

Validatie hoogwater Maas juli 2021



Validatie hoogwater Maas juli 2021

Auteur(s)

Eveline van der Deijl

Omslagfoto: Lus van Linne op 16 juli 2021 15:42 gefotografeerd door Marc Schols in opdracht van Rijkswaterstaat

Validatie hoogwater Maas juli 2021

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	De heer W. de Lange
Referenties	modellen, applicaties en data
Trefwoorden	D-HYDRO, D-Flow Flexible Mesh, modelschematisatie, Maas, hoogwater 2021, zomer

Documentgegevens

Versie	2.0
Datum	09-10-2024
Projectnummer	11208053-002
Document ID	11208053-002-ZWS-0006
Pagina's	152
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	

Samenvatting

Aanleiding

In juli 2021 heeft op de Maas een extreem hoogwater plaatsgevonden. Het betrof een zeer spits zomerhoogwater met een stijging van slechts 2 dagen en topafvoeren van 3310 m³/s bij St. Pieter en 3284 m³/s bij Borgharen-dorp. Deze recordafvoeren zijn meer dan 10% groter dan eerdere wintertoppen en meer dan 65% groter dan de tot dan toe meest extreme zomerpiekafvoer van 2000 m³/s uit juli 1980 (Van der Veen, 2021). Met dit hoogwater is het voor het eerst sinds 1993 en 1995 weer mogelijk om het functioneren van het model en het gebruik van de operationeel beschikbare gegevens voor een Maasafvoer boven de 3000 m³/s te analyseren. Met een validatie van het hoogwater van 2021 kunnen de modelresultaten ten aanzien van de waterstanden bij toekomstige hoogwaters beter worden onderbouwd.

Modelbouw

Deze rapportage beschrijft de opbouw van het historische j21-model van de Maas in D-HYDRO. Dit model is specifiek opgebouwd voor de validatie van het hoogwater van juli 2021. Baseline-maas-j21_6-v1 en dflowfm2d-maas-j21_6-v1a zijn opgebouwd uit en vervolgens vergeleken met baseline-maas-j19_6-v2 en dflowfm2d-maas-j19_6-v2a. Ter validatie van het nieuwe j21-model zijn met beide modellen simulaties uitgevoerd met 2 standaardsommen van de Jaarlijkse Actualisatie Modellen Maas (JAMM) 2022, namelijk de som S250 en D4100. Er zijn geen onverwachte veranderingen in de waterstand zichtbaar en dflowfm2d-maas-j21_6-v1a is daarom geaccepteerd.

Voor de randvoorwaarden zijn meetreeksen van debieten en waterstanden gebruikt. De randvoorwaarden van de beken zijn afgeleid met behulp van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM). Daarnaast zijn voor de aansturing van de kunstwerken historische tijdseries voor Real Time Control (RTC) opgesteld op basis van de door Rijkswaterstaat aangeleverde gemeten waterstanden. In de tweede versie van dit onderliggende rapport zijn de randvoorwaarden herzien en zijn extra modelvarianten opgezet. Het model dflowfm2d-maas-j21_6-v1a met nieuwe randvoorwaarden, nieuwe RTC-tijdseries en de modelinvoer voor de extra modelvarianten is opgeleverd als dflowfm2d-maas-j21_6-v1b.

Om te testen of de huidige kalibratie nog goed van toepassing is op het zesde-generatie Maasmodel is een aantal varianten doorgerekend zonder kalibratie. Daarnaast is ook een aantal varianten doorgerekend zonder kalibratiefactor voor het H2-niveau.

Om het effect van de zomervegetatie op de ruwheid en op de opgetreden waterstanden te onderzoeken zijn extra varianten doorgerekend met daarin de ruwheidscoëfficiënten van de zomer i.p.v. die van de winter. Daarnaast zijn ook varianten doorgerekend met een zomerkartering. Voor de zomerkartering zijn land_use_polygons met de ruwheidscodes 121 (akker), 122 (strooisel) en 1822 (95% akker + 5% doornstruweel) vervangen door overeenkomstige polygonen uit de gewasregistraties van Nederland en Vlaanderen.

Validatie

Voor de validatie worden diverse databronnen gebruikt, namelijk: meetreeksen van waterstanden en debieten, diverse incidentele metingen (topwaterstanden, notities van waterstanden op peilschalen en strootjesmetingen), afvoermetingen, verhanglijnmetingen, LiDAR- data van 16-18 juli 2021 en een topwaterstandenkaart.

Waterstand

De topwaterstanden worden door de referentie op de Bovenmaas (Eijsden tot Borgharen) met 10 tot 21 cm overschat, terwijl het verschil op de Grensmaas (Borgharen tot Thorn) -50 tot +10 cm bedraagt. Deze verschillen zijn in D-HYDRO (zesde-generatiemodel) 10 tot 20 cm kleiner dan in het vijfde-generatiemodel WAQUA. Het model presteert op de Grensmaas nog beter wanneer de ruwheid van de zomervegetatie of de zomerkartering wordt gebruikt.

Door de extreem spitse vorm van het hoogwater van juli 2021 zakt de piekafvoer sterk in. Dit begint zichtbaar te worden in de waterstanden op de Plassenmaas. Het model is redelijk goed in de reproductie van het opgaande water, behalve voor het hoogste deel van de afvoerpiek en de topwaterstand wordt met 7 tot 10 cm onderschat.

Vanaf Roermond is er een groter verschil zichtbaar tussen het moment dat de topwaterstand in het model en in de metingen wordt bereikt. De vorm van de piek gaat vanaf deze locatie verder afwijken en de topwaterstand wordt tot aan meetpunt Belfeld Boven met 7 tot 11 cm onderschat. In de dalende fase van het hoogwater heeft de waterstand een beduidend steiler verloop dan de metingen aantonen. Dit is ook het geval in het model met de hogere zomerruwheden. De hogere zomerruwheden zorgen wel voor een verdere toename van de topwaterstand, maar niet voor een trager verloop van de afvoergolf. Het gebruik van de zomerkartering zorgt daarentegen zowel voor een toename van de topwaterstand als voor een tragere stijging vlak voor de topwaterstand.

Vanaf Venlo tot Sambeek is juist zichtbaar dat de waterstanden in het model te traag stijgen, waardoor de topwaterstand te laat wordt bereikt in het model. De topwaterstand wordt met 23 cm onderschat, deze onderschatting is in dezelfde orde als de onderschatting van het WAQUA model. De waterstanden stijgen nog trager voor de variant met zomerkartering, maar wel is door een toename in de topwaterstand de onderschatting afgenomen tot 20 cm voor de variant met zomerruwheid en 9 cm voor de variant met zomerkartering. Er zijn dus waarschijnlijk (ook) andere factoren die maken dat de vorm van de afvoergolf niet goed gerepresenteerd wordt in het model.

Na Mook is ook in het eerste deel van de opgaande fase van het hoogwater steeds een duidelijke afwijking zichtbaar tussen het model en de metingen. Er zijn in het model minder momenten met afvlakking van de stijging van het water en de topwaterstand wordt in het model steeds eerder bereikt dan in de metingen. De topwaterstanden liggen op dit traject 8 tot 19 cm hoger dan de metingen. Deze overschatting is 10 tot 15 cm lager dan in WAQUA.

Afvoer

De piekafvoer bij Sint Pieter Noord is in het model 34 m³/s hoger en de piek wordt ook iets later bereikt dan in de metingen. Door de extreem spitse vorm van het hoogwater van juli 2021 zakt de piekafvoer sterk in benedenstroomse richting. Dit is zichtbaar in zowel de modelresultaten als de metingen. Echter stijgt de afvoer in het model sneller en wordt de piekafvoer in het model op de benedenstroomse meetlocaties doorgaans eerder bereikt. De grootste verschillen (voornamelijk overschattingen door het model) ontstaan op het moment dat het verloop van de afvoerpiek het steilste is. Het is opvallend dat over het gehele model de afvoeren veel beter overeenkomen voor de variant met zomerkartering. De zomerkartering geeft een sterke verbetering doordat de stijging voor de hogere afvoeren minder snel is. De piekafvoer valt daardoor beter samen met de meting en ook neemt de overschatting van de piekafvoer af.

De extra afvoermetingen van Aqua Vision tonen dat er in het stuwband tussen Sambeek en Grave tijdens de piek in het model naar verhouding minder water via het zomerbed en meer via het winterbed stroomt dan dat de metingen aangeven. Ook hier nemen de verschillen tussen het model en de metingen af voor de variant met zomerkartering.

Conclusie en aanbevelingen

De resultaten tonen dat dflowfm2d-maas-j21_6-v1b (de referentie) beter presteert in deze validatie dan de ongekalibreerde varianten of de varianten zonder de kalibratie op het hoogste niveau (H2), dat op basis van 1995 is vastgesteld. Herkalibratie op het basis van het hoogwater van juli 2021 moet pas overwogen worden indien de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen van dit hoogwater van 2021 onacceptabel zijn en de verwachting is dat herkalibratie op basis van dit hoogwater de modelresultaten voor toekomstige hoogwaters verbetert. Op basis van alleen een vergelijking met metingen kan echter niet worden gezegd of herkalibratie een beter model op gaat leveren. Het hoogwater van juli 2021 was zeer spits qua golfvorm en het betrof een zomerevent, terwijl hoogwaters tot nu toe altijd in de winter plaatsvonden. De schematisatie van 2021 is wel veel recenter en ook de kwaliteit van de meetdata van het hoogwater is beter en diverser dan voor het hoogwater van 1993 en 1995. Echter ontbraken losse divermetingen in de uiterwaarden en is ook nog niet duidelijk welke data daadwerkelijk voor eventuele herkalibratie meegenomen kan worden. Daarnaast is nog onzeker waardoor de verschillen tussen de modelresultaten en metingen exact worden veroorzaakt en dit dient eerst verder te worden onderzocht en waar nodig dient het model eerst verder te worden verbeterd.

Als er toch voor herkalibratie wordt gekozen, wordt aanbevolen om de simulatie met zomervegetatie te gebruiken, aangezien dit model over de hele Maas gezien gemiddeld beter presteert dan het model met zomerruwheidscoëfficiënten of de referentie met wintervegetatie. Er is echter ook voor het model met zomervegetatie geen algehele betere overeenkomst met zowel de afvoergolf als de hoogwaterstanden, die direct te linken is aan de verandering in vegetatiekartering. Er is namelijk te weinig topvervlakking in het bovenstroomse deel van de Maas. Er is wel een verbetering in de piekwaterstanden en vorm van het verloop van de waterstanden vanaf Heel, maar er is ook teveel topvervlakking vanaf Venlo. Daarentegen verbetert wel zowel de piekafvoer als de vorm van de afvoergolf over het gehele model door het gebruik van de zomervegetatie. Dit impliceert dat er waarschijnlijk ook andere factoren in de schematisatie of stuwsturing zijn die zorgen dat de vorm van de afvoergolf en de hoogwaterstanden niet goed gerepresenteerd worden in het model. Om deze reden wordt eerst verder onderzoek aanbevolen.

Er wordt onder andere aanbevolen om het effect van de vegetatie op ruwheden en waterstanden verder te onderzoeken. Daarbij is met name onderzoek nodig naar de verandering in ruwheid van de vegetatie tijdens de seizoenen en de verandering tijdens een hoogwater door bijvoorbeeld het platslaan en afbreken van de vegetatie. Ook zou de huidige zomerkartering gevalideerd kunnen worden met behulp van luchtfoto's om te checken of boeren niet snel voor het hoogwater de gewassen hebben geoogst.

Verder wordt aanbevolen om een extra analyse of check uit te voeren van de schematisatie van de Grensmaas en de schematisatie tussen Sambeek en Lith. Hier zijn namelijk grote verschillen zichtbaar tussen de piekwaterstand van het model en de metingen.

Summary

Background

In July 2021, an exceptional high water took place in the Meuse. In the Netherlands it was an exceptionally high summer discharge wave with a rise of only 2 days and peak discharges of 3310 m³/s at St. Pieter and 3284 m³/s at Borgharen dorp. These record discharges are more than 10% larger than previous winter peaks and more than 65% larger than the most extreme summer peak discharge of 2000 m³/s of July 1980 (Van der Veen, 2021). This high water makes it possible to analyse the functioning of the model including the use of operationally available data for a Meuse discharge above 3000 m³/s for the first time since 1993 and 1995. With the validation of the 2021 high water, model results with respect to water levels for future high waters can be better substantiated.

Modelling

This report describes the construction of the historical j21 model of the Meuse River in D-HYDRO. This model was built specifically for the validation of the July 2021 high water. Baseline-maas-j21_6-v1 and dflowfm2d-maas-j21_6-v1a were built from and then compared with baseline-maas-j19_6-v2 and dflowfm2d-maas-j19_6-v2a. To validate the new j21 model, simulations were performed with both models using 2 standard simulations, namely S250 and D4100. No unexpected changes in water levels were visible and dflowfm2d-maas-j21_6-v1a was therefore accepted.

Measurement series of flows and water levels were used for the boundary conditions. The boundary conditions of lateral streams were derived using the Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM). In addition, historical timeseries for Real Time Control (RTC) were prepared for the control of the weirs. These were based on measured water levels provided by Rijkswaterstaat. In the second version of this underlying report, the boundary conditions were revised and additional model variants were set up. The model dflowfm2d-maas-j21_6-v1a with new boundary conditions, new RTC timeseries and the model input for the additional model variants was delivered as dflowfm2d-maas-j21_6-v1b.

To test whether the current calibration still applies well to the sixth-generation Meuse model, a number of variants were run without calibration. In addition, a number of variants were also run without calibrationfactor for the H2 level.

To investigate the effect of summer vegetation on roughness and water levels, additional variants were calculated using summer- instead of winter-roughnesscoefficients. In addition, variants were also calculated with a map for the summer vegetation. For the summer vegetation, land_use_polygons with roughness codes 121 (field), 122 (litter) and 1822 (95% field + 5% thorny scrub) were replaced by corresponding polygons from the crop records of the Netherlands and Flanders.

Validation

Various data sources are used for validation, namely: series of water level and flow measurements, various incidental measurements (top waterlevels, notes of water levels on water level scales and wastelines), discharge measurements, movingboat-measurements, LiDAR data from 16-18 July 2021, and a peak water level map.

Water level

The peak water levels are overestimated by 10 to 21 cm by the reference simulation on the Bovenmaas (Eijsden to Borgharen), while the difference on the Common Meuse (Borgharen to Thorn) is -50 to +10 cm. These differences are 10 to 20 cm smaller in D-HYDRO (sixth-generation model) than in the fifth-generation WAQUA model. The model performs even better on the Common Meuse when the roughness of the summer vegetation or map of summer vegetation is used.

Due to the extremely steep discharge wave in July 2021, the peak discharge drops sharply. This is starting to be visible in the water levels on the Plassenmaas. The model is reasonably good in reproducing the rising water, except for the highest part of the discharge peak and the peak water level is underestimated by 7 to 10 cm.

From Roermond, a larger difference is visible between the moment the peak water level is reached in the model and in the measurements. The shape of the peak starts to deviate further from this location and the peak water level is underestimated by 7 to 11 cm up to measuring point Belfeld Boven. In the descending phase of the flood, the water level has a significantly steeper gradient than the measurements show. This is also the case in the model with the higher roughness of the summer vegetation. The higher roughness of the summer vegetation does further increase the peak water level, but does not slow down the discharge wave. In contrast, the map of summer vegetation causes both an increase in the peak water level and a decrease in the rise of the waterlevel just before the peak water level.

From Venlo to Sambeek, it is visible that water levels rise too slow in the model. Because of this, the peak water level is reached too late in the model and the peak water level is underestimated by 23 cm. This underestimation is in the same order as the underestimation of the WAQUA model. The water level rises even slower for the variant with summer mapping, but an increase in the top water level did reduce the underestimate to 20 cm for the variant with summer roughness and 9 cm for the variant with the map of summer vegetation. So there are probably (also) other factors causing the deviation in the shape of the discharge wave in the model.

After Mook, there is also a clear deviation between the model and the measurements visible in the first part of the rising water levels. There are fewer moments in the model, the rise in water level flattens out, and the peak water level is always reached earlier in the model than in the measurements. The peak water levels on this stretch are 8 to 19 cm higher than the measurements. This overestimate is 10 to 15 cm lower than in WAQUA.

Discharge

The peak discharge at Sint Pieter Noord is 34 m³/s higher in the model and the peak is reached slightly later than in the measurements. Due to the extremely sharp shape of the discharge wave in July 2021, the peak discharge drops sharply downstream. This is visible in both model results and measurements. However, the discharge rises faster in the model and the peak discharge is generally reached earlier in the model at downstream measurement locations. The largest differences (mainly overestimations by the model) occur at the time when the course of the discharge peak is steepest. It is notable that over the entire model the discharges agree much better for the variant with map of summer vegetation. The variant with map of summer vegetation shows a strong improvement as the rise for the higher discharges is slower. The peak discharge therefore coincides better with the measurements and the overestimation of the peak discharge decreases.

Aqua Vision's additional discharge measurements show that, in the area between the weirs of Sambeek and Grave, proportionally less water flows through the main channel and more through the floodplains during the peak in the model than the measurements indicate.

Again, the differences between the model and the measurements decrease for the variant with map of summer vegetation .

Conclusion and recommendations

The results show that dflowfm2d-maas-j21_6-v1b (the reference) performs better in this validation than the uncalibrated variants or the variants without the calibration at the highest level (H2), which was set on the 1995 flood. Recalibration on the basis of the July 2021 high water should be considered only if the differences between the model results and measurements of this 2021 high water are unacceptable and recalibration on the basis of this high water is expected to improve the model results for future high waters. However, based only on a comparison with measurements, it cannot be said whether recalibration will yield a better model. The high water of July 2021 was very pointed in terms of waveform and it was a summer event, whereas high waters so far always occurred in winter. However, the 2021 schematisation is much more recent and the quality of the measurement data is also better and more diverse than for the 1993 and 1995 floods. However, separate diver measurements in the floodplain were missing and it is also not yet clear which data can actually be included for possible recalibration. In addition, it is still uncertain what exactly causes the differences between model results and measurements and this should first be investigated further and where necessary, the model should first be improved.

If recalibration is chosen, it is recommended to use the simulation with map for summer vegetation, as this model performs on average better across the Meuse than either the model with summer roughness coefficients or the reference with map for winter vegetation. However, even for the model with map for summer vegetation, there is no overall better agreement with both the discharge and water levels, which can be directly linked to the change in vegetation. There is too little peak attenuation in the upstream part of the Meuse. There is an improvement in the peak water levels and the shape of discharge wave from Heel, but there is also too much peak attenuation from Venlo onwards. On the other hand, both peak discharge and the shape of the discharge wave do improve across the model due to the use of the map for summer vegetation. This implies that there are probably other factors in the schematisation or weir control that cause the shape of the discharge wave and the flood levels not to be well represented in the model. For this reason, further research is first recommended.

Recommendations include further investigation of the effect of vegetation on roughness and water levels. In particular, research is needed on the change in vegetation roughness during seasons and the change during a flood due to, for example, flattening and breaking of vegetation. Also, the current map for summer vegetation could be validated using aerial photographs to check whether farmers did not harvest crops soon before the flood.

Furthermore, it is recommended to perform an additional analysis or check of the schematisation of the Grensmaas and the schematisation between Sambeek and Lith. This is because large differences are visible here between the peak water levels of the model and the measurements.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Summary	7
1	Inleiding	13
1.1	Achtergrond	13
1.1.1	Al uitgevoerde studies	15
1.2	Doelstelling	15
1.3	Organisatie en bijdragen	15
1.4	Leeswijzer	16
2	Methode	17
2.1	Modelopzet j21-model	17
2.1.1	Baseline	17
2.1.2	D-HYDRO	18
2.1.2.1	Initiële condities	18
2.1.2.2	RealTimeControl (RTC)	18
2.1.3	Validatie j21-model	18
2.2	Modellsimulatie hoogwater juli 2021	19
2.2.1	Beschikbare data	19
2.2.1.1	Meetreeksen van waterstanden en debieten	19
2.2.1.2	Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) metingen van Rijkswaterstaat (CIV Mobiel Meten)	19
2.2.1.3	Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) metingen van Aqua Vision	20
2.2.1.4	Verhanglijnen	23
2.2.1.5	Topwaterstanden en incidentele metingen	23
2.2.1.6	LiDAR	23
2.2.2	Modelopzet	25
2.2.2.1	Randvoorwaarden	25
2.2.2.2	Initiële condities	29
2.2.2.3	RealTimeControl (RTC)	29
2.2.2.4	Extra modeluitvoer	29
2.2.2.5	Handmatige aanpassing onttrekking Sluis Born	30
2.3	Gevoeligheidsanalyses	32
2.3.1	Analyse kalibratie	32
2.3.2	Analyse vegetatie	33
2.3.2.1	Beknopte theoretische beschouwing vegetatiemodellering	33
2.3.2.2	Zomerkartering	36
2.3.3	Varianten	36
3	Verschilanalyse j21_6 en j19_6	38
3.1	Veranderingen in bodemhoogte	38
3.2	Verschilanalyse waterstanden	39
4	Validatie hoogwater juli 2021	41

4.1	Waterstanden	41
4.1.1	Bovenmaas en Grensmaas	41
4.1.2	Plassenmaas	44
4.1.3	Peelhorstmaas en Venloslenk	45
4.1.4	Benedenmaas en Getijdenmaas	45
4.1.5	Plassen	47
4.1.5.1	Negenoord-West	47
4.1.5.2	Rotem	49
4.1.5.3	Maaseik	49
4.1.6	Julianakanaal : Bunde	50
4.2	Topwaterstanden en incidentele metingen	52
4.3	LiDAR (top)waterstanden	57
4.3.1	Nauwkeurigheid	57
4.3.2	Vergelijking met modelresultaten	58
4.3.2.1	Dwarsverhang	62
4.4	Verhanglijnen bepaald met varende GPS-meting	64
4.5	Afvoeren	65
4.5.1	Meetstations	65
4.5.2	CIV Mobiel Meten	69
4.5.3	Aqua Vision	71
4.6	Dieptegemiddelde stroomsnelheden	75
5	Gevoeligheidsanalyse kalibratie	78
5.1	Achtergrond	78
5.2	Ongekalibreerde modellen	80
5.3	Gevolg van kalibratie op hoogwater 1995	80
6	Gevoeligheidsanalyse vegetatie	82
6.1	Vegetatieruwheden voor de zomer	82
6.1.1	Gekalibreerde modellen	82
6.1.2	Ongekalibreerde modellen	83
6.2	Zomerkartering	88
6.3	Afvoeren	90
7	Discussie	92
8	Conclusie	94
8.1	Opbouw j21-model	94
8.2	Validatie van het hoogwater van 2021	94
8.2.1	Topwaterstand	94
8.2.2	Verhang	95
8.2.3	Afvoer	95
8.3	Effect van de zomervegetatie	96
8.4	Gebruik van het hoogwater van 2021 voor kalibratie	97
8.5	Aanbevelingen	98

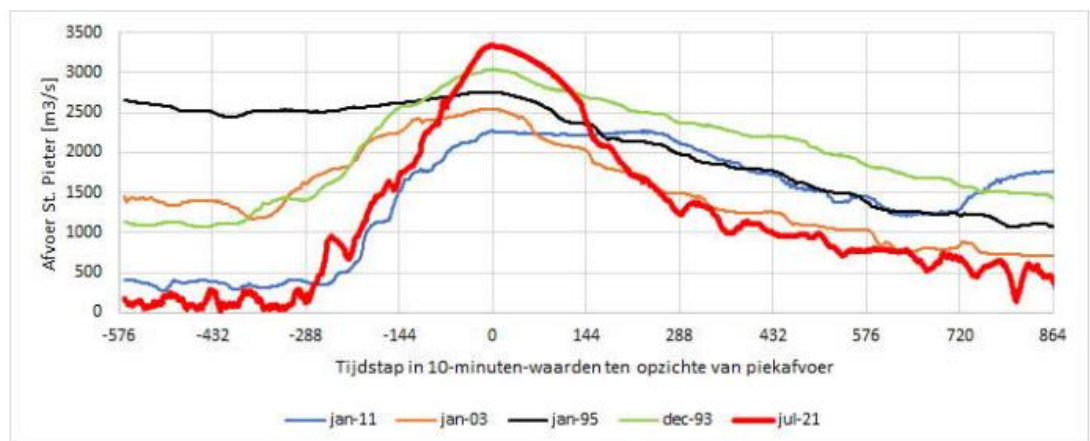
9	Referenties	100
A	Maatregelen	102
A.1	Maatregellijst maas-j19_6-v2_j21_6-v1	102
A.2	Maatregellijst maas-j21_6-v1zv	105
A.3	Overzicht Maatregelen	106
B	Verschilkaarten bodemhoogtes j21_6-v1 en j19_6-v2	111
C	Extra modelinvoer	112
C.1	Uitvoerlocaties incidentele metingen (Incidentele_metingen.xyn)	112
C.2	ADCP cross-sections (ADCPcrosssections.pli)	120
C.3	Kalibratiefactoren zonder niveau Hoog2 (mainchannel_calibration-v2b-zonder_Hoog2.cld)	124
C.4	Parameters voor zomervegetatie	128
C.5	Zomerkartering	129
C.5.1	Ruwheidscodes voor zomervegatatie	129
C.5.2	Zomerkartering	132
D	Beschikbare meetdata	133
E	Modelresultaten	139
E.1	Waterstanden	139
E.1.1	Referentie (hist_20210701_20210801)	139
E.1.2	Gevoeligheidsanalyse kalibratie	139
E.1.3	Gevoeligheidsanalyse vegetatie	140
E.2	Topwaterstand incidentele metingen	140
E.3	LiDAR waterstanden	141
E.4	LiDAR topwaterstanden	143
E.5	LiDAR dwarsdoorsneden	145
E.6	Afvoeren	146
E.6.1	Referentie (hist_20210701_20210801)	146
E.6.2	Gevoeligheidsanalyse kalibratie	146
E.6.3	Gevoeligheidsanalyse vegetatie	146
E.7	Afvoeren ADCP	147
E.8	Dieptegemiddelde stroomsnelheden	147

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

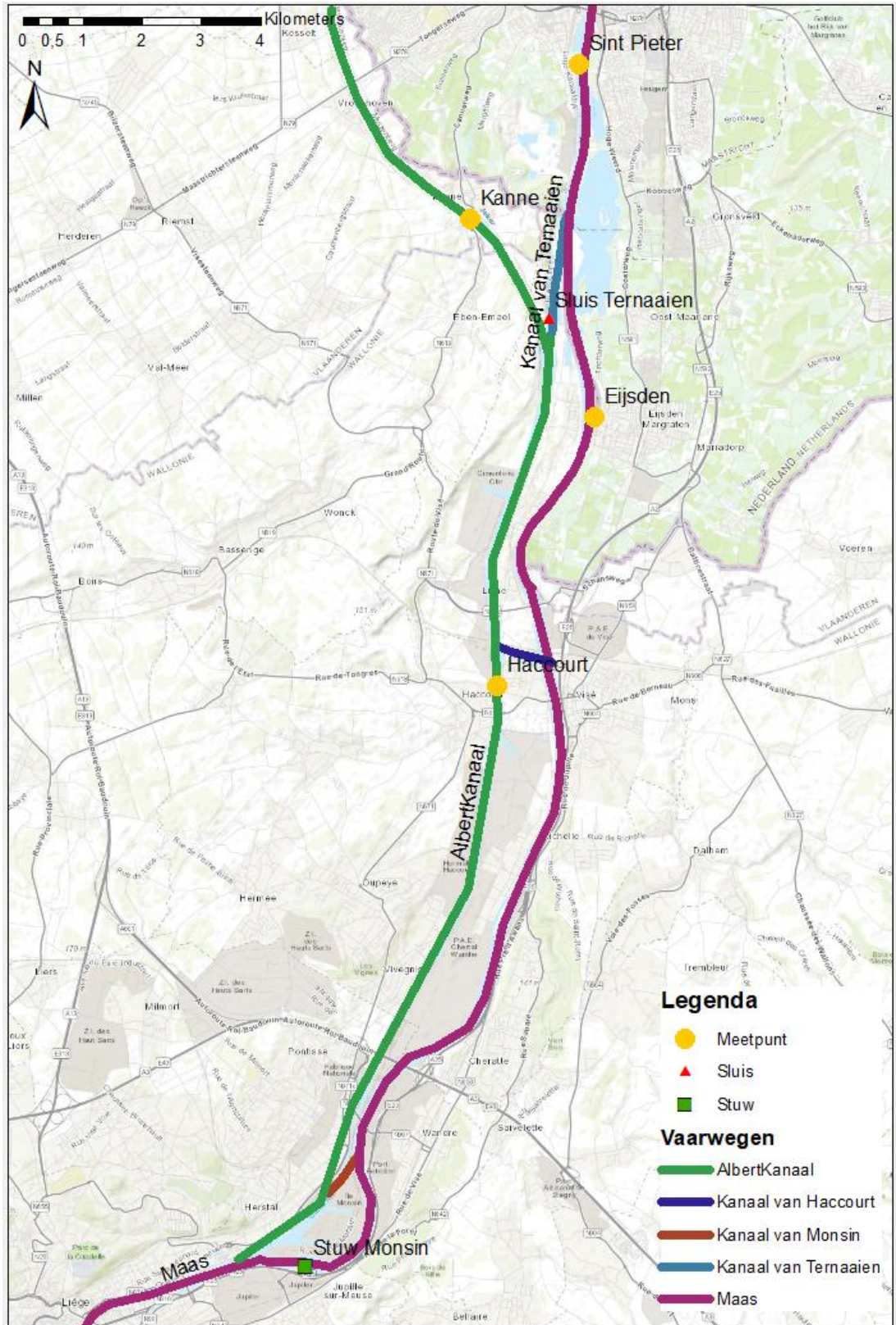
De Maas is een regenrivier met een oorsprong in Frankrijk. Via Wallonië stroomt ze bij Eijsden Nederland in. Ongeveer een kwart van het water dat in Nederland door de Maas stroomt, is afkomstig uit Frankrijk, maar het meeste water komt uit de zijrivieren in België en ongeveer 15% wordt aangeleverd via zijrivieren die in Nederland uitmonden in de Maas. Bovenstrooms langs de Roer zijn enkele stuwmeren en ook in Wallonië bevinden zich langs de Sambre (1), Vesdre (2), Amblève (2), Ourthe (1), Viroin (1) en Semois (1) in totaal acht stuwmeren in het stroomgebied van de Maas. Verder zijn er geen grote meren in het stroomgebied die water kunnen bergen, dit betekent dat het grondwaterreservoir de belangrijkste vorm van berging vormt in het stroomgebied. Een hoge afvoer op de Maas komt daarom over het algemeen voor tijdens de winter bij een combinatie van langdurige regenval, lage verdamping en het smelten van sneeuw, waardoor de bodem al volledig verzadigd is en alle neerslag afstroomt via de rivier (Asselman et al., 2018).

In juli 2021 heeft op de Maas een extreem hoogwater plaatsgevonden. Een bijzonder aspect is dat het een zeer spits zomerhoogwater betreft met een stijging in slechts 2 dagen en topafvoeren van 3310 m³/s bij St. Pieter en 3284 m³/s bij Borgharen-dorp (zie Figuur 1.1). Deze afvoeren zijn meer dan 10% groter dan eerdere wintertoppen en meer dan 65% groter dan de tot dan toe meest extreme zomer-piekafvoer van 2000 m³/s uit juli 1980 (Van der Veen, 2021). Met dit hoogwater is voor het eerst sinds 1993 en 1995 weer een analyse van de Maasafvoer boven de 3000 m³/s mogelijk.



Figuur 1.1 verloop van de afvoer St Pieter voor de hoogwaters met topafvoer bij St. Pieter boven 2250 m³/s ten opzichte van de tijdstippen van de betreffende piekafvoeren (Figuur 3.2 uit van der Veen (2022))

Een opvallend aspect van het hoogwater van juli 2021 is dat de topafvoer bij Eijsden lager is dan de topafvoer bij St. Pieter. Dit komt doordat er tijdens het hoogwater niet alleen water via de Eijsden-grens Nederland is binnengestroomd, maar de Maas ook net ten zuiden van Maastricht een significante toevoer van water ontving via het Albertkanaal en het kanaal van Ternaaien (zie Figuur 1.2). Er vond namelijk, gedurende de zomer van 2021, onderhoud plaats aan de stuw van Monsin. Hiervoor waren 4 van de 6 openingen drooggezet en waren er slechts 2 schuiven beschikbaar voor het regelen van de doorstroom. Door de opstuwing van het water stroomde er extra water het Albertkanaal in waardoor de waterstand daar met 60 tot 80 cm steeg (Van der Veen, 2021). Om overstroming van het Albertkanaal te voorkomen werd onder andere tot 250 m³/s extra gespuid via Sluis Ternaaien (Peters, 2022 en van der Veen, 2021).



Figuur 1.2 Overzicht van de hydrologische situatie tussen Luik en Maastricht met daarin ook de beschikbare meetpunten voor afvoeren, de stuw van Monsin en sluis Ternaaien

1.1.1 Al uitgevoerde studies

Er zijn door Rijkswaterstaat, Waterschappen, Vlaanderen, Wallonië (Universiteit van Luik en Stucky) en diverse studenten al studies naar het hoogwater gedaan. Twee van deze studies zijn uitgevoerd door Rijkswaterstaat Zuid-Nederland in samenwerking met de combinatie Agtersloot Hydraulisch Advies en Rura-Arnhem (Avl). Deze studies worden in deze rapportage veelvuldig gebruikt voor het opstellen van de randvoorwaarden van de modellering van het hoogwater. Daarom worden ze in deze paragraaf kort beschreven.

- 1 De rapportage Van der Veen, R. (2021) doet een aanbeveling voor de daadwerkelijke topafvoeren van het hoogwater. Deze topafvoeren zijn belangrijk en noodzakelijk voor de processen binnen Rijkswaterstaat. De afvoeren waren namelijk door beperkingen van de meetapparaten tijdens het hoogwater niet overal continu gemeten, waardoor niet duidelijk was wat de precieze topafvoeren waren geweest.
- 2 De rapportage Van der Veen, R. (2022) geeft het hoogwatersverslag van het hoogwater van juli 2021 in de Maas. Het doel van deze rapportage was het vastleggen van de opgetreden omstandigheden, het vastleggen van de uitgevoerde metingen, het benoemen van de onzekerheden van de uitgegeven verwachtingen voor de Nederlandse Maas ten opzichte van de opgetreden hoogwatergolf en het kwantificeren van de onzekerheden van de toegepaste en beschikbare rekenmodellen.

1.2 Doelstelling

Het is belangrijk om het functioneren van het zesde-generatie Maasmodel en het gebruik van de operationeel beschikbare gegevens tijdens de hoogwaters te analyseren. Met een validatie van het hoogwater van 2021 kunnen de modelresultaten ten aanzien van de waterstanden bij toekomstige hoogwaters beter worden onderbouwd.

Rijkswaterstaat vraagt om een expliciete aanbeveling over het al dan niet gebruiken van dit uitzonderlijke hoogwater voor toekomstige modelkalibratie. Het model is nu namelijk voor hoge afvoeren gekalibreerd op basis van het hoogwater van 1995 (De Jong, 2021), terwijl de gebiedsinrichting van de Maas sindsdien sterk is veranderd.

Rijkswaterstaat vraagt ook om een aanbeveling met betrekking tot de noodzaak tot verder onderzoek naar vegetatiemodellering voor de zomer. Aangezien hoogwaters over het algemeen tijdens het hoogwaterseizoen (oktober-maart) plaatsvonden is het Maasmodel tot nu toe specifiek opgebouwd op basis van de wintersituatie van het Maassysteem. De verwachting is echter dat er door klimaatverandering ook vaker zomerhoogwaters gaan plaatsvinden. Daarom is de vraag of het nodig is om aparte zomer- en wintervegetatieclassificaties te maken voor het model.

Dit project is primair bedoeld om de reguliere modellering te valideren en dus niet erop gericht om specifiek aanpassingen (verbeteringen) in het model door te voeren.

1.3 Organisatie en bijdragen

Dit project is uitgevoerd in 3 stappen: 1) de actualisatie van het Maasmodel van j19 naar j21, 2) de validatie van het hoogwater van juli 2021, 3) de verwerking van aanbevelingen en het uitvoeren van een aanvullende validatie. De actualisatie + validatie van het hoogwater is beschreven in versie v1 van deze rapportage. Het gebruikte model is opgeleverd als dflowfm2d-maas-j21_6-v1a.

Naar aanleiding van de resultaten en aanbevelingen is besloten om de validatie uit te breiden met nieuw beschikbaar gekomen meetdata van LiDAR-vluchten en met ruwe ADCP-data.

Ook werd in v1 van de rapportage nog gewerkt met ongevalideerde meetreeksen voor de randvoorwaarden. De randvoorwaarden zijn opnieuw door Rijkswaterstaat aangeleverd. Dit betreffen nu gevalideerde meetreeksen waarin korte hiaten zijn opgevuld.

Daarnaast is besloten om de validatie uit te breiden met een gevoeligheidsanalyse voor de kalibratie en vegetatie. Alle resultaten zijn verwerkt in versie v2 van het onderliggende rapport en het model met nieuwe randvoorwaarden, nieuwe RTC-tijdseries en de modelinvoer voor de extra model-varianten is opgeleverd als dflowfm2d-maas-j21_6-v1b.

De Baseline-werkzaamheden voor het opbouwen van de j21-schematisatie zijn uitgevoerd door Ton Visser met ondersteuning en advies van Jurjen de Jong. De modelopzet, berekeningen en validatie van het j21-model zijn uitgevoerd door Eveline van der Deijl met ondersteuning en advies van Jurjen de Jong. Koen Berends heeft bijgedragen aan de theoretische beschouwing van vegetatiemodellering en Anna Kusters heeft de review uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

Deze rapportage bestaat uit 3 delen, namelijk de opzet van het j21-model met een verschilanalyse ten opzichte van het referentiemodel (j19), de validatie van het hoogwater van 2021 zelf, en de gevoeligheidsanalyse van het model voor kalibratie en vegetatie. In hoofdstuk 2 wordt de methode van beide onderdelen beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de verschilanalyse tussen het j21- en j19-model op basis van dflowfm2d-maas-j21_6-v1a. De validatie van het hoogwater wordt beschreven in hoofdstuk 4 waar in de verschillende paragrafen wordt ingegaan op de verschillen tussen zowel de waterstanden, afvoeren en stroomsnelheden zoals bepaald door het dflowfm2d-maas-j21_6-v1b-model en zoals gemeten. In hoofdstuk 5 wordt de gevoeligheid van het model voor de kalibratie beschreven. Hoofdstuk 6 beschrijft vervolgens het effect van de zomervegetatie op de modelresultaten. In hoofdstuk 7 worden de resultaten van het dflowfm2d-maas-j21_6-v1b vergeleken met het vijfde generatie WAQUA model en worden alle eerdere resultaten vergeleken en bediscussieerd. De conclusies en aanbevelingen volgen in hoofdstuk 8.

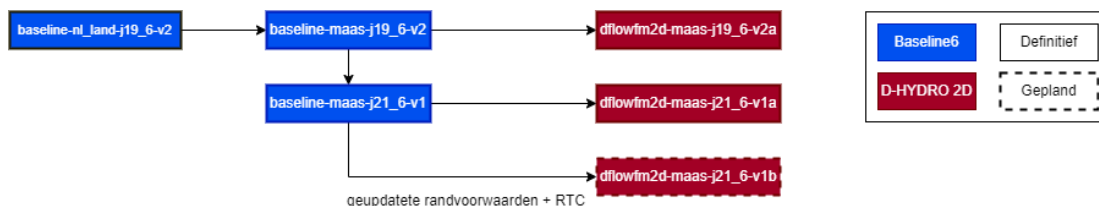
2 Methode

2.1 Modelopzet j21-model

Dit hoofdstuk beschrijft de opbouw van het model dflowfm2d-maas-j21_6-v1b. Dit 2D-model is afgeleid ter validatie van het hoogwater van juli 2021.

2.1.1 Baseline

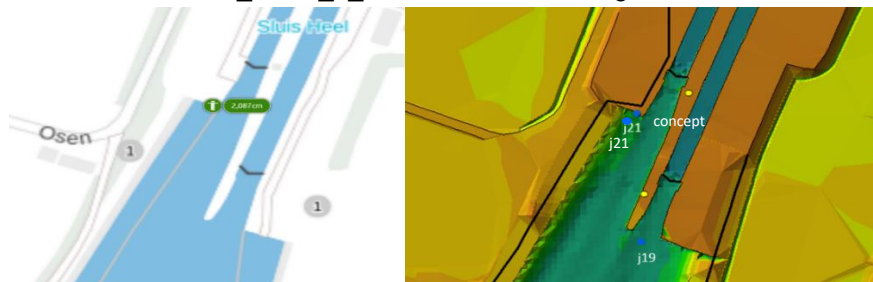
Voor de opbouw van het model Maas-j21_6-v1a is gebruik gemaakt van Baseline 6.3.0 en ArcGIS 10.6.1. De maatregellijst is opgesteld door RWS-ZN (zie Appendix A). Het Maas-j21_6-v1 -model betreft een historisch model, dat niet operationeel gebruikt gaat worden. Om deze reden is niet Baseline-NL geactualiseerd, maar de daaruit geknipte schematisatie baseline-maas-j19_6-v2 (Van der Deijl et. al 2022, zie Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Opbouw van het Maas Model Maas-j21_6-v1b

Hoewel de toepassing van het model een zomerhoogwater betreft, wordt dit model ontwikkeld volgens de gebruikelijke methodologie. Het hydraulische model van de Maas is namelijk afgeleid voor het hoogwaterseizoen (de winter), en het is expliciet de vraag of de simulatie van het hoogwater 2021 met het op die manier afgeleide dflowfm2d-maas-j21_6-v1b-model bruikbaar is voor toekomstige modelkalibratie. Dit betekent dat de ecotopenkartering conform het beeld in de winter is. Nieuwe lodingen van na het hoogwater zijn bewust niet meegenomen. De maatregelen om te komen tot baseline-maas-j21_6-v1 zijn daardoor grotendeels gelijk aan de maatregelen in de actualisatie van de vijfde generatie (j21_5; Van der Veen, 2021). Deze maatregelen zijn door RWS-ZN geconverteerd naar Baseline6-format.

Uit conceptberekeningen met de werkversie dflowfm2d-maas-j21_6-w1a bleek er bij rkm. 70 in de berekening met een stationaire afvoer Borgharen van 250 m³/s (S_250) grote opstuwung direct bovenstrooms van stuw Linne te ontstaan. Dit werd veroorzaakt door droogval van het meetpunt Heel-Boven, waardoor de stuwsturing niet functioneert (Figuur 2.2). Het meetpunt was tussen j19 en j21 verplaatst zodat het beter overeenkwam met de daadwerkelijke locatie, maar ligt in het model dan te dicht op de kade (zie j21 concept in Figuur 2.2). Om deze reden is observatiepunt Heel-Boven opnieuw verplaatst in het 6^e-generatiemodel (zie j21 in Figuur 2.2). De naamgeving van het meetpunt en de verwijzing hiernaar in de kunstwerksturing (RTC) is hierdoor veranderd van “MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven” naar “MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven-g6”.



Figuur 2.2 Locatie Heel Boven volgens Waterinfo (links) en in j19 en j21-concept en -definitief (rechts)

2.1.2 D-HYDRO

Baseline-maas-j21_6-v1 is met Baseline 6.3.0 en het rooster maas_40m_v2022_1.0 geconverteerd naar D-HYDRO. De resulterende bestanden vormen in de modelschematisatie (dflowfm2d-maas-j21_6-v1b) de 'geometry'-map en worden gecombineerd met de mappen 'boundary_conditions', 'general' en 'initial_conditions' welke gelijk zijn aan die van het j19_6-model.

2.1.2.1 Initiële condities

Initiële condities zijn aangemaakt voor stationaire afvoeren van 25, 250, 500, 750, 1000, 1250 en 1500 m³/s bij Lixhe, zonder toevoeging van lateralen. Deze condities bestaan voor elk afvoerniveau uit een zelfde set bestanden die initiële waterstanden en stuwstanden beschrijven, bijvoorbeeld voor het initiële niveau Q_250:

- maas-j21_6-v1b_initial_water_level_Q_250.ini (# File *.ini containing initial water level)
 - maas-j23_6-v1b_initial_water_level_Q_250.xyz
- maas-j21_6-v1b_structures_Q_250.ini (# File *.ini containing list of structures and their initial state (pumps, weirs, gates and general structures)

Voor het afleiden van de initiële condities is met het model dflowfm2d-maas-j21_6-v1a een berekening uitgevoerd startend vanaf het initiële waterstandsveld uit Baseline. In deze berekening worden de genoemde afvoeren achter elkaar trapsgewijs opgegeven met de start bij 25 m³/s. Iedere afvoer is 9 dagen lang stationair doorgerekend voordat overgegaan wordt naar de volgende afvoer. Het berekende waterstandsvlak aan het eind van elke stationaire periode en de stuwstanden zijn weggeschreven.

2.1.2.2 RealTimeControl (RTC)

De stuwen hebben de functie om een bovenstroomse waterstand op een opgegeven streefpeil te houden. Met RealTimeControl (D-RTC) is dit geïmplementeerd door de stuwhoogte te sturen met een PID-controller, die probeert de waterstanden bovenstrooms van de stuw zo goed mogelijk op het streefpeil (het setpoint) te krijgen. Bij simulaties met synthetische afvoergolven of voor operationeel gebruik (toekomstige perioden), wordt gebruik gemaakt van deze vaste sturingsregels, ook wel de operationele stuwsturing genoemd.

2.1.3 Validatie j21-model

Om te toetsen of de opbouw van het j21-model goed is gegaan wordt een vergelijking uitgevoerd met het actuele j19_6-v2a model voor zowel de bodemhoogtes, als de verschillen in waterstand voor de standaard som met een stationaire afvoer van 250 m³/s (S_250) en met een dynamische afvoergolf van 4100 m³/s bij Borgharen (D4100). Deze berekeningen vinden plaats met de software D-HYDRO 2022-01 patch01.

2.2 Modelsimulatie hoogwater juli 2021

2.2.1 Beschikbare data

2.2.1.1 Meetreeksen van waterstanden en debieten

Door RWS-ZN zijn twee sets meetreeksen van waterstanden en debieten aangeleverd, namelijk voor de periodes van 01-07-2020 t/m 30-06-2021 en 01-07-2021 t/m 30-06-2022. Dit betreffen meetreeksen van zowel de Nederlandse (LMW) als Vlaamse (HIC) vaste meetstations langs de Maas en lateralen. Het overzicht van deze metingen is opgenomen in Tabel 9.2 van Appendix D.

De waterstanden en debieten van de vaste Nederlandse meetstations zijn door Rijkswaterstaat gevalideerd waarbij hiaten in de metingen zijn opgevuld. Ook de data van de waterschappen is grotendeels gevalideerd in de opgeleverde data van juni 2023. Echter bevatten deze datasets nog altijd enkele hiaten. Met name de tijdreeks van meetstation Geul, Meerssen is incompleet. Dit meetstation is nog niet gerepareerd en de laatste meting betreft 10-08-2021 07:00.

Tijdens het hoogwater is niet alleen water via de grens bij Eijsden Nederland binnengestroomd, maar ontving de Maas ook net ten zuiden van Maastricht een significante toevoer van water via het Albertkanaal en het kanaal van Ternaaien. De door Rura-Arnhem bepaalde en gecorrigeerde debieten van sluis Ternaaien zijn gebruikt voor de periode van het hoogwater van juli 2021.

Voor de vergelijking van verschillende hoogwaters wordt gekeken naar de opgetreden hoogste waterstanden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de bovengenoemde vaste Vlaamse en Nederlandse meetpunten langs de Maas en de lateralen. In het winterseizoen worden naast de vaste LMW- en HIC-meetstations ook extra divers uitgezet die de waterstanden meten. Deze worden achteraf opgehaald en uitgelezen. In juli 2021 lagen deze divers echter nog in de opslag waardoor er geen extra waterstandsmetingen beschikbaar zijn buiten die van het vaste meetnet.

Verwerking en vergelijking met model

Voor de vergelijking van de (top)waterstanden wordt gebruik gemaakt van de max13-waterstanden uit de .his uitvoer voor de standaard in het model opgenomen uitvoerlocaties van de LMW- en HIC-meetstations. Daarnaast worden de statistieken bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de topwaterstand (dmax) tussen de waterstanden van het maas-j21_6-v1b-model en de metingen van alle vaste meetstations en beschikbare divers gepresenteerd voor 10 juli tot 26 juli. Dit betreft de periode waarin de hoogwatergolf door het systeem verplaatste, ruim na inspelings van de som die op 1 juli start.

2.2.1.2 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) metingen van Rijkswaterstaat (CIV Mobiel Meten)

De meetdienst van Rijkswaterstaat (CIV Mobiel Meten) heeft tijdens het hoogwater (op 15, 16, 17 en 18 juli) afvoermetingen uitgevoerd op 6 locaties, namelijk ma_67.00_IM-Q_Clauscentrale2, ma_8.10_IM-Q_Ontgrinding-Eijsden, ma_12.60_IM-Q_Maastricht, ma_52.30_IM-Q_Maaseik, ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug en ma_62.00_IM-Q_Oude-Maas-Stevensweert. Het overzicht van al de metingen is opgenomen in Tabel 9.4 van Appendix D. In een aantal gevallen is 4 of 5 keer achter elkaar gemeten op 1 locatie. Zowel de individuele metingen als het gemiddelde van deze metingen is gebruikt binnen de analyse. Het is dus alleen bij vaste LMW-meetlocatie Eijsden gelukt om tijdens het hoogwater de afvoer te meten met de ADCP. Bij de vaste LMW-meetlocaties van St. Pieter, Venlo en Megen was het vanwege de veiligheid of drijfval niet mogelijk om de afvoeren te meten met een ADCP.

2.2.1.3 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) metingen van Aqua Vision

Tijdens het hoogwater (op 16 en 18 juli 2021) heeft Aqua Vision (Eelkema, 2021) afvoermetingen en verhanglijnmetingen uitgevoerd in het zomerbed van het Maastraject tussen Sambeek en Grave. De afvoermetingen zijn uitgevoerd op kilometerraaien 147-175 met een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) van het merk Teledyne RD Instruments, waarbij de bottom-track is gebruikt om de absolute stroomsnelheid en -richting te bepalen. Het meetschip kan niet altijd de rand van het zomerbed goed bereiken. Daarom wordt bij elke afvoermeting de resterende afvoer (over de afstand tussen de rand van het zomerbed en de dichtstbijzijnde locatie die het meetschip kan bereiken) geschat op basis van de 10 ensembles die het dichtst bij de rand liggen. De afvoeren zoals aangeleverd door Aqua Vision (Eelkema, 2021) zijn opgenomen in Tabel 9.5 van Appendix D. Deze aangeleverde afvoergegevens zijn direct overgenomen voor de analyse in onderliggende rapportage.

Verwerking en vergelijking met model

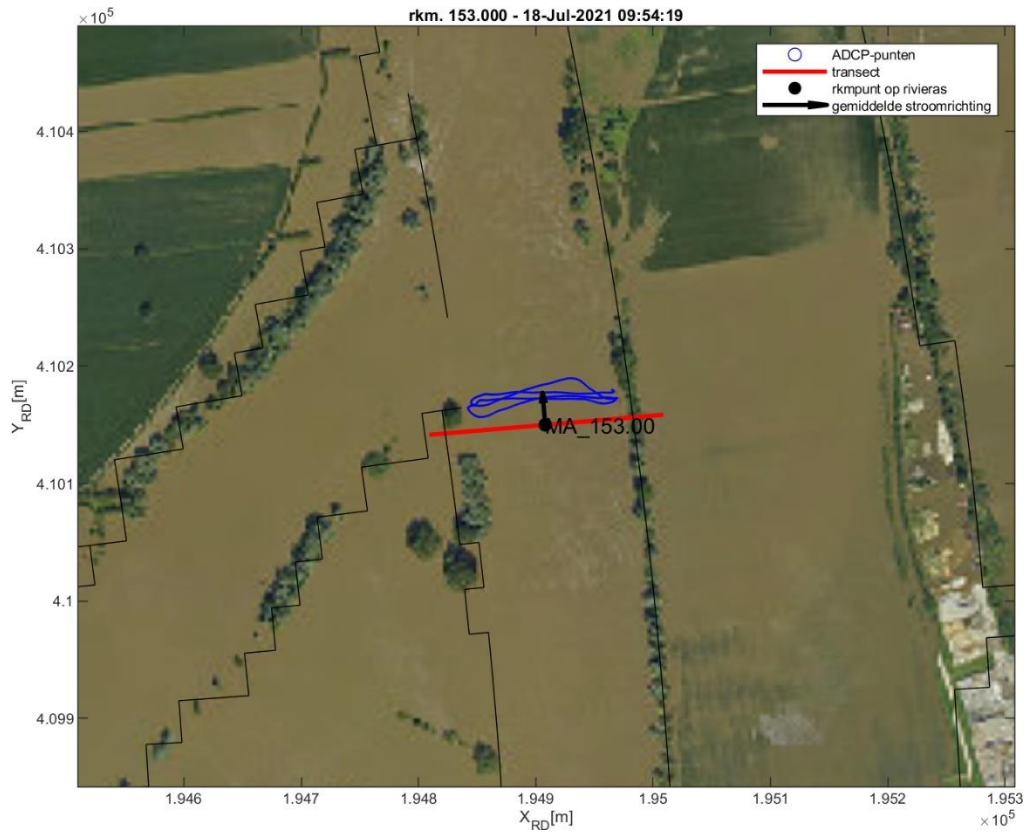
Voor de metingen van Aqua Vision is naast de lijst met debieten, ook de ruwe data van de ADCP-metingen aangeleverd. Op basis van deze ruwe meetdata is de naam van meetraaien rkm. 148 en 149 in Tabel 9.5 van Appendix D gecorrigeerd naar respectievelijk rkm. 147 en 148. Kilometerraai 149 bestaat namelijk niet voor de Maas en de locaties uit de ruwe ADCP-data tonen dat de metingen plaatsvonden ter hoogte van rkm. 147 en 148.

De ruwe ADCP-dataset bevat voor iedere kilometerraai een dataset van vaarmomenten die is opgebouwd door 5-6 keer heen en weer te varen over ongeveer hetzelfde pad. Deze collectie bevat ook data van vaarmomenten voor het bepalen van de horizontale stabiliteit van de bodem, kalibratietransecten voor het kompas op de boot en voor het correct positioneren van de boot. Deze momenten zijn uit de dataset gefilterd op basis van de aangeleverde tabellen en logboeken van de meetcampagne.

Voor de gefilterde vaarmomenten blijft een collectie bestanden over, bestaande uit onder andere ruwe datafiles (-*r.000), transect files (-*t.000), VISEA-extern files (-*extern.dat) en VISEA-logs (-*com12.log). Deze data is ingelezen en geïnterpreteerd met de ADCP-matlabtoolbox (Vermeulen, 2023). De stappen die per kilometerraai zijn uitgevoerd voor de verwerking van de data zijn hieronder beschreven. Deze stappen zijn voor al de rivierkilometerraaien gelijk. Daarom is besloten om van slechts één van de raaien (rkm. 153) een aantal figuren als voorbeeld op te nemen.

- 1 Voor elke kilometerraai is op basis van de locatie van het rivierkilometerpunt van de afvoermetingen uit Tabel 9.5 en de dieptegemiddelde stroomrichting van alle ruwe ADCP-metingen een rivierkilometerraai gefit met de oorsprong in het rivierkilometerpunt, een richting dwars op de gemiddelde stroomrichtingen en een positieve afstand richting de rechteroever (zie Figuur 2.3).
- 2 Alle ADCP-data wordt vervolgens geprojecteerd op de rivierkilometerraai waarbij de stroomsnelheden worden geherprojecteerd van xy-richting naar sn-richting zodat de stroomsnelheid in de richting van de gemiddelde stroming (S = streamwise) en dwars op deze gemiddelde stroming in de richting van het transect (N = normal) bekend is. Doordat de richting van de raai dwars op de gemiddelde stroomrichting is gekozen, wordt de N-component geminimaliseerd. Hierbij wordt om kortdurende en lokale fenomenen als turbulente wervels uit te middelen alle data van de 5-6 keer heen en weer varen over een interval van 2 m in N-richting langs het transect gemiddeld (zie Figuur 2.4).

- 3 Op basis van de gemiddelde tijd tussen de start en het eind van 5-6 keer heen en weer varen wordt voor de dichtstbijzijnde modeltijdstep de .map.nc uitvoer (voor de periode van 2021-07-16 0:00 tot 2021-07-25 00:00 voor elke 5 minuten beschikbaar) van de dieptegemiddelde stroomsnelheden in x en y-richting ingelezen. Deze stroomsnelheden worden geconverteerd naar sn-richting en worden vervolgens lineair geïnterpoleerd zodat er voor elke locatie langs de rivierkilometerraai de stroomsnelheden uit het model beschikbaar zijn.



Figuur 2.3 ADCP-metpunten van 18 juli 2021 met de gefitte rivierkilometerraai dwars op de gemiddelde stroomrichting voor rivierkilometer 153



Figuur 2.4 Projectie van de ADCP-metingen van 18 juli 2021 naar diepte gemiddelde stroomsnelheidsvectoren langs de gefitte rivierkilometerraai van rivierkilometer 153

2.2.1.4 Verhanglijnen

Voor de bepaling van verhanglijnen is door Aqua Vision langs de middenas van de rivier gevaren met een constante vaarsnelheid over de gehele lengte van het traject. De hoogte, gemeten met een GPS-antenne, is met behulp van de vaarsnelheid en de gemeten waterstanden bij vaste meetstations gecorrigeerd naar de hoogte van het wateroppervlak (Eelkema, 2021).

Verwerking en vergelijking met model

Voor de vergelijking van de waterstand uit de verhanglijnen met de waterstanden van het model is gebruik gemaakt van de waterstanden uit de .his uitvoer (met een interval van 5 minuten). Voor elke meting wordt op basis van de meettijd en locatie de waterstand voor het meest nabijgelegen 100-m-observatiepunt langs de rivieras geselecteerd waarvoor uitvoer is gegenereerd in het model.

2.2.1.5 Topwaterstanden en incidentele metingen

Door het waterschap Limburg en RWS-ZN zijn nog diverse incidentele metingen met betrekking tot het hoogwater verzameld, namelijk topwaterstanden, notities van waterstanden op peilschalen (zie Tabel 9.3 van Appendix D) en strootjesmetingen.

In de dagen na het passeren van de piek is de topwaterstand af te leiden aan de hand van achtergebleven markeringen op peilschalen, muren, planten, verkleuringen van gras of gewassen, ligging van zwerfhout of zwerfafval, modderlijnen, of aanduidingen van omwonenden. Deze identificaties van de topwaterstanden worden strootjesmetingen genoemd. Er zijn in totaal door RWS-ZN 619 strootjesmetingen aangeleverd voor het traject van Grevenbicht (rkm. 45) t/m Afferden (rkm. 148), waarvan 418 met bekende xy-locatie. Deze 418 strootjesmetingen zijn als shapefile en als XYZ-bestand aangeleverd.

Verwerking en vergelijking met model

De aangeleverde metingen zijn voor de analyse uitgebreid doorgenomen. Op basis van de bijgeleverde opmerkingen zijn de hoogtes van metingen met nummer 324, 326, 327, 358, 415, 417 en 418 gecorrigeerd. Dit betroffen volgens de opmerkingen namelijk metingen van het maaiveld waarbij de hoogte van het water nog opgeteld moest worden. Meting 325 is weggelaten omdat dit een meting van "maaiveld op brug puur ter info" betrof. Ook meting 289 is weggelaten omdat deze volgens de opmerking twijfelachtig was.

Voor elke meting is een extra uitvoerpunt opgesteld (zie Appendix C1) waardoor het maximum van de waterstand uit de .his uitvoer van het model (met een interval van 5 minuten) kan worden vergeleken met de gemeten topwaterstand.

2.2.1.6 LiDAR

Tussen 16 en 19 juli 2021 zijn er LiDAR-opnames gemaakt. Deze data bevat een zeer groot aantal hoogtepunten opgenomen over de gehele lengte en breedte van de rivier en toont hiermee eigenschappen zoals dwars-verhang en opstuwing. Door Visscher en Schroevers (2023) is de LiDAR-data gecontroleerd, gefilterd op vegetatie en verwerkt naar een gemiddelde waterstand per roostercel. Deze verwerking heeft plaatsgevonden voor de 16 LiDAR-blokken, die bestaan uit meerdere vlieglijnen met een start- en eindtijd. Het tussenproduct versie 1 is een geodatabase met polygoenen voor elke roostercel die naast de waterhoogte, ook statistieken zoals de standaarddeviatie in de roostercel bevatten. De start- en eindtijd zijn niet gekoppeld aan de polygoenen maar zijn per LiDAR-blok gedocumenteerd in een apart Excel-bestand.

Een nadeel van de LiDAR-data is dat het in juli 2021 in veel gebieden pas na het hoogwater is opgenomen.

Door Visscher en Schroevers (2023) is “tussenproduct versie 1” verder verwerkt. Voor het “tussenproduct versie 2” hebben Visscher en Schroevers (2023) de LiDAR-waterstanden opgetild, o.a. door gebruik van de LMW-meetlocatie(s) binnen de LiDAR-blokken. Het waterstandsverschil tussen de topwaterstand op LMW-meetlocatie(s) en de waterstand ten tijde van het inmeten van het LiDAR-blok wordt hiervoor over de rivieras geïnterpoleerd. Het optillen heeft plaatsgevonden per individueel LiDAR-blok. Vervolgens zijn de blokken gemiddeld indien er overlap plaatsvond. Voor “tussenproduct versie 3” hebben controles plaatsgevonden, zijn regenplassen e.d. verwijderd en zijn uitzonderingsgebieden gedefinieerd. Het eindproduct van Visscher en Schroevers (2023) is de “Eindversie topwaterstandenkaart”. Dit is een geodatabase met polygonen voor elke roostercel die de topwaterstand en statistieken bevatten.

Visscher en Schroevers (2023) hebben de onzekerheid van de geleverde data benoemd in de rapportage. In paragraaf 4.3 van onderliggend rapport vind een verdere analyse plaats van de onzekerheden van de data en de modelresultaten.

Verwerking en vergelijking met model

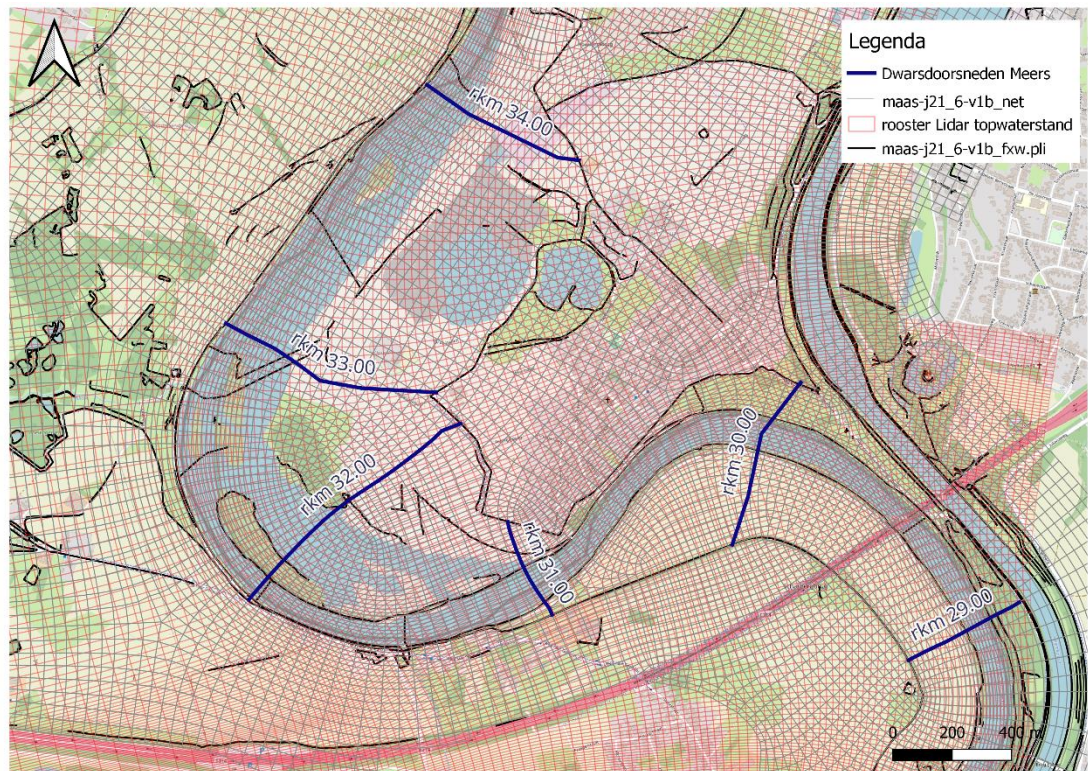
De gemiddelde waterstand per roostercel van “tussenproduct versie 1” van Visscher en Schroevers (2023) is voor onderliggende rapportage gecombineerd met de start- en eindtijden van de LiDAR-blokken. Dit wordt gebruikt om de LiDAR-waterstanden per blok te vergelijken met de gemiddelde waterstanden uit het model tussen de start- en eindtijd. Hierbij wordt ook de standaarddeviatie van het verschil met de modelresultaten en LMW-meetpunten tussen de start- en eindtijd gedocumenteerd.

De “Eindversie topwaterstandenkaart” van Visscher en Schroevers (2023) wordt voor deze analyse vergeleken met de max13-waterstand uit de modeluitvoer _fou.nc.

Zowel tussenproduct versie 1, als de Eindversie topwaterstandenkaart zijn door Visscher en Schroevers (2023) gemaakt door de LiDAR-data te middelen en verwerken op een modelrooster (rode rooster in Figuur 2.5). Echter is niet het rooster van het zesde-generatie D-HYDRO model gebruikt, maar het kromlijnige rooster van een vijfde-generatie WAQUA model. Voor de vergelijking met de modelresultaten is het daarom eerst nodig om alle LiDAR resultaten te projecteren op het huidige modelrooster (het grijze rooster in Figuur 2.5). Dit is gedaan op basis van een gewogen gemiddelde van de waterstand en het percentage van overlappend oppervlak van de roostercellen.

De verschillen in waterstand worden voor de analyse getoond in kaartbeelden en langs de rivieras. Ook wordt de waterstand getoond langs enkele dwarsdoorsneden ter hoogte van Meers (zie blauwe lijnen Figuur 2.5). Voor de waterstandsverschillen op de rivieras is gebruik gemaakt van de rivierkilometers uit maas-j23_6-v1b_1_kilometer_obs.xyn. Zowel het verschil in waterstand volgens het model en de waterstand volgens tussenproduct versie 1, als het verschil in de topwaterstand van het model en topwaterstand uit de eindversie topwaterstandenkaart worden langs deze punten getoond.

Voor de dwarsdoorsneden is gebruik gemaakt van zes dwarsdoorsneden uit maas-j21_6-v1b_1_kilometer_crs.pli. Deze doorsneden zijn bijgeknipt en omgedraaid zodat ze lopen van de linker (Vlaamse) winterdijk tot de rechter winterdijk (zie blauwe lijnen in Figuur 2.5). Zowel de waterstanden uit het model, als de waterstand uit tussenproduct versie 1 worden voor elke 5 m langs deze dwarsdoorsneden getoond.



Figuur 2.5 Het kromlijnige rooster waarop de LiDAR-data door Visscher en Schroevers (2023) is verwerkt naar zowel Tussenproduct versie 1 als de Eindversie topwaterstandenkaart in rood en het huidige rooster van het model dflowfm2d-maas-j21-v1b in grijs met in blauw de dwarsdoorsneden zoals gebruikt voor de analyse van de waterstanden.

2.2.2 Modelopzet

2.2.2.1 Randvoorwaarden

Voor de bovenrand van het model (Lixhe) wordt de gemeten afvoer van LMW-meetlocatie Eijsden-grens gebruikt. De waterstand van LMW-meetlocatie Keizersveer vormt de benedenstroomse randvoorwaarde. Deze twee randvoorwaarden zijn elk opgegeven met een interval van 10 minuten. De laterale toestromingen vormen de derde randvoorwaarde. Deze laterale toestroom bestaat uit de afvoeren van belangrijke beken en gemalen, maar omvat ook de onttrekkingen via het schutdebiet door de sluisen bij het Albertkanaal, Ternaaien, Zuid-Willemsvaart, Julianakanaal en Lateraalkanaal.

De Roer, de Aa, de Dommel, de Geul, de Geleenbeek, de Neerbeek en de Niers zijn zeven beken die circa 75% van de laterale toestrooming naar de Nederlandse Maas beschrijven. Het stroomgebied van de Roer, de Aa, de Dommel, de Geul en de Geleenbeek wordt normaliter beïnvloed door dezelfde neerslaggebieden, maar tijdens het hoogwater van juli 2021 hebben de stroomgebieden van Geul, Geleenbeek en Roer veel meer neerslag ontvangen dan de overige stroomgebieden (Van der Veen, 2022).

Randvoorwaarden van beken worden afgeleid met behulp van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen 2.4.0 patch 01 (RGWM) op basis van een beperkte set metingen van de grote beken. In overleg met RWS-ZN is besloten om een lange reeks randvoorwaarden te maken ten behoeve van toekomstige kalibratie en validatie van ook middelhoge en lage afvoeren. De randvoorwaarden zijn door RWS-ZN verzameld en aangeleverd voor de periodes van 01-07-2020 t/m 30-06-2021 en 01-07-2021 t/m 30-06-2022.

De eerste periode en set randvoorwaarden kan gebruikt worden voor een toekomstige validatie en kalibratie. Dit betreft de periode waarvoor het model is opgebouwd. Van de tweede aangeleverde set kan alleen de maand juli worden gebruikt voor validatie en kalibratie van het j21-model. Door de vele bodemveranderingen na het hoogwater van juli 2021 is het model voor het restant van de tweede periode niet meer representatief. Voor deze rapportage is de maand juli uit de tweede set randvoorwaarden gebruikt.

De gebruikte gegevens voor de invoerbestanden van de RGWM zijn opgenomen in Tabel 2.1. De RGWM-invoer die begint met code 0, 1 of 2 volgt direct uit beschikbare metingen voor de bijbehorende meetlocaties. De optionele RGWM-invoer die begint met code 6 gebruikt het verval in waterstand om de schutdebieten over de betreffende sluizen te bepalen. Het verval in waterstand wordt afgeleid met behulp van empirische afleidformules (verkregen uit bijlage 4 van Van der Veen, 2018) en de waterstandsmetingen van 1 of meerdere locaties boven- en benedenstrooms van de betreffende sluizen (zie Tabel 2.1).

Waterstanden en debieten van de vaste Nederlandse meetstations zijn door Rijkswaterstaat gevalideerd waarbij hiaten in de metingen zijn opgevuld. De data van waterschappen is grotendeels gevalideerd, maar deze data bevat nog enkele hiaten door beperkingen qua meetbereik van de apparatuur of zwerfafval dat de metingen heeft verstoord of apparatuur heeft beschadigd. Vanwege deze hiaten in de meetreeksen en om de waterbalans goed sluitend te krijgen zijn nog enkele aanpassingen gedaan in de invoer- of uitvoer-bestanden van de RGWM. Deze aanpassingen zijn hieronder voor de betreffende lateralen beschreven.

Voor versie 1 van dit rapport is gebruik gemaakt van ongevalideerde meetgegevens, waarvoor meer handmatige controles en correcties plaatsvonden en er meer hiaten zijn opgevuld door o.a. gebruik te maken van de afvoeren uit Van der Veen, 2021. Een korte verschilanalyse heeft aangetoond dat er geen significante verschillen tussen de modelresultaten van de twee randvoorwaardensets zijn ontstaan. Daarom is in versie 2 van dit rapport alleen nog de definitieve set randvoorwaarden beschreven en gebruikt.

Geul (2_02_Geul_Meerssen.tim)

Het is in de RGWM optioneel om voor de Geul (locatie Meerssen) een tijdserie van afvoeren op te geven. Omdat de stroomgebieden van de Geul, Geleenbeek en Roer tijdens het hoogwater van 2021 veel meer neerslag hebben ontvangen dan de overige stroomgebieden is het wel noodzakelijk om een reeks aan afvoeren op te geven voor de validatie van het hoogwater. De standaardrelaties waarbij de afvoer van de Geul direct gerelateerd is aan de afvoer van de Roer, welke weer direct afhangt van de afvoer zoals gemeten bij Borgharen, zijn voor deze periode onvoldoende geldig door de lokale heftige neerslag.

Er zijn metingen voor locatie Meerssen in de Geul beschikbaar, maar de tijdreeks is incompleet. Het meetstation is beschadigd tijdens het hoogwater en daarna nog niet gerepareerd. De laatste meting betreft 10-08-2021 07:00.

Voor deze locatie zijn de afvoeren voor de periode tot 30-06-2022 door middel van de RGWM aangevuld m.b.v. de standaard lineaire regressiefunctie t.o.v. de afvoer van de Roer.

Sluis Ternaaien (6_01_Sluis_Ternaaien.tim)

De sluizen van Ternaaien vormen met het kanaal van Ternaaien de verbinding tussen het Albertkanaal en de Maas. Voor het bepalen van de afvoer door sluis Ternaaien wordt in de RGWM gebruik gemaakt van formules op basis van waterstandsmetingen bij Eijdsden en St. Pieter.

Het onderstaande kader geeft de afleiding voor het verval over de sluis, zoals verkregen uit Bijlage 4 van Van der Veen (2018). In afleiding 1 moet de locatie “LMW Linne-ben” vervangen worden door “LMW Eijsden”. De correcte relatie is gebruikt voor het opstellen van het verval over de sluis¹.

BIJLAGE 4: Optionele bestanden voor RGWM

Sluis	Bestandsnaam verval	H1 (oost/zuid)	H2 (west/noord)
Maas			
Sluis Ternaaien	6_01_Sluis_Ternaaien.tim	57.77 m+ NAP	Afleiding 1

Foutief:

Afleiding 1: $LMW\ Eijsden - (7.3 - 2.56) / (10.8 - 2.56) * (LMW\ Eijsden - LMW\ StPieter) = LMW\ Eijsden - 0.5752 * (LMW\ Linne-ben - LMW\ St.\ Pieter)$

Correct:

Afleiding 1: $LMW\ Eijsden - (7.3 - 2.56) / (10.8 - 2.56) * (LMW\ Eijsden - LMW\ StPieter) = LMW\ Eijsden - 0.5752 * (LMW\ Eijsden - LMW\ St.\ Pieter)$

Op basis van het verval over Sluis Ternaaien is de afvoer van deze lateraal door de RGWM bepaald. Het uitvoerbestand (6_01_Sluis_Ternaaien.tim) is vervolgens gecorrigeerd voor de periode 11-7-2021 00:00 t/m 22-7-2021 00:00. Tijdens deze periode werd er namelijk vanuit het Albertkanaal extra gespuid via Sluis Ternaaien om overstroming van het Albertkanaal te voorkomen (zie paragraaf 1.1). Voor de correctie is gebruik gemaakt van de afvoeren volgens Rura-Arnhem (Van der Veen, 2021). Deze afvoeren door de sluis zijn bepaald op basis van het verschildebiet tussen de in het Albertkanaal gelegen meetpunten van Haccourt (bovenstrooms van de aftakking naar het kanaal van Ternaaien) en Kanne (benedenstrooms van de aftakking, zie ook Figuur 1.2).

¹ De correctie is inmiddels doorgevoerd in de documentatie van de RGWM, door Bijlage 4 van Van der Veen (2018) te herzien. Bij toekomstige uitleveringen zal de juiste documentatie worden uitgeleverd. De aanbeveling voor het doorvoeren van deze correctie, zoals opgenomen in v1 van deze rapportage is hiermee vervallen en niet meer opgenomen.

Tabel 2.1 meetlocaties, tijdseries en correcties zoals gebruikt voor de RGWM-invoerbestanden

RGWM invoer	soort	meetlocatie	begindatum en tijd	tijdstap [min.]	correcties
0_01_Borgharend.tim	Q	QBorgharen Dorp	1-7-2021 00:00	10	
1_01_Eijsden_grens.tim	Q	QEijsden Grens	1-7-2021 00:00	10	
1_02_Keizersveer.tim	H	Keizersveer	1-7-2021 00:00	10	
1_03_Roer_Stah.tim	Q	Pegel Stah	1-7-2021 00:00	60	
1_04_Niers_Goch.tim	Q	Pegel Goch	1-7-2021 00:00	60	
1_05_Aa_A2Oosterplas.tim	Q	ADM120 Oosterplas	1-7-2021 00:00	60	
1_06_Dommel_P10.tim	Q	P10_Dommel	1-7-2021 00:00	60	
2_01_Smeermaas_ADM.tim	Q	QSmeermaas	1-7-2021 00:00	60	
2_02_Geul_Meerssen.tim	Q	QMeerssen	1-7-2021 00:00	60	
2_03_Geleenbeek_Roosteren.tim	Q	Oud-roosteren 6.1.27	1-7-2021 00:00	60	
2_04_Roer_Hambeek_monding.tim	Q	-	1-7-2021 00:00	60	
2_05_Swalm_grens.tim	Q	Swalm Grens	1-7-2021 00:00	60	
2_06_Neerbeek_Hammermolen.tim	Q	Hammermolen	1-7-2021 00:00	60	
2_08_Dieze_Crevecoeur.tim	Q	ADM116 Engelen (Crevecoeur)	1-7-2021 00:00	60	
2_09_Drongelens_kanaal_Waalwijk.tim	Q	ADM118 Waalwijk	1-7-2021 00:00	60	
2_10_Bunde_ADM.tim	Q	QBunde	1-7-2021 00:00	60	
6_01_Sluis_Ternaaien.tim	DH	Eijsden StPieter	1-7-2021 00:00	10	De afvoer van sluis Ternaaien is op basis van het verval (DH) tussen Eijsden en St. Pieter afgeleid met de RGWM en gecorrigeerd met de door Rura-Arnhem (Van der Veen, 2021) bepaalde afvoer voor 11-7-2021 00:00 t/m 22-7-2021 00:00.
6_02_Sluis_Limmel.tim	DH	Borgharen-Julianakanaal Bunde	1-7-2021 00:00	10	
6_03_Sluis_Heel.tim	DH	Heel-boven Heel-beneden	1-7-2021 00:00	10	
6_04_Sluis_Panheel.tim	DH	Heel-boven	1-7-2021 00:00	10	
6_05_Sluis_Linne.tim	DH	Heel-boven Linne-beneden Roermond-boven	1-7-2021 00:00	10	
6_06_Sluis_Heumen.tim	DH	Mook-haven	1-7-2021 00:00	10	
6_08_Sluis_Empel.tim	DH	Empel-beneden	1-7-2021 00:00	10	
6_09_Sluis_Henriette.tim	DH	Crevecoeur Mook	1-7-2021 00:00	10	
6_10_Sluis_Weurt.tim	DH	Mook Nijmegen-haven	1-7-2021 00:00	10	
6_11_Sluis_Andel.tim	DH	Heesbeen Vuren	1-7-2021 00:00	10	

2.2.2.2 Initiële condities

Voor de validatie van het hoogwater zijn de initiële condities van de afvoer Q_250 (maas-j21_6-v1b_initial_water_level_Q_250.ini en maas-j21_6-v1b_structures_Q_250.ini) gebruikt, omdat de afvoer bij Eijsden Grens begin juli 2021 ongeveer 400 m³/s was.

2.2.2.3 RealTimeControl (RTC)

Voor de validatie van het hoogwater is historische RTC opgesteld op basis van de door Rijkswaterstaat aangeleverde gemeten waterstanden met een interval van 10 minuten. Het model stuurt via de RTC de stuwen zo aan dat deze gemeten waterstanden zo goed mogelijk door het model worden gereproduceerd. De meetreeksen bevatten echter hoogfrequente schommelingen door de stuwsturing. Het is niet wenselijk om deze kleine variaties mee te nemen in de stuwsturing van het model. De meetreeks is daarom gladder gemaakt met behulp van een Low Pass Filter² die de frequenties met een periode kleiner dan 12 uur uit de metingen verwijdert.

Daarnaast is ook de piek uit de gemeten waterstanden verwijderd. De data is verwijderd tussen het moment waarop de waterstanden in de metingen snel gingen stijgen tot ver boven het streefpeil en het moment waarop de sterke daling tot op het streefpeil weer stopte. Tussen deze momenten wordt door het model lineair geïnterpoleerd. De opgegeven waterstanden voor de RTC zijn dus lager dan de werkelijke en in het model optredende waterstanden. Het model probeert de gemodelleerde waterstand te verlagen tot het opgegeven streefpeil door de stuw geheel te openen en open te laten binnen deze periode. Hiermee wordt voorkomen dat een onderschatting van de waterstand tijdens deze periode in het model gecorrigeerd wordt door de stuw (gedeeltelijk) te sluiten.

2.2.2.4 Extra modeluitvoer

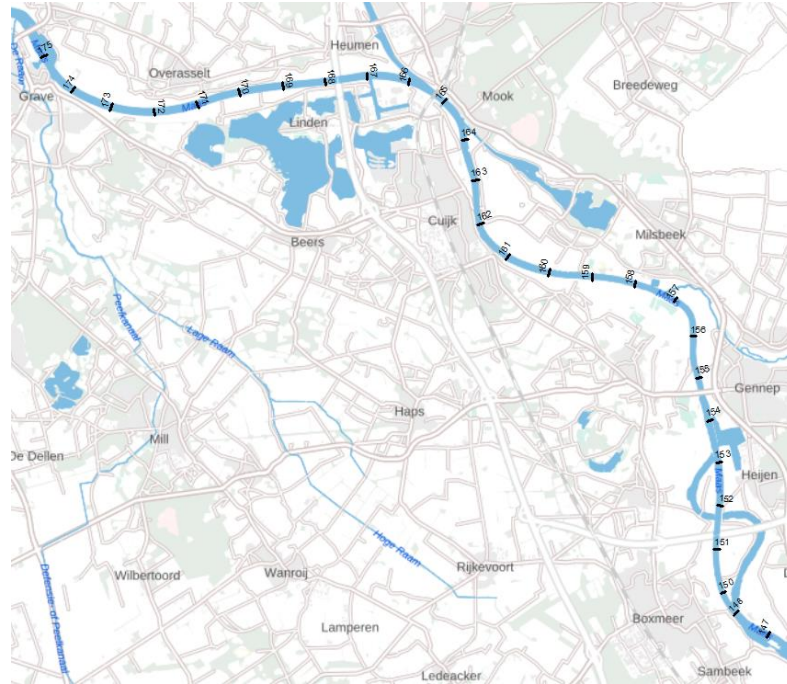
Voor de vergelijking van de (top)waterstanden van de incidentele metingen met de waterstanden uit de modelresultaten zijn extra uitvoerlocaties opgenomen in het model. De coördinaten en naamgeving van deze locaties zijn opgenomen in het extra invoerbestand Incidentele_metingen.xyn, dat ook zichtbaar is in Appendix C.1.

Voor de vergelijking van de afvoeren uit de ADCP-metingen met afvoeren uit de modelresultaten zijn handmatig extra dwarsdoorsnedes toegevoegd aan de uitvoerlocaties. Deze doorsnedes zijn zichtbaar in Figuur 2.6. De coördinaten en naamgeving zijn opgenomen in het invoerbestand ADCPCrosssections.pli, dat zichtbaar is in Appendix C.2.

Voor de vergelijking van de modelresultaten met de stroomsnelheden uit de ruwe ADCP-metingen en de waterstanden van de LiDAR-metingen is het interval van de _map.nc uitvoer aangepast. De uitvoer MapInterval staat standaard op 14400 seconden (elke 4 uur), maar voor de aanvullende validatie is het MapInterval in de .mdu veranderd zodat de mapuitvoer voor de periode van 2021-07-16 0:00 tot 2021-07-25 00:00 voor elke 5 minuten wordt weggeschreven:

```
MapInterval = 300. 1296000. 2073600. # Map file output, given as "interval" "start period" "end period" [s]
```

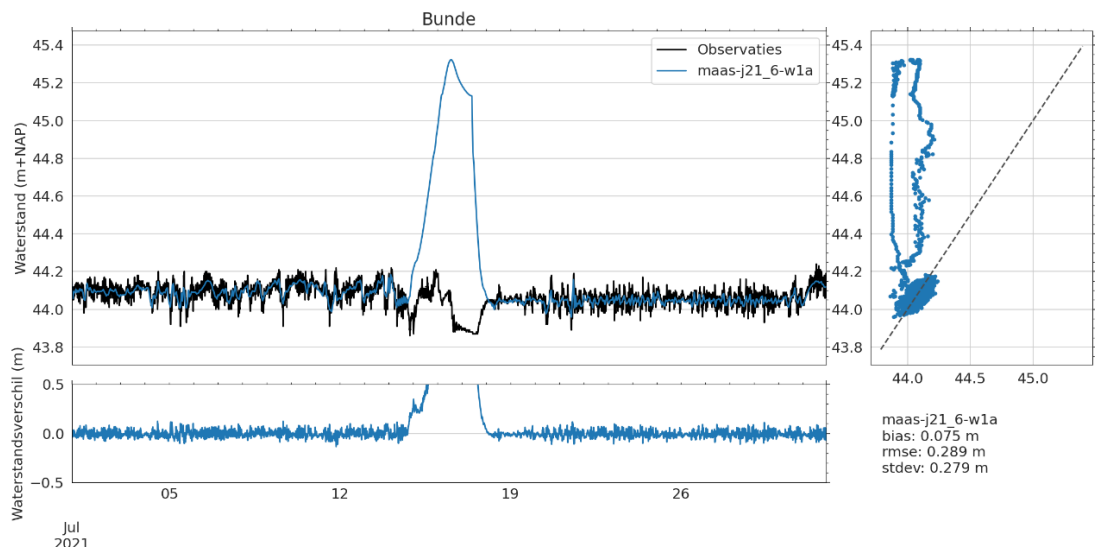
² Voor een Low Pass Filter wordt een signaal opgesplitst in een groot aantal harmonische componenten (golven met een bepaalde amplitude en periode). Door de componenten met hoge frequenties te verwijderen en de overgebleven componenten weer bij elkaar op te tellen wordt een geleidelijk signaal verkregen zonder ruis.



Figuur 2.6 Extra dwarsdoorsnedes voor de vergelijking met de ADCP-metingen van Aqua Vision

2.2.2.5 Handmatige aanpassing onttrekking Sluis Born

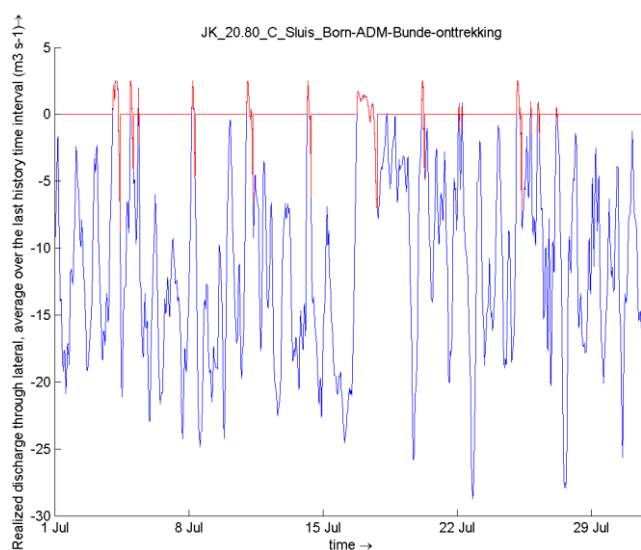
Figuur 2.7 toont voor de testsimulaties van het j21-model bij meetlocatie Bunde in het Julianakanaal een bias van 7 cm, met een standaarddeviatie van 28 cm en modelwaterstanden die zelfs maximaal 108 cm hoger liggen dan de metingen. De afwijking tussen het model en de metingen is echter alleen tijdens het hoogwater erg groot.



Figuur 2.7 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Bunde in het Julianakanaal.

Het Julianakanaal is pas sinds de actualisatie naar j19 in het model opgenomen. Dit kanaal wordt door de sluiting van keersluis Limmel afgesloten van de Maas tijdens hoge afvoergolven. Deze sluiting wordt in het model door de RTC gestart zodra de afvoer van St. Pieter boven de 1850 m³/s ligt. Nadere inspectie van de modelresultaten heeft uitgewezen dat de keersluis van Limmel goed werkt en netjes sluit zodra de afvoer van St. Pieter boven de 1850 m³/s is gestegen en weer opent zodra de afvoer onder de 1850 m³/s is gedaald.

Figuur 2.7 laat echter zien dat de modelwaterstand op het kanaalpand in tegenstelling tot de metingen blijft toenemen. Bij de actualisatie van het j19-model was deze toename ook al in de modelresultaten zichtbaar (Van der Deijl et. al 2022). Toen werd geconcludeerd dat de toename in waterstand wordt veroorzaakt door 2 factoren. Ten eerste wordt de opgelegde afvoer uit het pand niet gerealiseerd doordat de onttrekking JK_20.80_C_Sluis_Born-ADM-Bunde-onttrekking bijna altijd droog ligt. Ook tijdens de simulatie van het hoogwater van juli 2021 blijkt dat de onttrekking in het model (rood in Figuur 2.8) bij Sluis Born minder is dan de vooraf opgelegde onttrekking (blauw in Figuur 2.8). Er vindt alleen een onttrekking plaats nadat er eerst een lozing op het sluispand heeft plaatsgevonden. De sluis is fijner geschematiseerd dan de resolutie van het rooster en de sluis blijft droog aangezien deze compleet wordt afgesloten door de hogere kades. De tweede factor die bij de opbouw van het j19-model werd genoemd was dat er bij een piekafvoer van 5000 m³/s een kade ter hoogte van JK_2.10 overstroomt (Van der Deijl et. al 2022). Deze overstroming vindt echter niet in de modelsimulatie van het hoogwater van 2021 plaats, noch is er op andere locaties in het Julianakanaal een overstroming/extra instroom van water geconstateerd.



Figuur 2.8 De opgelegde (blauw) en gerealiseerde (rood) afvoer voor JK_20.80_C_Sluis_Born-ADM-Bunde-onttrekking

Omdat er door de droogval van de onttrekkingen bij Sluis Born in het j21-model te hoge waterstanden in het Julianakanaal ontstonden, stroomde na de opening van de Keersluis bij Limmel na afloop van de hoogwatergolf het water vanuit het kanaalpand richting de Grensmaas. Ook op andere momenten voor het hoogwater werd deze tegengestelde stroming in het kanaalpand geconstateerd. Om deze reden is voor nu besloten om in 202104202202_bnd.ext de onttrekking van JK_20.80_C_Sluis_Born-ADM-Bunde-onttrekking handmatig te verplaatsen naar een locatie waar deze niet droogvalt (zie Tabel 2.2). Hoewel de onttrekking van JK_20.80_C_Pomp_Born-onttrekking tijdens de modelsimulatie niet in gebruik is, wordt ook deze onttrekking verplaatst, omdat deze op precies dezelfde locatie lag als JK_20.80_C_Sluis_Born-ADM-Bunde-onttrekking.

Tabel 2.2 Handmatige verplaatsing van de onttrekkingen bij Sluis Born

Lateraal	oorspronkelijke coördinaten	nieuwe coördinaten
JK_20.80_C_Sluis_Born-ADM-Bunde-onttrekking	xCoordinates = 183883.0913 yCoordinates = 338571.4551	xCoordinates = 183802 yCoordinates = 338266
JK_20.80_C_Pomp_Born-onttrekking	xCoordinates = 183883.0913 yCoordinates = 338571.4551	xCoordinates = 183802 yCoordinates = 338266

2.3 Gevoeligheidsanalyses

2.3.1 Analyse kalibratie

Tijdens de ontwikkeling van het zesde-generatie Maas-model is het model gekalibreerd om te compenseren voor onbekenden en onnauwkeurigheden in de modelbouw. De kalibratie vindt plaats op de zomerbedruwheid door een afvoerafhankelijke kalibratiefactor toe te passen die bovenop de alluviale achtergrondruwheid werkt. Dit betekent dat voor verschillende afvoeren kalibratiefactoren zijn afgeleid en dat voor de tussenliggende afvoeren wordt geïnterpoleerd. Voor de piekafvoer van het hoogwater van 2021 gelden de kalibratiefactoren van het hoogste niveau (H2 > 2700 m³/s, zie tabel 2.3). Deze kalibratiefactoren zijn afgeleid op basis van het hoogwater van 1995 en de resultaten zijn gevalideerd met het hoogwater van 1993 (De Jong, 2021). De gebiedsinrichting van de Maas is echter sterk veranderd.

tabel 2.3 Keuze en motivatie Afvoerniveaus voor de afvoer bij Eijsden zoals gebruikt voor de kalibratie van het zesde-generatie Maasmodel (uit: De Jong, 2021)

Niveau		Afvoer (m ³ /s)	Motivatie
Laag	L	100	Op basis van de geometrie wordt een zo laag mogelijke afvoer gekozen. De afvoer kan echter ook niet te laag zijn, omdat deze dan nadelig wordt beïnvloed door onnauwkeurigheden in de metingen.
Midden 1	M1	800	Bij deze middelhoge afvoer is het zomerbed behoorlijk gevuld, maar is de stuwsturing nog overal actief.
Midden 2	M2	1700	Bij deze middelhoge afvoer is het zomerbed grotendeels gevuld en zijn de stuwen gestreken.
Hoog 1	H1	2250	Dit is de recentste hoge afvoer van het Hoogwater (januari) 2011
Hoog 2	H2	2700	Dit is de hoge afvoer van het Hoogwater (januari) 1995 die ook bij het vijfde-generatie model diende voor de kalibratie van het hoogste afvoerniveau.

Om te testen of de huidige kalibratie nog goed van toepassing is op het zesde-generatie Maasmodel is een aantal varianten doorgerekend zonder kalibratie (varianten _ongekalibreerd). Voor deze varianten is in de .mdu bestanden de kalibratie uitgezet (UseCalibration = 0). Alle overige modelinstellingen zijn hierbij gelijk gehouden.

Om te testen of de huidige H2-kalibratie voor de hoogste afvoeren op basis van 1995 nog goed van toepassing is op het zesde-generatie-Maas-model is een aantal varianten doorgerekend zonder kalibratiefactor voor het H2-niveau. Hiervoor is de kalibratiefactor voor het H2-niveau op 1 gezet in het .cld bestand. Dit is verwerkt in "mainchannel_calibration-v2b-zonder_Hoog2.cld" (zie Appendix C.3). Alle overige modelinstellingen zijn hierbij gelijk gehouden.

2.3.2 Analyse vegetatie

2.3.2.1 Beknopte theoretische beschouwing vegetatiemodellering

Onderstaande paragrafen zijn gebaseerd op Berends et al. (State of the art and research trends in fluvial vegetation resistance modelling, Deltares rapport 11208033-018-ZWS-0002).

Stromingsweerstand

Hydrodynamische modellen lossen de relatie tussen waterstand (m + NAP) en stroming (afvoer in m³/s, of stroomsnelheid in m/s) op door het numeriek oplossen van een subset (versimpeling) van de Navier-Stokes vergelijkingen. Voor rivier toepassingen bestaat deze subset uit de zogenoemde ondiepwatervergelijkingen. Deze vergelijkingen versimpelen onder andere de turbulentie en de verticale dimensie onder de aanname dat de horizontale lengtemaat (de breedte van de rivier) veel groter is dan de verticale dieptemaat (waterdiepte).

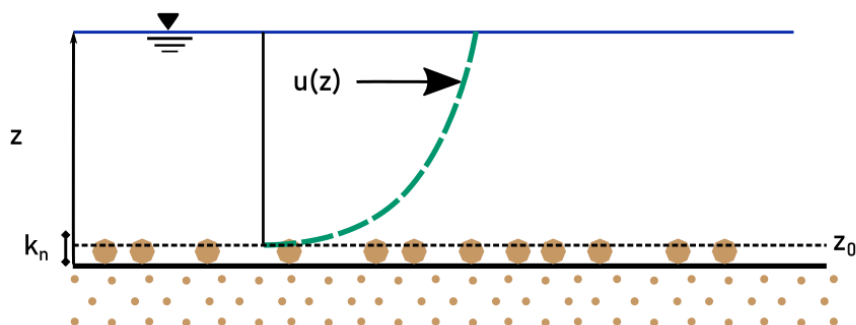
Een belangrijke versimpeling is dat verschillende processen die leiden tot energieverlies worden samengevoegd in een enkele term in de impulsvergelijking: *stromingsweerstand*. De ééndimensionale impulsvergelijking leest als volgt:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + \frac{g A_f \partial \xi}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} = 0$$

Met afvoer Q [m³/s], dwarsoppervlak A_f [m²], waterstand ξ [m], hydraulische straal R [m], zwaartekrachtversnelling g [m.s⁻²], Chézy coëfficiënt C [m^{1/2}/s], tijd t [s] en lengtemaat x [m]. Deze vergelijking beschrijft de balans tussen (van links naar rechts): traagheid, advection, zwaartekracht en stromingsweerstand. De vierde term is belangrijk om de rol van vegetatie in hydrodynamische modellen te begrijpen.

Bronnen van stromingsweerstand

De vierde term in bovenstaande vergelijking beschrijft de totale stromingsweerstand. De Chézy-coëfficiënt C beschrijft in deze term de 'hoeveelheid weerstand' en wordt soms ten onrechte 'bodemruwheid' genoemd. Deze term beschrijft echter *alle* vormen van weerstand, inclusief maar niet beperkt tot de weerstand van de bodem. Voor vegetatie is het nuttig om onderscheid te maken tussen twee typen weerstand (die allebei door C worden beschreven): weerstand door drukverschil (*drag*) en weerstand door snelheidsverschillen (wrijving; *shear*). In afwezigheid van objecten wordt de meeste weerstand door stromingsverschillen veroorzaakt. In kanalen leidt contact van water met de bodem tot een logaritmisch snelheidsprofiel (Figuur 2.9). Op eenzelfde manier is er in het horizontale vlak verschil van snelheid tussen winterbed en hoofdgeul, wat ook leidt tot weerstand door stromingsverschil. Weerstand door drukverschil ontstaat bijvoorbeeld bij stroming rondom pijlers, waarbij achter een pijler een 'wake' ontstaat die aan de stroming 'trekt'.



Figuur 2.9 Het Stromingsprofiel over een hydraulisch ruw bed kan worden benaderd met een logaritmische functie. Aangepast uit van Rijn (1990).

Modellen voor stromingsweerstand

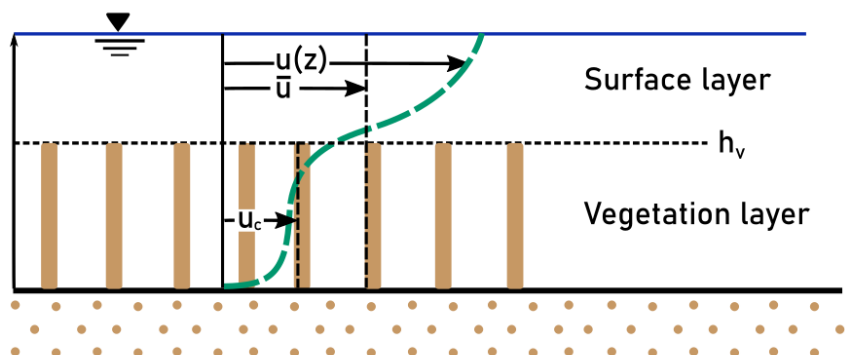
Om in modellen de stromingsweerstand – die in werkelijkheid dus voortkomt uit alle vormen van energieverlies – te voorspellen zijn er verschillende ruwheidsmodellen ontwikkeld. De eerste van deze modellen waren gericht op reproductie van het logaritmisch profiel op basis van laboratoriumproeven (Nikuradse, 1931). De formule die dit beschrijft is de White-Colebrook (ook bekend als Colebrook-White) formule (Colebrook and White 1937). De bekende Manning- of Strickler-formule is een benadering van de White-Colebrook-formule en daarmee ook ontworpen voor het type stroming van Figuur 2.9. Deze formules zijn echter niet ontworpen (en hiermee minder geschikt, hoewel in de praktijk wel *bruikbaar*) voor complexere stroming, zoals stroming over bodemvormen (zoals rivierduinen) en stroming door en over vegetatie.

Toepassing van de Manning- of White-Colebrook-formule voor dergelijke cases leidt er vaak toe dat modellen minder goed presteren buiten het gekalibreerde bereik, omdat ze de fysische processen onvoldoende beschrijven. Oplossingen als afvoerafhankelijke ruwheidswaarden kunnen helpen, maar een duurzamere oplossing is om andere ruwheidsformules toe te passen.

Tweelaagsmodellen voor vegetatieweerstand

Stroming door vegetatie ontwikkelt meestal geen logaritmisch profiel zoals in Figuur 2.9. Figuur 2.10 laat een typisch verticaal profiel zien voor *overstroomde vegetatie*. Een van de eerste modellen die de stromingsweerstand voor deze situatie beschreef is dat van Klopstra et al. (1997). De formule van Klopstra wordt in 2D-modellen van Rijkswaterstaat gebruikt om de weerstand in begroeide uiterwaarden te berekenen. Deze formule is een functie van de kenmerken van vegetatie, zoals stamdichtheid en hoogte. Deze parameters worden in modellen gekozen uit het “handboek vegetatieruwheid” (van Velzen et al., 2003b). Hierin staat per vegetatiesoort (bv. ‘productiegrasland’ of ‘ruigte’) wat de typische stamdichtheid is.

Na Klopstra zijn er veel andere formules ontworpen, waarvan een van de meest bekende die van (Baptist et al., 2007) is.



Figuur 2.10 Typisch stromingsprofiel voor ondergedompelde vegetatie, met kruinhoogte h_v [m], het snelheidsprofiel $u(z)$ [m.s-1], dieptegemiddelde snelheid \bar{u} [m.s-1] en gemiddelde snelheid door de vegetatielaag u_c [m.s-1].

Beperkingen van ‘stijve-stok’-modellen

De formules van Klopstra en Baptist zijn gebaseerd op lab-experimenten waarin vegetatie is weergegeven door zgn. ‘stijve stokken’ (*rigid cylinders*). Natuurlijke vegetatie gedraagt zich echter niet altijd als ‘stijve stokken’. In werkelijkheid kan vegetatie meebuigen en stroomlijnen (*reconfiguration*), heeft vegetatie takken en bladeren, kan vegetatie ontwortelen (*uprooting*), kan vegetatie stromend afval (*debris*) invangen en kan secundaire begroeiing onder vegetatie (*understory growth*) leiden tot aanzienlijk meer weerstand dan verwacht. Een verzameling planten dicht bij elkaar (*vegetatiepatch*) heeft ook een andere weerstand dan een enkele plant.

Tot op zekere hoogte kan men compenseren voor onderdelen hiervan door de vegetatieparameters (dichtheid, stamhoogte, coëfficiënt) te wijzigen. Zo kan men aannemen dat zomervegetatie een hogere dichtheid heeft dan wintervegetatie. van Velzen et al., 2003b voorzien hierin door twee schattingen te geven – een zomer- en een winterconfiguratie. Het is echter goed om te beseffen dat dit niet het hele proces beschrijft. Zo kan zomervegetatie naast dichter ook *flexibeler* zijn, omdat het jongere vegetatie is. Meebuigen in stroming leidt tot verlaging van weerstand, terwijl een hogere dichtheid leidt tot verhoging van weerstand. Net als de stap van weerstand van het *Manning*-type naar tweelaagsmodellen, is de duurzamere oplossing te vinden in het uitbreiden van de weerstandsformules. Op moment van schrijven, zijn formules voor *natuurlijke vegetatie* echter nog volop in ontwikkeling en onderzoek (Berends et al, 2022).

Aanpak

De waterstanden in de Maas worden dus beïnvloed door de weerstand van de vegetatie in de uiterwaarden. Het hydraulische model van de Maas is afgeleid voor het hoogwaterseizoen (de winter). In het model wordt daarom uitgegaan van vegetatie zoals die in de winter aanwezig is. Er zijn in de zomer 2 factoren waardoor een verschil in de ruwheid van de vegetatie te verwachten is, namelijk:

- 1 Het type vegetatie is in de zomer vaak anders dan in de winter. Akkers staan in de zomer vaak vol met (hogere) gewassen, terwijl deze akkers braak liggen of begroeid zijn met laag grasland in de winter. Zeker op maïsakkers kan hierdoor een groot verschil in de ruwheid van de zomer en winter ontstaan. Het effect van verschillende typen vegetatie in de zomer en de winter wordt onderzocht door gebruik te maken van een zomerkartering. De opbouw van de zomerkartering wordt beschreven in de volgende paragraaf (paragraaf 2.3.2.2).
- 2 Ook op plekken waar het type vegetatie gelijk blijft tussen zomer en winter kan de ruwheid van deze vegetatie verschillen doordat er in de zomer vaak meer bladeren aanwezig zijn, de vegetatie vaak sterker en hoger is en eenjarige planten nog niet zijn afgestorven en platgeslagen. Het effect van een andere ruwheid door verschillen in de bedekking, bladdichtheid en hoogte van de voorkomende vegetatietypen (ecotopen) tussen zomer en winter wordt onderzocht door gebruik te maken van de hogere ruwheidscoëfficiënten voor de zomer van door- en overstroomde vegetatie zoals opgesteld door van Velzen (2005). Deze ruwheidscoëfficiënten zijn door Rijkswaterstaat aangeleverd voor het project beleidstafel wateroverlast en hoogwater (de Jong et al., 2022) en zijn opgenomen in Appendix C.4.

Beide factoren leiden in principe tot een hogere vegetatieruwheid, waardoor meer opstuwing optreedt. Naar verwachting leidt de zomervegetatie die in werkelijkheid aanwezig was tijdens het hoogwater dus tot hogere waterstanden dan voorspeld door het model, waarin van de wintervegetatie uit wordt gegaan.

2.3.2.2 Zomerkartering

De daadwerkelijk aanwezige gewassen op de akkers langs de Nederlandse zijde van de Maas zijn opgenomen in de Basisregistratie Gewaspercelen (BRP) (<https://www.pdok.nl/-/brp-gewaspercelen>) en voor de Vlaamse zijde van de Maas in de "Landbouwgebruikspcelen LV (2021) Vlaanderen". De BRP 2021 is gedownload van internet (brpgewaspercelen_definitief_2021.gpkg), de Landbouwgebruikspcelen_LV_2021 (Lbgbrprc21.shp) is aan Deltares geleverd door Joke Verstraelen van De Vlaamse Waterweg nv. Beide bestanden bestaan uit polygonen van de locatie van landbouwpercelen met daaraan gekoppeld het geteelde gewas.

Om de zomervegetatie van de akkers in het model te krijgen is een Baseline-maatregel (ma_zomervegakk_r_a1) gemaakt met de land_use_polygons uit maas-j21_6-v1 waarin de polygonen akker met de ruwheidscodes 121 (akker), 122 (strooisel) en 1822 (95% akker + 5% doornstruweel) vervangen zijn door overlappende polygonen uit de zomervegetatiebestanden "brpgewaspercelen_definitief_2021.gpkg" en "Lbgbrprc21.shp".

Voor de gewassen in de zomervegetatiebestanden zijn in Baseline geen ruwheidscodes beschikbaar. Daarom is gekeken naar vegetatietypen in Baseline waarvan de vorm en grootte een beetje overeenkomt met het gewas uit "brpgewaspercelen_definitief_2021.gpkg" en "Lbgbrprc21.shp" en is de ruwheidscode daarvan toegekend aan de betreffende akkerpercelen. Zie Appendix C.5 voor de Baseline ruwheidscodes, zoals toegekend aan de gewassen uit de gewasregistraties

De maatregel is ingemixt in baseline-maas-j21_6-v1 en zo is baseline-maas-j21_6-w1zv gevormd. Daarna is de conversie naar D-HYDRO uitgevoerd voor alleen de ruwheid met rooster maas_40m_v2022_1.0_net.nc. Het verkregen ruwheidsbestand (maas-j21_6-w1zva2_trachytopes.arl) is achteraf handmatig verder bewerkt zodat alleen de exacte polygonen van akker met de ruwheidscodes 121 (akker), 122 (strooisel) en 1822 (95% akker + 5% doornstruweel) worden vervangen. Deze polygonen zijn namelijk vaak kleiner dan de akkers uit de gewasregistratie zelf welke geheel waren gebruikt in de eerder gevormde Baseline-maatregel. Het bestand maas-j21_6-w1zva2_trachytopes.arl wordt gebruikt voor de modelvarianten met zomerkartering en in de digitale Appendix C.5.2 is de locatie van de akkers met zomerkartering aangegeven.

2.3.3 Varianten

Om het effect van de zomervegetatie op de ruwheid en op de opgetreden waterstanden te onderzoeken zijn met dflowfm2d-maas-j21_6-v1b extra simulaties uitgevoerd met daarin de zomerkartering en/of de ruwheidscoëfficiënten van de zomer i.p.v. die van de winter. Deze analyse is gecombineerd met die voor de kalibratie, waardoor 9 verschillende varianten ontstaan. Een overzicht van alle varianten is opgenomen in Tabel 2.4. Alle berekeningen voor het hoogwater van juli 2021 vinden plaats met de software D-HYDRO 2023.02.

Tabel 2.4 Overzicht van alle varianten voor het hoogwater van juli 2021 (referentie = hist_20210701_20210801)

Variant	Vetetatiekartering	Ruwheidscoëfficiënten	Kalibratiefactoren	Naam van simulatie
referentie	Winter ³	Winter ⁴	L, M1, M2, H1, H2 ⁵	hist_20210701_20210801
ongekalibreerd	Winter ³	Winter ⁴	-	hist_20210701_20210801_ongekalibreerd
zonderH2	Winter ³	Winter ⁴	L, M1, M2, H1 ⁶	hist_20210701_20210801_ongekalibreerd_Hoog2
zomerruwheid	Winter ³	Zomer ⁷	L, M1, M2, H1, H2 ⁵	hist_20210701_20210801_zomerruwheid
zomerruwheid_ongekalibreerd	Winter ³	Zomer ⁷	-	hist_20210701_20210801_zomerruwheid_ongekalibreerd
zomervegetatie	Zomer ⁸	Zomer ⁷	L, M1, M2, H1, H2 ⁵	hist_20210701_20210801_zomervegetatie_zomerruwheid
zomervegetatie_ongekalibreerd	Zomer ⁸	Zomer ⁷	-	hist_20210701_20210801_zomervegetatie_zomerruwheid_ongekalibreerd

³ maas-j21_6-v1b_trachytopes.arl

⁴ roughcombination-all-v1.ttd

⁵ mainchannel_calibration-v2b.cld

⁶ mainchannel_calibration-v2b-zonder_Hoog2.cld

⁷ roughcombination-all-v1_zomervegetatie.ttd

⁸ maas-j21_6-w1zva2_trachytopes.arl

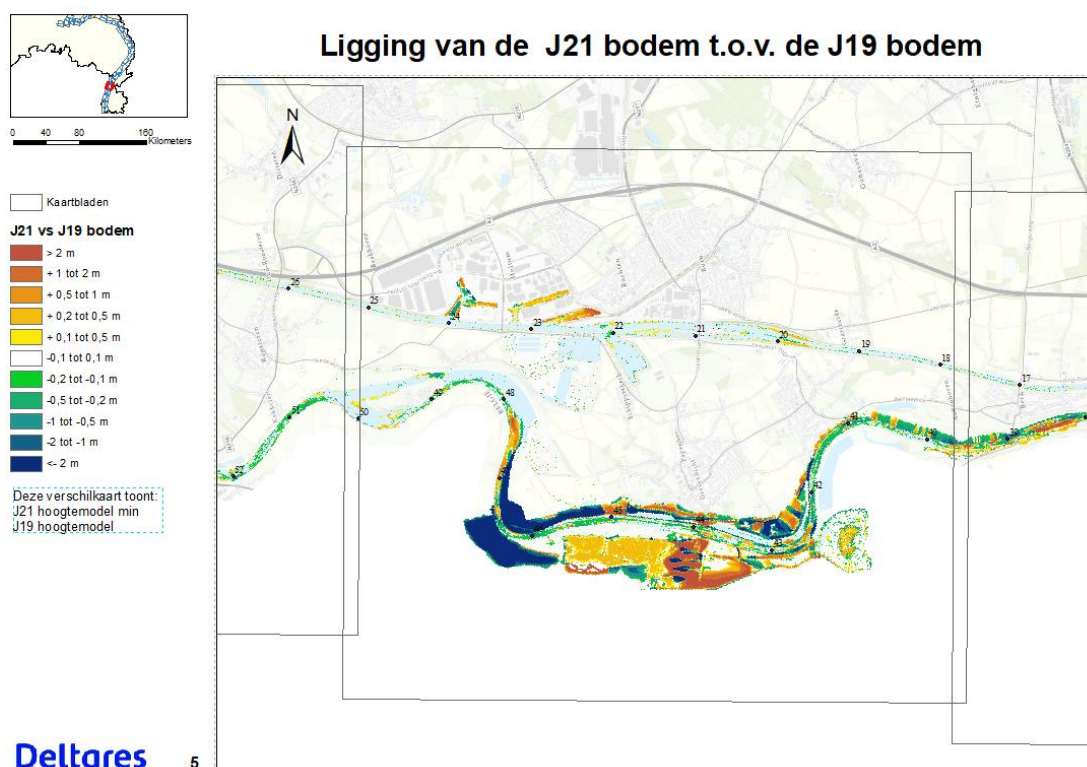
3 Verschilanalyse j21_6 en j19_6

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de simulaties zoals gespecificeerd in sectie 2.1.3. Om te toetsen of de opbouw van het j21-model goed is gegaan is de vergelijking uitgevoerd met het j19_6-model.

3.1 Veranderingen in bodemhoogte

De verschillen in bodemhoogtes van de Baselineversies j21_6-v1 en j19_6-v2 zijn weergegeven in de kaarten van Appendix B. In de kaarten is zichtbaar dat de bodem van het zomerbed in de schematisatie van j21 ongeveer 10 tot 50 cm lager ligt dan in de j19-schematisatie. Er zijn echter ook locaties waar de zomerbedbodem lokaal 10 tot 50 cm is verhoogd. De grootste verschillen in bodemhoogte worden in de Appendix opgesomd.

De enige locatie waar de verschillen significant doorwerken in de waterstanden is het traject tussen rkm. 41 en 48. Hier hebben grote veranderingen in de bodemhoogte van het winterbed plaatsgevonden (zie Figuur 3.1). Tussen rkm. 42 en rkm. 45 ligt de bodem lokaal 20 cm tot 2 m hoger in j21 dan in j19, onder andere door opname van de as-built-situatie na uitvoering van Ingreep Booien-Veurzen. Rondom rkm. 46,5 is de bodem van het winterbed juist lokaal 6 m verlaagd door opname van de vermoedelijke tussentijdse toestand na de ingreep van de maatregelen Elerweerd, Koeweide en Grevenbicht.



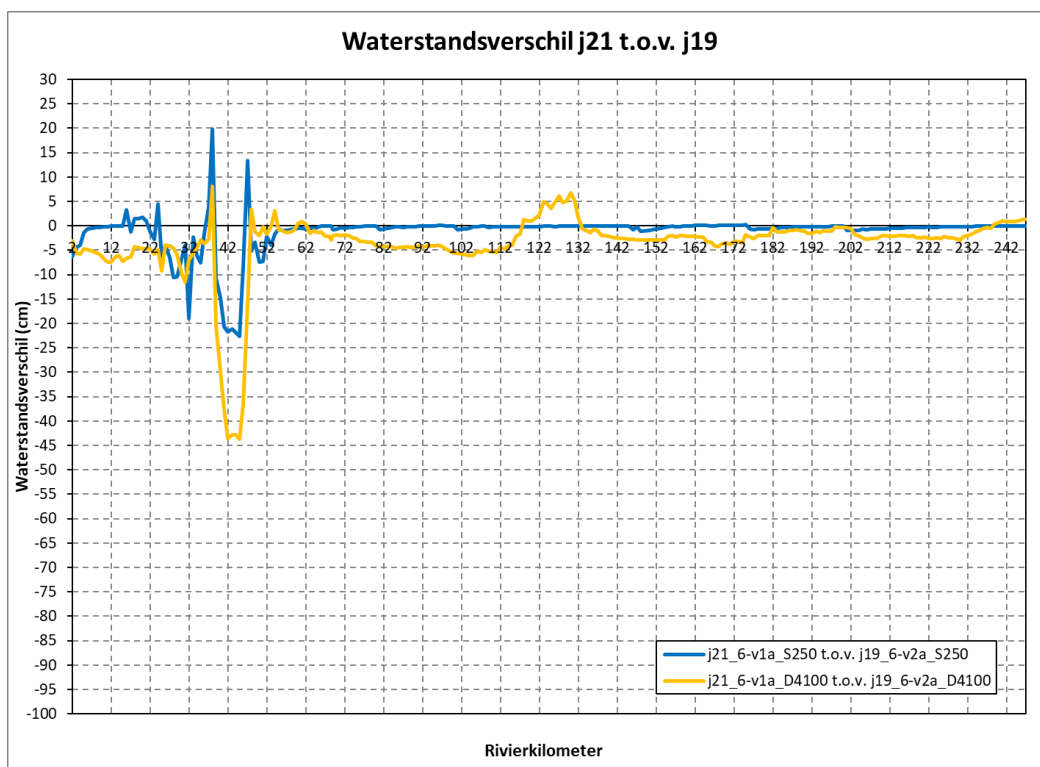
Figuur 3.1 Verschil in bodemhoogte tussen schematisaties van J21 en J19 voor rkm. 40 t/m 50.

3.2 Verschilanalyse waterstanden

In Figuur 3.2 is voor de modelschematisaties j21_6-v1a en j19_6-v2a het verschil in de waterstand voor S250 en D4100 op de rivieras weergegeven.

De verschillen in waterstand worden o.a. veroorzaakt door een update van de bodemhoogtes en door verschillen in ruwheid als gevolg van uitgevoerde maatregelen. De verschillen in bodemhoogtes van de Baselineversies j21_6-v1 en j19_6-v2 zijn weergegeven in de kaarten van Appendix B. De belangrijkste observaties uit Figuur 3.2 en Appendix B zijn:

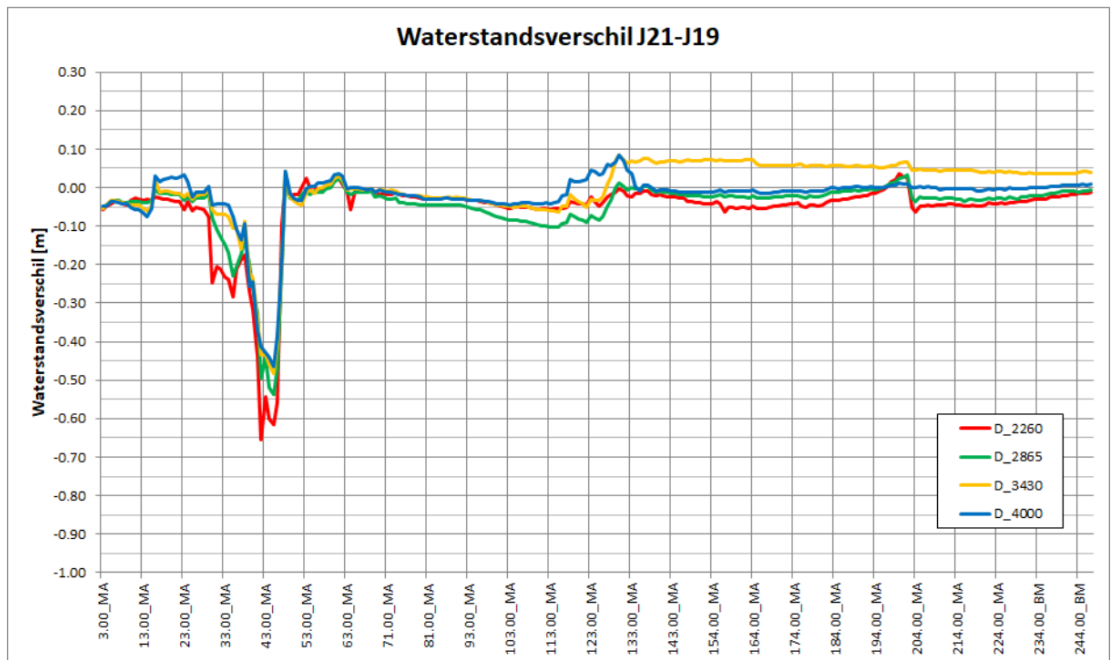
- Er is een waterstandsval van 5 cm bovenstrooms van rkm. 5, ook bij lage afvoer.
- Op de gehele Grensmaas (rkm. 16 tot en met 55) is er een waterstandsval. Deze val is met 43 cm het grootst bovenstrooms van rkm. 45. Deze waterstandsval wordt veroorzaakt door projecten van maatregel Elerweerd en Koeweide waarvoor rondom rkm. 46,5 de bodem van het winterbed lokaal 6 m is verlaagd (zie Figuur 3.1).
- Een hoge afvoer resulteert op de Zandmaas (rkm. 70 tot 110) in een waterstandsval in de orde van 5 cm. Vermoedelijk is dit het gevolg van de nieuwe zomerbedlodingen.
- Bij rkm. 132 stijgt de waterstand bij hoge afvoer door de aanpassing van de Baseline-data van het project Ooijen Wanssum.



Figuur 3.2 Het last25 waterstandsverschil voor S250 en max13-waterstandsverschil voor D4100 tussen j19 en j21 van de zesde generatie

Een visuele vergelijking is uitgevoerd met de verschillen van de actualisatie in de vijfde generatie (zie Figuur 3.3, overgenomen uit Rura-Arnhem, 2021). De grootste verschillen zijn:

- De waterstandsval tussen Borgharen en Ifteren (rkm. 16 tot 23) is in de vijfde generatie kleiner, en toont zelfs een lichte stijging.
- De 'spikes' in de waterstandsverschillen in D-HYDRO bij rkm. 40 en rkm. 46. Deze zijn in de vijfde generatie veel geringer aanwezig. Mogelijk wordt de winterbedstroming door D-HYDRO net anders afgehandeld dan in WAQUA. Dit zou kunnen komen door de verschillende modellering van de viscositeit. Het verschil in waterstandseffect van de maatregelen Elerweerd, Koeweide en Grevenbicht is beperkt (48 cm t.o.v. 44 cm).



Figuur 3.3 Resultaten vijfde generatie (van der Veen, et al., 2021)

4 Validatie hoogwater juli 2021

4.1 Waterstanden

In deze paragraaf wordt de referentie-modelsimulatie van het hoogwater 2021 (hist_20210701_20210801) gevalideerd door per meetstation de bias en standaarddeviatie ten opzichte van de gemeten waterstanden te bepalen. De statistieken in Tabel 4.1 geven aan dat de gemiddelde bias voor alle meetlocaties -2 mm bedraagt met een gemiddelde standaarddeviatie van 212 mm. De bias en standaarddeviatie betreffen echter -35mm en 152 mm wanneer alleen de meetlocaties worden meegenomen waarop het model bij de modelbouw is gekalibreerd (alleen de dikgedrukte locaties in de tabel). De figuren van de tijdseries van zowel de modelresultaten als de metingen van 10 tot 26 juli zijn opgenomen in Appendix E.1.1. In de volgende paragrafen worden enkele opvallende resultaten besproken.

4.1.1 Bovenmaas en Grensmaas

Op de Bovenmaas worden de topwaterstanden voor meetlocaties Eijsden en Sint Pieter Noord (zie Figuur 4.1 en Figuur 4.2) door het model overschat. Bij Eijsden bedraagt deze overschatting 21 cm tijdens de gemeten piek, maar de grootste overschatting van ongeveer 45 cm vindt plaats nadat de piek is gepasseerd.

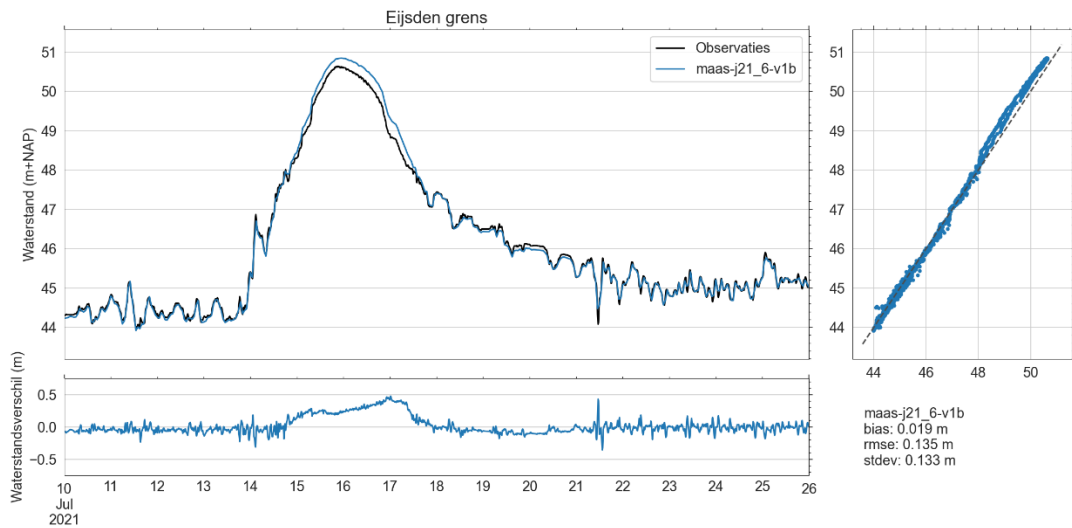
Ook bij Sint Pieter Noord is de overschatting van de topwaterstand met 12 cm kleiner dan de overschatting van meer dan 50 cm na passage van de top. De oorzaak ligt in de tragere afloop van de piek in de modelresultaten. In het model duurt het langer voor de top van de piek start met afvlakken en ook de afloop van het hoogwater is trager.

Bij de ingang van het Julianakanaal (zie Figuur 4.3) is de topwaterstand in het model 10 cm lager dan de gemeten topwaterstand, maar ook hier vlakt het hoogwater trager uit en zijn de waterstanden van het model na de piek hoger dan de metingen.

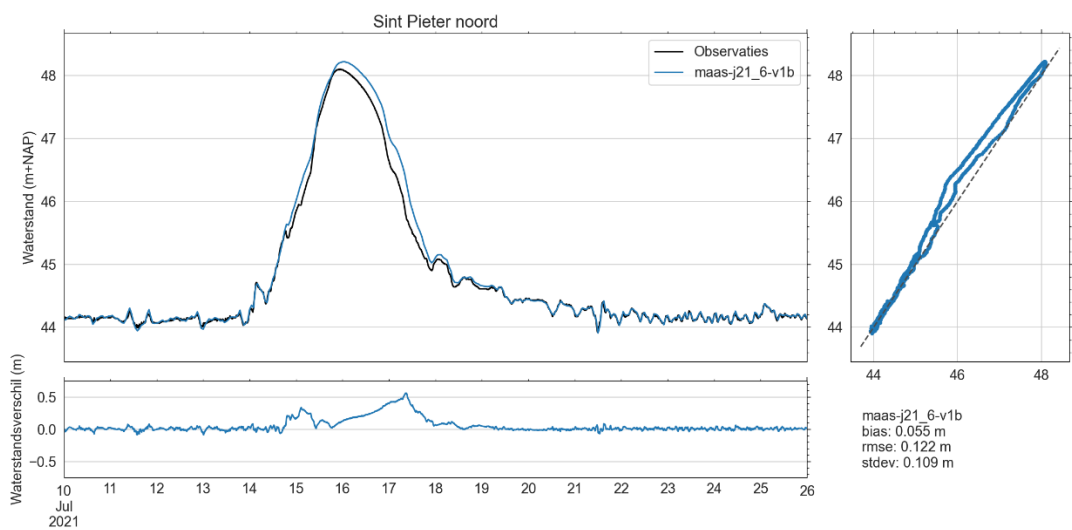
Op het bovenste deel van de Grensmaas zijn bij Uikhoven en Elsloo de waterstanden volgens het model gemiddeld 18 en 15 cm lager en wordt de waterstand door het model tijdens de gemeten topwaterstand met 29 en 50 cm onderschat. Na Elsloo neemt de onderschatting tijdens de topwaterstand af en vanaf Ophoven de Spaanjerd wordt de waterstand tijdens de passage van de piek juist overschat door het model, waarbij de overschatting maximaal 6 en 10 cm bedraagt voor Ophoven de Spaanjerd en Stevensweert.

Tabel 4.1 De bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de topwaterstand (dmax) tussen de waterstanden berekend met het maas-j21_6-v1b-model en de metingen van alle vaste meetstations en beschikbare divers (ZB5a, ZB9a, ZB17a). Dikgedrukte locaties zijn de LMW-meetlocaties gebruikt voor de kalibratie en validatie van het Maasmodel.

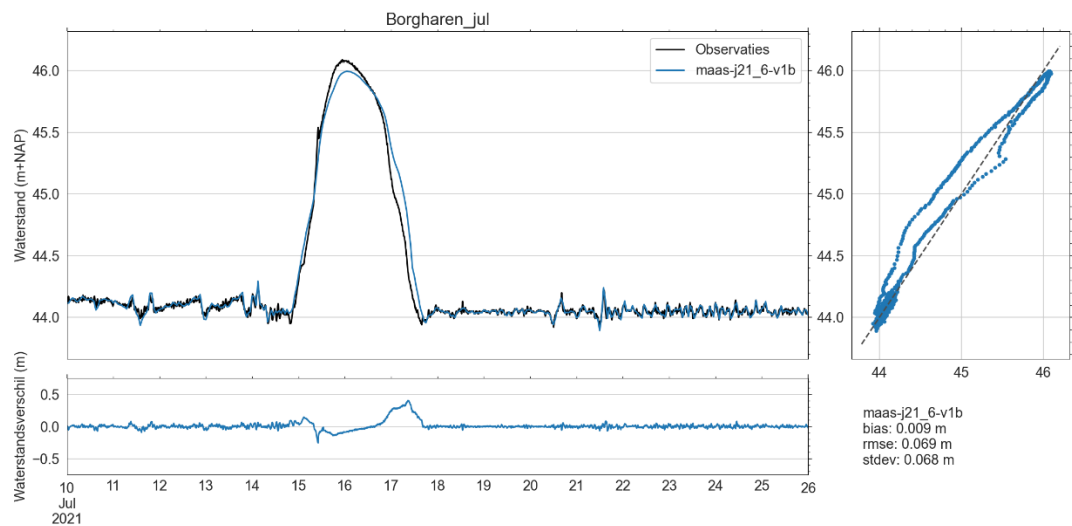
	maas-j21_6-v1b			
	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden grens	0.019	0.135	0.133	0.207
Sint Pieter noord	0.055	0.122	0.109	0.118
Borgharen_jul	0.009	0.069	0.068	-0.095
Borgharen dorp	0.026	0.204	0.203	0.028
Lanaken-Smeermaas rkm 18.4	0.074	0.166	0.149	0.050
Uikhoven rkm 25.3	-0.146	0.203	0.141	-0.288
Elsloo	-0.184	0.233	0.143	-0.493
ZB5a	-0.129	0.208	0.164	-0.296
ZB9a	-0.090	0.216	0.196	-0.213
ZB17a	0.301	0.426	0.303	-0.053
Eisden-Mazenhoven rkm 34.7	0.148	0.250	0.201	-0.014
Meeswijk Veer rkm 39.0	-0.140	0.183	0.117	-0.263
Negenoord-West	1.150	2.187	1.860	-0.195
Negenoord rkm 42.5	-0.086	0.150	0.123	-0.240
Rotem rkm 44.9	0.081	0.143	0.118	-0.203
Rotem Bichterweerd	-0.299	0.536	0.445	-0.240
Maaseik_HIC	0.054	0.167	0.159	-0.098
Maaseik Herenlaak	-0.043	1.025	1.024	0.590
Ophoven De Spaanjerd	0.024	0.066	0.062	0.057
Stevensweert	0.021	0.065	0.062	0.104
Heel boven	0.039	0.100	0.093	0.152
Heel ben	-0.037	0.139	0.134	-0.073
Linne ben	-0.010	0.071	0.070	-0.088
Roermond boven	-0.026	0.081	0.076	-0.109
Buggenum	-0.022	0.132	0.130	-0.093
Neer	-0.040	0.130	0.124	-0.067
Belfeld bov	-0.078	0.172	0.153	-0.066
Belfeld ben	-0.004	0.186	0.186	0.184
Venlo	-0.005	0.167	0.167	0.125
Well dorp	-0.094	0.191	0.166	-0.228
Sambeek bov	-0.096	0.196	0.171	-0.225
Sambeek ben	-0.090	0.227	0.208	-0.061
Gennep	-0.059	0.190	0.181	-0.008
Mook	-0.011	0.124	0.123	0.141
Grave bov	-0.044	0.109	0.100	-0.030
Grave ben	-0.052	0.235	0.229	0.093
Megen dorp	-0.041	0.172	0.168	0.159
Lith bov	0.008	0.108	0.108	0.189
Lith dorp	-0.088	0.297	0.284	0.084
Empel Beneden	-0.090	0.272	0.257	0.164
Heesbeen	-0.049	0.158	0.151	0.037
Keizersveer	0.001	0.007	0.007	0.002
Bunde	-0.058	0.085	0.063	-0.025
Bias alle stations	-0.002	0.240	0.212	-0.030
Bias alle LMW-stations	-0.035	0.169	0.152	-0.032
RMS alle stations	0.200	0.415	0.364	0.188
RMS alle LMW-stations	0.088	0.190	0.169	0.166



Figuur 4.1 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Eijsden grens



Figuur 4.2 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Sint Pieter noord

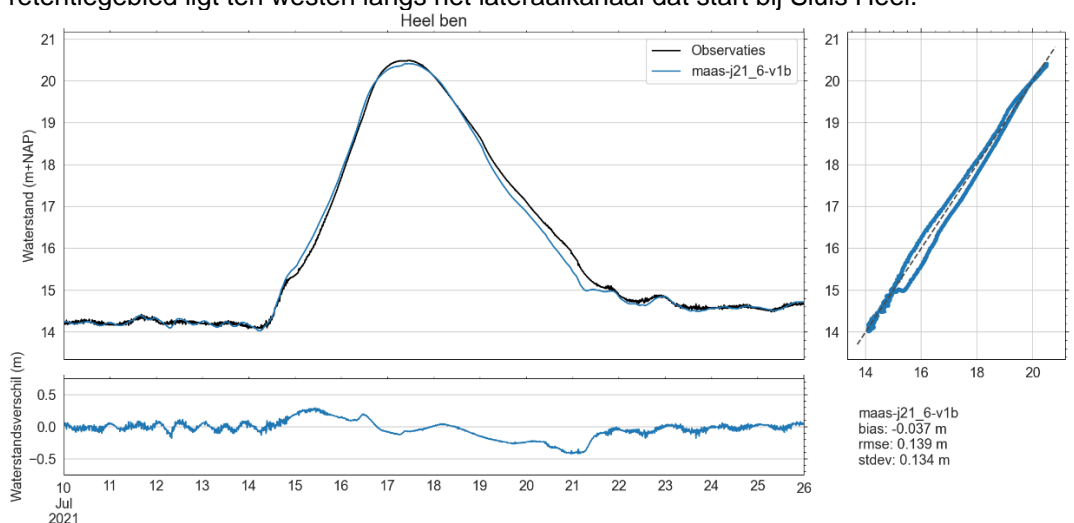


Figuur 4.3 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Borgharen Julianakanaal

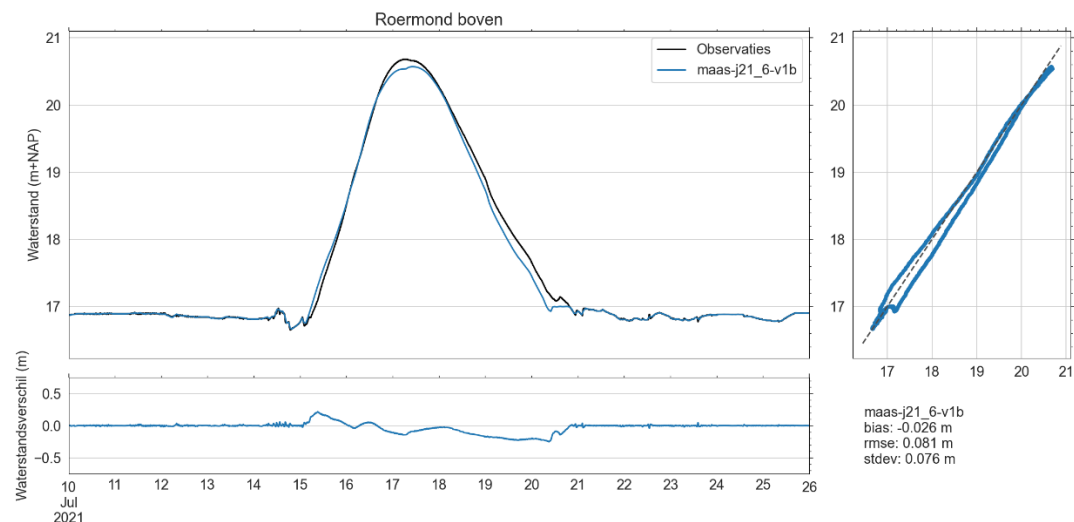
4.1.2 Plassenmaas

Bij Sluis Heel vinden in het model instabiliteiten plaats op het moment dat de piek passeert. Dit is in Figuur 4.4 goed zichtbaar in het verloop van de waterstand bij Heel Beneden. De waterstand wordt door het model tijdens de stijgende fase van het hoogwater bij de locaties Heel Boven en Heel Beneden met 20 tot 40 cm overschat. Tijdens de gemeten piek is de overschatting respectievelijk 15 cm voor Heel Boven en is er een onderschatting van 7 cm voor Heel Beneden. Dit betekent dat het model voor de compleet gestreken stuw een groter verval over de stuw toont dan in werkelijkheid het geval is. Wel is er bij Heel Beneden een nog grotere onderschatting van 40 cm zichtbaar in de dalende fase van het hoogwater. De topwaterstand bij Linne Beneden wordt zowel tijdens de stijgende als de dalende fase door het model onderschat. Dit impliceert dat er in het model meer water door het Lateraalkanaal is gestroomd dan in werkelijkheid het geval was.

In Figuur 4.4 is ook zichtbaar dat vlak voor de passage van de piek de waterstanden in het model afvlakken. Dit is nog beter zichtbaar in het verloop van de waterstand bij de locaties Heel Boven, Linne Beneden en Roermond Boven (zie Figuur 4.5). Deze topverflakking wordt veroorzaakt door de instroom van het retentiegebied Lateraal Kanaal West (LKW). Het LKW retentiegebied ligt ten westen langs het lateraalkanaal dat start bij Sluis Heel.



Figuur 4.4 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Heel Beneden



Figuur 4.5 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Roermond Boven

4.1.3 Peelhorstmaas en Venloslenk

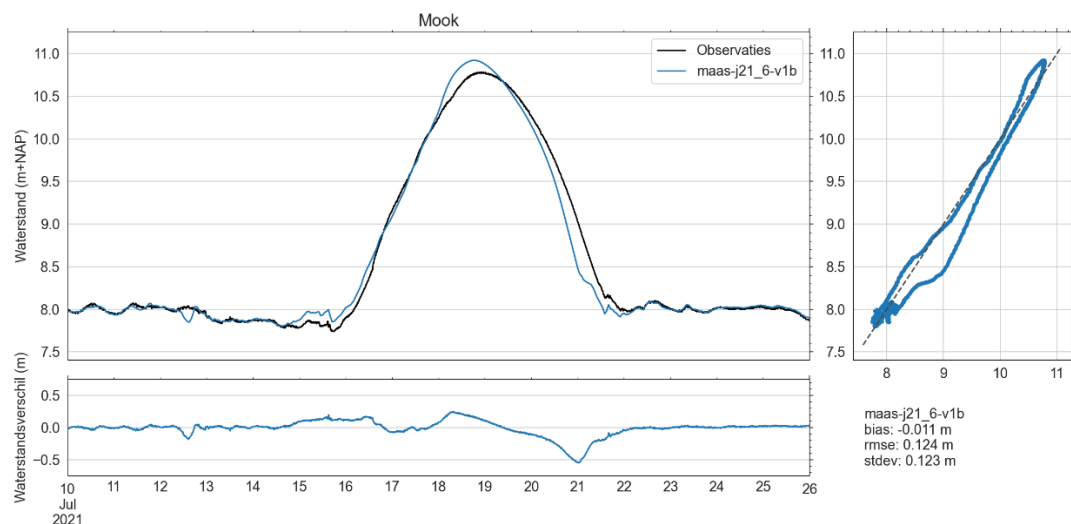
De gemodelleerde topwaterstand bij Buggenum is 9 cm lager dan de metingen, maar ook hier is zichtbaar dat de hoogwatergolf trager daalt in het model. In het overige deel van de Peelhorstmaas en Venloslenk zijn de modelwaterstanden gemiddeld lager dan de metingen, maar toch vallen in het model de topwaterstanden voor de locaties Belfeld Beneden en Venlo 12 tot 18 cm hoger uit. Wat vooral opvalt is dat de topwaterstand bij Belfeld Boven slechts 6 cm lager is dan de metingen, maar dat de waterstand 18 cm hoger is bij Belfeld Beneden. Het verval over stuw Belfeld is dus veel lager in het model dan in de metingen.

Bij Well dorp en Sambeek Boven worden de waterstanden gedurende de complete hoogwatergolf door het model onderschat, met tijdens de gemeten piek een onderschatting van ongeveer 22 cm, maar na stuw Sambeek vinden in de stijgende fase en tijdens de gemeten piek weer overschattingen van de waterstand plaats. De topwaterstand wordt vanaf Sambeek Beneden in het model eerder bereikt dan in de metingen en het hoogwater daalt ook sneller, waardoor de waterstand in de dalende fase wordt onderschat door het model. Tijdens het hoogwater van 2021 zijn er echter onbedoeld drie van de dertien onderschotten van het Poiree-gedeelte van de stuw blijven staan. In het model wordt de stuw wel helemaal gestreken (de schotten zijn niet apart gemodelleerd). Dit kan een verklaring zijn voor de grotere opstuwing boven de stuw en het grotere verval over de stuw dat in de metingen zichtbaar is.

4.1.4 Benedenmaas en Getijdenmaas

Benedenstrooms van Gennep overschat het model de waterstand tijdens de gemeten piek. De timing van het opkomende water is heel erg goed, maar tijdens het hoogwater ontstaat er een timingsverschil. De topwaterstanden worden te hoog en de vorm van de piek gaat vooral tijdens de dalende fase van het hoogwater afwijken. Deze fase is te steil in het model.

Bij Mook is de aansluiting op het Maaswaalkanaal. Er wordt bij stuw Grave gestuurd om de waterstand bij Mook constant te houden. Het stuwbeheer bij Grave resulteert voor aanvang van het hoogwater in een daling van de waterstand bij Mook. Deze daling is kleiner in het model dan in de metingen. Hierdoor overschat het model de waterstanden met 10 cm bij aanvang van de piek. De overschatting is echter maximaal 30 cm vlak voor de gemeten piek. Omdat de passage van de piek eerder plaatsvindt in het model dan in de metingen betreft de overschatting 14 cm tijdens de gemeten piek en is er een onderschatting van 50 cm tijdens de dalende fase (zie Figuur 4.6).

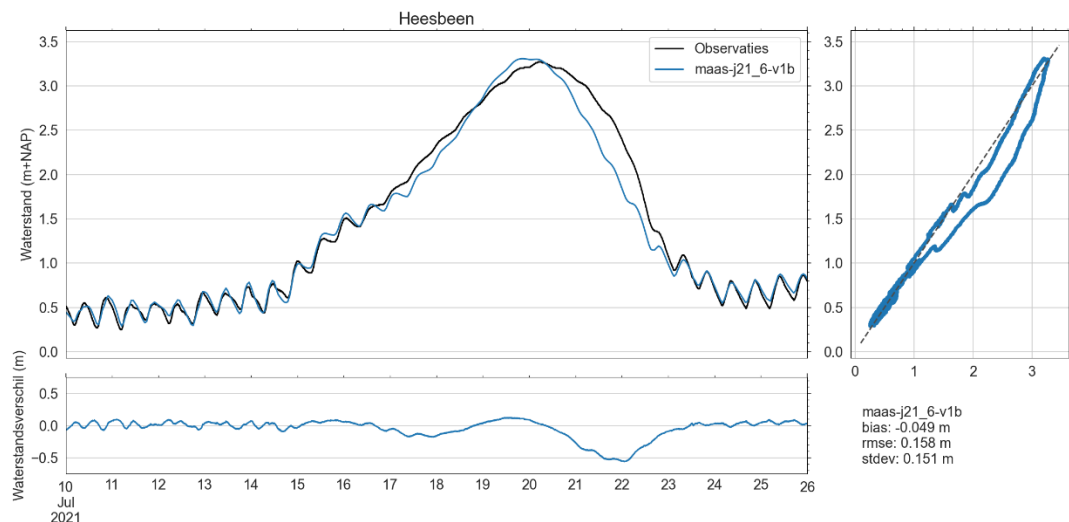


Figuur 4.6 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Mook

Bij Grave Boven onderschat het model de waterstand in de uren rondom de passage van de piek. Deze onderschatting is ongeveer 3 cm bovenstrooms van de stuw. Tegelijkertijd overschat het model de topwaterstand met ongeveer 9 cm aan de benedenstroomse zijde. Het verval over stuw Grave (Grave Boven – Grave Beneden) is in het model dus lager dan het gemeten verval. Dit kan komen doordat de steunpalen van de stuw tijdens het hoogwater wel zijn geheven, maar niet opgehesen onder de brug waardoor de werkelijke weerstand van de stuw hoger was dan in het model is opgenomen.

Bij stuw Lith is het verval over de stuw juist groter in het model dan in de metingen. Het model overschat de waterstand in de uren rondom de passage van de piek. Deze overschatting is ongeveer 19 cm bovenstrooms van de stuw (Lith Boven) en 8 cm aan de benedenstroomse zijde (Lith dorp).

Bij de locaties Empel Beneden en Heesbeen (zie Figuur 4.7) is zichtbaar dat de top van het hoogwater eerder wordt bereikt in het model en bovendien ook ongeveer 10 cm hoger ligt dan de metingen. Op het traject Heesbeen-Keizersveer is bij de modelbouw en kalibratie van het Maasmodel gekozen om geen gebruik te maken van de kalibratiefactoren die zijn afgeleid op basis van het hoogwater 1995, maar van de hogere ruwheid van het bovenstrooms gelegen kalibratietraject (De Jong, 2021). De lagere topwaterstand in de metingen zou dus deels kunnen komen doordat de rivierduinen tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn afgevlakt en de werkelijke ruwheid lager is dan nu in het model is aangenomen, maar dit is onwaarschijnlijk aangezien er bovenstrooms van dit traject zelfs nog grotere overschattingen van de topwaterstanden plaatsvinden.



Figuur 4.7 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen maas-j21_6-v1b en de metingen van de meetlocatie Heesbeen

Over de hele Plassenmaas, Peelhorstmaas, Venloslenk, Benedenmaas en Getijdenmaas wordt de topwaterstand in het model steeds eerder bereikt dan dat daadwerkelijk het geval was. Daarnaast is ook zichtbaar dat de dalende fase van het hoogwater in het model over het algemeen sneller verloopt dan in de metingen. De piek van het hoogwater is hierdoor in het model vaak smaller en puntiger dan de gemeten piek.

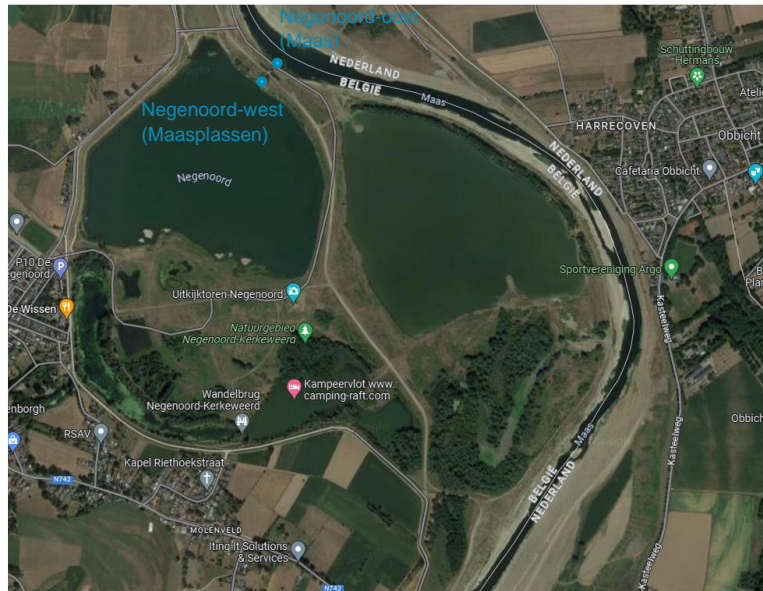
4.1.5 Plassen

In Tabel 4.1 is zichtbaar dat er een aantal locaties zijn waar de afwijking veel groter is dan de gemiddelde bias (-2 mm) en standaarddeviatie (212 mm), namelijk bij Negenoord-West, Rotem Bichterweerd en Maaseik Herenlaak. Dit betreffen echter allen meetlocaties die niet zijn gebruikt bij de kalibratie, namelijk omdat ze niet in het zomerbed liggen, maar in (niet-)aangetakte plassen. De in- en uitstroom van deze plassen voor en na het hoogwater is door het ontbreken van duikers en de exacte initiële waterstand niet goed door het model te reproduceren. Daarnaast leiden de kleine verschillen in waterstanden in het zomerbed tussen het model en metingen ook tot een verschil in het moment dat de instroom van de plassen start. Overigens heeft dit weer effect op de topvervlakking en dus de topwaterstanden benedenstrooms van de plassen.

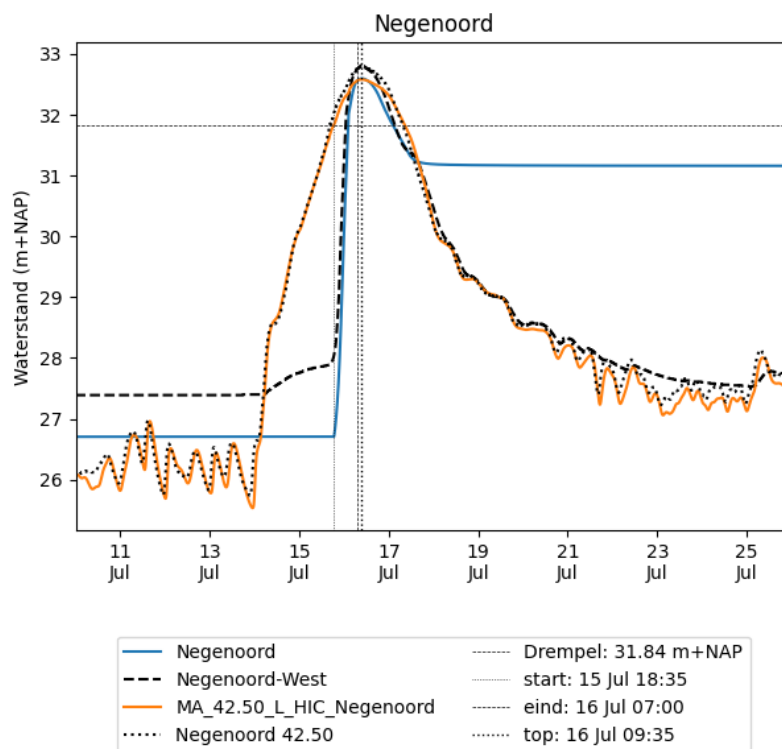
4.1.5.1 Negenoord-West

Voor de meetpunten Negenoord-West (gelegen in de Maasplas, zie Figuur 4.8) en Negenoord-Oost (gelegen in de Maas bij rkm. 42,5, zie Figuur 4.8) zijn in Figuur 4.9 zowel de gemeten (onderbroken lijnen) als de gemodelleerde waterstanden in de plas (blauw) en in het zomerbed (oranje) weergegeven. In het figuur is ook het moment van instroom aangegeven, dit is het moment waarop de waterstand in de plas volgens het model start met stijgen. De op dat moment geldende waterstand in het zomerbed wordt in het figuur aangegeven als de drempelhoogte. Het moment dat in het model het verschil in waterstand tussen het zomerbed en de plas het kleinst is, wordt gezien als het moment dat het retentiegebied vol is.

In Figuur 4.9 is zichtbaar dat de waterstand op de rivier (stippellijn) bij Negenoord-Oost tijdens de afvoerpiek goed door het model wordt gereproduceerd (oranje lijn). De opgegeven initiële waterstand in de plas is in het model echter lager dan de metingen. Ook is er vooraf aan de instroom van de plas in de metingen al een toename in de waterstand zichtbaar, welke ontbreekt in de modelresultaten. Het moment van instroom over de drempel komt wel overeen, want zowel de metingen als de modelresultaten laten op 16 juli tegelijkertijd een sterke toename in de waterstand zien. De plas van Negenoord raakt in het model vol net nadat de piek van de afvoergolf op de Maas bereikt wordt. Tijdens de piek onderschat het model zowel op de rivier als in de plas de waterstanden (zie ook d_{max} in Tabel 4.1). Verder daalt de waterstand in de plas na het hoogwater niet verder dan net boven de 31 m +NAP, terwijl de meting een daling tot 27,5 m +NAP laat zien. Deze waterstand is wel lager dan de "drempelhoogte", namelijk de waterstand op het moment van de start van instroom. Dit impliceert dat deze bepaling van de drempelhoogte niet nauwkeurig genoeg is, of dat de drempel aan een benedenstroomse zijde lager ligt waardoor de plas verder leegstroomt.



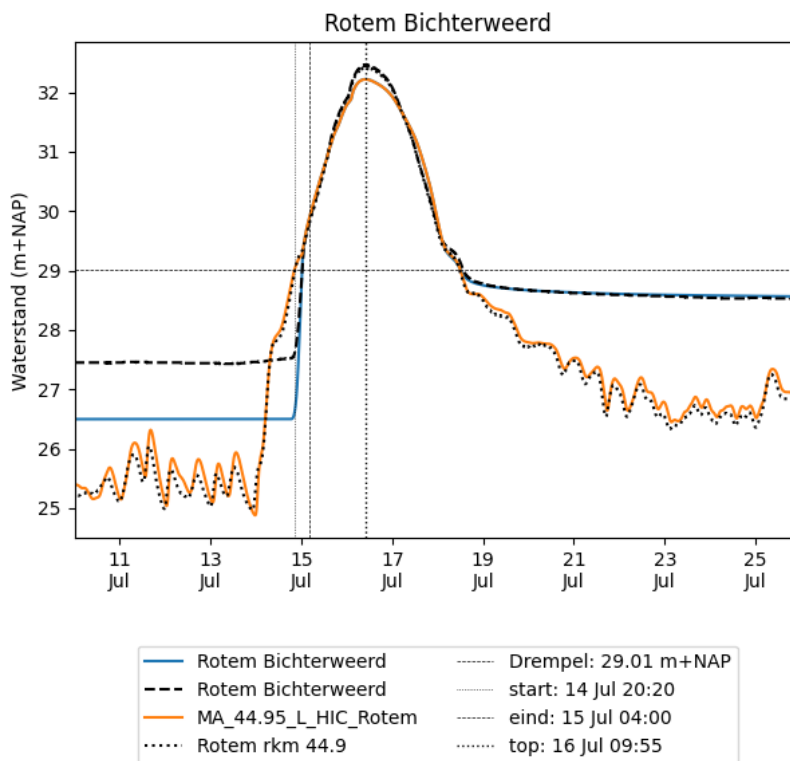
Figuur 4.8 De Maasplassen van Negenoord met de ligging van de waterstandsmeeptpunten Negenoord-oost (rkm. 42.5 op de Maas) en Negenoord-west (in de plas Negenoord)



Figuur 4.9 Waterstanden volgens het model (doorgetrokken lijnen) en de metingen (onderbroken lijnen) voor zowel het zomerbed (oranje) als in het retentiegebied Negenoord (blauw). Daarnaast zijn de drempelhoogte, het moment van instroom, het eind van de retentie en de tijd van de topwaterstand op de Maas aangegeven.

4.1.5.2 Rotem

De gemeten waterstanden op de rivier bij Rotem en in de achterliggende plas bij Rotem Bichterweerd zijn weergegeven met de onderbroken lijnen in Figuur 4.10. Voor het meetpunt Rotem Bichterweerd was geen standaard observatiepunt in het model opgenomen, maar dit is handmatig aan de uitvoerlocaties toegevoegd. In het figuur is zichtbaar dat de initiële waterstand in de plas voor het hoogwater lager is in het model dan in de metingen. Na het hoogwater stroomt de plas wel goed leeg en is het verschil in waterstand tussen het model en de metingen minimaal. Ook is in het figuur zichtbaar dat de waterstand in de plas direct na het moment van instroom zeer snel stijgt, tot dezelfde hoogte als de waterstand in de rivier. Voor de plas bij Rotem komt het moment van instroom tussen het model en de metingen goed overeen. Volgens de metingen is de waterstand in de plas op 15 juli rond 4 uur gelijk aan de waterstand op de rivier. De retentie van de plas is hiermee afgerond. Dit is ook zichtbaar in het verloop van de waterstand, die hierna zowel in de plas als op de rivieras weer sneller stijgt.



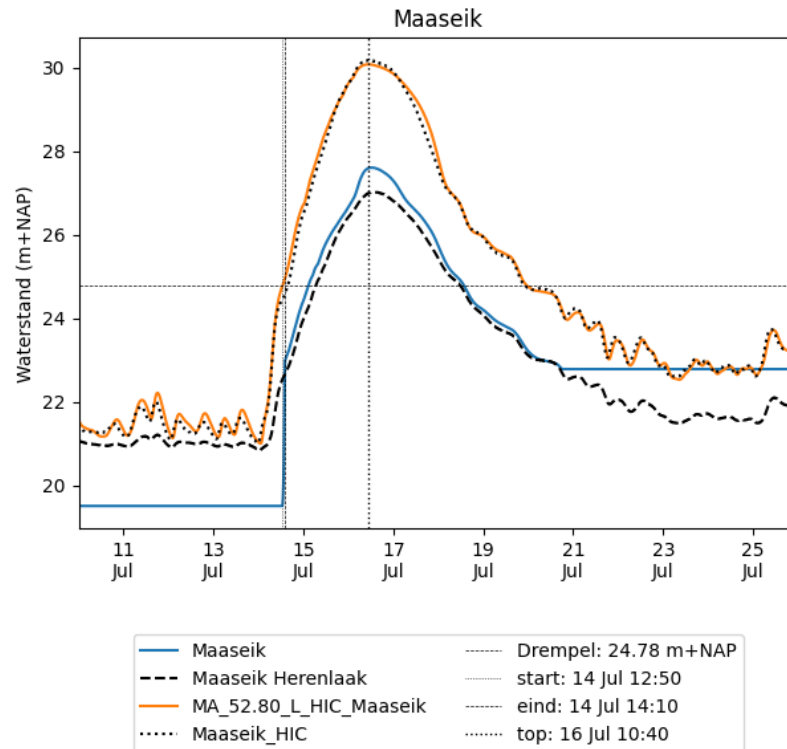
Figuur 4.10 Waterstanden volgens het model (doorgetrokken lijn) en de metingen (onderbroken lijnen) voor zowel het zomerbed (oranje) als in de Maasplassen (blauw) bij Rotem. Daarnaast zijn de drempelhoogte, het moment van instroom, het eind van de retentie en de tijd van de topwaterstand op de Maas aangegeven.

4.1.5.3 Maaseik

In Figuur 4.11 is zowel de gemeten als de gemodelleerde waterstand zichtbaar voor de meetstations Maaseik (aan de rivier rkm. 52,8) en Maaseik Herenlaak (in het midden van de Maasplassen). Ook het moment van instroom, het eind van de retentie en het moment van de topwaterstand zijn aangegeven. Het figuur toont dat het model voor Maaseik de waterstand voor het hoogwater overschat, terwijl de waterstand in de plas bij Maaseik Herenlaak sterk wordt onderschat (als gevolg van een te lage initiële waterstand).

Bij aanvang van het hoogwater stijgt de gemeten waterstand in de plas eerder en geleidelijker dan in het model het geval is. In het model is er een latere zeer abrupte stijging van de waterstand bij Maaseik Herenlaak welke start op 14 juli om 12:50.

Na 1,5 uur is volgens zowel de metingen als het model de plas vol en is de retentiewerking niet meer zichtbaar in de waterstanden bij Maaseik. Het verloop van de waterstanden vertoont vanaf dit moment een knik en er volgt een snellere stijging zowel in de plas als op de rivier. De waterstand op de plas blijft echter ruim 2 m lager dan op de rivier. De plas ligt namelijk in de binnenbocht van de rivier met een verval van 2 m tussen de bovenstroomse drempel van de plas bij rkm. 52,8 en de benedenstroomse uitstroom van de plas bij rkm. 57. In Figuur 4.11 is ook zichtbaar dat het model de topwaterstand op de rivier onderschat, maar in de plas overschat.



Figuur 4.11 Waterstanden volgens het model (doorgetrokken lijnen) en de metingen (onderbroken lijnen) voor zowel het zomerbed (oranje) als in de Maasplassen (blauw) bij Maaseik Herenlaak. Daarnaast zijn de drempelhoogte, het moment van instroom, het eind van de retentie en de tijd van de topwaterstand op de Maas aangegeven.

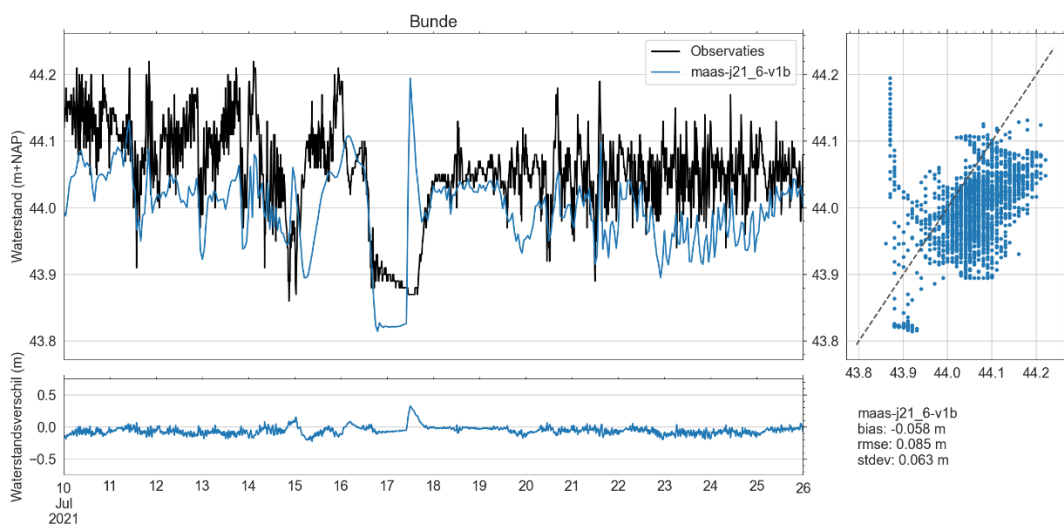
Naast de 3 genoemde plassen zijn er nog meer plassen in de Grensmaas die werken als retentiegebied. De waterstand in deze plassen is echter niet beschikbaar voor het hoogwater van juli 2021, onder andere omdat de losse divers alleen in de winter worden uitgezet (zie ook paragraaf 2.2.1.1).

4.1.6 Julianakanaal : Bunde

Voor het meetstation Bunde, dat langs het Julianakanaal ligt, zijn de waterstanden en het verschil in waterstanden tussen het model en de metingen zichtbaar in Figuur 4.12. In het figuur is zichtbaar dat de waterstand in het model gemiddeld 7 cm lager ligt dan in de metingen en dat er meer temporele variatie zichtbaar is in de metingen dan in het model. Dit komt waarschijnlijk doordat de benedenstroomse onttrekkingen van het kanaalpand voornamelijk plaatsvinden door het schutten van schepen over sluis Born, terwijl er in het model een geleidelijke onttrekking is opgegeven voor deze sluis op basis van het lopend gemiddelde over ongeveer 6 uur (370 min) van de afvoer bij Bunde.

Na de handmatige verplaatsing van de onttrekking van Sluis Born (zie paragraaf 2.2.2.5) kan de opgelegde onttrekking over de sluis daadwerkelijk plaatsvinden en is het model in staat om het verloop in de waterstand bij Bunde te reproduceren, zelfs tijdens het extra spuien en extra verlagen van de waterstand in het kanaalpand, dat plaatsvond tijdens het hoogwater om een dijkdoorbraak langs het kanaalpand te voorkomen. Wel is de resulterende waterstand consequent te laag in het model. Deze onderschatting van het model is tijdens het hoogwater zichtbaar bij de ingang van het Julianakanaal, maar tijdens de condities met lage en gemiddelde afvoer is hier een overschatting zichtbaar.

Bij hoge afvoeren (ongeveer vanaf 1700 m³/s) en een waterstand hoger dan 44,17 m +NAP voor het meetpunt Borgharen Julianakanaal is de stuw Borgharen al volledig gestreken en wordt de keersluis Limmel gesloten (Rijkswaterstaat Maaswerken, 2010). De keersluis was op woensdag 14 juli 2021 om 21:00 dicht tot deze op zondag 18 juli 2021 om 5:00 werd geopend. In het model begint de keersluis te sluiten wanneer de afvoer bij St. Pieter stijgt boven de 1800 m³/s, namelijk vanaf 14 juli om 21:55 tot hij volledig is gesloten om 23:05. De keersluis gaat in het model weer open vanaf 17 juli 10:25 en is volledig open om 11:30. Doordat de keersluis in het model iets eerder open gaat is er een korte piek en groter verschil in waterstand bij Bunde zichtbaar op 17 juli.

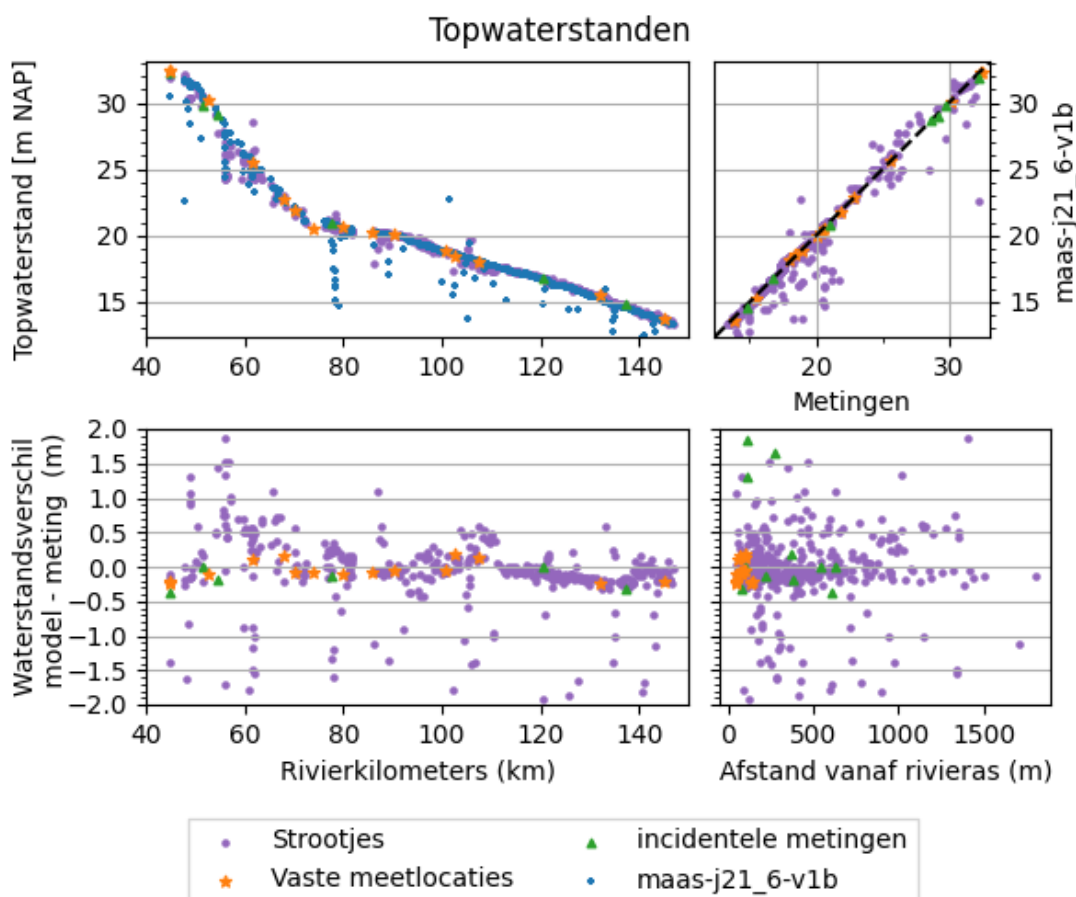


Figuur 4.12 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Bunde

4.2 Topwaterstanden en incidentele metingen

In de dagen na het passeren van de piek is de topwaterstand door het Waterschap Limburg op 418 locaties afgeleid aan de hand van strootjesmetingen, namelijk: achtergebleven markeringen op peilschalen, muren, planten, verkleuringen van gras of gewassen, ligging van zwerfhout of zwerfafval, modderlijnen, of aanduidingen van omwonenden. Daarnaast zijn door het waterschap Limburg en RWS-ZN nog diverse incidentele metingen met betrekking tot het hoogwater verzameld, namelijk de notities van topwaterstanden, enkele losse divers en de van peilschalen afgelezen waterstanden.

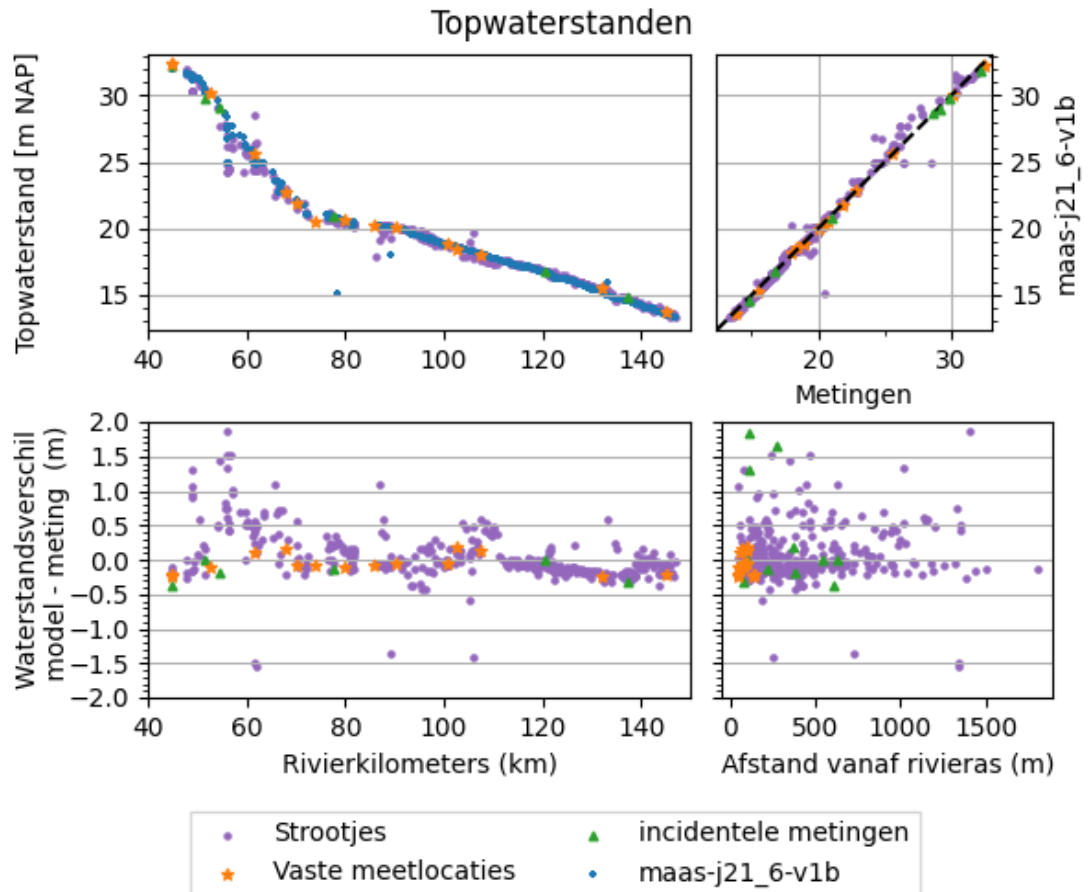
In Figuur 4.13 zijn zowel de absolute topwaterstanden als het verschil tussen de waterstanden van de strootjesmetingen (lila), de incidentele metingen (groen), die van de LMW-meetlocaties (oranje) en het model (blauw) weergegeven. De nauwkeurigheid van strootjesmetingen en incidentele metingen is minder goed dan de nauwkeurigheid van druksensoren en overige automatische meetinstrumenten die de waterstanden meten. Figuur 4.13 toont dat het verschil in de maximale waterstand tussen het model en de strootjesmetingen varieert tussen -2 en 2 m, terwijl de overeenkomst tussen de topwaterstanden van het model en de LMW-meetlocaties veel beter is met slechts verschillen tussen de -0,5 en 0,5 m (zie paragraaf 4.1, en de oranje sterren in Figuur 4.13).



Figuur 4.13 Zowel de absolute topwaterstanden (boven) zoals bepaald door het model (blauw), gemeten op de LMW-meetlocaties (oranje), volgens incidentele metingen (groen) en zoals afgeleid van de strootjesmetingen (lila), als het verschil (model-meting) tussen de topwaterstanden (onder) getoond langs de rivieras en voor de afstand vanaf de rivieras.

De grootste negatieve verschillen van -0,5 tot -2 m tussen de modelresultaten en de strootjesmetingen worden over het algemeen veroorzaakt doordat deze locaties in het model (net) niet zijn geïnundeerd.

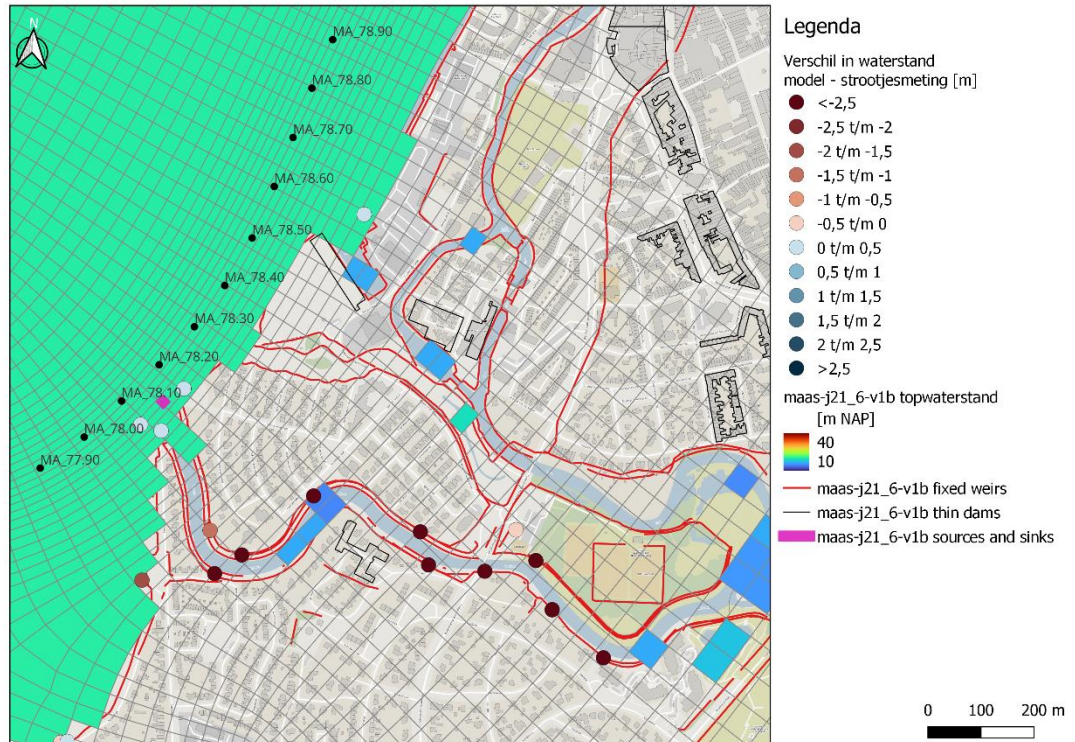
Op deze locaties wordt dan de gemiddelde bodemhoogte van de roostercel aangenomen als topwaterstand en deze gemiddelde bodemhoogte kan vooral op locaties met een steil reliëf veel lager uitvallen dan de hoogte van het ingemeten stroomtje. Deze meetpunten zijn weggelaten in Figuur 4.14. Na het weglaten van deze meetpunten blijven alleen metingen 389, 324, 326, 327, 169 en 253 over met een negatief waterstandsverschil groter dan -0,5 m. De hoogte van punten 324, 326 en 327 was eerder al gecorrigeerd omdat in de opmerking bij deze punten was aangegeven dat het maaiveld is ingemeten en de waterstanden ongeveer 3,25 en 2 m hoger waren op basis van de modderlijn op een muur. Deze correctie was echter waarschijnlijk voor deze punten al in de aangeleverde dataset verwerkt, terwijl dit niet het geval is voor de metingen 358, 415, 417 en 418 die na de extra correctie wel een verschil van maximaal -0,15 tot +0,15 cm tonen in vergelijking met de modelresultaten. Dit toont aan dat deze geleverde hoogtes van punten met extra opmerkingen over hoogtes op basis van andere locaties een extra grote onnauwkeurigheid hebben dan de punten waarvan de hoogte direct met de DGPS is ingemeten.



Figuur 4.14 Zowel de absolute topwaterstanden (boven) zoals bepaald door het model (blauw), gemeten op de LMW-metlocaties (oranje), volgens incidentele metingen (groen) en zoals afgeleid van de stroomtjesmetingen (lila), als het verschil (model-meting) tussen de topwaterstanden (onder) getoond langs de rivieras en voor de afstand vanaf de rivieras voor de locaties die volgens het model zijn geïnundeerd tijdens het hoogwater.

Wanneer Figuur 4.13 en Figuur 4.14 worden vergeleken valt op dat er in het model langs de Hambeek bij rkm. 78 geen inundatie is, terwijl deze er wel is volgens de stroomtjesmetingen en de waterdiepte op de oevers van de Hambeek meer dan 1 m was tijdens het hoogwater (Asselman en van Heeringen, 2023). Dit is ook goed zichtbaar in de kaart van Figuur 4.15 waarop zowel de topwaterstand van het model als de verschillen tussen de topwaterstand in het model en de stroomtjesmetingen zijn weergegeven.

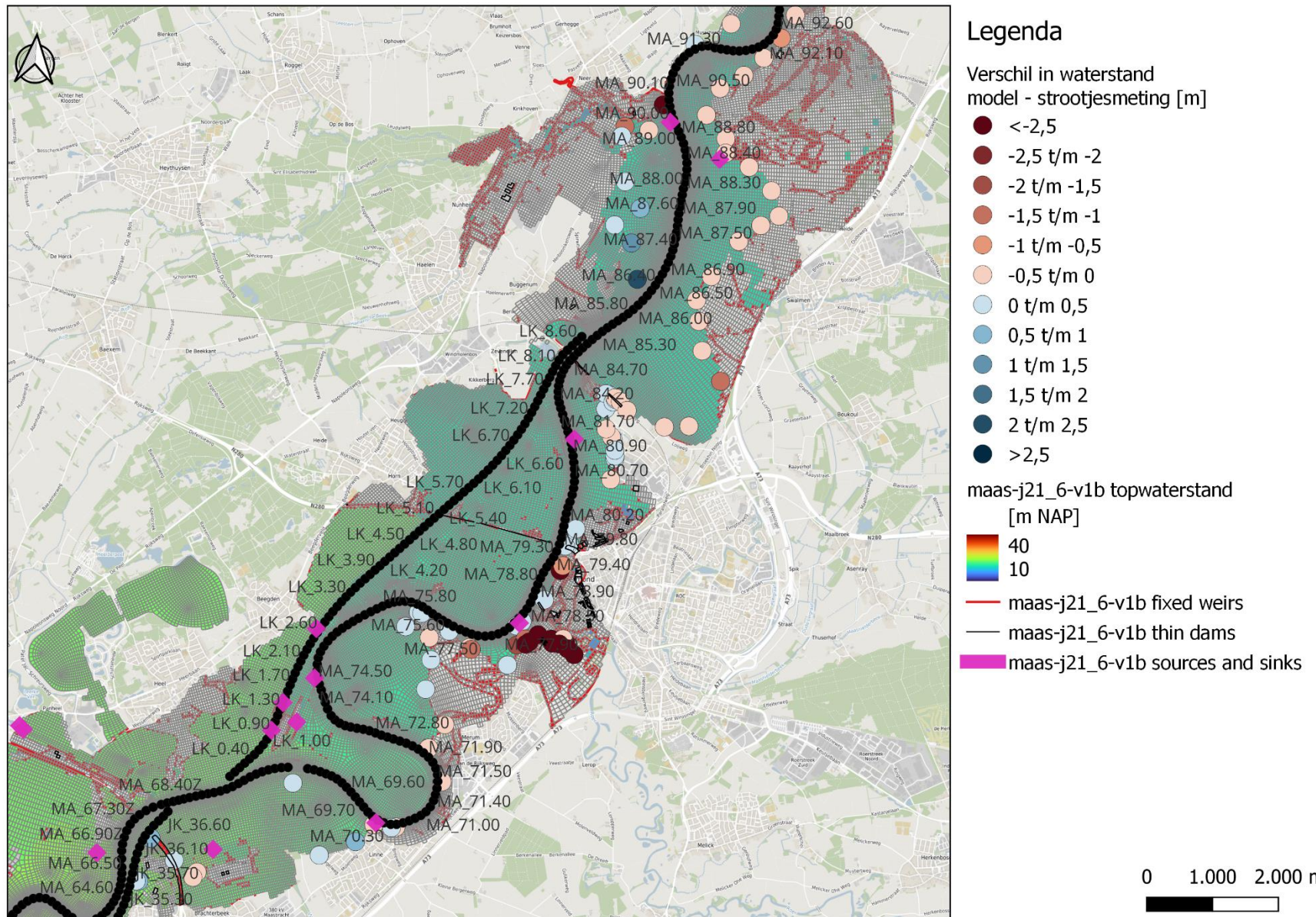
Langs de Hambeek is in het model geen stroming, omdat de bron van deze beek (zie roze vierkantje in Figuur 4.15 pas water toevoegt bij het zomerbed van de Maas, terwijl dit eigenlijk al bij de modelrand zou moeten gebeuren.



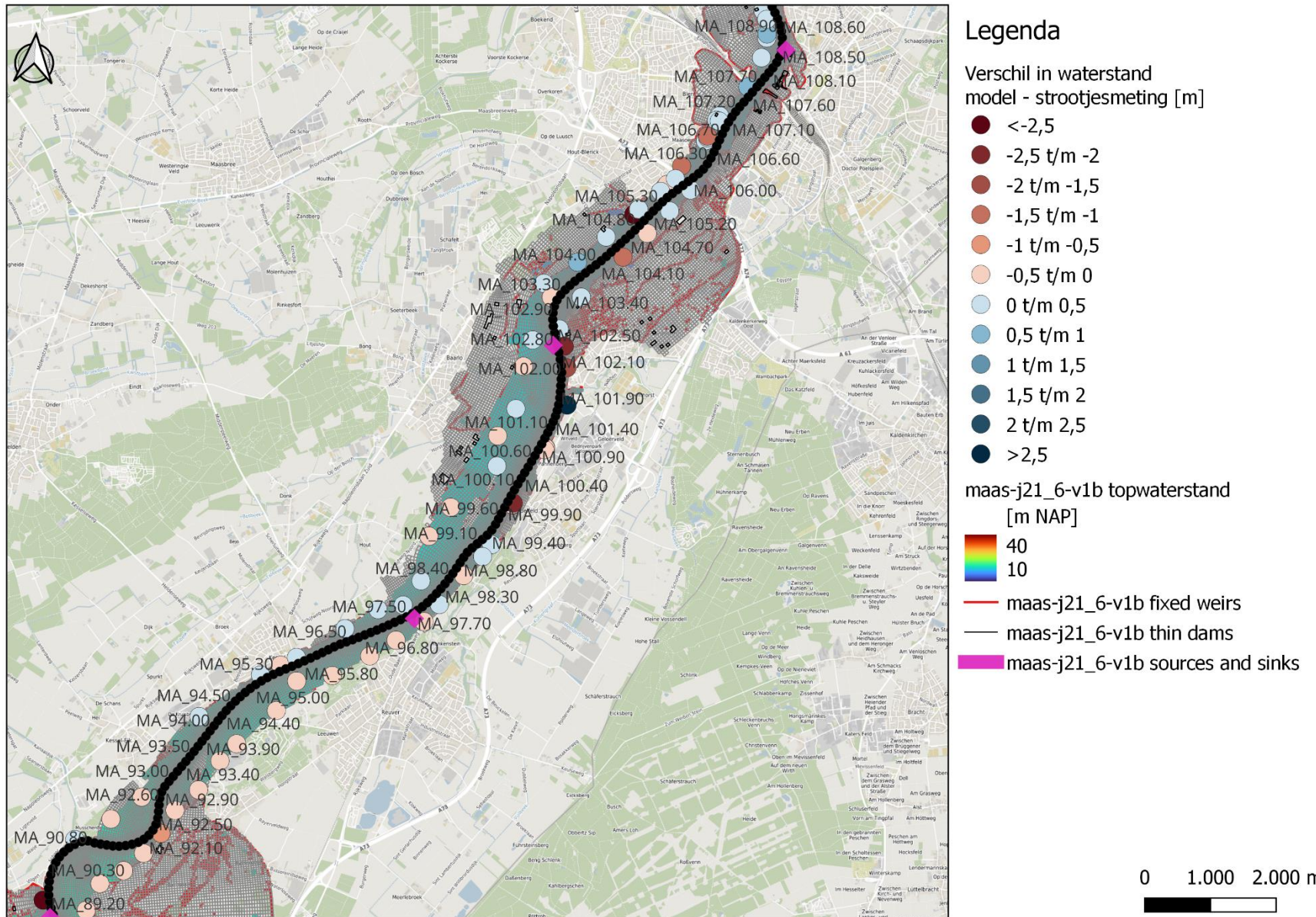
Figuur 4.15 De absolute topwaterstand en inundatie zoals bepaald door het model en het verschil in topwaterstand tussen de strootjesmetingen en het model

Al is het verschil tussen de strootjesmetingen en de modelwaterstanden voor enkele punten groot, toch is de overeenkomst tussen de strootjesmetingen en de modelresultaten over het algemeen goed. In Figuur 4.14 is ook zichtbaar dat het verschil tussen de strootjes en de modelresultaten ongeveer dezelfde variatie vertoont als het verschil tussen het model en de vaste meetpunten. De strootjesmetingen geven echter in tegenstelling tot de vaste meetpunten niet alleen de variatie in de waterstand langs de rivieras aan, maar ook de variatie dwars op de rivieras. Uit de resultaten blijkt dat de over- of onderschatting van de waterstanden ter hoogte van de LMW-meetpunten niet alleen zichtbaar is in het zomerbed, maar ook in de uiterwaarden. Daarbij is er geen significant verschil tussen locaties die dichterbij of juist verder van het zomerbed liggen.

Figuur 4.14 toont dat het model de topwaterstanden op de LMW-meetpunten onderschat over het traject van de Plassenmaas (rkm. 56-87). In de kaarten is echter zichtbaar dat het model de topwaterstanden overschat op het Maastraject parallel aan het Lateraalkanaal (rkm. 67 – 86). Figuur 4.16 toont het kaartbeeld van de topwaterstand en verschillen tussen het model en de strootjesmetingen op dit traject. Er was een betrekkelijke windstilte tijdens de piek van de hoogwatergolf, hierdoor was er nauwelijks sprake van opwaaiing en golfslag, dit kan dus niet de reden zijn geweest voor extra opstuwing en verschillen tussen de hoogte van modelresultaten en strootjeslijn. Het figuur toont ook dat er geen effect van binnen- buitenbocht zichtbaar is in de waterstandsverschillen tussen het model en de metingen.



Figuur 4.16 De absolute topwaterstand en inundatie zoals bepaald door het model en het verschil in topwaterstand tussen de strootjesmetingen en het model voor rkm. 67 t/m 88



Figuur 4.17 De absolute topwaterstand en inundatie zoals bepaald door het model en het verschil in topwaterstand tussen de strootjesmetingen en het model voor rkm. 92 t/m 107

Figuur 4.17 toont verder benedenstrooms tussen Buggenum en Belfeld (rkm. 86 – 100) een onderschatting van de topwaterstanden door het model ten opzichte van de strootjesmetingen aan de Limburgse zijde (rechts), maar een overschatting aan de Brabantse zijde (links). Tussen Venlo en Broekhuizen (rkm. 110 t/m 120) is geen patroon in het verschil tussen de modelwaterstand en strootjesmetingen zichtbaar. Verder benedenstrooms onderschat het model de waterstand aan beide zijdes van de rivier (zie appendix E.1).

4.3 LiDAR (top)waterstanden

4.3.1 Nauwkeurigheid

Tussen 16 en 19 juli 2021 zijn LiDAR-opnames gemaakt. Om de nauwkeurigheid van de LiDAR-data te identificeren wordt deze data eerst vergeleken met de waterstanden van de LMW-meetpunten en vindt vervolgens pas de vergelijking van de modelresultaten met de LiDAR-data plaats.

De vereiste maximale onzekerheid van de 10-minuten gemiddelde waterstandsmetingen voor het LMW-meetnet is 2,5 cm over het gehele meetbereik. Dat is de gezamenlijke systematische en statistische onzekerheid.

Voor “Tussenproduct versie 1” (zie paragraaf 2.2.1.5) van de LiDAR-data zijn door Visscher en Schroevers (2023) de waterstanden van de individuele LiDAR-punten gemiddeld per roostercel van het model. De statistieken met verschillen tussen de LiDAR-waterstand en de waterstand van de LMW-metingen is voor de LiDAR-blokken van “Tussenproduct versie 1” per LMW-meetpunt opgenomen in Appendix E.3. De standaarddeviatie van de metingen in de roostercellen van de LMW-meetpunten is gemiddeld 2 cm met een maximum van 6 cm bij Meeswijk-veer. Daarnaast toont de tabel dat de LiDAR-waterstand in de roostercel ter plaatse van de LMW-meetpunten gemiddeld 7 cm lager ligt dan de waterstand volgens de LMW-meting, met een variatie tussen -25 en +7 cm. Daarnaast is er ook nog een gemiddeld verschil van bijna 2 cm in waterstand op het LMW-meetpunt tussen de start- en eindtijd van de LiDAR-blokken. De opgetelde gemiddelde onzekerheid van de waterstand in de LiDAR-blokken van “Tussenproduct versie 1” komt hiermee gemiddeld op 11 cm.

Een nadeel van de LiDAR-data is dat het in veel gebieden pas na het hoogwater is opgenomen. Door Visscher en Schroevers (2023) is de “Tussenproduct versie 1” verder verwerkt naar een “Eindversie topwaterstandenkaart” door o.a. het gebruik van het waterstandsverschil tussen de topwaterstand op LMW-meetlocatie(s) en de waterstand tijdens het inmeten van de LiDAR. De statistieken per LMW-meetpunt in Appendix E.4 tonen aan dat ook na de correctie van Visscher en Schroevers (2023) de topwaterstand in de roostercel ter plekke van de LMW-meetlocaties(s) volgens de LiDAR-data nog tussen -10 en +10 cm verschilt van de topwaterstand volgens de LMW-meting in het LiDAR-blok. Dit komt vooral omdat de individuele blokken overlappen en de uiteindelijke topwaterstanden van de blokken in deze overlapgebieden nog zijn gemiddeld voor de “Eindversie topwaterstandenkaart”. Samen met het gemiddelde verschil van 2 cm dat optreedt tussen de start- en eind-waterstand op het LMW-punt, de onzekerheid door lineaire interpolaties tussen de LMW-metingen en de onzekerheid van de waterstandsbepaling per gridcel schatten Visscher en Schroevers (2023) de totale onzekerheid van de “Eindversie topwaterstandenkaart” op 25 cm.

Een extra onnauwkeurigheid ontstaat ook doordat zowel “Tussenproduct versie 1”, als de “Eindversie topwaterstandenkaart” door Visscher en Schroevers (2023) zijn gemaakt door de LiDAR-data te middelen en verwerken op het rooster van het vijfde-generatie WAQUA model, waardoor het noodzakelijk was om de LiDAR-resultaten te herprojecteren op het huidige modelrooster.

Appendix E.3 toont dat de standaarddeviatie, de absolute verschillen en daarmee ook de onzekerheid het grootste is voor de blokken met langere vliegtijden, de blokken die ver voor/of na de hoogwatertop zijn opgenomen en voor locaties op grotere afstand van de LMW-meetpunten of de rivieras.

4.3.2 Vergelijking met modelresultaten

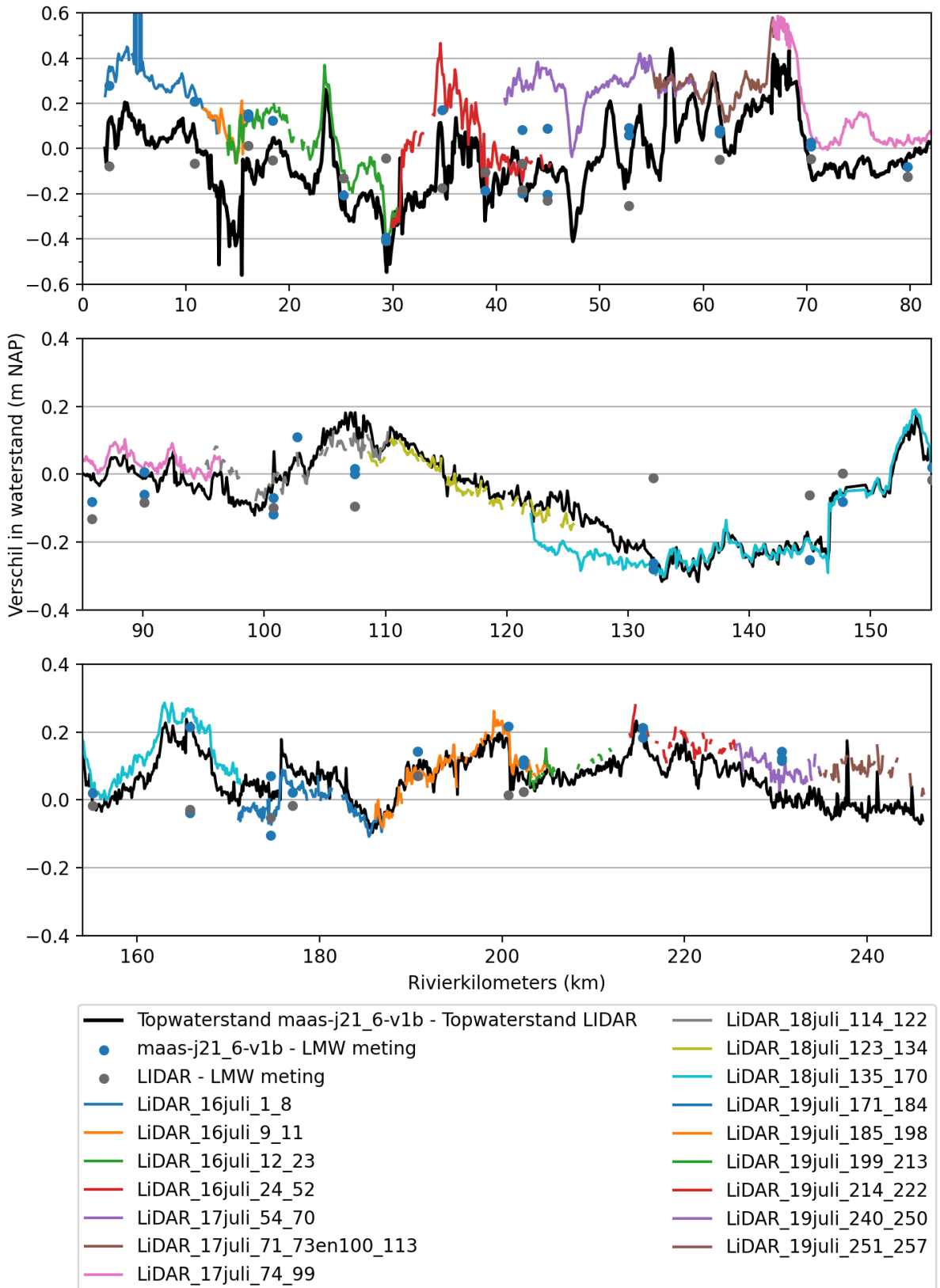
Per LiDAR-blok van “Tussenproduct versie 1” is voor de gridcellen langs de rivieras de waterstand tijdens de gemiddelde tijd van het vliegblok vergeleken met de waterstand van het model. De verschillen tussen de waterstand van het model en LiDAR zijn per blok opgenomen in Figuur 4.18. De verschillen in waterstand variëren tussen de -40 tot +60 cm met de grootste verschillen op de Bovenmaas en Grensmaas en de kleinste verschillen op de Getijdemaas. Deze verschillen kunnen deels door onbetrouwbaarheid van de LiDAR waterstanden (gemiddeld 11 cm) komen.

De topwaterstand van het model is ook vergeleken met de “Eindversie topwaterstandenkaart” op basis van de LiDAR-data en het verschil op de rivieras wordt getoond door de dikgedrukte zwarte lijn in Figuur 4.18. Wanneer er in deze paragraaf over verschillen in topwaterstand wordt gesproken dan wordt het verschil in de maximale waterstand uit het model en de topwaterstand uit “Eindversie topwaterstandenkaart” bedoeld.

Figuur 4.18 toont dat er op de rivieras een verschil is van -60 tot +50 cm tussen de topwaterstand volgens het model en de topwaterstand van “Eindversie topwaterstandenkaart”. Ook hier zijn deze verschillen deels veroorzaakt door onbetrouwbaarheid van de LiDAR topwaterstand (gemiddeld 25 cm). Er is echter zichtbaar dat over het algemeen op de rivieras de verschillen in topwaterstand tussen model en meting kleiner zijn dan de verschillen tussen de modelwaterstand op het tijdstip van de meting en de LiDAR-waterstand van “Tussenproduct versie 1”.

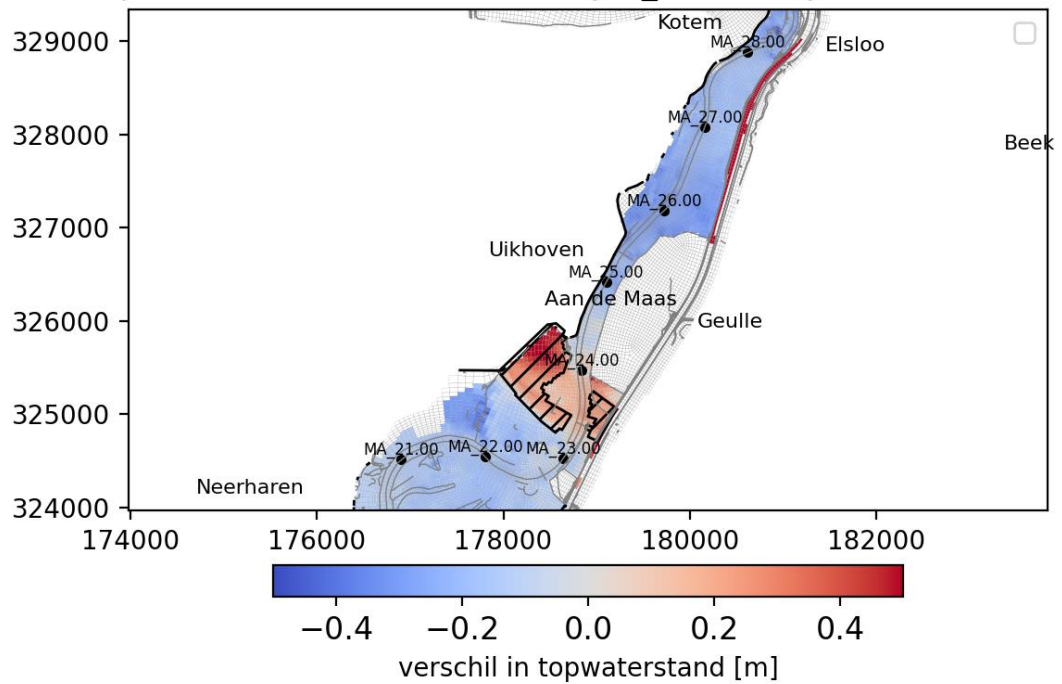
Vooraf langs de Grensmaas en Plassenmaas, waar de LiDAR 12 tot 24 uur na de hoogwaterpiek is ingevlogen zijn relatief grote verschillen zichtbaar tussen de waterstanden in het model en “Tussenproduct versie 1”. Dit komt waarschijnlijk doordat de timing net na de piek een relatief grote rol speelt voor de bepaling van het waterstandsverschil en er relatief snel grote verschillen in waterstand ontstaan voor de relatief lange LiDAR-blokken. Alleen voor het blok 16juli_9_11, langs de meest bovenstroomse kilometers van de Grensmaas, is de overschatting van de topwaterstand met 30 tot 40 cm groter dan de overschatting van 0 tot 20 cm van de origineel gemeten waterstand.

Het model toont op de Bovenmaas een overschatting van zowel de waterstand als de topwaterstand. Voor een groot deel van de Grensmaas is er juist een onderschatting van de topwaterstanden. Opvallend is de overschatting van max. 30 cm in de topwaterstand tussen rkm. 23 en 24. In Figuur 4.19 is de kaart met het verschil in topwaterstand voor dit traject weergegeven. Het gearceerde gebied op deze kaart betreft een uitzonderingsgebied zoals aangeduid door Visscher en Schroevers (2023), omdat het water in de uiterwaarden door dijkes niet goed weg kan lopen en daardoor hoger blijft staan dan de waterstand op de rivieras. Echter is ook op de rivieras zichtbaar dat de waterstand hier gemiddeld tot 30 cm hoger ligt in het model dan door de LiDAR is gemeten. Het betreft een locatie waar de Grensmaas met grote bochten door het landschap slingert en waar ook door o.a. de dijkkring rondom Geulle aan de Maas een relatief grote versmalling van het winterbed plaatsvindt. Het model overschat hier ook de waterstand van “Tussenproduct versie 1”. Dit kan komen door meer opstuwung in het model rondom deze versmalling dan in werkelijkheid.



Figuur 4.18 Het verschil tussen de topwaterstand op de rivieras (model- “Eindversie topwaterstandenkaart” in zwart); verschillen in waterstand ter plaatse van de LMW meetpunten met model-LMW meting in donkerblauw en “Tussenproduct versie 1”- LMW meting in grijs en de verschillen in waterstand tussen model en “Tussenproduct versie 1” voor elk LiDARblok.

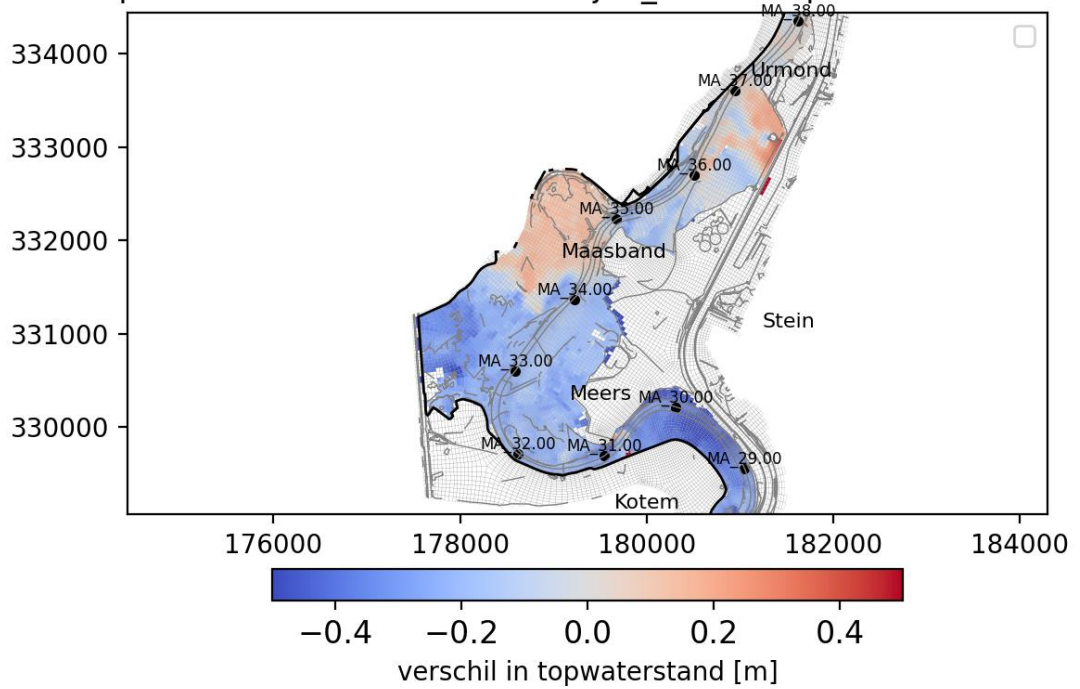
topwaterstand dflowfm2d-maas-j21_6-v1a - topwaterstand Lidar



Figuur 4.19 Verskil in topwaterstand van het model en afgeleid uit LiDAR-data ter hoogte van Geulle Aan de Maas. Het gearceerde gebied is een uitzonderingsgebied aangeduid door Visscher en Schroevers (2023), waarwater in de uiterwaarden door dijkes niet goed weg kan lopen.

Het model toont een relatief grote onderschatting tot 50 cm van de topwaterstand tussen rkm. 28 en 31 ter hoogte van Meers. In Figuur 4.20 is de kaart met het verschil in topwaterstand voor dit traject weergegeven. Dit traject is ingemeten met twee LiDAR-blokken, die elkaar overlappen en voor beide blokken toont het model een grote onderschatting van de waterstand. Deze onderschatting is met ongeveer 30 cm iets kleiner dan de onderschatting van de uiteindelijk bepaalde topwaterstand, doordat het tweede blok sterk wordt gecorrigeerd voor de overschatting van de topwaterstand bij LMW-meetpunten Eijsden-Mazenhoven en Meeswijk-Veer (zie Appendix E.4).

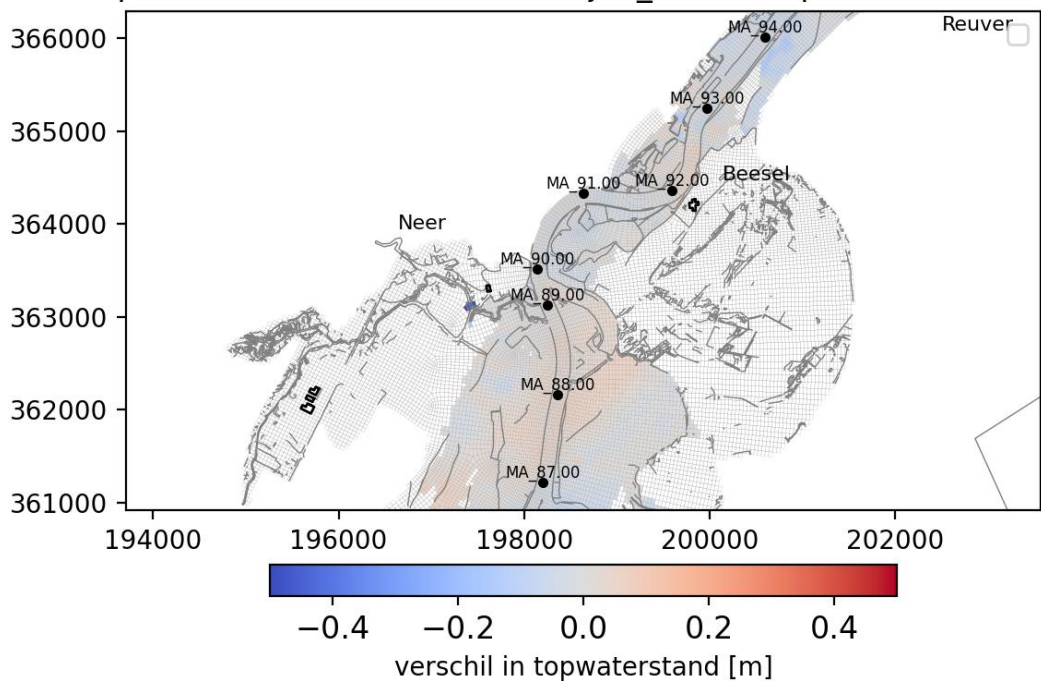
topwaterstand dflowfm2d-maas-j21_6-v1a - topwaterstand Lidar



Figuur 4.20 Verschil in topwaterstand van het model en afgeleid uit LiDAR-data ter hoogte van Meers.

De verschillen in (top)waterstand zijn relatief klein op het traject van de diep ingesneden Peelhorstmaas met de kleinste verschillen tussen de -5 en +5 cm tussen rkm. 80 en 95 (zie Figuur 4.21).

topwaterstand dflowfm2d-maas-j21_6-v1a - topwaterstand Lidar



Figuur 4.21 Het verschil in topwaterstand zoals berekend door het model en zoals afgeleid uit de LiDAR-data ter hoogte van Beesel.

Van rkm. 110 tot 150 is een relatief lang traject waarop de onderschatting van de topwaterstand steeds verder toeneemt tot stuw Sambeek. Benedenstreams van Sambeek ligt het verschil tussen de (top)waterstand van het model en de LiDAR tussen de -30 en + 23 cm en Figuur 4.18 toont dat er voor de LiDAR-data tussen rkm 120 en 130 een relatief grote correctie tussen waterstand en topwaterstand nodig was. Het traject tussen rkm. 134 en 170 is ingemeten op 18 juli tijdens een relatief lang LiDAR-blok van 5 uur en 37 minuten. De variatie in waterstand op de LMW-meetpunten is tijdens dit blok ruim 5 cm en ook binnen de roostercel van het LMW-meetpunt is er een standaarddeviatie van 2 cm rondom de gemiddelde waterstand in de LiDAR-metingen (zie Appendix E.3). De onzekerheid over dit traject is daarmee relatief groot.

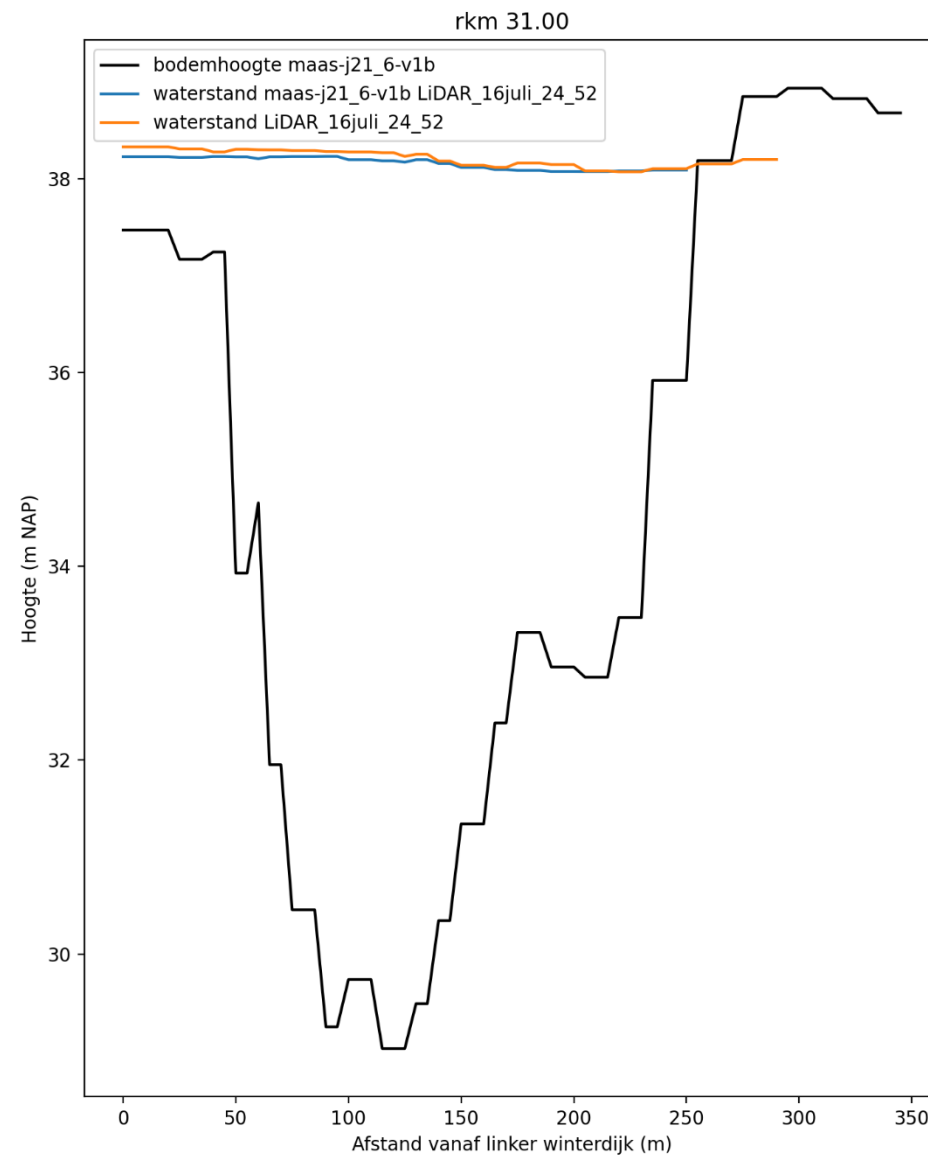
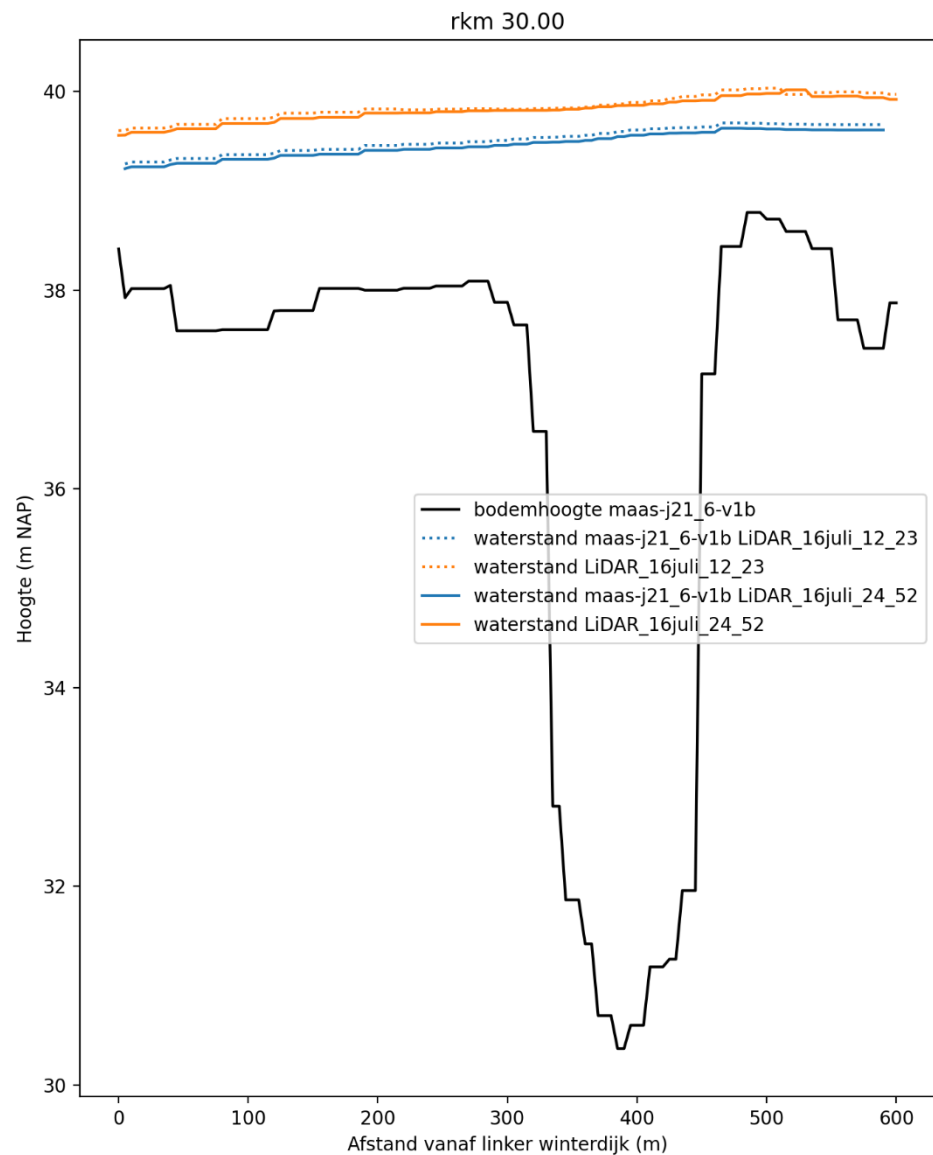
4.3.2.1 Dwarsverhang

Uit Figuur 4.18 en Figuur 4.20 blijkt dat het model de topwaterstand tussen rkm. 28 en 31 ter hoogte van Meers sterk onderschat. Dit traject heeft scherpe en krappe bochten waar grote stroomsnelheden optreden. Bij modelactualisaties zijn hier meestal ook relatief grote verschillen in waterstand zichtbaar (zie Figuur 3.2). Om deze reden is besloten om voor rkm 29 t/m 34 voor elke rivierkilometer langs een dwarsdoorsnede van linker tot rechter winterdijk (zie Figuur 2.5) de waterstand van het model en LiDAR "Tussenproduct versie 1" te vergelijken. Figuur 4.22 toont de dwarsdoorsneden voor rkm 30 en rkm 31. De figuren voor de overige dwarsdoorsneden zijn opgenomen in Appendix E.5.

In Figuur 4.22 is zichtbaar dat het model (blauwe lijnen) voor beide LiDAR blokken van 16 juli de waterstand ter hoogte van rkm. 30 en 31 onderschat. Voor rkm. 30 is zichtbaar dat de onderschatting over de gehele breedte van de rivier plaatsvindt. In al de dwarsdoorsneden zijn er lokaal iets grotere of kleinere verschillen in waterstand zichtbaar, zoals bijvoorbeeld bij de grindbank bij rkm 31 op ongeveer 180 tot 200 m vanaf de linker winterdijk. Er is weliswaar voor elke dwarsdoorsnede een offset in de waterstand tussen het model en het LiDAR blok, maar deze offset is redelijk constant over de dwarsdoorsnede. Dit betekent dat er over het algemeen langs de dwarsdoorsneden een goede overeenkomst zichtbaar is tussen het verhang van de waterstand in het model en in de LiDAR metingen, zowel in de binnenbochten als in de buitenbochten. Deze overeenkomst is ook zichtbaar in Tabel 4.2, die voor de zes dwarsdoorsneden het verhang uit zowel het model als de LiDAR metingen toont.

Tabel 4.2 Het verhang in mm/m van de linker naar rechter winterdijk voor zowel de waterstand uit het model als de twee LiDAR blokken van 16 juli

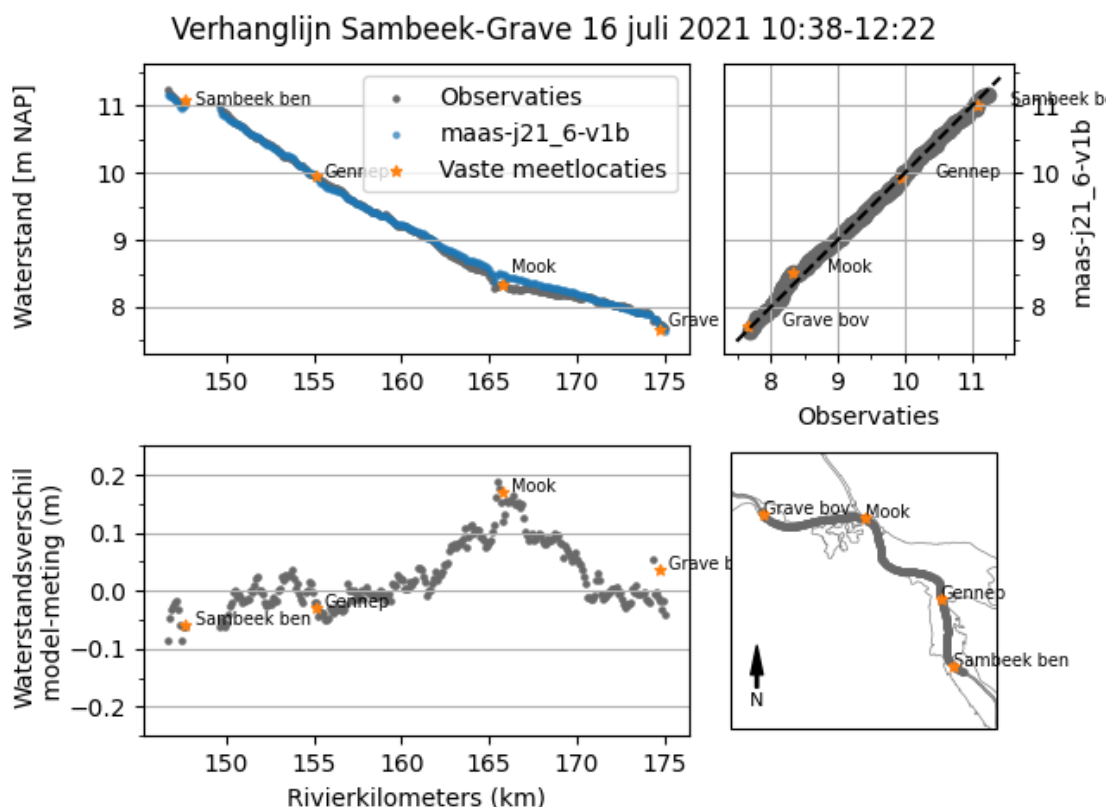
Dwarsdoorsnede	verhang in mm/m van linker naar rechter winterdijk			
	'LiDAR_16juli_12_23'		'LiDAR_16juli_24_52'	
	Maas-j21_6-v1b	LiDAR	Maas-j21_6-v1b	LiDAR
rkm. 29	0.38	0.47	0.36	
rkm. 30	0.74	0.63	0.72	0.66
rkm. 31	-0.82		-0.80	-0.83
rkm. 32	-0.23		-0.24	-0.23
rkm. 33	-0.06		-0.08	0.04
rkm. 34	-0.20		-0.18	0.26



Figuur 4.22 Dwarsdoorsnede van linker tot rechter winterdijk ter hoogte van rkm. 30 en 31 met de bodemhoogte zoals in het model (zwart), de waterstanden volgens het model (blauw) en twee LiDAR blokken (oranje) van Tussenproduct versie 1.

4.4 Verhanglijnen bepaald met varende GPS-meting

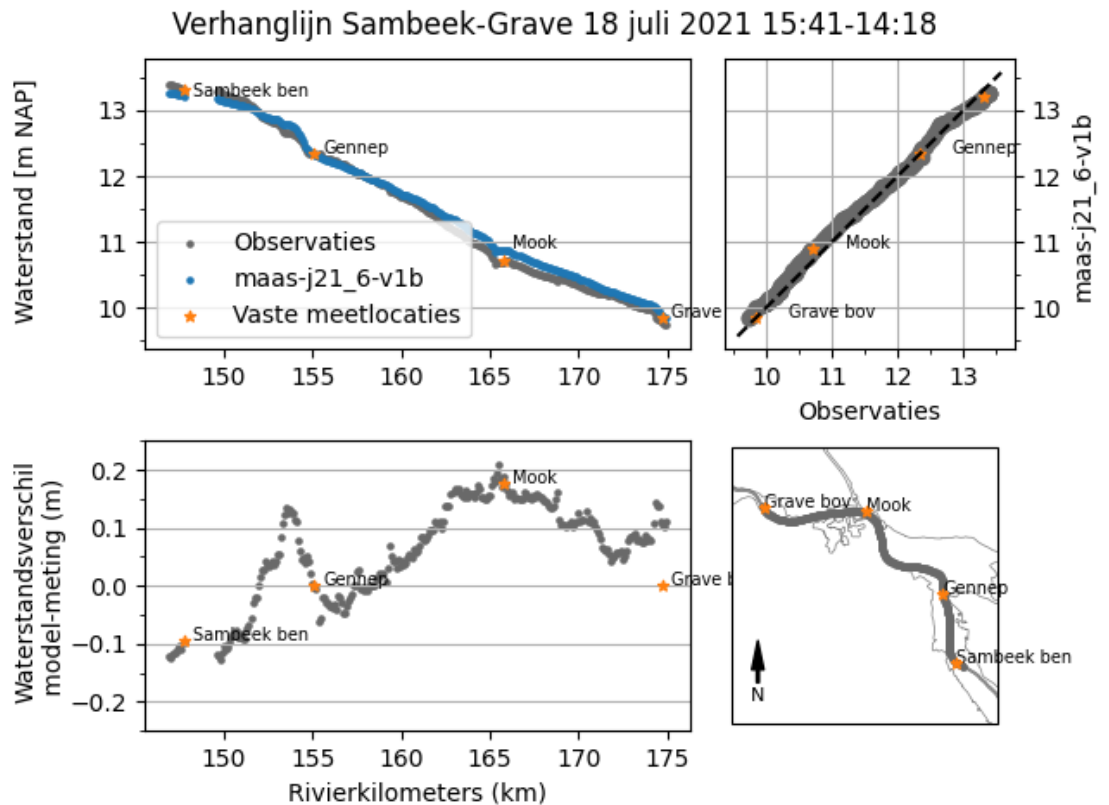
Op zowel 16 als 18 juli werd in ongeveer 2 uur van Sambeek richting Grave gevaren, waarbij vanaf de boot zowel stroomsnelheden als waterstanden zijn gemeten. De gemeten waterstanden geven bij weergave langs de rivieras de verhanglijnen over het traject weer. Figuur 4.23 en Figuur 4.24 tonen in grijs deze gemeten verhanglijnen en de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen, in oranje de waterstanden van de vaste meetpunten en in blauw de verhanglijnen volgens het model. Zowel op 16 als op 18 juli overschat het model op de meeste locaties de gemeten waterstanden. Op 16 juli (zie Figuur 4.23) loopt het verschil op van -0,1 tot 0,2 m bij rkm. 165. Na rkm. 165 neemt het verschil af. Op 18 juli (zie Figuur 4.24) zijn de absolute waterstanden hoger en is ook is de modeloverschatting groter met een maximum van $-0,13$ en $+0,21$ m bij rkm. 165. De verhanglijn met relatief grote overschatting bij Mook sluit zowel op 16 als 18 juli aan op de bevindingen in paragraaf 4.1.4 waar voor het vaste meetpunt Mook (rkm. 165.8) werd genoemd dat er een overschatting is van 10 cm bij aanvang van piek met een maximum van 30 cm vlak voor de gemeten piek en dat de passage van de piek eerder plaatsvindt in het model dan in de metingen. Er is tussen de LMW-meetlocaties geen lineair patroon zichtbaar in het verschil in de waterstanden zoals bepaald door het model en de varende GPS-meting. De lokale variatie in waterstandsverschillen tussen de meetpunten ontstaat door bochteffecten, een onnauwkeurige of niet actuele schematisatie of door een afwijking tussen het moment waarop uiterwaarden of bergingsgebieden in het model en in werkelijkheid instromen.



Figuur 4.23 Verhanglijnen op 16 juli 2021 van 10:38-12:22 voor het stuwpand Sambeek-Grave zoals gemeten vanaf de boot (grijs), op de vaste meetlocaties (oranje) en volgens het model (blauw).

Er is op 18 juli ook tussen rkm. 152 en 155, vlak voor het vaste meetpunt Genneep, een overschatting van 0,13 m zichtbaar.

Langs dit traject loopt de oude Maasarm en een brede uiterwaard, dus verschillen in waterstand op de rivieras kunnen worden veroorzaakt door een andere verdeling van water over het zomer- en winterbed. Na rkm. 157 wordt de waterstand ook overschat met een maximum ter hoogte van meetpunt Mook. Deze relatief grote overschatting van de waterstand zou kunnen komen doordat er langs dit traject relatief veel topvervlakking van vooral de spitse afvoergolven voorkomt (de Jong en Asselman, 2019) en de retentiegebieden van o.a. Ottersum-Mook (Middelaar en Mookerplas) op een ander moment zijn ingestroomd in het model, dan in werkelijkheid.

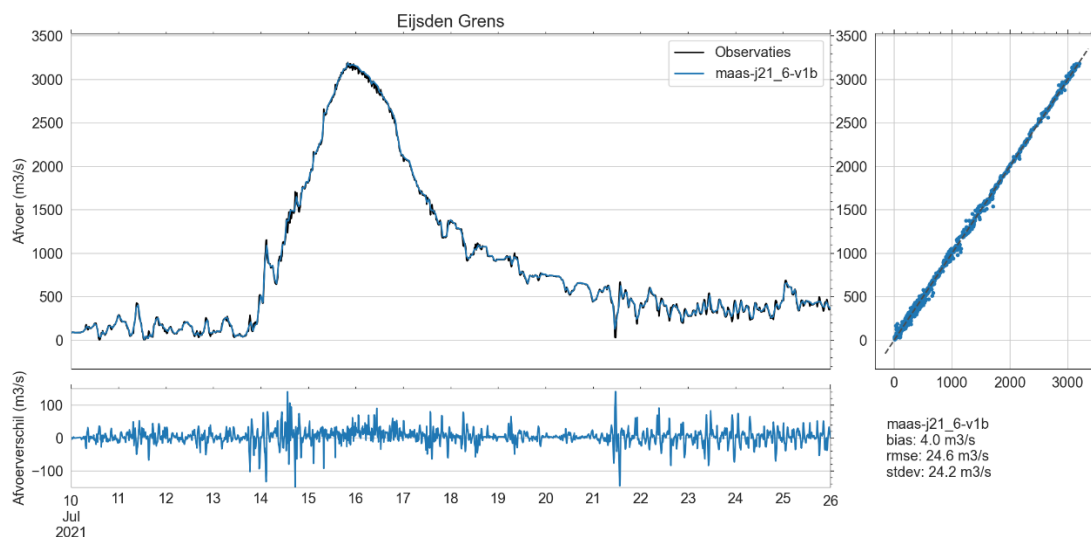


Figuur 4.24 Verhanglijnen op 18 juli 2021 van 15:41-14:18 voor het stuwpaand Sambeek-Grave zoals gemeten vanaf de boot (grijs), op de vaste meetlocaties (oranje) en volgens het model (blauw).

4.5 Afvoeren

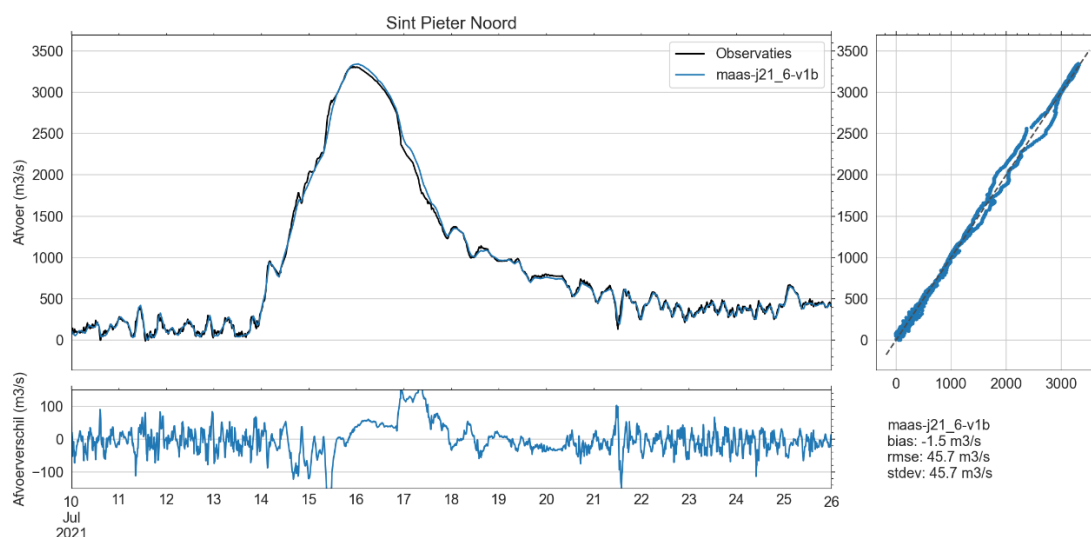
4.5.1 Meetstations

Voor de bovenrand van het model (Bij Lixhe) wordt de afvoer van LMW-meetlocatie Eijsden-grens gebruikt. Op deze meetlocatie wordt de afvoer bepaald met een QF relatie, welke via routing is gebaseerd op de met een Acoustische Debiet Meter (ADM) gemeten afvoer bij St. Pieter (van der Veen, 2021). De modelrand ligt ongeveer 500 m bovenstrooms van de LMW-meetlocatie Eijsden-grens. Hierdoor is er in Figuur 4.25 voor deze locatie weinig verschil zichtbaar tussen de gemeten afvoer (opgelegd op de bovenrand) en de afvoer volgens het model op de meetlocatieraai. De bias is $3 \text{ m}^3/\text{s}$ en slechts $2 \text{ m}^3/\text{s}$ tijdens de piekafvoer.



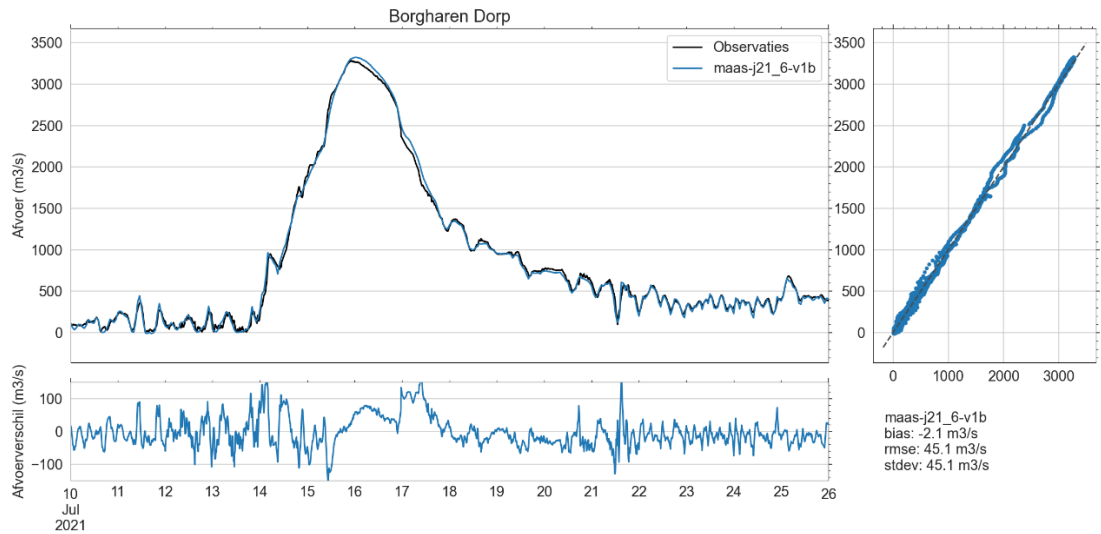
Figuur 4.25 De afvoeren (boven) en het verschil in de afvoeren (beneden) tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Eijsden Grens

De gevalideerde afvoermetingen bij St. Pieter zijn tot ongeveer 2000 m³/s gemeten met behulp van een ADM. Hiaten zijn aangevuld met een aangepaste Qh-relatie voor St. Pieter en met het ingeschatte debiet voor Sluis Ternaaien voor de periode van 14-7-2021 15:00 tot 17-7-2021 11:40 (van der Veen, 2021). Figuur 4.26 toont de afvoer voor Sint Pieter Noord volgens het model en de metingen. De afvoeren zijn hier in het model gemiddeld 4 m³/s lager dan de metingen. Tijdens het hoogwater volgt het model netjes het patroon van de gemeten afvoer. Aan het begin van het hoogwater (tijdens de stijgende fase) is de afvoer in het model iets lager dan in de metingen. Vlak voor de piek is dit verschil omgeslagen en zijn de afvoeren in het model hoger. De piekafvoer is in het model 34 m³/s hoger en de piek wordt ook later bereikt dan in de metingen. Het gevolg is dat de afvoer volgens het model ook in de eerste helft van de dalende fase van het hoogwater meer dan 100 m³/s hoger is dan volgens de metingen. Deze afwijkingen bij de meetpunten van Eijsden en St. Pieter Noord zijn allen in dezelfde marge als de correcties en onzekerheden rondom de afvoerbepaling van de twee meetpunten zoals uitgevoerd bij de validatie van de afvoerreeksen en bepaling van de topafvoer door van der Veen (2021).



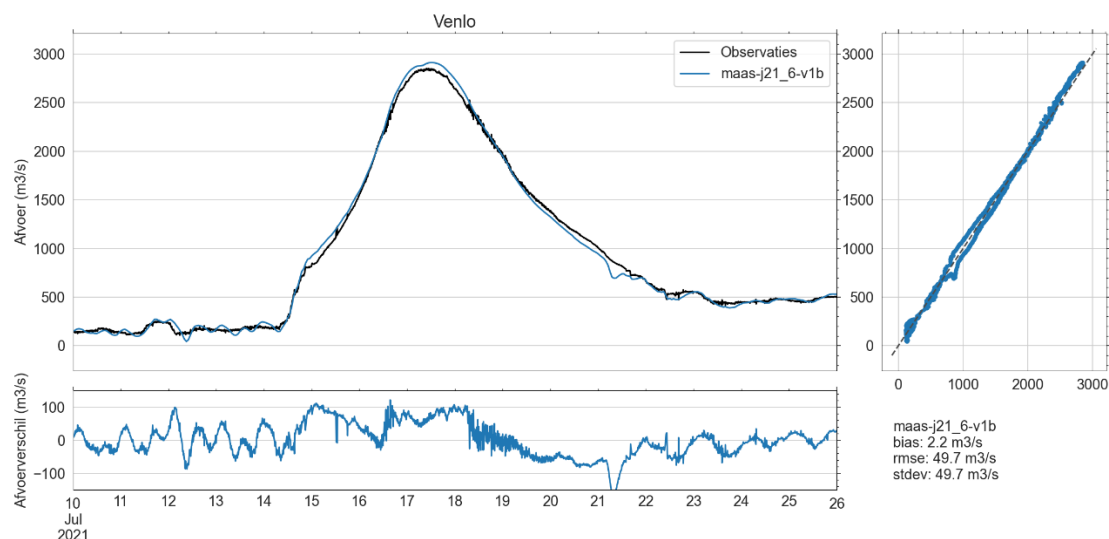
Figuur 4.26 De afvoeren (boven) en het verschil in de afvoeren (beneden) tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Sint Pieter Noord

Voor meetlocatie Borgharen Dorp is de gevalideerde gemeten afvoerreeks door van der Veen (2021) bepaald op basis van de gevalideerde afvoerreeks bij St. Pieter en een waterbalansanalyse. Zowel de bias als de overschatting van de piekafvoer in het model zijn toegenomen ten opzichte van de meer bovenstroomse locaties en betreffen 2 en 39 m³/s bij Borgharen Dorp (zie Figuur 4.27). Wel wordt de vorm van de afvoergolf ook op deze locatie goed door het model bepaald.



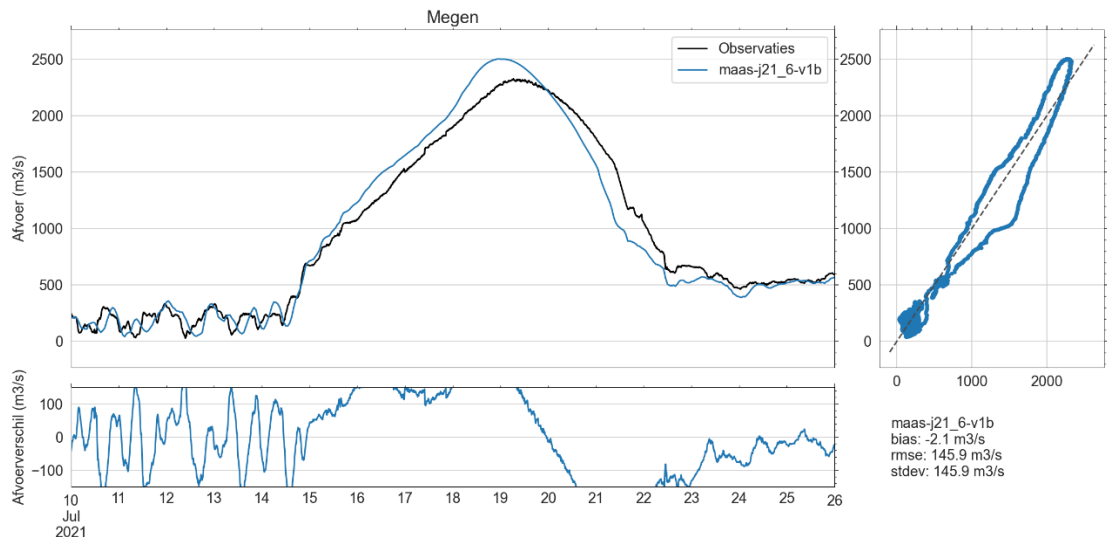
Figuur 4.27 De afvoeren (boven) en het verschil in de afvoeren (beneden) tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Borgharen Dorp

Figuur 4.28 toont dat bij Venlo de duur van de afvoergolf langer is dan bij Eijsden en Borgharen. De gevalideerde afvoer bij Venlo is grotendeels gemeten met een ADM (van der Veen, 2021). De afvoergolf is iets ingezakt en vooral minder steil aan het begin en het einde van de afvoergolf. De afvoer wordt door het model sterk overschat, zowel aan het begin van de afvoergolf als tijdens de piekafvoer zelf en dit is ook te zien in de waterstanden op deze locatie. Het verschil is $61 \text{ m}^3/\text{s}$ tijdens de piek zelf. Dit is een overschatting van meer dan 10%. Verder is in de afvoeren van het model net voor de piek een afvlakking zichtbaar. Deze afvlakking is minder goed zichtbaar in de waterstanden op deze meetlocatie, maar wel goed zichtbaar in de waterstanden van de bovenstrooms gelegen meetpunten vanaf Heel en wordt mogelijk veroorzaakt door de instroom van retentiegebieden of uiterwaarden.



Figuur 4.28 De afvoeren (boven) en het verschil in de afvoeren (beneden) tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Venlo

Door de extreem spitse vorm van het hoogwater van juli 2021 zakt de piekafvoer sterk in benedenstroomse richting. Dit was al zichtbaar bij Venlo, maar bij Megen (zie Figuur 4.29) is met name de stijgende fase van de piek veel minder steil dan dat het geval was bij Eijsden. Het is echter ook tijdens deze fase dat het model de afvoeren sterk overschat. De overschatting komt doordat de afvoer harder oploopt in het model dan in de metingen. De maximale overschatting is $176 \text{ m}^3/\text{s}$ tijdens de gemeten piek van de afvoergolf. Doordat de afvoerpiek steiler is in het model dan in werkelijkheid, wordt de piekafvoer eerder bereikt in het model. Vervolgens loopt de afvoer initieel steil af tot net onder de $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Hier volgt een knikpunt en daalt de afvoer in het model minder snel dan in de metingen. De afvoer is na het hoogwater nog t/m 26 juli lager dan in de metingen. De gevalideerde afvoer bij Megen is tot een waterstand van 6.02 m NAP (ongeveer $1500 \text{ m}^3/\text{s}$) gemeten met een ADM. Voor de hogere waterstanden wordt gebruik gemaakt van een Qf-relatie, omdat het buiten het meetbereik van de ADM is en de recreatieplas “De Gouden Ham” begint mee te stromen (van der Veen, 2021). De aansluiting van ADM-metingen op de Qf-relatie is slecht, waardoor er een kleine sprong is in de ‘gemeten’ afvoer. De vorm van de afvoerpiek in het model wijkt echter in zowel het bereik van de ADM, als in het bereik van de QF-relatie af van de gemeten afvoer op 17 juli. Deze afwijkingen zijn deels te verklaren door afwijkend stuwbeheer bij het trekken (tussen 16-07-21 9:20 en 16-07-21) en weer plaatsen (21-07-21 10:10 en 21-07-21 16:00) van de stuw, maar dit is slechts een relatief kleine bijdrage aan het verschil in afvoer.

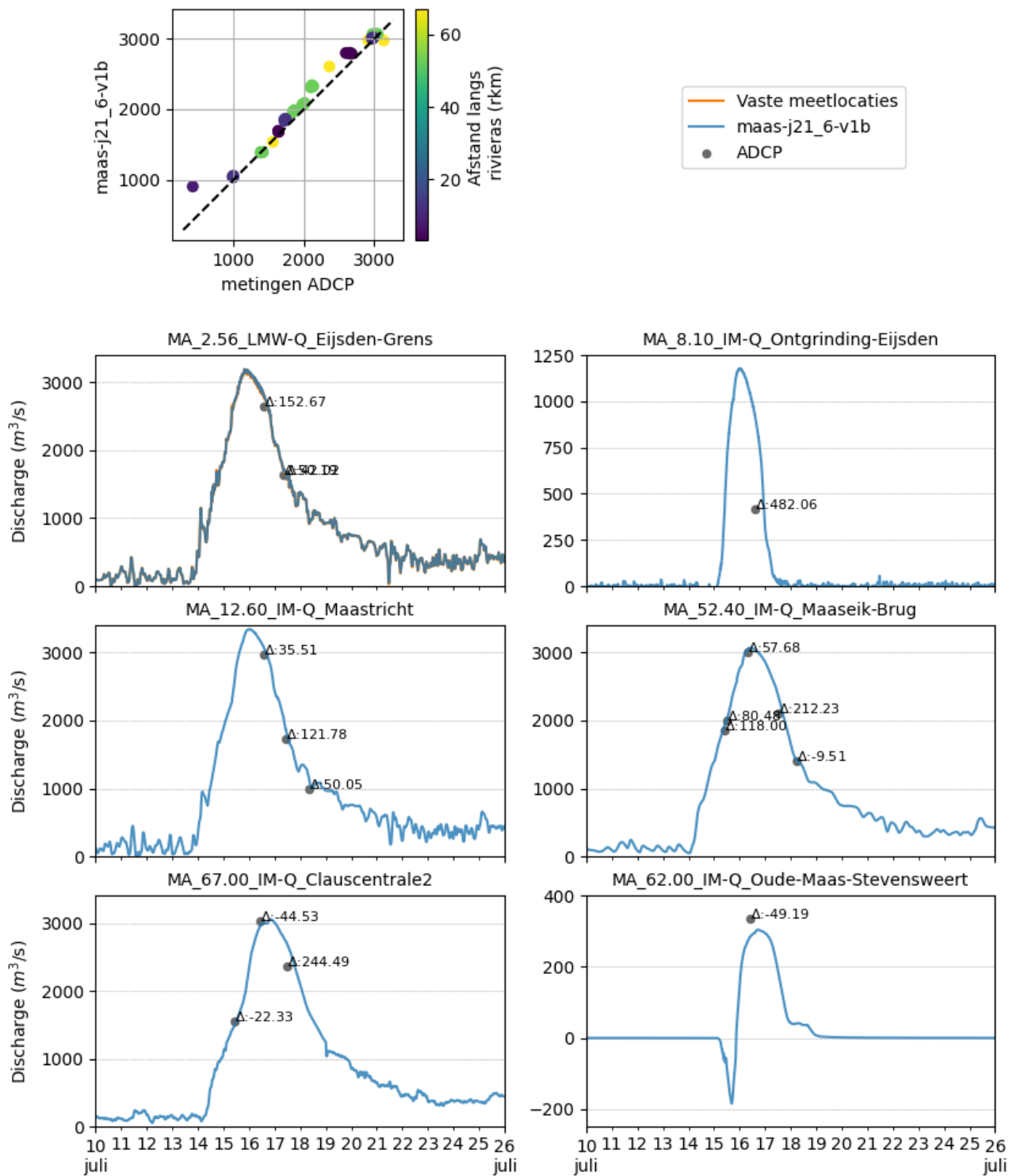


Figuur 4.29 De afvoeren (boven) en het verschil in de afvoeren (beneden) tussen het j21-model en de metingen van de meetlocatie Megen

4.5.2 CIV Mobiel Meten

Door de CIV Mobiel Meten zijn tijdens het hoogwater de afvoeren van het zomerbed gemeten op 6 locaties. Op elke locatie is een aantal keer direct achter elkaar gemeten, waarna er verplaatst werd naar de volgende meetlocatie. Figuur 4.30 toont in het eerste kader voor alle individuele metingen de gemeten afvoeren op de x-as en de afvoeren volgens het model op de y-as. De kleuren geven de rivierkilometer van de raaien aan. In het figuur is zichtbaar dat voor het grootste deel van de metingen de afvoer in het model hoger is dan de met de ADCP gemeten afvoer.

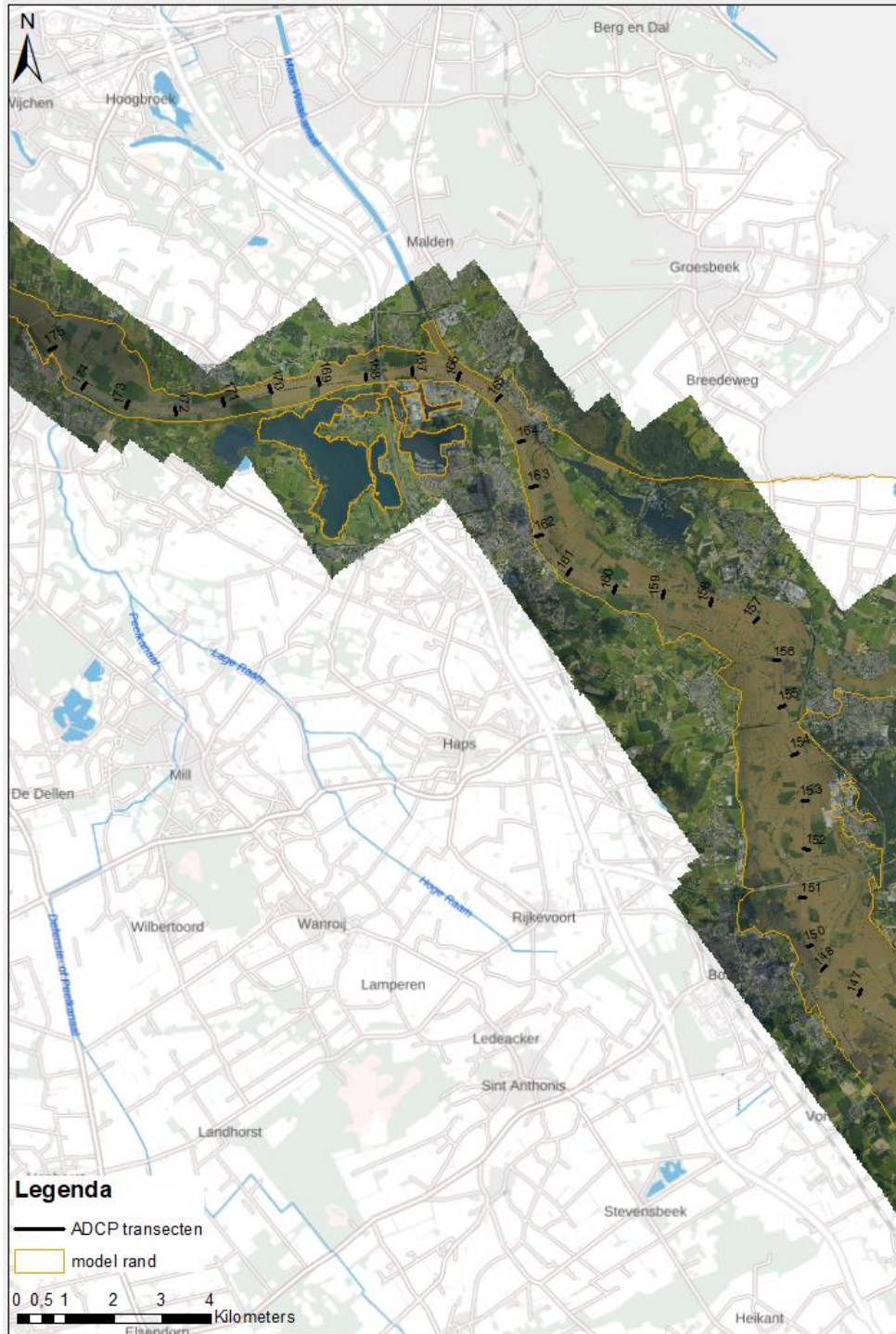
In de overige kaders van Figuur 4.30 is het verloop over de tijd zichtbaar van de afvoeren zoals gemeten met de ADCP (grijs), zoals door het model bepaald (blauw) en zoals afgeleid bij het vaste LMW-meetpunt van Eijsden-Grens (oranje). Hierbij is het gemiddelde verschil voor de (meestal 4) direct opeenvolgende ADCP-metingen als label opgenomen. In deze kaders van het figuur blijkt dat de grootste verschillen (voornamelijk overschattingen door het model) ontstaan op het moment dat het verloop van de afvoerpiek het steilst is. Rondom de piek en aan het begin en eind van de afvoerpiek zijn de verschillen kleiner en vaak negatief, omdat de afvoeren van het model dan lager uitvallen dan de metingen. Over het algemeen is het verschil tussen de afvoer in het model en de metingen minder dan 10% van de gemeten afvoer. Alleen voor de locatie MA_8.10_IM-Q_Ontgrinding-Eijsden is de afvoer volgens het model meer dan twee keer zo groot als de daadwerkelijk gemeten afvoer van 402 m³/s.



Figuur 4.30 De afvoer volgens het model (blauw), de vast meetlocatie bij Eijsden (oranje) en de metingen met ADCP (grijs) inclusief het verschil tussen het model en de per uur gemiddelde ADCP-metingen

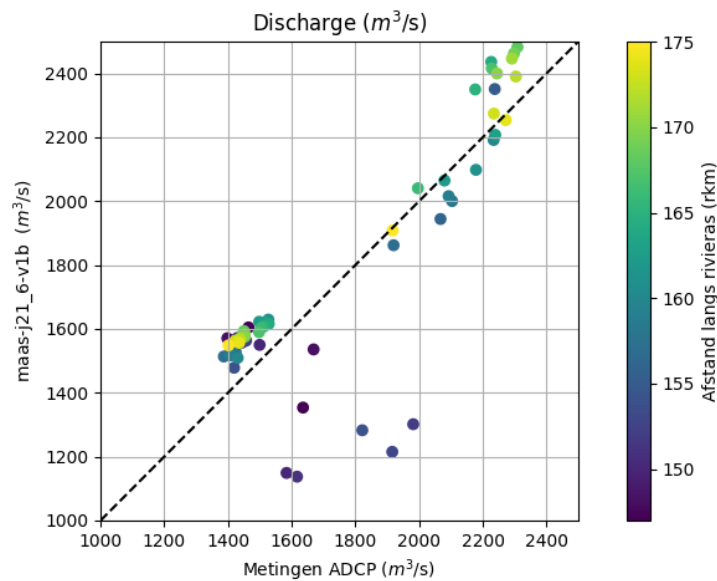
4.5.3 Aqua Vision

In het stuwpand tussen Sambeek en Grave hebben tijdens het hoogwater extra afvoermetingen plaatsgevonden. De afvoer is op 16 en 18 juli bij elke hele rivierkilometer een aantal keren gemeten. De gemeten raaien zijn zichtbaar in Figuur 4.31, waarin ook de luchtfoto's van tijdens het hoogwater zijn opgenomen. Deze raaien liggen allen geheel in het zomerbed. De afvoer van de ADCP-metingen en de modelafvoer tijdens deze metingen is zichtbaar in Tabel 4.3.



Figuur 4.31 Luchtfoto van de Maas tijdens het hoogwater (16 tot 19 juli 2021) met de ADCP-raaien en de modelrand.

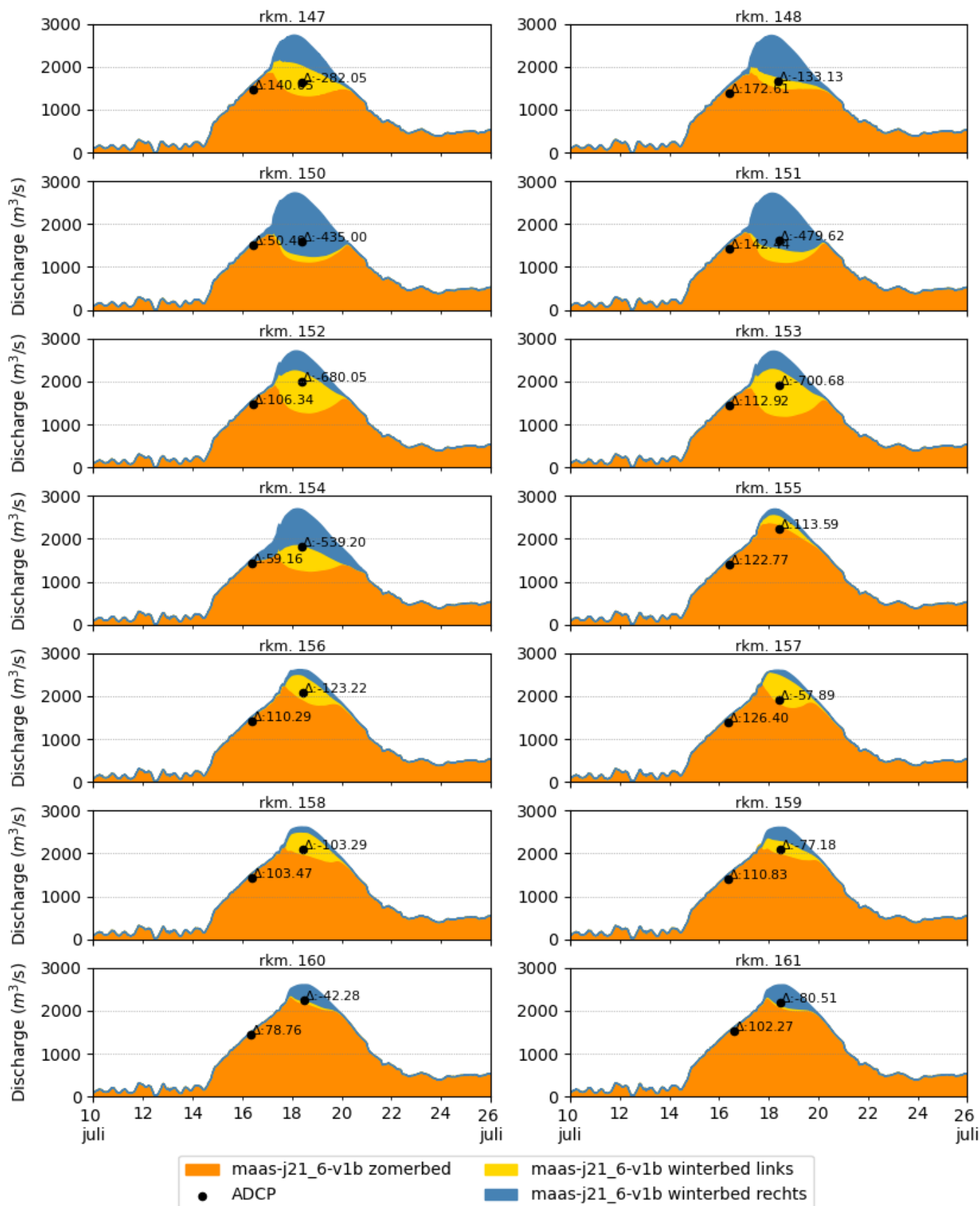
Figuur 4.32 toont voor alle meetraaien de individuele gemeten afvoeren op de x-as en de afvoeren volgens het model op de y-as. De kleuren geven de rivierkilometer van de raaien aan. In de figuur is zichtbaar dat het model de afvoeren sterk onderschat tussen rkm. 150 en 154, aan het begin van het stuwpand van Grave. In het overige deel van het stuwpand is sprake van zowel onder- als overschatting van de afvoeren.



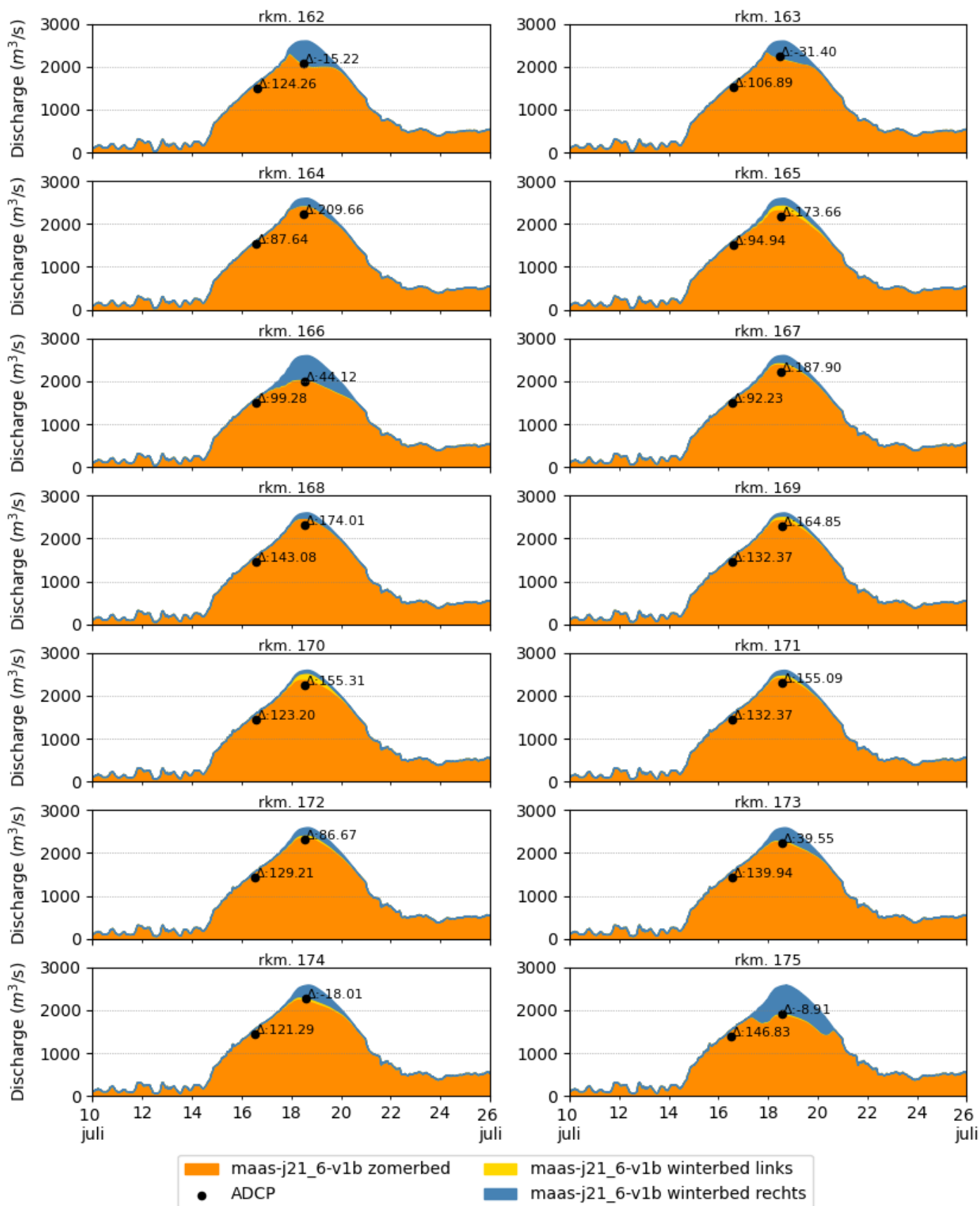
Figuur 4.32 De door Aquavision gemeten afvoeren van het zomerbed versus de afvoeren volgens het model waarbij de kleuren de rivierkilometer van de raaien aangeven.

Tabel 4.3 toont voor elke rivierkilometer de tijdserie van de gemodelleerde afvoer en de gemiddelde gemeten afvoer (driehoekjes). De labels geven het verschil tussen de afvoer in het model en afvoer in de meting. De grafiek geeft gestapeld de bijdrage aan van de afvoer door het zomerbed (oranje), door het winterbed links van de Maas (geel) en het winterbed rechts (blauw). In het figuur is zichtbaar dat de afvoeren in het zomerbed van het model tijdens de piek van het hoogwater tijdelijk afnemen voor de raaien 148 tot en met 154 en 156 tot en met 163. In deze tijdseries is zichtbaar dat de afvoer niet afneemt over de totale dwarsdoorsnede van het model. De dip in de afvoerpiek van het zomerbed wordt veroorzaakt doordat er meer afvoer via het winterbed stroomt. De afname in de afvoer van het zomerbed is niet zichtbaar bij rkm. 155, maar dit is ook een locatie waar het winterbed erg smal is en er weinig water buiten het zomerbed stroomde. Dit is ook zichtbaar in de luchtfoto van het hoogwater in Figuur 4.31. Het verschil in zomerbedafvoer tussen de metingen en de modelresultaten kan door de volgende factoren komen:

- De tijdens de metingen ingeschatte afstand tot de oever is groter dan de daadwerkelijke afstand van de laatste meting tot aan de rand van het zomerbed. Dit leidt tot een overschatting in de afvoermeting.
- De tijdseries tonen aan dat er in het model al bij de lagere afvoeren een deel van de afvoer door de rechterzijde van het winterbed stroomt. Dit komt omdat de ADCP-trajecten die gebruikt zijn als doorsnede van het zomerbed niet het gehele zomerbed doorsnijden. De interpolatieafstand van de laatste meting tot aan de rand van het zomerbed is niet toegekend aan deze dwarsdoorsnedes en daardoor niet in de modeltransecten voor het zomerbed opgenomen.
- In het model stroomt er in verhouding meer water via het winterbed dan dat de metingen aangeven. Dit kan komen doordat de ruwheid van het winterbed hoger was in juli, dan dat in het model is aangenomen. In Appendix E7 is dezelfde vergelijking opgenomen voor het model met de zomervegetatie. Hier is zichtbaar dat de onderschatting van de zomerbedafvoer van het model ten opzichte van de metingen inderdaad afneemt door het gebruik van de zomerruwheidcoëfficiënten en zomerkartering.



Tabel 4.3 De totale afvoer volgens het model voor elke rivierkilometer raai en de metingen met ADCP (zwart) inclusief het verschil tussen het model (alleen zomerbed) en de ADCP-metingen (alleen zomerbed). Het deel van de afvoer dat stroomt door de dwarsdoorsnede van het zomerbed (oranje), het winterbed links (geel) en het winterbed rechts van de Maas (blauw) is apart aangegeven.



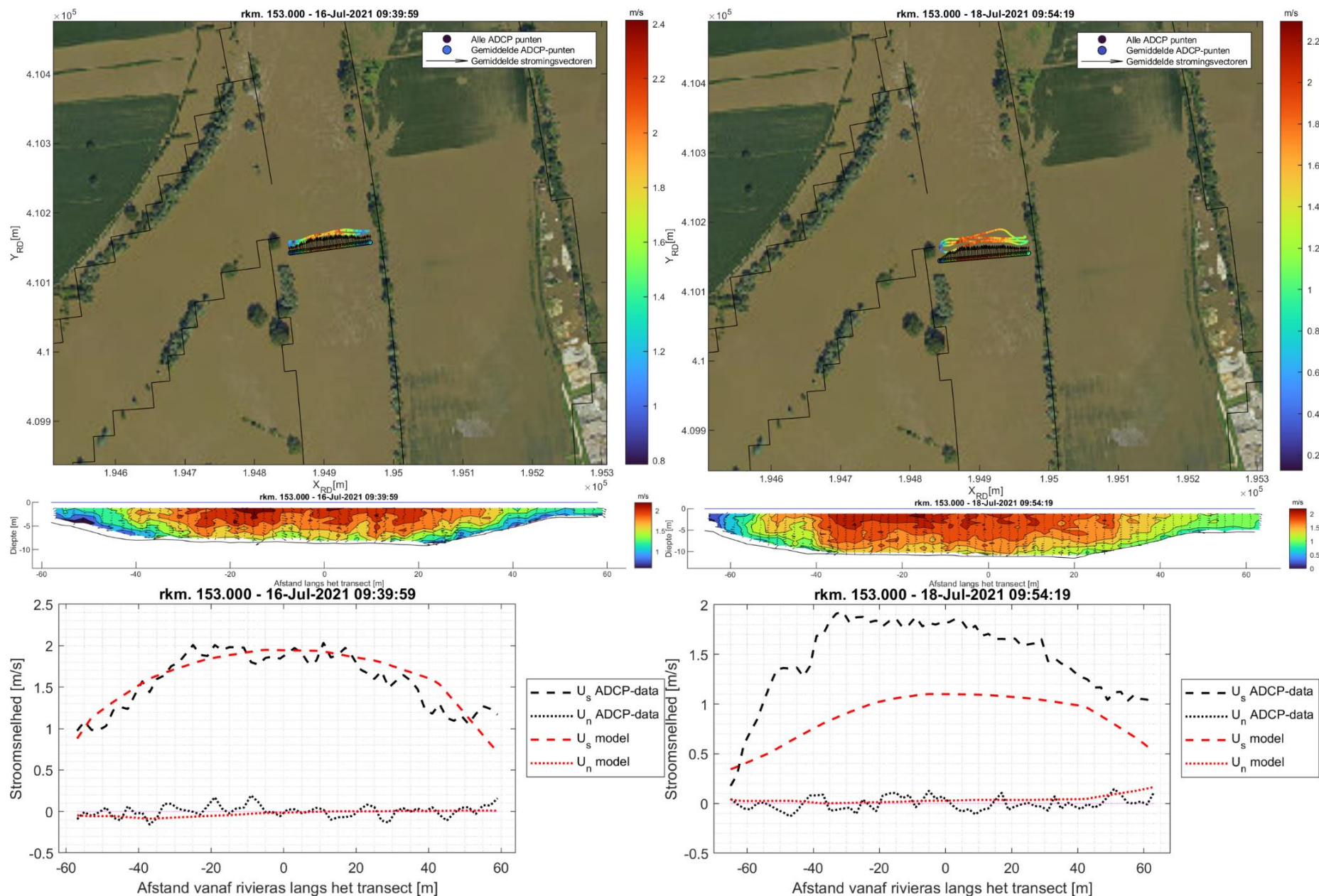
Tabel 4.3 De totale afvoer volgens het model voor elke rivierkilometer raai en de metingen met ADCP (zwart) inclusief het verschil tussen het model (alleen zomerbed) en de ADCP-metingen (alleen zomerbed). Het deel van de afvoer dat stroomt door de dwarsdoorsnede van het zomerbed (oranje), het winterbed links (geel) en het winterbed rechts van de Maas (blauw) is apart aangegeven - vervolg

4.6 Dieptegemiddelde stroomsnelheden

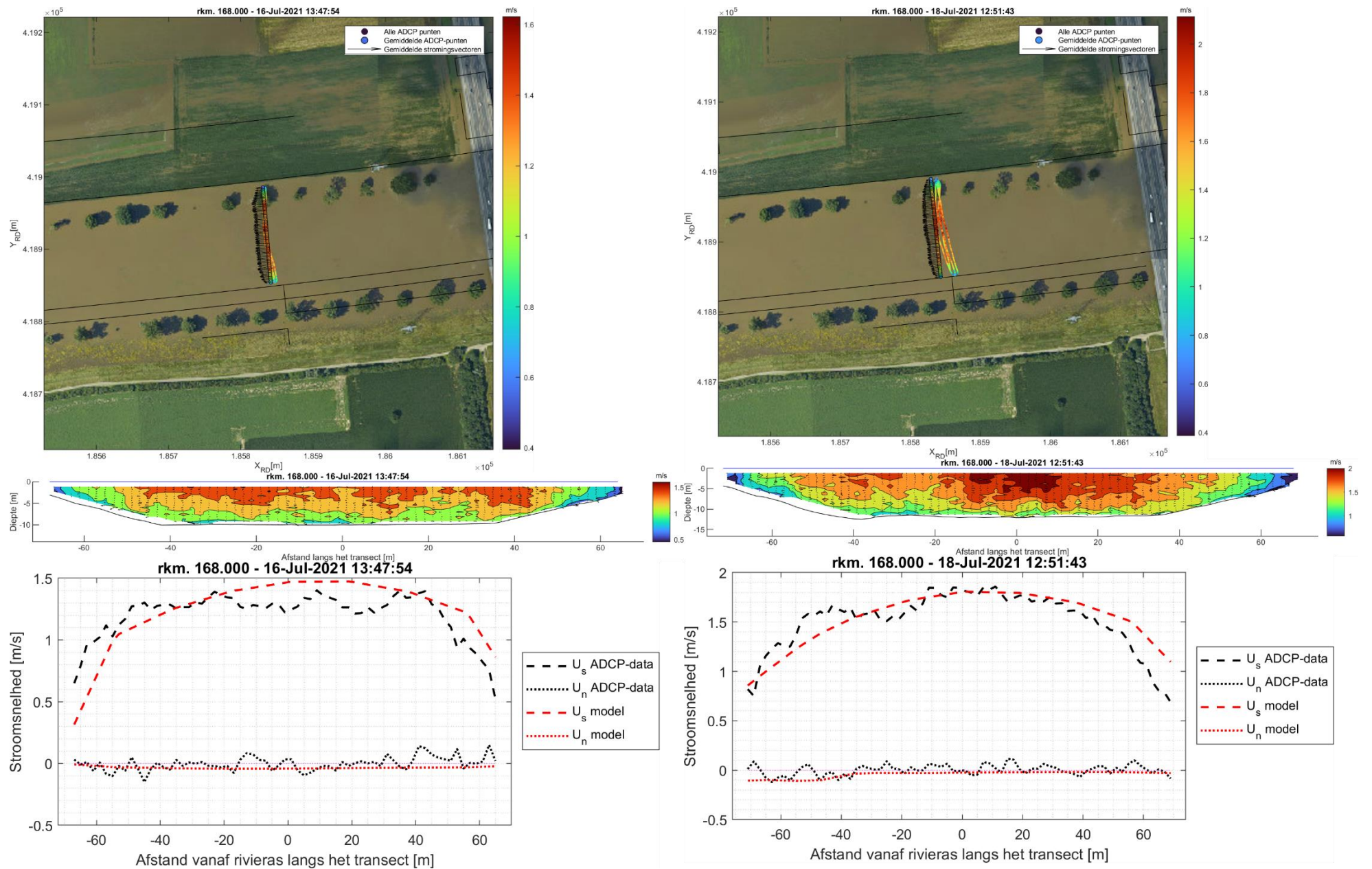
Uit de ruwe data van de ADCP-metingen in het stuwpannd tussen Sambeek en Grave is voor elke rivierkilometerraai de stroomsnelheid in de richting van de gemiddelde stroomrichting (s-richting) en de stroomsnelheid dwars op de stroming (normaal/n-richting) bepaald en vergeleken met de dieptegemiddelde stroomsnelheden uit het model. Er zijn zowel voor de meting van 16, als die van 18 juli figuren opgenomen in digitale Appendix E.8 In deze paragraaf worden 2 rivierkilometerraaien uitgelicht, namelijk rkm. 153 (zie Figuur 4.33) en rkm. 168 (zie Figuur 4.34).

Er is gekozen om de dieptegemiddelde stroomsnelheden voor rkm. 153 weer te geven, aangezien dit een rivierkilometerraai betreft in het traject parallel aan de Oude Maasarm waar een relatief breed zomerbed aanwezig is. In Figuur 4.33 is zichtbaar dat de ADCP-meting bij deze rivierkilometer slechts een klein deel van het totaal geïnundeerde gebied omvat. Dit is het geval voor het gehele traject tussen rkm. 148-155 en 156-163. Voor dit traject is in paragraaf 4.4 geconstateerd dat vooral voor het moment rondom de piekafvoer (op 18 juli) het model een tot 0,13 m hogere waterstand op de rivieras berekent dan dat de varende metingen aantonen. Daarnaast blijkt uit paragraaf 4.5.3 dat ook de afvoer door het zomerbed in het model kleiner is dan gemeten. Een lagere modelafvoer door een groter doorstroomprofiel (hogere waterstand) in het model resulteert in een lagere dieptegemiddelde stroomsnelheid in het model dan in de meting. Dit is goed zichtbaar in het onderste deel van Figuur 4.33, dat voor rivierkilometerraai 153 de stroomsnelheden in s- en n-richting toont voor zowel het model (rood) als de ADCP-meting (zwart). Op 16 juli is er over de gehele breedte van het zomerbed een relatief goede overeenkomst tussen de dieptegemiddelde stroomsnelheid van het model en de metingen. Echter is op 18 juli de dieptegemiddelde stroomsnelheid in het model meer dan 1 m/s lager. Dit geldt ook voor overige rivierkilometerraaien in dit traject.

Vanaf rkm. 164 wordt het zomerbed langs de Maas veel smaller en blijft de inundatie tijdens het hoogwater veel meer binnen een smalle zone rondom het zomerbed. In paragraaf 4.4 blijkt dat de overschatting van de waterstand maximaal is bij rkm. 165 en dan afneemt in benedenstroomse richting. Daarnaast blijkt uit paragraaf 4.5.3 dat de verschillen tussen de afvoeren van het model en de metingen relatief klein zijn en het model de afvoer over het algemeen overschat. Op dit traject stroomt in het model de iets hogere afvoer door het iets grotere doorstroomprofiel en als gevolg is er voor o.a. rivierkilometerraai 168 (zie Figuur 4.34) een relatief goede overeenkomst tussen de dieptegemiddelde stroomsnelheden in s- en n-richting van het model en de metingen. Dit is zowel het geval op 16 juli, in de aanloop naar de piek, als op 18 juli dichterbij de hoogwaterpiek.



Figuur 4.33 ADCP-metingen van 16 (links) en 18 (rechts) juli 2021 voor rivierkilometer 153 met de gefitte rivierkilometerraai dwars op de gemiddelde stroomrichting (boven), inclusief de stroomsnelheden in s-richting (dwars op de rivierkilometerraai) volgens de ADCP-metingen (midden) en de vergelijking tussen de dieptegemiddelde stroomsnelheden van de ADCP-metingen (zwart) en model (rood) in s- en n-richting (onder). De luchtfoto is genomen op 18 juli 2021.



Figuur 4.34 ADCP-metingen van 16 (links) en 18 (rechts) juli 2021 voor rivierkilometer 168 met de gefitte rivierkilometerraai dwars op de gemiddelde stroomrichting (boven), inclusief de stroomsnelheden in s-richting (dwars op de rivierkilometerraai) volgens de ADCP-metingen (midden) en de vergelijking tussen de dieptegemiddelde stroomsnelheden van de ADCP-metingen (zwart) en model (rood) in s- en n-richting (onder). De luchtfoto is genomen op 18 juli 2021.

5 Gevoeligheidsanalyse kalibratie

5.1 Achtergrond

Voor de kalibratie van het zomerbed van het zesde-generatiemodel van de Maas is gebruik gemaakt van een afvoerafhankelijke kalibratie. Dit betekent dat voor verschillende afvoeren kalibratiefactoren zijn afgeleid en dat voor de tussenliggende afvoeren wordt geïnterpoleerd. Voor de piekafvoer van het hoogwater van 2021 gelden de kalibratiefactoren van het hoogste niveau ($H_2 > 2700 \text{ m}^3/\text{s}$). Deze kalibratiefactoren zijn afgeleid op basis van het hoogwater van 1995 en de resultaten zijn gevalideerd met het hoogwater van 1993 (De Jong, 2021).

De gebiedsinrichting van de Maas is sterk veranderd. De studie van de Jong et al. (2022) beschrijft dat er door de veranderingen in riviergeometrie tussen 1993 en 2021 op de Grensmaas (rkm. 38-44) een waterstandsverlaging tot circa 2 m is gerealiseerd bij een afvoer van $3200 \text{ m}^3/\text{s}$. Op de Zandmaas is de verlaging kleiner (in de orde van 25 cm) en in de omgeving van Roosteren is er juist sprake van een verhoging van iets meer dan 25 cm, waarschijnlijk door meer natuurontwikkeling en hogere ruwheden (zie ook de lichtgroene lijn in Figuur 5.1).

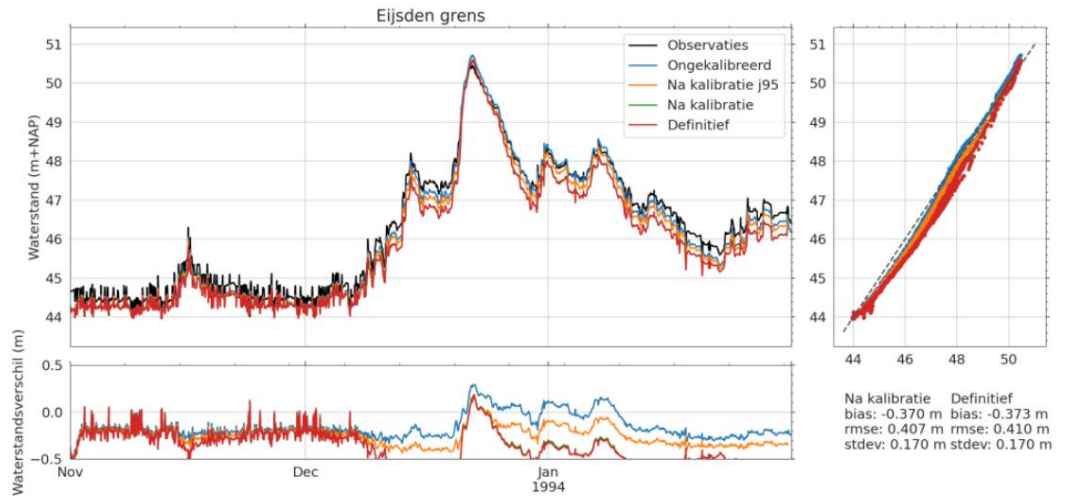


Figuur 5.1 Waterstandseffect door veranderingen in de riviergeometrie ten opzichte van 1993 (hoogwater T100 volgens WBI2017). De lichtgroene lijn toont het waterstandseffect van de 2021-situatie ten opzichte van de situatie in 1993 (uit De Jong et al., 2022).

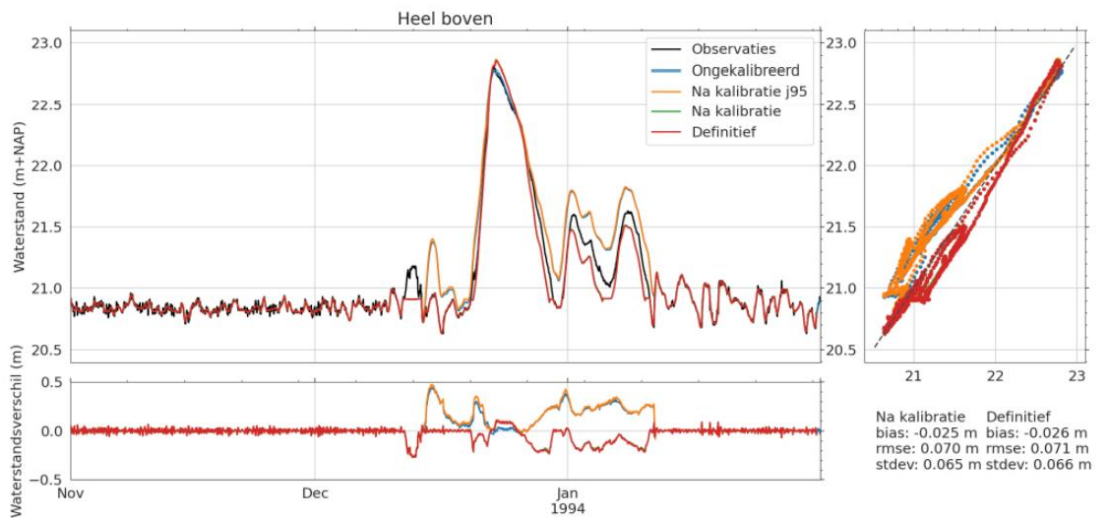
Tijdens de kalibratie van het zesde-generatie Maasmodel (De Jong, 2021) bleek al dat de Maasmodellen niet stationair zijn. De kalibratiefactoren van de lagere afvoerniveaus, die zijn afgeleid met recente modellen, gaven te lage waterstanden in historische perioden. Omgekeerd levert kalibratie op de topwaterstanden van deze historische periode juist te lage kalibratiefactoren en te hoge waterstanden voor de huidige situatie. De H_2 -kalibratiefactoren zijn voor 16 van de 25 trajecten lager dan 1. Daarnaast zijn voor 17 trajecten de H_2 -kalibratiefactoren een fractie hoger dan de factor voor het H_1 -niveau. Dit impliceert dat het gebruik van het hoogwater van 1995 voor de kalibratie ervoor zorgt dat nu structureel te hoge topwaterstanden ontstaan in het model.

Voor negen trajecten zijn de H2-kalibratiefactoren hoger dan 1. De verhoging van de waterstand tijdens de piek als gevolg van de kalibratie (zie de waterstanden voor en na de kalibratie bij Heel boven in Figuur 5.3) is vooral goed zichtbaar in het benedenstroomse deel van de Maas, na Stevensweert met kalibratiefactoren in de orde van 1,1 tot 1,40 tussen Stevensweert en Neer.

In Figuur 5.3 is ook goed zichtbaar dat de topwaterstanden door de kalibratie niet alleen hoger uitvallen, maar dat ook de afvoergolf steiler wordt in het definitieve gekalibreerde model dan de metingen aangeven.



Figuur 5.2 Tijdseries van de waterstanden (gemeten en model voor, tijdens en na kalibratie) bij Eijsden voor het hoogwater van 1993 (uit De Jong, 2021)



Figuur 5.3 Tijdseries van de waterstanden (gemeten en model voor, tijdens en na kalibratie) bij Heel boven voor het hoogwater van 1993 (uit De Jong, 2021)

5.2 Ongekalibreerde modellen

Om te testen of de huidige kalibratie nog goed van toepassing is op het zesde-generatie Maasmodel is de variant van maas-j21_6-v1b doorgerekend zonder kalibratiefactoren (variant _ongekalibreerd). De statistieken van de waterstandsverschillen op de LMW- en HIC-meetlocaties zijn opgenomen aan de rechterkant van Tabel 5.1. De figuren van de tijdseries van zowel de modelresultaten als de metingen van 10 tot 26 juli zijn opgenomen in de digitale Appendix E.1.2. In de volgende paragrafen worden enkele opvallende resultaten besproken.

In de tabel valt direct op dat zowel de bias als de standaarddeviatie, de RMSE en de dmax tot 13 cm hoger zijn in de variant _ongekalibreerd. Deze variant levert over het algemeen een overschatting van de waterstanden. De kalibratie verkleint deze overschatting of verkleint voor enkele punten juist de onderschatting van de waterstanden in de maand juli 2021. Zowel voor als na het hoogwater zorgt de kalibratie voor betere overeenkomsten van de waterstanden tussen het model en de metingen. Ook tonen de rode kaders in Tabel 5.1 aan dat het verschil in topwaterstand voor 25 locaties kleiner is in de gekalibreerde referentie dan in de variant _ongekalibreerd. Op slechts 18 locaties neemt het verschil licht af in de ongekalibreerde variant. Dit betekent dat de huidige kalibratie voor dit hoogwater de resultaten van het overgrote deel van het zesde-generatie Maasmodel verbetert.

5.3 Gevolg van kalibratie op hoogwater 1995

Om te testen of specifiek de huidige H2-kalibratie voor de hoogste afvoeren op basis van 1995 nog goed van toepassing is op het zesde-generatie Maasmodel is met maas-j21_6-v1b ook een aantal varianten doorgerekend met een kalibratiefactor gelijk aan 1 voor het H2-niveau, inclusief de kalibratiefactoren voor de overige niveaus (laag, midden en H1). De statistieken voor de waterstandsverschillen voor de LMW- en HIC-meetstations, die gebruikt zijn tijdens de kalibratie, zijn in Tabel 5.1 opgenomen voor het referentiemodel (links) en de variant zonder de kalibratie voor het H2-niveau (midden).

Wanneer de waterstandsverschillen voor de variant zonder de kalibratie voor het H2-niveau (_ongekalibreerd_Hoog2) worden vergeleken met de referentie valt op dat de bias afneemt van -2 mm tot +4 mm. Dit betekent dat gemiddeld de onderschatting door het model over de gehele maand juli afneemt zonder de kalibratie op het H2-niveau. Wel nemen de standaarddeviatie en de RMSE toe met 2 en 4 mm. Ook tonen de rode kaders dat het verschil in de topwaterstand voor 25 locaties toeneemt. Deze locaties zijn aangegeven met de rode kaders in het middendeel van Tabel 5.1. Op de overige 18 locaties neemt het verschil in topwaterstand af. Deze locaties bevinden zich met name langs de Grensmaas.

Op de Grensmaas wordt vanaf Meeswijk tot Maaseik de topwaterstand in de variant ongekalibreerd_Hoog2 onderschat. De toepassing van de kalibratiefactoren van het H2-niveau (op dit traject in de orde van 0,93) versterken deze onderschatting door een gemiddelde verlaging van de topwaterstand met 5 cm.

Vanaf Roermond tot Venlo overschat de variant ongekalibreerd_Hoog2 de topwaterstand met 8 tot 38 cm. Door toepassing van de H2-kalibratiefactoren (varierend tussen 0,76 en 0,83 vanaf Neer) wordt de topwaterstand verlaagd waardoor het referentiemodel de topwaterstand met 6 tot 11 cm onderschat tijdens het hoogwater van 2021. Ook benedenstrooms van Mook vindt over het algemeen een overschatting van de topwaterstand plaats in de variant ongekalibreerd_Hoog2. Door de H2-kalibratiefactoren (orde 0,95-0,96) neemt deze overschatting gemiddeld met 1 cm af.

De gemiddelde bias en dmax tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn dus kleiner wanneer de H2-kalibratiefactoren niet worden toegepast.

Echter nemen wel de RMSE en standaarddeviatie toe en is het verschil in topwaterstand voor ongeveer twee derde van de locaties groter zonder de H2-kalibratiefactoren. Deze resultaten tonen dat het maas-j21_6-v1b-model met kalibratie (de referentie) beter is dan de varianten zonder kalibratie. Herkalibratie op het basis van het hoogwater van juli 2021 moet dus voornamelijk overwogen worden indien de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen van dit hoogwater van 2021 onacceptabel zijn, er bekend is waardoor de verschillen worden veroorzaakt en het de verwachting is dat dit hoogwater de voorspellende capaciteit van het model zal verbeteren.

Tabel 5.1 De bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de topwaterstand (dmax) tussen de waterstanden berekend met het maas-j21_6-v1b-model en de metingen van alle LMW of HIC-meetstations voor zowel de referentie ,de variant zonder kalibratie H2 (ongekalibreerd_Hoog2) en de variant zonder kalibratie (ongekalibreerd). Rode kaders tonen aan waar de varianten zonder kalibratie een grotere dmax tonen dan de de referentie met kalibratie

	dflowfm2d-maas-j21_6-v1b referentie				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b ongekalibreerd_Hoog2				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b ongekalibreerd			
	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden grens	0.019	0.135	0.133	0.207	0.033	0.167	0.164	0.335	0.211	0.281	0.185	0.336
Sint Pieter noord	0.055	0.122	0.109	0.118	0.080	0.176	0.157	0.358	0.170	0.251	0.185	0.359
Borgharen_jul	0.009	0.069	0.068	-0.095	0.013	0.073	0.072	-0.066	0.021	0.084	0.082	-0.065
Borgharen dorp	0.026	0.204	0.203	0.028	0.028	0.207	0.205	0.049	0.170	0.276	0.218	0.049
Lanaken-Smeermaas rkm 18.4	0.074	0.166	0.149	0.050	0.067	0.165	0.151	-0.034	0.227	0.277	0.159	-0.033
Uikhoven rkm 25.3	-0.146	0.203	0.141	-0.288	-0.155	0.215	0.150	-0.379	-0.018	0.172	0.171	-0.378
Elsloo	-0.184	0.233	0.143	-0.493	-0.183	0.234	0.145	-0.504	-0.195	0.245	0.149	-0.502
ZB5a	-0.129	0.208	0.164	-0.296	-0.124	0.212	0.172	-0.262	-0.114	0.227	0.197	-0.260
ZB9a	-0.090	0.216	0.196	-0.213	-0.085	0.221	0.204	-0.181	-0.048	0.253	0.249	-0.179
ZB17a	0.301	0.426	0.303	-0.053	0.307	0.433	0.305	-0.013	0.521	0.675	0.429	-0.009
Eisden-Mazenhoven rkm 34.7	0.148	0.250	0.201	-0.014	0.157	0.260	0.208	0.044	0.537	0.609	0.287	0.056
Meeswijk Veer rkm 39.0	-0.140	0.183	0.117	-0.263	-0.135	0.181	0.120	-0.220	0.020	0.163	0.162	-0.217
Negenoord-West	1.150	2.187	1.860	-0.195	1.159	2.186	1.854	-0.142	1.183	2.180	1.832	-0.133
Negenoord rkm 42.5	-0.086	0.150	0.123	-0.240	-0.081	0.149	0.125	-0.201	0.059	0.174	0.164	-0.194
Rotem rkm 44.9	0.081	0.143	0.118	-0.203	0.086	0.142	0.112	-0.163	0.213	0.266	0.159	-0.157
Rotem Bichterweerd	-0.299	0.536	0.445	-0.240	-0.294	0.535	0.447	-0.199	-0.256	0.539	0.474	-0.193
Maaseik_HIC	0.054	0.167	0.159	-0.098	0.046	0.170	0.164	-0.170	0.297	0.352	0.189	-0.163
Maaseik Herenlaak	-0.043	1.025	1.024	0.590	-0.067	1.017	1.015	0.315	-0.004	1.025	1.025	0.331
Ophoven De Spaanjerd	0.024	0.066	0.062	0.057	0.006	0.071	0.071	-0.131	0.082	0.148	0.123	-0.124
Stevensweert	0.021	0.065	0.062	0.104	-0.002	0.068	0.068	-0.136	0.076	0.142	0.120	-0.128
Heel boven	0.039	0.100	0.093	0.152	0.031	0.082	0.076	0.067	0.051	0.118	0.106	0.090
Heel ben	-0.037	0.139	0.134	-0.073	-0.009	0.147	0.147	0.154	0.269	0.355	0.233	0.251
Linne ben	-0.010	0.071	0.070	-0.088	-0.001	0.065	0.065	-0.048	0.182	0.241	0.159	0.037
Roermond boven	-0.026	0.081	0.076	-0.109	-0.005	0.075	0.075	0.080	0.097	0.191	0.164	0.177
Buggenum	-0.022	0.132	0.130	-0.093	0.011	0.144	0.143	0.168	0.282	0.362	0.228	0.258
Neer	-0.040	0.130	0.124	-0.067	-0.001	0.154	0.154	0.246	0.233	0.322	0.222	0.338
Belfeld bov	-0.078	0.172	0.153	-0.066	-0.051	0.166	0.158	0.146	0.113	0.218	0.187	0.246
Belfeld ben	-0.004	0.186	0.186	0.184	0.022	0.213	0.212	0.383	0.337	0.414	0.241	0.486
Venlo	-0.005	0.167	0.167	0.125	0.003	0.165	0.165	0.144	0.220	0.295	0.195	0.240
Well dorp	-0.094	0.191	0.166	-0.228	-0.093	0.189	0.164	-0.279	0.025	0.157	0.155	-0.201
Sambeek bov	-0.096	0.196	0.171	-0.225	-0.098	0.197	0.171	-0.317	-0.051	0.143	0.133	-0.219
Sambeek ben	-0.090	0.227	0.208	-0.061	-0.091	0.222	0.203	-0.160	0.038	0.169	0.165	-0.041
Gennep	-0.059	0.190	0.181	-0.008	-0.051	0.184	0.177	0.021	0.093	0.185	0.160	0.198
Mook	-0.011	0.124	0.123	0.141	-0.001	0.124	0.124	0.187	0.125	0.234	0.198	0.433
Grave bov	-0.044	0.109	0.100	-0.030	-0.037	0.101	0.094	-0.006	0.033	0.143	0.139	0.207
Grave ben	-0.052	0.235	0.229	0.093	-0.044	0.231	0.226	0.120	0.150	0.240	0.187	0.330
Megen dorp	-0.041	0.172	0.168	0.159	-0.037	0.168	0.164	0.149	0.064	0.165	0.152	0.311
Lith bov	0.008	0.108	0.108	0.189	0.011	0.109	0.108	0.201	0.065	0.175	0.162	0.304
Lith dorp	-0.088	0.297	0.284	0.084	-0.081	0.291	0.279	0.097	0.135	0.229	0.185	0.195
Empel Beneden	-0.090	0.272	0.257	0.164	-0.083	0.267	0.253	0.179	0.103	0.197	0.168	0.294
Heesbeen	-0.049	0.158	0.151	0.037	-0.044	0.154	0.148	0.049	0.082	0.137	0.109	0.193
Keizersveer	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002
Bunde	-0.058	0.085	0.063	-0.025	-0.058	0.085	0.063	-0.025	-0.053	0.087	0.070	0.037
Bias alle stations	-0.002	0.240	0.212	-0.030	0.004	0.242	0.216	-0.003	0.134	0.305	0.239	0.060
Bias alle LMW-stations	-0.035	0.169	0.152	-0.032	-0.027	0.172	0.156	0.008	0.116	0.237	0.177	0.081
RMS alle stations	0.200	0.415	0.364	0.188	0.201	0.416	0.364	0.203	0.260	0.455	0.374	0.243
RMS alle LMW-stations	0.088	0.190	0.169	0.166	0.087	0.193	0.172	0.206	0.183	0.264	0.190	0.252

6 Gevoeligheidsanalyse vegetatie

In paragraaf 2.3.2.1 is een beknopte theoretische beschouwing gegeven van de vegetatiemodellering in de Rijkswaterstaatmodellen, waaruit o.a. blijkt dat de waterstanden in het Maasmodel worden beïnvloed door de ruwheid van de vegetatie in de uiterwaarden.

6.1 Vegetatieruwheden voor de zomer

Het hydraulische model van de Maas is afgeleid voor het hoogwaterseizoen (de winter). In het model wordt daarom uitgegaan van vegetatie zoals die in de winter aanwezig is. Een eerste mogelijk relatief kleine stap naar een verbetering van de modelresultaten tijdens een zomerhoogwater zou bereikt kunnen worden door het gebruik van de vegetatieruwheden voor de zomer. Door het gebruik van de vegetatieruwheden voor de zomer wordt het effect van meer bladeren, en sterkere en hogere planten ten opzichte van de situatie in de winter onderzocht. Voor de varianten `_zomerruwheden` is gebruik gemaakt van de zomerconfiguratie voor de ruwheidscoëfficiënten o.b.v. Van Velzen, 2005; zie Appendix C.3.

6.1.1 Gekalibreerde modellen

De statistieken voor de maas-j21_6-v1b referentie en de variant met de zomerruwheden (variant `_zomerruwheid`) voor de vegetatie zijn opgenomen in Tabel 6.1. Het langspoorprofiel van de topwaterstand voor de gehele Maas is opgenomen in Figuur 6.1 en in de digitale bijlagen van Appendix E.1.3.

Uit de resultaten blijkt dat er tijdens het hoogwater een gemiddelde waterstandstoename is door de hogere ruwheidscoëfficiënten voor de zomer. Deze toename is het grootst tijdens het hoogwater, en minder in de periode voor en na het hoogwater, aangezien het winterbed bij de lagere waterstanden minder of niet meestroomt en de vegetatie van uiterwaarden dan weinig of geen invloed heeft. Figuur 6.1 toont dat het gebruik van de zomerruwheden van de vegetatie ongeveer tot aan Sambeek zorgt voor een toename van de topwaterstand. Deze toename is het grootst op de Grensmaas en Plassenmaas waar de topwaterstand stijgt met minimaal 2 tot maximaal 17 cm. Op de Peelhorstmaas is de topwaterstand ongeveer 5 cm hoger in de variant `_zomerruwheid`. Op de Benedenmaas en Getijdenmaas zorgen de zomerruwheidscoëfficiënten van de vegetatie voor een afname van de topwaterstanden met een maximum van 5 cm.

De toename in de waterstanden tijdens het hoogwater zorgt ervoor dat de gemiddelde bias tussen de modelresultaten en de metingen van alle LMW- en HIC-meetlocaties van -35 mm naar -14 mm verandert. Het gemiddelde verschil in de topwaterstand verandert van -32 mm naar 16 mm. Ook nemen de standaarddeviatie en RMSE gemiddeld af door gebruik van de zomerruwheden. De groene kaders tonen aan dat voor 27 van al de meetlocaties de over- of onderschatting van de topwaterstand kleiner is voor de variant `_zomerruwheid` dan voor de referentie. Er zijn echter ook 16 locaties waar de onder- of overschatting van de topwaterstand is toegenomen. Doordat de toename van het verschil op deze 16 locaties relatief groot is, is het gemiddelde verschil in topwaterstand voor al de meetlocaties toegenomen van -30 tot 24 mm.

Op de Bovenmaas en het bovenstroomse deel van de Grensmaas zorgt de toename in de waterstand tijdens de piek voor een toename van de overschatting van de waterstand. Dit is het geval bij Eijdsden, Sint Pieter, Borgharen Dorp (zie Figuur 6.2) en bij de Smeermaas. Op het Julianakanaal en op het benedenstroomse deel van de Grensmaas werden de waterstanden door de referentie onderschat.

De toename in waterstand door de zomerruwheden zorgt ervoor dat deze onderschatting afneemt voor de variant _zomerruwheid. Dit is o.a. het geval bij Uikhoven waarvoor Figuur 6.3 de waterstanden weergeeft. Vanaf Ophoven de Spaanjerd tot aan Heel overschat de referentie de waterstanden tijdens de piek. Deze overschatting neemt verder toe van ongeveer 10 tot 20 cm voor de variant met zomerruwheden. Tussen Well en Gennep zijn de uiterwaarden van de Maas op zijn breedst, de verwachting was dat hier het effect van de zomerruwheden op de waterstanden het grootst zou zijn. Bij de vaste meetlocaties van Well dorp, Sambeek Boven, Sambeek Beneden (zie Figuur 6.4) en Gennep is de topwaterstand in de variant _zomerruwheid wel iets hoger en de piek is iets breder, maar het verschil is beperkt (in de orde van enkele centimeters) en de topwaterstand ligt in het model nog steeds lager dan de gemeten topwaterstanden. Op dit traject zijn echter ook relatief hoge kalibratiefactoren van toepassing in de orde van 1,03 tot 1,33 tussen Well Dorp en Gennep

Doordat de waterstanden voor bijna elke locatie hoger uitvallen is ook het effect van de instroom van de retentiegebieden en de topvervlakking iets beter zichtbaar in de resultaten. Vooral in het benedenstroomse gedeelte van het model (zie Figuur 6.4 en Figuur 6.5) lijkt de vorm van de piek hierdoor iets beter op de vorm van de gemeten waterstanden. De afvoerpiek blijft echter te spits in het model, de piek arriveert te vroeg en ook vindt nog steeds minder topvervlakking plaats dan in de metingen zichtbaar is.

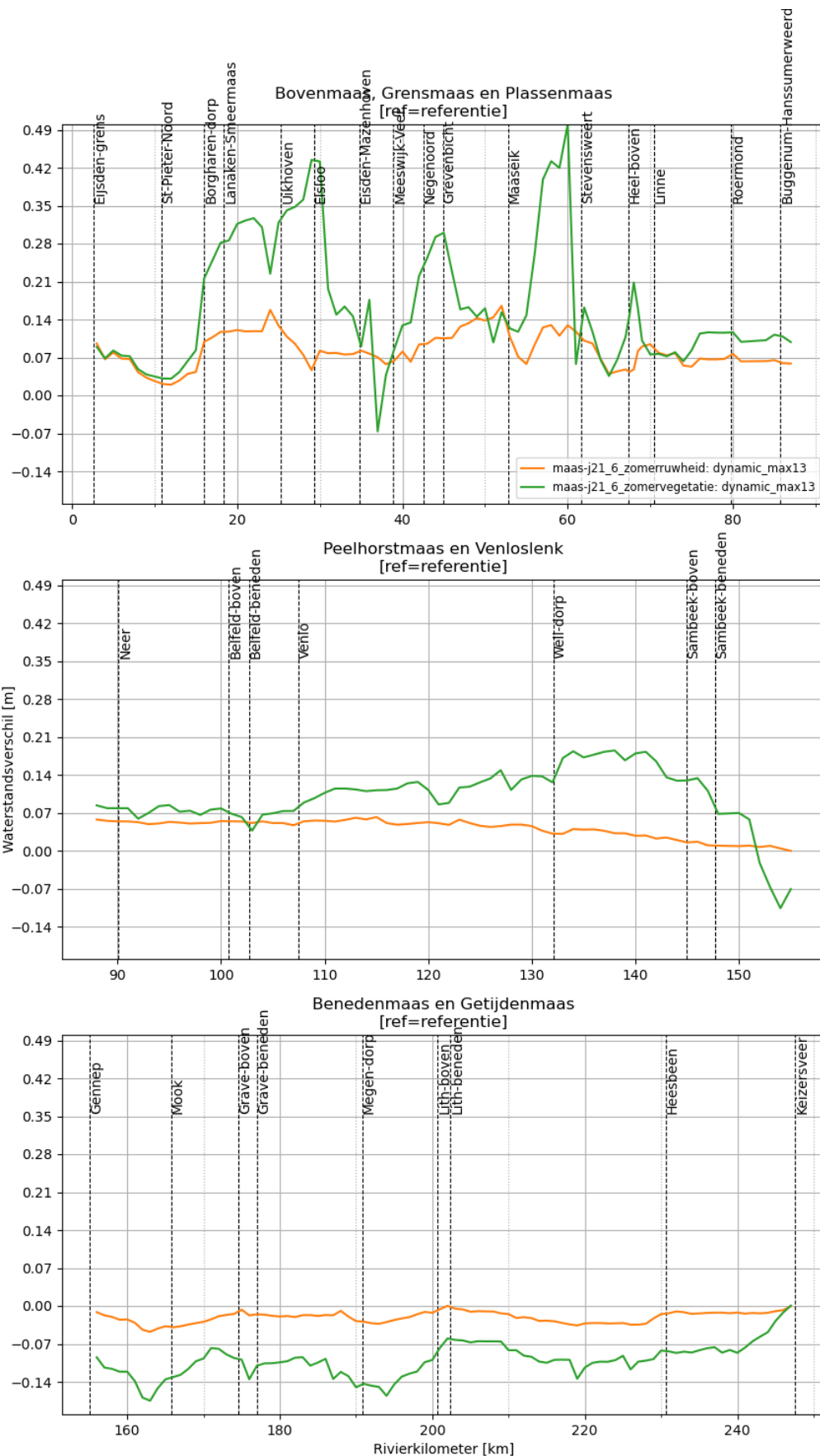
6.1.2 Ongekalibreerde modellen

Aangezien de kalibratie van de modellen is gebaseerd op modellen met ecotopenkartering voor de winter, zou het zo kunnen zijn dat het effect van het gebruik van de zomerruwheden voor het hoogwater van 2021 wordt vertekend door de eerder bepaalde kalibratiefactoren, die voor onzekerheden in het model, de schematisatie en ruwheid compenseren. Om te controleren of het model met zomerruwheden beter presteert dan het model met de winterruwheden zijn daarom ook de resultaten van de ongekalibreerde varianten toegevoegd aan Tabel 6.1.

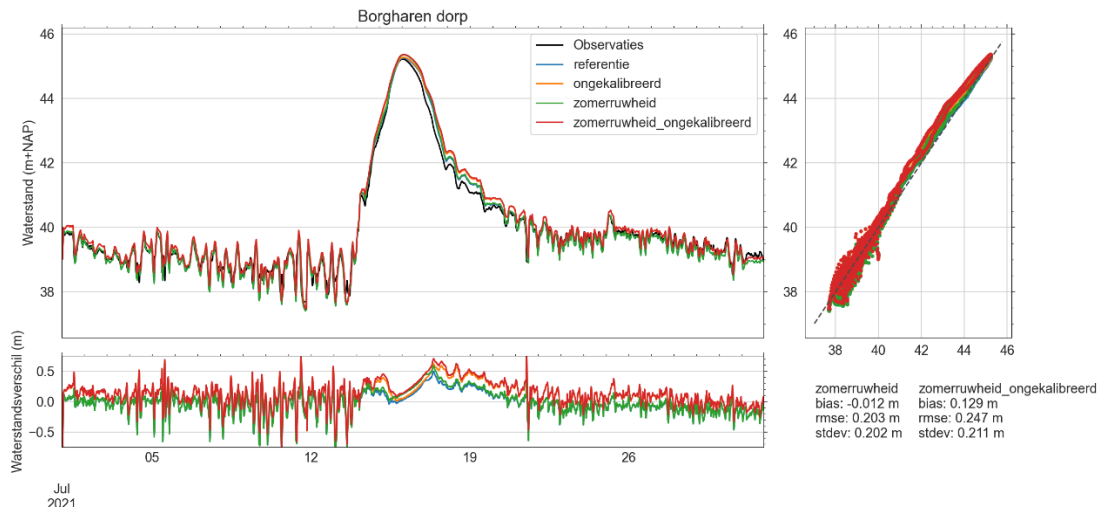
Ook in het ongekalibreerde model zorgen de vegetatieruwheden voor de zomer (variant _zomerruwheid_ongekalibreerd) ervoor dat de waterstanden toenemen ten opzichte van het ongekalibreerde model met winterruwheden (variant _ongekalibreerd). De bias is gemiddeld 2 cm hoger en ook de RMSE neemt licht toe. Het grootste verschil ontstaat echter tijdens de piekwaterstand. De gemiddelde overschatting van de variant _ongekalibreerd neemt toe van 6 tot 12 cm. De groene kaders in Tabel 6.1 tonen aan voor welke locaties het verschil in topwaterstand afneemt door het gebruik van de zomerruwheden in de variant _zomerruwheid_ongekalibreerd. Voor 24 locaties neemt het verschil af en voor 19 locaties neemt het verschil toe. Opvallend is dat op de Grensmaas tussen Meeswijk en Maaseik (dikke donkergroene kader in Tabel 6.1) de variant _zomerruwheid_ongekalibreerd de topwaterstanden het best benadert, zelfs beter dan het geval is in de gekalibreerde referentie.

Tabel 6.1 De bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de topwaterstand (dmax) tussen de waterstanden berekend met het maas-j21_6-v1a-model en de metingen van alle LMW of HIC-meetstations voor zowel de referentie en de variant met ruwheidscoëfficiënten voor de zomer (zomerruwheid). Aan de rechterkant zijn ook de ongekalibreerde varianten toegevoegd. Groene kaders tonen aan waar de varianten met zomerruwheden een kleinere dmax tonen dan de varianten met winterruwheden.

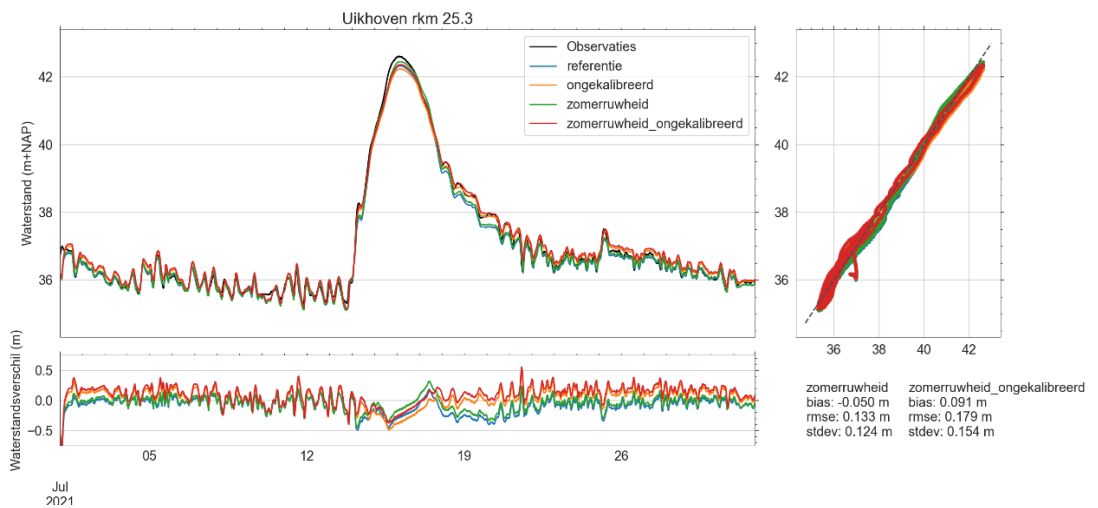
	dflowm2d-maas-j21_6-v1b referentie				dflowm2d-maas-j21_6-v1b zomerruwheid				dflowm2d-maas-j21_6-v1b ongekalibreerd				dflowm2d-maas-j21_6-v1b zomerruwheid_ongekalibreerd			
	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden grens	0.019	0.135	0.133	0.207	0.037	0.159	0.155	0.286	0.211	0.281	0.185	0.336	0.230	0.308	0.204	0.416
Sint Pieter noord	0.055	0.122	0.109	0.118	0.059	0.130	0.115	0.138	0.170	0.251	0.185	0.359	0.174	0.259	0.191	0.375
Borgharen dorp	0.009	0.069	0.068	-0.095	0.016	0.076	0.074	-0.051	0.021	0.084	0.082	-0.065	0.028	0.095	0.091	-0.025
Borgharen dorp	0.026	0.204	0.203	0.028	0.049	0.227	0.221	0.125	0.170	0.276	0.218	0.049	0.194	0.303	0.234	0.137
Lanaken-Smeermaas rkm 18.4	0.074	0.166	0.149	0.050	0.113	0.203	0.168	0.168	0.227	0.277	0.159	-0.033	0.269	0.317	0.169	0.086
Uikhoven rkm 25.3	-0.146	0.203	0.141	-0.288	-0.088	0.161	0.135	-0.166	-0.018	0.172	0.171	-0.378	0.049	0.170	0.163	-0.252
Elsloo	-0.184	0.233	0.143	-0.493	-0.155	0.207	0.136	-0.429	-0.195	0.245	0.149	-0.502	-0.166	0.220	0.145	-0.424
ZB5a	-0.129	0.208	0.164	-0.296	-0.110	0.211	0.181	-0.225	-0.114	0.227	0.197	-0.260	-0.094	0.236	0.216	-0.181
ZB9a	-0.090	0.216	0.196	-0.213	-0.071	0.231	0.220	-0.136	-0.048	0.253	0.249	-0.179	-0.027	0.276	0.275	-0.097
ZB17a	0.301	0.426	0.303	-0.053	0.325	0.454	0.318	0.023	0.521	0.675	0.429	-0.009	0.547	0.704	0.443	0.072
Eisden-Mazenhoven rkm 34.7	0.148	0.250	0.201	-0.014	0.177	0.278	0.215	0.084	0.537	0.609	0.287	0.056	0.566	0.638	0.293	0.147
Meeswijk Veer rkm 39.0	-0.140	0.183	0.117	-0.263	-0.114	0.171	0.127	-0.199	0.020	0.163	0.162	-0.217	0.047	0.176	0.170	-0.151
Negenoord-West	1.150	2.187	1.860	-0.195	1.171	2.185	1.845	-0.073	1.183	2.180	1.832	-0.133	1.203	2.181	1.819	-0.016
Negenoord rkm 42.5	-0.086	0.150	0.123	-0.240	-0.056	0.149	0.138	-0.143	0.059	0.174	0.164	-0.194	0.090	0.196	0.175	-0.099
Rotem rkm 44.9	0.081	0.143	0.118	-0.203	0.130	0.174	0.115	-0.098	0.213	0.266	0.159	-0.157	0.263	0.309	0.162	-0.053
Rotem Bichterweerd	-0.299	0.536	0.445	-0.240	-0.254	0.538	0.474	-0.134	-0.256	0.539	0.474	-0.193	-0.210	0.546	0.505	-0.089
Maaseik_HIC	0.054	0.167	0.159	-0.098	0.088	0.181	0.158	0.042	0.297	0.352	0.189	-0.163	0.332	0.368	0.160	-0.021
Maaseik Herenlaak	-0.043	1.025	1.024	0.590	-0.016	1.037	1.037	0.720	-0.004	1.025	1.025	0.331	0.024	1.036	1.036	0.496
Ophoven De Spaanjerd	0.024	0.066	0.062	0.057	0.050	0.099	0.085	0.157	0.082	0.148	0.123	-0.124	0.108	0.160	0.118	-0.023
Stevensweert	0.021	0.065	0.062	0.104	0.049	0.101	0.088	0.217	0.076	0.142	0.120	-0.128	0.104	0.151	0.110	-0.014
Heel boven	0.039	0.100	0.093	0.152	0.051	0.127	0.116	0.205	0.051	0.118	0.106	0.090	0.065	0.144	0.129	0.163
Heel ben	-0.037	0.139	0.134	-0.073	-0.007	0.105	0.105	-0.012	0.269	0.355	0.233	0.251	0.301	0.385	0.239	0.296
Linne ben	-0.010	0.071	0.070	-0.088	0.031	0.079	0.073	-0.002	0.182	0.241	0.159	0.037	0.226	0.284	0.172	0.133
Roermond boven	-0.026	0.081	0.076	-0.109	-0.001	0.051	0.051	-0.033	0.097	0.191	0.164	0.177	0.125	0.219	0.180	0.232
Buggenum	-0.022	0.132	0.130	-0.093	0.006	0.101	0.101	-0.033	0.282	0.362	0.228	0.258	0.312	0.389	0.232	0.313
Neer	-0.040	0.130	0.124	-0.067	-0.014	0.100	0.099	-0.013	0.233	0.322	0.222	0.338	0.262	0.349	0.231	0.389
Belfeld bov	-0.078	0.172	0.153	-0.066	-0.055	0.133	0.121	-0.013	0.113	0.218	0.187	0.246	0.140	0.240	0.195	0.300
Belfeld ben	-0.004	0.186	0.186	0.184	0.025	0.161	0.159	0.239	0.337	0.414	0.241	0.486	0.369	0.442	0.243	0.541
Venlo	-0.005	0.167	0.167	0.125	0.021	0.138	0.136	0.175	0.220	0.295	0.195	0.240	0.250	0.315	0.193	0.286
Well dorp	-0.094	0.191	0.166	-0.228	-0.075	0.151	0.131	-0.196	0.025	0.157	0.155	-0.201	0.046	0.142	0.135	-0.164
Sambeek bov	-0.096	0.196	0.171	-0.225	-0.085	0.165	0.141	-0.210	-0.051	0.143	0.133	-0.219	-0.037	0.106	0.100	-0.195
Sambeek ben	-0.090	0.227	0.208	-0.061	-0.073	0.177	0.162	-0.052	0.038	0.169	0.165	-0.041	0.058	0.160	0.150	-0.025
Gennepe	-0.059	0.190	0.181	-0.008	-0.046	0.146	0.139	-0.009	0.093	0.185	0.160	0.198	0.111	0.176	0.136	0.208
Mook	-0.011	0.124	0.123	0.141	-0.007	0.087	0.086	0.103	0.125	0.234	0.198	0.433	0.134	0.215	0.169	0.419
Grave bov	-0.044	0.109	0.100	-0.030	-0.040	0.086	0.076	-0.039	0.033	0.143	0.139	0.207	0.042	0.113	0.105	0.201
Grave ben	-0.052	0.235	0.229	0.093	-0.038	0.187	0.183	0.077	0.150	0.240	0.187	0.330	0.167	0.233	0.162	0.317
Megen dorp	-0.041	0.172	0.168	0.159	-0.036	0.141	0.137	0.129	0.064	0.165	0.152	0.311	0.072	0.140	0.120	0.294
Lith bov	0.008	0.108	0.108	0.189	0.009	0.090	0.090	0.182	0.065	0.175	0.162	0.304	0.066	0.152	0.137	0.295
Lith dorp	-0.088	0.297	0.284	0.084	-0.072	0.250	0.239	0.083	0.135	0.229	0.185	0.195	0.157	0.234	0.174	0.189
Empel Beneden	-0.090	0.272	0.257	0.164	-0.086	0.232	0.215	0.136	0.103	0.197	0.168	0.294	0.113	0.182	0.143	0.256
Heesbeen	-0.049	0.158	0.151	0.037	-0.048	0.137	0.128	0.023	0.082	0.137	0.109	0.193	0.087	0.125	0.089	0.170
Keizersveer	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002
Bunde	-0.058	0.085	0.063	-0.025	-0.064	0.093	0.067	-0.007	-0.053	0.087	0.070	0.037	-0.059	0.095	0.075	0.061
Bias alle stations	-0.002	0.240	0.212	-0.030	0.019	0.231	0.204	0.024	0.134	0.305	0.239	0.060	0.157	0.314	0.237	0.115
Bias alle LMW-stations	-0.035	0.169	0.152	-0.032	-0.014	0.156	0.139	0.016	0.116	0.237	0.177	0.081	0.140	0.245	0.173	0.129
RMS alle stations	0.200	0.415	0.364	0.188	0.201	0.412	0.360	0.183	0.260	0.455	0.374	0.243	0.274	0.463	0.374	0.245
RMS alle LMW-stations	0.088	0.190	0.169	0.166	0.081	0.177	0.158	0.150	0.183	0.264	0.190	0.252	0.201	0.276	0.189	0.252



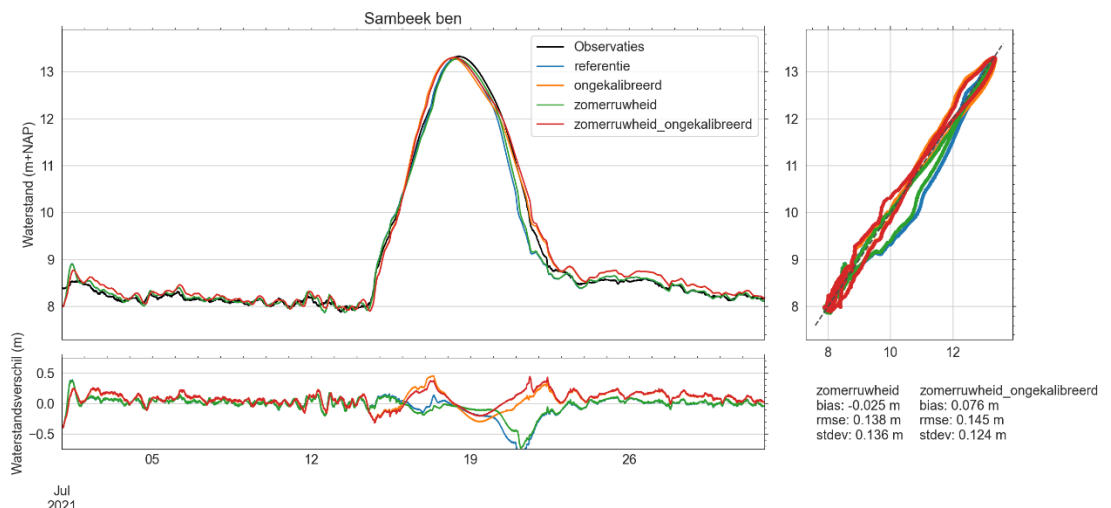
Figuur 6.1 Het verschil in de max13 waterstanden op de rivieras tussen zowel de variant zomerrutheid (oranje) als de variant zomervegetatie (groen) en de referentie (met wintervegetatie) van maas-j21_6-v1b



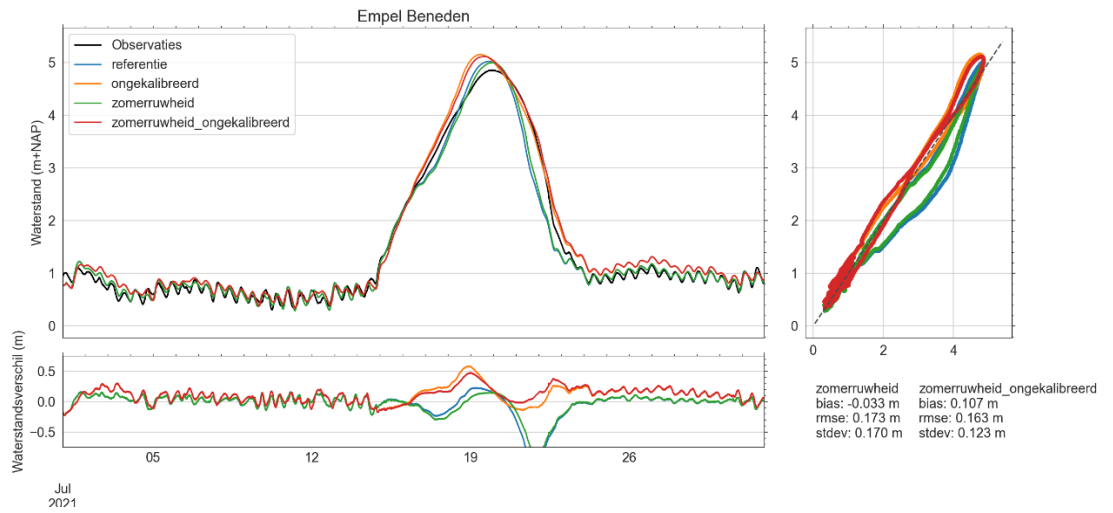
Figuur 6.2 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen zowel de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw) als de variant zomerruwheid (groen) en de metingen van de meetlocatie Borgharen Dorp.



Figuur 6.3 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen zowel de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw) als de variant zomerruwheid (groen) en de metingen van de meetlocatie Uikhoven.



Figuur 6.4 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen zowel de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw) als de variant zomerruwheid (groen) en de metingen van de meetlocatie Sambeek Beneden



Figuur 6.5 De waterstanden en het verschil in waterstanden tussen zowel de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw) als de variant zomerruwheid (groen) en de metingen van de meetlocatie Empel Beneden

6.2 Zomerkartering

In de Jong et al. (2022) wordt voor het hoogwater van juli 2021 ook een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van verschillende karteringen van de vegetatie tussen de zomer en winter (van Dongen, 2022). Door de Jong et al. (2022) wordt geconcludeerd dat binnen de gegeven uitgangspunten het effect van andere ruwheidscoëfficiënten voor dezelfde typen vegetatie (gemiddeld 5 cm) kleiner is dan het effect van verschillen in kartering (gemiddeld 23 cm). Het ontbreken van bijvoorbeeld maïsvelden in de hydraulische modellen heeft naar verwachting een veel grotere bijdrage aan de onderschatting van de waterstanden tijdens het hoogwater van 2021 dan een te lage bladdichtheid. Om deze reden zijn ook een aantal varianten opgezet waarvoor een nieuwe zomerkartering voor de vegetatie is opgebouwd op basis van de gewasregistraties voor 2021 (varianten `_zomervegetatie`).

De statistieken voor de referentie en de varianten met de zomerkartering inclusief zomerruwheid (`_zomervegetatie`) zijn opgenomen in Tabel 6.2. Daarnaast is ook het langspoorprofiel van het verschil in topwaterstand t.o.v. de referentie zichtbaar in Figuur 6.1. Dit figuur toont dat de zomerkartering met bijbehorende zomerruwheden zoals verwacht een groter effect heeft op de waterstanden dan alleen de toepassing van zomerruwheden op de winterkartering (variant `_zomerruwheid`).

Er is tijdens het hoogwater van juli 2021 een gemiddelde waterstandstoename voor de variant `_zomervegetatie` t.o.v. de referentie met wintervegetatie. Deze toename is, net zoals voor de variant `_zomerruwheid`, het grootst tijdens het hoogwater, vanaf het moment dat het winterbed gaat meestromen. De bias voor de variant `_zomervegetatie` is gemiddeld 33 mm. Dit is 14 mm meer dan de 19 mm die in Tabel 6.1 zichtbaar is voor de variant `_zomerruwheid`. De absolute bias is hoger dan de -2 mm voor de referentie. De standaarddeviatie en RMSE zijn ongeveer 9 mm toegenomen voor de variant `_zomervegetatie` ten opzichte van de variant met alleen zomerruwheid, maar zijn nog steeds lager dan voor de referentie. Het verschil in topwaterstand is sterk toegenomen. De d_{max} is nu gemiddeld 75 mm en is hiermee 11 mm hoger dan voor de variant `_zomerruwheid` het geval is. Er zijn 27 locaties waar de d_{max} van de variant `_zomervegetatie` lager is dan in de referentie en slechts 16 locaties hebben een gelijke of hogere d_{max} . Dit zijn dezelfde locaties als voor de variant `_zomerruwheid`.

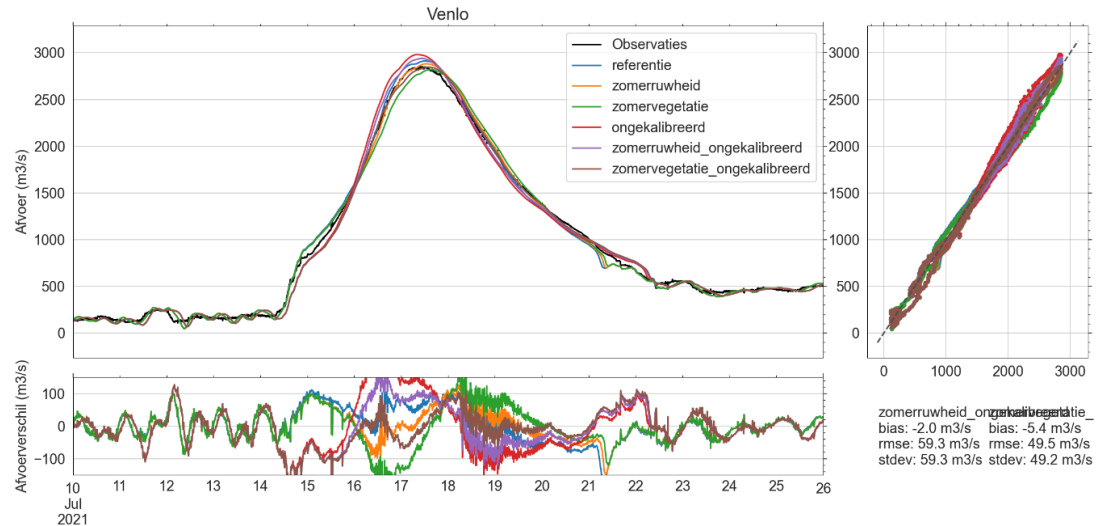
Wat vooral opvalt is dat op het traject van de Grensmaas en tussen Well dorp tot Sambeek de waterstanden in de ongekalibreerde variant met zomervegetatie (`_zomervegetatie_ongekalibreerd`) niet alleen beter zijn dan in het ongekalibreerde model met de huidige wintervegetatie, maar ook beter zijn dan in de referentie. Deze locaties zijn in de rechterkant van Tabel 6.2 aangeduid met de dikke groene kaders. Ook de variant `zomerruwheden_ongekalibreerd` presteert op de Grensmaas al beter dan de referentie (zie paragraaf 6.1.2), maar de verschillen in d_{max} zijn nog kleiner geworden voor de variant `_zomervegetatie_ongekalibreerd`. Daarnaast zijn voor Well dorp en Sambeek boven ook de bias, std en RMSE afgenomen in `_zomervegetatie_ongekalibreerd`.

Tabel 6.2 De bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de topwaterstand (dmax) tussen de waterstanden berekend met het maas-j21_6-v1a-model en de metingen van alle LMW of HIC-maatstations voor zowel de referentie en de variant met zomerkartering (zomervegetatie). Aan de rechterkant zijn ook de ongekalibreerde varianten toegevoegd. Groene kaders tonen aan waar de varianten met zomervegetatie minder kleine dmax tonen dan de varianten met wintervegetatie.

	dflowfm2d-maas-j21_6-v1b referentie				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomervegetatie				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b ongekalibreerd				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomervegetatie_ongekalibreerd			
	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden grens	0.019	0.135	0.133	0.207	0.039	0.163	0.159	0.324	0.211	0.281	0.185	0.336	0.233	0.312	0.207	0.460
Sint Pieter noord	0.055	0.122	0.109	0.118	0.061	0.134	0.119	0.147	0.170	0.251	0.185	0.359	0.175	0.261	0.194	0.381
Borgharen_jul	0.009	0.069	0.068	-0.095	0.020	0.082	0.080	-0.005	0.021	0.084	0.082	-0.065	0.031	0.100	0.095	0.008
Borgharen_dorp	0.026	0.204	0.203	0.028	0.063	0.245	0.237	0.241	0.170	0.276	0.218	0.049	0.206	0.317	0.241	0.248
Lanaken-Smeermaas rkm 18.4	0.074	0.166	0.149	0.050	0.131	0.229	0.188	0.334	0.227	0.277	0.159	-0.033	0.284	0.331	0.169	0.239
Uikhoven rkm 25.3	-0.146	0.203	0.141	-0.288	-0.066	0.166	0.152	0.035	-0.018	0.172	0.171	-0.378	0.071	0.163	0.147	-0.043
Elsloo	-0.184	0.233	0.143	-0.493	-0.115	0.179	0.137	0.011	-0.195	0.245	0.149	-0.502	-0.124	0.194	0.149	0.030
ZB5a	-0.129	0.208	0.164	-0.296	-0.094	0.224	0.203	-0.069	-0.114	0.227	0.197	-0.260	-0.077	0.250	0.238	-0.028
ZB9a	-0.090	0.216	0.196	-0.213	-0.061	0.246	0.239	-0.052	-0.048	0.253	0.249	-0.179	-0.016	0.290	0.290	-0.011
ZB17a	0.301	0.426	0.303	-0.053	0.335	0.469	0.329	0.087	0.521	0.675	0.429	-0.009	0.558	0.714	0.447	0.136
Eisden-Mazenhoven rkm 34.7	0.148	0.250	0.201	-0.014	0.175	0.291	0.233	-0.037	0.537	0.609	0.287	0.056	0.564	0.644	0.310	0.029
Meeswijk Veer rkm 39.0	-0.140	0.183	0.117	-0.263	-0.108	0.172	0.134	-0.178	0.020	0.163	0.162	-0.217	0.053	0.180	0.172	-0.134
Negenoord-West	1.150	2.187	1.860	-0.195	1.199	2.184	1.826	0.102	1.183	2.180	1.832	-0.133	1.237	2.185	1.801	0.152
Negenoord rkm 42.5	-0.086	0.150	0.123	-0.240	-0.032	0.166	0.163	0.006	0.059	0.174	0.164	-0.194	0.117	0.221	0.188	0.047
Rotem rkm 44.9	0.081	0.143	0.118	-0.203	0.165	0.205	0.122	0.092	0.213	0.266	0.159	-0.157	0.302	0.342	0.162	0.138
Rotem Bichterweerd	-0.299	0.536	0.445	-0.240	-0.223	0.545	0.497	0.054	-0.256	0.539	0.474	-0.193	-0.175	0.560	0.532	0.101
Maaseik_HIC	0.054	0.167	0.159	-0.098	0.098	0.196	0.169	0.049	0.297	0.352	0.189	-0.163	0.339	0.374	0.157	-0.033
Maaseik Herenlaak	-0.043	1.025	1.024	0.590	0.027	1.065	1.065	1.003	-0.004	1.025	1.025	0.331	0.062	1.055	1.053	0.766
Ophoven De Spaanjerd	0.024	0.066	0.062	0.057	0.065	0.127	0.109	0.219	0.082	0.148	0.123	-0.124	0.120	0.168	0.118	0.022
Stevensweert	0.021	0.065	0.062	0.104	0.065	0.135	0.119	0.293	0.076	0.142	0.120	-0.128	0.118	0.160	0.108	0.044
Heel boven	0.039	0.100	0.093	0.152	0.069	0.175	0.161	0.348	0.051	0.118	0.106	0.090	0.084	0.184	0.164	0.309
Heel ben	-0.037	0.139	0.134	-0.073	0.015	0.125	0.124	0.023	0.269	0.355	0.233	0.251	0.328	0.413	0.251	0.324
Linne ben	-0.010	0.071	0.070	-0.088	0.041	0.111	0.103	-0.003	0.182	0.241	0.159	0.037	0.238	0.301	0.184	0.122
Roermond boven	-0.026	0.081	0.076	-0.109	0.015	0.085	0.084	0.007	0.097	0.191	0.164	0.177	0.147	0.249	0.201	0.261
Buggenum	-0.022	0.132	0.130	-0.093	0.031	0.127	0.123	0.019	0.282	0.362	0.228	0.258	0.342	0.421	0.247	0.358
Neer	-0.040	0.130	0.124	-0.067	0.007	0.127	0.127	0.011	0.233	0.322	0.222	0.338	0.288	0.381	0.250	0.415
Belfeld bov	-0.078	0.172	0.153	-0.066	-0.032	0.136	0.132	0.009	0.113	0.218	0.187	0.246	0.168	0.275	0.217	0.310
Belfeld ben	-0.004	0.186	0.186	0.184	0.044	0.161	0.154	0.195	0.337	0.414	0.241	0.486	0.388	0.458	0.243	0.479
Venlo	-0.005	0.167	0.167	0.125	0.050	0.152	0.144	0.205	0.220	0.295	0.195	0.240	0.281	0.346	0.202	0.315
Well dorp	-0.094	0.191	0.166	-0.228	-0.040	0.120	0.114	-0.095	0.025	0.157	0.155	-0.201	0.086	0.147	0.119	-0.055
Sambeek bov	-0.096	0.196	0.171	-0.225	-0.056	0.131	0.119	-0.096	-0.051	0.143	0.133	-0.219	-0.001	0.068	0.068	-0.087
Sambeek ben	-0.090	0.227	0.208	-0.061	-0.041	0.146	0.140	0.021	0.038	0.169	0.165	-0.041	0.096	0.180	0.152	0.042
Gennep	-0.059	0.190	0.181	-0.008	-0.037	0.133	0.128	-0.081	0.093	0.185	0.160	0.198	0.131	0.187	0.135	0.190
Mook	-0.011	0.124	0.123	0.141	-0.005	0.100	0.100	0.010	0.125	0.234	0.198	0.433	0.150	0.217	0.157	0.399
Grave bov	-0.044	0.109	0.100	-0.030	-0.045	0.113	0.103	-0.139	0.033	0.143	0.139	0.207	0.045	0.092	0.081	0.104
Grave ben	-0.052	0.235	0.229	0.093	-0.033	0.163	0.160	-0.018	0.150	0.240	0.187	0.330	0.180	0.237	0.154	0.233
Megen dorp	-0.041	0.172	0.168	0.159	-0.041	0.130	0.124	0.013	0.064	0.165	0.152	0.311	0.072	0.116	0.090	0.186
Lith bov	0.008	0.108	0.108	0.189	-0.003	0.080	0.080	0.109	0.065	0.175	0.162	0.304	0.060	0.114	0.097	0.205
Lith dorp	-0.088	0.297	0.284	0.084	-0.066	0.210	0.199	0.023	0.135	0.229	0.185	0.195	0.168	0.253	0.189	0.114
Empel Beneden	-0.090	0.272	0.257	0.164	-0.087	0.195	0.175	0.059	0.103	0.197	0.168	0.294	0.120	0.184	0.140	0.175
Heesbeen	-0.049	0.158	0.151	0.037	-0.054	0.124	0.111	-0.048	0.082	0.137	0.109	0.193	0.088	0.121	0.083	0.102
Keizersveer	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002	0.001	0.007	0.007	0.002
Bunde	-0.058	0.085	0.063	-0.025	-0.064	0.093	0.067	-0.001	-0.053	0.087	0.070	0.037	-0.059	0.095	0.075	0.069
Bias alle stations	-0.002	0.240	0.212	-0.030	0.033	0.236	0.211	0.075	0.134	0.305	0.239	0.060	0.174	0.323	0.239	0.166
Bias alle LMW-stations	-0.035	0.169	0.152	-0.032	0.000	0.160	0.145	0.054	0.116	0.237	0.177	0.081	0.157	0.253	0.174	0.167
RMS alle stations	0.200	0.415	0.364	0.188	0.204	0.415	0.362	0.203	0.260	0.455	0.374	0.243	0.284	0.471	0.376	0.245
RMS alle LMW-stations	0.088	0.190	0.169	0.166	0.078	0.180	0.162	0.139	0.183	0.264	0.190	0.252	0.212	0.287	0.194	0.232

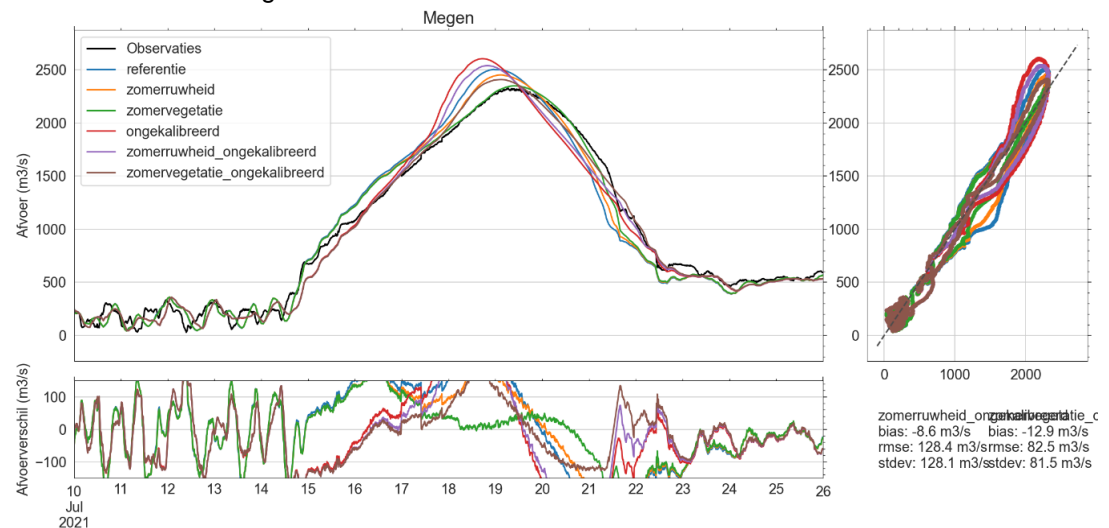
6.3 Afvoeren

Het effect van de hogere ruwheidscoëfficiënten voor de zomer en de zomerkartering is zichtbaar in de tijdseries van de afvoeren welke zijn opgenomen in de digitale Appendix E.6. Voor locatie Venlo (zie Figuur 6.6) toont de referentie een te snelle stijging in de afvoer vanaf ongeveer 1500 m³/s. Ook ligt de piekafvoer hoger dan de metingen aantonen. In de varianten zomerruwheid en zomervegetatie is de stijging in afvoer minder snel en ligt de piekafvoer lager. Door de afvlakking en afname van de piekafvoer is de overschatting minder groot in de variant zomerruwheid, waardoor de modelresultaten van deze variant op deze locatie het best overeen komen met de metingen. De afvlakking van de afvoer is te groot voor de variant zomervegetatie waardoor de piekafvoer hier te laat wordt bereikt en er na de piek een relatief grote overschatting van de afvoer plaatsvindt.



Figuur 6.6 De afvoeren en het verschil in afvoer tussen onder andere de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw), de variant zomerruwheid (oranje), de variant zomervegetatie (groen) en de metingen van de meetlocatie Venlo.

Voor locatie Megen (zie Figuur 6.7) toont de referentie een te snelle stijging in de afvoer vanaf ongeveer 1900 m³/s. De afvoer voor variant zomerruwheid steigt minder snel, maar het valt vooral op dat op deze locatie de afvoer van de variant zomervegetatie zeer goed overeenkomt met de gemeten afvoer.



Figuur 6.7 De afvoeren en het verschil in afvoer tussen onder andere de referentie van maas-j21_6-v1b met winterruwheid (blauw), de variant zomerruwheid (oranje), de variant zomervegetatie (groen) en de metingen van de meetlocatie Megen.

In Tabel 6.3 zijn de statistieken voor de afvoer-meetlocaties opgenomen. Bij de locaties St. Pieter, Borgharen dorp en Maaseik is de verbetering in de afvoer minder goed in de tijdseries zichtbaar. Tabel 6.3 toont dat ook voor deze locaties de absolute bias weliswaar iets toeneemt, maar dat zowel de stdev, rmse en dmax sterk afnemen voor de variant zomerruwheid en nog verder verbeteren voor de variant zomervegetatie.

Tabel 6.3 De bias, standaarddeviatie (stdev), root mean square error (rmse) en de afwijking van de piekafvoer (dmax) tussen de afvoeren berekend met het maas-j21_6-v1a-model en de metingen van alle LMW meetstations voor zowel de referentie en de varianten met zomerruwheid en met zomerartering (zomervegetatie). In de onderste rij zijn ook de ongekalibreerde varianten toegevoegd. Groene kaders tonen aan waar de varianten met zomervegetatie minder kleine dmax tonen dan de varianten met wintervegetatie.

	dflowfm2d-maas-j21_6-v1b referentie				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomerruwheid				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomervegetatie			
	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden Grens	4.04	24.55	24.22	-7.58	4.04	24.56	24.23	-7.76	4.04	24.56	24.23	-9.78
Sint Pieter Noord	-1.49	45.70	45.69	33.50	-1.50	46.53	46.51	32.12	-1.51	46.55	46.53	30.94
Borgharen Dorp	-2.09	45.10	45.06	38.56	-2.11	45.50	45.46	35.98	-2.12	45.71	45.67	33.20
Venlo	2.19	49.71	49.68	61.31	0.30	43.20	43.21	31.94	-2.25	55.62	55.58	-29.83
Megen	-2.06	145.85	145.87	175.90	-4.65	117.69	117.62	123.39	-7.82	90.21	89.89	19.94
Maaseik rkm 52.8	3.25	60.83	60.75	203.17	2.65	57.79	57.74	185.66	1.25	57.72	57.72	128.01
Bias alle stations	0.64	61.96	61.88	84.14	-0.21	55.88	55.80	66.89	-1.40	53.39	53.27	28.75
RMS alle stations	2.66	73.22	73.19	114.49	2.94	63.11	63.05	94.08	3.89	56.89	56.77	57.49
	dflowfm2d-maas-j21_6-v1b ongekalibreerd				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomerruwheid_ongekalibreerd				dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zomervegetatie_ongekalibreerd			
	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax	bias	rmse	stdev	dmax
Eijsden Grens	3.99	24.75	24.43	-4.24	3.99	24.75	24.43	-3.87	3.99	24.75	24.43	-7.21
Sint Pieter Noord	-1.76	47.02	47.00	31.68	-1.83	47.77	47.74	26.61	-1.85	47.80	47.77	25.22
Borgharen Dorp	-2.60	39.63	39.55	31.31	-2.74	40.13	40.05	23.22	-2.84	40.31	40.22	18.21
Venlo	0.36	72.85	72.87	129.75	-2.01	59.33	59.31	88.82	-5.36	49.50	49.22	-4.06
Megen	-5.46	157.13	157.07	276.47	-8.63	128.38	128.12	210.99	-12.93	82.54	81.53	80.09
Maaseik rkm 52.8	2.28	59.34	59.31	199.52	1.63	54.74	54.73	184.44	-0.60	47.67	47.67	107.38
Bias alle stations	-0.53	66.79	66.70	110.75	-1.60	59.18	59.06	88.37	-3.27	48.76	48.47	36.61
RMS alle stations	3.19	79.49	79.44	150.04	4.24	67.70	67.58	120.89	6.11	51.73	51.38	56.25

In Tabel 7.1 zijn voor zowel de twee zesde-generatiemodellen (met winter- en zomervegetatie) als voor het WAQUA-model van de vijfde generatie de verschillen in de topwaterstanden ten opzichte van de metingen weergegeven. De verschillen tussen de gemeten topwaterstanden en de WAQUA-resultaten zijn verkregen uit Tabel 5.5 pp.41 uit Van der Veen (2022).

In de tabel valt op dat de overschatting van de topwaterstand met 10 tot 21 cm op de Bovenmaas groter is dan in WAQUA (met 1 cm). Dit is deels het geval doordat de opgegeven afvoer op de bovenrand van het model bij meetlocatie Eijsden grens bepaald en gevalideerd is door van der Veen (2021) d.m.v. een QF relatie die is gebaseerd op metingen, en modelresultaten van WAQUA. De verschillen op de Grensmaas variëren tussen -50 en +10 cm, maar zijn 10 tot 20 cm kleiner dan in WAQUA. De topwaterstanden van het zesde-generatiemodel komen hier dus beter overeen met de metingen. Het model presteert op dit traject nog beter wanneer de ruwheid van de zomervegetatie wordt gebruikt.

Tot aan Megen zijn verschillen van de zesde-generatiemodelresultaten kleiner dan die van WAQUA, behalve voor de locaties van Belfeld Beneden en Venlo. Het model is redelijk goed in de reproductie van het opgaande water. Wel is met name de timing van de instroom van de retentiegebieden net anders dan gemeten waardoor de topvervlakking op een ander moment plaatsvindt en er na Roermond ook een afwijking zichtbaar is in het opgaande deel van de piek. Vanaf Roermond wordt het zomerbed breder en is er een groter verschil zichtbaar tussen het moment dat de topwaterstand in het model en in de metingen wordt bereikt. De vorm van de piek gaat vanaf deze locatie verder afwijken en de topwaterstand wordt tot aan meetpunt Belfeld-boven met 7 tot 11 cm onderschat, terwijl het WAQUA-model de waterstanden hier met 2 tot 17 cm overschat. De dalende fase van het hoogwater laat voor de referentie een beduidend steiler verloop zien dan de metingen. Dit is ook het geval in het model met de hogere zomerruwheden. De hogere zomerruwheden zorgen wel voor een verdere toename van de topwaterstand, maar zorgen niet voor een trager verloop van de afvoergolf. Het gebruik van de zomerkartering zorgt daarentegen niet alleen voor toename van de topwaterstand, maar ook voor een beduidend tragere stijging van de waterstanden in het laatste deel voor de topwaterstand. Dit leidt tot een verbetering van de modelresultaten ten opzichte van de metingen. Ook is in de eerste fase na de topwaterstand zichtbaar dat ook de daling van waterstand en afvoer trager verloopt door het gebruik van de zomerkartering. De zomerkartering zorgt dus voor een afvlakking van met name het hoogste deel van de afvoerpiek.

Vanaf Venlo tot Sambeek stijgen de waterstanden in het model te traag, waardoor de topwaterstand te laat wordt bereikt en met 23 cm wordt onderschat. Deze onderschatting is in dezelfde orde als de onderschatting van het WAQUA-model. De waterstanden stijgen nog trager voor de variant met zomervegetatie, maar door een toename in de topwaterstand neemt het verschil af tot 20 cm onderschatting voor de zomerruwheid en 9 cm onderschatting voor de zomervegetatie. Er zijn hier dus waarschijnlijk ook andere factoren die maken dat de vorm van de afvoergolf niet goed gerepresenteerd wordt in het model.

Verder valt op dat de grote afwijkingen van de waterstand in het zomerbed van -29/-17 cm met winter/zomervegetatie, bij Uikhoven en -26/-20 tot -10/4 cm op het traject Meeswijk Veer-Maaseik in WAQUA zelfs nog groter is met respectievelijk 52 cm en 26 tot 48 cm. Na Mook is ook in het eerste deel van de opgaande fase van het hoogwater steeds een duidelijke afwijking zichtbaar tussen het model en de metingen.

Er zijn in het model minder momenten met afvlakking van de stijging van het water zichtbaar en de topwaterstand wordt in het model steeds eerder bereikt dan in de metingen. De topwaterstanden liggen op dit traject 8 tot 19 cm hoger dan de metingen, deze overschatting is 10 tot 15 cm lager dan in WAQUA.

Tabel 7.1 Het verschil tussen de gemeten en berekende topwaterstanden voor het zesde-generatie-j21-model (dflowfm2d-maas-j21_6-v1b) met de winterkartering+ winterruwheid (referentie), winterkartering+ zomerruwheid (zomerruwheid) en zomerkartering + zomerruwheid (zomervegetatie) en voor het WAQUA-model (Tabel 5.5 pp.41 uit Van der Veen, R. 2022). Dikgedrukte locaties zijn de LMW-metlocaties gebruikt voor de kalibratie en validatie van het Maasmodel.

	dflowfm2d-maas j21_6-v1b referentie	dflowfm2d-maas j21_6-v1b zomerruwheid	dflowfm2d-maas j21_6-v1b zomervegetatie	dflowfm2d-maas j21_6-v1b zomervegetatie ongekalibreerd	WAQUA (R. van der Veen, 2022)	HW1993 (De Jong, J. 2021)
	dmax	dmax	dmax	dmax	dmax	dmax
Eijsden grens	0.21	0.29	0.32	0.46	0.1	0.13
Sint Pieter noord	0.12	0.14	0.15	0.38	0.01	0.27
Borgharen_jul	-0.09	-0.05	0.00	0.01	-0.21	0.00
Borgharen_dorp	0.03	0.13	0.24	0.25	-0.07	0.01
Lanaken-Smeermaas rkm 18.4	0.05	0.17	0.33	0.24	-0.28	0.00
Uikhoven rkm 25.3	-0.29	-0.17	0.03	-0.04	-0.52	
Eisloo	-0.49	-0.43	0.01	0.03	-0.42	0.00
ZB5a	-0.30	-0.23	-0.07	-0.03		
ZB9a	-0.21	-0.14	-0.05	-0.01		
ZB17a	-0.05	0.02	0.09	0.14		
Eisden-Mazenhoven rkm 34.7	-0.01	0.08	-0.04	0.03	-0.11	
Meeswijk Veer rkm 39.0	-0.26	-0.20	-0.18	-0.13	-0.46	
Negenoord-West	-0.20	-0.07	0.10	0.15		
Negenoord rkm 42.5	-0.24	-0.14	0.01	0.05	-0.34	
Rotem rkm 44.9	-0.20	-0.10	0.09	0.14	-0.3	
Rotem Bichterwaard	-0.24	-0.13	0.05	0.10		
Maaseik_HIC	-0.10	0.04	0.05	-0.03	-0.28	-0.07
Maaseik Herenlaak	0.59	0.72	1.00	0.77		
Ophoven De Spaanjerd	0.06	0.16	0.22	0.02		
Stevensweert	0.10	0.22	0.29	0.04	-0.09	0.04
Heel boven	0.15	0.21	0.35	0.31	0.06	0.04
Heel ben	-0.07	-0.01	0.02	0.32	0.08	-0.06
Linne ben	-0.09	0.00	0.00	0.12	-0.09	-0.06
Roermond boven	-0.11	-0.03	0.01	0.26	0.02	-0.04
Buggenum	-0.09	-0.03	0.02	0.36	0.09	-0.04
Neer	-0.07	-0.01	0.01	0.42	0.17	
Belfeld bov	-0.07	-0.01	0.01	0.31	0	-0.10
Belfeld ben	0.18	0.24	0.20	0.48	0.22	-0.12
Venlo	0.13	0.18	0.20	0.31	0	-0.03
Well dorp	-0.23	-0.20	-0.09	-0.05	-0.23	-0.06
Sambeek bov	-0.23	-0.21	-0.10	-0.09	-0.22	-0.06
Sambeek ben	-0.06	-0.05	0.02	0.04	-0.08	-0.04
Gennep	-0.01	-0.01	-0.08	0.19	0.18	0.01
Mook	0.14	0.10	0.01	0.40	0.35	
Grave bov	-0.03	-0.04	-0.14	0.10	0.12	-0.09
Grave ben	0.09	0.08	-0.02	0.23	0.18	-0.05
Megen dorp	0.16	0.13	0.01	0.19	0.27	-0.05
Lith bov	0.19	0.18	0.11	0.21	0.15	0.08
Lith dorp	0.08	0.08	0.02	0.11	0.01	-0.01
Empel Beneden	0.16	0.14	0.06	0.18	0.08	
Heesbeen	0.04	0.02	-0.05	0.10	-0.08	0.13
Keizersveer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Bunde	-0.05	-0.03	-0.02	0.05		
Bias alle stations	-0.03	0.02	0.07	0.17	-0.05	-0.01
Bias alle LMW-stations	-0.03	0.02	0.05	0.17	-0.05	0.00
Bias stations kalibratie 1995	-0.03	0.03	0.08	0.16	-0.07	0.01
RMS alle stations	0.19	0.18	0.20	0.24	0.22	0.08
RMS alle LMW-stations	0.17	0.15	0.41	0.23	0.21	0.07
RMS stations kalibratie 1995	0.16	0.16	0.14	0.18	0.13	0.06

8 Conclusie

8.1 Opbouw j21-model

Het historische j21-model van de Maas in D-HYDRO is specifiek opgebouwd voor de validatie van het hoogwater van juli 2021. Baseline-maas-j21_6-v1 en dflowfm2d-maas-j21_6-v1b zijn opgebouwd uit en vervolgens vergeleken met baseline-maas-j19_6-v2 en dflowfm2d-maas-j19_6-v2a. Ter validatie van het nieuwe j21-model zijn met beide modellen simulaties uitgevoerd met 2 standaardsommen van JAMM 2022, namelijk de som S250 en D4100.

In j21 blijkt tijdens lage afvoeren ten opzichte van j19 een waterstandsdeling van 5 cm bovenstrooms van rkm. 5 te ontstaan. Ook op de gehele Grensmaas (rkm. 16 tot en met 55) is een waterstandsdeling zichtbaar, die met 43 cm het grootst is bovenstrooms van rkm. 45. Deze waterstandsdeling wordt veroorzaakt door oplevering van maatregel Elerweerd waarvoor rondom rkm. 46,5 de bodem van het winterbed lokaal 6 m is verlaagd. Bij hoge afvoeren is er op de Zandmaas (rkm. 70 tot 110) een waterstandsdeling in de orde van 5 cm, vermoedelijk door de opname van nieuwe zomerbedlodgingen. Bij rkm. 132 stijgt de waterstand bij hoge afvoer door de aanpassing van de Baseline-data van het project Ooijen Wanssum. Dit zijn de grootste veranderingen in de waterstanden. Deze waren ook grotendeels zichtbaar in de 5^e-generatiemodellen voor j19 en j21. In de zesde generatie zijn dus geen onverwachte veranderingen in de waterstand zichtbaar en de modelschematisatie j21_6 is daarom geaccepteerd.

8.2 Validatie van het hoogwater van 2021

8.2.1 Topwaterstand

De prestatie van het model voor het hoogwater van 2021 is niet eenduidig. Op sommige trajecten (bijv. de Bovenmaas, Grensmaas, Benedenmaas) worden de topwaterstanden overschat, op andere trajecten (bijv. de Plassenmaas, Peelhorstmaas en Getijdemaas) is juist sprake van een onderschatting. Deze verschillen ontstaan met name omdat de vorm van de hoogwaterpiek op veel plekken niet goed wordt gemodelleerd.

Het model is redelijk goed in de reproductie van het opgaande water, behalve voor het hoogste deel van de afvoerpiek. Door de extreem spitse vorm van het hoogwater van juli 2021 zakt de piekafvoer sterk in (topvervlakking). Dit begint zichtbaar te worden in de waterstanden op de Plassenmaas, maar vooral vanaf Roermond wijkt de vorm van de afvoerpiek af. Dit komt omdat er in het model totaan Roermond over het algemeen te weinig topvervlakking plaatsvindt. Vanaf Roermond laat ook de dalende fase van het hoogwater in het model een beduidend steiler verloop zien dan de metingen. Vanaf Venlo tot Sambeek vindt er juist teveel topvervlakking plaats. Hierdoor stijgen de waterstanden te traag en wordt de topwaterstand te laat bereikt in het model. Na Mook is ook in het eerste deel van de opgaande fase van het hoogwater steeds een duidelijke afwijking zichtbaar tussen het model en de metingen. Er zijn in het model minder momenten met afvlakking van de stijging van het water zichtbaar en de topwaterstand wordt in het model steeds eerder bereikt dan in de metingen.

De verschillen in topwaterstand zijn over het algemeen in het zesde-generatiemodel kleiner (gemiddelde bias van -3 mm en RMS van 19 mm) dan voor het vijfde-generatie WAQUA-model (gemiddelde bias van -5 mm en RMS van 22 mm). Wel valt op dat de overschatting van de topwaterstand op de Bovenmaas groter is dan in WAQUA (met 10 mm).

8.2.2 Verhang

Er is tussen de LMW-meetlocaties geen lineair patroon zichtbaar in het verschil in de waterstanden zoals bepaald door het model en de LiDAR en varende GPS-meting. De lokale variatie in waterstandsverschillen tussen de meetpunten ontstaat mogelijk door bochteffecten, een onnauwkeurige of niet actuele schematisatie of door een afwijking tussen het moment waarop uiterwaarden of bergingsgebieden in het model en in werkelijkheid instromen. Er wordt tijdens de modelkalibratie wel op gehele trajecten tussen LMW-meetlocaties gekalibreerd. De varende GPS-metingen of LiDAR-data kunnen niet alleen een waardevolle aanvulling zijn ter controle van de huidige modelschematisatie, maar ook bij modelkalibratie. Op basis van deze metingen zouden de huidige kalibratietrajecten tussen de LMW-meetlocaties opgesplitst kunnen worden. Ook kan eventueel gekozen worden om af te stappen van kalibratietrajecten en te werken met een geleidelijk verloop van ruwheden, bijvoorbeeld door de ruwheid op punten te specificeren en daartussen lineair te interpoleren op celniveau (Kosters, 2024). Voor het morfologische model van de Rijn wordt dit momenteel onderzocht (Becker et. al., 2023).

De waterstanden zoals nu ingemeten door GPS of LiDAR hebben een grotere onzekerheid dan de waterstanden van de LMW-meetpunten, maar kunnen desondanks aanwijzingen geven voor mogelijke oorzaken van minder goede prestaties van het model. Dit type metingen is daarom zeer waardevol voor niet alleen de validatie, maar ook voor mogelijke herkalibratie. Daarvoor moet de onzekerheid van met name de LiDAR-data nog wel worden verkleind. Dit kan door de aanbevelingen van Visscher en Schroevers (2023) op te volgen.

8.2.3 Afvoer

Voor de bovenrand van het model (Bij Lixhe) wordt de afvoer van LMW-meetlocatie Eijsden-grens gebruikt. Bij Sint Pieter Noord volgt het model netjes het patroon van de gemeten afvoer, maar de piekafvoer is in het model 34 m³/s hoger en de piek wordt ook iets later bereikt dan in de metingen. Deze afwijkingen bij de meetpunten van Eijsden en St. Pieter Noord zijn allen in dezelfde marge als de correcties en onzekerheden rondom de afvoerbepaling van deze twee meetpunten zoals uitgevoerd door van der Veen (2021). Wel valt op dat de overschatting van de topwaterstand met 10 tot 21 cm op de Bovenmaas groter is dan de 1 cm in WAQUA. Dit is deels het geval doordat de opgegeven afvoer op de bovenrand van het model bij meetlocatie Eijsden grens bepaald en gevalideerd is door van der Veen (2021) d.m.v. een QF relatie die via routing is gebaseerd op metingen bij St. Pieter, maar ook is gebaseerd op modelresultaten van WAQUA.

Door de extreem spitse vorm van het hoogwater van juli 2021 is sprake van veel topvervlakking. In het model wordt topvervlakking echter onvoldoende gerepresenteerd, waardoor in benedenstroomse richting de overschatting van de piekafvoer toeneemt. De verschillen zijn doorgaans het grootst op het moment dat het verloop van de afvoerpiek het steilste is. Dit wordt bevestigd door losse afvoermetingen van zowel de CIV als Aqua Vision.

Voor het zomerbed van het stuwpand tussen Sambeek en Grave is tijdens de middelhoge afvoer op 16 juli een relatief goede overeenkomst tussen zowel de afvoer en dieptegemiddelde stroomsnelheden van het model en de metingen van Aqua Vision. Echter stroomt op het traject van de oude Maasarm (rkm 149 - 153) tijdens de piekafvoer op 18 juli een groot deel van de afvoer via het winterbed aan de rechterzijde van de rivier. Hierdoor neemt de afvoer door het zomerbed zelf af ten tijde van de piek. In het model stroomt hier in verhouding meer water via het winterbed dan dat de metingen aangeven. Dit leidt tot een onderschatting van de afvoer in het zomerbed. De metingen van zowel 16 als 18 juli tonen in het zomerbed van dit traject dieptegemiddelde stroomsnelheden van maximaal 2 m/s. Het model toont echter op 18 juli (tijdens de piek) een maximale snelheid van slechts 1 m/s.

8.3 Effect van de zomervegetatie

Waterstanden en afvoeren in de Maas worden sterk beïnvloed door vegetatie in de uiterwaarden. Het hoogwater van juli 2021 trad in de zomer op. Dit betekent dat uiterwaarden niet glad gemaaid waren, maar dat er op diverse locaties weelderige vegetatie en zelfs volle maïsvelden stonden. De hypothese is dat deze zomervegetatie heeft geleid tot lokaal hogere waterstanden en een grotere afname van de afvoer door topvervlakking, dan wanneer eenzelfde afvoergolf in de winter was opgetreden. In deze rapportage is zowel gekeken naar het effect van het gebruik van de zomerruwheidcoëfficiënt voor de normaal in de winter aanwezige vegetatie als naar de aanwezigheid van gewassen op de in de winter kale akkers.

Zowel het gebruik van ruwheidscoëfficiënten voor de zomer voor de wintervegetatie (o.b.v. Van Velzen, 2005; zie Appendix C.3) als de zomerkartering zorgt gemiddeld voor een toename van de waterstanden. Deze toename is het grootst vanaf het moment dat het winterbed meestroomt. Voor enkele trajecten zijn door deze toename de resultaten significant verbeterd. Er zijn voor de varianten zomerruwheid en zomerkartering 27 meetlocaties waar de d_{max} lager is en slechts 16 locaties hebben een gelijke of hogere d_{max} dan de referentie.

Niet alleen de d_{max} , maar ook de gemiddelde bias neemt toe van -2 mm voor de referentie naar 19 mm voor de variant met zomerruwheden en naar 33 mm voor de variant met zomerkartering. De standaarddeviatie en RMSE nemen daarentegen af.

Wat opvalt is dat op het traject van de Grensmaas en tussen Well dorp tot Sambeek de waterstanden in het ongekalibreerde model met zomervegetatie niet alleen beter zijn dan in het ongekalibreerde model, maar ook beter dan in de referentie. Op dit traject zijn relatief hoge kalibratiefactoren van toepassing in de orde van 1,03 tot 1,33 tussen Well Dorp en Gennep. Bij de modelbouw van het zesde-generatiemodel werd al genoemd dat op dit traject een groot gedeelte van de afvoer door het winterbed gaat. Het meenemen van het winterbed binnen de kalibratiepolygoon zou voor realistischere kalibratiefactoren zorgen.

Voor sommige trajecten komt door het gebruik van de zomerkartering ook de vorm van de golf beter overeen met de metingen. Dit komt voornamelijk door meer topvervlakking rondom de piek. Vanaf Venlo is juist zichtbaar dat er door het gebruik van de zomerkartering teveel topvervlakking plaatsvindt. De waterstanden stijgen te traag en de topwaterstand wordt te laat bereikt in het model. Wel zijn ook hier de topwaterstanden hoger dan in de referentie.

Over het gehele model komen de afvoeren veel beter overeen voor de variant met zomerkartering. In de referentie is de stijging voor de hogere afvoeren te snel, waardoor de afvoerpiek voor de meeste locaties te spits is in het model. De piekafvoer arriveert te vroeg en is hoger dan de metingen aantonen. De variant zomervegetatie geeft een sterke verbetering doordat de stijging voor de hogere afvoeren minder snel is. De piek valt daardoor beter samen met de gemeten piek en ook neemt de overschatting van de piekafvoer af.

Er is over het gehele model geen algehele betere overeenkomst met zowel de afvoergolf als de hoogwaterstanden, die direct te linken is aan de verandering in vegetatiekartering. Voor enkele locaties is het ongekalibreerde model met zomervegetatie het best in de reproductie van de metingen. Deze resultaten verslechteren door het gebruik van de huidige kalibratiefactoren. Op andere locaties blijven de kalibratiefactoren juist echt nodig om ook voor de variant met zomervegetatie betere resultaten te verkrijgen. Dit impliceert dat waarschijnlijk ook een onnauwkeurige of niet actuele schematisatie, onzekerheden in randvoorwaarden of afwijkingen van het officiële stuwbeheer zorgen voor de afwijking ten opzichte van de metingen. Er wordt daarom geadviseerd om eerst extra validaties uit te voeren op meer recente (zomer)-hoogwaters en om het Maasmodel verder te controleren.

8.4 Gebruik van het hoogwater van 2021 voor kalibratie

Op basis van deze validatie is er geen aanleiding om de huidige aanpak voor kalibratie van het Maasmodel direct te wijzigen. Het verschil van het nieuwe zesde-generatiemodel t.o.v. de metingen van de topwaterstanden (dmax) bedraagt globaal tussen de -20 en +20 cm (met lokale uitschieters op de LMW-stations naar -49 en +26 cm), met vooral op de Bovenmaas te lage en op de Benedenmaas te hoge waterstanden. De verschillen zijn vergelijkbaar met het huidige vijfde-generatiemodel (en over het algemeen presteert het zesde-generatiemodel iets beter).

De bias, de standaarddeviatie, de RMSE en de dmax zijn ongeveer 10 cm hoger in het ongekalibreerde model. Het ongekalibreerde model levert over het algemeen een overschatting van de waterstanden. De kalibratie verkleint deze overschatting of verkleint voor enkele punten juist de onderschatting van de waterstanden in de maand juli 2021. De huidige kalibratie verbetert nog steeds de resultaten van het overgrote deel van het zesde-generatie Maasmodel en is dus nog steeds van toepassing.

De hypothese was dat de kalibratie op 1995 er (zeer waarschijnlijk) voor zorgt dat de afvoergolf te steil is en niet voldoende afvlakt (vooral in het benedenstroomse deel). Om deze reden is ook het model zonder de kalibratiefactor voor dit H2-niveau getest. De gemiddelde bias en dmax tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn kleiner wanneer de H2-kalibratiefactoren niet worden toegepast. Echter nemen wel de RMSE en standaarddeviatie toe en is het verschil in topwaterstand voor meer dan de helft van de LMW-locaties die zijn gebruikt tijdens de kalibratie groter zonder de H2-kalibratiefactoren. Deze resultaten tonen dat het model met kalibratie (de referentie) beter is dan de varianten zonder kalibratie.

De resultaten tonen dat dflowfm2d-maas-j21_6-v1b (de referentie) beter presteert in deze validatie dan de ongekalibreerde varianten of de varianten zonder de kalibratie op het hoogste niveau (H2), dat op basis van 1995 is vastgesteld. Herkalibratie op het basis van het hoogwater van juli 2021 moet pas overwogen worden indien de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen van dit hoogwater van 2021 onacceptabel zijn en de verwachting is dat herkalibratie op basis van dit hoogwater de modelresultaten voor toekomstige hoogwaters verbetert. Op basis van alleen een vergelijking met metingen kan echter niet worden gezegd of herkalibratie een beter model op gaat leveren. Het hoogwater van juli 2021 was zeer spits qua golfvorm en het betrof een zomerevent, terwijl hoogwaters tot nu toe altijd in de winter plaatsvonden. De schematisatie van 2021 is wel veel recenter en ook de kwaliteit van de meetdata van het hoogwater is beter en diverser dan voor het hoogwater van 1993 en 1995. Echter ontbraken losse divermetingen in de uiterwaarden en is ook nog niet duidelijk welke data in daadwerkelijk in eventuele herkalibratie meegenomen kan worden. Daarnaast is nog onzeker waardoor de verschillen tussen de modelresultaten en metingen exact worden veroorzaakt en dit dient eerst verder te worden onderzocht en waar nodig dient het model eerst verder te worden verbeterd.

Als er voor herkalibratie wordt gekozen wordt aanbevolen om de simulatie met zomervegetatie te gebruiken, aangezien dit model over de hele Maas gezien gemiddeld beter presteert dan het model met zomerruwheidscoëfficiënten of het model met de huidige wintervegetatie.

8.5 Aanbevelingen

Aanbeveling voor de modelschematisatie:

- De locatie MA_44.95_L_HIC_Rotem_Bichterweerd is niet opgenomen in de standaard uitvoerlocaties van het Maasmodel. Deze locatie is voor deze analyse als volgt opgenomen in indicentele_metingen.xyn: "181681 340178 MA_44.95_L_HIC_Rotem_Bichterweerd". Aanbevolen wordt om deze locatie toe te voegen aan de vaste uitvoerlocaties van het Maas-model.
- Er wordt aanbevolen om een extra analyse of check uit te voeren van de schematisatie (bodemhoogte, ecotopen, ruwheden) van de Grensmaas en van het traject tussen Sambeek en Lith. Specifiek bij LMW-meetpunten Mook en Elsloo zijn ook bij andere validaties al relatief grote verschillen geconstateerd tussen de piekwaterstand van het model en de metingen. Daarnaast tonen zowel de verhanglijnmetingen van Aquavision, als de LiDAR metingen een niet-linear verschil in waterstand tussen het model en de metingen dat mogelijk ontstaat door een onnauwkeurige of niet actuele schematisatie. Voor de schematisatie vanaf Sambeek wordt aanbevolen om voor deze extra analyse een deelmodel op te stellen vanaf de afvoerraai bij Venlo of op basis van een QH-relatie bij stuw Sambeek, zodat bovenstroomse onnauwkeurigheden wegvallen bij de validatie.
- De afvoer van belangrijke lateralen worden in het Maasmodel vaak direct op de rivieras gespecificeerd en toegevoegd. Dit is voor het doel van de hoogwatervoorstellingen op het hoofdwatersysteem van de Maas de beste methode. Echter zou voor een verbetering van de inundatiebeelden in het winterbed en specifiek de interactie met het regionale systeem overwogen kunnen worden om de toestromende lateralen al bij de randen van het model te plaatsen en ook het rooster voor de grote/belangrijke lateralen beter uit te lijnen. Nu is er bijvoorbeeld langs de Hambeek bij rkm. 78 geen inundatie in het model terwijl de waterdiepte op de oevers van de Hambeek volgens Asselman en van Heeringen (2023) meer dan 1 m was tijdens het hoogwater en ook de strootjesmetingen en LiDAR data deze inundatie aantoont.

Aanbevelingen voor meetcampagnes tijdens toekomstige hoogwaters:

- Tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn strootjesmetingen uitgevoerd voor het bepalen van de maximale inundatie en bijbehorende topwaterstanden. De metingen zijn erg waardevol ter validatie van het model, maar ook ter validatie van de overige metingen zoals LiDAR. Wel wordt aanbevolen om de data goed te controleren en aan te geven of eventuele opmerkingen over ander ingemeten punten/niveaus goed zijn verwerkt in de uiteindelijke hoogte van het punt. Er waren nu namelijk diverse punten met onzekere hoogte aanwezig.
- Tijdens het hoogwater van juli 2021 is voor het eerst de topwaterstand afgeleid uit LiDAR-data. De onzekerheid van deze topwaterstanden is op dit moment nog ongeveer 25 cm. Visscher en Schroevers, 2023 hebben een aantal aanbevelingen opgesteld om deze onzekerheden te verkleinen. Op basis van de huidige validatie van het hoogwater wordt extra aanbevolen dat bij het maken van een nieuwe topwaterstandenkaart eerst het meest recente modelrooster (dat gebruikt zal worden bij de betreffende modelvalidatie) wordt opgevraagd. Het wordt sterk aanbevolen om deze punten op te pakken en verder te onderzoeken tijdens een toekomstig hoogwater. De LiDAR data geeft nu namelijk op de rivieras al een waardevolle aanvulling en toont de modelprestaties tussen de LMW-meetpunten. Met behulp van deze data zouden de huidige kalibratietrajecten eventueel anders ingedeeld kunnen worden of kan het gewicht van het waterstandsverschil van specifieke LMW-meetstations tijdens de kalibratie worden veranderd.

- Tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn ook als incidentele meetcampagne extra ADCP- en verhanglijn-metingen uitgevoerd op het traject Sambeek-Grave. De dieptegemiddelde stroomsnelheden en afvoeren uit de ADCP-data geven waardevolle aanvullende informatie voor de lokale processen en geven inzicht in de kwaliteit van de modelresultaten op dit traject. Het betreft een traject waar de waterstanden van het model relatief sterk afwijken van die gemeten op de LMW-meetpunten. Met behulp van de extra gegevens kan de prestatie van het model eventueel verder worden gecheckt en verbeterd bij toekomstige kalibratie. Het wordt daarom aanbevolen om ook tijdens toekomstige hoogwaters extra meetcampagnes in te plannen en dan met name op locaties waar het model relatief grote verschillen toont t.o.v. de metingen om zo de lokale processen en mogelijke reden voor afwijkende modelresultaten beter te begrijpen en hiermee eventueel in de toekomst het model te verbeteren. Wel moet er dan ook iemand met veel systeemkennis goed meekijken en input leveren voor het identificeren van de oorzaak van lokale patronen of onzekerheden.
- Er wordt specifiek geadviseerd om extra vaste meetlocaties voor waterstanden toe te voegen in de retentiegebieden langs het Lateraalkanaal (LKW Zuid en LKW Noord) om de retentiewerking van deze gebieden te onderzoeken. Er ontstonden na het hoogwater van 2021 namelijk diverse vragen over deze retentie welke nu niet konden worden beantwoord.
- Ook voor de afvoerverdeling tussen de Grensmaas en oude Maas zijn diverse vragen naar voren gekomen. Voor het bepalen van deze afvoerverdeling wordt aanbevolen om ook in de Oude Maas de afvoer tijdens het hoogwater meerdere malen met een ADCP of met een vaste ADM te meten.

Aanbevelingen voor verder onderzoek:

- Het gebruik van zomerruwheden voor de wintervegetatie en/of een gehele nieuwe zomerkartering is nu voor één hoogwater getest. Voor enkele trajecten zijn de verschillen in piekwaterstand significant verbeterd en de vorm van de afvoerpiek komt over het hele model beter overeen, hoewel er ook locaties zijn waar de verschillen in piekwaterstand en de vorm van het waterstandsverloop verslechteren. Op basis van deze validatie is er geen aanleiding om de huidige aanpak met een ecotopenkartering voor wintervegetatie in het Maasmodel te wijzigen. Daarvoor zijn meer validaties op zomerhoogwaters nodig, of moet mogelijk de zomerkartering worden verbeterd door deze te checken met luchtfoto's of interviews met boeren (zie ook de aanbevelingen van Van Dongen, 2022), omdat het vermoeden is dat diverse boeren nog snel hun gewassen hebben geoogst voor het hoogwater arriveerde.
- Er wordt aanbevolen om de aanbevelingen uit Van der Veen (2021) op te pakken en daarnaast te onderzoeken of de QF-relatie voor Eijsden moet worden herzien op basis van het hoogwater van juli 2021. Van der Veen (2021) heeft namelijk de afvoerreeksen en topafvoeren voor de LMW-meetlocaties gevalideerd en grondig vergeleken met de ADCP metingen en WAQUA resultaten. In de huidige validatie blijkt dat het D-HYDRO model de topwaterstand met 10 tot 21 cm overschat op de Bovenmaas, terwijl deze overschatting slechts 1 cm is in het WAQUA model. Daarentegen wordt de piekafvoer redelijk goed door het model benaderd met een afwijking binnen de onzekerheidsmarges van de metingen.

9 Referenties

- Asselman, N., Barneveld, H.J., Klijn, F. en van Winden, A (2018). Het verhaal van de Maas: de Maas uit balans?
- Asselman, N. en van Heeringen, K (2023). Een watersysteemanalyse – wat leren we van het hoogwater van juli 2021? Deltares rapport 11207700-000-ZWS-0035. Versie 0.2 16-01-2023 (definitief)
- Baptist, M. J., Babovic, V., Uthurburu, J. R., Keijzer, M., Uittenbogaard, R. E., Mynett, A., & Verwey, A. (2007). On inducing equations for vegetation resistance. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4), 435–450. <https://doi.org/10.1080/00221686.2007.9521778>
- Berends, K.D., Dijkstra, J., Spruyt, A., Latella, M. (2022), State of the art and research trends in fluvial vegetation resistance modelling; With a focus on implementation in Rijkswaterstaat hydraulische modellen. Deltares rapport 11208033-018-ZWS-0002
- Becker, A. (2012), Maas-modellen 5de generatie: Modelopzet kalibratie en verificatie. Deltares rapport, 1204280-000-ZWS-0011-v3
- Becker, A., A. Kusters, A.L. Nunes de Alencar Osorio, V. Chavarrias & W. Ottevanger (2023). Morphological model for the river Rhine - First (v0) model of the Waal branch. Deltares rapport, Versie 1.0 20-12-2023 (definitief)
- COLEBROOK, C. F., & WHITE, C. M. (1937). THE REDUCTION OF CARRYING CAPACITY OF PIPES WITH AGE. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 7(1), 99–118. <https://doi.org/10.1680/ijoti.1937.14682>
- De Jong, J. en Asselman, N. (2019). Topvervlakking Maas. Het effect van golfvormen, bergingsgebieden en rivierverruiming. Deltares-rapport 11203684-003-ZWS-0002, Versie 1.0 december 2019 (definitief)
- De Jong, J. (2021). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model - Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares-rapport 11200569-003-ZWS-0014, Versie 1.1 oktober 2021 (definitief)
- De Jong, J., Diermanse, F., Agtersloot, R. Geertsema, T. (2022) . Systeemwerking Maas en waterveiligheid. Onderzoek voor beleidstafel wateroverlast en hoogwater. Deltares-rapport 1208036-012-ZWS-0003 versie 0.3 d.d. 7 november 2022 (definitief)
- Dongen, B. van (2022) Methodiek voor bepalen effect zomervegetatie. Arcadis rapport d.d. 11 januari 2022
- Eelkema, M. (2021). Afvoermetingen Hoogwater Maas & Waal (NOK 31161788). Aqua Vision rapport AV200163_juli2021_v1 d.d. oktober 2021 (definitief)
- Expertise Netwerk Waterveiligheid (2021). Hoogwater 2021 Feiten en Duiding. Uitgave van het Expertise Netwerk Waterveiligheid: 2021
- Klopstra, D., Barneveld, H. J., van Noortwijk, J. M., & van Velzen, E. H. (1997). Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation. The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research, San Francisco, 1997; Proceedings of Theme A, Managing Water: Coping with Scarcity and Abundance, 775–780.

- Kosters, A. (2024). Verbetering Kalibratie en validatie riviermodellen voor Rijkswaterstaat. Deltares-rapport 11209278-013-ZKS-0008 versie 1.0, 27 mei 2024 (definitief)
- Nikuradse, J. (1931). Strömungswiderstand in rauhen Rohren. ZAMM - Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik, 11(6), 409–411. <https://doi.org/10.1002/zamm.19310110603>
- Peters, B. (2022). Role of Albert Canal system in July 2021 flood: what can we learn from this? Wageningen University: MSc thesis
- Veen, R. van der, R. Agtersloot & C. Michels (2021). Jaarlijkse Actualisatie Modellen Maas. Rura-Arnhem P210315R d.d. 25 mei 2021
- Van der Deijl, E., De Jong, J., Visser, T. (2022). Actualisatie zesde-generatie Maas-Modellen. Schematisaties j19_6, beno19_6, beno_mknov19_6. Deltares-rapport 1206813-002-ZWS-0021, Versie 2.0, d.d. april 2022
- Van der Deijl, E. (2023). Validatie hoogwater Maas juli 2021. Deltares rapport 11208053-002-ZWS-0006, versie 1.0, d.d.05 juli 2023
- Van der Veen, R. (2021). Topafvoeren hoogwater Maas juli 2021 – RWS informatie. Rura-Arnhem-rapport P210910R, versie 2.0 d.d. 16-12-2021
- Van der Veen, R. (2022). Analyse hoogwater Maas juli 2021 – (metingen -verwachtingen). Rura-Arnhem-rapport P211015R, versie 2.3 d.d. 16-03-2022
- Van der Veen, R. (2018). Memo Schutdebieten Rijntakken en Maas. Rura-Arnhem-memo 180510R-5, d.d. 20-08-2018
- van Velzen, E.H., D. Beyer, M.J.M. Scholten, C. Stolker (2008). Achtergrondrapport HR 2006 voor de Maas. Thermometerrandvoorwaarden 2006. RWS RIZA rapport 2007.022
- van Velzen, E. H., Jesse, P., Cornelissen, P., & Coops, H. (2003b). Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden (versie 1-2003) Deel 1: Handboek. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) Rijkswaterstaat.
- Visscher, J. en R. Schroevers (2023). Verslag topwaterstandenkaart Maas 2021. RWS Centrale Informatievoorziening : 31 juli 2023. Definitief, bedrijfsvertrouwelijk

A Maatregelen

A.1 Maatregellijst maas-j19_6-v2_j21_6-v1

Maatregellijst om van j19_6-v2a naar j21_6-v1 te geraken (baseline_maatregel_lijst-maas-j19_6-v2_j21_6-v1.txt)

```
# inmixen t.b.v. j21_6-v1
# De naam voor deze variant is : baseline-maas-j21_6-v1
# De basis voor deze variant is : baseline-maas-j19_6-v2
#
# Maatregellijst samengesteld door Lianita Suryawinata
# 30-03-2021
#
# Maatregellijst aangepast door Deltares (Ton Visser)
# 3-6-2022
#
# maatregelen t.b.v. correctie j19_6-v2
#
../maas-maatr_6/act/ma_jukan19_a2
../maas-maatr_6/act/ma_crGoHam_a1
../maas-maatr_6/act/ma_crKm106_a2
../maas-maatr_6/act/ma_crKm172_a2
../maas-maatr_6/act/ma_struct_a7
#
# Maatregelen KRW
#
../maas-maatr_6/act/ma_delzb95_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_mol_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_kon_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_bug_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_al_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_bie_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_wbm_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_wrv_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_vvn_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_arb_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_ar_a1
#
../maas-maatr_6/act/ma_krw_ar2_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_wan_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_vmz_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_brg_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_hlg_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_zom_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_oef_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_cuy_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_ooy_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_mar_a1
#
../maas-maatr_6/act/ma_krw_eva_a1
```

../maas-maatr_6/act/ma_krw_pal_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_bw_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_kow_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_hoe_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_hw_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_hbw_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_bok_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_wel_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_bhu_a2

../maas-maatr_6/act/ma_krw_cu_a1
../maas-maatr_6/act/ma_krw_gk_a2

Maatregelen Lodingen 2019

../maas-maatr_6/act/ma_zbhma19_a1
../maas-maatr_6/act/ma_zbhrm19_a1
../maas-maatr_6/act/ma_plhma19_a2
../maas-maatr_6/act/ma_plhrm19_a1

Maatregelen Projecten 2020

../maas-maatr_6/act/ma_ksven19_a1
../maas-maatr_6/act/ma_lomm19_a1
../maas-maatr_6/act/ma_lslin19_a2
../maas-maatr_6/act/ma_wijna20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_ovdms20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_mpwel20_a1

Maatregelen Actualisatie DTB

../maas-maatr_6/act/ma_termeik_a1
../maas-maatr_6/act/ma_sangers_a2
../maas-maatr_6/act/ma_rosslag_a3
#../maas-maatr_6/act/ma_norafab_a1
a1 is vervangen door een verbeterde versie a2
../maas-maatr_6/act/ma_norafab_a2
#../maas-maatr_6/act/ma_bevenno_a1
a1 is vervangen door een verbeterde versie a2
../maas-maatr_6/act/ma_bevenno_a2
../maas-maatr_6/act/ma_beroerm_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bemazui_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bemanor_a2
../maas-maatr_6/act/ma_beliths_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bejansb_a1

../maas-maatr_6/act/ma_camheer_a1
../maas-maatr_6/act/ma_dagstrn_a1
../maas-maatr_6/act/ma_kesswar_a1

Maatregelen Lodingen 2020

../maas-maatr_6/act/ma_zbhma20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_zbhrm20_a1

```
../maas-maatr_6/act/ma_plhma20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_plhrm20_a1
#
# Maatregelen Projecten 2020/2021
#
../maas-maatr_6/act/ma_lomm20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_lslin20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_wijna21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_mpwel21_a1
#
# Maatregelen Overige
#
../maas-maatr_6/act/ma_crhvsis_a1
../maas-maatr_6/act/ma_dremp21_a1
#../maas-maatr_6/act/ma_meetpunten2021_a1
# a1 is vervangen door een verbeterde versie a3
../maas-maatr_6/act/ma_meetpunten2021_a3
../maas-maatr_6/act/ma_owvarv4_a1
../maas-maatr_6/act/ma_lompl20_a1
../maas-maatr_6/act/ma_Qraai6G_a10
#
# Maatregelen Vlaanderen
#
../maas-maatr_6/act/ma_elerw21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_booiveu_a1
../maas-maatr_6/act/ma_molenv_a1
#
# Maatregelen CG
#
../maas-maatr_6/act/ma_bveld19_a2
../maas-maatr_6/act/ma_nahogul_a4
../maas-maatr_6/act/ma_nattenh_g1
../maas-maatr_6/act/ma_mwgre17_a2
../maas-maatr_6/act/ma_koewe21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bodbove_a2
../maas-maatr_6/act/ma_zbhps21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bovec21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_bob-rot_a2
../maas-maatr_6/act/ma_vsgre21_a4
../maas-maatr_6/act/ma_obbicht_a2
#
#
#
../maas-maatr_6/act/ma_zbhgm21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_kadwl21_a1
../maas-maatr_6/act/ma_fietsbm_a2
../maas-maatr_6/act/ma_rsmab21_a1
#
# EINDE
#
```


A.2 Maatregellijst maas-j21_6-v1zv

Maatregellijst om van baseline-maas-j21_6-v1 naar baseline-maas-j21_6-v1zv te geraken
(baseline_maatregel_lijst-maas-j21_6-v1_maas-j21_6-v1zv.txt)

```
# inmixen t.b.v. j21_6-v1
# De naam voor deze variant is : baseline-maas-j21_6-v1zv
# De basis voor deze variant is : baseline-maas-j21_6-v1
#
# Maatregel waarmee de ruwheid van akker
# wordt vervangen door zomervegetatie
../maas-maatr_6/ma_zomervegakkr_a1
#
# EINDE
#
```

A.3 Overzicht Maatregelen

Maatregellijst voor j21_6-v1 - volgorde inmixen Basisschematisatie: baseline-nl_land-j19_6-v2

	Maatregel naam	Geldigheidsjaar	Start km	Eind km	Oever	Korte omschrijving	Bron	Leverings datum
1	ma_sluidbm_a1	2018	21	34	rechter	toevoegen sluisdeuren sluis Born en sluis Maasbracht (model uitbreiding Julianakanaal)	nieuwe maatregel 6G	19-mrt-2020
2	ma_jukan19_a2	2019	15	65	rechter	Aanpassingen t.h.v. passeervak zuid en passeervak noord Julianakanaal + terugplaatsen kade lijnen langs Julianakanaal die door ma_kad2019_a5 zijn verwijderd	nieuwe maatregel 6G	01-apr-2020
3	ma_crGoHam_a1	2019	190	191	rechter	maatregel verbeteren j19_5-6G - correctie plashoogte Gouden Ham	BenO 2019	30-apr-2020
4	ma_crKm106_a2	2019	106	106	rechter	maatregel verbeteren j19_5-6G - correctie winterbed rkm. 106	BenO 2019	30-apr-2020
5	ma_crKm172_a2	2019	172	172	rechter	maatregel verbeteren j19_5-6G - correctie winterbed rkm. 172	JAMM 2022	29-mrt-2022
6	ma_delzb95_a1	2019	1	248	beide	Verwijderen oude zomerbedhoogten uit 1995 in de oeverzone	BenO 2019	01-jun-2019
7	ma_krw_mol_a1	2018	62	62	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Molensteen	BenO19_6	01-nov-2019
8	ma_krw_kon_a1	2018	64	64	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Koningsteen	BenO19_6	01-nov-2019
9	ma_krw_bug_a1	2018	85	85	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Buggenum tussen het koelwaterkanaal en de Maas - corrigeren bodemhoogte	BenO19_6	01-nov-2019
10	ma_krw_al_a1	2018	86	86	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Asseltse Leijgraaf	BenO19_6	01-nov-2019
11	ma_krw_bie_a1	2018	87	88	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Biesweerd	BenO19_6	01-nov-2019
12	ma_krw_wbm_a1	2018	92	93	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Weerdbeemden	BenO19_6	01-nov-2019
13	ma_krw_wrv_a1	2018	96	97	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW de Weerd - Reuver	BenO19_6	01-nov-2019
14	ma_krw_vvn_a1	2018	111	112	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW bij Venlo-Velden noord en Vorstermolenbeek	BenO19_6	01-nov-2019
15	ma_krw_arb_a1	2018	122	123	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Arcen Roode Beek Zuid - het gebied wordt verlaagd o.b.v. AHN3	BenO19_6	01-nov-2019
16	ma_krw_ar_a1	2018	123	123	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Arcen - verwijderen plas, toevoegen hoogteverschillijnen	BenO19_6	01-nov-2019

	Maatregel naam	Geldigheidsjaar	Start km	Eind km	Oever	Korte omschrijving	Bron	Leveringsdatum
17	ma_krw_ar2_a1	2018	123	124	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Arcen - toevoegen hoogteverschillijnen	BenO19_6	01-nov-2019
18	ma_krw_wan_a1	2018	127	128	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Ooijen en Wanssum	BenO19_6	01-dec-2019
19	ma_krw_vmz_a1	2018	138	147	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW bij Vortum-Mullem zuid	BenO19_6	01-dec-2019
20	ma_krw_brg_a1	2018	143	144	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Bergen - verplaatsen van hoogteverschillijnen	BenO19_6	01-dec-2019
21	ma_krw_hlg_a1	2018	151	151	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Heijense Leijgraaf	BenO19_6	01-dec-2019
22	ma_krw_zom_a1	2018	152	152	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW oude Maasarm	BenO19_6	01-dec-2019
23	ma_krw_oef_a1	2018	156	157	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Oeffelt	BenO19_6	01-dec-2019
24	ma_krw_cuy_a1	2018	163	164	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Cuijk - verwijderen plashoogtepunten, toevoegen breuk- en hoogteverschillijnen	BenO19_6	01-dec-2019
25	ma_krw_ooy_a1	2018	193	194	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW bij Kasteel Oijen	BenO19_6	01-dec-2019
26	ma_krw_mar_a1	2018	209	210	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Marensche waarden - aanpassingen hoogtelijnen	BenO19_6	01-dec-2019
27	ma_krw_eva_a1	2018	209	210	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Eiland van Alem - toevoegen breuklijn, winterbedpunten	BenO19_6	01-dec-2019
28	ma_krw_pal_a1	2018	211	211	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Piekenwaard Alem	BenO19_6	01-dec-2019
29	ma_krw_bw_a1	2018	212	213	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie stroomafwaarts Hedel - aanpassing hoogte kribvakken	BenO19_6	01-dec-2019
30	ma_krw_kow_a1	2018	216	217	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Koornwaard	BenO19_6	01-dec-2019
31	ma_krw_hoe_a1	2018	217	217	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Hoenzadriel - toevoegen plas	BenO19_6	01-dec-2019
32	ma_krw_hw_a1	2018	219	219	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Hedel in de Hedelsche Waard	BenO19_6	01-dec-2019
33	ma_krw_hbw_a1	2018	221	222	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Hedelsche Benedenwaarden	BenO19_6	01-dec-2019
34	ma_krw_bok_a1	2018	224	224	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Bokhoven	BenO19_6	01-dec-2019
35	ma_krw_wel_a1	2018	224	224	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Wellsche Waard	BenO19_6	01-dec-2019
36	ma_krw_bhu_a2	2018	229	229	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Bernsche en Hemertsche Uiterwaard tegenover Heusden	BenO19_6	01-dec-2019

	Maatregel naam	Geldigheidsjaar	Start km	Eind km	Oever	Korte omschrijving	Bron	Leveringsdatum
37	ma_krw_cu_a1	2018	237	241	linker	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW locatie Capelsche uiterwaard bij Waalwijk - verwijderen winterbedhoogtepunten en breuklijn	BenO19_6	01-dec-2019
38	ma_krw_gk_a2	2020	158	159	rechter	Verbeterde referentie tpv ingreep KRW Gebrande Kamp (versie ref. j19_5-6G-w4)	BenO19_6	01-mei-2020
39	ma_zbhma19_a1	2019	3	199	beide	Zomerbed bodemhoogten van de Maas van Eijsden tot Lith, volgens lodingen actualisatie 2019	JAMM 2021	23-sep-2020
40	ma_zbhrm19_a1	2019	199	247	beide	Zomerbed bodemhoogten van de Getijde Maas van Lith tot Keizersveer, volgens lodingen actualisatie 2019	JAMM 2021	23-sep-2020
41	ma_plhma19_a2	2019	3	199	beide	Plashoogten van de Maas van Eijsden tot Lith, volgens lodingen actualisatie nov. 2019	JAMM 2021	23-sep-2020
42	ma_plhrm19_a1	2019	199	247	beide	Plashoogten van de Getijde Maas van Lith tot Keizersveer, volgens lodingen actualisatie 2019	JAMM 2021	23-sep-2019
43	ma_ksven19_a1	2020	155	156	rechter	Aanpassing project Koningsven (voortgang) op basis van metingen	JAMM 2021	18-mrt-2021
44	ma_lomm19_a1	2019	114	117	rechter	Maas, rechteroever: inmetingen van het project HWG Lomm, situatie augustus 2019	JAMM 2021	16-feb-2021
45	ma_lslin19_a2	2019	69	73	linker	project Lus van Linne, situatie 2019	JAMM 2021	18-mrt-2021
46	ma_wijna20_a1	2020	86	89	linker	Aanpassing locatie Wijnaerden op basis van nieuwe metingen eind 2019	JAMM 2021	18-mrt-2021
47	ma_ovdms20_a1	2020	199	204	rechter	Aanpassing locatie Over de Maas op basis van nieuwe metingen eind 2019	JAMM 2021	24-mrt-2021
48	ma_mpwel20_a1	2020	136	139	rechter	project Maaspark Well, situatie begin 2020	JAMM 2021	21-sep-2020
49	ma_termeik_a1	2018	53	53	rechter	DTB-actualisatie terrein Maaseik	JAMM 2021	31-mrt-2021
50	ma_sangers_a2	2018	68	68	rechter	DTB actualisatie bedrijfsterrein Sangers	JAMM 2021	31-mrt-2021
51	ma_rosslag_a3	2018	78	78	rechter	DTB-actualisatie haven "de Rosslag"	JAMM 2021	31-mrt-2021
52	ma_norafab_a1	2018	8	8	rechter	DTB actualisatie Nora Fabriek Maastricht	JAMM 2021	31-mrt-2021
53	ma_bevenno_a1	2018	111	111	rechter	DTB actualisatie terrein ten noorden van Venlo, ten zuiden van A67	JAMM 2021	26-mrt-2021
54	ma_beroerm_a1	2018	80	80	rechter	DTB actualisatie van een deel van de haven van Roermond	JAMM 2021	31-mrt-2021
55	ma_bemazui_a1	2018	9	9	rechter	DTB actualisatie bebouwing Maastricht Zuid	JAMM 2021	09-mrt-2022
56	ma_bemanor_a2	2015	15	15	rechter	DTB actualisatie terrein Maastricht Noord bebouwing	JAMM 2021	09-mrt-2022

	Maatregel naam	Geldigheidsjaar	Start km	Eind km	Oever	Korte omschrijving	Bron	Leveringsdatum
57	ma_beliths_a1	2018	204	204	linker	DTB actualisatie terrein Lithse Ham	JAMM 2021	31-mrt-2021
58	ma_bejansb_a1	2018	247	247	rechter	DTB actualisatie terrein Janson Bridging	JAMM 2021	31-mrt-2021
59	ma_camheer_a1	2018	206	206	rechter	DTB actualisatie terrein camping Heerwaarden	JAMM 2021	26-mrt-2021
60	ma_dagstrn_a1	2018	8	8	rechter	DTB actualisatie dagstrand Oost_Maarland	JAMM 2021	31-mrt-2021
61	ma_kesswar_a1	2018	209	209	linker	DB actualisatie Kesselsche Waard	JAMM 2021	02-apr-2021
62	ma_zbhma20_a1	2020	3	199	beide	Zomerbed bodemhoogten van de Maas van Eijsden tot Lith, volgens lodingen actualisatie 2020	JAMM 2021	23-mrt-2021
63	ma_zbhrm20_a1	2020	199	247	beide	Zomerbed bodemhoogten van de Getijde Maas van Lith tot Keizersveer, volgens lodingen actualisatie 2020	JAMM 2021	18-mrt-2021
64	ma_plhma20_a1	2020	3	199	beide	Plashoogten van de Maas van Eijsden tot Lith, volgens lodingen actualisatie 2020	JAMM 2021	17-mrt-2021
65	ma_plhrm20_a1	2020	199	247	beide	Plashoogten van de Getijde Maas van Lith tot Keizersveer, volgens lodingen actualisatie 2020	JAMM 2021	25-feb-2021
66	ma_lomm20_a1	2021	114	117	rechter	Aanpassing project Lomm op basis van nieuwe metingen (2021)	JAMM 2021	18-mrt-2021
67	ma_lslin20_a1	2020	69	73	linker	project Lus van Linne, situatie 2020	JAMM 2021	18-mrt-2021
68	ma_wijna21_a1	2021	86	89	linker	Aanpassing locatie Wijnaerden op basis van nieuwe metingen eind 2020	JAMM 2021	18-mrt-2021
69	ma_mpwel21_a1	2021	136	139	rechter	project Maaspark Well, situatie eind 2020	JAMM 2021	18-mrt-2021
70	ma_crhvsls_a1	1995	67	147	beide	Aanbrengen hoogteverschil lijnen/breuklijnen sluis Panheel, Roermond en Sambeek	JAMM 2021	25-mrt-2021
71	ma_dremp21_a1	2019	23	34	beide	maatregel 17 drempels in de Grensmaas op basis van loding 2020	JAMM 2021	25-mrt-2021
72	ma_owvarv4_a1	2025	122	135	linker	Voorlopig Ontwerp versie 4.0 van de uitvoeringsfase voor het project Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum.	BenO 2019	01-nov-2017
73	ma_lompl20_a1	2020	117	117	rechter	Aanpassing project Lomm (noordelijk gedeelte) op basis van ontwerp ma_lomplus_a4	JAMM 2021	03-apr-2021
74	ma_elerw21_a1	2022	46	47	linker	Vermoedelijke toestand van de ingreep Elerweerd tegen eind 2021	JAMM 2021	30-mrt-2021
75	ma_booiveu_a1	2021	43	46	linker	Ingreep Booien-Veurzen langs de Maas- as-builtonmetingen na uitvoering	JAMM 2021	29-mrt-2021
76	ma_molenv_a1	2018	38	40	linker	Ingreep Molenveld op basis van as built metingen	JAMM 2021	30-mrt-2021

	Maatregel naam	Geldigheidsjaar	Start km	Eind km	Oever	Korte omschrijving	Bron	Leveringsdatum
77	ma_bveld19_a2	2020	15	17	linker	Aanpassing van het model t.h.v. Bosscherveld op basis van inmetingen bij het eind van het project	JAMM 2021	30-mrt-2021
78	ma_nahogul_a4	2025	39	41	rechter	Wijzigingmaatregel ingreep Nattenhoven	BenO 2019	21-sep-2018
79	ma_nattenh_g1	2020	39	41	rechter	maatregel Nattenhoven met behoud van Perceel Van den Ende	nieuwe maatregel 6G	24-feb-2019
80	ma_mwgre17_a2	2021	42	45	rechter	Aanpassing locatie Grevenbicht - eindontwerp van de locatie dat eind 2021 naar verwachting gereed is	JAMM 2021	01-apr-2021
81	ma_koewe21_a1	2021	45	47	rechter	Aanpassing project Koeweide (voortgang)	JAMM 2021	01-apr-2021
82	ma_bodbove_a2	2021	44	45	linker	Actualisatie zomerbed omgeving Bichterweerd	JAMM 2021	01-mrt-2021
83	ma_zbhps21_a1	2021	44	44	rechter	Actualisatie zomerbed rkm. 44	JAMM 2021	01-mrt-2021
84	ma_bovec21_a1	2022	44	44	linker	Actualisatie zomerbed Booien Veurzen	JAMM 2022	25-feb-2021
85	ma_bob-rot_a2	2021	44	44	linker	Bodembescherming Rotem	JAMM 2021	02-mrt-2021
86	ma_vsgre21_a4	2021	44	44	rechter	Aanleggen veerstoep Grevenbicht (aangepaste versie)	JAMM 2021	02-mrt-2021
87	ma_obbicht_a2	2020	41	42	rechter	Aanpassing model voor de aanleg van faunapassage bij Obbicht	JAMM 2021	01-apr-2021
88	ma_zbhgm21_a1	2021	37	44	beide	Wijzigingsbestanden voor het zomerbed van Grensmaas (feb. 2021 gemeten)	JAMM 2021	30-mrt-2021
89	ma_kadwl21_a1	2025	1	165	beide	Aanpassing aantal dijkringen op basis van gegevens van het Waterschap Limburg	JAMM 2021	03-apr-2021
90	ma_fietsbm_a2	2020	165	165	beide	Aanbrengen nieuwe fietsbrug naast spoorbrug Mook	JAMM 2021	09-mrt-2022
91	ma_rsmab21_a1	2021	132	133	linker	Baselinemaatregel die de doorstroming van de oude Maasarm bij Ooijen-Wanssum t.b.v. JAMM 2021	JAMM 2021	01-mrt-2021

B Verschilkaarten bodemhoogtes j21_6-v1 en j19_6-v2

Opgeleverd als losse pdf.

Bij het langslopen van het winterbed worden de volgende locaties met grote verschillen gevonden:

- Ten zuiden van Maastricht bij rkm. 8 (zie kaartblad 1) ligt de bodem van het winterbed hoger doordat het model hier is geactualiseerd rondom de Nora Fabriek en bebouwing in Maastricht zuid. Ook de bodem van het Bosscherveld (rkm. 15, zie kaartblad 2) is lokaal 10 tot 20 cm verhoogd, met uitschieters van 50 cm tot 2 m, nu voor dit gebied de bodemhoogte op basis van metingen bij het eind van het project Bosscherveld is opgenomen.
- Tussen rkm. 38 en 40 (zie kaartblad 4) is duidelijk zichtbaar dat ook bij de ingreep Molenveld de bodem van het zomerbed op basis van as-built-metingen hoger is komen te liggen in de j21-schematisatie.
- Tussen rkm. 41 en 48 hebben grote veranderingen in de bodemhoogte van het winterbed plaatsgevonden (zie kaartblad 5 in Figuur 3.1). Tussen rkm. 42 en rkm. 45 ligt de bodem lokaal 20 cm tot 2 m hoger in j21 dan in j19, onder andere door opname van de as- built-situatie na uitvoering van Ingreep Boeien-Veuzen. Rondom rkm. 46,5 is de bodem van het winterbed juist lokaal 6 m verlaagd door opname van de vermoedelijke toestand na de ingreep van Elerweerd.
- rkm. 53 verhoging winterbed door actualisatie van het terrein van Maaseik.
- rkm. 62 verhoging winterbed door verbeterde referentie ter plekke van ingreep KRW Molensteen
- Tussen rkm. 69 en 73 is voor het project de Lus van Linne de bodem van het winterbed geüpdatet waardoor de bodem lokaal tot 2,5 m hoger en tot 5,6 m lager ligt in j21.
- Bij rkm. 88 ligt in j21 in het winterbed de bodem tot 20 m lager door opname van nieuwe metingen bij locatie Wijnaerden (kaartblad 9).
- Bij rkm. 111 ligt in j21 het winterbed door de actualisatie van het terrein rondom de A67 lokaal tot 12 m hoger dan in de j19 situatie (zie kaartblad 11).
- Bij rkm. 115 t/m 118 zijn ook grote positieve en negatieve verschillen in de bodemhoogte zichtbaar door opname van nieuwe metingen van het project Lomm.
- Bij rkm. 132 is de schematisatie van Ooijen-Wanssum aangepast.
- Op de rechteroever van rkm. 137 t/m 138 is een groot deel van het winterbed hoger komen te liggen door opname van metingen van project Maaspark Well. Echter is de bodem van de geul van dit project wel dieper in j21 (kaartblad 15).
- Tussen rkm. 164,5 en 166 is de bodem van het zomerbed 2 m hoger komen te liggen in de j21 schematisatie (zie kaartblad 18).
- Tussen rkm. 202 en 209 zijn in het winterbed grote verhogingen in de orde van 19 m van de bodem zichtbaar, waarschijnlijk door actualisering van de plashoogtes over het traject van de Getijde Maas van Lith tot Keizersveer, volgens lodingen actualisatie 2020 (zie kaartblad 23). Ook bij rkm. 218 is een soortgelijke verhoging van de plashoogte tot zelfs 31 m zichtbaar (zie kaartblad 25).

C Extra modelinvoer

C.1 Uitvoerlocaties incidentele metingen (Incidentele_metingen.xyn)

181681	340178	MA_44.95_L_HIC_Rotem_Bichterweerd
180907	328784	Kotem
180978	328700	Heppeneert
186787	345720	Aasterberg
184317	344470	Roosteren
200013	398128	Maashees
210017	387453	Arcen
176817	319512	inlaatwerk_Bosscherveld
181327	333447	Maas, Stein pomplocatie Ur,
182502	339995	Maas, Grevenbicht pomplocatie Kingbeek
185884	344568	Maas, Roosteren pomplocatie Rulbeek,
195144	355147	Maas, Herten pomplocatie Slenk,
179219.32	331410.13	ZB17a
178631.65	329653.45	ZB9a
179545.19	329648.69	ZB5a
177515.099	330131.243	peilschaal Kikbeek t.h.v. kleppen Kikbeek MM11,000
177515.099	330131.243	peilschaal Kikbeek t.h.v. kleppen Kikbeek MM11,000
177515.099	330131.243	peilschaal Kikbeek t.h.v. kleppen Kikbeek MM11,000
180171.527	328740.686	peilschaal Kotem t.h.v. speeltuintje kmp 27,650
180171.527	328740.686	peilschaal Kotem t.h.v. speeltuintje kmp 27,650
175684.846	322325.972	peilschaal t.h.v. Villa, kmp 18,300
178987.541	329456.361	peilschaal ziepbeek t.h.v. kmp 31,400
178987.541	329456.361	peilschaal ziepbeek t.h.v. kmp 31,400
177515.099	330131.243	peilschaal Kikbeek t.h.v. kleppen Kikbeek MM11,000
180171.527	328740.686	peilschaal Kotem t.h.v. speeltuintje kmp 27,650
177961.653	331461.131	peilschaal Vucht t.h.v. monument Messerschmitt MM12,800
201430.23	396265.431	strootje1
201569.918	396187.755	strootje2
201789.577	396072.127	strootje3
202204.038	395775.078	strootje4
202595.584	395492.632	strootje5
202760.316	395247.95	strootje6
202909.174	394419.615	strootje7
203280.896	395286.708	strootje8
203592.923	395161.799	strootje9
204446.398	394892.097	strootje10
204903.978	394491.213	strootje11
205291.069	394076.469	strootje12
205371.241	393711.265	strootje13
205709.245	393787.765	strootje14
206004.021	393448.361	strootje15
206348.446	393035.627	strootje16
206559.532	392737.155	strootje17
206492.821	392838.207	strootje18
207069.286	392279.817	strootje19
208117.072	391631.714	strootje20
208069.251	391676.848	strootje21

207978.065 391745.23 strootje22
208278.695 391432.78 strootje23
208386.909 391412.603 strootje24
208469.395 391441.746 strootje25
208389.1 390900.797 strootje26
208663.855 390485.033 strootje27
208863.269 390087.392 strootje28
208849.411 389367.316 strootje29
209055.983 388877.452 strootje30
209514.306 389325.129 strootje31
209450.614 388858.135 strootje32
209645.098 388415.31 strootje33
209702.74 388302.106 strootje34
209773.849 388080.188 strootje35
209838.332 388007.218 strootje36
209875.707 387923.903 strootje37
209907.174 387850.431 strootje38
209967.886 387652.196 strootje39
210023.518 387444.746 strootje40
210081.226 387345.414 strootje41
196492.326 406075.944 strootje42
196762.5 407028.626 strootje43
197158.983 406391.286 strootje44
197626.879 405538.828 strootje45
197503.683 405907.719 strootje46
197747.043 405307.671 strootje47
198037.632 405110.402 strootje48
198364.362 404892.458 strootje49
198588.632 404667.942 strootje50
198905.12 404388.462 strootje51
198915.182 404384.361 strootje52
198898.276 404370.241 strootje53
199204.354 403833.395 strootje54
199325.682 403506.201 strootje55
199771.401 403029.72 strootje56
199922.617 402635.367 strootje57
199535.782 401786.867 strootje58
199895.647 401664.213 strootje59
200075.258 401389.813 strootje60
199571.652 401320.188 strootje61
199775.818 401011.672 strootje62
199989.373 400627.559 strootje63
200117.819 400105.285 strootje64
200330.737 399505.762 strootje65
200325.063 399512.045 strootje66
200281.095 399542.89 strootje67
200615.485 399147.313 strootje68
201251.79 397906.677 strootje69
201450.589 397664.32 strootje70
202052.627 397352.053 strootje71
201278.854 398255.345 strootje72
200481.676 401883.702 strootje73
202518.276 397221.199 strootje74
202443.014 397078.944 strootje75

202675.988 396256.452 strootje76
203380.32 395904.083 strootje77
203317.384 395712.963 strootje78
203612.803 395750.796 strootje79
203817.703 395695.444 strootje80
205691.113 395197.895 strootje81
205772.775 394768.988 strootje82
206096.457 394188.803 strootje83
206441.023 393652.051 strootje84
205474.741 395699.687 strootje85
204989.213 396158.028 strootje86
206858.206 393238.209 strootje87
207298.213 392811.225 strootje88
207700.307 392579.137 strootje89
207970.749 392333.94 strootje90
208513.928 392010.728 strootje91
209063.378 391537.074 strootje92
209349.656 391105.225 strootje93
209714.634 390427.266 strootje94
209867.76 389813.932 strootje95
209847.812 389104.911 strootje96
209359.362 388799.929 strootje97
209818.576 387903.318 strootje98
210022.894 387445.428 strootje99
210261.567 387084.675 strootje100
210127.843 386654.051 strootje101
209966.827 386165.701 strootje102
209764.586 385744.162 strootje103
209307.327 385129.039 strootje104
209194.527 384823.503 strootje105
209121.882 384340.109 strootje106
208904.41 384132.989 strootje107
209033.843 383399.763 strootje108
208834.046 382971.015 strootje109
208698.529 382341.603 strootje110
208726.795 381786.757 strootje111
196492.441 405584.089 strootje112
196882.671 405348.421 strootje113
197292.803 405131.199 strootje114
197626.72 404910.531 strootje115
197798.412 404774.9 strootje116
198121.959 404400.522 strootje117
198358.042 404086.616 strootje118
198611.311 403468.399 strootje119
198675.563 403135.817 strootje120
199018.999 402851.981 strootje121
199007.705 401874.471 strootje122
198992.017 402500.385 strootje123
199006.399 401268.372 strootje124
199266.456 400757.196 strootje125
199180.437 400386.964 strootje126
199596.585 400160.468 strootje127
199786.271 399891.71 strootje128
199992.14 398628.084 strootje129

200013.137 398127.559 strootje130
200145.615 397570.765 strootje131
200383.697 397166.841 strootje132
200390.404 397150.205 strootje133
200770.22 396765.355 strootje134
209047.973 388894.977 strootje135
209081.432 388466.672 strootje136
209520.741 387820.972 strootje137
209626.279 387637.924 strootje138
209622.701 387247.295 strootje139
209514.989 385936.954 strootje140
209315.863 386211.567 strootje141
209024.305 385639.88 strootje142
208827.825 385241.09 strootje143
208469.93 385015.465 strootje144
208165.848 384481.594 strootje145
208107.721 384354.297 strootje146
208016.556 383912.733 strootje147
207975.729 383470.878 strootje148
208020.929 383042.742 strootje149
208062.505 382627.344 strootje150
208073.968 382152.028 strootje151
208181.168 381992.674 strootje152
208037.046 381874.92 strootje153
208141.504 381623.151 strootje154
208154.766 381220.379 strootje155
208112.318 380985.808 strootje156
208046.17 380841.669 strootje157
207984.723 380687.582 strootje158
207795.365 380340.772 strootje159
207935.239 379895.302 strootje160
207885.978 379306.601 strootje161
207922.331 378822.926 strootje162
199972.97 399608.923 strootje163
200082.18 399081.981 strootje164
207121.184 373942.071 strootje165
207045.156 373859.894 strootje166
207511.804 374266.69 strootje167
207556.011 374320.07 strootje168
207774.728 374599.945 strootje169
208136.876 374983.968 strootje170
208172.387 375029.72 strootje171
208168.489 375051.606 strootje172
208353.59 375362.817 strootje173
208307.51 375294.443 strootje174
208347.59 375281.938 strootje175
208783.458 375803.942 strootje176
208991.89 376246.692 strootje177
209071.28 376546.382 strootje178
209076.28 376605.7 strootje179
209014.014 376966.616 strootje180
208746.82 377491.999 strootje181
209069.615 376830.004 strootje182
208756.928 377465.699 strootje183

208572.996 377899.253 strootje184
208545.847 377959.574 strootje185
208377.955 378312.462 strootje186
208274.47 378123.557 strootje187
208289.043 378127.302 strootje188
207047.629 373865.717 strootje189
207112.126 373936.438 strootje190
207322.457 391663.817 strootje191
195108.029 355168.373 strootje192
195135.256 355143.146 strootje193
194800.796 355421.584 strootje194
194333.514 355708.095 strootje195
194383.426 355693.847 strootje196
194138.245 355489.407 strootje197
194498.64 355322.552 strootje198
194522.984 354983.189 strootje199
194443.001 354534.82 strootje200
194732.824 353996.223 strootje201
194477.137 353640.51 strootje202
194489.813 353640.555 strootje203
194690.592 353126.264 strootje204
193989.522 352435.157 strootje205
193922.609 352427.443 strootje206
193655.563 352471.172 strootje207
193375.689 352213.065 strootje208
192824.309 352007.798 strootje209
192423.938 353106.499 strootje210
190965.847 351749.916 strootje211
190903.279 351672.437 strootje212
190619.46 351932.081 strootje213
190263.907 352266.574 strootje214
190081.043 351614.463 strootje215
190040.215 351616.252 strootje216
189885.824 350966.69 strootje217
189776.668 350726.667 strootje218
189409.47 350911.117 strootje219
188335.604 349955.73 strootje220
188089.882 349915.086 strootje221
188025.921 349606.777 strootje222
187475.585 349645.962 strootje223
187060.781 349523.389 strootje224
186848.292 349202.604 strootje225
207681.327 374405.721 strootje226
207456.165 374213.501 strootje227
207121.113 373941.981 strootje228
206627.428 373520.172 strootje229
206190.602 373136.321 strootje230
205678.804 372815.784 strootje231
205792.194 372604.25 strootje232
205508.837 371953.824 strootje233
205368.468 371553.435 strootje234
205252.95 370908.649 strootje235
204976.524 370496.108 strootje236
204964.168 370037.715 strootje237

204259.922 369410.041 strootje238
203929.756 368970.63 strootje239
203808.123 368291.781 strootje240
203536.914 367921.464 strootje241
203153.415 367855.425 strootje242
202652.35 367564.583 strootje243
201671.223 367009.351 strootje244
201364.724 366861.137 strootje245
201912.518 367126.714 strootje246
200430.158 366228.234 strootje247
199556.889 365004.518 strootje248
199088.301 364669.011 strootje249
198537.208 364358.404 strootje250
198054.879 363435.794 strootje251
197838.596 363048.907 strootje252
197475.296 363108.877 strootje253
197423.52 362960.365 strootje254
197476.711 362265.318 strootje255
197316.419 361605.964 strootje256
197706.453 361858.372 strootje257
197571.611 361332.081 strootje258
197660.114 360778.957 strootje259
182312.32 339989.926 strootje260
182365.903 340002.659 strootje261
182365.911 340002.735 strootje262
183586.455 340694.265 strootje263
183599.222 340713.498 strootje264
183330.145 340376.274 strootje265
183216.997 340134.625 strootje266
184181.132 341178.346 strootje267
184189.759 341656.355 strootje268
184042.866 341775.875 strootje269
183981.177 341893.258 strootje270
183878.595 342181.111 strootje271
183915.916 342047.237 strootje272
183916.484 342046.956 strootje273
183981.436 342291.655 strootje274
184031.358 342061.454 strootje275
184085.488 341873.066 strootje276
184354.747 342143.624 strootje277
184438.228 342598.578 strootje278
184413.67 343089.063 strootje279
184271.554 343564.664 strootje280
184143.989 343817.243 strootje281
184085.173 344325.9 strootje282
183881.539 344182.942 strootje283
185054.115 344405.132 strootje284
185129.156 344399.278 strootje285
184675.166 344319.652 strootje286
187465.563 346811.972 strootje287
187398.805 346905.224 strootje288
187335.694 346859.955 strootje289
186734.394 345988.633 strootje290
186698.54 345770.886 strootje291

185851.939 344584.025 strootje292
187104.381 346625.068 strootje293
186679.549 346547.019 strootje294
186473.078 346591.531 strootje295
185764.881 346803.183 strootje296
185324.265 346839.016 strootje297
185181.044 346969.444 strootje298
185098.296 347264.229 strootje299
185133.208 347690.864 strootje300
185516.202 348122.131 strootje301
185518.972 348138.076 strootje302
185735.031 348137.892 strootje303
185865.678 348119.515 strootje304
185924.547 348305.905 strootje305
185953.342 348292.286 strootje306
186125.192 348505.409 strootje307
186485.105 348644.957 strootje308
186678.643 348653.636 strootje309
186836.648 348797.806 strootje310
186845.665 348998.922 strootje311
186588.378 347838.111 strootje312
186612.423 347919.972 strootje313
186402.082 347741.824 strootje314
186361.149 347386.552 strootje315
186661.629 347122.171 strootje316
186947.769 347070.814 strootje317
187251.059 346994.407 strootje318
186814.797 348185.535 strootje319
187141.731 348409.214 strootje320
187213.359 348399.434 strootje321
187378.574 348457.454 strootje322
187575.586 348376.65 strootje323
187560.016 348200.397 strootje324
187591.331 348221.283 strootje325
188128.592 348892.558 strootje326
187953.378 348549.188 strootje327
188182.401 349006.678 strootje328
187962.561 349003.801 strootje329
187787.534 349062.07 strootje330
187706.069 348740.181 strootje331
207911.111 374235.277 strootje332
207594.401 373914.506 strootje333
207254.661 373575.835 strootje334
206884.371 373213.282 strootje335
206248.524 372604.67 strootje336
205913.381 372120.522 strootje337
205983.82 371859.435 strootje338
205990.484 371859.091 strootje339
206028.666 371530.938 strootje340
206032.406 370963.052 strootje341
205708.594 370313.064 strootje342
205705.177 370310.254 strootje343
205691.858 370285.489 strootje344
205199.076 369444.178 strootje345

205195.214 369449.962 strootje346
205213.557 369473.439 strootje347
204883.163 368841.867 strootje348
204746.485 368660.334 strootje349
204458.38 368371.277 strootje350
204087.876 367930.25 strootje351
203854.207 367672.033 strootje352
203428.7 367388.265 strootje353
203028.129 367149.053 strootje354
202458.134 366850.507 strootje355
201915.556 366766.708 strootje356
201606.73 366318.052 strootje357
201001.727 365813.57 strootje358
200748.934 365553.855 strootje359
200422.738 365112.572 strootje360
200063.643 364802.088 strootje361
199850.092 364451.92 strootje362
199584.66 364149.537 strootje363
199281.449 363884.143 strootje364
198920.316 363688.177 strootje365
198711.98 363280.616 strootje366
199007.392 362922.632 strootje367
199002.986 362700.647 strootje368
199362.093 362487.044 strootje369
199701.843 362126.237 strootje370
199814.116 361741.093 strootje371
199539.191 361599.469 strootje372
199204.38 361358.141 strootje373
198785.609 360821.257 strootje374
198561.197 360459.443 strootje375
198596.541 360139.345 strootje376
198646.994 359689.142 strootje377
198927.268 359225.617 strootje378
198445.33 358541.765 strootje379
198072.608 358529.354 strootje380
195674.405 354901.954 strootje381
195687.121 354903.787 strootje382
195828.087 355207.67 strootje383
195864.293 355488.821 strootje384
195825.472 355500.697 strootje385
195907.066 355568.16 strootje386
195956.411 355301.419 strootje387
196016.094 355255.174 strootje388
196151.619 355366.176 strootje389
196352.912 355298.668 strootje390
196570.519 355244.563 strootje391
196533.051 355302.252 strootje392
196474.359 355224.433 strootje393
196601.25 355151.832 strootje394
196697.906 355061.474 strootje395
196601.427 355152.16 strootje396
196368.179 355236.335 strootje397
195964.94 355219.983 strootje398
196246.808 355896.365 strootje399

196488.32	356342.801	strootje400
196527.098	356416.164	strootje401
196627.638	356750.066	strootje402
196565.516	356717.799	strootje403
196727.884	356977.37	strootje404
197255.199	357729.47	strootje405
197318.23	358049.189	strootje406
197321.742	358086.377	strootje407
197289.507	358352.04	strootje408
197266.325	358382.415	strootje409
197318.38	358175.117	strootje410
197185.724	358500.084	strootje411
197178.755	358804.637	strootje412
197225.137	359020.938	strootje413
197185.415	359035.309	strootje414
197291.039	358910.244	strootje415
197325.251	358953.037	strootje416
197323.54	358974.981	strootje417
197402.828	358915.484	strootje418
197505.431	358780.475	strootje419

C.2 ADCP cross-sections (ADCPcrosssections.pli)

ADCP_transect_147_totaal	195359.361958	193661.0 408190.0
2 2	406746.661394	196319.0 408123.0
195614.0 405056.0	196342.0 407621.0	ADCP_transect_151_links
196498.0 407451.0	ADCP_transect_148	2 2
ADCP_transect_147_links	2 2	193661.0 408190.0
2 2	195248.765904	194789.163623
195614.0 405056.0	406648.236197	408161.3853
196013.942434	195359.361958	ADCP_transect_151_rechts
406139.706014	406746.661394	2 2
ADCP_transect_147_rechts	ADCP_transect_150_totaal	194934.138864
2 2	2 2	408157.749557
196061.567529	194708.0 407057.0	196319.0 408123.0
406268.822939	196286.0 407673.0	ADCP_transect_151
196498.0 407451.0	ADCP_transect_150_links	2 2
ADCP_transect_147	2 2	194789.163623
2 2	194708.0 407057.0	408161.3853
196013.942434	194943.436126	194934.138864
406139.706014	407148.828865	408157.749557
196061.567529	ADCP_transect_150_rechts	ADCP_transect_152_totaal
406268.822939	2 2	2 2
ADCP_transect_148_totaal	195064.086368	193701.0 409268.0
2 2	407195.924793	196498.0 409036.0
194802.0 406251.0	196286.0 407673.0	ADCP_transect_152_links
196342.0 407621.0	ADCP_transect_150	2 2
ADCP_transect_148_links	2 2	193701.0 409268.0
2 2	194943.436126	194872.764692
194802.0 406251.0	407148.828865	409170.536607
195248.765904	195064.086368	ADCP_transect_152_rechts
406648.236197	407195.924793	2 2
ADCP_transect_148_rechts	ADCP_transect_151_totaal	194999.408234
2 2	2 2	409160.043285

196498.0 409036.0	194374.45122	2 2
ADCP_transect_152	412097.145287	192766.0 413530.0
2 2	ADCP_transect_155_rechts	193665.0 416778.0
194872.764692	2 2	ADCP_transect_158_links
409170.536607	194513.098471	2 2
194999.408234	412132.556177	192766.0 413530.0
409160.043285	195514.0 412388.0	192952.439072
ADCP_transect_153_totaal	ADCP_transect_155	414205.034269
2 2	2 2	ADCP_transect_158_rechts
193596.0 410002.0	194374.45122	2 2
196012.0 410319.0	412097.145287	192989.971712
ADCP_transect_153_links	194513.098471	414340.583802
2 2	412132.556177	193665.0 416778.0
193596.0 410002.0	ADCP_transect_156_totaal	ADCP_transect_158
194834.795356	2 2	2 2
410164.40446	193373.0 413074.0	192952.439072
ADCP_transect_153_rechts	198491.0 413074.0	414205.034269
2 2	ADCP_transect_156_links	192989.971712
194972.098696	2 2	414340.583802
410182.444315	193373.0 413074.0	ADCP_transect_159_totaal
196012.0 410319.0	194260.021543	2 2
ADCP_transect_153	413074.227747	191948.0 413482.0
2 2	ADCP_transect_156_rechts	192064.0 416811.0
194834.795356	2 2	ADCP_transect_159_links
410164.40446	194384.78039	2 2
194972.098696	413074.227747	191948.0 413482.0
410182.444315	198491.0 413074.0	191978.774932
ADCP_transect_154_totaal	ADCP_transect_156	414354.993976
2 2	2 2	ADCP_transect_159_rechts
193514.0 410822.0	194260.021543	2 2
195222.0 411271.0	413074.227747	191984.045581
ADCP_transect_154_links	194384.78039	414506.525122
2 2	413074.227747	192064.0 416811.0
193514.0 410822.0	ADCP_transect_157_totaal	ADCP_transect_159
194624.918588	2 2	2 2
411113.648303	193378.0 413045.0	191978.774932
ADCP_transect_154_rechts	195709.0 416858.0	414354.993976
2 2	ADCP_transect_157_links	191984.045581
194756.165364	2 2	414506.525122
411148.152984	193378.0 413045.0	ADCP_transect_160_totaal
195222.0 411271.0	193871.85385	2 2
ADCP_transect_154	413852.348961	190888.0 414187.0
2 2	ADCP_transect_157_rechts	191594.0 416852.0
194624.918588	2 2	ADCP_transect_160_links
411113.648303	193934.946788	2 2
194756.165364	413955.562535	190888.0 414187.0
411148.152984	195709.0 416858.0	190960.752473
ADCP_transect_155_totaal	ADCP_transect_157	414460.950861
2 2	2 2	ADCP_transect_160_rechts
193511.0 411877.0	193871.85385	2 2
195514.0 412388.0	413852.348961	191002.892876
ADCP_transect_155_links	193934.946788	414620.078057
2 2	413955.562535	191594.0 416852.0
193511.0 411877.0	ADCP_transect_158_totaal	ADCP_transect_160

2 2	189375.041134	2 2
190960.752473	416682.997788	187726.0 418796.0
414460.950861	191152.0 417037.0	187743.717013
191002.892876	ADCP_transect_163	418860.205611
414620.078057	2 2	ADCP_transect_166_rechts
ADCP_transect_161_totaal	189210.667398	2 2
2 2	416650.272925	187784.567897 419005.094
189912.0 414731.0	189375.041134	187833.0 419175.0
191460.0 416895.0	416682.997788	ADCP_transect_166
ADCP_transect_161_links	ADCP_transect_164_totaal	2 2
2 2	2 2	187743.717013
189912.0 414731.0	188893.0 417583.0	418860.205611
189989.671047	190029.0 417694.0	187784.567897 419005.094
414839.800327	ADCP_transect_164_links	ADCP_transect_167_totaal
ADCP_transect_161_rechts	2 2	2 2
2 2	188893.0 417583.0	186814.0 418862.0
190077.220745	188972.769086	186763.0 419469.0
414962.158941	417590.87678	ADCP_transect_167_links
191460.0 416895.0	ADCP_transect_164_rechts	2 2
ADCP_transect_161	2 2	186814.0 418862.0
2 2	189127.486311	186804.000338
189989.671047	417605.914716	418976.641883
414839.800327	190029.0 417694.0	ADCP_transect_167_rechts
190077.220745	ADCP_transect_164	2 2
414962.158941	2 2	186791.11585
ADCP_transect_162_totaal	188972.769086	419130.632293
2 2	417590.87678	186763.0 419469.0
189308.0 415620.0	189127.486311	ADCP_transect_167
193454.0 416806.0	417605.914716	2 2
ADCP_transect_162_links	ADCP_transect_165_totaal	186804.000338
2 2	2 2	418976.641883
189308.0 415620.0	188466.0 418340.0	186791.11585
189340.344301	188897.0 418872.0	419130.632293
415629.417861	ADCP_transect_165_links	ADCP_transect_168_totaal
ADCP_transect_162_rechts	2 2	2 2
2 2	188466.0 418340.0	185860.0 418776.0
189479.29817 415669.1752	188533.130444	185793.0 419392.0
193454.0 416806.0	418422.927394	ADCP_transect_168_links
ADCP_transect_162	ADCP_transect_165_rechts	2 2
2 2	2 2	185860.0 418776.0
189340.344301	188624.333878	185852.222439
415629.417861	418535.386912	418846.32632
189479.29817 415669.1752	188897.0 418872.0	ADCP_transect_168_rechts
ADCP_transect_163_totaal	ADCP_transect_165	2 2
2 2	2 2	185835.695667
189108.0 416630.0	188533.130444	418997.624981
191152.0 417037.0	418422.927394	185793.0 419392.0
ADCP_transect_163_links	188624.333878	ADCP_transect_168
2 2	418535.386912	2 2
189108.0 416630.0	ADCP_transect_166_totaal	185852.222439
189210.667398	2 2	418846.32632
416650.272925	187726.0 418796.0	185835.695667
ADCP_transect_163_rechts	187833.0 419175.0	418997.624981
2 2	ADCP_transect_166_links	ADCP_transect_169_totaal

2 2	182918.346613	ADCP_transect_173
184900.0 418519.0	418326.91226	2 2
184810.0 419191.0	ADCP_transect_171_rechts	180882.063869
ADCP_transect_169_links	2 2	418271.63857
2 2	182869.705766	180928.493769
184900.0 418519.0	418480.573118	418433.037745
184868.379037	182829.0 418609.0	ADCP_transect_174_totaal
418754.947044	ADCP_transect_171	2 2
ADCP_transect_169_rechts	2 2	179895.0 418555.0
2 2	182918.346613	180800.0 419924.0
184847.91732	418326.91226	ADCP_transect_174_links
418907.622936	182869.705766	2 2
184810.0 419191.0	418480.573118	179895.0 418555.0
ADCP_transect_169	ADCP_transect_172_totaal	179975.575351
2 2	2 2	418677.347455
184868.379037	181915.0 418005.0	ADCP_transect_174_rechts
418754.947044	181889.0 418550.0	2 2
184847.91732	ADCP_transect_172_links	180066.224203
418907.622936	2 2	418814.426207
ADCP_transect_170_totaal	181915.0 418005.0	180800.0 419924.0
2 2	181907.943558	ADCP_transect_174
183958.0 418260.0	418147.825504	2 2
183822.0 418865.0	ADCP_transect_172_rechts	179975.575351
ADCP_transect_170_links	2 2	418677.347455
2 2	181900.205241	180066.224203
183958.0 418260.0	418311.435627	418814.426207
183881.214295	181889.0 418550.0	ADCP_transect_175_totaal
418602.175237	ADCP_transect_172	2 2
ADCP_transect_170_rechts	2 2	179095.0 419368.0
2 2	181907.943558	180360.0 420078.0
183845.839134	418147.825504	ADCP_transect_175_links
418760.257991	181900.205241	2 2
183822.0 418865.0	418311.435627	179095.0 419368.0
ADCP_transect_170	ADCP_transect_173_totaal	179294.603489
2 2	2 2	419479.921436
183881.214295	180834.0 418104.0	ADCP_transect_175_rechts
418602.175237	181191.0 419344.0	2 2
183845.839134	ADCP_transect_173_links	179430.576766
418760.257991	2 2	419556.199128
ADCP_transect_171_totaal	180834.0 418104.0	180360.0 420078.0
2 2	180882.063869	ADCP_transect_175
182995.0 418084.0	418271.63857	2 2
182829.0 418609.0	ADCP_transect_173_rechts	179294.603489
ADCP_transect_171_links	2 2	419479.921436
2 2	180928.493769	179430.576766
182995.0 418084.0	418433.037745	419556.199128
	181191.0 419344.0	

C.3 Kalibratiefactoren zonder niveau Hoog2 (mainchannel_calibration-v2b-zonder_Hoog2.cld)

```
#-----  
2100 DISCHARGE MA_6.28_QR_EijsdenGrens-SintPieterNoord # Modelrand Eijsden -  
LMW.Maastr_StPiet  
2100 0100 0.8994960602644755  
2100 0800 0.8330802436745858  
2100 1700 0.8678815609754384  
2100 2250 0.9247292115683289  
2100 2700 1  
#-----  
2101 DISCHARGE MA_13.00_QR_SintPieterNoord-Borgharendorp # LMW.Maastr_StPiet -  
Borgharen_stuw  
2101 0100 0.7850344393608685  
2101 0800 0.7850344393608685  
2101 1700 0.8721818212930593  
2101 2250 0.8967617357222692  
2101 2700 1  
#-----  
2102 DISCHARGE MA_16.98_QR_Borgharendorp-LanakenSmeermaas # Borgharen_stuw -  
LMW.Lanaken-Smms  
2102 0075 0.7644210312846402  
2102 0800 0.8163236364949675  
2102 1700 1.0874805123425653  
2102 2250 0.9434865747740249  
2102 2700 1  
#-----  
2103 DISCHARGE MA_20.98_QR_LanakenSmeermaas-Uikhoven # LMW.Lanaken-Smms -  
LMW.Uikhoven  
2103 0075 0.6892601402460408  
2103 0800 1.0090791622577056  
2103 1700 0.66905203695612  
2103 2250 0.8061906127839853  
2103 2700 1  
#-----  
2104 DISCHARGE MA_27.02_QR_Uikhoven-Elsloo # LMW.Uikhoven - LMW.Elsloo  
2104 0075 0.8103303739799295  
2104 0800 0.6775941192611156  
2104 1700 1.0160664269703323  
2104 2250 1.138755467096798  
2104 2750 1  
#-----  
2105 DISCHARGE MA_32.98_QR_Elsloo-EisdenMazenhoven # LMW.Elsloo - LMW.Eisden-  
Mazho  
2105 0075 1.0789923396540704  
2105 0800 1.1274210859814984  
2105 1700 0.9623837164976318  
2105 2250 1.0266881881548306  
2105 2750 1  
#-----  
2106 DISCHARGE MA_37.00_QR_EisdenMazenhoven-Meeswijkveer # LMW.Eisden-Mazho  
- LMW.Meeswijkveer  
2106 0075 0.5931092218731342
```

2106 0800 0.7136410699432767

2106 1700 0.7242870771932718

2106 2250 0.86840445352032

2106 2750 1

#-----

2107 DISCHARGE MA_39.98_QR_Meeswijkveer-Negenoord # LMW.Meeswijkveer -
LMW.Negenoord

2107 0075 0.8720707363926358

2107 0800 0.8995795119032507

2107 1700 0.8635570121955518

2107 2250 0.9698314016635513

2107 2750 1

#-----

2108 DISCHARGE MA_44.02_QR_Negenoord-Grevenbicht # LMW.Negenoord -
LMW.Grevenbicht

2108 0075 0.7852204543352649

2108 0800 0.859905315226715

2108 1650 0.8635570121955518

2108 2250 0.9698314016635513

2108 2750 1

#-----

2109 DISCHARGE MA_49.02_QR_Grevenbicht-Maaseik # LMW.Grevenbicht -
LMW.Maaseik

2109 0075 0.9070941002750676

2109 0800 0.8440605448740922

2109 1650 0.8185366108636762

2109 2250 0.8426734500426909

2109 2750 1

#-----

2110 DISCHARGE MA_58.36_QR_Maaseik-Stevensweert # LMW.Maaseik -
LMW.Stevensweert

2110 0075 0.7097033234167848

2110 0800 0.8643967429245588

2110 1650 0.9231221515373226

2110 2250 1.0490008327219849

2110 2750 1

#-----

2111 DISCHARGE MA_64.02_QR_Stevensweert-Linnebeneden # LMW.Stevensweert -
Linne_stuw

2111 0075 0.8621053688583266

2111 0800 0.8621053688583266

2111 1600 0.9623943886836513

2111 2250 1.2365882890534283

2111 2750 1

#-----

2112 DISCHARGE MA_78.78_QR_Linnebeneden-Roermondboven # Linne_stuw -
Roermond_stuw

2112 0100 0.7903730416952678

2112 0800 0.7903730416952678

2112 1600 0.7452504106095754

2112 2300 0.7319735920694045

2112 2700 1

#-----

2113 DISCHARGE MA_87.34_QR_Roermondboven-Neer # Roermond_stuw - LMW.Neer

2113 0125 0.705728024022979
2113 0850 0.705728024022979
2113 1600 0.7796347970336434
2113 2300 0.997251079217547
2113 2800 1
#-----
2114 DISCHARGE MA_92.80_QR_Neer-Belfeldboven # LMW.Neer - Belfeld_stuw
2114 0125 0.7776052280833032
2114 0850 0.7776052280833032
2114 1600 0.8127613500778154
2114 2300 0.9151185602538849
2114 2850 1
#-----
2115 DISCHARGE MA_104.98_QR_Belfeldbeneden-Venlo # Belfeld_stuw - LMW.Venlo
2115 0125 0.6035951033600764
2115 0850 0.6035951033600764
2115 1600 0.5956426139718924
2115 2300 0.8183647918884075
2115 2850 1
#-----
2116 DISCHARGE MA_120.00_QR_Venlo-Welldorp # LMW.Venlo (haven) - LMW.Well_dorp
2116 0125 0.8537474540047246
2116 0850 0.8537474540047246
2116 1600 0.8275152063749874
2116 2300 0.9457673679478099
2116 2850 1
#-----
2117 DISCHARGE MA_137.04_QR_Well_dorp-Sambeekboven # LMW.Well_dorp -
Sambeek_stuw
2117 0125 0.8410929682266658
2117 0850 0.8410929682266658
2117 1550 0.8486471815400336
2117 2300 0.9669131729473044
2117 2850 1
#-----
2118 DISCHARGE MA_152.12_QR_Sambeekboven-Gennep # Sambeek_stuw -
LMW.Gennep
2118 0125 0.9189726538006324
2118 0850 0.9189726538006324
2118 1550 0.8634736471033887
2118 2300 1.0896595818294286
2118 2850 1
#-----
2119 DISCHARGE MA_159.40_QR_Gennep-Mook # LMW.Gennep - LMW.Mook
2119 0150 0.8935760724393446
2119 0900 0.8935760724393446
2119 1550 0.8337356581924006
2119 2300 0.9517700325515209
2119 2850 1
#-----
2120 DISCHARGE MA_171.60_QR_Mook-Graveboven # LMW.Mook - Grave_stuw
2120 0150 0.7875809102411372
2120 0900 0.7875809102411372
2120 1550 0.8355793507061234

```
2120 2250 0.8433792084784563
2120 2850 1
#-----
2121 DISCHARGE MA_182.86_QR_Graveboven-Megendorp # Grave_stuw - LMW.Megen
2121 0150 0.8098954825862953
2121 0900 0.8098954825862953
2121 1550 0.8152444454655579
2121 2250 0.9321227417258218
2121 2850 1
#-----
2122 DISCHARGE MA_195.44_QR_Megendorp-Lithboven # LMW.Megen - Lith_stuw
2122 0150 0.7941417076889443
2122 0900 0.7941417076889443
2122 1550 0.9116025512630495
2122 2250 0.9482745681621785
2122 2850 1
#-----
2123 DISCHARGE MA_195.44_QR_Megendorp-Lithboven # Lith_stuw - LMW.Heesbeen
2123 0150 0.8170498087281182
2123 0900 0.8170498087281182
2123 1550 0.769436572367879
2123 2250 1.0030795364229392
2123 2850 1
#-----
2124 DISCHARGE MA_195.44_QR_Megendorp-Lithboven # LMW.Heesbeen -
LMW.Keizersveer
2124 0150 0.8947270517223931
2124 0900 0.8947270517223931
2124 1550 0.6926188068088073
2124 2250 0.9547107256996563
2124 2850 1
#-----
# AREAS RMM ONLY
# AM_Keizveer-SplAMNM
2218 0.9675477553445397
#-----
```

C.4 Parameters voor zomervegetatie

Bestanden uit het onderzoek van Van Velzen et al. (2005) zijn aangeleverd door RWS voor het project Systeemwerking Maas en waterveiligheid (De Jong et al., 2022). In de modelsimulaties is gebruik gemaakt van onderstaande beschrijving van de ecotopen. Alle overige ecotopen in de beschrijving zijn gelijk gehouden.

Onderstaande tekst verwijst naar Jesse (2005). Dit memo bevat gelijke informatie als opgenomen in Van Velzen et al. (2005). De invoer voor de winterbedvegetatie is vergeleken met actuele modellen (Van der Veen et al., 2021) en wordt nog altijd met deze parameters toegepast.

Ruwheden voor winterbedvegetatie

```
# CODE 1201-1300 : Ruwheids formulering voor door- en overstroomde vegetatie
# r_code          : de ruwheids code
# a              : de vegetatie hoogte          (0.001 - 0.2 - 50.)
# b              : de vegetatie dichtheid      (0.0001 - 0.2 - 100.)
# c              : drag coefficient            (0.1 - 1.8 - 10.)
# d              : k-Nikuradse (onderlaag begroeiing) (0.001 - 0.2 - 100.)
#
r_code = 1201 a = 0.06 b = 45.   c = 1.8 d = 0.1 # productiegrasland
r_code = 1202 a = 0.10 b = 12.   c = 1.8 d = 0.1 # natuurlijk gras/hooiland
r_code = 1203 a = 0.20 b = 15.   c = 1.8 d = 0.1 # verruigd grasland
r_code = 1211 a = 0.30 b = 3.    c = 1.8 d = 0.1 # akkerdistelruigte
r_code = 1212 a = 0.56 b = 0.23 c = 1.8 d = 0.1 # droge ruigte
r_code = 1213 a = 0.50 b = 0.56 c = 1.8 d = 0.1 # dauwbraamruigte
r_code = 1214 a = 0.95 b = 0.13 c = 1.8 d = 0.1 # wilgenroosje ruigte
r_code = 1215 a = 2.00 b = 0.16 c = 1.8 d = 0.1 # rietruigte
r_code = 1221 a = 0.35 b = 0.25 c = 1.8 d = 0.1 # natte ruigte homogeen
r_code = 1222 a = 0.30 b = 1.2   c = 1.8 d = 0.1 # zegge homogeen
r_code = 1223 a = 1.00 b = 0.4   c = 1.8 d = 0.1 # rietgras homogeen
r_code = 1224 a = 0.50 b = 1.2   c = 1.8 d = 0.1 # biezen homogeen
r_code = 1225 a = 1.50 b = 0.35 c = 1.8 d = 0.1 # lisdodde homogeen
r_code = 1226 a = 2.50 b = 0.37 c = 1.8 d = 0.1 # riet homogeen
r_code = 1231 a = 6.00 b = 0.13 c = 1.5 d = 0.4 # zachthoutstruweel
r_code = 1232 a = 3.00 b = 0.041 c = 1.5 d = 0.4 # griend
r_code = 1233 a = 5.00 b = 0.17 c = 1.5 d = 0.4 # doornstruweel
r_code = 1241 a = 10.00 b = 0.011 c = 1.5 d = 0.3 # productiebos hardhout
r_code = 1242 a = 10.00 b = 0.010 c = 1.5 d = 0.3 # productiebos zachthout
r_code = 1243 a = 10.00 b = 0.016 c = 1.5 d = 0.3 # productiebos naaldhout
r_code = 1244 a = 10.00 b = 0.023 c = 1.5 d = 0.4 # hardhoutooibos
r_code = 1245 a = 10.00 b = 0.028 c = 1.5 d = 0.6 # zachthoutooibos
r_code = 1246 a = 3.00 b = 0.024 c = 1.5 d = 0.2 # boomgaard laagstam
r_code = 1247 a = 6.00 b = 0.01 c = 1.5 d = 0.2 # boomgaard hoogstam
r_code = 1250 a = 0.15 b = 0.15 c = 1.8 d = 0.1 # pioniervegetatie
```


Ruwheden voor zomeromstandigheden van de winterbedvegetatie

```
# CODE 1201-1300 : Ruwheids formulering voor door- en overstroemde vegetatie
# r_code          : de ruwheids code
# a              : de vegetatie hoogte          (0.001 - 0.2 - 50.)
# b              : de vegetatie dichtheid      (0.0001 - 0.2 - 100.)
# c              : drag coefficient            (0.1 - 1.8 - 10.)
# d              : k-Nikuradse (onderlaag begroeiing) (0.001 - 0.2 - 100.)
#
# waarden aangepast voor zomeromstandigheden (Ref. Jesse, Vegetatie in de zomer, 17-11-2005)
r_code = 1201 a = 0.13 b = 45.    c = 1.8 d = 0.1 # productiegrasland
r_code = 1202 a = 0.19 b = 12.    c = 1.8 d = 0.1 # natuurlijk gras/hooiland
r_code = 1203 a = 0.45 b = 0.50   c = 1.8 d = 0.1 # verruigd grasland
r_code = 1211 a = 0.80 b = 0.30   c = 1.8 d = 0.1 # akkerdistelruigte
r_code = 1212 a = 1.00 b = 0.35   c = 1.8 d = 0.1 # droge ruigte
r_code = 1213 a = 0.80 b = 0.84   c = 1.8 d = 0.1 # dauwbraamruigte
r_code = 1214 a = 1.50 b = 0.20   c = 1.8 d = 0.1 # wilgenroosje ruigte
r_code = 1215 a = 2.00 b = 0.24   c = 1.8 d = 0.1 # rietruigte
r_code = 1221 a = 0.80 b = 0.38   c = 1.8 d = 0.1 # natte ruigte homogeen
r_code = 1222 a = 1.00 b = 0.34   c = 1.8 d = 0.1 # zegge homogeen
r_code = 1223 a = 1.00 b = 0.60   c = 1.8 d = 0.1 # rietgras homogeen
r_code = 1224 a = 2.00 b = 0.37   c = 1.8 d = 0.1 # biezén homogeen
r_code = 1225 a = 1.50 b = 0.53   c = 1.8 d = 0.1 # lisdodde homogeen
r_code = 1226 a = 2.50 b = 0.56   c = 1.8 d = 0.1 # riet homogeen
r_code = 1231 a = 6.00 b = 0.20   c = 1.5 d = 0.4 # zachthoutstruweel
r_code = 1232 a = 3.00 b = 0.06   c = 1.5 d = 1.0 # griend
r_code = 1233 a = 5.00 b = 0.26   c = 1.5 d = 0.4 # doornstruweel
r_code = 1241 a = 10.00 b = 0.011 c = 1.5 d = 0.6 # productiebos hardhout
r_code = 1242 a = 10.00 b = 0.010 c = 1.5 d = 0.6 # productiebos zachthout
r_code = 1243 a = 10.00 b = 0.016 c = 1.5 d = 0.6 # productiebos naaldbos
r_code = 1244 a = 10.00 b = 0.028 c = 1.5 d = 1.0 # hardhoutoobos
r_code = 1245 a = 10.00 b = 0.034 c = 1.5 d = 1.0 # zachthoutoobos
r_code = 1246 a = 3.00 b = 0.041 c = 1.5 d = 0.4 # boomgaard laagstam
r_code = 1247 a = 6.00 b = 0.01   c = 1.5 d = 0.4 # boomgaard hoogstam
r_code = 1250 a = 0.30 b = 0.23   c = 1.8 d = 0.1 # pioniervegetatie
r_code = 1251 a = 2.40 b = 0.60   c = 1.8 d = 0.1 # akker
```

C.5 Zomerkartering

C.5.1 Ruwheidscodes voor zomervegetatie

'Vergelijkbare' Baseline ruwheidscodes voor zomervegetatie BRP 2021

gewascode	gewas	category	R_code Baseline
337	Bufferstrook, rand (inclusief eventuele oevervegetatie)	Overige	112
3801	Tijdelijk onbeteelde grond, i.v.m. publieke werken	Braakland	121
3802	Tijdelijk onbeteelde grond, anders dan voor publieke werken	Braakland	121
383	Graszaad	Grasland	1200
1921	Graszoden	Grasland	1201
331	Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie landbouw.	Grasland	1202
335	Natuurterreinen (incl. heide)	Natuurterrein	1202
1926	Agrarisch natuurmengsel	Grasland	1202
332	Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie natuur.	Grasland	1203
344	Rand, grenzend aan blijvend grasland of een blijvende teelt, hoofdzakelijk bestaand uit een ander gewas dan gras	Bouwland	1203
3803	Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit een ander gewas dan gras. (EA: beheer)	Bouwland	1203
3804	Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit een ander gewas dan gras. (EA: onbeheerd)	Bouwland	1203
258	Luzerne	Bouwland	1213
262	Uien, zaai-	Bouwland	1213
263	Uien, zilver-	Bouwland	1213
346	Tagetes erecta (Afrikaantje)	Bouwland	1213
347	Tagetes patula (Afrikaantje)	Bouwland	1213
426	Overige groenbemers, vlinderbloemige-	Bouwland	1213

gewascode	gewas	category	R_code Baseline
427	Overige groenbemesters, niet-vlinderbloemige-	Bouwland	1213
3521	Stoppelknollen	Bouwland	1213
428	Gele mosterd	Bouwland	1221
511	Cichorei	Bouwland	1221
657	Drachtplanten	Bouwland	1221
663	Lupinen, niet bittere	Bouwland	1221
665	Sojabonen	Bouwland	1221
799	Klaver, rode	Bouwland	1221
802	Wikke, bonte	Bouwland	1221
854	Bonen, tuin- (groen te oogsten)	Bouwland	1221
979	Lelie, overige bloemkwekerijgewassen	Bouwland	1221
991	Overige bloemen, overige bloemkwekerijgewassen	Bouwland	1221
992	Overige bloemen, droogbloemen	Bouwland	1221
1002	Lelie, bloembollen en -knollen	Bouwland	1221
1025	Pioenroos, overige bloemkwekerijgewassen	Bouwland	1221
1067	Bos- en haagplanten, open grond,	Bouwland	1221
1069	Ericaceae (Zoals erica, calluna, rododendron, azalea), open grond,	Bouwland	1221
1080	Vaste planten, open grond,	Bouwland	1221
1094	Vaste planten, pot- en containerteelt,	Bouwland	1221
1095	Appelen. Aangeplant lopende seizoen.	Bouwland	1221
1096	Appelen. Aangeplant voorafgaande aan lopende seizoen.	Bouwland	1221
1876	Snijgroen	Bouwland	1221
1922	Koolzaad, winter (incl. boterzaad)	Bouwland	1221
1933	Uien poot en plant tweedejaars	Bouwland	1221
2014	Aardappelen, consumptie	Bouwland	1221
2015	Aardappelen, poot NAK	Bouwland	1221
2701	Aardbeien open grond, wachtbed	Bouwland	1221
2702	Aardbeien open grond, productie	Bouwland	1221
2710	Asperges, oppervlakte die productie oplevert	Bouwland	1221
2711	Asperges, oppervlakte die nog geen productie oplevert	Bouwland	1221
2712	Asperges, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2717	Bospeen, productie	Bouwland	1221
2721	Chinese kool, productie	Bouwland	1221
2723	Courgette, productie	Bouwland	1221
2725	Knolselderij, productie	Bouwland	1221
2726	Knolselderij, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2732	Augurk, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2735	Pompoen, productie	Bouwland	1221
2743	Kruiden, productie	Bouwland	1221
2755	Rabarber, productie	Bouwland	1221
2756	Rabarber, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2759	Rodekool, productie	Bouwland	1221
2761	Savooiekool, productie	Bouwland	1221
2771	Sla; overig, productie	Bouwland	1221
2774	Spinazie, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2775	Spitskool, productie	Bouwland	1221
2777	Spruitkool/spruitjes, productie	Bouwland	1221
2779	Stamsperziebonen (=stamslabonen), productie	Bouwland	1221
2781	Stoksnijbonen en stokslabonen, productie	Bouwland	1221
2783	Waspeen, productie	Bouwland	1221
2784	Waspeen, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221
2785	Winterpeen, productie	Bouwland	1221
2789	Witte kool, productie	Bouwland	1221
2793	Overige niet genoemde groenten, productie	Bouwland	1221
2799	Prei, winter, productie	Bouwland	1221
2800	Prei, winter, zaden en opkweekmateriaal	Bouwland	1221

gewascode	gewas	category	R_code Baseline
2801	Prei, zomer, productie	Bouwland	1221
3504	Bladrammenas	Bouwland	1221
3507	Ethiopische mosterd	Bouwland	1221
3508	Facelia	Bouwland	1221
3510	Franse boekweit	Bouwland	1221
3506	Engels raaigras	Bouwland	1223
3512	Italiaans raaigras	Bouwland	1223
3513	Westerwolds raaigras	Bouwland	1223
3519	Soedangras/Sorghum	Bouwland	1223
3807	Rietzwenkgras, anders dan voor industriegras	Grasland	1223
233	Tarwe, winter-	Bouwland	1226
234	Tarwe, zomer-	Bouwland	1226
235	Gerst, winter-	Bouwland	1226
236	Gerst, zomer-	Bouwland	1226
237	Rogge (geen snijrogge)	Bouwland	1226
238	Haver	Bouwland	1226
259	Mais, snij-	Bouwland	1226
314	Triticale	Bouwland	1226
316	Mais, korrel-	Bouwland	1226
317	Mais, corncob mix	Bouwland	1226
382	Spelt	Bouwland	1226
515	Zonnebloemen	Bouwland	1226
670	Japanse haver	Bouwland	1226
814	Mais, suiker-	Bouwland	1226
2652	Overige granen	Bouwland	1226
1073	Rozenstruiken (incl, zaailingen en onderstammen), open grond,	Bouwland	1233
1087	Rozenstruiken (incl, zaailingen en onderstammen), pot- en containerveld,	Bouwland	1233
1869	Bessen, blauwe	Bouwland	1233
795	Wilgenhakhout	Overige	1242
796	Kerstbomen	Bouwland	1246
1074	Sierconiferen, open grond,	Bouwland	1246
1075	Sierheesters en klimplanten, open grond,	Bouwland	1246
1076	Trek- en besheesters, open grond,	Bouwland	1246
1077	Vruchtboomen, moerbomen, open grond,	Bouwland	1246
1079	Vruchtboomen, overig, open grond,	Bouwland	1246
1088	Sierconiferen, pot- en containerveld,	Bouwland	1246
1089	Sierheesters en klimplanten, pot- en containerveld,	Bouwland	1246
1098	Peren. Aangeplant voorafgaande aan lopende seizoen.	Bouwland	1246
1099	Wijndruiven	Bouwland	1246
1870	Pruimen	Bouwland	1246
1872	Kersen, zuur (opbrengst bestemd voor verwerkende industrie)	Bouwland	1246
2326	Frambozen	Bouwland	1246
2328	Kersen, zoet	Bouwland	1246
244	Erwten, groene/gele (groen te oogsten)	Bouwland	1250
256	Bieten, suiker-	Bouwland	1251
257	Bieten, voeder-	Bouwland	1252
1070	Laanbomen/parkbomen, onderstammen, open grond,	Bouwland	1508
1071	Laanbomen/parkbomen, opzetters, open grond,	Bouwland	1508
1072	Laanbomen/parkbomen, spillen, open grond,	Bouwland	1508
333	Rand, grenzend aan blijvend grasland of een blijvende teelt, hoofdzakelijk bestaand uit blijvend gras	Grasland	1813
370	Rand, grenzend aan blijvend grasland of een blijvende teelt, hoofdzakelijk bestaand uit tijdelijk gras	Grasland	1813
265	Grasland, blijvend	Grasland	1970
266	Grasland, tijdelijk	Grasland	1970
863	Bos zonder herplantplicht	Bouwland	1973
1936	Bos, blijvend, met herplantplicht	Overige	1973

gewascode	gewas	category	R_code Baseline
334	Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit blijvend gras	Grasland	1996
372	Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit tijdelijk gras	Grasland	1996

'Vergelijkbare' Baseline ruwheidscodes voor zomervegetatie Landbouwgebruikspcelen LV 2021 (Vlaanderen)

HFDLT	LBLHFDLT	GEWASGROEP	RC Baseline
6	Begraasde niet-landbouwgrond	Overige gewassen	1201
60	Grasland	Grasland	1202
9823	Weiland met niet-oogstbare bomen (> 100 bomen per ha)	Grasland	1202
9828	Natuurlijk grasland met minimumactiviteit	Grasland	1202
63	Graskruiden mengsel	Grasland	1203
91	Suikerbieten	Suikerbieten	1221
700	Grasklaver	Voedergewassen	1221
831	Erwten (andere dan droog geoogst) - industrie	Groenten, kruiden en sierplanten	1221
901	Aardappelen (geplande oogst vanaf 1/9)	Aardappelen	1221
999	Niet nader omschreven gewas - kleine landbouwer	Overige gewassen	1221
8514	Ajuinen (niet-vroege) - industrie	Groenten, kruiden en sierplanten	1221
8527	Rode kool - industrie	Groenten, kruiden en sierplanten	1221
9516	Aardbeien	Fruit en Noten	1221
9812	Cichorei (koffiesurrogaat)	Overige gewassen	1221
9831	Bloemenmengsel	Overige gewassen	1221
35	Triticale	Granen, zaden en peulvruchten	1226
201	Silomais	Mais	1226
202	KorrelMais	Mais	1226
311	Wintertarwe	Granen, zaden en peulvruchten	1226
312	Zomertarwe	Granen, zaden en peulvruchten	1226
321	Wintergerst	Granen, zaden en peulvruchten	1226
322	Zomergerst	Granen, zaden en peulvruchten	1226
895	Bomen in groep	Houtachtige gewassen	1241
4	Houtkanten en houtwallen <= 10 m breed	Houtachtige gewassen	1242
9711	Meerjarige fruitteelten (peer)	Fruit en Noten	1246
9716	Wijnstokken	Fruit en Noten	1246

C.5.2 Zomerkartering

Voor de zomerkartering zijn de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage C5.2:

- zomervegetatie_Maas#.png: 5 kaarten die de dekking tonen van de voormalige lege akkers waarvan de vegetatieruwheidscodes zijn aangepast op basis van de daadwerkelijke gewasregistratie
- zomervegetatie_akker_maas_j21b.shp : shape bestand met de akkers waarvan de ruwheid is veranderd op basis van de gewasregistratie
- maas-j21_6-w1zva2_trachytopen.arl : Het ruwheidsbestand voor de zomerkartering
- ma_zomervegakk_r_a1 : de baseline maatregel voor de zomervegetatie. Let op deze maatregel heeft een grotere dekking voor veranderingen in ruwheidspolygonen dan de uiteindelijk gebruikte maas-j21_6-w1zva2_trachytopen.arl. Dit komt doordat maas-j21_6-w1zva2_trachytopen.arl achteraf handmatig is bewerkt zodat alleen de ruwheid van de exacte polygonen van akker met de ruwheidscodes 121 (akker), 122 (strooisel) en 1822 (95% akker + 5% doornstruweel) wordt vervangen. Deze polygonen zijn namelijk vaak kleiner dan de akkers uit de gewasregistratie zelf waarvan de gehele omtrek is gebruikt in de baseline maatregel.

D Beschikbare meetdata

Tabel 9.1 Aangeleverde meetreeksen van debietmetingen voor de Maas en lateralen.

Rivier	Meetpunt	Eenheid	Start [MET]	Eind [MET]	Frequentie	Meetnet
Maas	QEijsden Grens	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QSint Pieter Noord	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QBorgharen Dorp	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QBunde	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QSmeermaas	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QVenlo	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QMegen	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	QLozen	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Maaseik rkm. 52.8/Maas	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Voer	Voer, Mesch 15.Q.41	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Jeker	Jeker, Nekum	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Geul	Meerssen, 10.q.36	m3/s	01-07-2020 00:00	18-07-2021 20:00	1 uur	WL ¹¹
Geleenbeek	Oud-roosteren 6.1.27	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Roer	Pegel Stah	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	LANUV ¹²
Roer	Stah-WL	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Neerbeek	Hammermolen	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Niers	Pegel Goch	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	LANUV ¹²
Niers	Niers, Kessel	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Swalm	Swalm, Grens	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	WL ¹¹
Aa	ADM120 Oosterplas	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	Ws Aa en Maas ¹³
Drongelens kanaal	ADM118 Waalwijk	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	Ws Aa en Maas ¹³
Dieze	ADM116 Engelen (Crevecoeur)	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	Ws Aa en Maas ¹³
Dommel	P10_Dommel	m3/s	01-07-2020 00:00	30-06-2022 23:00	1 uur	Ws Dommel ¹⁴

⁹ Landelijk Meetnet Water

¹⁰ Hydrologisch Informatie Centrum (Vlaanderen)

¹¹ Waterschap Limburg

¹² Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

¹³ Waterschap Aa en Maas

¹⁴ Waterschap Dommel

Tabel 9.2 Aangeleverde meetreeksen van waterstanden

Rivier	Meetpunt	Eenheid	Start [MET]	Eind [MET]	Frequentie	Meetnet
Maas	Eijsden grens	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Sint Pieter noord	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Borgharen_jul	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Borgharen dorp	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Lanaken-Smeermaas rkm. 18.4	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Uikhoven rkm. 25.3	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Eisloo	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	MA_31.00_L_DIVER_HIC-ZB5	m + NAP	02-04-2021 13:00	12-10-2021 09:00	30 min	HIC ¹⁰
Maas	MA_32.00_L_DIVER_HIC-ZB9	m + NAP	02-04-2021 13:00	12-10-2021 09:00	30 min	HIC ¹⁰
Maas	MA_34.00_L_DIVER_HIC-ZB17	m + NAP	02-04-2021 13:00	12-10-2021 09:00	30 min	HIC ¹⁰
Maas	Eisden-Mazenhoven rkm. 34.7	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Meeswijk Veer rkm. 39.0	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maasplassen	Negenoord-West	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Negenoord rkm. 42.5	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Rotem rkm. 44.9	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maasplassen	Rotem Bichterweerd	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Maaseik_HIC	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maasplassen	Maaseik Herenlaak	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maasplassen	Ophoven De Spaanjerd	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	HIC ¹⁰
Maas	Stevensweert	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Heel boven	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Linne ben	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Roermond boven	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Heel ben	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Buggenum	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Neer	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Belfeld bov	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Belfeld ben	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Venlo	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Well dorp	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Sambeek bov	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Sambeek ben	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Gennep	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Mook	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Grave bov	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Grave ben	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Megen dorp	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Lith bov	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Lith dorp	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Empel Beneden	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹

Rivier	Meetpunt	Eenheid	Start [MET]	Eind [MET]	Frequentie	Meetnet
Maas	Crevecoeur	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	WS Aa en Maas ¹³
Maas	Heesbeen	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Maas	Keizersveer	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Waal	Nijmegen Haven	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Waal	Vuren	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Waal	Tiel Waal	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Waal	Zaltbommel	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Waal	Bunde	cm + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:50	10 min	LMW ⁹
Dieze	AKw839, Spuisluis Crevecoeur, Maas 1	m + NAP	1-7-2020 00:00	30-6-2022 23:00	1 uur	WS Aa en Maas ¹³

Tabel 9.3 Aangeleverde topwaterstanden

Rivier	Meetpunt	Eenheid	Start [MET]	Eind [MET]	Frequentie	Meetnet
Maas	Maashees haven (Ma_137.2 linkeroever)	cm + NAP	16-7-2021 10:00	22-7-2021 13:00	± 5x per dag	particulier peilstok
Maas	Arcen BPS (Ma_120.5 rechteroever)	cm + NAP	16-7-2021 9:00	17-7-2021	1 uur	
Maas Bosscherveld ontvangstvijver	Inlaatwerk Bosscherveld (Ma_14,9 linkeroever)	cm + NAP	13-7-2021 00:00	22-7-2021 00:00	1 uur	Project monitoring door RHDHV, Madeleine Inckel

Tabel 9.4 Overzicht van de CIV ADCP metingen hoogwater juli 2021

Rivier	Raai_model	Meetplaats	Km	Datum Tijd [MET]	Q
Maas	ma_67.00_IM-Q_Clauscentrale2	Clauscentrale	67.000	15-07-2021 11:49:00	1558
Maas	ma_67.00_IM-Q_Clauscentrale2	Clauscentrale	67.000	16-07-2021 11:14:00	3135
Maas	ma_67.00_IM-Q_Clauscentrale2	Clauscentrale	67.000	16-07-2021 11:25:00	2915
Maas	ma_67.00_IM-Q_Clauscentrale2	Clauscentrale	67.000	17-07-2021 13:59:00	2363
Maas		Eijsden	3.000	16-07-2021 14:00:00	2681
Maas		Eijsden	3.000	16-07-2021 14:10:00	2656
Maas		Eijsden	3.000	16-07-2021 14:20:00	2597
Maas		Eijsden	3.000	16-07-2021 14:30:00	2641
Maas	ma_8.10_IM-Q_Ontgrinding-Eijsden	Eijsden Ontgrinding	8.100	16-07-2021 15:07:00	420
Maas		Eijsden	3.000	17-07-2021 09:39:00	1635
Maas		Eijsden	3.000	17-07-2021 09:49:00	1640
Maas		Eijsden	3.000	17-07-2021 10:00:00	1640
Maas		Eijsden	3.000	17-07-2021 10:07:00	1640
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	15-07-2021 10:42:00	1841
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	15-07-2021 10:52:00	1868
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	15-07-2021 11:02:00	1857
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	15-07-2021 11:12:00	1863

Rivier	Raai_model	Meetplaats	Km	Datum Tijd [MET]	Q
Maas	ma_52.30_IM-Q_Maaseik	Maaseik	52.700	15-07-2021 12:51:00	1976
Maas	ma_52.30_IM-Q_Maaseik	Maaseik	52.700	15-07-2021 13:01:00	1998
Maas	ma_52.30_IM-Q_Maaseik	Maaseik	52.700	15-07-2021 13:10:00	1992
Maas	ma_52.30_IM-Q_Maaseik	Maaseik	52.700	15-07-2021 13:23:00	2011
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	16-07-2021 08:42:00	2984
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	16-07-2021 08:53:00	3008
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	16-07-2021 09:05:00	2975
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	16-07-2021 09:13:00	3041
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	16-07-2021 09:21:00	3048
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	17-07-2021 12:51:00	2114
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	17-07-2021 13:07:00	2133
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	17-07-2021 13:14:00	2103
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	17-07-2021 13:18:00	2099
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	18-07-2021 07:02:00	1390
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	18-07-2021 07:10:00	1418
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	18-07-2021 07:21:00	1409
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	18-07-2021 07:30:00	1385
Maas	ma_52.40_IM-Q_Maaseik-Brug	Maaseik	52.700	18-07-2021 07:38:00	1393
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	16-07-2021 15:26:00	2991
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	16-07-2021 15:35:00	2965
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	16-07-2021 15:45:00	2979
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	16-07-2021 15:57:00	2971
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	17-07-2021 10:35:00	1744
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	17-07-2021 10:45:00	1733
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	17-07-2021 10:55:00	1721
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	17-07-2021 11:05:00	1723
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	18-07-2021 09:25:00	998
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	18-07-2021 09:36:00	987
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	18-07-2021 09:46:00	990
Maas	ma_12.60_IM-Q_Maastricht	Maastricht	12.600	18-07-2021 09:55:00	995
Maas	ma_62.00_IM-Q_Oude-Maas-Stevensweert	Oude Maasarm		16-07-2021 10:11:00	330
Maas	ma_62.00_IM-Q_Oude-Maas-Stevensweert	Oude Maasarm		16-07-2021 10:18:00	341

Tabel 9.5 Samenvatting van de ADCP metingen uitgevoerd door Aquavision (Eelkema, 2021)

measurement date	station number	q total mean [m3/s]	q total std [m3/s]	river width mean [m]	total area mean [m2]	max water speed mean [m/s]	max depth mean [m]
2021-07-16	148	1464.69025	19.65924048	125.42725	862.1455	2.94175	8.0135
	149	1398.24425	20.98260358	131.73225	945.23325	2.533	8.724
	150	1499.60775	26.06862913	133.0095	905.77975	2.9115	9.5775
	151	1429.27575	9.986354669	131.60925	881.06575	2.81575	9.709
	152	1457.1185	27.86503107	130.79575	897.1595	2.78275	9.1505
	153	1444.208	22.16084874	131.35925	894.94425	2.95225	9.4855
	154	1419.4665	23.03681825	127.44325	873.09675	2.75875	9.22675
	155	1407.852	6.046843088	119.3475	891.38325	2.624	9.12325
	156	1407.821	47.0325823	118.92425	866.17725	2.8365	10.14775
	157	1387.333	14.53921587	104.26875	836.395	2.8055	10.60325
	158	1424.54125	29.7862344	131.36775	939.1155	2.791	10.3835
	159	1406.89575	12.953093	132.26475	1015.15275	2.42175	9.9915
	160	1430.72175	13.1977059	137.143	996.03475	2.61725	11.27075
	161	1527.052	11.20335292	134.3105	1013.86825	2.65575	11.41325
	162	1498.3045	26.04682857	110.55425	914.76875	2.78025	10.72725
	163	1513.346	17.2254849	140.3185	985.6895	2.703	10.91825
	164	1528.359	20.50019299	147.5655	1130.107	2.8625	10.8715
	165	1513.0225	9.647743311	133.93975	870.72775	2.7005	9.054
	166	1503.946	38.59000901	152.66725	1245.94825	2.49475	10.63825
	167	1497.8475	16.45283168	155.16025	1247.699	2.1365	10.8465
168	1450.371	15.03877466	155.775	1197.99275	2.066	10.39025	
169	1452.843	12.870981	170.3965	1269.9345	2.04725	10.53325	
170	1453.0535	18.50165021	161.4925	1276.026	2.04025	10.422	
171	1438.9735	13.49341483	164.70225	1169.13475	2.17425	9.44075	
172	1437.92225	18.16597384	169.381	1247.579	2.067	9.39625	
173	1422.85	21.8943935	157.17775	1203.50675	2.15525	9.427	
174	1435.424	15.92319292	163.97475	1228.79175	2.00925	9.434	
175	1401.88825	15.11494808	135.32225	838.2	2.71125	7.35	
2021-07-18	148	1635.87875	32.36904238	123.1835	1122.02675	2.69025	10.35075

measurement date	station number	q total mean [m3/s]	q total std [m3/s]	river width mean [m]	total area mean [m2]	max water speed mean [m/s]	max depth mean [m]
	149	1669.0675	48.48953883	139.14975	1279.60125	2.50075	10.915
	150	1584.1895	6.856569526	136.79975	1233.446	2.595	11.7645
	151	1617.084	29.28242983	136.4215	1237.41475	2.5375	12.03925
	152	1981.7655	9.417996974	142.5885	1260.31875	3.12875	12.13075
	153	1915.93075	23.64998959	139.23925	1255.438	2.758	11.80475
	154	1821.9098	53.39132572	143.9168	1218.952	2.6942	11.3462
	155	2237.685	27.44674748	132.665	1234.95475	3.214	11.30925
	156	2067.4725	12.35871785	118.66125	1207.555	3.03625	12.6875
	157	1920.0885	20.17904673	111.88625	1119.7055	2.911	12.9175
	158	2103.71275	21.9701202	139.79725	1308.43025	2.94975	12.8325
	159	2092.93	84.43676112	141.95775	1379.68175	2.869	12.545
	160	2234.11275	30.98591102	152.67875	1405.34475	3.02675	13.9775
	161	2178.75775	16.57479231	144.84325	1291.21525	2.97275	13.585
	162	2079.9015	52.67693042	113.8293333	1113.992167	3.3045	12.69666667
	163	2239.1235	47.18559761	162.541	1356.41525	3.0715	13.135
	164	2226.604	47.00680585	150.1035	1411.125	3.22925	12.985
	165	2176.34	38.24372478	142.8375	1165.551	3.05175	10.66325
	166	1996.50925	22.55883177	157.68025	1573.74475	2.54775	12.635
	167	2228.14475	16.30087816	157.83275	1562.844	2.61225	12.785
	168	2309.02125	12.48004472	154.173	1505.85625	2.6405	12.59
	169	2298.0396	44.20734798	166.1388	1614.1754	2.512	12.668
	170	2244.65375	16.38359485	161.2415	1592.21675	2.5085	12.785
	171	2291.46875	24.46094533	161.47225	1469.2555	2.6235	11.46
	172	2303.9125	41.01965585	169.72375	1582.7185	2.66475	11.52075
	173	2234.8545	49.66485109	157.555	1512.90525	2.50175	11.53
	174	2272.179	36.6317609	164.2023333	1548.128333	2.599333333	11.59333333
	175	1917.1815	28.9912476	141.85	1151.165	2.9665	9.52

E Modelresultaten

E.1 Waterstanden

E.1.1 Referentie (hist_20210701_20210801)

Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E1.1:

figuren: Voor elk meetstation is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de absolute waterstanden en de verschillen in waterstanden van het model en de metingen.

statistieken:

- **hist_20210701_20210801_waterstanden_stats.csv** : de statistieken (first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **hist_20210701_20210801_waterstanden_verschilstats.csv**: de statistieken van het verschil tussen de model resultaten en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **hist_20210701_20210801_waterstanden_statistieken.xlsx** : Deze excel is gebruikt voor het maken van Tabel 4.1 en is gebaseerd op de bias, rmse, stdev en dmax uit hist_20210701_20210801_waterstanden_verschilstats.csv

E.1.2 Gevoeligheidsanalyse kalibratie

Voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie zijn voor elk meetstation van de kalibratie voor zowel de referentie als voor de varianten (ongekalibreerd en ongekcalibreerd_Hoog2) de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E1.2:

figuren: Voor elk meetstation van de kalibratie is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de absolute waterstanden en de verschillen in waterstanden van al de varianten voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie en de metingen.

statistieken:

- **Gevoeligheidsanalyse_kalibratie_waterstanden_verschilstats.csv**: de statistieken van het verschil tussen al de modelvarianten (referentie, ongekcalibreerd en ongekcalibreerd_Hoog2), en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **[Variant]_waterstanden_verschilstats.csv**: de statistieken van het verschil tussen de model variant en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00:
- **[Variant]_waterstanden_stats.csv** : de statistieken voor de variant (first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00

E.1.3 Gevoeligheidsanalyse vegetatie

Voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie zijn voor elk meetstation van de kalibratie voor zowel de referentie als voor de varianten (ongekalibreerd, zomerruwheid, zomerruwheid_ongekalibreerd, zomervegetatie en zomervegetatie_ongekalibreerd) de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E1.2:

figuren: Voor elk meetstation van de kalibratie is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de absolute waterstanden en de verschillen in waterstanden van al de varianten voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie en de metingen.

statistieken:

- **Gevoeligheidsanalyse_vegetatie_verschilstats.csv:** de statistieken van het verschil tussen al de modelvarianten en metingen
(bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **[Variant]_waterstanden_verschilstats.csv:** de statistieken van het verschil tussen de model variant en metingen
(bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00:
- **[Variant]_waterstanden_stats.csv :** de statistieken voor de variant
(first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00

E.2 Topwaterstand incidentele metingen

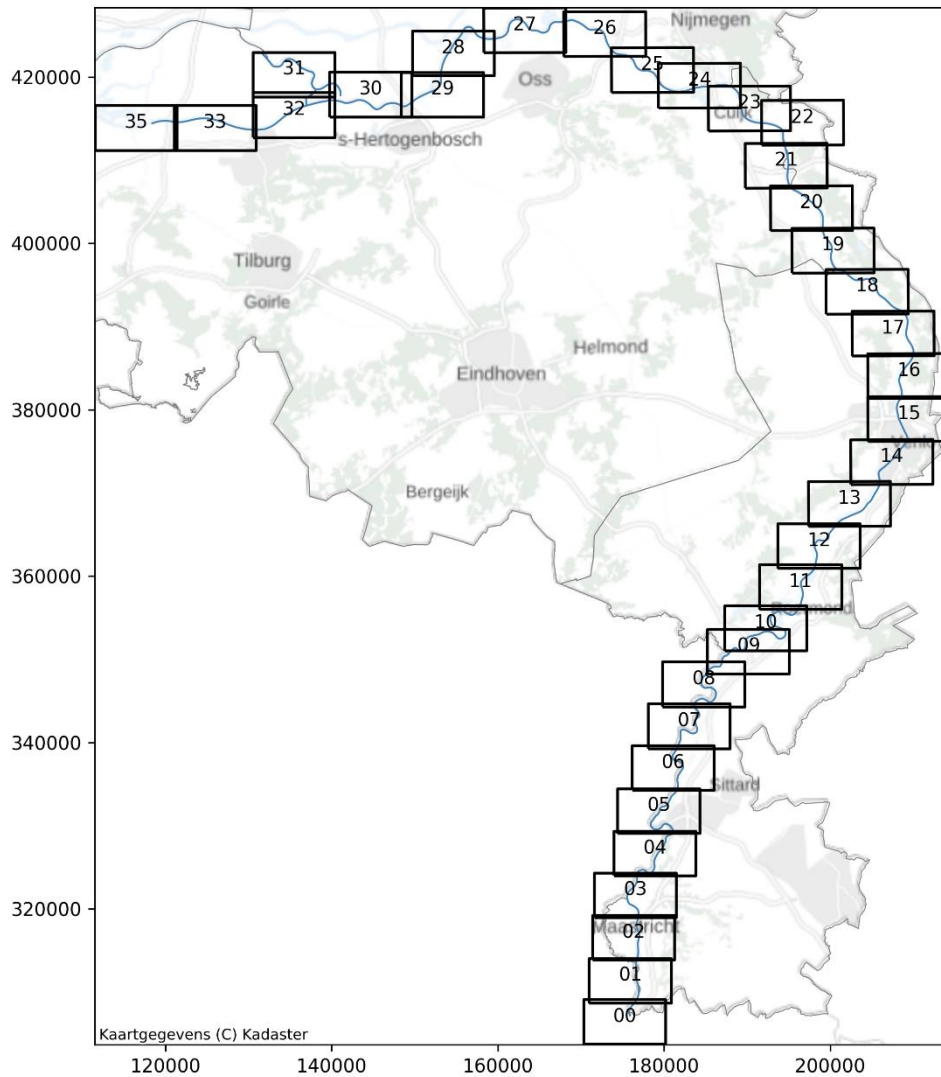
Voor de incidentele metingen zijn voor de referentie hist_20210701_20210801 de volgende producten opgeleverd in de digitale bijlagen:

- **hist_20210701_20210801_strootjes_metingen.csv:** De aangeleverde dataset voor de strootjesmetingen (Hoogte,waterhoogte,Opmerking) aangevuld X [RD],Y [RD],wl model,wd model,wl model top tijd,afstand vanaf rivieras,afstand langs rivieras,dwl [m] voor al de strootjesmetingen
- **hist_20210701_20210801_strootjes_metingen_compleet.shp:** shapebestand met in de attributen tabel alle informatie uit bovenstaand .csv-bestand

Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn daarnaast de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E3:

kaarten:

Indien de hieronderstaande 34 kaartbladen overlappen met de LiDARblokken, dan is het verschil in waterstand van de referentie hist_20210701_20210801 – de waterstand voor het LiDAR blok beschikbaar voor dit kaartblad



statistieken:

- **statistieken_LiDARblokken.csv:** complete lijst met statistieken voor LiDAR, hist_20210701_20210801 en LMW- meetlocaties zijn per lidarblok als .csv beschikbaar. Een deel van de statistieken is ook opgenomen in de excel "Appendix E3 en E4 LiDAR statistieken waterstanden en topwaterstanden.xlsx"
- **waterstand_hist_20210701_20210801_rivieras.csv:** de waterstand op de rivieras per rkm voor de referentie hist_20210701_20210801 voor het gemiddelde meetmoment van elk LiDARblok
- **waterstand_lidar_rivieras.csv :** de waterstand op de rivieras per rkm voor elk LiDARblok
- **waterstanden_verschil_hist_20210701_20210801_min_lidar_rivieras.csv:** Het verschil tussen de waterstand op de rivieras per rkm voor de referentie hist_20210701_20210801 en het bijbehorende LiDARblok

E.4 LiDAR topwaterstanden

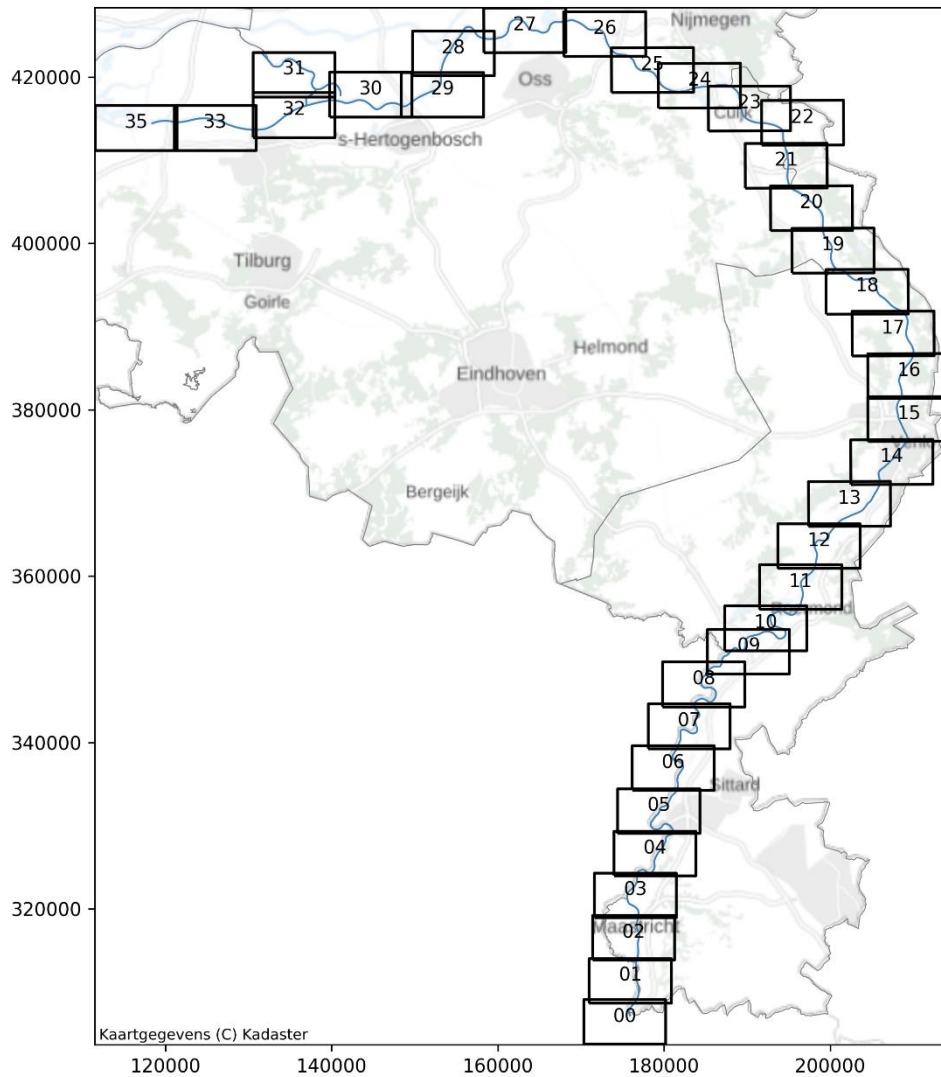
Ook digitaal opgeleverd als "Appendix E3 en E4 LiDAR statistieken waterstanden en topwaterstanden.xlsx"

Lidarblok	LMW/HIC - meetlocatie	datum	starttijd LIDAR (CET)	eindtijd LIDAR (CET)	duur LIDAR (uur)	Topwaterstand LIDAR (m NAP)	Topwaterstand LMW (m NAP)	Topwaterstand model (m NAP)	std Waterstand LIDAR in gridcell (m)	std Waterstand tijdens LIDAR blok (m)	LMW (m)	verschil topwaterstand model-LIDAR (m)	verschil topwaterstand model-LMW (m)
LIDAR_16juli_1_8	MA_2.56_R_LMW-H_Eijsden-Grens	16-7-2021	16:33	17:12	0:39	50.65	50.64	50.85	0.023	0.0129	0.0129	0.199	0.012
LIDAR_16juli_1_8	MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	16-7-2021	17:33	18:12	0:39	48.10	48.1	48.22	0.009	0.0129	0.0129	0.120	-0.002
LIDAR_16juli_9_11	MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	16-7-2021	18:33	19:12	0:06		48.1	48.22					
LIDAR_16juli_9_11	MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	16-7-2021	19:33	20:12	0:06		45.23	45.26					
LIDAR_16juli_12_23	MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	16-7-2021	20:33	21:12	0:56	45.30	45.23	45.26	0.037	0.0223		-0.040	0.069
LIDAR_16juli_12_23	MA_18.40_L_HIC_Lanaken-Smeermaas	16-7-2021	21:33	22:12	0:56	44.56	44.56	44.61	0.015	0.0117		0.045	0.005
LIDAR_16juli_12_23	MA_25.25_L_HIC_Uikhoven	16-7-2021	22:33	23:12	0:56	42.52	42.61	42.32	0.033	0.0147		-0.199	-0.088
LIDAR_16juli_12_23	MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	16-7-2021	23:33	00:12	0:56	40.95	40.95	40.46	0.021	0.0121		-0.495	0.002
LIDAR_16juli_24_52	MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	17-7-2021	00:33	01:12	1:41		40.95	40.46			0.0246		
LIDAR_16juli_24_52	MA_34.76_L_HIC_Eisden-Mazenhoven	17-7-2021	01:33	02:12	1:41	37.68	37.77	37.76	0.024	0.0320		0.088	-0.094
LIDAR_16juli_24_52	MA_38.93_L_HIC_Meeswijk-veer	17-7-2021	02:33	03:12	1:41	33.98	34.07	33.81	0.057	0.0204		-0.171	-0.092
LIDAR_16juli_24_52	MA_42.50_L_HIC_Negeenoord	17-7-2021	03:33	04:12	1:41	32.77	32.82	32.58	0.016	0.0127		-0.188	-0.052
LIDAR_16juli_24_52	MA_44.90	17-7-2021	04:33	05:12	1:41		32.42	32.22			0.0151		
LIDAR_17juli_54_70	MA_42.50_L_HIC_Negeenoord	17-7-2021	05:33	06:12	1:29	32.75	32.82	32.58	0.028	0.0464		-0.167	-0.072
LIDAR_17juli_54_70	MA_44.90	17-7-2021	06:33	07:12	1:29	32.32	32.42	32.22	0.010	0.0503		-0.100	-0.100
LIDAR_17juli_54_70	MA_52.80_L_HIC_Maaseik	17-7-2021	07:33	08:12	1:29	30.13	30.17	30.07	0.017	0.0417		-0.053	-0.044
LIDAR_17juli_54_70	MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	17-7-2021	08:33	09:12	1:29		25.57	25.67			0.0164		
LIDAR_17juli_71_73en100_113	MA_52.80_L_HIC_Maaseik	17-7-2021	09:33	10:12	1:41		30.17	30.07			0.0530		
LIDAR_17juli_71_73en100_113	MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	17-7-2021	10:33	11:12	1:41	25.56	25.57	25.67	0.021	0.0190		0.114	-0.009
LIDAR_17juli_71_73en100_113	MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	17-7-2021	11:33	12:12	1:41		21.88	21.79			0.0152		
LIDAR_17juli_74_99	MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	17-7-2021	12:33	13:12	2:37		25.57	25.67			0.0427		
LIDAR_17juli_74_99	MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	17-7-2021	13:33	14:12	2:37	21.88	21.88	21.79	0.009	0.0337		-0.089	0.001
LIDAR_17juli_74_99	MA_79.75_R_LMW-H_Roermond-boven	17-7-2021	14:33	15:12	2:37	20.59	20.68	20.57	0.009	0.0242		-0.020	-0.088
LIDAR_17juli_74_99	MA_85.77_L_LMW-H_Buggenum-Hanssumerveerd	17-7-2021	15:33	16:12	2:37	20.20	20.3	20.21	0.022	0.0201		0.010	-0.102
LIDAR_17juli_74_99	MA_90.11_L_LMW-H_Neer	17-7-2021	16:33	17:12	2:37	20.04	20.1	20.03	0.009	0.0199		-0.009	-0.058
LIDAR_17juli_74_99	MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	17-7-2021	17:33	18:12	2:37		18.89	18.82			0.0103		
LIDAR_18juli_114_122	MA_90.11_L_LMW-H_Neer	17-7-2021	18:33	19:12	0:46		20.1	20.03			0.0183		
LIDAR_18juli_114_122	MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	17-7-2021	19:33	20:12	0:46	18.85	18.89	18.82	0.015	0.0082		-0.023	-0.043
LIDAR_18juli_114_122	MA_102.69_R_LMW-H_Belfeld-beneden	17-7-2021	20:33	21:12	0:46		18.45	18.63			0.0082		
LIDAR_18juli_114_122	MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	17-7-2021	21:33	22:12	0:46	17.96	18.01	18.14	0.026	0.0096		0.176	-0.050
LIDAR_18juli_123_134	MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	17-7-2021	22:33	23:12	1:02		18.01	18.14			0.0172		
LIDAR_18juli_123_134	MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	17-7-2021	23:33	00:12	1:02		15.48	15.25			0.0082		
LIDAR_18juli_135_170	MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	18-7-2021	00:33	01:12	5:37	15.49	15.48	15.25	0.023	0.0369		-0.241	0.013
LIDAR_18juli_135_170	MA_144.96_R_LMW-H_Sambeek-boven	18-7-2021	01:33	02:12	5:37	13.72	13.77	13.54	0.019	0.0106		-0.174	-0.051
LIDAR_18juli_135_170	MA_147.70_L_LMW-H_Sambeek-beneden	18-7-2021	02:33	03:12	5:37	13.33	13.33	13.27	0.021	0.0055		-0.063	0.002
LIDAR_18juli_135_170	MA_155.10_L_LMW-H_Gennep	18-7-2021	03:33	04:12	5:37	12.32	12.34	12.33	0.008	0.0168		0.009	-0.018
LIDAR_18juli_135_170	MA_165.80_R_LMW-H_Mook	18-7-2021	04:33	05:12	5:37	10.74	10.78	10.92	0.025	0.0416		0.185	-0.043
LIDAR_18juli_135_170	MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	18-7-2021	05:33	06:12	5:37		9.95	9.92			0.0512		
LIDAR_19juli_171_184	MA_165.80_R_LMW-H_Mook	18-7-2021	06:33	07:12	1:05		10.78	10.92			0.0052		
LIDAR_19juli_171_184	MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	18-7-2021	07:33	08:12	1:05	9.91	9.95	9.92	0.020	0.0075		0.009	-0.039
LIDAR_19juli_171_184	MA_177.00_R_LMW-H_Grave-beneden	18-7-2021	08:33	09:12	1:05	9.47	9.47	9.56	0.030	0.0052		0.095	-0.003
LIDAR_19juli_171_184	MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	18-7-2021	09:33	10:12	1:05		7.63	7.79			0.0052		
LIDAR_19juli_185_198	MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	18-7-2021	10:33	11:12	1:21	7.69	7.63	7.79	0.011	0.0053		0.099	0.060
LIDAR_19juli_185_198	MA_200.69_L_LMW-H_Lith-boven	18-7-2021	11:33	12:12	1:21	5.97	5.97	6.16	0.024	0.0053		0.185	0.005
LIDAR_19juli_185_198	MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	18-7-2021	12:33	13:12	1:21	5.81	5.79	5.87	0.024	0.0052		0.066	0.019
LIDAR_19juli_199_213	MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	18-7-2021	13:33	14:12	1:08		5.79	5.87			0.0000		
LIDAR_19juli_199_213	MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	18-7-2021	14:33	15:12	1:08		4.86	5.02			0.0053		
LIDAR_19juli_214_222	MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	18-7-2021	15:33	16:12	0:43		4.86	5.02			0.0000		
LIDAR_19juli_214_222	MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	18-7-2021	16:33	17:12	0:43		3.27	3.31			0.0082		
LIDAR_19juli_240_250	MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	18-7-2021	17:33	18:12	0:47		4.86	5.02			0.0055		
LIDAR_19juli_240_250	MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	18-7-2021	18:33	19:12	0:47		3.27	3.31			0.0045		
LIDAR_19juli_251_257	MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	18-7-2021	19:33	20:12	0:40		3.27	3.31			0.0000		
LIDAR_19juli_251_257	MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	18-7-2021	20:33	21:12	0:40		1.54	1.54			0.0082		
									gemiddelde	0.021	0.017	-0.022	-0.030
									minimum	0.008	0.000	-0.495	-0.102
									maximum	0.057	0.053	0.199	0.069

Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn daarnaast de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E4:

kaarten:

Indien de hieronderstaande 34 kaartbladen overlappen met de LiDAR topwaterstandenkaart, is het verschil in topwaterstand van de referentie hist_20210701_20210801 – de waterstand voor de eindversie Topwaterstandenkaart beschikbaar voor het kaartblad

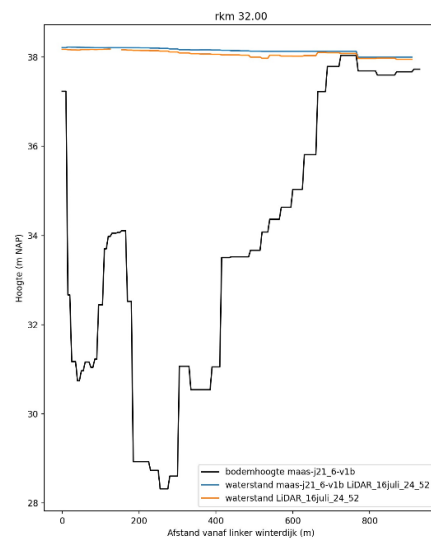
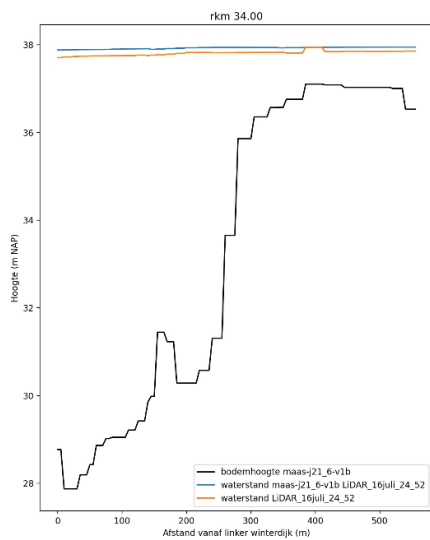
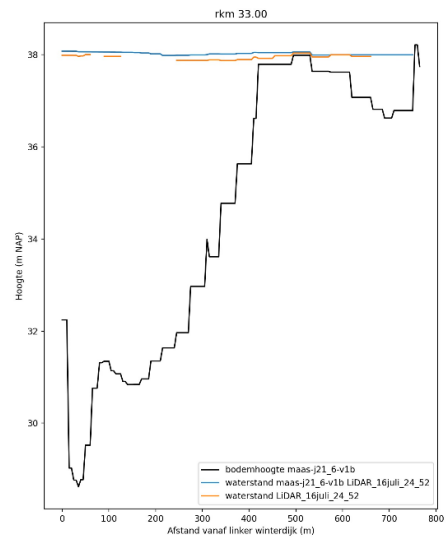
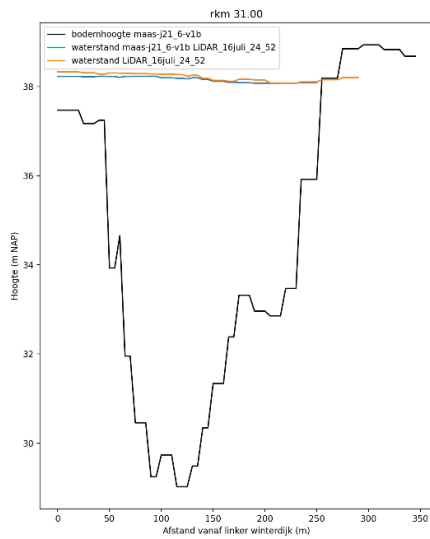
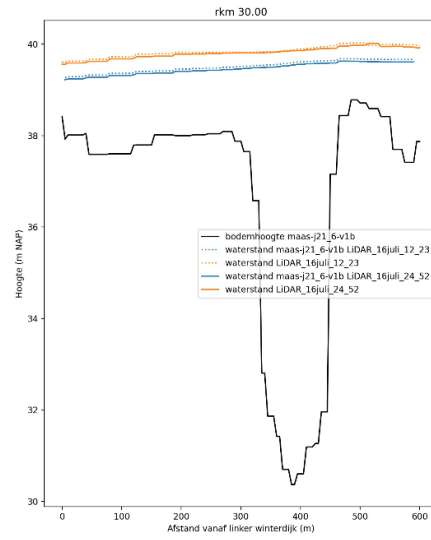
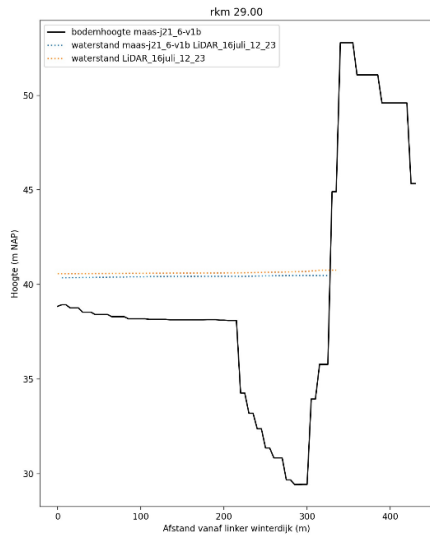


statistieken:

- **topwaterstand_verschil_hist_20210701_20210801_min_lidar_rivieras:** Het verschil tussen de topwaterstand op de rivieras per rkm voor de referentie hist_20210701_20210801 de LiDAR topwaterstand uit de eindversie Topwaterstandenkaart

E.5 LiDAR dwarsdoorsneden

Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn onderstaande dwarsdoorsneden digitaal opgeleverd in digitale bijlage E5:



E.6 Afvoeren

E.6.1 Referentie (hist_20210701_20210801)

Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E6.1:

figuren: Voor elk meetstation is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de afvoeren en de verschillen in afvoeren van het model en de metingen.

statistieken:

- **hist_20210701_20210801_afvoeren_stats.csv** : de statistieken (first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **hist_20210701_20210801_afvoeren_verschilstats.csv**: de statistieken van het verschil tussen de model resultaten en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **hist_20210701_20210801_afvoeren_verschilstats.png**: opgemaakte tabel met de statistieken van het verschil tussen de referentie en metingen (bias,rmse,stdev,dmax) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00:

E.6.2 Gevoeligheidsanalyse kalibratie

Voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie zijn voor elk meetstation van de kalibratie voor zowel de referentie als voor de varianten (ongekalibreerd en ongekcalibreerd_Hoog2) de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E6.2:

figuren: Voor elk meetstation van de kalibratie is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de afvoeren en de verschillen in afvoer van al de varianten voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie en de metingen.

statistieken:

- **Gevoeligheidsanalyse_kalibratie_afvoeren_verschilstats.csv**: de statistieken van het verschil tussen al de modelvarianten (referentie, ongekcalibreerd en ongekcalibreerd_Hoog2), en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **[Variant]_afvoeren_verschilstats.png**: opgemaakte tabel met de statistieken van het verschil tussen de model variant en metingen (bias,rmse,stdev,dmax) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **[Variant]_afvoeren_stats.csv** : de statistieken voor de variant (first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00

E.6.3 Gevoeligheidsanalyse vegetatie

Voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie zijn voor elk meetstation van de kalibratie voor zowel de referentie als voor de varianten (ongekcalibreerd, zomerruwheid, zomerruwheid_ongekcalibreerd, zomervegetatie en zomervegetatie_ongekcalibreerd) de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E6.3:

figuren: Voor elk meetstation van de kalibratie is een figuur toegevoegd met de tijdseries en statistieken van zowel de afvoeren en de verschillen in afvoeren van al de varianten voor de gevoeligheidsanalyse vegetatie en de metingen.

statistieken:

- **Gevoeligheidsanalyse_vegetatie_afvoeren_verschilstats.csv:** de statistieken van het verschil tussen al de modelvarianten en metingen (bias,relativebias,rmse,stdev,variance,dmax,dmax3,dmax13,dmin,dmin3,dmin13,dtmax,dtmin,n) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00
- **[Variant]_afvoeren_verschilstats.png:** opgemaakte tabel met de statistieken van het verschil tussen de model variant en metingen (bias,rmse,stdev,dmax) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00:
- **[Variant]_afvoeren_stats.csv :** de statistieken voor de variant (first,min,t_min,min3,min13,min25,max,t_max,max3,max13,max25,last,last3,last13,last25,mean) voor de periode van 10-07-2021 00:00 -26-07-2021 00:00

E.7 Afvoeren ADCP

Voor de referentie hist_20210701_20210801 en de variant zomervegetatie zijn de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E7:

- [Variant]_ADCP_civ.csv
- [Variant]_ADCP_civ_tijdserie.png
- [Variant]_ADCP_grave.csv
- [Variant]_adcp_grave_tijdserie_filled_deel1.png
- [Variant]_adcp_grave_tijdserie_filled_deel2.png
- [Variant]_Qmodel_QADCPciv.png
- [Variant]_Qmodel_QADCP_grave.png

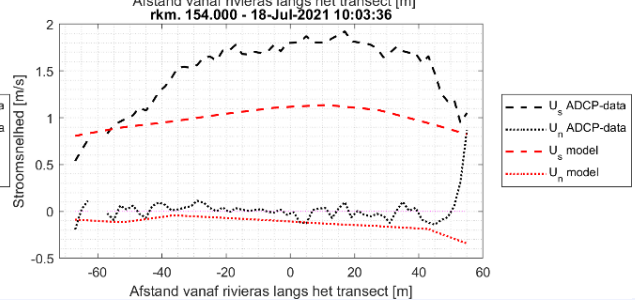
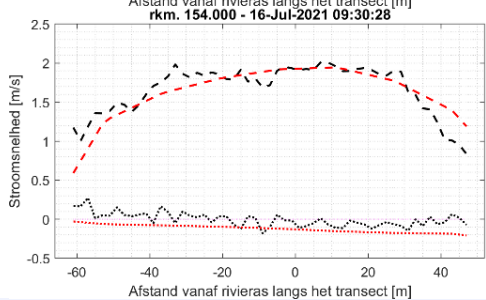
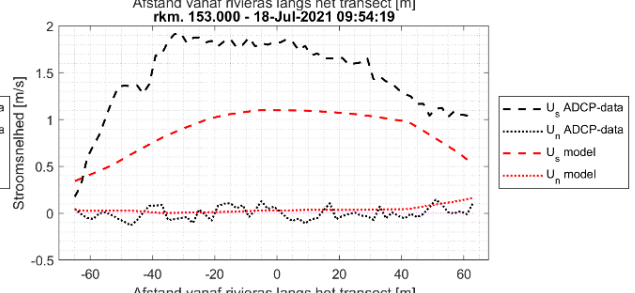
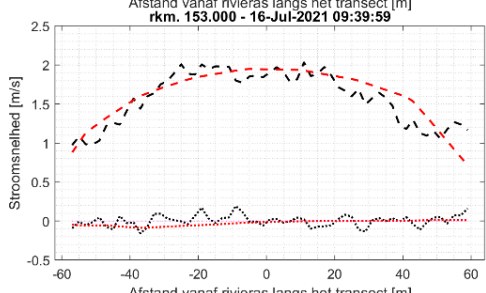
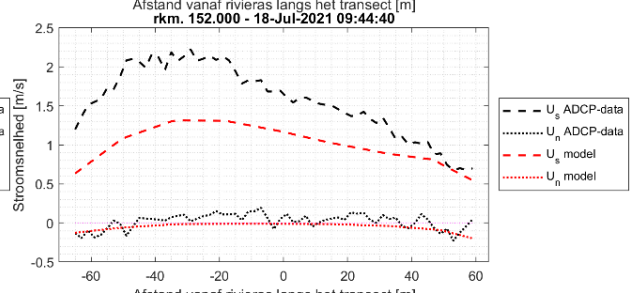
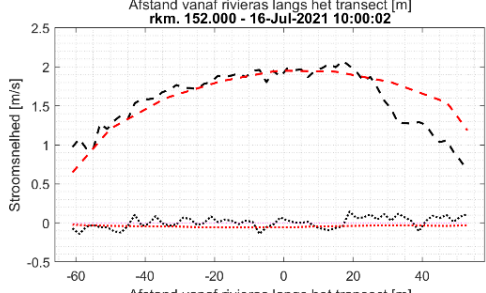
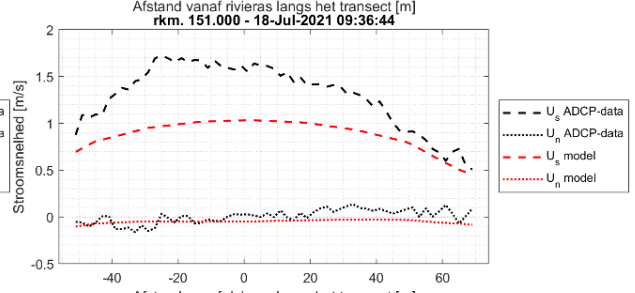
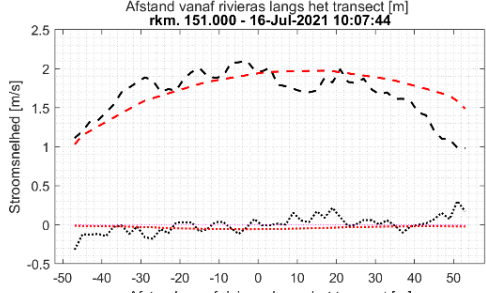
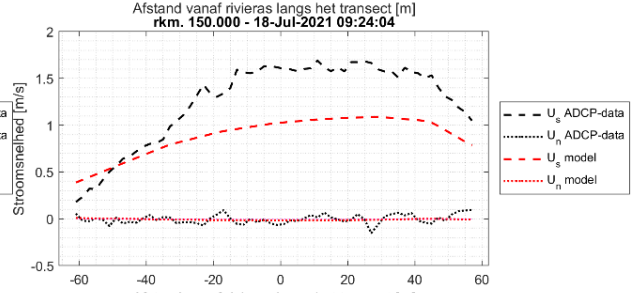
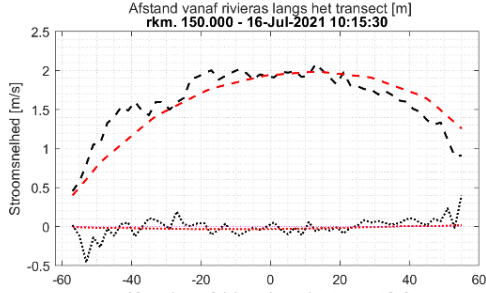
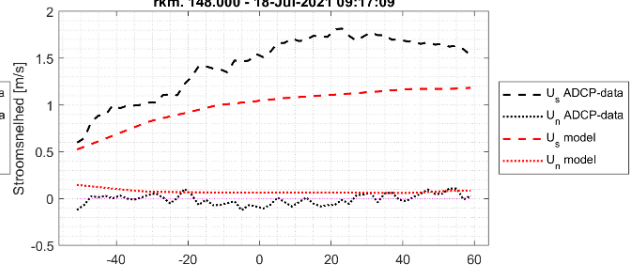
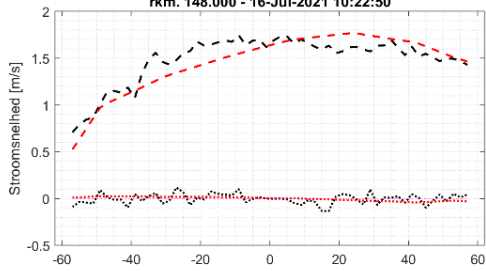
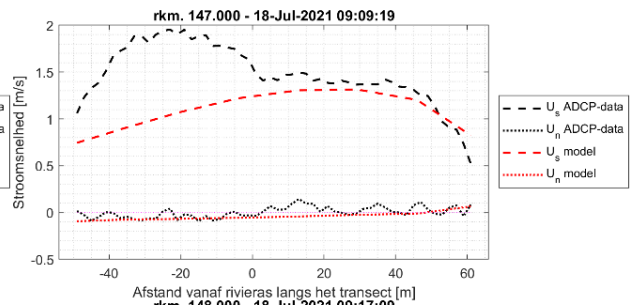
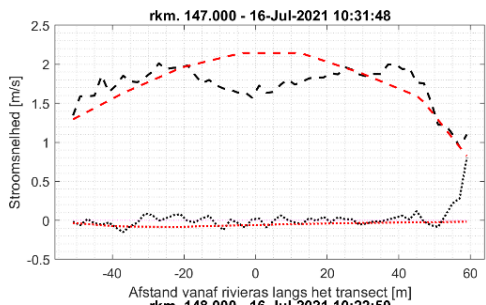
E.8 Dieptegemiddelde stroomsnelheden

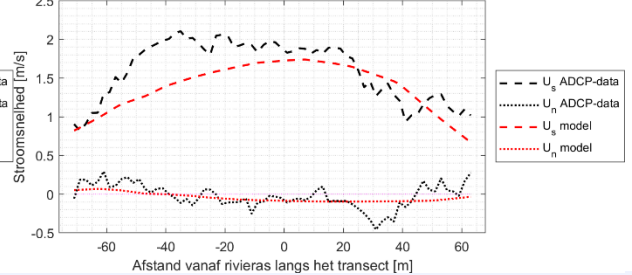
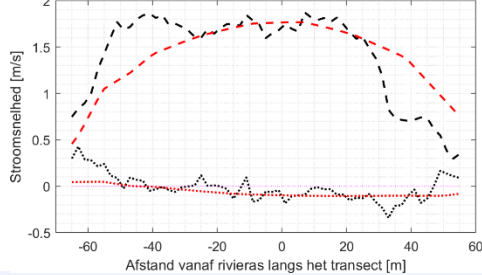
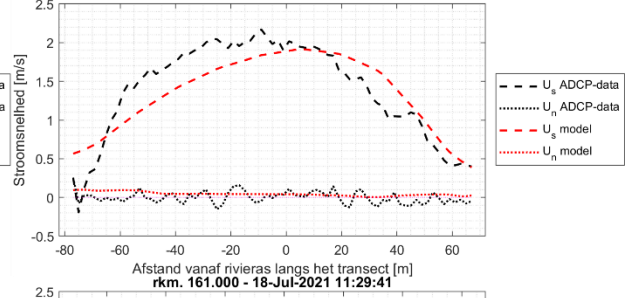
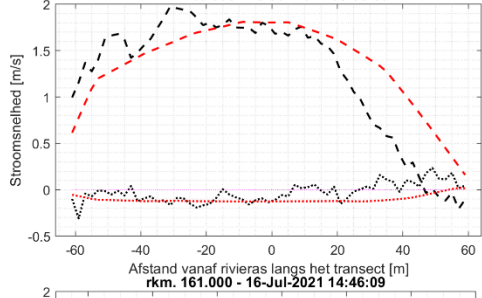
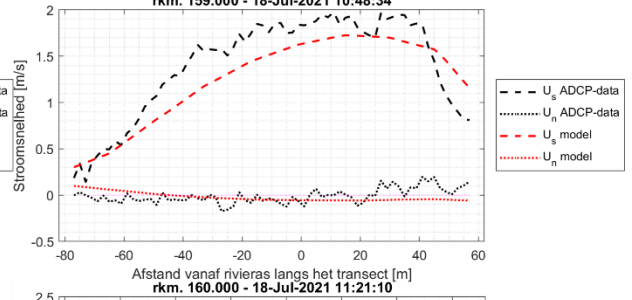
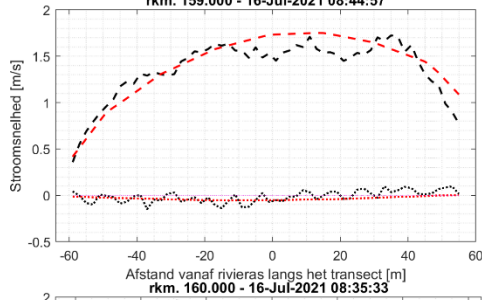
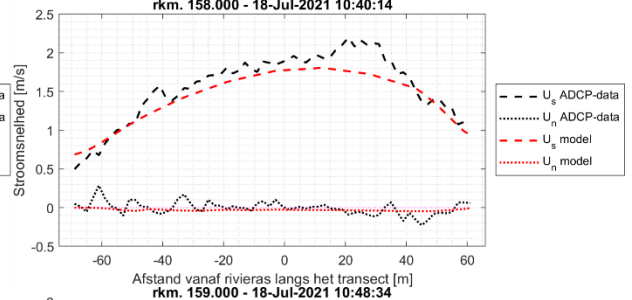
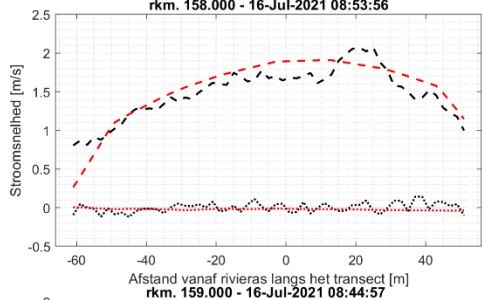
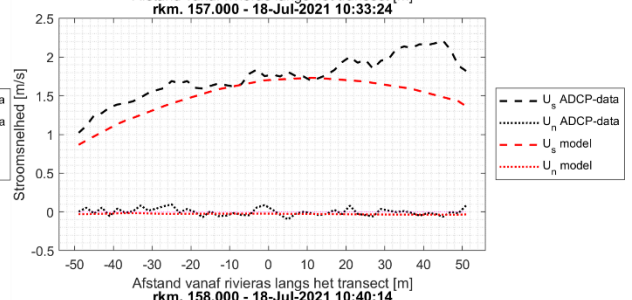
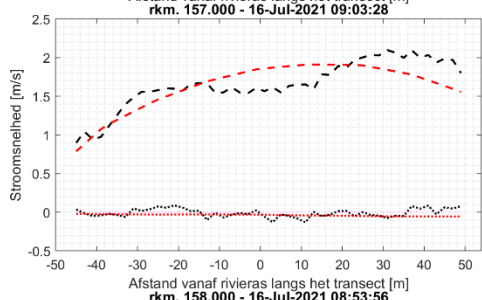
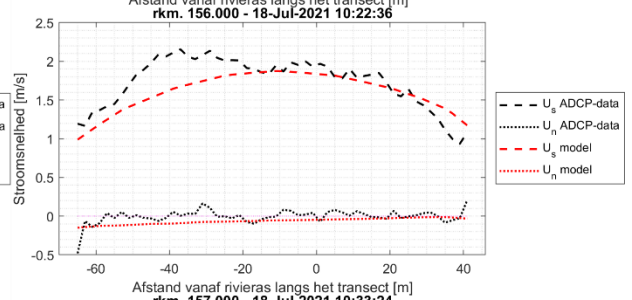
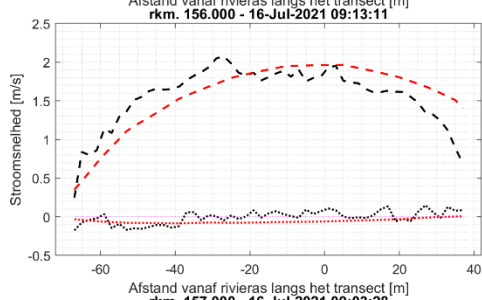
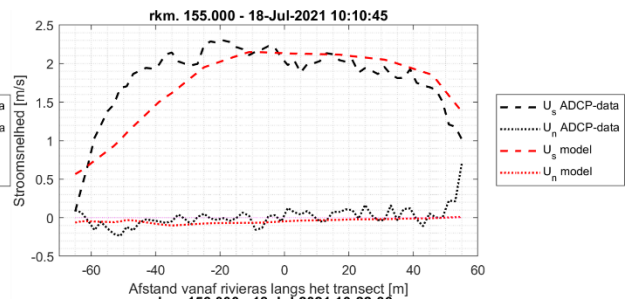
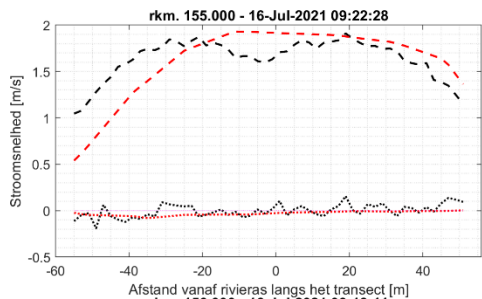
Voor de referentie hist_20210701_20210801 zijn de volgende producten opgeleverd in digitale bijlage E8:

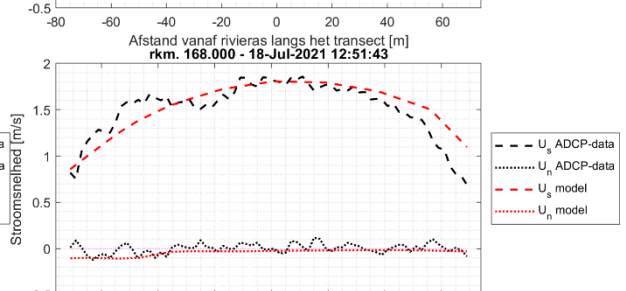
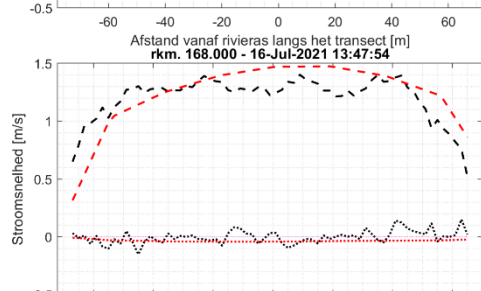
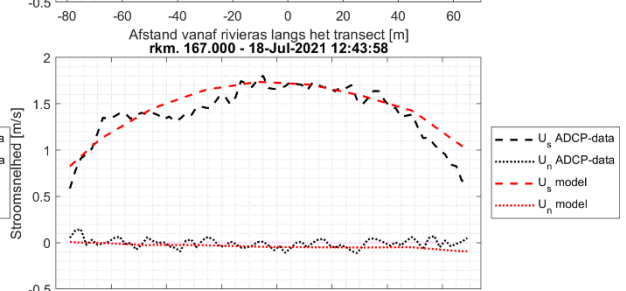
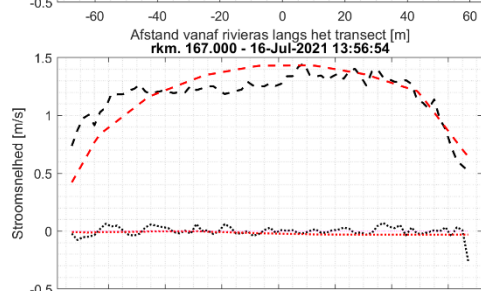
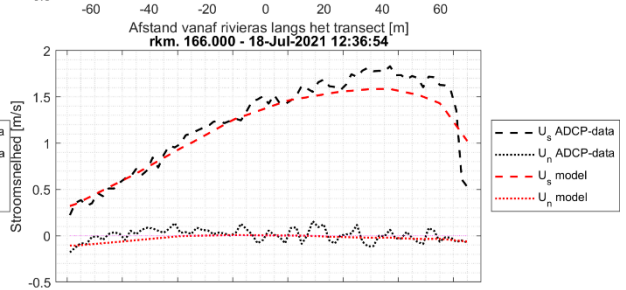
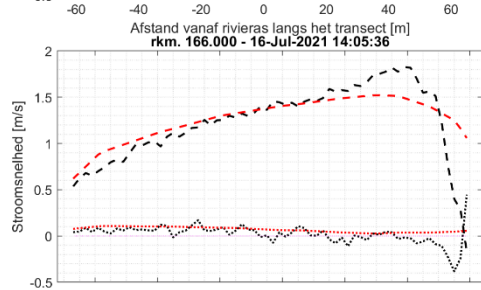
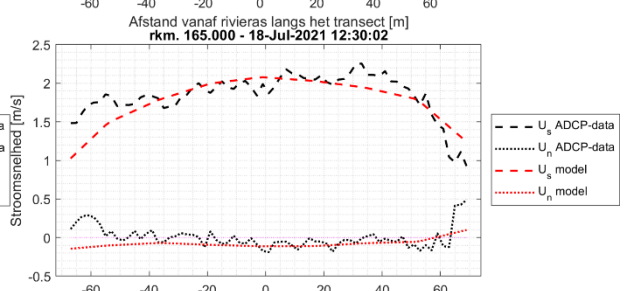
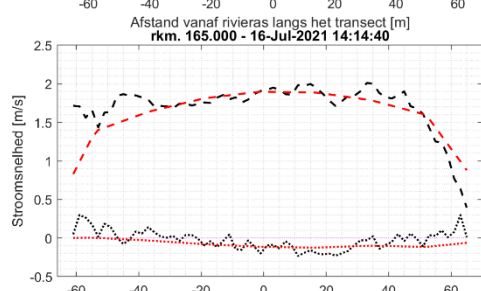
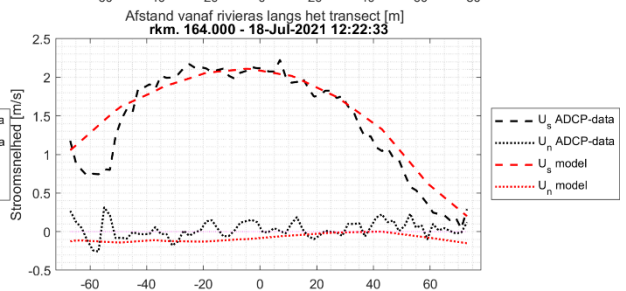
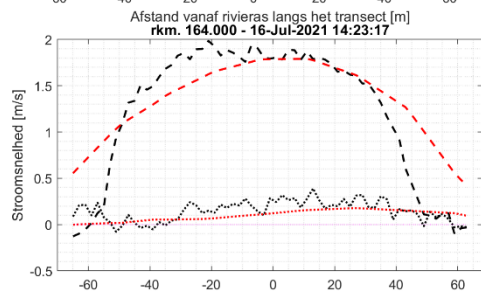
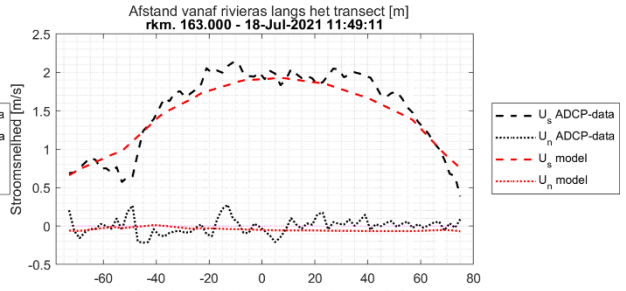
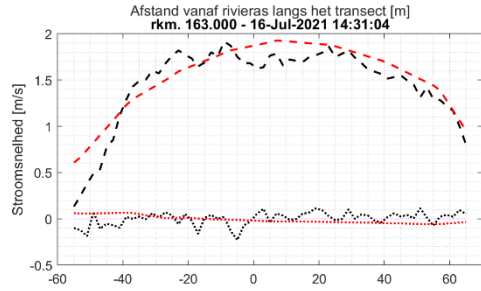
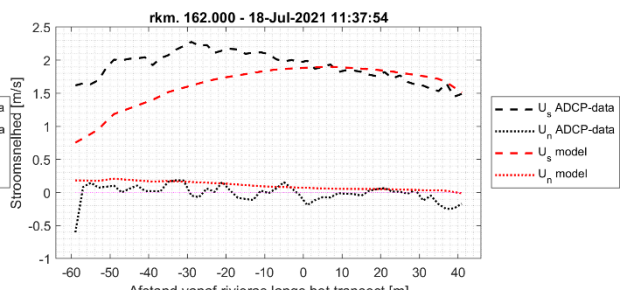
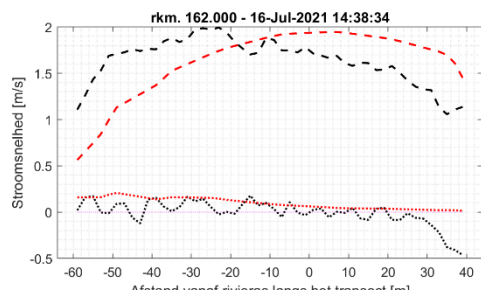
figuren met luchtfoto achtergrond voor rkm 153 en rkm 168 voor zowel 16 als 18 juli:

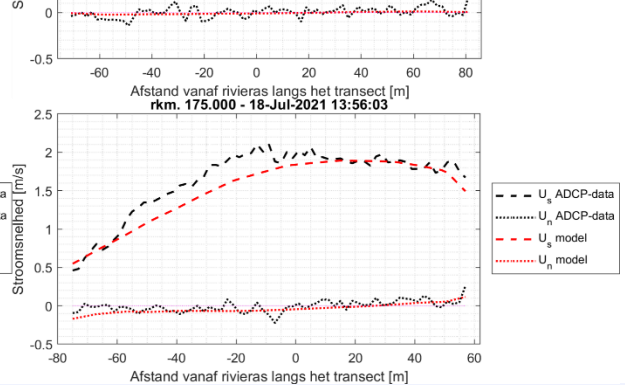
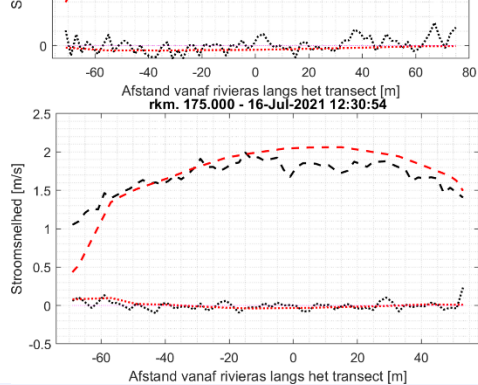
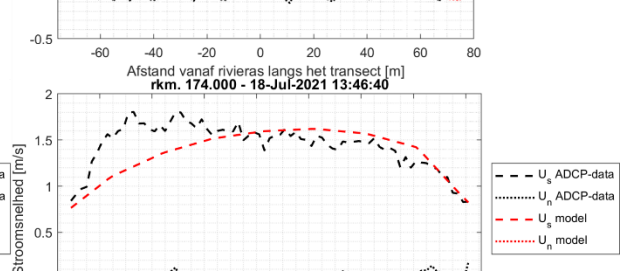
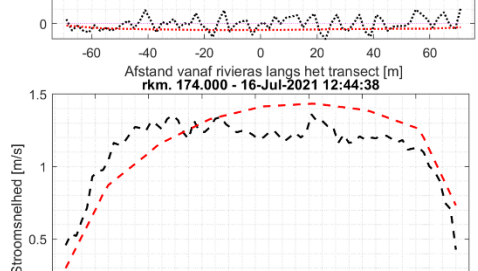
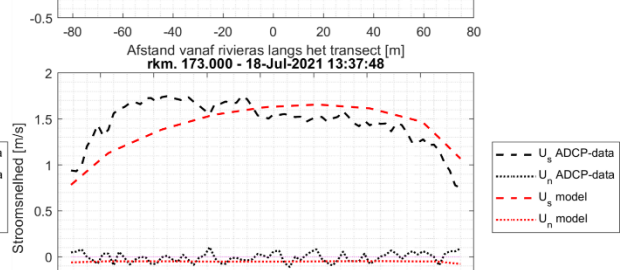
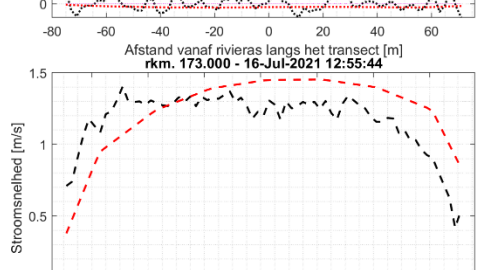
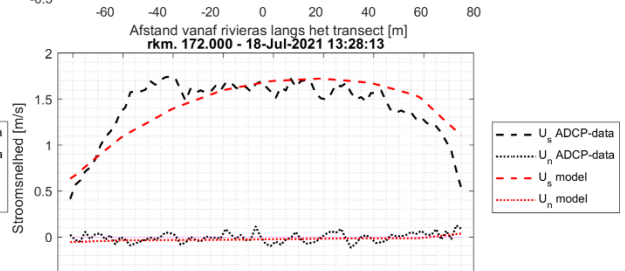
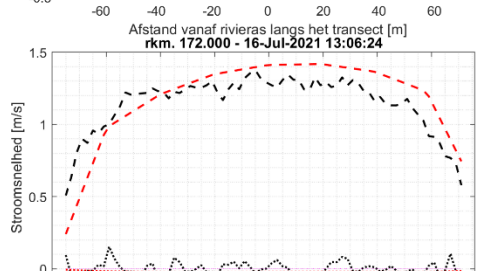
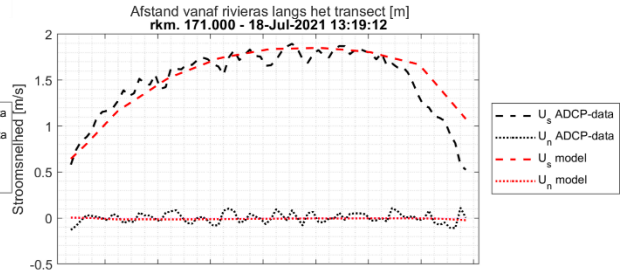
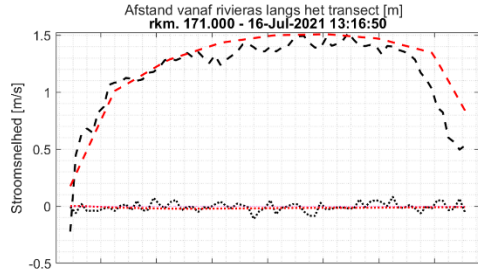
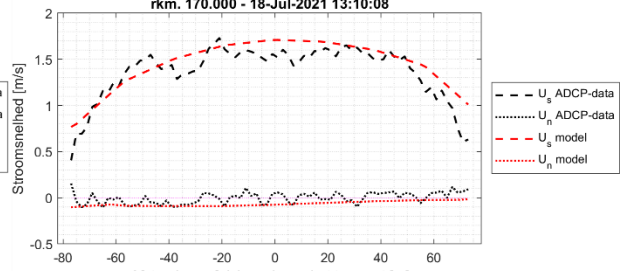
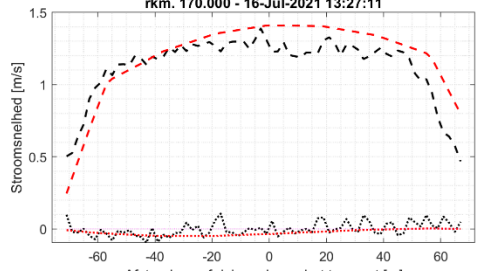
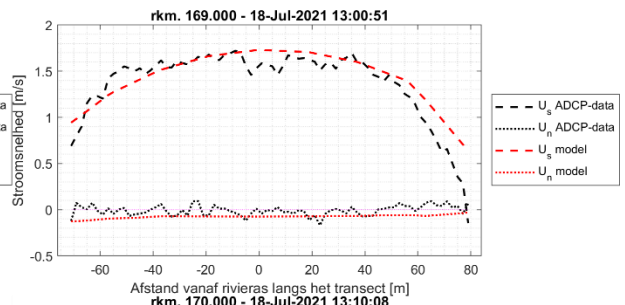
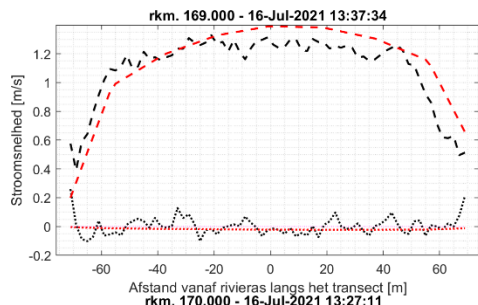
- **[rkm]_2021-07-[dag]_fitted_transect.png:** de locatie van de individuele ADCP metingen inclusief het transect zoals gefit op basis van het rkm-punt en de dieptegemiddelde stromingsrichting uit de ADCP-metingen
- **[rkm]_2021-07-[dag]_fitted_data.png:** de dieptegemiddelde stroomsnelheid is in kleur aangetoond voor zowel de ADCP-metingen als de op het transect gefitte ADCP-metingen. Daarnaast zijn de dieptegemiddelde stromingsvectoren voor de op het transect gefitte ADCP-metingen opgenomen
- **[rkm]_2021-07-[dag]_stroomsnelheid_SNU.png:** dieptegemiddelde stroomsnelheid in s- en n-richting langs het transect voor zowel het model als de ADCP-metingen
- **[rkm]_2021-07-[dag]_dwarsdoorsnede_stroomsnelheid.png:** dwarsdoorsnede met over de afstand lang het transect en over de diepte de gemiddelde stroomsnelheid van de ADCP-meting in s-richting in kleur en voor de n/z-richting in vectoren

Bovengenoemde figuren zijn zonder achtergrondkaart ook opgenomen voor alle overige transecten voor de twee meetdagen (**figuren_2021-07-16** en **figuren_2021-07-18**) van de ADCP-meetcampagne in het stuwpand Sambeek-Grave.









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