



# RAPPORT

## Actualisatie geohydrologische berekeningen Hoge Wei (Oosterhout)

Klant: Klok BouwOntwikkeling BV

Referentie: WATBE3034R004WM

Versie: 04/Finale versie

Datum: 16-11-2016

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52  
6534 AB Nijmegen  
Netherlands  
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: Actualisatie geohydrologische berekeningen Hoge Wei (Oosterhout)

Ondertitel: Actualisatie geohydrologische berekeningen Hoge Wei (Oosterhout)

Referentie: WATBE3034R004WM

Versie: Definitief04/Finale versie

Datum: 16-11-2016

Projectnaam: Ontwikkeling Hoge Wei te Oosterhout (Gld)

Projectnummer: BE3034

Auteur(s): Andries Krikken, Wouter Engel

Opgesteld door: Andries Krikken, Wouter Engel

Gecontroleerd door: Ben van der Wal

Datum/Initialen: 16 november 2016 

Goedgekeurd door: Jurg Marcusse

Datum/Initialen: 16 november 2016 

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 quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

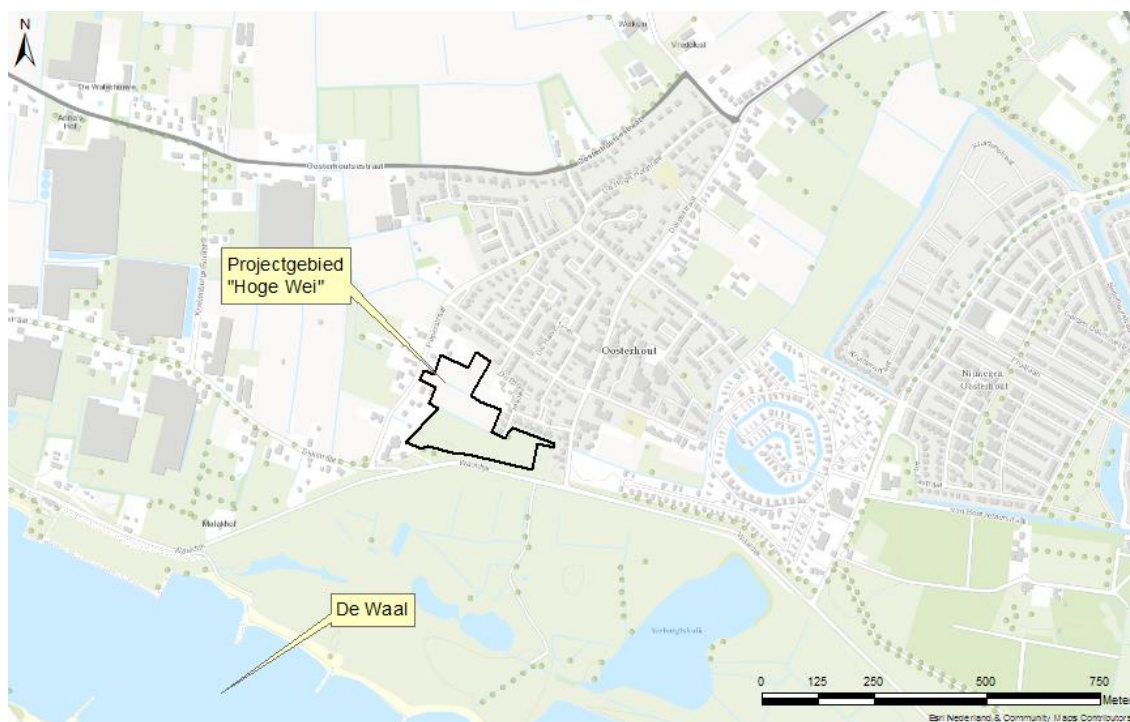
## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel en resultaat	1
1.3	Aanpak	2
1.4	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>Hydrologie en waterhuishouding Hoge Wei</b>	<b>4</b>
2.1	Maaiveld	4
2.2	Waterstanden van de Waal	4
2.3	Waterhuishouding Hoge Wei en omgeving	6
2.4	Grondwaterstanden	8
2.5	Beschrijving geohydrologische opbouw	10
2.6	Beschrijving grondwatersysteem	11
<b>3</b>	<b>Opbouw grondwatermodel</b>	<b>13</b>
3.1	Regionale geohydrologische modellen	13
3.2	Netwerk	13
3.3	Geohydrologische modelopbouw	14
3.4	Oppervlaktewater	16
3.5	Onttrekking	16
3.6	Grondwateraanvulling	16
3.7	IJking en huidige situatie geactualiseerde grondwatermodel	16
<b>4</b>	<b>Uitgangspunten waterhuishoudkundig ontwerp</b>	<b>22</b>
4.1	Waterhuishoudkundig ontwerp Hoge Wei	22
4.2	Hydrologisch relevante uitgangspunten en randvoorwaarden	24
4.2.1	Ophoging	24
4.2.2	Drainageniveaus	24
<b>5</b>	<b>Resultaten geohydrologische berekeningen t10-situatie</b>	<b>25</b>
5.1	Resultaten waterhuishoudkundig ontwerp	25
5.2	Resultaten dijkversterking	31
5.3	Resultaten inklinking klei	34
<b>6</b>	<b>Resumé en aanbevelingen</b>	<b>37</b>
6.1	Resumé	37
6.2	Ontwerpeisen en aanbevelingen	38

## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

Er is de afgelopen jaren al veel advieswerk verricht voor de ontwikkeling van woningbouw aan de “Hoge Wei” te Oosterhout (zie figuur 1.1). Royal HaskoningDHV heeft hier al meerdere malen een bijdrage aan geleverd. Voor de inpassing van deze nieuwbouwlocatie, gelegen aan de Waalbandijk in een bestaande woonomgeving, zijn onder meer de hydrologische berekeningen en advisering verzorgd (Royal HaskoningDHV, Riolerings- en waterhuishoudkundig ontwerp, 7 mei 2012).



Figuur 1.1: Locatie projectgebied

Om diverse redenen, waaronder directe zorgen uit de omgeving, is door Ontwerpbureau BRO een nieuw stedenbouwkundig plan uitgewerkt. Halverwege 2015 is op basis van het nieuw stedenbouwkundig plan door zowel BOOT als RHDHV een ‘quickscan’ uitgevoerd naar de haalbaarheid van het aangepaste stedenbouwkundig plan voor Hoge Wei (RHDHV, 8 juni 2015). Op basis van de uitkomsten van deze beoordeling is met een aantal voorbehouden van de gemeente Oosterhout en Waterschap Rivierenland, ‘groen licht’ gegeven voor een verdere uitwerking van het plan.

### 1.2 Doel en resultaat

Klok BouwOntwikkeling heeft Royal HaskoningDHV verzocht het nieuw stedenbouwkundige plan te implementeren in een geactualiseerd hydrologisch grondwatermodel op basis waarvan een integraal waterhuishoudkundig plan kan worden opgesteld dat gebruikt kan worden als onderbouwing voor de verdere procedures en planuitwerking.

Door het nieuwe stedenbouwkundige plan in het grondwatermodel te verwerken kunnen de geohydrologische effecten van het plan nauwgezet in beeld worden gebracht op basis waarvan de vereiste minimale ophoging kan worden berekend en de vereiste randvoorwaarden voor het waterhuishoudkundige ontwerp kunnen worden bepaald.

De resultaten van de hydrologische analyse zijn onderbouwde hydrologische berekeningen met uitgangspunten die de basis vormen voor het verdere ontwerpproces en het waterhuishoudkundig plan samen met de volgende figuren:

- Verandering grondwaterstand en stijghoogte ten opzichte van de huidige situatie;
- Verandering afvoer ten opzichte van de huidige situatie;
- Minimaal vereiste ophoging voor het gebied uitgaande van de vereiste ontwateringsdiepte.

Vanwege de toekomstige dijkversterking langs de Waaldijk tussen Wolferen en Sprok, in het kader van de nieuwe normering waterveiligheid (<http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl>) is bij het uitvoeren van de geohydrologische berekeningen aansluitend rekening gehouden met een variant van dijkversterking.

Het bureau BOOT zorgt voor de verdere uitwerking van het waterhuishoudkundig ontwerp op basis van het nieuw stedenbouwkundige plan. Dit is in een afzonderlijk document beschreven

### 1.3 Aanpak

Voor het uitvoeren van geohydrologische modelberekeningen beschikt het waterschap samen met Vitens en de provincie Gelderland over het modelinstrumentarium MORIA. Het modelinstrumentarium MORIA (Modellering Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel) omvat een regionaal grondwatermodel van het gehele beheergebied van het Waterschap Rivierenland. Het model is operationeel en wordt continu doorontwikkeld.

De afgelopen jaren zijn er in MORIA veel nieuwe inzichten over de laagopbouw en het oppervlaktewatersysteem beschikbaar gekomen. Deze nieuwe inzichten zijn gebruikt om de laagbouw en de geohydrologische karakteristieken van de ondergrond te verbeteren.

Aansluitend hebben de afgelopen jaren diverse ontwikkelingen plaatsgevonden in het stedelijk gebied van Oosterhout en Lent. Dit heeft zijn impact gehad op het watersysteem, voornamelijk op het oppervlaktewatersysteem.

#### *Geactualiseerd grondwatermodel voor het projectgebied*

Voor het projectgebied rond Hoge Wei is een uitsnede uit het MORIA model genomen dat vervolgens is gedetailleerd. Hiervoor zijn lokale bodemgegevens die beschikbaar zijn in het projectgebied in het model gebracht en is op basis van recente luchtfoto's en legger gegevens het huidige watersysteem in kaart gebracht. Het model is vervolgens getoetst aan de hand van meetgegevens in de peilbuizen op en rond de projectlocatie. Aan de hand van deze toetsing is het grondwatermodel aanvullend gekalibreerd. Het resultaat van deze stap is een geactualiseerd basismodel voor het plangebied Hoge Wei en omgeving dat kan worden gebruikt voor de diverse hydrologische berekeningen.

#### *Vertaling waterhuishouding tot het geactualiseerd grondwatermodel*

De specifieke waterhuishoudkundige onderdelen uit het waterhuishoudkundig ontwerp van BOOT zijn beargumenteerd vertaald en opgenomen in het grondwatermodel. Dit zijn bijvoorbeeld specifieke uitgangspunten over bergingscoëfficiënten en doorlatendheden van het aquaflowsysteem. Het resultaat

van deze stap is een geactualiseerd grondwatermodel met daarin opgenomen de waterhuishouding van plangebied Hoge Wei.

*Uitvoeren berekeningen (hoogwatergolf)*

De hydrologische gemiddelde situatie is gesimuleerd met het grondwatermodel en dit is als basis gebruikt om tijdsafhankelijk een hoogwatergolf ( $T = 10$ ) te berekenen voor de uitgangssituatie. Vervolgens zijn voor deze T10- hoogwatergolf hydrologische berekeningen uitgevoerd. Het stedenbouwkundig plan is getoetst en geoptimaliseerd op basis van deze hoogwatersituatie.

Vanwege de toekomstige dijkversterking langs de Waaldijk tussen Wolferen en Sprok, in het kader van de nieuwe normering waterveiligheid (<http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl>), is rekening gehouden met een variant van dijkversterking. Tevens is rekening gehouden met de mogelijke toename van de hydraulische weerstand van de deklaag als gevolg van inklinking door de ophoging.

In voorliggende rapportage zijn de resultaten en uitgangspunten beschreven van de geohydrologische modellering met uitgangspunten die de basis vormen voor het verdere ontwerpproces en het waterhuishoudkundig plan.

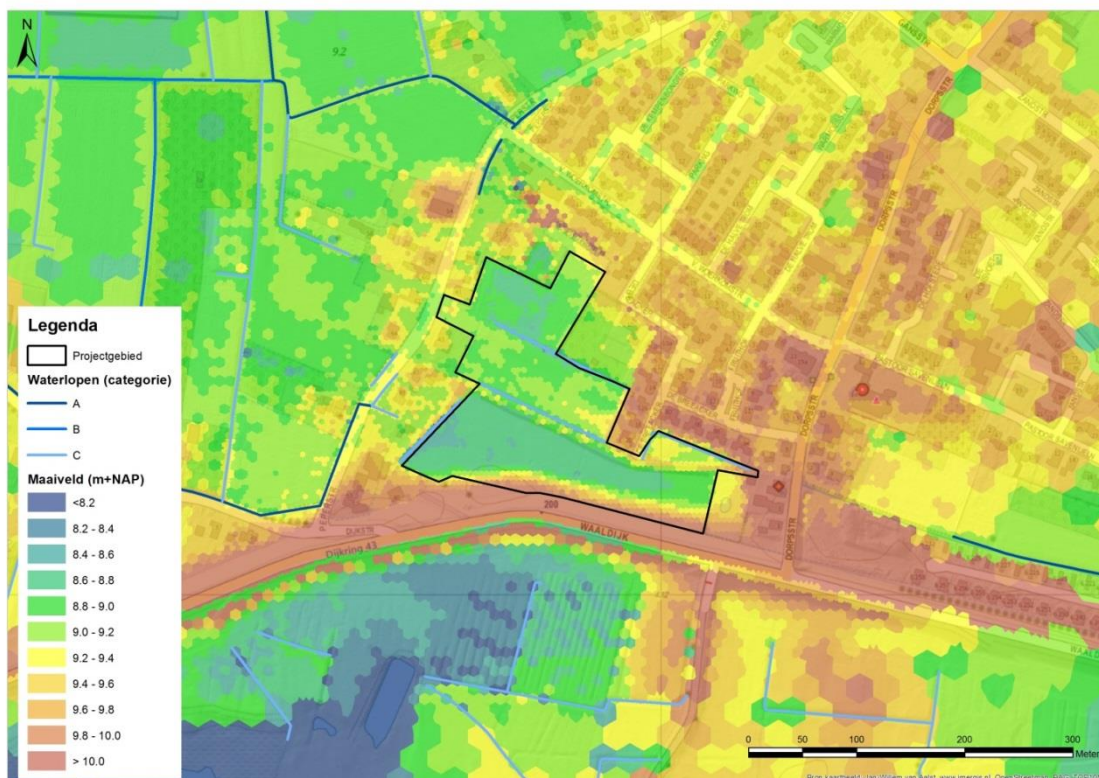
## **1.4 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 is een toelichting gegeven op de hydrologie en waterbeheer rond het projectgebied "Hoge Wei". Hoofdstuk 3 beschrijft de opbouw van het grondwatermodel. In hoofdstuk 4 is het waterhuishoudkundige ontwerp van het stedenbouwkundig plan beschreven en zijn de relevante uitgangspunten voor de hydrologische berekeningen uiteengezet. Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van de hydrologische berekeningen tijdens de hoogwatergolf.

## 2 Hydrologie en waterhuishouding Hoge Wei

### 2.1 Maaiveld

De hoogte van het maaiveld is afgeleid van het AHN2-bestand (Actueel Hoogtebestand Nederland). Het maaiveld varieert in het projectgebied "Hoge Wei" tussen NAP +8 m en NAP +9 m (zie Figuur 2.1). In de figuur is goed de relatieve laagte van het gebied ten opzichte van de omgeving te zien.

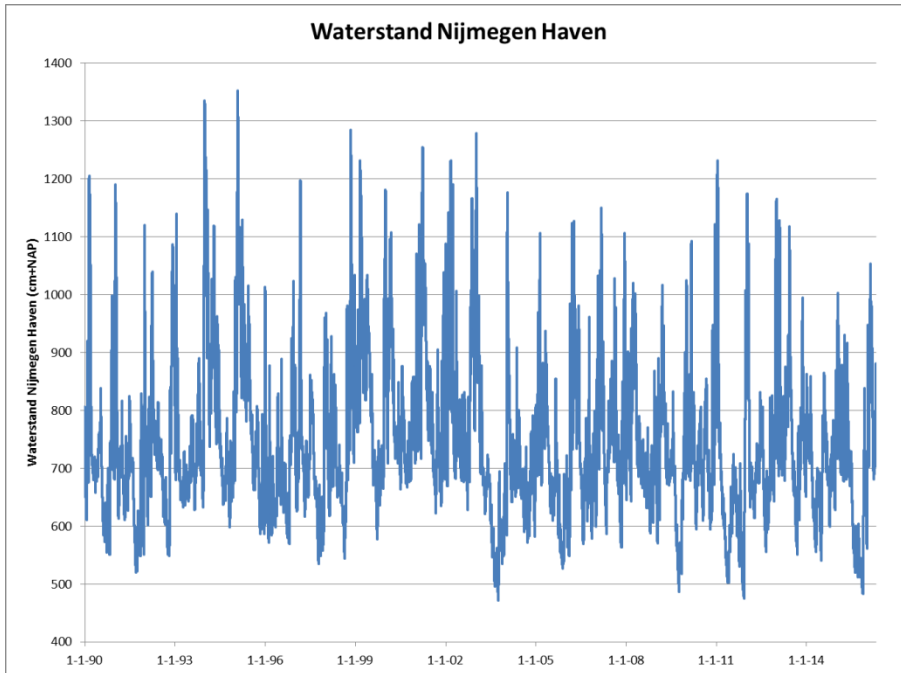


Figuur 2.1: Maaiveldniveau ter plaatse van het projectgebied "Hoge Wei" (NAP m).

### 2.2 Waterstanden van de Waal

De waterstanden van de Waal worden gemeten op verschillende locaties in de rivier door Rijkswaterstaat. Bij Nijmegen Haven (circa 3,5 km Oostelijk van Oosterhout) ligt het dichtstbijzijnde meetpunt. In Figuur 2.2 zijn de gemeten waterstanden bij Nijmegen Haven weergegeven.

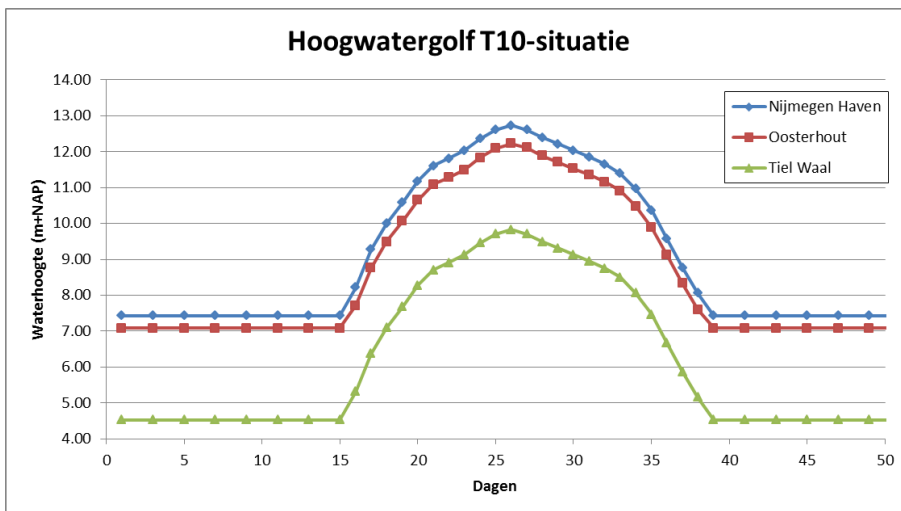
De gemiddelde waterstand – gecorrigeerd voor de meetfrequentie – in de periode januari 1990 tot april 2016 bij Nijmegen Haven, bedraagt NAP +7,43 m. Het eerstvolgende meetpunt stroomafwaarts is bij Tiel en de gemiddelde waterstand bedraagt hier NAP +4,53 m. Op basis van lineaire interpolatie is een inschatting gemaakt van de gemiddelde waterstand bij Oosterhout en deze bedraagt NAP +7,08 m.



Figuur 2.2: Gemeten waterstand Nijmegen Haven.

In het projectgebied “Hoge Wei” zijn de afgelopen jaren grondwaterstanden gemonitord gedurende een periode van circa 3,5 jaar, namelijk van 14 juli 2009 tot en met 28 maart 2013. Gedurende deze meetperiode bedraagt de gemiddelde waterstand bij Nijmegen haven NAP +7,10 m. De gemiddelde waterstand bij Tiel bedraagt NAP +4,41 m over deze periode. Op basis van lineaire interpolatie is een inschatting gemaakt van de gemiddelde waterstand bij Oosterhout in deze periode en deze bedraagt NAP +6,78 m.

Aan de hand van opgevraagde gegevens van Rijkswaterstaat (mei 2016) is een hoogwatergolf voor de T10-situatie afgeleid. In Figuur 2.3 zijn de hoogwatergolven voor de twee meetpunten en de inschatting voor Oosterhout weergegeven. De maximale waterstand bij Oosterhout voor een T10-situatie bedraagt circa NAP +12,20 m.



Figuur 2.3: Hoogwatergolf voor een T10 situatie.



## 2.3 Waterhuishouding Hoge Wei en omgeving

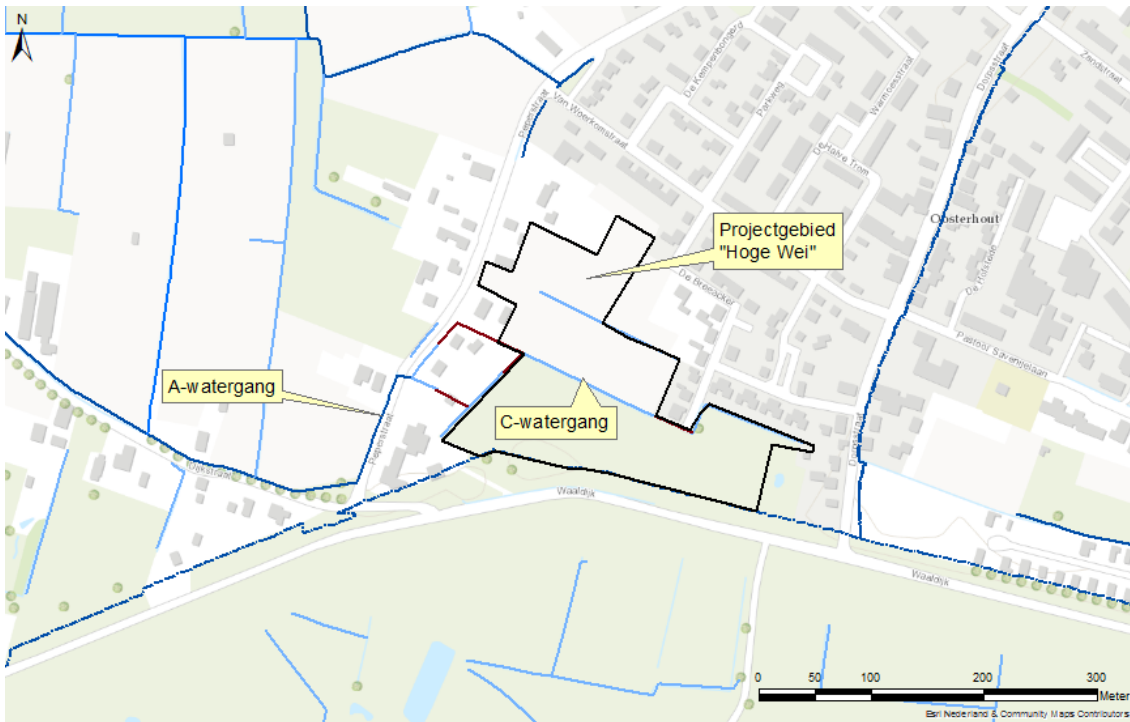
Op basis van aangeleverde informatie van het waterschap is de waterhuishouding van het projectgebied in beeld gebracht. In Figuur 2.4 is een overzicht gegeven van de begrenzing van de peilgebieden en de watergangen van de legger. Het projectgebied "Hoge Wei" maakt onderdeel uit van het peilgebied van Oosterhout en heeft een streefpeil van NAP +7,80 m.



Figuur 2.4: Streefpeilen rondom Hoge Wei (NAP +m).

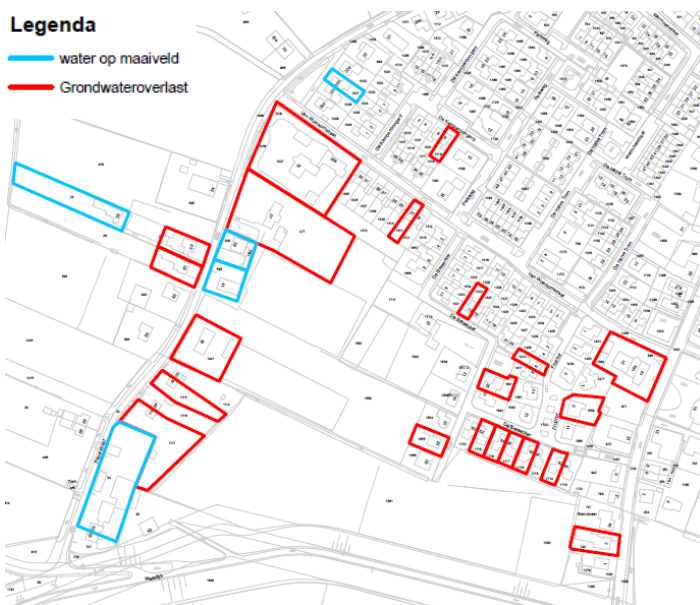
Het projectgebied bestaat uit een aantal weilanden tussen de kern van Oosterhout en de Waaldijk. De zone direct achter de dijk (ook wel kwelweide genoemd) inundeert bij een hoge waterstand op de Waal. Ten noorden van deze weide loopt een afvoerende sloot (C-watergang) van oost naar west door het plangebied (zie figuur 2.5). Deze afvoerende sloot water af naar een A-watergang van het waterschap langs de Peperstraat. Deze watergang heeft een streefpeil van NAP +7,80 m.

De afvoerende sloot in het projectgebied staat in verbinding met de A-watergang door middel van particuliere duikers. Op basis van oude legger gegevens van het Waterschap is de bodemhoogte van de duikers bepaald. Het hoogste punt in het traject is NAP +7,94 m. Met inachtneming van enige aanslibbing en een waterniveau van 0,2 meter is voor de afvoerende sloot uit gegaan van een drainageniveau van NAP+8,20 m.



Figuur 2.5: Huidige lokale waterhuishouding Hoge Wei.

Bewoners van de aan het plangebied grenzende wijk Weijs 1 hebben last van grondwateroverlast. Meerdere bewoners klagen over te natte tuinen en enkele bewoners hebben vochtproblemen in de woning tijdens hoge rivierstanden. Dit is gebleken uit een enquête over wateroverlast onder de bewoners uit 2007 (Royal Haskoning, Water in Hoge Wei, 22 januari 2007). De resultaten van de inventarisatie van de klachten zijn opgenomen in figuur 2.6. Er is bij de gemeente Overbetuwe niets bekend over een actief drainagesysteem in de bebouwde kern van Oosterhout (met uitzondering van lokale drainage via wegen/riolering).



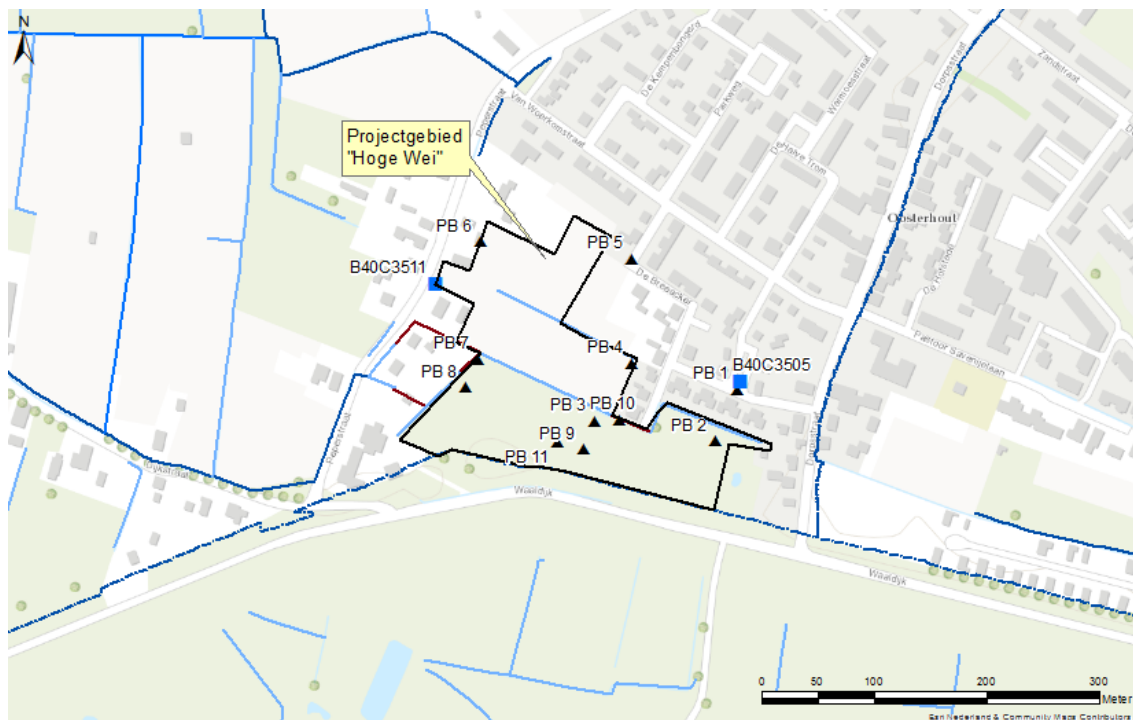
Figuur 2.6: Resultaten inventarisatie klachten wateroverlast (Royal Haskoning, Water in Hoge Wei, 22 januari 2007).

## 2.4 Grondwaterstanden

In het projectgebied zijn een aantal jaar geleden 11 peilbuizen geplaatst (zie figuur 2.7). Van de 11 peilbuizen zijn 9 peilbuizen langere tijd bemeten (ca 3,5 jaar). Tabel 2.1 geeft de filterstellingen van peilbuis 1 tot en met 8 weer. De filters staan aan de bovenzijde van het eerste watervoerend pakket. Van de overige peilbuizen zijn geen filterstellingen bekend maar er is van uit gegaan dat deze ook in het eerste watervoerend pakket staan

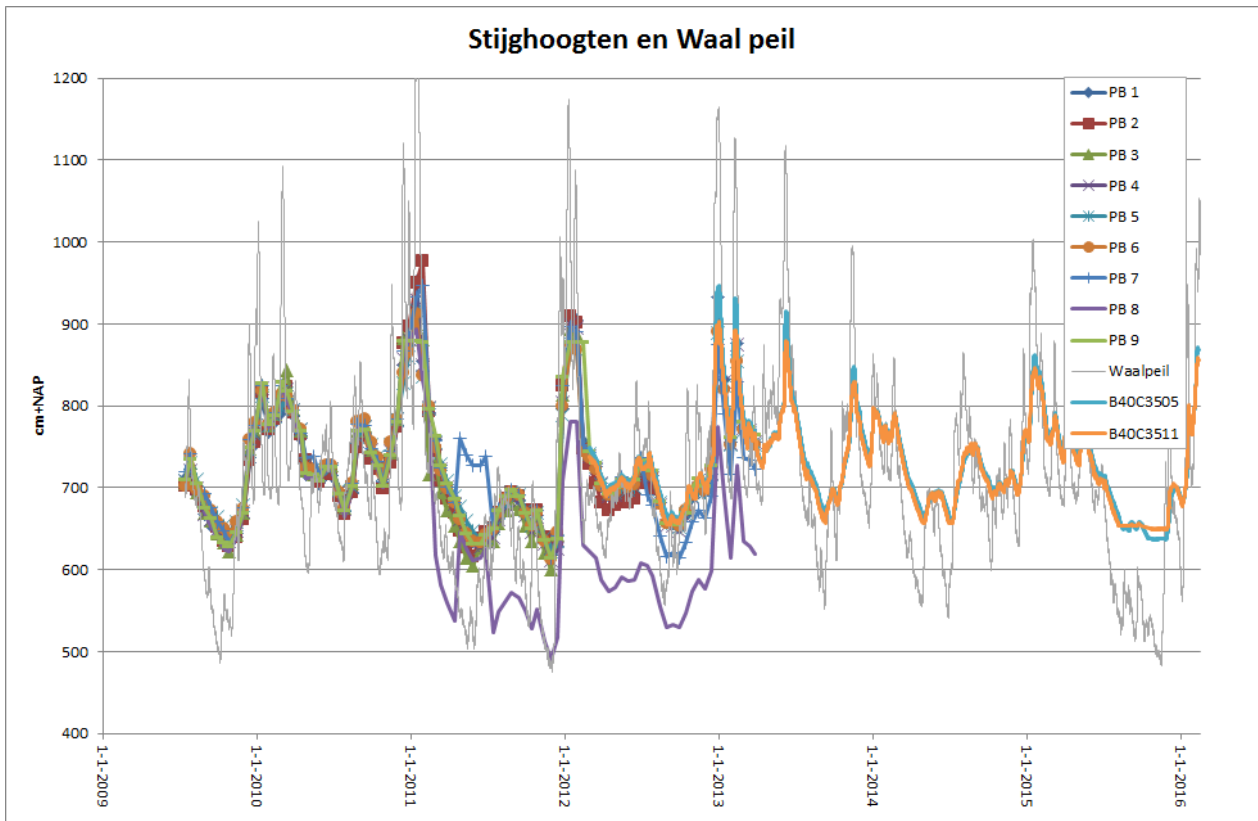
Tabel 2.1: Filterstellingen peilbuizen "Hoge Wei"

Peilbuis	Bovenkant filter (m-mv)	Onderkant filter (m-mv)	Sediment
PB 1	3	4	Matig fijn zand, licht siltig
PB 2	3	4	Matig fijn zand, licht siltig
PB 3	2	3	Grind
PB 4	2.5	3.5	Matig grof zand en grind
PB 5	3	4	Grind
PB 6	3	4	Klei en matig fijn zand
PB 7	3	4	Matig grof zand en grind
PB 8	2.5	3.5	grind



Figuur 2.7: Locatie peilbuizen Hoge Wei.

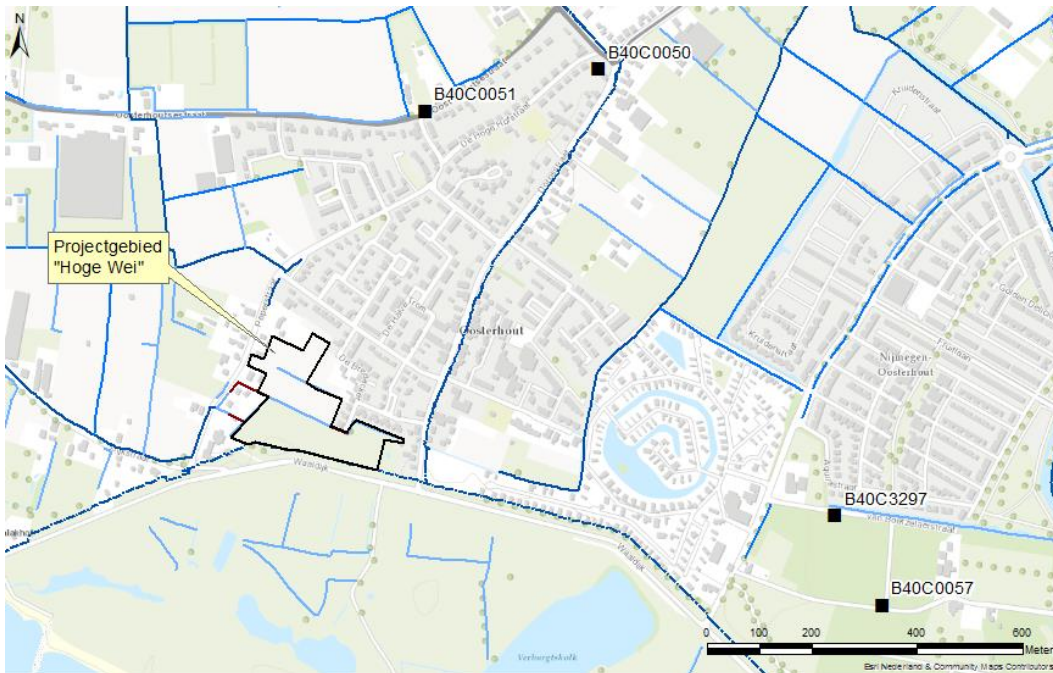
De gemeten stijghoogten zijn gepresenteerd in Figuur 2.8. In de figuur is tevens het Waalpeil weergegeven.



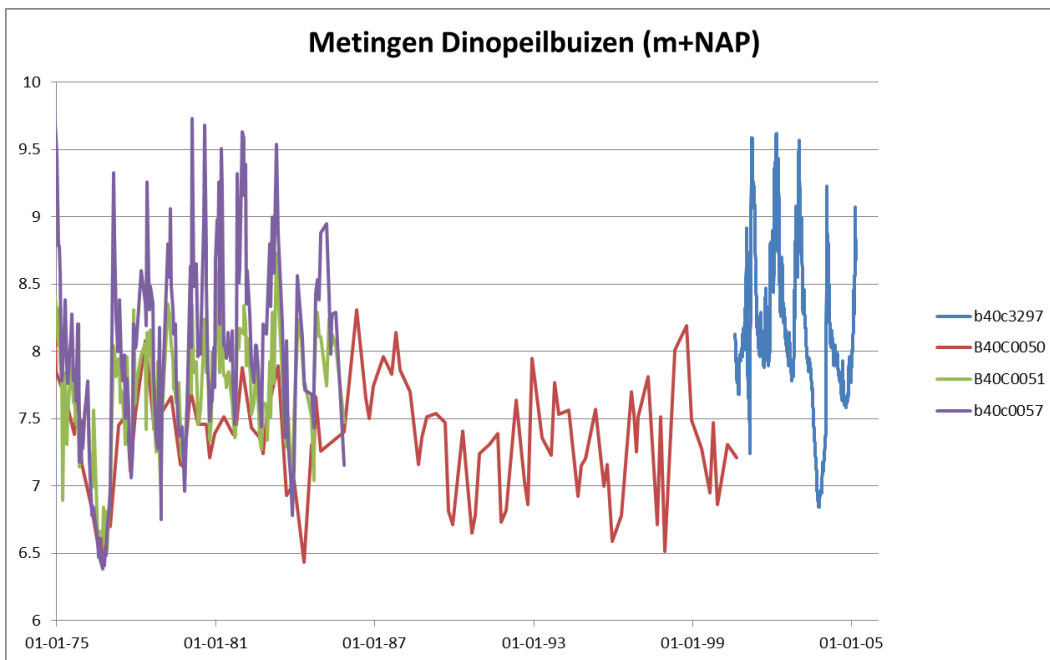
Figuur 2.8: Gemeten stijghoogten projectgebied "Hoge Wei".

In de stijghoogtemetingen zijn de hoogwaterperioden van de Waal goed zichtbaar. Peilbuizen 7 en 8 hebben afwijkende waarde vanaf 28 april 2011. Peilbuis 7 heeft een aantal te hoge metingen vanaf 28 april 2011. Vanaf februari 2011 zijn de metingen van peilbuis 8 te laag. Het is onbekend waar dit door veroorzaakt is. Deze foutieve metingen zijn niet meegenomen voor het bepalen van de afgeleiden. Tevens zijn rond het projectgebied 2 peilbuizen van Vitens aanwezig (peilbuis B40C3505 en B40C3511). De divers in de peilbuizen van Vitens nemen elke 3 uur de stijghoogten op vanaf 29 februari 2012.

In de nabijheid van het projectgebied "Hoge Wei" zijn weinig peilbuizen uit Dinoloket beschikbaar (zie figuur 2.9). Deze peilbuizen liggen op afstand en de beschikbare metingen (zie figuur 2.10) zijn van een andere meetperiode waardoor ze niet gebruikt zijn voor de kalibratie van het model.



Figuur 2.9: Locatie peilbuizen Dinoloket.



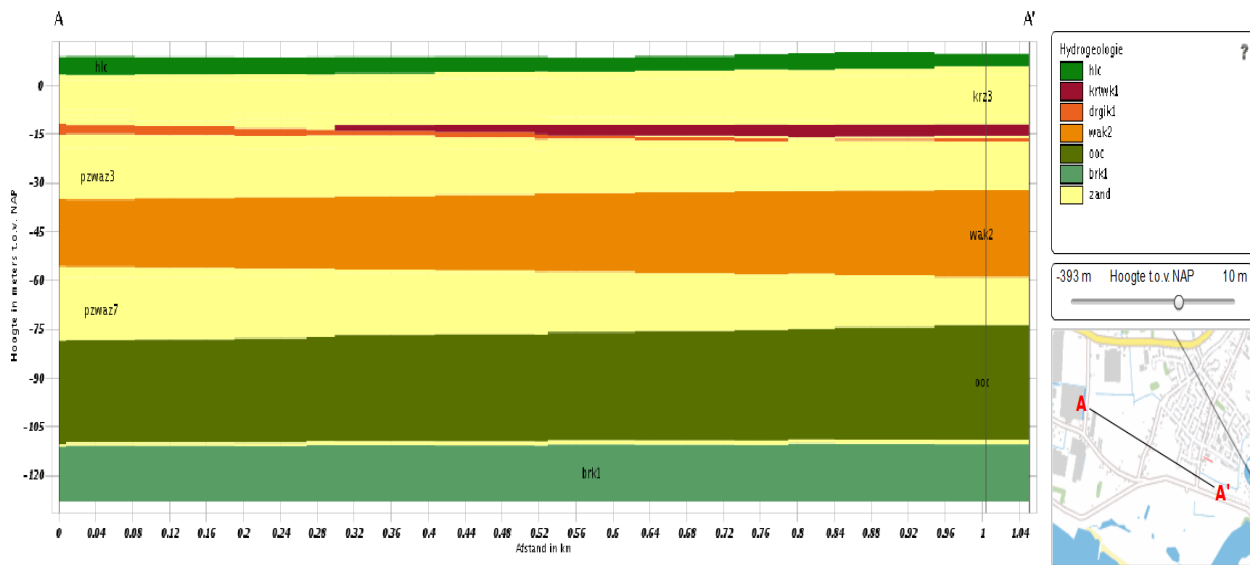
Figuur 2.10: Metingen Dino Peilbuizen.

## 2.5 Beschrijving geohydrologische opbouw

De recente geologische ontstaansgeschiedenis van het Rivierengebied wordt gekenmerkt door de fluviatiele afzettingen van de grote rivieren. Verder in het verleden overheersten echter ook mariene en glaciële invloeden met bijbehorende sedimenten in het gebied. De opbouw van de ondergrond bestaat uit verschillende geologische formaties en afhankelijk van het type sediment kunnen deze worden onderverdeeld in watervoerende pakketten (WVP) en slecht doorlatende lagen (SDL).

Het dwarsprofiel in figuur 2.11 geeft de door TNO onderscheiden lagen aan. In tabel 2.2 is de geohydrologische schematisatie samengevat. De toplaag is een Holocene pakket, welke hoofdzakelijk uit fluviatiele afzettingen bestaat. Het maaiveld van het Holocene pakket varieert van NAP+ 8.5 tot 9.5 m. Als hydrologische basis is de eerste klei laag van de Formatie van Breda aangehouden. Deze bevindt zich gemiddeld op een diepte van 120 m-mv (NAP -110 m).

Verticale Doorsnede REGIS II v2.1



Figuur 2.21: Opbouw ondergrond volgens de REGIS II.1 (TNO, 2009).

Tabel 2.2: Geohydrologische opbouw projectgebied

Gemiddelde diepte [NAP m]	Formatie	Sediment
+9.0 tot +4.3	Holocene deklaag	Van matig tot zeer fijne zanden en klei
+4.3 tot -12.0	WVP (Formatie van Kreftenheye)	matig fijne tot zeer grove zanden
-12.0 tot -16.0	SDL (Formatie van Kreftenheye)	Klei
-16.0 tot -19.7	WVP (Formatie van Drente)	Matig fijn tot matig grof zand
-19.7 tot -33.2	WVP (Formatie van Peize-Waalre)	Matig fijn tot matig grof zand
-33.2 tot -57.3	SDL (Formatie van Peize-Waalre)	Klei
-57.3 tot -76.6	WVP (Formatie van Peize-Waalre)	Matig fijn tot matig grof zand
-76.6 tot -109.6	Complex (Formatie van Oosterhout)	Fijn tot matig fijn zand, klei
-109.6 tot -110.7	WVP (Formatie van Breda)	Fijn zand
Vanaf -110.7	SDL (Formatie van Breda)	Klei

## 2.6 Beschrijving grondwatersysteem

De Waal heeft een zeer sterke invloed op de werking van het watersysteem rond de “Hoge Wei”. Dit is bijvoorbeeld te zien in de metingen van de stijghoogten met sterke fluctuaties en de directe relatie met het peil van de Waal (zie figuur 2.8). De stijghoogte fluctueert gemiddeld tussen de NAP +6,0 en +9,5 meter. Deze fluctuatie heeft tot gevolg dat het gebied 's winters zeer nat is en zomers heel droog kan worden.

Het plangebied “Hoge Wei” maakt onderdeel uit van een peilgebied met een streefpeil van NAP +7,80 meter

Gedurende een T10 hoogwatergolf op de Waal bereikt de Waal een niveau van NAP +12,20 meter. De Waal heeft tijdens hoogwaterperioden een sterk infiltrerende werking en de kwel binnendijks is dan maximaal. De hoge waterstand op de Waal zorgt ervoor dat de stijghoogten vlak achter de dijk sterk toenemen. De invloed van de Waal neemt af naar mate de afstand tot de Waal toeneemt. De aanwezige deklaag zorgt ervoor dat de grondwaterstanden aan maaiveld gedempt worden. Daarnaast zorgt de aanwezige kwelsloot er voor dat de meeste kwel wordt afgevangen en wordt afgevoerd. Het is dan ook gedurende de hoogwaterperiode dat de kwelsloot maximaal afvoert. Desondanks stijgen de stijghoogten tot NAP +9,0 à +10 meter (zie figuur 2.7). Gedurende hoogwater op de Waal staat het water op maaiveld in het plangebied en treedt wateroverlast op in de omliggende gebieden. Dit is ook gebleken uit een enquête over wateroverlast onder de bewoners uit 2007 (Royal Haskoning, Water in Hoge Wei, 22 januari 2007). Hieruit bleek dat meerdere bewoners klagen over te natte tuinen en enkele bewoners hebben vochtproblemen in de woning tijdens hoge rivierstanden. Er is bij de gemeente Overbetuwe nu niets bekend over een actief drainagesysteem in de bebouwde kern van Oosterhout (met uitzondering van lokale drainage via wegen/riolering).

Tijdens droge perioden keert de hydrologische situatie om en krijgt de Waal een drainerende werking. Dit zorgt voor lage stijghoogten, wat niet leidt tot grote problemen in het plangebied.

### 3 Opbouw grondwatermodel

Voor de opbouw van het grondwatermodel is gebruik gemaakt van het MORIA 3.0 model en het eerder opgestelde grondwatermodel (Royal Haskoning, 9V1648.A0, 8 december 2009). Het model is verfijnd voor de locatie "Hoge Wei" door het netwerk te verfijnen rond het projectgebied, de waterhuishouding te actualiseren op basis van het eerder opgestelde grondwatermodel en recente luchtfoto's, en lokaal ondiep te verfijnen met nieuw verkregen inzichten uit de zandbanenkaart en Geotop. Een uitgebreide beschrijving van de modelopbouw is opgenomen in paragraaf 3.3.

#### 3.1 Regionale geohydrologische modellen

##### MORIA 3.0

Het modelinstrumentarium MORIA (Modellering Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel) omvat een regionaal grondwatermodel van het gehele beheergebied van het Waterschap Rivierenland. Moria 3.0 is opgebouwd aan de hand van de beschrijving en hydraulische eigenschappen van de ondergrond volgens REGIS II.1 en Geotop. Daarbij is REGIS gebruikt voor de laagopbouw van de Pleistocene formaties en Geotop voor de laagopbouw van het Holoceen en de gestuwde eenheden. Geotop biedt voor het Holoceen en voor de gestuwde eenheden meer detail en meer actuele informatie dan REGIS.

##### Geotop

Geotop is een recentelijk ontwikkeld 3D-model van TNO van de ondiepe bodem. Het wordt per regio opgebouwd en bevat meer gedetailleerde informatie van de opbouw en eigenschappen van de bovenste 30 m van de ondergrond, met daarbij behorende fysische (inclusief hydraulische) en chemische eigenschappen. Geotop biedt voor het Holoceen meer detail en voor de gestuwde eenheden meer actuele informatie dan REGIS. Geotop is gebaseerd op boringen uit de DINO database aangevuld met externe gegevensbronnen, waaronder de zandbanenkaart van de Universiteit Utrecht. Met behulp van interpolatietechnieken zijn de boringen vertaald naar de voxels van 100 bij 100 m horizontaal en 50 cm verticaal (TNO,2012).

##### REGIS

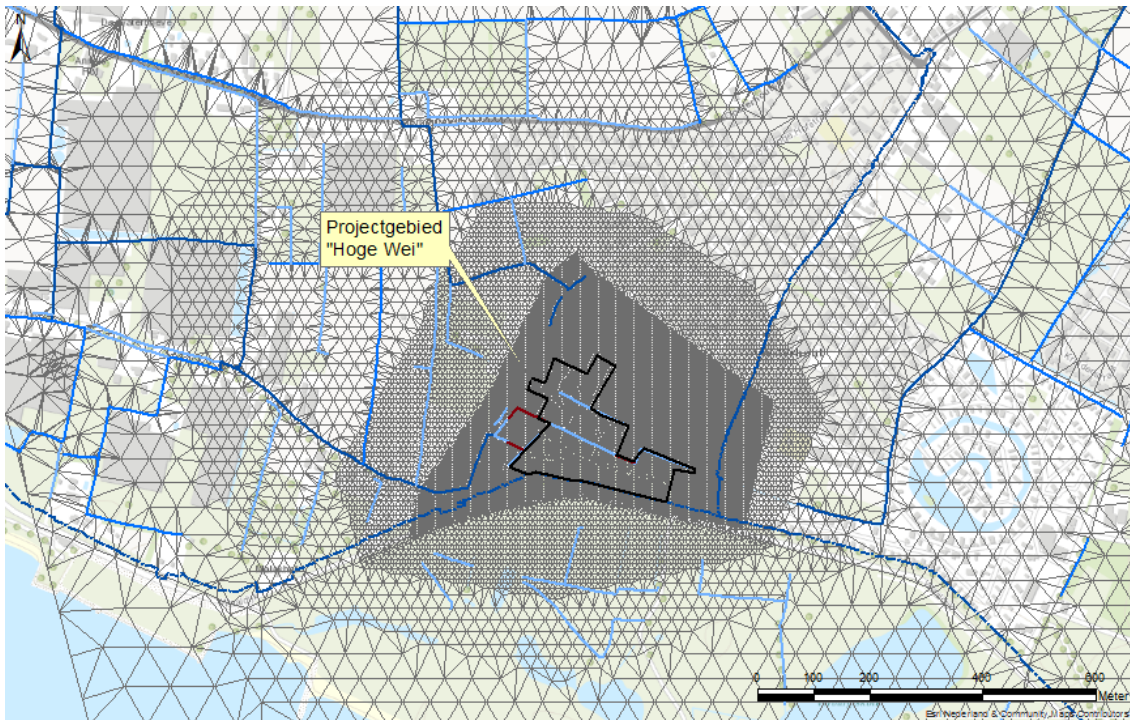
REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem) geeft op regionale schaal een beschrijving van de opbouw en hydraulische eigenschappen van de ondergrond, tot een diepte van circa 500 m. De meest recente versie, REGIS II versie 2.1, is februari 2009 opgeleverd.

#### 3.2 Netwerk

Bij het generen van het rekennetwerk (eindige elementen netwerk) is rekening gehouden met het feit dat er een sterke verdichting is vereist in het interesse gebied (Figuur 3.1). In het projectgebied zelf is een knooppuntsafstand van 5 meter toegepast. Bij de modelranden bedraagt de resolutie 100 meter.

In het rekennetwerk is rekening gehouden met het toekomstige waterhuishoudkundig plan in het projectgebied "Hoge Wei". Hiervoor is de ligging van de drains conform het meest waarschijnlijke ontwerp aangehouden.





Figuur 3.1: Eindige elementen netwerk.

### 3.3 Geohydrologische modelopbouw

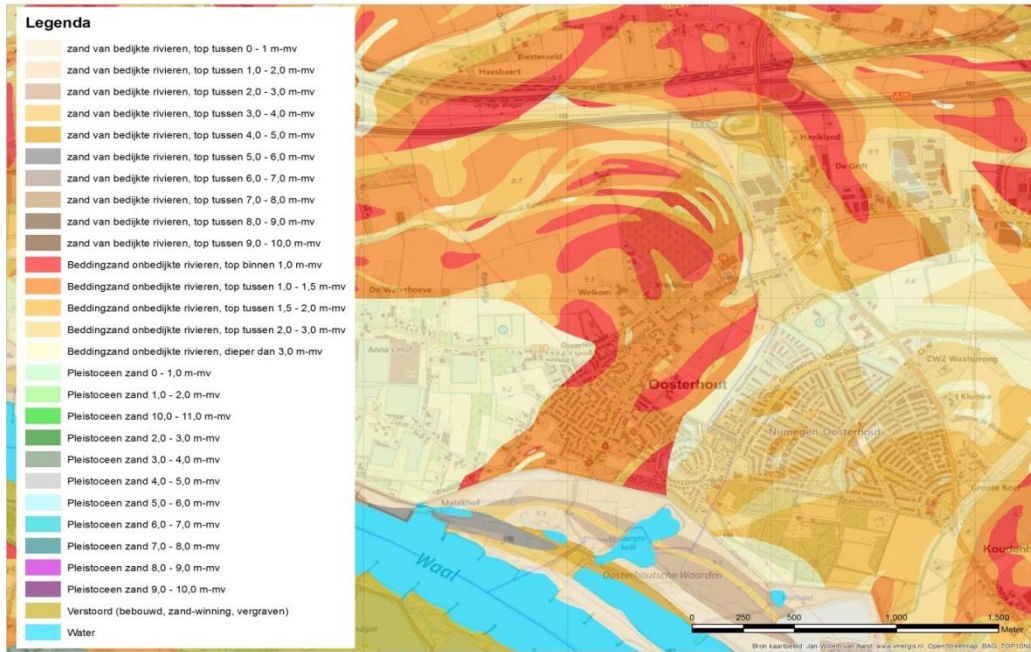
De basis voor de bodemopbouw van het geactualiseerde grondwatermodel is Moria 3.0 – een 19-laagse modelschematisatie (19 watervoerende pakketten en 18 slecht doorlatende lagen). De laagopbouw van Moria 3.0 is gebaseerd op REGIS II.1, waarbij in Moria 3.0 modellaag 1 is verfijnd op basis van Geotop. Ter plaatse van het projectgebied “Hoge Wei” bestaat REGIS II.1, tot aan de hydrologische basis (Eerste kleilaag Formatie van Breda), uit 5 watervoerende pakketten, 3 slecht doorlatende lagen en een Holocene deklaag. Voor meer details over de REGIS II.1 bodemopbouw wordt verwezen naar paragraaf 2.5 “Beschrijving geohydrologische opbouw”.

De eerste modellaag van Moria 3.0 is samengesteld uit verschillende Geotop-lagen (Royal HaskoningDHV, 2015). In het geactualiseerde grondwatermodel is de één-laagse Geotop-schematisatie vervangen door een twee-laagse Geotop-schematisatie. Door de twee-laagse Geotop-schematisatie te implementeren is alle lokale Geotop informatie gebruikt en is de weerstand gesplitst in een deklaagweerstand en een scheidende laag tussen eerste en tweede watervoerende pakket.

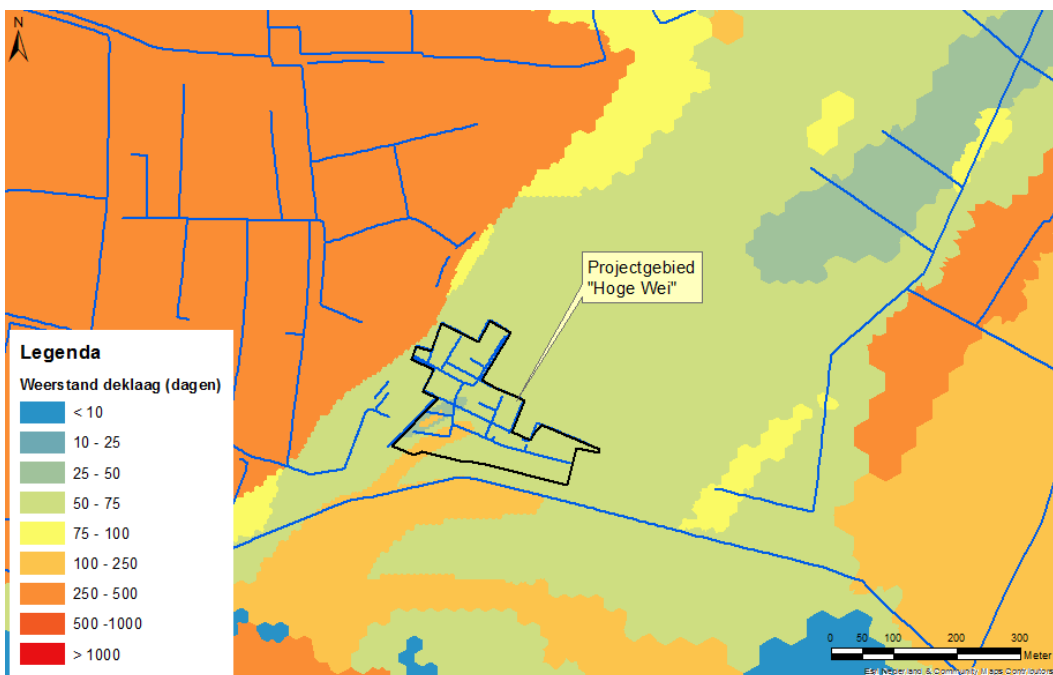
In de zandbanenkaart zijn de holocene afzettingen van de grote rivieren gekarteerd. De holocene afzettingen van de grote rivieren worden onderverdeeld in stroomgordelafzettingen (bestaande uit zand en zavel) en komafzettingen (zware klei soms met veenlagen). Daar waar de kleien (komklei) vóórkomen ondervindt de grondwaterstroming van en naar het eerste pakket een grotere weerstand. De afwisseling van sedimenten geeft een zeer gevarieerde samenstelling van de ondiepe ondergrond zoals te zien is in de zandbanenkaart (Figuur 3.2) (“Zand in banen”, derde geheel herzien druk, Berendsen, 2009). De stroomgeulen worden op de figuur aangegeven met gele en rode tinten naar gelang de diepte ten opzichte van maaiveld. De komafzettingen worden aangegeven met de blauwe en groenen tinten.

Het zandbanenpatroon zoals dat in de zandbanenkaart voorkomt bevat op het lokale schaalniveau van dit onderzoek gedetailleerdere informatie dan nu in Geotop zit. Daarom zal het zandbanenpatroon

overgenomen in het geactualiseerde grondwatermodel. De weerstand van de deklaag is bepaald aan de hand van de dikte van de kleilaag, tenzij de vlakgemiddelde Geotop weerstand hoger is dan 50 dagen per meter klei. Zo is de vlak-informatie van de zandbanenkaart gebruikt en de parameterisatie van Geotop optimaal benut. Figuur 3.3 geeft de weerstand weer van de deklaag in het geactualiseerde model.



Figuur 3.2: De zandbanenkaart ("Zand in banen", Berendsen, 2001).



Figuur 3.3: Weerstand deklaag (dagen).

### 3.4 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater in het grondwatermodel is gebaseerd op het grondwatermodel dat is opgesteld voor "Hydrologische berekeningen Hoge Wei Oosterhout (Gld.) (Royal Haskoning, 9V1648.A0, 8 december 2009) Het oppervlaktewater is geactualiseerd aan de hand van de legger. Aan de lijnelementen is het peil van de waterlopen (op basis van de peilgebieden), de breedte van de waterloop en een inschatting van de drainage- en infiltratieweerstand toegekend (drainageweerstand A-watergang vijf dagen, B/C-watergang twee dagen).

Aansluitend is een vlakdekkend topsysteem toegepast voor oppervlakkige afstroming. Het drainageniveau voor dit topsysteem is afgeleid van het maaiveldniveau en het reliëf en varieert tussen NAP +8,25 m en NAP +9,1 m. De drainageweerstand voor dit systeem bedraagt 1 dag.

De noordelijke greppel in het projectgebied van de Hoge Wei is niet aangesloten op ander oppervlaktewater en heeft dus geen drainerende maar wel een waterbergende functie. Het drainageniveau van de greppel is in lijn met het topsysteem voor oppervlakkige afstroming en is hier ingeschat op NAP +9.10 m.

De Waal en de uiterwaarden zijn middels een vlakdekkend topsysteem gesimuleerd waarbij het waterpeil middels interpolatie is toegekend aan het netwerk (drainageweerstand Waal: één dag, drainageweerstand uiterwaarden 400 dagen). Het bebouwd gebied van de gemeente Oosterhout is eveneens gesimuleerd met een vlakdekkend topsysteem (drainageniveau 1,5 m-mv en een drainageweerstand van 300 dagen; Dit is een aanname voor lokale drainage via de wegen/riolering.

### 3.5 Onttrekking

De onttrekkingen in het grondwatermodel zijn geactualiseerd aan de hand van de in Moria 3.0 aanwezige onttrekkingen.

### 3.6 Grondwateraanvulling

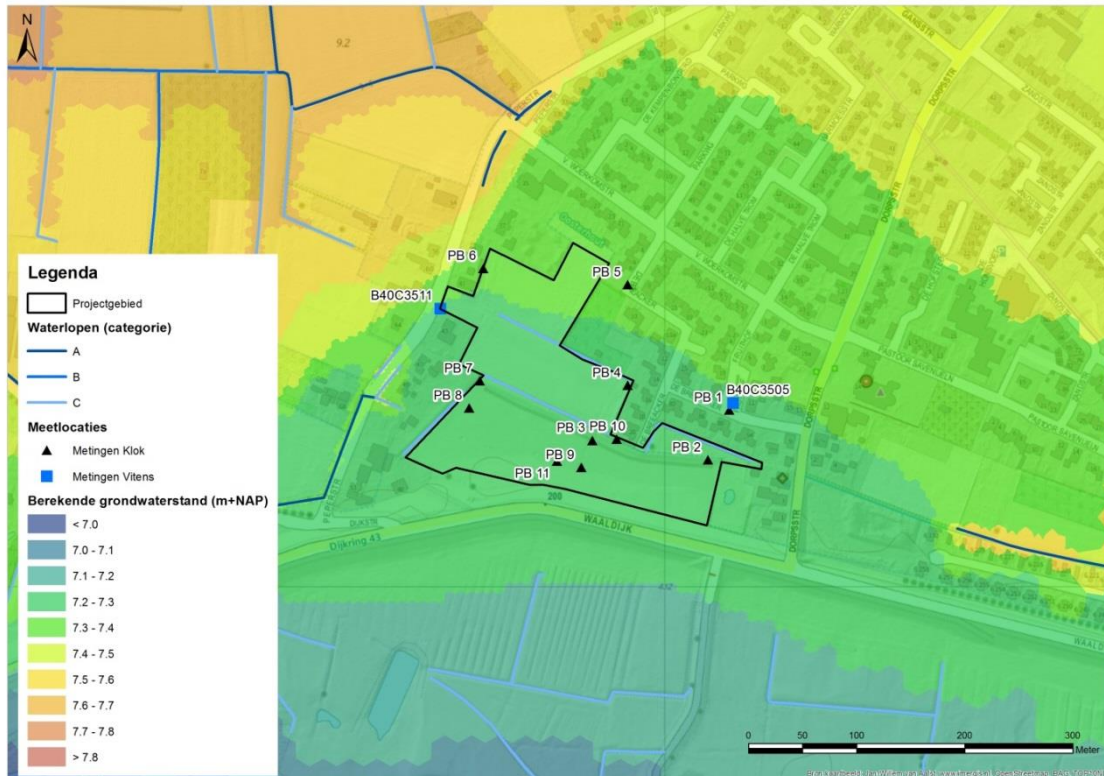
De grondwateraanvulling is overgenomen uit Moria 3.0, en varieert afhankelijk van het bodemtype en het landgebruik tussen 0 m/dag in de Waal tot maximaal 0.0023 m/d. De gemiddelde grondwateraanvulling De gemiddelde grondwateraanvulling is 0,00062 m/dag (226 mm/jaar) en tijdens de hoogwatergolf is deze constant gehouden.

### 3.7 IJking en huidige situatie geactualiseerde grondwatermodel

Het grondwatermodel is allereerst stationair geijkt over de periode 2009-2013 met behulp van de beschikbare metingen. Vervolgens is met het model tijdsafhankelijke controle uitgevoerd waarbij een theoretische hoogwatergolf voor een T10-situatie is berekend en vergeleken met maximaal gemeten grondwaterstanden over de perioden 2009-2013.

#### *IJking stationaire situatie*

De beschikbare metingen zijn vergeleken met de berekende stijghoogten, uitgaande van het gemiddelde Waalpeil tussen 14 juli 2009 en 28 maart 2013. Met het model is voor deze periode stationair de gemiddelde situatie berekend. De berekende grondwaterstand voor een hydrologisch gemiddelde situatie is gepresenteerd in figuur 3.4 en in tabel 3.1 zijn de resultaten van de gemeten en berekende stijghoogten voor deze gemiddelde situatie gepresenteerd.



Figuur 3.4: Berekende grondwaterstand: gemiddelde hydrologische situatie gedurende metingen Hoge Wei.

Tabel 3.1: Vergelijking gemeten en berekende stijghoogte (stationaire situatie)

Peilbuis Hoge Wei	Gemeten stijghoogten (NAP m)	Berekende stijghoogten (NAP m)	Vershil (m)
Peilbuis 1	7,24	7,25	+0,01
Peilbuis 2	7,17	7,22	+0,05
Peilbuis 3	7,20	7,21	+0,01
Peilbuis 4	7,17	7,24	+0,06
Peilbuis 5	7,26	7,28	+0,02
Peilbuis 6	7,26	7,27	+0,01
Peilbuis 7	7,26	7,23	-0,03
Peilbuis 8	7,21	7,22	+0,01
Peilbuis 9	7,24	7,20	-0,04
B40C3505	7,30	7,25	-0,05
B40C3511	7,30	7,26	-0,04

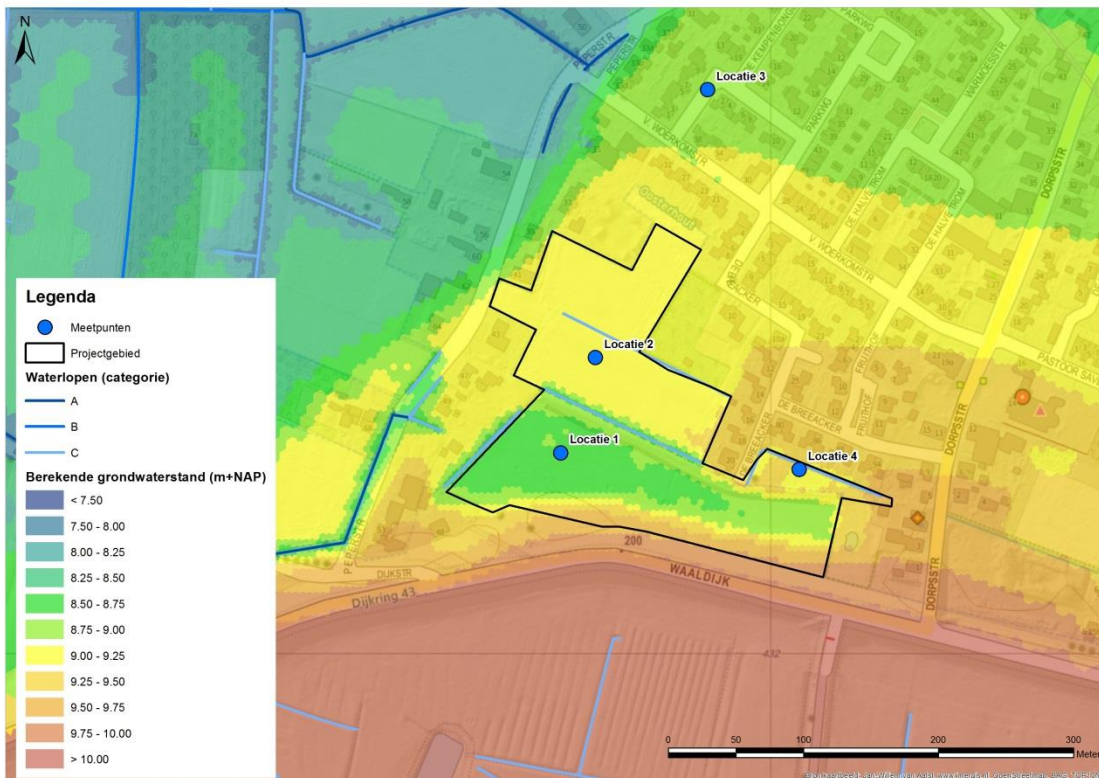
De verschillen tussen de gemeten en berekende gemiddelde stijghoogten variëren tussen de -0,05 en +0,06 meter. Deze verschillen tussen gemeten en berekende waarden zijn in geohydrologisch modelopzicht gering. Mede gelet op de onzekerheden in modelparameters over de opbouw van de ondergrond en de interactie tussen grond- en oppervlaktewater. Op basis van deze geringe verschillen in samenhang met het gegeven dat de meest recente inzichten in modelparameters in het grondwatermodel

zijn verwerkt (MORIA 3.0, REGIS II.1, detaillering zandbanenkaart en GEOTOP) is geconcludeerd dat het stationaire model een goede basis vormt voor het berekenen van een tijdsafhankelijke hoogwatergolf en de berekening van hydrologische effecten.

*Huidige hydrologische situatie bij T10 hoogwater*

Vervolgens is met het model een tijdsafhankelijke berekening uitgevoerd waarbij een theoretische hoogwatergolf voor een T10-situatie is berekend en vergeleken met maximaal gemeten grondwaterstanden over de perioden 2009-2013. Uit een vergelijking van langjarig gemeten Waal standen blijkt dat de Waal-stand in de maand januari 2011 een relatief hoog niveau heeft bereikt, namelijk NAP +12,32 m bij Nijmegen Haven en dit niveau benadert een T10-Waalstand (NAP +12,73 m bij Nijmegen Haven). Daarom zijn de gemeten stijghoogten tijdens deze periode in het plangebied een redelijke benadering voor een T10 hoogwater. Wel is het hierbij van belang dat het grondwatermodel tijdens de hoogwatersituatie hogere waarden laat zien dan de gemeten stijghoogten tijdens deze situatie.

De resultaten van de theoretische tijdsafhankelijke hoogwatergolf (T10) zijn ruimtelijk in beeld gebracht met maximaal berekende grondwaterstand tijdens de hoogwatergolf (zie figuur 3.5). Met de beschikbare metingen is vervolgens een vergelijking gemaakt tussen de maximaal berekende en gemeten stijghoogten in de periode 2009-2013. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in tabel 3.2.



Figuur 3.5: Berekende grondwaterstand: hoogwatergolf huidige situatie (T10).

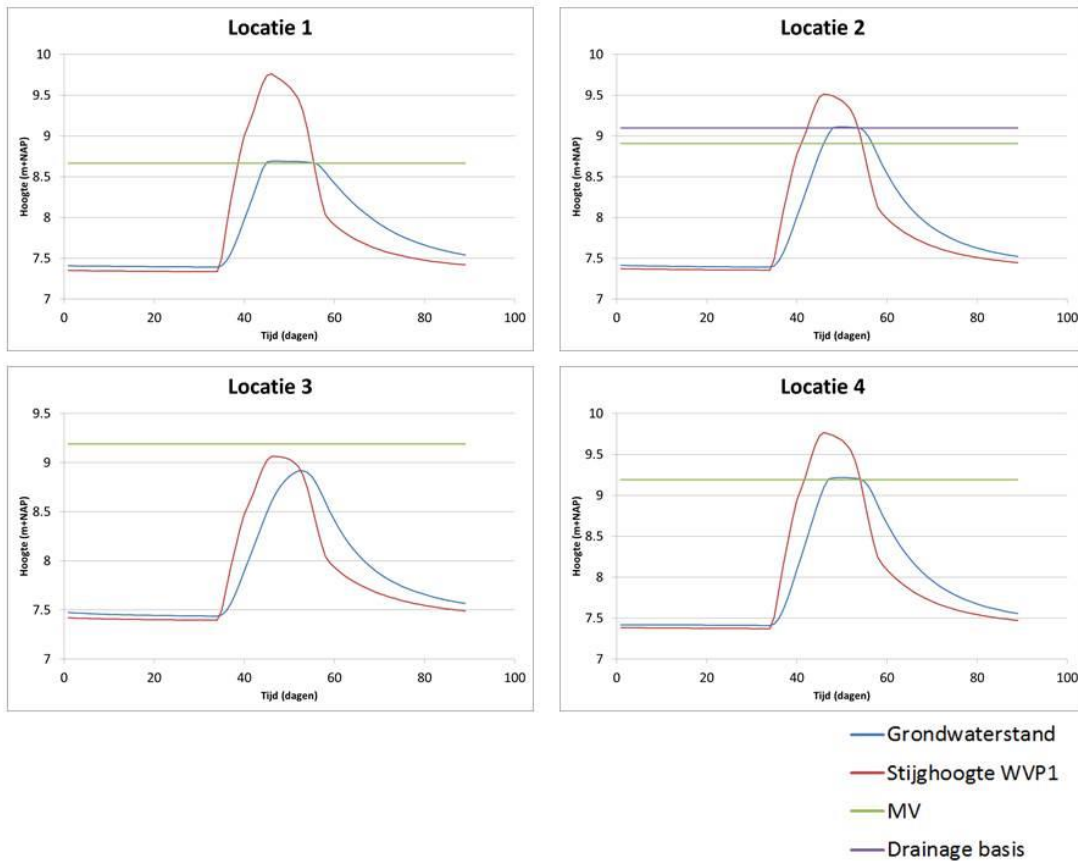
Tabel 3.2: Vergelijking gemeten en berekende stijghoogte Hoge Wei tijdens hoogwatergolf T10, huidig)

Peilbuis Hoge Wei	Maximaal gemeten stijghoogten (NAP m) periode 2009-2013	Berekende stijghoogten T10 hoogwater (NAP m)	Verskil
Peilbuis 1	9,52	9,62	+0,10
Peilbuis 2	9,77	9,85	+0,08
Peilbuis 3	9,00*	9,83	Nvt
Peilbuis 4	9,29*	9,60	Nvt
Peilbuis 5	9,17	9,33	+0,16
Peilbuis 6	9,12	9,34	+0,22
Peilbuis 7	9,32	9,60	+0,27
Peilbuis 8	8,93*	9,65	Nvt
Peilbuis 9	8,80*	9,96	Nvt
B40C3505	9,47	9,59	+0,12
B40C3511	9,03	9,42	+0,39

\*Bovenkant peilbuis is te laag geweest waardoor tijdens hoogwater de maximale stijghoogte niet meer kon worden gemeten.

Uit de resultaten blijkt dat de berekende waarden net iets hoger zijn dan de maximaal gemeten waarden in de meetperioden. Bij enkele peilbuizen is niet de maximaal gemeten stijghoogte gemeten omdat de buis te kort is geweest. Gemiddeld is de berekende stijghoogte tussen de 8 en 39 cm hoger dan maximaal gemeten. Dit is ook conform verwachting omdat de Waalstand voor een T10-situatie net iets hoger is dan het hoogwater tijdens de meetperiode. Op basis van deze verschillen in samenhang met het gegeven dat de meest recente inzichten in modelparameters in het grondwatermodel zijn verwerkt (MORIA 3.0, REGIS II.1, detaillering zandbanenkaart en GEOTOP) is geconcludeerd dat het tijdsafhankelijke model met de T10 hoogwatergolf een goede basis vormt voor het berekenen van de hydrologische effecten van de ontwikkeling van plangebied Hoge Wei.

Voor vier locaties in en rondom het projectgebied zijn de berekende grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket tijdens de hoogwatergolf gepresenteerd in een grafiek (zie figuur 3.6). Bij locatie 2 is de drainagebasis iets hoger dan maaiveld aangehouden. Dit heeft te maken met het feit dat locatie 2 in een laagte tussen de watergangen ligt, waardoor het water niet direct over maaiveld weg kan. Wanneer het water boven de drainagebasis uitkomt kan het water afstromen.

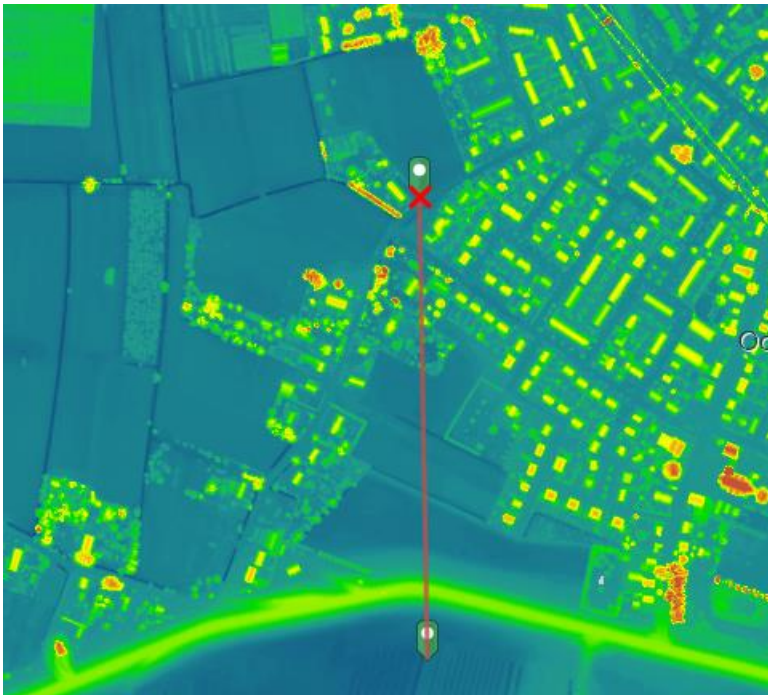


Figuur 3.6: Berekende grondwaterstand en stijghoogte tijdens hoogwatergolf huidige situatie (T10).

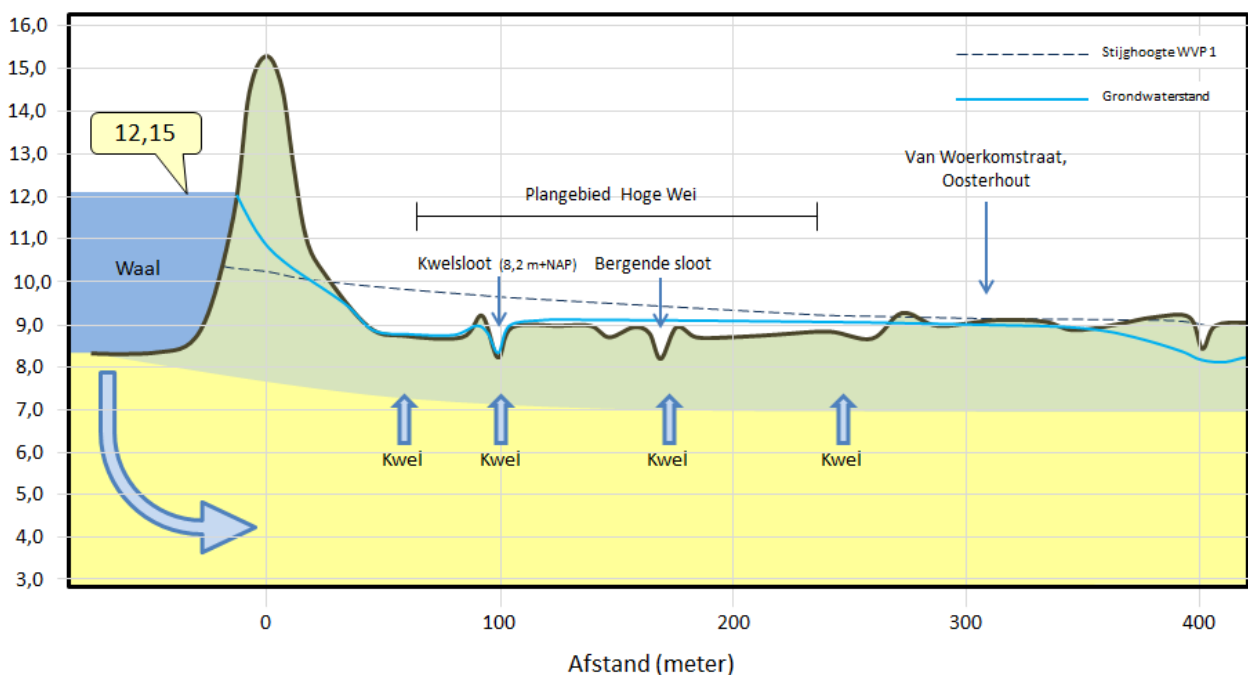
Uit de figuren blijkt dat de stijghoogten tijdens de hoogwatergolf boven het maaiveld uitkomen en hoger worden dan de grondwaterstand. Wanneer de grondwaterstand het drainageniveau voor oppervlakkige afstroming bereikt is er sprake van afvoer en wordt de grondwaterstand afgetopt. Bij locatie 3 (verder af van de Waal) is het verschil tussen het stijghoogteniveau en de grondwaterstand minder groot en blijft de stijghoogte beneden maaiveldniveau.

*Dwarsdoorsnede huidige hydrologische situatie tijdens T10 hoogwater*

In een dwarsprofiel is de huidige hydrologische situatie tijdens een T10 hoogwater weergegeven. De ligging van het dwarsprofiel is weergegeven in figuur 3.7. In figuur 3.8 is de dwarsdoorsnede gepresenteerd.



Figuur 3.7: Ligging dwarsdoorsnede.



Figuur 3.8: Dwarsdoorsnede plangebied Hoge Wei: huidige hydrologische situatie tijdens T10 hoogwater.

In de figuur is goed de invloed van het hoge peil in de Waal op het grondwatersysteem te zien in het verloop van de stijghoogte en de grondwaterstand. De stijghoogte is bij de Waal maximaal en neemt binnendijks geleidelijk weer af. Omdat de stijghoogte hoger is dan de grondwaterstand ontstaat een kwelsituatie. Het verloop van de grondwaterstand volgt globaal het maaiveldniveau. Daar waar de grondwaterstand boven het drainageniveau voor oppervlakkige afstroming komt is sprake van afvoer. Daarnaast is de drainerende invloed van de kwelsloot zichtbaar.



## 4 Uitgangspunten waterhuishoudkundig ontwerp

### 4.1 Waterhuishoudkundig ontwerp Hoge Wei

Het voorlopig stedenbouwkundig ontwerp is ontworpen door BRO (30 mei 2016) en gepresenteerd in figuur 4.1.



Figuur 4.1: stedenbouwkundig ontwerp Hoge Wei 3 mei 2016.

Op basis van het stedenbouwkundig ontwerp is in samenspraak met BOOT op iteratieve wijze een waterhuishoudkundig ontwerp uitgewerkt. Bij de uitwerking van het waterhuishoudkundig ontwerp is het van belang dat het uitgangspunt hydrologisch neutraal bouwen wordt gehanteerd. Dit betekent dat ten opzichte van de huidige situatie geen extra kwel mag worden aangetrokken en dat er geen nadelige grondwaterstandsveranderingen mogen optreden. Indien wel extra kwel- of grondwaterstandsveranderingen worden verwacht dienen deze door extra maatregelen te worden gemitigeerd of gecompenseerd.

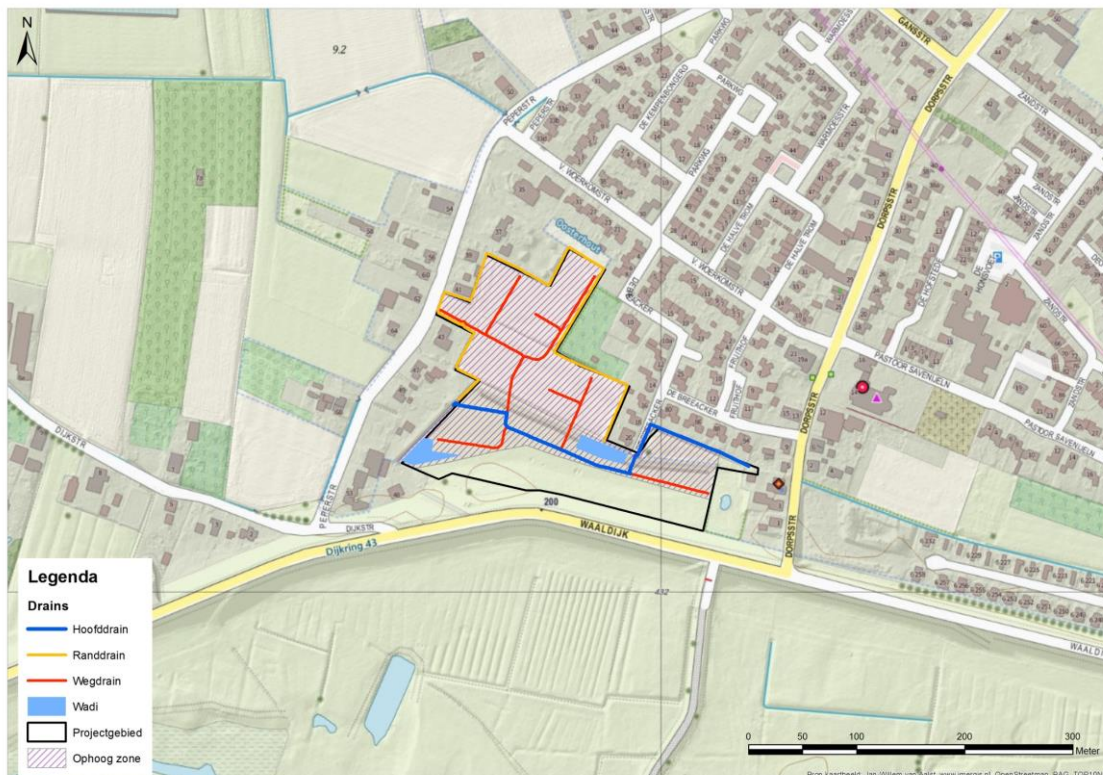
Bij de uitwerking van het waterhuishoudkundig ontwerp is gebruik gemaakt van het grondwatermodel, is rekening gehouden met de gebiedskarakteristieken (kwel en zandbanen) en zijn mitigerende maatregelen (ophogen, draineren) opgenomen om (grond)waterneutraal te bouwen.

Het uiteindelijk ontwerp is gepresenteerd in figuur 4.2 en de geohydrologische relevante aspecten bestaan uit:

1. Ophoging plangebied en aanleg wadi's;
2. Hoofddrain (ter vervanging van de huidige kwelsloot);
3. Randrain;
4. Drain onder de weg.

De hoofddrain start in het noordoostelijke deel in het projectgebied en zal over de grens naar de centrale wadi gaan. De aanwezigheid van de hoofddrain in het noordoostelijk deel is ten opzichte van de huidige kwelsloot een uitbreiding. De hoofddrain zal vervolgens onder de weg komen te liggen en zal de weg volgen tot de splitsing. Daar zal de hoofddrain iets in noordelijke richting gaan over het achterpad en aansluiten op de bestaande watergang. De randrain is een aanvullende maatregel om uitstraling van de ophoging naar het omliggende gebied te voorkomen. Deze randrain zal ook enig positief effect hebben op de huidige wateroverlast. De hoofddrain en randrain dienen vrij af te kunnen voeren naar het oppervlaktewatersysteem. De drain onder de weg zal gebruikt worden om regenwater af te voeren naar de wadi's.

Het is van belang om bij het uitvoeringsontwerp te zorgen dat de drains in goed doorlatende grindkoffers (sleuven gevuld met grind, fractie 2-5 mm) worden ingegraven en dat de met grind gevulde sleuven in direct contact komen te staan met de ophooglaag.



Figuur 4.2: Het waterhuishoudkundig ontwerp.

## 4.2 Hydrologisch relevante uitgangspunten en randvoorwaarden

### 4.2.1 Ophoging

De minimaal vereiste ophoging is achteraf bepaald aan de hand van de berekende grondwaterstand. Tijdens de modellering is voor een ophoging gekozen, welke hoger is dan de hoogste verwachte grondwaterstand. Dit voorkomt dat er water aan maaiveld komt en gaat afvoeren. Er is een doorlatendheid voor de ophooglaag van 15 m/dag toegepast. Deze waarde komt overeen met goed doorlatend matig fijn zand tot matig grof zand.

Voor de freatische bergingscoëfficiënt is uitgegaan van een waarde van 0,08 voor de kleilaag en de ophooglaag. Iteratief is de bergingscoëfficiënt aangepast aan het open water in de laagte. Wanneer water aan maaiveld komt is de bergingscoëfficiënt op 1 gezet. Bij het dalen van de grondwaterstand is de bergingscoëfficiënt weer op 0.08 gezet.

### 4.2.2 Drainageniveaus

De drainageniveaus van het ontwerp zijn als volgt (zie figuur 4.3):

- Hoofddrain: NAP +8,3 tot NAP + 8,2 m;
- Randrain: NAP +8,7 m;
- Drain onder de weg NAP +8,9 m.

De hoofddrain heeft voor het oostelijk deel een drainage basis van NAP +8.3 m en voor het westelijk deel een drainage basis van NAP +8.2 m. Dit is gelijk aan het drainageniveau van de huidige kwelsloot. Het drainageniveau van de randrain en de drain onder de weg is op iteratieve afgeleid met het grondwatermodel aan de hand van de berekende grondwaterstandsveranderingen.



Figuur 4.3: Drainageniveaus ontwateringsmiddelen.

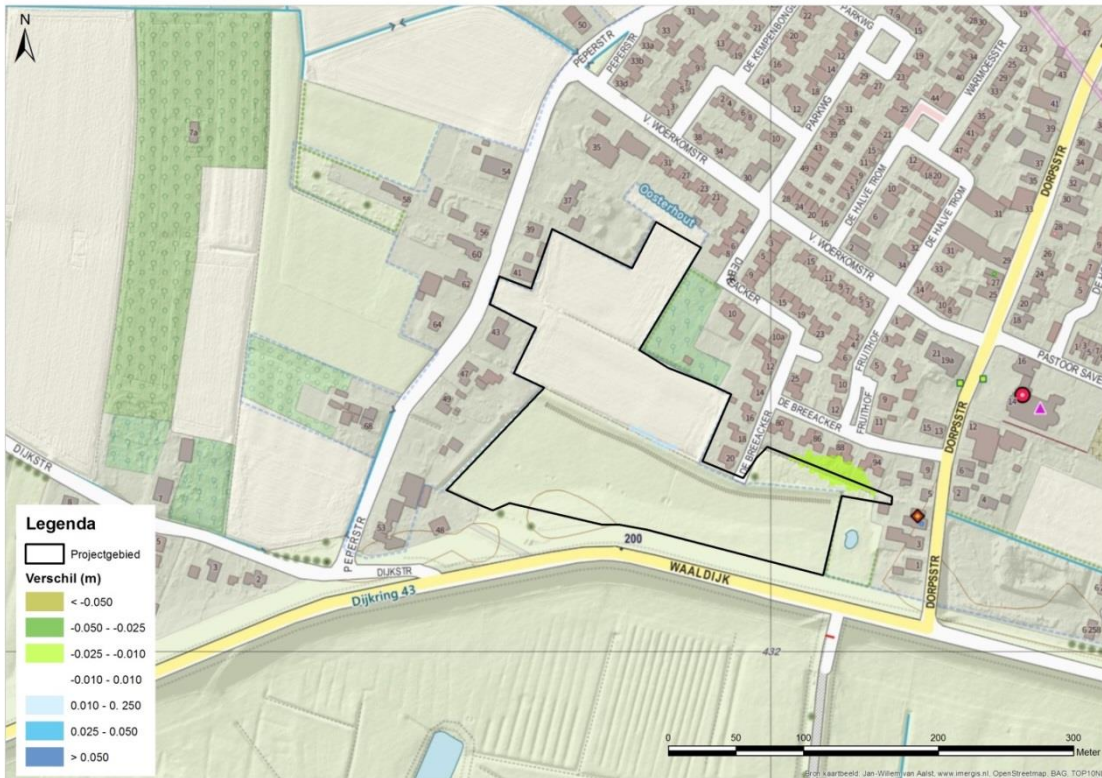
## 5 Resultaten geohydrologische berekeningen t10-situatie

### 5.1 Resultaten waterhuishoudkundig ontwerp

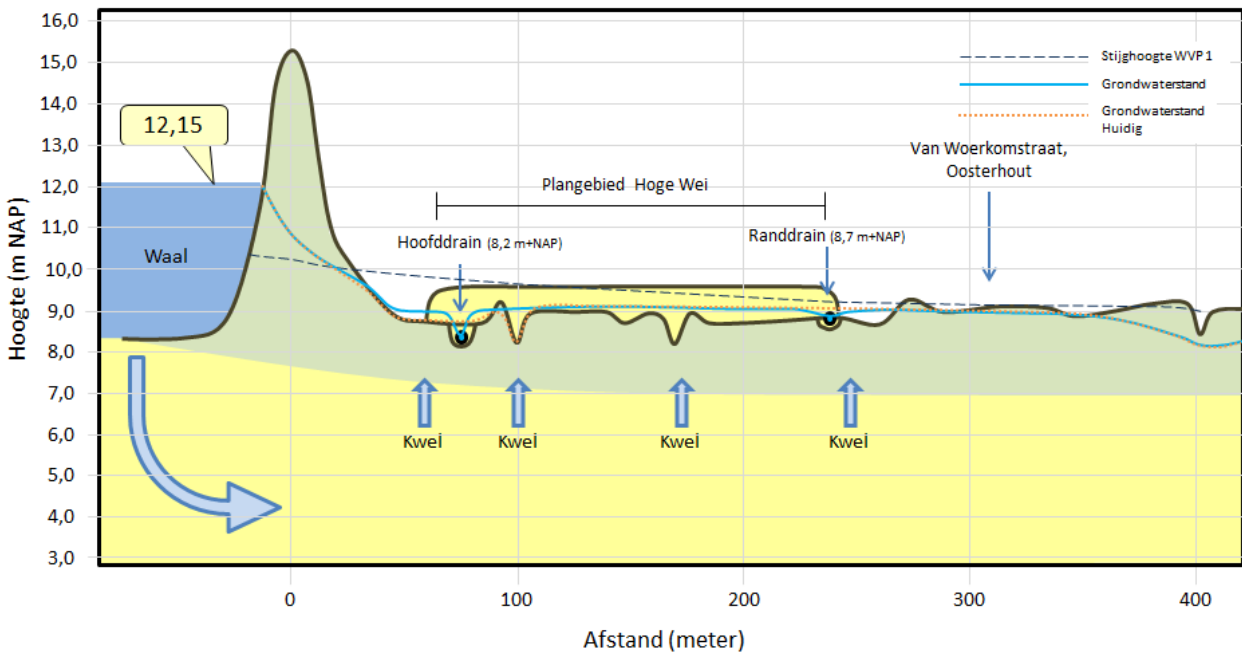
De geohydrologische effecten van het waterhuishoudkundig ontwerp zijn met het model tijdsafhankelijk berekend (de T10 hoogwatergolf) en de veranderingen van de grondwaterstand tijdens de hoogwatergolf zijn gepresenteerd in figuur 5.1. De verandering van de stijghoogte is gepresenteerd in figuur 5.2. De effecten zijn eveneens in een schematisch dwarsprofiel (figuur 5.3) gepresenteerd.



Figuur 5.1: Verandering grondwaterstand tijdens hoogwater (T10) tussen huidige situatie en toekomstige situatie (conform ontwerp).



Figuur 5.2: Verandering stijghoogte tijdens hoogwater (T10) tussen huidige situatie en toekomstige situatie (conform ontwerp).



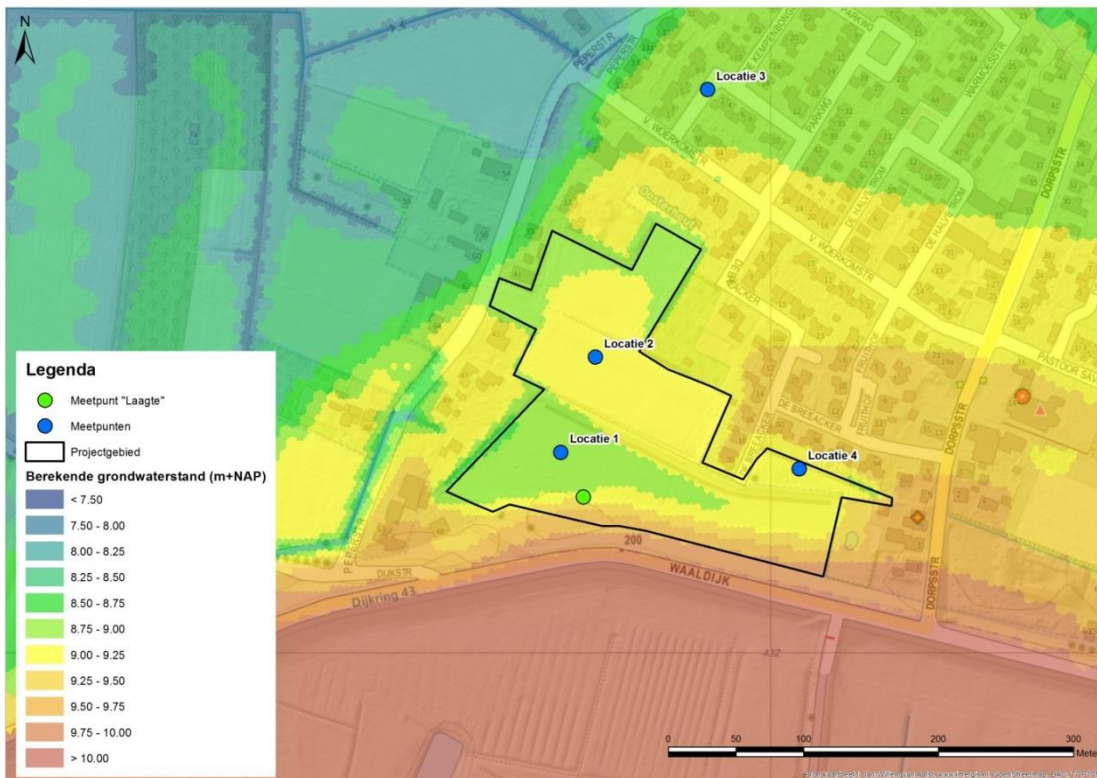
Figuur 5.3: Schematische dwarsdoorsnede Hoge Wei huidige en toekomstige situatie.

Uit de resultaten blijkt dat de maatregelen uit het waterhuishoudkundige ontwerp (ophoging plangebied, aanleg hoofddrain ter vervanging van de huidige kwelsloot, aanleg randdrain en aanleg drain onder de weg) zorgt voor een opbolling van de grondwaterstand in het zuidelijk deel van het plangebied. Dit is een

gevolg van het feit dat de grondwaterstand, die in de huidige situatie tijdens hoogwater op maaiveld stond, nu omhoog kan komen omdat er een zandlichaam aanwezig is. Uit de resultaten blijkt daarnaast dat de grondwaterstand daalt ten opzichte van de huidige situatie in het noordelijk deel van het projectgebied. Dit komt door de aanleg van de randdrain met een drainageniveau van NAP + 8,7 m. Dit drainageniveau is lager dan het maaiveldniveau en zorgt voor een geringe daling van de grondwaterstand ten opzichte van de huidige situatie.

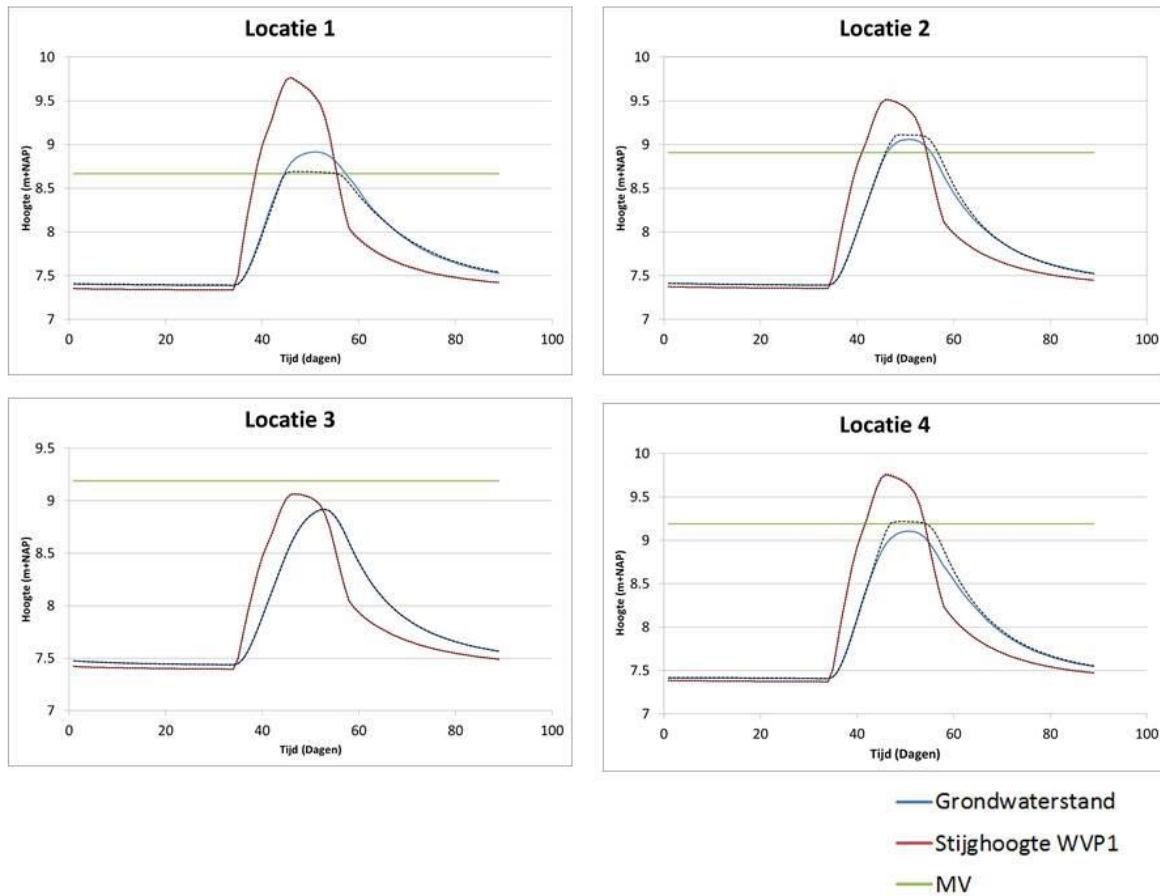
Uit de figuur met de verandering van de stijghoogte (figuur 5.2) blijkt dat het dempen van de huidige kwelsloot in combinatie met de ophoging zorgt voor een (zeer) geringe doorwerking naar het watervoerend pakket met een beperkte verhoging van de stijghoogte. Daarnaast is ter plaatse van de toekomstige hoofddrain in het noordoostelijk deel van het plangebied een geringe daling van de stijghoogte te zien. Deze daling is een gevolg van het feit dat hier in de huidige situatie geen ontwatering plaats vindt.

De maximaal berekende grondwaterstand tijdens deze toekomstige hoogwater situatie (T10) conform ontwerp is gepresenteerd in figuur 5.4.



Figuur 5.4: De maximale berekende grondwaterstand tijdens hoogwater (T10) toekomstige situatie conform ontwerp.

Op vier locaties in en rondom het projectgebied zijn de berekende grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket tijdens de hoogwatergolf gepresenteerd in een grafiek (zie figuur 5.5). De gestippelde lijn geeft de grondwaterstand en stijghoogte weer in de huidige situatie.



Figuur 5.5: Berekende grondwaterstand en stijghoogte tijdens hoogwatergolf toekomstige situatie (T10) met het bestaande maaiveldniveau. De gestippelde lijn geeft de grondwaterstand en stijghoogte weer in de huidige situatie. Bij locatie 1,2 en 4 dient op basis van de berekende grondwaterstand het maaiveld opgehoogd te worden om te voldoen aan de vereiste ontwateringsdiepte.

In vergelijking met de berekende grondwaterstanden en stijghoogten in de huidige situatie is de grondwaterstand bij locatie 1 gestegen met ca 30 cm omdat er nu een ophooglaag beschikbaar is waardoor de grondwaterstand omhoog kan komen. Op locatie 2 en 4 zijn de maximale grondwaterstanden iets lager dan in de huidige situatie vanwege de aanleg van de drains. De grondwaterstand op locatie 3 is gelijk gebleven met de huidige situatie.

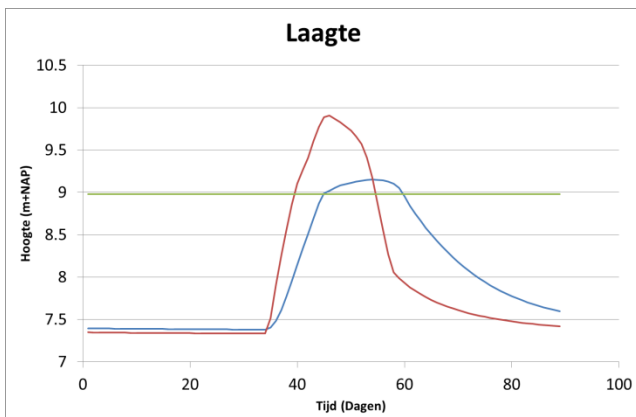
Aan de hand van de berekende grondwaterstand tijdens een T10 hoogwatersituatie is bepaald wat de minimaal vereiste ophoging is. Voor de minimaal vereiste ophoging dient voor de ontwateringsdiepte bij bebouwing uitgegaan te worden van 0,7 m en bij een weg van een ontwateringsdiepte van 0,4 m (Warteroetscriteria Waterschap Rivierenland). In figuur 5.6 is de minimaal vereiste ophoging gepresenteerd waarbij voor het gehele plangebied, ter indicatie, is uitgegaan van een ontwateringsdiepte van 0,4 m.



Figuur 5.6: De minimaal vereiste ophoging op basis van een ontwateringsdiepte van 40 cm (voor een weg) tijdens een T10 hoogwatersituatie.

De minimaal vereiste ophoging varieert tussen de 0.2 en 1.1 meter bij een ontwateringsdiepte van 40 cm. Daar waar bebouwing gaat plaatsvinden is minimaal 30 cm meer ophoging vereist om een ontwateringsdiepte van 70 cm te verkrijgen. De grootste ophoging is vereist in de huidige greppels en in het zuidoostelijk deel van het plangebied. In het zuidoosten is momenteel een laagte aanwezig.

Tussen de huidige dijk en de zone die wordt opgehoogd, ontstaat na ophoging een ingesloten laagte. Dit water kan tijdens hoogwater niet meer oppervlakkig worden afgevoerd waardoor het waterpeil zal stijgen. Dit is in beeld gebracht in figuur 5.7 waarin tevens het maaiveldniveau is weergegeven. De waterstand in de laagte wordt maximaal 20 cm boven maaiveld.

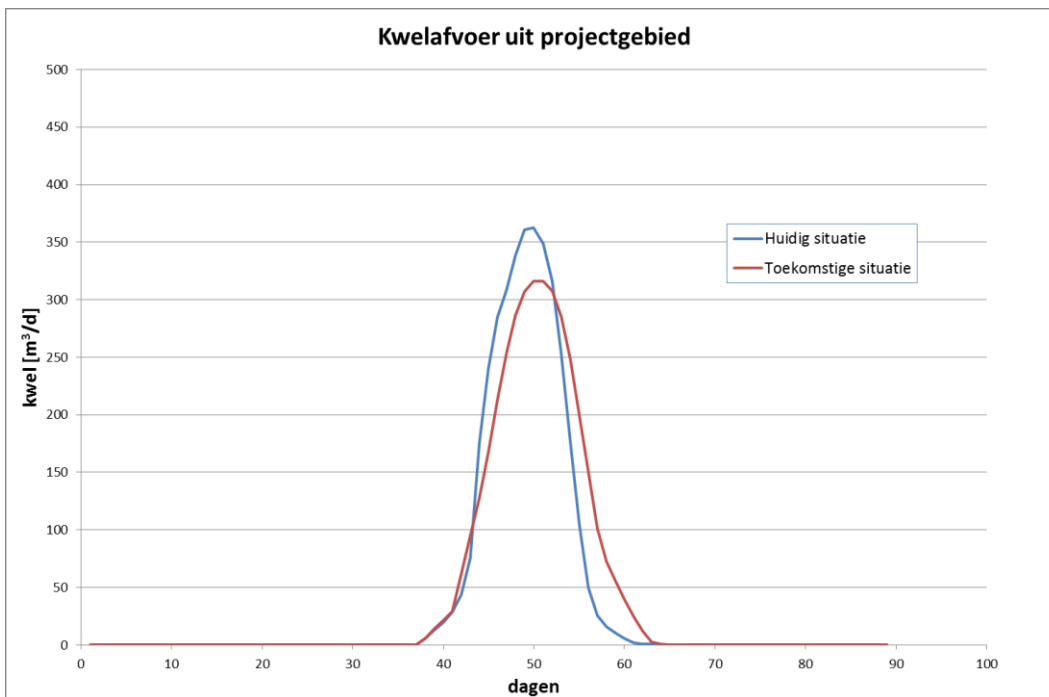


Figuur 5.7: Verloop grondwaterstand en stijghoogte inde ingesloten laagte (zie figuur 5.4 voor de locatie).



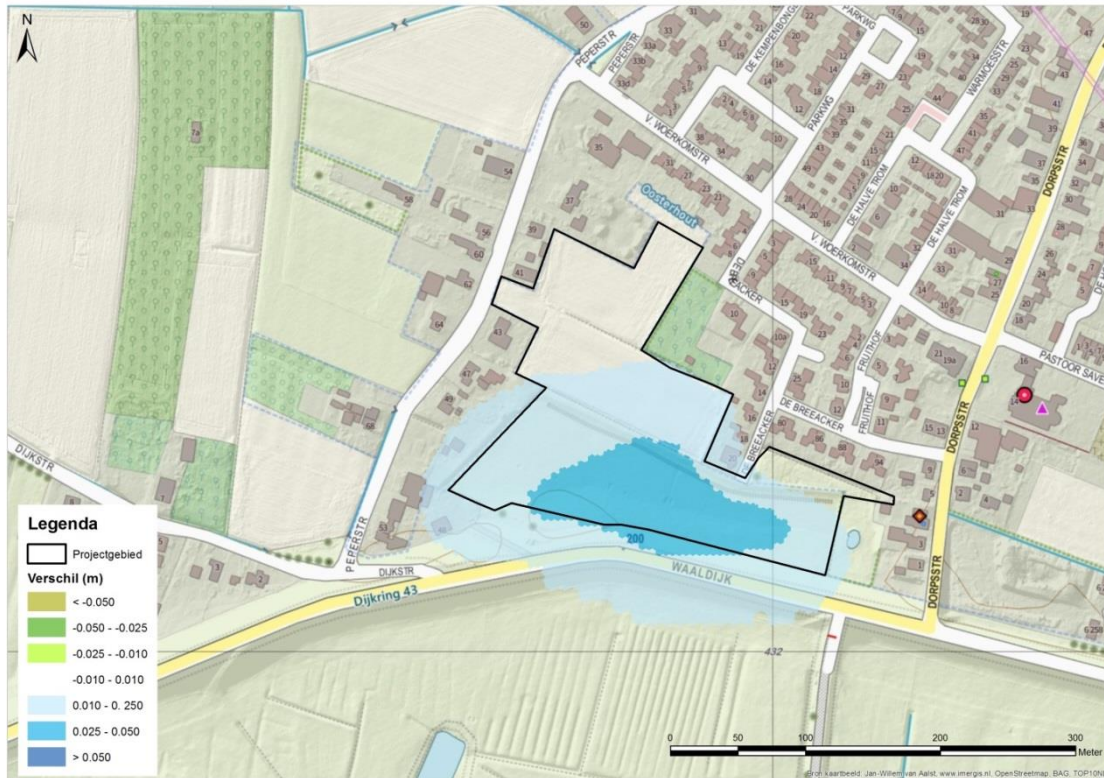
In figuur 5.8 is de berekende kwelafvoer uit het projectgebied gepresenteerd (gesommeerde kwelafvoer vanaf maaiveld, uit de drains en watergangen) voor zowel de huidige situatie als toekomstige situatie.

De afvoer neemt als gevolg van het ontwerp iets af. Dit komt enerzijds doordat water nu in de beschikbare ophooglaag geborgen kan worden waardoor de afvoer afneemt. Anderzijds komt dit door het gegeven dat water dat in de huidige situatie vanuit de laagte kan afvoeren nu geborgen blijft doordat het water ingesloten is (tijdelijk ca 20 cm open water). De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket verandert nauwelijks als gevolg van de implementatie van het ontwerp (zie figuur 5.2).

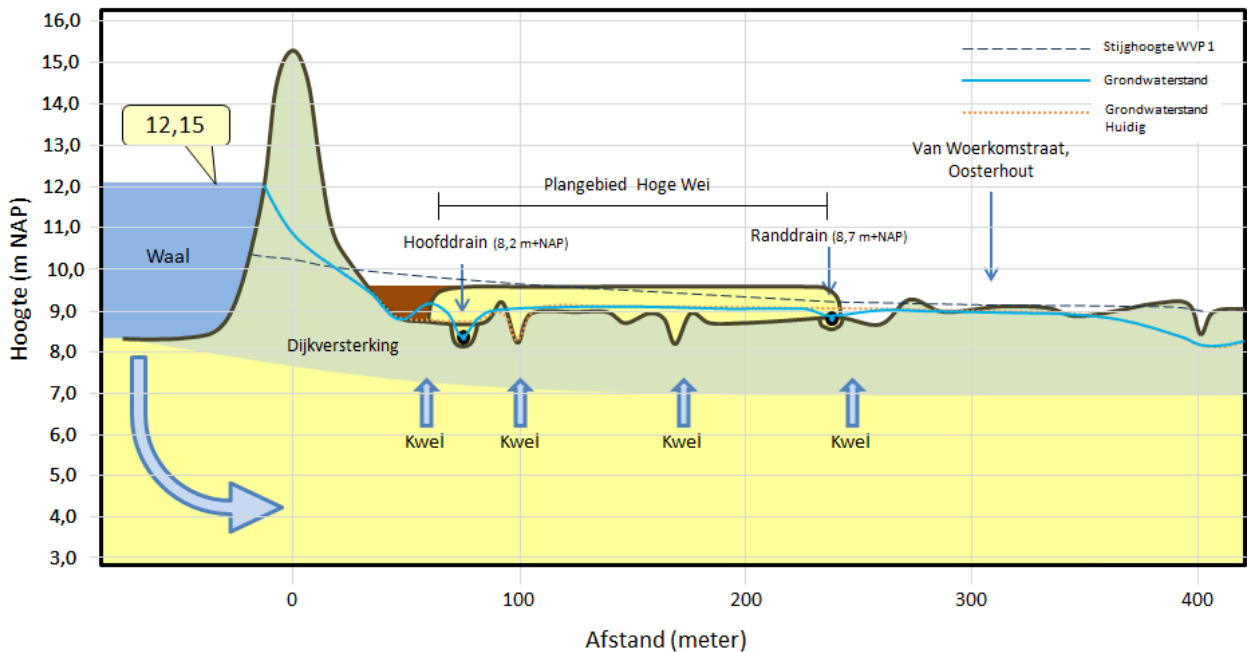


Figuur 5.8: Berekende kwelafvoer uit het projectgebied voor zowel de huidige situatie als toekomstige situatie.





Figuur 5.10: Verandering stijghoogte tijdens hoogwater (T10) tussen huidige situatie en toekomstige situatie met dijkversterking.



Figuur 5.11: Schematische dwarsdoorsnede Hoge Wei huidige en toekomstige situatie met dijkversterking.

Als gevolg van de dijkversterking neemt de stijghoogte onder de aangebrachte kleilaag iets toe tijdens een hoogwatersituatie. De verandering varieert tussen de 1 en 3 cm. Omdat de hoogwatergolf een beperkte tijdsduur heeft werkt de verhoging van de stijghoogte niet door in het niveau van de grondwaterstand. Als

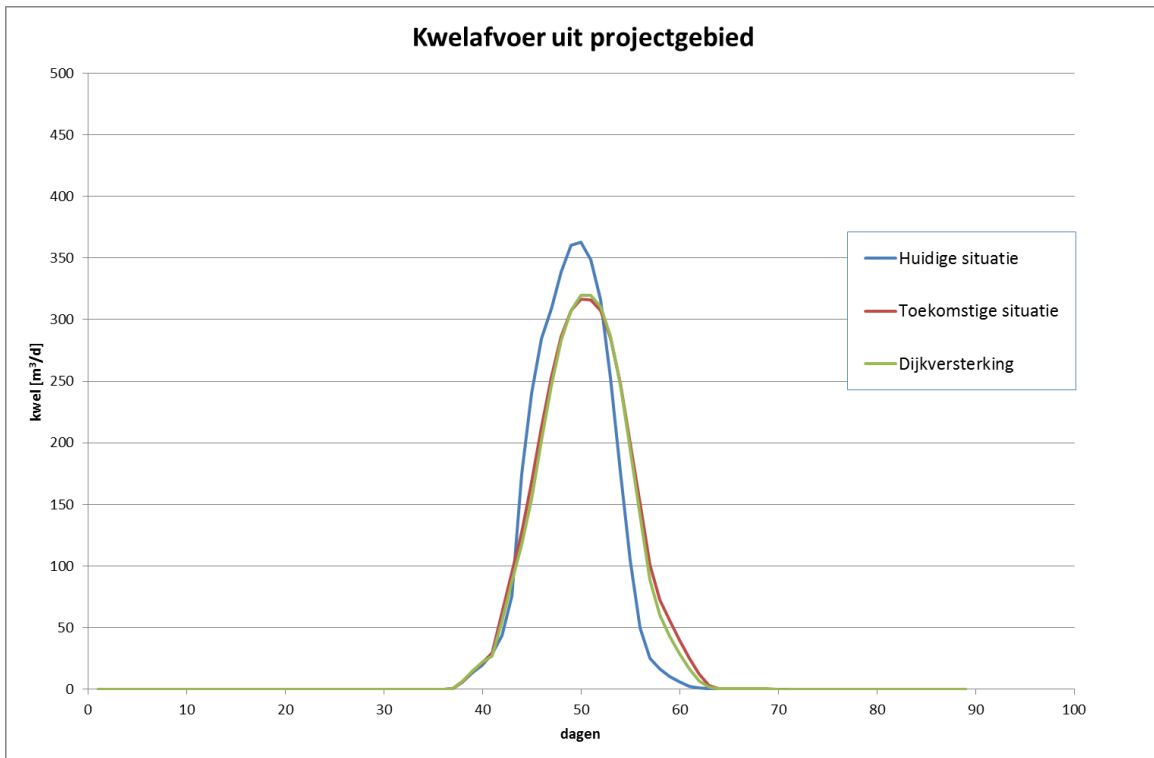
gevolg van de toename van de weerstand van de klei neemt de kwelintensiteit tijdens de hoogwatersituatie af wat ter plaatse van het aangebrachte kleilichaam zorgt voor een geringe verlaging van de grondwaterstand. Voor het projectgebied zelf en de omgeving is er bij uitvoering van het ontwerp een gering verschil tussen de situatie zonder en met dijkversterking. Hieruit blijkt dat de dijkversterking in combinatie met de planontwikkeling tijdens een hoogwatersituatie geen nadelig hydrologisch effect voor de omgeving van het plangebied tot gevolg heeft.

Aan de hand van de berekende grondwaterstand is bepaald wat de minimaal vereiste ophoging is uitgaande van 0,4 m ontwateringsdiepte voor een weg (zie figuur 5.12).



Figuur 5.12: De minimaal vereiste ophoging op basis van een ontwateringsdiepte van 40 cm en bij uitvoering van de dijkversterking.

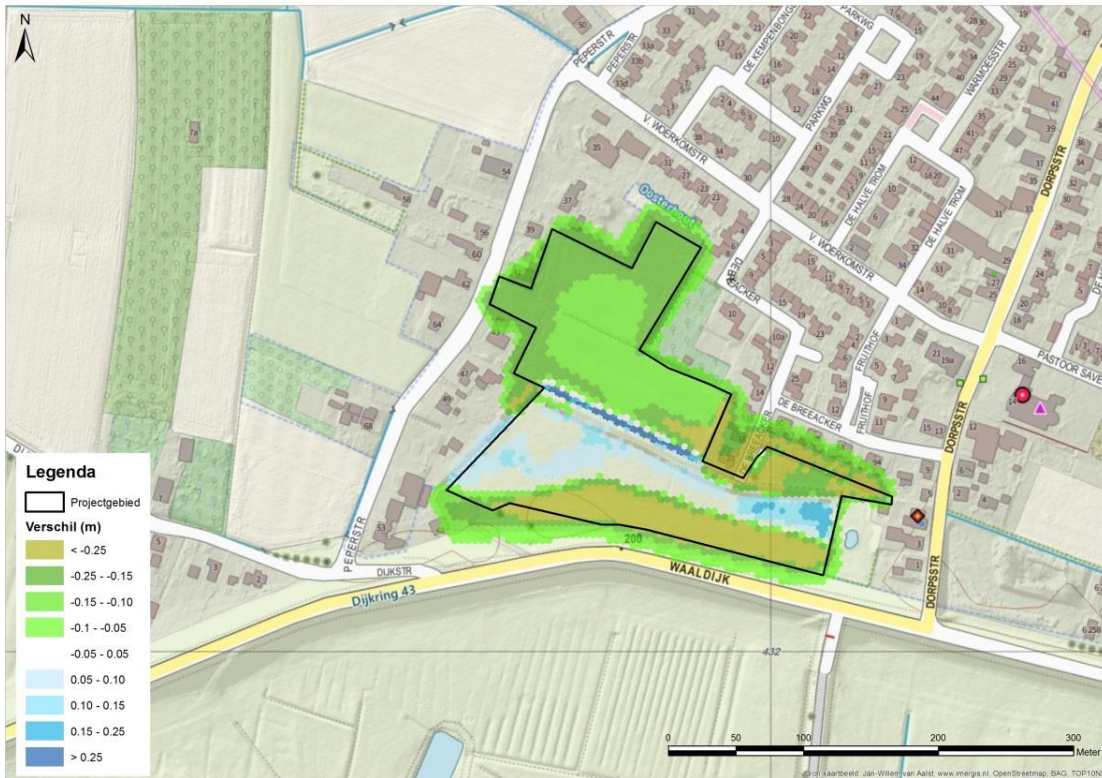
In figuur 5.13 is de berekende kwelafvoer voor de huidige situatie, de toekomstige situatie met en zonder dijkverzwaring gepresenteerd. De dijkverzwaring heeft vrijwel geen invloed op de kwelafvoer vanuit het projectgebied.



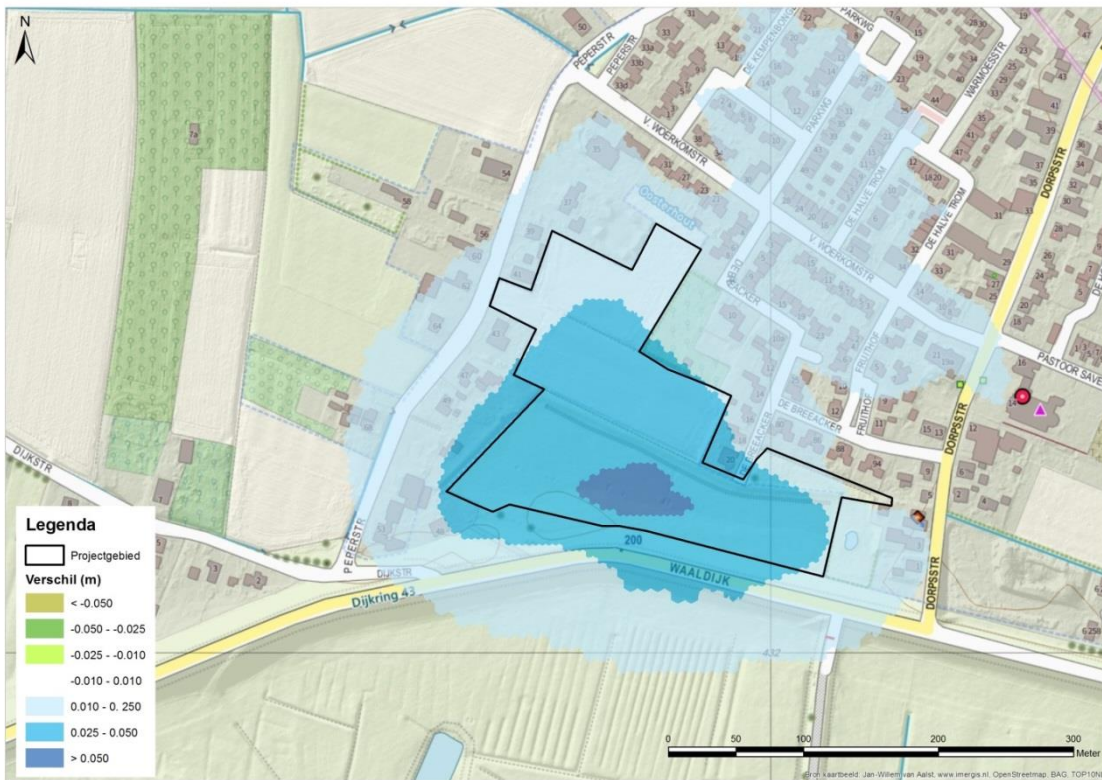
Figuur 5.13: Berekende kwelaflow uit het projectgebied voor zowel de huidige situatie als toekomstige situatie met dijkversterking.

### 5.3 Resultaten inklinking klei

Als gevolg van de ophooglaag neemt de druk toe op de bestaande deklaag en kan deze inklinken. Dit leidt er toe dat de weerstand in de deklaag toeneemt. De gevolgen van de toename van deze weerstand zijn met het model in beeld gebracht. Hiervoor is uitgegaan van een verdubbeling van de huidige weerstand (worst-case aanname). In figuur 5.14 is de verandering van de grondwaterstand gepresenteerd als gevolg van de inklinking uitgaande van de situatie van het ontwerp voor de Hoge wei met de dijkversterking. De verandering van de stijghoogte is gepresenteerd in figuur 5.15.



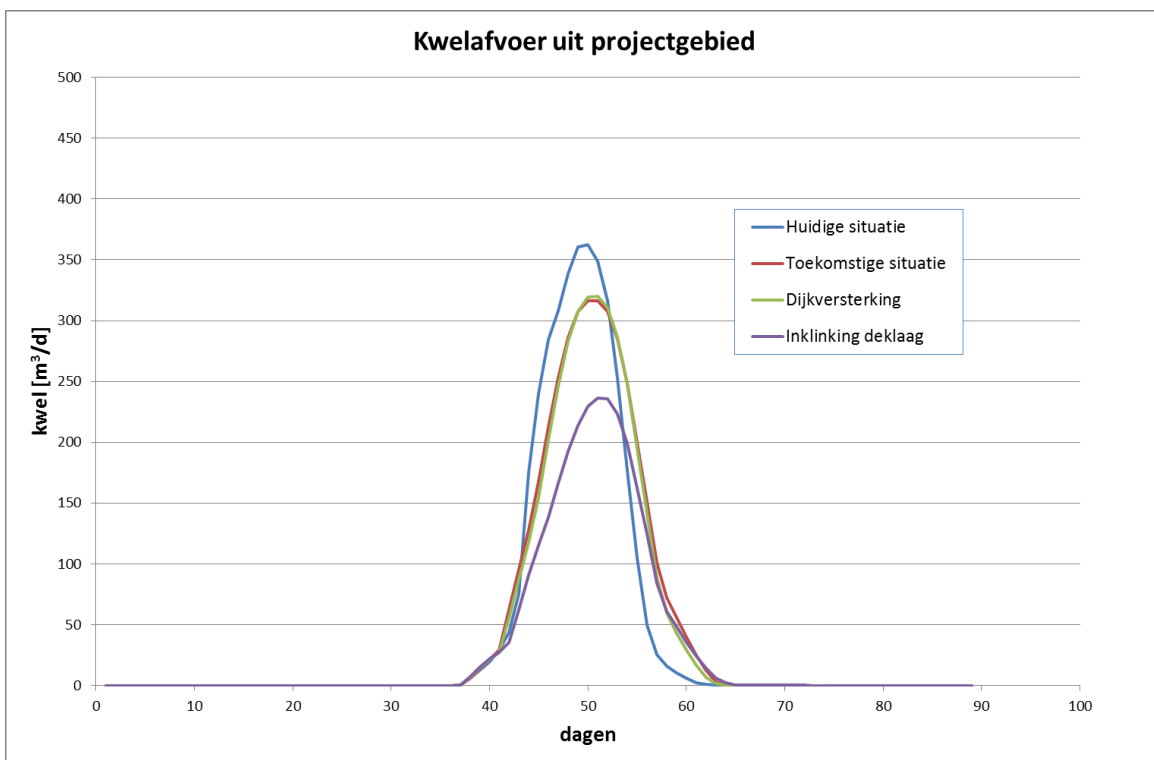
Figur 5.14: Verandering grondwaterstand ten opzichte van de huidige situatie als gevolg van inklinking (ontwerp en dijkversterking).



Figur 5.15: Verandering stijghoogte ten opzichte van de huidige situatie als gevolg van inklinking (ontwerp en dijkversterking).

Als gevolg van de inklinking van de klei en de te verwachten toename van de weerstand neemt de stijghoogte onder de deklaag iets toe tijdens een hoogwatersituatie. De verandering varieert tussen de 1 en 7 cm. Omdat de hoogwatergolf een beperkte tijdsduur heeft werkt de verhoging van de stijghoogte niet door in het niveau van de grondwaterstand. Als gevolg van de toename van de weerstand van de klei neemt de kwelflux tijdens de hoogwatersituatie af. Als gevolg hiervan komt er minder water in de ophooglaag en hoeft er minder water te worden gedraineerd ten opzichte van de berekende situatie zonder inklinking. Dit betekent dat een inklinking van klei (met een toename van de weerstand) als gevolg van het aanbrengen van de ophooglaag tijdens een hoogwatersituatie geen nadelig hydrologisch effect voor de omgeving van het plangebied tot gevolg heeft.

In figuur 5.16 is de berekende kwelafvoer voor de huidige situatie, de toekomstige situatie met dijkverzwaring en de situatie met inklinking gepresenteerd. Zoals aangegeven neemt de kwelafvoer uit het projectgebied af als gevolg van de toename van de weerstand van de deklaag (door de inklinking).



Figuur 5.16: Berekende kwelafvoer uit het projectgebied voor de huidige en toekomstige situatie met en zonder inklinking.

## 6 Resumé en aanbevelingen

### 6.1 Resumé

- Op basis van het stedenbouwkundig ontwerp is in samenspraak met BOOT op iteratieve wijze een waterhuishoudkundig ontwerp uitgewerkt. Bij de uitwerking van het waterhuishoudkundig ontwerp is het uitgangspunt hydrologisch neutraal bouwen toegepast. Dit betekent dat ten opzichte van de huidige situatie geen extra kwel mag worden aangetrokken en dat er geen nadelige grondwaterstandsveranderingen mogen optreden.
- Om te zorgen dat er geen extra kwel optreedt en dat er geen nadelige grondwaterstandsveranderingen zijn bij de uitwerking van het waterhuishoudkundig ontwerp mitigerende maatregelen opgenomen zodat (grond)waterneutraal kan worden gebouwd.
- De geohydrologische relevante mitigerende maatregelen zijn uitgewerkt in het ontwerp en bestaan uit:
  1. Ophoging plangebied en aanleg wadi's
  2. Aanleg hoofddrain (ter vervanging van de huidige kwelsloot);
  3. Aanleg randdrain;
  4. Aanleg drain onder de weg.
- Uit de berekende effecten blijkt dat er een opbolling van de grondwaterstand optreedt in het zuidelijk deel van het plangebied. Dit is een gevolg van het feit dat de grondwaterstand, die in de huidige situatie tijdens hoogwater op maaiveld stond, nu omhoog kan komen omdat er een zandlichaam aanwezig is. Daarnaast blijkt dat de grondwaterstand daalt ten opzichte van de huidige situatie in het noordelijk deel van het projectgebied. Dit komt door de aanleg van de randdrain. Dit drainageniveau is lager dan het maaiveldniveau en zorgt voor een geringe daling van de grondwaterstand ten opzichte van de huidige situatie.
- Vanwege de toekomstige dijkversterking langs de Waaldijk tussen Wolferen en Sprok (in het kader van de nieuwe normering waterveiligheid) is rekening gehouden met een variant van dijkversterking. Waterschap Rivierenland heeft een inschatting gegeven over hoe de dijkversterking plaats zou kunnen vinden. Aangegeven is dat de ingesloten laagte opgevuld zou kunnen worden met klei (ca 2 m dik). Vanuit geohydrologisch oogpunt betekent dit een verhoging van de hydraulische weerstand.
- Als gevolg van de toename van de weerstand van de klei neemt de kwelintensiteit tijdens de hoogwatersituatie af wat ter plaatse van het aangebrachte kleilichaam zorgt voor een geringe verlaging van de grondwaterstand. Voor het projectgebied zelf en de omgeving is er bij uitvoering van het ontwerp een gering verschil tussen de situatie zonder en met dijkversterking. Hieruit blijkt dat de dijkversterking in combinatie met de planontwikkeling tijdens een hoogwatersituatie geen nadelig hydrologisch effect voor de omgeving van het plangebied tot gevolg heeft.
- Als gevolg van de ophooglaag neemt de druk toe op de bestaande deklaag en kan deze inklinken. Dit leidt er toe dat de weerstand in de deklaag toeneemt. De gevolgen van de toename van deze weerstand zijn eveneens met het model in beeld gebracht. Als gevolg van de inklinking van de klei en de te verwachten toename van de weerstand neemt de stijghoogte onder de deklaag iets toe tijdens een hoogwatersituatie. Omdat de hoogwatergolf een beperkte tijdsduur heeft werkt de verhoging van de stijghoogte niet door in het niveau van de grondwaterstand. Als gevolg van de toename van de weerstand van de klei neemt de kwelflux tijdens de hoogwatersituatie af. Als



gevolg hiervan komt er minder water in de ophooglaag en hoeft er minder water te worden gedraineerd ten opzichte van de berekende situatie zonder inklinking. Dit betekent dat een inklinking van klei (met een toename van de weerstand) als gevolg van het aanbrengen van de ophooglaag tijdens een hoogwatersituatie geen nadelig hydrologisch effect voor de omgeving van het plangebied tot gevolg heeft.

## 6.2 Ontwerpeisen en aanbevelingen

- Het is van belang om bij het uitvoeringsontwerp te zorgen dat de drains in goed doorlatende grindkoffers (sleuven gevuld met grind, fractie 2-5 mm) worden ingegraven en dat de met grind gevulde sleuven in direct contact komen te staan met de ophooglaag.
- De ophooglaag dient te bestaan uit goed doorlatend zand. De benodigde eigenschappen van de ophooglaag dienen te worden doorvertaald in het civieltechnische ontwerp en bestek.
- Aanbevolen wordt om de hydrologische monitoring in het projectgebied en in de directe omgeving te blijven monitoren zowel gedurende de uitvoering van het project als daarna.
- Aanbevolen wordt om de hydrologische monitoring met zowel filters in de deklaag (grondwaterstand) als filters in de het eerste watervoerend pakket uit te voeren.
- Het is van belang dat de hoofddrain en de randrain vrij kunnen afvoeren op het vereiste drainageniveau en niet debiet gereguleerd worden. Dit drainageniveau is voor de hoofddrain NAP +8,2 m tot NAP +8,3 m en voor de randrain NAP +8,7 m.