

Grondwatermodel CARROT v3.1

Grondwatermodel Rotterdamse haven en stad: aanpassingen



Grondwatermodel CARROT v3.1

Grondwatermodel Rotterdamse haven en stad: aanpassingen

Auteur(s)

Johan Valstar

Grondwatermodel CARROT v3.1

Grondwatermodel Rotterdamse haven en stad: aanpassingen

Opdrachtgever	Gemeente Rotterdam
Contactpersoon	De heer B.R. de Doelder
Referenties	
Trefwoorden	Grondwater, model, CARROT

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	28-06-2024
Projectnummer	11209795-002
Document ID	11209795-002-BGS-0003
Pagina's	57
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Johan Valstar	

Samenvatting

In dit rapport worden enkele aanpassingen van het CARROT model versie 3.1 beschreven. De aanpassingen zijn gebaseerd op nieuwe data van de ligging van de waterbodem na het verdiepen van de Nieuwe Waterweg en enkele havenbekkens en een correctie van enkele data die niet goed waren verwerkt.

Daarnaast zijn er enkele automatische scripts gemaakt die de stijghoogtemetingen vergelijken met modeluitkomsten van het CARROT model en worden ook de stroombaanberekeningen van enkele locaties voor verschillende modelversies onderling vergeleken.

Hieruit blijkt dat op enkele locaties de gemodelleerde stijghoogten duidelijk afwijken van de gemeten waarden, met name ten noorden van de Nieuwe Maas nabij het centrum van Rotterdam. De berekende stroombanen voor de verschillende modelversies komen qua stromingsrichting vaak overeen, maar bij enkele locaties zijn er duidelijke verschillen. Dit zijn locaties die dichtbij een waterscheiding liggen (zoals Vopak Europoort en Koole) en of locaties waar de stromingsrichting in het 2^{de} watervoerende pakket sterk afwijkt van de stromingsrichting in het eerste watervoerende pakket (zoals de noordelijke stroombanen bij Feijenoord).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Aanpassingen model	7
2.1	Hoogte waterbodem	7
2.2	Opvullen niet gedefinieerde doorlatendheden	8
2.3	Correctie weerstand GHB in de deelgebieden 'Vondelingenplaat tot stadshavens' en 'Stad'	9
3	Stijghoogtemetingen en stroombaanberekeningen	10
3.1	Stijghoogtemetingen	10
3.2	Stroombaanberekeningen	10
4	Resultaten	11
4.1	Stijghoogten	11
4.1.1	Gehele modeldomein	11
4.1.2	Deelgebied Europoort	16
4.1.3	Deelgebied Botlek	24
4.1.4	Deelgebied Vondelingenplaat tot Stadshavens	32
4.1.5	Deelgebied Stad	37
4.2	Stroombanen	44
4.2.1	Feijenoord	44
4.2.2	Kralingen	45
4.2.3	Nouryon	47
4.2.4	TIC	48
4.2.5	LBC	49
4.2.6	Koole	50
4.2.7	Vopak Europoort	52
5	Conclusies en aanbevelingen	54
5.1	Conclusies	54
5.2	Aanbevelingen	54
6	Literatuur	56

1 Inleiding

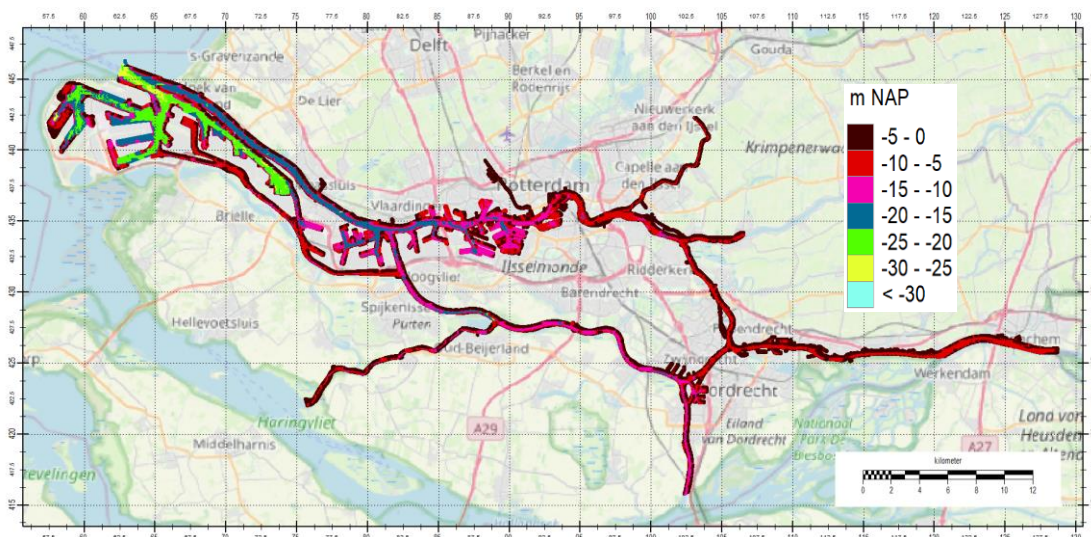
In dit rapport worden enkele aanpassingen van het CARROT model versie 3.1 beschreven. De aanpassingen zijn gebaseerd op (1) nieuwe data van de ligging van de waterbodemplaat na het verdiepen van de Nieuwe Waterweg en enkele havenbekkens, (2) het opvullen van enkele modelcellen waar data voor de doorlatendheden per abuis een NODATA waarde hadden en (3) een aanpassing van de weerstand van de waterbodemplaat ten oosten van de Waalhaven, die in eerdere versies in de deelmodellen 'Stad' en 'Vondelingenplaat tot Stadshavens' niet goed was verwerkt.

Daarnaast zijn een aantal bronnen met stijghoogtemetingen samengevoegd en zijn er enkele automatische scripts gemaakt die de stijghoogtemetingen vergelijken met modeluitkomsten voor meerdere versie van het CARROT model. Tenslotte worden ook de stroombaanberekeningen van enkele locaties voor de verschillende modelversies vergeleken.

2 Aanpassingen model

2.1 Hoogte waterbodem

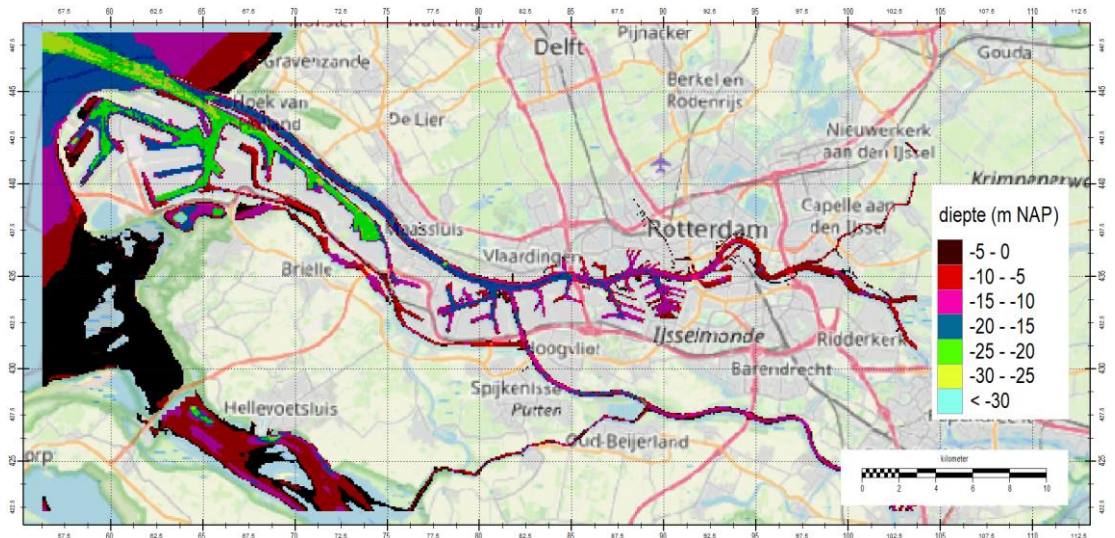
Sinds 2018 zijn enkele havens en een deel van de Nieuwe Waterweg verdiept. De vorige versie van CARROT was nog gebaseerd op een dataset die het Havenbedrijf Rotterdam had aangeleverd en waar deze verdieping nog niet in zat. De aangeleverde puntdata is omgezet naar een iMOD-format en wordt weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Puntdata met diepten van de waterbodem zoals aangeleverd door het Havenbedrijf Rotterdam

Deze puntdata zijn omgewerkt naar een modelgrid met een resolutie van 10x10 m. Na vergelijking met de oudere dataset bleek dat er soms gridcellen zijn waarbij de oude dataset wel een diepte bevatte en de nieuwe dataset niet en omgekeerd. Dit trad vooral op langs de ondiepe oevers. Daarnaast ontbraken er in de nieuwe dataset een aantal kleinere havens en inhammen, te weten: de haven van Spijkenisse, de jachthaven van Schiedam, een deel van Delfshaven, de binnenhavens bij Kop van Zuid Entrepot en bij de Boerengatkeersluis, de Persoonshaven, de inham bij de Watertorenweg, de inham bij NMC Bolnes en stukjes natuur langs de Nieuwe Maas bij de Sliksloot en de Bakkerskil en de overkant aldaar. Deze gebieden waar dit voorkwam zijn eerst grof handmatig geselecteerd en vervolgens is met een automatisch script de waarde van de oude dataset overgenomen voor modelcellen die in de nieuwe dataset geen waarde hadden.

Samen met de dataset van de bodemhoogte in de Noordzee en het Haringvliet is een dataset gemaakt met de waterbodemhoogte van de grote oppervlaktewateren. Deze dataset is een grid met een modelresolutie van 10x10 m en wordt weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Hoogte waterbodem van alle grote oppervlaktewateren

Vervolgens is deze dataset gecombineerd met de dataset van de gemiddelde waterstanden. Voor beide datasets geldt dat deze zijn aangevuld met de waarde uit de meest nabije, via oppervlaktewater verbonden, modelcel. Hiermee wordt voorkomen dat waarden worden overgenomen uit een oppervlaktewater dat weliswaar vlakbij ligt, maar is gescheiden door bijvoorbeeld een dam, zoals tussen het Calandkanaal en de Nieuwe Waterweg.

Tenslotte zijn deze data omgewerkt naar de 3D-modelinvoer op basis van de volgende regel:

- Modelcel wordt inactief (BND-waarde =0) als alle naburige cellen (horizontaal en verticaal) in het oppervlaktewater liggen.
- Modelcel blijft actief (BND-waarde > 0) en de waterstand wordt als GHB randvoorwaarde opgelegd als er minimaal één naburige modelcel is die niet in het oppervlaktewater ligt. Hierbij wordt de GHB waterhoogte als zoetwaterstijghoogte opgelegd waarbij de effecten van de dichtheid in de bovengelegen waterkolom zijn meegenomen, zie (Deltares, 2023)¹.

Hierbij is uiteraard ook rekening gehouden met de hoogte van het maaiveld of de waterstand. Alle modelcellen die volledig hierboven liggen zijn ook inactief.

Deze omwerking is zowel uitgevoerd voor het model van de gehele haven en stad op 50x50m resolutie als voor de deelmodellen op 10x10m resolutie.

2.2 Opvullen niet gedefinieerde doorlatendheden

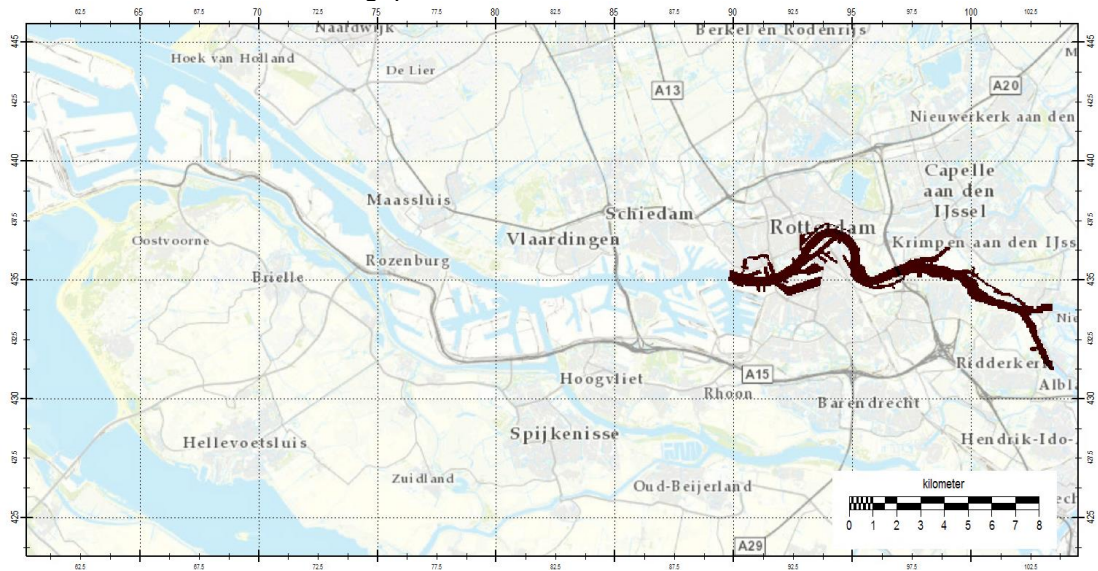
In versie 3.0 van het CARROT model zijn er enkele modelcellen waarbij de doorlatendheid geen data heeft, terwijl de modelcel wel actief is. De oorzaak is een verschil in ligging van het oppervlaktewater en maaiveld waarmee de GEOTOP is aangemaakt. Voor versie 3.1 is hiervoor een correctie toegepast door de waarde van de meest dichtbij gelegen modelcel uit

¹ De keuze is om een gecorrigeerde zoetwaterstijghoogten als GHB randvoorwaarde op te leggen en niet met de optie om de dichtheid op te geven is gemaakt om 2 redenen: 1) de druk op een bepaalde diepte in het oppervlaktewater hangt niet alleen van de dichtheid op die diepte maar ook van de dichtheid in de bovenliggende waterkolom en (2) SEAWAT is geprogrammeerd zodat het de bovenstroomse dichtheid meeneemt bij randvoorwaarden packages als de GHB: als het water vanuit de ondergrond naar het oppervlaktewater stroomt wordt de dichtheid van het grondwater gebruikt om de druk van de GHB randvoorwaarde te corrigeren.

dezelfde modellaag over te nemen zodra een modelcel wel actief is en de doorlatendheid geen data had.

2.3 Correctie weerstand GHB in de deelgebieden 'Vondelingenplaat tot stadshavens' en 'Stad'

In CARROT versie 2.2 is de weerstand van de sliblaag ten oosten van de Waalhaven verlaagd van 500 naar 5 dagen, zie (Deltares, 2021) en Figuur 2-3. Bij nadere analyse was deze verlaging niet meegenomen bij de deelgebieden 'Vondelingenplaat tot Stadshavens' en 'Stad'. Dit is in deze versie aangepast.



Figuur 2-3 Locatie waar de weerstand van de sliblaag is verlaagd van 500 naar 5 dagen

3 Stijghoogtemetingen en stroombaanberekeningen

3.1 Stijghoogtemetingen

Om de gemodelleerde stijghoogten met meetwaarden te vergelijken is een dataset met stijghoogten geselecteerd voor het gehele modelgebied. Deze data komen uit:

- DinoLoket
- Prowat
- Meetreeksen voor of na pompproeven Rijweg, Oude Maasweg, Welplaatweg en Markweg
- Metingen bij Kralingen, Coole en Feijenoord

Uit deze dataset zijn 685 peilbuizen geselecteerd die na 2012 minimaal 50 meetwaarden hebben. De gemiddelde zijn hierbij berekend door alleen de metingen te nemen die binnen 3 maal de standaard deviatie van de meetwaarden in een peilbuis liggen om het effect van sterk afwijkende meetwaarden te voorkomen. Bij de analyse wordt hierna onderscheid gemaakt tussen freatische stijghoogtemetingen en stijghoogtemetingen in het eerste watervoerende pakket. Deze metingen zijn geselecteerd indien het gemiddelde van de boven- en onderkant van het filter in een modelcel met de stratigrafie 'antropogene ophooglaag', respectievelijk 'Formatie van Kreftenheije' ligt.

3.2 Stroombaanberekeningen

Voor een aantal locaties zijn stroombaanberekeningen uitgevoerd. De locaties zijn Feijenoord, Kralingen, Nouryon, TIC, LBC, Koole en Vopak Europoort. Op deze locaties zijn op een beperkt aantal punten deeltjes losgelaten bovenin het 1^e watervoerende pakket. De stroombanen zijn gestopt na een reistijd van 200 jaar. Voor alle locaties geldt dat ze gebruik maken van de berekende stroomsnelheden uit het deelmodel waarin de locatie ligt.

4 Resultaten

4.1 Stijghoogten

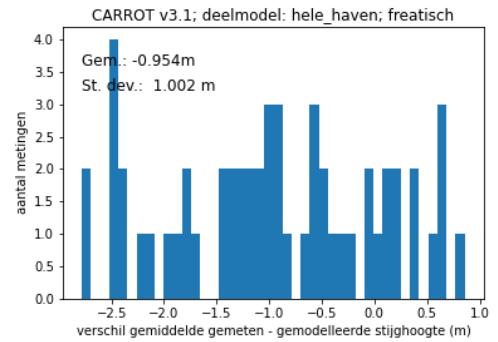
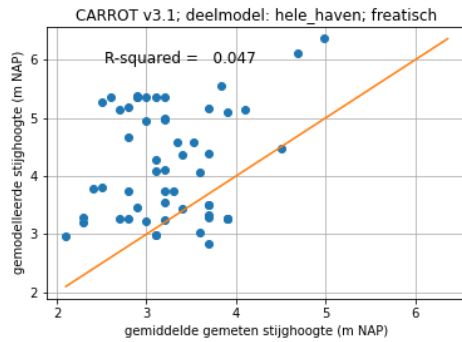
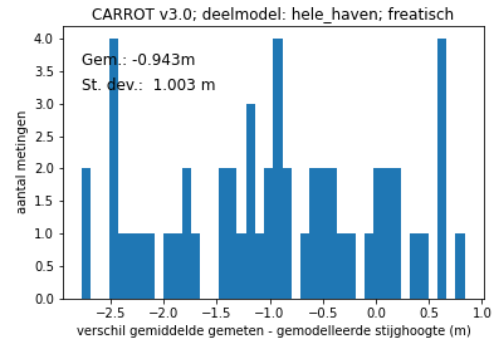
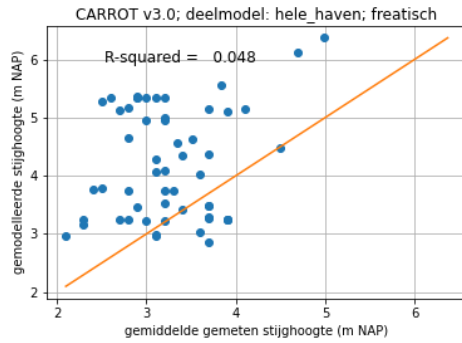
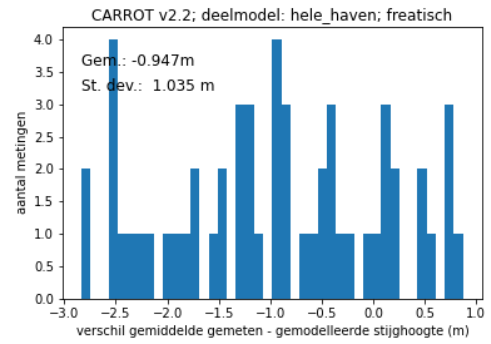
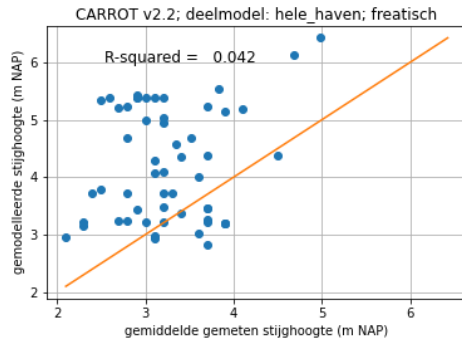
Voor zowel het gehele model als voor de deelgebieden worden de stijghoogten voor de versies 2.2, 3.0 en versie 3.1 vergeleken. De verschillen worden weergegeven door:

- de gemeten stijghoogten uit te zetten tegen de gemodelleerde waarde, inclusief de determinatiecoëfficiënt (R^2);
- histogrammen van de residuen met gemiddelde en standaarddeviatie;
- de ruimtelijk verdeling van de residuen.

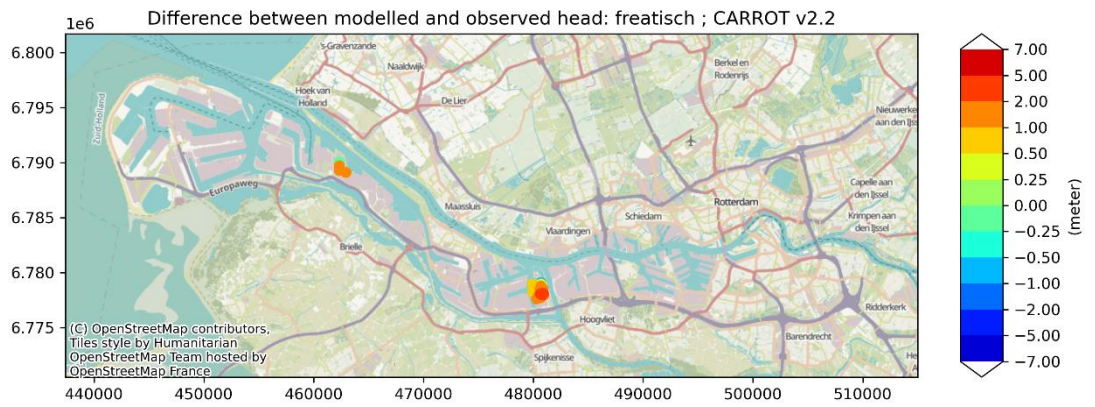
4.1.1 Gehele modeldomein

Voor het gehele modelgebied worden de resultaten weergegeven in Figuur 4-1 t/m Figuur 4-4 voor de freatische metingen en in Figuur 4-5 t/m Figuur 4-11 voor de metingen in het 1^e watervoerende pakket.

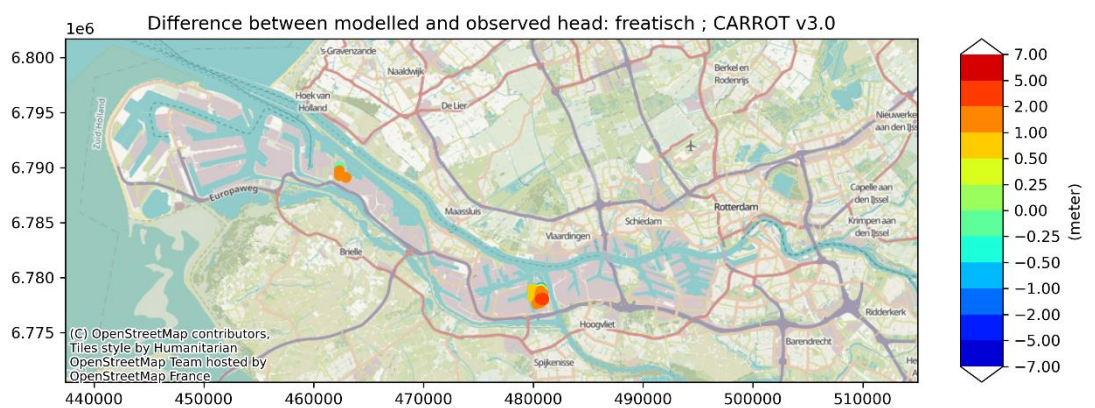
De statistische kenmerken zijn voor het model van het gehele gebied vrijwel vergelijkbaar tussen de versie 3.0 en 3.1. Versie 2.2 geeft een lagere gemiddelde afwijking voor het 1^e watervoerende pakket. De ruimtelijke spreiding van de residuen wordt bij de deelmodellen besproken.



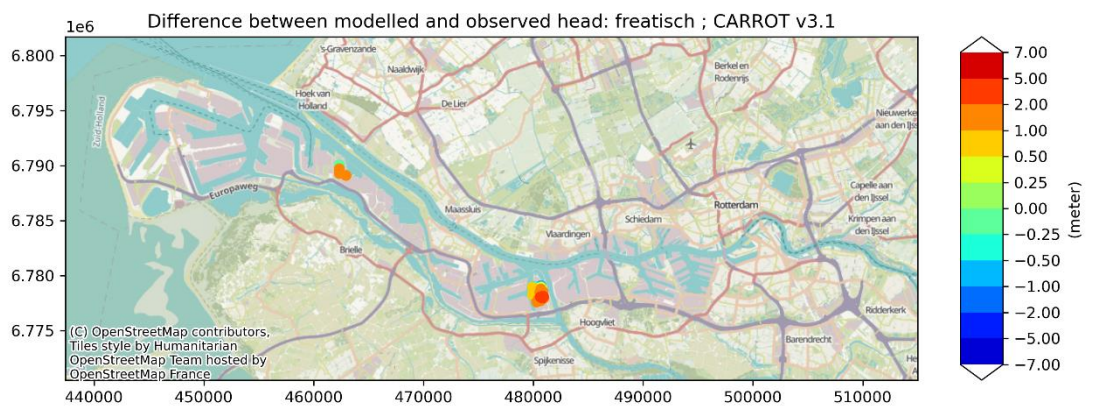
Figuur 4-1 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de CARROT modelversies v2.2, v3.0 en v3.1



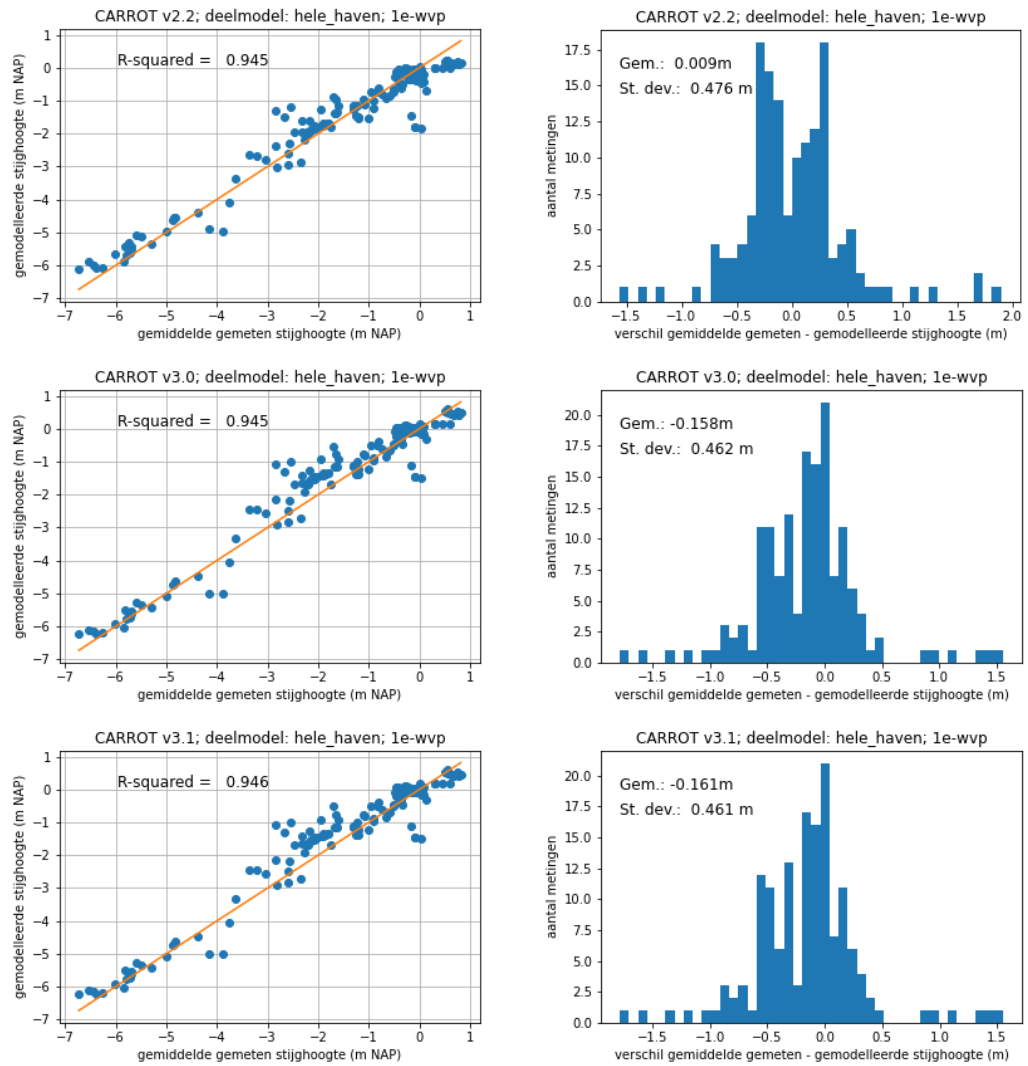
Figuur 4-2 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v2.2



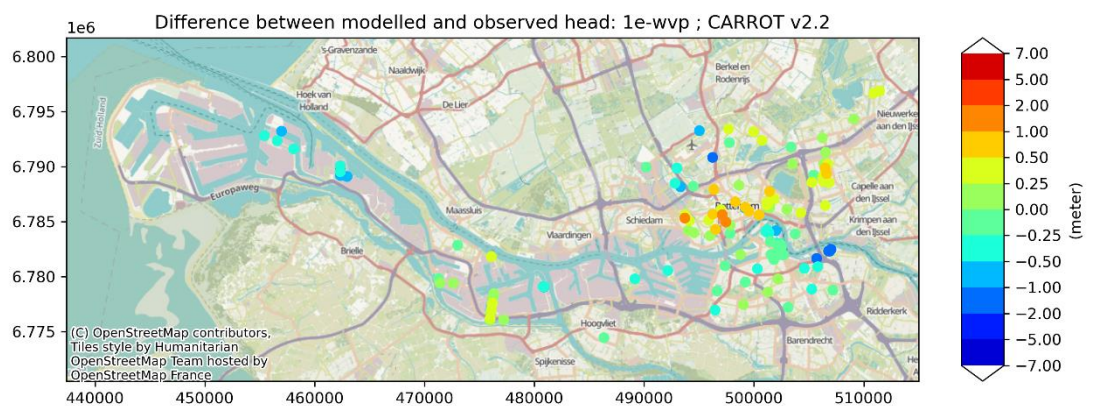
Figuur 4-3 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.0



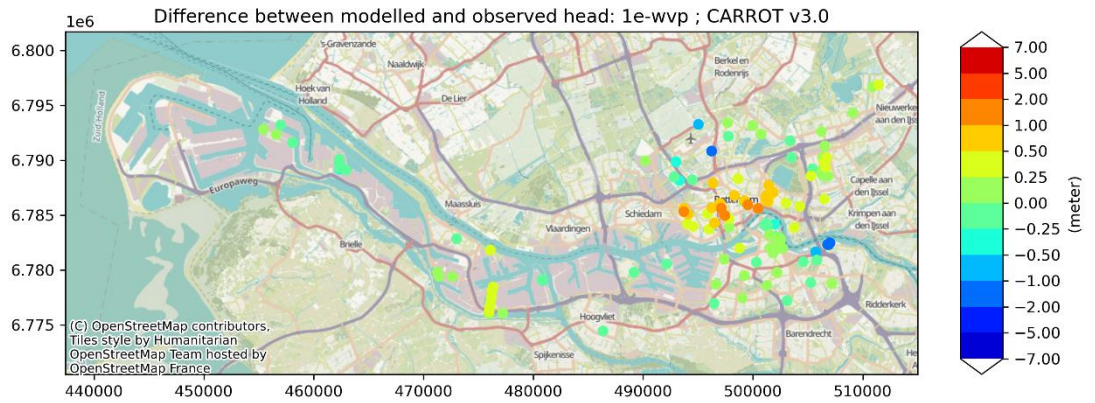
Figuur 4-4 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.1



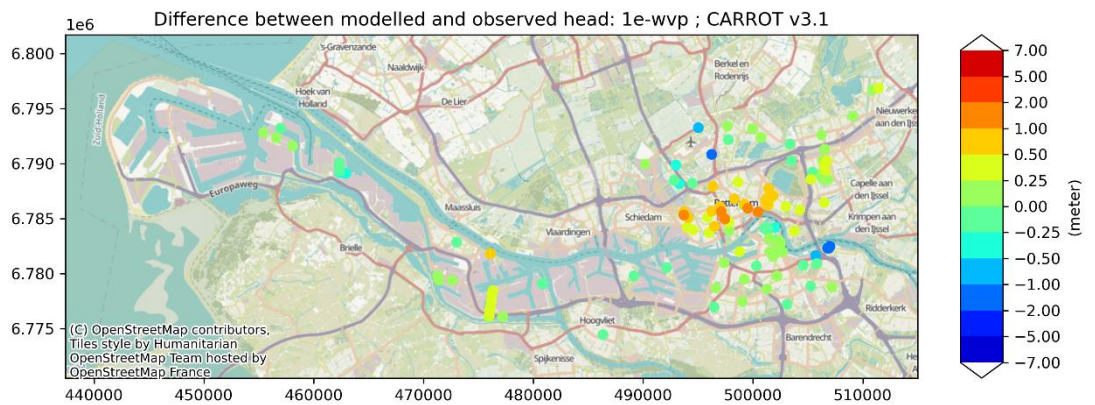
Figuur 4-5 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversies CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



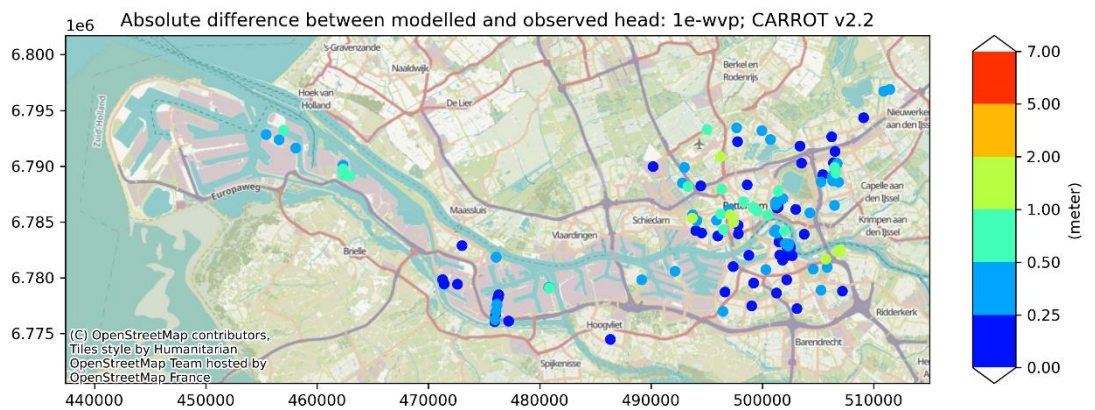
Figuur 4-6 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



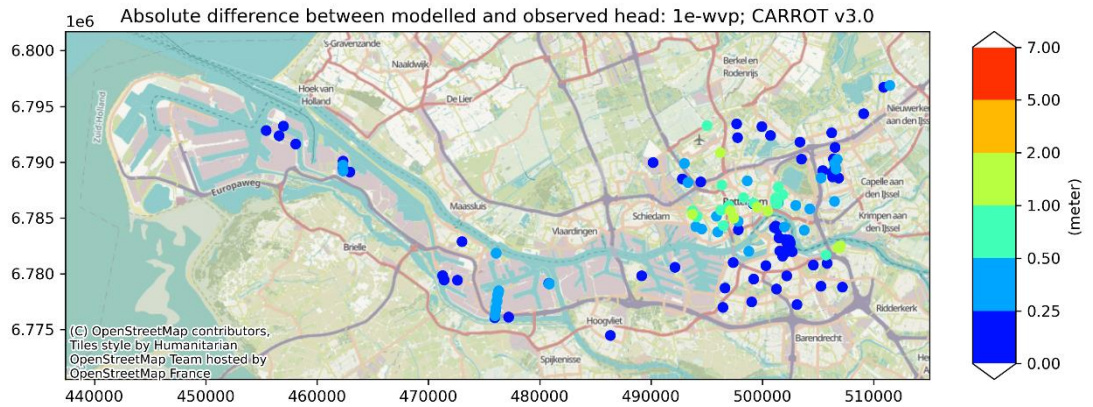
Figuur 4-7 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0



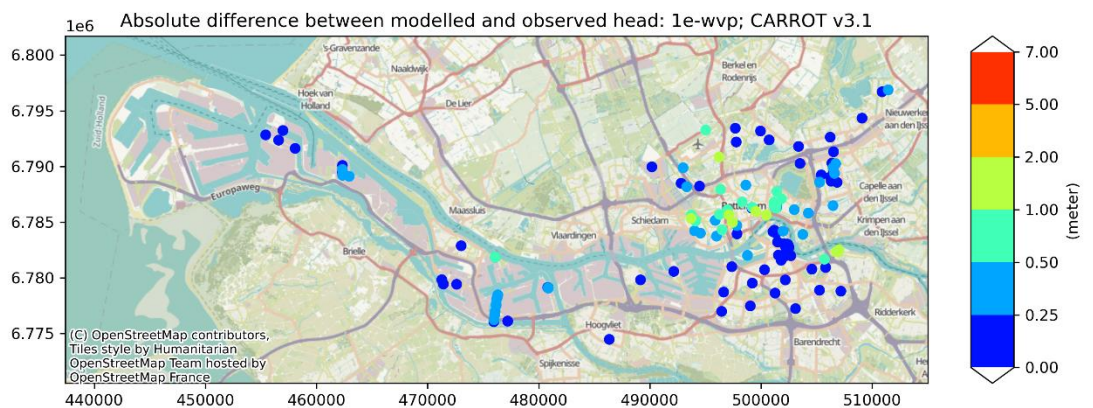
Figuur 4-8 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1



Figuur 4-9 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



Figuur 4-10 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0

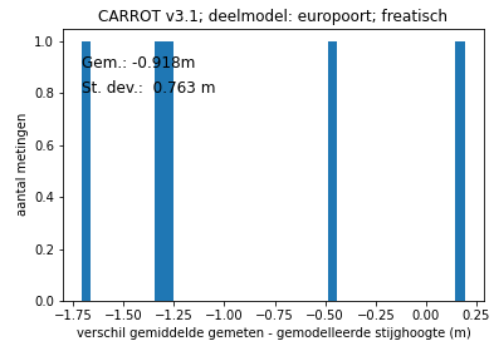
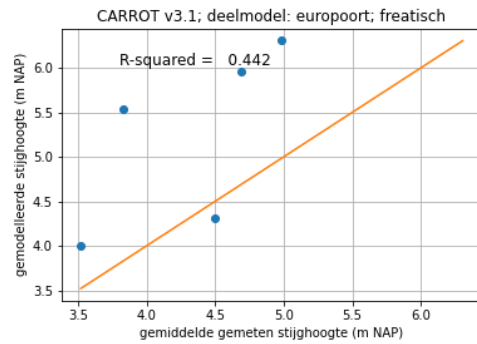
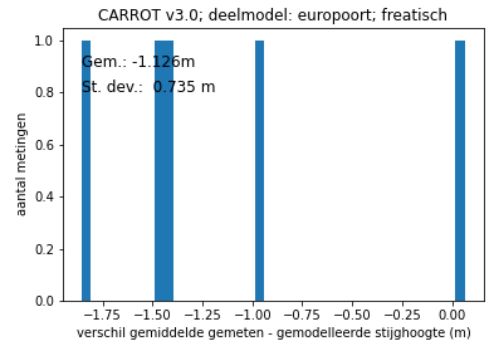
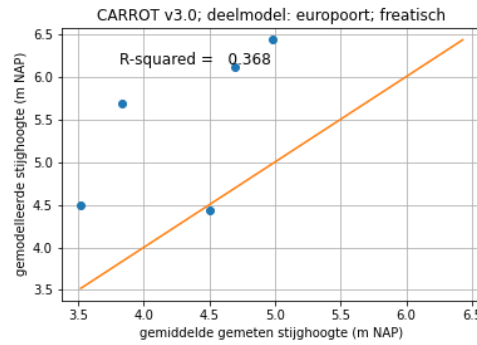
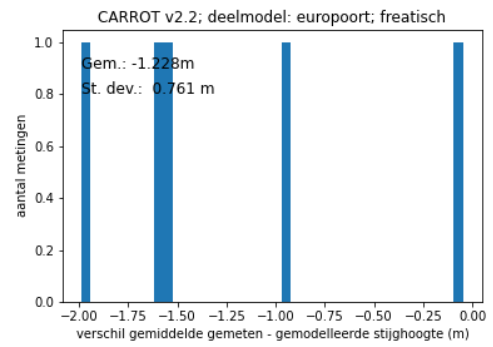
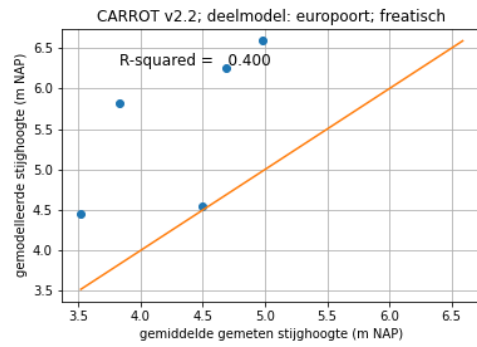


Figuur 4-11 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1

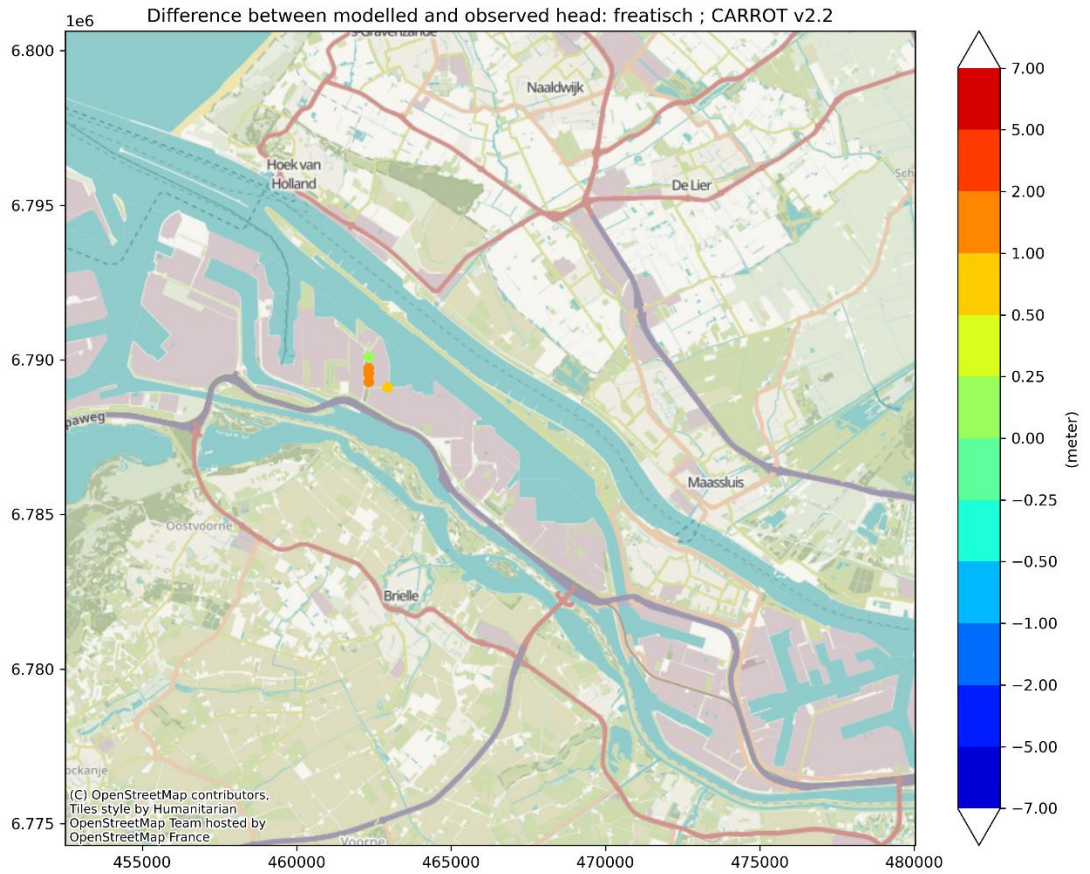
4.1.2 Deelgebied Europoort

Voor het deelgebied Europoort worden de resultaten weergegeven in Figuur 4-12 t/m Figuur 4-15 voor de freatische metingen en in Figuur 4-16 t/m Figuur 4-19 voor de metingen in het 1^e watervoerende pakket.

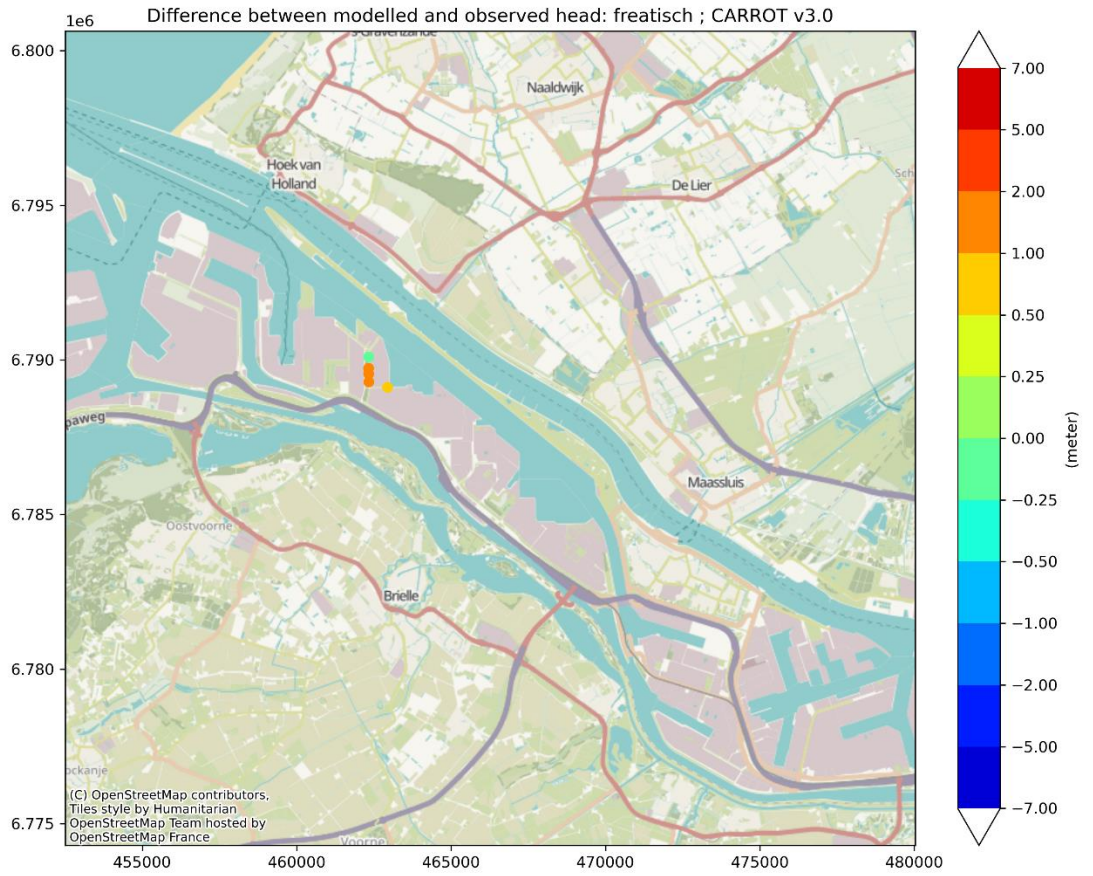
De statistische kenmerken laten een duidelijke verbetering zien voor CARROT v3.0 en v3.1 ten opzichte van v2.2. Het ruimtelijk patroon geeft aan dat vooral de gemodelleerde freatische stijghoogten in het model in het havengebied gemiddeld gezien iets te hoog zijn. De stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket hebben in CARROT v3.0 en v3.1 een veel betere fit. Dit komt omdat het effect van het zoutgehalte in het oppervlaktewater van v3.0 beter wordt meegenomen.



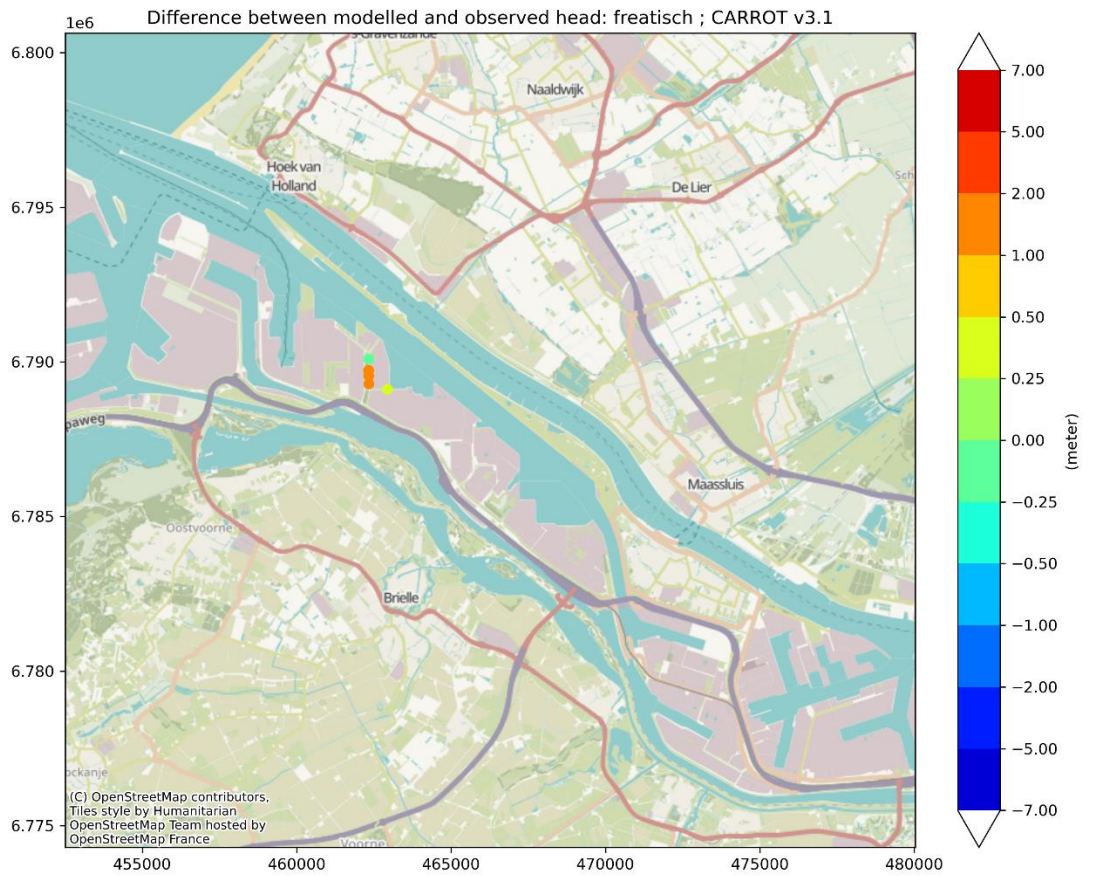
Figuur 4-12 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversies CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



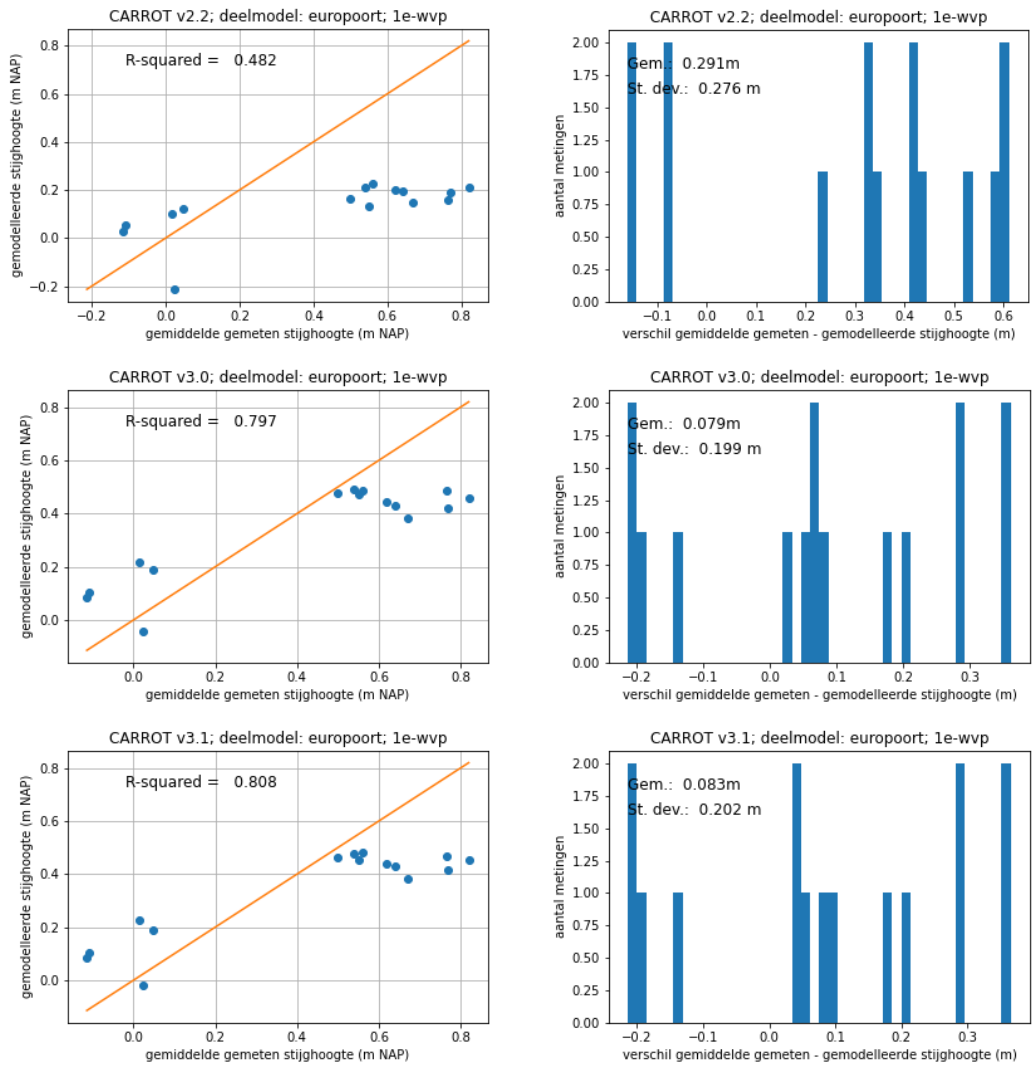
Figuur 4-13 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v2.2



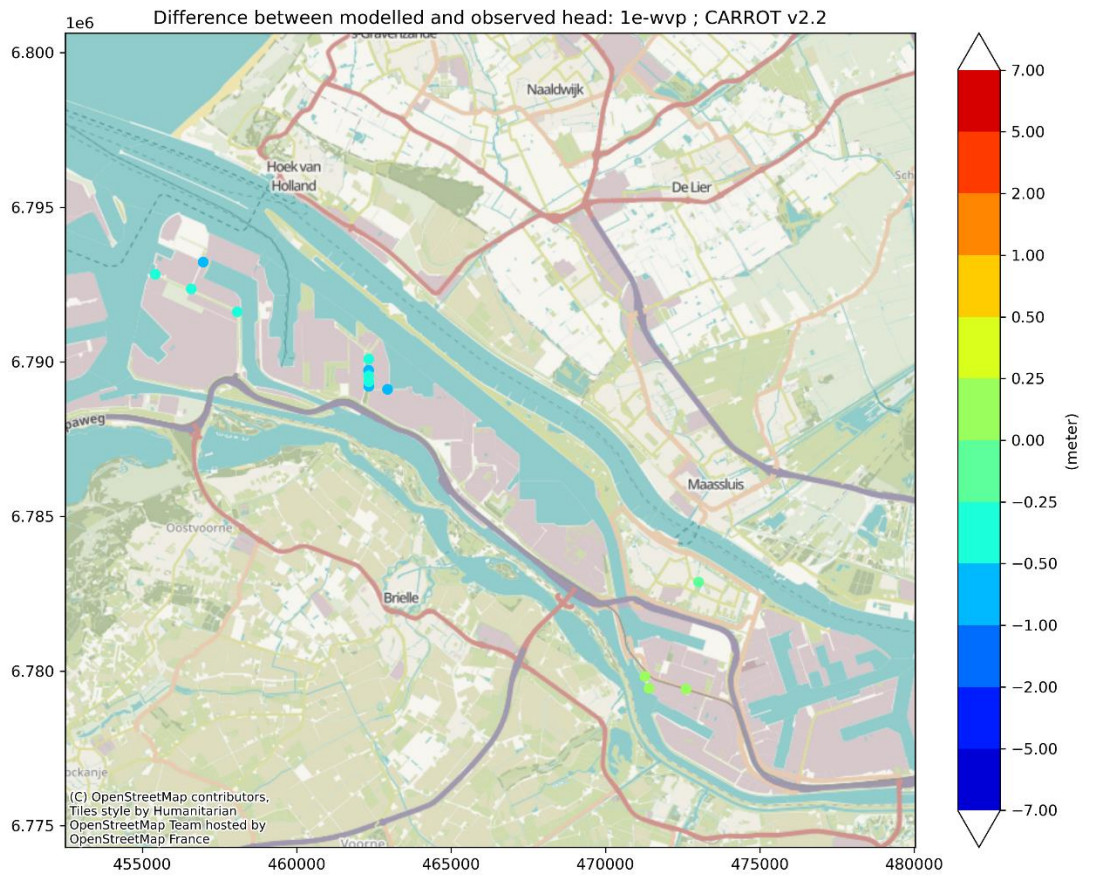
Figuur 4-14 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde, freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.0



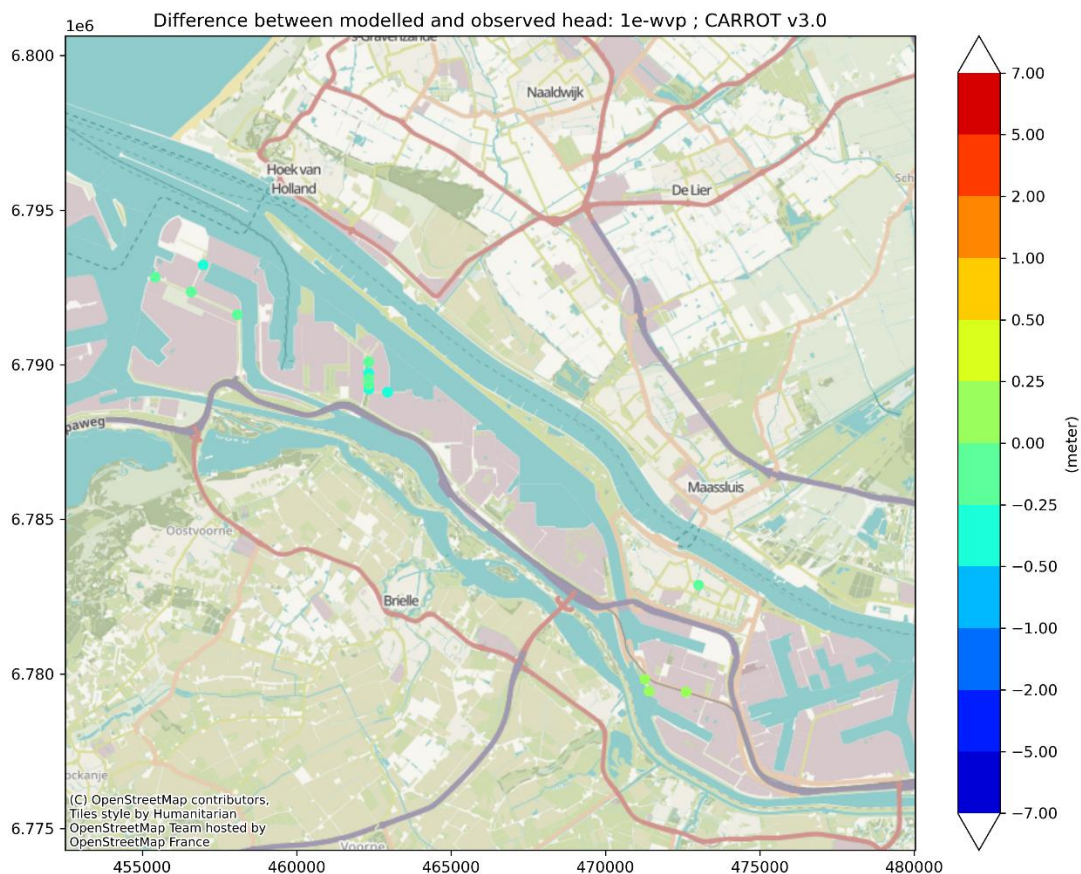
Figuur 4-15 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.1



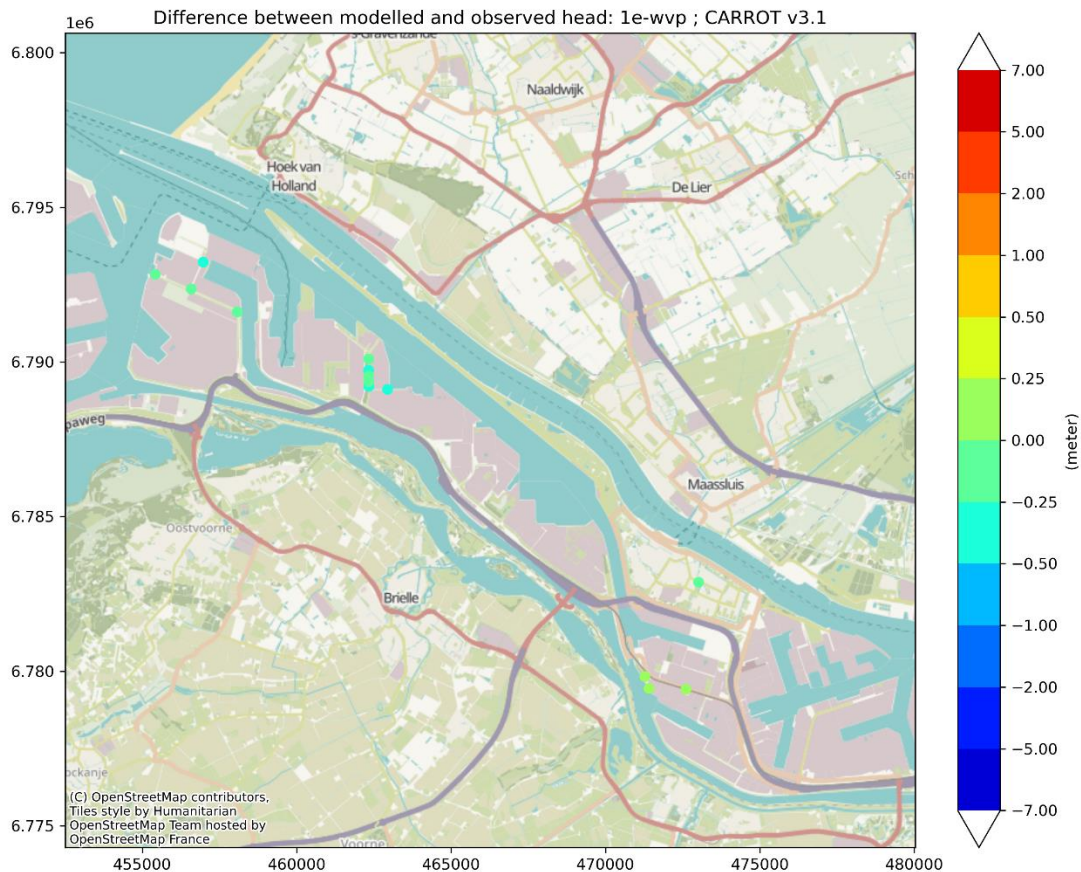
Figuur 4-16 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversies CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



Figuur 4-17 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



Figuur 4-18 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0

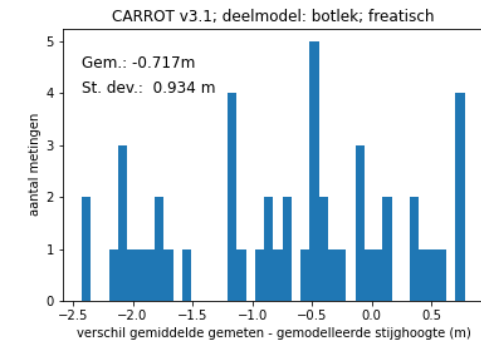
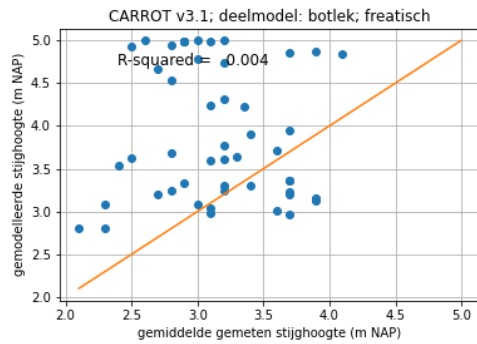
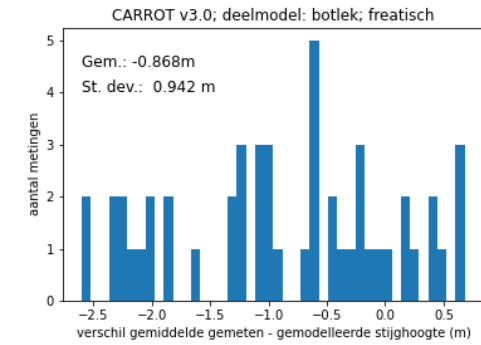
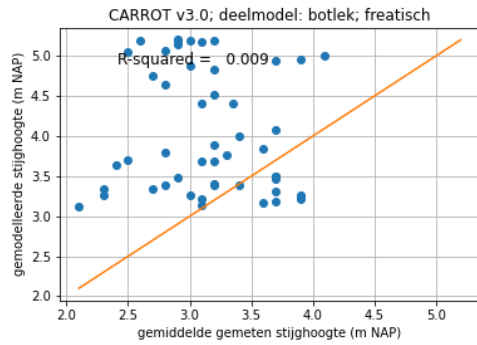
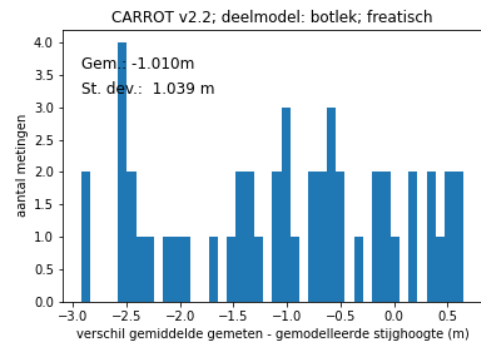
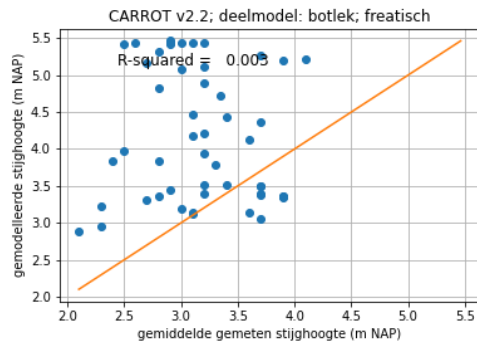


Figuur 4-19 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1

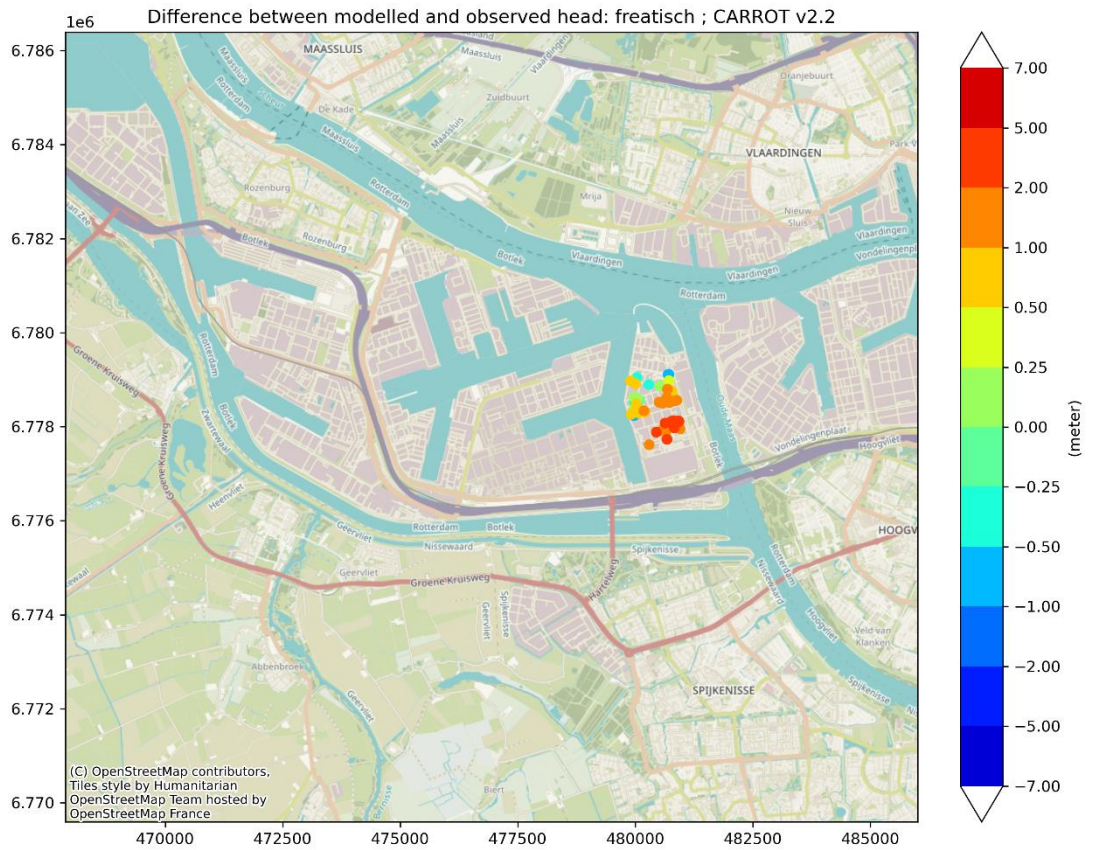
4.1.3 Deelgebied Botlek

Voor het deelgebied Botlek worden de resultaten weergegeven in Figuur 4-20 t/m Figuur 4-23 voor de freatische metingen en in Figuur 4-24 t/m Figuur 4-27 voor de metingen in het 1^e watervoerende pakket.

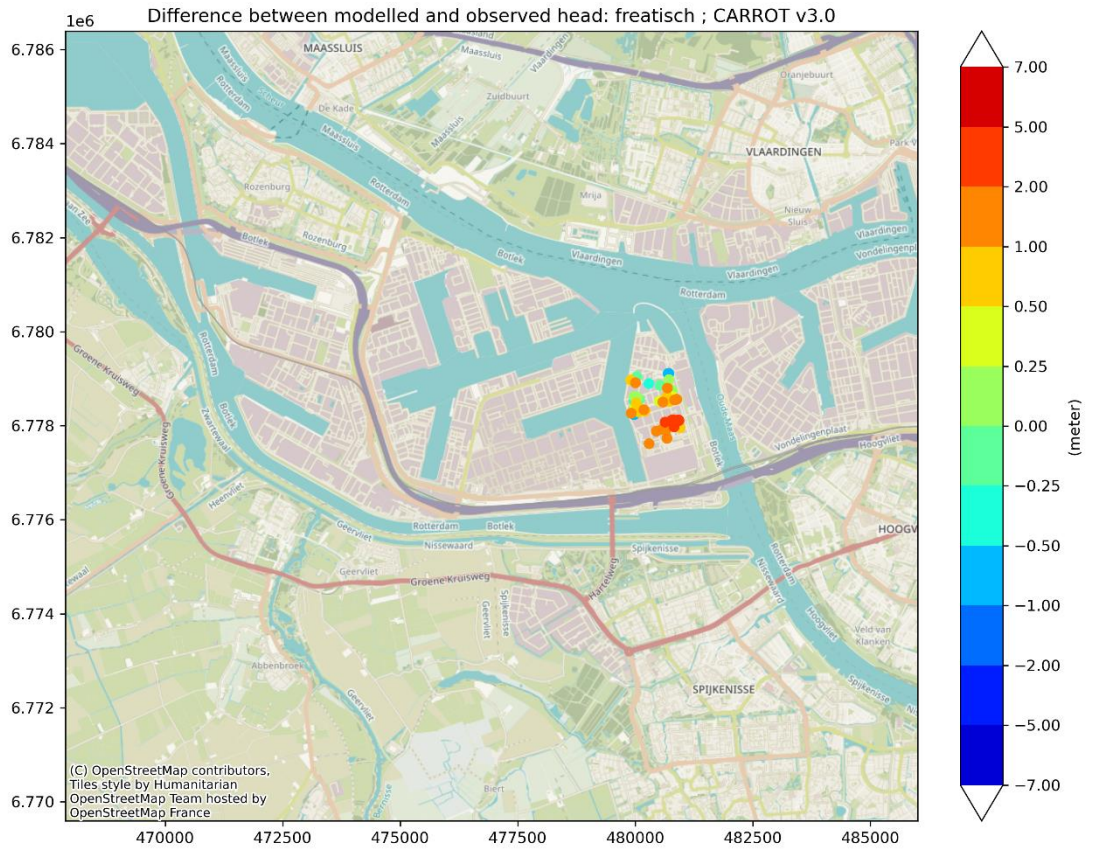
De statistische kenmerken laten een verbetering zien voor CARROT v3.1 voor de freatische metingen ten opzichte van de eerdere versies. Bij de metingen in het 1^e watervoerende pakket geeft CARROT v2.2 de beste overeenkomsten. Het ruimtelijk patroon geeft aan dat vooral de gemodelleerde freatische stijghoogten in het model, voornamelijk bij de locatie van Coole, in het havengebied gemiddeld gezien te hoog zijn. De stijghoogten in het eerste watervoerende pakket worden gemiddeld iets te hoog gemodelleerd.



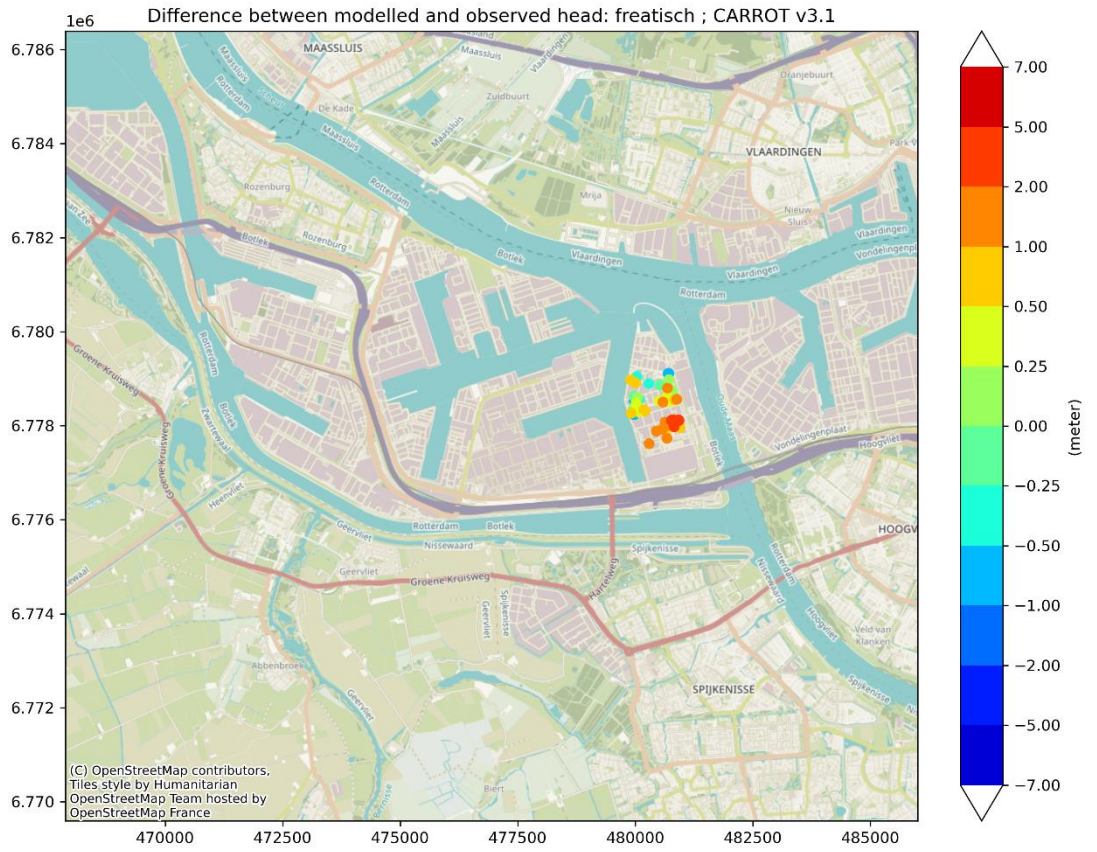
Figuur 4-20 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversies CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



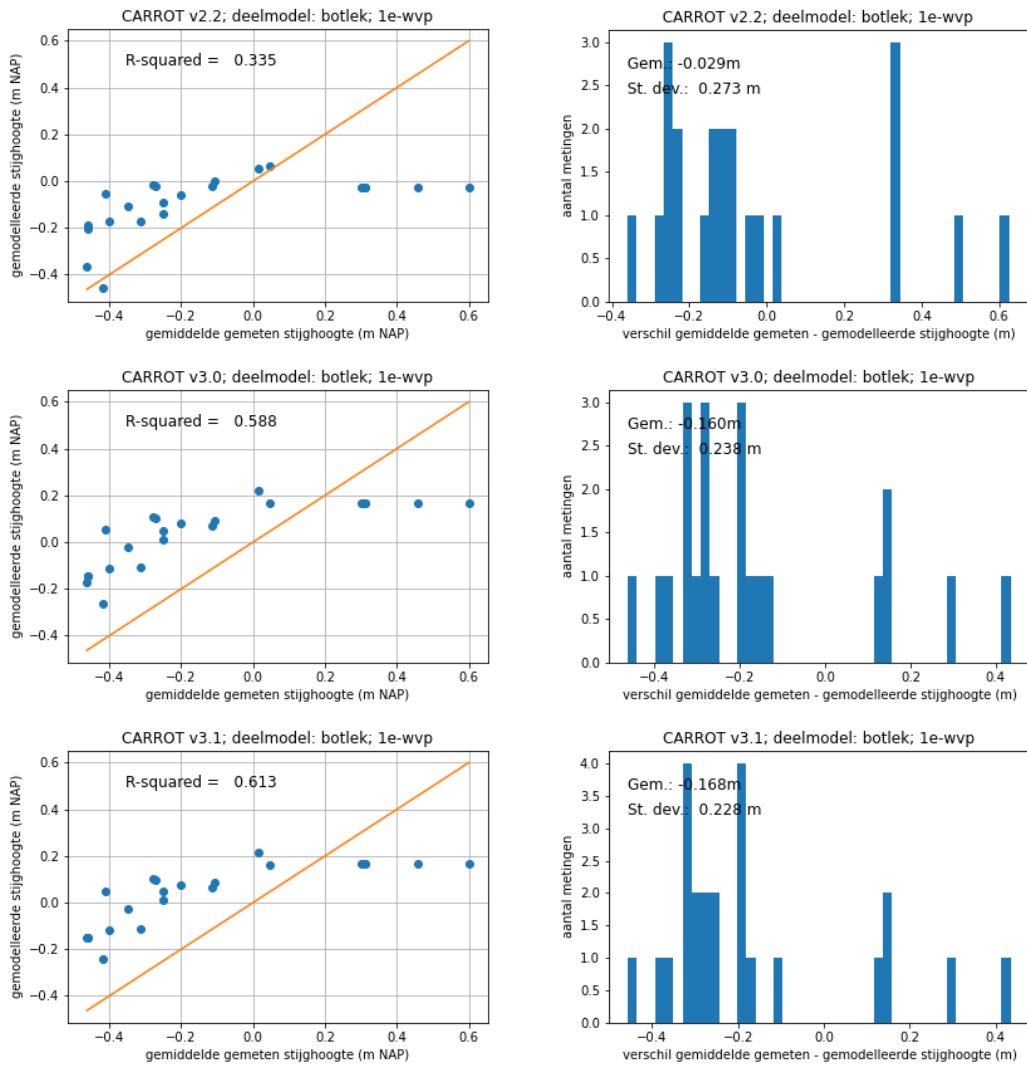
Figuur 4-21 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v2.2



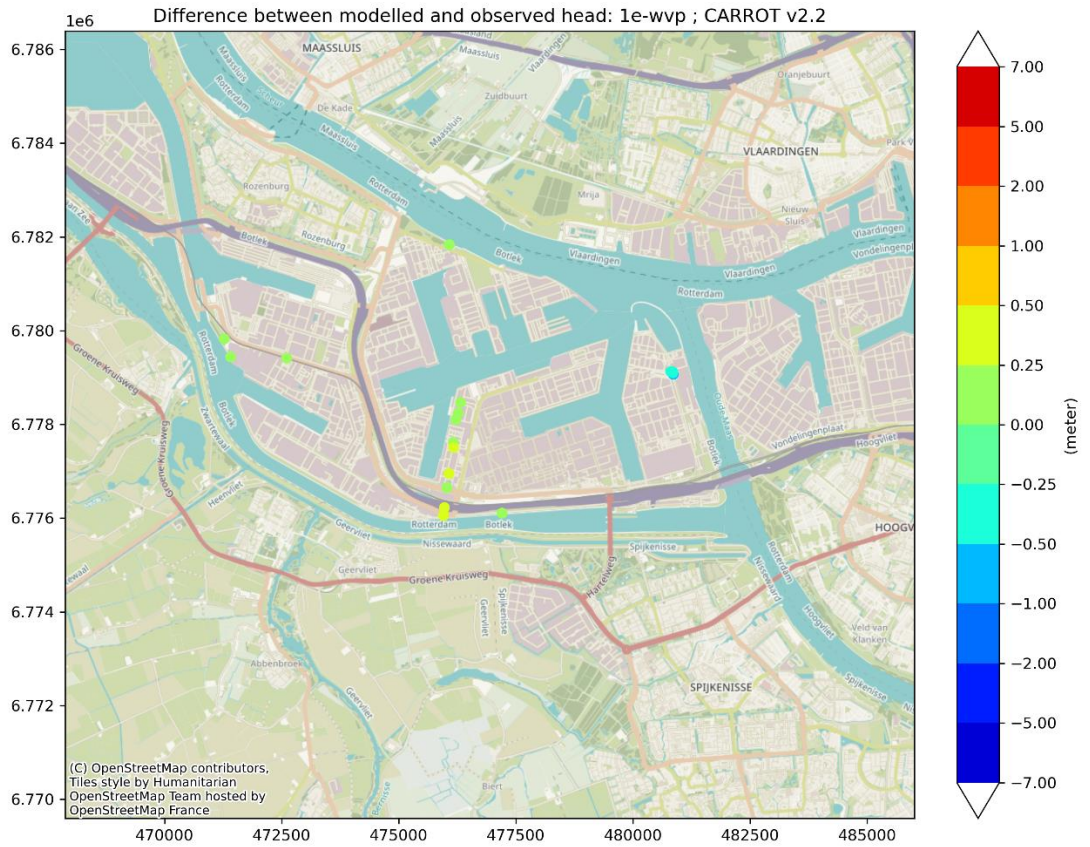
Figuur 4-22 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.0



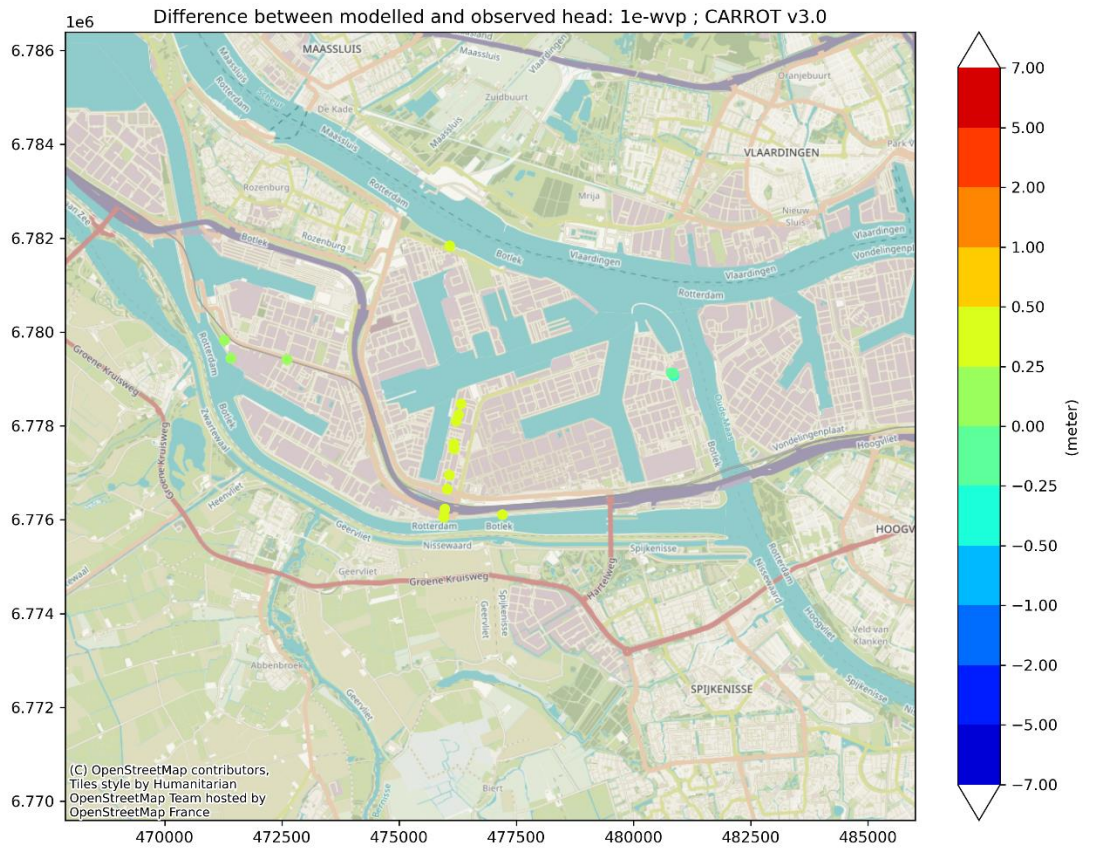
Figuur 4-23 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.1



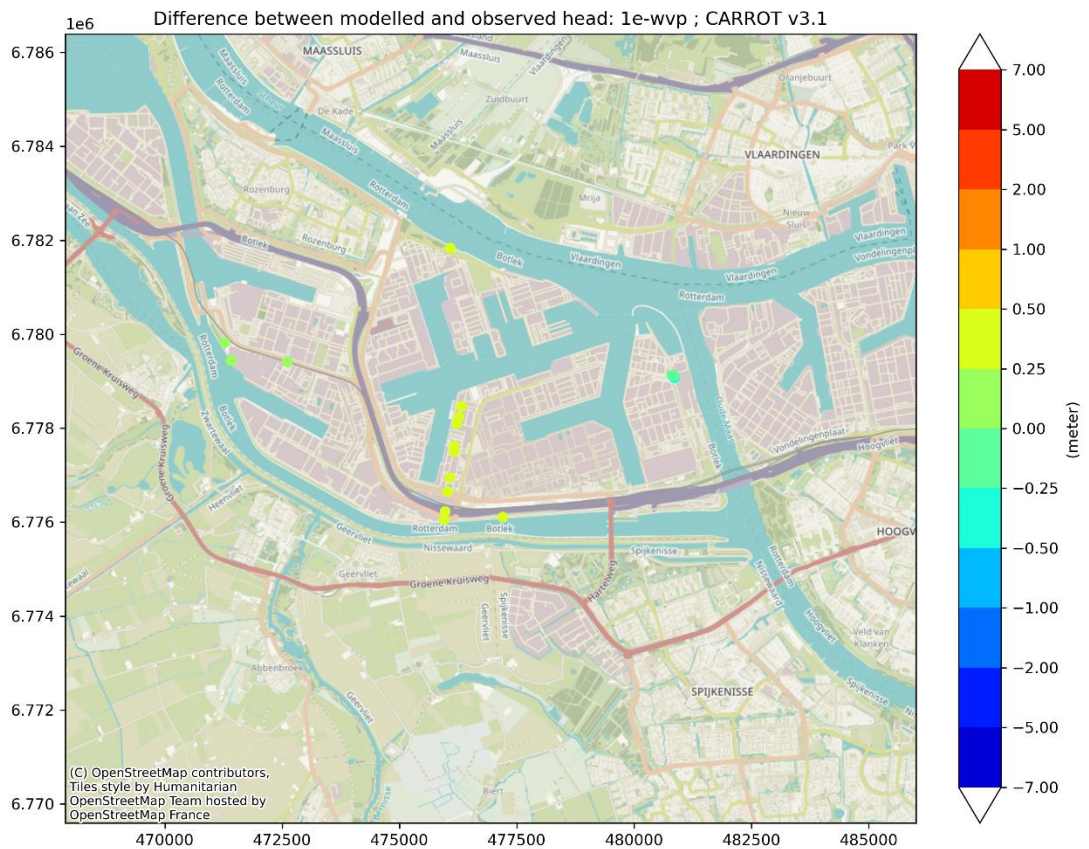
Figuur 4-24 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde, stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversies CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



Figuur 4-25 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



Figuur 4-26 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^o watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0

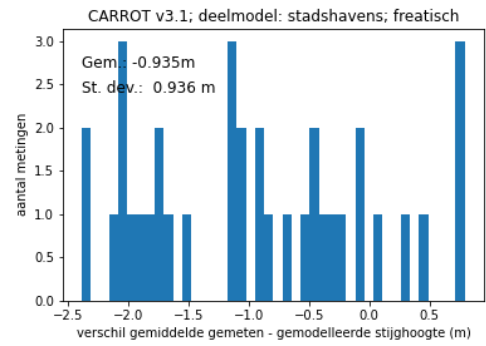
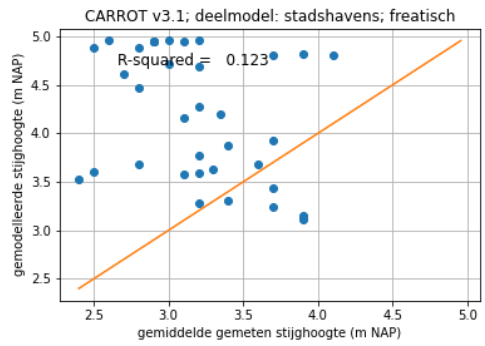
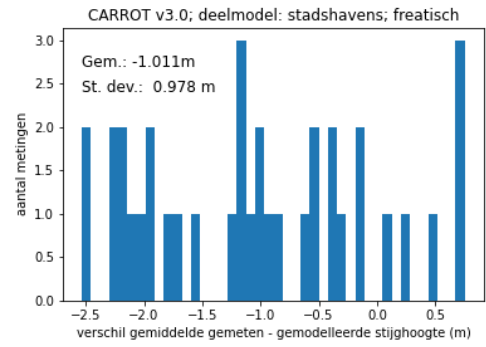
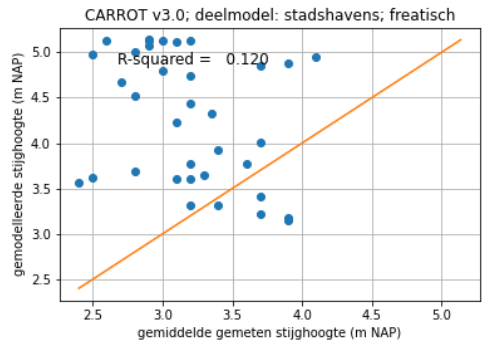
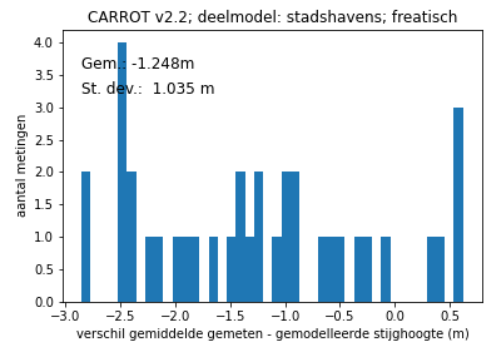
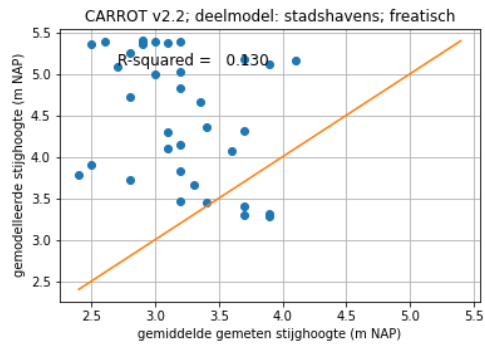


Figuur 4-27 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1

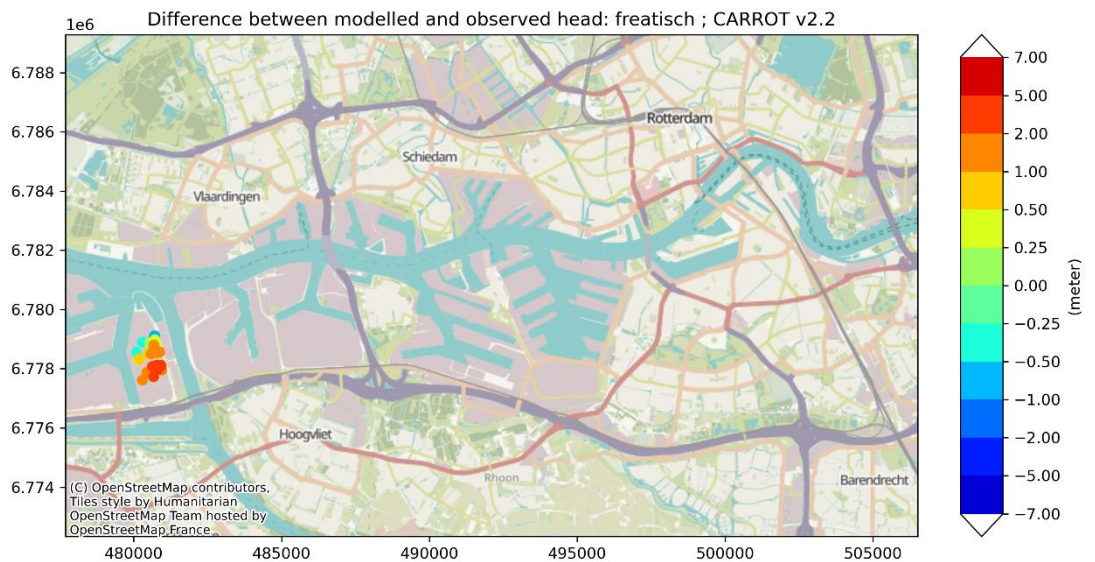
4.1.4 Deelgebied Vondelingenplaat tot Stadshavens

Voor het deelgebied Vondelingenplaat tot Stadshavens worden de resultaten weergegeven in Figuur 4-28 t/m Figuur 4-31 voor de freatische metingen en in Figuur 4-32 t/m Figuur 4-35 voor de metingen in het 1^e watervoerende pakket.

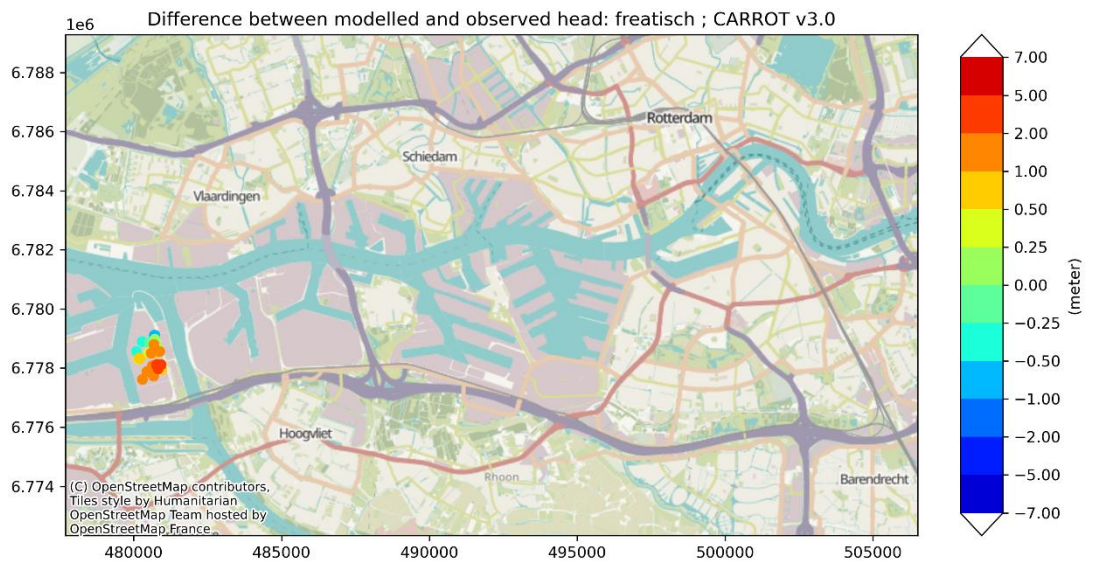
De statistische kenmerken laten een kleine verbetering zien voor CARROT v3.1 voor de freatische metingen en een verslechtering voor de metingen in het 1^e watervoerende pakket. Het meeste metingen liggen in gebieden die overlappen met de deelmodellen "Stad" en "Botlek". Het ruimtelijk patroon wordt bij de deelmodellen 'Botlek' en 'Stad' besproken.



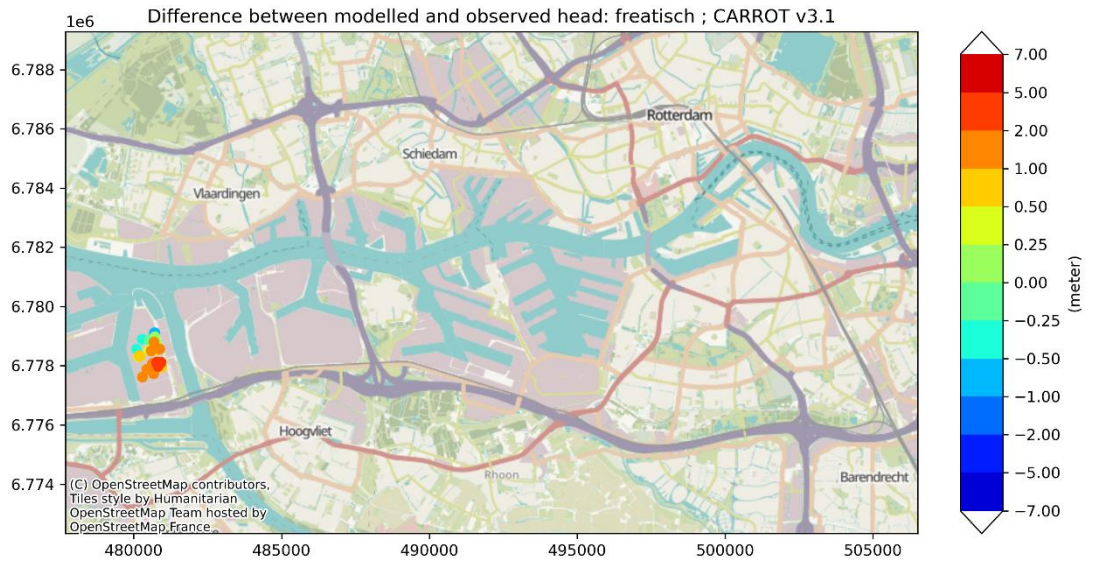
Figuur 4-28 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



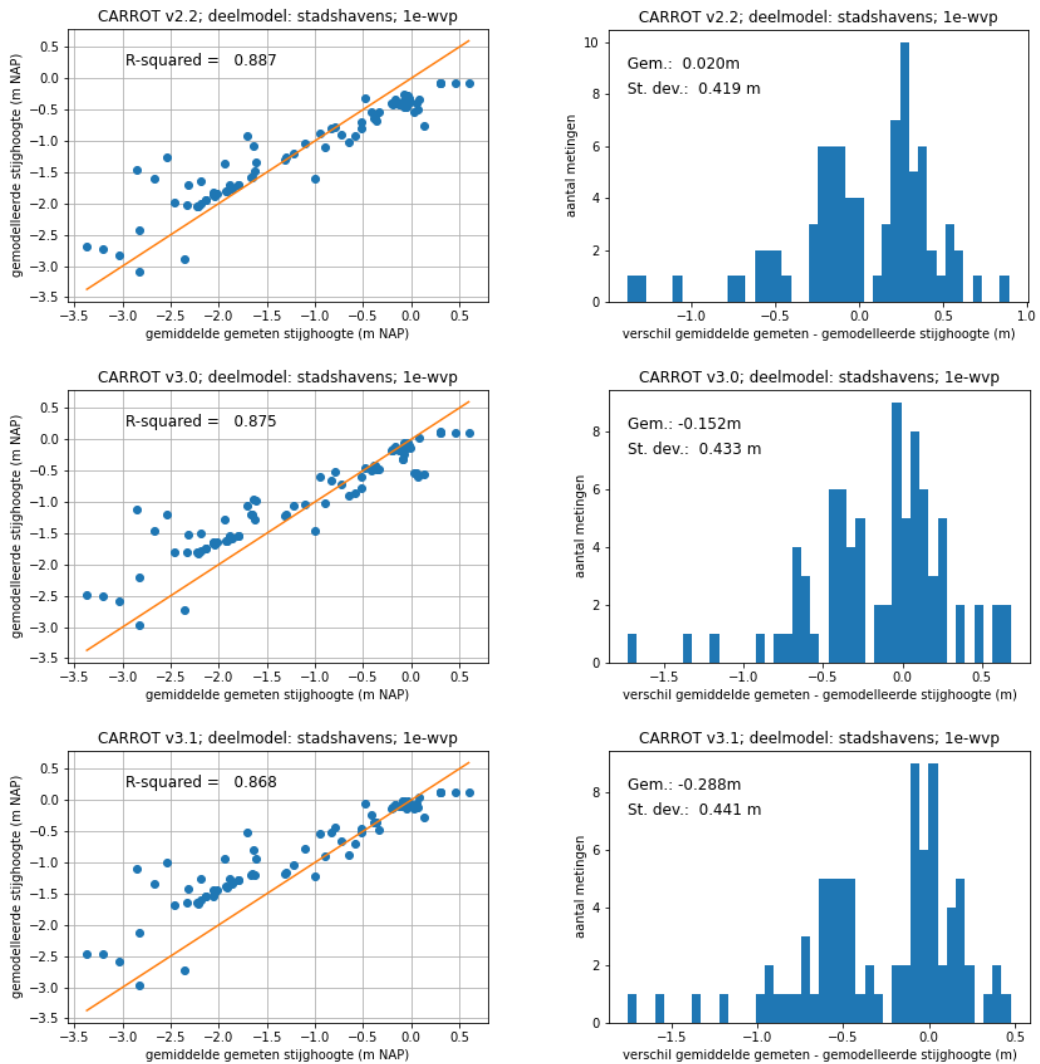
Figuur 4-29 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v2.2.



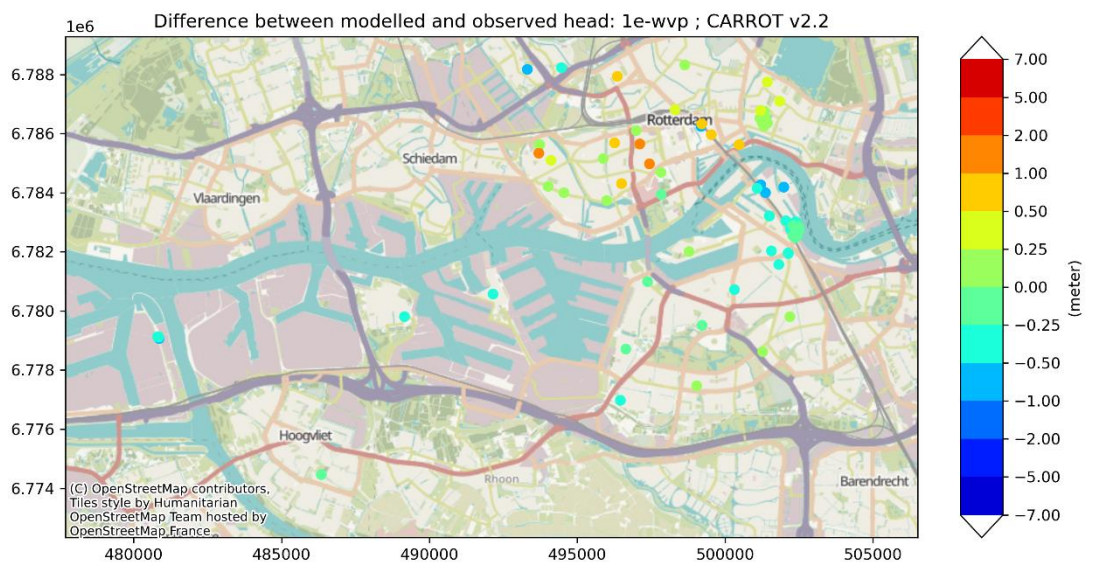
Figuur 4-30 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.0



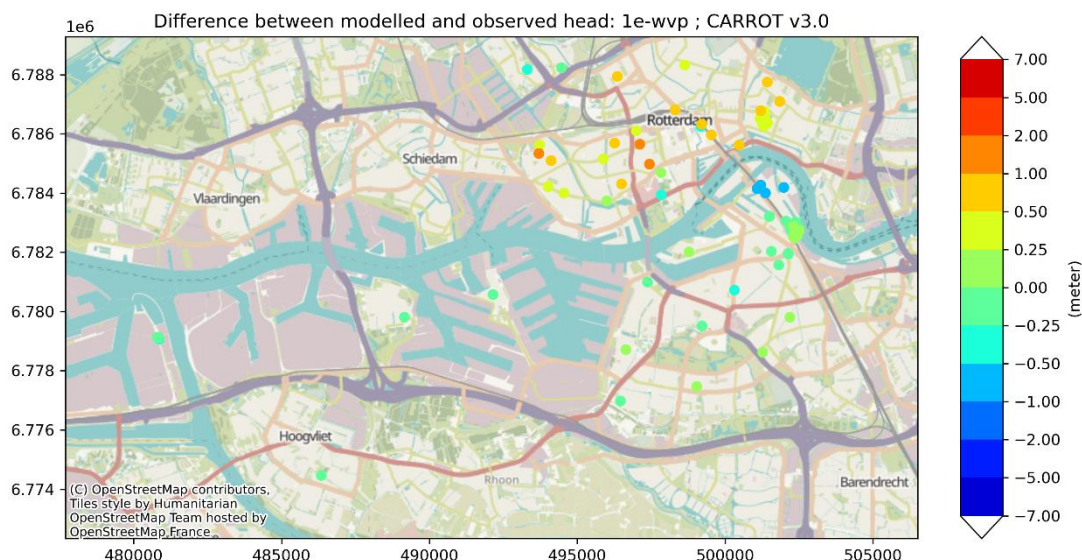
Figuur 4-31 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde freatische stijghoogten voor de modelversie CARROT v3.1



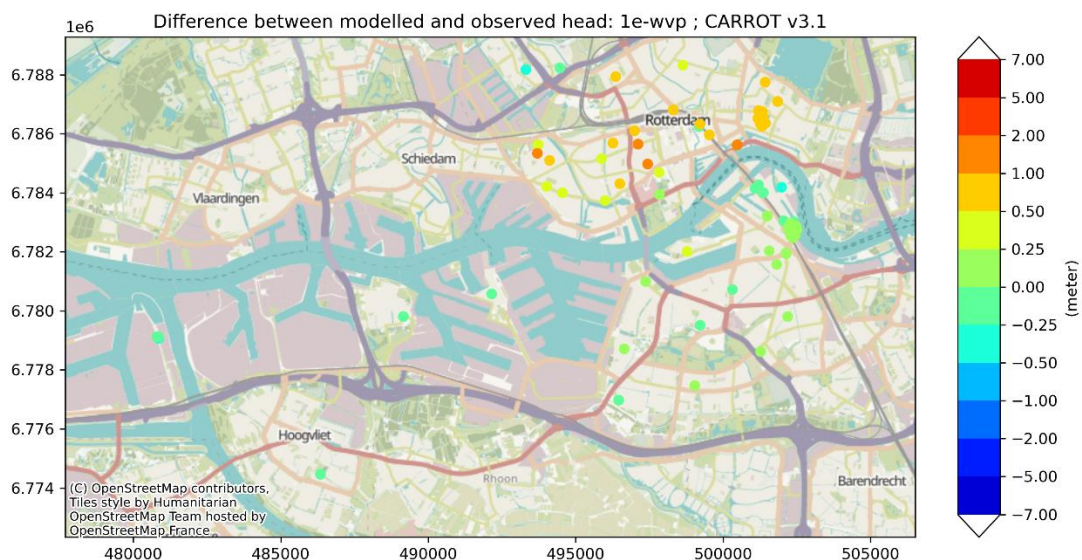
Figuur 4-32 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^o watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



Figuur 4-33 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^o watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



Figuur 4-34 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0



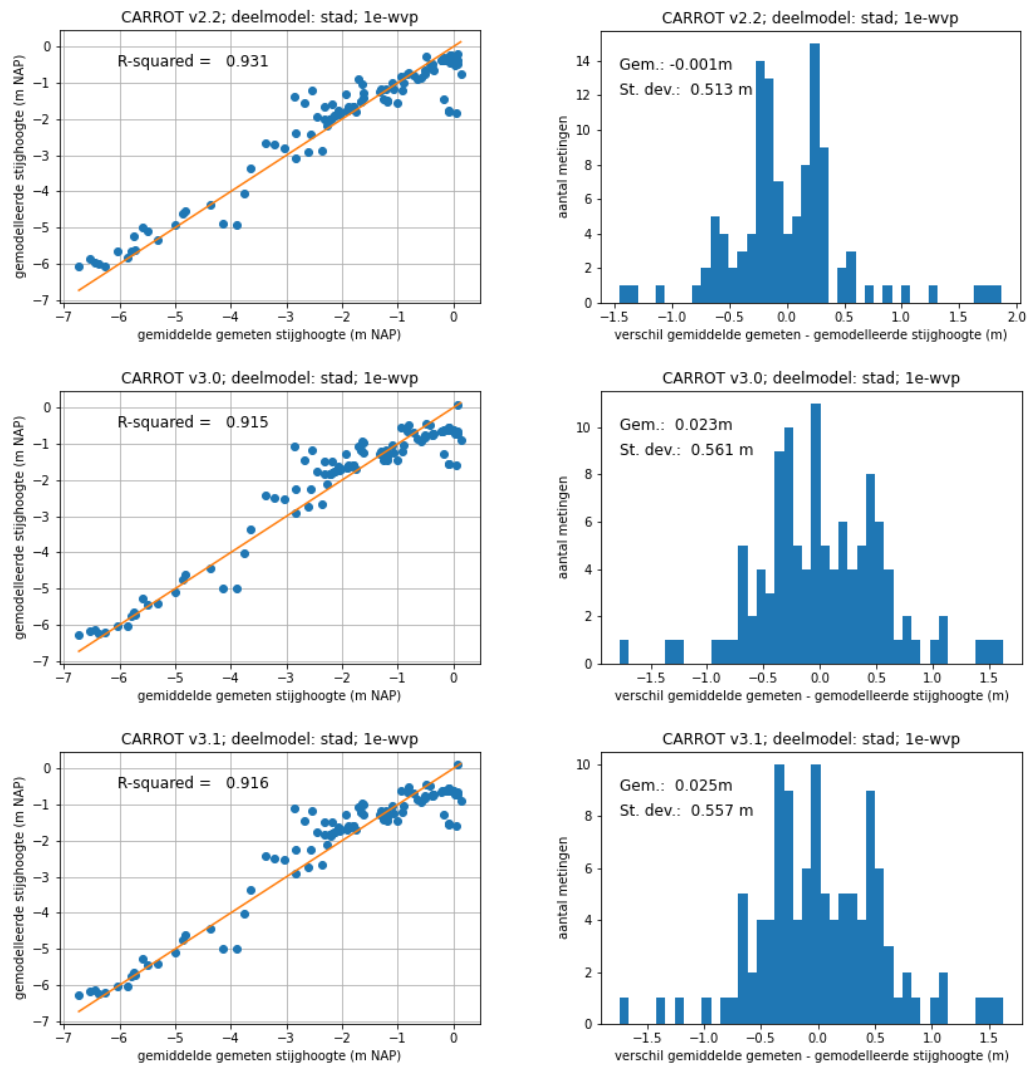
Figuur 4-35 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1

4.1.5 Deelgebied Stad

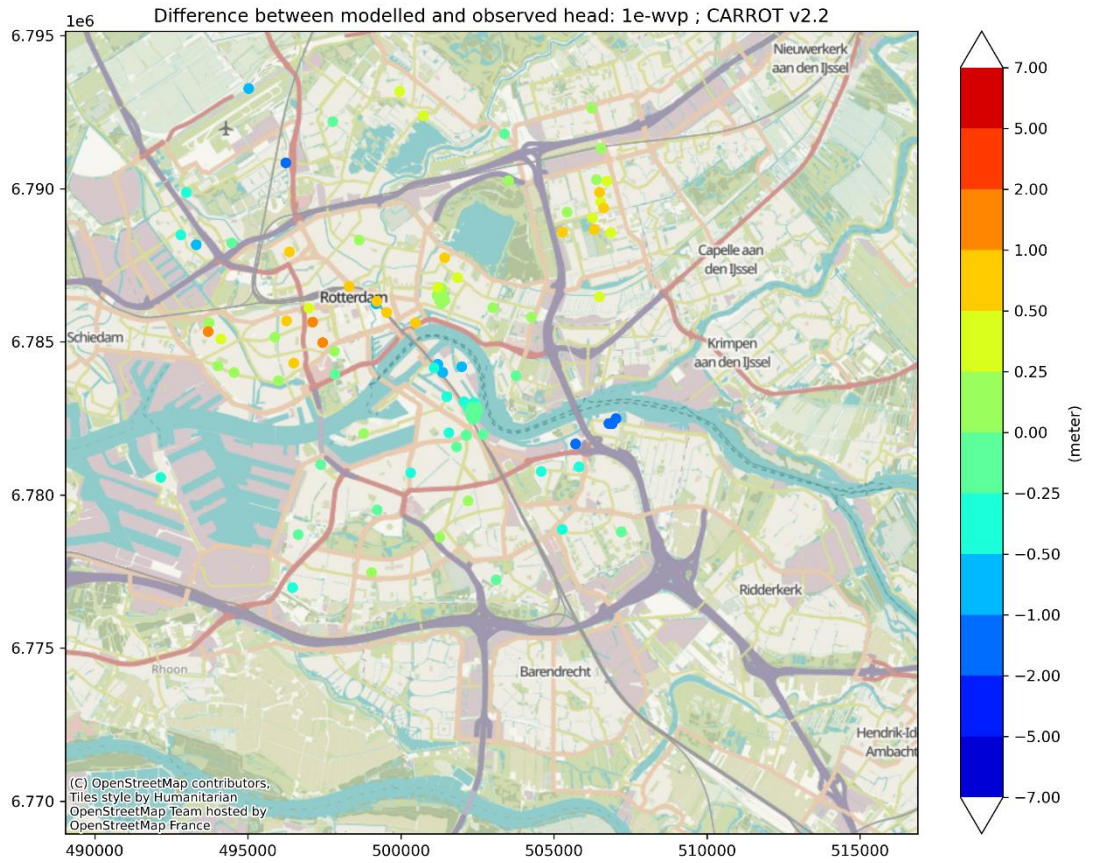
Voor het deelgebied Stad zijn geen freatische metingen. Voor de metingen in het 1^e wvp worden de resultaten weergegeven in Figuur 4-36 t/m Figuur 4-42.

De statistische kenmerken laten marginale verschillen zien tussen versies 3.0 en 3.1 van CARROT, terwijl versie 2.2 iets beter scoort. Het ruimtelijk patroon geeft aan dat de gemodelleerde stijghoogten ten noorden van de Nieuwe Maas duidelijk te hoog zijn in alle modelversies. Dit geeft een contrast met het gebied ten zuiden van de Nieuwe Maas, waar de gemodelleerde stijghoogten te laag zijn.

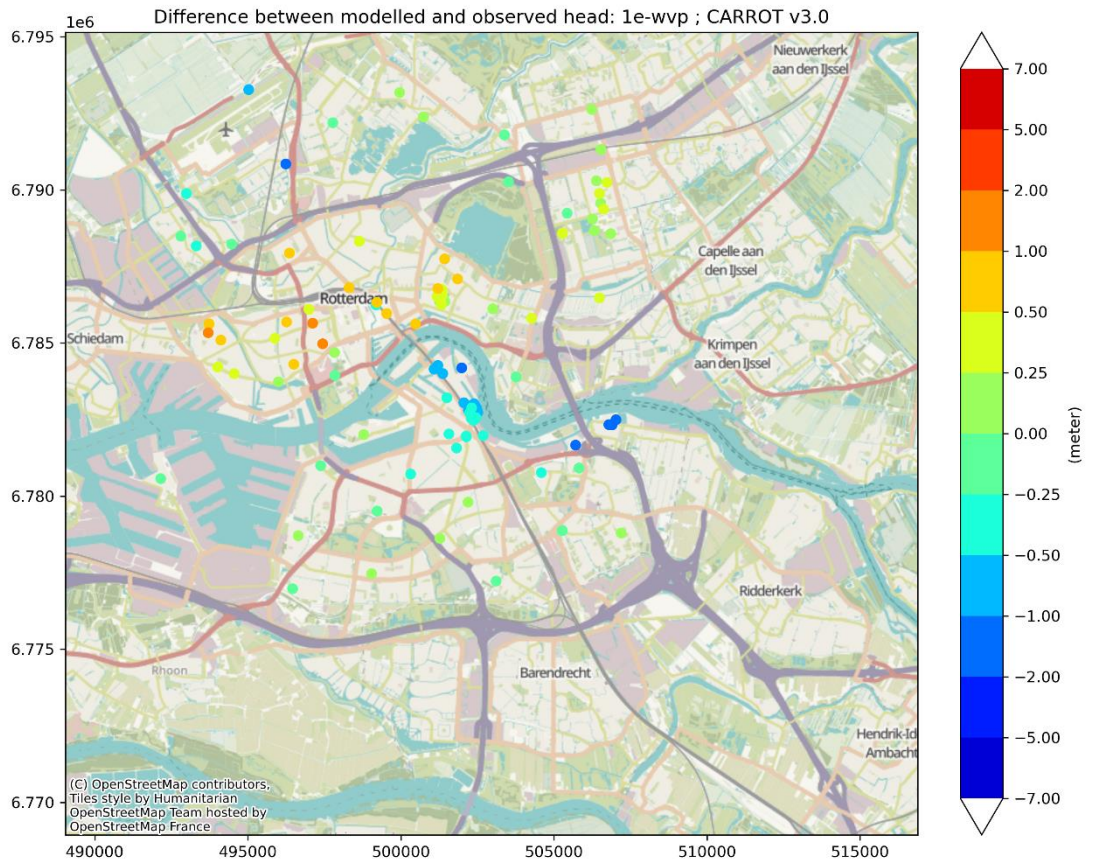
Bij de noordoostkant van de stad bij Alexander laten CARROT v3.0 en v3.1 een verbetering zijn ten opzichte van v2.2. Direct ten noorden van de Nieuwe Maas, bij Kralingen, en ten zuiden van de Nieuwe Maas, bij Feijenoord, is de fit van v2.2 beter.



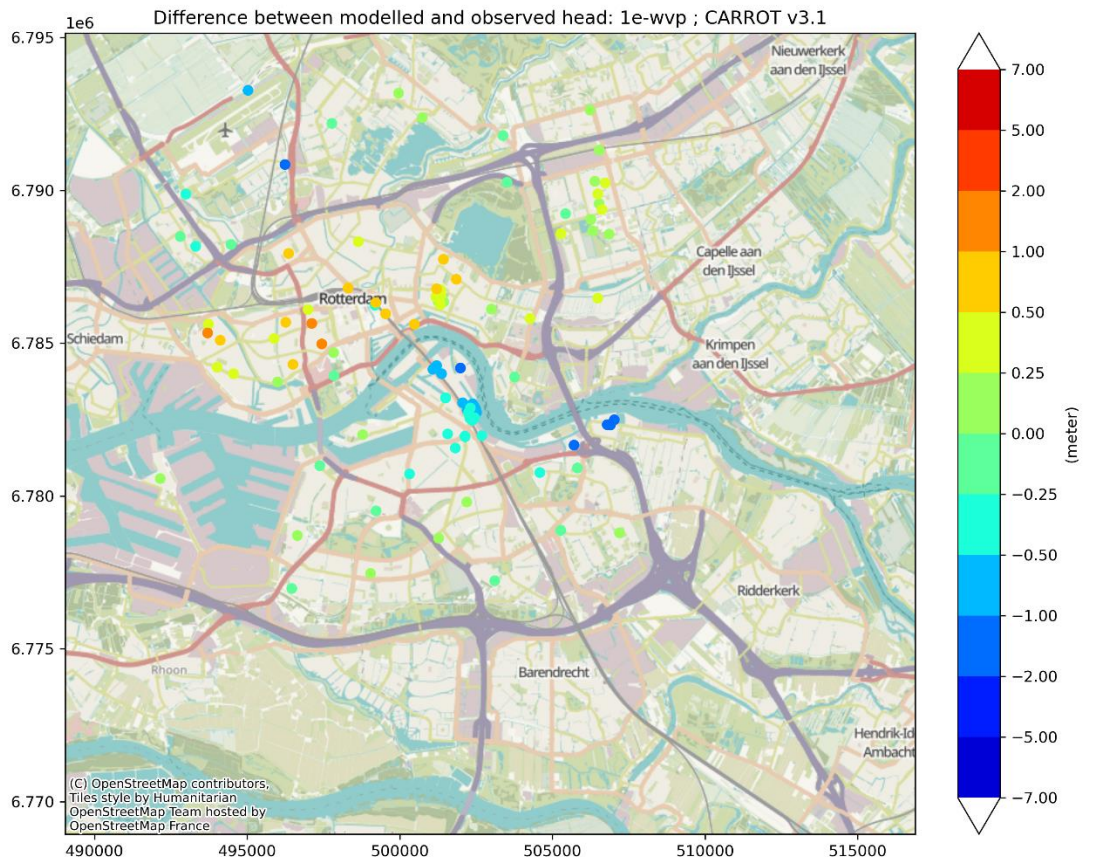
Figuur 4-36 Statistische vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2, v3.0 en v3.1



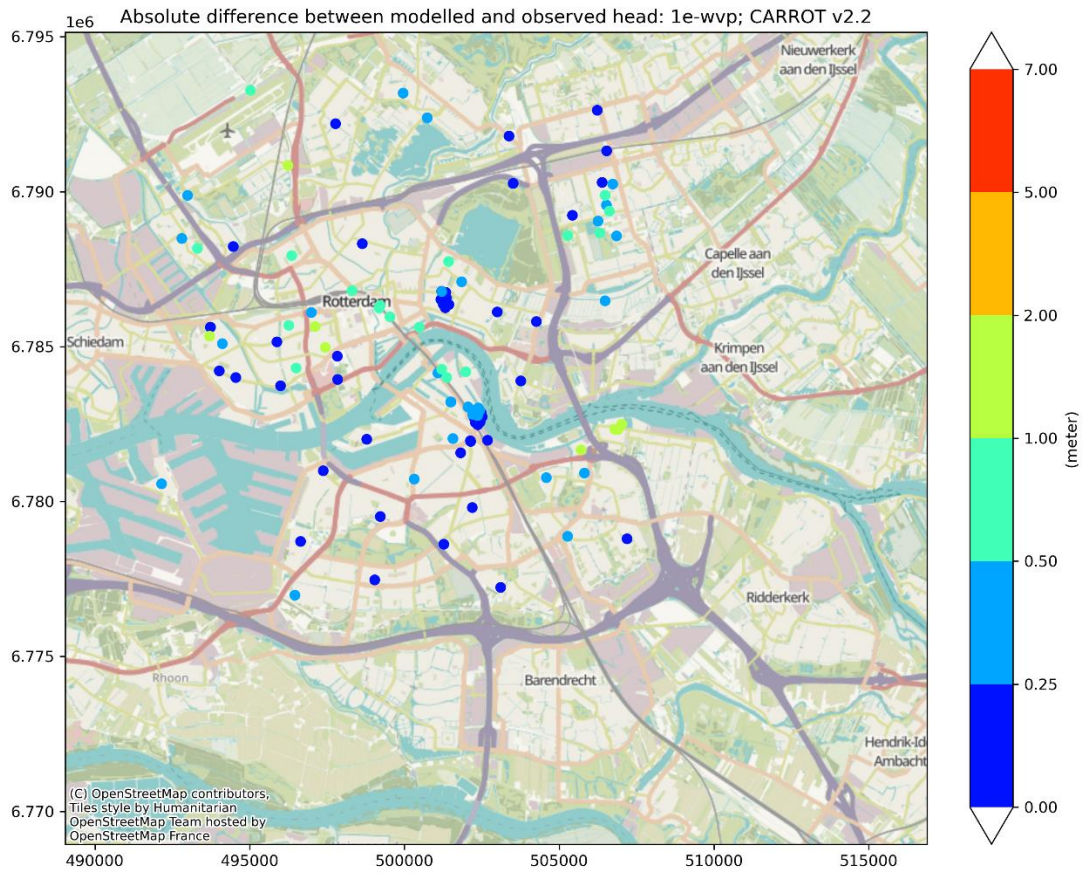
Figuur 4-37 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



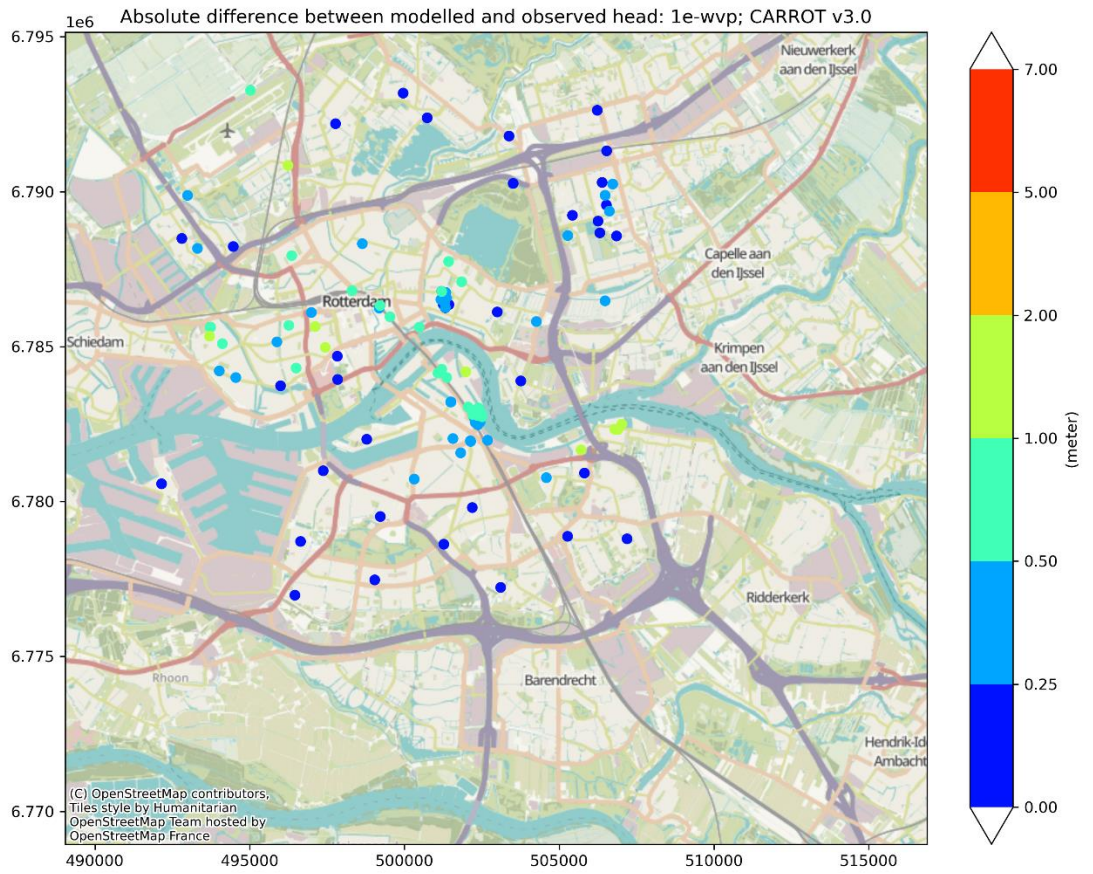
Figuur 4-38 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0



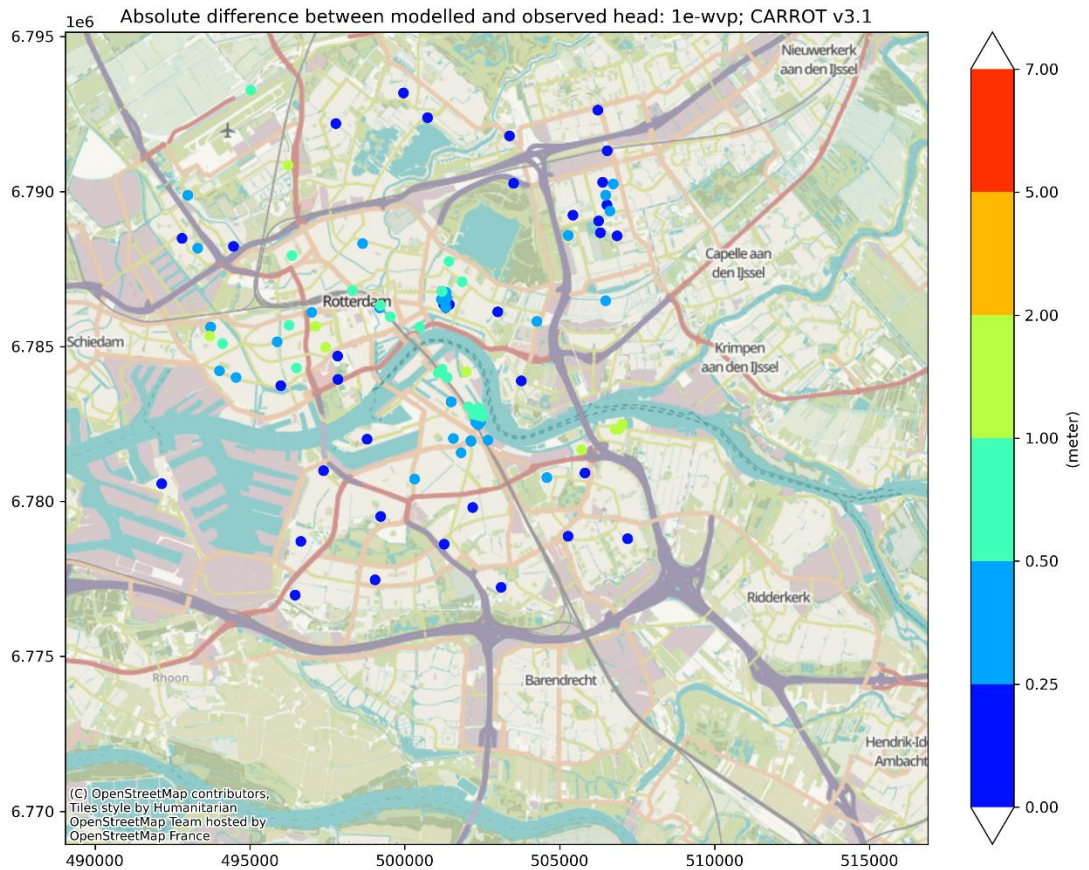
Figuur 4-39 Ruimtelijke vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1



Figuur 4-40 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v2.2



Figuur 4-41 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.0



Figuur 4-42 Absoluut verschil tussen gemeten en gemodelleerde stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket voor de modelversie CARROT v3.1

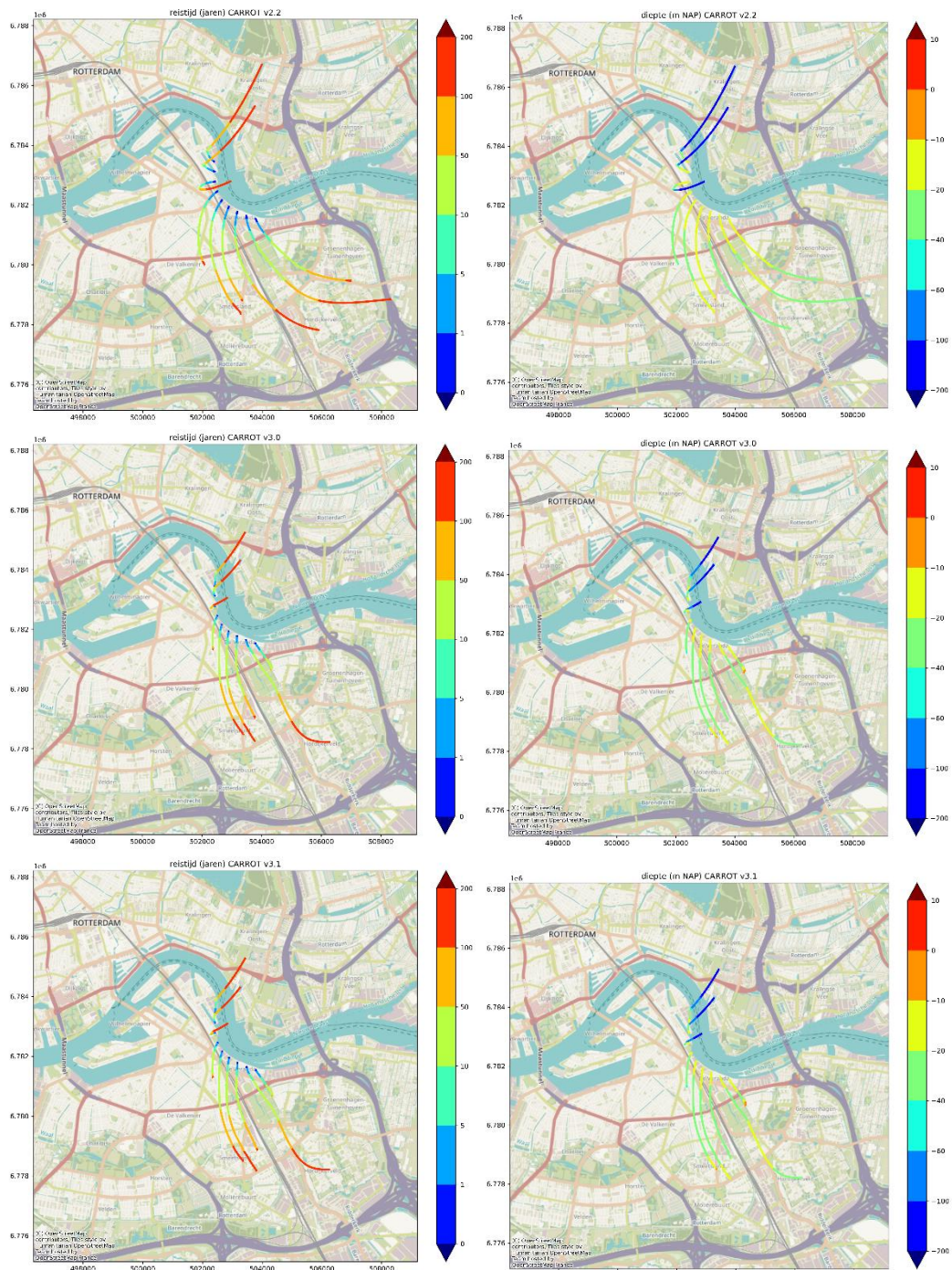
4.2 Stroombanen

4.2.1 Feijenoord

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-43 voor zowel de reistijd als de diepte.

Het blijkt dat de stroombanen van modelversie 3.0 en 3.1 sterk op elkaar lijken. De stroombanen van modelversie 2.2 wijken duidelijk af:

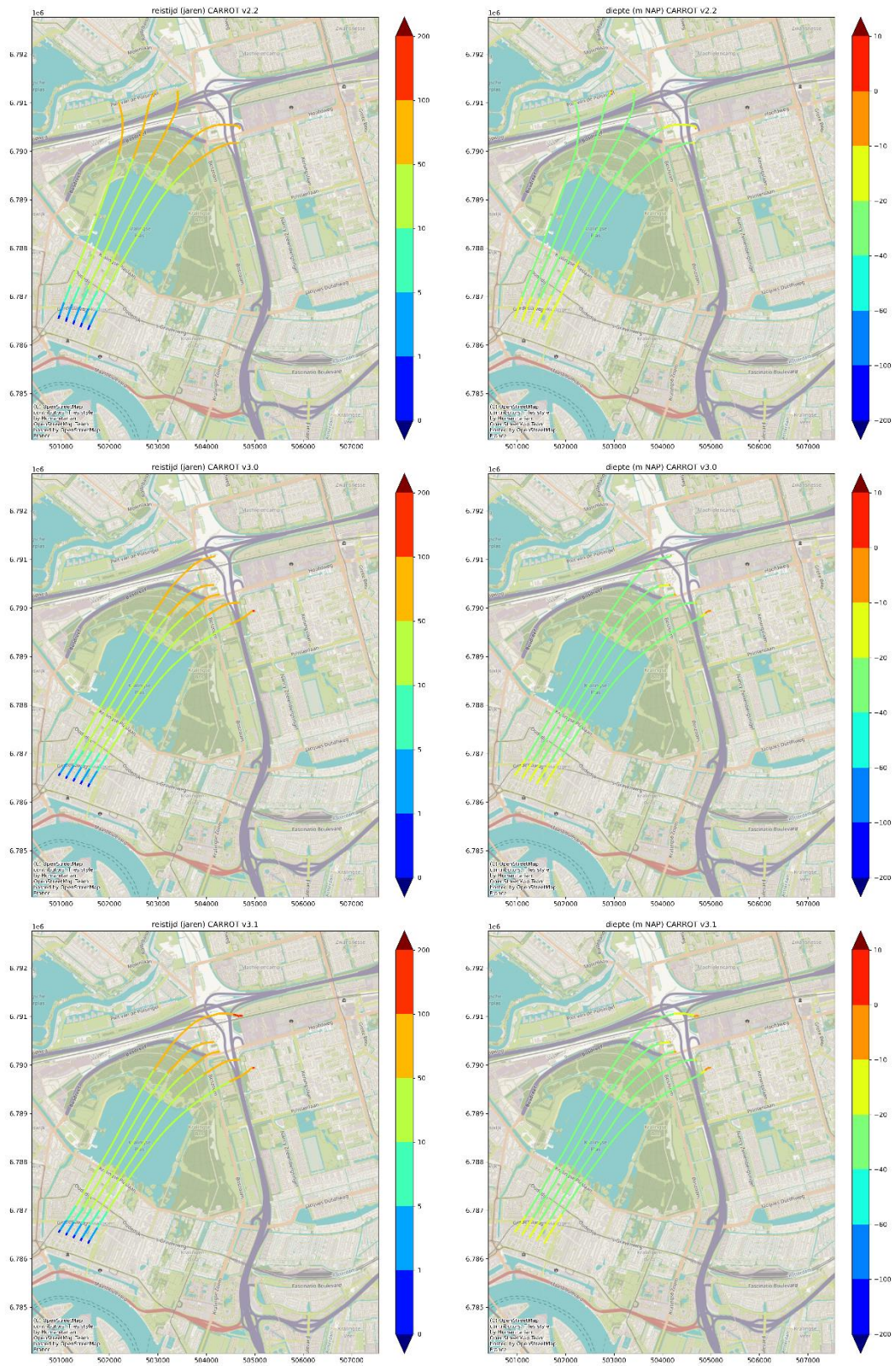
- De meest noordelijk stroombanen gaan in versie 2.2 eerst een stuk westwaarts alvorens naar het 2^{de} watervoerende pakket te duiken de daar in noordoostelijke richting te stromen. In versie 3.0 en 3.1 gaan deze stroombanen nauwelijks eerst nog naar het westen, maar duiken sneller het 2^{de} watervoerende pakket in. Ook komen deze stroombanen minder ver in de simulatieperiode van 200 jaar.
- De meer zuidelijke stroombanen buigen in versie 2.2 meer naar het oosten af dan de stroombanen in versie 3.0 en 3.1.



Figuur 4-43 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie Feijenoord voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.2 Kralingen

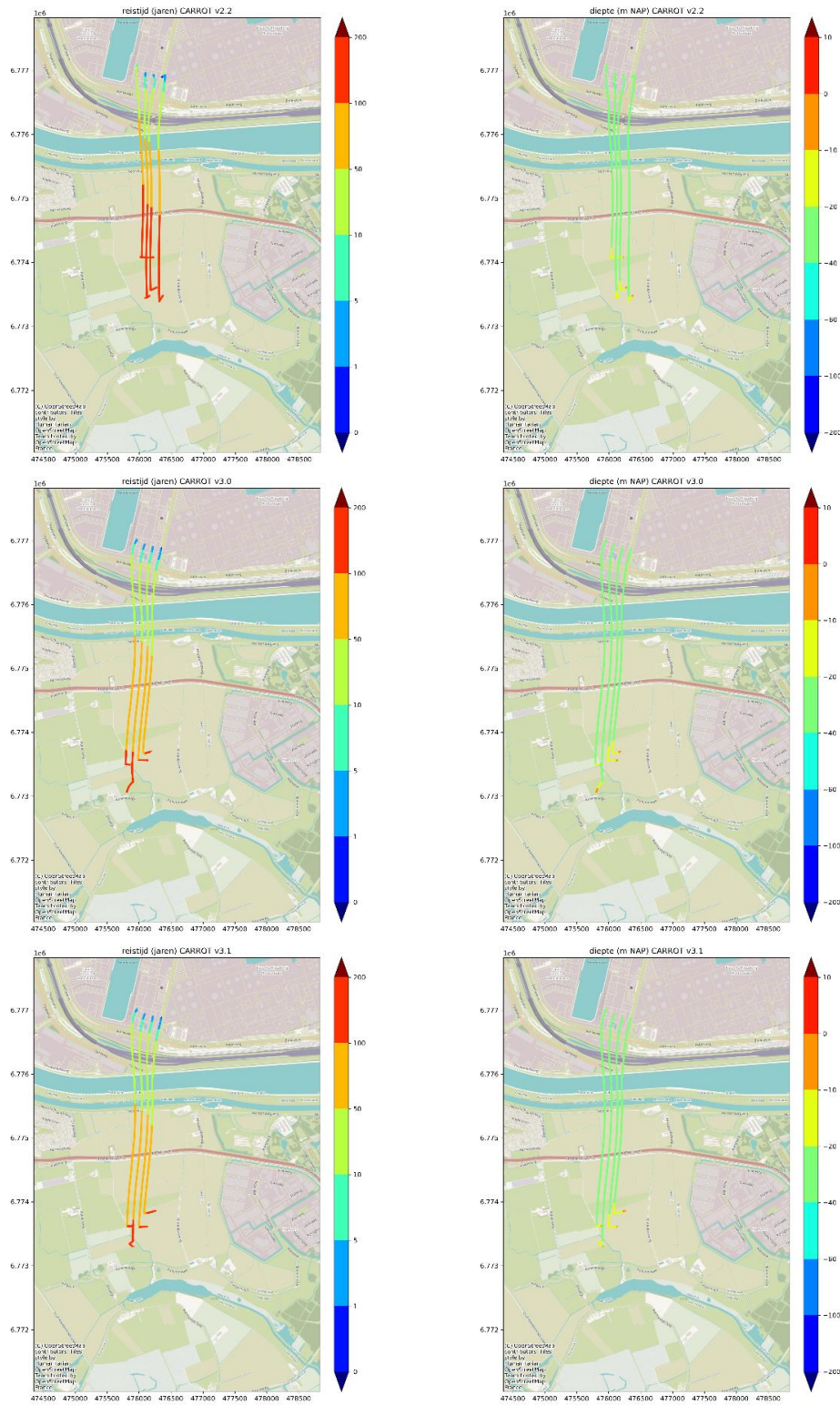
De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-44 voor zowel de reistijd als de diepte. Het blijkt dat de stroombanen van alle modelversies behoorlijk op elkaar lijken. De stroombanen van modelversie 2.2 komen iets westelijker uit.



Figuur 4-44 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie Kraalingen voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.3 Nouryon

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-45 voor zowel de reistijd als de diepte. Het blijkt dat de stroombanen van alle modelversies sterk op elkaar lijken. De stroombanen van modelversie 2.2 komen iets minder ver en de reistijd per afgelegde afstand neemt sneller toe.



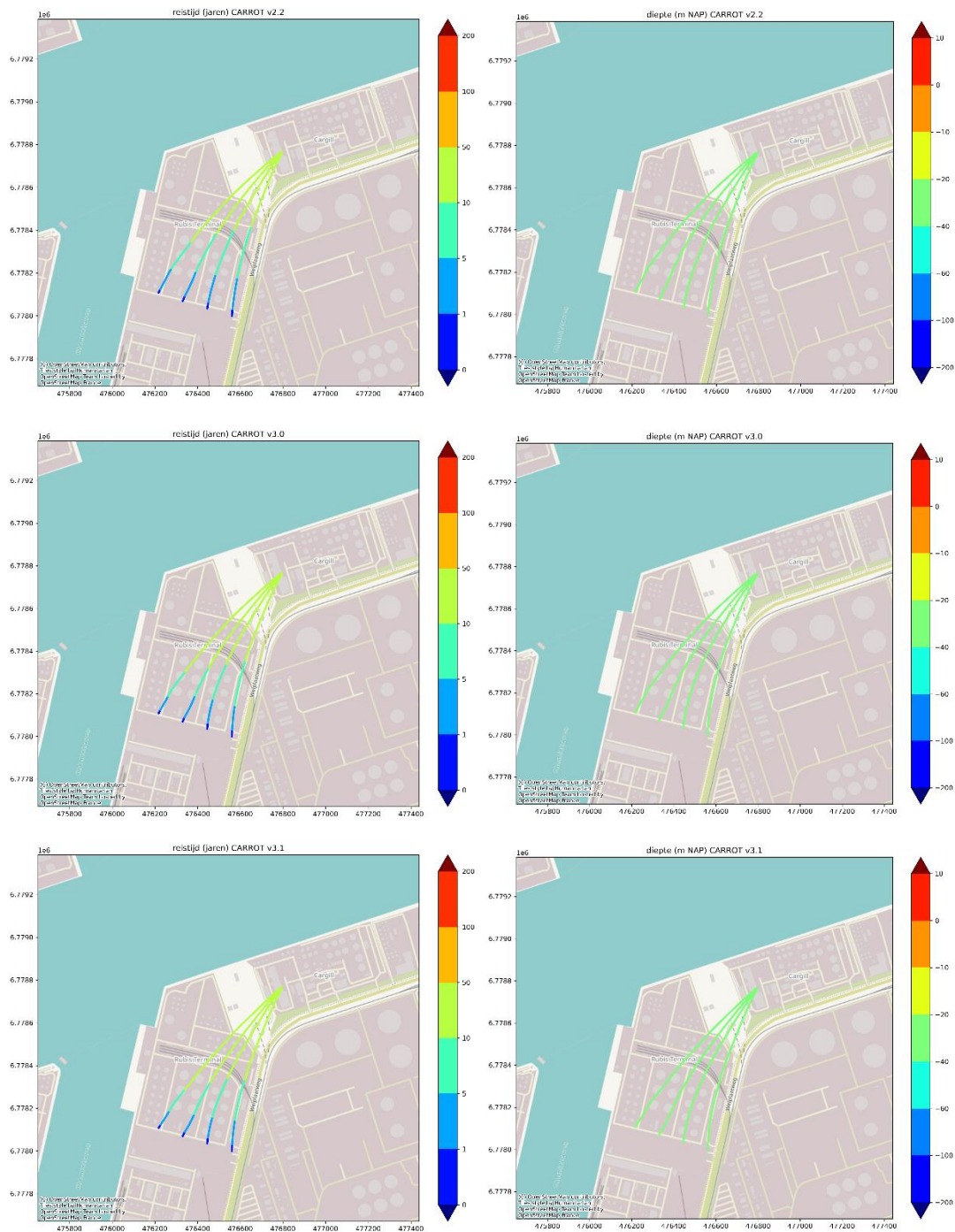
Figuur 4-45 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie Nouryon voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.4

TIC

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-46 voor zowel de reistijd als de diepte.

Het blijkt dat de stroombanen van alle modelversies vrijwel identiek zijn en eindigen in de koelwateronttrekking van Cargill.

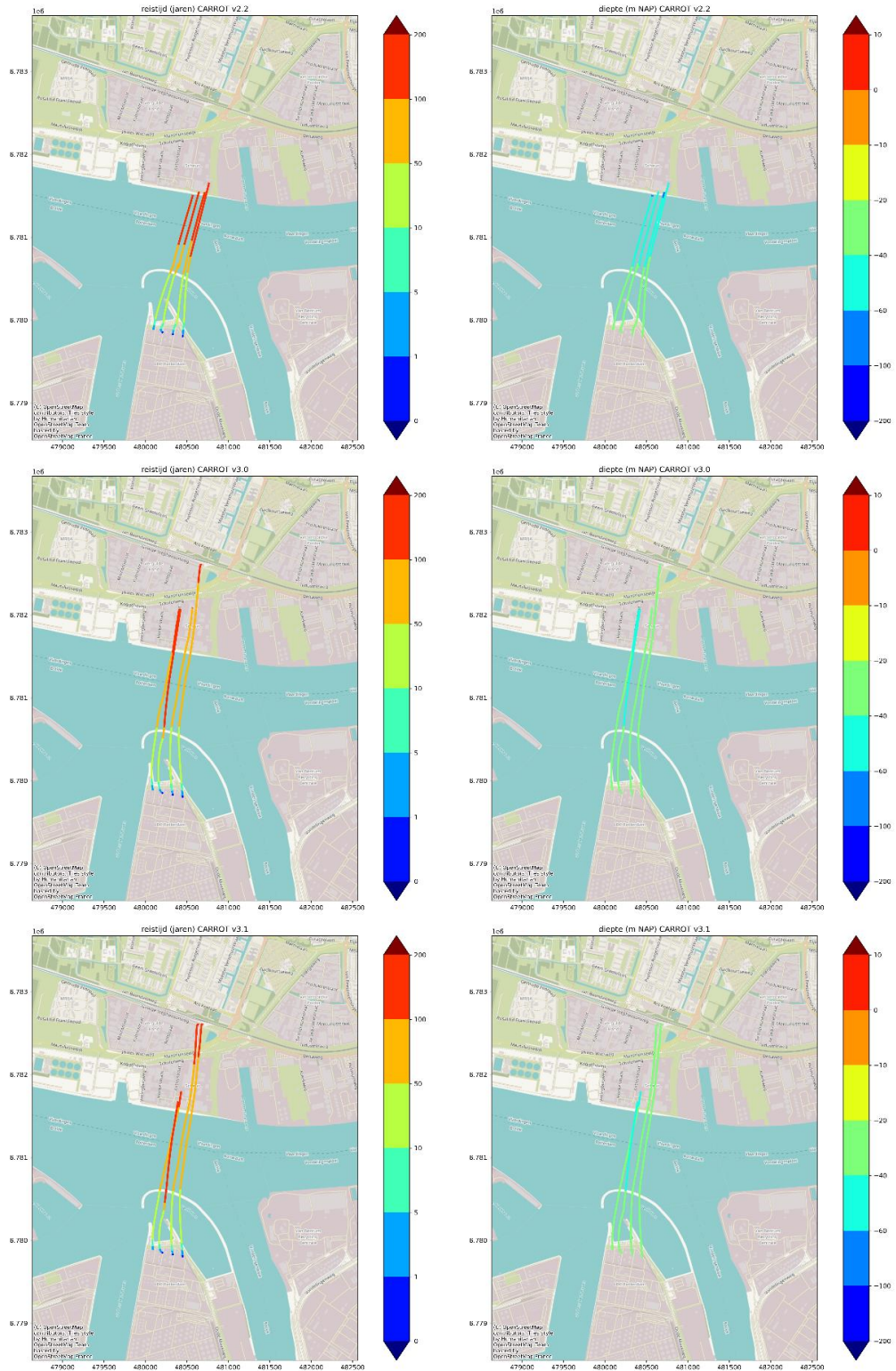


Figuur 4-46 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie TIC voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.5

LBC

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-47 voor zowel de reistijd als de diepte. Het blijkt dat richting van de stroombanen van alle modelversies sterk op elkaar lijken. In versie 2.2 komen de stroombanen minder ver en duiken wat dieper weg.

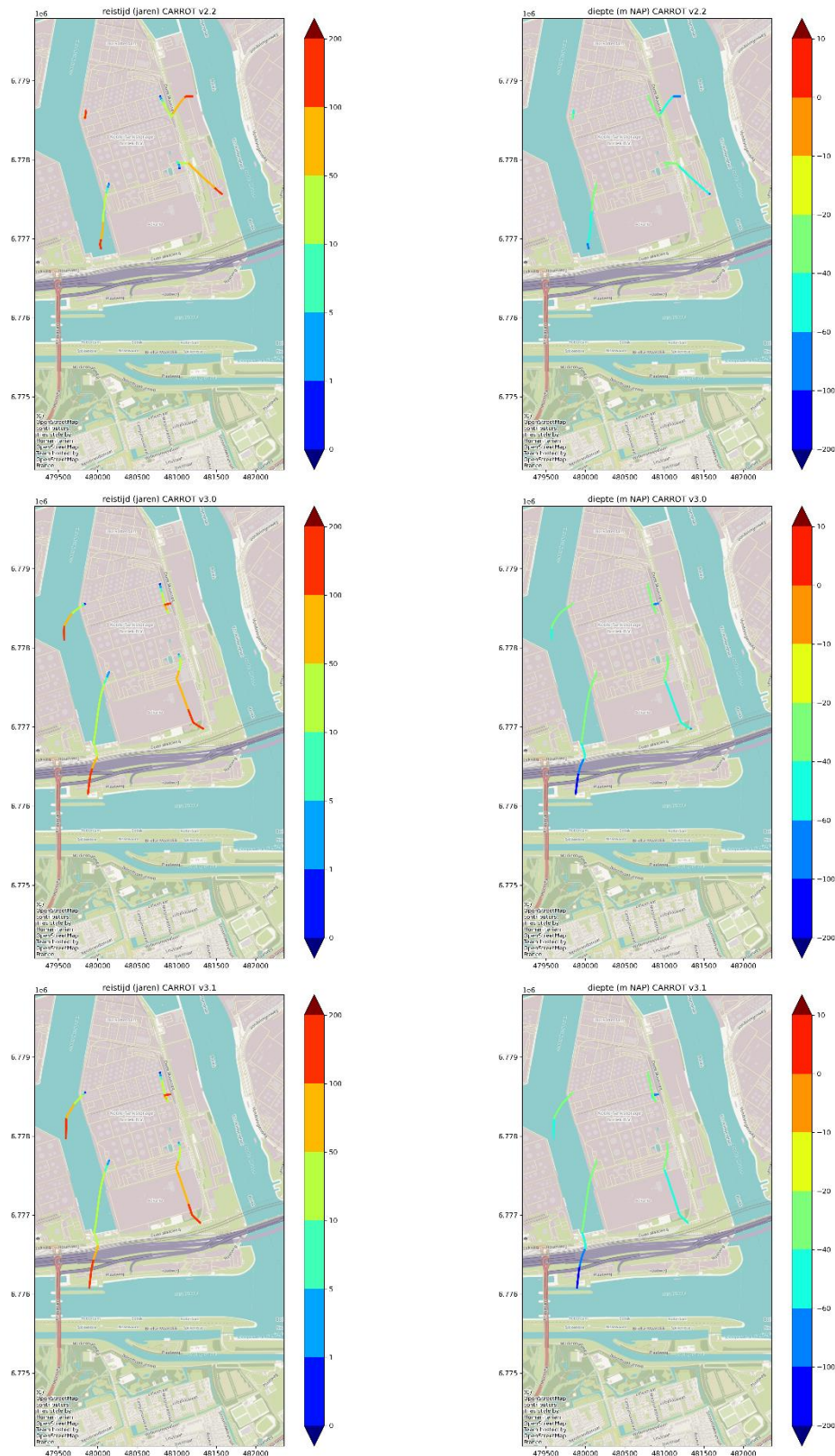


Figuur 4-47 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie LBC voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.6 Koole

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-48 voor zowel de reistijd als de diepte.

Het blijkt dat de stroombanen van de modelversies 3.0 en 3.1 sterk op elkaar lijken. De stroombanen van versie 2.2 wijken duidelijk af: de stroombanen, die starten aan de oostkant van het terrein van Koole gaan in CARROT v2.2 meer oostelijk. De locatie ligt in alle modelversies op een waterscheiding waarbij een deel van de stroombanen een westelijke component heeft en een deel een oostelijke component. De stroombanen hebben een duidelijk zuidelijke component terwijl de stroombanen die op de nabijgelegen LBC locatie beginnen noordwaarts gaan, zie Figuur 4-47.

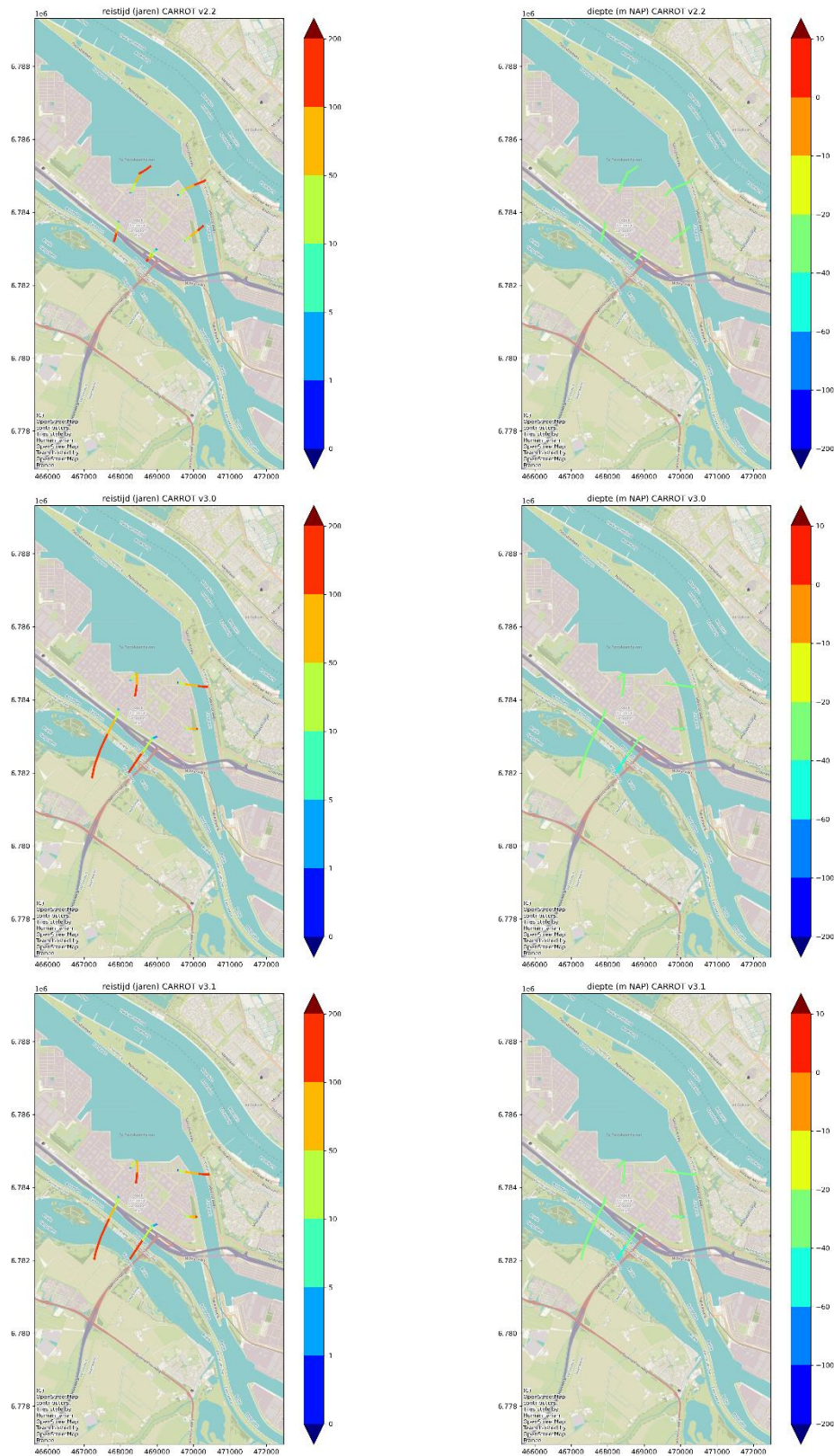


Figuur 4-48 Stroombanen beginnend boven in het 1^o WVP voor de locatie Koole voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

4.2.7 Vopak Europoort

De stroombanen die bovenin het watervoerend pakket beginnen worden voor de drie modelversies weergegeven in Figuur 4-49 voor zowel de reistijd als de diepte.

Het blijkt dat de stroombanen van de modelversies 3.0 en 3.1 sterk op elkaar lijken. De stroombanen van versie 2.2 wijken duidelijk af. In versie 2.2 ligt de locatie duidelijk op een waterscheiding en stromen de meest noordelijke stroombanen noordoostwaarts, terwijl deze stroombanen in versie 3.0 en 3.1 oostwaarts of zuidwaarts gaan.



Figuur 4-49 Stroombanen beginnend boven in het 1^e WVP voor de locatie Vopak Europoort voor de 3 modelversies; links reistijd, rechts diepte

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Op basis van de aanpassingen tussen de verschillende modelversies van CARROT en de vergelijking met de stijghoogtemetingen worden de volgende conclusies getrokken:

1. De verschillen tussen de resultaten van CARROT modelversies 3.0 en 3.1 zijn relatief klein. De verschillen met de versie v2.2 zijn meer significant.
2. De gemodelleerde stijghoogten bij Europoort komen in de versies 3.0 en 3.1 beter overeen dan in de versie 2.2. Dit komt omdat vanaf versie 3.0 het effect van de hogere dichtheid van het oppervlaktewater beter wordt meegenomen. Dit effect is het grootste nabij de Noordzee.
3. Bij het deelmodel "Stad" lijken de gemodelleerde stijghoogten in modelversie v2.2 gemiddeld gezien meer op de meetwaarden dan in de nieuwe modelversies. Wel is er in alle modelversies een duidelijk patroon in de residuen zichtbaar: de stijghoogten tussen de Nieuwe Maas en de diepere polders ten noorden van de stad worden te hoog gemodelleerd. De stijghoogten ten zuiden van de Nieuwe Maas worden wat te laag gemodelleerd. De aanpassing om de intreeweerstand van de Nieuwe Maas ten oosten van de Waalhaven aan te passen heeft nabij de Nieuwe Maas tot een verslechtering van de gemiddelde fit van de stijghoogte geleid. Bij de noordoostkant van de Stad, bij Alexander, is de gemiddelde fit wel beter geworden.
4. De meeste stroombanen komen qua stromingsrichting overeen voor de verschillende modelversies. Alleen voor locaties die dichtbij een waterscheiding liggen of waarbij de stromingsrichting tussen 1^e en 2^{de} watervoerende pakket verschilt, zijn de stroombanen zeer gevoelig voor kleine modelaanpassingen.
5. Voor de validatie van stroombanen is weinig directe informatie over de verspreiding van verontreinigingen voorhanden:
 - Bij de locatie van Nouryon is wel in stroomafwaartse richting bij het Hartelkanaal verontreiniging aangetroffen. Deze pluimrichting komt overeen met de stroombanen.
 - Aan de noordkant van de stroombanen bij Feijenoord is met behulp van stijghoogtemetingen wel de gradiënt in het 1^e watervoerende pakket bepaald. Deze geeft een stroming in zuidwestelijke richting en wijkt af van de richting van de stroombanen in het 1^e watervoerende pakket. De berekende stroombanen duiken wel snel het 2^{de} watervoerende pakket in en gaan daar in noordoostelijke richting. Er zijn geen stijghoogtemetingen beschikbaar die deze stroming naar het 2^{de} watervoerende pakket onderbouwen of weerleggen.
6. De selectie van de dataset met stijghoogtemetingen en de werkwijze om automatisch stijghoogtemetingen te vergelijken vormen een goede basis om resterende fouten in de modelparameters op te sporen en het model in de toekomst te verbeteren.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gegeven:

1. Updates van het CARROT model geven niet overal een betere overeenkomst met lokaal gemeten stijghoogten. Het is daarom aan te bevelen om bij een lokale toepassing van het CARROT model te kijken welke versie lokaal het beste overeenkomt met beschikbare data.

2. Bij verontreinigingslocaties die vlakbij een waterscheiding liggen of waar de stroming in het 2^{de} watervoerende pakket sterk afwijkt van de stromingsrichting in het 1^e watervoerende pakket zijn de berekende stroombanen zeer gevoelig voor kleine aanpassingen in modelparameters. Voor die locatie is het raadzaam om goed naar aanvullende data te kijken en eventueel gericht aanvullende data over de stromingsrichting te verzamelen.
3. Het CARROT model dient te worden aangepast zodat de stijghoogten bij het centrum van Rotterdam beter worden gefit. Hierbij dient zeer waarschijnlijk vooral de interactie tussen het eerste watervoerende pakket en de Nieuwe Maas te worden verbeterd. Aan de noordkant lijkt de interactie minder sterk te moeten zijn en aan de zuidkant juist sterker.
4. Het gebruik van de automatische scripts om modeluitkomsten te vergelijken met stijghoogtemetingen wordt sterk aanbevolen om het model gericht te verbeteren.

6 Literatuur

Deltares 2021; Addendum update CARROT V2.2 ; documentnummer 11203600-007-BGS-0002

Deltares 2023, Grondwatermodel CARROT v3.0 Rotterdamse havengebied en stad: Aanpassingen; documentnummer 11203600-008-BGS-0004.

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