

**Methoden voor bepalen hoogste en laagste
grondwaterstanden**

Deventer, juni 2013

Universiteit Twente

J. Averink

| | |
|-------------------|--|
| Titel | Methoden voor bepalen hoogste en laagste grondwaterstanden |
| Versie | Eind |
| Datum | 17-06-2013 |
| Auteur | J. Averink |
| Begeleider | H.J. Krajenbrink Adviseur water, Wareco Ingenieurs Deventer Dr. Gerbens Universiteit Twente, Enschede |
| Kenmerk | u0909 |



UNIVERSITEIT TWENTE.

Inhoudsopgave

| | |
|--|----|
| Inhoudsopgave | 5 |
| Voorwoord | 7 |
| Samenvatting | 9 |
| Lijst met afkortingen | 11 |
| 1. Inleiding..... | 13 |
| 1.1 Aanleiding..... | 13 |
| 1.2 Doelstelling | 15 |
| 1.3 Onderzoeksvragen | 15 |
| 1.4 Relevantie..... | 15 |
| 1.5 Wareco Ingenieurs | 16 |
| 1.6 Vooruitblik | 16 |
| 2. Systemanalyse | 17 |
| 2.1 Grondwater | 17 |
| 2.2 Grondwaterstand | 18 |
| 2.3 Peilbuizen en grondwatermeetnetten | 20 |
| 2.4 Dataloggers | 20 |
| 2.5 Waterwet..... | 21 |
| 2.6 Gemiddelde hoogste/laagste grondwaterstanden | 21 |
| 2.7 Representatieve hoogste/laagste grondwaterstanden | 22 |
| 2.8 Natte Periode | 22 |
| 2.9 Droge periode | 23 |
| 3. Methode en Data | 27 |
| 3.1 Empirische methoden | 28 |
| 3.2 Meteorologische methoden..... | 30 |
| 3.3 Uitwisselbaarheid empirische methode meteorologische methode | 31 |
| 3.4 Benodigde data | 32 |
| 4. Resultaten | 33 |
| 4.1 Empirische methoden | 33 |
| 4.2 Meteorologische methoden..... | 38 |
| 4.3 Vergelijking empirische en meteorologische methoden | 46 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 5. Discussie | 47 |
| 5.1 Empirische methoden | 47 |
| 5.2 Meteorologische methoden..... | 47 |
| 6. Conclusie..... | 49 |
| Bibliografie | 51 |
| Bijlagen | 53 |

Voorwoord

Allereerst is het een persoonlijke doelstelling van mij om aan het einde van dit onderzoek bruikbare resultaten te kunnen presenteren aan Wareco Ingenieurs en de Universiteit Twente. Daarnaast is het een doelstelling om tijdens dit onderzoek goed te functioneren binnen het bedrijf, om kennis te maken met het werkveld en te leren hoe een bedrijf intern functioneert.

Ten tweede is deze onderzoeksopdracht voor mij interessant door de combinatie van 'harde' techniek en het raakvlak met beleid. Hierin is ook de opbouw van de opleiding Bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente terug te zien.

Tot slot heb ik gedurende de Bachelor opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente te Enschede een voorkeur ontwikkeld voor de richting water binnen de Civiele Techniek. Door middel van deze Bachelor Eindopdracht hoop ik een bevestiging van deze keuze te krijgen en mij na de afronding van deze opdracht in te schrijven voor de *Master Water Engineering and Management* [WEM] aan de Universiteit Twente.

Voor de begeleiding van deze opdracht wil ik graag bedanken alle medewerkers van Wareco Ingenieurs in Deventer en Amstelveen voor de geboden hulp en ondersteuning tijdens de uitvoering van dit onderzoek. Vooral ir. Henk Krajenbrink als bedrijfsbegeleider en ir. Johan Bouma (vestigingsdirecteur Deventer, Wareco Ingenieurs) met zijn zinvolle inhoudelijke aanwijzingen. Voor de begeleiding vanuit de Universiteit Twente te Enschede wil ik mevrouw dr. Gerbens bedanken. Haar hulp om een goede wetenschappelijke rapportage te kunnen schrijven is erg nuttig geweest voor het opstellen van dit rapport.

Samenvatting

'Nederland Waterland' is een begrip dat iedereen kent. Water zien we overal om ons heen, we kunnen het zelfs voelen. Echter hierbij gaat het alleen over het oppervlaktewater. Een veel groter deel van het water in Nederland (en over de hele wereld) is niet te zien en zit onder het maaiveld: 'het grondwater'.

Dit water krijgt in de vakliteratuur veel minder aandacht. Echter een te hoge of een te lage grondwaterstand kan (grote) problemen met zich meebrengen. Een korte opsomming van de mogelijke gevolgen: ontwortelde bomen, wateroverlast in en rond woningen, funderingsrot, verzakkingen en slechte begaanbaarheid van terreinen.

Om deze problemen te kunnen voorkomen is het van belang dat de grondwaterstanden gemonitord worden. Hiermee worden de veranderingen van de grondwaterstanden in kaart gebracht en kunnen deze gerelateerd worden aan de momenten waarop overlast heeft plaatsgevonden. De monitoring van de grondwaterstanden is sinds 2009 een taak van de gemeentelijke overheden volgens artikel 3.6 uit de Waterwet.

De grondwaterstanden die gemeten worden op 2 verschillende manieren geanalyseerd door middel van methoden die hiervoor ontwikkeld zijn:

- Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand/Gemiddelde Laagste Grondwaterstand [GHG/GLG]
- Representatieve Hoogste Grondwaterstand/Representatieve Laagste Grondwaterstand [RHG/RLG]

De uitkomsten van deze beide methoden komen niet helemaal overeen met elkaar is gebleken na een analyse van 82 grondwaterstandsreeksen op verschillende locaties in de gemeenten Hogeveen, Delft en Pijnacker. De onderlinge verschillen voor de hoogste en laagste grondwaterstanden tussen beide methoden liepen op tot 17 cm. Op basis van deze empirische resultaten is onderzocht hoe de RHG/RLG methode aangepast zou moeten worden om de GHG/GLG te kunnen benaderen. Hiervoor zijn de percentielwaarden waarmee de RHG/RLG berekend worden aangepast. Dit heeft geresulteerd in uiteenlopende resultaten ten opzichte van de GHG/GLG. De beste benadering van de GHG/GLG methode wordt bereikt bij het toepassen van de 7^{de} en 93^{ste} percentielwaarde (in plaats van de 10^{de} en 90^{ste}). Deze percentielwaarden leveren resultaten die voor 85% overeen komen met de GHG/GLG.

Naast de empirische methoden om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen worden ook meteorologische gegevens gebruikt om deze vast te stellen. Na 57 mm. neerslag in 9 dagen (de zogenaamde 'natte periode') treedt volgens deze meteorologische methode de hoogste grondwaterstand op. Echter na een analyse van de grondwaterstanden ten opzichte van de grondwaterstandsreeks en de empirische methoden is gebleken dat dit erg onnauwkeurige resultaten oplevert.

Om te bepalen of de meteorologische methode helemaal onbruikbaar is zijn voor verschillende 'natte perioden', variërend van 1 - 9 dagen de bijbehorende neerslagsommen bepaald. Met behulp van deze gegevens zijn de hoogste grondwaterstanden op basis van de verschillende tijdsduren van de 'natte perioden' bepaald. De grondwaterstanden voor de verschillende 'natte perioden' hebben veel onderlinge verschillen. Hiervoor zijn enkele willekeurige grondwaterstandsmeetreeksen in de gemeenten Hogeveen en Delft geanalyseerd. Verschillen tussen de hoogste grondwaterstanden die gevonden zijn met de meteorologische methode lopen op tot 87%.

Kortom kan geconcludeerd worden dat op basis van de empirische methoden gebleken is dat de percentielwaarden van de RHG/ELG methoden bijgesteld moeten worden naar de

7^{de} en 93^{ste} percentielwaarden om een betrouwbaarder resultaat van de hoogste en laagste grondwaterstanden te verkrijgen. Daarnaast is gebleken dat op basis van de meteorologische methoden geen eenduidige betrouwbare resultaten van de hoogste grondwaterstanden gevonden kunnen worden, hiervoor wijken de resultaten onderling (zowel absoluut als relatief) te veel van elkaar af.

Lijst met afkortingen

| | |
|-------|---|
| HG3 | De drie hoogste grondwaterstanden per jaar op basis van een GHG/GLG meetreeks |
| GHG | Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand |
| GLG | Gemiddelde Laagste Grondwaterstand |
| gws | Grondwaterstand |
| KNMI | Koninklijk Meteorologisch Instituut |
| LG3 | De drie laagste grondwaterstanden per jaar op basis van een GHG/GLG meetreeks |
| MHG | Maatgevend Hoogste Grondwaterstand |
| MLG | Maatgevend Laagste Grondwaterstand |
| pb | Peilbuis |
| RHG | Representatieve Hoogste Grondwaterstand |
| RLG | Representatieve Laagste Grondwaterstand |
| STOWA | Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer |
| WEM | Master Water Engineering and Management, Universiteit Twente, Enschede |
| WWD | WarecoWaterData |
| z.d. | Zonder datum |

1. Inleiding

Om het grondwater en alles wat hier mee te maken heeft te introduceren zullen in dit hoofdstuk onder andere de aanleiding, doelstelling en relevantie van dit onderzoek behandeld worden.

1.1 Aanleiding

Er wordt in Nederland veel over water geschreven. Zoveel zelfs dat 'Nederland, Waterland' een begrip is dat een ieder van ons kent. Bij het begrip water wordt er bijna altijd gedacht aan het water dat we kunnen zien en zelfs kunnen voelen, het oppervlaktewater. Grondwater, het water 'onder' Nederland wordt in de meeste publicaties echter slechts terloops genoemd (Dufour, 1998).

Stedelijk grondwater is het grondwater in de stad. Stedelijk grondwaterbeheer is een taak van de Nederlandse Gemeenten. In de Waterwet van 2009 is vastgelegd dat gemeenten verantwoordelijk zijn voor het beleid betreffende het stedelijk grondwater (Overheid, 2009).

Waterwet Artikel 3.6.1 (Overheid, 2009)

"De gemeenteraad en het college van burgemeester en wethouders dragen zorg voor het in het openbaar gemeentelijke gebied treffen van maatregelen teneinde structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken, voor zover het treffen van die maatregelen doelmatig is en niet tot de zorg van de beheerder of de provincie behoort".

In dit beleid komen meerdere aspecten aan de orde die betrekking hebben op het stedelijk grondwater. In de wettekst wordt gesproken over het zoveel mogelijk voorkomen en beperken van de nadelige gevolgen van de grondwaterstand. Nadelige gevolgen door de grondwaterstand kunnen ontstaan door zowel een hoge grondwaterstand als een te lage grondwaterstand (Hoogenboom & Pellenbarg, 1990). In [Bijlage 1](#) staat uitgebreid uitgewerkt wat de gevolgen van een te hoge of te lage grondwaterstand kunnen zijn.

De grondwaterstand heeft gedurende elk jaar een golvend verloop. Door de fluctuatie van de grondwaterstand en de overlast die een te hoge grondwaterstand en een te lage grondwaterstand kan veroorzaken ([Bijlage 1](#)) is het van belang dat de grondwaterstand gemonitord wordt. Om de overlast te voorkomen of te beperken moeten de grondwaterstanden gemeten worden om de orde van grootte van het probleem vast te kunnen stellen. Om het grondwater te kunnen monitoren zijn er ingrepen nodig (Dufour, 1998). Op de locatie waar de grondwaterstand gemeten moet worden, zal een peilbuis geplaatst moeten worden. Een peilbuis is een metalen of PVC buis die in de grond geplaatst wordt. De onderzijde van de buis is geperforeerd waardoor het mogelijk is op de grondwaterstanden te monitoren (De Meetdienst, z.d.). Om over een groter gebied, bijvoorbeeld een hele gemeente, uitspraken te kunnen doen over de grondwaterstanden en grondwaterproblematiek moeten er meerdere peilbuizen geplaatst worden. Deze peilbuizen vormen samen een netwerk, het zogenaamde grondwatermeetnet.

Sinds 1948 worden de grondwaterstanden in Nederland periodiek vastgelegd (Hoogenboom & Pellenbarg, 1990). Hiervoor zijn twee methoden, laagfrequente metingen

en hoogfrequente metingen. Laagfrequent meten betekent dat de metingen twee maal per maand handmatig plaatsvinden (Dufour, 1998). De automatisering is ook in de hydrologie niet voorbij gegaan. Sinds 1992 is er sprake van een aanzienlijke ontwikkeling in het geautomatiseerd registreren van grondwaterstanden (Dufour, 1998). Door de automatisering is hoogfrequent meten mogelijk, hoogfrequent meten betekent dat de grondwaterstanden dagelijks of ieder uur gemeten worden door middel van dataloggers.

Op basis van een langjarige laagfrequente meetreeks van de grondwaterstanden kunnen de *Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand* [GHG] en de *Gemiddelde Laagste Grondwaterstand* [GLG] bepaald worden. Hiervoor is minimaal een reeks van 8 jaar nodig. De hoogste en laagste grondwaterstand wordt dan bepaald door respectievelijk de drie hoogste en de drie laagste grondwaterstanden te middelen (Grondwaterdynamiek, z.d.). Op basis van de hoogfrequente metingen heeft Wareco Ingenieurs een methode ontwikkeld waarbij in minimaal 1 jaar de *Representatieve Hoogste Grondwaterstand* [RHG] en de *Representatieve Laagste Grondwaterstand* [RLG] bepaald kunnen worden. De hoogste grondwaterstand is het 90^{ste} percentiel van de meetreeks, de laagste grondwaterstand is het 10^{de} percentiel van de meetreeks van de grondwaterstanden (Wareco, z.d.).

Deze beide methoden om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen zijn gebaseerd op de metingen van de grondwaterstanden in de peilbuizen. In het vervolg van deze rapportage zullen deze methoden de empirische methoden genoemd worden. In de praktijk worden de empirische methoden door elkaar gebruikt, echter de resultaten van beide methoden zijn niet gelijk. Dit onderling inwisselen van de methoden om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen levert door de verschillende uitkomsten problemen op. Deze problemen kunnen opgelost worden door een methode te ontwikkelen, op basis van beide empirische methoden, die uitwisselbaar is.

Een tweede probleem is dat in sommige gevallen onderzoek gedaan moet worden op locaties waar helemaal geen data, of bijna geen data beschikbaar zijn over de grondwaterstanden. Met behulp van meteorologische gegevens zouden dan de momenten van de hoogste en laagste grondwaterstanden bepaald moeten worden. Hiervoor moet echter wel het goede moment gekozen worden. De *Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer* [STOWA] heeft de methode ontwikkeld waarmee op basis van een natte periode de tijdstippen bepaald kunnen worden waarop de *Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden* [MHG] (Smits et al, 2004) plaatsvinden. Op basis van de droge periode (een periode met geen tot weinig neerslag en een grote hoeveelheid verdamping) kunnen de momenten bepaald worden waarop de *Maatgevende Laagste Grondwaterstanden* [MLG] gevonden kunnen worden. Deze methode moet echter uitwisselbaar zijn met de empirische methode zodat deze methode, als er geen grondwaterstanden bekend zijn, gebruikt kan worden om bijvoorbeeld het beleid van gemeente te kunnen toetsen. Deze methode wordt in het vervolg de meteorologische methode genoemd omdat deze gebaseerd is op de meteorologische gegevens van het *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut* [KNMI] (KNMI, z.d.).

1.2 Doelstelling

Ten eerste is het doel van dit onderzoek om de verschillen en overeenkomsten tussen de twee bestaande methoden weer te geven. Met het beste van beide methoden zal een nieuwe methode ontwikkeld worden waardoor de empirische methoden uitwisselbaar zijn met elkaar.

Ten tweede is het doel om op basis van meteorologische data van het KNMI de natte en droge perioden voor het stedelijk gebied te bepalen en vast te stellen of hiermee het moment zich voordoet waarop de MHG en MLG plaatsvinden.

Tot slot zal getoetst worden of de empirische methoden uitwisselbaar zijn met de meteorologische methoden om zo in alle situaties uitspraken te kunnen doen over de hoogste en laagste grondwaterstanden.

1.3 Onderzoeksvragen

Op basis van deze doelstelling kunnen de onderzoeksvragen geformuleerd worden. De centrale onderzoeksvraag luidt:

"Wat is - op basis van de belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen de twee methoden - de beste methode om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen en wat is de beste methode om op basis van meteorologische gegevens de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen?"

Om deze centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

Deel I; empirische methoden

- *Wat zijn de verschillen en overeenkomsten tussen beide methoden?*
- *Wat is, op basis van de vergelijking van beide methoden, de beste methode om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen?*

Deel II; meteorologische methoden

- *Welke tijdsduur voor de droge en natte perioden moeten gebruikt worden in het stedelijk gebied?*
- *Kunnen op basis van de natte en droge perioden de hoogste en laagste grondwaterstanden bepaald worden?*
- *Is de meteorologische methode een goed alternatief voor het bepalen van de grondwaterstanden?*

1.4 Relevantie

Voor Wareco Ingenieurs is het van belang dat deze verschillende methoden onderling uitwisselbaar zullen zijn om het gemeentelijke grondwaterbeleid in alle gevallen op de juiste manier te kunnen toetsen. Ook als dit beleid gebaseerd is op een andere methode dan de manier waarop het beleid getoetst gaat worden. Door middel van een statistische en wetenschappelijke onderbouwing willen zij het beleid dat geschreven is op basis van de GHG/GLG methode kunnen toetsen met een korte grondwaterstandreeks, met de RHG/RLG methode om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen.

Daarnaast is het relevant voor de wetenschap en Wareco Ingenieurs dat de natte periode en de droge periode nader uitgewerkt kunnen worden. Zodat zo onderbouwd is of op basis van de neerslaggegevens en verdampinggegevens de Maatgevende Hoogste/Laagste Grondwaterstanden bepaald kunnen worden.

Een goede analyse van het grondwaterpeil is relevant om de vele problemen ([Bijlage 1](#)) die kunnen ontstaan door een te hoge of een te lage grondwaterstand te kunnen ondervangen.

1.5 Wareco Ingenieurs

Wareco is een ingenieursbureau met ongeveer 60 werknemers verdeeld over twee vestigingen. De hoofdvestiging is in Amstelveen de andere is gevestigd in Deventer. Wareco is ontstaan door betrokkenheid bij de menselijke en maatschappelijke gevolgen van bodem-, water- en funderingsproblematiek (Wareco, z.d.).

De missie van Wareco is:

"Wareco Ingenieurs wil een bijdrage leveren aan de duurzame kwaliteit van de bebouwde omgeving en wil daarmee waarde creëren voor zijn klanten, medewerkers en de maatschappij."

De diensten die Wareco Ingenieurs levert zijn onderverdeeld in:

- Bodemdiensten, hierbij moet gedacht worden aan het oplossen van alle denkbare bodemverontreiniging problemen. Van bodem onderzoek tot de directievoering van een ingewikkelde bodemsanering
- Waterdiensten, Wareco Ingenieurs heeft zich gespecialiseerd in hemelwater, grondwater, rioolwater en oppervlaktewater en de interactie tussen deze in het stedelijk gebied. Het werk op het gebied van water is erg breed: onderzoek, verzorgen van gedetailleerde uitwerken tot op bestek niveau, beleidsvorming. Grondwatermeetnetten worden bijvoorbeeld door Wareco ontworpen, gerealiseerd, onderhouden, geoptimaliseerd en in beheer gehouden.
- Funderingsdiensten: voor funderingen doet Wareco onderzoek, geeft het advies maar heeft het ook het beheer van funderingen in hun portefeuille.

1.6 Vooruitblik

In deze rapportage zal allereerst met een systeemanalyse een beeld gegeven worden van de civieltechnische elementen die een rol spelen in het onderzoek. Aansluitend zal in hoofdstuk 3 *Methode en Data* de werkwijze uitgewerkt worden en de daarbij benodigde data genoemd worden.

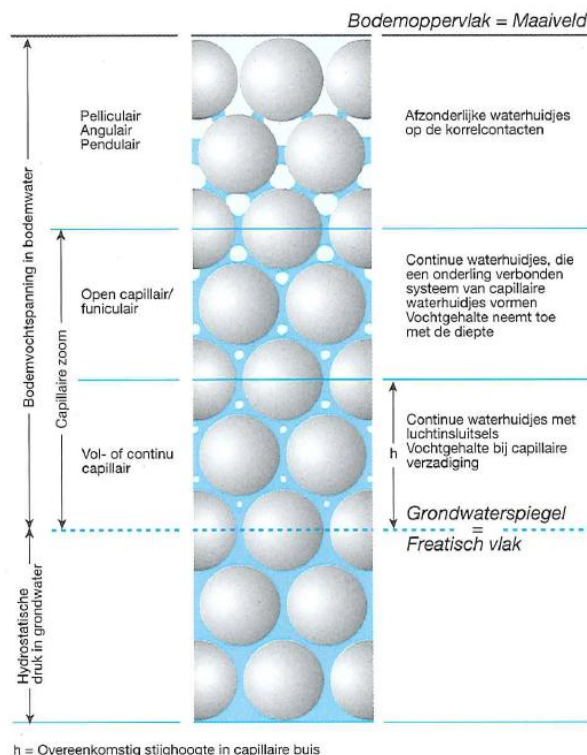
De resultaten en de discussie van deze resultaten en werkwijze zullen aan bod komen in hoofdstuk 4 (*Resultaten*) en hoofdstuk 5 (*Discussie*). Tot slot zullen in de *Conclusie* (hoofdstuk 6) de bevindingen van het onderzoek gepresenteerd worden. Dit hoofdstuk zal afgesloten worden met enkele aanbevelingen.

2. Systemanalyse

Om een beeld te scheppen van de Civieltechnische omgeving waar binnen het onderzoek uitgevoerd zal worden zullen in de komende paragrafen de onderwerpen behandeld worden die van belang zijn om te weten voor het uitvoeren en begrijpen van het onderzoeksgebied.

2.1 Grondwater

Grondwater wordt door de Van Dale omschreven als 'water in de grond' (Van Dale Woordenboek, z.d.). Grondwater is het water dat zich in de ondergrond bevindt - het water dat hier opgeslagen is of er stroomt (The Free Dictionary, z.d.) - in de ruimten die tussen vaste deeltjes, zoals zandkorrels, bestaan (Dufour, 1998). Echter niet al het water onder het maaiveld wordt in de Civiele Techniek met de naam grondwater bedoeld. De bovenste honderden meters van het grootste gedeelte van de Nederlandse bodem bestaan uit verschillende lagen en pakketten van zand, grind, klei, silt en veen (Dufour, 1998). Tussen de vaste delen in deze pakketten bevinden zich ruimten, poriën genaamd. Als deze poriën gevuld zijn met water, als de ruimten verzadigd zijn, dan noemt met dit grondwater (DINOloket, z.d.). Het hoogste niveau van dit water wordt de grondwaterspiegel of het freatisch vlak genoemd. De zone beneden de grondwaterspiegel (Helpdesk Water, z.d.) wordt de verzadigde zone genoemd (zie Figuur 2.1).



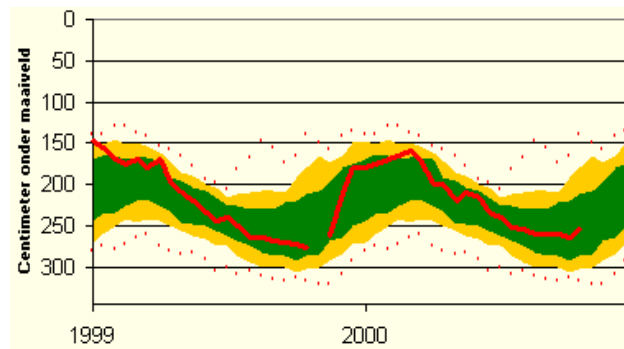
Figuur 2.1: De zones van grondwater in de bodem (Dufour, 1998)

De *InformatieDesk standaarden Water Aquo* heeft zijn eigen definitie van grondwater. Al het water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met bodem of ondergrond staat, is de definitie die zij voor grondwater

geven (Aquo, z.d.). Dit contact met de bodem of de ondergrond is in Nederland erg belangrijk. Het grondwater is een belangrijke bron voor de watervoorziening. Het ondiepe grondwater bepaalt de ontwikkelingsmogelijkheden van gewassen en ecosystemen. Het diepe grondwater voorziet huishoudens, de industrie en de landbouw voor een belangrijk deel van water (Hoogenboom & Pellenbarg, 1990).

2.2 Grondwaterstand

De grondwaterstand is het gelijk aan het eerder genoemde freatische vlak of de grondwaterspiegel. Dit waterpeil is niet constant. Het grondwaterpeil van het ondiepe is afhankelijk van de neerslag. De neerslag is namelijk direct of indirect de bron voor het grondwater. Als directe bron voor het ondiepe grondwater moet de neerslag in de bodem infiltreren, als er sprake is van indirecte voeding van het grondwater dan komt het meteorologisch water (neerslag) via oppervlaktewater in de grond terecht (The Free Dictionary, z.d.).



Figuur 2.2: Golvend verloop van de grondwaterstand door het jaar heen (Helpdesk Water, z.d.)

Als de grondwaterstand uitgezet wordt in een grafiek heeft deze een golvend verloop door het jaar. Ieder jaar kent een natte en een droge periode. Met de natte periode worden de wintermaanden bedoeld waarin gemiddeld genomen de hoogste grondwaterstanden plaats hebben. In deze periode is de netto-neerslag (neerslag verminderd met verdamping) hoger dan de zogenaamde droge periode, de zomerperiode. Figuur 2.2 toont het verloop van een grondwaterstand door het jaar. Hier is goed te zien dat de hoogste grondwaterstand te vinden is in de natte winterperiode en de laagste grondwaterstand in de droge zomerperiode.

De grondwaterstanden kunnen door bijvoorbeeld een lange periode waarin weinig tot geen neerslag valt te laag worden. Een te lage grondwaterstand brengt problemen met zich mee, hetzelfde geldt voor een te hoge grondwaterstand. Een te hoge grondwaterstand wordt veroorzaakt door te veel kwel en/of te weinig wegzijging. Een te lage grondwaterstand juist door het omgekeerde, te weinig kwel en/of te veel wegzijging (Hoogenboom & Pellenbarg, 1990). In [Bijlage 1](#) zijn de gevolgen van een te hoge en een te lage grondwaterstand uitgewerkt. Gevolgen die genoemd worden voor een te hoge grondwaterstand zijn water in de kruipruimten en vochtotrekking in muren (Figuur 2.3 en Figuur 2.4). In Figuur 2.5 is een voorbeeld weergegeven een van de mogelijke gevolgen van een te lage grondwaterstand, paalrot in funderingen.



Figuur 2.3: Grondwateroverlast in de kruipruimte door een te hoge grondwaterstand (Wareco, z.d.)



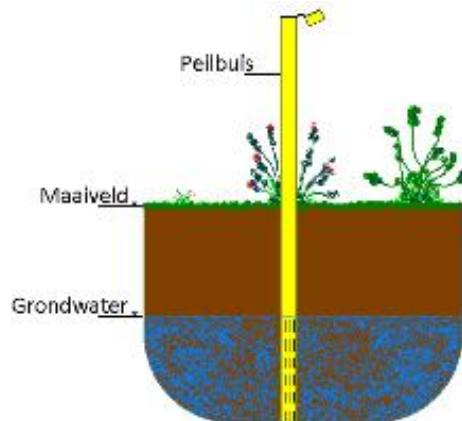
Figuur 2.4: Vochoptrekking in de muren van een woning door een te hoge grondwaterstand (Wareco, z.d.)



Figuur 2.5: Paalrot in funderingen als gevolg van een te lage grondwaterstand (Wareco, z.d.)

2.3 Peilbuizen en grondwatermeetnetten

In peilbuizen kunnen de grondwaterstanden bepaald worden. Hiermee kan de oorzaak van de grondwaterproblematiek gekwantificeerd worden. Figuur 2.6 geeft een schematische weergave van hoe een peilbuis eruit ziet. Een peilbuis is vaak een stalen buis in de grond. Het onderste deel van deze buis is voorzien van een filter waardoor het grondwater door de buis kan stromen. Door dit filter is de grondwaterstand in de peilbuis gelijk aan de werkelijke grondwaterstand op de locatie waar deze geplaatst is.



Figuur 2.6: Peilbuis (Waterloket gemeente Hoogeveen, 2012)

In een peilbuis kunnen niet de grondwaterstanden voor een groot gebied gemeten worden. De waarnemingen in een peilbuis zijn altijd tijdafhankelijk en plaatsgebonden: het zijn tijd/punt waarnemingen (Dufour, 1998). Om bijvoorbeeld de problemen voor een groter gebied te kunnen monitoren of om het grondwaterbeleid van een gemeente te kunnen toetsen zijn er meerdere peilbuizen noodzakelijk. Hiervoor moet een grondwatermeetnet gerealiseerd worden.

Een gemeentelijk grondwatermeetnet bestaat uit meerdere peilbuizen. Deze peilbuizen zijn in dit meetnet systematisch in een gebied geplaatst (Wareco, z.d.) zodat deze een representatieve weergave verstrekken van de grondwatergegevens in de watervoerende laag. In [Bijlage 2](#) zijn overzichtskarten opgenomen van de grondwatermeetnetten in de gemeenten Delft, Pijnacker en Hoogeveen.

2.4 Dataloggers

Een datalogger is een klein apparaat dat de waterdruk meet in de peilbuis waarmee de grondwaterstand bepaald kan worden (Theo van Velzen, z.d.), in Figuur 2.7 is een voorbeeld van een datalogger weergegeven. De grondwaterdruk kan omgerekend worden naar een waterkolom die zich boven de sensor bevindt. Met de gegevens die bekend zijn van de peilbuis (lengte van de draad waarin de datalogger hangt, de hoogte van het maaiveld ten opzichte van NAP) kan dan de grondwaterstand op deze locatie bepaald worden. Door de metingen van de grondwaterstanden met behulp van dataloggers is er een hogere meetfrequentie, meestal 1 maal per uur.



Figuur 2.7: Datalogger van de fabrikant Schlumberger (Field Environmental Instruments, z.d.)

2.5 Waterwet

Dat het gemeentelijk grondwaterbeheer een taak is van de gemeenten is opgenomen in de Waterwet. Wie het grondwaterbeheer in het takenpakket heeft is een van de vele zaken die in deze wet geregeld zijn. De Waterwet regelt daarnaast het beheer van het oppervlaktewater, ook verbeterd het de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening. Daarnaast levert de Waterwet een flinke bijdrage aan kabinetsdoelstellingen zoals vermindering van regels, vergunningstelsels en administratieve lasten (Helpdesk Water, z.d.). De Waterwet is opgesteld in 2009 en is een samenvoeging van acht bestaande waterbeheerwetten.

2.6 Gemiddelde hoogste/laagste grondwaterstanden

Achtergrond:

De klassieke methode voor de bepaling van de GHG/GLG is in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw ontwikkeld ten behoeve van de landbouw. De landbouwsector had er behoefte aan om de grondwaterstanden in de zomer- en winterperiode te weten. Hoge grondwaterstanden brachten namelijk beperkingen met zich mee. Om te bepalen welke gebieden voor landbouwgrond gebruikt konden worden, welke gewassen verbouwd konden worden en wat het draagvermogen van de grond was (voor bijvoorbeeld het bewerken van het land met machines) was het van belang om inzicht te hebben in de hoogste en laagste grondwaterstanden (Heesen, 1970). Met behulp van de hoogste en laagste grondwaterstanden werden de functies aan een gebied toegewezen die het beste paste bij de situatie. De droge zandgronden bijvoorbeeld zijn goed voor bosbouw geschikt (Heesen, 1970), zandgrond gebieden met lage grondwaterstanden kunnen daarvoor gebruikt worden.

Meetwijze:

Om de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen zullen deze gemeten moeten worden. Voor de GHG/GLG is een meetfrequentie van twee keer per maand voldoende. Deze metingen worden meestal handmatig uitgevoerd. De metingen van de grondwaterstanden die voor deze methode nodig zijn worden gedaan in de hiervoor geplaatste peilbuizen. Op elke 14^{de} en 28^{ste} dag van de maand zijn de grondwaterstanden gemeten. Het is landelijk afgesproken dat het monitoren van de grondwaterstanden op deze dagen gebeurt (Vonk, 2012).

Berekening:

Met de data van de grondwaterstanden kunnen de GHG/GLG berekend worden. Voor het bepalen van de GHG met deze methode worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De te gebruiken meetreeks dient minimaal 8 jaar te zijn (Bouma, Maasbommel, & Schuurman, 2012)
- Uit de meetreeks wordt het gemiddelde bepaald van de drie hoogst gemeten grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart). Dit gemiddelde wordt de HG3 genoemd (Edelman & Burger, 2009)
- De GHG is de gemiddelde waarde van de HG3's van de meetreeks (Helpdesk Water, z.d.)

De berekening van de GLG wordt op dezelfde wijze uitgevoerd, waarbij gebruik gemaakt wordt van de drie laagst gemeten grondwaterstanden per hydrologisch jaar, de LG3's (Edelman & Burger, 2009).

2.7 Representatieve hoogste/laagste grondwaterstanden

Achtergrond:

De RHG/RLG is ontwikkeld om sneller uitspraken te kunnen doen over de hoogste en laagste grondwaterstanden. Ook voldoen veel meetreeksen waarmee de GHG/GLG berekend wordt niet aan de basisrandvoorwaarden, veel meetreeksen missen per jaar een of meerdere grondwatermetingen (Edelman & Burger, 2009). Doordat veel peilbuizen voorzien worden van dataloggers is het mogelijk om binnen een kortere tijd een hoogfrequente meetreeks te genereren om daarmee de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen.

Meetwijze:

De metingen die verricht zijn met behulp van de dataloggers worden gebruikt voor de RHG/RLG methode. Om met behulp van deze data de Representatieve Hoogste en Laagste Grondwaterstanden te berekenen zijn er enkele uitgangspunten:

- Minimale meetreeks van 1 hydrologisch jaar
- Hoogfrequente meetreeks, bij voorkeur 1 meting per uur

Berekening:

Op basis van de meetreeks worden de RHG en RLG bepaald door de 10^{de} en het 90^{ste} percentielwaarden te bepalen. Het 10^{de} percentiel betekent dat bij 10% van de metingen lager is dan de Representatieve Laagste Grondwaterstand. Bij het 90^{ste} percentiel is 10% van de metingen van de grondwaterstand hoger dan de Representatieve Hoogste Grondwaterstand.

2.8 Natte Periode

De basis voor het bepalen van de natte periode is gelegd in het STOWA rapport 26. In dit rapport, genaamd 'Statistiek van extreme neerslag in Nederland' (Smits et al, 2004), is de natte periode voor het landelijk gebied bepaald. De voorwaarden voor de natte periode zijn:

- Natte periode wordt gemeten in de winterperiode (oktober tot en met maart).
- Het criterium van de neerslagsom voor de natte periode is gebaseerd op de bruto-neerslag.
- De tijdsduur van de natte periode is afhankelijk van het reactievermogen van de ondergrond van het gebied.

In het STOWA rapport (Smits et al, 2004) zijn de neerslaghoeveelheden met verschillende tijdsduren (van 4 uur tot 9 dagen) en verschillende overschrijdingsfrequenties (gemiddeld 10 keer per jaar tot gemiddeld 1 keer per 1000 jaar) gepresenteerd. Binnen Wareco Ingenieurs wordt de hoogste grondwaterstand bepaald met de neerslaghoeveelheid (bruto-neerslag) van 58 mm in 9 dagen. Deze hoeveelheid wordt gemiddeld 1 keer per jaar overschreden. De resultaten van dit criteria met betrekking tot de grondwaterstanden zullen later getoond worden.

De natte periode zoals deze door het STOWA (Smits et al, 2004) geformuleerd is gericht op het landelijk gebied. De landelijke gebieden zijn langzaam reagerende gebieden, de grondwaterstand in deze gebieden reageert langzaam op neerslag. In stedelijke gebieden zijn snel reagerende gebieden, kort na de neerslag (enkele uren tot enkele dagen) zijn er treedt een grondwaterstandverhoging op. Om in het stedelijk gebied de hoogste grondwaterstand te bepalen zullen ook de andere tijdsduren geanalyseerd moeten worden. Enkele zijn al bekend op basis van het STOWA rapport 26 (Smits et al, 2004), de overige tijdsduren zullen op basis hiervan geïnterpoleerd worden.

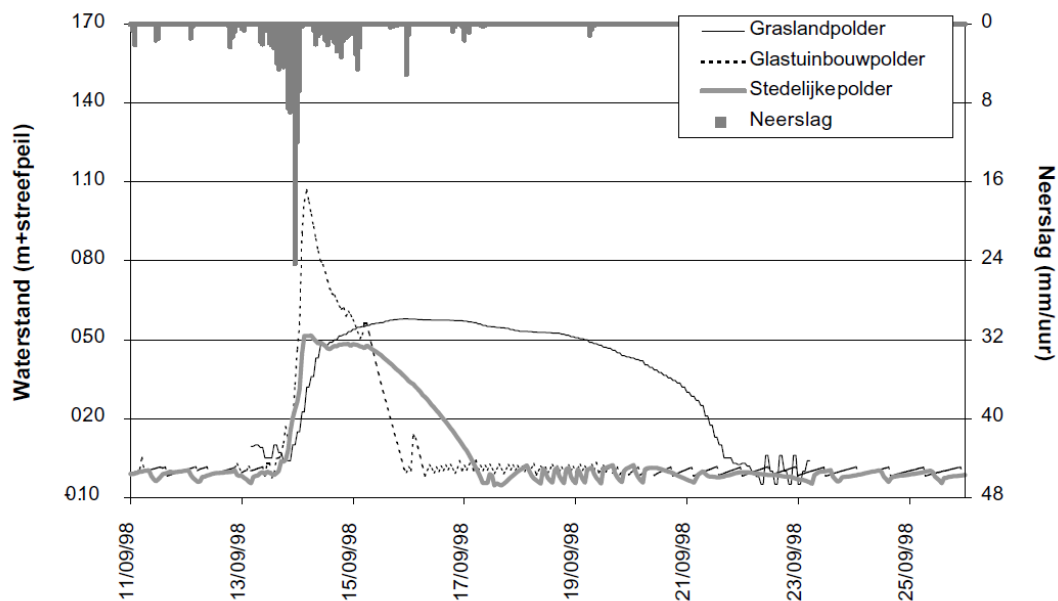
De grondwaterstand reageert binnen een kortere tijd op de neerslag. Voor de snel reagerende gebieden daarom andere criteria gesteld worden om het moment van de maatgevende situatie vast te stellen. Mogelijke criteria voor het stedelijk gebied voor de neerslaghoeveelheden met een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld 1 keer per jaar zijn (Smits et al, 2004):

| | |
|---------|---------|
| 2 dagen | 19 mm |
| 3 dagen | 22,5 mm |
| 4 dagen | 25 mm |
| 9 dagen | 58 mm |

2.9 Droge periode

Het STOWA rapport 26 (Smits et al, 2004) schenkt geen aandacht aan de droge periode. Een droge periode is een aantal opeenvolgende dagen waarin er weinig tot geen neerslag valt en er wel verdamping plaatsvindt.

De tijdsduur van de droge periode is langer dan die van de natte situatie (in het stedelijk gebied). De grondwaterstand reageert directer en sneller op neerslag dan op een periode van weinig of geen neerslag. De verschillen tussen de reactie van de grondwaterstanden op een droge en natte periode en de verschillen tussen de snel en langzame reagerende gebieden zijn te zien in Figuur 2.8.



Figuur 2.8: Tijdreeksen van waterstanden (m) ten opzichte van streefpeil in drie verschillende watersystemen met bijbehorende neerslaghoeveelheden, hierin worden de verschillen tussen de reactiesnelheden van de waterstanden duidelijk en dat deze afhankelijk is van de ondergrond (Smits et al, 2004)

De bepaling van de droge periode moet voldoen aan een aantal voorwaarden:

- Droge periode vindt plaats in de zomerperiode, de maanden april tot en met september
- Het criterium voor de neerslaghoeveelheid is de neerslagsom van de netto-neerslag. De netto-neerslag is de bruto-neerslag verminderd met de verdamping.
- periode. De grondwaterstand reageert langzamer op een periode met weinig of geen neerslag dan op een periode met veel neerslag.

Verschillende criteria waaraan de droge periode getoetst zullen worden zijn:

| Tijdsduur | Neerslagsom (mm) |
|-----------|------------------|
| 14 dagen | -25 |
| 17 dagen | -30 |
| 18 dagen | -32 |
| 21 dagen | -40 |

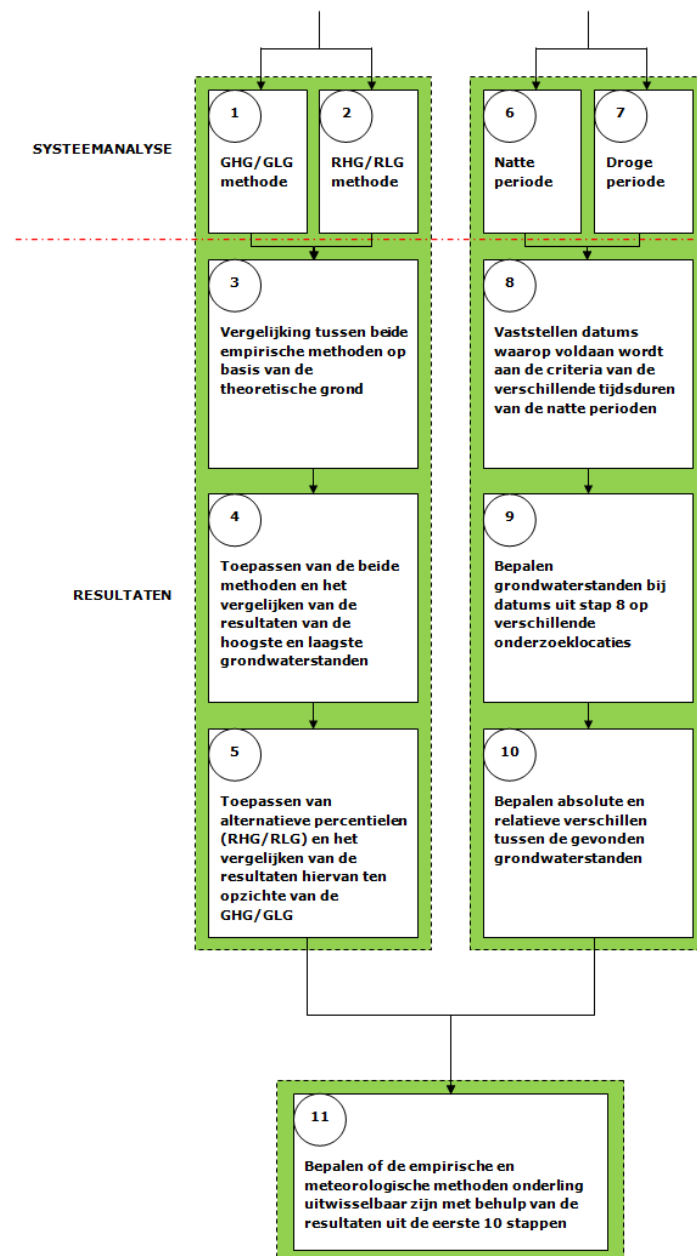
Om te bepalen wanneer de laagste grondwaterstand zich voordoet is echter erg moeilijk vast te stellen. Deze is niet alleen afhankelijk van de meteorologische elementen die zich in de droge periode hebben voorgedaan. De Maatgevende Laagste Grondwaterstand [MLG] is afhankelijk van:

- Bodemopbouw
- Kenmerken van neerslag en verdamping over een lange periode
- Mogelijkheid van uitzakken van grondwaterstand (bijvoorbeeld op de Veluwe kan door de zandgronden de grondwaterstand er ver dalen, dit in tegenstelling tot de kleigronden waar de grondwaterstanden maar enkele decimeters kunnen fluctueren)
- Onttrekkingen en lozingen

- Lengte van droge periode, grafiek van laagste grondwaterstand ziet er uit als een lijn met asymptoot. Moeilijk te bepalen wanneer in theorie de laagste grondwaterstand bereikt zou moeten zijn, is afhankelijk van veel factoren

3. Methode en Data

De methode waarmee antwoord gegeven kan worden op de centrale onderzoeksvraag en de bijbehorende deelvragen is samengevat in het schema dat weergegeven is in Figuur 3.1. Deze figuur toont 11 verschillende stappen die genomen zullen worden om tot het antwoord te komen. De stappen 1 t/m 5 betreffen het onderzoek naar de relatie tussen de GHG/GLG en de RHG/RLG methode en de uitwisselbaarheid tussen deze beide empirische



Figuur 3.1: Methode waarop het onderzoek naar de hoogste en laagste grondwaterstanden uitgevoerd zal worden. Stap 1 t/m5 voor de empirische methoden, 6 t/m 10 voor de meteorologische methoden en stap 11 voor de onderlinge uitwisselbaarheid van de empirische en meteorologische methoden

methoden. De stappen 6 t/m 10 zijn gericht de meteorologische methoden. De laatste stap is het bepalen van de relatie tussen de empirische en meteorologische methoden.

De data die voor elke stap benodigd zijn zullen tot slot door middel van een tabel (Tabel 3.2) kort weergegeven worden.

3.1 Empirische methoden

Om een uitwisselbare empirische methode te ontwikkelen zullen allereerst de verschillen en overeenkomsten van de empirische methoden (GHG/GLG en RHG/RLG) geanalyseerd moeten worden. Om deze vergelijking te maken is er allereerst een literatuuronderzoek nodig naar de beide methoden. Dit zijn de eerste twee stappen van het schema uit Figuur 3.1, de resultaten van dit literatuuronderzoek zijn weergegeven in de *Systeemanalyse* (Hoofdstuk 2.6 en 2.7). De vergelijking op basis van de overeenkomsten en verschillen tussen de achtergrond, bruikbaarheid en berekeningsmethode is de derde stap van het proces.

De beide empirische methoden kenmerken zich door de elementen achtergrond, bruikbaarheid en berekeningsmethode. Deze zijn uiteindelijk samengevat in Tabel 3.1.

Achtergrond en bruikbaarheid:

De achtergronden van beide methoden zijn totaal verschillend. De GHG/GLG methode is ruim 50 jaar geleden ontwikkeld ten behoeve van de landbouw om in deze sector meer duidelijkheid te geven in de hoogste en laagste grondwaterstanden. De RHG/RLG methode is slechts enkele jaren geleden ontwikkeld om op een snelle manier (met een korte meetreeks van de grondwaterstanden) de representatieve hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen. Door de hoogfrequente meetreeksen die voor deze methode gebruikt worden dat deze toegepast worden in zowel het landelijk als stedelijk gebied.

Berekeningsmethode:

Voor de GHG/GLG methode is een laagfrequente meetreeks van minimaal 8 jaar nodig. Echter veel meetreeksen zijn onvolledig (Edelman & Burger, 2009) en kunnen daardoor niet gebruikt worden voor de berekening van de hoogste en laagste grondwaterstanden. Hier tegenover is voor de bepaling van RHG/RLG een hoogfrequente reeks van minimaal 1 jaar nodig. Deze metingen worden geautomatiseerd uitgevoerd en daardoor zijn deze meetreeksen completer. Bij de GHG/GLG zijn er 24 metingen per jaar. Voor de RHG/RLG zijn er al 24 metingen per dag, in totaal 8760 metingen per jaar.

De hoogste en laagste grondwaterstanden die met beide methoden berekend worden hebben een verschillende overschrijdingskans. Als bij de GHG/GLG methode de drie hoogst/laagst gemeten grondwaterstanden na elkaar geregistreerd worden zijn er hogere/lagere grondwaterstanden op die locatie voor een periode van 28 dagen. Voor de RHG/RLG methode is de overschrijdingskans onderdeel van de methode. De 10^{de} en 90^{ste} percentielwaarden geven aan dat 10% van het jaar de grondwaterstanden hoger zijn dan de RHG en de grondwaterstanden ook 10% van het jaar lager zijn dan de RLG. 10% van de metingen zijn 876 metingen, dit komt overeen met 36 dagen. De GHG/GLG methode geeft een extremere benadering van de hoogste en laagste grondwaterstanden dan de RHG/RLG methode.

Tabel 3.1: Samenvatting van de vergelijking tussen beide empirische methoden

| | GHG/GLG | RHG/RLG |
|---------------------------|---|--|
| Achtergrond | Om voor de landbouwsector de hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen, jaren '50/'60 | Snelle methode om hoogste en laagste grondwaterstanden te bepalen |
| Bruikbaarheid | Landelijk | Landelijk en stedelijk |
| Metingen | Laagfrequent (2x per maand door een handmeting) | Hoogfrequent (1x per uur, met behulp van datalogger) |
| Meetreeks | Minimaal 8 jaar, 24 metingen per jaar | 1 (hydrologisch) jaar, 8760 metingen per jaar |
| Overschrijding | 28 dagen per jaar | 36 dagen per jaar |
| Berekeningsmethode | Gemiddelde van 3 hoogste en 3 laagste over een periode van 8 jaar | 10 ^{de} en 90 ^{ste} percentiel van alle gemeten grondwaterstanden over minimaal 1 jaar |

Stap 4 is het berekenen van de hoogste en laagste grondwaterstanden volgens de empirische methoden. De wijze waarop voor beide methoden de hoogste en laagste grondwaterstanden berekend zullen worden zijn weergegeven in de *Systeemanalyse* (Hoofdstuk 2.6 en 2.7). De verschillen tussen de grondwaterstanden (die voor 82 verschillende peilbuizen berekend zullen worden) zullen ook berekend en gepresenteerd worden.

Deze onderlinge verschillen tussen de GHG/GLG en RHG/RLG methode zijn de basis voor de 5^{de} stap van het schema. Voor het RHG/RLG methode zullen de representatieve hoogste en laagste grondwaterstanden door middel van andere percentielwaarden berekend worden. Hiervoor worden dus in de berekeningsmethode van de RHG/RLG alleen het 10^{de} en 90^{ste} percentiel gewijzigd in een andere percentielwaarde. Ook hier zullen de verschillen van de resultaten per percentielwaarde ten opzichte van de GHG/GLG berekend worden. Op basis van de gemiddelde verschillen zullen de percentielwaarden die de GHG en GLG het meest benaderen door middel van een statistische vergelijking met de originele percentielwaarden (10^{de} percentiel voor RLG en 90^{ste} percentiel voor RHG) van de RHG/RLG vergeleken worden. De verschillen tussen de beide methoden zullen als een normale verdeling benaderd worden om de betrouwbaarheid te kunnen aangeven.

Voor deze statistische berekeningen moeten de gemiddelden en de standaardafwijkingen bepaald worden. Voor de gemiddelden geldt:

Gemiddelde = som van de verschillen van alle peilbuizen die geanalyseerd zijn
aantal peilbuizen

$$\text{Standaardafwijking} = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

Met: N = aantal peilbuizen

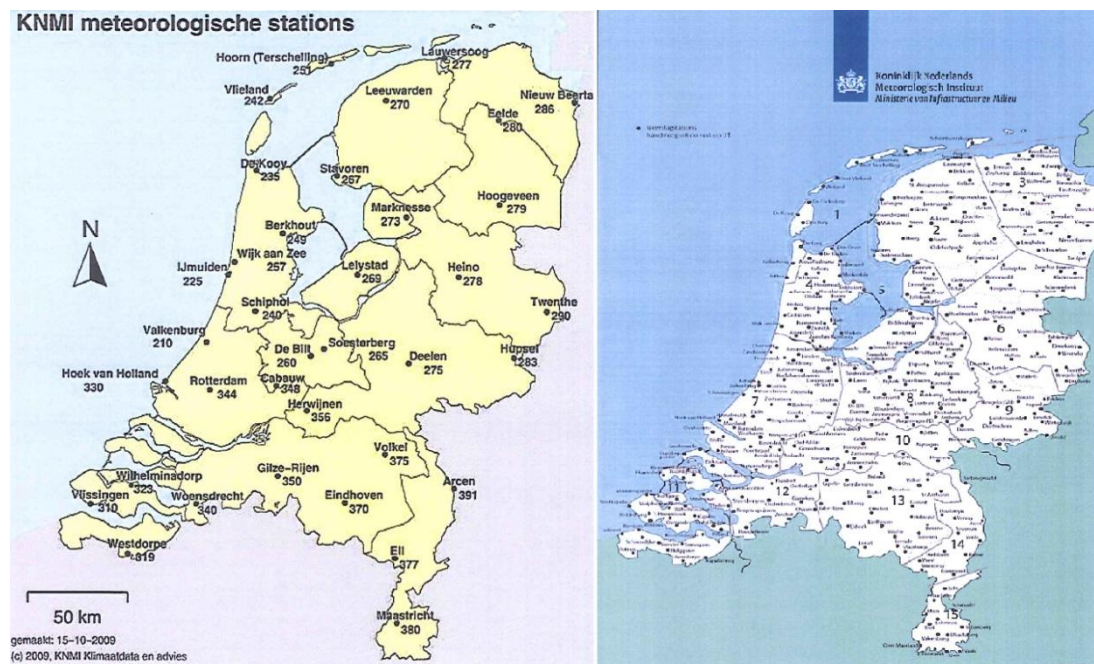
μ = gemiddelde

x_i = de berekende verschillen tussen GHG/GLG en RHG/RLG

3.2 Meteorologische methoden

De eerste twee stappen (stap 6 en 7 van het schema uit Figuur 3.1) voor deze methoden zijn een onderzoek naar de informatie in de literatuur van beide methoden. Deze zijn opgenomen in de *Systeemanalyse* (Hoofdstuk 2.6 en 2.7).

Stap 8: op basis van de criteria die er gesteld zijn aan de verschillende natte perioden zullen de data die horen bij de verschillende natte perioden gepresenteerd worden. Op de verschillende onderzoekslocaties zal dit gedaan worden met behulp van de meteorologische gegevens van het KNMI. De neerslaggegevens (en verdampingscijfers) zijn afkomstig van de 36 KNMI-stations (neerslag en verdamping) en 325 KNMI-neerslagstations (alleen neerslag). De ligging van alle stations van het KNMI zijn in Figuur 3.2 weergegeven.



Figuur 3.2: Ligging van de KNMI-stations (links) en KNMI-neerslagstations (rechts)

De volgende stap, stap 9, is het bepalen van de grondwaterstanden, de *Maatgevende Hoogste en Laagste Grondwaterstanden* [MHG/MLG] die op de data die gevonden zijn plaats gevonden hebben. Per onderzoek locatie zal dit voor enkele peilbuizen uitgevoerd worden. Deze grondwaterstanden worden bepaald op basis van de hoogfrequente meetreeksen die er van de peilbuizen beschikbaar zijn.

Voor verschillende onderzoekslocaties zijn de *Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden* bepaald. Voor Hoogeveen waren er om de natte periode te bepalen de neerslaggegevens van het KNMI-station te Hoogeveen (KNMI stationscode 279) voor nodig. In overeenstemming met de grondwaterstandenreeks die er van verschillende peilbuizen in de gemeente Hoogeveen beschikbaar is, zijn de neerslaggegevens van de periode 2009-2012 geanalyseerd. Op basis van deze periode zijn de data gevonden waarop aan de verschillende criteria (van de neerslagsommen) en de uitgangspunten (zoals vermeldt in de *Systeemanalyse*, hoofdstuk 2.8) van de natte perioden met de verschillende tijdsduren wordt voldaan.

De laatste stap (stap 10) voor de meteorologische methoden is het onderling vergelijken van de resultaten. Dit zal gedaan worden door het bepalen van de absolute en relatieve verschillen tussen de hoogste grondwaterstanden die het resultaat zijn van natte periode methode.

Per peilbuis zijn er meerdere resultaten voor de grondwaterstanden, hiermee kan het bereik van de hoogste grondwaterstanden bepaald worden. Dit is het absolute verschil tussen de resultaten.

Door het bepalen van het relatieve verschil tussen de resultaten kunnen de verschillende onderzoekslocaties onderling vergeleken worden. Het relatieve verschil wordt bepaald met behulp van het eerder bepaalde absolute verschil tussen de resultaten van de MHG en het absolute verschil van de grondwaterstanden op de locatie. Het absolute verschil is het verschil tussen de hoogste en laagste waargenomen grondwaterstanden op de locatie. Deze wordt bepaald op basis van de hoogfrequente meetreeksen van de grondwaterstanden.

3.3 Uitwisselbaarheid empirische methode - meteorologische methode

De laatste stap in het schema in Figuur 3.1 is het bepalen of de empirische methode uitwisselbaar is met de meteorologische methode en andersom. Hiervoor zijn de resultaten nodig van de eerste 10 stappen uit het schema. De resultaten van het eerste deel over de empirische methoden (stap 1 t/m 5) zal vergeleken worden met de resultaten van het tweede deel, de meteorologische methoden (stap 6 t/m 10).

3.4 Benodigde data

In Tabel 3.1 is per stap uit het schema van Figuur 3.2 aangegeven welke data benodigd is om de desbetreffende stappen uit te voeren.

Tabel 3.2: Benodigde data per stap inclusief vermelding van de bronnen

| Stap | Data | Bronnen |
|----------------|---|---|
| 1, 2, 3 | Literatuur: <ul style="list-style-type: none"> - GHG/GLG - RHG/RLG | <ul style="list-style-type: none"> - Dufour, 1998 - Heesen, 1970 - Vonk, 2012 - Bouma et al, 2012 - Edelman & Burger, 2009 - Helpdesk Water, z.d. |
| 4,5 | <ul style="list-style-type: none"> - Berekeningsmethoden GHG/GLG en RHG/RLG - Grondwaterstandreeksen 82 peilbuizen uit WWD (14 in Delft, 16 in Pijnacker en 52 in Hoogeveen) | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Systeemanalyse</i> (Hoofdstuk 2.6 en 2.7) - WarecoWaterData (WWD) |
| 6,7 | Literatuur: <ul style="list-style-type: none"> - Natte periode - Droge periode | <ul style="list-style-type: none"> - Smits et al, 2004 - Wareco, z.d. |
| 8 | Neerslaggegevens van KNMI voor de periode waarvan de grondwaterstanden op de onderzoek locatie bekend zijn <ul style="list-style-type: none"> - KNMI-station Hoogeveen - KNMI-station Rotterdam | <ul style="list-style-type: none"> - KNMI, z.d. |
| 9 | Grondwaterstandreeksen van de locaties waarvoor de data van de natte perioden bij stap 8 bepaald zijn <ul style="list-style-type: none"> - 5 pb's in de gemeente Hoogeveen - 5 pb's in de gemeente Delft | <ul style="list-style-type: none"> - WarecoWaterData (WWD) |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> - Resultaten van de stap 9 - Grondwaterstandreeksen van de locaties waarvoor de data van de natte perioden bij stap 8 bepaald zijn <ul style="list-style-type: none"> o 5 pb's in de gemeente Hoogeveen o 5 pb's in de gemeente Delft | <ul style="list-style-type: none"> - WarecoWaterData (WWD) |
| 11 | <ul style="list-style-type: none"> - Resultaten van empirische methoden (stap 1 t/m 5) - Resultaten van meteorologische methoden (stap 6 t/m 10) | |

4. Resultaten

De resultaten van het onderzoek zullen in dit hoofdstuk gepresenteerd worden. De stappen die hier genomen worden zijn gebaseerd op Figuur 3.1, het stappenplan uit het hoofdstuk *Methode en Data* (Hoofdstuk 3). Hierdoor zullen allereerst de resultaten die de empirische methoden betreffen getoond worden. Als tweede de resultaten van het onderzoek naar de meteorologische methoden en tot slot de resultaten van het onderzoek naar de onderlinge uitwisselbaarheid tussen de empirische en meteorologische methoden.

4.1 Empirische methoden

De derde stap van het schema uit het hoofdstuk *Methode en Data* (Figuur 3.1) is de vergelijking op de theoretische basis van de empirische methoden waarmee de hoogste en laagste grondwaterstanden bepaald worden. De achtergrond, bruikbaarheid en berekeningsmethode van de empirische modellen zijn weergegeven in het hoofdstuk *Methode en Data* (Hoofdstuk 3.1). Deze verschillen toonden ook twee verschillende methoden waarop de hoogste en laagste grondwaterstanden berekend worden. Stap 4 uit het stappenplan van Figuur 3.1 is het toepassen van de verschillende berekeningsmethoden om de hoogste en laagste grondwaterstanden per peilbuis te berekenen. Met behulp hiervan zijn de onderlinge verschillen in beeld gebracht.

De berekende hoogste en laagste grondwaterstanden van de peilbuizen in de gemeenten Delft, Pijnacker en Hoogeveen zijn weergegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hoogste en laagste grondwaterstanden (in m. NAP) bepaald op basis van de berekeningsmethoden van de empirische methoden GHG/GLG en RHG/RLG.

| Hoogeveen | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Peilbuis | GHG | RHG | GLG | RLG |
| 359 | 11,36 | 11,32 | 10,56 | 10,59 |
| 299 | 7,46 | 7,47 | 7,09 | 7,12 |
| 302 | 7,85 | 7,81 | 7,28 | 7,31 |
| 303 | 8,53 | 8,48 | 7,87 | 7,9 |
| 304 | 8,99 | 8,91 | 8,07 | 8,09 |
| 305 | 9,22 | 9,19 | 8,01 | 8,14 |
| 307 | 8,95 | 8,91 | 8,29 | 8,32 |
| 308 | 8,32 | 8,25 | 7,53 | 7,58 |
| 309 | 8,51 | 8,45 | 7,7 | 7,87 |
| 310 | 8,96 | 8,92 | 8,19 | 8,22 |
| 311 | 7,48 | 7,44 | 6,97 | 6,99 |
| 312 | 8,57 | 8,51 | 8,01 | 8,02 |
| 313 | 10,4 | 10,32 | 9,3 | 9,36 |
| 314 | 7,49 | 7,43 | 6,94 | 6,96 |
| 315 | 8,35 | 8,28 | 7,77 | 7,79 |
| 316 | 10,55 | 10,5 | 9,96 | 9,98 |
| 317 | 10,55 | 10,44 | 9,86 | 9,69 |
| 318 | 10,24 | 10,15 | 9,03 | 9,07 |

| | | | | |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|
| 319 | 9,33 | 9,27 | 8,56 | 8,59 |
| 320 | 10,35 | 10,3 | 9,33 | 9,37 |
| 321 | 11,12 | 11,1 | 10,42 | 10,48 |
| 322 | 11,31 | 11,32 | 10,72 | 10,8 |
| 323 | 10,14 | 10,08 | 9,33 | 9,35 |
| 324 | 10,87 | 10,85 | 10,32 | 10,39 |
| 325 | 10,92 | 10,14 | 9,38 | 9,42 |
| 326 | 11,02 | 10,97 | 9,92 | 9,98 |
| 327 | 10,91 | 10,9 | 9,99 | 10,09 |
| 328 | 10,29 | 10,24 | 9,55 | 9,6 |
| 329 | 10,81 | 10,76 | 10,29 | 10,34 |
| 330 | 11,42 | 11,41 | 10,8 | 10,86 |
| 331 | 11,26 | 11,27 | 10,91 | 10,93 |
| 332 | 10,2 | 10,13 | 9,41 | 9,44 |
| 334 | 9,64 | 9,58 | 8,9 | 8,95 |
| 335 | 10,24 | 10,16 | 9,23 | 9,27 |
| 336 | 10,44 | 10,42 | 9,71 | 9,76 |
| 338 | 10,61 | 10,54 | 9,77 | 9,81 |
| 340 | 9,56 | 9,51 | 8,83 | 8,88 |
| 342 | 9,86 | 9,83 | 9,13 | 9,19 |
| 343 | 9,6 | 9,57 | 9,1 | 9,16 |
| 344 | 10,08 | 10,01 | 9,13 | 9,19 |
| 345 | 10,09 | 10,04 | 9,37 | 9,42 |
| 346 | 10,59 | 10,5 | 9,33 | 9,37 |
| 347 | 11,88 | 11,71 | 10,44 | 10,47 |
| 348 | 10,74 | 10,65 | 9,66 | 9,7 |
| 349 | 10,7 | 10,69 | 10,02 | 10 |
| 350 | 10,65 | 10,61 | 9,92 | 9,95 |
| 351 | 10,46 | 10,39 | 9,72 | 9,74 |
| 352 | 11,91 | 11,91 | 10,92 | 11 |
| 353 | 10,81 | 10,76 | 10,02 | 10,05 |
| 354 | 10,82 | 10,76 | 10,01 | 10,04 |
| 355 | 10,97 | 10,92 | 10,18 | 10,2 |
| 358 | 10,99 | 10,94 | 10,2 | 10,24 |
| 359 | 11,36 | 11,32 | 10,56 | 10,59 |
| Delft | | | | |
| Peilbuis | GHG | RHG | GLG | RLG |
| 27-1.03 | -0,56 | -0,57 | -1,35 | -1,35 |
| 11-1.03 | -0,05 | -0,06 | -0,43 | -0,45 |

| | | | | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|
| 11-1.07 | -0,26 | -0,28 | -0,67 | -0,65 |
| 11-1.11 | -0,07 | -0,08 | -0,47 | -0,53 |
| 11-1.16 | 0,09 | 0,06 | -0,51 | -0,50 |
| 12-1.09 | -0,83 | -0,85 | -1,18 | -1,17 |
| 12-1.10 | -1,04 | -1,06 | -1,43 | -1,40 |
| 12-1.12 | -1,35 | -1,38 | -1,56 | -1,55 |
| 12-2.12 | -2,29 | -2,31 | -2,53 | -2,52 |
| 14-1.03 | -2,37 | -2,36 | -2,72 | -2,75 |
| 14-2.01 | -1,01 | -0,99 | -1,25 | -1,28 |
| 25-1.02 | -2,07 | -2,10 | -2,78 | -2,80 |
| 25-1.11 | -1,97 | -2,05 | -2,51 | -2,48 |
| 25-1.12 | -2,15 | -2,19 | -2,91 | -2,88 |
| 25-1.13 | -2,06 | -2,09 | -2,71 | -2,67 |
| 27-1.03 | -0,56 | -0,57 | -1,35 | -1,35 |
| Pijnacker | | | | |
| peilbuis | GHG | RHG | GLG | RLG |
| 3-1.09 | -2,33 | -2,32 | -2,68 | -2,68 |
| 1-1.02 | -3,98 | -4,048 | -4,41 | -4,41 |
| 1-1.03 | -3,89 | -3,94 | -4,27 | -4,26 |
| 1-1.04 | -3,6 | -3,66 | -4,43 | -4,26 |
| 1-1.05 | -2,06 | -2,107 | -2,38 | -2,354 |
| 1-1.11 | -4,37 | -4,39 | -4,51 | -4,52 |
| 1-1.12 | -2,16 | -2,182 | -2,7 | -2,63 |
| 1-1.13 | -3,78 | -3,81 | -3,99 | -3,984 |
| 1-1.17 | -3,78 | -3,836 | -4,41 | -4,39 |
| 1-1.19 | -3,97 | -4,009 | -4,51 | -4,49 |
| 1-1.20 | -3,96 | -4,03 | -4,52 | -4,52 |
| 1-1.21 | -4,07 | -4,17 | -4,5 | -4,495 |
| 1-2.14 | -3,81 | -3,833 | -4,04 | -4,04 |
| 2-1.05 | -2,18 | -2,21 | -2,75 | -2,74 |
| 2-1.12 | -2,07 | -2,102 | -2,45 | -2,42 |
| 2-1.22 | -3,08 | -3,092 | -3,21 | -3,19 |
| 3-1.09 | -2,33 | -2,32 | -2,68 | -2,68 |

Uit deze grondwaterstanden blijkt dat er een verschil is tussen de grondwaterstanden die berekend zijn met beide empirische methoden. In [Bijlage 3](#) zijn de verschillen tussen de resultaten weergegeven in een staafdiagram. In deze diagrammen zijn de verschillen per peilbuis weergegeven ten opzichte van de grondwaterstand die berekend is voor de GHG of GLG.

De gemiddelden van de verschillen tussen beide empirische methoden zijn weergegeven in Tabel 4.2. In deze Tabel zijn per gemeente de gemiddelden berekend voor de situatie van de laagste grondwaterstand en de situatie van de hoogste grondwaterstand.

Tabel 4.2: Gemiddelde verschillen tussen hoogste en laagste grondwaterstanden, bepaald met behulp van de empirische methoden GHG/GLG en RHG/RLG (in m.)

| | Vershil GHG – RHG | Vershil GLG –RLG |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| Gemeente Delft | 0,029 | 0,028 |
| Gemeente Pijnacker | 0,044 | 0,026 |
| Gemeenten Hoogeveen | 0,050 | 0,043 |

De vijfde stap in het onderzoek is het toepassen van andere percentielwaarden in de berekeningsmethode van de RHG/RLG. De hoogste en laagste grondwaterstanden die dan voor de RHG/RLG gevonden worden zijn weergegeven in [Bijlage 4](#). De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in Tabel 4.3. In deze tabel zijn de gemiddelden verschillen van de hoogste en laagste grondwaterstanden ten opzichte van de GHG/GLG berekend voor de verschillende percentielwaarden die gebruikt zijn in de berekeningsmethode van de RHG en RLG. Uit deze resultaten blijkt dat de hoogste grondwaterstanden van de 93^{ste} percentielwaarde van de RHG het beste de GHG benaderen. De GLG wordt het meest benaderd met het 7^{de} percentiel van de RLG.

Tabel 4.3: Gemiddelde verschillen tussen de resultaten van de GHG/GLG en de resultaten van de hoogste en laagste grondwaterstanden die berekend zijn met verschillende percentielwaarden in de berekeningsmethoden van de RHG/RLG (in m)

| Percentiel | Gemeente Delft | Gemeente Pijnacker | Gemeente Hoogeveen |
|-------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| 5^{de} | 0,06 | -0,02 | |
| 6^{de} | 0,05 | -0,04 | |
| 7^{de} | 0,04 | 0,01 | -0,01 |
| 8^{ste} | 0,02 | 0,00 | -0,02 |
| 9^{de} | 0,01 | -0,01 | -0,03 |
| 10^{de} | 0,00 | -0,02 | -0,04 |
| 90^{ste} | 0,03 | -0,15 | 0,07 |
| 91^{ste} | 0,02 | -0,09 | 0,06 |
| 92^{ste} | 0,01 | -0,04 | 0,04 |
| 93^{ste} | -0,01 | -0,05 | 0,02 |
| 94^{ste} | -0,02 | -0,07 | |
| 95^{ste} | -0,03 | -0,02 | |

Dat de 7^{de} percentielwaarde het best overeenkomt met de GLG en de 93^{ste} percentielwaarde met de GHG blijkt ook uit de resultaten die in Tabel 4.4 zijn gepresenteerd. Op basis van de resultaten van de berekeningen van de hoogste en laagste grondwaterstanden is ook bepaald welke percentielwaarde het beste de GHG/GLG benaderd. Tabel 4.4 geeft een frequentietabel waarin alle 82 peilbuizen die geanalyseerd zijn, zijn opgenomen.

In deze tabel is af te lezen dat voor de hoogste grondwaterstanden de 93^{ste} percentielwaarde het vaakst de GHG benaderd. Het 93^{ste} percentiel is bij 47 meetreeksen (57%) de meeste frequente benadering van de GHG oplevert tegenover 6 gebeurtenissen (7%) in de berekeningsmethode van de originele RHG (90^{ste} percentiel).

Voor de laagste grondwaterstanden wordt met een RLG met de 7^{de} percentielwaarde het resultaat bereikt dat het meest de GLG benaderd. In 55 van de 82 gevallen (67%) geeft het 7^{de} percentiel de beste benadering van de GLG tegenover 14 gevallen (17%) in de originele situatie van de RLG (10^{de} percentielwaarde).

Tabel 4.4: Frequenties percentielwaarden die gebruikt zijn in de berekeningsmethoden van de RLG/RLG en de GHG/GLG het meest benaderen

| Representatieve Laagste Grondwaterstanden | | Representatieve Hoogste Grondwaterstanden | |
|---|------------|---|------------|
| Percentielwaarde | Frequentie | Percentielwaarde | Frequentie |
| 5 | 2 | 90 | 6 |
| 6 | 4 | 91 | 8 |
| 7 | 55 | 92 | 10 |
| 8 | 26 | 93 | 47 |
| 9 | 9 | 94 | 8 |
| 10 | 14 | 95 | 9 |

Op basis van Tabel 4.3 en Tabel 4.4 blijkt dat de percentielwaarden 7 en 93 voor berekening van de RHG en RLG de beste benadering geven van de GHG en GLG. Door middel van een statistische vergelijking tussen de verschillende percentielwaarden die gebruikt worden om de hoogste en laagste grondwaterstanden te berekenen. De reeks van verschillen zullen gezien worden als een normale verdeling, hiervoor is de gemiddelde waarde van de reeks nodig en de standaardafwijking tussen de resultaten ten opzichte van dit gemiddelde van de reeks.

De resultaten van de berekeningen van de gemiddelden van de verschillen tussen de percentielwaarden van de RHG/RLG en de GHG/GLG en de bijbehorende standaardafwijkingen zijn terug te vinden in Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Gemiddelden en standaardafwijkingen voor de verschillen tussen de GHG/GLG enerzijds en de verschillende percentielwaarden van de RHG/RLG anderzijds (in m)

| Locatie | Verskil tussen | Gem. | Standaardafwijking |
|---------------------------|--|--------|--------------------|
| Gemeente Delft | GLG & RLG 7 ^{de} percentiel | 0,031 | 0,024 |
| | GLG & RLG 10 ^{de} percentiel | -0,004 | 0,027 |
| | GHG & RHG 90 ^{ste} percentiel | 0,021 | 0,022 |
| | GHG & RHG 93 ^{ste} percentiel | -0,010 | 0,022 |
| Gemeente Pijnacker | GLG & RLG 7 ^{de} percentiel | 0,009 | 0,027 |
| | GLG & RLG 10 ^{de} percentiel | -0,022 | 0,041 |
| | GHG & RHG 90 ^{ste} percentiel | 0,038 | 0,028 |
| | GHG & RHG 93 ^{ste} percentiel | 0,010 | 0,020 |
| Gemeente | GLG & RLG 7 ^{de} percentiel | -0,012 | 0,009 |

| | | | |
|------------------|--|--------|-------|
| Hoogeveen | GLG & RLG 10 ^{de} percentiel | -0,039 | 0,019 |
| | GHG & RHG 90 ^{ste} percentiel | 0,047 | 0,026 |
| | GHG & RHG 93 ^{ste} percentiel | 0,007 | 0,020 |

Met behulp van deze resultaten van de gemiddelden en de standaardafwijkingen van de hoogste en laagste grondwaterstanden zijn er normale verdelingskrommen gemaakt, deze zijn gepresenteerd in [Bijlage 5](#). Uit deze grafieken blijken de verschillende methoden de volgende betrouwbaarheid te hebben (bij een range van -0,03 m verschil tot +0,03 m verschil tussen de GHG/GLG en de verschillende percentielwaarden):

Laagste grondwaterstanden:

- Gemeente Delft: GLG - RLG (07); 47% GLG - RLG (10); 72%
- Gemeente Pijnacker: GLG - RLG (07); 71% GLG - RLG (10); 47%
- Gemeente Hoogeveen: GLG - RLG (07); 98% GLG - RLG (10); 32%

Hoogste grondwaterstanden:

- Gemeente Delft: GHG - RHG (90); 65% GHG - RHG (93); 79%
- Gemeente Pijnacker: GHG - RHG (90); 34% GHG - RHG (93); 81%
- Gemeente Hoogeveen: GHG - RHG (90); 26% GHG - RHG (93); 84%

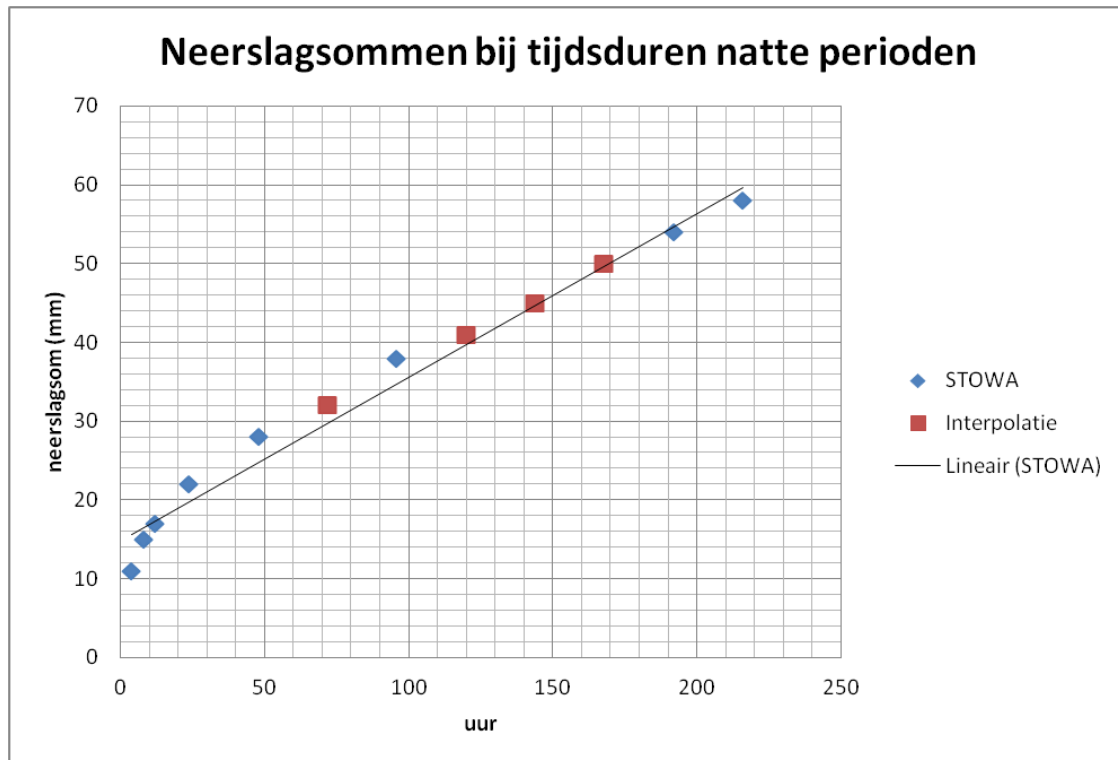
Uit deze percentages blijkt dat voor de hoogste grondwaterstanden het 93^{ste} percentiel een betere overeenkomst heeft met de GHG dan de 90^{ste} percentielwaarde. Voor de laagste grondwaterstanden blijkt dat de 7^{de} percentielwaarden de GLG beter benaderen in de gemeente Pijnacker en de gemeente Hoogeveen. Alleen in de gemeente Delft blijkt dat hier de originele grondwaterstanden van de RLG beter overeenkomen met de GLG dan de grondwaterstanden die horen bij het 7^{de} percentiel. Dit zijn echter slechts 14 van de 82 peilbuizen waarvan de grondwaterstanden zijn geanalyseerd.

4.2 Meteorologische methoden

Nadat in stap 6 en 7 van het stappenplan uit Figuur 3.1 de achtergrond van de natte en droge periode en de bijbehorende Maatgevende Hoogste en Laagste Grondwaterstand uit uitgewerkt in Hoofdstuk 2 (Systeemanalyse, Hoofdstuk 2.8 en 2.9) volgt stap 8.

De tijdsduren waarop de natte en droge perioden gebaseerd zijn, zijn hier bepaald. De criteria voor de tijdsduren die niet bekend zijn op basis van het STOWA rapport 26 (Smits et al, 2004) zullen geïnterpoleerd worden. Deze interpolatie is handmatig uitgevoerd op basis van een lineaire lijn die in Microsoft Excel is getekend. Figuur 4.1 toont de grafiek van de verschillende tijdsduren voor de natte perioden en de bijbehorende neerslagsommen van het aantal dagen van de natte periode die als criteria zullen dienen.

De neerslagsommen die uit deze grafiek volgen zullen de criteria zijn waarop de natte perioden bepaald zullen worden. De waarden van de 4 uur, 8 uur en 12 uurlijkse neerslagsommen kunnen niet getoetst worden omdat de neerslaggegevens van het KNMI per dag geregistreerd worden.



Figuur 4.1: Neerslagsommen van de verschillende tijdsduren waarop er sprake is van een natte periode waarmee de momenten waarop de Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden plaats hebben gevonden bepaald kunnen worden.

Op basis van de neerslaggegevens van het KNMI zijn de data bepaald waarop aan de criteria van de neerslagsommen van de natte perioden bepaald. Van vijf willekeurige meetpunten uit de gemeenten Hoogeveen en Delft zijn de grondwaterstanden die gemeten zijn op deze data bepaald. Voor Hoogeveen zijn in de periode waarvan de grondwaterstanden bekend zijn de natte perioden van 9, 6, 5 en 3 dagen voorgekomen. De Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden die zich voor hebben in de gemeente Hoogeveen gedaan zijn weergegeven in Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden voor 5 willekeurige meetpunten in de gemeente Hoogeveen op basis van natte perioden met verschillende tijdsduren (in m.)

| Hoogeveen 9-daagse | Peilbuizen | | | | |
|--------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | pb 302 | pb 318 | pb 330 | pb 349 | pb 354 |
| 11-10-2011 | 7,59 | 9,5 | 11,42 | 10,48 | 10,47 |
| 5-1-2012 | 8,07 | 10,45 | 11,62 | 10,91 | 10,99 |
| 8-1-2012 | 8,03 | 10,4 | 11,49 | 10,84 | 10,99 |
| 10-1-2012 | 7,95 | 10,38 | 11,47 | 10,81 | 10,98 |
| | | | | | |
| Hoogeveen 6-daagse | pb 302 | pb 318 | pb 330 | pb 349 | pb 354 |
| 21-3-2010 | 7,81 | 9,99 | 11,51 | 10,73 | 10,79 |
| 10-10-2011 | 7,58 | 9,6 | 11,34 | 10,43 | 10,41 |
| 4-1-2012 | 8,06 | 10,31 | 11,56 | 10,85 | 11,01 |

| Hoogveen 5-daagse | pb 302 | pb 318 | pb 330 | pb 349 | pb 354 |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 21-3-2010 | 7,81 | 9,99 | 11,51 | 10,73 | 10,79 |
| 22-3-2010 | 7,98 | 10,01 | 11,43 | 10,72 | 10,84 |
| 23-3-2010 | 7,93 | 10,19 | 11,38 | 10,77 | 10,86 |
| 24-3-2010 | 7,9 | 10,24 | 11,36 | 10,76 | 10,85 |
| 6-12-2011 | 7,54 | 9,4 | 11,37 | 10,38 | 10,46 |
| | | | | | |
| Hoogveen 3-daagse | pb 302 | pb 318 | pb 330 | pb 349 | pb 354 |
| 23-3-2010 | 7,93 | 10,19 | 11,38 | 10,77 | 10,86 |
| 15-1-2011 | 8,05 | 10,15 | 11,59 | 10,77 | 10,89 |
| 8-10-2011 | 7,5 | 9,5 | 11,22 | 10,35 | 10,35 |
| 12-10-2011 | 7,7 | 9,5 | 11,47 | 10,57 | 10,57 |
| 4-1-2012 | 8,06 | 10,31 | 11,56 | 10,85 | 11,01 |
| 6-1-2012 | 8,1 | 10,37 | 11,52 | 10,85 | 11,05 |

Voor de gemeente Delft zijn voor een langere periode de grondwaterstanden bekend. In de periode waarvoor de grondwaterstandsreeksen beschikbaar zijn, hebben in de gemeente Delft alle tijdsduren van de natte perioden zich voorgedaan. De Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden die voor wederom vijf willekeurige meetpunten (binnen het grondwatermeetnet van de gemeente Delft) gevonden zijn getoond in Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden voor 5 willekeurige meetpunten in de gemeente Delft op basis van natte perioden met verschillende tijdsduren (in m)

| | Peilbuizen | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Delft 9-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 12-10-2009 | -0,35 | -1,43 | | | |
| 13-10-2009 | -0,41 | -1,41 | | | |
| 14-10-2009 | -0,47 | -1,41 | | | |
| 28-11-2009 | -0,2 | -1,08 | | | |
| 3-10-2010 | -0,28 | -0,99 | -2,28 | -1,98 | -2,28 |
| 12-11-2010 | -0,03 | -0,97 | -2,24 | -1,92 | -2,11 |
| 15-11-2010 | -0,32 | -1,02 | -2,23 | -1,98 | -2,17 |
| 9-12-2011 | | -1,15 | | | |
| 10-12-2011 | | -1,16 | | | |
| 23-12-2011 | -0,39 | -1,03 | -2,31 | -2,11 | -2,31 |
| 4-1-2012 | | -0,89 | | | |
| 10-1-2012 | | -1,07 | | | |
| | | | | | |
| Delft 8-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 11-10-2009 | -0,27 | -1,44 | | | |

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 12-10-2009 | -0,35 | -1,43 | | | |
| 1-12-2009 | -0,4 | -1,11 | | | |
| 4-12-2009 | -0,14 | -1,08 | | | |
| 3-2-2010 | 0,03 | -0,87 | | | |
| 4-2-2010 | -0,31 | -1,01 | | | |
| 2-10-2010 | -0,47 | -1,11 | -2,36 | -2,15 | -2,42 |
| 14-11-2010 | -0,38 | -1,05 | -2,27 | -2,05 | -2,18 |
| 15-1-2011 | -0,18 | -0,91 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| 18-1-2011 | -0,44 | -1,08 | -2,32 | -2,11 | -2,18 |
| 19-1-2011 | -0,4 | -1,07 | -2,32 | -2,08 | -2,16 |
| 20-1-2011 | -0,37 | -1,08 | -2,33 | -2,08 | -2,14 |
| | | | | | |
| Delft 7-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 10-10-2009 | -0,18 | -1,48 | | | |
| 11-10-2009 | -0,27 | -1,44 | | | |
| 13-10-2009 | -0,41 | -1,41 | | | |
| 8-11-2009 | -0,22 | -1,24 | | | |
| 27-11-2009 | -0,28 | -1,13 | | | |
| 4-2-2010 | -0,31 | -1,01 | | | |
| 1-3-2010 | -0,04 | -0,94 | | | |
| 21-10-2010 | -0,29 | -1,07 | -2,33 | -2,03 | -2,3 |
| 22-10-2010 | -0,43 | -1,08 | -2,33 | -2,17 | -2,41 |
| 25-10-2010 | -0,43 | -1,09 | -2,33 | -2,15 | -2,4 |
| 12-11-2010 | -0,03 | -0,97 | -2,24 | -1,92 | -2,11 |
| 14-1-2011 | -0,26 | -0,94 | -2,23 | -1,85 | -2,04 |
| 15-1-2011 | -0,18 | -0,91 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| 18-1-2011 | -0,44 | -1,08 | -2,32 | -2,11 | -2,18 |
| 19-1-2011 | -0,4 | -1,07 | -2,32 | -2,08 | -2,16 |
| 7-12-2011 | -0,42 | -1,2 | | | |
| 8-12-2011 | -0,32 | -1,17 | | | |
| | | | | | |
| Delft 6-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 10-10-2009 | -0,18 | -1,48 | | | |
| 13-10-2009 | -0,41 | -1,41 | | | |
| 27-11-2009 | -0,28 | -1,13 | | | |
| 10-12-2009 | -0,41 | -1,08 | | | |
| 20-10-2010 | -0,26 | -1,06 | -2,38 | -2,04 | -2,35 |
| 15-1-2011 | -0,18 | -0,91 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| 17-1-2011 | -0,42 | -1,07 | -2,3 | -2,08 | -2,17 |
| 28-2-2011 | -0,02 | -0,92 | -2,31 | -1,81 | -1,95 |

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1-3-2011 | -0,33 | -1,03 | -2,28 | -2 | -2,14 |
| 17-12-2011 | | -0,96 | | | |
| | | | | | |
| Delft 5-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 27-11-2009 | -0,28 | -1,13 | | | |
| 9-12-2009 | -0,38 | -1,06 | | | |
| 3-2-2010 | 0,03 | -0,87 | | | |
| 14-1-2011 | -0,26 | -0,94 | -2,23 | -1,85 | -2,04 |
| 17-1-2011 | -0,42 | -1,07 | -2,3 | -2,08 | -2,17 |
| 1-3-2011 | -0,33 | -1,03 | -2,28 | -2 | -2,14 |
| 2-3-2011 | -0,43 | -1,08 | -2,32 | -2,12 | -2,18 |
| 3-3-2011 | -0,45 | -1,1 | -2,34 | -2,17 | -2,2 |
| 16-12-2011 | | -1,05 | | | |
| 21-12-2011 | | -0,99 | | | |
| 2-1-2012 | | -0,81 | | | |
| 3-1-2012 | | -0,94 | | | |
| | | | | | |
| Delft 4-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 27-11-2009 | -0,28 | -1,13 | | | |
| 29-11-2009 | 0,04 | -1,08 | | | |
| 8-12-2009 | -0,37 | -1,06 | | | |
| 14-1-2011 | -0,26 | -0,94 | -2,23 | -1,85 | -2,04 |
| 4-12-2011 | -0,26 | -1,22 | | -1,85 | |
| 5-12-2011 | -0,34 | -1,19 | | | |
| 16-12-2011 | | -1,05 | | | |
| 20-12-2011 | | -0,89 | | | |
| 2-1-2012 | | -0,81 | | | |
| | | | | | |
| Delft 3-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 5-12-2009 | -0,05 | -0,91 | | | |
| 6-12-2009 | -0,27 | -0,99 | | | |
| 7-12-2009 | -0,28 | -1 | | | |
| 21-10-2010 | -0,29 | -1,07 | -2,33 | -2,03 | -2,3 |
| 14-1-2011 | -0,26 | -0,94 | -2,23 | -1,85 | -2,04 |
| 15-1-2011 | -0,18 | -0,91 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| 28-2-2011 | -0,02 | -0,92 | -2,31 | -1,81 | -1,95 |
| 1-3-2011 | -0,33 | -1,03 | -2,28 | -2 | -2,14 |
| 4-12-2011 | -0,26 | -1,22 | | -1,85 | |
| 18-12-2011 | | -0,91 | | | |
| 4-1-2012 | | -0,89 | | | |
| | | | | | |

| Delft 2-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 8-10-2009 | -0,22 | -1,58 | | | |
| 3-2-2010 | 0,03 | -0,87 | | | |
| 23-2-2010 | -0,01 | -0,99 | | | |
| 20-10-2010 | -0,26 | -1,06 | -2,38 | -2,04 | -2,35 |
| 7-11-2010 | -0,29 | -1,06 | -2,34 | -2,07 | -2,27 |
| 17-12-2010 | -0,26 | -1,07 | -2,39 | -1,97 | -2,13 |
| 12-2-2011 | -0,15 | -1,21 | -2,48 | -2,07 | -2,1 |
| 2-12-2011 | -0,13 | -1,38 | | | |
| 3-12-2011 | -0,33 | -1,27 | | | |
| | | | | | |
| Delft 1-daagse | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| 8-10-2009 | -0,22 | -1,58 | | | |
| 3-2-2010 | 0,03 | -0,87 | | | |
| 17-12-2010 | -0,26 | -1,07 | -2,39 | -1,97 | -2,13 |
| 27-2-2011 | -0,12 | -1,1 | -2,41 | -1,97 | -2,07 |
| 28-2-2011 | -0,02 | -0,92 | -2,31 | -1,81 | -1,95 |
| 2-1-2012 | | -0,81 | | | |

De data waarop de MHG zijn vastgesteld zijn gebaseerd op [Bijlage 6](#). In deze bijlage zijn de data weergegeven waarop de neerslagsommen van de verschillende tijdsduren van de natte perioden bereikt zijn.

Uit Tabel 4.6 en 4.7 blijkt dat tussen de Maatgevende Hoogste Grondwaterstand per meetpunt veel onderling verschil zit. De methode van de natte periode geeft geen eenduidig resultaat voor de Maatgevende Hoogste Grondwaterstand. Deze verschillen tussen de onderlinge resultaten van de MHG zijn in absolute en relatieve percentages. Deze percentages zijn gebaseerd op de verschillen tussen de verschillende MHG per meetpunt en per tijdsduur van de natte periode.

Op basis van deze resultaten van de MHG volgens de natte periode methode zijn de absolute verschillen bepaald en zijn de relatieve verschillen berekend met behulp van deze resultaten en de grondwaterstandsmetreeksen van de onderzoekslocaties. Tabel 4.8 en 4.9 geven deze verschillen weer voor de onderzoekslocaties in de gemeenten Hoogeveen en Delft.

Tabel 4.8: Absolute en relatieve verschillen voor de resultaten van de MHG op de verschillende onderzoekslocaties in de gemeente Hoogeveen (in m. en %)

| | Peilbuizen | | | | |
|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | pb 302 | pb 318 | pb 330 | pb 349 | pb 354 |
| max. gws (in m.) | 7,15 | 8,84 | 10,68 | 9,9 | 9,86 |
| min. gws (in m.) | 8,16 | 10,51 | 11,66 | 10,97 | 11,07 |
| verschil (in m.) | 1,01 | 1,67 | 0,98 | 1,07 | 1,21 |
| 9-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | 7,59 | 9,5 | 11,42 | 10,48 | 10,47 |
| hoogste MHG (in m.) | 8,07 | 10,45 | 11,62 | 10,91 | 10,99 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,48 | 0,95 | 0,2 | 0,43 | 0,52 |
| Relatief verschil (in %) | 48% | 57% | 20% | 40% | 43% |
| 6-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | 7,58 | 9,6 | 11,34 | 10,43 | 10,41 |
| hoogste MHG (in m.) | 8,06 | 10,31 | 11,56 | 10,85 | 11,01 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,48 | 0,71 | 0,22 | 0,42 | 0,6 |
| Relatief verschil (in %) | 48% | 43% | 22% | 39% | 50% |
| 5-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | 7,54 | 9,4 | 11,36 | 10,38 | 10,46 |
| hoogste MHG (in m.) | 7,98 | 10,24 | 11,51 | 10,77 | 10,86 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,44 | 0,84 | 0,15 | 0,39 | 0,4 |
| Relatief verschil (in %) | 44% | 50% | 15% | 36% | 33% |
| 3-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | 7,5 | 9,5 | 11,22 | 10,35 | 10,35 |
| hoogste MHG (in m.) | 8,1 | 10,37 | 11,59 | 10,85 | 11,05 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,6 | 0,87 | 0,37 | 0,5 | 0,7 |
| Relatief verschil (in %) | 59% | 52% | 38% | 47% | 58% |

Tabel 4.9: Absolute en relatieve verschillen voor de resultaten van de MHG op de verschillende onderzoekslocaties in de gemeente Delft (in m. en %)

| | Peilbuizen | | | | |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | pb 11-1.11 | pb 12-1.10 | pb 14-1.03 | pb 25-1.11 | pb 25-1.12 |
| max. gws (in m.) | -0,68 | -1,62 | -3,42 | -2,74 | -3,29 |
| min. gws (in m.) | 0,5 | -0,73 | -2,15 | -1,66 | -1,85 |
| verschil (in m.) | 1,18 | 0,89 | 1,27 | 1,08 | 1,44 |
| 9-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,47 | -1,43 | -2,31 | -2,11 | -2,31 |
| hoogste MHG (in m.) | -0,03 | -0,89 | -2,23 | -1,92 | -2,11 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,44 | 0,54 | 0,08 | 0,19 | 0,2 |
| Relatief verschil (in %) | 37% | 61% | 6% | 18% | 14% |
| 8-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,47 | -1,44 | -2,36 | -2,15 | -2,42 |
| hoogste MHG (in m.) | 0,03 | -0,87 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,5 | 0,57 | 0,14 | 0,32 | 0,39 |
| Relatief verschil (in %) | 42% | 64% | 11% | 30% | 27% |
| 7-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,44 | -1,48 | -2,33 | -2,17 | -2,41 |
| hoogste MHG (in m.) | -0,03 | -0,91 | -2,22 | -1,83 | -2,03 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,41 | 0,57 | 0,11 | 0,34 | 0,38 |
| Relatief verschil (in %) | 35% | 64% | 9% | 31% | 26% |
| 6-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,42 | -1,48 | -2,38 | -2,08 | -2,35 |
| hoogste MHG (in m.) | -0,02 | -0,91 | -2,22 | -1,81 | -1,95 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,4 | 0,57 | 0,16 | 0,27 | 0,4 |
| Relatief verschil (in %) | 34% | 64% | 13% | 25% | 28% |
| 5-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,45 | -1,13 | -2,34 | -2,17 | -2,2 |
| hoogste MHG (in m.) | 0,03 | -0,81 | -2,23 | -1,85 | -2,04 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,48 | 0,32 | 0,11 | 0,32 | 0,16 |
| Relatief verschil (in %) | 41% | 36% | 9% | 30% | 11% |
| 4-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,37 | -1,22 | | | |
| hoogste MHG (in m.) | 0,04 | -0,81 | | | |
| absoluut verschil (in m.) | 0,41 | 0,41 | | | |

| | | | | | |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Relatief verschil (in %) | 35% | 46% | 0% | 0% | 0% |
| 3-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,33 | -1,22 | -2,33 | -2,03 | -2,3 |
| hoogste MHG (in m.) | -0,02 | -0,89 | -2,22 | -1,81 | -1,95 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,31 | 0,33 | 0,11 | 0,22 | 0,35 |
| Relatief verschil (in %) | 26% | 37% | 9% | 20% | 24% |
| 2-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,33 | -1,58 | -2,48 | -2,07 | -2,35 |
| hoogste MHG (in m.) | 0,03 | -0,87 | -2,34 | -1,97 | -2,1 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,36 | 0,71 | 0,14 | 0,1 | 0,25 |
| Relatief verschil (in %) | 31% | 80% | 11% | 9% | 17% |
| 1-daagse | | | | | |
| laagste MHG (in m.) | -0,26 | -1,58 | -2,41 | -1,97 | -2,13 |
| hoogste MHG (in m.) | 0,03 | -0,81 | -2,31 | -1,81 | -1,95 |
| absoluut verschil (in m.) | 0,29 | 0,77 | 0,1 | 0,16 | 0,18 |
| Relatief verschil (in %) | 25% | 87% | 8% | 15% | 13% |

Uit deze twee tabellen (Tabel 4.8 en 4.9) blijkt dat de absolute en relatieve verschillen tussen de resultaten erg groot zijn. De relatieve verschillen, uitgedrukt in percentages, lopen op tot 59% voor de resultaten van de gemeente Hoogeveen en tot 87% voor de MHG in de gemeente Delft. Deze percentages overschrijden overduidelijk de grens van een aantal procent waarvan gezegd kan worden dat het een acceptabel verschil is. De resultaten van de MHG liggen nu in een zeer grote range van de gemeten grondwaterstanden van de hoogfrequente meetreeks.

4.3 Vergelijking empirische en meteorologische methoden

De 11^{de} en laatste stap van het schema uit Figuur 3.1 is de vergelijking tussen de empirische en meteorologische methoden. Antwoord zal gegeven worden op de vraag of deze methoden onderling uitwisselbaar zijn. Hiervoor zullen beide methoden dezelfde resultaten moeten opleveren. Echter doordat de meteorologische methode die door middel van de neerslaggegevens de MHG bepaald zijn uiteen lopende resultaten voor de hoogste grondwaterstanden oplevert is niet mogelijk om met de huidige methode van de natte periode een uitwisselbare meteorologische methode te presenteren waarbij de uitkomsten van de hoogste grondwaterstanden overeenkomen met resultaten van andere methoden als de empirische methoden waar de GHG en RHG de hoogste grondwaterstanden weergeven.

5. Discussie

Elk onderzoek brengt discussiepunten met zich mee, zo ook in het onderzoek naar de methoden waarmee de hoogste en laagste grondwaterstanden bepaald kunnen worden. Voor de empirische en meteorologische zijn de discussiepunten in de komende alinea's weergegeven.

5.1 Empirische methoden

Het eerste discussiepunt heeft betrekking op de empirische methoden. De meetreeksen van de GHG/GLG methode hebben een minimale meetreeks van 8 jaar nodig. Deze meetreeksen zijn echter slechts zeer zelden beschikbaar. Of de meetreeks is niet beschikbaar voor een tijdspanne van 8 jaar, of binnen een meetreeks die wel een totale periode van 8 jaar beslaat missen metingen zodat er 'gaten' in de meetreeks zijn ontstaan. Doordat er slechts 24 metingen per jaar zijn, hebben een of enkele missende metingen direct invloed op de uitkomsten van de berekening van de hoogste en laagste grondwaterstanden volgens de GHG/GLG. Bij een onvolledige meetreeks of een te korte meetreeks komt de betrouwbaarheid van deze methode snel in het geding.

Als tweede zullen om een nauwkeuriger resultaat en een sterkere onderbouwing te kunnen presenteren zullen er meer locaties door Nederland geanalyseerd moeten worden. Het onderzoek heeft zich nu geconcentreerd op drie gemeenten waarvan bij Wareco Ingenieurs een meetreeks beschikbaar was die lang genoeg was om te gebruiken. Om op meer locaties onderzoek te kunnen doen moeten er meer grondwaterstandsmetreeksen beschikbaar en geschikt zijn om geanalyseerd te worden en de GHG/GLG en RHG/RLG methode op toe te passen.

5.2 Meteorologische methoden

Natte perioden

Voor de natte periode zijn er nu slechts grondwaterstandreeksen en neerslaggegevens geanalyseerd van 2 verschillende locaties; Hoogeveen en Delft. Om een meer betrouwbare uitspraak te doen over de mogelijkheid van het gebruiken van de natte perioden om de Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden zullen meer locaties geanalyseerd moeten worden.

De resultaten die het onderzoek tot nu toe hebben opgeleverd, wat betreft de natte periode, komen overeen met de verwachtingen die er waren bij Wareco Ingenieurs. Bij Wareco Ingenieurs waren er al de verwachtingen dat met behulp van de natte perioden geen betrouwbare MHG bepaald zou kunnen worden. Het probleem van de onnauwkeurige en onbetrouwbare resultaten van de RHG was men namelijk al op gestuit in een project in Almelo (voor de gemeente Almelo), hier waren met behulp van de natte periode de hoogste grondwaterstanden bepaald, echter om realistische grondwaterstanden als resultaten te kunnen hebben zijn de MHG met 15 cm gecompenseerd.

Droge periode

De criteria van de droge periode zijn gebaseerd op eerder uitgevoerde onderzoeken bij Wareco Ingenieurs. De criteria komen overeen met een overschrijdingskans van 1 maal per jaar. Echter of dit de juiste criteria zijn is niet getoetst. Daarnaast leverde deze methode geen bruikbare resultaten op waarmee de Maatgevende Laagste

Grondwaterstanden bepaald konden worden. Nu blijkt dat de laagste grondwaterstanden erg sterk afhankelijk zijn van veel verschillende factoren naast de neerslag en verdamping. Deze factoren staan hier onder opgesomd. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het mogelijk is om met behulp van de natte periode gekoppeld aan enkele andere elementen een methode te ontwikkelen waarmee het mogelijk is om de MLG te bepalen.

6. Conclusie

Voor een uitwisselbare methode tussen de beide empirische methoden, de Representatieve Hoogste/Laagste Grondwaterstanden methoden en de Gemiddelde Hoogste/Laagste Grondwaterstanden methode, zullen de percentielwaarden van de RHG/RLG methode aangepast moeten worden. Voor de laagste grondwaterstanden komen de resultaten van het 7^{de} (in plaats van 10^{de}) percentiel overeen met de GLG. Het 93^{ste} (in plaats van het 90^{ste}) percentiel komt wat betreft de hoogste grondwaterstanden overeen met de GHG. Dit blijkt uit drie verschillende bevindingen:

- Overschrijdingen van de hoogste en laagste grondwaterstanden op basis van de methoden. GHG/GLG 28 dagen en de RHG/RLG 36 dagen
- Hoogste frequentie van beste benadering door 7^{de} en 93^{ste} percentielwaarden ten opzichte van Gemiddeld Laagste Grondwaterstand en Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
- Significant verschil tussen 7^{de} en 10^{de} percentielwaarden voor de laagste grondwaterstanden en de 90^{ste} en 93^{ste} percentielwaarden voor de hoogste grondwaterstanden bij benadering als normale verdeling

Door middel van de natte periode is het niet mogelijk om een betrouwbaar oordeel te vellen over de Maatgevende Hoogste Grondwaterstanden. Uit de resultaten blijkt dat de MHG erg sterk fluctueren. Onderlinge verschillen tussen de MHG per peilbuis van 0,50 m of meer zijn geen uitzondering. De relatieve verschillen van de hoogste grondwaterstanden variëren tussen de 6% en 87%, waarmee geconcludeerd kan worden dat dit zeer uiteenlopende resultaten zijn en deze niet erg betrouwbaar zijn voor de bepaling van de MHG. Deze zeer uiteenlopende resultaten kunnen de nodige gevolgen met zich mee brengen in de formulering van beleid, het uitvoeren van projecten of het in kaart brengen van de grondwatersituaties voor een groter gebied.

Door de onbetrouwbare resultaten van de meteorologische methode, de methode gebaseerd is op de natte periode en getoetst wordt aan de neerslaghoeveelheden, is het niet aan te bevelen om de natte periode als uitwisselbaar aan te merken met de empirische methoden. De meteorologische methode kan door de onbetrouwbaarheid niet als vervanger gezien worden van de empirische methoden.

Bibliografie

Aquo. (z.d.). Opgeroepen op 4 december 2012, van InformatieDesk Standaarden Water: <http://www.aquo.nl/aquo-standaard/aquo-lex/aquo-lex-begrippen/>

Bouma, J., Maasbommel, M., & Schuurman, I. (2012). Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen, STOWA rapport 50. Eindhoven: Van de Garde, Jémé.

De Meetdienst. (z.d.). Opgeroepen op 29 november 2012, van Metingen, Peilbuizen: www.demeetdienst.nl/nl-NL/Metingen/Peilbuizen.aspx

DINOloket. (z.d.). Opgeroepen op 21 november 2012, van DINOloket: <http://www.dinoloket.nl/nl/about/dataTypes/gqn/gqn.html>

Dufour, F. (1998). Grondwater in Nederland. Rotterdam: Van de Rhee.

Edelman, D., & Burger, A. (2009). Een alternatieve GHG analyse. Stromingen, 29-34.

Grondwaterdynamiek. (z.d.). Opgeroepen op 29 november 2012, van Parameters: www.grondwaterdynamiek.wur.nl/NL/Parameters/

Heesen, H. v. (1970). Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. Geoderma, 257-278.

Helpdesk Water. (z.d.). Opgeroepen op 29 november 2012, van Helpdesk Water: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/grondwater>

Helpdesk Water. (z.d.). Opgeroepen op 4 december 2012, van Helpdesk Water: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet>

Helpdesk Water. (z.d.). Opgeroepen op 16 november 2012, van Helpdesk Water: [www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water en ruimte/agricom/begrippenlijst](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water-en-ruimte/agricom/begrippenlijst)

Hoogenboom, F., & Pellenbarg, N. (1990). Grondwater. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat.

KNMI. (z.d.). Opgehaald van KNMI: www.knmi.nl

Overheid. (2009). Waterwet. Den Haag, Zuid Holland, Nederland.

Smits, I., Wijngaarden, J., Versteeg, R., & Kok, M. (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland, STOWA rapport 26. Utrecht: STOWA.

The Free Dictionary. (z.d.). Opgeroepen op 22 november 2012, van The Free Dictionary: <http://www.thefreedictionary.com/groundwater>

Theo van Velzen. (z.d.). Opgeroepen op 1 februari 2013, van Theo van Velzen: <http://www.theovanvelzen.nl/grondwatermonitoring.html>

Van Dale Woordenboek. (z.d.). Opgeroepen op 29 november 2012, van Van Dale Woordenboek: <http://www.vandale.nl/opzoeken?pattern=grondwater&lang=nn>

Vonk, A. (2012, december 12). Achtergrondartikel grondwatermeetnetten. Breda, Noord Brabant, Nederland.

Wareco. (z.d.). Opgeroepen op 15 november 2012, van Waterdiensten: <http://www.wareco.nl/diensten/waterdiensten/onderzoek-en-advies/grondwatermeetnetten-en-monitoring>

Wareco. (z.d.). Opgeroepen op 16 november 2012, van WarecoWaterData: www.wareco.nl/diensten/waterdiensten/watercowaterdata/wwd-faq/

Bijlagen

| | |
|--|------|
| Bijlage 1: Gevolgen te hoge en te lage grondwaterstanden..... | 555 |
| Bijlage 2: Locaties peilbuizen..... | 57 |
| Bijlage 3: Verschillen tussen de resultaten van de hoogste en laagste grondwaterstanden | 63 |
| Bijlage 4: Grondwaterstanden behorende bij verschillende percentielwaarden van de RHG | 7171 |
| Bijlage 5: Normale verdelingskrommen..... | 777 |
| Bijlage 6: Data natte periode..... | 799 |

Bijlage 1: Gevolgen te hoge en te lage grondwaterstanden

De gevolgen van een grondwaterstand kunnen opgedeeld worden in twee categorieën. De gevolgen van een te hoge grondwaterstand en de gevolgen van een te lage grondwaterstand. **Tabel B1.1** geeft een opsomming voor de gevolgen van beide categorieën.

Tabel B1.1: Gevolgen van een te hoge en een te lage grondwaterstand

| | Te hoge grondwaterstand | Te lage grondwaterstand |
|---|---|---|
| Stedelijk groen | Een te hoge grondwaterstand is voor stedelijk groen fataal omdat dan de wortelzone onvoldoende kan worden ontwikkeld. De wortels dringen namelijk niet door tot in de verzadigde zone. De groeiomstandigheden voor het groen zijn niet optimaal, daardoor wordt de productie van het groen geremd. De kans op ontworteling van bomen neemt toe naarmate de bewortelingsdiepte minder is. Een ontwortelde boom kan in een stad veel schade aanrichten. | Een te lage grondwaterstand heeft tot gevolg dat de hoeveelheid voor de planten beschikbaar voelt in droge tijden wordt beperkt door de hoeveelheid water die als hangwater wordt vastgehouden in de onverzadigde wortelzone. Afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar vocht kan dit in de droge zomerperiode leiden tot droogteschade. |
| Wegen | Het grondwater kan leiden tot een verminderde draagkracht van de constructie, vooral als de ondergrond volledig verzadigd is. Daarnaast is het risico voor opvriezen van wegen met een slechte ontwatering groot. Gezien de grote schade die daardoor aan de wegconstructie kan ontstaan is het wenselijk om wegen voldoende te ontwateren. | Te lage grondwaterstanden hebben geen nadelige gevolgen voor wegen. |
| Gebouwen, woningen en bouwwerken | Beruchte problematiek als gevolg van te hoge grondwaterstanden is het probleem van de natte kruipruimten. Water of vochtoverlast in de kruipruimten kan leiden tot vochtoverlast in de bovenliggende vertrekken. | Daartegenover staat het probleem van paalrot bij funderingen op houten palen. Komt de grondwaterstand te laag, dan komen de koppen van deze palen boven de grondwaterspiegel en dus in een zuurstofrijke omgeving die niet geheel met water is |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>Daarnaast vergroot een vochtige kruipruimte het energieverlies via de vloer. IJzeren en koperen leidingen zoals verwarming- en gasleidingen in de kruipruimte zullen sneller wegroesten. Kortom: het wooncomfort en de duurzaamheid van de woning neemt af.</p> <p>Bij een te hoge grondwaterstand kunnen de muren via de funderingsconstructie vocht optrekken. Beschimmelde muren, cementrot, loslatend behang evenals vochtige woonruimten zijn het gevolg. Een te hoge grondwaterstand brengt voor gebouwen met een kelderruimte het risico van opdrijven van de constructie met zich mee indien de constructie niet voldoende zwaar is aangelegd.</p> | <p>verzadigd, waardoor de rottingsbacteriën een kans krijgen.</p> <p>Een verlaging van de grondwaterstand kan ook nog andere onaangename gevolgen voor gebouwen en bouwwerken hebben. Bij een dergelijke verlaging neemt de korrelspanning in de ondergrond toe als gevolg van de grotere belasting door de bovengrond. In de daarvoor gevoelige gronden wordt daardoor een zettingproces gestart: Water wordt uit de bodemlaag geperst zodat deze dunner wordt en waardoor een maaiveld daling optreedt.</p> |
| <p>Sport- en recreatieterreinen</p> | <p>Begaanbaarheid en bespeelbaarheid zijn vooral van belang bij een te hoge grondwaterstand. Overtollig water zal zo snel mogelijk afgevoerd moeten kunnen worden.</p> | <p>Een te lage grondwaterstand brengt in de droge periode problemen met zich mee. De vochtvoorziening loopt door de lage grondwaterstand vaak gevaar. Alleen met behulp van berekening kan er in worden voorzien.</p> |

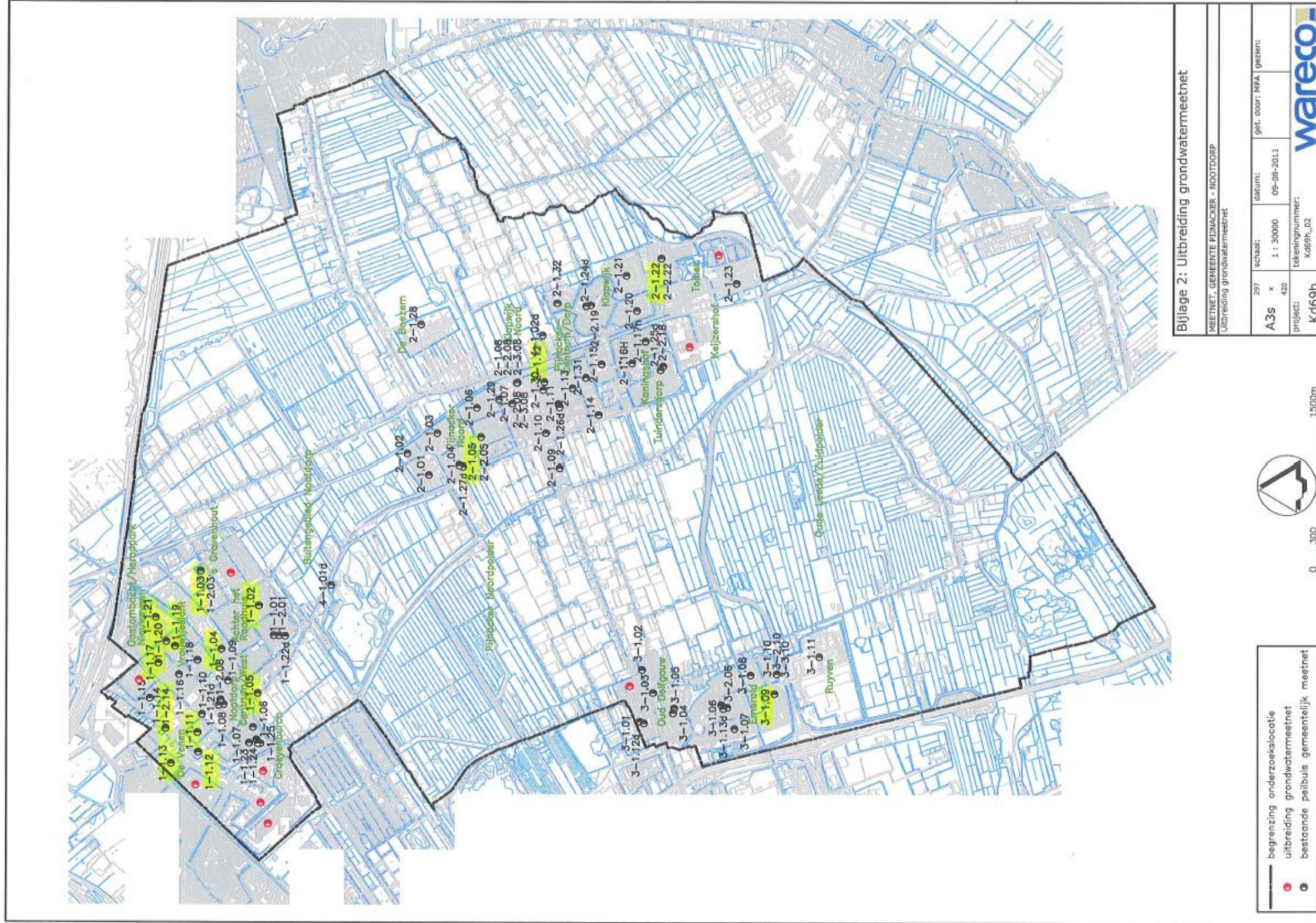
Bijlage 2: Locaties peilbuizen



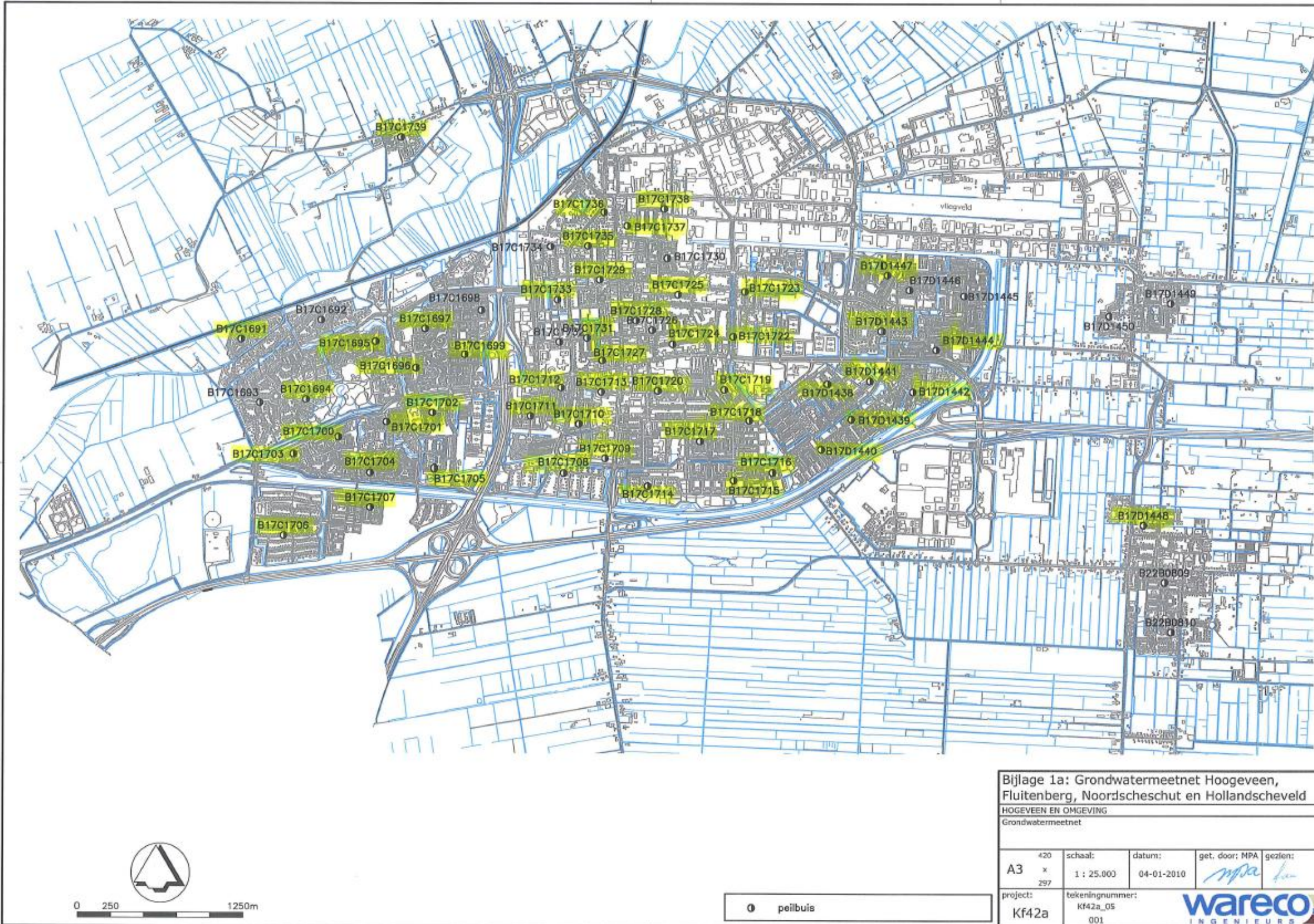
Figuur B2.1: Overzichtkaart van de locaties van de peilbuizen in de gemeente Delft (deel 1/2)



Figuur B2.2: Overzichtskaat van de locaties van de peilbuizen in de gemeente Delft (deel 2/2)



Figuur B2.3: Overzichtskarta van de locaties van de peilbuizen in de gemeente Pijnacker

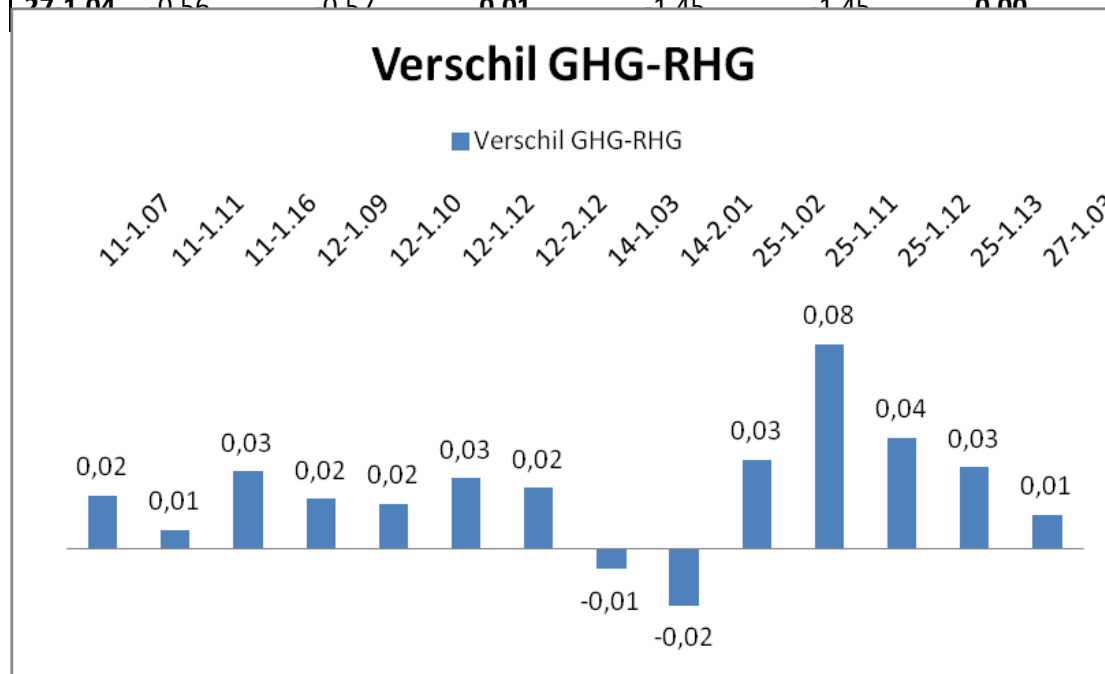


Figuur B2.4: Overzichtskaat van de locaties van de peilbuizen in de gemeente Hoogeveen

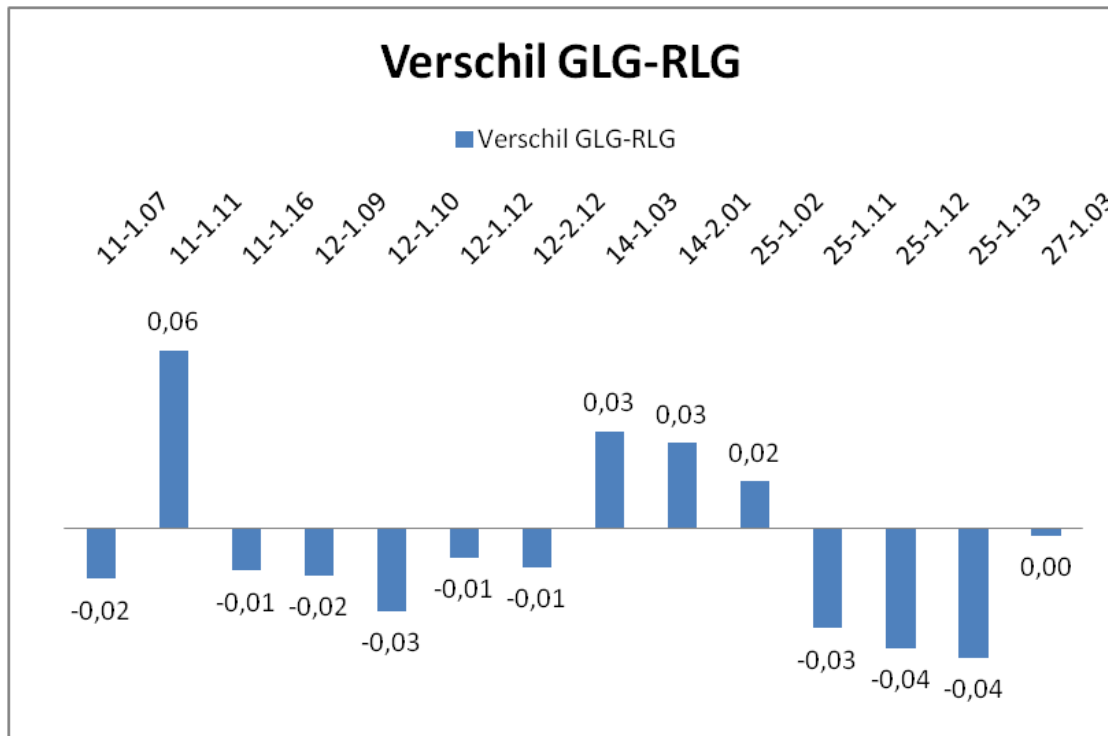
Bijlage 3: Verschillen tussen de resultaten van de hoogste en laagste grondwaterstanden

Tabel B3.1: Resultaten GHG/GLG en RHG/RLG en de onderlinge verschillen voor de peilbuizen in de gemeente Delft

| Peilbuis | GHG | RHG | Vershil | GLG | RLG | Vershil |
|----------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
| 11-1.07 | -0,26 | -0,28 | 0,02 | -0,67 | -0,65 | -0,02 |
| 11-1.11 | -0,07 | -0,08 | 0,01 | -0,47 | -0,54 | 0,06 |
| 11-1.16 | 0,09 | 0,06 | 0,04 | -0,51 | -0,50 | -0,01 |
| 12-1.09 | -0,84 | -0,85 | 0,02 | -1,18 | -1,17 | -0,02 |
| 12-1.10 | -1,04 | -1,06 | 0,02 | -1,44 | -1,40 | -0,04 |
| 12-1.12 | -1,45 | -1,48 | 0,04 | -1,56 | -1,55 | -0,01 |
| 12-2.12 | -2,29 | -2,41 | 0,02 | -2,54 | -2,52 | -0,01 |
| 14-1.04 | -2,47 | -2,46 | -0,01 | -2,72 | -2,75 | 0,04 |
| 14-2.01 | -1,01 | -0,99 | -0,02 | -1,25 | -1,28 | 0,04 |
| 25-1.02 | -2,07 | -2,10 | 0,04 | -2,78 | -2,80 | 0,02 |
| 25-1.11 | -1,97 | -2,05 | 0,08 | -2,51 | -2,48 | -0,04 |
| 25-1.12 | -2,15 | -2,19 | 0,04 | -2,91 | -2,88 | -0,04 |
| 25-1.14 | -2,06 | -2,09 | 0,04 | -2,71 | -2,67 | -0,04 |
| 27-1.04 | 0,56 | 0,57 | 0,01 | 1,45 | 1,45 | 0,00 |



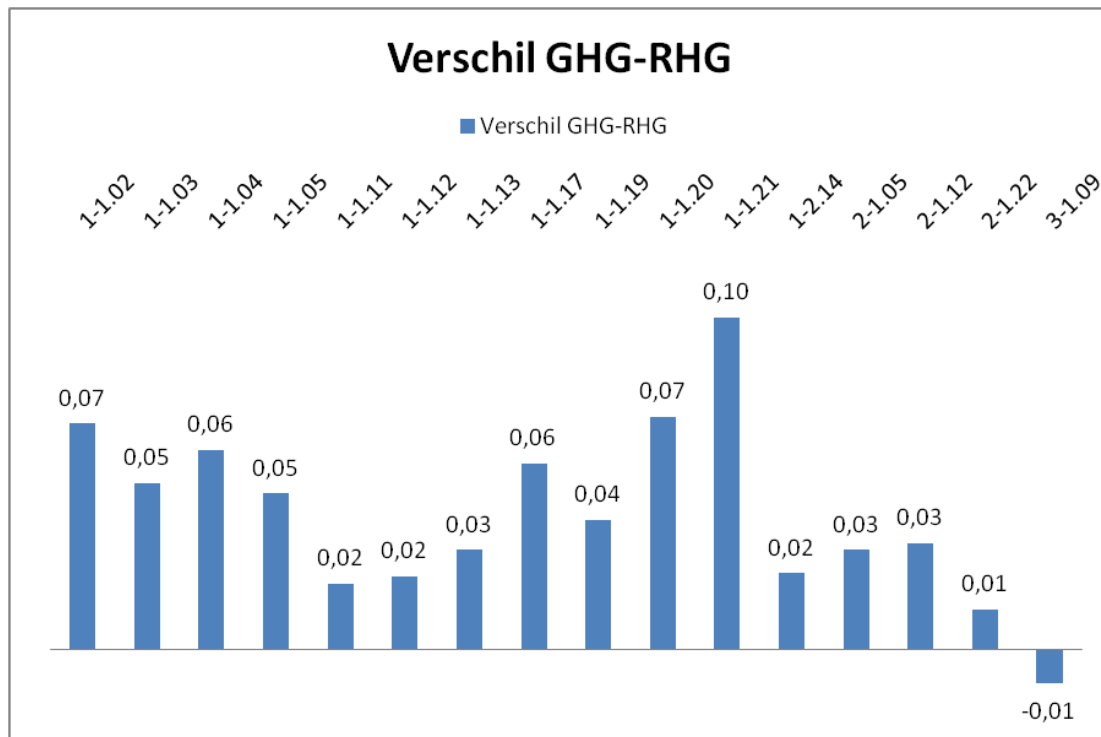
Figuur B3.1: Verschillen tussen GHG en RHG voor de peilbuizen in de gemeente Delft



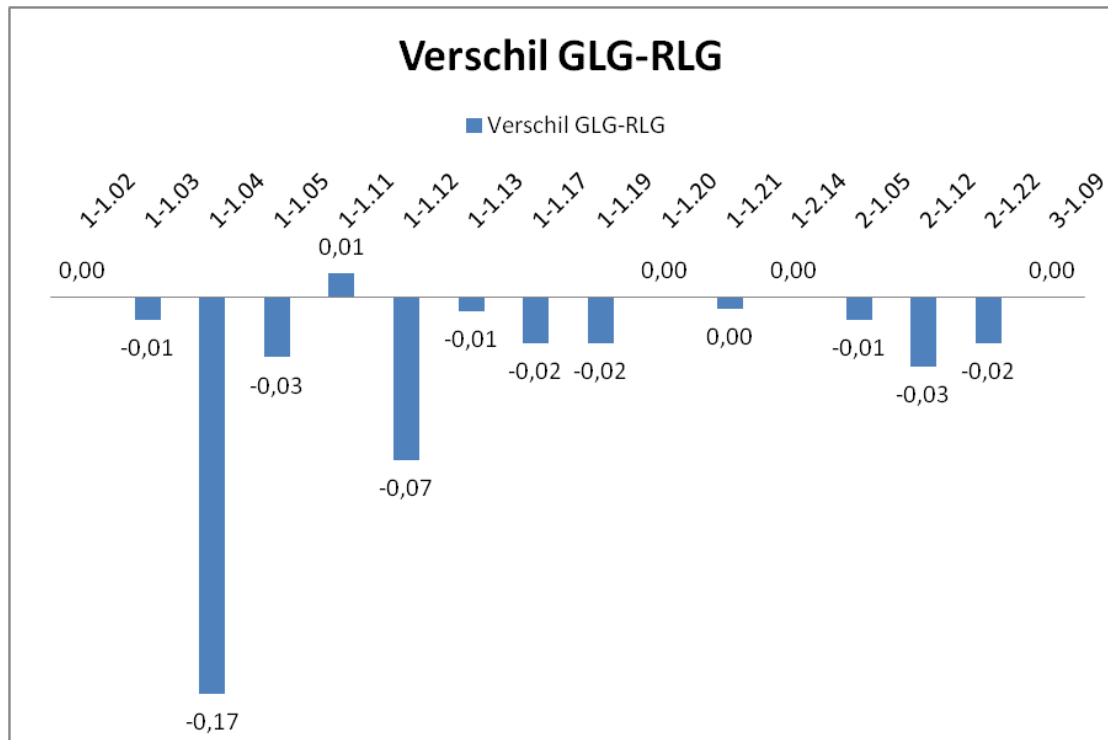
Figuur B3.2: Verschillen tussen GLG en RLG voor de peilbuizen in de gemeente Delft

Tabel B3.2: Resultaten GHG/GLG en RHG/RLG en de onderlinge verschillen voor de peilbuizen in de gemeente Pijnacker

| Peilbuis | GHG | RHG | Vershil | GLG | RLG | Vershil |
|----------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| 1-1.02 | -4,98 | -4,05 | 0,07 | -4,41 | -4,41 | 0,00 |
| 1-1.04 | -4,89 | -4,94 | 0,05 | -4,27 | -4,26 | -0,01 |
| 1-1.04 | -4,6 | -4,66 | 0,06 | -4,44 | -4,26 | -0,17 |
| 1-1.05 | -2,06 | -2,11 | 0,05 | -2,48 | -2,45 | -0,04 |
| 1-1.11 | -4,47 | -4,49 | 0,02 | -4,51 | -4,52 | 0,01 |
| 1-1.12 | -2,16 | -2,18 | 0,02 | -2,7 | -2,64 | -0,07 |
| 1-1.14 | -4,78 | -4,81 | 0,04 | -4,99 | -4,98 | -0,01 |
| 1-1.17 | -4,78 | -4,84 | 0,06 | -4,41 | -4,49 | -0,02 |
| 1-1.19 | -4,97 | -4,01 | 0,04 | -4,51 | -4,49 | -0,02 |
| 1-1.20 | -4,96 | -4,04 | 0,07 | -4,52 | -4,52 | 0,00 |
| 1-1.21 | -4,07 | -4,17 | 0,10 | -4,5 | -4,50 | 0,00 |
| 1-2.14 | -4,81 | -4,84 | 0,02 | -4,04 | -4,04 | 0,00 |
| 2-1.05 | -2,18 | -2,21 | 0,04 | -2,75 | -2,74 | -0,01 |
| 2-1.12 | -2,07 | -2,10 | 0,04 | -2,45 | -2,42 | -0,04 |
| 2-1.22 | -4,08 | -4,09 | 0,01 | -4,21 | -4,19 | -0,02 |
| 4-1.09 | -2,44 | -2,42 | -0,01 | -2,68 | -2,68 | 0,00 |



Figuur B3.3: Verschillen tussen GHG en RHG voor de peilbuizen in de gemeente Pijnacker

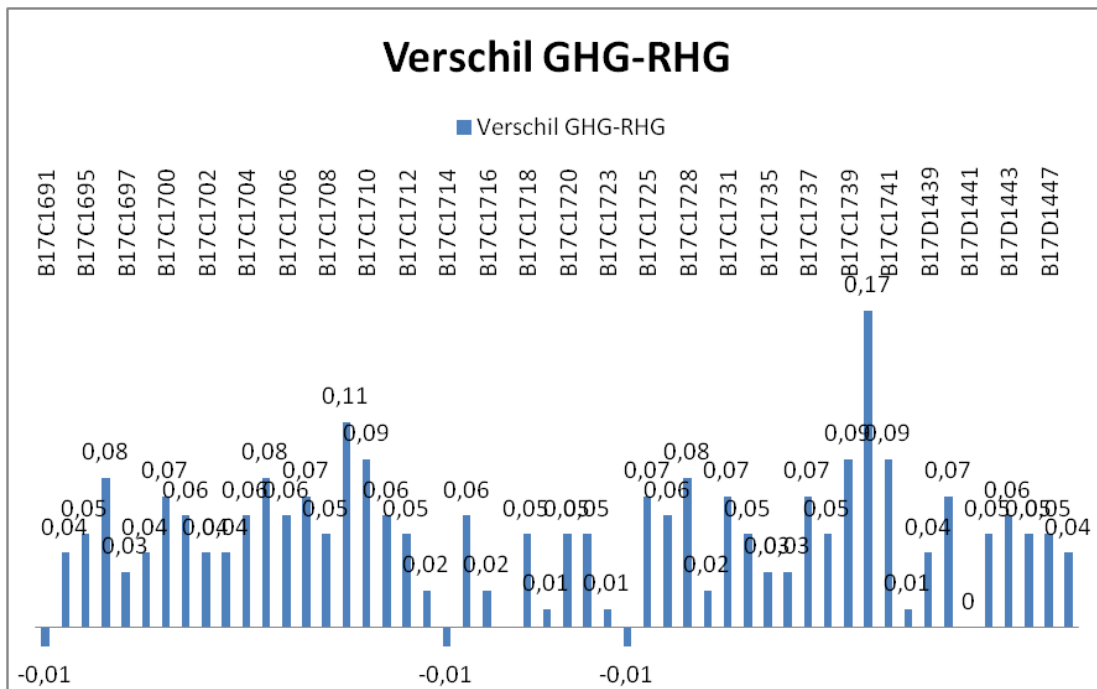


Figuur B3.4: Verschillen tussen GLG en RLG voor de peilbuizen in de gemeente Pijnacker

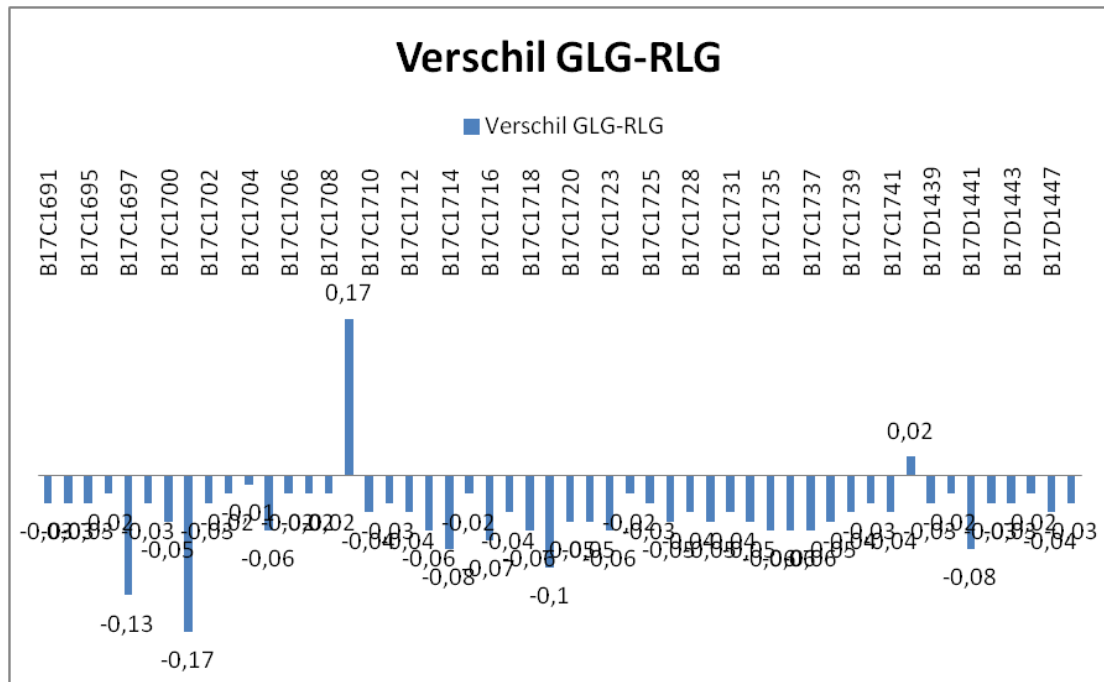
Tabel B3.3: Resultaten GHG/GLG en RHG/RLG en de onderlinge verschillen voor de peilbuizen in de gemeente Hoogeveen

| Peilbuis | GHG | RHG | Vershil | GLG | RLG | Vershil |
|----------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| B17C1691 | 7,46 | 7,47 | -0,01 | 7,09 | 7,12 | -0,04 |
| B17C1694 | 7,85 | 7,81 | 0,04 | 7,28 | 7,41 | -0,04 |
| B17C1695 | 8,54 | 8,48 | 0,05 | 7,87 | 7,9 | -0,04 |
| B17C1696 | 8,99 | 8,91 | 0,08 | 8,07 | 8,09 | -0,02 |
| B17C1697 | 9,22 | 9,19 | 0,04 | 8,01 | 8,14 | -0,14 |
| B17C1699 | 8,95 | 8,91 | 0,04 | 8,29 | 8,42 | -0,04 |
| B17C1700 | 8,42 | 8,25 | 0,07 | 7,54 | 7,58 | -0,05 |
| B17C1701 | 8,51 | 8,45 | 0,06 | 7,7 | 7,87 | -0,17 |
| B17C1702 | 8,96 | 8,92 | 0,04 | 8,19 | 8,22 | -0,04 |
| B17C1704 | 7,48 | 7,44 | 0,04 | 6,97 | 6,99 | -0,02 |
| B17C1704 | 8,57 | 8,51 | 0,06 | 8,01 | 8,02 | -0,01 |
| B17C1705 | 10,4 | 10,42 | 0,08 | 9,4 | 9,46 | -0,06 |
| B17C1706 | 7,49 | 7,44 | 0,06 | 6,94 | 6,96 | -0,02 |
| B17C1707 | 8,45 | 8,28 | 0,07 | 7,77 | 7,79 | -0,02 |
| B17C1708 | 10,55 | 10,5 | 0,05 | 9,96 | 9,98 | -0,02 |
| B17C1709 | 10,55 | 10,44 | 0,11 | 9,86 | 9,69 | 0,17 |
| B17C1710 | 10,24 | 10,15 | 0,09 | 9,04 | 9,07 | -0,04 |
| B17C1711 | 9,44 | 9,27 | 0,06 | 8,56 | 8,59 | -0,04 |
| B17C1712 | 10,45 | 10,4 | 0,05 | 9,44 | 9,47 | -0,04 |
| B17C1713 | 11,12 | 11,1 | 0,02 | 10,42 | 10,48 | -0,06 |
| B17C1714 | 11,41 | 11,42 | -0,01 | 10,72 | 10,8 | -0,08 |
| B17C1715 | 10,14 | 10,08 | 0,06 | 9,44 | 9,45 | -0,02 |
| B17C1716 | 10,87 | 10,85 | 0,02 | 10,42 | 10,49 | -0,07 |
| B17C1717 | 10,92 | 10,14 | 0,78 | 9,48 | 9,42 | -0,04 |
| B17C1718 | 11,02 | 10,97 | 0,05 | 9,92 | 9,98 | -0,06 |
| B17C1719 | 10,91 | 10,9 | 0,01 | 9,99 | 10,09 | -0,1 |
| B17C1720 | 10,29 | 10,24 | 0,05 | 9,55 | 9,6 | -0,05 |
| B17C1722 | 10,81 | 10,76 | 0,05 | 10,29 | 10,44 | -0,05 |
| B17C1723 | 11,42 | 11,41 | 0,01 | 10,8 | 10,86 | -0,06 |
| B17C1724 | 11,26 | 11,27 | -0,01 | 10,91 | 10,94 | -0,02 |
| B17C1725 | 10,2 | 10,14 | 0,07 | 9,41 | 9,44 | -0,04 |
| B17C1727 | 9,64 | 9,58 | 0,06 | 8,9 | 8,95 | -0,05 |
| B17C1728 | 10,24 | 10,16 | 0,08 | 9,24 | 9,27 | -0,04 |
| B17C1729 | 10,44 | 10,42 | 0,02 | 9,71 | 9,76 | -0,05 |
| B17C1731 | 10,61 | 10,54 | 0,07 | 9,77 | 9,81 | -0,04 |
| B17C1733 | 9,56 | 9,51 | 0,05 | 8,84 | 8,88 | -0,05 |
| B17C1735 | 9,86 | 9,84 | 0,04 | 9,14 | 9,19 | -0,06 |
| B17C1736 | 9,6 | 9,57 | 0,04 | 9,1 | 9,16 | -0,06 |
| B17C1737 | 10,08 | 10,01 | 0,07 | 9,14 | 9,19 | -0,06 |
| B17C1738 | 10,09 | 10,04 | 0,05 | 9,47 | 9,42 | -0,05 |

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|
| B17C1739 | 10,59 | 10,5 | 0,09 | 9,44 | 9,47 | -0,04 |
| B17C1740 | 11,88 | 11,71 | 0,17 | 10,44 | 10,47 | -0,04 |
| B17C1741 | 10,74 | 10,65 | 0,09 | 9,66 | 9,7 | -0,04 |
| B17D1448 | 10,7 | 10,69 | 0,01 | 10,02 | 10 | 0,02 |
| B17D1449 | 10,65 | 10,61 | 0,04 | 9,92 | 9,95 | -0,04 |
| B17D1450 | 10,46 | 10,49 | 0,07 | 9,72 | 9,74 | -0,02 |
| B17D1451 | 11,91 | 11,91 | 0 | 10,92 | 11 | -0,08 |
| B17D1452 | 10,81 | 10,76 | 0,05 | 10,02 | 10,05 | -0,04 |
| B17D1453 | 10,82 | 10,76 | 0,06 | 10,01 | 10,04 | -0,04 |
| B17D1454 | 10,97 | 10,92 | 0,05 | 10,18 | 10,2 | -0,02 |
| B17D1457 | 10,99 | 10,94 | 0,05 | 10,2 | 10,24 | -0,04 |
| B17D1458 | 11,46 | 11,42 | 0,04 | 10,56 | 10,59 | -0,04 |



Figuur B3.5: Verschillen tussen GHG en RHG voor de peilbuizen in de gemeente Hoogeveen



Figuur B3.6: Verschillen tussen GLG en RLG voor de peilbuizen in de gemeente Hoogeveen

Bijlage 4: Grondwaterstanden behorende bij verschillende percentielwaarden van de RHG

Tabel B4.1: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de hoogste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Delft

| peilbuis | GHG | RHG(90) | RHG(91) | RHG(92) | RHG(94) | RHG(94) | RHG(95) |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 11-1.04 | -0,05 | -0,06 | -0,05 | -0,04 | -0,04 | -0,02 | -0,01 |
| 11-1.07 | -0,26 | -0,28 | -0,28 | -0,27 | -0,26 | -0,25 | -0,24 |
| 11-1.11 | -0,07 | -0,08 | -0,07 | -0,05 | -0,04 | -0,02 | 0,00 |
| 11-1.16 | 0,09 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,14 |
| 12-1.09 | -0,84 | -0,85 | -0,84 | -0,84 | -0,81 | -0,80 | -0,79 |
| 12-1.10 | -1,04 | -1,06 | -1,05 | -1,04 | -1,04 | -1,04 | -1,02 |
| 12-1.12 | -1,45 | -1,48 | -1,47 | -1,47 | -1,47 | -1,46 | -1,45 |
| 12-2.12 | -2,29 | -2,41 | -2,40 | -2,40 | -2,29 | -2,29 | -2,28 |
| 14-1.04 | -2,47 | -2,46 | -2,46 | -2,45 | -2,44 | -2,44 | -2,44 |
| 14-2.01 | -1,01 | -0,99 | -0,99 | -0,98 | -0,98 | -0,97 | -0,96 |
| 25-1.02 | -2,07 | -2,10 | -2,09 | -2,07 | -2,05 | -2,04 | -2,01 |
| 25-1.11 | -1,97 | -2,05 | -2,04 | -2,02 | -2,01 | -1,99 | -1,97 |
| 25-1.12 | -2,15 | -2,19 | -2,18 | -2,17 | -2,16 | -2,14 | -2,14 |
| 25-1.14 | -2,06 | -2,09 | -2,09 | -2,08 | -2,07 | -2,06 | -2,06 |
| 27-1.04 | -0,56 | -0,57 | -0,55 | -0,54 | -0,52 | -0,51 | -0,49 |

Tabel B4.2: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de laagste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Delft

| peilbuis | GLG | RLG(05) | RLG(06) | RLG(07) | RLG(08) | RLG(09) | RLG(10) |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 11-1.04 | -0,44 | -0,49 | -0,48 | -0,47 | -0,46 | -0,45 | -0,45 |
| 11-1.07 | -0,67 | -0,74 | -0,72 | -0,70 | -0,68 | -0,66 | -0,65 |
| 11-1.11 | -0,47 | -0,56 | -0,55 | -0,55 | -0,54 | -0,54 | -0,54 |
| 11-1.16 | -0,51 | -0,60 | -0,57 | -0,55 | -0,54 | -0,52 | -0,50 |
| 12-1.09 | -1,18 | -1,21 | -1,20 | -1,19 | -1,18 | -1,17 | -1,17 |
| 12-1.10 | -1,44 | -1,46 | -1,45 | -1,44 | -1,42 | -1,41 | -1,40 |
| 12-1.12 | -1,56 | -1,59 | -1,58 | -1,57 | -1,56 | -1,56 | -1,55 |
| 12-2.12 | -2,54 | -2,56 | -2,55 | -2,54 | -2,54 | -2,54 | -2,52 |
| 14-1.04 | -2,72 | -2,82 | -2,80 | -2,79 | -2,77 | -2,76 | -2,75 |
| 14-2.01 | -1,25 | -1,41 | -1,41 | -1,40 | -1,29 | -1,29 | -1,28 |
| 25-1.02 | -2,78 | -2,88 | -2,86 | -2,85 | -2,84 | -2,82 | -2,80 |
| 25-1.11 | -2,51 | -2,54 | -2,52 | -2,51 | -2,50 | -2,49 | -2,48 |
| 25-1.12 | -2,91 | -2,99 | -2,97 | -2,94 | -2,92 | -2,89 | -2,88 |
| 25-1.14 | -2,71 | -2,81 | -2,77 | -2,75 | -2,71 | -2,69 | -2,67 |
| 27-1.04 | -1,45 | -1,40 | -1,49 | -1,48 | -1,47 | -1,46 | -1,45 |

Tabel B4.3: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de hoogste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Pijnacker

| peilbuis | GHG | RHG(90) | RHG(91) | RHG(92) | RHG(94) | RHG(94) | RHG(95) |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 1-1.02 | -4,98 | -4,048 | -4,044 | -4,025 | -4,01 | -4 | -4,9858 |
| 1-1.04 | -4,89 | -4,94 | -4,94 | -4,92 | -4,91 | -4,9 | -4,88 |
| 1-1.04 | -4,6 | -4,66 | -4,65 | -4,64 | -4,64 | -4,61 | -4,6 |
| 1-1.05 | -2,06 | -2,107 | -2,1 | -2,09 | -2,08 | -2,07 | -2,06 |
| 1-1.11 | -4,47 | -4,49 | -4,49 | -4,48 | -4,476 | -4,47 | -4,46 |
| 1-1.12 | -2,16 | -2,182 | -2,18 | -2,17 | -2,16 | -2,15 | -2,142 |
| 1-1.14 | -4,78 | -4,81 | -4,8 | -4,8 | -4,79 | -4,79 | -4,78 |
| 1-1.17 | -4,78 | -4,846 | -4,82 | -4,801 | -4,788 | -4,766 | -4,74 |
| 1-1.19 | -4,97 | -4,009 | -4,991 | -4,98 | -4,97 | -4,95 | -4,94 |
| 1-1.20 | -4,96 | -4,04 | -4,01 | -4,994 | -4,98 | -4,95894 | -4,94 |
| 1-1.21 | -4,07 | -4,17 | -4,16 | -4,15 | -4,14 | -4,11 | -4,09 |
| 1-2.14 | -4,81 | -4,844 | -4,84 | -4,82 | -4,82 | -4,81 | -4,8 |
| 2-1.05 | -2,18 | -2,21 | -2,2 | -2,19 | -2,18 | -2,17 | -2,16 |
| 2-1.12 | -2,07 | -2,102 | -2,098 | -2,09 | -2,08 | -2,07 | -2,059 |
| 2-1.22 | -4,08 | -4,092 | -4,09 | -4,09 | -4,089 | -4,08 | -4,08 |
| 4-1.09 | -2,44 | -2,42 | -2,42 | -2,41 | -2,4 | -2,29 | -2,28 |

Tabel B4.4: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de laagste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Pijnacker

| peilbuis | GLG | RLG(05) | RLG(06) | RLG(07) | RLG(08) | RLG(09) | RLG(10) |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 1-1.02 | -4,41 | -4,47 | -4,46 | -4,45 | -4,44 | -4,44 | -4,41 |
| 1-1.04 | -4,44 | -4,5 | -4,45 | -4,4 | -4,42 | -4,28011 | -4,26 |
| 1-1.05 | -2,48 | -2,49 | -2,48 | -2,475 | -2,47 | -2,46 | -2,454 |
| 1-1.11 | -4,51 | -4,54 | -4,54 | -4,54 | -4,52 | -4,52 | -4,52 |
| 1-1.12 | -2,7 | -2,71 | -2,69 | -2,67 | -2,65 | -2,64 | -2,64 |
| 1-1.14 | -4,99 | -4 | -4 | -4,991 | -4,99 | -4,99 | -4,984 |
| 1-1.17 | -4,41 | -4,44 | -4,42 | -4,41 | -4,41 | -4,4 | -4,49 |
| 1-1.19 | -4,51 | -4,54 | -4,52 | -4,51 | -4,505 | -4,5 | -4,49 |
| 1-1.20 | -4,52 | -4,564 | -4,55 | -4,55 | -4,54 | -4,54 | -4,52 |
| 1-1.21 | -4,5 | -4,54 | -4,52 | -4,51 | -4,51 | -4,5 | -4,495 |
| 1-2.14 | -4,04 | -4,06 | -4,06 | -4,05 | -4,05 | -4,048 | -4,04 |
| 2-1.05 | -2,75 | -2,89 | -2,86 | -2,84 | -2,82 | -2,79 | -2,74 |
| 2-1.12 | -2,45 | -2,46 | -2,45 | -2,44 | -2,44 | -2,44 | -2,42 |
| 2-1.22 | -4,21 | -4,22 | -4,207 | -4,2 | -4,19 | -4,19 | -4,19 |
| 4-1.09 | -2,68 | -2,7 | -2,7 | -2,69 | -2,69 | -2,69 | -2,68 |

Tabel B4.5: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de hoogste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Hoogeveen

| Peilbuis | GHG | RHG (90) | RHG (91) | RHG (92) | RHG (93) |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 299 | 7,46 | 7,47 | 7,47 | 7,48 | 7,49 |
| 302 | 7,85 | 7,81 | 7,82 | 7,84 | 7,84 |
| 303 | 8,54 | 8,48 | 8,49 | 8,49 | 8,5 |
| 303 | 8,99 | 8,91 | 8,94 | 8,95 | 8,96 |
| 305 | 9,22 | 9,19 | 9,2 | 9,22 | 9,24 |
| 307 | 8,95 | 8,91 | 8,92 | 8,94 | 8,94 |
| 308 | 8,42 | 8,25 | 8,26 | 8,27 | 8,28 |
| 309 | 8,51 | 8,45 | 8,46 | 8,48 | 8,49 |
| 310 | 8,96 | 8,92 | 8,94 | 8,94 | 8,96 |
| 311 | 7,48 | 7,44 | 7,45 | 7,46 | 7,47 |
| 312 | 8,57 | 8,51 | 8,52 | 8,54 | 8,54 |
| 313 | 10,4 | 10,42 | 10,44 | 10,45 | 10,47 |
| 314 | 7,49 | 7,44 | 7,44 | 7,45 | 7,46 |
| 315 | 8,45 | 8,28 | 8,29 | 8,4 | 8,41 |
| 316 | 10,55 | 10,5 | 10,51 | 10,51 | 10,54 |
| 317 | 10,55 | 10,44 | 10,46 | 10,48 | 10,5 |
| 318 | 10,24 | 10,15 | 10,17 | 10,2 | 10,22 |
| 319 | 9,44 | 9,27 | 9,29 | 9,41 | 9,44 |
| 320 | 10,45 | 10,4 | 10,41 | 10,44 | 10,45 |
| 321 | 11,12 | 11,1 | 11,11 | 11,12 | 11,14 |
| 322 | 11,41 | 11,42 | 11,42 | 11,42 | 11,44 |
| 323 | 10,14 | 10,08 | 10,09 | 10,11 | 10,15 |
| 324 | 10,87 | 10,85 | 10,86 | 10,87 | 10,88 |
| 325 | 10,92 | 10,14 | 10,15 | 10,17 | 10,2 |
| 326 | 11,02 | 10,97 | 10,98 | 11 | 11,01 |
| 327 | 10,91 | 10,9 | 10,91 | 10,92 | 10,94 |
| 328 | 10,29 | 10,24 | 10,26 | 10,27 | 10,29 |
| 329 | 10,81 | 10,76 | 10,78 | 10,79 | 10,8 |
| 330 | 11,42 | 11,41 | 11,41 | 11,42 | 11,44 |
| 331 | 11,26 | 11,27 | 11,28 | 11,28 | 11,29 |
| 332 | 10,2 | 10,14 | 10,14 | 10,16 | 10,19 |
| 333 | 9,64 | 9,58 | 9,59 | 9,62 | 9,64 |
| 335 | 10,24 | 10,16 | 10,18 | 10,2 | 10,24 |
| 336 | 10,44 | 10,42 | 10,44 | 10,44 | 10,45 |
| 338 | 10,61 | 10,54 | 10,56 | 10,57 | 10,6 |
| 340 | 9,56 | 9,51 | 9,52 | 9,54 | 9,55 |
| 342 | 9,86 | 9,84 | 9,84 | 9,85 | 9,86 |

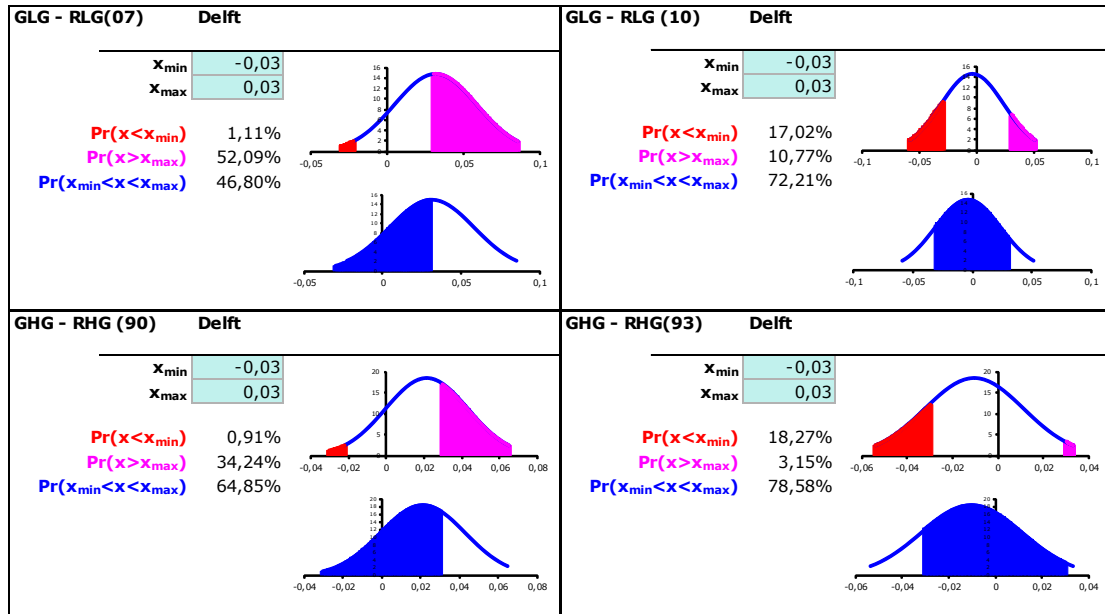
| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | |
| 343 | 10,08 | 10,01 | 10,02 | 10,04 | 10,06 |
| 345 | 10,09 | 10,04 | 10,06 | 10,07 | 10,09 |
| 346 | 10,59 | 10,5 | 10,52 | 10,54 | 10,55 |
| 347 | 11,88 | 11,71 | 11,74 | 11,75 | 11,78 |
| 348 | 10,74 | 10,65 | 10,66 | 10,68 | 10,7 |
| 349 | 10,7 | 10,69 | 10,68 | 10,7 | 10,71 |
| 350 | 10,65 | 10,61 | 10,62 | 10,64 | 10,64 |
| 351 | 10,46 | 10,49 | 10,4 | 10,44 | 10,44 |
| 352 | 11,91 | 11,91 | 11,94 | 11,94 | 11,96 |
| 353 | 10,81 | 10,76 | 10,77 | 10,78 | 10,8 |
| 353 | 10,82 | 10,76 | 10,77 | 10,79 | 10,81 |
| 355 | 10,97 | 10,92 | 10,94 | 10,94 | 10,96 |
| 358 | 10,99 | 10,94 | 10,95 | 10,96 | 10,98 |
| 359 | 11,46 | 11,42 | 11,44 | 11,45 | 11,46 |

Tabel B4.6: Resultaten alternatieve percentielwaarden voor de laagste grondwaterstanden voor de peilbuizen van de gemeente Hoogeveen

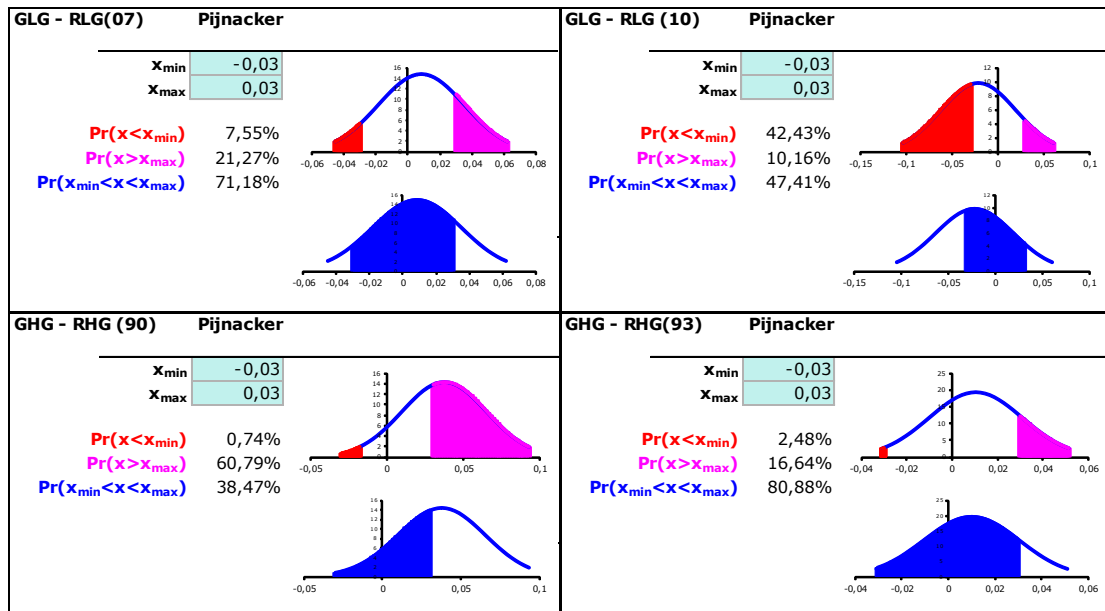
| Peilbuis | GLG | RLG (07) | RLG (08) | RLG (09) | RLG (10) |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 299 | 7,09 | 7,1 | 7,11 | 7,11 | 7,12 |
| 302 | 7,28 | 7,29 | 7,4 | 7,41 | 7,41 |
| 303 | 7,87 | 7,88 | 7,89 | 7,89 | 7,9 |
| 304 | 8,07 | 8,07 | 8,08 | 8,09 | 8,09 |
| 305 | 8,01 | 8,12 | 8,14 | 8,14 | 8,14 |
| 307 | 8,29 | 8,4 | 8,41 | 8,42 | 8,42 |
| 308 | 7,54 | 7,55 | 7,56 | 7,57 | 7,58 |
| 309 | 7,7 | 7,72 | 7,72 | 7,74 | 7,87 |
| 310 | 8,19 | 8,2 | 8,21 | 8,21 | 8,22 |
| 311 | 6,97 | 6,98 | 6,99 | 6,99 | 6,99 |
| 312 | 8,01 | 8 | 8,01 | 8,01 | 8,02 |
| 313 | 9,4 | 9,44 | 9,44 | 9,45 | 9,46 |
| 313 | 6,94 | 6,94 | 6,95 | 6,96 | 6,96 |
| 315 | 7,77 | 7,77 | 7,78 | 7,79 | 7,79 |
| 316 | 9,96 | 9,96 | 9,97 | 9,98 | 9,98 |
| 317 | 9,86 | 9,67 | 9,68 | 9,68 | 9,69 |
| 318 | 9,04 | 9,05 | 9,05 | 9,07 | 9,07 |
| 319 | 8,56 | 8,57 | 8,58 | 8,59 | 8,59 |
| 320 | 9,44 | 9,44 | 9,44 | 9,45 | 9,47 |
| 321 | 10,42 | 10,45 | 10,46 | 10,47 | 10,48 |
| 322 | 10,72 | 10,74 | 10,75 | 10,78 | 10,8 |
| 323 | 9,44 | 9,44 | 9,44 | 9,45 | 9,45 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 325 | 9,48 | 9,49 | 9,4 | 9,41 | 9,42 |
| 326 | 9,92 | 9,95 | 9,95 | 9,97 | 9,98 |
| 327 | 9,99 | 10 | 10,04 | 10,04 | 10,09 |
| 328 | 9,55 | 9,56 | 9,57 | 9,59 | 9,6 |
| 329 | 10,29 | 10,41 | 10,42 | 10,44 | 10,44 |
| 330 | 10,8 | 10,81 | 10,82 | 10,84 | 10,86 |
| 331 | 10,91 | 10,91 | 10,92 | 10,92 | 10,94 |
| 332 | 9,41 | 9,42 | 9,44 | 9,44 | 9,44 |
| 333 | 8,9 | 8,94 | 8,94 | 8,94 | 8,95 |
| 335 | 9,24 | 9,24 | 9,25 | 9,26 | 9,27 |
| 336 | 9,71 | 9,74 | 9,74 | 9,75 | 9,76 |
| 338 | 9,77 | 9,78 | 9,79 | 9,8 | 9,81 |
| 340 | 8,84 | 8,85 | 8,86 | 8,87 | 8,88 |
| 342 | 9,14 | 9,14 | 9,15 | 9,18 | 9,19 |
| 343 | 9,1 | 9,14 | 9,14 | 9,16 | 9,16 |
| 344 | 9,14 | 9,14 | 9,16 | 9,18 | 9,19 |
| 345 | 9,47 | 9,49 | 9,4 | 9,41 | 9,42 |
| 346 | 9,44 | 9,44 | 9,45 | 9,46 | 9,47 |
| 347 | 10,44 | 10,44 | 10,44 | 10,45 | 10,47 |
| 348 | 9,66 | 9,66 | 9,67 | 9,68 | 9,7 |
| 349 | 10,02 | 10,04 | 10,04 | 10,05 | 10 |
| 350 | 9,92 | 9,94 | 9,94 | 9,95 | 9,95 |
| 351 | 9,72 | 9,74 | 9,74 | 9,74 | 9,74 |
| 352 | 10,92 | 10,94 | 10,96 | 10,98 | 11 |
| 353 | 10,02 | 10,04 | 10,04 | 10,04 | 10,05 |
| 354 | 10,01 | 10,02 | 10,04 | 10,04 | 10,04 |
| 355 | 10,18 | 10,19 | 10,19 | 10,2 | 10,2 |
| 358 | 10,2 | 10,22 | 10,24 | 10,24 | 10,24 |
| 359 | 10,56 | 10,57 | 10,58 | 10,58 | 10,59 |

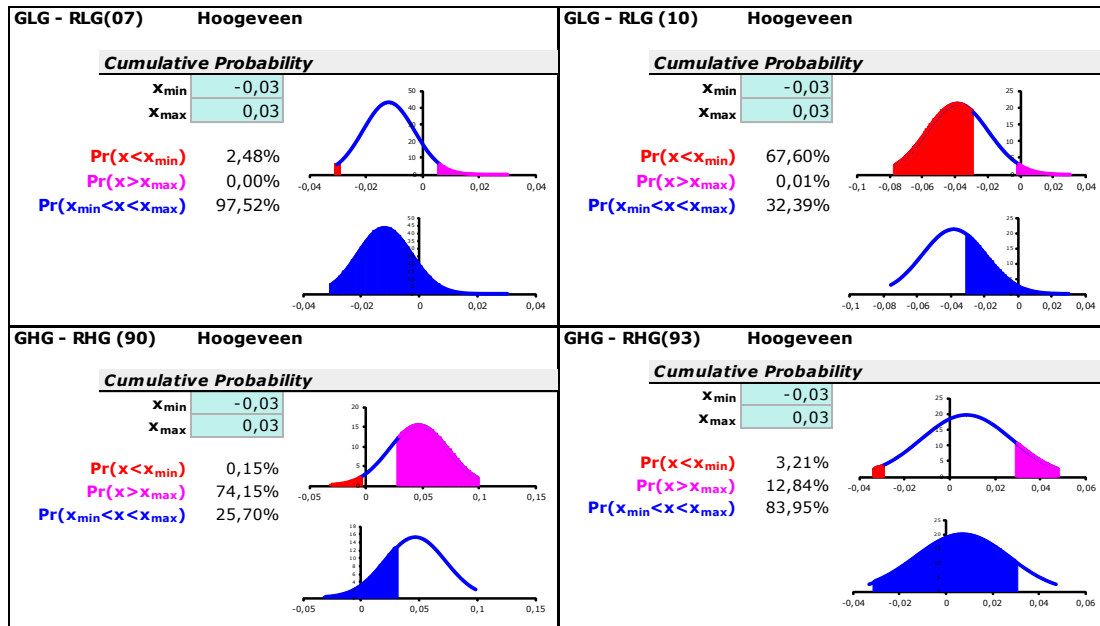
Bijlage 5: Normale verdelingskrommen



Figuur B5.1: Normale verdelingskrommen voor de gemiddelden van de peilbuizen in de gemeente Delft



Figuur B5.2: Normale verdelingskrommen voor de gemiddelden van de peilbuizen in de gemeente Pijnacker



Figuur B5.3: Normale verdelingskrommen voor de gemiddelden van de peilbuizen in de gemeente Hoogeveen

Bijlage 6: Data natte periode

Tabel B6.1: Data natte periode gemeente Hoogeveen op basis van criteria en uitgangspunten

| Hoogeveen | Tijdsduren natte perioden | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 11-10-2011 | | | | | | | | | 56,3 |
| 5-1-2012 | | | | | | | | | 59,5 |
| 8-1-2012 | | | | | | | | | 59,3 |
| 10-1-2012 | | | | | | | | | 57,6 |
| 8-12-2011 | | | | | | | | 53 | |
| 14-10-2011 | | | | | | | 51,6 | | |
| 21-3-2010 | | | | | | 44,6 | | | |
| 10-10-2011 | | | | | | 44,8 | | | |
| 4-1-2012 | | | | | | 44 | | | |
| 21-3-2010 | | | | | 40,2 | | | | |
| 22-3-2010 | | | | | 40,1 | | | | |
| 23-3-2010 | | | | | 40,5 | | | | |
| 24-3-2010 | | | | | 40,4 | | | | |
| 6-12-2011 | | | | | 42,4 | | | | |
| 11-10-2011 | | | | 37,3 | | | | | |
| 23-3-2010 | | | 32,5 | | | | | | |
| 15-1-2011 | | | 31,9 | | | | | | |
| 8-10-2011 | | | 33,5 | | | | | | |
| 12-10-2011 | | | 31,7 | | | | | | |
| 4-1-2012 | | | 32 | | | | | | |
| 6-1-2012 | | | 30 | | | | | | |
| 5-1-2012 | | 27,2 | | | | | | | |

Tabel B6.2: Datums natte periode gemeente Delft op basis van criteria en uitgangspunten

| Delft | Tijdsduren natte perioden | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|---|---|---|---|---|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 12-10-2009 | | | | | | | | | 59,5 |
| 13-10-2009 | | | | | | | | | 56,7 |
| 14-10-2009 | | | | | | | | | 56,7 |
| 28-11-2009 | | | | | | | | | 58,4 |
| 3-10-2010 | | | | | | | | | 59,7 |
| 12-11-2010 | | | | | | | | | 56,3 |
| 15-11-2010 | | | | | | | | | 58,2 |
| 9-12-2011 | | | | | | | | | 57,5 |
| 10-12-2011 | | | | | | | | | 57,9 |
| 23-12-2011 | | | | | | | | | 59,8 |
| 4-1-2012 | | | | | | | | | 56,9 |
| 10-1-2012 | | | | | | | | | 57,2 |
| 11-10-2009 | | | | | | | | 53,3 | |
| 12-10-2009 | | | | | | | | 55,2 | |
| 1-12-2009 | | | | | | | | 55,6 | |
| 4-12-2009 | | | | | | | | 52 | |
| 3-2-2010 | | | | | | | | 53,5 | |
| 4-2-2010 | | | | | | | | 55,2 | |
| 2-10-2010 | | | | | | | | 53,6 | |
| 14-11-2010 | | | | | | | | 55,6 | |
| 15-1-2011 | | | | | | | | 55,4 | |
| 18-1-2011 | | | | | | | | 53,9 | |
| 19-1-2011 | | | | | | | | 52,9 | |
| 20-1-2011 | | | | | | | | 52,9 | |
| 10-10-2009 | | | | | | | 48,5 | | |
| 11-10-2009 | | | | | | | 49 | | |
| 13-10-2009 | | | | | | | 51,3 | | |
| 8-11-2009 | | | | | | | 51,6 | | |
| 27-11-2009 | | | | | | | 50,2 | | |
| 4-2-2010 | | | | | | | 50,9 | | |
| 1-3-2010 | | | | | | | 51,1 | | |
| 21-10-2010 | | | | | | | 51,1 | | |
| 22-10-2010 | | | | | | | 50,6 | | |
| 25-10-2010 | | | | | | | 50,7 | | |
| 12-11-2010 | | | | | | | 51,8 | | |
| 14-1-2011 | | | | | | | 48,4 | | |
| 15-1-2011 | | | | | | | 49,1 | | |

| Delft | Tijdsduren natte perioden | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|---|------|------|------|------|------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 18-1-2011 | | | | | | | 51,7 | | |
| 19-1-2011 | | | | | | | 50,6 | | |
| 7-12-2011 | | | | | | | 50,4 | | |
| 8-12-2011 | | | | | | | 49,2 | | |
| 10-10-2009 | | | | | | 44,2 | | | |
| 13-10-2009 | | | | | | 45,2 | | | |
| 27-11-2009 | | | | | | 45,3 | | | |
| 10-12-2009 | | | | | | 46,5 | | | |
| 20-10-2010 | | | | | | 45,7 | | | |
| 15-1-2011 | | | | | | 47 | | | |
| 17-1-2011 | | | | | | 45,2 | | | |
| 28-2-2011 | | | | | | 46,4 | | | |
| 1-3-2011 | | | | | | 46,5 | | | |
| 17-12-2011 | | | | | | 46,8 | | | |
| 27-11-2009 | | | | | 40,8 | | | | |
| 9-12-2009 | | | | | 40,7 | | | | |
| 3-2-2010 | | | | | 39,4 | | | | |
| 14-1-2011 | | | | | 40 | | | | |
| 17-1-2011 | | | | | 42,9 | | | | |
| 1-3-2011 | | | | | 40,3 | | | | |
| 2-3-2011 | | | | | 40,3 | | | | |
| 3-3-2011 | | | | | 40,2 | | | | |
| 16-12-2011 | | | | | 39,7 | | | | |
| 21-12-2011 | | | | | 40,8 | | | | |
| 2-1-2012 | | | | | 39,9 | | | | |
| 3-1-2012 | | | | | 42,5 | | | | |
| 27-11-2009 | | | | 36,2 | | | | | |
| 29-11-2009 | | | | 36,9 | | | | | |
| 8-12-2009 | | | | 39,7 | | | | | |
| 14-1-2011 | | | | 40 | | | | | |
| 4-12-2011 | | | | 37 | | | | | |
| 5-12-2011 | | | | 37 | | | | | |
| 16-12-2011 | | | | 37,4 | | | | | |
| 20-12-2011 | | | | 37,4 | | | | | |
| 2-1-2012 | | | | 39,9 | | | | | |
| 5-12-2009 | | | 49,5 | | | | | | |
| 6-12-2009 | | | 49,7 | | | | | | |

| Delft | Tijdsduren natte perioden | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|------|------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 7-12-2009 | | | 35,1 | | | | | | |
| 21-10-2010 | | | 34,1 | | | | | | |
| 14-1-2011 | | | 37,8 | | | | | | |
| 15-1-2011 | | | 42,5 | | | | | | |
| 28-2-2011 | | | 40,2 | | | | | | |
| 1-3-2011 | | | 40,2 | | | | | | |
| 4-12-2011 | | | 35,8 | | | | | | |
| 18-12-2011 | | | 39,3 | | | | | | |
| 4-1-2012 | | | 39,9 | | | | | | |
| 8-10-2009 | | 28,1 | | | | | | | |
| 3-2-2010 | | 26,2 | | | | | | | |
| 23-2-2010 | | 26,2 | | | | | | | |
| 20-10-2010 | | 28,7 | | | | | | | |
| 7-11-2010 | | 26,2 | | | | | | | |
| 17-12-2010 | | 26,1 | | | | | | | |
| 12-2-2011 | | 26,2 | | | | | | | |
| 2-12-2011 | | 26,9 | | | | | | | |
| 3-12-2011 | | 30 | | | | | | | |
| 8-10-2009 | 22 | | | | | | | | |
| 3-2-2010 | 21,7 | | | | | | | | |
| 17-12-2010 | 23,9 | | | | | | | | |
| 27-2-2011 | 20,1 | | | | | | | | |
| 28-2-2011 | 20 | | | | | | | | |
| 2-1-2012 | 22,9 | | | | | | | | |