

RAPPORT

**Rapportage geohydrologische
modellering Neder-Betuwe**

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: BF6777WATRP2001291251WM

Status: Definitief/P1.00

Datum: 29-1-2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Rapportage geohydrologische modellering Neder-Betuwe

Ondertitel: Rapportage geohydrologische modellering Neder-Betuwe

Referentie: BF6777WATRP2001291251WM

Status: P1.00/Definitief

Datum: 29-1-2020

Projectnummer: BF6777

Auteur(s): Eline Steinbusch en Wouter Engel

Opgesteld door: Eline Steinbusch

Gecontroleerd door: Ben van der Wal

Datum/paraaf: 29-01-2020

Goedgekeurd door: Wouter Engel

Datum/paraaf: 29-01-2020

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Waterveiligheidsopgave	1
1.2	Doel rapportage	1
1.3	Leeswijzer	2
1.4	Detailniveau	2
2	Hydrologische systeembeschrijving dijktraject Neder-Betuwe	4
2.1	Dijktraject Waalbandijk Neder-Betuwe	4
2.1.1	Hiensche Uiterwaarden	5
2.1.2	Ochtsche Buitenpolder	7
2.1.3	Willemspolder	8
2.2	Beschouwde rivierwaterstanden op de Waal	8
2.2.1	GLG en Q2200 situaties	8
2.2.2	Hoogwater januari 2018	9
2.2.3	MHW-situaties op de Waal	10
3	Modelverbeteringen in MORIA 4.5	13
3.1	Uitgangspunten	13
3.2	Hoogwater kalibratie	13
3.3	Doorgevoerde modelverbeteringen	14
3.3.1	De weerstand van de deklaag	14
3.3.2	Schematisatie plassen	15
3.3.3	Horizontale doorlatendheid eerste watervoerend pakket	16
3.3.4	Infiltratie van de Waal	16
3.3.5	Berging coëfficiënt	17
3.3.6	Wielen	17
3.3.7	Elastische berging	18
3.3.8	Conductance watergangen	18
4	Resultaten kalibratie	20
5	Validatie en resultaten GLG en Q2200 situaties	22
6	Resultaten MHW-situaties	30
7	Conclusie	31
8	Referenties	32

1 Inleiding

Dit rapport maakt onderdeel uit van het project dijkversterking Waalbandijk Neder-Betuwe. De Waalbandijk in de gemeente Neder-Betuwe is 20 km lang en loopt van de Prins Bernhardsluizen bij het Amsterdam-Rijnkanaal tot aan Wolferen nabij Andelst. Het project is in 2016 gestart en is naar verwachting eind 2024 afgerond.

1.1 Waterveiligheidsopgave

Het gehele dijktraject is geprogrammeerd in het kader van het Hoogwater Beschermingsprogramma (HWBP). Dit is in twee stappen gebeurd. In de derde veiligheidstoetsingsronde is van de 20,2 km ca. 11,9 km afgekeurd op de faalmechanismen: hoogte, macrostabiliteit binnenwaarts, macrostabiliteit buitenwaarts en piping. Daarnaast is ca. 300 m afgekeurd op het faalmechanisme stabiliteit bekleding. Begin 2017 is de Waterwet gewijzigd en is het normtraject 43-5 beoordeeld volgens het 'Algemeen Filter' van het WBI2017 en valt in de veiligheids categorie D. Dit betekent dat de overstromingskans veel groter is dan de signaleringswaarde en de ondergrens waarna het gehele dijktraject is geprogrammeerd.

1.2 Doel rapportage

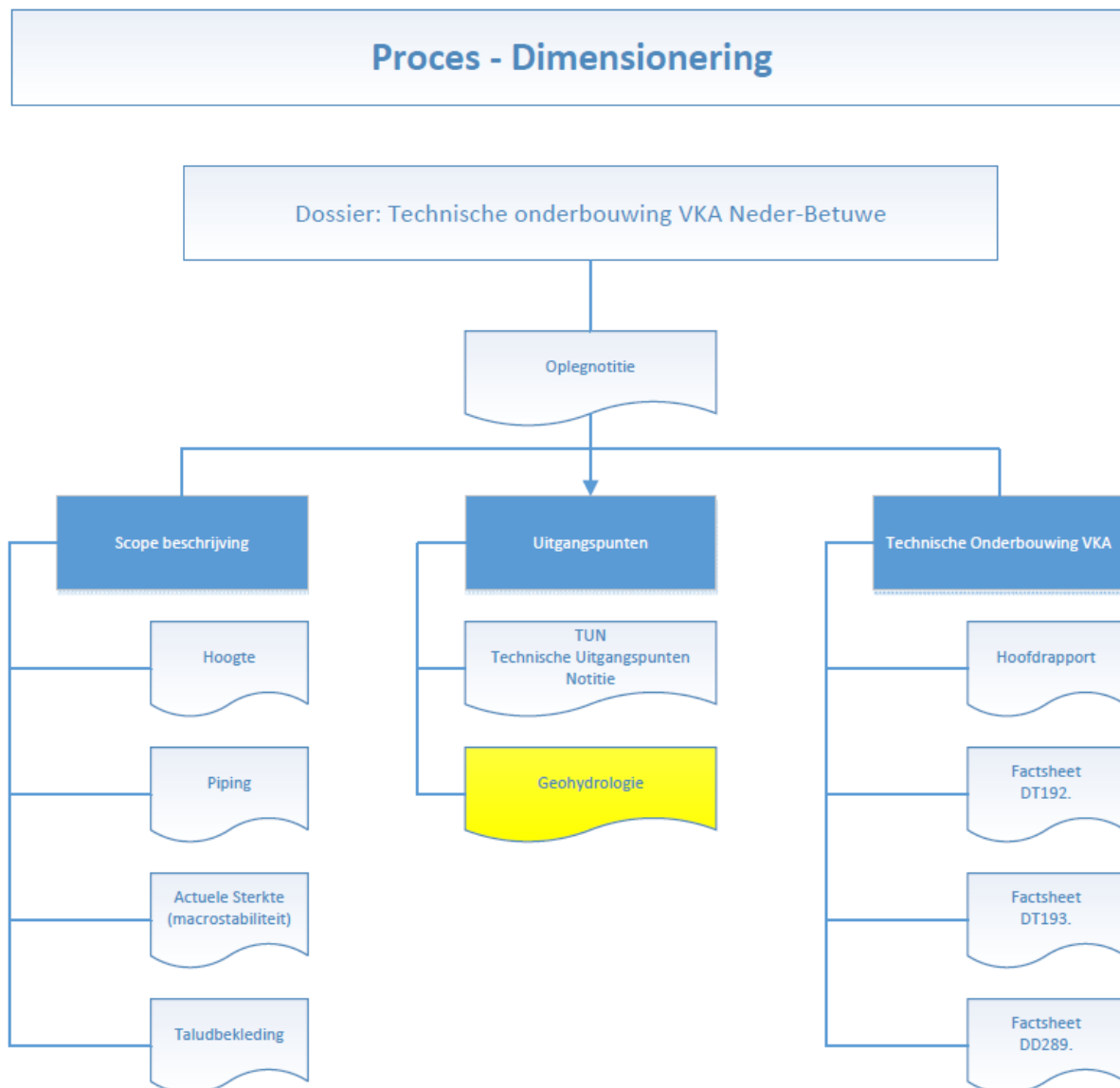
Voor het uitwerken van het Voorkeursalternatief, de ruimtelijke inpassing en het projectplan Waterwet zijn geohydrologische inzichten vereist. Voor deze fase zijn geohydrologische inzichten nodig tijdens maatgevend hoogwater (MHW). Deze inzichten worden gebruikt voor piping en macrostabiliteit berekeningen. Met behulp van deze berekeningen wordt het nieuwe dijkontwerp gedimensioneerd. Om deze inzichten ruimtelijk te verkrijgen is een geohydrologisch model nodig. Een van de voordelen van het gebruik van een model is dat ook waar geen metingen beschikbaar zijn een stijghoogte berekend wordt. Met het model wordt rekening gehouden met de lokale aspecten langs de dijk die de stijghoogte beïnvloeden.

Het doel van deze fase is het bepalen van de stijghoogten tijdens 4 situaties. Deze 4 situaties zijn:

- MHW2075.
- MHW2125.
- Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG).
- Waterstand op de rivier bij een afvoer van 2200 m³/s bij Lobith (voor de dimensionering van de dijk is dit gedefinieerd als de gemiddelde rivierwaterstand, hierna Q2200 genoemd).

Hiervoor is een goed functionerend geohydrologisch model benodigd. Als basis voor de modellering wordt gebruik gemaakt van het regionale model MORIA. Het model wordt eerst waar nodig aangepast en gekalibreerd op een hoogwatersituatie. Vervolgens wordt met het gekalibreerde model de stijghoogten voor de vier genoemde situaties bepaald. Beide stappen worden uiteengezet in de voorliggende rapportage.

Dit rapport maakt onderdeel uit van het dossier Technische onderbouwing VKA Neder-Betuwe. Dit is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Plek rapportage in Dossier Technische onderbouwing VKA Neder-Betuwe.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het watersysteem en het hoogwater op de Waal beschreven. Dit is belangrijke gebiedskennis om tot een goed functionerend geohydrologisch model te komen. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten, kalibratie en modelverbeteringen benoemd. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de huidige situaties gepresenteerd en is de kwaliteit van het model beschreven. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten tijdens een maatgevend hoogwater gepresenteerd. De conclusies en de bruikbaarheid van het geohydrologisch model zijn beschreven in hoofdstuk 6.

1.4 Detailniveau

De verkenningsfase is bedoeld om uit alle mogelijke oplossingen per dijksectie een voorkeursalternatief te kiezen. Het detailniveau van de oplossingen in de verkenningsfase dient vooral aan te sluiten bij de vraag of een bepaalde oplossing op een bepaalde locatie leidt tot een situatie die voldoet aan de eisen ten aanzien van waterveiligheid en waarden, zoals landschap, natuur en archeologie, behouden blijven. Voor de

geohydrologie is een aanpak gekozen, die robuust en toereikend is voor de macrostabiliteit en piping berekeningen én de effectbepaling van ingrepen op het (geo-)hydrologisch systeem. Voor het bepalen van de stijghoogten tijdens MHW is gebruikgemaakt van MORIA.

2 Hydrologische systeembeschrijving dijktraject Neder-Betuwe

Het buitendijkse riviersysteem wordt in dit hoofdstuk toegelicht. Als eerste zijn de uiterwaarden beschreven en als tweede de beschouwde rivierwaterstanden op de Waal.

2.1 Dijktraject Waalbandijk Neder-Betuwe

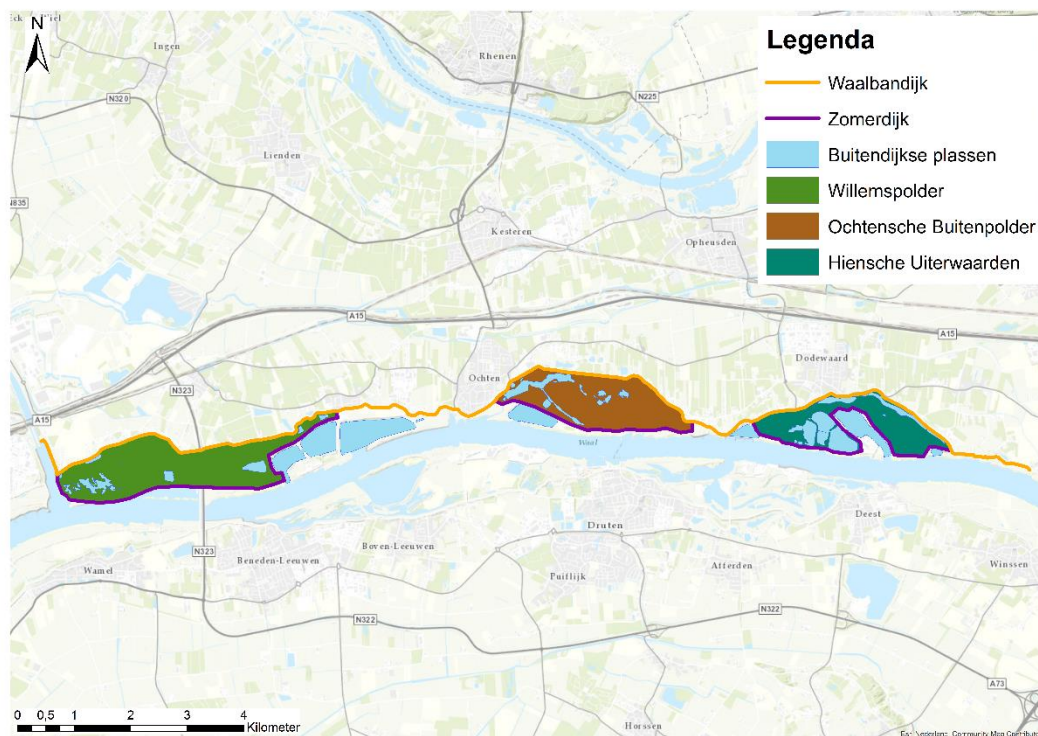
Het dijktraject tussen Wolferen en Tiel dat in dit project wordt beschouwd, is onderdeel van de Waalbandijk, gelegen in de gemeente Neder-Betuwe (Figuur 2). Langs het gehele dijktraject zijn peilbuizen geplaatst, waarin de grondwaterstand en de stijghoogten gemeten worden. Figuur 2 toont alle peilbuizen die de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket meten. De peilbuizen zijn geplaatst in 13¹ meetraaien, deze meetraaien staan loodrecht op de dijk en zowel de stijghoogten binnendijks en buitendijks worden er gemeten. De metingen in de meetraaien geven een goed beeld van het stijghoogteverloop onder de dijk.



Figuur 2: Dijktraject van het Neder-Betuwe dijkversterkingsproject, alle peilbuizen in het eerste watervoerend pakket en de extent van het grondwatermodel.

Langs het dijktraject zijn de uiterwaarden te verdelen in verschillende gebieden, die elk anders reageren op de rivierwaterstand. Het gaat om de gebieden de Hiensche Uiterwaarden, de Ochtensche Buitenpolder en de Willemspolder. In Figuur 3 zijn de locaties van deze gebieden te zien. Dit zijn gebieden die achter een zomerkade liggen, waardoor de waterstanden in deze gebieden niet altijd met de rivierwaterstand meebewegen. Verder liggen er een aantal plassen in deze gebieden, waarvan de meeste de deklaag doorsnijden. Het betreft zandwinplassen of oude wielen. De deklaag is er uitgegraven of weggespoeld. Hierdoor staan de plassen in direct contact met het eerste watervoerende pakket. De drie gebieden worden in onderstaande paragrafen uitgebreider besproken.

¹ Er waren 13 meetraaien actief tijdens het hoogwater van januari 2018.

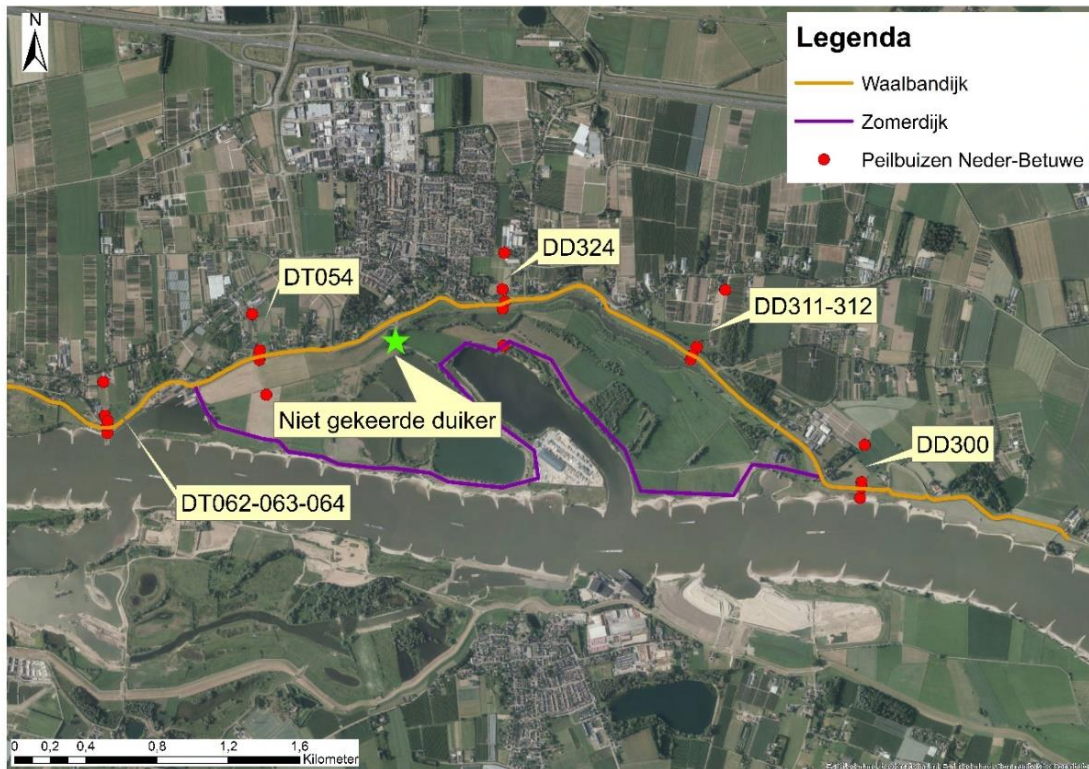


Figuur 3: De drie uiterwaardgebieden en alle buitendijkse plassen.

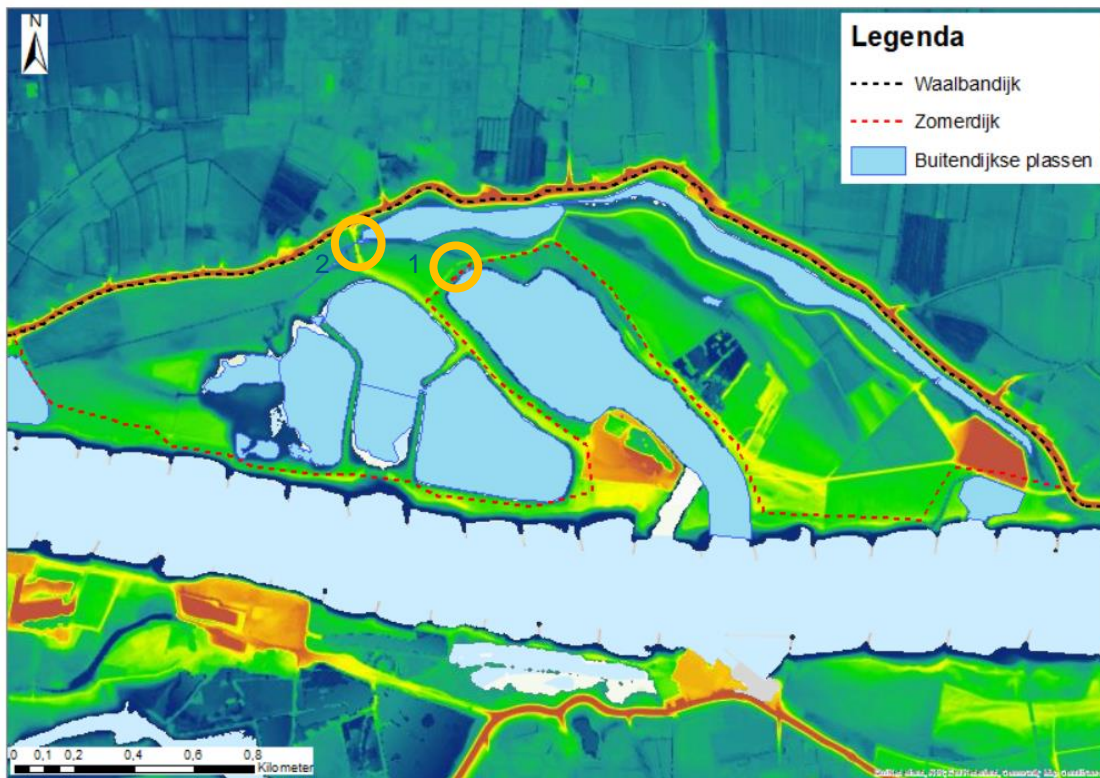
2.1.1 Hiensche Uiterwaarden

De Hiensche Uiterwaarden is de meest bovenstrooms gelegen uiterwaard, zie Figuur 3. In Figuur 4 is te zien dat er een zomerkade aanwezig is. Deze zomerkade heeft geen status, wat inhoudt dat de zomerkade bij het waterschap niet als zomerkade geregistreerd staat en niet (meer) onderhouden wordt door het waterschap¹. De zomerkade is duidelijk zichtbaar op het AHN in Figuur 5, net als een aantal 'oude' delen van een zomerkade. Deze 'oude' delen liggen allemaal binnen het gebied dat omgeven is door de zomerkade aangegeven in Figuur 4 en zijn te zien als gele (hoger gelegen) gebieden in Figuur 5. Al deze zomerkaden hebben invloed op de hydrologische werking van het systeem. Het laagste punt van de zomerkade is circa 8,60 m+NAP² en bevindt zich in oranje cirkel 1 in Figuur 5. Het gebied achter de zomerkade inundeert wanneer de rivierwaterstand boven de 8,60 m+NAP uitkomt. Verder ligt er ook een duiker in het gebied in een oude zomerkade, aangegeven in Figuur 4 met een groene ster en in Figuur 5 met oranje cirkel 2. Deze duiker heeft geen kerende functie meer; water kan het gebied vrij in- en uitstromen door deze duiker. In het gebied liggen meerdere buitendijkse plassen (buiten de winterdijk), waarvan enkele aangetakt zijn. In het hele gebied zijn vijf peilbuismeetraaien beschikbaar, waarvan twee raaien volledig achter de zomerkade liggen (DT054 en DD311-312). Van DD324 ligt alleen de voorlandpeilbuis voor de zomerkade. De overige twee raaien zijn ter plaatse van een schaarlijk.

² Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse



Figuur 4: Luchtfoto van de Hiensche Uiterwaarden met locaties van de peilbuismetraaien, de zomerkade en de duiker.

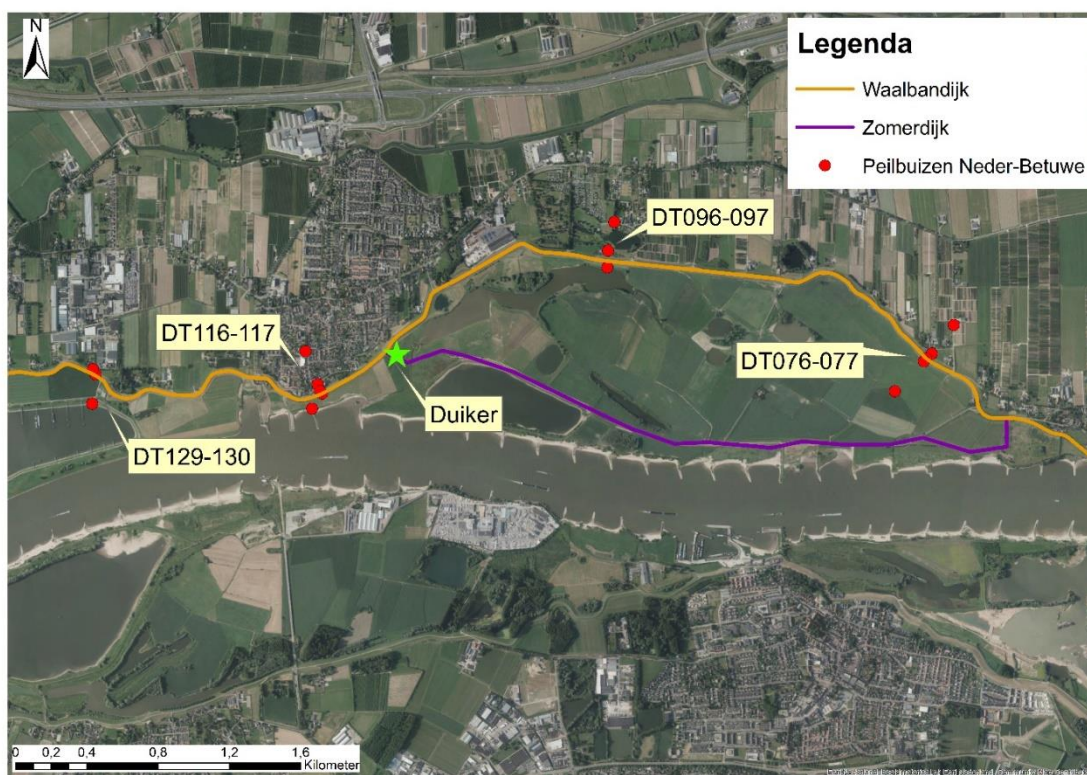


Figuur 5: AHN van de Hiensche Uiterwaarden met alle buitendijkse plassen. Oranje cirkel 1 geeft de locatie van het laagste punt van de zomerkade, oranje cirkel 2 de locatie van de duiker.

2.1.2 Ochtensche Buitenpolder

De Ochtensche Buitenpolder wordt omgeven door een zomerkade, waarvan de in- en uitlaat een duiker is (zie Figuur 6). Dit gebied kan alleen volstromen als de waterstand boven de onderkant van de duiker uitkomt en de schuif open staat. De B.O.B.³ van deze duiker is 5,19 m+NAP⁴. Verder heeft deze duiker een schuif met een keerbeleid; in de zomer wordt gekeerd tot 9,02 m+NAP⁵ en in de winter staat de schuif open⁶.

's Zomers wordt de schuif opengezet voordat de zomerkade overstroomt, om te voorkomen dat erosie optreedt op de dijktafsluitingen. Dit gebied kan ook inunderen als de rivierwaterstand boven de kruin van de zomerkade uitkomt (9,27 m+NAP)⁷. In het hele gebied zijn vier meetraaien beschikbaar, waarvan er twee volledig achter de zomerkade liggen, één in een schaaldijk direct aan de Waal (DT116-117) en een raai die aan een buitendijkse aangetakte plas ligt (DT129-130).



Figuur 6: Luchtfoto van de Ochtensche Buitenpolder met locaties van de peilbuismetraaien en de duiker.

³ Bovenkant onderkant Buis

⁴ <http://wsrivierenland.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=388180c89db140e9884c57f008e8ff5f>

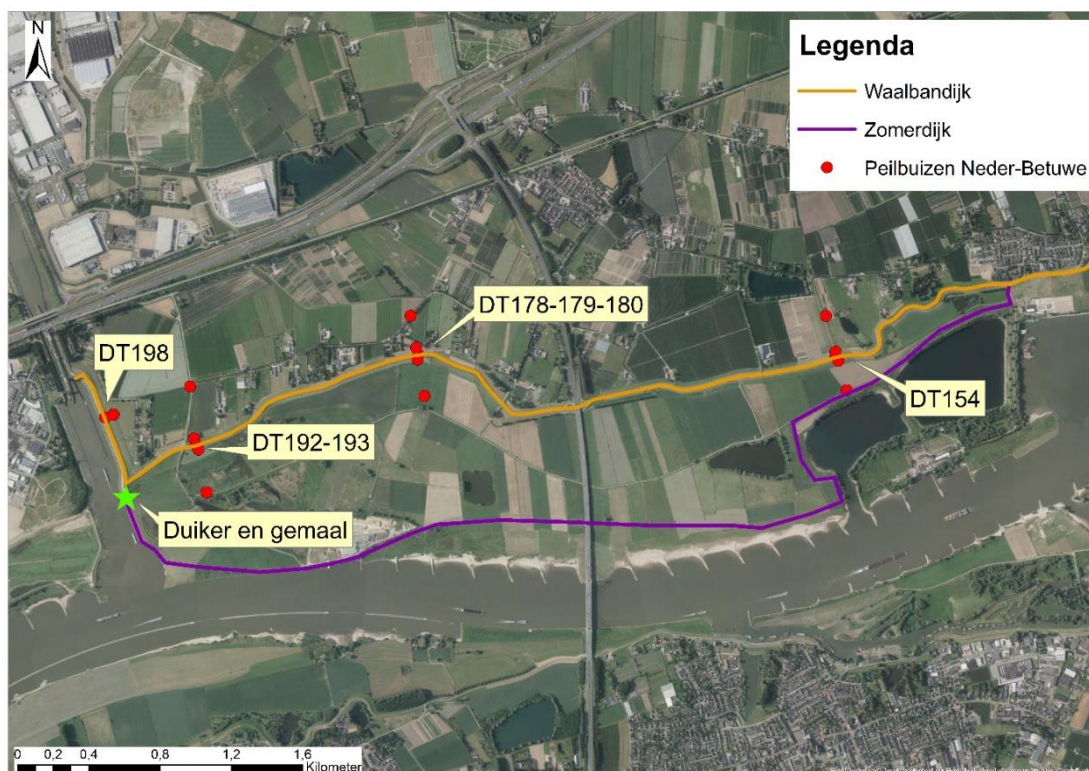
⁵ Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse

⁶ Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse

⁷ <http://wsrivierenland.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=388180c89db140e9884c57f008e8ff5f>

2.1.3 Willemspolder

De Willemspolder wordt omgeven door een zomerkade, met als in- en uitlaat een duiker en een gemaal (zie Figuur 7). Dit gebied stroomt vol als de rivierwaterstand boven de onderkant van de duiker uitkomt en de schuif open staat. De B.O.B. van de duiker is 3,90 m+NAP⁸. Verder heeft deze duiker een keerbeleid; in de zomer wordt gekeerd tot 8,23 m+NAP⁹ en in de winter tot 7,89 m+NAP¹⁰. Daarnaast kan dit gebied ook inunderen als de rivierwaterstand boven de kruin van de zomerkade uitkomt, wat voor deze dijk 8,23 m+NAP¹¹ is. In deze uiterwaard zijn 4 meetraaien beschikbaar, waarvan er drie volledig achter de zomerkade liggen. De vierde meetraai, DT198, ligt in een schaaldijk direct aan het kanaal.



Figuur 7: Luchtfoto van de Willemspolder met locaties van de peilbuismeetraaien en de duiker met gemaal.

2.2 Beschouwde rivierwaterstanden op de Waal

2.2.1 GLG en Q2200 situaties

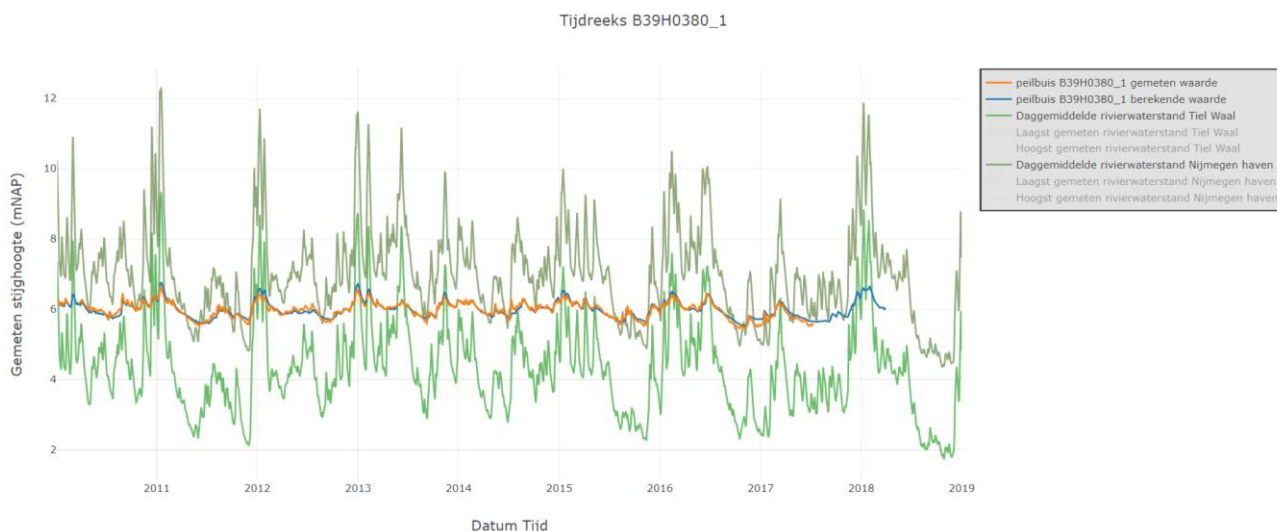
Voor de macrostabiliteitsberekeningen zijn stijghoogteberekeningen van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en stijghoogteberekeningen tijdens een afvoer van 2200 m³/s bij Lobith nodig. Figuur 8 geeft de rivierwaterstand bij Nijmegen-Haven en Tiel-Waal voor de periode 2010-2018. Verder toont dit figuur de gemeten en berekende stijghoogte bij peilbuis B39H0380_1 (Dinopeilbuis, zie Figuur 21 voor de locatie). Het model berekent op basis van statistieken de GLG voor het modelgebied. Bij een afvoer van 2200 m³/s bij Lobith is de waterstand bij Tiel-Waal 4,51 m. Deze waterstand werd bereikt op 11-05-2016. De stijghoogtes die door het model berekend worden op deze datum dienen als input voor de macrostabiliteitsberekeningen.

⁸ <http://wsrivierenland.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=388180c89db140e9884c57f008e8ff5f>

⁹ Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse

¹⁰ Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse

¹¹ Informatie van dijkbeheerder Wim Cornelisse

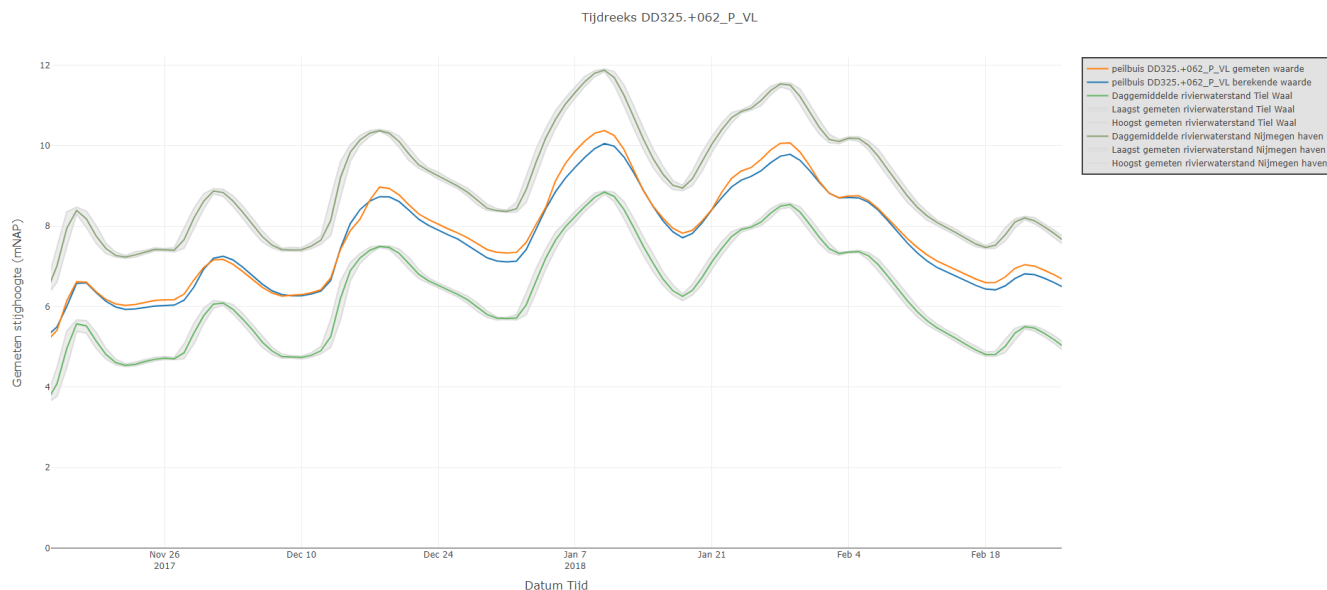


Figuur 8: Rivierwaterstanden ter plaatse van Tiel-Waal (onderste lijn), Nijmegen-haven (bovenste lijn) en de gemeten (oranje lijn) en berekende (blauwe lijn) bij Dinopeilbuis B39H0380_1.

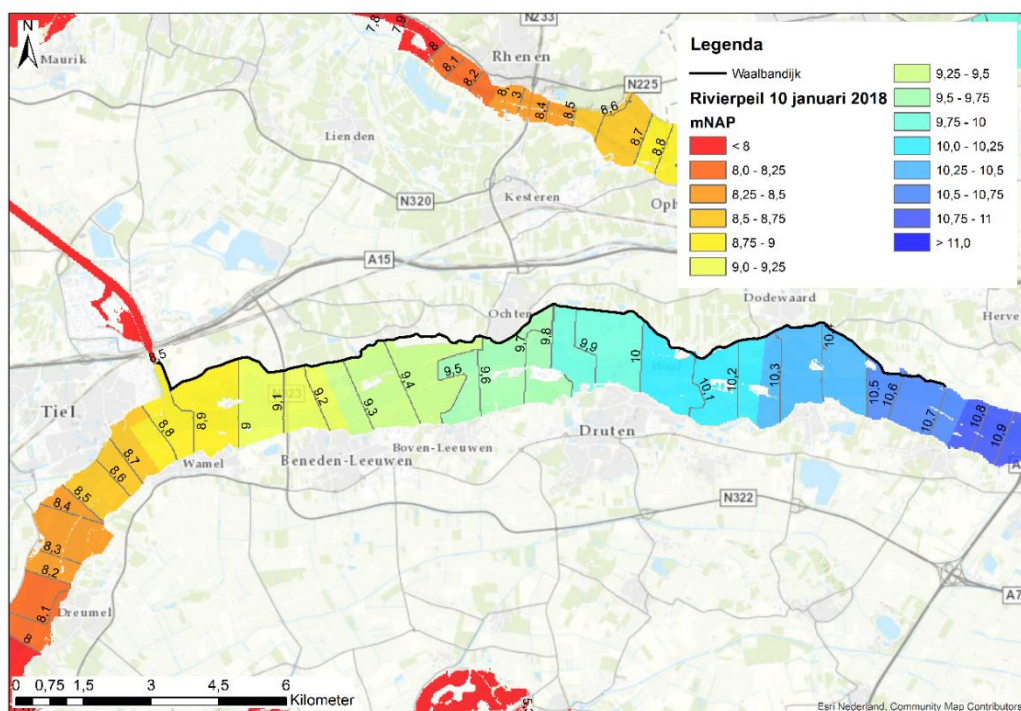
2.2.2 Hoogwater januari 2018

Op de Waal is in januari 2018 een hoogwatergolf langsgekomen. Ten tijde van dit hoogwater waren langs het hele dijktraject peilbuizen geïnstalleerd, waardoor grondwater- en stijghoogtemetingen beschikbaar zijn tijdens deze hoogwatergolf. Tijdens een hoogwatergolf functioneert het systeem anders, er treden effecten op die onder normale rivierwaterstanden niet of nauwelijks een rol spelen. Dit betreft onder andere het vollopen van de uiterwaarden. Het vollopen dient op een juiste manier gemodelleerd te worden. De peilbuismetingen tijdens dit hoogwater hebben het mogelijk gemaakt om verbeteringen in het model door te voeren en het model goed te kalibreren voor hoogwatersituaties. Dit is belangrijk, omdat het nieuwe dijkontwerp gemaakt wordt voor een Maatgevend Hoogwater (MHW) in 2075 en 2125. Zonder metingen van een hoogwater zijn de modeluitkomsten voor MHW-situaties veel onzekerder.

Figuur 9 toont de rivierwaterstand tijdens het hoogwater bij Nijmegen-haven en bij Tiel-Waal. Ook staan in dit figuur de gemeten en berekende stijghoogte bij de voorlandpeilbuis van meetraai DD324 (zie Figuur 3 voor de locatie van deze raai). Het hoogste gemeten peil bij Nijmegen-haven was circa 11,8 m+NAP, bij Tiel-Waal was dit circa 8,8 m+NAP. Figuur 10 geeft de ruimtelijke verdeling van de waterstand op de Waal op 10 januari 2018. De waterstand neemt af in benedenstroomse richting. Alle uiterwaarden hebben grotendeels onder water gestaan tijdens de piek van de hoogwatergolf, op een paar hoger gelegen delen land na.



Figuur 9: Hoogwatergolf ter plaatse van Tiel-Waal (onderste lijn), Nijmegen-haven (bovenste lijn) en de gemeten (oranje lijn) en berekende (blauwe lijn) bij peilbuis DD325.



Figuur 10: Waterstand op de Waal op 10 januari 2018.

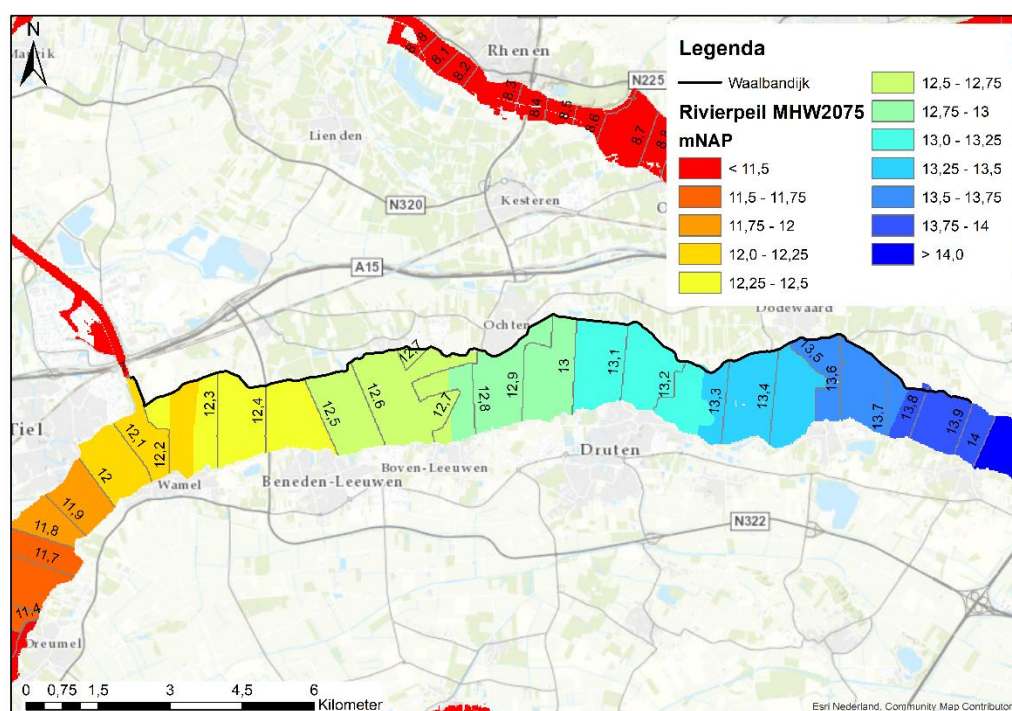
2.2.3 MHW-situaties op de Waal

De macrostabiliteitsberekeningen hebben als input stijghoogteberekeningen tijdens een Maatgevend Hoogwater (MHW) in 2075 met een herhalings-tijd van eens in de 10.000 jaar nodig. Berekeningen aan constructies maken gebruik van stijghoogten tijdens een Maatgevend Hoogwater in 2125 met een herhalings-tijd van eens in de 10.000 jaar. Op basis van statistieken zijn door waterschap Rivierenland de rivierwaterstanden tijdens MHW vastgesteld. De berekende rivierwaterstanden zijn vervolgens in het

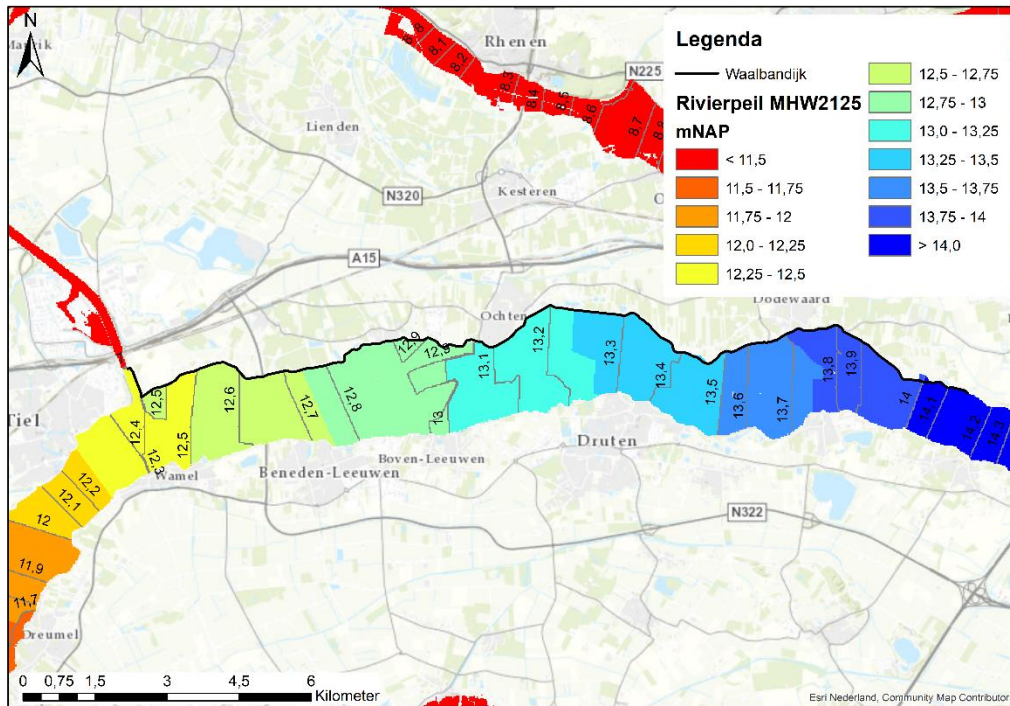
grondwatermodel ingevoerd. Tabel 1 geeft de maximale rivierwaterstanden voor Nijmegen-haven en Tiel-Waal tijdens de MHW-situaties weer. Figuur 11 toont de waterstand in het model tijdens MHW2075, Figuur 12 de waterstand tijdens MHW2125. Tijdens MHW-situaties lopen alle uiterwaarden geheel onder water. Met het model worden de stijghoogtes onder de dijk tijdens MHW2075 en MHW2125 bepaald. Deze stijghoogtes worden gebruikt bij het dijkontwerp, voor de piping en macrostabiliteitsberekeningen van de dijk.

Tabel 1: Rivierwaterstanden tijdens MHW-situaties

	MHW2075	MHW2125
Maximale rivierwaterstand Nijmegen-haven.	15,26 meter.	15,49 meter.
Maximale rivierwaterstand Tiel-Waal.	12,16 meter.	12,39 meter.



Figuur 11: Waterstand op de Waal tijdens MHW2075.



Figuur 12: Waterstand op de Waal tijdens MHW2125.

3 Modelverbeteringen in MORIA 4.5

Voor de grondwaterberekeningen is gebruikgemaakt van het regionale grondwatermodel MORIA, waarvan waterschap Rivierenland de beheerder is. We hebben als basis gebruikgemaakt van de meest recente versie van MORIA, MORIA 4.5. Deze versie is vervolgens verbeterd, gekalibreerd en gevalideerd. Met de gekalibreerde en gevalideerde versie zijn vervolgens de MHW-scenario's doorgerekend.

3.1 Uitgangspunten

Bij de kalibratie van het model en het doorvoeren van verbeteringen in het model zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het hele grondwatermodel is doorgerekend op een rastergrootte van 25x25 meter.
- Het model is gekalibreerd voor de periode 1-12-2017 – 31-1-2018. Er is gerekend met tijdstappen van 1 dag.
- De hoogwatersituatie op 10 januari 2018 is geanalyseerd.
- De geul bij Ochten-Veerhaven is het enige extra ingebrachte onderdeel voor MHW-situaties en de referentieberekening ten opzichte van de huidige situatie. Deze geul is ingebracht volgens dezelfde schematisatie als die van de plassen (zie Hoofdstuk 3.4). De gebruikte intredeweerstand van de bodem is 10 dagen, vanwege de dynamiek en het onderhoud van de geul. Er is een gevoeligheidsanalyse gedaan waarbij geen uniforme weerstand van 10 dagen, maar een weerstand gebaseerd op de achtergebleven hoeveelheid klei en de bijbehorende weerstand is genomen. Dit bleek slechts een effect van 0,05 m te hebben bij de dijk. De intredeweerstand is daarom uniform op 10 dagen gezet.
- Sommige binnendijkse wielen, gaten en plassen hebben kwelkades. Als deze niet op de legger van het waterschap staan, zijn deze niet meegenomen in het model.
- Rivierwaterstanden voor MHW-situaties zijn gebaseerd op een Excelbestand, gemaakt door Sander Kapinga van Waterschap Rivierenland. Ric Huting heeft deze peilen gecheckt tegen de peilen die ze gebruiken voor geotechnische berekeningen. Deze komen overeen.
- Hoogwater op de Nederrijn heeft geen effect op de stijghoogtes onder de dijk bij Neder-Betuwe. Dit is onderzocht door de "Starting Heads" van de noordgrens van het model met 20 cm te verhogen. Bij de dijk bleek dit effect nog slechts 0,002 cm te zijn.
- De lange referentierun voor de validatie is gedaan voor de periode 1-4-2008 – 1-4-2018. Vanaf 1-4-2010 is gebruikt om GxG-statistieken te berekenen, omdat we een inlooptijd van 2 jaar voor het model aanhouden.
- Voor de MHW-situaties is de periode 1-12-2017 tot 31-1-2018 doorgerekend (gecorrigeerd met de MHW peilen). Uit eerdere studies blijkt dat wanneer er vanaf 1-12-2017 gerekend wordt, er geen startvoorwaarden effecten zijn op de modelresultaten van 10 januari.

3.2 Hoogwater kalibratie

De kalibratie is uitgevoerd voor de periode 1-12-2017 tot 31-1-2018 met tijdstappen van 1 dag. Het model is specifiek gekalibreerd op de piek van de hoogwatergolf, die plaatsvond op 10 januari 2018. Een goede kalibratie van een hoogwaterpiek als in januari 2018 is essentieel voor het kunnen voorspellen een MHW.

Bijkomstigheid is dat kalibratie van een geohydrologisch model juist goed gaat als er veel water stroomt, zoals het geval is tijdens bijvoorbeeld een hoogwater of bij een onttrekking. Naast de kalibratie van het

geohydrologisch model tijdens hoogwater is er ook een referentieberekening gemaakt om het model te valideren onder 'normale' omstandigheden.

Daarnaast is er een analytische benadering van de stijghoogtes onder de dijk gemaakt op basis van de gemeten stijghoogten ter plaatse van de peilbuisraaien. Deze analytische benadering geeft een indicatie van de weerstand in het voor- en achterland ter plaatse van de meetraaien. Verder is de helling van de berekende stijghoogtes door de dijk van het grondwatermodel vergeleken met de analytische benadering. Bij voorkeur zijn deze hellingen zo gelijk mogelijk aan elkaar. Dit betekent namelijk dat de uitkomsten van de twee methoden dicht bij elkaar liggen.

Tijdens het kalibreren van het model bleken een aantal parameters verbeterd te moeten worden. Het betreft:

- De weerstand van de deklaag.
- De schematisatie van de plassen.
- De horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket.
- De infiltratie van de Waal.
- De bergingscoëfficiënt en drainage in de uiterwaarden.
- De schematisatie van de wielen en gaten.
- De elastische berging.
- De conductance van de watergangen.

Deze aanpassingen zullen in de paragrafen hieronder een voor een besproken worden.

3.3 Doorgevoerde modelverbeteringen

3.3.1 De weerstand van de deklaag

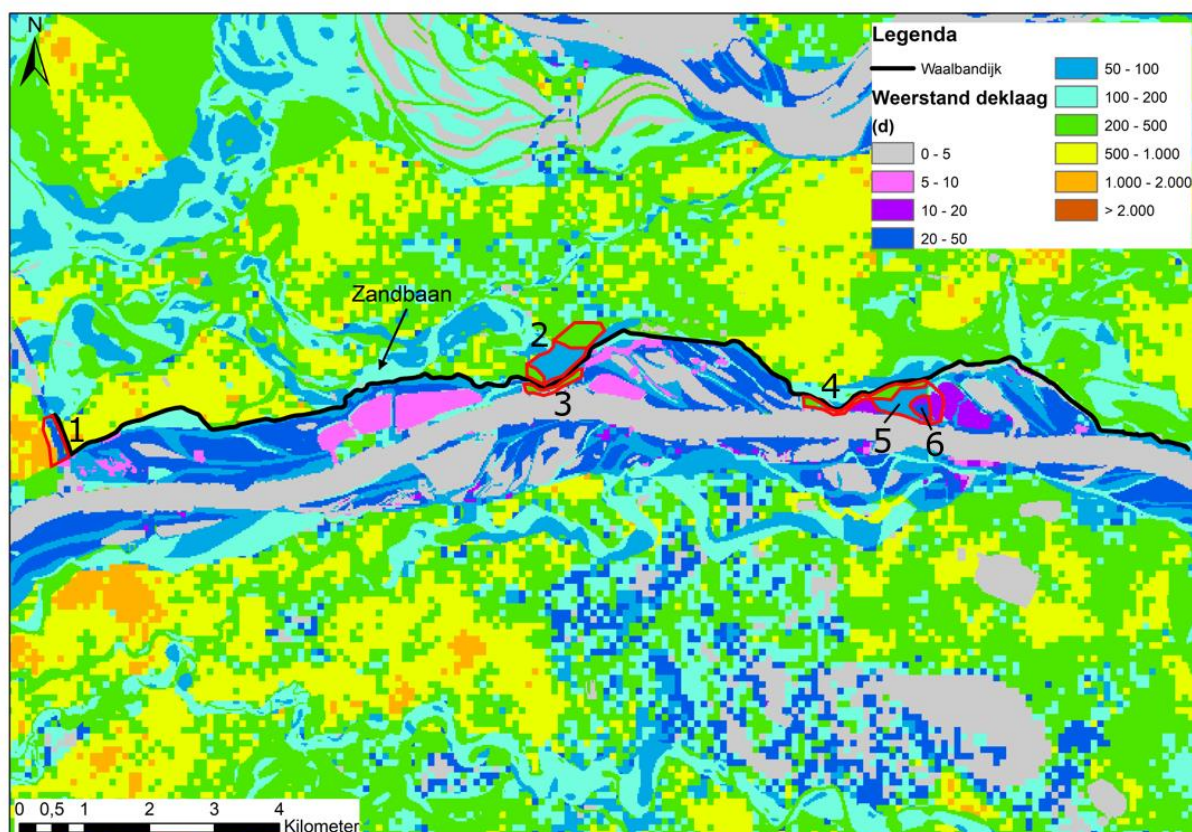
De deklaag in het rivierengebied bestaat uit Holocene afzettingen. Afwisselend zijn klei, veen en ook zandige lagen afgezet. Kenmerkend voor het rivierengebied is het voorkomen van zandige afzettingen in oude stroomgeulen, de zogenaamde zandbanen. In Gelderland zijn deze vastgelegd in de zandbanenkaart. De deklaagweerstand in MORIA is gebaseerd op GeoTOP (Royal HaskoningDHV, 2016). In GeoTOP is een lagenmodel van het Holoceen beschikbaar op een raster van 100*100, waarin de verschillende typen afzettingen zijn terug te vinden. Voor het bepalen van de ruimtelijke verdeling van de afzettingen in GeoTOP zijn stochastische technieken gebruikt. Het lagenmodel in GeoTOP beschrijft daarmee de meest waarschijnlijke situatie.

De stroomgeulen zijn goed terug te vinden in GeoTOP. Het blijkt echter dat er op veel plekken ook onder de stroomgeulen in GeoTOP nog weerstand voorkomt. Uit de zandbanenkaart van Gelderland is bekend dat dit in ieder geval in Gelderland niet altijd het geval is. De stroomgeulen zijn zover bekend gefundeerd op de Pleistocene afzettingen onder de deklaag. De weerstandskaat voor de deklaag is aangepast door de stroomgeulen over te nemen uit de zandbanenkaart. De dikte van de klei boven de geulen is een onderdeel van de zandbanenkaart en deze weerstand is er bepaald door een weerstand van 100 dagen per meter aan te houden. De zandbanen zijn duidelijk zichtbaar in Figuur 13; een van de zandbanen is aangegeven met een pijl. Verder zijn ook de plassen te herkennen, deze hebben een weerstand van 10-50 dagen. Meer over de schematisatie van de plassen is te vinden in Hoofdstuk 3.4.

Naast de zandbanen zijn er nog 6 locaties waar ook aanpassingen aan de weerstand van de deklaag hebben plaatsgevonden om een beter kalibratieresultaat te verkrijgen. Deze locaties zijn in Figuur 13 aangegeven met de getallen 1 t/m 6. Deze getallen komen overeen met de volgende aanpassingen:

1. De weerstand in het kanaal is verhoogd naar 50 dagen.
2. Bij Ochten is in de zandbanenkaart geen weerstand gedefinieerd, terwijl in GeoTOP de weerstand hier relatief hoog is. Handmatig is in drie zones een waarde opgegeven voor de weerstand.

3. Buitendijks is een extra weerstand ingebracht, waar de stijghoogte buitendijks te hoog wordt berekend.
4. Buitendijks is een extra weerstand ingebracht, waar de stijghoogte buitendijks te hoog wordt berekend.
5. In dit gebied is de weerstand niet gereduceerd tot 25%, maar tot 40%.
6. In deze zone is een minimumweerstand van 25 dagen in plaats van 1 dag aangehouden.

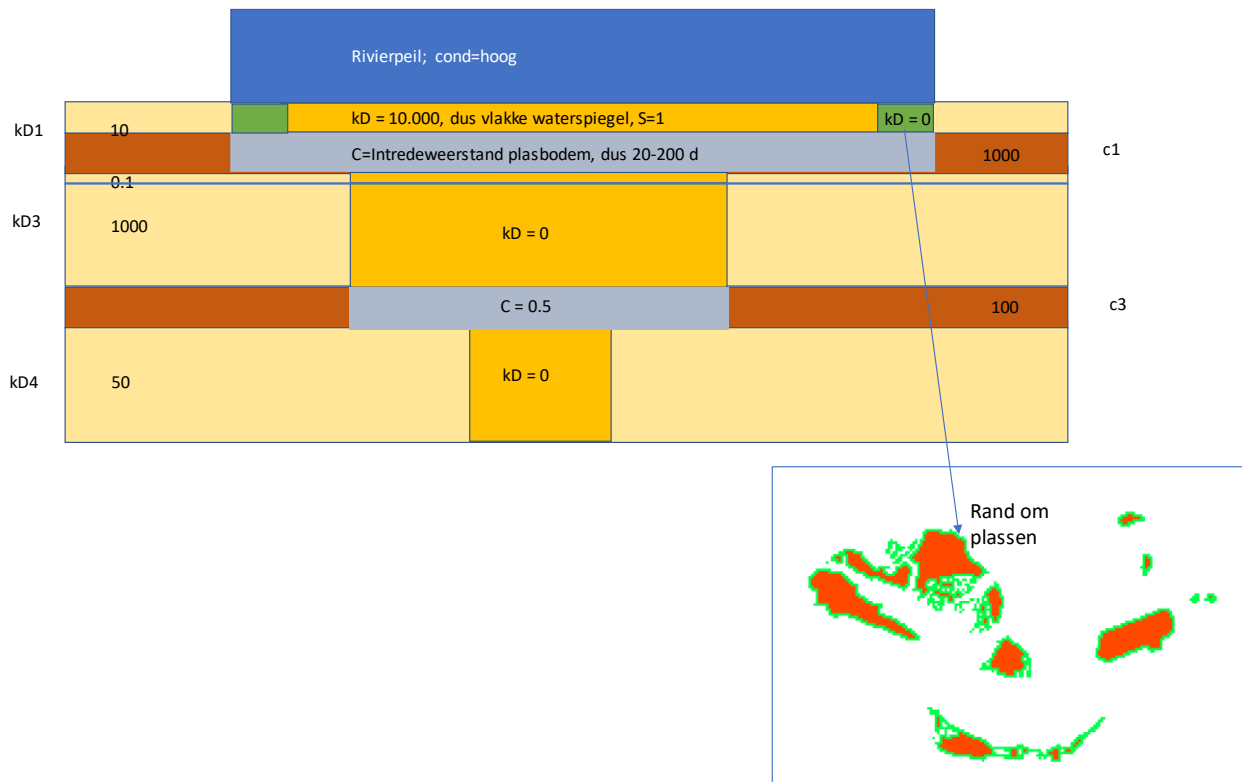


Figuur 13: Weerstand van de deklaag na aanpassingen.

3.3.2 Schematisatie plassen

In MORIA zijn de zandwinplassen geschematiseerd door ter plaatse van de plassen een hoog doorlaatvermogen toe te passen in alle lagen waar de plassen insnijden. Deze manier van schematiseren in de uiterwaarden zorgt voor een ongecontroleerde stroming tijdens hoogwater van de Waal door de bodem, vervolgens door de plas en dan weer door de bodem. Deze stroming is ongecontroleerd, omdat er geen rekening gehouden wordt met de in- en uitreeweerstand van de plas. In feite kent de plas weerstand op de bodem en op de wanden. De schematisatie van de plassen is aangepast waarbij de weerstand is geschematiseerd zoals is weergegeven in Figuur 14. Stroming door de plas gebeurt alleen in laag 1 met een hoog doorlaatvermogen. De in- en uitreeweerstand wordt opgenomen in C1, dit is de weerstand van laag 1. Deze varieert tussen de 10 en 50 dagen en is vastgesteld via kalibratie. De diepere lagen waar de plas insnijdt worden ondoorlatend gemaakt, de uitwisseling met de plas gebeurt verticaal. De stroming door de plas heen en verticaal in de plas tijdens hoogwater is met deze methode goed te controleren. De intreeweerstand is verwerkt in de deklaagweerstand C1. Om deze reden is een hoge conductance opgegeven ter plaatse van de plassen, een conductance van 1250 m²/d.

In tegenstelling tot wat in Figuur 14 staat, is niet een kD van 10.000 maar van 1.000 voor de schematisatie van de plassen gebruikt. Dit heeft geen effect op de modelresultaten.



Figuur 14: Schematisatie van de plassen.

3.3.3 Horizontale doorlatendheid eerste watervoerend pakket

Het eerste watervoerende pakket in MORIA bestaat onder andere uit de Formatie van Kreftenheye. In MORIA 4.5 is voor de modellaag die deze formatie bevat een kalibratiefactor van 3,3 ten opzichte van de k_h -waarde in REGISII.2 verkregen bij de regionale kalibratie (Royal HaskoningDHV, 2018). Deze factor zorgde echter voor te hoge k_h -waarden. In deze studie is daarom een kalibratiefactor van 1 gekozen als uitgangspunt. De horizontale doorlatendheid van de Kreftenheye Formatie is dus weer gelijk aan die van REGISII.2.

3.3.4 Infiltratie van de Waal

De infiltratie vanuit de Waal in het zomerbed en in de uiterwaarden tijdens hoogwater bleek niet voldoende om de met MORIA berekende grondwaterstand en stijghoogte snel genoeg te laten stijgen, met als gevolg dat deze achterbleven bij de gemeten grondwaterstand en stijghoogte. Dit bleek twee oorzaken te hebben, die gerelateerd waren aan de Waal.

De eerste oorzaak was het feit dat de Waal alleen in modellaag 1 infiltreerde. Er is dan te veel weerstand tussen het watervoerende pakket (modellaag 4) en de Waal. Om deze reden is de Waal behalve in laag 1 ook opgenomen in modellaag 4. De conductance van de Waal is verdeeld over beide lagen en is $625 \text{ m}^2/\text{dag}$ voor elke laag.

De tweede oorzaak was dat de freatische berging coëfficiënt ter plaatse van het zomerbed te hoog is. Dit wordt toegelicht in paragraaf 3.3.5.

3.3.5 Berging coëfficiënt

De freatische bergingscoëfficiënt ter plaatse van de uiterwaarden is 1. Er moet daardoor veel water infiltreren voordat de grondwaterstand het Waalpeil bereikt. In het model is hier tijd voor nodig, terwijl het in feite instantaan gebeurt. Dit is opgelost door het rekenen met een freatische bergingscoëfficiënt van 0 (nul), waar water staat. Berekeningen voor MORIA worden uitgevoerd met IMOD. In dit programma wordt de grondwaterstand berekend met MODFLOW en de grondwateraanvulling met MetaSWAP. Dit gebeurt in een berekening waarbij beide programma's worden aangeroepen. MetaSWAP regelt ook de freatische bergingscoëfficiënt. In de uiterwaarden wordt deze gelijk aan 1 als het water boven maaiveld komt. Om met een bergingscoëfficiënt van 0 (nul) te kunnen rekenen, is MetaSWAP in de berekening uitgeschakeld en wordt zowel de grondwateraanvulling als de freatische berging opgegeven in MODFLOW. Tijdens het hoogwater is de gemiddelde neerslag circa 4 mm/dag geweest. Dit is als grondwateraanvulling in het model gebruikt. Ten behoeve van de freatische bergingscoëfficiënt is op dagbasis de inundatie bepaald en in de zones met inundatie wordt gerekend met een bergingscoëfficiënt van 0 (nul).

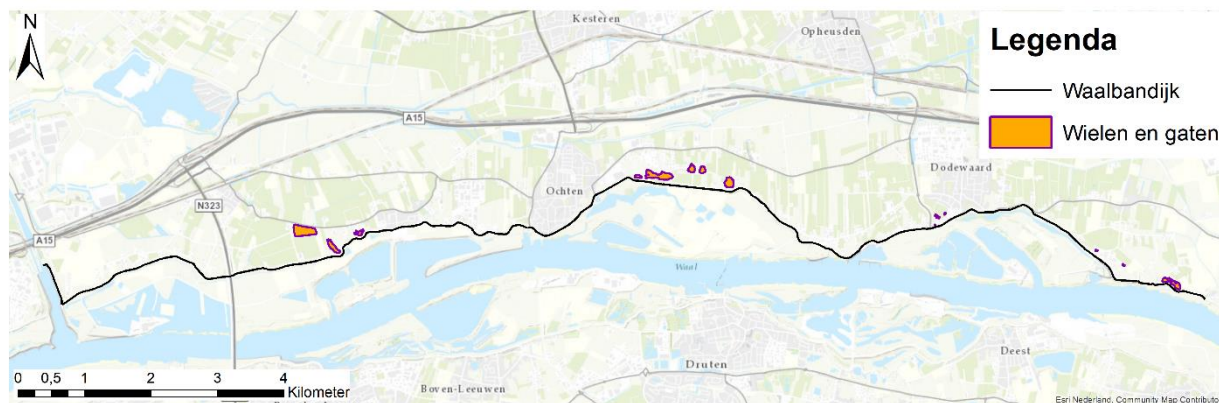
Drainage

In MORIA wordt bepaald in hoeverre de uiterwaarden inunderen aan de hand van het maaiveldniveau, zomerkadehoogte en de rivierwaterstand. De waterstand in de uiterwaarden bleek echter niet goed mee te stijgen met de rivierwaterstand. Daarom is de drainage in de drie uiterwaarden afhankelijk gemaakt van de rivierwaterstand, de maaiveldhoogte en de hoogte van de onderkant van de duiker (of het keerbeleid van de duiker). Per tijdstap is gekeken of de waterstand hoger dan de onderkant van de duiker is (of zoals bij de Hiensche Uiterwaarden, of de waterstand hoger dan het laagste punt van de zomerkade is). Als de waterstand hoger is, is het nieuwe drainageniveau de rivierwaterstand. Is de rivierwaterstand lager, dan kan het water maximaal zo hoog als de onderkant van de duiker staan. Ook kan het drainageniveau niet onder maaiveld zakken. Per tijdstap is er dus een specifiek drainageniveau voor elke uiterwaard beschikbaar.

3.3.6 Wielen

Wielen zijn zones achter de dijk waar tijdens overstromingen de deklaag is weggespoeld. Het zijn plekken waar nu bij hoogwater het grondwater gemakkelijk kan uitstromen en afgevoerd kan worden. Soms is er een kade aanwezig, waardoor het afvoerniveau hoger is dan het peil in de waterlopen. In het model zijn de wielen een onderdeel van de legger. De leggerwatergangen zijn in het model ook in de modellaag onder de deklaag opgenomen, daar waar de watergangen door de deklaag heen snijden. Dit geldt dus ook voor de wielen.

Niet alle wielen zijn terug te vinden in MORIA en ook geldt dat niet alle wielen de deklaag volledig doorsnijden. Wielen die ontbraken, zijn toegevoegd aan het model. De wielen die zijn weergegeven in Figuur 15 zijn opgenomen in het model. Ter plaatse van de wielen is de conductance gelijk verdeeld over modellaag 1 en 2. Bij de kalibratie is vervolgens de conductance in de tweede modellaag bij enkele van de wielen nog verlaagd.



Figuur 15: Wielen en gaten in het model.

3.3.7 Elastische berging

Ook na de aanpassingen van paragraaf 3.3.1 t/m 3.3.5 bleek het model nog niet goed genoeg te reageren tijdens hoogwater. De verwachting is dat de stijghoogte in het watervoerend pakket heel snel stationair wordt en dat gebeurde niet. Het blijkt dat de elastische bergingscoëfficiënten van de watervoerende lagen te hoog zijn in MORIA. De elastische berging in MORIA is voor elke modellaag 0.001. Omdat het watervoerend pakket uit 11 modellagen bestaat is de elastische berging in het totaal circa 0.01, wat erg hoog is voor een zandpakket. Om deze reden is de elastische berging gereduceerd tot 10 procent van de oorspronkelijk waarde.

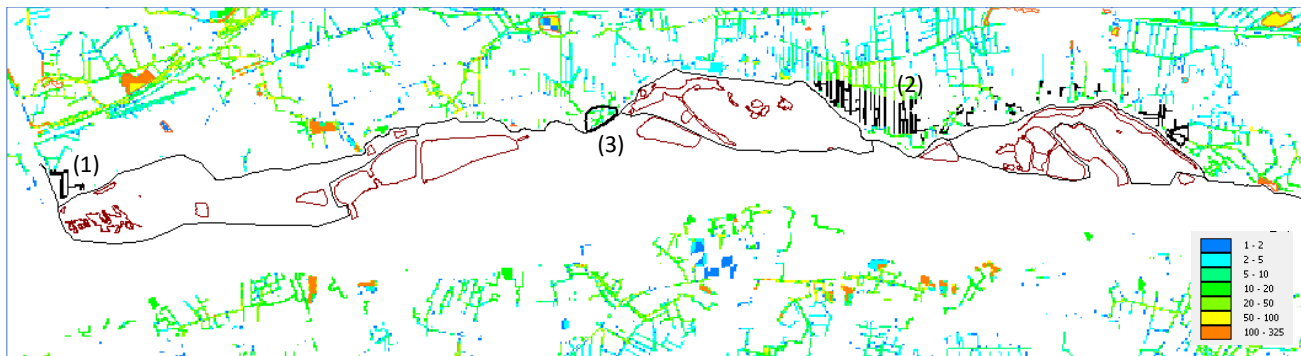
Voor een uitgewerkt voorbeeld van het effect van de elastische berging zie rapportage "Geohydrologische modellering GoWa" (Gralliantie, 2018).

3.3.8 Conductance watergangen

Leggerwatergangen snijden soms (deels) door de deklaag. In dat geval zijn de waterlopen ook actief gemaakt onder de deklaag (alle gekleurde watergangen). Waar de waterlopen niet de gehele deklaag doorsnijden, is de resterende weerstand van de deklaag opgenomen in de conductance van de waterlopen. De diepte van de waterlopen is daartoe vergeleken met de dikte van de deklaag. In Figuur 16 is weergegeven waar de waterlopen in modellaag 2 actief zijn met een conductance groter dan 1 m²/dag.

Omdat de deklaag op veel plekken relatief dun is en de stijghoogte hoog, is te verwachten dat de klei in de waterlopen opgebarsten kan zijn. Om de zone te bepalen waar dat gebeurt kan zijn, is een som gemaakt met het hoogwater van 1995. Dit is iteratief gedaan in een aantal stroken steeds verder van de dijk af. Opbarsten blijkt mogelijk langs het gehele traject in een zone langs de dijk. Alleen daar waar te hoge stijghoogten worden berekend en duidelijk is dat er meer drainage moet plaatsvinden, zijn extra waterlopen actief gemaakt onder de deklaag. Het zijn de zwarte gekleurde waterlopen in Figuur 16 bij (1) en (2).

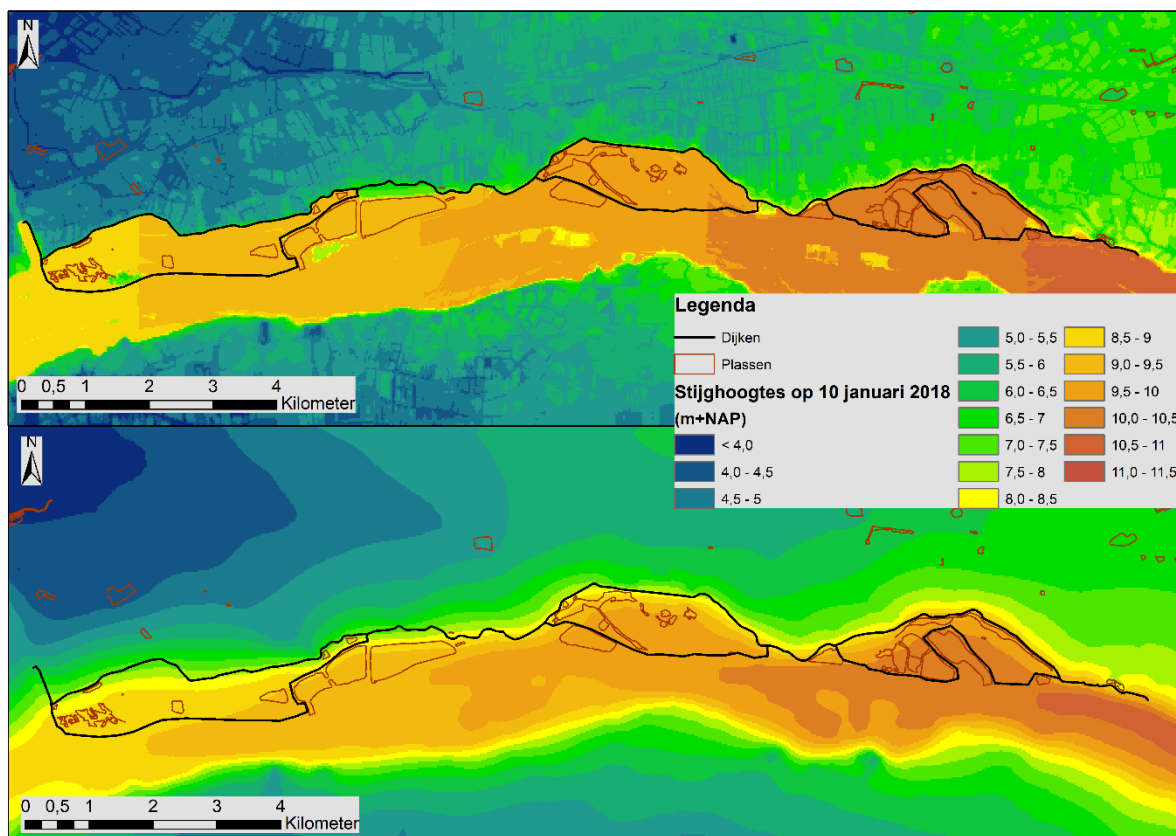
Bij Ochten (3) is de totale conductance in laag 2 opgenomen in plaats van verdeeld over laag 1 en 2.



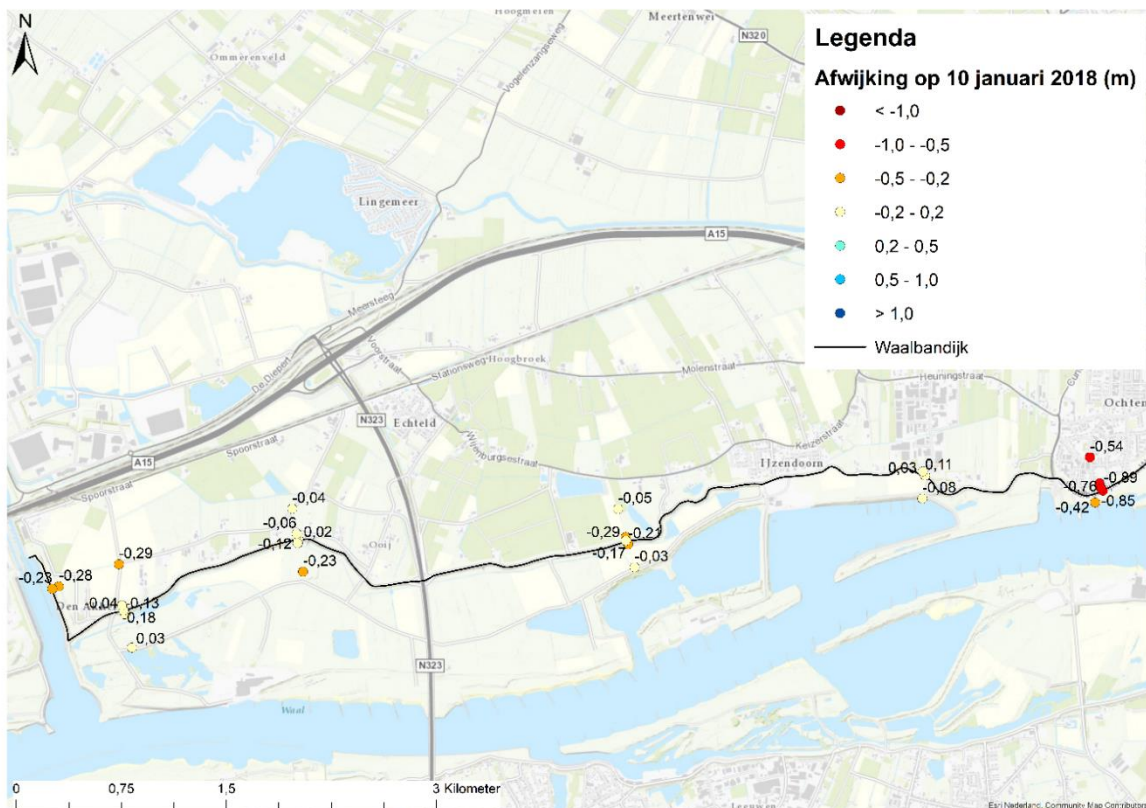
Figuur 16: Aanpassing van conductance van de leggerwatergangen.

4 Resultaten kalibratie

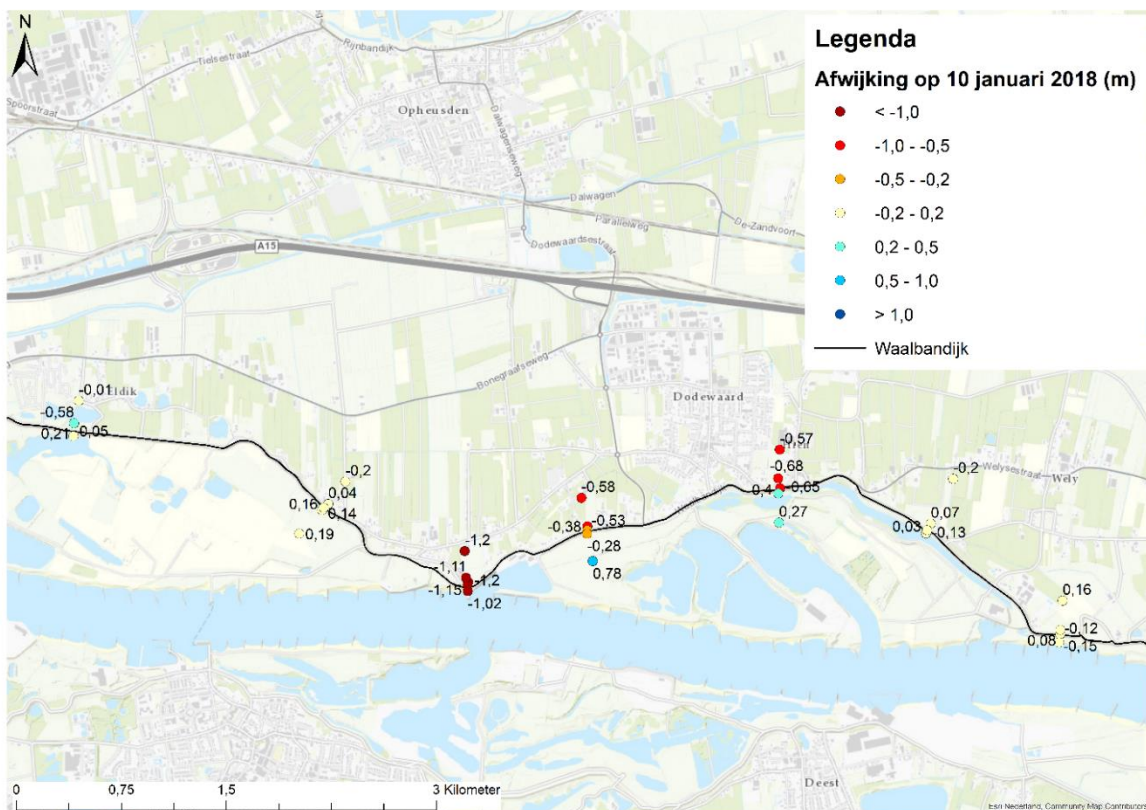
De berekende grondwaterstand en de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket voor 10 januari 2018 zijn weergegeven in Figuur 17. Figuur 18 en Figuur 19 tonen de afwijking van het model ten opzichte van de gemeten waarden voor het eerste watervoerende pakket. Figuur 18 laat zien dat het benedenstroomse deel van het model goed aansluit op de gemeten stijghoogten. De meeste afwijkingen zijn binnen 20 cm, behalve bij het kanaal en bij Ochten. Bij het kanaal (de meest benedenstroomse meetraai) wordt de stijghoogte circa 0,3 meter te hoog berekend. De stijghoogte kan hier alleen verder verlaagd worden door een hogere kanaalweerstand of beter drainerende waterlopen achter de dijk te schematiseren. Dit zou echter niet in lijn zijn met de rest van het gebied. Bij Ochten zijn forse afwijkingen te zien. De afwijkingen binnendijs zijn groter dan buitendijs. Waarschijnlijk is de zone langs de dijk beter gedraineerd dan nu in het model is geschematiseerd. Hier bestaat echter nog onzekerheid over, waardoor dit niet is aangepast in het model. In het bovenstroomse deel in Figuur 19 is te zien dat 3 meetraaien minder goede resultaten laten zien, terwijl de overige vier meetraaien kleine afwijkingen hebben. De raai met de grootste afwijkingen ligt vlak aan de Waal. Hier zijn de stijghoogten zowel binnendijs als buitendijs meer dan een meter te hoog berekend. Het verhang is wel goed. Het lijkt erop dat de Waal hier minder goed kan infiltreren dan gemodelleerd is. De sondering DT059+50_DKMP_BIK_QcU2Class-R3 (Bijlage A1) laat zien dat er tot op 8 meter diepte nog klei kan voorkomen, wat mogelijk de verminderde infiltratiecapaciteit veroorzaakt bij deze meetraai. Dit is echter niet in lijn met de rest van de Waal, waardoor de weerstand niet is aangepast. Het model laat ook geen goede resultaten zien bij de twee raaien rechts van deze meetraai. Het model berekent op deze locaties te hoge stijghoogten ter plaatse van de dijk. Hier lijkt het erop dat de weerstand in het model in het voor- en achterland te laag is.



Figuur 17: Grondwaterstand (boven) en stijghoogte in eerste watervoerende pakket (beneden) voor 10 januari 2018.



Figuur 18: Afwijking van het model op 10 januari 2018 (meting - model).



Figuur 19: Afwijking van het model op 10 januari 2018 (meting - model).

5 Validatie en resultaten GLG en Q2200 situaties

Naast de berekeningen voor hoogwater 2018 is er ook een lange validatieberekening gedaan. Hiervoor is de periode 1-4-2008 tot 1-4-2018 doorgerekend. Voor de periode 2010-2018 zijn de GHG, GG en GLG berekend, deze zijn weergegeven in Figuur 20. Tijdens de GHG-situatie heeft de rivier een infiltrerende werking op het grondwatersysteem. In de GG-situatie is het omslagpunt van drainerend naar infiltrerend zichtbaar; tussen de 5 en 4,5 meter contouren gaat de rivier van drainerende naar infiltrerende werking over. Voor de GLG-situatie heeft de rivier een drainerende werking. Of de rivier infiltreert of draineert, is te zien aan het patroon van de isohypsen. Als de punt stroomafwaarts wijst infiltreert de rivier en als de punt stroomopwaarts wijst draineert de rivier.

Voor alle peilbuizen weergegeven in Figuur 21 is een tijdreeksgrafiek gemaakt. In Figuren 22 t/m 32 zijn de reeksen getoond. Peilbuizen die beginnen met 'B39' zijn peilbuizen uit het DINOloket, alle overige zijn peilbuizen van de meetraaien van het Neder-Betuwe dijktraject. In DINOloket zijn verder geen andere peilbuizen beschikbaar, of ze beschikken over te weinig (recente) gegevens. De namen die in Figuur 21 staan komen overeen met de namen genoemd in de titels van de figuren hieronder. Verder zijn deze figuren geplaatst van boven- naar benedenstrooms, beginnende met alle meetraaitijdreeksen. Over het algemeen volgt het model de metingen vrij goed in de meetraaien.

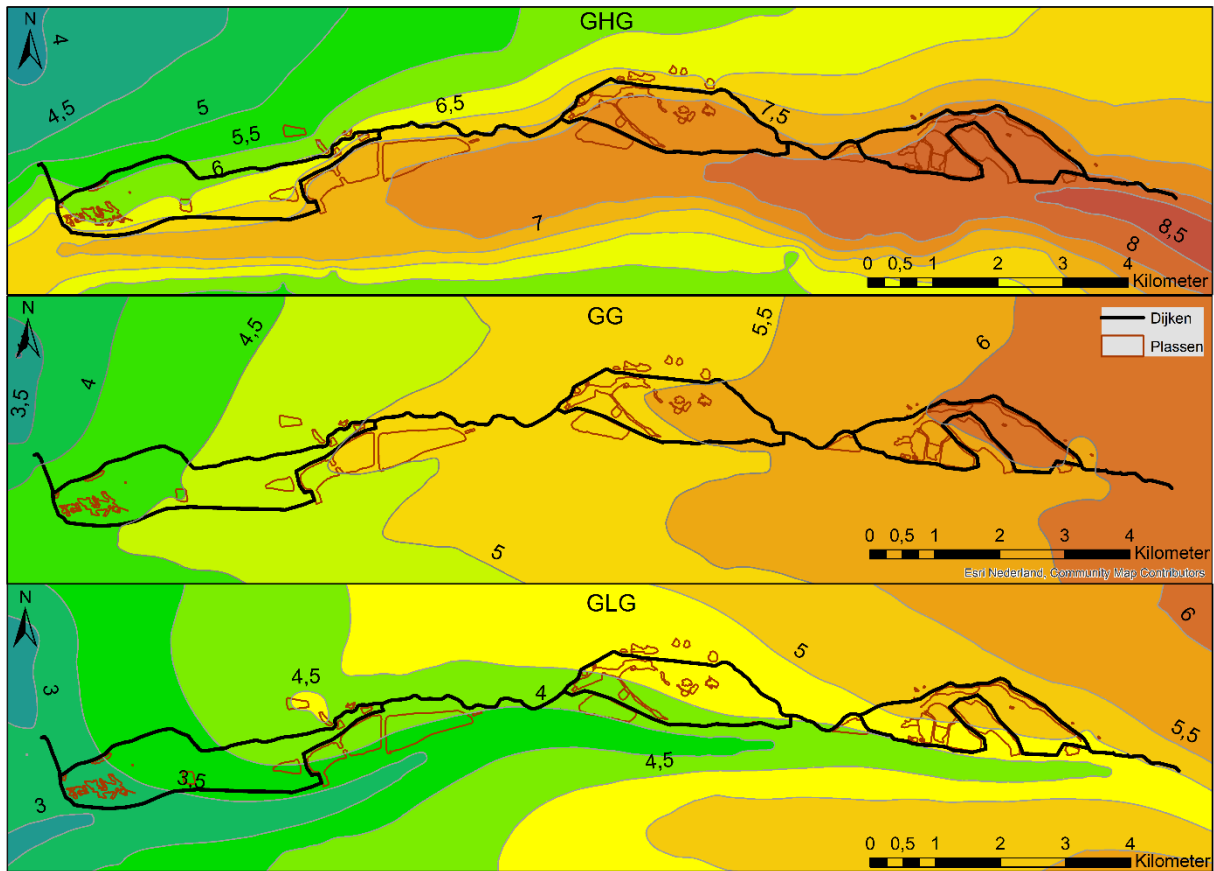
Tijdens de hoogwatergolf neemt de afwijking van het model van de metingen vaak toe. Een aantal van de modelaanpassingen zoals besproken in hoofdstuk 3 en 4 die wel zijn doorgevoerd in de berekening voor het hoogwater, zijn niet toegepast in de lange validatieberekening. In het hoogwatermodel wordt zonder MetaSWAP en met een tijdsafhankelijke berging coëfficiënt gerekend, dit is niet mogelijk in de lange validatieberekening. In de validatieberekening wordt met MetaSWAP gerekend. Dit zorgt ervoor dat de modelafwijking tijdens de hoogwatersituatie groter worden. Peilbuizen waar het model tijdens 'normale' situaties grotere afwijkingen vertoont, zijn:

- DD325_VL.
- DT076_AL.
- DT129_VL.
- DT154_VL.
- DT154_AL.

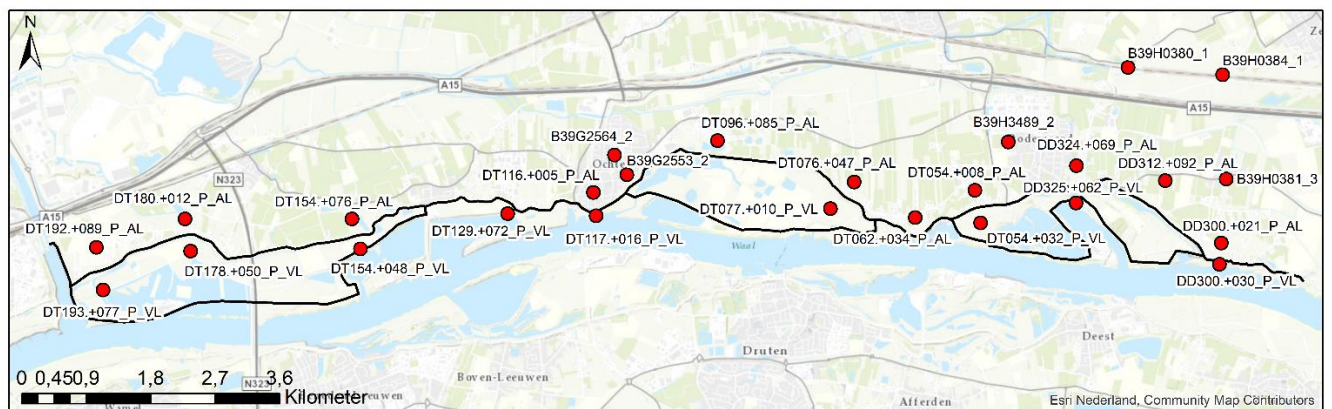
In deze figuren zijn de resultaten van zowel de lange validatierun als van de korte hoogwaterberekeningen weergegeven. Zo is duidelijk waarop gekalibreerd is en welk verschil aanwezig zit tussen beide modellen.

Het model kan vooral de dynamiek niet goed modelleren bij deze peilbuizen. Een aantal peilbuizen laten ook tijdens laagwater grotere afwijkingen zien, zoals DD325_VL en DT180_AL. Hiermee dient rekening te worden gehouden als het model voor laagwaterberekeningen gebruikt gaat worden. De peilbuizen uit het DINOloket laten zien dat het model ook over langere perioden goede resultaten geeft. De afwijkingen tussen model en meting zijn over het algemeen klein voor deze peilbuizen.

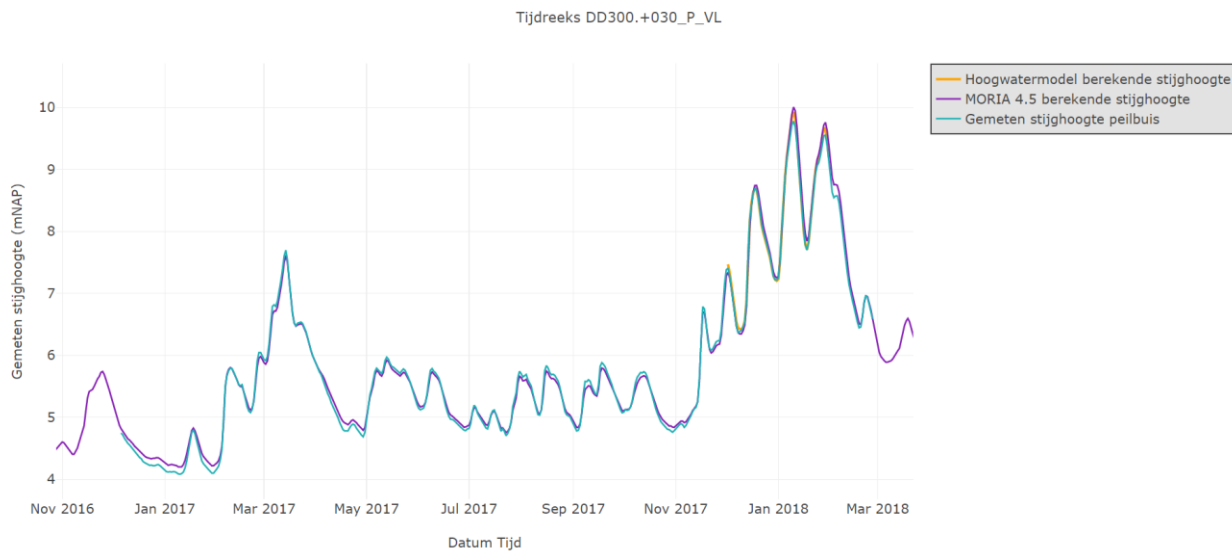
Uit de validatieberekening zijn voor de GLG-situatie en voor 11-05-2016 de grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket opgeleverd. De datum 11-05-2016 komt overeen met een waterstand van 4,51 meter bij het Rijkswaterstaat meetpunt Tiel-Waal, wat weer overeenkomt met een afvoer van 2200 m³/s bij Lobith (Q2200-situatie). Het onderste figuur in Figuur 20 toont de opgeleverde stijghoogtes voor de GLG-situatie, Figuur 33 de opgeleverde stijghoogtes voor het eerste watervoerende pakket voor de Q2200-situatie.



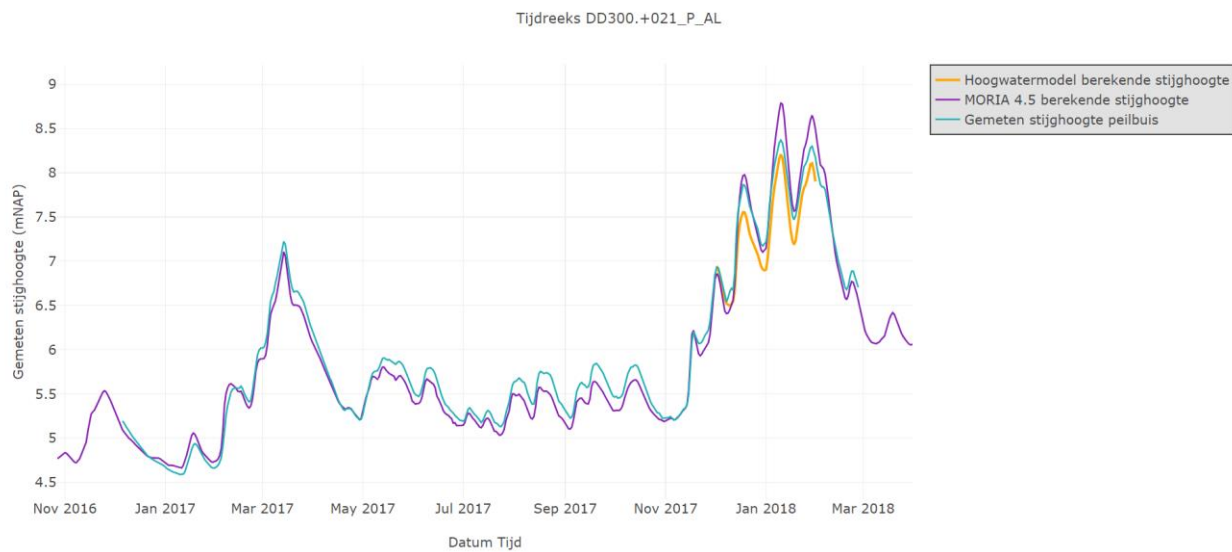
Figuur 20: Gemiddeld hoogste stijghoogte (GHG), Gemiddelde stijghoogte (GG) en Gemiddeld laagste stijghoogte (GLG) voor het referentiemodel.



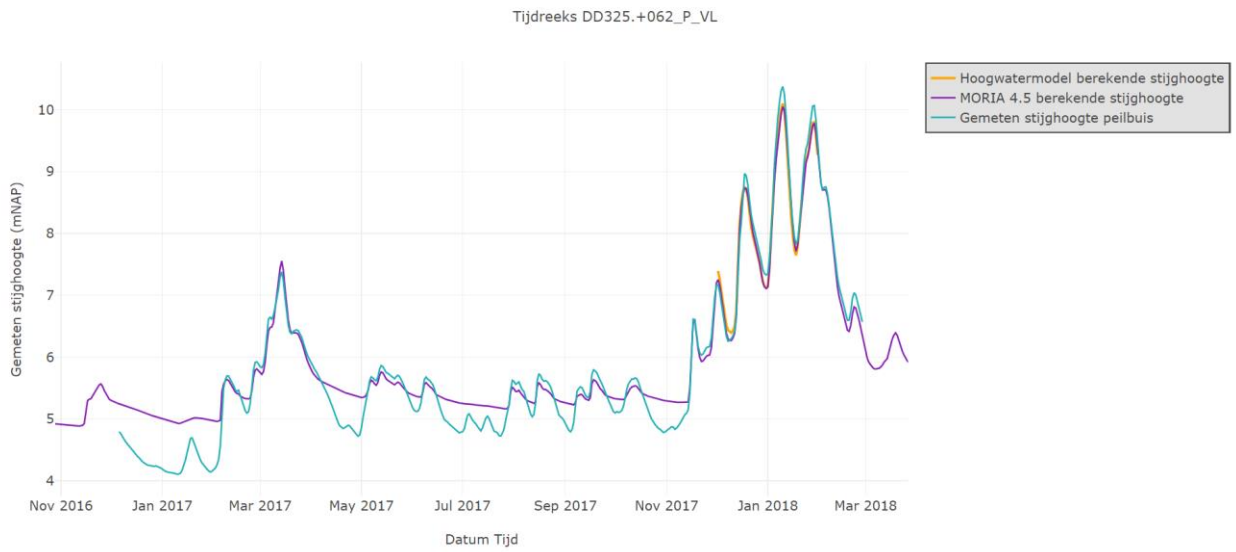
Figuur 21: Peilbuizen in het modelgebied waarvoor tijdreeksen zijn gemaakt. Deze zijn hieronder te vinden.



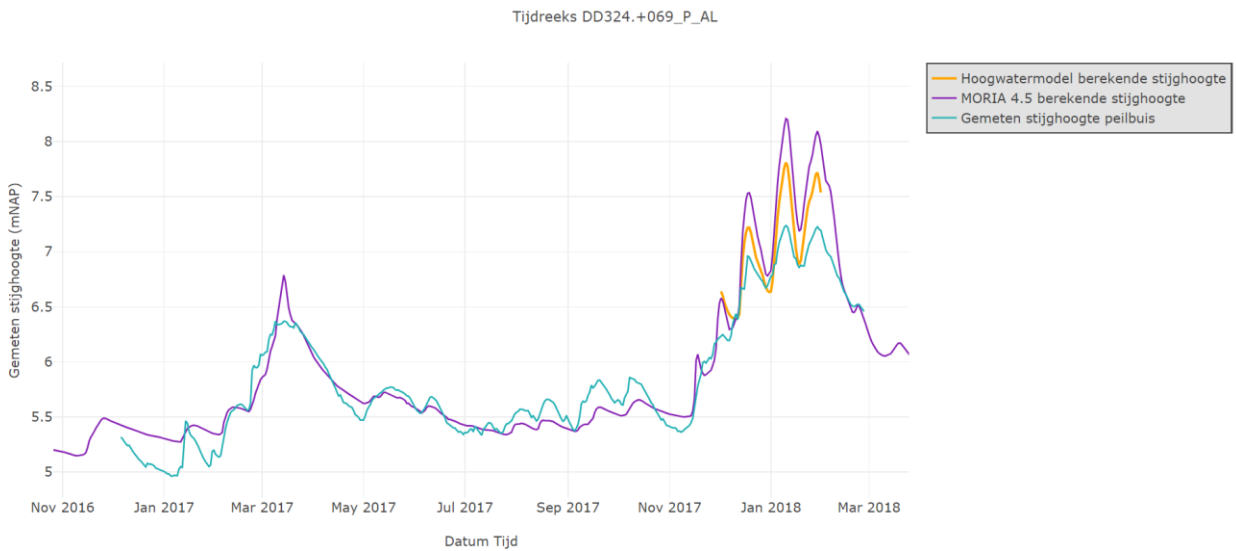
Figuur 22: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DD300, voorland.



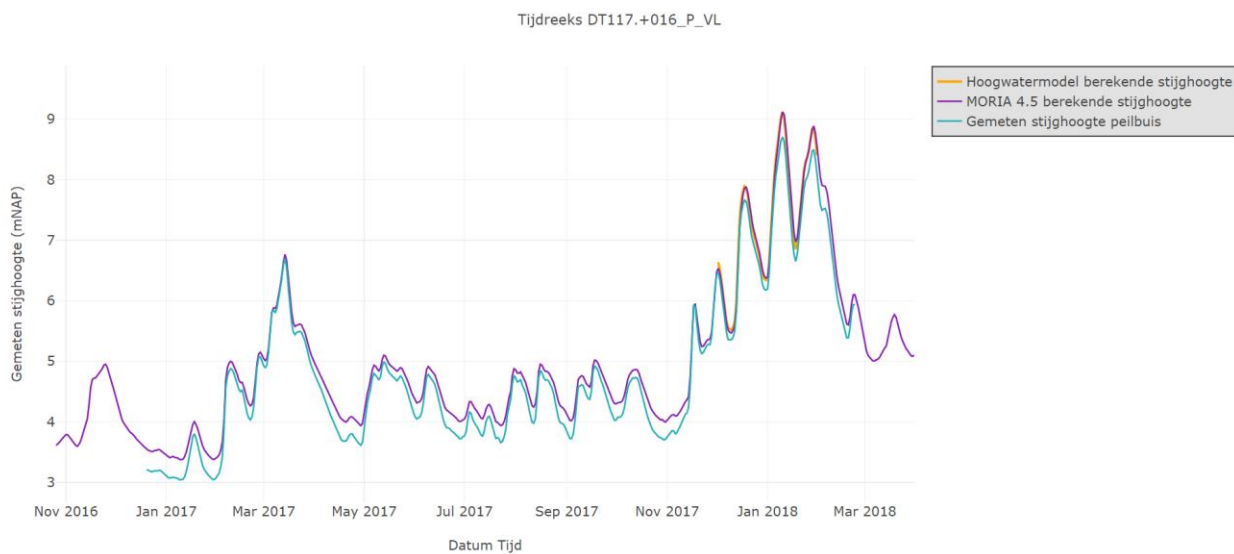
Figuur 23: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DD300, achterland.



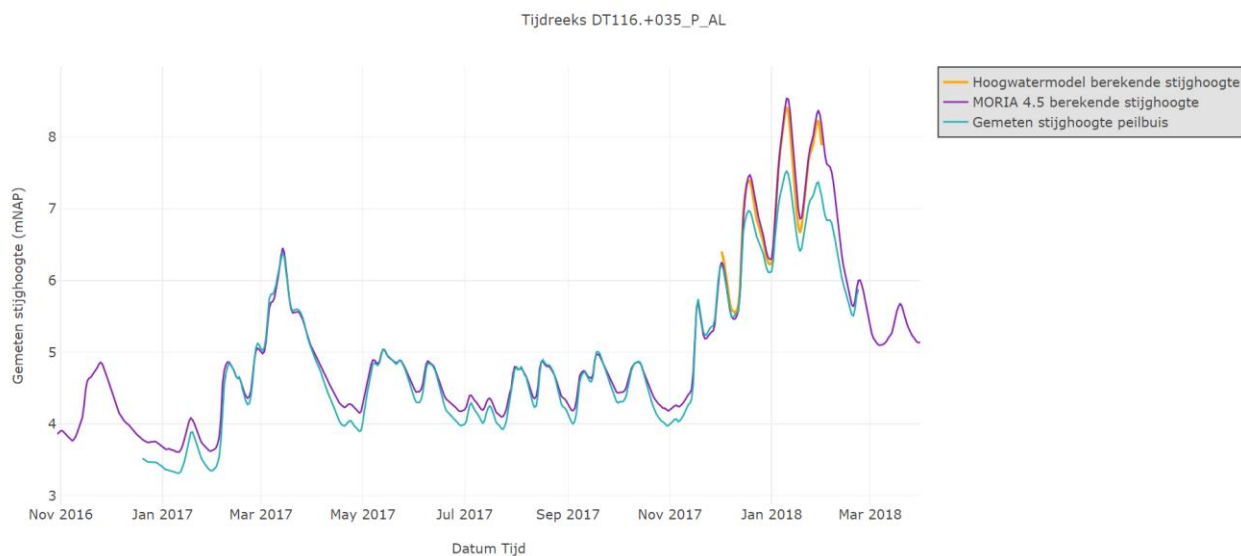
Figuur 24: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DD324/D325, voorland.



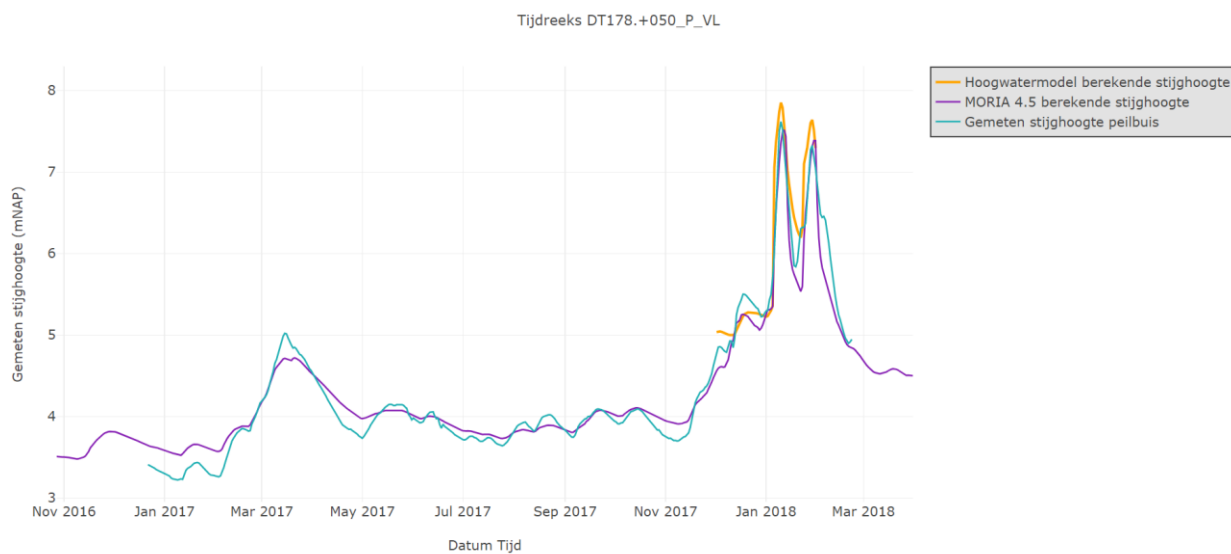
Figuur 25: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DD324/DD325, achterland.



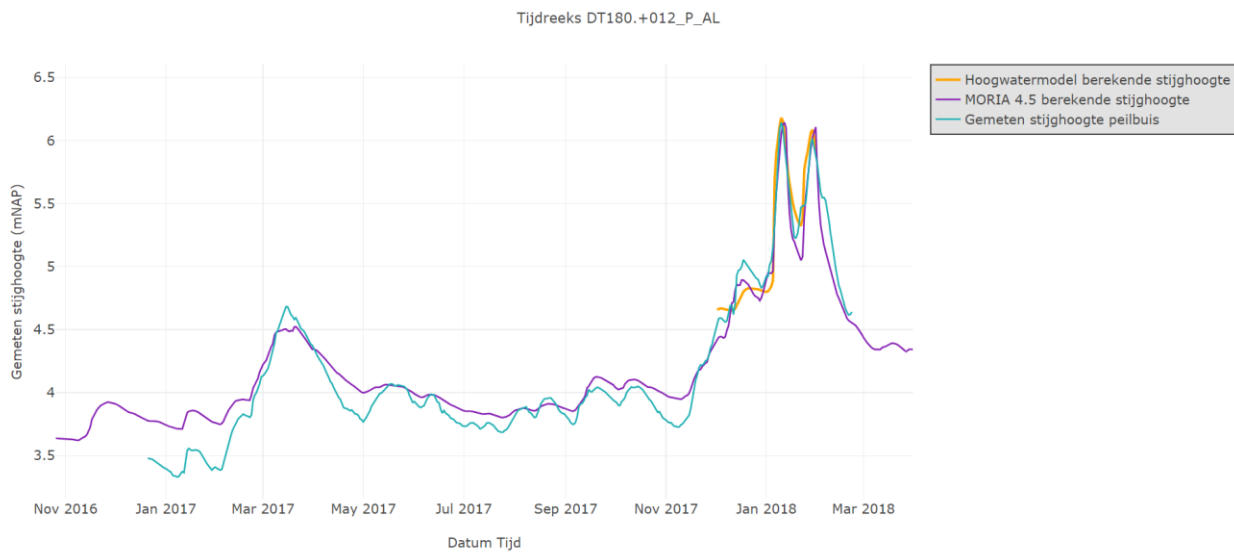
Figuur 26: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DT116/DT117, voorland.



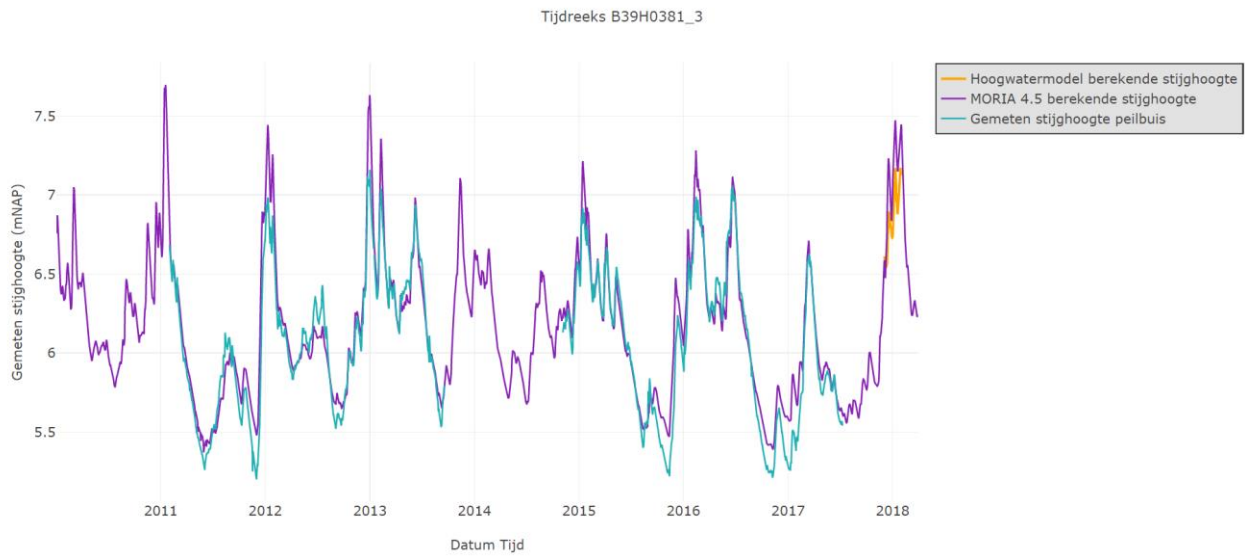
Figuur 27: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DT116/DT117, achterland.



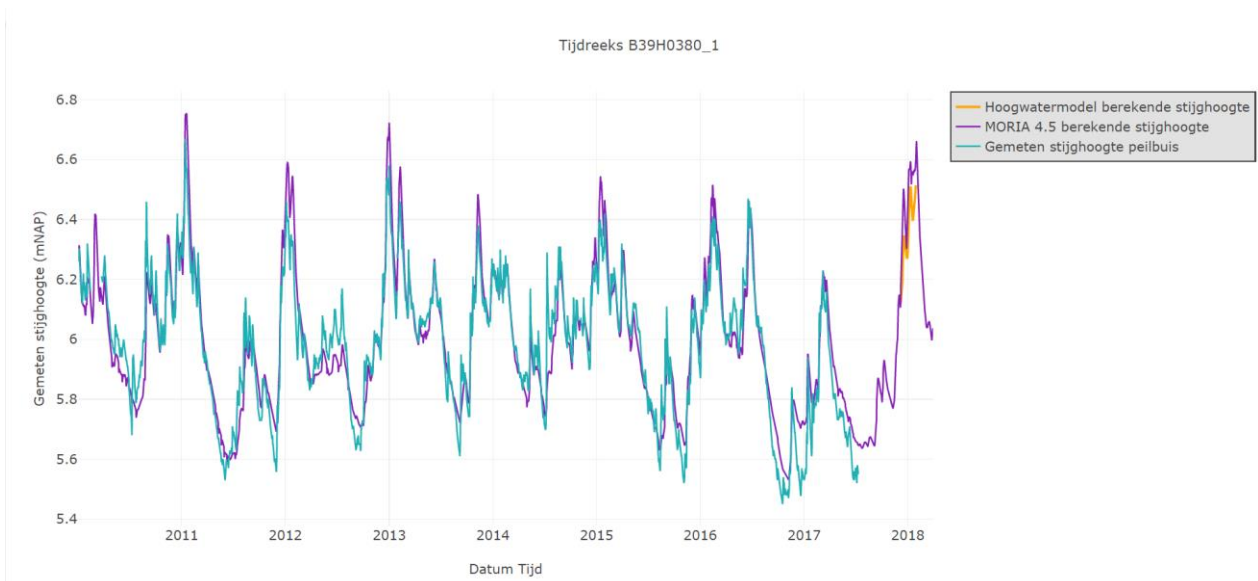
Figuur 28: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DT178/DT180, voorland.



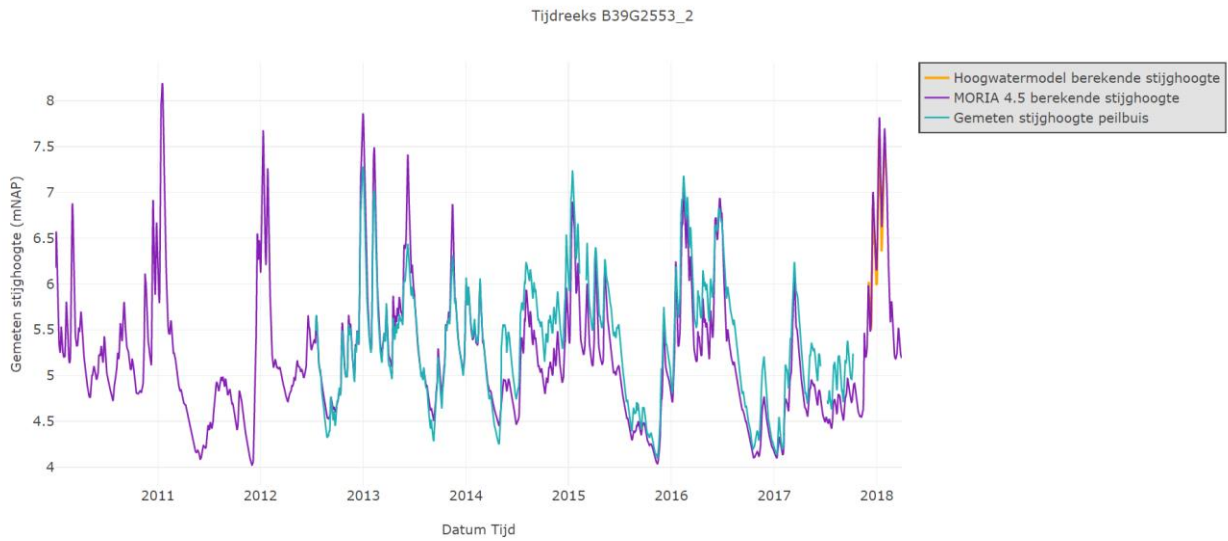
Figuur 29: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij meetraai DT178/DT180, achterland.



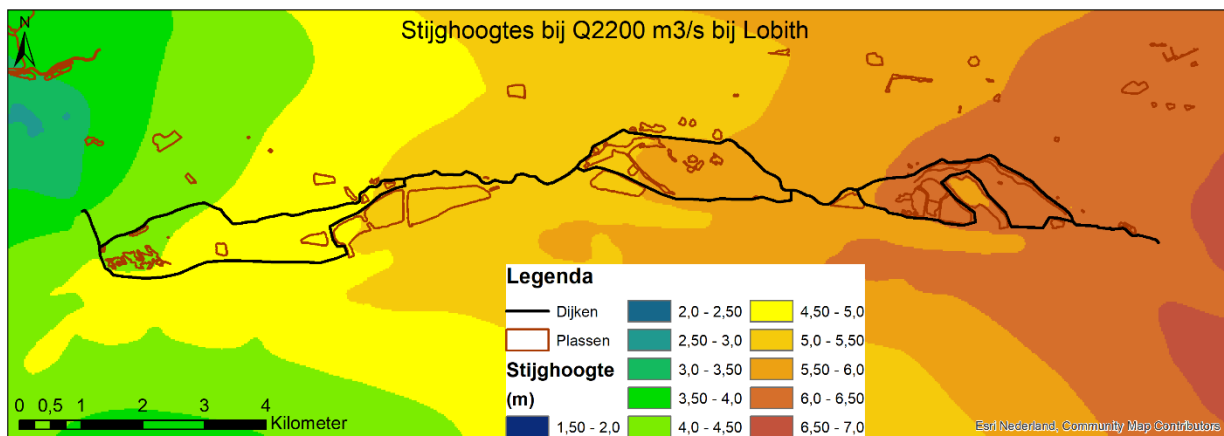
Figuur 30: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij Dinobuis B39H0381, achterland.



Figuur 31: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij Dinobuis B39H0380, achterland.



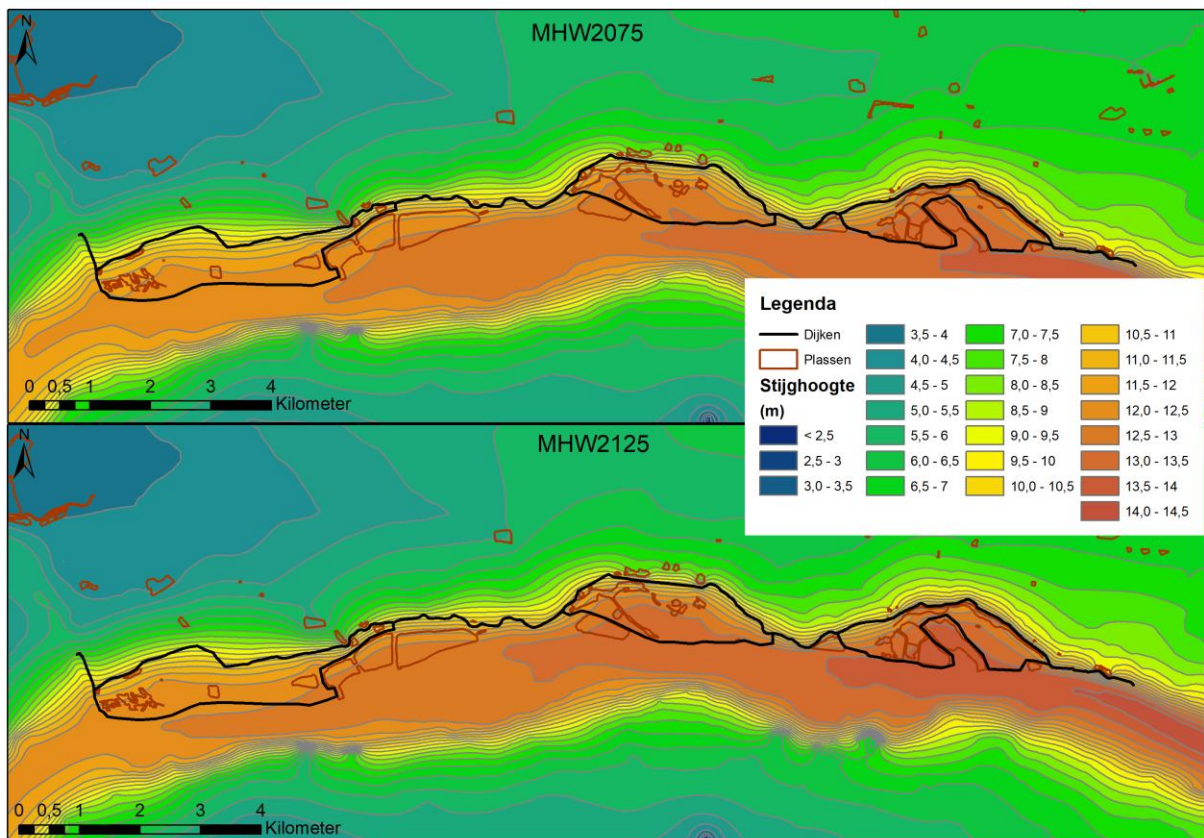
Figuur 32: Gemeten (oranje) en berekenende (blauw) stijghoogte bij Dinobuis B39G2553, achterland.



Figuur 33: Stijghoogtes eerste watervoerende pakket voor Q2200 situatie (stijghoogtes op 11-05-2019).

6 Resultaten MHW-situaties

Na de kalibratie en validatie van het grondwatermodel is het model goed genoeg bevonden om voor een MHW-situatie op de rivier de stijghoogte onder de dijk te bepalen. Hiervoor is met een rivierwaterstand die hoort bij MHW2075 en MHW2125 gerekend. Figuur 34 geeft de resultaten voor de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket weer van deze berekeningen. De rivier heeft duidelijk een infiltrerende werking in deze situaties. Verder staan de uiterwaarden volledig onder water in beide situaties. Ook hebben een aantal wielen en gaten achter de dijk een belangrijk effect op de stijghoogtes daar. Voor verdere geotechnische berekeningen zijn de stijghoogtes zoals weergegeven in Figuur 34 gebruikt.



Figuur 34: Stijghoogtes voor MHW2075 (boven) en MHW2125 (beneden).

7 Conclusie

Het doel van deze fase was het bepalen van de stijghoogten tijdens 4 situaties: MHW2075, MHW2125, GLG en Q2200. Hierbij is gebruikgemaakt van een goed functionerend geohydrologisch model. Het is gelukt om een goed gekalibreerd geohydrologisch model te maken. Waar er afwijkingen zijn bij de dijk berekent het geohydrologisch model te hoge stijghoogten, wat conservatief is voor het dijkontwerp. Met dit geohydrologisch model zijn de stijghoogten voor de 4 situaties bepaald ter plaatse van dijk. Deze zijn succesvol opgeleverd aan de geotechnisch adviseurs.

Oplevering

De volgende bestanden zijn opgeleverd aan de geotechnisch adviseurs om de dijk verder te dimensioneren:

- Stijghoogte raster MHW2075.
- Stijghoogte raster MHW2125.
- Stijghoogte raster GLG.
- Stijghoogte raster 11-05-2016 (Datum waarop de waterstand op de rivier overeenkomt met een afvoer van 2200 m³/s bij Lobith; voor de dimensionering van de dijk is dit gedefinieerd als de gemiddelde rivierwaterstand).

Aandachtspunten

De volgende aandachtspunten zijn geïdentificeerd:

- Voor de meetraaien DD324/325, DT054, DT062/063/064, DT116 en DT198 berekent het geohydrologisch model te hoge stijghoogten. Indien nieuwe kennis beschikbaar is over de deklaag en weerstand in de rivier, zou het model verder verbeterd kunnen worden.
- Bij lage afvoeren wijken de berekende stijghoogten bij een aantal raaien sterk af van de gemeten stijghoogten (zie Hoofdstuk 5). Dit is een aandachtspunt als dit model gebruikt gaat worden voor vervolgberekeningen bij laagwater.
- Het hydrologisch functioneren van de buitenpolders is vastgesteld op basis van expert kennis. Het inundatiepatroon is niet onderzocht met een hydraulisch oppervlaktewater model.

Aanbevelingen voor modelverbeteringen bij verder gebruik voor het Neder-Betuwe project

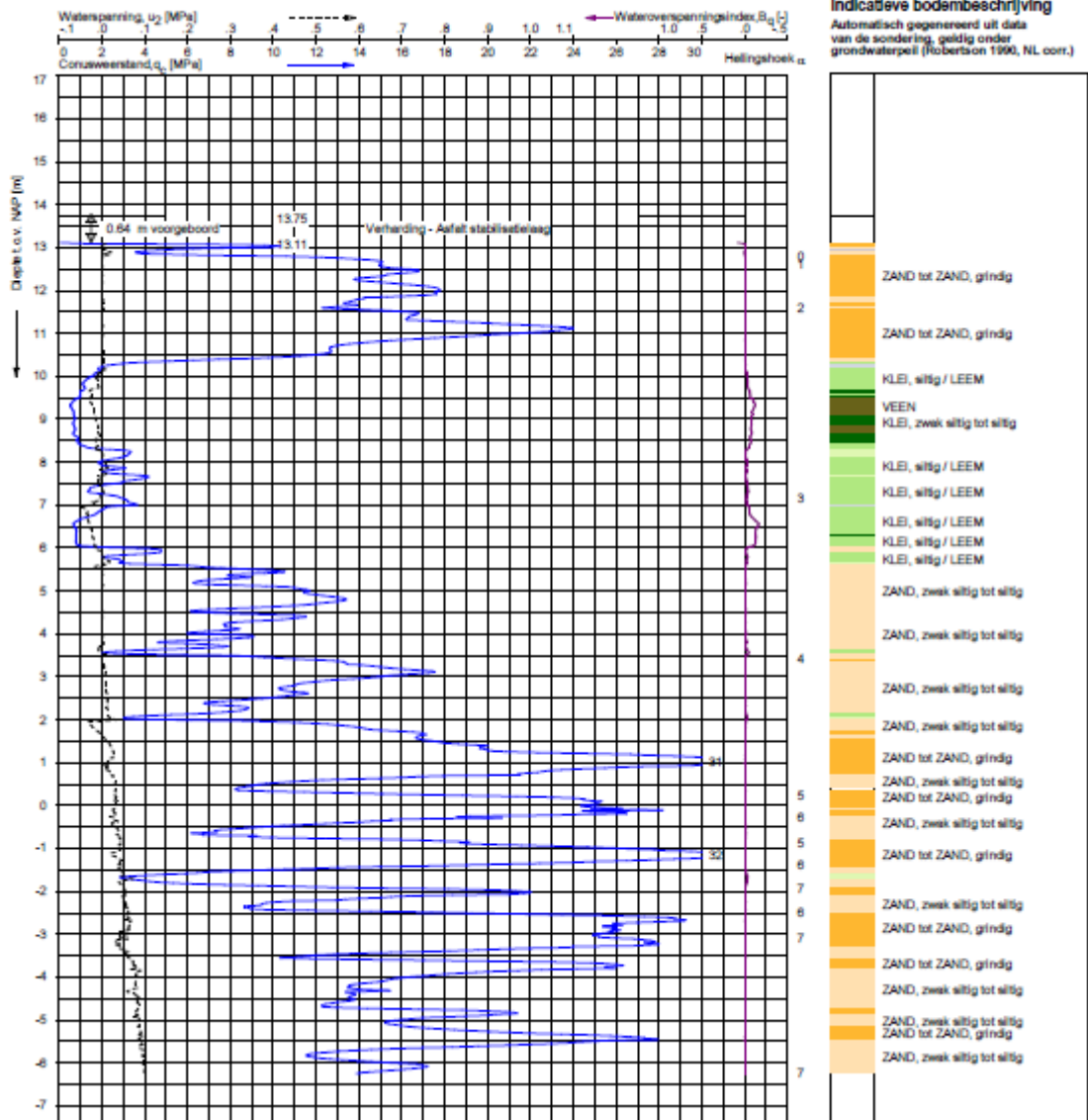
- Meer informatie over de drainage binnendijs bij Ochten/controleren of beschikbare informatie klopt.
- Meer onderzoek naar weerstand deklaag bij DT062/063/064.
- Meer onderzoek naar weerstand in voor- en achterland bij DT054 en DD324/325.
- Tijdens laagwater en droge periodes zakt de grondwaterstand in het model minder ver uit dan uit de metingen naar voren komt. Nu is het model gekalibreerd op hoogwater. Wanneer het model ook gebruikt wordt voor de effectbepaling van laagwater gebruikt wordt, is het belangrijk om het model voor deze periodes aanvullend te kalibreren.

8 Referenties

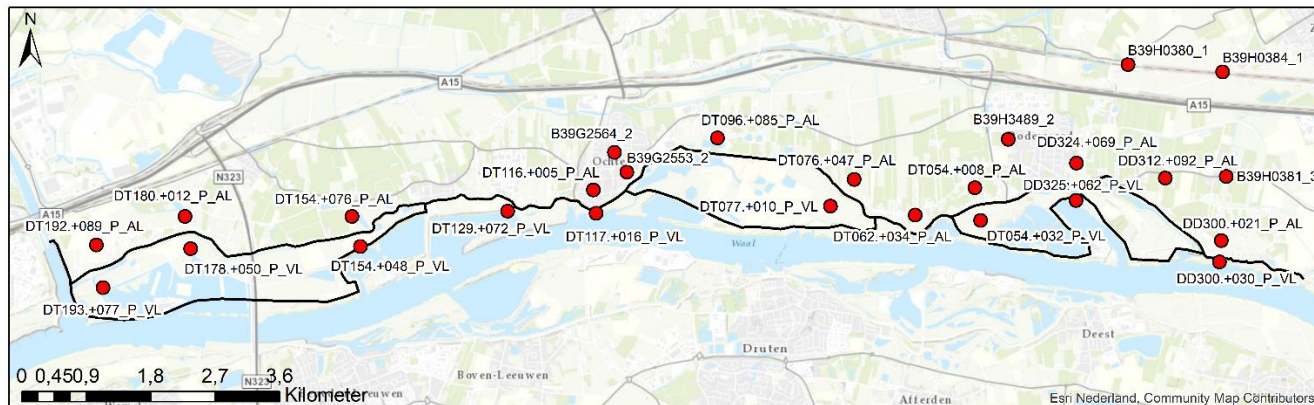
Royal HaskoningDHV, 2016. Nieuw lagenmodel voor het MORIA-modelinstrumentarium gebaseerd op REGIS en GeoTOP (rapport met betrekking tot MORIA v3). WATBE1595101100R001F01. 01/Finale versie. 5 oktober 2016.

Royal HaskoningDHV, 2018. Inbouwen REGIS II v2.2. in MORIA (rapport met betrekking tot MORIA v4.3) BG1132WATRP1806290900.

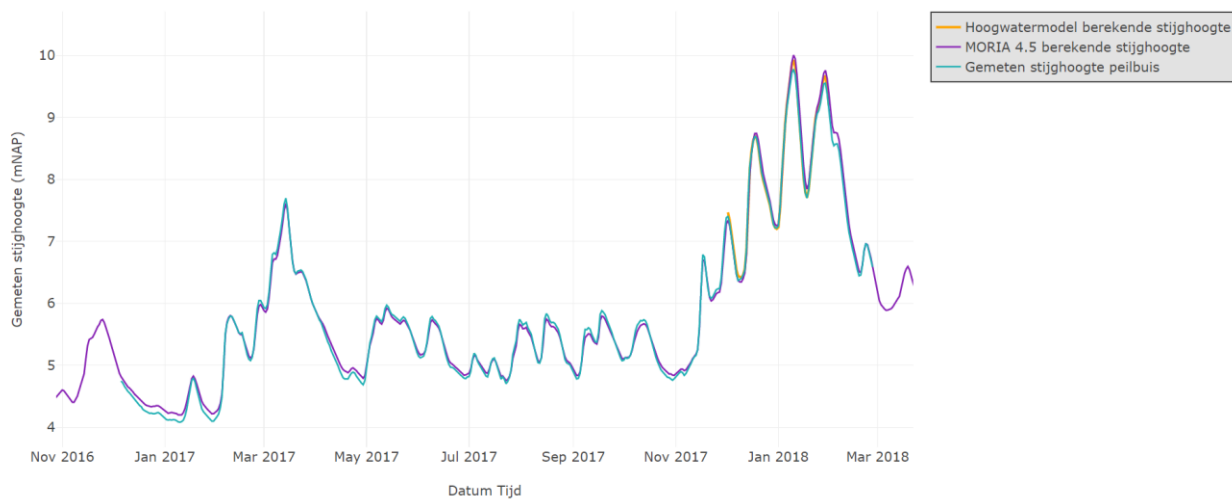
A1 Boorbeschrijving

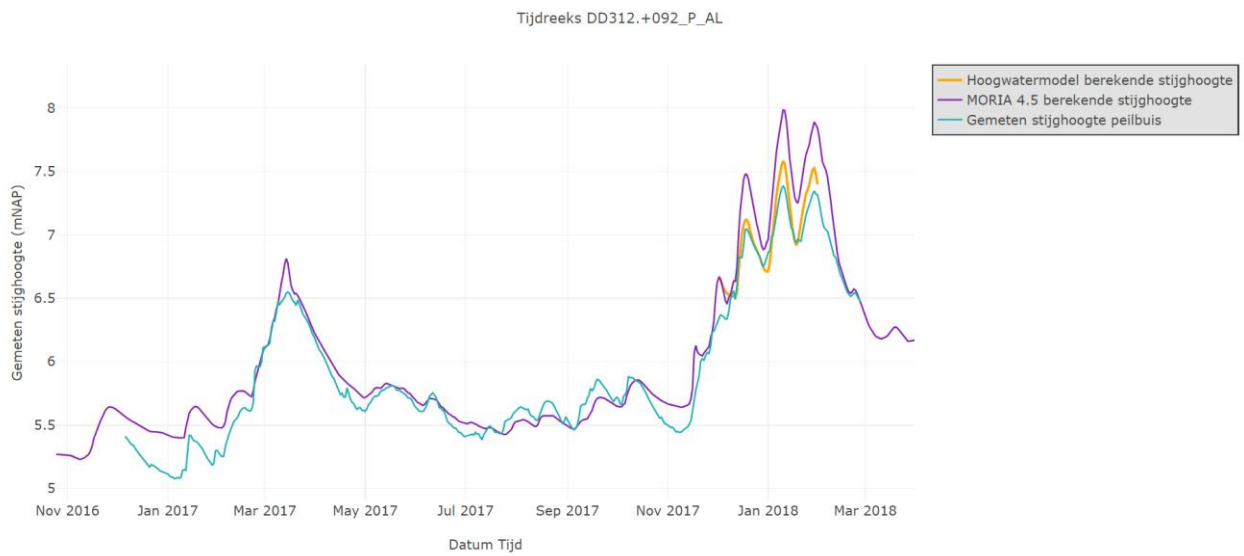
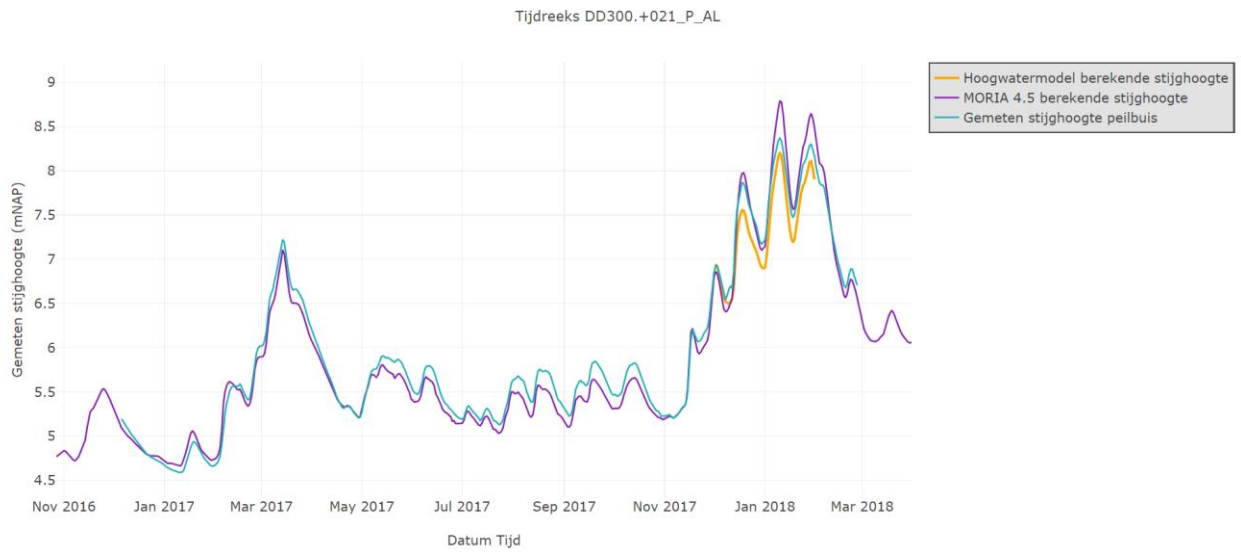


A2 Resultaten modelvalidatie

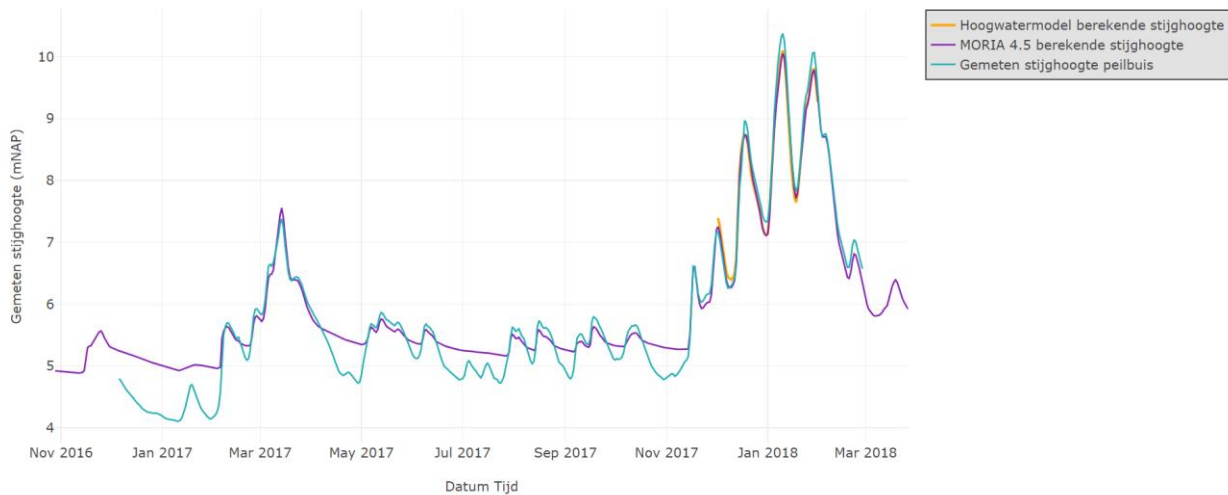


Tijdreeks DD300.+030_P_VL

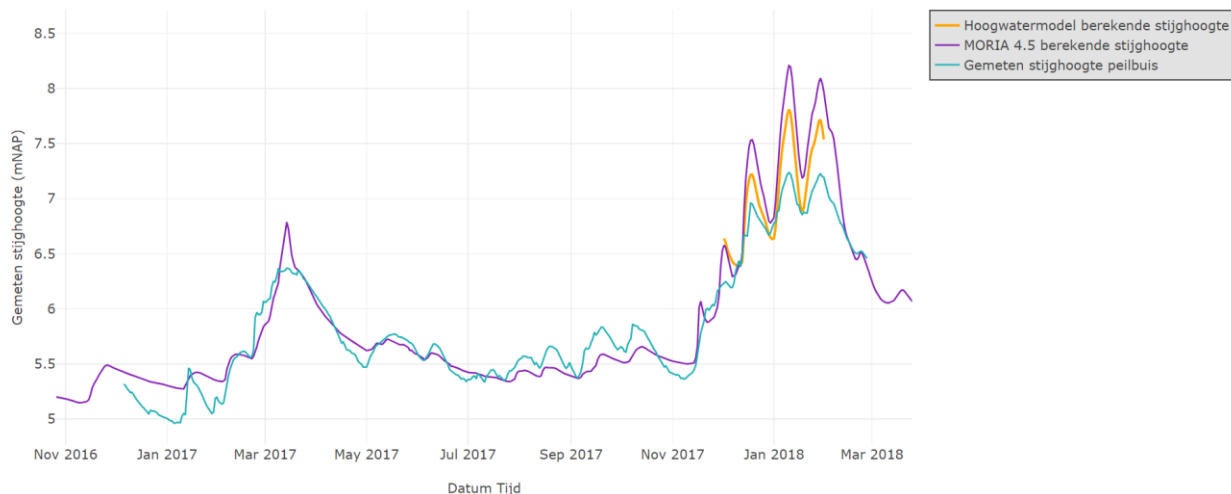




Tijdreeks DD325.+062_P_VL



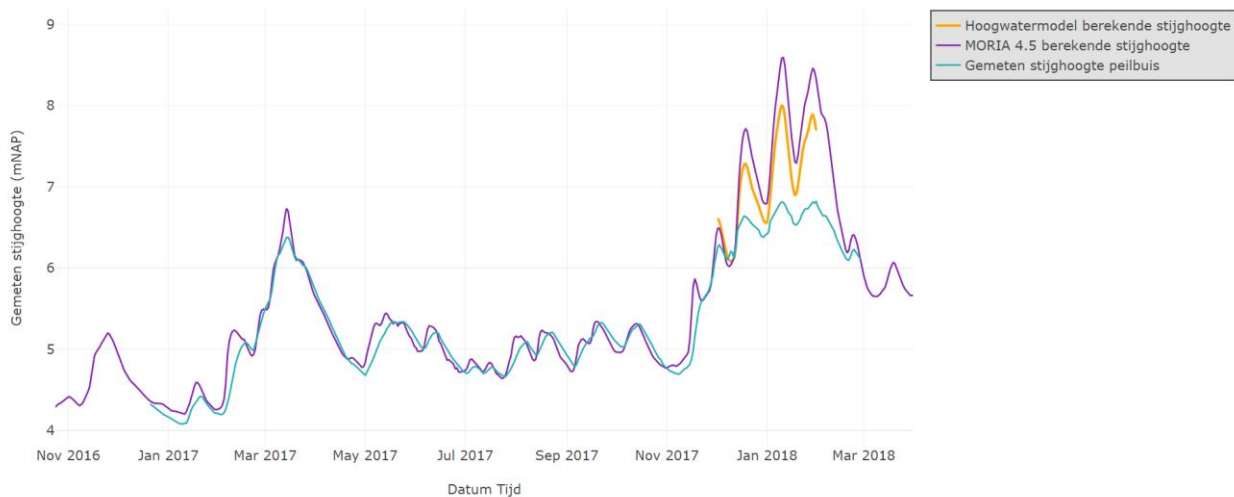
Tijdreeks DD324.+069_P_AL



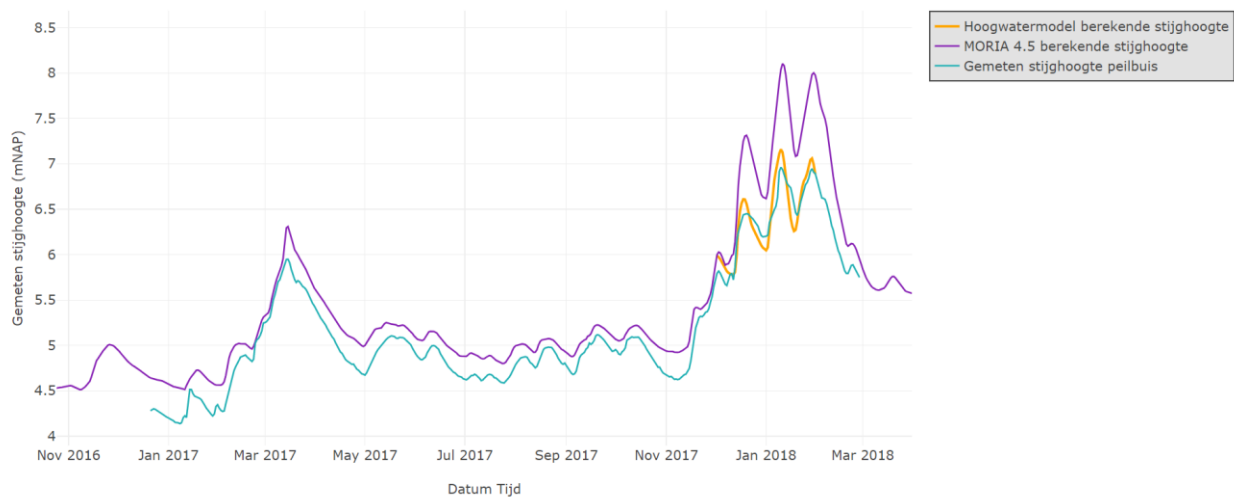
Tijdreeks DT054.+008_P_AL

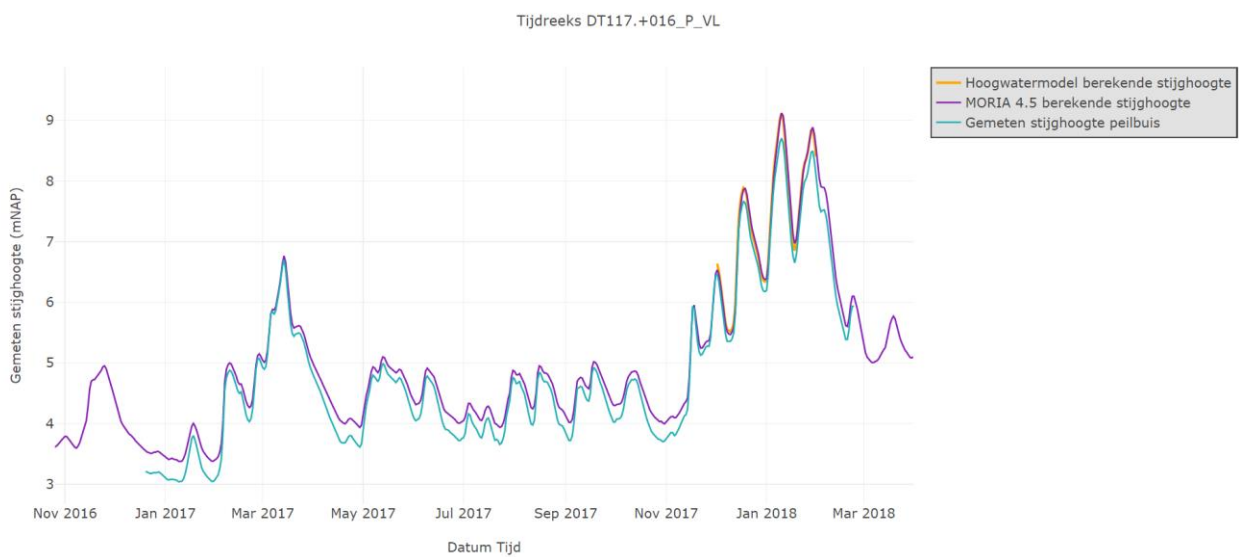
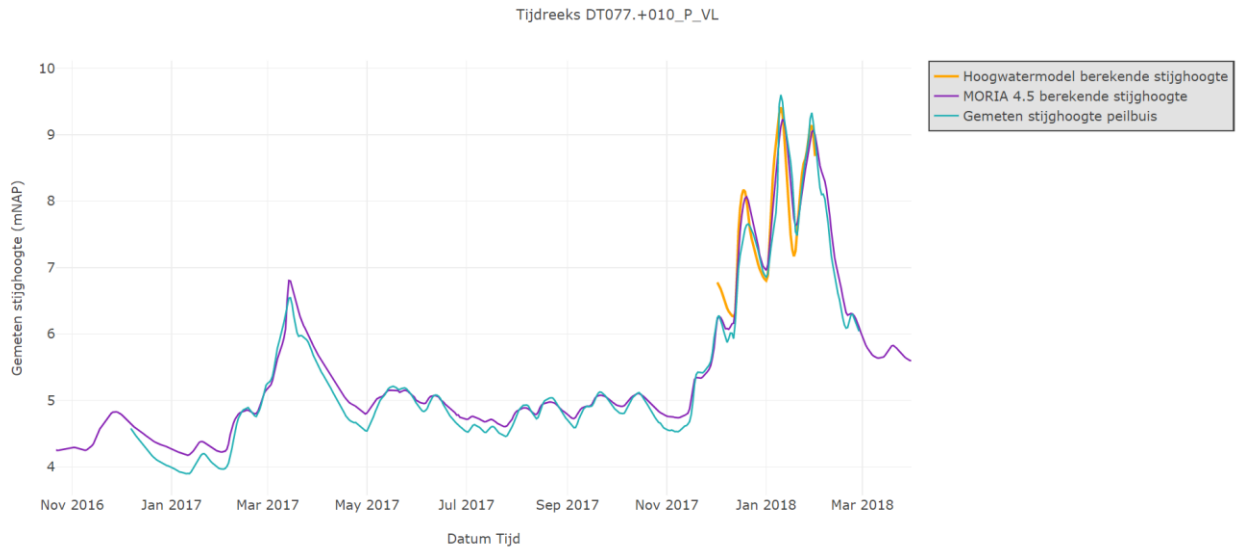


Tijdreeks DT062.+034_P_AL

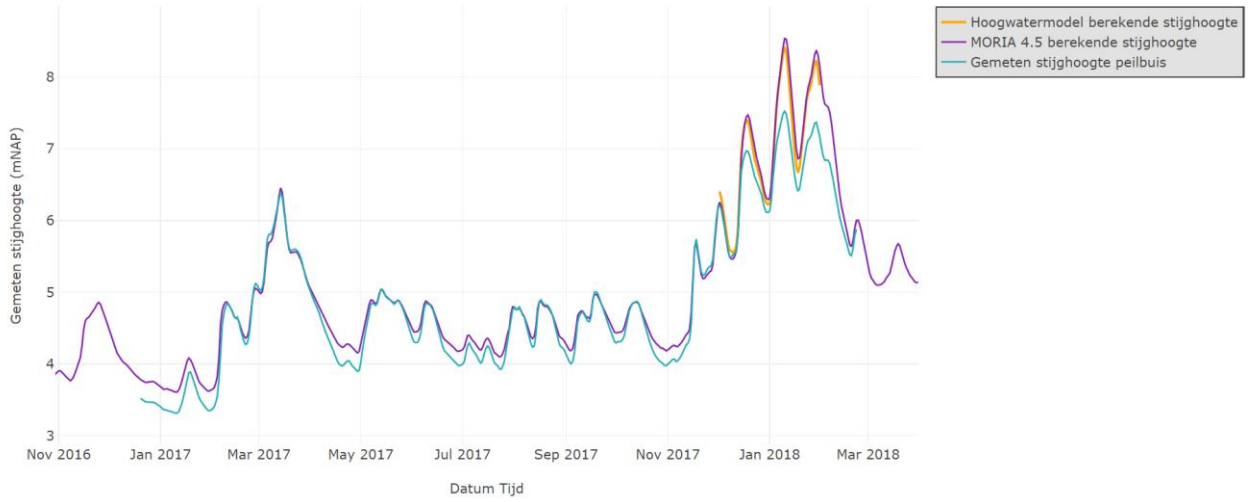


Tijdreeks DT076.+047_P_AL

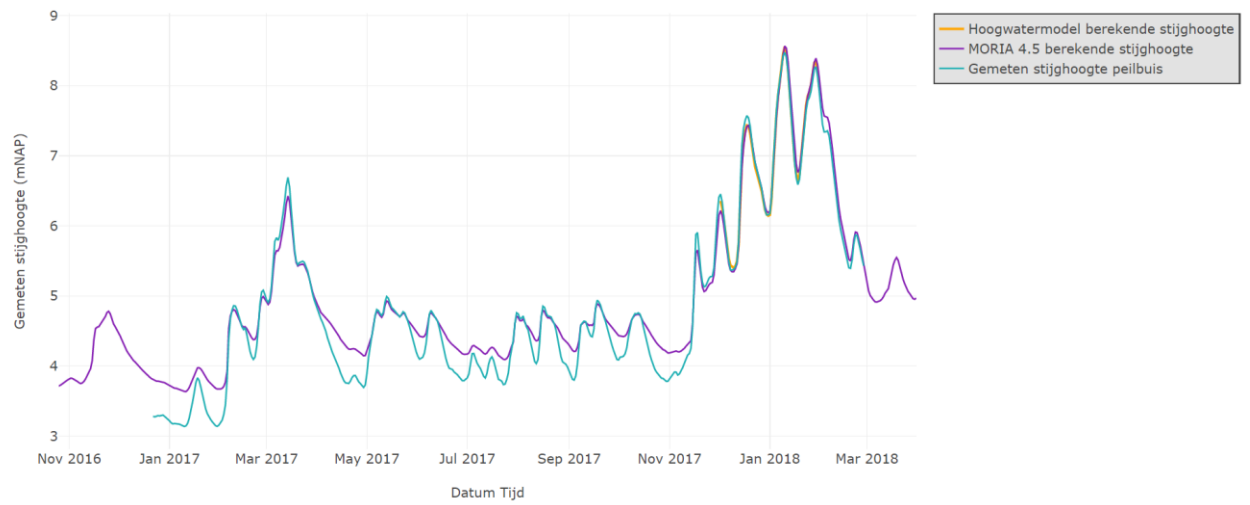




Tijdreeks DT116.+035_P_AL



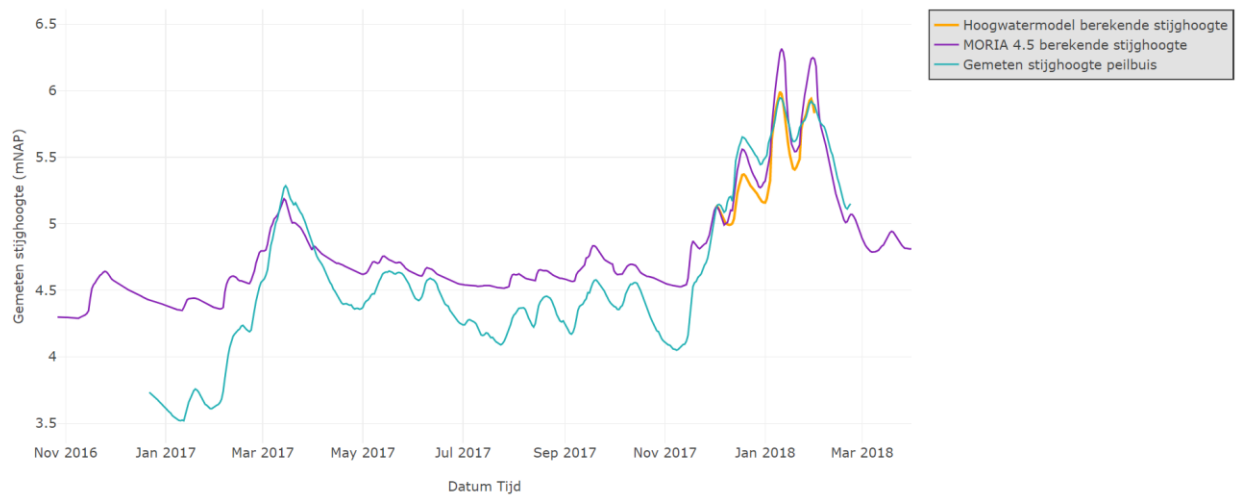
Tijdreeks DT129.+072_P_VL



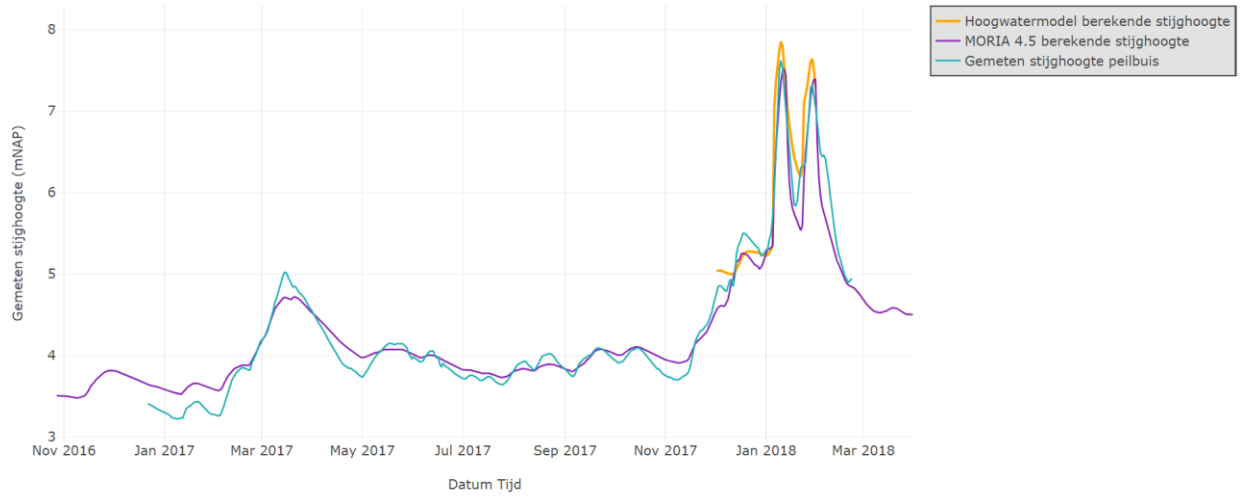
Tijdreeks DT154.+048_P_VL



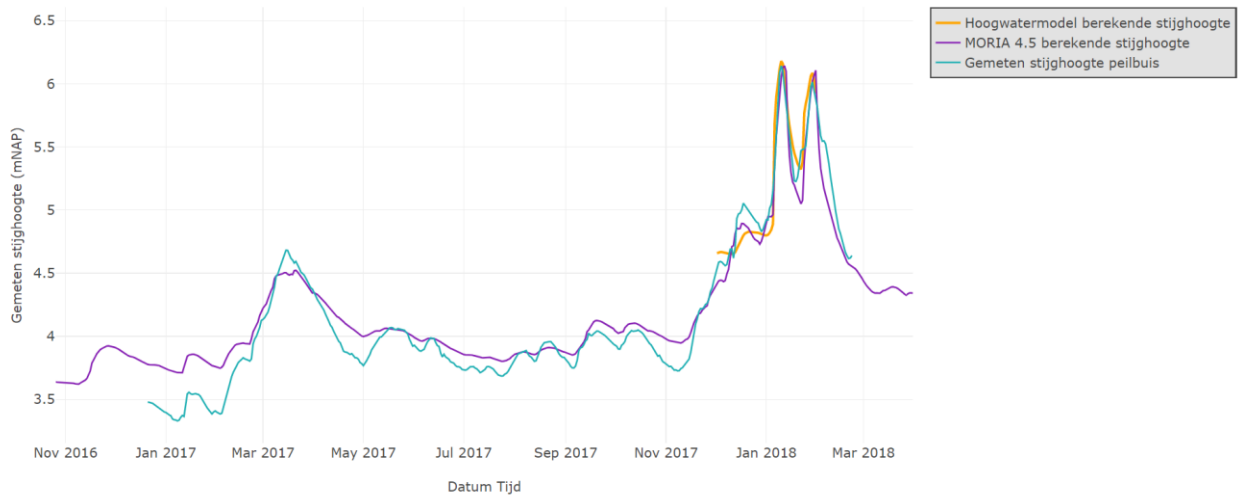
Tijdreeks DT154.+076_P_AL



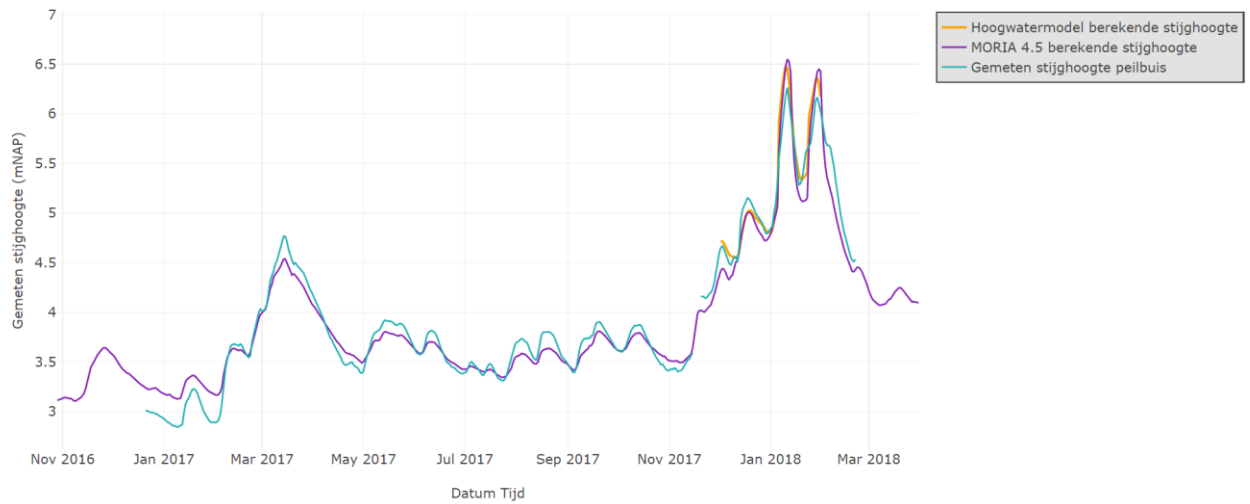
Tijdreeks DT178.+050_P_VL



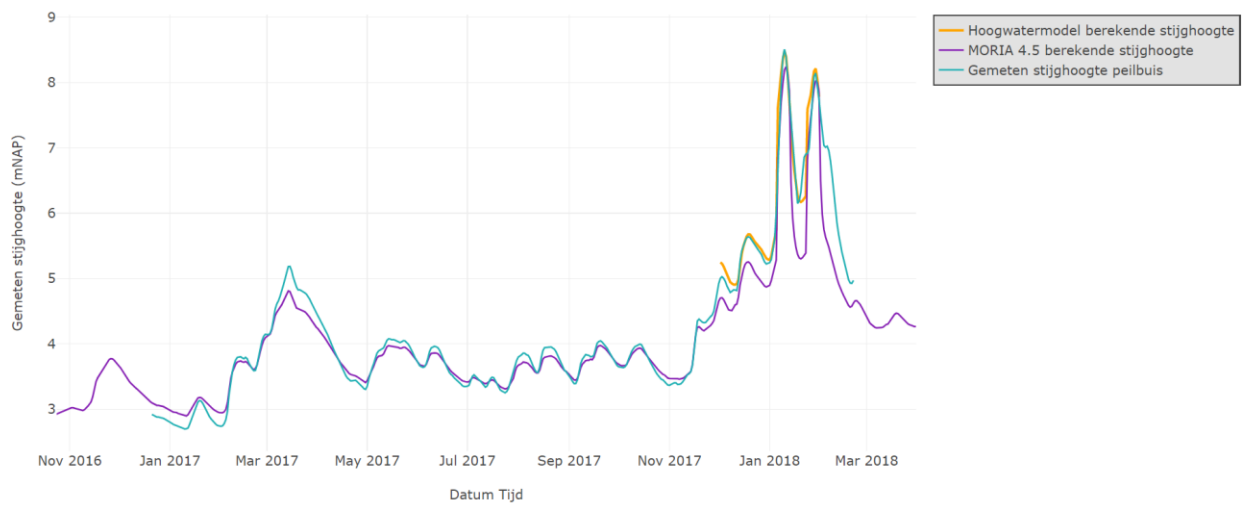
Tijdreeks DT180.+012_P_AL



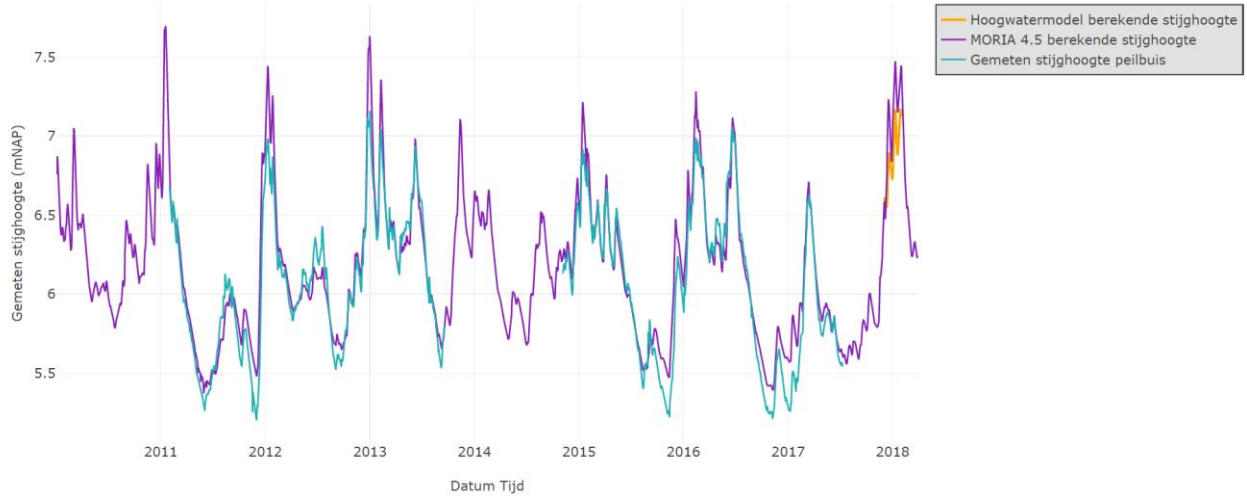
Tijdreeks DT192.+089_P_AL



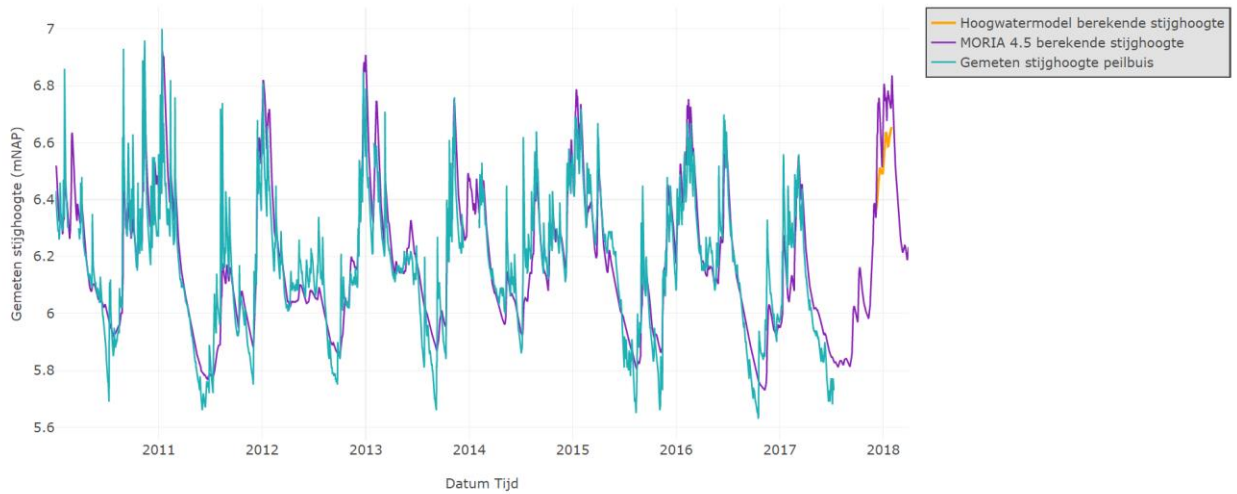
Tijdreeks DT193.+077_P_VL

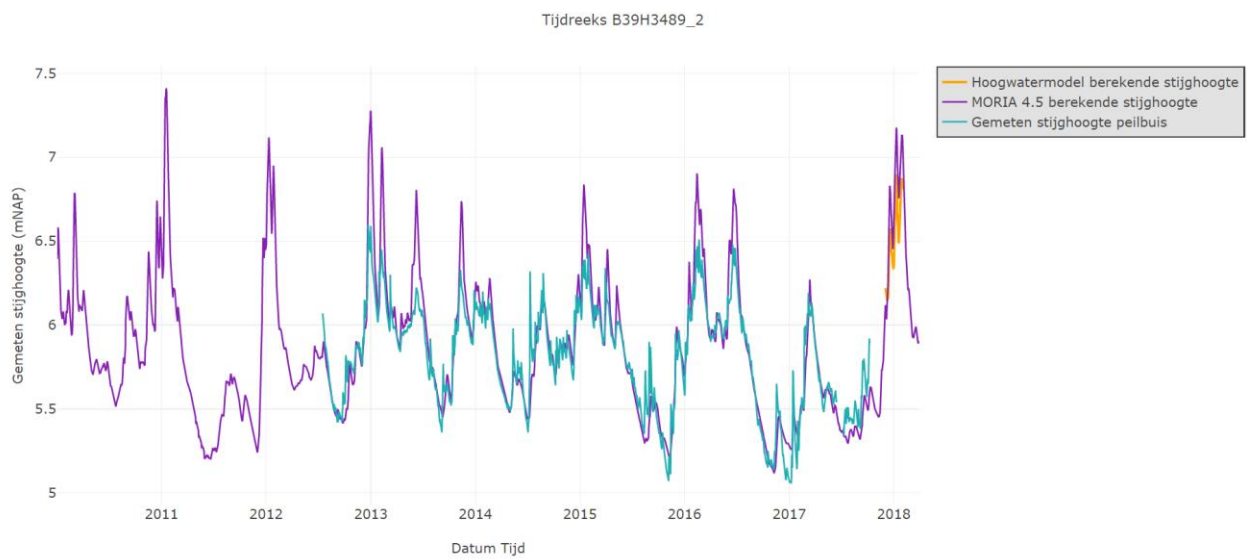
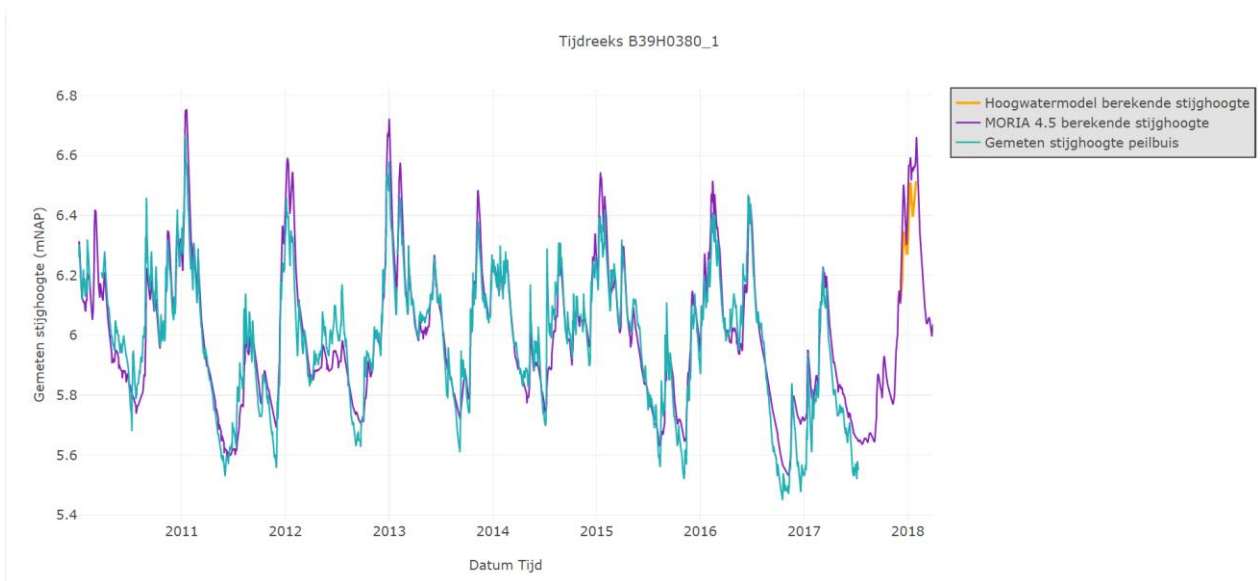


Tijdreeks B39H0381_3

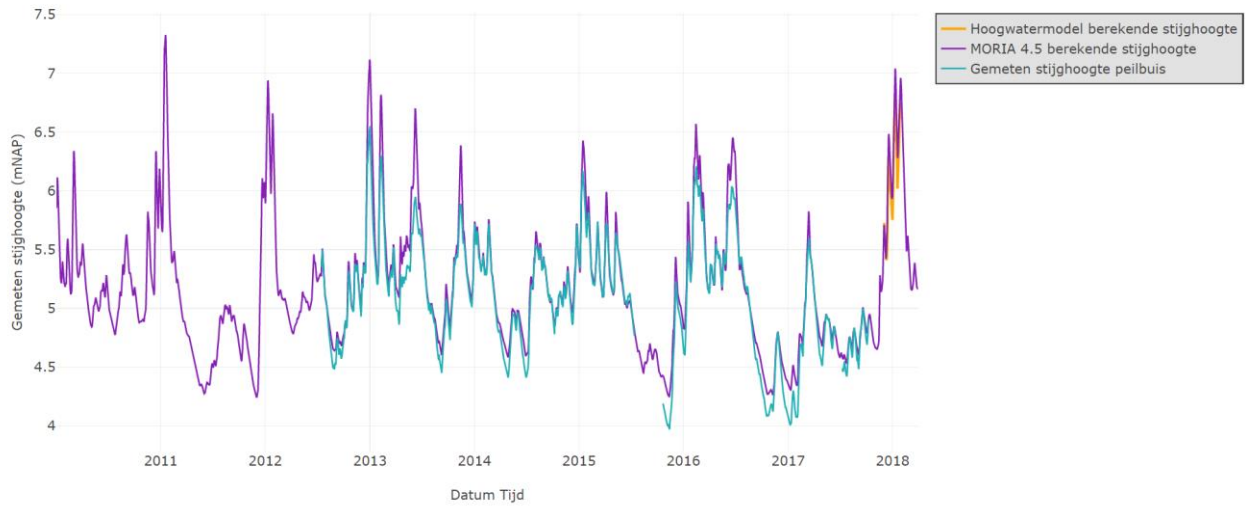


Tijdreeks B39H0384_1





Tijdreeks B39G2564_2



Tijdreeks B39G2553_2

