

Grondwatermodellering A4 Delft - Schiedam

Scenarioberekeningen



Grondwatermodellering A4 Delft - Schiedam

Scenarioberekeningen

ir. H.T. Sman

1208001-000

Titel

Grondwatermodellering A4 Delft - Schiedam

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Verkeer en
Leefomgeving

Project

1208001-000

Kenmerk

1208001-000-GEO-0027-
gbh

Pagina's

38

Trefwoorden

Grondwater, omgeving, verdiepte ligging

Samenvatting

De Rijksweg A4 Delft-Schiedam wordt deels verdiept aangelegd binnen waterremmende wanden. Binnen de wanden wordt de grondwaterstand permanent verlaagd. Bij het Hoogheemraadschap van Delfland (HHD) is voor het ontwerp vergunning aangevraagd en verkregen voor een onttrekking van 400 m³/d. Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden is gebleken dat het lekdebiet groter is dan waar in het ontwerp van was uitgegaan. Dit heeft geleid tot het aanvragen van een wijziging van de eerder verleende vergunning tot een debiet van 1.450 m³/dag. De te verwachten effecten van deze uitbreiding zijn voor de wijzigingsaanvraag berekend met een regionaal grondwatermodel.

Naar aanleiding van ingediende zienswijzen op het ontwerpbesluit van het HHD voor de gewijzigde watervergunning, is een aanvullende parametergevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyse heeft betrekking op de parameters in het gebruikte grondwatermodel die van invloed zijn op de freatische grondwaterstand. Uit deze parametergevoeligheidsanalyse zijn sets van modelparameters geselecteerd waarmee drie scenario-berekeningen zijn uitgevoerd.

In scenario A is gerekend met bodemeigenschappen (infiltratie-weerstand, deklaagweerstand, doorlatendheid en bergingscoëfficiënt) die het best aansluiten op de beperkte lokaal beschikbare informatie over het verloop van de freatische grondwaterstand. De effecten die met dit scenario zijn berekend geven daarom een eerste indruk van de te verwachten effecten voor een kleibodem. Bodemeigenschappen zullen echter van plaats tot plaats variëren. De effecten op de freatische grondwaterstand van mogelijke afwijkingen in bodemeigenschappen zijn met de scenario's B en C in beeld gebracht. Scenario C kan hierbij worden beschouwd als een conservatief scenario, omdat hierin alle bovengenoemde bodemeigenschappen aan de ongunstige kant van de geraamde bandbreedte zijn vastgesteld.

Voor deze scenario's is de freatische grondwaterstand berekend aan het eind van de zomer in een gemiddeld (mediaan) jaar (berekening 1) en een zeer droog jaar (berekening 2). Voor de naamgeving van deze modelresultaten wordt gewerkt met de codes A1 t/m C2.

Uit de scenarioberekening volgt:

- 1 Een verlaging van de freatische grondwaterstand in een mediaan jaar als gevolg van de grondwateronttrekking van de A4 van 0,15 m (A1) en 0,19 m (C1), bovenop de berekende daling van de freatische grondwaterstanden, aan het eind van de zomer zonder de A4, van respectievelijk 0,65 m (A1) en 1,61 m (C1) onder de gemiddelde grondwaterstand in de winter.
- 2 Een verlaging van de freatische grondwaterstand in een zeer droog jaar als gevolg van de grondwateronttrekking van de A4 van 0,08 m (A2) en 0,13 m (C2), bovenop de berekende daling van de freatische grondwaterstanden, aan het eind van de zomer zonder de A4, van respectievelijk 1,52 m (A2) en 1,87 (C2) m onder de gemiddelde grondwaterstand in de winter. De verlaging door de A4 is in een zeer droog jaar minder dan in een gemiddeld jaar, doordat het grondwater laag staat en het gewas daardoor moeilijker water kan onttrekken en verdampen.

Titel

Grondwatermodellering A4 Delft - Schiedam

OpdrachtgeverRijkswaterstaat Verkeer en
Leefomgeving**Project**

1208001-000

Kenmerk1208001-000-GEO-0027-
gbh**Pagina's**

38

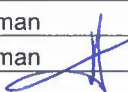
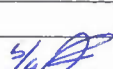

- 3 In totaal wordt in een gebied van 4 (A1) tot 163 (C1) hectare een verlaging van de freatische grondwaterstand van meer dan 5 cm berekend.
- 4 Voor de beoordeling van de (verdrogings- en zettings-)effecten dient een aangepaste gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) afgeleid te worden. Deze aangepaste GLG, inclusief het effect van de A4, kan worden bepaald door van de GLG in de ongestoorde situatie, de berekende verlaging ten gevolge van de A4 af te trekken. De verlaging in het mediane jaar is meest bepalend voor de verlaging van de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Op basis van de uitgevoerde modelanalyse wordt aanbevolen om het monitoringsysteem uit te breiden en gegevens te verzamelen waarmee optredende effecten geanalyseerd kunnen worden door:

- 1 In de directe omgeving van de A4 een raai van peilbuizen te plaatsen en te monitoren in het bodemtype klei.
- 2 In de directe omgeving van de A4 een raai van peilbuizen te plaatsen en te monitoren in het bodemtype veen.
- 3 Ter hoogte van de nieuw te plaatsen raaien in de bodemtypen klei en veen infiltratieproeven te doen om de introdeweerstand van de sloot ter plaatse te bepalen.

Referenties

RWS Zaaknummer 31079980/4500

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	sept. 2015	ir. H.T. Sman		prof. ir. A.F. van Tol		ir. drs. J. van Ruijven	
2	sept. 2015	ir. H.T. Sman		prof. ir. A.F. van Tol		ir. drs. J. van Ruijven	
3	sept. 2015	ir. H.T. Sman		prof. ir. A.F. van Tol		ir. drs. J. van Ruijven	
4	nov. 2015	ir. H.T. Sman		prof. ir. A.F. van Tol		ir. drs. J. van Ruijven	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Uitgangssituatie	5
2.1 Grondwatermodel	5
2.2 Modelparameters in de uitgangssituatie	6
3 Bandbreedte modelparameters	7
3.1 Inleiding	7
3.1.1 Modeldiscretisatie	8
3.2 Weerstand van de deklaag	8
3.3 Interactie met het oppervlaktewatersysteem	9
3.3.1 In- en uittredeweerstand	9
3.3.2 Horizontale doorlatendheidscoëfficiënt	9
3.4 Berging in het freatische pakket	10
3.5 Bandbreedte voor parametergevoeligheidsanalyse	10
3.5.1 Samenhang met eerdere modelberekeningen	11
4 Parametergevoeligheidsanalyse	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Modelaspecten	14
4.2.1 Onverzadigde zone	14
4.2.2 Modeluitvoer	14
4.2.3 Gemeten en berekende grondwaterstanden	15
4.2.4 Grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater	16
4.3 Conclusies op basis van de uitgevoerde berekeningen	16
4.4 Scenario's	20
4.4.1 Selectie van modelparameters	20
4.4.2 Modelkeuze scenarioberekeningen	21
4.4.3 Verschil met het gebruikte model voor wijzigingsaanvraag	22
4.4.4 Scenario A	22
4.4.5 Scenario B	24
4.4.6 Scenario C	25
4.5 Conclusies scenarioberekeningen	27
5 Conclusies en aanbevelingen	29
5.1 Conclusies	29
5.2 Aanbevelingen	31
6 Verklarende woordenlijst	33
7 Referenties	37

Bijlage(n)

A Karakteristieke bodemparameters	A-1
B Peilbuiswaarnemingen	B-1
C Klimatologische gegevens	C-1
D Infiltratie vanuit het oppervlaktewater	D-1
E Modelberekeningen	E-1
E.1 Gevoeligheidsanalyse	E-1
E.1.1 Inleiding gevoeligheidsanalyse	E-1
E.1.2 Uitgevoerde berekeningen	E-1
E.1.3 Variatie van de vier meest relevante modelparameters	E-4
E.1.4 Conclusie en selectie van modelparameters	E-12
E.2 Scenarioberekeningen	E-13
E.2.1 Weergave van resultaten	E-13
E.2.2 Analyse scenarioberekeningen	E-15
E.3 Overzicht uitgevoerde modelberekeningen	E-24
F Kaarten met GLG en GHG waarden	F-1
G Vergelijking met modellering februari 2015	G-1
G.1 1 ^e Watervoerende pakket	G-1
G.2 Freatische pakket	G-3

1 Inleiding

Rijksweg A4 Delft–Schiedam wordt, nabij de Zweth, voor een deel aangelegd in een half verdiepte ligging (HVL) en voor een deel in een verdiepte ligging (VL) binnen waterremmende wanden (zie Figuur 1.1). Binnen deze wanden wordt de grondwaterstand, door middel van ontlastbronnen, permanent verlaagd (Figuur 2.1). Bij het Hoogheemraadschap van Delfland (HHD) is vergunning aangevraagd en verkregen voor een onttrekkingsdebiet van 400 m³/dag, vermeerderd met 10% wanneer de DSM-onttrekking stopt [Delfland, 2014].

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden is gebleken dat het totale lekdebiet groter was dan waar in het ontwerp van was uitgegaan, resulterend in een hoger onttrekkingsdebiet. Daarop zijn alle verdachte locaties onderzocht en gerepareerd. Het totale lekdebiet is door deze acties teruggebracht van 2.600 m³/dag naar circa 1.200 m³/dag. Daarnaast heeft het uitvoerige aanvullende onderzoek geleid tot het huidige meer gedetailleerde beeld over lekmechanismen en de oorzaak van de overschrijdingen. Het beeld is dat er sprake is van een diffuse lekkage voornamelijk door de wand (VL) en gedeeltelijk door de vloer (VL en HVL).

Rijkswaterstaat (RWS) heeft een uitbreiding aangevraagd op de eerder verleende vergunning (wijzigingsvergunning) naar 1.450 m³/dag en 1.525 m³/dag wanneer de DSM-onttrekking stopt [A4All, 2015A]. Op verzoek van RWS heeft Deltares de wijziging van de vergunning onderbouwd door de gevolgen van het hogere lekdebiet te berekenen, gebruikmakend van een grondwatermodel [TNO, 2008A] dat is ontwikkeld voor het onderzoeken van de effecten van het stopzetten van de grondwateronttrekking DSM (Delflandmodel). Voor een nadere beschrijving van dit model en de ijkingsprocedure wordt verwezen naar het betreffende rapport [TNO, 2008A/B]. Met dit grondwatermodel als basis zijn de effecten van de aanleg van de A4 doorgerekend, nadat een aantal aanpassingen is doorgevoerd. Deze aanpassingen bestaan onder meer uit het toevoegen van nieuwe informatie, zoals lokaal uitgevoerd grondonderzoek. Een en ander is beschreven in [Deltares, 2015A] en samengevat in hoofdstuk 2 van dit rapport.

De te verwachten effecten van de uitbreiding van de onttrekking zijn beschreven in [Deltares, 2015A]. Naar aanleiding van de zienswijzen op de ontwerpbeschikking voor de wijzigingsvergunning, waaronder vragen van de gemeente [Gemeente Midden-Delfland, 2015] op basis van de rapportage van Wareco als adviseur van de gemeente [Wareco, 2015], heeft RWS Deltares gevraagd de bandbreedte in de te verwachten effecten in termen van een verlaging van de freatische grondwaterstand in beeld te brengen.

Naar aanleiding van de ingediende zienswijzen op het ontwerpbesluit van het HHD voor de gewijzigde watervergunning, is in voorliggende rapportage een aanvullende parametergevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyse heeft betrekking op de parameters in het gebruikte grondwatermodel die met name van invloed zijn op de freatische grondwaterstand. Uit deze parametergevoeligheidsanalyse zijn drie sets van modelparameters geselecteerd waarmee scenarioberekeningen zijn uitgevoerd.

In scenario A is gerekend met bodemeigenschappen (infiltratie-weerstand, deklaagweerstand, doorlatendheid en bergings-coëfficiënt) die het best aansluiten op de zeer beperkte lokaal beschikbare informatie van het verloop van de freatische grondwaterstand. De effecten die met dit scenario zijn berekend geven daarbij een eerste indruk van de gemiddeld te verwachten effecten voor een kleibodem. Bodemeigenschappen zullen echter lokaal variëren.

De effecten op de freatische grondwaterstand van mogelijke afwijkingen in bodemeigenschappen zijn met de scenario's B en C in beeld gebracht. Scenario C kan hierbij worden beschouwd als een conservatief scenario omdat hierin alle bovengenoemde bodemeigenschappen aan de bovenkant van bandbreedte zijn vastgesteld.

Voor deze scenario's is de verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van het lekdebiet bepaald aan het eind van de zomer in een gemiddeld jaar (berekening 1) en aan het eind van de zomer in een zeer droog jaar (berekening 2). Voor de naamgeving van deze modelresultaten wordt gewerkt met de codes A1 t/m C2.

In voorliggend rapport wordt in hoofdstuk 2 de uitgangssituatie beschreven. Dit betreft de bodemparameters zoals die zijn bepaald in het oorspronkelijke grondwatermodel [TNO, 2008A] en de verfijning en detaillering die is aangebracht in het gebied van de A4 Delft – Schiedam. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de vier nader te beschouwen relevante modelparameters, de mogelijke range in parameterwaarden en de bandbreedte die in het veld verwacht kan worden, waarbij de samenhang tussen de parameters mede beschouwd is. In hoofdstuk 4 zijn de uitgevoerde parametergevoeligheidsanalyses samengevat, de berekeningen zijn beschreven in bijlage E. Aan het einde van hoofdstuk 4 zijn de doorgerekende scenario's en hun effecten beschreven. Conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 is een verklarende woordenlijst opgenomen. Hoofdstuk 7 bevat de referenties. Een aantal gegevens met betrekking tot gemeten grondwaterstanden, klimatologische gegevens en berekende hoeveelheden in te laten water zijn toegevoegd als bijlage bij deze rapportage.



Figuur 1.1 Locatie van verdiepte en half verdiepte ligging in het tracé van de A4 Delft – Schiedam [A4All, 2015A]

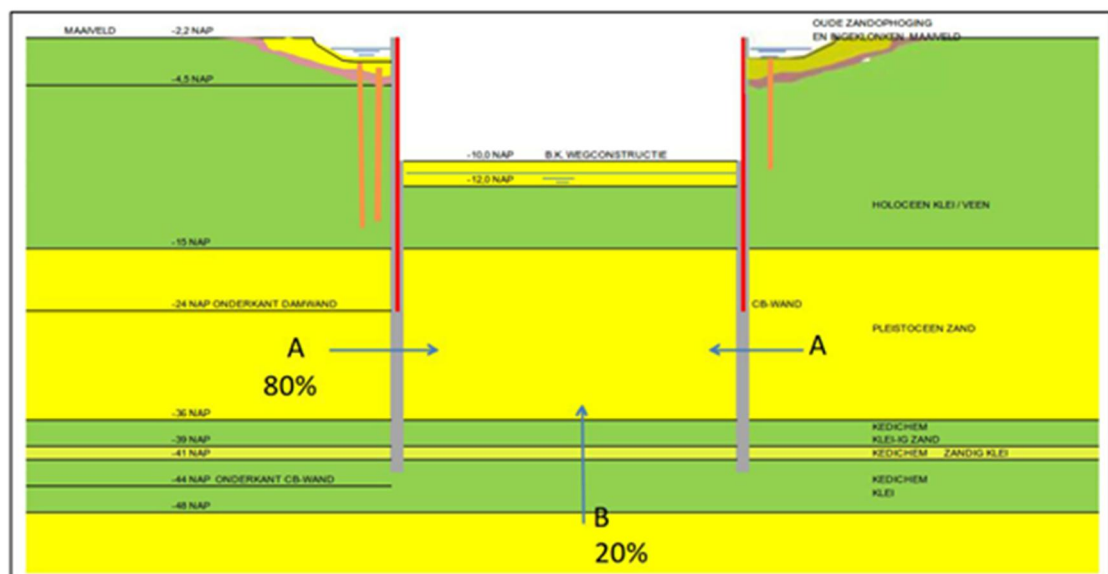
2 Uitgangssituatie

2.1 Grondwatermodel

Voor de modellering van het grondwater is in de basis gebruik gemaakt van het regionale grondwatermodel dat is opgesteld in het kader van het Delft Cluster onderzoek. Dit model is ontwikkeld ter beoordeling van de eventuele gevolgen van stopzetting van de onttrekking van DSM in Delft. Voor de opzet van dit model is gebruik gemaakt van gegevens uit REGIS en GEOTOP. Het stationaire model is gekalibreerd op meetreeksen die van DINO of van derden uit het modelgebied beschikbaar waren. Bij de kalibratie is gebruik gemaakt van 400 meetpunten in het freatische en 200 meetpunten in het eerste watervoerend pakket [TNO 2008A en 2008B].

Voor de analyse van omgevingseffecten als gevolg van de drainage ten behoeve van de A4 [Deltares, 2015A] is bovengenoemde grondwatermodel in de omgeving van de A4 (over 2,5 bij 4 km²) verfijnd en gedetailleerd. Dit nieuwe model zal in het vervolg aangeduid worden als het Grondwatermodel A4. Bij het opzetten van dit model is gebruik gemaakt van recente sonderingen in het tracé van de weg (circa 250). Op basis van deze gegevens is (zie ook Figuur 4.1):

- Het rekenrooster in de omgeving van de A4 verkleind naar vakken van 5 bij 5 m². In het oorspronkelijke model bedroeg de afmeting van het rekenrooster ter plaatse van de A4 Delft Schiedam 25 bij 25 m².
- De configuratie van de A4 in model gebracht (zie Figuur 1.1 en Figuur 2.1).
- Het gedeelte van de lokale tussenzandlaag, welke sterker ontwikkeld is (de zogenaamde Deltazone), in model gebracht.
- Plaatselijk het ontbreken van het basisveen in model gebracht.



[A]: Lekwater door wandconstructie

[B]: Lekwater door Kedichemlaag

Figuur 2.1 Dwarsdoorsnede over verdiepte ligging met bodemopbouw en indicatieve lekstromen [A4All, 2015A]

2.2 Modelparameters in de uitgangssituatie

Uit het oorspronkelijke model [TNO, 2008B] is de in Tabel 2.1 samengevatte set van modelparameters afgeleid voor het Grondwatermodel A4 [Deltares 2015A]. De definitie van termen is opgenomen in hoofdstuk 6.

De parameters doorlatendheidscoëfficiënt (freatische watervoerende laag) en de verticale weerstand van de deklaag, zijn ruimtelijk verdeeld in model gebracht. Op basis van de lokale bodemopbouw heeft de gridcel een eigen waarde voor deze parameters. Dit is weergegeven in de Figuur 3.2 en Figuur 3.3. In de tabel zijn deze parameters daarom gekarakteriseerd aan de hand van percentielen. Voor het 10% percentiel geldt dat 10% van de gridcellen een waarde hebben van minder dan 0,19 m/d danwel 8.700 dagen bij respectievelijk de doorlatendheidscoëfficiënt en de weerstand.

Parameter		Eenheid	Waarde	Opmerking
Oppervlaktewater				
Intredeweerstand	C_i	[d]	2	Uniforme waarde
Uttredeweerstand	C_u	[d]	2	Uniforme waarde
Bodemparameters				
Bergingscoëfficiënt	n	[-]	0,15	Uniforme waarde
Doorlatendheidscoëfficiënt (Freatische water- voerende laag)	k_h	[m/d]	0,19 0,22 0,80	Ruimtelijk verdeeld, vermeld zijn de percentielen voor 10%, 50% en 90% van de bandbreedte
Weerstand deklaag (vert.)	C	[d]	8.700 10.600 13.100	Ruimtelijk verdeeld, vermeld zijn de percentielen voor 10%, 50% en 90% van de bandbreedte
Klimatologische gegevens				
Neerslagoverschot	N	[mm/d]	+0,8	Jaargemiddelde waarde bij stationaire berekening
Neerslagtekort	N	[mm/d]	-0,66	Gemiddeld in mediaan jaar voor periode 1 april 15 – sept
	N	[mm/d]	-1,74	Gemiddeld in 5% droog jaar voor periode 1 april 15 – sept
Verdampingsreductie				
Diepte wortelzone	-	[m-mv]	0,50	Bij een grondwaterstand tot deze diepte wordt gerekend met 100% verdamping [CV 1988, NHI 2008]
Dikte reductiezone	-	[m]	1,80	Bij een grondwaterstand tussen onderkant wortelzone en dikte reductiezone wordt gerekend met een lineaire afname van verdamping van 100% naar 0% [CV 1988, NHI 2008]
Onttrekkingen				
Lekdebiet VL (Verdiepte ligging)	Q_{VL}	[m ³ /d]	990,5	Onttrekking compartimenten 11 t/m 14 [A4All, 2015A]
Lekdebiet HVL (Half verdiepte ligging)	Q_{HVL}	[m ³ /d]	197,5	Onttrekking compartimenten 1 t/m 10 +15 [A4All, 2015A]
Onttrekking DSM (voormalige Gist)	Q_{DSM}	[m ³ /d]	28.800	

Tabel 2.1 Modelparameters onderzoek omgevingseffecten Grondwatermodel A4 [Deltares 2015A]

3 Bandbreedte modelparameters

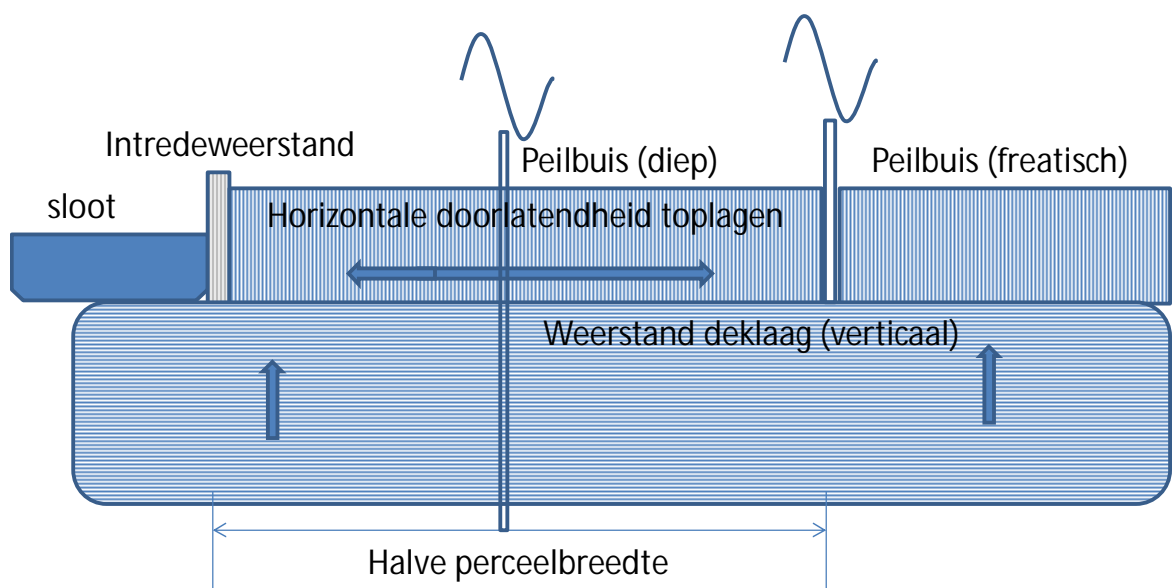
3.1 Inleiding

Voor het beoordelen van de effecten van de grondwateronttrekking ten behoeve van de A4 is vooral de invloed op de hoogte van het freatisch vlak van belang. De hoogte van het freatisch vlak bepaalt in belangrijke mate de gewasopbrengst en bodemdaling.

De invloed van de onttrekking ten gevolge van de A4 op de freatische grondwaterstand is sterk afhankelijk van de mogelijkheid waarmee het grondwater uitwisselt met het lokale oppervlaktewater en de doorwerking in de Holocene deklaag. Voor de analyse van deze invloed zijn vier modelparameters van belang: de horizontale doorlatendheid van de toplagen, de weerstand tegen in- of uitstromen tussen grond en sloot, de verticale weerstand van de deklaag en de berging boven het freatische vlak. In het studiegebied zijn deze gegevens niet in het veld gemeten. Dit is de reden om door middel van een gevoeligheidsanalyse op de modelparameters de bandbreedte van de mogelijke invloed nader in beeld te brengen.

De mate en de snelheid van uitzakken worden bepaald door de intredeweerstand vanuit de sloot, de horizontale doorlatendheid van de toplagen van de bodem en de kwel via de deklaag, welke mede afhankelijk is van de weerstand van de deklaag, zoals schematisch weergegeven in Figuur 3.1. Daarnaast is de snelheid waarmee het grondwater uitzakt ook afhankelijk van de freatische berging. In navolgende paragrafen worden deze vier meest relevante modelparameters nader toegelicht en wordt aangegeven welke te beschouwen bandbreedte voor de parameters ten behoeve van onderhavige studie is vastgesteld.

Opgemerkt wordt dat het verloop van de freatische grondwaterstand ook beïnvloed wordt door processen in de onverzadigde zone. Dit betreft onder andere de afname van de verdamping wanneer de grondwaterstand uitzakt tot onder de wortelzone. Bij de parametergevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 3) is gewerkt met vaste waarden voor de parameters die de verdampfingsreductie bepalen (paragraaf 2.4.1).



Figuur 3.1 Schematische weergave van de grondwaterstroming in de deklaag

3.1.1 Modeldiscretisatie

Het gebruikte modelinstrumentarium bestaat uit meerdere (deel)grondwatermodellen op verschillende schalen. Het meest omvangrijke model omvat de provincie Zuid-Holland en is opgebouwd uit gridcellen van 250 m. Binnen dit model is een verfijnd deelmodel aanwezig dat de zeer ruime omgeving van de A4 omvat en welke is opgebouwd uit gridcellen van 25 m. Voor de gedetailleerde berekeningen voor de A4 is de omgeving van de A4 in model gebracht met gridcellen van 5 m. De randvoorwaarden van een deelmodel worden bepaald door het grotere model, waarvan het deelmodel een uitsnede is. Op de randen van het deelmodel is de met het regionale(re) model berekende grondwaterstand (danwel –stijg-hoogte) als randvoorwaarde gehanteerd. De discretisatie van het gebruikte grondwatermodel (5 m), ten opzichte van de in het gebied voorkomende slootafstanden (50 tot 100 m), is voldoende fijn om deklaag en oppervlaktewater in hoge mate van detail te modelleren. Hierdoor is het mogelijk te rekenen met een in- en uittredeweerstand voor de sloten en doorlatendheidscoëfficiënten voor de deklaag. Het model houdt ook rekening met aanwezigheid van greppels en eventueel buisdrainage. De landgebruikkaart (LGN4) van Alterra is gebruikt om de locaties van greppels/drainage te bepalen. Drainage is in het grondwatermodel toegepast bij landgebruikfuncties ‘grasland’, ‘tuinbouw’ en ‘stedelijk gras’. De drainagebasis is daar op 10 cm boven polderpeil gelegd met een weerstand van 125 dagen. De drainageweerstand van de landelijke drainage is op basis van aanwezige ervaring geschat op 125 dagen [TNO, 2008B]. Het is de vlakdekkende geschatte weerstand van de greppel- en buisdrainage. De aanwezigheid van deze tertiaire afwatering is geschat. Voor Delfland heeft dit geleid tot een vlakdekkende weerstand van 125 dagen. Deze is in het proces van ijking niet aangepast. Een vergelijkbare methodiek is o.a. te vinden in de rapportage “Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - Deelrapport Buisdrainage” [NHI, 2008].

In het grondwatermodel wordt gewerkt met ruimtelijk verdeelde modelparameters voor onder andere de doorlatendheidscoëfficiënt (freatische watervoerende laag) en de verticale weerstand van de deklaag. Bij de karakterisatie van de in een bepaald model (scenario) gebruikte parameters worden percentielen vermeld. Dit zijn ruimtelijk verdeelde parameterwaarden waarvoor geldt dat respectievelijk 10, 50 en 90% van gridcellen een waarde hebben die onder dat niveau ligt. Bij de uit te voeren gevoeligheidsanalyse wordt rekening gehouden met deze variatie en wordt een aanpassing van de in het model opgenomen waarden voor de desbetreffende parameter gerealiseerd door deze met een factor aan te passen. Om deze reden zijn in de volgende paragrafen “aanpassingspercentages” vermeld met daarachter de “nieuwe” percentielen, nadat de aanpassing heeft plaatsgevonden.

3.2 Weerstand van de deklaag

Op basis van de gegevens uit GEOTOP en REGIS zijn in het Delflandmodel, na kalibratie, waarden voor de weerstand van de deklaag gehanteerd, die variëren tussen 8.700 en 13.100 dagen. Bij het onderzoek naar omgevingseffecten van de drainage A4 Delft – Schiedam [Deltares, 2015A] zijn variatieberekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in het effect van een plaatselijk lagere weerstand van de deklaag, waarbij is gerekend met een ruimtelijk gevarieerde waarde van de weerstand tussen 5.600 en 10.100 dagen.

Op basis van de uitgevoerde variatieberekeningen wordt er voor de bandbreedte in de parameter voor de verticale weerstand van de deklaag gerekend met de volgende variatiefactoren¹ op de weerstandswaarden:

Laag:	50%	(range 4.350 – 6.550 [d] op basis van 10 en 90 percentiel)
Tussenwaarde:	75%	(range 6.525 – 9.825 [d] op basis van 10 en 90 percentiel)
Hoog:	100%	(range 8.700 – 13.100 [d] op basis van 10 en 90 percentiel)

3.3 Interactie met het oppervlaktewatersysteem

3.3.1 In- en uittredeweerstand

De uitwisseling van water tussen bodem en oppervlaktewater ondervindt meestal enige weerstand als gevolg van het verstopen van poriën in de oever en de bodem van de sloot. Ook de afzetting van slib in de watergang zal resulteren in een extra weerstand. Verstopping zal optreden als er water vanuit de sloot in de bodem infiltreert. Uitstroming van water vanuit de bodem naar de sloot heeft vaak een afname van de weerstand tot gevolg. Bij watergangen waar sprake is van een permanente uitstroom naar de sloot wordt veelal een uittredeweerstand aangetroffen van minder dan 1 dag. Bij watergangen met afwisselend in en uitstroom wordt de intredeweerstand geschat in de orde van grootte van 1 à 10 dagen. Uit onderzoek [NOV, Stoltenberg, 1999] blijkt dat de waarden van de intredeweerstand een factor 2 à 3 hoger liggen dan de uittredeweerstand.

Op basis hiervan wordt er voor de bandbreedte in de parameter voor de intredeweerstand gerekend met de volgende variatiefactoren:

Laag:	100% (2 [d])
Tussenwaarde:	500% (10 [d])
Hoog:	1.500% (30 [d])

3.3.2 Horizontale doorlatendheidscoëfficiënt

Aan maaiveld worden in de omgeving van de A4 zowel gebieden met klei als met veen aangetroffen. Over het algemeen zal klei een lagere doorlatendheidscoëfficiënt hebben dan veen. Daarnaast zal de doorlatendheidscoëfficiënt van zowel klei als veen met de diepte afnemen als gevolg van compactie [Deltares, 2012].

Op basis van de gegevens uit GEOTOP en REGIS zijn in het Delflandmodel, na kalibratie, horizontale doorlatendheidscoëfficiënten gehanteerd die ruimtelijk variëren van 0,19 tot 0,80 m/dag met een gemiddelde van 0,22 m/dag.

De bandbreedte voor de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt voor klei en veen kan worden afgeleid uit de karakteristieke ondergronden zoals Alterra die gebruikt (zie bijlage A). Afhankelijk van het type ondergrond varieert de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt voor klei daarbij van 0,01 tot 0,14 [m/d] en voor veen van 0,01 tot 0,34 [m/d]. Een hoge waarde van de doorlatendheidscoëfficiënt resulteert in meer toestroming vanuit oppervlaktewater via de bovenste lagen van de deklaag. Dit beperkt het effect van de onttrekking door de verdiepte aanleg van de A4 op de freatische grondwaterstand. Uit de modelkalibratie (Tabel 2.1) volgt een maximumwaarde (90% percentiel) in het gebied van 0,80 [m/d]. Met het oog hierop is de bovenkant van de door te rekenen bandbreedte (100%) op 0,2 – 0,80 [m/d] gesteld. Als tussenwaarde is een waarde van 25% van dit maximum aangehouden, terwijl als laagste waarde 5% van de gekalibreerde waarde is gekozen.

¹ Een variatiefactor van 100% betekent dat de waarden van de desbetreffende modelparameter gelijk zijn gehouden aan de waarden uit tabel 2.1

Op basis hiervan wordt er voor de bandbreedte in de parameter voor de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt gerekend met de volgende variatiefactoren:

Laag: 5% (range 0,01 – 0,05 [m/d] op basis van 10 en 90 percentiel)
 Tussenwaarde: 25% (range 0,05 – 0,20 [m/d] op basis van 10 en 90 percentiel)
 Hoog: 100% (range 0,20 – 0,80 [m/d] op basis van 10 en 90 percentiel)

3.4 Berging in het freatische pakket

Dit aspect betreft de bergingsverandering als gevolg van het gedeeltelijk droogvallen van de bodem boven de grondwaterspiegel. In deze zone is sprake van een zeer complexe stroming, die mede afhankelijk is van het bodemtype, de begroeiing en de klimatologische omstandigheden. Bij de regionale grondwatermodellering is dit geschematiseerd door voor de bovenste modellaag uit te gaan van een gemiddelde en constante bergingscoëfficiënt. De gemiddelde waarde van 0,15 [-] in Tabel 2.1 is bepaald uit de kalibratie/tijdsafhankelijke berekening van het grondwatermodel aan de metingen in peilbuis 43 voor de droge periode in het jaar 2010 [Deltares, 2015A]. Dit is een waarde die bij regionale modelleringen vaak goede resultaten oplevert, maar voor onderhavig gebied met veel klei en veen aan maaiveld als bovengrens kan worden gezien. De berging in de onverzadigde zone is mede afhankelijk van diepte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, bij een diepere grondwaterstand neemt de waarde van de bergingscoëfficiënt toe. Voor veen en klei volgt uit [Alterra 2009] voor grondwaterstanden tussen 0,5 en 2,0 m onder maaiveld een range in de bergingscoëfficiënt van 0,03 tot 0,12 [-].

Om de gevoeligheid van de berekende verlaging van de grondwaterstand voor de bergingscoëfficiënt inzichtelijk te maken is als bandbreedte voor deze parameter aangehouden:

Laag: 20% (0,03 [-])
 Tussenwaarde: 67% (0,10 [-])
 Hoog: 100% (0,15 [-])

3.5 Bandbreedte voor parametergevoeligheidsanalyse

Op basis van de in de voorgaande paragrafen beschreven afweging is voor de analyse van de parametergevoeligheid de in Tabel 3.1 samengevatte set van modelparameters vastgesteld. De onderliggende 100% waarde betreft de waarde zoals die is gehanteerd in het Grondwatermodel A4 [Deltares, 2015A].

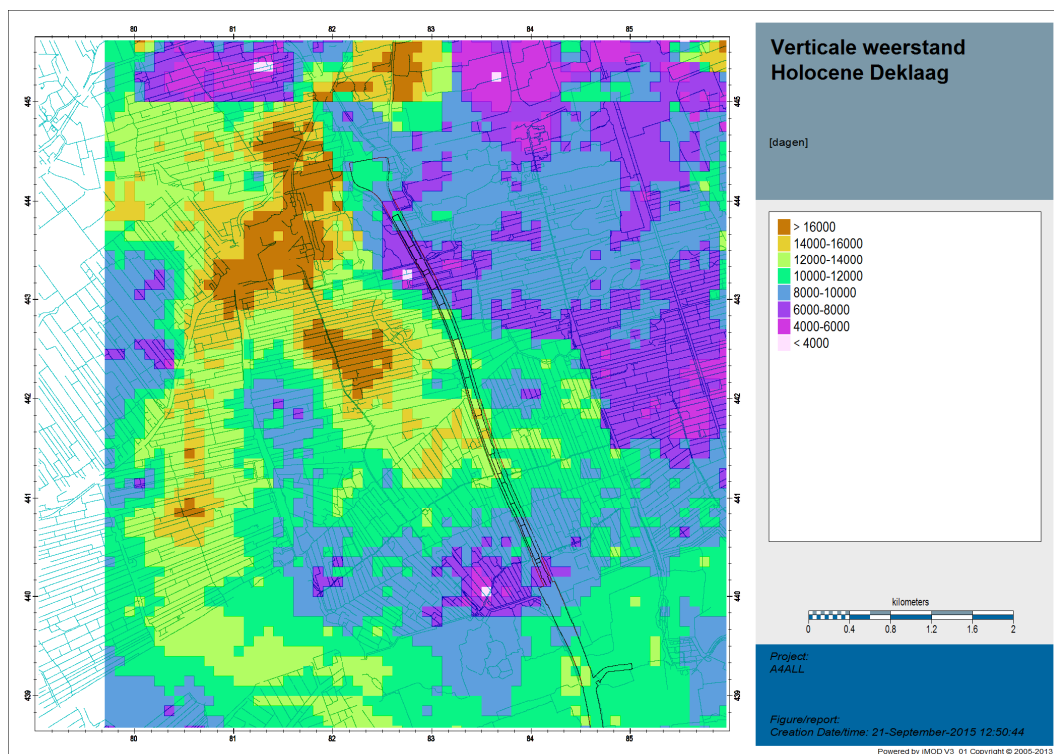
Modelparameter	1 (laag)	2	3	4 (hoog)
Weerstand deklaag [%] en [d]	50% (ca. 5.000)	-	-	100% (ca. 10.000)
Horizontale doorlatendheid [%] en [m/d]	5% (ca. 0,01)	25%	50%	100% (ca. 0,20)
Berging [-]	20% (0,03)	-	67% (0,1)	100% 0,15
Slootweerstand [d]	100% (2)	-	500% (10)	1.500% (30)

Tabel 3.1 Modelparameters voor gevoeligheidsanalyse

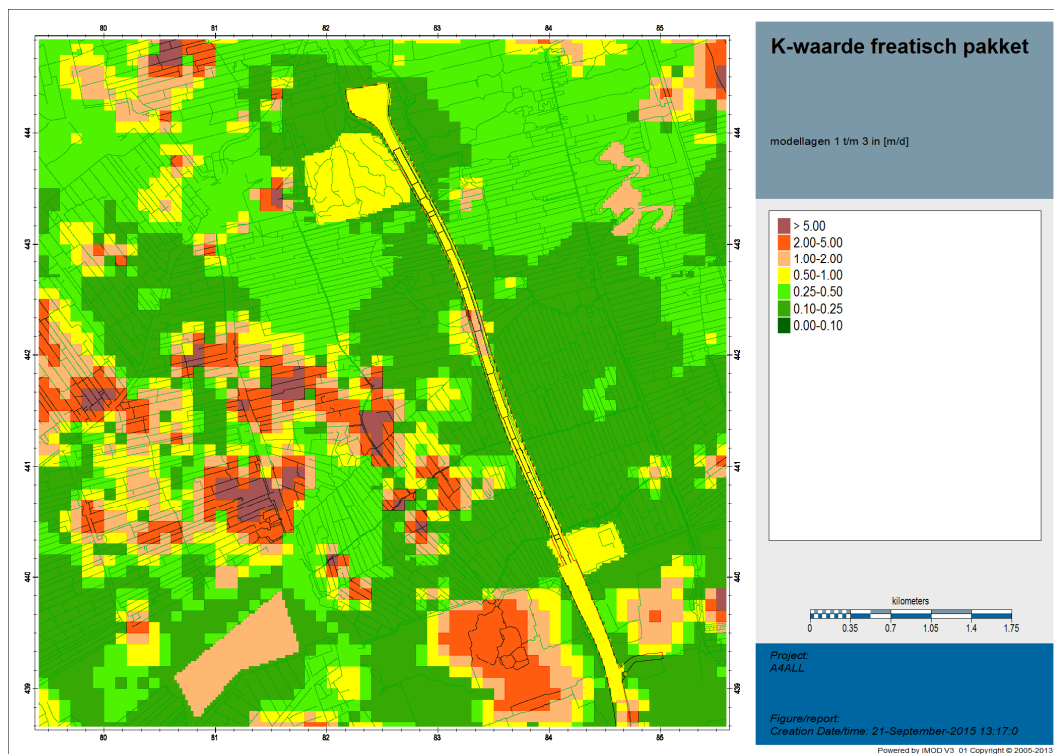
3.5.1 Samenhang met eerdere modelberekeningen

In onderhavige studie is voor het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse en het bepalen van de modelparameters zoveel mogelijk gebruik gemaakt van alle ter beschikking staande informatie. Het gebruikte model is een doorontwikkeling van eerder gebruikte modellen. Vergeleken met het basismodel uit de studie van februari [Deltares, 2015A] bevat het grondwatermodel A4 een aangepaste weerstand van de deklaag, zowel in de deltazone als in de zone waar het basisveen ontbreekt (zie ook paragraaf 4.4.3). In het basismodel was deze informatie alleen gebruikt als onderdeel van de variatieberekeningen. In deze variatieberekeningen was deze informatie gecombineerd met een extra risicobeschouwing, waarbij ook de weerstand van de deklaag in de andere delen van het modelgebied was verlaagd.

Hierdoor zijn de resultaten van beide studies niet direct vergelijkbaar. Het in voorliggende rapport doorgerekende scenario A bevat daardoor aanpassingen, die in de eerdere studie alleen als onderdeel van de variatieberekeningen waren beschouwd (zie ook bijlage G). De in voorliggende studie opgenomen berekeningen voor scenario B en C gaan verder in het beschouwen van onzekerheden in de vier meest relevante modelparameters, waarbij naast de weerstand van de deklaag, ook de horizontale doorlatendheid van de bovenste lagen van de deklaag, de in- en uittredeweerstand van de sloten en de freatische berging zijn beschouwd. In Figuur 3.2 is de op GEOTOP gebaseerde ruimtelijke verdeling (over de gridcellen) van de waarde van de weerstand van de deklaag weergegeven, zoals deze is gebruikt in het grondwatermodel A4 (en scenario A). In Figuur 3.3 is de op GEOTOP gebaseerde ruimtelijke verdeling van de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van de bovenste lagen van de deklaag weergegeven.



Figuur 3.2 De op GEOTOP gebaseerde ruimtelijke verdeling van de weerstand van de deklaag [d] in Grondwatermodel A4



Figuur 3.3 De op GEOTOP gebaseerde ruimtelijke verdeling van de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van het freatische pakket [m/d] in Grondwatermodel A4

4 Parametergevoeligheidsanalyse

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een tweetal series van modelberekeningen beschreven.

De eerste serie heeft betrekking op de uitgevoerde parametergevoeligheidsanalyse. In deze berekeningen wordt met het Grondwatermodel A4 het verloop in een geselecteerd aantal peilbuizen berekend. Hierbij wordt gewerkt met een specifiek jaar, zodat de resultaten van de modelberekeningen kunnen worden vergeleken met werkelijk gemeten standen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode voor de aanleg van de A4, welke tevens gekenmerkt wordt door een relatief droge start van de zomer. Hierbij is gekozen voor het jaar 2010, waarbij de dagwaarden voor neerslag en verdamping van weerstation Rotterdam zijn gebruikt en waarbij in de modellering rekening is gehouden met verdampingsreductie (als gevolg van het uitzakken van de grondwaterstand (zie ook Tabel 2.1).

Door in het grondwatermodel telkens een modelparameter aan te passen wordt gevoel gekregen met welke waarde van de desbetreffende modelparameter de werkelijke situatie het best kan worden benaderd. De werkwijze is nader beschreven in de paragrafen 4.2 en 4.3, waarbij de berekeningen zijn opgenomen in bijlage E.

De tweede serie modelberekeningen heeft betrekking op de berekening van de effecten van de onttrekking als gevolg van de A4 op de freatische grondwaterstand. Deze berekeningen zijn beschreven in paragraaf 4.4. Bij deze berekeningen wordt gekeken naar het verschil in het verloop van de grondwaterstand in de situatie met en zonder de A4, zodat het effect van de A4 kan worden bepaald. Deze berekeningen zijn, anders dan de parametergevoeligheidsanalyse, uitgevoerd voor karakteristieke jaren. Dit betreft enerzijds een zeer droog jaar, met een kans van voorkomen van 5% (eens in de 20 jaar) en anderzijds een gemiddeld (mediaan) jaar. Voor de berekeningen is daarbij gewerkt met een constant gemiddeld neerslagtekort over de periode 1 april tot 15 september (op basis van gegevens van het KNMI). De verlagingen zijn berekend voor het einde van de droge periode (15 september), waarmee het maximale verschil wordt berekend. Bij deze scenarioberekeningen zijn drie sets van modelparameters gebruikt. In scenario A is gerekend met bodemeigenschappen (infiltratie-weerstand, deklaagweerstand, doorlatendheid en bergings-coëfficiënt) die het best aansluiten op de zeer beperkte lokaal beschikbare informatie van het verloop van de freatische grondwaterstand (zie bijlage B). De effecten die met dit scenario zijn berekend geven daarbij een eerste indruk van de gemiddeld te verwachten effecten voor een kleibodem. Bodemeigenschappen zullen echter lokaal variëren.

De effecten op de freatische grondwaterstand van mogelijke afwijkingen in bodemeigenschappen zijn met de scenario's B en C in beeld gebracht. Scenario C kan hierbij worden beschouwd als een conservatief scenario omdat hierin alle bovengenoemde bodemeigenschappen aan de bovenkant van bandbreedte zijn vastgesteld.

Voor deze scenario's is de verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van het lekdebiet bepaald aan het eind van de zomer in een gemiddeld jaar (berekening 1) en aan het eind van de zomer in een zeer droog jaar (berekening 2). Voor de naamgeving van deze modelresultaten wordt gewerkt met de codes A1 t/m C2.

4.2 Modelaspecten

4.2.1 Onverzadigde zone

Voor de modellering van de effecten van de A4 is gekozen de berekeningen uit te voeren met een ModFlow model, inclusief een module om rekening te houden met verdampingsreductie. In de verdampingsmodule van ModFlow (EVT package) wordt rekening gehouden met de verdampingsreductie van het gewas (hoofdzakelijk grasland). Bij een grondwaterstand in de wortelzone wordt ermee gerekend dat het gewas voldoende water heeft om zijn verdampingscapaciteit volledig te benutten. Wanneer de grondwaterstand uitzakt tot onder de wortelzone, dan zal het gewas geleidelijk minder gaan verdampen, totdat de grondwaterstand zo ver is uitgezakt dat er geen water meer beschikbaar is voor verdamping. Dit is de zogenaamde reductiezone die zich onder de wortelzone bevindt. In de verdampingsmodule wordt tussen de onderzijde van de wortelzone en de onderzijde van de reductiezone gerekend met een lineair verloop van de gewasverdamping, onder de reductiezone stopt de verdamping geheel. Voor de bepaling van de dikte van de wortelzone is gebruik gemaakt het Cultuurtechnische Vademecum [CV, 1988] en is gekeken welke parameterwaarden zijn opgenomen in het NHI [NHI, 2008]. Deze waarden zijn vergeleken met de meting in peilbuis 42. In deze peilbuis zakt de grondwaterstand in de zomer uit tot 1,80 m onder maaiveld. Daarnaast is uit het dalende verloop afgeleid dat er op deze diepte nog steeds verdamping mogelijk is. De inschatting is dat de reductiezone bij deze peilbuis zeker 50 cm dieper ligt op 2,30 m onder maaiveld. In het model is de dikte van de wortelzone aangenomen op 50 cm waaruit volgt dat de reductiezone 180 cm dik is.

Deze keuze voor dit type model is gebaseerd op het aanwezige instrumentarium, de beschikbare meetgegevens en het regionale karakter van de effecten. Met dit instrumentarium kunnen geen effecten in de onverzadigde zone worden berekend. Dit betreft dan met name neerslagwater dat aan het einde van een droge periode wordt geborgen in de onverzadigde zone, boven de grondwaterspiegel, dat niet direct ten goede komt als aanvulling van het grondwater. In het gebruikte modelinstrumentarium komt alle neerslag direct ten goede aan het grondwater. Dit betekent dat met het gekozen modelinstrumentarium geen goede overeenstemming bereikt kan worden tussen gemeten en berekende grondwaterstanden, wanneer stroming in de onverzadigde zone een rol gaat spelen. Dit is in de winter niet aan de orde, dan staat de grondwaterstand hoog en is de bodem volledig verzadigd. Het is duidelijk aan de orde aan het einde van de zomer. In de berekeningen voor 2010 is te zien dat dit effect vanaf half juli een rol gaat spelen. De stevige buien van 14,7, 9,9 en 15,4 mm op respectievelijk 10, 12 en 14 juli (zie bijlage C) leiden in het model tot een stijging van de grondwaterstand, terwijl het effect van deze buien in de meetreeksen nauwelijks zichtbaar is.

Voor de parametergevoeligheidsanalyse is besloten de resultaten van het model te beoordelen aan de hand van de gemeten grondwaterstanden tot begin juli, waarbij nog geen significante invloed van de onverzadigde stroming wordt voorzien.

Voor de scenarioberekening wordt in de modellering gebruik gemaakt van constant gemiddeld netto neerslagtekort voor de gehele droge periode. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen neerslag en verdamping en is er geen sprake van buien. Met deze schematisatie kan de verlaging ten gevolge van de A4 aan het einde van de droge periode met het gebruikte instrumentarium met voldoende nauwkeurigheid worden gemodelleerd.

4.2.2 Modeluitvoer

Voor de parametergevoeligheidsanalyse wordt uitgaande van het Grondwatermodel A4 (de 100% parameterwaarde uit Tabel 3.1) steeds één modelparameter op basis van de vastgestelde variatie aangepast. De resultaten van de berekening worden op specifieke locaties

vergeleken met gemeten freatische grondwaterstanden (zie paragraaf 4.3.1) en afgezet tegen gegevens van de grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater (zie paragraaf 4.2.4). Een overzicht van modelruns en de variatie in parameterwaarden is opgenomen in Tabel E.3 aan het einde van bijlage E.

In Figuur 4.1 is de zone aangegeven van het Grondwatermodel A4 (rode stippellijn). In dit modelgebied bevinden zich de peilbuizen 42, 43 en 44. De punten VL1 en HVL zijn fictieve peilbuizen die in het model zijn aangemaakt voor de presentatie van de resultaten van de scenarioberekeningen. De locatie van deze peilbuizen is geselecteerd op basis van de resultaten van de scenarioberekeningen, in percelen waar werd verwacht dat de berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 daar het grootst zou zijn (zie verder bijlage E2). In de figuur zijn tevens de zones aangegeven waar in het model aanpassingen zijn gedaan ten opzichte van het Delflandmodel in verband met het ontbreken van het basisveen (bruine contour) en de deltazone (groene contour), waar de tussenzandlaag sterker ontwikkeld is.

4.2.3 Gemeten en berekende grondwaterstanden

De modelresultaten van de parametergevoeligheidsanalyse zijn beoordeeld aan de hand van de recent beschikbaar gestelde peilbuismetingen [Wareco, 2007 en 2009]. De gegevens van deze peilbuizen voor het jaar 2010 zijn opgenomen in bijlage B.

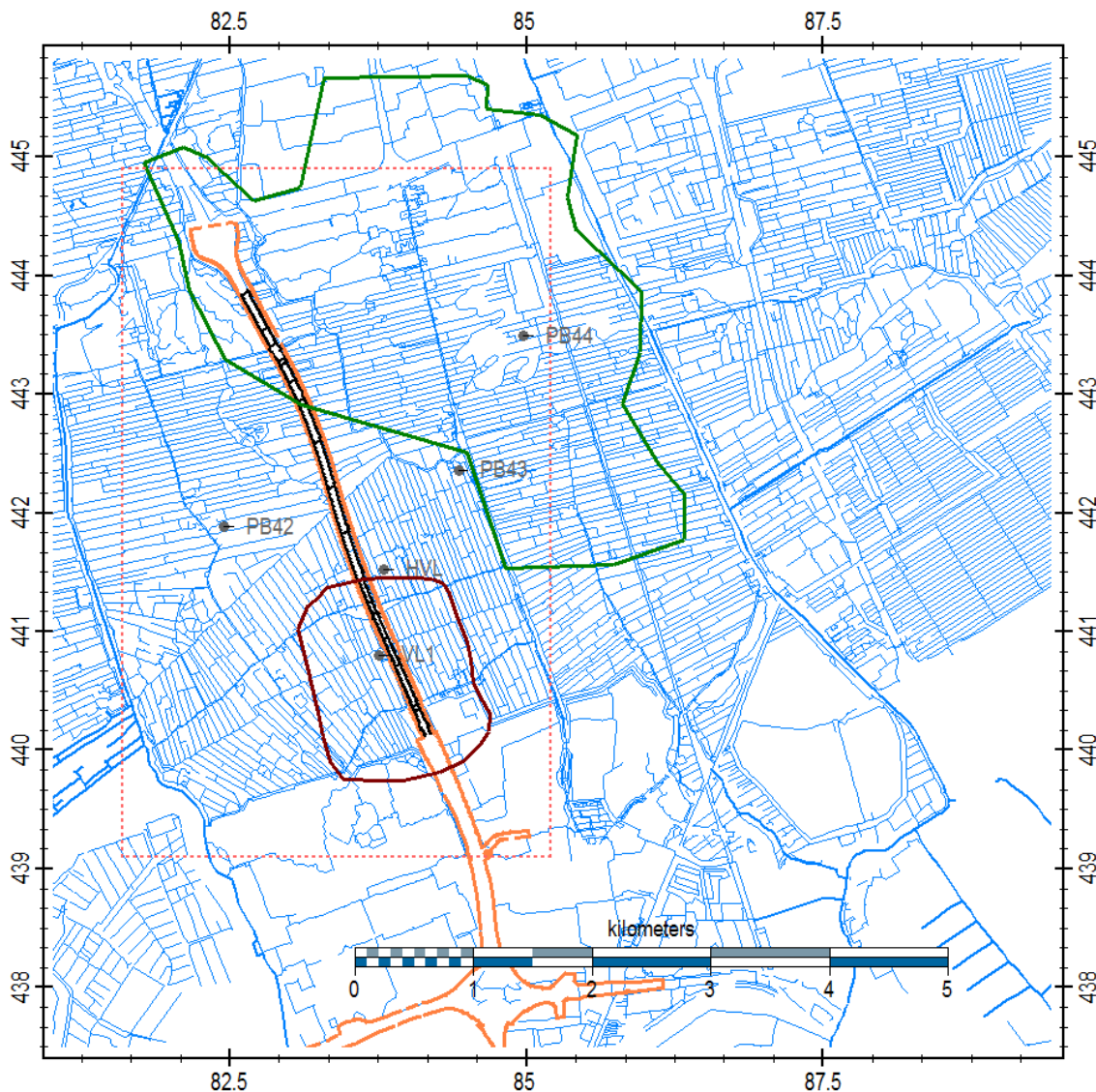
De peilbuizen 42 en 43 liggen op respectievelijk 900 en 1.000 m aan weerszijden van de A4. Deze peilbuizen liggen ongeveer aan de rand van het gebied waar nog enig effect van de onttrekking van de A4 zou kunnen optreden. Peilbuis 44 ligt ten noordoosten van peilbuis 43 op circa 1.800 m van de A4. Deze peilbuizen staan binnen het gedetailleerde modelgebied, in een bodemtype klei. Voor alle drie de peilbuizen geldt dat ze goed geplaatst zijn, op enige afstand van sloten, zodat de gemeten grondwaterstand een representatief beeld geeft van het verloop van de grondwaterstand in het perceel. Bij deze peilbuizen is bij de parametergevoeligheidsanalyse gekeken of met het model en de specifieke combinatie van modelparameters een goede overeenstemming bereikt kon worden tussen het gemeten en berekende verloop van de freatische grondwaterstand. Dit geeft inzicht in de mate waarin het model de verhouding tussen horizontale en verticale toestroming en de freatische berging juist weergeeft.

Voor de bepaling van de parametergevoeligheid bij met name de intredeweerstand van de sloot, is het van belang gebruik te maken van een raai van peilbuizen met metingen op verschillende afstanden van de sloot. Voor deze analyse wordt gebruik gemaakt van de raai bestaande uit de peilbuizen 10-11-12. Deze raai 10-11-12 bevindt zich buiten het verfijnde modelgebied, op circa 9 kilometer ten oosten van de A4 (zie Figuur B.1). Om de vergelijking met de rekenresultaten met het gedetailleerde model mogelijk te maken is een projectie toegepast, waarbij een raai met fictieve peilbuizen in het gedetailleerde model is geplaatst. Bij de keuze van de locatie is gekeken naar soortgelijk bodemtype en ligging ten opzichte van het oppervlaktewater.

Om het verloop van de berekende grondwaterstanden en de verlaging ten gevolge van de A4 inzichtelijk te maken zijn op twee locaties fictieve peilbuizen in het model opgenomen. Een ter hoogte van de verdiepte ligging en een ter hoogte van de half verdiepte ligging. De locaties zijn zo gekozen dat de peilbuizen liggen in gebieden waar een maximale verlaging door de A4 wordt berekend. De locaties van deze fictieve peilbuizen HVL en VL1 zijn weergegeven in Figuur 4.1.

4.2.4 Grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater

Met het grondwatermodel wordt ook de grondwateraanvulling vanuit het oppervlaktewater berekend, uitgedrukt in een hoeveelheid per eenheid van oppervlak [mm/d]. Bij elke som is de berekende waarde vermeld (zie tabel aan het einde van bijlage E). Er zijn telkens 2 waarden berekend, een gemiddelde over de gehele zomerperiode en een gemiddelde over de periode 15 juli tot 15 augustus. Deze waarden kunnen afgezet worden tegen de indicatief berekende hoeveelheid water die het Hoogheemraadschap van Delfland moet inlaten om in de droge periode het peil in de oppervlaktewateren op niveau te houden (zie bijlage D).



Figuur 4.1 Grondwatermodel A4 met locatie (fictieve) peilbuizen en aanpassingen in de bodemopbouw. Rode stippellijn is het Grondwatermodel A4. Binnen bruine contour ontbreekt het basisveen en groene contour is de Deltazone

4.3 Conclusies op basis van de uitgevoerde berekeningen

De voor de parametergevoeligheidsanalyse uitgevoerde berekeningen zijn beschreven in bijlage E. Uit deze berekeningen en de beschikbare meetgegevens kunnen geen conclusies getrokken worden over de waarde van de weerstand van de deklaag. Besloten is om de waarden voor de weerstand van de deklaag en de waarden van de horizontale doorlatendheid van de deklaag niet aan te passen en de waarden uit het gekalibreerde model

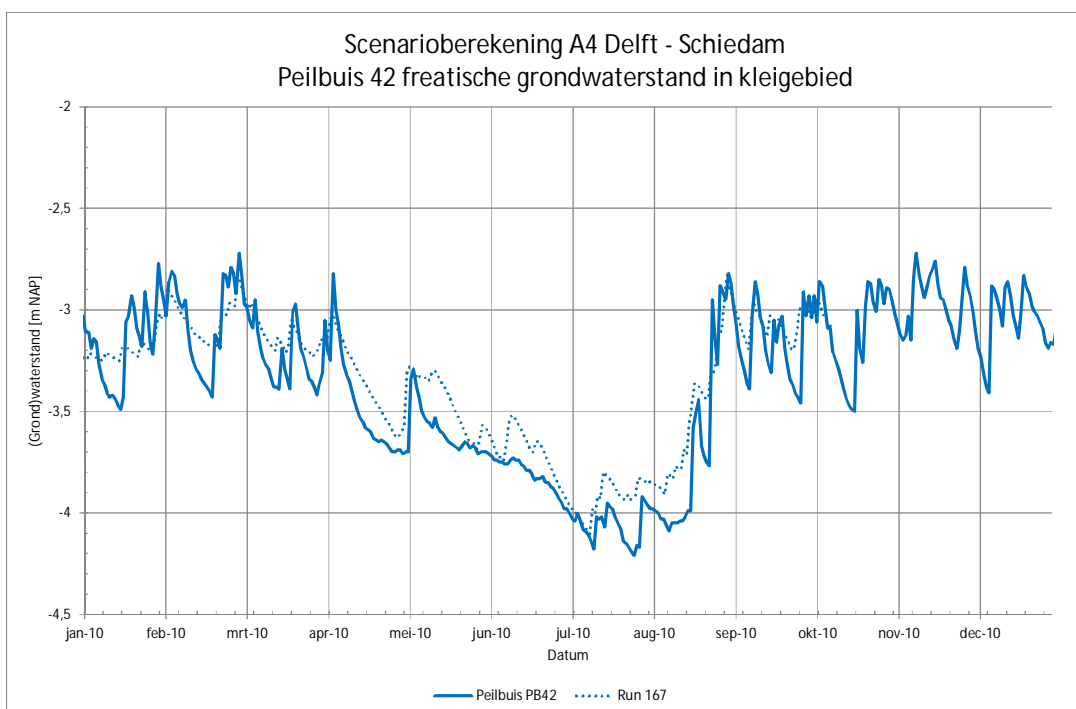
[TNO, 2008B] te gebruiken. De gemeten en met deze modelparameters berekende grondwaterstanden zijn weergegeven in Figuur 4.2 tot en met Figuur 4.4 (en paragraaf E.1.3.1 en E.1.3.2).

Met betrekking tot de intredeweerstand van de sloot volgt uit de modelberekeningen dat deze waarde naar boven bijgesteld moet worden, vergeleken met de waarde uit Tabel 2.1. De beste overeenstemming tussen gemeten en berekende grondwaterstand wordt verkregen met een intredeweerstand van circa 10 dagen (zie paragraaf E.1.3.3 en Figuur E.10).

Met betrekking tot de freatische berging volgt uit de uitgevoerde berekeningen dat deze waarde naar beneden bijgesteld moet worden, vergeleken met de waarde uit Tabel 2.1 (0,15 [-]). De beste overeenstemming tussen gemeten en berekende grondwaterstand wordt verkregen met een freatische berging van ongeveer 0,10 [-].

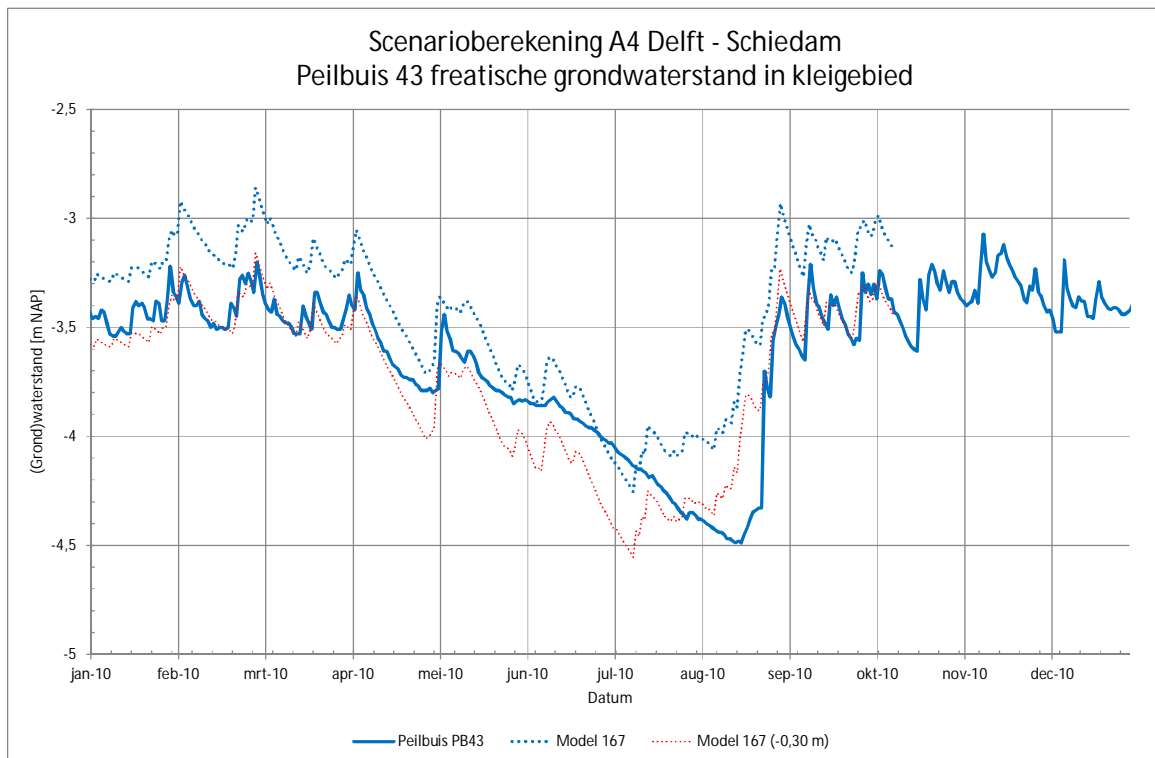
Met het model voor scenario A (run 167 in tabel E1), wordt voor de infiltratie uit het oppervlaktewater voor de periode van 15 juli tot 15 augustus, alsmede voor de gehele zomerperiode waarden berekend van respectievelijk 0,60 mm/d voor de periode van een maand en 0,36 mm/d voor de zomerperiode. Deze waarden zijn in lijn met de indicatieve waarden die het Hoogheemraadschap met een oppervlaktewatermodel heeft berekend, als piekdecade voor infiltratie vanuit het oppervlaktewater, voor de periode 2006 – 2012 (0,13 tot 0,58 mm/d). De infiltratie intensiteiten vanuit het oppervlaktewater voor de overige berekeningen staan vermeld in de tabel aan het einde van bijlage E.

In Figuur 4.2 is het gemeten verloop in peilbuis 42 voor het jaar 2010 uitgezet tegen het berekende verloop met de voor scenario A afgeleide set van parameterwaarden uit de gevoeligheidsanalyse. Opgemerkt wordt dat de modelberekeningen zijn gestopt in het begin van het najaar. Zowel de absolute waarde als de dynamiek worden met de modelberekening goed benaderd.



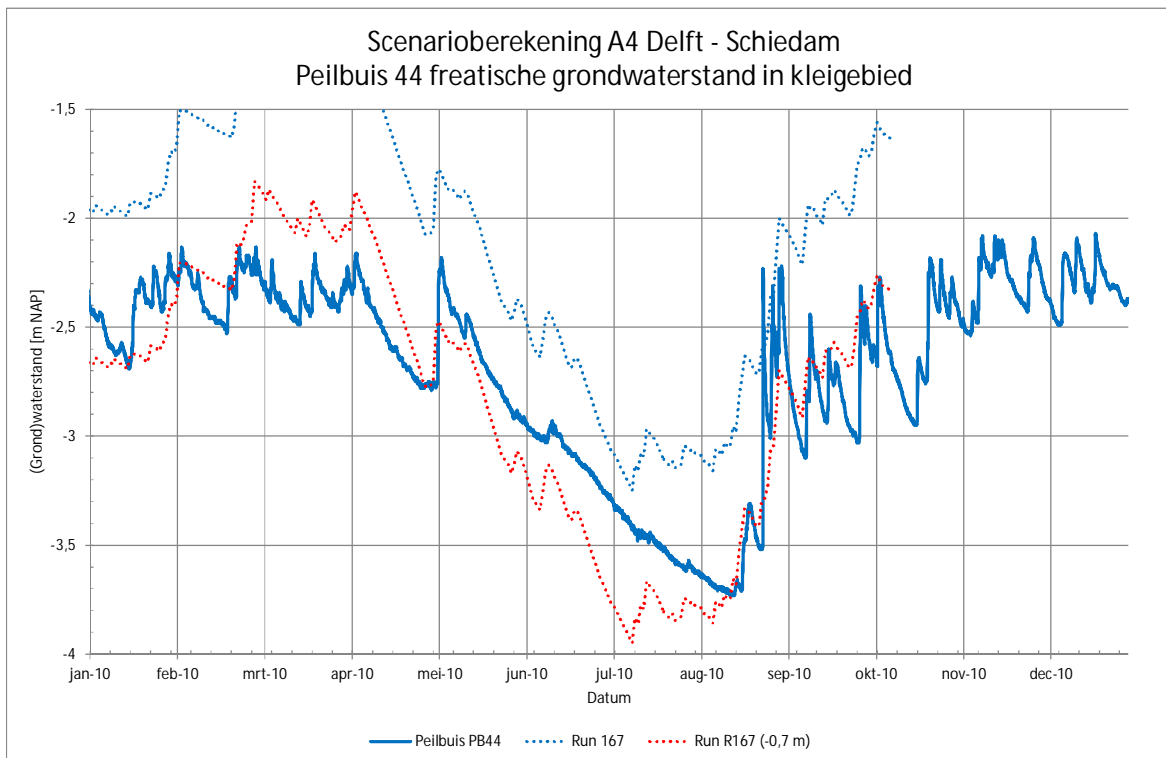
Figuur 4.2 Gemeten en berekende freatische grondwaterstand peilbuis 42 met scenario A parameters (R167)

In Figuur 4.3 is het gemeten verloop in peilbuis 43 uitgezet tegen het berekende verloop met de voor scenario A afgeleide parameterwaarden. Voor deze locatie wordt in de winterperiode (zowel in het voorjaar als in het najaar) met het grondwatermodel een hogere grondwaterstand berekend, dan ter plaatse is gemeten. In de figuur is ter indicatie in rood de met het model berekende uitzakking weergegeven, waarbij de modelresultaten met 0,3 m zijn verlaagd. Hieruit volgt dat met het model de uitzakking enigszins wordt overschat, waarbij de effecten voor de berekende verlaging beperkt zullen zijn, omdat daarvoor de berekende uitzakking met en zonder A4 van elkaar af worden getrokken (superpositie).



Figuur 4.3 Gemeten en berekende freatische grondwaterstand peilbuis 43 met scenario A parameters (R167)

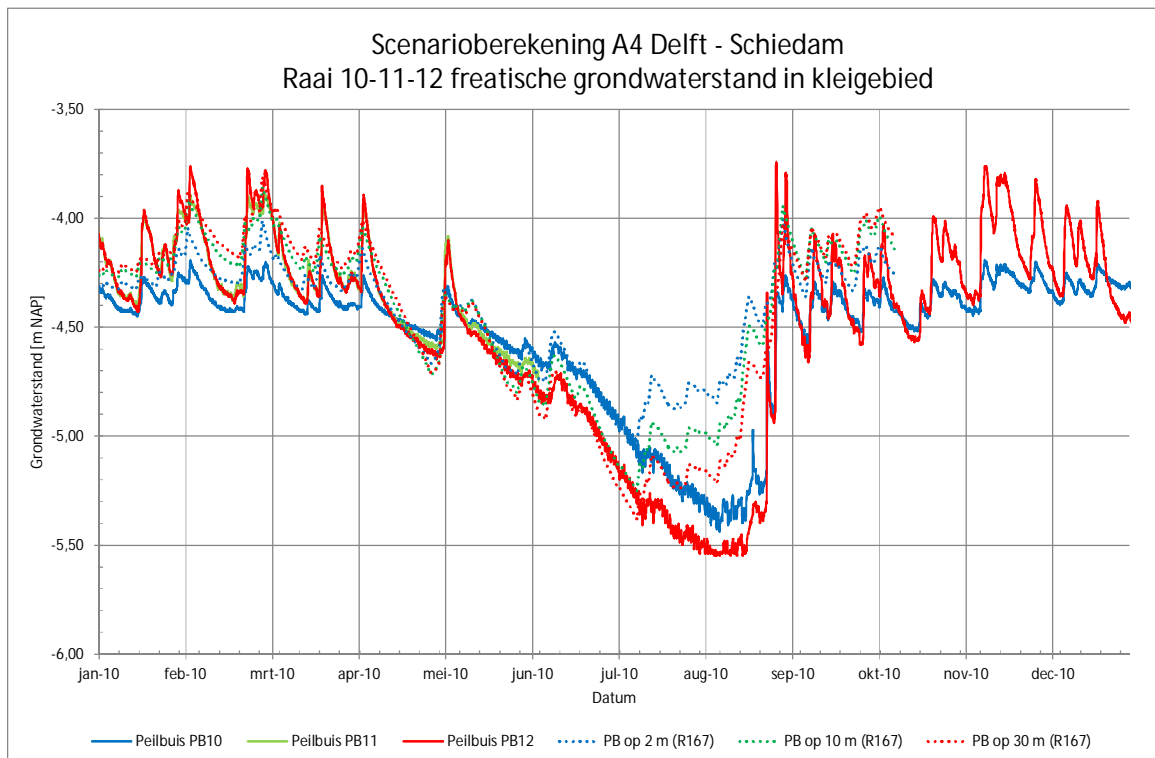
In Figuur 4.4 is het gemeten verloop in peilbuis 44 uitgezet tegen het berekende verloop met de voor scenario A afgeleide parameterwaarden. Voor deze locatie wordt in de winterperiode (zowel in het voorjaar als in het najaar) met het grondwatermodel een hogere grondwaterstand berekend, dan ter plaatse is gemeten. Uit de modelinvoer is afgeleid dat voor de omgeving van deze peilbuis in het grondwatermodel geen drainage is gespecificeerd, dit in tegenstelling tot de andere peilbuislocaties. Om te beoordelen of met het model de uitzakking benaderd wordt is de berekende verlagingsslijn verschoven, waarbij deze aan het begin van de droge periode gelijk is gesteld aan de gemeten grondwaterstand. In de figuur is ter indicatie in rood de met het model berekende uitzakking weergegeven, waarbij de modelresultaten met 0,7 m zijn verlaagd. Hieruit wordt geconcludeerd dat de relatieve verlaging tot half juli met het model wordt overschat, waarbij de effecten voor de berekende verlaging beperkt zullen zijn, omdat daarvoor de berekende uitzakking met en zonder A4 van elkaar af worden getrokken (superpositie).



Figuur 4.4 Gemeten en berekende freatische grondwaterstand peilbuis 44 met scenario A parameters (R167)

In Figuur 4.5 is het verloop van de freatische grondwaterstand, voor een raai in het bodemtype klei, uitgezet tegen het berekende verloop met voor scenario A afgeleide parameterwaarden. In het model is een fictieve locatie geselecteerd, op basis van bodemopbouw en ligging ten opzichte van sloten, waarmee het gedrag ter plaatse van de buiten het gedetailleerde modelgebied gelegen raai, bestaande uit de peilbuizen 10, 11 en 12, gesimuleerd kan worden (zie ook bijlage B). Voor deze raai is er tot half juli sprake van een goede overeenstemming tussen de gemeten en berekende waterstanden. Medio half juli is de grondwaterstand ver uitgezakt, waardoor er door dit droge voorjaar een onverzadigde zone van aanzienlijke dikte is ontstaan (ca. -1,8 m). De regen die vanaf 10 juli valt wordt geborgen in deze onverzadigde zone en resulteert, anders dan in het model, niet (direct) in een aanvulling van het grondwater (zie ook paragraaf 4.2.1 hoe hier in de scenarioberekening rekening mee is gehouden).

De dynamiek in de gemeten grondwaterstanden wordt met de berekende standen goed gevolgd. De gemeten verschillen in grondwaterstand tussen de peilbuizen wordt eveneens goed benaderd. Deze onderlinge verschillen worden (in de droge periode) veroorzaakt doordat water dat vanuit de sloot in de bodem infiltreert naar het midden van het perceel stroomt. De grondwaterstand nabij de sloot is als gevolg van deze stroming hoger dan die meer naar het midden van het perceel. De weerstand die dit stromende water in de bodem ondervindt, bepaalt de onderlinge niveauverschillen.



Figuur 4.5 Freatische grondwaterstand in kleiraai (projectie en model) met scenario A parameters (R167)

4.4 Scenario's

4.4.1 Selectie van modelparameters

Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse zijn drie sets van modelparameters bepaald voor de door te rekenen scenario's. In scenario A is gerekend met bodemeigenschappen (infiltratie-weerstand, deklaagweerstand, doorlatendheid en bergings-coëfficiënt) die het best aansluiten op de zeer beperkte lokaal beschikbare informatie van het verloop van de freatische grondwaterstand. De effecten die met dit scenario zijn berekend geven daarbij een eerste indruk van de gemiddeld te verwachten effecten voor een kleibodem. Bodemeigenschappen zullen echter lokaal variëren.

De effecten op de freatische grondwaterstand van mogelijke afwijkingen in bodemeigenschappen zijn met de scenario's B en C in beeld gebracht. Scenario C kan hierbij worden beschouwd als een conservatief scenario omdat hierin alle bovengenoemde bodemeigenschappen aan de bovenkant van bandbreedte zijn vastgesteld.

Voor deze scenario's is de verlaging van de freatische grondwaterstand als gevolg van het lekdebiet bepaald aan het eind van de zomer in een gemiddeld jaar (berekening 1) en aan het eind van de zomer in een zeer droog jaar (berekening 2). Voor de naamgeving van deze modelresultaten wordt gewerkt met de codes A1 t/m C2.

De in de berekening gehanteerde relevante modelparameters zijn samengevat in Tabel 4.1.

Parameter		Eenheid	Scenario's		
			A	B	C
Oppervlaktewater					
Intredeweerstand	C _i	[d]	10	20	30
Uittredeweerstand	C _u	[d]	2	2	2
Bodemparameters					
Bergingscoëfficiënt	N	[-]	0,10	0,065	0,03
Doorlatendheidscoëfficiënt (Freatische watervoerende laag)	k _h	[m/d]	0,19 ⁽¹⁾	0,13 ⁽¹⁾	0,048 ⁽¹⁾
			0,22	0,15	0,055
			0,80	0,53	0,200
Weerstand deklaag (vert.)	C	[d]	8.700 ⁽¹⁾	6.525 ⁽¹⁾	4.350 ⁽¹⁾
			10.600	7.950	5.300
			13.100	9.825	6.550
Neerslagoverschot					
Jaargemiddeld	N	[mm/d]	+0,8	+0,8	+0,8
Mediaan jaar ⁽²⁾	N	[mm/d]	-0,66	-0,66	-0,66
5% droog jaar ⁽²⁾	N	[mm/d]	-1,74	-1,74	-1,74
Verdampingsreductie					
Diepte wortelzone	-	[m-mv]	0,50	0,50	0,50
Dikte reductiezone	-	[m]	1,80	1,80	1,80
Onttrekkingen					
Lekdebiet VL (Verdiepte ligging)	Q _{vl}	[m ³ /d]	990,5	990,5	990,5
Lekdebiet HVL (Half verdiepte ligging)	Q _{HVL}	[m ³ /d]	197,5	197,5	197,5
Onttrekking DSM (voormalige Gist)	Q _{DSM}	[m ³ /d]	28.800	28.800	28.800
1) Ruimtelijk verdeeld, vermeld zijn de percentielen voor 10%, 50% en 90% van de bandbreedte					
2) Gemodelleerd is met een constant neerslagtekort in de droge periode van 1 april tot 15 september					

Tabel 4.1 Gehanteerde modelparameters in de scenarioberekeningen

4.4.2 Modelkeuze scenarioberekeningen

Met behulp van de parametergevoeligheidsanalyse is een combinatie van modelparameters geselecteerd, waarbij de met het model berekende freatische grondwaterstand het gemeten verloop van de freatische grondwaterstand in een aantal peilbuizen zo goed mogelijk volgt. Een kenmerk van de geselecteerde meetlocaties (peilbuis 42, 43 en 44 en de meetraai 10-11-12) is dat de ondergrond ter plaatse is te karakteriseren als een kleibodem. Op basis van de beschikbare gegevens kan niet gecontroleerd worden of met het model het verloop van de freatische grondwaterstand in een veenbodem goed benaderd wordt. Het is de verwachting dat met name de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van veen groter al zijn dan die van klei. Een hogere doorlatendheid van de bovenste lagen van de deklaag heeft tot gevolg dat er makkelijker water vanuit de sloot naar het midden van het perceel kan stromen. Hiermee wordt het effect van de A4, vergeleken met een kleibodem, gereduceerd. Een andere modelparameter die in veengebieden waarschijnlijk zal afwijken is de freatische berging. Hierbij is de verwachting dat deze hoger zal zijn. Een hogere waarde betekent dat er meer water kan vrijkomen (voor verdamping), waardoor het grondwater minder snel zal uitzakken. Op basis van beide mechanismen is het gerechtvaardigd te veronderstellen dat in veengebieden de verlaging door de A4 kleiner zal zijn dan in kleigebieden.

4.4.3 Verschil met het gebruikte model voor wijzigingsaanvraag

In voorliggende studie is het beschikbare modelinstrumentarium verder ontwikkeld. Aan de hand van de gevoeligheidsanalyse zijn een viertal modelparameters nader geanalyseerd. Het voorliggende model is daarmee gedetailleerder dan de versie die is gebruikt voor de onderbouwing van de wijzigingsaanvraag (zie ook paragraaf 3.5.1 en bijlage G). De berekende verlagingen door de A4 wijken dan ook enigszins af van de eerder berekende effecten. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat nu gerekend wordt met:

- Een gedetailleerder in model gebracht lokaal sterkere ontwikkeling van de tussen-zandlaag (deltazone). Hierbij is gebruik gemaakt van het lokale uitgevoerde grond-onderzoek. Deze detaillering gaat verder dan aanwezig is in GEOTOP.
- Een aangepaste weerstand van de deklaag in de zone waar het basisveen ontbreekt.
- De modelparameter voor de intredeweerstand van de sloot is aangepast, verhoogd van 2 naar 10 dagen. Dit heeft tot gevolg dat er in de droge periode vanuit de sloten minder water infiltreert naar het grondwater, waardoor het effect van de A4 in termen van een verlaging van de freatische grondwaterstand sterker doorwerkt.
- De modelparameter voor de freatische berging is aangepast, verlaagd van 0,15 naar 0,1 [-]. Dit heeft tot gevolg dat het uitzakken van de freatische grondwaterstand in een droge periode sneller verloopt.

4.4.4 Scenario A

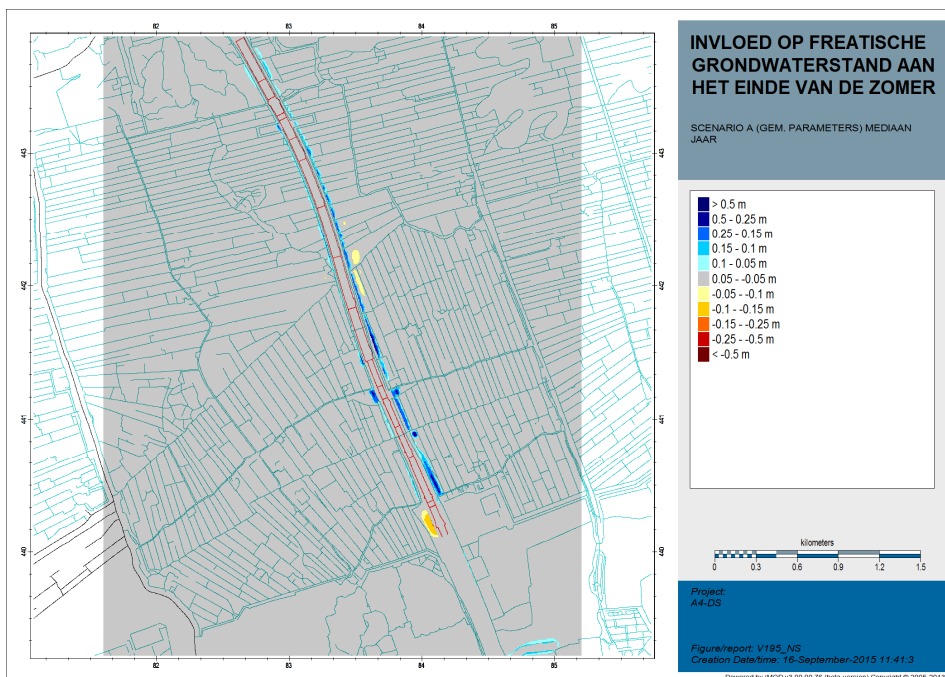
In Figuur 4.6 is het effect van de onttrekking ten behoeve van de A4 Delft Schiedam weergegeven in termen van de verlaging van de freatische grondwaterstand voor scenario A1. De droge periode loopt van 1 april tot 15 september, waarbij het totale neerslagtekort is opgelopen tot 110 mm. Gemodelleerd is met een constant neerslagtekort van 0,66 mm/dag over deze periode (zie ook bijlage C).

Het maximale effect van de A4 in termen van verlaging wordt berekend ten zuidwesten van de verdiepte ligging en bedraagt 0,15 m. De totale uitzakking bedraagt circa 0,6 meter. Het verschil in verlaging is het grootst in het midden van de percelen, waarbij tevens geldt dat het verschil in verlaging groter is in die percelen waar de onderlinge afstand tussen de sloten groter is.

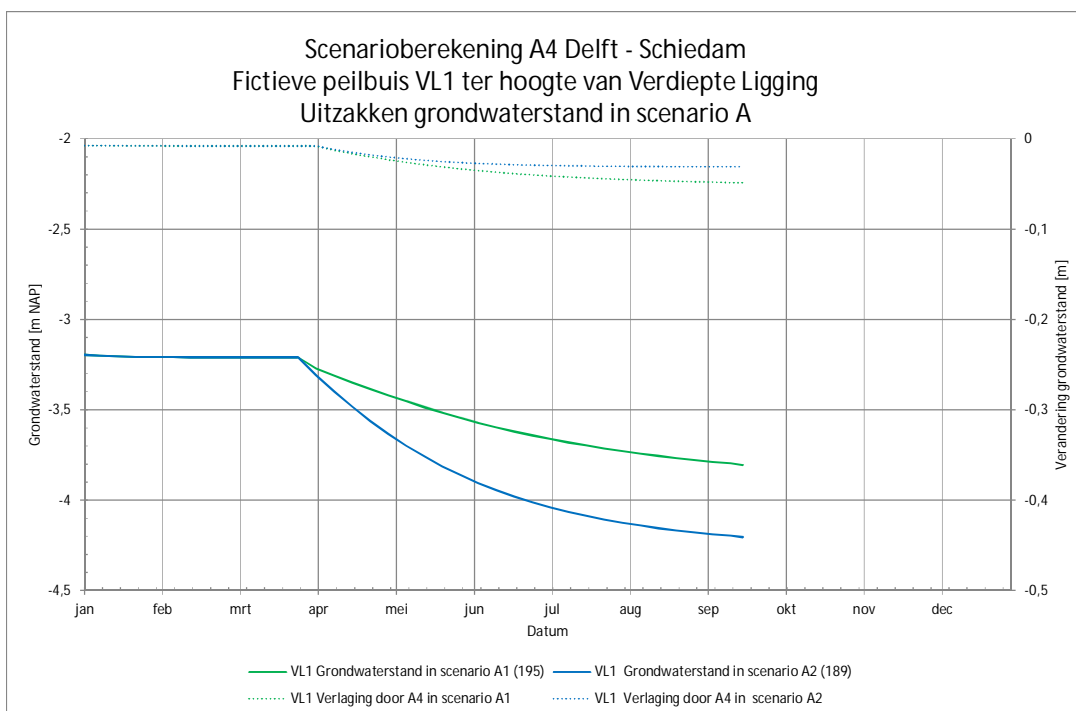
De positieve waarde langs de A4 is het gevolg van infiltratie vanuit de nieuwe sloten die zijn aangelegd langs de A4.

In Figuur 4.7 is het berekende verloop van de grondwaterstand in de fictieve peilbuis VL1 ten westen van de verdiepte ligging weergegeven (de locatie is aangegeven in bijlage E). De locatie van deze peilbuis is geselecteerd, op basis van de scenarioberekeningen, in een perceel waar de grootste verlaging van de grondwaterstand wordt berekend. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterverlaging door de A4 uitgezet op de rechter-as. In scenario A1 wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend tot 0,60 m. In scenario A2 is de berekende uitzakking 1,0 m. De berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 in scenario A1 bedraagt aan het einde van de zomer 0,05 m. Dit is meer dan de 0,03 m, die als verlaging door de A4 wordt berekend in scenario A2. Een verklaring voor dit verschil wordt gevonden in het effect van verdampingsreductie. Een verlaging van de grondwaterstand resulteert in een afname van de verdamping, waardoor het netto effect wordt beperkt. Met het oog hierop zijn de figuren voor scenario A2 opgenomen in bijlage E. Mogelijk kan ook toename van de kwel bij uitzakking van de freatische grondwaterstand een oorzaak zijn maar dit laatste effect is mogelijk gering.

Voor scenario A1 wordt in de nulsituatie (zonder A4) voor de periode van 15 juli tot 15 augustus een gemiddelde infiltratie vanuit het oppervlaktewater berekend van 0,32 mm/dag. Gemiddeld over de zomerperiode (1 april 15 september) wordt een gemiddelde infiltratie berekend van 0,23 mm/d. Dit stemt overeen met de indicatieve waarden berekend door HHD (zie bijlage D). Voor de situatie met A4 wordt een toename van de inlaathoeveelheid berekend van 0,04 mm/d voor de omliggende polder (Holierhoekse- en Zouteveense polder).



Figuur 4.6 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario A1 ten opzichte van de situatie zonder A4

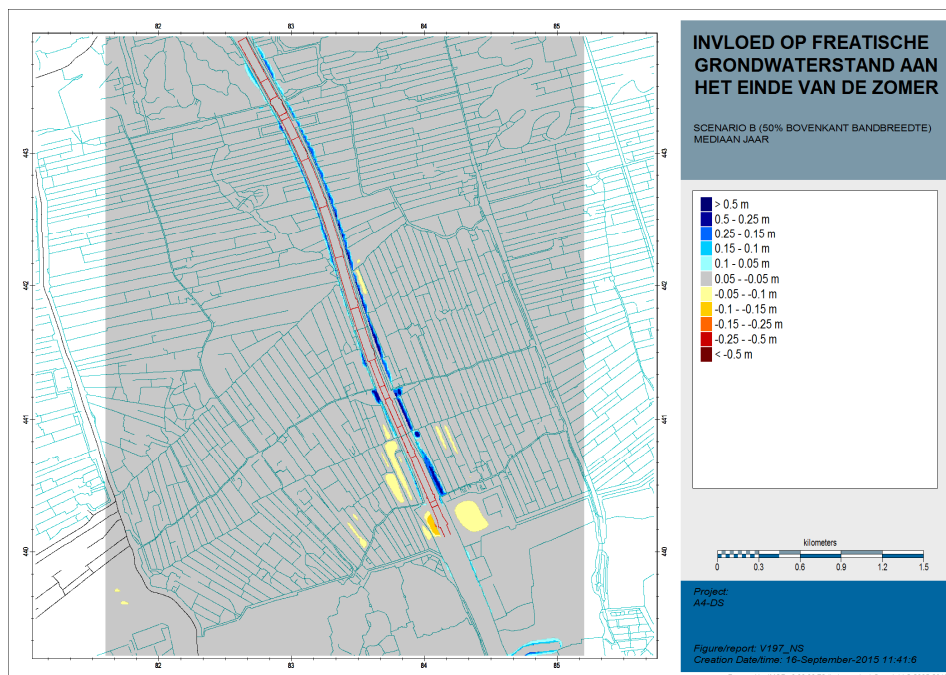


Figuur 4.7 Berekend verloop van de grondwaterstand en verlaging door de A4 in peilbuis VL1 scenario A

4.4.5 Scenario B

In Figuur 4.8 is het effect van onttrekking ten behoeve van de A4 berekend voor scenario B. De grootste verlaging wordt berekend ten zuidwesten van de verdiepte ligging en bedraagt 0,15 m (ongeveer gelijk aan scenario A).

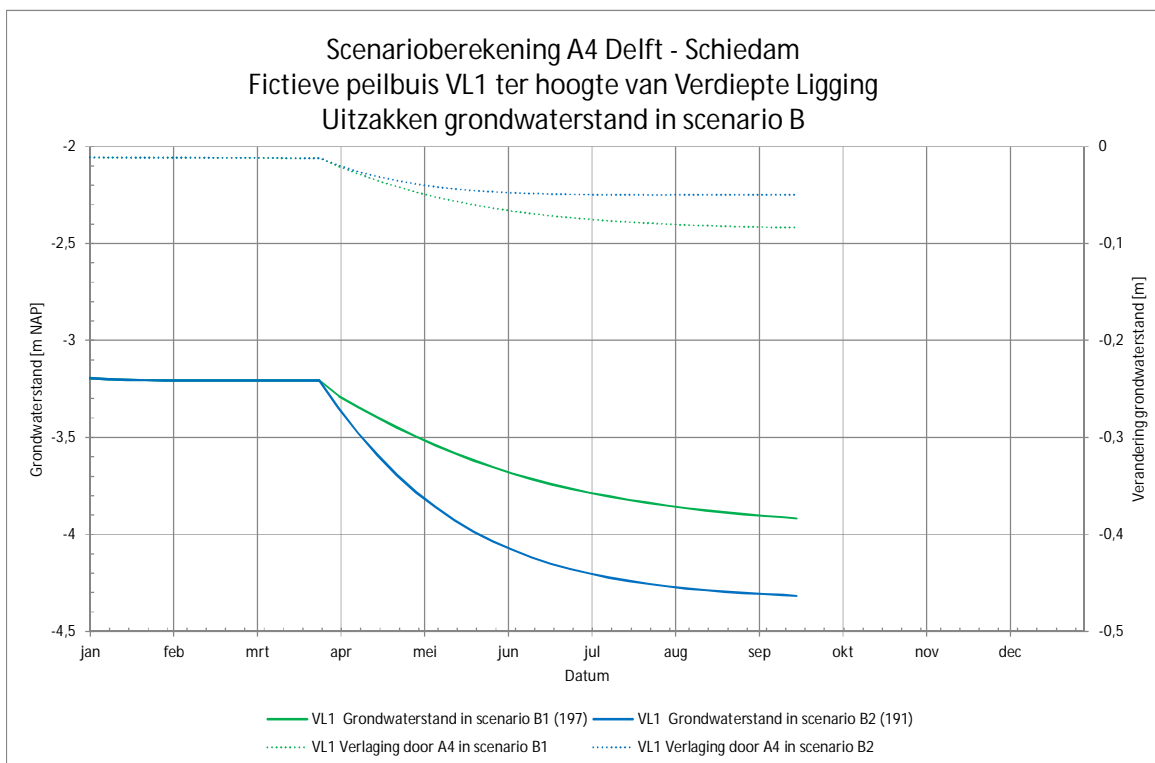
In Figuur 4.9 is het berekende verloop van de grondwaterstand in (fictieve) peilbuis VL1 ten westen van de verdiepte ligging weergegeven (de locatie is aangegeven in bijlage E). In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterverlaging door de A4 uitgezet op de rechter-as. In scenario B1 wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend tot 0,70 m. In scenario B2 is de berekende uitzakking 1,1 m. De berekende verlaging door de A4 in scenario B1 bedraagt aan het einde van de zomer 0,07 m. Dit is meer dan de 0,04 m, die als effect van de A4 wordt berekend in scenario B2. Een verklaring voor dit verschil wordt gevonden in het effect van verdampingsreductie. Een verlaging van de grondwaterstand resulteert in een afname van de verdamping, waardoor het netto effect wordt beperkt. Met het oog hierop zijn de figuren voor scenario B2 opgenomen in bijlage E.



Figuur 4.8 Berekende verlaging² van de freatische grondwaterstand door de A4 in scenario B1

² Opgemerkt wordt dat er ten zuidoosten van de A4 in scenario B een gebied met extra verlaging tot 7 cm wordt berekend. Dit betreft een gebied (bosjes) dat afwijkt van de omgeving. Het gebied ligt gemiddeld op NAP -0,5 m, ongeveer 3,0 meter hoger dan het aangrenzende poldergebied (polderpeil NAP -3,26 m) en bevat weinig waterlopen. Het gebied is waarschijnlijk opgehoogd. Ter plekke zijn onvoldoende gegevens bekend van de bodemopbouw of de grondwaterstand ter controle. Wanneer sprake is van een zandige opbouw van deze ophoging is de relatie met het polderpeil groter dan nu gemodelleerd. Dat leidt tot een lager effect van de A4. De extra verlaging die wordt berekend beschouwen we als minder betrouwbaar.

Voor scenario B1 wordt er in de nulsituatie (zonder A4) voor de periode van 15 juli tot 15 augustus een gemiddelde infiltratie vanuit het oppervlaktewater berekend van 0,28 mm/dag. Gemiddeld over de zomerperiode (1 april 15 september) wordt een gemiddelde infiltratie berekend van 0,21 mm/d. Dit stemt overeen met de indicatieve waarden berekend door HHD (zie bijlage D). Voor de situatie met A4 wordt een toename van de inlaathoeveelheid berekend van 0,03 mm/d voor de omliggende polder (Holierhoekse- en Zouteveense polder).



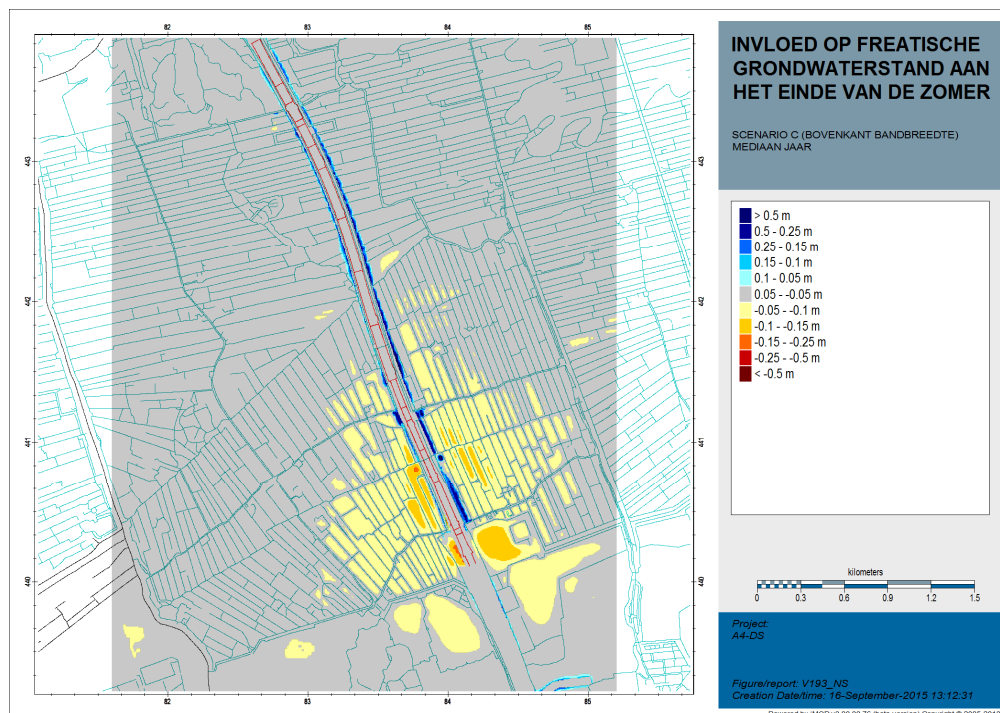
Figuur 4.9 Berekend verloop van de grondwaterstand en verlaging door de A4 in peilbuis VL1 scenario B

4.4.6 Scenario C

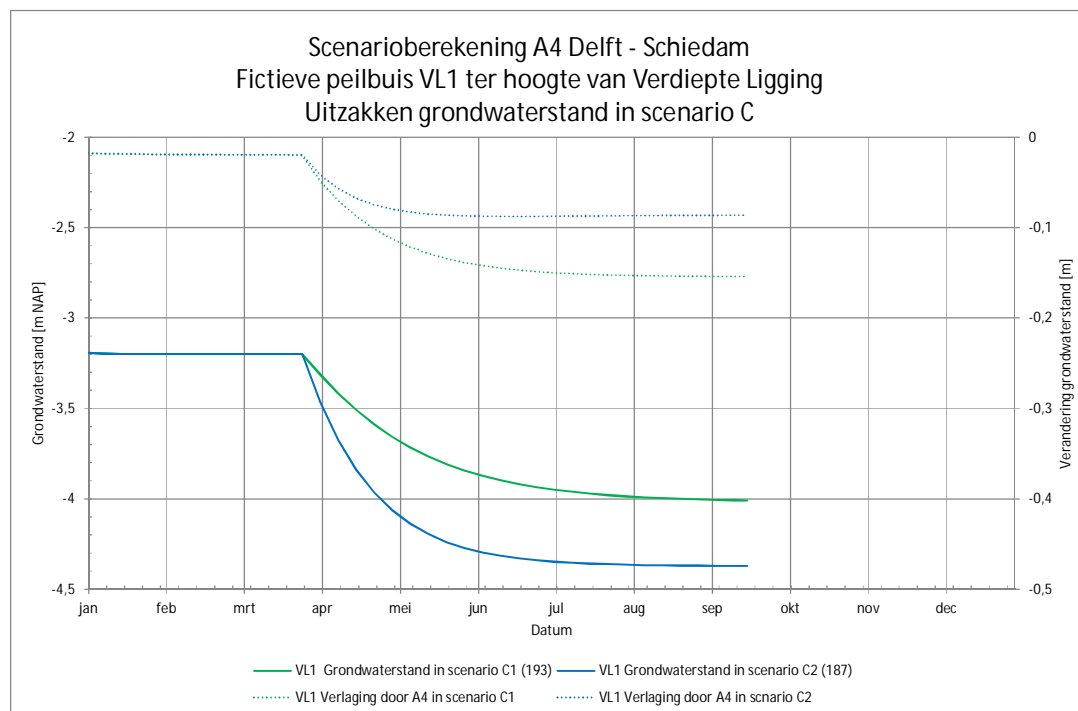
In Figuur 4.10 is het berekende effect van onttrekking ten behoeve van de A4 weergegeven voor scenario C1. De grootste verlaging wordt berekend ten zuidwesten van de verdiepte ligging en bedraagt 0,19 m.

Voor scenario C1 wordt er in de nulsituatie (zonder A4) voor de periode van 15 juli tot 15 augustus een gemiddelde infiltratie vanuit het oppervlaktewater berekend van 0,28 mm/dag. Gemiddeld over de zomerperiode (1 april 15 september) wordt een gemiddelde infiltratie berekend van 0,18 mm/d. Dit stemt overeen met de indicatieve waarden berekend door HHD (zie bijlage D). Voor de situatie met A4 wordt een toename van de inlaathoeveelheid berekend van 0,03 mm/d voor de omliggende polder (Holierhoekse- en Zouteveense polder).

In Figuur 4.11 is het berekende verloop van de grondwaterstand in een fictieve peilbuis VL1 weergegeven. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterstandsverlaging door de A4 uitgezet. In scenario C1 wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend tot 0,80 m. In scenario C2 is de berekende uitzakking 1,2 m. De berekende verlaging door de A4 in scenario C1 bedraagt aan het einde van de zomer 0,13 m. dit is meer dan de 0,07 m, die als effect van de A4 wordt berekend in scenario C2.



Figuur 4.10 Berekende verlaging³ van de freatische grondwaterstand door de A4 in scenario C1



Figuur 4.11 Berekend verloop van de grondwaterstand en verlaging door de A4 in peilbuis VL1 scenario C

³ Opgemerkt wordt dat er ten zuidoosten van de A4 in scenario C een gebied met een verlaging tot 15 cm wordt berekend. Daarnaast worden in dit scenario ook in het stedelijk gebied ten zuiden van de A4 verlagingen tot 8 cm berekend. Voor deze gebieden heeft geen gedetailleerde beschouwing plaatsgevonden van bodemopbouw, maaiveldhoogte, waterlopen, drainage en verdamping (stedelijk gebied). Hierdoor dienen de berekende verlagingen als minder betrouwbaar te worden beschouwd.

In bijlage E zijn de afzonderlijke contourbeelden opgenomen van de berekende uitzakking van de grondwaterstand in de droge periode voor de situatie met A4, voor zowel het mediane jaar als het zeer droge jaar (5% jaar).

4.5 Conclusies scenarioberekeningen

Effecten in gemiddeld versus zeer droog jaar

Uit de scenarioberekeningen volgt dat in een gemiddeld (mediaan) jaar de verlaging door de A4 groter is dan in een zeer droog jaar. Dit is een gevolg van een afnemende verdamping, wanneer het grondwater dieper komt te staan ten opzichte van maaiveld. Daarentegen is de absolute verlaging van de grondwaterstand in het zeer droge jaar groter dan in het gemiddelde jaar. Voor de bepaling van de effecten van deze verlaging in termen van verdroging, is de verlaging in het gemiddelde (mediane) jaar maatgevend in termen van een verlaging van de GLG.

Verandering Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) door de A4

Voor de maatgevende verlaging van de freatische grondwaterstand wordt uitgegaan van scenario C1, met het oog op ruimtelijke variatie. De aangepaste GLG is berekend door de verlaging berekend in scenario C1 in mindering te brengen op de GLG in de ongestoorde situatie⁴.

Verlaging van de grondwaterstand in veengebieden

Door het ontbreken van geschikte meetgegevens is het niet mogelijk om de modeluitkomsten te vergelijken met meetreeksen in veengebieden, om te beoordelen of met het model de grondwaterstand in het veengebied gesimuleerd kan worden. Het is de verwachting dat met name de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van veen groter zal zijn dan die van klei, waar de gevoeligheidsanalyse van het model aan getoetst is. Een hogere doorlatendheid van de bovenste lagen van de deklaag heeft tot gevolg dat er makkelijker water vanuit de sloot naar het midden van het perceel kan stromen. Hiermee wordt het effect van de A4, vergeleken met een kleibodem, gereduceerd. Een andere modelparameter die in veengebieden waarschijnlijk zal afwijken is de freatische berging. Hierbij is de verwachting dat deze hoger zal zijn vergeleken met de kleigebieden. Een hogere waarde van de freatische berging betekent dat er meer water kan vrijkomen (voor verdamping) in de bovenste delen van de bodem, waardoor het grondwater minder snel zal uitzakken. Op basis van beide mechanismen is het gerechtvaardigd te veronderstellen dat in veengebieden de verlaging kleiner zal zijn dan in kleigebieden. Als een conservatieve benadering voor de effecten van de A4 kan daarom worden uitgegaan van een verlaging voor beide bodemtypen gebaseerd op de uitgevoerde berekeningen voor kleibodems.

Meer meetgegevens om het model te valideren

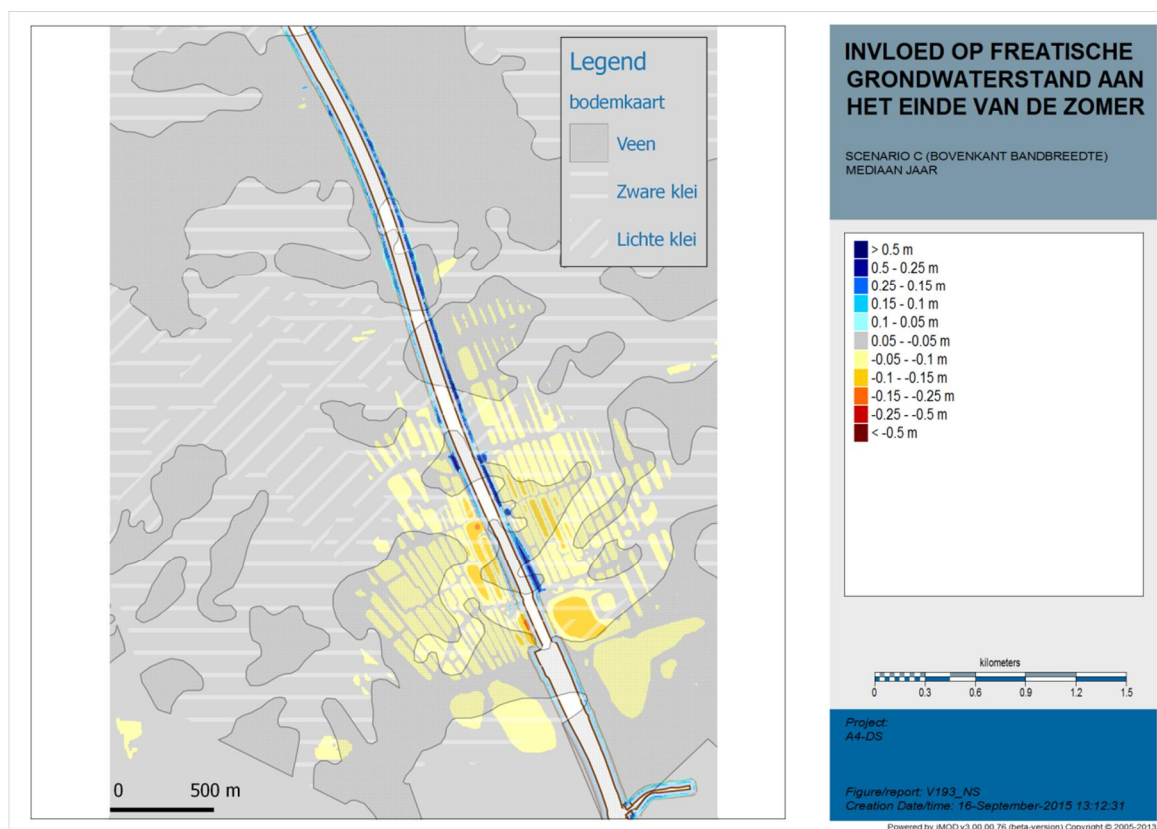
Op basis van de uitgevoerde modelanalyse wordt aanbevolen om het monitoringsysteem uit te breiden en gegevens te verzamelen waarmee toekomstig optredende effecten geanalyseerd kunnen worden. In Figuur 4.12 is het op basis van de bodemkaart voorkomen van klei- en veengebieden geprojecteerd op de berekende verlaging in scenario C1. Percelen geheel gelegen in gebieden met bodemtype veen of bodemtype klei, waar de grootste verlaging van de grondwaterstand door de A4 wordt berekend, zijn het meest geschikt voor de inrichting van extra meetlocaties. Door middel van veldonderzoek dient nog wel vastgesteld te worden of het bodemtype uit de bodemkaart op locatie daadwerkelijk aanwezig is.

⁴

Voor de waarden van de GLG, in de toestand zonder de onttrekking door de A4, is gebruik gemaakt van de waarden bepaald in het kader van de DSM-studie [TNO, 2008]. Ter informatie zijn deze figuren opgenomen als bijlage F in voorliggend rapport.

Aanbevolen wordt om:

1. in de directe omgeving van de A4 een raai van peilbuizen te plaatsen en te monitoren in het bodemtype veen.
2. in de directe omgeving van de A4 een raai van peilbuizen te plaatsen en te monitoren in het bodemtype klei.
3. Ter hoogte van de nieuw te plaatsen raaien infiltratieproeven te doen om de intrede-weerstand van de sloot ter plaatse te bepalen. Voor de uitwerking van de meetresultaten van de infiltratieproef wordt geadviseerd een lokaal model te gebruiken, dit om de (onverzadigde) stroming in het perceel met een voldoende mate van nauwkeurigheid te modelleren.



Figuur 4.12 Veen- en kleivoorkomen [Bodemkaart] geprojecteerd op scenario C1

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Uit de scenarioanalyses in dit rapport is het volgende overzicht van de resultaten opgesteld:

Verwachte verlaging van de freatische grondwaterstand bij fictieve peilbuis VL1 (nabij A4VL)			
Scenario	Uitzakken grondwaterstand einde zomer zonder A4 [m]	Uitzakken grondwaterstand einde zomer met A4 [m]	Effect A4 als verlaging in uitzakken van freat. Grondwater [m]
A1 fig 4.7	0,55	0,6	0,05
A2 fig 4.7	0,97	1,0	0,03
B1 fig 4.9	0,63	0,7	0,07
B2 fig 4.9	1,06	1,1	0,04
C1 fig 4.11	0,67	0,8	0,13
C2 fig 4.11	1,13	1,2	0,07

Zeer lokale maximale verlaging van de freatische grondwaterstand (maxima in contourbeelden als gevolg van variatie in het gebied)			
Scenario	Uitzakken grondwaterstand einde zomer zonder A4 [m]	Uitzakken grondwaterstand einde zomer met A4 [m]	Effect A4 als verlaging in uitzakken van freat. Grondwater [m]
A1 fig E.14	0,65	0,8	0,15
A2 fig E.15/E.20	1,52	1,6	0,08
B1 fig E.16	1,05	1,2	0,15
B2 fig E.17/E.21	1,73	1,8	0,07
C1 fig E.18	1,61	1,8	0,19
C2 fig E.19/E.22	1,87	2,0	0,13

Het effect van de A4 op de freatische grondwaterstand in een extreem droog jaar is minder dan in een mediaan jaar. Dat is te verklaren omdat bij het uitzakken van de freatische grondwaterstand verdampingsreductie optreedt die een dempende werking heeft.

Op basis van de uitgevoerde scenarioberekeningen wordt het volgende geconcludeerd:

1. Het eerste modelscenario betreft een tijdsafhankelijke berekening voor de uitzakking van de grondwaterstand in een zomerperiode in een (meteorologisch) mediaan jaar. In die berekening is de voor scenario A afgeleide verdeling van bodemparameters in het gebied aangehouden. De totale uitzakking van het freatische grondwater aan het eind van de zomer inclusief de verlaging door A4VL bedraagt 0,6 m middenin een perceel naast de verdiepte ligging (aan zuidwestelijke zijde) en maximaal 0,8 m vanwege de variatie in het gebied. De maximale verlaging in de uitzakking van het grondwater die toe te schrijven is aan A4VL, bedraagt middenin het perceel naast de verdiepte ligging (aan zuidwestelijke zijde) 0,05 m en maximaal 0,15 m vanwege de variatie in het gebied.

2. In een zeer droog jaar (meteorologisch 5% droog jaar) wordt een verder uitzakken van de freatische grondwaterstand berekend dan in het mediane jaar. In die situatie bedraagt de berekende totale uitzakking van het freatische grondwater aan het einde van de zomer, inclusief de verlaging door A4VL, naast de verdiepte ligging aan zuidwestelijke zijde 1,0 m en maximaal 1,6 m vanwege de variatie in het gebied.
3. In het beschouwde zeer droge jaar (5% droog jaar) aan het einde van de zomer is de verlaging van de freatische grondwaterstand ten gevolge van de onttrekking van de A4 berekend, die naast de verdiepte ligging A4VL aan zuidwestelijke zijde 0,03 m bedraagt en lokaal in het invloedsgebied maximaal 0,08 m. In een zeer droog jaar is de verlaging ten gevolge van A4VL geringer dan in het beschouwde mediane jaar. Het feit dat de verlaging dan geringer is, hangt samen met verdampingsreductie bij grote uitzakking van de freatische grondwaterstand.
4. Om de bandbreedte in het berekende effect van de onttrekking ten behoeve van de A4 inzichtelijk te maken zijn aanvullende scenario's doorgerekend. Dit geeft een beeld hoe de effecten ruimtelijk maximaal zouden kunnen variëren. Hierbij zijn de modelparameters zodanig gekozen, dat deze gelegen zijn aan de bovenkant van de bandbreedte, die volgt uit de scenarioanalyse met betrekking tot het maximaliseren van het effect op de freatische grondwaterstand. In scenario B is uitgegaan van 50% van de bandbreedte en in scenario C 100%. Door de keuze om alle vier de beschouwde modelparameters aan de bovenkant van de bandbreedte te kiezen, betreft de berekende verlaging in deze extra scenario's een conservatieve benadering. Uit deze scenarioberekening volgt aan het einde van de zomer voor een mediaan jaar een extra verlaging van de freatische grondwaterstand tot 0,15 m (scenario B) en tot 0,19 m (scenario C).
5. Het gebied waarvoor 0,05 m verlaging wordt berekend, is in scenario C1 met 163,0 hectare significant groter dan in scenario A1 met 4,0 hectare. Het beïnvloede gebied in scenario B1 beslaat circa 12,9 hectare.
6. Voor de beoordeling van de (verdrogings- en zettings-)effecten is een aangepaste gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) afgeleid. Deze aangepaste GLG, inclusief het effect van de A4, is bepaald door van de GLG in de ongestoorde situatie de berekende verlaging ten gevolge van de A4 VL volgens scenario C1 af te trekken. Op basis van de uitgevoerde analyse wordt geconcludeerd dat de intredeweerstand van de sloten in de orde van grootte van 10 dagen ligt.
7. Op basis van de uitgevoerde parametergevoeligheidsberekeningen wordt geconcludeerd dat de beste overeenstemming tussen gemeten en berekende freatische grondwaterstand wordt verkregen met een freatische berging van ongeveer 0,10 [-].
8. Met de modelparameters van scenario A is de infiltratie-intensiteit vanuit het oppervlaktewater berekend voor de periode van 15 juli tot 15 augustus, alsmede voor de gehele zomerperiode. Met het grondwatermodel zijn infiltratiehoeveelheden berekend van 0,32 mm/d voor de vermelde maand en 0,23 mm/d voor de zomerperiode. De met het gebruikte grondwatermodel berekende waarden zijn in lijn met de indicatieve waarden die het Hoogheemraadschap met een oppervlaktewatermodel heeft berekend (0,13 tot 0,58 mm/d) als piekdecade voor infiltratie vanuit het oppervlaktewater voor de periode 2006 – 2012.
9. Voor de situatie met A4 wordt een toename van de in te laten hoeveelheid oppervlaktewater berekend van 0,02 tot 0,04 mm/d voor peilhandhaving in de omliggende polder (Holierhoekse- en Zouteveense polder). Het lekdebiet heeft invloed op het beheer van het oppervlaktewater. In de winter zal er minder water afgevoerd worden, terwijl er in de zomer juist meer water ingelaten moet worden. Deze afname en toename zijn maximaal gelijk aan het lekdebiet. In de grondwatermodellering is gerekend met een debiet van 1.188 m³/dag.

Samengevat volgt uit de modelberekeningen:

- 1 Een verlaging van de freatische grondwaterstand in een mediaan jaar als gevolg van de grondwateronttrekking A4 van 0,15 m (A1) en 0,19 m (C1), bovenop de berekende daling van de freatische grondwaterstanden, aan het eind van de zomer zonder de A4, van respectievelijk 0,65 m (A1) en 1,61 m (C1) onder de gemiddelde grondwaterstand in de winter.
- 2 Een verlaging van de freatische grondwaterstand in een zeer droog jaar als gevolg van de grondwateronttrekking A4 van 0,08 m (A2) en 0,13 m (C2), bovenop de berekende daling van de freatische grondwaterstanden, aan het eind van de zomer zonder de A4, van respectievelijk 1,52 m (A2) en 1,87 m (C2) onder de gemiddelde grondwaterstand in de winter. De verlaging door de A4 is in een zeer droog jaar minder dan in een gemiddeld jaar, doordat het grondwater laag staat en het gewas daardoor moeilijker water kan onttrekken en verdampen.
- 3 In totaal wordt in een gebied van 4 (A1) tot 163 (C1) hectare een verlaging van de freatische grondwaterstand van meer dan 5 cm berekend.

5.2 Aanbevelingen

Met het Grondwatermodel A4 is het mogelijke gebleken om voor de peilbuizen met bodemtype klei een combinatie van modelparameters te vinden, waarmee betrouwbare berekeningen van de effecten op de freatische grondwaterstand gemaakt kunnen worden. Hiermee is het model ook goed geschikt voor de analyse van de resultaten van het monitoringprogramma.

Op basis van de uitgevoerde modelanalyse wordt aanbevolen om het monitoringsysteem uit te breiden en gegevens te verzamelen waarmee toekomstig optredende effecten geanalyseerd kunnen worden door:

1. Aanbevolen wordt om in de directe omgeving van de A4 een nieuwe raai van peilbuizen te plaatsen en te monitoren in het bodemtype klei. Voor de gevoeligheidsanalyse van het bodemtype klei en de toestroming vanuit het oppervlaktewater is gebruik gemaakt van een raai van peilbuizen die op grote afstand van het invloedsgebied van de A4 staat. Voor de analyse is een projectie uitgevoerd.
2. Aanbevolen wordt om in de directe omgeving van de A4 een nieuwe raai van peilbuizen in te richten en te monitoren, waarmee meer inzicht verkregen kan worden in het verloop van de grondwaterstand in het bodemtype veen. Voor het bodemtype veen, dat eveneens binnen het invloedsgebied wordt aangetroffen zijn geen peilbuiswaarnemingen beschikbaar om de in het Delfland gehanteerde parameters voor dit bodemtype te toetsen.
3. Aanbevolen wordt om ter hoogte van de nieuw te plaatsen raaien in de bodemtypen klei en veen infiltratieproeven te doen om de introdeweerstand van de sloot ter plaatse te bepalen. Uit de gevoeligheidsanalyse volgt dat de introdeweerstand van de sloten in een droge periode een belangrijke modelparameter is, die mede bepalend is voor de doorwerking van het effect van de A4. Voor de uitwerking van de meetresultaten van de infiltratieproef wordt geadviseerd een lokaal model te gebruiken, dit om de (onverzadigde) stroming in het perceel met een voldoende mate van nauwkeurigheid te modelleren.

6 Verklarende woordenlijst

Term	Omschrijving
Alterra	Onderzoeksinstituut van de Wageningen UR. Wageningen UR is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting DLO. Alterra doet onderzoek naar de ondiepe bodem (bovenste meters).
Berging	Bij de grondwatermodellering met het Delflandmodel is de berging gebruikt als een eigenschap van de ondiepe bodem. De berging geeft aan hoeveel water er vrijkomt danwel kan worden geborgen per eenheid van volume als het bovenste deel van de bodem leeg stroomt, danwel vol loopt met water.
Delflandmodel	Het Delfland model is een grondwatermodel in het rekenprogramma ModFlow dat door TNO is opgezet met de gebruikersschil iMod. Het model is opgesteld in het kader van Delft Cluster onderzoek naar de effecten van het stopzetten van de winning door DSM.
Doorlatendheid	Het vermogen van grond om vloeistof door te laten.
Doorlatendheidscoëfficiënt	Een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom door een eenheid van oppervlak.
GEOTOP	Het model GeoTOP geeft een gedetailleerd driedimensionaal beeld van de Nederlandse ondergrond tot een diepte van ongeveer 50 meter onder maaiveld. Uitgangspunt voor GeoTOP zijn alle boringen in de DINO-boringendatabase. In GeoTOP wordt de ondergrond onderverdeeld in gridcellen (blokjes) van 100 bij 100 meter horizontaal en 50 centimeter verticaal. Aan elk blokje worden parameterwaarden gekoppeld. Dit zijn geologische kenmerken, zoals de lithostratigrafie of lithoklasse van een eenheid, maar ook fysische en chemische parameters, zoals doorlatendheid en geochemische kenmerken. Zo wordt, met het geologisch model als basis, een betrouwbaar beeld verkregen van de ruimtelijke variabiliteit van de parameters. [TNO, 2012].
GLG	De <u>G</u> emiddeld <u>L</u> aagste <u>G</u> rondwaterstand. Deze wordt bepaald als gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14e en 28e), over een periode van minimaal 8 jaar aan een gesloten meten.
Grondwaterstand	De grondwaterstand, of het freatische niveau, is de hoogte t.o.v. een referentieniveau waar de druk in het grondwater gelijk is aan de atmosferische druk.
Grondwaterstijghoogte	De grondwaterstand in het (afgesloten) watervoerende pakket, welk niveau direct kan worden vastgesteld d.m.v. een peilbuis.

Term	Omschrijving
Intredeweerstand	Weerstand die water dat infiltreert vanuit het oppervlaktewater naar de bodem ondervindt bij het passeren van de slootbodern, mogelijk veroorzaakt door het dichtslibben van het natte oppervlak. Als gevolg van infiltratie kan het effect van dichtslibben op termijn groter worden.
Neerslagoverschot	Het neerslagoverschot, zoals die voor de grondwatermodellering is gebruikt, betreft de hoeveelheid water die per eenheid van oppervlak per dag aan het model wordt toegevoerd. Bij een neerslagoverschot is de waarde positief, bij een neerslagtekort is de waarde negatief. De hoeveelheid water volgt uit de som van neerslag, verdamping.
Neerslag	Ook wel specifieke neerslag, de hoeveelheid water (zowel vloeibaar als vast), die vanuit de atmosfeer het aardoppervlak bereikt, per eenheid van oppervlak.
Percentielen	Bij de beschrijving van de bandbreedte van de in het grondwatermodel gebruikte parameters wordt gebruik gemaakt van percentielen. De bodemparameters zijn afgeleid van REGIS en GEOTOP en variëren ruimtelijk. Met het 10% percentiel wordt aangegeven dat 10% van de waarden in het model lager zijn dan de genoemde waarde, bij 90% zijn juist 10% van de in model gebrachte waarden hoger dan de vermelde waarde. Het 50% percentiel betreft de gemiddelde waarde van de in model gebrachte waarden.
REGIS	REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem) is een set van digitale bestanden met hydrogeologische informatie, die door TNO in samenwerking met de provincies en het RIZA is ontwikkeld. Met REGIS-II hebben overheden, waterbeheerders, adviesbureaus en onderwijsinstellingen online de beschikking over een hydrogeologisch model van Nederland. De stroming van het grondwater in de bodern wordt in belangrijke mate bepaald door de lithologische samenstelling (zand, grind, klei en veen) en de daarmee samenhangende hydraulische eigenschappen van de onderscheiden geologische eenheden. Het landelijk hydrogeologisch model REGIS geeft een detaillering van goed doorlatende en slecht doorlatende lagen binnen de in het digitale geologische model van TNO onderscheiden geologische eenheden. Van elke hydrogeologische eenheid is de diepteligging van de onder- en bovenkant en dikte vastgelegd in gridbestanden van 100 bij 100 meter. Naast deze geometrische gegevens bevat het hydrogeologisch model voor elke eenheid ook de hydraulische eigenschappen.
SOBEK	SOBEK is een modelinstrumentarium voor het modelleren van de stromingen van water in oppervlaktewatersystemen. Met het instrumentarium kan ook de interactie met het grondwater op een vereenvoudigde wijze worden gemodelleerd. Het instrumentarium wordt vaak toegepast voor de optimalisatie van drainagesystemen, controle van irrigatiesystemen, overstort ontwerp.

Term	Omschrijving
Superpositie	Voor de berekening van de verlaging met het grondwatermodel is gebruik gemaakt superpositie. Dit betekent dat er twee berekeningen met hetzelfde model worden uitgevoerd, waarbij in de tweede berekening de onttrekking is aangezet. Door de berekende freatische grondwaterstand voor deze situaties van elkaar af te trekken, wordt de verlaging bepaald. Een kenmerk van een superpositie berekening is dat het resultaat minder gevoelig is voor kleine, lokale onvolkomenheden in het model. Dit omdat deze onvolkomenheden in beide situaties aanwezig zijn en door de optelling als het ware worden geëlimineerd.
Uittredeweerstand	Weerstand die water dat draineert vanuit de bodem naar het oppervlaktewater ondervindt bij het passeren van de slootbodem, mogelijk veroorzaakt door het dichtslibben van het natte oppervlak. Als gevolg van schoonspoelen kan het draineren van grondwater het effect van dichtslibben verminderen.
Weerstand (verticaal)	Ook aangeduid als hydraulische weerstand. Betreft de weerstand tegen verticale grondwaterstroming van slecht doorlatende lagen. Dit is het quotiënt van laagdikte en verticale doorlatendheid van de afzetting (in dit gebied klei of veen).

7 Referenties

[A4all, 2015A]

A4All, Toets aan Watervergunning, doc.nr. A4DS-W1.2-RAP-0397, vs.06, definitief, dd. 06-03-2015

[A4All, 2015B]

Een analyse van peilbuismetingen in het eerste watervoerende pakket rond de verdiepte ligging door A4All [notitie A4All, A4DS-W1.2-MEM-0410, v3.1 van 7 juli 2015]

[Alterra, 2001]

Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Alterra rapport 153, 86p vernieuwde uitgave 2001

[Alterra, 2009]

Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte; analyse van de waterbeschikbaarheid rekening houdend met de freatische grondwaterstand. Alterra, 2009 (Alterra-rapport 1791) - 116 p. Afdeling(en) Alterra - Centrum Water en Klimaat Alterra - Centrum Bodem Publicatietype Research report Publicatiejaar 2009

[CHO, 1986]

Verklarende hydrologische woordenlijst, Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, rapport no 16

[CV, 1988]

Cultuurtechnisch Vademecum , Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht Werkgroep Herziening, Utrecht, 1988.

[Delfland 2014]

Watervergunning, 1098119/1350779, waterdossier 18746, Hoogheemraadschap van Delfland, 21 januari 2014

[Deltares, 2012]

D-SETTLEMENT manual Version 9.3; Embankment Design and Soil Settlement Prediction. Deltares, 2012.

[Deltares 2015A]

Onderzoek omgevingseffecten drainage A4 Delft – Schiedam, kenmerk 1208001-006-GEO-0001, definitief 19 februari 2015, Deltares Delft

[Gemeente Midden-Delfland, 2015]

Brief inzake zienswijze ontwerpbesluit A4 Delft / Schiedam met zaaknummer 1350779, kenmerk Gemeente Midden-Delfland 2015-13977/15Z.002495, 30 april 2015

[NHI, 2008]

Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI, Modelrapportage Deelrapport Buisdrainage, December 2008 (<http://www.nhi.nu/nl/documentatie/nhi-lhm/v302/v302-buisdrainage/>).

[NOV, Stoltenberg, 1999]

[Stiboka, 1976]

Landelijke bodemkaart, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen 1976,

[TNO 2008A]

Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport. TNO Rapport 2008-U-R0960/A, 102 pg

[TNO 2008B]

Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Technisch rapport. TNO Rapport 2008-U-R1084/A, 196 pg

[TNO, 2013]

GeoTop modellering, TNO rapport 2012 R10991

[Wareco, 2007]

Grondwatermeetnet Delfland ten behoeve van GGOR-studie, Wareco-rapport Ke30.003mma.rap.docconcept 14 november 2007

[Wareco, 2009]

Uitbreiding systematisch grondwatermeetnet Hoogheemraadschap van Delfland, Wareco-rapport kenmerk KE30B RAP20091105 21 december 2009

[Wareco, 2015]

Inhoudelijke ondersteuning geohydrologie en geotechniek diepwand A4 Delft – Schiedam, Wareco-rapport KM43A RAP20150415, definitief 20-04-2015

A Karakteristieke bodemparameters

Voor verschillende ondergronden heeft Alterra karakteristieke waarden bepaald. Deze waarden worden onder andere gebruikt in de module MetaSwap, waarmee stroming in de onverzadigde zone kan worden berekend. In onderstaande tabel geeft Ks de doorlatendheidscoëfficiënt van volledig met water verzadigde grond weer in [cm/d]. Voor de kleiondergronden (O11 t/m O13) loopt de bandbreedte (afgerond) van 0,01 tot 0,14 [m/d]. Voor de veenondergronden (O16 t/m O18) loopt de bandbreedte (afgerond) van 0,01 tot 0,34 [m/d]. Deze waarden voor de verticale doorlatendheid zijn gehanteerd bij het afschatten van de te hanteren bandbreedte in de gevoeligheidsanalyse, voor de modelparameter horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van de deklaag.

ONDERGRONDEN

	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_s (cm ³ /cm ³)	Ks (cm/d)	α (1/cm)	l (-)	n (-)
<i>Zand</i>						
O1	0,01	0,36	15,22	0,0224	0,000	2,286
O2	0,02	0,38	12,68	0,0213	0,168	1,951
O3	0,01	0,34	10,87	0,0170	0,000	1,717
O4	0,01	0,35	9,86	0,0155	0,000	1,525
O5	0,01	0,32	25,00	0,0521	0,000	2,374
O6	0,01	0,33	33,92	0,0162	-1,330	1,311
O7	0,01	0,51	39,10	0,0123	-2,023	1,152
<i>Zavel</i>						
O8	0,00	0,47	9,08	0,0136	-0,803	1,342
O9	0,00	0,46	2,23	0,0094	-1,382	1,400
O10	0,01	0,48	2,12	0,0097	-1,879	1,257
<i>Klei</i>						
O11	0,00	0,42	13,79	0,0191	-1,384	1,152
O12	0,01	0,56	1,02	0,0095	-4,295	1,158
O13	0,01	0,57	4,37	0,0194	-5,955	1,089
<i>Leem</i>						
O14	0,01	0,38	1,51	0,0030	-0,292	1,728
O15	0,01	0,41	3,70	0,0071	0,912	1,298
<i>Veen</i>						
O16	0,00	0,89	1,07	0,0103	-1,411	1,376
O17	0,01	0,86	2,93	0,0123	-1,592	1,276
O18	0,01	0,57	34,45	0,0138	-1,204	1,323

Tabel A.1 Karakteristieke waarden voor verschillende ondergronden [Bron Alterra,2001]

B Peilbuiswaarnemingen

In deze bijlage zijn gegevens opgenomen van waarnemingen die zijn gedaan in peilbuizen die in raaien zijn geplaatst haaks op sloten in het poldergebied. De peilbuizen zijn geplaatst door Wareco in opdracht van HHD [Wareco, 2007 en 2009]. De raaien zijn in Figuur B.1 te herkennen als clusters van drie opeenvolgend genummerde peilbuizen. De eerste peilbuis staat op korte afstand van een sloot (enkele meters), de tweede buis op een tiental meters en de derde op 30 à 40 m. De configuratie van raai 10-11-12 is weergegeven in Figuur B.15. De metingen in deze peilbuizen geven inzicht in het gedrag van de freatische grondwaterstand in een droge periode en de interactie met het oppervlaktewater.

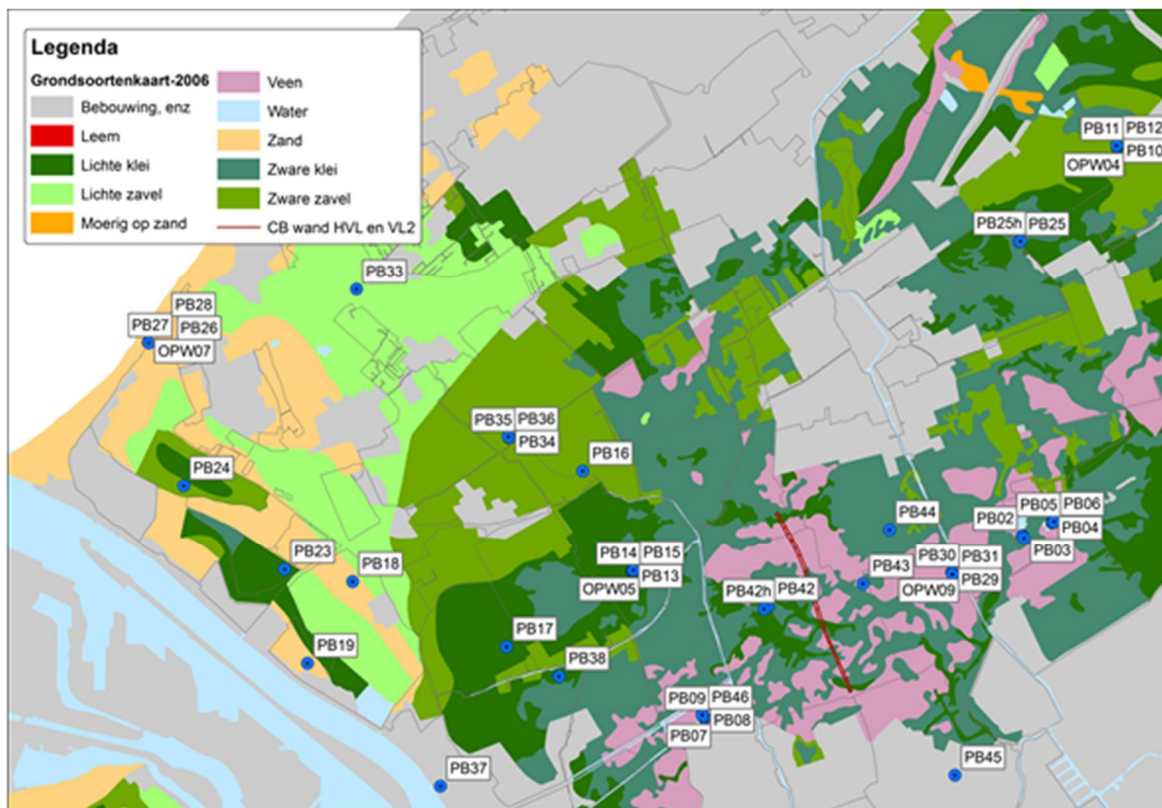
Uit een analyse van de neerslagtekorten [Deltares, 2015A] volgt dat 2010, met name het eerste deel van de zomerperiode, goed overeenkomt met het door KNMI gehanteerde verloop voor een 5% droog jaar (zie ook Figuur C.1 in bijlage C). Om die reden zijn de metingen in de peilbuizen voor het jaar 2010 nader beschouwd. Bij de beoordeling van de meetreeksen is verder de nadruk gelegd op de raaien die geplaatst zijn in de kleigebieden, omdat de effecten in termen van verlaging van de grondwaterstand in de kleigebieden groter zal zijn dan die in de veengebieden. Dit kan ook direct afgeleid worden uit de beschikbare metingen, daar aan het einde van de droge periode, ook zonder de invloed van de A4 Delft – Schiedam, de verlaging van de freatische grondwaterstand in de kleigebieden (zie Figuur B.14 en Figuur B.15) duidelijk groter is dan in veengebieden (zie Figuur B.12 en Figuur B.13).

Verder volgt uit de beschikbare metingen dat in de natte periode (winter en voorjaar) er in alle raaien sprake is van een hogere stijghoogte in de peilbuizen op grotere afstand van de sloot. Er is sprake van afstroming richting de sloten. In de zomerperiode daalt de grondwaterstand in alle peilbuizen en staat de grondwaterstand na verloop van tijd het laagst in de peilbuis op de grootste afstand van de sloot. Op dat moment is er sprake van toestroming van water vanuit de sloot. Hieruit volgt dat er ter plaatse van deze raaien sprake is van interactie tussen grond- en oppervlaktewater, ook in een droge zomer.

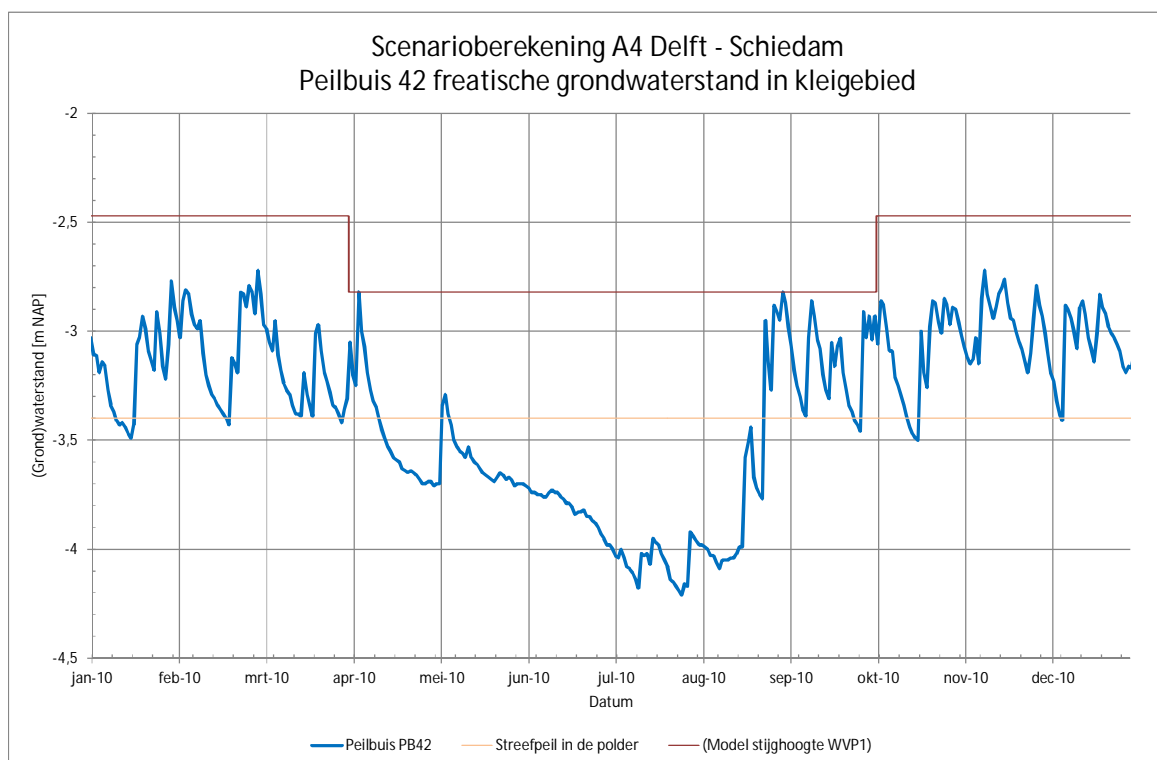
Uit de boordeling van de beschikbare meetgegevens voor de verschillende raaien volgt dat de meetgegevens voor een bodemtype klei het meest compleet zijn voor raai 10-11-12. Hier is in de zomerperiode peilbuis 11 weggevallen (Figuur B.14), maar geven de peilbuizen 10 en 12 een goed beeld van de stroming door de bovenste lagen van de deklaag.

Voor een bodemtype veen kan gekeken worden naar de raai bestaande uit de peilbuizen 7, 8 en 9. Deze raai ligt echter in een gebied waar sprake is van inzijging. Een vergelijkbare situatie is binnen het Grondwatermodel A4 niet aanwezig, zodat een beoordeling van de modelresultaten voor het bodemtype veen op basis van de beschikbare gegevens niet mogelijk is.

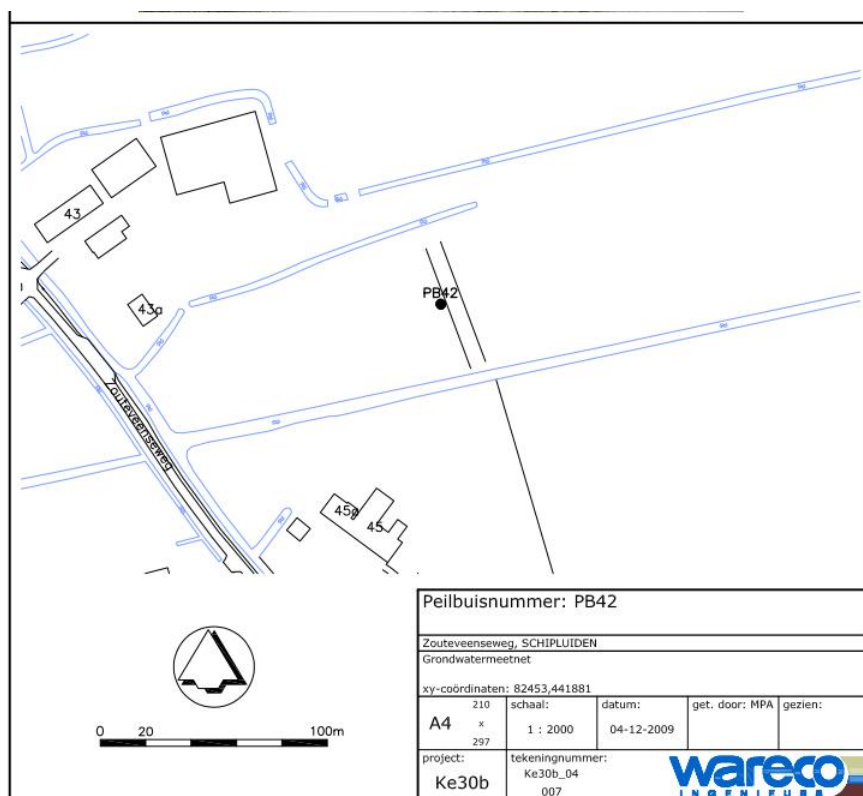
In de figuren met het gemeten verloop van de grondwaterstand is ter indicatie ook de modelwaarde van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket weergegeven. Deze weergave is geschematiseerd tot een niveau in de winter en de zomer.



Figuur B.1 Locaties van peilbuizen en peilbuizen in de ruime omgeving van de A4 Delft – Schiedam



Figuur B.2 Freatische grondwaterstand gemeten in 2010 in peilbuis PB42

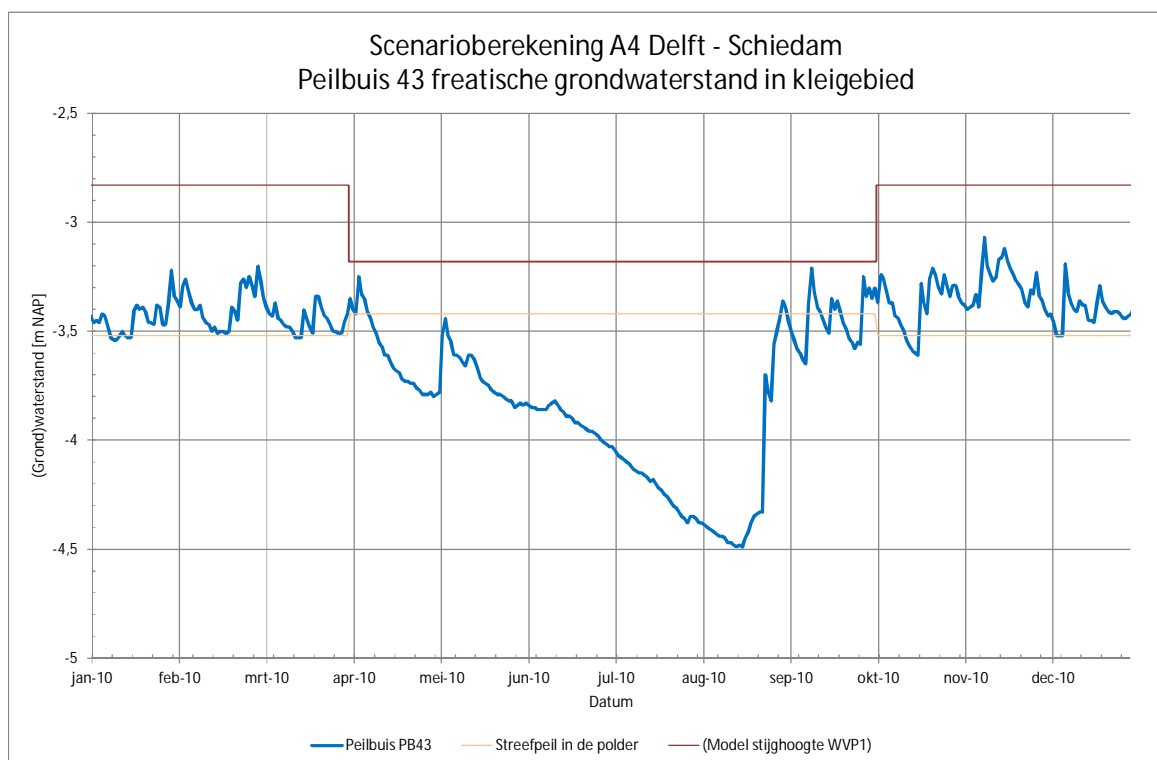


Figuur B.3 Locatie peilbuis PB42 [Wareco, 2007]

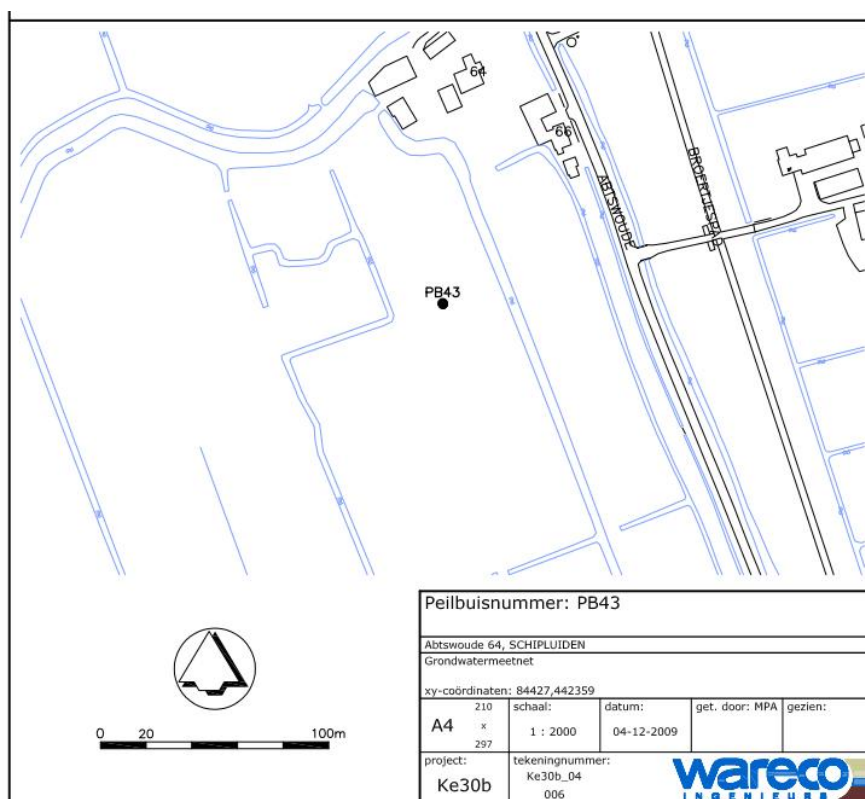
In Figuur B.4 is een luchtfoto opgenomen met de locatie van peilbuis 42. De beschouwde peilbuis pb42 is gelegen langs een verharding achter een boerderij. De afstand tot de zuidelijke sloot bedraagt 36 m en tot de noordelijke sloot 56 m. De onderlinge afstand tussen de sloten bedraagt daarmee circa 92 meter. De hoogte van het maaiveld bedraagt NAP -2,58 m. De peilbuis is na december 2012 herplaatst (pb42h).



Figuur B.4 Luchtfoto met locatie peilbuis pb42 en pb42h



Figuur B.5 Freatische grondwaterstand gemeten in 2010 in peilbuis PB43

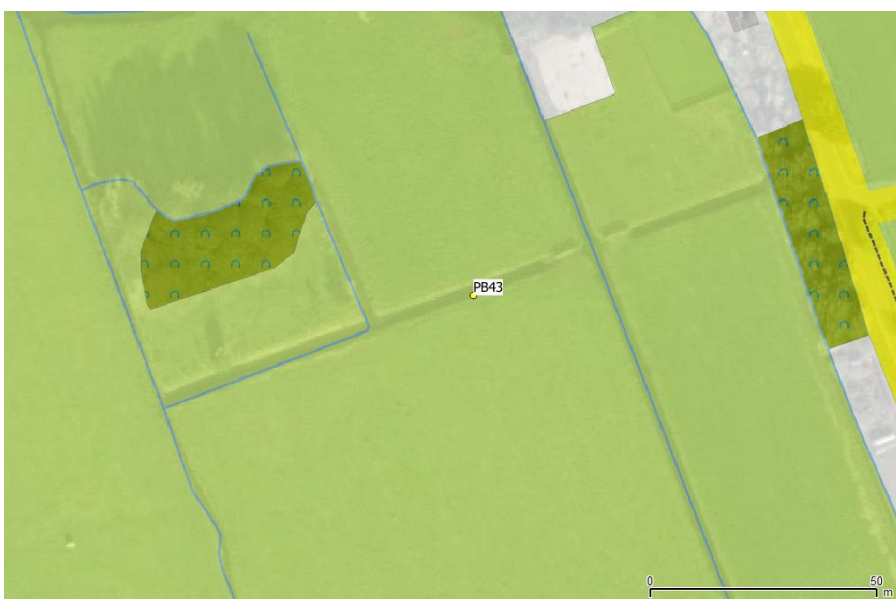


Figuur B.6 Locatie peilbuis PB43 [Wareco, 2007]

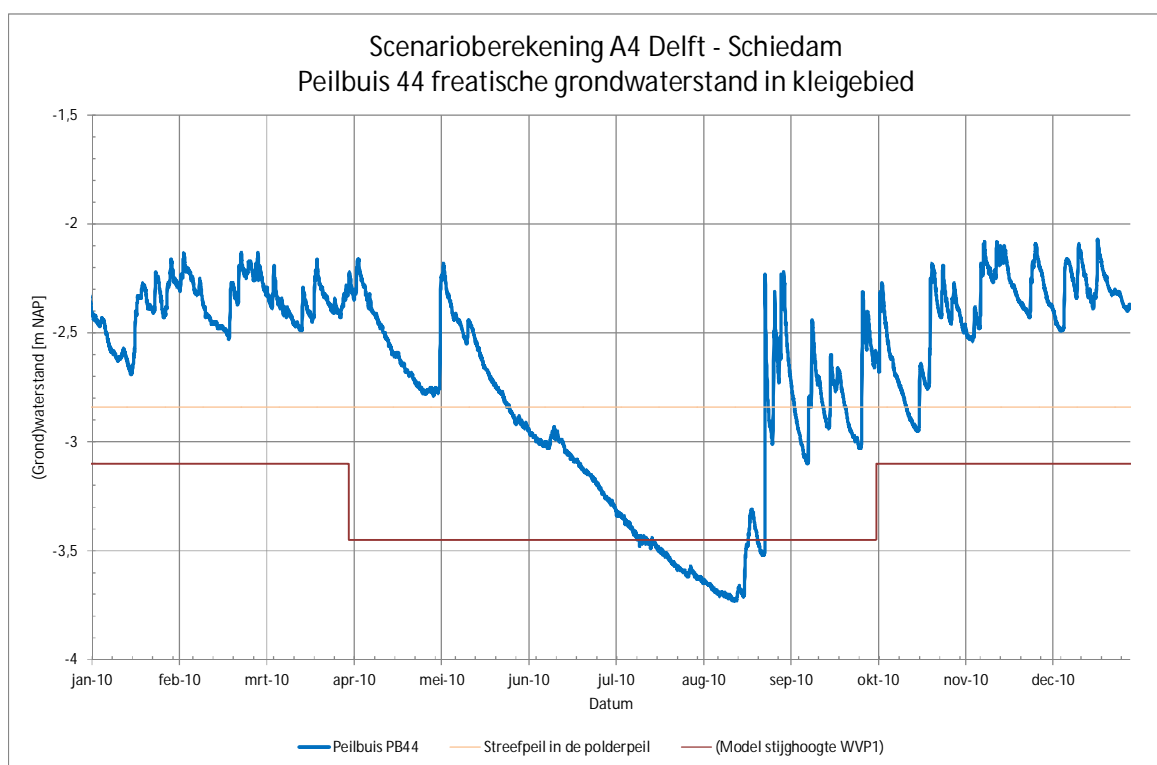
In Figuur B.7 is een luchtfoto opgenomen met de locatie van peilbuis 43. De peilbuis ligt op de luchtfoto direct naast een sloot. Uit de legger en ouder kaartmateriaal (Figuur B.8) is afgeleid dat op deze locatie voorheen slechts sprake was van een greppel. Uit de metingen van peilbuis 43 kan worden afgeleid dat deze sloot in 2011 is gegraven. In de voor de gevoeligheidsanalyse uitgevoerde modellering voor 2010 is deze sloot niet in het model opgenomen. De afstand tot de oostelijke en de westelijke sloot bedraagt circa 25 meter. De hoogte van het maaiveld bedraagt circa NAP -2,65 m. Oorspronkelijk stond de peilbuis in een weiland.



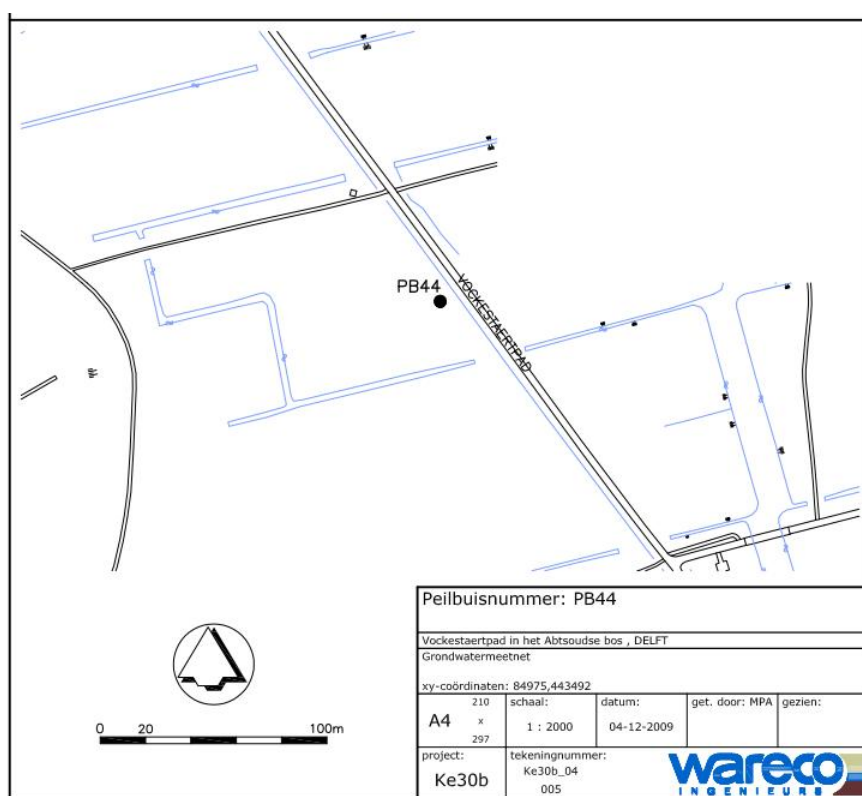
Figuur B.7 Luchtfoto met locatie peilbuis pb43



Figuur B.8 Locatie van peilbuis 43 op topografische ondergrond

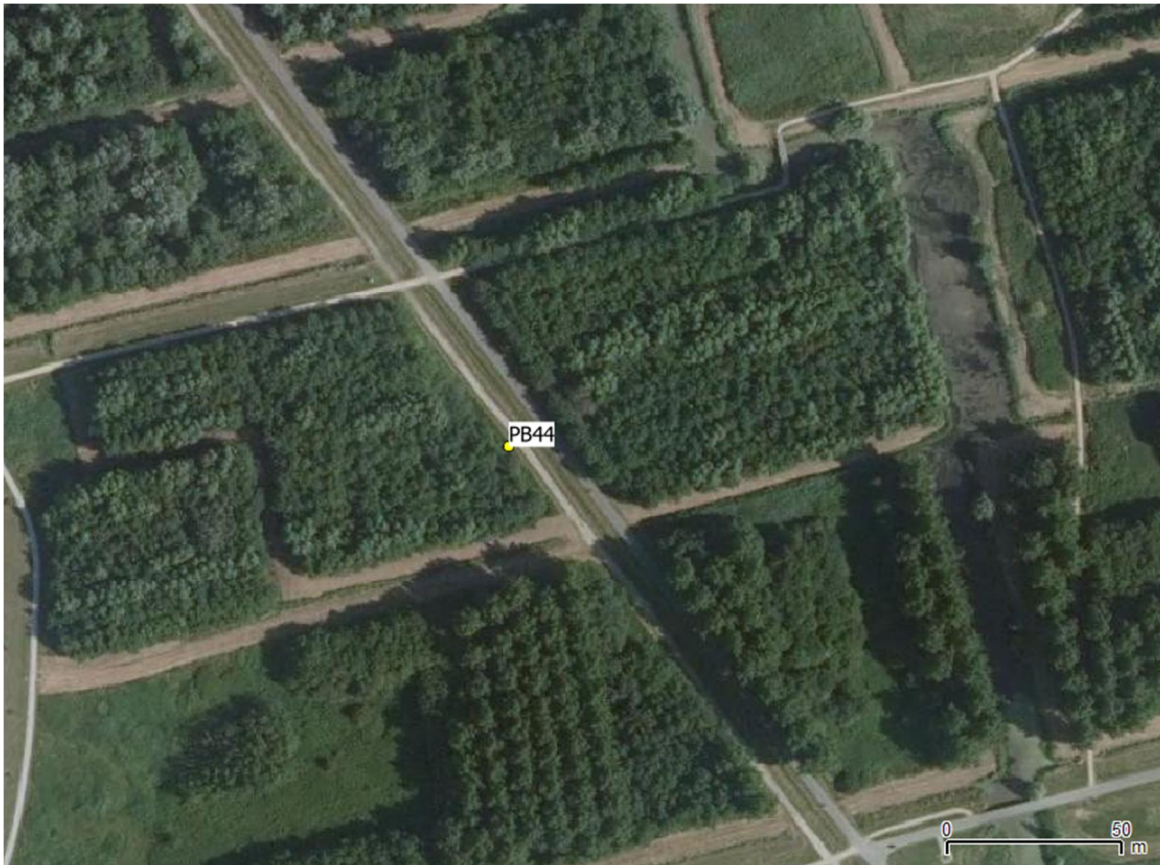


Figuur B.9 Freatische grondwaterstand gemeten in 2010 in peilbuis PB44

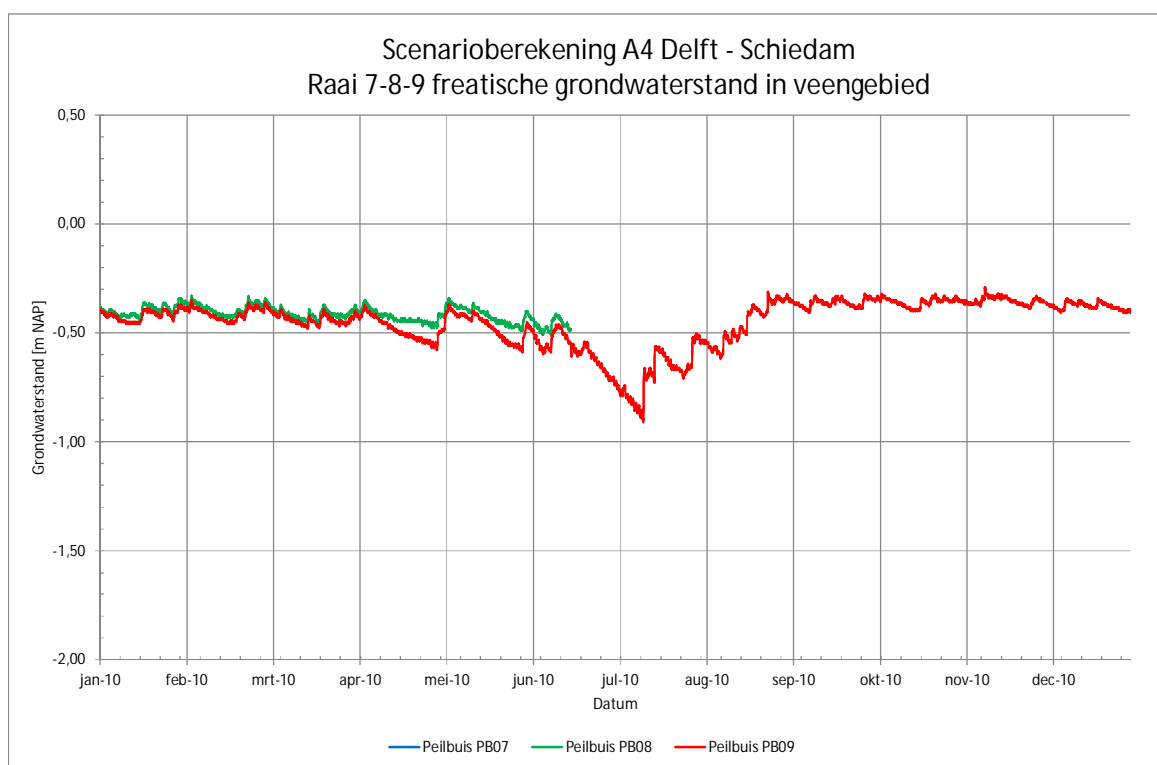


Figuur B.10 Locatie peilbuis PB44 [Wareco, 2007]

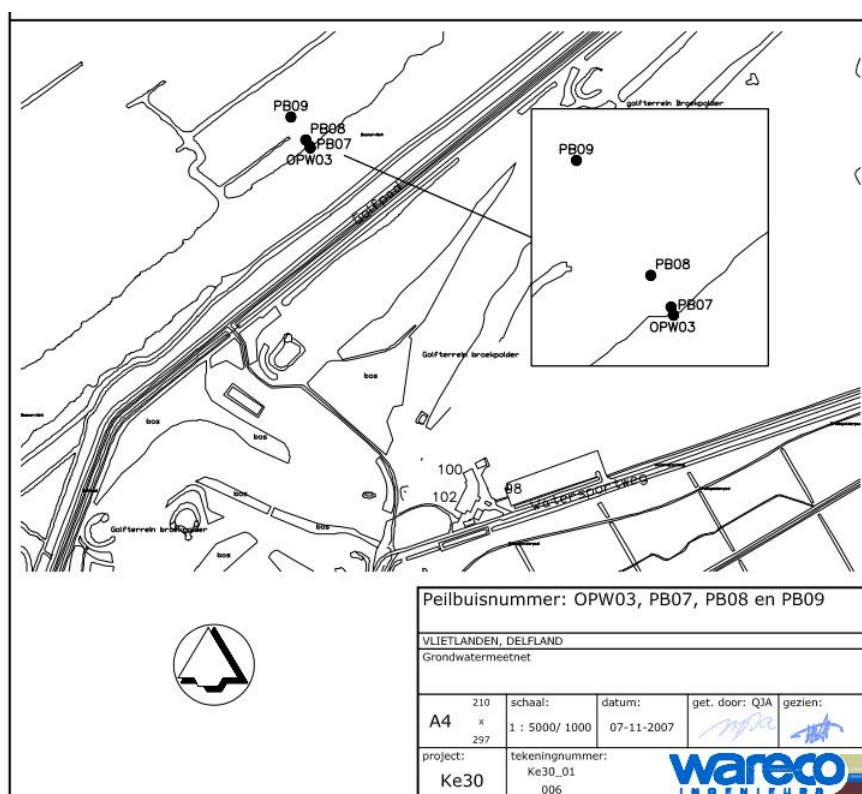
In Figuur B.11 is een luchtfoto opgenomen met de locatie van peilbuis 44. De peilbuis ligt aan de rand van een bosperceel (Abtswoudse Bos). De afstand tot de sloot in het zuiden bedraagt 30 m, de afstand tot de noordelijke sloot circa 60 m.



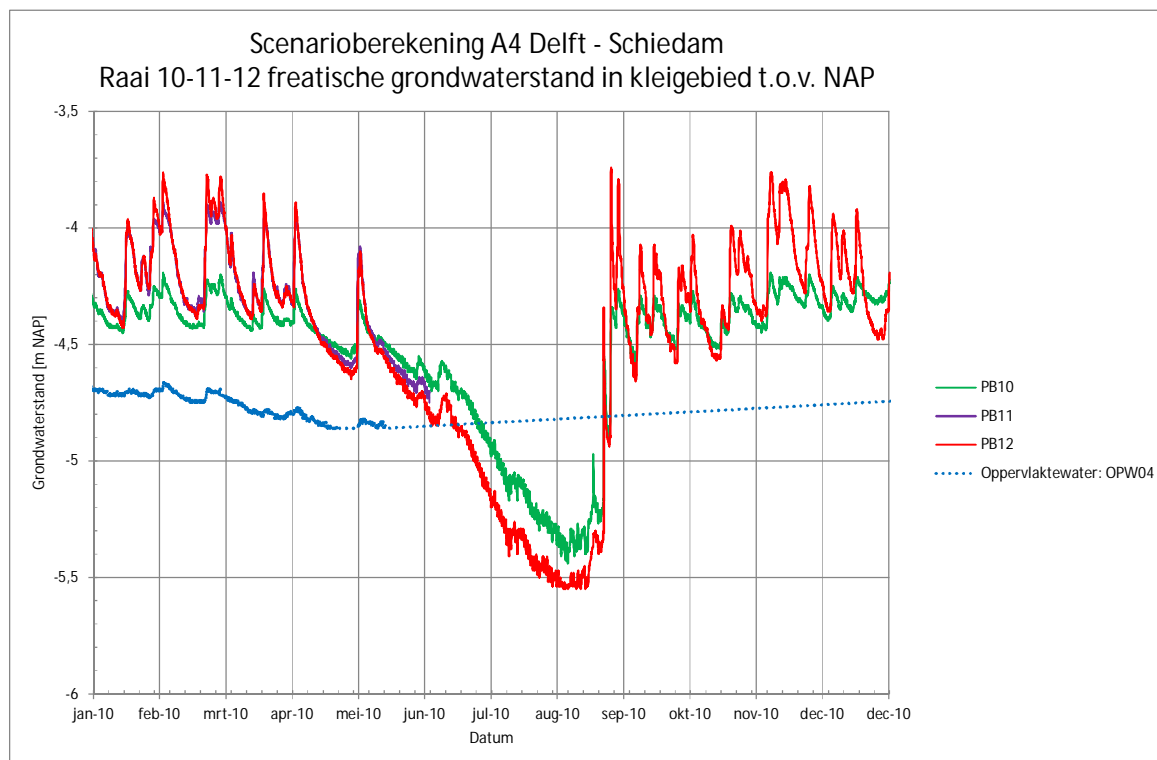
Figuur B.11 Luchtfoto met locatie peilbuis pb44



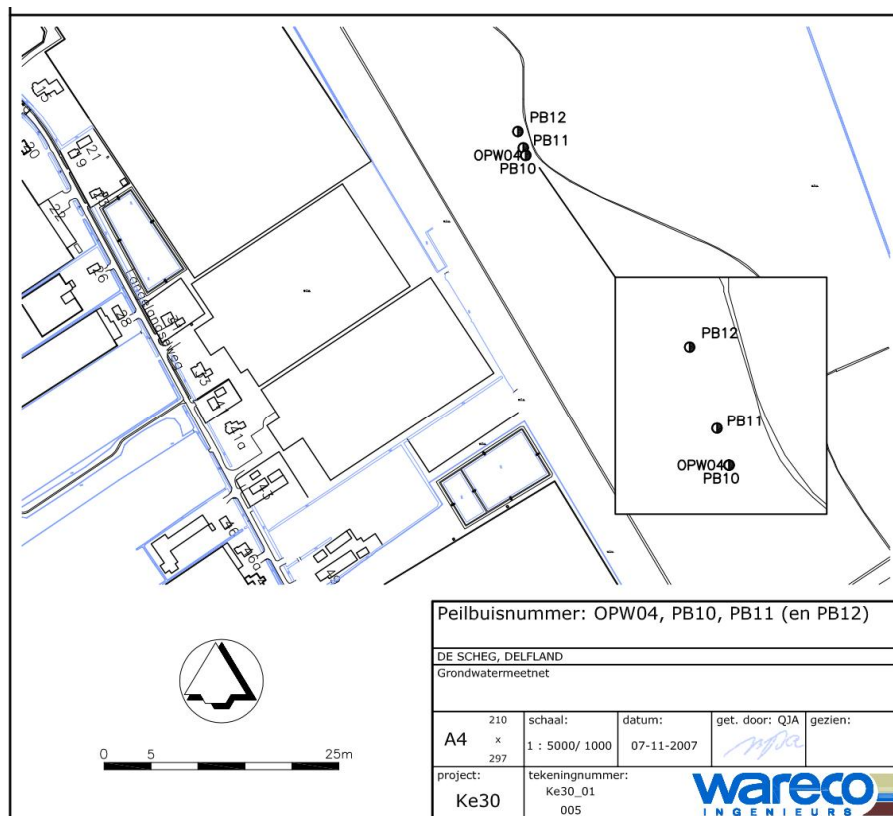
Figuur B.12 Freatische grondwaterstand gemeten in 2010 in raai 7-8-9 in veengebied



Figuur B.13 Locatie en configuratie meetraai 7-8-9 [Wareco, 2007]



Figuur B.14 Freatische grondwaterstand gemeten in 2010 in raai 10-11-12 in kleigebied



Figuur B.15 Locatie en configuratie meetraai 10-11-12 [Wareco, 2007]

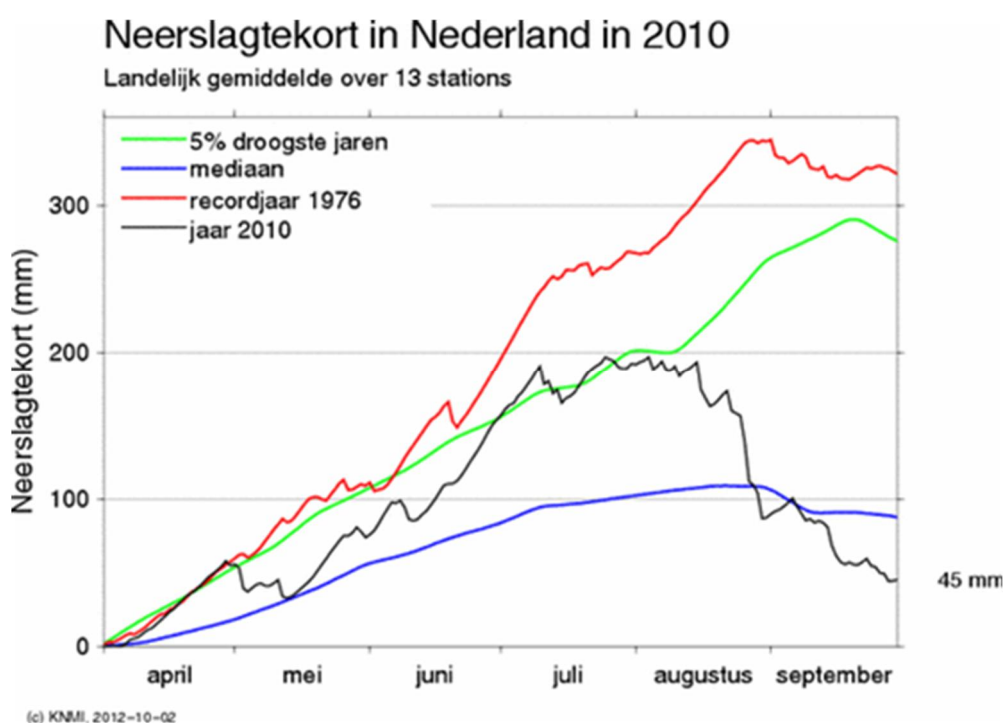
In Figuur B.16 is de locatie van de raai van peilbuizen 10, 11 en 12 op topografische ondergrond weergegeven. De peilbuizen bevinden zich aan de rand van een bosperceel. De afstand tot de zuidelijke sloot bedraagt respectievelijk 2, 10 en 30 meter. De luchtfoto is achterwege gelaten, daar er door de dichte begroeiing geen beeld wordt verkregen van sloten en paden.



Figuur B.16 Locatie van peilbuizen 10, 11 en 12 op topografische ondergrond

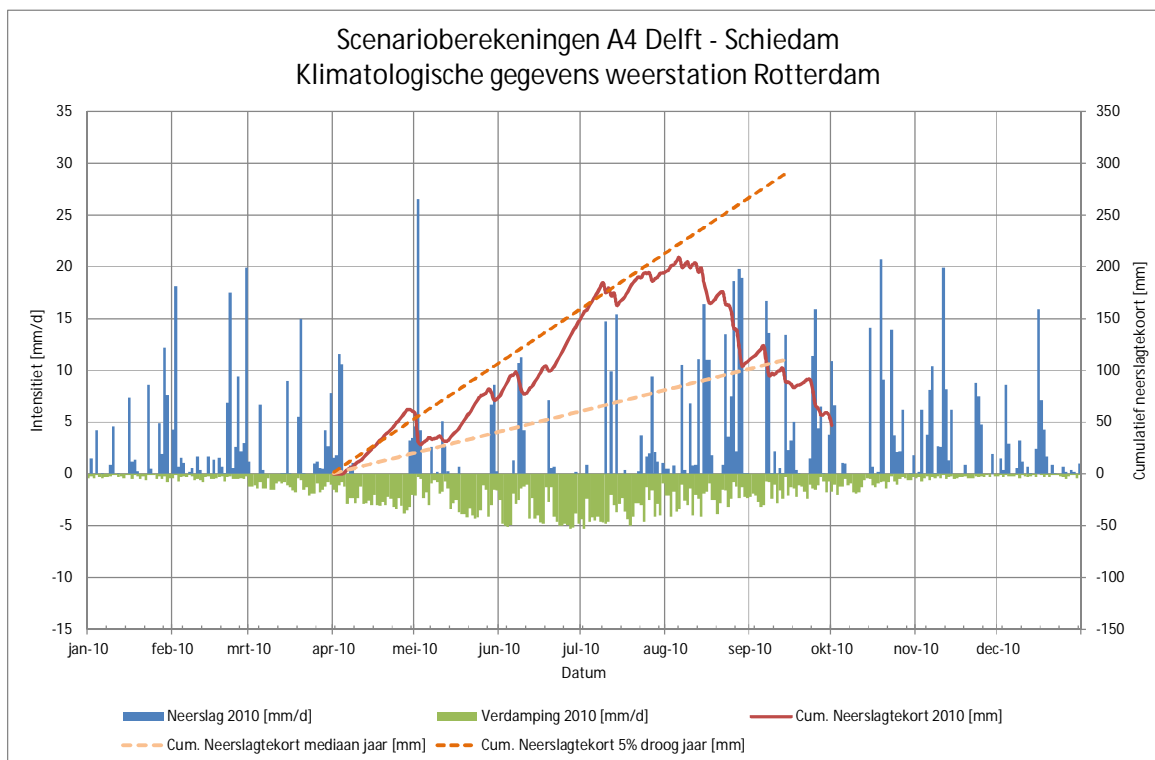
C Klimatologische gegevens

Voor de bepaling van de maximaal optredende verlaging van de grondwaterstand is gekeken naar een droog jaar, met een kans van voorkomen van eens in de 20 jaar, het zogenaamde 5% droog jaar. Het neerslagtekort voor het 5% droog jaar voor de hydrologische zomer (van 1 april tot 1 oktober) is weergegeven in Figuur C.1. In dezelfde figuur is ook het verloop van het neerslagtekort voor het jaar 2010 weergegeven, het jaar waarvoor in de omgeving van de A4 Delft Schiedam meetreeksen beschikbaar zijn, die niet zijn beïnvloed door aanlegwerkzaamheden.



Figuur C.1 Neerslag tekorten KNMI vergeleken met 5% droog jaar [www.knmi.nl]

In Figuur C.2 zijn de klimatologische gegevens (neerslag en potentiële verdamping) weergegeven van het weerstation Rotterdam, zoals deze zijn gebruikt ten behoeve van de parametergevoeligheidsanalyse. In de figuur is tevens het cumulatieve neerslagtekort over 2010 weergegeven, als ook het in de scenarioberekeningen gehanteerde neerslagtekort van 1,74 mm/d voor het 5% droge jaar en 0,66 mm/d voor het mediane jaar.



Figuur C.2 Neerslaggegevens weerstation Rotterdam voor het jaar 2010 en cumulatieve reeksen [KNMI]

D Infiltratie vanuit het oppervlaktewater

In het kader van de studie “Sturen met water” heeft HHD met mathematische modellen en kennisregels analyses uitgevoerd om het inzicht te vergroten in effecten van beleidsbeslissingen. In deze analyse zijn de nabij de A4 gelegen Duif- en Commandeerpolder beschouwd. Hierbij is gebruik gemaakt van Simgro, een grondwatermodel (ModFlow) met een module (MetaSwap) voor de berekening van onverzadigde stroming.

Uit een analyse naar het effect van onderwaterdrainage is voor een aantal kalenderjaren de decadegemiddelde piekaanvoer voor peilhandhaving berekend (tabel 10 in memo HHD). De rekenresultaten hebben wij samengevat in Tabel D.1.

De gemiddeld berekende wateraanvoer ligt in de range van 0,25 – 0,46 mm/d. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze waarden niet door meting zijn gevalideerd, mede omdat een deel van het water dat HHD inlaat gebruikt wordt voor doorspoelen.

Jaar	Commandeerpolder	Duifpolder Noord	Duifpolder Zuid
2006	0,37	0,29	0,58
2007	0,13	0,07	0,25
2008	0,21	0,28	0,51
2009	0,28	0,33	0,56
2010	0,32	0,34	0,57
2011	0,27	0,34	0,55
2012	0,17	0,09	0,17
<i>min</i>	<i>0,13</i>	<i>0,13</i>	<i>0,13</i>
<i>gem</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,46</i>
<i>max</i>	<i>0,37</i>	<i>0,34</i>	<i>0,58</i>

Tabel D.1 Maximale piekdecade aanvoer oppervlaktewater voor peilhandhaving (mm/d) [HHD]

E Modelberekeningen

E.1 Gevoeligheidsanalyse

E.1.1 Inleiding gevoeligheidsanalyse

Het Delflandmodel is stationair gekalibreerd [TNO 2008A/B]. Deze kalibratie is vooral van invloed geweest op de bepaling van de modelparameters doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket en weerstand van de deklaag. Uit de indertijd uitgevoerde kalibratie kan niet worden afgeleid of de in model gebrachte waarden voor de horizontale doorlatendheid van de deklaag, de in- en uittredeweerstand naar het oppervlaktewater of de freatische berging een goede weergave van de werkelijkheid zijn op het detailniveau van de A4. De kalibratie is uitgevoerd met het regionale grondwatermodel met gridcellen van 250 m.

Om dit nader te analyseren is in onderhavige studie gebruik gemaakt van een parameter-gevoeligheidsanalyse voor de verschillende modelparameters. De met het grondwatermodel berekende freatische grondwaterstanden zijn vergeleken met gemeten grondwaterstanden in dat deel van het modelgebied waar de detaillering ten behoeve van de A4 Delft Schiedam heeft plaatsgevonden. In dit gebied zijn meetreeksen van 3 peilbuizen beschikbaar: pb42, pb43 en pb44 (zie ook Figuur 4.1). Om het verloop van het freatische grondwater in een droge periode te kunnen analyseren is gekozen voor 2010 als het te simuleren jaar (zie ook bijlage B).

De te analyseren modelparameters hangen sterk met elkaar samen. Om in de droge periode onderscheid te kunnen maken tussen de bijdrage vanuit de intredeweerstand van de sloot en de weerstand die het water ondervindt bij het doorstromen van de bovenste delen van de deklaag, is het noodzakelijk gebruik te maken van meerdere meetpunten in een raai haaks op de sloot. In de directe omgeving van de A4 is een dergelijke configuratie van meetpunten niet voorhanden. Op basis van de beschikbaarheid van meetpunten in de ruimere omgeving is de raai van de peilbuizen 10, 11 en 12 geschikt bevonden om te gebruiken in de gevoeligheidsanalyse (zie Figuur B.1, Figuur B.14 en Figuur B.15). Hiertoe zijn de metingen van deze raai geprojecteerd binnen het gebied van het gedetailleerde model, met een vergelijkbare configuratie van omliggende watergangen en bodemopbouw. Deze raai is karakteristiek voor een bodemtype klei.

Een vergelijkbare raai voor het bodemtype veen (zie Figuur B.12, Figuur B.13 en Figuur B.1) is in de beschikbare set van meetgegevens niet beschikbaar, mede gelet op de stromings-situatie in het gedetailleerde model. De gemeten standen in de peilbuizen 7, 8 en 9 in het veengebied van circa -0,5 m NAP resulteren in een infiltratiesituatie, welke situatie niet voorkomt binnen het gedetailleerde modelgebied.

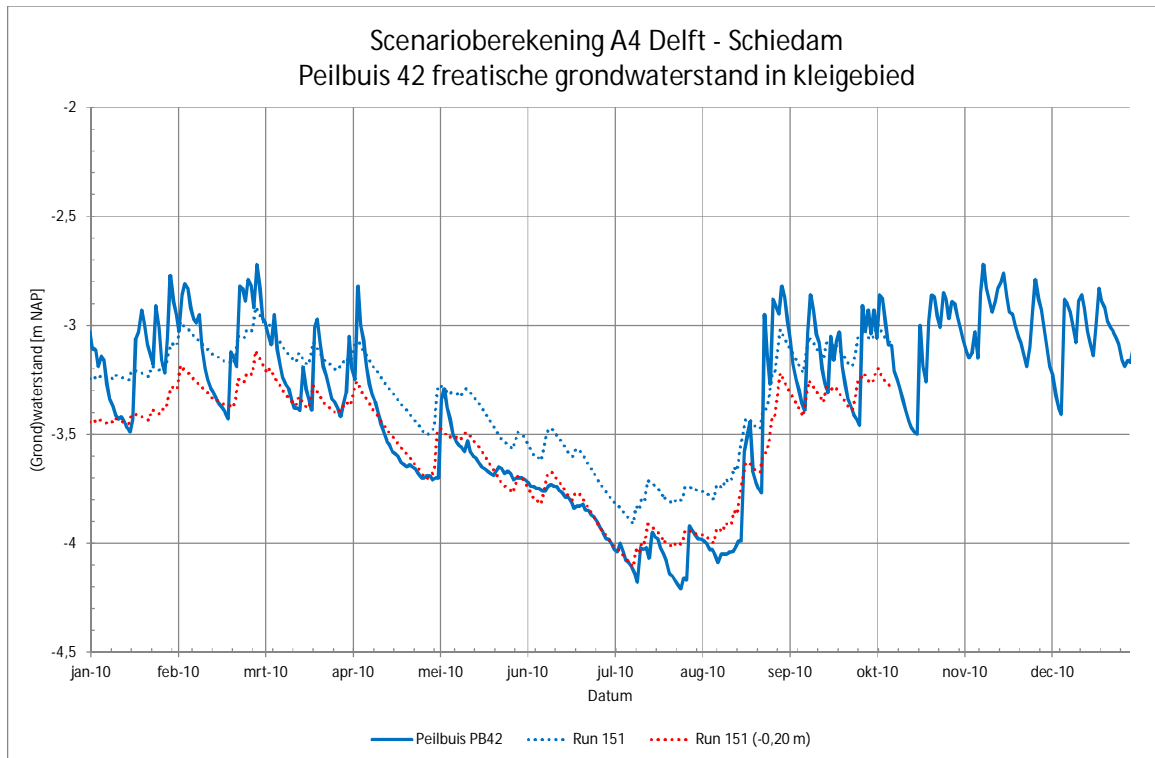
E.1.2 Uitgevoerde berekeningen

Als eerste stap is het verloop in de tijd voor de 3 genoemde peilbuizen berekend, uitgaande van de 100% modelparameters zoals samengevat in hoofdstuk 3. In de meeste gevallen is de presentatie van de modeluitkomsten beperkt tot de meest nabij de A4 gelegen peilbuis 42.

E.1.2.1 Grondwatermodel A4 (run 151)

In Figuur E.1 is de gemeten freatische grondwaterstand voor peilbuis 42 uitgezet tegen de met Grondwatermodel A4 berekende grondwaterstand (run 151). Uit de figuur is af te leiden dat de berekende grondwaterstand circa 0,20 meter hoger ligt dan de gemeten grondwaterstand en dat de berekende dynamiek, met name in de winterperiode, minder is dan de

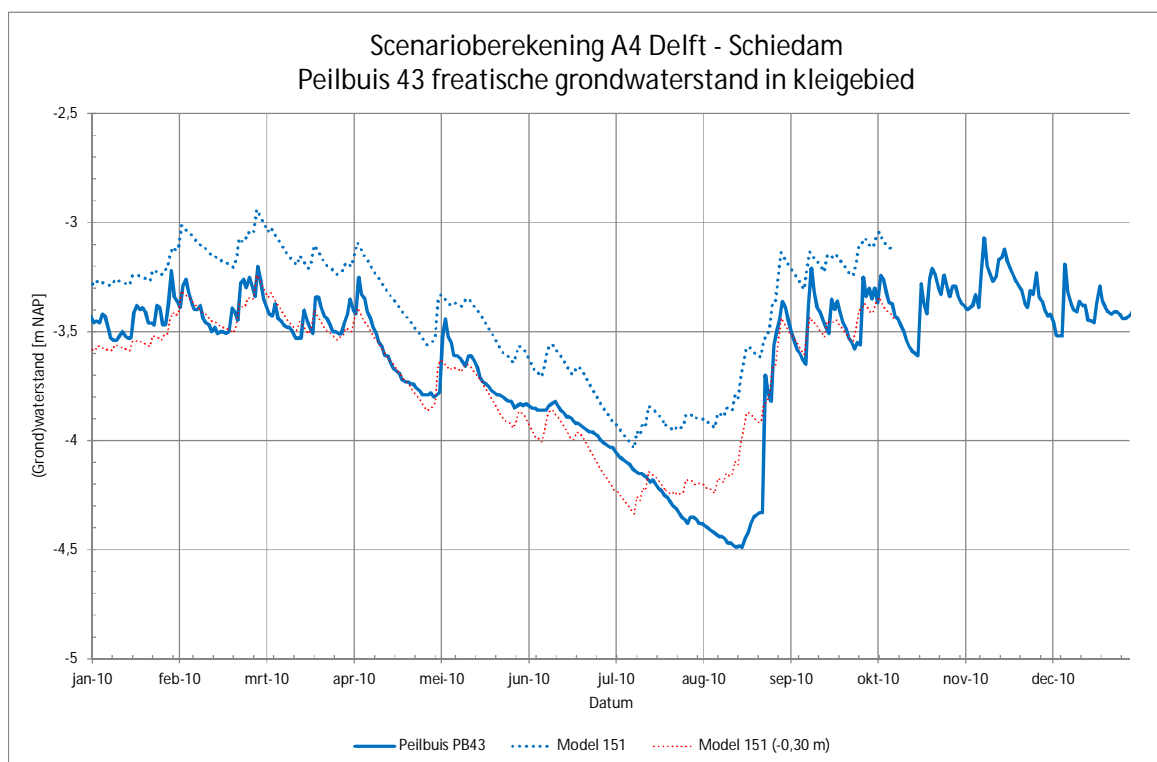
gemeten dynamiek. Om het verloop van de uitzakking beter te kunnen beoordelen is de berekende grondwaterstand ook met 0,2 m verlaagd weergegeven (rode stippellijn).



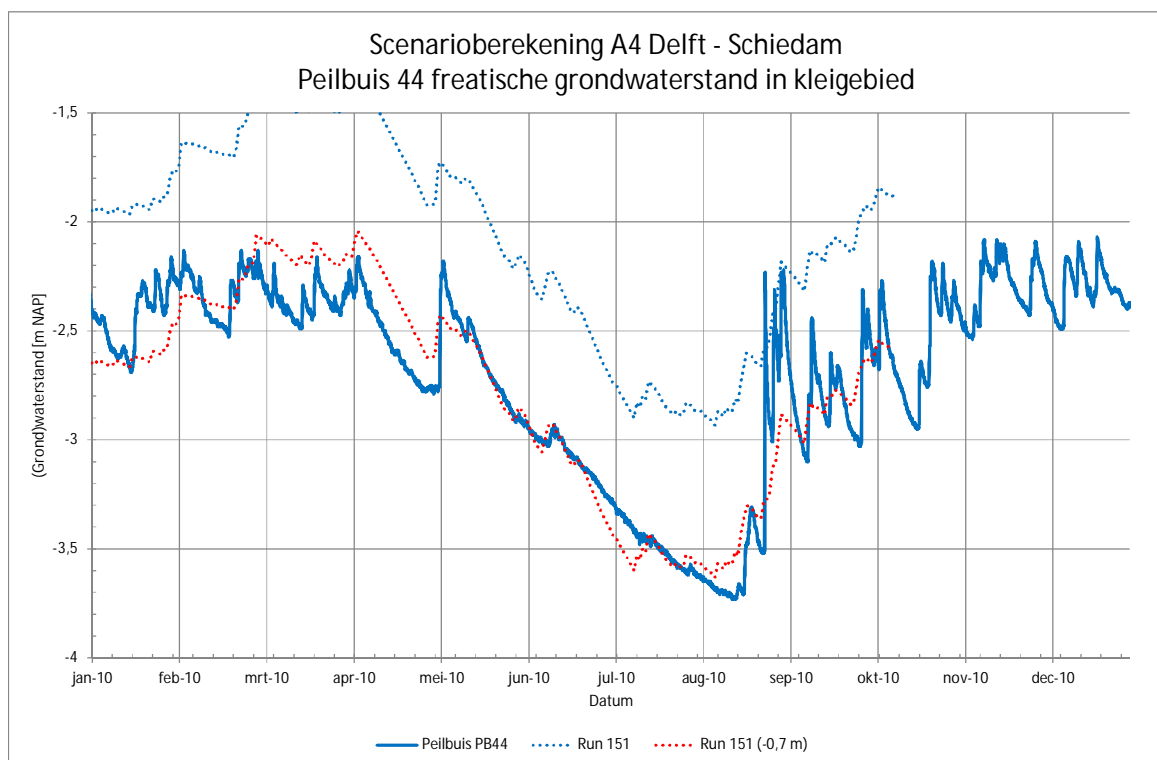
Figuur E.1 Gemeten en met het grondwatermodel berekende grondwaterstand voor peilbuis 42

Uit Figuur E.2 volgt dat voor peilbuis 43 de met het model berekende grondwaterstand gemiddeld 0,3 m hoger is dan gemeten. Daarnaast valt op dat op basis van de metingen geconcludeerd kan worden dat de gemeten grondwaterstand aan het einde van de droge periode verder uitzakt dan berekend. Om dit te illustreren is in de figuur ook een met 0,3 m verlaagd berekend verloop weergegeven (rode stippellijn). Wanneer deze uitzakking wordt vergeleken met die gemeten in peilbuis 42, dan is de conclusie dat peilbuis 43 zich anders gedraagt dan peilbuis 42, maar ook anders dan berekend.

Uit Figuur E.3 volgt dat voor peilbuis 44 de met het model berekende grondwaterstand hoger is dan gemeten. Om dit te illustreren is in de figuur ook een met 0,7 m verlaagd berekend verloop weergegeven (rode stippellijn). De dynamiek in het berekende verloop vertoont sterke gelijkenis met de gemeten dynamiek. Dit is aanleiding geweest om nader te kijken naar de schematisatie van het oppervlaktewater- en drainagestelsel in het model. Het oppervlaktewaterstelsel is conform de legger in model gebracht. In tegenstelling tot de locatie van de andere peilbuizen, ontbreekt bij peilbuis 44 in het model een drainagestelsel. Dit heeft tot gevolg dat het neerslagoverschot in de winter minder goed wordt afgevoerd, waardoor in dit gebied de grondwaterstanden aan het einde van de natte periode hoger berekend worden dan bij de overige locaties en dan in het veld gemeten. Ter illustratie is in Figuur E.3 de berekende grondwaterstand aan het einde van de natte periode verschoven (rode stippellijn) en gelijk gesteld aan de gemeten grondwaterstand aan het begin van de droge periode. Hieruit valt af te leiden dat met het model de gemeten dynamiek goed benaderd wordt.



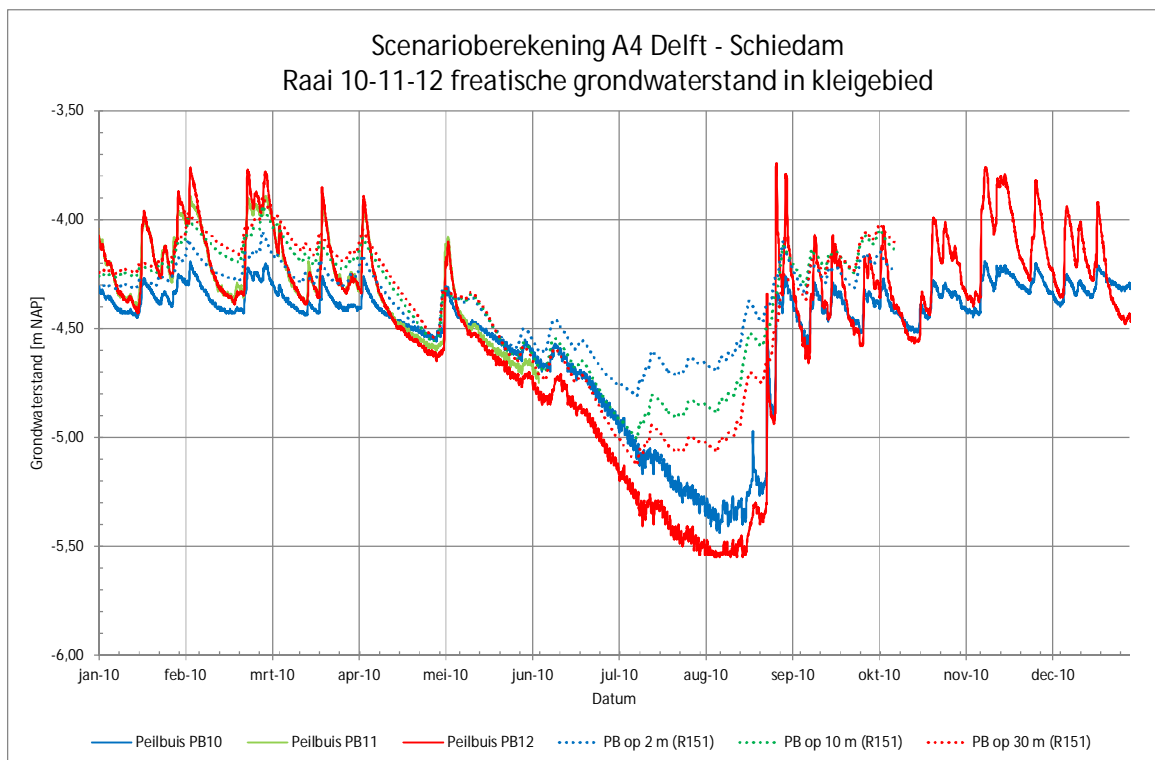
Figuur E.2 Gemeten en met het grondwatermodel berekende grondwaterstand voor peilbuis 43



Figuur E.3 Gemeten en met het grondwatermodel berekende grondwaterstand voor peilbuis 44

In Figuur E.4 is het verloop van de freatische grondwaterstand in de kleirai weergegeven. Hierbij kan geen uitspraak worden gedaan over de absolute waarde van de grondwaterstand, omdat de meetgegevens zijn geprojecteerd in het modelgebied, waarbij de NAP hoogte is aangepast op het polderpeil ter plaatse. Hiermee wordt bereikt dat de in- en uitstroming naar de sloot zo realistisch mogelijk wordt benaderd.

In de grafiek is de kleurcodering van de gemeten en berekende peilbuizen gelijk gehouden. Uit de figuur volgt dat de dynamiek redelijk, zoiets in de winter iets te beperkt wordt berekend. Daarnaast is het uitzakken in het model geringer dan gemeten. Wat verder opvalt, is dat het verschil in grondwaterstanden tussen de peilbuizen onderling in de berekeningen groter is dan in de het veld gemeten. Dit duidt er waarschijnlijk op dat de introdeweerstand in verhouding tot de doorlatendheid van de bovenste lagen van de deklaag in het model te gering is. In deze berekening bedraagt de introdeweerstand 2 dagen.

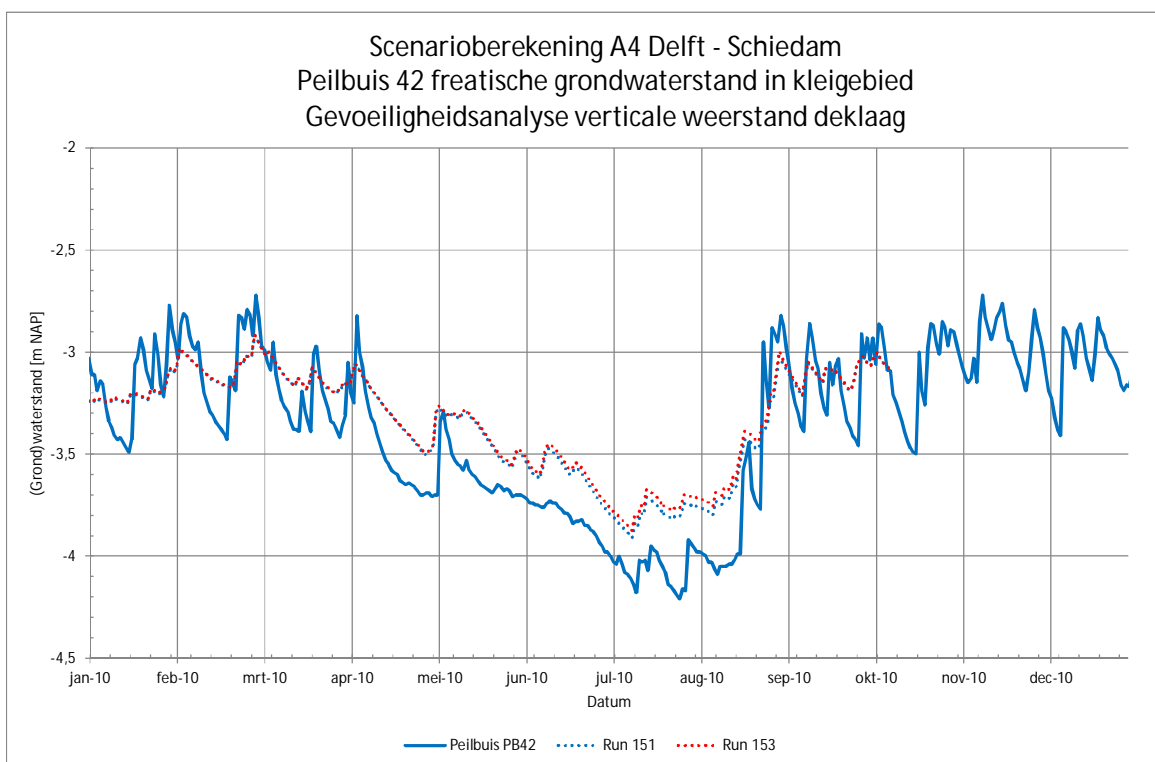


Figuur E.4 Gemeten en berekende grondwaterstand voor de geprojecteerde kleirai (run 151)

E.1.3 Variatie van de vier meest relevante modelparameters

E.1.3.1 Weerstand van de deklaag

Uit de uitgevoerde berekeningen (run 153) volgt dat de variatie in weerstand van de deklaag (reductie tot 50%) nauwelijks van invloed is op de berekende grondwaterstanden in de 3 beschouwde peilbuizen en de kleirai. Voor peilbuis pb42 is het berekende verloop van de runs 151 en 153 uitgezet in Figuur E.5. Hieruit wordt geconcludeerd dat op basis van deze gevoeligheidsanalyse de resultaten van de eerdere kalibratie met betrekking tot de deklaag niet verbeterd kan worden.



Figuur E.5 Gemeten en berekende grondwaterstanden met verschillende deklaag weerstanden (run 151 en 153)

E.1.3.2 Horizontale doorlatendheid deklaag (run 154, 155 en 156)

In de raai over de peilbuizen 10-11-12 is er een verschil zichtbaar in de berekende grondwaterstand. Dit betreft het verschil in grondwaterstand tussen de peilbuizen onderling. In de Figuur E.7 t/m Figuur E.9 is het gemeten en berekende verloop in de drie peilbuizen bij de verschillende sets van horizontale doorlatendheden weergegeven. Bij afnemende waarde van de horizontale doorlatendheid neemt het verschil in grondwaterstand tussen de peilbuizen af. Dit wordt verklaard door een daling van de grondwaterstand in de peilbuis nabij de sloot. In peilbuis 12, in het midden van het perceel, is er weinig verschil in de berekende grondwaterstand bij de verschillende waarden van de horizontale doorlatendheid. In de metingen is een gelijkmatige daling te zien van de grondwaterstand in de periode tot 9 juli 2010. Op deze datum worden, voor de verschillende berekeningen met k -horizontaal, de in Tabel E.1 weergegeven grondwaterstandsverschillen berekend tussen peilbuis 10 en 12. Voor deze periode zijn geen meetgegevens beschikbaar van peilbuis 11.

K-waarde		Grondwaterstand Peilbuis 10	Grondwaterstand Peilbuis 11	Grondwaterstand Peilbuis 12	Vershil in freatische Grondwaterstand (pb12-pb10)
Afstand tot sloot [m]		2	10	30	-
		[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[m]
meting	9 juli 2015	-5,05	-	-5,26	0,21
100% k	0,19 – 0,8 [d]	-4,81	-5,01	-5,13	0,32
50% k	0,10 – 0,4 [d]	-4,87	-5,07	-5,13	0,26
25% k	0,05 – 0,2 [d]	-4,90	-5,08	-5,13	0,23
5% k	0,01 – 0,04 [d]	-5,03	-5,10	-5,14	0,11

Tabel E.1 Gemeten en berekende grondwaterstanden peilbuizen 10, 11 en 12

Onafhankelijk van de waarde van de horizontale doorlatendheid wordt in peilbuis 12 een grondwaterstand berekend van ongeveer NAP -5,13 m. Hieruit volgt dat ook bij de hoogst beschouwde doorlatendheid de invloed van de voeding vanuit de sloot niet reikt tot in het midden van het perceel. Hieruit volgt dat in het midden van het perceel de grondwaterstand wordt bepaald door kwel, neerslag, verdamping en bergingsverandering.

Om de bijdrage van de bergingsverandering nader te beoordelen is de snelheid waarmee het grondwater daalt afgeleid uit de metingen, voor de periode van 13 tot 29 mei 2010 (waar ook data voor peilbuis 11 beschikbaar zijn) en is vervolgens met de oorspronkelijke waarde van de bergingscoëfficiënt de verdamping geschat. De gehanteerde waarden zijn samengevat in Tabel E.2.

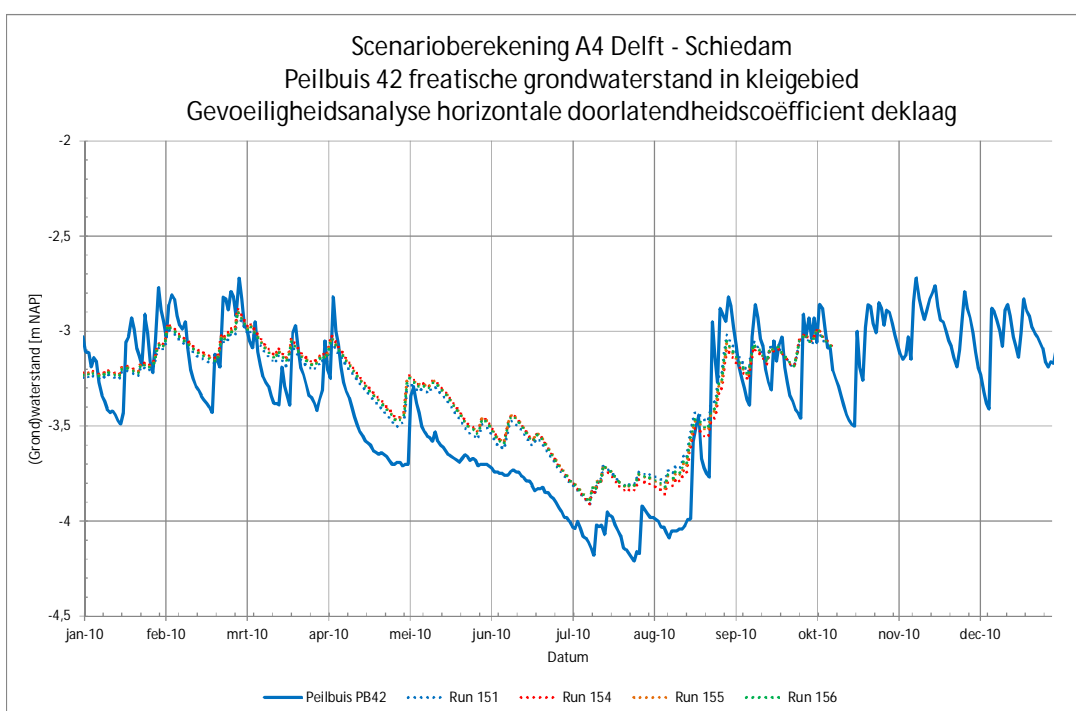
		Peilbuis 10	Peilbuis 11	Peilbuis 12
Afstand tot sloot	[m]	2	10	30
Meting 13 -5-2010	[m NAP]	-4,48	-4,49	-4,53
Meting 29-5-2010	[m NAP]	-4,63	-4,70	-4,75
Vershil	[m]	0,15	0,21	0,22
Aantal dagen	[d]	16	16	16
Snelheid	[m/d]	0,0094	0,0131	0,0138
Berging	[-]	0,15	0,15	0,15
Schatting verdamping uit bergingsverandering	[mm/d]	1,4	2,0	2,1

Tabel E.2 Gemeten grondwaterstanden en berekende verdamping peilbuizen 10, 11 en 12

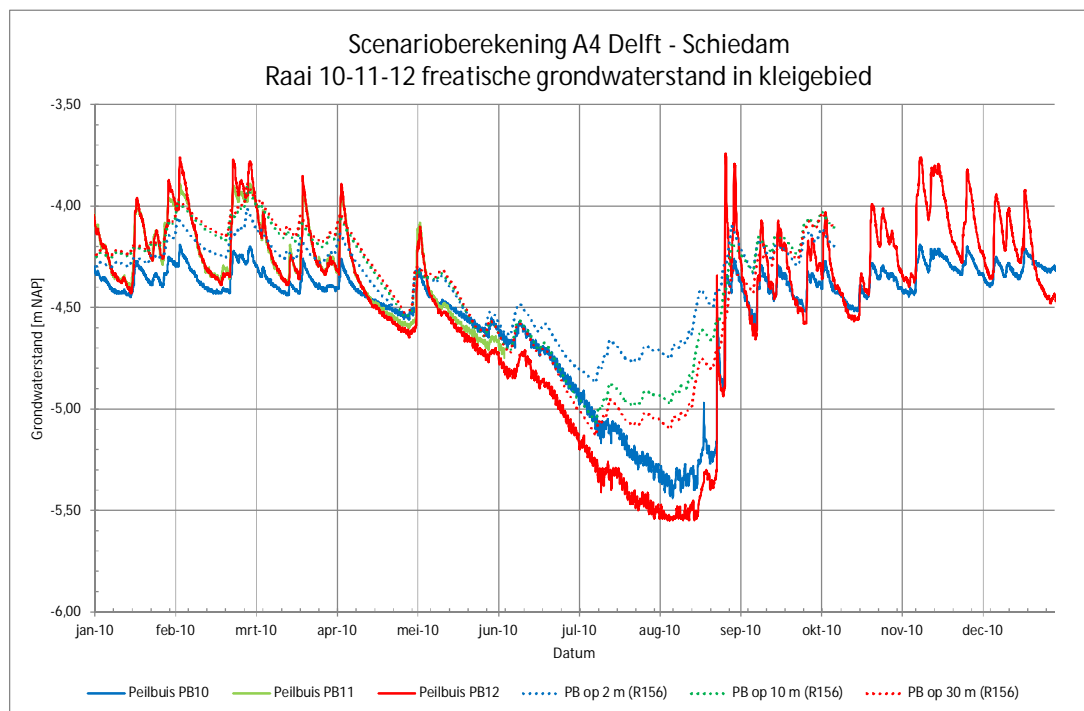
Wat opvalt, is dat de geschatte verdamping bij de peilbuizen 11 en 12 een vergelijkbare grootte hebben en dat die bij peilbuis 10 duidelijk lager is. Dit kan een gevolg zijn van de bijdrage van de voeding vanuit de sloot aan het grondwater ter plaatse van peilbuis 11 (overeenkomend met 0,6 mm/d). Het is ook niet uit te sluiten dat dit een gevolg is van lokaal afwijkende begroeiing, gelet op het gegeven dat deze peilbuis in een bossage staat op grote afstand van de A4.

Uit de uitgevoerde berekeningen volgt verder dat voor de peilbuizen 42, 43 en 44 de variatie in horizontale doorlatendheid van de deklaag relatief weinig invloed heeft op de berekende grondwaterstand. Voor peilbuis pb42 is het berekende verloop van de runs 151, 154, 155 en 156 uitgezet in Figuur E.6.

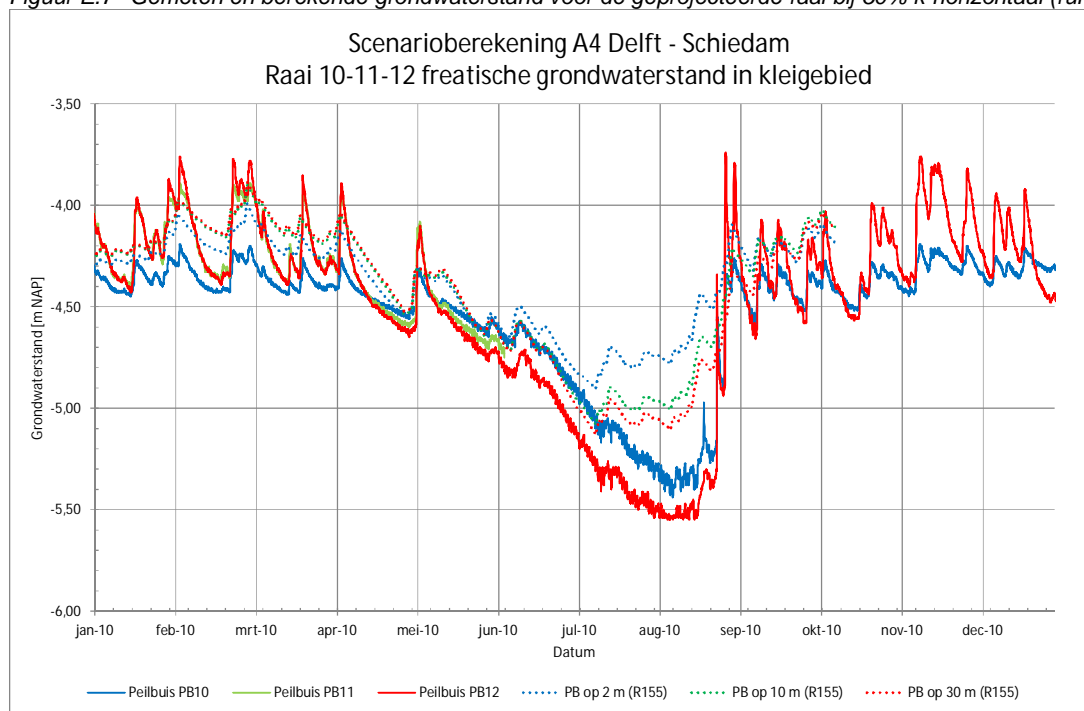
Op basis van de beschikbare meetgegevens en de modelberekeningen met verschillende waarden voor de horizontale doorlatendheid kunnen geen conclusies getrokken worden met betrekking tot de te hanteren waarden voor de horizontale doorlatendheid in de te beschouwen scenario's. Hierbij moet opgemerkt worden dat de beschouwde bandbreedte die is afgeleid uit bijlage A [Alterra, 2001] is bepaald voor de verticale doorlatendheid van de bodematerialen. Als gevolg van de afzetting (ontstaansgeschiedenis) van de bodem is er sprake van gelaagdheid die zorgt voor een verschil tussen verticale en horizontale doorlatendheid (anisotropie). Vaak is deze in de orde van grootte van 3 tot 5 ($k_h=5 \cdot k_v$) en soms ook meer. Er zijn echter geen gegevens beschikbaar over de anisotropie van de ondiepe bodem in de omgeving van de A4. Rekening houdend met anisotropie is voor de bovengrens van k -horizontaal uitgegaan van 0,05 m/d ($5 \cdot 0,01$) en de daarmee de 25% waarde voor de modelparameter (tabel E.1)



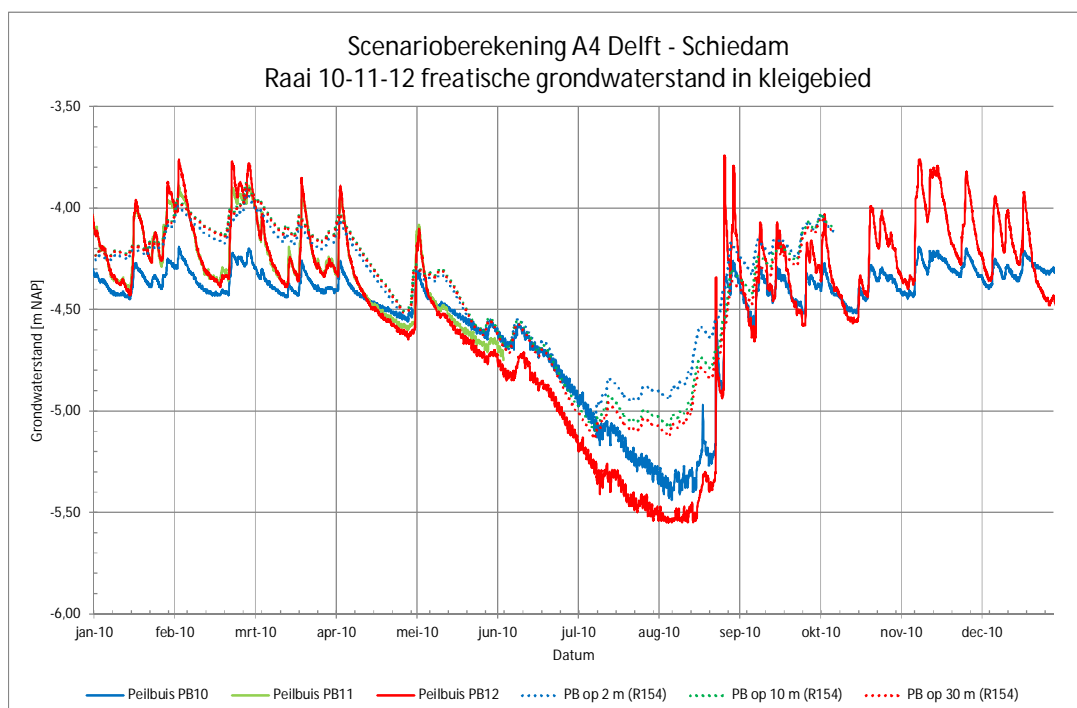
Figuur E.6 Gemeten en berekende grondwaterstanden met verschillende waarden voor de horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van de deklaag (runs 151, 154, 155 en 156)



Figuur E.7 Gemeten en berekende grondwaterstand voor de geprojecteerde raai bij 50% k-horizontaal (run 156)



Figuur E.8 Gemeten en berekende grondwaterstand voor de geprojecteerde raai bij 25% k-horizontaal (run 155)



Figuur E.9 Gemeten en berekende grondwaterstand voor de geprojecteerde raai bij 5% k-horizontaal (run 154)

E.1.3.3 Intredeweerstand sloot (run 159 en 160)

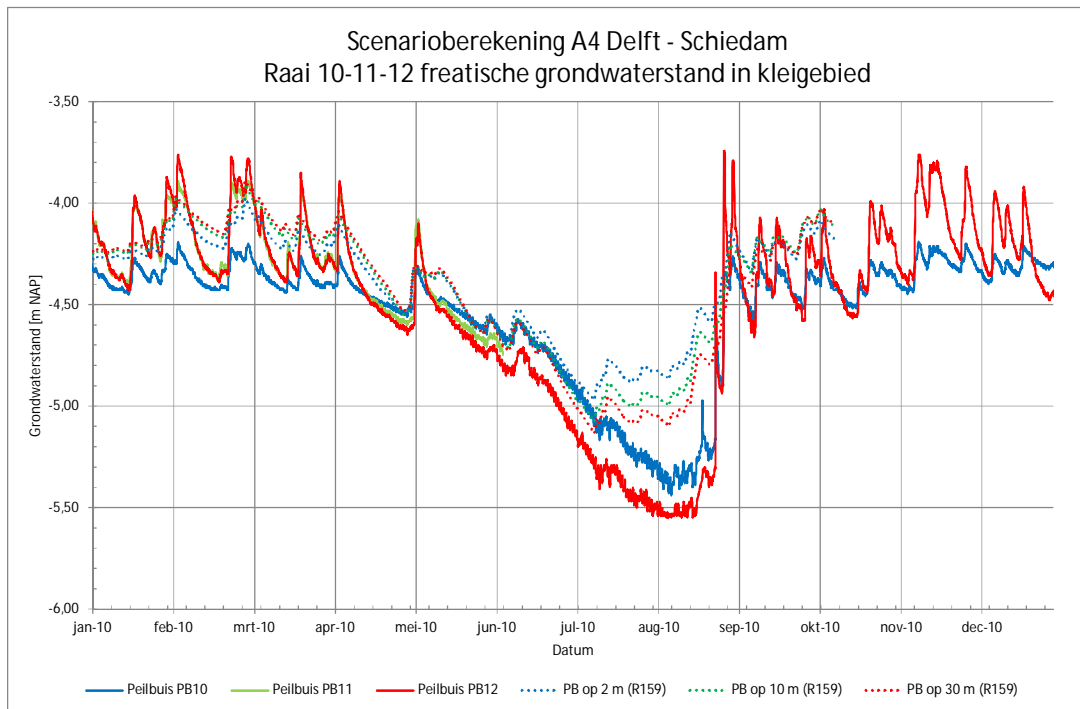
De variatie in de intredeweerstand van de sloot heeft twee effecten op de berekende grondwaterstand, die alleen zijn te beoordelen in een raai. Het eerste effect is de daling die optreedt in de peilbuis op korte afstand van de sloot. Bij een lage waarde van intredeweerstand volgt deze peilbuis het slootpeil, bij een hogere waarde daalt de grondwaterstand in de droge periode meer mee met de verder af geplaatste peilbuizen. Dit effect is waarneembaar wanneer Figuur E.4, Figuur E.10 en Figuur E.11 met elkaar worden vergeleken, met achtereenvolgens intredeweerstand van 2, 10 en 30 dagen. In de situatie met een intredeweerstand van 2 dagen (Figuur E.4) blijft de grondwaterstand op 2 meter uit de sloot het slootpeil teveel volgen. Daarnaast zijn de onderlinge peilverschillen tussen de peilbuizen relatief groot, wat er op duidt dat er in het model meer water door de toplaag stroomt, dan volgt uit de metingen. Bij een slootweerstand van 10 dagen (Figuur E.10) daalt de grondwaterstand in de peilbuis op 2 meter uit de sloot beter mee met het gemeten verloop. Ook het niveauverschil tussen de peilbuizen onderling is in deze modellering beter in overeenstemming met de gemeten niveauverschillen. Bij een slootweerstand van 30 dagen (Figuur E.11) wordt het niveauverschil tussen de peilbuizen onderling te gering. Er is te weinig voeding van de bovenste lagen van de deklaag om de gemeten gradiënt te kunnen modelleren.

E.1.3.4 Freatische berging (run 157 en 158)

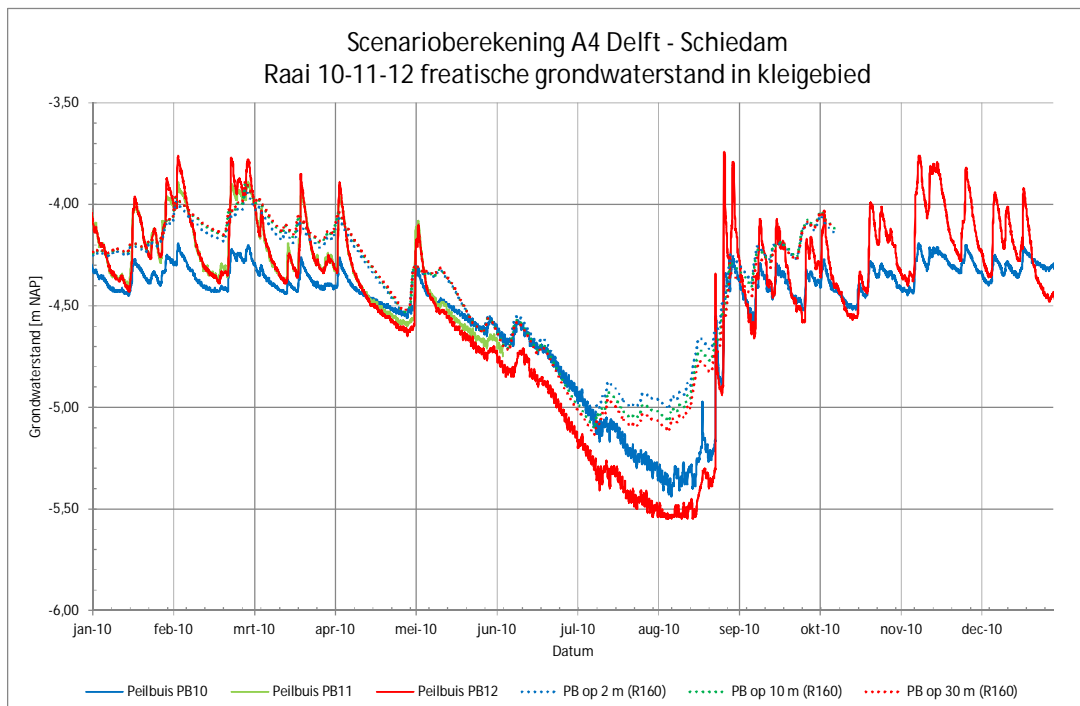
De freatische berging is van invloed op de dynamiek van het verloop van de grondwaterstand. Een te lage berging resulteert in te grote pieken en dalen in het verloop, zoals is te zien in Figuur E.13 bij een berging van 0,03. Vergeleken met het oorspronkelijke model (run 151 in Figuur E.4) met een freatische berging van 0,15 is er bij een freatische berging van 0,10 (Figuur E.12), sprake van een iets betere overeenstemming tussen berekende en gemeten dynamiek, met name in de winterperiode.

E.1.3.5 Berekenende infiltratie vanuit het oppervlaktewater

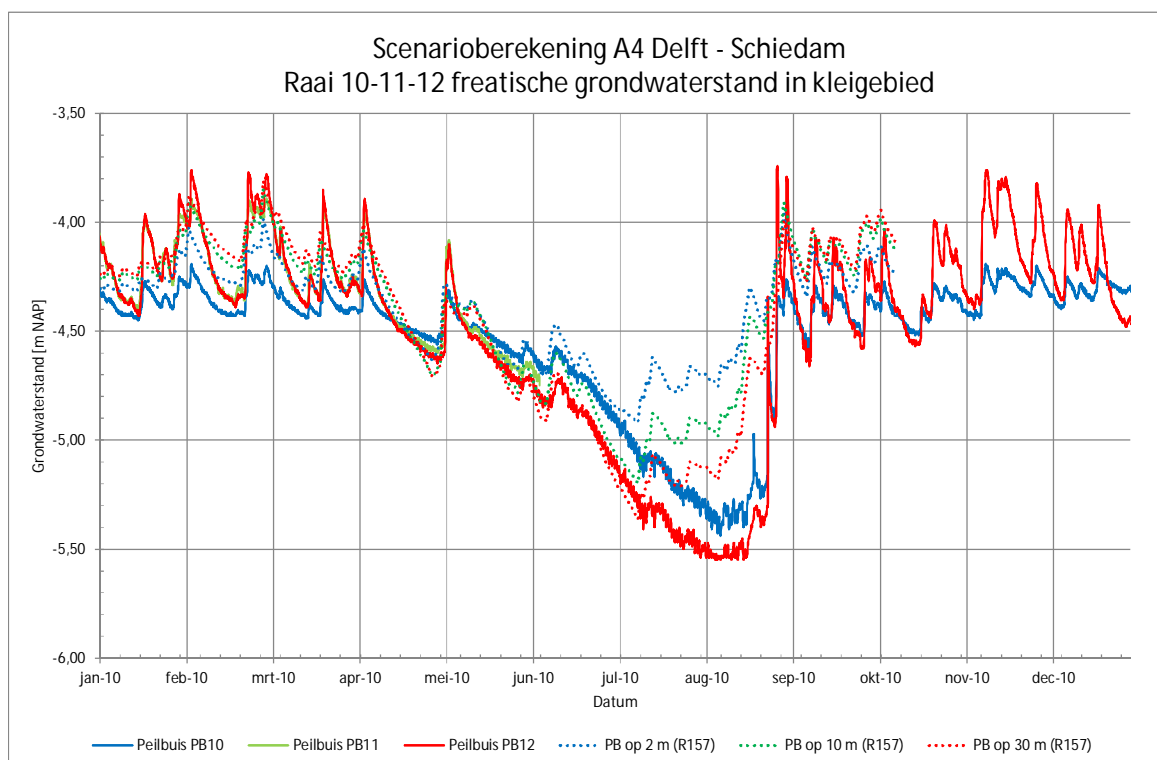
In Tabel E.3 met het overzicht van parameters gebruikt in de verschillende berekeningen is een kolom opgenomen met de met het model berekende infiltratie vanuit het oppervlaktewater, zowel gemiddeld over de periode van 15 juli tot 15 augustus als gemiddeld over de gehele zomer (van 1 april tot 15 september).



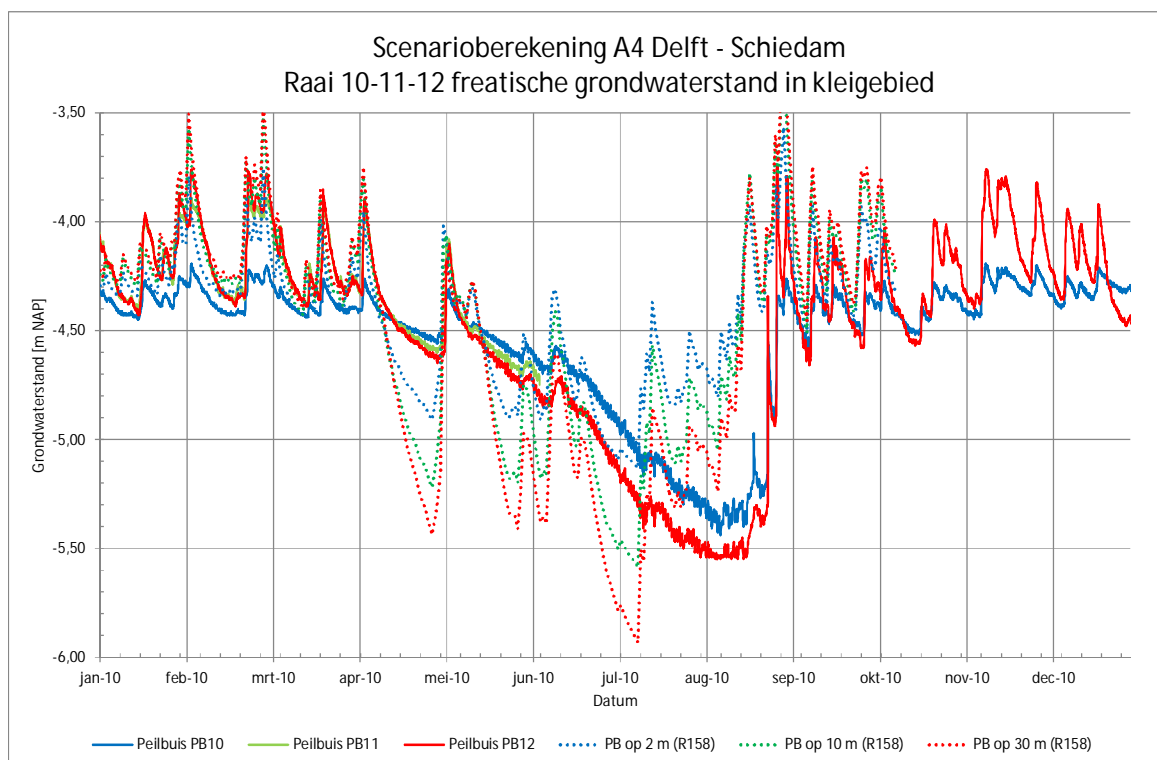
Figuur E.10 Gemeten en berekende grondwaterstand kleiraai, intredeweerstand sloot van 10 dagen (run 159)



Figuur E.11 Gemeten en berekende grondwaterstand kleiraai, intredeweerstand sloot van 30 dagen (run 160)



Figuur E.12 Gemeten en berekende grondwaterstand kleiraai, freatische berging van 0,10 [-] (run 157)



Figuur E.13 Gemeten en berekende grondwaterstand kleiraai, freatische berging van 0,03 [-] (run 158)

E.1.4 Conclusie en selectie van modelparameters

E.1.4.1 Scenario A

Op basis van de uitgevoerde parametergevoeligheidsanalyse wordt geconcludeerd dat voor het scenario met de meest waarschijnlijke bodemparameters (run 167) de volgende parameters gehanteerd kunnen worden. Ter illustratie zijn in de hoofdtekst figuren opgenomen waarin de met deze parameters berekende freatische grondwaterstand is uitgezet tegen de in de beschouwde peilbuizen gemeten grondwaterstanden in 2010 (Figuur 4.2 t/m Figuur 4.5),

- Voor de weerstand van de deklaag wordt uitgegaan van de waarden zoals die waren bepaald uit de kalibratie van het stationaire regionale grondwatermodel (100% waarde).
- Voor de horizontale doorlatendheid van de deklaag, voor het bodemtype klei, wordt uitgegaan van de waarden zoals die waren bepaald uit de kalibratie van het stationaire regionale grondwatermodel (100% waarde).
- Voor de intredeweerstand van de sloot is de conclusie dat deze waarde hoger ligt dan de waarde uit het oorspronkelijke grondwatermodel. Gelet op de relatief geringe verschillen in grondwaterstand in de kleiraai is de conclusie dat een waarde van 10 dagen de beste overeenkomst tussen gemeten en berekende waarde oplevert.
- Voor de freatische berging wordt geconcludeerd dat de waarde van 0,15 in het oorspronkelijke grondwatermodel te hoog is. Bij een reductie naar 67% (0,10) [-] wordt de invloed van de berging in het kleigebied beter weergegeven. Bij een reductie tot 20% (0,03) [-] is de dynamiek duidelijk te groot.
- Voor het bodemtype veen ontbreken meetgegevens om de modelresultaten te kunnen toetsen, zodat dit bodemtype voor horizontale doorlatendheid en de freatische berging gelijk wordt behandeld op basis van de analyse voor het bodemtype klei.

E.1.4.2 Scenario C

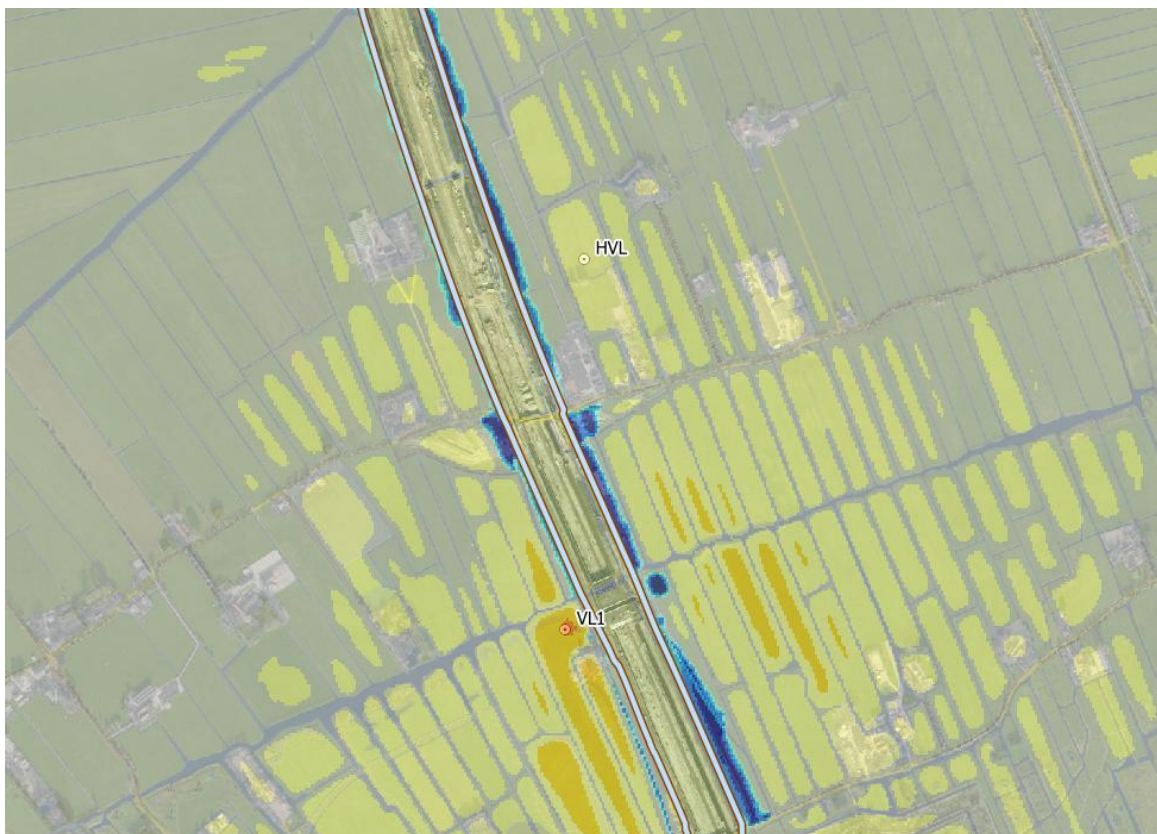
Voor de bovenkant van de bandbreedte met betrekking tot de doorwerking van de onttrekking, ten behoeve van de A4 Delft Schiedam, op de freatische grondwaterstand zijn de volgende parameters gehanteerd.

- De weerstand van de deklaag wordt met 50% gereduceerd, waardoor effecten vanuit het watervoerende pakket meer invloed hebben op de freatische grondwaterstand.
- Voor de horizontale doorlatendheid van de deklaag, wordt een reductie toegepast tot 25%, waarmee de toestroming vanuit de sloot wordt beperkt, wat een verder uitzakken van de grondwaterstand tot gevolg heeft.
- Voor de intredeweerstand van de sloot is een hogere waarde gekozen van 30 dagen, waarmee de voeding vanuit de sloten wordt beperkt en het grondwater verder uit kan zakken.
- Voor de freatische berging is een reductie doorgevoerd tot 20%. Hiermee wordt het effect van uitdroging aan het eind van de droge periode groter.

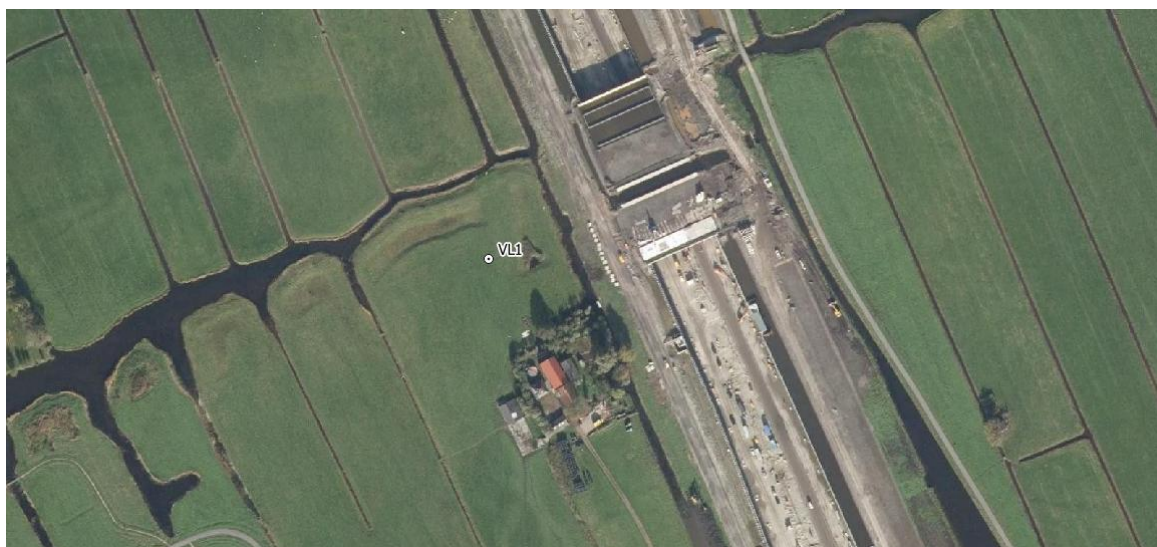
E.2 Scenarioberekeningen

E.2.1 Weergave van resultaten

Voor de analyse van de berekeningsresultaten in de scenario's is zowel gebruik gemaakt van contourbeelden als grafieken. De contourbeelden laten in een bovenaanzicht het berekende uitzakken van de grondwaterstand of het berekende effect van de A4 in termen van verlaging zien. Deze contourkaarten geven een beeld van het te verwachten effect (verlaging van de freatische grondwaterstand) aan het einde van de zomer. In de grafieken is het verloop over de droge periode van de grondwaterstand en het effect van de A4 weergegeven voor een specifieke locatie. Op basis van de berekende contourbeelden zijn twee fictieve peilbuislocaties in het model opgenomen waar bovengemiddelde effecten zijn berekend. De locaties zijn weergegeven in Figuur E.14. De locaties zijn in meer detail weergegeven in Figuur E.15 voor peilbuis VL1 ten westen van de verdiepte ligging en in Figuur E.16 voor peilbuis HVL ten oosten van de half verdiepte ligging.



Figuur E.14 Overzicht locaties fictieve peilbuizen VL1 en HVL in grondwatermodel A4



Figuur E.15 Detailoverzicht van de positie van de fictieve peilbuis VL1 in grondwatermodel A4



Figuur E.16 Detailoverzicht van de positie van de fictieve peilbuis HVL in grondwatermodel A4

E.2.2 Analyse scenarioberekeningen

Voor de drie scenario's is het uitzakken van de freatische grondwaterstand berekend aan het einde van de zomer (15 september). Dit zowel voor een gemiddeld (mediaan) jaar als voor een zeer droog jaar (5% droog jaar). Het berekende contourbeeld is weergegeven in Figuur E.17 tot en met Figuur E.22, in alle gevallen betreft het de berekende uitzakking inclusief de verlaging door de A4. Het effect van de A4, in termen van een verlaging van de freatische grondwaterstand, is bepaald door het verschil te nemen tussen de berekende uitzakking met en zonder A4 (tracé). Deze figuren zijn voor het gemiddelde jaar opgenomen in de hoofdtekst (zie Figuur 4.6 Figuur 4.8 en Figuur 4.10). De contourbeelden van de berekende effecten voor het zeer droge jaar voor de drie scenario's zijn weergegeven in Figuur E.23 tot en met Figuur E.25.

Mediaan jaar

Uit de figuur voor scenario A1 (Figuur E.17) volgt dat aan het einde van de droge periode in een mediaan jaar de freatische grondwaterstand in het midden van percelen in de omgeving van de A4 uitzakt tot 0,8 m. Dit is inclusief de verlaging door de A4. Bij brede percelen zakt de grondwaterstand verder uit, dan wanneer de perceelsloten dichter bij elkaar liggen. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk 0,15 m (Figuur 4.6).

Uit de figuur voor scenario B1 volgt dat aan het einde van de droge periode in een mediaan jaar de grondwaterstand in het midden van percelen (Figuur E.19) uitzakt tot maximaal 1,2 m. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk (Figuur 4.8) 0,15 m.

Uit de figuur voor scenario C1 volgt dat aan het einde van de droge periode in een mediaan jaar de freatische grondwaterstand (Figuur E.21) uitzakt tot 1,8 m. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk 0,19 m (Figuur 4.10).

In Figuur E.26 is het berekende verloop van de grondwaterstand in een fictieve peilbuis VL1 weergegeven. Deze uitzakking is inclusief het effect van de A4. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterstandsverlaging door de A4 uitgezet. In het mediane jaar wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend voor scenario A1 tot 0,60 m. De berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 bedraagt 0,05 m. In scenario B1 bedraagt de berekende uitzakking 0,72 m en de berekende verlaging door de A4 0,07 m. In scenario C1 bedraagt de uitzakking 0,81 m en de berekende verlaging door de A4 0,13 m.

In Figuur E.27 is het berekende verloop van de grondwaterstand in een fictieve peilbuis VL1 weergegeven, inclusief het effect van de A4. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterstandsverlaging door de A4 uitgezet. In het mediane jaar wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend in scenario A1 tot 0,85 m. De berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 bedraagt 0,03 m. In scenario B1 bedraagt de berekende uitzakking 1,03 m en de verlaging door de A4 0,04 m. In scenario C1 bedraagt de uitzakking 1,22 m en de verlaging door de A4 0,07 m.

Zeer droog jaar (5%)

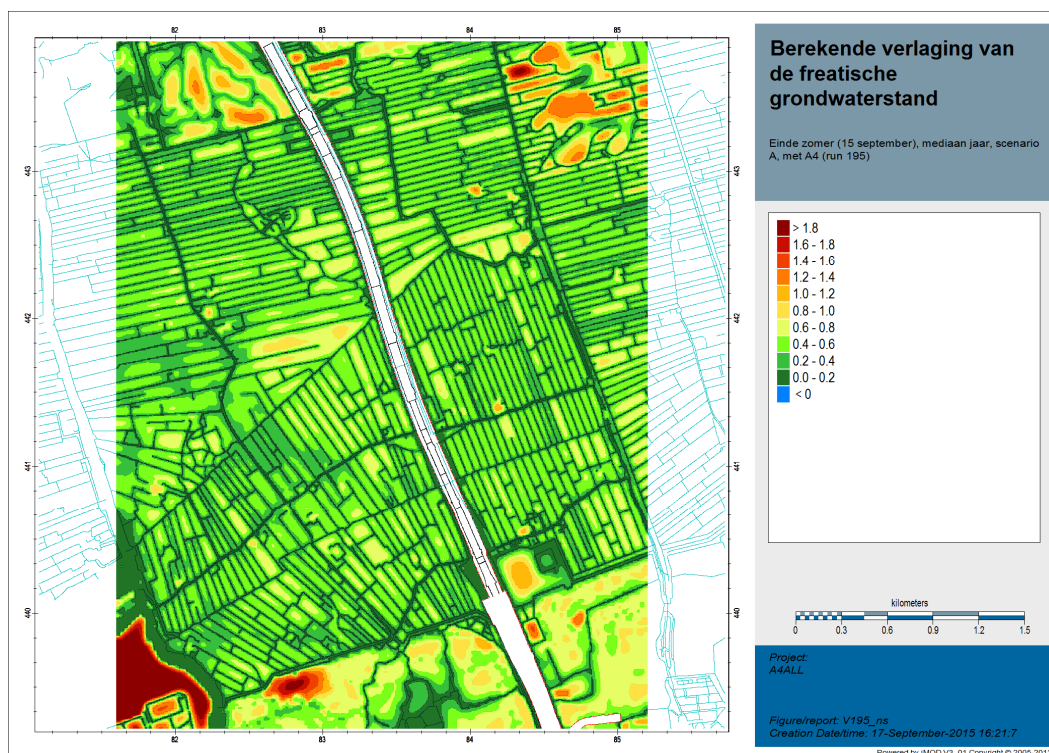
Uit de figuur voor scenario A2 (Figuur E.18) volgt dat aan het einde van de droge periode in een 5% droog jaar de freatische grondwaterstand in het midden van percelen in de omgeving van de A4 uitzakt tot maximaal plaatselijk 1,6 m. Dit is inclusief de verlaging door de A4. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk 0,08 m (Figuur E.23).

Uit de figuur voor scenario B2 (Figuur E.20) volgt dat aan het einde van de droge periode in een in een 5% droog jaar de freatische grondwaterstand in het midden van percelen in de omgeving van de A4 uitzakt tot maximaal plaatselijk 1,8 m. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk 0,07 m (Figuur E.25).

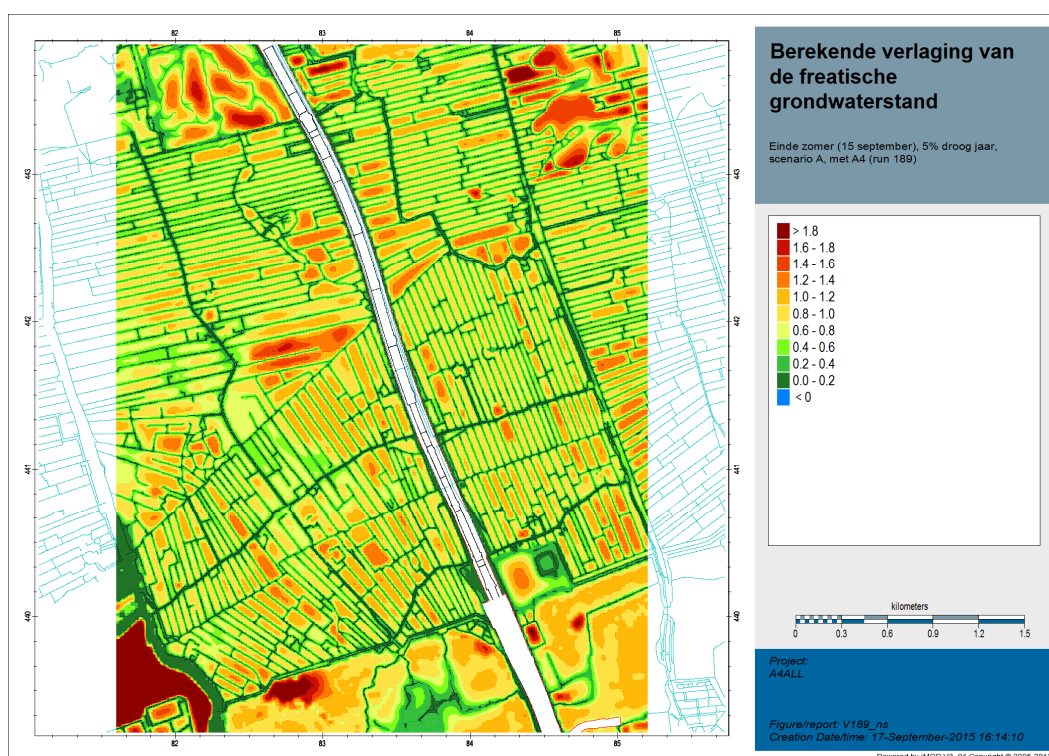
Uit de figuur voor scenario C2 (Figuur E.22) volgt dat aan het einde van de droge periode in een in een 5% droog jaar de freatische grondwaterstand in het midden van percelen in de omgeving van de A4 maximaal plaatselijk uitzakt tot meer dan 1,8 m. De verlaging door de A4 bedraagt maximaal plaatselijk 0,13 m (Figuur E.26).

In Figuur E.28 is het berekende verloop van de grondwaterstand in een fictieve peilbuis VL1 weergegeven. Deze uitzakking is inclusief het effect van de A4. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterstandsverlaging door de A4 uitgezet. In het mediane jaar wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend in scenario A tot 1,0 m. De berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 bedraagt 0,02 m. In scenario B2 bedraagt de berekende uitzakking 1,12 m en het berekende verlaging 0,04 m. In scenario C2 bedraagt de uitzakking 1,15 m en de verlaging 0,07 m.

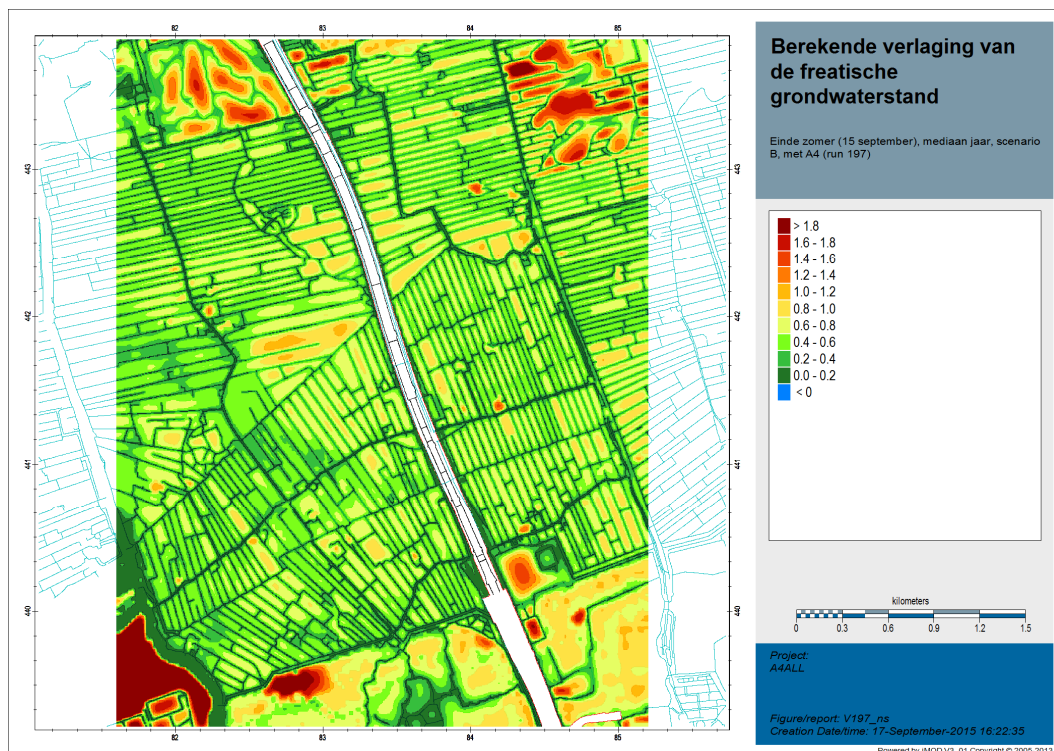
In Figuur E.29 is het berekende verloop van de grondwaterstand in een fictieve peilbuis HVL weergegeven. Deze uitzakking is inclusief het effect van de A4. In deze figuur is tevens het berekende effect in termen van grondwaterverlaging door de A4 uitgezet. In het 5% droge jaar wordt een uitzakking van de grondwaterstand berekend in scenario A tot 1,41 m. De berekende verlaging van de grondwaterstand door de A4 bedraagt 0,02 m. In scenario B2 bedraagt de berekende uitzakking 1,56 m en de berekende verlaging door de A4 0,03 m. In scenario C2 bedraagt de uitzakking 1,67 m en de verlaging 0,04 m.



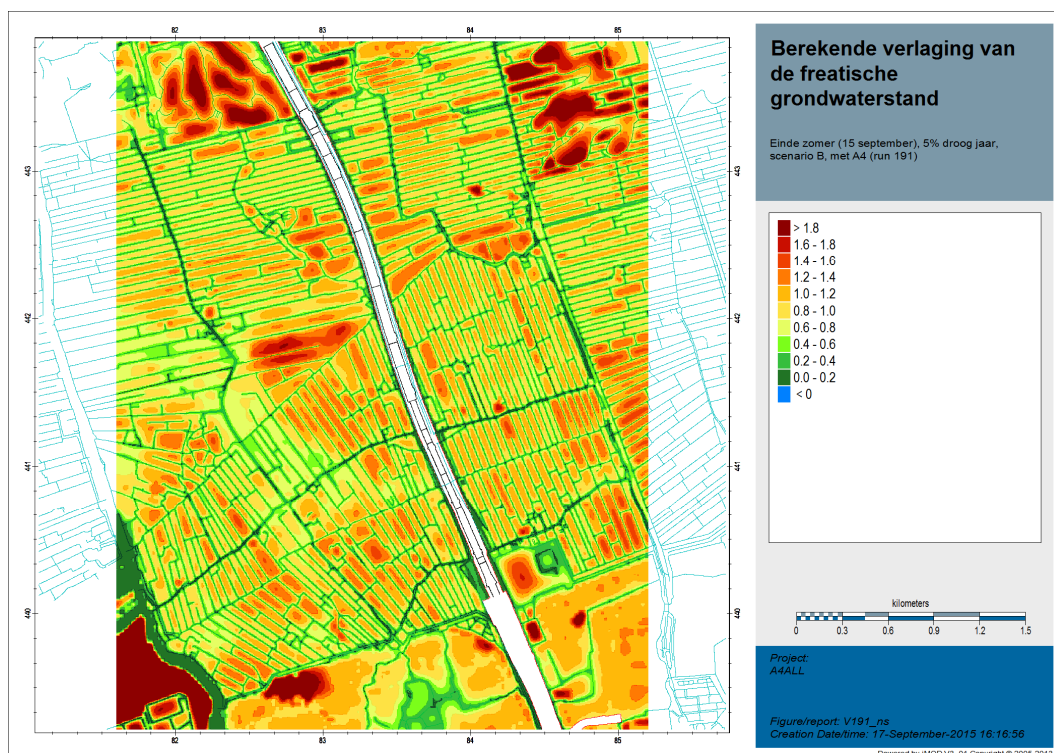
Figuur E.17 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario A1, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 195)



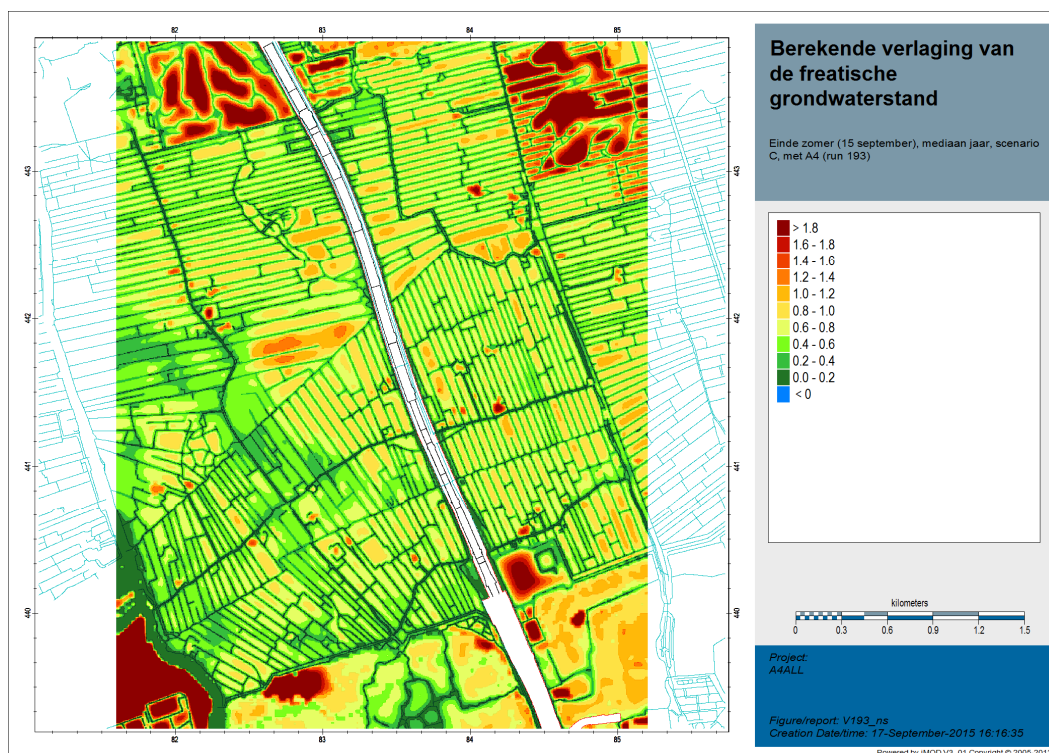
Figuur E.18 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario A2, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 189)



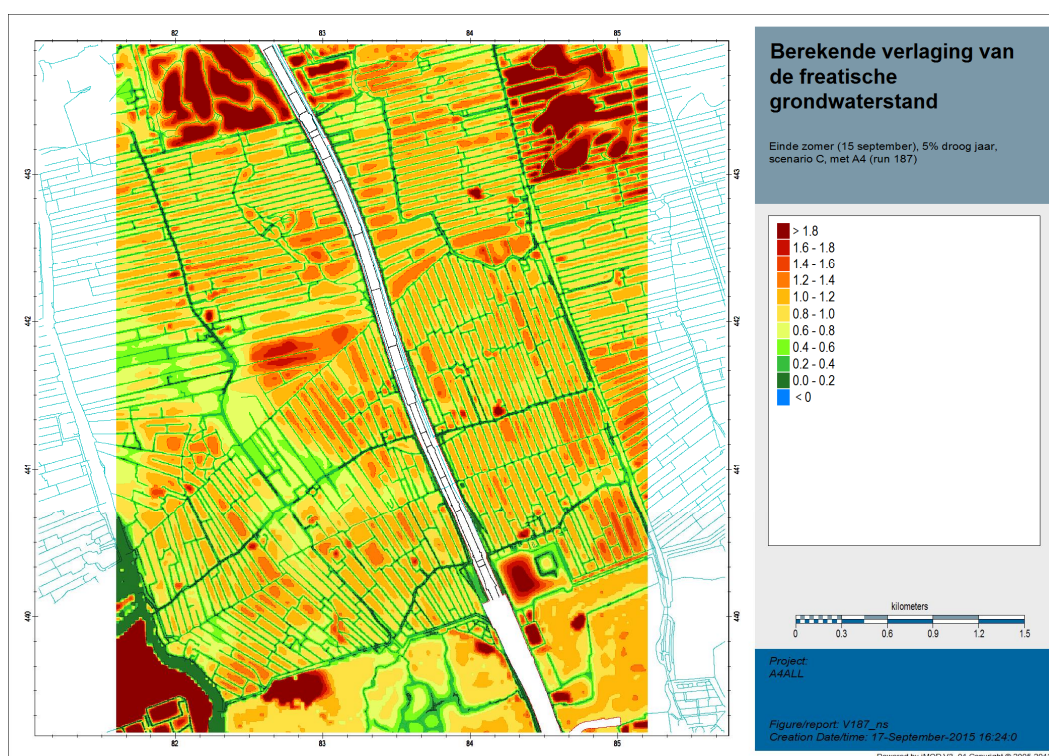
Figuur E.19 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario B1, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 197)



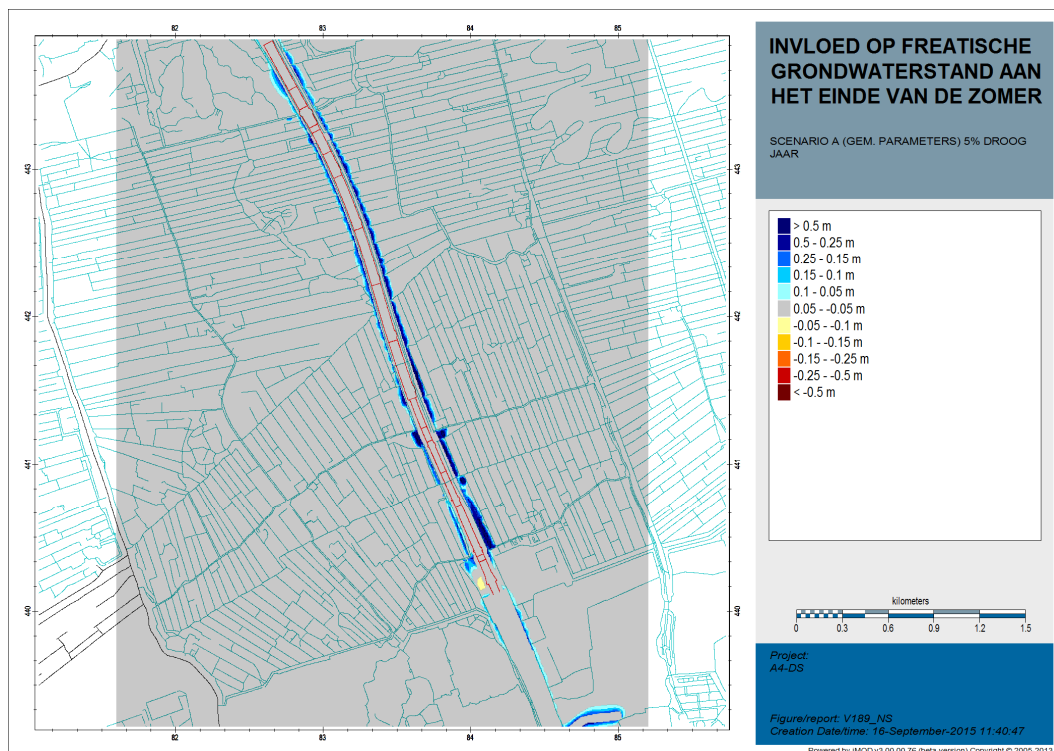
Figuur E.20 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario B2, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 191)



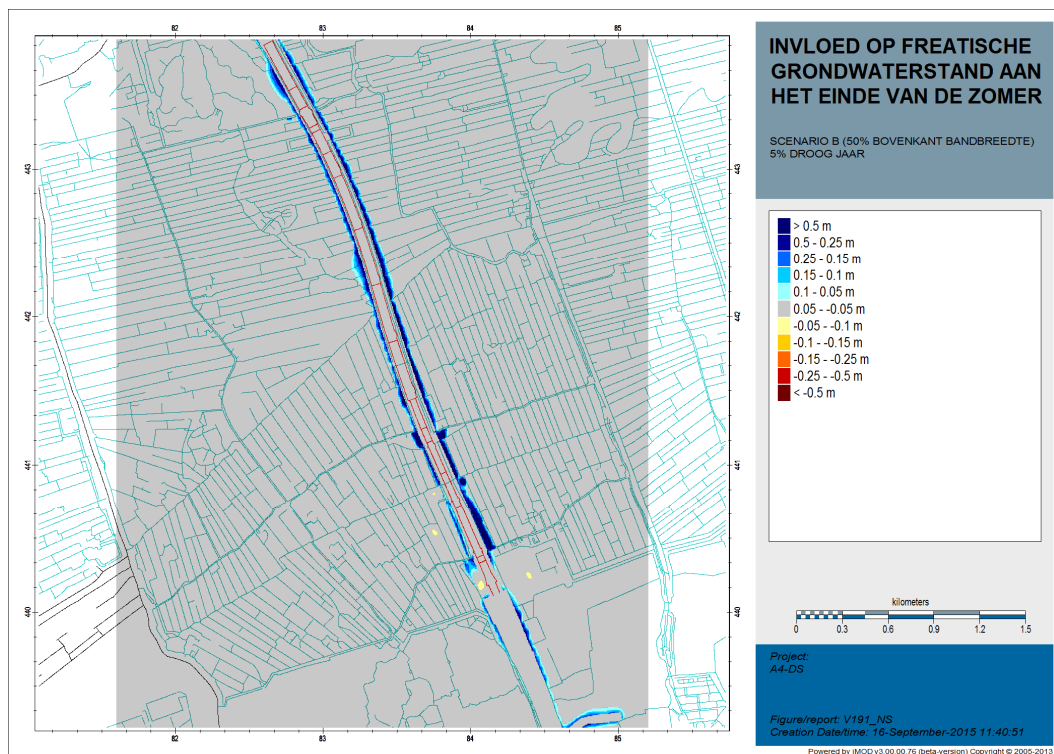
Figuur E.21 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C1, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 193)



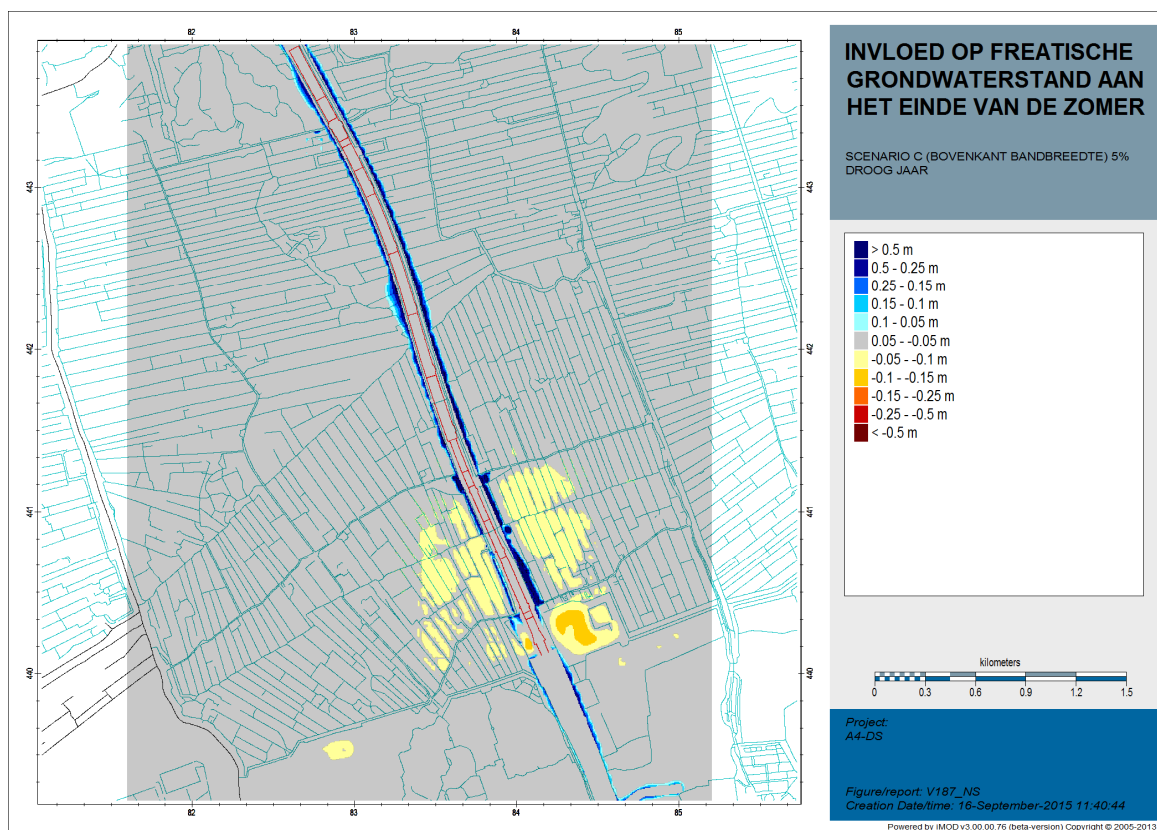
Figuur E.22 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C2, met A4, aan het einde van de zomerperiode (van 1 april tot 15 september) (run 187)



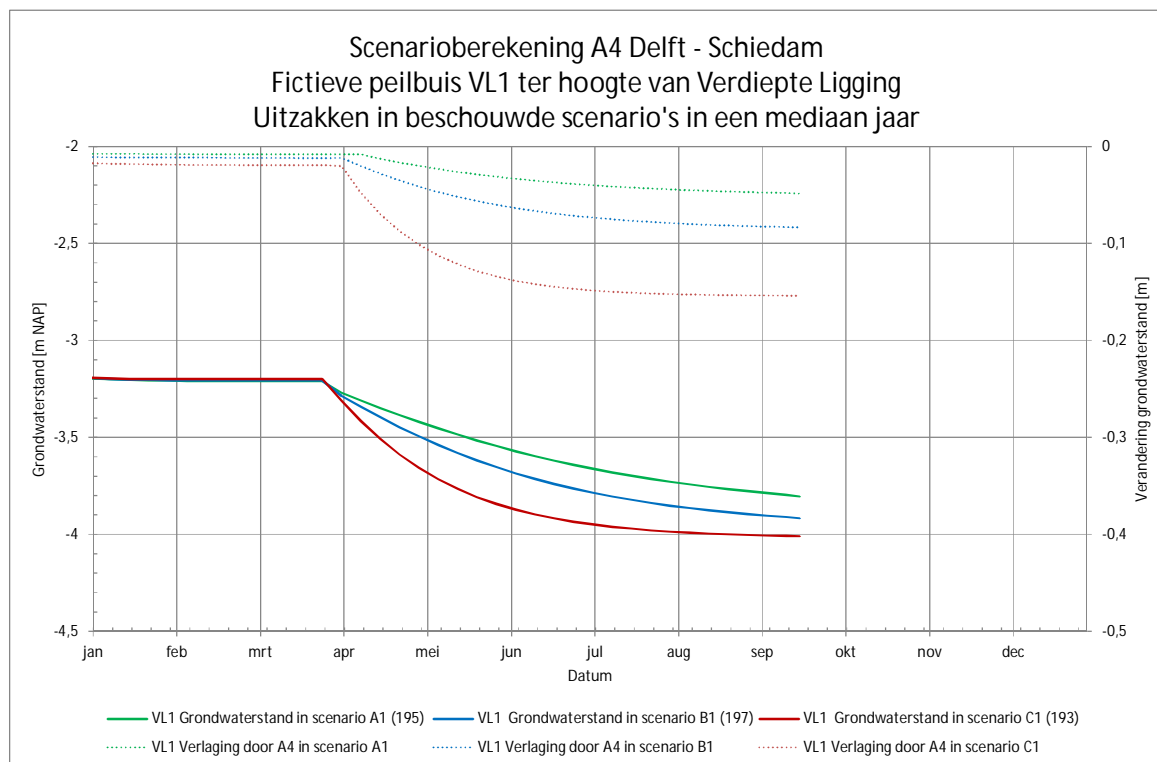
Figuur E.23 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario A2



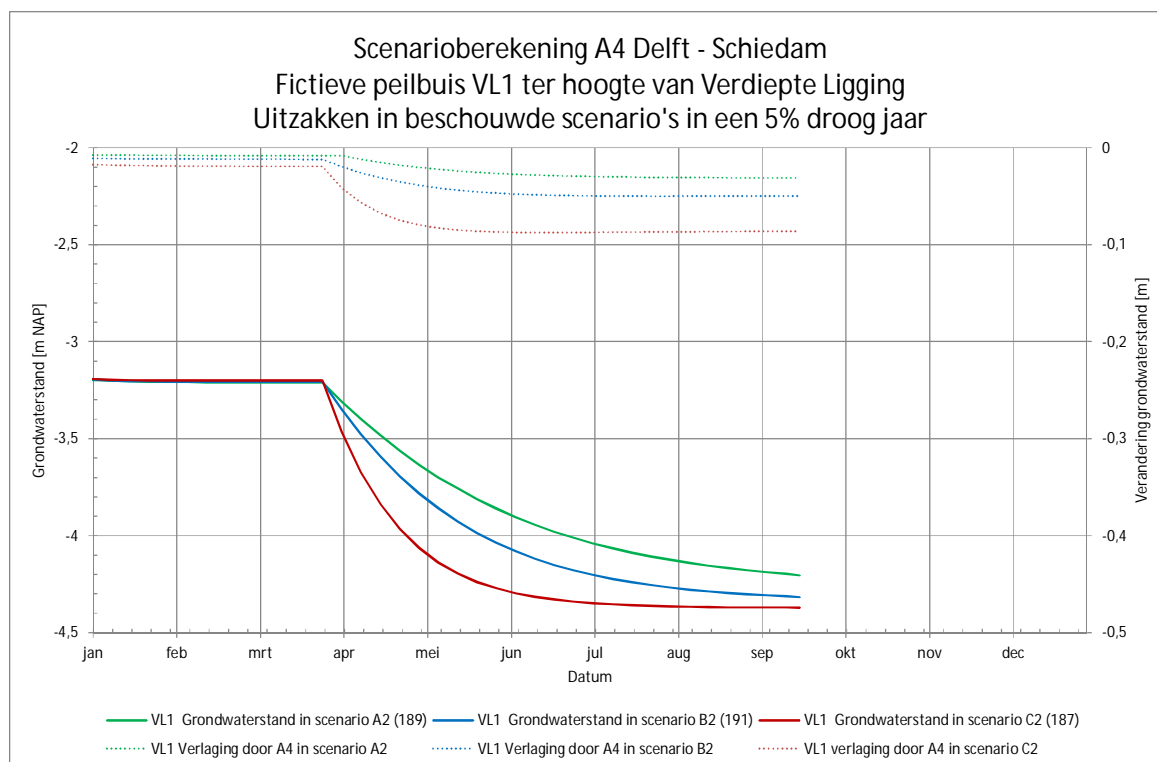
Figuur E.24 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario B2



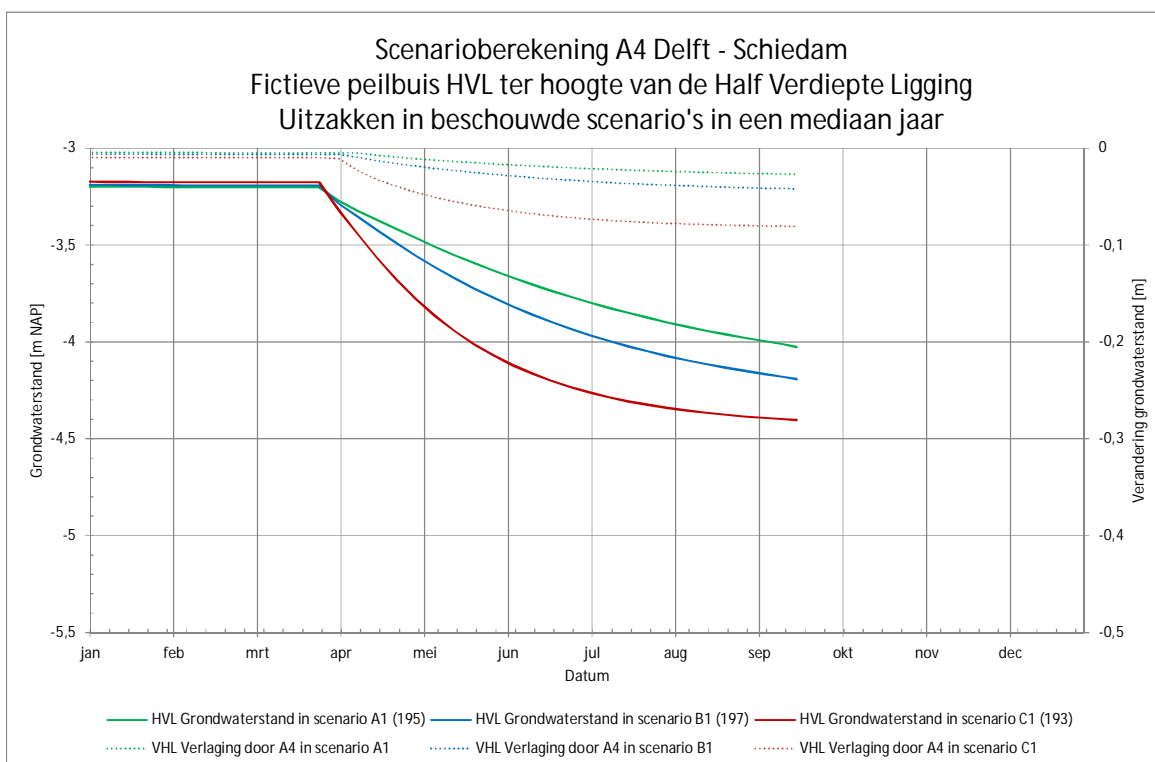
Figuur E.25 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C2



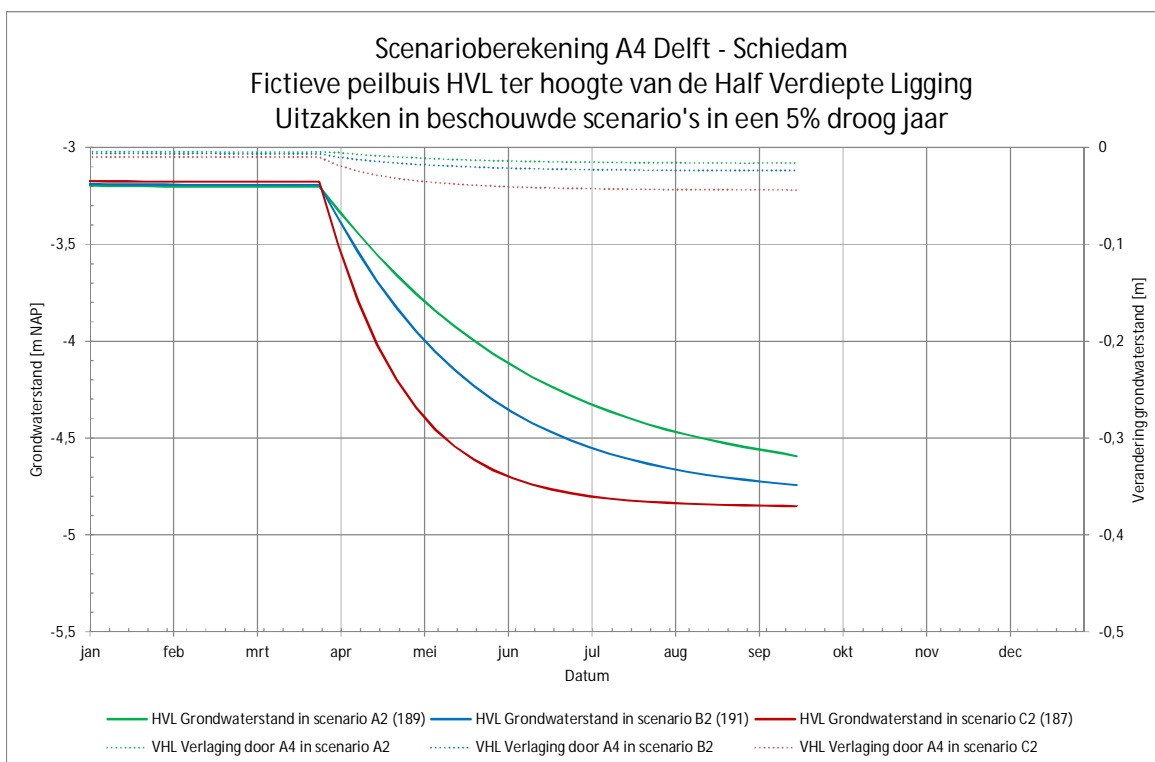
Figuur E.26 Berekende uitzakken en berekende verlaging door de A4 ter plaatse van de fictieve peilbuis VL1 vergeleken voor de 3 doorgerekende scenario's voor een mediaan jaar



Figuur E.27 Berekende uitzakken en berekende verlaging door de A4 ter plaatse van de fictieve peilbuis VL1 vergeleken voor de 3 doorgerekende scenario's voor een 5% droog jaar



Figuur E.28 Berekende uitzakken en berekende verlaging door de A4 ter plaatse van de fictieve peilbuis HVL vergeleken voor de 3 doorgerkende scenario's voor een mediaan jaar



Figuur E.29 Berekende uitzakken en berekende verlaging door de A4 ter plaatse van de fictieve peilbuis HVL vergeleken voor de 3 doorgerkende scenario's voor een 5% droog jaar

E.3 Overzicht uitgevoerde modelberekeningen

In Tabel E.3 zijn de karakteristieken van de verschillende berekeningen samengevat, gekoppeld aan het nummer van de desbetreffende berekening (run). De in de tabel vermelde percentages geven de verhouding van de modelparameters weer ten opzichte van de initiële berekening (run 151). In de laatste kolom is de met het model berekende infiltratie vanuit het oppervlaktewater vermeld. Bij de berekeningen van run 151 tot en met run 167 heeft deze infiltratie betrekking op het jaar 2010, waarbij het neerslagtekort aan het einde van de droge periode 45 mm bedraagt (zie ook bijlage C). Bij de scenarioberekeningen heeft de infiltratie enerzijds betrekking op een mediaan jaar, met een neerslagtekort begin december van 110 mm en anderzijds het 5% droge jaar, waarbij het neerslagtekort aan het einde van de zomer circa 290 mm bedraagt.

Run ⁽¹⁾	Opmerking	C-deklaag	k deklaag	Sloot- weerstand	Berging	Infiltratie ⁽²⁾
		[d]	[m/d]	[d]	[-]	[mm/d]
151	Delflandmodel	100% 8.700 – 13.100	100% 0,19 – 0,80	100% 2,0	100% 0,15	0,65 0,36
153	Lagere C-deklaag	50% 4.350 – 6.550				0,60 0,33
154	k deklaag naar 5%		5% 0,01 – 0,04			0,41 0,24
155	k deklaag naar 25%		25% 0,05 – 0,20			0,43 0,25
156	k deklaag naar 50%		50% 0,10 – 0,40			0,49 0,28
157	Berging naar 67%				67% 0,10	0,65 0,40
158	Berging naar 20%				20% 0,03	0,59 0,55
159	Slootweerstand 500%			500% 10,0		0,46 0,20
160	Slootweerstand 1.500%			1.500% 30,0		0,24 0,10
167	Grondwatermodel A4 Scenario Ax	100% 8.700 – 13.100	100% 0,19 – 0,80	500% 10,0	67% 0,10	0,60 0,36
186	Scenario C2 (nulsituatie)	50% 4.350 – 6.550	25% 0,05 – 0,20	1.500% 30,0	20% 0,03	0,47 0,42
187	Scenario C2 (187 met A4)	"	"	"	"	0,49 / 0,44
188	Scenario A2 (nulsituatie)	100% 8.700 – 13.100	100% 0,19 – 0,80	500% 10,0	67% 0,10	0,80 0,65
189	Scenario A2 (188 met A4)	"	"	"	"	0,83 / 0,68
190	Scenario B2 (nulsituatie)	75% 6.525 – 9.825	66% 0,13 – 0,53	1.000% 20	43% 0,065	0,65 0,54
191	Scenario B2 (190 met A4)	"	"	"	"	0,67 / 0,57
192	Scenario C1 (nulsituatie)	50% 4.350 – 6.550	25% 0,05 – 0,20	1.500% 30,0	20% 0,03	0,23 0,18
193	Scenario C1 (191 met A4)	"	"	"	"	0,26 / 0,21
194	Scenario A1 (nulsituatie)	100% 8.700 – 13.100	100% 0,19 – 0,80	500% 10,0	67% 0,10	0,32 0,23
195	Scenario A1 (195 met A4)	"	"	"	"	0,36 / 0,27
196	Scenario B1 (nulsituatie)	75% 6.525 – 9.825	66% 0,13 – 0,53	1.000% 20	43% 0,065	0,28 0,21
197	Scenario B1 (197 met A4)	"	"	"	"	0,31 / 0,24
<p>1) Run 151 t/m 167 berekent met klimatologische gegevens voor 2010 voor weerstation Rotterdam Run 186 t/m 191 berekent met klimatologische gegevens voor een zeer droog jaar (5% droog jaar), met een constant neerslagtekort van 1,74 [mm/d] Run 192 t/m 197 berekent voor een mediaan jaar, neerslagtekort van 0,66 [mm/d]</p> <p>2) Infiltratie berekend met het model. Eerste waarde betreft het gemiddelde over de periode van 15 juli tot 15 augustus Tweede waarde betreft het gemiddelde over de droge periode van 1 april tot 15 september</p>						

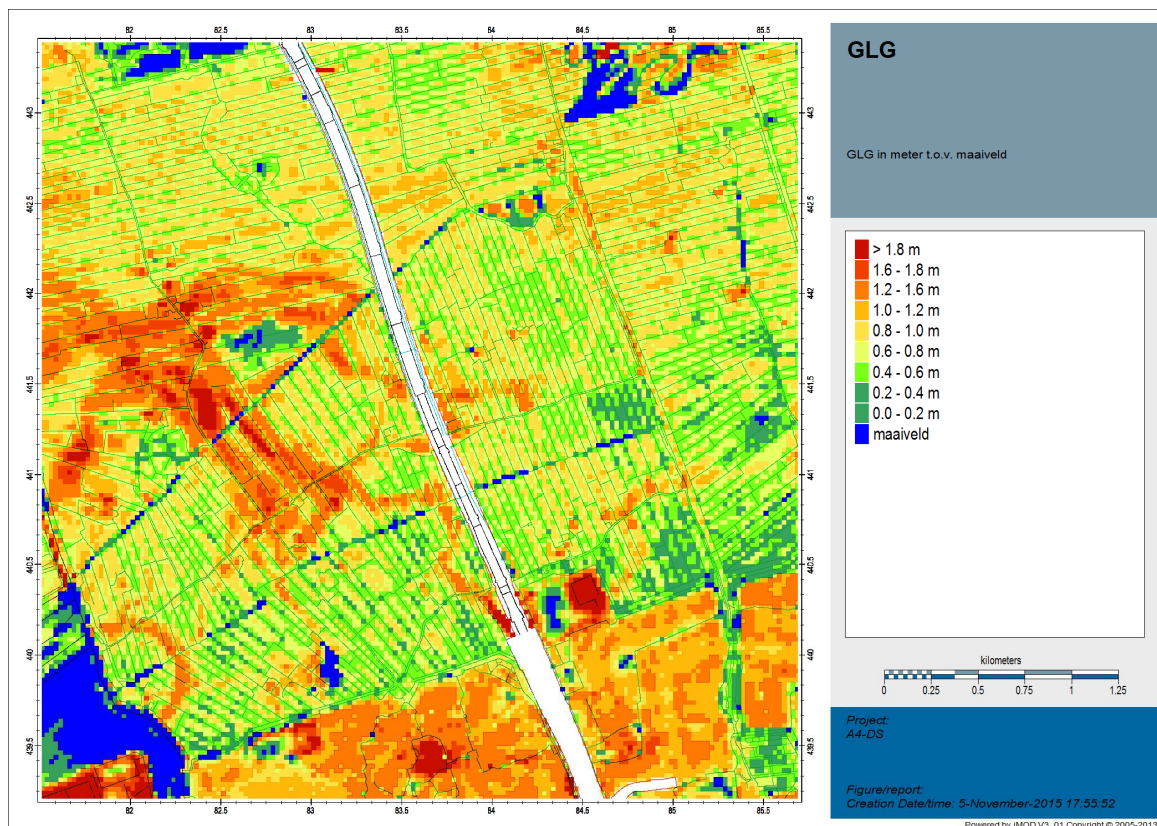
Tabel E.3 Overzicht van uitgevoerde modelberekeningen met relevante parameters

F Kaarten met GLG en GHG waarden

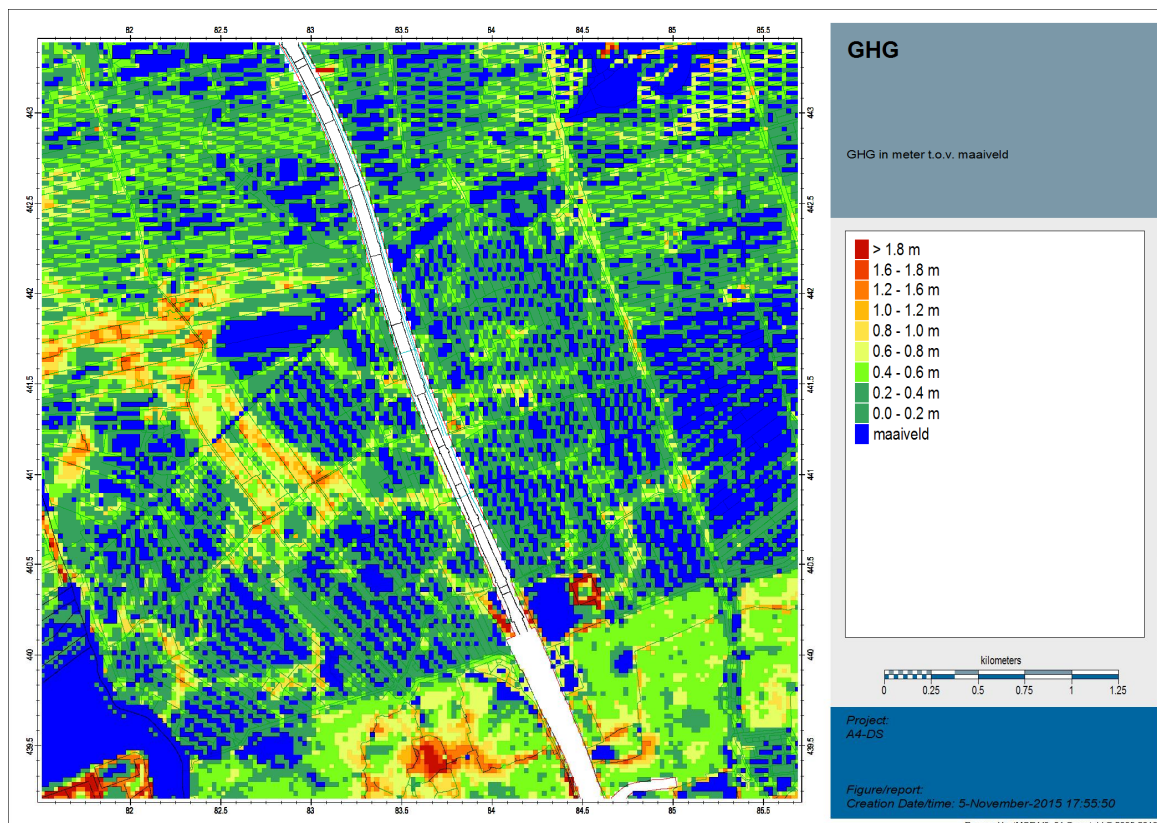
“In de navolgende figuren zijn de waarden voor de gemiddeld laagste (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) weergegeven, zoals deze zijn bepaald in het kader van het DSM-onderzoek [TNO, 2008]. Dit betreft GLG en GHG waarden zonder de onttrekking door de A4. Deze GLG en GHG-waarden zijn indertijd berekend over de periode 1997 – 2004 op 25 m schaal.

De landelijke bodemkaart [Stiboka, 1996] heeft voor het gebied rond de A4 grondwatertrap II afgeleid. Volgens de definitie betekent dit voor de grondwaterstand een GHG kleiner dan 40 cm en een GLG tussen 50 en 80 cm beneden maaiveld. De waarden zoals gepresenteerd in de figuren komen goed overeen met de waarden in de bodemkaart.

Voor de bepaling van de effecten van de A4 dient de berekende verlaging door de A4 in mindering gebracht te worden op deze ‘ongestoorde’ GLG en GHG waarden.”



Figuur F.1 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in m t.o.v. maaiveld (1997 – 2004) [TNO, 2008]



Figuur F.2 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand in m t.o.v. maaiveld (1997 – 2004) [TNO, 2008]

G Vergelijking met modellering februari 2015

G.1 1^e Watervoerende pakket

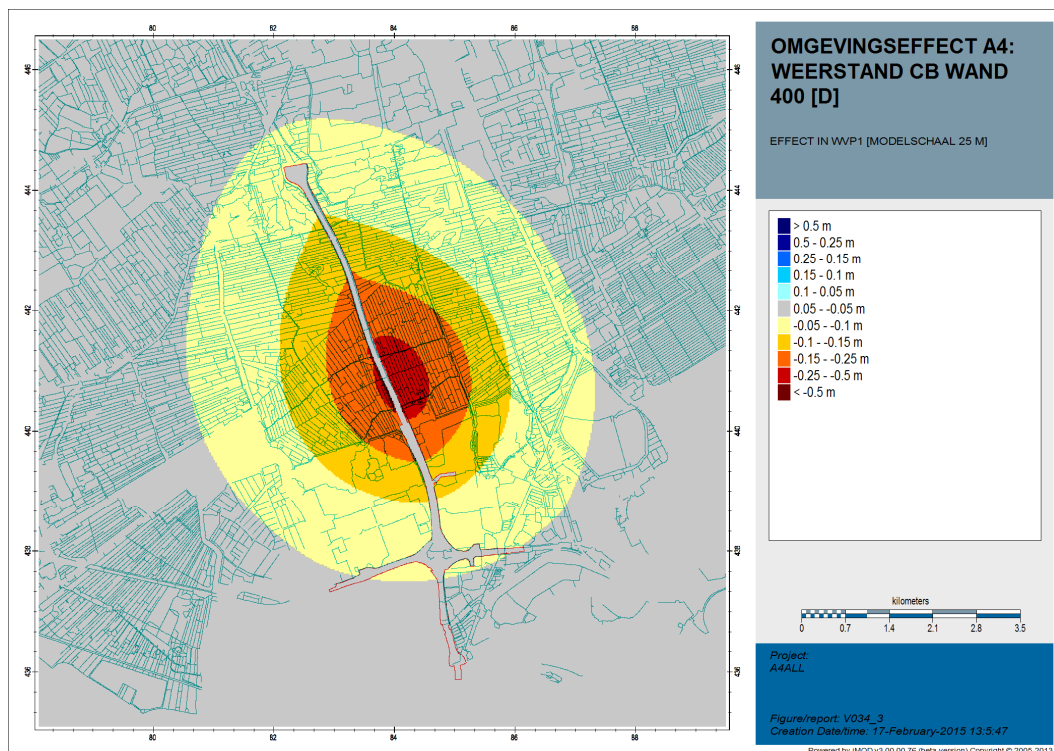
Het in onderhavige studie gebruikte model is een doorontwikkeling van eerder gebruikte modellen. Vergeleken met het basismodel uit de studie van februari [Deltares, 2015A] bevat het grondwatermodel A4 een aangepaste weerstand van de deklaag, zowel in de deltazone als in de zone waar het basisveen ontbreekt. In het basismodel was deze informatie alleen gebruikt als onderdeel van de variatieberekeningen. In deze variatieberekeningen was deze informatie gecombineerd met een extra risicobeschouwing, waarbij ook de weerstand van de deklaag in de andere delen van het modelgebied was verlaagd.

Hierdoor zijn de resultaten van beide studies niet direct vergelijkbaar. Het in voorliggende rapport doorgereken scenario A bevat daardoor aanpassingen, die in de eerdere studie alleen als onderdeel van de variatieberekeningen waren beschouwd. De in voorliggende studie opgenomen berekeningen voor scenario B en C gaan verder in het beschouwen van onzekerheden in de vier meest relevante modelparameters.

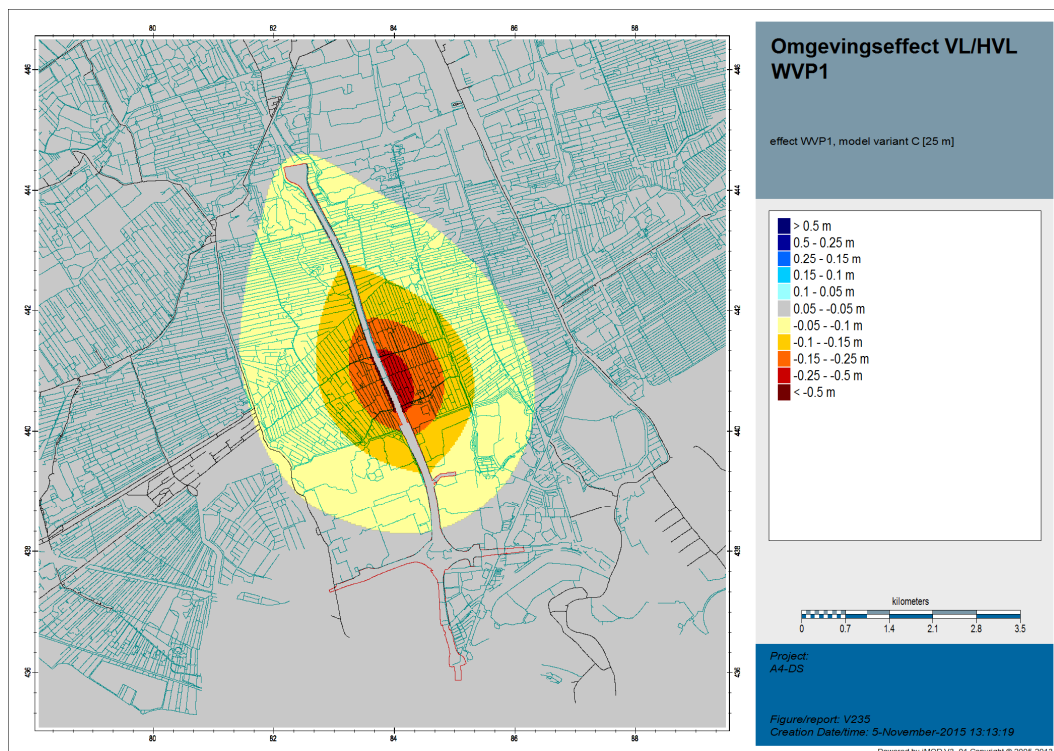
De aanpassing in scenario A betreffen:

- Een gedetailleerder in model gebracht lokaal sterkere ontwikkeling van de tussen-zandlaag (deltazone). Hierbij is gebruik gemaakt van het lokale uitgevoerde grond-onderzoek. Deze detaillering gaat verder dan aanwezig is in GEOTOP (zie Figuur 4.1 met contour deltazone).
- Een aangepaste weerstand van de deklaag in de zone waar het basisveen ontbreekt (zie Figuur 4.1 gat in veenlaag).
- De modelparameter voor de intredeweerstand van de sloot is aangepast, verhoogd van 2 naar 10 dagen. Dit heeft tot gevolg dat er in de droge periode vanuit de sloten minder water infiltreert naar het grondwater, waardoor het effect van de A4 in termen van een verlaging van de freatische grondwaterstand sterker doorwerkt.
- De modelparameter voor de freatische berging is aangepast, verlaagd van 0,15 naar 0,1 [-]. Dit heeft tot gevolg dat de daling van de freatische grondwaterstand in een droge periode sneller verloopt.

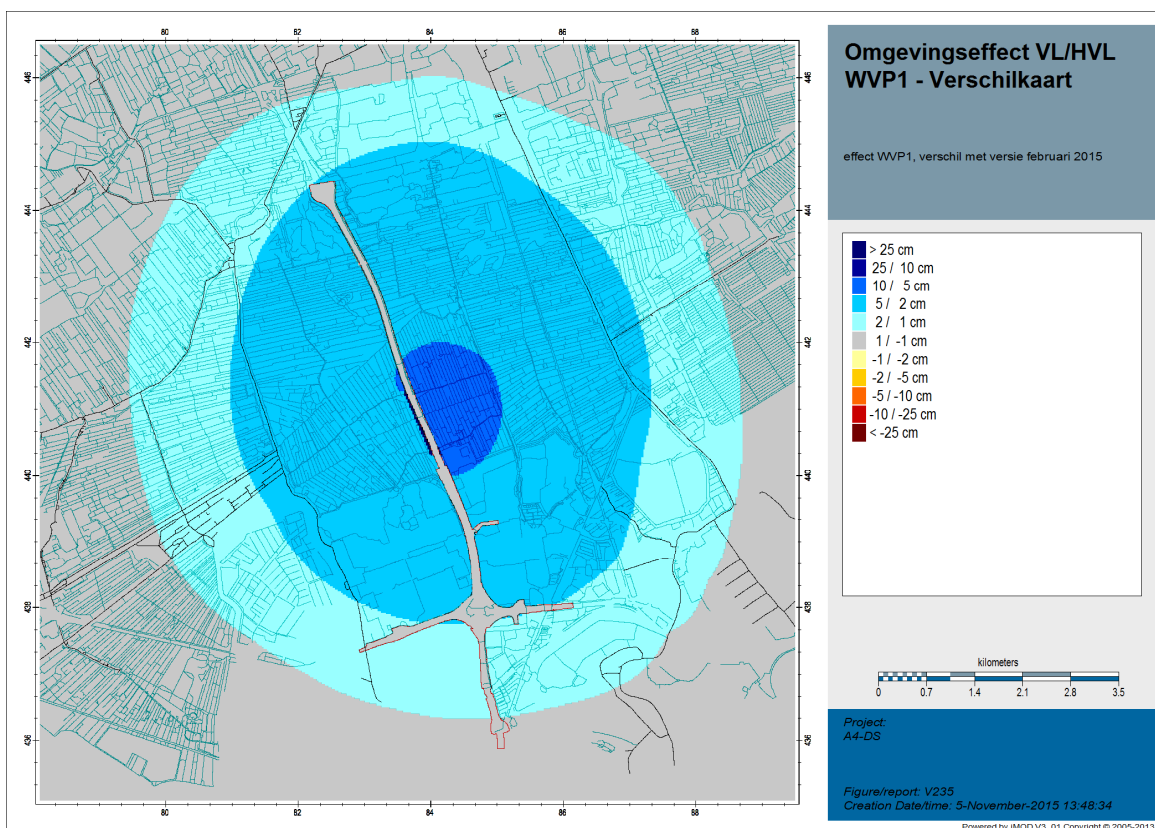
In de scenarioberekeningen zijn alleen de effecten op het freatisch vlak in beschouwing genomen. Een lagere weerstand van de deklaag heeft echter ook tot gevolg dat de invloed van de onttrekking door de A4 in het eerste watervoerende pakket zal veranderen. Bij een lagere weerstand van de bovenliggende deklaag zal het effect in het watervoerende pakket afnemen. Op basis hiervan is ervoor gekozen om de eerder berekend effecten als bovengrens benadering te blijven hanteren. Ter informatie is in de navolgende figuren het berekende verlagingsspatroon in het eerste watervoerende pakket uit februari weergegeven (Figuur G.1) alsmede het verlagingsspatroon voor scenario C1 (Figuur G.2). Op basis van de verschillen tussen beide verlagingsscontouren (Figuur G.3) is de conclusie dat het eerder berekende effect inderdaad een bovengrens aan geeft.



Figuur G.1 Berekende stationaire verlaging van de grondwaterstijghoogte in het 1^e watervoerende pakket door de A4 in de wijzigingsaanvraag [Deltares 2015A] (run 34.03)



Figuur G.2 Berekende stationaire verlaging van de grondwaterstijghoogte in het 1^e watervoerende pakket door de A4 in scenario C1 (run 235)



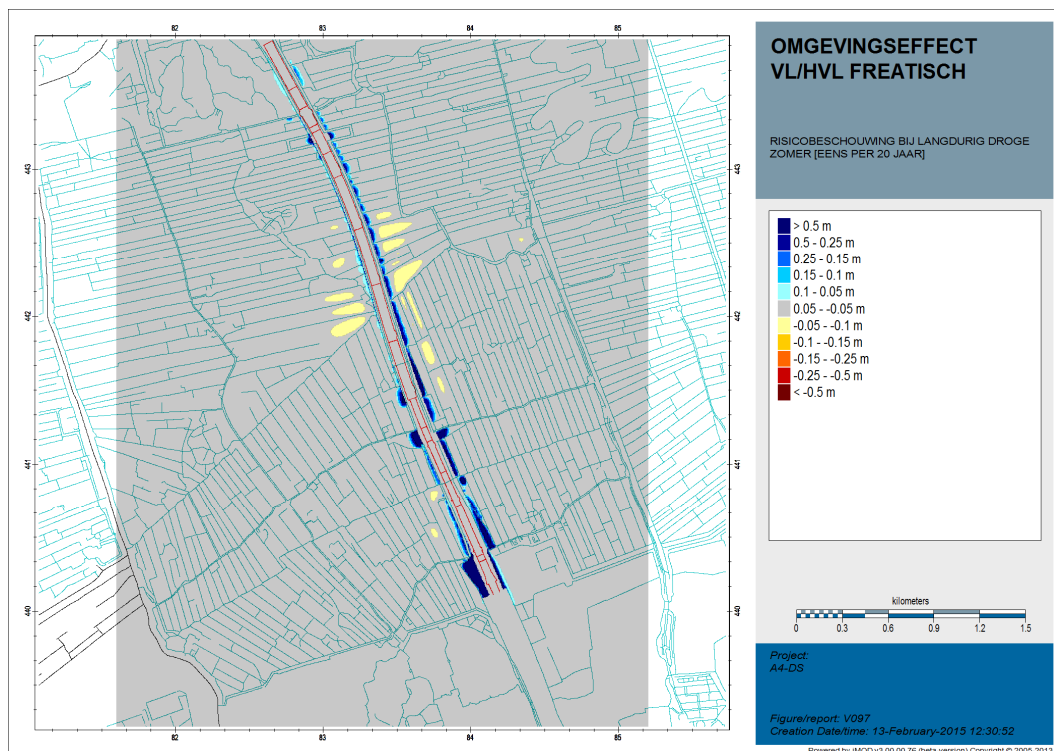
Figuur G.3 Verschil in berekende stationaire verlaging van de grondwaterstijghoogte in het 1^e watervoerende pakket door de A4 tussen de berekening in [Deltares, 2015A] en scenario C1.

G.2 Freatische pakket

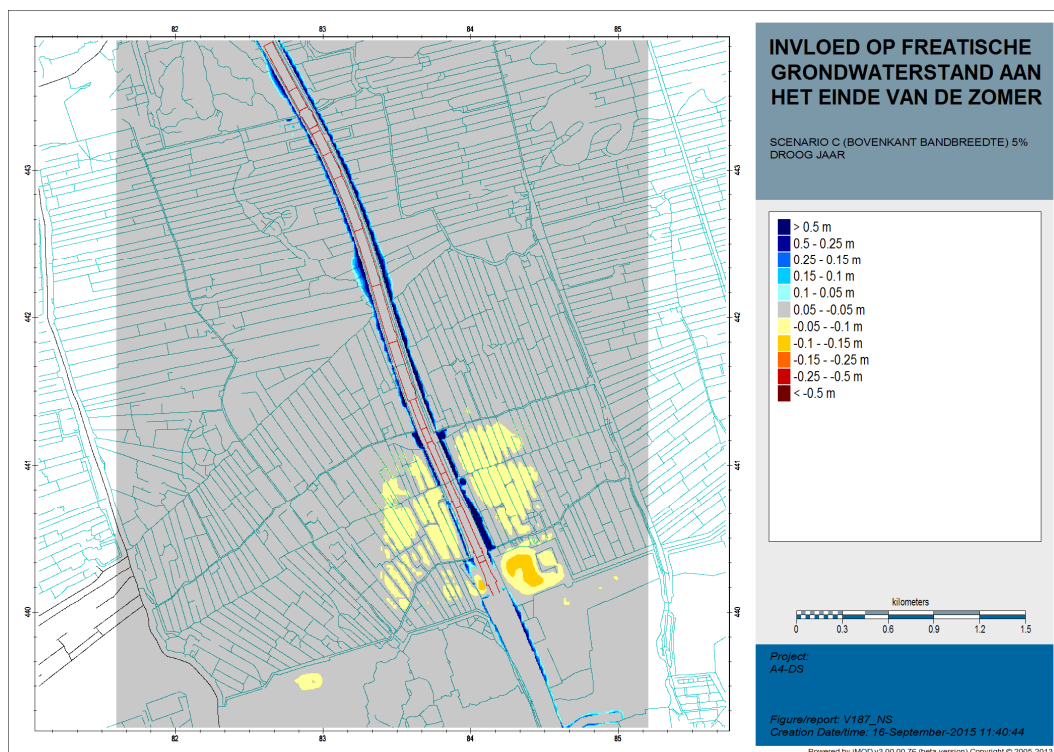
In de rapportage van februari [Deltares, 2015A] was op basis van de risicoanalyse de verlaging van de freatische grondwaterstand aan het einde van de zomer in een 5% droog jaar gerapporteerd (Figuur G.4). Dit betrof: "Uitkomst van variatieberekening van verlaging freatische grondwaterstand met 50% gereduceerde weerstand tot 5000 dagen voor gebied met Holocene tussenzandlaag (Delta-afzettingen) en tot 75% gereduceerde weerstand voor omliggend gebied". In de huidige rapportage is gewerkt met een gedetailleerder grondwatermodel, waarbij tevens de effecten zijn berekende voor een mediaan jaar en voor een aantal scenario's met modelparameters om inzicht te verkrijgen in de invloed van deze parameters op de berekende verlaging.

In (Figuur G.5) is de berekende verlaging voor scenario C2 weergegeven. Vergelijken met de berekende verlaging in [Deltares, 2015A] zijn de verlagingen nabij de half verdiepte ligging afgenomen, maar zijn de verlagingen bij de verdiepte ligging juist groter. Ook het oppervlak waarover een verlaging van meer dan 0,05 m wordt berekend is groter. Dit is enerzijds een gevolg van de gedetailleerder schematisatie van de bodemopbouw (zoals beschreven in paragraaf 3.5.1. en 4.4.3) en anderzijds een gevolg van de keuze van modelparameters aan de bovenkant van de bandbreedte (voor infiltratieweerstand, horizontale doorlatendheid, freatische berging en weerstand van de deklaag).

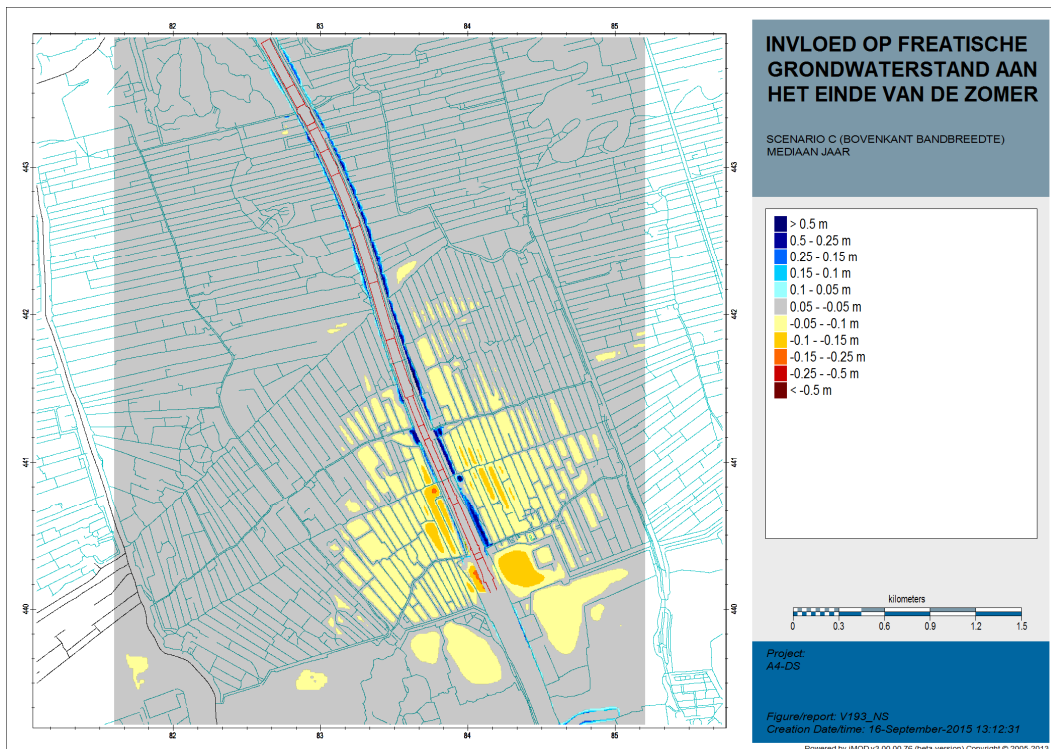
In de scenarioberekeningen is naast het zeer droge jaar (5% kans van voorkomen) ook gekeken naar de verlaging in een gemiddeld (mediaan) jaar. Het blijkt dat de verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C1 (Figuur G.5) groter is dan in scenario C2 (Figuur G.6), wat mede verklaard wordt doordat bij lage grondwaterstanden als gevolg van verdampingsreductie de invloed van de A4 minder doorwerkt.



Figuur G.4 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario 3 aan het einde van de zomer in een zeer droog jaar (5% kans van voorkomen) [Deltares, 2015A]



Figuur G.5 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C2 (run 192-193)



Figuur G.6 Berekende verlaging van de freatische grondwaterstand in scenario C1 (run 186-187)

Bij de figuren kan verder opgemerkt worden:

- Verlagingen rond compartiment 6 t/m 8 van de Half Verdiepte Ligging zijn kleiner geworden en alleen nog zichtbaar in een gemiddeld jaar bij compartiment 7.
- De verlagingen concentreren zich in scenario C1 en C2 rondom de Verdiepte Ligging
- Het beïnvloede gebied voor scenario C1 is groter dan in scenario C2.
- De maximale extra verlaging is toegenomen van 10 cm [Deltares, 2015A] naar lokaal 19 cm (scenario C1).
- De berekende verlagingen aan beide zijden van compartiment 15 zijn niet juist en worden veroorzaakt doordat de bodemopbouw in het model hier afwijkt van de werkelijkheid. Aan de oostzijde bevindt zich een bossage dat is opgehoogd tot 2 à 3m hoger dan de omgeving en waarvan de werkelijke toplaag bestaat uit zand en havenspecie. Aan de westzijde is de oorspronkelijk grond opgehoogd met zand, waardoor de oorspronkelijke grondlagen zijn weggezakt tot een niveau van NAP -4m à NAP -6m (= huidige ketenpark A4DS). Dit zelfde aspect geldt ook voor de bebouwde omgeving in Schiedam en Vlaardingen (zie ook de voetnoten bij Figuur 4.8 en 4.10 in [R2]). Hier wordt de freatische grondwaterstand bepaald door de drainage en verhardingen ter plaatse en ligt het veenpakket inmiddels dieper door de ophogingen die hebben plaatsgevonden bij het bouwrijpmaken van deze locaties.