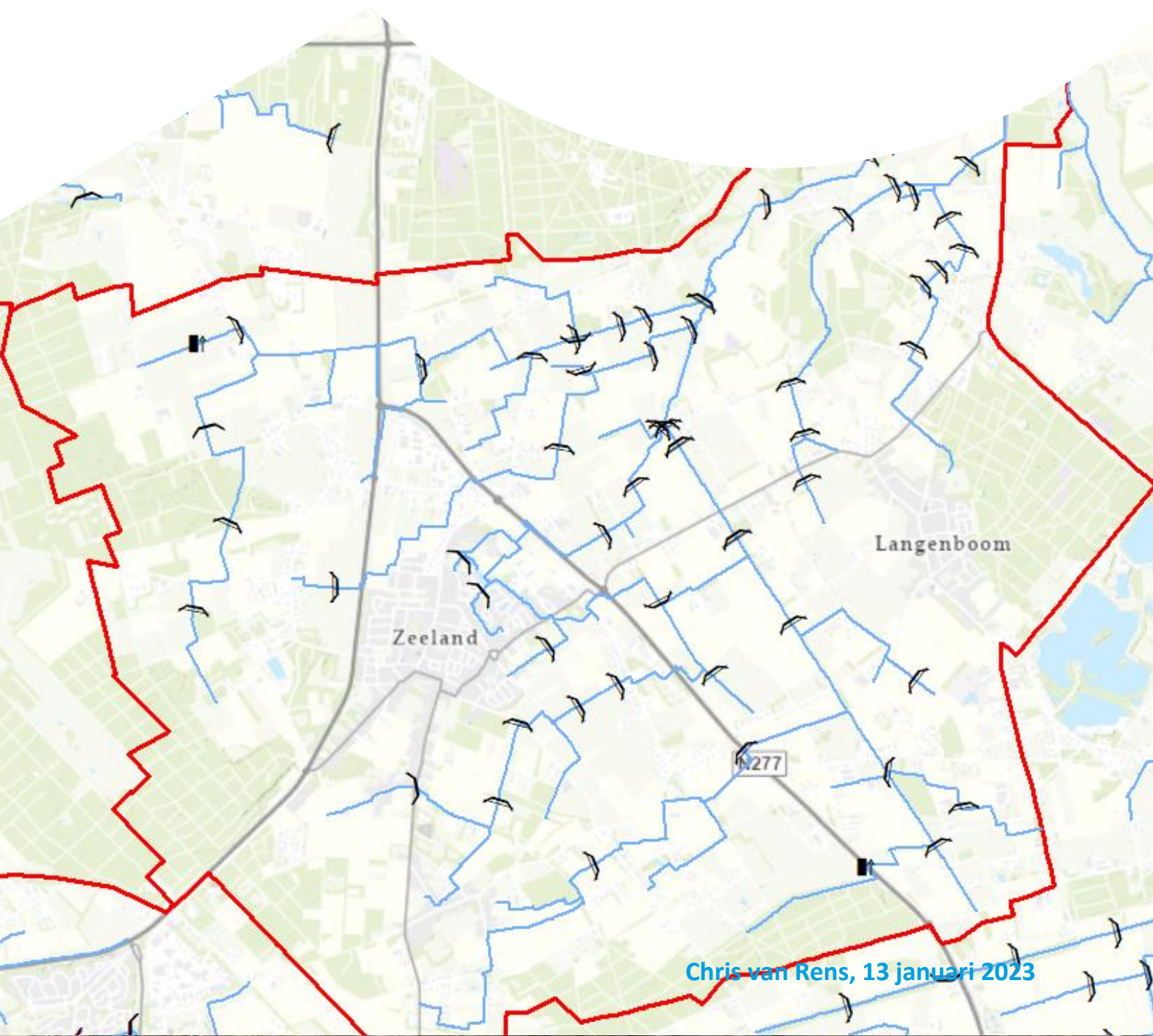


Modevaluatie gekoppelde modellering Hooge Raam



Inhoud

1. Inleiding	3
2. Grondwaterstandseffecten vlakdekkend	4
2.1 Conventioneel versus gekoppeld (1D-2D)	4
2.2 Conventioneel versus gekoppeld (1D)	4
2.3 Gekoppeld (1D-2D) versus gekoppeld (1D)	5
3. Verklaring afwijkende grondwaterstanden	6
3.1 Grote verschillen in het noorden	6
3.2 Grote verschillen in het zuiden	7
3.3 Grote verschillen in het oosten en westen	10
4. Waterbalans	11
4.1 Totale waterbalans per maand	11
4.2 Verdamping voor de varianten	12
4.3 Afvoer voor de varianten	13
5. Situatie ingezoomd op locaties	14
5.1 Benedenstrooms stuw Hoefkens	15
5.2 HORA007	16
5.3 HORA012	17
5.4 B45F0666	18
5.5 Bevindingen bij grafieken	19
6. Conclusies en aandachtspunten	20

1. Inleiding

Binnen het TKI-project conceptuele modelontwikkeling is het modelconcept ontwikkeld waarmee gekoppeld kan worden gerekend met D-Flow FM en MODFLOW/MetaSWAP.

Deltares heeft verschillende varianten doorgerekend voor het stroomgebied van de Hooge Raam. De resultaten zijn gedeeld met waterschap Aa en Maas en worden in deze rapportage verder geanalyseerd.

Het stroomgebied van de Hooge Raam is een geïsoleerd stroomgebied zonder aanvoer vanuit andere gebieden. Er zit veel verhang in het benedenstrooms deel. Bovenstrooms wordt vaak gesproken over een plateau. De watergangen bovenstrooms vallen in droge periodes droog.

In deze rapportage worden modeluitkomsten vergeleken van drie modellen:

1. Modflow-MetaSWAP met normale rivers, dus zonder D-Flow FM. (conventioneel)
2. Modflow-MetaSWAP, legger in D-Flow FM en 2D-maaiveldstroming. (gekoppeld 1D-2D)
3. Modflow-MetaSWAP, legger in D-Flow FM, excl. 2D-maaiveldstroming. (gekoppeld 1D)

In deze rapportage worden verschillen inzichtelijk gemaakt en waar mogelijk verklaard. Waar zinvol en indien beschikbaar wordt ook een vergelijk gemaakt met metingen.

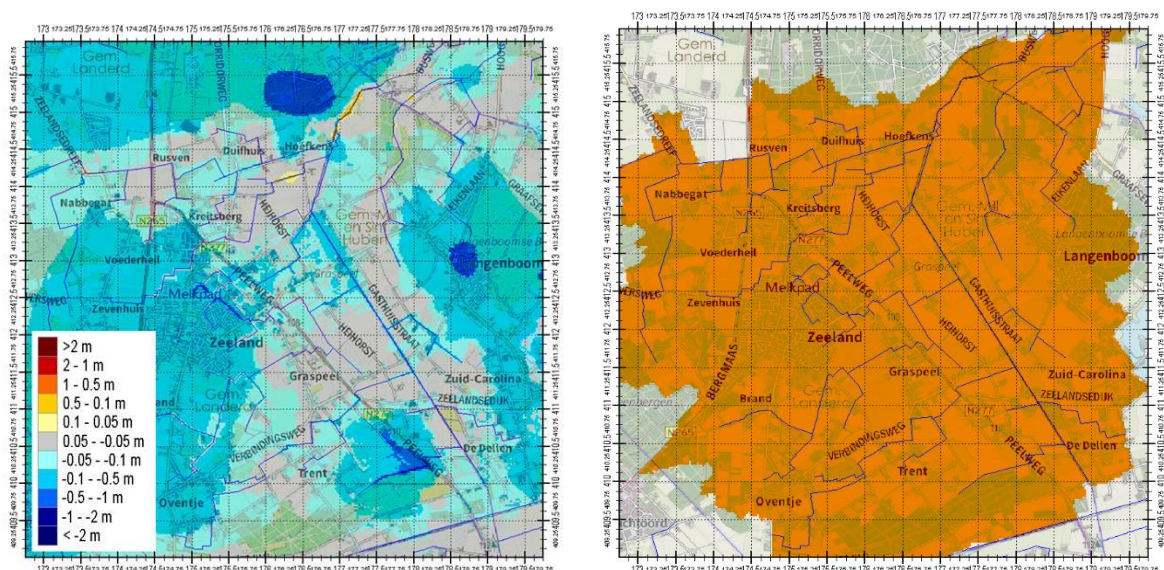
In hoofdstuk 2 worden grondwaterstanden vlakdekkend in beeld gebracht. In hoofdstuk 3 volgt een verklaring voor de verschillen in berekende grondwaterstanden. In hoofdstuk 4 wordt de waterbalans van het gebied toegelicht, met aandacht voor de verdamping en de afvoer. In hoofdstuk 5 wordt middels reeksen ingezoomd op een aantal interessante locaties. Tot slot wordt in hoofdstuk 6 afgesloten met conclusies en aandachtspunten.

2. Grondwaterstandseffecten vlakdekkend

De modellen zijn doorgerekend over de periode van 2017 en 2018. Er zijn effecten in beeld gebracht voor 4 datums in 2018 (1 april, 1 juli, 12 augustus (droog) en 1 december). Niet alle datums worden voor elke vergelijking in beeld gebracht.

2.1 Conventioneel versus gekoppeld (1D-2D)

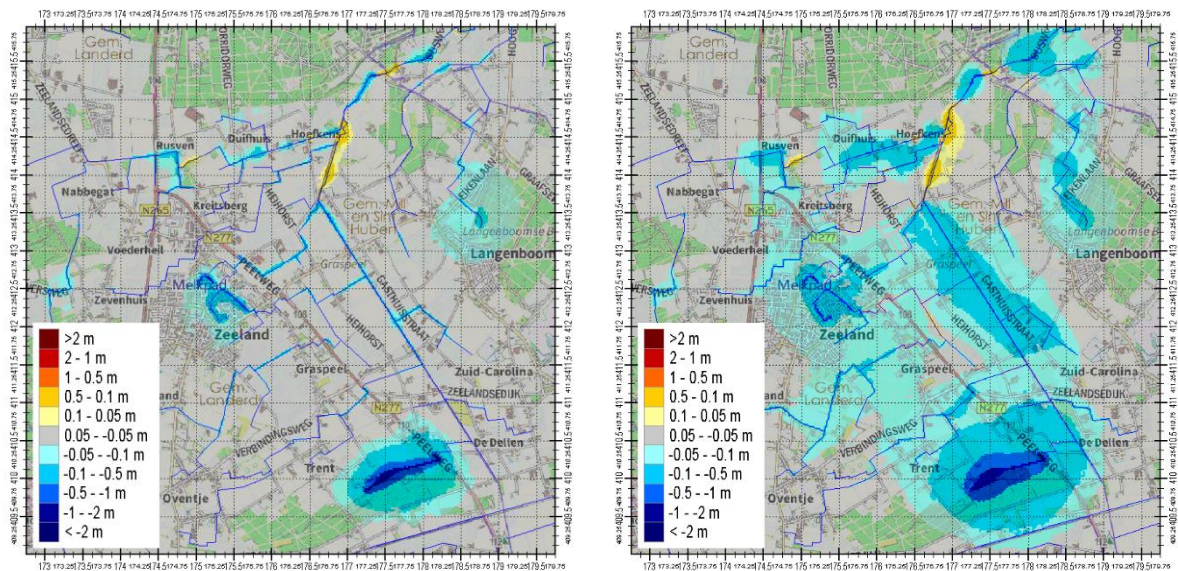
Het verschil op 1 april 2018 tussen het conventionele model en het gekoppelde model (1D-2D) wordt weergegeven in Figuur 2.1. Blauw betekent dat het gekoppelde model (1D-2D) hogere grondwaterstanden berekent. De verschillen zijn erg groot. In hoofdstuk 3 wordt uitleg gegeven over de oorzaak.



Figuur 2.1: Links: verschillen in berekende grondwaterstanden op 1 april 2018 voor het modelgebied de Hooge Raam: conventioneel model minus gekoppeld model (1D-2D). Een blauwe kleur betekent dat het gekoppeld model (1D-2D) hogere grondwaterstanden berekent dan het conventionele model. Rechts: het stroomgebied van de Hooge Raam.

2.2 Conventioneel versus gekoppeld (1D)

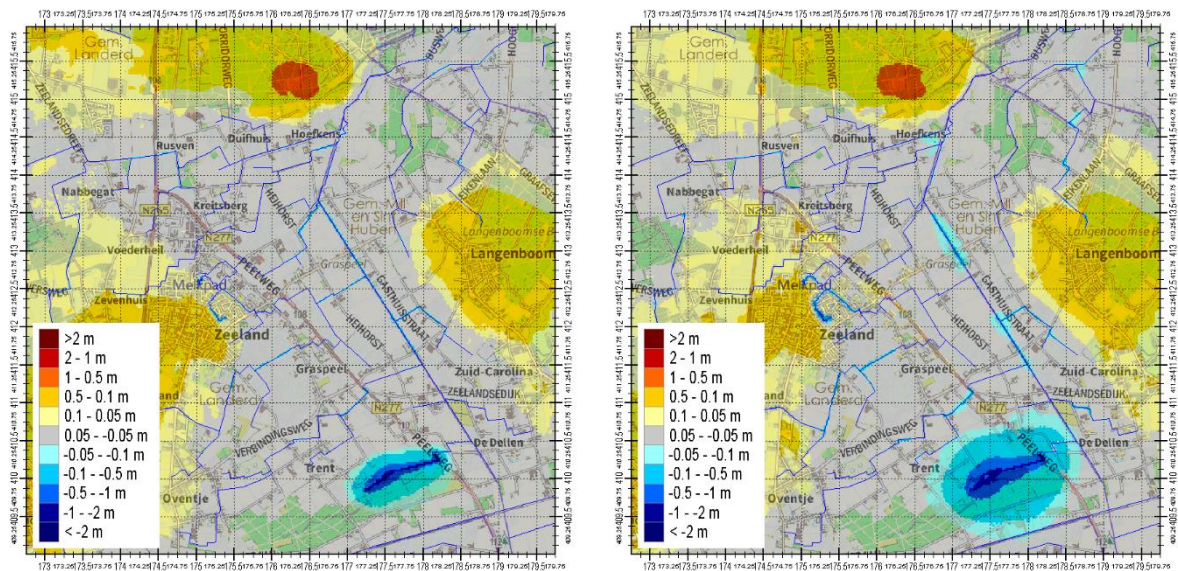
In Figuur 2.2 is het verschil gegeven tussen het conventionele model en het gekoppeld model (1D). Links het verschil op 12 augustus 2018, rechts het verschil op 1 december 2018. Te zien is dat het gekoppeld model (1D) doorgaans hogere grondwaterstanden berekent. In de droge zomer zijn de verschillen kleiner. De berekende verschillen zijn kleiner dan de verschillen weergegeven in paragraaf 2.1, met uitzondering van de watergang in het zuiden. Zie voor de verklaring hoofdstuk 3.



Figuur 2.2: Verschillen in berekende grondwaterstanden op 12 augustus 2018 (links) en 1 december 2018 (rechts) voor het modelgebied de Hooge Raam: conventioneel model minus gekoppeld model (1D). Een blauwe kleur betekent dat het gekoppeld model (1D) hogere grondwaterstanden berekent dan het conventionele model.

2.3 Gekoppeld (1D-2D) versus gekoppeld (1D)

In deze paragraaf worden de verschillen gegeven tussen de twee gekoppelde modellen. Als de twee gekoppelde modellen met elkaar worden vergeleken in Figuur 2.3 (links 12 augustus, rechts 1 december) volgt een gemengd beeld met drogere en nattere gebieden. Een verklaring voor de verschillen volgt in hoofdstuk 3.



Figuur 2.3: Verschillen in berekende grondwaterstanden op 12 augustus 2018 (links) en 1 december 2018 (rechts) voor het modelgebied de Hooge Raam: gekoppeld model (1D-2D) minus gekoppeld model (1D). Een gele/rode kleur betekent dat het gekoppelde model (1D-2D) hogere grondwaterstanden berekent dan het gekoppelde model (1D).

3. Verklaring afwijkende grondwaterstanden

De grote verschillen die voortkomen uit hoofdstuk 2 kunnen grofweg worden opgedeeld in drie gebieden met verschillende oorzaken die hieronder worden toegelicht.

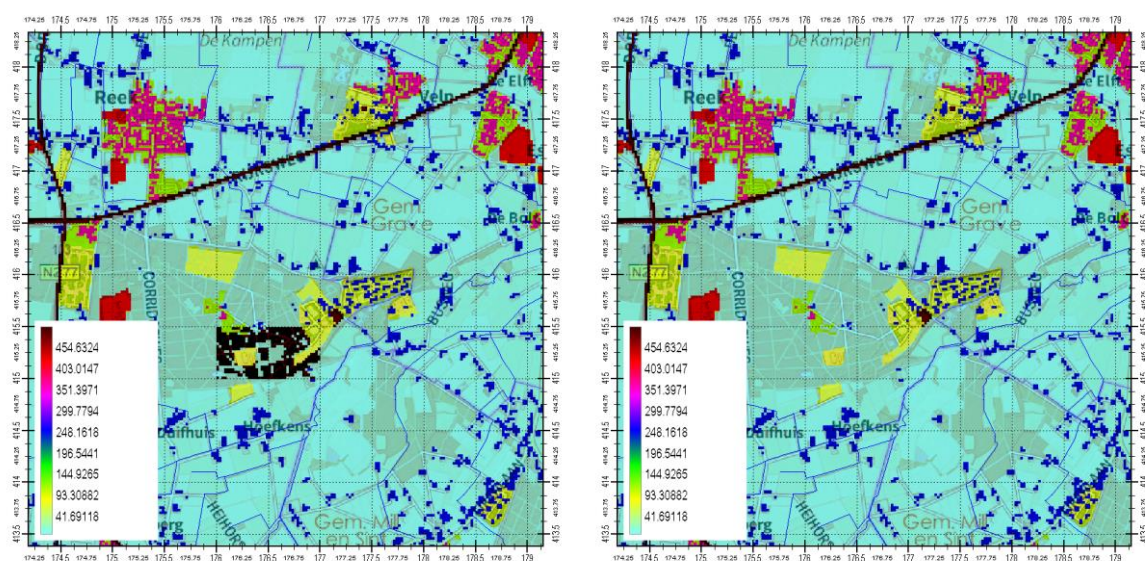
Op de meer subtielere verschillen (die interessant zijn wat betreft de conceptuele ontwikkelingen in deze studie) wordt ingegaan in hoofdstuk 5.

3.1 Grote verschillen in het noorden

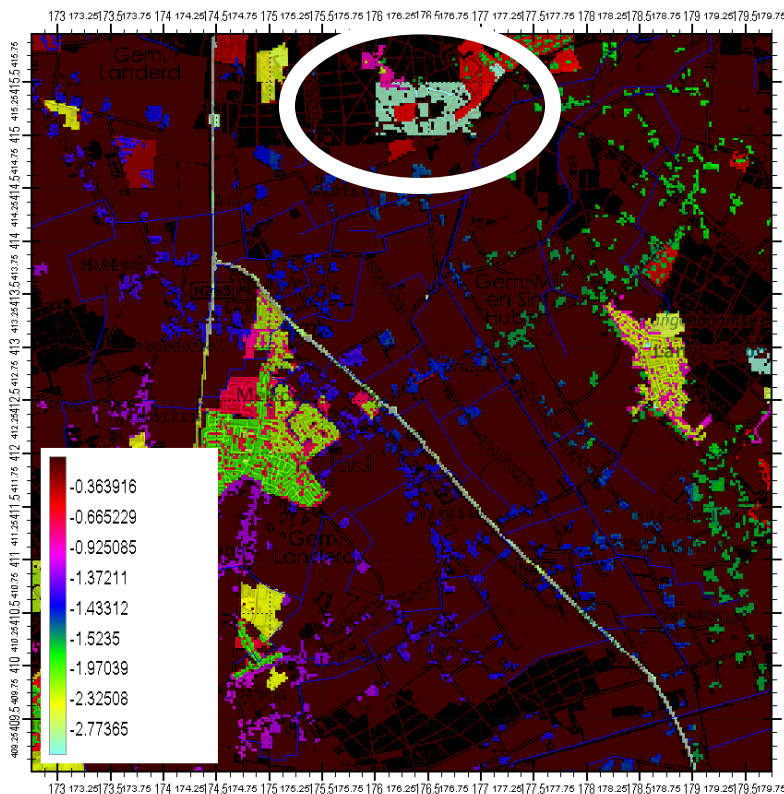
Het gekoppelde model (1D-2D) berekent in het noordelijke deel veel hogere grondwaterstanden dan het conventionele model en het gekoppeld model (1D). De oorzaak van deze hogere grondwaterstanden is een fout in de basisdata, die bij de verschillende modelconcepten anders doorwerkt. De fout zelf komt uit de LHM-basisdata, waarin voor donker naaldbos (onterecht) een verhard oppervlak wordt toegekend van 81%. In Figuur 3.1 is het verhard oppervlak per cel weergegeven. Links zoals het in de basisdata zit, rechts zoals het eigenlijk zou moeten.

Door de verharding komt er op die locaties veel minder neerslag tot grondwateraanvulling. Dit is ook terug te zien in de berekende oppervlakkige afstroming (q_{run}) voor 1 december 2018 in Figuur 3.2. Het gekoppeld model (1D-2D) ondervindt geen last van deze fout omdat het water alsnog via het maaiveld tot infiltratie komt en daardoor (terecht) een hogere grondwaterstand berekent.

Door de toepassing van deze modelcode is de fout in de basisdata aan het licht gekomen. Een nadere analyse heeft laten zien dat ook voor sportvelden (waarschijnlijk onterecht) een verharding van 71% wordt toegekend. Deze fouten in de verhardingsgraad zit mogelijk ook in het LHM, wat in dat geval de nodige invloed heeft op de grondwateraanvulling en de grondwaterstanden.



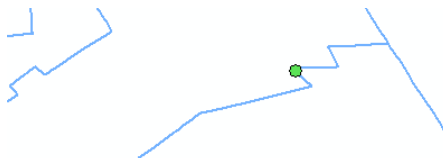
Figuur 3.1: verharding in m2 zoals opgenomen in het model (links) en hoe die zou moeten worden opgenomen (rechts)



Figuur 3.2: berekende grun op 1 december 2018 met donker naaldbos in witte cirkel

3.2 Grote verschillen in het zuiden

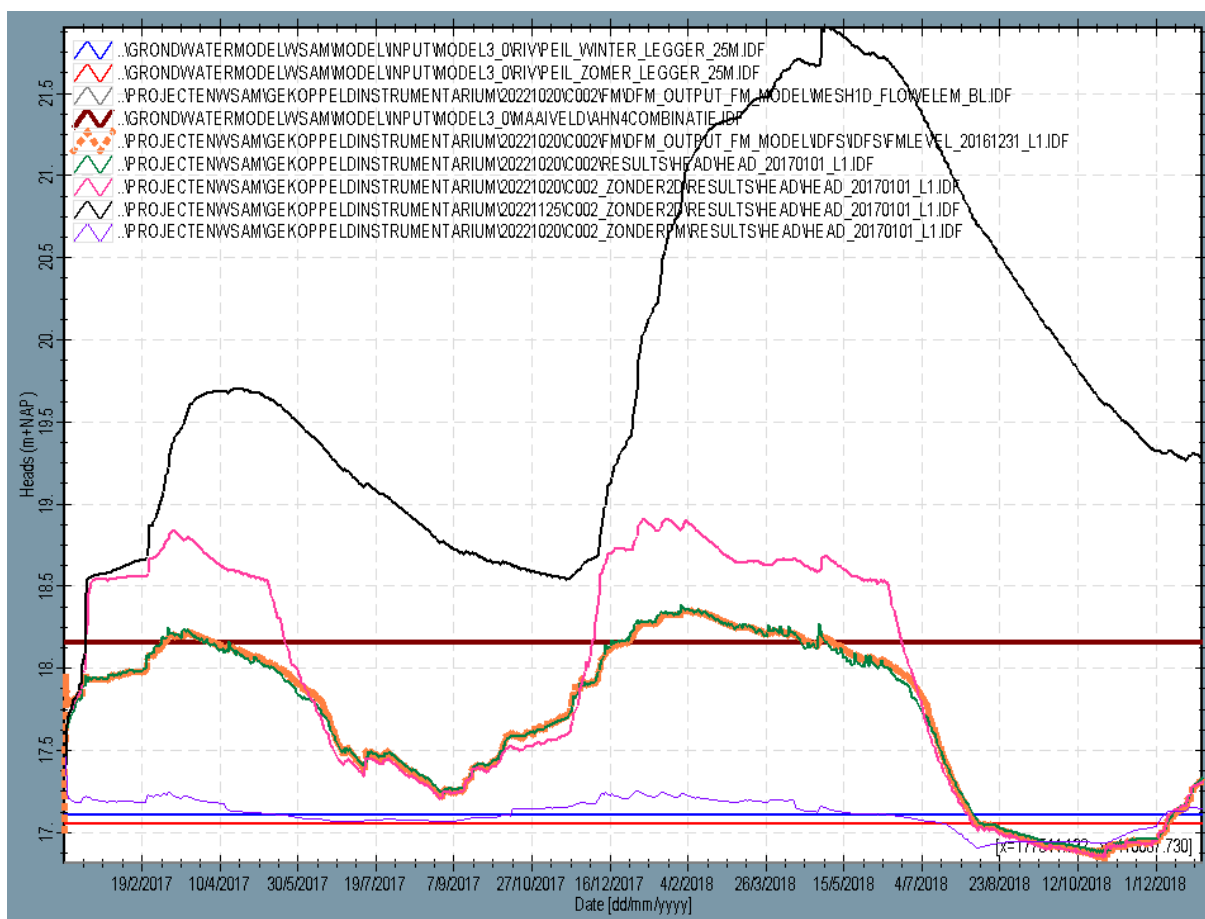
De opvallende vlek in het zuiden wordt veroorzaakt doordat de capaciteit van een gemaal op nul staat in de schematisatie van het oppervlaktewatermodel. Hierdoor ontstaat er een 'muur'. In Figuur 3.3 is de locatie van het gemaal gegeven.



Figuur 3.3: locatie gemaal

Het is interessant te bekijken hoe deze fout in de schematisatie doorwerkt. In beide gekoppelde modellen stijgt het water tot boven maaiveld. In Figuur 3.4 is in oranje het oppervlaktewaterpeil weergegeven van het gekoppelde model (1D-2D). In groen is mooi te zien hoe de bijbehorende grondwaterstand ter plekke van het model meebeweegt. Omdat hier maaiveldstroming over maaiveld plaatsvindt stijgt de waterstand niet veel verder dan het maaiveld.

Voor het gekoppeld model (1D) ligt dat anders. In zwart is de grondwaterstand gegeven. Het D-Flow FM-peil stijgt nog veel verder, tot aan 70 m + NAP. (vanwege de leesbaarheid niet opgenomen in het figuur) Anders dan bij het gekoppelde model (1D-2D) kan het water niet rechtstreeks worden afgevoerd over het maaiveld en blijft het stijgen binnen de insteek van het profiel.

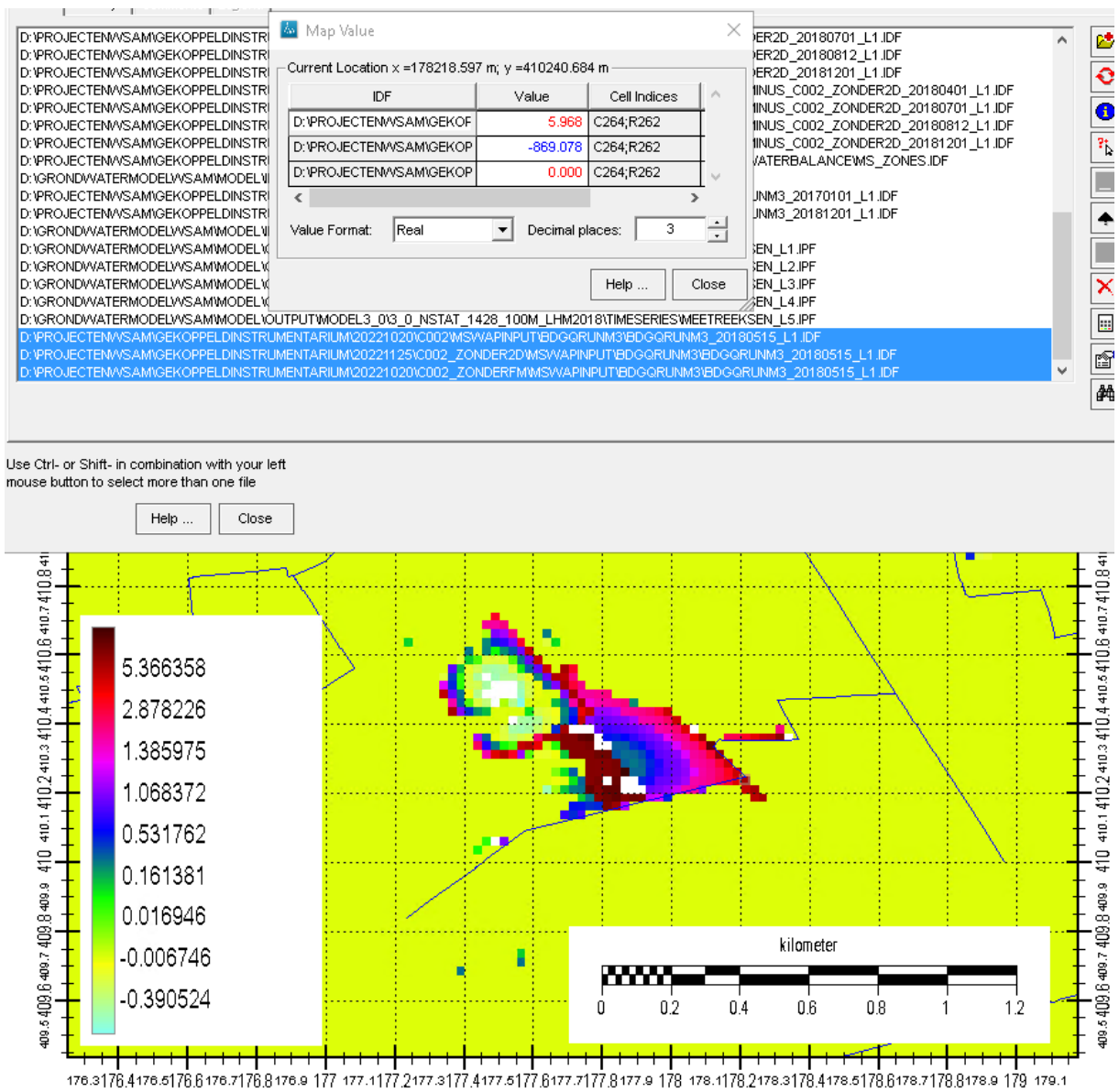


Figuur 3.4: waterstanden nabij de zuidelijke verhoging van de grondwaterstand

De hoge waterstanden werken ook heel anders door in de oppervlakkige afstroming (q_{run}). Bij het gekoppelde model (1D-2D) vindt oppervlakkige toestroming vanuit de waterloop (runon) plaats, dus een positieve q_{run} . Dit is ook wat je mag verwachten indien het water op die plekken vanuit de watergang het maaiveld op stroomt.

In het gekoppeld model (1D) vindt juist een extreem hoge afvoer/ q_{run} plaats ter plekke van de waterloop. Deze q_{run} wordt veroorzaakt door het enorme lokale effect van het ontbreken van de hydraulische aansluiting van het gemaal in D-Flow FM met het benedenstroomse deel van het D-Flow FM-model (Figuur 3.3). Extreem hoge FM-niveaus veroorzaken lokaal extreem hoge MODFLOW-RIV-infiltratiefluxen en extreme q_{run} -waarden. De balans blijft hierdoor sluitend. De extreem hoge lokale infiltratiefluxen van de MODFLOW-rivers is terug te zien in de gesommeerde MODFLOW-MetaSWAP-waterbalans. (hoofdstuk 4)

In Figuur 3.5 is de q_{run} op 15 mei 2018 gegeven van het gekoppelde model (1D-2D), met voor deze tijdstip dus een runon. Ook is voor het gekoppeld model (1D) de hoge waarde van een enkele pixel te zien in het tabelletje.

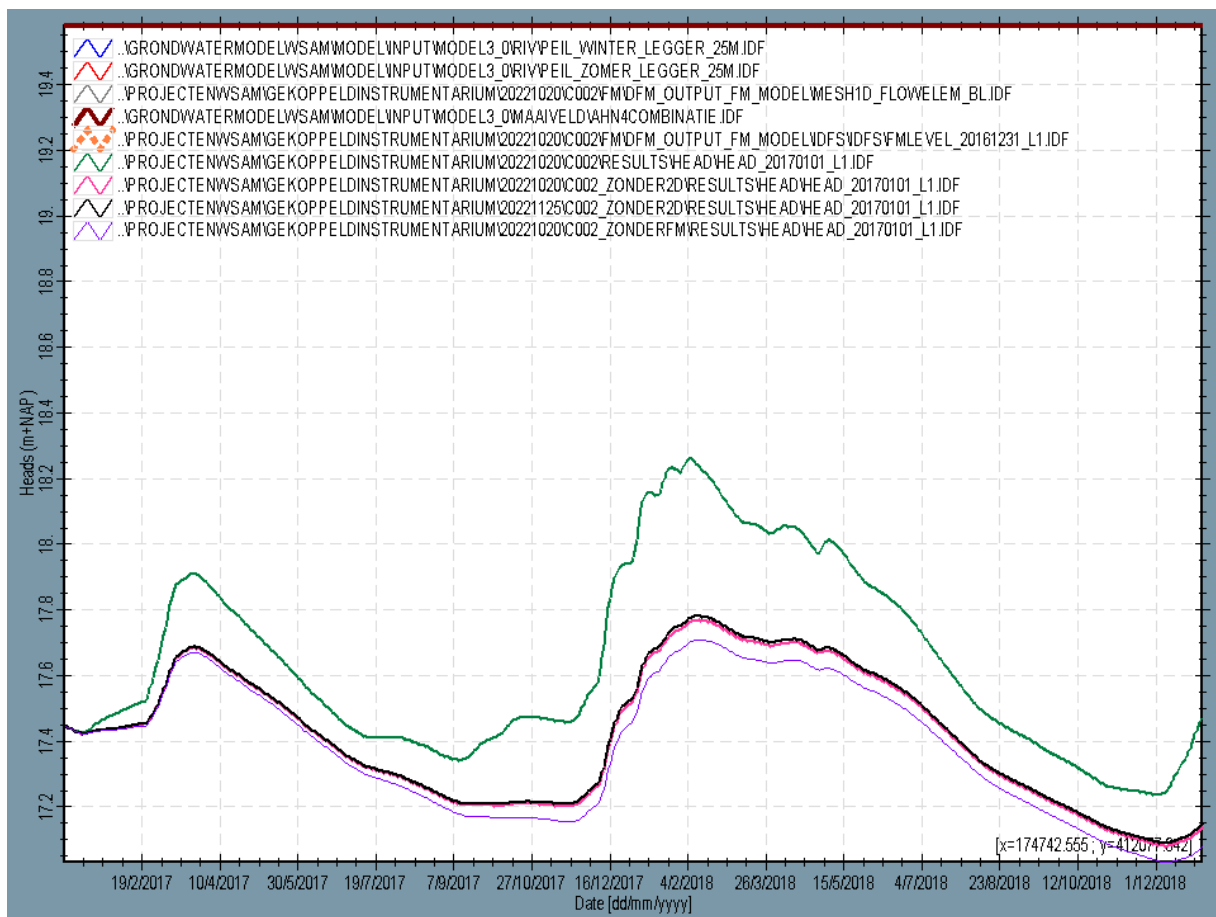


Figuur 3.5: qrun op 15 mei 2018 voor het gekoppelde model (1D-2D) als grid en de drie modellen in tabel voor een voorbeeldpixel in de waterloop.

3.3 Grote verschillen in het oosten en westen

De verschillen in het oosten en westen worden veroorzaakt door bebouwd gebied (Langeboom en Zeeland). De grondwaterstanden in bebouwd gebied zijn hoger in het volledig gekoppelde model, ook terug te zien in Figuur 3.6. De oorzaak van de verschillen is vergelijkbaar met de beschreven effecten in paragraaf 3.1. De oppervlakkige afvoer uit verhard gebied kan hier opnieuw infiltreren. Dit is in stedelijk gebied ongewenst omdat het idee is dat dit water wordt afgevoerd naar de riolering. Indien de grun van verhard gebied rechtstreeks wordt afgevoerd uit het model (denkbeeldig richting een externe RWZI) dan wordt de neerslag gelijk aan de conventionele modellen behandeld en zouden de verschillen niet meer op moeten treden.

Intermezzo Bennie Minnema: een 2D-cel van D-Flow FM maakt geen onderscheid tussen verhard en niet-verhard. Het gevolg is dat ponding water op een D-Flow FM 2D-cel terugverdeeld wordt over de met die 2D-cel gekoppelde MetaSWAP-svats, dus óók met de svat van het niet-verharde gedeelte van die stedelijke cel, waardoor er onbedoeld herinfiltratie van ponding water kan plaatsvinden, dat 'afkomstig' is van verhard oppervlak. Een quick fix zou kunnen bestaan uit inderdaad de ponding fluxen van de 'verharde' svats apart te behandelen, b.v. analoog aan hoe nu de MetaSWAP ponding fluxen gekoppeld zijn in het model zonder 2D-maaiveldstroming, die svats zijn nu ook rechtstreeks aan de dichtstbijzijnde D-Flow FM 1D-nodes gekoppeld; daarmee zou dat ponding water niet meer beschikbaar zijn voor herinfiltratie. Ik weet niet zeker of het huidige prototype toestaat exchangeTypes 'deltaPonding' (voor een model met een 2D D-Flow FM netwerk) en 'mswRunoff' (voor een model zonder een 2D-D-Flow FM netwerk) tegelijk aan te zetten, dat moet ik checken.

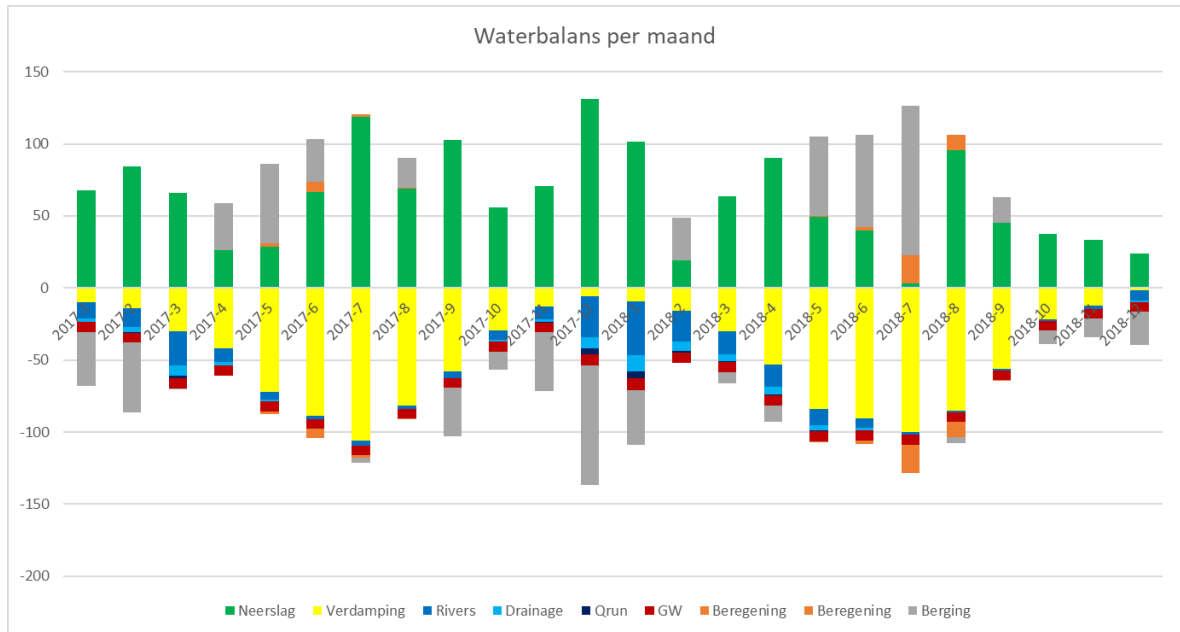


Figuur 3.6: grondwaterstand onder Zeeland

4. Waterbalans

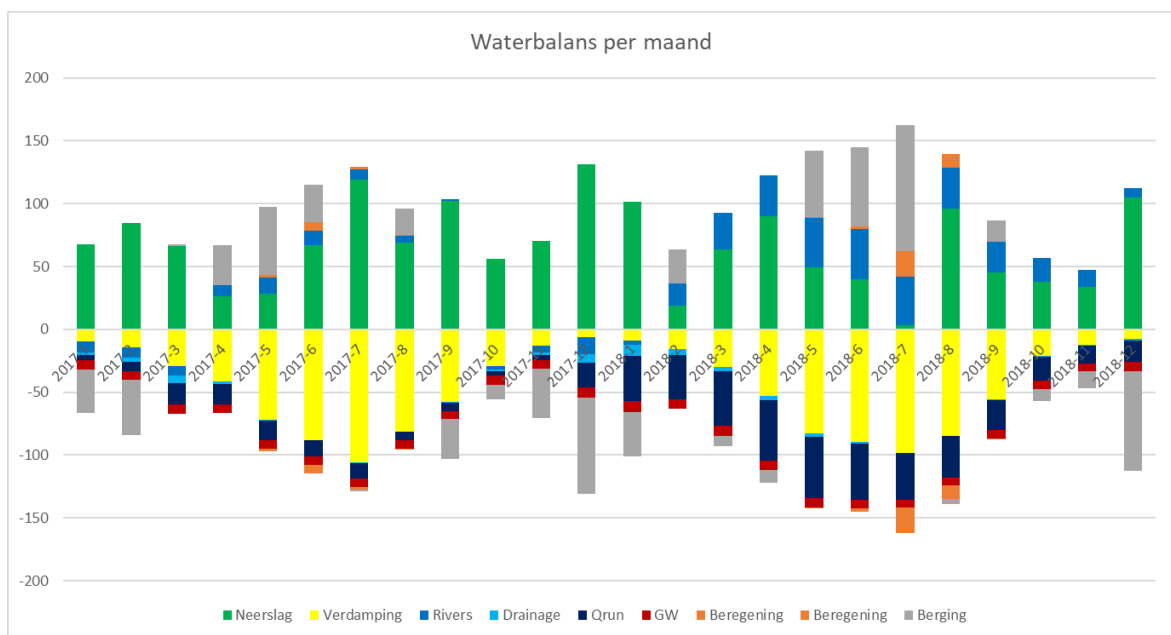
4.1 Totale waterbalans per maand

Voor de verschillende sommen zijn waterbalansen opgesteld per maand. Voor het gekoppelde model (1D-2D) is deze gegeven in Figuur 4.1.



Figuur 4.1: waterbalans per maand voor het gekoppelde model (1D-2D)

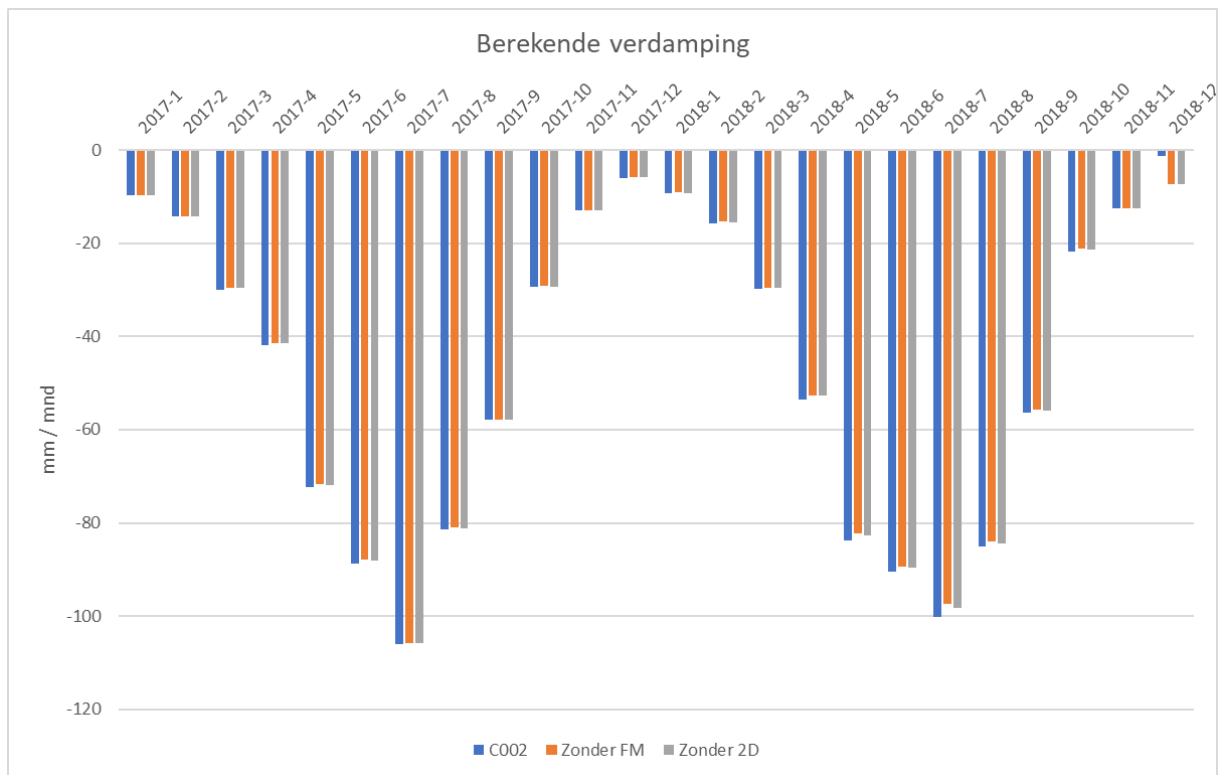
In Figuur 4.2 is de waterbalans gegeven met het gekoppelde model (1D). Hierin komt de hele hoge grun en de river-infiltratieflux terug, waarover eerder is gesproken in paragraaf 3.2.



Figuur 4.2: waterbalans per maand voor het gekoppelde model (1D)

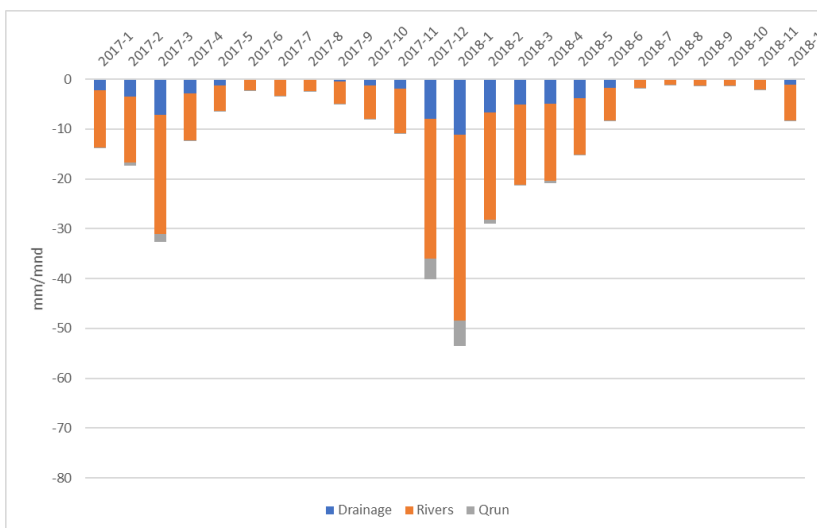
4.2 Verdamping voor de varianten

Er worden vrijwel geen verschillen berekend in verdamping. (Figuur 4.3) Het gekoppeld model (1D-2D) geeft soms iets hogere verdamping, wat toe te schrijven is aan de hoger berekende grondwaterstanden.

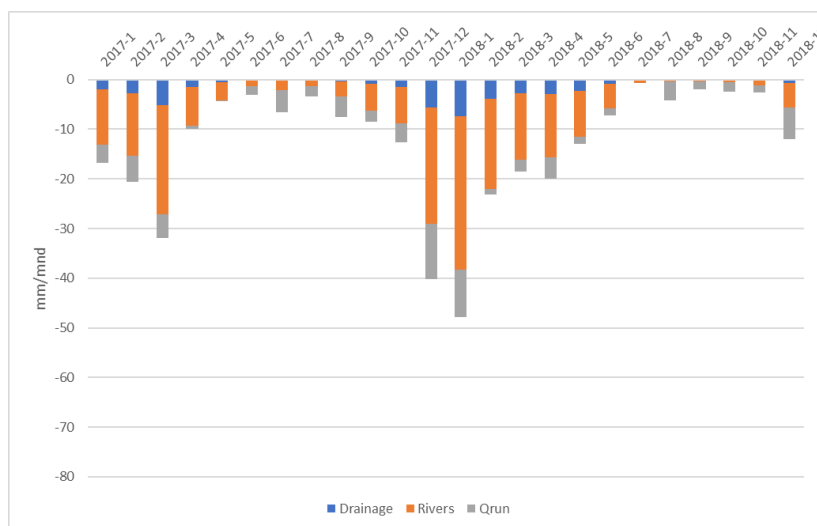


Figuur 4.3: berekende verdamping (ETact) voor de drie modellen per maand. C002 (blauw) is het gekoppelde model (1D-2D), oranje is het conventionele model en grijs het gekoppelde model (1D)

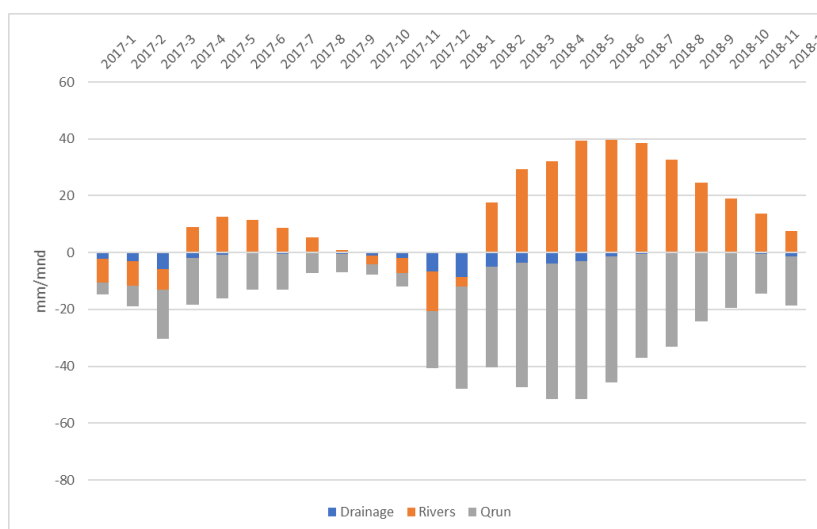
4.3 Afvoer voor de varianten



Het verschil in afvoer tussen het conventionele model en het gekoppelde (1D-2D) is relatief klein (Figuur 4.4.) Te zien is wel dat met name in droge periode de oppervlakkige afstroming van het gekoppelde model kleiner is, wat deels komt doordat er in het stedelijk gebied minder maaiveldafvoer plaatsvindt (waarvan dus de vraag is of dat gewenst is). In nattere maanden is de afvoer van het conventionele model wat hoger vanuit de drains en rivers.

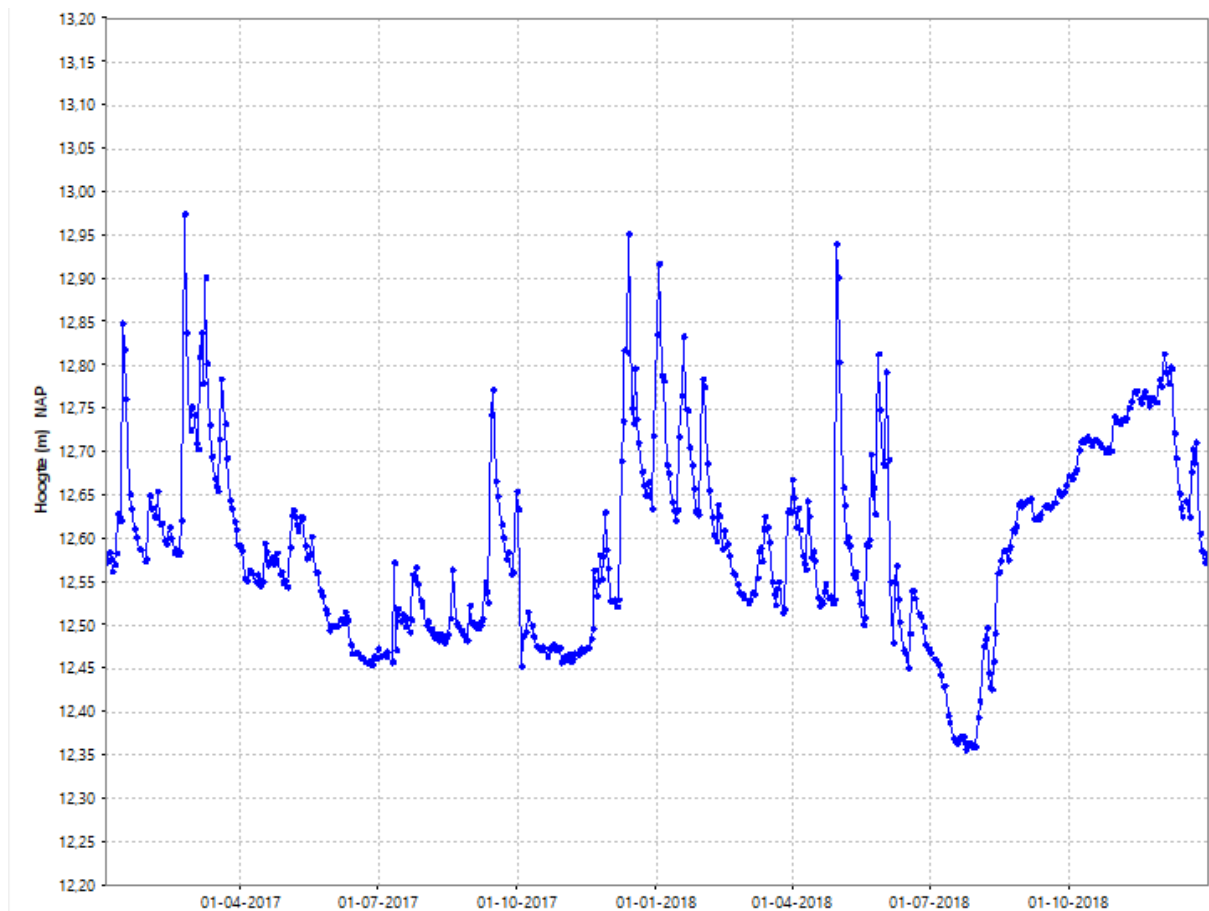


In de afvoer van het gekoppeld model (1D) is door de foute koppeling juist een hele hoge grun te zien. De river-afvoer is juist omgeslagen naar een infiltratie richting grondwater. Indien de fouten in de basisschematisatie worden opgelost zullen de effecten niet meer optreden.

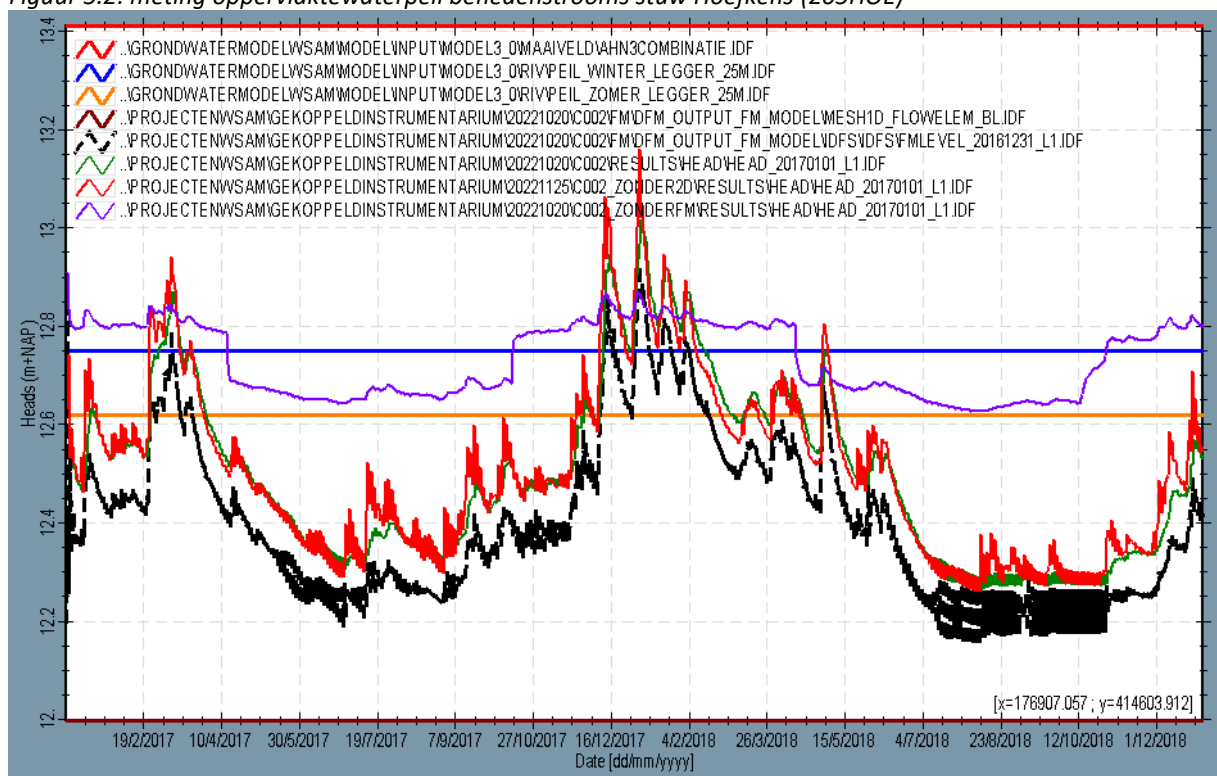


Figuur 4.4: afvoer per term. Boven conventioneel, midden volledig gekoppeld (1D-2D) en onder het gekoppelde model zonder 2D-maaiveldstroming

5.1 Benedenstrooms stuw Hoefkens

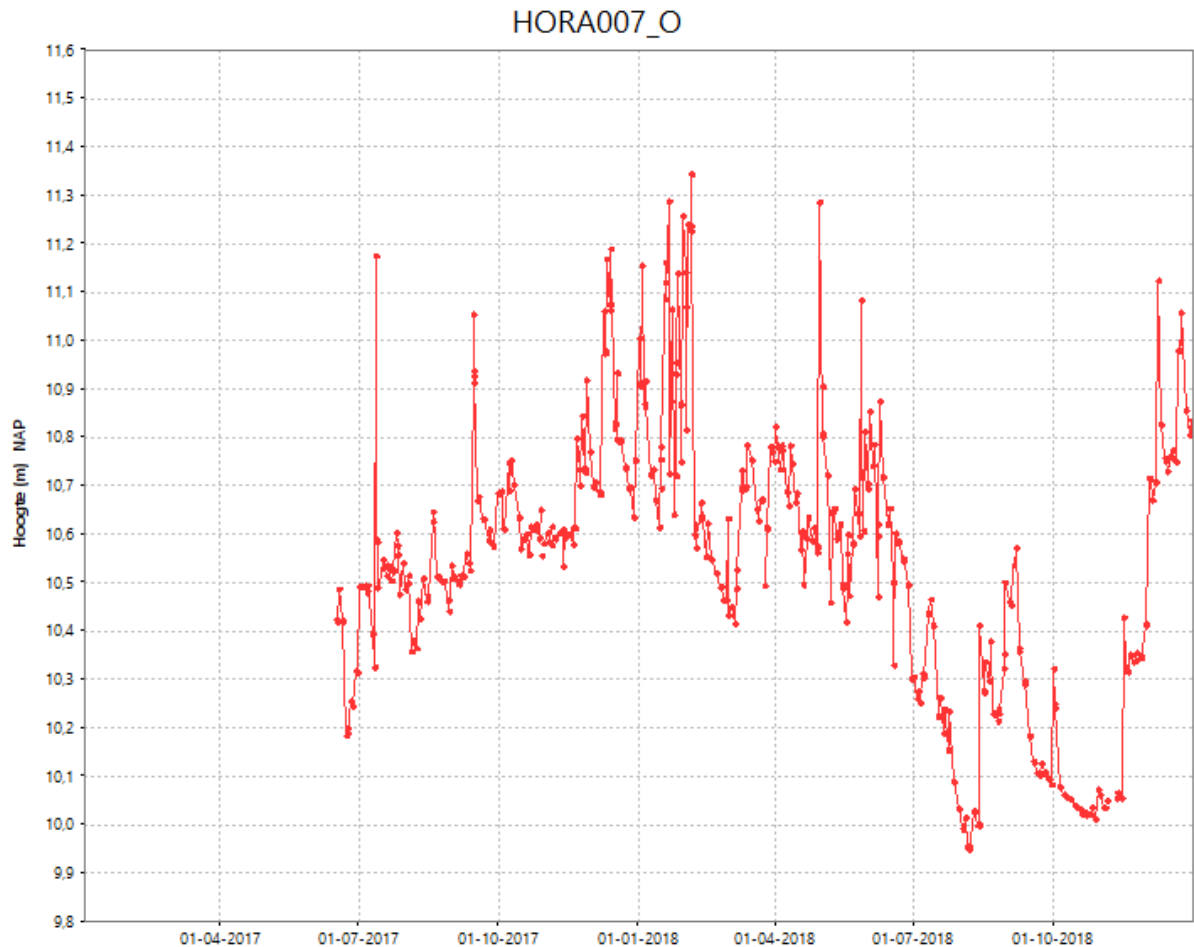


Figuur 5.2: meting oppervlaktewaterpeil benedenstrooms stuw Hoefkens (205HOE)

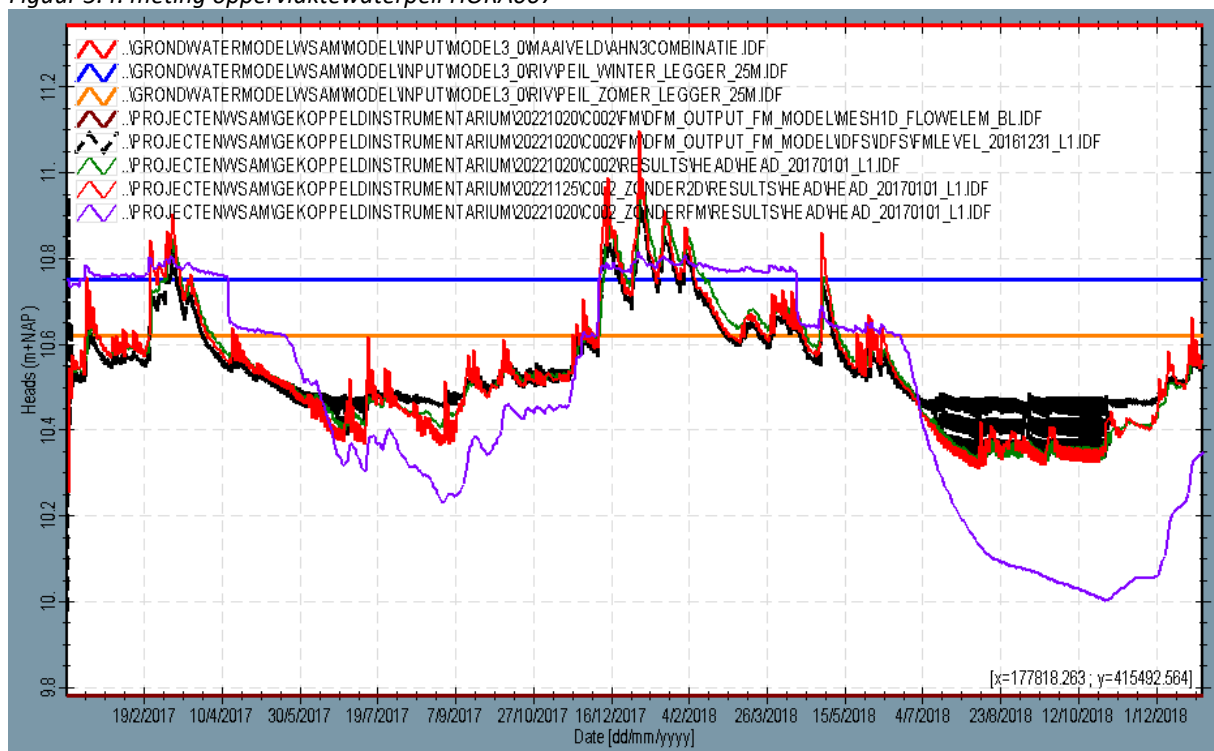


Figuur 5.3: vergelijk grond- en oppervlaktewater voor de diverse modellen bij Hoefkens

5.2 HORA007

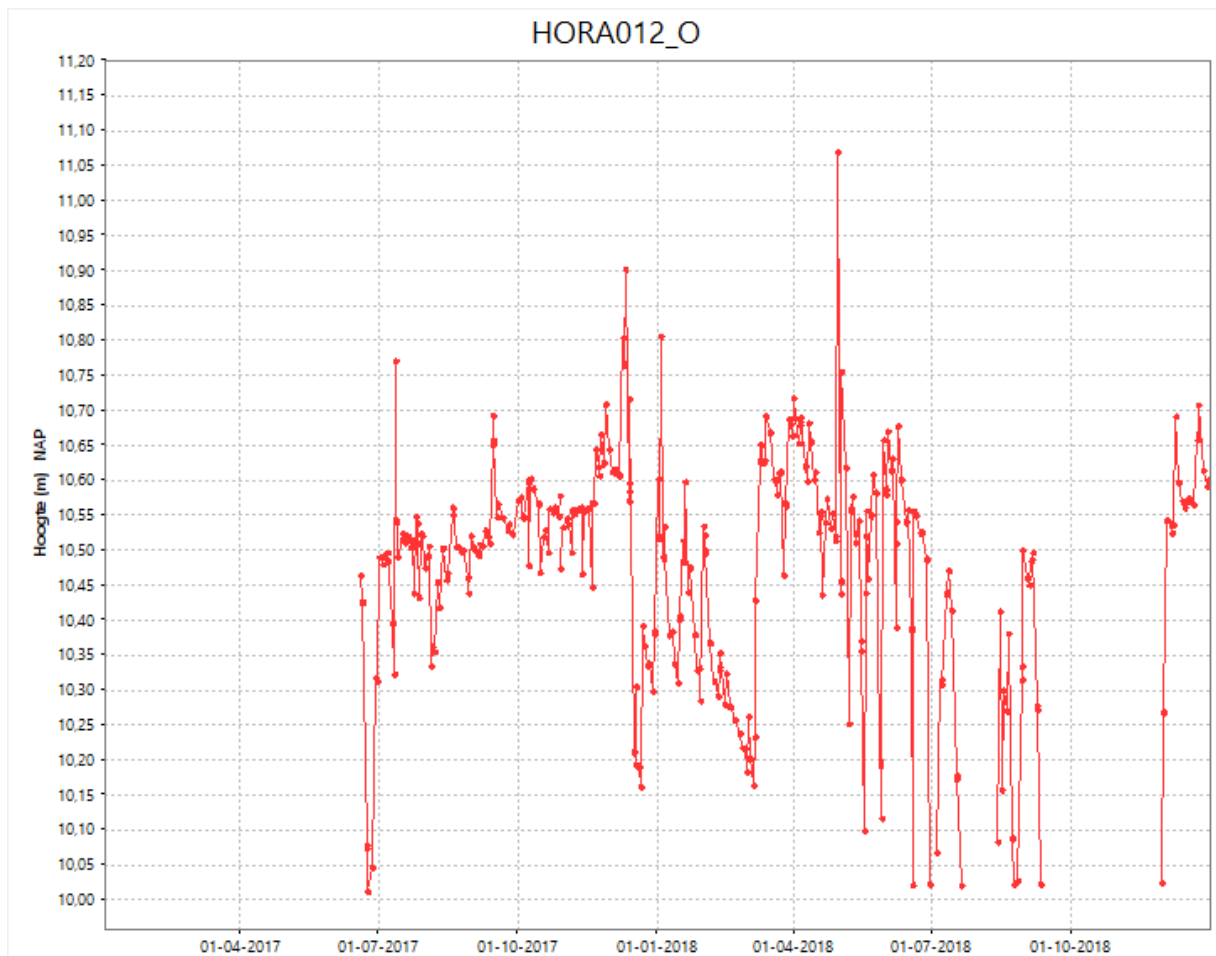


Figuur 5.4: meting oppervlaktewaterpeil HORA007

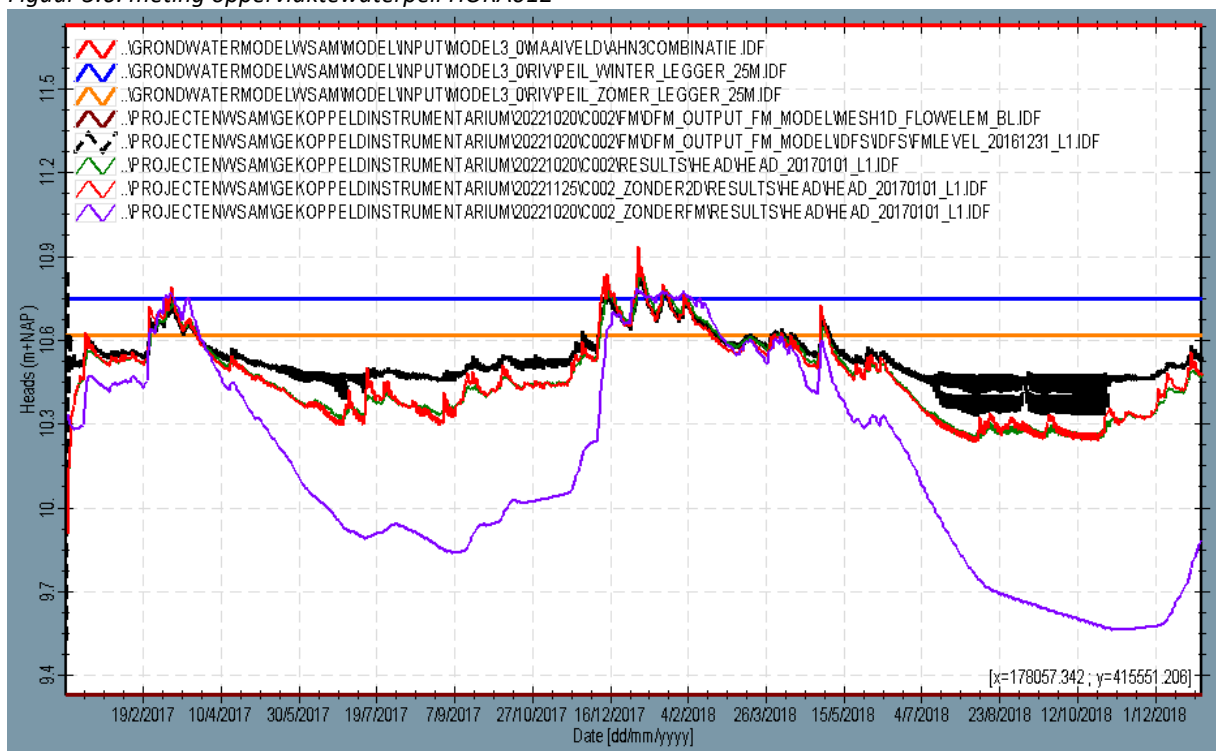


Figuur 5.5: vergelijk grond- en oppervlaktewater voor de diverse modellen bij HORA007

5.3 HORA012

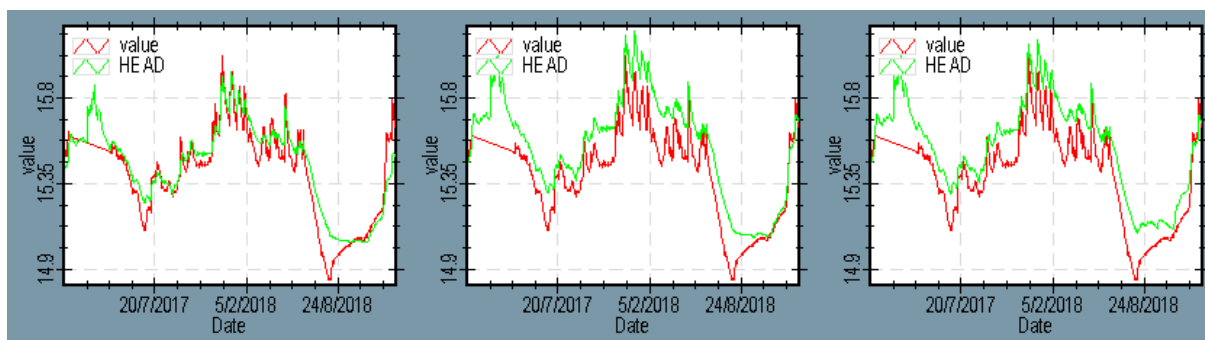


Figuur 5.6: meting oppervlaktewaterpeil HORA012

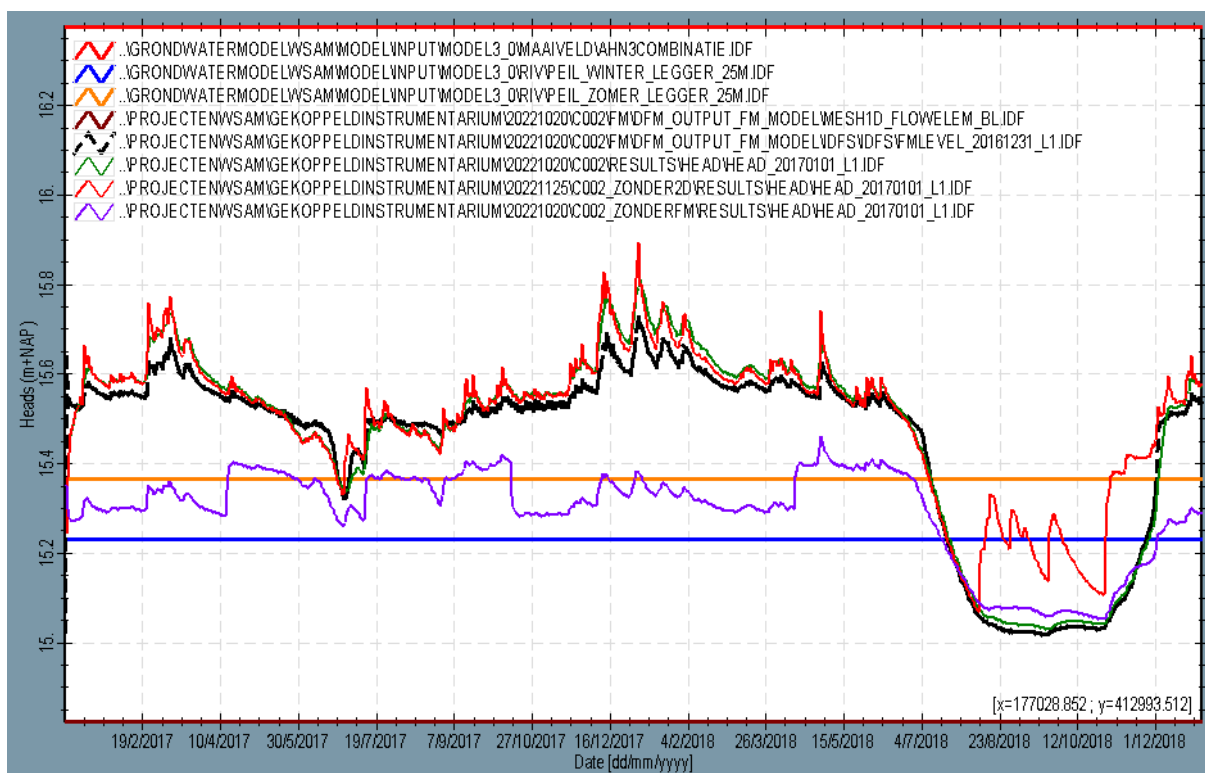


Figuur 5.7: vergelijk grond- en oppervlaktewater voor de diverse modellen bij HORA012

5.4 B45F0666



Figuur 5.8: vergelijk gemeten en berekende grondwaterstand. Links conventioneel, midden gekoppeld (1D-2D) en rechts gekoppeld (1D). Groen is berekend, rood is gemeten

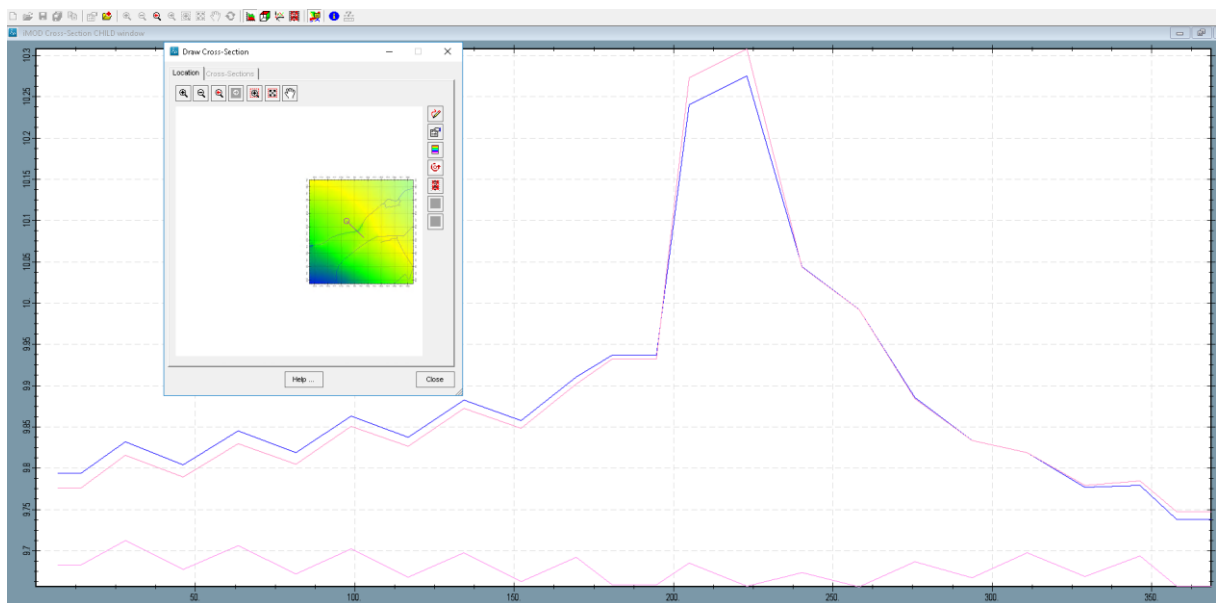


Figuur 5.9: vergelijk grond- en oppervlaktewater voor de diverse modellen nabij B45F0666

5.5 Bevindingen bij grafieken

Hieronder een aantal zaken die opvalt bij de grafieken uit dit hoofdstuk:

- HORA007 (Figuur 5.5): In het oppervlaktewatermodel blijft het peil in juli-dec 2018 hangen rond de 10,4 m + NAP. In het conventionele model wordt een riverpeil gehandhaafd van 10,6 m + NAP. De meting is lager dan het peil in het oppervlaktewatermodel. In gekoppelde modellen is het oppervlaktewaterpeil dus lager, maar de grondwaterstand hoger dan in conventionele model.
- Om meer grip te krijgen op de verschillen in grondwaterstand is die op 14 oktober 2018 vergeleken met een lengteprofiel over de benedenstrooms gelegen watergang nabij HORA007 en HORA012. Hieruit blijkt dat de gekoppelde modellen ter plekke van de watergang zeer hoge grondwaterstanden laten zien. Hier vindt dus infiltratie plaats terwijl hier in droge tijden zeer weinig water beschikbaar is. Is dit wel te verantwoorden? Zouden de grondwaterstanden hier niet net als het conventionele model verder weg moeten zakken?



Figuur 5.10: doorsnede grondwaterstand watergang op 14 oktober 2018

- Bij het verder bovenstrooms gelegen meetpunt Hoefkens blijft de grondwaterstand van het conventionele model juist dichtbij het zomer- en winterpeil en zakt juist het peil van de gekoppelde modellen met de grondwaterstanden verder weg.
- In het laatste voorbeeld (Figuur 5.9) voor het helemaal bovenstrooms gelegen meetpunt B45F0666 geeft de grondwaterstand van het gekoppeld model (1D) in de droge periode van 2018 bijzondere resultaten.

6. Conclusies en aandachtspunten

Hieronder een opsomming van de conclusies en de aandachtspunten.

- Verschillen tussen modellen worden deels veroorzaakt door fouten in de schematisatie. Het interessante is dat deze fouten anders doorwerken voor de verschillende modelconcepten. De verschillen in modelresultaten zijn dus wel te verklaren.
- Door de analyse van de uitkomsten is een fout gevonden in de basisdata van het verharde oppervlak van donker naaldbos en sportvelden. Dit dient opgelost te worden in ons regionale model. Ook voor het LHM van belang te bekijken wat de invloed is.
- De waterbalansen zijn sluitend voor de volledig gekoppelde modellen. Door de doorwerking van de fout in de schematisering is het resultaat van de waterbalans van het gekoppelde model (1D) echter niet te vergelijken met de andere modellen.
- Door de mogelijkheid van infiltratie van runoff werkt de verharding in stedelijk gebied anders door, wat doorwerkt in de berekende grondwaterstanden. Door de grun van verhard oppervlak af te handelen zoals dit ook wordt toegepast in de conventionele modellen is dit waarschijnlijk op te lossen.
- Er zijn weinig plekken met water aan maaiveld, waardoor het rekenen met 2D-maaiveldstroming waarschijnlijk weinig toevoegt. Om dit echt goed te checken zouden wel eerst de aandachtspunten met de schematisatie en bebouwd gebied opgelost moeten worden. Daarnaast kunnen vernattingsmaatregelen natuurlijk wel leiden tot extra maaiveldafvoer.
- Het gekoppeld rekenen doet waarschijnlijk wel meer recht aan de werkelijkheid, zeker bij droogvallende sloten en tijdens piekafvoeren. Er dient nog wel verder inzicht verkregen te worden in de afwijkende grondwaterstanden rond de waterlopen. Opmerkelijk is dat de grondwaterstand in 2018 ter plekke van de waterloop in de gekoppelde modellen niet wegzakt.
- Het is interessant om te toetsen of effectberekeningen anders doorwerken in de verschillende modellen. Op zich is het natuurlijk wel te doen om in een bovenstroomse watergang het peil/de klep (bijvoorbeeld 105ABS) op te zetten met 30 cm en dan te checken wat dit betekent voor de GLG en GHG.
- Bij de vergelijking met metingen moet niet vergeten worden dat het conventionele model is gekalibreerd en dat de invoergegevens van het conventionele model onveranderd zijn overgenomen in de gekoppelde modellen. In hoeverre voor de gekoppelde modellen (welke) parameters moeten worden aangepast en of de gekoppelde modellen opnieuw moeten worden gekalibreerd moet nog worden verkend.
- Indien een nieuwe rekenslag wordt uitgevoerd dienen in ieder geval de volgende verbeteringen doorgevoerd te worden:
 1. Goede verhardingskaart zonder verharding donker naaldbos en sportvelden
 2. Afhandelen verharding stedelijk gebied zoals in conventioneel model
 3. Gemalen een hoge afvoercapaciteit geven zodat ze niet opstuwen