

Grondwateronderzoek Werkhoven

Monitoring en analyse



Definitief

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

Grontmij Nederland B.V.
De Bilt, 6 februari 2014

Verantwoording

Titel : Grondwateronderzoek Werkhoven
Subtitel : Monitoring en analyse
Projectnummer : 303321
Referentienummer : GM-0124327
Revisie :
Datum : 6 februari 2014

Auteur(s) : ir. P.E. Dik , C. Leerlooijer MSc
E-mail adres : pim.dik@grontmij.nl
Gecontroleerd door : dr. M.J.M. Vissers
Paraaf gecontroleerd : *b/a* 
Goedgekeurd door : ing. D.J. Bolder
Paraaf goedgekeurd : 
Contact : Grontmij Nederland B.V.
De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 30 220 74 44
F +31 30 220 02 94
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	4
1.1	AANLEIDING	4
1.2	DOELSTELLING	4
1.3	AANPAK OP HOOFDLIJNEN	4
1.4	WERKZAAMHEDEN	4
1.5	LEESWIJZER	5
2	BASISGEGEVENS	6
2.1	DOOR BEWONERS ERVAREN GRONDWATEROVERLAST	6
2.2	MAAIVELDHOOGTE	6
2.3	BODEMOPBOUW	7
2.4	GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISATIE	9
2.5	NEERSLAG EN VERDAMPING	10
2.6	OPPERVLAKTEWATERHUISHOUDING EN DRAINAGE	10
2.7	RIOLERING	10
2.8	ONTTREKKINGEN	10
2.9	PEILBUIZEN DINOKET	11
2.10	REGIONALE GRONDWATERSTROMING	11
3	MONITORINGSPLAN	13
3.1	ONTWERP GRONDWATERMEETNET	13
3.2	RESULTATEN MEETNET	14
4	ANALYSE	19
4.1	EFFECT AANLEG VAN DE TE VERANDEREN WATERGANG	19
4.1.1	<i>Karakteristieken te veranderen watergang</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Indicatie effect van de te veranderen watergang op de grondwaterstanden</i>	<i>20</i>
4.2	HUIDIGE GRONDWATEROVERLAST	20
4.3	MOGELIJKHEDEN TIJDREEKSANALYSE VOOR HET BEPALEN VAN DE EFFECTEN VAN HET HERSTEL WATERLOOP	21
4.4	VERANTWOORDELIJKHEDEN OPLOSSEN GRONDWATEROVERLAST	22
4.4.1	<i>Algemeen</i>	<i>22</i>
4.4.2	<i>Uitwerking verantwoordelijkheden voor Werkhoven</i>	<i>23</i>
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	24
5.1	CONCLUSIES	24
5.1.1	<i>Huidige grondwaterstanden</i>	<i>24</i>
5.1.2	<i>Verwachte effecten op de grondwaterstanden door het aanpassen van de watergang langs de Achterdijk</i>	<i>24</i>
5.1.3	<i>Monitoren effecten van de te veranderen watergang</i>	<i>24</i>
5.2	AANBEVELINGEN	24
5.2.1	<i>Consequenties huidige grondwateroverlast: vervolgonderzoek</i>	<i>24</i>
5.2.2	<i>Monitoren van de effecten van de te veranderen watergang</i>	<i>25</i>
	LITERATUUR	26
	BIJLAGE 1 BOORPROFIELEN	
	BIJLAGE 2 GRONDWATERSTANDEN	
	BIJLAGE 3 OPPERVLAKTEWATER	
	BIJLAGE 4 ANALYSE GRONDWATERSTANDEN MET TIJDREEKSANALYSEPROGRAMMA	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) is van plan een watergang ten zuiden van Werkhoven aan te passen. De voorgenomen werkzaamheden veroorzaken onrust onder de bewoners in de omgeving. De bewoners klagen namelijk al enkele jaren over hoge grondwaterstanden. Het is niet duidelijk waardoor deze overlast momenteel wordt veroorzaakt, maar de bewoners zijn bang dat de perioden met hoge grondwaterstanden, door de aanpassingen van het watersysteem, zullen toenemen.

HDSR heeft Grontmij gevraagd om ondersteuning bij de hydrologische monitoring van de werkzaamheden en om bij te dragen aan oplossingen voor de bestaande overlast.

1.2 Doelstelling

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

1. het monitoren van de hydrologische effecten van de te veranderen watergang ten zuiden van Werkhoven;
2. het in beeld brengen van de oorza(a)k(en) van de huidige hoge grondwaterstanden in Werkhoven.

1.3 Aanpak op hoofdlijnen

De effecten van de aanleg van de watergang worden gemonitord door de grondwaterstand te meten vóór uitvoering van de werkzaamheden (de referentiesituatie) en daarna. Gelijktijdig brengt Grontmij de oorzaken van de hoge grondwaterstanden in Werkhoven in beeld met een hydrologische systeemanalyse. Deze systeemanalyse omvat een inventarisatie van bestaande gegevens alsmede aanvullende peilbuismetingen. Aan de hand van de verkregen inzichten kan in een vervolgstadium gezocht worden naar oplossingsrichtingen.

De werkzaamheden zijn in overleg met HDSR, Gemeente Bunnik en de dorpsraad uitgevoerd om overeenstemming te bereiken over de probleemanalyse.

1.4 Werkzaamheden

Het onderzoek omvatte de volgende onderdelen (zie tabel 1.1):

- voorbereiding;
- inrichten meetnet;
- uitvoeren monitoring;
- interpretatie en evaluatie.

Tabel 1.1 Projectfasering

<i>Het proces...</i>	<i>...de werkzaamheden...</i>	<i>...en de producten</i>
<i>Fase 1: Voorbereiding</i>		
– Startoverleg	– Aanleveren gegevens	– Notitie monitoringplan
– Overleg met dorpsraad	– Geohydrologische inventarisatie en meetnetontwerp	
<i>Fase 2: Inrichten meetnet</i>		
– Regelen betredingstoestemming	– Plaatsen van peilbuizen en controle bestaande peilbuis	– Notitie met boorbeschrijving
	– Leveren en installeren van 'divers'	– 5 peilbuizen
		– 6 'divers'
<i>Fase 3: Uitvoeren monitoring</i>		
	– Handmatig uitlezen van de grondwaterstanden	– gevalideerde meetreeksen (6x)
<i>Fase 4: Interpretatie en evaluatie</i>		
– Afsluitend overleg	– Tussentijds vaststellen van de nulsituatie	– tussenrapportage: nulsituatie
	– Interpretatie en evaluatie oorzaken hoge grondwaterstanden	– Eindrapportage
	– Rapportage met doorkijk (advies) naar het vervolgtraject	

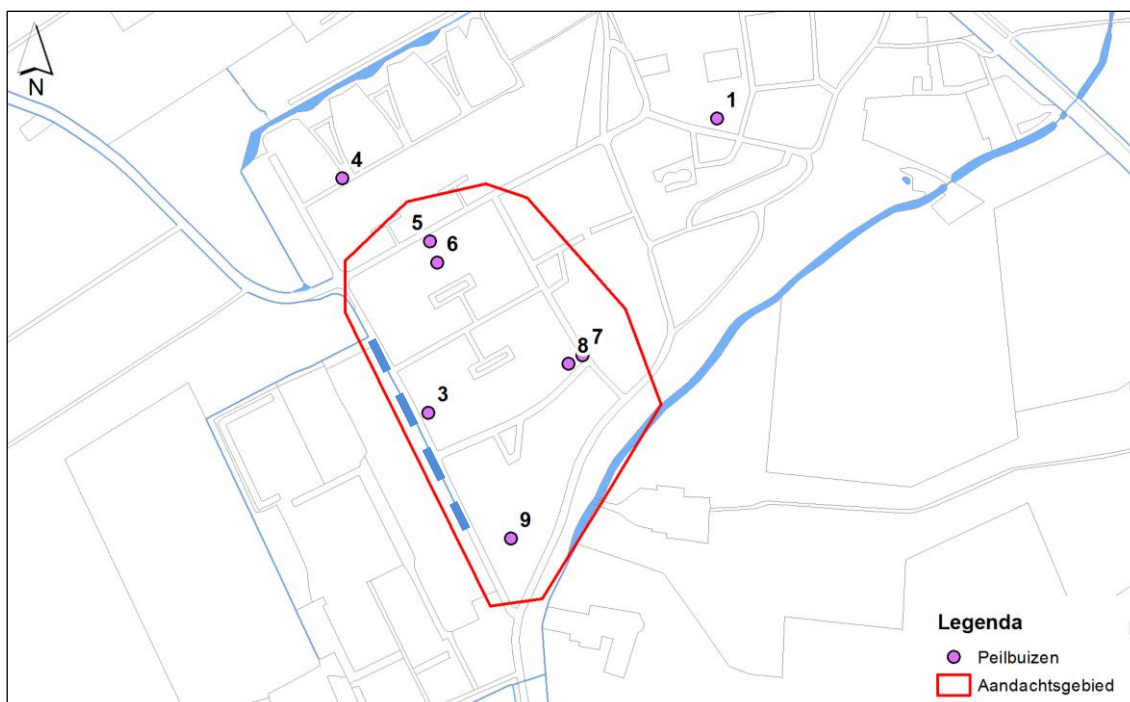
1.5 Leeswijzer

In deze rapportage zijn de resultaten van het project gebundeld. In hoofdstuk 2 zijn de basisgegevens opgenomen, dat betreffen zowel de literatuurgegevens als de resultaten van het uitgevoerde veldwerk (boringen, peilbuizen en monitoringsgegevens van de grondwaterstand). Hoofdstuk 3 gaat in op het monitoringsplan en de verzamelde gegevens. Hoofdstuk 4 beschrijft de interpretatie van de verzamelde gegevens, waarbij specifiek aandacht aan de effecten van de aanleg van de waterloop wordt gegeven. In hoofdstuk 5 zijn de conclusies en aanbevelingen beschreven.

2 Basisgegevens

2.1 Door bewoners ervaren grondwateroverlast

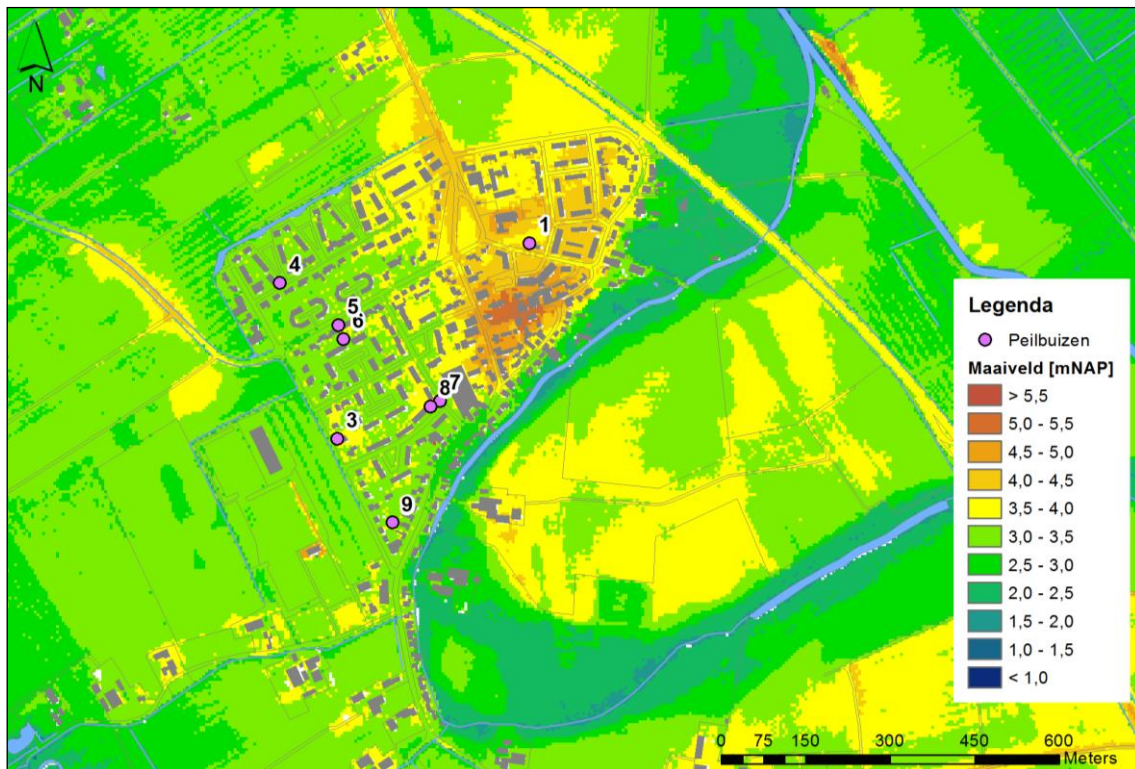
In Figuur 2-1 is het gebied weergegeven, waarbinnen door meerdere inwoners grondwateroverlast wordt ervaren. Dit beeld is tot stand gekomen na een inventarisatie op een bewonersavond (georganiseerd door Dorpsraad, gemeente Bunnik en HDSR) en een vervolgoverleg met de voorzitter van de dorpsraad en enkele inwoners van Bunnik.



Figuur 2-1 Ervaren grondwateroverlast door bewoners (bron: gemeente Bunnik)

2.2 Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte is sterk beïnvloed door de vroegere loop van rivieren. In de onderstaande figuur is duidelijk de meander aan de zuidkant van Werkhoven te zien. Ter plaatse van de meander is een duidelijk verlaagd maaiveld te zien (NAP +2,0 tot +2,5 m). Het oostelijk deel van het bebouwd deel van Werkhoven ligt hoger (NAP +3,9 tot 5,0 m) dan het westelijk deel (NAP 3,0 tot 3,6 m).



Figuur 2-2 Maaiveldhoogte op basis van gegevens van de AHN

2.3 Bodemopbouw

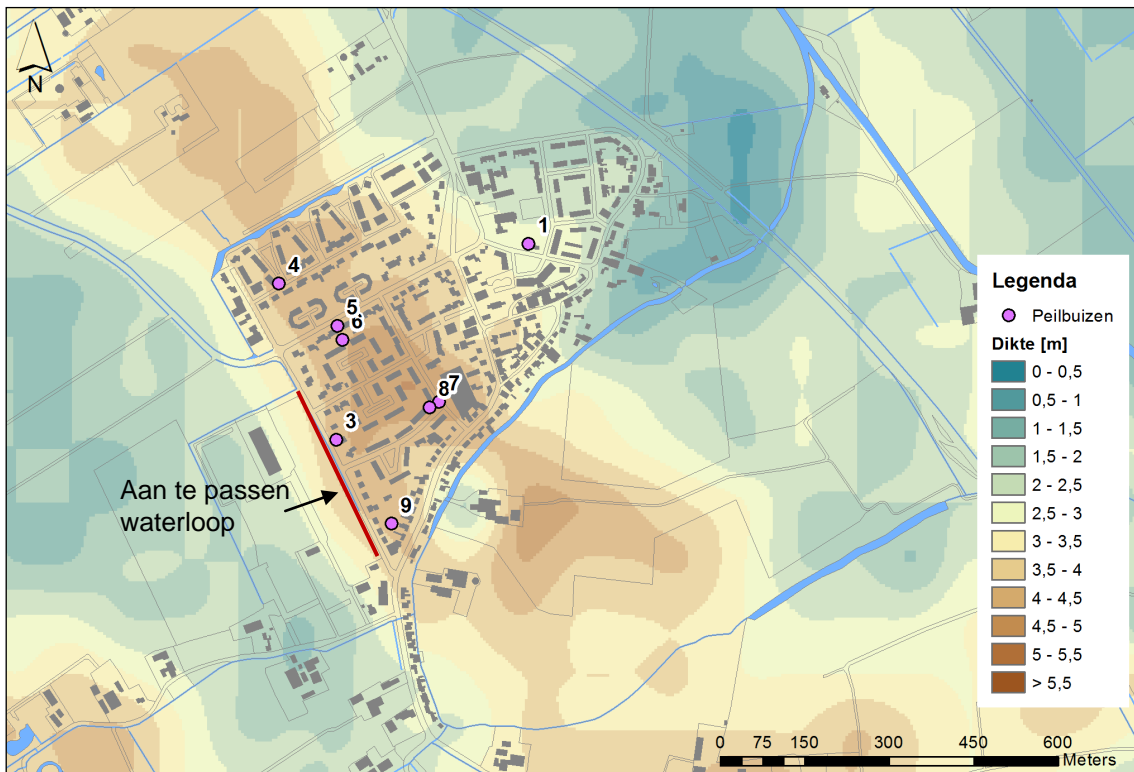
Ondiepe bodemopbouw

De beschrijving van de ondiepe bodemopbouw is gebaseerd op verschillende gegevensbronnen:

- boorprofielen, afkomstig uit zowel de DINO-database als uit gemeentelijke boorgegevens. De profielen van de boringen, die voor dit project zijn uitgevoerd, zijn opgenomen in bijlage 1;
- bestaande kaart met de dikte van de deklaag (Deltares, 2004).

De kaart geeft een globaal beeld van de variatie in de dikte van de deklaag¹. Voor een lokaal beeld geven de boorprofielen gedetailleerde informatie van de dikte van de deklaag. De boorprofielen zijn gebruikt als lokale verfijning en voor toetsing van deze kaart.

¹ In de kaart met de dikte van de deklaag zijn de maaiveldverlagingen ter plaatse van de meanders niet te herkennen. Hiervoor was de boordichtheid niet voldoende.



Figuur 2-3 Dikte van de deklaag (bron: Deltares, 2004)

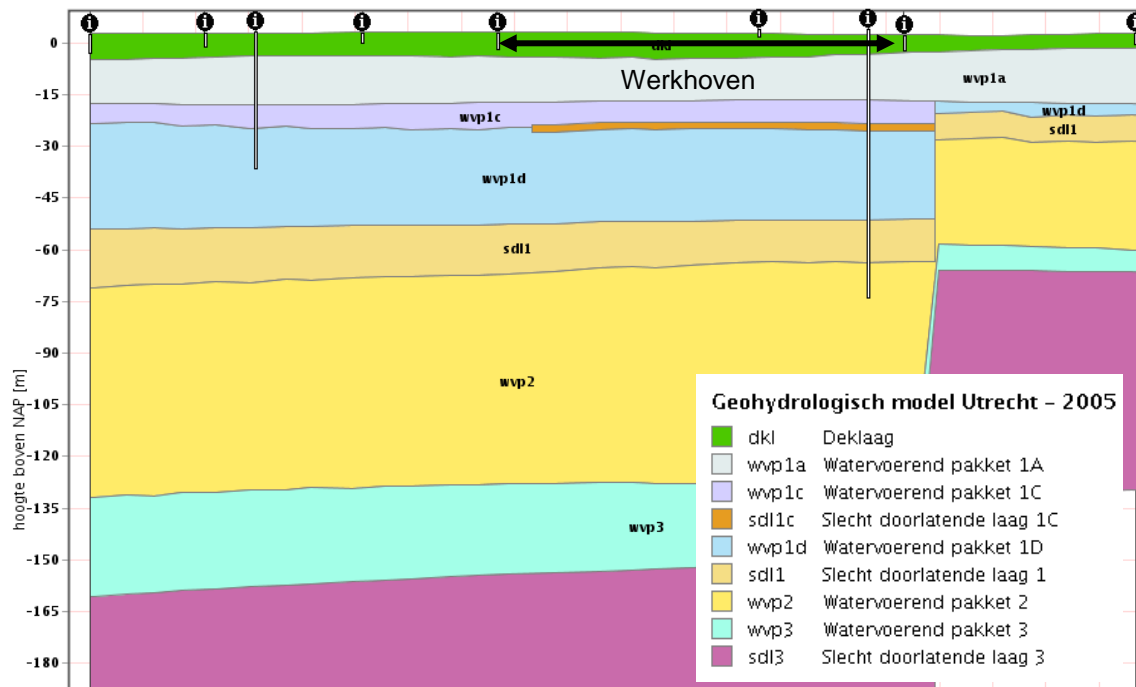
Uit de gegevens volgt dat, ter plaatse van de aan te passen waterloop, de dikte van de deklaag erg onzeker is (Figuur 2-3). Waarschijnlijk is de deklaag (klei en of veen) aanwezig; de dikte is echter niet vastgesteld.

Diepe bodemopbouw

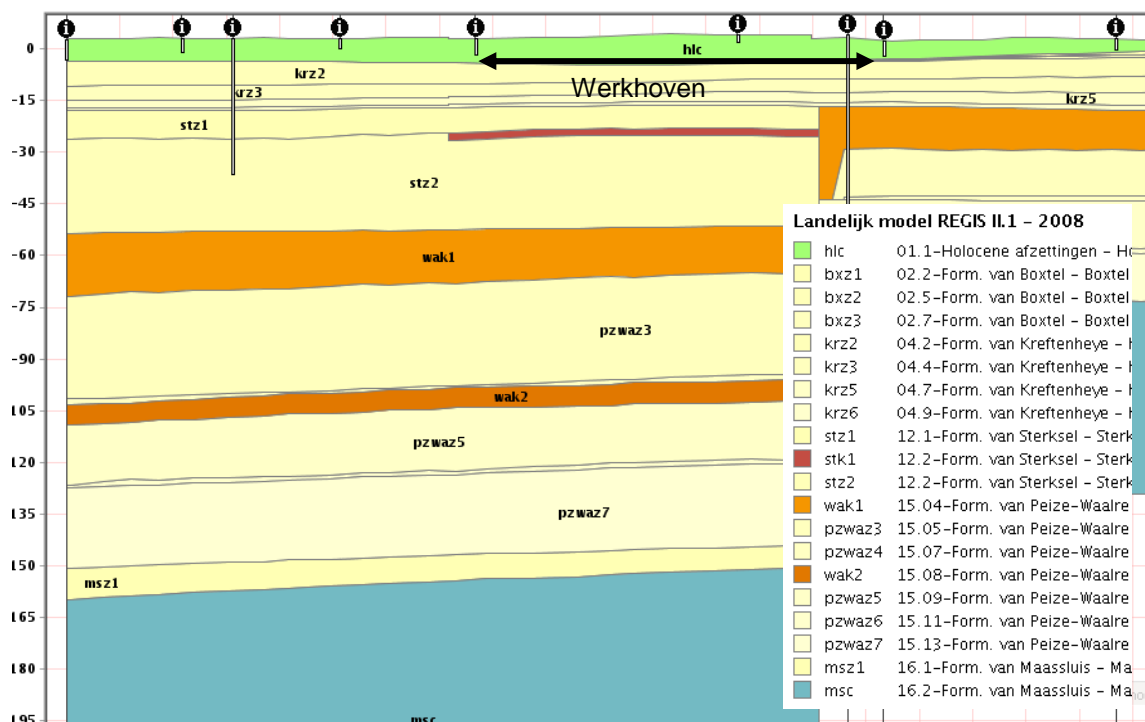
Op basis van de REGIS-gegevens is een beschrijving van de diepere bodemopbouw gegeven. Hieruit blijkt dat onder de deklaag een dik watervoerend pakket aanwezig is. Het watervoerend pakket heeft een dikte van circa 50 m en bestaat uit goed doorlatende zanden met lokaal grindlagen.



Figuur 2-4 Ligging dwarsprofiel



Figuur 2-5 Dwarsdoorsnede Geohydrologisch model Utrecht



Figuur 2-6 Dwarsdoorsnede REGIS II.1

2.4 Geohydrologische schematisatie

Op basis van de bodemopbouw is deze ingedeeld in een aantal goed doorlatende lagen, de watervoerende pakketten en een aantal slechtdoorlatende lagen, de scheidende lagen. In een watervoerend pakket is de grondwaterstroming overwegend horizontaal en in een scheidende laag overwegend verticaal.

De bodem is als volgt geohydrologisch geschematiseerd:

- de deklaag
De deklaag bestaat uit klei met lokaal onder de klei veenlagen. De dikte van deze afzettingen varieert in de omgeving sterk: van 0 m tot bijna 5 m dik;
- het eerste watervoerend pakket
Het watervoerend pakket bestaat uit goed doorlatende afzettingen, veelal zand en lokaal komt veel grind voor. De dikte van dit pakket bedraagt circa 50 m.

2.5 Neerslag en verdamping

Van groot belang voor de stroming van het grond- en oppervlaktewater is de voeding door de neerslag. Hierbij zijn seizoensfluctuaties in de voeding te onderscheiden. Gedurende de winter is de verdamping beperkt en is het neerslagoverschot zo goed als gelijk aan de neerslag zelf. Gedurende de zomer neemt de verdamping sterk toe: zelfs in zo'n mate dat er sprake is van een negatief neerslagoverschot, oftewel verdampingsoverschot. Deze wisselingen in neerslagoverschot hebben natuurlijk direct gevolgen voor de grondwaterstanden en de stroming van het grondwater.

Ter indicatie zijn in Tabel 2.1 de neerslag- en verdampingsgegevens voor verschillende perioden gegeven. Hierbij is de verdamping vastgesteld op 80% van de referentiegewasverdamping (Makkink).

Tabel 2.1 Neerslag en verdamping voor een gemiddeld jaar (de Bilt)

	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Neerslagoverschot (mm)
jaar	803	436	367
zomer	399	357	42
winter	404	79	325

Uit de tabel volgt dat het neerslagoverschot in de winter gemiddeld 325 mm bedraagt (circa 1,8 mm/d) en in de zomer gemiddeld 42 mm (0,2 mm/d).

2.6 Oppervlaktewaterhuishouding en drainage

Hoogheemraadschap De Stichtste Rijnlanden heeft informatie aangeleverd over de oppervlaktewaterpeilen. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 4.

In Werkhoven is drainage aanwezig in de wijk ten noorden van de Nieuwendaal. In dit gebied zijn geen klachten bekend met betrekking tot te hoge grondwaterstanden. Tevens is door bewoners mondeling meegedeeld dat veel huizen langs de Achterdijk drainage hebben (ook in de kruipruimte).

2.7 Riolering

De ouderdom van de riolering varieert van globaal 10 tot 40 jaar. Er zijn geen indicaties dat de riolering lekt dan wel teveel water afvoert (bron: gemeente). Dit betekent dat de riolering geen substantiële drainerende werking op de omgeving zal hebben.

De riolering ligt in alle straten, de diepte varieert van globaal 1,50 tot 2,50 m onder maaiveld (bob). De riolering steekt niet door de deklaag heen en maakt daardoor geen direct contact met het dieper gelegen watervoerend pakket. Geconcludeerd wordt dat het wegcunet geen substantiële drainerende werking op de omgeving zal hebben.

2.8 Onttrekkingen

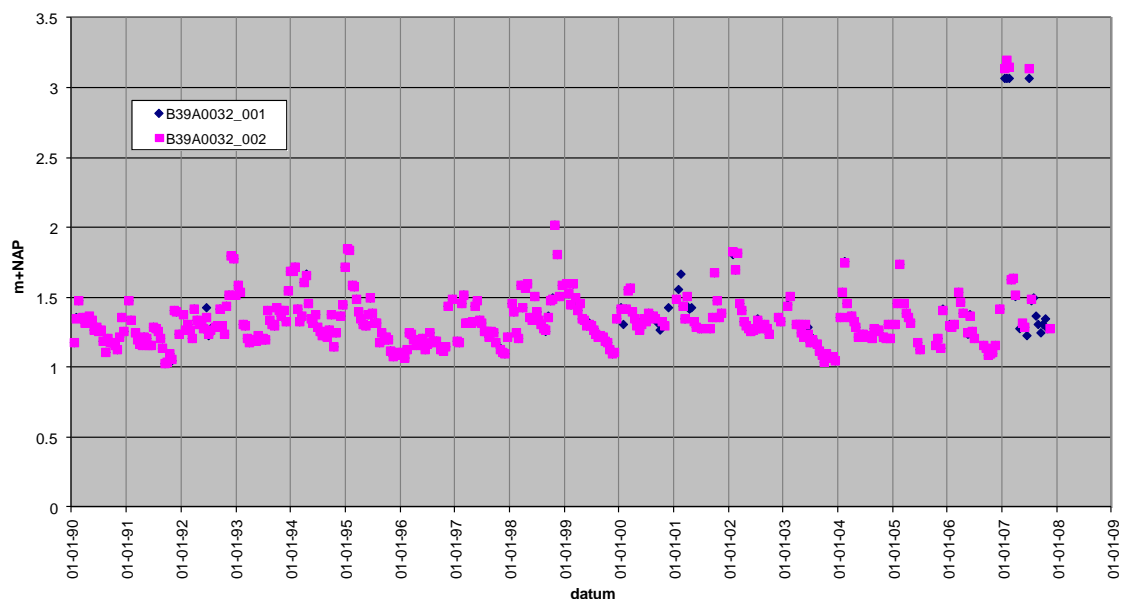
Bij HDSR is een lijst opgevraagd met de recente grondwateronttrekkingen, nabij het aandachtsgebied in de periode van januari 2011 t/m juli 2013. De dichtstbijzijnde onttrekking in deze periode ligt op circa 800 meter van het aandachtsgebied en wordt omschreven als 'bronbemaling Vlastuin'. Het debiet van de onttrekking is 2,5 m³/u. De overige onttrekkingen bevinden zich verder van het aandachtsgebied en worden in deze studie verder niet beschouwd. Gezien het debiet en de afstand zal het effect op de grondwaterstanden te Werkhoven verwaarloosbaar zijn. Wel zijn er oppervlaktewateronttrekkingen, die uiteraard niet van invloed zijn op de grondwaterstanden.

2.9 Peilbuizen Dinoloket

In Werkhoven staat één peilbuis uit de DINO-database met twee filters, die beiden in het eerste watervoerend pakket staan: B39A0032 (www.dinoloket.nl). Deze peilbuis staat in de tuin van boerderij "Klein Sonsbeek", gelegen aan de Herenstraat. De gemeten stijghoogten zijn weergegeven vanaf 1990 (Figuur 2-7). De grondwaterstanden fluctueren over het algemeen tussen NAP +1,0 en +1,5 m met uitschieters tot circa NAP +2,0 m in de winterperioden. De stijghoogten in beiden filters komen met elkaar overeen. Aan het einde van de meetperiode zijn opeens verschillende verhoogde standen tot NAP +3,0 m te zien. Dit zijn foutieve metingen.

Tabel 2.2 Karakteristieken peilbuizen in en rond Werkhoven (www.dinoloket.nl)

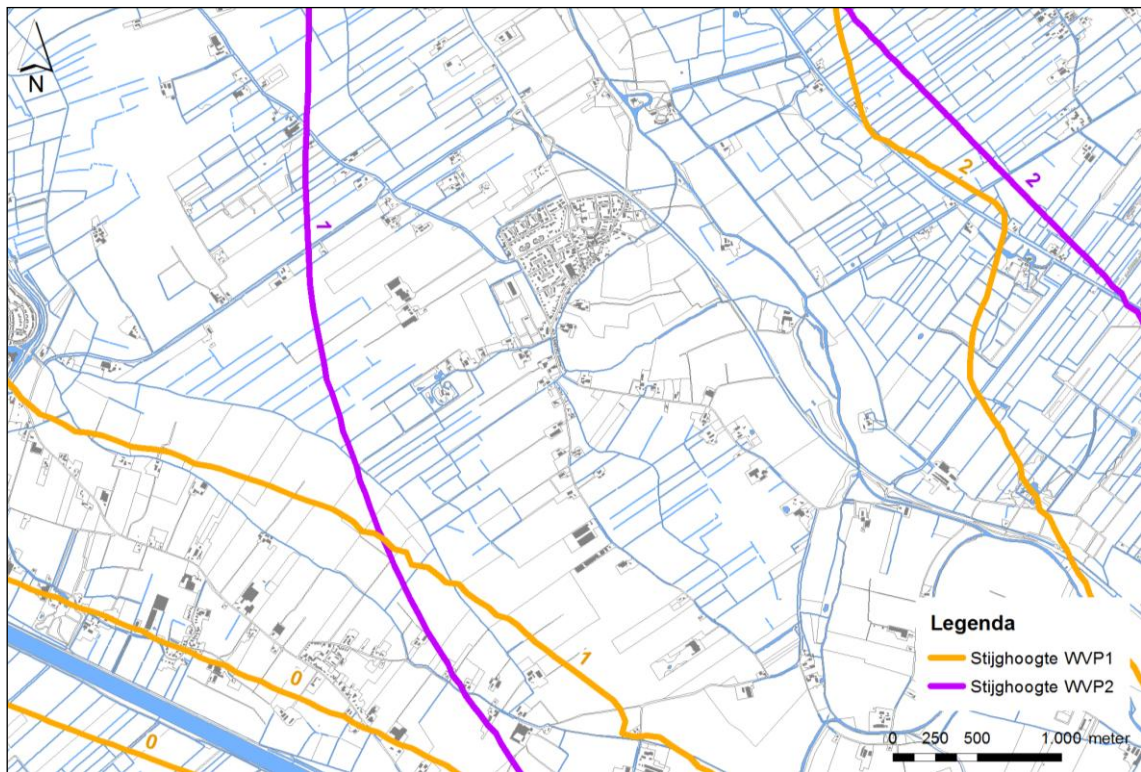
Locatie	Filter	x-coördinaat	y-coördinaat	Afstand tot Werkhoven (m)	Maaiveld (m+NAP)	Bovenkant filter (m+NAP)	Onderkant filter (m+NAP)
B32C0015	1	143140	450230	2390	2,96	-4,50	-49,49
B32C0652	1	143390	450280	2240	2,69	2,46	1,46
B32C0652	2	143390	450280	2240	2,69	0,26	-0,74
B39A0028	1	143086	448370	1790	3,17	-4,37	-5,32
B39A0030	1	146660	449450	1420	2,46	-7,22	-8,20
B39A0032	1	145174	448692	0	4,22	-10,56	-11,50
B39A0032	2	145174	448692	0	4,22	-22,12	-23,06
B39A0216	1	146308	447095	1410	3,58	-2,76	-4,76
B39A0216	2	146308	447095	1410	3,58	-57,76	-59,76
B39A0216	3	146308	447095	1410	3,58	-70,26	-72,26
B39A0350	1	144750	449310	640	3,06	0,56	0,06
B39A0356	1	143180	448130	1720	3,38	0,80	0,30



Figuur 2-7 Stijghoogten in het watervoerend pakket

2.10 Regionale grondwaterstroming

De regionale grondwaterstroming is zuidwestelijk gericht (zie Figuur 2-8). Dat is in de richting van het Amsterdam-Rijnkanaal, die sterk drainerend werkt en haar invloed tot ver in de omgeving laat gelden. Lokaal kan de stromingsrichting daar van afwijken.



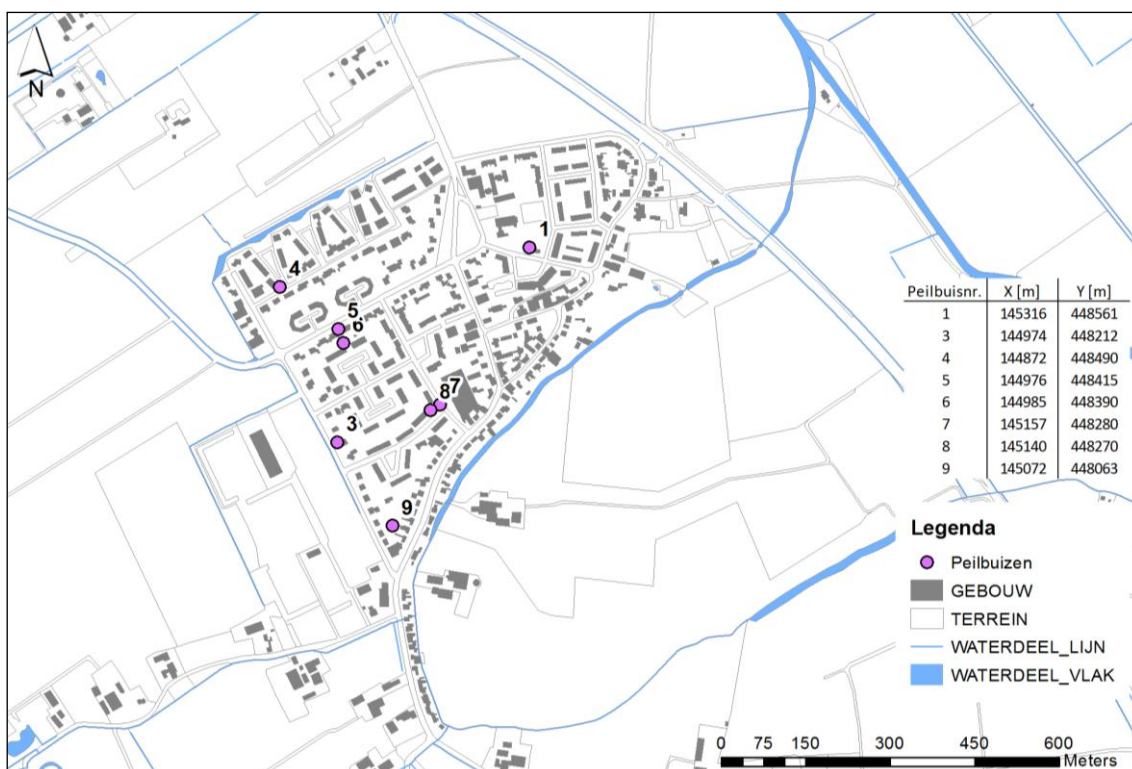
Figuur 2-8 Isohypsens van de stijghoogten in het 1^e en 2^e watervoerende pakket.

3 Monitoringsplan

3.1 Ontwerp grondwatermeetnet

Door het Hoogheemraadschap en de gemeente is in overleg met de dorpsraad een voorstel gedaan voor de locaties van een aantal peilbuizen. Er is besloten om negen peilbuizen op te nemen in het monitoringplan (zie Figuur 3-1).

Uitgangspunt voor de monitoring is dat om, in de wijk waar grondwateroverlast optreedt, zowel een meting uit te voeren in het wegcunet als in de kleigrond nabij de woning. De meting in de kleigrond geeft inzicht in de mate waarin water in kruipruimtes wordt veroorzaakt door grondwater. Door de beide metingen te combineren ontstaat inzicht in de oorzaak van de overlast. Immers: is de grondwaterstand in het wegcunet veel lager dan de woningen, dan kampen de woningen met een lokaal probleem als gevolg van de wijze van bouwrijp maken. Maar is de grondwaterstand in het wegcunet ook hoog, dan is er sprake van te hoge grondwaterstanden in de hele wijk. In het eerste geval is de bewoner zelf primair verantwoordelijk voor maatregelen, maar anders kan de gemeente een afweging maken of het doelmatig is om maatregelen te nemen in publiek terrein.



Figuur 3-1 Grondwatermeetnet met de locaties van de 8 peilbuizen.

Omschrijving van de peilbuislocaties

1. Deze peilbuis is geplaatst in overleg met bewoners als referentiemeting in het deel van Werkhoven waar geen grondwateroverlast is.
2. Vervallen in verband met knik in het filter van de bestaande peilbuis (B39A0032).
3. In wegcunet geplaatst op gelijke afstand van de watergang als de eerste huizenrij.
4. Peilbuis in laaggelegen wijk met drainage.
5. Geplaatst naast de weg in wegcunet.
6. Geplaatst met het filter in de kleigrond nabij een woning.
7. Geplaatst naast de weg in wegcunet.
8. Geplaatst met het filter in de kleigrond nabij een woning.
9. Bestaand filter in het eerste watervoerende pakket.

3.2 Resultaten meetnet

Handmetingen

In Tabel 3.1 zijn de gegevens van de peilfilters weergegeven, waaronder de maaiveldhoogte en de filterstelling. De met de hand gemeten grondwaterstanden zijn opgenomen in Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Karakteristieken geplaatste peilbuizen

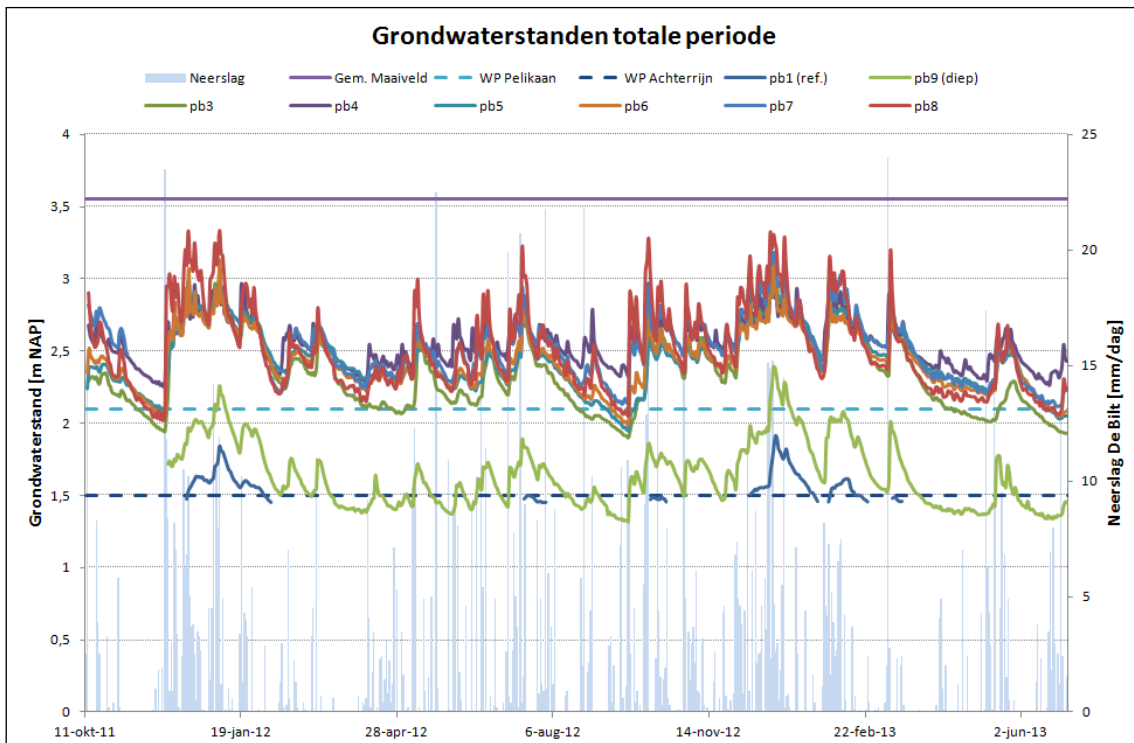
Peilbuis	X	Y	Maaiveld (m+NAP)	Bovenkant (m+NAP)	Filterstelling (m-mv)	Laag
1	145316	448561	4,20	4,65	2,10-3,10	Freatisch
3	144974	448212	3,57	3,97	1,25-2,25	Freatisch
4	144872	448490	3,10	3,57	0,50-2,00	Freatisch
5	144976	448415	3,28	3,78	1,25-2,25	Freatisch
6	144985	448390	3,32	3,82	1,25-2,25	Freatisch
7	145157	448280	3,21	3,18	0,50-2,50	Freatisch
8	145140	448270	3,48	3,98	1,25-2,25	Freatisch
9	145072	448063	onbekend	4,13	3,00-4,00	Watervoe- rend pakket

Tabel 3.2 Handmetingen grondwaterstanden geplaatste peilbuizen

Peilbuis	Maaiveld (m+NAP)	Filterstelling (m-mv)	Grondwaterstand stand (m+NAP)				
			12-10-11	08-11-11	06-02-12	10-09-12	02-07-13
1	4,20	2,10-3,10	1,41	droog	droog	3,09	1,29
3	3,57	1,25-2,25	2,15	2,14	2,44	2,18	1,94
4	3,10	0,50-2,00	2,80	2,50	2,47	2,43	2,45
5	3,28	1,25-2,25	2,21	2,26	2,48	2,09	2,09
6	3,32	1,25-2,25	2,32	2,28	2,43	2,13	2,08
7	3,21	0,50-2,50	2,26	2,34	2,31	2,28	2,24
8	3,48	1,25-2,25	2,38	2,31	2,36	2,22	2,21
9	onbekend	3,00-4,00			1,60	1,38	1,42

Meetperiode

De meetperiode die gebruikt is voor de analyse loopt van 11 oktober 2011 tot en met 2 juli 2013. In bijlage 2 is per peilbuis een figuur opgenomen met de grondwaterstand inclusief het maaiveld.



Figuur 3-2 Grafiek met de grondwaterstanden van de peilbuizen, de neerslag van het KNMI-meetstation De Bilt en indicatief het gemiddelde maaveld in het aandachtsgebied en de gemiddelde waterpeilen bij meetpunten de Pelikaan en de Achterrijn voor de meetperiode.



Figuur 3-3 Locaties oppervlaktewatermetingen de Pelikaan en Achterrijn

Door het regelmatig droogvallen van de diver in peilbuis 1 en een beschadiging aan de peilbuis, zijn er voor een groot deel van de tijd geen bruikbare metingen. In de droge periodes is de grondwaterstand in peilbuis 4 het hoogst, ten opzichte van de overige peilbuizen. In peilbuis 3 worden de laagste grondwaterstanden gemeten (van peilbuis 3-8) in de droge periodes. In deze periode kan de grondwaterstand onder het oppervlaktewaterpeil dalen. De overige peilbuizen zitten qua grondwaterstanden gedurende de gehele periode daarboven. Peilbuis 8 reageert het sterkst op neerslag: het heeft de grootste dynamiek (verschil tussen GHG en GLG¹).

¹ GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand en GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. Dit zijn de grondwaterstanden die gemiddeld circa 6 weken per jaar worden overschreden dan wel onderschreden.

Tabel 3.3 Gemiddeld Hoogste en Laagste grondwaterstanden in de peilbuizen¹

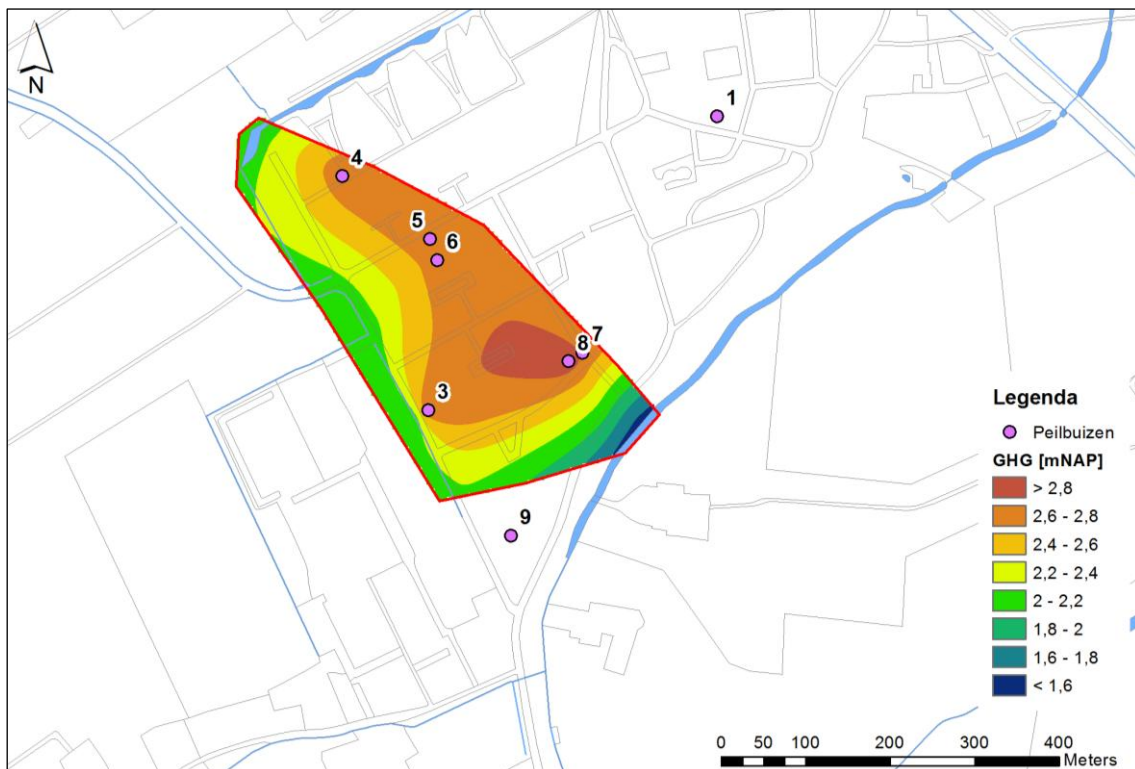
Peilbuis	Filterdiepte (cm-mv)	GHG (mNAP)	GG (mNAP)	GLG (mNAP)	Ontwatering t.o.v. GHG (m)
1	210-310	1,80	Nb ¹	Nb	2,46
3	125-225	2,76	2,33	2,04	0,81
4	50-200	2,77	2,55	2,36	0,33
5	125-225	2,76	2,42	2,16	0,52
6	125-225	2,71	2,43	2,19	0,61
7	50-250	2,80	2,52	2,25	0,41
8	125-225	2,96	2,46	2,18	0,52

¹⁾ Niet bekend

Door droogval is voor peilbuis 1 alleen een GHG bepaald. De peilfilters 3 tot en met 7 hebben een vergelijkbare GHG, namelijk rond NAP +2,75 m. De GHG in peilfilter 8 is circa 20 cm hoger dan in de peilbuizen 3 t/m 7.

GHG

Met behulp van ArcGIS zijn de waarden voor de GHG uit Tabel 3.3 en de oppervlaktewaterpeilen (Pelikaan en Achterrijn) geïnterpoleerd voor het aandachtsgebied.



Figuur 3-4 GHG in m+NAP (deze is afgeleid van de gemeten grondwaterstanden en het omliggende oppervlaktewaterpeil)

De figuur toont dat de hoogste GHG t.o.v. NAP gemeten wordt rond de peilbuizen 7 en 8. De GHG van de peilbuizen 3 – 6 ligt circa 10 tot 20 cm lager.

¹ De GHG en GLG zijn bepaald door middel van respectievelijk 90- en 10-percentiel te nemen per reeks grondwaterstanden, voor de peilbuizen 3 en 5 t/m 8.

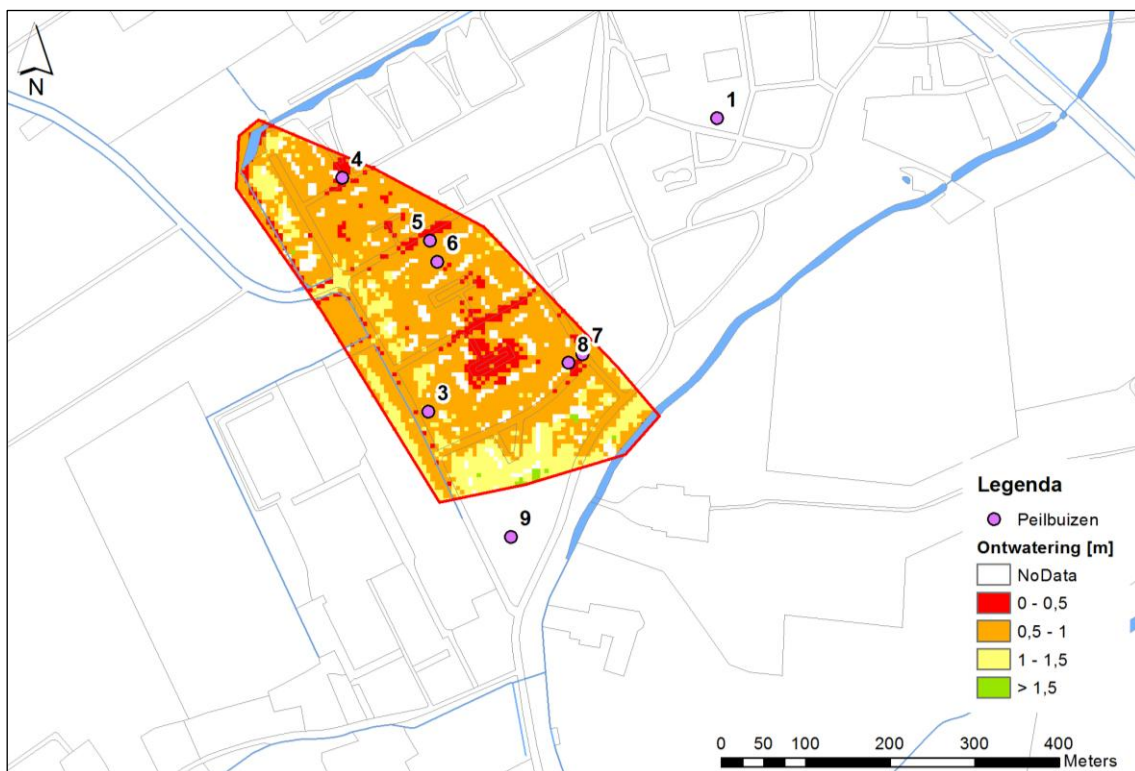
Ontwatering

Ontwateringnormen hangen in beginsel af van de functie van het gebied. Er zijn echter in Nederland geen vaste normen. Enige gebruikelijke normen zijn weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 In de praktijk aangehouden ontwateringdiepten

Bestemming	Ontwatering (m beneden maaiveld)
bouwerreinen	1,00
woonwijken	0,70-1,00
kabels en leidingen	0,60-1,00
primaire wijkwegen	1,00
secundaire wijkwegen	0,50
industrie- en centrumgebieden	0,70-1,00
groenvoorzieningen	0,50

Met behulp van ArcGIS is de ontwateringdiepte bepaald aan de hand van de GHG (zie Figuur 3-4) en de AHN (maaiveld). De berekening van de ontwateringdiepte is als volgt; AHN minus GHG.



Figuur 3-5 De ontwateringdiepte t.o.v. maaiveld (maaiveld-GHG)

Voorals het gebied tussen peilbuizen 3, 6 en 8 heeft grondwaterstanden dicht aan maaiveld. Daarnaast zijn ook de wegen zichtbaar als gebieden waar de ontwateringsdiepte beperkt is.

De ontwatering op 23 december 2012 gebaseerd op de metingen in de peilbuis ten opzichte van het ingemeten maaiveld (zie Tabel 3.5).

Tabel 3.5 ontwateringdiepte ter plaatse van de peilbuizen op 23 december 2012.

Peilbuis	Maaiveld [m NAP]	Grondwaterstand [m NAP]	ontwateringdiepte [m]
1	4,20	1,68	2,52
3	3,57	3,08	0,49
4	3,10	3,01	0,09
5	3,28	3,07	0,21
6	3,32	3,19	0,13
7	3,21	3,21	0,00
8	3,48	3,32	0,16

Volgens bovenstaande tabel is de ontwatering rond bijna alle peilbuizen zeer beperkt (<0,5 m). Op sommige locaties zijn er waarschijnlijk plassen water zichtbaar geweest aan maaiveld.

4 Analyse

4.1 Effect aanleg van de te veranderen watergang

4.1.1 Karakteristieken te veranderen watergang

In Figuur 4-1 is met een dikke blauwe lijn de locatie aangegeven waar de te veranderen watergang voorzien is.

De breedte op waterlijn bedraagt ca. 4,25 m en de bodemhoogte ca. NAP +1,20 m. Aangezien de watergang tevens dient als compensatie van de toename aan verhard oppervlak binnen het aangrenzende nieuwbouwplan (Landje van Kemp) kan dit nog consequenties hebben voor de uiteindelijke breedte.

De sloot is gelegen in een gebied waarvoor in het peilbesluit een zomerpeil van NAP +2,30 m en een winterpeil van +2,10 m is vastgesteld (peilvak PG0074). In de praktijk wordt een peil van NAP +2,20 m/ NAP +2,10 m gehanteerd.

Mochten freatische grondwaterstanden in Werkhoven significant negatief beïnvloed worden, dan kan overwogen worden een tussenpeil in te stellen. Het gaat dan om een peil tussen het praktijkpeil van NAP +2,20/2,10 m bovenstrooms in peilvak PG0074 en NAP +1,60/1,50 m benedenstrooms richting Achterrijn (peilvak KRA035), bijvoorbeeld NAP +2,05 m.



Figuur 4-1 Voorgenomen ingreep (bron: Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden)

4.1.2 *Indicatie effect van de te veranderen watergang op de grondwaterstanden*

Twee effecten dienen onderscheiden te worden: ten eerste het directe effect van een watergang op de freatische grondwaterstanden in de directe omgeving en ten tweede het effect op de stijghoogten in het watervoerend pakket en van daaruit beïnvloeding van de freatische grondwaterstanden in een grotere omgeving.

Direct effect op freatische grondwaterstanden

Een waterpeil van circa NAP +2,20 m à NAP +2,10 m in de te veranderen watergang ligt lager dan de freatische grondwaterstanden tijdens de natte perioden (peilbuis 3). Dit is duidelijk te zien aan Figuur 3-2. In dat geval zal de watergang een verlagend effect op de grondwaterstanden hebben. Natuurlijk is het de vraag hoever de verlagende werking van de te veranderen waterloop zich zal uitstrekken. Het invloedsgebied van de verlagende werking zal via de deklaag beperkt zijn (ordegrootte 5 tot 15 m op basis van expertkennis en drainageberekeningen). De boringen tonen aan dat tot een diepte van circa 5 m –mv klei in de bodem wordt aangetroffen. Klei heeft een lage doorlatendheid (vaak < 0,01 m/d). De dikte en de lage doorlatendheid van de klei maken dat het effect van buisdrainage de genoemde beperkte invloedsafstand heeft.

Effect op de stijghoogten in het watervoerend pakket

Het peil in de te veranderen watergang is hoger dan de stijghoogte in het watervoerend pakket, waardoor oppervlaktewater naar het watervoerend pakket zal wegzijgen. De wegzijging uit de sloot naar het watervoerend pakket wordt daarbij sterk bepaald door de aanwezigheid van klei onder de slootbodem. Op basis van de huidige gegevens over de bodemopbouw wordt geconcludeerd dat het niet waarschijnlijk is dat de watergang insnijdt in het watervoerend pakket. Verwacht wordt dat daardoor de verhoging van de stijghoogte in dat pakket marginaal zal zijn. Daarmee zal de te veranderen watergang een beperkt effect hebben op de freatische grondwaterstanden in de omgeving.

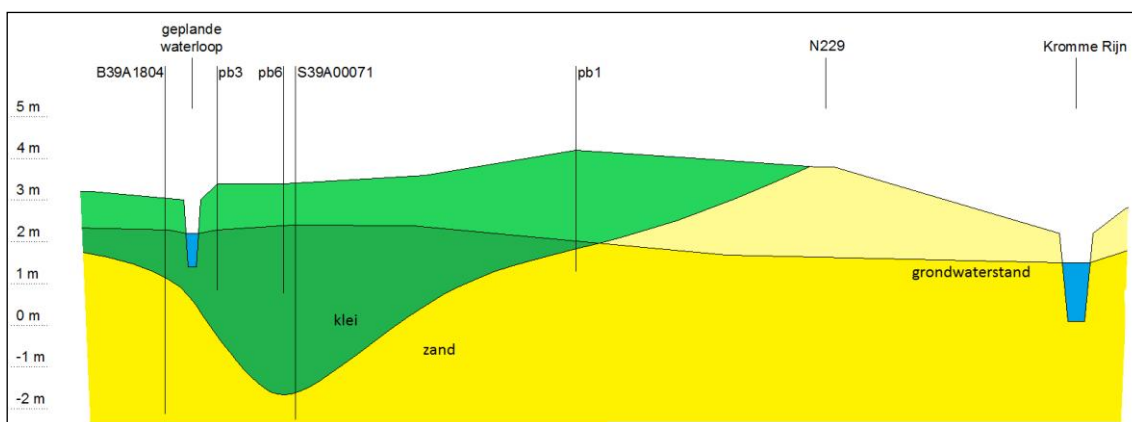
4.2 **Huidige grondwateroverlast**

Grondwateroverlast

In Figuur 3-5 is de ontwateringdiepte voor het interessegebied weergegeven. Hieruit blijkt dat deze vaak niet voldoet aan de in de praktijk aangehouden ontwateringdiepte voor de landgebruikfuncties bebouwing en wegen.

Bodemopbouw en dikte deklaag

In het algemeen kan gesteld worden dat gebieden waar de bodem aan maaiveld uit zand bestaat, beter het grondwater kunnen afvoeren dan waar klei aan maaiveld ligt. Dit komt door de hogere doorlatendheid van zand ten opzichte van klei. Aangezien de deklaag in het aandachtsgebied bestaat uit klei, kunnen er problemen ontstaan om het grondwater snel weg te krijgen.



Figuur 4-2 Dwarsdoorsnede van de bodem onder Werkhoven inclusief de gemiddelde grondwaterstand. De hoogte is in meters ten opzichte van NAP. Er is bebouwing aanwezig van de geplande waterloop tot aan de provinciale weg de N229.

Drainage

Een oplossing die door veel gemeenten of particulieren toegepast wordt, is drainage. De drainage voert het overtollige grondwater af naar het omliggende oppervlaktewater. Echter, alleen in de wijk bij Nieuwendaal is drainage aanwezig. Over het functioneren hiervan bestaan twijfels. De riolering in het gebied is volgens de gemeente in goede staat. Er is geen lekkage en ook de riolering zal dus niet drainerend werken. Uit de grondwaterstanden van peilbuis 7 en 8 lijkt de peilbuis in het wegcunet net iets lagere grondwaterstanden te hebben dan die bij de huizen. De verschillen zijn echter beperkt en bovendien zijn in beide peilbuizen de grondwaterstanden erg dicht aan maaiveld. Hieruit wordt geconcludeerd dat het wegcunet niet drainerend werkt.

Een belangrijke oorzaak van de hoge grondwaterstanden is gelegen in de dikke slechtdoorlatende klei. In een dwarsdoorsnede is de situatie weergegeven. Deze dwarsdoorsnede in Figuur 4-2 is opgesteld aan de hand van de bodemgegevens (boringen/sonderingen) uit de DINO-database en de voor dit project uitgevoerde boringen. De weergegeven grondwaterstanden zijn ontleend aan de gegevens uit hoofdstuk 4. Op de dwarsdoorsnede wordt zichtbaar dat in het westelijk deel van Werkhoven de deklaag dik ontwikkeld is. Het gebied waar de deklaag het dikst is, bevindt zich onder het aandachtsgebied, met name rond peilbuis 6.

Wegzijing grondwater en weerstand deklaag

De wegzijing van het grondwater naar het watervoerend pakket is bepaald in de periode 6 november 2011 – 29 november 2011 aan de hand van de daling van de grondwaterstand. De daling is gecorrigeerd voor verdamping. De infiltratie is gemiddeld 1,5 mm/dag. Op basis hiervan is ook de weerstand van de deklaag ingeschat. Deze bedraagt circa 500 dagen. Dit is redelijk hoog en verklaart de hoge grondwaterstanden dicht aan maaiveld gedurende winterperiodes.

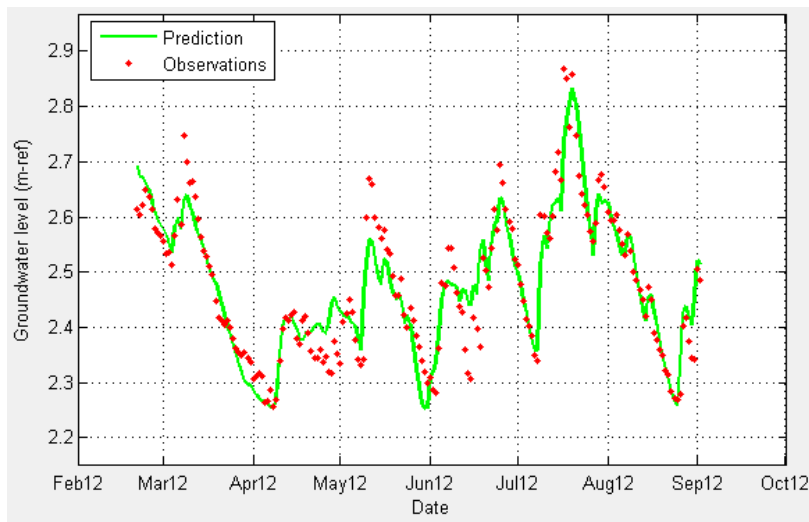
Relatie grondwaterstand met neerslag en verdamping

Het oppervlaktewaterpeil in het gebied is lager dan de grondwaterstanden tijdens natte periodes. Hierdoor zal het oppervlaktewater drainerend werken. In het gebied is echter slechts in beperkte mate oppervlaktewater aanwezig. De afstand tot het oppervlaktewater is daardoor voor grote delen van het gebied met hoge grondwaterstanden groot. Tevens zijn de bovenste lagen van de bodem (tot circa 6 m) slecht doorlatend, waardoor de ontwaterende werking van het oppervlaktewater voor grote delen van Werkhoven beperkt zal zijn. Het ontwaterende effect van het oppervlaktewater op de grondwaterstanden is daardoor voor de huidige situatie beperkt.

4.3 Mogelijkheden tijdreeksanalyse voor het bepalen van de effecten van het herstel waterloop

Met behulp van tijdreeksanalyse is per peilfilter de bijdrage van neerslag en verdamping bepaald. In bijlage 4 is de analyse van de meetgegevens met behulp van Menyanthes weergegeven. Menyanthes is programmatuur voor de analyse van reeksen van grondwaterstanden. Het legt een verband tussen onafhankelijke parameters, zoals neerslag en verdamping en grondwaterstanden. Het belangrijkste voordeel van deze methode is dat in de regel met een veel minder lange meetperiode kan worden volstaan om de langjarige Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden (GHG) in de referentiesituatie vast te stellen.

De tijdreeksanalyse van de grondwaterstanden toont dat de grondwaterstanden goed op basis van neerslag en verdamping worden beschreven. In de onderstaande figuur is als voorbeeld de relatie tussen meting en model weergegeven.



Figuur 4-3 Voorbeeld simulatie (groen) en metingen (rood) voor peilfilter 7)

Verwacht wordt dat met tijdreeksanalyse het effect van de ingreep met een geschat onderscheidingsvermogen van circa 5 cm kan worden bepaald.

4.4 Verantwoordelijkheden oplossen grondwateroverlast

4.4.1 Algemeen

In Nederland zijn de verantwoordelijkheden voor het grondwater over verschillende partijen verdeeld. Woningeigenaar, gemeente, waterschap en provincie, elke partij heeft zijn eigen rol. Een eigenaar van een gebouw moet bijvoorbeeld zelf vochtproblemen oplossen die ontstaan doordat het gebouw aan de onderkant niet waterdicht is. Een waterschap zorgt voor de juiste hoogte van het oppervlaktewater (zoals sloten en meren). En daarmee indirect voor de grondwaterstanden. De gemeente is voor particulieren het eerste aanspreekpunt als het gaat om (grond)waterproblemen. Ook heeft de gemeente als taak om wegen en openbaar groen voldoende te ontwateren.

In de Waterwet zijn de verantwoordelijkheden opgenomen van de gemeente en de perceelseigenaren bij de aanpak van watervraagstukken in bebouwd gebied.

Gemeente

De gemeente heeft een zorgplicht voor grondwater. Artikel 3.6 van de Waterwet bevat de gemeentelijke zorgplicht voor het in het openbaar gemeentelijke gebied treffen van maatregelen om structurele nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken. Voorwaarde hierbij is dat de te treffen maatregelen doelmatig zijn en niet tot de zorg van het waterschap of de provincie behoren.

Wat er precies wordt verstaan onder structureel nadelige gevolgen voor de aan de grond gegeven bestemming verschilt van gemeente tot gemeente. Voor een gemeente in een polder onder zeeniveau zijn de maatstaven om in te grijpen anders dan voor een gemeente op een hoge en droge zandgrond.

De gemeente hoeft dus ook niet in haar beleid als uitgangspunt een grondwatersituatie te hanteren, waarbij kelders en kruipruimten altijd gevrijwaard blijven van wateroverlast. Het gaat alleen om het voorkomen van structurele overlast.

De gemeente is regisseur ten aanzien van grondwateraspecten en dient te voorzien in een (digitaal) grondwaterloket waar burgers hun klachten kunnen melden. De gemeente is dus aanspreekbaar, maar niet per definitie aansprakelijk voor grondwaterproblemen. De aansprakelijkheid kan ook liggen bij andere partijen (particulieren, waterschap, provincie).

Perceelseigenaren

Perceelseigenaren zijn verantwoordelijk voor de staat van eigen woning of perceel. De woning dient te voldoen aan de Woningwet en de daarop gebaseerde regelgeving als het Bouwbesluit en de gemeentelijke bouwverordening. Deze bouwregelgeving verplicht niet tot het waterdicht maken van ruimtes beneden de begane grond (kelder of kruipruimte), tenzij het verblijfsruimten zijn (souterrain). De woonvloer zelf dient wel waterdicht te zijn. Eigenaren moeten, indien nodig, zelf waterhuishoudkundige en/of bouwkundige maatregelen treffen en zorgen dat de woning (lees verblijfsruimte) en tuin voldoen aan hun wensen, bijvoorbeeld door de aanleg van drainage. Daarbij geldt:

- de perceelseigenaar moet zich houden aan de algemene regels die zijn gesteld aan het lozen van grond- en drainagewater;
- grondwatertechnische maatregelen kunnen negatieve gevolgen hebben voor de omgeving. Daarom is het belangrijk dat particulieren deze maatregelen in overleg met de gemeente nemen.

Het waterschap

Het waterschap zorgt voor waterveiligheid, afvalwaterverwerking en regelt de oppervlaktewaterpeilen van de watergangen, die de grondwaterstanden kunnen beïnvloeden. Daarnaast is het waterschap verantwoordelijk voor vergunningverlening voor en registratie van de meeste grondwateronttrekkingen.

Provincie

De provincie is bevoegd gezag voor vergunningen voor het onttrekken van grondwater voor bodemenergiesystemen, openbare drinkwatervoorzieningen en industriële onttrekkingen van meer dan 150.000 m³/jaar.

4.4.2 Uitwerking verantwoordelijkheden voor Werkhoven

De grondwateroverlast in Werkhoven wordt op zowel openbaar als particulier terrein ervaren. De gemeente is verantwoordelijk voor het oplossen van structurele grondwateroverlast op openbaar terrein, mits dit op doelmatige wijze mogelijk is. Eventuele door de gemeente te nemen maatregelen hebben ook verlagingen van grondwaterstanden op particulier terrein tot gevolg. De mate waarin de grondwaterstanden door gemeentelijke maatregelen op particulier terrein zullen dalen is vooralsnog onbekend (het maakt geen onderdeel uit van deze studie om dat uit te zoeken), en kan in een aanvullend onderzoek bepaald worden.

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusies

5.1.1 *Huidige grondwaterstanden*

Tijdens natte perioden komen in het gebied op zowel particulier als openbaar terrein structureel hoge grondwaterstanden voor. De oorzaak ligt in de kleiige opbouw van de bodem in het probleemgebied en de afwezigheid van of grote afstand tot drainagemiddelen, zoals oppervlaktewater en buisdrainage, om de grondwaterstand te kunnen beheersen.

5.1.2 *Verwachte effecten op de grondwaterstanden door het aanpassen van de watergang langs de Achterdijk*

De verandering van de watergang langs de Achterdijk hebben naar verwachting minimale effecten op de grondwaterstanden in het bestaande bebouwde deel van Werkhoven.

5.1.3 *Monitoren effecten van de te veranderen watergang*

Op basis van de analyse van de grondwaterstanden (m.b.v. tijdreeksanalyse) wordt verwacht dat het mogelijk is met een onderscheidingsvermogen van circa 5 cm de effecten van het herstel van de waterloop te bepalen (op basis van een meetreeks met een lengte van tenminste twee jaar). De monitoring van de grondwaterstanden dient daarom tot tenminste twee jaar na het veranderen van de watergang doorgezet te worden.

5.2 Aanbevelingen

De aanbevelingen spitsen zich toe op de beide doelstelling van dit onderzoek, namelijk het in beeld brengen van de huidige grondwateroverlast en het monitoren van de hydrologische effecten van de te veranderen watergang ten zuiden van Werkhoven.

5.2.1 *Consequenties huidige grondwateroverlast: vervolgonderzoek*

Aanbeveling Grondwater1 Vervolgonderzoek te nemen maatregelen door gemeente

De grondwateroverlast in Werkhoven wordt op zowel openbaar als particulier terrein ervaren. De gemeente is verantwoordelijk voor het oplossen van structurele grondwateroverlast op openbaar terrein, mits dit op doelmatige wijze mogelijk is (zoals beschreven in Artikel 3.6 van de Waterwet), waarbij de gemeente termen als 'structurele grondwateroverlast' en 'doelmatigheid' moet invullen. Eventuele door de gemeente te nemen maatregelen hebben ook verlagingen van grondwaterstanden op particulier terrein tot gevolg. De mate waarin de grondwaterstanden door eventueel gemeentelijke maatregelen op particulier terrein dalen, is vooralsnog onbekend (het maakt geen onderdeel uit van deze studie om dat uit te zoeken) en kan in een aanvullend onderzoek bepaald worden. Daarnaast zal onderzocht moeten worden of er extra voorzieningen voor de afvoer van particulier ontwateringwater noodzakelijk zijn of dat de particulieren dat op eigen terrein door middel van infiltratie (naar het watervoerend pakket) zelf kunnen oplossen¹. Wettelijk moet de gemeente het drainagewater van particulieren ontvangen. Gemeente kan infiltratie op eigen terrein alleen stimuleren of beleid aanpassen en verordening opstellen.

¹ Het verplichten van particulieren om water op hun eigen terrein te infiltreren is juridisch wel mogelijk, maar dan moet het verankerd zijn in het beleid (vGRP) dat de gemeente geen schoon water afvoert via de riolering. Daarnaast moet de gemeente dit in een verordening hebben opgenomen, moet de particulier het redelijkerwijs op eigen terrein kunnen verwerken en een redelijke termijn krijgen om dit voor elkaar te krijgen.

Aanbevolen wordt een vervolgonderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden doelmatig maatregelen te nemen op openbaar terrein en naar de mogelijkheden drainagewater van particulieren af te voeren. Bij dit onderzoek zullen de verschillende partijen betrokken moeten worden. Dit zijn particulieren, wellicht vertegenwoordigd door de dorpsraad, en het waterschap.

Eventuele oplossingsrichtingen voor het verlagen van de grondwaterstand, die in een vervolgonderzoek beoordeeld kunnen worden op doelmatigheid, zijn:

- voor openbaar terrein:
 - buisdrainage in de wegcunetten;
 - verticale drainage naar het watervoerend pakket;
- voor particulieren (verantwoordelijkheid van de eigenaar):
 - buisdrainage rond woningen en in percelen met afvoer via gemeentelijke voorziening of door infiltratie in watervoerend pakket;
 - verticale drainage naar het watervoerend pakket.

Aanbeveling Grondwater2 Infiltratieproef watergang

Aanbevolen wordt door middel van een infiltratieproef de wegzijging uit een afgedamde sloot te bepalen. Dit geeft inzicht in de grootte van de infiltratie en het effect op de grondwaterstanden en is van belang voor het ontwerp van de te veranderen watergang langs de Achterdijk.

Aanbeveling Grondwater3 Onderzoek effect oppervlaktewaterstanden op grondwaterstanden

Een onderzoek naar het effect van oppervlaktewaterpeilen op de freatische grondwaterstanden in Werkhoven wordt aanbevolen. Hiervoor worden kunnen verschillende scenario's met oppervlaktewaterpeilen worden doorgerekend en de effecten op de grondwaterstand bepaald worden. Dit is van belang voor het maken van een onderbouwde keuze voor de oppervlaktewaterstanden in het gebied ten westen van Werkhoven.

5.2.2 *Monitoren van de effecten van de te veranderen watergang*

Aanbeveling Monitoring1 Continueren grondwaterstandsmetingen

De huidige reeksen geven een goed beeld van de grondwaterstanden in de directe omgeving van de te veranderen watergang. Aanbevolen wordt de metingen te continueren tot tenminste één jaar na aanleg van de te veranderen watergang. Het kan zijn dat na verloop van tijd een weerstand op de bodem van de watergang ontstaat, waardoor de invloed van de watergang op de grondwaterstanden verandert. Dit kan een reden zijn de monitoring te verlengen. Verwacht wordt dat met de monitoring effecten van 5 cm en meer goed in beeld gebracht kunnen worden door gebruik te maken van tijdreeksanalyse.

Aanbeveling Monitoring2 Advies te veranderen watergang

Door de boringen en grondwaterstandmetingen is meer inzicht verkregen in de bodemopbouw en het grondwatersysteem. Op basis van deze inzichten wordt verwacht dat de te veranderen watergang slechts beperkte effecten zal hebben op de grondwaterstanden in de omgeving, omdat naar verwachting de te veranderen watergang de deklaag niet doorsnijdt. Om dit uit te sluiten zal op de plek van de te veranderen watergang aanvullend onderzoek uitgevoerd moeten worden. Het bepalen van de onderzijde van de deklaag ter plaatse van de watergang is dan noodzakelijk.

Bij het aanvullend onderzoek wordt ook het invloedsgebied van de watergang nader bepaald. Hiermee dient vervolgens getoetst te worden of het huidige peilbuisennetwerk voldoet voor het monitoren van de effecten.

Literatuur

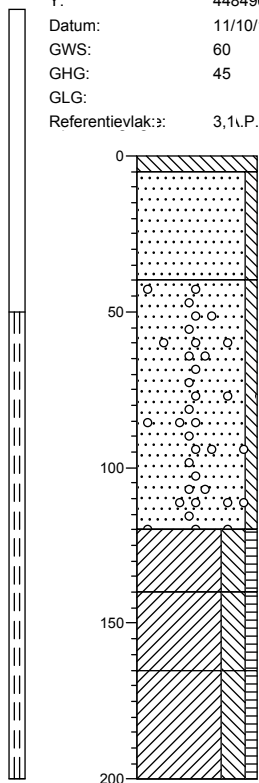
Deltares, 2004. Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap "De Stichtse Rijnlanden" TNO-rapport NITG 04-090-B0609. J.L.Gunnink, J.G. Veldkamp, D.Dam, H.J.T. Weerts en W. van der Linden.

Bijlage 1

Boorprofielen

Boring: 4

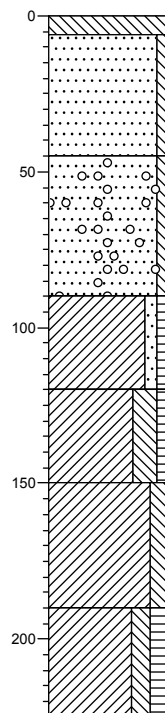
X: 144871,85
Y: 448490,54
Datum: 11/10/11
GWS: 60
GHG: 45
GLG:
Referentievlak: 3,1\,P.



310	klinker
▲ 305	Volledig beton, Edelmanboor, klinker
▲	Zand, zeer grof, zwak siltig, matig puinhoudend, grijsbruin, Graven, gemend met brokken puin
270	
▲	Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, sporen steen, sporen puin/slakken, grijs, Graven
190	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, sterk roesthoudend, grijsroest, Graven
170	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen roest, licht bruingrijs, Graven
145	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, sporen zand, licht grijsbruin, Graven, slap
110	

Boring: 7

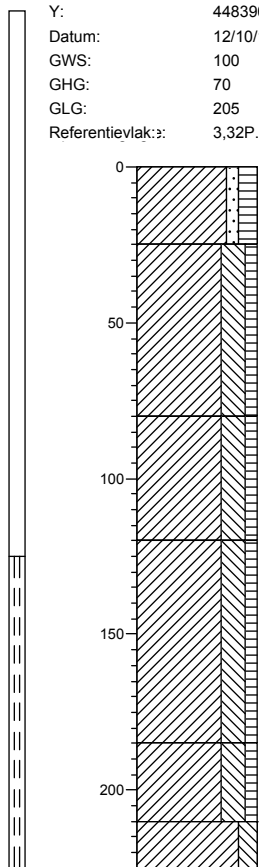
X: 145156,83
Y: 448280,18
Datum: 12/10/11
GWS: 100
GHG: 50
GLG:
Referentievlak: 3,21P.



321	klinker
▲ 315	Beton, Edelmanboor, klinker
▲	Zand, matig fijn, zwak siltig, sporen schelpen, licht bruinwit, Edelmanboor
276	
▲	Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, brokken klei, zwak roesthoudend, lichtbruin, Edelmanboor
231	
▲	Klei, zwak zandig, zwak humeus, zwak roesthoudend, lichtbruin, Edelmanboor
201	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig roesthoudend, licht bruingrijs, Edelmanboor
171	
▲	Klei, matig siltig, sporen roest, lichtgrijs, Edelmanboor
131	
▲	Klei, matig siltig, matig humeus, donkergrijs, Edelmanboor
96	

Boring: 6

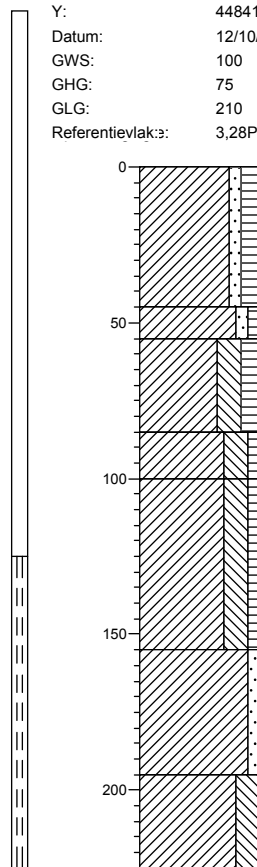
X: 144984,72
Y: 448390,33
Datum: 12/10/11
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 205
Referentievlak: 3,32P.



332	groenstrook
▲	Klei, zwak zandig, matig humeus, sporen wortels, zwak zandhoudend, grijsbruin, Edelmanboor
307	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak zandhoudend, sporen wortels, licht grijsbruin, Edelmanboor
252	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig roesthoudend, licht grijsbruin, Edelmanboor
212	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak roesthoudend, sporen schelpen, lichtbruin, Edelmanboor
147	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak roesthoudend, sporen hout, lichtgrijs, Edelmanboor
122	
▲	Klei, matig siltig, sporen roest, grijs, Edelmanboor
107	

Boring: 5

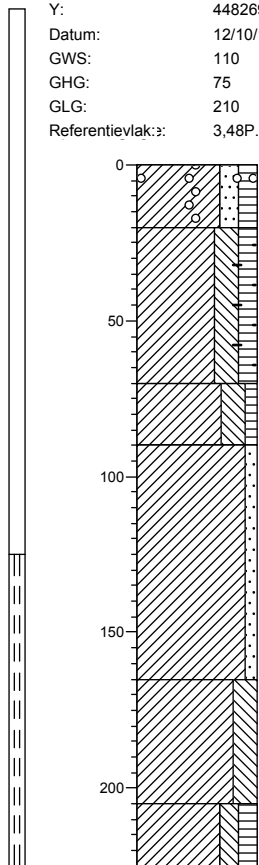
X: 144976,02
Y: 448415,33
Datum: 12/10/11
GWS: 100
GHG: 75
GLG: 210
Referentievlak: 3,28P.



328	groenstrook
▲	Klei, zwak zandig, matig humeus, zwak zandhoudend, sporen wortels, grijsbruin, Edelmanboor
283	
▲	Klei, zwak zandig, zwak humeus, sporen zand, zwak roesthoudend, licht bruingeel, Edelmanboor
273	
▲	Klei, sterk siltig, matig humeus, sporen hout, sporen wortels, bruingrijs, Edelmanboor
243	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig roesthoudend, licht bruingrijs, Edelmanboor
228	
▲	Klei, sterk siltig, zwak humeus, sterk roesthoudend, sporen hout, bruinroest, Edelmanboor
173	
▲	Klei, zwak zandig, matig roesthoudend, lichtgrijs, Edelmanboor
133	
▲	Klei, sterk siltig, sporen roest, grijs, Edelmanboor
103	

Boring: 8

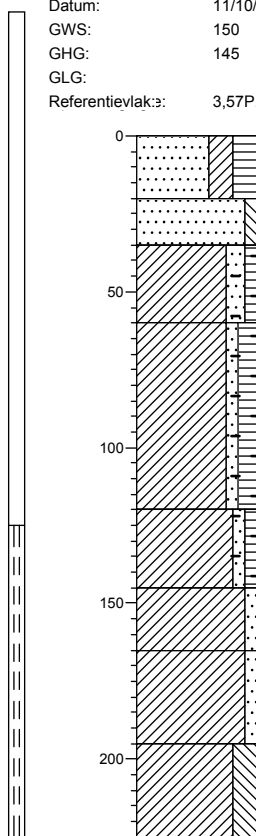
X: 145139,76
Y: 448269,93
Datum: 12/10/11
GWS: 110
GHG: 75
GLG: 210
Referentievlak: 3,48P.



348	gras
▲	Klei, matig zandig, matig humeus, matig zandhoudend, zwak grindhoudend, zwak wortelhoudend, donker bruingrijs, Edelmanboor
▲	Klei, sterk siltig, matig humeus, sporen baksteen, sporen puin, sporen schelpen, bruingrijs, Edelmanboor
278	Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak schelphoudend, sporen roest, lichtbruin, Edelmanboor
258	Klei, zwak zandig, matig roesthoudend, lichtbruin, Edelmanboor
▲	
183	Klei, sterk siltig, zwak roesthoudend, lichtgrijs, Edelmanboor
▲	
143	Klei, matig siltig, matig humeus, donkergrijs, Edelmanboor
123	

Boring: 3

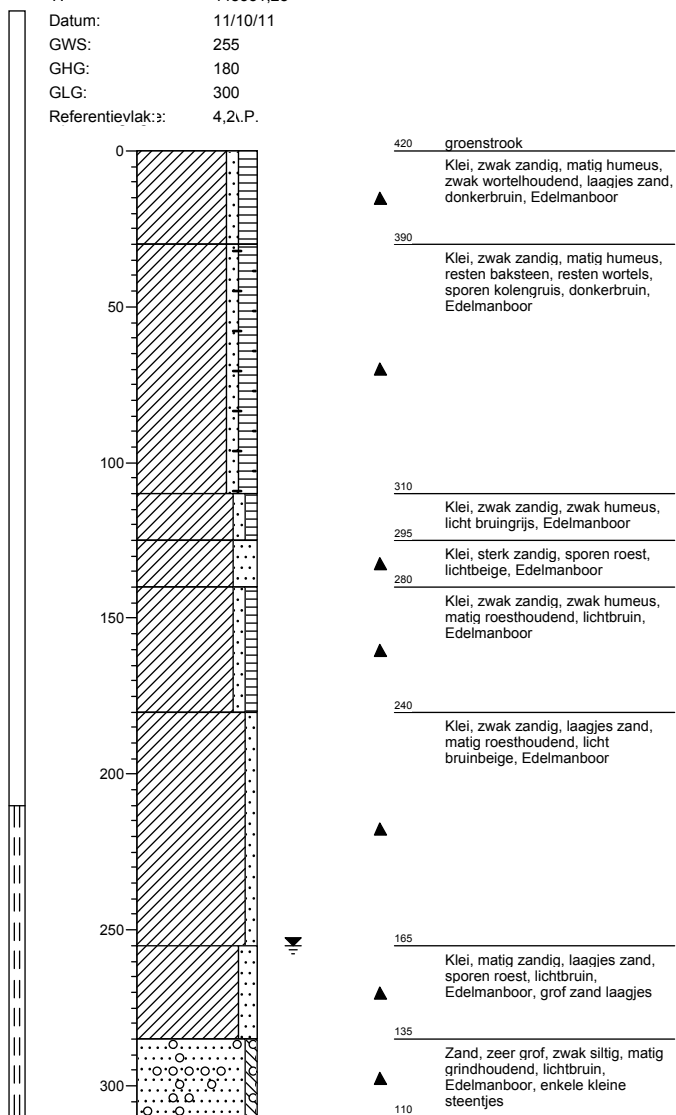
X: 144974,3
Y: 448212,39
Datum: 11/10/11
GWS: 150
GHG: 145
GLG:
Referentievlak: 3,57P.



357	tuin
▲	Zand, uiterst fijn, kleiig, sterk humeus, zwak kleihoudend, matig zandhoudend, matig teelaardehoudend, bruinzwart, Edelmanboor
337	Zand, zeer grof, zwak siltig, licht bruinwit, Edelmanboor, tussenlaag
322	Klei, matig zandig, zwak humeus, sporen baksteen, zwak zandhoudend, sporen roest, licht grijsbruin, Edelmanboor, geroerd
297	Klei, zwak zandig, matig humeus, sporen baksteen, laagjes zand, grijs, Edelmanboor
▲	
237	Klei, zwak zandig, zwak humeus, sporen baksteen, sporen schelpen, grijs, Edelmanboor, zeer vast
212	Klei, zwak zandig, zwak roesthoudend, sporen schelpen, sporen zand, lichtgrijs, Edelmanboor
192	Klei, zwak zandig, matig roesthoudend, licht grijsbruin, Edelmanboor
▲	
162	Klei, sterk siltig, matig roesthoudend, resten hout, grijsroest, Edelmanboor
▲	
132	

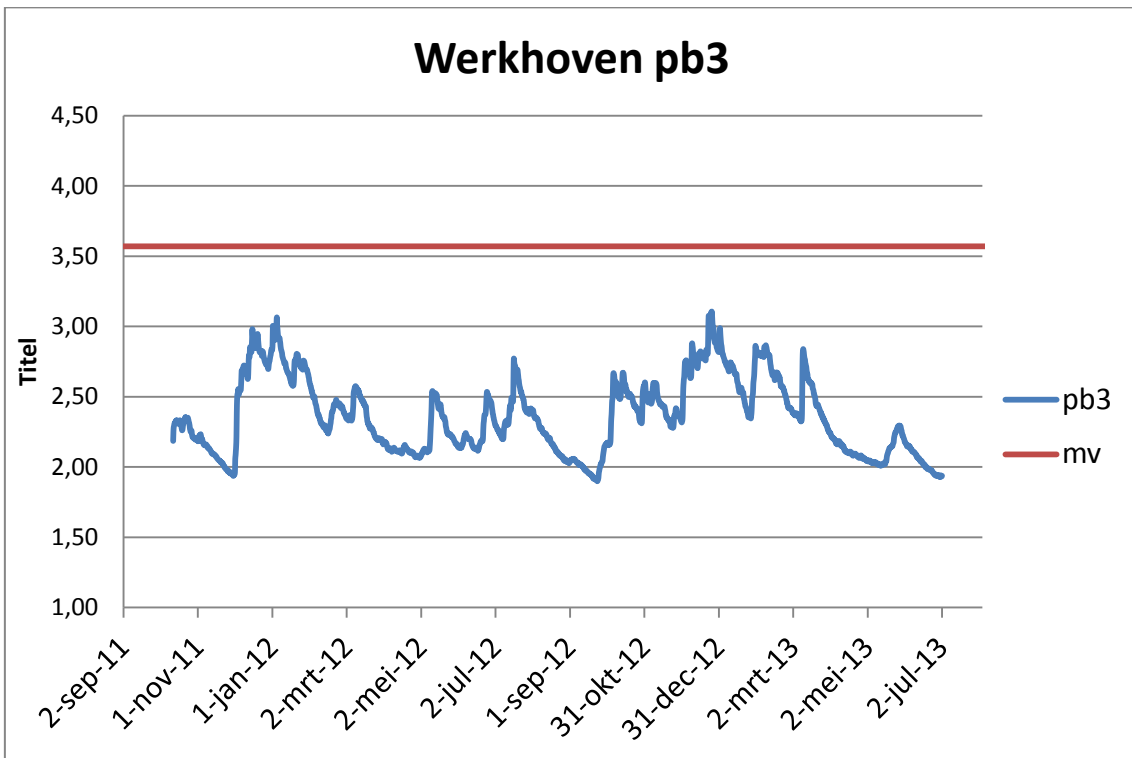
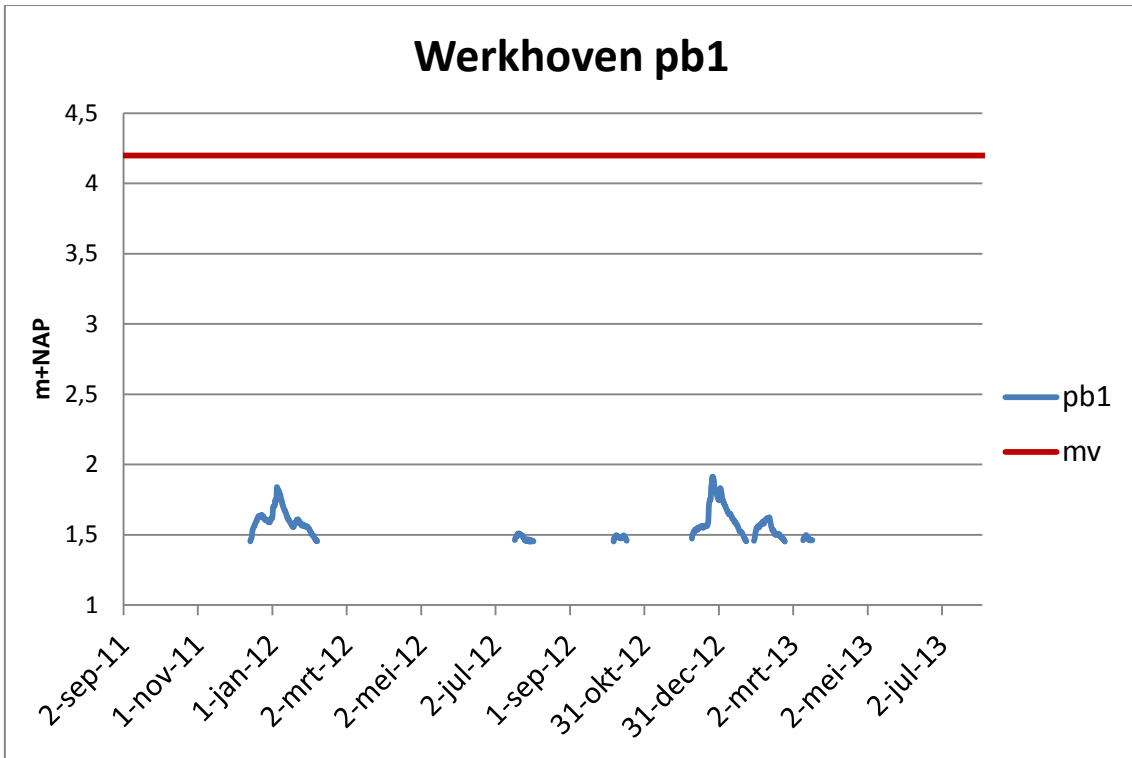
Boring: 1

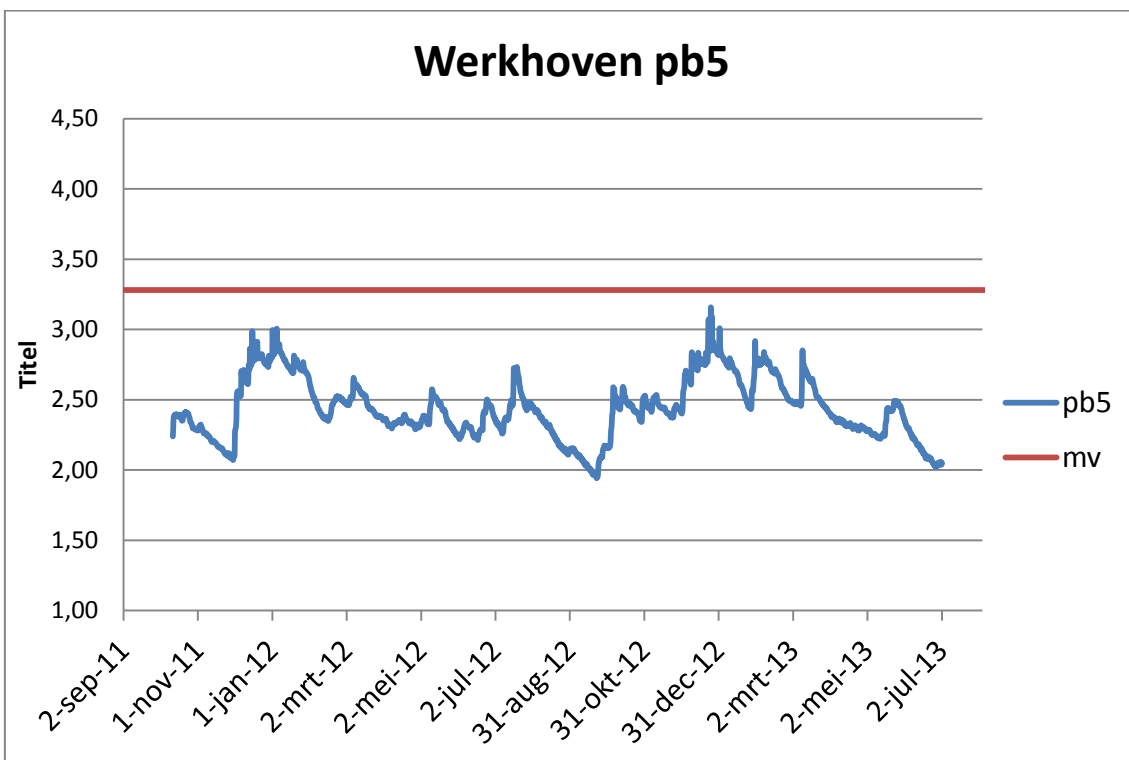
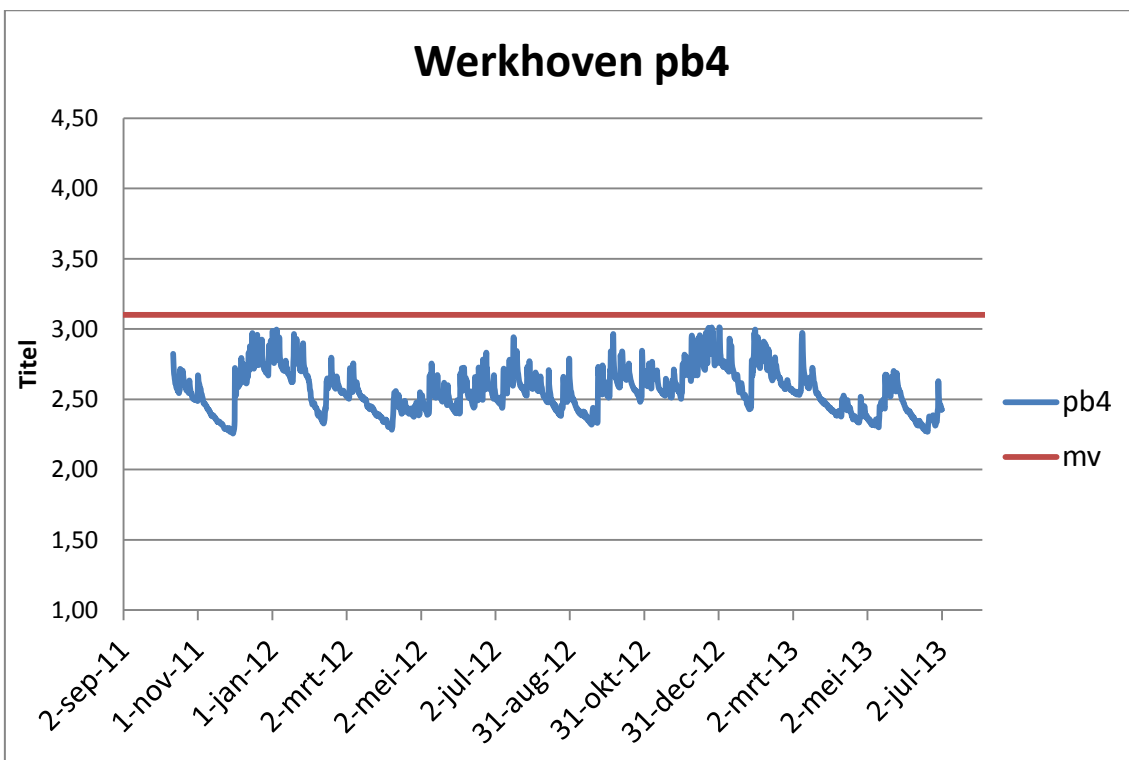
X: 145316
Y: 448531,28
Datum: 11/10/11
GWS: 255
GHG: 180
GLG: 300
Referentievlak: 4,2\,P.

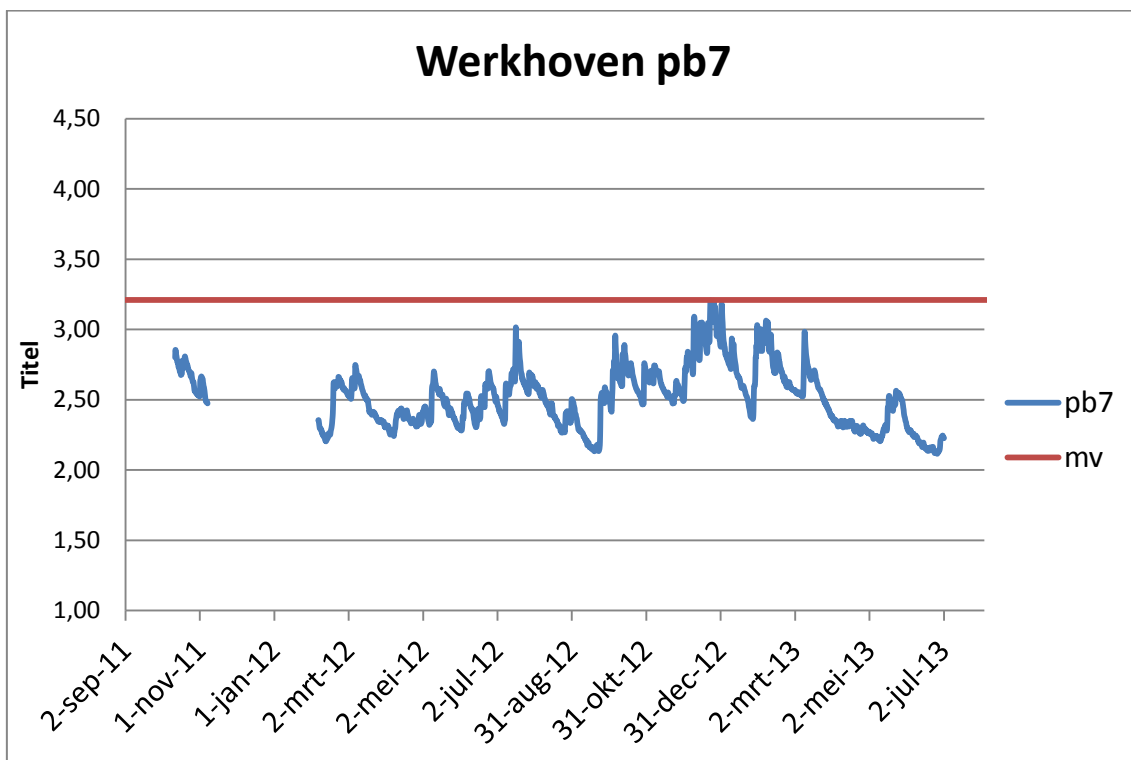
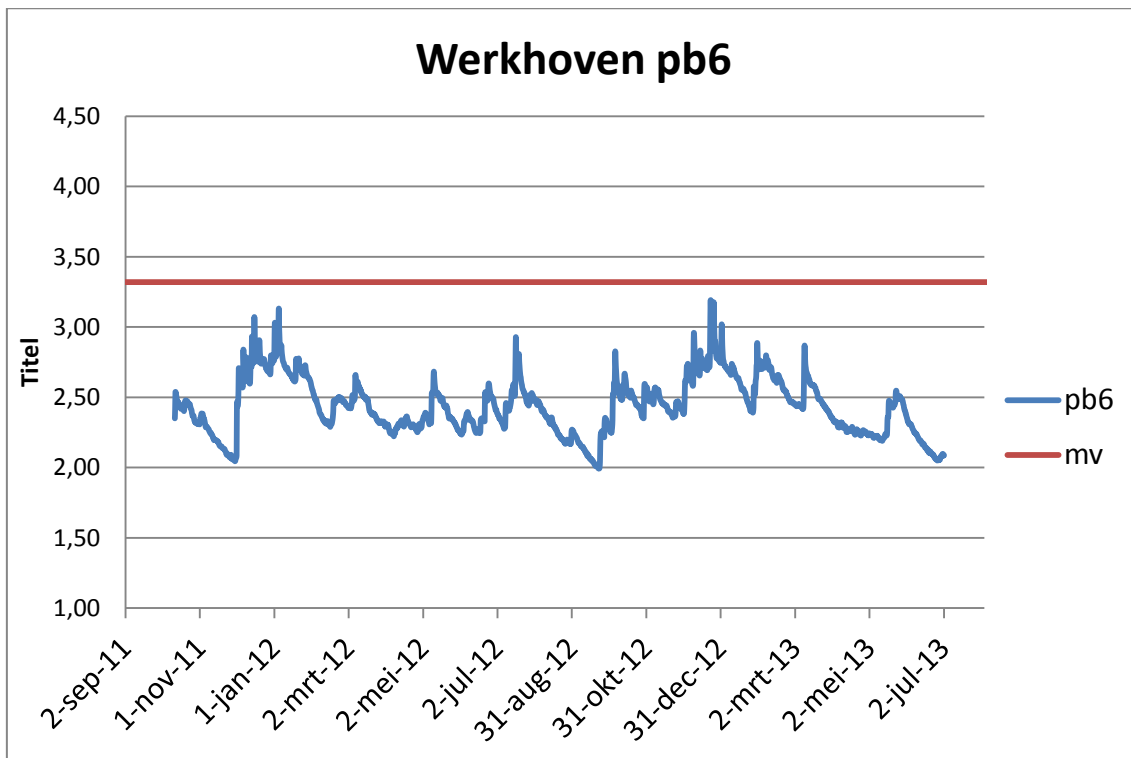


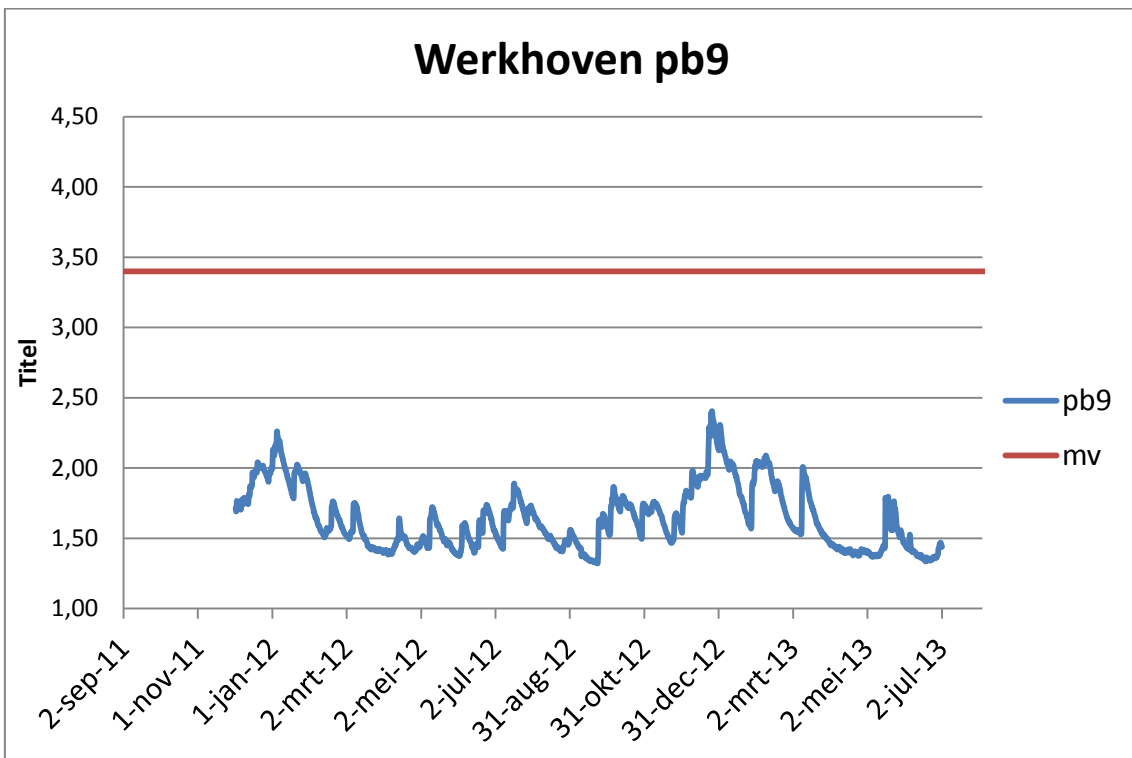
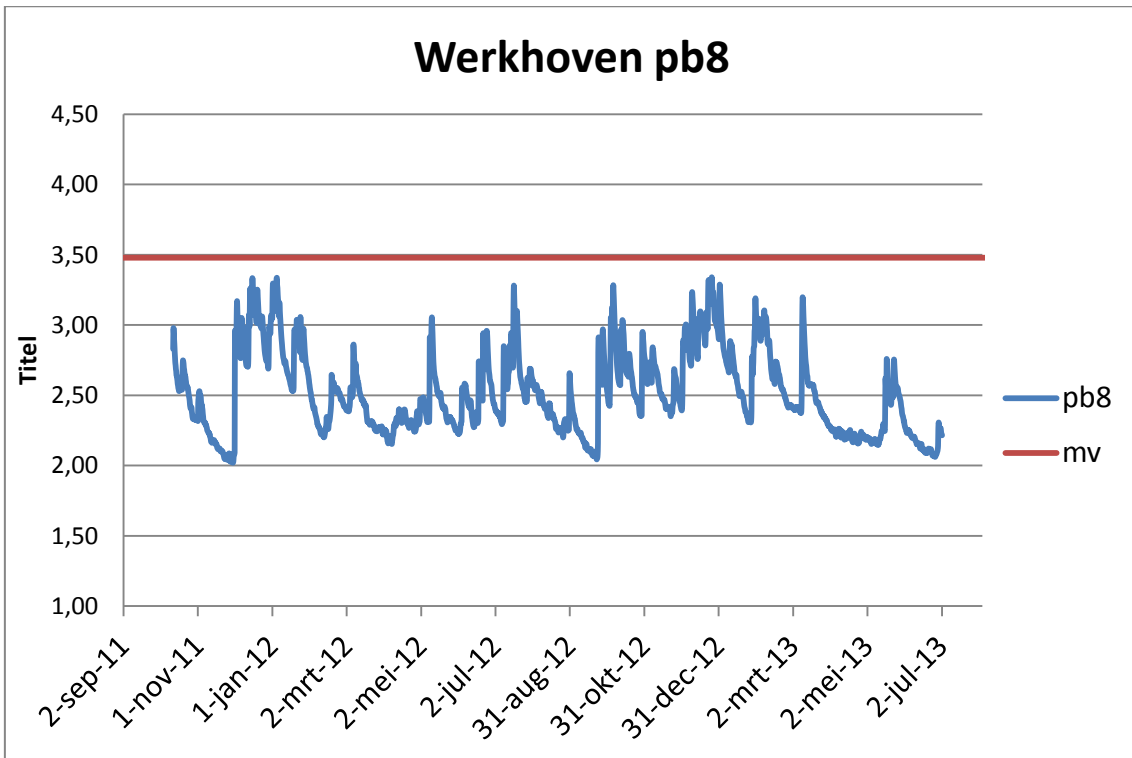
Bijlage 2

Grondwaterstanden peilbuizen









Bijlage 3

Oppervlaktewater

In figuur 2 is de ligging van het oppervlaktewatersysteem en de oppervlaktewaterpeilen, welke in de praktijk worden gehanteerd, weergegeven. Tevens zijn de in het primaire systeem aanwezige kunstwerken (gemalen, stuwen en duikers) opgenomen.

Voor het gebied tussen Kromme Rijn en Amsterdam-Rijnkanaal is in 2008 een peilbesluit en watergebiedsplan vastgesteld. Voor enkele peilgebieden wordt in de praktijk een ander oppervlaktewaterpeil gehanteerd dan in het peilbesluit "Tussen Kromme Rijn en Amsterdam-Rijnkanaal" van 2008 is vastgesteld. In figuur 3 is de ligging en peilen van de peilgebieden opgenomen, zoals vastgesteld in het peilbesluit. Onderstaand wordt dieper ingegaan op het systeem en de verschillen tussen peilbesluit en praktijk.

Sloot langs Weerdenburgselaan

Langs de Weerdenburgselaan is een primaire watergang aanwezig (de zogeheten Rijnpoldersloot). Deze watergang wordt op peil gehouden met gemaal Weerdenburg en voert vervolgens af via een stuw, gelegen nabij de aansluiting van Weerdenburgselaan op de Herenstraat, op de Achterrijn.

De watergang langs de Weerdenburgselaan kent in de praktijk een peil dat ca. NAP +2,20 m in de zomer bedraagt en ca. NAP + 2,10 m in de winter. In het peilbesluit is voor deze watergang (gelegen in peilgebied KRA034) een peil van NAP + 2,00 m vastgesteld. Het is in 2008 de bedoeling geweest om het in de praktijk gehanteerde peil voor dit peilgebied in het peilbesluit vast te stellen. Helaas is abusievelijk een lager peil van NAP +2,00 m in het peilbesluit vastgesteld in plaats van het in de praktijk gehanteerde peil van ca. NAP +2,20 m in de zomer en NAP +2,10 m in de winter. Dit betekent dat als het peilbesluitpeil van NAP +2,00 m gehanteerd zou worden, een lager peil wordt gehanteerd dan het laatste decennia het geval was.

Zoals beschreven wordt de watergang langs de Weerdenburgselaan op peil gehouden door gemaal Weerdenburg. Het peil van de watergang langs de Weerdenburgselaan is ter hoogte van het gemaal vanaf 2000 automatisch bemeten en vastgelegd. In figuur 4 is het peilverloop van meerdere jaren weergegeven. Te concluderen valt dat dit peil sinds 2000 ter hoogte van het gemaal fluctueert tussen gemiddeld ca. +2,05 m en +2,30 m.

De grafiek in figuur 4 laat zien dat het peil ter plaatse van het gemaal een sterke fluctuatie kent. De sterke fluctuaties zijn enerzijds een gevolg van de dubbele functie die gemaal Weerdenburg heeft (zie ook de verdieping in het tekstkader) en anderzijds het gevolg van enige opstuwning op het moment dat het gemaal water aanvoert. Op het moment dat het gemaal aanslaat, zal het peil direct bij het gemaal stijgen. Er ontstaat dan een verhanglijn, mede als gevolg van ingelegene duikers, waardoor het water kan gaan stromen. Het water komt op dat moment bij het gemaal hoger te staan dan verderop in de sloot. Op het moment dat het gemaal weer uitgaat, zakt het peil bij het gemaal weer in.

Waarom schommelt het peil in de sloot langs de Weerdenburgselaan?

Het oppervlaktewaterpeil van de sloot langs de Weerdenburgselaan wordt op peil gehouden door gemaal Weerdenburg. Gemaal Weerdenburg heeft een dubbele functie. Een belangrijke functie is het op peil houden door het afpompen van water van de achtergelegen Rijnpolder (peilgebied KRA 033). Als het peil van de Rijnpolder stijgt tot boven het na te streven peil wordt water afgepompt op de watergang langs de Weerdenburgselaan (peilgebied KRA034). Het gemaal stuurt op dat moment op het zogeheten benedenpeil (gericht op onderbemaling van de polder).

Er zijn meerdere oppervlaktewateronttrekkingen vanuit de watergang langs de Weerdenburgselaan. Het betreft beregening van fruit en beregening van gras- en een maïspaneel. De tweede functie van het gemaal is dan ook het op peil houden en zorgen voor enige doorstroming van peilgebied KRA034 (de watergang langs de Weerdenburgselaan).

Het is in de praktijk niet mogelijk om gelijktijdig zowel te sturen op het bovenpeil als op het benedenpeil. Op het moment dat op het bovenpeil (dus gericht op wateraanvoer van de watergang Weerdenburgselaan) wordt gestuurd, wordt het peil van de Rijnpolder mogelijk te ver verlaagd of loopt het peil van de Rijnpolder juist te hoog op. De wateraanvoer naar de Rijnpolder werd tot 2013 geregeld met behulp van een handbediende inlaat. Om voldoende water op de watergang langs de Weerdenburgselaan te pompen moet er ook voldoende water aangevoerd/ ingelaten worden in de Rijnpolder. Als er te veel water wordt ingelaten, stijgt het peil van de Rijnpolder te sterk. Als er te weinig water wordt ingelaten, kan het peil te ver dalen. Aangezien de watervraag niet altijd gelijk is en begroeiing in watergangen gedurende het seizoen fluctueert, is dit niet eenvoudig met een handmatig bedienbare inlaat te regelen.

Er zijn recentelijk verschillende aanpassingen verricht om de peilbeheersing te verbeteren. Begin 2013 is de handmatige inlaat op de Rijnpolder vervangen door een vlotterinlaat. Dit betekent dat het peil nu meer op basis van watervraag geregeld kan worden. Als het peil van de Rijnpolder te laag wordt (als gevolg van aanvoer richting de sloot langs de Weerdenburgselaan), geeft de vlotterinlaat automatisch water. Als het te hoog wordt, stopt de vlotterinlaat met water inlaten. Tevens zijn er in 2011 aanpassingen aan de sturingscomputer van het gemaal uitgevoerd. Het gemaal kan nu standaard sturen op bovenpeil, op een lage frequentie draaien en zonodig omschakelen op peilbeheersing van het benedenpeil (dus gericht op peilbeheersing van de Rijnpolder).

Watergang rond sportvelden

Nabij het adres Herenstraat 8 takt een zogeheten tertiaire watergang middels een duiker aan op de watergang langs de Weerdenburgselaan. Deze tertiaire watergang loopt vervolgens om de voetbalvelden en de MFA en sluit uiteindelijk aan op de bestaande droge sloot langs de Achterdijk.

In het peilbesluit van 2008 is deze aantakking niet opgenomen en ligt de sloot rond de sportvelden in het peilgebied KRA037 (met het peilbesluitpeil NAP +2,30 /+2,10 m). In de praktijk is het peil van de tertiaire watergang rond de sportvelden gelijk aan het peil van de watergang langs de Weerdenburgselaan en dus ca. NAP +2,20 m in de zomer en +2,10 m in de winter.

Tot 2010 liep de sloot, die aantakt op de watergang langs de Weerdenburgselaan, richting het noorden over in een greppel. Met andere woorden: de huidige sloot was voor 2010 nabij de sportvelden een greppel. Het eerste stuk, gezien vanaf de Weerdenburgselaan, bestond wel uit een watervoerende sloot. In het kader van de realisatie van de sportvelden en de MFA complex is de greppel verbreed en verdiept en daarmee watervoerend geworden.

Droge sloot langs Achterdijk

Langs de Achterdijk is in de huidige situatie een droge sloot aanwezig. De duiker watert, middels een duiker onder de Herenstraat af op de Achterrijn. De duiker, met een diameter van 50 cm, ligt aan de zijde van de droge sloot met de onderkant op een hoogte van NAP + 1,91 m (zie ook de foto in figuur 1). De greppel kan in theorie daarom ontwateren tot een diepte van NAP +1,91 m. In de praktijk ligt de bodem van de sloot op meerdere plekken hoger dan dit niveau en zal de sloot dus pas gaan afvoeren bij hogere peilen dan NAP 1,91 m. Richting het noorden is de droge sloot onderbroken door in de sloot groeiende bomen.

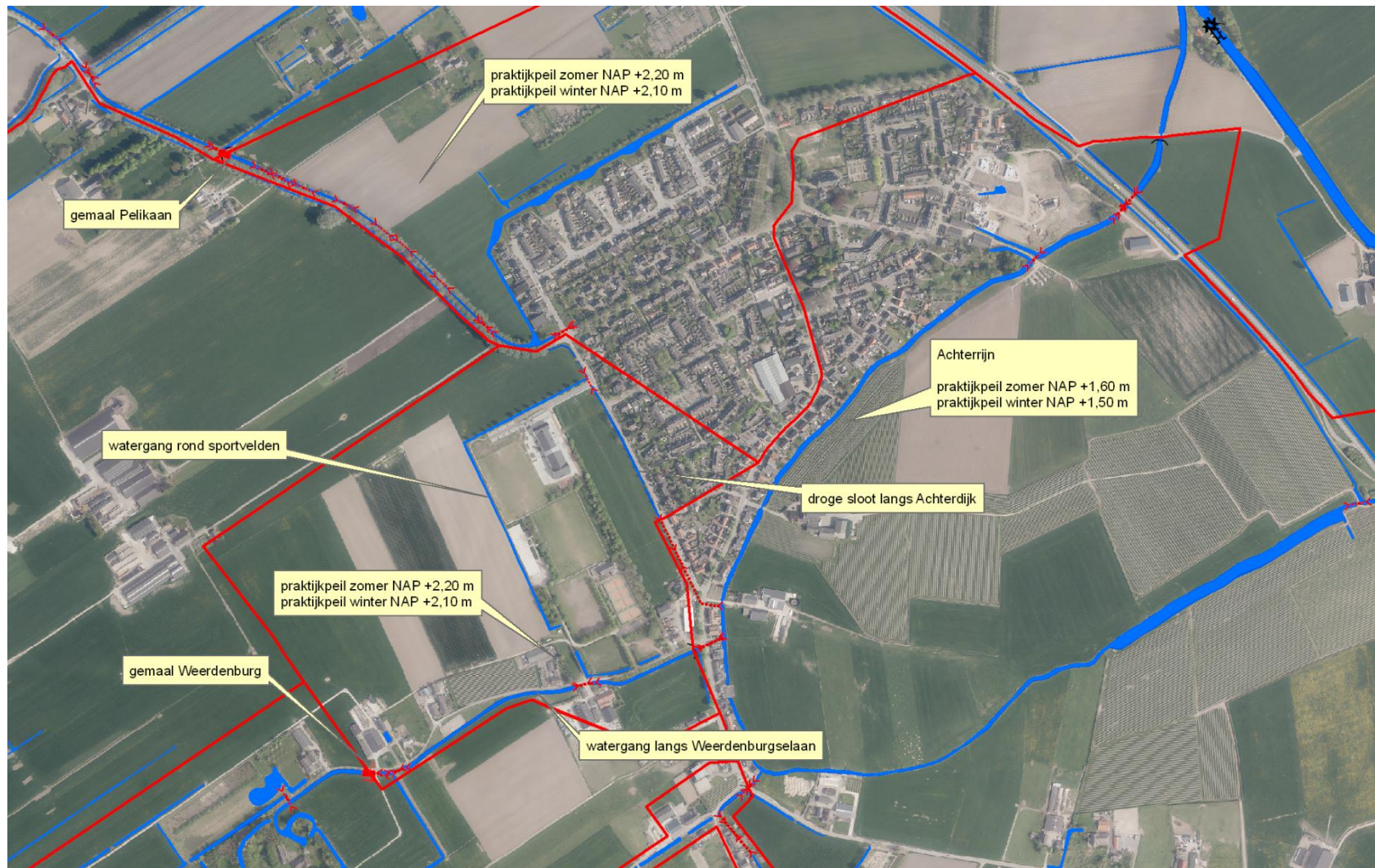
In het in 2008 vastgestelde watergebiedsplan “Tussen Kromme Rijn en Amsterdam-Rijnkanaal” is de maatregel opgenomen om de droge sloot om te vormen tot een hoofdwatgang.



Figuur 1 Duiker in droge sloot langs Achterdijk

Watergang rond wijk Nieuwendaal

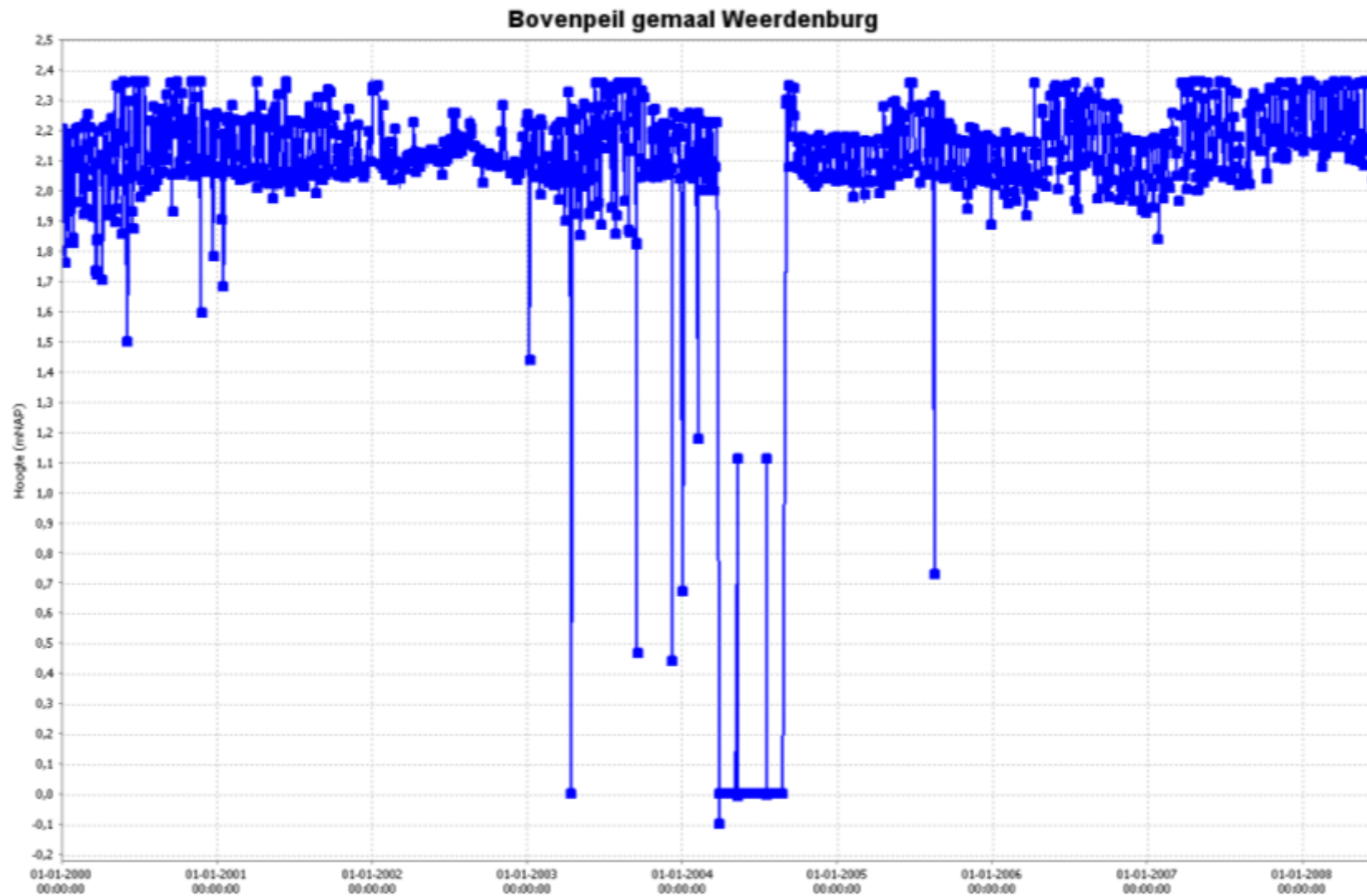
De noordzijde van het peilgebied KRA037 (met daarin gelegen ondermeer het water rond wijk Nieuwendaal) wordt gevoed door gemaal Pelikaan. De gehanteerde praktijkpeilen zijn ca. NAP + 2,20 m in de zomer en +2,10 in de winter. Dit wijkt enigszins af van het peilbesluitpeil NAP +2,30 m (zp)/ +2,10 m (wp).



Figuur 2 waterhuishoudkundige situatie rond Werkhoven



Figuur 3 Peilen conform peilbesluit "Tussen Kromme Rijn en Amsterdam-Rijnkanaal" dd. 27 februari 2008



Figuur 4 Bovenpeil gemeal Weerdenburg periode 2000-2008 (bron: HDSR/CAW)

Bijlage 4

Analyse grondwaterstanden met tijdreeksanalyse

Aanleiding

Na afloop van het eerste meetjaar van het grondwatermeetnet in Werkhoven heeft Grontmij de gegevens van de peilbuizen rondom de te herstellen watergang m.b.v. tijdreeksanalyse (Menyanthes) geëvalueerd, wat in deze bijlage wordt beschreven. Dit is gedaan door een statistische relatie te leggen tussen de gemeten grondwaterstand en invloedsfactoren zoals neerslag, verdamping. De analyse levert daarnaast ook per invloedsfactor een schatting van de bijbehorende standaardfout, zijnde een maat voor de precisie van de schatting.

Tevens is met deze methode een schatting van de langjarige Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden (GHG) in de referentiesituatie te bepalen, waarbij de betrouwbaarheid afhangt van de lengte van de meetreeks en het tijdreeksmodel zelf. De betrouwbaarheid bepaalt tevens hoe groot het onderscheidingsvermogen van de methode is voor het bepalen van het effect van een ingreep.

In deze bijlage is de analyse van de gemeten grondwaterstanden op basis van tijdreeksanalyse beschreven. Dit heeft als resultaat twee deelprodukten:

- Een GxG-bepaling kaart voor de referentie-situatie (huidige situatie)
- Inzicht in de nauwkeurigheid waarmee op basis van tijdreeksanalyse de effecten van de aanleg van de te herstellen waterloop op de grondwaterstanden voorspeld kunnen worden.

Voor het bepalen van de effecten van de herstellen van de waterloop zullen zowel voor de situatie voor als na de ingreep tijdreeksmodellen worden opgesteld, waarmee voor dezelfde periode de GxG wordt afgeleid. Het verschil bepaalt dan het effect van de ingreep, waarbij rekening wordt gehouden met de betrouwbaarheid om de significantie te kunnen bepalen.

Achtergronden

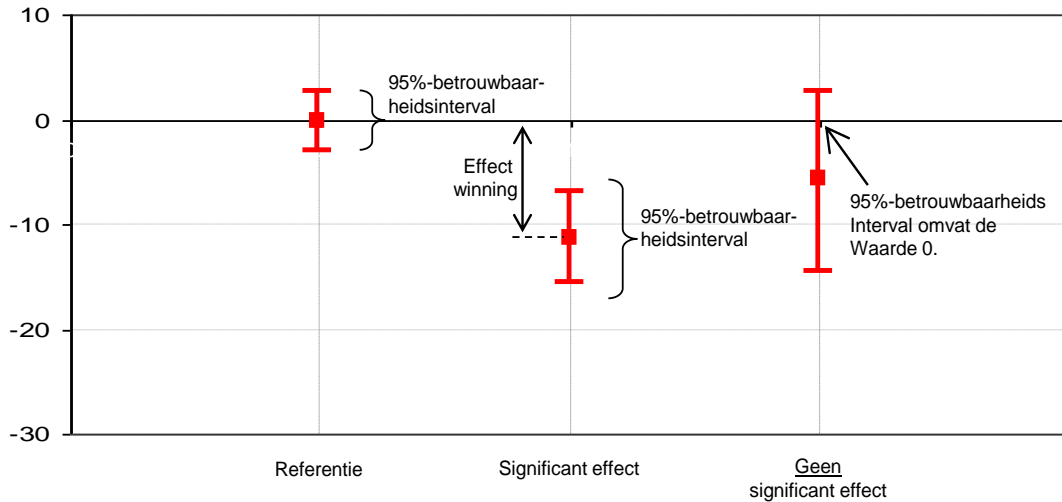
Deze bijlage geeft een toelichting op de te verwachte betrouwbaarheid van de statistische relatie tussen de ingreep (herstellen waterloop) en de gemeten grondwaterstanden¹. Hiervoor is het verhelderend een korte toelichting te geven op twee kernbegrippen die de betrouwbaarheid van tijdreeksanalyse mede definiëren: statistische significantie en pasvorm. Tenslotte zal het model beoordeeld moeten worden op de hydrologische plausibiliteit.

Wanneer is een effect statistisch significant te noemen?

Tijdreeksanalyse levert een schatting op van de statistische relatie tussen beschouwde invloedsfactoren en de grondwaterstand. De invloedsfactoren voor de grondwaterstanden in Werkhoven zijn met name de neerslag en de verdamping.

De methodiek levert daarnaast ook een schatting van de standaardfout, zijnde een maat voor de precisie van de schatting. Het 95% -betrouwbaarheidsinterval is gelijk aan de voorspelde waarde plus of min 2 maal de standaardfout. Deze wordt voor zowel de referentiesituatie (voor de ingreep) als na de ingreep bepaald. Als het 95% betrouwbaarheidsinterval van het effect niet overlapt met die van de , is sprake van een statistisch significante relatie tussen de grondwaterstand en de grondwaterwinning (zie figuur 1). Het rechterdeel toont hetzelfde, maar dan voor de situatie dat er geen statistisch significante relatie aangetoond kan worden. Er is dan overlap van de betrouwbaarheidsintervallen.

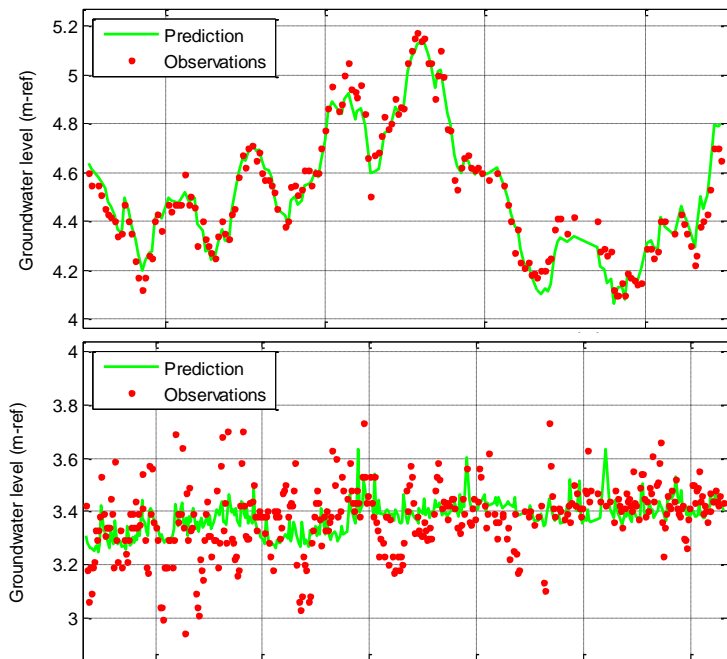
¹ Gebruik is gemaakt van Menyanthes versie 2.x.d.s



Figuur B3.1 Toelichting op het begrip statistisch significant effect

Hoe wordt de pasvorm van een tijdreeksmodel bepaald?

De betrouwbaarheid waarmee we de relatie tussen de grondwaterstand en de invloedsfactoren kunnen schatten, hangt voornamelijk af van de pasvorm van het tijdreeksmodel. De verklaarde variantie is een maatstaf voor deze pasvorm. Een verklaarde variantie van 100% duidt erop dat het tijdreeksmodel de metingen exact reproduceert. De verklaarde variantie daalt naarmate de verschillen tussen het tijdreeksmodel en de metingen toenemen. Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat er nog invloedsfactoren ontbreken in het model, zoals het lokale oppervlaktewaterpeil, of een ingreep in het gebied. Een en ander is in onderstaande figuur 2 gevisualiseerd.



Voorbeeld van een tijdreeksmodel met een goede pasvorm (verklaarde variantie = 96%)

Voorbeeld van een tijdreeksmodel met een slechte pasvorm (verklaarde variantie = 21 %)

Figuur B3.2 Toelichting op het begrip verklaarde variantie

Voor een goed tijdreeksmodel zijn de volgende praktische eisen gesteld aan statische relaties bij een tijdreeksmodel²:

- een voldoende hoge verklaarde variantie (EVP) als maat voor de relatieve pasvorm van het model, gepresenteerd als percentage. Een EVP van 100% geeft een perfecte fit aan tussen model en meting. Voor de ondergrens wordt ten minste 70% aangehouden;
- een voldoende goede absolute pasvorm in de vorm van een lage Root Mean Square Error (RMSE). In dit project wordt een RMSE kleiner dan ten minste 0,2m wenselijk geacht.

Beoordeling geschiktheid van het model

Tevens dienen de modellen voor de simulatie van de grondwaterstanden gecontroleerd te worden op de hydrologische plausibiliteit. Dit kan doordat de parameters van de door Menyanthes bepaalde tijdreeksmodellen ook een fysische basis hebben. De volgende parameters zijn in dit onderzoek beoordeeld.

- de door Menyanthes berekende drainagebasis heeft een realistische waarde met betrekking tot de peilbuis lokatie. De drainagebasis geeft de grondwaterstand van het systeem als het van alle verklarende invloeden verstoken zou blijven;
- De verdampingsfactor geeft de gemiddelde verhouding tussen de actuele en de referentie-verdamping. De verdampingsfactor is niet hetzelfde als de gewasfactor. De verdampingsfactor zal over het algemeen lager uitvallen. Een waarde kleiner dan 0,5 of groter dan 2 kan een aanwijzing zijn dat er andere invloeden niet zijn meegenomen en onterecht zijn gemodelleerd via de verdamping. De verdampingsfactor heeft een waarde tussen 0,5 en 2. Grote of kleinere waarden zijn een indicatie dat er verklarende invloeden niet zijn meegenomen.
- De gain (M0) geeft fysisch gezien de verhouding weer tussen de uiteindelijke stijghoogte en de intensiteit van de regenval. Als een peilbuis dicht bij een drainerend middel staat dan is M0 slechts enkele dagen. Ver van waterlopen kan M0 waarden van duizenden dagen bereiken.

Een significante relatie tussen neerslag/verdamping en de grondwaterstand is gewenst: d.w.z. de door Menyanthes bepaalde parameterwaarde van M0 (de gain) voor neerslag en verdamping, is groter dan tweemaal de standaardafwijking van M0.

Er is een aantal voorwaarden voor het doen van statistische uitspraken, zoals over statistische significantie.

- Geen autocorrelatie van de residuen van het ruismodel (de zogenaamde innovaties). De residuen laten dan geen patronen meer zien en worden enkel veroorzaakt door ruis. Dit geeft aan dat alle informatie in de meetreeks te verklaren is met de opgegeven verklarende reeksen. Wanneer er echter nog wel autocorrelatie aanwezig is in de residuen van het ruismodel, dan is dat een indicatie dat er nog factoren ontbreken die de grondwaterstand beïnvloeden. Menyanthes is dan niet in staat de waarde en standaarddeviatie van de modelparameters betrouwbaar te bepalen. De aanwezigheid van autocorrelatie is in Menyanthes te controleren met de autocorrelatieplot.
- Geen correlatie van verklarende reeksen. Ook dan is het niet goed mogelijk voor Menyanthes om de relatie tussen deze reeksen en de grondwaterstand goed af te leiden.
- Meetreeksen van voldoende lengte en voldoende meetwaarden. Het is belangrijk dat de lengte van de grondwaterstandreeks in ieder geval groter is dan het geheugen van het systeem (MU). Anders heeft Menyanthes niet voldoende gegevens om de parameters van het systeem voldoende betrouwbaar te bepalen. Een schatting van het geheugen kan met Menyanthes worden verkregen.

Aanpak voor het bepalen van de nauwkeurigheid van de simulatiereeks van de grondwaterstanden met tijdreeksanalyse

Tijdreeksanalyse is toegepast om een model op te stellen, waarbij de grondwaterstanden op basis van neerslag en verdamping worden verklaard.

² Evaluatie Waterproject Ruinen - een praktijktoepassing van interventieanalyse met Menyanthes (publicatie NHV, K. van der Hauw, 2012)

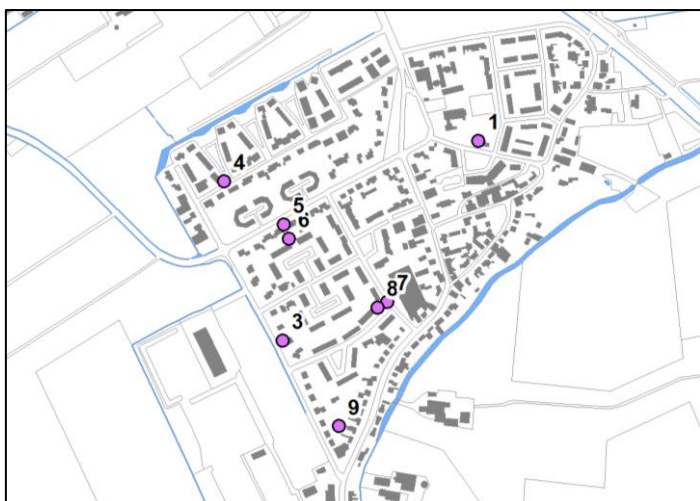
Stappen Verklaring op basis van neerslag/verdamping:

- Opknippen van meetreeks in 2 delen (in een kalibratie- en validatiereeks).
 - Een deel van 12 oktober 2011 tot 12 september 2012 en het andere deel van 12 september 2012 tot heden.
- Van beide meetreeksen wordt een model gemaakt op basis van neerslag gemeten op het meetstation Doorn en verdamping op meetstation De Bilt
- Valideren van het model
Validatie vindt plaats door de RMSE te bepalen voor de validatiereeks op basis van het model dat gemaakt is met de kalibratiereeks. Deze geeft een indicatie van hoe goed het model kan voorspellen.

Aanpak voor het bepalen van de GxG voor de referentiesituatie

Het afgeleide model (verklaring op basis van neerslag/verdamping) wordt gebruikt om grondwaterstanden te berekenen van 2000 tot heden. Dit model bevat de systeemkarakteristieken voor de **huidige** situatie (zoals vastgelegd tijdens de meetperiode). Deze karakteristieken worden gebruikt om voor een langere periode de grondwaterstanden te simuleren o.b.v. neerslag, verdamping en oppervlaktewaterstanden.

Op basis van de gegenereerde reeks kan de GxG worden afgeleid inclusief de betrouwbaarheid.



Figuur B3.2 Ligging peilfilters

Resultaten: Nauwkeurigheid van de simulatie van de grondwaterstanden met tijdreeksanalyse

Het model voor pb 4 heeft een lage drainagebasis en een lage evaporatiefactor, maar niet extreem laag. Een opgezet model voor de validatiereeks levert wel een hydrologisch consistente set aangegevens op. Het model voor pb 8 heeft een grote onzekerheid voor de beide drainagestanden.

Over het geheel genomen is de EVP hoger dan 70% en de RMSE kleiner dan 0,2 m (tabel B3.1), zodat zowel de prestaties van de modellen als de systeemparemeters voldoen aan de gestelde eisen.

Tabel B3.1 Prestaties tijdreeksmodel kalibratiereeks

Peilbuis	EVP	RMSE (m)
PB3	87,6	0,09
PB4	76,1	0,07
PB5	85,1	0,07
PB6	82,5	0,08
PB7	86,9	0,05
PB8	74.2	0,14

Explained Variance Percentage (EVP)

Root Mean Squared Error (RMSE)

Tabel B3.2 Systeemparemeters kalibratie

Peilbuis	Evaporatie factor	M0-1 (dagen)	Drainage Basis-1	M0-2 (dagen)	Drainage Basis-2
PB3*	0,82	661	1,87	143	2,43
PB4	0,21	3652	-5,40		
PB5	0,74	94	2,40		
PB6*	0,79	430	2,10	98	2.49
PB7	0,76	222	2,30		
PB8*	0,57	401	2,14	243	2,37

**) In een aantal peilbuizen is met niet lineariteit rekening gehouden waardoor de M0 voor 2 drainageniveau's is bepaald*

Resultaten: Validatie

Validatie vindt plaats door de RMSE te bepalen voor de validatiereeks op basis van het model dat gemaakt is met de kalibratiereeks. Deze geeft een indicatie van hoe goed het model kan voorspellen.

Tabel B3.4 Resultaten van de validatie van het model met een bestaande meetreeks

Peilbuis	RMSE	RMSE
	Calibratiereeks (m)	Validatiereeks (m)
PB3	0,09	0,15
PB4	0,07	0,07
PB5	0,07	0,14
PB6	0,08	0,13
PB7	0,05	0,13
PB8	0,14	0,19

De RMSE van de validatiereeks is groter dan die van de kalibratiereeks, maar blijven wel binnen de eis die gesteld is (RMSE <0,2m). Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de afgeleide modellen voldoende nauwkeurigheid hebben om per peilbuis de grondwaterstanden te voorspellen.

Resultaten: GxG voor de referentiesituatie

De betrouwbaarheid van de GxG is groter (betrouwbaarheidsinterval is kleiner) dan die van de afzonderlijke meetpunten (tabel B3.1). Dit is een gevolg van het middelen van een aantal grondwaterstanden (24 grondwaterstanden voor 8 jaar), waardoor de standaardafwijking van het gemiddelde kleiner is dan die van de afzonderlijke waarnemingen. Deze betrouwbaarheid is mede afhankelijk van de gebruikte gegevens.

Tabel B3.5 GxG met betrouwbaarheid van modelreeks voor de referentiesituatie **voor het bepaalde model en o.b.v. de beschouwde meetperiode**

Peilbuis	GLG	Betrouwbaarheid*	GG	Betrouwbaarheid*	GHG	Betrouwbaarheid*	Dynamiek M
	m+NAP	GLG	m+NAP	GG	m+NAP	GHG	
		m		m		m	
PB3	1,89	0,03	2,34	0,01	2,77	0,02	0,88
PB4	2,34	0,04	2,54	0,02	2,73	0,03	0,39
PB5	2,17	0,04	2,46	0,02	2,71	0,03	0,54
PB6	2,00	0,02	2,40	0,01	2,71	0,02	0,71
PB7	2,17	0,02	2,59	0,01	2,95	0,02	0,78
PB8	2,07	0,04	2,46	0,02	2,90	0,03	0,83

* 95%-betrouwbaarheid van de GxG (plus of min de schatting van de GxG)

Een indruk van de betrouwbaarheid van de voorspelling van de GHG kan verkregen worden door een model voor zowel het eerste als het tweede deel van de meetreeks op te zetten en vervolgens voor beide modellen de GHG te bepalen. Het verschil geeft aan hoe groot het effect van de meetreeks is op de schatting van de GHG.

Tabel B3.5 Betrouwbaarheid GHG-bepaling bij twee meetreeksen van circa 1 jaar

peilbuis	GHG1	GHG2	Verskil absoluut (m)
	okt 2011- sept 2012 (m+NAP)	sept 2011- juli 2012 (m+NAP)	
3	2.75	2.73	0.02
4	2.78	2.81	0.03
5	2.73	2.73	0.00
6	2.74	2.71	0.04
7	2.97*	2.86	0.10
8	2.98	2.95	0.03

* missende meetgegevens tijdens natte periode

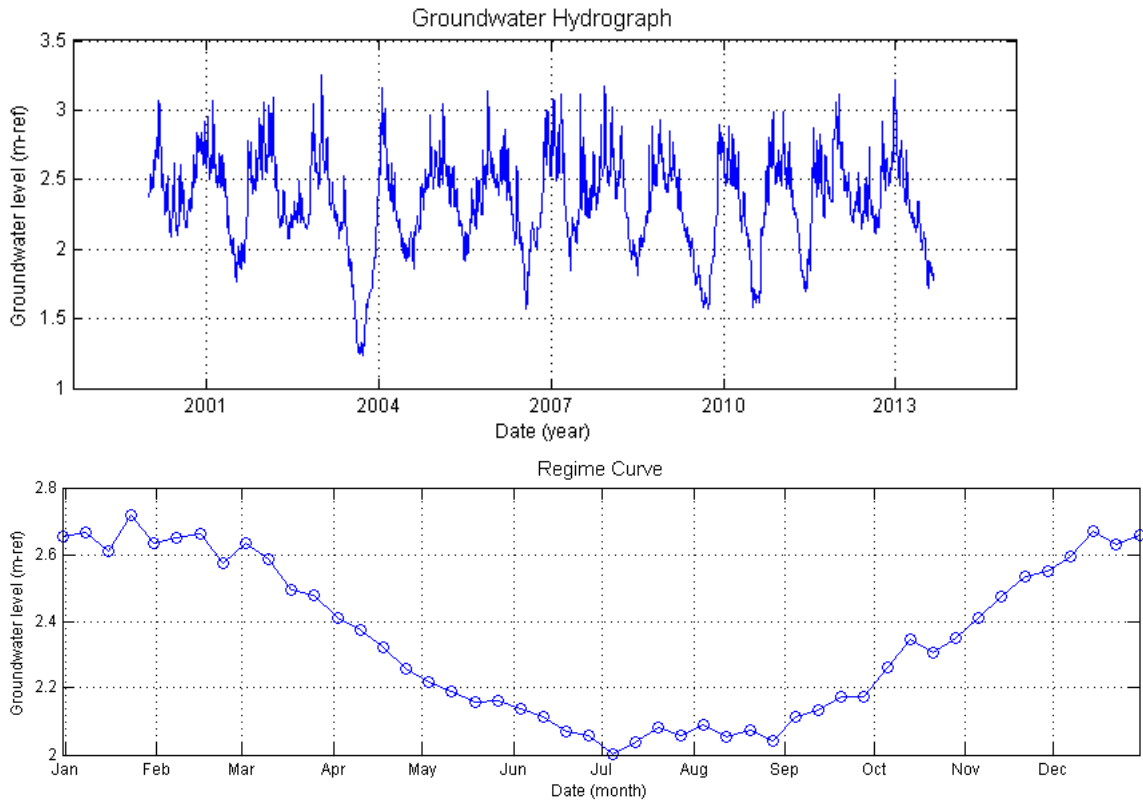
Het grootste verschil treedt op bij peilfilter 7. Voor de GHG van de eerste reeks van pb 7 missen juist in de natte periode meetgegevens, waardoor geen goede GHG wordt ingeschat.

Op basis hiervan wordt verwacht dat het effect van de ingreep met een geschat onderscheidingsvermogen van circa 5 cm kan worden bepaald.

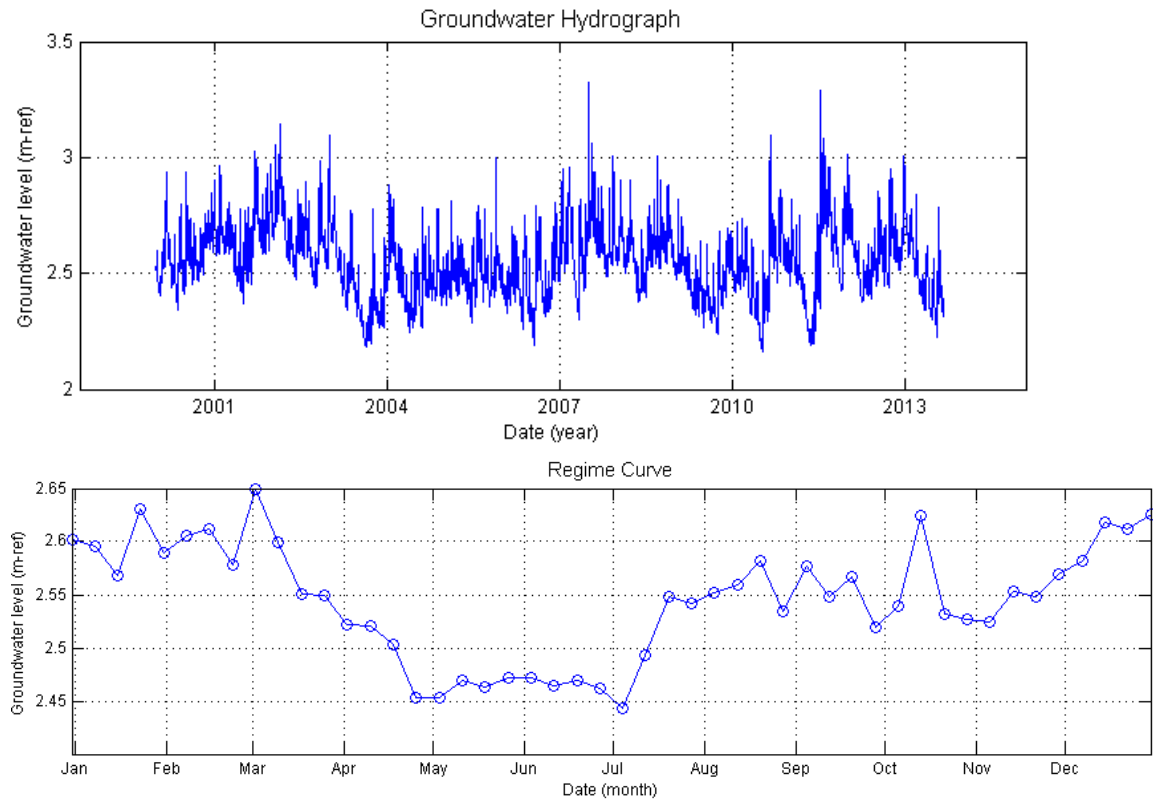
Resultaten: Figuren

De onderstaande figuren geven de simulaties van de grondwaterstanden voor de modellen met als afhankelijkheden de neerslag en verdamping. Tevens zijn regime-curves weergegeven, die het gemiddelde verloop van de grondwaterstand gedurende een jaar weergeven.

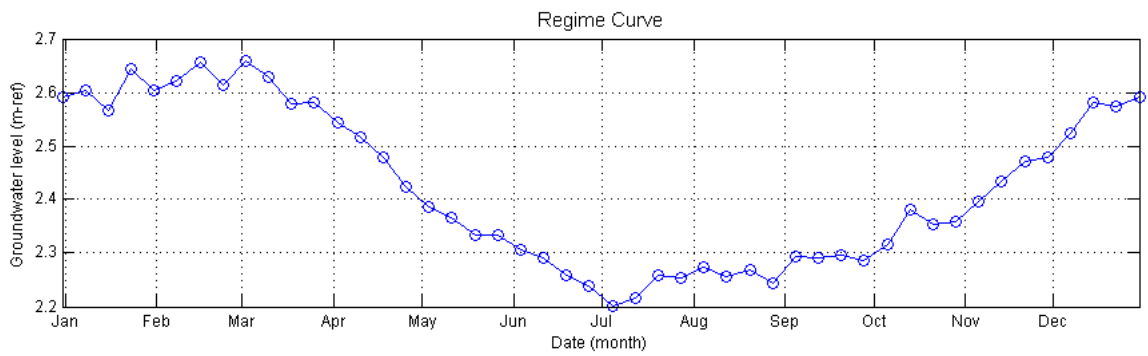
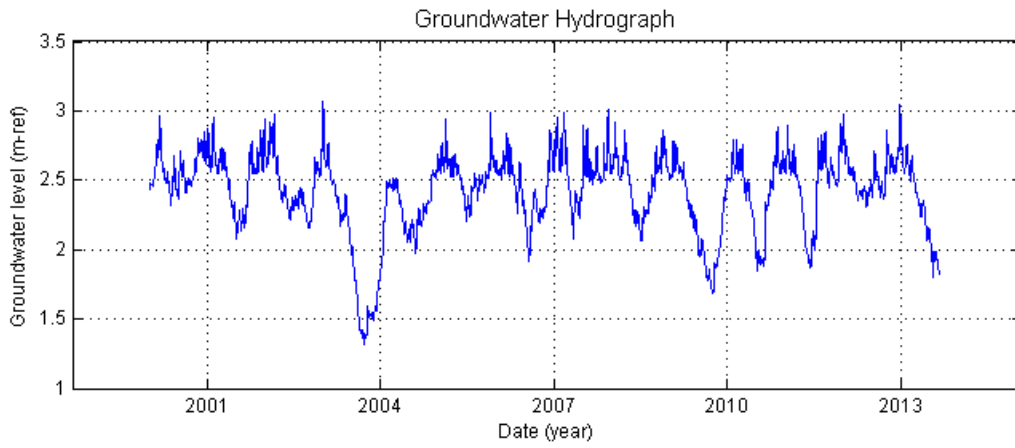
PB3 Grondwaterstanden



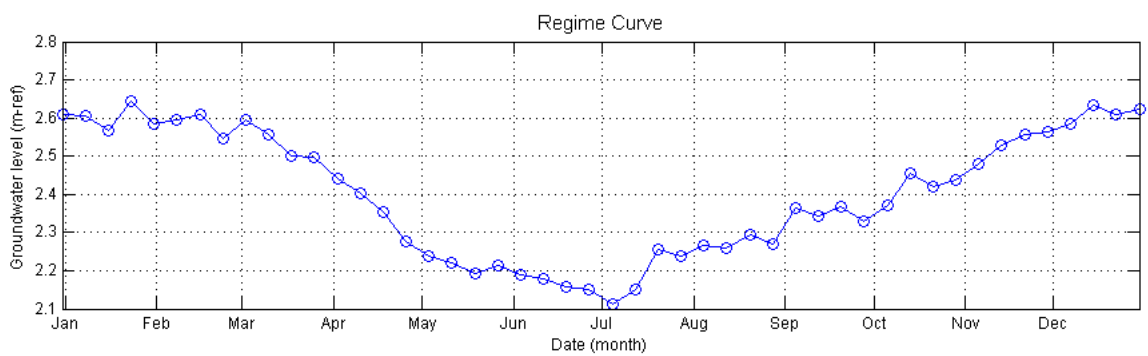
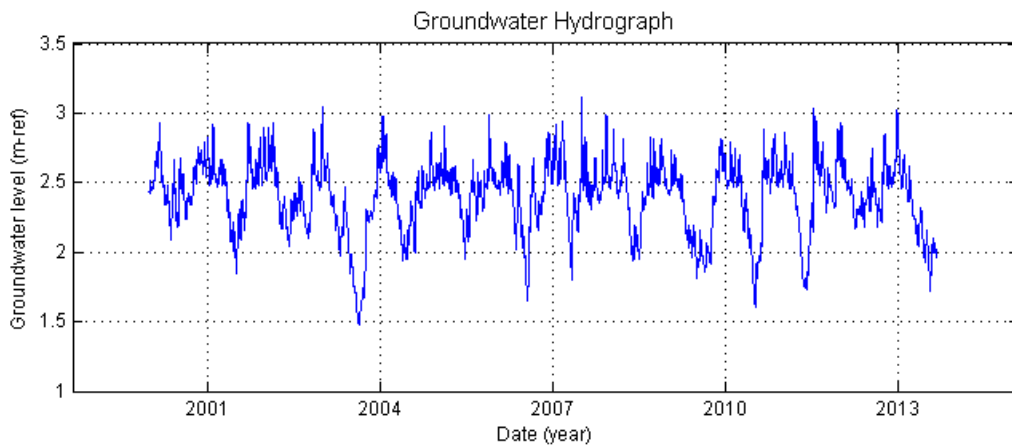
PB4 Grondwaterstanden



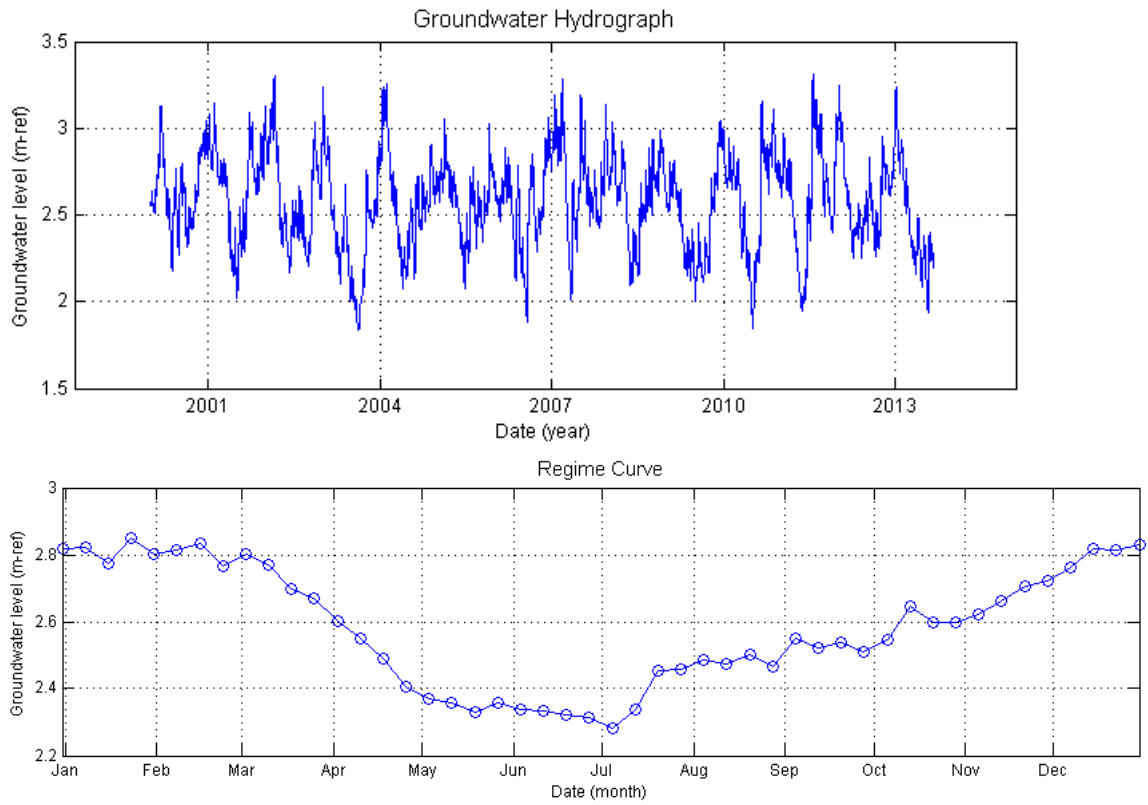
PB5 Grondwaterstanden



PB6 Grondwaterstanden



PB7 Grondwaterstanden



PB8 Grondwaterstanden

