

Notitie

Referentienummer
GM-0133528

Datum
20 mei 2014

Kenmerk
303321

Betreft
Notitie infiltratieproef en oppervlaktewaterscenario's Werkhoven

1 Aanleiding

Het voornemen bestaat om een watergang ten zuidwesten van de kern Werkhoven (langs de Achterdijk) aan te passen. In de huidige situatie is er een droge sloot/greppel aanwezig. In de nieuwe situatie wordt de watergang watervoerend. Omwonenden hebben hun zorgen geuit met betrekking tot de optredende grondwaterstanden in de wijk en de mogelijk nadelige invloed van de werkzaamheden aan het watersysteem hierop.

2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het effect van veranderingen in het oppervlaktewaterpeil op de freatische grondwaterstanden in Werkhoven. Zo wordt inzicht verkregen in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in en nabij het bebouwde deel van Werkhoven. Dit is van belang voor het wegnemen van de vrees voor grondwaterstandsverhogingen in de bebouwde kom van Werkhoven.

3 Werkzaamheden

Voor het verkrijgen van inzicht in de effecten van de peilinstellingen zijn twee stappen gezet:

1. Infiltratieproef

Het uitvoeren van een veldmeting om de uitwisseling tussen oppervlaktewater en grondwater vast te stellen.

2. Modelonderzoek

Het uitvoeren van een modelonderzoek, waarbij met behulp van ondermeer de resultaten van stap 1 voor verschillende oppervlaktewaterpeilinstellingen de effecten op het grondwater worden bepaald.

4 Resultaten infiltratieproef

De infiltratieproef is uitgevoerd op 11 maart 2014: voor een uitgebreide uitwerking, zie bijlage 3. Voor de infiltratieproef is de sloot weergegeven in figuur B3.1 over een lengte van 150 m afgedamd (figuur 1).

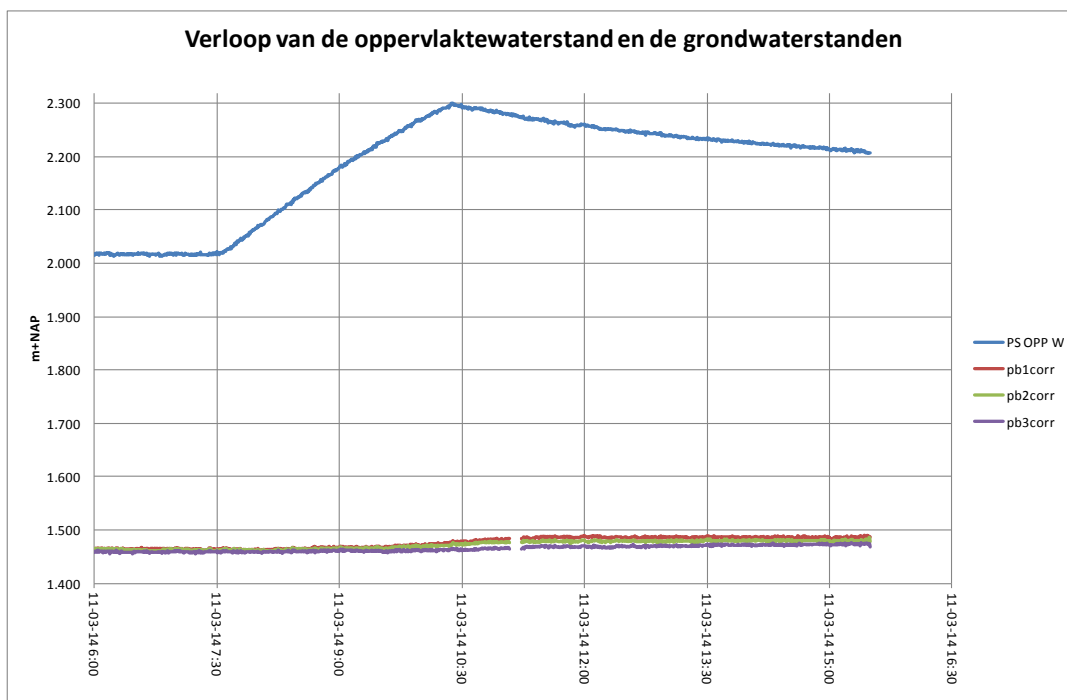


Figuur 1 Traject afgedamde sloot (roodbruin)

Het peil in de sloot is met circa 0,28 m opgezet. Op 6, 13 en 34 m afstand van de sloot zijn de stijghoogten in het watervoerend pakket¹ gemeten met automatische drukopnemers. Deze hebben iedere 25 sec. de druk gelogd (Figuur 2).

Uit de metingen blijkt dat de sloot leegloopt met, tijdens het eind van de proef, een snelheid van circa 1,3 cm per uur. Het effect op de waterdruk in het watervoerend pakket is echter beperkt: de peilbuis op 34 m afstand laat een verhoging van circa 0,012 m zien.

Uit de interpretatie van de meetgegevens is vervolgens de hydraulische weerstand van de slootbodembodem afgeleid, die gebruikt is in de modelberekeningen.



Figuur 2 Divermetingen

5 Resultaten oppervlaktewaterscenario's

In overleg met het hoogheemradschap is besloten een stationair grondwatermodel op te zetten met de volgende kenmerken:

- gebaseerd op:
 - de maaiveldhoogten;
 - de bodemopbouw volgens nieuwe deklaagkartering;
 - de waterlopen en peilvakken;
 - een gebied van 2 km rondom het projectgebied;
 - een model met 10 m-cellen in het interessegebied;
 - twee modellagen, te weten de deklaag en het onderliggende watervoerende pakket, dat tot circa NAP -50 m zich uitstrekt;

¹ De stijghoogte in het watervoerend pakket geeft de druk in de zandlaag onder de kleilaag weer. Deze wijkt sterk af van de grondwaterstand in de kleilaag (de grondwaterstand is de stand van het water als vanaf maaiveld een gat wordt geboord en is gelijk aan de waterstand zodra het grondwater wordt aangetroffen).

- gekalibreerd op gemiddelde stijghoogten in het watervoerend pakket en in de deklaag. In het stationair gekalibreerde model wordt de gemeten stijghoogte in het watervoerende pakket goed gerepresenteerd in en nabij het interessegebied. Alleen aan de modelranden worden grote afwijkingen gevonden. In de deklaag in Werkhoven wordt de gemeten opbolling van NAP +2,5 meter redelijk goed gereproduceerd door het model.

Vijf geselecteerde scenario's zijn vervolgens doorgerekend om de effecten van de verschillende scenario's te bepalen ten aanzien van freatische en diepe grondwaterstanden. De scenario's zijn in tabel weergegeven.

Tabel 1 Overzicht huidige situatie en scenario's (in m+NAP, z/w: zomer-/winterpeil)

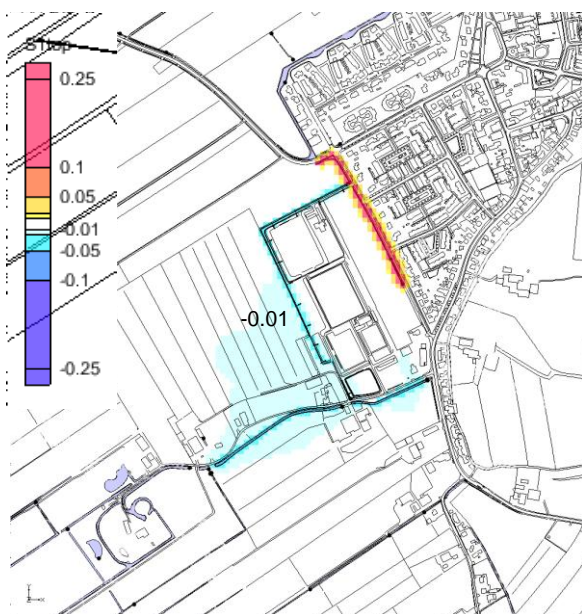
Locatie	Huidig	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	Scen. 5
Sloot Achterdijk	2,00(droog)	z/w 2,20 /2,10	2,00	2,00	z/w 1,60/1,50	z/w 1,60/1,50
Sloot sportpark	2,20	z/w 2,20 /2,10	2,00	2,00	z/w 2,20 /2,10	2,00
Waterloop Weerdenburgselaan	2,20	z/w 2,20 /2,10	z/w 2,20 /2,10	2,00	z/w 2,20 /2,10	2,00

De effecten van de verschillende varianten op de grondwaterstanden zijn beperkt. In tabel 2 zijn de effecten op de grondwaterstanden in de deklaag weergegeven.

Tabel 2 Overzicht effecten van de scenario's ten opzichte van de huidige situatie (in m)

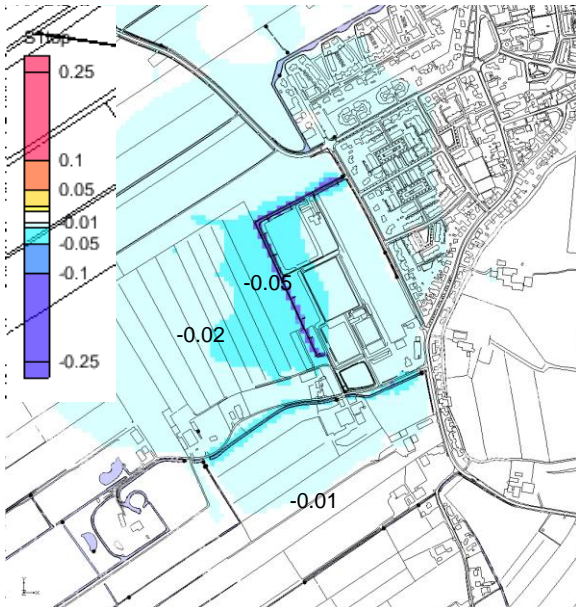
Locatie	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	Scen. 5
Bij waterloop Achterdijk	+0,10	0,00	Ca. 0,00	-0,20	-0,20
Op 15 m ten oosten van waterloop Achterdijk	+0,01	-0,01 à 0,00	-0,02	-0,03	-0,05
Midden gebied grondwateroverlast	0,00	-0,01	-0,02	0,00	-0,03

In figuur 3 zijn de effecten van scenario 1 op de freatische grondwaterstand en de stijghoogte weergegeven. Langs de Achterdijk is door het watervoerend maken van de greppel en het opzetten van het peil de grondwaterstand licht verhoogd. Het effect bedraagt op 15 m vanaf de sloot 1 cm.



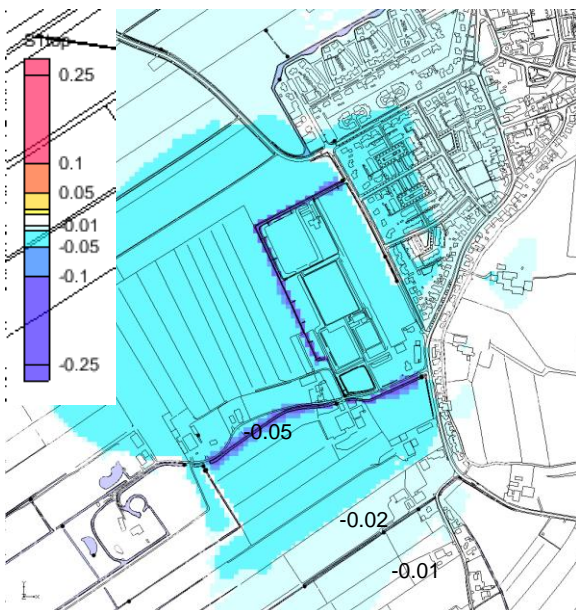
Figuur 3 Modelresultaten scenario 1 voor grondwaterstanden in de deklaag (in meters)

Bij scenario 2 is er in de waterlopen langs de sportvelden een verlaging van het oppervlaktewaterpeil van 20 cm. Dit leidt tot een verlaging van de grondwaterstanden van ca. 5 cm direct langs de waterloop rond de sportvelden (figuur 4).



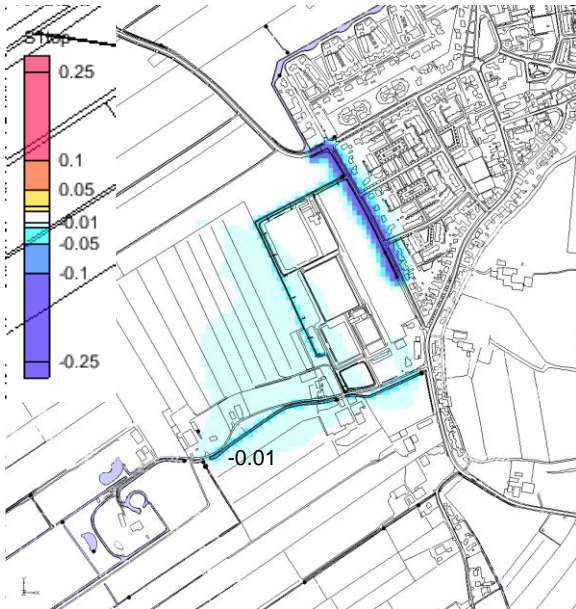
Figuur 4 Modelresultaten scenario 2 voor grondwaterstanden in de deklaag (in meters)

Bij scenario 3 is er in alle waterlopen een verlaging van de peilen met 20 cm tot NAP 2,0 m. Dit leidt tot een verlaging van de grondwaterstanden van meer dan 2 cm in een gebied met een doorsnede van circa 600 m (figuur 5).



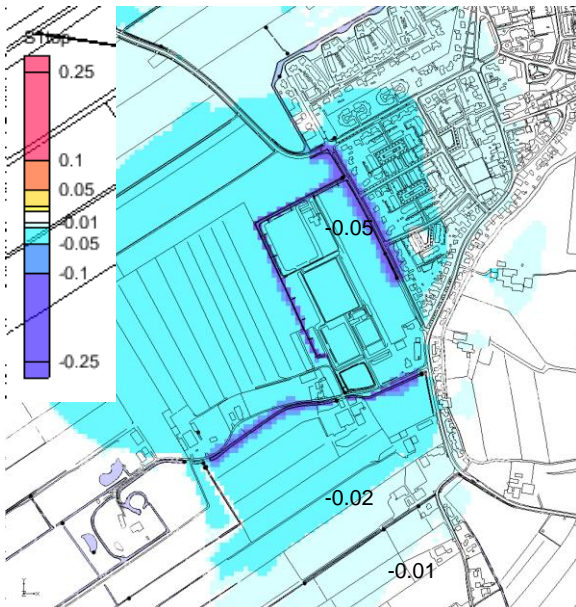
Figuur 5 Modelresultaten scenario 3 voor grondwaterstanden in de deklaag (in meters)

Scenario 4 verschilt van scenario 1 voor het peil langs de Achterdijk, dat is in dit scenario lager dan in scenario 1. Het effect van het lage peil langs de Achterdijk is echter beperkt, doordat alleen de grondwaterstanden op minder dan 15 m enigszins beïnvloed worden (figuur 6).



Figuur 6 Modelresultaten scenario 4 voor grondwaterstanden in de deklaag (in meters)

Scenario 5 is een variant op scenario 3. Ook hier blijkt het effect van het lage peil langs de Achterdijk beperkt te zijn (figuur 7).



Figuur 7 Modelresultaten scenario 5 voor grondwaterstanden in de deklaag (in meters)

Bijlage 1

Verkenning locatie infiltratieproef

Op 13 februari 2014 heeft een verkennend locatie bezoek plaatsgevonden, waarbij een aantal boringen is uitgevoerd.





Boring 1



Boring 1a



Boring 1b



Boring 2

Bijlage 2

Boringen infiltratieproef

Legenda (conform NEN 5104)

grind

	Grind, siltig
	Grind, zwak zandig
	Grind, matig zandig
	Grind, sterk zandig
	Grind, uiterst zandig

zand

	Zand, kleiig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleiig
	Veen, sterk kleiig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

klei

	Klei, zwak siltig
	Klei, matig siltig
	Klei, sterk siltig
	Klei, uiterst siltig
	Klei, zwak zandig
	Klei, matig zandig
	Klei, sterk zandig

leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

overige toevoegingen

	zwak humeus
	matig humeus
	sterk humeus
	zwak grindig
	matig grindig
	sterk grindig

geur

	geen geur
	zwakke geur
	matige geur
	sterke geur
	uiterste geur

olie

	geen olie-water reactie
	zwakke olie-water reactie
	matige olie-water reactie
	sterke olie-water reactie
	uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

	> 0
	> 1
	> 10
	> 100
	> 1000
	> 10000

monsters

	geroerd monster
	ongeroerd monster
	volumering

overig

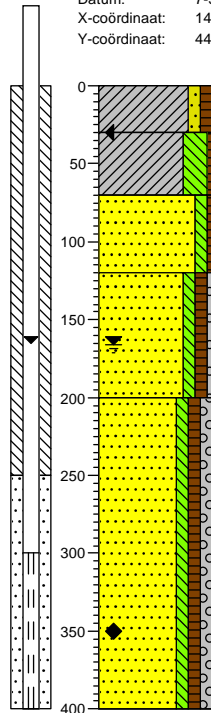
	bijzonder bestanddeel
	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	Gemiddeld laagste grondwaterstand
	slib
	water

Projectnummer: 303321
 Projectnaam: BO INFLITATIEPROEF WERKHOVEN

Boring: Waterpeil
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144775,92
 Y-coördinaat: 448081,1

0 ————— 200 braak

Boring: PB01
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144778,28
 Y-coördinaat: 448076,58

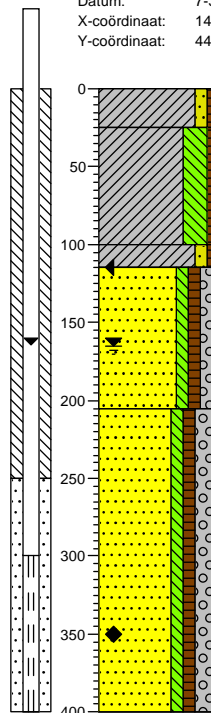


- 312 gras
- ▲ 282 Klei, zwak zandig, matig humeus, matig zandhoudend, matig wortelhoudend, K-waarde: 0,15, donkerbruin, Edelmanboor, Beworteld, Geroerd
- ▲ 242 Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig zandhoudend, K-waarde: 0,1, lichtbruin, Edelmanboor, Geroerd
- ▲ 192 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, sterk roesthoudend, K-waarde: 4,55, licht oranjebruin, Horst, Ongeroerd
- ▲ Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, zwak grindig, matig roesthoudend, K-waarde: 5,5, licht geelbruin, Horst, Fijngrind
- 112 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, matig grindig, laagjes grind, K-waarde: 8,5, lichtbruin, Zuigerboor, Matig Grof Grind
- ▲
- 88

Boring: bkpb1
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144778,11
 Y-coördinaat: 448076,61

0 ————— 363 braak

Boring: PB02
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144788,66
 Y-coördinaat: 448081,49



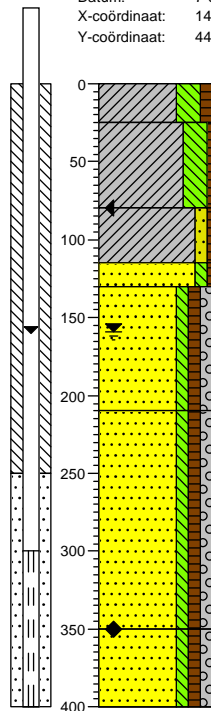
- 312 gras
- ▲ 287 Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig zandhoudend, matig wortelhoudend, K-waarde: 0,15, donkerbruin, Edelmanboor, Beworteld, geroerd
- ▲ Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak zandhoudend, resten puin, K-waarde: 0,1, lichtbruin, Edelmanboor, Geroerd
- 212
- ▲ 197 Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig zandhoudend, K-waarde: 0,15, licht bruinbruin, Edelmanboor, Geroerd
- Zand, uiterst grof, zwak siltig, zwak humeus, matig grindig, K-waarde: 8,5, licht geelbruin, Horst, Ongeroerd, Fijn Grind
- 107 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, sterk grindig, laagjes grind, K-waarde: 8,5, lichtbruin, Zuigerboor, Fijngrind
- ▲
- 88

Projectnummer: 303321
 Projectnaam: BO INFLITATIEPROEF WERKHOVEN

Boring: bkpb2
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144788,64
 Y-coördinaat: 448081,46

0 ————— 363 braak

Boring: PB03
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144808,18
 Y-coördinaat: 448090,04



- 306 gras
- ▲ 281 Klei, sterk siltig, matig humeus, matig zandhoudend, sterk wortelhoudend, K-waarde: 0,1, donkerbruin, Edelmanboor, Beworteld, Geroerd, Boomwortels
- ▲ 226 Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak zandhoudend, zwak wortelhoudend, K-waarde: 0,05, lichtbruin, Edelmanboor, geroerd, Boomwortels
- ▲ 191 Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig zandhoudend, zwak wortelhoudend, matig roesthoudend, K-waarde: 0,15, licht geelbruin, Edelmanboor, Ongeroid, Boomwortels
- ▲ 176 Zand, uiterst fijn, zwak siltig, zwak humeus, sterk roesthoudend, K-waarde: 2,55, licht oranjebruin, Horst
- ▲ 96 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, matig grindig, laagjes grind, K-waarde: 8,5, lichtbruin, Horst, Fijn Grind
- Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, matig grindig, laagjes grind, K-waarde: 8,5, lichtbruin, Zuigerboor, Fijn Grind
- ▲ -44 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak humeus, matig grindig, laagjes klei, K-waarde: 5,5, lichtgrijs, Zuigerboor, Fijn Grind + Her en Der Een Fijn Kleiband
- ▲ -94 Fijn Kleiband

Boring: bkpb3
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144808,27
 Y-coördinaat: 448089,89

0 ————— 355 braak

Boring: BKpb4
 Boormeester: PAUL PALMIGIANO
 Datum: 7-3-2014
 X-coördinaat: 144775,08
 Y-coördinaat: 448080,66

0 ————— 321 braak

Bijlage 3

Uitwerking infiltratieproef

B3.1 Inleiding

Voor modelberekeningen naar het effect van oppervlaktewaterstanden op het grondwater is het noodzakelijk een goed inzicht te hebben in de relatie tussen oppervlaktewaterstand en grondwaterstand. Dit kan verkregen worden door een infiltratieproef uit te voeren.

B3.2 Doel

Doel van de infiltratiemeting is het bepalen van de infiltratieweerstand in de sloot tussen grond- en oppervlaktewater².

B3.3 Werkzaamheden

Voor het bepalen van de infiltratiesnelheid zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. verkenning praktijksituatie;
2. plaatsen van peilbuizen tot in watervoerend pakket en opstellen meetinstrumenten;
3. afdammen van de proefsloot;
4. verrichten van de metingen;
5. verwerking van de resultaten in een notitie.

Ad 1: Met de beheerder van het waterschap is de proeflocatie bezocht tijdens een eerste veldbezoek. De proeflocatie is een al aanwezige watervoerende sloot, gelegen ten westen van de sportvelden te Werkhoven. De proeflocatie is gelegen op een afstand van ca. 200 m van de geplande watergang. Bij het veldbezoek is het volgende geconstateerd:

- besloten is een traject van circa 150 m af te dammen (figuur B3.1);
- er is een aantal proefboringen uitgevoerd. Deze geven aan dat 1) de bodem tot circa 1 m -mv uit klei bestaat, 2) de onderzijde van de sloot insnijdt in het watervoerend pakket (zie bijlage 1 en 2);
- aanwezigheid drainage: zowel het voetbalveld als de paardenbak heeft drainage. Deze bevindt zich echter ruim boven het oppervlaktewaterpeil.

² De infiltratieweerstand in de sloot bepaalt mede bij een bepaalde peilverhoging in de sloot de verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket (oftewel de verhoging van de waterdruk in de zandlaag onder de klei). Tevens bepaalt de infiltratieweerstand hoeveel water vanuit de sloot naar het watervoerend pakket kan infiltreren.



Figuur B3.1 Traject afgedamde sloot (roodbruin)

Ad 2: Op drie plaatsen wordt in een raai loodrecht op de sloot een peilbuis geplaatst. Een meetpunt in de sloot wordt gewaterpast en zo ook de bovenkant van de peilbuizen. Deze werkzaamheden worden door 'Het Veldwerkbureau' uitgevoerd.

In tabel B3.1 zijn de coördinaten en de hoogten van de peilbuizen weergegeven.

Tabel B3.1 Gegevens plaatsen peilbuizen op 7 maart 2014

Peilfilter	Hoogte (m+NAP)	x-coördinaat	y-coördinaat	Diver	Kabel-Lengte (m)	Bovenkant pb (m +NAP)	Grondwaterstand (m -bkb)
1	3,12	144778,28	448076,58	SNP4910	4,09	3,63	2,16
2	3,12	144788,66	448081,49	SNG2732	4,00	3,63	2,15
3	3,06	144808,18	448090,04	SNP4914	4,15	3,55	2,09
		Baro-diver		SNF0982	1,62		
1opp	2,00	144775,92	448081,10	SNG2774	1,94	3,21	1,21

Ad 3: Het waterschap heeft de sloot afgedamd en het waterpeil opgezet door middel van een pomp.

Ad 4: De metingen van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstanden zijn gedurende vijf uren uitgevoerd. In de dagen voorafgaand aan de metingen is geen neerslag gevallen. De peilbuizen (in het watervoerend pakket) en de sloot zijn bemeten met een diver. Naast de divermetingen is (regelmatig) met de hand de (grond)waterstand opgenomen.

Ad 5: In deze notitie is op basis van analytische berekeningen een inschatting (met onzekerheden) gedaan van het effect van de infiltratie uit de sloot, op de stijghoogte in het watervoerend pakket ter plaats van Werkhoven.

B3.4 Meetresultaten

De proef heeft plaatsgevonden op 7 maart. Om circa 7.30 u is begonnen met het volpompen van de afgedamde sloot. Om circa 10.22 u is de pomp uitgezet, waarna het oppervlaktewaterpeil begon uit te zakken, zonder aangevuld te worden. Vanaf dit tijdstip kunnen de metingen geïnterpreteerd worden. Figuur B3.2 geeft een indruk van de uitvoering van de proef.



Figuur B3.2 Overzicht uitvoering infiltratieproef

B3.4.1 Boringen

Op 7 maart 2014 heeft Het Veldwerkbureau boringen uitgevoerd en de peilfilters geplaatst. Op drie plaatsen in een raai loodrecht op de sloot is een peilbuis geplaatst. Een meetpunt is in de sloot geplaatst en tevens zijn bovenkanten van de peilbuizen gewaterpast. Deze werkzaamheden zijn door Het veldwerkbureau uitgevoerd.

In tabel B3.2 zijn de coördinaten, de hoogten van de peilbuizen en de divergegevens weergegeven.

Tabel B3.2 Gegevens plaatsen peilbuizen op 7 maart 2014

Peilfilter	Hoogte (m+NAP)	x-coördinaat	y-coördinaat	Diver	Kabel-Lengte (m)	Bovenkant pb (m+NAP)	Grondwaterstand (m+NAP)	Afstand tot midden sloot (m)
1	3,12	144778,28	448076,58	SNP4910	4,09	3,63	1,47	5,6
2	3,12	144788,66	448081,49	SNG2732	4,00	3,63	1,48	13,2
3	3,06	144808,18	448090,04	SNP4914	4,15	3,55	1,46	34,0
		Baro-diver		SNF0982	1,62	3,55		
1oppw		144775,92	448081,10	SNG2774	1,94	3,21	2,00	0,5

B3.4.2 Grond- en oppervlaktewaterstanden Handmetingen

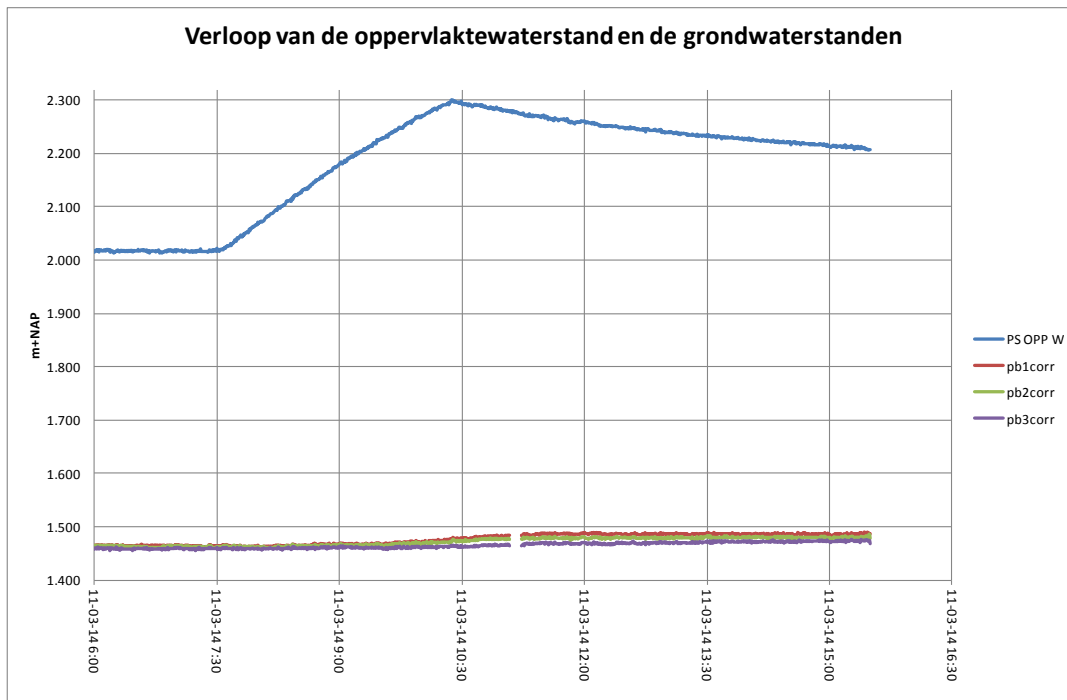
De divermetingen worden gecontroleerd aan de handmetingen. In de onderstaande tabel zijn deze weergegeven, waarbij op een aantal momenten tijdens de proef de grondwaterstanden handmatig zijn gemeten.

Tabel B3.3 Handmetingen grondwaterstanden in peilbuizen.

	pb1 (m+NAP)	pb2 (m+NAP)	pb3 (m+NAP)
07-03-2014 10:29	1.47	1.48	1.46
11-03-2014 11:05	1.46	1.48	1.45
11-03-2014 15:21	1.46	1.48	1.45

Divermetingen

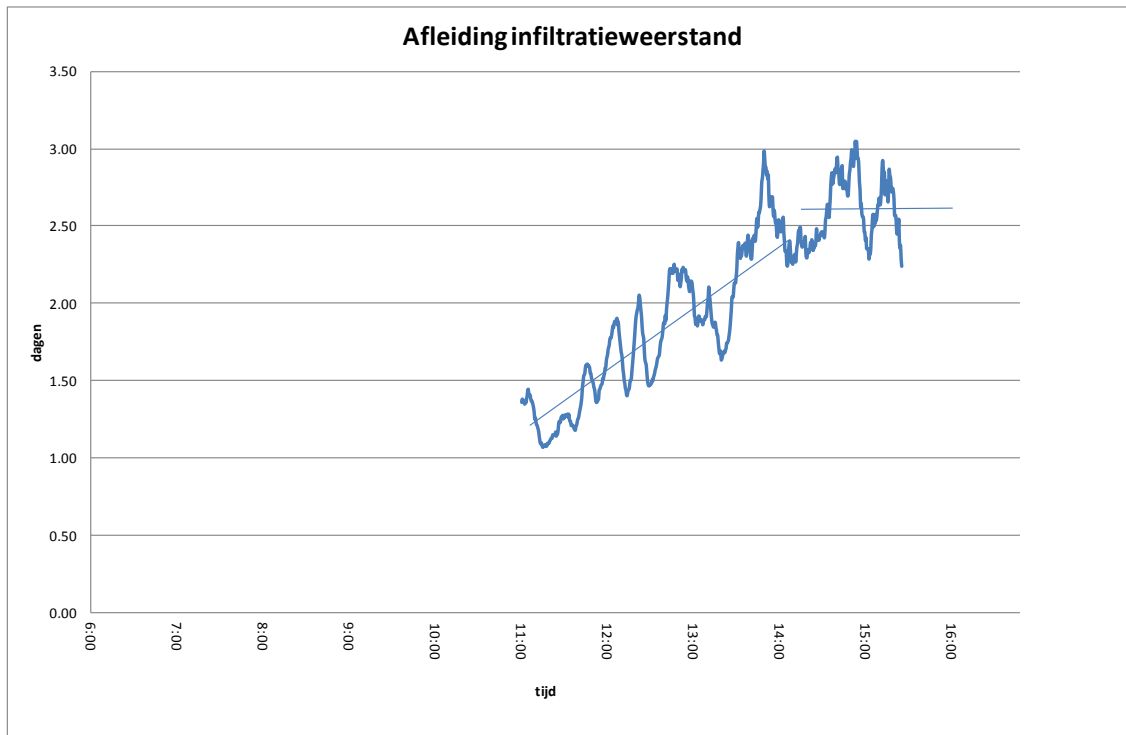
De divers zijn op 7 maart 2014 in de peilbuizen gehangen. Op dinsdag 11 maart heeft de infiltratiemeting plaatsgevonden. De divers hebben iedere 25 sec. een druk gelogd (Figuur B3.3).



Figuur B3.3 Divermetingen

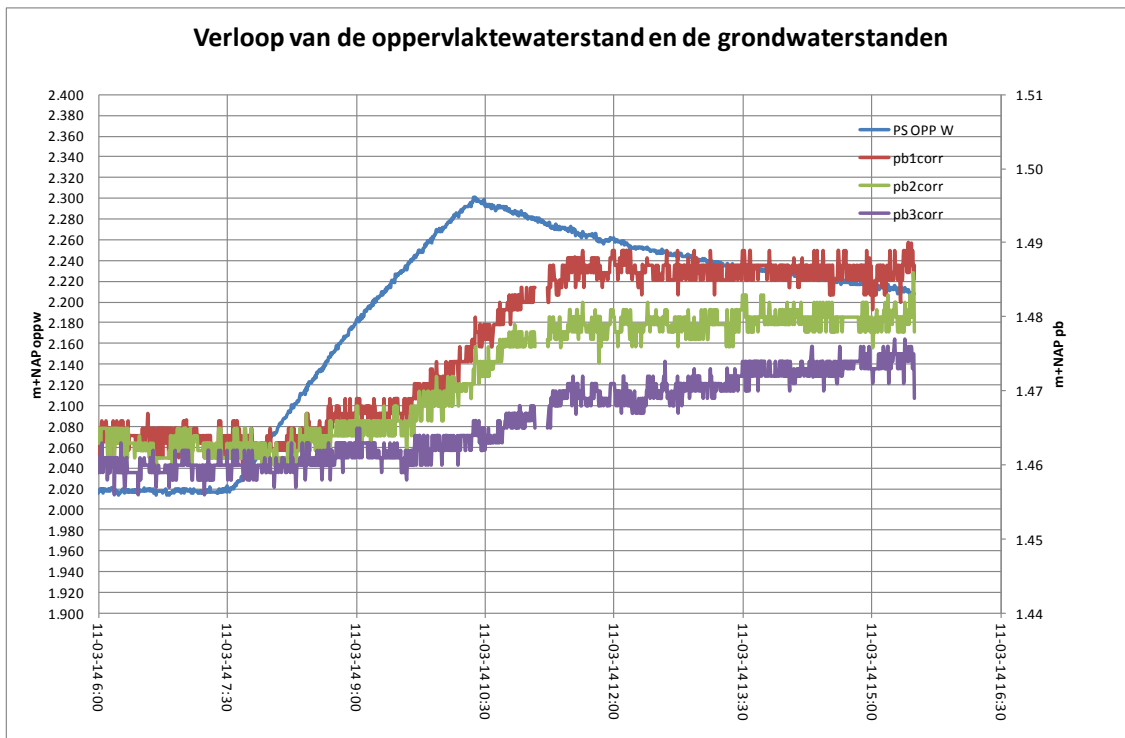
B3.5 Analyse

Zoals beschreven is de pomp op 7 maart 2014 om 10.22 u uitgezet. Per tijdsinterval van een kwartier is de infiltratieweerstand bepaald. In figuur B3.4 is deze weergegeven. Hieruit blijkt dat de infiltratieweerstand in de loop van de tijd toeneemt van circa één dag tot circa twee dagen aan het einde van de proef. De toename is waarschijnlijk een gevolg van het steeds minder groot worden van het horizontaal weglekken van water uit de afgedamde sloot. De weerstand op het einde geeft daarom de meest betrouwbare indruk van de grootte van de infiltratieweerstand.



Figuur B3.4 Verloop van de infiltratieweerstand gedurende de infiltratieproef

Uit de proef volgt dat de stijghoogten onder invloed van de peilopzet enigszins verhoogd zijn. In B3.5 is dat weergegeven. Hieruit blijkt dat door het opzetten van het peil de stijghoogten aan het eind van de proef voor de peilbuizen 1, 2 en 3 resp. met 2,4, 1,7 en 1,2 cm zijn gestegen. De stijghoogten in de peilfilters, dicht bij de sloot, staan nog onder invloed van de radiale toestromingsweerstand van de sloot zelf. De peilbuis op grotere afstand (pb3 op circa 34 m van de sloot) laat het effect van de peilverhoging in de sloot zien zonder de extra verhoging door radiale weerstanden. Hier is de verhoging van de stijghoogte circa 1,2 cm.



Figuur B3.5 Verloop van het oppervlaktewaterpeil (linker as) en de stijghoogten pb1 t/m pb3 (rechter as)

B3.6 Conclusie

Op basis van de uitgevoerde infiltratieproef blijkt dat de infiltratieweerstand van de sloot circa 2,5 à 3 dag bedraagt. In het begin leek de infiltratieweerstand kleiner, wat een gevolg is geweest van het ook horizontaal wegstromen van grondwater. Voor de drainage- c.q. infiltratiecapaciteit (conductivity, in geohydrologische terminologie) van een waterloop, zoals in modflow-modellen wordt gebruikt, dient deze waarde met de breedte van de waterloop op de waterlijn vermenigvuldigd te worden en dient rekening met zowel de grootte van de infiltratiefactor als de bodemhoogte te worden gehouden.

In de peilbuis op 34 m afstand van de sloot is een beperkte verhoging van de stijghoogte gemeten, namelijk 1,2 cm. Op grotere afstand zal de verhoging kleiner zijn. Het effect op de freatische grondwaterstanden zal in gebieden zonder drainage van dezelfde orde grootte zijn.

Modelberekeningen met IBRAHYM kunnen uitgevoerd worden met de resultaten van de infiltratieproef. Hierbij dient natuurlijk wel rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van kleilagen onder de bodem van waterlopen.

Bijlage 4

Technische modelnotitie 5 oppervlaktewatersscenario's

B4.1 Inleiding

Het voornemen bestaat een watergang ten zuidwesten van de kern Werkhoven (langs de Achterdijk) aan te passen. In de huidige situatie is er een droge sloot/greppel aanwezig. In de nieuwe situatie wordt de watergang watervoerend. Omwonenden hebben hun zorgen geuit met betrekking tot de optredende grondwaterstanden in de wijk en de mogelijk nadelige invloed van de werkzaamheden aan het watersysteem hierop.

B4.2 Doel en aanpak

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het effect van veranderingen in het oppervlaktewaterpeil op de freatische grondwaterstanden in Werkhoven. Zo wordt inzicht verkregen in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in en nabij het bebouwde deel van Werkhoven. Dit is van belang voor het wegnemen van de vrees voor grondwaterstandsverhogingen in de bebouwde kom van Werkhoven.

Hiervoor worden met een model verschillende scenario's doorgerekend en de effecten op de grondwaterstand bepaald. De resultaten worden gebruikt voor 1) onderbouwing van een partiële herziening van het peilbesluit en 2) inzicht verkrijgen voor betrokkenen in de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in en nabij het bebouwde deel van Werkhoven. Dit tweede punt is van belang voor het wegnemen van de vrees voor grondwaterstandsverhogingen in de bebouwde kom van Werkhoven. Tevens geeft dit de effecten aan van peilmaatregelen op het te ontwikkelen "Landje van Kemp".

B4.3 Ontvangen basisgegevens

Op 5 maart 2014 is een bezoek gebracht aan HDSR om de overig benodigde gegevens voor de grondwatermodellering te verkrijgen en de insteek van de modellering nader te bepalen. De volgende gegevens zijn overhandigd:

- AHN 5 m gecorrigeerd;
- BAG-bestand (huizen);
- bodemkaart;
- geotop met viewer;
- deklaagmodel_totaal (met de opbouw en dikten van de verschillende bodemlagen);
- weerstand van de deklaag (recent gemaakte kaart);
- GHG en GLG interpolatie van watervoerend pakket;
- peilgebiedenkaart;
- primaire watergangen;
- waterlopenbestand (met eveneens de secundaire en tertiaire waterlopen);
- duikerbestand.

B4.4 Modelconcept, -begrenzing en -resolutie

Er blijkt geen geschikt basismodel aanwezig, waarmee direct een uitsnede kan worden gemaakt die een goede basis vormt voor een detailmodel. Het aangeleverde HYDROMEDAH-model is daarvoor te grof (100x100 meter). Het nieuwe AZURE-model bleek ongeschikt, omdat waterlopen hierin niet expliciet zijn opgenomen.

Daarom is samen met het Hoogheemraadschap besloten een model op te zetten gebaseerd op de nieuwe deklaagkartering (weerstand van de deklaag en dikte nieuwe kartering als basis), een recent gecorrigeerde AHN en goed toe te passen basisbestanden voor de waterlopen en peilvakken. Tevens is geconcludeerd dat een stationair model afdoende inzicht biedt om de effecten van de verschillende peilvarianten te kunnen beoordelen.

Voor het bepalen van de modelbegrenzing is de spreidingslengte bepaald. Deze is, gezien de hoge KD van het watervoerende pakket en vrij lage weerstand van de deklaag, relatief beperkt. Er is een gebied van 2 kilometer rondom het projectgebied gedefinieerd als zijnde de begrenzing van het modelgebied.

Het oorspronkelijke plan was om uit te gaan van een 25-meter-model (het HYDROMEDAH-model van het Hoogheemraadschap). Doordat een nieuw model moest worden opgezet is direct voor een verfijning gekozen. Er is gekozen voor een model met 10 m-cellen, waarbij de modelrand cellen van 20 x 20 of 20 x 10 meter heeft.

- $X_{min} - X_{max} = 143.000 - 147.000$
- $Y_{min} - Y_{max} = 446.000 - 450.000$

In verticale richting is gekozen voor een indeling in twee modellagen, te weten de deklaag en het onderliggende watervoerende pakket dat zich tot circa NAP -50 m uitstrekt. Voor de verticale schematisatie zijn de volgende basisbestanden gebruikt:

- het 5 x 5 meter AHN voor de maaiveldhoogte;
- de dikte en weerstand (in verticale richting) van de deklaag direct uit de karteringsbestanden van de deklaag;
- als watervoerend pakket is het dieptetraject van de onderkant van de deklaag tot NAP -50 m aangehouden. Als k-waarde is 30 m/d gebruikt met in verticale richting een driemaal lagere doorlatendheid.

B4.5 Randvoorwaarden modellering

In het watervoerende pakket is op de randen van het modelgebied een vaste-stijghoogterand gedefinieerd die is vastgelegd met behulp van de kaart van de geïnterpoleerde GHG-kaart van het watervoerend pakket.

Twee typen randvoorwaarden zijn geoptimaliseerd tijdens de modelbouw omdat (1) insnijding van sloten door de deklaag de grondwaterstand in sterke mate blijkt te bepalen en omdat (2) opbolling van grondwaterstanden boven maaiveld bleek te ontstaan.

De sloten zijn expliciet ingevoerd, waarbij als slootpeil het peilvakkenbestand is toegepast. Voor het oppervlaktewater is het polygonenbestand van de waterlopen gebruikt die binnen MODFLOW direct worden omgerekend naar het totaal aanwezige oppervlak waterloop per modelcel. In de gebieden waarin het slootpeil minder dan 20 cm boven de onderkant van de deklaag is gelegen zijn de sloten als insnijdend in het watervoerend pakket zijn opgenomen (modelmatig: de sloten zijn ook in de tweede modellaag ingevoerd). Als basisconductivity is 0,5 m²/d per m² genomen, vrijwel gelijk aan de weerstand gemeten in de veldproef voor de sloot langs het sportveld. De weerstand van de deklaag vormt een extra drainageweerstand die door MODFLOW wordt berekend op basis van de verzadigde dikte van de deklaag (voor de watergangen die niet insnijden in het watervoerend pakket). Door het insnijden van met name de Kromme Rijn blijkt de stijghoogte in het watervoerend pakket beter verklaard te kunnen worden en kan ook het verloop (ter hoogte van Werkhoven een hogere stijghoogte richting het zuidwesten) verklaard te worden.

Buiten het interessegebied zijn nog andere vormen van drainage aanwezig, onder meer maaiveld drainage, greppeldrainage en diffuse drainage (buizen e.d.). Daarvan is alleen een vorm van greppeldrainage ingevoerd, met een hoge conductance. De hoogte van de greppeldrainage is bepaald met behulp van het AHN. De drainagehoogte is voor elke modelcel bepaald als de laagste maaiveldhoogte binnen een straal van 25 meter. De ingevoerde greppeldrainage blijkt alleen in specifieke gebieden met hoge slootdichtheid en hoge deklaagweerstand 'actief' en blijkt geen invloed te hebben op de stijghoogte in het watervoerende pakket (hooguit twee millimeter). De hoogte is op diverse plekken in het model gecontroleerd aan het oppervlaktewaterpeil en aan de maaiveldhoogte.

Onttrekkingen zijn niet in het model ingevoerd. Er bevinden zich geen grote winningen in de nabijheid.

B4.6 Calibratie parameterwaarden

De belangrijkste onderdelen van de modelopbouw zijn in de vorige paragraaf is beschreven. Door middel van een korte calibratieslag is het model verbeterd voor de volgende onderdelen:

- de stijghoogte in het diepe pakket ter plaatse van het interessegebied;
- de opbolling van het grondwater in het bebouwde gebied waarin grondwateroverlast optreedt.

Tevens is een controle van de gebruikte deklaagdikte in het interessegebied uitgevoerd.

De calibratie is uitgevoerd op basis van de beschikbare gegevens. De stijghoogte van het diepe grondwater is ter plaatse van het onderzoeksgebied vastgesteld op ongeveer -1,5 m NAP en in de in Werkhoven gelegen put B39A0032 op -1,3 meter. De grondwaterstand in de deklaag staat in het bebouwde gebied van Werkhoven gemiddeld op NAP +2,5 m gemeten.

Om de gemeten standen te kunnen benaderen bleek een verhoging van de deklaagweerstand noodzakelijk. De verticale weerstand is met factor 7 verhoogd ten opzichte van het deklaag-model. Ook grondwateraanvulling bepaalt de mate van opbolling. Het neerslagoverschot is gesteld op 0,8 mm/dag. Ter indicatie van de gevoeligheid van parameters: bij een verhoging van het neerslagoverschot naar 0,9 mm/dag wordt een vergelijkbaar calibratieresultaat bereikt wanneer de verticale weerstand van de deklaag zes keer hoger wordt gezet dan de aangeleverde weerstand.

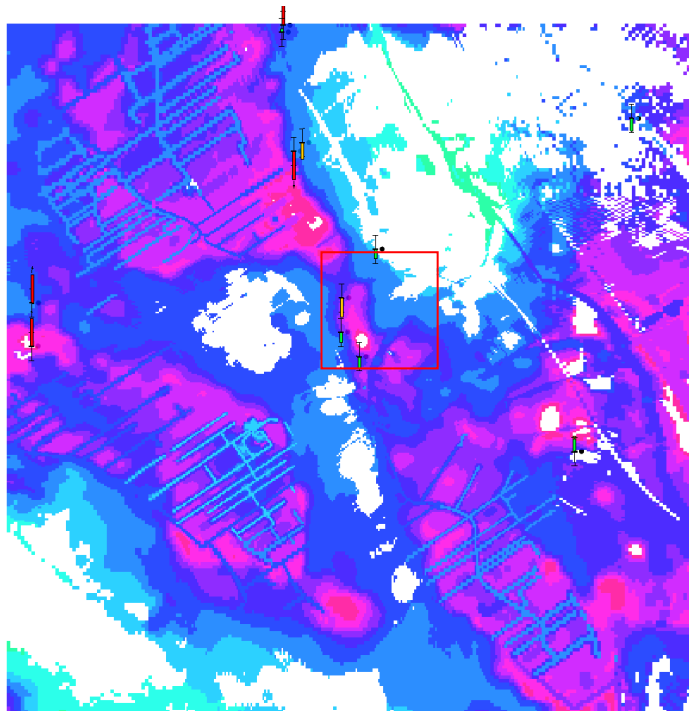
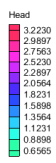
De slootconductance is in eerste instantie gesteld op 0,5 m²/d per m om zodoende de weerstand, gelijk aan die gemeten, bij de infiltratieproef te stellen.

Tabel B4.1 Bepaling slootconductance

<i>Parameter</i>	<i>grootte</i>	<i>Eenheid</i>
breedte sloot	Ca. 1,5	m
infiltratieweerstand	Ca. 3	d
lengte sloot in gridcel	10	m
Conductivity per gridcel (van 10 x 10 m)	5	m ² /d
Conductivity per m waterloop	0,5	m ² /d per m
Conductivity per m² waterloop	0,33	m ² /d per m ²

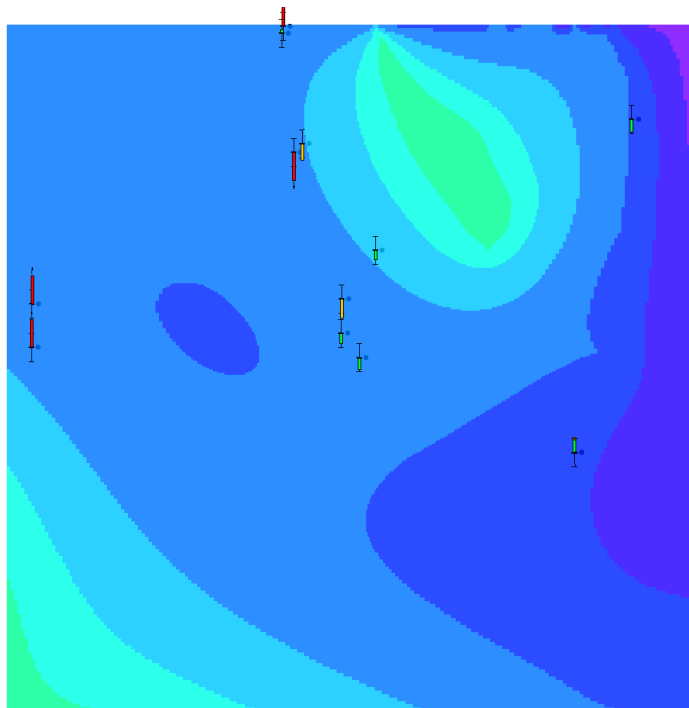
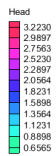
Deze conductivity bleek onvoldoende groot voor met name sloten die in het watervoerende pakket insnijden: om voldoende invloed te hebben om de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket te benaderen is deze met een factor 10 verhoogd. Het invoeren van deze lagere weerstand in de insnijdende drainerende waterlopen is een te onderbouwen keuze. Infiltrerende sloten hebben in het algemeen aanzienlijk hogere 'drainageweerstand' dan sterk drainerende sloten.

In het stationair gekalibreerde model wordt de gemeten stijghoogte in het watervoerende pakket goed gerepresenteerd (zie figuren 1 tot en met 3): 1,3 m +NAP in het noorden van Werkhoven en 1,5 meter nabij het interessegebied. Alleen aan de modelranden worden grote afwijkingen gevonden. De gebruikte interpolatie van de GHG is mogelijk lokaal niet betrouwbaar. In de deklaag in Werkhoven wordt de gemeten opbolling van NAP +2,5 meter redelijk goed gereproduceerd in het model.



Figuur B4.1

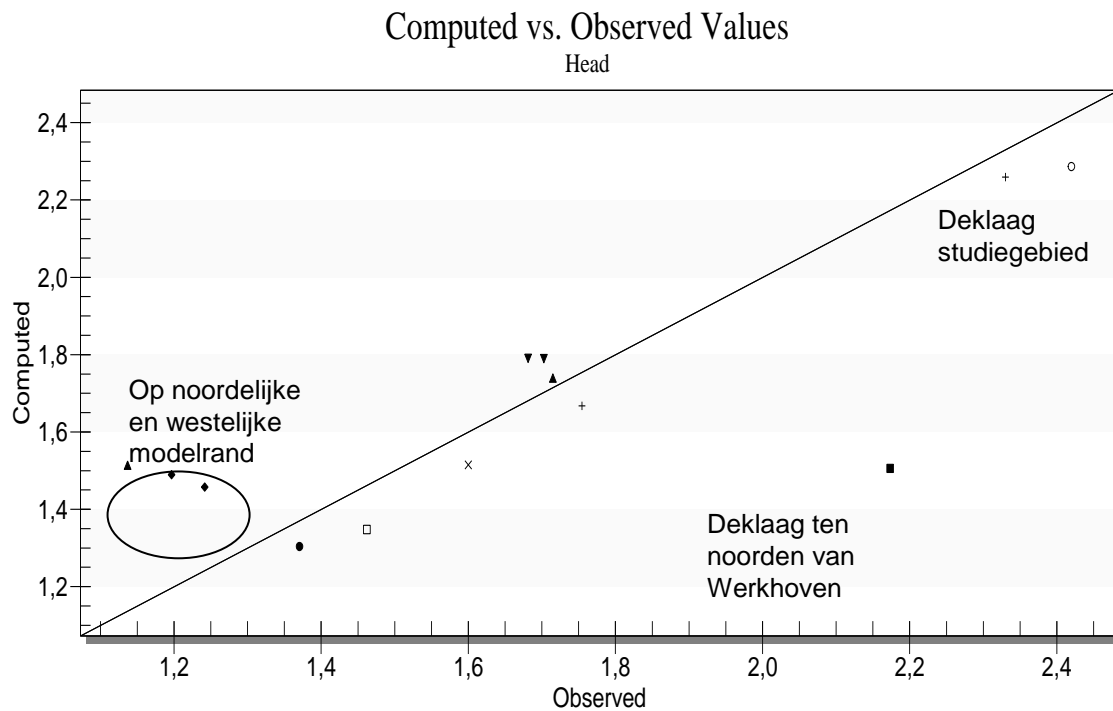
Berekende grondwaterstanden voor het basismodel (laag 1) met het interessegebied³.



Figuur B4.2

Berekende stijghoogten voor het basismodel (laag 2, watervoerend pakket)

³ Groene balken geven een afwijking kleiner dan 10 cm weer; rode balken een afwijking groter dan 20 cm.



Figuur B4.3 Calibratieresultaat model

Tabel B4.2 Modelafwijking per meetpunt

Peilbuis	LAAG	Waargenomen	Berekend	Afwijking	
Studie PB3	1	2.33	2,26	0,07	
Studie 9	2	1.6	1,51	0,09	
Studie 5	1	2.42	2,29	0,13	
B39A0032_2	2		1	1,30	0,07
B39A0350_1	2		1	1,35	0,11
B39A0349_1	1		2	1,51	0,67
B39A0348_1	2		1	1,49	-0,29
B39A0356_1	2		1	1,46	-0,22
B39A2338_1	2		1	1,51	-0,38
B39A0347_1	1	17.149	1,74	-0,02	
B39A0312_1	2	16.813	1,79	-0,11	
B39A0361_1	2	17.028	1,79	-0,09	
B39A0030_1	2	17.546	1,67	0,09	

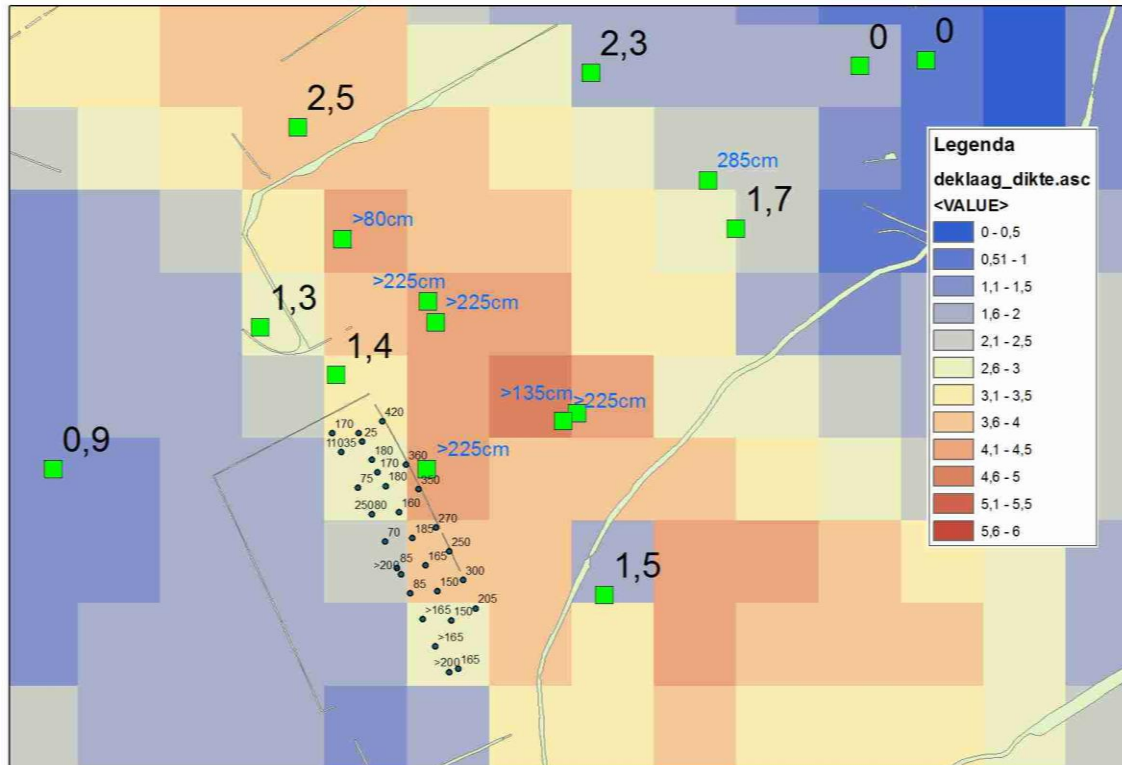
B4.7 Vergelijking deklaagdikte schematisatie en boringen en vergelijking met resultaten

In Figuur 4 zijn de uitgevoerde boringen weergegeven met daarbij aangegeven wat de dikte van de deklaag is (indien de boring ver genoeg is doorgezet).

De vernieuwde deklaagschematisatie blijkt in grote mate overeen te stemmen met de detailinformatie uit de boringen, zeker waar het om de verbreiding gaat. Dit is opmerkelijk gezien het nauwelijks aanwezig zijn van boringen in DINLOKET. De deklaagkaart is gebaseerd op een interpretatie die in dit gebied goed is uitgevoerd. De 100*100 meter gridcellen van de dikte en van de weerstand zijn geïnterpoleerd naar het 10*10 meter grid.

Wel is de deklaag herleid uit boorprofielen uit DINOLOKET op veel plaatsen wat dunner dan de kaart van de deklaagdikte aangeeft.

De te wijzigen sloot zal zonder twijfel de deklaag niet aansnijden. De westelijk gelegen sloot in het sportpark zal dit zonder twijfel wel doen. Deze sloot is in het model daarom in laag 2 gedefinieerd met de gemeten slootweerstand.



Figuur B4.4 Deklaagdikte uit deklaagmodel vergeleken met informatie verkregen uit boringen

B4.8 Doorrekening scenario's en conclusie

De vijf geselecteerde scenario's zijn stationair doorgekeurd om de effecten van de verschillende varianten te kunnen beoordelen ten aanzien van freatische en diepe grondwaterstanden. De resultaten zijn in B4.9 gegeven.

De verschillende scenario's zijn in B4.9 beschreven met behulp van een figuur, waarvoor de peilen zijn af te lezen. In tabel B4.3 zijn de kenmerken van de scenario's weergegeven. Voor de exacte begrenzing wordt verwezen naar B4.9.

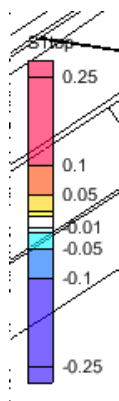
Tabel B4.3 Overzicht huidige situatie en scenario's (in m+NAP, z/w: zomer-/winterpeil)

Locatie	Huidig	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	Scen. 5
Sloot Achterdijk	2,00(droog)	z/w 2,20 /2,10	2,00	2,00	z/w 1,60/1,50	z/w 1,60/1,50
Sloot sportpark	2,20	z/w 2,20 /2,10	2,00	2,00	z/w 2,20 /2,10	2,00
Waterloop Weerdenburgselaan	2,20	z/w 2,20 /2,10	z/w 2,20 /2,10	2,00	z/w 2,20 /2,10	2,00

De effecten van de verschillende varianten op de stijghoogten (in de zandlaag onder de kleilaag) zijn beperkt (zoals ook tijdens de infiltratieproef is gemeten). In de deklaag zijn effecten afhankelijk van de aanpassing in het watersysteem. De effecten zijn tot maximaal ongeveer 30 m vanaf de sloot 'merkbaar'. De verandering van de grondwaterstand is op die afstand maximaal 3 cm (bij een peil in de droge sloot van NAP +1,55 m).

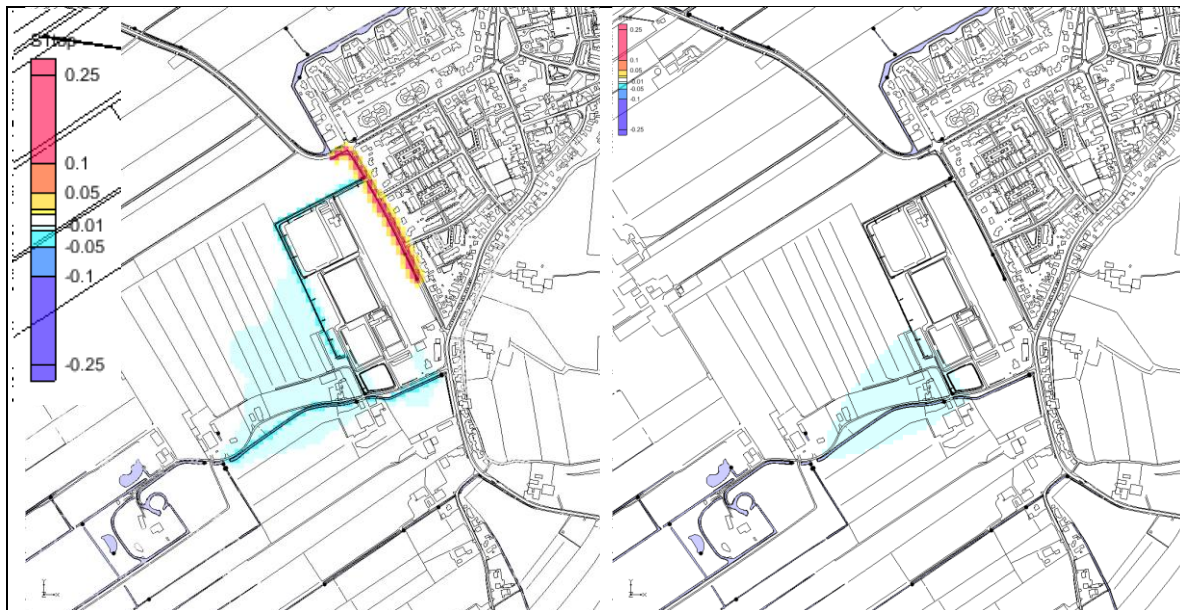
B4.9 Overzicht figuren scenarioberekeningen en modellering

In deze paragraaf zijn de effecten van de verschillende varianten weergegeven.

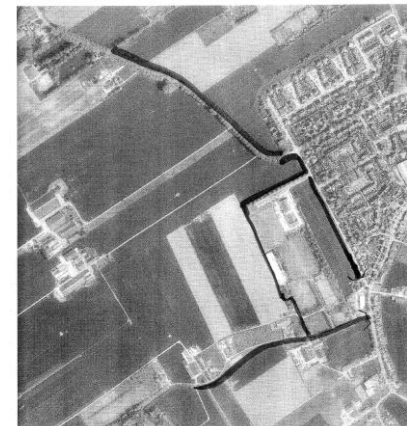


In het basisscenario gelden praktijkpeilen van NAP +2.2 meter voor de westelijke en zuidelijke waterlopen en is de droge sloot drainerend bij grondwaterstanden hoger dan NAP +2,0 m.

De effecten van de oppervlaktewaterscenario's zijn weergegeven door de verschillen van de scenario's te berekenen ten opzichte van de huidige situatie.



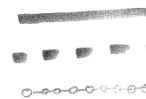
Scenario 1 verschil met huidige situatie (links deklaag, rechts WVP)



zp 2,20 m/ wp 2,10 m

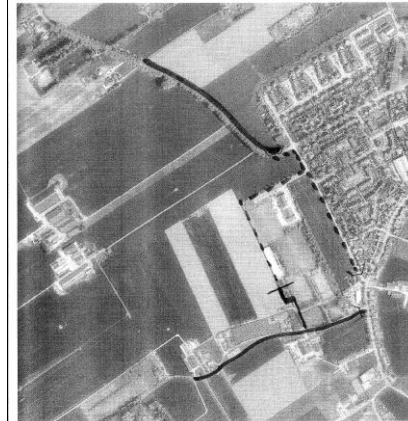
vast peil 2,00 m

zp 1,60 m/ wp 1,50 m





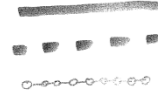
Scenario 2 verschil met huidige
situatie (links deklaag, rechts WVP)



zp 2,20 m/ wp 2,10 m

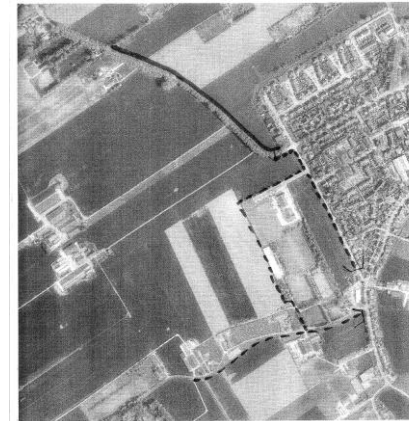
vast peil 2,00 m

zp 1,60 m/ wp 1,50 m





Scenario 3 verschil met huidige
situatie (links deklaag, rechts WVP)



zp 2,20 m/ wp 2,10 m

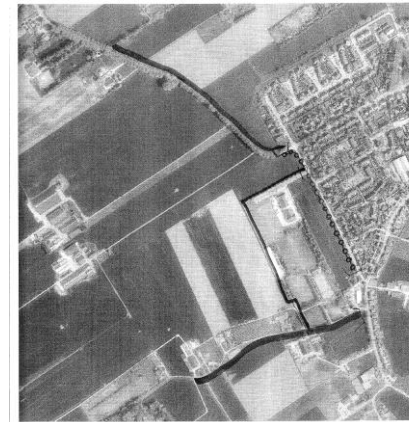
vast peil 2,00 m

zp 1,60 m/ wp 1,50 m





Scenario 4 verschil met huidige
situatie (links deklaag, rechts WVP)



zp 2,20 m/ wp 2,10 m

vast peil 2,00 m

zp 1,60 m/ wp 1,50 m





Scenario 5 verschil met huidige
situatie (links deklaag, rechts WVP)



zp 2,20 m/ wp 2,10 m

vast peil 2,00 m

zp 1,60 m/ wp 1,50 m

