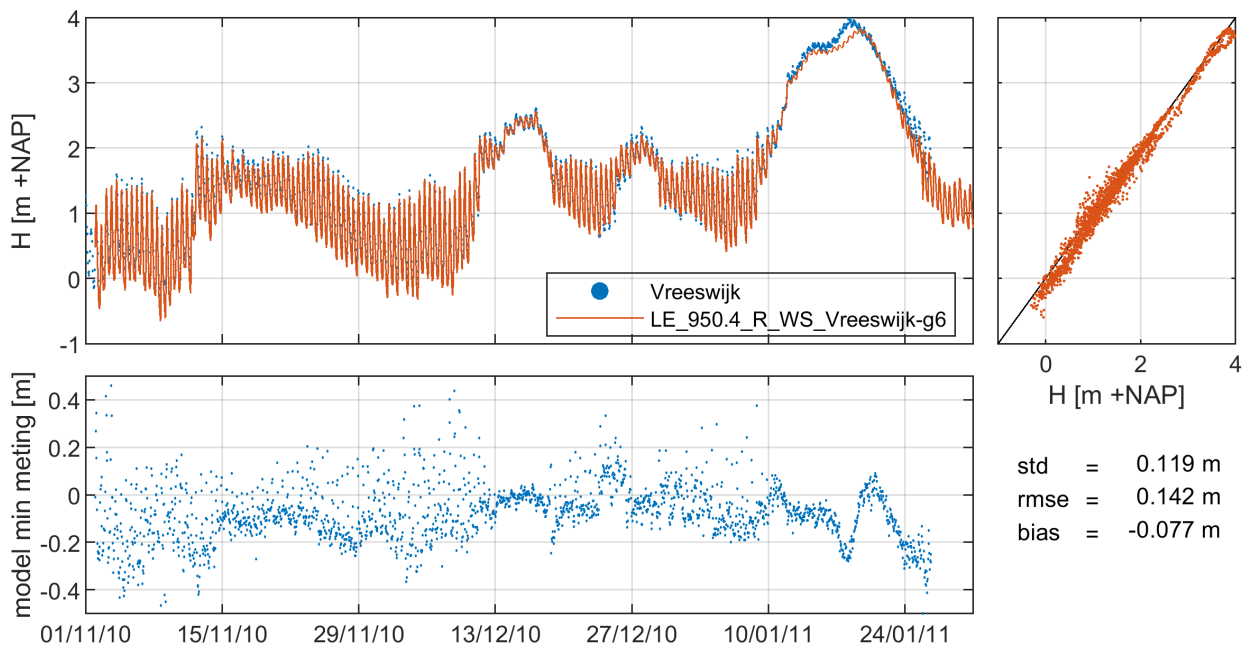
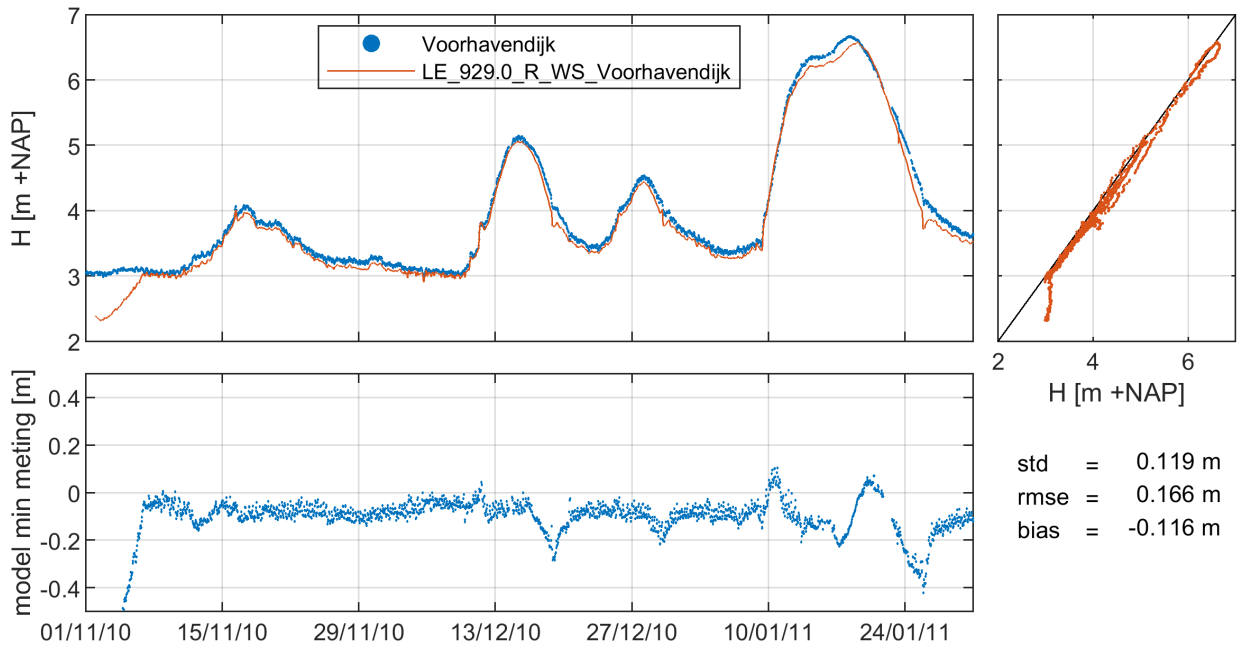


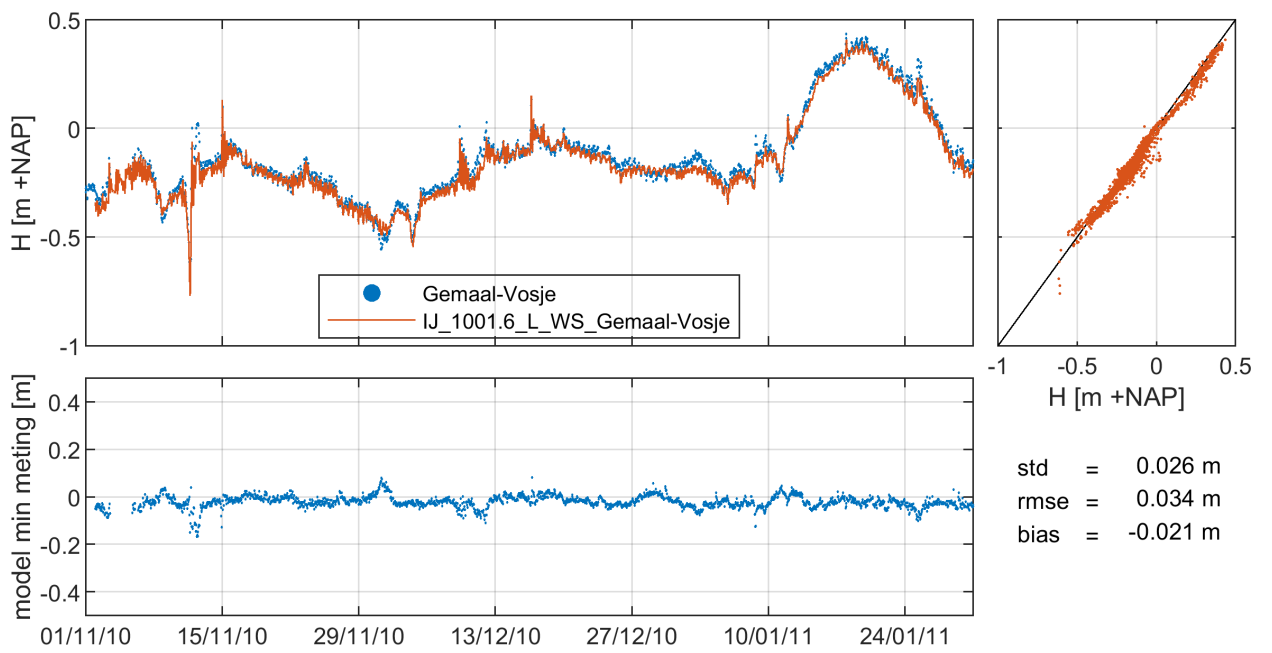
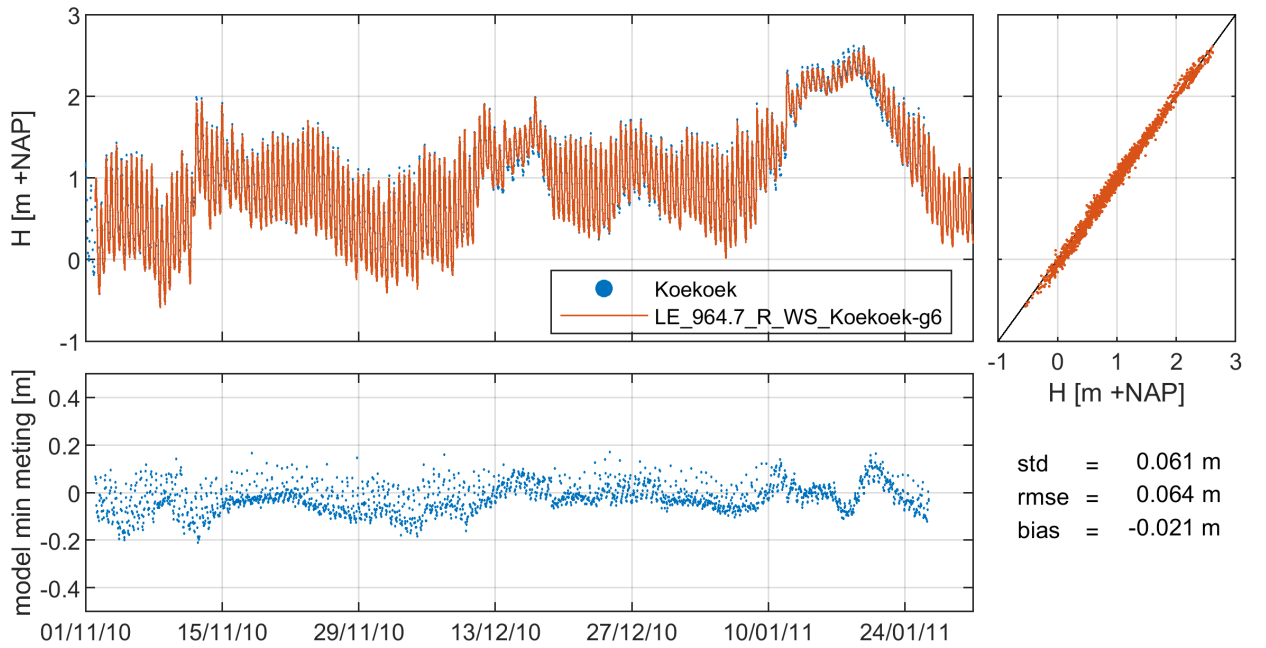


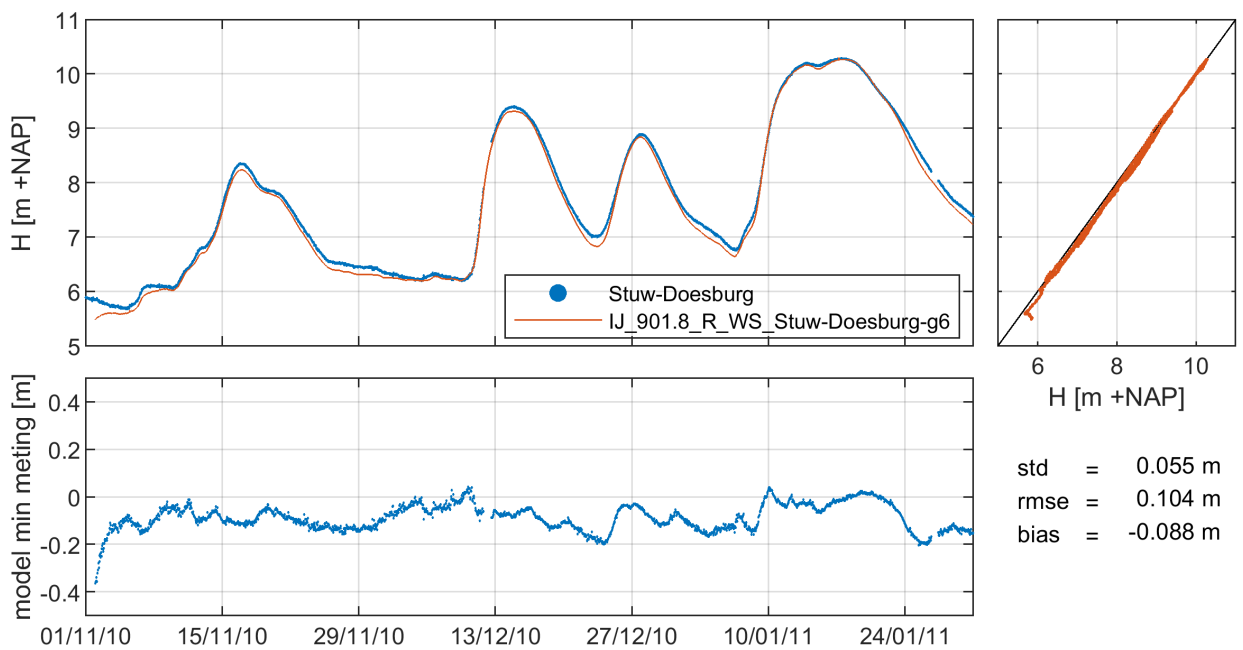
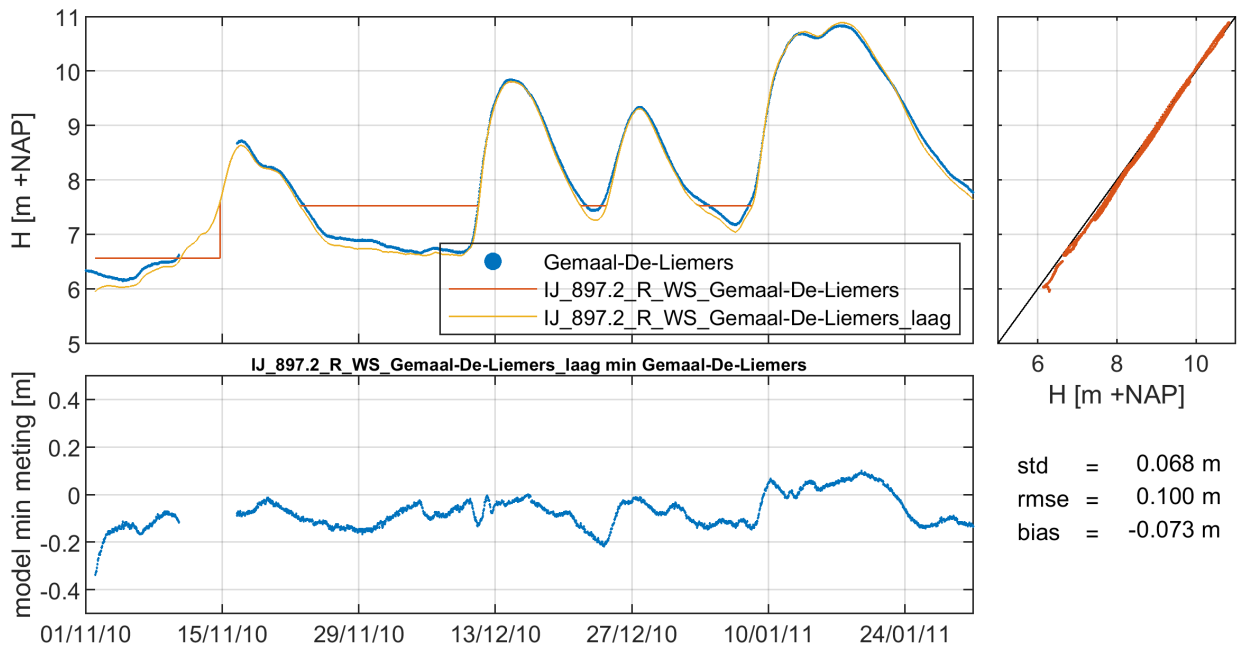


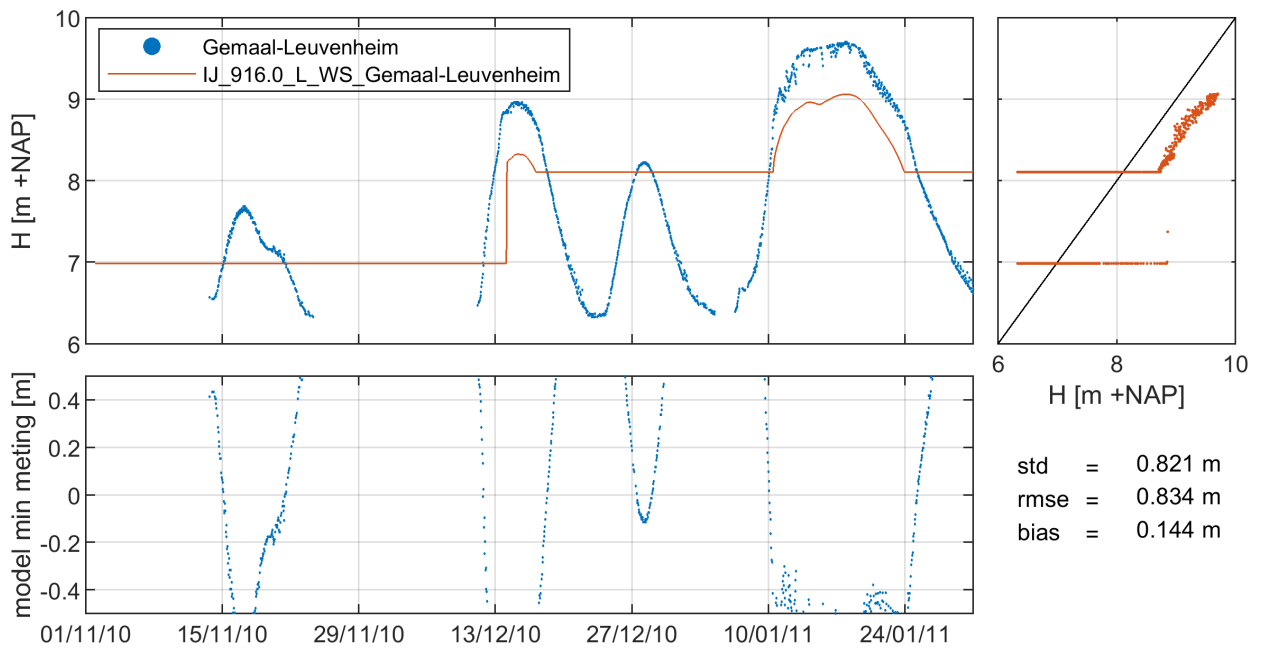
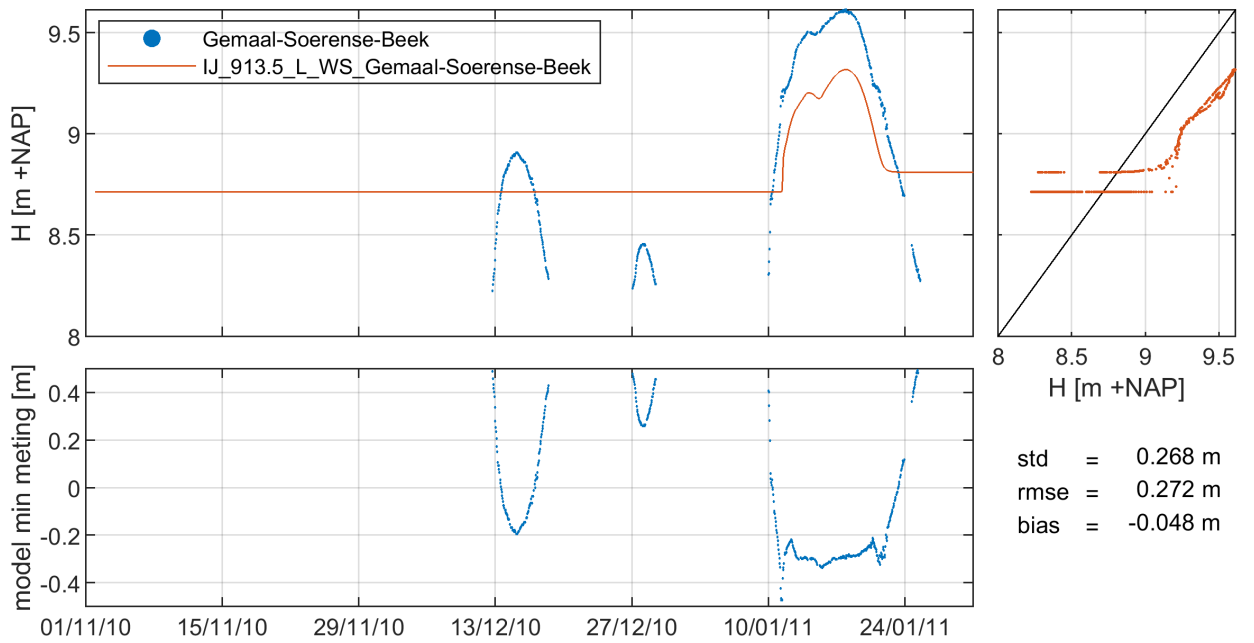


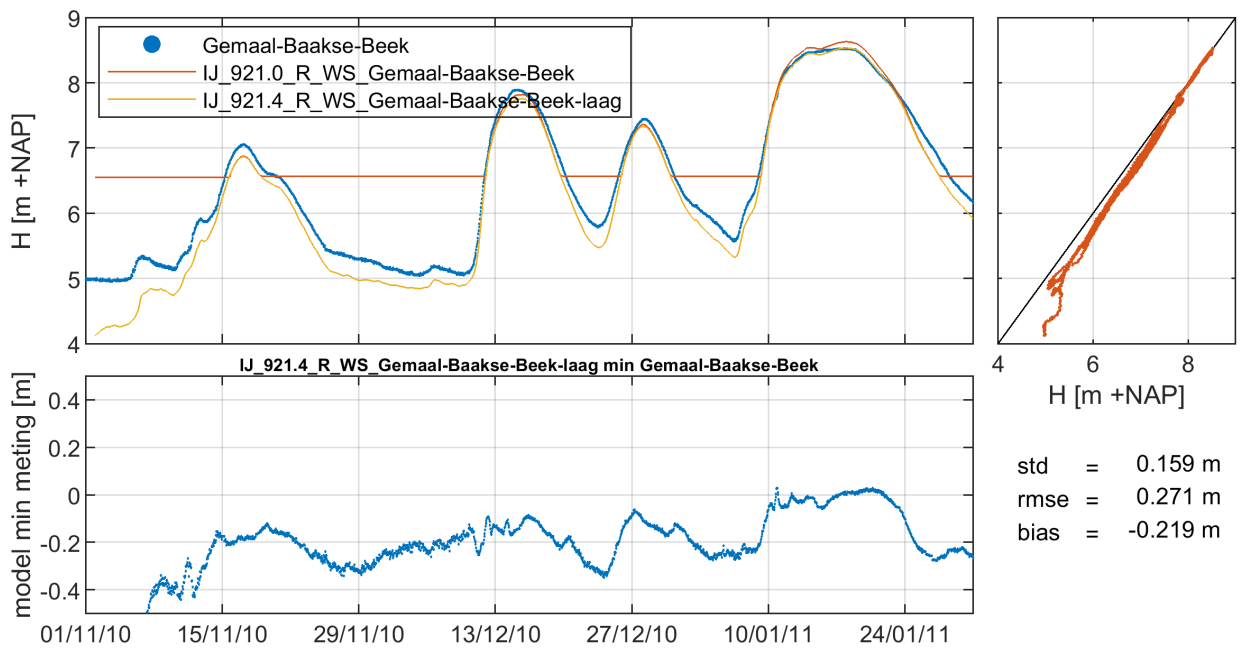
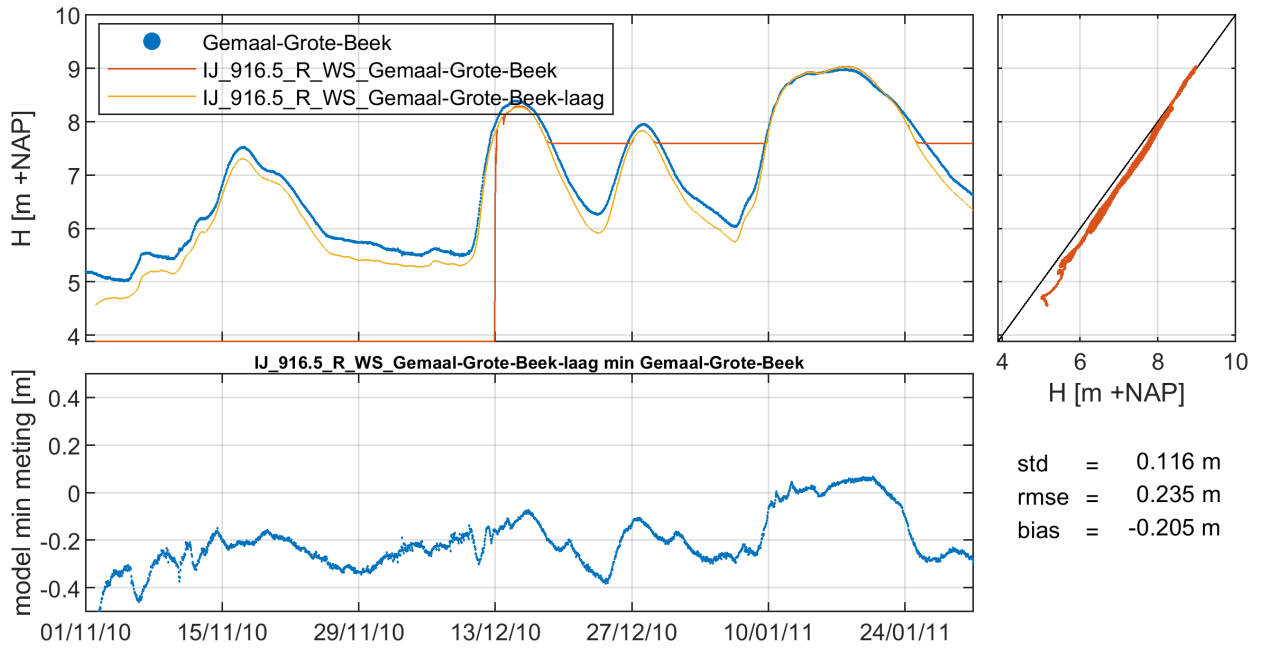


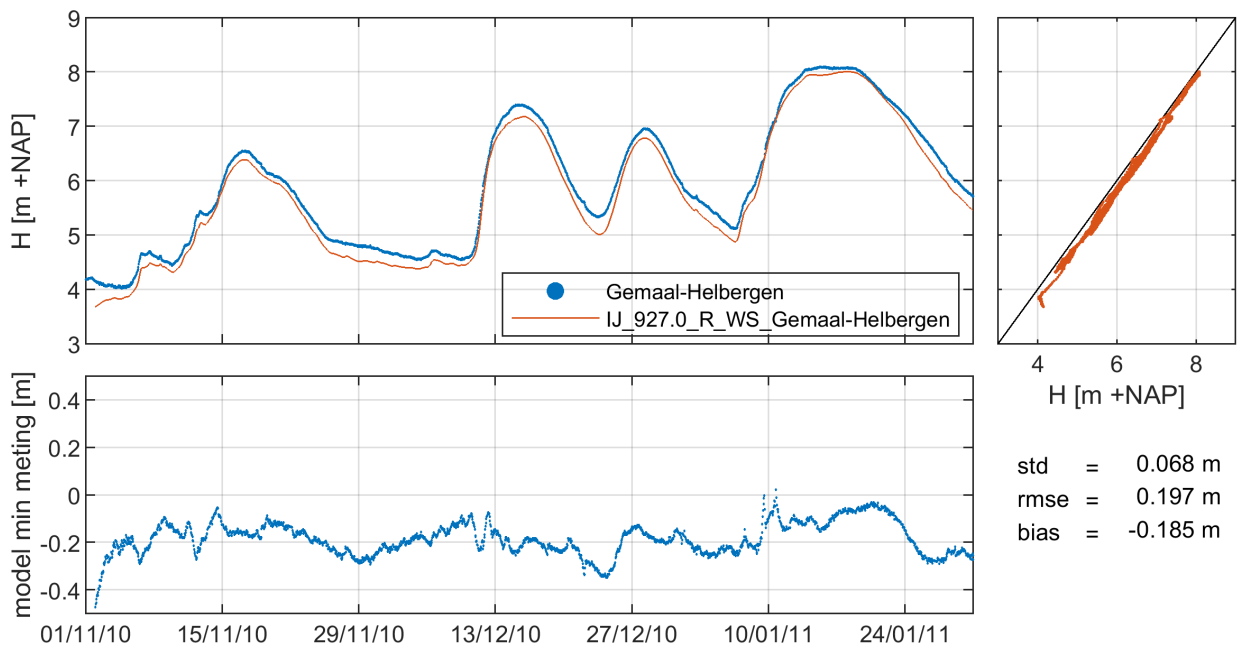
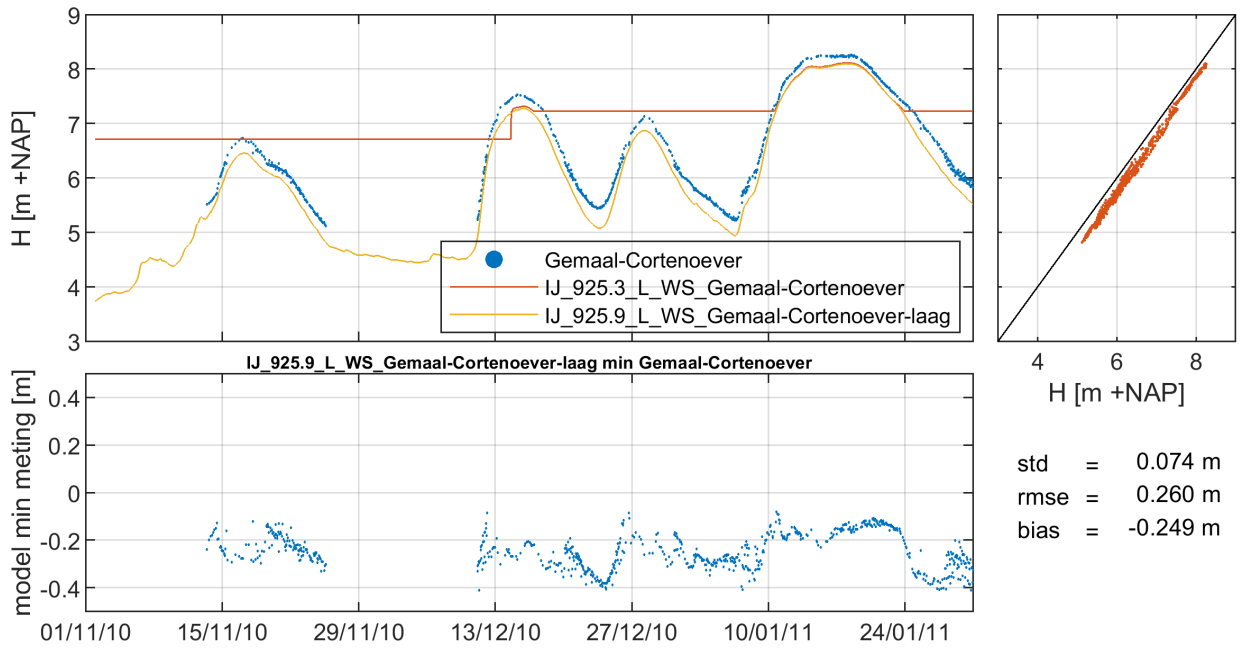




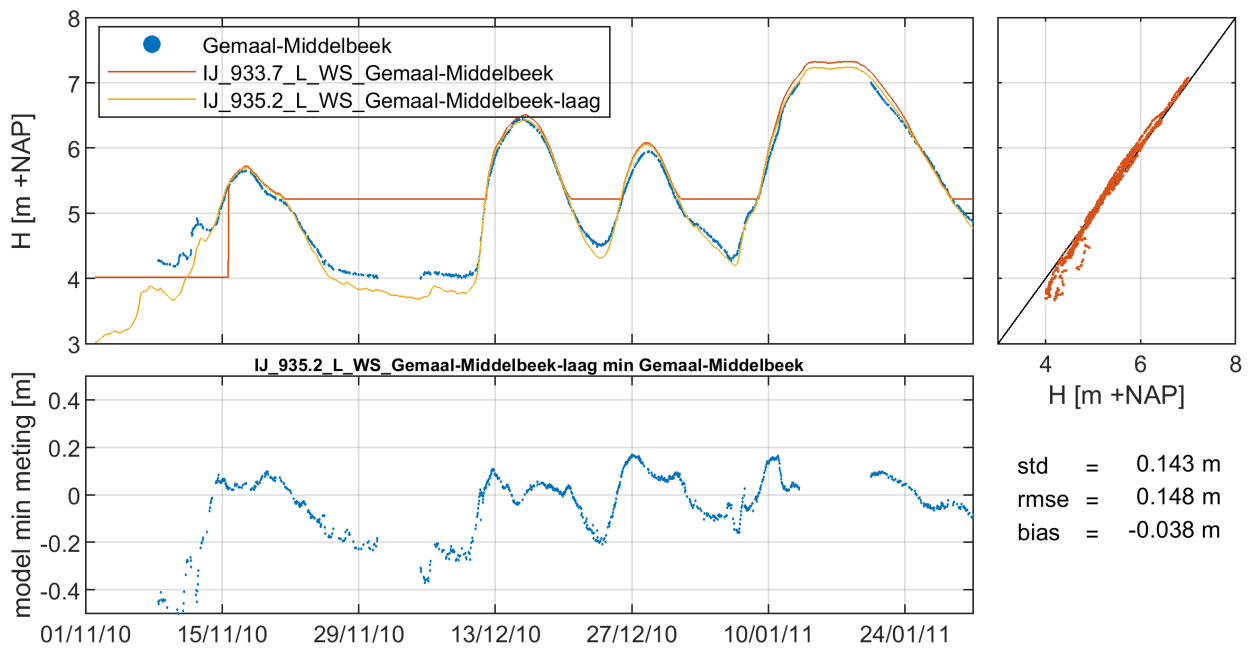
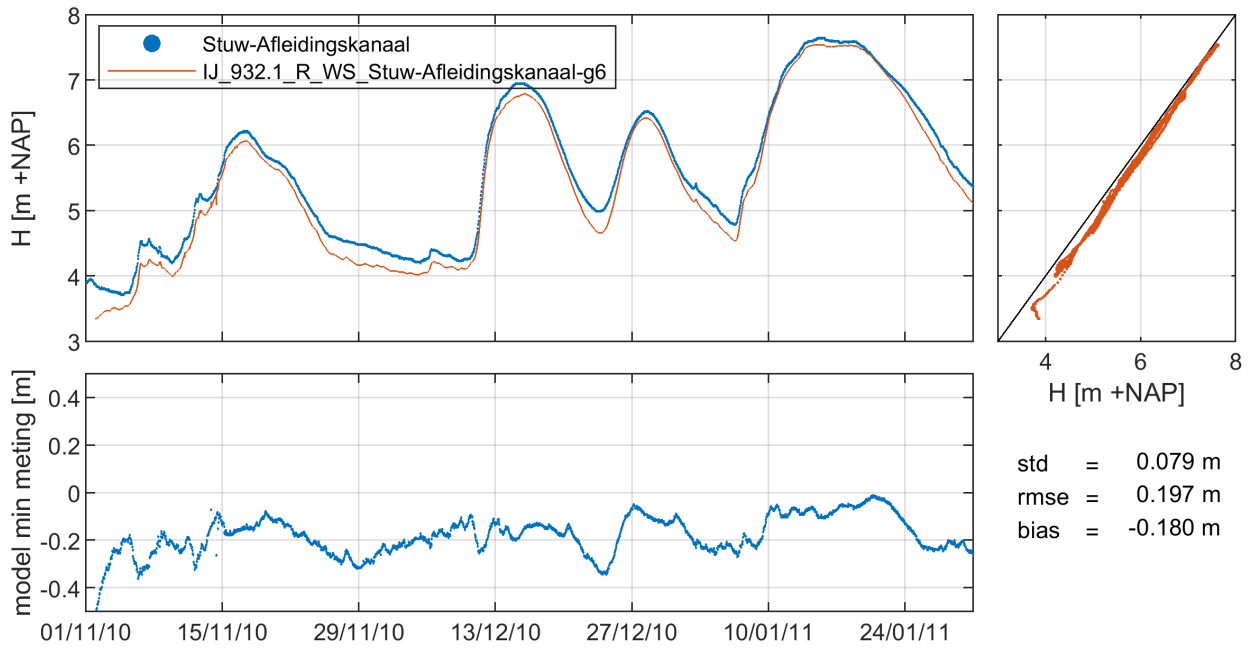


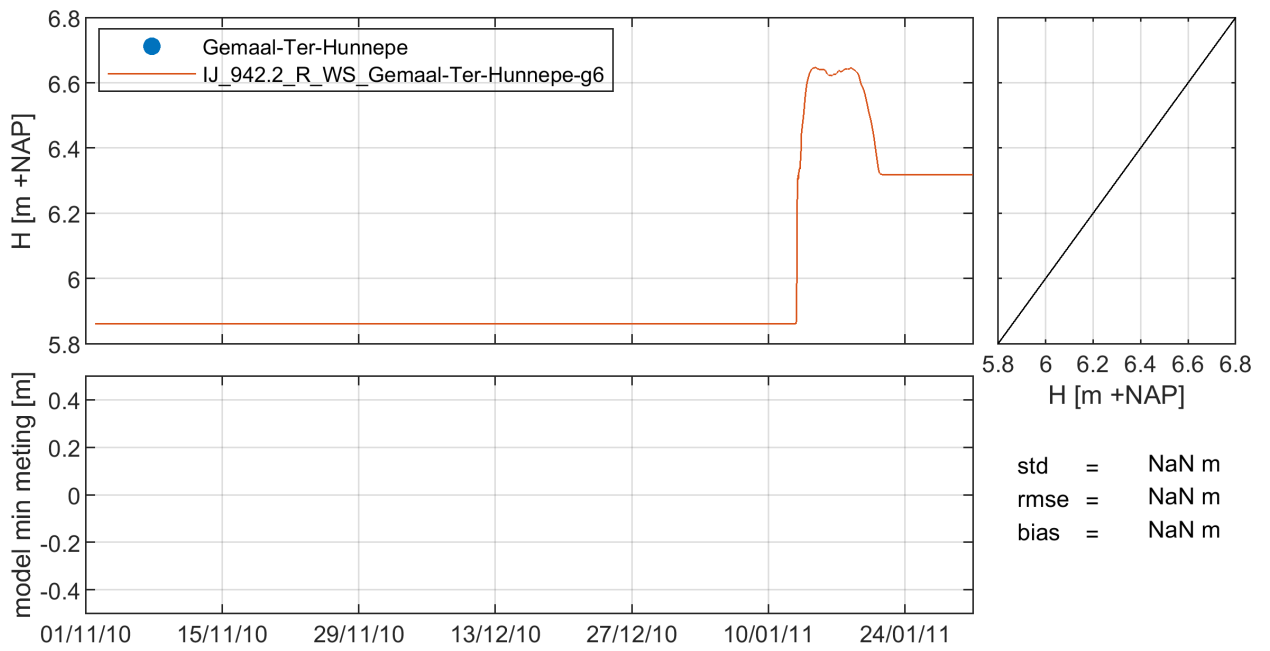
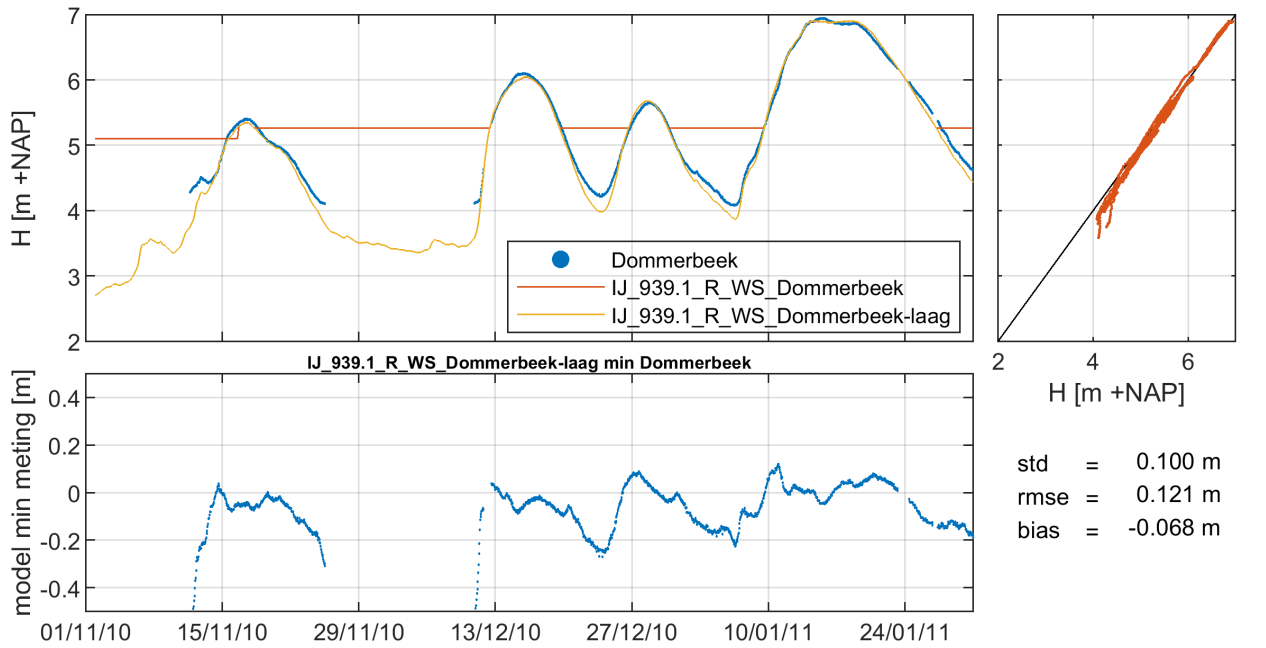


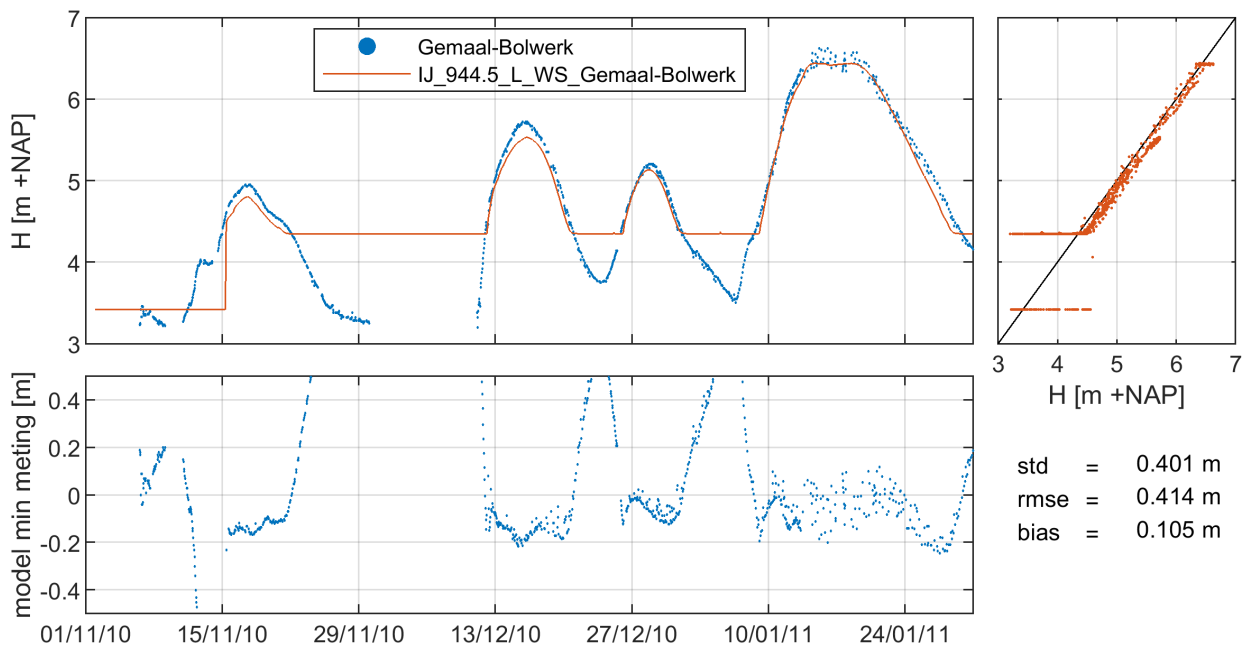
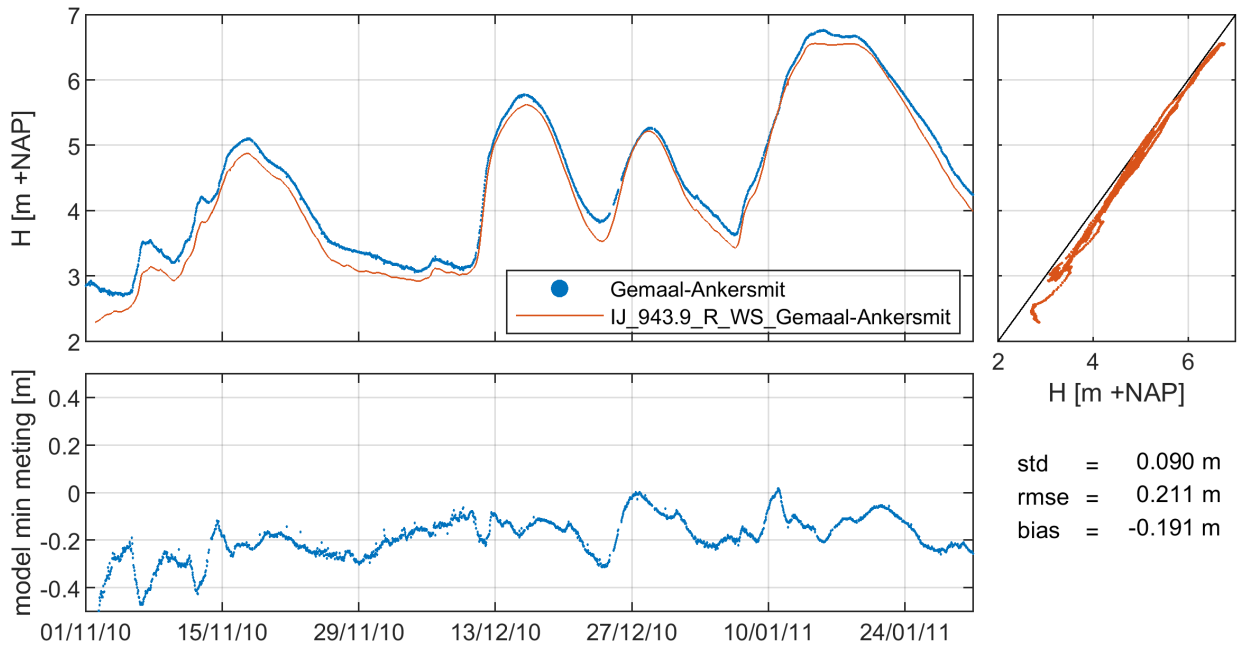


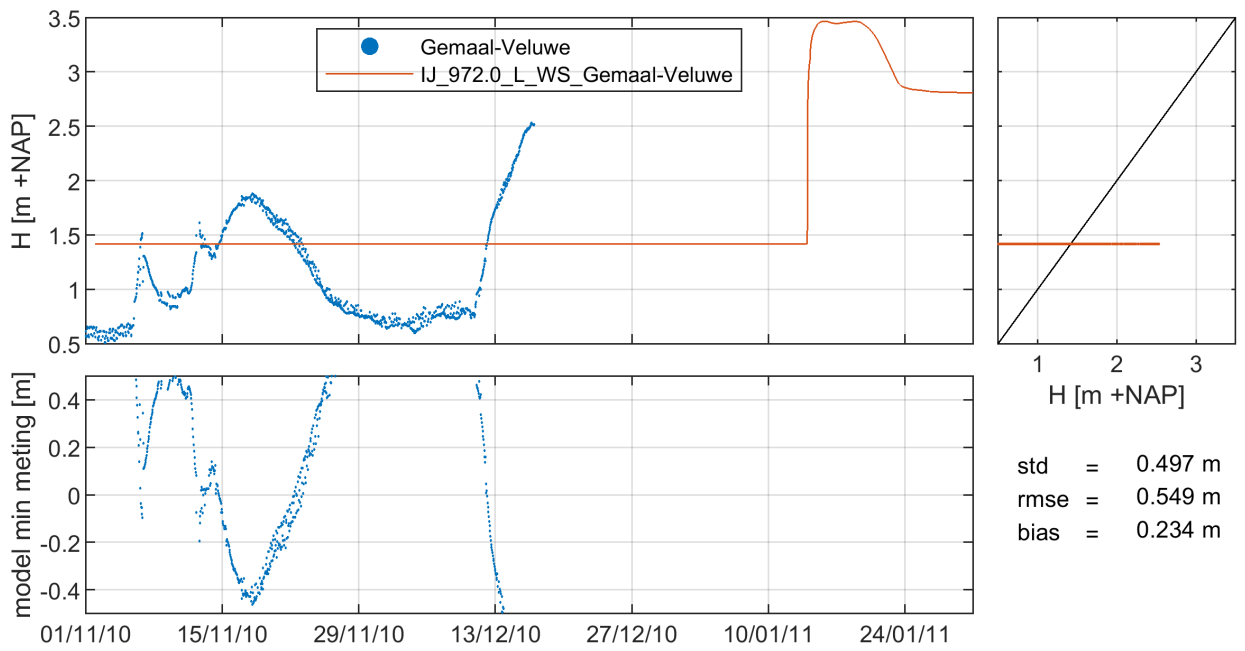
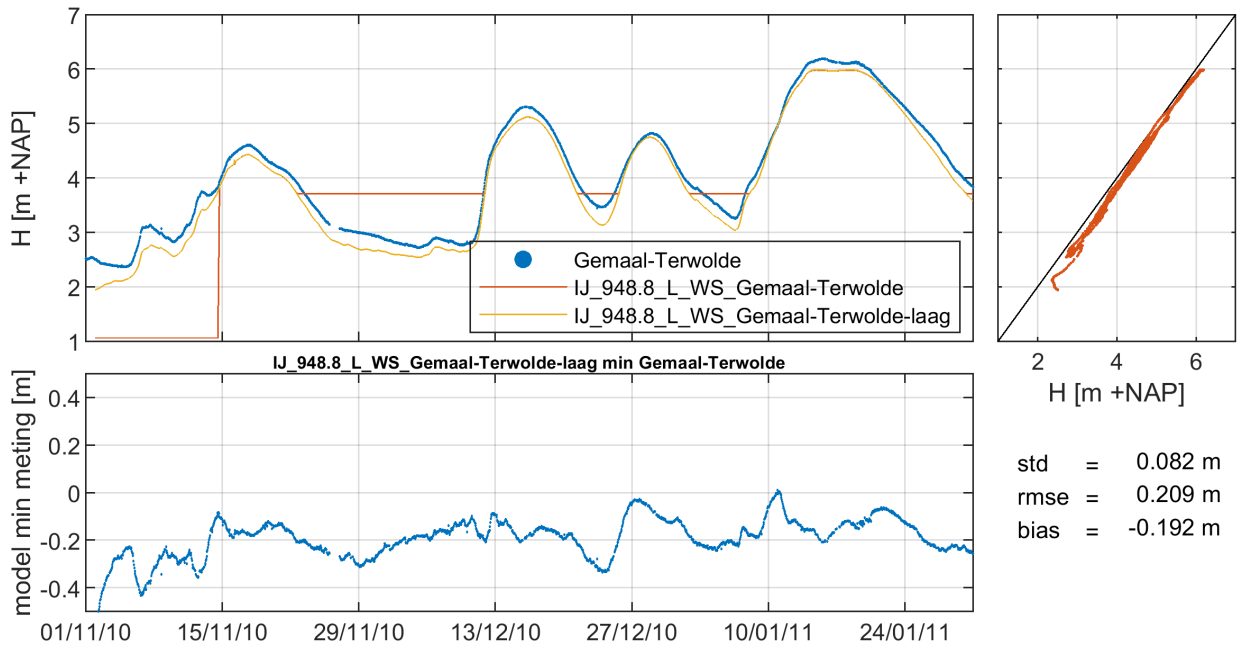


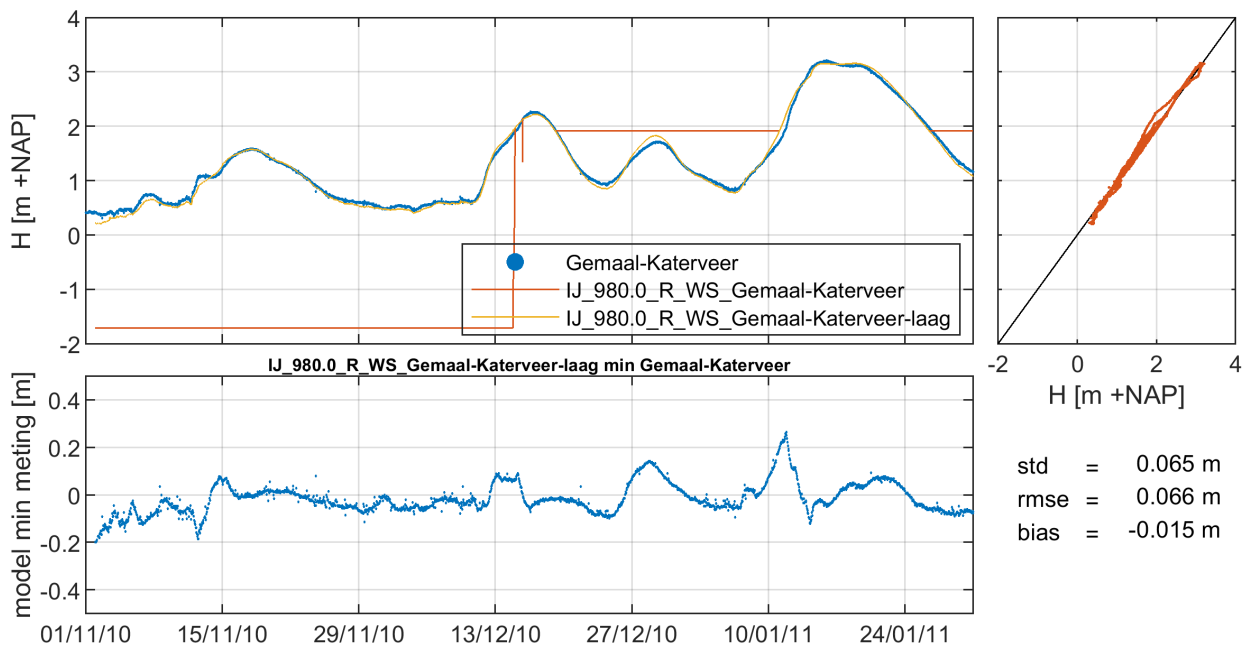
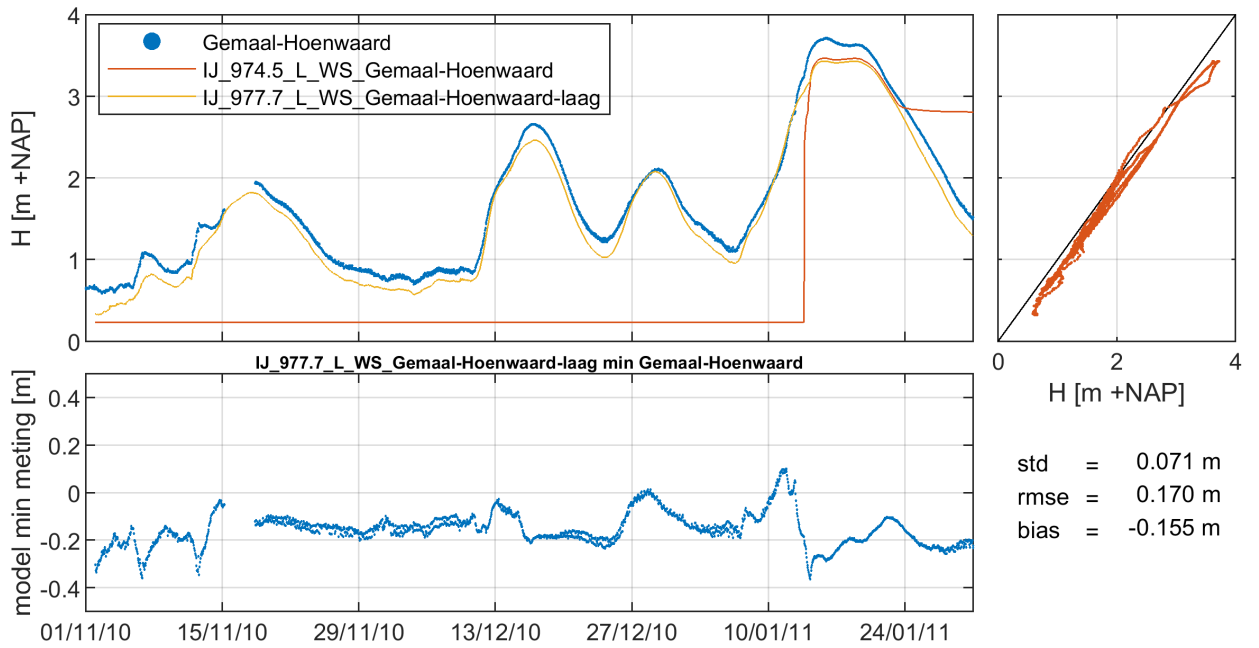


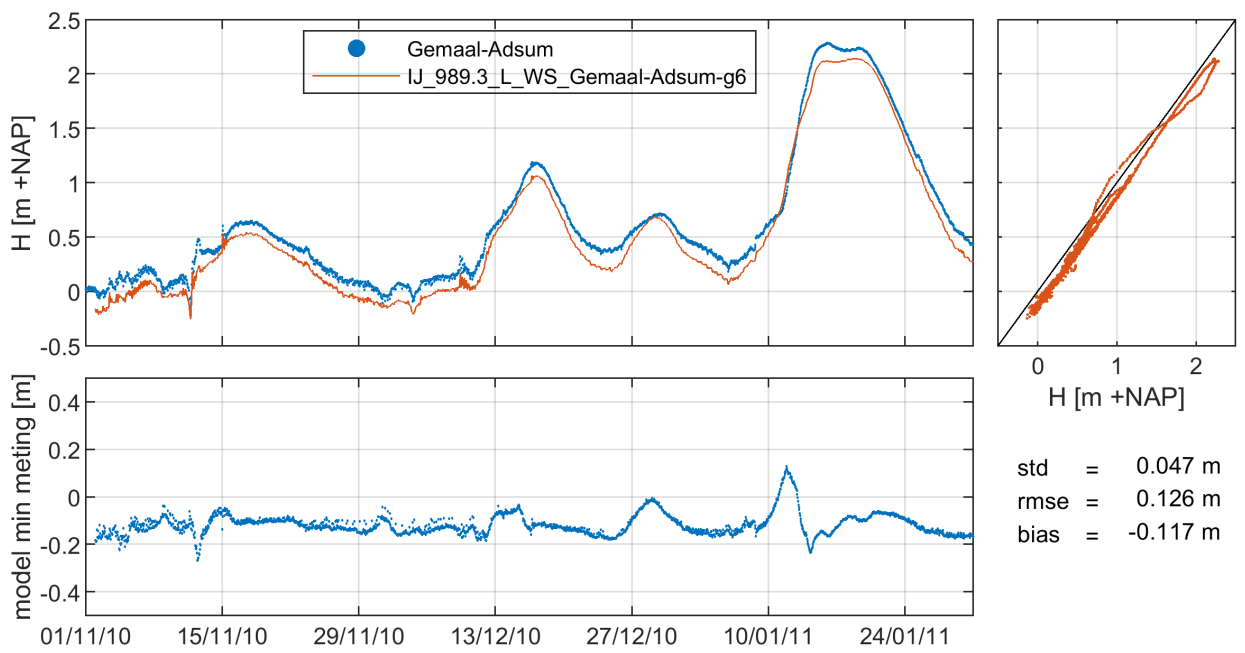
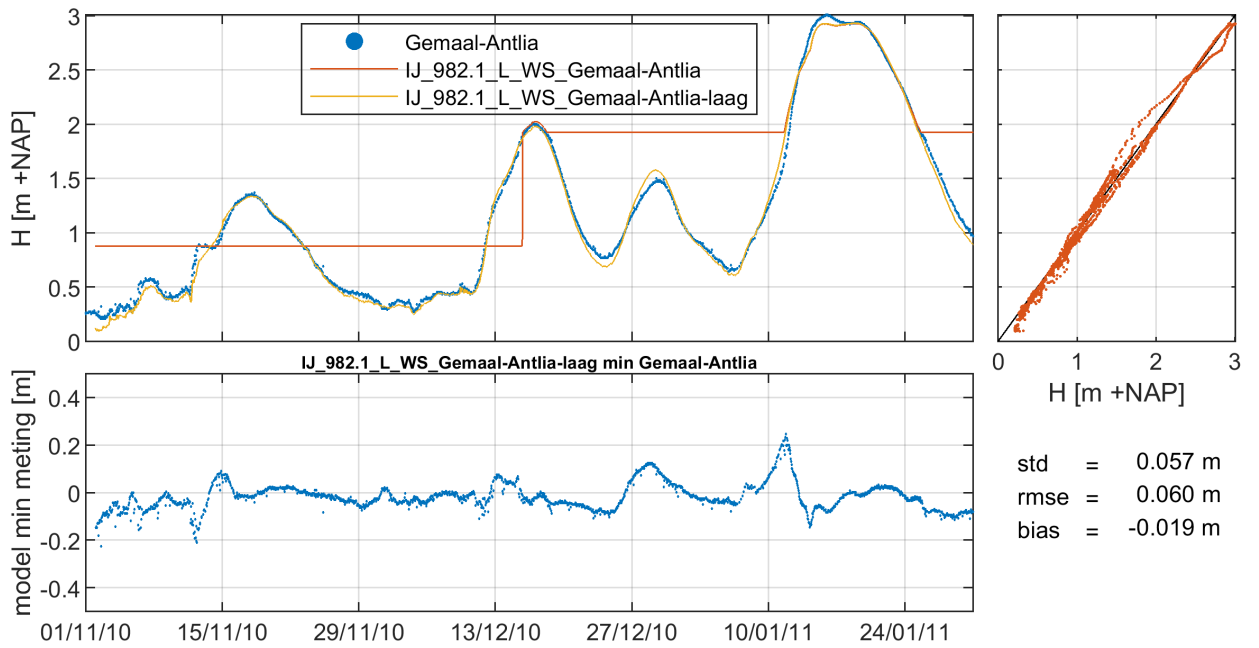


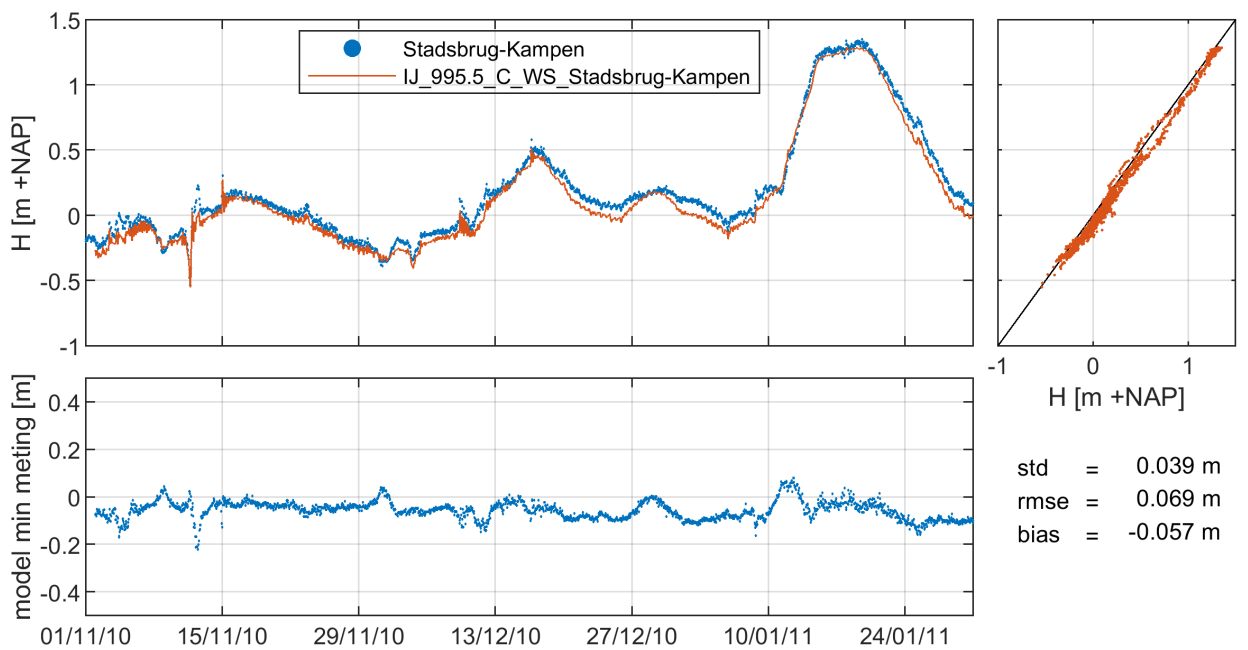
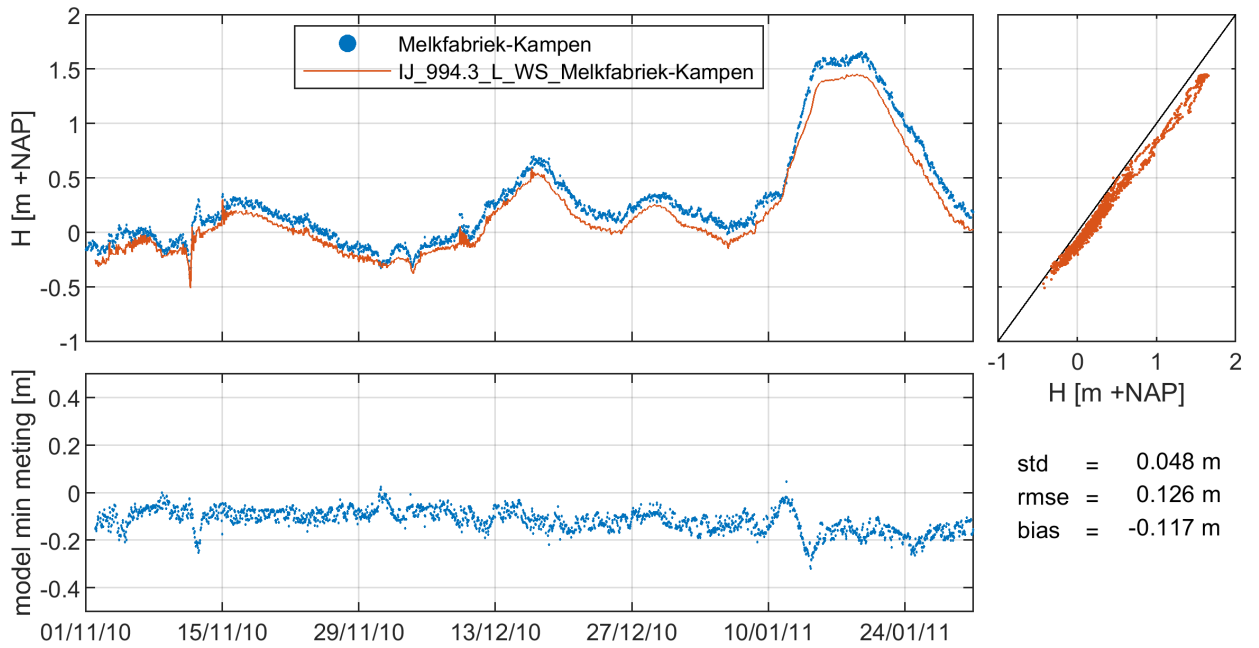


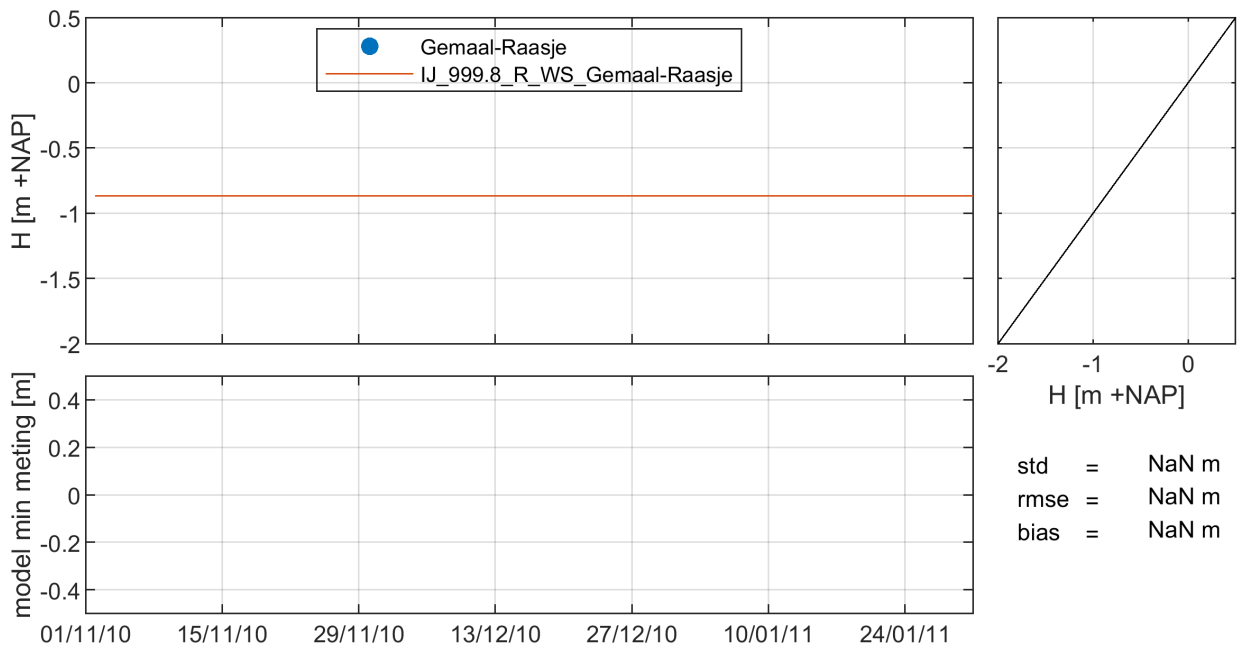
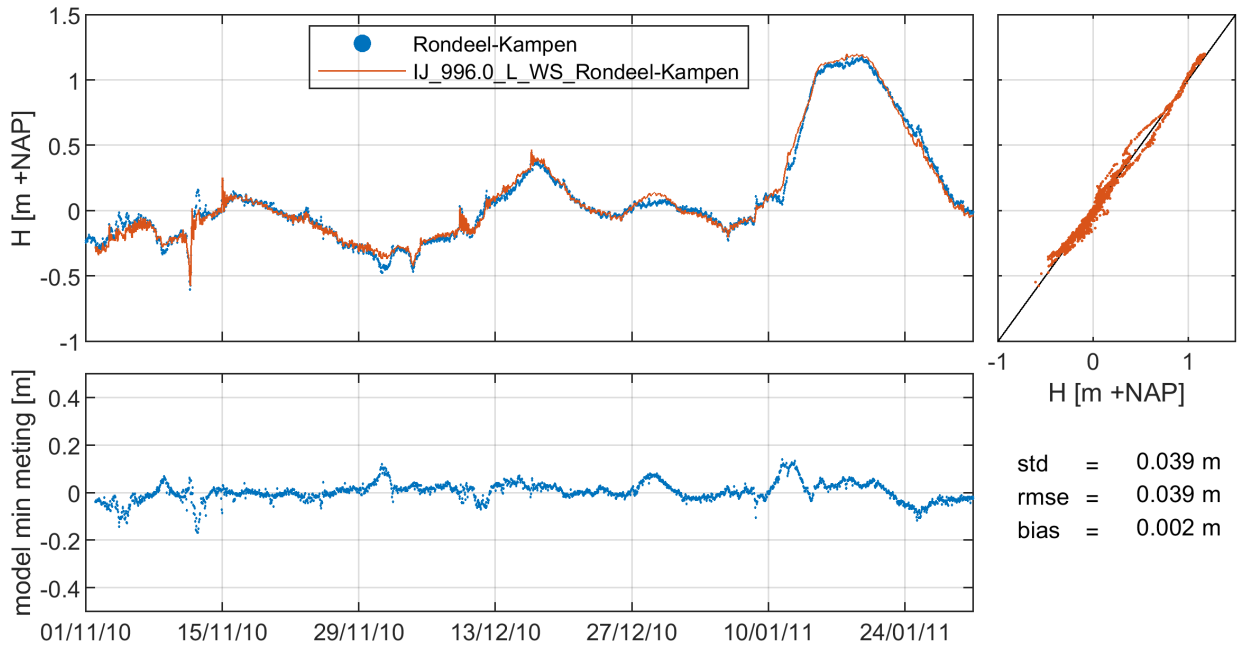






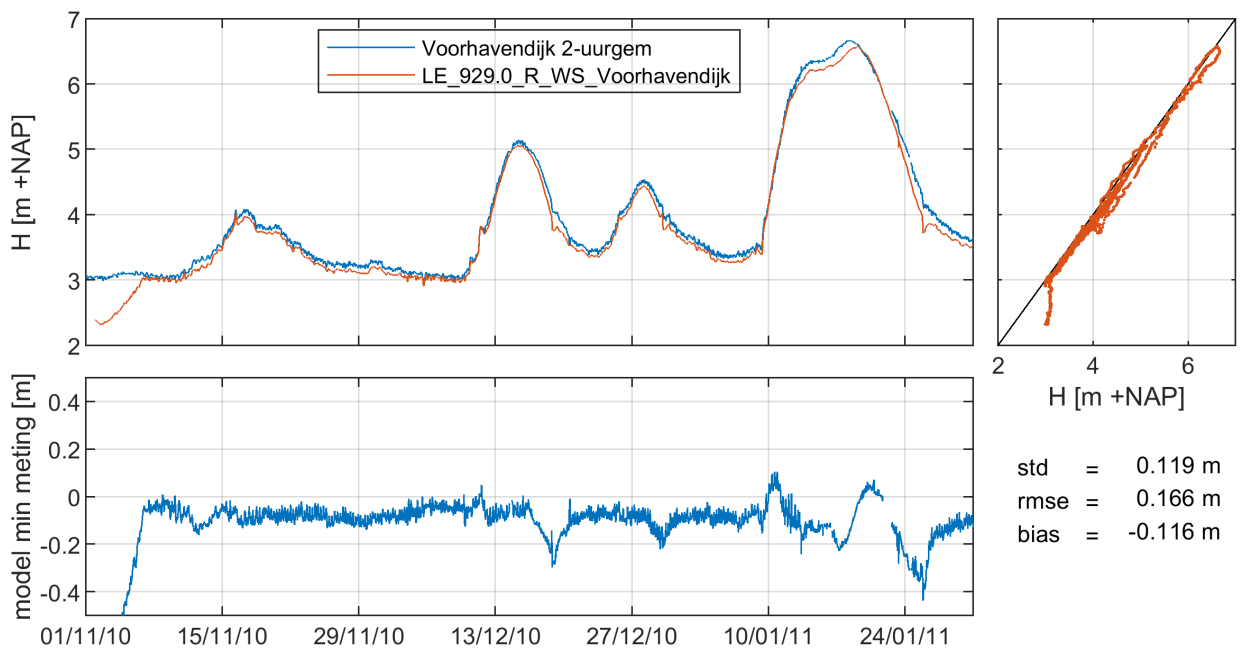
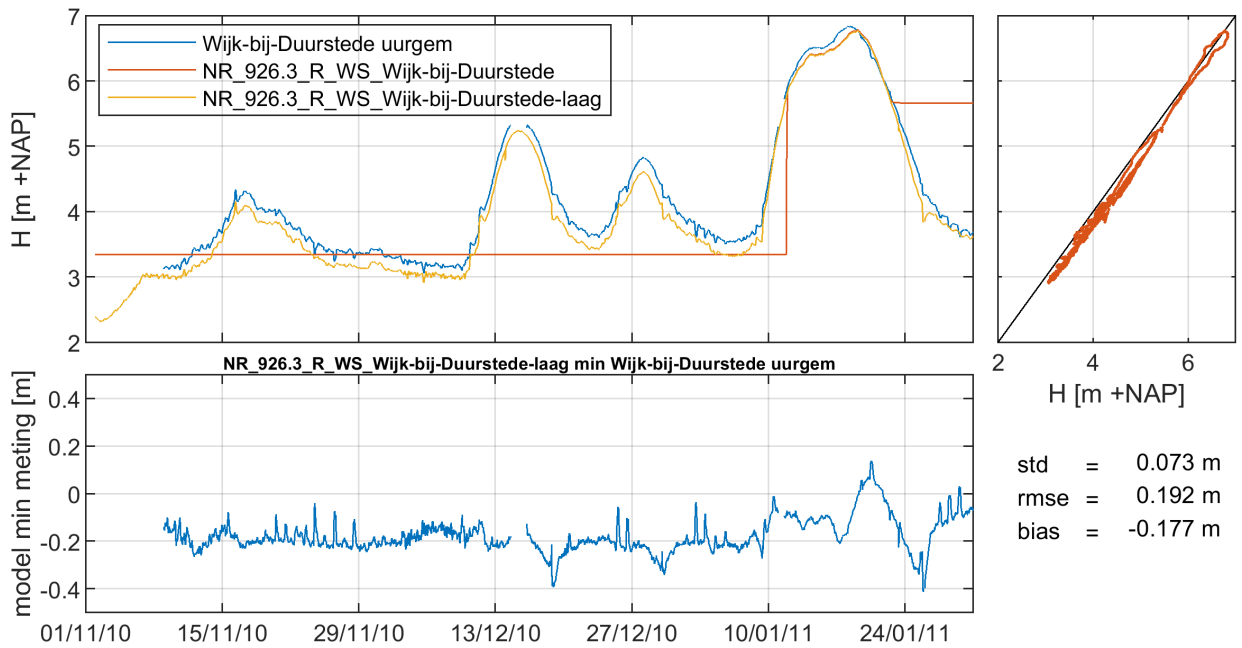


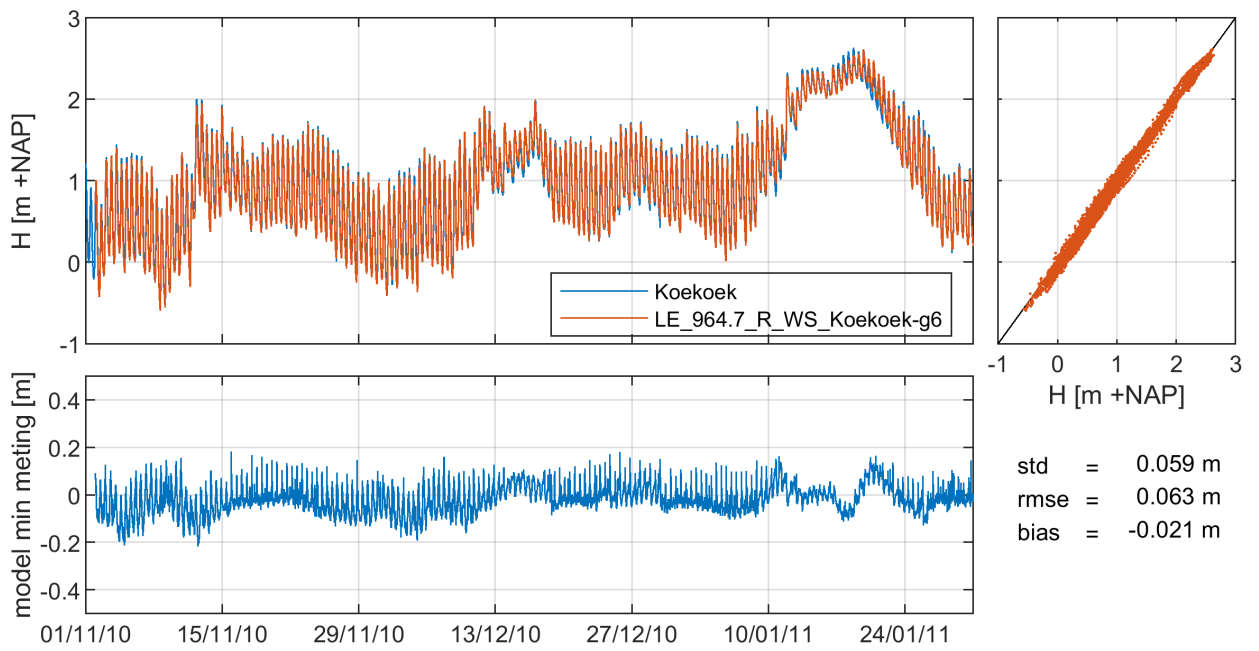
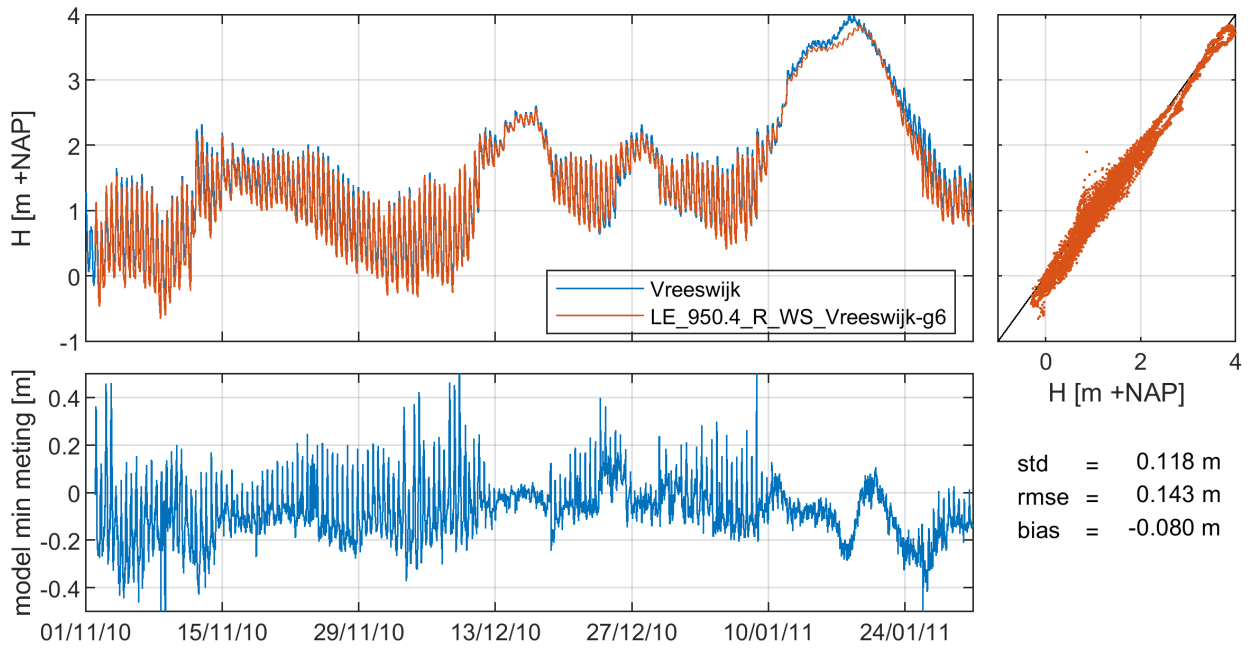




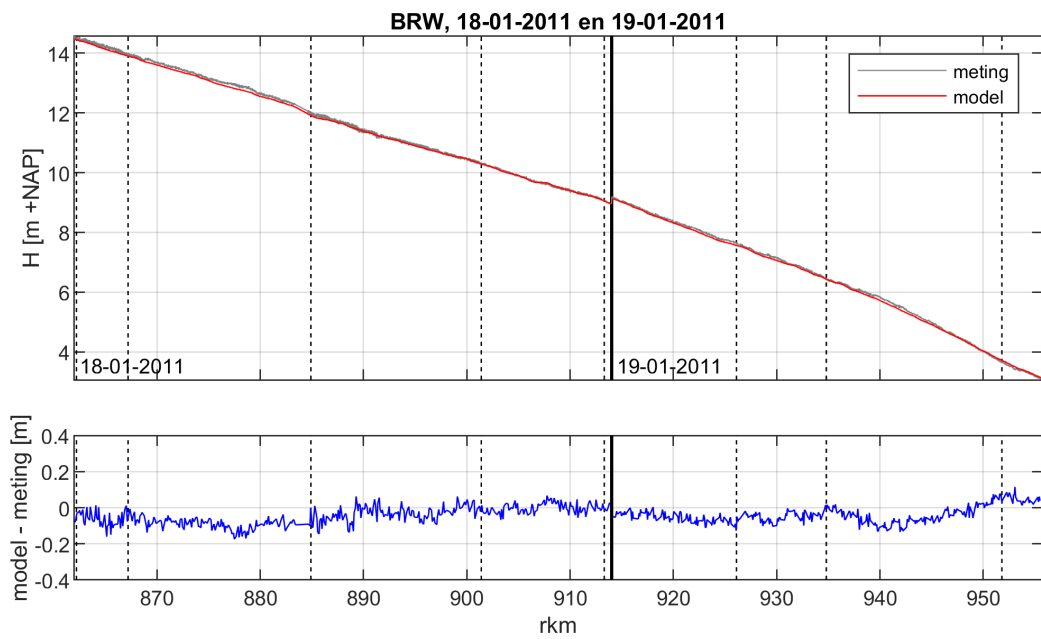
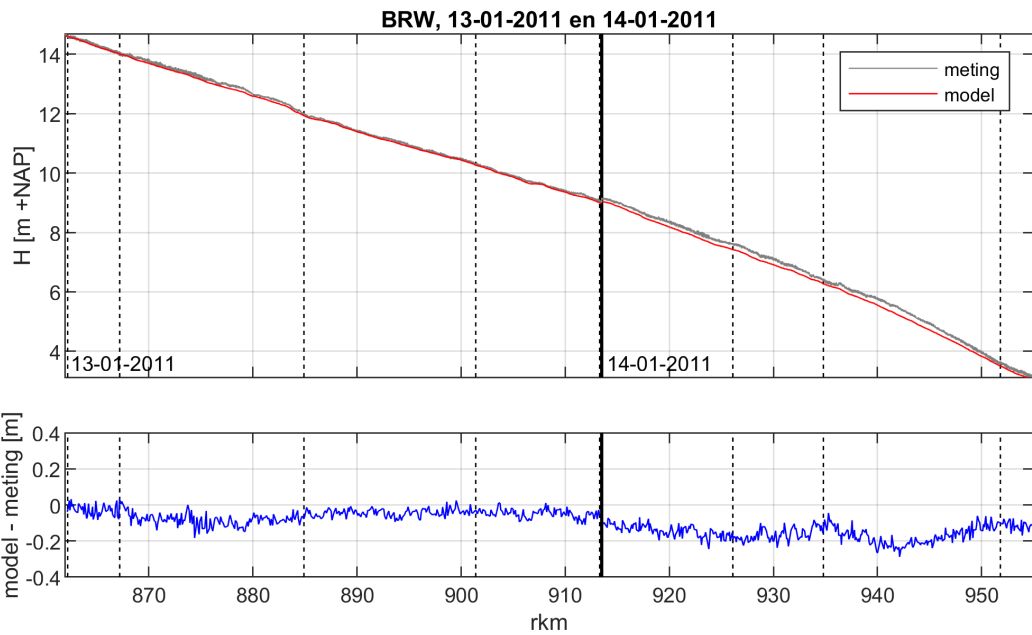


### 15-minutenwaarden

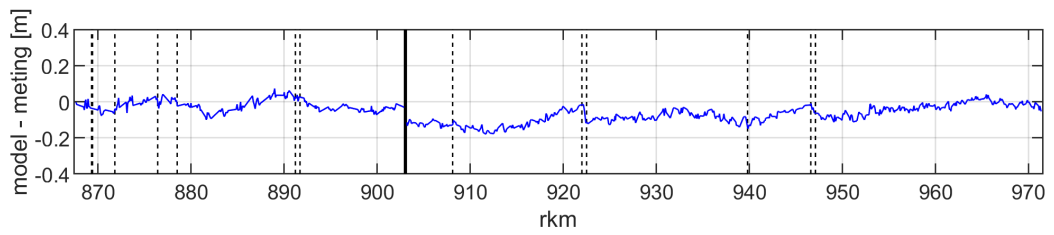
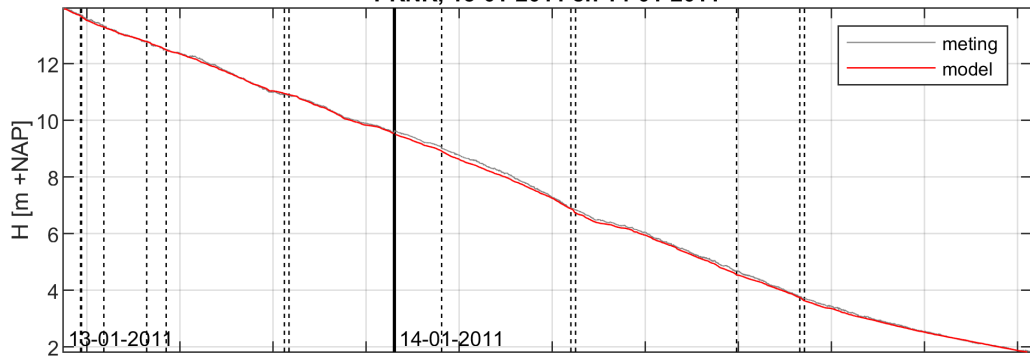




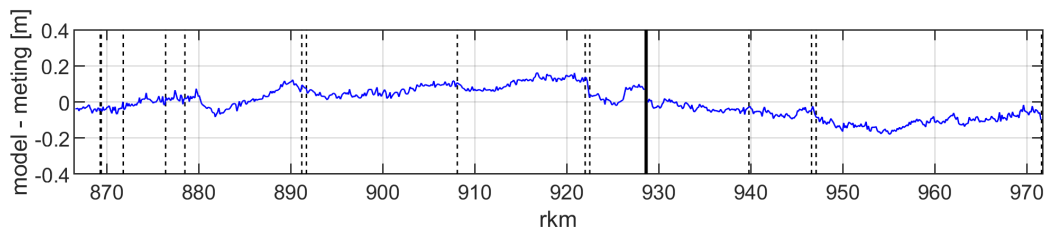
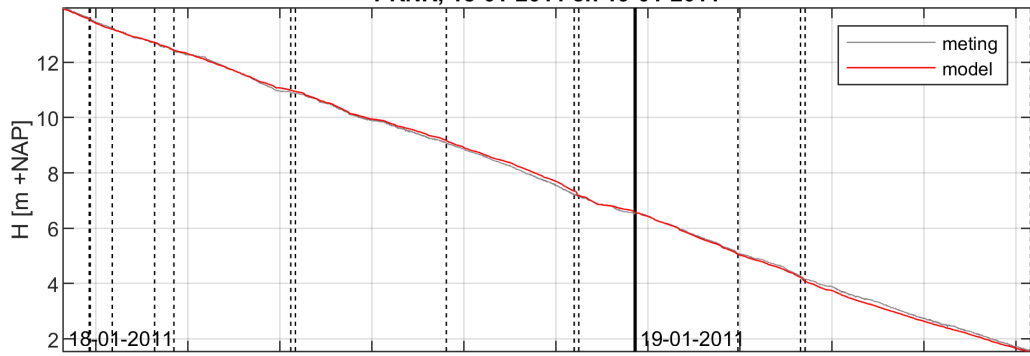
### I.3.4 Verhanglijnmetingen



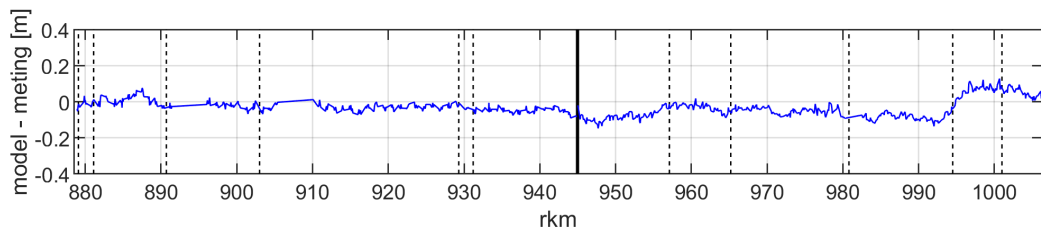
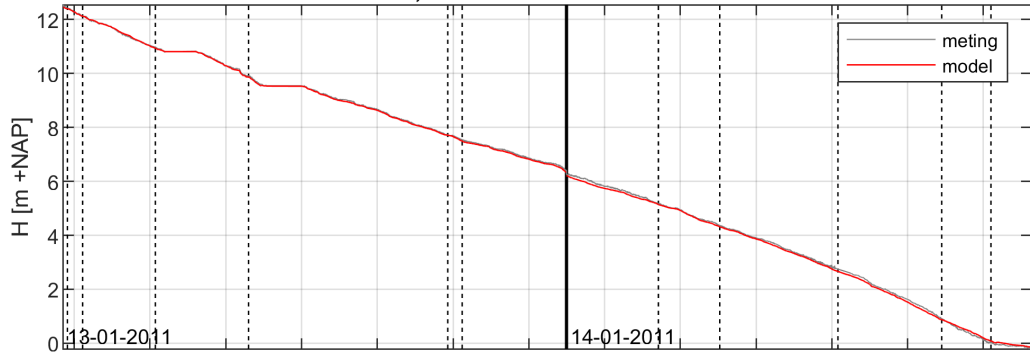
PKNR, 13-01-2011 en 14-01-2011



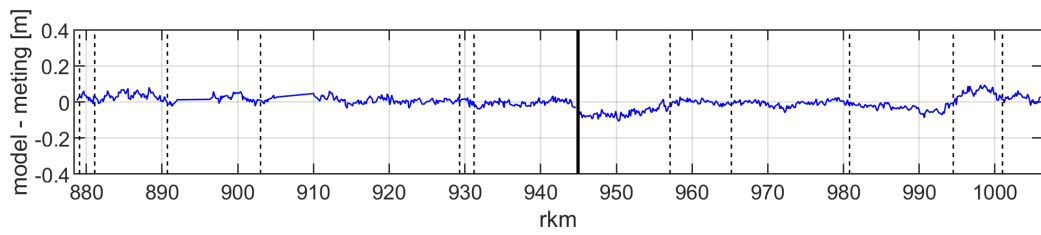
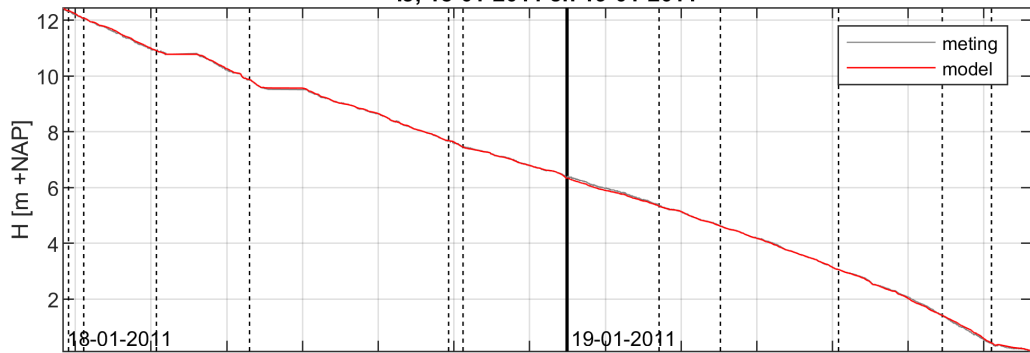
PKNR, 18-01-2011 en 19-01-2011



IJ, 13-01-2011 en 14-01-2011

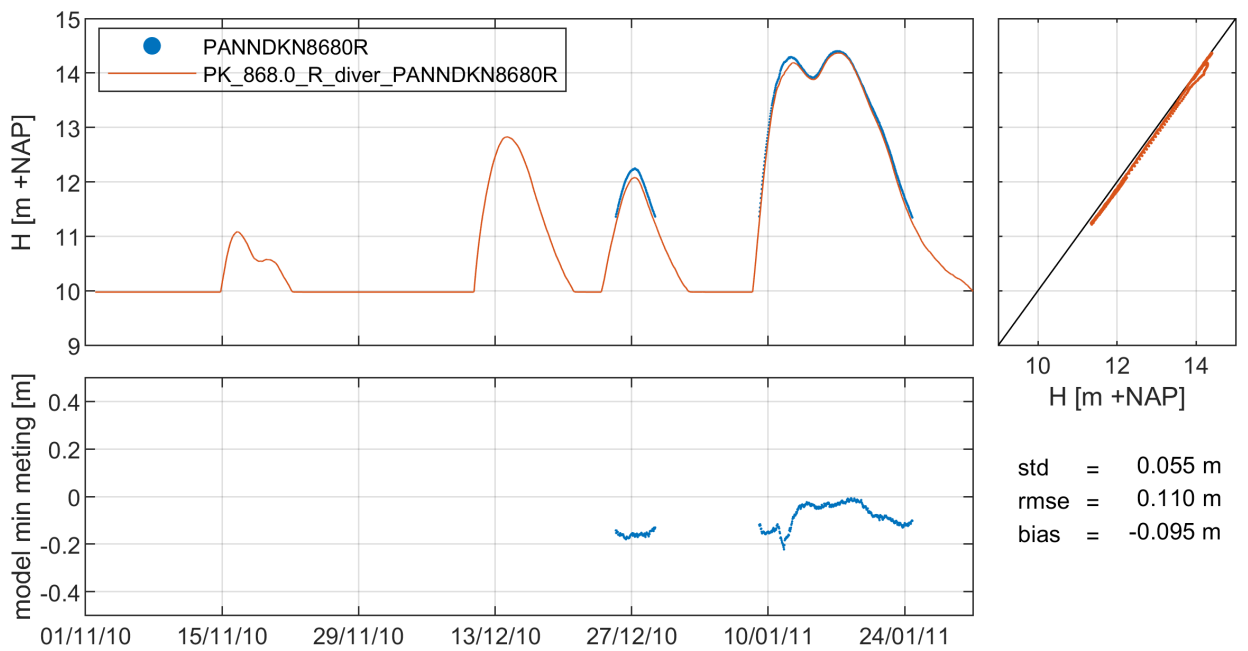
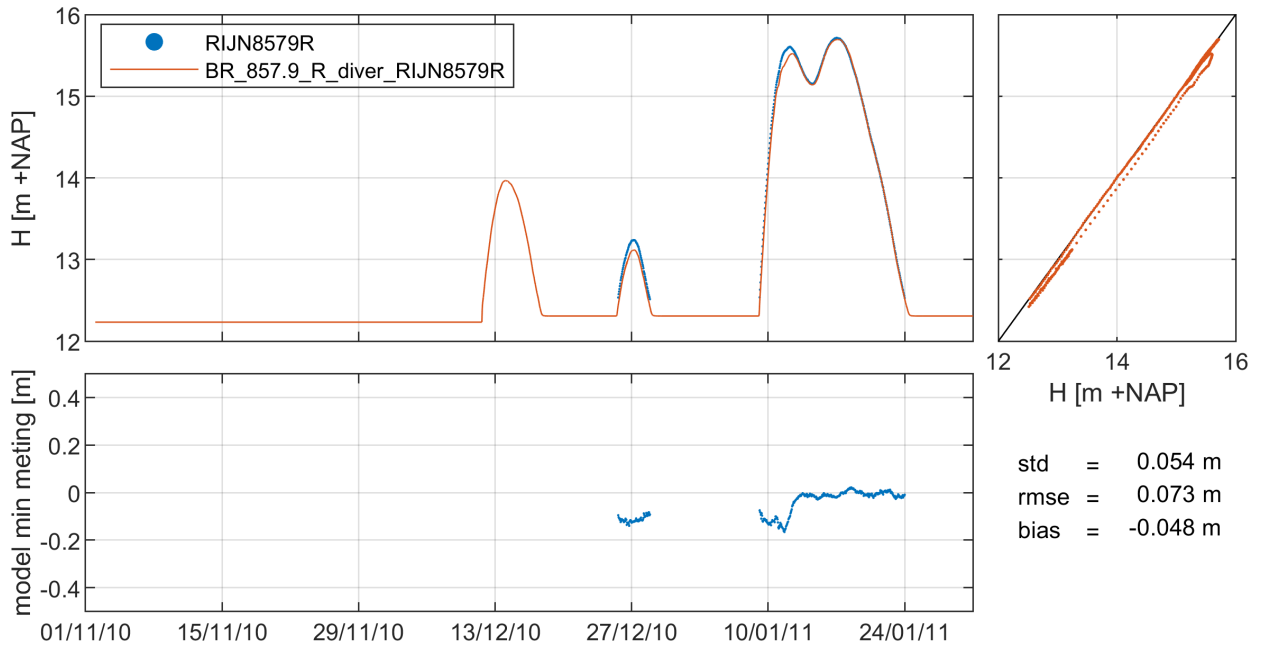


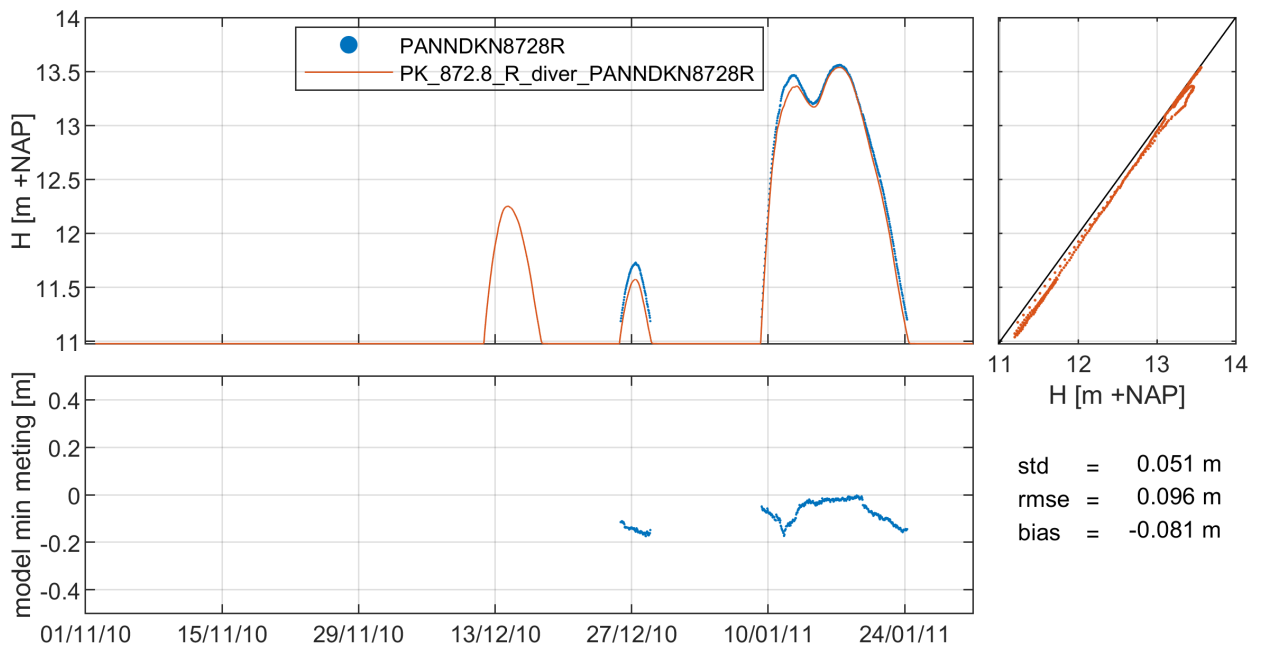
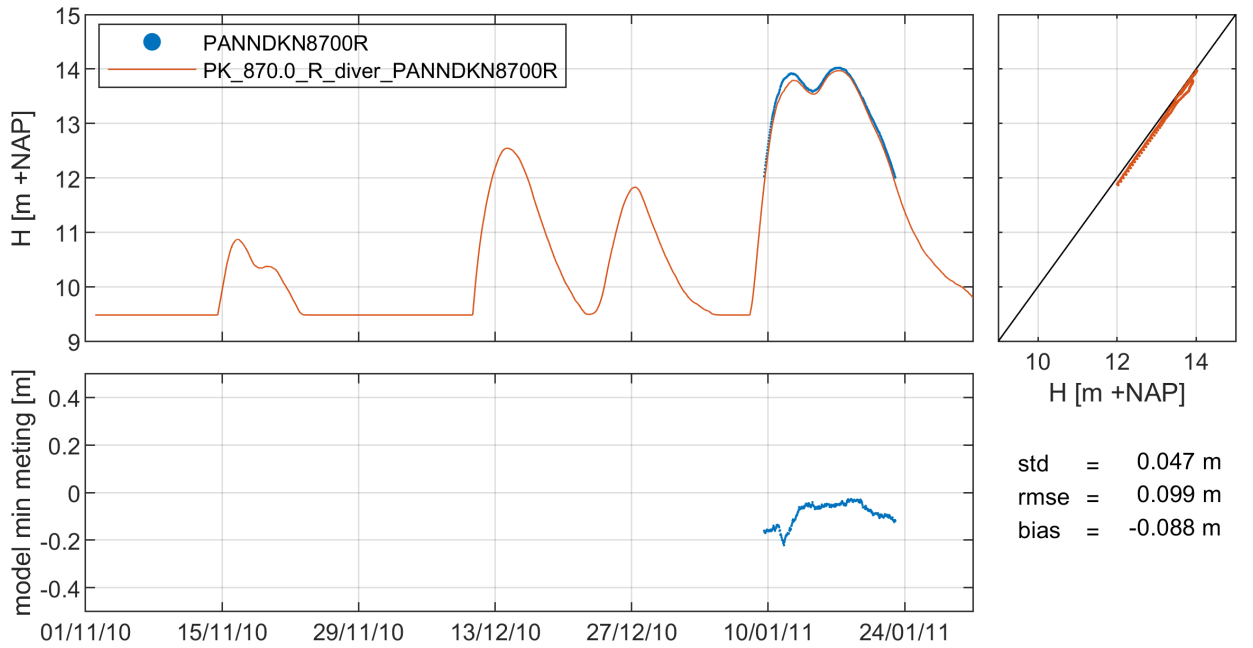
IJ, 18-01-2011 en 19-01-2011

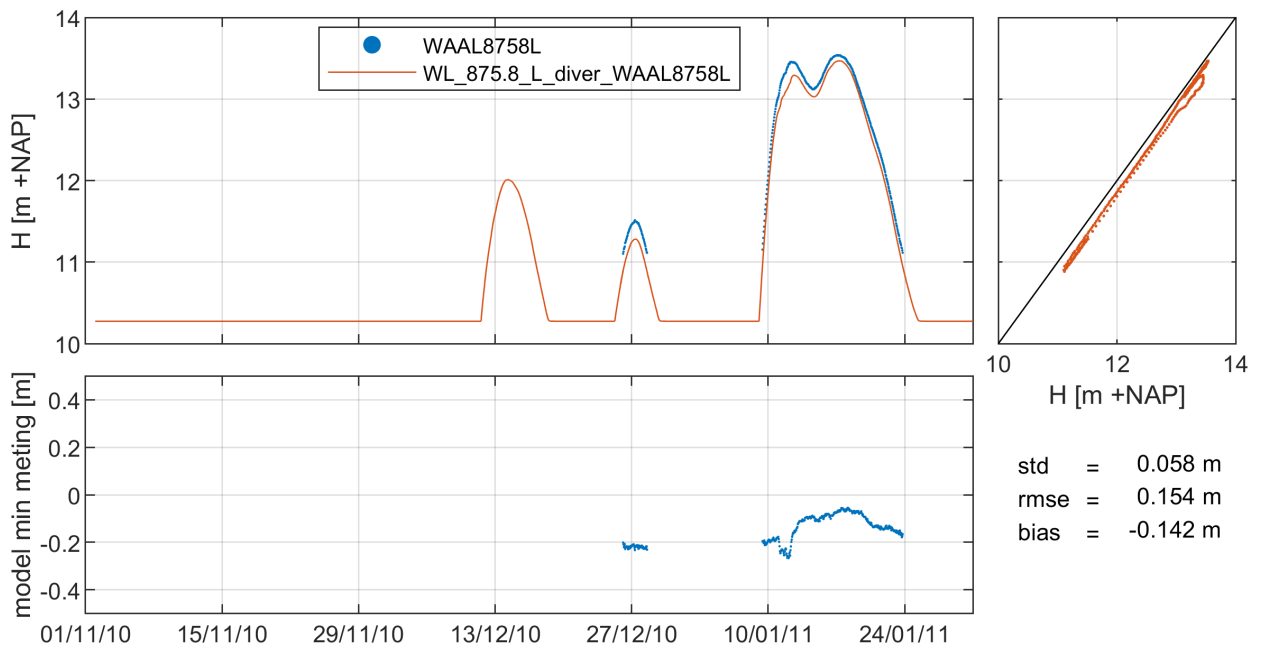
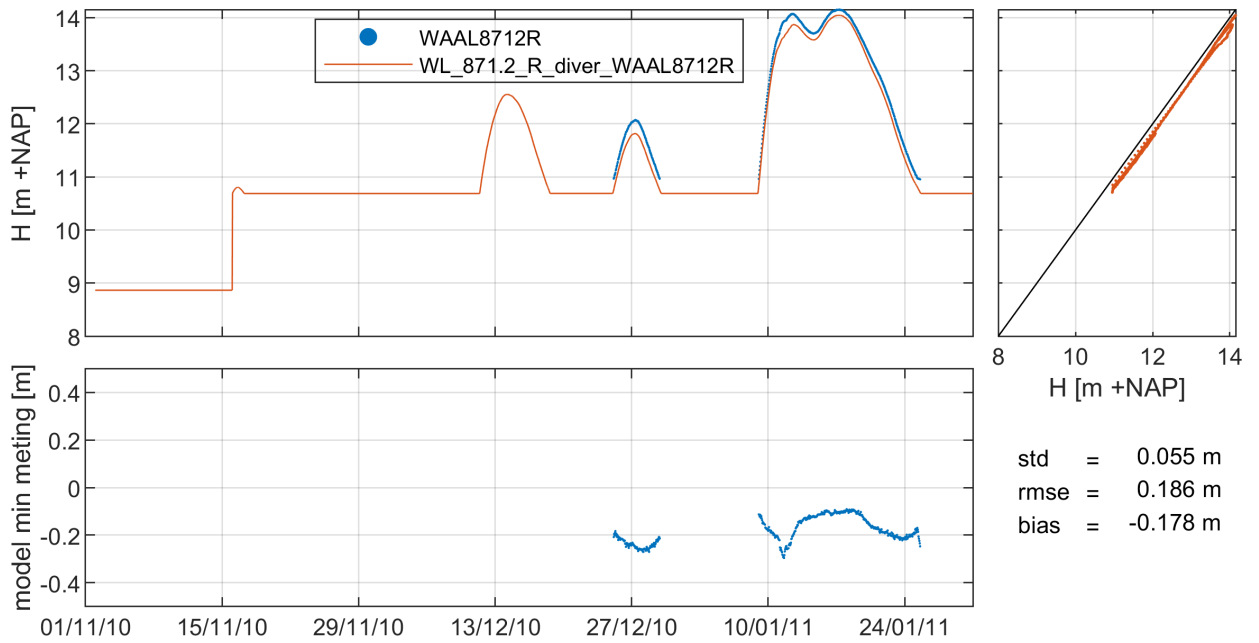


### I.3.5 Divers

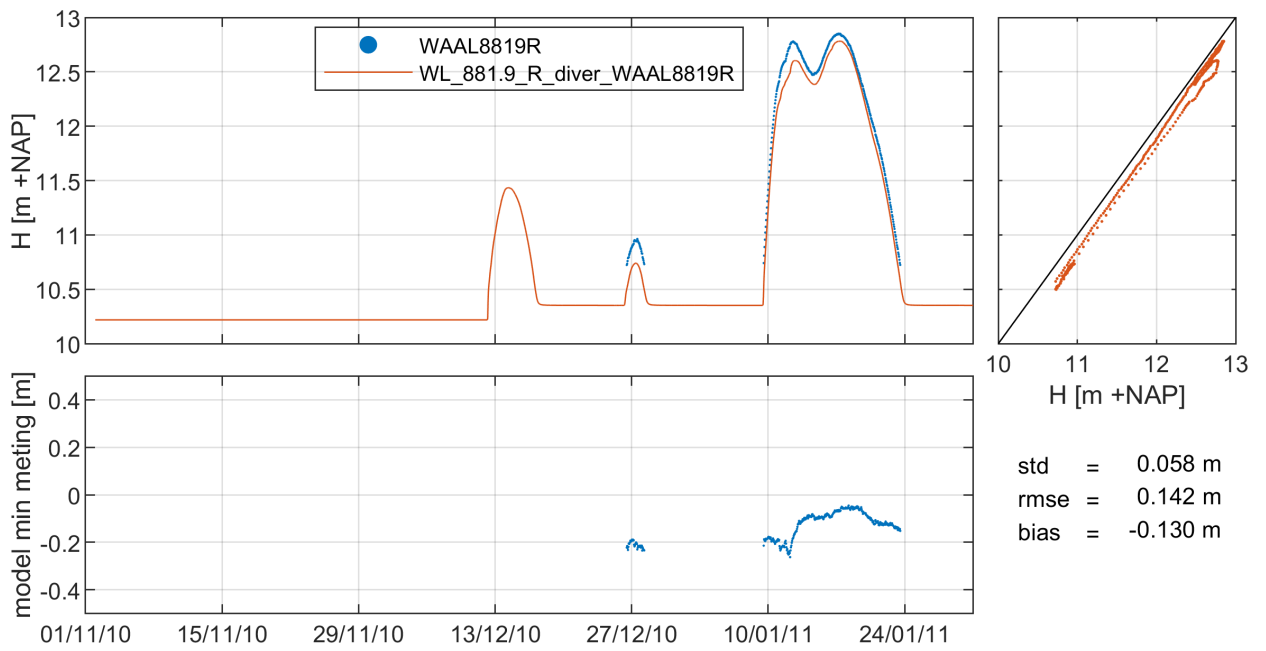
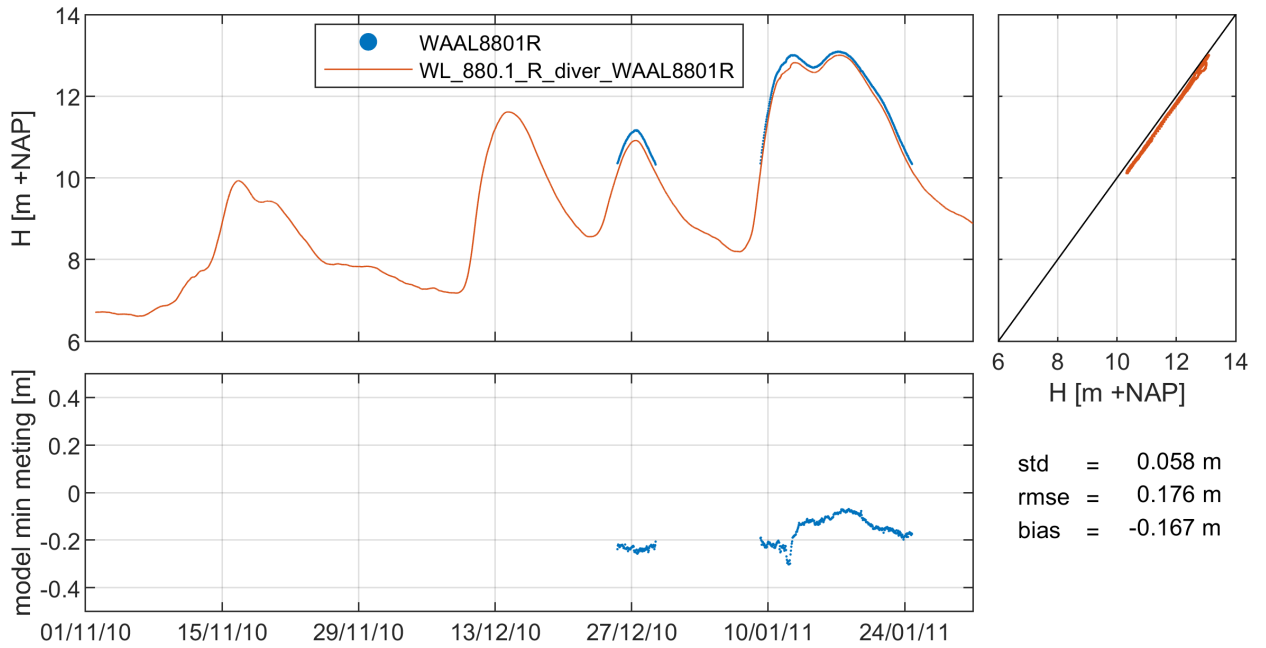
#### uurwaarden

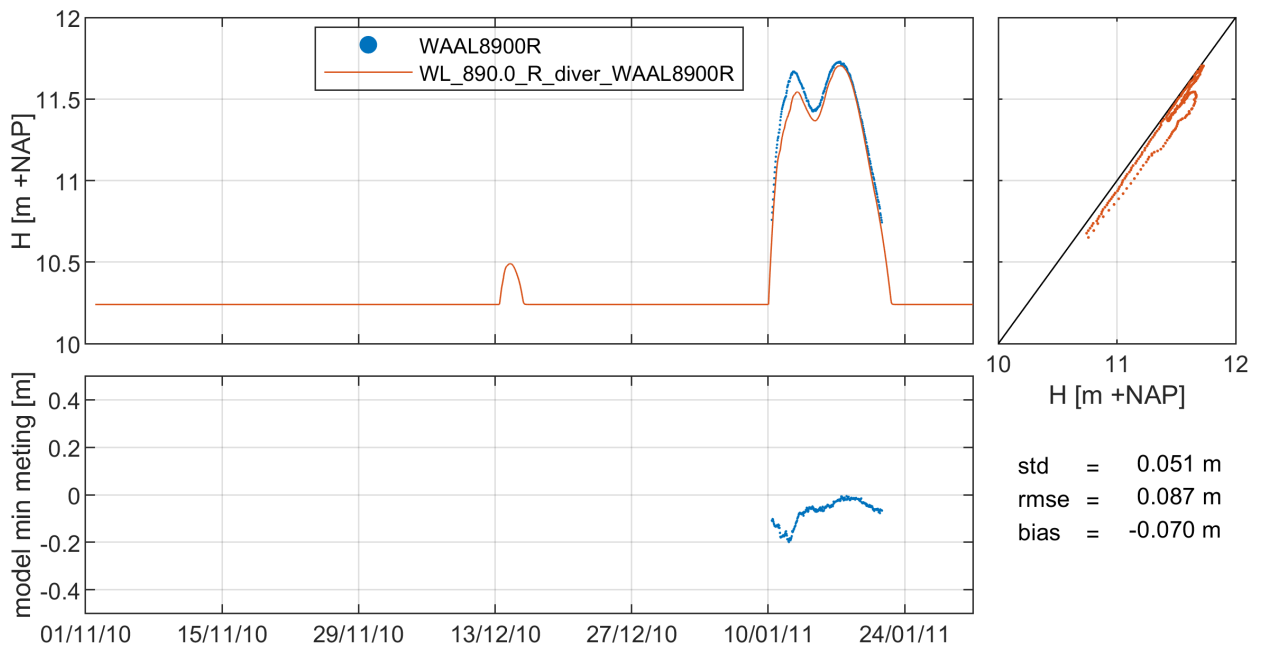
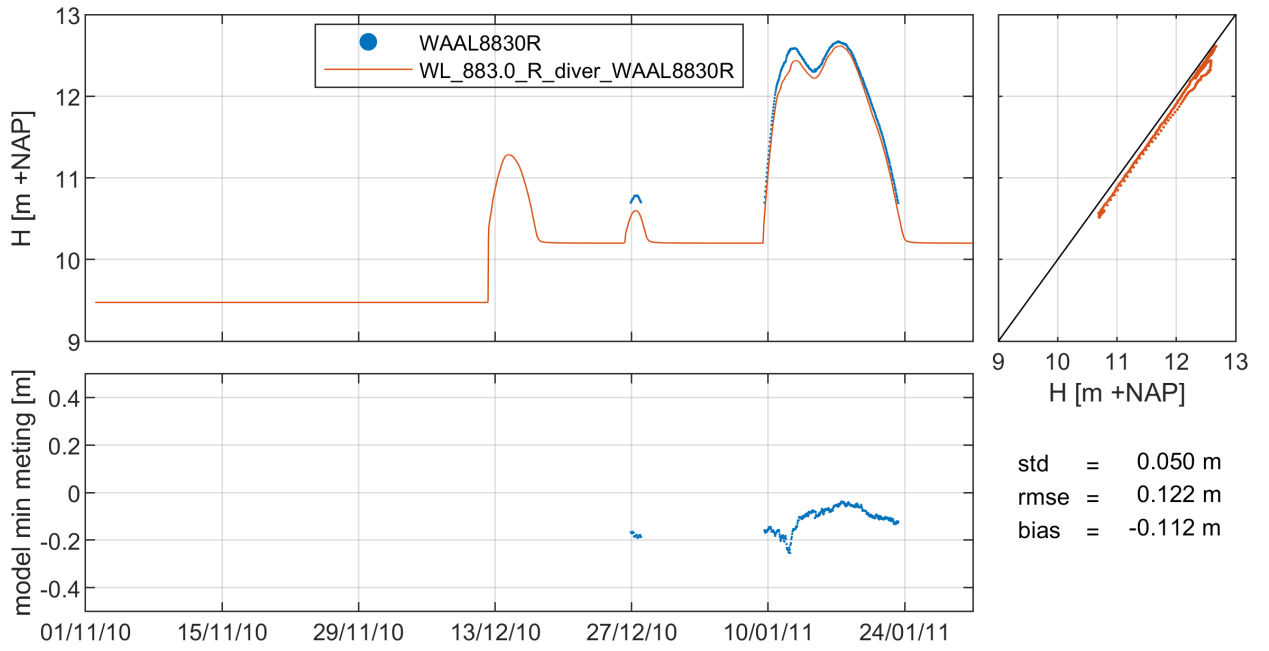


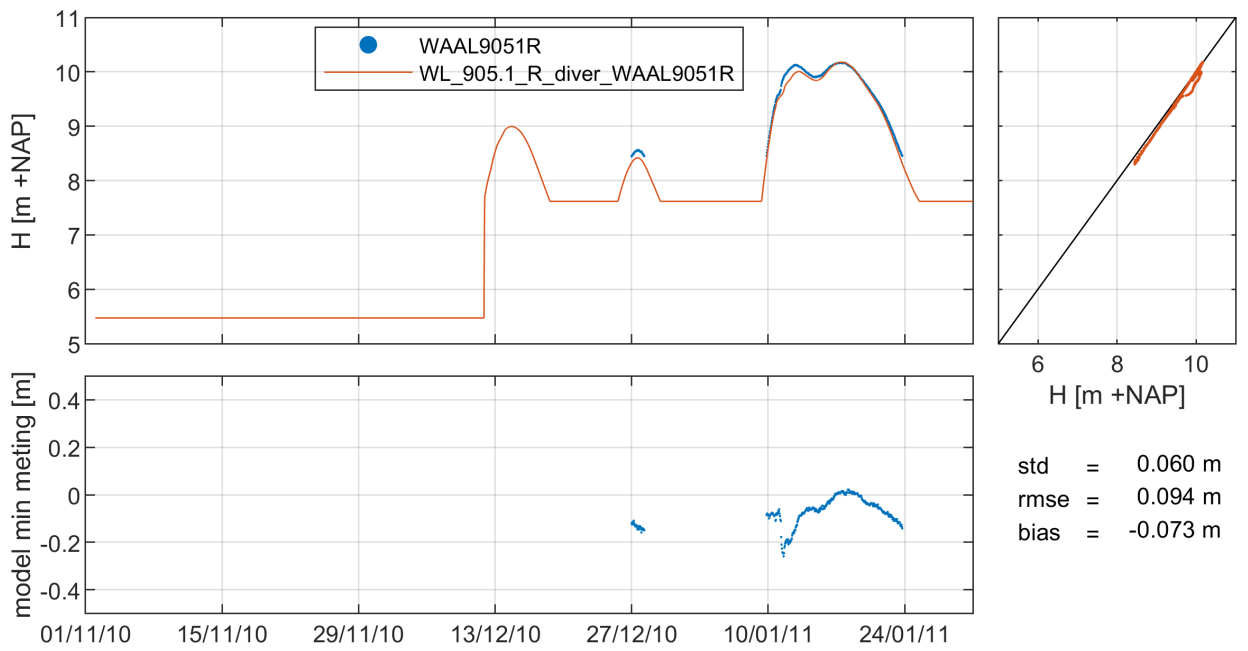
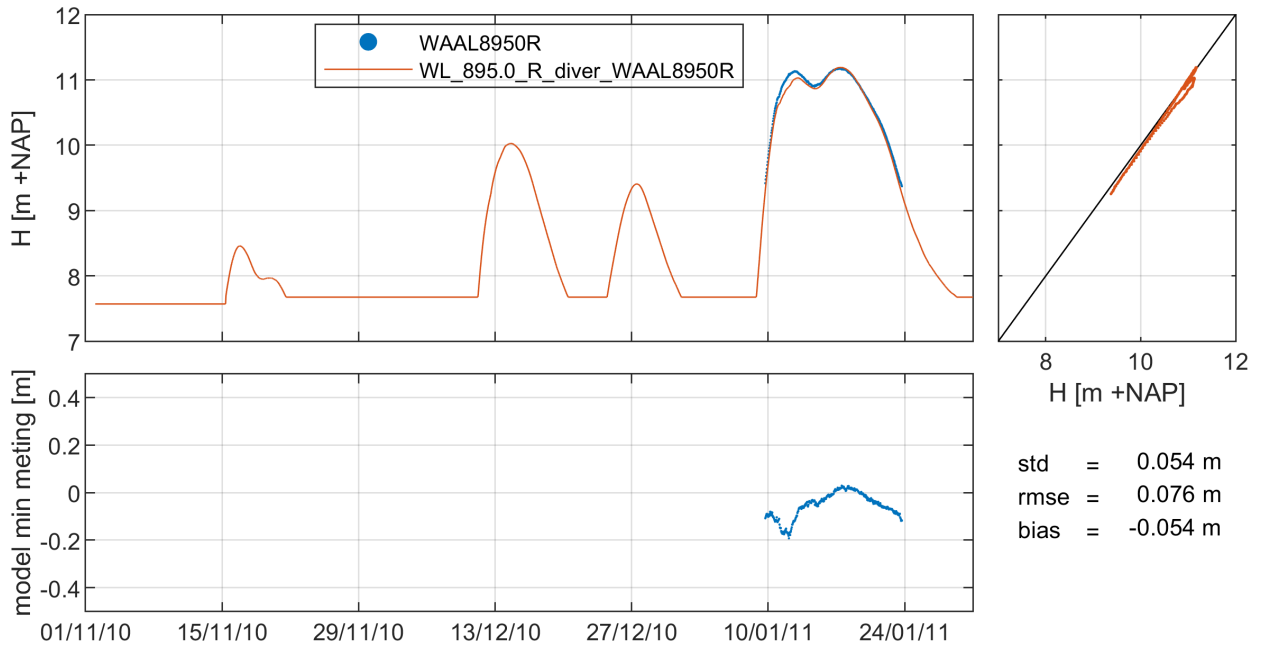


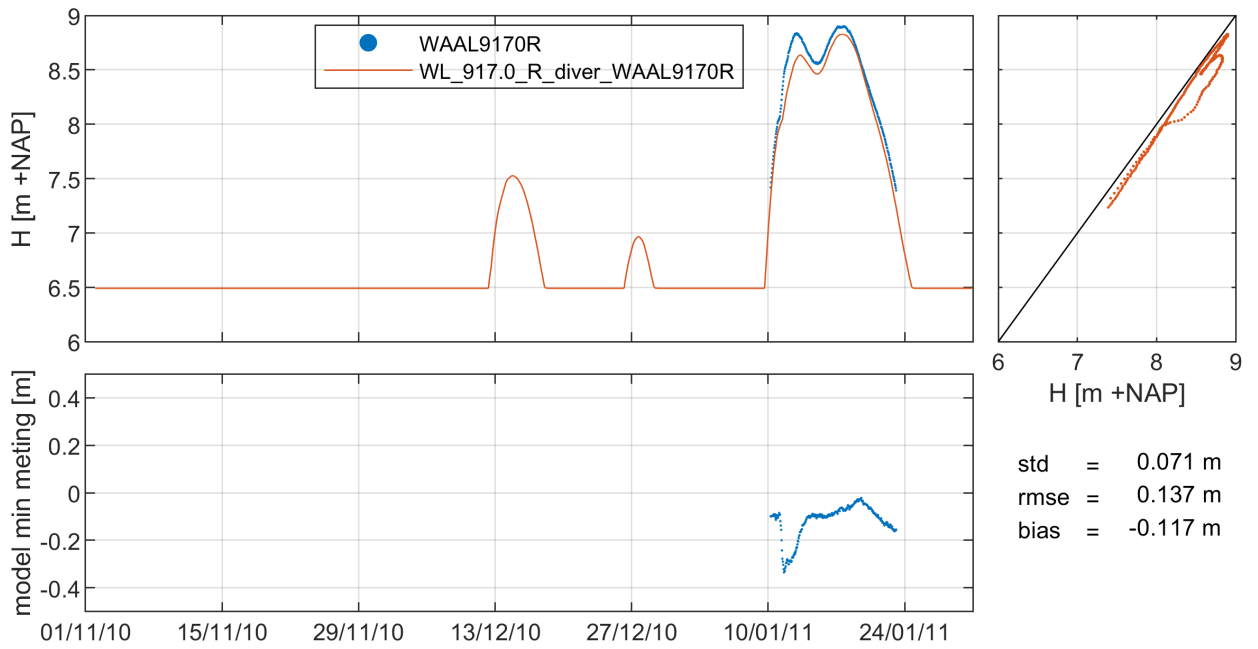
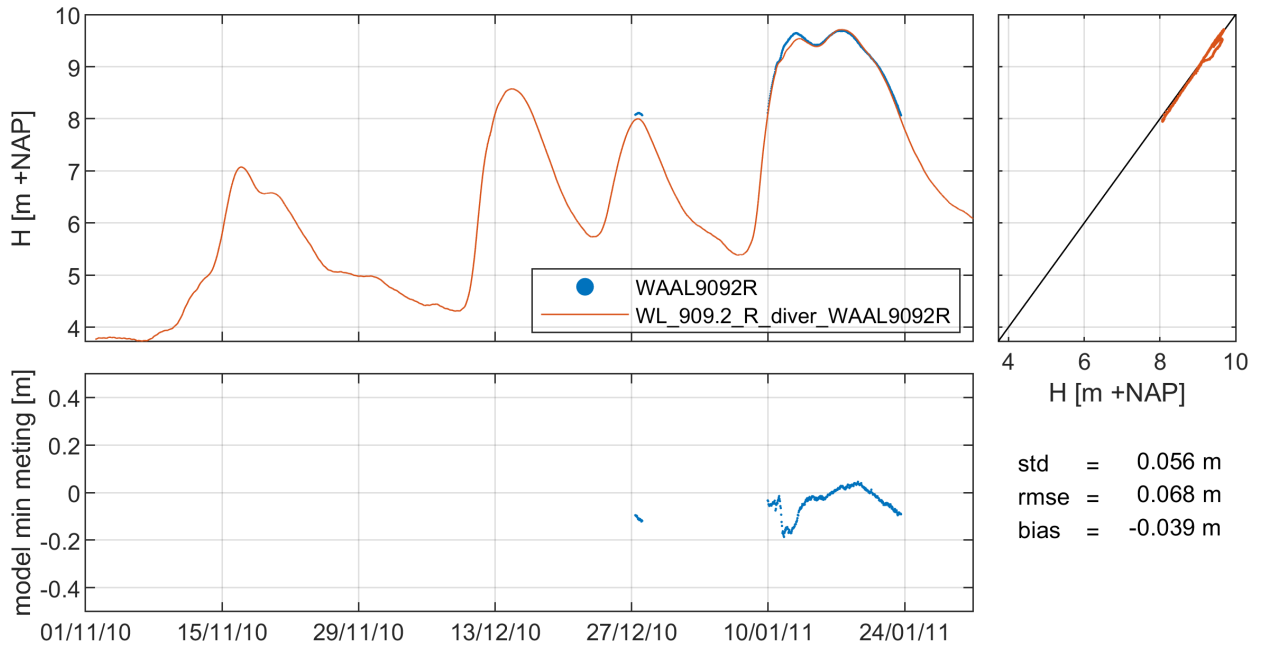


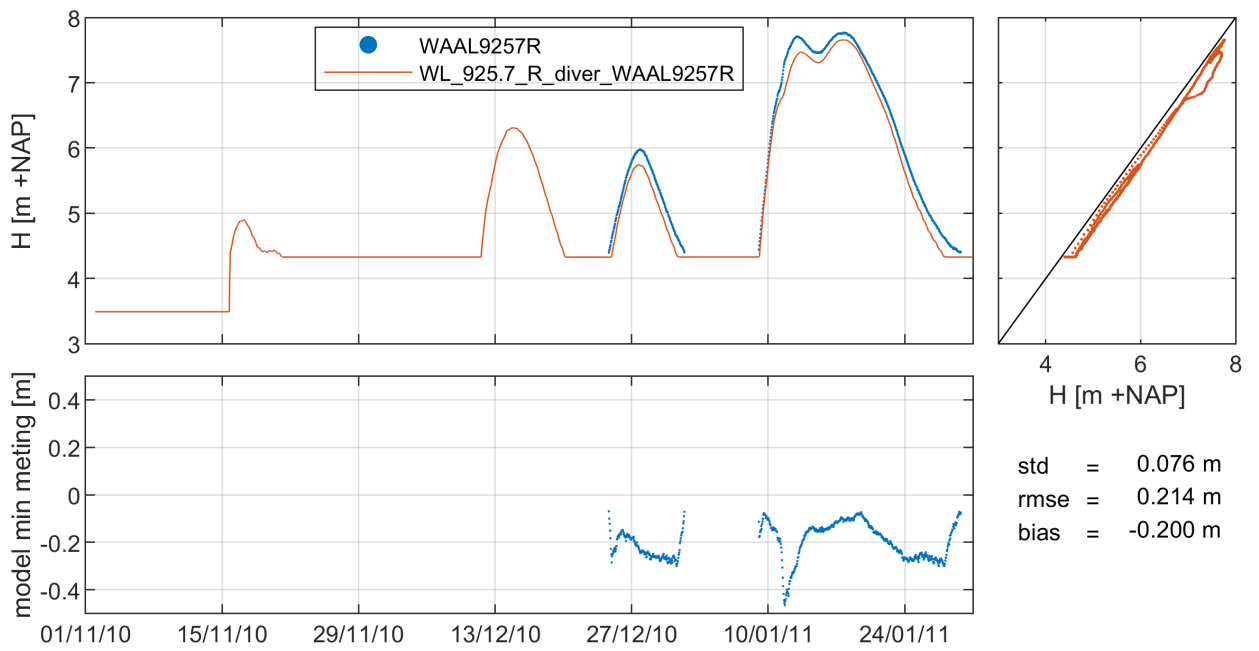
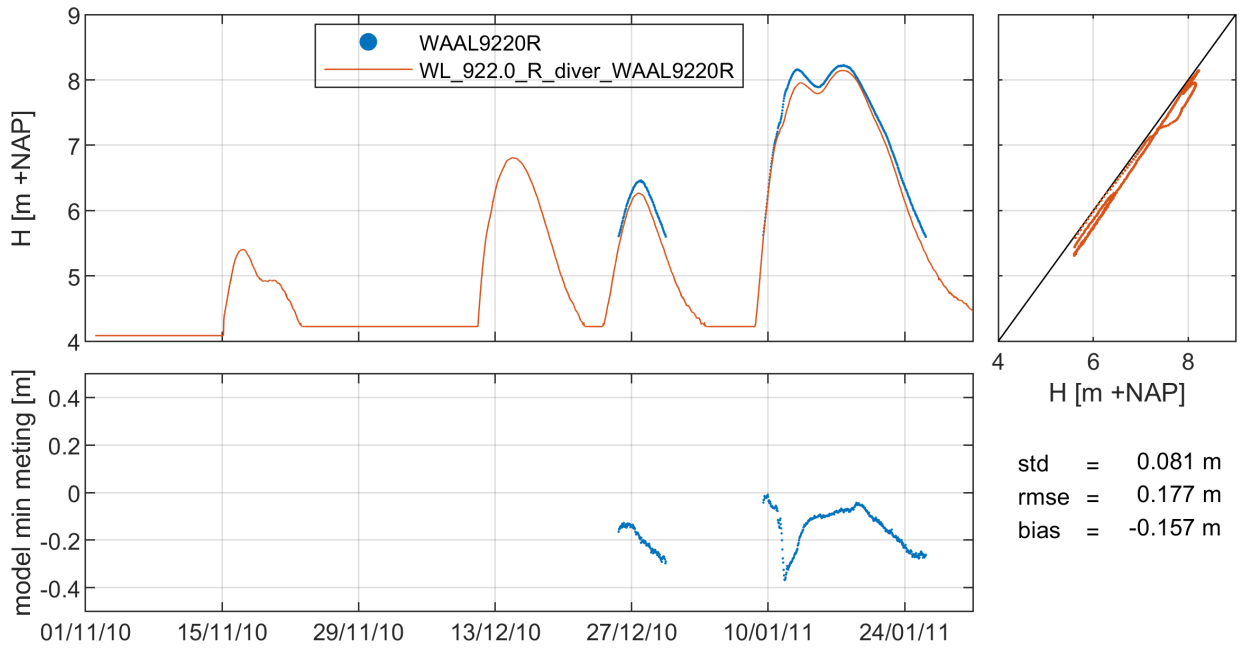


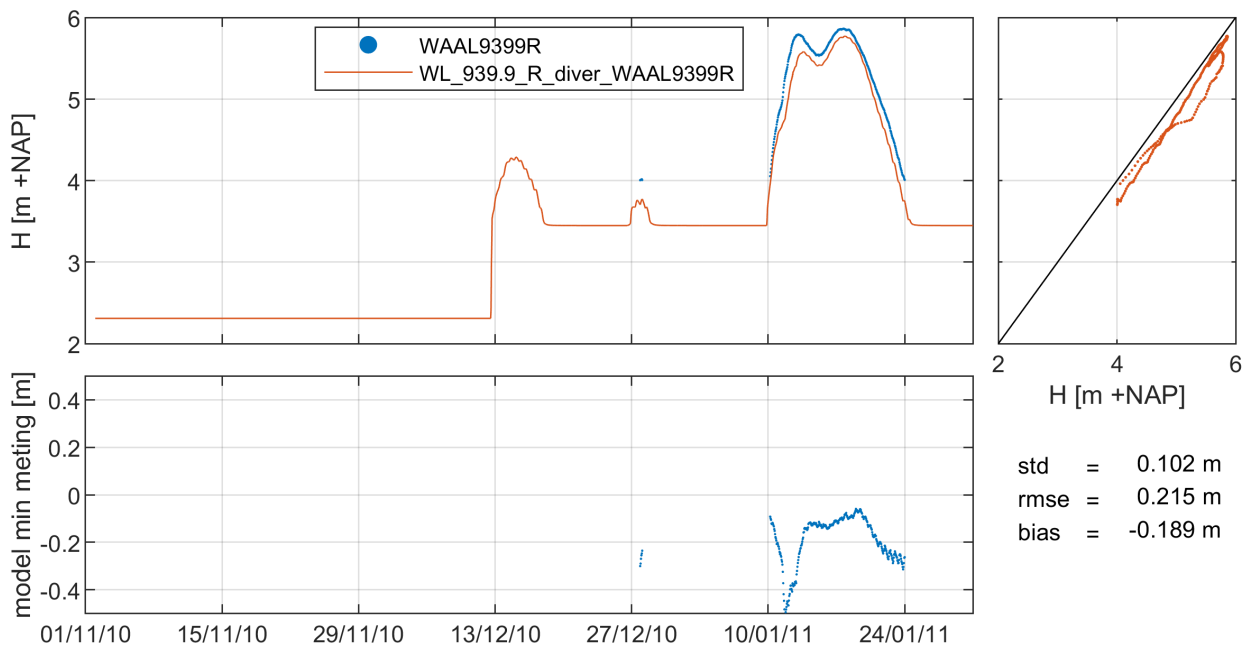
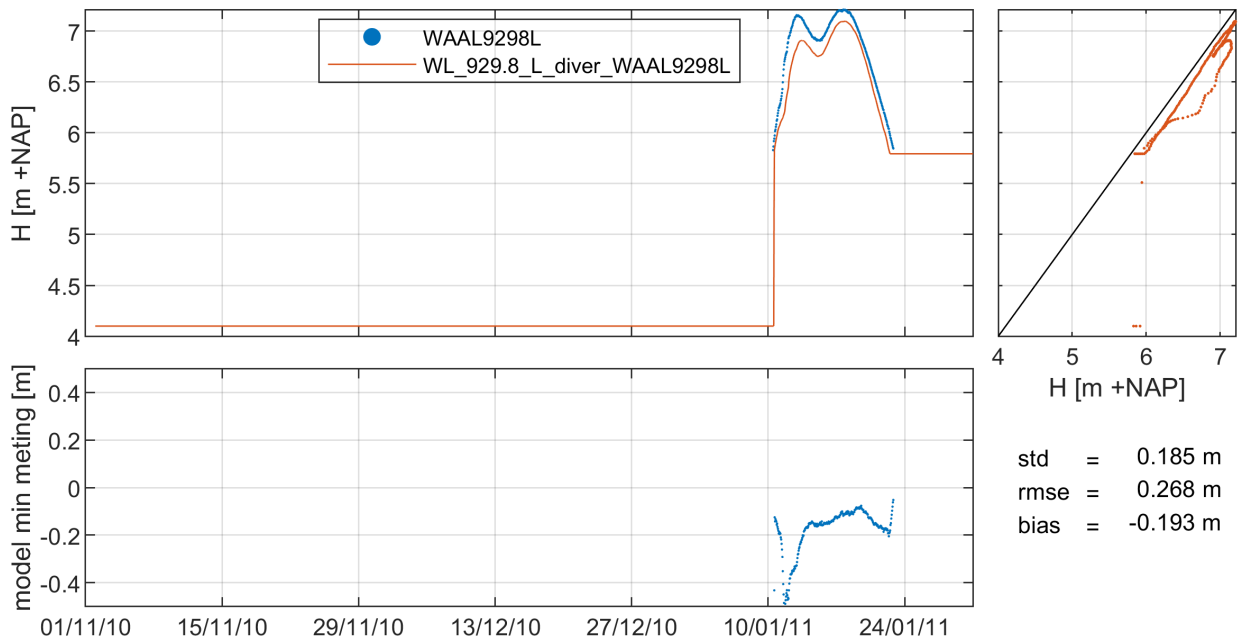


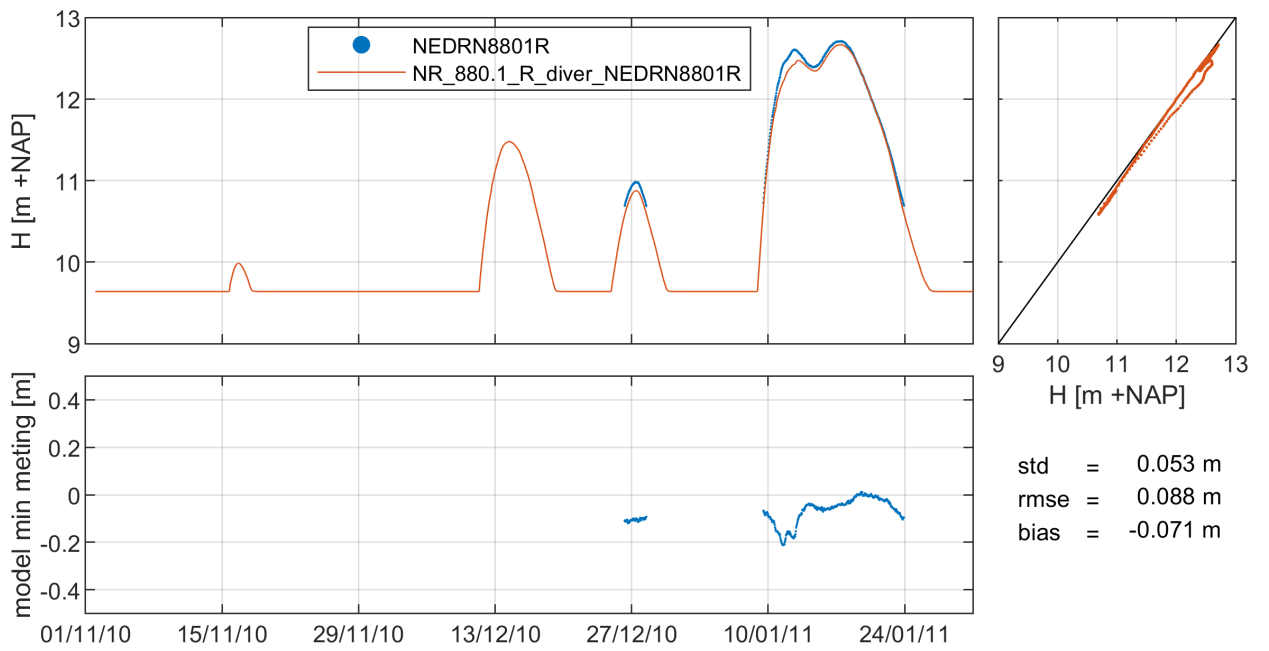
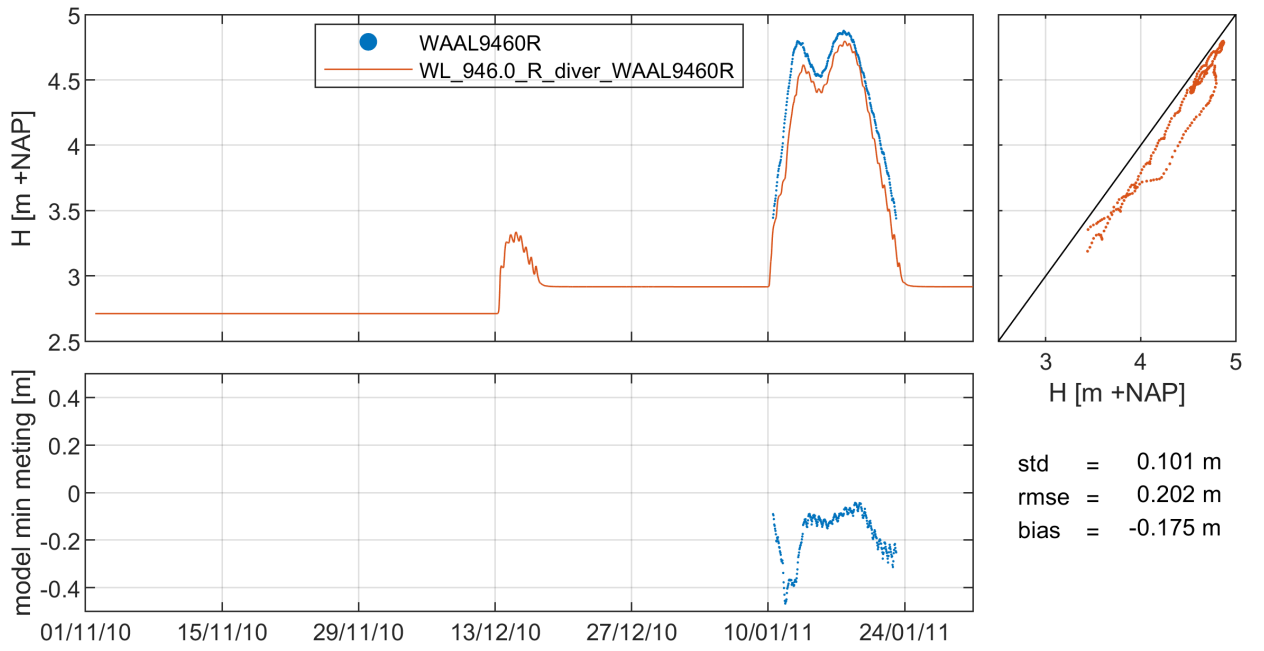


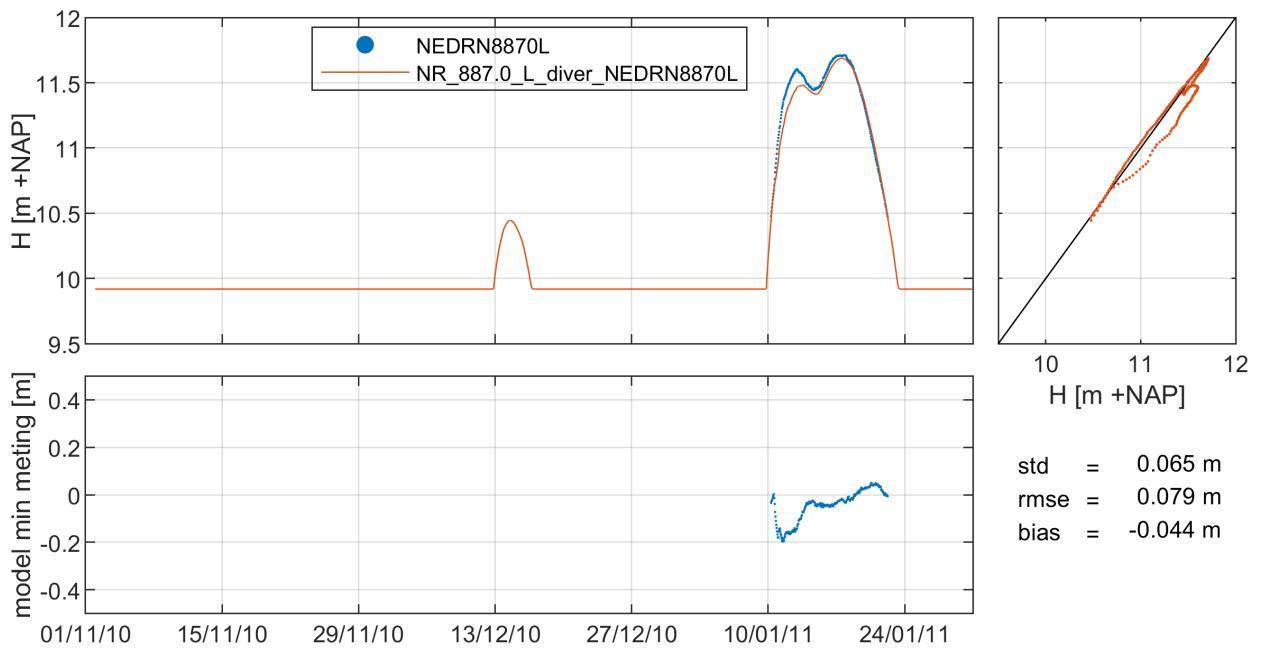
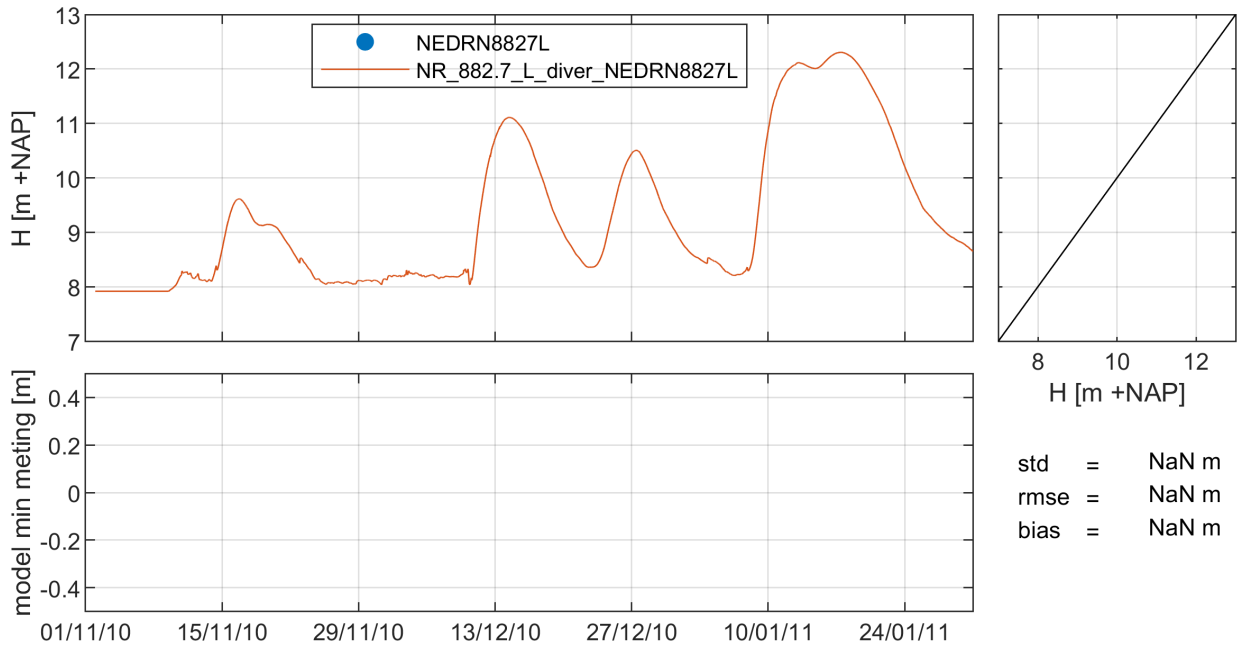




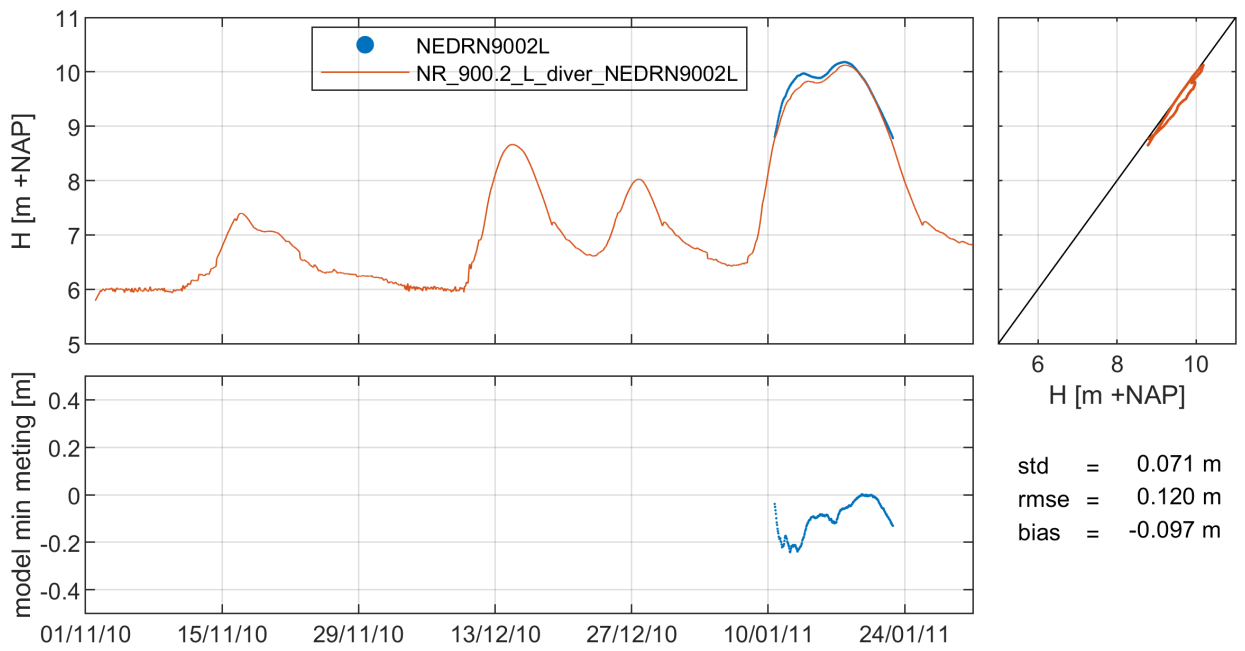
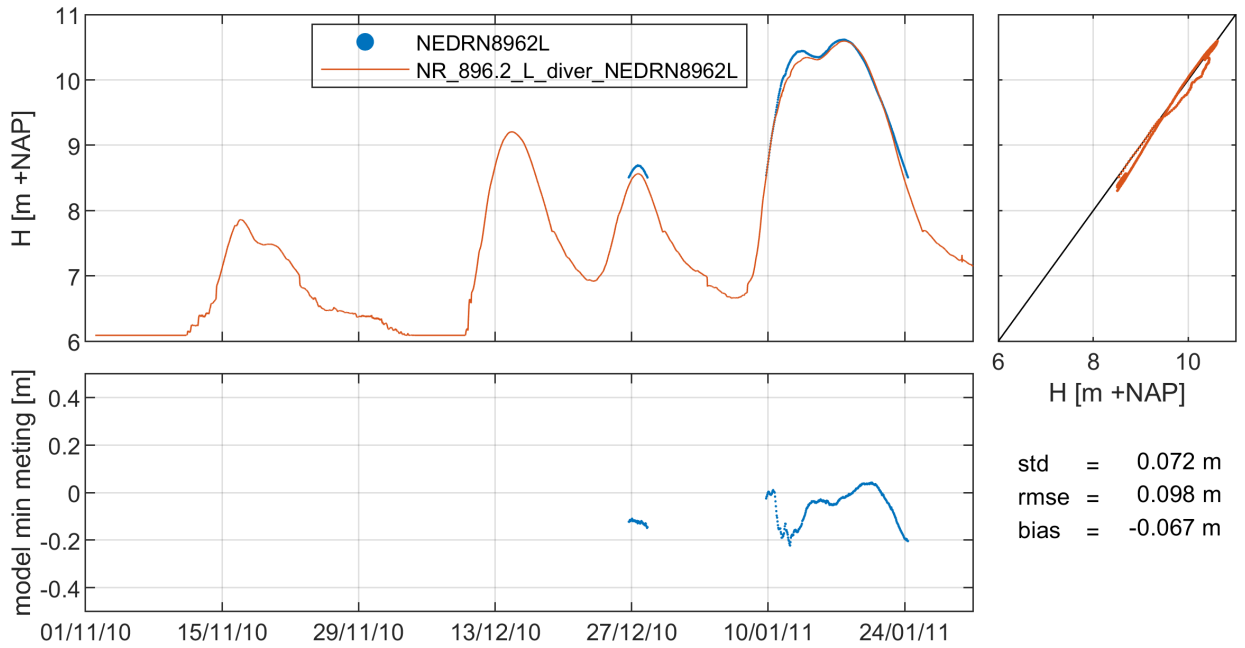


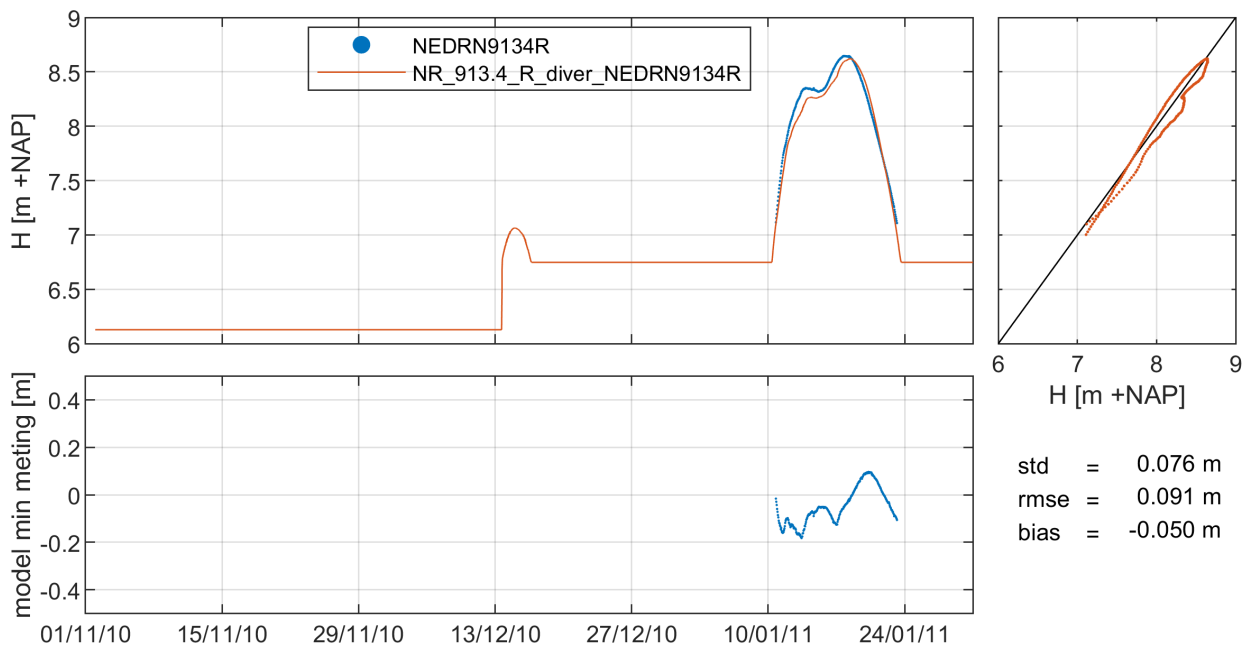
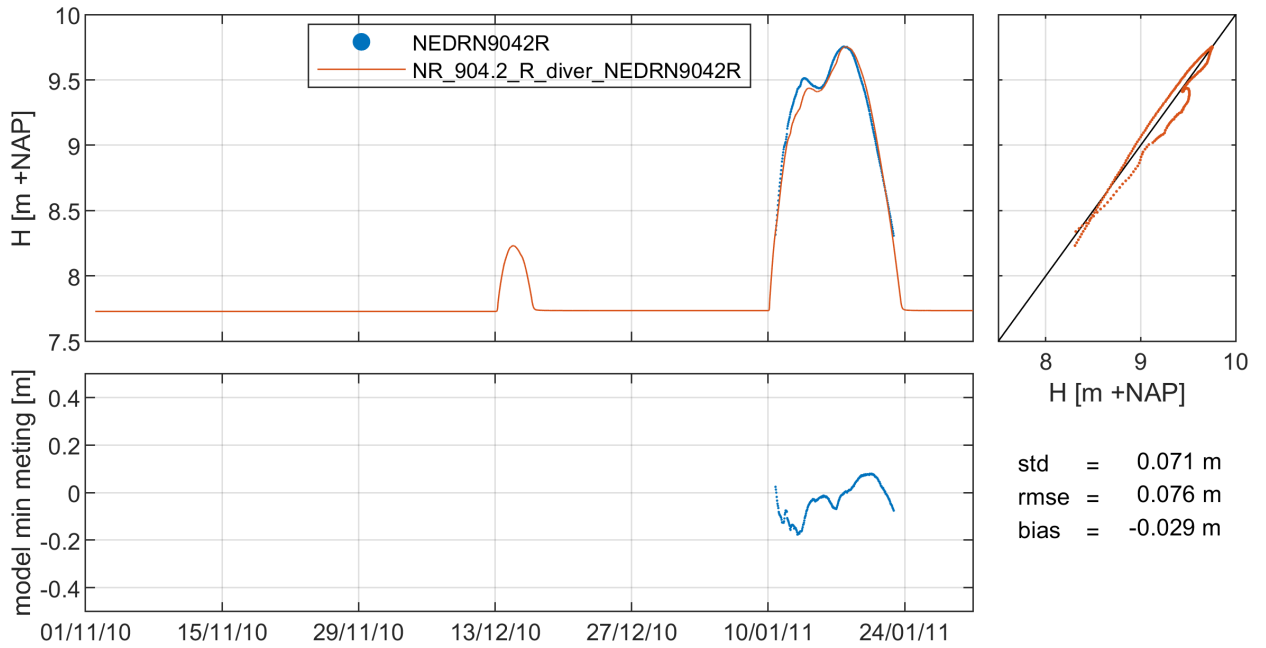


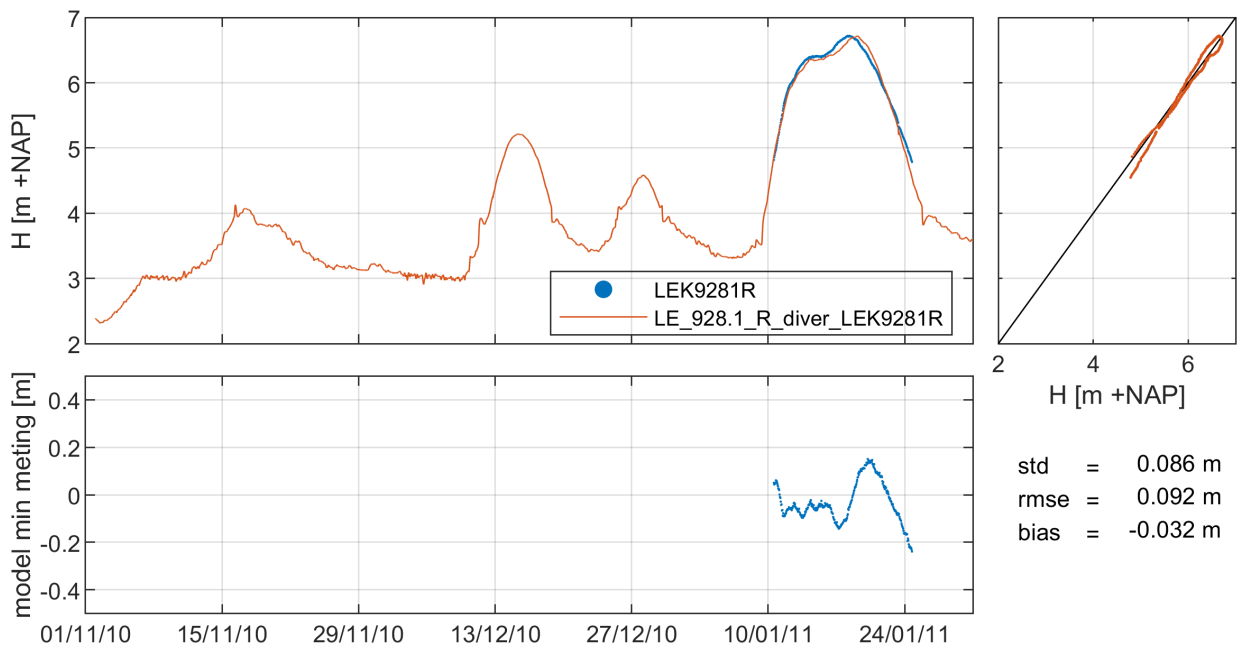
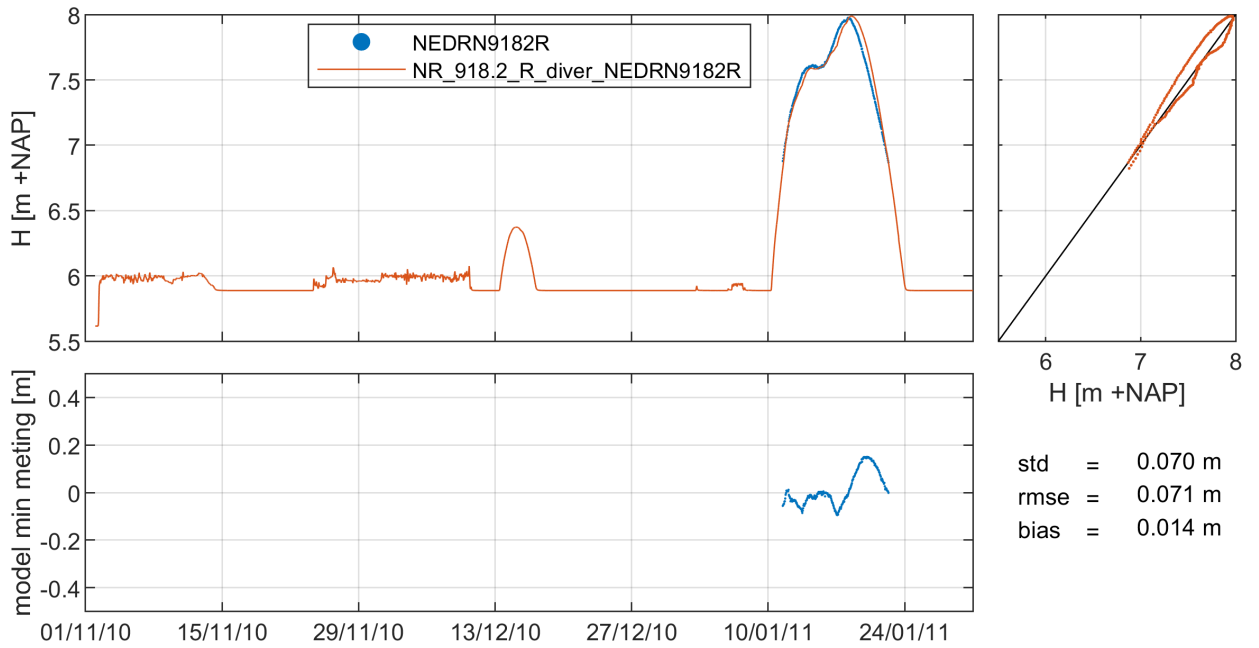


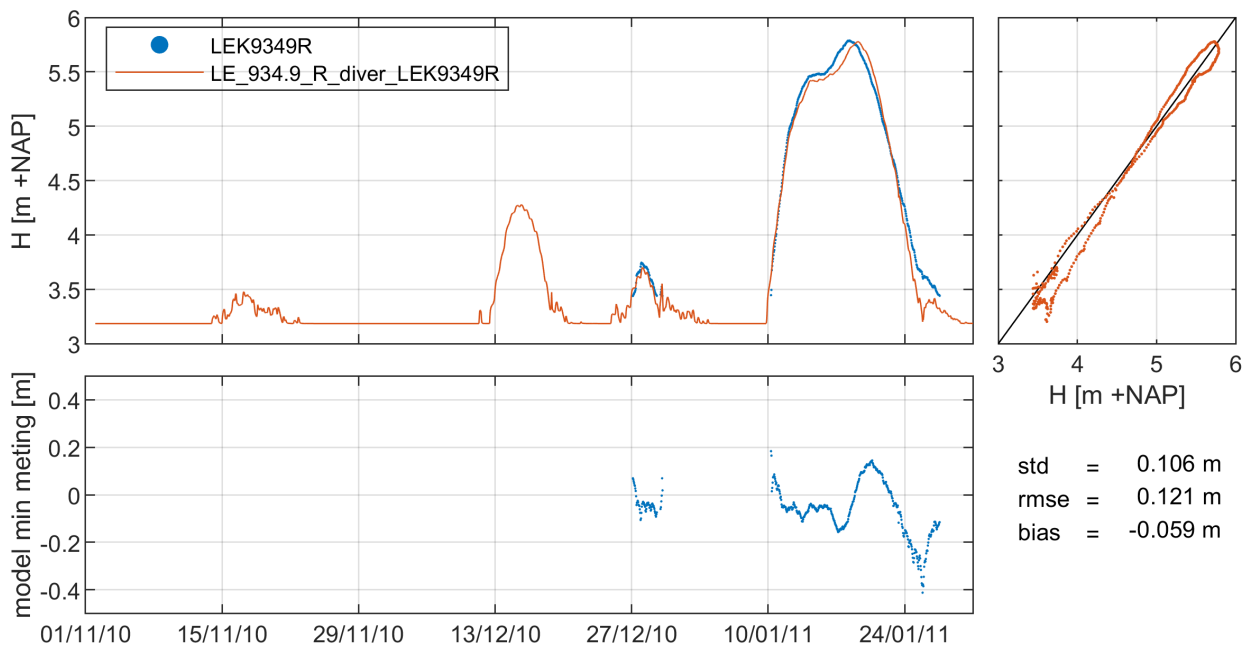
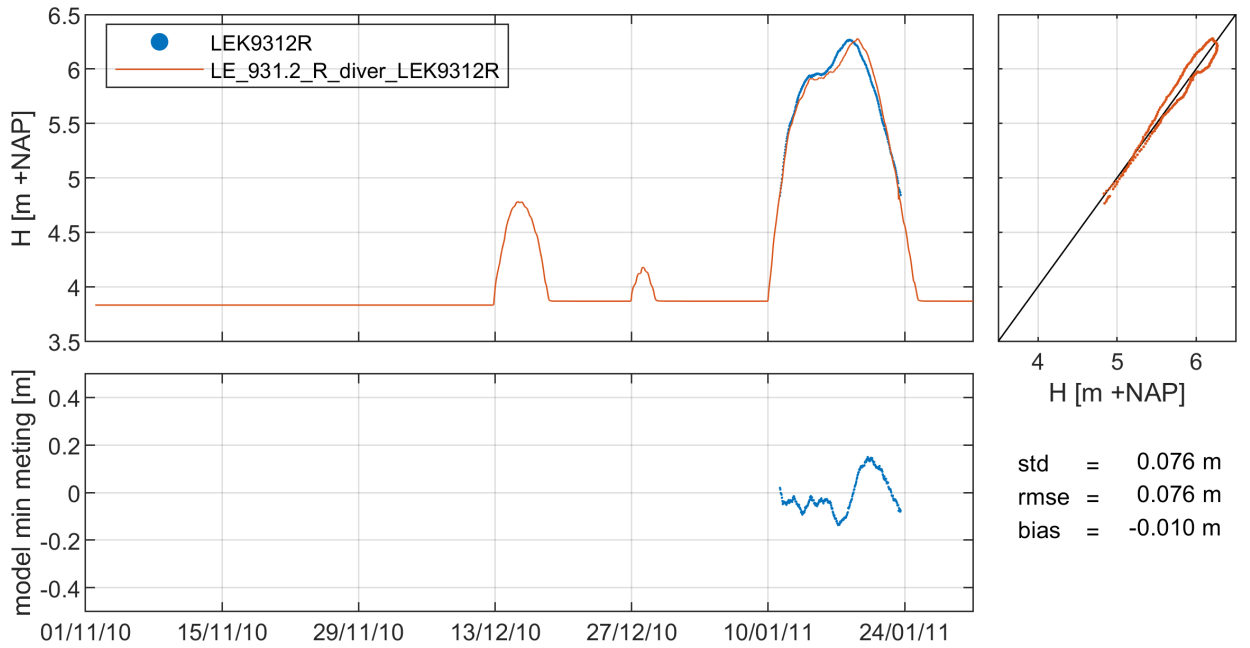


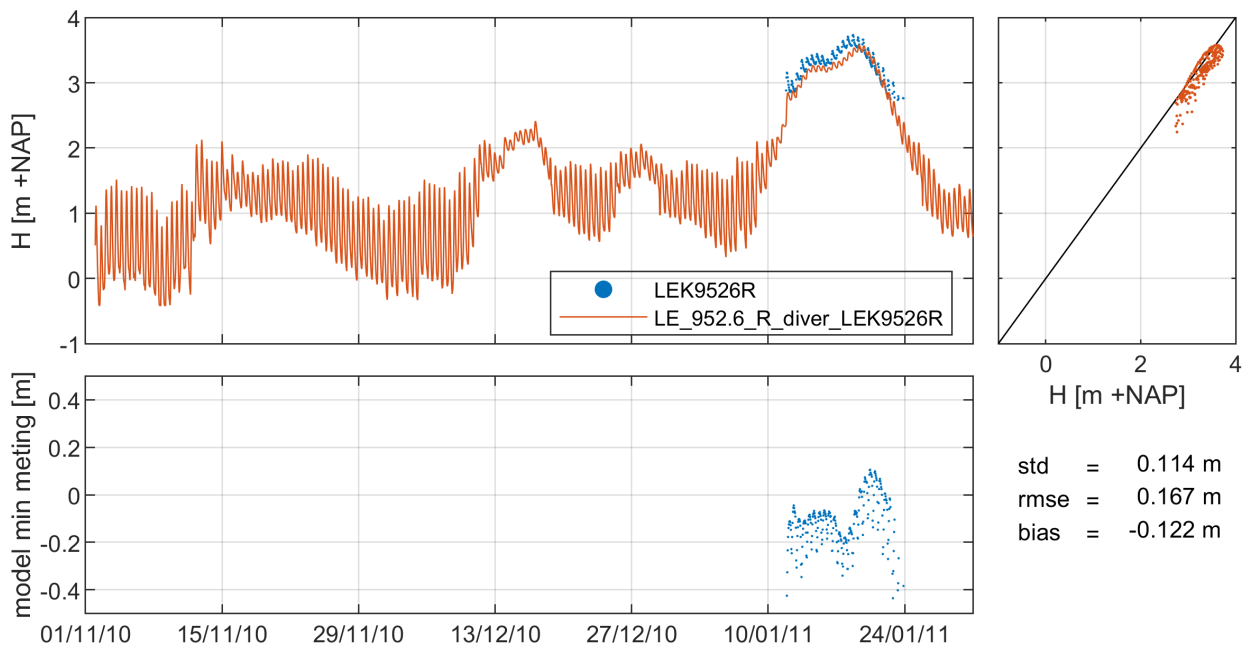


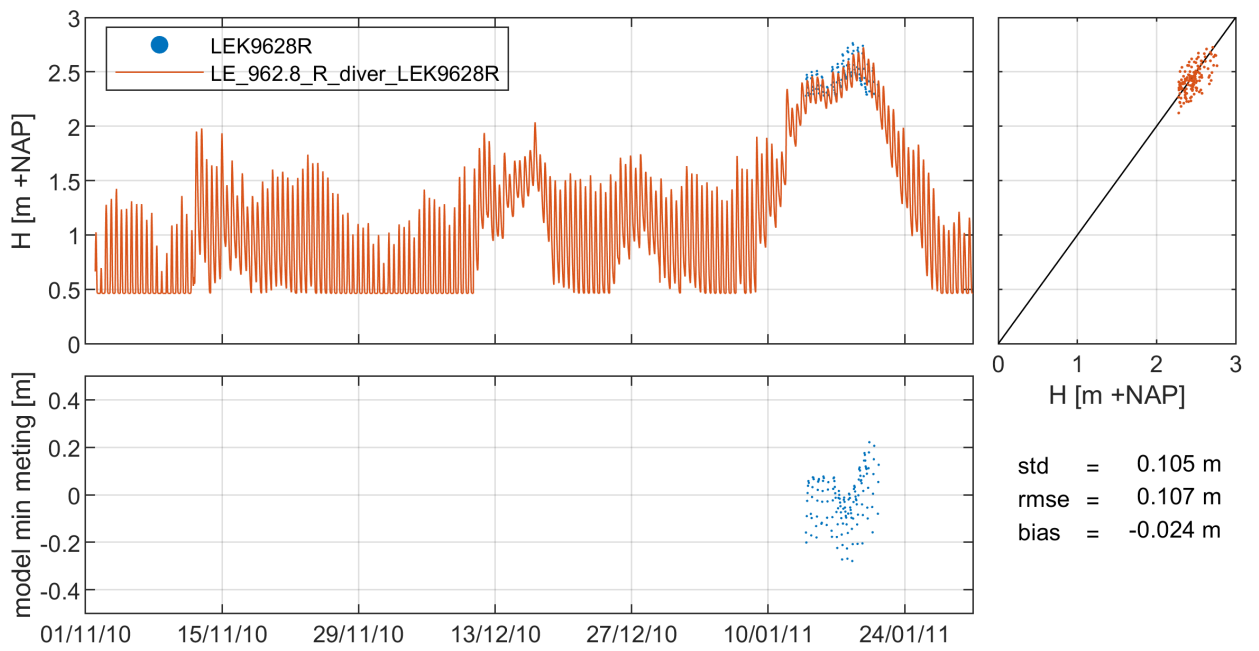
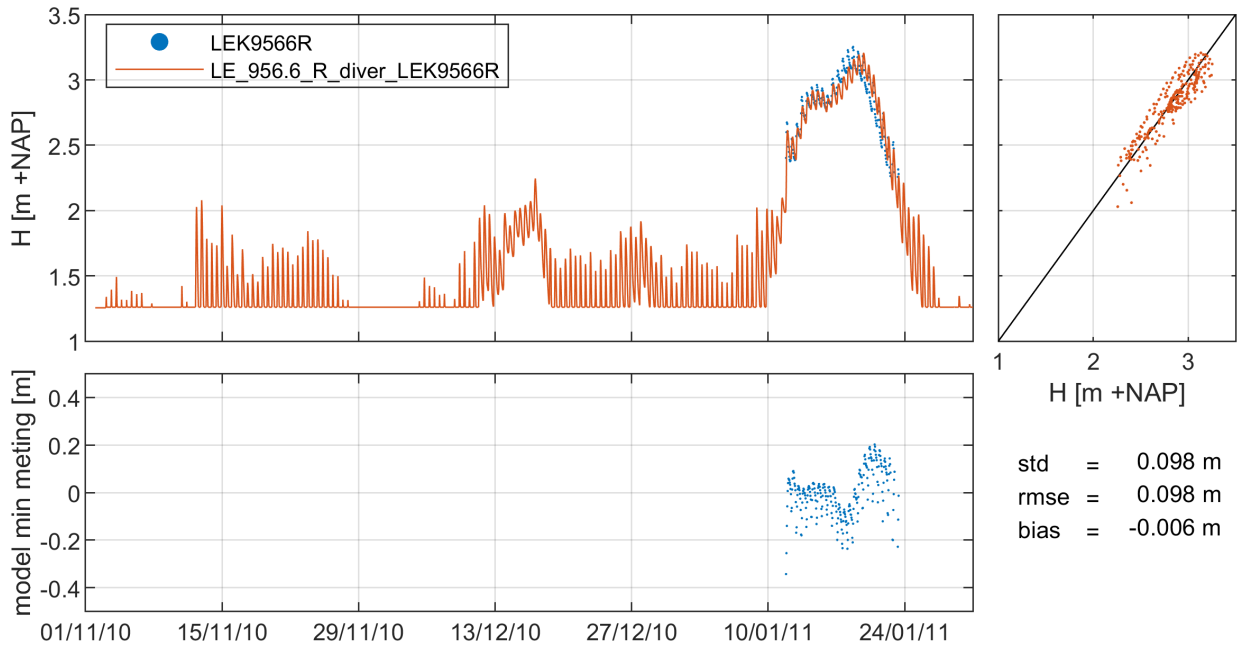


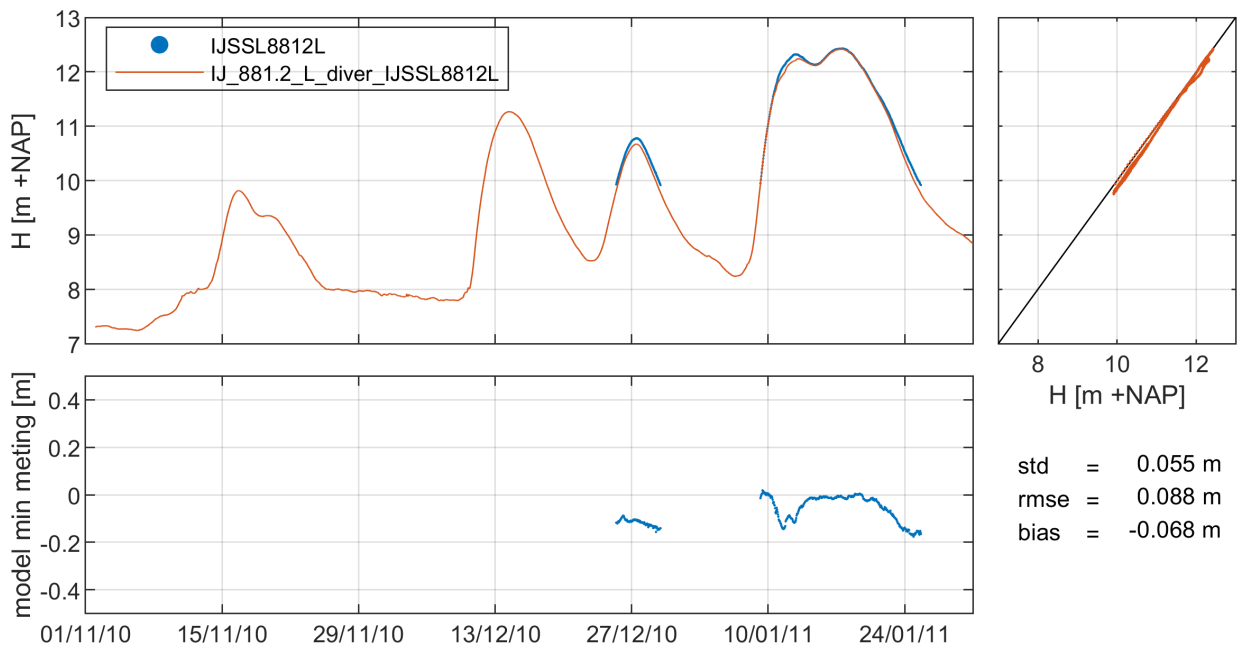
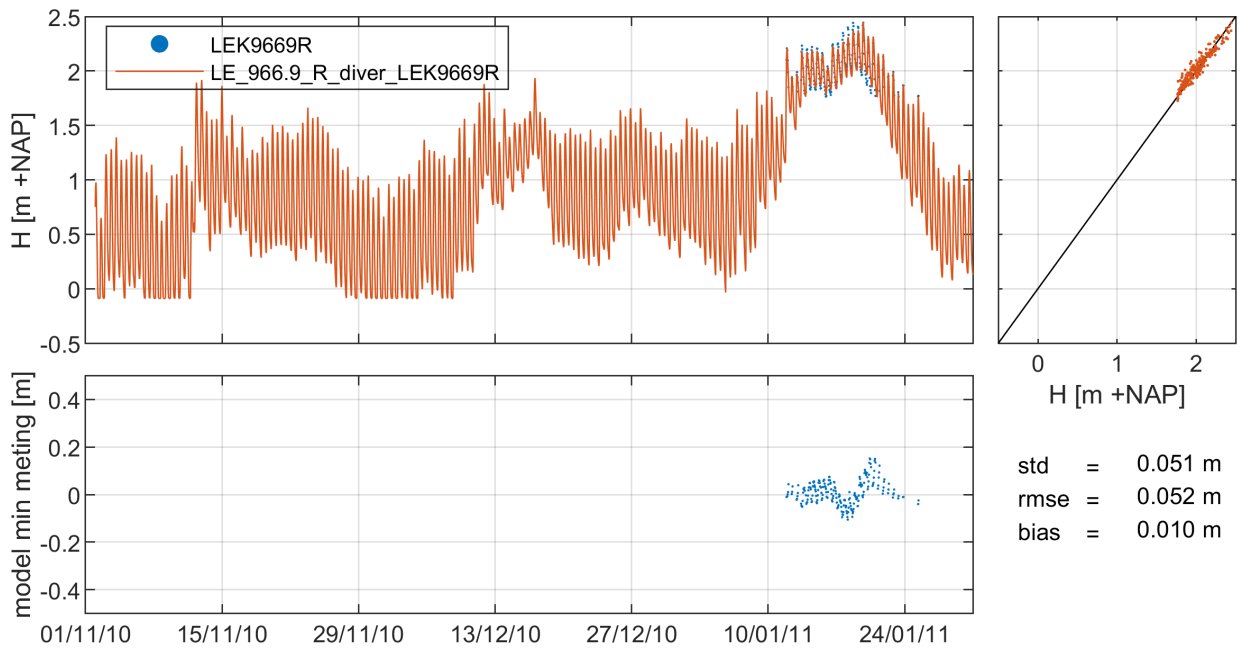


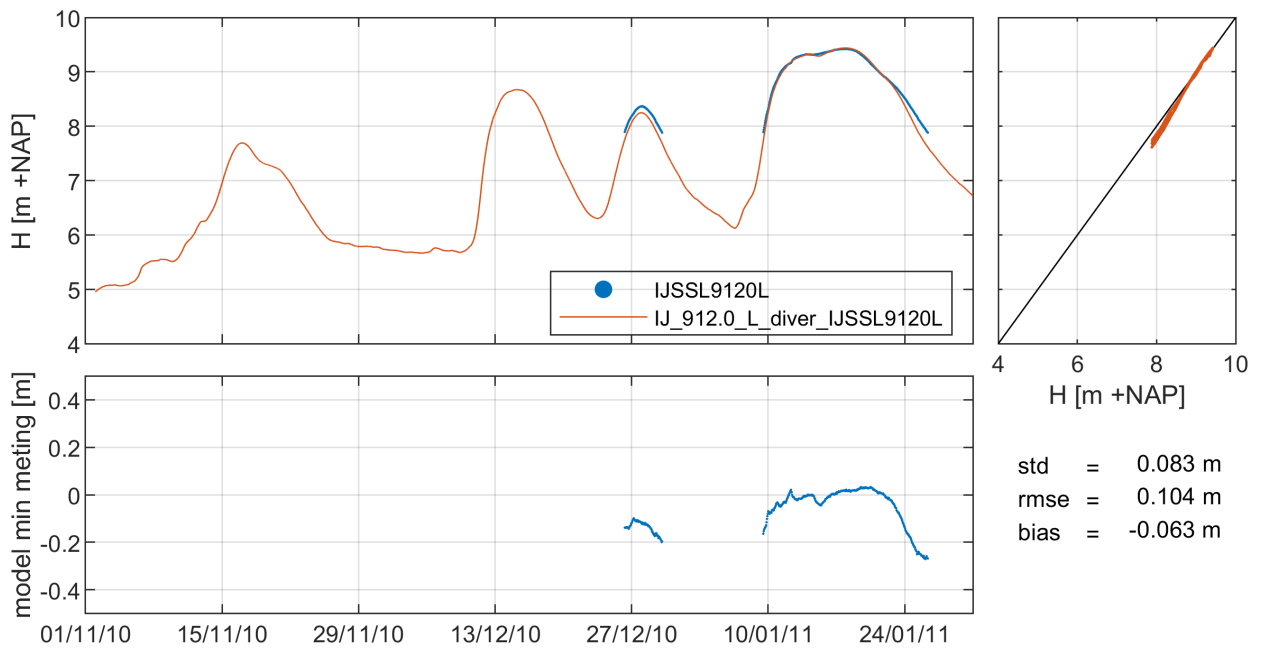
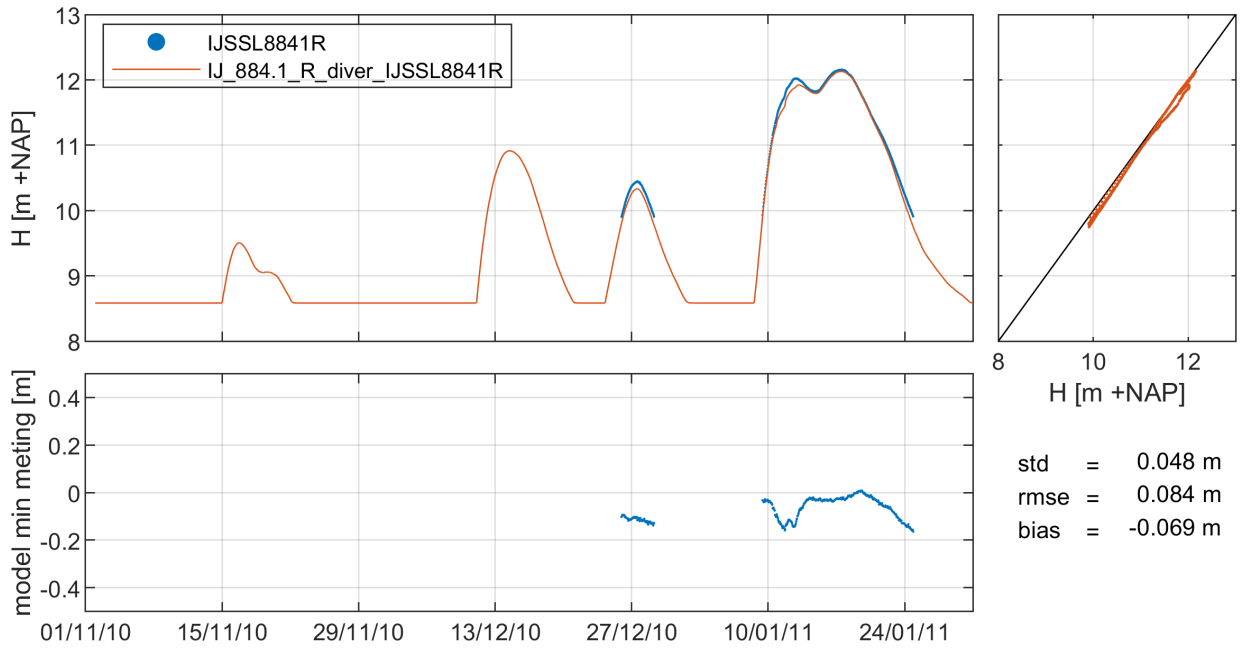




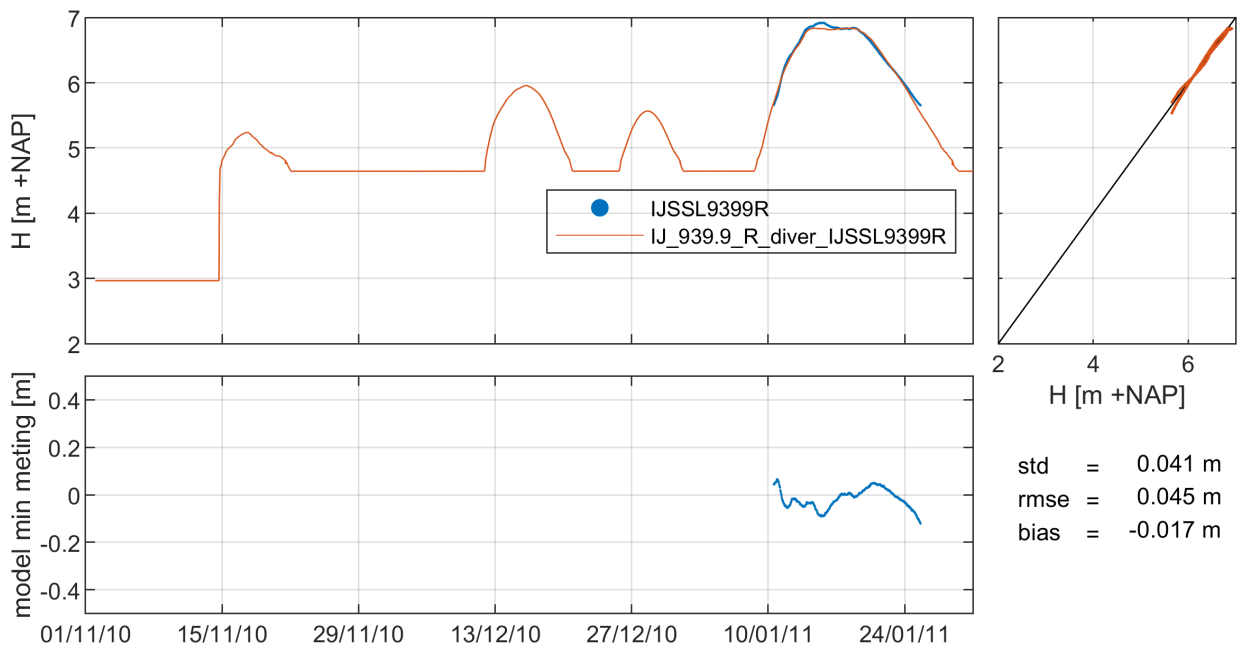
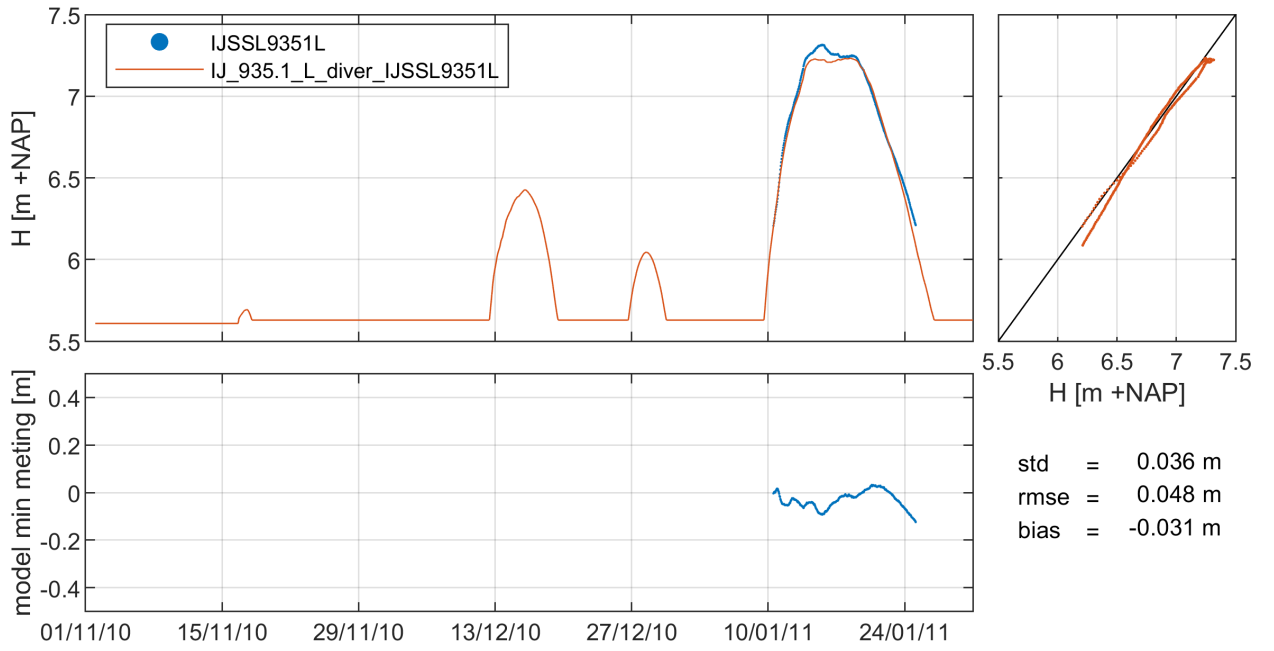


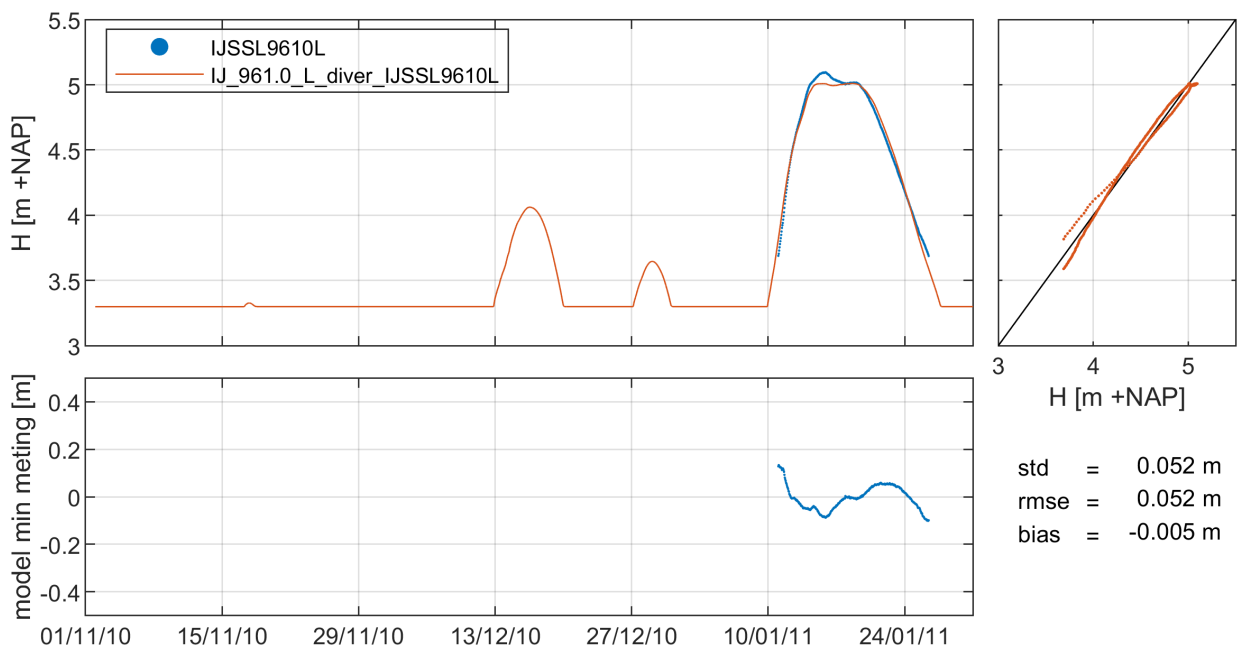
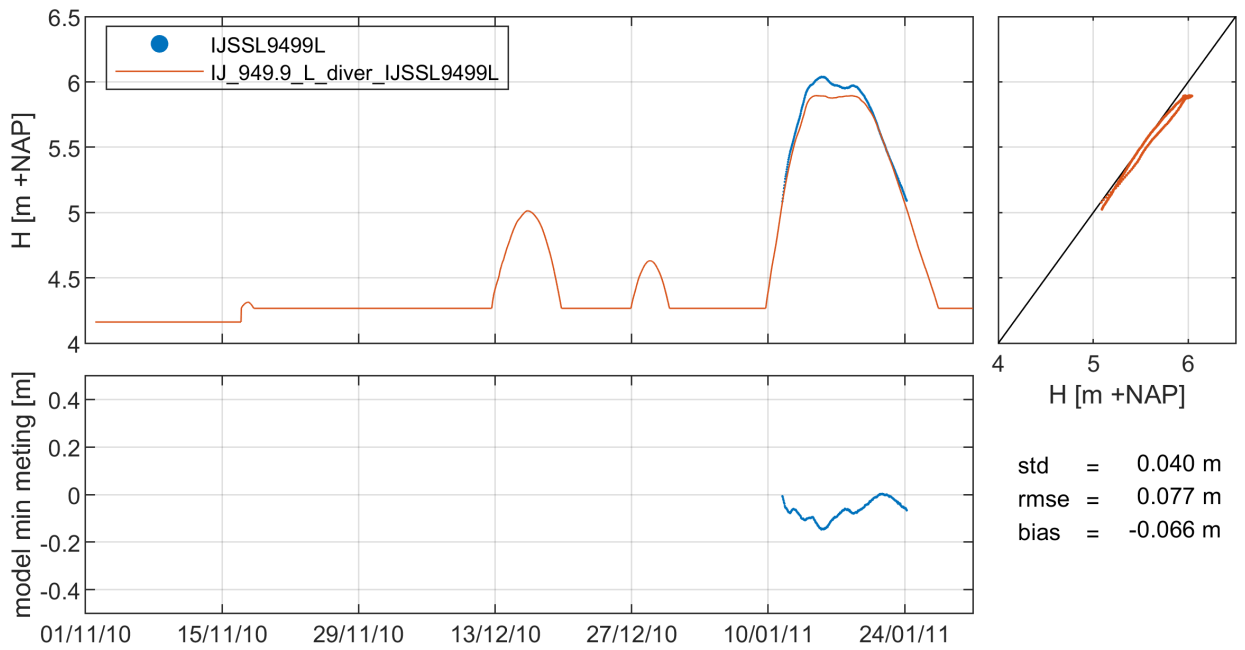


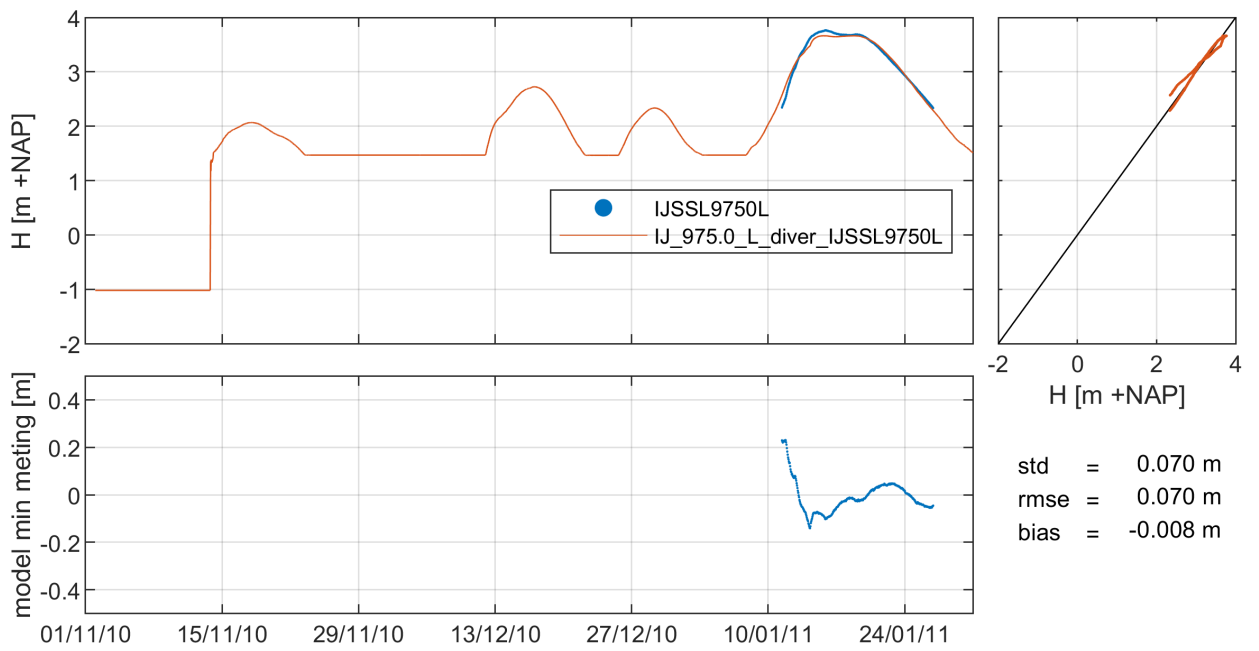
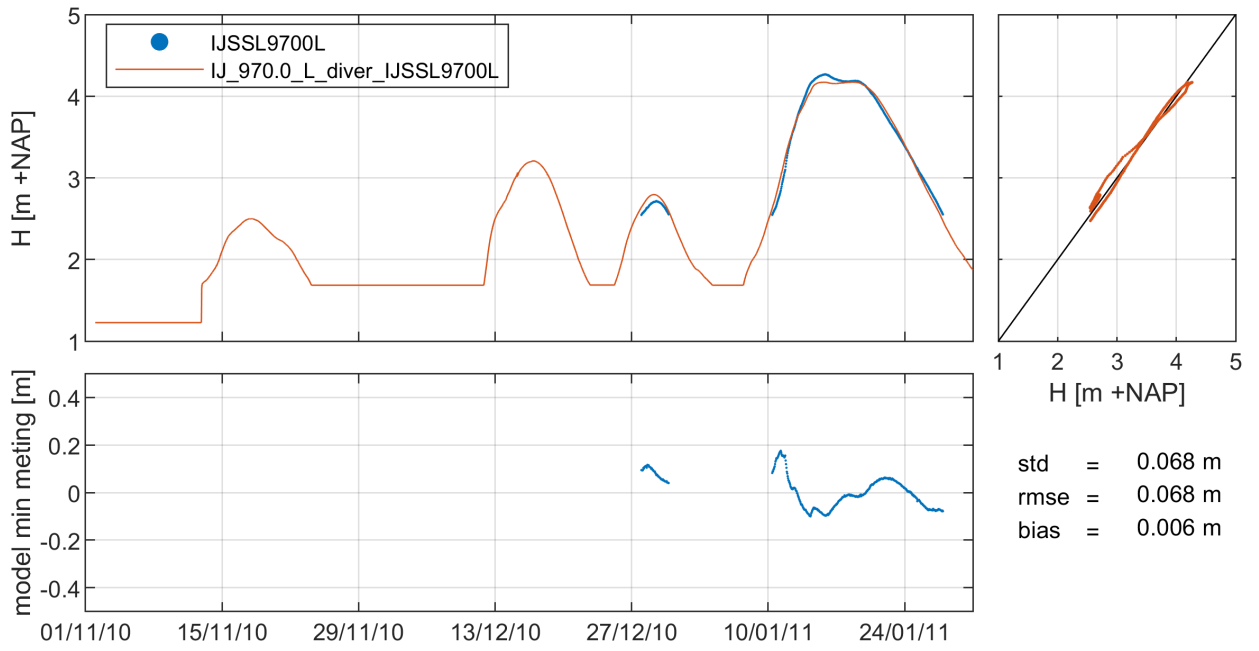


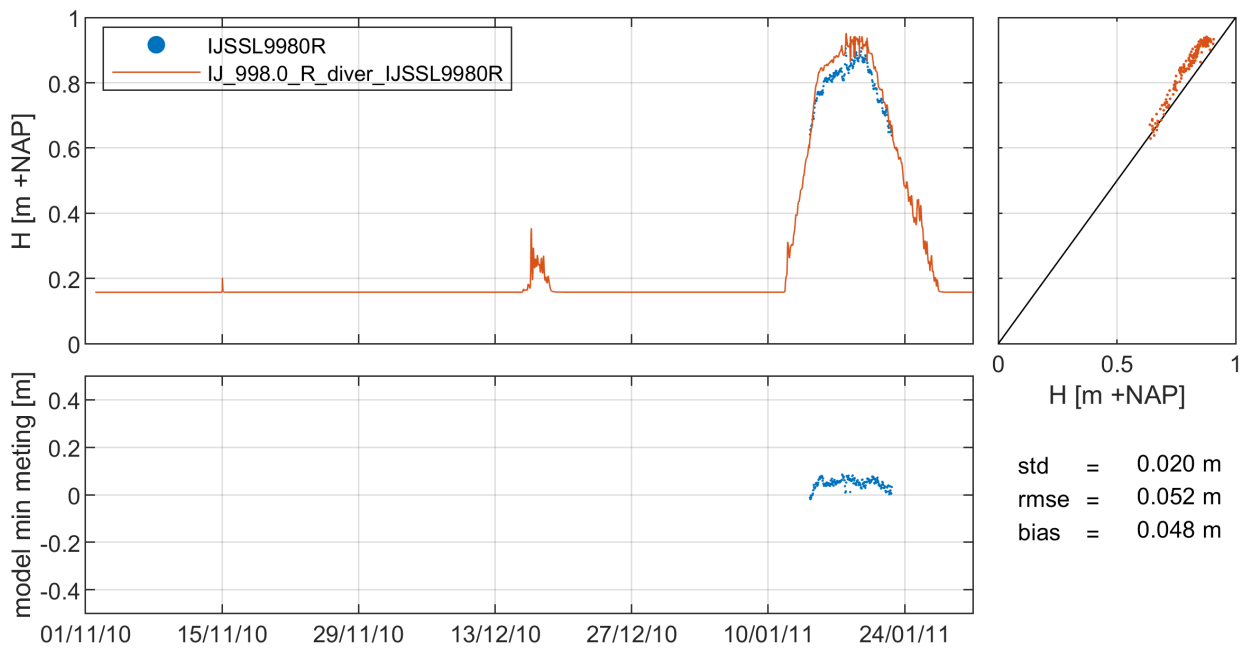
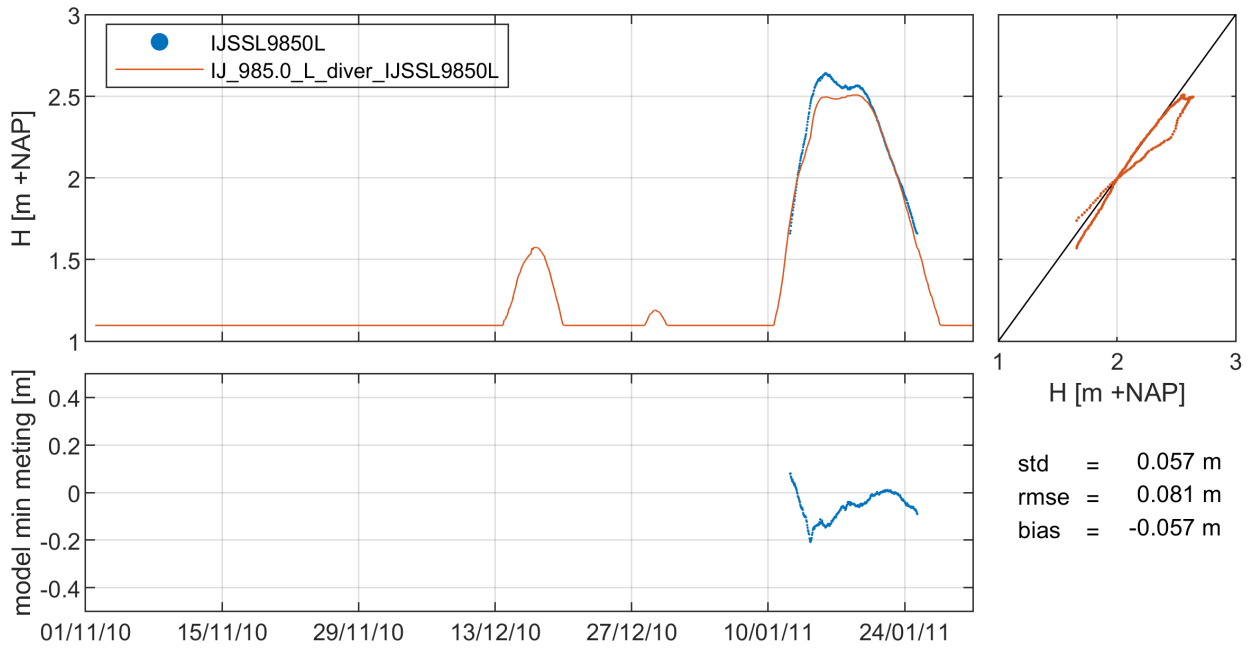




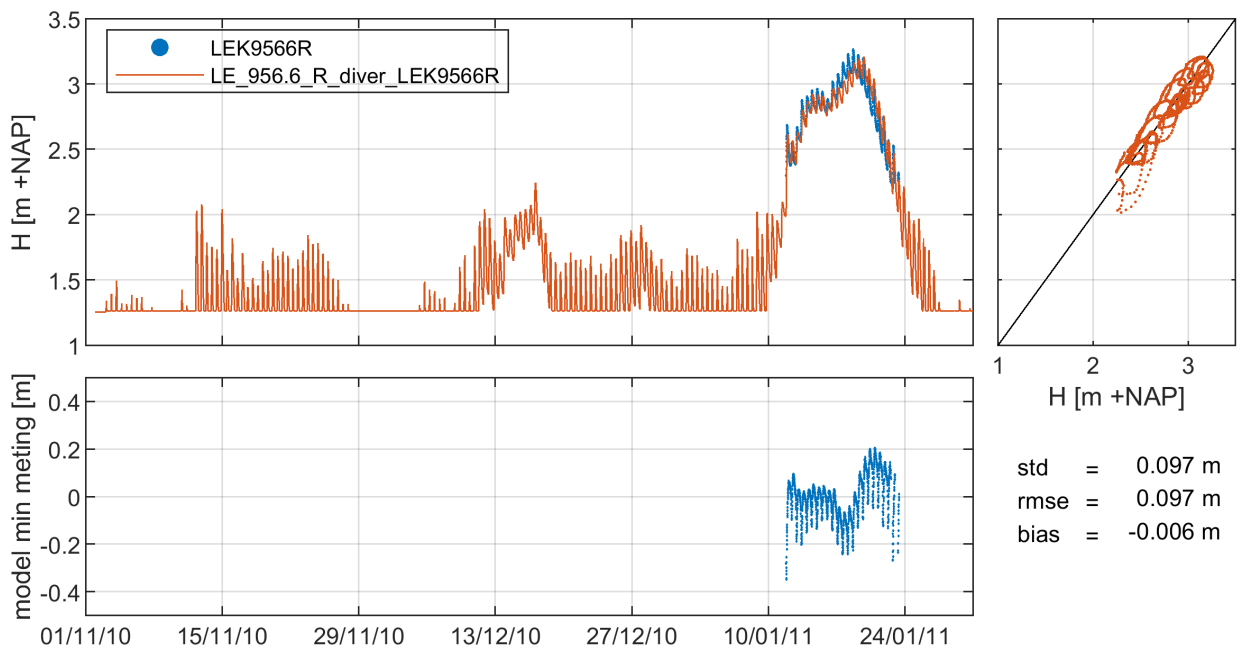
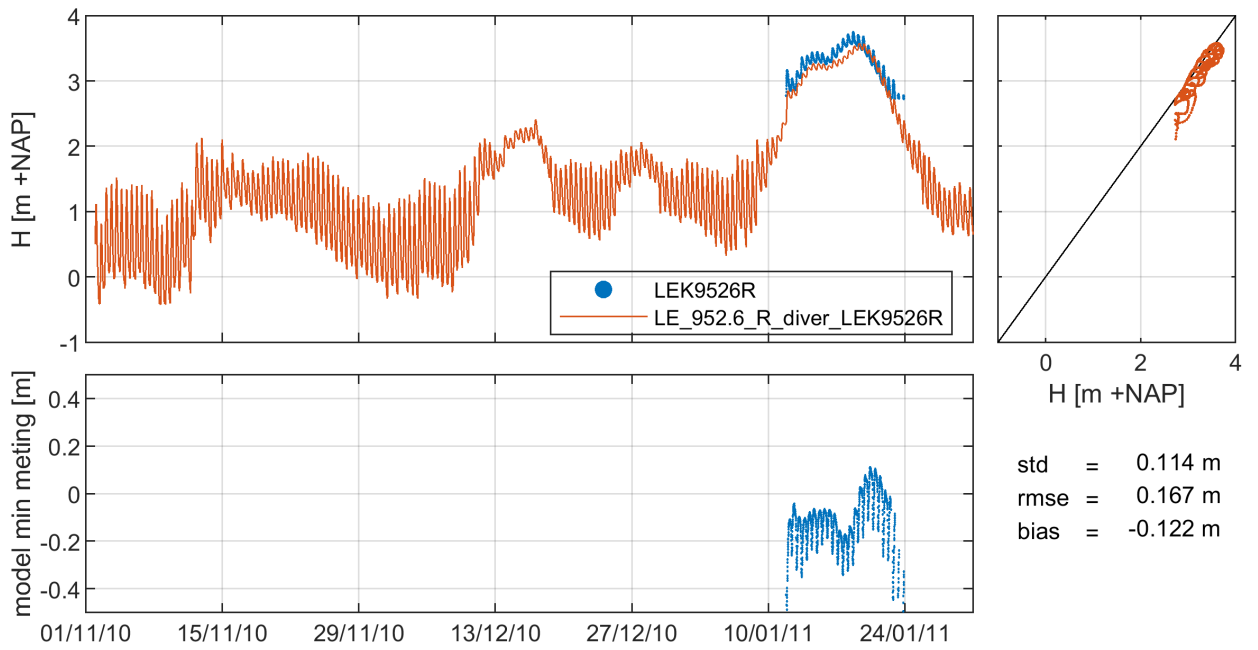


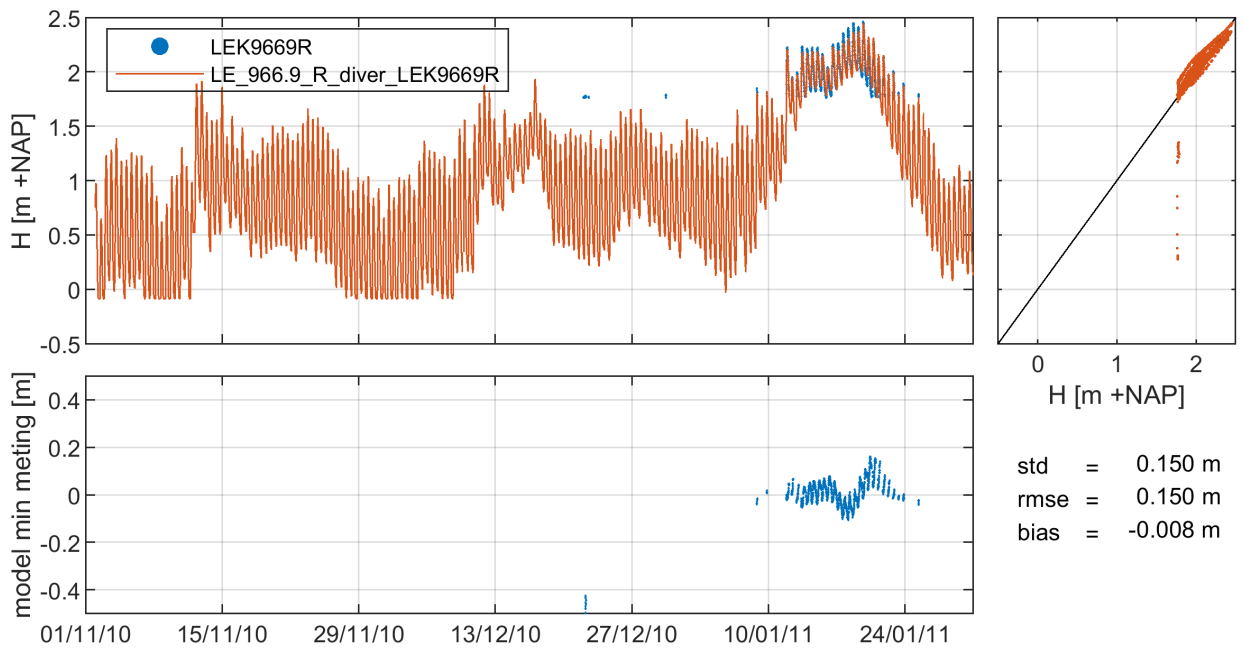
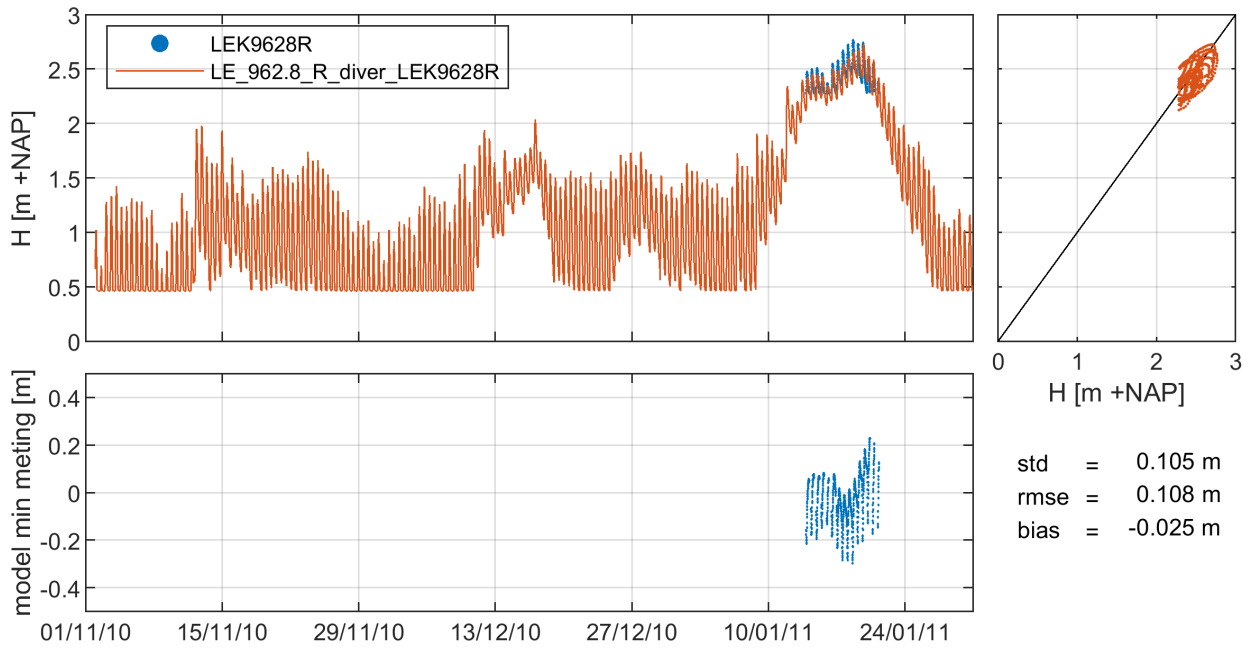




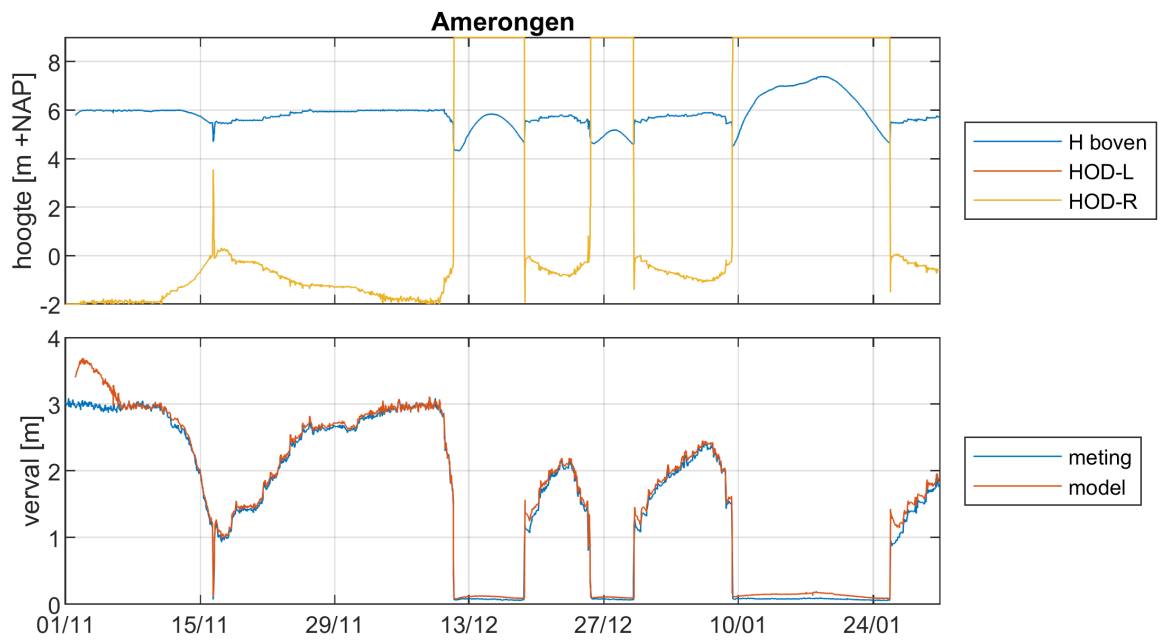
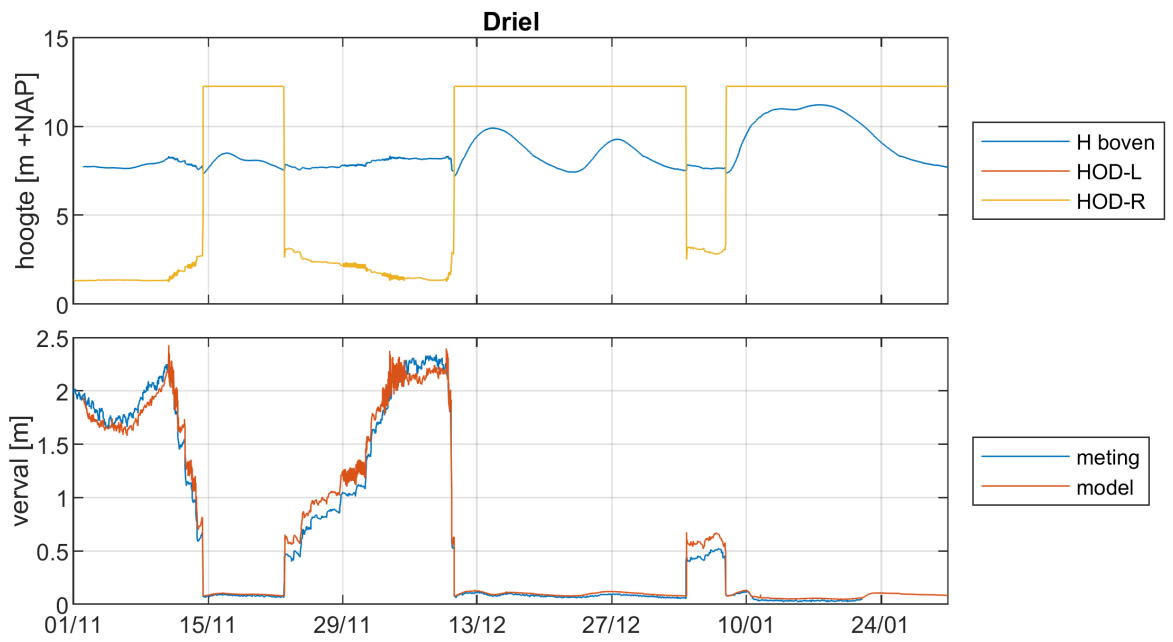


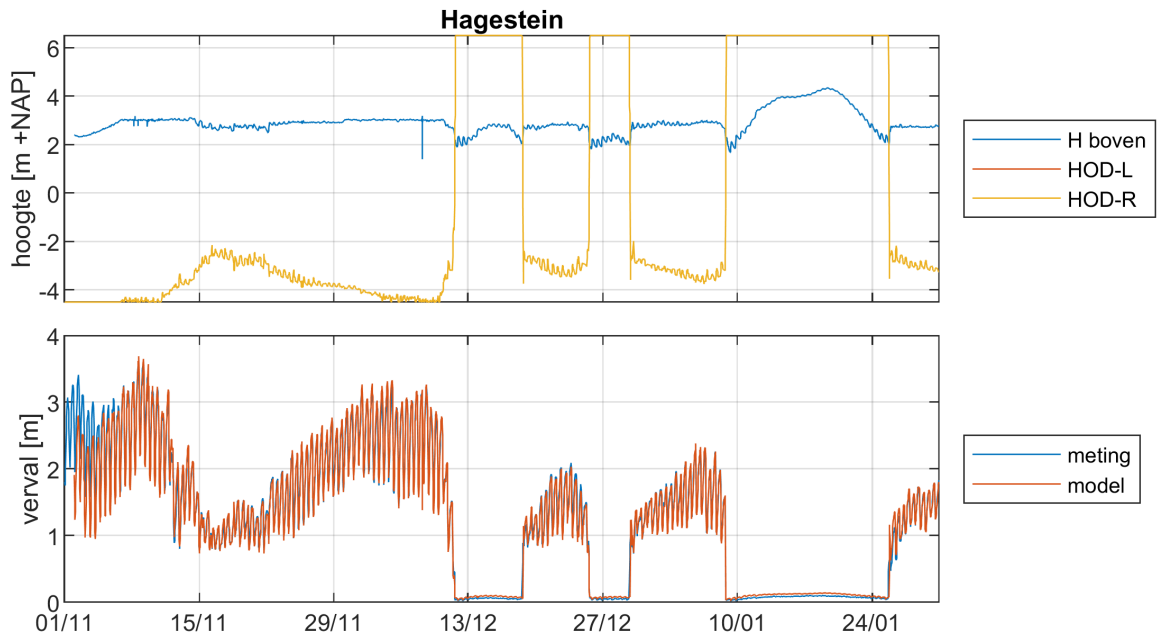
10-minutenwaarden





### I.3.6 Stuwen

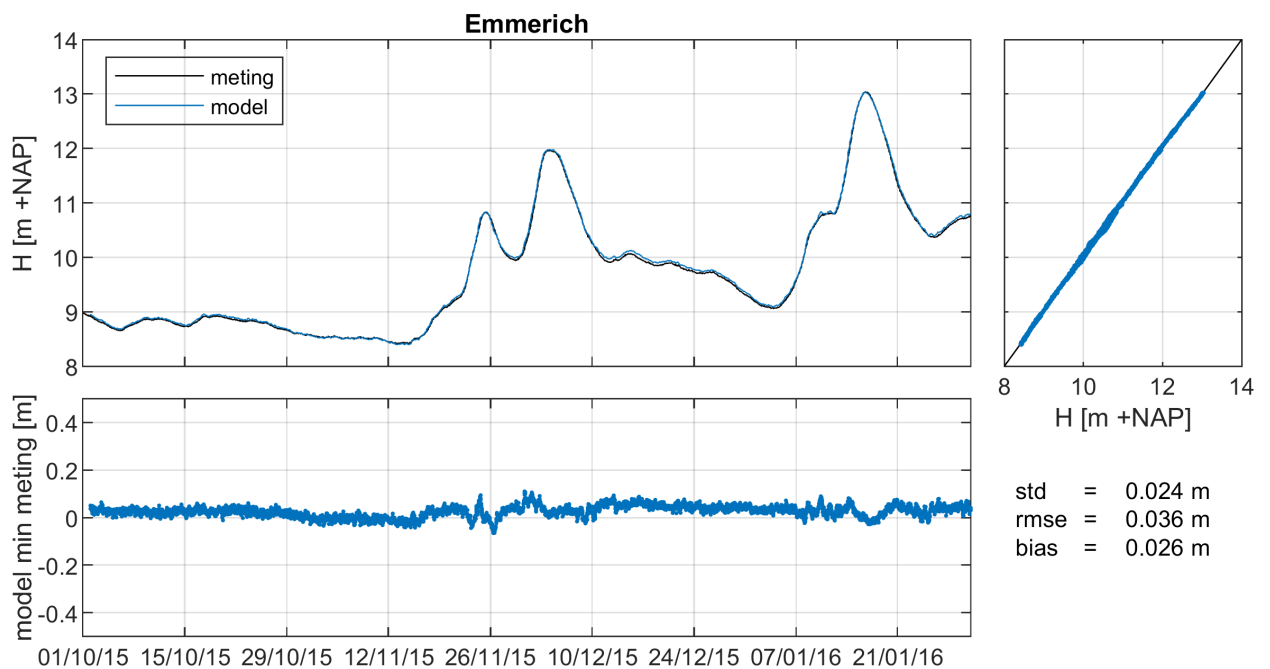




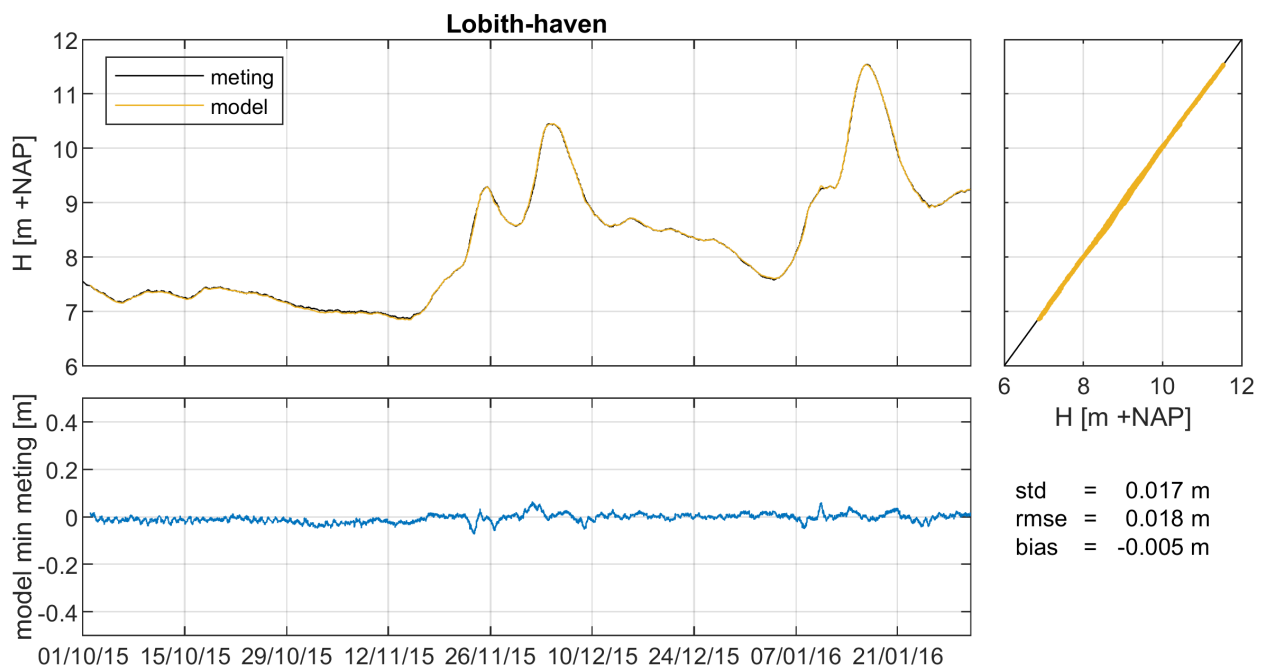
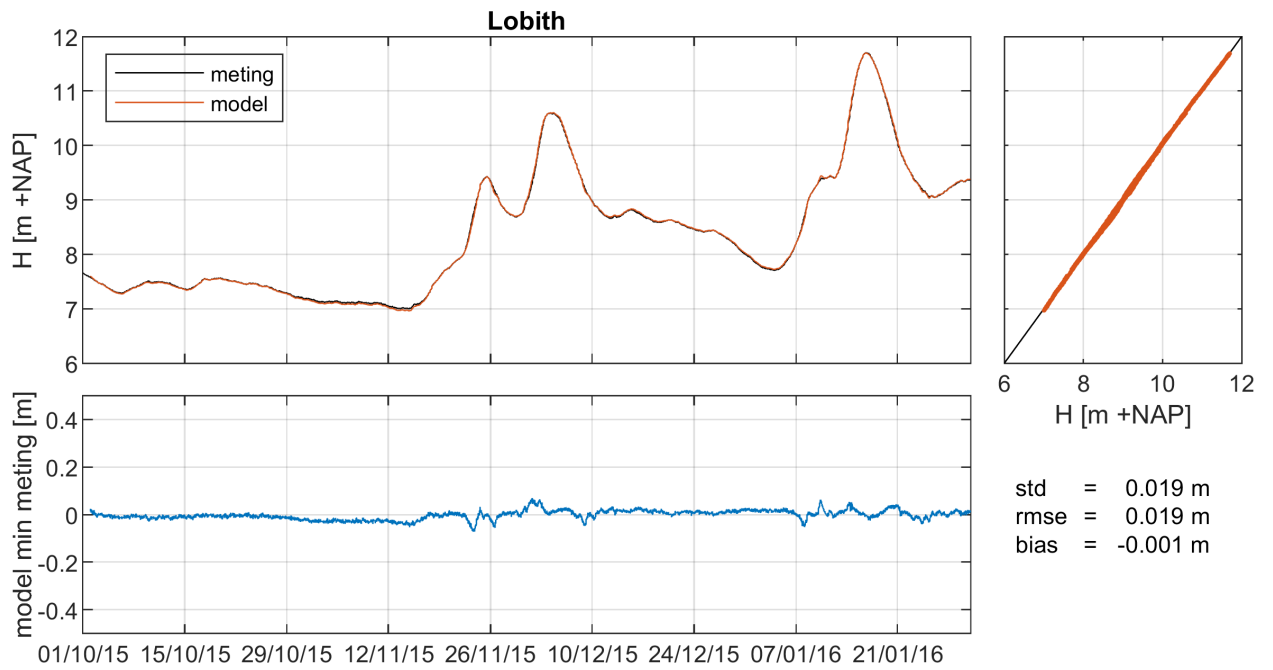
## I.4 j15

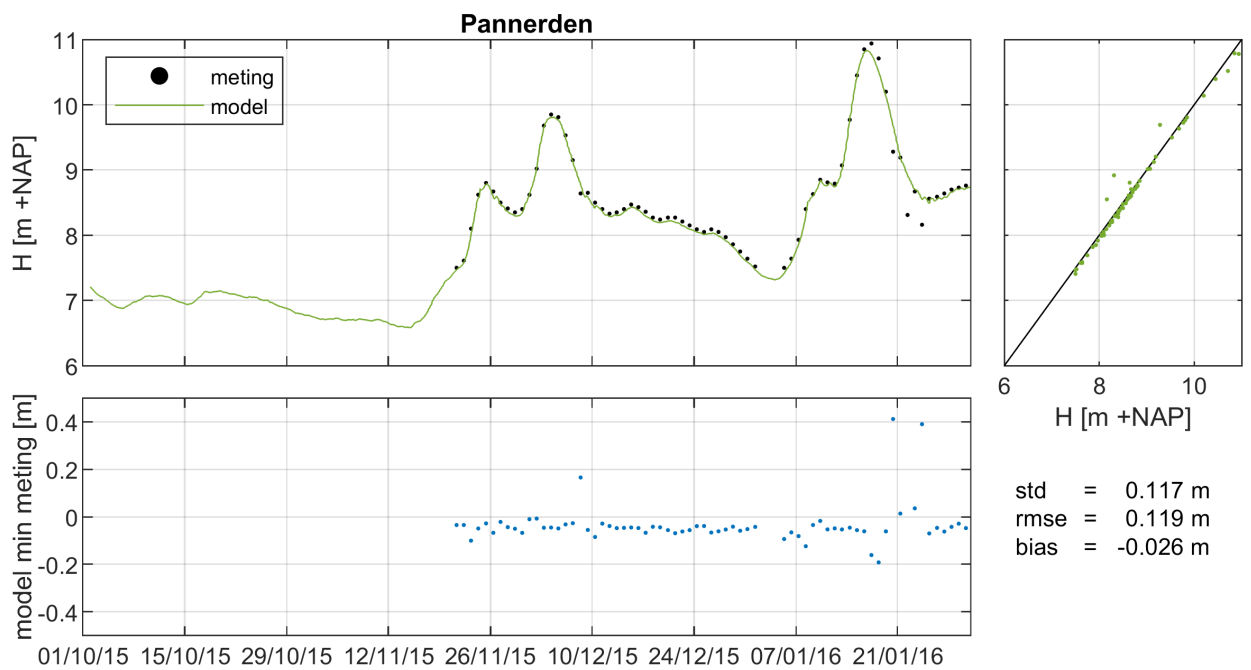
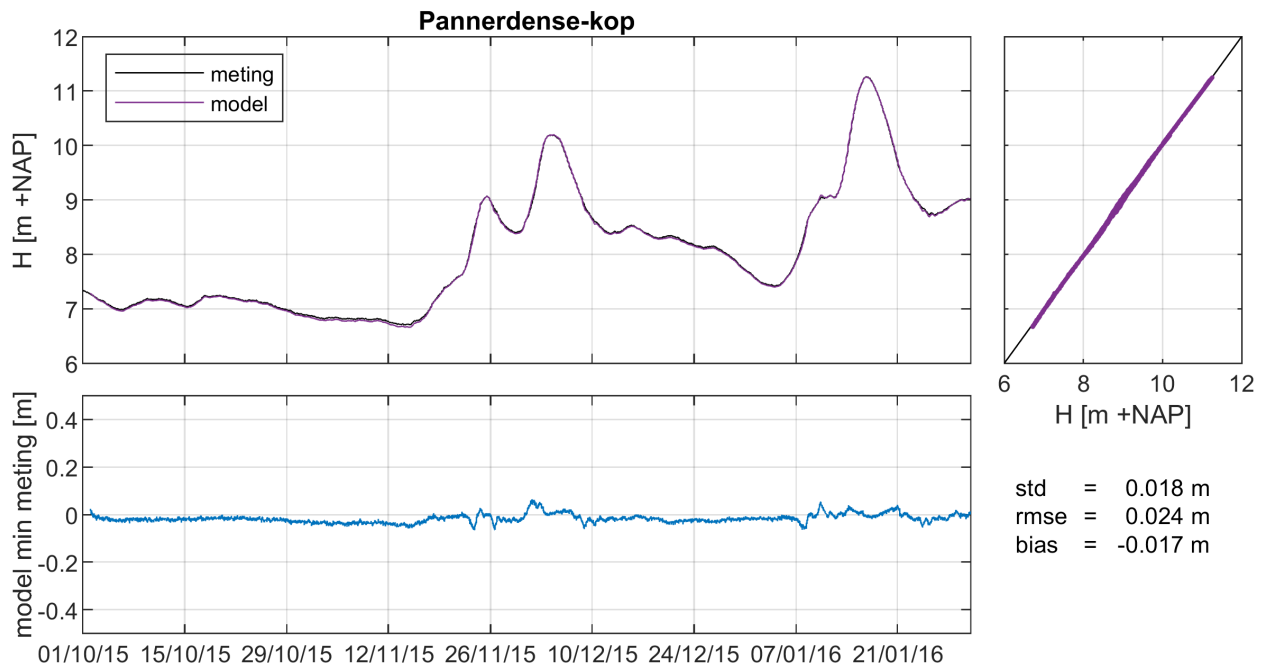
### I.4.1 Waterstanden

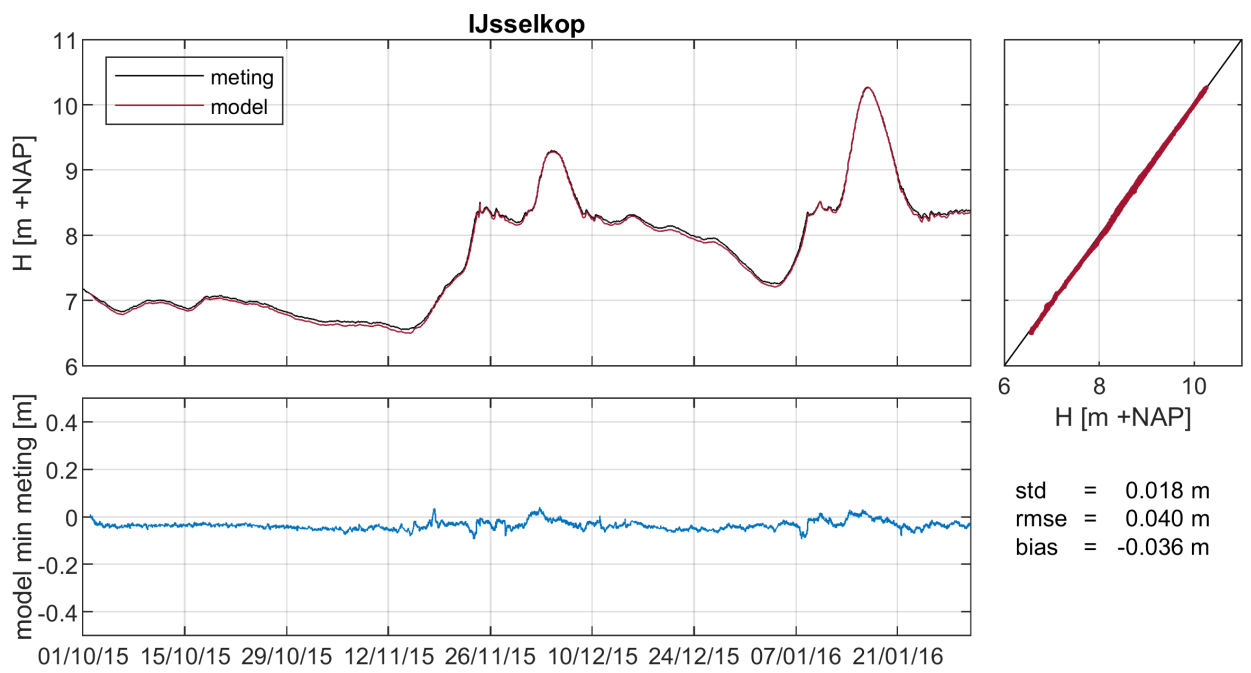
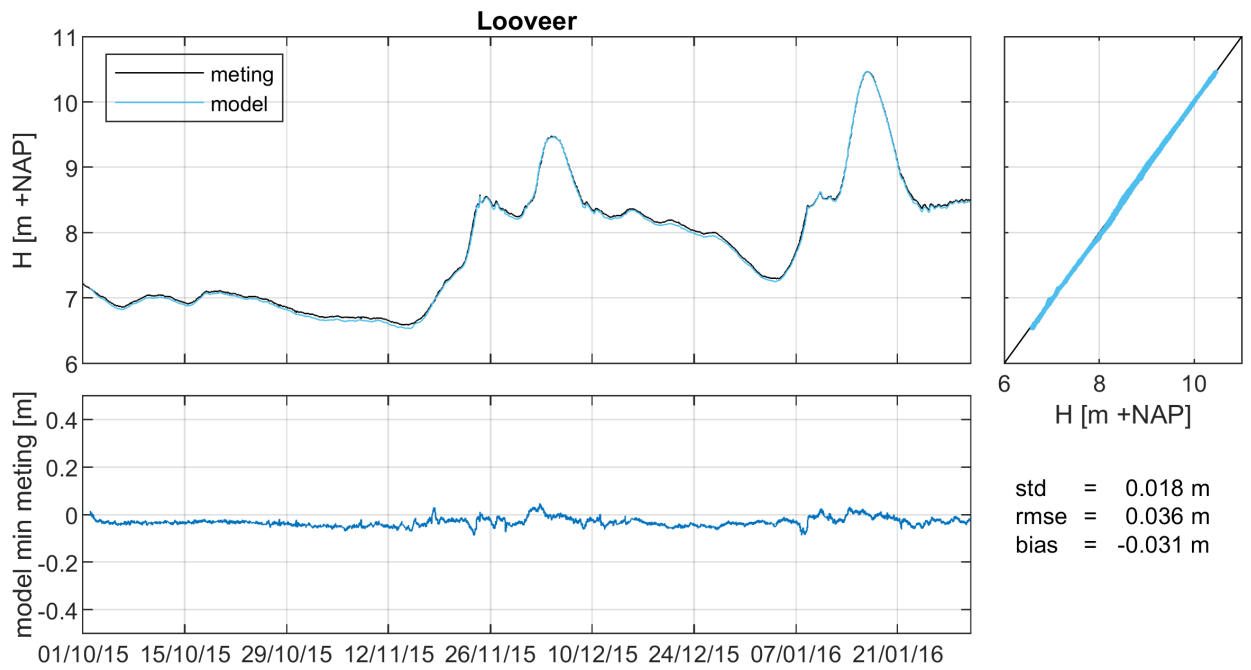
#### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal

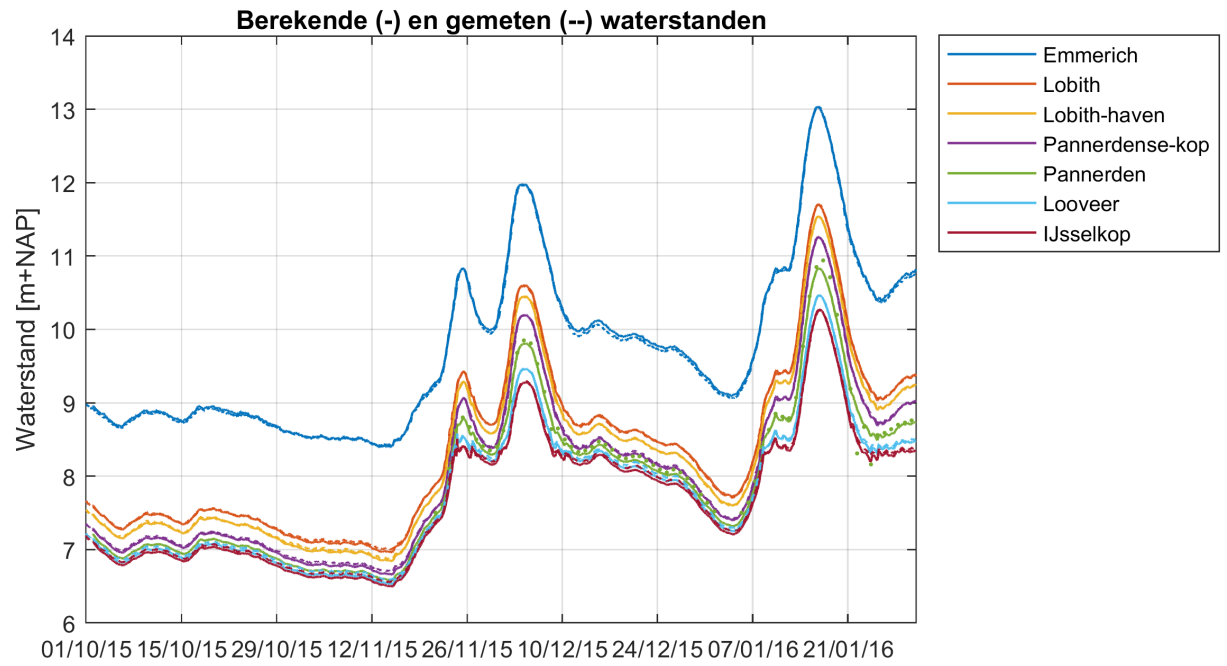




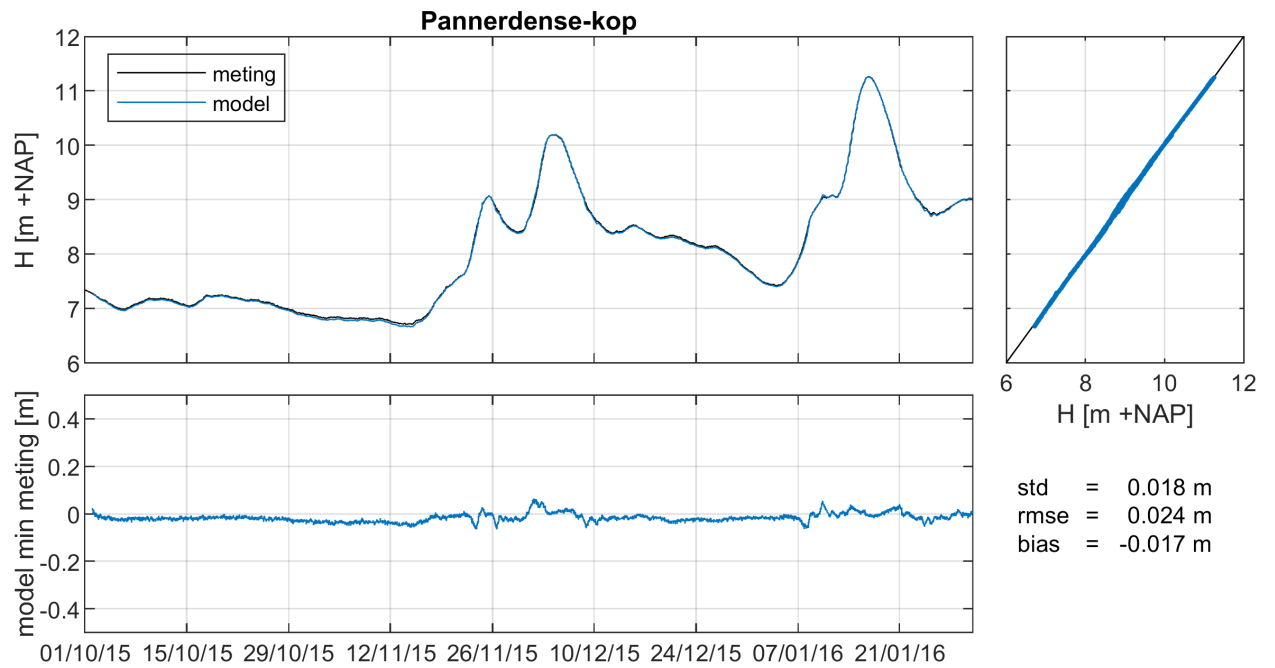


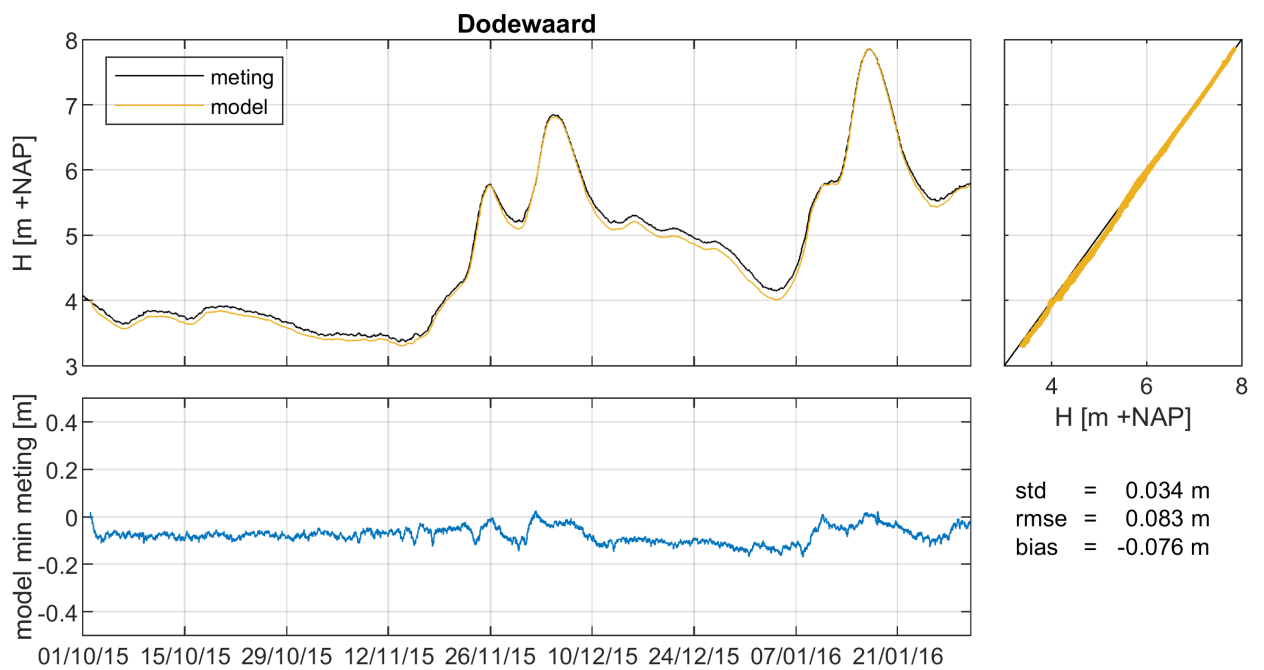
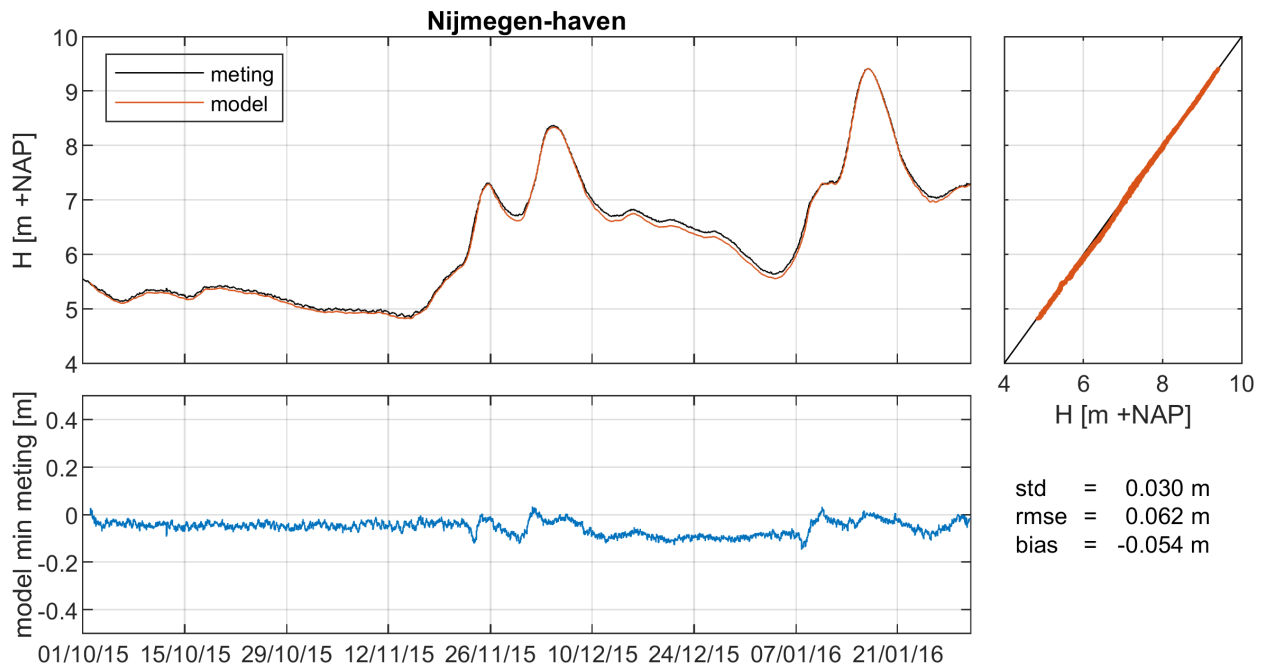


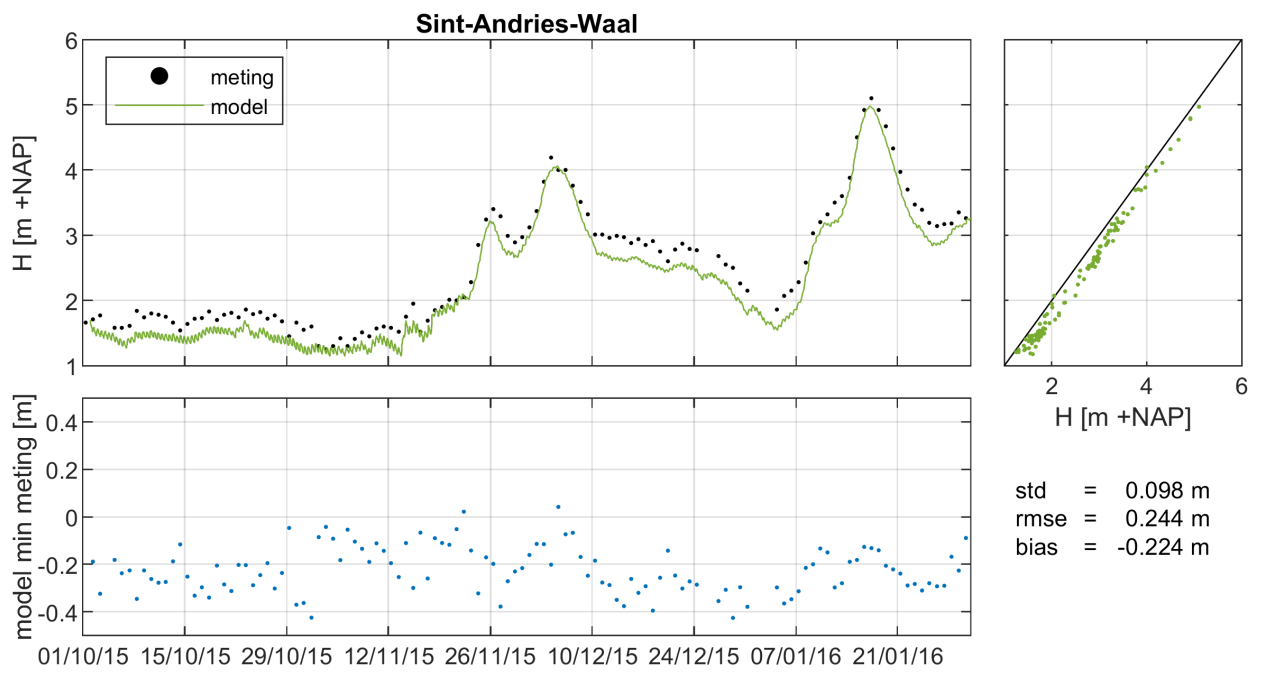
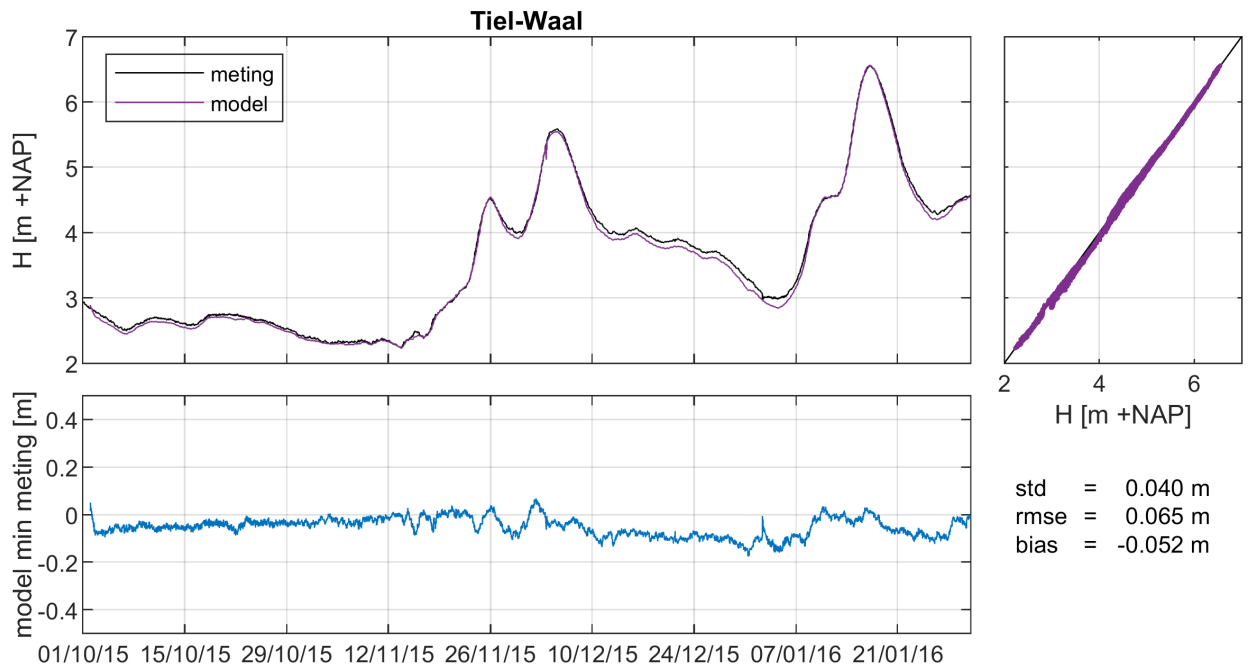


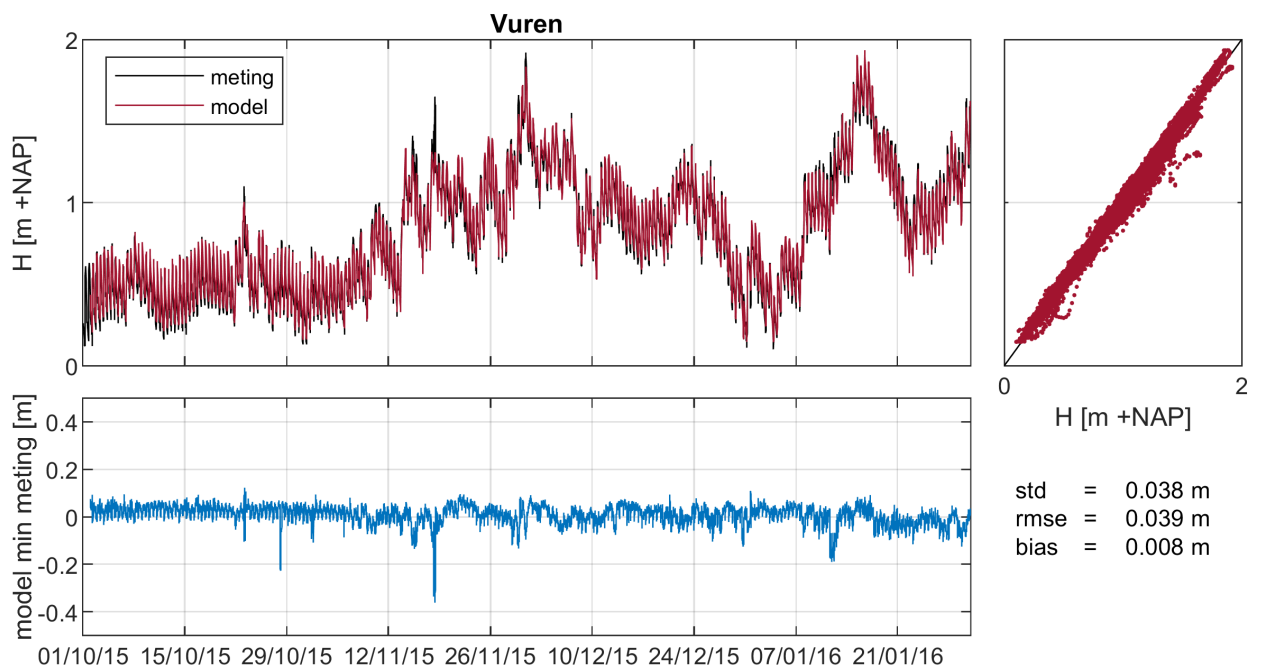
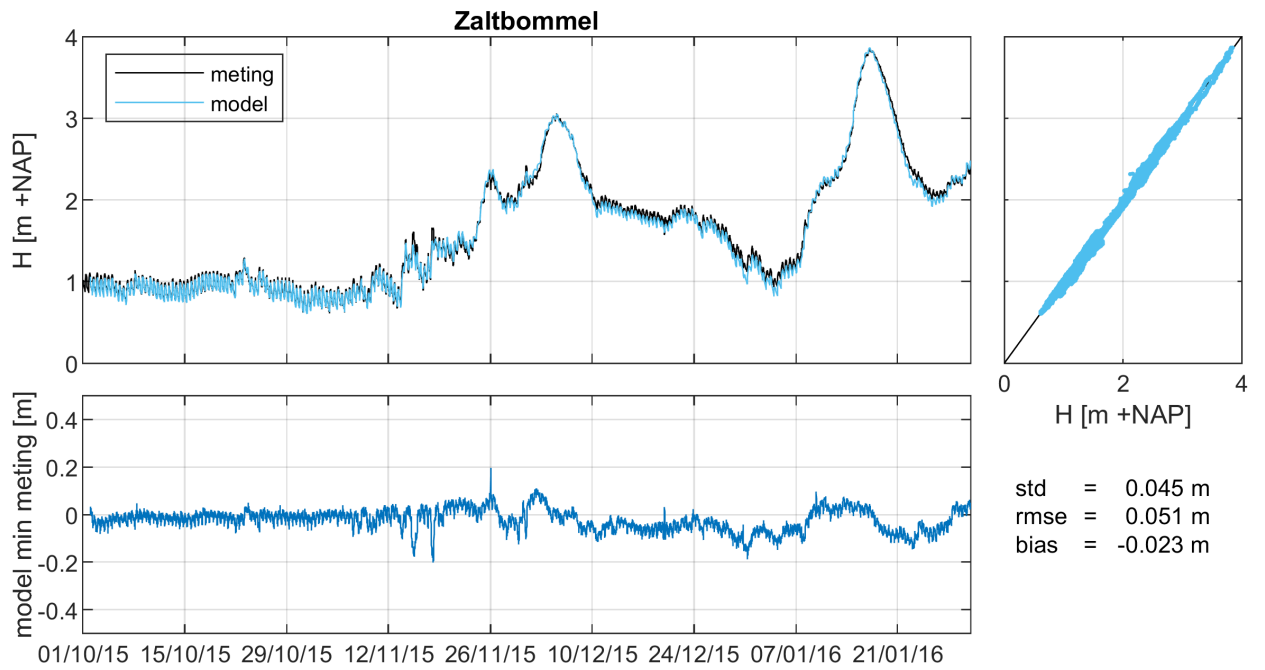


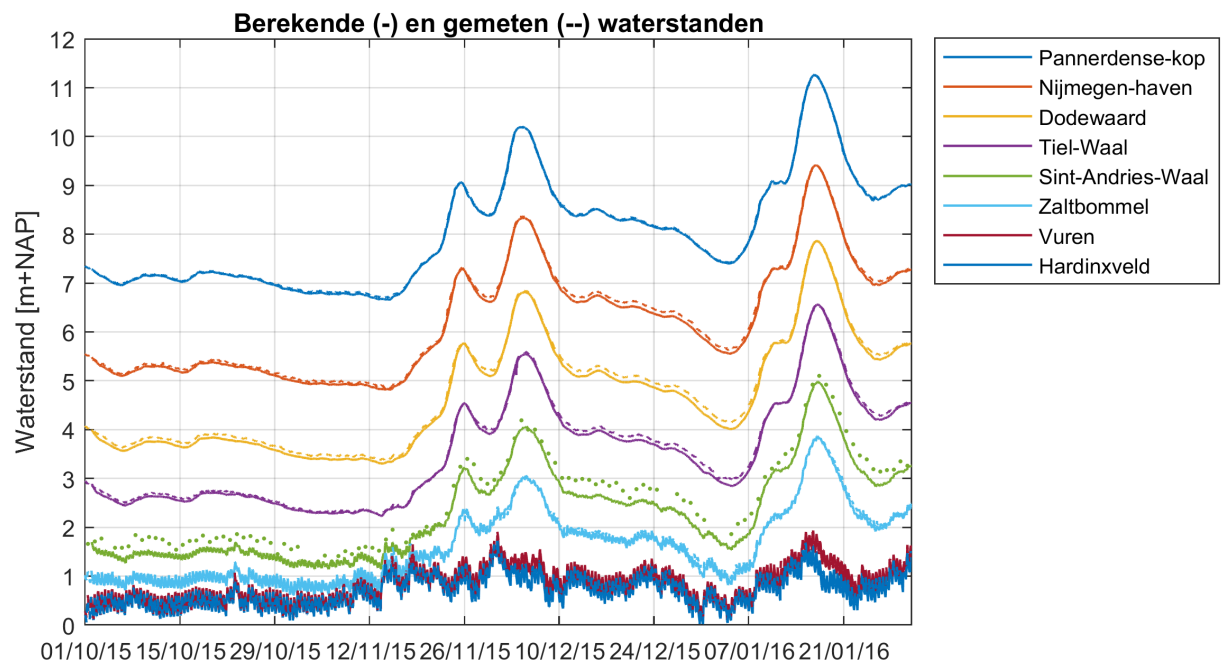
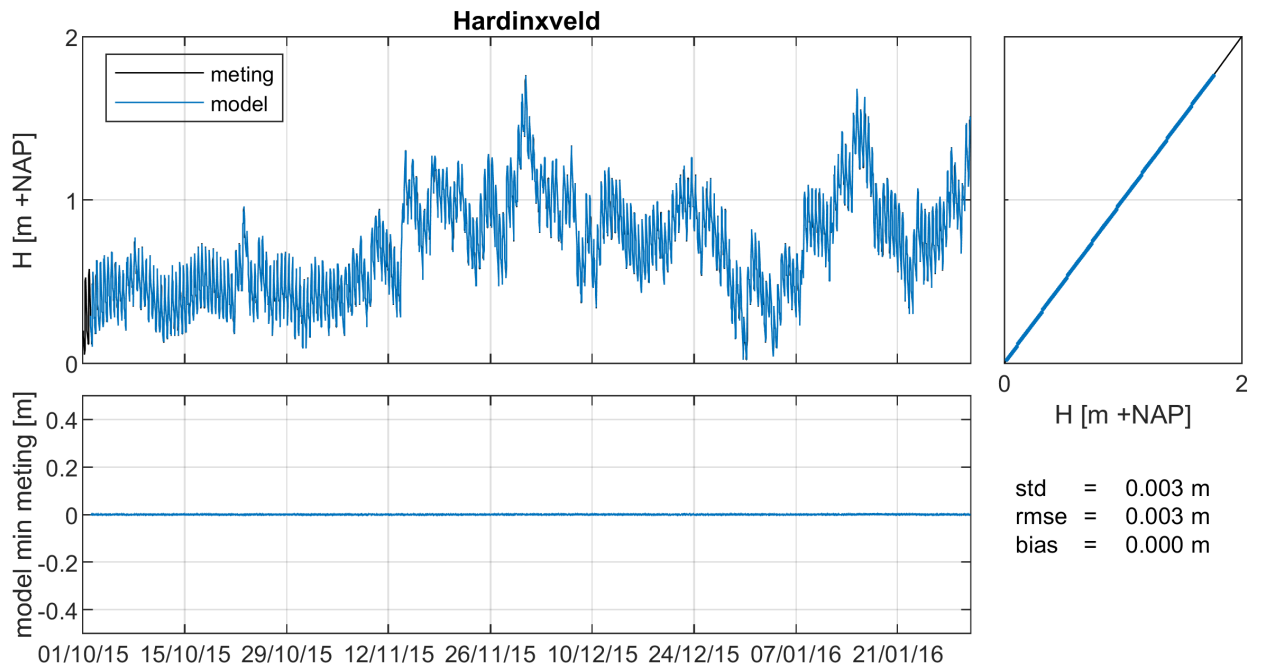
### Waal





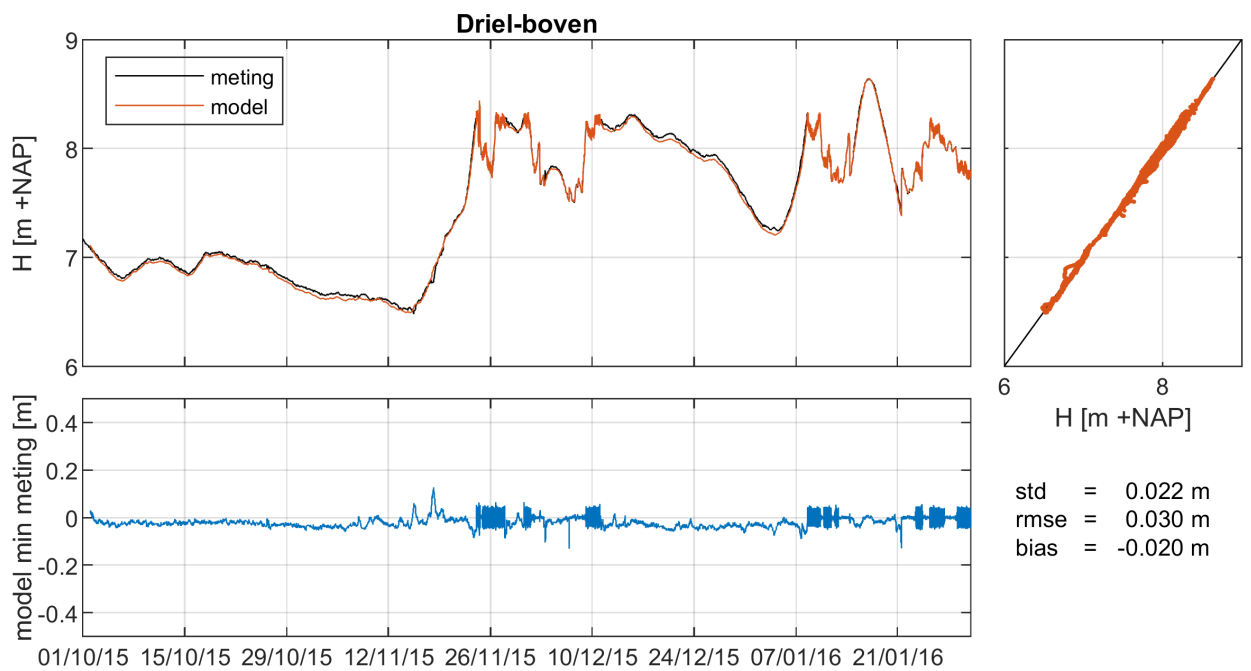
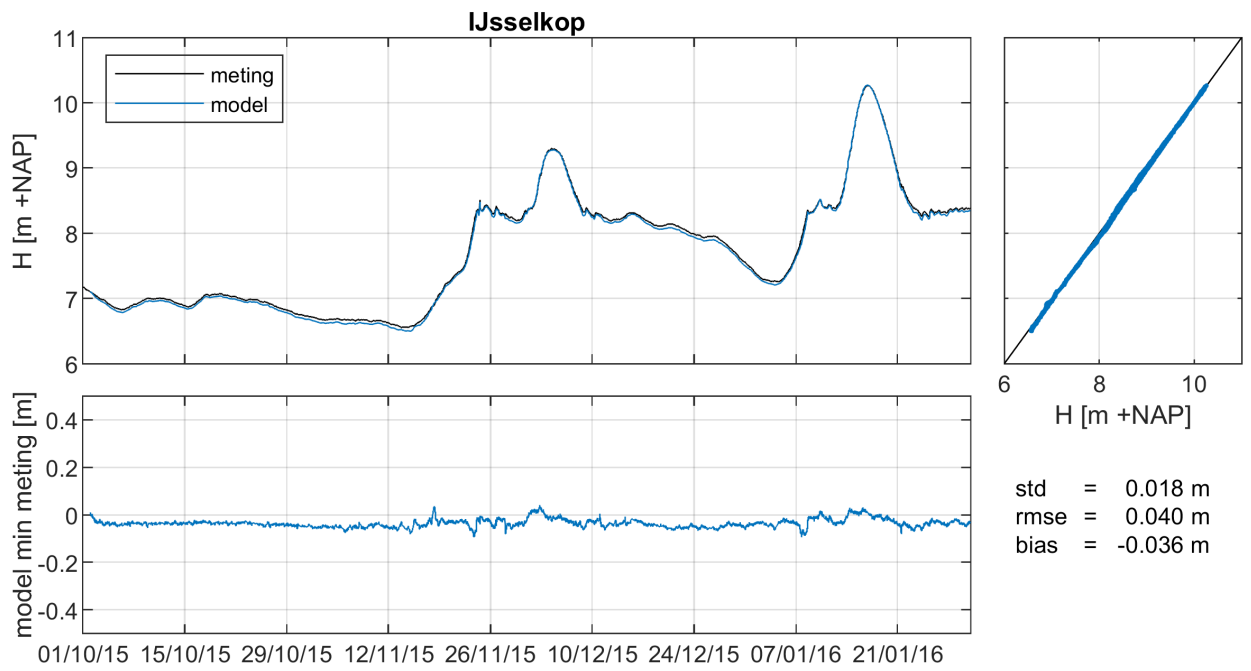


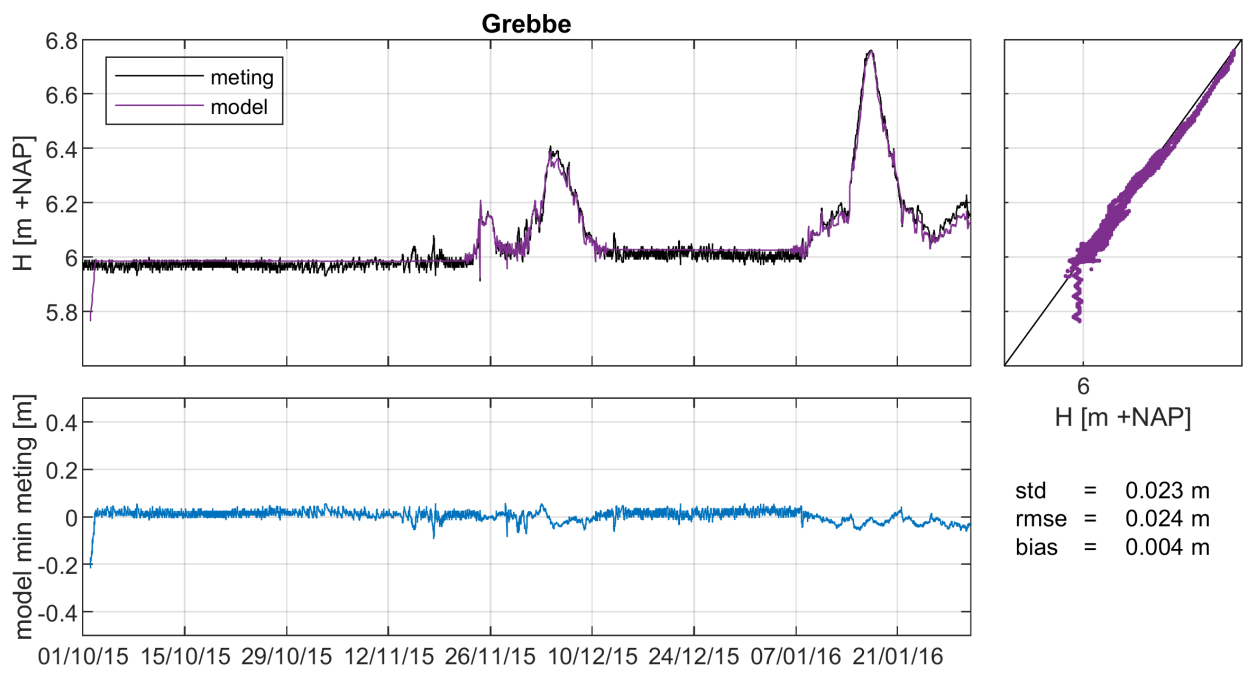
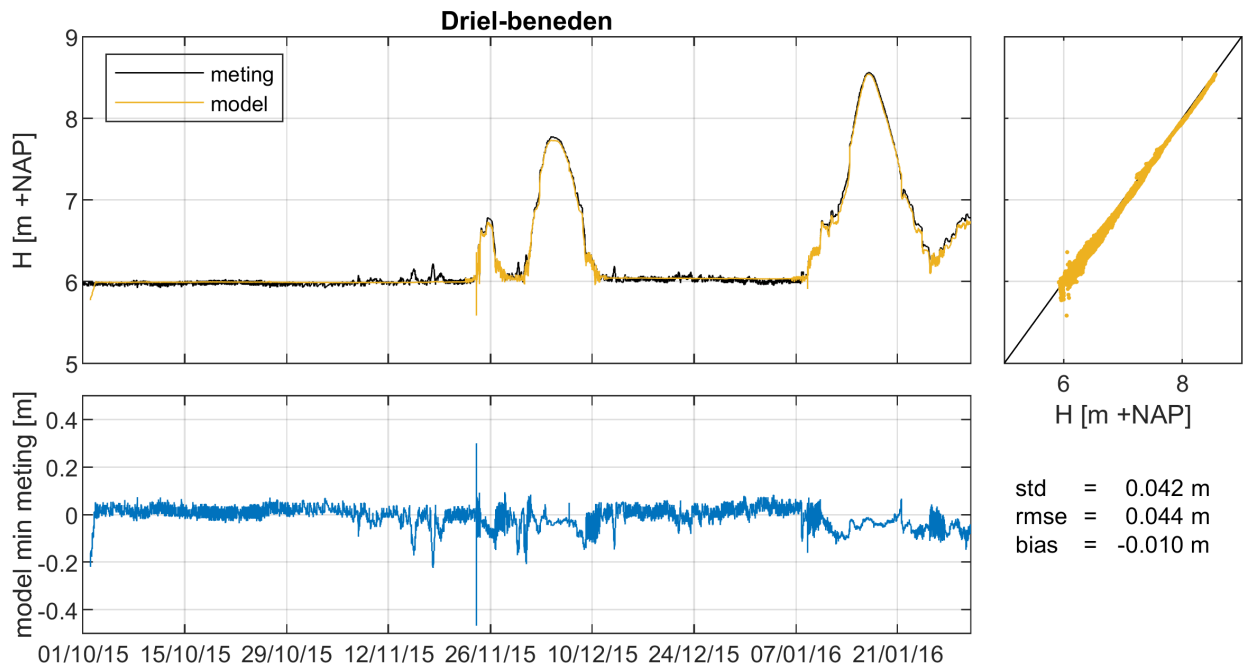




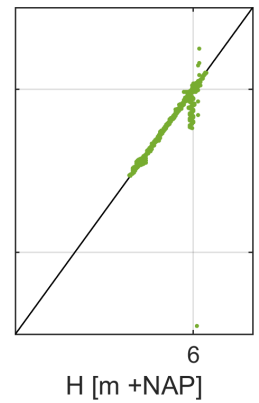
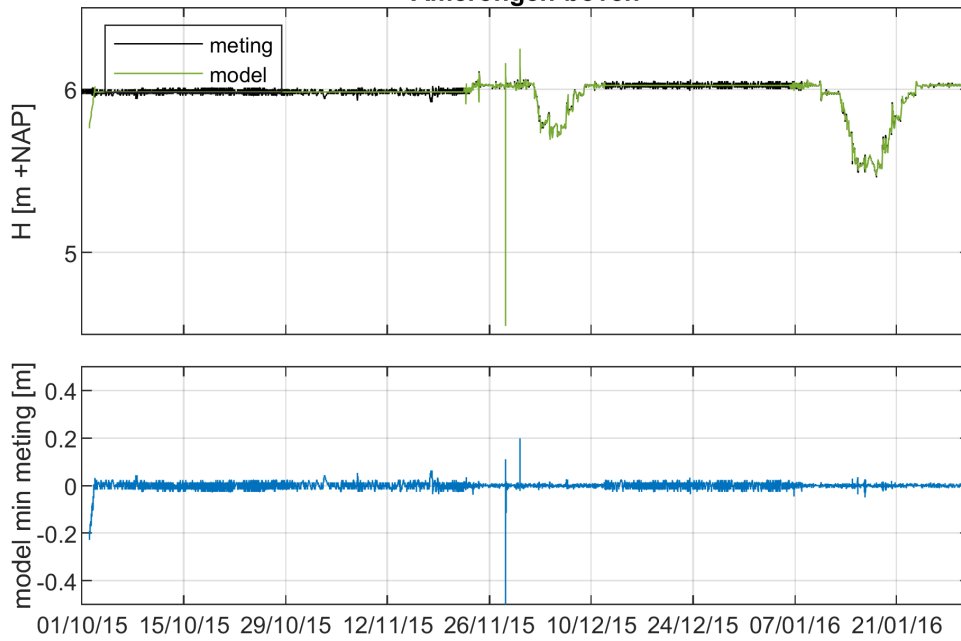


### Neder-Rijn - Lek



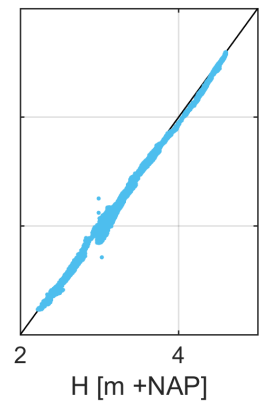
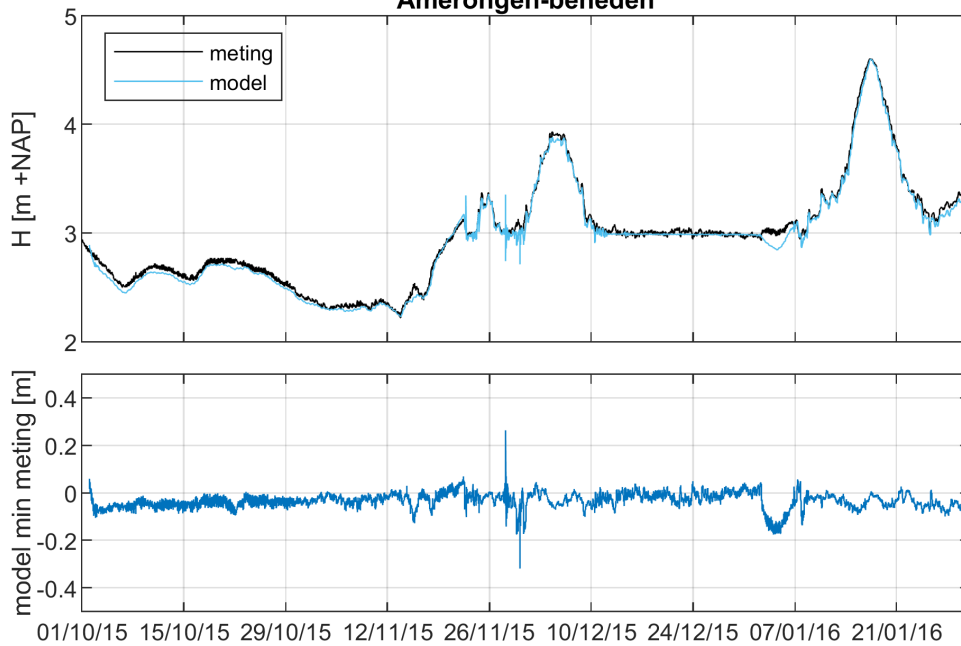


### Amerongen-boven



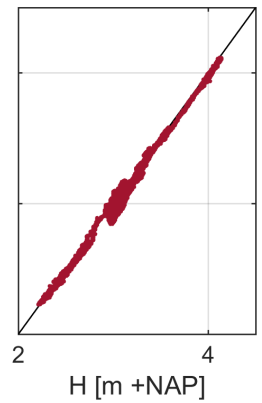
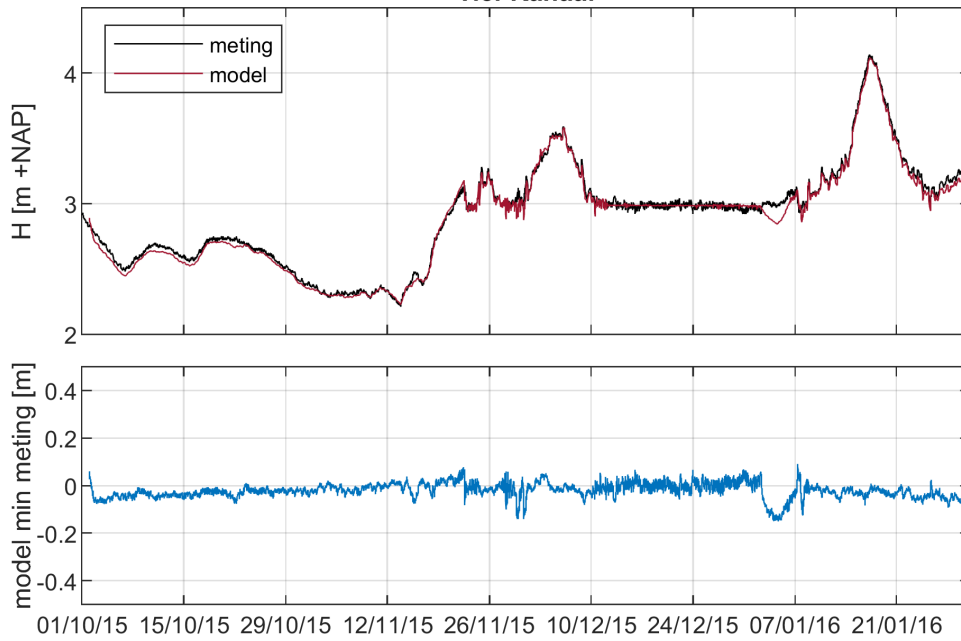
std = 0.019 m  
rmse = 0.019 m  
bias = -0.001 m

### Amerongen-beneden



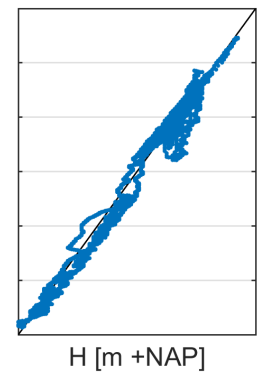
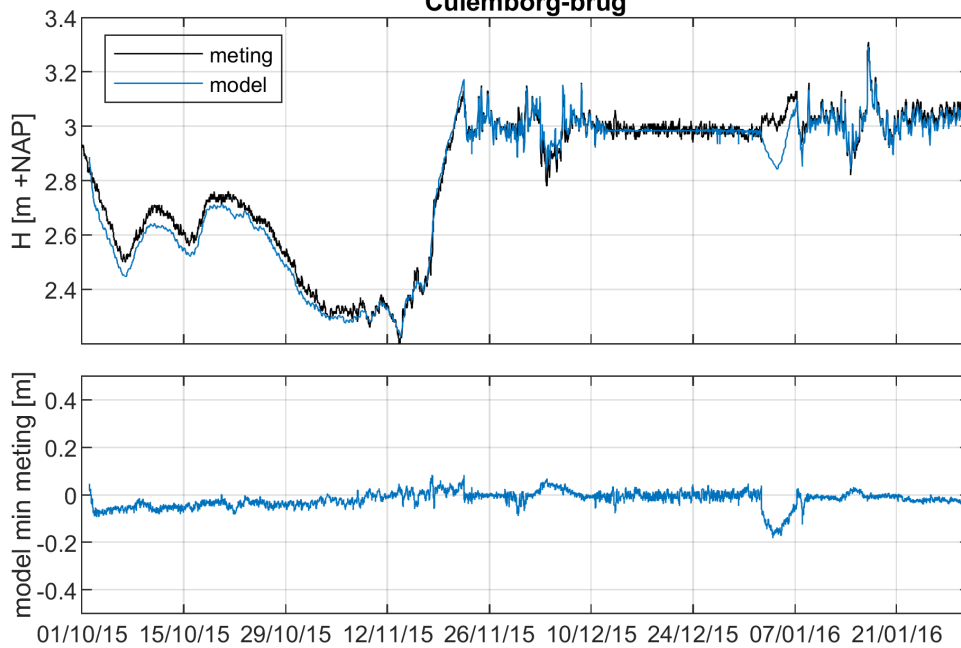
std = 0.033 m  
rmse = 0.047 m  
bias = -0.034 m

### Tiel-Kanaal

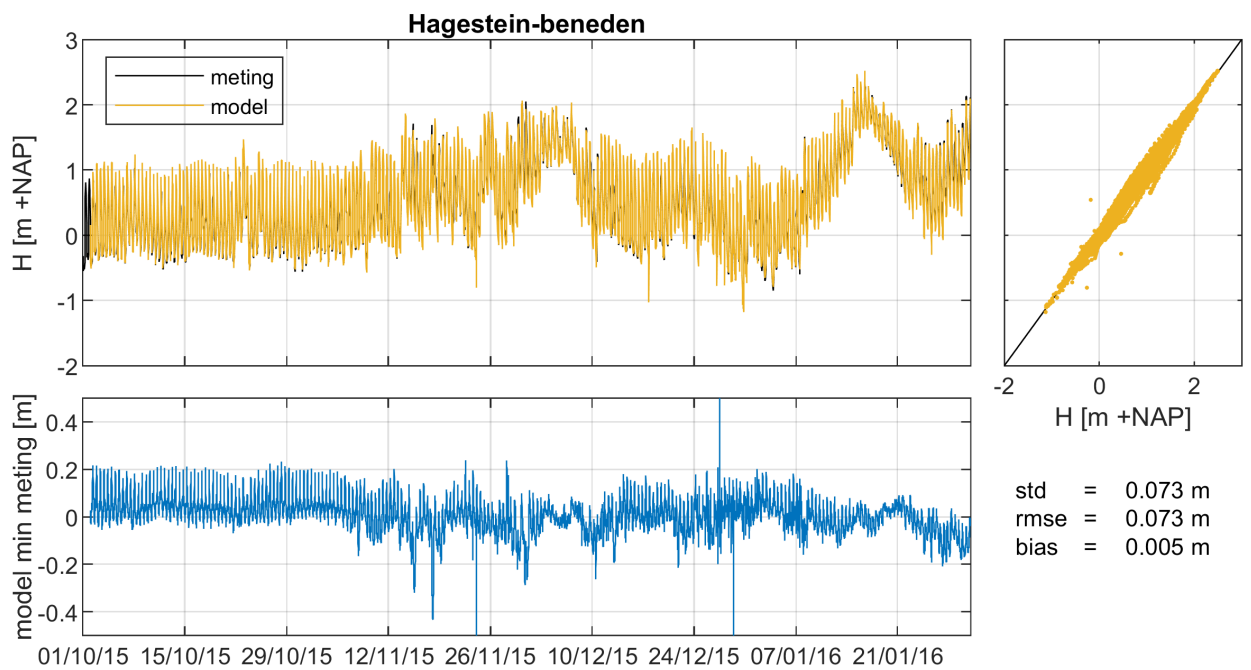
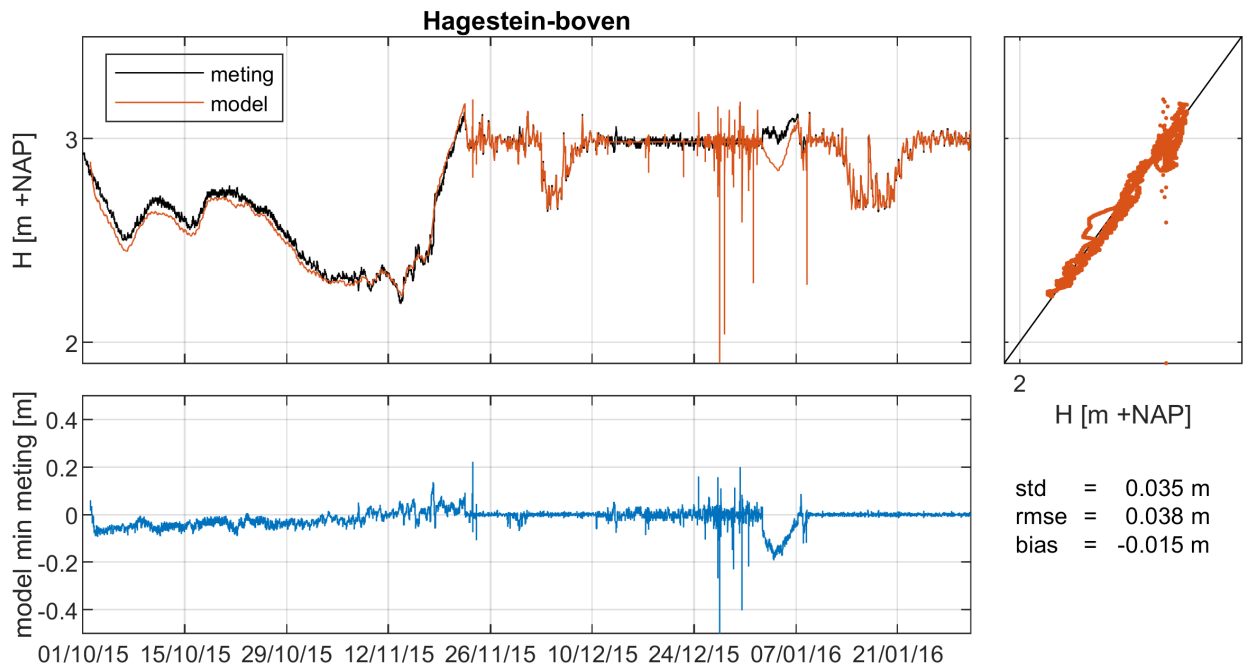


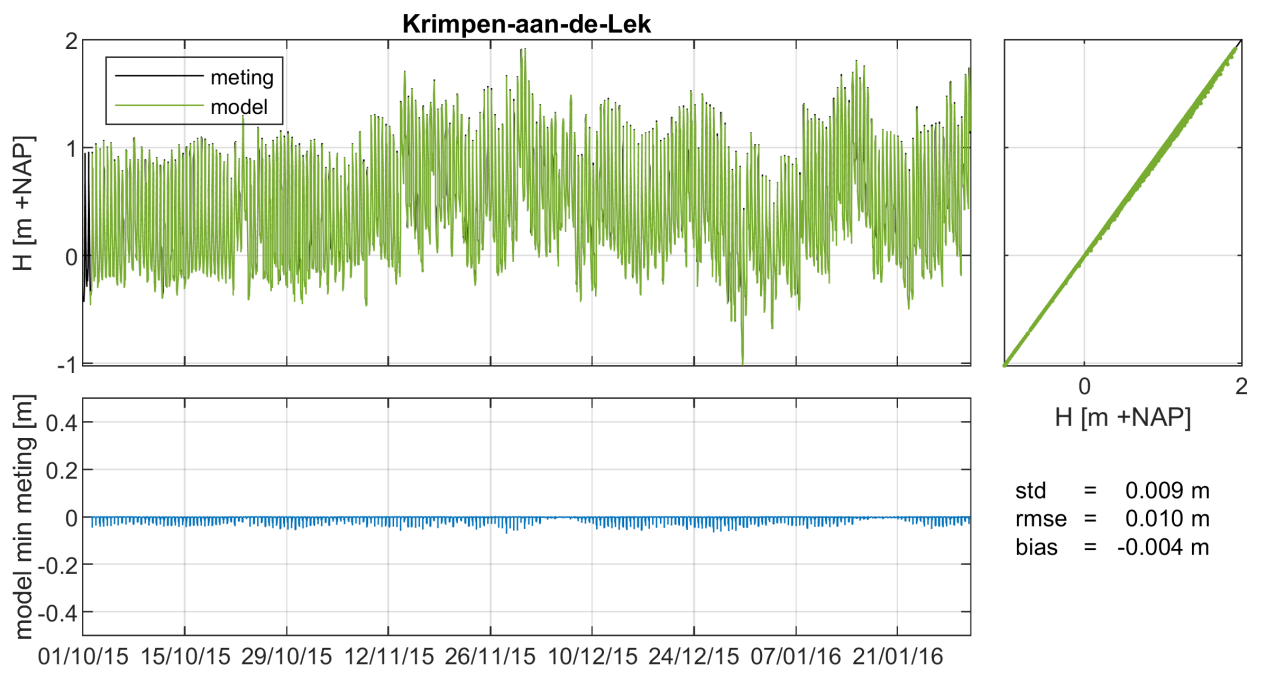
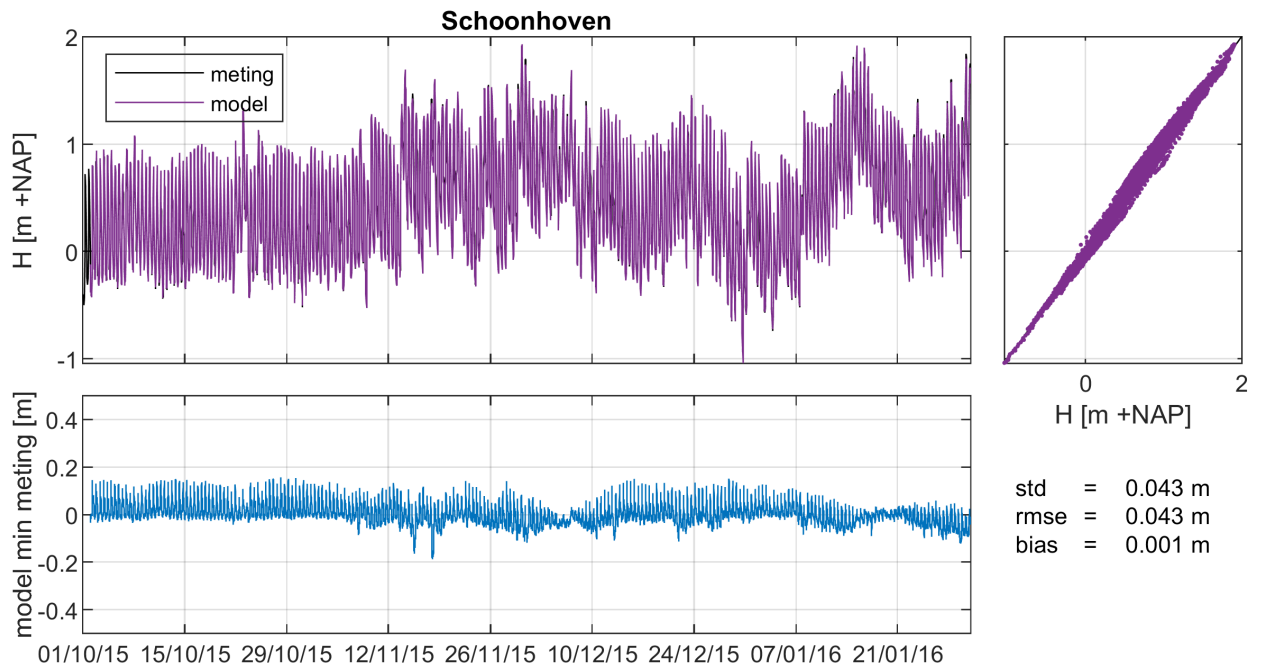
std = 0.032 m  
rmse = 0.038 m  
bias = -0.021 m

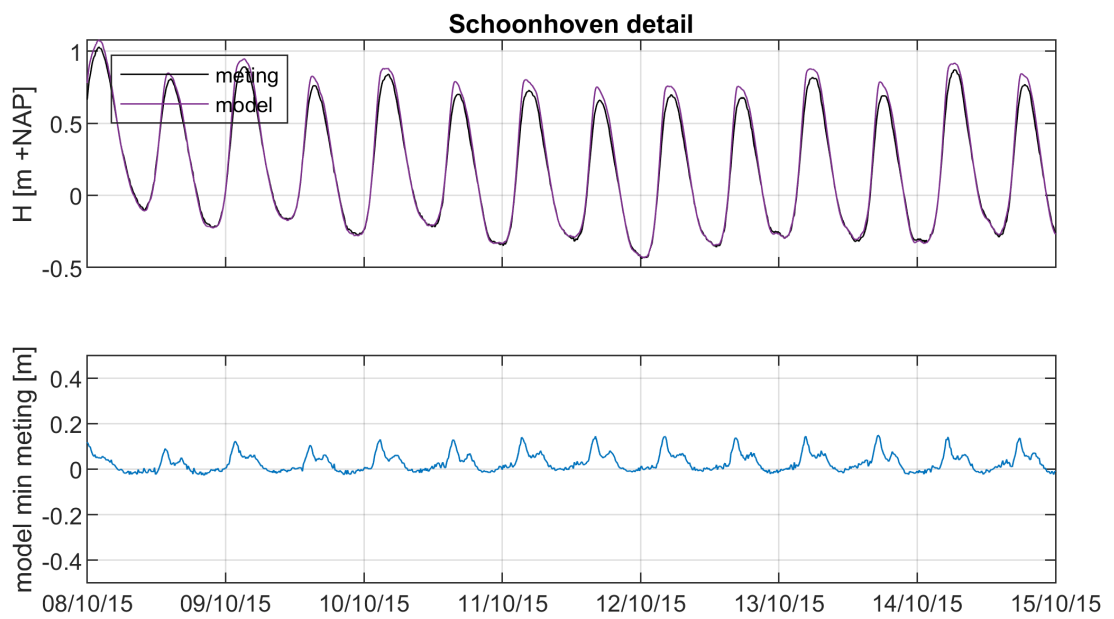
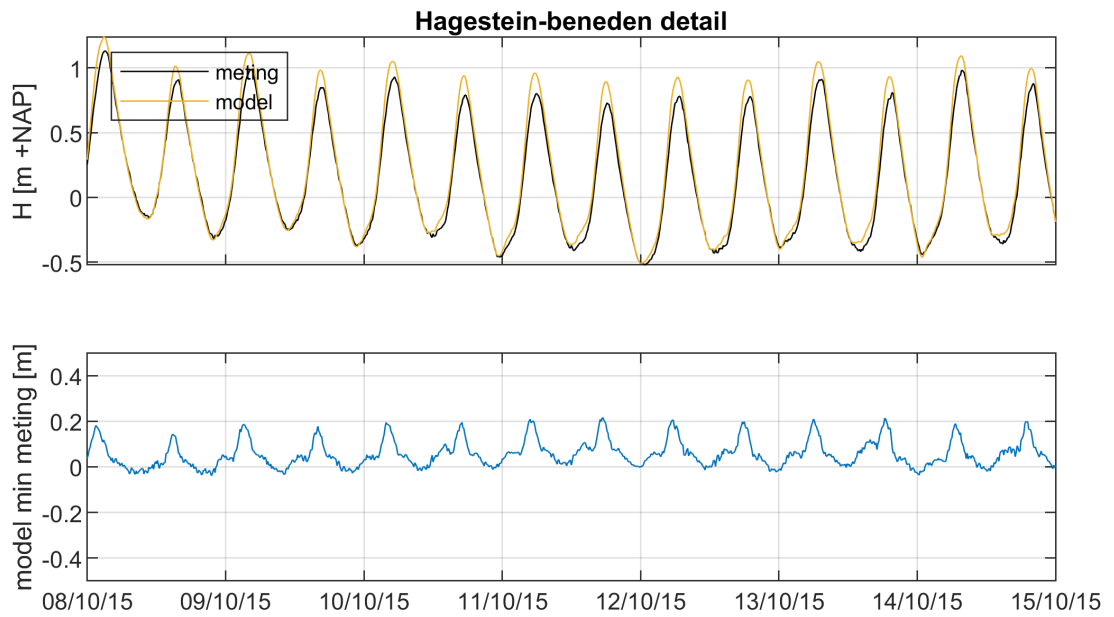
### Culemborg-brug

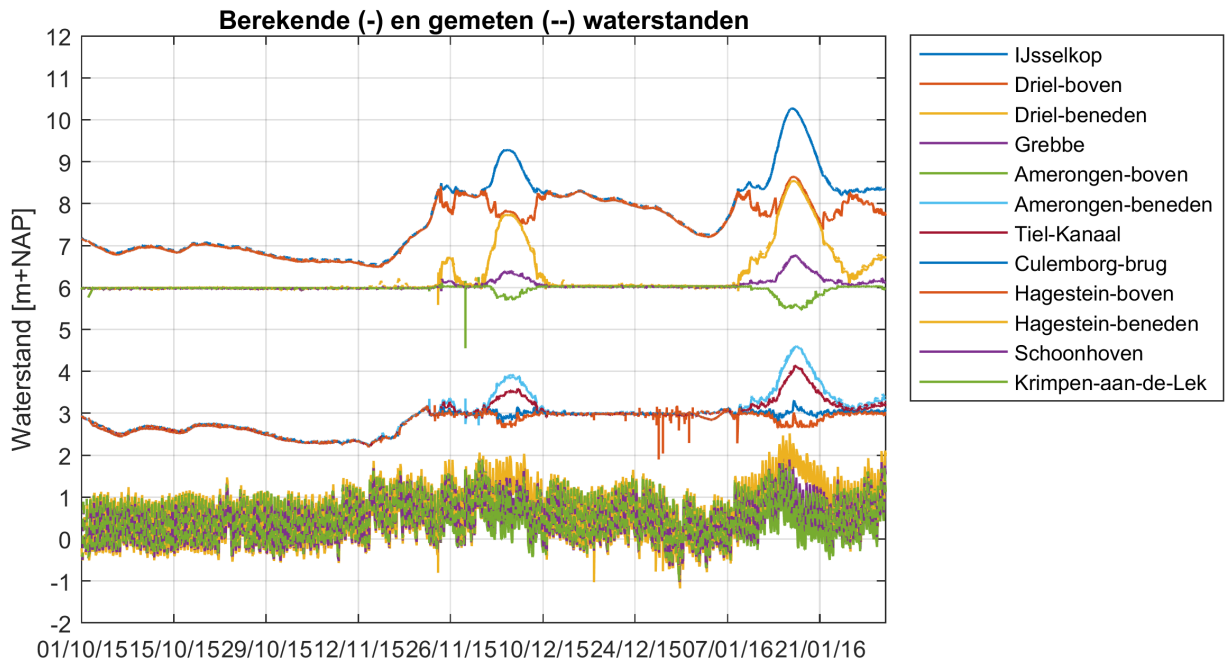


std = 0.034 m  
rmse = 0.039 m  
bias = -0.020 m

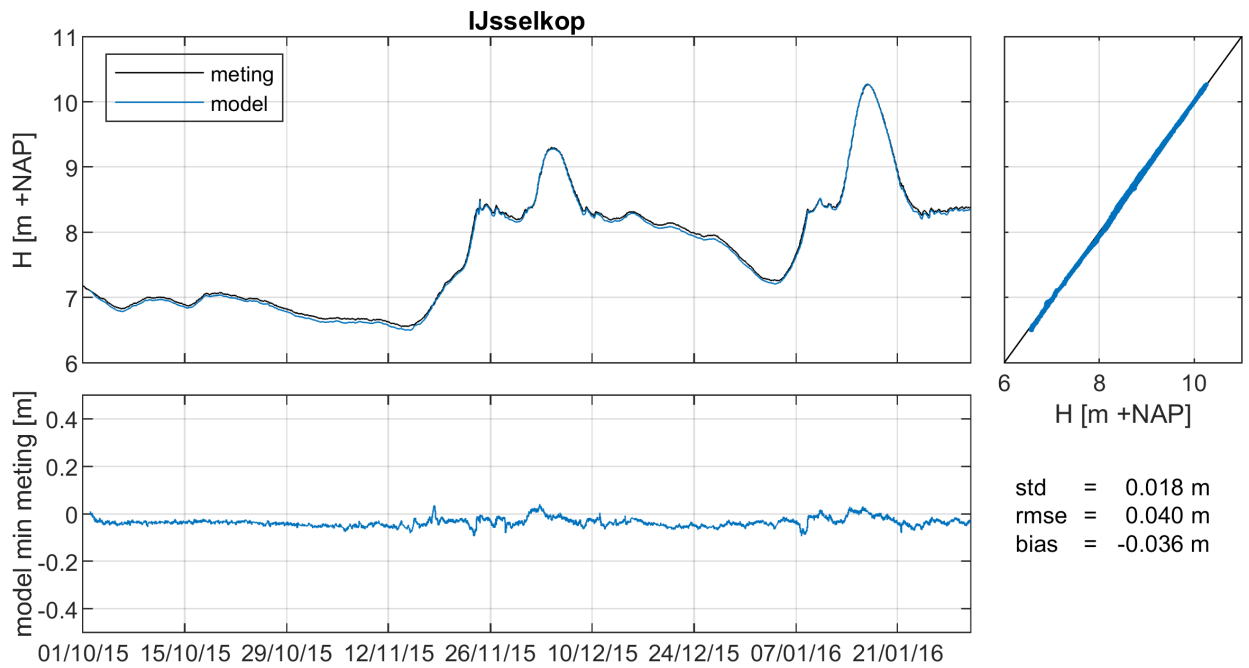




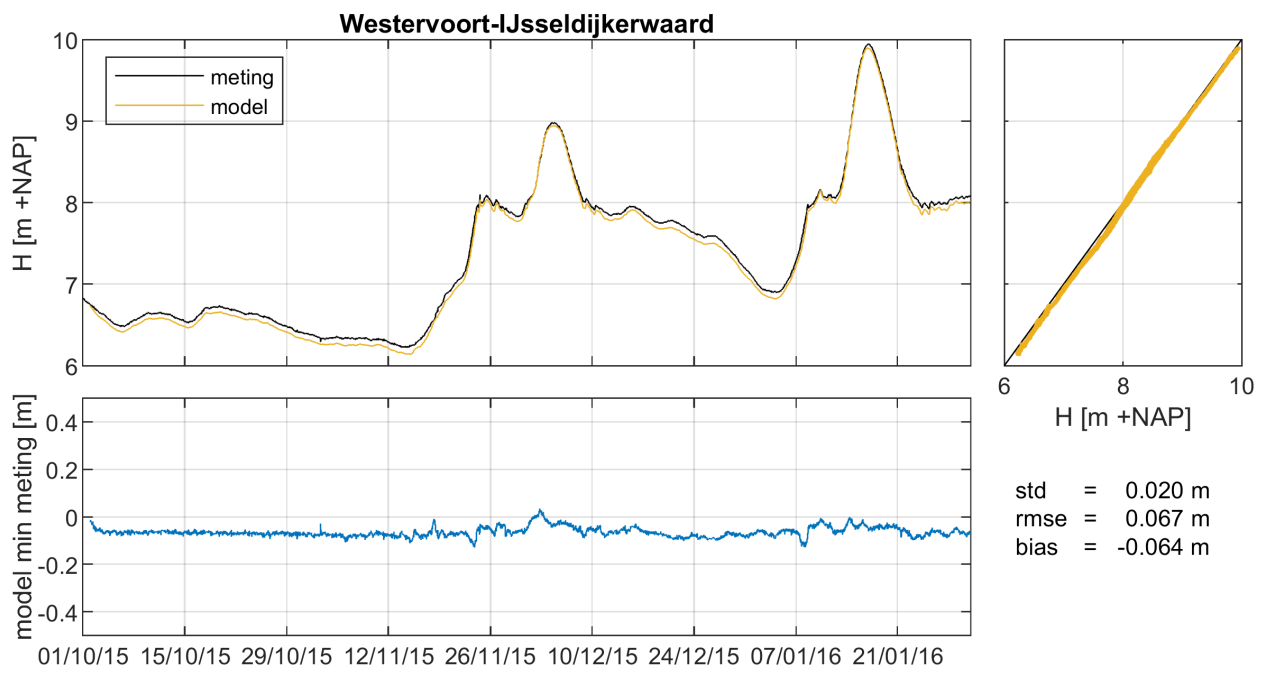
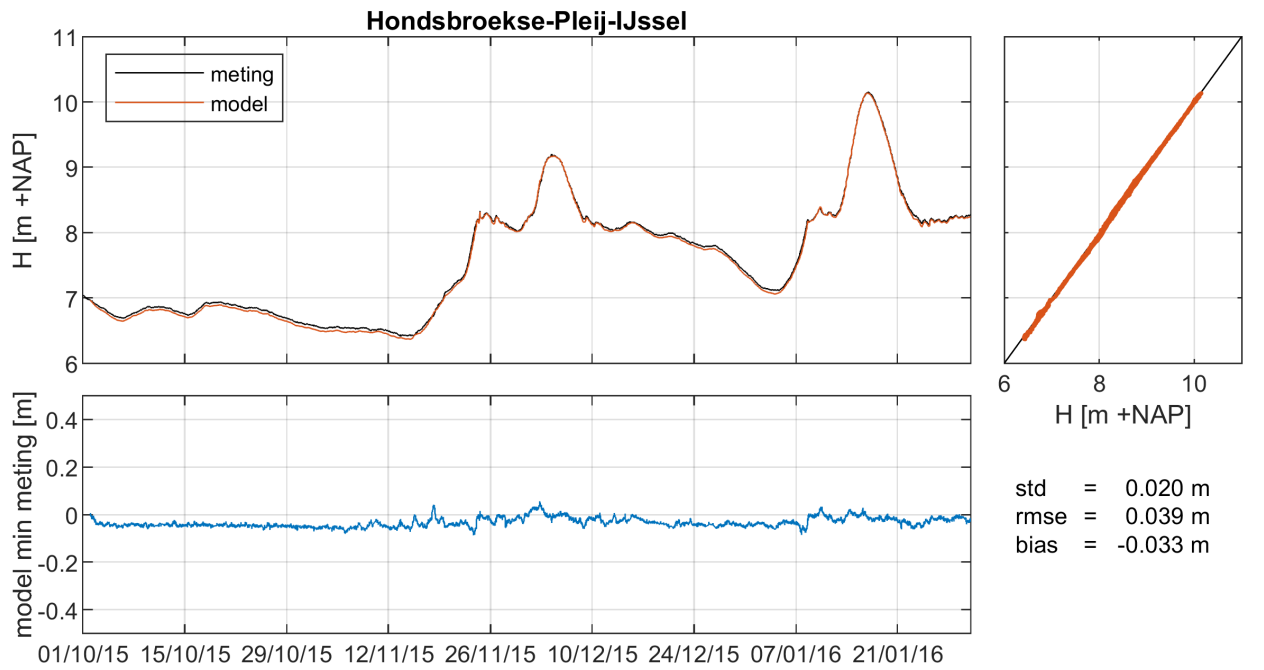


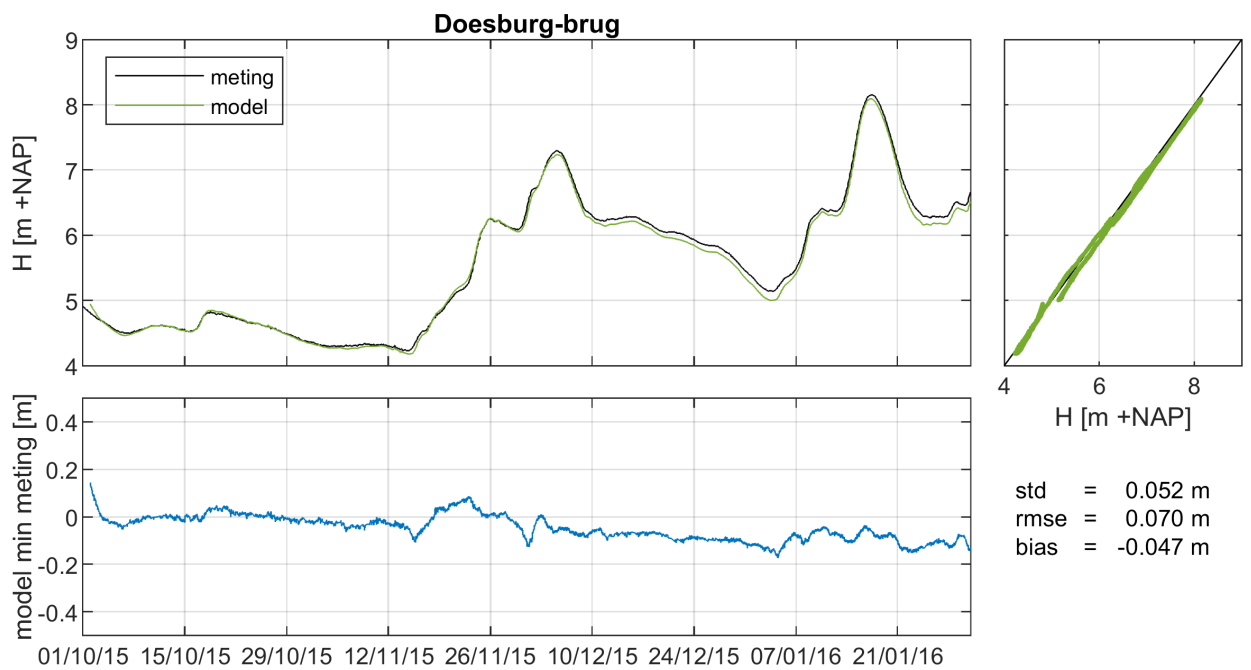
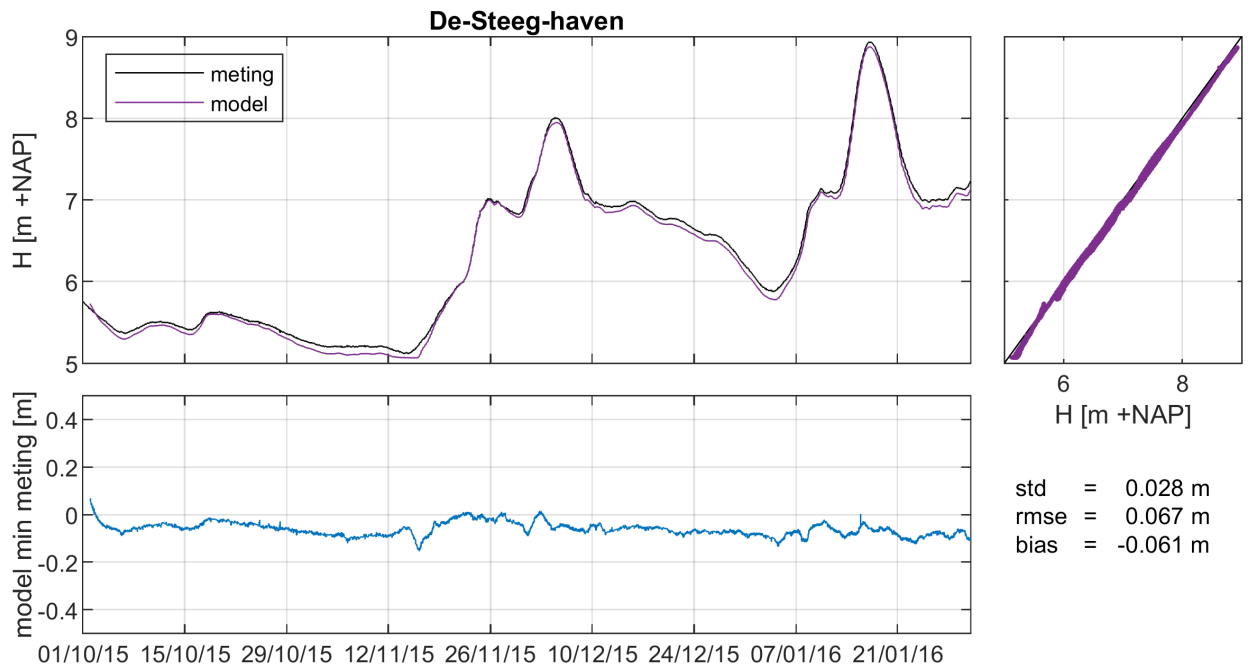


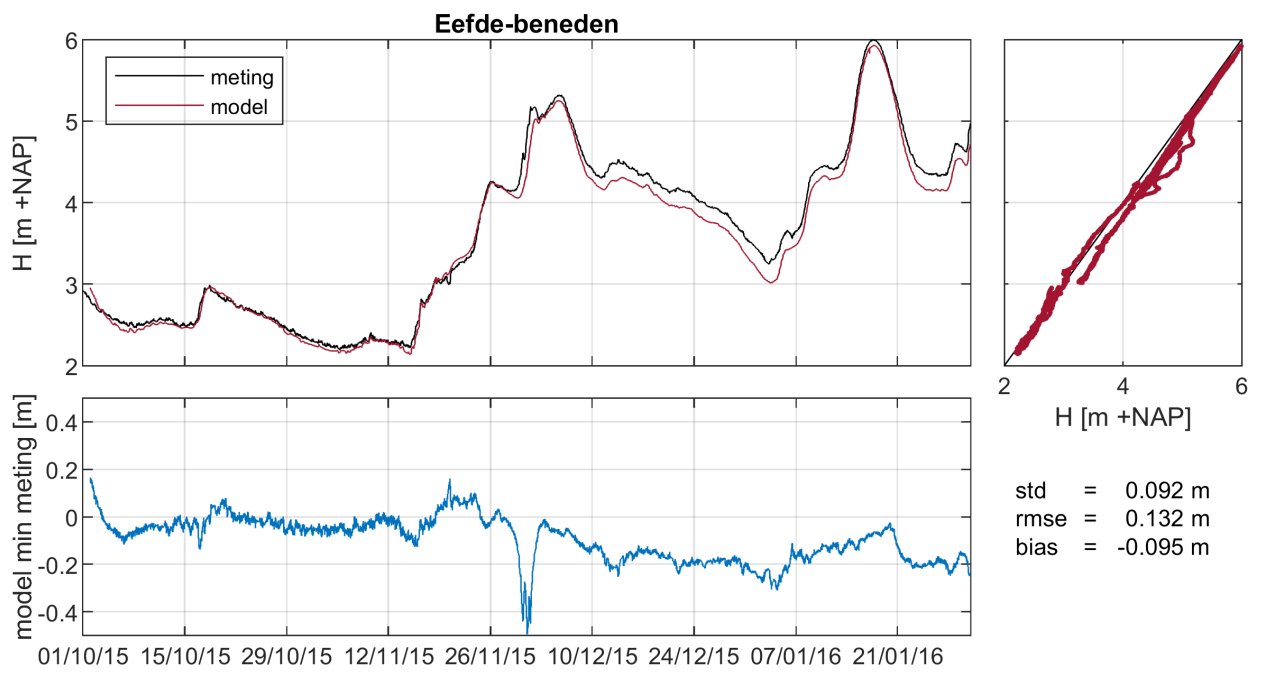
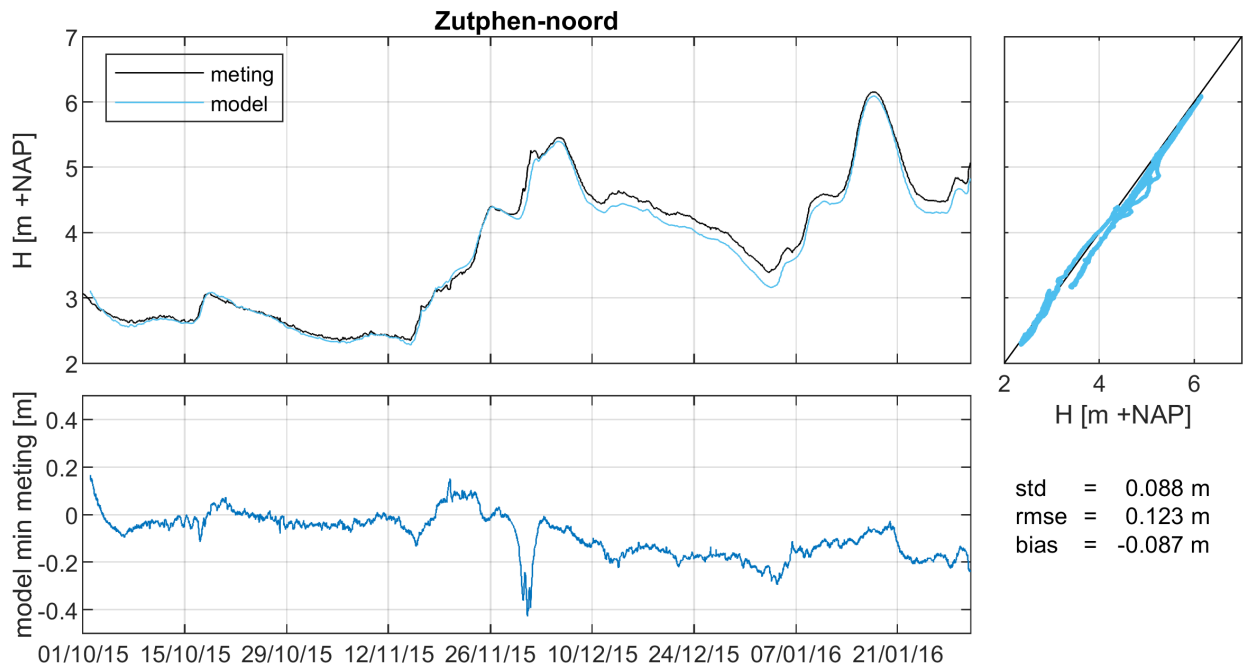
## IJssel

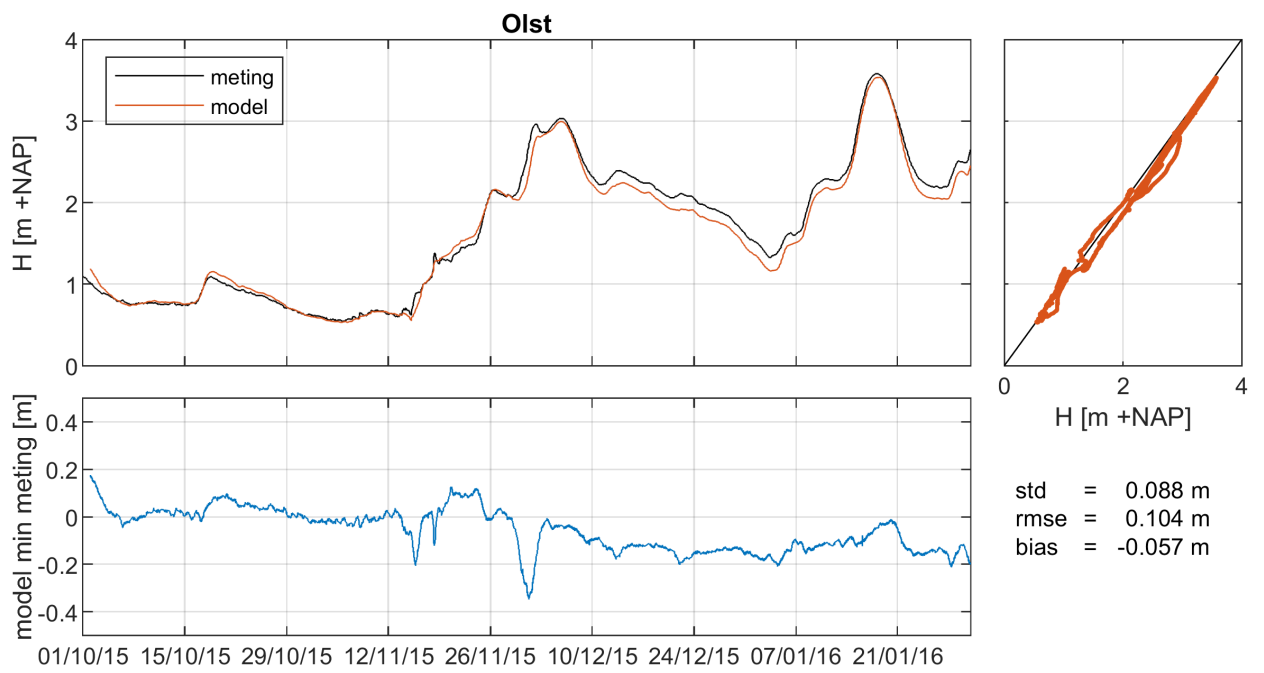
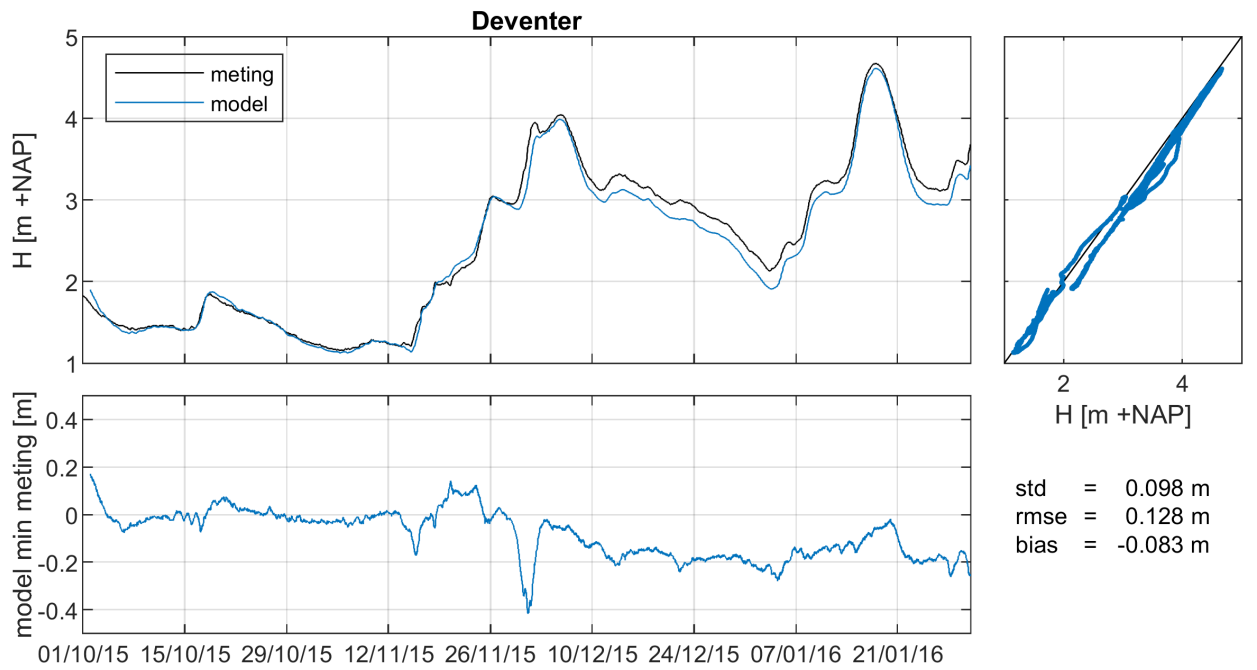


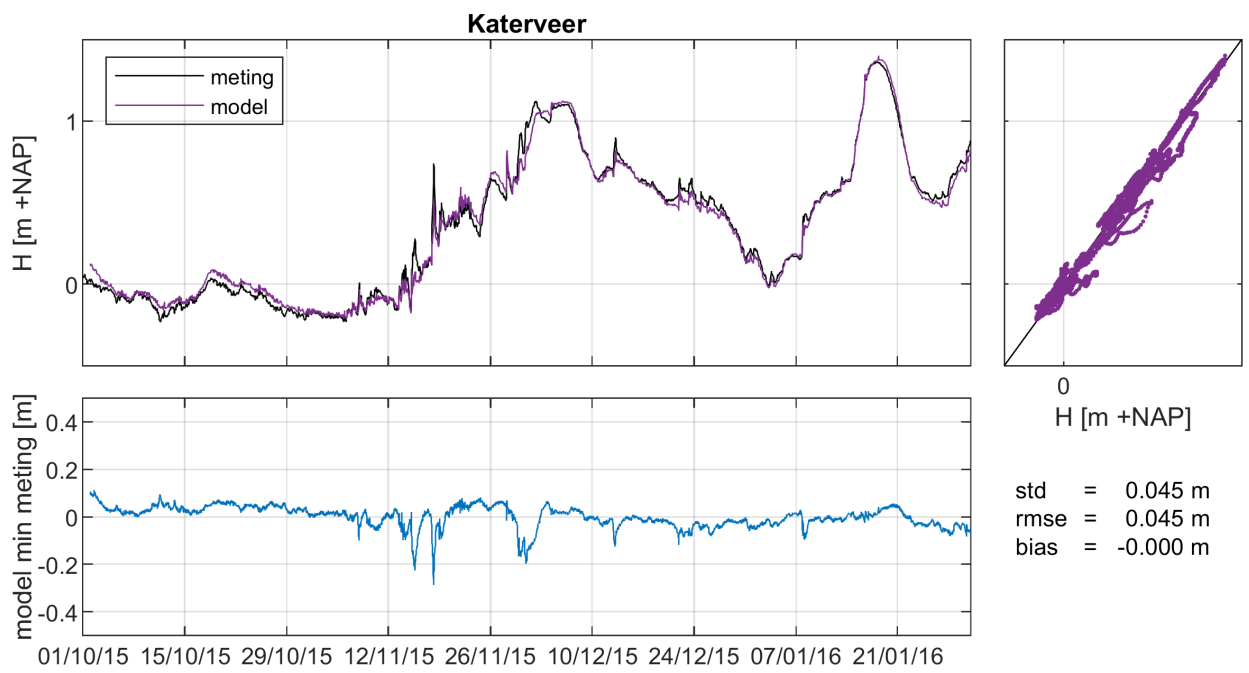
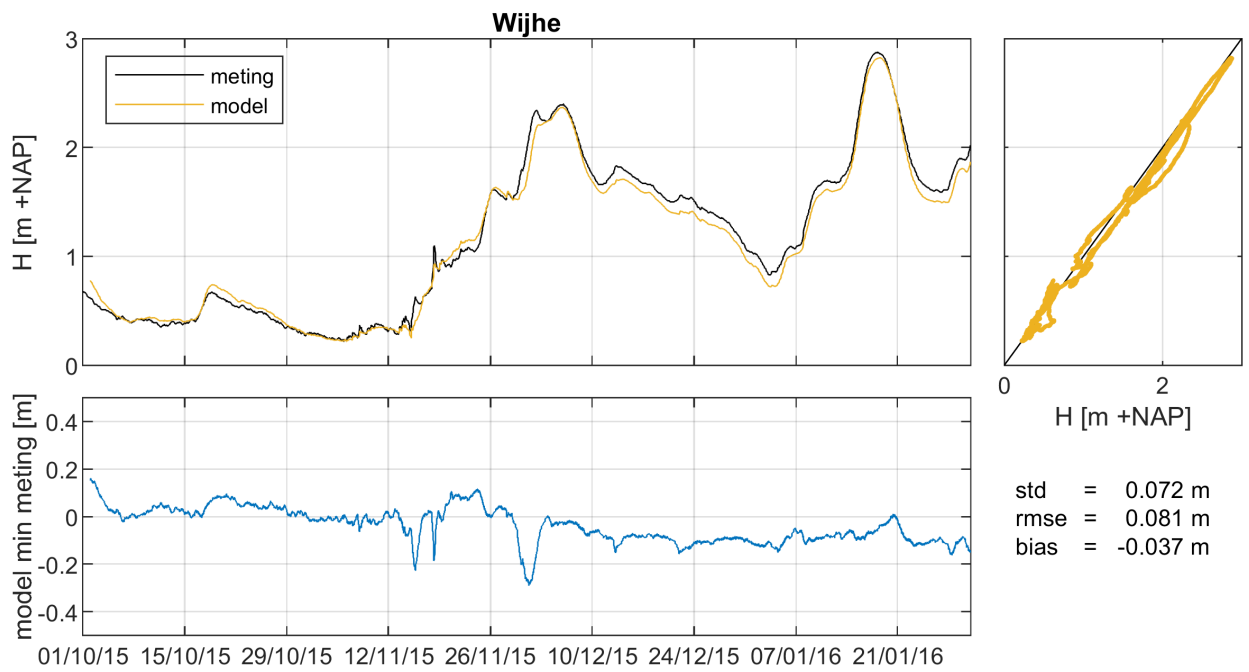


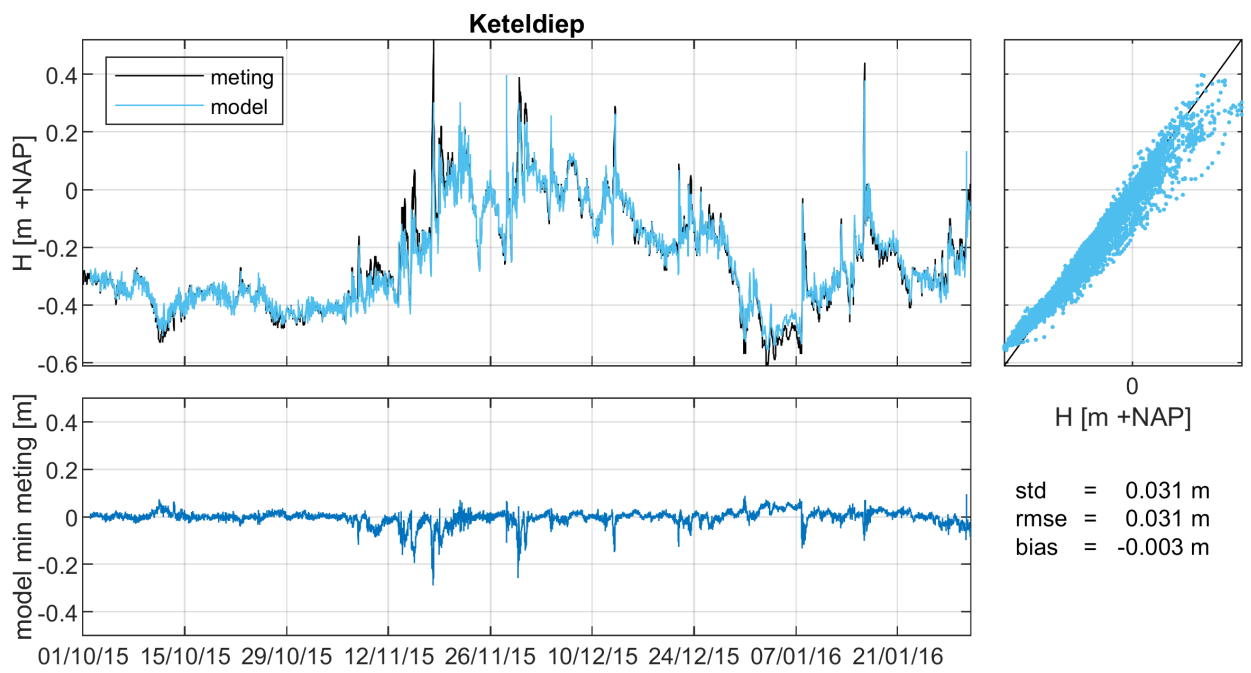
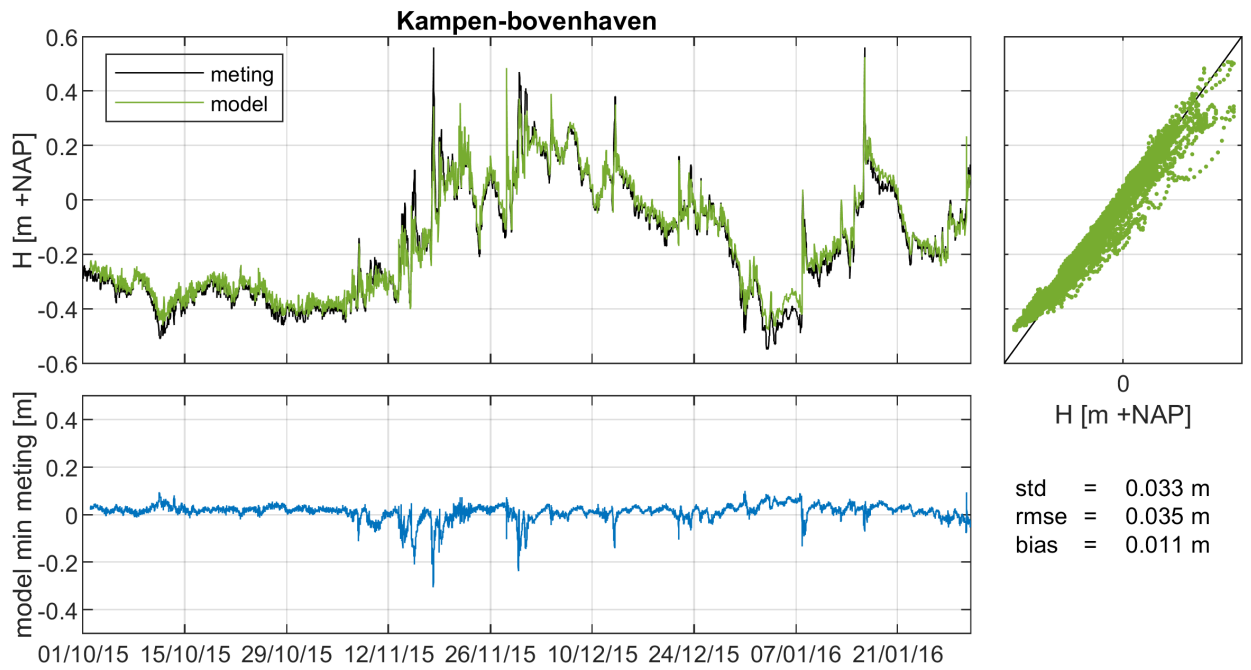


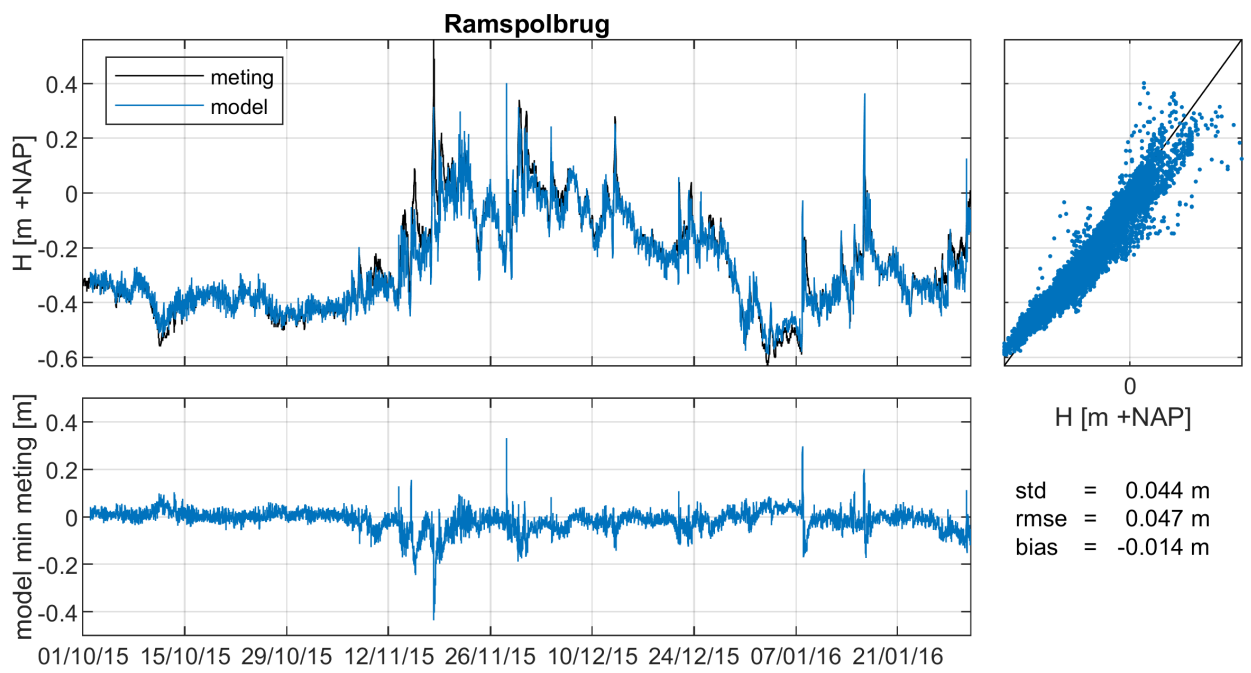
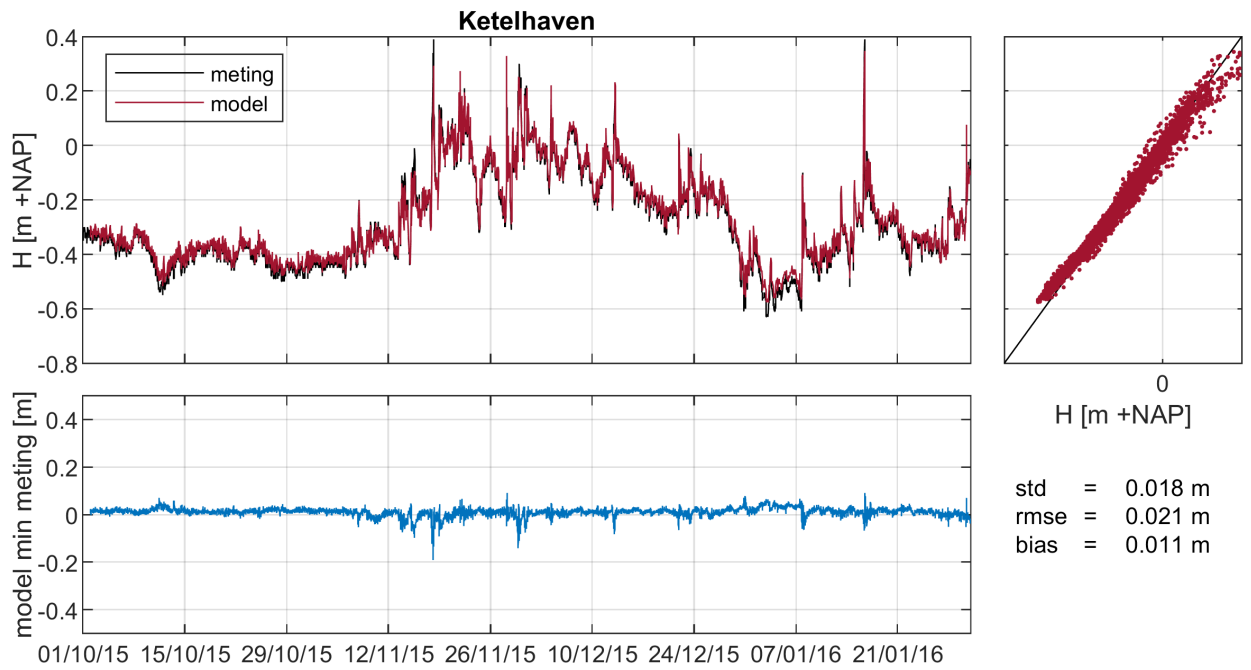


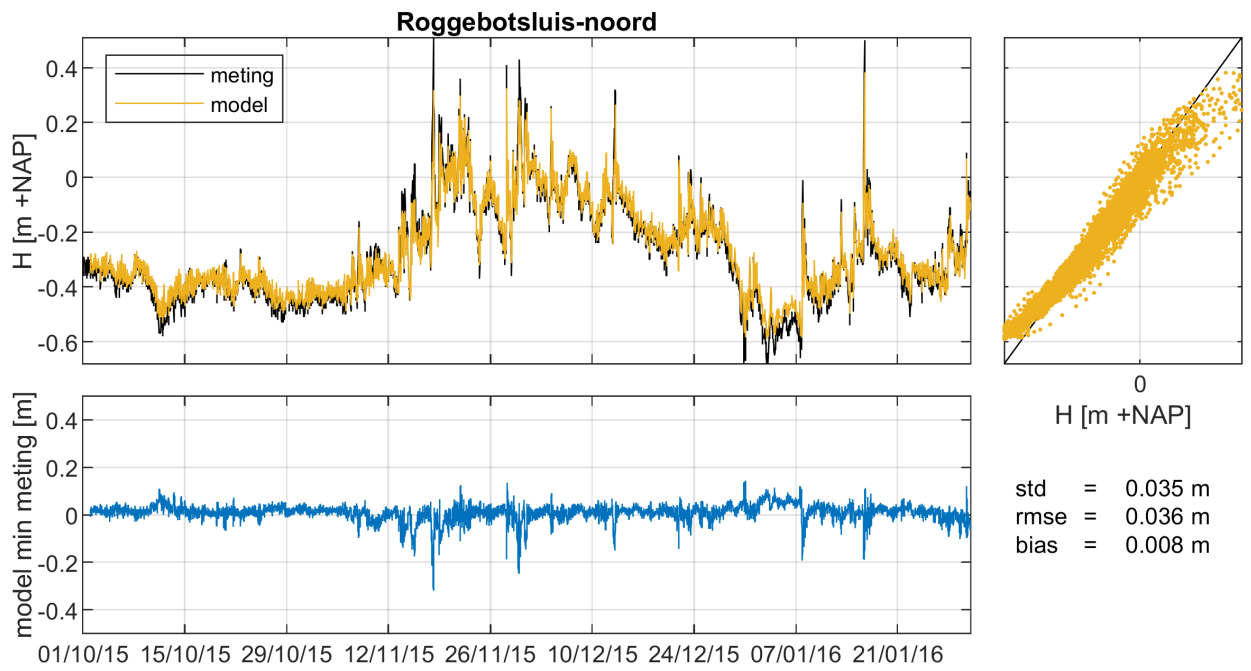
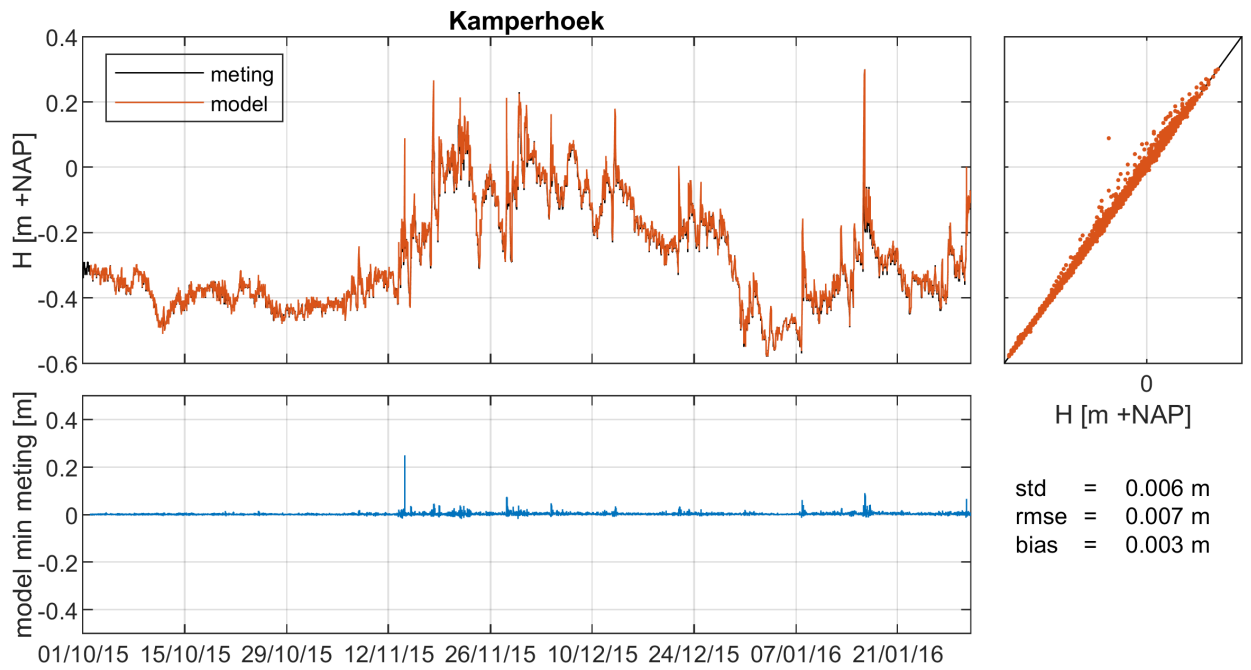




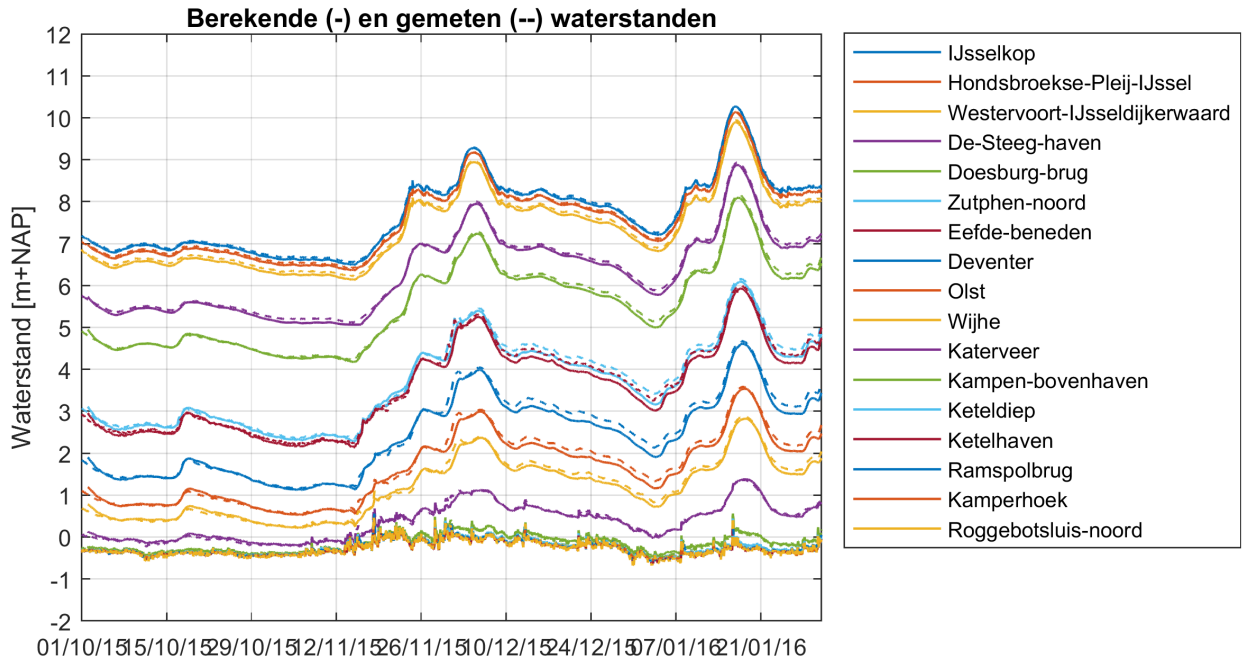




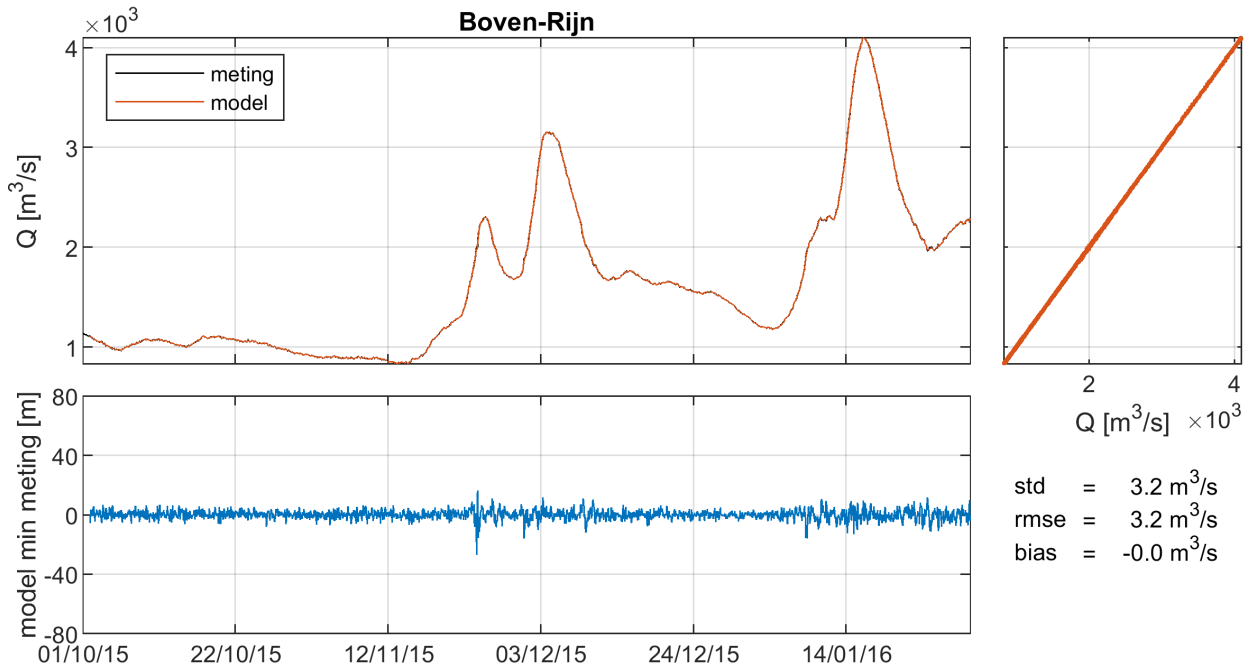


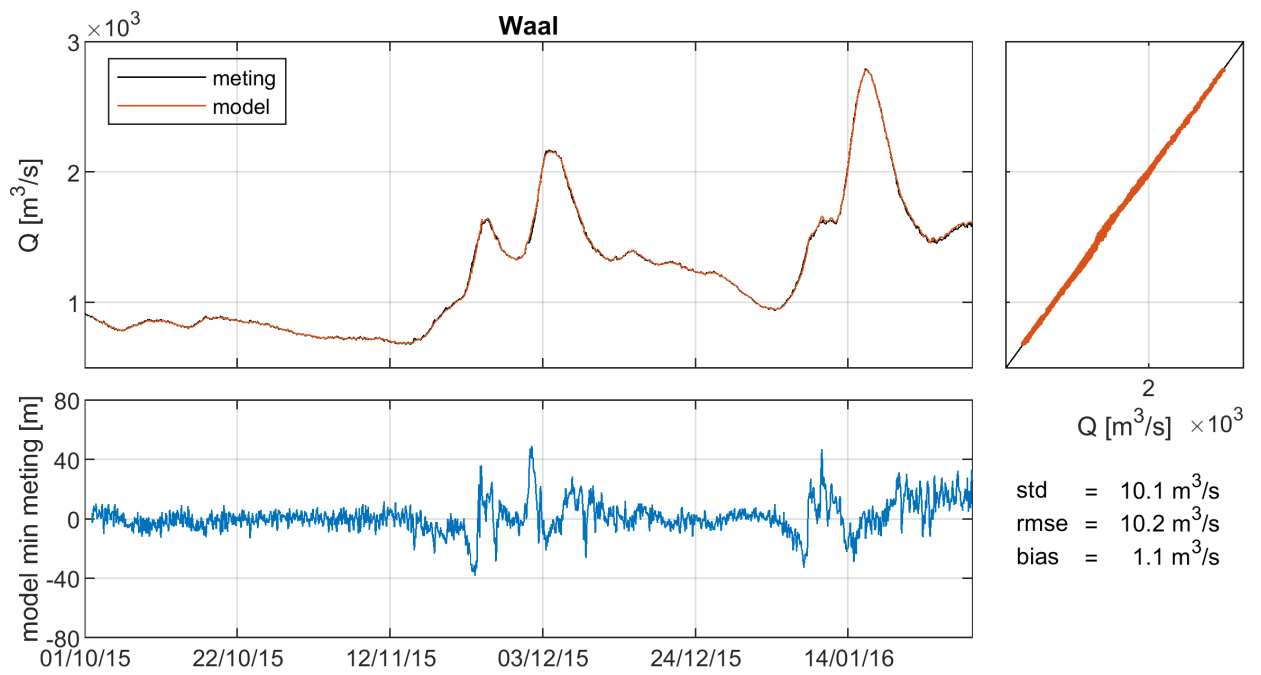
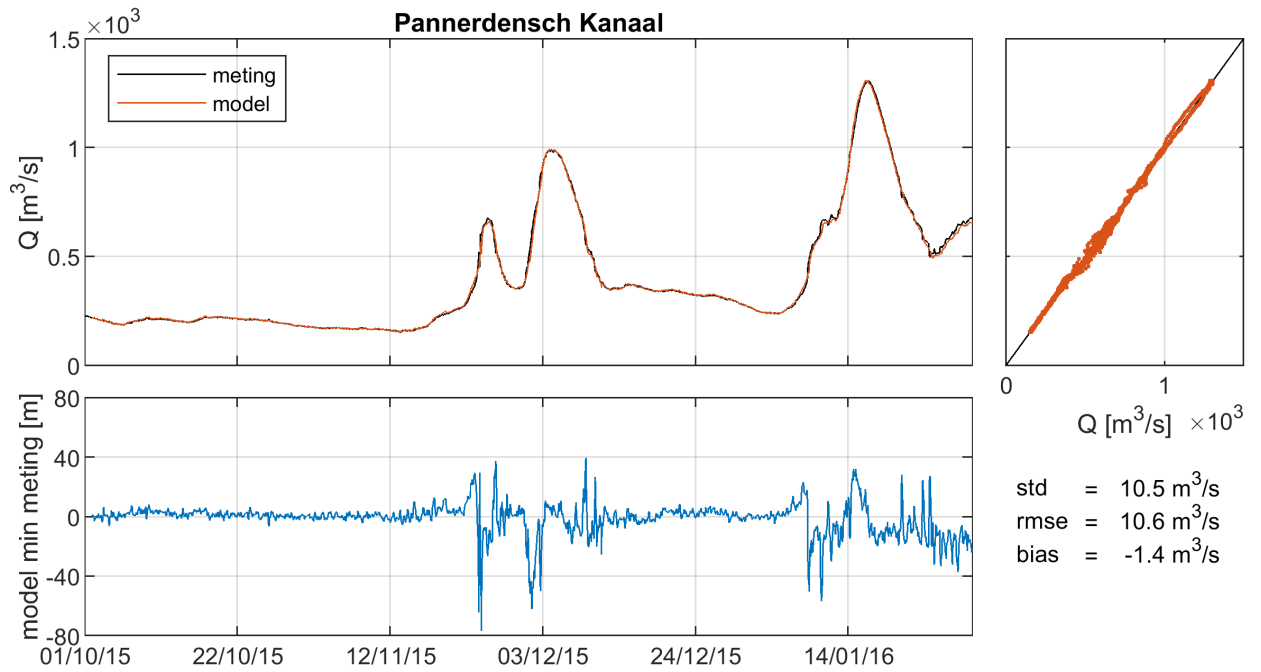


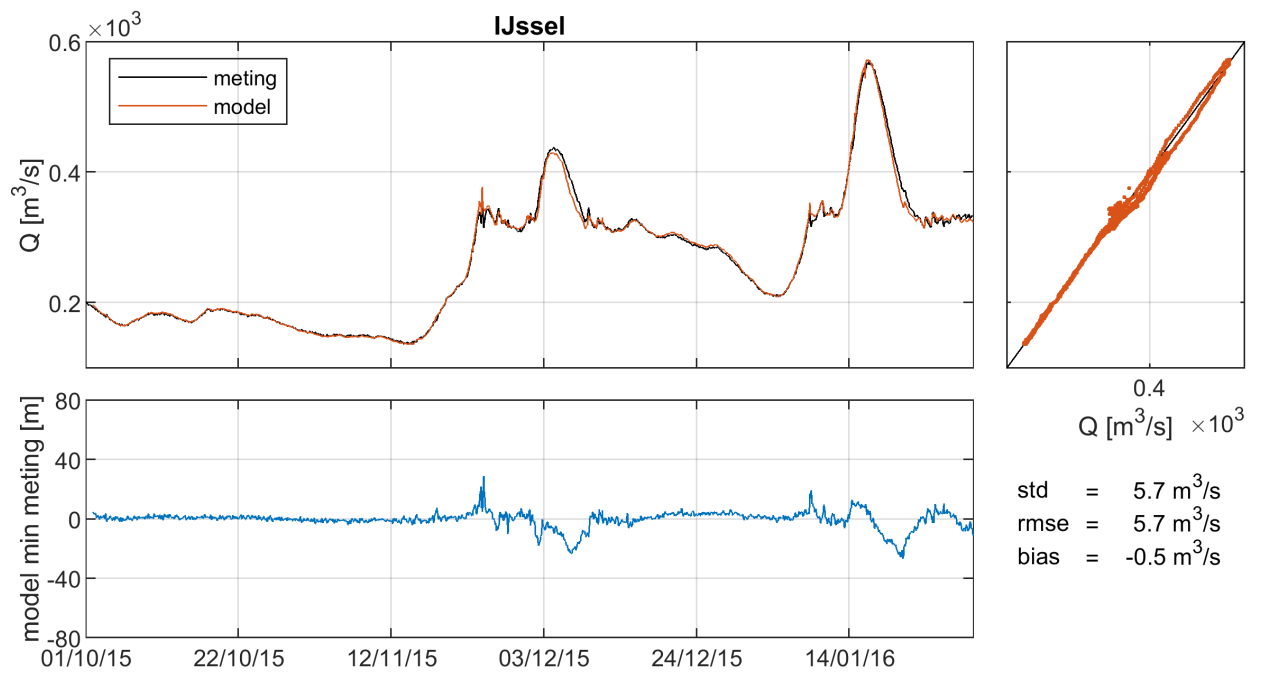
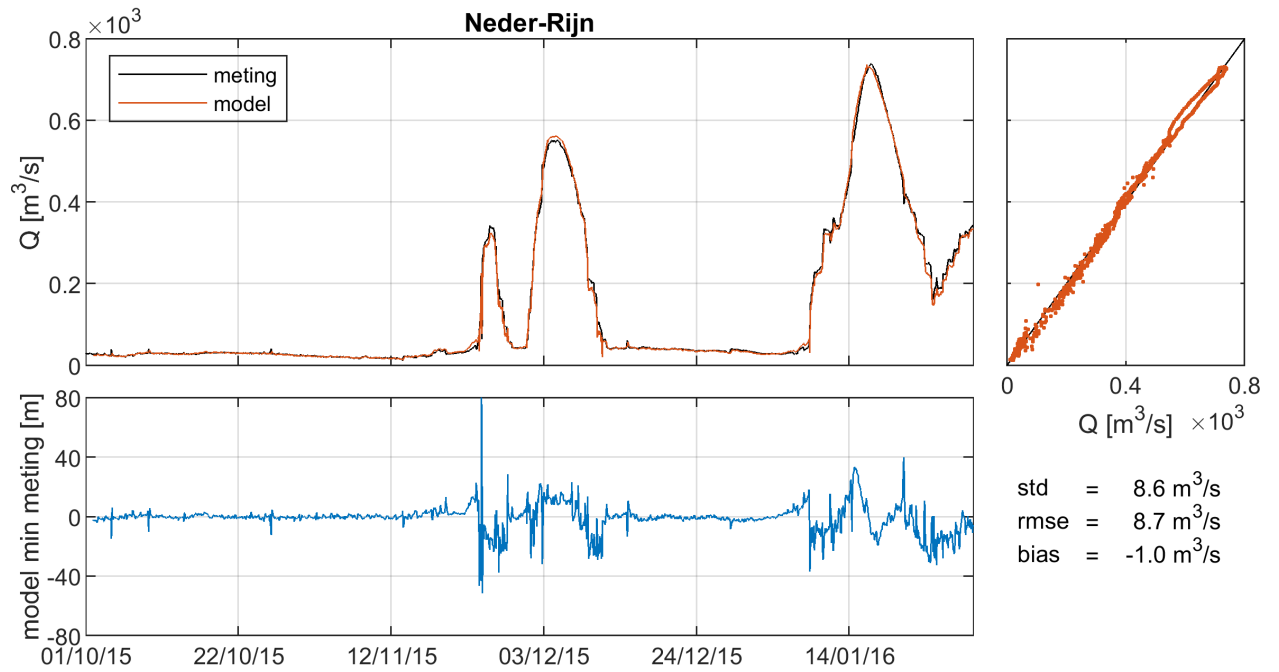


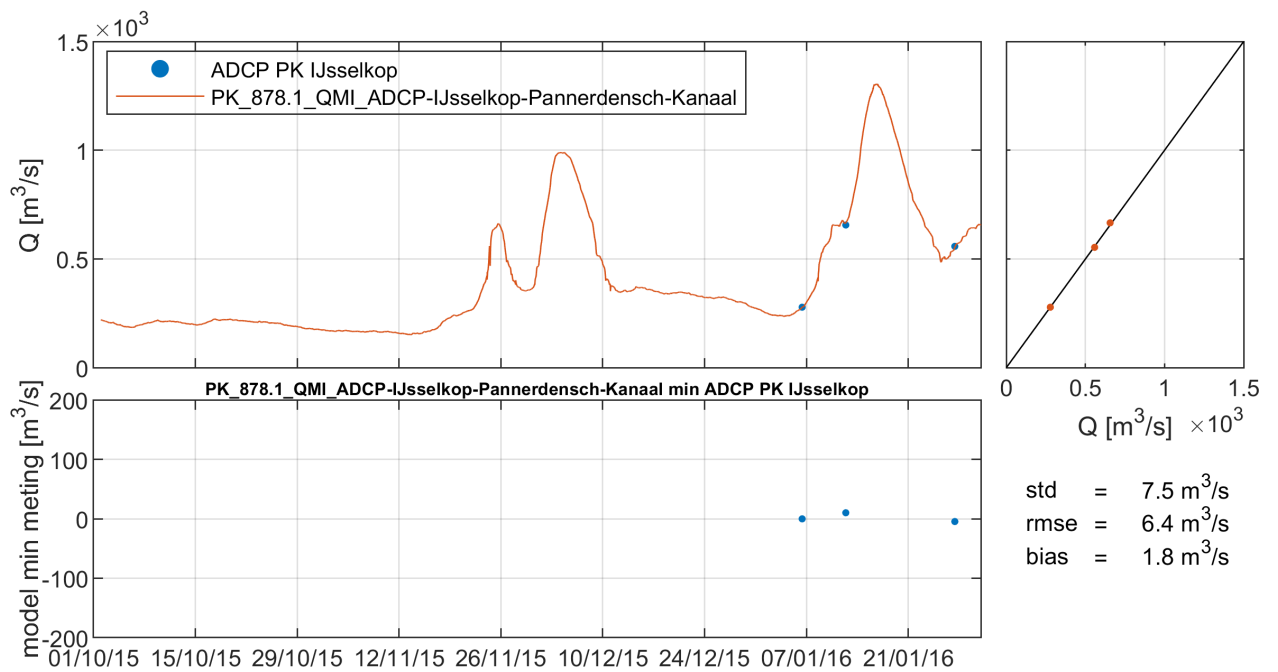
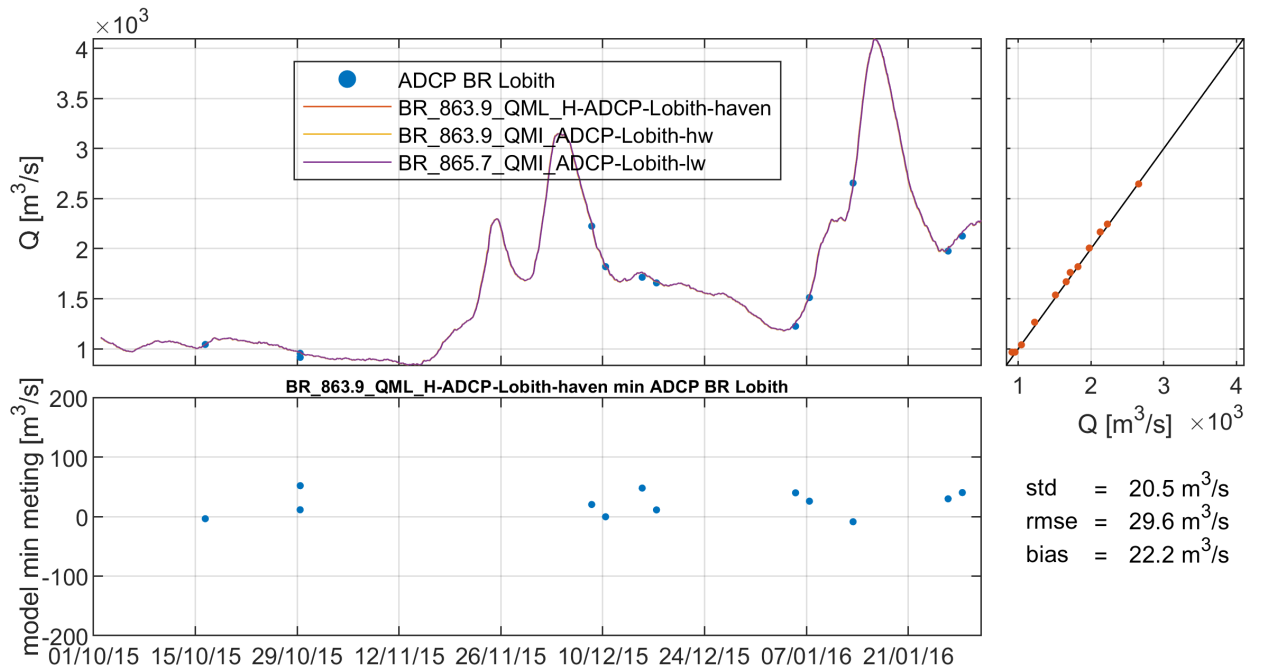


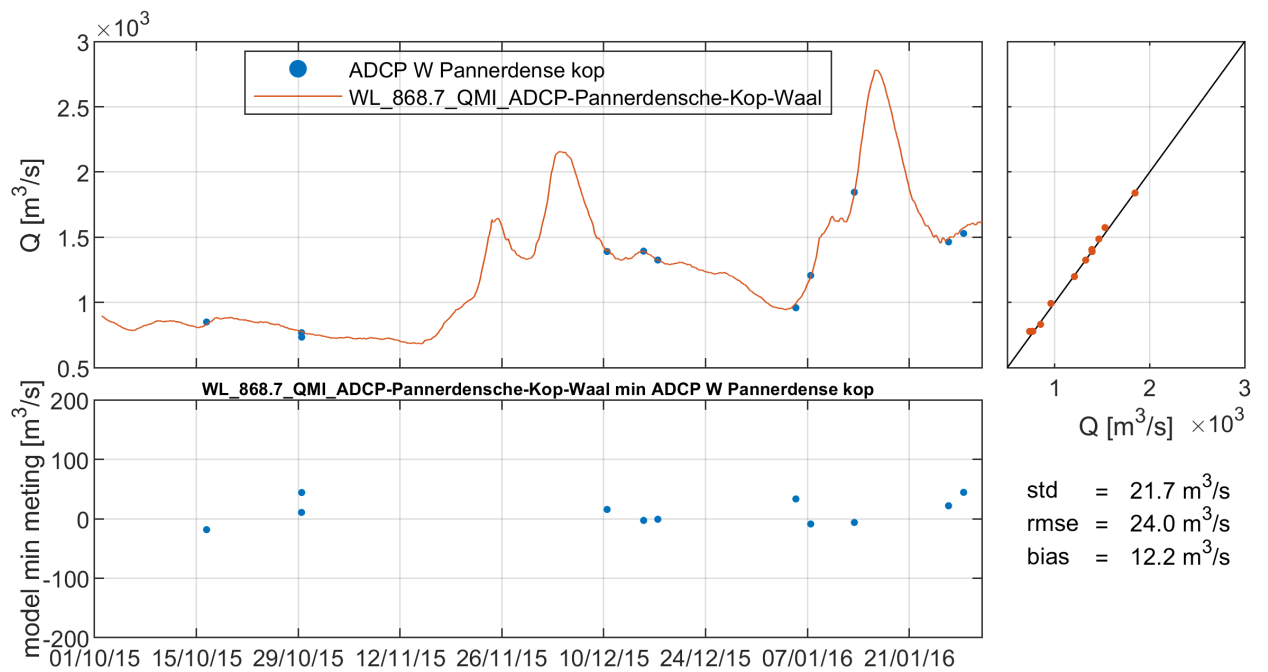
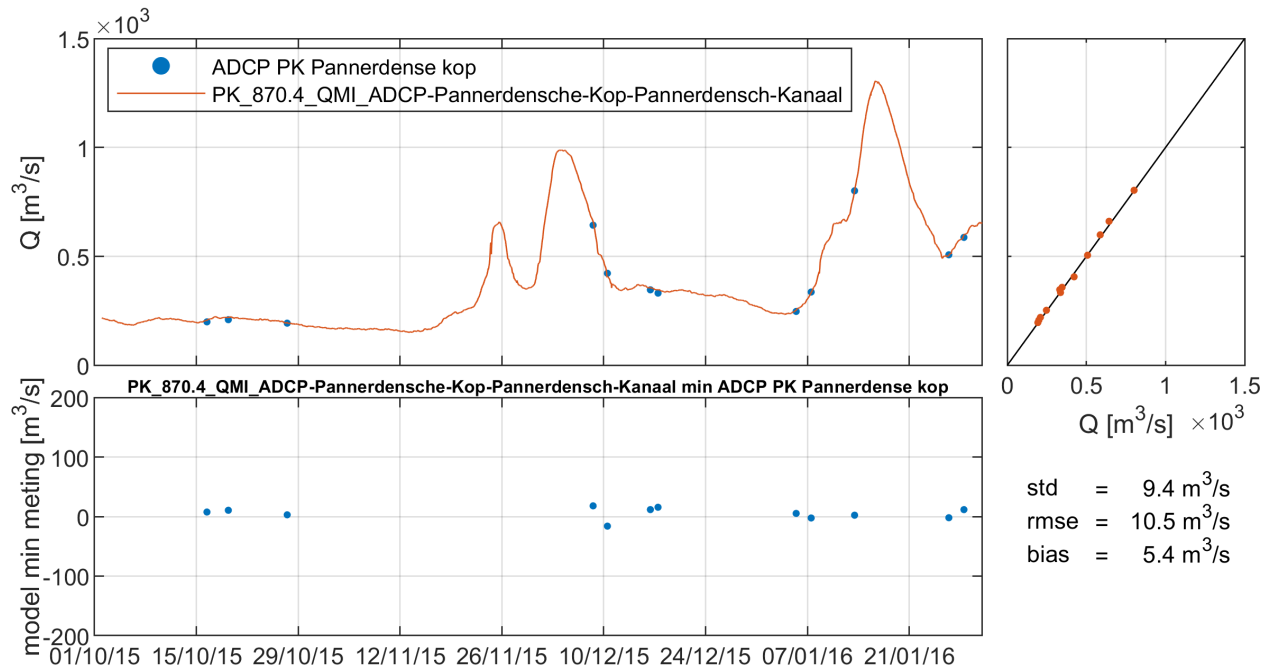
## I.4.2 Afvoeren

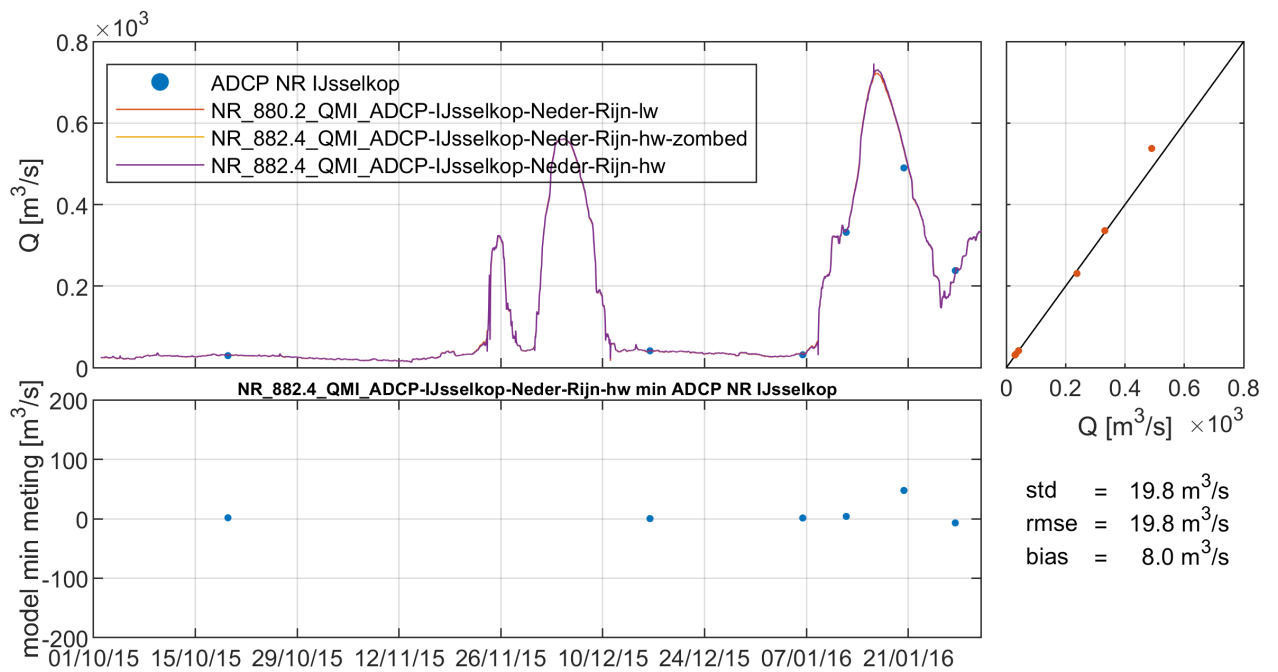
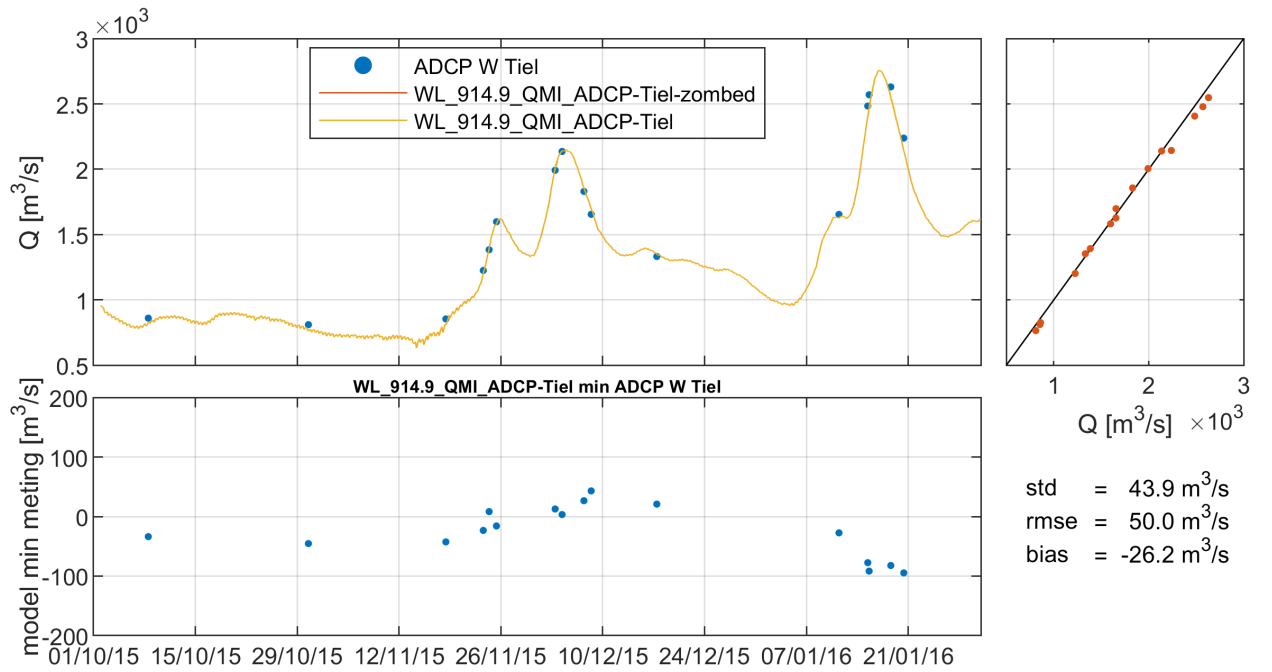


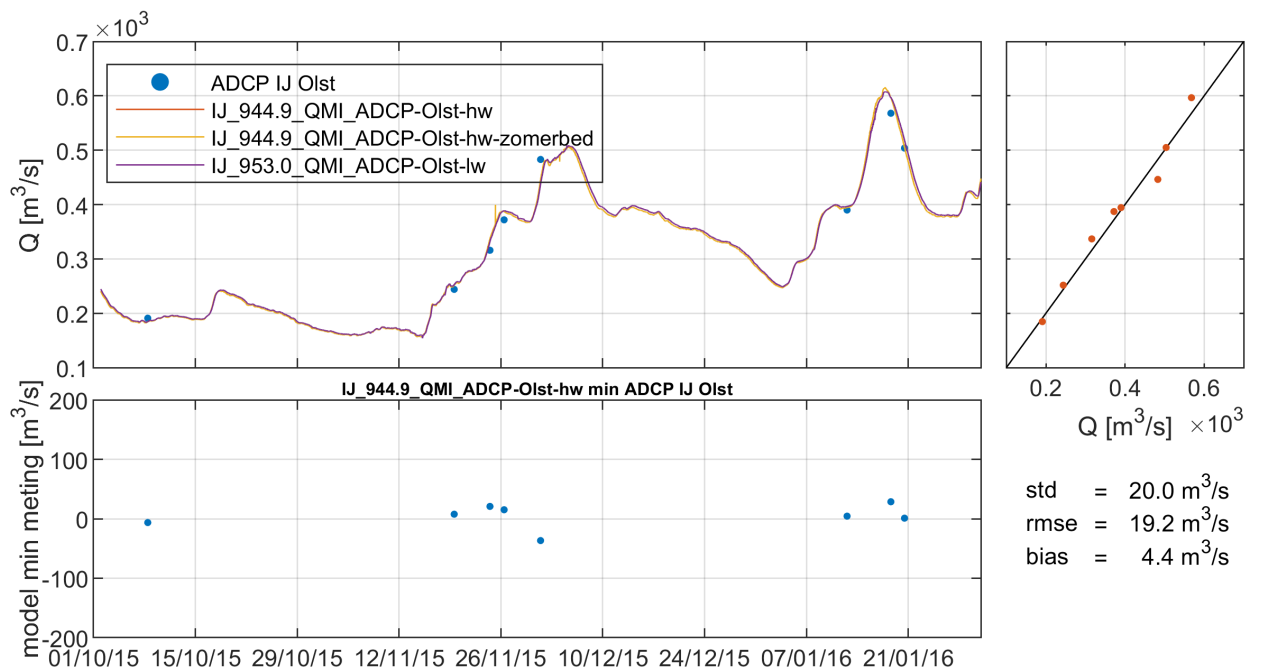
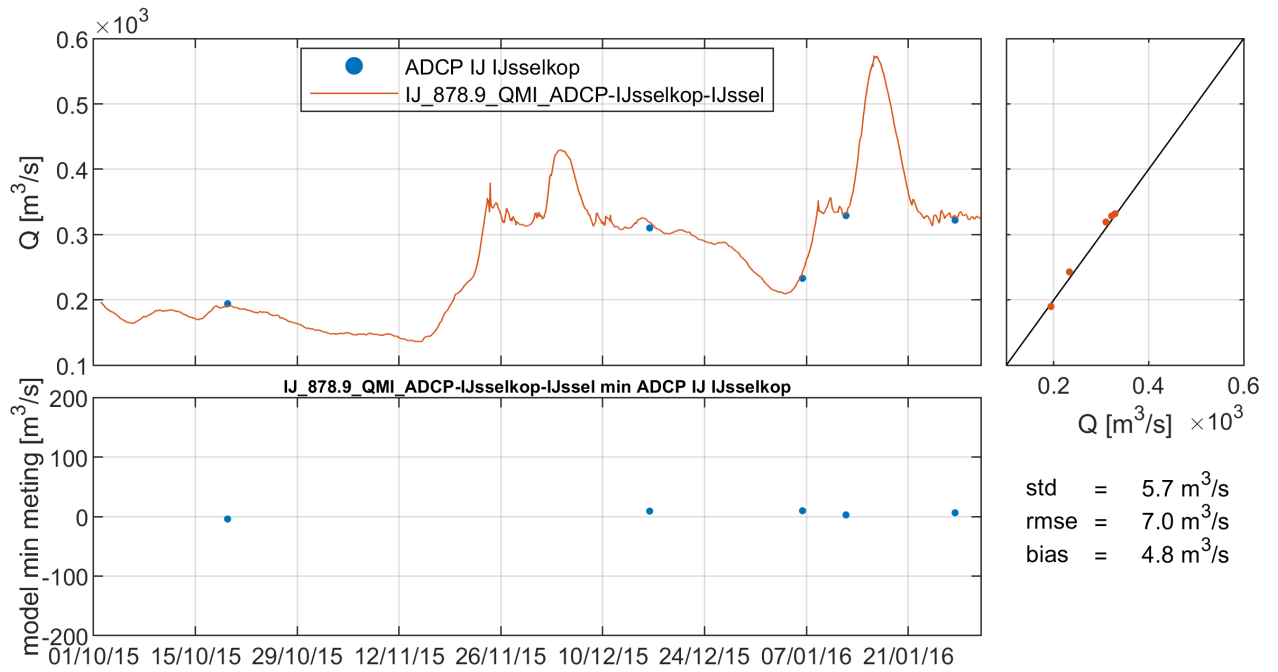


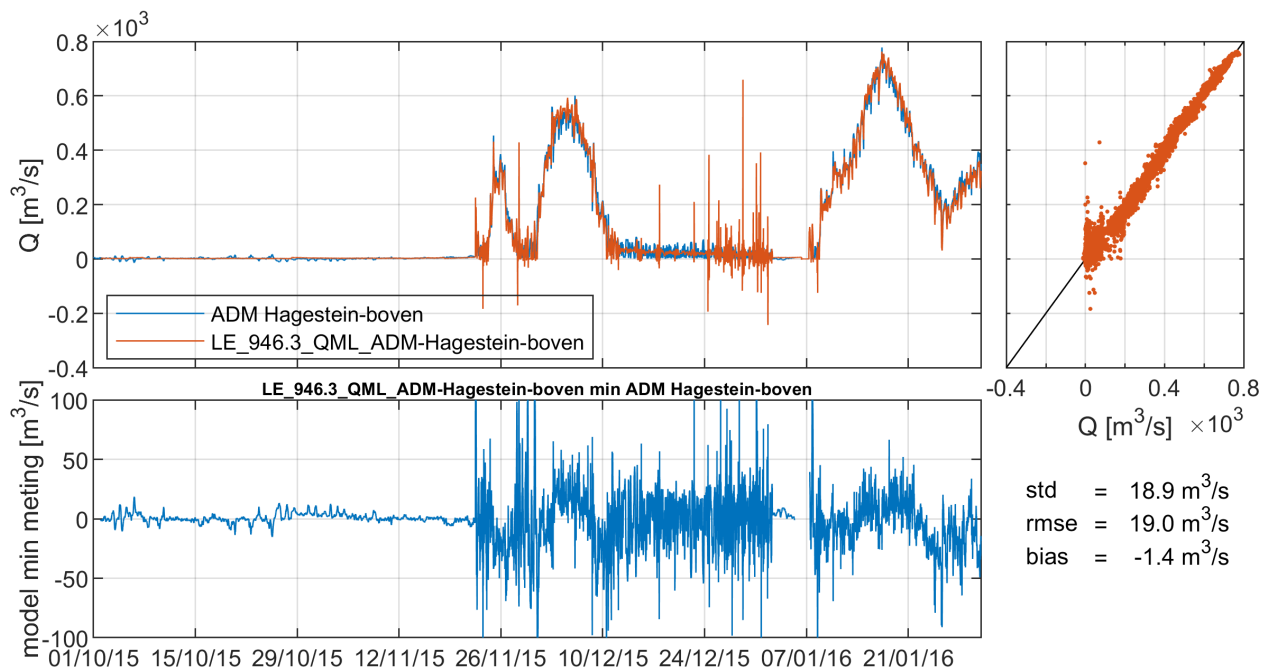
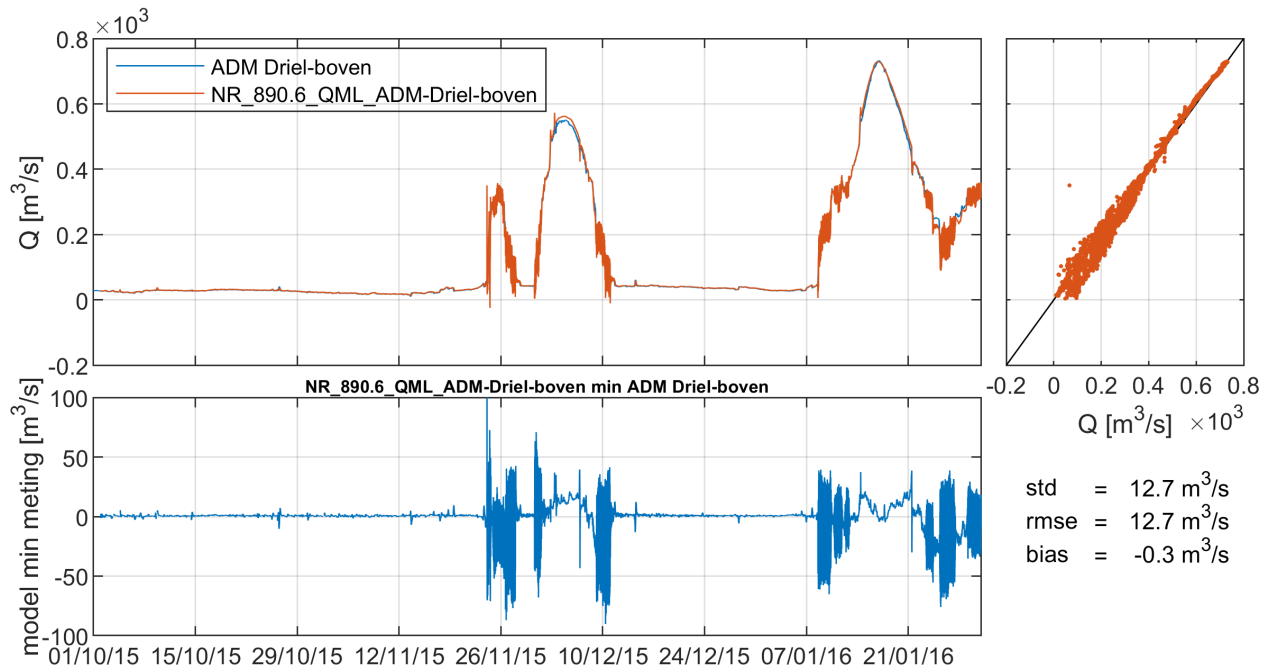








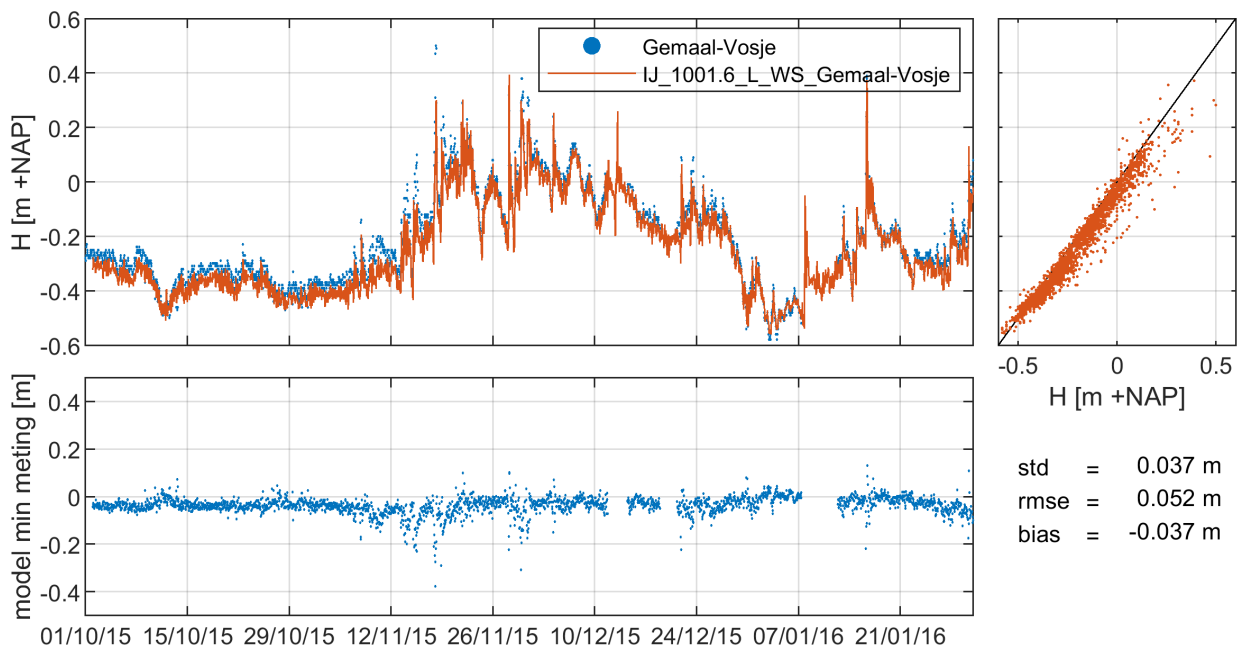
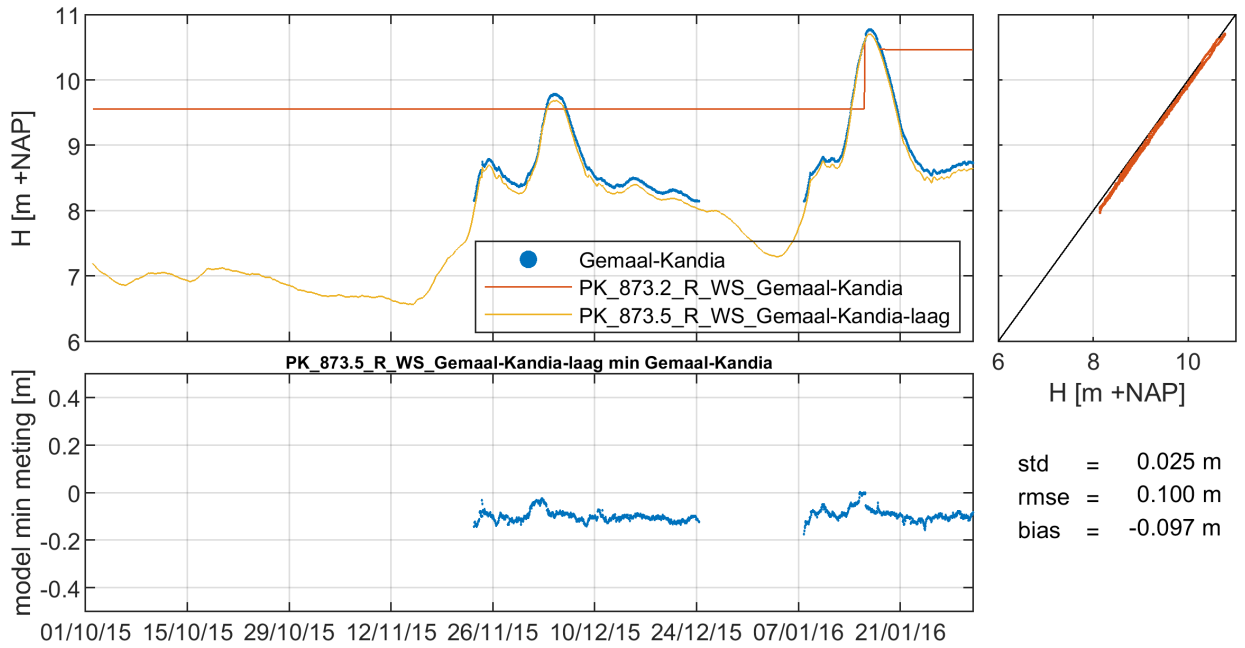


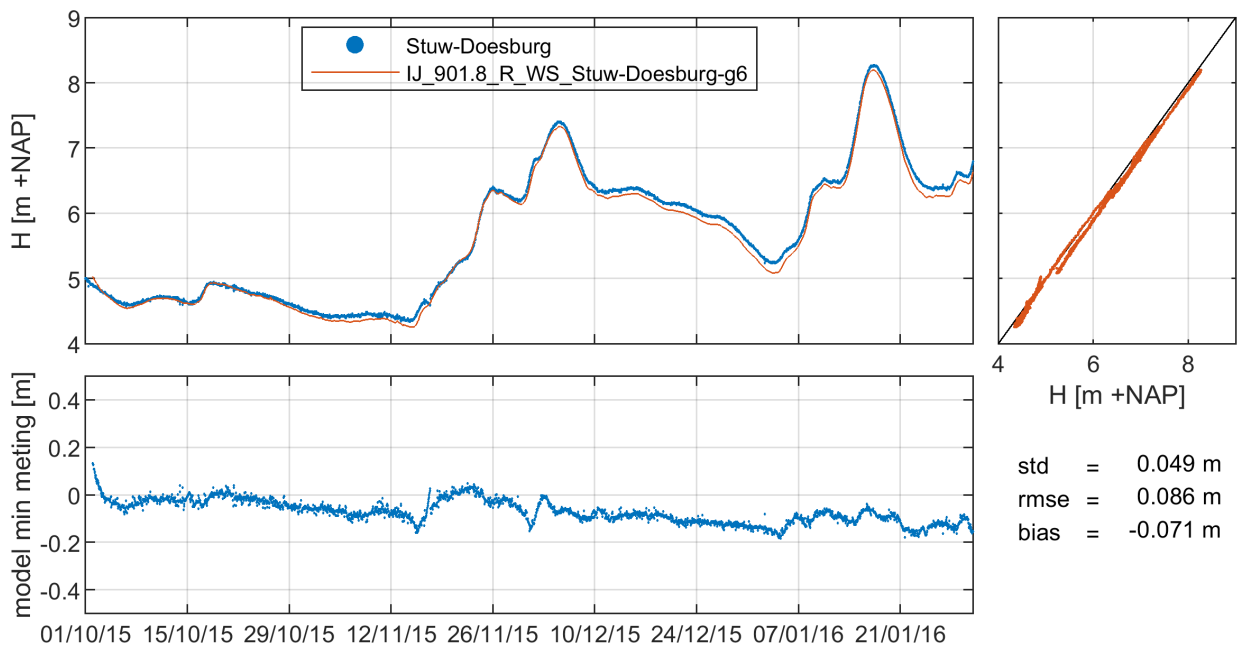
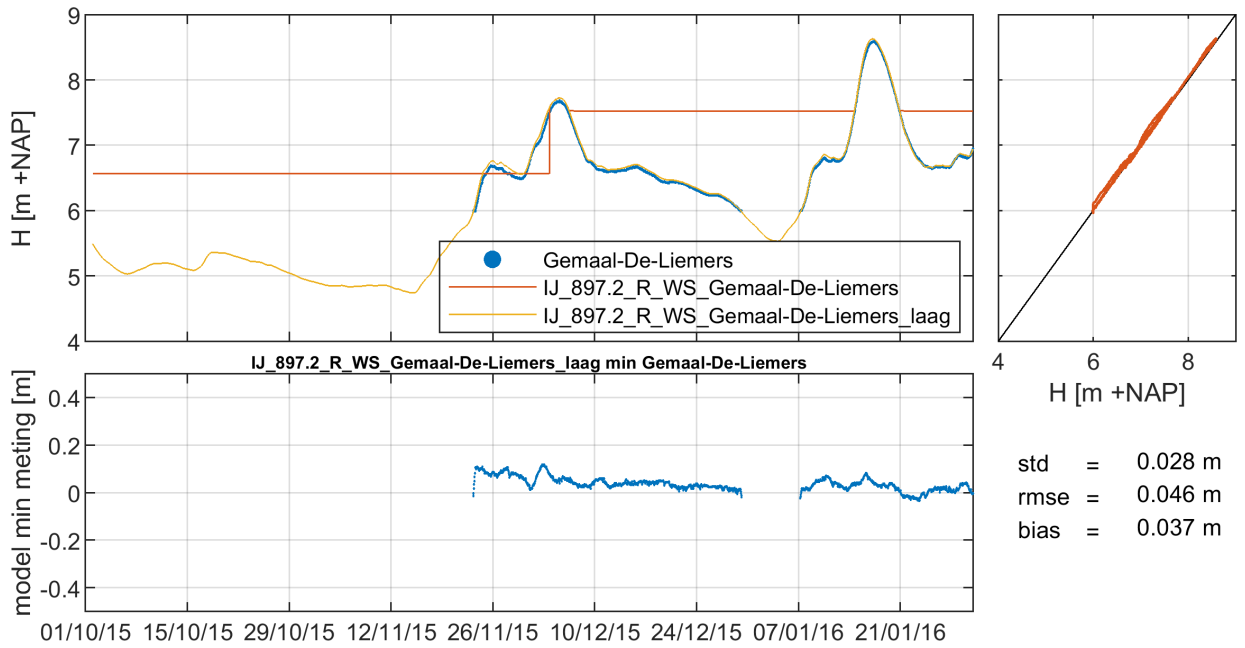


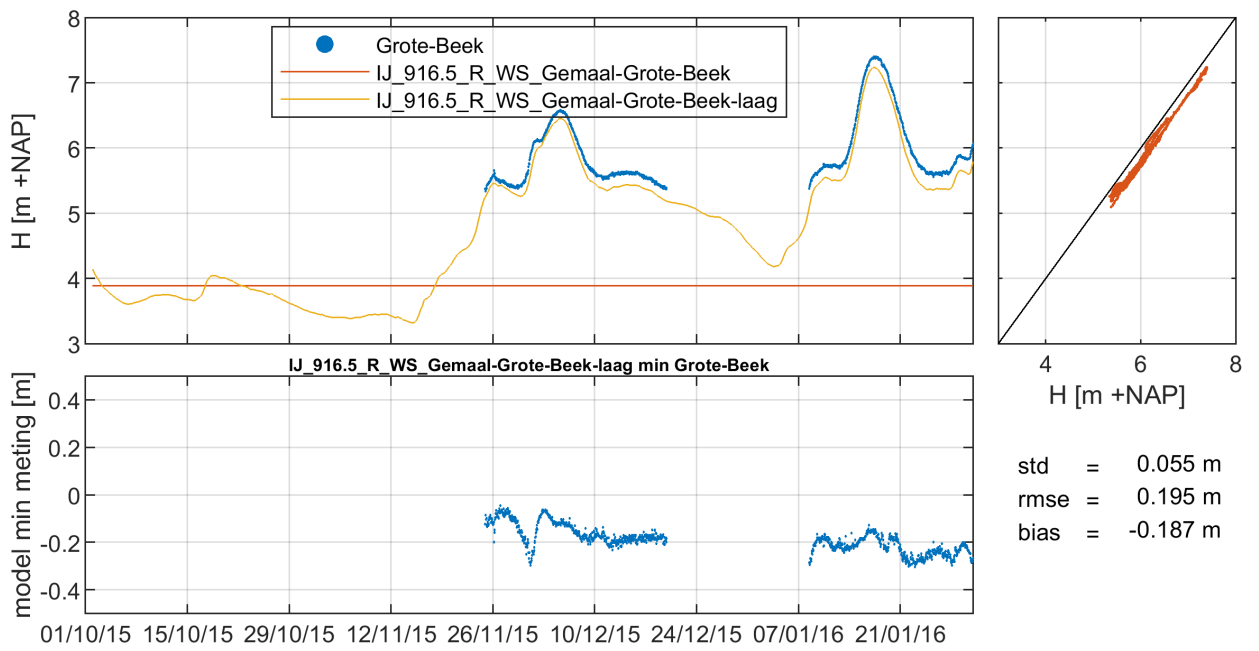
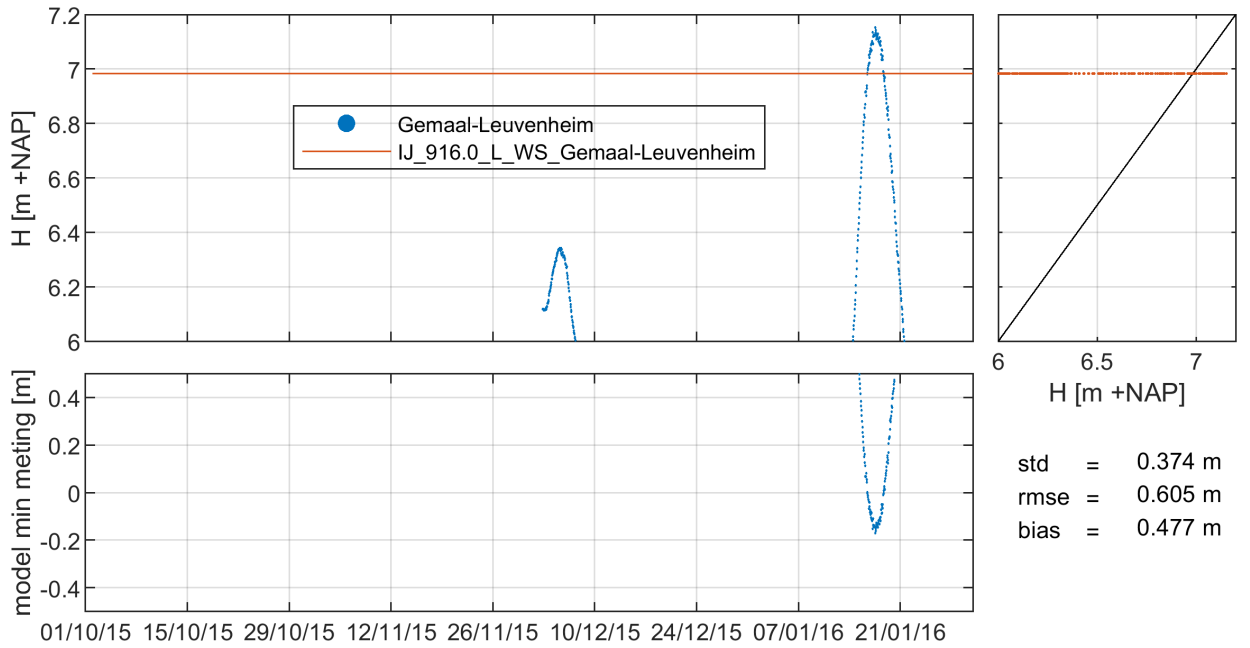


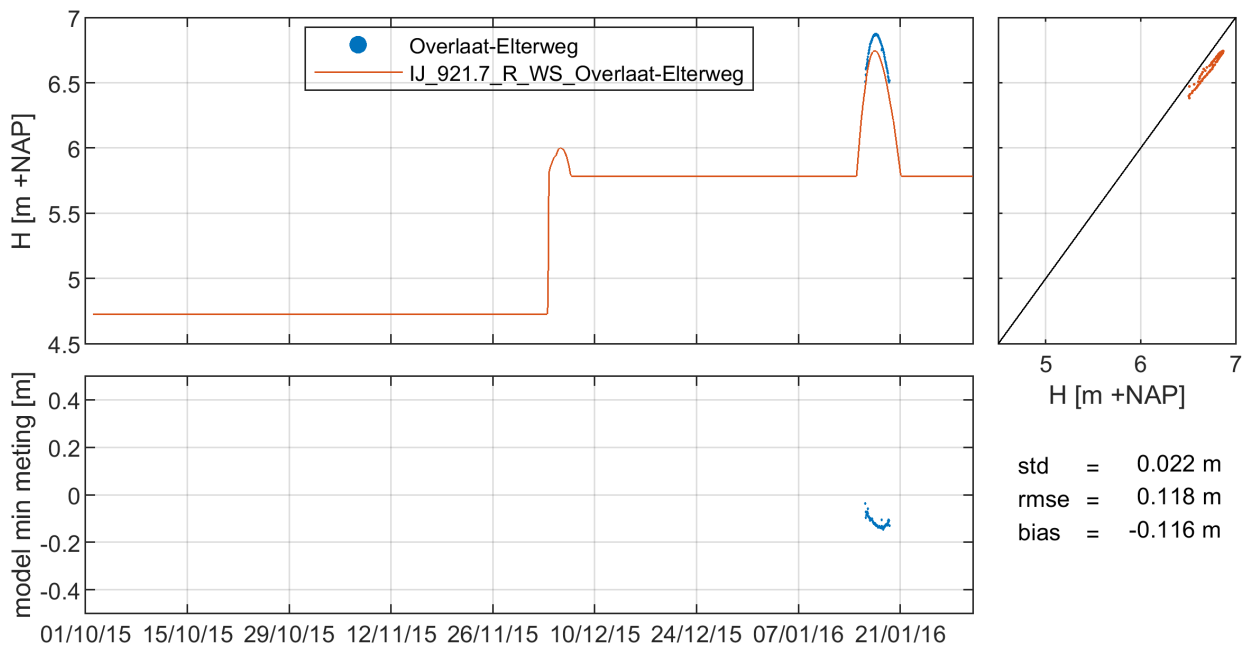
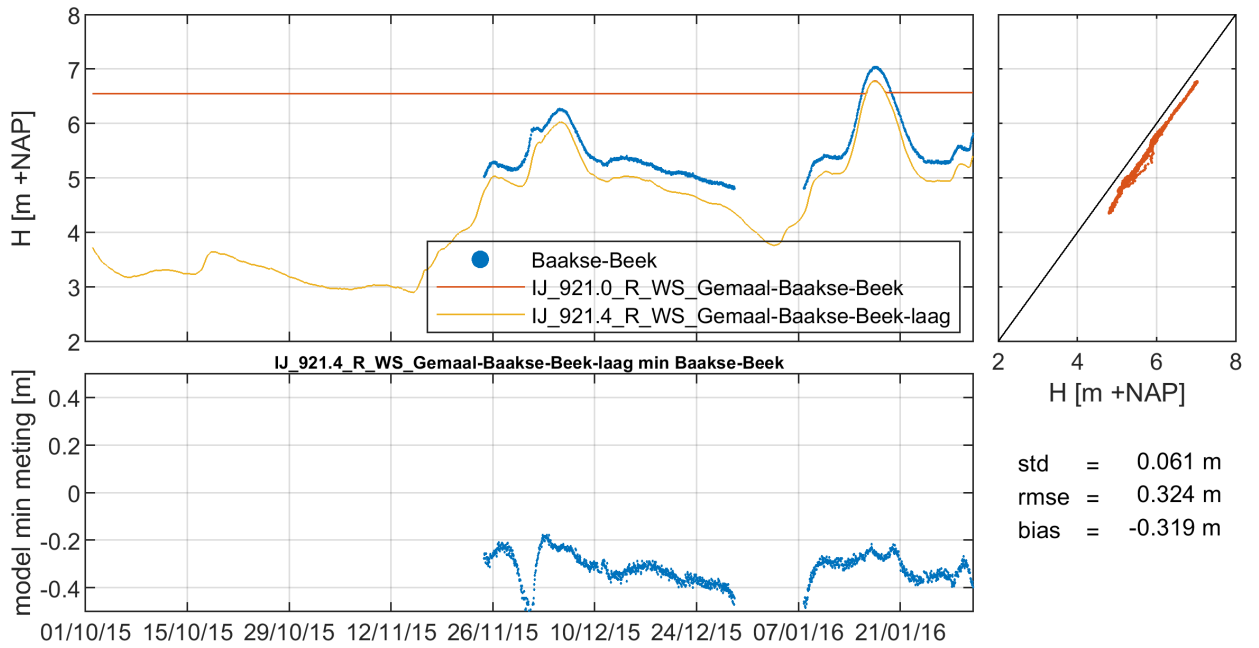
### I.4.3 Metingen waterschappen

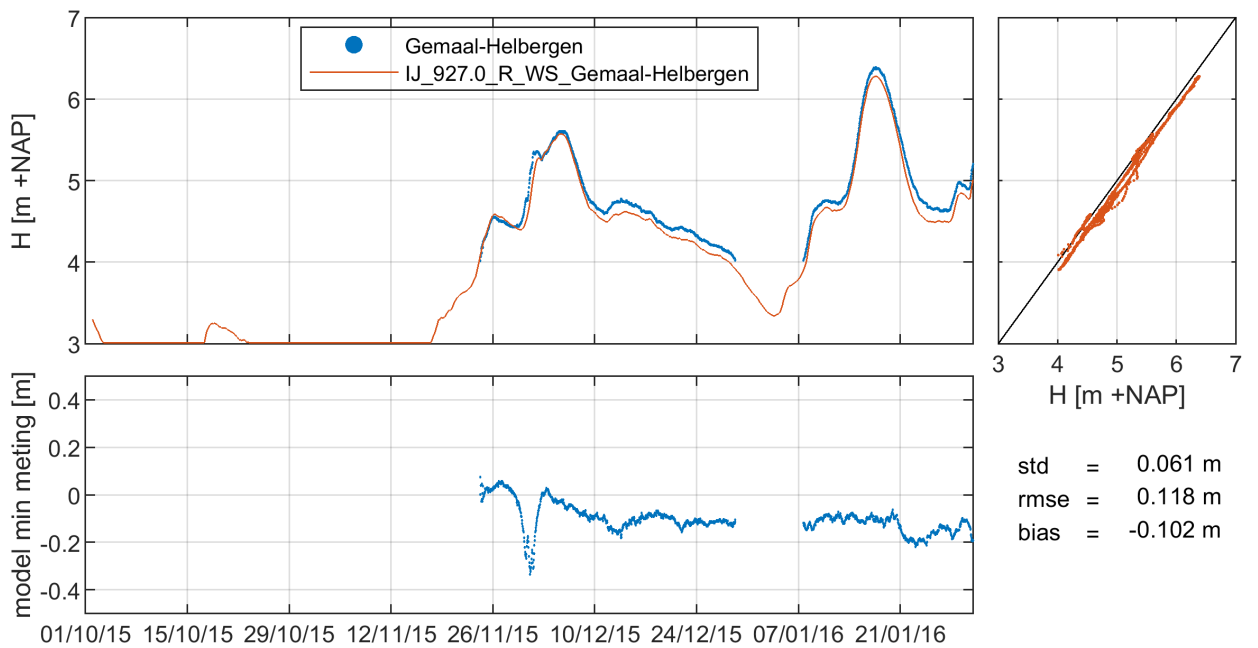
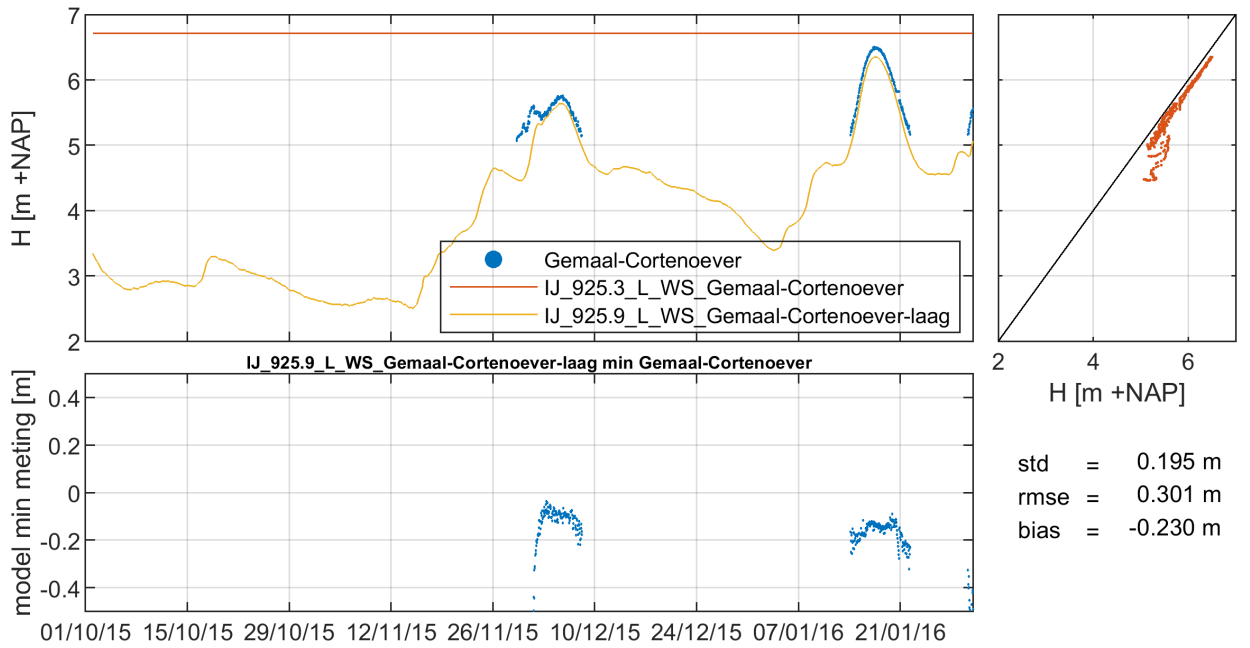
uurwaarden

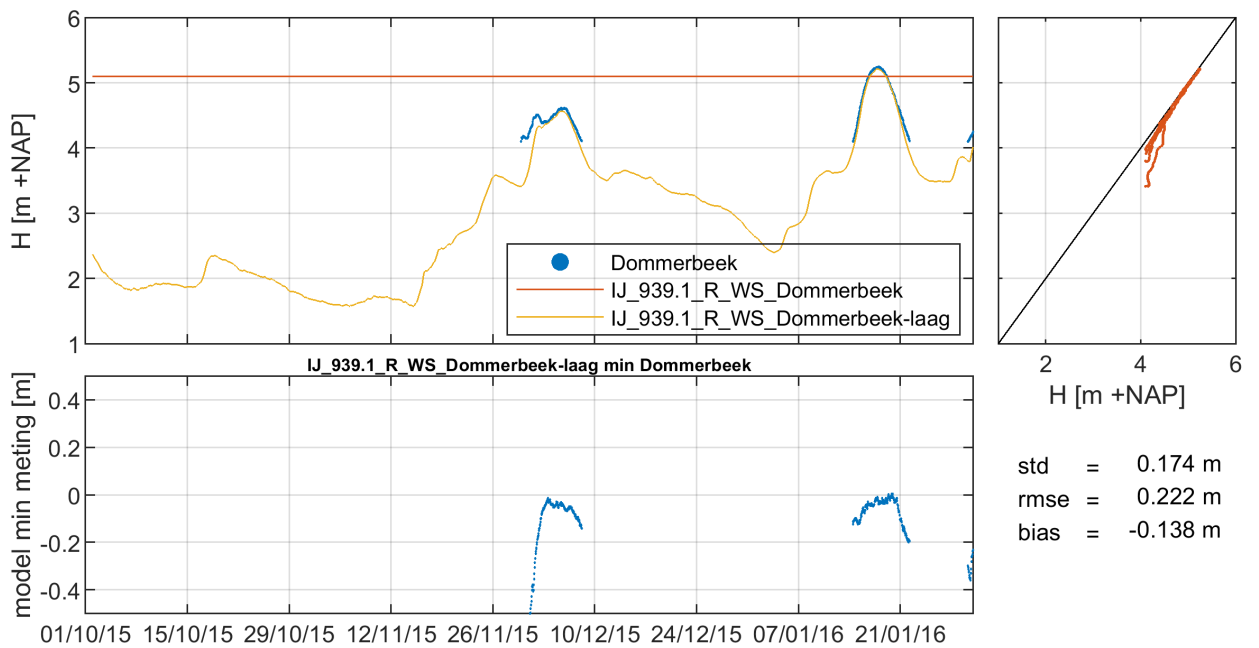
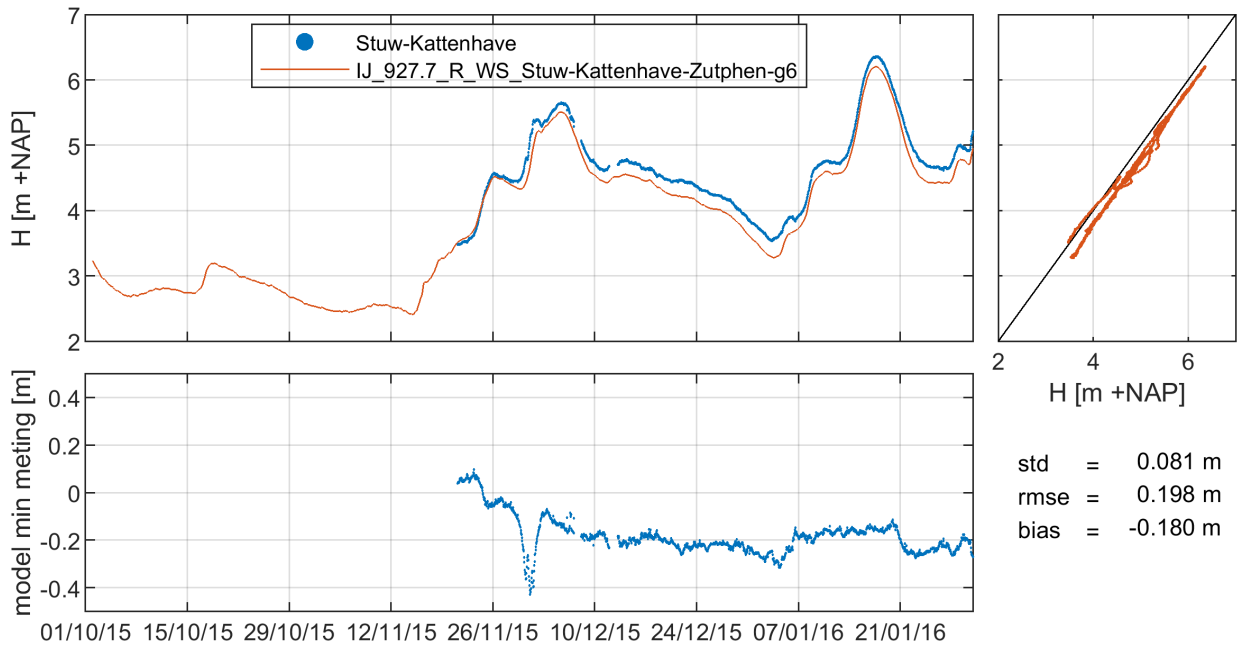


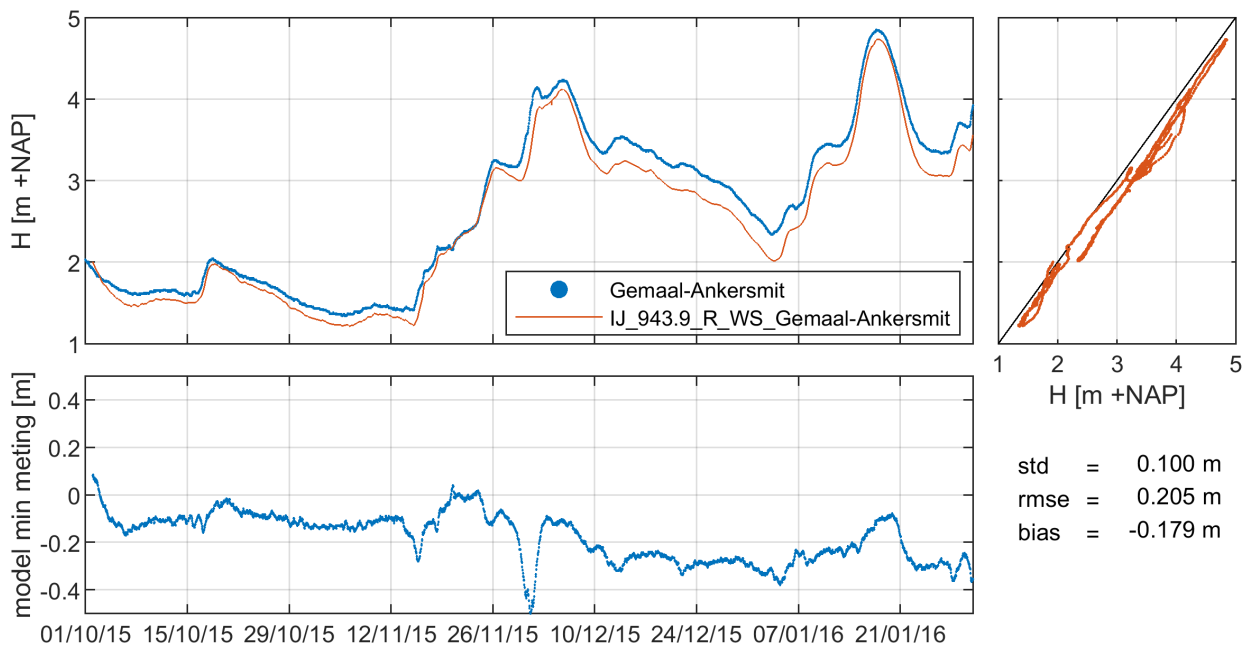
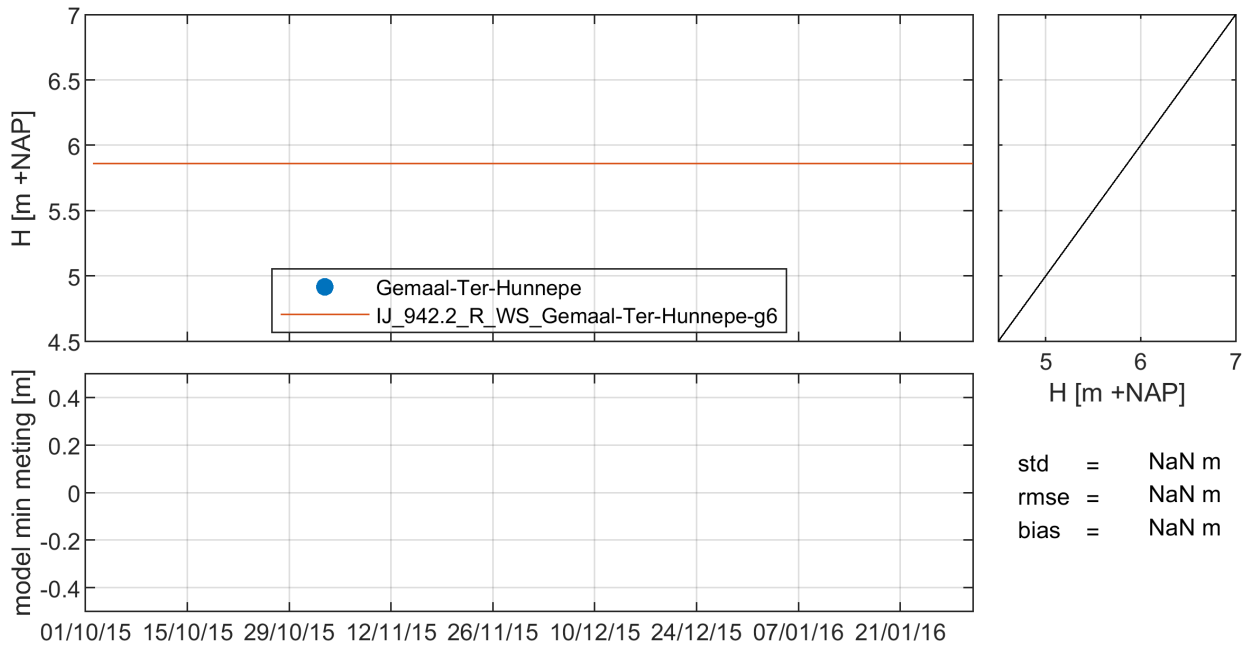


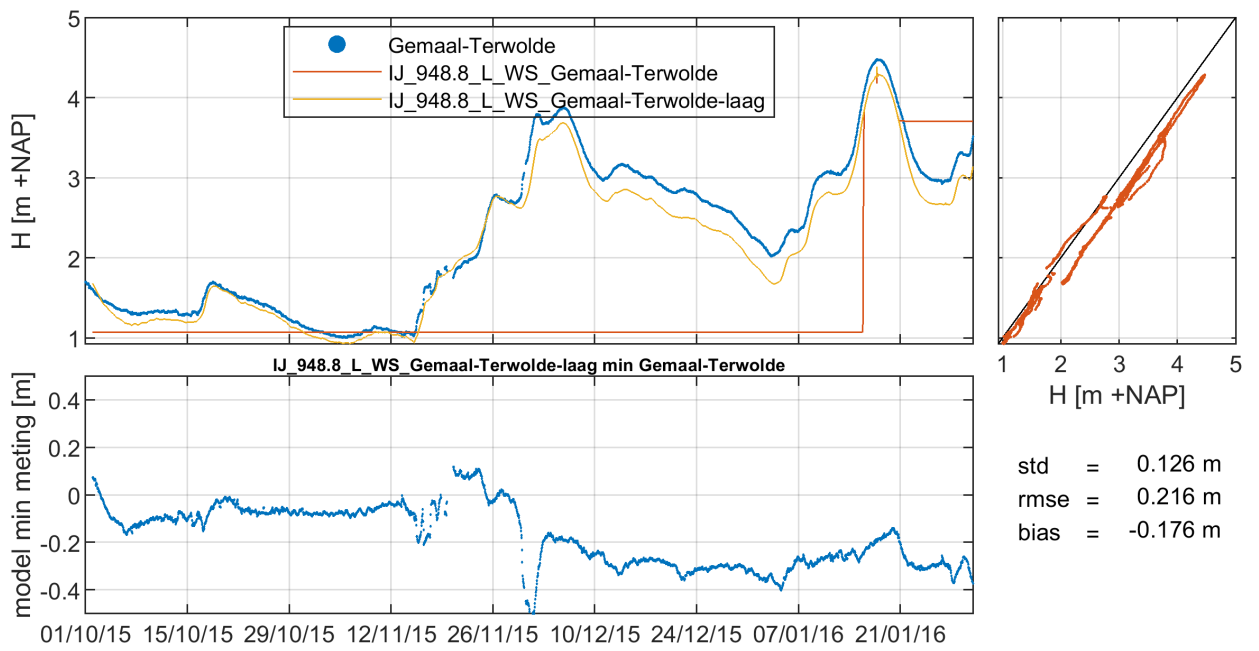
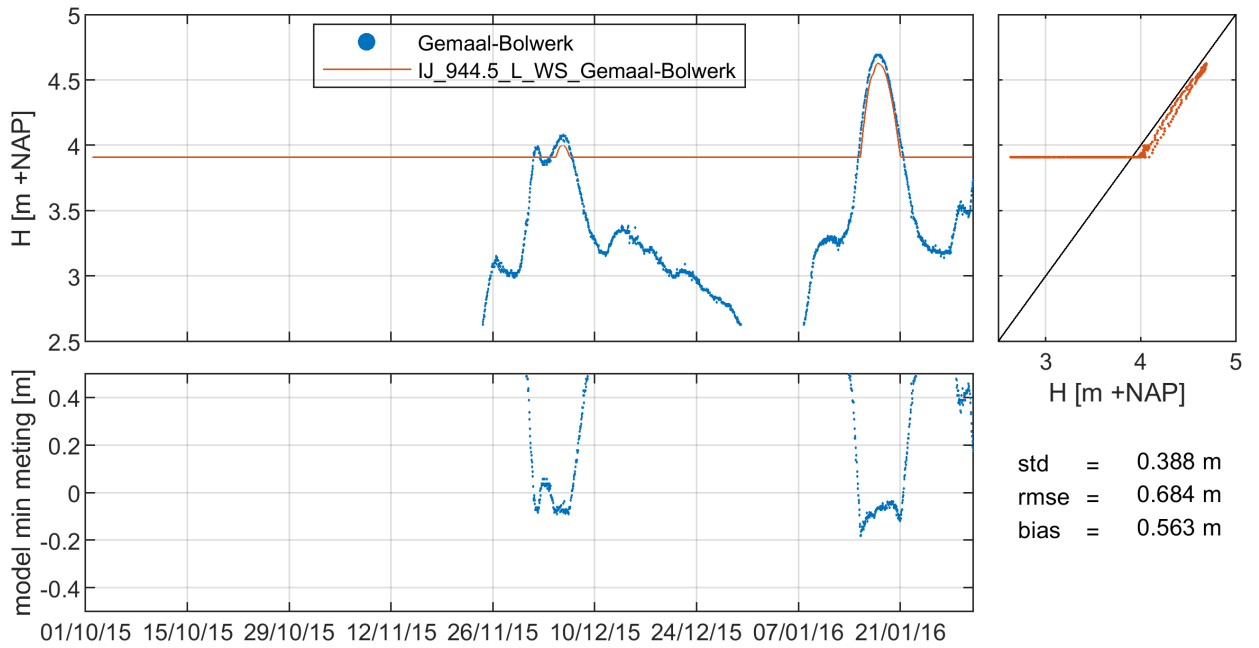




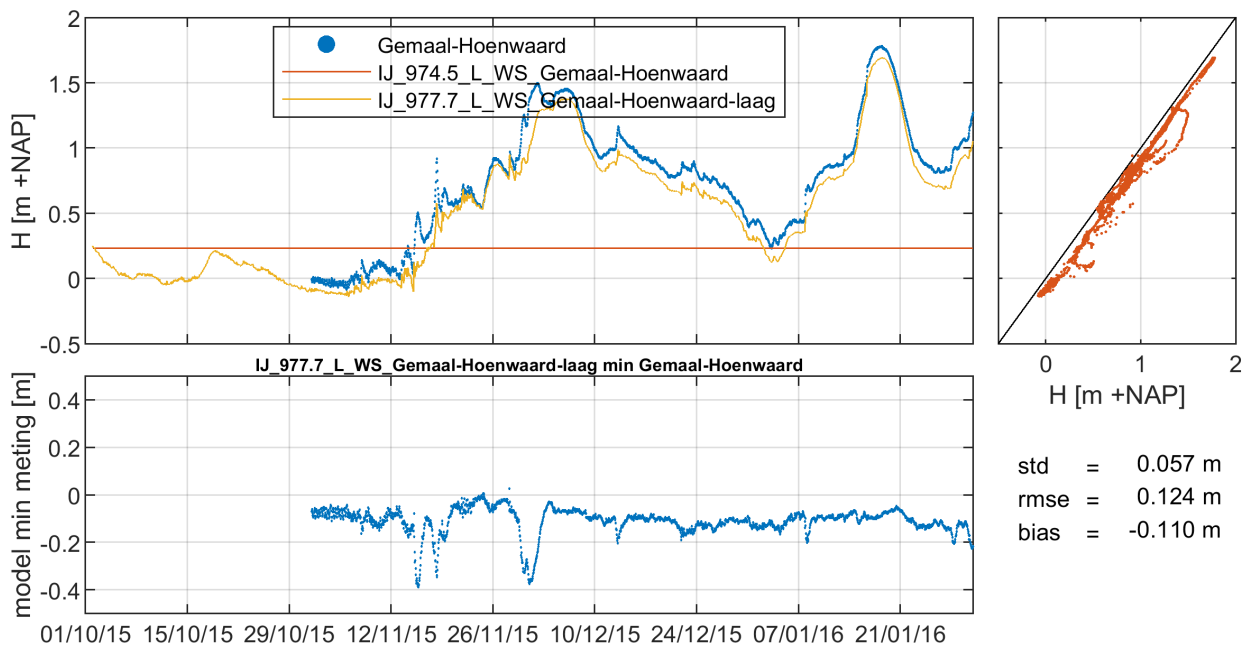
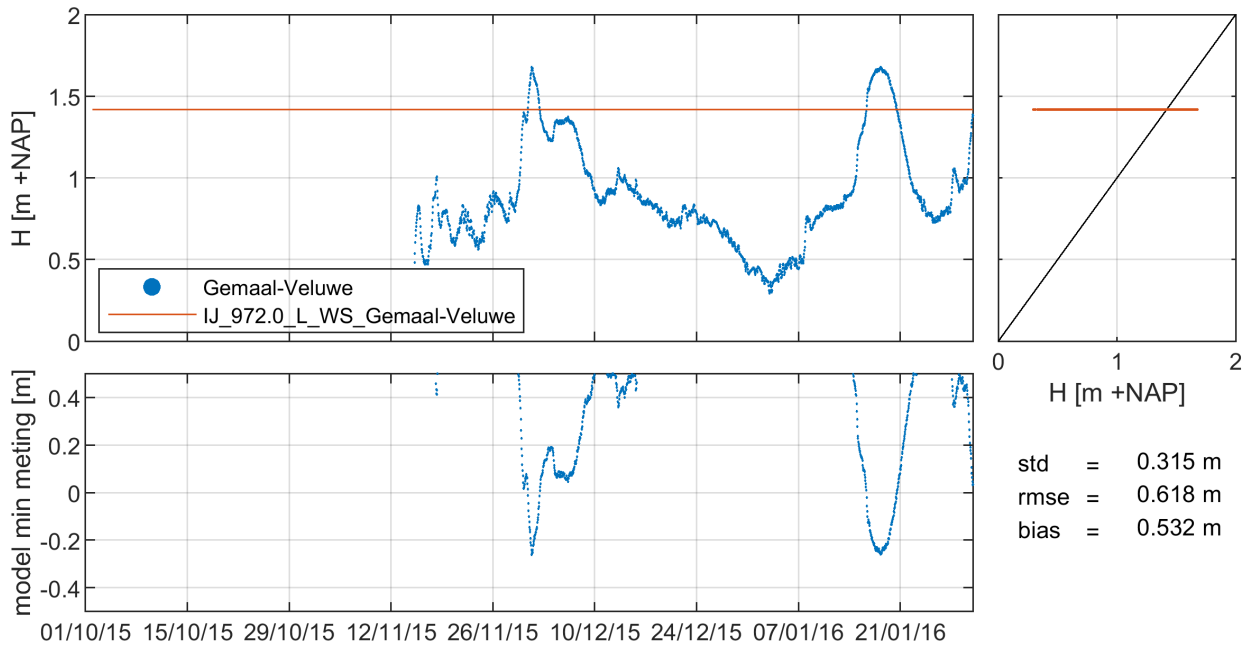


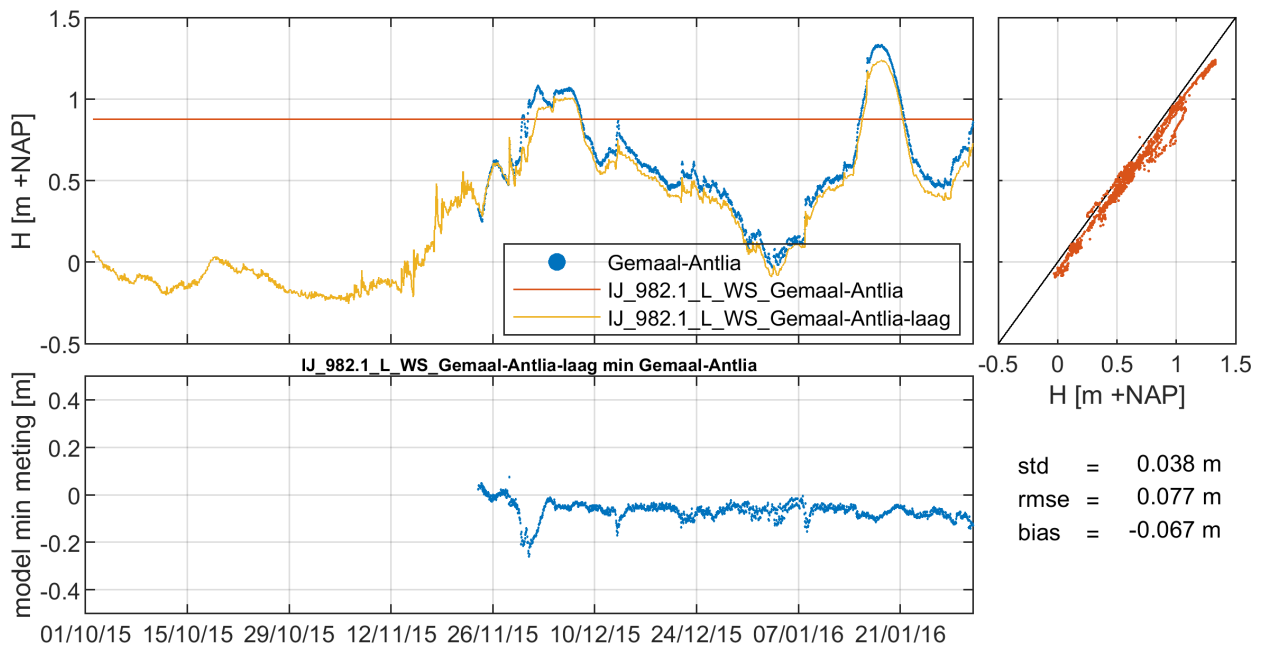
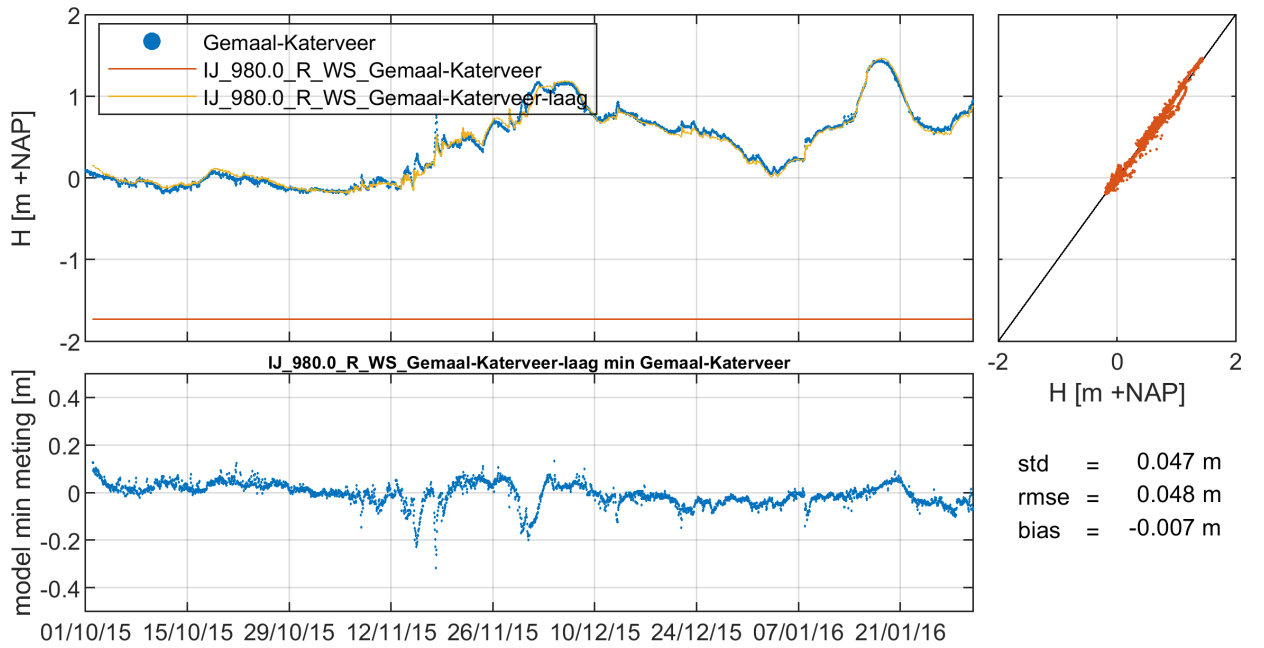


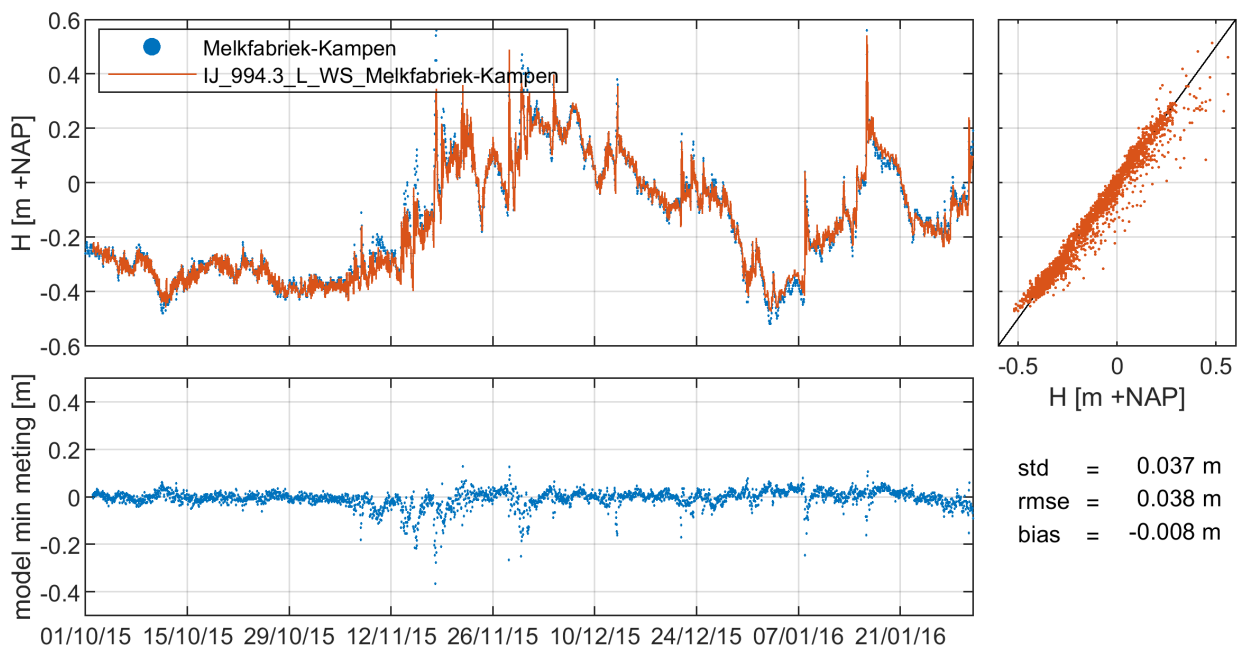
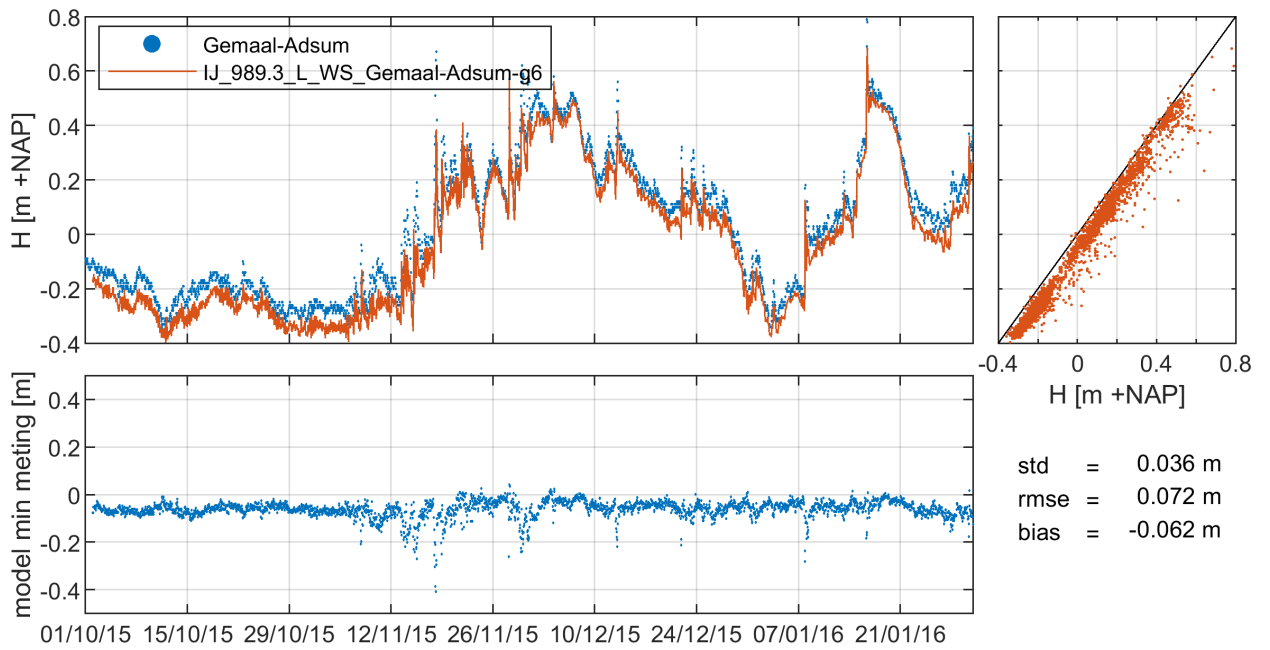


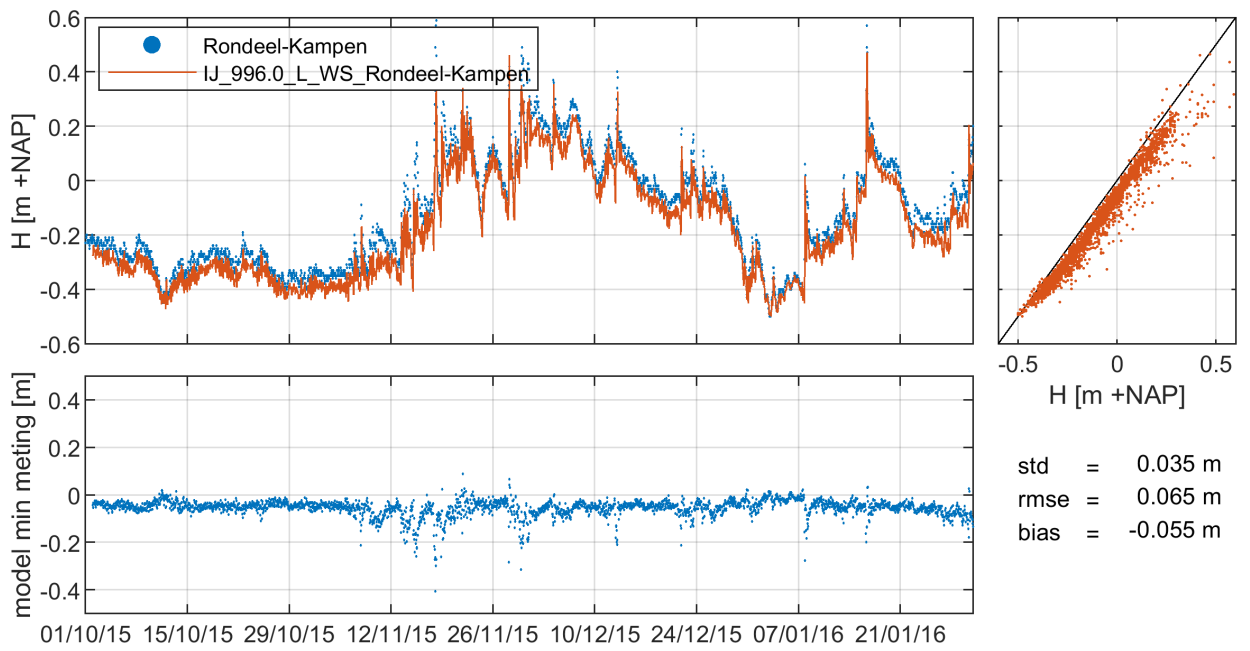
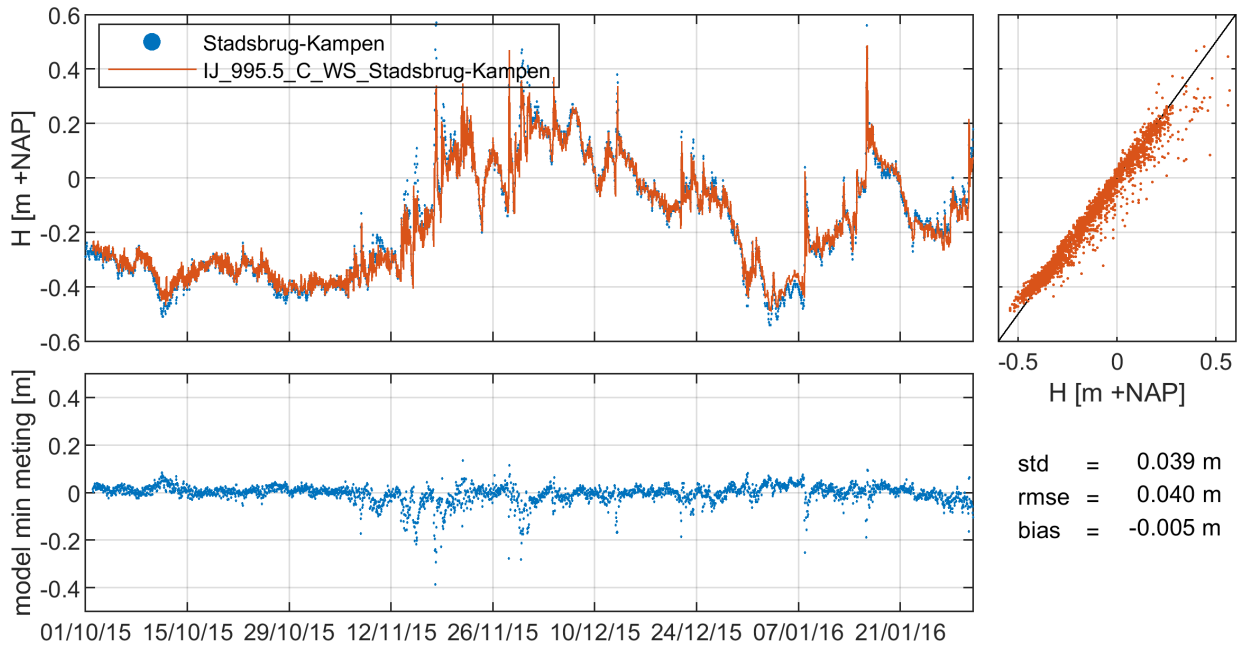


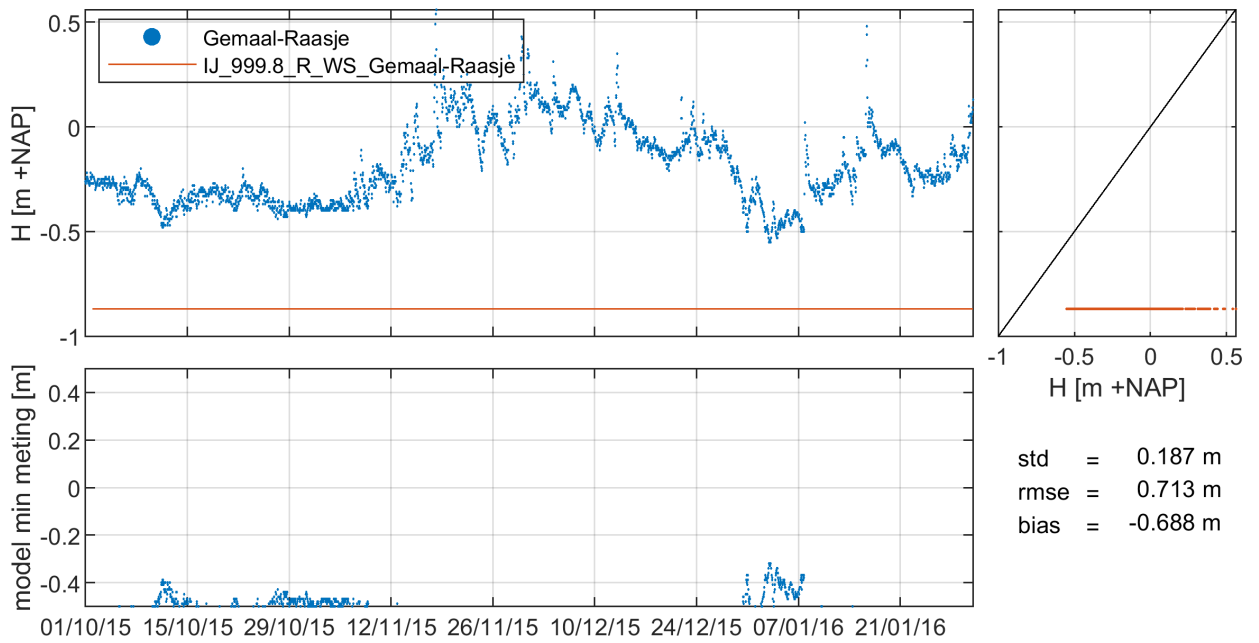




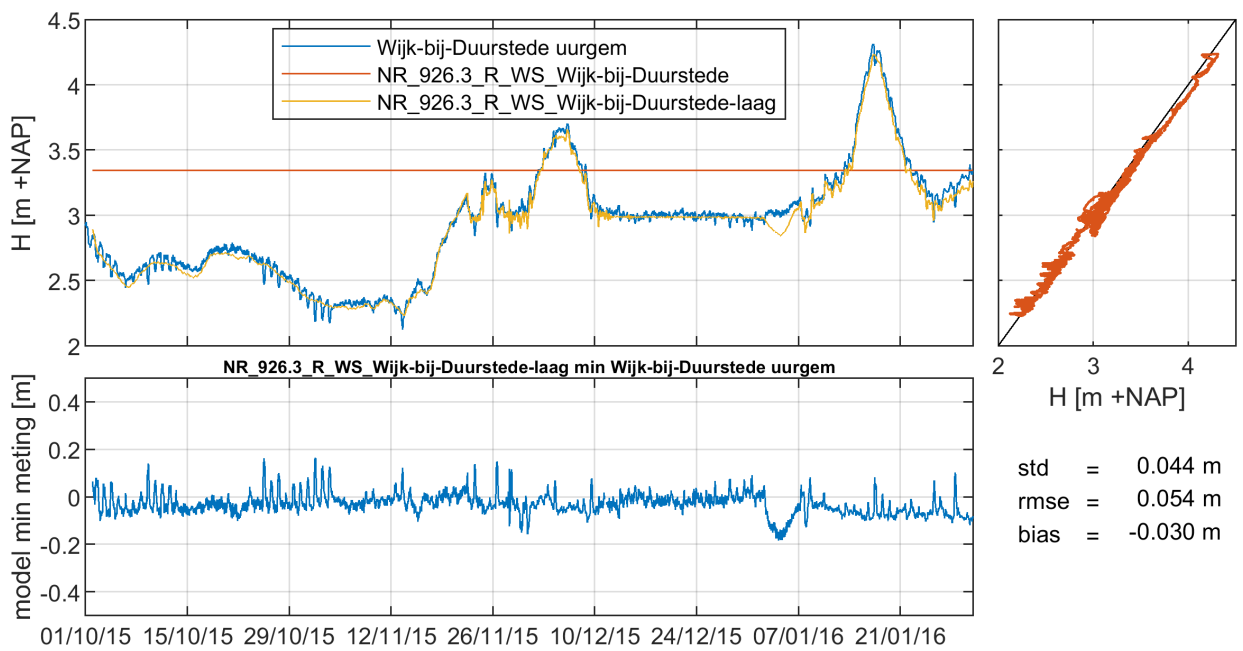


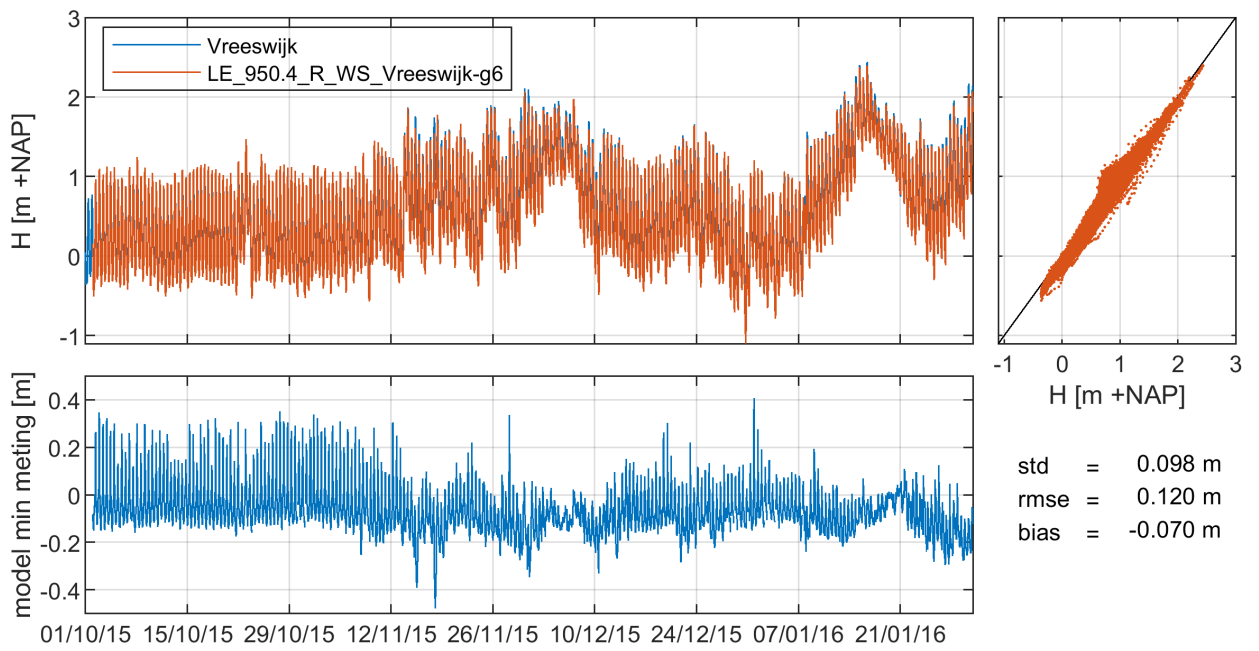
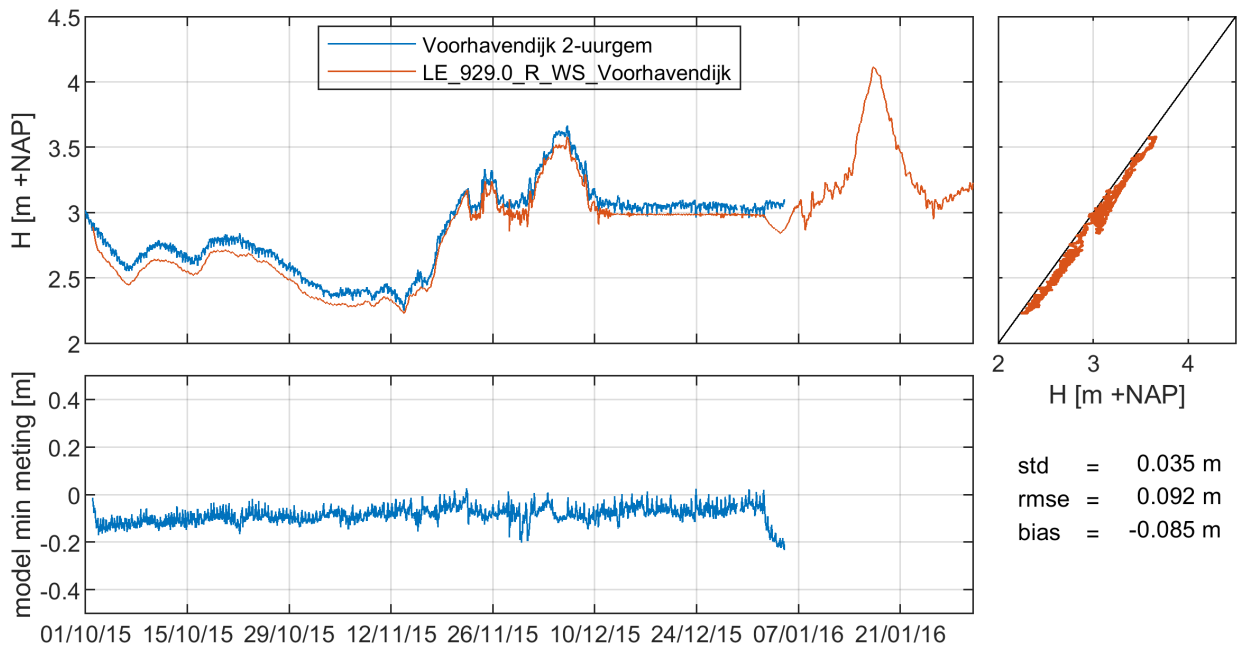


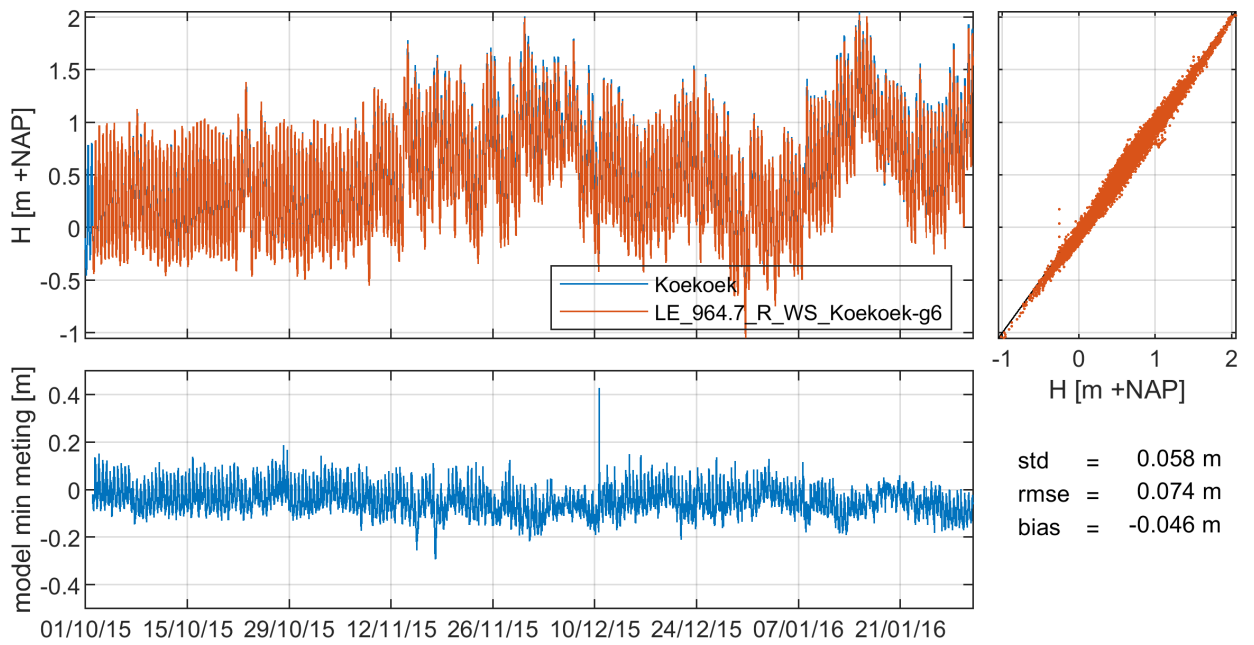




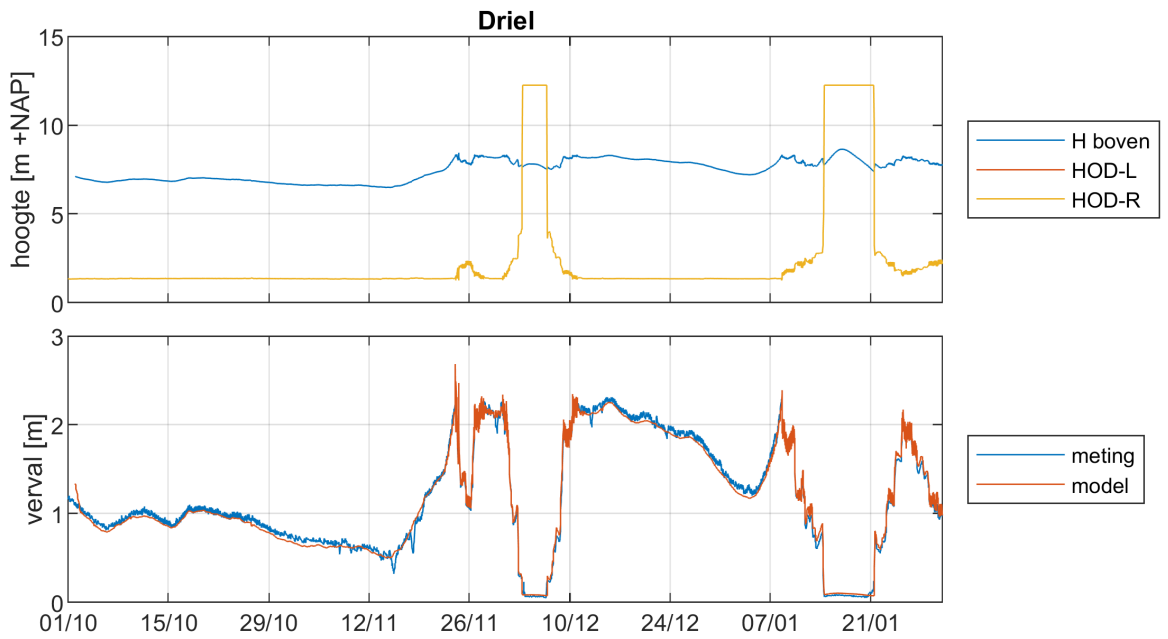
### 15-minutenwaarden

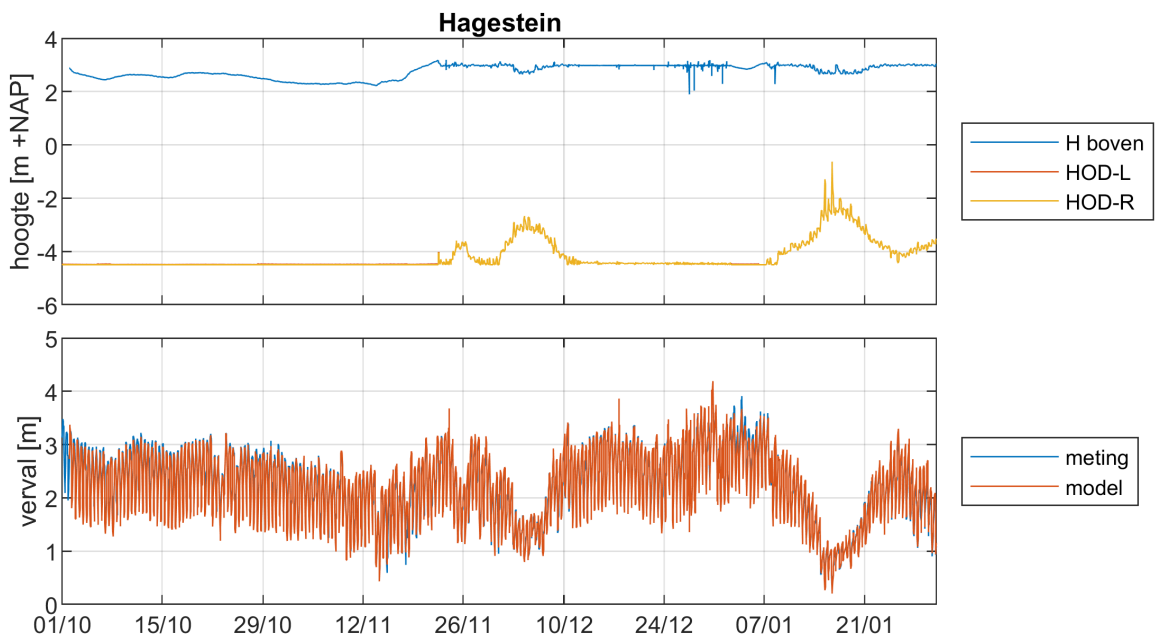
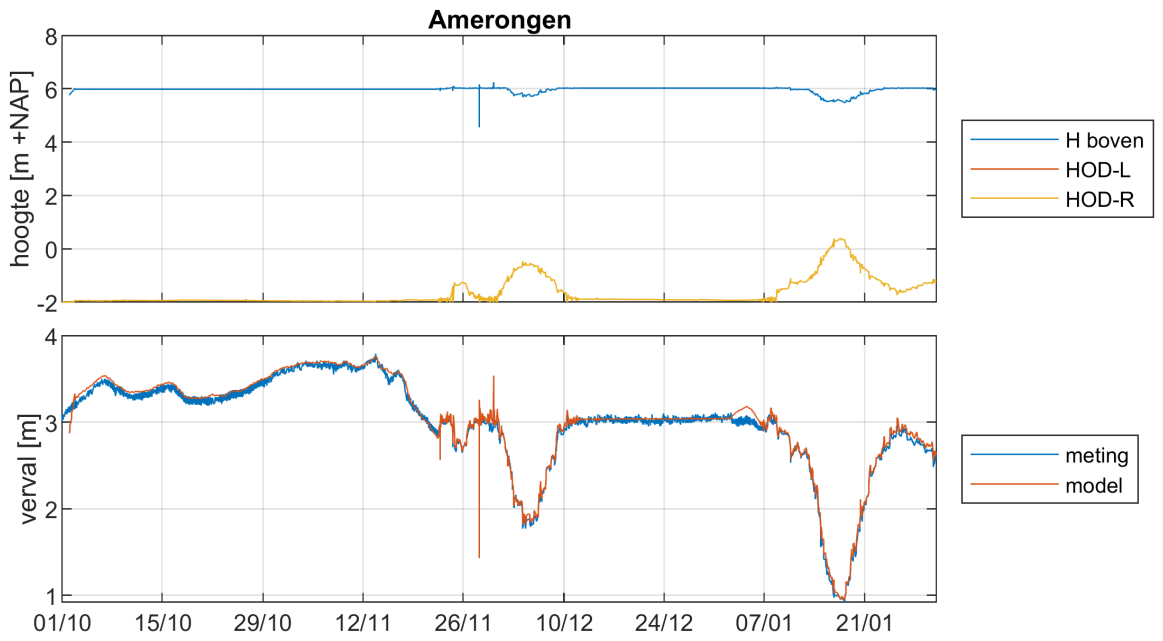






#### I.4.4 Stuwen



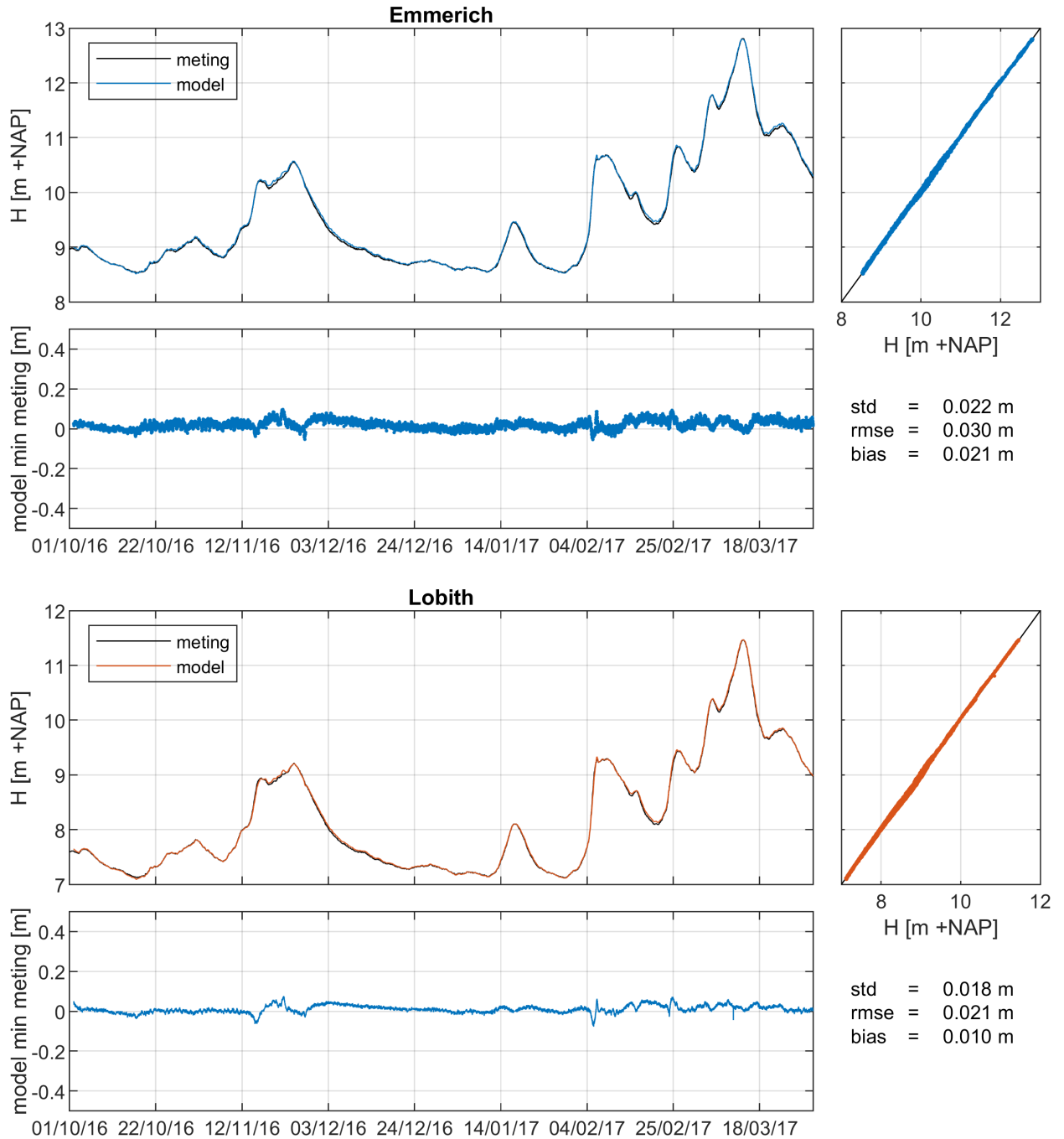


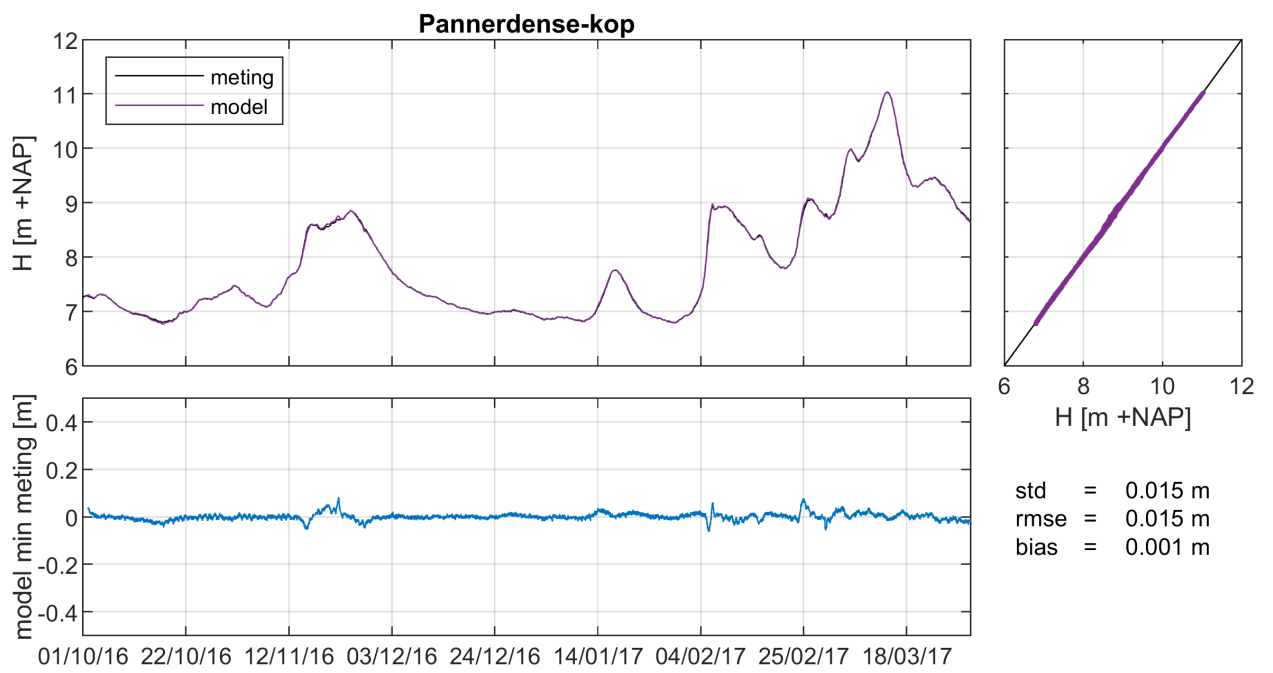
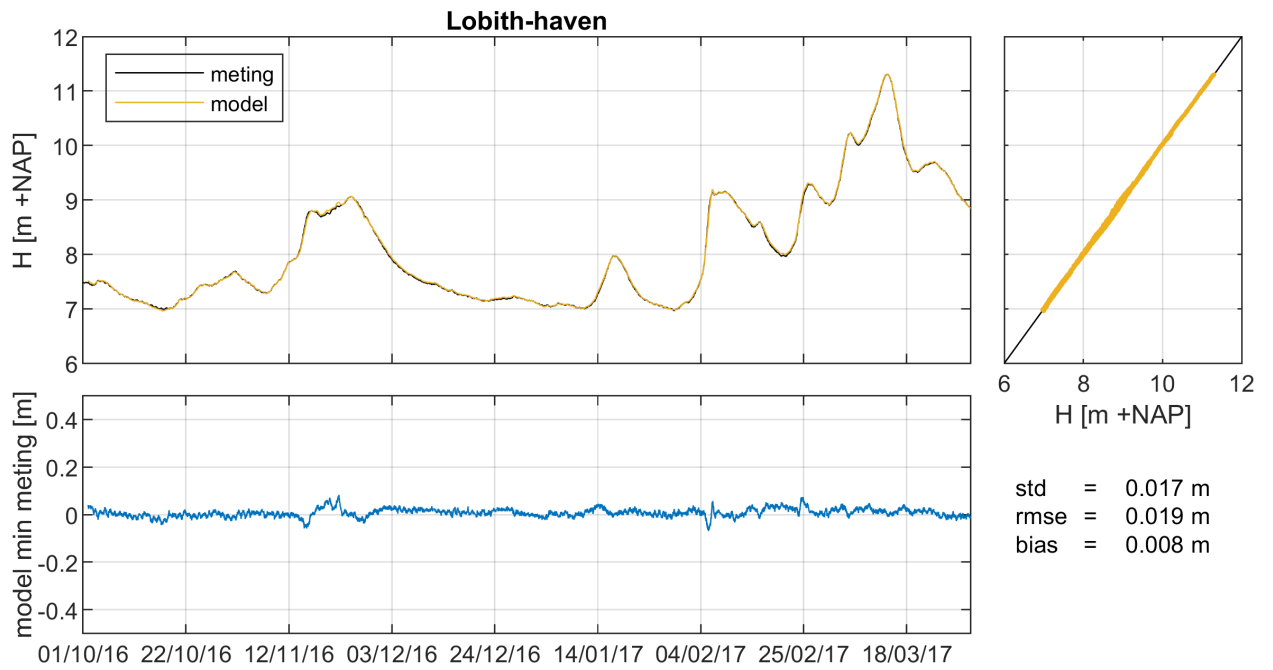


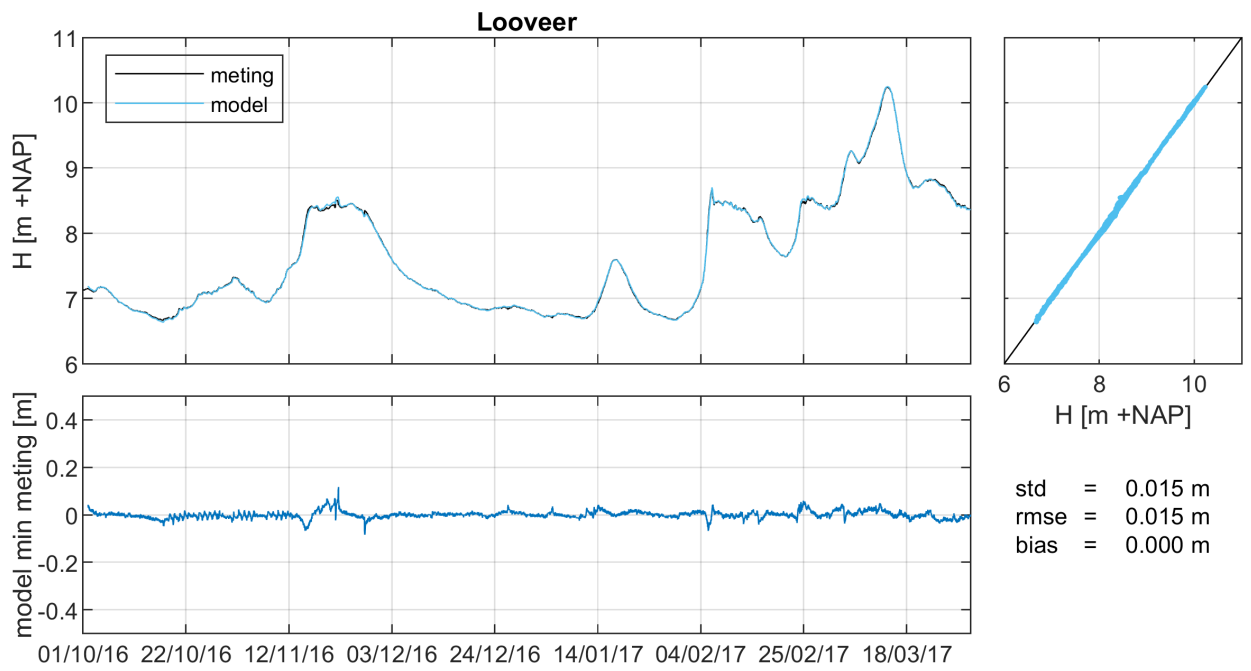
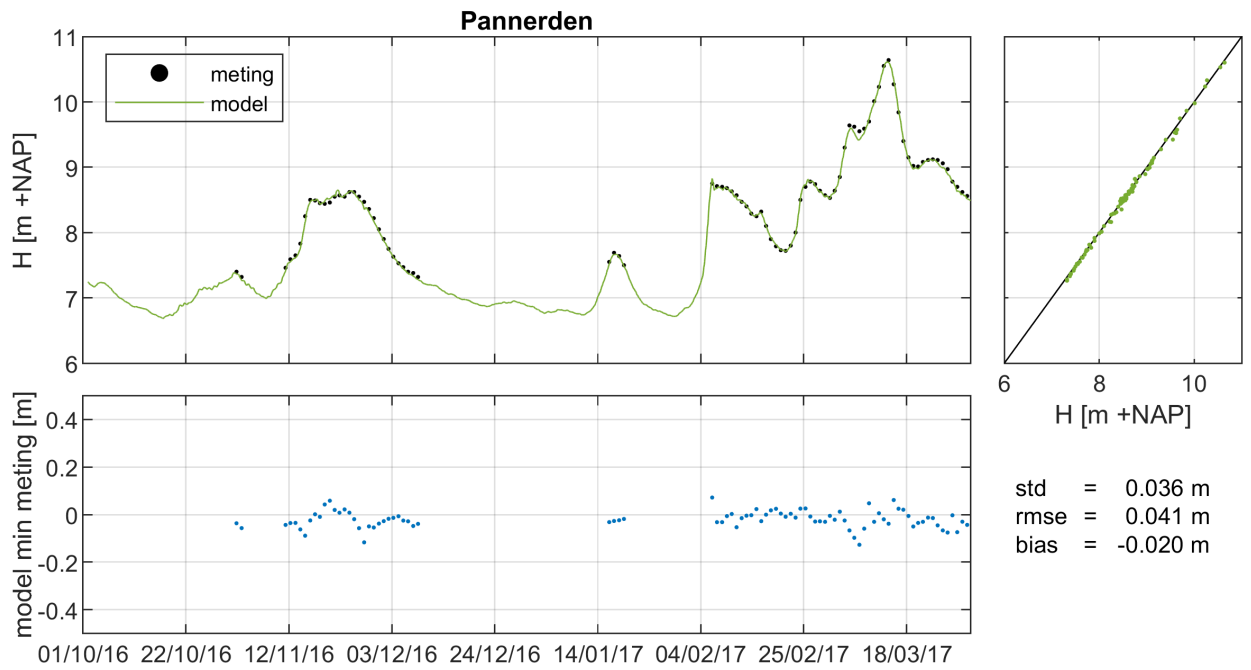
## I.5 j16

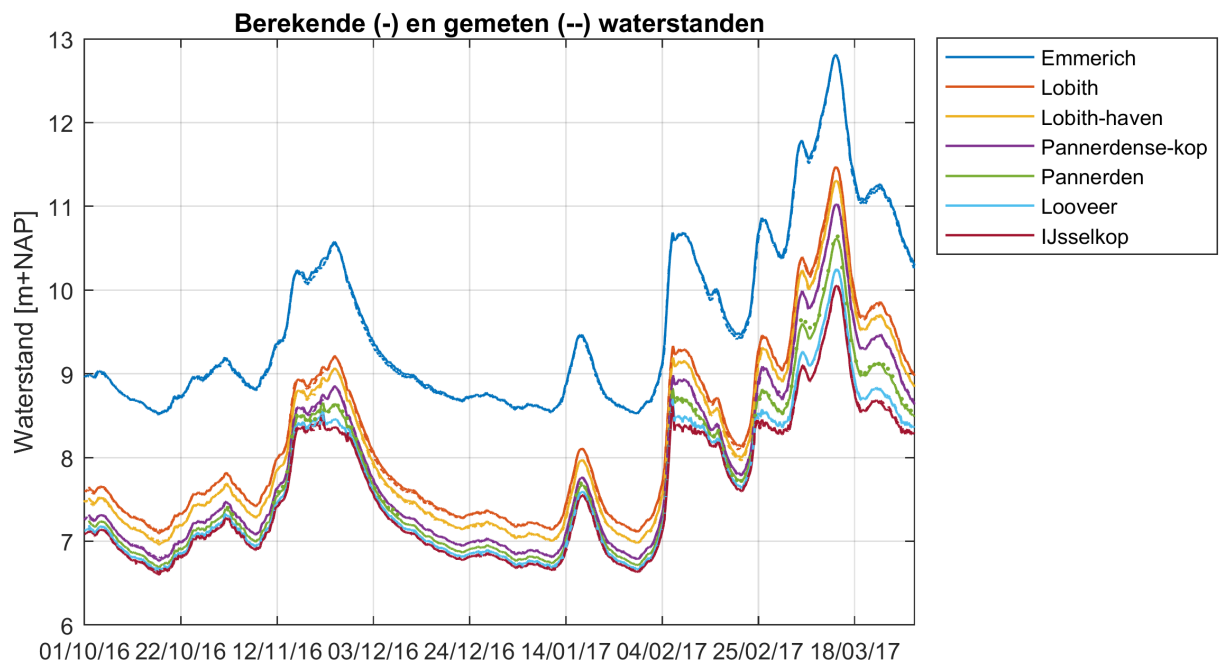
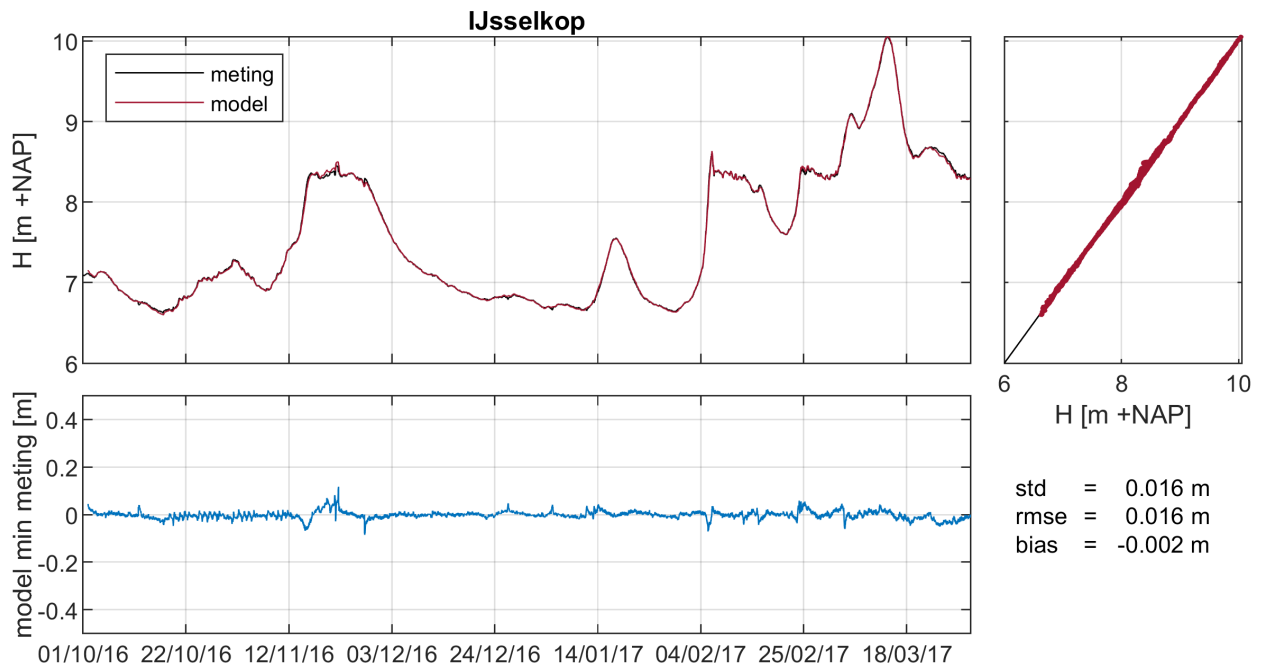
### I.5.1 Waterstanden

#### Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal

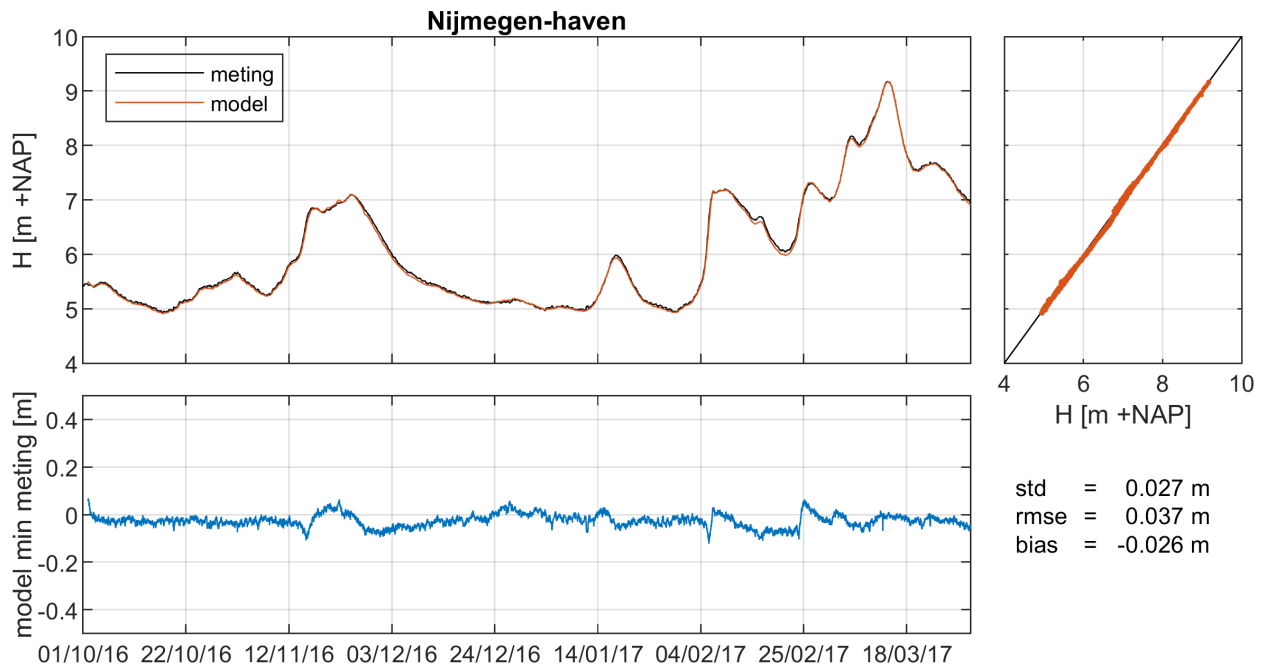
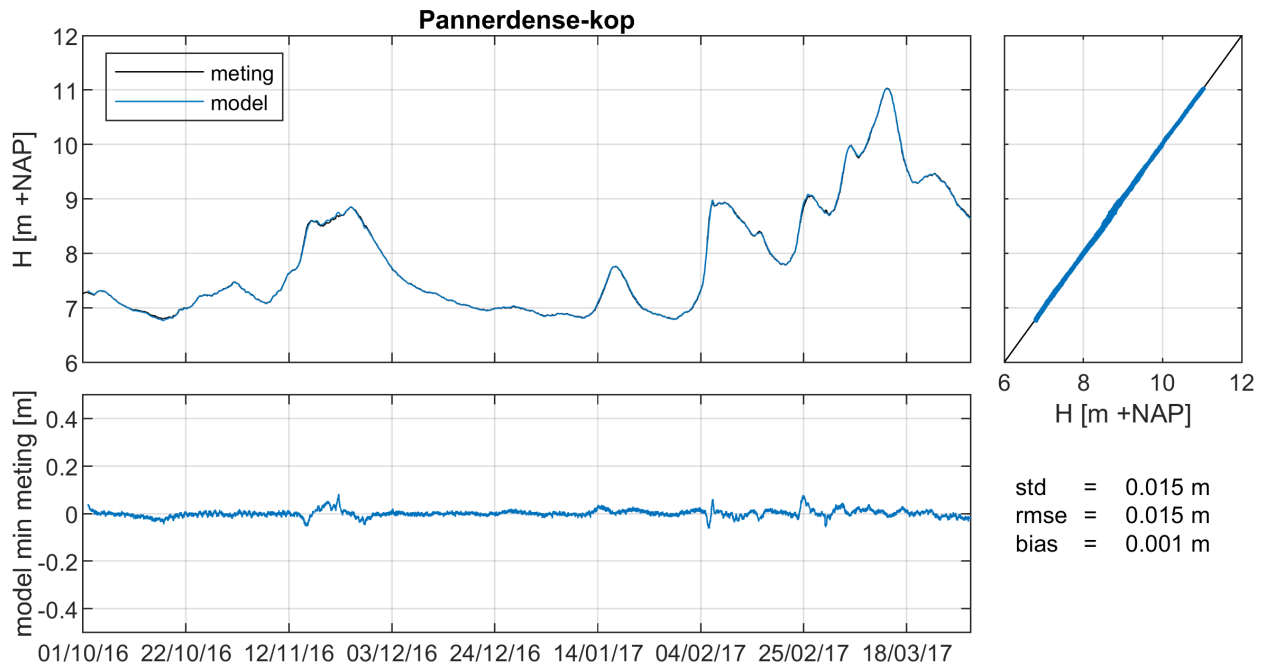


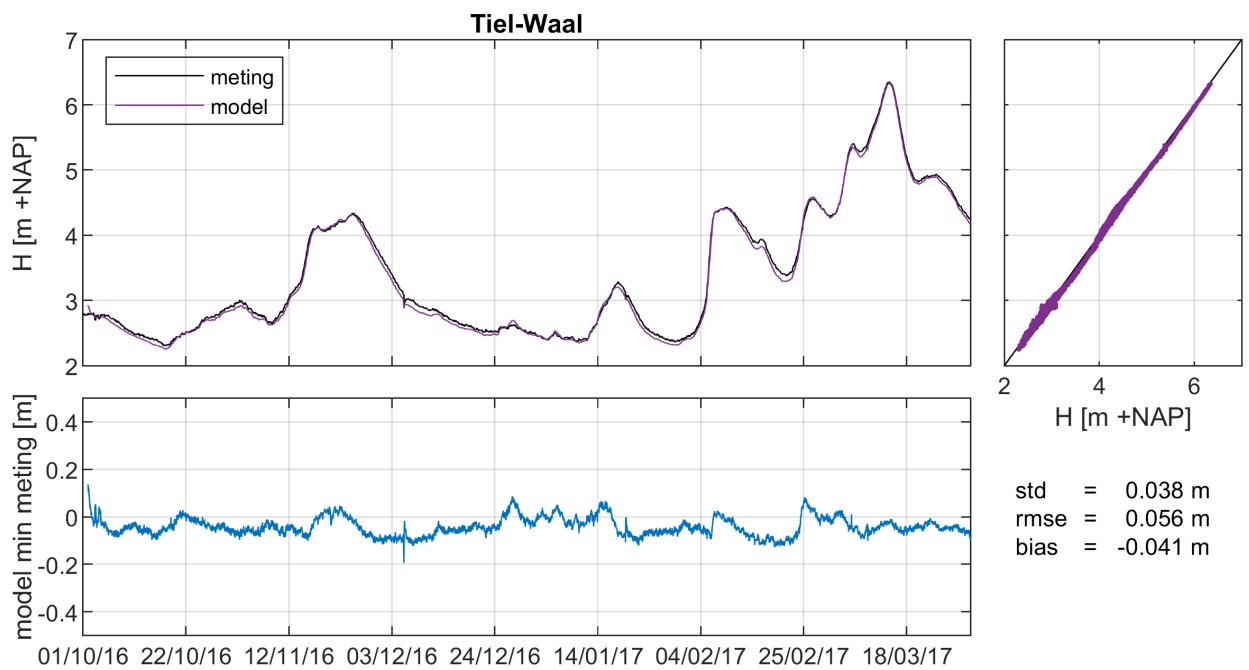
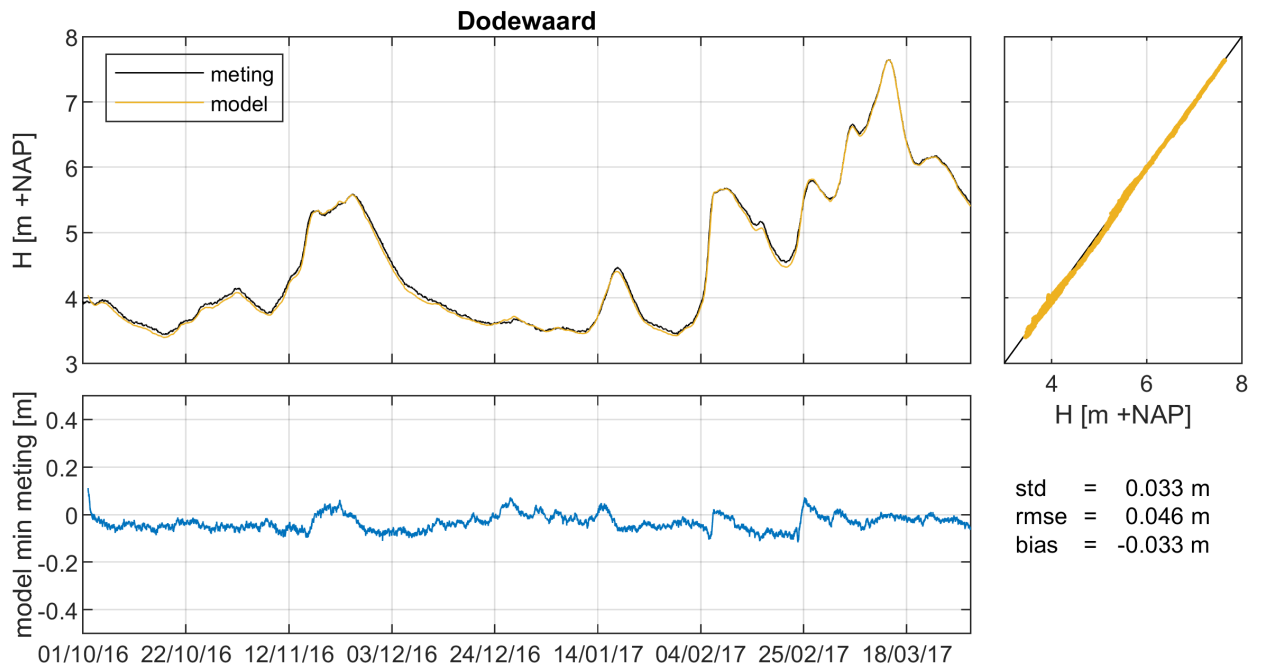


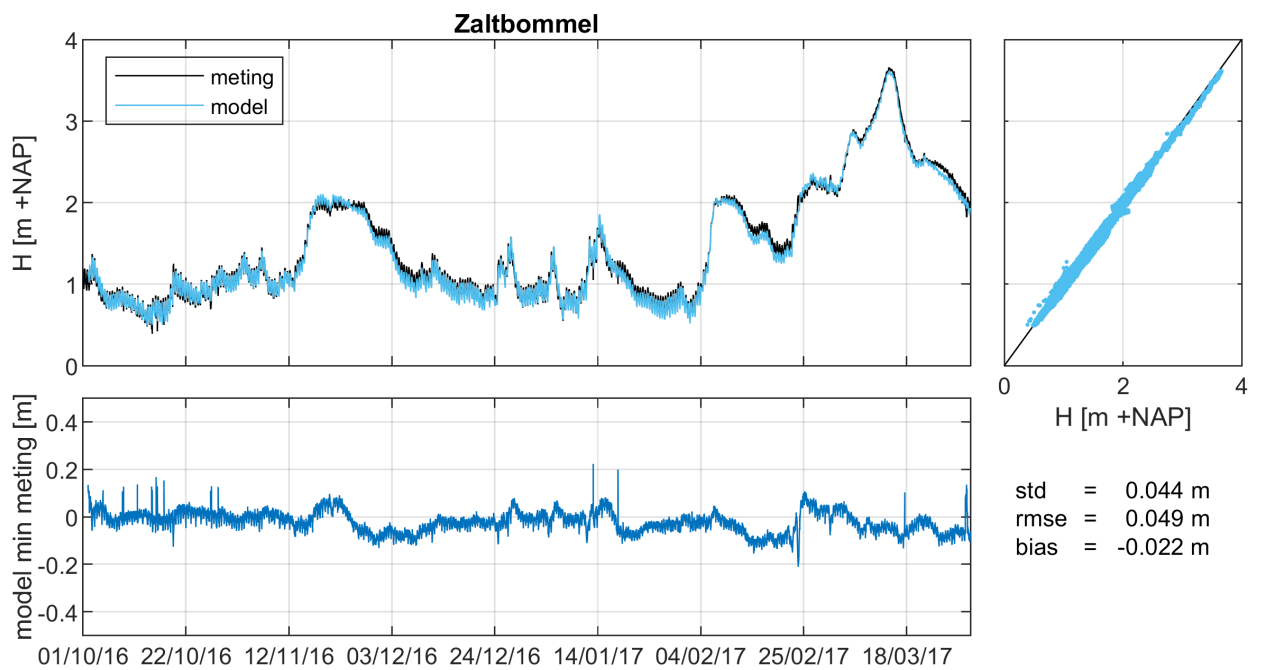
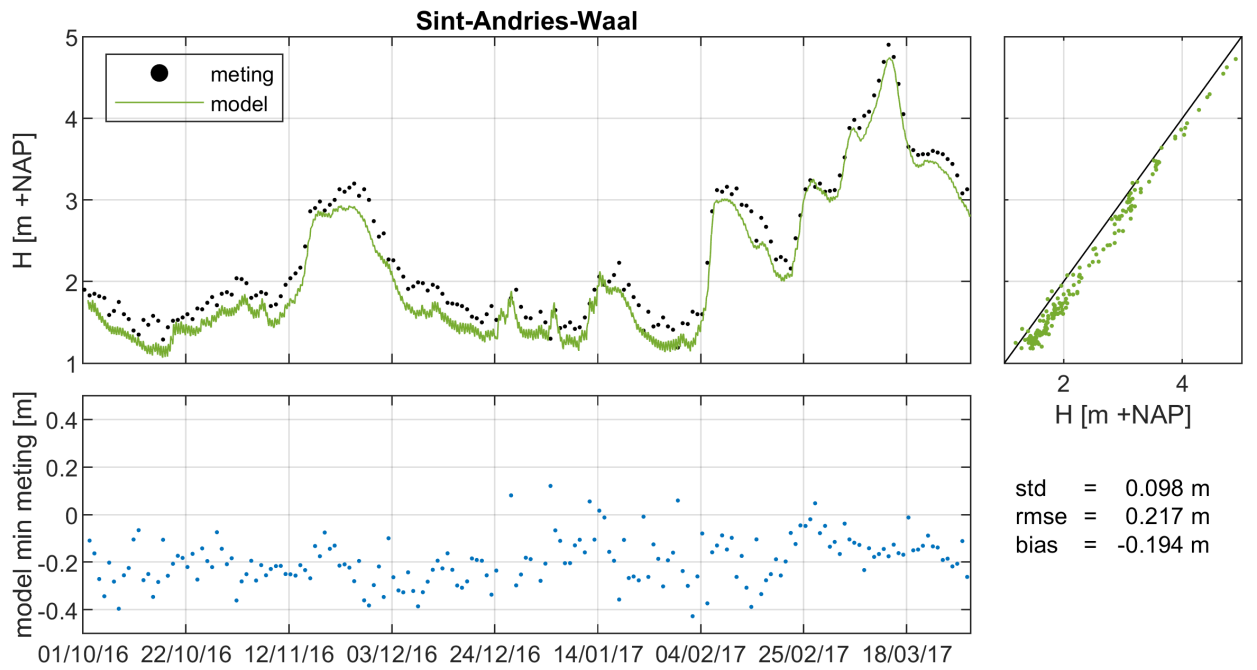


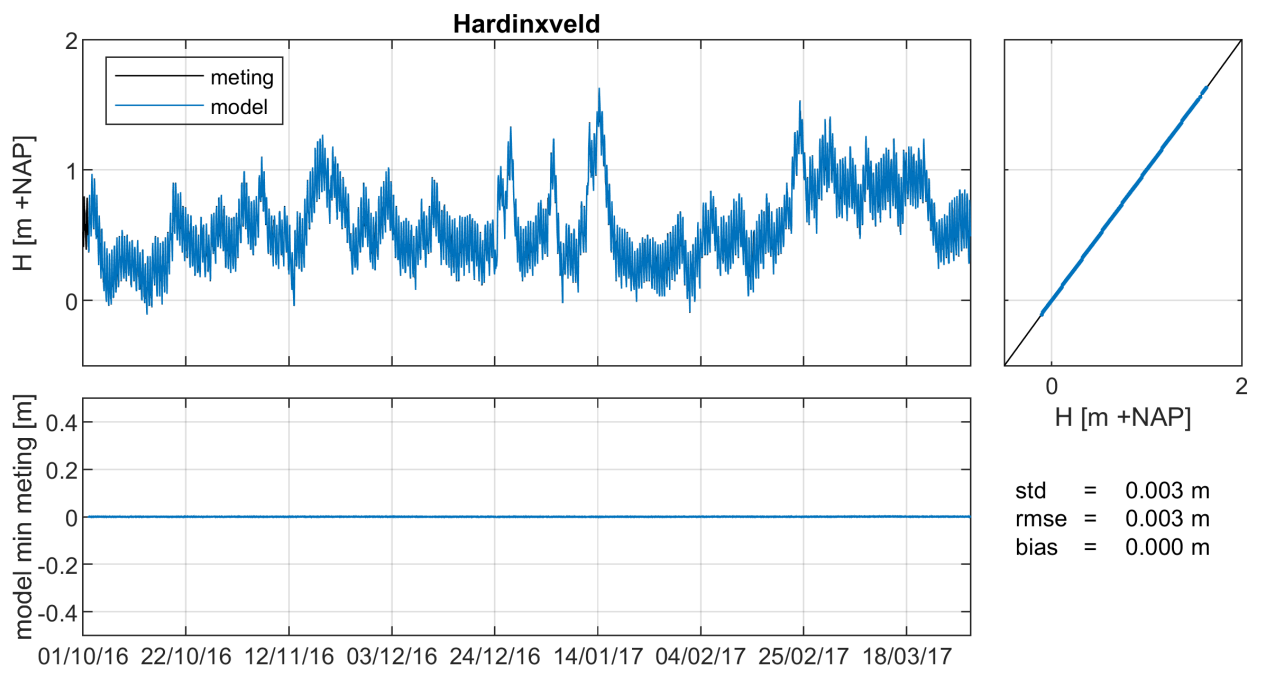
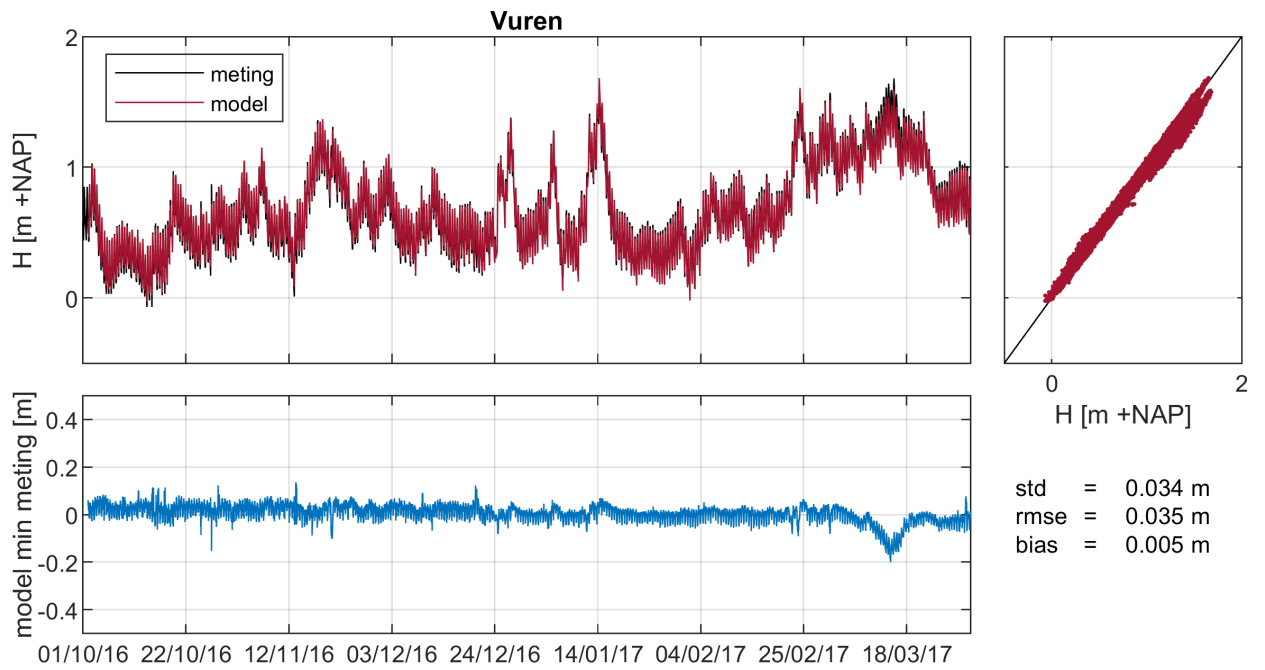


Waal

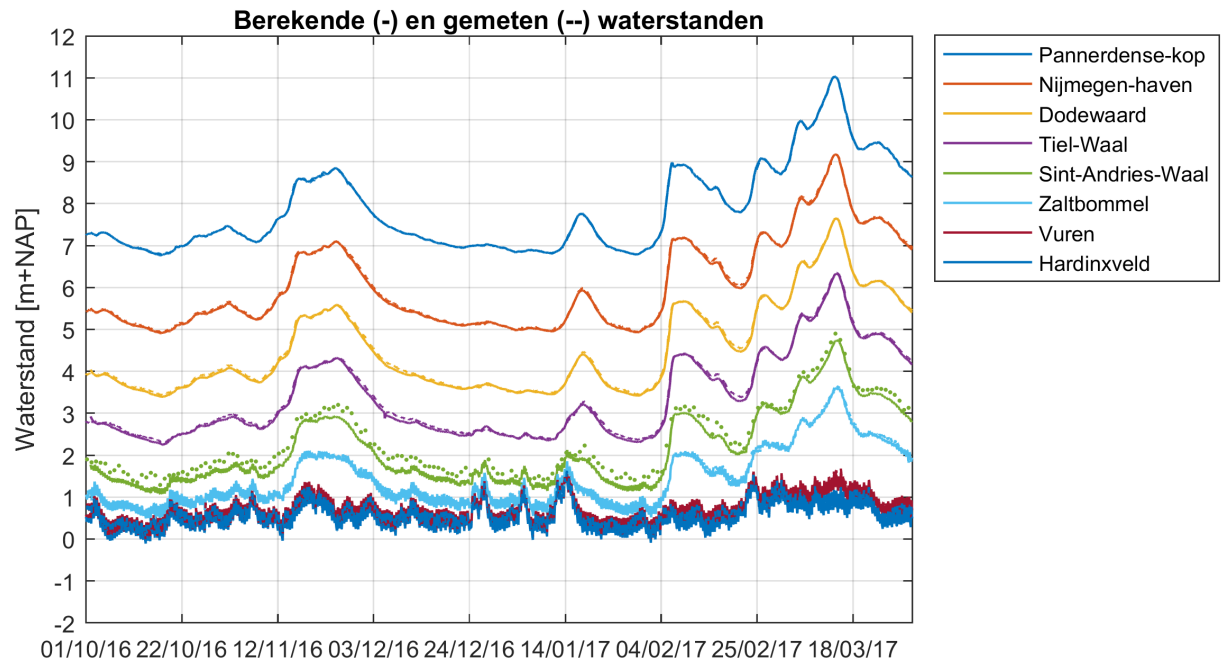




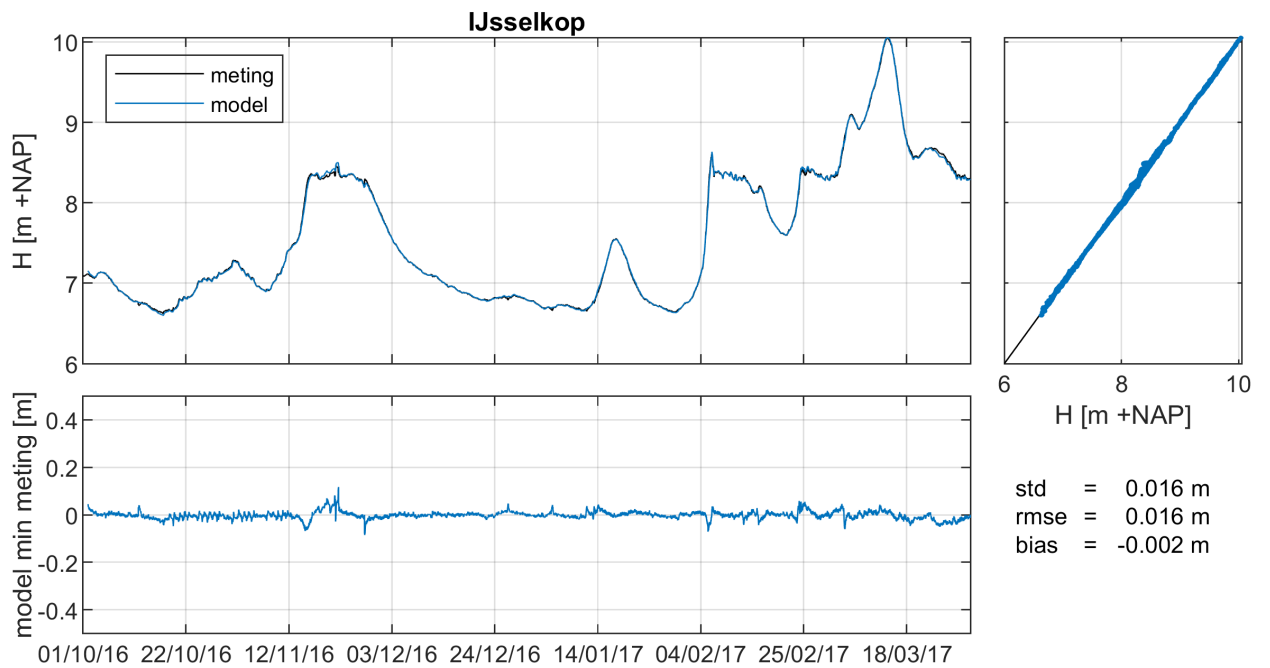


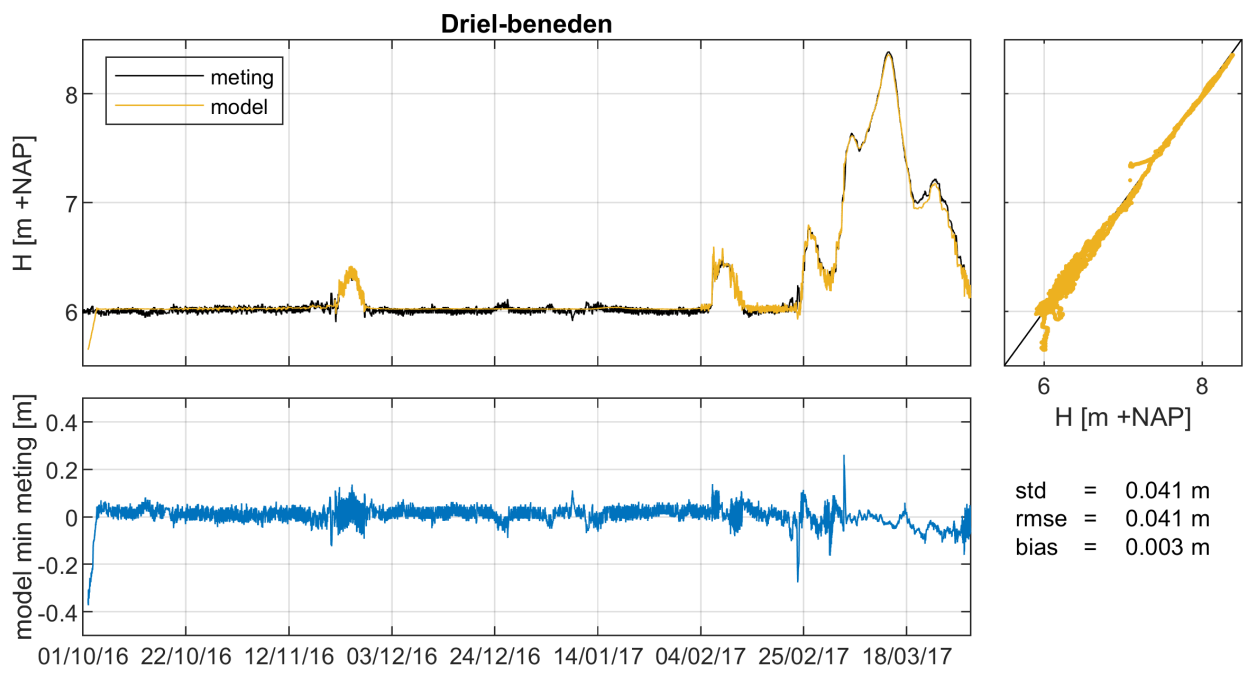
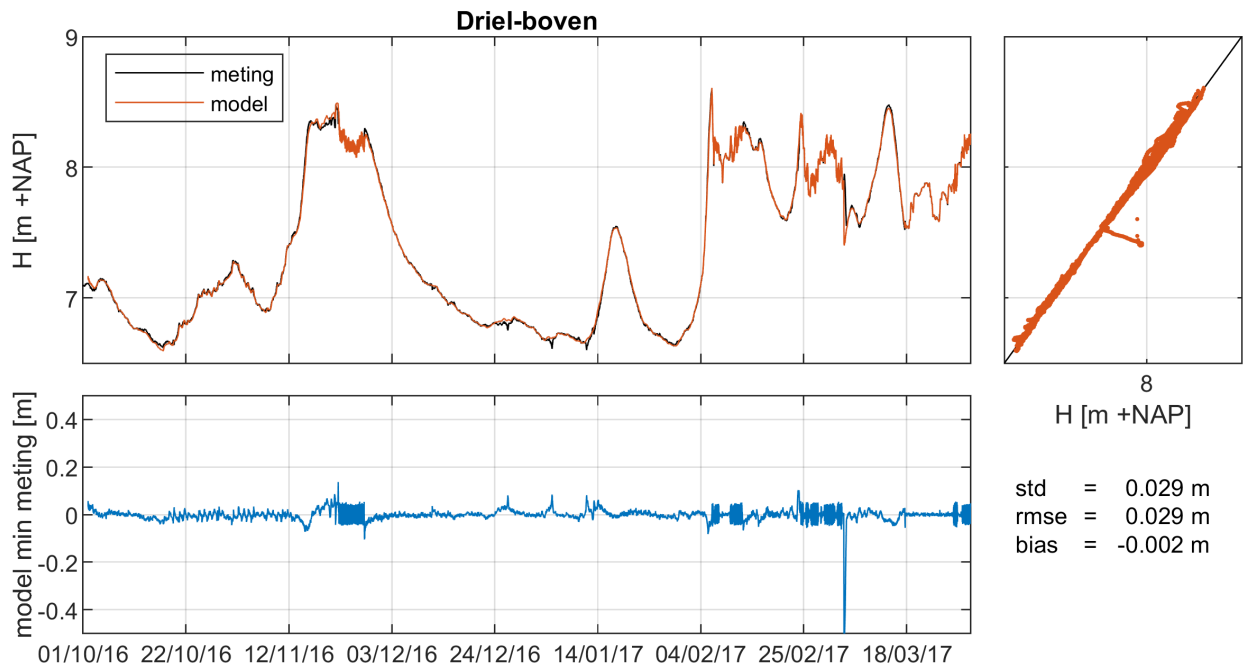


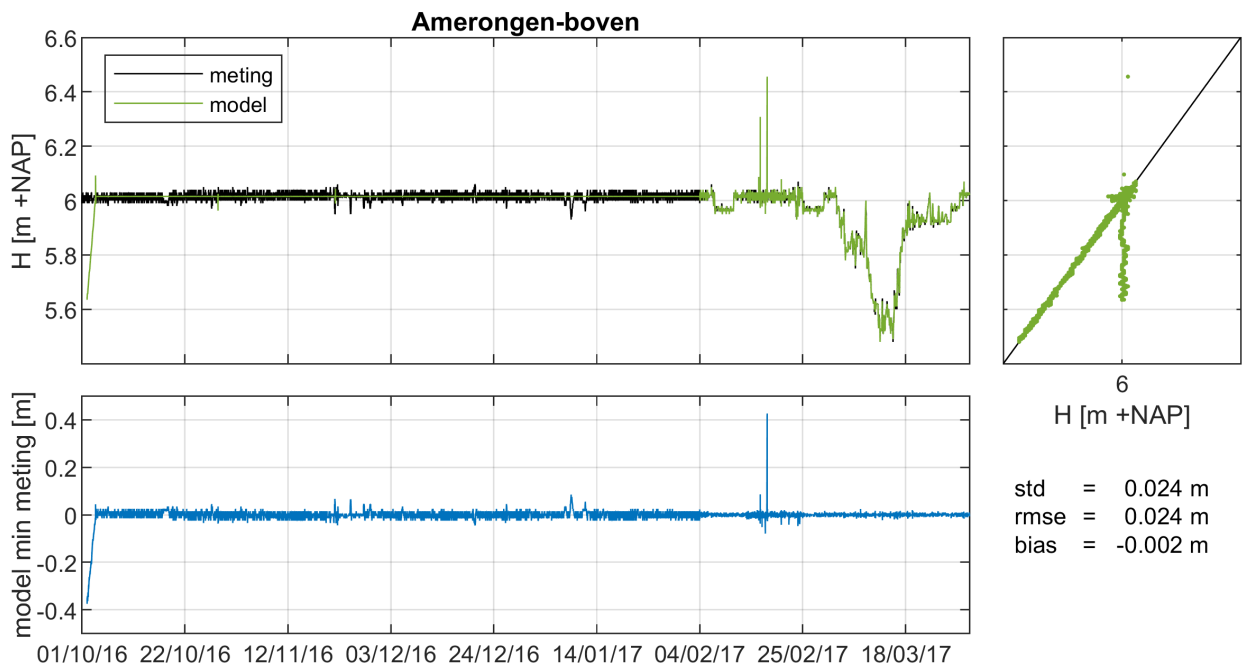
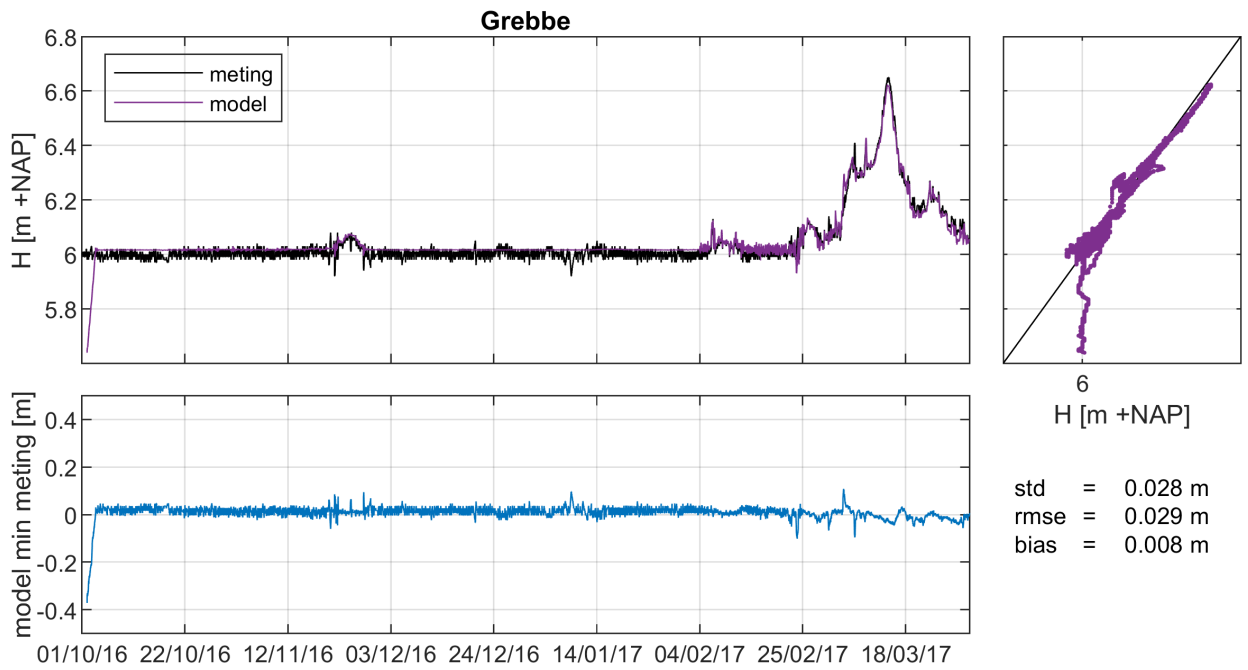




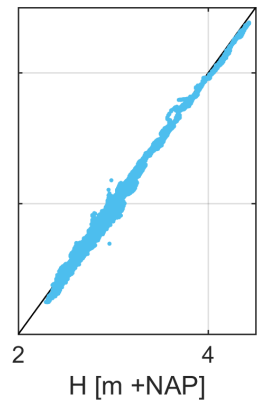
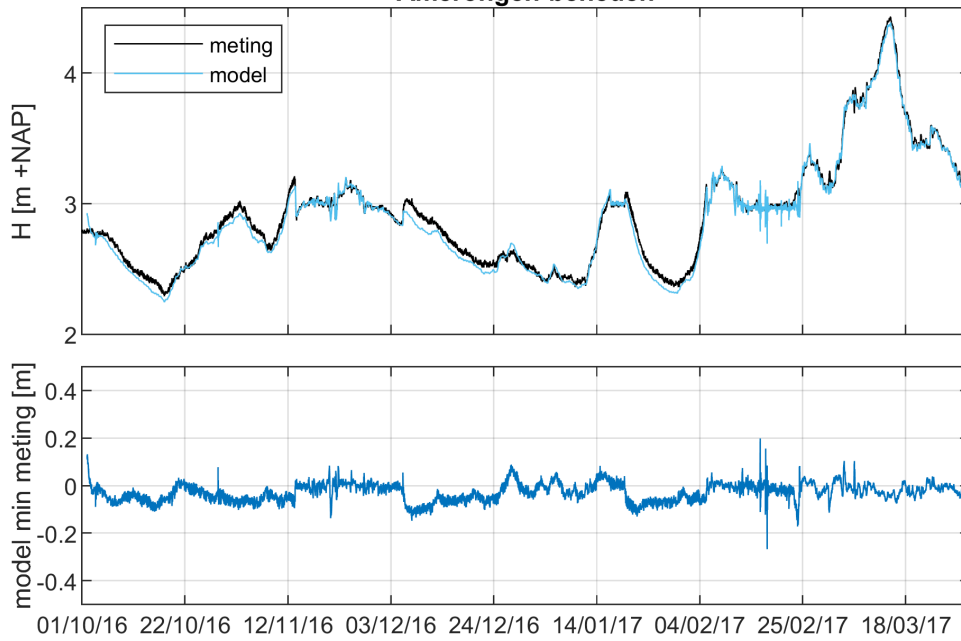
### Neder-Rijn - Lek





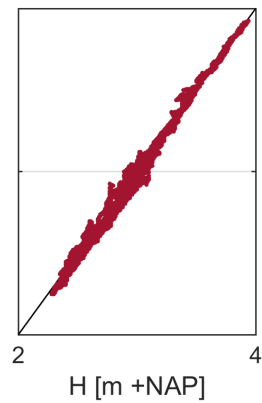
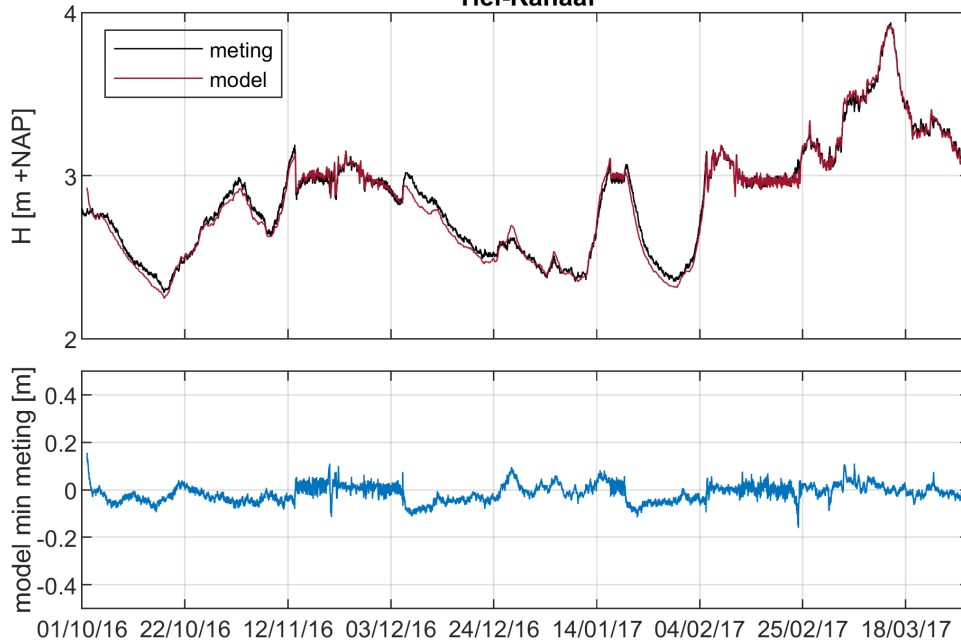


### Amerongen-beneden

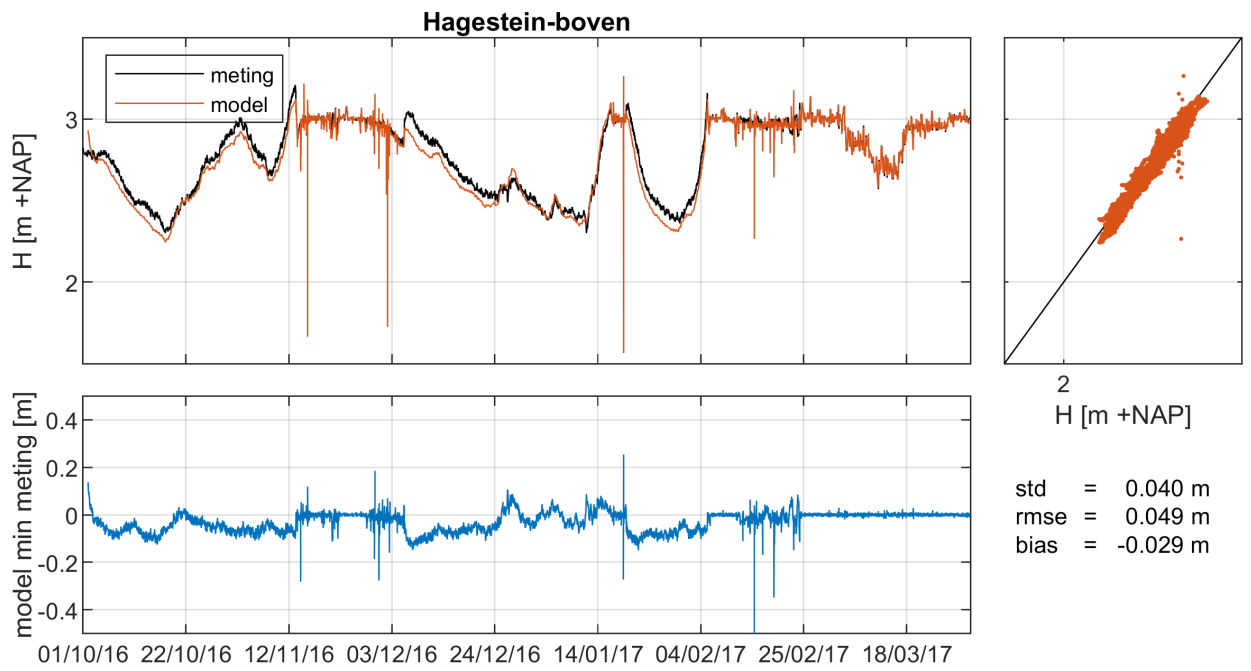
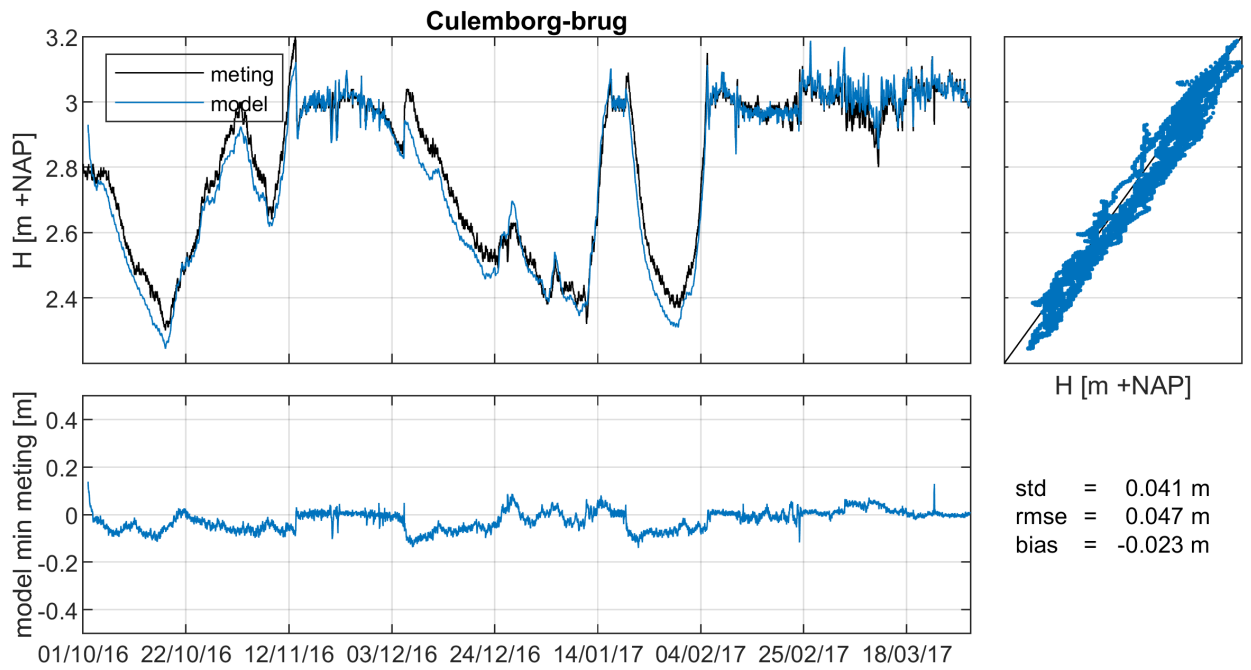


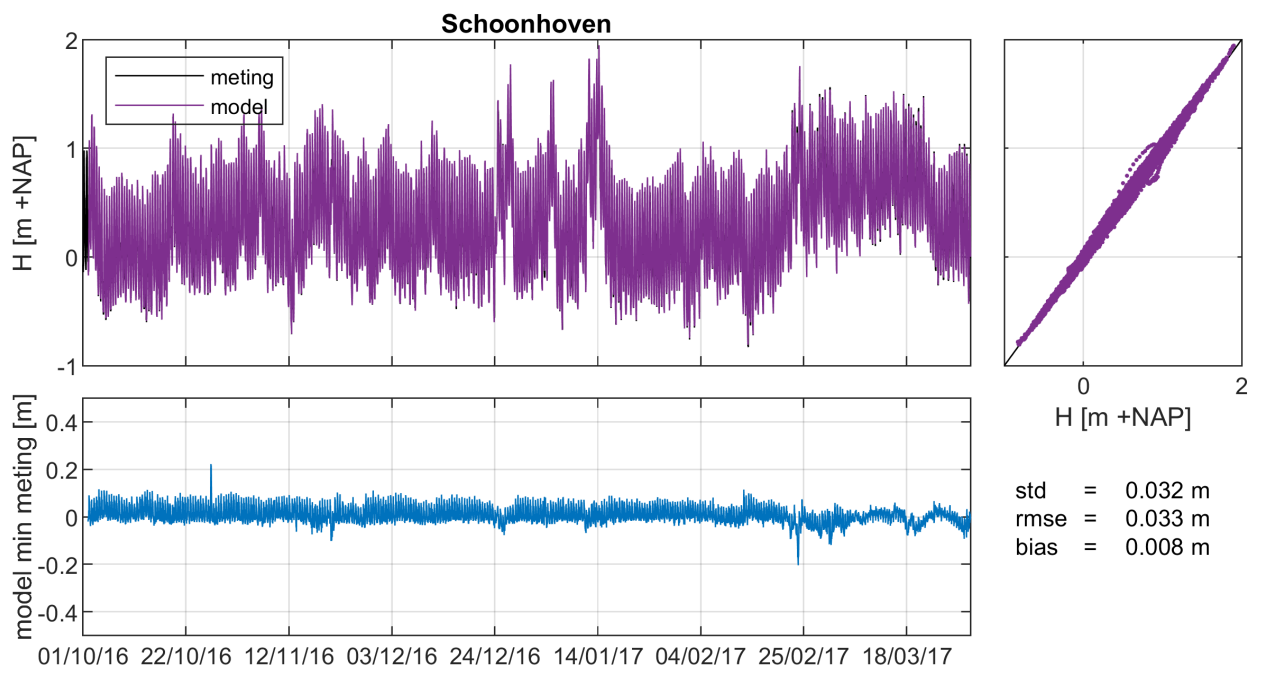
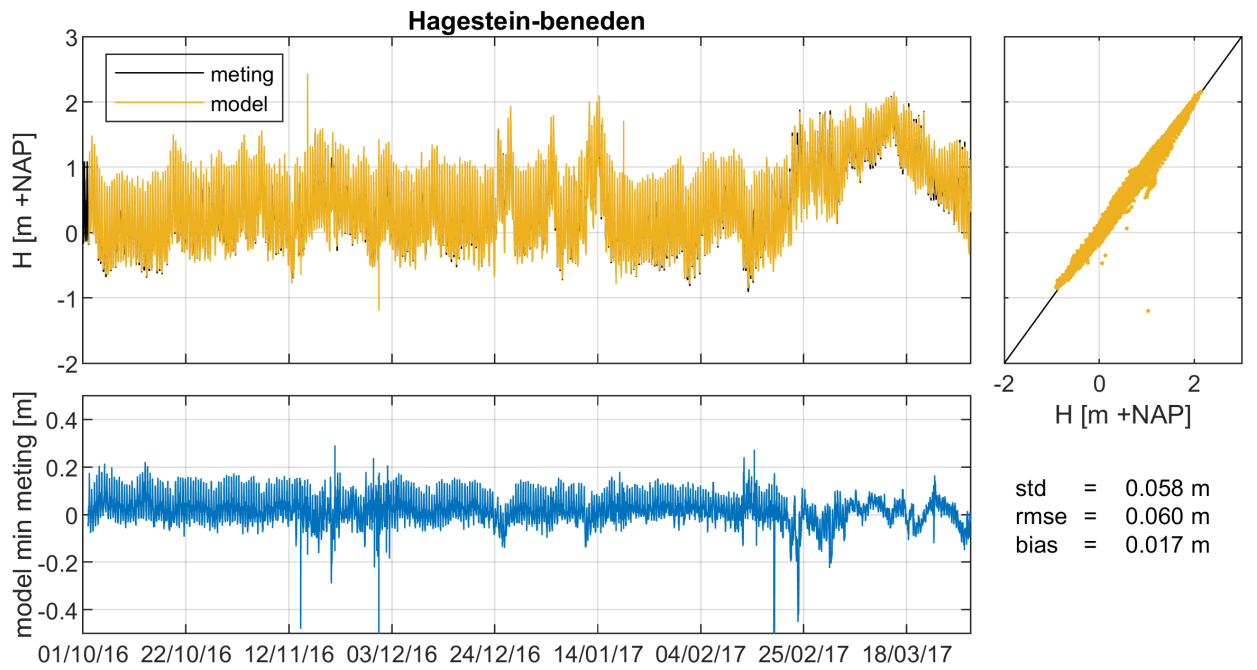
std = 0.037 m  
rmse = 0.047 m  
bias = -0.028 m

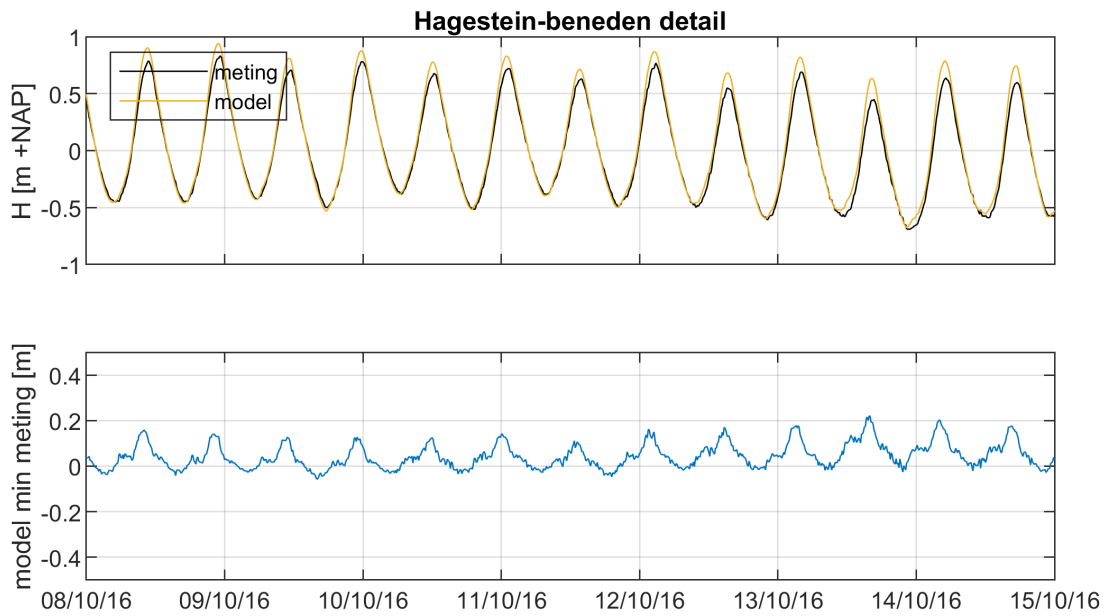
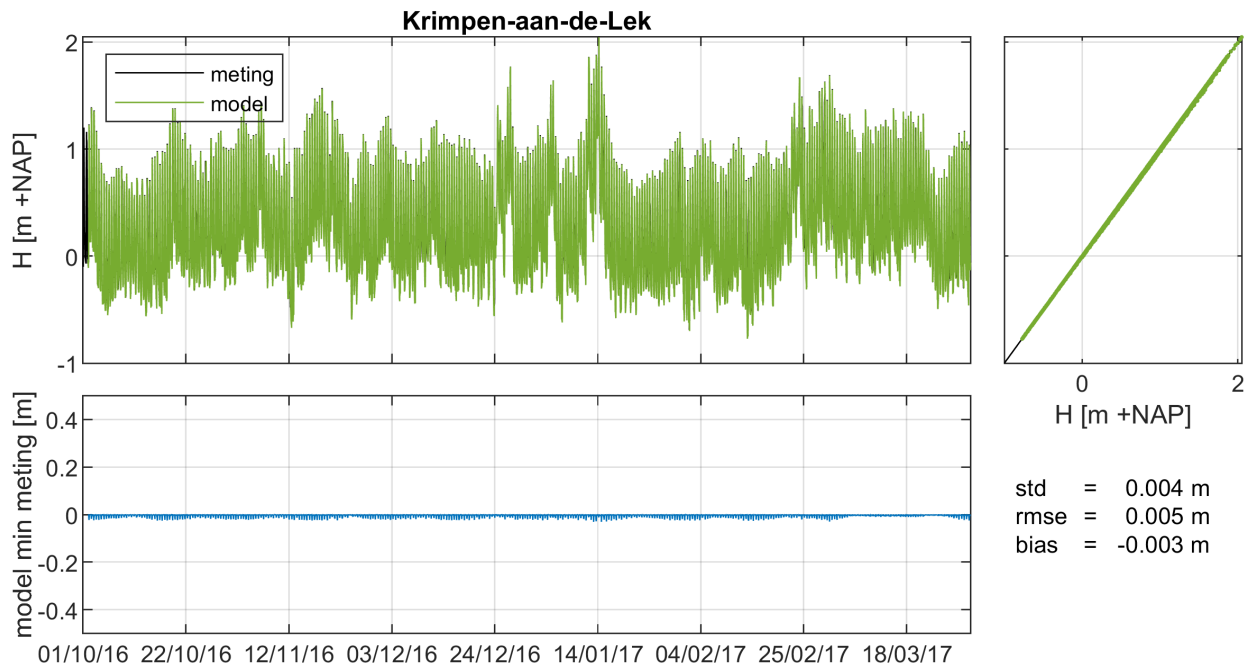
### Tiel-Kanaal

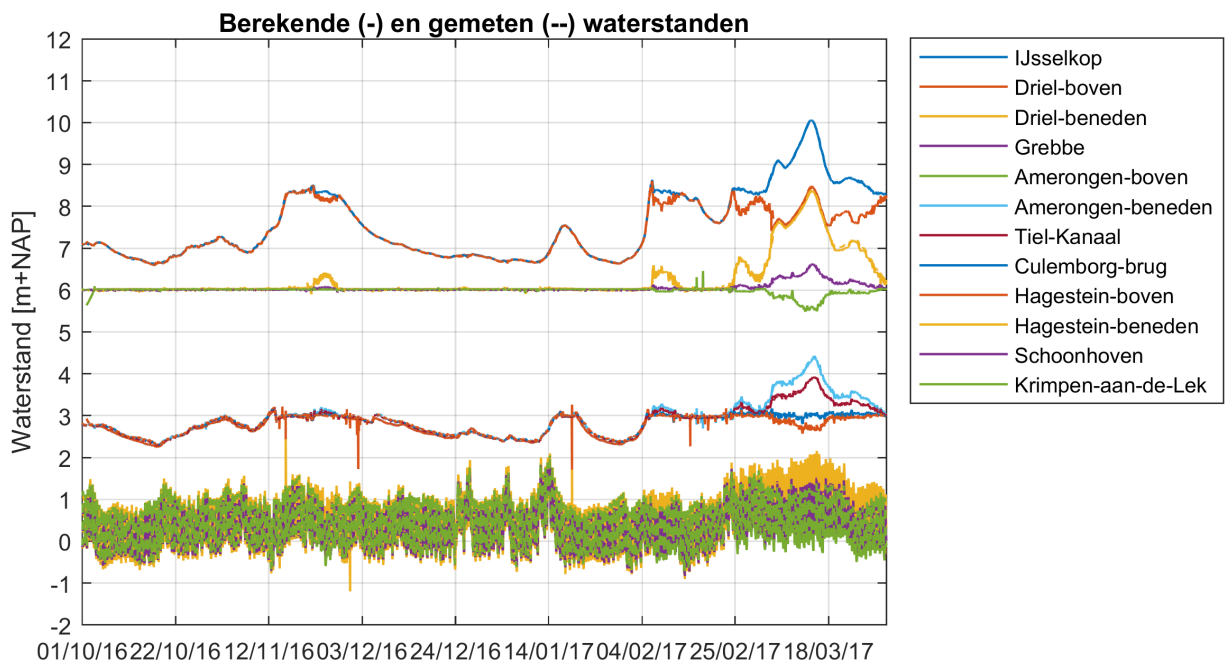
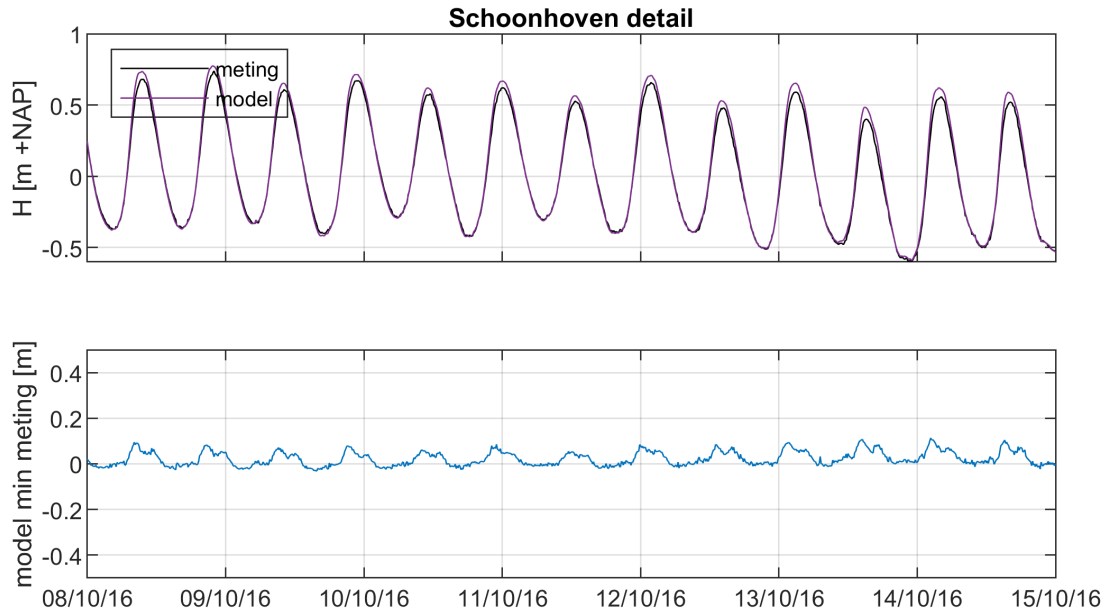


std = 0.036 m  
rmse = 0.038 m  
bias = -0.013 m



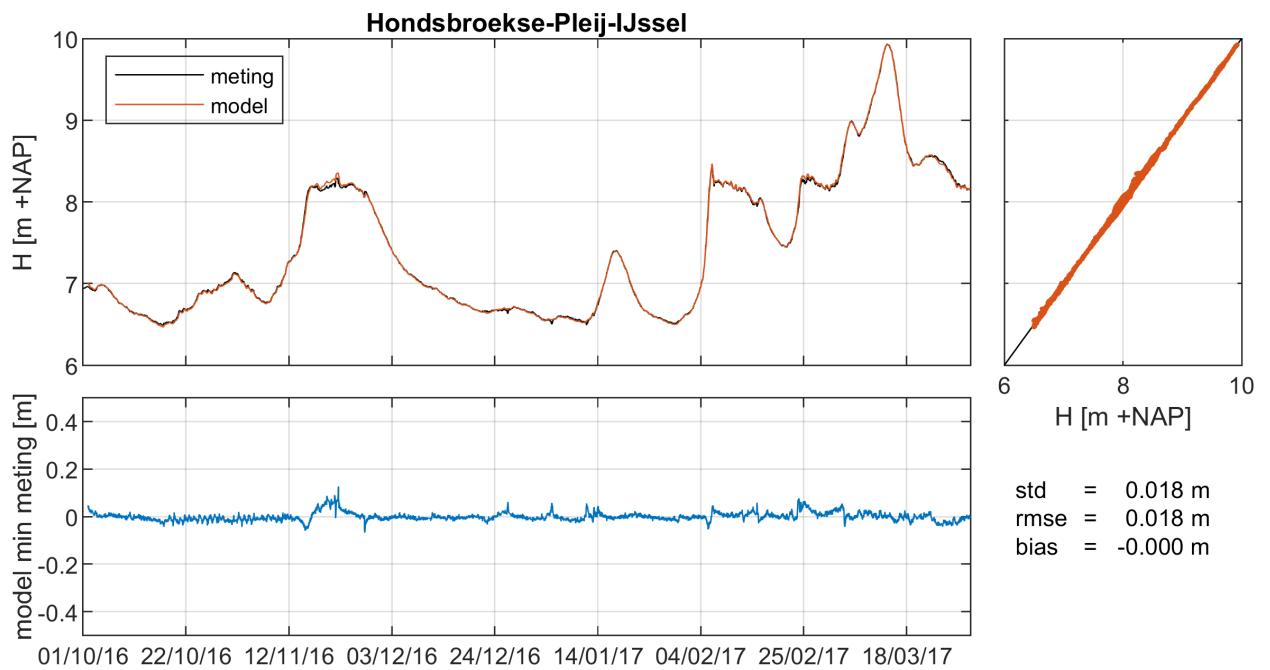
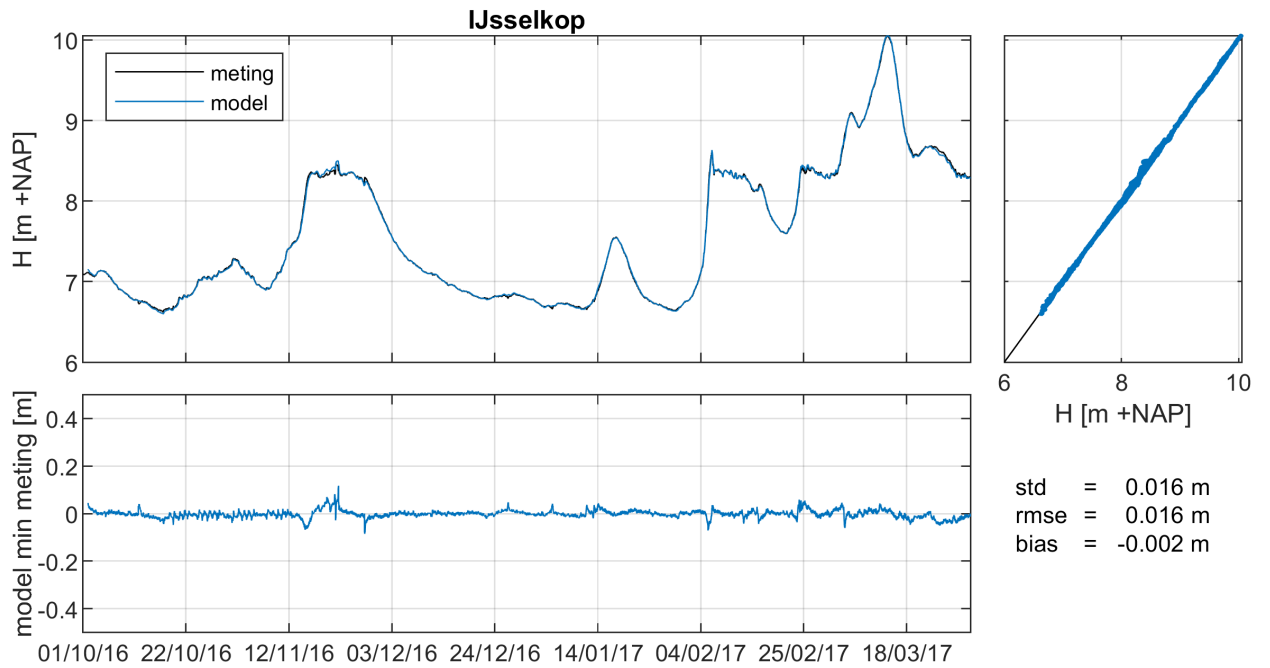


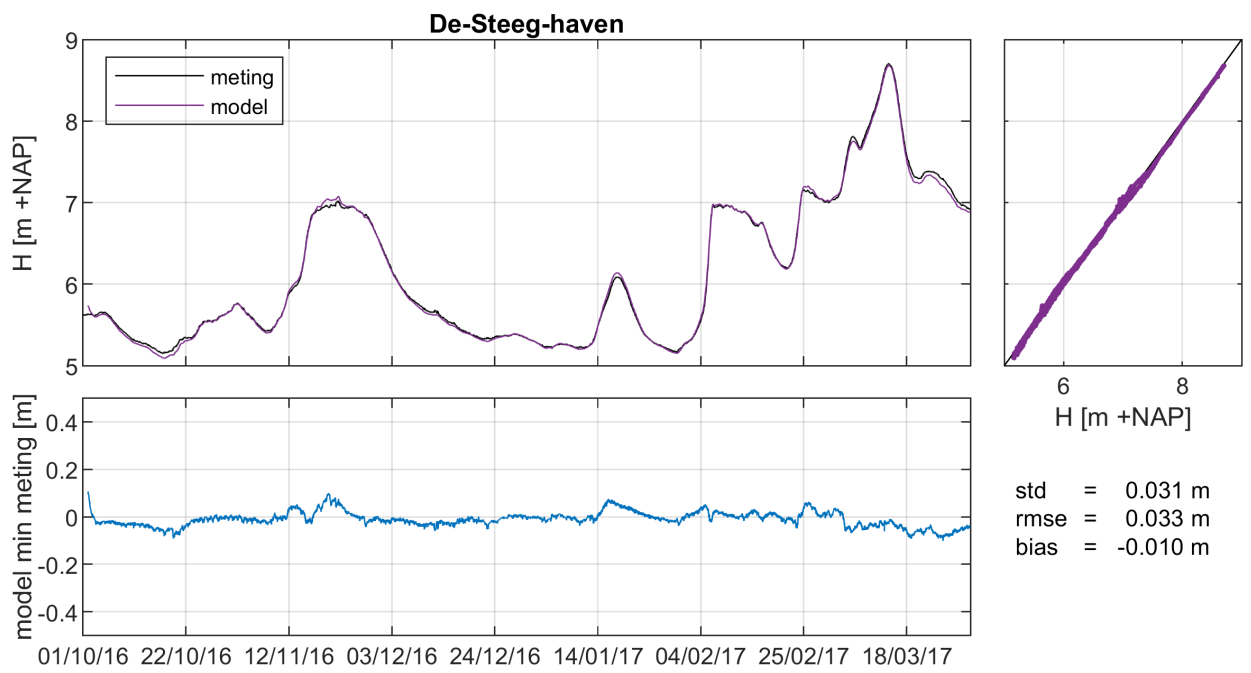
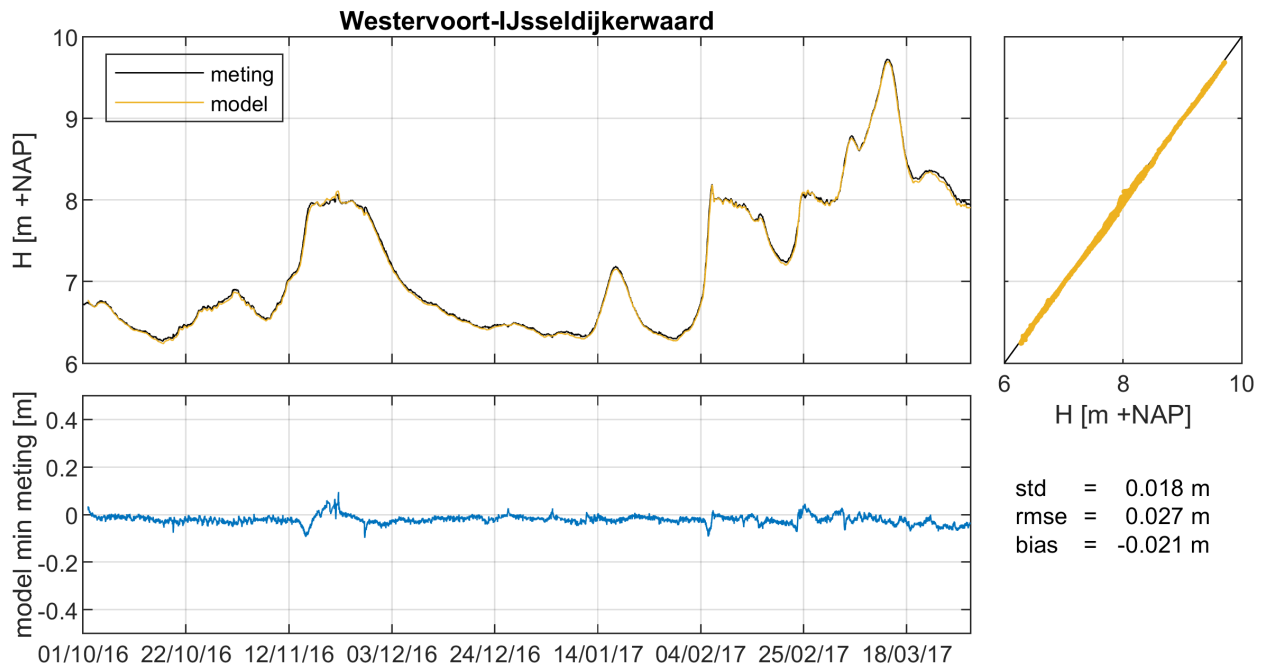


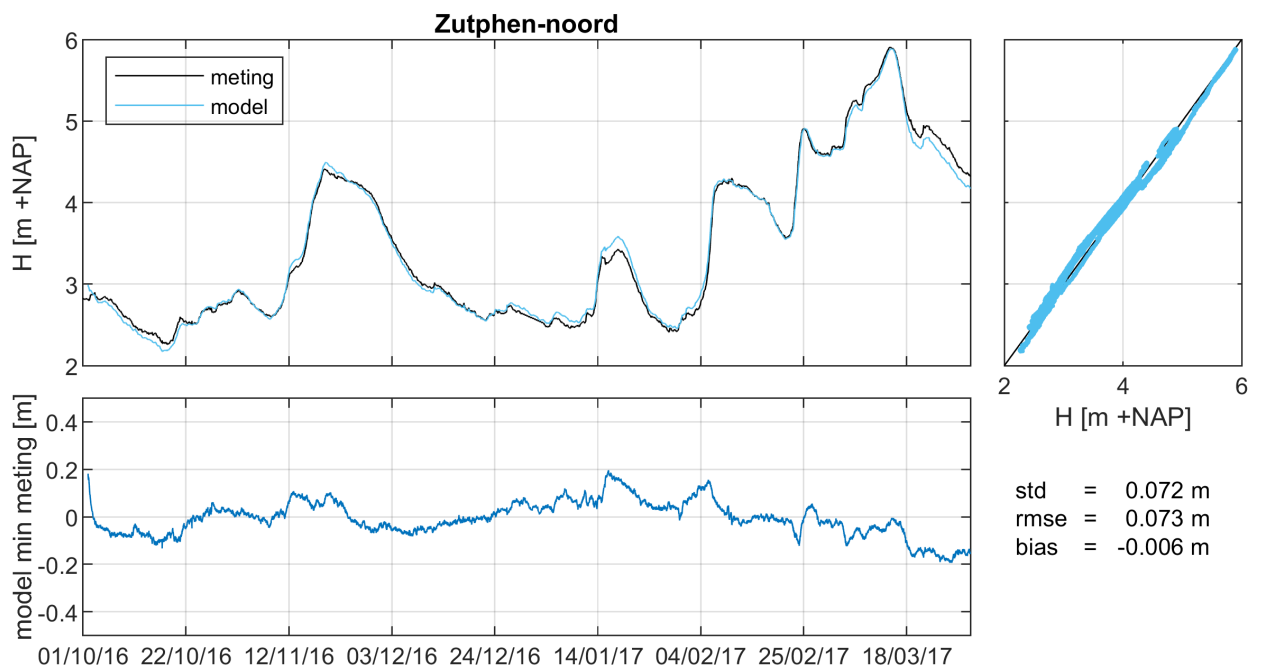
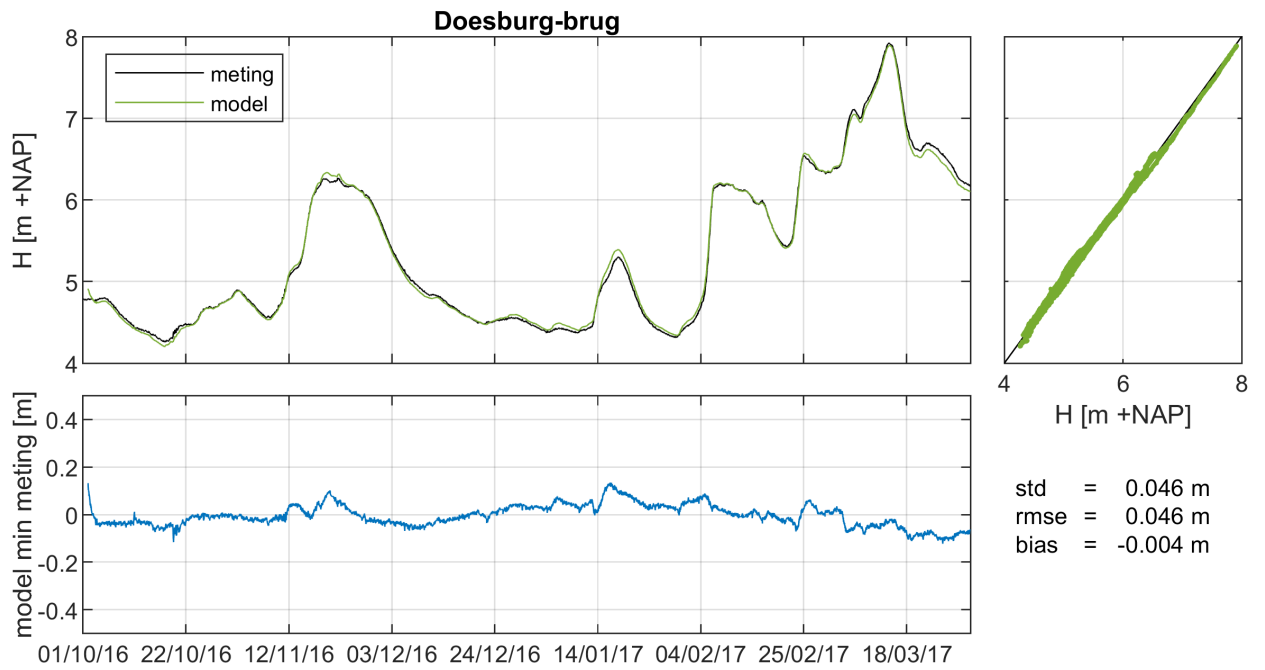


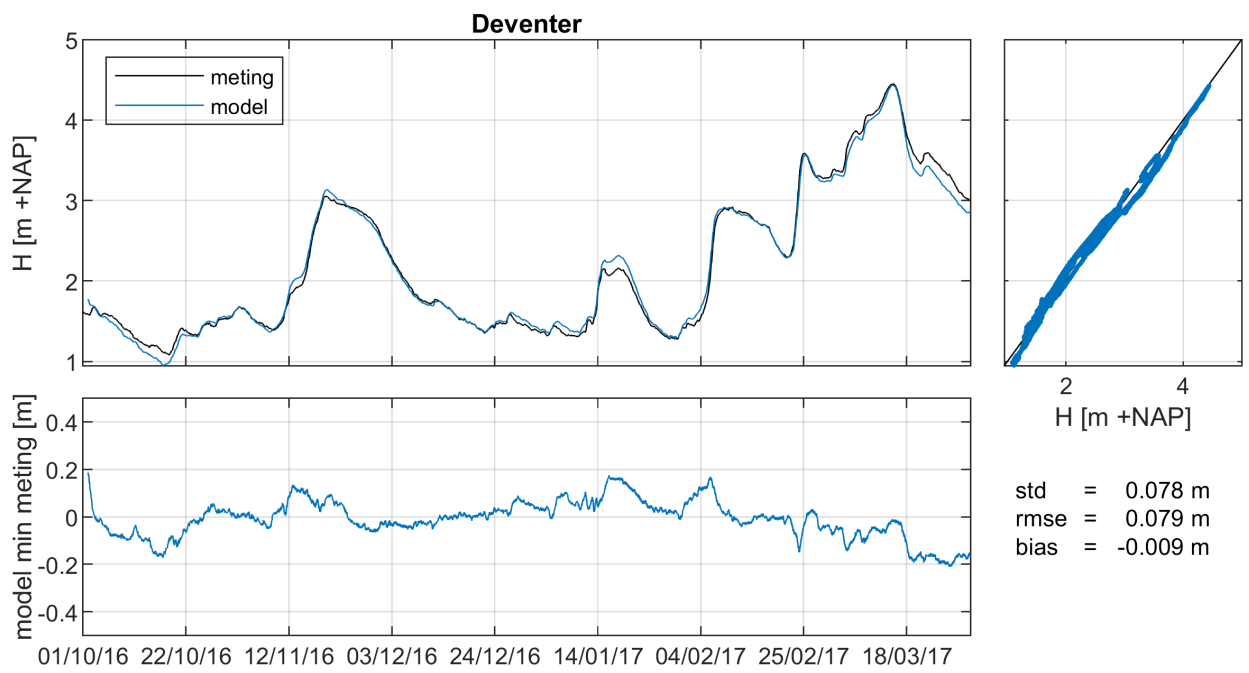
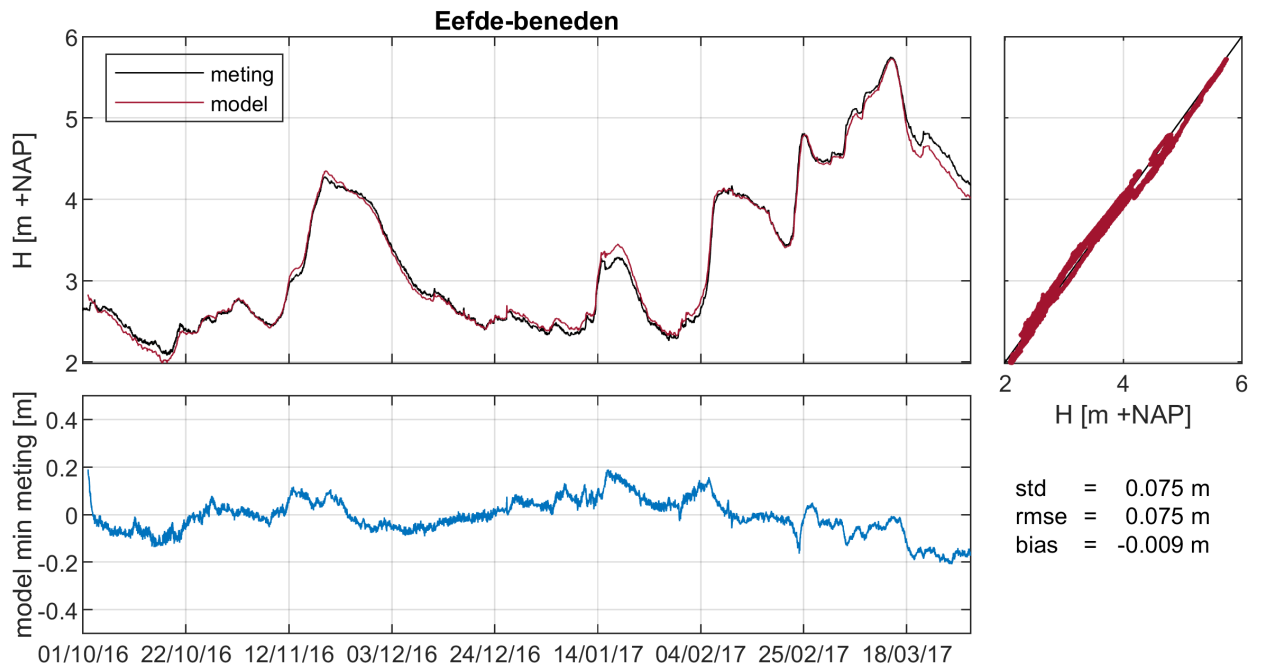


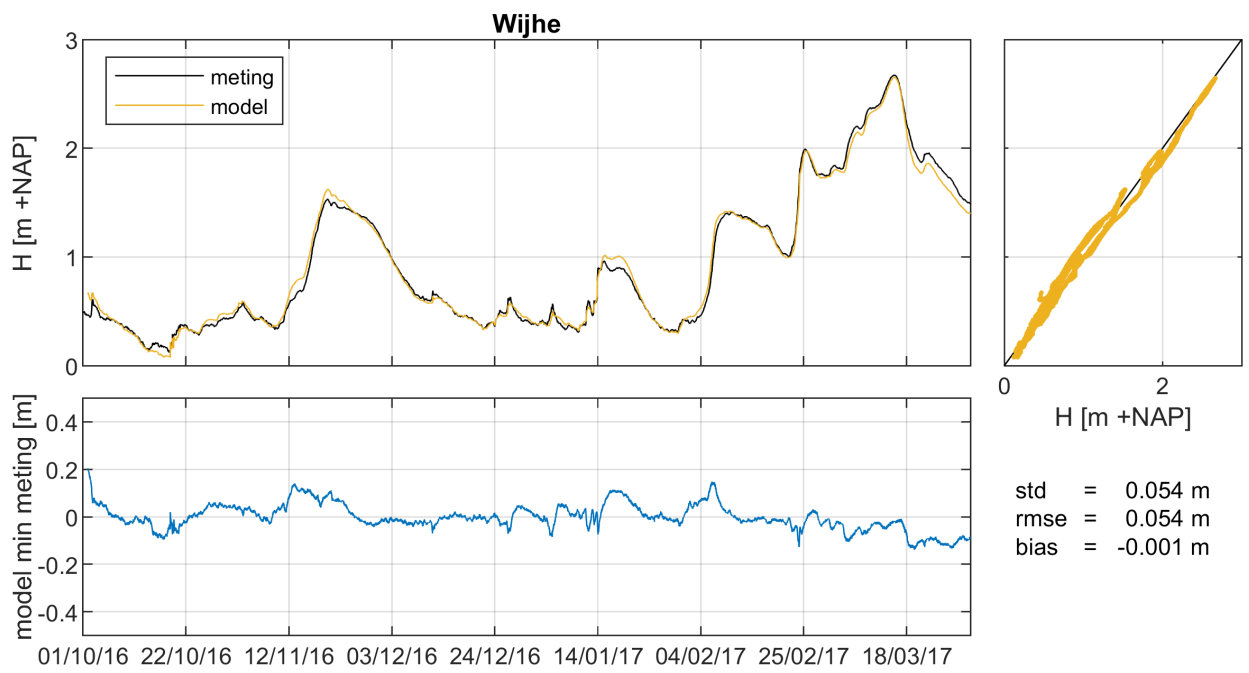
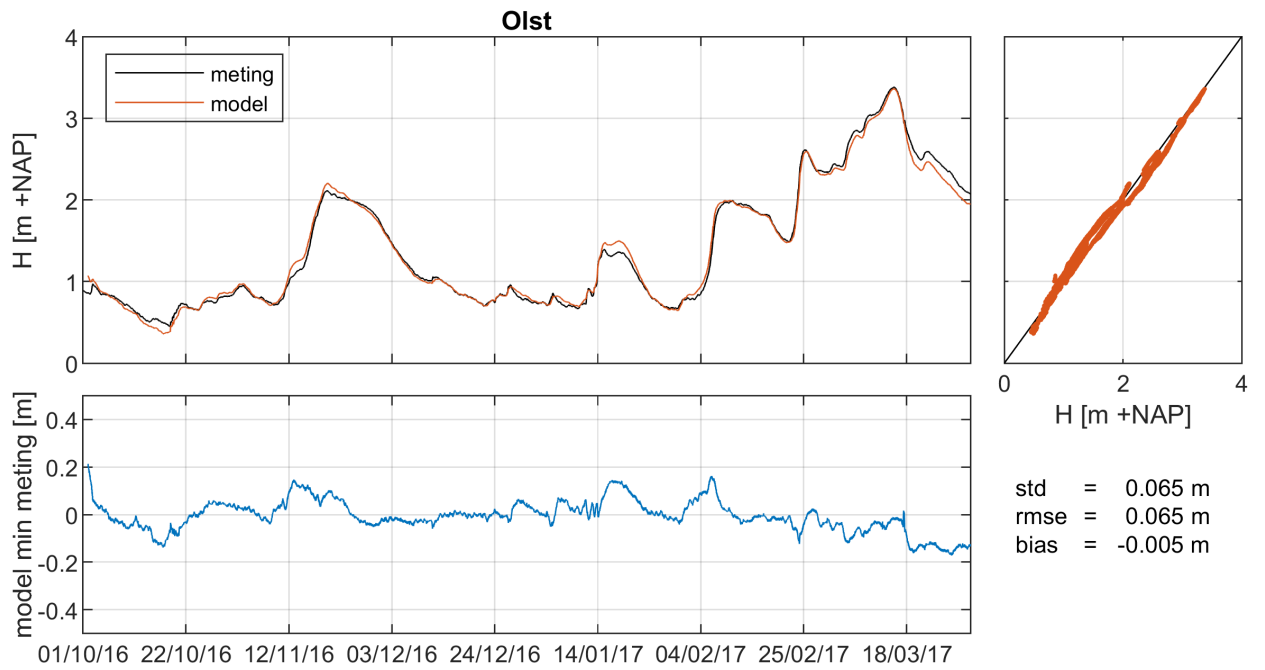
## IJssel



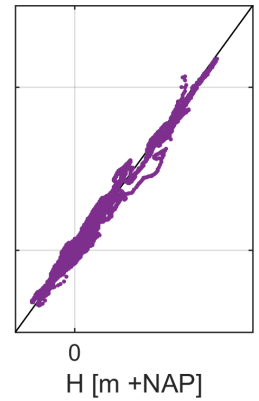
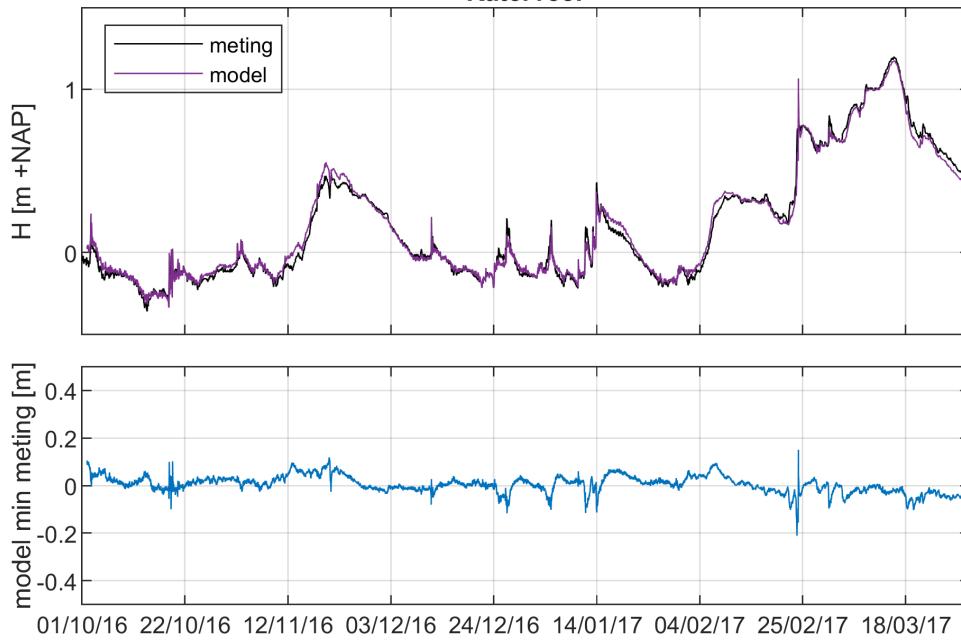






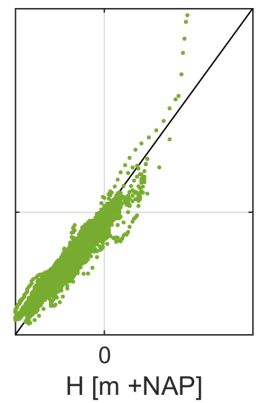
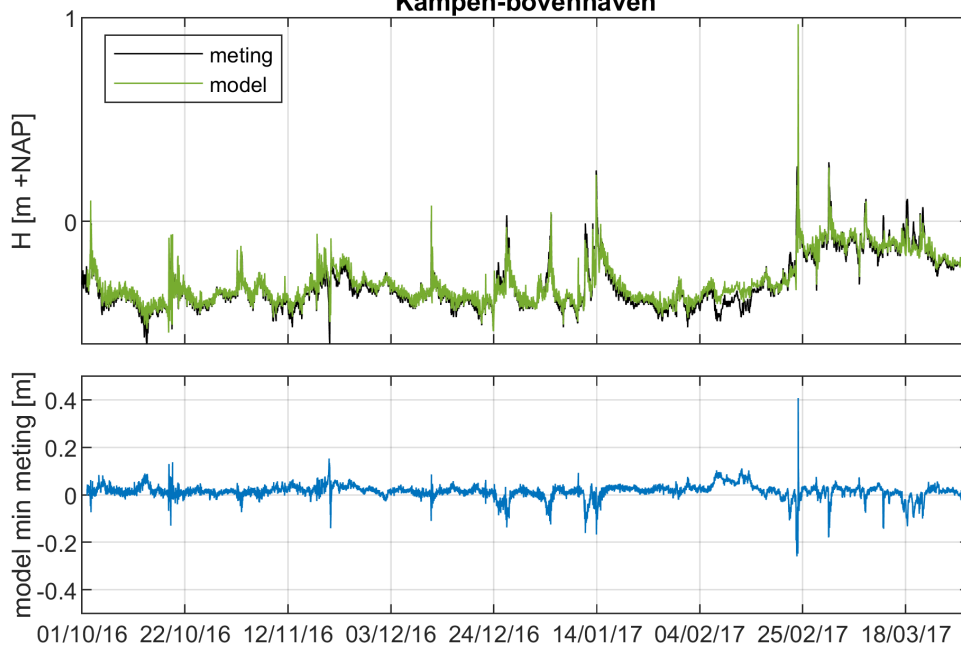


### Katerveer

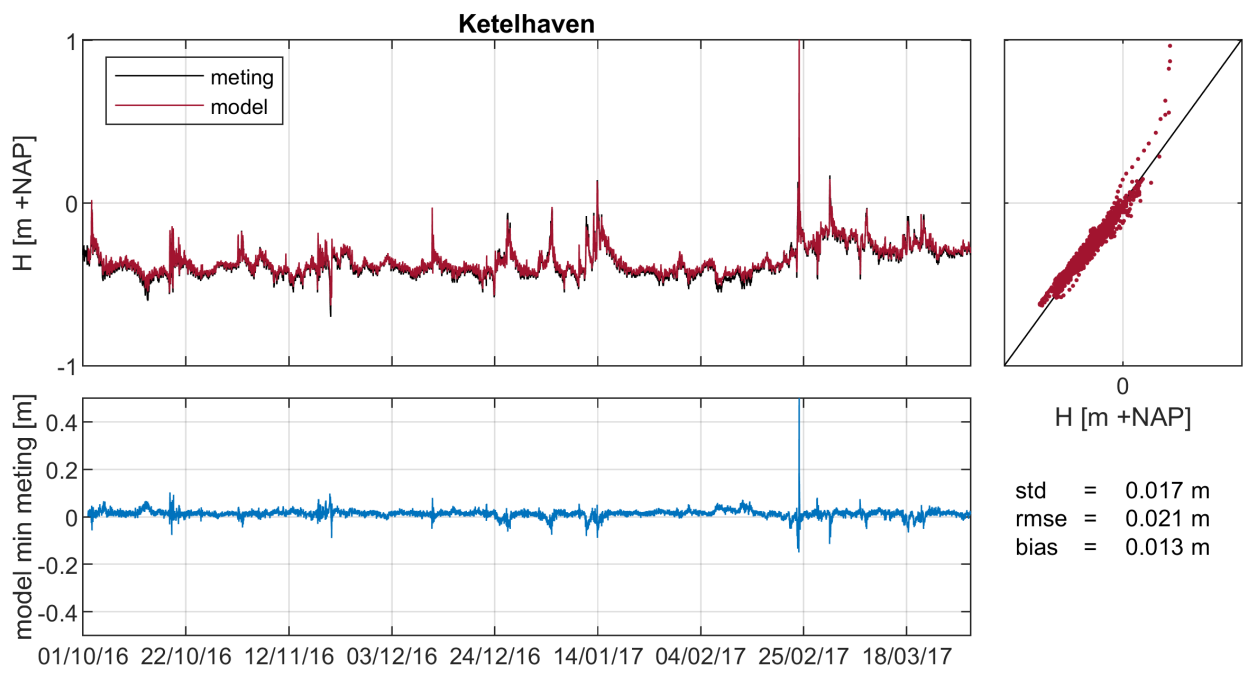
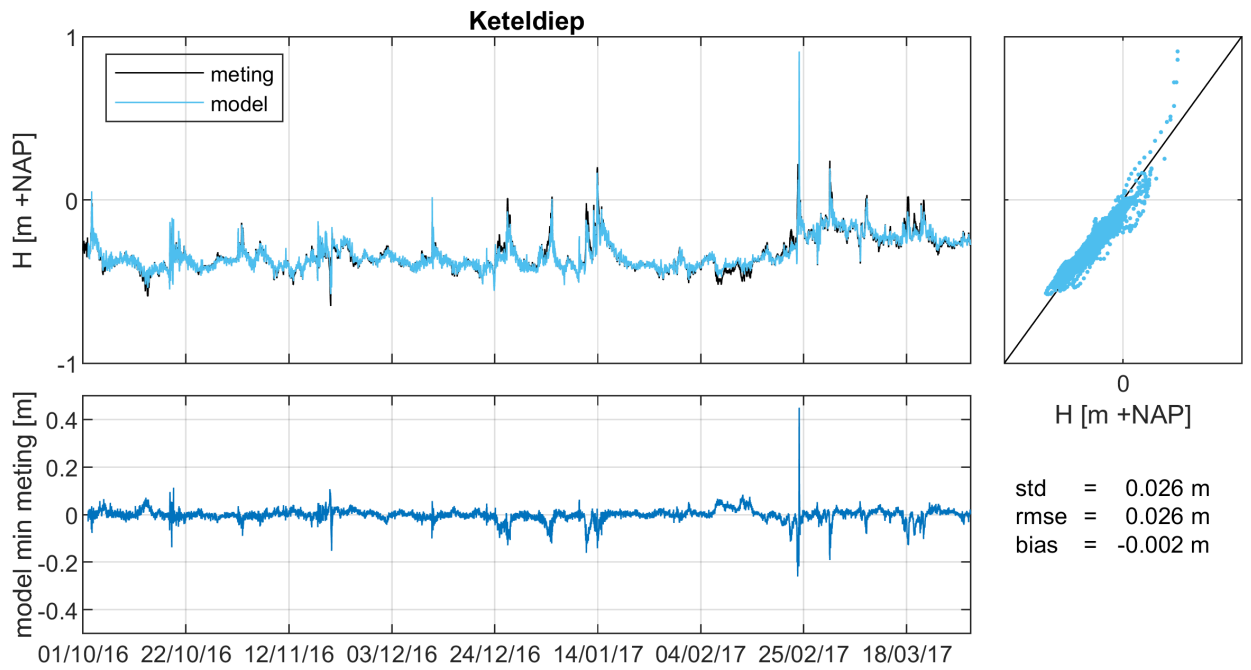


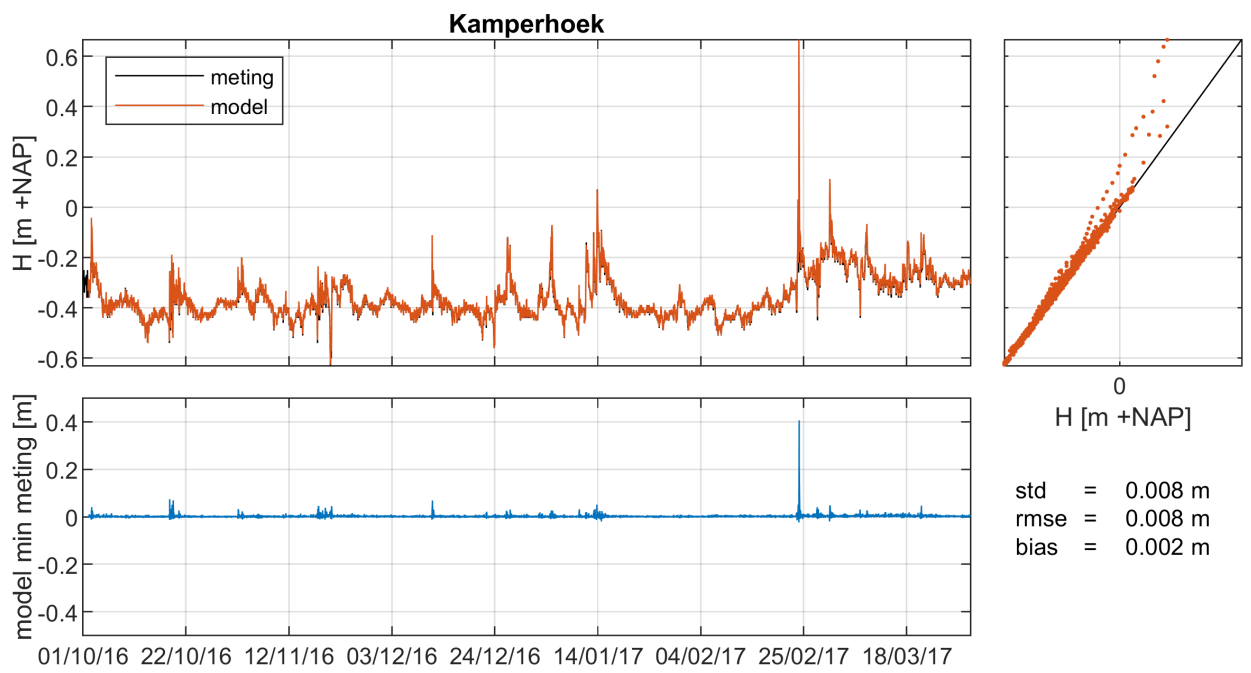
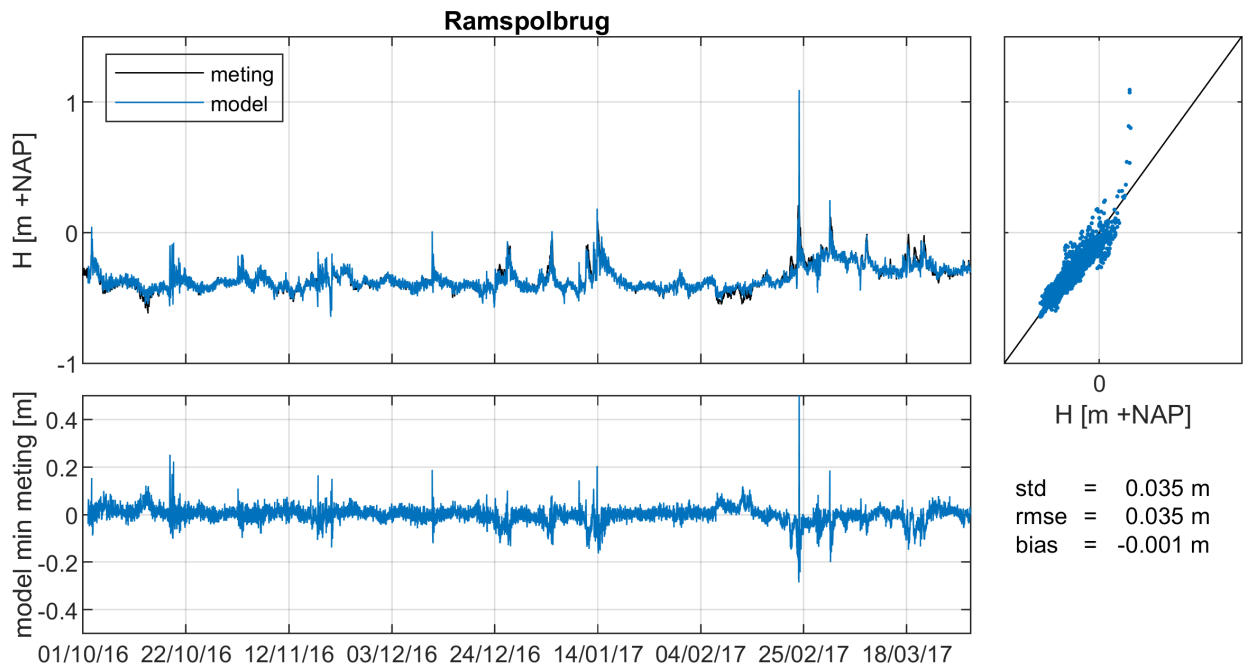
std = 0.035 m  
rmse = 0.036 m  
bias = 0.005 m

### Kampen-bovenhaven

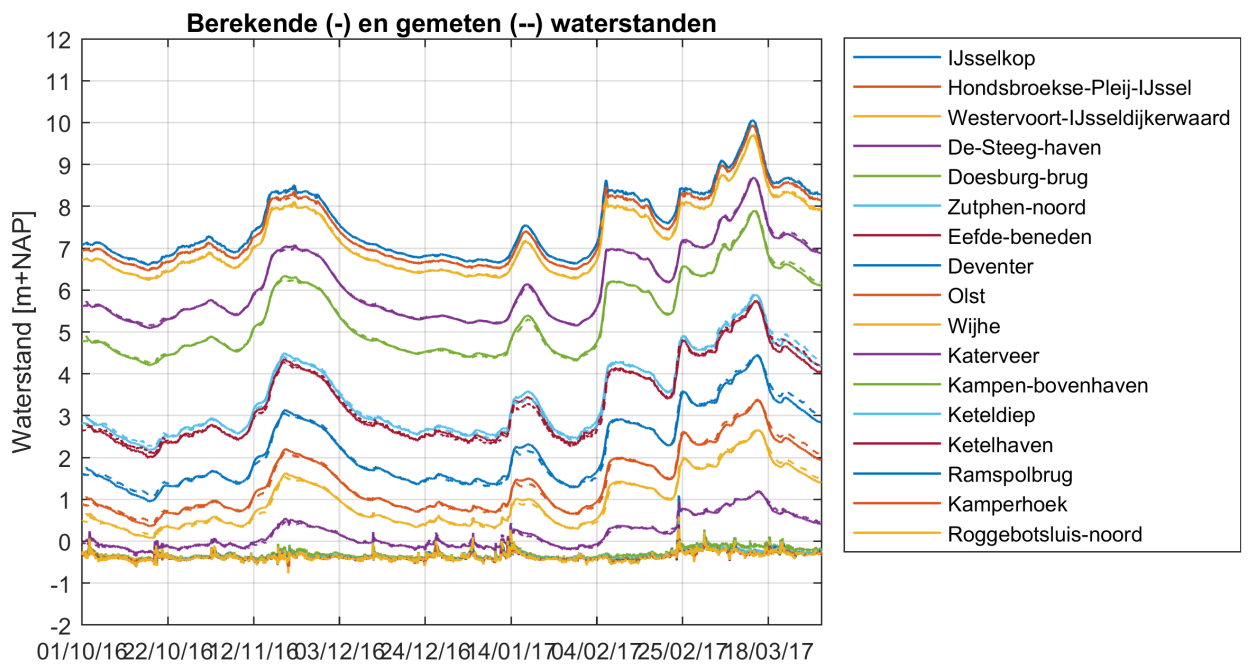
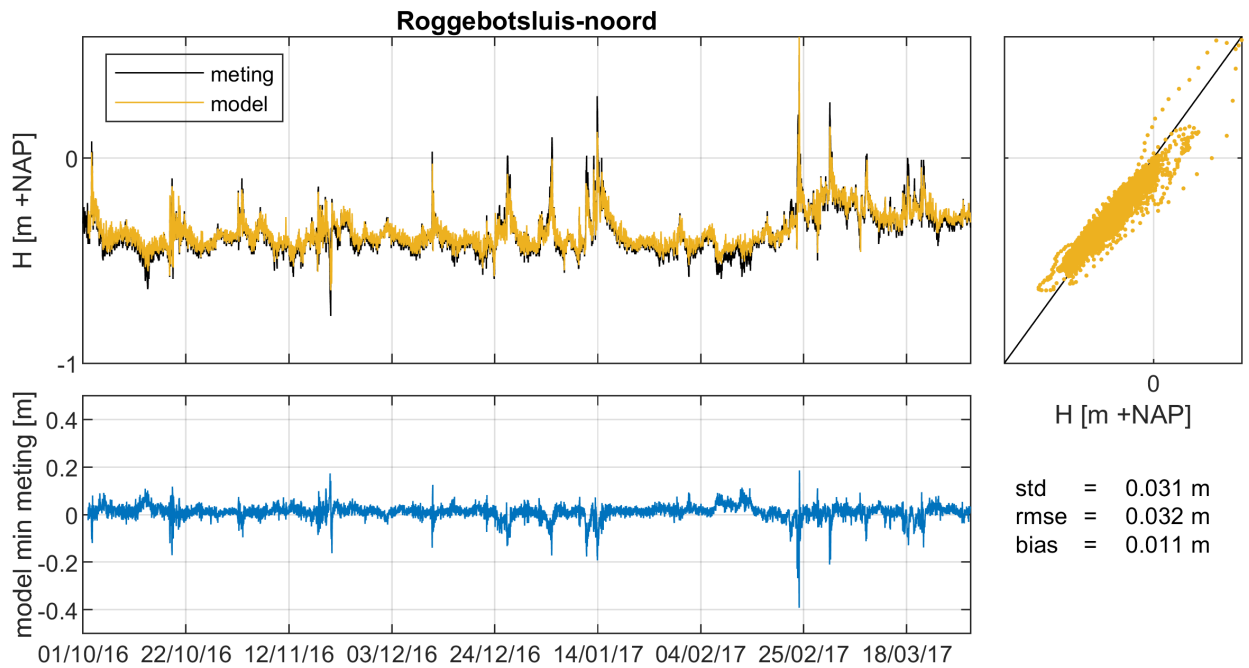


std = 0.030 m  
rmse = 0.033 m  
bias = 0.014 m

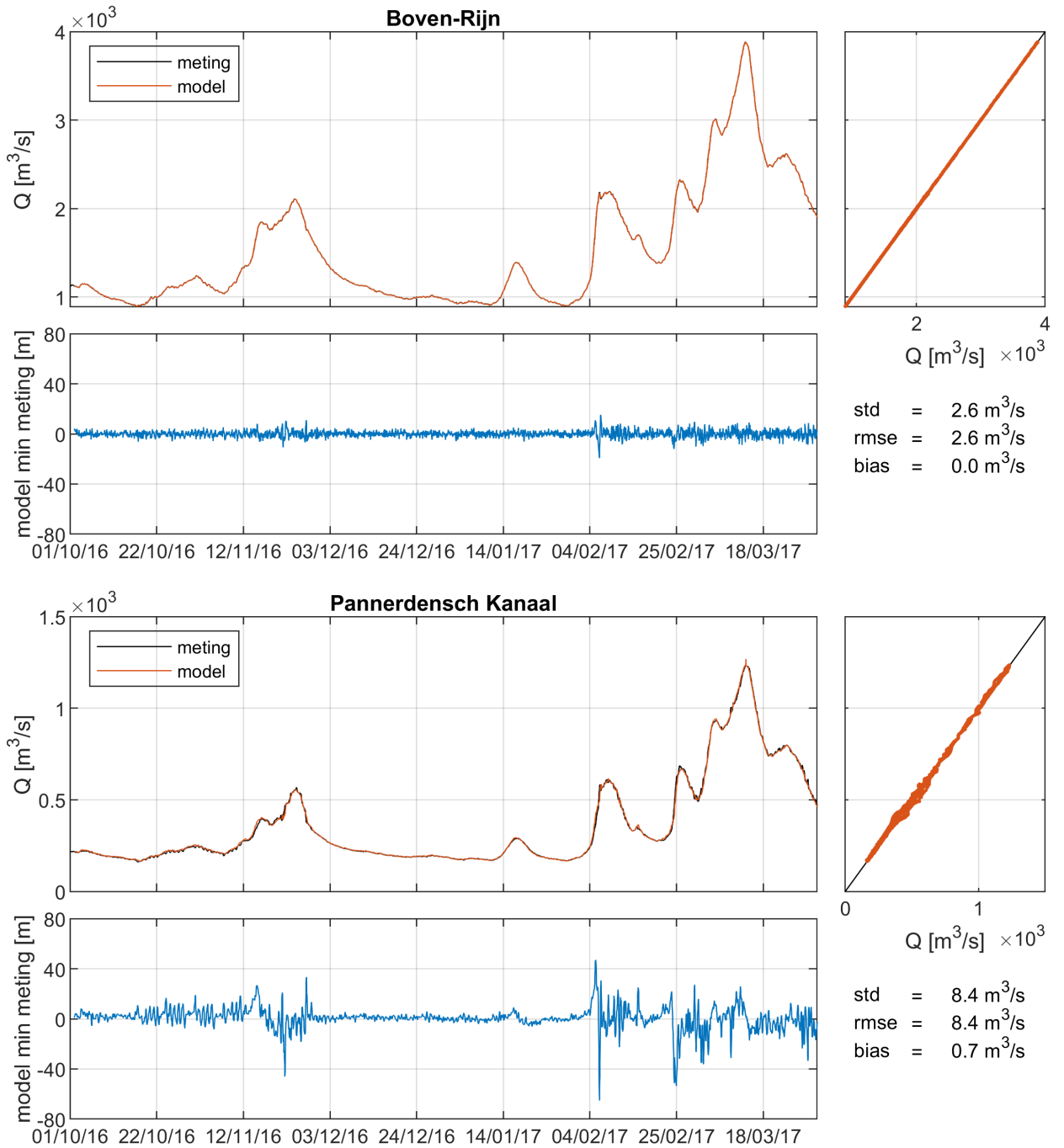


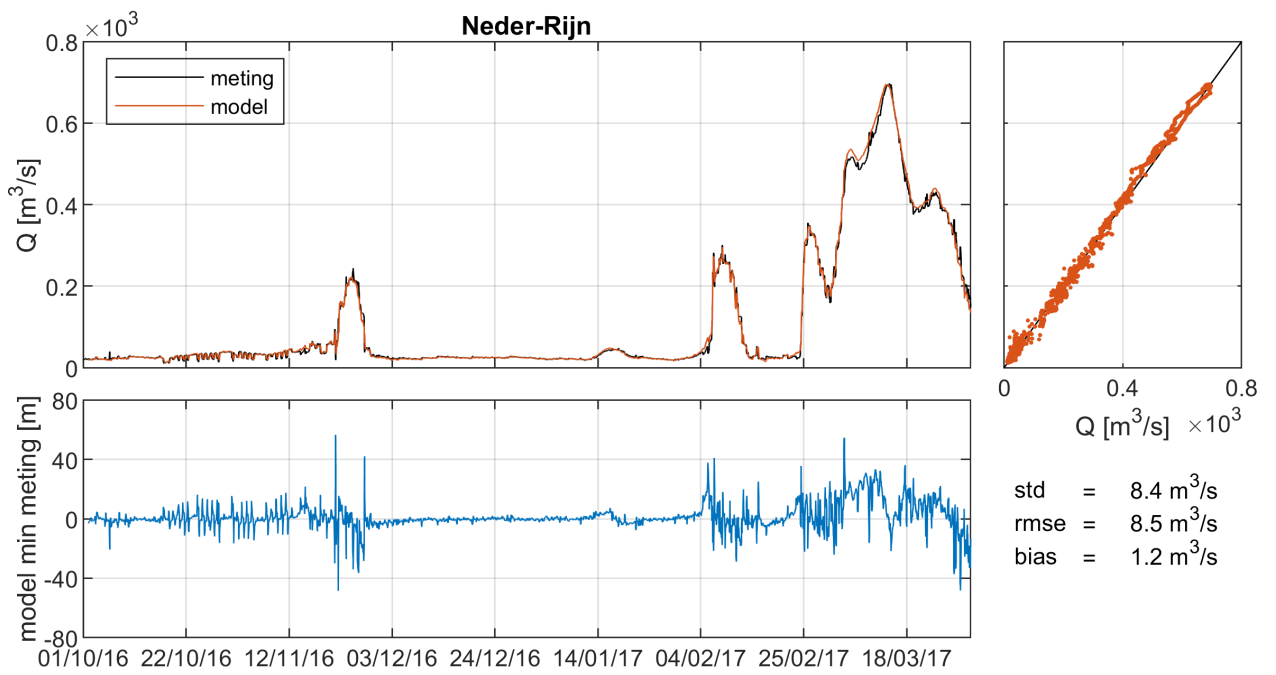
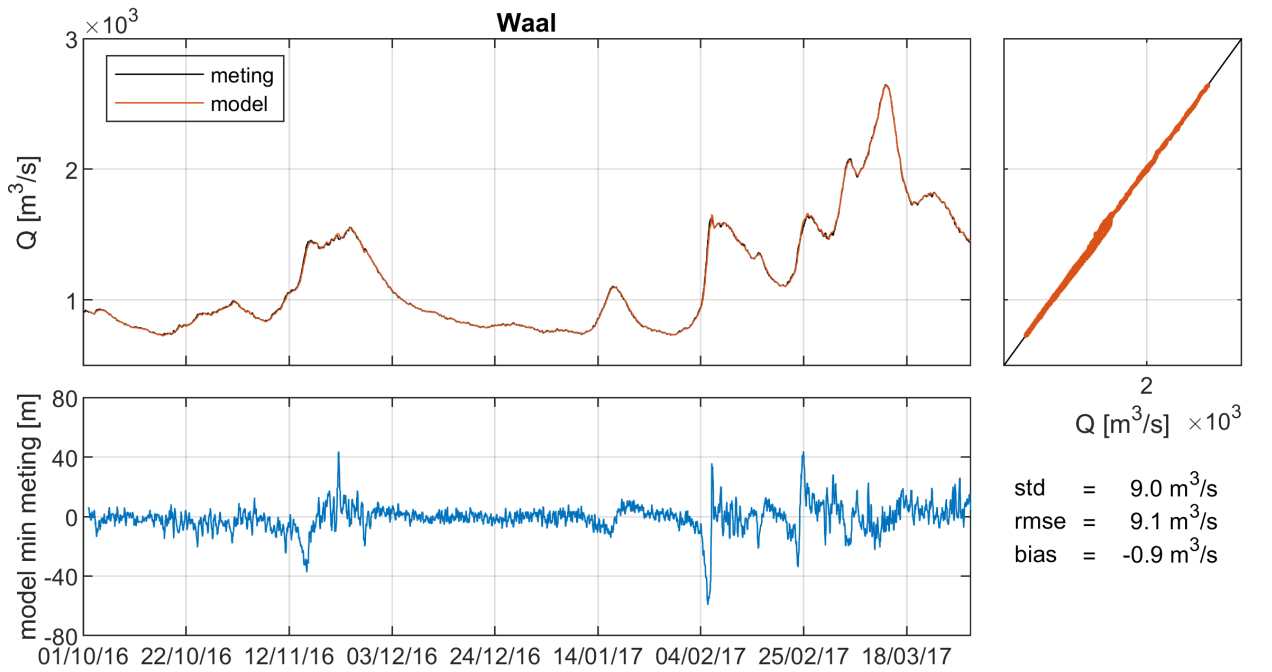


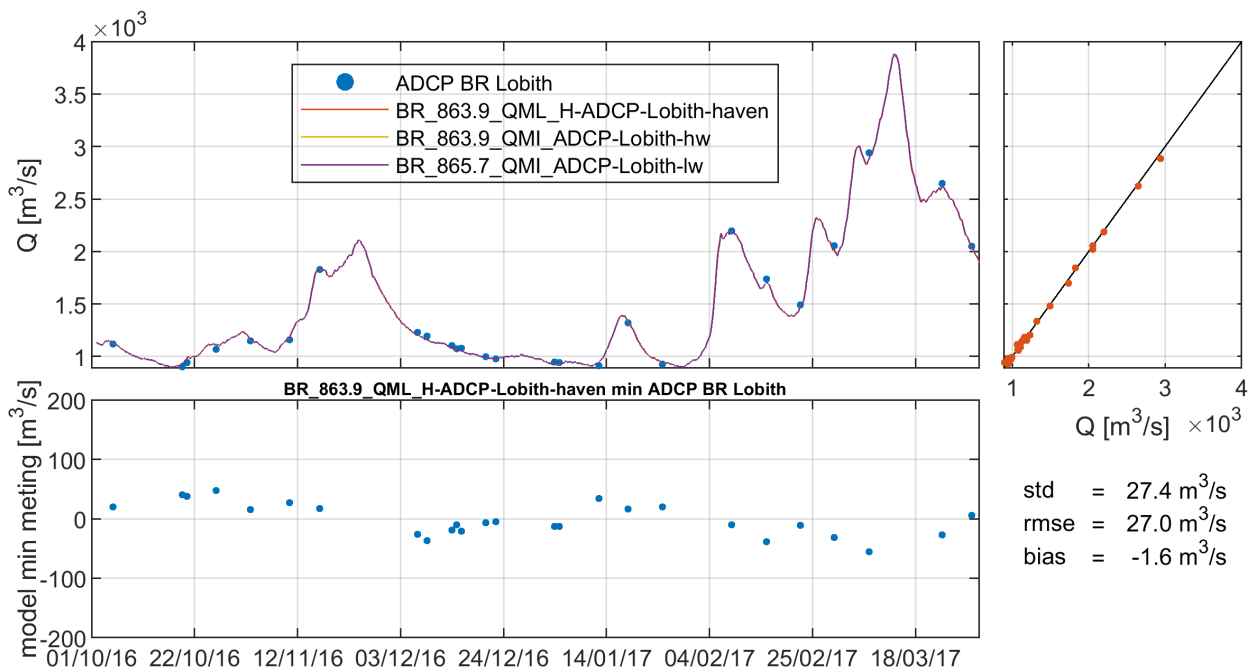
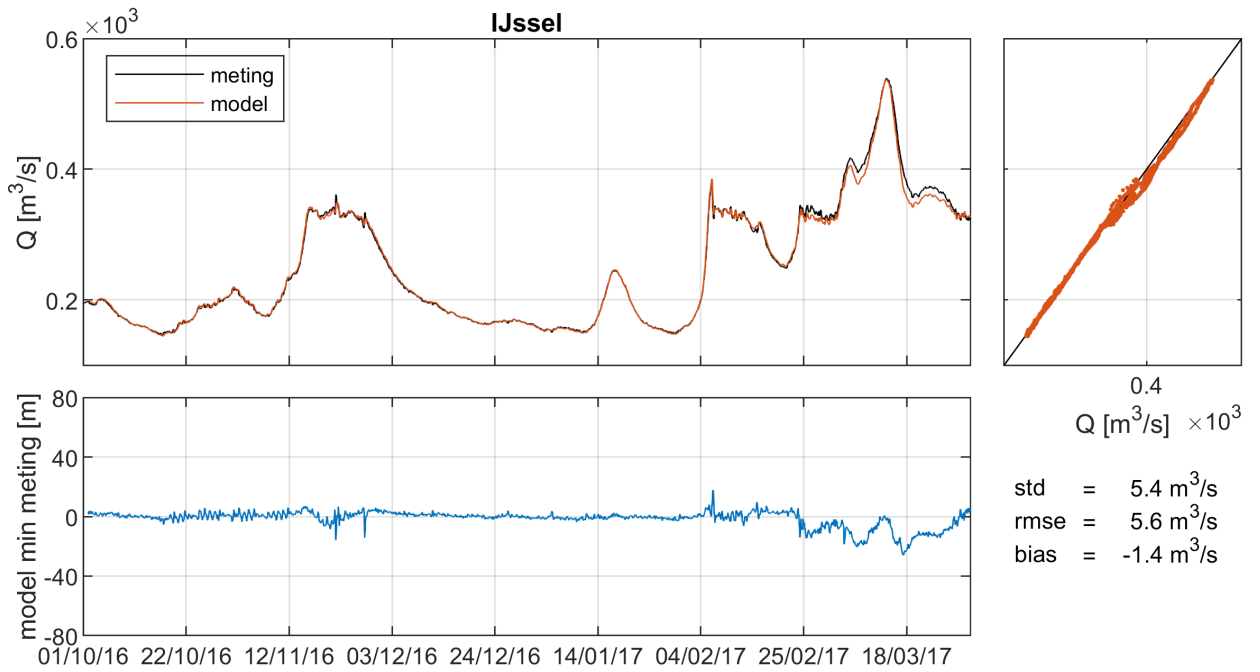


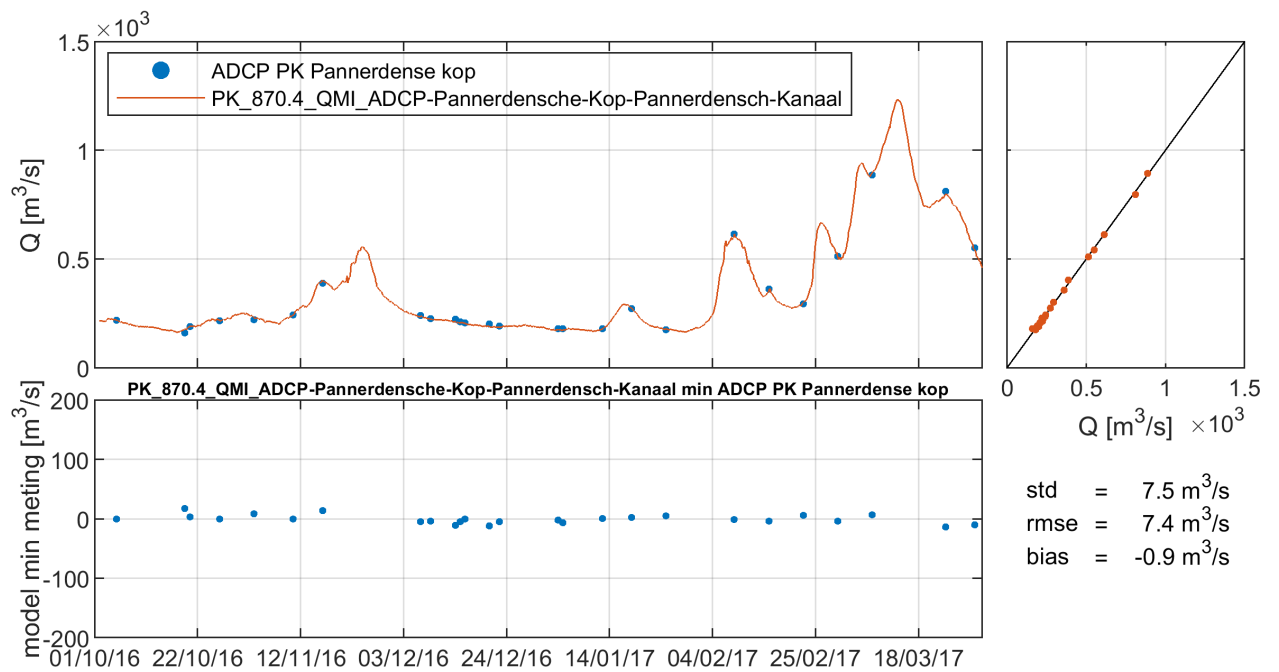
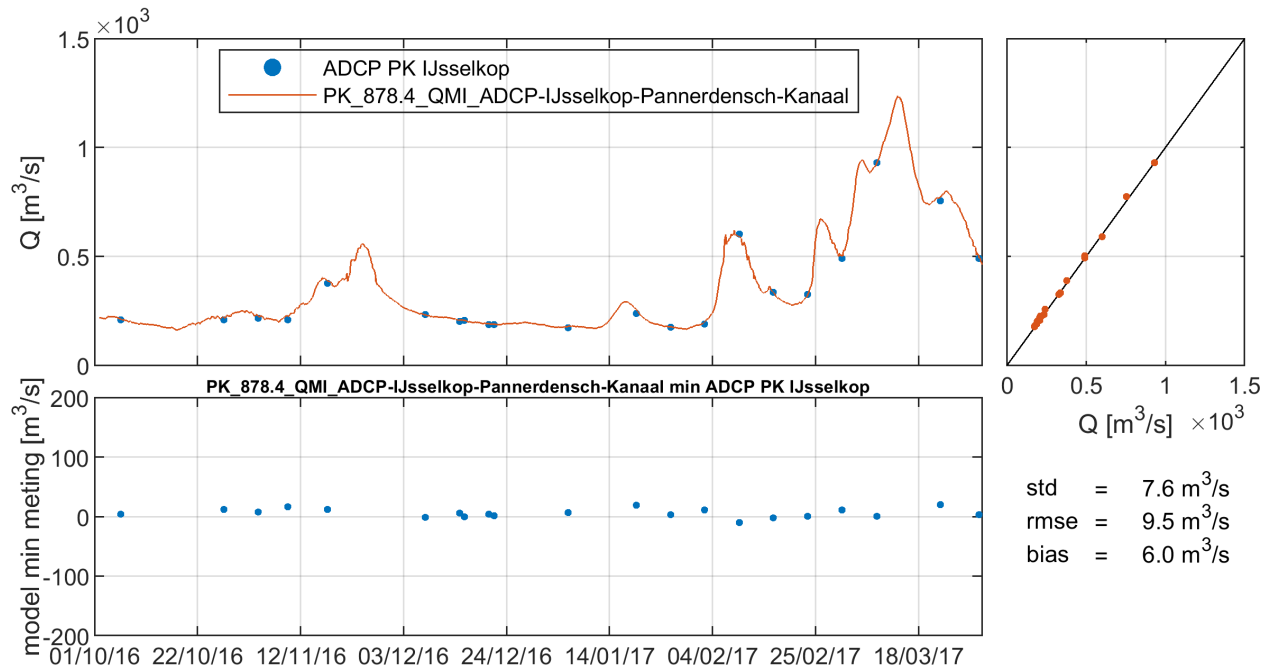


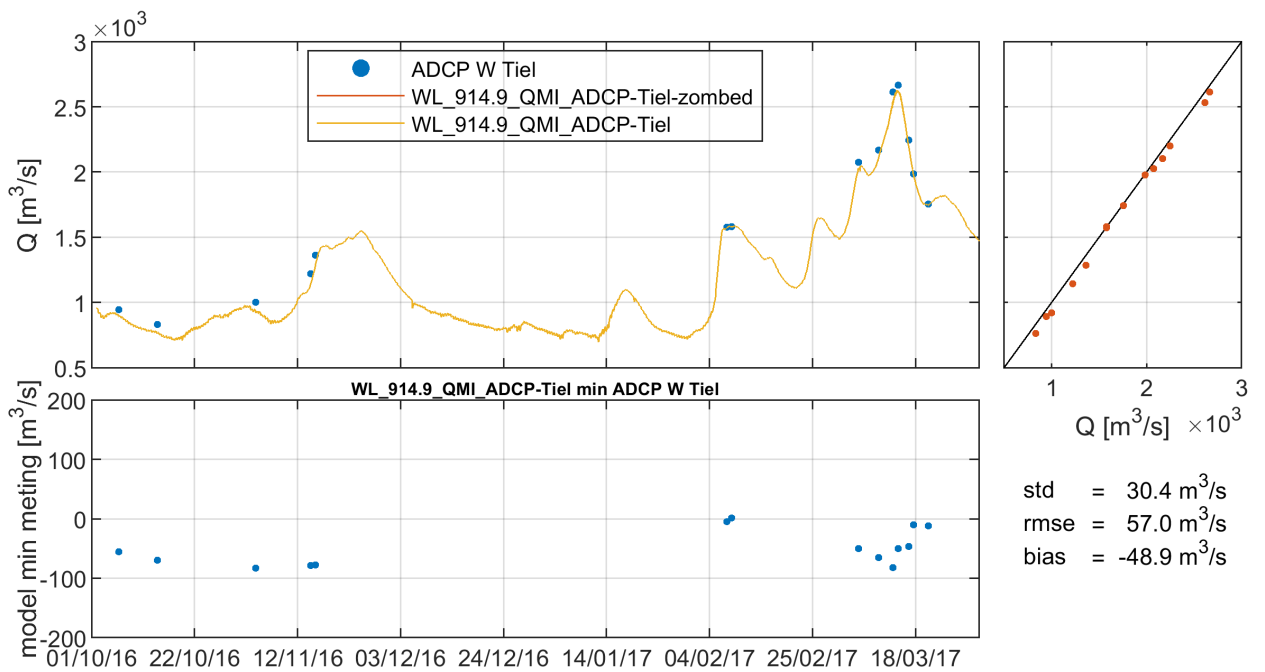
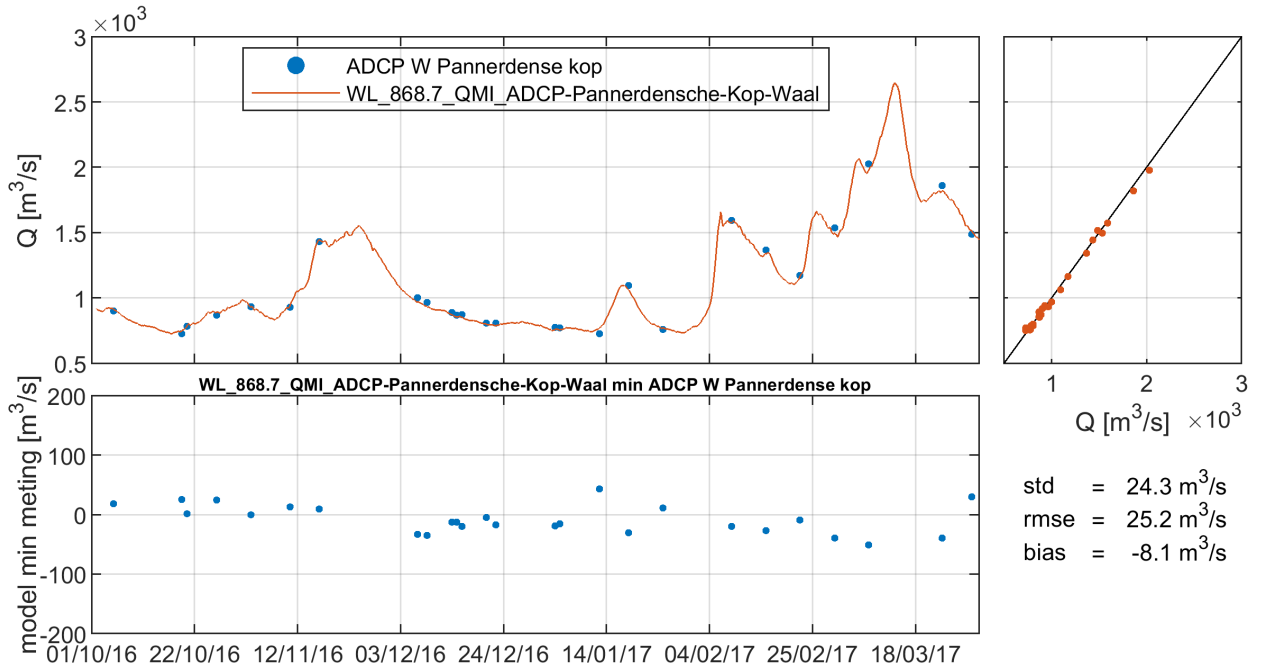
## 1.5.2 Afvoeren

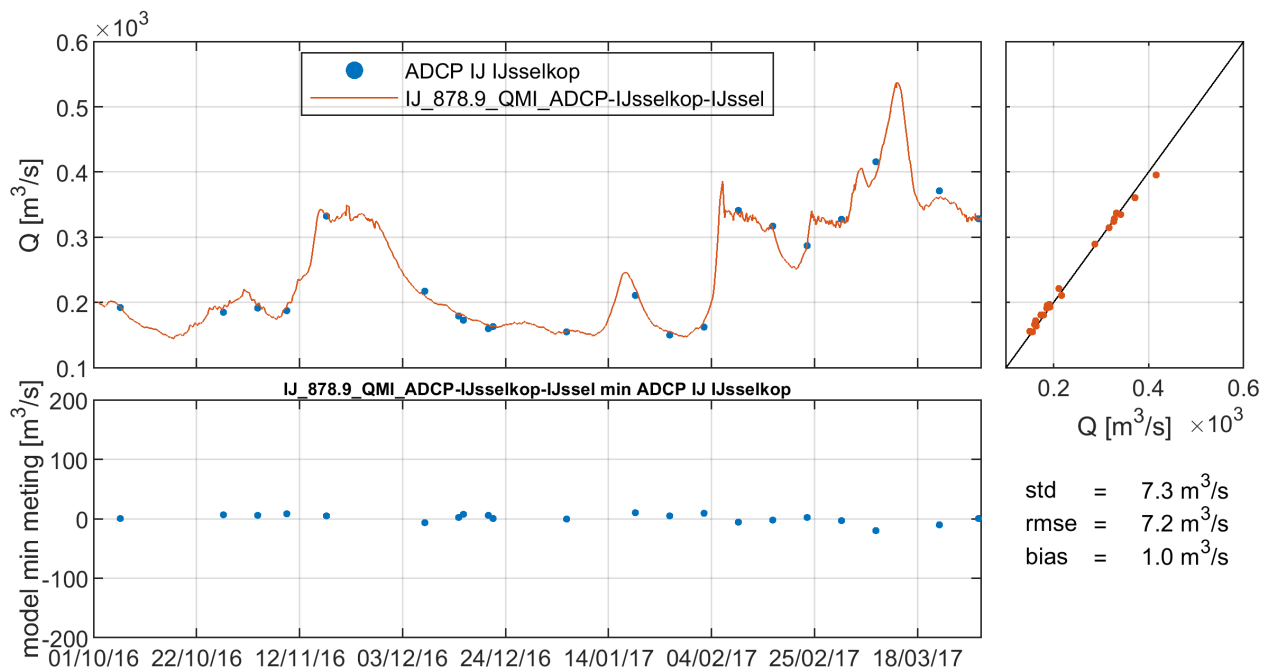
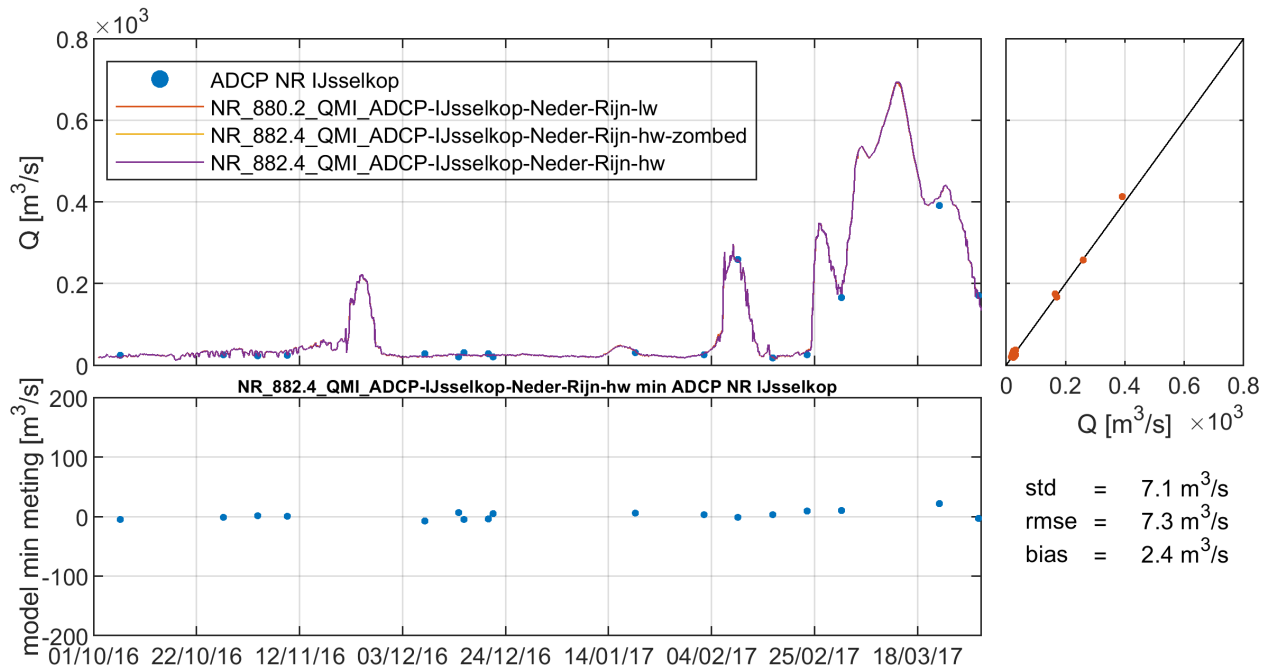


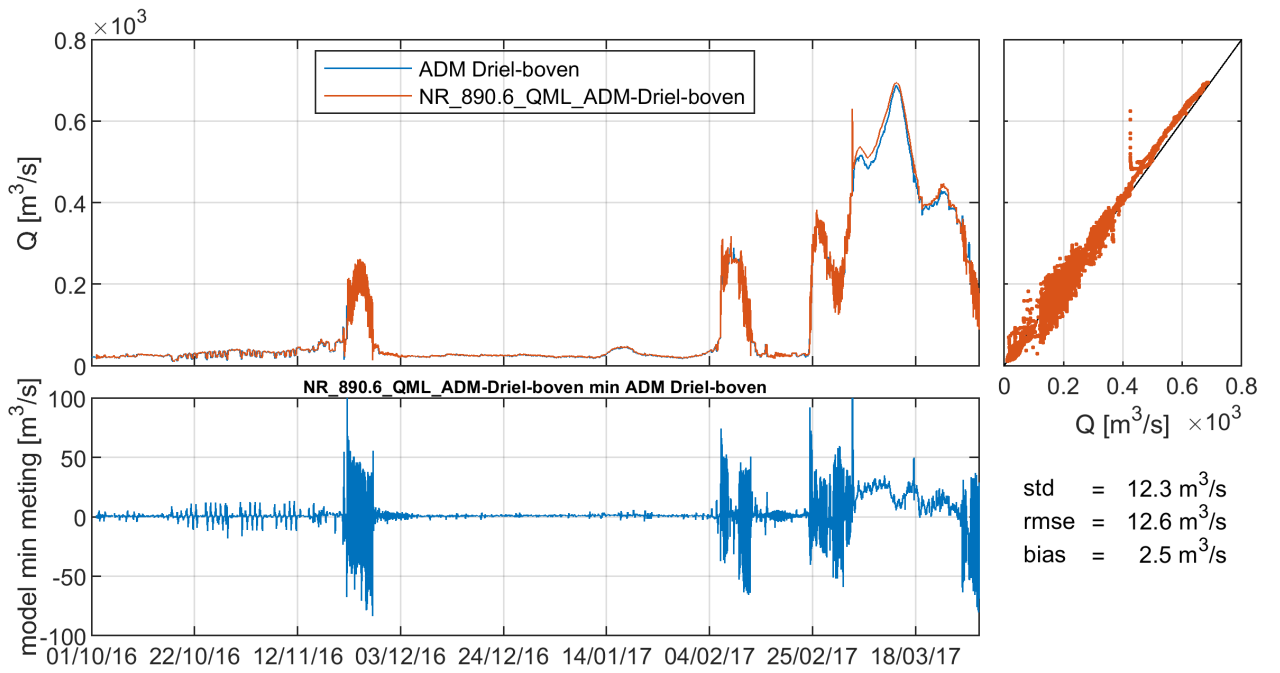
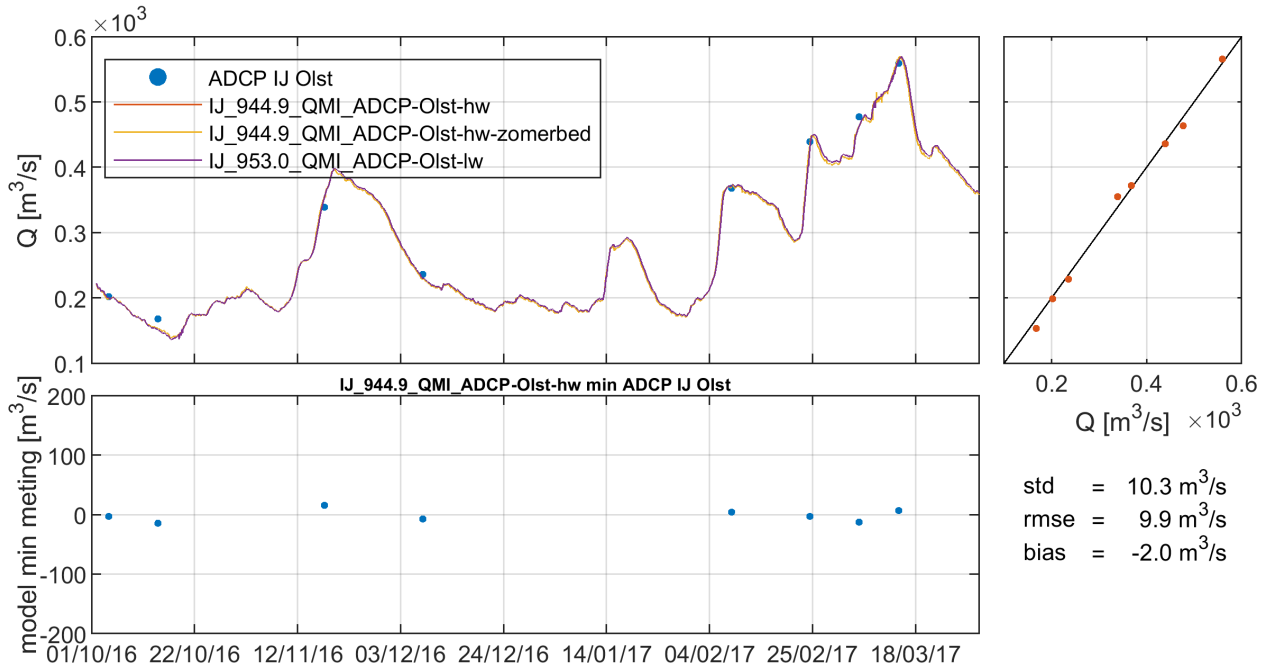




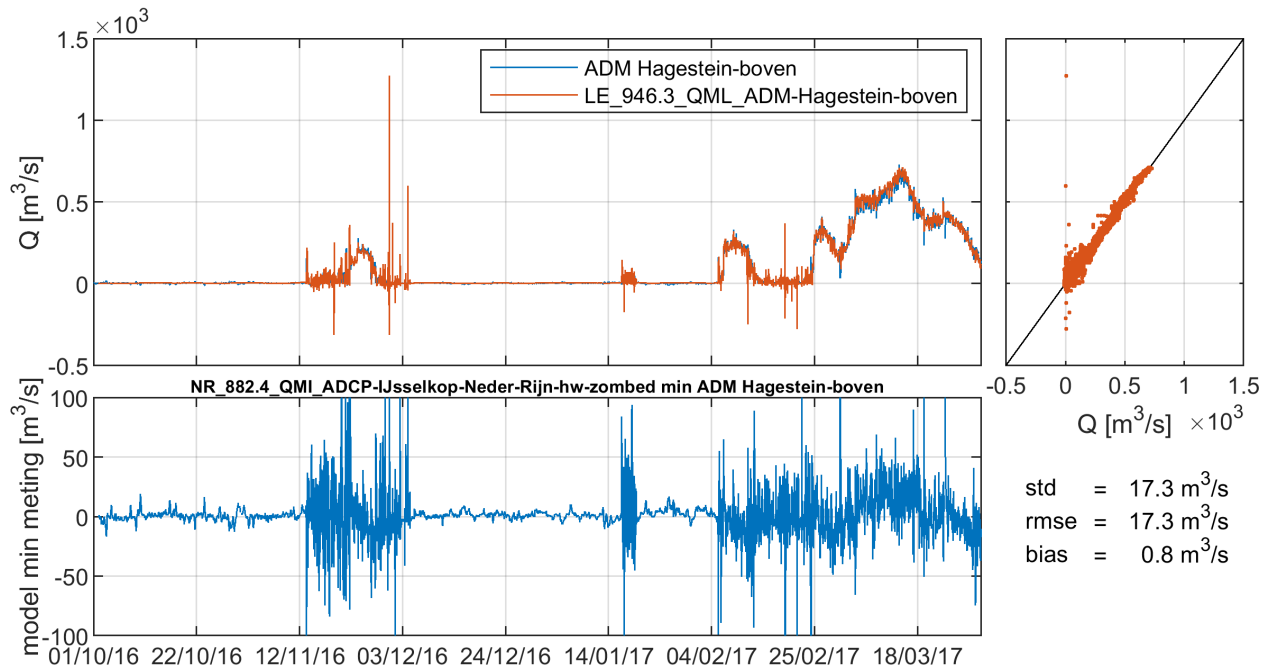






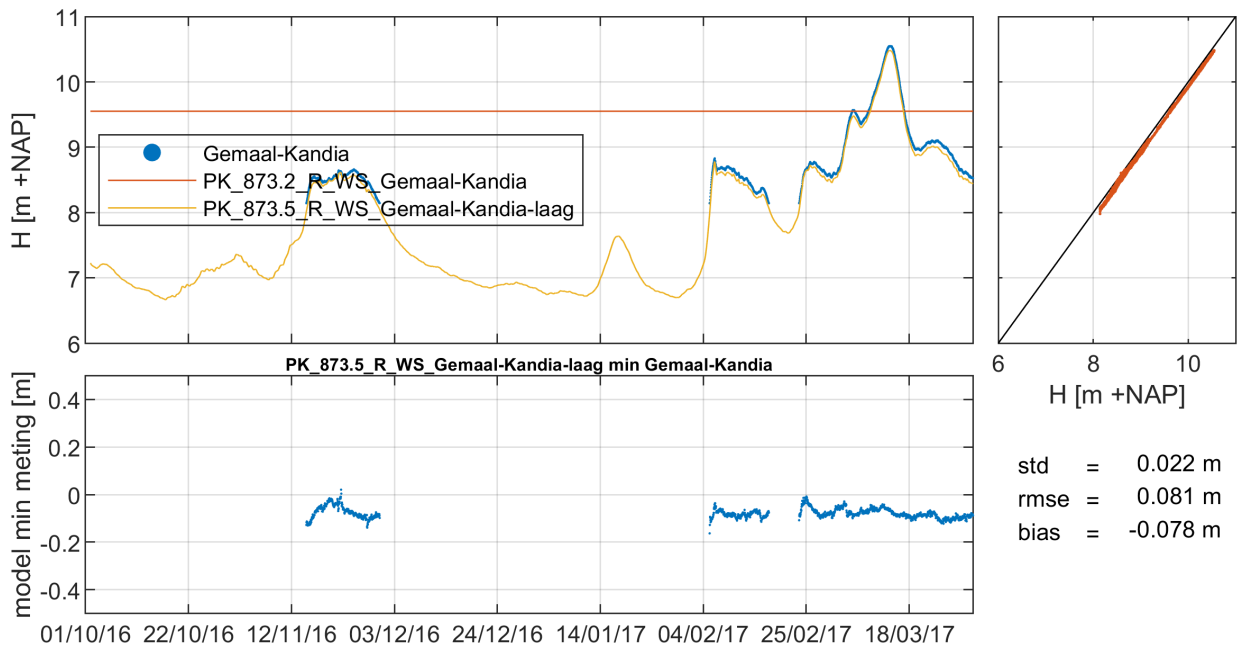


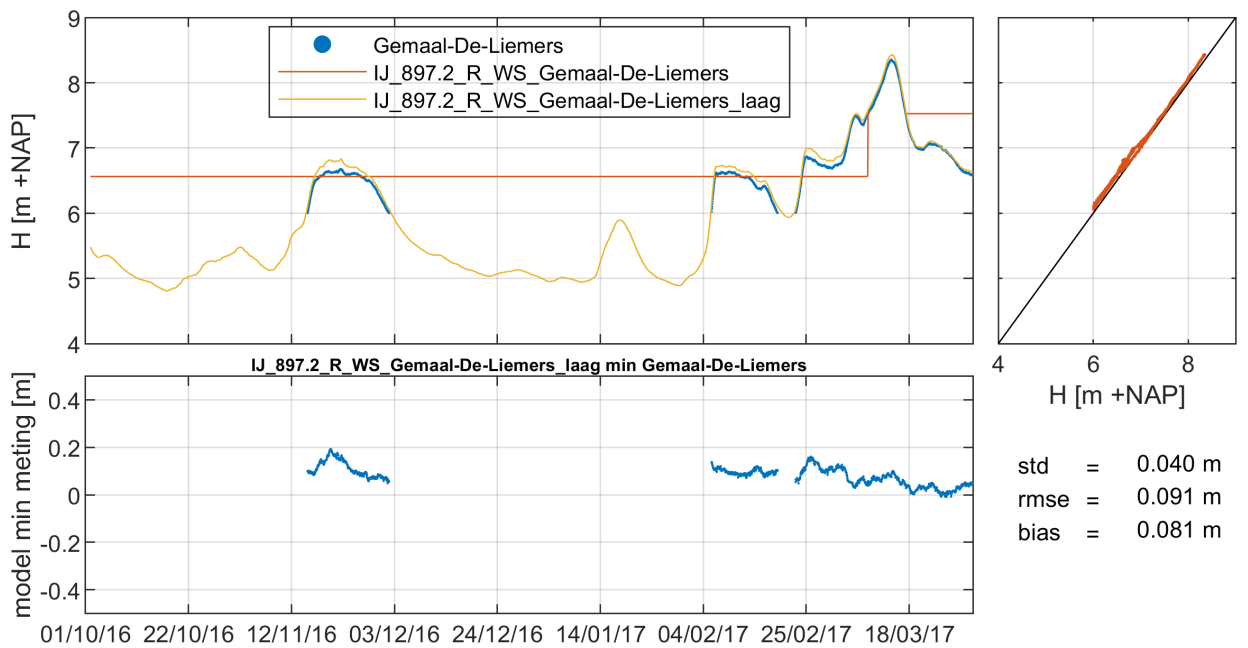
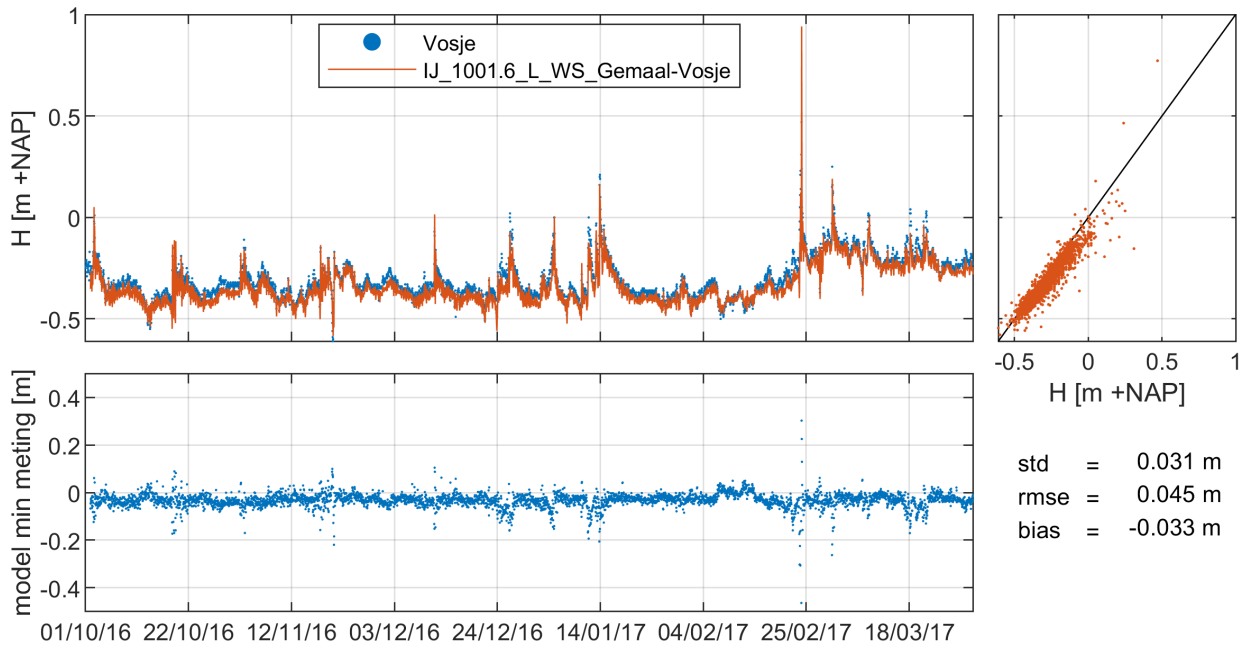


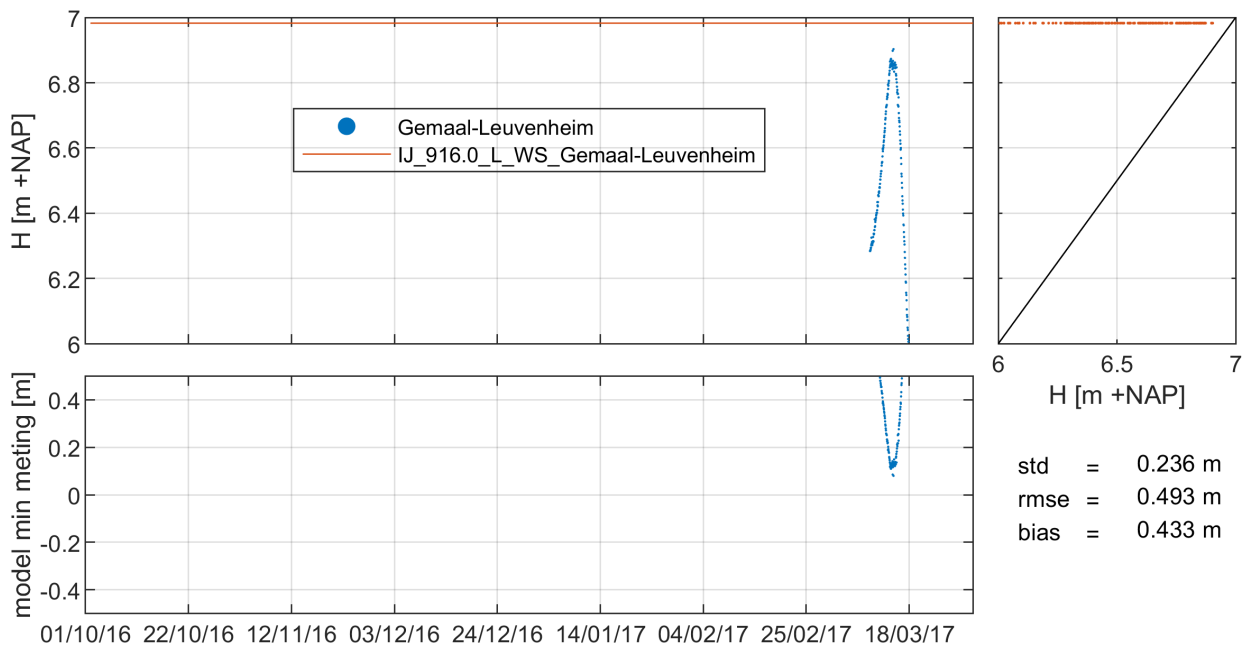
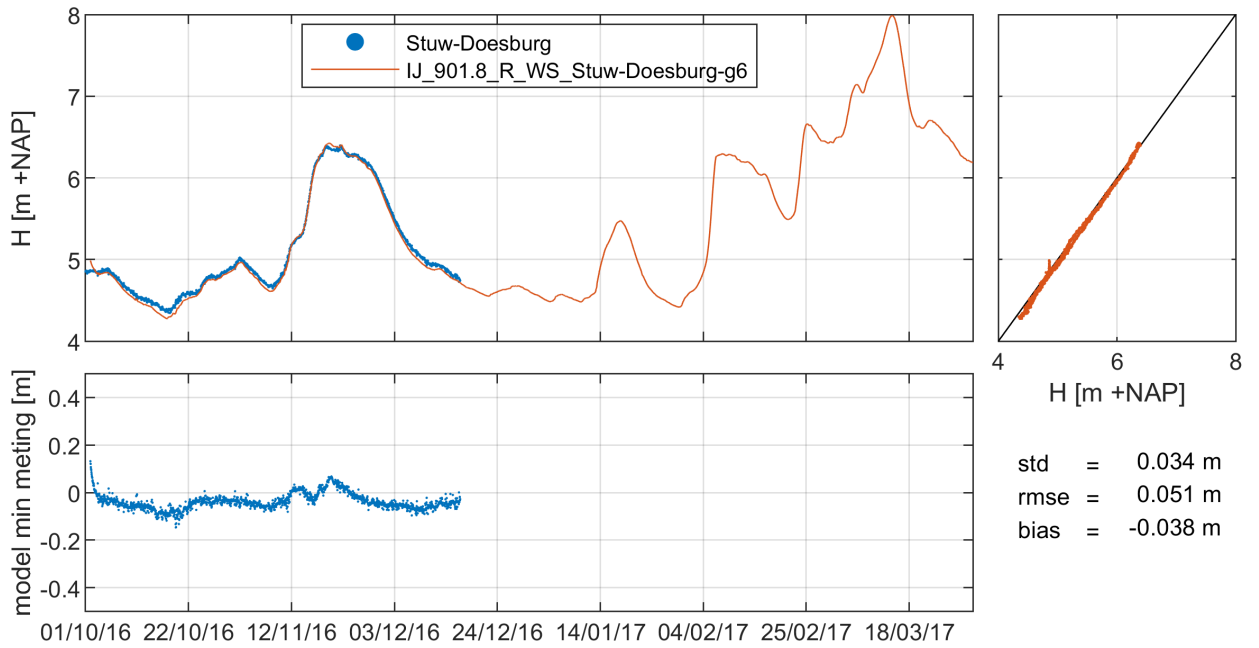


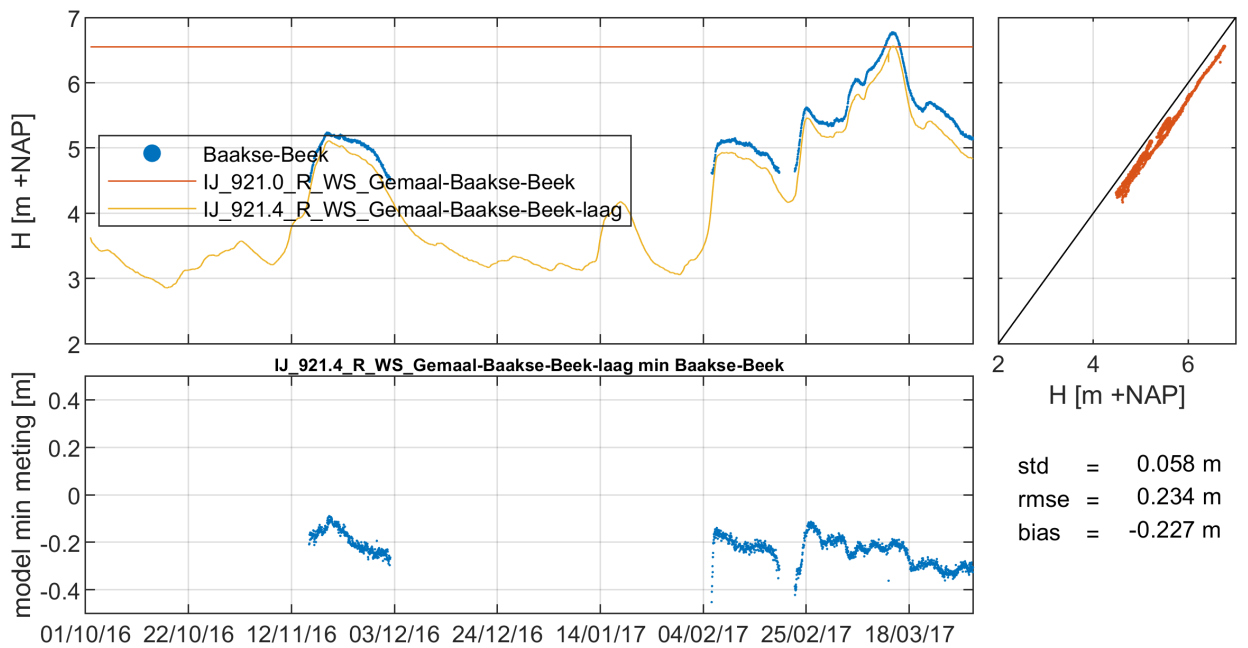
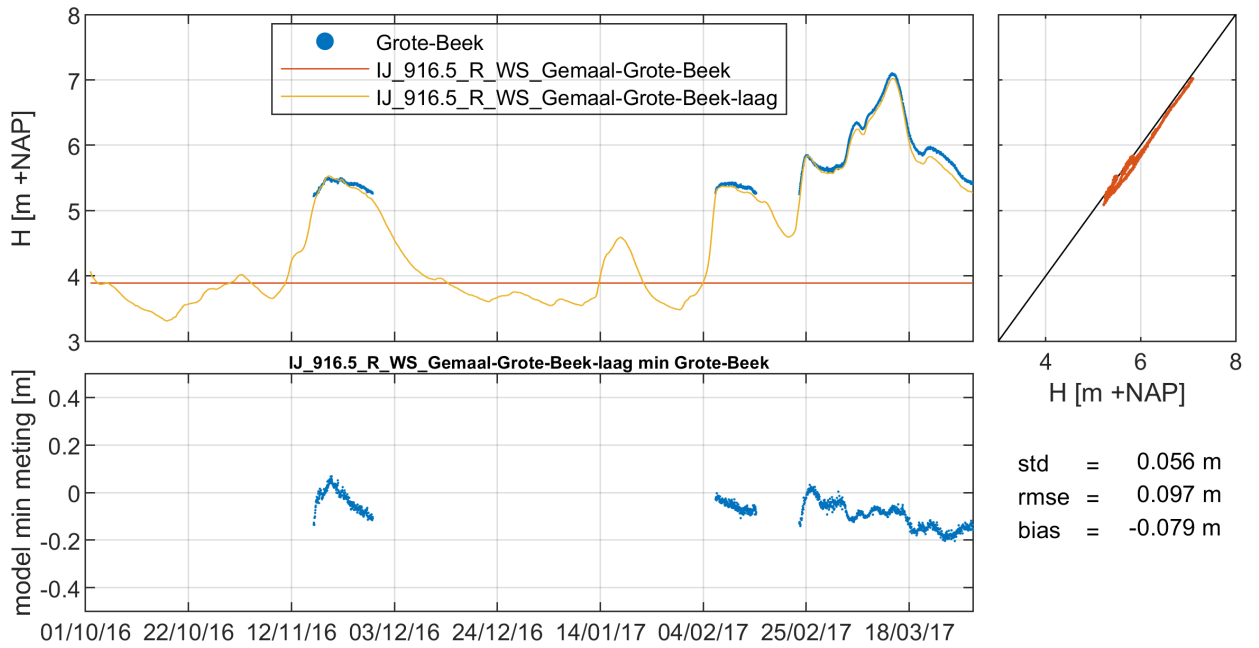
### I.5.3 Metingen waterschappen

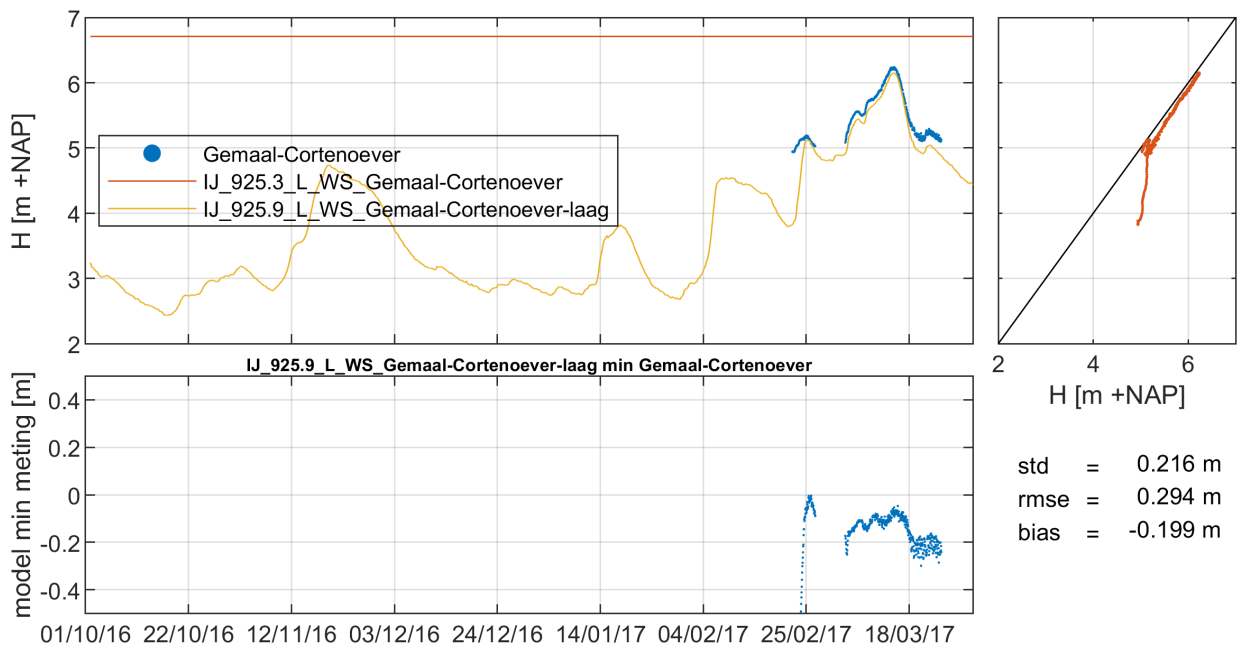
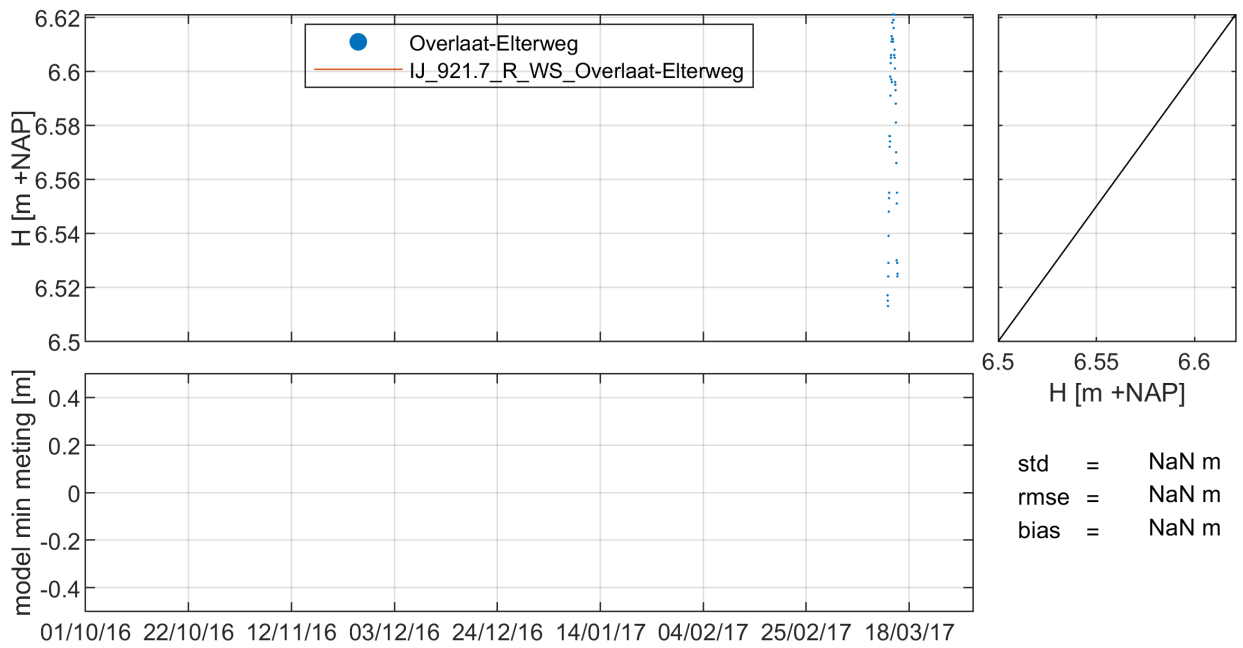
#### uurwaarden

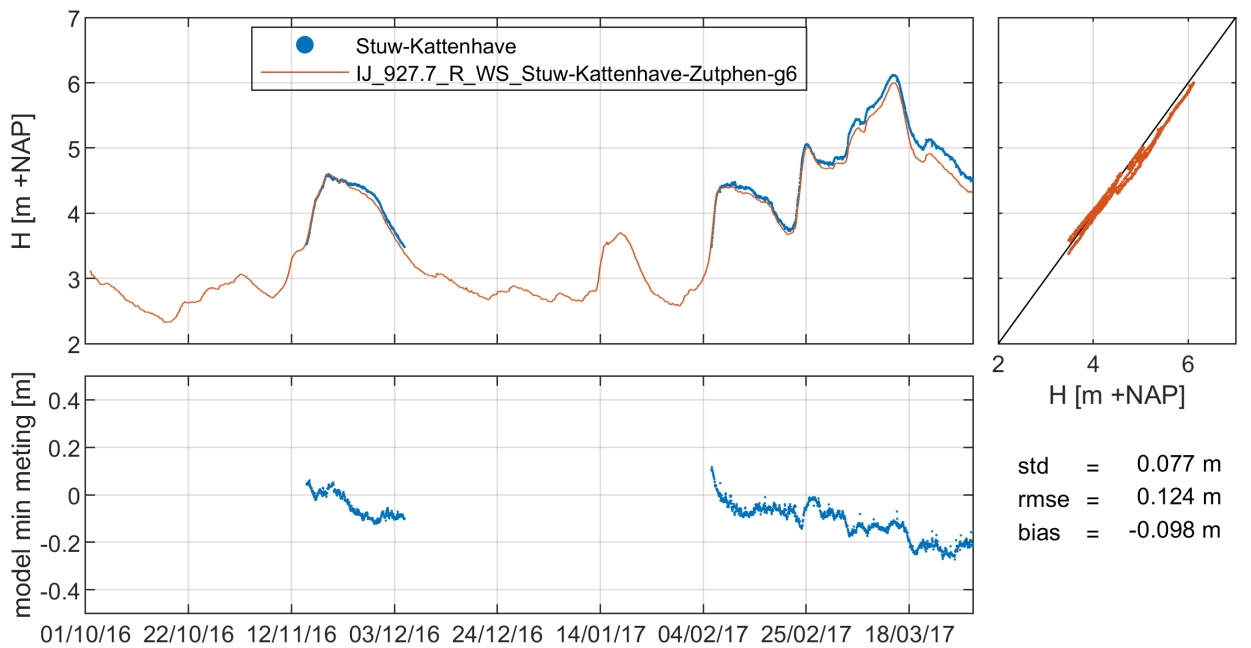
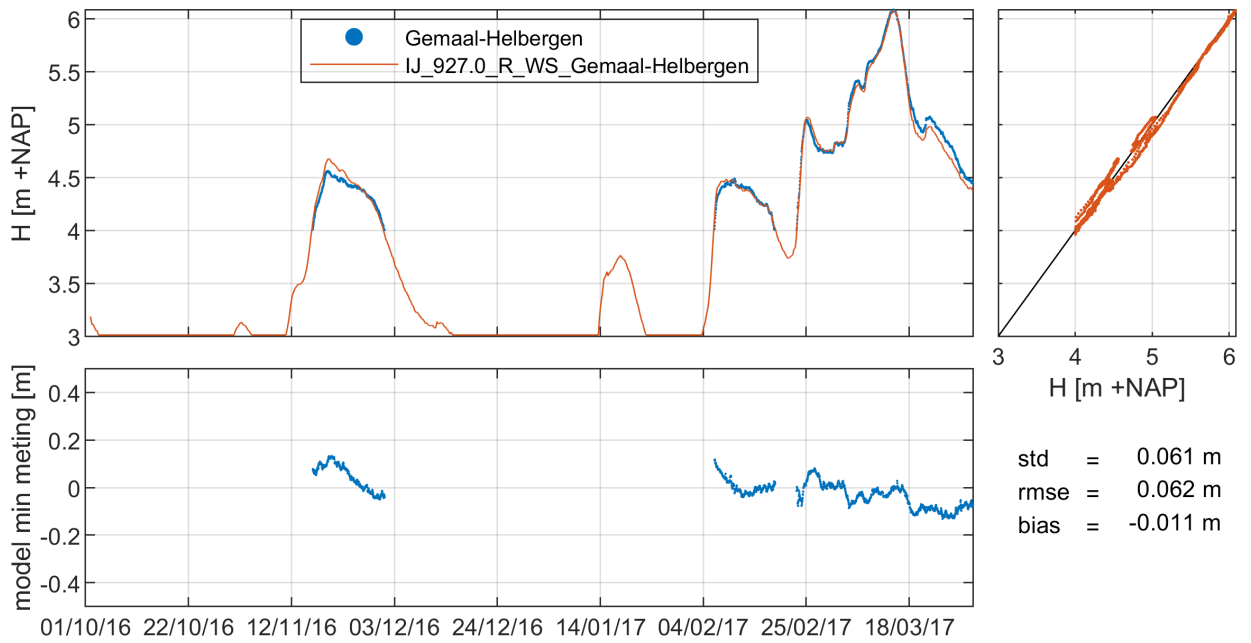


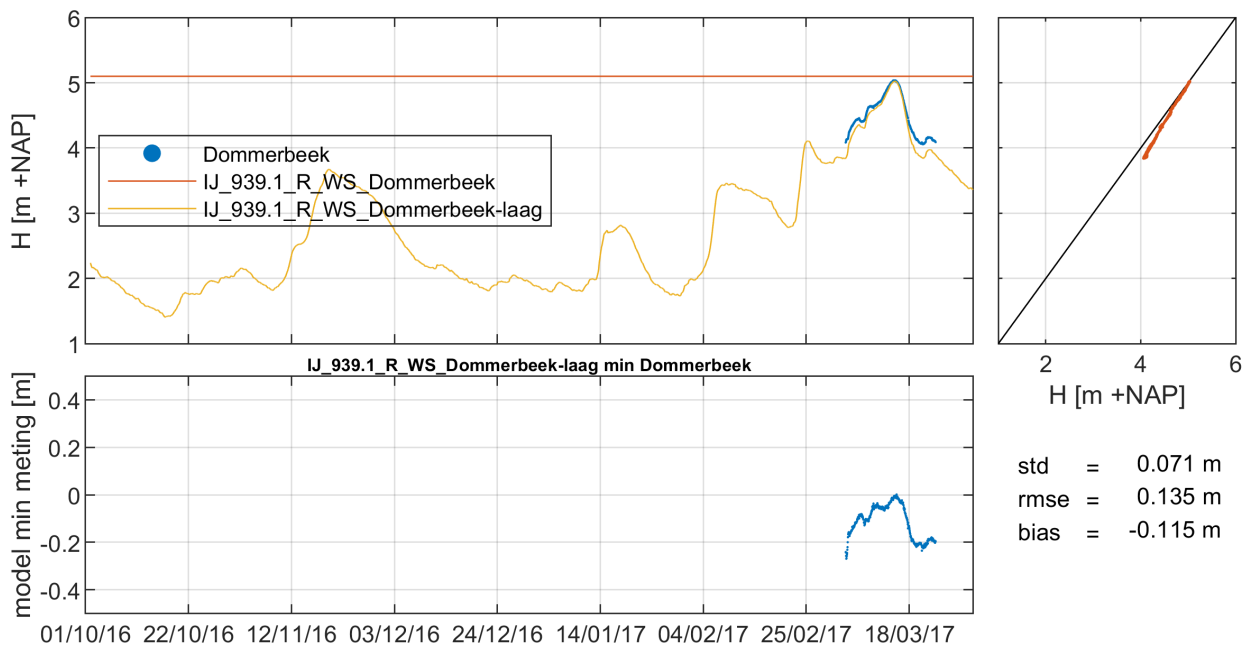
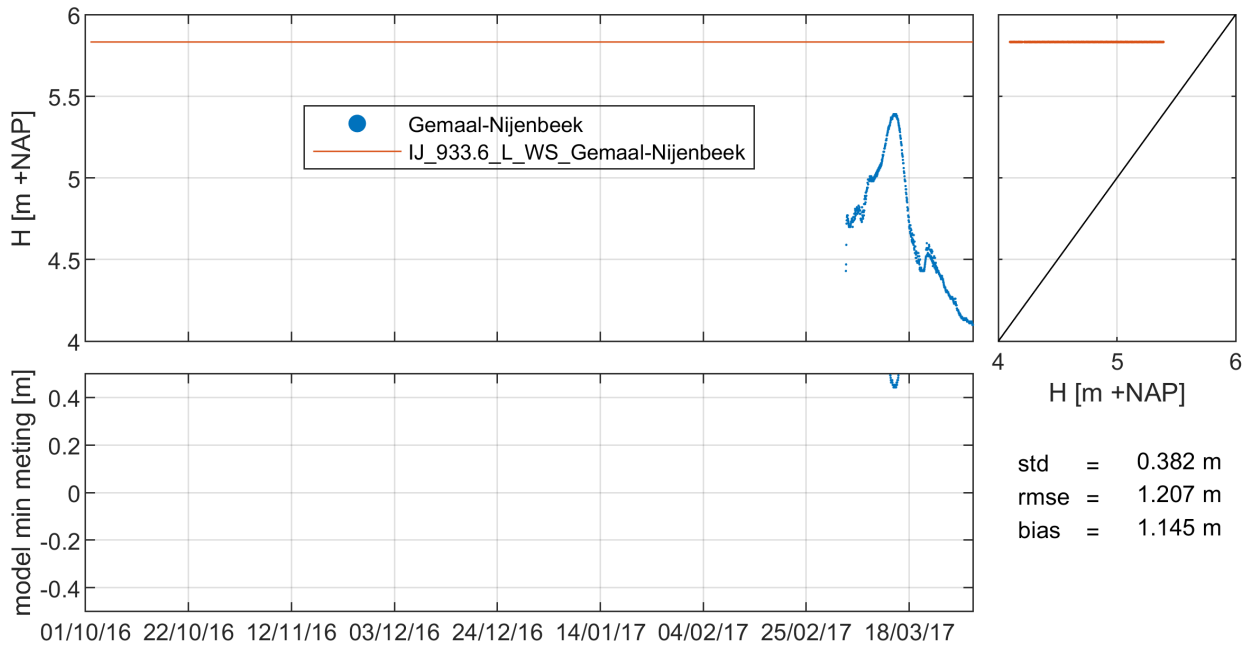


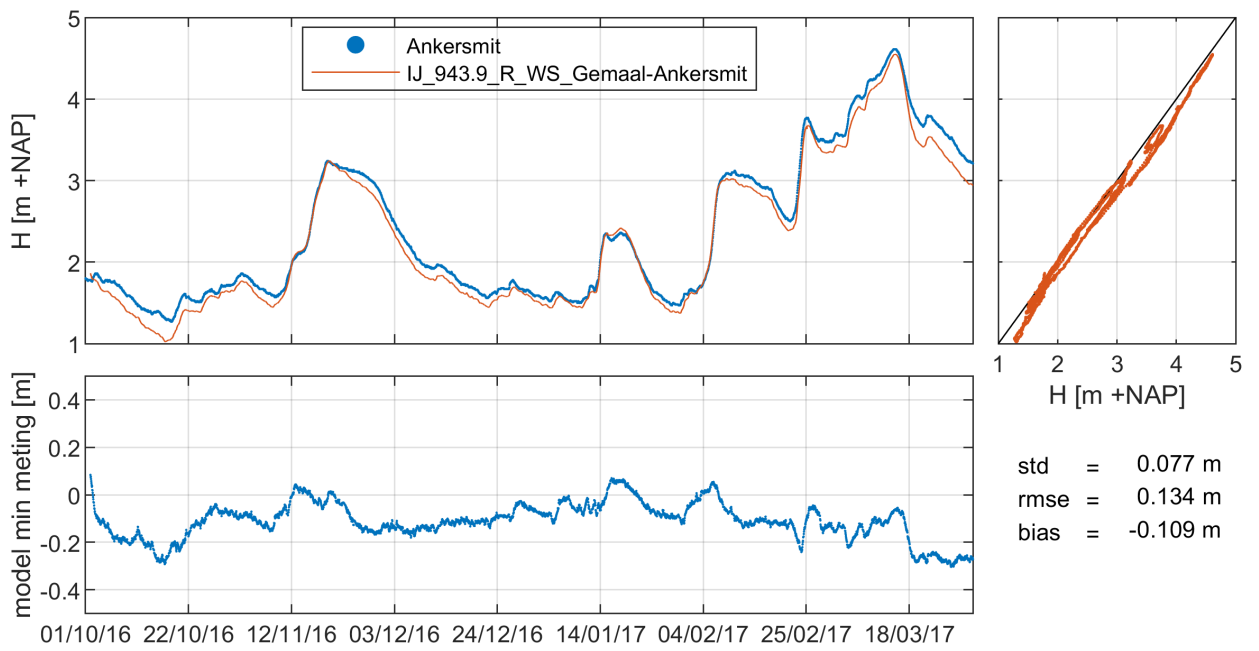
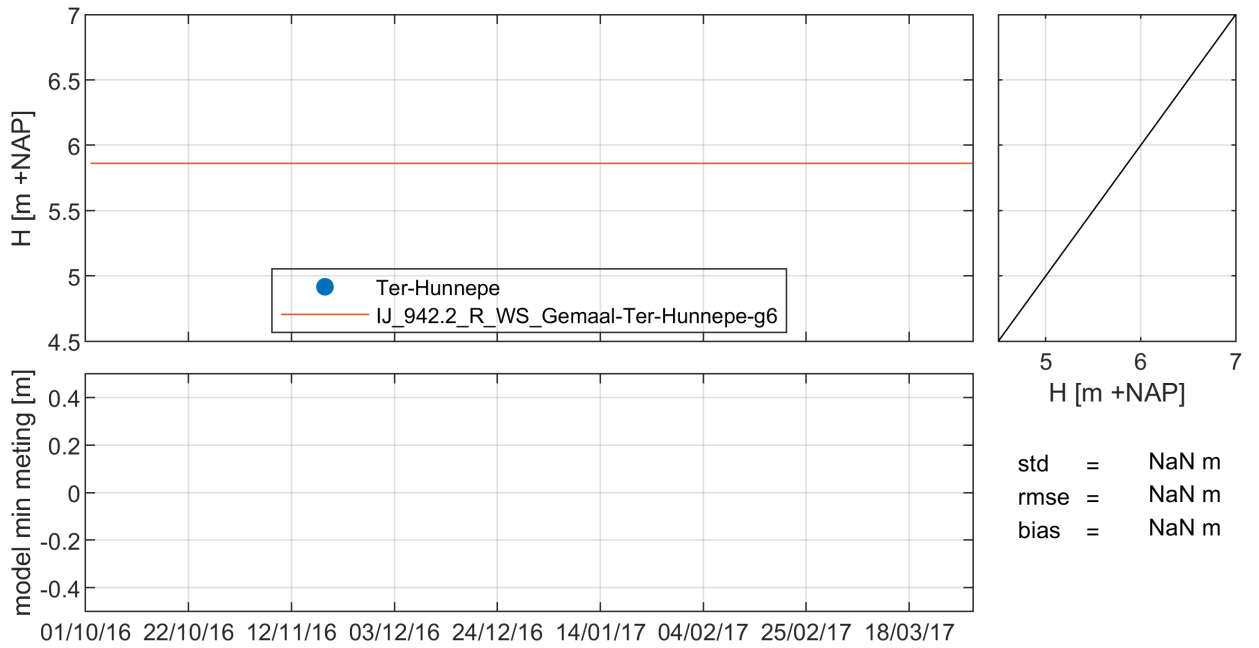




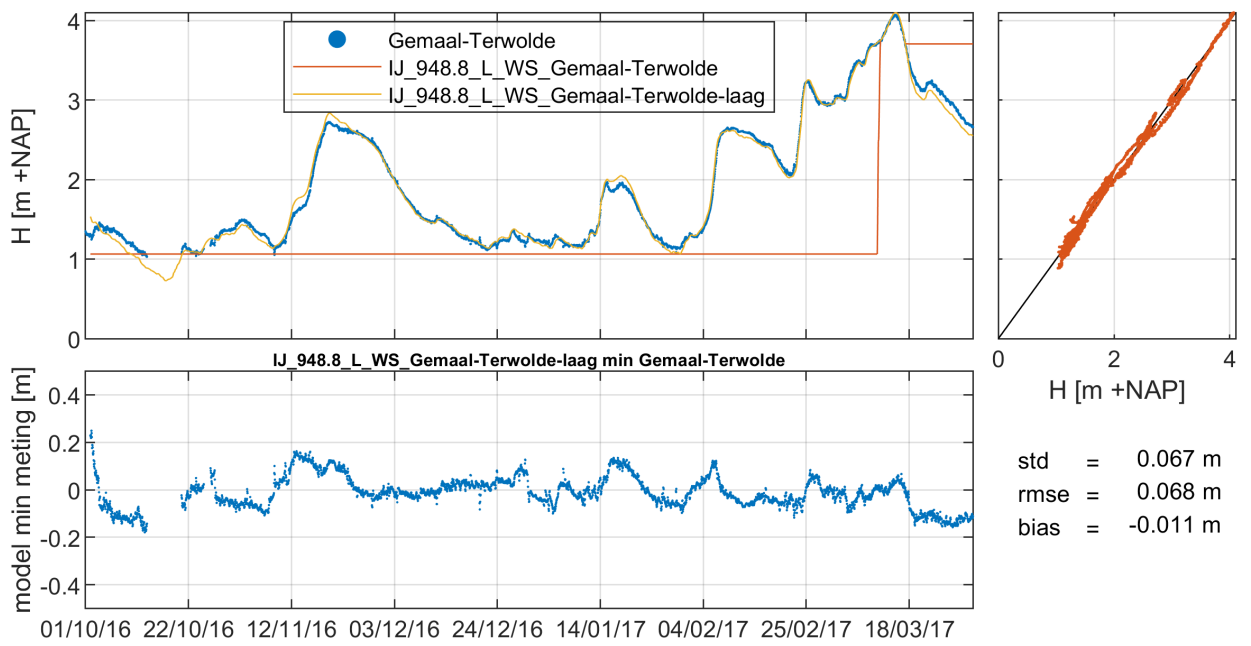
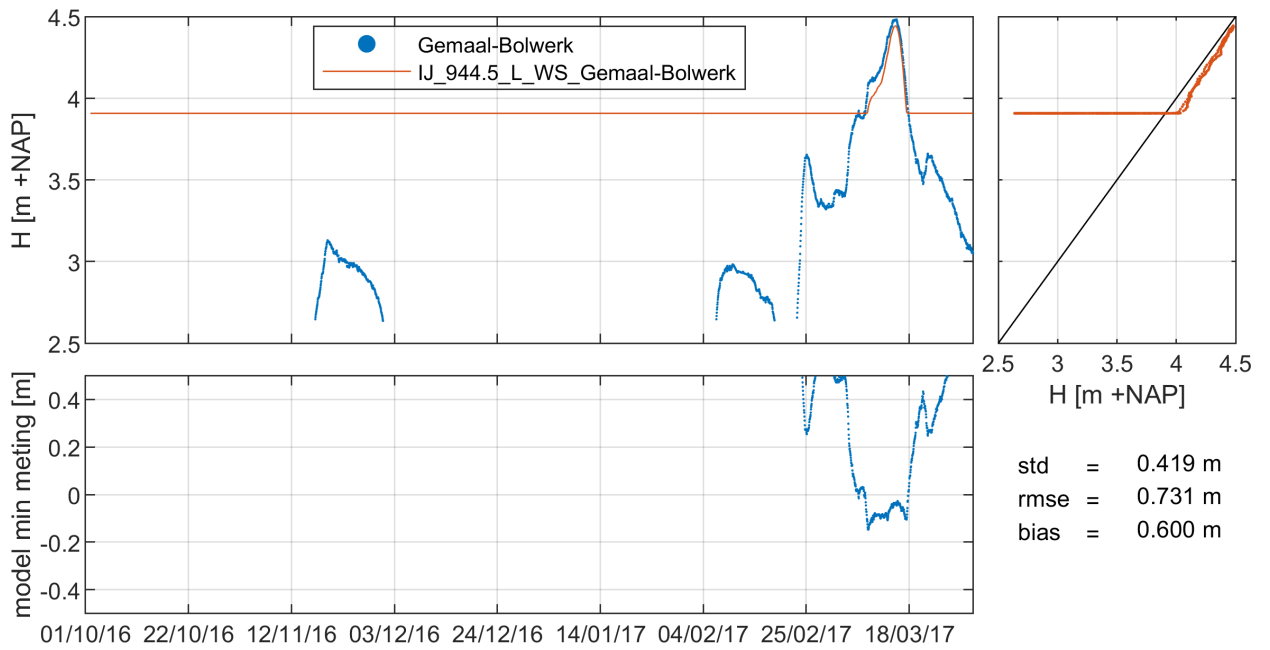


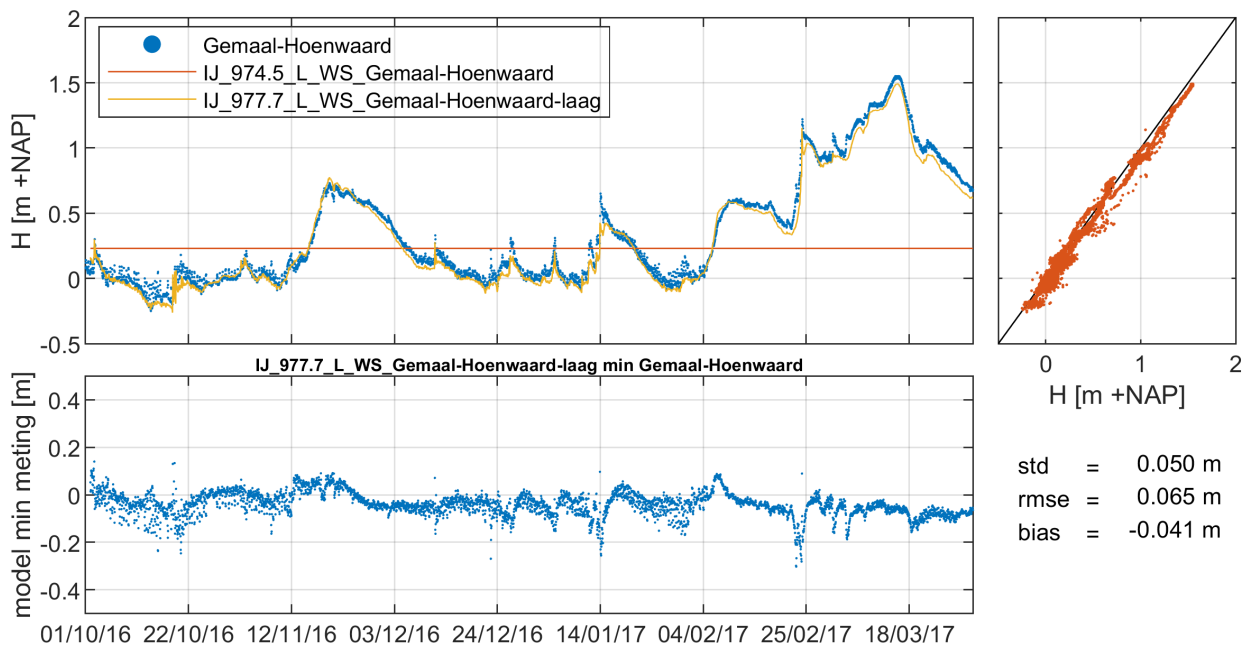
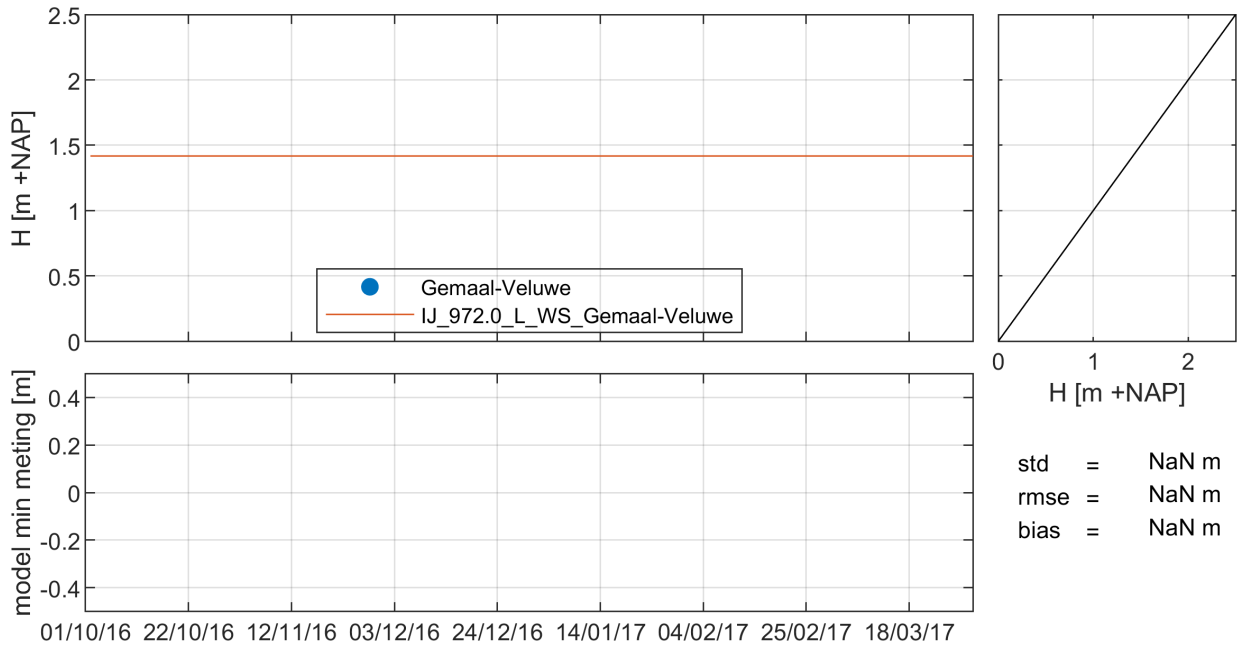


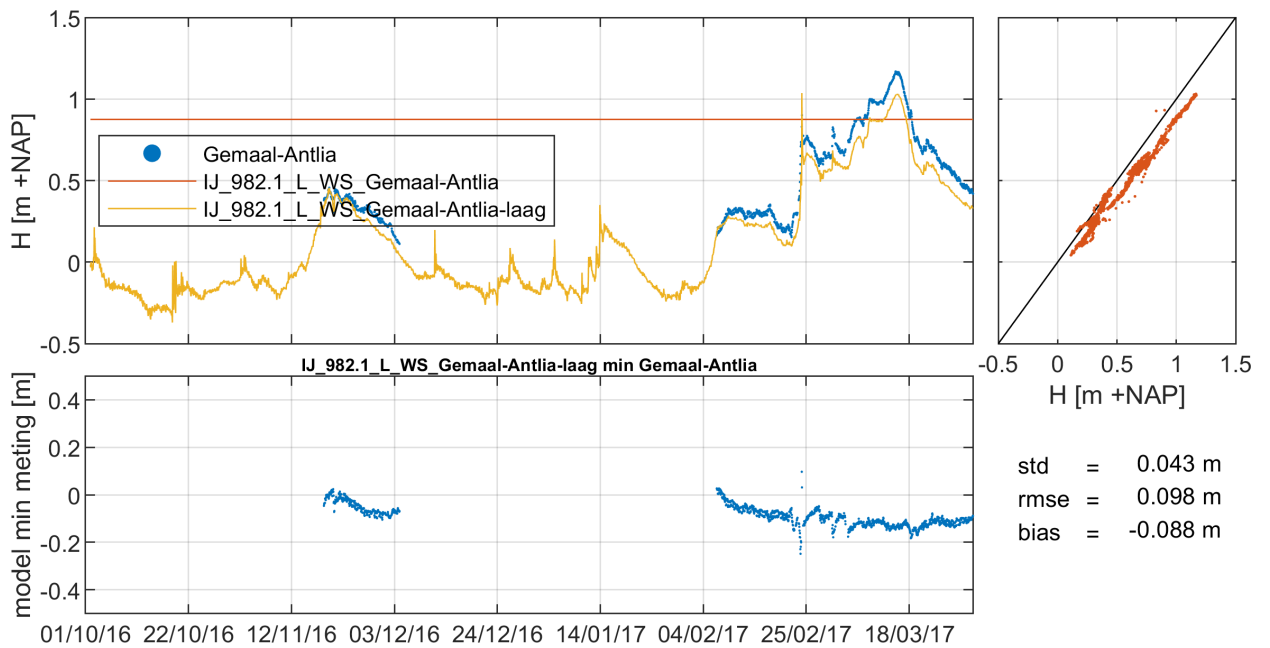
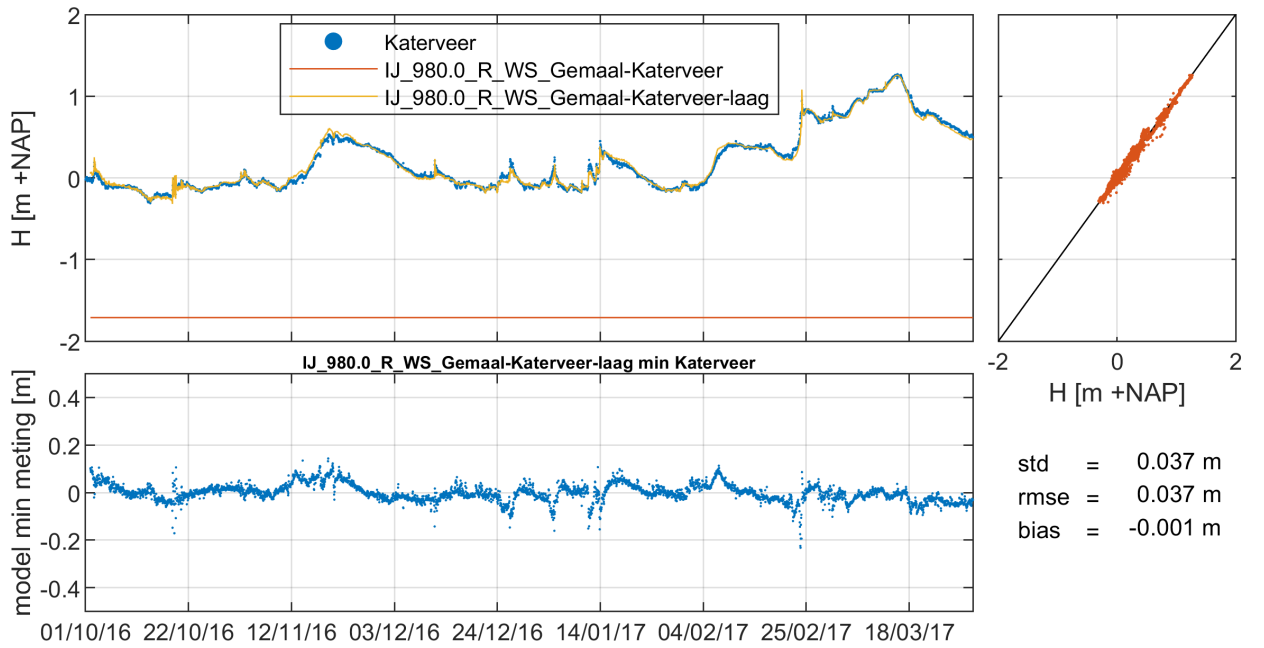


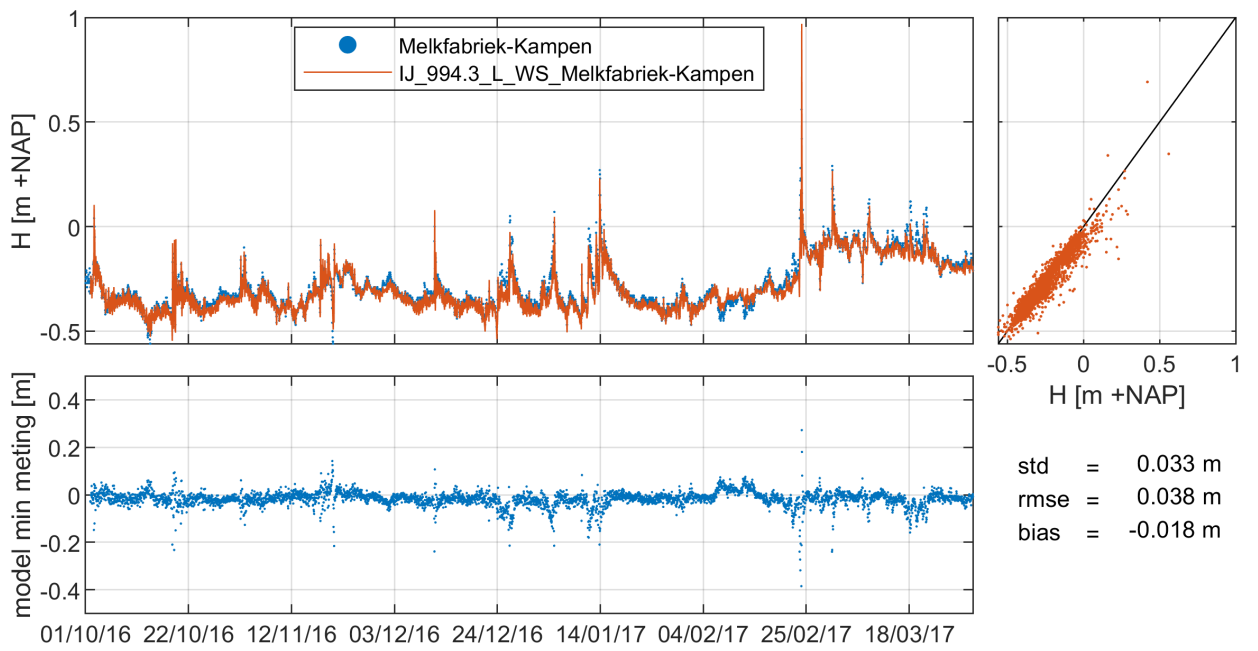
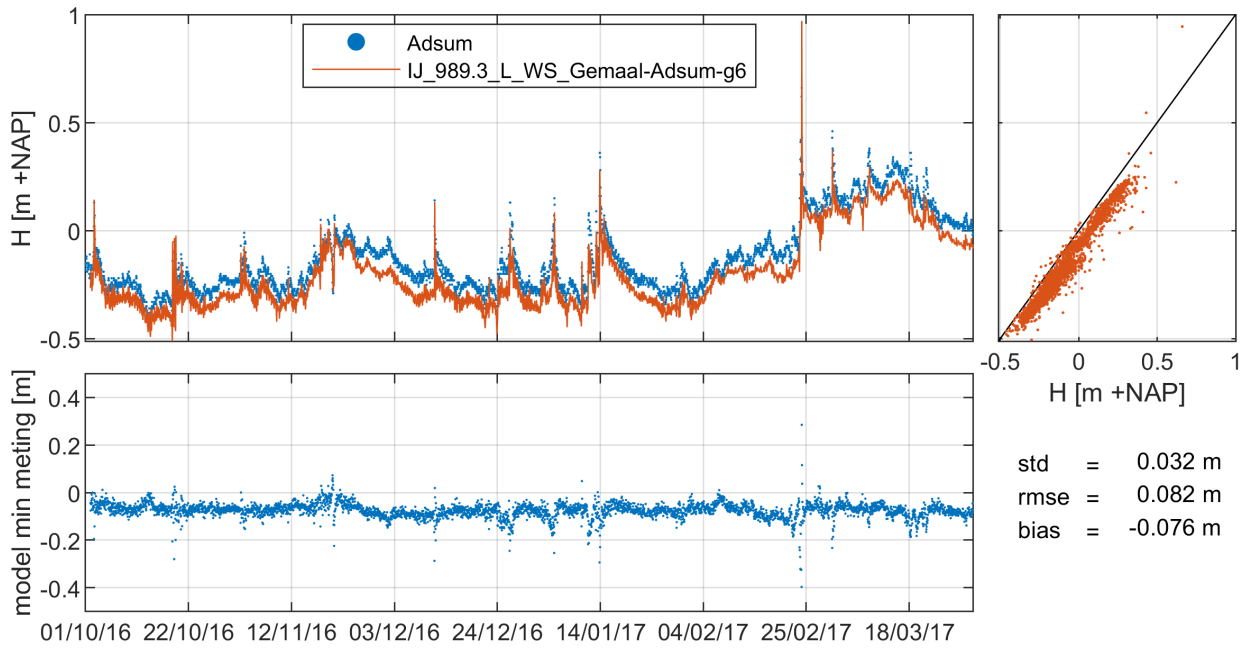


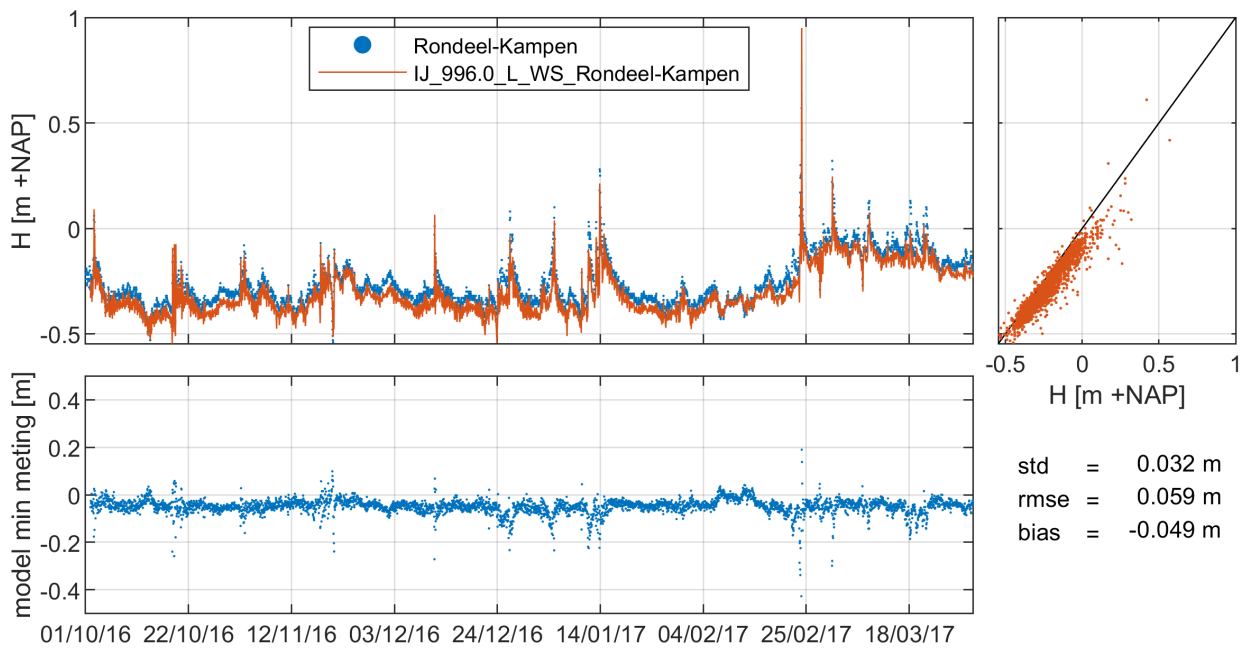
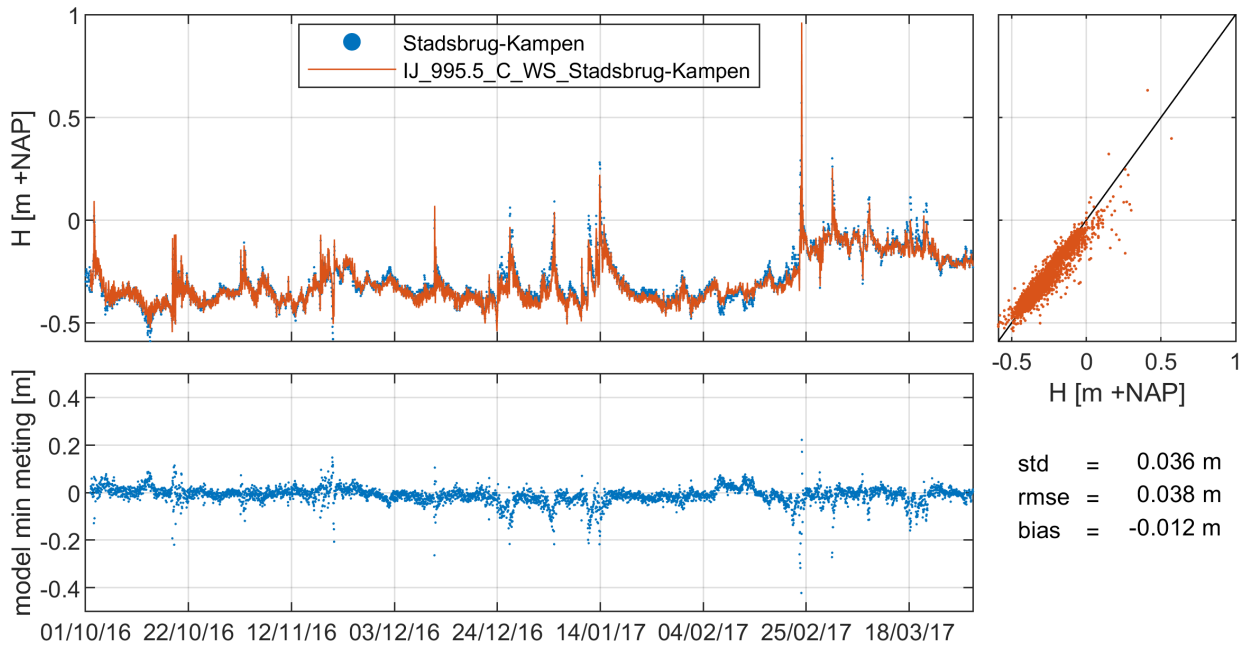


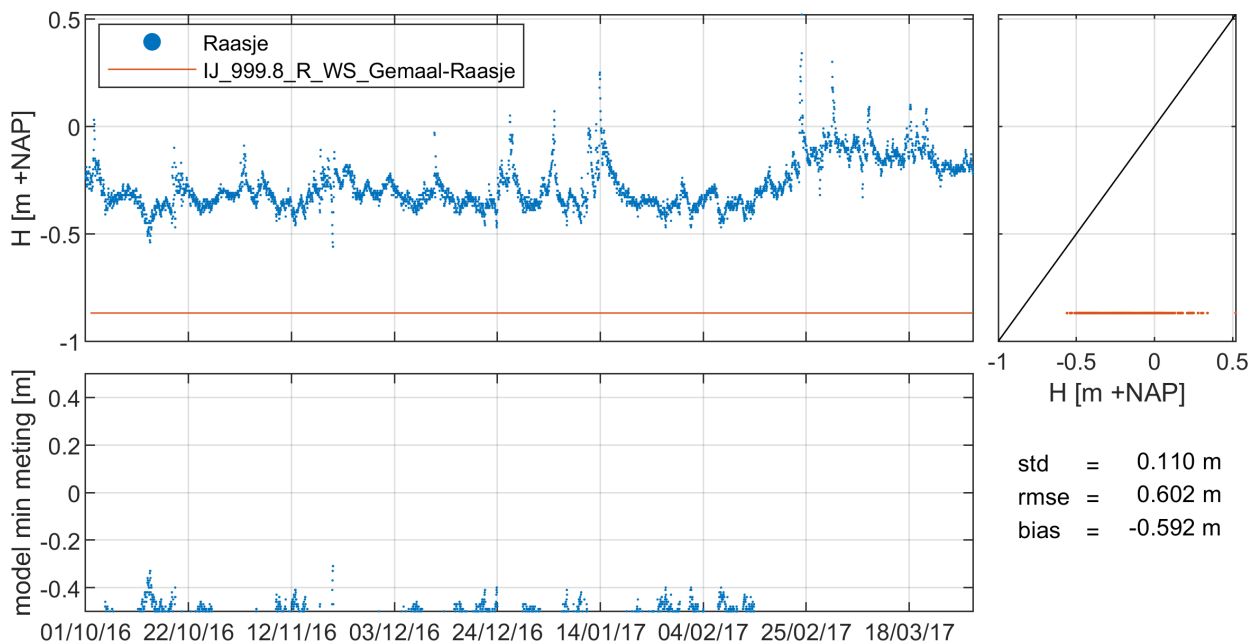




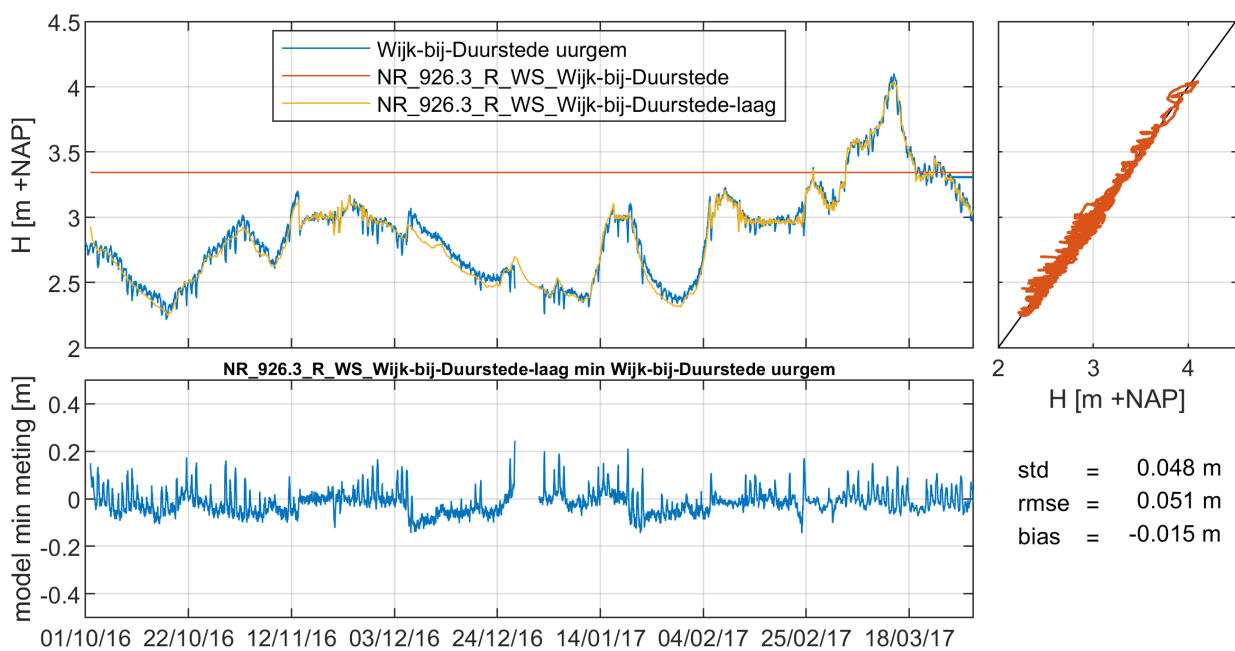


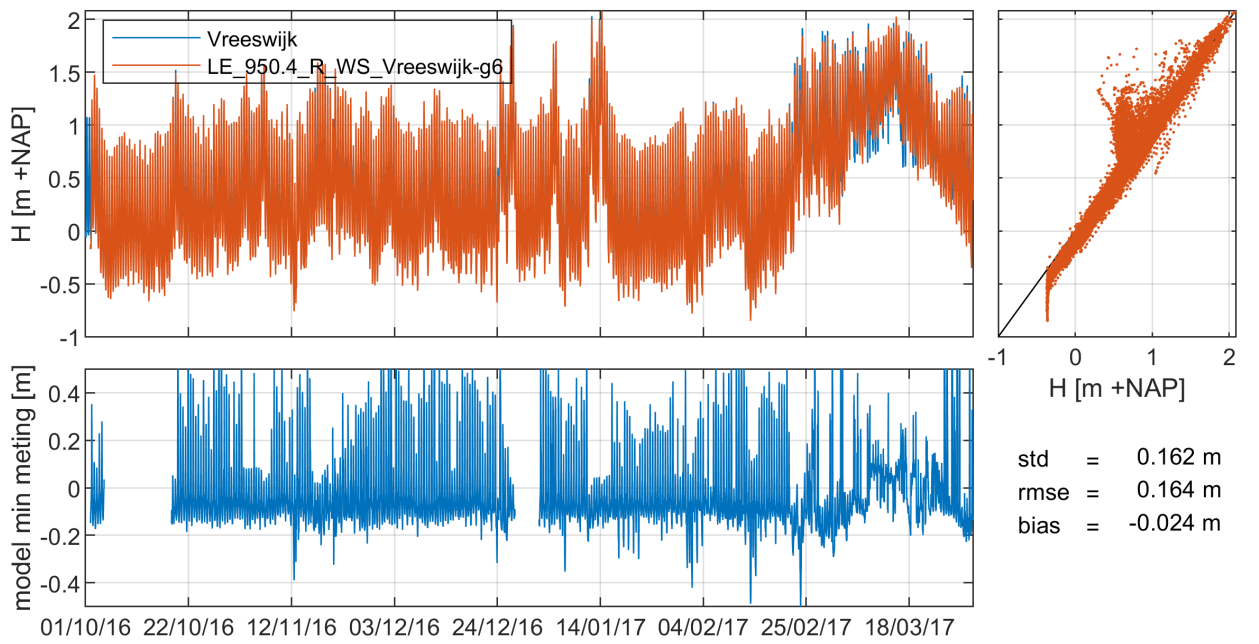
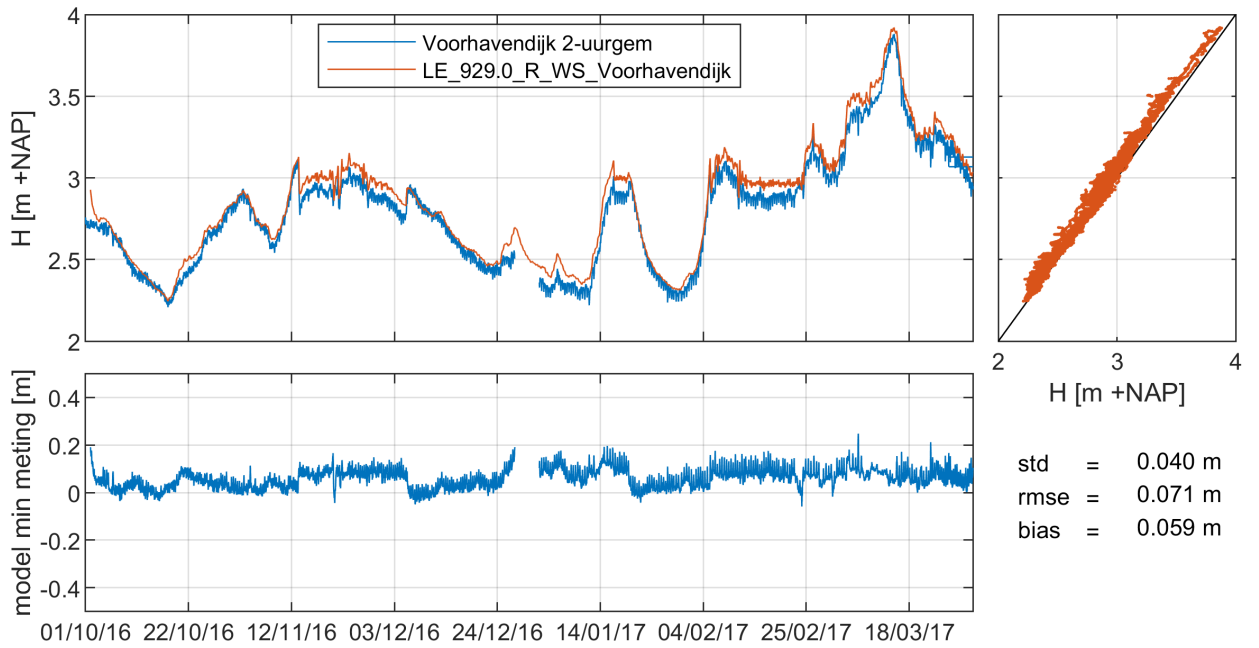


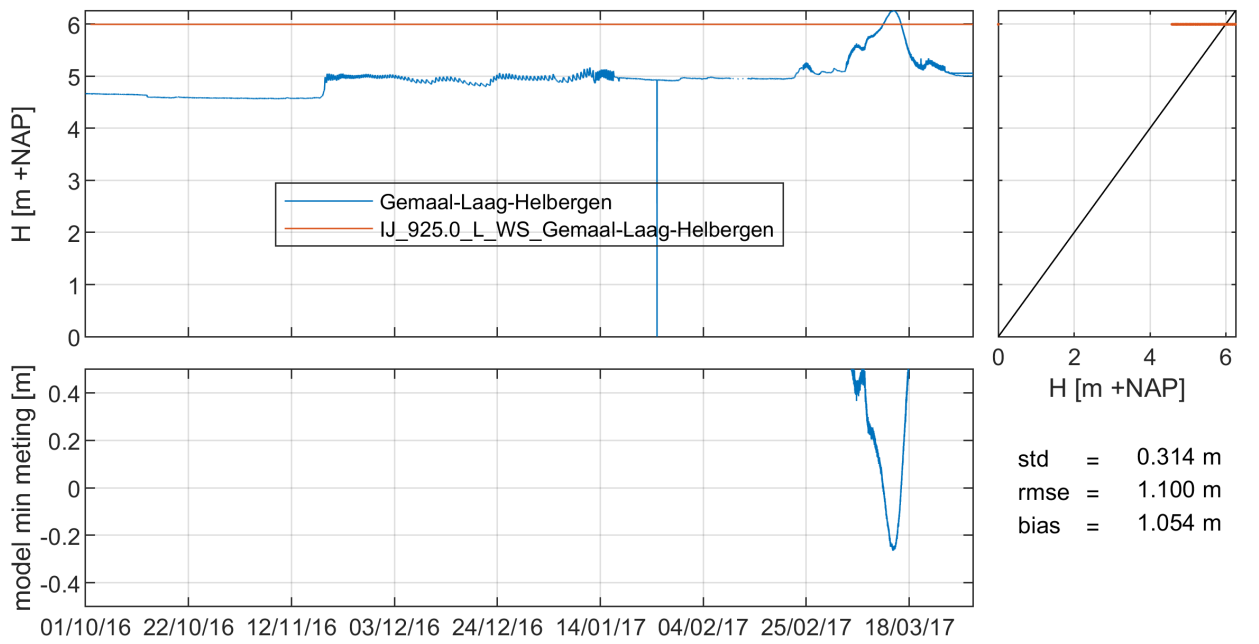
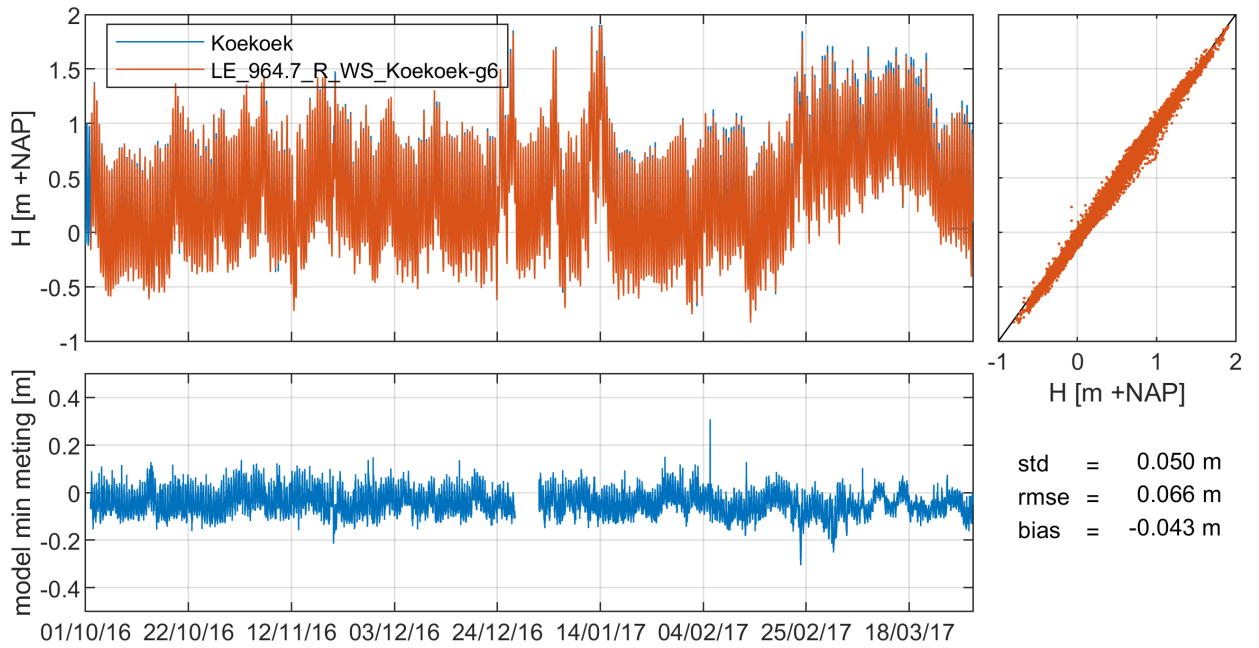




### 15-minutenwaarden

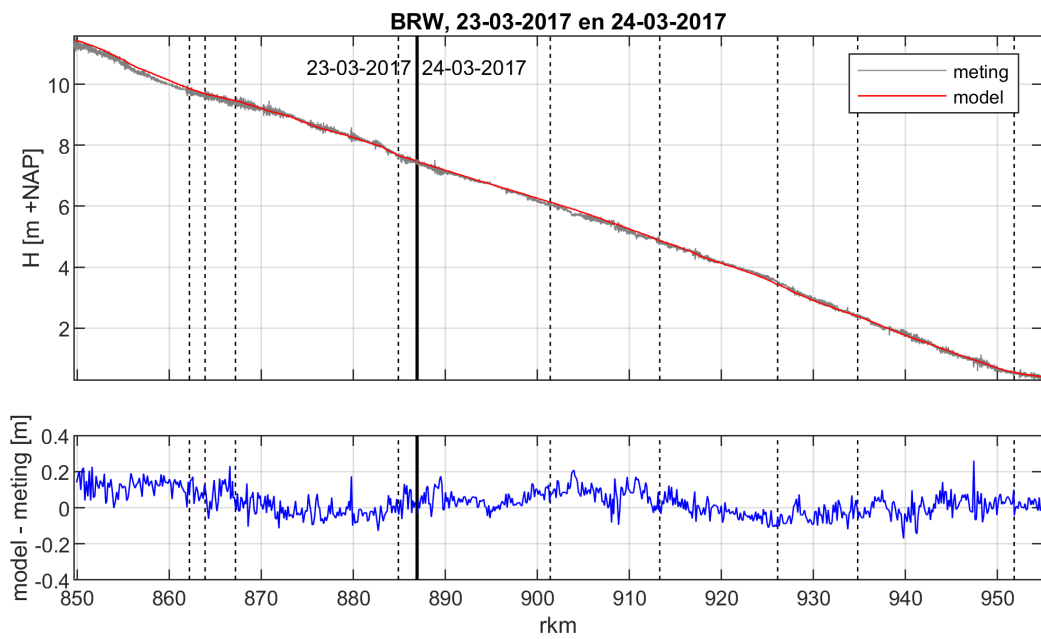
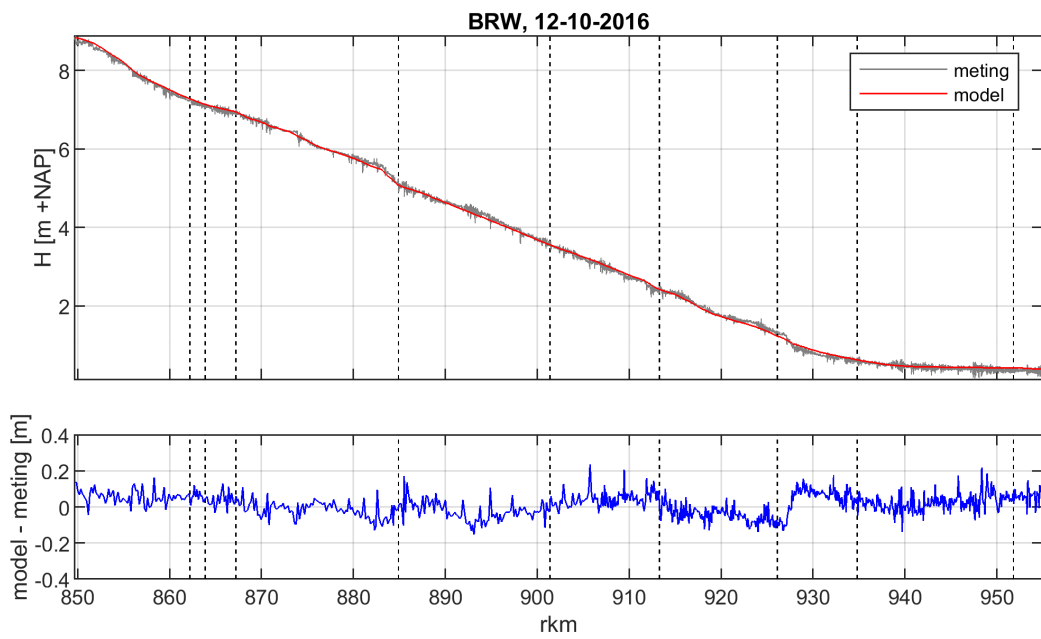


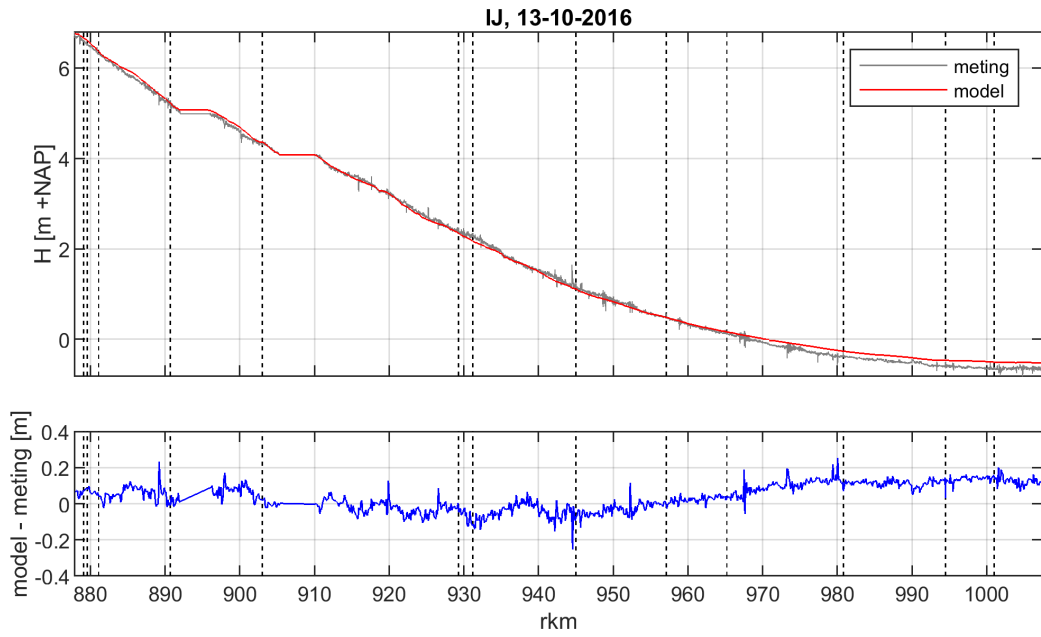




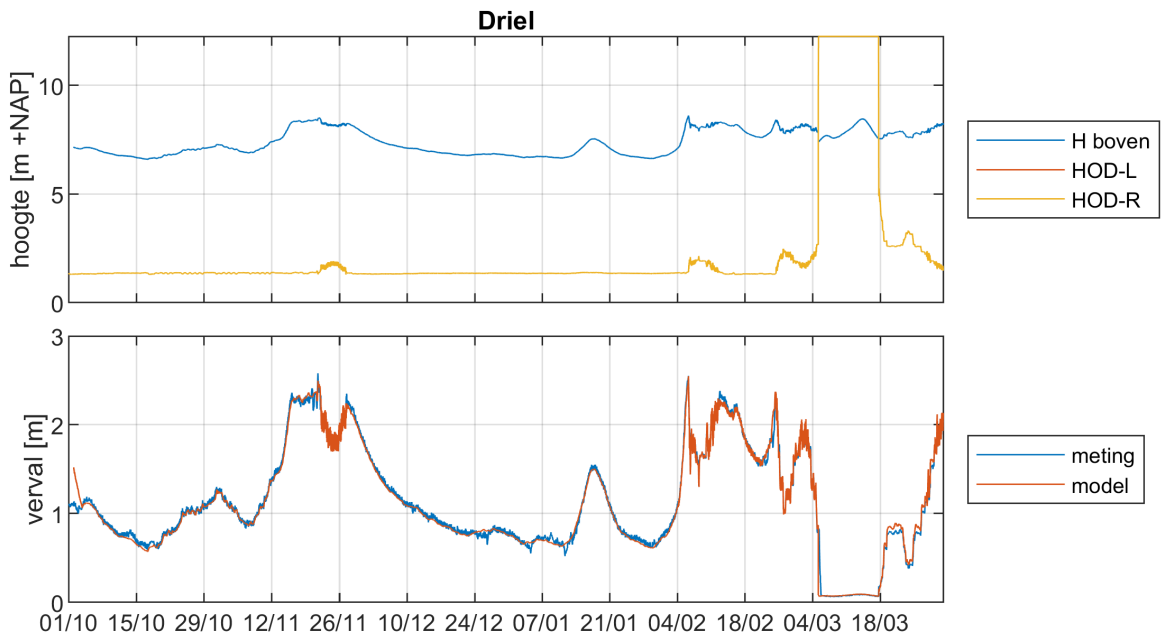


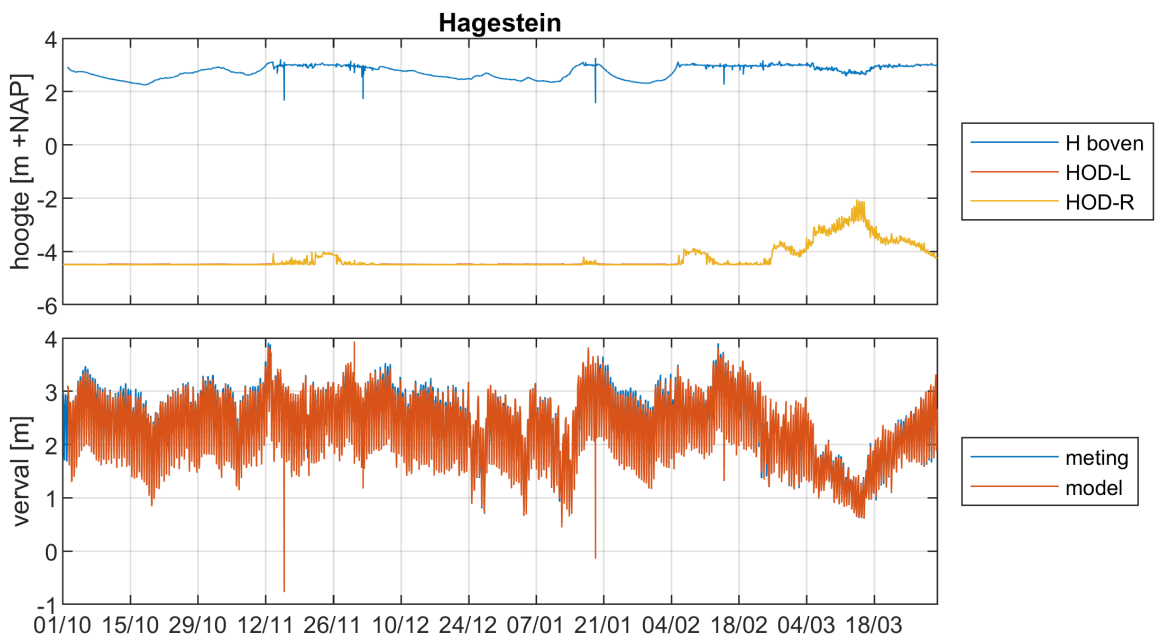
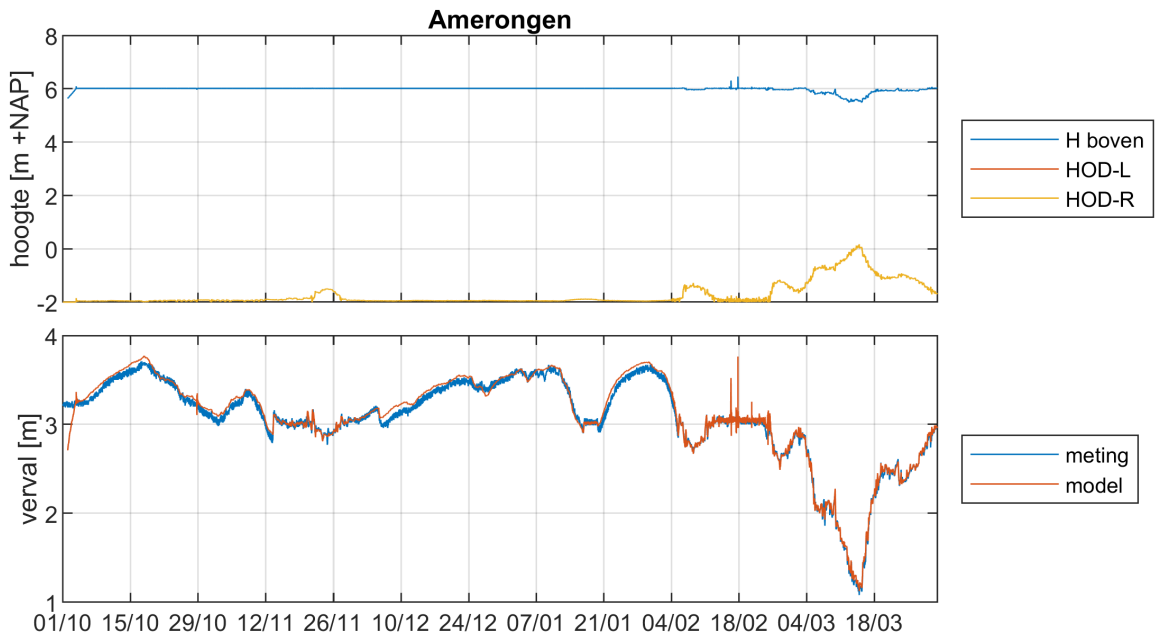
### I.5.4 Verhanglijnmetingen





### 1.5.5 Stuwen





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)