

**VERKENNENDE GEOHYDROLOGISCHE
ANALYSE A16 ROTTERDAM**

RIJKSWATERSTAAT
MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU

12 april 2016
078705889:1- definitief



Samenvatting

Doel

Dit rapport beantwoordt 2 geohydrologische vragen van Rijkswaterstaat aan 1AW, namelijk:

- het effect van de weg op mogelijke opbarsting van de deklaag en het versterken van zoute kwel in het grond- en oppervlaktewater moet worden onderzocht langs het gehele tracé;
- ten behoeve van de flexibiliteitsbepaling voor de half verdiepte ligging moet worden onderzocht wat de maximaal te verwachten effecten zijn in de permanente situatie en de aanlegfase en/of deze effecten te mitigeren en/of te compenseren zijn en/of deze verdiepte ligging instemming kan verkrijgen van betrokken stakeholders.

Methode

Een regionaal grondwatermodel is ontwikkeld als hulpmiddel om de vragen te beantwoorden. Het model is gekalibreerd op waarnemingen van de grondwaterstand en stijghoogte en vergeleken met indicatieve kwelkaarten. De modelprestatie past bij de gestelde doelen. Eis is dat de verdiepte liggingen nagenoeg waterdicht worden uitgevoerd, dus dat bijvoorbeeld geen polderconstructies worden toegepast. Naast het regionale grondwatermodel zijn lokale effecten beoordeeld op basis van geohydrologische doorsneden en ervaring.

Risico's

Bovenstaande vragen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 0.1.Samenvatting geohydrologische issues, risico en beheersmaatregel

onderwerp	geohydrologisch risico	beheersmaatregel
half verdiepte ligging A16 in permanente situatie als nagenoeg waterdichte constructie	laag	nul situatie monitoren
toepassen spanningsbemaling tijdens aanleg	groot	nader onderzoek naar hydrologische effecten, afgeleide effecten en toepassing retourbemaling
toename kwel en opbarsten	gemiddeld	aanvullingen met klei uitvoeren, geen open constructie toepassen, verticale drainage tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen aanbrengen, zorgvuldige uitvoering om wellen en opbarsten van ontgravingen te voorkomen

Aanbeveling

Aanbevolen wordt om geen spanningsbemaling toe te passen in de aanlegfase, omdat de beantwoording van vraag 2 aan geeft dat de toepassing van spanningsbemaling een extra risico op negatieve omgevingsbeïnvloeding introduceert. Op basis van de modelstudie kan geconcludeerd worden dat een spanningsbemaling zoals berekend voor het scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk resulteert in freatische verlagingen met daarbij een risico op negatieve afgeleide effecten.

De uitgevoerde analyse beschrijft de vereiste spanningsbemaling voor de constructie zelf. Mogelijk is ook (spannings)bemaling nodig voor archeologische opgravingen. De omvang van deze bemaling kan (lokaal) maatgevender zijn dan de bemaling voor de weg zelf omdat tijdelijke constructies bij aanvang van de archeologische opgravingen nog niet of slechts beperkt aanwezig zijn. Hierdoor kunnen grotere omgevingseffecten optreden en/of een zwaardere bemaling noodzakelijk zijn.

Op basis van de uitgevoerde modelstudie en de geohydrologische analyse wordt aanbevolen om enkele zaken als contracteis op te nemen, namelijk:

- dat geen kwelweg langs de funderingspalen mag optreden (paragraaf 4.2.2.3);
- opvulling van ontgraving geen hogere doorlatendheid mag hebben dan de huidige ondergrond (paragraaf 4.2.2.3);
- geen open constructie toe te staan (paragraaf 4.2.2.3), dus een nagenoeg waterdichte constructie toe te passen met enkel lekkage over de voegen;
- verticale drainage geen watervoerende lagen mag doorsnijden en tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen mag worden aangebracht (paragraaf 4.2.2.3);
- tijdens de aanlegfase geen verlaging van de freatische grondwaterstand optreedt ter plaatse van bebouwing ten opzichte van referentie peilbuizen (paragraaf 5.3);
- geen spanningbemaling toe te staan (paragraaf 6.4).

Om de nul-situatie vast te leggen langs het tracé en in de omgeving wordt aanbevolen om het bestaande monitoringsnetwerk uit te breiden, met enkele raaien haaks op het tracé met zowel peilbuizen voor de freatische grondwaterstand als de stijghoogte, en waarneming van de oppervlaktewaterkwaliteit in de polder Schieveen.

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Randvoorwaarden en uitgangspunten	8
2.1	Maaiveld	8
2.2	Locatie en ontwikkeling	9
2.3	Landgebruik	10
2.4	Bodemopbouw	11
2.4.1	Deklaag	11
2.4.1.1	Formatie van Echteld	12
2.4.1.2	Rivierduin	13
2.4.1.3	Zandbanen	14
2.4.2	Watervoerende pakketten	15
2.4.3	Conclusie	16
2.5	Kwel/Wegzijing	17
2.6	Oppervlaktewater	17
2.7	Grondwatergebruikers	18
2.8	Waarneming grondwaterstand en stijghoogte	19
2.8.1	Historisch laagste waarde stijghoogte	21
2.9	Grondwaterkwaliteit	24
2.10	Neerslag en verdamping	25
2.11	Toekomstige ontwikkeling	25
2.12	Grondwatermodellering	27
2.13	Scenario's	27
3	Referentiesituatie	28
3.1	Freatische Grondwaterstand	28
3.2	Stijghoogte 1 ^{ste} watervoerende pakket	29
3.3	Kwel/infiltratie	30
4	Hydrologisch effect	31
4.1	Stopzetting winning DSM	31
4.2	Permanente situatie	32
4.2.1	Wijziging regionale grondwaterstroming	32
4.2.2	Geohydrologische analyse	34
4.2.2.1	Aanleg nieuwe waterlopen	34
4.2.2.2	Doorsnijding gedempte waterlopen	35
4.2.2.3	Kwelweg	36
4.2.3	Effect zetting deklaag op grondwaterstroming	38
4.2.4	Conclusie	38
4.3	Aanlegfase met spanningsbemaling	39
4.3.1	Scenario Spanningsbemaling bij Tunnel Lage Bergse Bos	39
4.3.2	Scenario SpanningsBemaling bij Tunnels Onder Rotte en Vaart Polder Bleiswijk	41
5	Afgeleid effect	43

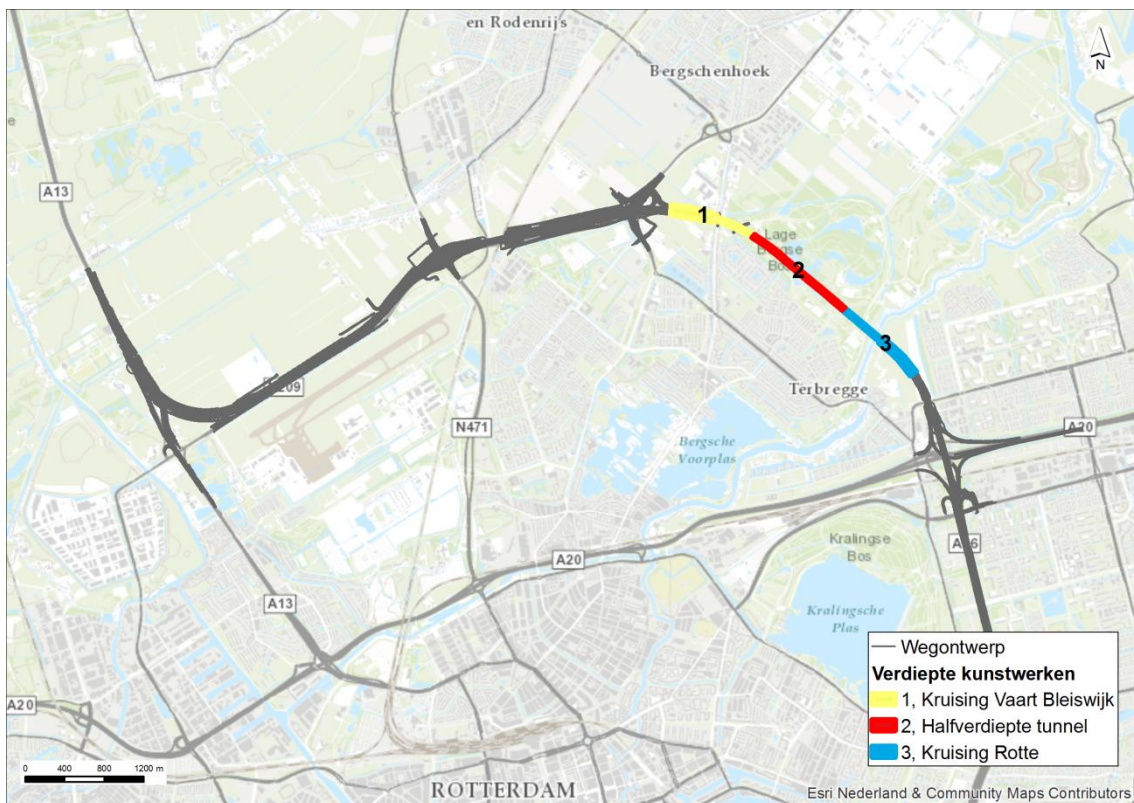
5.1	Opbarsten	43
5.1.1	Opwaartse druk	43
5.1.2	Neerwaartse belasting.....	43
5.1.3	Conclusie.....	43
5.2	Brakke kwel	44
5.3	Grondwateroverlast en -onderlast.....	44
5.4	(Maaiveld)zetting.....	45
5.5	Landbouw.....	45
5.6	Natuur	45
5.7	Grondwatergebruikers.....	46
5.8	Grondwaterverontreiniging	46
5.9	Archeologie.....	46
6	Conclusies en aanbevelingen	48
6.1	Doel.....	48
6.2	Vraag 1: effect op opbarsting en vrijkomen zoute kwel	48
6.3	Vraag 2: maximale effecten van half verdiepte ligging	49
6.3.1	Permanente situatie	49
6.3.2	Aanlegfase	49
6.4	Aanbeveling	50
7	Monitoring	52
7.1	Doel.....	52
7.2	Methode	52
7.3	Analyse.....	52
7.4	resultaat.....	54
8	Referenties	55
9	Bijlage 1: Grondwatermodel	56
9.1	Modelopzet.....	56
9.1.1	Modelcode	56
9.1.2	Modelomvang	56
9.1.3	Eisen Modelprestatie	56
9.1.4	Tijddiscretisatie	57
9.1.5	Ruimtelijke discretisatie	57
9.1.6	Randvoorwaarden	57
9.1.7	Bodemopbouw	58
9.1.8	Oppervlaktewater	58
9.1.9	Grondwateraanvulling.....	58
9.1.10	Grondwatergebruikers.....	59
9.1.11	Stedelijk gebied	59
9.1.12	Afstroming over maaiveld.....	59
9.2	Modelkalibratie	59
9.2.1	Kalibratie Interessegebied.....	59
9.2.1.1	freatische peilbuizen.....	59
9.2.1.2	Kwel/Inzijing	60
9.2.1.3	Bollenkaarten.....	64
9.2.1.4	Geohydrologische parameters per modellaag	66

9.3	Conclusie.....	66
10	Bijlage 2: Aanvullende resultaten grondwatermodel.....	68
10.1	Freatische Effecten spanningsbemaling scenario's.....	68
10.1.1	Scenario Lage Bergse Bos.....	68
10.1.2	Scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk.....	69
10.2	Vergelijking Tijdsafhankelijke model met Observaties	71
10.2.1	Freatische Laag.....	71
10.2.2	1ste watervoerende pakket.....	75
11	Bijlage 3: Geotechnische analyse fundering A16	76
	Colofon.....	77

1

Inleiding

De Rotterdamse regio kampt met aanzienlijke problemen op het gebied van de bereikbaarheid en kwaliteit van de leefomgeving. In het bijzonder op de A13 bij Overschie en de A20 tussen het Kleinpolderplein en het Terbregseplein. Het project A16 Rotterdam richt zich daartoe op een verbindende snelweg tussen de A13, ter hoogte van Rotterdam The Hague Airport en de A16 en de A20, ter hoogte van het knooppunt Terbregseplein (zie Afbeelding 1.1).



Afbeelding 1.1 Tracé

Dit rapport beantwoordt 2 geohydrologische vragen die in de zomer van 2015 zijn geformuleerd door Rijkswaterstaat aan 1AW, namelijk:

- vraag 1: Het effect van de weg op mogelijke opbarsting van de deklaag en het versterken van zoute kwel in het grond- en oppervlaktewater moet worden onderzocht langs het gehele tracé;
- vraag 2: Ten behoeve van de flexibiliteitsbepaling voor de half verdiepte ligging moet worden onderzocht wat de maximaal te verwachten geohydrologische en afgeleide effecten zijn in de permanente situatie en de aanlegfase en/of deze effecten te mitigeren en/of te compenseren zijn en/of deze verdiepte ligging instemming kan verkrijgen van betrokken stakeholders.

Het rapport is geschreven voor vakinhoudelijk georiënteerde lezers die kennis hebben van geohydrologie. Hoofdstuk 2 bevat de randvoorwaarden en uitgangspunten. De beantwoording van de 2 vragen kan in de volgende hoofdstukken worden teruggevonden:

- vraag 1: hoofdstuk 4 en paragraaf 5.1 en 5.2;
- vraag 2: hoofdstuk 4 en 5.

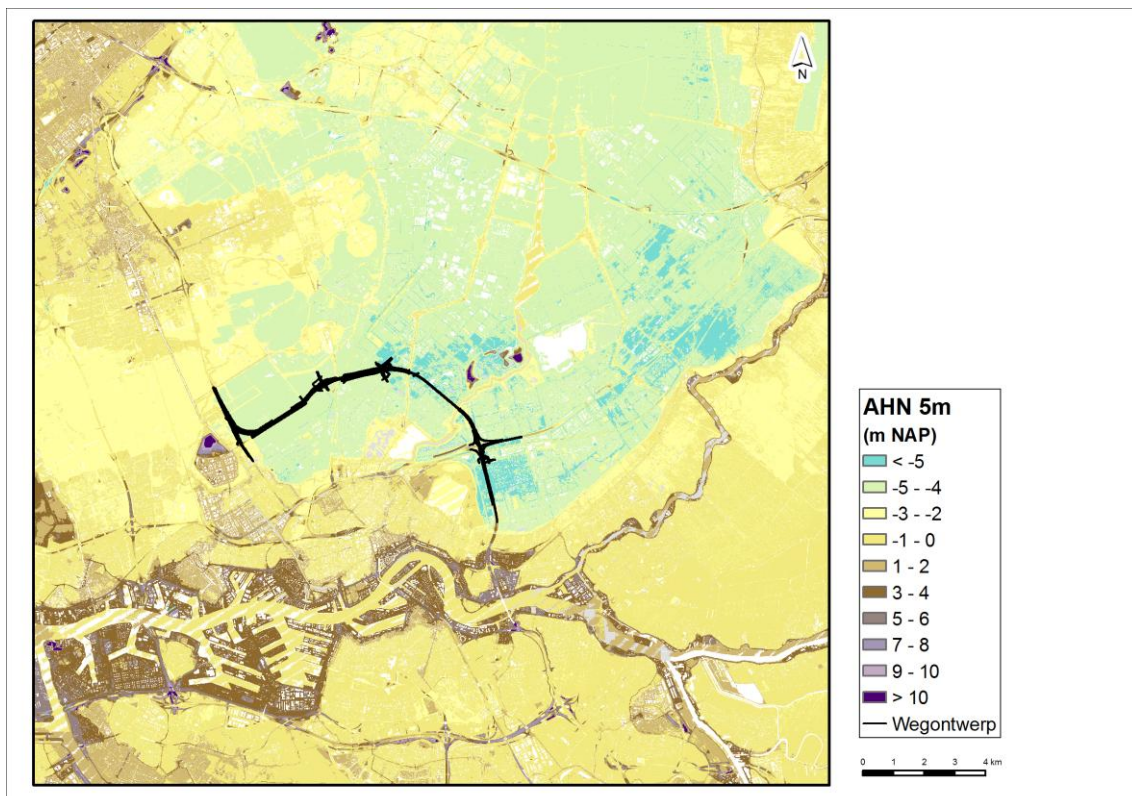
2

Randvoorwaarden en uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de randvoorwaarden en uitgangspunten van de studie omschreven.

2.1 MAAIVELD

Op Afbeelding 2.1 is de hoogtekkaart weergegeven. Het huidige maaiveld ligt op circa NAP - 5 m en dieper, een uitzondering zijn de kruisingen met de Rotte en Vaart Bleiswijk. De hoogtekkaart is gebruikt om maaiveldhoogte in te voeren in het grondwatermodel en om drainageniveaus te berekenen in bebouwd gebied.

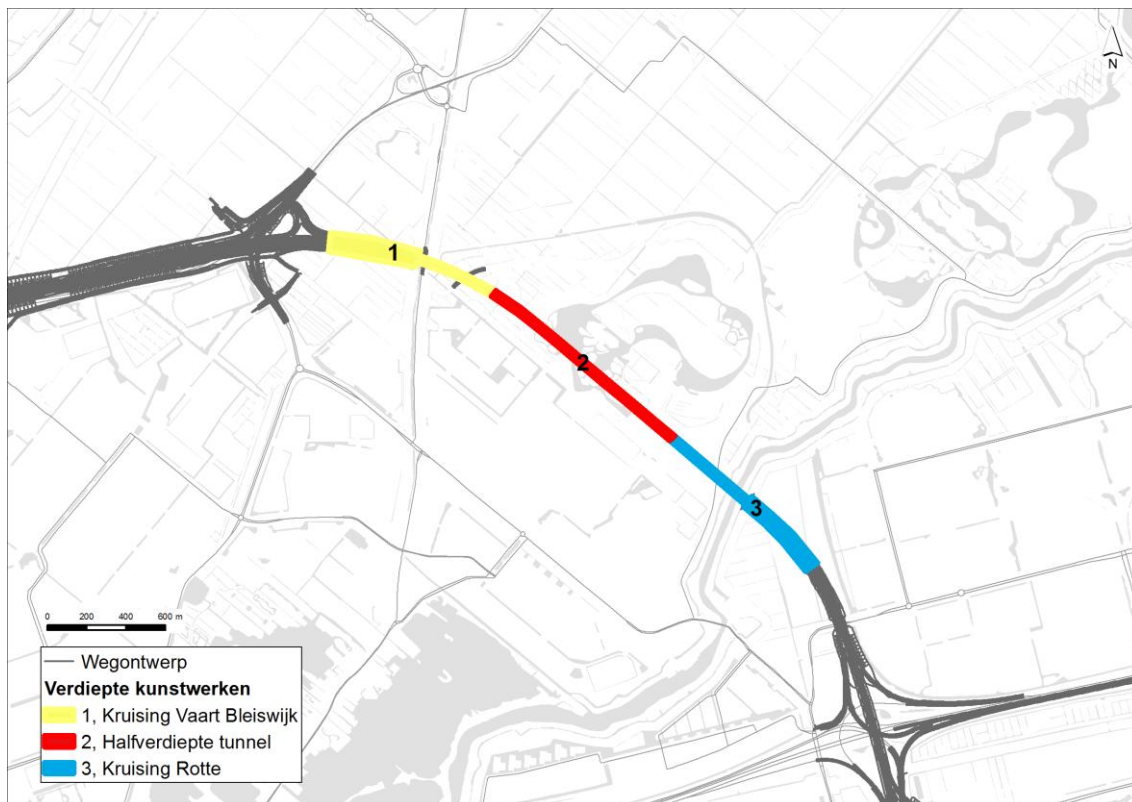


Afbeelding 2.1 Hoogtekkaart (AHN 5m)

2.2 LOCATIE EN ONTWIKKELING

Afbeelding 2.2 geeft een topografische kaart weer van de verdiepte liggingen op basis van de huidige ontwerpinzichten. Het diepste punt (bovenzijde van het hart van de weg) in deze 3 tracédelen is:

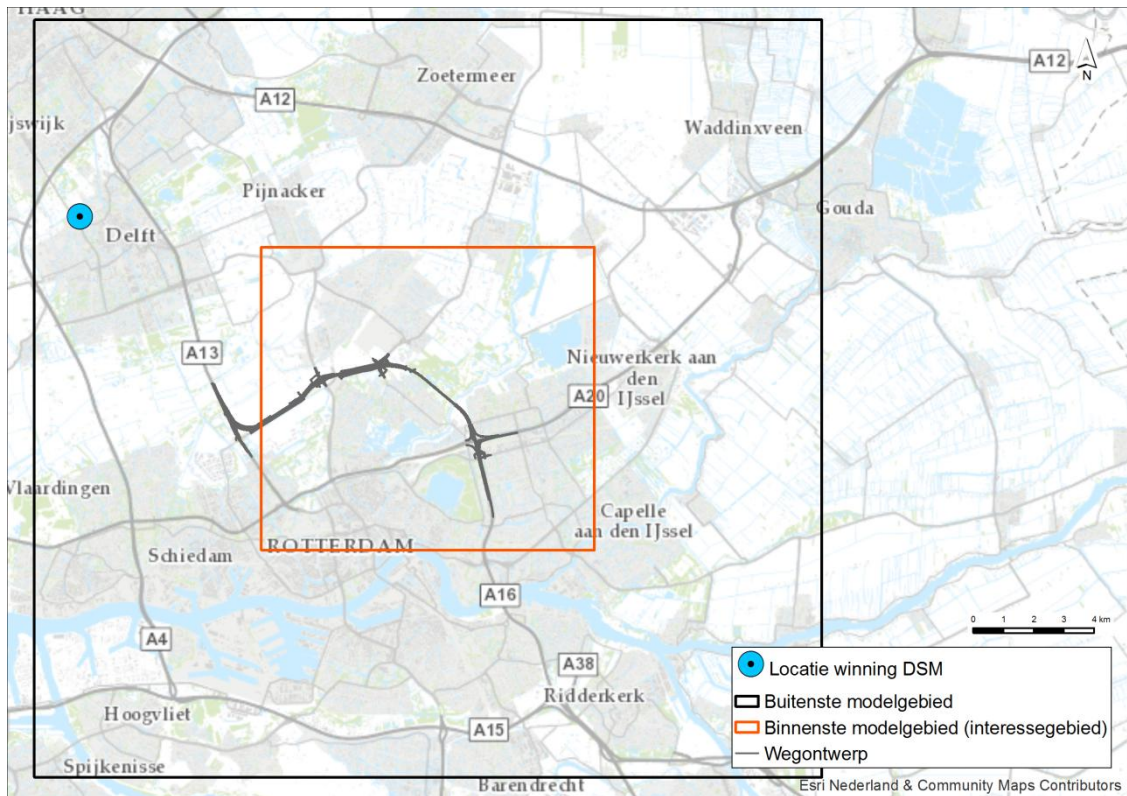
- verdiepte ligging bij Vaart Polder Bleiswijk; circa NAP – 13 m;
- half verdiepte tunnel in het Lage Bergse Bos: circa NAP –9 m;
- verdiepte ligging bij de Rotte: circa NAP – 13 m.



Afbeelding 2.2 Kaart met locatie kruisingen en half verdiepte tunnel

Op basis van een schatting van het invloedsgebied voor een bemaling in het 1^{ste} watervoerende pakket is bepaald dat de modelranden op circa 12.500 m moeten liggen vanaf de kunstwerken (zie ook paragraaf 2.12). Omdat dit een zeer groot gebied betreft is er een kleiner interessegebied gedefinieerd waarbinnen de bodem, waterlopen, landgebruik, etc. gedetailleerd zijn beschouwd. In Afbeelding 2.3 zijn het buitenste en binnenste modelgebied (interessegebied) weergegeven. In de afbeeldingen in dit rapport wordt het binnenste modelgebied ook wel aangeduid als modelgebied.

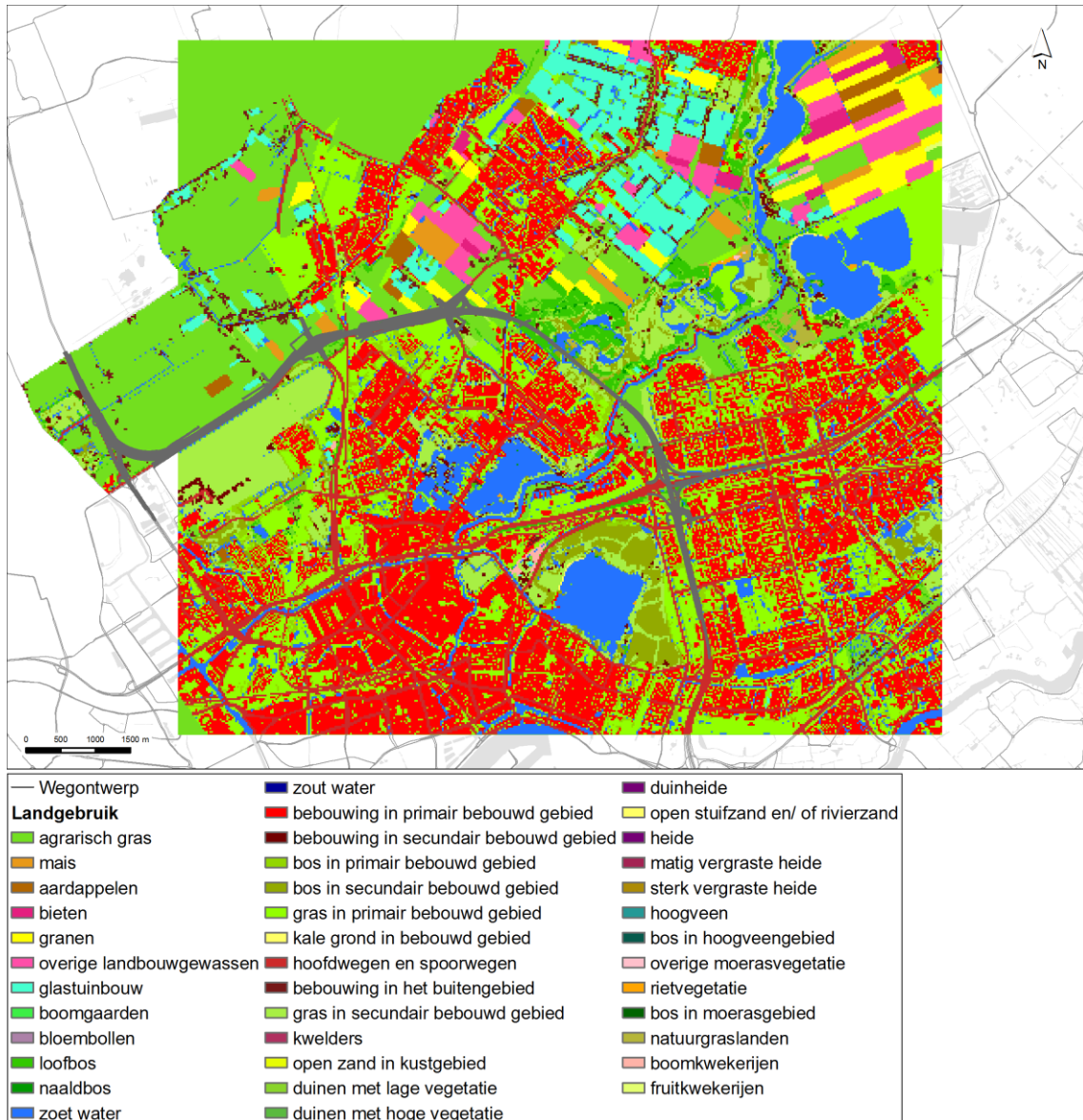
Dit hoofdstuk bevat een gedetailleerde beschouwing van de uitgangspunten voor het binnenste modelgebied. Daarbuiten is de situatie overgenomen uit het regionale grondwatermodel van Zuid-Holland ontwikkeld door TNO (2004). De opzet van het model is beschreven in bijlage I.



Afbeelding 2.3 Ligging buitenste en binnenste modelgebied (interessegebied)

2.3 LANDGEBRUIK

Op Afbeelding 2.4 is het landgebruik binnen het interessegebied weergegeven. De landgebruik kaart is onder andere toegepast voor de bepaling van grondwateraanvulling en drainage niveaus.



Afbeelding 2.4 Landgebruik van het binnenste modelgebied.

2.4 BODEMOPBOUW

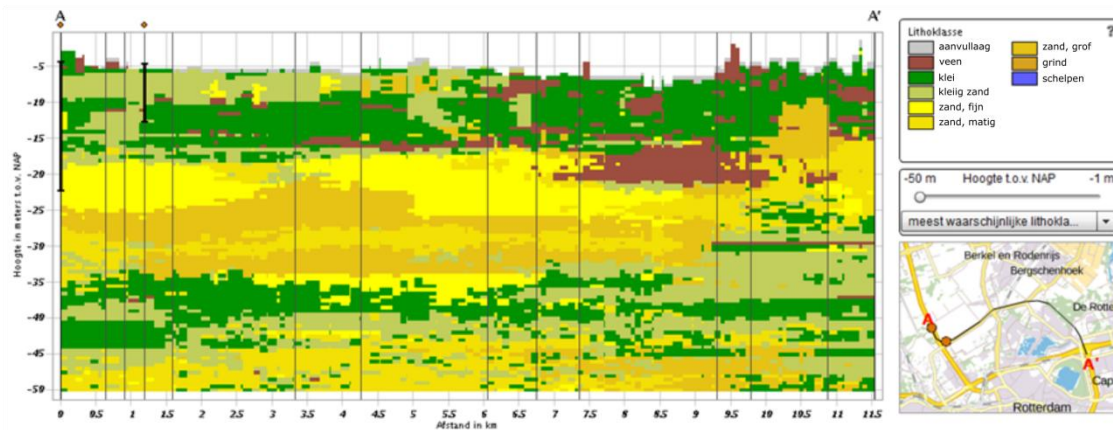
De schematisatie van de bodem heeft is gesplitst in 2 subparagrafen: de deklaag (tot circa NAP - 19 m) en het watervoerende pakket. De laatste subparagraaf geeft een schematisch totaal overzicht.

2.4.1 DEKLAAG

De huidige geohydrologische studie vereist een nauwgezette beschrijving van de opbouw van de deklaag omdat de constructies een belangrijk deel van deze laag doorsnijden, en vanwege het verticale evenwicht in de tijdelijke en permanente situatie. De deklaag bestaat uit klei, veen en zandlagen volgens sonderingen en boringen (TNO 2015, Mos 2010, Raap 2015).

Voor de studie is een vlakdekkend beeld van de opbouw van de deklaag nodig. Daarvoor wordt GeoTOP v1.2 (TNO 2015) als basis gebruikt. GeoTOP is gebaseerd op onder andere boringen en sonderingen uit Dinoloket en geologische informatie.

De ondergrond is in cellen van 100x100x0,5 m³ (lengte x breedte x diepte) opgedeeld. Per cel is onder andere de meest waarschijnlijke lithologie afgeleid, zie Afbeelding 2.5. De resultaten van GeoTOP zijn geverifieerd met sonderingen die niet in de GeoTOP-afleiding zijn gebruikt, namelijk sonderingen langs het tracé. Hieruit blijkt dat de schematisatie overeenkomt met de sonderingen.



Afbeelding 2.5 Verticale doorsnede GeoTOP langs tracé A16

De schematisatie van GeoTOP is verfijnd omdat lokale afwijkingen in de bodemopbouw niet in de schematisatie zijn opgenomen. Dit komt omdat de GeoTOP celgrootte 100x100 m² is of doordat bepaalde informatie niet is beschouwd in de opzet van GeoTOP. De verfijning is in de volgende paragrafen beschreven.

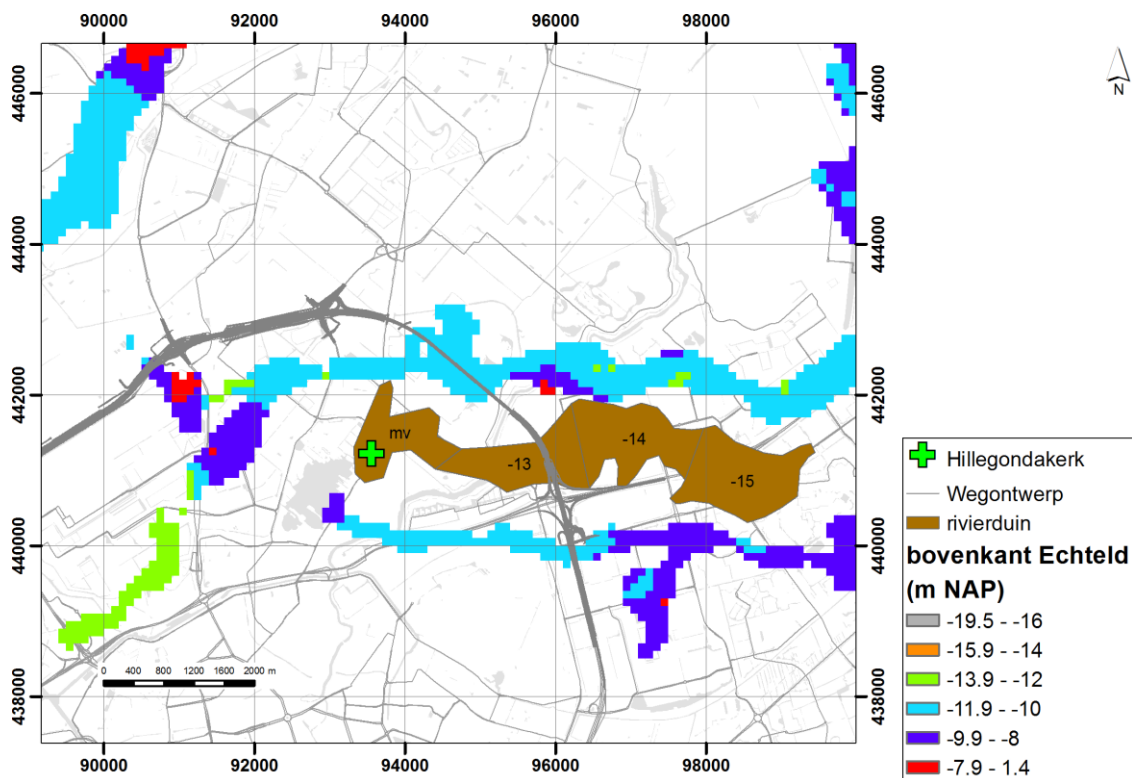
2.4.1.1 *FORMATIE VAN ECHTELDE*

De deklaag wordt doorsneden door geulafzettingen van de Formatie van Echteld. Geulafzettingen zijn zandiger dan het overige deel van de deklaag. Daarom is ter plaatse van deze afzettingen een dunnere deklaag aanwezig. Hierdoor is er een grotere interactie tussen het 1^e watervoerende pakket en het freatische grondwater.

Afbeelding 2.6 geeft het voorkomen van de Formatie van Echteld weer. Deze doorsnijdt het tracé ter hoogte van het Lage Bergse Bos, ook zijn geulen ten noorden en zuiden van het tracé aanwezig. Volgens de kartering ligt deze afzetting ter plaatse van het tracé tussen circa NAP - 10 en - 13 m. Het voorkomen van deze afzetting en de lithologie is geanalyseerd via verschillende bronnen:

- een vergelijking met boringen uit Dinoloket. Hieruit blijkt dat ter plaatse van de geul zandige klei en fijn zand aanwezig is. De geul sluit vrijwel overal direct aan op het 1^e watervoerende pakket. In de geul is het zand hoofdzakelijk geclassificeerd als matig grof zwak siltig zand. Op basis van ervaring is dit in het grondwatermodel verwerkt met een horizontale en verticale doorlatendheid van 12,5 m/dag en 1,25 m/dag respectievelijk;
- een interpretatie van sonderingen door de gemeente Rotterdam (Gemeente Rotterdam 2014). De gemeente heeft de bovenzijde van het 1^e watervoerende pakket geïnterpreteerd voor een opbarstanalyse. De afgeleide bovenzijde komt veelal overeen met de bovenzijde van de Formatie van Echteld zoals deze is gekarteerd;
- een vergelijking met de sonderingen (Mos 2010) daar waar de Formatie van Echteld het tracé kruist. In de sonderingen is de Formatie van Echteld maar op een smaller gedeelte van het tracé aangetroffen. De verspreiding van de Formatie van Echteld is hierop niet aangepast, omdat zo een worst-case inschatting voor het voorkomen van de zandbaan wordt gemodelleerd en verdere informatie om de geul af te bakenen momenteel ontbreekt;

- beschikbare boringen uit archeologisch onderzoek. Dit leidt niet tot een aanpassing van de schematisatie van de Formatie van Echteld.



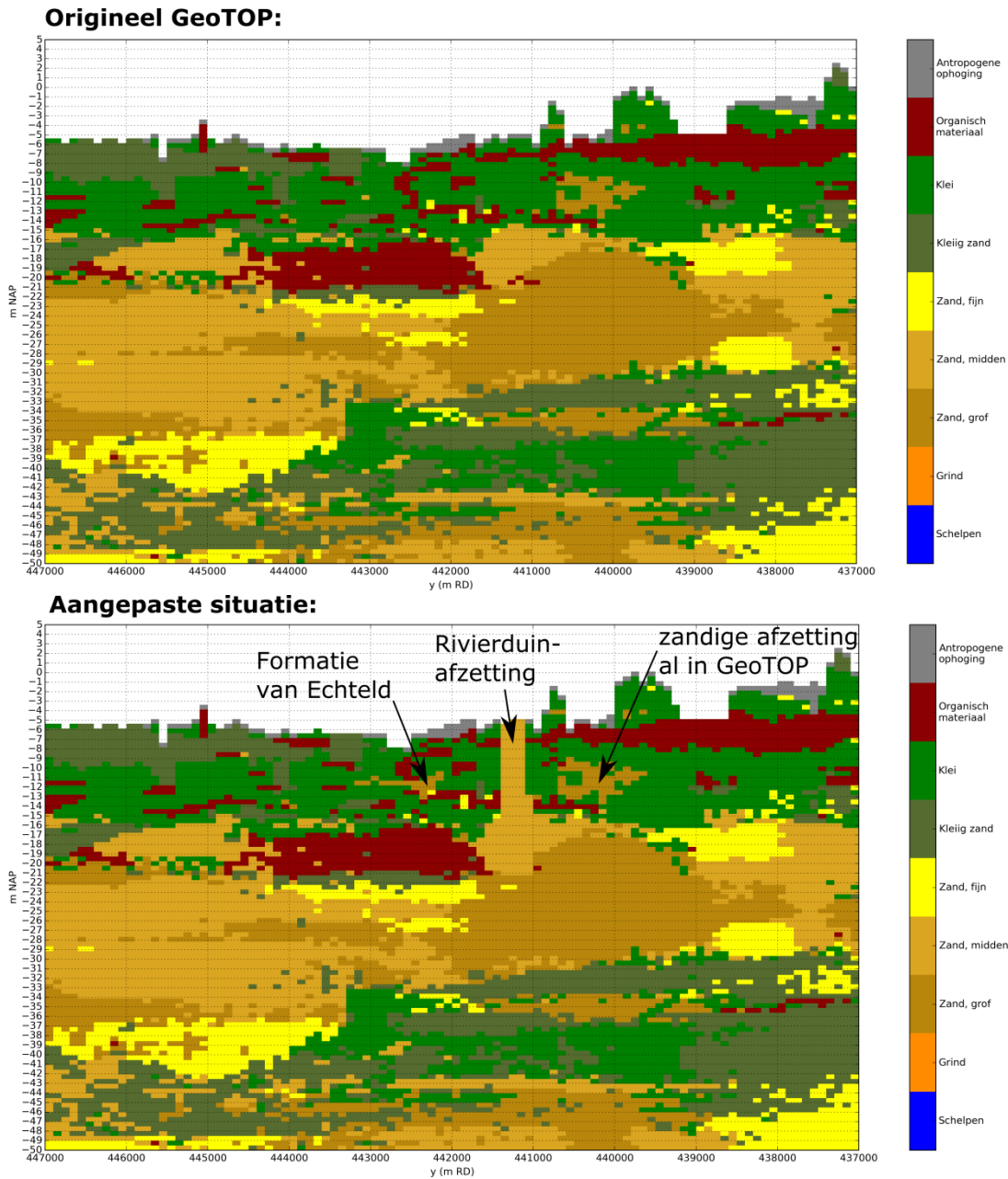
Abbeelding 2.6 Kaart voorkomen geulafzetting van de Formatie van Echteld en rivierduinen

2.4.1.2 RIVIERDUIN

Het rivierduin is zandiger dan het overige deel van de deklaag. Daarom is ter plaatse van het duin een dunnere deklaag aanwezig, of zelfs geheel afwezig. Hierdoor is er een grotere interactie tussen het 1e watervoerende pakket en het fretatische grondwater.

Abbeelding 2.6 geeft de contour van een rivierduin weer. Deze dagzoomt ter plaatse van de Hillegondakerk in Hillegersberg. Het verloop van de bovenzijde van deze duin is in kaart gebracht via een vergelijking van boorstaten (TNO 2015 en Raap 2015). Hierop is de zandbaan in 4 deelgebieden ingedeeld die elk een eigen niveau voor de bovenzijde van het duin hebben. De inschatting is dat de bovenzijde van het rivierduin wordt overschat in deze benadering, dit leidt tot een 'worst-case' inschatting van de fretatische effecten in dit deel. Hiermee wordt in de beoordeling van de effecten rekening gehouden. Het bodemtype in de geul is hoofdzakelijk matig fijn zand met een sterk siltige bijmenging. Op basis van ervaring is dit in het grondwatermodel geschematiseerd met een horizontale en verticale doorlatendheid van 5 m/dag en 0,5 m/dag respectievelijk.

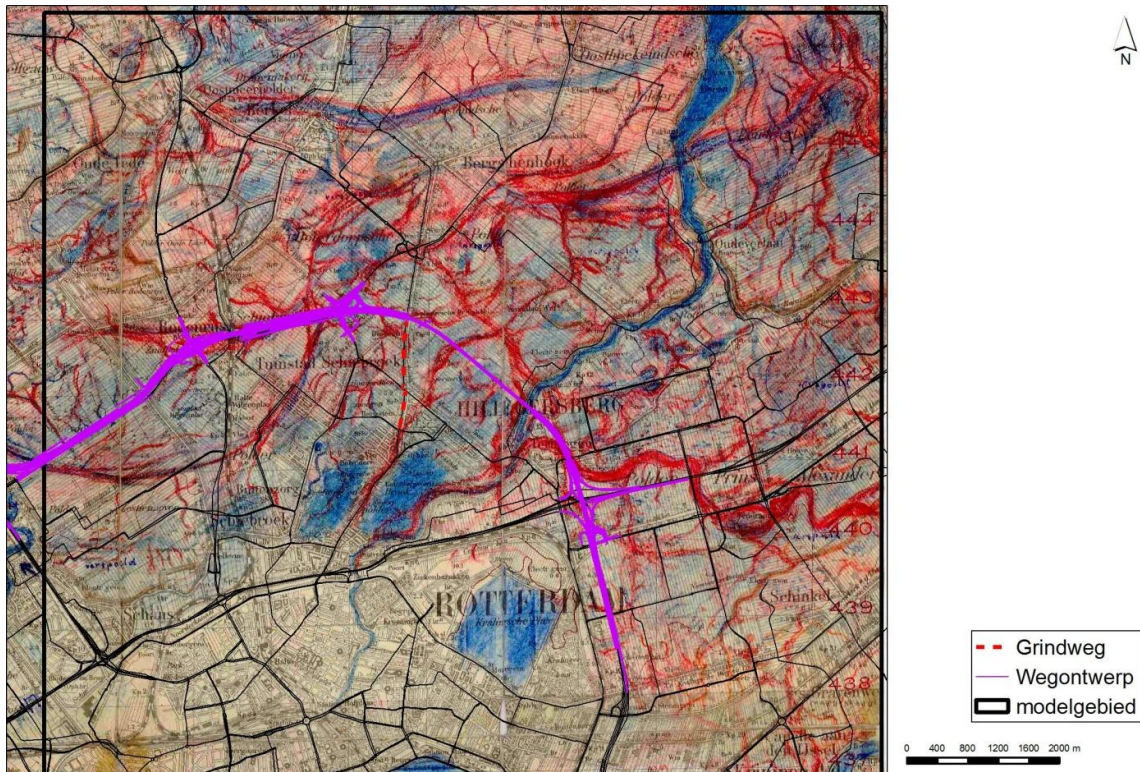
In Abbeelding 2.7 is een doorsnede in noord-zuidrichting gemaakt van zowel het originele GeoTOP als de gemaakte aanpassingen. Duidelijk zicht is dat het horizontale doorlaatvermogen ter plaatse van de doorsnijding met de Formatie van Echteld en de rivierduin is vergroot door aanwezigheid van zandige afzettingen.



Afbeelding 2.7 Doorsnede in noord-zuidrichting van het originele GeoTOP en de aangepaste situatie, kilometrering is in Afbeelding 2.6 weergegeven

2.4.1.3 ZANDBANEN

De aanwezigheid van zandbanen kan worden afgeleid van de kaart van Von Frijtag Drabbe (Kaart op Maat, 2015), zie Afbeelding 2.8. Deze kaart geeft een kwalitatieve inschatting van droge en natte plekken zoals die tijdens de 2^e wereldoorlog op luchtfoto's zichtbaar zijn. De toen droge delen zijn nu mogelijk zandruggen die nu onder het maaiveld zijn verdwenen. Er heeft geen actualisatie van het GeoTOP-bestand plaatsgevonden, omdat via de beschikbare boringen (TNO 2015) in deze ruggen geen wezenlijk andere bodemopbouw is aangetroffen dan in de omgeving. Dit kan veroorzaakt zijn door de beperkte dichtheid van de boringen in deze banen. In de uiteindelijke geohydrologische analyse wordt dit meegenomen.

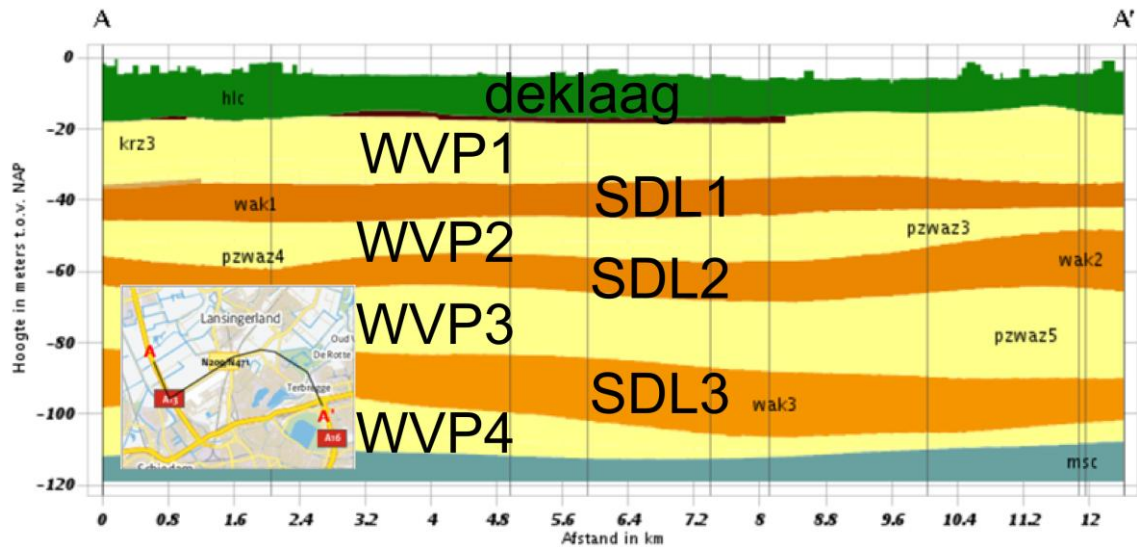


Afbeelding 2.8 Kaart Von Frijtag Drabbe en locatie Grindweg

Volgens mondelinge communicatie met bewoners is onder de Grindweg, zie Afbeelding 2.8, een zandbaan aanwezig. Deze zandbaan is niet aangetroffen in de beschikbare boringen. Daarom is deze niet in de model opgenomen. In het algemeen geldt dat het wegcunet van wegen kan werken als een zandbaan in de kleiige ondergrond. Hierdoor kan het invloedsgebied van freatische effecten zich over een groter gebied uitstrekken, of kan een eventuele grondwaterstandsverlaging juist worden verminderd door infiltratie vanuit bijvoorbeeld waterlopen of lekkende riolen. De cunetten zijn niet in het model opgenomen, maar worden wel in de uiteindelijke geohydrologische analyse meegenomen (paragraaf 4.3).

2.4.2 WATERVOERENDE PAKKETTEN

Afbeelding 2.9 geeft de bodemopbouw volgens REGIS (TNO 2015) weer. Het eerste watervoerende pakket ligt onder de deklaag tot circa NAP - 40 m. Deze wordt gescheiden van het tweede watervoerende pakket door de 1^e slecht doorlatende laag tussen circa NAP - 40 m en NAP - 50 m. Daaronder volgen het 2^e, 3^e en 4^e watervoerende pakket gescheiden door resp. de 2^e en 3^e slecht doorlatende laag. De onderzijde van het 4^e watervoerende pakket is voor deze studie als geohydrologische basis beschouwd, omdat de verticale weerstand van deze laag circa 3.700 dagen bedraagt (TNO 2015).



Afbeelding 2.9 Doorsnede formaties uit REGIS II langs tracé A16 tot NAP -120 m.

De gemeente Rotterdam heeft 3 onderzoeken¹ verstrekt waarin het doorlaatvermogen van het 1^e watervoerende pakket is afgeleid op basis van pompproeven. Hieruit volgt een doorlaatfactor van circa 70 m/dag. Het is onbekend over welk gebied deze waarde geldig is. Daarom is in het binnenste modelgebied vlakdekkend een waarde van 70 m/dag toegepast. Dit is een 'worst-case' aanname. Voor het buitenste model is de doorlatendheid van het 1^{ste} watervoerende pakket overgenomen uit het regionale grondwatermodel voor Zuid-Holland waarbij de waardes variëren tussen circa 10 en 40 m/dag. De kenmerken van de lagen onder het 1^{ste} watervoerende pakket zijn overgenomen uit REGIS en opgenomen in Tabel 2.1.

2.4.3 CONCLUSIE

Tabel 2.1 geeft een schematisch overzicht van de bodemopbouw, namelijk een deklaag tot circa NAP - 19 m. De opbouw van de deklaag is geschematiseerd via GeoTOP en daarna nader gedetailleerd voor het voorkomen van geulafzettingen en het rivierduin. Onder de deklaag liggen meerdere watervoerende pakketten met scheidende lagen.

Tabel 2.1 Geohydrologische schematisatie interessegebied

boven- en onderzijde (m NAP)	formatie	lithologie	geohydrologie	parameter
ca -5 tot ca -19	Holocene afzettingen	klei, fijn zand, (basis)veen	deklaag, doorsneden met geulafzettingen en rivierduin	c gemiddeld = 8.750 dagen
ca -19 tot ca -35	Kreftenheye	voornamelijk matig grof zand	1 ^e watervoerende pakket	$k_h = 70$ m/d (zie 2.4.2)
ca -35 tot ca -40	Peize-Waalre	Klei	1 ^e scheidende laag	$c = 250$ d
ca -40 tot ca -55	Peize-Waalre	voornamelijk matig grof zand	2 ^e watervoerende pakket	$k_h = 30$ m/d
ca -55 tot ca -67	Peize-Waalre	siltig materiaal en matig grof zand	2 ^e scheidende laag	$c = 300$ d
ca -67 tot ca -85	Peize-	voornamelijk	3 ^e watervoerende pakket	$k_h = 30$ m/d

¹ 2 onderzoeken in Prins Alexander, 1 onderzoek bij metrohalte Meijersplein

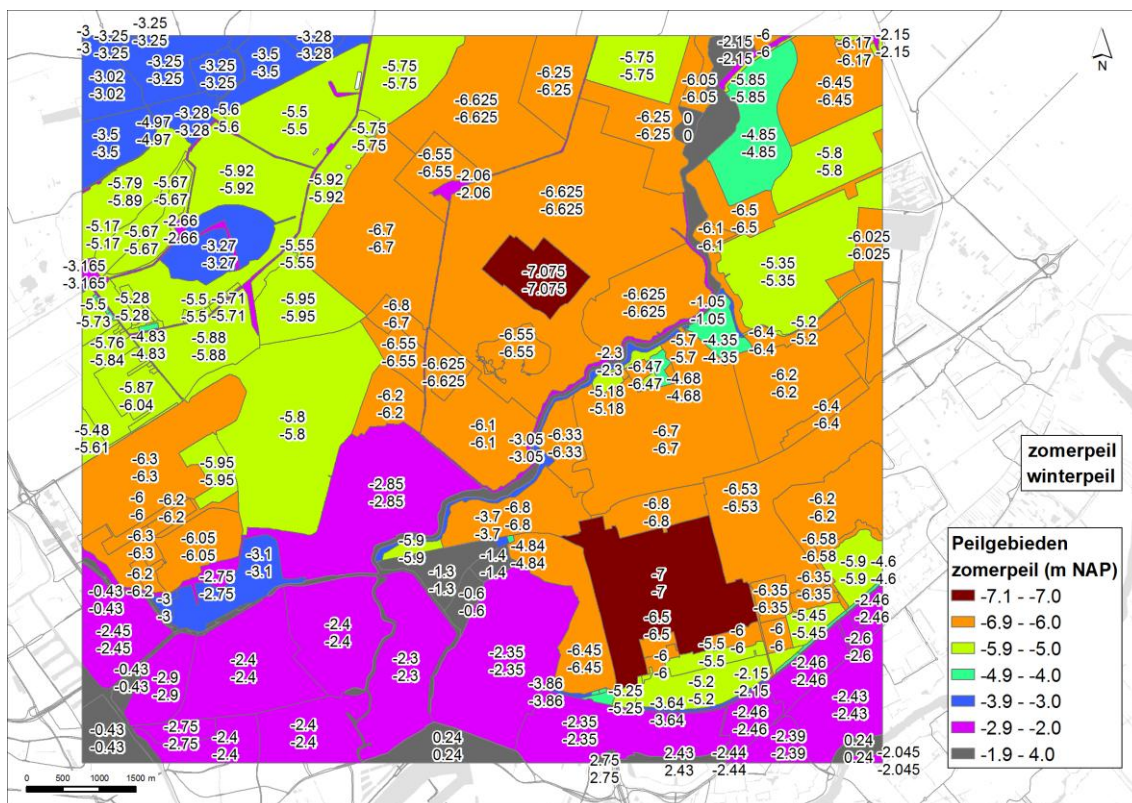
boven- en onderzijde (m NAP)	formatie	lithologie	geohydrologie	parameter
	Waalre	matig grof zand		
ca -85 tot ca - 106	Peize- Waalre	siltig materiaal en matig grof zand	3 ^e scheidende laag	c = 300 d
ca -106 tot ca -110	Peize- Waalre	voornamelijk matig grof zand	4 ^e watervoerende pakket	k _h = 30 m/d
ca -110 - dieper	Maassluis	voornamelijk matig grof zand	geohydrologische basis	-

2.5 KWEL/WEGZIJING

Het maaiveld ligt onder NAP en de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket wordt gevoed door de Noordzee en de Nieuwe Maas waardoor er een kweldruk aanwezig is. Daarom is het gebied gevoelig voor opbarsten (Gemeente Rotterdam 2014).

2.6 OPPERVLAKTEWATER

Het oppervlaktewater is geschematiseerd via de huidige legger van de hoogheemraadschappen van Delfland, en Schieland en de Krimpenerwaard. Het waterpeil op de Maas en Hollandse IJssel is afgeleid van het gemiddelde peil in de waternormalen van Rijkswaterstaat.

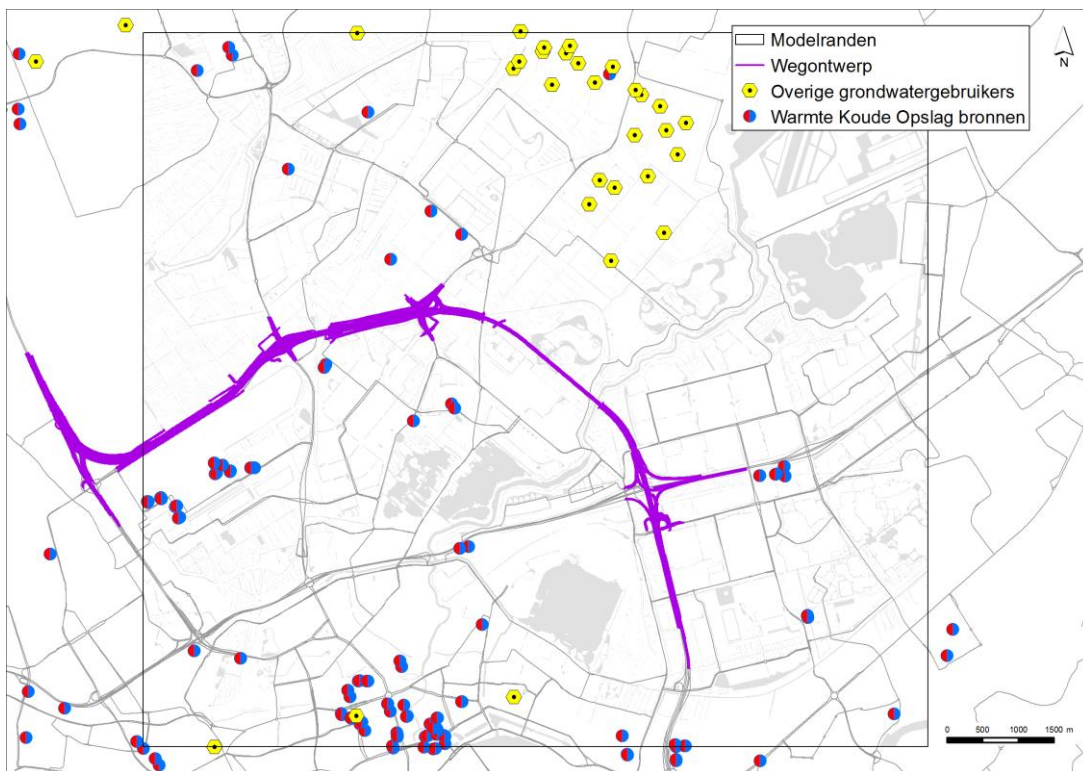


Afbeelding 2.10 Peilgebieden

In de toekomst zullen langs de A16 enkele peilgebiedgrenzen wijzigen en zullen lokale afwateringsvoorzieningen worden aangelegd, bijvoorbeeld langs de zone Polder Schieveen en de A13 zal een nieuw peilgebied ingericht worden. Dit lokale effect dient voor de eindsituatie separaat beschouwd te worden.

2.7 GRONDWATERGEBRUIKERS

De locatie van grondwatergebruikers in de regio rondom het tracé is weergegeven in Afbeelding 2.11. De grondwatergebruikers betreffen zowel infiltratie als onttrekkingsputten. De locaties van WKO-systemen zijn ook weergegeven.



Afbeelding 2.11 Locatie grondwater onttrekking- en infiltratieputten en WKO systemen.

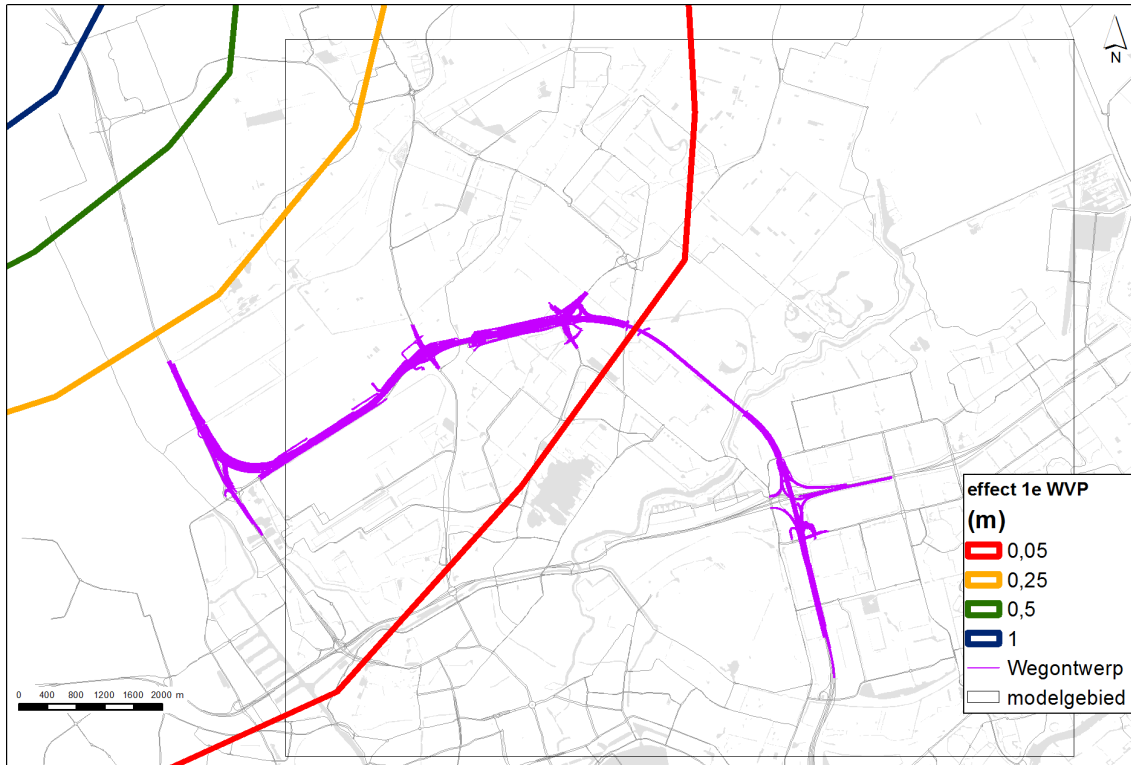
Buiten het weergegeven gebied ligt de grondwateronttrekking van DSM in Delft² (zie Afbeelding 2.3 voor de locatie). Het vergunde debiet is 13,5 Mm³/jaar. Sinds 2005 is de winning verlaagd door continu het lagere winterdebiet te onttrekken, dat is circa 10,5 Mm³/jaar (Deltares 2008). De actuele debieten sinds 2010 zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jaarlijks onttrekkingsdebiet van de winning van DSM Delft.

jaar	volume onttrokken grondwater (m3)
2010	10.552.934
2011	10.495.415
2012	10.634.075
2013	10.027.405
2014	9.808.524

² x = 83000, y = 448000 in m RD

Het berekende invloedsgebied van de onttrekking in het 1^e watervoerende pakket is in Afbeelding 2.12 weergegeven (Deltares 2008). Bij het tracé is de berekende verhoging van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket bij stopzetting van de winning 0,05 tot 0,25 m ten opzichte van een winning van 12,3 Mm³/jaar (het gemiddelde debiet in de jaren voorafgaand aan het opstellen van de rapportage). De contouren zijn gebruikt om de randvoorwaarden van het model aan te passen (paragraaf 4.1).



Afbeelding 2.12 Effect stopzetting winning DSM op 1^e watervoerende pakket (Deltares 2008)

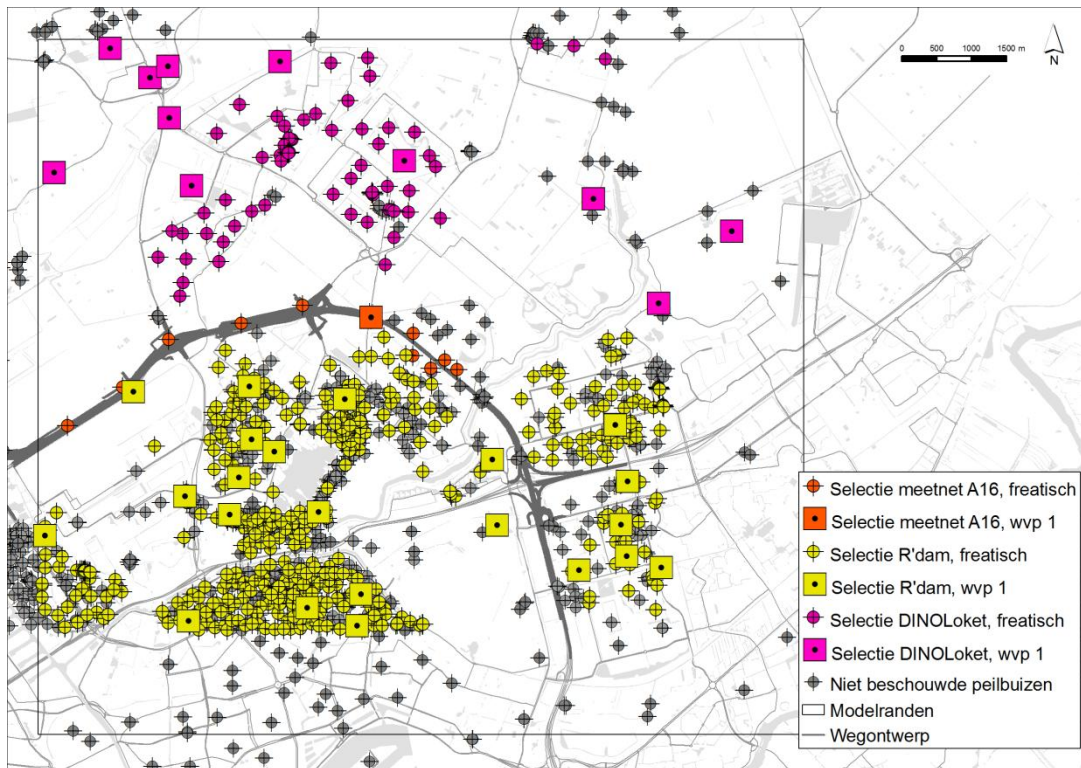
2.8 WAARNEMING GRONDWATERSTAND EN STIJGHOOGTE

Tabel 2.3 geeft de beschikbare datasets weer. Uit alle sets zijn peilbuizen beschouwd die meer dan 30 waarnemingen hebben vanaf 1 januari 2000. Het getal in de tweede kolom geeft aan hoeveel peilbuizen zijn gebruikt in de kalibratie. Afbeelding 2.13 geeft deze locaties op kaart weer. De vorm van het symbool geeft aan of de peilbuis de freatische grondwaterstand of de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket meet. De meeste peilbuizen meten de freatische grondwaterstand, er zijn enkele peilbuizen die de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket meten. Er staan 56 peilbuizen in het 2^e watervoerende pakket of dieper.

Tabel 2.3 Beschikbare datasets grondwaterstand en stijghoogte

omschrijving	aantal	indicatie gebied	periode data	type waarneming
meetnet A16	11	langs tracé	oktober 2014 - oktober 2015	via sensoren
gemeente Rotterdam	465	gemeentegrens	sinds 2000 tot heden	handmetingen
gemeente Lansingerland	65	gemeentegrens	sinds 2012 tot heden	via sensoren

omschrijving	aantal	indicatie gebied	periode data	type waarneming
Dinoloket ³	229	modelgebied	sinds 1949 tot heden	via handmetingen en sensoren



Afbeelding 2.13 Locaties en diepte van peilbuizen in het meetnet van de A16, van de gemeente Rotterdam en uit DINOLoket.

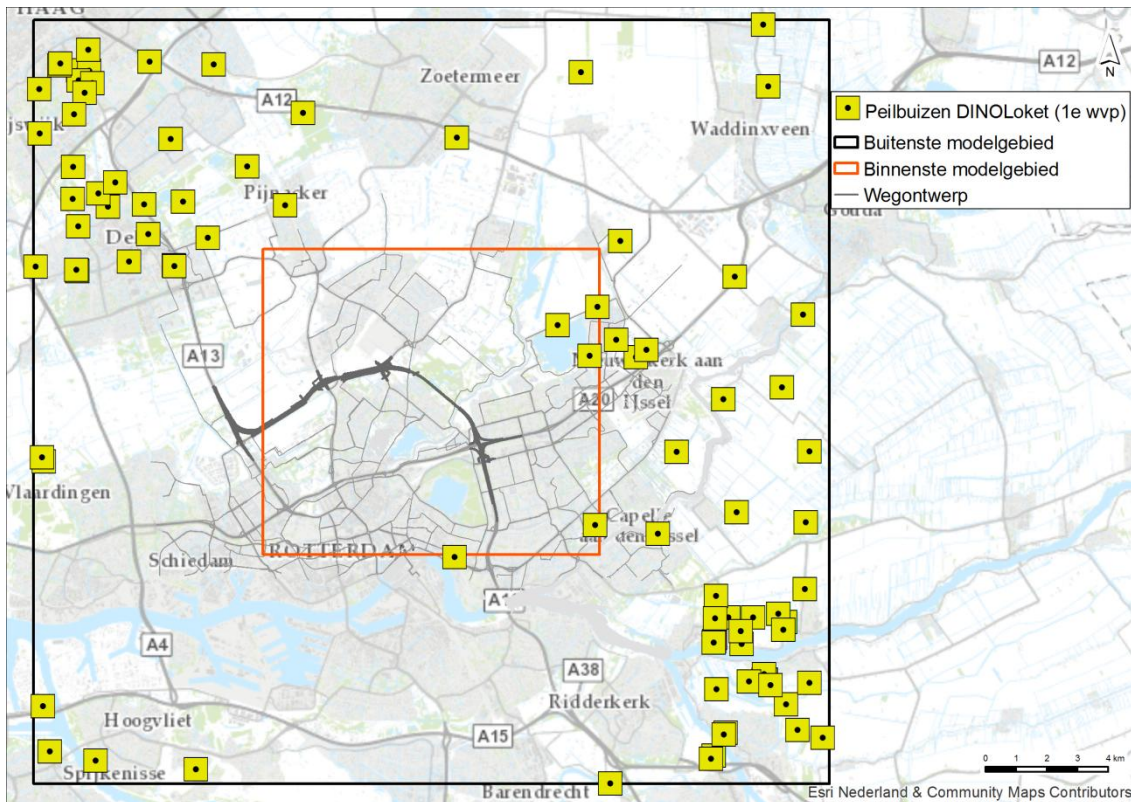
Van de peilbuizen langs het tracé (nummer 3001 t/m 3026) was bij het samenstellen van de kalibratieset⁴ slechts een beperkte meetreeks beschikbaar, namelijk van oktober 2014 tot oktober 2015. In deze periode is wel iedere 8 uur de grondwaterstand gemeten. Om een indicatieve vergelijking te kunnen maken met het langjarige model is met behulp van tijdserie-analyse de reeks verlengd. Hiervoor is onderzocht in hoeverre de variatie in de waarnemingen verklaard kan worden vanuit de variatie in neerslag en verdamping met Menyanthes. Voor 16 van de 26 peilbuizen kan deze variatie goed worden verklaard. Voor deze peilbuizen zijn de grondwaterstanden van 2007 tot 2014 afgeleid met behulp van de neerslag- en verdampingsmetingen van de periode 2007-2014.

Voor de peilbuizen uit DINOLoket zijn peilbuizen beschouwd die meer dan 30 waarnemingen hebben na 1 januari 2000. Van de 229 peilbuizen die voldoen aan deze criteria zijn er 65 onderdeel van het meetnet van gemeente Lansingerland. Het meetnet van Lansingerland meet de grondwaterstand circa 1 keer per dag sinds 2012. Van de 85 peilbuizen hebben 21 een filter in het 1^{ste} watervoerende pakket of dieper.

³ Bevat peilbuizen gemeente Lansingerland en peilbuizen die nu door gemeente Rotterdam worden beheerd.

⁴ In januari 2016 zijn waarnemingen van het laatste kwartaal van 2015 beschikbaar gesteld. Deze zijn niet meegenomen in de analyse. Een quickscan geeft geen significante verschillen met de eerdere metingen.

Voor de peilbuizen uit het meetnet van Rotterdam gelden dezelfde criteria als voor de peilbuizen uit DINOLoket. Van de 862 peilbuizen voldoen er 465 aan de criteria, waarvan er 22 de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket meten.



Abbeelding 2.14 Peilbuizen in het 1^{ste} watervoerende pakket in voornamelijk het buitenste modelgebied afkomstig uit DINOLoket.

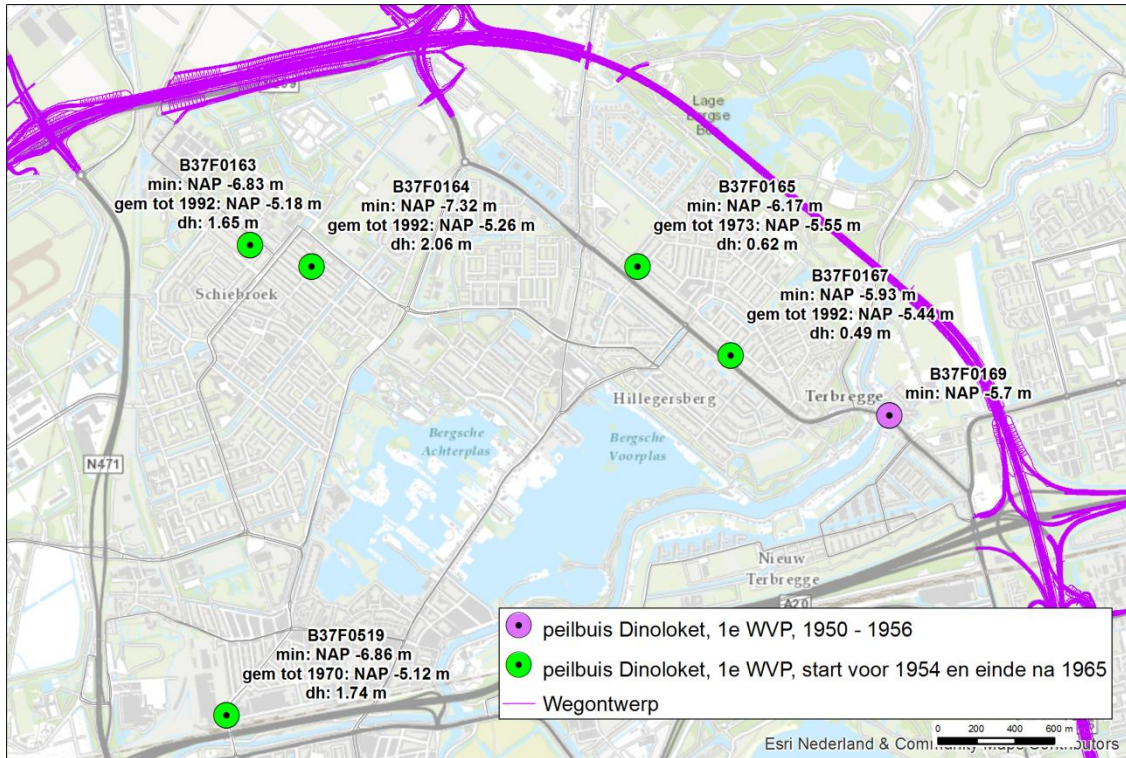
Buiten het interessegebied zijn peilbuizen uit DINOLoket met een filterstelling in het 1^{ste} watervoerende pakket beschouwd omdat de modelprestatie hier alleen in dit pakket wordt beschouwd. De selectie bevat in totaal 144 peilbuizen die na 2000 nog bemeten zijn en minimaal 30 meetpunten bevatten.

2.8.1 HISTORISCH LAAGSTE WAARDE STIJGHOOGTE

De verwachte uitvoeringsduur is circa 1,5 jaar. Het optreden van zettingen is afhankelijk van zowel de verlaging van de stijghoogte als de duur waarover deze verlaging plaatsvindt. De historisch laagste waarde van de stijghoogte wordt afgeleid omdat een onderschrijding van deze kan leiden tot zettingen. Dat is een ongewenst effect. Het uitgangspunt is een waarde af te leiden die bijvoorkeur gedurende eenzelfde periode als de verwachte uitvoeringsduur (1,5 jaar) is onderschreden. Voor een betrouwbare afleiding van deze situatie zijn minimaal maandelijkse waarnemingen in peilbuizen vereist, omdat anders een onderschrijding mogelijk niet wordt geregistreerd.

Waarnemingen van de stijghoogte rond het tracé zijn tot 1990 beschikbaar in Dinoloket, daarna zijn de waarnemingen beheerd door de gemeente Rotterdam. De waarnemingsfrequentie van de stijghoogte rondom het tracé voldoet tot circa 2005 aan bovenstaande eis, daarna is de frequentie verminderd. Na circa 2012 is de frequentie weer geïntensiveerd.

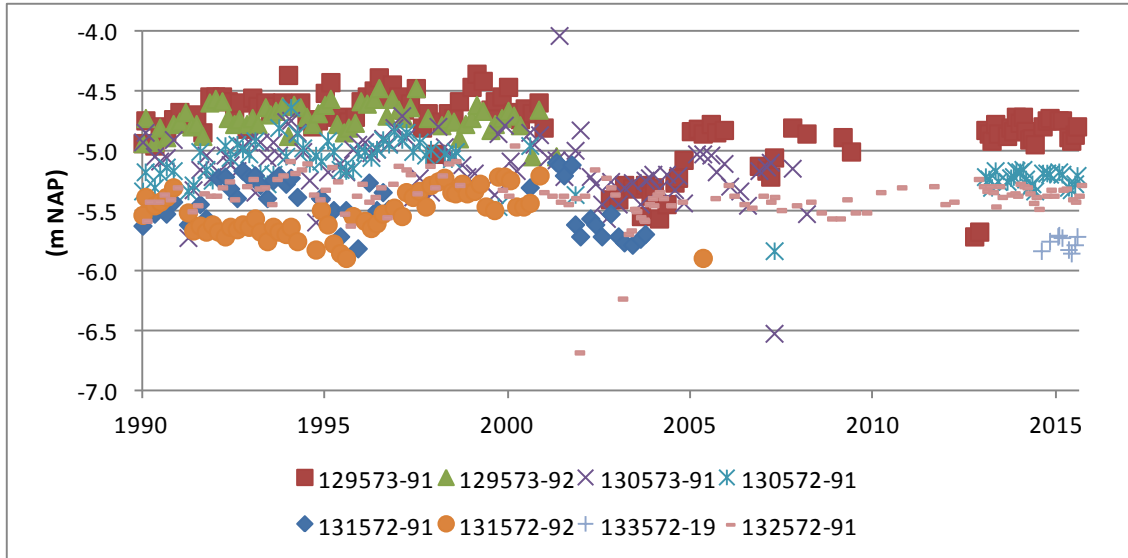
Op basis van de beschikbare gegevens blijkt dat de laagste stijghoogte in 1954 is opgetreden, zie Afbeelding 2.15. Waarschijnlijk is toen een bemaling actief geweest nabij Schiebroek, hier is een stijghoogte van NAP - 7,3 m waargenomen dat is een verlaging van 2,06 m ten opzichte van de gemiddelde situatie. In Hillegersberg zijn stijghoogten tussen NAP - 5,4 en 6,2 m waargenomen, wat een verlaging van 0,5 tot 0,6 m ten opzichte van de gemiddelde situatie. De verlaging bij het tracé van de A16 is niet door peilbuizen geregistreerd.



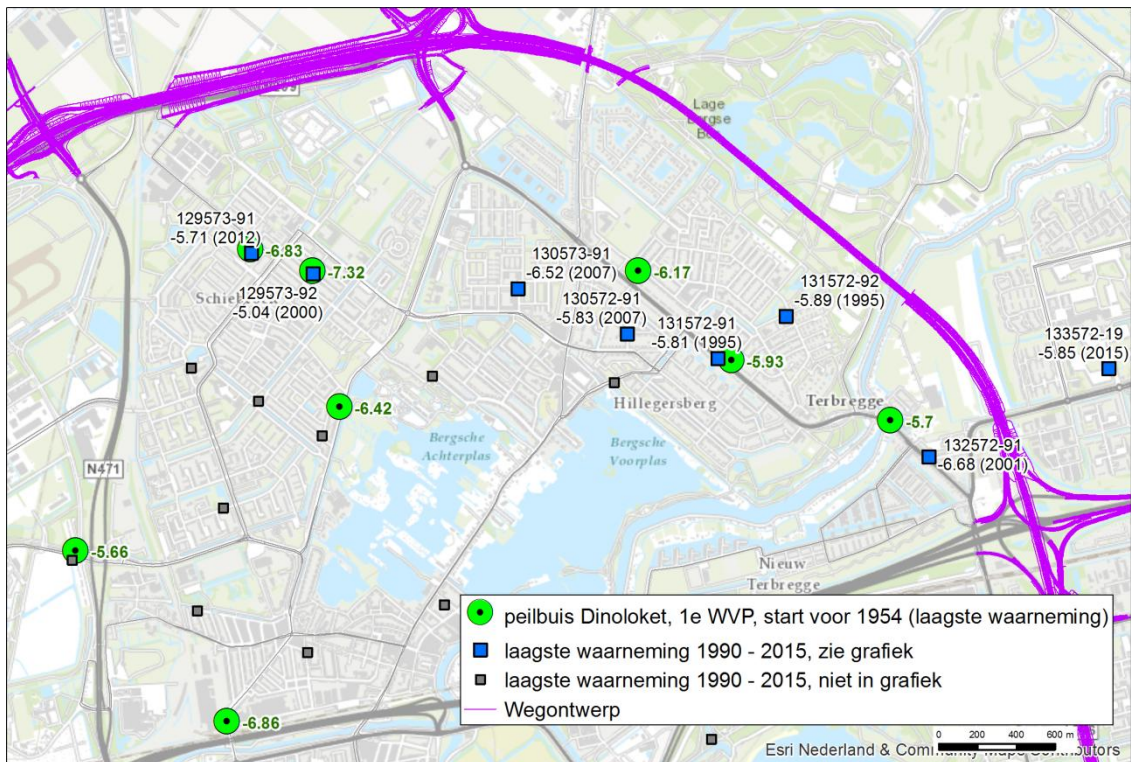
Afbeelding 2.15 Kaart waarnemingen stijghoogte rond 1954

De recente waarnemingen van de stijghoogte zijn ook geanalyseerd op waarden die enige maanden zijn onderschreden, zie Afbeelding 2.16 en Afbeelding 2.17. Sinds 1990 is in Hillegersberg (peilbuizen 131572-91 en 131572-92) een langdurige verlaging waargenomen rond de jaren 1995 en 2003 tot circa NAP - 5, 9 m. Op andere locaties zijn meer incidentele lage waarnemingen tussen 2001 en 2007 genoteerd.

De laagste waarneming bij peilbuis 131572-91 komt overeen met de laagste waarneming die hier in 1954 is verricht, zie Afbeelding 2.17.



Afbeelding 2.16 Grafiek waarnemingen stijghoogte 1990 - 2015



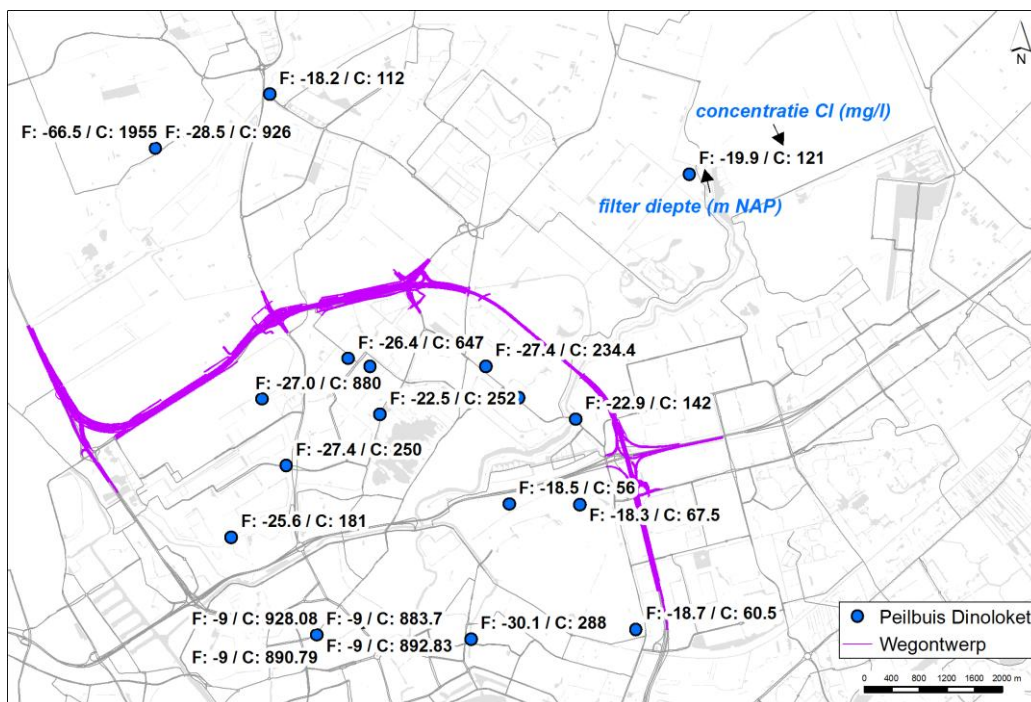
Afbeelding 2.17 Kaart waarnemingen stijghoogte rond 1954 en laagste waarneming 1990 - 2015

Op basis van bovenstaande analyse wordt ingeschat dat een verlaging van de stijghoogte van 0,5 m bij het tracé overeenkomt met de historische laagste stijghoogte. Dit is een inschatting, omdat ter plaatse van het tracé geen langjarige waarnemingen van de stijghoogte beschikbaar zijn.

2.9 GRONDWATERKWALITEIT

De huidige grondwaterkwaliteit is onderzocht in 2 delen: het chloride gehalte, in verband met effecten voor toename van zoute kwel; en de aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen in verband met niet-natuurlijke verspreiding door de ontwikkeling.

Afbeelding 2.18 geeft de beschikbare waarnemingen van het chloride gehalte in het grondwater weer sinds 1945. Per locatie is de filterdiepte en waargenomen concentratie weergegeven. De waarnemingen variëren tussen zoet (< 250 mg Cl/l) en brak (maximale waarneming 1955 mg Cl/l in het 2^{de} watervoerende pakket). Hieruit blijkt dat in het 1^e watervoerende pakket brak grondwater aanwezig is.



Afbeelding 2.18 Peilbuizen met chloridemeting sinds 1945

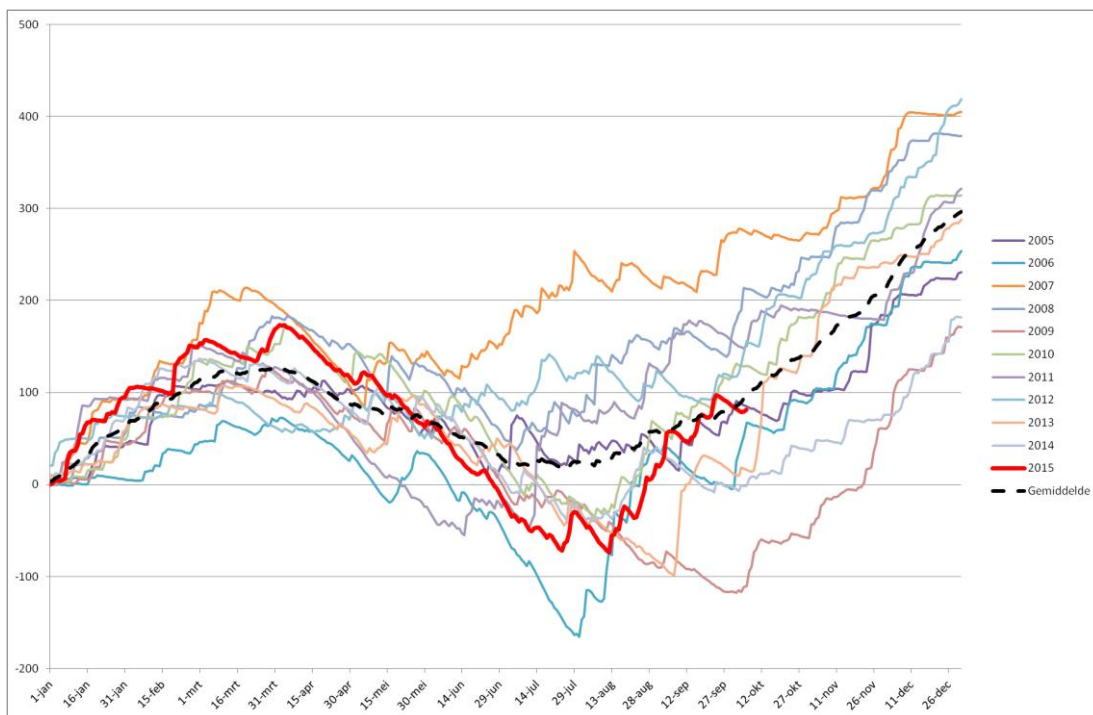
De bodemkwaliteit is beschreven in het OTB. Dit kan als volgt worden samengevat:

- uit vooronderzoek blijkt dat er diverse percelen binnen het tracé aanwezig zijn waar lichte tot sterke verontreinigingen aanwezig zijn. Ook zijn er percelen waar verdachte activiteiten plaatsvinden of in het verleden hebben plaatsgevonden. Deze verdachte percelen zijn in het verkennend onderzoek onderzocht om te bepalen of inderdaad sprake is van bodemverontreinigingen;
- voor diverse percelen binnen het tracé is al een beschikking (op ernst en spoed of artikel 39) Wet bodembescherming (Wbb) afgegeven. De meeste locaties zijn reeds gesaneerd (op enkele is nog een restverontreiniging aanwezig);
- op de locaties Ommoordseweg 48 en Rottekade 240-244 wordt in het kader van het project A16 nog een sanering uitgevoerd voorafgaand of tijdens de uitvoering van de werkzaamheden;
- overige aandachtslocaties zijn:
 - aanwezige (half)verhardingen en puinhoudende lagen: mogelijk is asbest aanwezig of verontreinigingen met zware metalen en/of PAK;
 - gedempte watergangen (waarvan nog geen gegevens bekend zijn): voor de demping is in het verleden mogelijk verontreinigd materiaal gebruikt;
- ter plaatse van 3 locaties (zie afbeelding 9.2 in OTB) is ernstige verontreiniging in de waterbodem aangetroffen;

- naast ernstig verontreinigde grond is er ook sprake van licht verontreinigde grond en licht verontreinigd grondwater ter plaatse van de toekomstige weg. Hiervoor gelden op grond van het Besluit bodemkwaliteit beperkingen in het (her)gebruik van grond die bij de werkzaamheden vrijkomt. Hiermee dient de uitvoerder bij toekomstige graafwerkzaamheden of bemalingen rekening te houden.

2.10 NEERSLAG EN VERDAMPING

De cumulatieve grondwateraanvulling van de afgelopen 10 jaar is weergegeven in Afbeelding 2.19. De gemiddelde grondwateraanvulling in deze periode is weergegeven met de zwarte stippellijn.



Afbeelding 2.19 Cumulatieve grondwater aanvulling vanaf 2005 op basis van dagelijkse neerslag en verdamping van KNMI data van meetstation Rotterdam Airport.

2.11 TOEKOMSTIGE ONTWIKKELING

Afbeelding 2.2 geeft de locaties van de ondergrondse constructies weer. Uitgangspunt is dat de verdiepte liggingen nagenoeg waterdicht worden uitgevoerd, dus dat bijvoorbeeld geen polderconstructies worden toegepast.

De geohydrologische uitgangspunten voor de toekomstige ontwikkeling zijn afgeleid op basis het huidige ontwerp (Arcadis, 2015) en een geotechnische studie. Dit raakt zowel de permanente als de tijdelijke situatie.

In een theoretische verkenning zijn de volgende bouwwijzen voorzien. Een samenvatting is opgenomen in Tabel 2.4:

- uit de geotechnische analyse is geconcludeerd dat het realiseren van de halfverdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos zonder onderwaterbetonvloer niet realistisch is. De vereiste verlaging die gerealiseerd moet worden met een spanningsbemaling is vele malen groter dan de historisch laagst geobserveerde waarde. Zie Bijlage 3 voor de berekening van de vereiste verlaging van de stijghoogte;
- het realiseren van een bouwput met onderwaterbeton van circa 1,0 m dikte met trekpalen en spanningsbemaling. Voor de dimensionering van de paalfundering is ofwel de aanlegfase maatgevend, ofwel de eindsituatie. Wanneer de eindsituatie maatgevend is, kan worden bespaard op de paalfundering door tijdens de aanlegfase een spanningsbemaling toe te passen voor het verticale evenwicht. In de permanente situatie moet het eigen gewicht voor verticaal evenwicht zorgen. In Bijlage 3 is een beschouwing opgenomen van de mogelijke besparingen op de paalfundering door toepassen van spanningsbemaling. Met spanningsbemaling kan ervoor gezorgd worden dat de eindsituatie maatgevend wordt qua fundering (in plaats van de tijdelijke situatie). De besparing betreft een reductie van de benodigde hoeveelheid palen hetgeen de omgevingshinder vermindert. Er worden twee scenario's beschouwd die beide de eindsituatie maatgevend maken voor de constructie:
 - van de halfverdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos moet de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket verlaagd worden met 0,5 m naar circa NAP -5,5 m. Deze verlaging komt overeen met de historische grootste verlaging van de stijghoogte uit paragraaf 2.8.1;
 - voor de passage van de Rotte moet de stijghoogte met circa 2,5 m verlaagd worden naar circa NAP -7.5 m. De passage onder de Rotte is qua stijghoogte verlaging maatgevend ten opzichte van de passage onder de Vaart Polder Bleiswijk. In de berekeningen is aangenomen dat dezelfde verlaging gerealiseerd moet worden bij de Vaart Polder Bleiswijk;
- het realiseren van een bouwput met onderwaterbeton van circa 1,0 m dikte met trekpalen zonder spanningsbemaling. De combinatie van trekpalen en de onderwaterbetonvloer samen zorgen voor verticaal evenwicht. Een spanningsbemaling is niet noodzakelijk. Bij deze aanlegmethode is de tijdelijke situatie gelijk aan de eindsituatie.

Tabel 2.4 Aanlegwijze, bijbehorende stijghoogte verlaging indien relevant en conclusie of scenario wordt doorgerekend.

aanlegwijze	vereiste verlaging van de stijghoogte (m)	doorrekenen met grondwatermodel?
Half verdiepte tunnel zonder onderwaterbetonvloer	ca. 4,0	Niet haalbaar vanwege zeer grote afgeleide effecten van een dergelijke spanningsbemaling. Wordt niet berekend
Half verdiepte tunnel Lage Bergse Bos met spanningsbemaling zodat eindsituatie maatgevend wordt voor fundering	ca. 0,5	Grondwatermodellsenario Lage Bergse Bos
Tunnel onder Rotte met spanningsbemaling zodat eindsituatie maatgevend voor paalfundering	ca. 2,5	Grondwatermodellsenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk
Onderwaterbetonvloer met trekpalen zonder spanningsbemaling	n.v.t.	Effecten gelijk aan permanente situatie

2.12 GRONDWATERMODELLERING

Voor de beantwoording van de vragen wordt een regionaal grondwatermodel opgezet dat tijdsafhankelijk wordt doorgerekend. Hierdoor ontstaat een toolbox die extreme situaties (nat en droog) beschouwd. Details over de modelopzet zijn opgenomen in Bijlage 1.

2.13 SCENARIO'S

Na de berekening van de referentiesituatie (de huidige situatie inclusief de winning van DSM te Delft) worden de volgende scenario's doorgerekend:

- huidige situatie:
 - met stopzetting van de winning van DSM te Delft (paragraaf 2.7);
- permanente situatie, een nagenoeg waterdichte constructie:
 - met winning van DSM te Delft;
 - met stopzetting van de winning van DSM te Delft (paragraaf 2.7);
- aanlegfase, bouwput met wanden en bemaling 1^e watervoerende pakket volgens uitgangspunten in paragraaf 2.11, met winning van DSM te Delft. Dit houdt in:
 - spanningsbemaling om eindsituatie maatgevend te maken voor paalfundering voor de onderdoorgang Rotte en Vaart Polder Bleiswijk. Verlaging stijghoogte tot NAP -7.5 m.
 - spanningsbemaling om eindsituatie maatgevend te maken voor paalfundering voor de half verdiepte tunnel door het Lage Bergse Bos. Verlaging stijghoogte tot NAP -5.5 m.

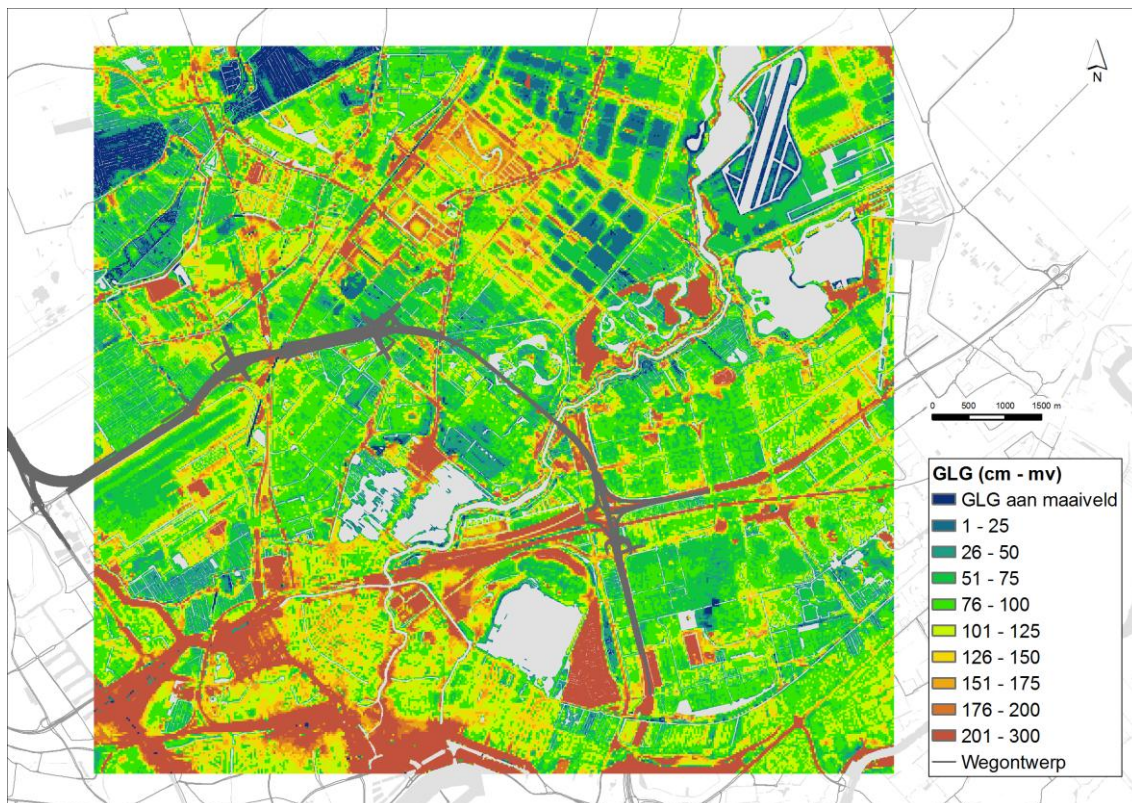
3

Referentiesituatie

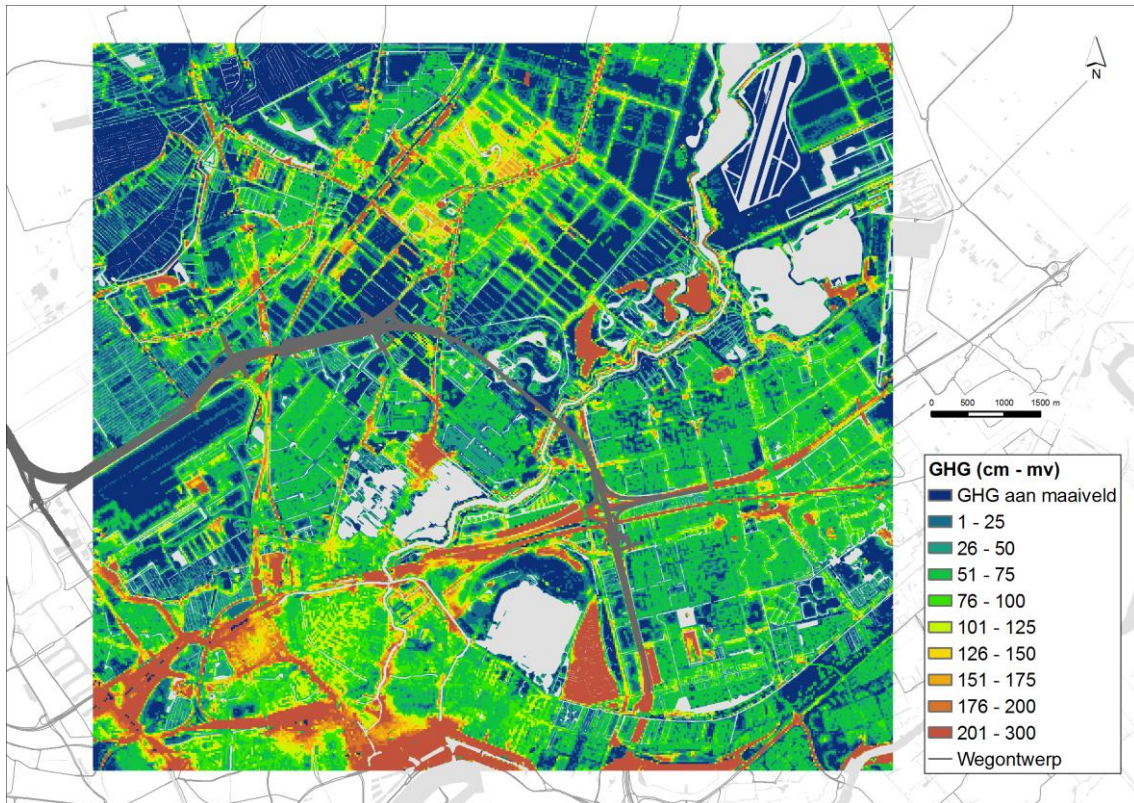
Dit hoofdstuk beschrijft de referentiesituatie voor de berekeningen. De referentiesituatie is de huidige situatie inclusief de winning van DSM te Delft. Dit is berekend met een grondwatermodel. De opzet en modelprestatie zijn beschreven in bijlage 1. Het grondwatermodel is berekend voor de periode 2008 tot en met 2015.

3.1 FREATISCHE GRONDWATERSTAND

Afbeelding 3.1 geeft de berekende GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) weer. Afbeelding 3.2 geeft de berekende GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) weer.



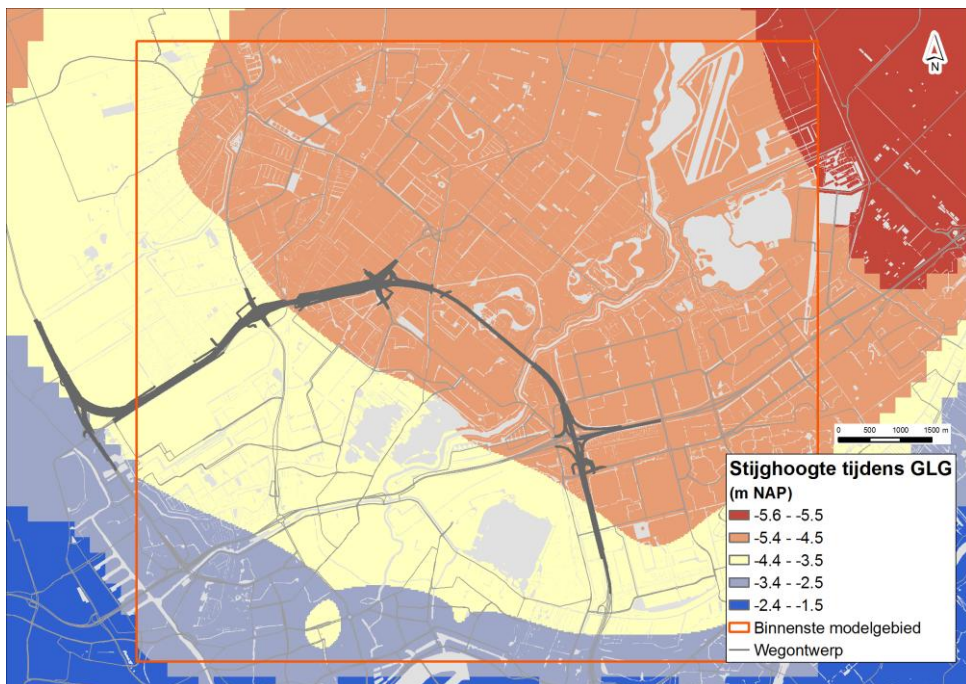
Afbeelding 3.1 GLG voor de referentiesituatie



Afbeelding 3.2 GHG voor de referentiesituatie

3.2 STIJGHOOGTE 1^{STE} WATERVOERENDE PAKKET

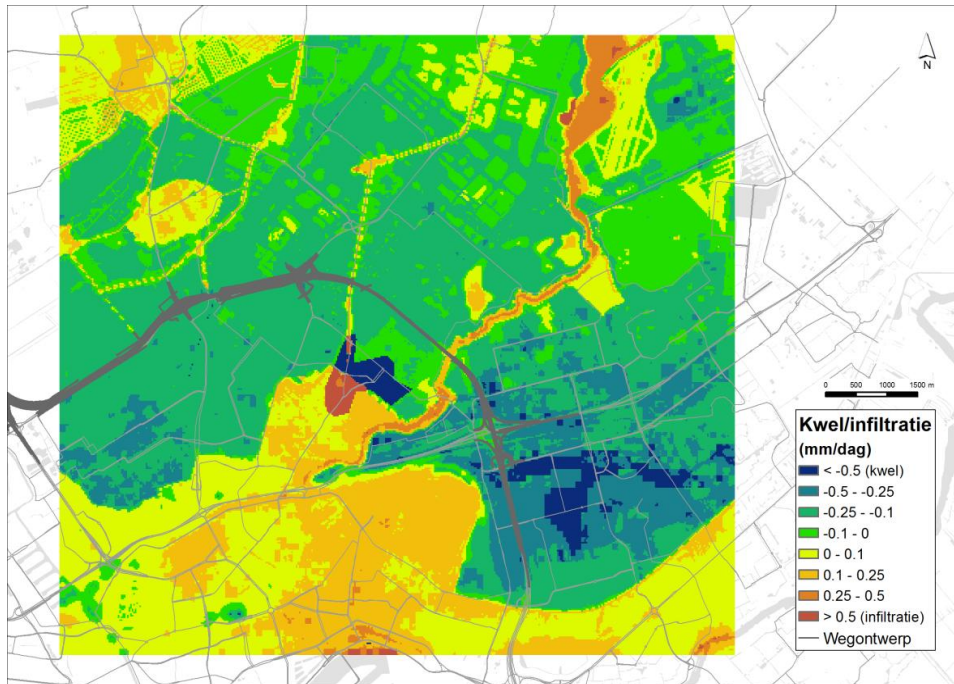
In Afbeelding 3.3 is de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket tijdens de GLG weergegeven.



Afbeelding 3.3 Stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket in meters NAP tijdens de GLG

3.3 KWEL/INFILTRATIE

Afbeelding 3.4 geeft de berekende kwel/infiltratie weer binnen het interessegebied.



Afbeelding 3.4 Kwel/infiltratie binnen het interessegebied

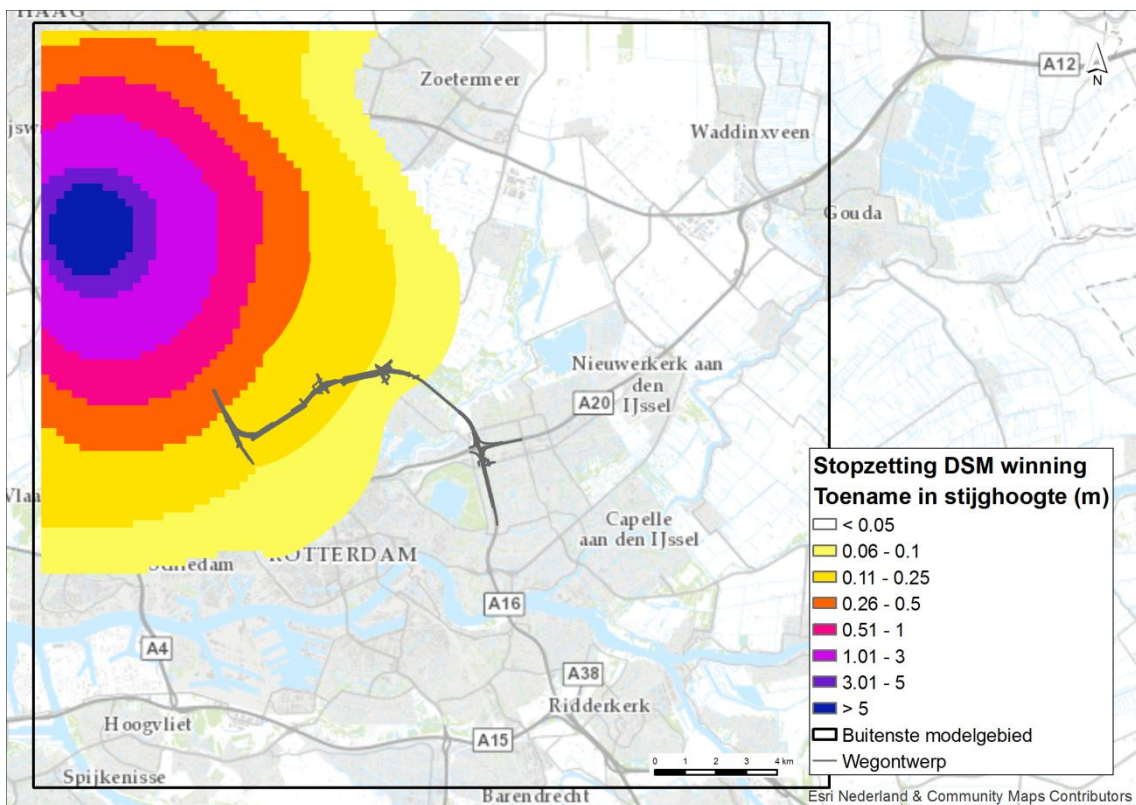
4

Hydrologisch effect

Dit hoofdstuk bevat het hydrologische effect van de scenario's (zie paragraaf 2.13).

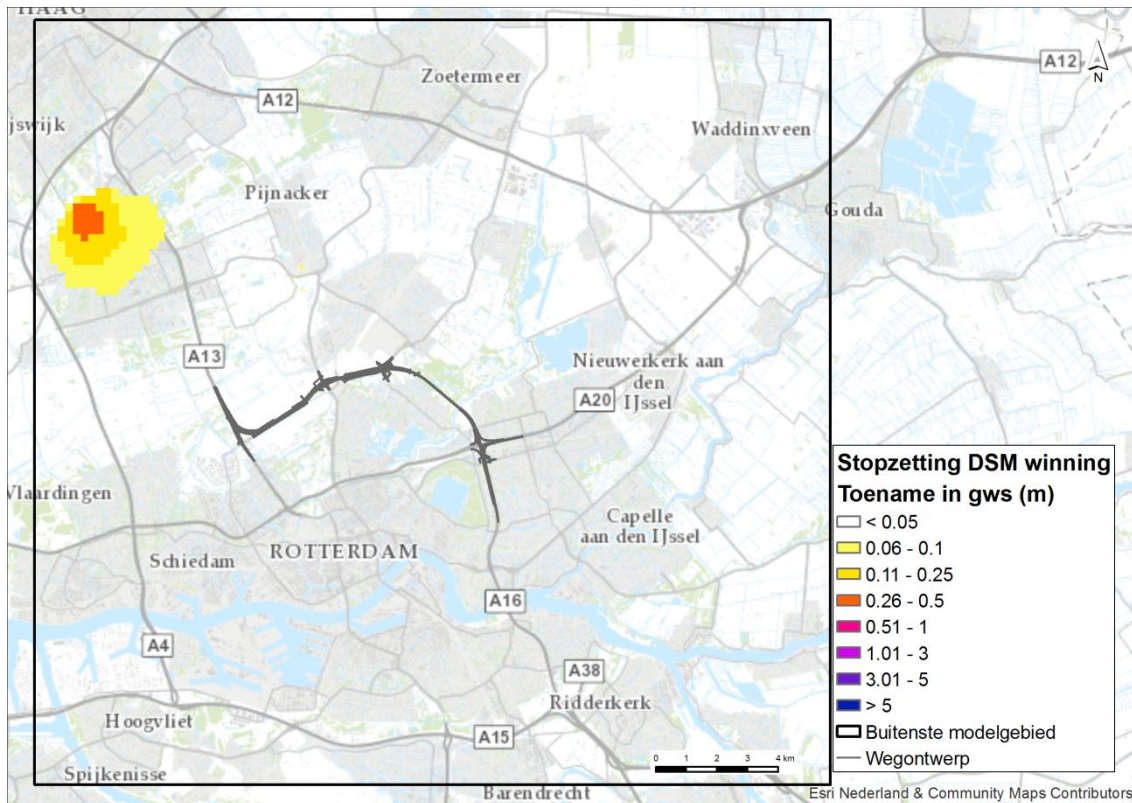
4.1 STOPZETTING WINNING DSM

De stopzetting van de winning van DSM veroorzaakt in de huidige situatie een toename van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket, zie Afbeelding 4.1. De berekende stijging is ter plaatse van het tracé is circa 0,25 m of minder. Het berekende effect op de stijghoogte van de stopzetting van de winning van DSM komt goed overeen met de resultaten uit het rapport van Deltares (2008). Dit betekent dat de prestatie van het opgezette grondwatermodel vergelijkbaar is aan het door Deltares gebruikte model.



Afbeelding 4.1 Toename in stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket t.g.v. stopzetting winning DSM in de huidige situatie

De grondwaterstand nabij het tracé verandert minder dan 0,03 m door de stopzetting van de winning.



Abbeelding 4.2 Toename in freatische grondwaterstand t.g.v. stopzetting winning DSM in de huidige situatie

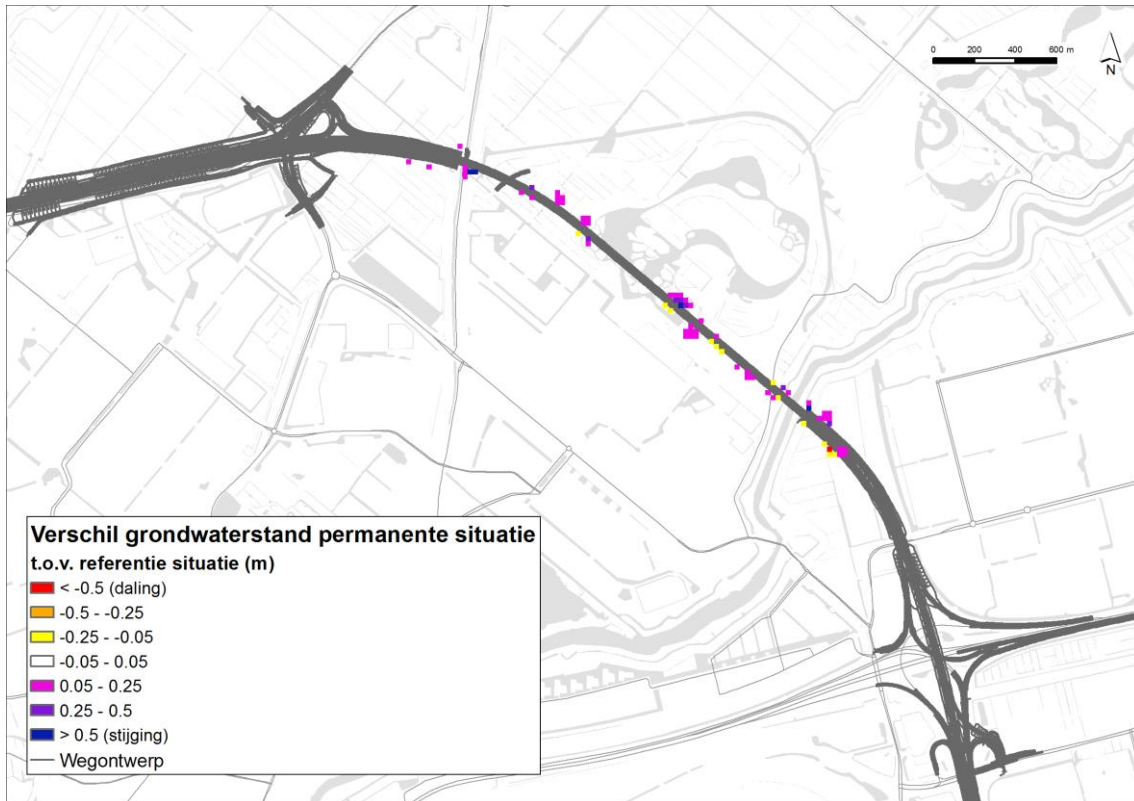
4.2 PERMANENTE SITUATIE

Het effect in de permanente situatie is samengesteld aan de hand van de resultaten van het grondwatermodel en een geohydrologische analyse. Het grondwatermodel beantwoordt de vraag of de half verdiepte ligging met de uitgangspunten uit paragraaf 2.11 leidt tot opstuwning en wijziging van de regionale grondwaterstroming. In een geohydrologische analyse is het lokale effect beschouwd.

4.2.1 WIJZIGING REGIONALE GRONDWATERSTROMING

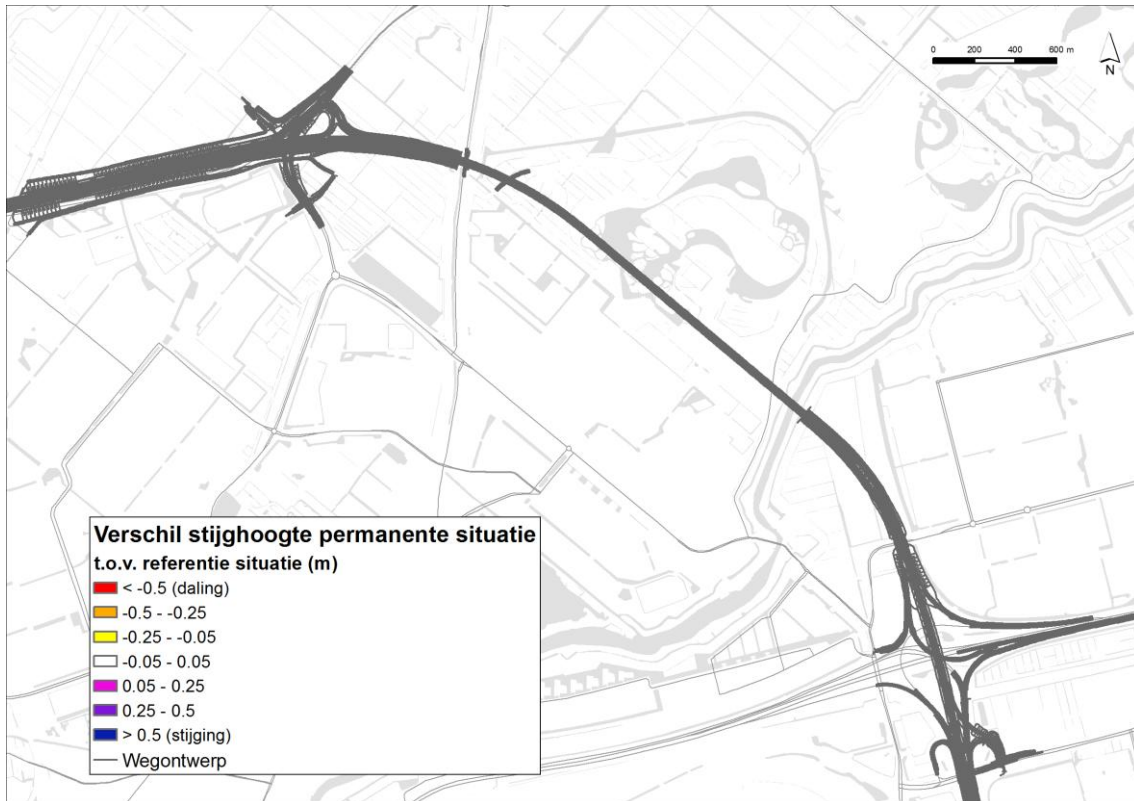
Het grondwatermodel beantwoordt de vraag of de half verdiepte ligging leidt tot opstuwning en wijziging van de regionale grondwaterstroming.

Abbeelding 4.3 geeft het berekende freatische effect weer in de gemiddelde hydrologische situatie. Zichtbaar is dat direct naast de constructie een verandering van de grondwaterstand wordt berekend. Dit effect treedt op omdat het effect is berekend door alleen de tunnel te projecteren op het huidige waterhuishoudingssysteem. Hierdoor worden bestaande afwateringsmogelijkheden doorsneden, en wijzigt de grondwaterstand. In werkelijkheid zullen lokaal nieuwe watergangen of greppels naast het tracé worden gerealiseerd die zelf ook een invloed zullen hebben op de freatische grondwaterstand. De effecten van de constructie in combinatie met nieuwe watergangen zijn niet modelmatig onderzocht omdat dit buiten de scope van dit onderzoek valt. Een kwalitatieve analyse is opgenomen in paragraaf 4.2.2.1. Nader onderzoek naar de effecten en de risico's dient nog uitgevoerd te worden. Dit wordt gewaarborgd via de watervergunning.



Afbeelding 4.3 Verandering van de freatische grondwaterstand t.o.v. de referentie situatie als gevolg van verdiepte constructies in de permanente situatie

Afbeelding 4.4 geeft de berekende verandering van de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket weer. Nabij de diepste ligging treedt een stijging van de grondwaterstand van minder dan 0,05 m op, daarom zijn op kaart geen contouren zichtbaar. Deze stijging leidt niet tot een merkbaar effect op de kwelstroming.



Afbeelding 4.4 Verandering van de stijghoogte t.o.v. de referentie situatie als gevolg van verdiepte constructies in de permanente situatie

De berekende verschillen bij voortzetting en stopzetting van de winning van DSM te Delft zijn gelijk. Daarom zijn deze niet afzonderlijk gerapporteerd.

4.2.2 GEOHYDROLOGISCHE ANALYSE

In deze subparagraaf is de geohydrologische analyse van het lokale effect beschouwd.

4.2.2.1 AANLEG NIEUWE WATERLOPEN

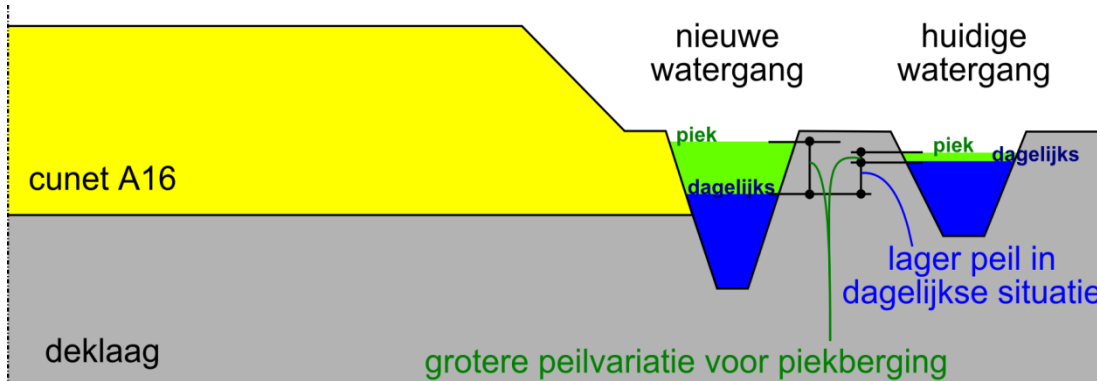
Langs de A16 worden verschillende nieuwe waterlopen gerealiseerd. Deze waterlopen hebben hetzelfde peil als het huidige watersysteem, behalve nabij de polder Schieveen. Deze subparagraaf beschrijft de effecten van het aanleggen van een nieuwe waterloop op zich, en de situatie bij Schieveen in het bijzonder.

Gezien de opbouw van de deklaag en ervaringen van de gemeente Rotterdam is het tracé gevoelig voor opbarsten (Gemeente Rotterdam 2014) en het ontstaan van wellen. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het ontwerp en aanleg van nieuwe waterlopen. Beheersmaatregelen zijn een geotechnische beschouwing vooraf, en het plaatsen van een klei-afdichting of bentonietmatten als een wel ontstaat.

Op regionale schaal leidt de aanleg van nieuwe waterlopen niet tot een verandering van de grondwaterstand, op lokale schaal kunnen effecten optreden doordat de ontwatering wijzigt.

Langs de A16 wordt ter hoogte van polder Schieveen een nieuwe waterloop aangelegd naast de bestaande watergang, zie Afbeelding 4.5. In de waterloop wordt tijdens dagelijkse omstandigheden een lager waterpeil ingesteld dan in de polder Schieveen. Door de lage doorlatendheid van de deklaag zal dit niet

tot een merkbaar effect leiden. Wanneer lokaal een zandige insluiting aanwezig is moet deze worden afgedicht om een preferente stroombaan te voorkomen. In de nieuwe waterloop zal een grotere peilfluctuatie optreden dan in de huidige watergang. De tijdelijk hoge piekberging heeft geen merkbaar effect buiten het tracé door de korte tijdsduur en de lage doorlatendheid van de ondergrond.



Afbeelding 4.5 Schematische doorsnede nieuwe watergang nabij polder Schieveen

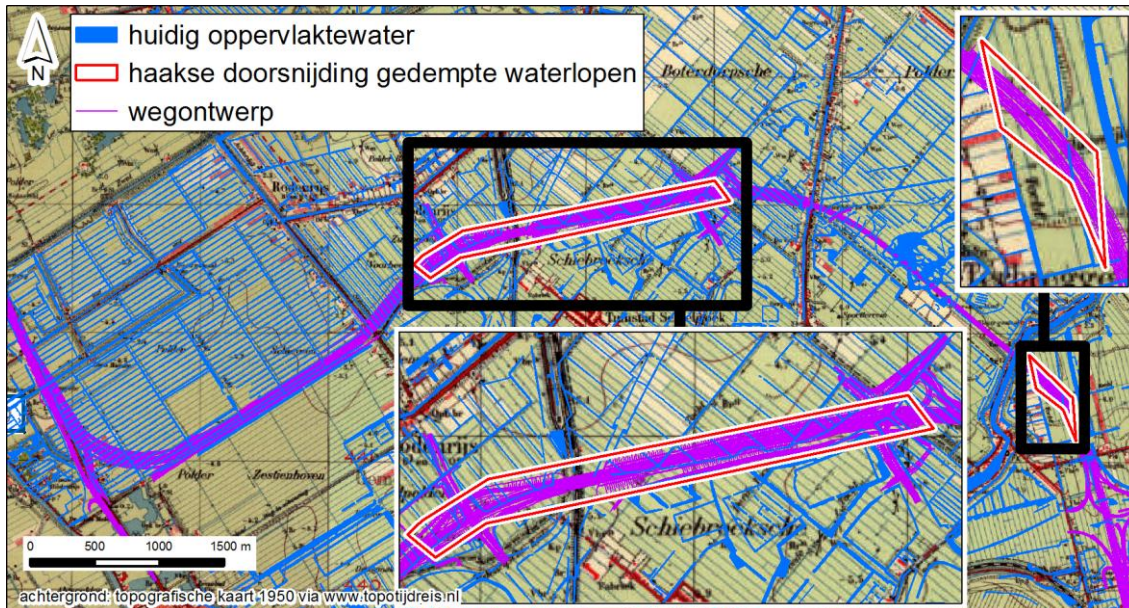
4.2.2.2 DOORSNIJDING GEDEMPTE WATERLOPEN

Voor de veenwinning en ontwatering is in het verleden een dicht afwateringspatroon aangelegd. Historische kaarten laten zien dat het aantal waterlopen na 1815 is vergroot en sinds 1950 weer afneemt (Topotijdreis 2015). Afbeelding 4.6 geeft het tracé weer op een topografische kaart uit 1950 samen met het huidige watersysteem. Hieruit is af te leiden welke waterlopen zijn gedempt.

Gedempte waterlopen kunnen de huidige lokale geohydrologie beïnvloeden doordat deze veelal een groter doorlaatvermogen hebben dan de omgeving. Wanneer deze dempingen worden doorsneden door het tracé dan kan lokaal de grondwaterstand wijzigen.

Op basis van deze kaart is geanalyseerd waar het tracé gedempte waterlopen doorsnijdt. Dit betreft het midden⁵ van het tracé en direct oostelijk van de Rotte. Beide zones zijn in Afbeelding 4.6 omkaderd weergegeven. De aanleg van de weg kan in deze omkaderde zones de lokale grondwaterstand beïnvloeden. De mate waarin is afhankelijk van de huidige lokale geohydrologie. Eventuele negatieve effecten kunnen worden gemitigeerd door de aanleg van drainage (bij stijging van de grondwaterstand) of een infiltratievoorziening (bij een daling van de grondwaterstand).

⁵ Tussen G.K. van Hogendorpweg en Anne Verbeek-Ohrlaan



Afbeelding 4.6 Topografische kaart 1950 (achtergrond) en huidig watersysteem (blauwe lijnen)

4.2.2.3 KWELWEG

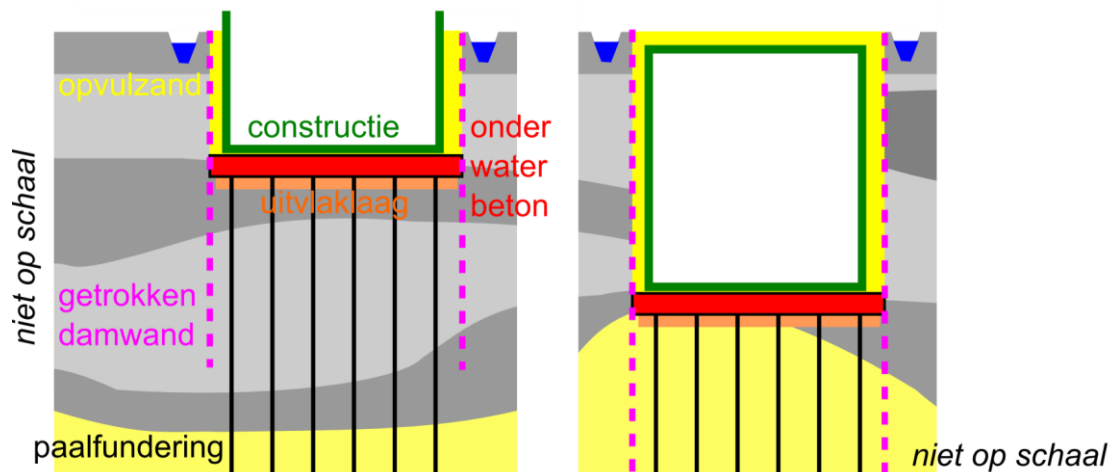
De tijdelijke en permanente civiel technische constructies kunnen de grondwaterstroming in de deklaag en de kwelweg tussen het 1^e watervoerende pakket en het freatische pakket verkleinen. Dit is in deze subparagraaf geanalyseerd..

Bouwkuip

Het effect van de constructie op de kwelweg is geïdentificeerd voor de meest aannemelijke bouwmethode namelijk een bouwkuip tussen tijdelijke damwanden en een onderwaterbetonvloer met trekpalen. Een bouwmethode waarbij direct permanente wanden worden aangebracht heeft minder effecten. Grotere effecten kunnen worden verwacht bij een open ontgraving omdat dan meer aanvulmateriaal wordt aangebracht.

De linker doorsnede in Afbeelding 4.7 geeft een constructie weer die circa de halve deklaag doorsnijdt, de rechter constructie doorsnijdt de gehele deklaag (door ofwel een diep aanlegniveau, of lokaal dunnere deklaag). Het effect op de kwelweg is als volgt geanalyseerd:

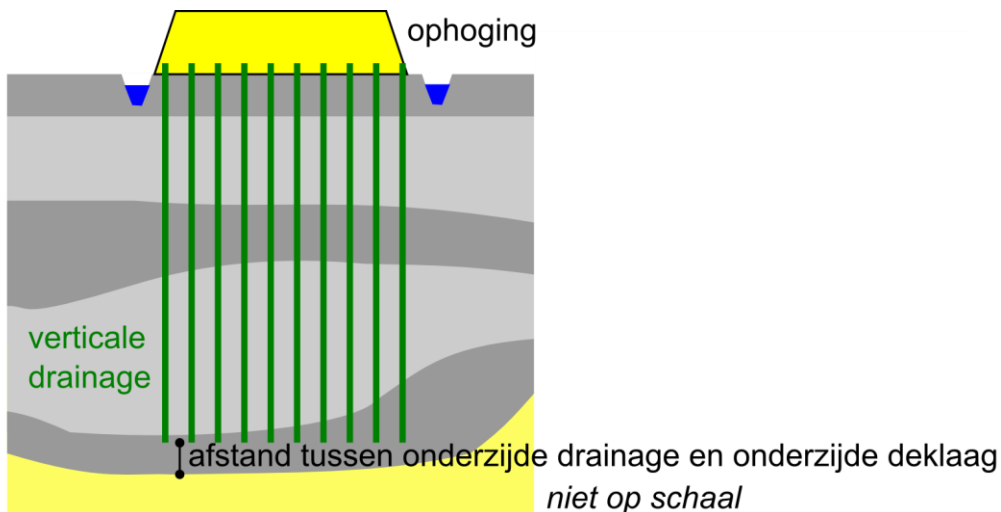
- in beide gevallen wordt geen verkorting van de kwelweg verwacht door kwel langs de funderingspalen wanneer deze grondverdringend worden aangebracht en geen vergrote paalkop hebben. Aanbevolen wordt om als contracteis op te nemen dat geen kwelweg langs de funderingspalen mag optreden Wanneer hiervan wordt afgeweken, dan moet het geohydrologische effect nader worden beschouwd;
- bij een halve doorsnijding van de deklaag wordt de kwelweg tussen het watervoerende pakket enigszins verkleind als de aanvulling tussen de constructie en de damwanden met zand plaatsvindt. Aanbevolen wordt om als contracteis op te nemen de opvulling geen hogere doorlatendheid mag hebben dan de huidige ondergrond;
- bij een (nagenoeg) gehele doorsnijding van de deklaag treedt een verkorting van de kwelweg op via de uitvulling onder het onderwaterbeton en langs het opvulmateriaal tussen de constructie en de damwand. Aanbevolen wordt om als contracteis op te nemen de opvulling geen hogere doorlatendheid mag hebben dan de huidige ondergrond. Met deze contracteis wordt het risico op het ontstaan van een voorkeursstroming langs de verdiepte constructie gemitigeerd.



Afbeelding 4.7 Schematische doorsnede constructie: half in deklaag (links) en gehele doorsnijding deklaag (rechts)

Verticale drainage

Om de zetting van de deklaag te versnellen is het gebruikelijk om verticale drainage toe te passen, Afbeelding 4.8. De verticale drains blijven achter in de ondergrond. Door de drains kan de kwelweg tussen het watervoerende pakket en het freatische grondwater worden verkleind, waardoor het waterbezwaar toeneemt en mogelijk brakke water toestroomt. Dat is beheersbaar in de tijdelijke situatie, omdat dan het vrijkomen van water via de verticale drainage wenselijk is. Dit is een ongewenst effect voor de permanente situatie. Dit kan worden tegengegaan door als contracteis op te nemen dat de verticale drainage geen watervoerende lagen mag doorsnijden en tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen mag worden aangebracht. Deze afstand biedt dan voldoende weerstand om een merkbare verandering van de kwelweg tegen te gaan. Daarnaast zal de kwelstroom afnemen doordat de drains enigszins dichtslibben in de loop der tijd.



Afbeelding 4.8 Schematische doorsnede verticale drainage

Zandpalen

Rijkswaterstaat is tijdens contact met bewoners geattendeerd op de aanwezigheid van zandpalen in het tracé van de A16, deze zouden zijn geplaatst als onderdeel van voorbereidende werkzaamheden. 1AW heeft hierover contact gehad met het team Conditionering. Zij hebben archief onderzoek gedaan, maar geen informatie gevonden, ze beschouwen het risico hiervan als groot.

In tegenstelling tot de verticale drainage zullen zandpalen niet merkbaar dichtslibben door de grotere omvang. Dit betekent dat rekening moet worden gehouden met de kans op een toename van (zoute) kwel wanneer een open constructie wordt toegepast of de deklaag wordt vergraven voor de realisatie van een waterdichte constructie zonder aanvullende maatregelen. Daarom wordt aanbevolen om de volgende contracteisen op te nemen: geen open constructies (polder constructie) toe te passen en ontgravingen aan te vullen met klei. Dit is onafhankelijk van de diepte van de palen omdat de palen een grotere doorlaatfactor hebben dan de oorspronkelijke deklaag en de diepte van de zandpalen onbekend is.

4.2.3 EFFECT ZETTING DEKLAAG OP GRONDWATERSTROMING

De gemeente Rotterdam heeft gevraagd of de zetting van de deklaag door het aanbrengen van grondlichamen een effect heeft op de grondwaterstroming.

Deze vraag is als volgt beantwoord:

- de deklaag bestaat uit circa 14 m cohesieve lagen. In de huidige situatie vindt er door de deklaag nauwelijks grondwaterstroming plaats door de lage doorlatendheid;
- door het aanbrengen van grondlichamen bijvoorbeeld naast de half verdiepte ligging zal water uit dit pakket worden geperst, wat een zetting tot gevolg heeft. Dit water zal deels afstromen naar maaiveld en deels naar het onderliggende watervoerende pakket. Theoretisch neemt het watergehalte af en worden de kleideeltjes dichter op elkaar geperst, waardoor de doorlatendheid afneemt. Echter in de praktijk is dit effect nauwelijks merkbaar. Verticaal neemt de doorlatendheid af, maar tegelijk ook de laagdikte wat elkaar compenseert. Horizontaal gaat het om lokale veranderingen die ruimtelijk wegvallen tegen de natuurlijke variatie die in de lagen aanwezig zal zijn. De grondwaterstroming zal niet merkbaar wijzigingen.

4.2.4 CONCLUSIE

In de permanente situatie sluit de constructie geen regionaal geïdentificeerde watervoerende lagen af. Daardoor is op regionale schaal het berekende effect op de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket minder dan 0,05 m en daardoor niet merkbaar. Lokaal kunnen er ingesloten zandformaties aanwezig zijn in de deklaag die door de constructie worden doorsneden in de permanente situatie. Dit kan leiden tot lokale veranderingen in de stijghoogte. Voorgesteld wordt om met de Hoogheemraadschappen een monitoringsplan op te stellen voor het monitoren van de effecten in dergelijke tussenzandlagen.

Op lokaal niveau moet in de ontwerpfase een nadere analyse worden gemaakt van de volgende effecten:

- op regionale schaal leidt de aanleg van nieuwe waterlopen niet tot een verandering van de grondwaterstand, op lokale schaal kunnen effecten optreden doordat de ontwatering wijzigt. Dit effect kan worden gemitigeerd door de aanleg van drainage onder vrij verval (bij stijging van de grondwaterstand) of een infiltratievoorziening (bij een daling van de grondwaterstand);
- door de haakse doorsnijding van het in het verleden gedempte waterlopen kan een verandering van de grondwaterstand optreden. Dit effect kan worden gemitigeerd door de aanleg van drainage onder vrij verval (bij stijging van de grondwaterstand) of een infiltratievoorziening (bij een daling van de grondwaterstand);
- een toename van (zoute) kwel kan worden voorkomen door grondverdringende palen toe te passen;
- een toename van (zoute) kwel kan optreden bij een grote doorsnijding van de deklaag en een verkorting van de kwelweg langs de constructie wanneer deze wordt gebouwd met behulp van tijdelijke constructies (bijvoorbeeld damwanden), en/of wanneer zandpalen aanwezig zijn.

Aanbevolen wordt om als contracteis op te nemen de opvulling hogere doorlatendheid mag hebben dan de huidige ondergrond;

- om een toename van (zoute) kwel tegen te gaan wordt aanbevolen om als contracteis op te nemen dat verticale drainage geen watervoerende lagen mag doorsnijden en tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen mag worden aangebracht. Hier moet speciale aandacht geschonken worden aan het voorkomen van lokale tussenzandlagen die een mogelijke preferente kwelweg kunnen vormen.

4.3 AANLEGFASE MET SPANNINGSBEMALING

Deze paragraaf bevat de effecten tijdens de aanlegfase met spanningsbemaling volgens de uitgangspunten uit paragraaf 2.13.

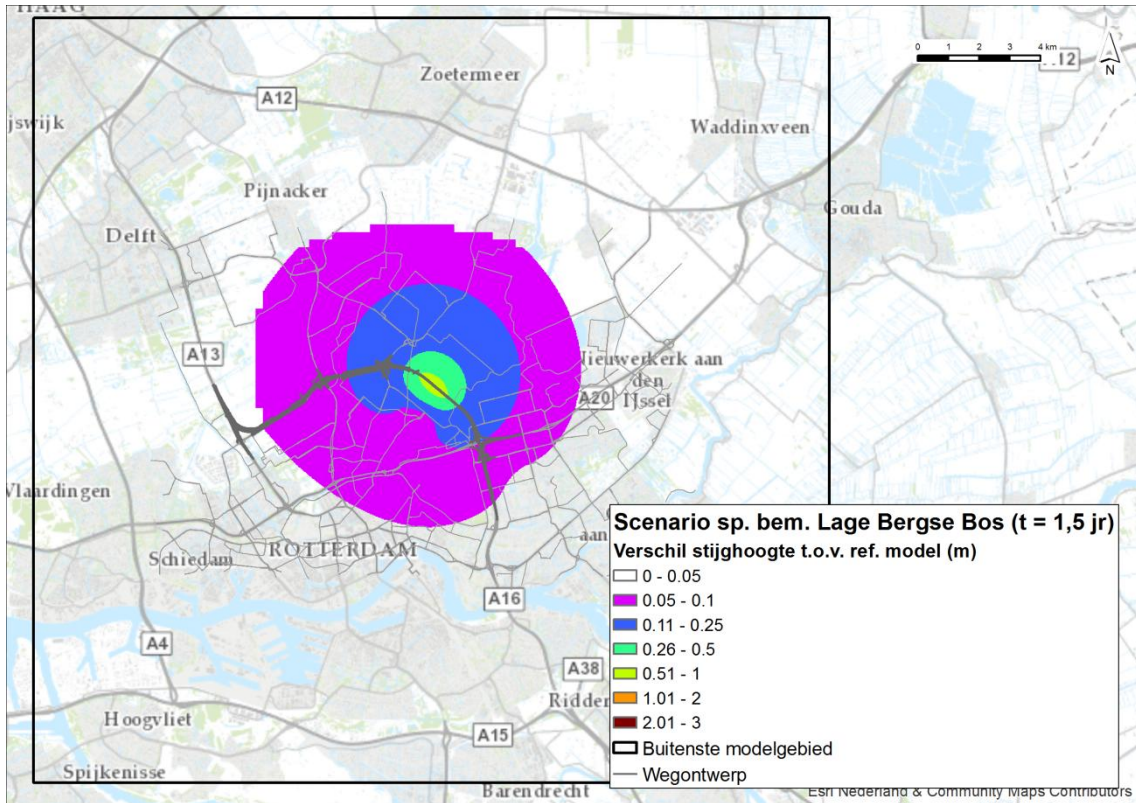
De resultaten in deze paragraaf zijn berekend met het grondwatermodel. De verwachting is dat de ordegrrootte van de maximale effecten goed zijn ingeschat maar gezien de heterogeniteit van de deklaag kunnen de effecten ook op andere plaatsen optreden. Dit kan bijvoorbeeld optreden bij een goed doorlatend wegcunet of een lokaal dunnere deklaag dan in de huidige schematisatie. Dit risico moet worden meegenomen in een afweging over het toepassen van een spanningsbemaling.

4.3.1 SCENARIO SPANNINGSBEMALING BIJ TUNNEL LAGE BERGSE BOS

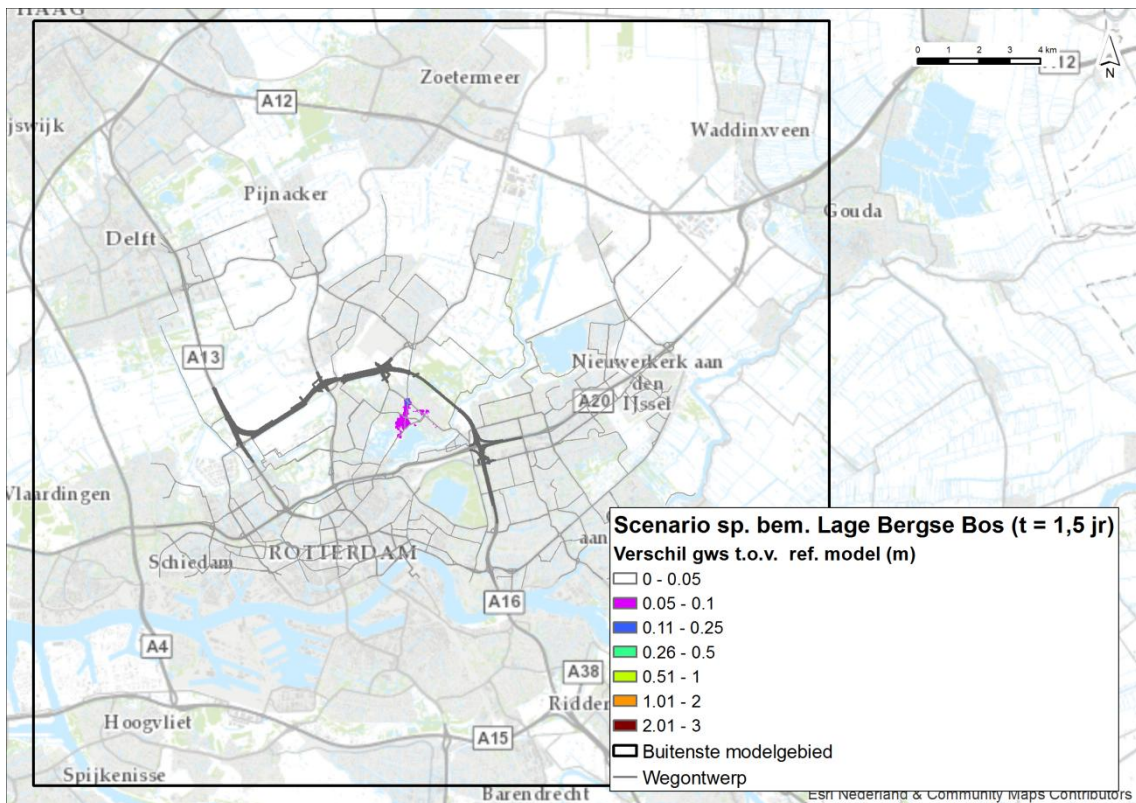
In dit scenario wordt de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket verlaagd met circa 0,5 m om ervoor te zorgen dat de eindsituatie maatgevend wordt voor de berekening van de paalfundering. In het grondwatermodel is de spanningsbemaling ingevoerd als een onttrekking met een debiet van circa 3.500 m³/dag. Het debiet is afgestemd op de vereiste verlaging. De bemaling wordt gestart in winterperiode (januari 2008) en is anderhalf jaar doorgerekend (de beoogde duur van de aanlegfase).

In Afbeelding 4.9 is het verschil in de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket weergegeven ten opzichte van de referentiesituatie anderhalf jaar na aanvang van de start van de spanningsbemaling. De bemaling is in de winter gestart dus betreft het een zomersituatie. Vanwege het toepassen van de spanningsbemaling daalt de stijghoogte met maximaal 0,5 m bij de half verdiepte tunnel bij het Lage Bergse Bos. Door de hoge doorlatendheid van het 1^{ste} watervoerende pakket stelt de eindsituatie zich snel in (circa 2 weken).

In Afbeelding 4.10 is de verlaging van de freatische grondwaterstand berekend ten opzichte van de referentiesituatie anderhalf jaar na de aanvang van de spanningsbemaling. Ter plaatse waar het rivierduin aan het oppervlakte ligt worden verlagingen groter dan 0,05 m berekend. Buiten deze zone is de berekende verlaging lager dan 0,05 m. In Bijlage 2 zijn de freatische effecten weergegeven 0,5 en 1 jaar na aanvang van de bemaling.



Abbeelding 4.9 Verschil in stijghoogte 1,5 jaar na aanvang spanningsbemaling (in een zomerperiode) t.o.v. de referentiesituatie bij de half verdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos

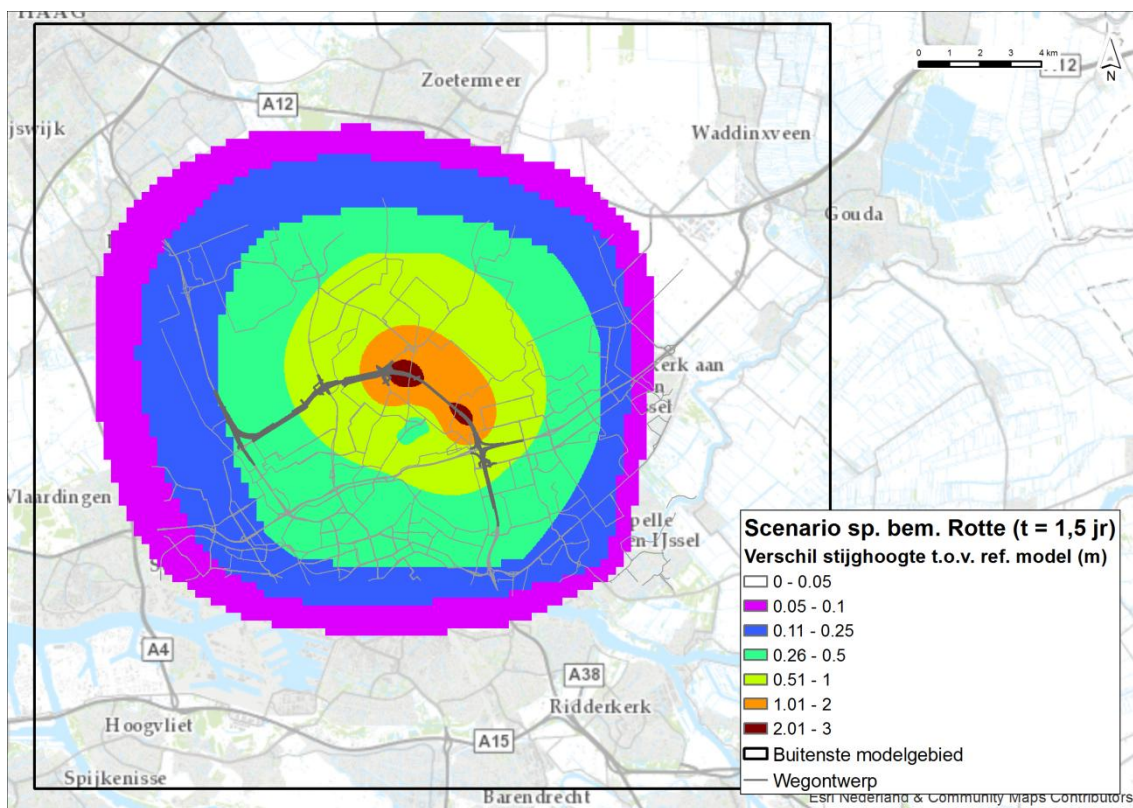


Abbeelding 4.10 Verschil in fretische grondwaterstand 1,5 jaar na aanvang spanningsbemaling(in een zomerperiode) t.o.v. de referentiesituatie bij de half verdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos

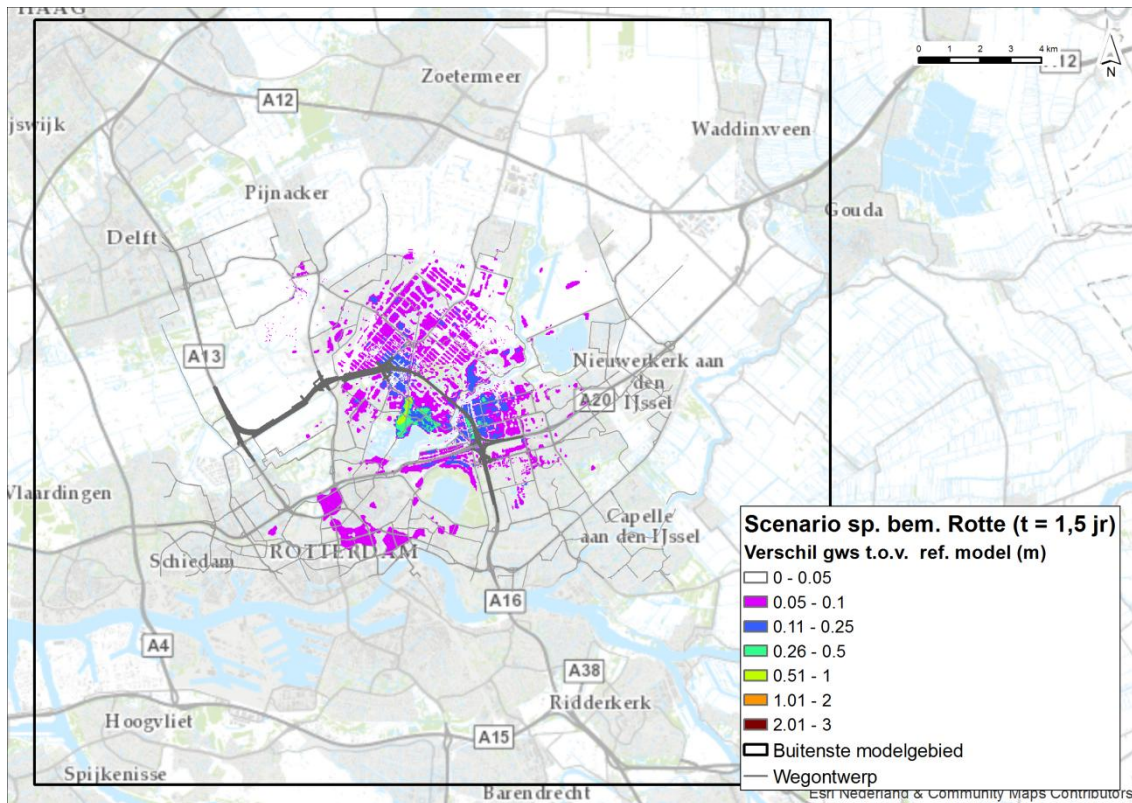
4.3.2 SCENARIO SPANNINGSBEMALING BIJ TUNNELS ONDER ROTTE EN VAART POLDER BLEISWIJK

Door de spanningsbemaling wordt de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket bij de Vaart Polder Bleiswijk en de Rotte verlaagd met ca. -2,5 m. De spanningsbemaling is in het model ingevoerd als een onttrekking met een debiet van ca. 22,500 m³/dag. Het debiet is afgestemd op de vereiste verlaging. De bemaling wordt gestart in winterperiode (januari 2008) en is anderhalf jaar doorgerekend (de beoogde duur van de aanlegfase).

Afbeelding 4.11 toont het uitstralingseffect van de bemaling in het 1^{ste} watervoerende pakket, dat richting het noordwesten reikt tot aan Delft en Zoetermeer en richting het zuidoosten tot aan de Nieuwe Maas en Hollandsche IJssel. In Afbeelding 4.11 is de situatie na 1,5 jaar weergegeven. Deze eindsituatie wordt door de hoge doorlatendheid van het 1^{ste} watervoerende pakket snel bereikt, in ca. 2 weken. De maximaal berekende verlaging van de stijghoogte bij de passages onder de Rotte en de Vaart Polder Bleiswijk is ca. 2,7 m. Het invloedsgebied van de bemaling is groot door de grote verlaging die gerealiseerd moet worden en de hoge aangehouden doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket.



Afbeelding 4.11 Vershil in stijghoogte 1,5 jaar na aanvang spanningsbemaling (in een zomerperiode) t.o.v. de referentiesituatie bij de tunnels onder de Rotte en de Vaart Polder Bleiswijk



Afbeelding 4.12 Verschil in freatische grondwaterstand 1,5 jaar na aanvang spanningsbemaling (in een zomerperiode) t.o.v. de referentiesituatie bij de tunnels onder de Rotte en de Vaart Polder Bleiswijk

In Afbeelding 4.12 is de freatische verlaging boven 0,05 m weergegeven anderhalf jaar na aanvang van de spanningsbemaling. Het betreft dus een zomerperiode. De maximale verlaging van de grondwaterstand is circa 1 m. De maximale freatische effecten treden op daar waar de interactie tussen het 1^e watervoerende pakket en het freatische grondwater het grootst is. Volgens de uitgevoerde analyse is dat het geval ter plaatse van de Formatie van Echteld en de rivierduin. Het gebied waarbinnen er merkbare freatische effecten optreden is groot vanwege de grote verlaging van de stijghoogte en het grote invloedsgebied van de bemaling in het 1^{ste} watervoerende pakket en vanwege de beperkte grondwateraanvulling in de zomer. In Bijlage 2 zijn freatische verlagingen opgenomen 0,5 en 1 jaar na aanvang van de spanningsbemaling.

Het debiet van de bemaling is 22,500 m³/dag om de vereiste verlaging te realiseren. Dit grote waterbezwaar kan niet zonder meer op het oppervlaktewater worden geloosd vanwege de zuurstofloosheid, zoutvracht en de omvang. Alternatieven zijn retourbemaling of lozing op de Nieuwe Maas. Retourbemaling brengt risico's met zich mee omdat de stijghoogte dicht bij maaiveld staat, waardoor weinig overdruk kan worden toegepast en er een risico is op opbarsten. Dit risico kan beheerst worden door veel retourputten toe te passen met elk een klein debiet. Lozing op de Nieuwe Maas betekent een horizontaal transport van circa 5 km.

5

Afgeleid effect

De onderwerpen van de afgeleide effecten zijn beschouwd op basis van het doel van dit project en gebiedservaring. De beschrijving van deze effecten wordt beïnvloed door onderstaande 2 factoren:

- de onzekerheid in de bodemopbouw is van invloed op de omvang van de tijdelijke effecten, dit betekent dat bij toepassing van spanningsbemaling bijvoorbeeld de interactie tussen het watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand nader moet worden onderzocht;
- de huidige situatie voor de verschillende afgeleide effecten, bijvoorbeeld de (mate van) droogstand van paalfundering en doelrealisatie van de landbouw.

5.1 OPBARSTEN

Het opbarsten van de deklaag is afhankelijk van het verticale evenwicht tussen de opwaartse druk door de stijghoogte in het watervoerende pakket en de neerwaartse belasting van de deklaag.

5.1.1 OPWAARTSE DRUK

In de permanente situatie wijzigt de opwaartse druk niet door de beoogde ontwikkeling omdat de berekende verandering van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket minder dan 0,05 m is. Ook bij aanleg van de weg samen met stopzetting van de winning van DSM te Delft verandert de stijghoogte niet ten opzichte van een stopzetting van de winning zonder de aanleg van de weg.

In de aanlegfase is de situatie buiten het tracé gelijk aan de permanente situatie wanneer de werkzaamheden zonder spanningsbemaling én retourbemaling worden uitgevoerd. Bij toepassing van retourbemaling neemt het risico op opbarsting toe omdat de stijghoogte in de retourvelden merkbaar zal stijgen. Dit risico kan beheerst worden door veel retourputten toe te passen met elk een klein debiet. De grootte van deze stijging is afhankelijk van de opzet van de (retour)bemaling.

5.1.2 NEERWAARTSE BELASTING

De verandering van de neerwaartse belasting moet worden beschouwd voor alle vereiste ontgravingen in de deklaag. Voor deze studie is dit onderzocht voor het tracé door het Lage Bergse Bos en de kruisingen met de waterlopen. Hier is verticaal evenwicht door het gebruik van trekpalen, eventueel in combinatie met spanningsbemaling in de tijdelijke situatie.

5.1.3 CONCLUSIE

De conclusie is dat de beoogde ontwikkeling geen negatief effect heeft op opbarsten omdat de stijghoogte door de ontwikkeling niet wijzigt. Wel is speciale aandacht vereist voor ontgravingen omdat hierdoor het

verticale evenwicht kan worden verstoord. Dit is te beheersen via een geotechnische analyse en eventueel alternatieve uitvoeringsmethoden, bijvoorbeeld een strooksgewijze ontgraving.

5.2 BRAKKE KWEL

De beoogde ontwikkeling heeft geen effect op brakke kwel in het grond- en oppervlaktewater omdat de berekende verandering van de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket geen berekend significant effect heeft nabij de (half)verdiepte ligging en langs de constructie geen kwelweg optreedt als klei wordt gebruikt als aanvulmateriaal. Langs de bovengrondse delen van het tracé wijzigt de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket ook niet. Daarmee verandert de kwelstroom langs het gehele tracé niet. Dit geldt ook bij stopzetting van de winning van DSM te Delft.

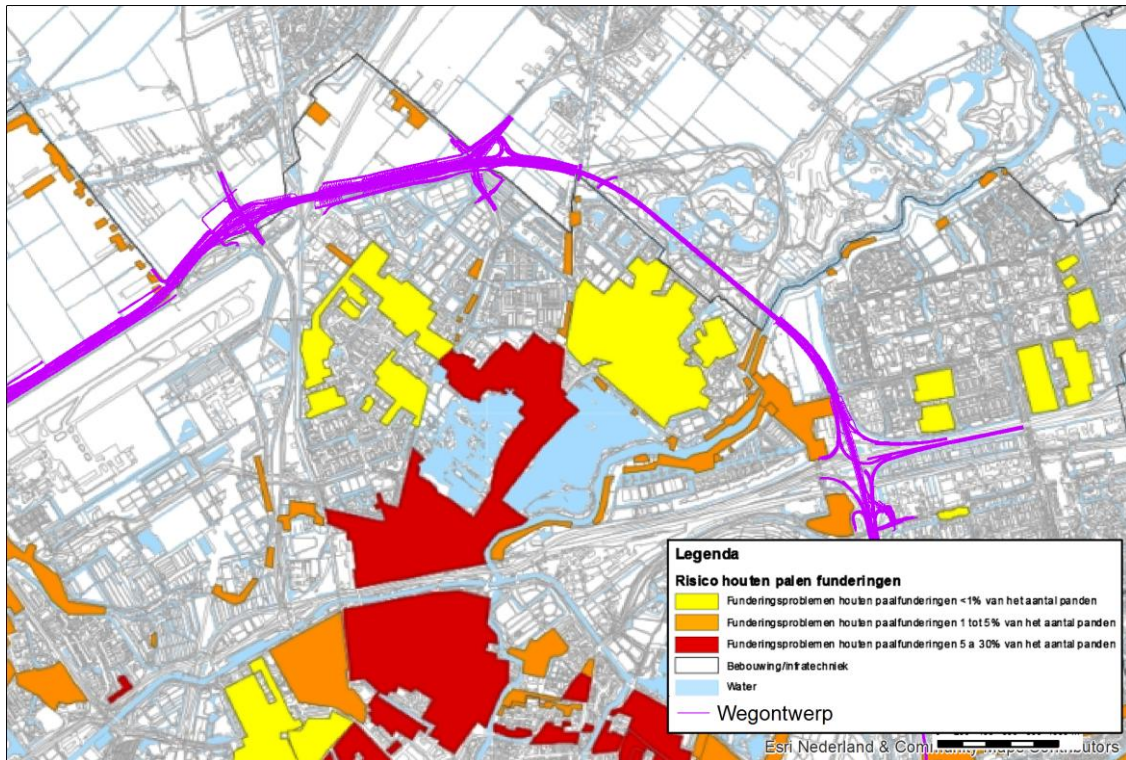
5.3 GRONDWATEROVERLAST EN -ONDERLAST

Grondwateroverlast wordt in de tijdelijke en permanente situatie op regionale schaal niet verwacht omdat er geen stijging van de grondwaterstand wordt berekend. Een analyse van lokale grondwaterveranderingen door de doorsnijding van gedempte watergangen is in paragraaf 4.2.2 opgenomen.

Het noorden van Rotterdam is een risico gebied voor de droogval van houten paal funderingen (onder andere Gemeente Rotterdam 2015 en Het Funderingshuis 2015). Onderstaande afbeelding geeft de funderingsrisicokaart weer samen met het tracé. In de permanente situatie heeft de aanleg van de (half)verdiepte ligging geen effect op de droogval van houten paal funderingen, omdat er geen verlaging wordt berekend.

In de aanlegfase bij toepassing van spanningsbemaling worden in beide scenario's verlagingen van de freatische grondwaterstand berekend. In het scenario Lage Bergse Bos wordt een maximale verlaging van circa 0,1 m berekend binnen de door de gemeente aangegeven kwetsbare gebieden. Voor het scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk is de maximale verlaging binnen deze gebieden circa 1 m. Dit is een risico voor negatieve effecten onder bebouwing waar nu droogstand van houten paalfunderingen plaatsvindt, of voor bebouwing die nu geen problemen hebben maar door de bemaling wel een droogstand van houten paalfunderingen krijgen.

Aanbevolen wordt om als contracteis op te nemen dat tijdens de aanlegfase ter plaatse van de bebouwing geen verlaging van de freatische grondwaterstand optreedt ten opzichte van referentie peilbuizen.



Afbeelding 5.1 Funderingsrisicokaart (Gemeente Rotterdam 2015)

5.4 (MAAIVELD)ZETTING

(Maaiveld)zetting door verandering in de grondwaterstand wordt in de permanente situatie niet verwacht omdat er geen daling van grondwaterstand wordt berekend. Bij toepassing van spanningsbemaling is er een risico op zettingen. Een factor daarbij is de voorbelasting van de ondergrond door eerdere verlagingen van de grondwaterstand met een gelijke tijdsduur als de beoogde bemaling. Het scenario van de spanningsbemaling bij de half verdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos heeft een zelfde tijdschaal en verlaging als de schatting van de historisch grootst opgetreden verlaging. In deze situatie wordt een beperkt risico op zettingen verwacht. De laagst optredende stijghoogte in het scenario met de spanningsbemaling ter plaatse van de Rotte en Vaart Polder Bleiswijk overschrijdt de historisch laagste gemeten waarde. In deze situatie bestaat er een risico op zettingen. Binnen het voorliggende rapport is er geen berekening uitgevoerd voor de bepaling van de orde grootte van mogelijk optredende (maaiveld)zettingen.

5.5 LANDBOUW

Effecten op de landbouw worden in de permanente situatie niet verwacht omdat er verandering van de grondwaterstand of kwelflux wordt berekend. Bij toepassing van spanningsbemaling is er een risico op freatische verlagingen. Dit kan in de zomer een negatief effect hebben op de landbouw, verlagingen tijdens de winter kunnen een positief effect hebben. Verlagingen kunnen eventueel worden gemitigeerd met een gietwaterplan.

5.6 NATUUR

In de omgeving zijn geen beschermde natuurgebieden aanwezig. Daarom is er geen negatief effect op beschermde natuurgebieden.

Een spanningsbemaling tijdens de aanlegfase kan (lokaal) tot verdroging van bijvoorbeeld bomen leiden. Deze verlagingen kunnen eventueel worden gemitigeerd met een gietwaterplan.

5.7 GRONDWATERGEBRUIKERS

Een negatief effect voor grondwatergebruikers wordt in de permanente situatie niet verwacht omdat er geen verandering van de stijghoogte wordt berekend. Bij toepassing van spanningsbemaling treedt er een verlaging in het 1^e watervoerende pakket op en wijzigt de grondwaterstroming. In het 1^{ste} watervoerende pakket zijn verschillende grondwateronttrekkingen aanwezig binnen het invloedsgebied van de spanningsbemaling. Hierdoor kan er bijvoorbeeld (gedeeltelijke) droogval van onttrekkingsbronnen plaatsvinden. De WKO-systemen nabij het tracé zitten in het 2^{de} watervoerende pakket. Daar worden ook effecten berekend ten gevolge van de spanningsbemaling. In het scenario Lage Bergse Bos is de verlaging van de stijghoogte in het 2^{de} watervoerende pakket beperkt waarmee het risico op negatieve effecten op WKO's ook klein wordt ingeschat. In het scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk worden stijghoogte veranderingen van circa 1 m berekend in het tweede watervoerende pakket. Hiermee is er een risico op een negatieve invloed op WKO-systemen zoals bijvoorbeeld niet natuurlijke verplaatsing van warme en koude bellen.

5.8 GRONDWATERVERONTREINIGING

Een negatief effect voor grondwaterverontreinigingen wordt in de permanente situatie niet verwacht omdat er geen verandering van de grondwaterstand en stijghoogte wordt berekend.

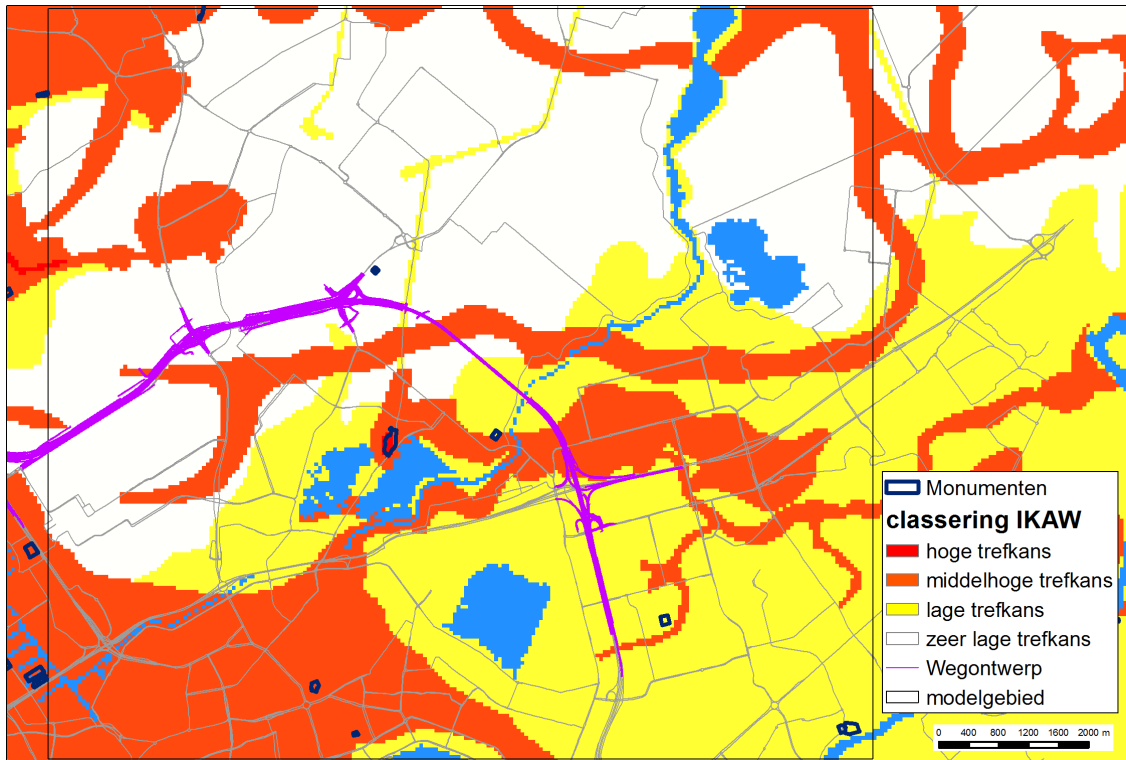
Enkele verontreinigingen worden voor aanvang of tijdens de bouw van de weg gesaneerd. Als de sanering nog niet gereed is wanneer de spanningsbemaling voor de weg (of eventueel voor archeologie) start, dan kan deze leiden tot niet-natuurlijke verplaatsingen van mobiele verontreinigingen.

5.9 ARCHEOLOGIE

Op het gebied van archeologie is een bureaustudie uitgevoerd en een inventariserend veldonderzoek (OTB) binnen de plangrens. Op de meeste plekken zijn geen concrete aanwijzingen voor archeologische vindplaatsen aangetroffen, alleen in het Ommoordse veld zijn concrete aanwijzingen voor de aanwezigheid van archeologische vindplaatsen. Daar wordt een waarderend onderzoek uitgevoerd (Raap 2015). Dit heeft voor Ommoordse veld concrete aanwijzingen voor de aanwezigheid van archeologische vindplaatsen opgeleverd.

Een spanningsbemaling heeft ook effecten buiten de plangrens. Daarom is een regionaal overzicht nodig. Onderstaande afbeelding geeft het vlakdekkend de archeologische trefkans weer volgens de indicatieve kaart archeologische waarde en archeologische monumenten. In de geulafzettingen en de rivierduin is een hoge trefkans gedefinieerd. De top van de rivierduin is een archeologisch monument.

Binnen het invloedsgebied van de spanningsbemaling liggen archeologische monumenten en gebieden met een hoge archeologische trefkans. Voorafgaand aan de toepassing van spanningsbemaling moet het afgeleide effect van de bemaling op deze gebieden specifiek worden onderzocht.



Afbeelding 5.2 Indicatieve kaart archeologische waarde 2008 IKAW3

Wanneer opgravingen noodzakelijk is, bijvoorbeeld bij Ommoordse veld, dan moet bij de planning rekening worden gehouden met het toepassen van bemaling en eventueel spanningsbemaling om opbarsten te voorkomen. De omvang van deze bemaling kan (lokaal) maatgevender zijn dan de mogelijke bemaling van de weg zelf omdat tijdelijke constructies bij aanvang van de archeologische opgravingen mogelijk nog niet of slechts beperkt aanwezig zijn. Hierdoor kunnen grotere omgevingseffecten optreden en/of een zwaardere bemaling noodzakelijk zijn.

6

Conclusies en aanbevelingen

6.1 DOEL

Dit rapport beantwoordt 2 geohydrologische vragen van Rijkswaterstaat aan 1AW, namelijk:

- het effect van de weg op mogelijke opbarsting van de deklaag en het versterken van zoute kwel in het grond- en oppervlaktewater moet worden onderzocht langs het gehele tracé;
- ten behoeve van de flexibiliteitsbepaling voor de half verdiepte ligging moet worden onderzocht wat de maximaal te verwachten effecten zijn in de permanente situatie en de aanlegfase en/of deze effecten te mitigeren en/of te compenseren zijn en/of deze verdiepte ligging instemming kan verkrijgen van betrokken stakeholders.

Bovenstaande vragen zijn samengevat in onderstaande tabel, en daarna tekstueel beantwoord.

Tabel 6.1.Samenvatting geohydrologische issues, risico en beheersmaatregel

onderwerp	geohydrologisch risico	beheersmaatregel
half verdiepte ligging A16 in permanente situatie als nagenoeg waterdichte constructie	laag	nul situatie monitoren
toepassen spanningsbemaling tijdens aanleg	groot	nader onderzoek naar hydrologische effecten, afgeleide effecten en toepassing retourbemaling
toename kwel en opbarsten	gemiddeld	aanvullingen met klei uitvoeren, geen open constructie toepassen, verticale drainage tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen aanbrenge, zorgvuldige uitvoering om wellen en opbarsten van ontgravingen te voorkomen

6.2 VRAAG 1: EFFECT OP OPBARSTING EN VRIJKOMEN ZOUTE KWEL

De aanleg van de weg heeft in de permanente situatie geen negatief effect op opbarsting en het vrijkomen van zoute kwel omdat de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket minder dan 0,05 m wijzigt. Hierdoor wijzigt het verticale evenwicht niet, waardoor het risico op opbarsten niet wijzigt. De kwelstroom verandert ook niet waardoor er geen extra zoutbelasting is.

In de aanlegfase is de situatie buiten het tracé gelijk aan de permanente situatie wanneer de werkzaamheden zonder spanningsbemaling én retourbemaling worden uitgevoerd. Bij toepassing van retourbemaling neemt het risico op opbarsting toe omdat de stijghoogte in de retourvelden merkbaar zal

stijgen. Dit risico kan beheerst worden door veel retourputten toe te passen met elk een klein debiet. De grootte van deze stijging is afhankelijk van de opzet van de (retour)bemaling.

6.3 VRAAG 2: MAXIMALE EFFECTEN VAN HALF VERDIEPTE LIGGING

Het maximale effect is beschreven voor de permanente situatie en de aanlegfase.

6.3.1 PERMANENTE SITUATIE

De halfverdiepte ligging en de kruisingen met de Rotte en Vaart Bleiswijk hebben geen negatief effect op de waterhuishouding in de permanente situatie, omdat:

- aanbevolen wordt om de constructie als nagenoeg waterdichte constructie uit te voeren, zodat de weg geen merkbare drainerende werking heeft;
- regionaal vindt er geen opstuwing plaats doordat de constructie watervoerende lagen niet afsluit. De berekende verandering van de stijghoogte is minder dan 0,03 m. De kwelstroom verandert niet;
- op lokaal niveau:
 - wordt geen extra grondwaterstroming (en mogelijk zoute kwel) langs de constructie verwacht als eventuele ruimtes tussen de tijdelijke en permanente constructie worden opgevuld met slecht doorlatend materiaal en verticale drainage geen watervoerende lagen doorsnijdt en maximaal wordt aangebracht tot 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen;
 - door gebruik van grondverdringende palen wordt geen extra kwelstroom langs de paalfundering verwacht. Er wordt aangeraden deze uitvoeringswijze op te nemen als contracteis;
 - de verschuiving van peilgrenzen, de aanleg van detailontwatering en doorsnijding van gedempte watergangen kan langs delen van het tracé tot lokale grondwatereffecten leiden, dit kan in de ontwerpfase worden beheerst door de aanleg van drainage of infiltratievoorzieningen.

6.3.2 AANLEGFASE

De effecten van de aanlegfase op de waterhuishouding zijn allereerst afhankelijk van de bouwmethode. De effecten zijn gelijk aan de permanente situatie (en dus afwezig) als de constructie zónder spanningsbemaling wordt aangelegd. Bij aanleg met spanningsbemaling bepalen de volgende factoren de invloed: de locatie van bemalingen, de vereiste verlaging, de toepassing van retourbemaling en de bodemparameters.

Met het uitgangspunt om de eindsituatie van de verdiepte kunstwerken maatgevend te maken voor de paalfundering zijn twee scenario's afgeleid waarin spanningsbemaling toegepast kan worden. Het eerste scenario betreft de half verdiepte ligging in het Lage Bergse Bos waar een verlaging van de stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket tot NAP -5,5 m ervoor zorgt dat de eindsituatie maatgevend is met betrekking tot de fundering. Voor de tunnels onder de Rotte en de Vaart Polder Bleiswijk moet de stijghoogte verlaagd worden tot NAP -7,5 m.

Op basis van de uitgevoerde modelstudie is bij het scenario Lage Bergse Bos buiten het tracé een maximale verlaging van 0,1 m ten opzichte van de huidige situatie berekend als gevolg van de spanningsbemaling. De maximale verlaging treedt op bij het rivierduin. Het waterbezwaar is circa 3.500 m³/dag. In het scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk is er een verlaging van maximaal 1 m ten opzichte van de huidige situatie berekend. Het waterbezwaar in dit scenario is circa 23.000 m³/dag. Dit laatste waterbezwaar kan niet zonder meer op het oppervlaktewater worden geloosd vanwege de zuurstofloosheid, zoutvracht en de omvang. Alternatieven zijn retourbemaling of lozing op de Nieuwe Maas. Retourbemaling brengt risico's met zich mee omdat de stijghoogte dicht bij maaiveld staat, waardoor weinig overdruk kan worden

toegepast en er een risico is op opbarsten. Dit risico kan beheerst worden door veel retourputten toe te passen met elk een klein debiet. Lozing op de Nieuwe Maas betekent een horizontaal transport van circa 5 km. De toepassing van bemaling kan afgeleide effecten hebben, bijvoorbeeld op deze volgende deelgebieden:

- delen van de gebieden waar deze verlagingen zijn berekend hebben momenteel te maken met grondwateronderlast (te lage grondwaterstand die leidt tot droogstand van houten paalfundering) of zijn aangemerkt als risicogebied voor funderingsproblemen. Een verlaging van de grondwaterstand heeft hier een negatief effect op. De berekende freatische verlaging in beide scenario's als gevolg van de spanningsbemaling leidt tot een toename van het risico op funderingsschade;
- enkele bodemverontreinigingen worden voor aanvang of tijdens de bouw van de weg gesaneerd. Als de sanering nog niet gereed is wanneer de spanningsbemaling voor de weg (of eventueel voor archeologie) start, dan kan deze leiden tot niet-natuurlijke verplaatsingen van mobiele verontreinigingen;
- archeologische monumenten en gebieden met een hoge archeologische waarde;
- grondwatergebruikers en WKO-systemen.

Voorafgaand aan de toepassing van spanningsbemaling moeten de afgeleide effecten van de bemaling worden onderzocht. Dit kan bijvoorbeeld door ter plaatse van gevoelige bebouwing de interactie tussen het watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand nader te onderzoeken.

De beoogde ontwikkeling heeft geen negatief effect heeft op opbarsten of het ontstaan van wellen omdat de stijghoogte door de ontwikkeling niet wijzigt. Wel is speciale aandacht vereist voor ontgravingen en voorbelastingen omdat hierdoor het verticale evenwicht kan worden verstoord en wellen kunnen optreden. Dit is te beheersen via een geotechnische analyse en eventueel alternatieve uitvoeringsmethoden, bijvoorbeeld een strooksgewijze ontgraving.

6.4 AANBEVELING

De beantwoording van vraag 2 geeft aan dat de toepassing van spanningsbemaling een extra risico op negatieve omgevingsbeïnvloeding introduceert. Op basis van de modelstudie kan geconcludeerd worden dat een spanningsbemaling zoals berekend voor het scenario Rotte en Vaart Polder Bleiswijk resulteert in freatische verlagingen met daarbij een risico op negatieve afgeleide effecten. Daarom wordt aanbevolen om als contracteis op te nemen om geen spanningsbemaling toe te passen in de aanlegfase.

De uitgevoerde analyse beschrijft de vereiste spanningsbemaling voor de constructie zelf. Mogelijk is ook (spannings)bemaling nodig voor archeologische opgravingen. De omvang van deze bemaling kan (lokaal) maatgevender zijn dan de bemaling voor de weg zelf omdat tijdelijke constructies bij aanvang van de archeologische opgravingen nog niet of slechts beperkt aanwezig zijn. Hierdoor kunnen grotere omgevingseffecten optreden en/of een zwaardere bemaling noodzakelijk zijn.

Op basis van de uitgevoerde modelstudie en de geohydrologische analyse wordt aanbevolen om enkele zaken als contracteis op te nemen, namelijk:

- dat geen kwelweg langs de funderingspalen mag optreden (paragraaf 4.2.2.3);
- opvulling van ontgraving geen hogere doorlatendheid mag hebben dan de huidige ondergrond (paragraaf 4.2.2.3);
- geen open constructie toe te staan (paragraaf 4.2.2.3), dus een nagenoeg waterdichte constructie toe te passen met enkel lekkage over de voegen;
- tijdens de aanlegfase geen verlaging van de freatische grondwaterstand optreedt ter plaatse van bebouwing ten opzichte van referentie peilbuizen (paragraaf 5.3);

- verticale drainage geen watervoerende lagen mag doorsnijden en tot maximaal 1 m boven de bovenzijde van watervoerende lagen mag worden aangebracht (paragraaf 4.2.2.3);
- geen spanningbemaling toe te staan (paragraaf 6.4).

Om de nul-situatie vast te leggen langs het tracé en in de omgeving wordt aanbevolen om het bestaande monitoringsnetwerk uit te breiden. Hiervoor is in het volgende hoofdstuk een voorstel gemaakt.

7

Monitoring

7.1 DOEL

Rijkswaterstaat heeft 1AW gevraagd een monitoringsadvies op te stellen om de nul-situatie vast te leggen langs het tracé en in de omgeving.

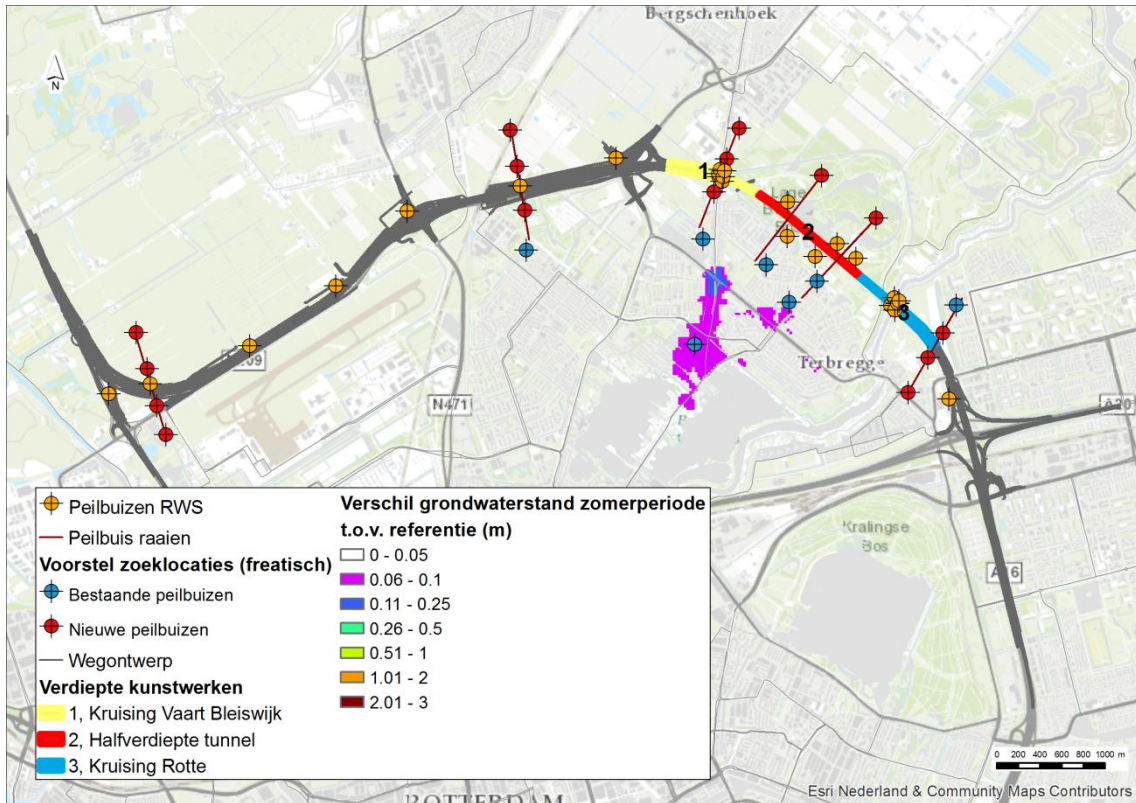
7.2 METHODE

De monitoringsinspanning in het oostelijke deel van het tracé wordt afgeleid op basis van de onzekerheden en verwachte effecten voor het scenario Lage Bergse Bos. Dit scenario is aangehouden ondanks de aanbeveling om geen spanningsbemaling toe te staan. Door toch de stijghoogte waar te nemen wordt de nul situatie vastgelegd, zodat eventuele vragen in de toekomst goed kunnen worden beantwoord. De gewenste monitoringslocaties worden vergeleken met bestaande peilbuizen, mogelijk kunnen deze onderdeel uit maken van het netwerk.

7.3 ANALYSE

In onderstaande afbeelding zijn de freatische effecten gecombineerd met de freatische peilbuizen die momenteel worden gemonitord, dit zijn peilbuizen die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat, de gemeente Rotterdam, Lansingerland en derden. Uit de kaart volgt dat:

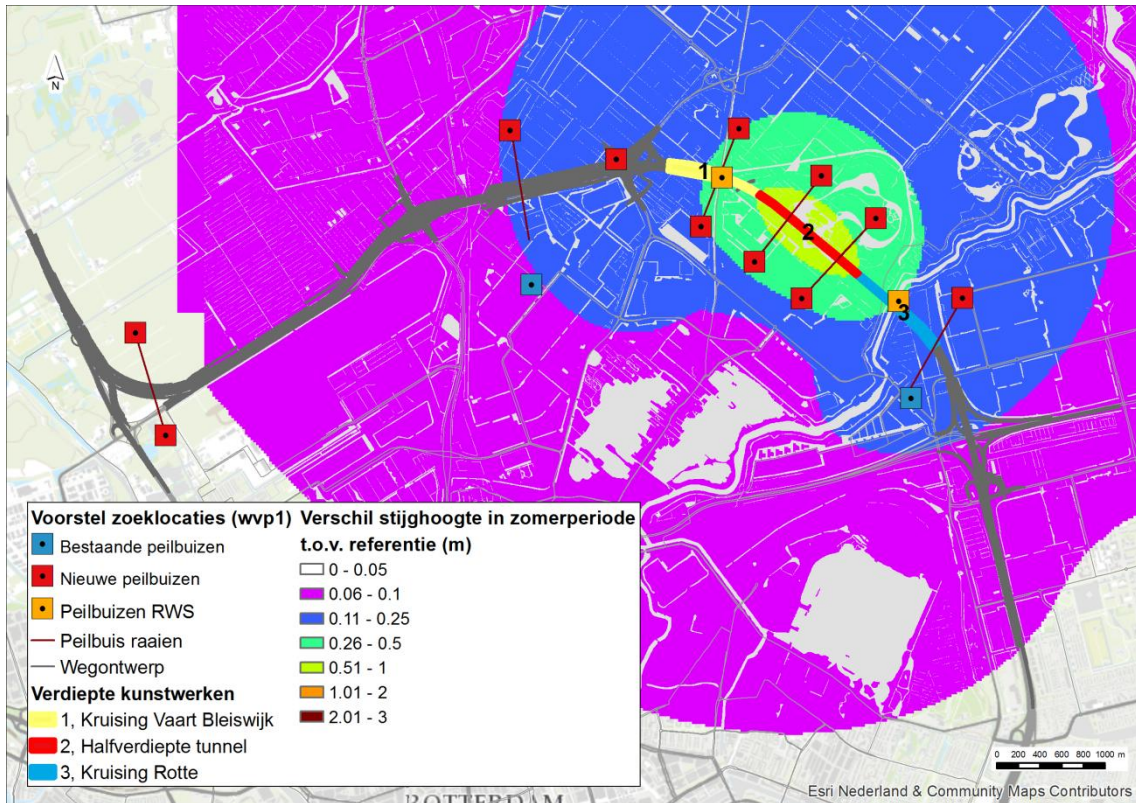
- de freatische grondwaterstand op het tracé wordt door Rijkswaterstaat waargenomen op regelmatige afstanden tussen de A13 en de kruising met de Rotte. Er worden geen waarnemingen verricht tussen de Rotte en de aansluiting op de A20. Daarom wordt aanbevolen om op dit laatste tracé 1 freatische peilbuis toe te voegen;
- de kaart geeft aan dat bij bemaling verlagingen van meer dan 0,05 m door de bemaling worden berekend ter plaatse van het rivierduin. Echter, gezien de gevoeligheid van het gebied voor verlagingen van de grondwaterstand wordt aanbevolen om ook buiten deze contour de grondwaterstand te monitoren. Op basis van ervaring zijn hiervoor raaien opgesteld haaks op het gehele tracé. Aanbevolen wordt om langs iedere raai op circa 100 en 500 m afstand van het tracé de grondwaterstand te meten dit is in de richting van de omliggende bebouwing. Daarvoor zijn ofwel bestaande peilbuizen van de gemeente Rotterdam geselecteerd, of nieuwe zoeklocaties aangegeven.



Afbeelding 7.1 Berekende freatische effecten bemaling scenario Lage Bergse Bos en freatische peilbuizen die in 2015 actief worden bemeten

Bovenstaande analyse is ook uitgevoerd voor de stijghoogte en peilbuizen in het 1^e watervoerende pakket. Uit de kaart volgt dat:

- de stijghoogte op het tracé wordt door Rijkswaterstaat waargenomen nabij de kruising met de Rotte en Vaart Bleiswijk. Dit is voldoende om de nul-situatie langs het tracé vast te leggen, omdat de stijghoogte minder variatie kent dan de freatische grondwaterstand;
- de kaart geeft weer dat in het scenario buiten het tracé een verlaging van de stijghoogte wordt berekend. Aanbevolen wordt om in de eerder aangegeven raaien op circa 500 m afstand van het tracé de stijghoogte waar te nemen.



Abbeelding 7.2 Berekende effecten spanningsbemaling scenario Lage Bergse Bos en peilbuizen in 1^e watervoerende pakket die in 2015 actief worden bemeten

Naast de grondwaterstand wordt ook aanbevolen om de oppervlaktewaterkwaliteit in polder Schieveen te monitoren, om zo de nulsituatie vast te leggen.

7.4 RESULTAAT

Bovenstaande analyse resulteert in een uitbreiding van het meetnet met peilbuizen in het freatische pakket en het watervoerende pakket, en de waterkwaliteit in polder Schieveen. Hiervoor kunnen mogelijk deels bestaande peilbuizen worden gebruikt die in beheer zijn bij de gemeente Rotterdam. Aanbevolen wordt de nieuwe peilbuizen uit te rusten met een drukopnemer om zo automatisch de grondwaterstand te registreren. De gegevens kunnen dan periodiek (bijvoorbeeld ieder kwartaal) worden uitgelezen en gevalideerd.

Het meetnet blijft tot gunning in beheer bij Rijkswaterstaat. Aanbevolen wordt om het netwerk daarna ook door Rijkswaterstaat te laten beheren, zodat de monitoring van de effecten naar de omgeving bij de opdrachtgever ligt en deze de aannemer actief kan controleren.

8

Referenties

- Arcadis, 2015, Memo Globale bepaling van de paalbelastingen, kenmerk 078751183:0.1, d.d. 15 december 2015.
- 1AW, 2012, Situatietekening ruimtelijk wegontwerp, OTB A13/A16, blad 4 t/m 6, referentie: WP03-TEK-104 t/m 106, 25 september 2012.
- Deltares, 2008, Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht), onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport, kenmerk 2008-U-R0960/A, d.d. november 2008.
- Gemeente Rotterdam, 2014, Opbarstrisicokaart Deelrapport Overschie, d.d. 23 september 2014.
- Gemeente Rotterdam, 2015, Funderingsrisicokaart, dossiernummer 2006-047, zonder datum, gedownload via <http://www.rotterdam.nl/DSV/Document/Fundering/Risicokaart.pdf> op 5 november 2015.
- Het Funderingshuis, 2015, pagina 'Funderingsproblemen Rotterdam', via: <http://www.hetfunderingshuis.nl/funderingsproblemen-rotterdam/>, bezocht op 26 oktober 2015.
- Kaart op Maat, 2015, kaart Von Frijtag Drabbe gedownload in oktober 2015 via <http://www.kaartopmaat.wur.nl/hydro/index.html>.
- NHI, 2015, .via Helpdesk NHI, Deltares; per email d.d. 26-10-2015.
- Mos, 2010, grondonderzoek t.b.v. nieuw aan te leggen rijksweg A13/A16, Mos Grondmechanica, 11, februari 2010.
- Raap, 2015, Conditionering A13/A16 Rotterdam; werkpakket 23: archeologie; gemeente Rotterdam en Lansingerland; archeologisch vooronderzoek: een inventariserend veldonderzoek (karterende fase).
- TNO 2004, Grondwatermodel Zuid-Holland.
- TNO, 2015, Gegevens over boringen, sondering, grondwaterstanden; Schematisatie van GeoTOP v1.2 en Regis II gedownload via <http://www.dinoloket.nl>, geraadpleegd op 13 oktober 2015.

9

Bijlage 1: Grondwatermodel

Deze bijlage bevat de modelopzet, modelkalibratie en een studie naar de gevoeligheid.

9.1 MODELOPZET

Deze paragraaf beschrijft de opzet van het grondwatermodel.

9.1.1 MODELCODE

Het model is opgezet in de modelcode MODFLOW2005. De in- en uitvoer vindt plaats via ModelMaestro, een toolbox van Witteveen+Bos op basis van Python en Flopy scripts. De scripts verzorgen de opzet, het doorrekenen en de verwerking van de modelresultaten.

9.1.2 MODELOMVANG

De modelomvang is bepaald met een schatting van de spreidingslengte. De schatting wordt getoetst na de kalibratie van het model in paragraaf 9.3.

Voor de berekening van de spreidingslengte is uitgegaan van een eerste schatting van de doorlaatvermogen van 1.800 m²/dag voor het 1^{ste} watervoerende pakket (op basis van pompproeven) en een deklaag weerstand van ca. 4.000 dagen (op basis van een weerstand van 200 dagen per meter en deklaagdikte van 20 m). Hiermee heeft het geschatte invloedsgebied een straal van circa 11.000 m. De randen van het model zijn derhalve op circa 12.500 m vanaf het midden van de verdiepte kunstwerken gelegd. Dit heeft geresulteerd in een model met een grootte van 26.000 m in X-richting en 25.000 m in Y-richting.

9.1.3 EISEN MODELPRESTATIE

Op basis van ervaring is beoordeeld dat voor het beoogde doel de volgende modelprestatie wenselijk is:

- in alle modellen een ruimtelijke willekeurige verdeling van te droog en te nat berekende locaties;
- voor het freatische grondwater in het interessegebied wordt geen statistische maat afgeleid omdat in een regionaal model niet alle lokale situaties wat betreft de geroerde bodemopbouw, ontwatering, drainage en riolering kunnen worden opgenomen. Toch mag de maximale afwijking tussen metingen en de berekende grondwaterstand niet meer dan enkele decimeters bedragen;
- buiten het interessegebied zijn de freatische buizen niet beschouwd in verband met de celgrootte die dusdanig groot is gekozen dat er onvoldoende detail kan worden gemodelleerd om freatische effecten goed te kunnen simuleren;
- in het watervoerende pakket is een absoluut verschil tussen metingen en berekende waarden van circa 0,2 m wenselijk.

9.1.4 TIJDDISCRETISATIE

De modelperiode omvat de periode 2007 - 2015. Het jaar 2007 is het inspeeljaar. De jaren 2008 - 2015 worden gebruikt als modeluitvoer. Hierdoor kunnen de GHG en GLG worden afgeleid. Het model wordt doorgerekend in stappen van een halve maand. Dit betekent dat er uitvoer is iedere 14^e en 28^e van de maand, dit is in lijn met de gebruikelijke waarnemingsdatum van peilbuizen uit Dinoloket.

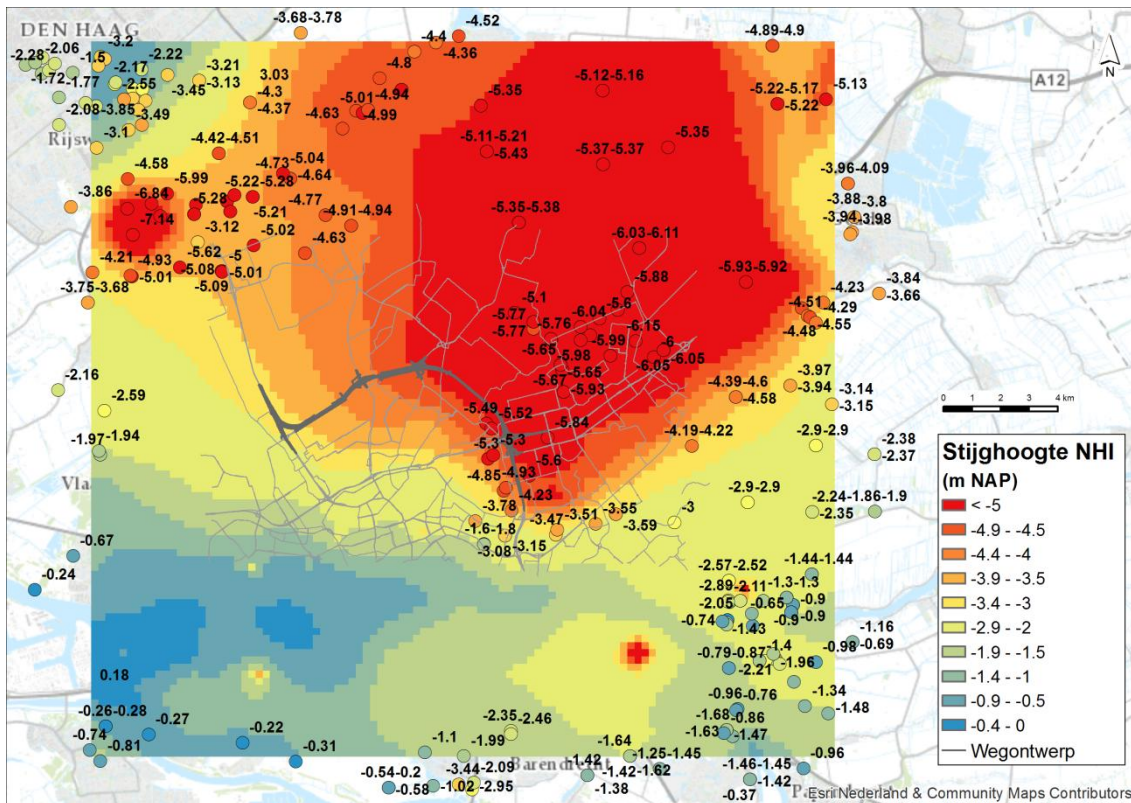
9.1.5 RUIMTELIJKE DISCRETISATIE

Door de significante afmetingen van het model is een variabele celgrootte toegepast. Het model is opgezet met cellen van 250 x 250 m², en in het binnenste modelgebied is een fijnere celgrootte toegepast van 25 x 25 m². Het modelgebied is weergegeven in Afbeelding 2.3. Het complete model bevat daarmee 12 modellenlagen, 460 rijen, en 500 kolommen. De verticale discretisatie is beschreven in de paragraaf 9.1.7.

9.1.6 RANDVOORWAARDEN

De grondwaterstand in de deklaag (in modellaag 2 en dieper) en in de watervoerende pakketten is op alle randen gefixeerd. De waarden zijn overgenomen uit het NHI (2015).

Om een indruk te krijgen of de randvoorwaarden van het model een goede benadering zijn van de werkelijkheid is de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket berekend met het NHI vergeleken met stijghoogte metingen uit DINOLoket, zie Afbeelding 9.1. Hieruit blijkt dat er een aardige overeenkomst is tussen het NHI en de metingen. Op basis van deze vergelijking zijn de randen van het grondwatermodel overgenomen uit het NHI.



Afbeelding 9.1 Vergelijking stijghoogte in het 1^{ste} watervoerende pakket uit het NHI met gemiddelde stijghoogtes gemeten door peilbuizen van DINOLoket

9.1.7 BODEMOPBOUW

De bodemopbouw is in het interessegebied (binnenste modelgebied) geschematiseerd volgens de beschrijving in paragraaf 2.3. Daarbij is de horizontale en verticale doorlaatfactor van de deklaag berekend door de lithoklassen van het aangepaste GeoTOP-bestand te aggregeren. Aggregatie heeft plaatsgevonden tussen maaiveld en NAP - 9 m, en vervolgens per 2 m tot NAP - 21 m. Onder deze waarde is de opbouw van het watervoerende pakket overgenomen. De horizontale en verticale doorlaatfactor van de deklaag is in de modelkalibratie geoptimaliseerd. In de paragraaf modelkalibratie zijn de startwaarden en aanpassingen opgenomen, plus een tabel met een overzicht van alle modellen.

De doorlaatfactor van het 1^{ste} watervoerende pakket in het interessegebied is bepaald uit pompproeven die zijn uitgevoerd in Rotterdam en is circa twee keer groter dan de schattingen uit REGIS of uit boringen. De waarde bepaald uit pompproeven is gebaseerd op een directe meting en wordt daarom meer betrouwbaar geacht. Het is onbekend welk gebied een dergelijke hoge doorlatendheid kent, dus is er gekozen om het gehele binnenste modelgebied een doorlatendheid van 70 m/dag toe te kennen, hetgeen een 'worst-case' benadering vormt.

In het buitenste modelgebied is de bodemopbouw overgenomen uit het regionale grondwatermodel voor Zuid-Holland (TNO, 2004).

Elk watervoerende pakket heeft een eigen modellaag. De eerste scheidende laag is opgenomen in het model als afzonderlijke laag. De dieper gelegen scheidende lagen zijn niet opgenomen als afzonderlijke laag. De weerstand van deze lagen is opgelegd aan het onderliggende watervoerende pakket. Deze schematisatie geeft een goede schematisatie van het 1^e watervoerende pakket. In de diepere lagen wordt een kleine schematisatie fout gemaakt door de scheidende lagen niet afzonderlijk op te nemen, hier staat tegenover dat de rekentijd wordt beperkt doordat minder modellen nodig zijn.

9.1.8 OPPERVLAKTEWATER

Het oppervlaktewater is gemodelleerd door het oppervlaktewater per modelcel te berekenen en de aanname dat de weerstand van een watergang 5 dagen bedraagt. Hiervoor zijn de watervlakken bestanden van beide waterschappen gecombineerd. De Maas en Hollandse IJssel zijn geschematiseerd op basis van luchtfoto's.

Aan elke waterloop is het zomer- en winterpeil toegekend via de legger. Voor de Maas en Hollandse IJssel is het gemiddelde peil gehanteerd volgens de waternormalen.

9.1.9 GRONDWATERAANVULLING

De grondwateraanvulling is berekend op basis van de waargenomen neerslag te Rotterdam en de potentiële referentiegewasverdamping (KNMI 2015). Deze waarden zijn vertaald naar een vlakdekkend bestand via het landgebruik (LGN). Het LGN-bestand is vereenvoudigd naar een aantal hoofdtypen, bijvoorbeeld in het hoofdtype 'bebouwd' zijn klassen zoals 'Bebouwing in primair bebouwd gebied' en 'Hoofdwegen en spoorwegen' samengevoegd. De grondwateraanvulling per hoofdtype is berekend op basis van de neerslag minus de referentie gewasverdamping maal de gewasfactor. Een uitzondering is bebouwd gebied en het kassengebied, daar is op basis van ervaring aangenomen dat 25% van de neerslag infiltreert. Dit is dus onafhankelijk van de verdamping.

Buiten het binnenste modelgebied is de gemiddelde waarde toegepast.

9.1.10 GRONDWATERGEBRUIKERS

De vergunde grondwateronttrekkingen en -infiltratie zijn gemodelleerd met hun vergunde debiet, behalve warmte koude opslagsystemen omdat deze netto geen grondwater onttrekken.

9.1.11 STEDELIJK GEBIED

In het stedelijk gebied is verondersteld dat hoge grondwaterstanden niet kunnen voorkomen, omdat lekkende riolering of aangebrachte drainage dit voorkomt. Daarom is in stedelijk gebied (op basis van de LGN) een vlakdekkend drainage niveau opgelegd op 0,6 m - mv.

9.1.12 AFSTROMING OVER MAAIVELD

Een grondwatermodel kan in de winter een freatische grondwaterstand boven maaiveld berekenen bij grote afstanden tot de afwatering en een neerslagoverschot. Dit is geen werkelijke situatie, omdat dan een plas-dras situatie zal optreden en het water via maaiveld afstroomt. Daarom is buiten het bebouwd gebied een afwateringsniveau op maaiveld gemodelleerd.

9.2 MODELKALIBRATIE

De modelkalibratie heeft plaatsgevonden via vergelijking van de modelresultaten uit het referentiemodel met peilbuismetingen in de freatische laag en het 1^{ste} watervoerende pakket en via een analyse van de verwachte hoeveelheid kwel/inzijing. In eerste instantie is alleen het interessgebied beschouwd.

9.2.1 KALIBRATIE INTERESSEGEBIED

De deklaag is gekalibreerd via een grondwatermodel dat alleen het interessegebied beslaat.

Het model is via de volgende stappen gekalibreerd:

- freatisch is het model te droog in de hooggelegen delen. Dit duidt dat er niet voldoende opbolling optreedt in de hooggelegen delen Om dit te verbeteren is de horizontale doorlatendheid van zand en de verticale doorlatendheid van klei en veen in de deklaag is aangepast volgens Tabel 9.1;
- binnen het bebouwd gebied is de freatische grondwaterstand te hoog berekend. Dit betekent dat het drainagepeil binnen bebouwd gebied te hoog is ingeschat. Het drainagepeil binnen bebouwd gebied is met 0,1 m verlaagd;
- de kwel werd te laag berekend op basis van aanpassingen in de eerste kalibratiestap. De deklaag weerstand is verlaagd door verticale doorlatendheid van veen en klei in de deklaag aan te passen.

Met deze aanpassingen is het model doorgerekend met fysisch logische waarden voor de geohydrologische parameters en met een modelkalibratie die aan de doelstellingen voldoet. De bollenkaarten van de modelprestatie in de freatische laag en in het 1^{ste} watervoerende pakket zijn weergegeven in Afbeelding 9.2 en Afbeelding 9.9.

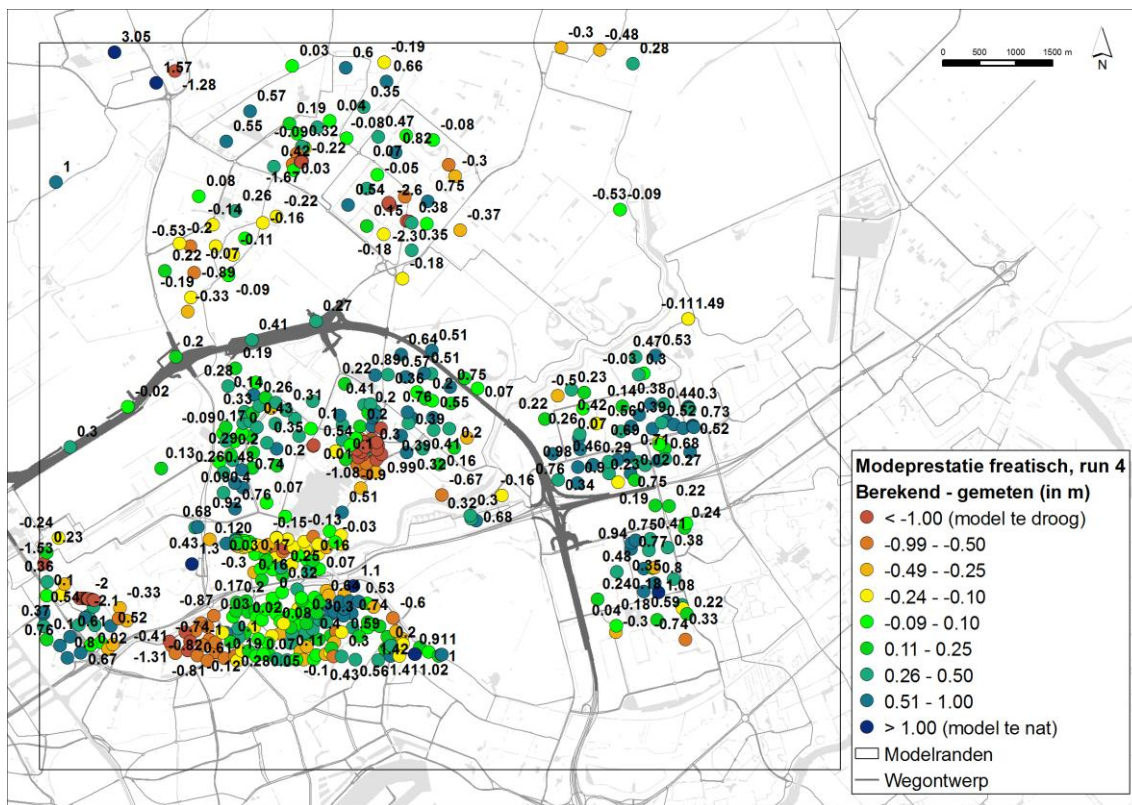
9.2.1.1 FREATISCHE PEILBUIZEN

In onderstaande tabel zijn de aanpassingen van de horizontale en verticale doorlatendheid weergegeven op basis van vergelijking van de modeluitkomsten met freatische peilbuizen. Uit analyse van de gevoeligheid van de modelprestatie op de weerstand van deklaag bleek dat de weerstand van de deklaag

lastig te bepalen was. Een nog hogere weerstand leidde bijvoorbeeld niet tot een verslechtering van de modelprestatie. Om deze reden is de kwelsituatie beschouwd in de volgende paragraaf.

Tabel 9.1 Horizontale en verticale doorlatendheid voor de verschillende lithoklassen in GeoTOP in verschillende modelruns.

lithoklasse	GeoTOP codering	run 1		run 2		run 3	
		k_h (m/d)	k_v (m/d)	k_h (m/d)	k_v (m/d)	k_h (m/d)	k_v (m/d)
antropogene aanvullaag	0	2	0.3	2	0.3	2	0.3
veen	1	0.1	$1E-3$	0.1	$1E-3$	0.1	$5E-4$
klei	2	0.01	$1E-3$	0.01	$1E-3$	0.01	$5E-4$
kleilig zand	3	0.5	$0.2E-3$	0.5	$0.2E-3$	0.5	$1E-3$
fijn zand	5	5	0.5	2.5	0.25	2.5	0.25
matig grof zand	6	10	1	5	0.5	5	0.5
grof zand	7	25	3.3	12.5	1.25	12.5	1.25



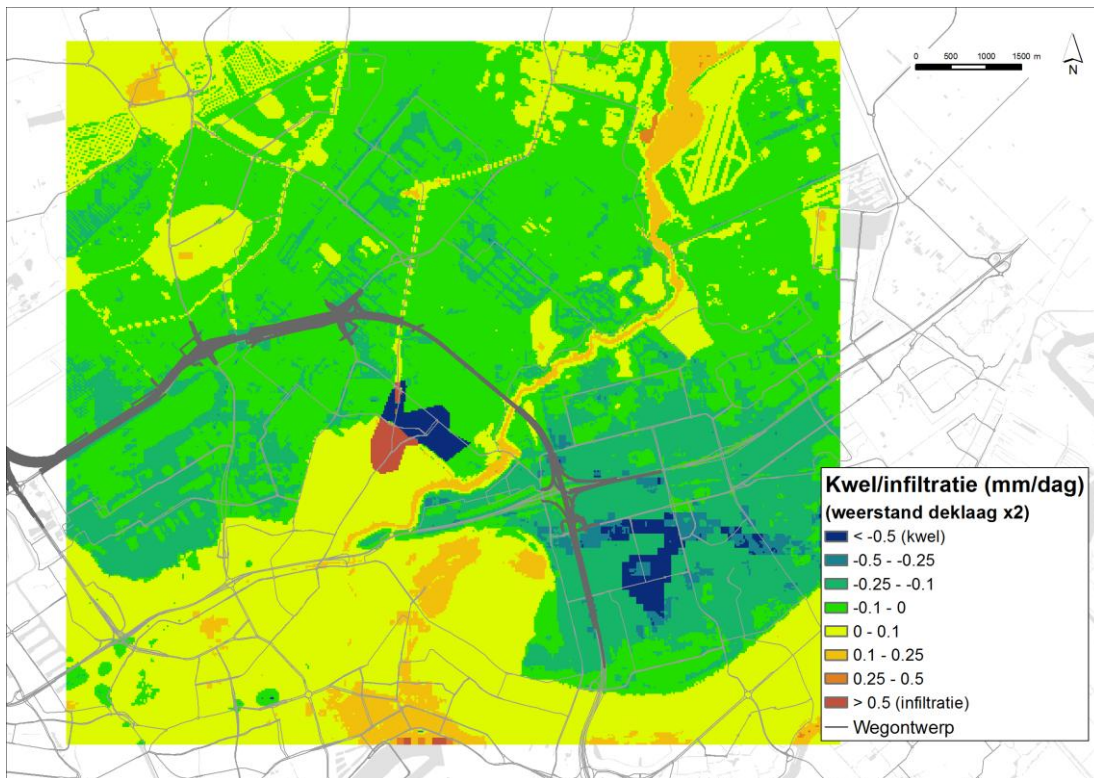
Abbeelding 9.2 Bollenkaart van de modelprestatie in de freatische laag voor het basismodel.

9.2.1.2 KWEL/INZIJING

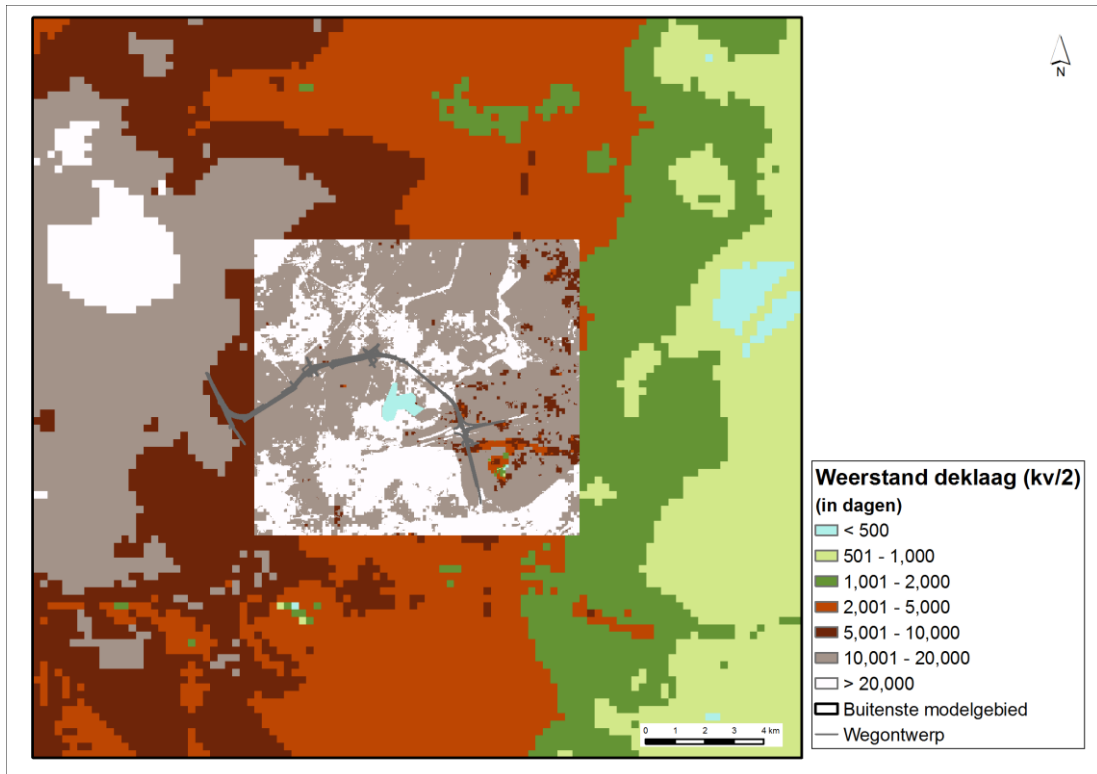
De modelprestatie kan verder verbeterd worden door de berekende kwelflux naar een polder te berekenen met het model en te vergelijken met de waterbalans van die polder met metingen van het hoogheemraadschap. Hierover is veelvuldig contact geweest met het hoogheemraadschap. Zij stelde dat de waterbalansen van de polders binnen het modelgebied dusdanig complex zijn door bijvoorbeeld de onbekende in de inlaat van water, dat er geen kwelflux kan worden afgeleid. Toch zijn wel schattingen beschikbaar in het gebied van de kwelflux op basis waarvan een indicatieve vergelijking kan worden gemaakt.

Om toch een indruk te krijgen van de modelprestatie is de hoeveelheid kwel vanuit het 1^{ste} watervoerende pakket naar de freatische laag berekend (Afbeelding 9.3) en zijn deze waarden vergeleken met indicatieve waarden voor de kwelflux van nabijgelegen polders. In de Polder Bleiswijk is de gemiddelde kwelflux per etmaal circa 0,3 mm/dag (Ingenieursbureau BCC, 1995). In de Zuidplaspolder wordt de kwelflux geschat tussen de 0 en 2 mm/dag (HHSK, 2012). Op basis van deze indicatieve waarden lijkt de berekende kwelflux nog iets aan de lage kant in de polders ten noorden van het tracé.

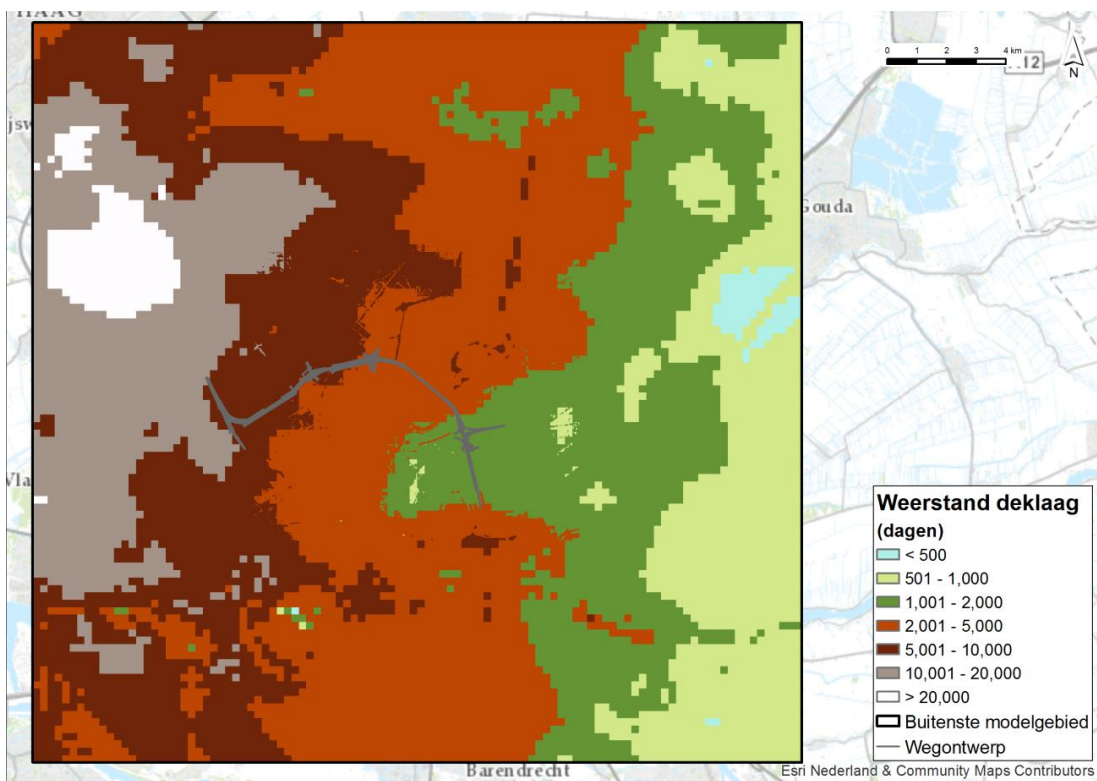
Op basis van de kalibratie van het interessegebied is een weerstand berekend die is weergegeven in Afbeelding 9.4. Ter vergelijking is de weerstand van het regionale model weergegeven in Afbeelding 9.4. Het regionale model is gebaseerd op REGIS en is daarmee ook een interpretatie van de werkelijkheid op basis van de toen beschikbare gegevens. Toch geeft het regionale model een indicatie van de orde grootte van de weerstand die verwacht kan worden binnen het interessegebied. Uit de vergelijking kan geconcludeerd worden dat de weerstand te hoog is ingeschat, hetgeen ook uit de kwel/infiltratie kaart geconcludeerd kan worden.



Afbeelding 9.3 Kwel/infiltratie na kalibratie van het interessegebied.

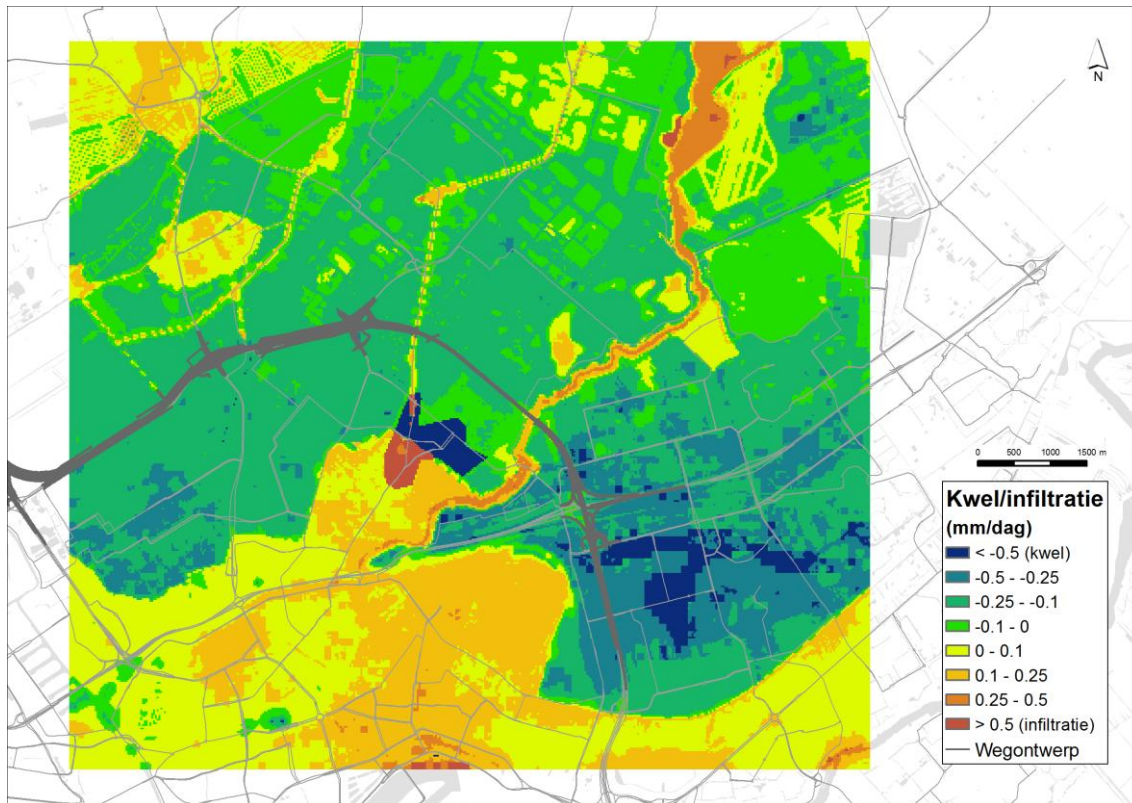


Afbeelding 9.4 Weerstand deklaag op basis van geohydrologische parameters afgeleid



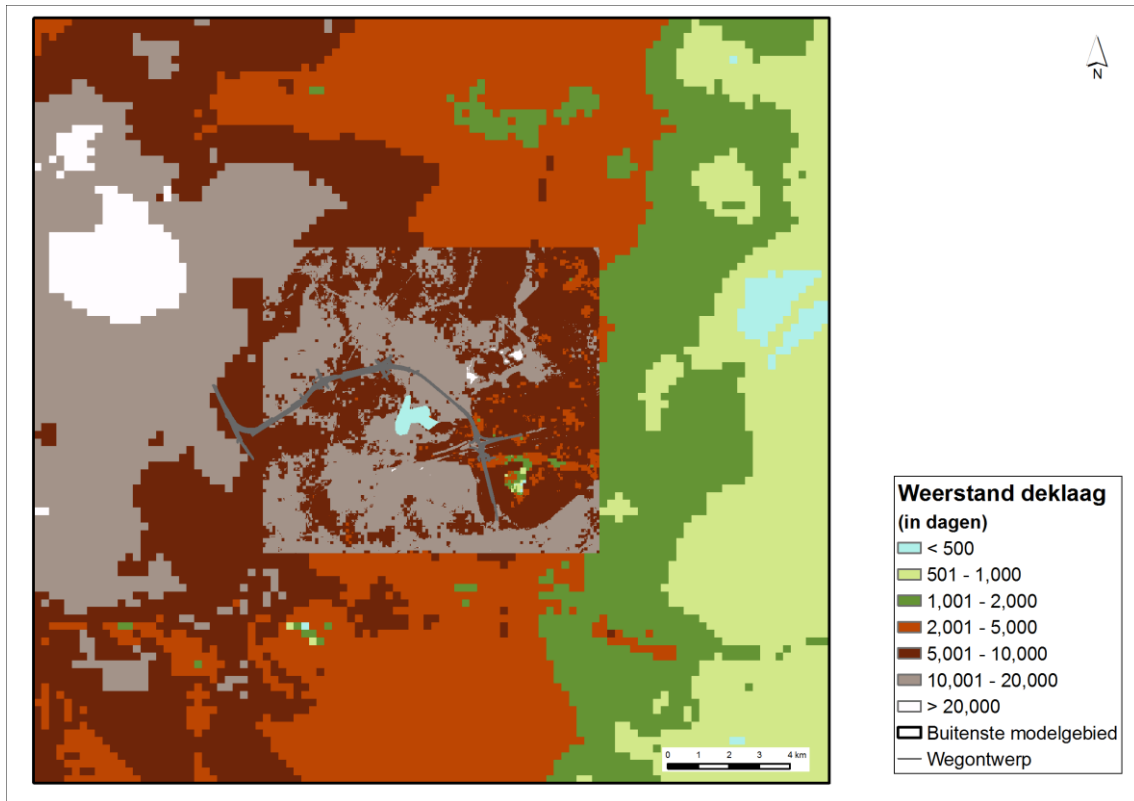
Afbeelding 9.5 Weerstand van de deklaag zoals afgeleid uit het regionale grondwatermodel van Zuid-Holland (TNO, 2004)

De weerstand van de deklaag is aangepast waarmee de kwelkaart in Afbeelding 9.6 is berekend. De diepe polders en de zandformaties zijn duidelijk waarneembaar als zones waar de gemiddelde kwelflux groter is. In de polders ligt de flux tussen de 0,1 mm/dag en 0,5 mm/dag, en bij de zandlichamen hoger dan 0,5 mm/dag. De kwelflux naar de polders is toegenomen en is vergelijkbaar met de geraadpleegde indicatieve waarden.



Afbeelding 9.6 Kwel/infiltratie na halvering van de deklaagweerstand.

De weerstand van het grondwatermodel is weergegeven in Afbeelding 9.7. De weerstand in het interessegebied is hoger dan in het regionale model. Op basis van de berekende kwel- en infiltratieflux wordt deze berekende weerstand als een goede inschatting van de werkelijke situatie gezien.



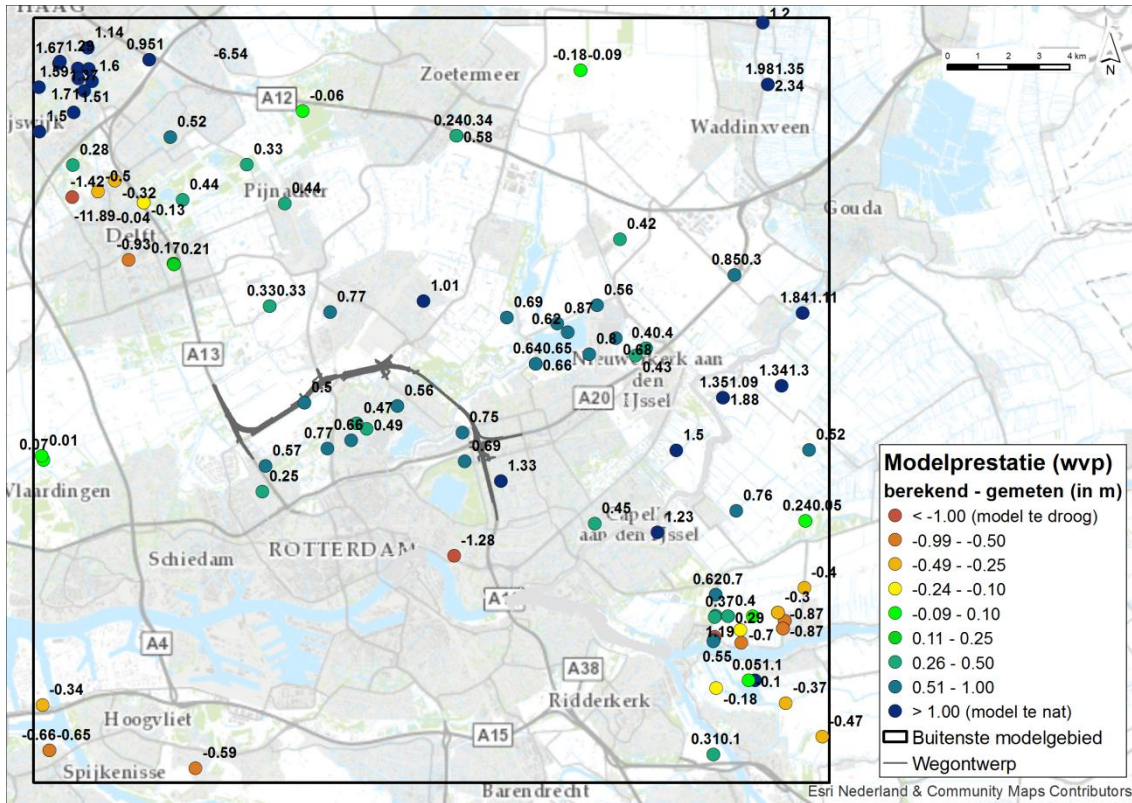
Afbeelding 9.7 Weerstand in het model na verlaging van de deklaag weerstand binnen het modelgebied.

9.2.1.3 BOLLENKAARTEN

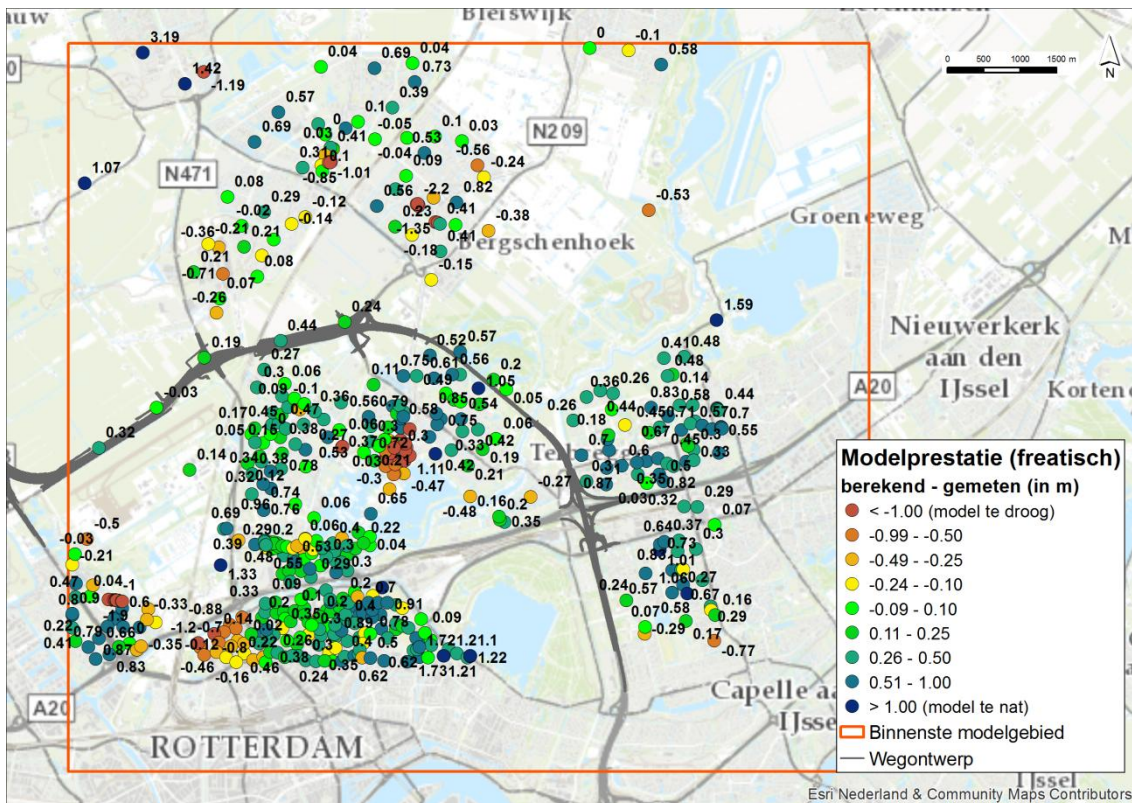
Er is een vergelijking gemaakt tussen de berekende stijghoogte en de gemeten stijghoogte met peilbuizen in het 1ste watervoerende pakket en dieper. De resultaten van deze vergelijking zijn opgenomen in Afbeelding 9.8.

Het model is in het algemeen iets te nat berekend ten opzichte van metingen in het 1^{ste} watervoerende pakket. Doordat de spanningsbemaling als onttrekkingen met een bepaald debiet zijn ingevoerd om de gewenste verlaging van de stijghoogte in te voeren, wordt het invloedsgebied van de spanningsbemaling in het 1^{ste} watervoerende pakket goed berekend.

In Afbeelding 9.9 is een bollenkaart van het interessegebied opgenomen die de freatische modelprestatie weergeeft. Freatisch presteert het model aardig, met een afwisselend patroon van te droog en te nat berekende grondwaterstanden ten opzichte van metingen.



Afbeelding 9.8 Bollenkaart modelprestatie van hele model in het 1^{ste} watervoerende pakket voor het gebruikte model.



Afbeelding 9.9 Bollenkaart modelprestatie freatische grondwaterstand voor het gebruikte model.

9.2.1.4 GEOHYDROLOGISCHE PARAMETERS PER MODELLAAG

In Tabel 9.2 zijn de geohydrologische parameters per modellaag opgenomen binnen en buiten het interessegebied. De geohydrologische eenheid van de modellagen boven het 1^{ste} watervoerende pakket (modellaag 8) is aangegeven als deklaag, maar dit verschilt per locatie in het model. In sommige gedeeltes is de deklaag dikker, en loopt de deklaag door tot in modellaag 7, maar in andere gebieden is de deklaag dunner en zijn bijvoorbeeld modellagen 6 en 7 feitelijk al onderdeel van het 1^{ste} watervoerende pakket.

Tabel 9.2 Horizontale doorlatendheid en weerstanden per modellaag binnen en buiten het interessegebied.

modellaag	van (m NAP)	tot (m NAP)	geohydrologische eenheid	$k_{h,gem}$ interesseg ebied (m/dag)	$k_{h,gem}$ buiten interesseg ebied (m/dag)	C_{gem} interesseg ebied (dagen)	C_{gem} buiten interesseg ebied (dagen)
1	mv	-9	deklaag	0.7	0.2	3580	2497
2	-9	-11	deklaag	0.7	3.8	1714	908
3	-11	-13	deklaag	1.4	7.3	1635	838
4	-13	-15	deklaag	1.5	7.3	1469	838
5	-15	-17	deklaag	5.9	22.1	816	227
6	-17	-19	deklaag	9.4	22.1	313	227
7	-19	-21	deklaag	13.0	23.0	201	117
8	-21	-40	1e watervoerende pakket	70.0	16.1	1	626
9	-40	-45	1ste scheidende laag	0.1	5.2	250	513
10	-45	-55	2e watervoerende pakket	30.0	5.1	2	847
11	-55	-85	3e watervoerende pakket	30.0	7.7	300	1784
12	-85	-110	4e watervoerende pakket	30.0	6.2	300	997

9.3 CONCLUSIE

Het grondwatermodel is echter voldoende bevonden voor de verkennende studie naar de geohydrologische effecten van de verdiepte ligging van de toekomstige A16, omdat:

- binnen het interessegebied is de freatische modelprestatie aardig goed en wordt voldaan aan de kalibratie eisen die zijn opgenomen in subparagraaf 9.1.3;
- de waarden voor de kwelflux naar de polders in het binnenste modelgebied zijn vergelijkbaar met waarden berekend door het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard in nabijgelegen polders;
- de weerstand van de deklaag komt redelijk overeen met de weerstand uit het regionale grondwatermodel voor Zuid-Holland;
- de berekening van de stopzetting van de winning van DSM te Delft toont een goede overeenkomst met de contourlijnen die zijn berekend met een grondwatermodel door Deltares (2008);
- het grondwatermodel is te nat berekend ten opzichte van de metingen uit peilbuizen in het 1^{ste} watervoerende pakket;
- het model voldoende groot is om de effecten van spanningsbemaling in het 1^{ste} watervoerende pakket te berekenen.

De te natte prestatie van het 1^e watervoerende pakket betekent mogelijk dat de weerstand van de deklaag te hoog is ingeschat tijdens het proces om de kwelflux te kalibreren. Mogelijk berekent het model daarom een onderschatting van de freatische effecten, maar de berekende freatische effecten zijn ook afhankelijk van de doorlatendheid van de antropogene ophooglaag en de grondwateraanvulling. Dit betekent dat er nog verdere optimalisaties aan het grondwatermodel mogelijk zijn, zoals bijvoorbeeld de deklaagweerstand, de weerstand van watergangen en de doorlatendheid van de antropogene laag. Deze aanpassingen vallen buiten de verkennende studie.

10

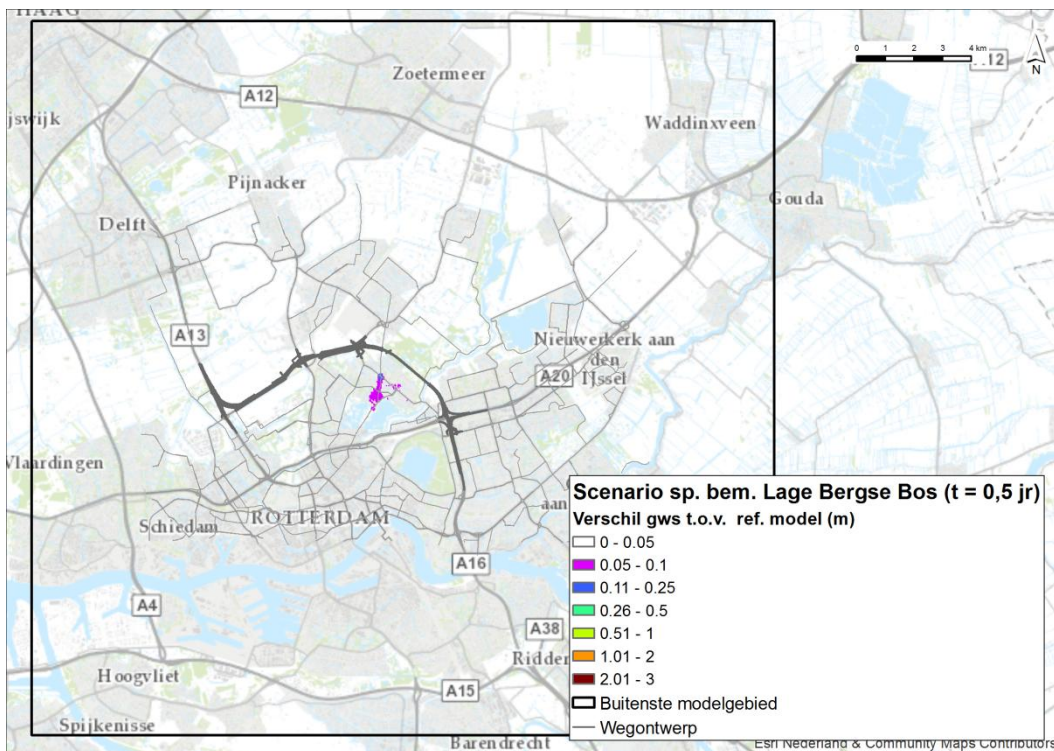
Bijlage 2: Aanvullende resultaten grondwatermodel

10.1 FREATISCHE EFFECTEN SPANNINGSBEMALING SCENARIO'S

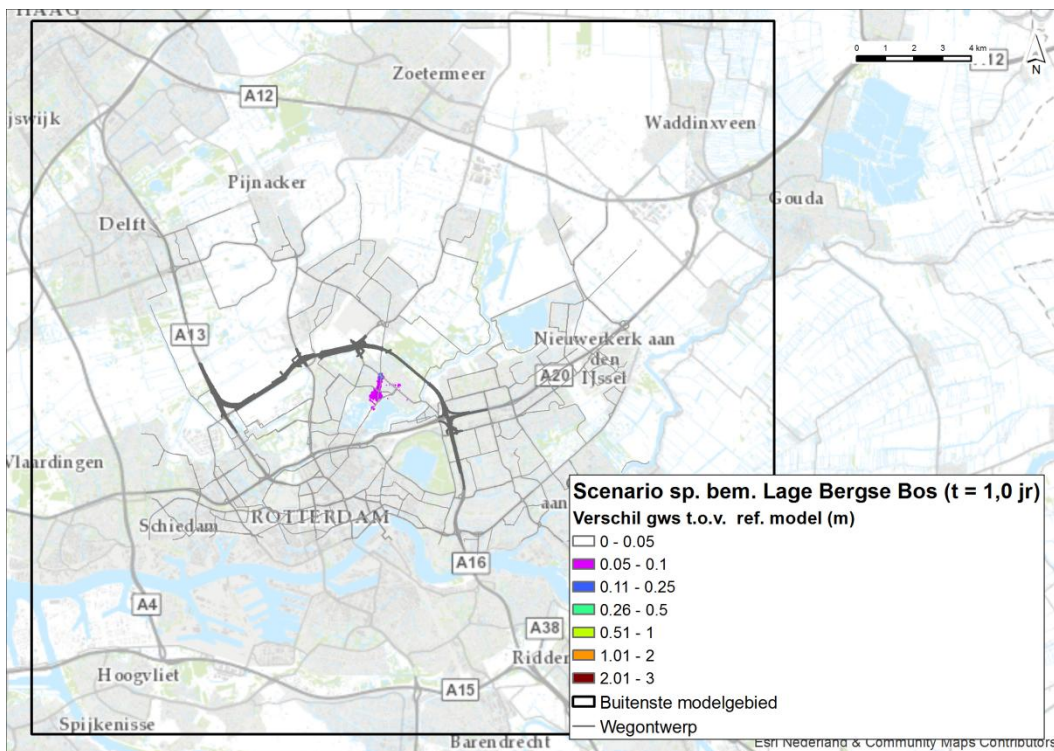
Het effect op de grondwaterstand door toepassing van spanningsbemaling is voor beide scenario's berekend op verschillende tijden na aanvang van de bemaling. De resultaten worden in de volgende subparagrafen gepresenteerd.

10.1.1 SCENARIO LAGE BERGSE BOS

De freatische effecten van de spanningsbemaling onder de halfverdiepte tunnel ter plaatse van het Lage Bergse Bos zijn weergegeven een half jaar en een jaar na aanvang van de spanningsbemaling. De bemaling is gestart in de winter (in het grondwatermodel op 14 januari 2008), waarmee de onderstaande afbeeldingen respectievelijk een indicatie van de effecten in een zomer- en winterperiode weergeven.



Afbeelding 10.1 Verschil in de freatische grondwaterstand 0,5 jaar na het starten van de spanningsbemaling ten opzichte van de referentie situatie. Het betreft een zomerperiode.



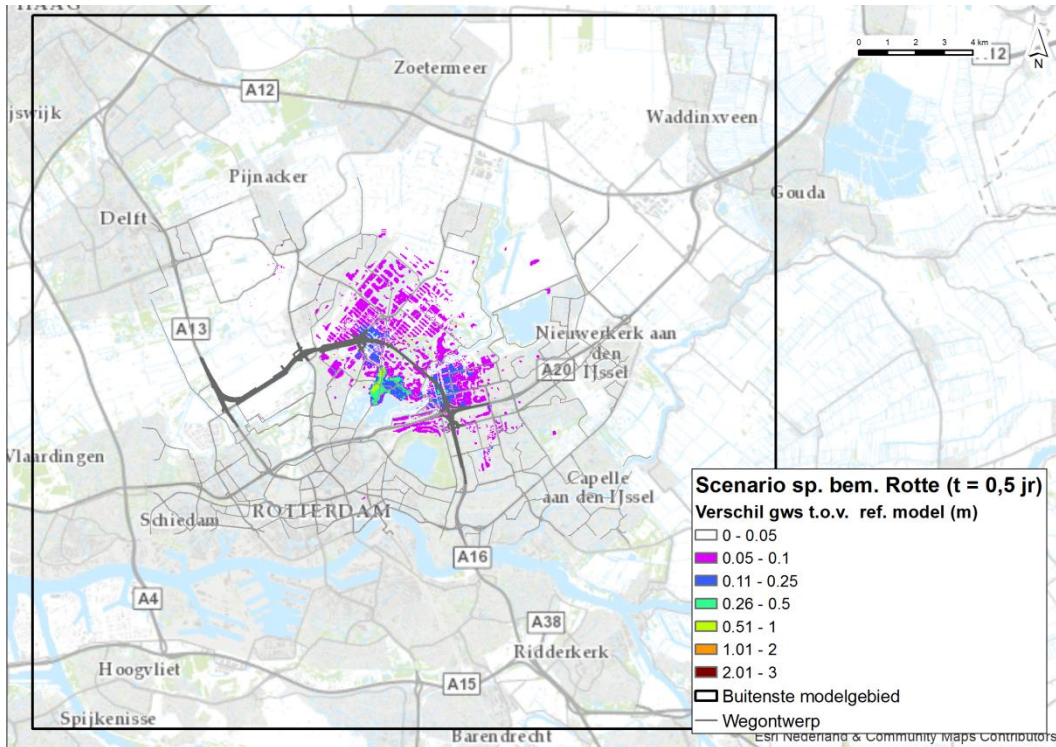
Abbeelding 10.2 Verschil in de freatische grondwaterstand 1,0 jaar na het starten van de spanningsbemaling ten opzichte van de referentie situatie. Het betreft een winterperiode.

In bovenstaande afbeeldingen is te zien dat de berekende freatische effecten zich na 0,5 jaar al instellen. Daarna wijzigen de effecten nauwelijks.

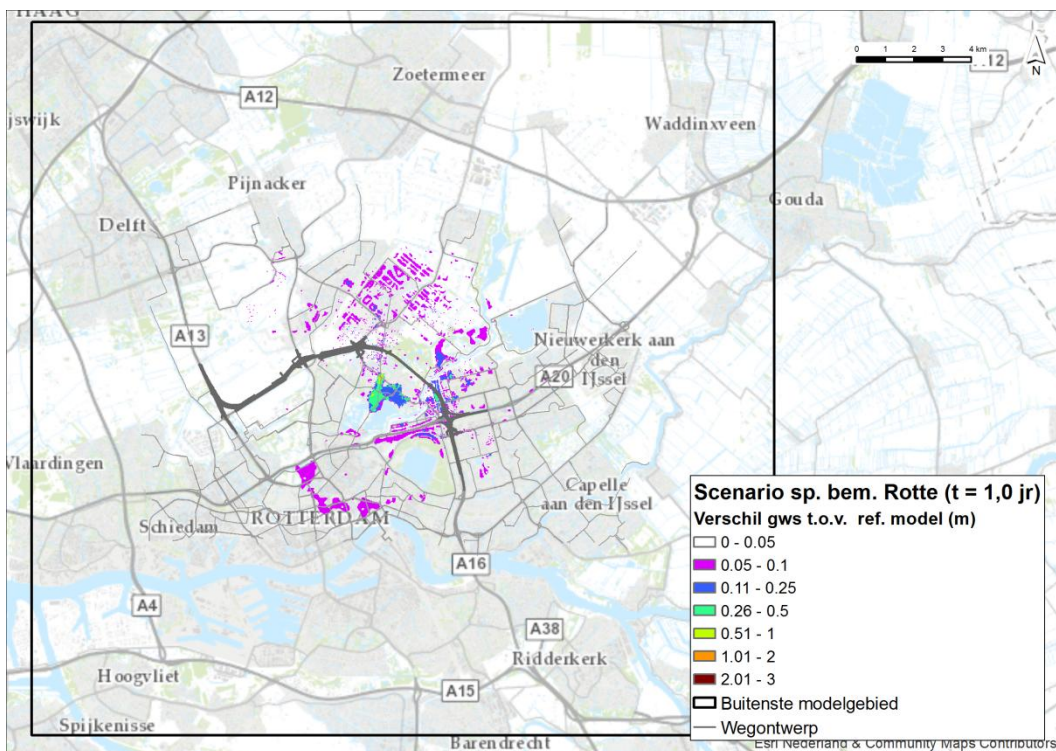
10.1.2 SCENARIO ROTTE EN VAART POLDER BLEISWIJK

De freatische effecten van de spanningsbemaling ter plaatse van de passages onder de Rotte en de Vaart Polder Bleiswijk zijn weergegeven 0,5 en 1,0 jaar na aanvang van de spanningsbemaling (begindatum in het grondwatermodel op 14 januari 2008). De afbeeldingen geven een indicatie van de freatische effecten in een zomer en wintersituatie, respectievelijk.

Na 0,5 jaar is zichtbaar dat de freatische effecten kleiner zijn dan na 1,5 jaar (afbeelding opgenomen in hoofdrapport) omdat de eindsituatie zich freatisch nog niet heeft ingesteld. In de wintersituatie zorgt de toename in de grondwateraanvulling ervoor dat de freatische effecten van de spanningsbemaling minder groot zijn.



Afbeelding 10.3 Verschil in de freatische grondwaterstand 0,5 jaar na het starten van de spanningsbemaling ten opzichte van de referentie situatie. Het betreft een zomerperiode.

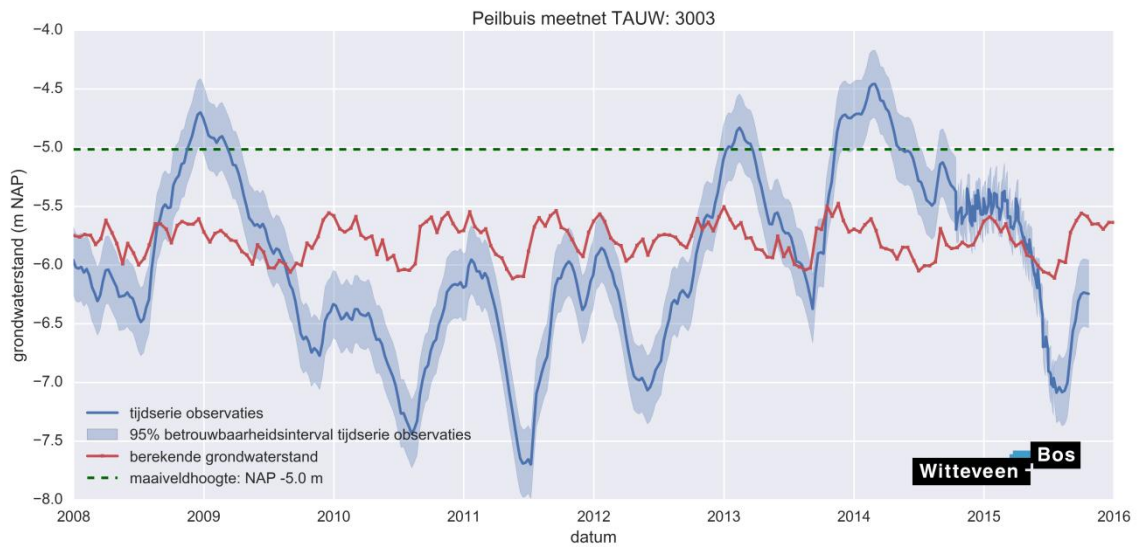
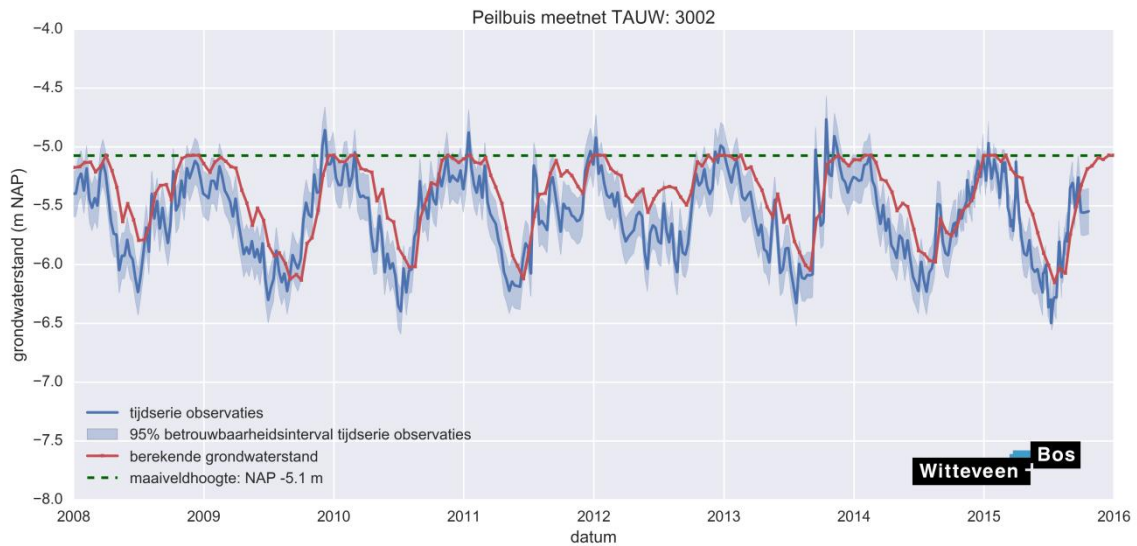


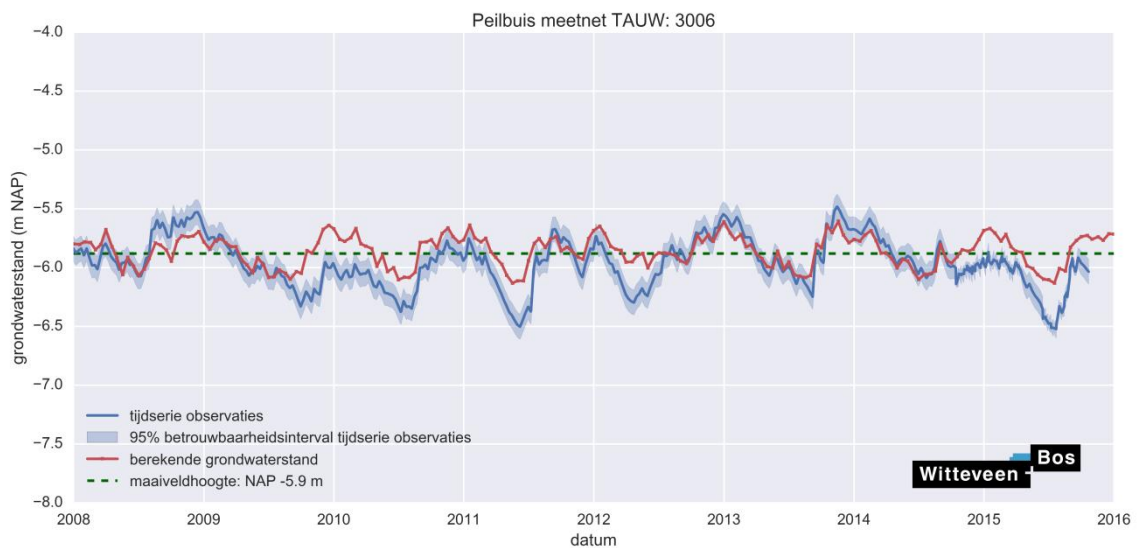
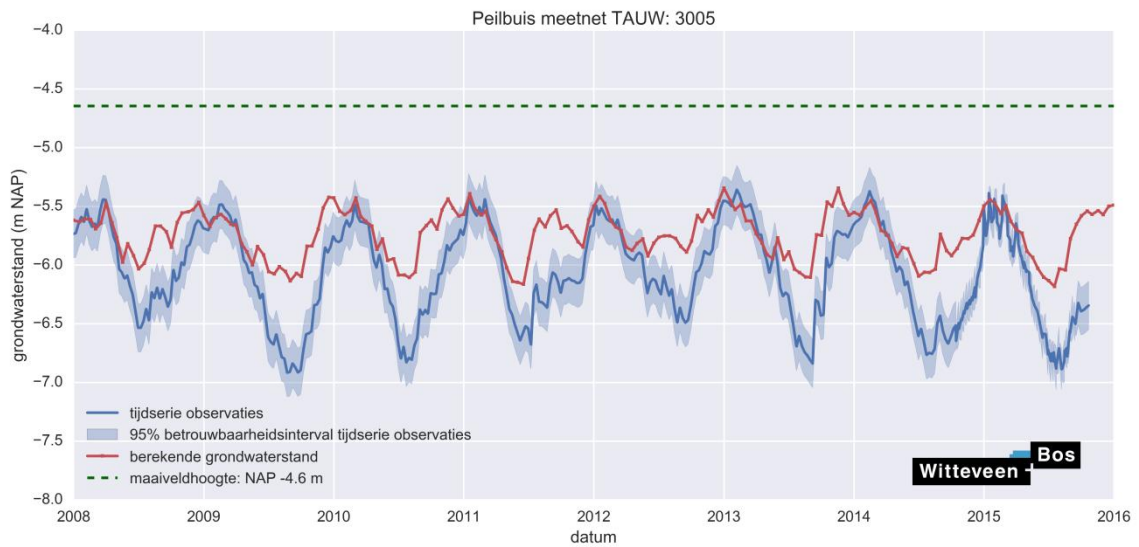
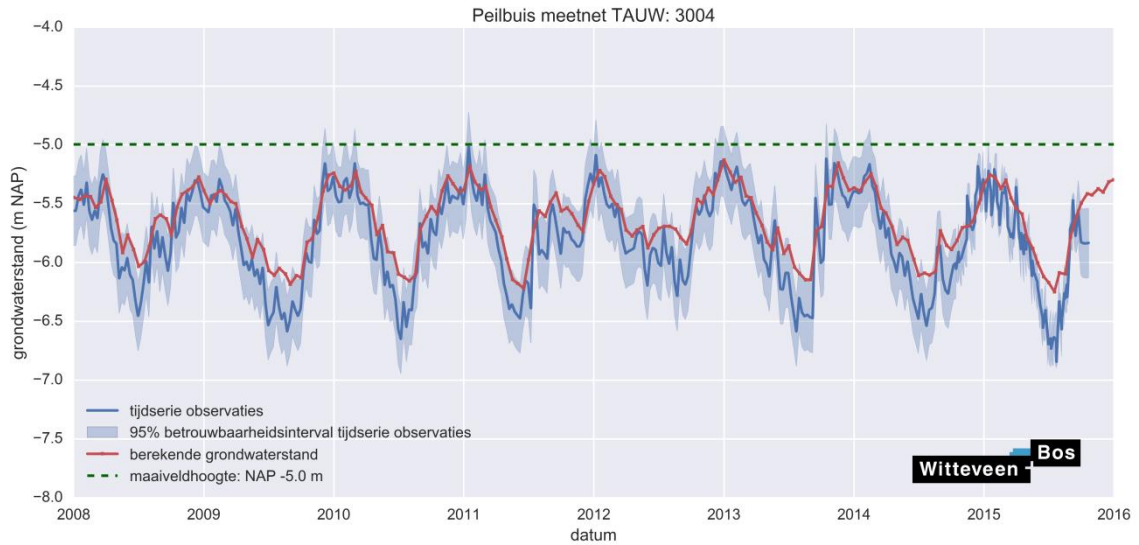
Afbeelding 10.4 Verschil in de freatische grondwaterstand 1,0 jaar na het starten van de spanningsbemaling ten opzichte van de referentie situatie. Het betreft een winterperiode.

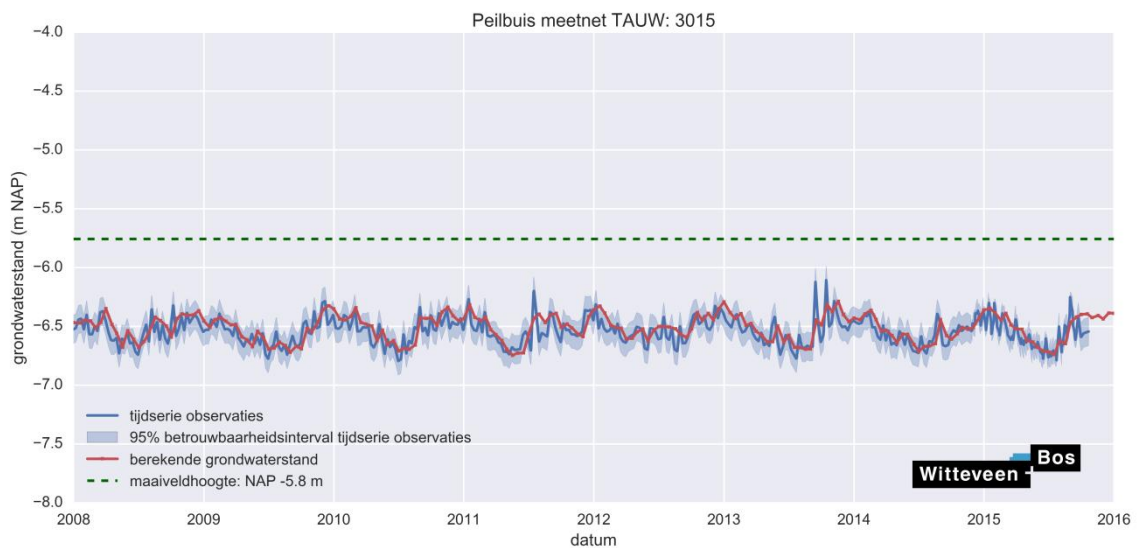
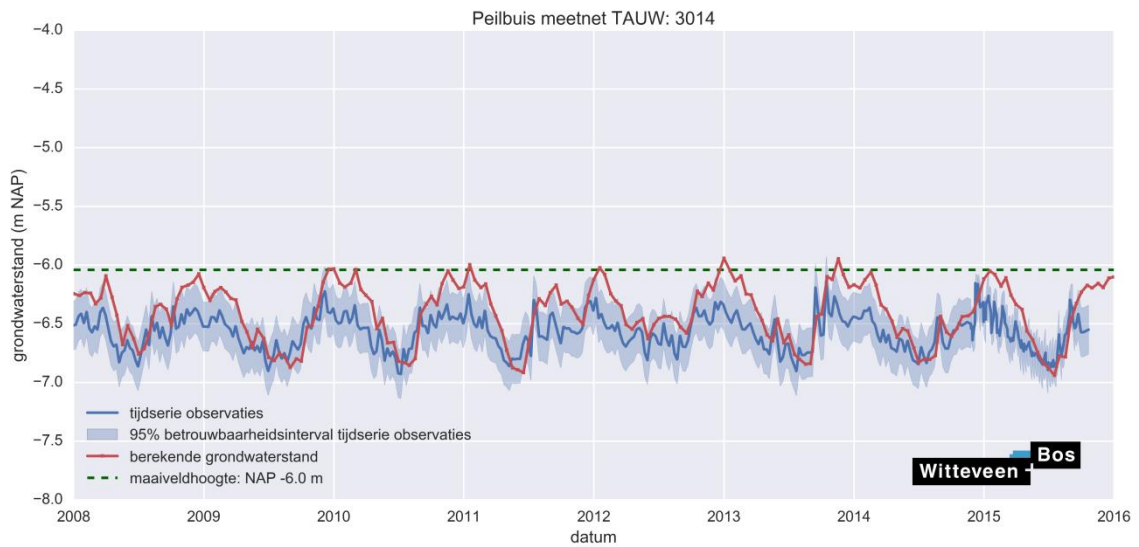
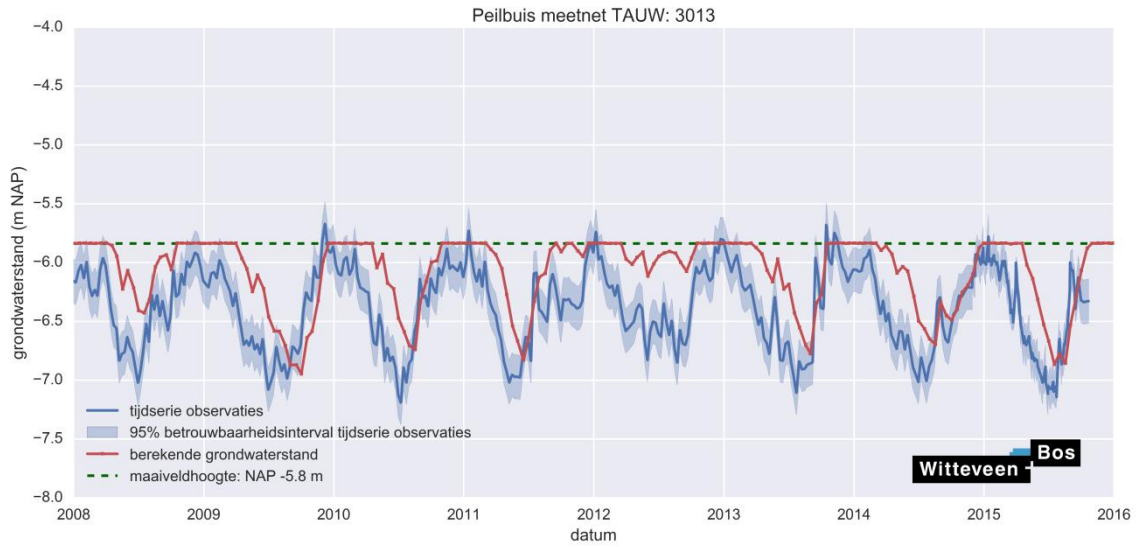
10.2 VERGELIJKING TIJDSAFHANKELIJKE MODEL MET OBSERVATIES

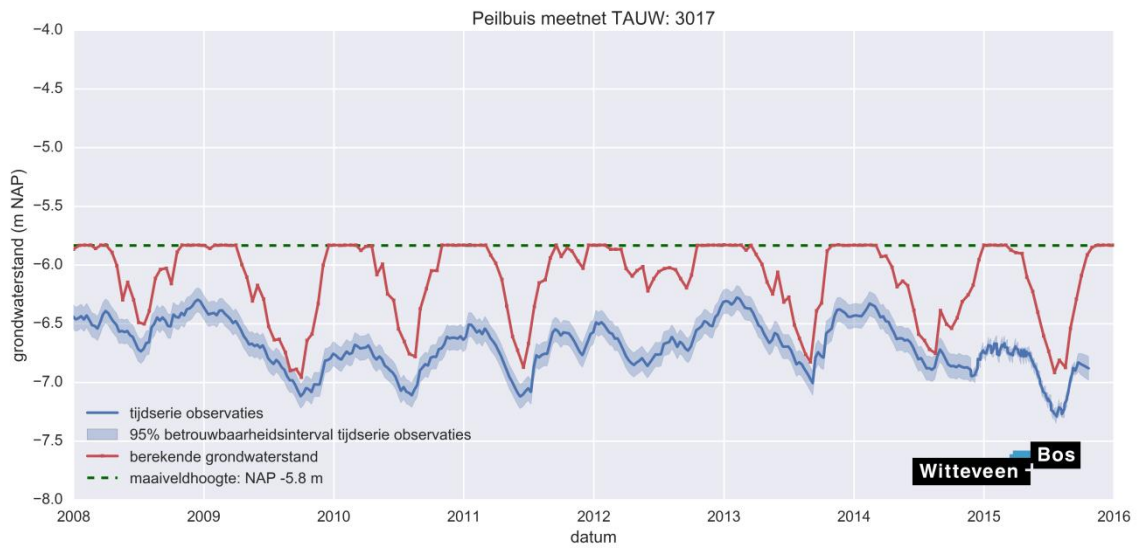
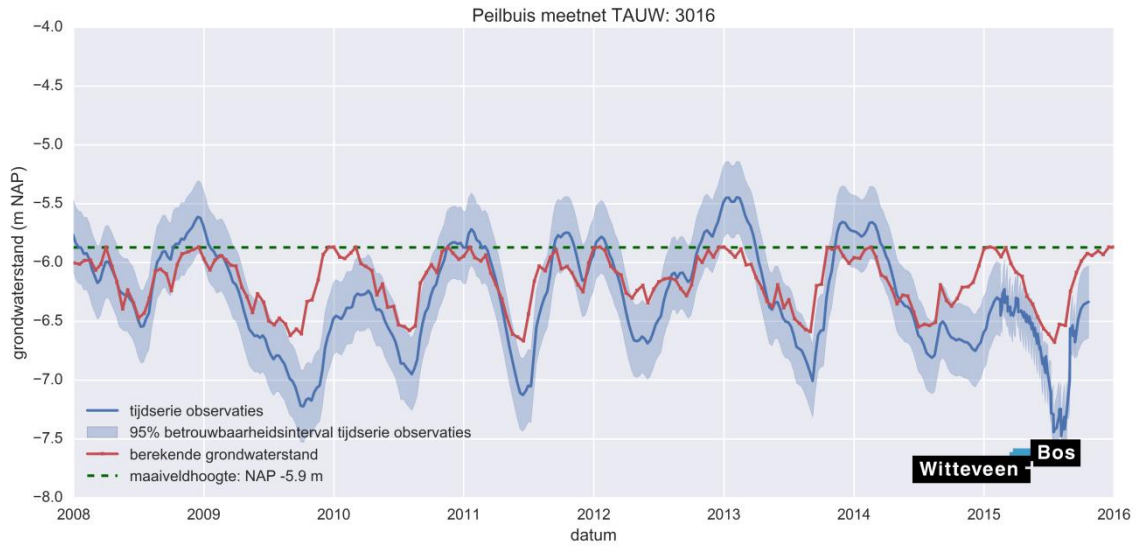
De volgende afbeeldingen tonen de berekende grondwaterstand en stijghoogte van het tijdsafhankelijke model met observaties in peilbuizen.

10.2.1 FREATISCHE LAAG

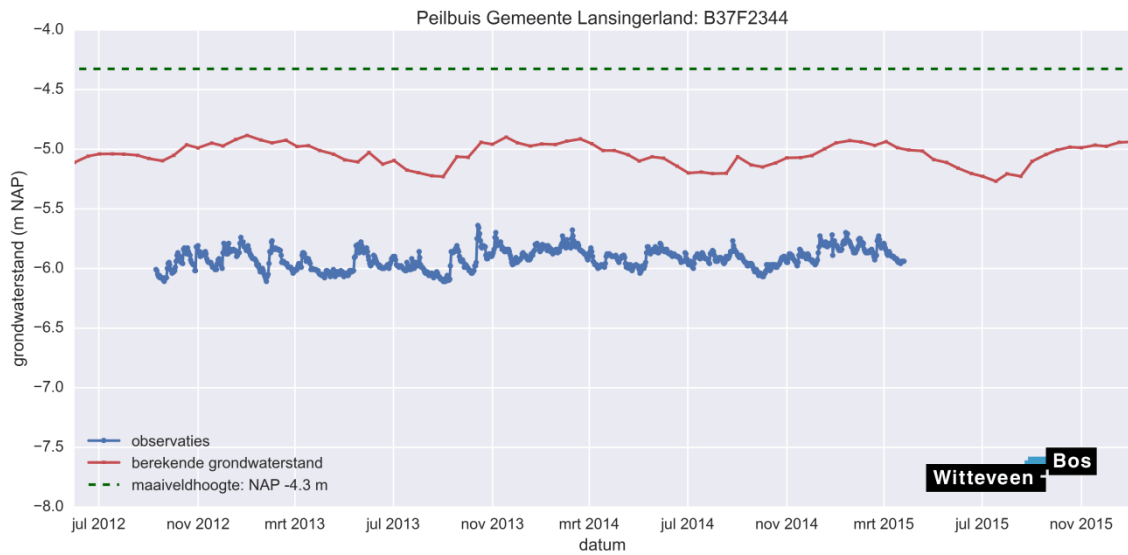
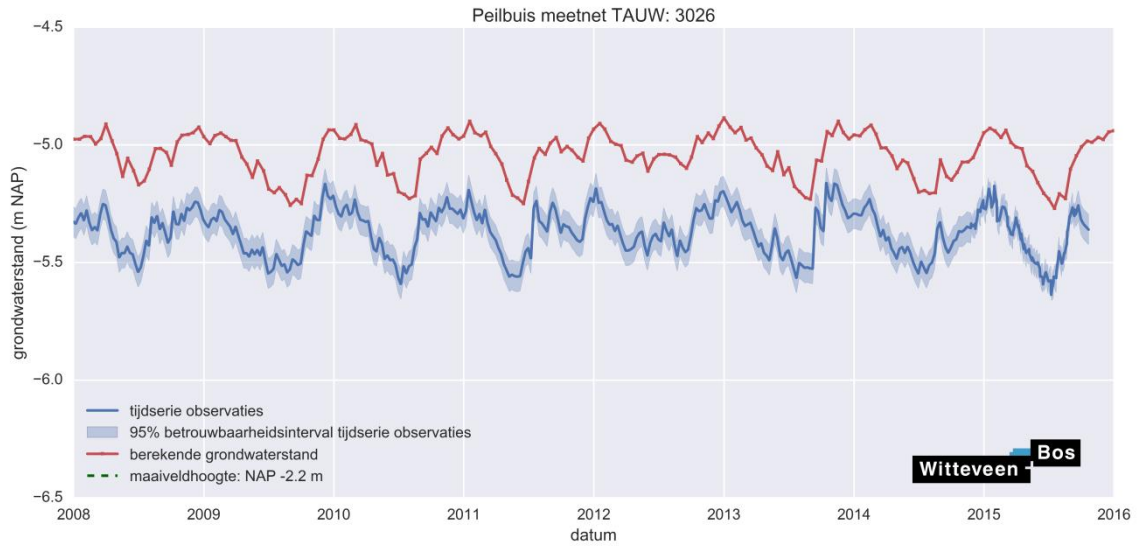








10.2.2 1STE WATERVOERENDE PAKKET



11

Bijlage 3: Geotechnische analyse fundering A16

ONDERWERP

Geotechnische verkenning mogelijkheden spanningsbemaling A16 Rotterdam

DATUM

15-01-2016

VAN

Marjolein van Breukelen (1AW)

AAN

Rijkswaterstaat

1 INLEIDING

In deze memo wordt bestudeerd wat het effect van een bemaling is op de aanleg van een half verdiepte tunnel door het Lage Bergse Bos. Er worden twee maatgevende snedes beschouwd, namelijk een snede bij de passage van de Rotte en een snede in het Lage Bergse Bos.

Doelstelling is te bepalen wat de economische voordelen zijn van het toepassen van een bemaling. De verwachting is dat de tunnel aangelegd wordt in een bouwkuip van damwanden met een onderwaterbetonvloer. Om opdrijven van deze vloer te voorkomen worden trekpalen toegepast. Deze palen worden in de eindsituatie gebruikt als fundering van de tunnel. Over het algemeen is de fundering in de bouwfase maatgevend voor het ontwerp. Door in de bouwfase bemaling toe te passen kan de fundering worden geoptimaliseerd, zodat de eindsituatie maatgevend wordt.

Bij de keuze voor een half verdiepte ligging is onder een groot deel van het tracé onder de vloer van de tunnel nog een dik kleipakket aanwezig. Deze kleilaag heeft een water afsluitende functie. Echter de massa van dit pakket is te laag, waardoor deze laag zou opbarsten bij het verlagen van waterstand in de bouwkuip. Wanneer de stijghoogte onder de kleilaag voldoende wordt verlaagd ontstaat verticaal evenwicht en kan de tunnel in den droge worden aangelegd zonder toepassing van een onderwaterbetonvloer.

In hoofdstuk 2 van deze memo worden de uitgangspunten behandeld. In hoofdstuk 3 wordt bestudeerd of door de toepassing van een bemaling een gedeelte van de tunnelbak in het Lage Bergse Bos zonder een onderwaterbetonvloer gerealiseerd kan worden. Hoofdstuk 4 behandelt het effect van een bemaling op het paalstramien van de tunnelbak ter plaatse van de Rotte en het Lage Bergse Bos. De memo sluit af met een bijlage waarin de paalbelasting globaal berekend wordt.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Peilmaten

De Rotte

Onderkant constructievloer:	NAP -12 m;
Onderkant onderwaterbetonvloer:	NAP -13 m;
Onderkant uitvullaag:	NAP -13,2 m;
Bovenkant kleilaag:	NAP -13,2 m;
Bovenkant zandlaag:	NAP -13,6 m (conservatief - DKM137);
Grondwaterstand:	NAP -6,5 m;
Stijghoogte:	NAP -5,5 m.

Lage Bergse Bos

Onderkant constructievloer:	NAP -9,6 m;
Onderkant onderwaterbetonvloer:	NAP -10,6 m;
Onderkant uitvullaag:	NAP -10,8 m;
Bovenkant kleilaag:	NAP -10,8 m;
Bovenkant zandlaag:	NAP -11,5 m (conservatief - KW22-11/12);
Grondwaterstand:	NAP -6,5 m;
Stijghoogte:	NAP -5,0 m.

2.2 Grondopbouw

De Rotte

Alle sonderingen (KW22-24 t/m KW22-26, DKM134, DKM136 t/m DKM139) rond de passage de Rotte tonen vanaf maaiveld een dik kleipakket aan, gevolgd door een zandlaag. De onderkant van dit kleipakket varieert tussen NAP -13,6 m en NAP -16,0 m.

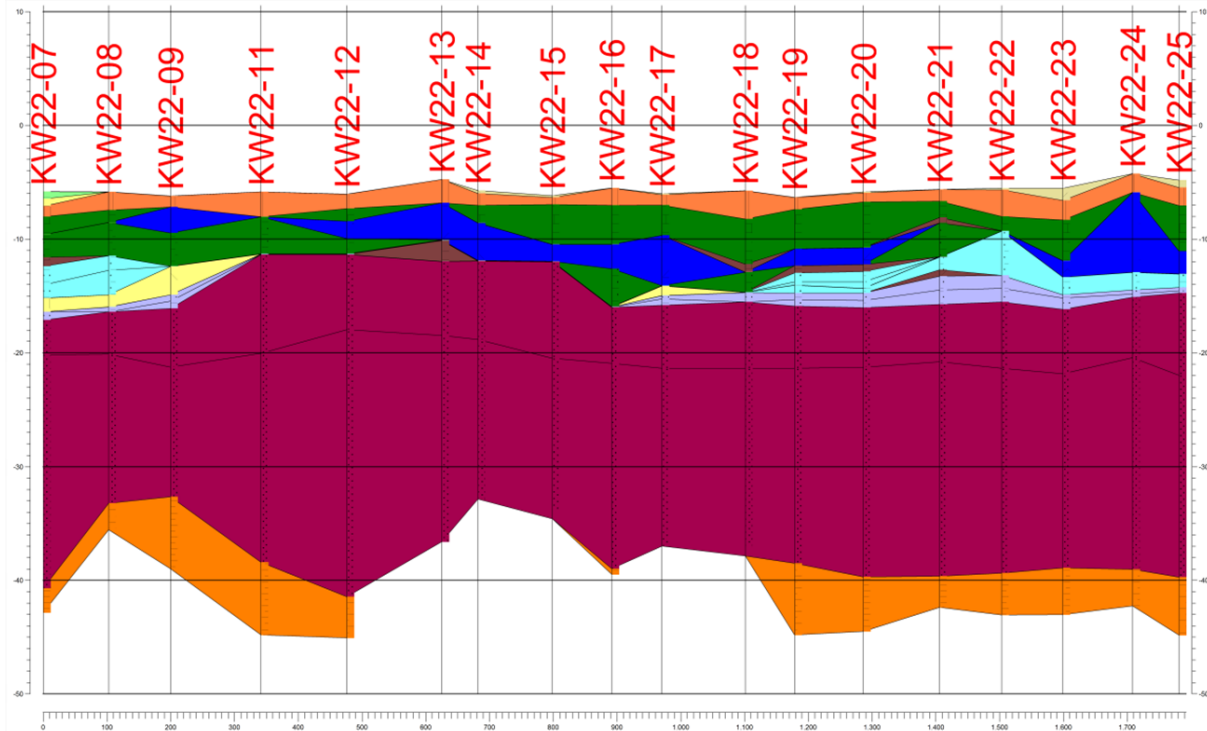
Lage Bergse Bos

Alle sonderingen ter plaatse van de tunnelbak in het Lage Bergse Bos tonen vanaf maaiveld een dik kleipakket aan, gevolgd door een zandlaag. De onderkant van dit kleipakket varieert:

- de sonderingen KW22-07 t/m KW22-10 tonen aan dat de onderkant van de eerste kleilaag varieert tussen NAP -13 m en NAP -16,5 m;
- de sonderingen KW22-11 t/m KW22-15 tonen aan dat de onderkant van de eerste kleilaag varieert tussen NAP -11,5 m en NAP -12 m;
- de sonderingen KW22-16 t/m KW22-25 tonen aan dat de onderkant van de eerste kleilaag varieert tussen NAP -15,5 m en NAP -16 m.

Zie Afbeelding 2.1 voor het geotechnisch lengteprofiel onder de tunnelbak tot de Rotte. Op onderstaande afbeelding wordt zand met de kleuren geel en donker roze aangegeven en veen en klei met de overige kleuren.

Afbeelding 2.1 Geotechnisch lengteprofiel onder de tunnel bak tot de Rotte



2.3 Paaldragvermogen

De Rotte

Rond de toekomstige passage de Rotte zijn enkele sonderingen genomen. De locatie van de sonderingen KW22-24, KW22-25 en KW22-26 (uitgevoerd in 2010) ligt op een afstand ≥ 100 m van de Rotte. De sonderingen DKM134, DKM136 t/m DKM139 (uitgevoerd in 2015) liggen rondom de Rotte. Deze sonderingen zijn uitgevoerd om de stabiliteit van de Rottekades te kunnen bepalen en zijn te ondiep voor het berekenen van de paalfundering.

Voor het bepalen van het draagvermogen in deze memo worden alleen de sonderingen welke zijn uitgevoerd in 2010 meegenomen. Wel tonen de sonderingen uit 2015 een ongunstigere grondopbouw, wat waarschijnlijk leidt tot een lager paaldragvermogen. Daar in deze rapportage een verkennende berekening wordt uitgevoerd naar de effecten van bemaling is het effect van deze sonderingen niet nader beschouwd.

In het ontwerp wordt aangehouden dat prefab betonpalen 450 mm x 450 mm met een paalpuntniveau van NAP -25 m onder de constructie geïnstalleerd worden. Deze palen hebben een drukdraagvermogen van circa 1300 kN en een trekdraagvermogen van circa 320 kN.

Wanneer bemaling wordt toegepast neemt de paalbelasting af. Het is mogelijk een ruimer paalstramien te kiezen waardoor het aantal palen kan worden verminderd.

Lage Bergse Bos

Op het tracé van de A13/A16 in het Lage Bergse Bos zijn de sonderingen KW22-01 t/m KW22-25 (uitgevoerd in 2010) aanwezig. Voor de paalberekening wordt aangehouden dat prefab betonpalen 450 mm x 450 mm met een paalpuntniveau van NAP -25 m onder de constructie geïnstalleerd worden. Hieruit volgt een drukdraagvermogen van circa 1300 kN en een trekdraagvermogen van circa 320 kN.

3 LAGE BERGSE BOS - ONDERWATERBETONVLOER

In dit hoofdstuk wordt bestudeerd of een gedeelte van de tunnelbak in het Lage Bergse Bos zonder een onderwaterbetonvloer aangelegd kan worden. Voor het realiseren van de tunnelbak moet tot minimaal NAP -9,6 m ontgraven worden (zonder onderwaterbetonvloer). Om opbarsten te voorkomen moet het gewicht van de overgebleven kleilaag groter zijn dan de opwaartse waterdruk aan de onderkant van de kleilaag. De sonderingen (KW22-09, KW22-11 t/m KW22-15) tonen een dunnere kleilaag aan (onderkant eerste kleilaag: NAP -11,5 m) dan de overige sonderingen. Voor het deel van de tunnelbak gelegen tussen sondering KW22-09 en KW22-15 is het weglaten van de onderwaterbetonvloer niet mogelijk. Een kleilaag van 2 a 3 m is niet voldoende om opbarsten te voorkomen, tenzij de stijghoogte van de zandlaag extreem verlaagd wordt.

Voor het overig deel van het tracé wordt aangehouden dat de onderkant van de eerste kleilaag zich op NAP -15,5 m bevindt. Uit de berekeningen blijkt dat de stijghoogte circa 4,0 m verlaagd moet worden tot NAP -9,0 m om opbarsten te voorkomen.

Ook de waterstand binnen de bouwkuip wordt verlaagd. Dit heeft effect op de kleilagen onder de bouwkuip bodem. Aangenomen is dat de damwanden worden doorgezet tot in de zandlaag zodat deze waterstandverlaging geen effect heeft op de omgeving van de bouwkuip.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van het verticaal evenwicht van de kleilagen zullen zwaardere damwanden nodig zijn dan bij toepassing van onderwaterbeton. Dit effect zal de voordelen van het toepassen van een bemaling verminderen.

Tabel 3.1 toont aan dat zonder bemaling de kleilaag zal opbarsten.

Tabel 3.1 Opbarstberekening zonder bemaling

Onderdeel	Gewicht [kN/m ²]	Factor voor trek	Maatgevend voor opbarsten [kN/m ²]
kleilaag*	76,7	0,9	69,0
opwaartse waterdruk**	-105,0	1,0	-105,0
totaal	-28,3	-	-36,0

* kleilaag: (NAP -9,6 m - NAP -15,5 m) x 13 kN/m³ = 76,7 kN/m²

** opwaartse waterdruk: (NAP -5,0 m - NAP -15,5 m) x 10 kN/m³ = 105 kN/m²

Wanneer de stijghoogte in de zandlaag tijdelijk verlaagd wordt van NAP -5,0 m tot NAP -9,0 m zal de kleilaag niet opbarsten:

- neerwaartse belasting: (NAP -9,6 m - NAP -15,5 m) x 13 kN/m³ x 0,9 = 69 kN/m²;
- opwaartse waterdruk: (NAP -9,0 m - NAP -15,5 m) x 10 kN/m³ = 65 kN/m²;
- totale neerwaartse belasting: 69 kN/m² - 65 kN/m² = 4 kN/m² → niet opbarsten.

4 PAALSTRAMIEN

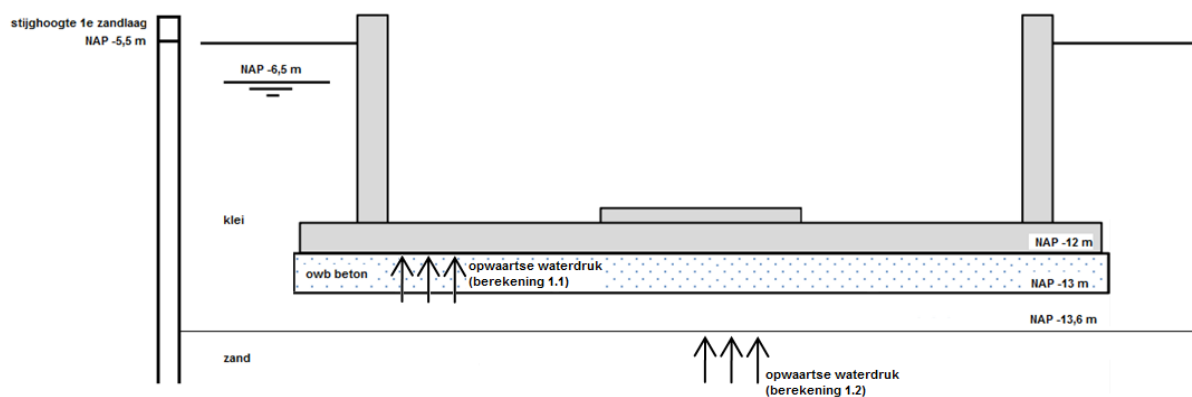
4.1 De Rotte

Voor de tunnelbak onder de Rotte is voor de eindsituatie en de bouwfase het paalstramien bepaald zowel met als zonder bemaling. In paragraaf 4.1.3 is de samenvatting weergegeven.

4.1.1 Eindsituatie

In de eindsituatie is door de diepe ligging van de tunnelbak onder de Rotte trek maatgevend ten opzichte van druk. Het paalstramien wordt op basis van de trekbelasting bepaald. Er dienen twee situaties voor trek in de eindsituatie beschouwd te worden om het maatgevende paalstramien te bepalen. In de eerste situatie (1.1) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de vloer van de constructie geplaatst en in de tweede situatie (1.2) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de kleilaag geplaatst.

Afbeelding 4.1 Doorsnede tunnelbak De Rotte - Eindsituatie (zonder dek)



De situatie met de waterdruk tegen de onderkant van de constructievloer (situatie 1.1) is maatgevend. De inschatting is dat een paalstramien van 3,1 m x 3,1 m benodigd is.

Situatie 1.1 (eindsituatie)

In Tabel 4.1 zijn de belastingen weergegeven van berekening 1.1. Het eigen gewicht van de constructie is bepaald in de berekening weergegeven in bijlage I.

Tabel 4.1 Belastingen berekening 1.1

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
eigen gewicht wand	8,2	0,9	7,4
eigen gewicht vloer	22,5	0,9	20,3
opwaartse waterdruk*	-45,0	1,0	-45,0
opwaartse waterdruk variabel*	-10,0	1,5	-15,0
totaal	-24,3	-	-32,3

* opwaartse waterdruk: (NAP -6,5 m - NAP -12 m) x 10 kN/m³ = 55 kN/m²

Met een paalstramien van 3,1 m x 3,1 m wordt het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden ($32,3 \text{ kN/m}^2 \times 3,1 \text{ m} \times 3,1 \text{ m} = 310 \text{ kN}$).

Situatie 1.2 (eindsituatie)

In Tabel 4.2 zijn de belastingen weergegeven van berekening 1.2.

Tabel 4.2 Belastingen berekening 1.2

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
eigen gewicht wand	8,2	0,9	7,4
eigen gewicht vloer	22,5	0,9	20,3
owb vloer	24,0	0,9	21,6
kleilaag	7,8	0,9	7,0
opwaartse waterdruk*	-71,0	1,0	-71,0
opwaartse waterdruk variabel*	-10,0	1,5	-15,0
totaal	-18,5	-	-29,7

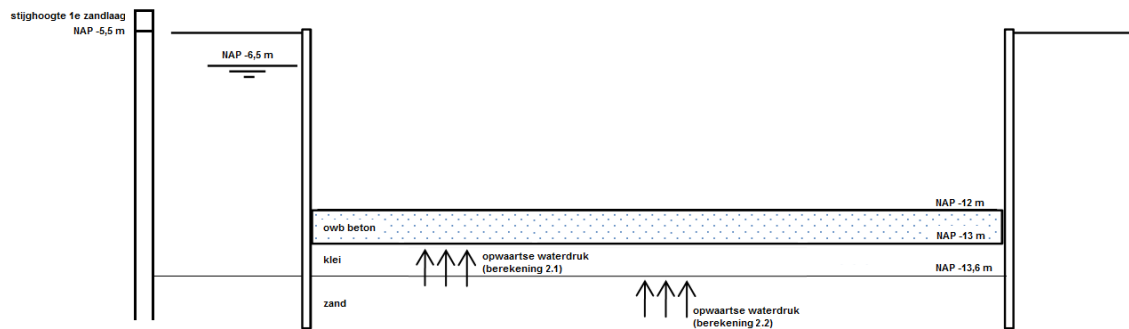
* opwaartse waterdruk: (NAP -5,5 m - NAP -13,6 m) x 10 kN/m³ = 81 kN/m²

De opwaartse druk van 29,7 kN/m² is niet maatgevend ten opzichte van de berekende opwaartse druk in situatie 1.1 (32,3 kN/m²).

4.1.2 Bouwfase

In de bouwfase is trek maatgevend ten opzichte van druk. Het paalstramien wordt op basis van de trekbelasting bepaald. Ook in de bouwfase dienen twee situaties beschouwd te worden om het maatgevende paalstramien te bepalen. In de eerste situatie (2.1) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de onderwaterbetonvloer geplaatst en in de tweede situatie (2.2) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de kleilaag geplaatst.

Afbeelding 4.2 Doorsnede tunnelbak De Rotte - Bouwfase (zonder dek)



De situatie waarbij de waterdruk tegen de onderzijde van de kleilaag wordt aangenomen (situatie 2.2) is maatgevend. De inschatting is dat een paalstramien van 2,4 m x 2,4 m benodigd is. De bouwfase is dus maatgevend voor het ontwerp van de paalfundering.

Situatie 2.1 (bouwfase)

In Tabel 4.3 zijn de belastingen weergegeven van berekening 2.1.

Tabel 4.3 Belastingen berekening 2.1

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
owb vloer	24,0	0,9	21,6
opwaartse waterdruk*	-67,0	1,0	-67,0
totaal	-43,0	-	-45,4

* opwaartse waterdruk: (NAP -6,5 m - NAP -13,2 m) x 10 kN/m³ = 67 kN/m²

De opwaartse druk van 45,4 kN/m² is maatgevend ten opzichte van de berekende opwaartse druk in berekening 1.1 (32,3 kN/m²). Met een paalstramien van 2,6 m x 2,6 m wordt het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden (45,4 kN/m² x 2,6 m x 2,6 m = 307 kN).

Indien het paalstramien van de eindsituatie (3,1 m x 3,1 m) ook in de bouwfase toegepast wordt, moet bemaling van de kleilaag plaats vinden. Wanneer de grondwaterstand van NAP -6,5 m verlaagd wordt naar NAP -7,8 m wordt de opwaartse druk 32,4 kN/m² wat ongeveer overeenkomt met de opwaartse druk van berekening 1.1. Er wordt aangenomen dat de damwanden reiken tot in het zand, waardoor bemaling van de kleilaag geen nadelig effect heeft op de omgeving. Wanneer de damwanden niet reiken tot de zandlaag moet het effect van de bemaling op de omgeving onderzocht worden.

Situatie 2.2 (bouwfase)

In Tabel 4.4 zijn de belastingen weergegeven van berekening 2.2.

Tabel 4.4 Belastingen berekening 2.2

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
owb vloer	24,0	0,9	21,6
kleilaag	7,8	0,9	7,0
opwaartse waterdruk*	-81,0	1,0	-81,0
totaal	-57,0	-	-52,4

* opwaartse waterdruk: (NAP -5,5 m - NAP -13,6 m) x 10 kN/m³ = 81 kN/m²

De opwaartse druk van 52,4 kN/m² is maatgevend ten opzichte van de berekende opwaartse druk in berekening 1.1 (32,3 kN/m²). Met een paalstramien van 2,5 m x 2,5 m wordt het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden (52,4 kN/m² x 2,4 m x 2,4 m = 302 kN).

Indien het paalstramien van de eindsituatie (3,1 m x 3,1 m) ook in de bouwfase toegepast wordt, moet bemaling van de zandlaag plaats vinden. Wanneer de stijghoogte van NAP -5,5 m verlaagd wordt naar NAP -7,5 m wordt de opwaartse druk 32,4 kN/m² wat ongeveer overeenkomt met de opwaartse druk van berekening 1.1.

4.1.3 Samenvatting

De bouwfase is maatgevend voor het ontwerp van de paalfundering. Om de eindsituatie maatgevend te laten worden moet de stijghoogte van de zandlaag tijdelijk zodanig verlaagd worden dat een paalstramien van 3,1 m x 3,1 m in de bouwfase toegepast kan worden. Er is berekend dat hiervoor een stijghoogte verlaging van 2,0 m nodig is tot een niveau van NAP -7,5 m. Tegelijkertijd moet ook voorkomen worden dat de druk in de kleilaag onder de vloer maatgevend wordt. Hierdoor moet ook bemaling van de kleilaag plaats vinden. De grondwaterstand in de kleilaag moet van NAP -6,5 m naar NAP -7,8 m verlaagd worden. Doordat de kleilaag door de damwanden is geïsoleerd van de omgeving is dit eenvoudig te realiseren. Wanneer de damwanden niet reiken tot de zandlaag moet het effect van de bemaling van de kleilaag op de omgeving onderzocht worden.

In Tabel 4.5 is een samenvatting weergegeven van de berekeningen van de Rotte.

Tabel 4.5 Samenvatting paalstramien de Rotte

	Eindsituatie zonder bemalen	Bouwfase zonder bemalen	Bouwfase met bemalen
opwaartse druk 1	32,3 kN/m ² (3,1 m x 3,1 m)	45,4 kN/m ² (2,6 m x 2,6 m)	32,4 kN/m ² (3,1 m x 3,1 m)
opwaartse druk 2	29,7 kN/m ² (3,2 m x 3,2 m)	52,4 kN/m ² (2,4 m x 2,4 m)	32,4 kN/m ² (3,1 m x 3,1 m)

Zonder bemaling moet een paalstramien van minimaal 2,4 m x 2,4 m aangehouden worden.

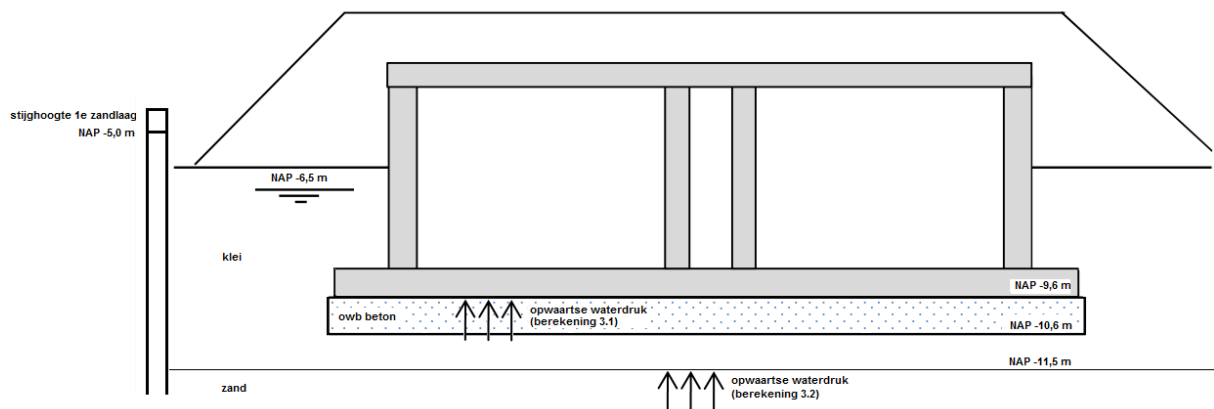
4.2 Lage Bergse Bos

Voor de tunnelbak in het Lage Bergse Bos is voor de eindsituatie en de bouwphase het paalstramien bepaald zowel met als zonder bemaling. In paragraaf 4.2.3 is de samenvatting weergegeven.

4.2.1 Eindsituatie

Doordat de tunnelbak half verdiept ligt is in de eindsituatie druk maatgevend ten opzichte van trek (zie berekening 3.1 en 3.2). Het paalstramien is op basis van de drukbelasting bepaald, en is 3,3 m x 3,3 m. Er zijn twee situaties voor trek in de eindsituatie beschouwd om het maatgevende paalstramien te bepalen. In de eerste situatie (3.1) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de constructievloer geplaatst en in de tweede situatie (3.2) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de kleilaag geplaatst. Beide situaties zijn niet maatgevend ten opzichte van druk.

Afbeelding 4.3 Doorsnede tunnelbak Lage Bergse Bos - Eindsituatie



Situatie 3.1 (eindsituatie)

In Tabel 4.6 zijn de belastingen weergegeven van berekening 3.1. Het eigen gewicht van de constructie is bepaald in de berekening weergegeven in bijlage I.

Tabel 4.6 Belastingen berekening 3.1

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
eigen gewicht dek	22,5	0,9	20,3
eigen gewicht wand	8,1	0,9	7,3
eigen gewicht vloer	23,8	0,9	21,4
opwaartse waterdruk*	-21,0	1,0	-21,0
opwaartse waterdruk	-0,5	1,0	-0,5

Onderdeel	Gewicht (Frep) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (Fd) [kN/m ²]
opwaartse waterdruk variabel*	-10,0	1,5	-15,0
totaal	22,9	-	12,5

* opwaartse waterdruk: (NAP -6,5 m - NAP -9,6 m) x 10 kN/m³ = 31 kN/m²

Uit deze berekening volgt dat druk in de eindsituatie maatgevend is voor het paalstramien.

Situatie 3.2 (eindsituatie)

In Tabel 4.7 zijn de belastingen weergegeven van berekening 3.2.

Tabel 4.7 Belastingen berekening 3.2

Onderdeel	Gewicht (Frep) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (Fd) [kN/m ²]
eigen gewicht dek	22,5	0,9	20,3
eigen gewicht wand	8,1	0,9	7,3
eigen gewicht vloer	23,8	0,9	21,4
owb vloer	24,0	0,9	21,6
kleilaag	11,7	0,9	10,5
opwaartse waterdruk*	-55,0	1,0	-55,0
opwaartse waterdruk variabel*	-10,0	1,5	-15,0
totaal	25,1	-	11,1

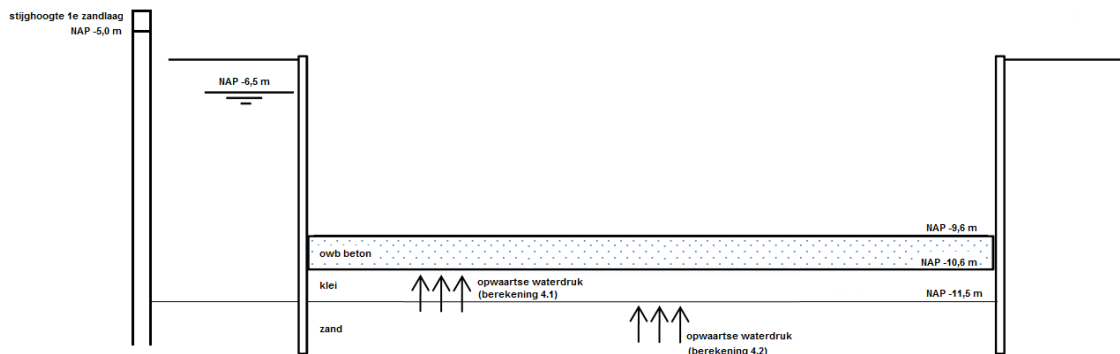
* opwaartse waterdruk: (NAP -5,0 m - NAP -11,5 m) x 10 kN/m³ = 65 kN/m²

Uit deze berekening volgt dat druk in de eindsituatie maatgevend is voor het paalstramien.

4.2.2 Bouwfase

In de bouwfase is trek maatgevend ten opzichte van druk. Ook in de bouwfase dienen twee situaties beschouwd te worden om het maatgevende paalstramien te bepalen. In de eerste situatie (4.1) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de onderwaterbetonvloer geplaatst en in de tweede situatie (4.2) wordt de opwaartse waterdruk op de onderkant van de kleilaag geplaatst.

Afbeelding 4.4 Doorsnede tunnelbak Lage Bergse Bos - Bouwfase



De situatie met de waterdruk tegen de onderkant van de kleilaag (situatie 4.1) is maatgevend. De inschatting is dat een paalstramien van 3,1 m x 3,1 m benodigd is. De bouwfase is dus maatgevend voor het ontwerp van de paalfundering.

Situatie 4.1 (bouwfase)

In Tabel 4.8 zijn de belastingen weergegeven van berekening 4.1.

Tabel 4.8 Belastingen berekening 4.1

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
owb vloer	24,0	0,9	21,6
opwaartse waterdruk*	-43,0	1,0	-43,0
totaal	-19,0	-	-21,4

* opwaartse waterdruk: (NAP -6,5 m - NAP -10,8 m) x 10 kN/m³ = 43 kN/m²

De opwaartse druk van 21,4 kN/m² is niet maatgevend ten opzichte van de neerwaartse drukbelasting. De neerwaartse drukbelasting leidt namelijk tot een paalstramien van 3,3 m x 3,3 m. De opwaartse druk leidt tot een paalstramien van 3,8 m x 3,8 m, zodat het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden wordt (21,4 kN/m² x 3,8 m x 3,8 m = 310 kN).

Situatie 4.2 (bouwfase)

In Tabel 4.9 zijn de belastingen weergegeven van berekening 4.2.

Tabel 4.9 Belastingen berekening 4.2

Onderdeel	Gewicht (F _{rep}) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (F _d) [kN/m ²]
owb vloer	24,0	0,9	21,6

Onderdeel	Gewicht (Frep) [kN/m ²]	Factor voor trek	Belasting maatgevend voor trek (Fd) [kN/m ²]
kleilaag	11,7	0,9	10,5
opwaartse waterdruk*	-65,0	1,0	-65,0
totaal	-29,3	-	-32,9

* opwaartse waterdruk: (NAP -5,0 m - NAP -11,5 m) x 10 kN/m³ = 65 kN/m²

De opwaartse druk van 32,9 kN/m² is maatgevend ten opzichte van neerwaartse drukbelasting. De opwaartse druk leidt namelijk tot een paalstramien van 3,1 m x 3,1 m. Met dit paalstramien wordt het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden (32,9 kN/m² x 3,1 m x 3,1 m = 316 kN).

Indien het paalstramien van de eindsituatie (3,3 m x 3,3 m) ook in de bouwfase toegepast wordt, moet bemaling van de zandlaag plaats vinden. Wanneer de stijghoogte van NAP -5,0 m verlaagd wordt naar NAP -5,4 m wordt de opwaartse druk 28,9 kN/m². Met een paalstramien van 3,3 m x 3,3 m wordt het trekdraagvermogen van de paal (320 kN) niet overschreden (28,9 kN/m² x 3,3 m x 3,3 m = 315 kN).

4.2.3 Samenvatting

De bouwfase is maatgevend voor het ontwerp van de paalfundering. Om de eindsituatie maatgevend te laten worden moet de stijghoogte van de zandlaag tijdelijk zodanig verlaagd worden dat een paalstramien van 3,3 m x 3,3 m in de bouwfase toegepast kan worden. Er is berekend dat hiervoor een stijghoogte verlaging van 0,4 m nodig is tot een niveau van NAP -5,4 m.

In Tabel 4.10 is een samenvatting weergegeven van de berekeningen van het Lage Bergse Bos.

Tabel 4.10 Samenvatting paalstramien de Rotte

	Eindsituatie zonder bemalen	Bouwfase zonder bemalen	Bouwfase met bemalen
Opwaartse druk 1	- (3,3 m x 3,3 m)	21,4 kN/m ² (3,8 m x 3,8 m)	-
Opwaartse druk 2	- (3,3 m x 3,3 m)	32,9 kN/m ² (3,1 m x 3,1 m)	28,9 kN/m ² (3,3 m x 3,3 m)

Zonder bemaling moet een paalstramien van minimaal 3,1 m x 3,1 m aangehouden worden.

Colofon

VERKENNENDE GEOHYDROLOGISCHE ANALYSE A16 ROTTERDAM

OPDRACHTGEVER:

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

ir. D.A. Brakenhoff
ir. H.D.C. Meuwese

GECONTROLEERD DOOR:

drs.ing. A. Balla

VRIJGEGEVEN DOOR:

drs.ing. A. Balla

12 april 2016

P/a
ARCADIS NEDERLAND BV
Lichtenauerlaan 100
Postbus 4205
3006 AE Rotterdam
Tel 010 2532 222
Fax 010 434 1398
www.arcadis.nl
Handelsregister 09036504