



# Actualisatie MER A27/A12 Ring Utrecht

Bijlagerapport: 'Grondwatermodellering verdiepte ligging A27'

Rijkswaterstaat - Grote Projecten en Onderhoud

29 mei 2020

Project Actualisatie MER A27/A12 Ring Utrecht  
Opdrachtgever Rijkswaterstaat - Grote Projecten en Onderhoud

Document Bijlagerapport 'Grondwatermodellering verdiepte ligging A27'  
Status Definitief  
Datum 29 mei 2020  
Referentie 117467/20-008.347

Projectcode 117467  
Projectleider ir. J.S de Leeuw  
Projectdirecteur ir. O.G. Schepers

Auteur(s) M.C. Asschert MSc  
Gecontroleerd door ir. T.H. van Wee  
Goedgekeurd door ir. J.S de Leeuw

Paraaf 

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.  
Leeuwenbrug 8  
Postbus 233  
7400 AE Deventer  
+31 (0)570 69 79 11  
www.witteveenbos.com  
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	6
1.3	Vertrekpunt modellering	6
1.4	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN MODELLEERING</b>	<b>8</b>
2.1	Keuze software	8
2.2	Keuze modelbegrenzing en resolutie	8
2.3	Keuze temporele discretisatie	9
<b>3</b>	<b>BODEMOPBOUW</b>	<b>10</b>
3.1	Geohydrologisch systeem	10
3.2	Lagenmodel	11
3.3	Geohydrologische schematisatie	11
	3.3.1 Deklaag	13
	3.3.2 Eerste watervoerend pakket	14
	3.3.3 Scheidende laag (Wak1 formatie)	16
	3.3.4 Tweede watervoerend pakket	17
3.4	Pompproef 2018	19
	3.4.1 Veldonderzoek 2019 Wak1 Formatie	19
	3.4.2 Calamiteiten onttrekking waterproductielocatie Cornelis Biemond te Nieuwegein	20
<b>4</b>	<b>HYDROLOGISCHE MODELRANDVOORWAARDEN</b>	<b>21</b>
4.1	Onder- en zijrand	21
4.2	Oppervlaktewaterpeilen	23
	4.2.1 Watergangen	23
	4.2.2 Kanalen	26
4.3	Grondwateraanvulling	27
4.4	Drainage	28

4.5	Grondwateronttrekkingen	28
<b>5</b>	<b>TOETSING AAN PRAKTIJKMETINGEN</b>	<b>30</b>
5.1	Calamiteiten winning	30
5.2	Toetsing aan peilbuisdata	32
5.3	Toetsing isohypsen patronen provincie Utrecht	35
5.4	Controle fluxen met de waterbalans	36
	5.4.1 Totale waterbalans model	36
	5.4.2 Modelfluxen van de waterbalans per zone	36
5.5	Conclusie	38
<b>6</b>	<b>REFERENTIESITUATIE</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>GEOHYDROLOGISCHE EFFECTEN</b>	<b>44</b>
7.1	Bouwfase	44
	7.1.1 Bemaling	44
	7.1.2 Bemaling met retourbemaling	45
	7.1.3 Bemaling met schermwand	47
	7.1.4 Retourbemaling met schermwand	50
7.2	Gebruiksfase	54
<b>8</b>	<b>GEVOELIGHEIDSANALYSES</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>61</b>
	Laatste pagina	61
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Kwaliteitscontrole quickscan modellering MER-actualisatie model Deltares	3

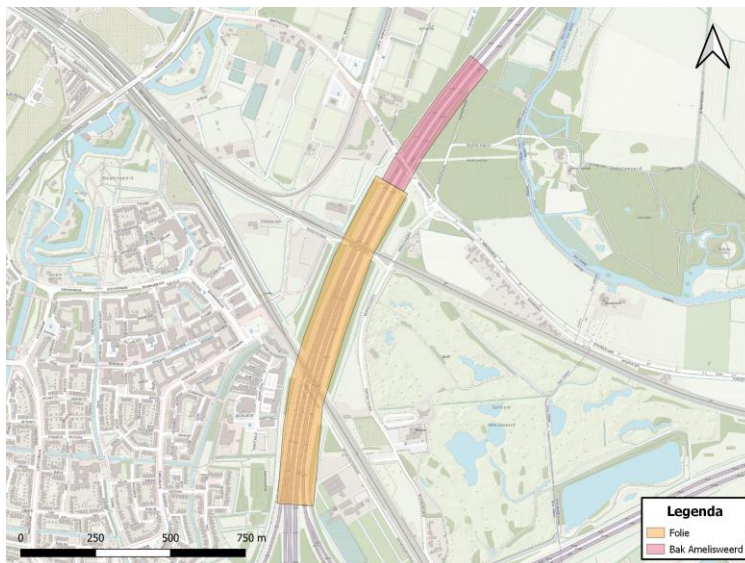
# 1

## INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

De snelweg A27 ligt bij Utrecht gedeeltelijk onder grondwaterniveau. Als de weg hier in de toekomst wordt verbreed, moet de rijbaan droog blijven, ook tijdens de werkzaamheden. Het hoge grondwaterpeil in een groot deel van Nederland vraagt om inventieve oplossingen bij bouwprojecten. Zo ook bij de aanleg van de A27 bij Utrecht in de jaren 80. Tussen de knooppunten Lunetten en Rijnsweerd werd de weg verdiept aangelegd, onder het grondwaterniveau. Het noordelijk deel van de verdiepte A27 werd daarom in een betonnen bakconstructie aangelegd. Onder het zuidelijk deel kwam een kunststof folie. De ligging van de folie en betonnen bak is in onderstaand afbeelding weergegeven.

Afbeelding 1.1 Ligging folie en betonnen bak



Rijkswaterstaat heeft in 2016 een milieueffectrapport (MER) opgesteld om de milieugevolgen van het project A27/A12 Ring Utrecht in beeld te brengen. Hierin worden 5 bouwmethoden beschreven voor de verdiepte ligging van de A27 tussen de knooppunten Lunetten en Rijnsweerd, waaronder de bouwmethode bemaling.

Door vernietiging van het Tracébesluit dient het MER op een aantal onderdelen te worden geactualiseerd. Door de actualisatie is het mogelijk de nieuwste inzichten uit onderzoeken (2016-2019) mee te nemen en rekening te houden met de bestuurlijke afspraken. In de periode 2016-2019 is ook een uiteenzetting gedaan voor de mogelijk bouwmethodes met bijbehorende risicoprofielen. Hierbij is de bouwmethode bemaling met als beheersmaatregel schermwand met kleinschalige retourbemaling naar voren gekomen als methode met het laagste risicoprofiel.



Voor de actualisatie van het MER is inzicht nodig in de milieueffecten van de bouwmethode bemaling met de mitigerende beheersmaatregel schermwand.

## 1.2 Doel

Voor het kunnen berekenen van de grondwatereffecten van de verbreding van de verdiepte ligging en het kunnen analyseren van de invloed van mitigerende maatregelen op de grondwaterstand in de omgeving is een grondwatermodel ontwikkeld.

Het grondwatermodel dient in relatie tot de MER-actualisatie verdiepte ligging inzicht te kunnen geven in:

- grondwatereffecten van de bouwmethode bemaling;
- beheersbaarheid van de grondwatereffecten middels mitigerende maatregelen.

## 1.3 Vertrekpunt modellering

Deltares heeft een modelinstrumentarium ontwikkeld (Deltares, 2019). Het Deltares model is gekalibreerd en gevalideerd op gemeten grondwaterniveaus in alle watervoerende pakketten (incl. freatisch pakket). Daarnaast heeft Deltares ook een kalibratie en validatie gedaan op grootschalige ingrepen. De overige randen zijn beoordeeld op aannemelijkheid (o.a. MetaSwap).

Witteveen en Bos heeft het door kennisinstituut Deltares ontwikkelde modelinstrumentarium en bijbehorende brondata als basis gebruikt voor nadere ontwikkeling van het grondwatermodel. Hiervoor zijn van Deltares het ondergrondmodel en de randvoorwaarden (stijghoogten randen, en grondwateraanvulling bovenrand) ontvangen. Deltares heeft het door Witteveen+Bos verder ontwikkelde grondwatermodel vervolgens nogmaals op kwaliteit beoordeeld. Verslaglegging van deze kwaliteitscontrole is te vinden in bijlage I.

## 1.4 Leeswijzer

De modelrapportage voor de MER-actualisatie ring Utrecht bestaat in zijn totaliteit uit 9 hoofdstukken. In tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de inhoud per hoofdstuk.

Tabel 1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk	Inhoud
1. Inleiding	Beschrijving van de aanleiding, het doel en de algemene uitgangspunten voor start van de grondwatermodellering
2. Uitgangspunten	keuze model software, modelgebied en tijdsafhankelijkheid model
3. Bodemopbouw	Uiteenzetting van de input voor het ondergrondmodel en bodemopbouw toegepast in de modellering
4. Hydrologische randvoorwaarden	Overzicht van de hydrologische randvoorwaarden in de modellering
5. Toetsing aan praktijkmetingen	Overzicht van de kwaliteitstoetsing van de modellering op basis van peilbuismetingen, waterbalansen en vergelijking aan isohypsen
6. Referentiesituatie	Weergave van de berekende grondwaterstanden in de referentiesituatie
7. Geohydrologische effecten	Resultaten voor de bouwfase van de effectberekeningen met inpassing van een bemaling inclusief en exclusief

Hoofdstuk	Inhoud
	retourbemaling zonder schermwand en met schermwand. Resultaten van de effectenberekeningen na uitvoering van de werkzaamheden met achterblijvende schermwand.
8. Gevoeligheidsanalyse	Analyse omtrent berekeningen voor een zomergemiddelde-, wintergemiddelde- en jaargemiddelde situatie ten behoeve van de opstuwning tegen de schermwand na uitvoering
9. Referenties	Overzicht van de bronnen gebruikt in de rapportage

# 2

## UITGANGSPUNTEN MODELLERING

### 2.1 Keuze software

Het grondwatermodel is opgebouwd in IMOD en rekt met de executables van IMOD versie 5.0 (Vermeulen, et al., december 2019). Onderliggend aan IMOD wordt gebruik gemaakt van MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005). Hiermee wordt de verzadigde grondwaterstroming berekend.

### 2.2 Keuze modelbegrenzing en resolutie

De horizontale modelbegrenzing is gekozen op basis van de locatie van het focusgebied en de spreidingslengte. De spreidingslengte, gedefinieerd met  $\lambda$ , betreft de maat waarover een ingreep op het hydrologisch systeem uitdempt. Deze lengte wordt bepaald aan de hand van de doorlatendheden en weerstanden. Deze horizontale modelbegrenzing is gegeven in afbeelding 2.1. In afbeelding 2.1 is op basis van 5 keer de spreidingslengte een modelrand op het horizontaal vlak gedefinieerd. Deze definitie voorkomt een randeffect in de modellering. In het zuidwesten is ten behoeve van hydrologische grenzen en de aanwezige kanalen 6 keer de spreidingslengte aangehouden.

De rekenresolutie is variabel met behulp van IMOD. In de resulterende modellering is gebruik gemaakt van modelcellen met een formaat van 10 bij 10 meter voor de resultaten. Bij grote iteratieslagen is ten behoeve van de rektijd ook gebruik gemaakt van 25 bij 25 meter cellen. Resultaten uit de analyses worden altijd op een resolutie van 10 bij 10 meter uitgevoerd.



Afbeelding 2.1 Weergave modelbegrenzing



### 2.3 Keuze temporele discretisatie

Voor de grondwatermodellering wordt gewerkt van grof naar fijn ofwel 'hoofdlijn' naar 'detail'. Nu is voor de MER-actualisatie A27/A12 Ring Utrecht gewerkt met een stationair grondwatermodel, welke zich in de fase op 'hoofdlijn' bevindt. Een stationair model geeft in het kader van de MER-actualisatie voldoende inzicht in de mate van grondwatereffecten van de bouwmethode bemaling en de beheersbaarheid van deze grondwatereffecten middels mitigerende maatregelen.

Indien het aanbestedend consortium kiest voor een bouwmethode met bemaling dient nog een MER en vergunningsaanvraag te worden opgesteld. Hierbij dienen door de aannemende consortium t.z.t. de (grondwater)effecten duidelijk beschreven te worden en te worden gewerkt met tijdsafhankelijke / dynamische processen.

De modellering is opgezet middels een stationaire benadering van een jaargemiddelde situatie. Middels een gevoeligheidsanalyse worden voor de gebruiksfase de invloed van de seizoeneffecten (zomer- en wintersituatie) op de berekende gemiddelde grondwatereffecten beschouwd.

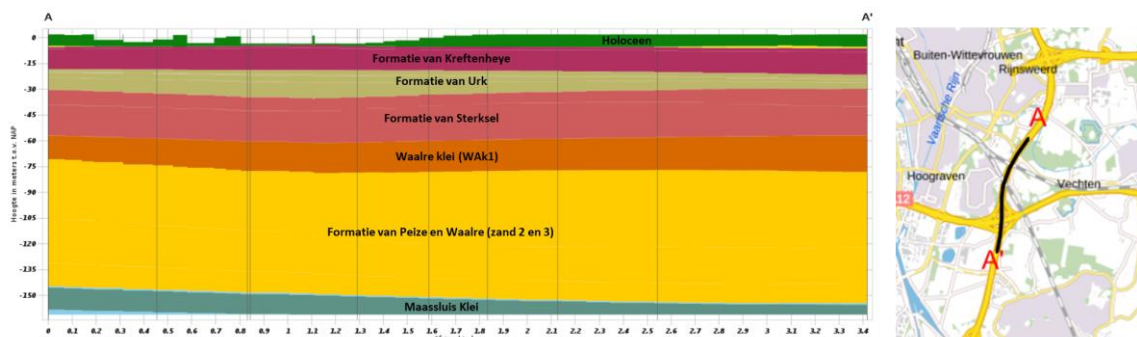
# 3

## BODEMOPBOUW

### 3.1 Geohydrologisch systeem

Het geohydrologisch systeem bij de Ring Utrecht is globaal opgebouwd uit een Holocene pakket, 1<sup>ste</sup> en 2<sup>de</sup> watervoerend pakket en tussen deze watervoerende pakketten is een scheidende laag aanwezig. Binnen deze globale opbouw zijn verscheidene formaties aanwezig. De formaties aanwezig zijn als volgt:

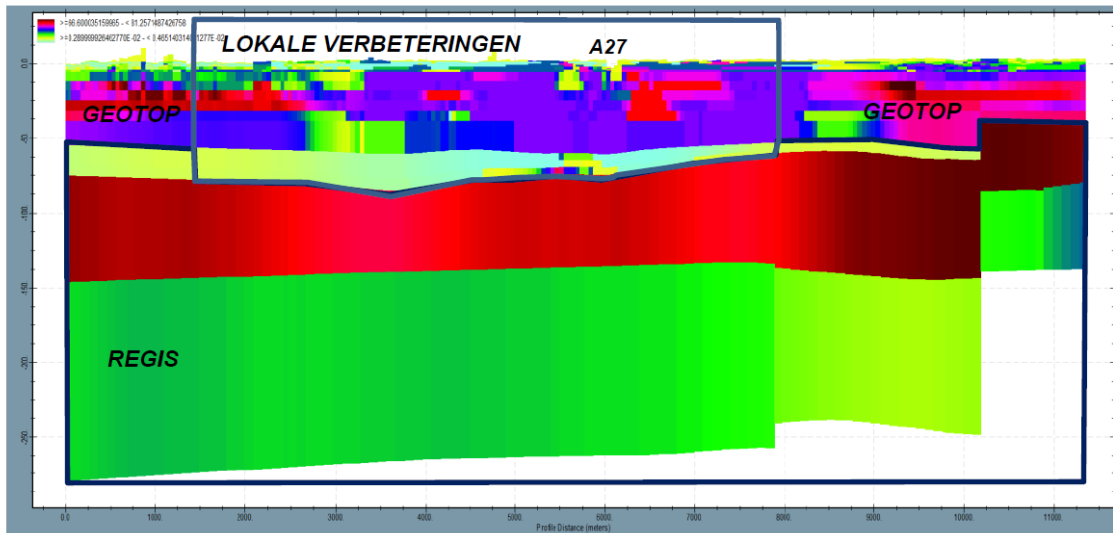
- Holocene pakket
  - Deze bestaat uit de Formatie van Echteld en de Formatie van Nieuwkoop. Respectievelijk omvatten deze lagen rivierafzettingen van meanderende rivieren en veen.
- Formatie van Kreftenheye
  - De grondeigenschappen zijn een matig tot grof zand. Hier kunnen enige grindige eigenschappen aan vast zitten. De overgang naar de onderliggende Formatie van Urk gaat meestal met een grindlaag.
- Formatie van Urk
  - Deze formatie wordt gedefinieerd met een fijn tot grof zandlaag. Hier zijn ook enige grindige eigenschappen aanwezig.
- Formatie van Sterksel
  - Twee soorten eigenschappen tekenen deze formatie. Een fijn tot grof (grindig) zand en kleilagen. Deze eigenschappen komen voort uit respectievelijk rivier- en oever afzettingen.
- Formatie van Waalre
  - In de Formatie van Waalre is de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerend pakket aanwezig. De Formatie wordt getekend door een boven en onder pakket. Het onder pakket bestaat uit de doorlatende onderdelen met een fijn tot grof zand. Het boven pakket wordt beschreven met klei, silt en zand eigenschappen. De variërende eigenschappen komen voort uit fluviaatiele en estuariëne afzettingen van de Rijn.
- Formatie van Maasluis
  - Aanwezig als het tweede watervoerende pakket en geohydrologische basis met eerst fijn tot grof zand en afsluitend een kleiige eenheid.



### 3.2 Lagenmodel

In afbeelding 3.1 is een overzicht gegeven van de inpassingen in het ondergrondmodel. Dit ondergrondmodel maakt gebruik van een systeem met 55 lagen. Deze reikt tot de bodem van de WAK1-formatie. Lokaal zijn verbeteringen ter plaatse van het focusgebied bij en rond de verdiepte ligging ingebracht. Een gedetailleerde beschrijving van de methodiek voor de constructie en parameterisatie van het ondergrondmodel is gegeven in Deltares (2019) en Forzoni & Hijma (2019).

Afbeelding 3.1 West naar oost doorsnede van het modelgebied met een overzicht van de ingepaste bronnen. Kleuren geven een indicatie van de variatie in doorlatendheid (m/d). (Deltares, 2019)



### 3.3 Geohydrologische schematisatie

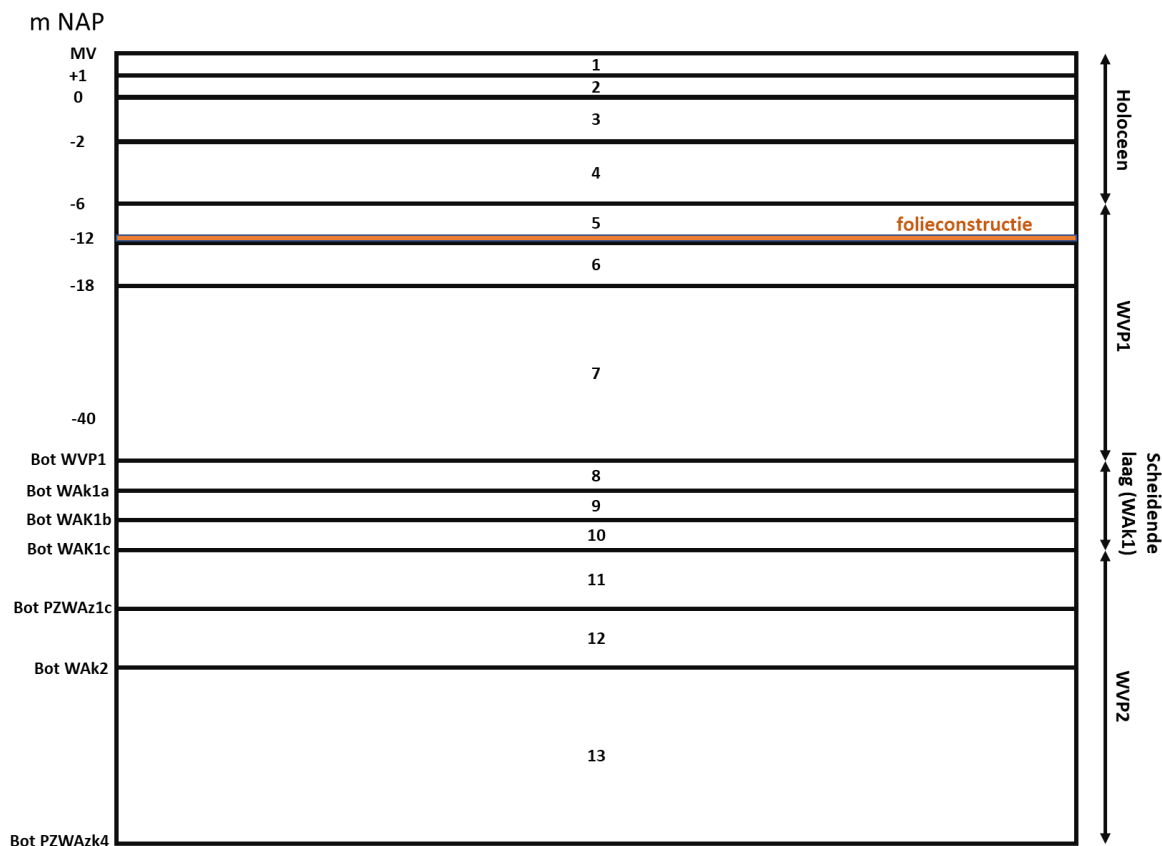
Voortkomend uit het ondergrondmodel is een IMODFLOW-model van 13 lagen geschematiseerd. De laagopbouw is gegeven in afbeelding 3.2 en tabel 3.1. In de laagopdeling is rekening gehouden met de variatie in doorlatendheden. In de modellering bestaat elke geohydrologische laag (deklaag, WVP1, scheidende laag, WVP2) uit minimaal 3 lagen. De opschaling van het ondergrondmodel met zijn parameterisatie heeft plaatsgevonden op basis van gewogen gemiddeldes.

Tabel 3.1 Overzicht eigenschappen lagen ondergrond in de grondwatermodellering

Modellaag	Bovenkant laag	Onderkant laag	Beschrijving	Laagnummer ondergrondmodel
1	AHN3	+1 NAP	Holoceen	1
2	+1 NAP	0 NAP	Holoceen	2
3	0 NAP	-2 NAP	Holoceen	3 & 4
4	-2 NAP	-6 NAP	Holoceen	5 - 8
5	-6 NAP	-12 NAP	WVP1	9 - 14
6	-12 NAP	-18 NAP	WVP1	15 - 20
7	-18 NAP	Bot WVP1	WVP1	21 - 46
8	Bot WVP1	Bot WAK1a	WAK1 Formatie 1	47 - 49
9	Bot WAK1a	Bot WAK1b	WAK1 Formatie 1	50 - 52

Modellaag	Bovenkant laag	Onderkant laag	Beschrijving	Laagnummer ondergrondmodel
10	Bot WAK1b	Bot WAK1c	WAK1 Formatie 1	53 - 55
11	Bot WAK1c	Bot PZWAZ1c	WVP2	REGIS
12	Bot PZWAZ1c	Bot WAK2	WVP2	REGIS
13	Bot WAK2	Bot PZWAZ4	WVP2	REGIS

Afbeelding 3.2 Schematisatie lagenmodel grondwatermodellering

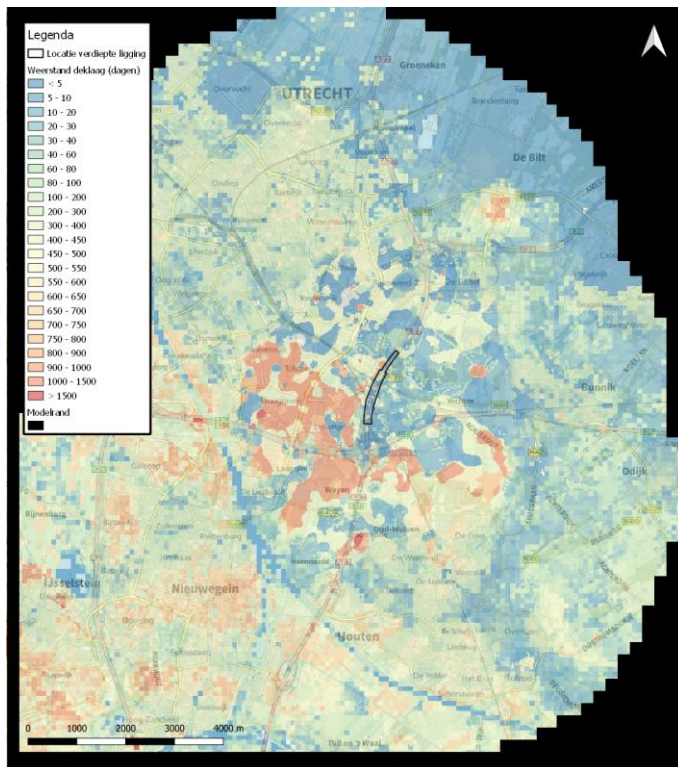


De lokale verbeteringen gegeven in afbeelding 3.1 bevatten de meest recent gewijzigde inzichten. De lokale verbetering is uitgevoerd met behulp van een in 2018 uitgevoerde pompproef, nader (veld)onderzoek in 2019 naar het voorkomen van de slecht doorlatende afzettingen van de WAK1 Formatie en de analyse van de calamiteiten onttrekking ter plaatse van waterproductielocatie Cornelis Biemond te Nieuwegein door Waternet in 2019. In de onderstaande paragrafen worden deze 3 inzichtonderdelen qua resultaten kort toegelicht. Een overzicht van de resulterende weerstanden en het doorlaatvermogen wordt gegeven in paragraaf 3.3.1 tot en met paragraaf 3.3.3.

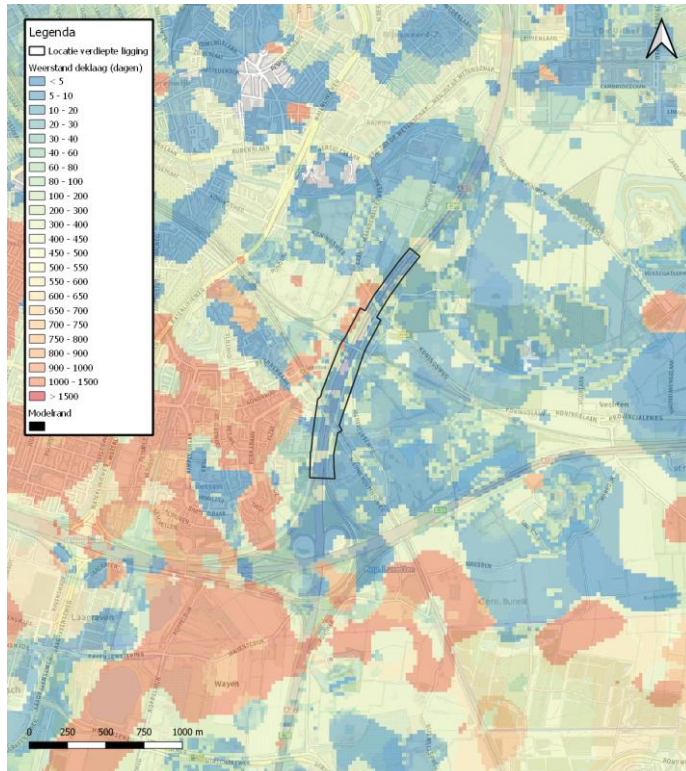
### 3.3.1 Deklaag

In afbeelding 3.3 en afbeelding 3.4 is een overzicht gegeven van de resulterende weerstanden van de deklaag in de grondwatermodellering.

Afbeelding 3.3 weerstand van de deklaag in dagen voor het gehele modelgebied



Afbeelding 3.4 weerstand van de deklaag voor het focusgebied bij de verdiepte ligging

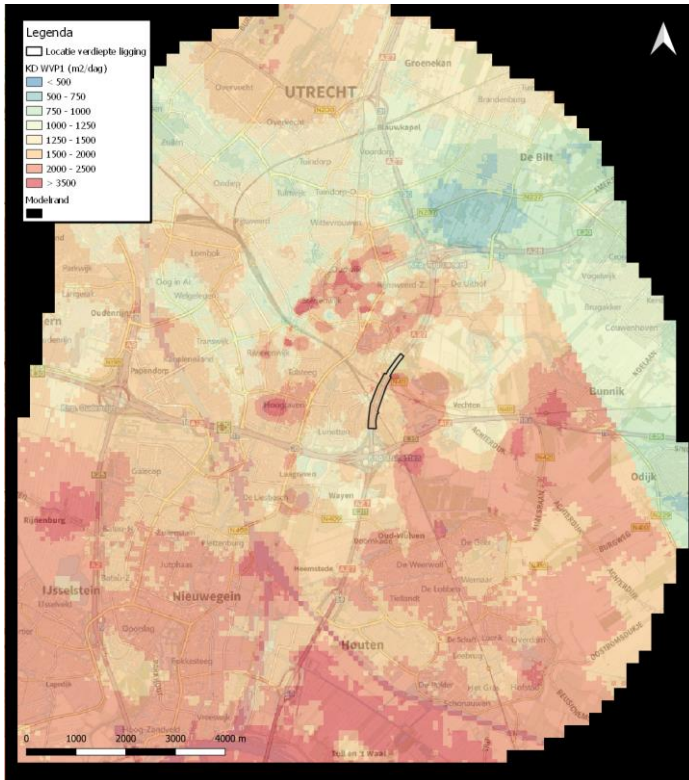


### 3.3.2 Eerste watervoerend pakket

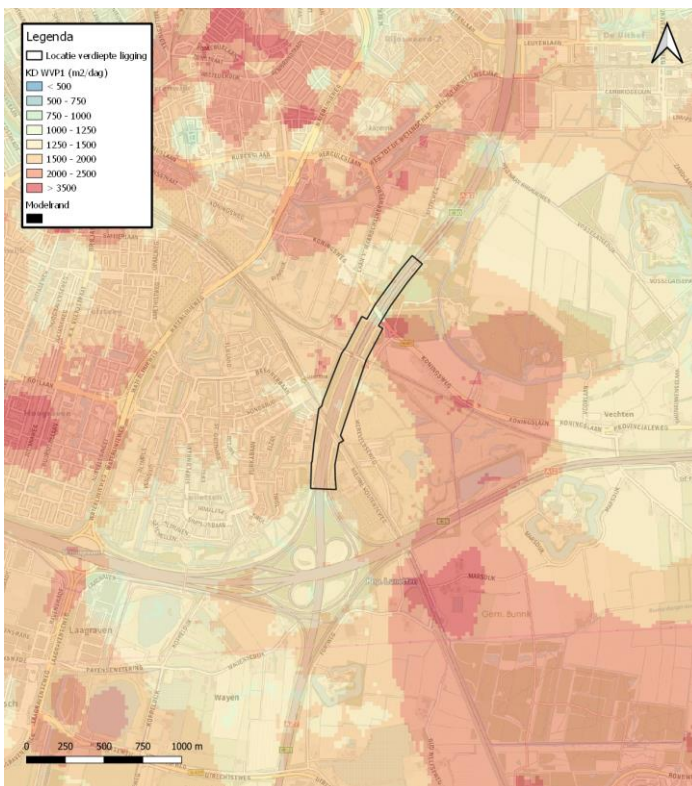
In afbeelding 3.5 en afbeelding 3.6 is een overzicht gegeven van de resulterende doorlatendheden van het eerste watervoerend pakket in de grondwatermodellering.



Afbeelding 3.5 totale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket in m<sup>2</sup>/dag voor het gehele modelgebied



Afbeelding 3.6 totale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket in m<sup>2</sup>/dag voor focus gebied bij de verdiepte ligging

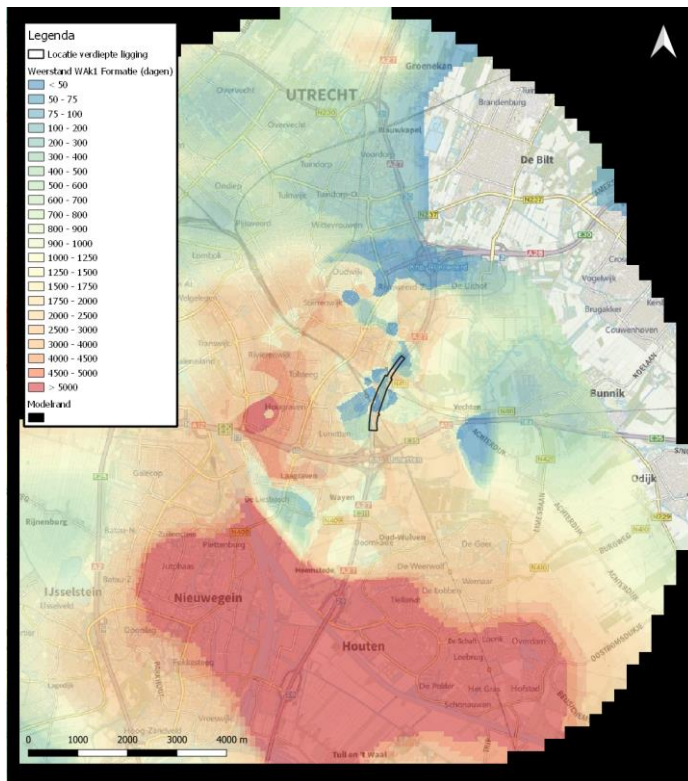




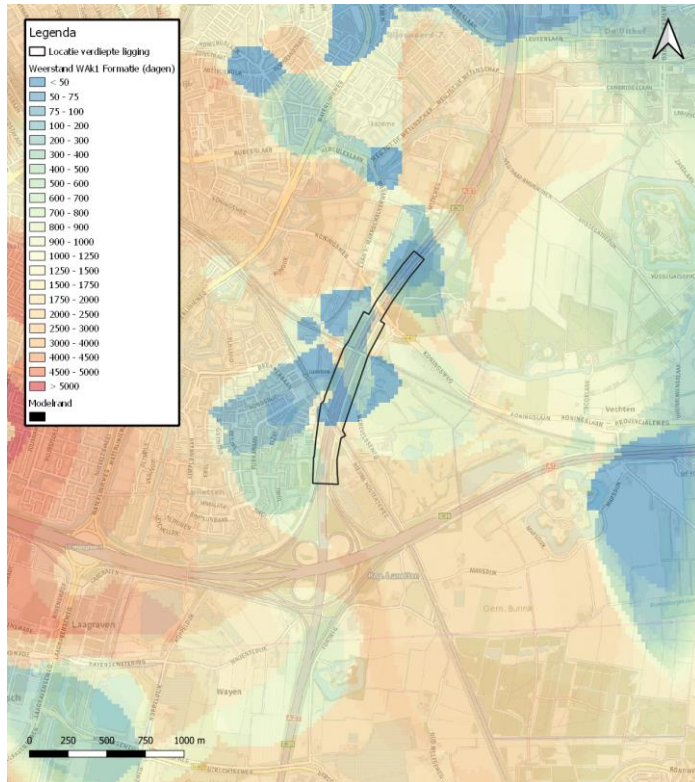
### 3.3.3 Scheidende laag (WAK1 formatie)

In afbeelding 3.7 en afbeelding 3.8 is een overzicht gegeven van de resulterende weerstanden van de WAK1 Formatie in de grondwatermodellering.

Afbeelding 3.7 weerstand van de WAK1 Formatie in dagen voor het gehele modelgebied



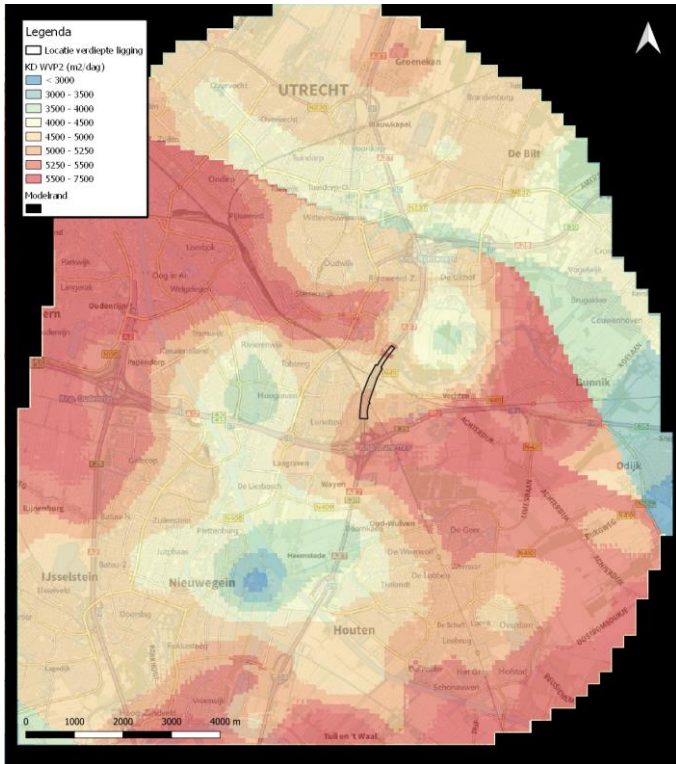
Afbeelding 3.8 weerstand van de WAK1 Formatie voor het focusgebied bij de verdiepte ligging



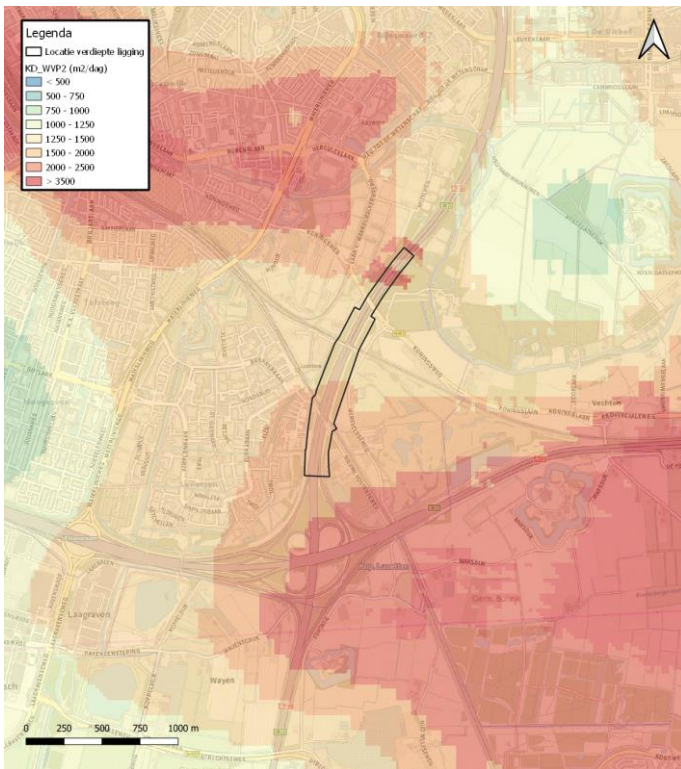
### 3.3.4 Tweede watervoerend pakket

In afbeelding 3.9 en afbeelding 3.10 is een overzicht gegeven van de resulterende doorlatendheden van het tweede watervoerend pakket in de grondwatermodellering.

Afbeelding 3.9 totale doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket in m<sup>2</sup>/dag voor het gehele modelgebied



Afbeelding 3.10 totale doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket in m<sup>2</sup>/dag voor focus gebied bij de verdiepte ligging





### 3.4 Pompproef 2018

Op het terrein tussen de rails ten westen van de spoorwegovergangen over de verdiepte ligging zijn in 2018 pompproeven uitgevoerd. De proeven zijn benut voor het afleiden van geohydrologische doorlatendheid parameters. De volgende resultaten werden gevonden:

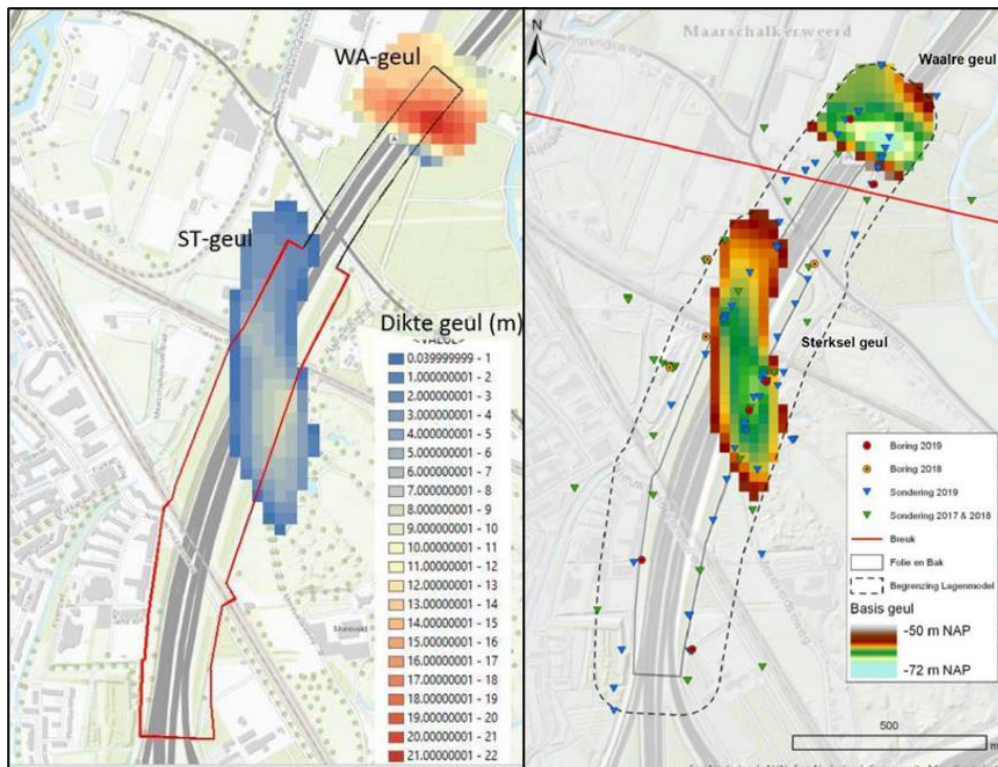
- het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket bleek hoger dan de initieel afgeleide  $1.800 \text{ m}^2/\text{dag}$ , namelijk  $2.400 \pm 300 \text{ m}^2/\text{dag}$ ;
- de weerstand van de Waalre-klei formatie (WAK1) is groot (naar verwachting 2.000 dagen)
- de bergings-coëfficiënt is klein (naar verwachting  $1,5 \cdot 10^{-3}$ )
- ook in de weerstand van de toplaag (naar verwachting 100 tot 250 dagen) zit een behoorlijk spreiding aangezien de locatie gesitueerd is op een overgang van een zandige toplaag in het oosten naar een gebied met komklei in het westen.

#### 3.4.1 Veldonderzoek 2019 WAK1 Formatie

Voor het verkrijgen van aanvullend inzicht in het verloop van de WAK1 Formatie 1 tot een diepte van -80 meter NAP is naast en onder de snelweg aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van diepe sonderingen en diepe boringen met peilbuizen. Met dit grondonderzoek is meer inzicht verkregen in de dikte van de WAK1 Formatie en de geulenstructuur die ter plaatse aanwezig is. Het volgende resultaat volgde uit het aanvullend grondonderzoek:

- de WAK1 Formatie bleek niet overal consistent te zijn. Lokaal werden watervoerende verstoringen gevonden als gevolg van de aanwezige geulen. Deze geulen, de Sterksel geul en Waalre geul, doorsneden de kleilaag respectievelijk gedeeltelijk en geheel. In afbeelding 3.11 is een overzicht gegeven;
- een relatief groot deel van de polderconstructie is gekenmerkt door aanwezigheid van de geulen (afbeelding 3.11). Doordat deze de kleilaag doorsnijden, resulteert dit in een afname van de verticale weerstand tegen de grondwaterstroming.

Afbeelding 3.11 overzicht afbeeldingen van de geul eigenschappen. Links eigenschappen dikte en rechts eigenschappen diepte



### 3.4.2 Calamiteiten onttrekking waterproductielocatie Cornelis Biemond te Nieuwegein

In juni 2019 heeft een zogenoemde calamiteitenonttrekking ter plaatse van waterproductielocatie Cornelis Biemond te Nieuwegein plaatsgevonden in verband met verontreinigingen op het Lekkanaal. Bij deze calamiteit heeft Waternet de mogelijkheid om grondwater te onttrekken uit het tweede watervoerende pakket, op enkele kilometers ten zuidwesten van het projectgebied A27. De onttrekking is gestart op 1 juni 2019 om 5:08 en is gestopt op 4 juni 2019 om 13:06. De onttrekking is daarmee circa 3 dagen in bedrijf geweest (met een gemiddeld debiet van 4.300 m<sup>3</sup>/uur). De interpretatie van deze calamiteitenwinning (vergelijken van de berekende en gemeten stijghoogtes boven en onder deWak1 Formatie) heeft nader inzicht gegeven in de bandbreedte van de weerstand van deWak1 Formatie ter plaatse van het projectgebied A27.

De interpretatie van de calamiteitenonttrekking heeft geleid tot plausibele verwachtingswaarden en ondergrenzen van de bodemweerstand in de geulstructuren. Voor de Waalre geul volgt als schatting voor de maximale, gemiddelde en minimale weerstand respectievelijk circa 3.280, 380 en 80 dagen. Voor de Sterksel geul zijn deze waarden respectievelijk circa 11.070, 770 en 60 dagen.

Door de interpretatie van de calamiteitenwinning en resultaten uit geologisch en geotechnisch onderzoeken heeft Deltares verwachtings- en minimale waarden van de doorlatendheden binnen de geulstructuren van de WAK1 Formatie (WAK1) kunnen afleiden. De resulterende waarden voor de weerstanden binnen de geulstructuren zijn vermeld in onderstaande tabel 3.2. In de modellering is gebruik gemaakt van alleen de worst case waarden. De dikgedrukte waarden in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Weerstanden voor de geulen in deWAK1 Formatie

	maximale waarde (best case)	verwachtingswaarde (verwachting praktijk)	minimale waarde (worst case)
Waalre geul	3.280 dagen	380 dagen	80 dagen
Sterksel geul	11.070 dagen	770 dagen	60 dagen

# 4

## HYDROLOGISCHE MODELRANDVOORWAARDEN

### 4.1 Onder- en zijrand

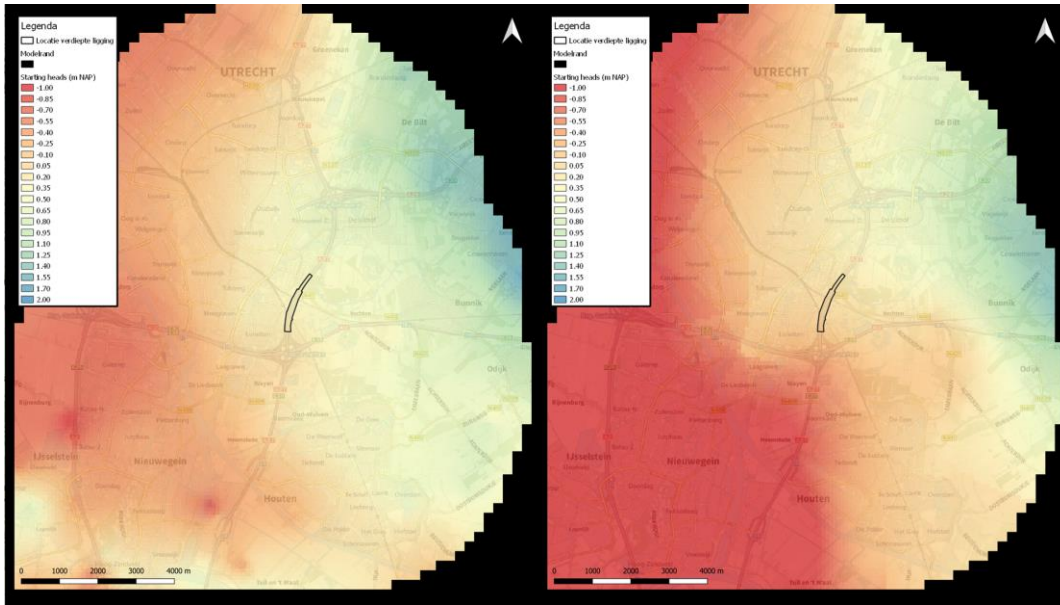
De onderrand, geohydrologische basis, van het model wordt gevormd voor de Formatie van Maasluis. Er worden ondoorlatende eigenschappen van deze basis beschouwd.

De zijranden van de modellering zijn aangebracht op de laterale begrenzing van het model, zoals weergegeven in afbeelding 2.1. De eigenschappen van de randvoorwaarde van de zijranden bevat twee opties afhankelijk van de eigenschappen van de modellaag:

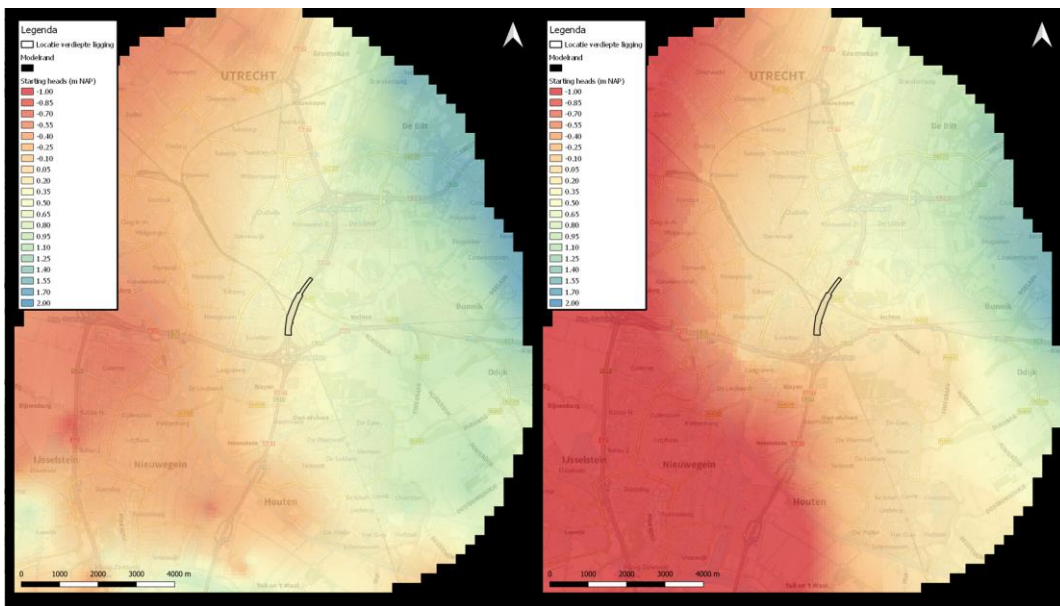
- 1 de deklaag (modellaag 1-4) en de scheidende WAK1 Formatie (modellaag 8-10) maken gebruik van een dichte modelrand. Deze lagen bevatten hoofdzakelijk verticale stroming. De horizontale component en daarmee horizontale stroming kan verwaarloosd worden. Daardoor volstaat de modellering voor deze lagen met een dichte modelrand;
- 2 het eerste en tweede watervoerend pakket zijn gemodelleerd met een open modelrand. Deze lagen hebben een duidelijk aanwezige horizontale component. Er is veelvuldig horizontale stroming aanwezig. Op de open modelranden zijn grondwaterstijghoogtes opgelegd.

De opgelegde grondwaterstijghoogtes zijn gegeven in afbeelding 4.1 tot en met afbeelding 4.3. Deze zijn gebaseerd op een tijdsafhankelijke stijghoogteverdelingen op de modelrand. Hierbij is gebruik gemaakt van een uitgebreide dataset met peilbuisgegevens en meerjarige grondwatermeetreeksen en kriging. Voor het tweede watervoerende pakket is in het specifiek gebruik gemaakt van regressieanalyse. De specificering voor een zomergemiddelde, jaargemiddelde en wintergemiddelde zijn gebaseerd op het bepalen van respectievelijk P10, P50 en P90 waarden voor de opgelegde stijghoogtes uit de analyses. Details ten behoeve van de analyse op de grondwaterdata, kriging en regressieanalyse kan gevonden worden in Bijlage A, B en C van Deltares (2019).

Afbeelding 4.1 Starting head zomersituatie (P10-waarden) in meter N.A.P.

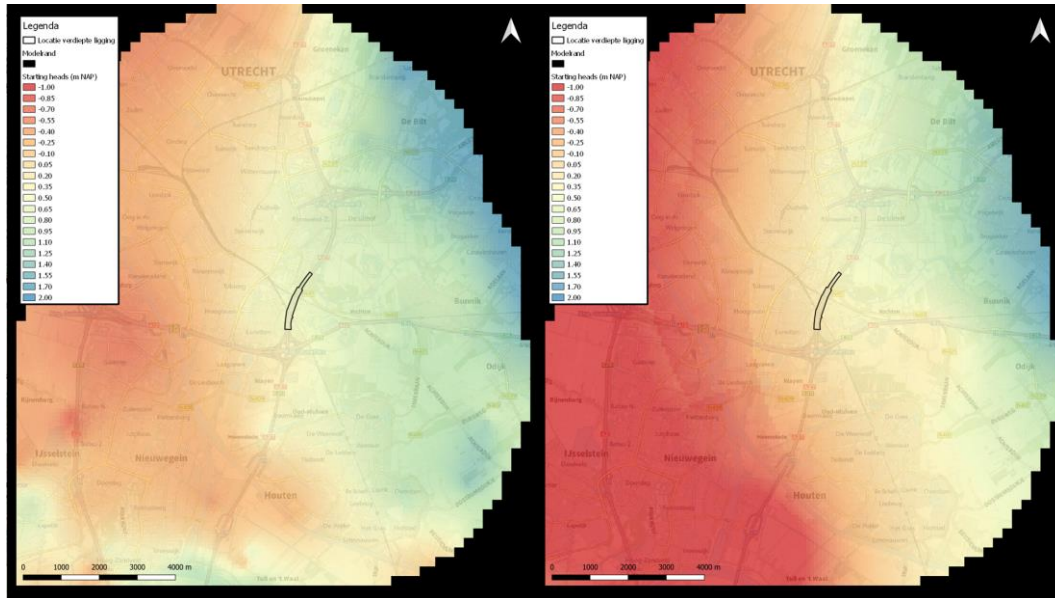


Afbeelding 4.2 Starting head jaargemiddelde situatie (P50-waarden) in meter N.A.P.





Afbeelding 4.3 Starting head wintersituatie (P90-waarden) in meter N.A.P.



## 4.2 Oppervlaktewaterpeilen

De oppervlaktewateren zijn met een jaargemiddeld peil gemodelleerd. Dit betreft het gemiddelde tussen de zomer- en winterpeilen. De zomer- en wintergemiddelde situatie maken gebruik van respectievelijk de zomer- en winterpeilen in het oppervlaktewatersysteem.

Voor de inpassing van het oppervlaktewatersysteem is er een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de kanalen en anderzijds de watergangen en waterlopen. Onder de kanalen vallen het Amsterdam Rijnkanaal en de overige kanalen bestaande uit het Merwedekanaal, de Vaartsche Rijn en de Singel Utrecht binnenstad. De watergangen bevatten de primaire-, secundaire, en tertiaire watergangen in het modelgebied.

### 4.2.1 Watergangen

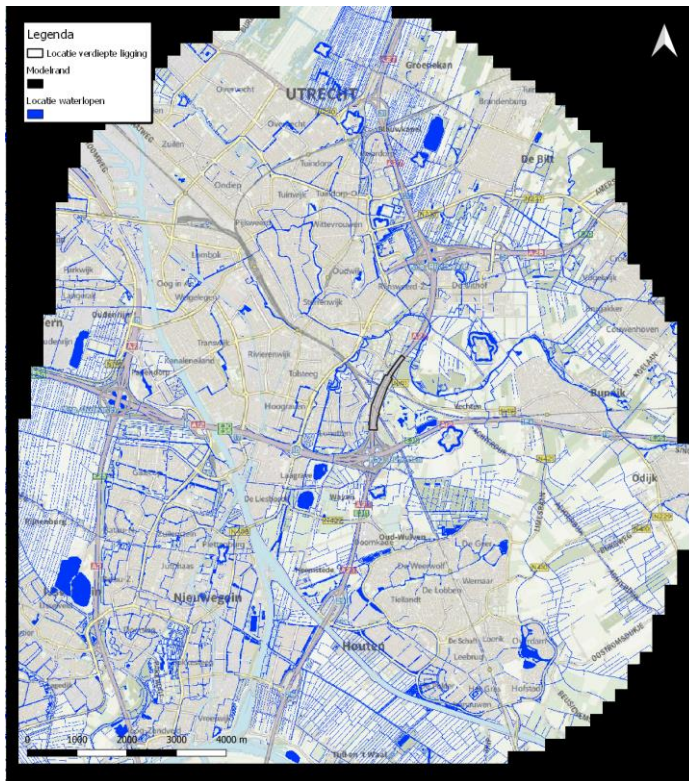
De input voor het inpassen van het oppervlaktewatersysteem in de modellering bestaat uit 4 onderdelen. Het waterpeil, de bodemhoogte, de infiltratiefactor en de doorlatendheid van de bedding. Deze 4 onderdelen zijn voor de watergangen ingepast op de locaties gegeven in afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5.

De infiltratiefactor betreft een parameter die een correctie uitvoert op de waterbodemweerstand gedurende de watergang een infiltrerende werking uitvoert op het systeem. Door de infiltrerende werking van een watergang kunnen organische en/of slibdeeltjes in het water neerslaan in de poriën en de bodemweerstand vergroten. De informatie voor de watergangen ligt ten grondslag aan data van HDSR. De infiltratiefactor is bepaald met behulp van de informatie voor aangevoerde waterhoeveelheden, waaruit een langdurige en significantie duur van infiltratie in het projectgebied is gebleken. Een overzicht van de parameterinput voor de bodemweerstand van het oppervlaktewatersysteem met watergangen is gegeven in afbeelding 4.6 en afbeelding 4.7. Informatie omtrent de range van oppervlaktewaterpeilen en bodemdieptes is gegeven in tabel 4.1.

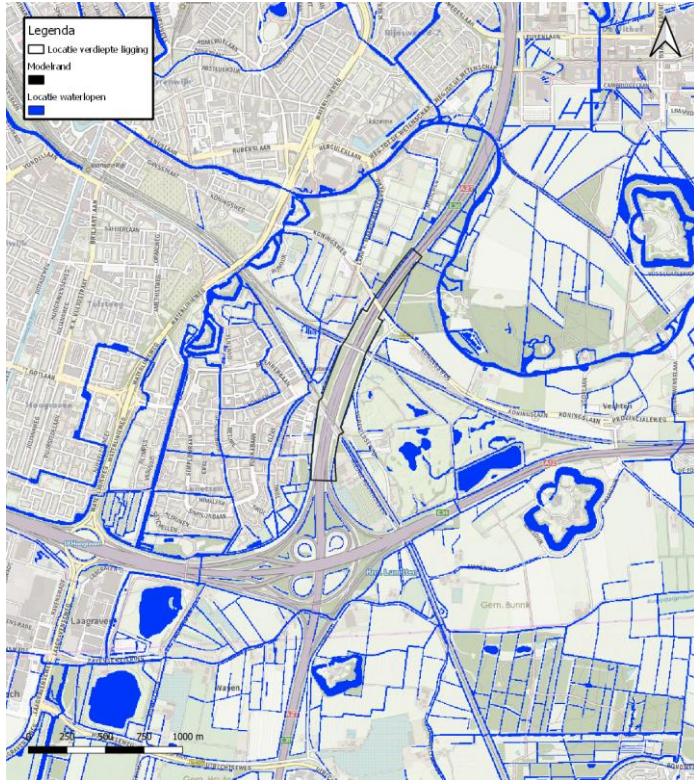
Tabel 4.1 Overzicht range aan oppervlaktewaterpeilen en bodemdieptes voor de watergangen in het modelgebied

Parameter	Range modelgebied	Range focusgebied	Verloop verhang parameterwaarde
Oppervlaktewaterpeil (m NAP)	-2,2 tot 3,8	-1,0 tot 1,5	Overwegend (noord)oost naar (zuid)west
Bodemdiepte (m NAP)	-3,7 tot 3,3	-2,6 tot 0,9	Overwegend (noord)oost naar (zuid)west
Infiltratiefactor (-)	1,47 tot 1,63	1,47 tot 1,63	N.V.T.

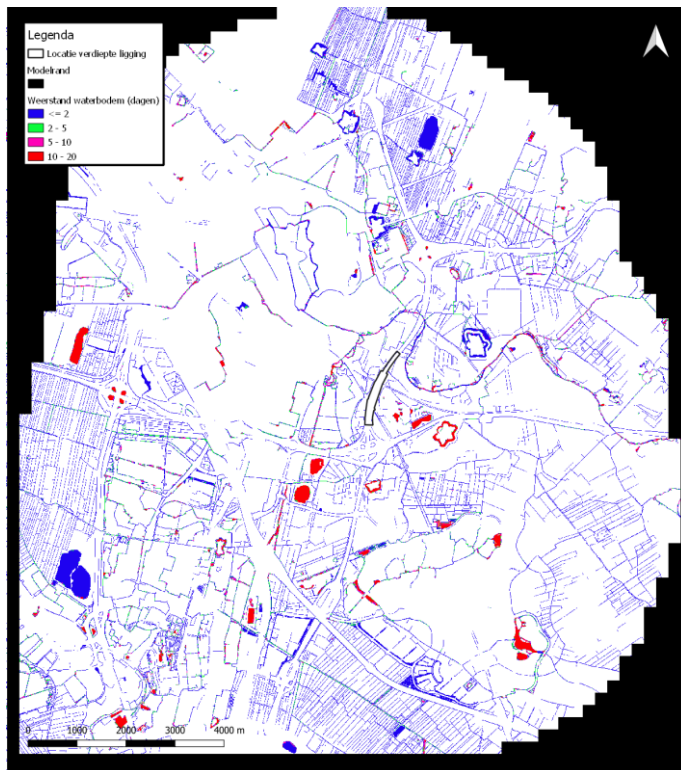
Afbeelding 4.4 Overzicht locaties watergangen voor het gehele modelgebied



Afbeelding 4.5 Overzicht locaties watergangen voor het focusgebied van de grondwatermodellering

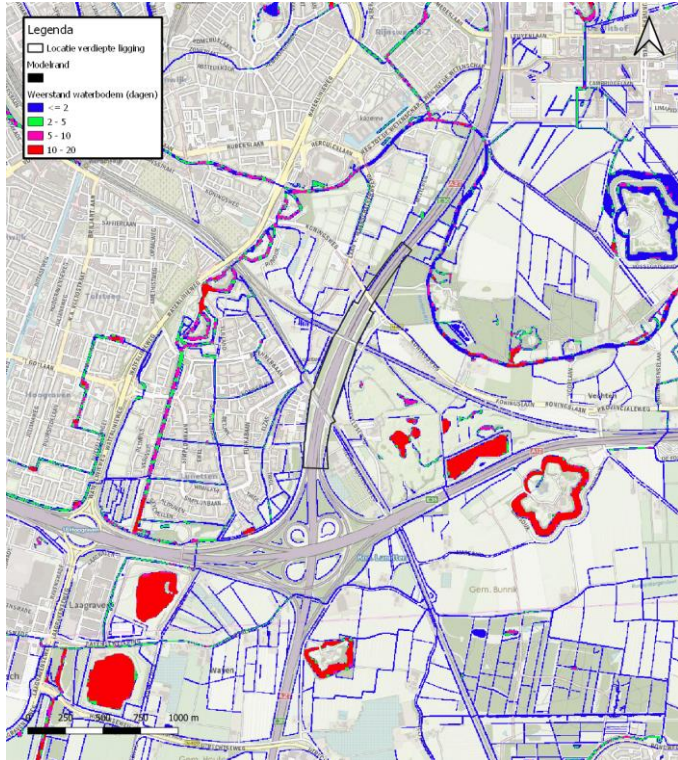


Afbeelding 4.6 Overzicht bodemweerstand voor de watergangen in het gehele modelgebied





Abbeelding 4.7 Overzicht bodemweerstand voor de watergangen ter plaatse van het focusgebied van de grondwatermodellering



#### 4.2.2 Kanalen

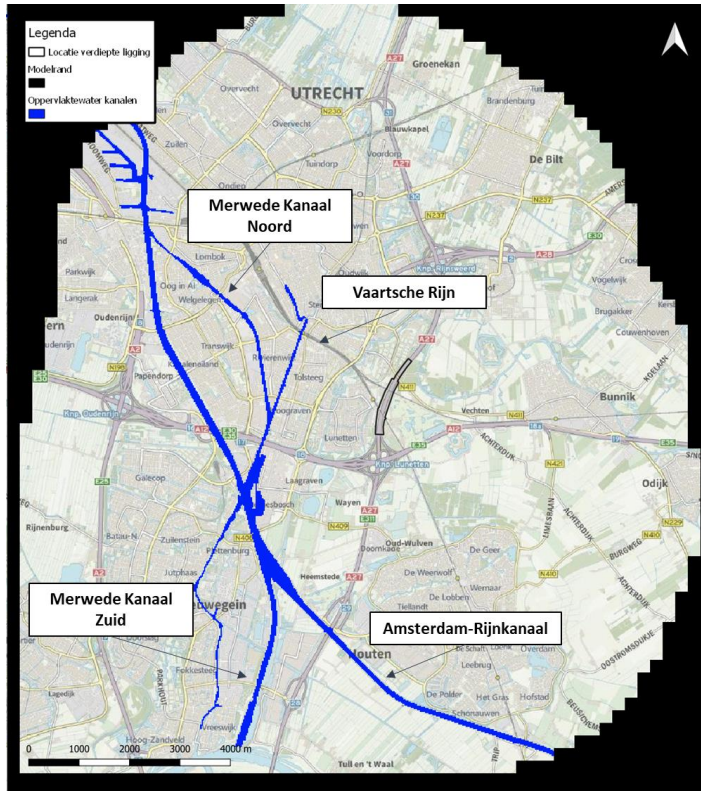
In het modelgebied is het Amsterdam-Rijnkanaal een belangrijke watergang. De combinatie van een laag waterpeil in combinatie met een diepe bodemligging zorgt voor een snijding met het eerste watervoerend pakket. Het kanaal is aan beide zijden begrensd door damwanden en wordt hoofdzakelijk gekarakteriseerd door een drainerende werking ten zuidwesten van Utrecht. De damwanden creëren een minimale interactie met de ondiepe modellagen. Daarom is het Amsterdam Rijnkanaal ingevoerd in modellaag 5 en is er gekozen voor een infiltratiefactor van 1. De bodemweerstand is aangenomen op 1 dag.

Een overzicht voor de input parameters en locatie van de kanalen zijn respectievelijk gegeven in tabel 4.2 en afbeelding 4.8. Informatie die ten grondslag aan deze parameters ligt is afkomstig van HDSR en [waterinfo.rws.nl](http://waterinfo.rws.nl).

Tabel 4.2 Overzicht parameters kanalen in het modelgebied

Kanaal	Peil (m NAP)	Bodem (m NAP)	Inf. Factor (-)	Weerstand (dagen)
Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal	-0,40	-5,0	1,00	1
Merwede Kanaal (noord)	0,57	-2,5	0,01	20
Merwede Kanaal (zuid)	0,64	-2,5	0,01	20
Vaartsche Rijn / Singel Binnenstad	0,57	-2,5	0,01	20

Afbeelding 4.8 weergave locaties kanalen in het modelgebied



### 4.3 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling in het model vormt onderdeel van de bovenrandvoorwaarde van het model. De input voor de grondwateraanvulling is gebaseerd op een tijdsafhankelijk gemodelleerde grondwateraanvulling. Daarvoor is behulp gemaakt van de METASWAP module, welke vanuit dergelijke modellering beschouwd kan worden als de module voor de grondwateraanvulling. In de METASWAP module zijn de onderstaande onderdelen meegenomen:

- neerslag en verdamping: tijdsreeksen met dagsommen van neerslag en verdamping uit Meteobase als invoer met een resolutie van 1x1 km. Verdamping op basis van vraag uit de atmosfeer, bodemgebruik, vegetatieontwikkeling en waterbeschikbaarheid;
- schematisering van het oppervlak: Onderverdeeld in oppervlaktewater, verhard landoppervlak en onverhard oppervlak;
- bodeminformatie: landgebruik en bodemfysische eigenschappen;
- beworteling.

De grondwateraanvullingen zijn verkregen uit de uitvoer van de niet-stationaire output met METASWAP. Dit is bepaald gebruikmakend van de resultante van alle MODFLOW-fluxen in de modelcellen van de bovenste modellaag. In tabel 4.3 is een overzicht gegeven voor de resulterende grondwateraanvullingen in millimeter per dag op basis van een aantal categorieën voor de zomer-, winter- en jaargemiddelde situatie.

Tabel 4.3 Overzicht range in inputparameter grondwateraanvulling

Situatie	Verhard oppervlak (mm/dag)	Landbouw of natuur (mm/dag)	Overig (deels) onverhard (mm/dag)
Wintergemiddeld	-0,1 tot 0,6	1,2 tot 1,9	0,9 tot 1,3
Jaargemiddeld	-0,1 tot 0,5	0,7 tot 1,3	0,5 tot 0,8

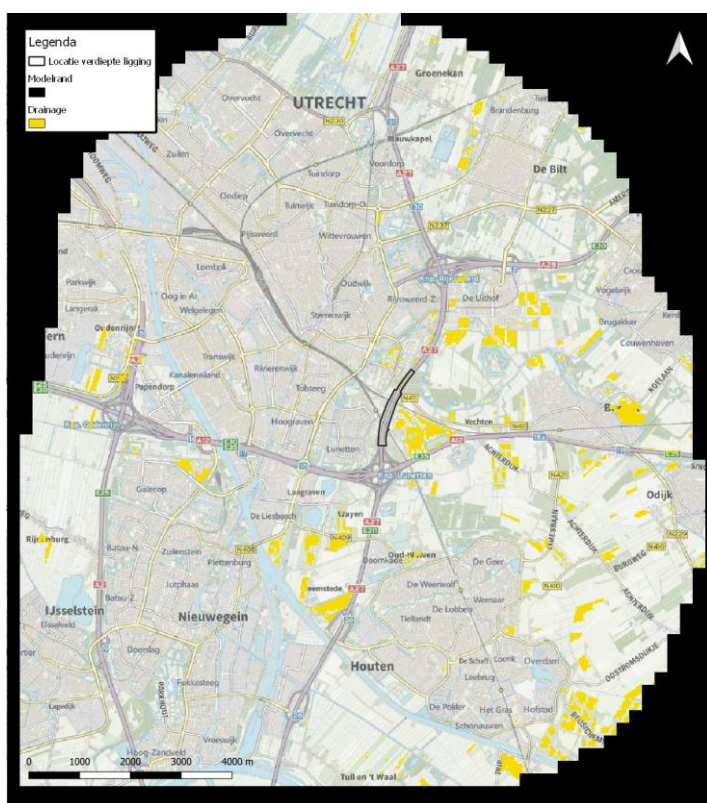
Situatie	Verhard oppervlak (mm/dag)	Landbouw of natuur (mm/dag)	Overig (deels) onverhard (mm/dag)
Zomergemiddelde*	-0,1 tot 0,4	-0,4 tot 0,3	-0,2 tot 0,2

\*De zomergemiddelde situatie is afgeleid op basis van de output van de winter- en jaargemiddelde waarden van de grondwateraanvulling

## 4.4 Drainage

Het grondwatermodel maakt gebruik van buisdrainage ter plaatse van stedelijke en landbouwgebieden. De informatie is gebaseerd op basis van weerstand en diepte kaarten van de landbouw mei-tellingen van 2012 inclusief aanvullende gegevens op basis van perceelniveau. De invoerparameters liggen hiermee ten grondslag aan het LHM-versie 3.4.0. Een overzicht van de locaties in de modellering met een buisdrainage zijn gegeven in afbeelding 4.9.

Afbeelding 4.9 weergave locaties buisdrainage in het modelgebied



## 4.5 Grondwateronttrekkingen

De grondwateronttrekkingen zijn in de modellering meegenomen op basis van de vergunde onttrekkingslocatie, filterdiepte en het onttrekkingsdebiet. Er is gewerkt met een gemiddeld onttrekkingsdebiet in kuub per dag over de aangeleverde onttrekkingsgegevens is gewerkt.

Grondwateronttrekkingen waar enkel een melding voor gedaan is zijn niet meegenomen in de modellering. Deze zijn in dergelijke mate onzeker in debiet en hebben geen significante invloed op het grondwatersysteem ten behoeve van de scope van de huidige modellering. WKO-systemen zijn niet meegenomen in modellering. Deze hebben over een jaargemiddelde situatie geen netto onttrekking. Daardoor wordt met de WKO-systemen geen significant effect op het grondwatersysteem wordt berekend.



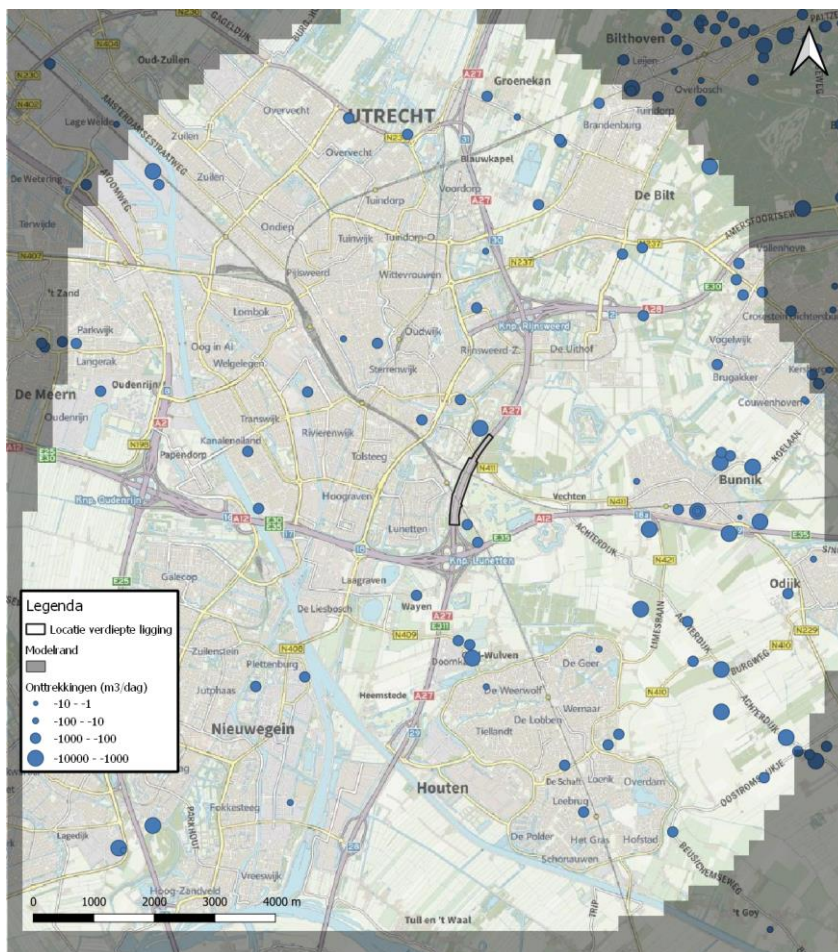
Onttrekkingsgegevens zijn afkomstig van 4 partijen. De regionale uitvoeringsdienst, de provincie Utrecht, HDSR en de gemeente Utrecht. In tabel 4.4 is een overzicht gegeven van het aantal onttrekkingen bijbehorend bij de aanwezige instanties in het actieve modelgebied per watervoerend pakket. In afbeelding 4.10 is binnen het modelgebied een overzicht gegeven van de locatie inclusief grootte van het bijbehorende onttrekkingsdebiet. De onttrekkingen van afbeelding 4.10 zijn meegenomen in de modellering.

Tabel 4.4 Overzicht hoeveelheden onttrekkingen en dieptelocatie in de modellering

Modellaag	provincie Utrecht	Vrumona	HDSR	Vitens*
WVP1	3	0	39	0
WVP2	4	3	0	3

\* Verkregen vanuit de regionale uitvoeringsdienst

Afbeelding 4.10 Weergave locatie en debiet grootte onttrekkingen





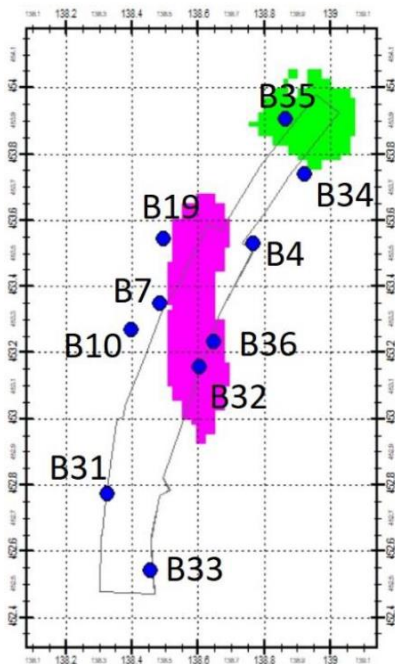
# 5

## TOETSING AAN PRAKTIJKMETINGEN

### 5.1 Calamiteiten winning

Een toets van het model is gebaseerd op de metingen in de watervoerende pakketten tijdens de calamiteiten onttrekking ter plaatse van waterproductielocatie Cornelis Biemond te Nieuwegein. De toetsing is uitgevoerd aan de hand van de berekende en gemeten stijghoogte in de diepe peilbuisfilters rond de verdiepte ligging, zie afbeelding 5.1. In tabel 5.1 zijn de gemeten en berekende stijghoogte in het eerste en tweede watervoerend pakket weergegeven. Uit tabel 5.1 blijkt dat de berekende stijghoogten goed overeenkomen met de metingen, het verschil bij alle peilbuizen is kleiner dan 0,1 m. Hierbij wordt de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket hoger berekend dan gemeten en in het tweede watervoerend pakket is dit andersom (de berekende stijghoogte is lager dan de gemeten waarde).

Afbeelding 5.1 Locatie diepe peilbuisfilters t.p.v. verdiepte ligging A27 (bron Deltares)



Tabel 5.1 Gemeten en berekende stijghoogte tijdens de calamiteitenproef

Peilbuis	Gemeten (m NAP)	Berekend (m NAP)	Vershil (m)
<b>WVP1 (B4, B7, B10, B19 en B31 gedurende einde calamiteiten onttrekkingsdebiet; B31, B34 en B35 na herstelperiode)</b>			
B4	0,52	0,62	+0,10
B7	0,47	0,53	+0,06
B10	0,42	0,51	+0,09
B19	0,49	0,54	+0,05
B31	0,37	0,40	+0,03
B33	No data	-	-
B34	0,54	0,61	+0,07
B35	0,47	0,49	+0,02
<b>WVP2 (B7, B10, B19 en B31 gedurende einde calamiteiten onttrekkingsdebiet; B34 en B35 na herstelperiode)</b>			
B7	-0,70	-0,75	-0,05
B10	-0,80	-0,81	-0,01
B19	-0,53	-0,60	-0,07
B31	-1,07	-1,08	-0,01
B33	No data	-	-
B34	-0,49	-0,52	-0,03
B35	-0,41	-0,47	-0,06

## 5.2 Toetsing aan peilbuisdata

In

afbeelding 5.2 tot afbeelding 5.4 is een overzicht gegeven van de toetsing van de modellering aan beschikbare peilbuismetingen voor de jaargemiddelde situatie. Er is een opdeling gemaakt voor het freatisch, eerste watervoerende en tweede watervoerende pakket. Deze peilbuizen hebben minimaal een volledige zomer en winter doorgemeten, waarbij de kortere reeksen voornamelijk recente hoogfrequente meetreeksen betreffen. Reeksen uit een verder verleden bevatten minimaal een reeks van 3 gemeten zomers en winters. De meetreeksen die meegenomen zijn in de toetsing zijn vanaf de periode, dat de huidige verdiepte ligging aanwezig is.

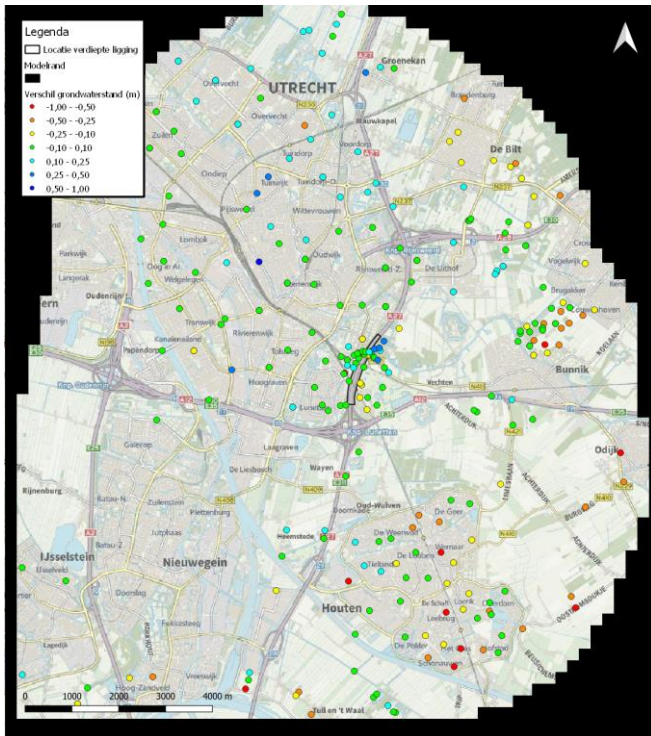
In totaal zijn 278 freatisch, 219 eerste watervoerende en 69 tweede watervoerende peilbuizen meegenomen voor de toetsing. In tabel 5.2 is een overzicht van de statistiek per pakket gegeven. Hierin is een overzicht gegeven van de gemiddelde afwijking, gemiddelde absolute afwijking en Root Mean Square Error (RMSE). Het freatisch en eerste watervoerend pakket presenteren wat beter als het tweede watervoerend pakket. Het algeheel beeld geeft een acceptabel toetsingsresultaat tussen de praktijk en modellering.

De resultaten geven in het freatisch en eerste watervoerend pakket geen significante systematische afwijkingen. Het tweede watervoerend pakket heeft een minimale afwijking richting een natter berekend pakket. Deze afwijkingen wordt hoogstwaarschijnlijk verklaard door de onttrekkingen aanwezig in het zuidwesten. Dit veroorzaakt ook mindere prestatie in de statistiek ten opzichte van de andere pakketten. De afwijkingen zijn echter minimaal. Gezien het algeheel overzicht uit de resultaten wordt voldaan aan een acceptabele toetsing voor de scope van deze modellering.

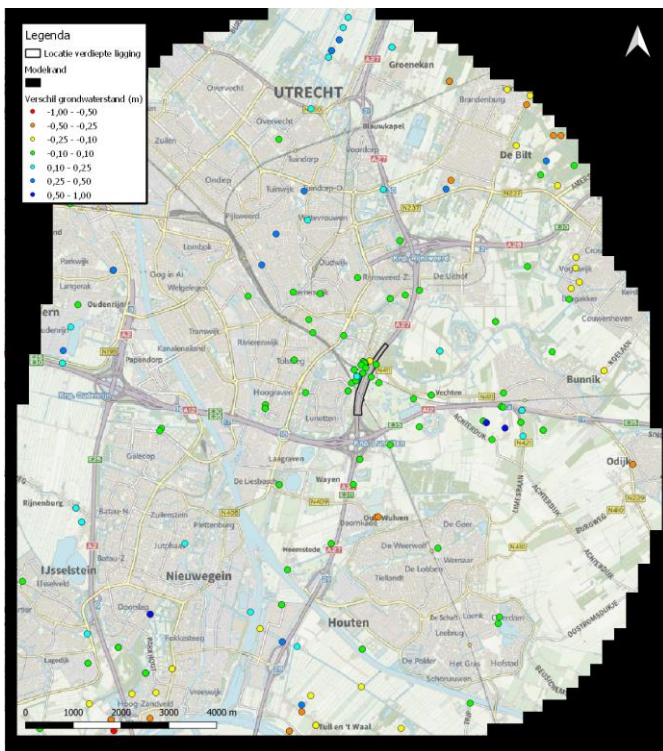
Tabel 5.2 Overzicht statistiek voor freatisch, eerste watervoerend en tweede watervoerend pakket

	Aantal Peilbuizen (-)	Gemiddelde afwijking (m)	Gemiddelde absolute afwijking (m)	Root Mean Square Error (RMSE) (-)
Freatisch	278	-0.04	0.15	0.23
WVP1	219	0.01	0.15	0.20
WVP2	69	0.08	0.25	0.41

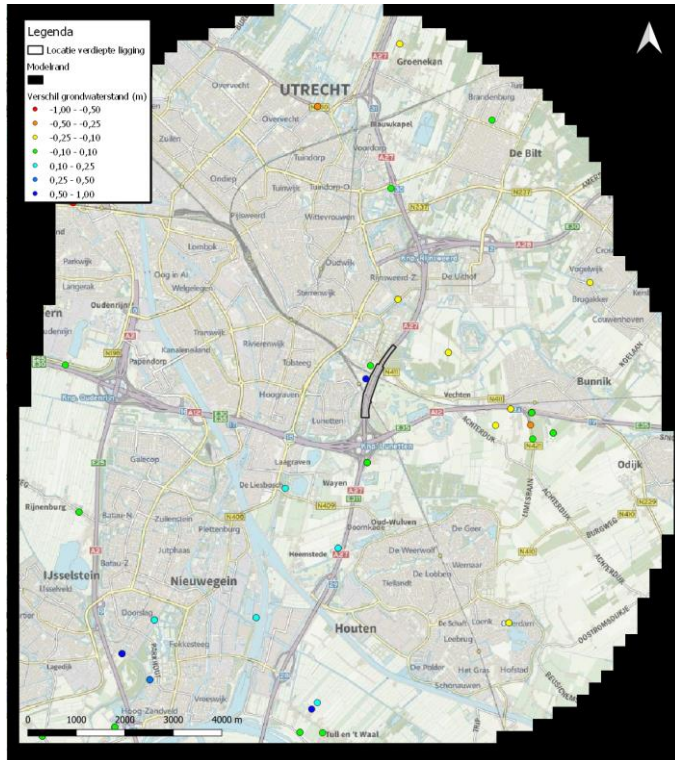
Afbeelding 5.2 Vergelijking model vs. peilbuismetingen freatisch pakket



Afbeelding 5.3 Vergelijking model vs. peilbuismetingen eerste watervoerend pakket



Afbeelding 5.4 Vergelijking model vs. peilbuismetingen tweede watervoerend pakket





### 5.3 Toetsing isohypsen patronen provincie Utrecht

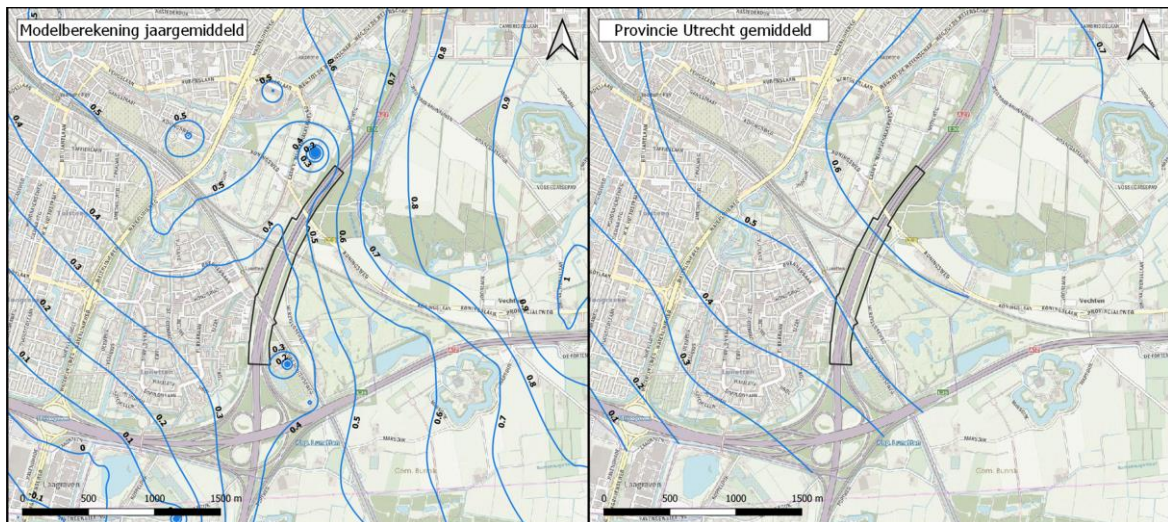
In afbeelding 5.5 is een vergelijking van de isohypsen uit de jaargemiddelde modelberekening vergeleken met de isohypsen verkregen vanuit de provincie Utrecht. In tabel 5.3 is een globaal overzicht van de stromingsrichting en het verhang beschreven. De vergelijking van de modelberekening met de isohypsen van de provincie Utrecht toont voornamelijk in het noordoosten van het focusgebied wat verschillen. Het verhang in de modelberekening verloopt aan de noordzijde van de bak meer richting het westen. De isohypsen van de provincie Utrecht vertonen een algemene stroming van lichtelijk noordoost naar zuidwesten over de verdiepte ligging. Het verhang in het zuidwesten komt circa overeen.

De verschillen kunnen worden verklaard aan de dataset van de peilbuizen die ten grondslag ligt. In de modellering is het ondergrondmodel verkregen op basis van een peilbuisdataset die aan het oosten van de bak (locatie golfbaan en Amelisweerd) enkele tientallen aanvullende peilbuizen bevat met recente meetreeksen. De isohypsen van de provincie Utrecht bevatten deze aanvullende data niet.

Tabel 5.3 Overzicht stromingsrichting inclusief verlagings per kilometer

Locatie	Modelberekening	provincie Utrecht
Ten oosten van verdiepte ligging afbeelding 5.5	circa 0,15 à 0,20 m per kilometer afstand van overwegend oost naar west	circa 0,05 m verlagings per kilometer afstand van noordoost naar zuidwest
Ter plaatse van verdiepte ligging	circa 0,25 à 0,30 m verlagings per kilometer afstand van oost naar zuidwest	circa 0,10 à 0,15 m verlagings per kilometer afstand van overwegend noord naar zuidwest
Ten westen van verdiepte ligging	circa 0,20 m verlagings per kilometer afstand van noordoost naar zuidwest	circa 0,15 m verlagings per kilometer afstand van noordoost naar zuidwest

Afbeelding 5.5 Vergelijking verhang eerste watervoerend pakket resultaten isohypsen jaargemiddeld model versus gemiddelde isohypsen provincie Utrecht



## 5.4 Controle fluxen met de waterbalans

De toetsing van de fluxen met de waterbalans is in deze paragraaf toegelicht. Een toelichting op basis van de totale waterbalans en op basis van een aantal zones binnen de modellering is gegeven.

### 5.4.1 Totale waterbalans model

In tabel 5.4 is een overzicht gegeven van de inwaartse en uitwaartse fluxen in kuubs voor de modellering van de referentiesituatie. Deze zijn opgedeeld in de verscheidene waterbalanstermen. Uit de modellering resulteert een verschil van slechts 0,02 % tussen het aantal kuub water in en uit het model. Hiermee kan geconcludeerd worden dat het model een sluitende waterbalans heeft.

Tabel 5.4 Fluxen waterbalans eindsituatie steady state model

Onderdeel waterbalans	Flux in model (m <sup>3</sup> )	Flux uit model (m <sup>3</sup> )
Modelranden (constant heads)	144.250	145.190
Onttrekkingen	0	86.650
Drains	0	570
Oppervlaktewater	100.525	80.125
Grondwateraanvulling	67.760	50
<b>Totaal</b>	<b>312.530</b>	<b>312.585 (-0,02 %)</b>

### 5.4.2 Modelfluxen van de waterbalans per zone

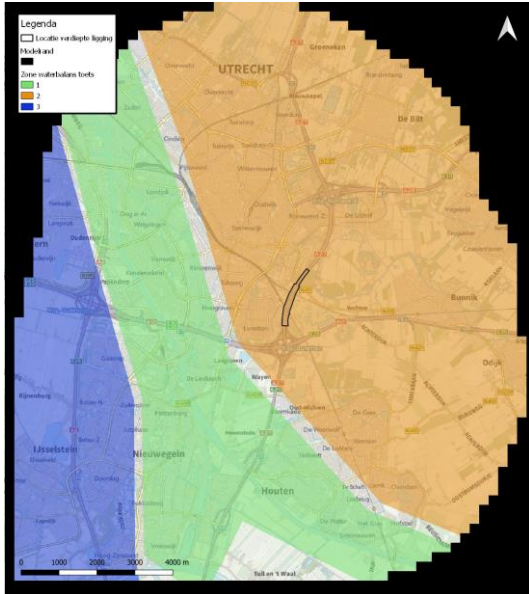
In deze paragraaf is een overzicht gegeven van de waterbalans termen voor drie gedefinieerde zones in de modellering. In afbeelding 5.6 is een overzicht gegeven van de gedefinieerde zones. De groene zone heeft zijn focus op de kanalen, waarbij de oranje en blauwe zone respectievelijk de oostzijde en westzijde van het model ten opzichte van de kanalen beschouwen. tabel 5.5 tot en met tabel 5.7 geven de berekende fluxen van de waterbalanstermen voor de drie gedefinieerde zones.

De toetsing geeft verklaarbare resultaten:

- drainage voert enkel water het model uit. Zone 2 (oranje) bevat hierbij het grootste oppervlak drainage. Dit resulteert uit de waterbalansen;
- de oppervlaktewateren vertonen een realistisch beeld omtrent aan- en afvoer van water uit het model. De kanalen staan bekend een drainerende werking te hebben ten zuidwesten van Utrecht. Uit de waterbalans van zone 1 (groen) volgt een duidelijk drainerende werking van de kanalen ten opzichte van de infiltrerende werking. Zone 2 (oranje) bevat een hoofdzakelijk infiltrerend werking, door meer aanwezigheid van de 'natuurlijke' waterlopen in dit gebied (principe Kromme rij in Amelisweerd);
- de modelrand in de blauwe zone voeren voornamelijk water af (stroming oost naar west);
- de grondwateraanvulling voegt hoofdzakelijk water toe aan de bovenrandvoorwaarde van de modellering;
- de oppervlakten met drains liggen voornamelijk in zone 2 (oranje). Dit resulteert uit de waterbalansen.
- elke zone bevat onttrekkingen, wat bevestigd wordt in de waterbalansen.



Afbeelding 5.6 Overzicht geanalyseerde zones voor de waterbalanstermen



Tabel 5.5 Fluxen onderdelen waterbalans eindsituatie model zone 1 (groen in afbeelding 5.6)

Onderdeel waterbalans	Flux in model (m <sup>3</sup> )	Flux uit model (m <sup>3</sup> )
Modelranden (constant heads)	9500	-9500
Onttrekkingen	0	-3175
Drains	0	-5
Oppervlaktewater	29505	-49370
Grondwateraanvulling	15415	-10

Tabel 5.6 Fluxen onderdelen waterbalans eindsituatie model zone 2 (oranje in afbeelding 5.6)

Onderdeel waterbalans	Flux in model (m <sup>3</sup> )	Flux uit model (m <sup>3</sup> )
Modelranden (constant heads)	113020	-101820
Onttrekkingen	0	-60220
Drains	0	-560
Oppervlaktewater	49480	-15125
Grondwateraanvulling	41140	-35

Tabel 5.7 Fluxen onderdelen waterbalans eindsituatie model zone 3 (blauw in afbeelding 5.6)

Onderdeel waterbalans	Flux in model (m <sup>3</sup> )	Flux uit model (m <sup>3</sup> )
Modelranden (constant heads)	8875	-30160
Onttrekkingen	0	-8325
Drains	0	-5
Oppervlaktewater	17575	-12705
Grondwateraanvulling	7365	-5

## 5.5 Conclusie

De toetsing is uitgevoerd op basis van vier onderdelen. Een toetsing aan de calamiteitenwinning, peilbuisdata voor het gehele modelgebied, een vergelijking aan de isohypsen van de provincie Utrecht en tot slot controles op de waterbalanstermen. Uit de vier onderdelen volgt, gezien de doelstelling en scope van de modellering, een acceptabele vergelijking aan de hand van de gemeten peilbuisdata over zowel het freatisch, eerste watervoerend als tweede watervoerend pakket. De toetsing aan de calamiteitenwinning wordt ook met een goede match tussen modelberekening en praktijkmetingen voldaan.

Een overeenkomstige trend van de isohypsenpatronen met de provincie Utrecht, waarbij de afwijkingen in de patronen verklaard kunnen worden aan de hand van een aanvullende dataset met peilbuizen ten grondslag aan het ondergrondmodel in de modellering.

Tot slot wordt een sluitende waterbalans berekend en geeft de analyse van de fluxen over een drietal gedefinieerde zones verklaarbare resultaten. De kanalen geven bijvoorbeeld naast een infiltrerende werking de duidelijk grotere drainerende werking, welke ook in de praktijk gevonden wordt.

Met de bovenstaande verklaarbare en acceptabele resultaten uit alle vier de onderdelen wordt gesteld dat het grondwatermodel geschikt is voor de analyses omtrent de actualisatie MER A27/A12 Ring Utrecht.

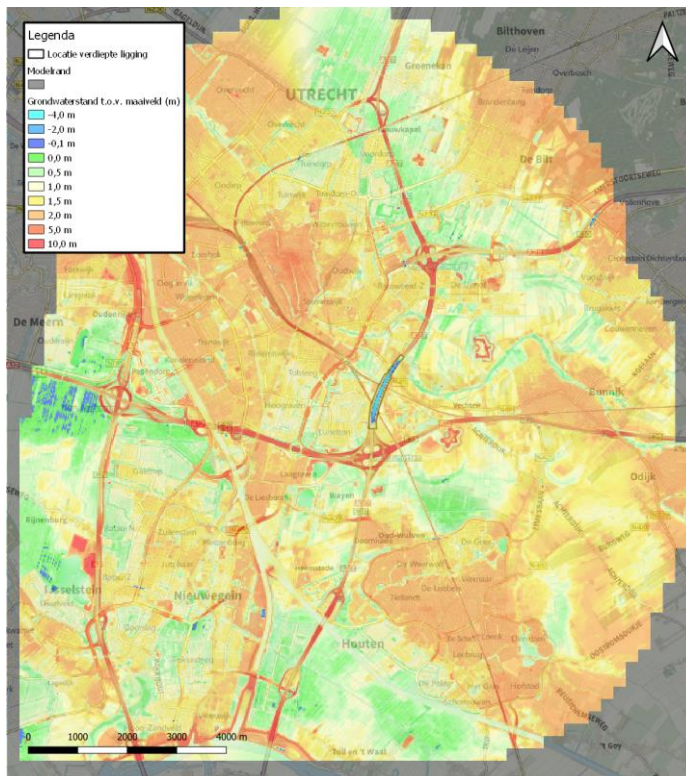
# 6

## REFERENTIESITUATIE

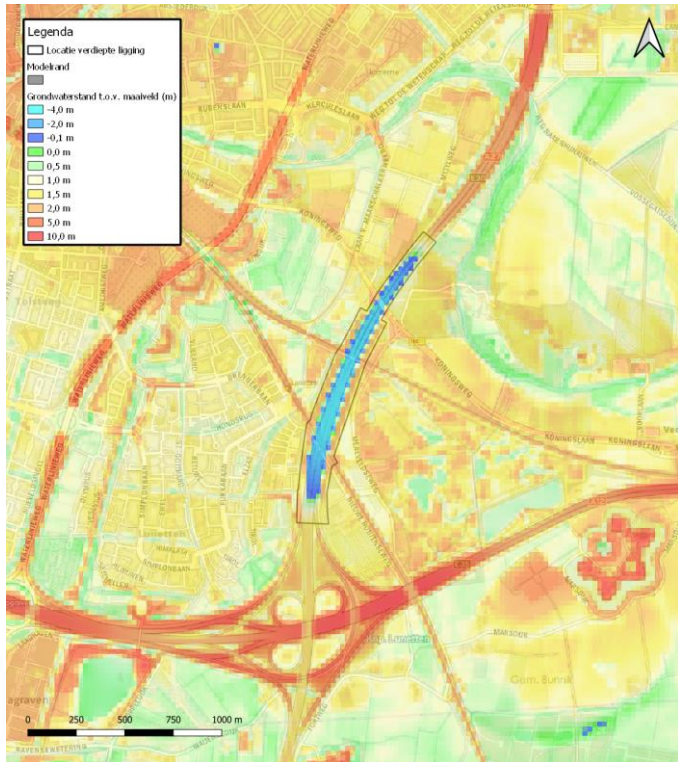
Het ontwikkelde grondwatermodel beschrijft de huidige situatie en is gebruikt als referentie voor de effectbepaling van de schermwand. In deze referentiesituatie betreft het de autonome ontwikkeling zonder ingreep van het project A27/A12 Ring Utrecht. De huidige situatie vormt het referentiepunt voor de effectbeschrijvingen en -vergelijkingen. In dit hoofdstuk worden de referentiesituaties voor de jaargemiddelde situatie gepresenteerd.

In afbeelding 6.1 tot en met afbeelding 6.8 zijn de freatische grondwaterstanden en stijghoogten gegeven resulterend uit de grondwatermodellering. Een weergave voor het gehele modelgebied en het focusgebied is gegeven.

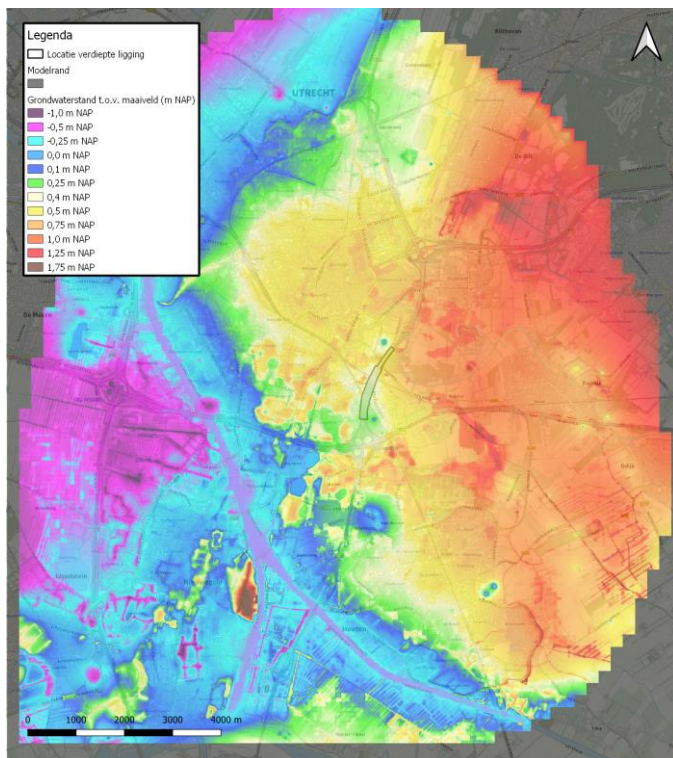
Afbeelding 6.1 Freatische grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (m) modelgebied



Afbeelding 6.2 Freatische grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (m) focusgebied

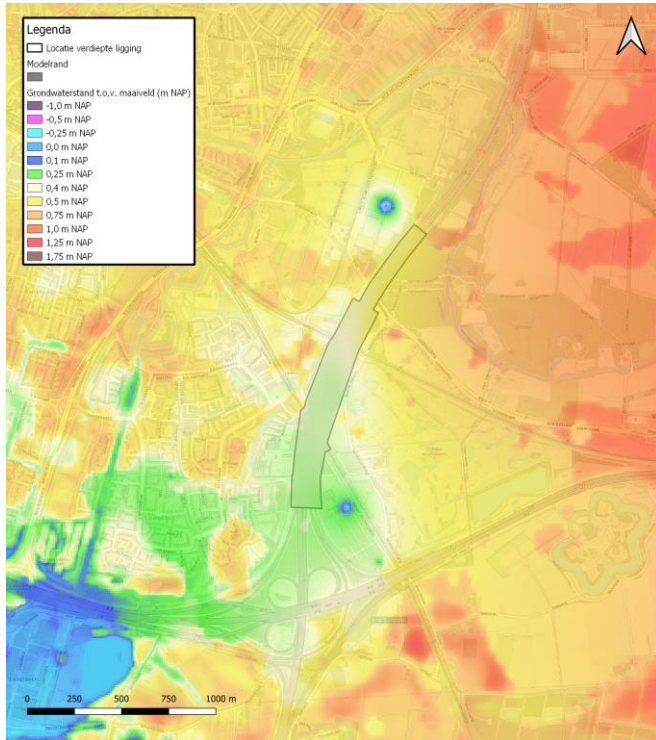


Afbeelding 6.3 Freatische grondwaterstand ten opzichte van NAP modelgebied

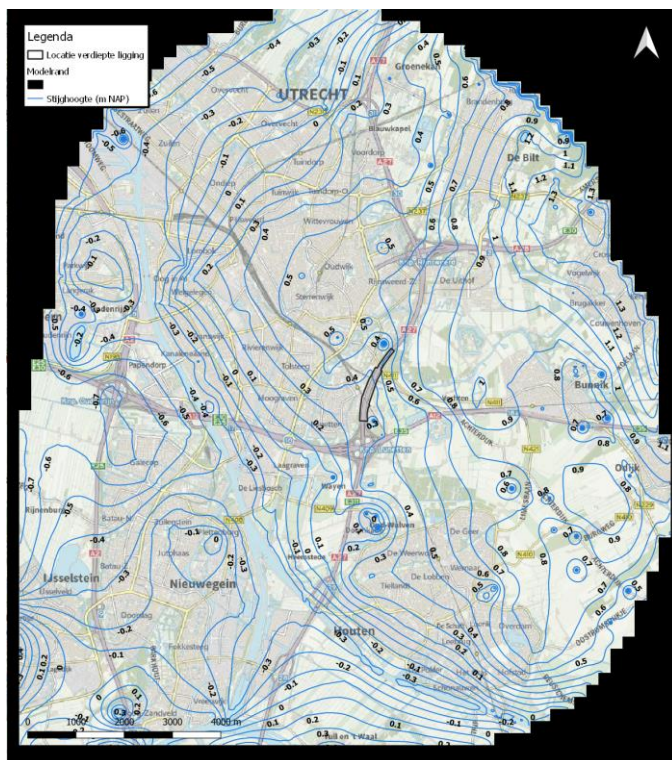




Afbeelding 6.4 Freatische grondwaterstand ten opzichte van NAP (m) focusgebied

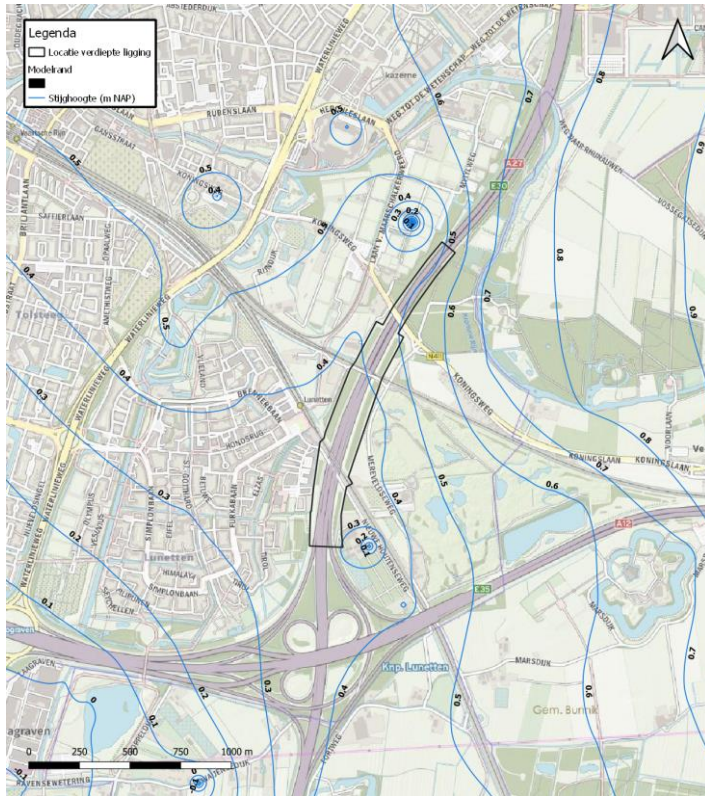


Afbeelding 6.5 Stijghoogte eerste watervoerend pakket (m NAP) modelgebied

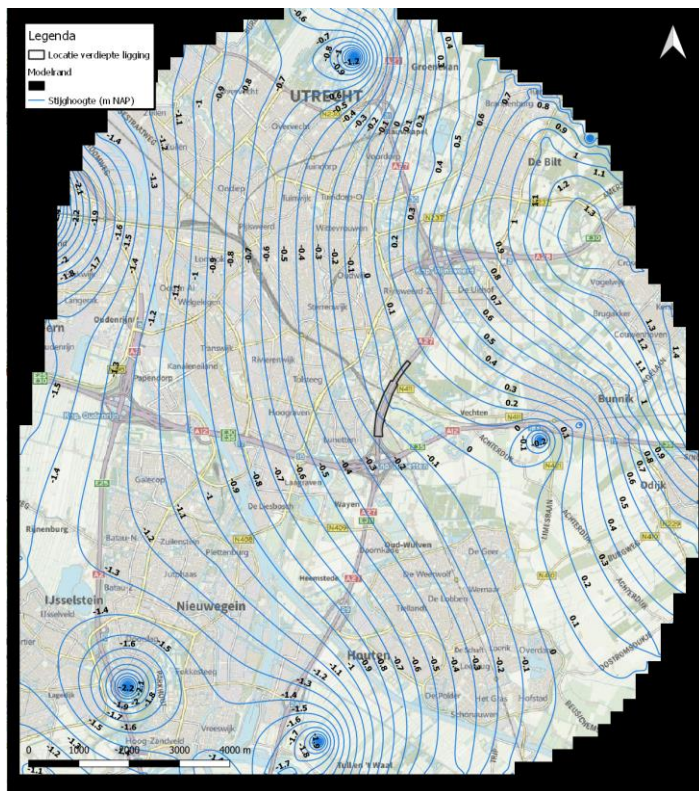




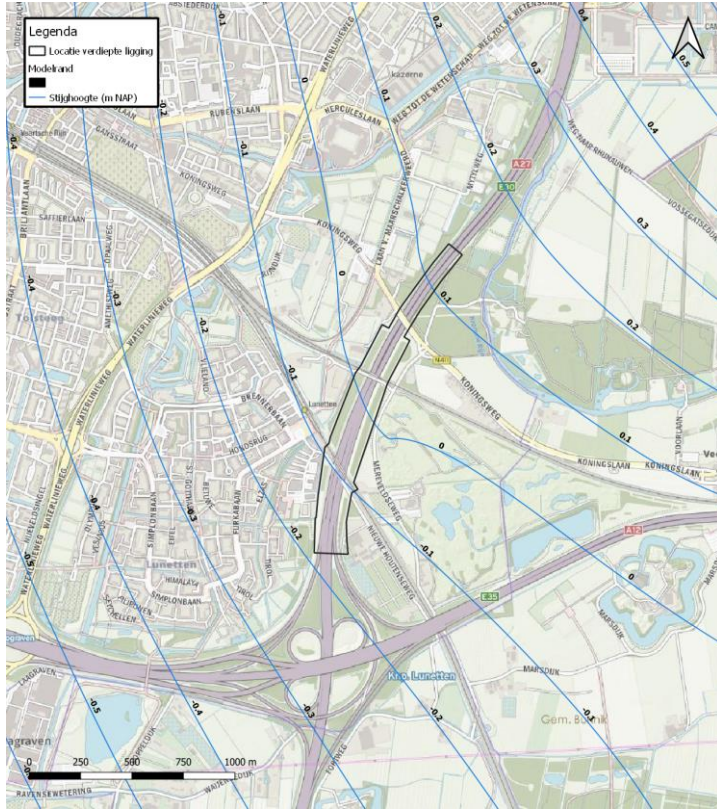
Afbeelding 6.6 Stijghoogte eerste watervoerend pakket (m NAP) focusgebied



Afbeelding 6.7 Stijghoogte tweede watervoerend pakket (m NAP) modelgebied



Afbeelding 6.8 Stijfhoogte tweede waterverend pakket (m NAP) focusgebied



# 7

## GEOHYDROLOGISCHE EFFECTEN

In dit hoofdstuk zijn de geohydrologische effecten voor twee fases berekend. Ten eerste zijn deze berekend voor de bouwfase. Voor de bouwfase zijn verschillende situaties doorgerekend. Deze zijn allen doorgerekend voor de jaargemiddelde situatie. De bemaling betreft de situatie die als uitgangspunt beschouwd moet worden. Vervolgens worden de retourbemaling en schermwand ingepast, welke fungeren als beheersmaatregel. Dit levert de drie aanvullende situaties op, waarbij deze twee beheersmaatregelen apart beschouwd worden en een combi van de twee beheersmaatregelen ingepast wordt. Samengevat resulteert dit in de volgende doorgerekende situaties voor de bouwfase:

- bemaling;
- bemaling met retourbemaling;
- bemaling met schermwand;
- retourbemaling met schermwand.

De tweede fase wordt gedefinieerd als de eindfase. In deze eindfase worden de geohydrologische effecten berekend voor een situatie met een achterblijvende schermwand. Deze schermwand bevindt zich vanaf het moment na de bouwfase permanent in de ondergrond.

### 7.1 Bouwfase

#### 7.1.1 Bemaling

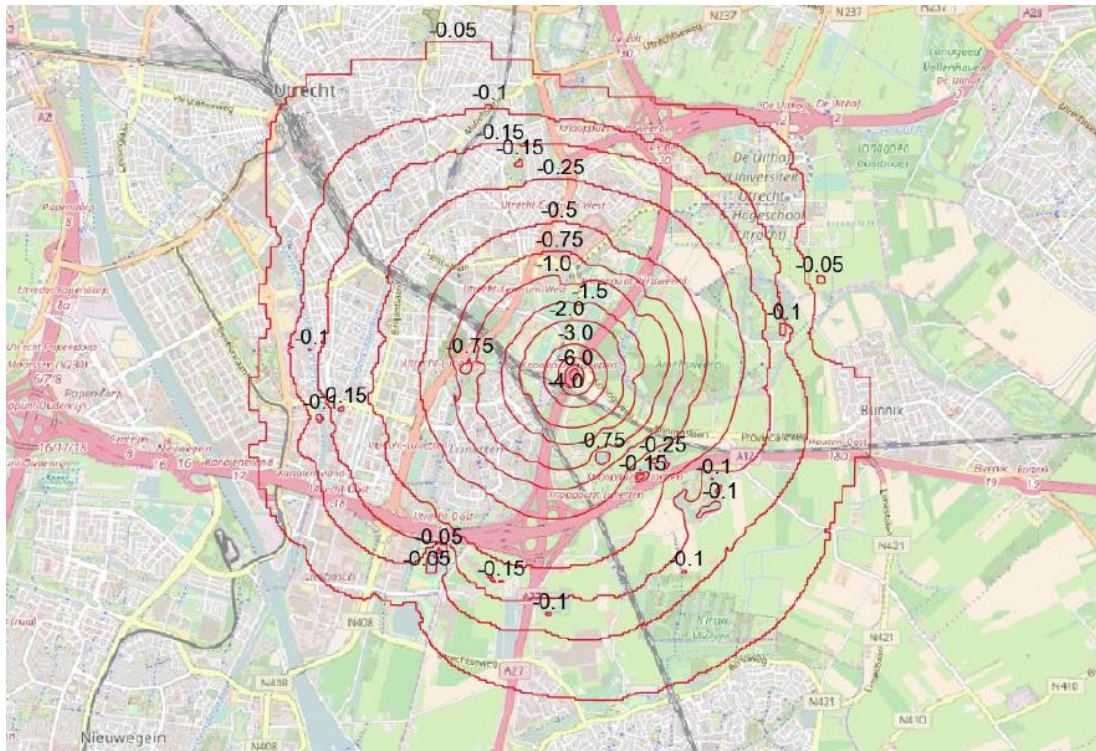
Uitgangspunt is dat enkel de bemaling wordt uitgevoerd in langsrichting (evenwijdig met de A27). De verticale bemalingsfilters dienen net buiten de folie te worden geboord, omdat anders de folie lek wordt geprikt. Het folievak wordt niet in zijn geheel bemalen, maar in kleine achtereenvolgende werkvakken. Dit werkvak heeft een minimale lengte van circa 30 tot circa 100 meter. Op deze manier kan per werkvak de betonnen L-wanden worden aangelegd. Om bouwtechnische redenen (i.v.m. het storten van beton) is dit een aanneembare fasering van het werk.

Uit de analyse van de modelberekening volgt dat om over een lengte van circa 30 tot 100 m (het werkvak) een verlaging van de stijghoogte tot -6 m NAP onder de folie te bereiken, een onttrekkingsdebiet van circa 400 tot 1.400 m<sup>3</sup>/uur benodigd is.

In afbeelding 7.1 zijn de berekende verlagingcontouren van de grondwaterstand als gevolg van de bemaling weergegeven. Hiervoor is uitgegaan van een werkvak lengte van 100 meter en een onttrekkingsdebiet van 1.350 m<sup>3</sup>/uur. Omgevingseffecten (tot 0,05 m verlaging) tot enkele kilometers afstand van een situatie met enkel een bemaling. De infiltratie van waterlopen/waterpartijen is ter plaatse van de geknikte grondwatercontouren duidelijk te zien.



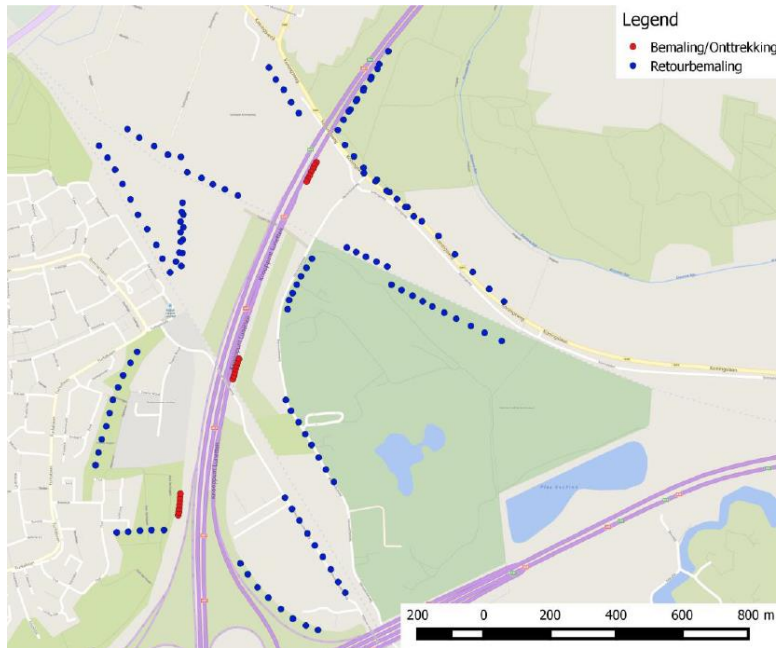
Afbeelding 7.1 Berekende grondwaterstandsverlaging (meters) bij een onttrekking van 1.350 m<sup>3</sup>/uur in folievak III voor een situatie met enkel een bemaling (dus geen retourbemaling)



### 7.1.2 Bemaling met retourbemaling

Om de grondwaterstandsval in de omgeving te mitigeren kan als beheersmaatregel een retourbemaling worden toegepast. Op basis van de luchtfoto is een selectie gemaakt van locaties waar mogelijk retourbemalingsputten geplaatst kan worden. De (actieve) retourputten dienen minimaal 100 tot 300 meter afstand te hebben tot de (actieve) onttrekkingsputten. De potentiële locaties van de retourputten zijn weergegeven in afbeelding 7.2.

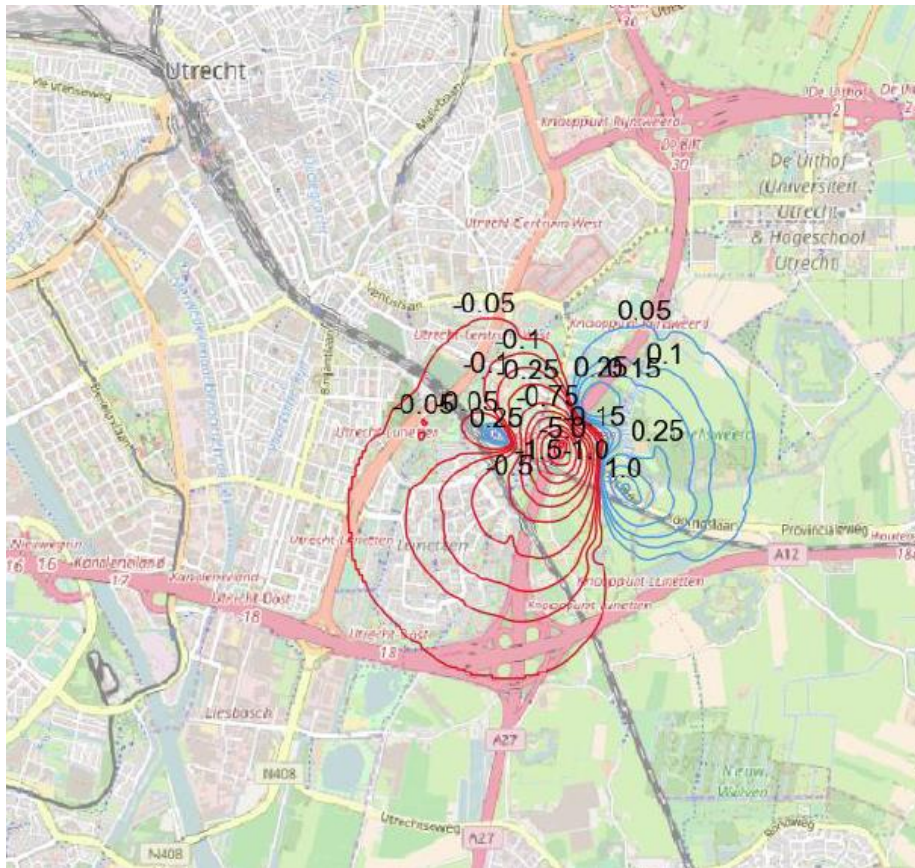
Afbeelding 7.2 Potentiele locatie retourbemaling



In afbeelding 7.3 zijn de verlaging- en verhogingscontouren van het grondwater als gevolg van een bemaling van een werkvak (met een lengte van 100 m) in folievak III weergegeven. Er is gerekend met 100 % infiltratie van het onttrokken debiet. Optimalisatie van de retourbemaling is mogelijk op het infiltratiedebiet per retourput en de in te zetten retourputten. Het debiet en retourbemaalingsdebiet bedraagt  $1.850 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Het toepassen van de retourbemaling geeft een reductie van het omgevingseffect op basis van een vermindering van de daling in grondwaterstand gegeven in afbeelding 7.3.



Afbeelding 7.3 Berekende grondwaterstandsverandering (meters) bij een retourbemaling van 1.850 m<sup>3</sup>/uur in folievak III



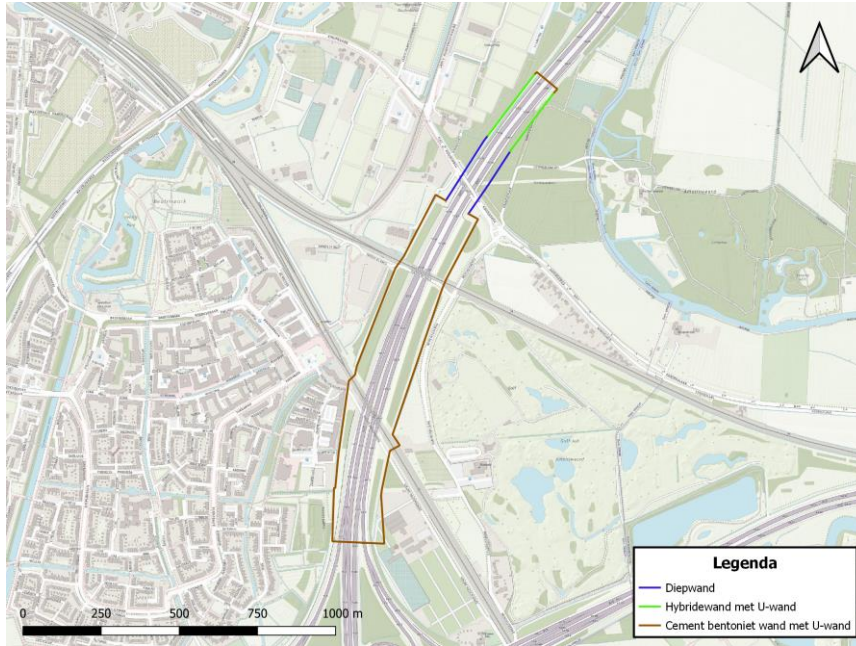
Door het onttrokken grondwater op verschillende locaties terug te brengen in de bodem (retourputten) zijn de grondwatereffecten van de bemaling op de omgeving te beperken en te reduceren. Hiervoor is wel een uitgekiend ontwerp (in te zetten retourputten, retourdebiet per put en onder welke omstandigheden tijdens uitvoering) nodig.

### 7.1.3 Bemaling met schermwand

Eén van mogelijke beheersmaatregelen betreft het toepassen van een schermwand rondom de verdiepte ligging. Voor de berekening van de mogelijke effecten inclusief een schermwand is in het grondwatermodel een schermwand over de volledige lengte van 3,7 km tot in de Waalreklei formatie gemodelleerd. De locatie van de schermwand met zijn elementen is gegeven in afbeelding 7.4. Gedurende 18 maanden dient een onttrekking plaats te vinden die de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tot het veilige niveau van NAP -6,0 meter verlaagd. Dit staat gelijk aan een verlaging van 6,5 meter. Deze verlaging dient over de gehele lengte van de schermwand bereikt te worden.

Voor de bouwfase is voor de gehele schermwand een weerstand van 250 dagen toegepast. Deze 250 dagen betreft de parameterinput met de kleinste weerstand (grootste doorlatendheid) volgend uit de ontwerpparameters van de schermwand. Deze keuze ligt ten grondslag aan een worst case situatie m.b.t. het grondwatereffect op de omgeving. Ten behoeve van de omgevingseffecten is een lage weerstand van de schermwand worst case.

Afbeelding 7.4 Overzicht locaties verschillende eigenschappen schermwand



### Berekend bemalingsdebiet

Het berekend debiet voor een situatie inclusief de schermwand als beheersmaatregel in een worst case situatie is circa 620 m<sup>3</sup>/uur.

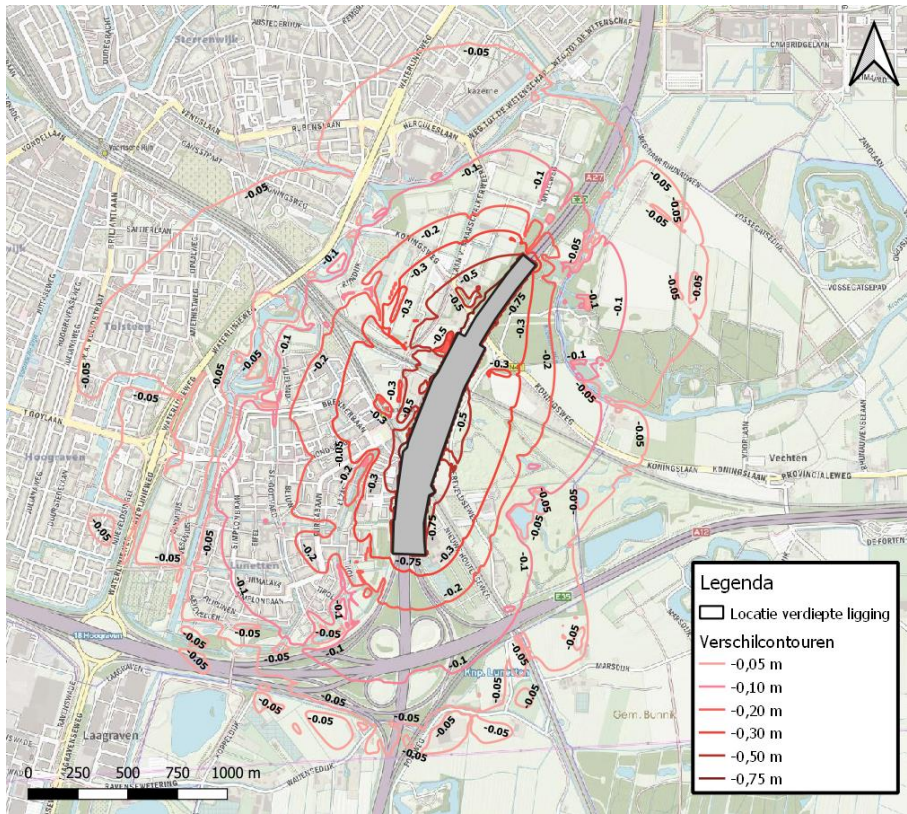
### Berekende verandering grondwaterstand en stijghoogte

De door het grondwatermodel berekende veranderingen van de freatische grondwaterstand en de stijghoogten als gevolg van de bemaling zijn weergegeven in afbeelding 7.5, afbeelding 7.6 en afbeelding 7.7. Uit de verandering van de grondwaterstand en stijghoogte volgt dat er een duidelijke daling is in het freatisch en eerste watervoerend pakket. Er is sprake van een daling, omdat het onttrokken grondwater deels voortkomt uit de lek van de schermwand. Het invloedgebied (5 cm veranderingscontour) varieert van 1 km tot ruim ca. 2 km.

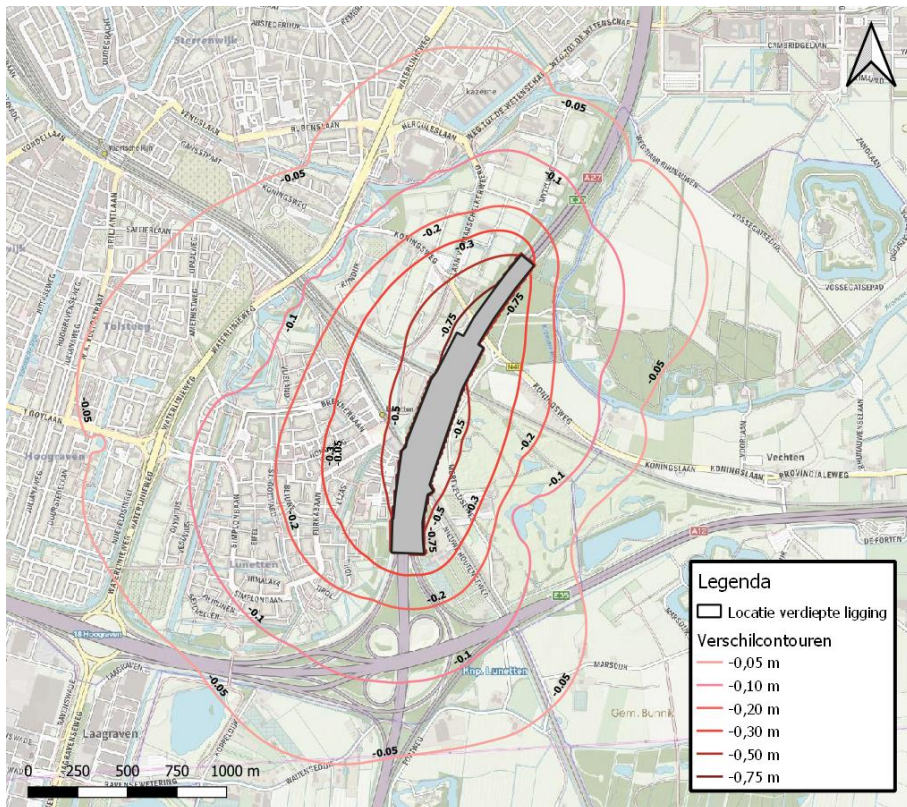
In het tweede watervoerend pakket is er ook sprake van een daling van de grondwaterstand. Deze wordt verklaard door het water wat ten gevolge van de onttrekking in de verdiepte ligging door de Waalreklei formatie opwaarts stroomt. Het invloedgebied in het tweede watervoerend pakket (5 cm veranderingscontour) varieert van ca. 4 tot ca. 6 km.



Afbeelding 7.5 Verandering grondwaterstand freatisch pakket (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand)

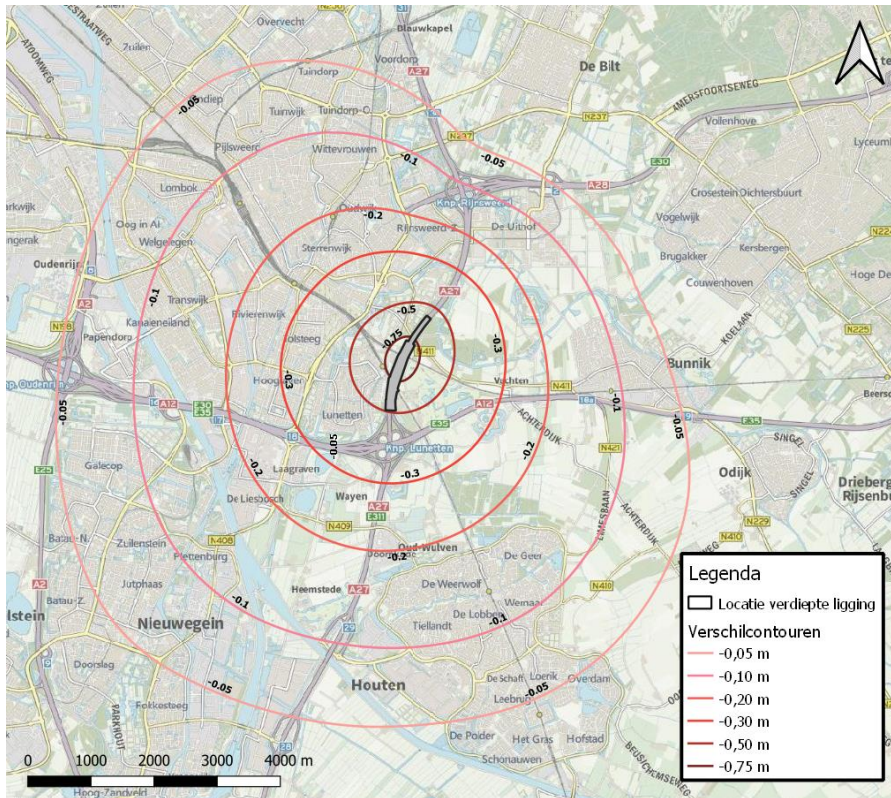


Afbeelding 7.6 Verandering stijghoogte eerste watervoerend pakket (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand)





Afbeelding 7.7 Verandering stijghoogte tweede watervoerend pakket (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand)



#### 7.1.4 Retourbemaling met schermwand

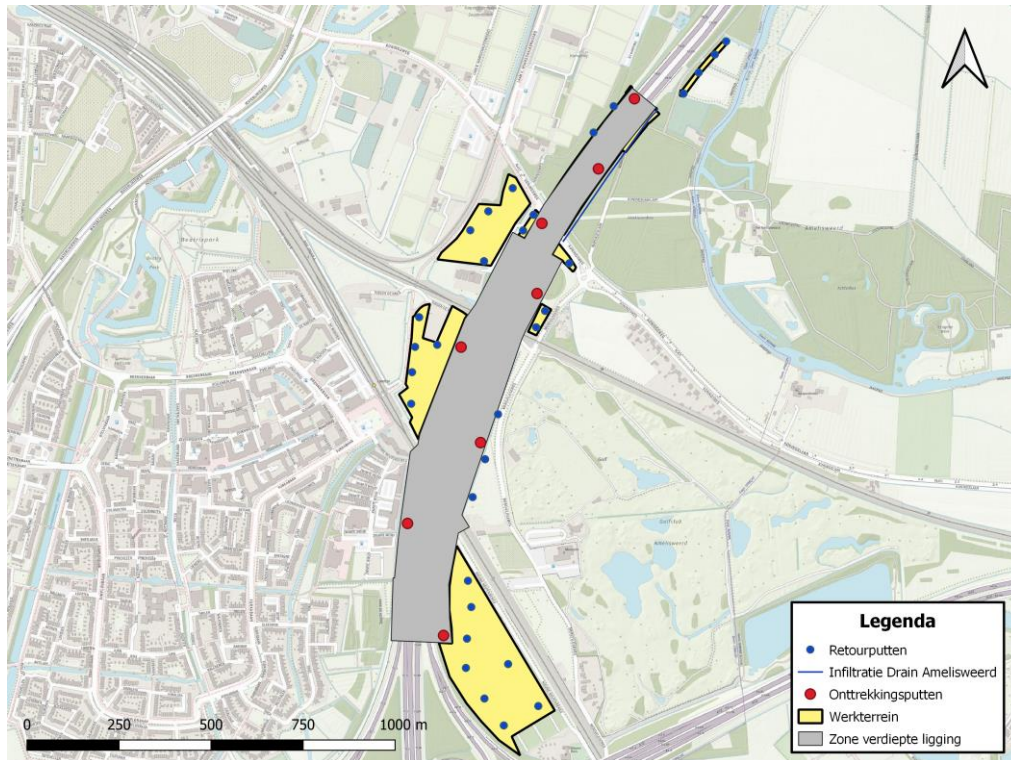
De situatie voor de bouwfase inclusief een schermwand kan verder verbeterd worden met behulp van het toepassen van een aanvullende beheersmaatregel: een retourbemaling. Hierbij is wederom uitgegaan van een worst case situatie m.b.t. de grondwatereffecten zoals in de voorgaande paragraaf toegelicht. Het onttrekkingsdebiet voor de benodigde bemaling is berekend met het grondwatermodel, waarbij rekening is gehouden met een 100 % retourbemaling.

##### Eigenschappen retourbemaling

Voor de effectberekening is het retourdebiet gelijkmatig verdeeld over de retourbemalingsputten en een infiltratiedrain. De locaties van de putten en infiltratiedrain in het grondwatermodel worden gegeven in Afbeelding 7.8. Het onttrokken debiet wordt geretourneerd in het 1e watervoerend pakket, gelijkmatig over het dieptetraject tussen NAP-10 en -25 m.

Ten opzichte van de onttrekking met retourbemaling exclusief een schermwand is het in de situatie met een schermwand mogelijk om de retourputten dichterbij de verdiepte ligging te plaatsen. Dit betekent dat de locaties van de retourputten in afbeelding 7.3 afwijken van de locaties voor de reguliere bemaling in afbeelding 7.8.

Abbeelding 7.8 Locaties onttrekkings- en retourputten



### Berekend bemalingsdebiet

In tabel 7.1 zijn de berekende bemalingsdebieten met retourbemaling weergegeven. In geval van de worst case situatie (m.b.t. weerstand van de geulen in de Waalreklei formatie en weerstand van de schermwand) bedraagt het bemalingsdebiet maximaal 680 m<sup>3</sup>/uur dat (rekenkundig) onttrokken wordt met 8 putten. Doordat bij een situatie met schermwand een lager bemalingsdebiet wordt berekend, is er ook een lager capaciteit voor de retourbemaling benodigd (verplichting 100 % retourbemaling conform beleid HDSR).

Tabel 7.1 Berekend bemalingsdebiet (incl. 100 % retourbemaling) (weerstand geulen WAK1 tabel 7.2, weerstand schermwand overall 250 dagen)

Weerstand in de geulen	Totaal Debiet (m <sup>3</sup> /uur)	Lek door schermwand (m <sup>3</sup> /uur)	Kwel door WAK1 Formatie (m <sup>3</sup> /uur)
Verwacht	360	292	68
Mimimaal (=worst case)	680	258	422

### Berekende verandering grondwaterstand en stijghoogte

De door het grondwatermodel berekende veranderingen van de freatische grondwaterstand en de stijghoogten als gevolg van de retourbemaling zijn weergegeven in afbeelding 7.9, afbeelding 7.10 en

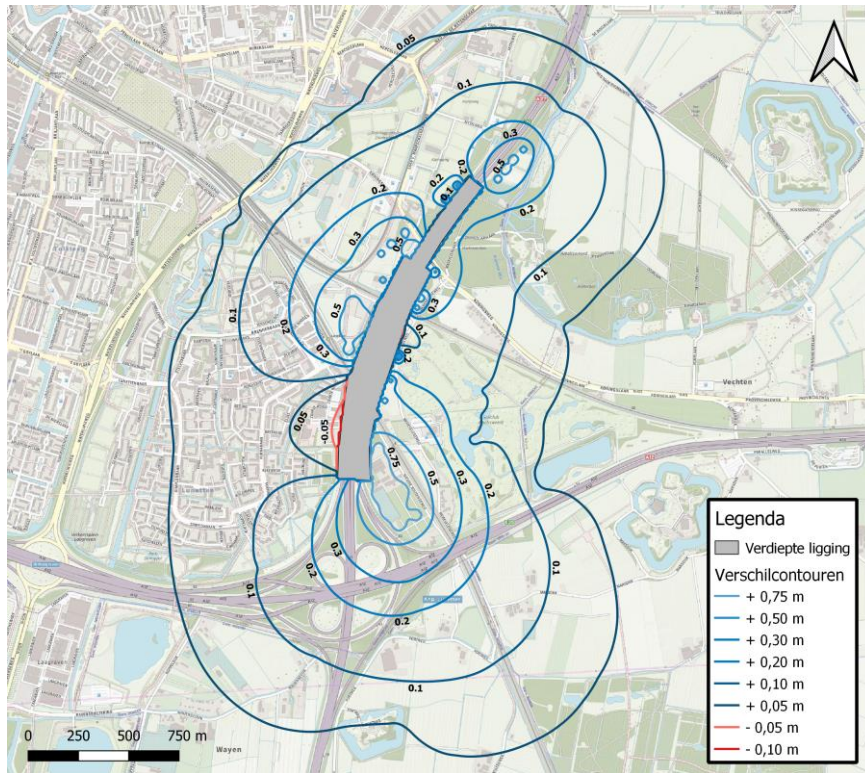
afbeelding 7.11.

Uit de verandering van de stijghoogte volgt dat er voornamelijk sprake is van een stijging in het eerste watervoerend pakket. Er is sprake van een verhoging, omdat het onttrokken grondwater uit zowel het eerste (lek door schermwand) als tweede watervoerend pakket (kwel door de Waalreklei formatie afkomstig is, terwijl al het grondwater in het eerste watervoerend pakket wordt geretourneerd. Het invloedgebied (5 cm veranderingscontour) varieert van 750 meter tot ruim ca. 1 km.

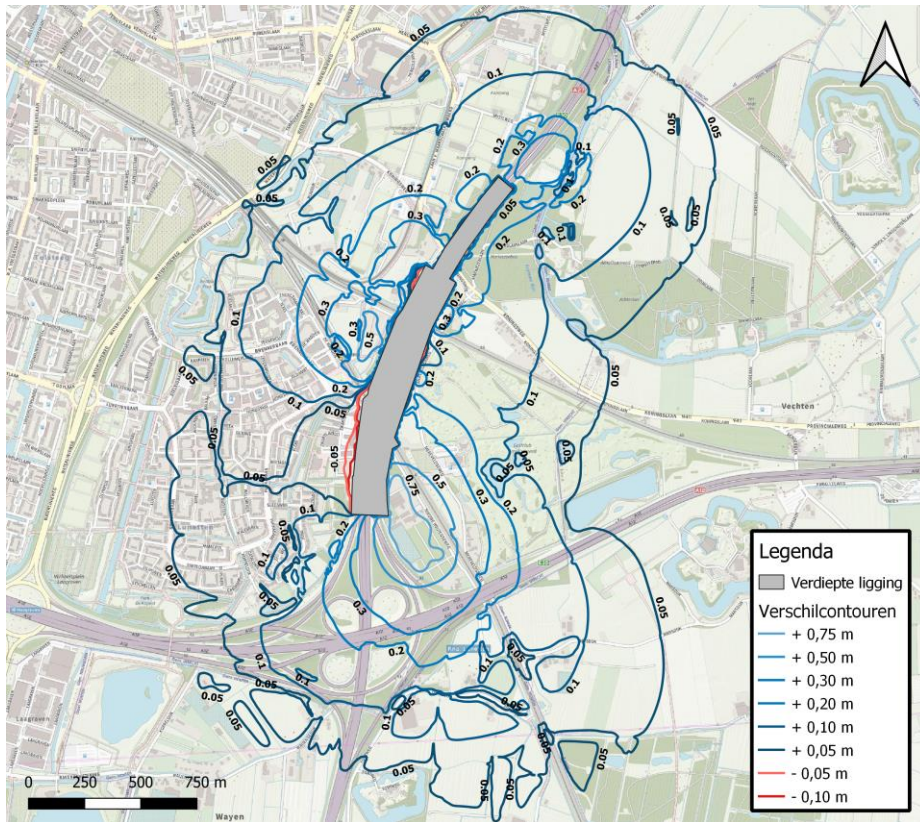


In het tweede watervoerend pakket is sprake van een daling van de grondwaterstand. Deze wordt verklaard door het water wat ten gevolge van de onttrekking in de verdiepte ligging door de Waalreklei formatie opwaarts stroomt. Het invloedgebied in het tweede watervoerend pakket (5 cm veranderingscontour) varieert van ca. 2,5 meter tot ca. 4,5 km.

Afbeelding 7.9 Verandering stijghoogte eerste watervoerend pakket (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand), blauw = stijging, rood = daling

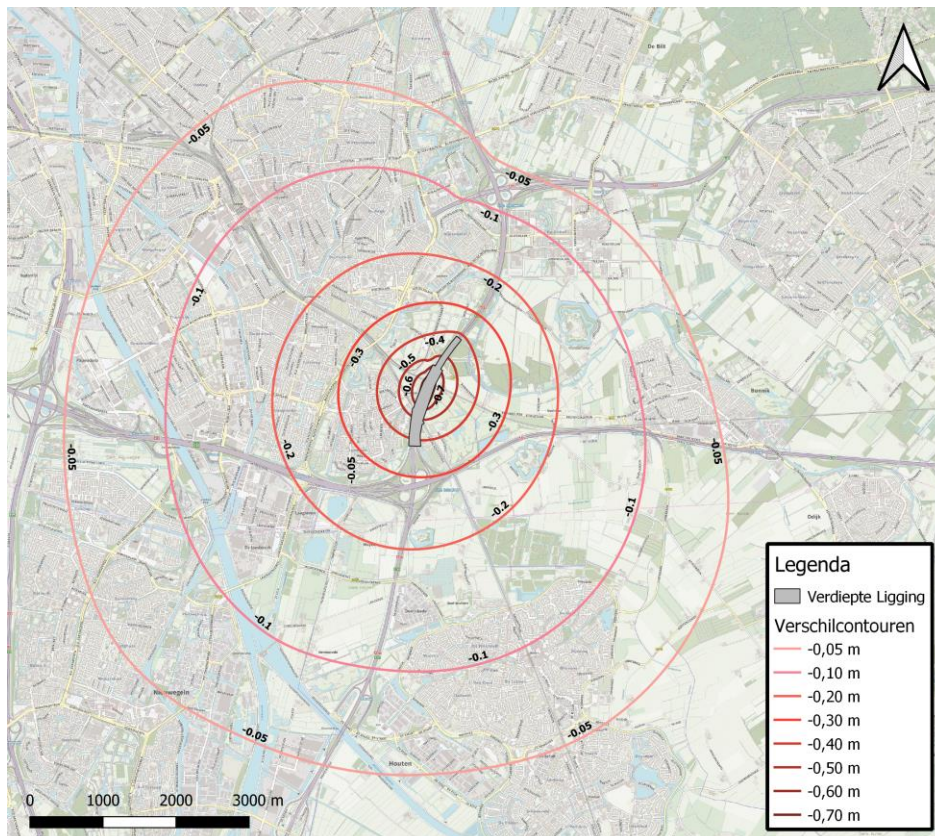


Afbeelding 7.10 Verandering freatische grondwaterstand (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand)





Afbeelding 7.11 Verandering stijghoogte tweede watervoerend pakket (worst case weerstand geulen in Waalre-Klei formatie tabel 7.2) (schermwand 250 dagen weerstand)



## 7.2 Gebruiksfase

De gebruiksfase beschrijft de fase na afronding van de aanleg wegverbreding (bouwfase). Dit betekent dat er een situatie plaatsvindt, waarbij de schermwand zich permanent in de ondergrond bevindt. In deze paragraaf zijn de grondwatereffecten op de omgeving als gevolg van deze situatie gepresenteerd. Dit is gebeurd op basis van de jaargemiddelde situatie. In hoofdstuk 8 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd omtrent deze grondwatereffecten voor een winter- en zomersituatie. Dit betreffen grondwatereffecten in de vorm van eventuele opstuwning of daling van de grondwaterstand ter plaatse van de permanent aanwezige schermwand.

### Eigenschappen van de schermwand

In de eindfase is gebruik gemaakt van een andere weerstand van de schermwand als bij de bouwfase. Beide hebben een andere weerstand die in relatie staat met een worst case benadering. De schermwand is in de eindsituatie gemodelleerd met weerstand tegen grondwaterstroming zoals weergegeven in tabel 7.2. De locaties van de verschillen in eigenschappen van de schermwand zijn gegeven in afbeelding 7.4. De keuze voor deze parameters is voor de eindsituatie worst case, omdat dit de hoogste weerstanden volgend uit de ontwerpparameters van de schermwand betreffen.

De locaties met een diepwand hebben een onderscheid in weerstand over de diepte. Er wordt uitgegaan van een potentieel lagere weerstand van de diepwand op een grotere diepte. Vanaf circa 40 meter minus maaiveld kan er geen voegprofiel worden aangebracht, en zal er meer 'lek' door het profiel van de wand zijn. Dit is gemodelleerd door een verlaging van de ingeschatte weerstand van de diepwand op grotere diepte. Vanaf 40 meter inbrengdiepte wordt 400 dagen weerstand ingeschat in plaats van de 4000 dagen in de eerste 40 meter inbrengdiepte ten opzichte van maaiveldniveau (zie tabel 7.2).

Tabel 7.2 Weerstand schermwand m.b.t. horizontale grondwaterstroming 'lek' (Locaties weergeven in afbeelding 7.4)

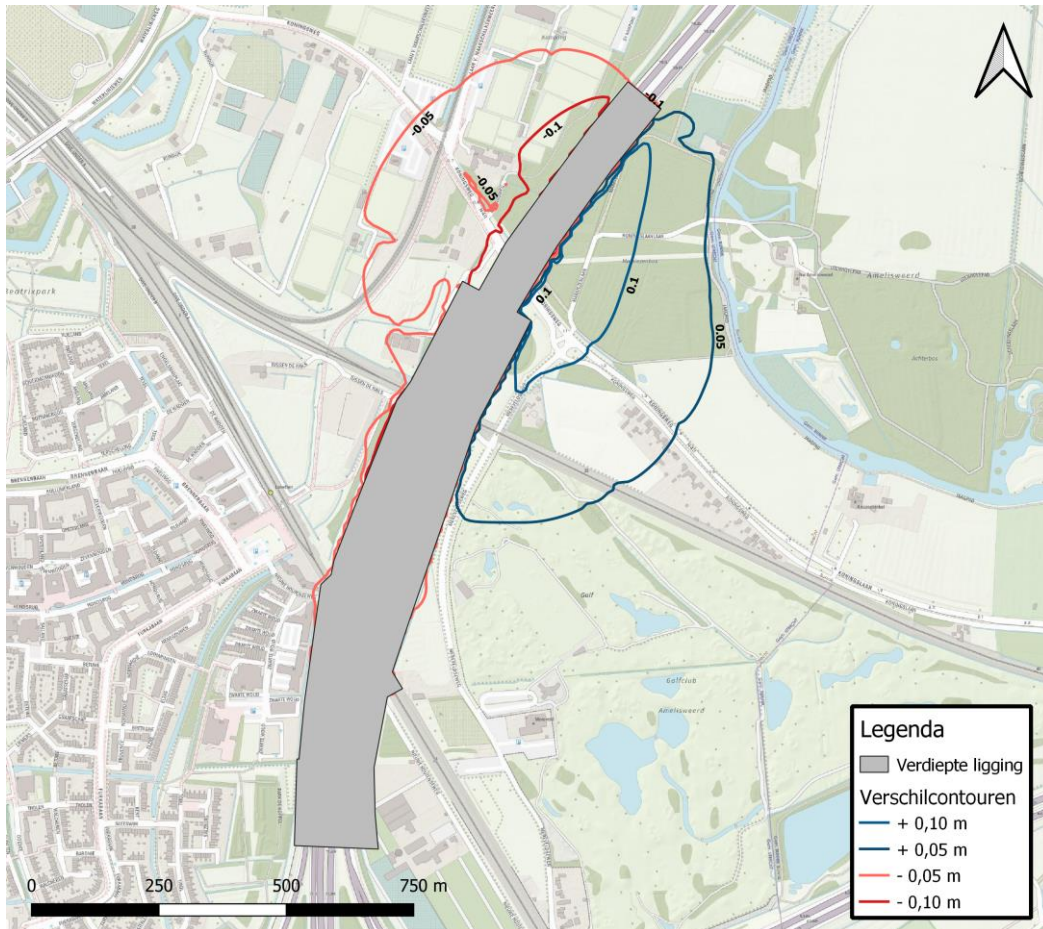
Type wand	Weerstand
Cement-bentoniet wand met U-wand	900 dagen
Diepwand tot circa 40 m minus maaiveld	4000 dagen
Diepwand vanaf circa 40 meter minus maaiveld tot inbrengdiepte	400 dagen
Hybridewand met U-wand	900 dagen

### Berekende verandering grondwaterstand en stijghoogte

De grondwatereffecten zijn gepresenteerd in afbeelding 7.12 en afbeelding 7.13. Uit de berekeningen volgen grondwatereffecten aan de noordzijde tot en met het midden van de bak. Deze opstuwings aan de oostzijde en verlagingen aan de westzijde na uitvoering zijn te verklaren, doordat de schermwand het grondwaterregime doorsnijdt. Enkel de noordzijde ondervindt een grondwatereffect, omdat de stromingsrichting daar richting de schermwand loopt. Aan de zuidzijde van de verdiepte ligging ligt de stromingsrichting uit de referentiesituatie namelijk overwegend in zuidelijke richting (parallel aan de verdiepte ligging).

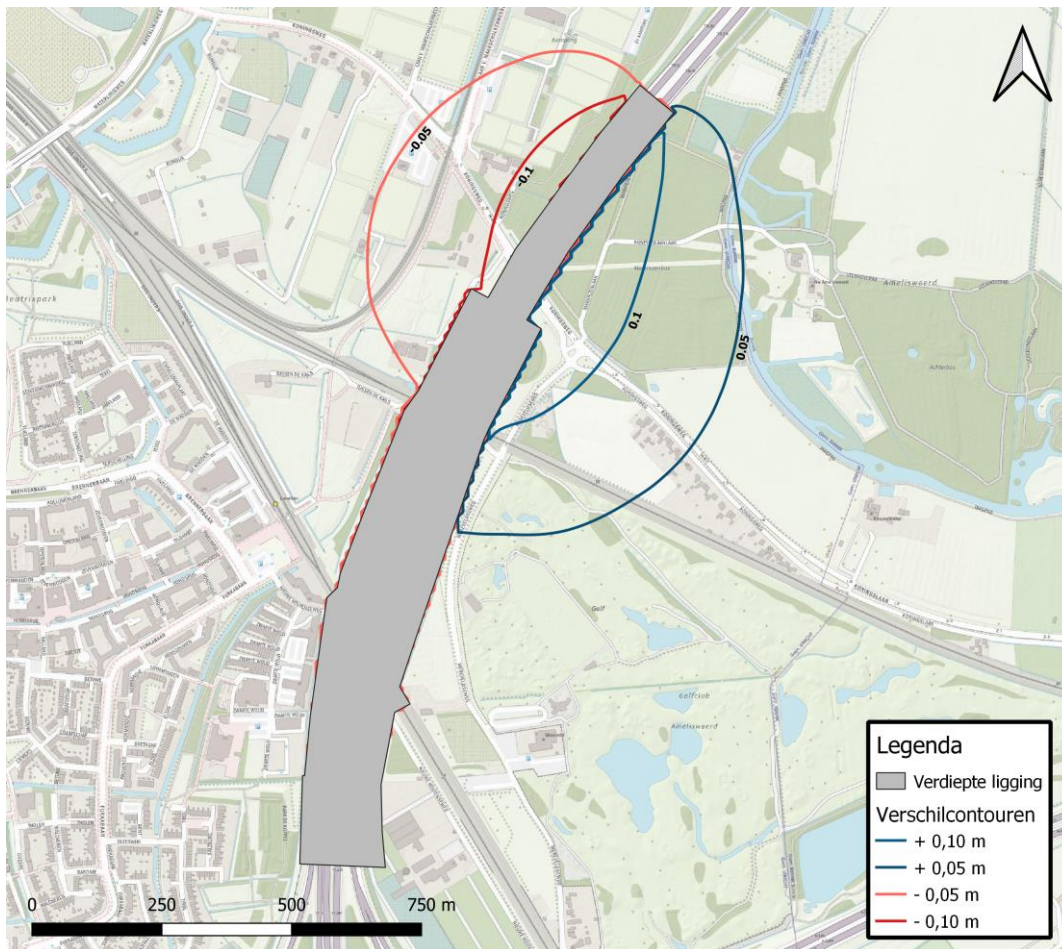
Voor de eindsituatie met de schermwand wordt in het tweede watervoerend pakket geen verandering van de stijghoogte berekend. De schermwand rijkt niet tot deze diepte en oefent daarmee geen invloed uit op het grondwaterregime in het tweede watervoerend pakket.

Afbeelding 7.12 Verandering freatische grondwaterstand (Opstuwung/verlaging grondwaterstand) t.o.v. referentiesituatie, weerstand scherm conform tabel 7.2





Afbeelding 7.13 Verandering stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (Opstuwung/verlaging stijghoogte) t.o.v. referentiesituatie



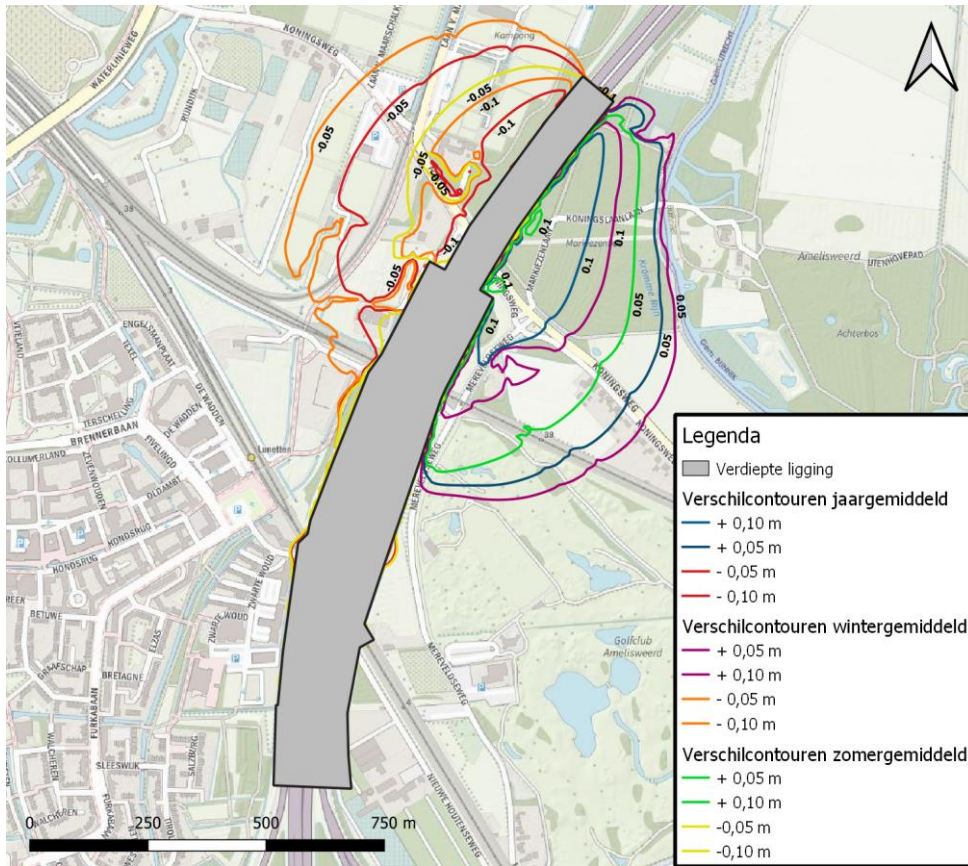
# 8

## GEVOELIGHEIDSANALYSES

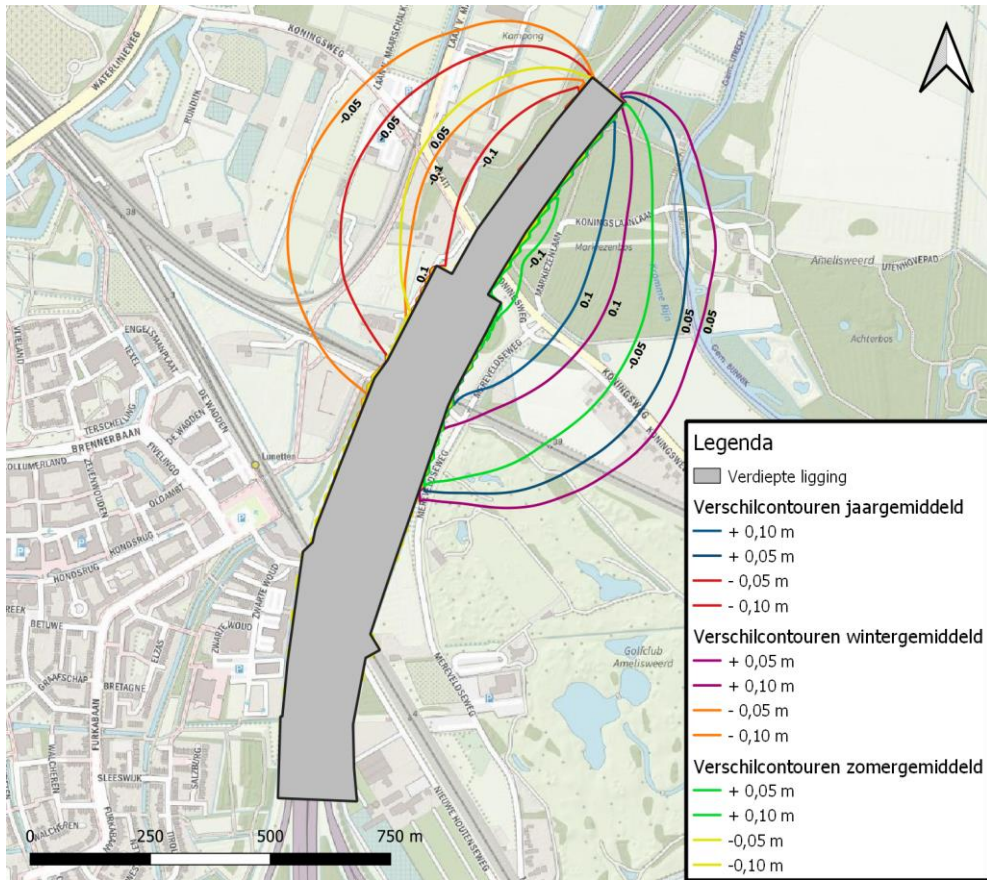
Om inzicht te hebben in de mate van verandering van opstuwing voor een natte en droge situatie is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd gebruikmakend van de wintergemiddelde situatie en een zomergemiddelde situatie. De inputparameter voor de grondwateraanvulling is ingevuld op basis van de gegevens van tabel 4.3 uit hoofdstuk 4. De oppervlaktewaterpeilen, startwaarden van de modellering en de randvoorwaarden van de modellering (P10 en P90) zijn allen gebaseerd op zomer- en wintergemiddelde situaties.

In afbeelding 8.1 en afbeelding 8.2 is het resultaat van de gevoeligheidsanalyse gegeven voor het beschouwen van een zomer-, jaar- en wintergemiddelde situatie. De jaar- zomer- en wintergemiddelde situaties zijn tegenover elkaar uiteengezet. Uit de resultaten volgt dat de wintergemiddelde situatie enkele centimeters meer en de zomergemiddelde situatie enkele centimeters minder aan opstuwing berekend. De locatie van de opstuwing blijft om en nabij op dezelfde positie aanwezig. De berekende opstuwing voor de wintersituatie blijft rond circa 0,1 meter. De berekende opstuwing voor de zomergemiddelde situatie ligt rond de 0,05 á 0,1 meter.

Afbeelding 8.1 Gevoeligheidsanalyse verandering freatische grondwaterstand (Opstuwung/verlaging grondwaterstand), weerstand scherm conform tabel 7.2



Afbeelding 8.2 Gevoeligheidsanalyse verandering stijghoogte eerste watervoerend pakket (Opstuwung/verlaging grondwaterstand), weerstand scherm conform tabel 7.2





# 9

## REFERENTIES

- Deltares. (2019). *A27 Ring Utrecht Modelinstrumentarium: Ontwikkeling Niet-Stationair Grondwatermodel*. Delft: Deltares. doi:11203561-000-BGS-0001
- Forzoni, A., & Hijma, M. (2019). *A27 ondergrondmodel schematisering en parameterisatie*. Delft: Deltares.
- Harbaugh, A. (2005). MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16*, 1-253.
- Vermeulen, P., Roelofsen, F., Minnema, B., Burgering, L., Verkaik, J., & Rakotonirina, D. (december 2019). *IMOD User Manual 5.0*. Delft: Deltares.

Bijlage(n)



**BIJLAGE: KWALITEITSCONTROLE QUICKSCAN MODELLERING MER-ACTUALISATIE  
MODEL DELTARES**

## Memo

### Aan

Jeroen de Leeuw  
Leo van Wee  
Martin van Grootveld

<b>Datum</b>	<b>Ons kenmerk</b>	<b>Aantal pagina's</b>
15 april 2020	11203558-021-BGS-0002	1 van 3
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Gijs Janssen	+31(0)88 335 7850	Gijs.Janssen@deltares.nl

### Onderwerp

QuickScan modellering t.b.v. MER actualisatie A27/A12 Ring Utrecht

## Quickscan modellering Witteveen en Bos

Deltares heeft een quickscan uitgevoerd op de grondwatermodellering van Witteveen en Bos t.b.v. de actualisatie MER A12/A27 Ring Utrecht.

Deze scan is globaal van karakter en betreft geen grondige toetsing van alle facetten van de modellering. De scan richt zich op drie aspecten, t.w. de ruimtelijke en temporele randvoorwaarden, de parameterisatie van ondergrond en schermwand, en een verificatie op basis van verkregen modelresultaten.

### Ruimtelijke en temporele randvoorwaarden

Het gekozen modelgebied is identiek aan dat van het niet-stationaire modelinstrumentarium van Deltares (Vermeulen et al., 2019). Tijdens de ontwikkeling van dat instrumentarium is specifiek onderzocht of dit modelgebied voldoende groot gekozen is.

Witteveen en Bos heeft andere keuzes gemaakt voor de buitenrandvoorwaarden (langjarig gemiddelde stijghoogtes t.o.v. stijghoogtes die representatief zijn voor een droge danwel natte periode), echter voor het interessegebied hebben deze keuzes geen significant effect.

Er is een stationair model gebruikt. De gebruikte bovenrandvoorwaarde (grondwateraanvulling) is gelijk aan de bovenrandvoorwaarde zoals afgeleid en gebruikt door Deltares.

### Parameterisatie

#### - *Ondergrond*

Voor de parameterisatie van de ondergrond is gebruik gemaakt van het ondergrondmodel van het niet-stationaire modelinstrumentarium van Deltares. Voor toepassing in het model van Witteveen en Bos is dit ondergrondmodel verschaald van 20 modellagen naar 13 modellagen. De wijze van verschaling die hiervoor gehanteerd is geëvalueerd. We zijn het, voor het doel waarvoor het model gebruikt is, eens met de hiervoor gehanteerde keuzes en methodes.

#### - *Schermwand*

De schermwand is op een vergelijkbare manier in het model geschematiseerd als toegepast door Deltares in het bandbreedteonderzoek (Janssen et al., 2019). Een geconstateerd verschil is de toegepaste weerstand voor de wand in de aanlegfase. Hiervoor is door Deltares een effectieve weerstand van 250 dagen gebruikt, waarbij gecorrigeerd is voor de schematisatie van de wand langs de gridcellen (wat in het model een groter wandoppervlak oplevert dan in werkelijkheid het geval zal zijn). In het Witteveen en Bos model is deze correctie niet toegepast, waardoor de effectieve weerstand lager is dan 250 dagen. Hiermee wordt dus een nog wat "slechtere" wand verkregen en wordt het scenario voor het bemalingsdebiet dus nog wat meer "worst-case".



### Verificatie op basis van verkregen modelresultaten.

De verificatie behelsde het narekenen van het door Witteveen en Bos, in de vorm van de benodigde modelbestanden, aangeleverde scenario "ONTTREKKING". Deze scenario houdt in:

- Schermwand met 250 dagen weerstand (waarbij deze weerstand de invoerparameter voor het model betreft en er niet gecorrigeerd wordt voor de lengte van de wand).
- Bemaling binnen de schermwand m.b.v. putten
- Retourbemaling
- Stationaire modellering (met langjarig gemiddelde grondwateraanvulling).

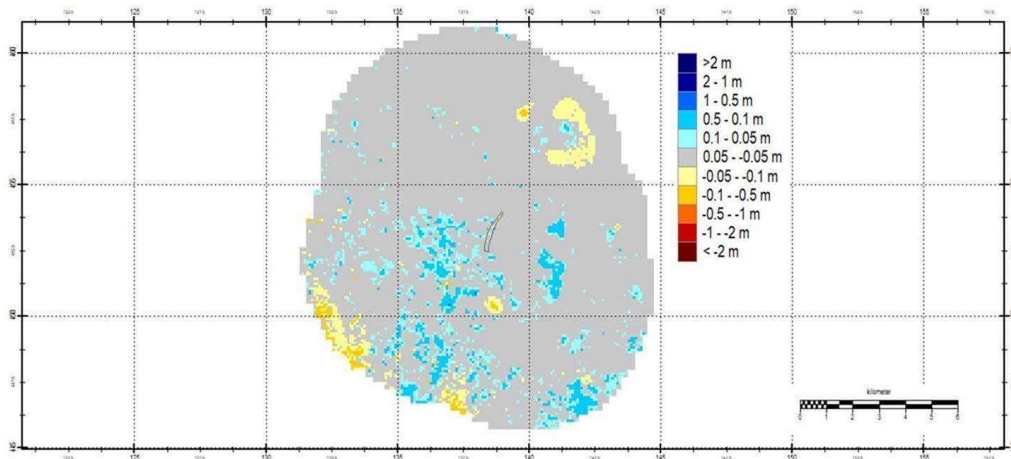
Na synchronisatie van de modellering wat betreft bovenstaande geïdentificeerde discrepanties (t.w. de schermweerstand en de randvoorwaarden) zijn zowel het "Deltares model" als het "Witteveen en Bos model" voor dit scenario doorgekend. Onderstaande figuren geven het verschil in berekende stijghoogtes voor de freatische laag (laag 1). De verschillen zijn overal klein en er zijn geen systematische afwijkingen.

Witteveen en Bos heeft t.b.v. de MER zelf ook een succesvolle verificatie/validatie van het model uitgevoerd middels vergelijking met metingen en een narekening van de calamiteitenonttrekking van juni 2019.

### Conclusie

Op basis van bovenstaande bevindingen van deze quickscan komt Deltares tot de conclusie dat er geen grote verschillen zitten in de modeluitkomsten, vergeleken met die welke berekend worden met het Deltares modelinstrumentarium, voor een "gemiddelde situatie".

### **Vershil freatische stijghoogte "Deltares – Witteveen en Bos", Regionaal**



(z.o.z.)

### Verschil freatische stijghoogte “Deltares – Witteveen en Bos”, Interessegebied

