



**Onderzoek
grondwateroverlast regio
Zuid-Kennemerland**

Definitief

BODEM WATER FUNDERINGEN



Vestiging Amstelveen
Postbus 6
1180 AA Amstelveen
t 020 750 46 00
f 020 750 46 99

Vestiging Deventer
Zutphenseweg 51
7418 AH Deventer
t 0570 66 09 10
f 0570 66 09 19

info@wareco.nl
www.wareco.nl



Onderzoek grondwateroverlast regio Zuid-Kennemerland

Definitief

Uitgebracht aan:

Samenwerkende gemeenten p/a
Gemeente Bloemendaal
T.a.v. de heer E.R. Hagens
Postbus 201
2050 AE OVERVEEN

Auteurs	drs. ing. M.J. Kuiper ir. H.J. Krajenbrink	Kenmerk	KN23 RAP20131126
Vrijgave	ir. P.J.M. den Nijs	Datum	29-11-2013
		Status	Definitief

Wareco is het Nederlandse ingenieursbureau op het gebied van water, bodem en funderingen. Onze kracht is de integratie en combinatie van de specialisaties. We doen onderzoek en geven advies. We maken plannen en begeleiden de uitvoering. Enthousiast, persoonlijk en innovatief. Al 30 jaar leveren we maatwerk, met als resultaat hoge kwaliteit en duurzame, kostenbesparende oplossingen.

Vanuit haar vestigingen in Deventer en Amstelveen bedient Wareco met circa 60 professionals overheden, bedrijfsleven en particulieren.

Wareco beschikt over een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitssysteem en een ISO 14001 gecertificeerd milieumanagementsysteem. Daarin worden de kwaliteit van onze adviseurs, de producten die we leveren en het adviesproces duurzaam geborgd.

Inhoudsopgave

Tekst	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding.....	3
1.1. Algemeen	3
1.2. Aanleiding	3
1.3. Doel	4
1.4. Aanpak en gebruikte gegevens	5
1.5. Verantwoordelijkheden en taken in het (grond)waterbeheer	7
2. Grondwater Zuid-Kennemerland	8
2.1. Grondwatersystemen	8
2.2. Grondwaterstanden	11
3. Oorzaak (regionaal) hoge grondwaterstanden	14
3.1. Regionaal onderzoek	14
3.2. Bedrijfsvoering drinkwaterbedrijven	14
3.3. Oppervlaktewaterpeilen	15
3.4. Meteorologie.....	16
3.5. Analyse relatie meteorologie-grondwaterstand.....	19
3.6. Gevolgen veel neerslag voor grondwaterstand	26
4. Incidenteel of structureel hoge grondwaterstanden	27
4.1. Neerslag	27
4.2. Grondwaterstanden	27
5. Klimaatverandering.....	29
5.1. Klimaatvoorspellingen	29
5.2. Verandering hoge grondwaterstanden	30
6. Conclusies en aanbevelingen	34
6.1. Conclusies	34
6.2. Aanbevelingen	35

Bijlagen

1. Taken en verantwoordelijkheden grondwaterzorgplicht
2. Schematisch overzicht grondwatersystemen
3. Schematische geohydrologische doorsnedes
4. Korte beschrijving grondwatermeetnetten
5. Grondwaterstanden in de onderzochte raaien
6. Meteorologie
7. Overzichtskaart van de raaien
8. Nadere beschrijving resultaten tijdreeksanalyse
9. Vertraagde reactie van de grondwaterstand op neerslag
10. Toelichting klimaatscenario's
11. Voorspelde verhoging GHG op basis van klimaatscenario W

Samenvatting

Als gevolg van hoge grondwaterstanden hebben afgelopen winter ongebruikelijk veel bewoners in de gemeenten van Zuid-Kennemerland wateroverlast gemeld. Omdat de hoge grondwaterstanden op regionale schaal zijn opgetreden, is in opdracht van de samenwerkende gemeenten regionaal onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de hoge grondwaterstanden. Het resultaat hiervan is dat in de gehele regio een en dezelfde, technisch onderbouwde, boodschap kan worden gecommuniceerd.

Vraag: Wat is de oorzaak van de regionaal hoge grondwaterstanden?

De grondwaterstand was in het najaar/winter van 2012 met name in de duinen en de binnenduinrand hoger dan normaal, tot circa 0,3 m. In het boezemgebied en op de strandwallen was de grondwaterstand enkele centimeters tot circa 0,2 m hoger dan in voorgaande jaren. De oorzaak van de hogere grondwaterstand is een bovengemiddeld grote hoeveelheid neerslag. Al vanaf de zomer 2012 is meer neerslag en meer gespreid in de tijd dan normaal gevallen. Hierdoor is het grondwater beetje bij beetje aangevuld. De zeer natte maanden oktober en december zorgden voor de spreekwoordelijke laatste druppels. Er bestaat voor het grootste deel van het gebied een sterke relatie tussen de grondwaterstand en de neerslag/verdamping. Geconcludeerd is dat de vele neerslag tot hoge grondwaterstanden heeft geleid. Dit onderstreept de conclusie op basis van voorgaand onderzoek (Icastat, 2006) dat de vernatting van de duinen in de jaren '90 van de vorige eeuw geen effect heeft op de grondwaterstand in het bebouwde gebied.

Vraag: Zijn de grondwaterstanden incidenteel of structureel hoog?

De grote hoeveelheid neerslag in het najaar/winter 2012 betrof een incidentele situatie, die sinds 1971 slechts circa drie keer is geregistreerd. De hoge grondwaterstand van afgelopen winter komt eveneens incidenteel voor, circa vijf keer sinds 1971.

Vraag: Zullen de grondwaterstanden door klimaatverandering vaker hoog zijn?

Door het KNMI zijn voorspellingen gedaan over de meteorologische veranderingen in de komende decennia door klimaatverandering. In de zomer worden afzonderlijke buien intensiever en in de winter gaat het in totaal meer regenen. De hoge grondwaterstanden zoals in de winter van 2012-2013 kunnen vaker voorkomen dan nu het geval is, uitgaande van het meest ongunstige KNMI-klimaatsscenario (W). Dit geldt met name voor de binnenduinrand, waar dergelijke hoge grondwaterstanden ongeveer tweemaal zo vaak kunnen gaan optreden. Op de strandwallen, in het boezemgebied en in de polder zullen ook vaker hogere grondwaterstanden optreden, maar de toename is minder sterk en de pieken zijn gemiddeld minder hoog (0,05 m hoger) dan in de binnenduinrand (0,1 tot 0,2 m hoger). Uitgaande van een gunstigere KNMI-klimaatsscenario (W+) treedt geen belangrijke verandering in de grondwaterstand op. De berekende veranderingen zijn indicatief.

Het effect van een voorspelde zeespiegelstijging op de grondwaterstand is niet berekend in dit onderzoek. Uit voorgaand onderzoek door Wareco op verschillende locaties in Nederland is gebleken dat tot een beperkte afstand uit de kustlijn (tot maximaal circa 2 km) effect op de grondwaterstand verwacht kan worden.

1. Inleiding

1.1. Algemeen

Op 3 april 2013 is door gemeente Bloemendaal namens de samenwerkende gemeenten Haarlem, Velsen, Heemstede, Zandvoort, Haarlemmerliede en Spaarnwoude, Hillegom, Haarlemmermeer en Bloemendaal en het Hoogheemraadschap van Rijnland aan Wareco opdracht verstrekt voor het uitvoeren van een onderzoek naar de hoge grondwaterstanden in de regio Zuid-Kennemerland in de afgelopen najaar/winterperiode.

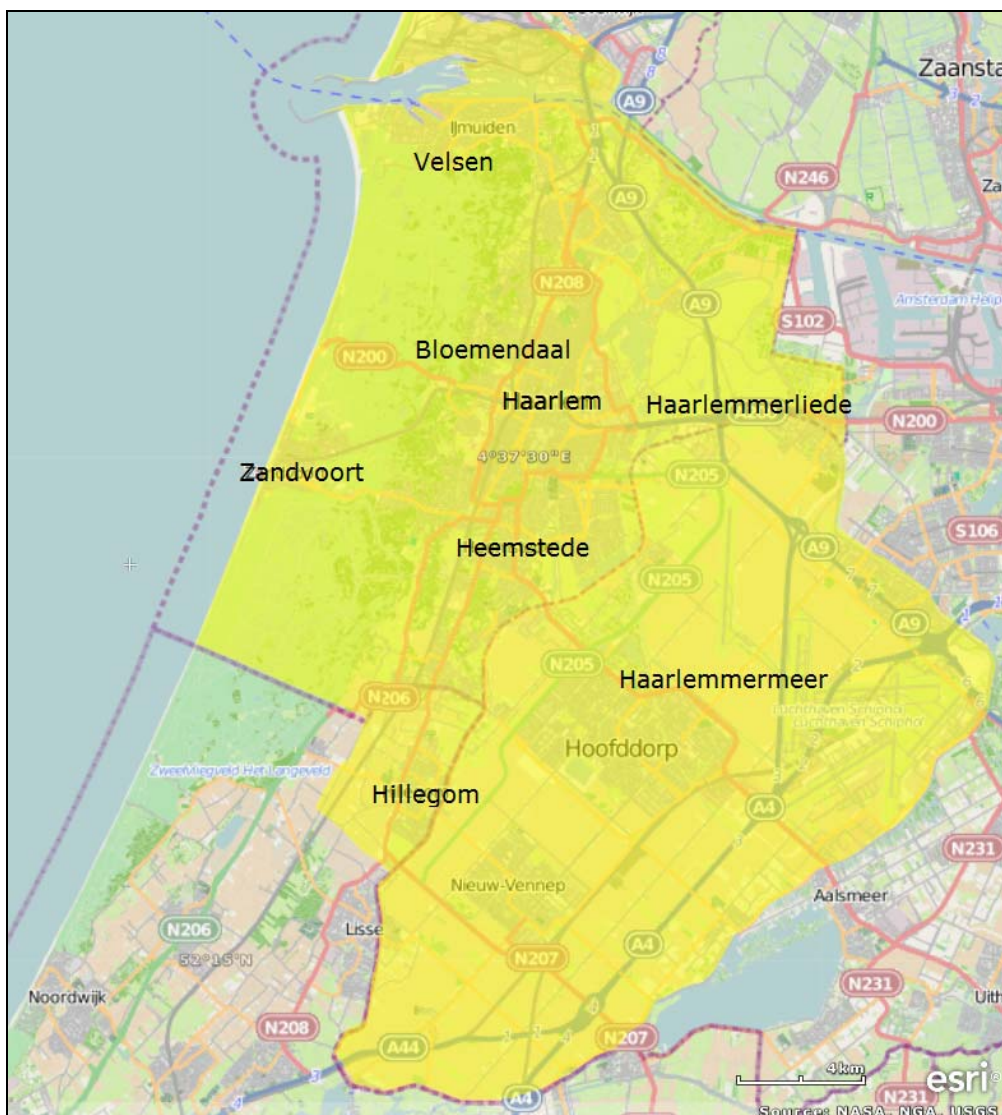
Het onderzoeksgebied betreft het gebied van bovengenoemde gemeenten. De topografische ligging van het onderzoeksgebied is aangegeven in figuur 1.

1.2. Aanleiding

Als gevolg van hoge grondwaterstanden hebben afgelopen winter ongebruikelijk veel bewoners in de gemeenten van Zuid-Kennemerland wateroverlast gemeld. De hoge grondwaterstanden werden niet alleen ervaren in de bekende overlastgevoelige gebieden, maar juist ook in delen van het bebouwde gebied waar doorgaans geen grondwateroverlast ervaren wordt. Dit heeft veel onrust veroorzaakt en is een voedingsbodem geweest voor veel verklarende theorieën waarvan de technische onderbouwing weleens ontbrak. De verschillende gemeenten zijn op veel manieren door haar burgers aangesproken en ook vanuit de politiek zijn vragen gesteld.

De gemeenten in de regio Zuid-Kennemerland werken samen op het gebied van riolering en water. Het gaat om de gemeenten Haarlem, Velsen, Heemstede, Zandvoort, Haarlemmerliede en Spaarnwoude, Hillegom, Haarlemmermeer, Bloemendaal en het Hoogheemraadschap van Rijnland. Omdat de hoge grondwaterstanden op regionale schaal optreden, is gezamenlijk onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de hoge grondwaterstanden. Het beoogde resultaat hiervan is dat in de gehele regio een, technisch onderbouwde, boodschap kan worden gecommuniceerd.

Communicatie door de gemeente over wateroverlast is inmiddels in de Waterwet verankerd. In de Waterwet is opgenomen dat gemeenten een grondwaterzorgplicht hebben. Onderdeel hiervan is het in de openbare ruimte treffen van maatregelen om grondwateroverlast of -onderlast voor de gebruiksfunctie zo veel mogelijk te voorkomen, voor zover doelmatig. Ook wordt van gemeenten verwacht dat zij de regierol op zich nemen bij wateroverlast. Communicatie (met bewoners en bestuurders) over wateroverlast maakt daar een belangrijk onderdeel van uit.



Figuur 1: Overzicht begrenzing gemeenten binnen onderzoeksgebied

1.3. Doel

Om onderbouwd te kunnen communiceren over de wateroverlast, is onderzoek naar de oorzaak en frequentie (is het structureel?) van de hoge grondwaterstanden nodig. Deze doelstelling vertaalt zich naar de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is de oorzaak van de (regionaal) hoge grondwaterstanden?
2. Zijn de grondwaterstanden incidenteel of structureel hoog?
3. Zullen de grondwaterstanden door klimaatverandering vaker hoog zijn?

Aanvullend is de doelstelling geformuleerd:

4. Zijn er gebieden aan te wijzen waar de betreffende gemeente een doelmatigheidsafweging zou kunnen uitvoeren?

Deze laatste doelstelling wordt niet in deze rapportage behandeld.

1.4. Aanpak en gebruikte gegevens

Onder coördinatie van de gemeente Bloemendaal is een projectgroep gevormd met vertegenwoordigers van de opdrachtgevers.

In de aanpak is onderscheid gemaakt in twee fases.

Fase 1 (betreft deze rapportage)

Als eerste fase is onderzoek verricht naar de oorzaak en het mogelijk structurele karakter van de hoge grondwaterstanden (onderzoeksvragen 1 t/m 3). Een belangrijk onderzoeksaspect is de vele neerslag in het najaar en winter van 2012/2013.

Tijdreeksanalyse op zorgvuldig geselecteerde peilbuismeetreeksen kan de reactie van de grondwaterstand op neerslag modelmatig in beeld brengen en heeft daarom een sleutelrol in het onderzoek. Met het tijdreeksanalysemodel zijn vervolgens voorspellingen over het mogelijk vaker optreden van hoge grondwaterstanden uitgevoerd.

De volgende werkzaamheden zijn verricht:

- een archiefstudie naar de beschikbare gegevens en bruikbare meetreeksen;
- een analyse van de neerslaghoeveelheden, oppervlaktewaterstanden en ont-trekkingsdebieten in de duinen;
- een analyse van de reactie van de grondwaterstand op neerslag in de regio (op basis van tijdreeksmodellering);
- een beoordeling hoe vaak de huidige omstandigheden met veel neerslag en hoge grondwaterstand in het verleden zijn opgetreden;
- een indicatieve analyse naar de effecten van klimaatverandering op de frequentie van hoge grondwaterstanden.

Fase 2 (een mogelijke vervolgstap; geen onderdeel van deze rapportage)

De eerste fase levert inzicht in het regionale grondwatersysteem en haar reactie op neerslag. Op regionaal niveau wordt in de eerste fase een uitspraak over doelmatigheid van eventuele maatregelen gedaan.

In de tweede fase dient de doelmatigheid van maatregelen op lokaal niveau beoordeeld te worden. Hier wordt op wijkniveau beoordeeld of er met de opgedane kennis uit fase 1 aanleiding is om een doelmatigheidsafweging op wijkniveau uit te voeren. Overwogen kan worden om te berekenen in welke gebieden de grondwaterstandstijgingen problematisch zijn. Hiermee kunnen, in combinatie met een analyse van meldingen, gebieden worden aangewezen waar overlast ervaren wordt. Voor deze gebieden worden vervolgens geohydrologische maatregelen aangegeven gericht op het bestrijden van de overlast.

Gebruikte gegevens

De kennis van de door Wareco uitgevoerde grondwateronderzoeken heeft Wareco paraat. Bij de gemeenten zijn meetreeksen (en metadata) van de grondwaterstand opgevraagd. Bij het waterschap zijn gegevens opgevraagd ten aanzien van de oppervlaktewaterpeilen. Ook bij drinkwaterleidingmaatschappijen Waternet en PWN zijn hydrologische gegevens opgevraagd. Bij het KNMI zijn meteorologische gegevens opgevraagd. Verder is met het KNMI telefonisch besproken welk klimaatscenario het beste kan worden toegepast voor de tijdreeksanalyse en hoe de neerslaggegevens het beste kunnen worden geanalyseerd.

Er is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- [1] Dinoloket van TNO en REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem).
- [2] KNMI neerslag en verdampingdata van www.knmi.nl.
- [3] GEOTOP model van TNO.
- [4] Hydrochemistry and Hydrology of the Coastal Dune area of the Western Netherlands, Stuyfzand, Kiwa, 1993.
- [5] Milieu effect rapportage optimalisatie bedrijfsvoering Noord-Hollands duinreservaat, PWN, kenmerk WA-MS20100359, d.d. 23 december 2010.
- [6] Geologische ontwikkelingen van ons kustgebied, D. Jelgersma, Bergense kroniek, jaargang 3, nr. 2, p. 29-33, 1996.
- [7] Vereenvoudigde Geologische Kaart van Haarlem en omgeving, Rijks Geologische Dienst Haarlem, 1995.
- [8] Grondwatersysteem Bloemendaal, kenmerk Kb39b.004mel.rap, Wareco, 21 juni 2005.
- [9] Grondwatermodel stedelijk gebied gemeente Haarlem, kenmerk 65601\009hb, Wareco, 5 juni 2000.

- [10] Grondwaterbeheerplan Heemstede, kenmerk Y7701.020job.rap, Wareco, 18 januari 2005.
- [11] Grondwatermodel gemeente Velsen, kenmerk Ke85.005aoo.rap.doc, Wareco, 29 januari 2009.
- [12] Evaluatie hydrologische effecten stopzetten grondwaterwinning PWN in Zuid-Kennemerland, Icastat i.s.m. AMO, mei 2006.

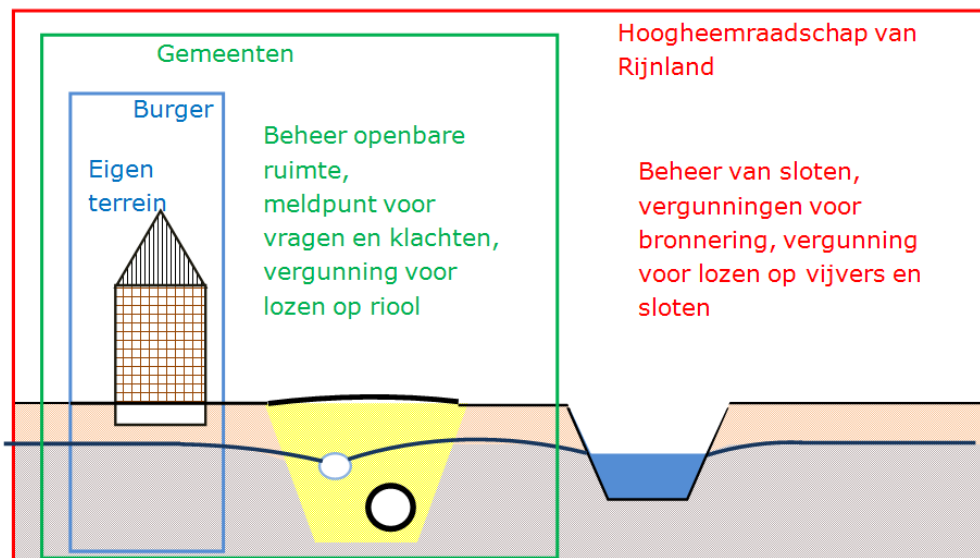
Daarnaast is gebruik gemaakt van detailonderzoeken uitgevoerd door Wareco. Wareco heeft in de loop van de afgelopen dertig jaar zeer veel (>100) (grond)water-, drainage- en modelonderzoeken in Kennemerland uitgevoerd. Deze onderzoeken zijn niet opgenomen in de literatuurlijst. De actuele kennis uit deze onderzoeken is benut in dit onderzoek.

De in de tekst vermelde cijfers tussen [] verwijzen naar bovenstaande gegevens.

1.5. Verantwoordelijkheden en taken in het (grond)waterbeheer

Grondwaterstroming houdt geen rekening met perceelgrenzen en van wie de grond is. De waterwetgeving in Nederland wel, zie figuur 2. Net zoals een huiseigenaar verantwoordelijk is voor de toestand van het huis, is de huiseigenaar ook verantwoordelijk voor de grondwatersituatie op het eigen terrein. Dit geldt ook voor de gemeente. De gemeente beheert het openbare gebied (zoals wegen en parken) en het grondwater op openbaar gebied. Ook is de gemeente het aanspreekpunt voor grondwateroverlast. Dit betekent dat de gemeenten een actieve houding aannemen bij het onderzoeken van problemen en het zoeken naar oplossingen. Dit grondwateronderzoek maakt bijvoorbeeld onderdeel uit van deze gemeentelijke grondwaterzorgplicht.

Het Hoogheemraadschap van Rijnland is de wettelijke (grond)waterbeheerder. De grondwaterzorgplicht is gedelegeerd aan gemeenten. Het waterschap zelf beheert het oppervlaktewater en is bevoegd gezag voor grondwateronttrekkingen. De provincie is bevoegd gezag voor zeer grote onttrekkingen. Drinkwaterleidingmaatschappijen PWN en Waternet zijn verantwoordelijk voor het leveren van drinkwater. In [bijlage 1](#) zijn de taken van de verschillende partijen nader toegelicht.



Figuur 2: Schema van de taakverdeling in het grondwaterbeheer

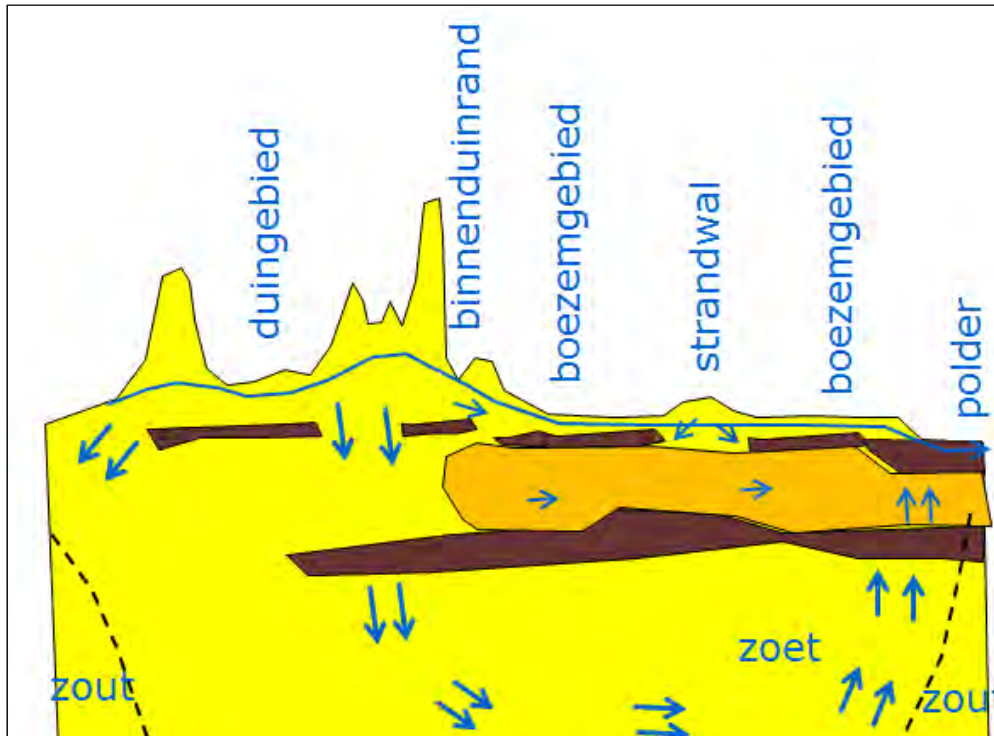
2. Grondwater Zuid-Kennemerland

2.1. Grondwatersystemen

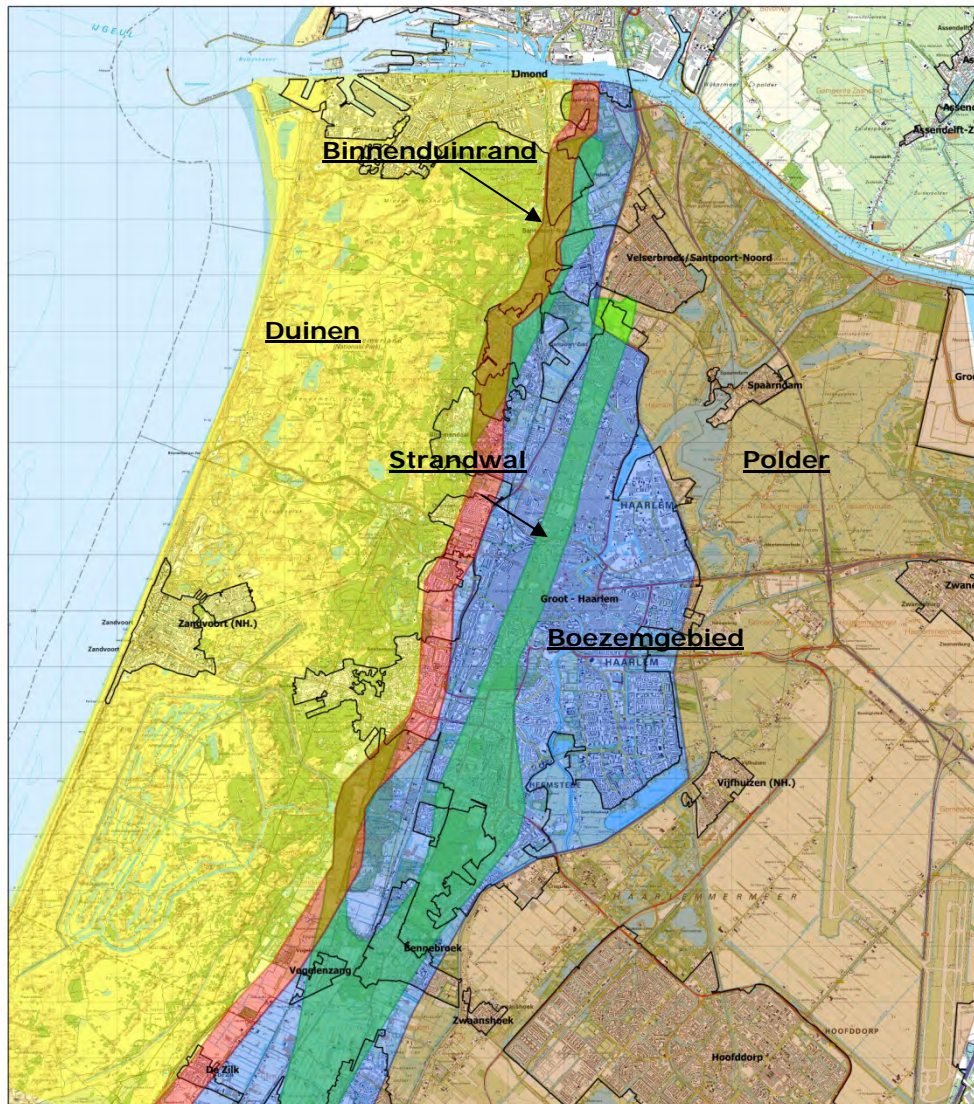
Het landschap in Zuid-Kennemerland is met een verloop van duinen naar de polders zeer wisselend. Dat geldt ook voor de ondergrond. Door de complexe ondergrond zijn meerdere grondwatersystemen te onderscheiden met verschillende eigenschappen. Voor dit onderzoek is het van belang om inzicht te hebben in de omvang van de grondwatersystemen en de interactie tussen de grondwatersystemen, om de fluctuatie van de grondwaterstand in de peilbuizen te begrijpen en om de modelresultaten (paragraaf 3.5) te interpreteren.

Hieronder worden de verschillende systemen kort toegelicht, zie ook Figuur 3, Figuur 4 en [bijlage 2](#). In [bijlage 3](#) zijn verschillende schematische doorsneden opgenomen.

In [bijlage 2](#) is weergegeven welke grondwatersystemen binnen de verschillende gemeenten aanwezig zijn.



Figuur 3: Schematische doorsnede grondwatersystemen (met geel: zand, bruin: klei en veen, oranje: wadzanden)



Figuur 4: Schematische weergave grondwatersystemen bovenaanzicht (zie ook [bijlage 2](#))

Duingebied

De duinen maken als groot onbebouwd (natuurlijk) infiltratiegebied een belangrijk onderdeel uit van het grondwatersysteem in Zuid-Kennemerland. De ondiepe bodem in de duinen bestaat overwegend uit goed doorlatend zand. De duinen kunnen worden beschouwd als een groot grondwaterreservoir zonder verharding.

Alle neerslag kan in de bodem infiltreren en het grondwater aanvullen. Het grondwater uit de duinen stroomt vooral verticaal weg naar diepere bodemlagen (>50 m diepte) [lit. 4, 8-11]. Uiteindelijk kwelt het water op aan de westelijke rand van de diepere polders. Een klein deel van het duinwater stroomt horizontaal richting het bebouwde gebied in de binnenduinrand. Omdat grondwater traag stroomt, is neerslag uit de duinen pas na enige tijd “voelbaar” in het bebouwde gebied. De mate van vertraging is belangrijk om het optreden van hoge grondwaterstanden te begrijpen (zie paragraaf 3.5). De grondwaterstand in de duinen fluctueert geleidelijk en seizoensgebonden. De grondwaterstand is normaal gesproken het hoogst aan het einde van de winter. Ten zuiden van Zandvoort wordt het grondwatersysteem beïnvloed door drinkwaterwinning, zie paragraaf 3.2.

Binnenduinrand

De binnenduinrand is een smalle overgangszone tussen de hooggelegen duinen en het lager gelegen boezemgebied. Kenmerkend is dat er overwegend oude duin- en strandzanden met daaronder wadzand aanwezig zijn. Dit zijn lagen die goed in staat zijn om grondwater door te laten. Via deze zandlagen stroomt (enig) grondwater vanuit de duinen de binnenduinrand in. Het toestromende duinwater stroomt vooral via het wadzandpakket, dat enkele meters dieper ligt. [lit. 4, 8-11]. In deze overgangszone treedt een groot verhang in de grondwaterstand op, van de duinen (tot enkele meters boven NAP) richting het boezemgebied (rond NAP -0,6 m). Er zijn greppels (duinrellen) aanwezig die grondwater onder vrij verval afvoeren naar het boezemgebied.

Boezemgebied

Tussen de binnenduinrand en de polder ligt het boezemgebied. Binnen het boezemgebied bevinden zich oude strandwallen. Vanwege de afwijkende bodemopbouw daar, wordt deze zone separaat beschreven.

In het boezemgebied bestaat de ondiepe bodem uit een relatief dunne zandlaag met daaronder klei- en veenlagen. Het freatische grondwater wordt vooral gevoed door neerslag. De neerslag kan moeilijk afstromen naar diepere lagen, waardoor de grondwaterstand dynamisch fluctueert (snelle reacties na buien) en zich meestal vlak onder maaiveld bevindt. Het duinwater stroomt sterk vertraagd toe via diepe (>10 m) bodemlagen [lit. 4, 8-11]. Een verhoogde grondwaterdruk in de duinen kan ervoor zorgen dat freatisch grondwater minder gemakkelijk kan wegzijgen. Er zijn watergangen aanwezig die onderdeel uitmaken van het boezemwatersysteem, vooral in natuurlijke laagtes naast de binnenduinrand.

Oude strandwallen

De strandwallen zijn natuurlijke hoogtes in het landschap, ontstaan door historische duinvorming. De bodem bestaat er overwegend uit goed waterdoorlatende zandlagen (oude duinzanden op wadzanden). Door de goed doorlatende bodem en de relatief hoge ligging ten opzichte van de grondwaterstand, is relatief veel berging in de bodem aanwezig. De grondwaterstand fluctueert in het algemeen niet zo dynamisch als in de aangrenzende zones. Het freatische grondwater wordt hoofdzakelijk gevoed met neerslag. Het duinwater stroomt sterk vertraagd toe via diepe (>10 m) bodemlagen, via het wadzandpakket en het eerste watervoerend pakket [lit. 4, 8-11]. Een verhoogde grondwaterdruk in de duinen kan derhalve ook zorgen voor een verhoogde druk in de diepere bodemlagen onder de oude strandwallen. Hierdoor kan het freatische grondwater minder goed wegzijgen naar diepere lagen. Er is relatief weinig oppervlaktewater aanwezig, dat vervolgens wel onderdeel uitmaakt van het boezemsysteem.

Poldergebied

In het oosten van Zuid-Kennemerland ligt het poldergebied. De ondiepe bodem bestaat (van nature) uit klei en veen met daaronder wadzandlagen. De freatische grondwaterstand wordt gevoed met neerslag en brak/zout kwelwater uit diepe bodemlagen. Het zoete grondwater uit de duinen kwelt op aan de rand van de polder [lit. 4]. Het grootste deel van de polder staat niet in hydraulisch contact met het duingebied. In de polder vindt dus nagenoeg geen nalevering van duinwater plaats. Er zijn relatief veel bemalen watergangen aanwezig die het freatische en opkwellend grondwater afvoeren. De grondwaterstand reageert in het algemeen sterk op neerslag en de grondwaterstand fluctueert vlak onder maai-veld.

2.2. Grondwaterstanden

Grondwatermeetnetten

Verschillende gemeenten monitoren de grondwaterstand met behulp van een systematisch meetnet van peilbuizen verspreid over de gemeente. Ook de drinkwaterleidingmaatschappijen monitoren de grondwaterstand. In bijlage 4 worden de verschillende meetnetten kort beschreven. De volgende gemeenten hebben een systematisch grondwatermeetnet:

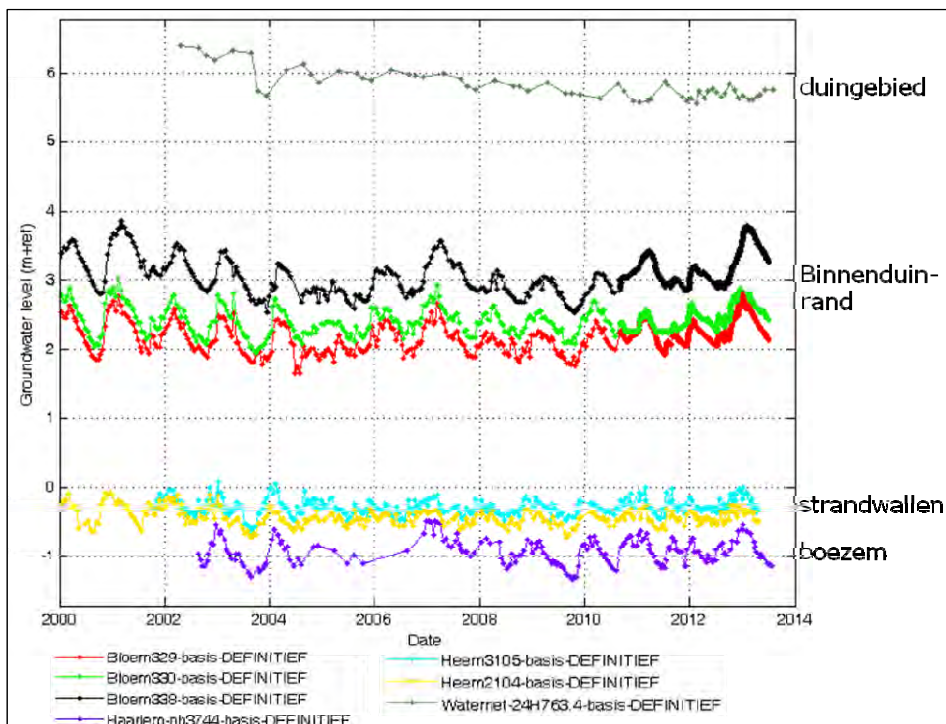
- Gemeente Velsen: 130 peilbuizen.
- Gemeente Bloemendaal: 250 peilbuizen.
- Gemeente Haarlem: 204 peilbuizen .
- Gemeente Heemstede: 84 peilbuizen.
- PWN: circa 6 peilbuizen in Zuid-Kennemerland.
- Waternet: peilbuizen nabij winningen/infiltratievelden.

In de overige gemeenten en in het onbebouwde duingebied ten noorden van Zandvoort zijn weinig voor dit onderzoek bruikbare metingen beschikbaar.

Veel peilbuizen zijn geplaatst in het freatische (bovenste) grondwatersysteem. Van veel peilbuizen is onbekend in welke bodemlaag precies gemeten wordt.

Variatie grondwaterstand

De freatische grondwaterstand is het hoogst in het duingebied en het laagst in de polder. In Figuur 5 is het verloop van de grondwaterstand in raai 5 opgenomen (ligt in het zuiden van het onderzoeksgebied, zie paragraaf 3.5 voor de ligging). De freatische grondwaterstand in de duinen varieert van circa NAP +4 m in het noordelijke deel van het onderzoeksgebied tot lokaal circa NAP +6 m in het zuidelijke deel. De grondwaterspiegel in de binnenduinrand heeft een sterk verhang. Op de hoge delen varieert de grondwaterstand globaal tussen NAP +3,5 en NAP +5 m. Op de lagere delen kan de grondwaterstand 1 tot 2 meter lager zijn. De grondwaterstand op de oude strandwallen en in het boezemgebied varieert tussen NAP +0 en NAP -1 m.



Figuur 5: Verloop van de grondwaterstand in raai 5 (gelegen ten zuiden van Zandvoort en loopt van de duinen tot de polder, zie paragraaf 3.5.).

Grondwaterstand najaar en winter 2012-2013

Het hydrologische jaar 2012-2013 was een nat jaar (zie paragraaf 3.4). De meetgegevens uit de peilbuizen laten zien dat ook de grondwaterstand in deze periode hoger was dan normaal (zie onder andere Figuur 5 en [bijlage 5](#)). In de binnenduinrand is dit het duidelijkst te zien met grondwaterstanden die in een natte periode 0,2 m tot 0,4 m hoger zijn dan in andere jaren. Ook op de strandwallen en in het boezemgebied was de grondwaterstand afgelopen najaar/winter hoger dan in voorgaande jaren. De extra verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van voorgaande jaren was hier met enkele centimeters tot circa 0,2 m minder groot dan in de binnenduinrand.

Start wateroverlast ten opzichte van de grondwaterstand

Geanalyseerd is vanaf welk moment in het hydrologische jaar sprake was van hoge grondwaterstanden, ten opzichte van de start van de wateroverlast. Voor de peilbuizen in de binnenduinrand is bepaald vanaf welk moment de grondwaterstand steeg tot buiten de normale fluctuatie van de grondwaterstand. Het algemene beeld is, dat de grondwaterstand al in juli en augustus 2012 een paar kleine pieken laat zien. Vanaf augustus 2012 stijgt de grondwaterstand gestaag tot het hoogste punt in december 2012/januari 2013. Daarbij is te zien dat de iets hoger gelegen peilbuizen (meer richting het duingebied) 1 à 2 weken later pieken (half januari 2013) dan de lager gelegen peilbuizen (december 2012 tot begin januari 2013). Het moment waarop de GHG wordt overschreden (vanaf dat moment is de grondwaterstand hoger dan gebruikelijk) is niet overal hetzelfde, maar bij de meeste peilbuizen in de binnenduinrand gebeurt dit vanaf november 2012. Dit moment komt overeen met de start van de meldingen van wateroverlast.

3. Oorzaak (regionaal) hoge grondwaterstanden

3.1. Regionaal onderzoek

In meerdere gemeenten in Zuid-Kennemerland is overlast gemeld. Ook bij overige gemeenten langs vrijwel de gehele kustlijn van Nederland is meer dan normaal grondwateroverlast bij woningen gemeld. De grondwateroverlast is regionaal van aard. Daarom is de eerste fase van dit onderzoek regionaal van opzet. De volgende regionale invloeden op de grondwaterstand zijn onderzocht en beschreven in dit hoofdstuk:

- neerslag en verdamping;
- bedrijfsvoering drinkwaterbedrijven;
- oppervlaktewaterpeilen.

Lokale oorzaken

Hoewel de hoge grondwaterstand vrij algemeen is, zijn de bij gemeenten binnengekomen klachten allemaal anders. Er zijn namelijk diverse manieren waarop een hoge grondwaterstand tot overlast kan leiden. Vaak ligt een samenloop van lokale oorzaken ten grondslag aan wateroverlast, bijvoorbeeld:

- braakliggend terrein zonder afwatering;
- lekkende kelder;
- verzakte kruipruimte, onvoldoende isolatie en ventilatie;
- drainageleiding die niet optimaal functioneert;
- regenwaterafvoer rondom een woning is verstopt waardoor het water naar de kelder stroomt;
- et cetera.

Daarom moeten die klachten met maatwerk worden bestreden, door zowel overheden als bewoners en bedrijven. Dit maatwerk maakt geen onderdeel uit van deze rapportage.

3.2. Bedrijfsvoering drinkwaterbedrijven

In het duingebied van Kennemerland zijn twee drinkwaterbedrijven actief, PWN en Waternet. Tot de jaren '50 van de vorige eeuw werd natuurlijk duinwater onttrokken ten behoeve van de drinkwaterbereiding. Dit heeft geleid tot verdroging en het aantrekken van zout grondwater. Sinds de jaren '50 wordt oppervlaktewater in de duinen geïnfilteerd en samen met enig natuurlijk duinwater op een andere locatie weer opgepompt. Om de verdroging van de natuur in het duingebied verder te bestrijden, wordt sinds de jaren '90 minder grondwater onttrokken.

Sindsdien is de grondwaterstand in de duinen gestegen. Er is grondwateronderzoek uitgevoerd naar de effecten hiervan voor de bebouwde omgeving [waaronder lit. 5]. Met modellen is destijds voorspeld dat de grondwaterstand in de binnenduinrand beperkt zou stijgen (hier zijn maatregelen getroffen) en dat de grondwaterstand in de bebouwde gebieden niet zou stijgen. Achteraf (in 2006) is door middel van metingen en analyse bewezen [lit. 12] dat de wijzigingen in de duinen niet tot een grondwaterstandstijging in het bebouwde gebied heeft geleid.

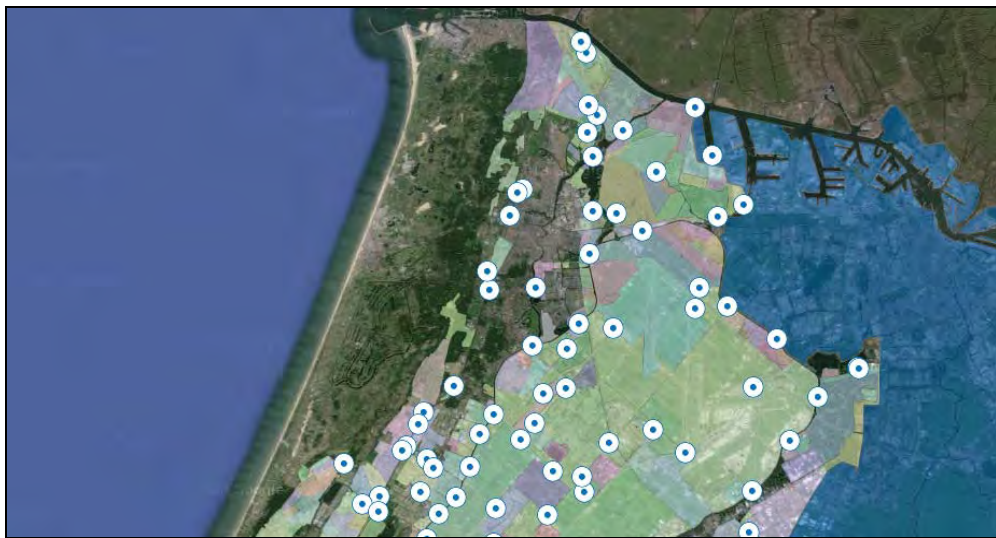
Huidige bedrijfsvoering

Momenteel voert PWN geen activiteiten meer uit in het duingebied ten zuiden van het Noordzeekanaal. Er wordt geen grondwater onttrokken en er wordt geen oppervlaktewater geïnfilteerd.

Waternet infiltreert en onttrekt water in het duingebied ten zuiden van Zandvoort en ten westen van Heemstede en Bennebroek. Waternet heeft aangegeven dat zich de afgelopen jaren geen significante wijzigingen hebben voorgedaan in de bedrijfsvoering in dit gebied. De bedrijfspeilen van de noordelijk gelegen kanalen (Boogkanaal, Westerkanaal en Noordoosterkanaal) zijn niet veranderd.

3.3. Oppervlaktewaterpeilen

Het Hoogheemraadschap van Rijnland is verantwoordelijk voor het beheer van de watergangen. Onderdeel daarvan is het beheren van de oppervlaktewaterpeilen. Rijnland meet op verschillende locaties het oppervlaktewaterpeil, zie Figuur 6. Op basis van de metingen is het oppervlaktewater in en rond de periode van grondwateroverlast niet belangrijk hoger dan gebruikelijk geweest.



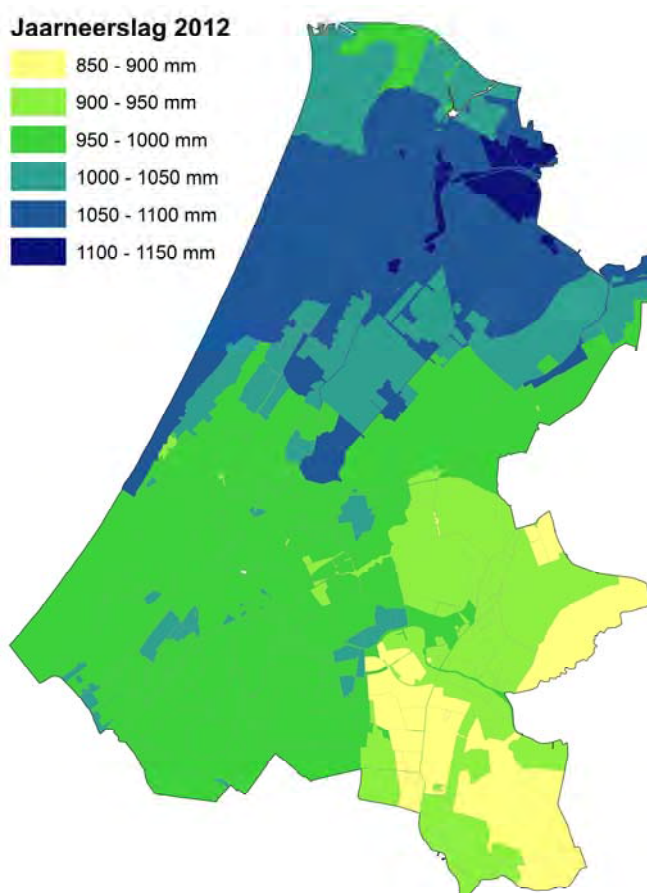
Figuur 6: Meetlocaties Rijnland (bron: www.rijnland.net). De gearceerde vlakken geven verschillende polderpeilgebieden aan

3.4. Meteorologie

In het onderzoeksgebied wordt de neerslag door het KNMI gemeten bij vier meetstations: Overveen, Zandvoort, Heemstede en Hoofddorp (zie [bijlage 6](#)). De verdamping wordt berekend op basis van metingen op Schiphol. Het verschil tussen de neerslag en de verdamping, wordt de netto neerslag genoemd (zie [bijlage 6](#) voor een toelichting).

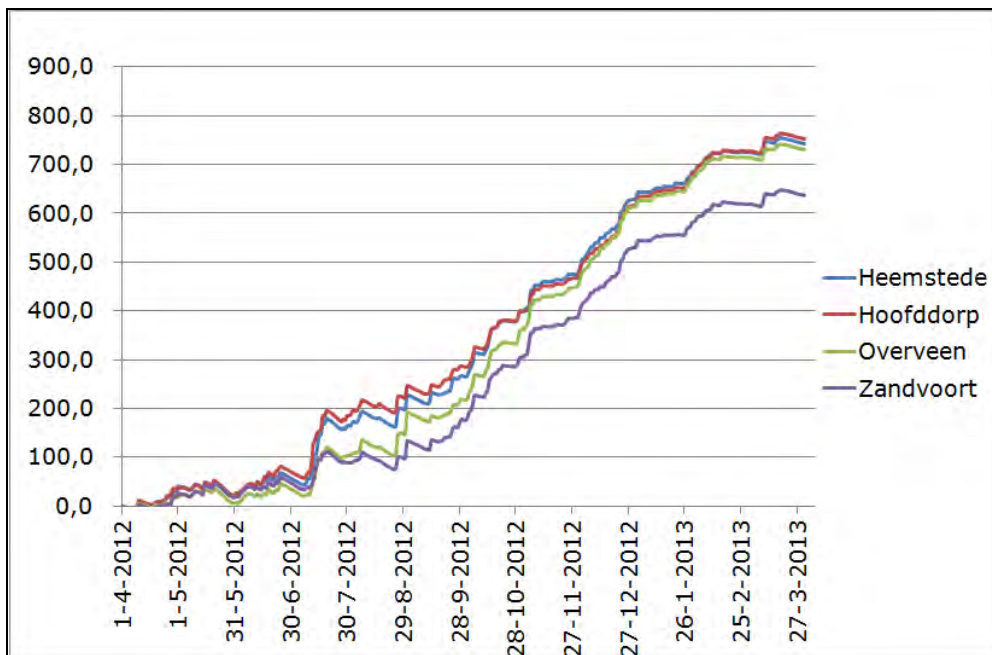
De meteorologie wordt beschreven per hydrologisch seizoen. Het hydrologische seizoen loopt van april tot en met maart.

In 2012 heeft het met name in Zuid-Kennemerland veel geregend, zoals aangegeven in Figuur 7.



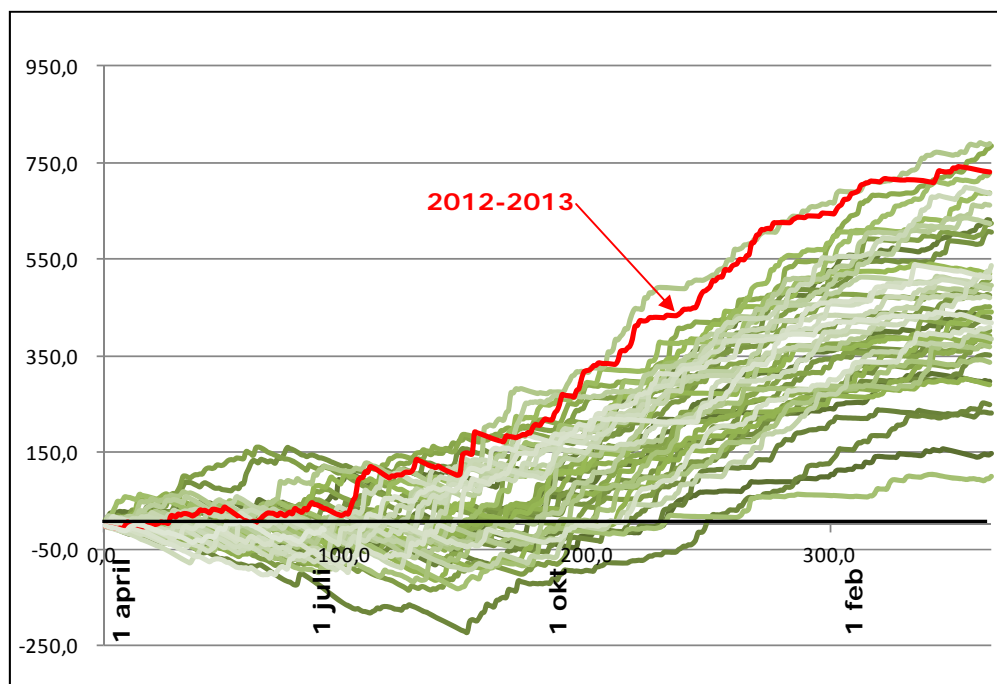
Figuur 7: Gesommeerde bruto neerslag in 2012 binnen het beheergebied van Rijnland (bron: neerslagradargegevens, Hoogheemraadschap van Rijnland)

De verdeling van de neerslag in het hydrologische seizoen 2012/2013 binnen het onderzoeksgebied, is weergegeven in Figuur 8. Weergegeven is de netto neerslag per meetstation in het onderzoeksgebied.



Figuur 8: De cumulatieve netto neerslag (mm) hydrologisch seizoen 2012-2013

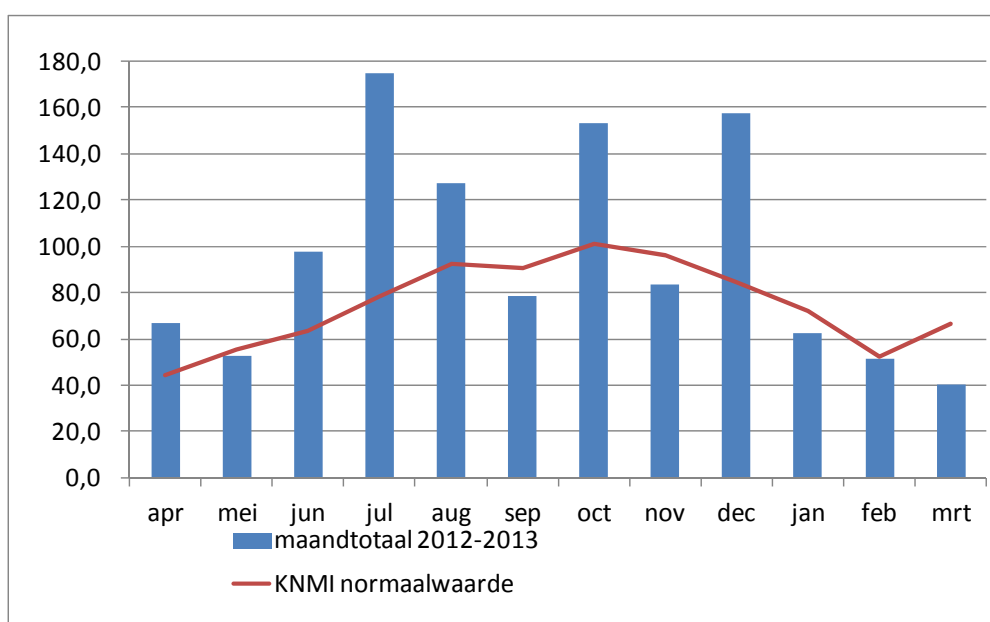
Het hydrologische seizoen 2012-2013 was een bijzonder nat jaar. In de onderstaande Figuur 9 is voor meetstation Overveen de cumulatieve netto neerslag weergegeven voor verschillende jaren vanaf 1971. De rode lijn geeft de neerslag in het seizoen 2012-2013 weer, deze lijn geeft aan dat dit seizoen bijzonder nat was ten opzichte van de overige jaren. In bijlage 6 zijn dergelijke grafieken voor overige neerslagstations opgenomen.



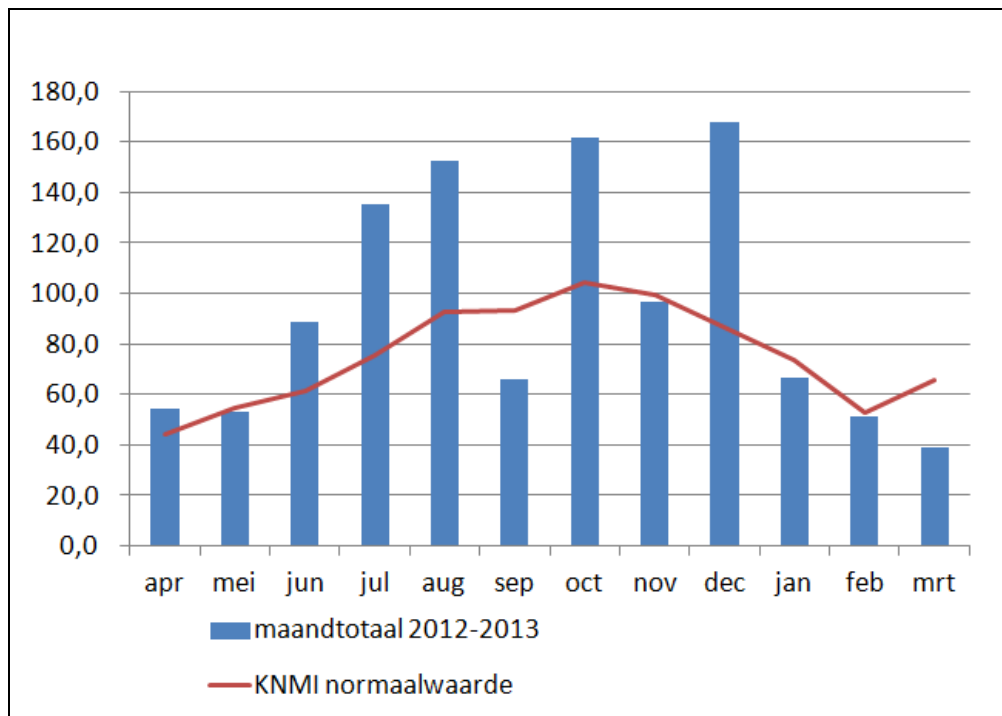
Figuur 9: De cumulatieve netto neerslag (mm) per hydrologisch seizoen vanaf 1971, in rood is het jaar 2012-2013 aangegeven.

Kenmerkend voor het hydrologische seizoen 2012-2013 is dat al vroeg in het seizoen meer neerslag viel dan normaal. Al vanaf het begin van het seizoen (april 2012) is meer neerslag gevallen dan is verdampt. Dit betekent dat gedurende het gehele seizoen sprake was van een neerslagoverschot, terwijl onder normale omstandigheden pas vanaf september/oktober een neerslagoverschot optreedt. Het grondwater is daardoor gedurende het gehele jaar aangevuld. Daar komt bij dat de maanden oktober en december 2012 buitengewoon nat waren. Verder is kenmerkend voor het seizoen 2012-2013 dat de buien redelijk gelijkmatig vielen. De buien waren gematigd in intensiteit en herhaalden zich kort op elkaar. In deze situatie wordt veel hemelwater toegevoegd aan het grondwater, in tegenstelling tot extreme buien waarbij een groot deel via het oppervlak wordt afgevoerd. Het grondwater is beetje bij beetje aangevuld, terwijl er vanwege de hoeveelheid aan buien nauwelijks tijd is geweest voor de grondwaterstand om weer te dalen.

In Figuur 10 en Figuur 11 zijn de maantotalen (bruto neerslag) van respectievelijk de centraal liggende stations Heemstede en Overveen vergeleken met KNMI-normaalwaarden voor de periode van 1981-2010. Hierin is te zien dat in de maanden juni, juli, augustus, oktober en december meer neerslag is gevallen dan normaal. In juli en december is bijna tweemaal zoveel neerslag gevallen dan normaal. In totaal is in het hydrologische jaar circa 25% (200 mm à 250 mm) meer neerslag gevallen dan normaal.



Figuur 10: Bruto neerslag (in mm) t.o.v. normaalwaarden station Heemstede



Figuur 11: Bruto neerslag (in mm) t.o.v. normaalwaarden station Overveen

3.5. Analyse relatie meteorologie-grondwaterstand

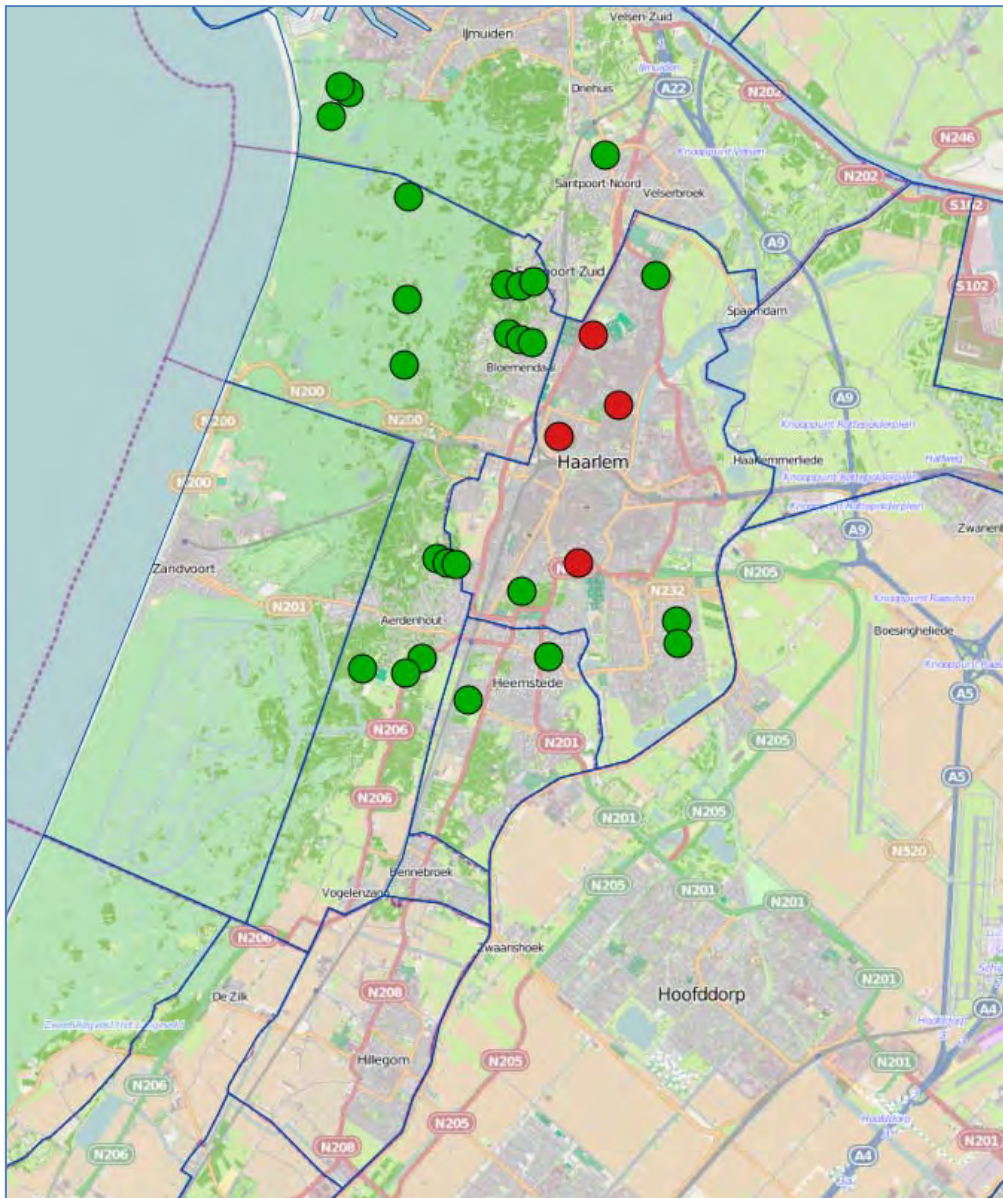
Tijdreeksmodellering

Om te kunnen beoordelen of de grote hoeveelheid neerslag in 2012/2013 de hoge grondwaterstanden heeft kunnen veroorzaken, is het belangrijk om te weten in hoeverre de grondwaterstand wordt beïnvloed door neerslag en verdamping. Het verband tussen neerslaggebeurtenissen en verdamping enerzijds en de grondwaterstand anderzijds is beoordeeld met behulp van tijdreeksmodellering. Met een tijdreeksmodel wordt de grondwaterstand op basis van statistische formules en invoerreeksen (zoals neerslag en verdamping) gesimuleerd en vergeleken met metingen. Voor een zorgvuldig geselecteerd aantal peilbuizen is een statistisch tijdreeksmodel opgesteld met behulp van het softwarepakket Menyanthes.

Relatie met neerslag en verdamping

Per geselecteerd meetpunt is met een tijdreeksmodel berekend in hoeverre de grondwaterstand kan worden verklaard met neerslag en verdamping (als verklarende meetreeks). In bijlage 7 worden de tijdreeksanalyse en de resultaten per raai in meer detail beschreven.

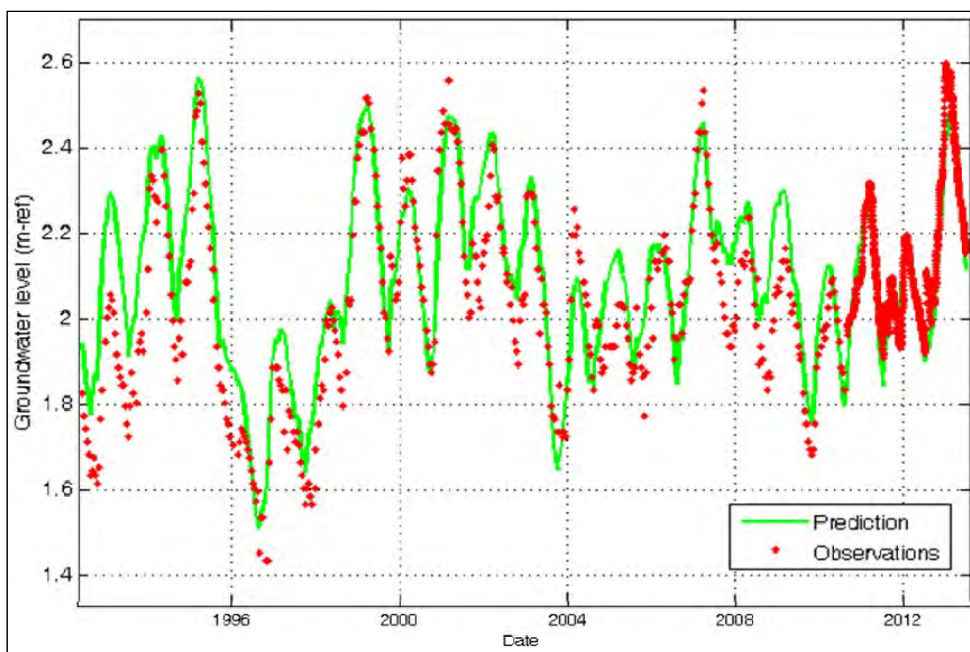
In Figuur 13 is weergegeven bij welke meetpunten op basis van neerslag en verdamping een voldoende betrouwbaar tijdreeksmodel is opgesteld op basis van uitsluitend neerslag en verdamping als verklarende reeks; dit zijn de groene ballen. Uit de figuur kan worden opgemaakt dat de grondwaterstand op de meeste onderzochte locaties voor een belangrijk deel wordt beïnvloed door neerslag en verdamping. Dit betekent tevens dat de opgetreden hoge grondwaterstanden voor een belangrijk deel zijn veroorzaakt door neerslag.



Figuur 13: Locaties waar op basis van alleen neerslag en verdamping een voldoende betrouwbaar tijdreeksmodel is opgesteld (groene bollen) en locaties waar andere factoren zoals drainerende middelen ook een rol spelen (rode bollen).

Voor de rode peilbuizen uit Figuur 13 is het opgestelde tijdreeksmodel onvoldoende betrouwbaar op basis van alleen neerslag en verdamping. In deze gebieden spelen ook andere factoren een belangrijke rol. Gedacht kan worden aan de aanwezigheid van drainagesystemen, riolsleuven, open water, enzovoort. Om dit te onderzoeken is een extra verklarende reeks toegevoegd die de afvoer van grondwater via een drainagestelsel schematiseert, met uitzondering van het meetpunt bij de winningen. Uitgaande van een constante afvoer tot 2 mm/dag bij hoge grondwaterstanden, wordt een betere 'fit' gevonden tussen het model en de metingen sinds 2002. Dit betekent dat ook voor deze meetlocaties geldt dat de opgetreden hoge grondwaterstanden voor een belangrijk deel zijn veroorzaakt door neerslag, maar dat het effect wordt beperkt door drainage. Om drainage goed in de tijdreeksmodellering op te nemen, zijn kwantitatieve gegevens van de drainageafvoer gewenst.

In [bijlage 8a](#) zijn per meetpunt de modelresultaten en de berekende parameters in meer detail opgenomen. Een voorbeeld van de modelresultaten is opgenomen in Figuur 14. De grafieken van de overige peilbuizen zijn opgenomen in [bijlage 8b](#).



Figuur 14: Simulatie (groene lijn) en metingen (rode punten) van peilbuis 376 (gelegen in de binnenduinrand ter hoogte van Oosterduin/Aerdenhout). Hier is een duidelijke relatie tussen de grondwaterstand en meteorologie berekend.

Vertraagde reactie op neerslag

De grondwaterstand in duingebieden reageert vertraagd op neerslag, zoals beschreven in paragraaf 2.1. Er kan vertraging optreden door:

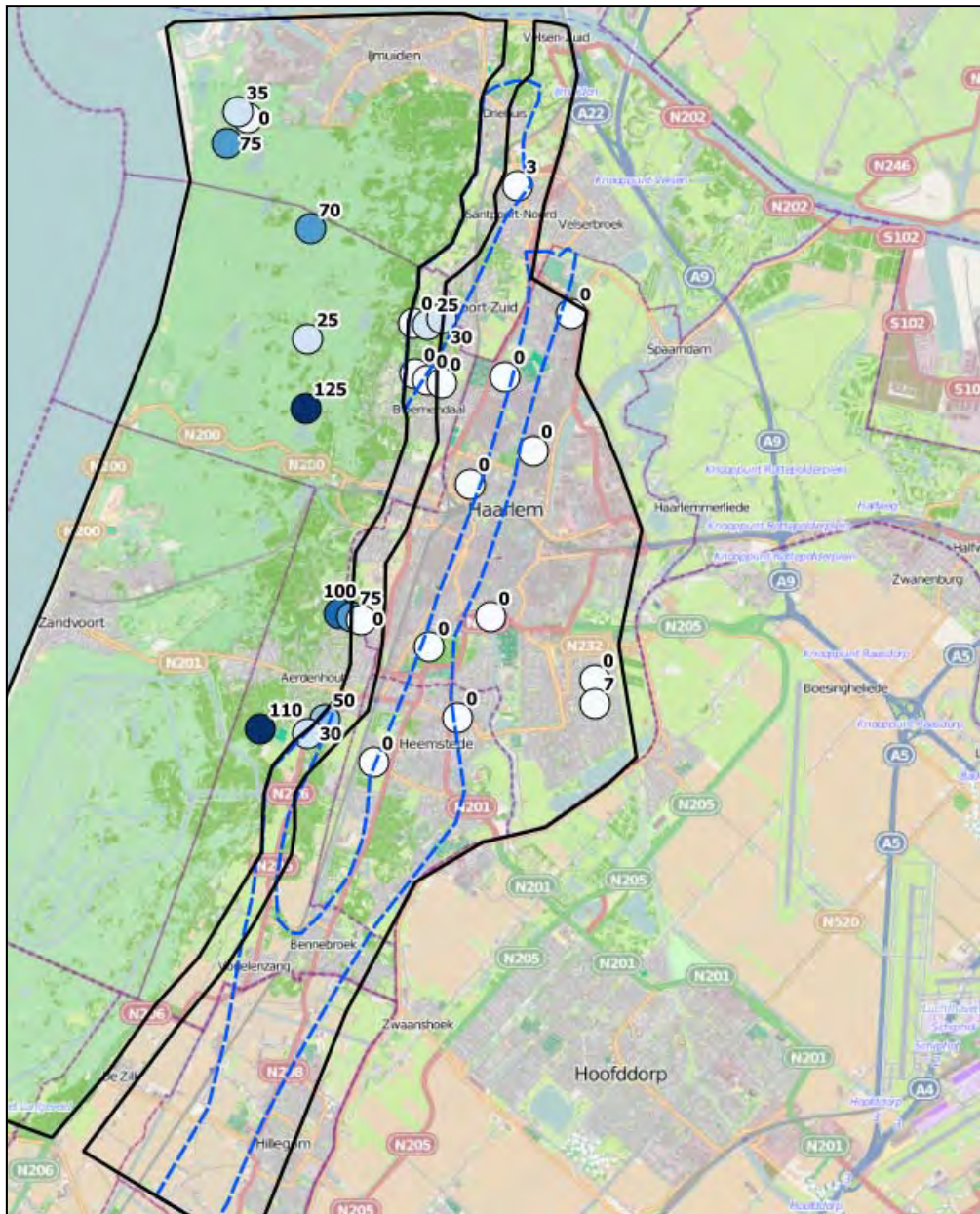
- (1) Infiltrerend regenwater stroomt eerst door de onverzadigde zone, voordat het de grondwaterspiegel bereikt.
- (2) Neerslag dat in de duinen infiltreert, stroomt via de bodem deels richting de binnenduinrand.

Door berging in het systeem en kleine stromingsnelheden duurt het enige tijd voordat neerslag uit de duinen "voelbaar" is in het bebouwde gebied tussen de duinen en de polders. Hierdoor kan het voorkomen dat in droge perioden toch hoge grondwaterstanden worden ervaren (door de neerslag die aan de droge periode vooraf is gegaan) of dat de grondwaterstand langdurig hoog blijft door 'nalevering' uit de duinen.

Op verschillende afstanden van de duinen is door middel van tijdreeksanalyse beoordeeld met welke vertraging de grondwaterstand reageert op de neerslaggebeurtenissen. De berekende vertraging (in dagen) per meetpunt is in de tabel weergegeven en nader beschreven in [bijlage 8](#). In Figuur 15 en [bijlage 9](#) zijn de resultaten op kaart weergegeven. Hieruit blijkt dat in de duinen een vertraagde reactie op neerslag optreedt van circa 25 tot 125 dagen. Dit betekent dat pas 25 tot 125 dagen na buien een maximale reactie op de grondwaterstand optreedt. De vertraagde reactie in het duingebied wordt (onder meer) verklaard door het feit dat het grondwater diep zit en de onverzadigde zone dik is. Zodoende duurt het enige tijd voordat neerslag geïnfilteerd is naar het grondwater en de maximale invloed meetbaar is.

In de binnenduinrand is op een aantal locaties een vertraagde reactie berekend tussen de 25 en 110 dagen. Op de lagere delen, in het boezemgebied, is de berekende vertraging gemiddeld lager of afwezig. In de binnenduinrand bestaat een snelle overgang tussen het duinsysteem met een trage reactie op neerslag, en het aangrenzende systeem met een snelle reactie. Verwacht wordt dat in deze smalle overgangszone een combinatie van factoren optreedt tijdens perioden met veel neerslag: een snelle reactie op veel neerslag die in het gebied zelf valt (direct hoge grondwaterstanden) gecombineerd met een vertraagde nalevering van neerslag uit de duinen (langdurig hoge grondwaterstanden).

De berekende snelle reactie in het strandwallen- en boezemgebied indiceert dat de grondwaterstand hier in belangrijke mate wordt beïnvloed door neerslag die in het gebied zelf valt, niet door een vertraagde toestroom van neerslag uit de duinen. De grondwaterstand wordt hier derhalve niet in belangrijke mate beïnvloed door de grondwaterstand in de duinen.



Figuur 15: Berekende vertraagde reactie van de grondwaterstand op neerslag in dagen na een neerslaggebeurtenis. Met donkerblauw: grote vertraging, lichtblauw: kleine vertraging, wit: geen vertraging (zie ook [bijlage 9](#)). Ook zijn in de figuur de verschillende geohydrologische zones uit figuur 4 aangegeven.

3.6. Gevolgen veel neerslag voor grondwaterstand

In 2012/2013 heeft het niet alleen veel geregend, de buien zijn ook verspreid over het jaar gevallen. Het grondwater is hierdoor het hele jaar continu en gelijkmatig aangevuld.

Op de strandwallen vindt relatief weinig kunstmatige afvoer van grondwater plaats. Hier moet het water via de bodem wegstromen, hetgeen traag verloopt in vergelijking met kunstmatige ontwatering. Onder gemiddelde omstandigheden is aanvullende afvoer niet nodig, omdat de bodem relatief veel water kan bergen (relatief hoge ligging en een goed doorlatende bodem). Juist in deze gebieden met weinig afvoermogelijkheden is de grondwaterstand gevoelig voor bovengemiddelde hoeveelheden neerslag. Door de vele neerslag en een relatief trage afvoer, is de bodem hier al vroeg in het hydrologische seizoen 2012/2013 (vanaf juli) beetje bij beetje vol met water geraakt. De zeer natte maanden oktober en december zorgden voor de spreekwoordelijke laatste druppels. Dit heeft ervoor gezorgd dat de grondwaterstand hoger was dan gebruikelijk, met name in de gebieden waar onder normale omstandigheden geen overlast wordt ervaren.

In het boezem- en poldergebied zijn relatief veel ontwaterende middelen aanwezig. Hier vindt versnelde afvoer van grondwater plaats, waardoor de vele neerslag minder gevolgen heeft gehad voor de grondwaterstand.

4. Incidenteel of structureel hoge grondwaterstanden

In dit hoofdstuk wordt beschreven of er de afgelopen periode, met veel neerslag en plaatselijk hoge grondwaterstanden, een incident is geweest of dat er sprake is van een veelvuldig terugkerende (structurele) situatie.

4.1. Neerslag

De hoeveelheid neerslag die deze winter is gevallen, is statistisch vergeleken met historische meteorologische data van het KNMI. Beoordeeld is in welke opzichts de neerslagsituatie afwijkt en hoe vaak een dergelijke neerslaghoeveelheid in het verleden is geregistreerd.

In [bijlage 6](#) is de netto neerslag per meetstation voor verschillende hydrologische seizoenen sinds 1971 weergegeven. Hieruit is het volgende op te maken:

- De eerste 100 dagen van het hydrologische seizoen 2012/2013 (april-juni) waren bovengemiddeld nat. De cumulatieve hoeveelheid netto neerslag na 100 dagen is sinds 1971 circa 4 à 8 keer (afhankelijk van meetstation) vaker gemeten.
- In de periode 100-200 dagen (juli-september 2012) is buitengewoon veel neerslag gevallen, waardoor de cumulatieve netto neerslag in 2012/2013 is toegenomen tot het natste jaar sinds 1971.
- In de periode 200-300 dagen (oktober 2012-januari 2013) is wederom buitengewoon veel neerslag gevallen. De cumulatieve hoeveelheid netto neerslag na circa 300 dagen is sinds 1971 eenmaal vaker gemeten (in 1998).
- In de laatste periode 300-365 dagen (februari-maart 2013) is minder neerslag dan gemiddeld gevallen. De cumulatieve hoeveelheid netto neerslag aan het eind van het hydrologische seizoen is sinds 1971 tweemaal vaker gemeten (in 1987 en 1998).

De hoeveelheid (netto) neerslag gedurende de overlastperiode (ongeveer oktober-januari) betrof een incidentele situatie, die zich sinds 1971 slechts enkele malen heeft voorgedaan.

4.2. Grondwaterstanden

Het verband tussen de neerslag en de grondwaterstand is in hoofdstuk 3 aangetoond. Omdat er een belangrijke relatie is tussen de neerslag en de grondwaterstand en omdat er uit de neerslaganalyse gebleken is dat er buitengewoon veel neerslag is gevallen, kan worden verwacht dat de grondwaterstanden ook buitengewoon hoog zijn geweest in het hydrologische seizoen 2012-2013.

Historische meetreeksen van de grondwaterstand ontbreken om overlastsituaties in de afgelopen decennia te kunnen duiden. Indien deze beschikbaar zouden zijn geweest, zou het mogelijk zijn om een zekere herhalingstijd van hoge grondwaterstanden te onderscheiden. Vervolgens zou een eventueel structureel karakter bepaald kunnen worden. Met de analytische relatie tussen de neerslag en de grondwaterstand is het mogelijk om een grondwaterstandreeks terug in de tijd te reconstrueren. De grondwaterstand is op basis van neerslag en verdamping met de tijdreeksmodellen gesimuleerd vanaf 1971 (start neerslagmetingen). Dit is alleen uitgevoerd voor de modellen waar een goede relatie met de meteorologie is gevonden. Vervolgens is beoordeeld hoe vaak zich de hoge grondwaterstand van afgelopen winter heeft voorgedaan in de gesimuleerde periode vanaf 1971.

Uit de analyse blijkt de situatie van 2012-2013 gemiddeld tussen de vier en zes keer voorkomt in de periode van 1971 tot nu.

Voor de meetpunten waarbij een minder duidelijke relatie met alleen de meteorologie is berekend, is op basis van beschikbare grondwaterstandmetingen beoordeeld hoe vaak de hoge grondwaterstand van afgelopen najaar/winter in het verleden is voorgekomen. De grondwaterstand was sinds de start van de metingen in 2002 niet eerder zo hoog geweest als in de afgelopen winter.

Geconcludeerd wordt dat de hoge grondwaterstanden een incidentele (niet structurele) gebeurtenis is.

5. Klimaatverandering

Als in de toekomst in de winterperiode meer neerslag valt, kan het vaker voorkomen dat hoge grondwaterstanden optreden. De effecten van de voorspelde klimaatveranderingen zijn berekend met behulp van tijdreeksanalyse. Berekend is of zich in de toekomst vaker een periode zoals de winter van 2012/2013 zal voordoen als gevolg van de voorspelde klimaatverandering. Hieruit wordt opgemaakt of de wateroverlast van afgelopen winter in de toekomst een structureel karakter kan krijgen.

5.1. Klimaatvoorspellingen

Of in de nabije toekomst vaker zoveel neerslag kan worden verwacht als afgelopen najaar en winter, kan niet worden voorspeld. Wel zijn voorspellingen gedaan over klimaatverandering in het algemeen voor de lange termijn (decennia).

Het KNMI heeft voorspellingen gedaan ten aanzien van klimaatveranderingen (bron: www.knmi.nl). Voor verschillende scenario's (KNMI'06 scenario's) is voorspeld hoe verschillende variabelen zoals temperatuur, neerslagintensiteit of verdamping zullen veranderen ten opzichte van de huidige situatie. De scenario's verschillen onderling in aannames ten aanzien van temperatuurstijging en een gewijzigd luchtstromingspatroon. De voorspelde verandering in neerslag en verdamping is weergegeven in [bijlage 10](#). Volgens de scenario's neemt de gemiddelde neerslag in de winter toe met 4% à 14%. De verdamping neemt toe met 3% à 15%. De verandering van de hoeveelheid neerslag in de zomer varieert tussen -19% en +6%.

Momenteel worden door het KNMI aanpassingen gedaan in de klimaatscenario's. Het KNMI heeft, vooruitlopende op de formele resultaten, telefonisch aangegeven dat de wijzigingen van de KNMI-scenario's geen belangrijke gevolgen zullen hebben voor het onderzoek naar de grondwateroverlast in Zuid-Kennemerland. Zodoende wordt in dit onderzoek uitgegaan van de klimaatscenario's uit 2006.

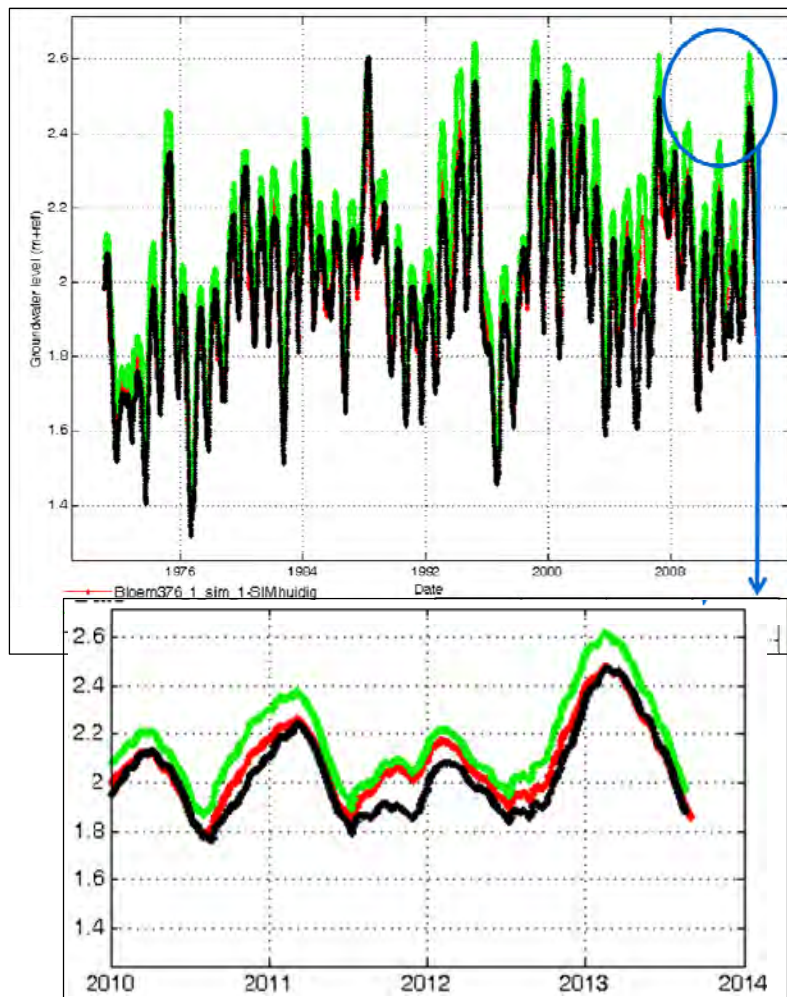
In telefonisch overleg met het KNMI is ervoor gekozen om voor dit onderzoek naar hoge grondwaterstanden de scenario's W en W+ te hanteren, waarbij als tijdshorizon 2050 wordt aangehouden. Deze scenario's kenmerken zich door een verhoogde hoeveelheid neerslag in de winter (7% in het W-scenario en 14% in het W+ scenario). In het scenario W neemt tevens de neerslaghoeveelheid in de zomer toe met 6%. In het scenario W+ neemt de hoeveelheid neerslag in de zomer juist af met 19%. In beide scenario's neemt de gemiddelde intensiteit van de neerslaggebeurtenissen toe, met name in de zomer.

5.2. Verandering hoge grondwaterstanden

Met behulp van de tijdreeksmodellen (zie paragraaf 3.5) is berekend wat de grondwaterstand zou zijn als de neerslag zou wijzigen conform de KNMI'06-scenario's W en W+. Uitgangspunt voor de berekening is het in paragraaf 3.5 gevonden verband tussen de neerslag en verdamping enerzijds en de gemeten grondwaterstanden anderzijds. In overleg met het KNMI zijn de historische neerslagreeksen van de stations Overveen, Heemstede en Zandvoort omgezet in reeksen die passen in het desbetreffende klimaatscenario. Hiertoe is gebruik gemaakt van de KNMI-transformatietool. Deze transformatietool zet historische neerslagreeksen om naar het gewenste klimaatscenario. In de transformatie wordt rekening gehouden met de verandering in gemiddelde neerslag per seizoen en de verandering in variabiliteit van de neerslag (zoals extremen). Deze veranderingen zijn gevat in verschillende algoritmen, die achtereenvolgens de historische reeks beïnvloeden. Concreet betekent dit dat bepaalde algoritmen de hoogte van de neerslagpieken verhogen of verlagen met een bepaald percentage, waarna op basis van andere algoritmen sommige neerslagpieken geheel worden verwijderd of worden toegevoegd. De verdamping wordt in de transformatietool niet aangepast. Er is derhalve geen rekening gehouden met een toename van verdamping. Dit is worstcase voor het berekenen van hoge grondwaterstanden.

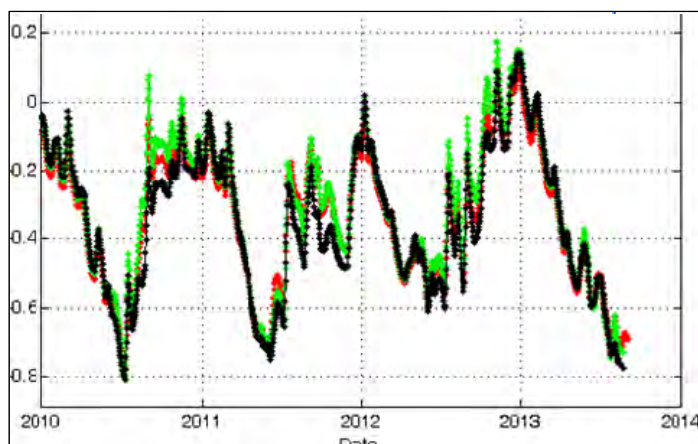
Op basis van de getransformeerde neerslagreeksen zijn de grondwaterstanden vanaf 1971 voor verschillende peilbuizen gesimuleerd en vergeleken met de berekeningen op basis van de werkelijke meteorologische gegevens. Hieronder wordt als voorbeeld nader ingegaan op dezelfde twee peilbuizen als in paragraaf 5.1.

In Figuur 16 zijn de gesimuleerde grondwaterstanden vanaf 1971 weergegeven voor peilbuis 376. Tevens is ingezoomd op de hoge grondwaterstanden van de laatste paar jaar. Zoals in paragraaf 5.1 reeds genoemd, worden de hoge grondwaterstanden uit de winterperiode 2012-2013 (NAP +2,48 m) circa vijf keer gesimuleerd in de periode van 40 jaar op basis van de werkelijk gemeten neerslaghoeveelheden (rode lijn). Binnen het klimaatscenario W (groene lijn) komt de genoemde grondwaterstand circa acht keer in 40 jaar voor. De periodes dat de waarde wordt overschreden zijn bovendien langer en de pieken zijn 0,1 m à 0,2 m hoger. De simulatie van het scenario W+ (zwarte lijn) is vergelijkbaar met het huidige scenario: de grondwaterstand van NAP +2,5 m wordt vijf à zes keer in 40 jaar overschreden.



Figuur 16: Gesimuleerde grondwaterstanden peilbuis 376 (gelegen in de binnenduinrand ter hoogte van Oosterduin/Aerdenhout) in de verschillende klimaatscenario's: huidig (rood), scenario W (groen) en scenario W+ (zwart).

In Figuur 17 zijn de gesimuleerde grondwaterstanden weergegeven voor peilbuis 3734. Binnen het klimaatscenario W nemen de pieken circa 0,05 m toe. Het klimaateffect is hier geringer als gevolg van ontwaterende voorzieningen.

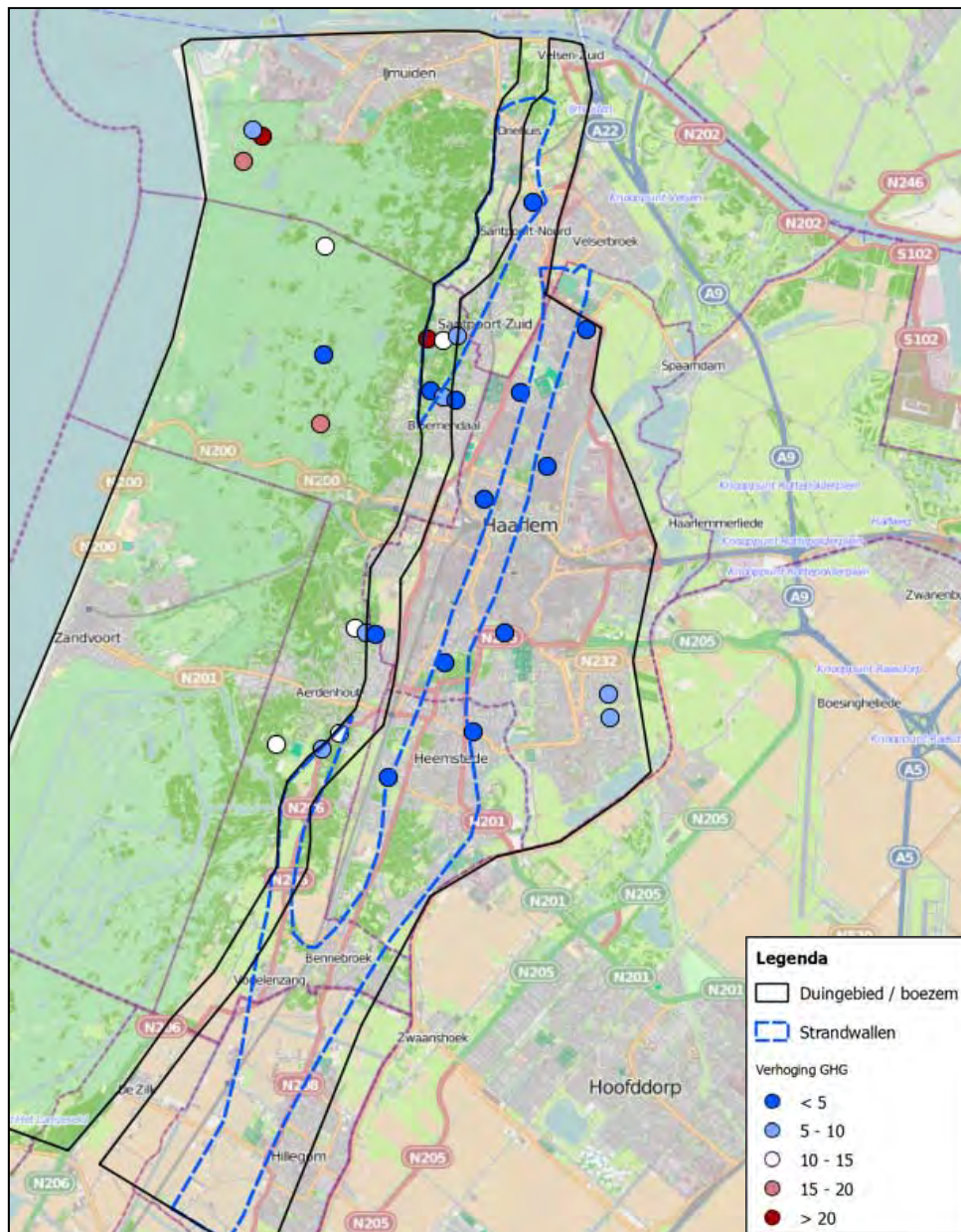


Figuur 17: Gesimuleerde grondwaterstanden peilbuis 3734 (gelegen in boezemgebied van Boerhaavewijk te Haarlem) in de verschillende klimaatscenario's: huidige (rood), scenario W (groen) en scenario W+ (zwart)

In Figuur 18 en [bijlage 11](#) is een overzichtkaart opgenomen van de voorspelde verhoging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) per peilbuis op basis van het klimaatscenario W. Hieruit blijkt dat op basis van het scenario W een verhoging van de grondwaterstand wordt voorspeld. In het duingebied en op de hogere delen van de binnenduinrand is de voorspelde verhoging groter dan op de oude strandwallen en in het boezemgebied.

Geconcludeerd wordt dat in het geval van het klimaatscenario W de hoge grondwaterstanden zoals in de winter van 2012-2013 vaker zullen voorkomen dan nu het geval is. Dit geldt met name voor de binnenduinrand, waar de situatie ongeveer twee keer zo vaak zal optreden. Op de strandwallen en in de boezem zullen ook vaker hogere grondwaterstanden optreden, maar de toename is minder sterk en de pieken zijn gemiddeld minder hoog dan in de binnenduinrand. Het scenario W+ is wat betreft hoge grondwaterstanden in de winter minder extreem dan het W-scenario.

Vanwege onzekerheden in de berekeningen en klimaatvoorspellingen, zijn de beschreven resultaten indicatief. De resultaten geven hooguit een indruk van de veranderingen die te verwachten zijn volgens de verschillende klimaatscenario's.



Figuur 18: Voorspelde verhoging van de GHG (in cm) op basis van klimaatscenario W (rood: grootste stijging, wit tot blauw: kleinste stijging). Ook zijn in de figuur de verschillende geohydrologische zones uit figuur 4 aangegeven.

Effect Zeespiegelstijging

Het effect van een voorspelde zeespiegelstijging op de grondwaterstand is niet berekend in dit onderzoek. Uit voorgaand onderzoek door Wareco op verschillende locaties in Nederland is gebleken dat tot een beperkte afstand uit de kustlijn (tot maximaal circa 2 km) effect op de grondwaterstand verwacht kan worden.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Conclusies

- Er is het afgelopen jaar geen verandering opgetreden in de onttrekkings- en infiltratiehoeveelheden van de drinkwaterbedrijven;
- de oppervlaktewaterpeilen zijn gedurende de overlastperiode (najaar/winter 2012) regionaal gezien niet hoger dan normaal geweest;
- er is gedurende het hydrologische seizoen 2012-2013 bijzonder veel neerslag gevallen;
- er is voor de meeste onderzochte meetlocaties een duidelijke relatie berekend tussen de neerslag en de grondwaterstand;
- voor enkele onderzochte meetlocaties waar de relatie met neerslag minder duidelijk is, wordt de grondwaterstand ook beïnvloed door ontwaterende mid-delen zoals drainage;
- de regionaal bovengemiddeld hoge grondwaterstand van afgelopen na-jaar/winter wordt veroorzaakt door bovengemiddeld veel neerslag;
- de grote hoeveelheid neerslag in het najaar/winter 2012 betrof een incidentele situatie (niet structureel), die sinds 1971 circa driemaal is geregistreerd;
- de hoge grondwaterstand van afgelopen winter betrof eveneens een incidentele situatie, die circa vijf keer voor is gekomen sinds 1971;
- voor enkele meetpunten waar meer aspecten dan de neerslag alleen een belangrijke rol spelen, kan niet met tijdreeksanalyse en de neerslagmetingen vanaf 1971 worden vastgesteld hoe vaak de grondwaterstand de afgelopen decennia zo hoog was als in de afgelopen winter. Hier is op basis van grondwaterstandmetingen vastgesteld dat sinds de start van de metingen in 2002 de grondwaterstand niet eerder zo hoog is geweest;
- als gevolg van klimaatverandering neemt de kans op hoge grondwaterstanden toe, voor het binnenduigebied zal een hoge grondwaterstand zoals in de afgelopen winter in de ordegrootte van tweemaal zo vaak kunnen gaan optreden in de toekomst (horizon: 2050);
- op de strandwallen en in het boezemgebied zullen ook vaker hogere grondwaterstanden gaan optreden, maar de toename is minder sterk en de pieken zijn gemiddeld minder hoog dan in de binnenduinrand.

6.2. Aanbevelingen

Maatregelen conform de wettelijke grondwaterzorgplicht

De wettelijke grondwaterplicht van gemeenten heeft betrekking op het beantwoorden van vragen en meldingen over grondwater(overlast) en eventueel het uitvoeren van onderzoek naar de oorzaken ervan en de mogelijke maatregelen die de gemeente kan treffen op het openbare gebied. De grondwaterstand is vaak niet volledig te sturen, daarom heeft de grondwaterzorgplicht van de gemeente het karakter van een inspanningsverplichting ('zoveel mogelijk') en is de gemeente niet verantwoordelijk voor een bepaalde hoogte van de grondwaterstand.

Conform de Waterwet dienen gemeenten maatregelen in de openbare ruimte te treffen indien de volgende situatie zich voordoet:

1. er moet sprake zijn van structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming;
2. maatregelen in de openbare ruimte moeten doelmatig zijn.

Ad.1) Er moet sprake zijn van structureel te hoge grondwaterstanden waardoor bijvoorbeeld de woonfunctie van een perceel structurele schade ondervindt. Voorbeelden van nadelige gevolgen zijn: aantasting van houten constructievloeren, schimmelvorming in verblijfsruimtes, et cetera.

Ad.2) In de afweging van gemeentelijke maatregelen moeten de financiële implicaties, de omvang en de duur van de problemen meegenomen worden, alsmede de verschillende mogelijke oplossingen om grondwateroverlast tegen te gaan (beïnvloeden van het grondwaterpeil in probleemgebieden versus laten nemen van bouwkundige maatregelen). In het algemeen wil dit zeggen dat maatregelen in de openbare ruimte effect moeten hebben op de overlastsituatie bij woningen én dat de (aanleg- en beheer)kosten van de maatregelen opwegen tegen de baten ervan. Gemeenten geven zelf locatiespecifiek invulling aan de term doelmatigheid en leggen dat vast in een Gemeentelijk Rioleringsplan (GRP).

In dit onderzoek wordt door Wareco geconcludeerd dat het afgelopen najaar/winter met hoge grondwaterstanden en veel neerslag een incidentele (niet structurele) situatie betrof. Verwacht wordt dat deze tijdelijke en incidentele situatie niet tot het regionaal optreden van structurele grondwateroverlast heeft kunnen leiden. Het op regionale schaal treffen van maatregelen naar aanleiding van de incidenteel natte winterperiode lijkt derhalve niet doelmatig.

Dit onderzoek is uitgevoerd op regionale schaal. Op regionale schaal lijken maatregelen door de gemeente niet doelmatig. Op wijk- en straatniveau kunnen zich desondanks situaties voordoen waarbij ook onder niet extreme omstandigheden structureel hoge grondwaterstanden optreden. Aanbevolen wordt om in gebieden waar grondwateroverlast wordt gemeld en hoge grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld optreden, een lokale doelmatigheidsafweging uit te voeren ten aanzien van maatregelen in de openbare ruimte.

Bij iedere melding van grondwateroverlast kan een kleinschalige, lokale oorzaak aan de overlast ten grondslag liggen. Aanbevolen wordt om bij het behandelen van specifieke meldingen de lokale omgeving (zoals rioolvervangings-, ondergrondse werken, bouwkundige staat pand, etc.) te betrekken.

Doorkijk naar komende winter

De vele neerslag van afgelopen winter (2012-2013) kan ook nog invloed hebben op de grondwaterstand in de aankomende winter. Dit komt doordat de grondwaterstand voor aanvang van komende winter plaatselijk (binnenduinrand) mogelijk nog niet is hersteld van de vele neerslag in de winter 2012/2013. Aanbevolen wordt om hier bij het uitvoeren van de grondwaterzorgplicht rekening mee te houden.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 Taken en verantwoordelijkheden grondwaterzorgplicht

Meerdere partijen hebben een gedeelde verantwoordelijkheid en taken voor het grondwater: de perceeleigenaar, de gemeente en het waterschap. Hier leest u wat ze doen:

a. De perceeleigenaar:

- Is verantwoordelijk voor het droog houden van de grond waarop zijn/haar huis staat. Hij/zij is verantwoordelijk voor de bouwkundige staat en het onderhoud van het huis. Volgens bouwvoorschriften dienen kelders en de onderkant van het huis waterdicht te zijn. De eigenaar is ook verantwoordelijk voor het op hoogte houden van tuinen en de kruipruimtebodempl. Hij/zij is verantwoordelijk voor het oplossen van grondwateroverlast op eigen terrein, tenzij de overlast aantoonbaar wordt veroorzaakt door een ander.
- Houdt bij een verlaging van de grondwaterstand rekening met het gemeentelijke beleid en zorgt ervoor dat geen overlast of schade wordt veroorzaakt bij buren.

b. De gemeente:

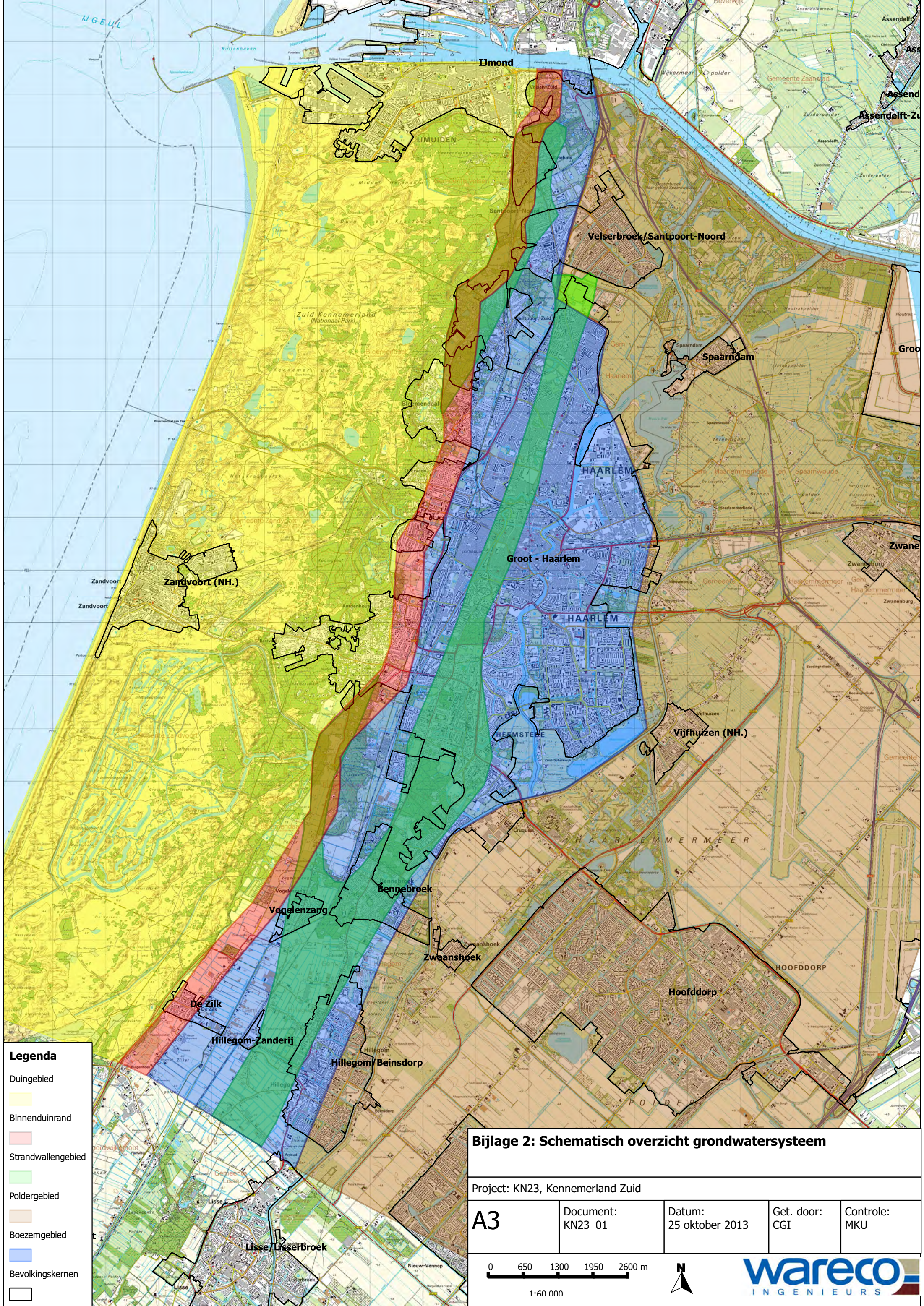
- Zorgt voor het grondwaterbeheer in openbaar gebied.
- Heeft daarbij een inspanningsplicht (geen resultaatverplichting).
- Neemt naar aanleiding van klachten over (grond-)wateroverlast het initiatief om de oorzaak van de overlast te onderzoeken. Kan in overleg met de gemeente het teveel aan grondwater afvoeren naar de openbare ruimte.
- Zorgt dat particulieren hun grond- en bemalingswater kunnen lozen op gemeentelijke riool/drainage, voor zover er geen andere mogelijkheden bestaan. Voor lozingen op het riool is een vergunning nodig, de gemeente is hiervoor het bevoegd gezag.
- Zorgt voor de aanleg en het onderhoud van drainage in openbaar gebied, voor zover dit doelmatig is bij structurele overlast.

c. Het Hoogheemraadschap van Rijnland (het waterschap):

- Heeft haar verantwoordelijkheid voor het oppervlaktewater. Omdat grond- en oppervlaktewater elkaar kunnen beïnvloeden, heeft het waterschap ook een rol in het beheer van het grondwater. In de toelichtingen van een zogenaamde peilbesluit worden de effecten van peilbeheer op de grondwaterstand door de waterschappen nagegaan.
- Is verantwoordelijk voor de afvoer van grond- en bemalingswater via vijvers en sloten dat door de gemeente of particulieren wordt aangeboden. Alleen als het aangeboden grondwater schoon is en het oppervlaktewatersysteem het kan verwerken. Voor lozingen op vijvers en sloten is een vergunning nodig. Het waterschap is hiervoor het bevoegd gezag.
- Is verantwoordelijk voor het leveren van kennis en advies (waar het oppervlaktewater en grondwater betreft), zowel bij bouwprojecten als ruimtelijke ontwikkelingen.
- Verleent vergunningen voor grondwateronttrekkingen kleiner dan 150.000 m³/jaar en voor alle bronbemalingen.

d. Provincie Noord-Holland:

- De provincie is strategisch beleidsbepaler voor de inrichting van de fysieke leefomgeving en het toekennen van gebruiksfuncties aan water- en grondwatersystemen.
- De provincie is met de invoering van de Waterwet (2009) geen grondwaterbeheerder meer. Het beheer van grondwater is met de Waterwet in handen gelegd van de waterschappen, uitgezonderd winningen voor de openbare drinkwatervoorziening, industriële onttrekkingen groter dan 150.000 m³/jaar en warmte-koude opslag (WKO). Voor deze onderdelen is de provincie verantwoordelijk en bevoegd gezag.
- De provincie is bevoegd gezag voor de bescherming van de kwaliteit van het grondwater op grond van de Waterwet (Kaderrichtlijn Water en Grondwaterrichtlijn) en de Wet Milieubeheer.
- De provincie heeft een centrale rol in het grondwaterbeschermingsbeleid. De gebieden waar grondwater voor drinkwater aan de bodem wordt onttrokken en de gebieden die daarvoor in reserve worden gehouden worden afdoende beschermd. De provincie stelt beperkingen aan activiteiten en ruimtelijke functies in het zogeheten grondwaterbeschermingsgebied en in mindere mate aan het intrekgebied.

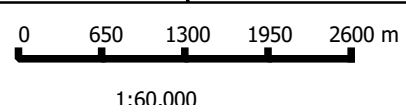


- Legenda**
- Duingebied
 - Binnenduinrand
 - Strandwallengebied
 - Poldergebied
 - Boezemgebied
 - Bevolkingskernen

Bijlage 2: Schematisch overzicht grondwatersysteem

Project: KN23, Kennemerland Zuid

A3	Document: KN23_01	Datum: 25 oktober 2013	Get. door: CGI	Controle: MKU
-----------	----------------------	---------------------------	-------------------	------------------

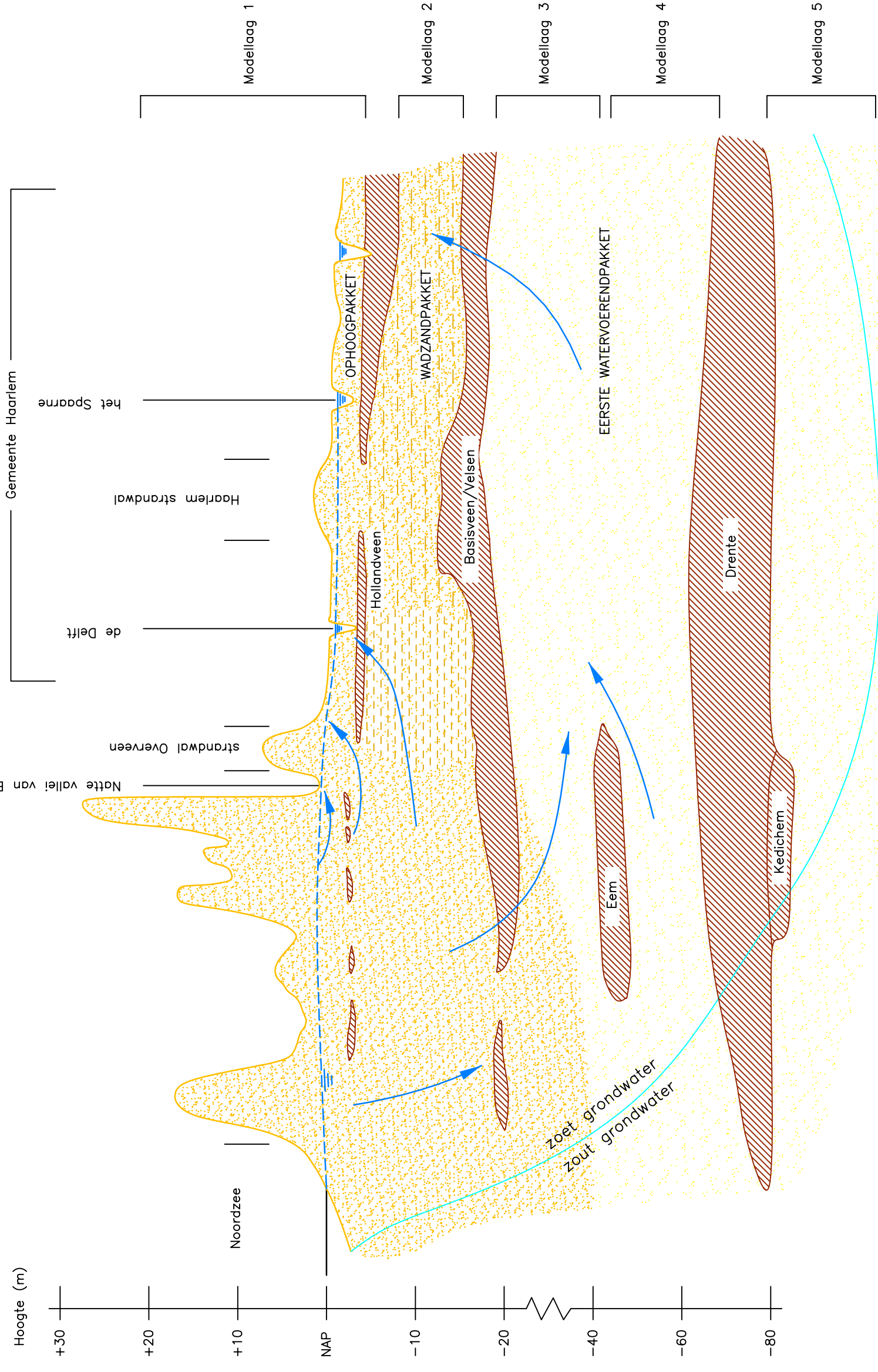


BIJLAGE 3

Schematische geohydrologische doorsnedes

(Oost)

(West)



GRONDWATERMODEL GEMEENTE HAARLEM

Modelonderzoek

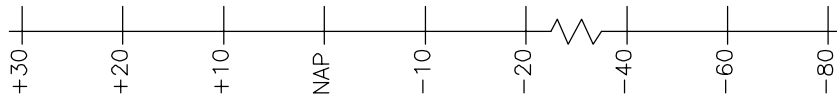
Bijlage 3: Geohydrologische dwarsdoorsnede onderzoeksgebied

WARECO AMSTERDAM BV	
A3 ²⁹⁷ x 420	schaal: n.v.t. gezien:
projectcode: 65601	datum : 10-05-2000 en door : RB/MS
filenaam: 65601_02.dwg	

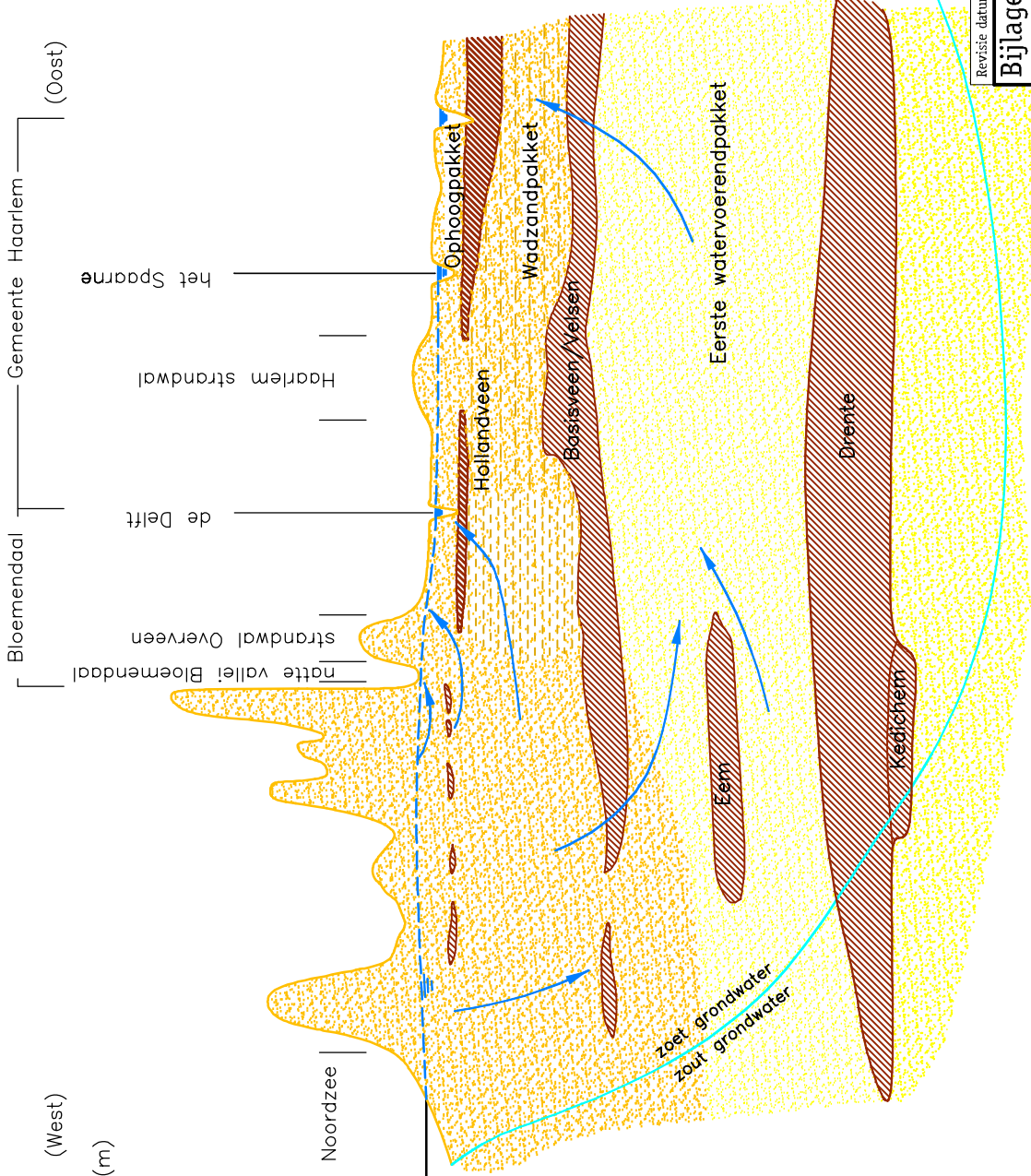
(West)

(Oost)

Hoogte (m)



Noordzee



Revisie datum:

get. door:

gezien:

Bijlage 3: Regionale geohydrologische dwarsdoorsnede

BLOEMENDAAL

Grondwatermodel

	slecht doorlatend (veen/klei)
	redelijk tot goed doorlatend
	goed doorlatend

gezien:

schaal: n.v.t.

tek. nr.: 001

projectcode: Kb39b

datum : 21-06-2005

get. door : MS



gezien:

datum : 21-06-2005

get. door : MS

projectcode: Kb39b

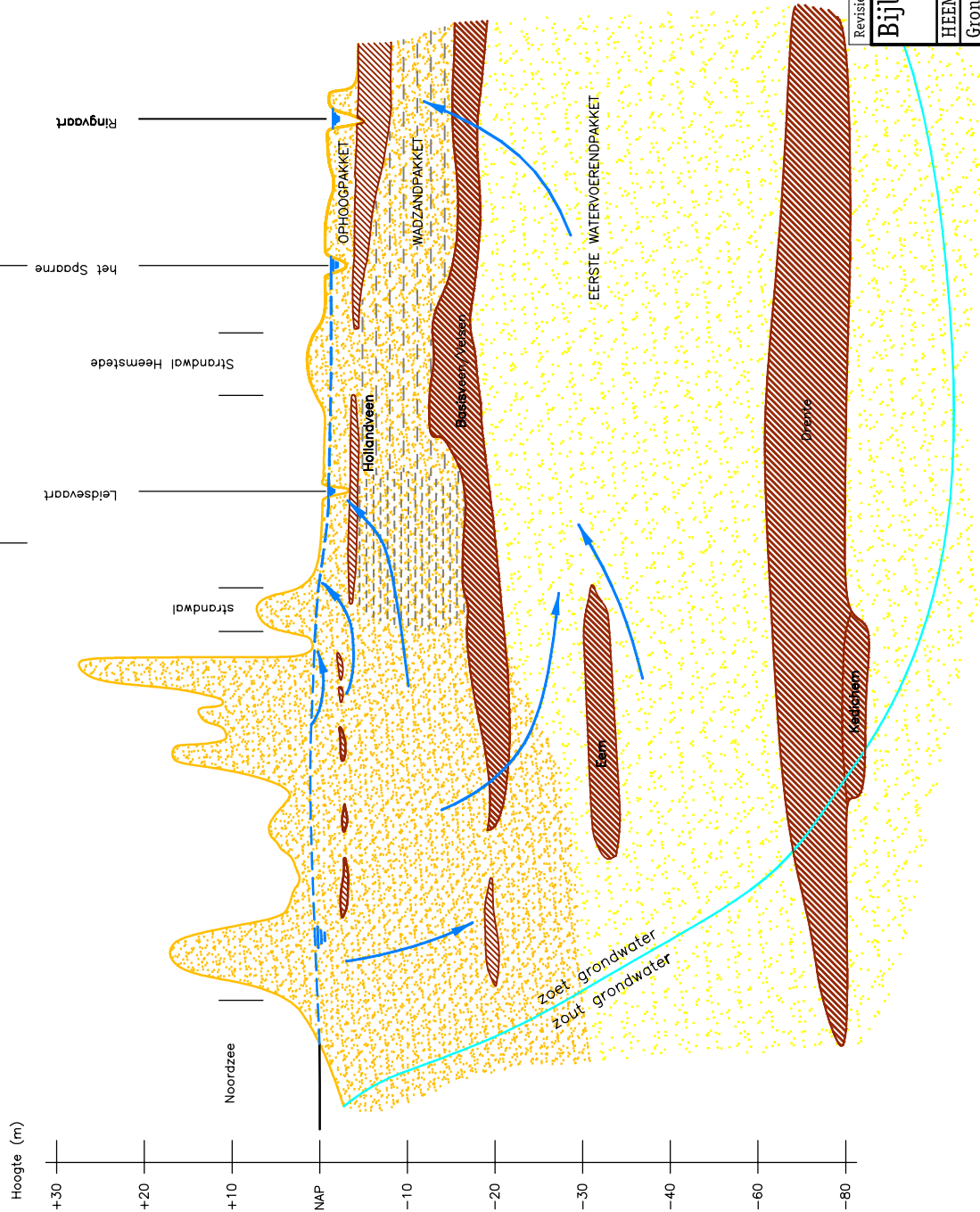
schaal: n.v.t.

tek. nr.: 001

filenaam: Kb39b_03.dwg

(West)

(Oost)



Revisie datum:

get. door:

gezien:

Bijlage 3: Geohydrologische dwarsdoorsnede onderzoeksgebied

HEEMSTEDE

Grondwaterbeheerplan

A41

297 x 210

schaal: n.v.t.

gezien: *[Handwritten signature]*

projectcode: Y7701

tek. nr.: 003

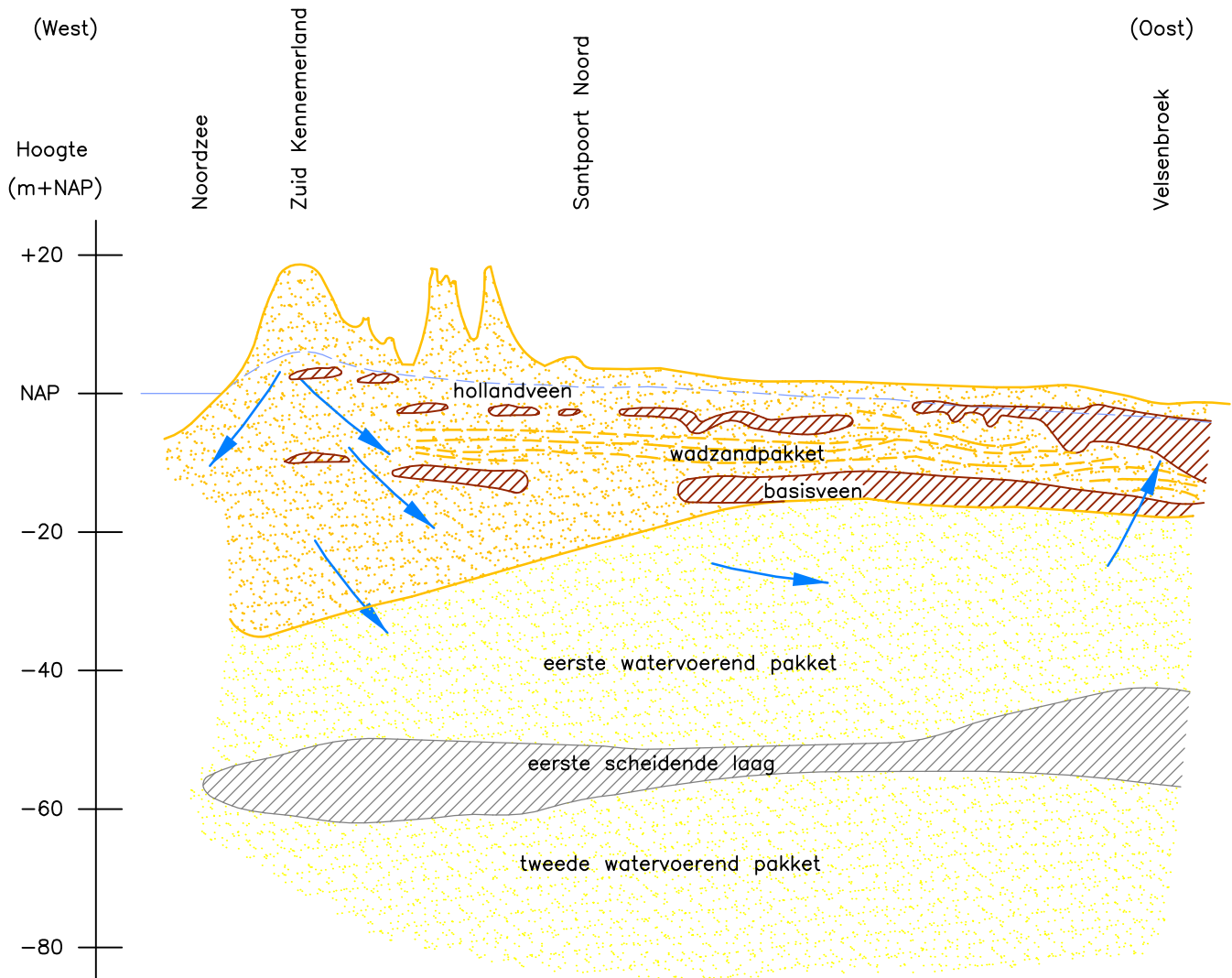
datum : 30-12-2009

bedem en water

get. door : MS

filenaam: Y7701_01.dwg





	grondwaterstand
	slecht doorlatend (veen/klei)
	redelijk tot goed doorlatend
	goed doorlatend

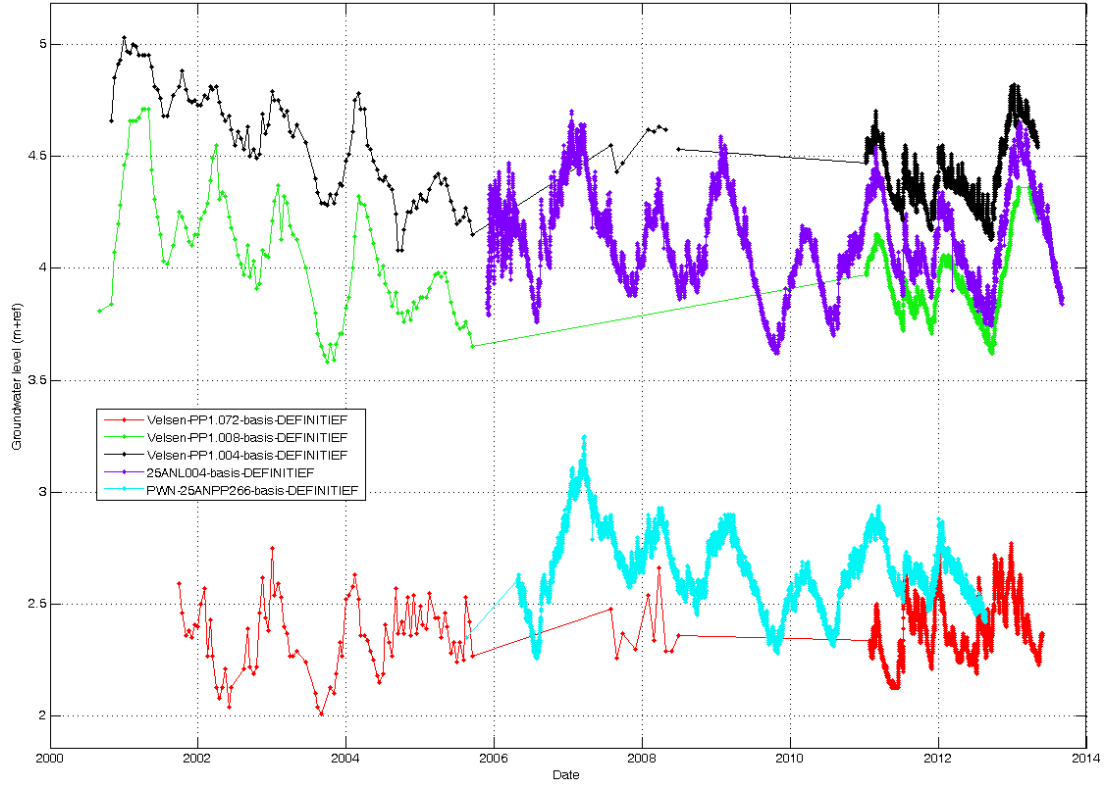
Bijlage 4: Geohydrologische doorsnede				
GRONDWATERMODEL, GEMEENTE VELSEN				
A4	210 x 297	schaal: n.v.t.	datum: 08-09-2008	get. door: MPA
project: Ke85	tekeningnummer: Ke85_01 001		 WARECO INGENIEURS	

BIJLAGE 4 Korte beschrijving grondwatermeetnetten

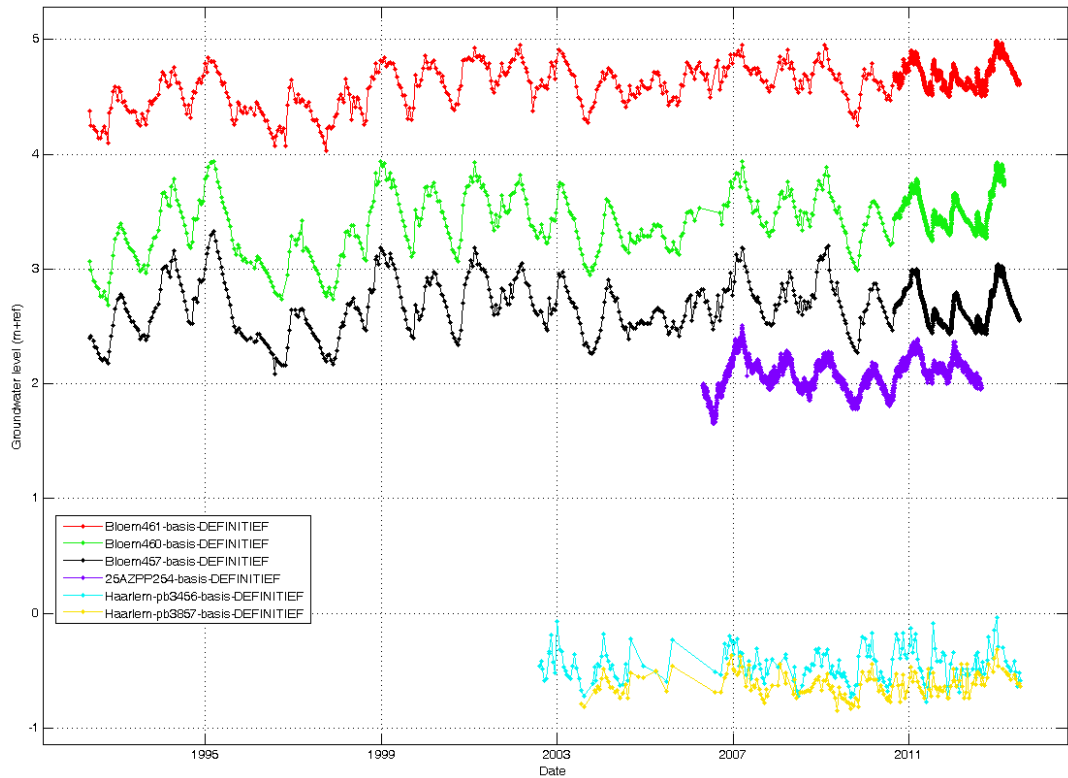
- Gemeente Velsen: dit meetnet bestaat uit 130 peilbuizen. Hiervan zijn er 14 die reeds langere tijd (meer dan 10 jaar) worden bemeten. Deze peilbuizen liggen gedeeltelijk in het duingebied, nabij de kust, en gedeeltelijk in de binnenduinrand en op de oude strandwallen. Aanvankelijk zijn de metingen handmatig verricht; vanaf 2011 worden de metingen gedaan met behulp van dataloggers. De meeste meetreeksen bevatten hiaten van enkele jaren waarin geen metingen zijn verricht.
- Gemeente Bloemendaal: een uitgebreid meetnet (250 peilbuizen), waarvan het merendeel van de peilbuizen op de rand van het duingebied en in de binnenduinrand ligt. De peilbuizen worden handmatig bemeten sinds 1992; vanaf eind 2010 worden dataloggers ingezet, die een enkele keren per dag de grondwaterstand registreren. De in dit onderzoek gebruikte peilbuizen zijn enkele meters diep.
- Gemeente Haarlem: dit is een uitgebreid meetnet van 204 peilbuizen in stedelijk gebied, gelegen op de oude strandwallen, in het boezemgebied en in de polder. De meeste peilbuizen hebben een filterstelling op enkele meters beneden maaiveld. De grondwaterstand wordt iedere 15 dagen handmatig bemeten.
- Gemeente Heemstede: dit meetnet omvat 84 peilbuizen in stedelijk gebied, die hoofdzakelijk zijn gelegen op de oude strandwallen en deels in het boezemgebied. De peilbuizen worden sinds 2000 iedere twee weken handmatig bemeten (laatste jaren wekelijks). Het betreft zowel freatische peilbuizen als peilbuizen met een filterstelling in het wadzandpakket.
- PWN: het drinkwaterbedrijf beschikte aanvankelijk over een omvangrijk meetnet van circa 800 meetlocaties. Het belangrijkste meetdoel was de monitoring van de drinkwaterwinnings en de invloeden hiervan op de omgeving. De peilbuizen waren grotendeels gelegen in het duingebied en de binnenduinrand. Naast peilbuizen met een ondiepe filterstelling (enkele meters diep) omvatte het meetnet ook diepere peilbuizen tot enkele tientallen meters diep. Momenteel zijn de winningen gestopt en worden nog zes peilbuizen bemeten met behulp van dataloggers. Enkele van deze peilbuizen zijn tussen de 30 en 50 m diep.
- Waternet: het drinkwaterbedrijf Waternet bemonstert een tiental peilbuizen in het noordelijke deel van de Amsterdamse Waterleidingduinen. De peilbuizen worden reeds 15 tot 25 jaar handmatig bemeten met een meetinterval ca 50 dagen. In voorliggend onderzoek zijn twee peilbuizen beschouwd, die een filterstelling tot circa 20 m diep hebben.

BIJLAGE 5: Grondwaterstanden in de onderzochte raaien

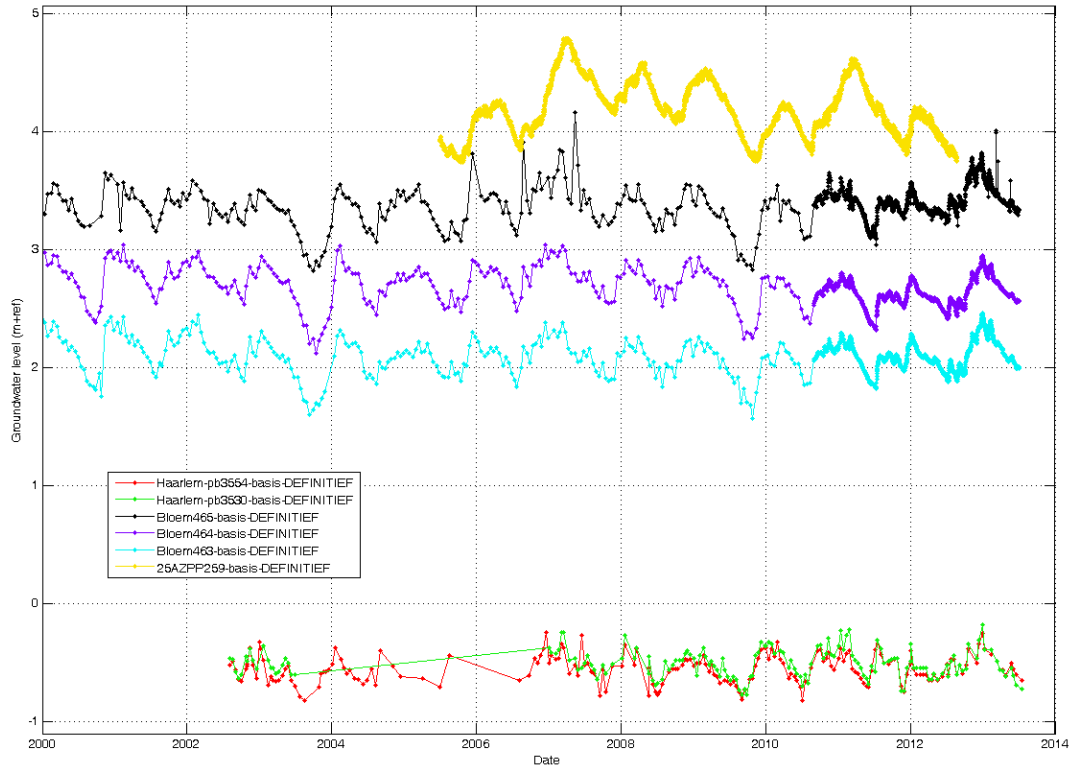
Raai 1



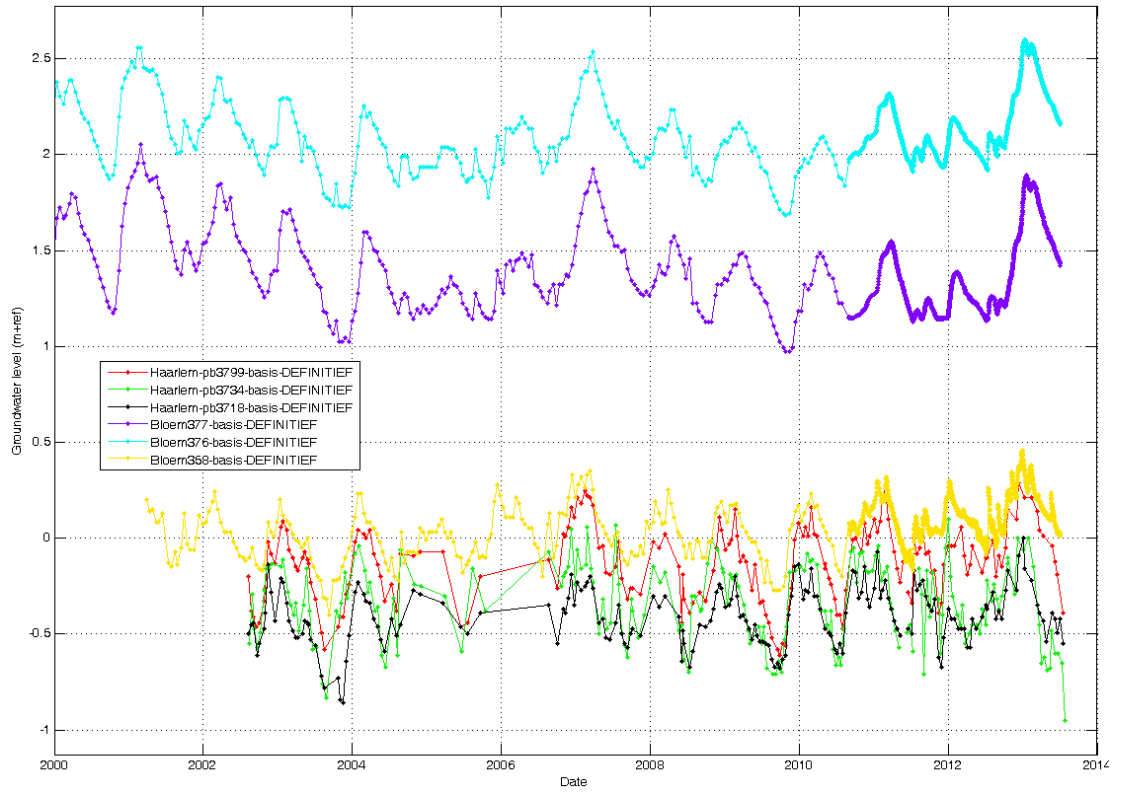
Raai 2



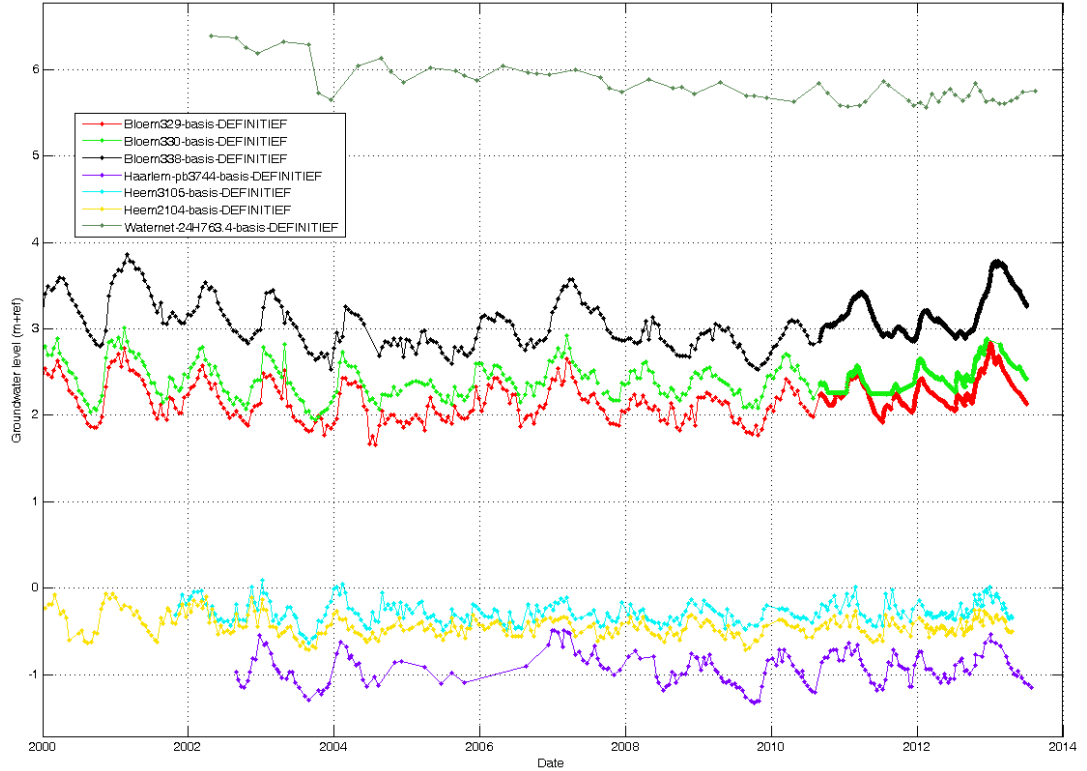
Raai 3



Raai 4



Raai 5

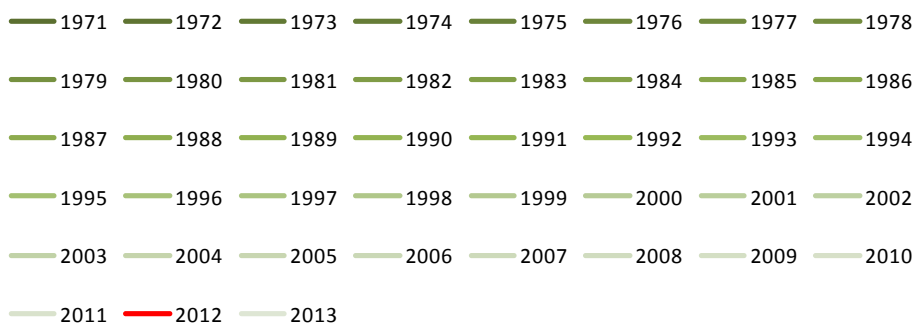


BIJLAGE 6 Meteorologie

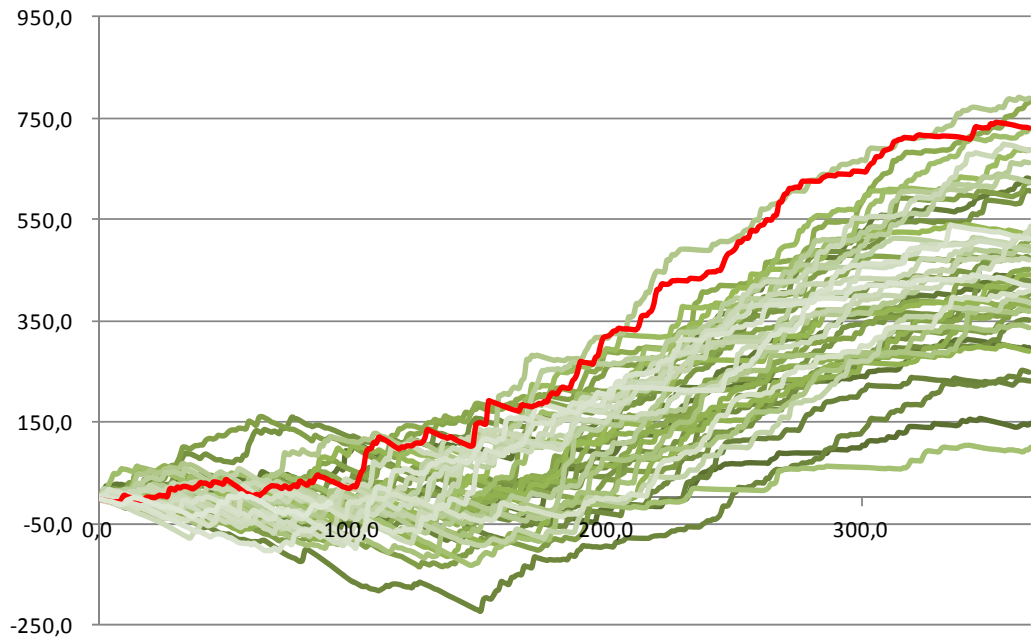
KNMI Meetstations:



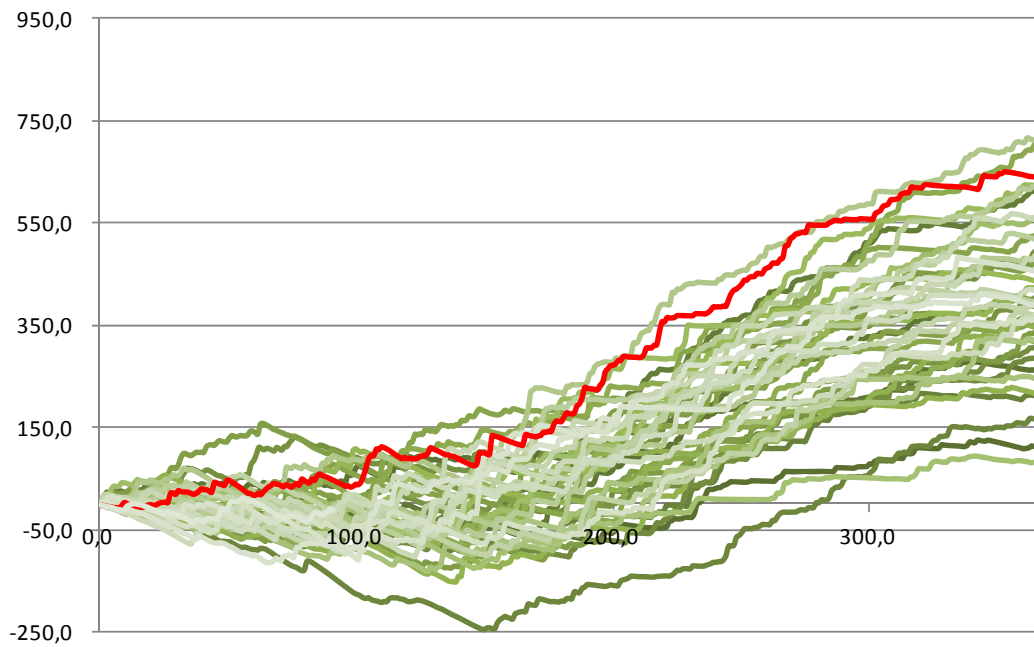
In de onderstaande grafieken is de cumulatieve netto neerslag (in mm) weergegeven per hydrologisch jaar (in dagen van 1 april t/m 31 maart). Een toelichting van netto neerslag is achterin de bijlage opgenomen. Legenda van de onderstaande grafieken:



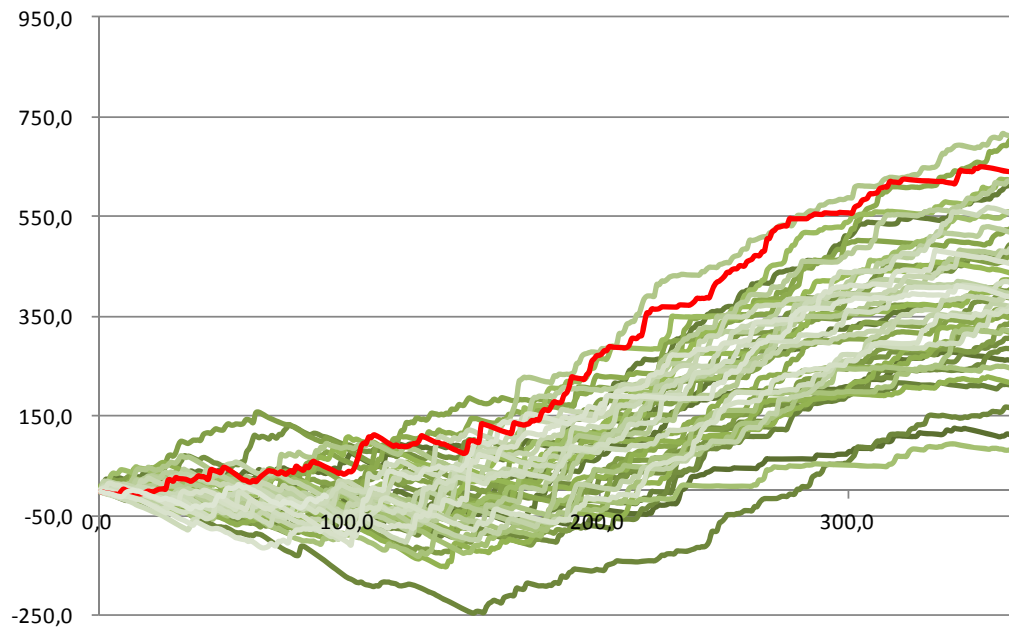
Overveen



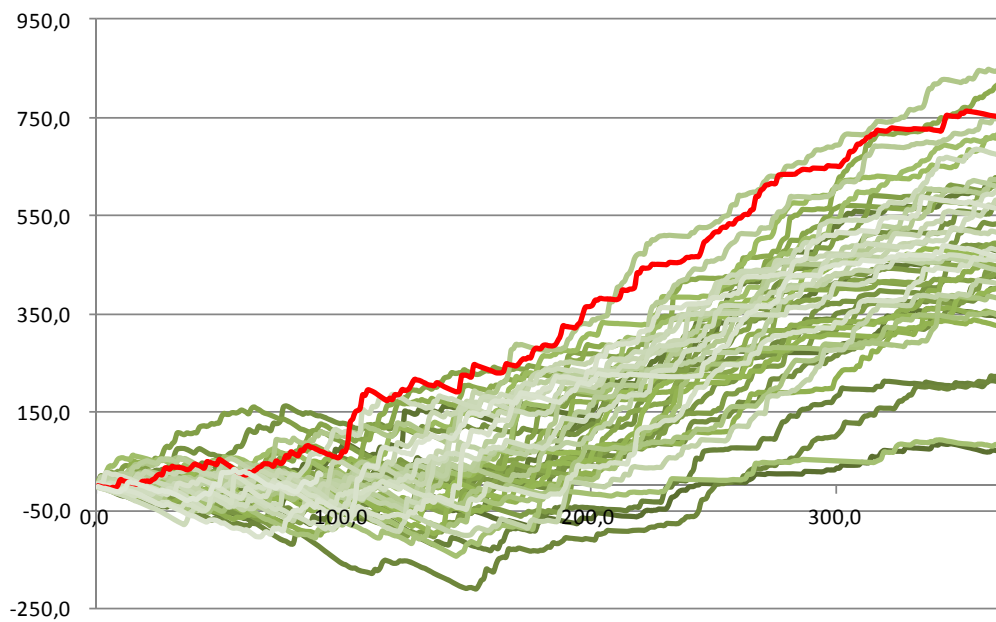
Heemstede



Zandvoort

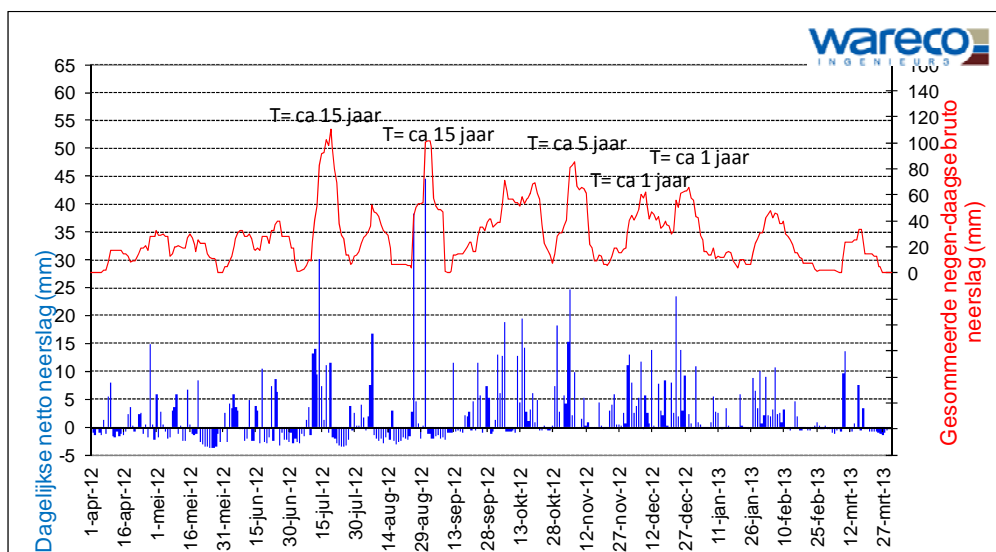


Hoofddorp



Hieronder is de verdeling van de netto neerslag (blauwe staafdiagram) en de negendaagse gesommeerde bruto neerslag (rode lijn) binnen het hydrologisch seizoen 2012-2013 weergegeven voor het centraal liggende meetstation Overveen.

Ook is voor de hoge pieken in de negendaagse gesommeerde neerslagsom aangegeven wat de herhalingsstijd (ongeveer) is op basis van statistiek van het KNMI en STOWA (Nieuwe neerslagstatistiek voor waterbeheerders, brochure 26a, 2004). In dit hydrologische seizoen hebben meerdere incidentele neerslaggebeurtenissen plaatsgevonden. Ook laat de figuur zien dat de neerslag met name in de overlastmaanden (najaar/winter) verspreid over vele dagen is gevallen.



Toelichting Netto neerslag

De netto neerslag is de hoeveelheid neerslag die de grond in kan stromen en het grondwater kan bereiken. De bruto neerslag is de gemiddelde specifieke neerslagintensiteit boven het aardoppervlak. In de figuur is de netto neerslag per dag weergegeven in staafgrafiek (de blauwe balken). De netto neerslag wordt bepaald door de bruto neerslag te verminderen met de verdamping. Als verdamping wordt de "potentiële verdamping" gebruikt. Deze verdampingswaarde is door de "referentie-gewasverdamping" (berekend volgens Makkink) te vermenigvuldigen met een gewasfactor. Voor de gewasfactor wordt in stedelijk gebied aangenomen: $f = 0,7$.

De netto neerslag bedraagt aldus:

$$P_n = P - E_p \quad \text{waarin: } E_p = f E_r$$

P_n = netto neerslag

P = bruto neerslag

E_p = potentiële verdamping

f = gewasfactor

E_r = referentie-gewasverdamping

De netto neerslag is positief als de hoeveelheid neerslag groter is dan de verdamping. In dat geval wordt het grondwater aangevuld met neerslag. Als de verdamping groter is dan de neerslagintensiteit, is sprake van een negatieve netto neerslag. In dat geval vindt door verdamping onttrekking aan het grondwater plaats.



Bijlage 7: Overzichtskaart van de raaien

Project: KN23, Kennemerland Zuid




A3	Document: KN23_bij7	Datum: 17 oktober 2013	Get. door: HKR	Controle:
----	------------------------	---------------------------	-------------------	-----------

0 500 1000 1500 2000 m 

1:40,000

wareco
INGENIEURS

Legenda

-  raai
-  peilbuis
-  gemeentegrens

Bijlage 8a: Nadere beschrijving resultaten tijdreeksanalyse

Introductie

Het verloop van de grondwaterstanden kan worden verklaard door verschillende factoren die van invloed zijn op het gedrag van het grondwater. Belangrijke componenten hierbij zijn onder andere neerslag, verdamping, grondwateronttrekkingen en fluctuerende oppervlaktewaterpeilen.

Voor de analyse in Zuid-Kennemerland is gebruik gemaakt van meetreeksen van de grondwaterstand uit verschillende meetnetten in het gebied. Bij tijdreeksanalyse is het van belang om een meetreeks te hebben van enige jaren voorafgaand aan de aanleg van drainage, waar met enige regelmaat (bij voorkeur minimaal eens per twee weken) de grondwaterstanden zijn opgenomen. Daarbij dient de meetfrequentie bij voorkeur hetzelfde te zijn gedurende de hele meetreeks.

Beschikbare gegevens

Grondwaterstanden

Uit de verschillende meetnetten in Zuid-Kennemerland zijn 30 peilbuizen geselecteerd, verdeeld over 5 raaien loodrecht op de duinen. Het betreft peilbuizen uit de meetnetten van de gemeentes Velsen, Bloemendaal, Haarlem en Heemstede en van de waterleidingbedrijven PWN en Waternet. Van de geselecteerde peilbuizen is 10 tot 20 jaar aan meetgegevens beschikbaar.

Neerslag en verdamping

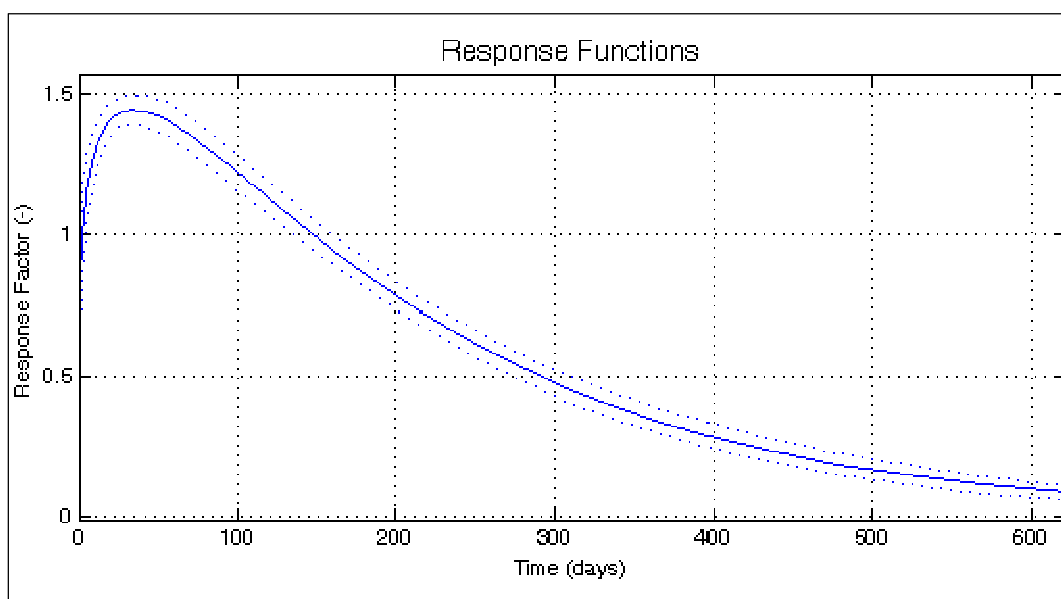
Voor neerslaggegevens is gebruik gemaakt van de KNMI-neerslagstations Overveen (station 225), Heemstede (435) en Zandvoort (229). Op deze stations wordt de neerslag eenmaal per dag handmatig gemeten. Voor verdampingsgegevens is gebruik gemaakt van het KNMI-station De Bilt (station 260), waar de verdamping dagelijks wordt bepaald.

Tijdreeksmodel

Voor de beschikbare meetreeksen is het verloop van de grondwaterstanden gemodelleerd aan de hand van de verklarende reeksen en de daadwerkelijk gemeten grondwaterstand. Zo wordt een continue grondwaterreeks verkregen en wordt duidelijk in welke mate de individuele componenten (neerslag en verdamping) bijdragen aan de optredende grondwaterstanden. De berekende grondwaterstanden worden vergeleken met de gemeten grondwaterstanden. Indien de gemodelleerde tijdreeks goed overeenkomt met de metingen, kan het model worden ingezet om bijvoorbeeld historische meetreeksen of klimaat-scenario's te simuleren.

Een tijdreeksmodel kan op verschillende manieren worden beoordeeld. De belangrijkste criteria worden hieronder behandeld.

- Percentage verklaarde variantie: een maat voor het beoordelen van de 'fit' van een tijdreeksmodel (EVP; *Explained Variance Percentage*). hoe hoger het percentage, hoe beter het model de gemeten grondwaterstand benadert (hoe beter de 'fit'). Doorgaans wordt een tijdreeksmodel onbetrouwbaar geacht indien de EVP lager dan 70% is. Indien een hoge EVP wordt berekend op basis van de verklarende reeksen neerslag en verdamping, is het waarschijnlijk dat de hoge grondwaterstanden in Zuid-Kennemerland door neerslag zijn veroorzaakt.
- Root-mean-square error (RMSE): een maat voor het verschil tussen metingen en modelresultaten en daarmee voor de modelnauwkeurigheid.
- Impulse-Response-functie (IR-functie): de IR-functie van een verklarende reeks geeft aan op welke wijze en in welke mate de grondwaterstand reageert op de desbetreffende verklarende reeks. In het geval van neerslag kan uit de positie van de piek van de IR-functie ten opzichte van de tijdsas kan worden afgeleid of in het grondwatersysteem een vertraagde reactie optreedt. Tevens geeft het oppervlak onder de IR-grafiek aan of het effect van een natte periode lang doorwerkt in een grondwatersysteem. Een voorbeeld van een IR-grafiek is opgenomen in Figuur 1.
- Overige parameters: in Menyanthes worden diverse andere parameters berekend, zoals de reductiefactor (*evap fctr*) voor de verdamping of de drainagebasis (*Dng base*). Wanneer bij een bepaalde peilbuis één of meer van deze getallen sterk afwijken van waarden bij peilbuizen in de nabije omgeving, kan dit een aanwijzing zijn dat het model onbetrouwbaar is. Meer informatie over de parameters is te vinden in de achtergrondinformatie van Menyanthes.
- Visuele inspectie: naast een beoordeling van de verschillende modelparameters is het op het oog beoordelen van de gesimuleerde tijdreeks van groot belang om in te schatten of het tijdreeksmodel geschikt is voor het vooraf gestelde doel. Zo kan bijvoorbeeld worden gelet op het vermogen van het model om pieken en lage grondwaterstand nauwkeurig te simuleren.



Figuur 1: Grafiek van de IR-functie van de neerslag in het model voor peilbuis 457

Resultaten

In totaal is voor 30 peilbuizen in zes raaien een tijdreeksanalyse uitgevoerd. De neerslagmetingen van de nabijgelegen neerslagstations en de verdampingsgegevens van De Bilt zijn gebruikt als verklarende reeksen.

Voorafgaand aan het vervaardigen van een tijdreeksmodel zijn voor elke meetreeks zogenaamde 'outliers' verwijderd: sterk afwijkende waarden die mogelijk berusten op meetfouten. Dit is uitgevoerd om te voorkomen dat het tijdreeksmodel te veel door extreme waarden wordt beïnvloed.

Hieronder worden de resultaten van de tijdreeksanalyse per raai behandeld. De verschillende modelparameters zijn in tabellen opgenomen. In [bijlage 7b](#) zijn de grafieken van de resultaten voor de overige peilbuizen weergegeven.

Raai 1

Raai 1 bevindt zich in de gemeente Velsen en is de meest noordelijk gelegen raai. De spreiding van de peilbuizen is beperkt, met enkele peilbuizen nabij de kust, één peilbuis in het duingebied (25ANLP266) en één peilbuis in de bebouwde kom van Santpoort-noord (1.072). De PWN-peilbuis 25ANLP266 is slechts bemeten tot en met augustus 2012. Om toch een indruk te krijgen van het duingebied is deze peilbuis wel meegenomen. Daarnaast moet worden aangetekend dat van de peilbuizen van de gemeente Velsen (1.004, 1.008 en 1.072) geen ononderbroken reeks beschikbaar is: gedurende enkele jaren (tussen 2006 en 2011) is niet gemeten. Als gevolg hiervan zijn de tijdreeksmodellen gebaseerd op een relatief korte meetreeks. Daarbij is de meetfrequentie in de eerste jaren (circa twee keer per maand) veel lager dan vanaf 2011 (eenmaal per uur). De modelparameters kunnen hierdoor enigszins vertekend zijn.

De modelresultaten zijn opgenomen in Tabel 1. Op basis van de verklaarde variantie (EVP) wordt gesteld dat de tijdreeksmodellen voldoende betrouwbaar zijn. Over het algemeen is de 'fit' van de tijdreeksmodellen goed, vooral voor de hoogfrequente meetreeksen. De pieken in de grondwaterstand worden iets lager gesimuleerd dan daadwerkelijk is gemeten.

Bij de peilbuizen in Velsen (1.004, 1.008 en 1.072) valt op dat de modelsimulatie van de laatste paar jaar nauwkeuriger is dan van de eerste paar jaar. Als gevolg van de hogere meetfrequentie vanaf 2011 is de EVP van deze peilbuis mogelijk iets te hoog ingeschat.

De piek van de IR-functie ligt bij de peilbuizen in het duingebied tussen de 35 en 75 dagen. Peilbuis 1.004 is daarbij met 0 dagen een opvallende uitzondering: de uitkomst geeft aan dat de grondwaterstand direct reageert op neerslag, terwijl bij de omliggende peilbuizen een vertraging optreedt. Mogelijk is het model door de relatief korte meetreeks niet betrouwbaar genoeg op dit punt.

Tabel 1: Resultaten van de tijdreeksanalyse, raai 1

peilbuis	EVP (%)	RMSE (m)	M0 (d)	evap fctr (-)	dng base (m)	piek IR-functie (d)
25ANL004	79.7	0.094	459	0.91	3.6	35
1.004	83.8	0.071	1292	1.12	3.4	0
1.008	89.2	0.062	999	1.51	3.8	75
25ANLP266	84.6	0.066	535	0.64	1.8	70
1.072	85.2	0.054	79	0.82	2.3	3

Raai 2

Deze raai ligt ter hoogte van Haarlem-noord en bestaat uit zes peilbuizen van gemeente Bloemendaal, gemeente Haarlem en PWN. Peilbuis 25AZPP254 van PWN is bemeaten tot en met augustus 2012, maar is in de analyse meegenomen om een beeld te krijgen van het duingebied. Voor peilbuis 457 geldt dat de meetfrequentie vanaf eind 2010 hoger is dan in de voorliggende periode (installatie van een datalogger). De resultaten van de tijdreeksanalyse zijn opgenomen in Tabel 2.

Op basis van de EVP wordt gesteld dat de tijdreeksmodellen van alle peilbuizen, met uitzondering van peilbuis 3857, betrouwbaar zijn. Bij peilbuis 460 valt op dat de RMSE relatief hoog is. De piek van de IR-functie ter plaatse van de peilbuizen in de duinen en in de binnenduintrand bedraagt 25-30 dagen. Peilbuis 461 is hierop een uitzondering: het grondwater lijkt zeer snel te reageren op neerslag. Tevens is bij deze peilbuis de parameter M0 opvallend hoog in vergelijking met de overige peilbuizen. De peilbuizen 3857 en 3456, gelegen op de oude strandwallen, reageren zeer snel op neerslag.

Evenals in raai 1 worden de hoogste grondwaterstand doorgaans iets te laag gemodelleerd. Dit valt met name op bij de peilbuizen 457, 460 en 461. Het verschil bedraagt soms meer dan 20 cm.

Tabel 2: Resultaten van de tijdreeksanalyse, raai 2

peilbuis	EVP (%)	RMSE (m)	M0 (d)	evap fctr (-)	dng base (m)	piek IR-functie (d)
25AZPP254	71.3	0.074	236	1.07	1.9	25
461	81.1	0.08	1975	0.81	2.1	0
460	77.3	0.125	778	0.69	2.3	25
457	77.1	0.092	386	0.9	2.2	30
3857	52.9	0.07	113	0.86	-0.8	0
3456	75.3	0.072	149	0.54	-0.7	0

Raai 3

Deze raai ligt iets ten zuiden van raai 2 en bestaat eveneens uit zes peilbuizen, afkomstig uit de meetnetten van gemeente Bloemendaal, gemeente Haarlem en PWN. Peilbuis 25AZPP259 van PWN is bemeaten tot en met augustus 2012, maar is meegenomen in analyse voor een indruk van de grondwaterstanden in het duingebied. De peilbuizen 465, 464 en 463 liggen in de binnenduintrand/boezemgebied. Voor deze peilbuizen geldt dat de meetfrequentie vanaf 2010 hoger is dan in de periode ervoor. De peilbuizen 3530 en 3554 liggen op de oude strandwallen.

Uit **Tabel 3** blijkt dat op basis van de EVP kan worden gesteld dat de modellen voor de peilbuizen in het duingebied en de binnenduinrand voldoende betrouwbaar zijn. De EVP voor de peilbuizen op de strandwallen is iets lager dan 70%. Uit de vergelijking tussen de metingen en de modelsimulaties blijkt dat de tijdreeksmodellen de grondwaterstand relatief goed voorspellen, met name de hoogfrequentie meetreeksen. De hoogste grondwaterstand worden onderschat, zoals ook het geval is in raai 1 en 2. Bij peilbuis 25AZPP259 wordt het grondwaterregiem aanvankelijk goed voorspeld, maar treedt in 2011 en 2012 een verschuiving op: met name de laagste grondwaterstanden worden te vroeg gesimuleerd.

Alleen voor peilbuis 25AZPP259 is vertraagde reactie op neerslag gesimuleerd: de IR-functie heeft een piek na 125 dagen. De overige vijf peilbuizen laten een directe reactie op neerslag zien, ook in de binnenduinrand. Dit is een verschil met de peilbuizen in raai 1 en 2.

Tabel 3: Resultaten van de tijdreeksanalyse, raai 3

peilbuis	EVP (%)	RMSE (m)	M0 (d)	evap fctr (-)	dng base (m)	piek IR-functie (d)
25AZPP259	82.1	0.099	923	0.74	2.9	125
465	74.8	0.102	217	0.6	3	0
464	76.9	0.089	588	0.91	2	0
463	86.2	0.079	196	0.93	1.9	0
3530	69	0.066	127	0.71	-0.7	0
3554	69.9	0.064	126	0.54	-0.8	0

Raai 4

Deze raai ligt ten zuiden van het centrum van Haarlem, globaal ter hoogte van de Haarlemmerhout en Aerdenhout. De raai omvat peilbuizen uit de meetnetten van gemeente Bloemendaal en gemeente Haarlem. De peilbuizen 377, 376 en 358 van Boemendaal liggen in de binnenduinrand. De peilbuizen 3799 en 3718 van gemeente Haarlem liggen op de oude strandwallen. Peilbuis 3734 ligt in het boezemgebied. Evenals bij raai 2 en 3 geldt voor de peilbuizen in de binnenduinrand dat de meetfrequentie vanaf 2011 hoger is dan de periode ervoor. Tabel 4 bevat de resultaten van de tijdreeksanalyse.

Behalve het tijdreeksmodel voor peilbuis 3718 worden op basis van de EVP alle tijdreeksmodellen voldoende betrouwbaar geacht. De fluctuatie van de grondwaterstand wordt over het algemeen goed gesimuleerd, hoewel enkele pieken worden onderschat. Bij peilbuis 376 en 358 valt op dat de lage grondwaterstanden in sommige jaren worden overschat.

Ter plaatse van de hoger gelegen peilbuizen 377 en 376 is een vertraagde reactie op neerslag gesimuleerd van respectievelijk 100 en 75 dagen. De grondwaterstand ter plaatse van de overige peilbuizen reageert vrijwel meteen op neerslag.

Tabel 4: Resultaten van de tijdreeksanalyse, raai 4

peilbuis	EVP (%)	RMSE (m)	M0 (d)	evap fctr (-)	dng base (m)	piek IR-functie (d)
377	86.3	0.084	765	0.93	0.5	100
376	82.3	0.082	525	0.71	1.3	75
358	81.6	0.055	167	1.21	0	0
3799	76	0.095	307	1	-0.4	0
3718	64.8	0.087	202	0.5	-0.8	0
3734	75.2	0.102	156	0.8	-0.5	0

Raai 5

Raai 5 ligt ter hoogte van Heemstede en omvat peilbuizen uit de meetnetten van gemeente Bloemendaal, gemeente Haarlem en gemeente Heemstede. Tevens is peilbuis 34H763.4 van Waternet, gelegen in het duingebied, onderzocht. De peilbuizen 338, 330 en 329 van Boemendaal liggen in de binnenduinrand/rand boezemgebied. De peilbuizen 2104 en 3105 van gemeente Heemstede zijn gelegen op de oude strandwallen. Peilbuis 3744 van gemeente Haarlem ligt in het boezemgebied. Voor de peilbuizen in de binnenduinrand geldt dat de meetfrequentie vanaf 2011 hoger is dan de periode ervoor, omdat vanaf 2011 met loggers wordt gemeten. Tabel 5 bevat de resultaten van de tijdreeksanalyse.

Op basis van de waarden voor de EVP worden vrijwel alle tijdreeksmodellen voldoende betrouwbaar geacht. De EVP bij peilbuis 34H763.4 geeft aan dat het model onvoldoende betrouwbaar is. Nadere inspectie toont aan dat het tijdreeksmodel voor deze peilbuis een sterke 'overfitting' kent. De waarden voor de parameters zoals M0 is onrealistisch hoog. Daar komt bij dat tijdens de modellering de reductiefactor voor de verdamping is vastgezet. Zonder deze ingreep is het tijdreeksmodel nog minder betrouwbaar. Omdat peilbuis 34H763.4 vlak bij een watergang staat, wordt aangenomen dat het waterpeil een grotere invloed heeft op de grondwaterstand dan neerslag en verdamping.

De fluctuatie van de grondwaterstand ter plaatse van de overige wordt redelijk goed gesimuleerd. De hoogste grondwaterstanden in de binnenduinrand (peilbuizen 338, 330 en 329) worden onderschat en ook de laagste grondwaterstanden worden niet altijd goed gesimuleerd. Bij deze peilbuizen valt tevens op dat de RMSE hoog is in vergelijking met andere peilbuizen in deze en andere raaien.

Bij de peilbuizen in de binnenduinrand wordt een vertraagde reactie op neerslag gesimuleerd, variërend van 30 tot 110 dagen. Bij de peilbuizen op de oude strandwallen wordt geen vertraging geregistreerd. Opvallend is dat peilbuis 3744 in de boezem wel een kleine vertraging van 7 dagen laat zien.

Tabel 5: Resultaten van de tijdreeksanalyse, raai 5

peilbuis	EVP (%)	RMSE (m)	M0 (d)	evap fctr (-)	dng base (m)	piek IR-functie (d)
24H763.4	63.2	0.127	3812	1	2.8	900
338	84.7	0.132	913	0.65	1.8	110
330	76.7	0.113	476	0.68	1.8	30
329	76.9	0.135	630	0.69	1.3	50
2104	71.4	0.065	232	0.87	-0.7	0
3105	72.3	0.065	128	0.79	-0.5	0
3744	84.5	0.073	307	0.7	-1.4	7

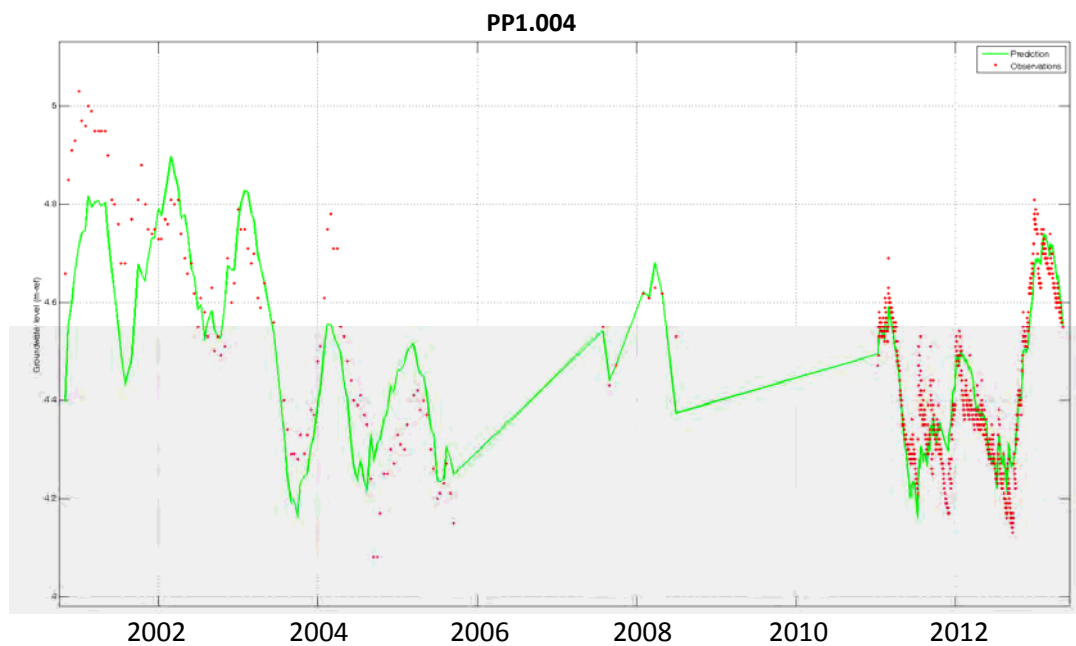
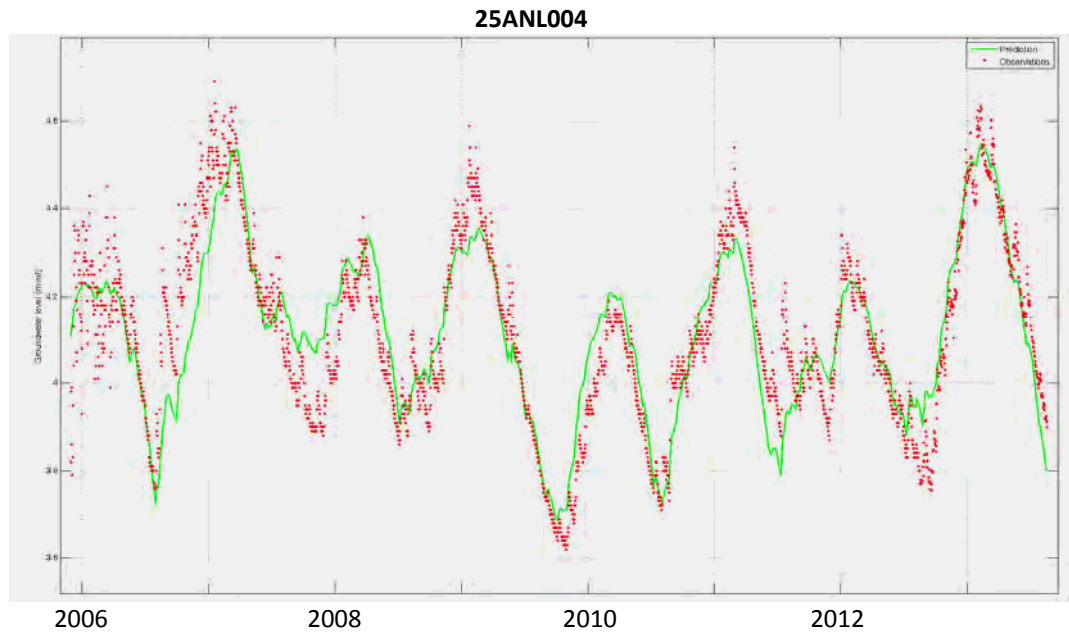
Discussie

Een aantekening bij de resultaten is, dat de meeste tijdreeksmodellen de hoogte van de pieken enigszins onderschatten. Dit sluit aan bij de landelijke ervaring dat het modelleren van extreem hoge of lage grondwaterstand vaak lastig blijkt.

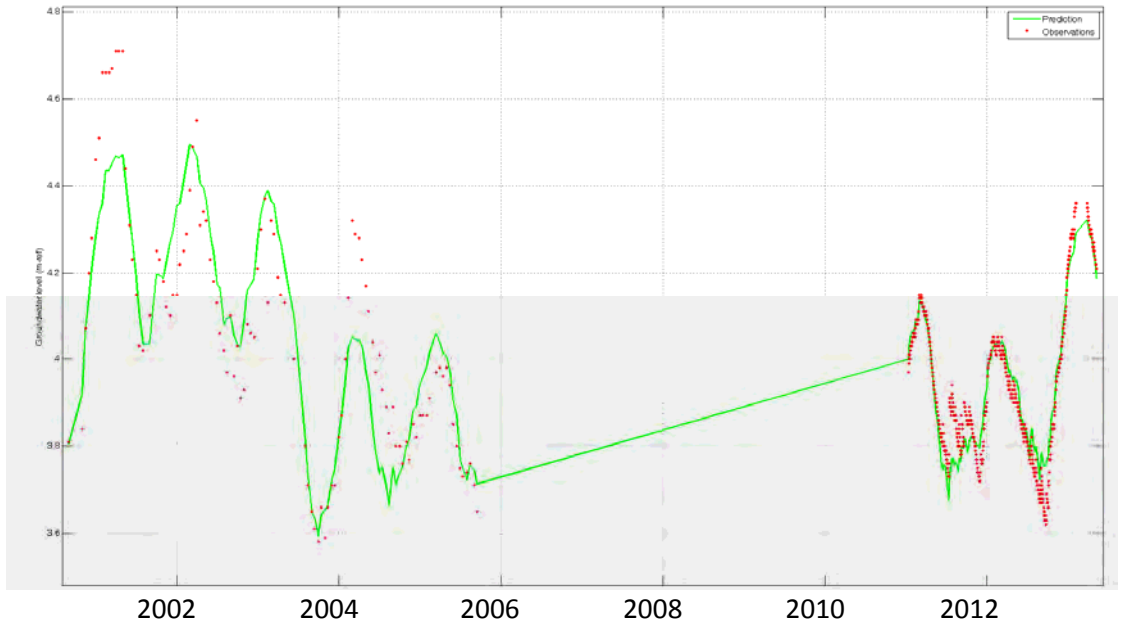
Naast peilbuis 24H763.4 (raai 5) kon voor vier peilbuizen in de raaien 2, 3 en 4 geen voldoende betrouwbaar tijdreeksmodel op basis van neerslag en verdamping worden vervaardigd, te weten peilbuis 3857, 3554, 3530 en 3718. Bij deze peilbuizen is een nadere modellering uitgevoerd, waarbij ook de invloed van drainage is gekwantificeerd. Op deze wijze lukt het wel om voldoende betrouwbare tijdreeksmodellen op te stellen. Geconcludeerd wordt dat ter plaatse van deze peilbuizen de grondwaterstand voor een belangrijk deel wordt beïnvloed door drainage. Om de invloed drainage goed in de tijdreeksmodellering op te nemen, zijn gedetailleerde kwantitatieve gegevens van de drainage-afvoer gewenst.

BIJLAGE 8b: Grafieken tijdreeksmodellen

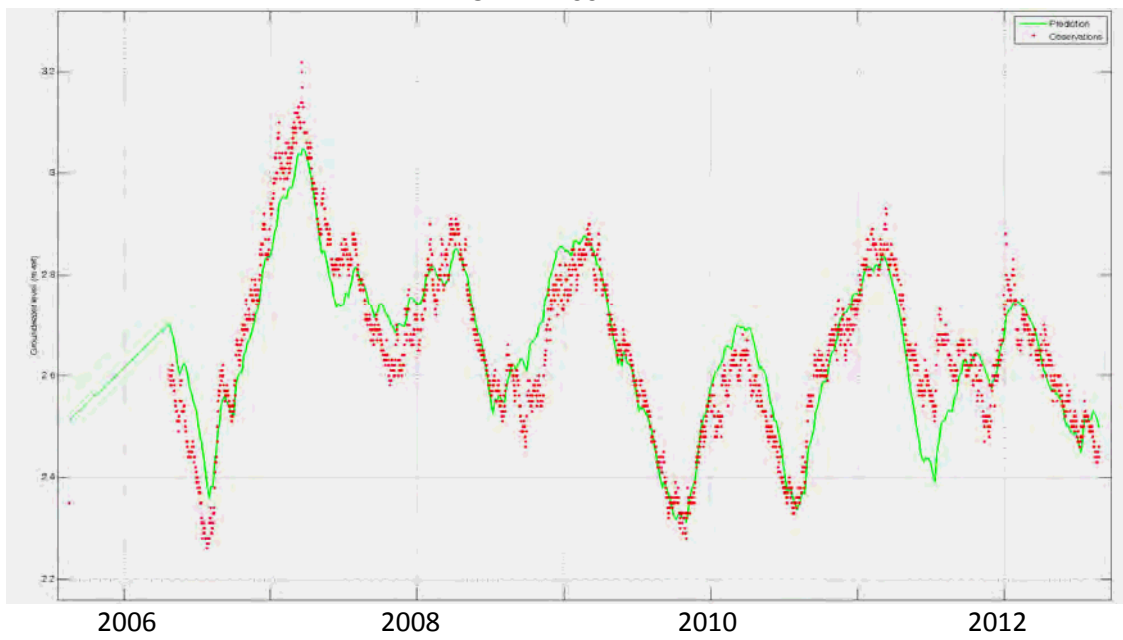
In deze bijlage worden de resultaten van de tijdreeksanalyse getoond. De groene lijn is het tijdreeksmodel, de rode punten zijn de daadwerkelijke metingen. Voor de locaties van de peilbuizen, zie [bijlage 7](#).

Raai 1

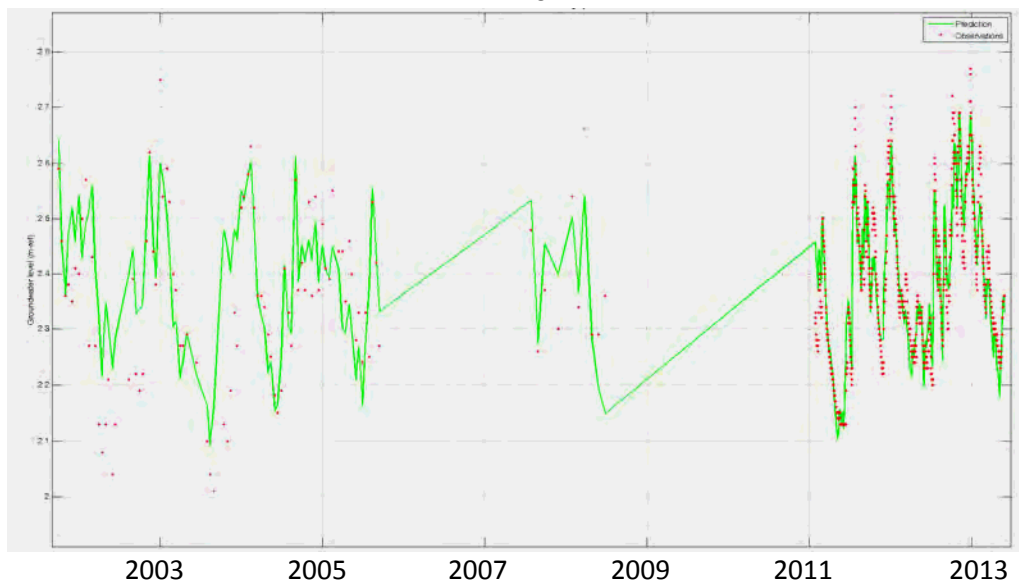
PP1.008



25ANPP266

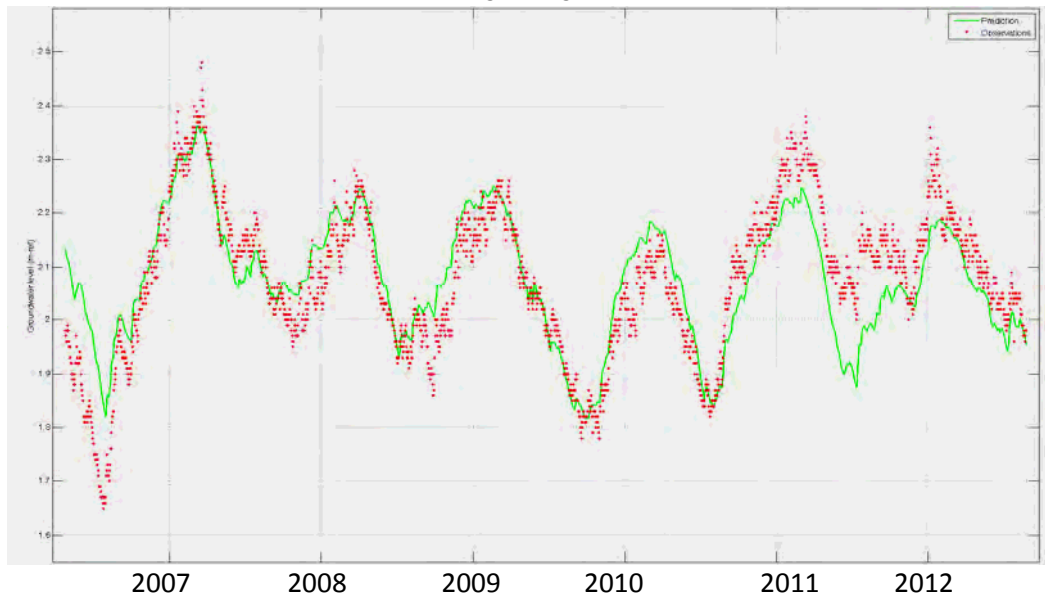


PP1.072

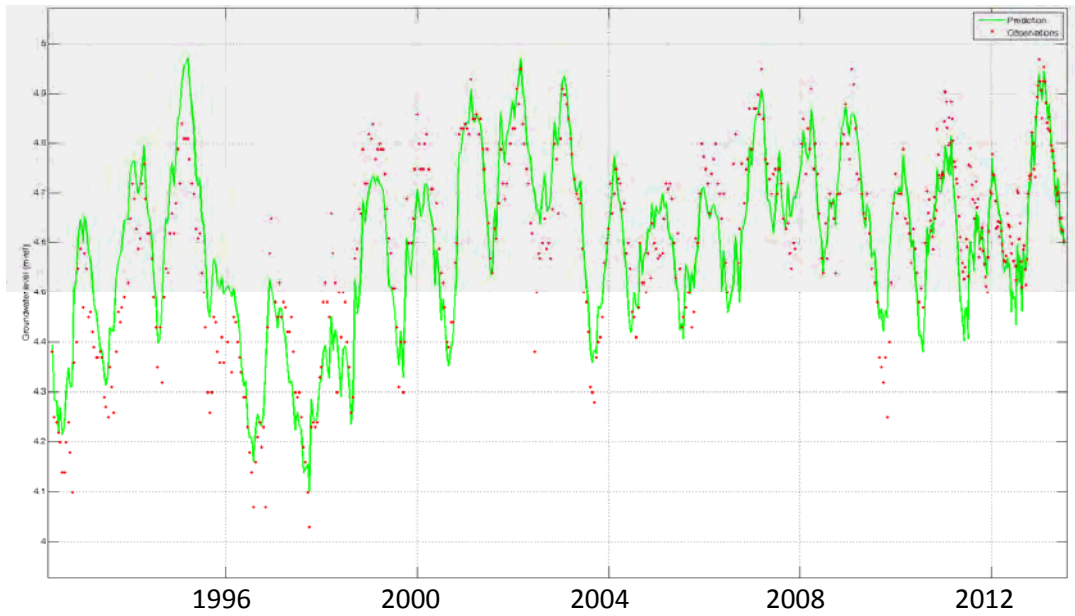


Raai 2

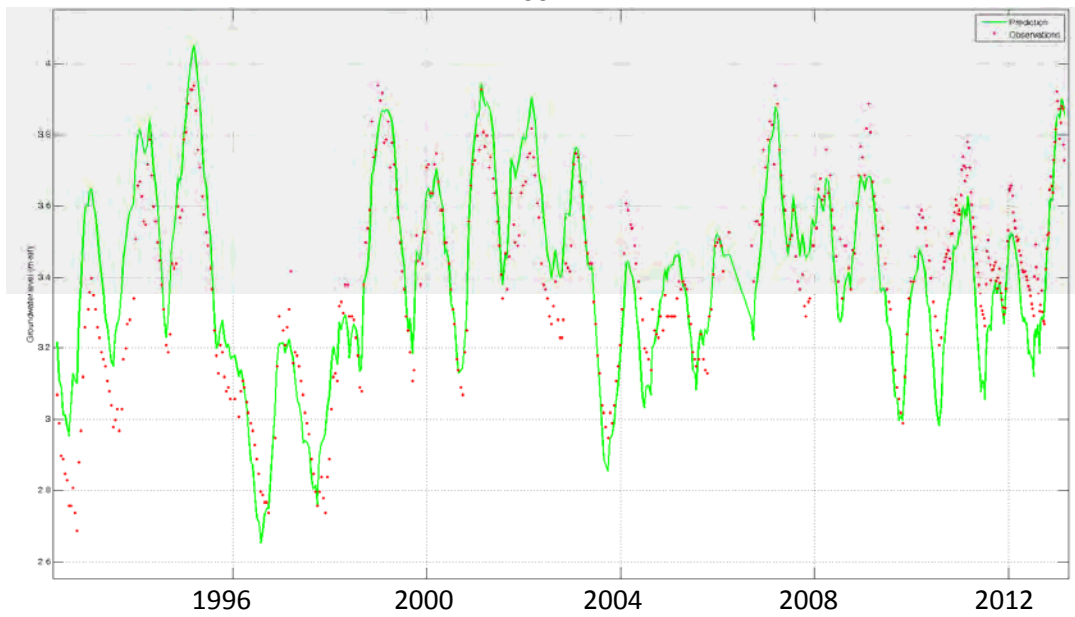
25AZPP254



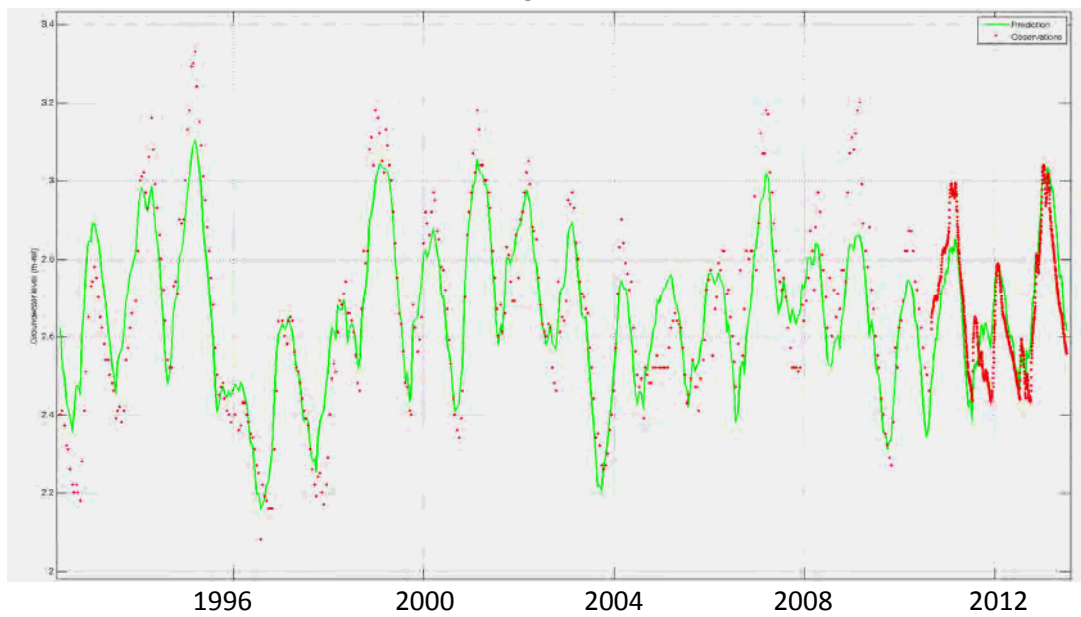
461



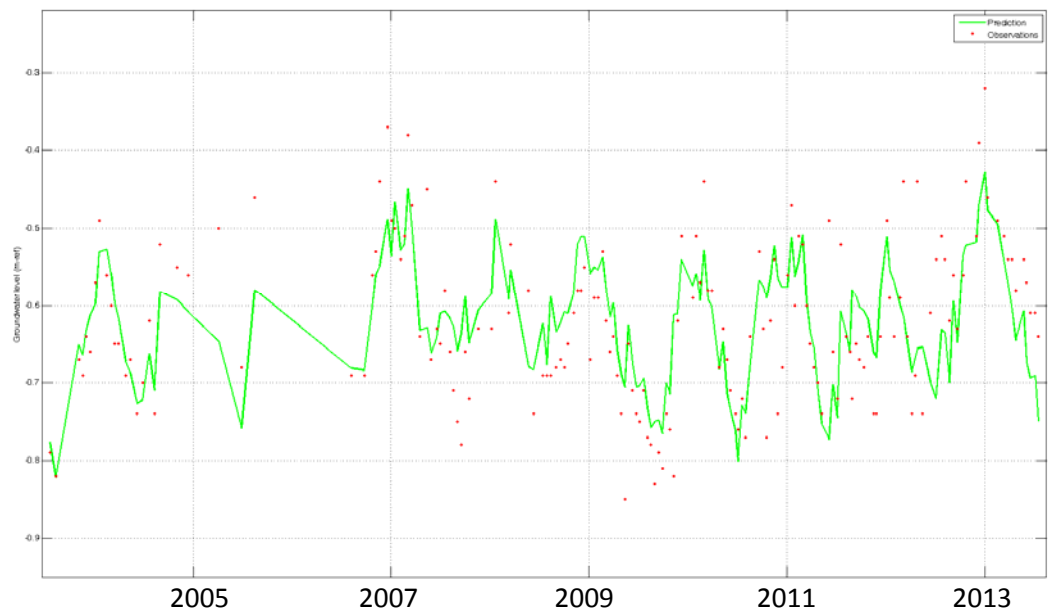
460



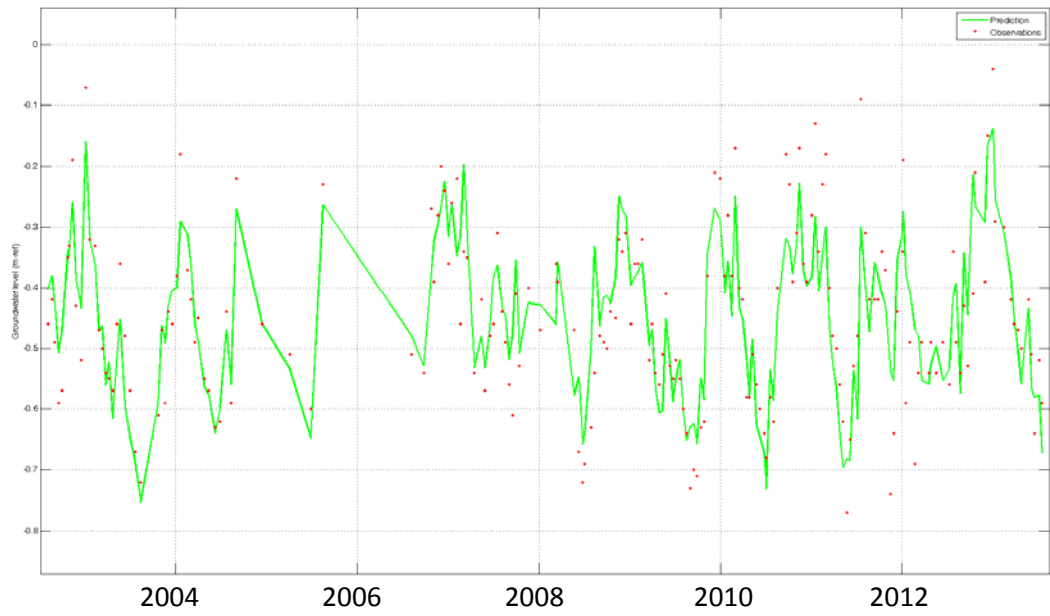
457



3857

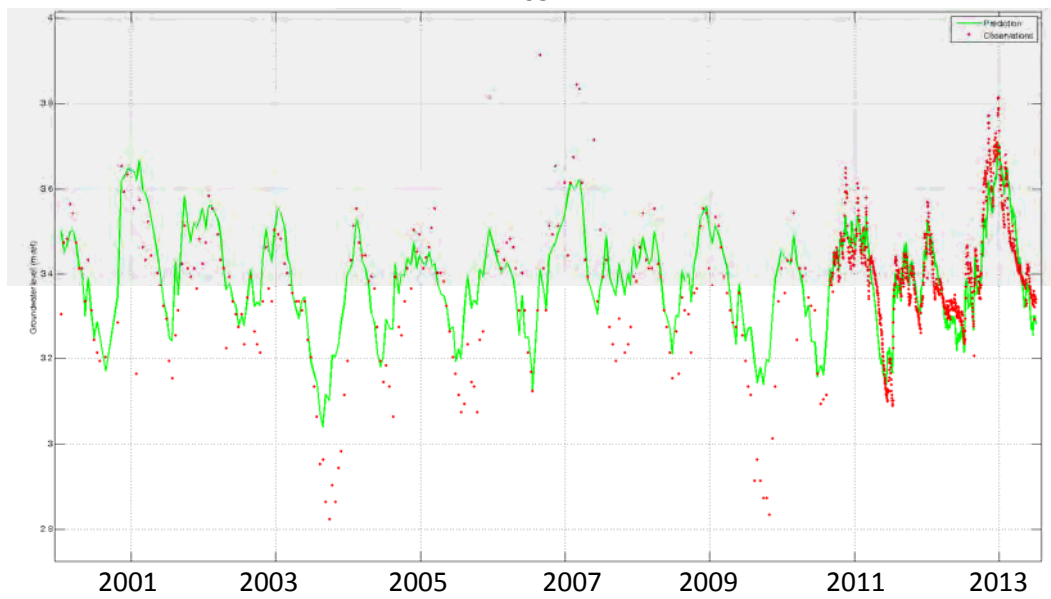


3456

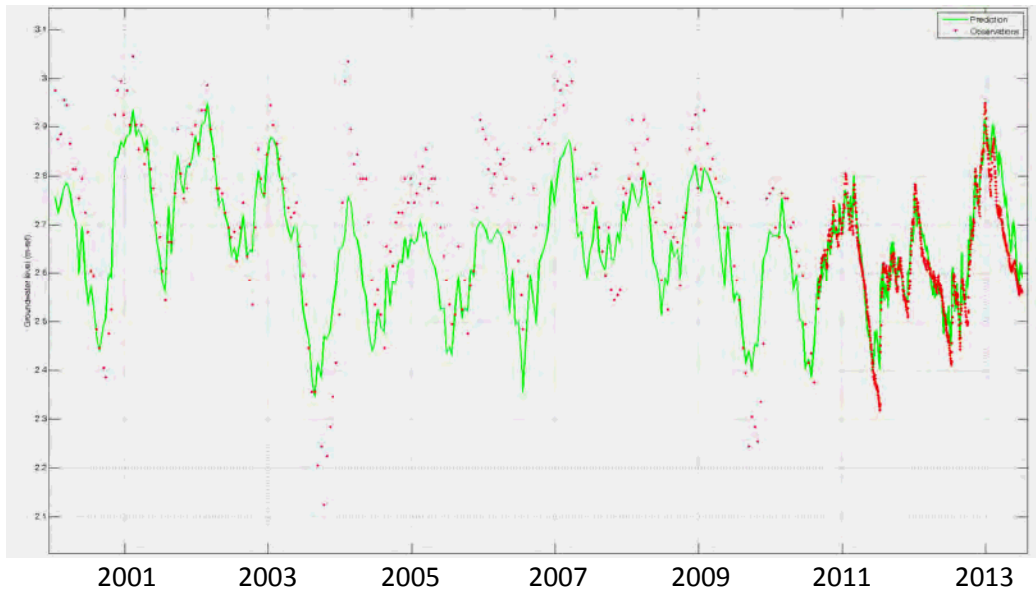


Raai 3

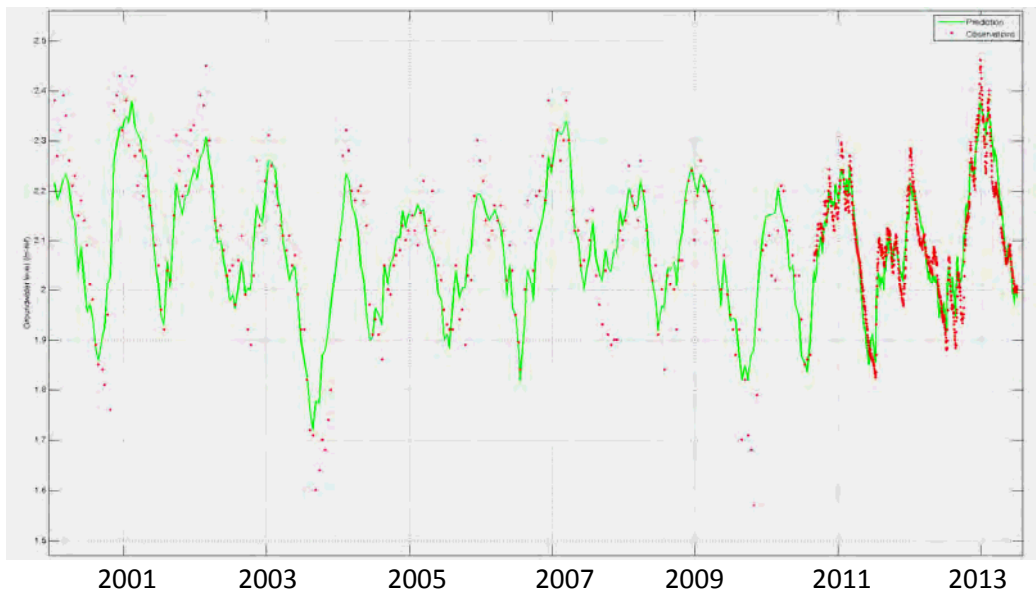
465



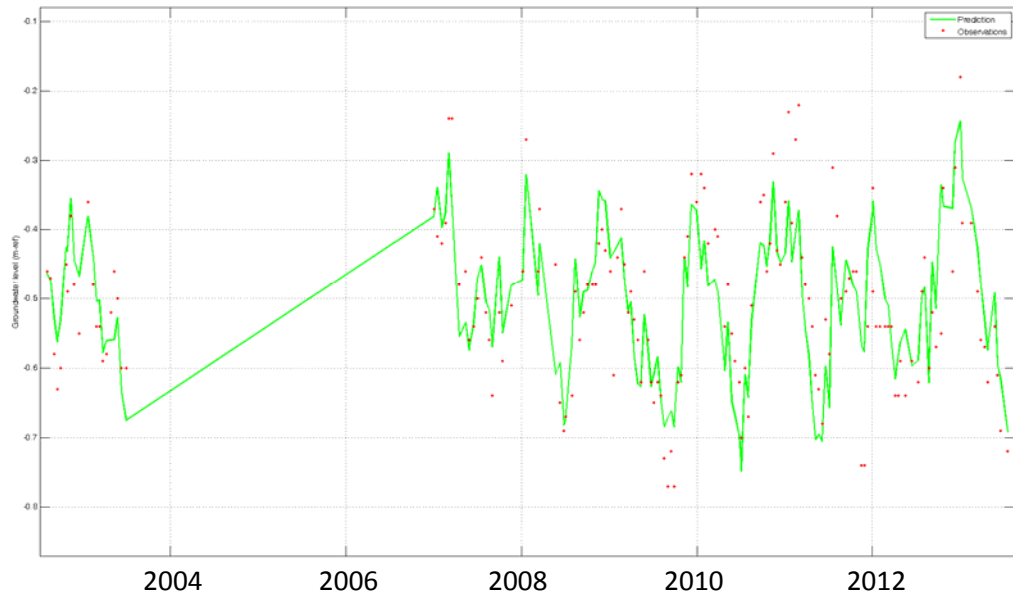
464



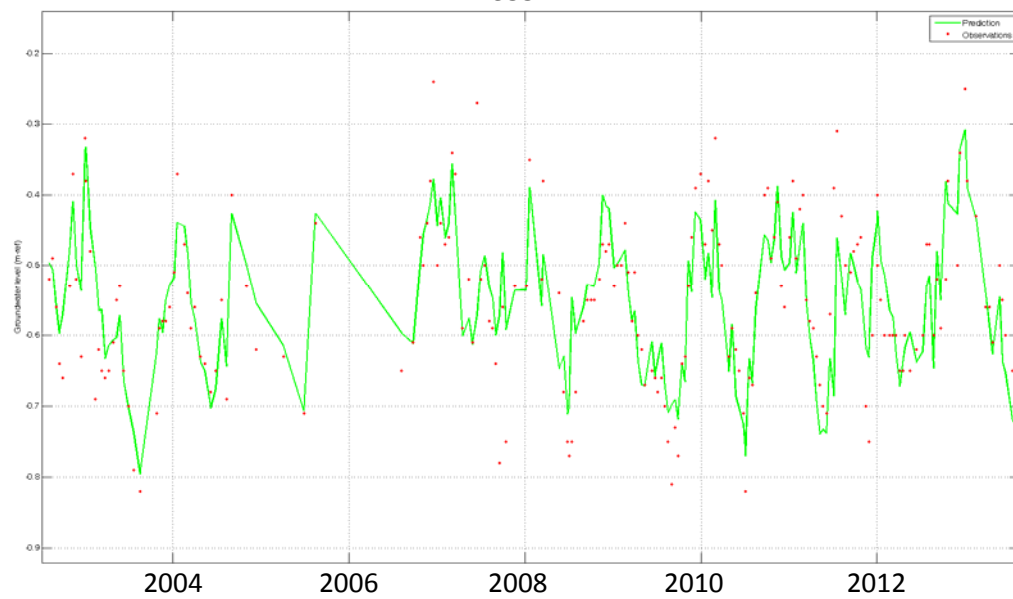
463



3530

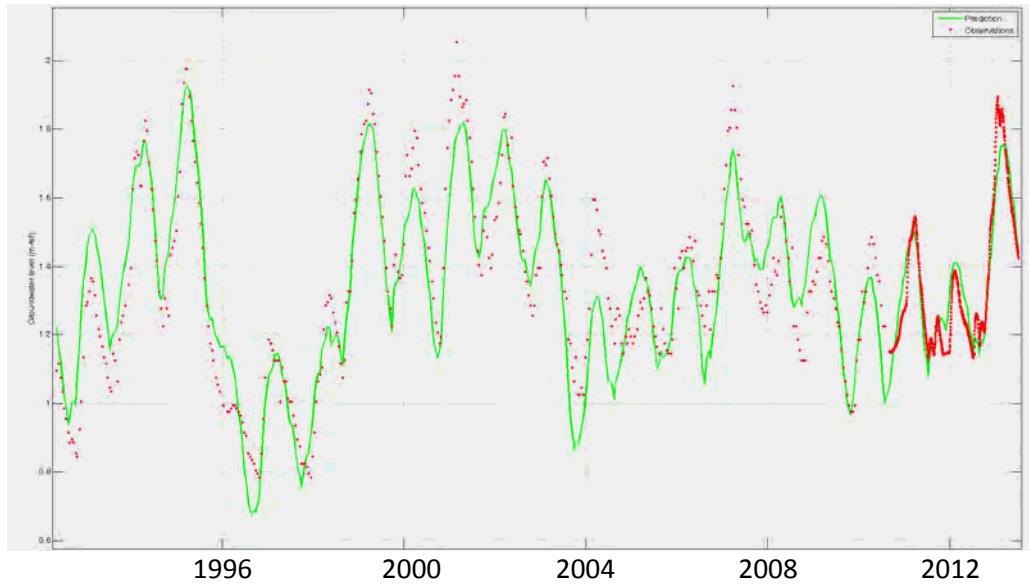


3554

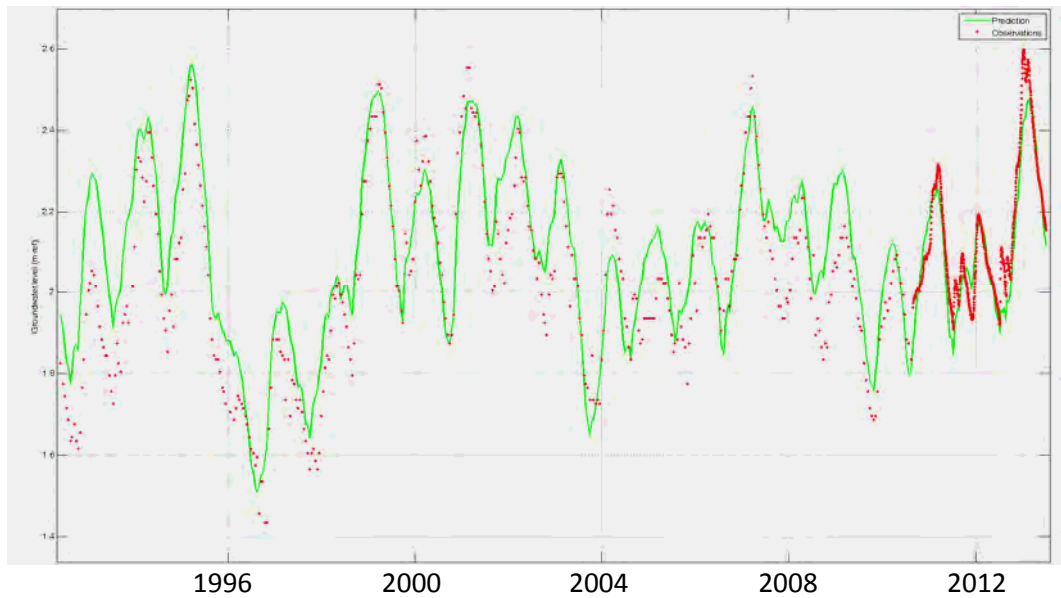


Raai 4

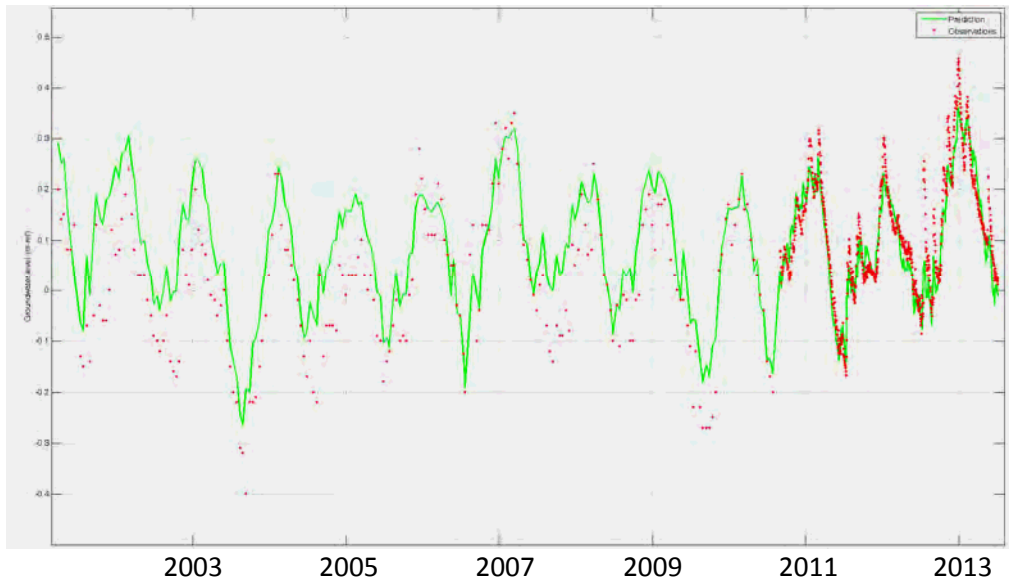
377



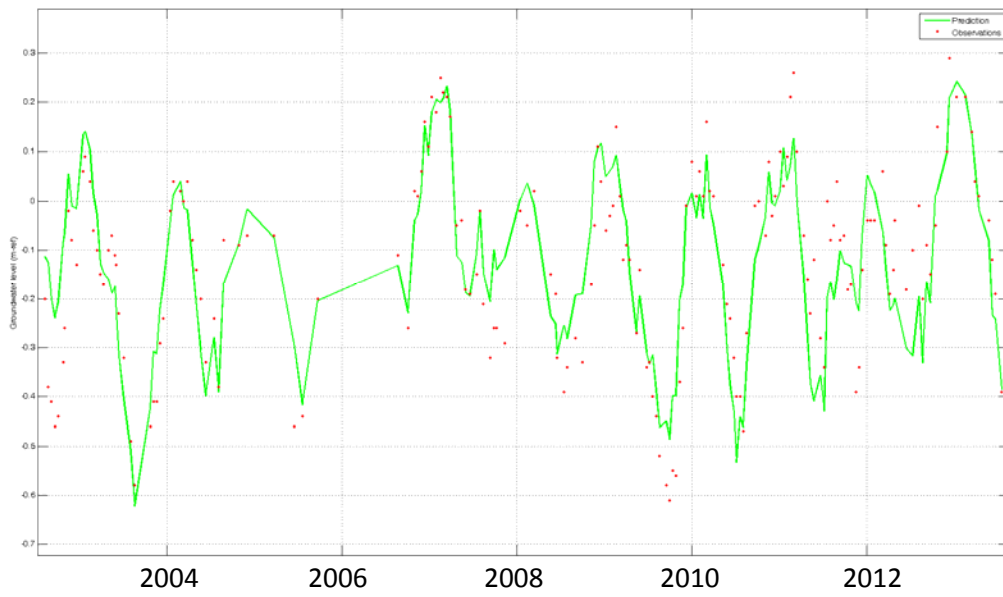
376

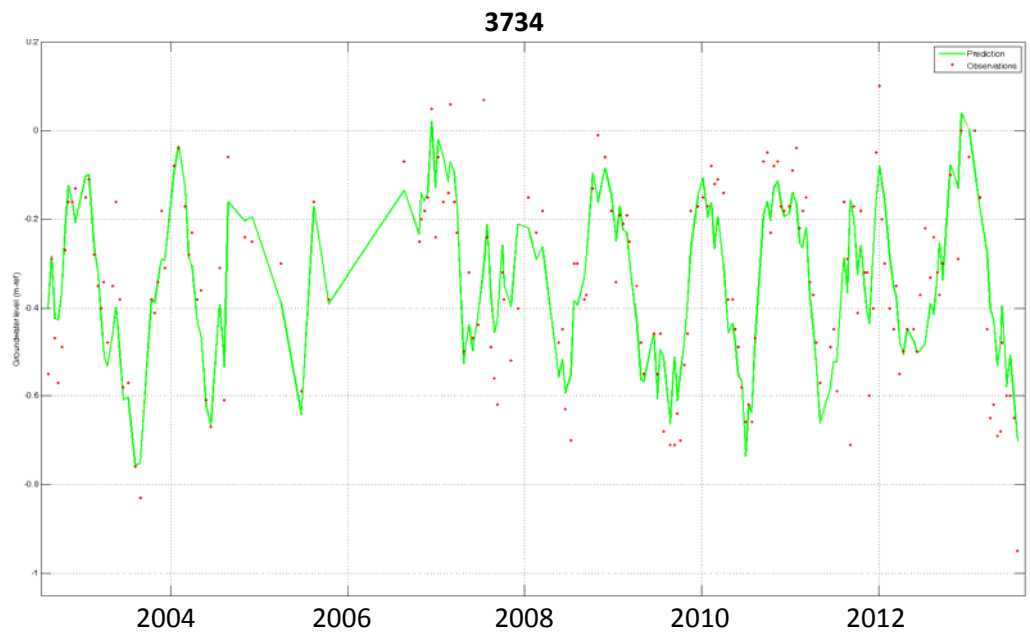
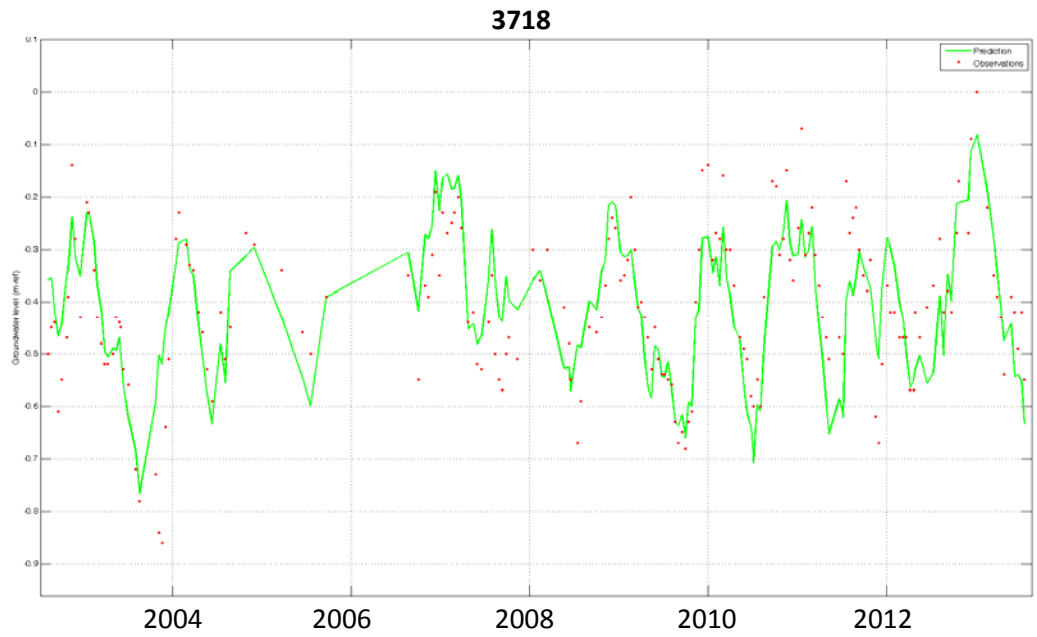


358



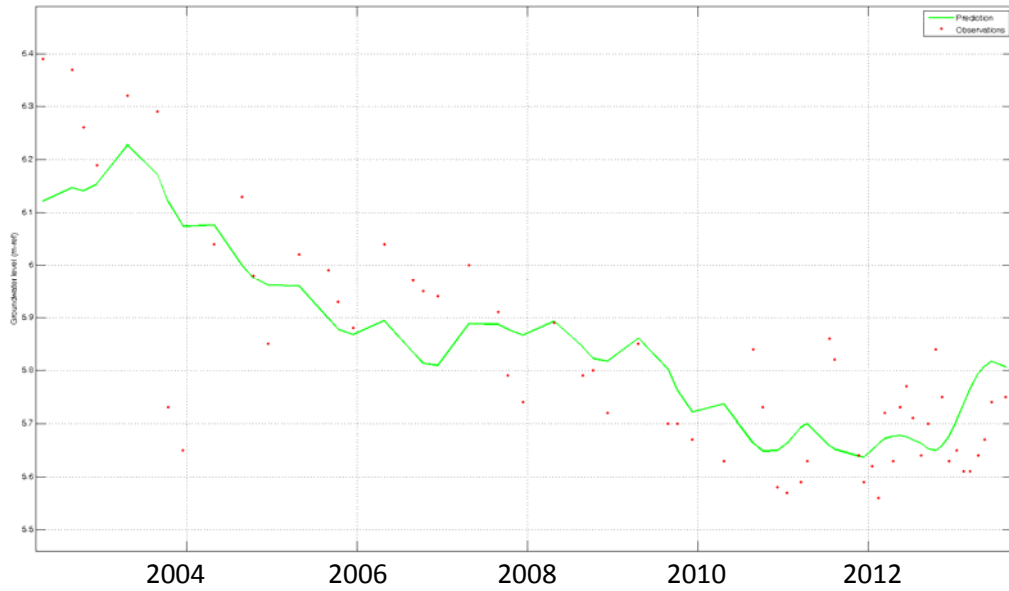
3799



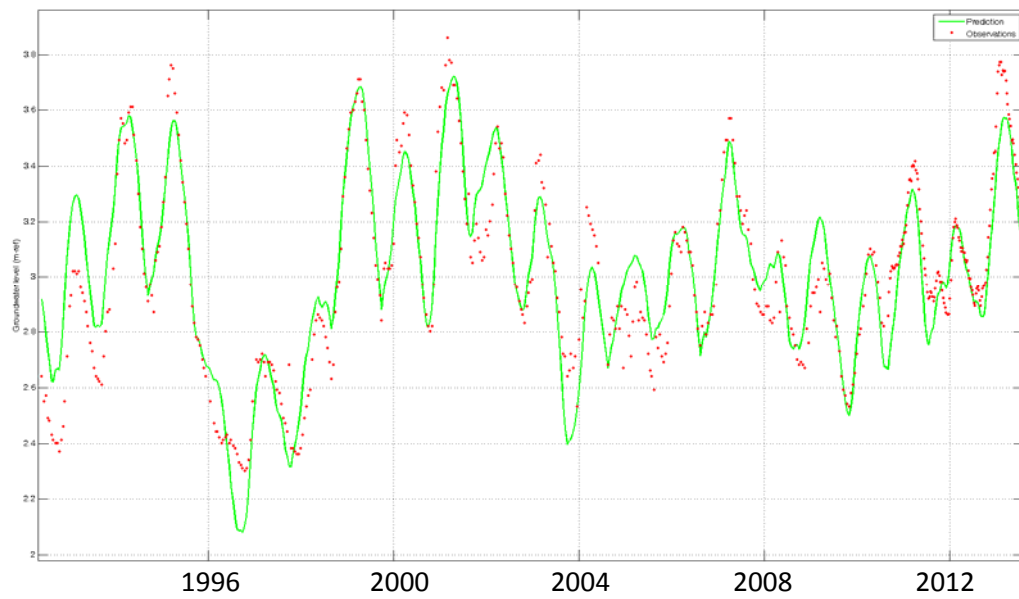


Raai 5

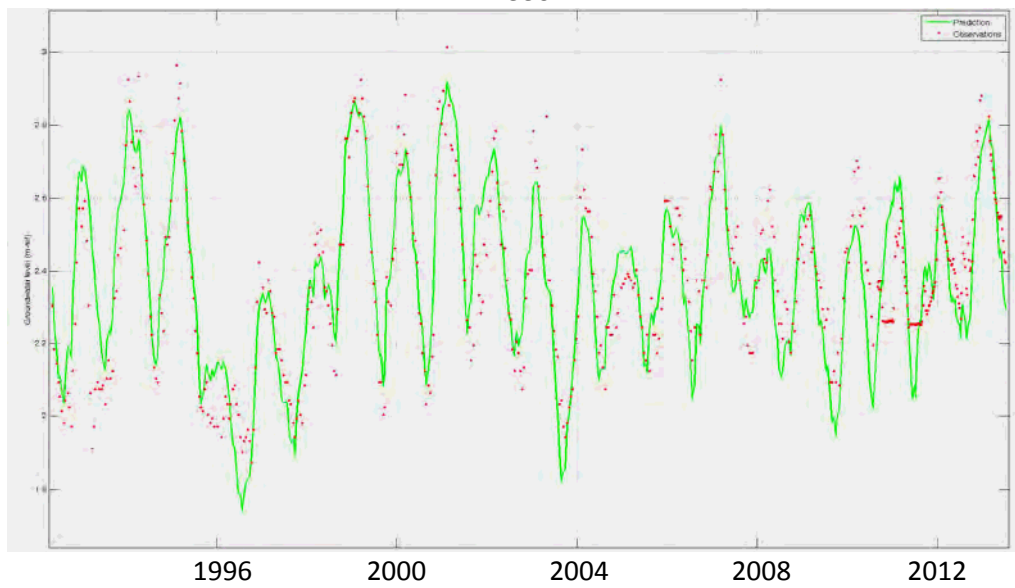
24H763.4



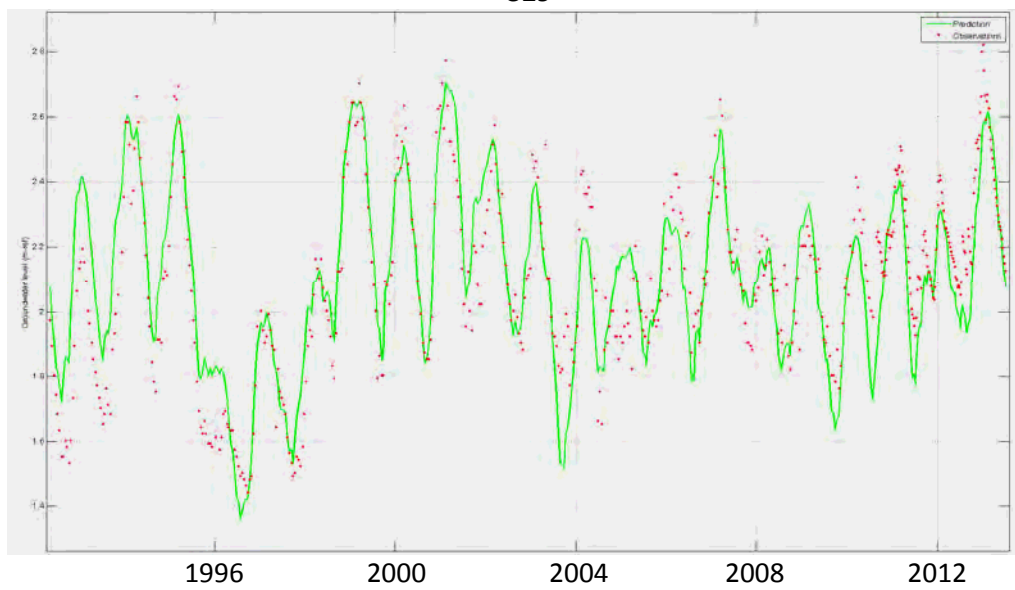
338



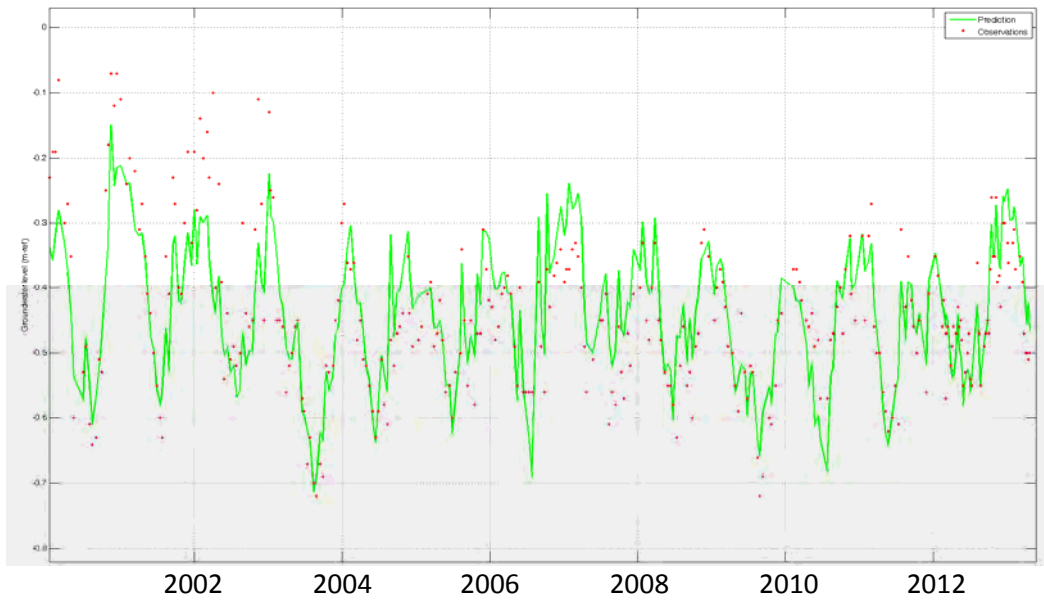
330



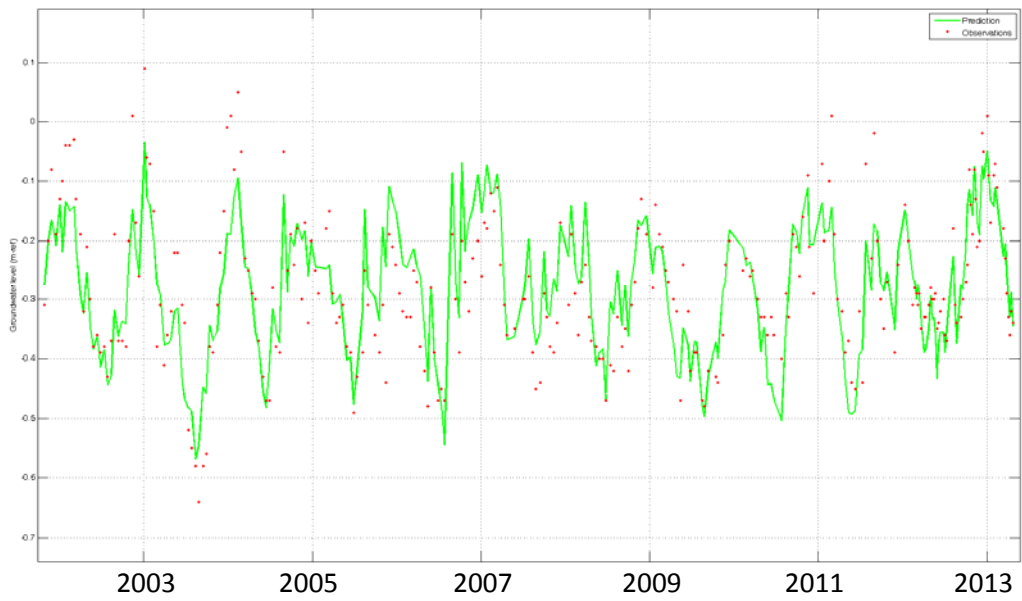
329

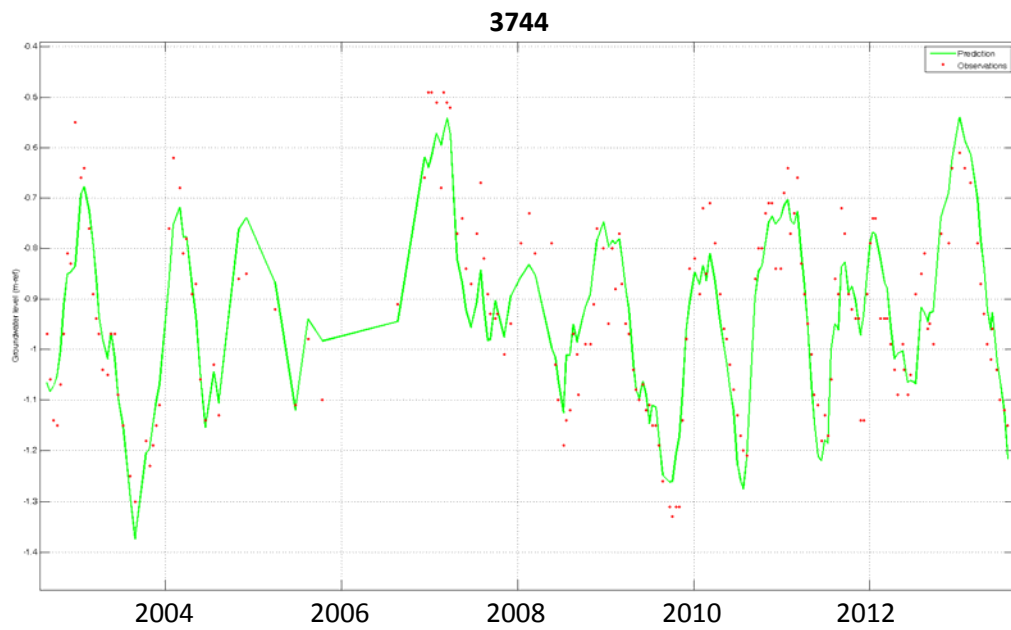


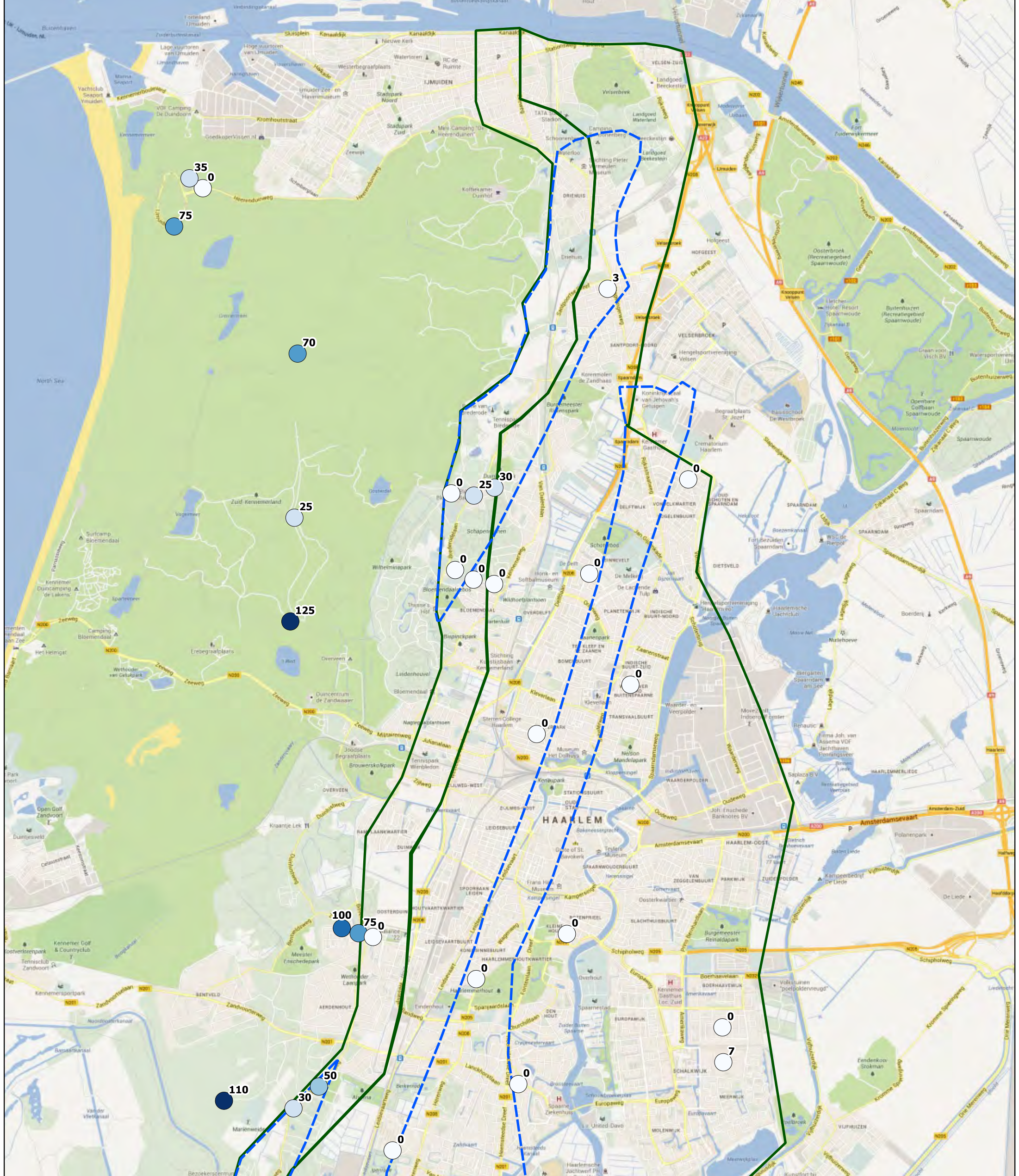
2104



3105







Legenda

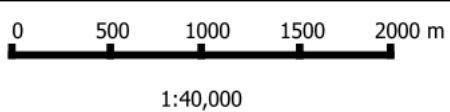
vertragingstijd neerslag (dagen)

- 0 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- > 100
- ▭ binnenduinrand / boezem
- ▭ strandwallen

Bijlage 9: Vertragde reactie van de grondwaterstand op neerslag

Project: KN23, Kennemerland Zuid

A3	Document: KN23_bij9	Datum: 21 oktober 2013	Get. door: HKR	Controle:
-----------	------------------------	---------------------------	-------------------	-----------



BIJLAGE 10 Toelichting klimaatscenario's

Tabel 1: Vergelijk tussen WB21 en KNMI'06 scenario's voor 2050 (Bron: www.knmi.nl)

	WB21-scenario			KNMI '06-scenario			
	laag	midden	hoog	G	G+	W	W+
zomer							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0,5	+1	+2	+0,9	+1,4	+1,7	+2,8
warmste zomerdag (°C)				+1,0	+1,9	+2,1	+3,8
gemiddelde neerslag (%)	+0,5	+1	+2	+3	-10	+6	-19
aantal natte dagen (%)				-2	-10	-3	-19
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+13	+5	+27	+10
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35
winter							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0,5	+1	+2	+0,9	+1,1	+1,8	+2,3
koudste winterdag (°C)				+1,0	+1,5	+2,1	+2,9
gemiddelde neerslag (%)	+3	+6	+12	+4	+7	+7	+14
aantal natte dagen (%)				0	+1	0	+2
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+4	+6	+8	+12
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35

De in het model toegepaste waarden zijn gearceerd.

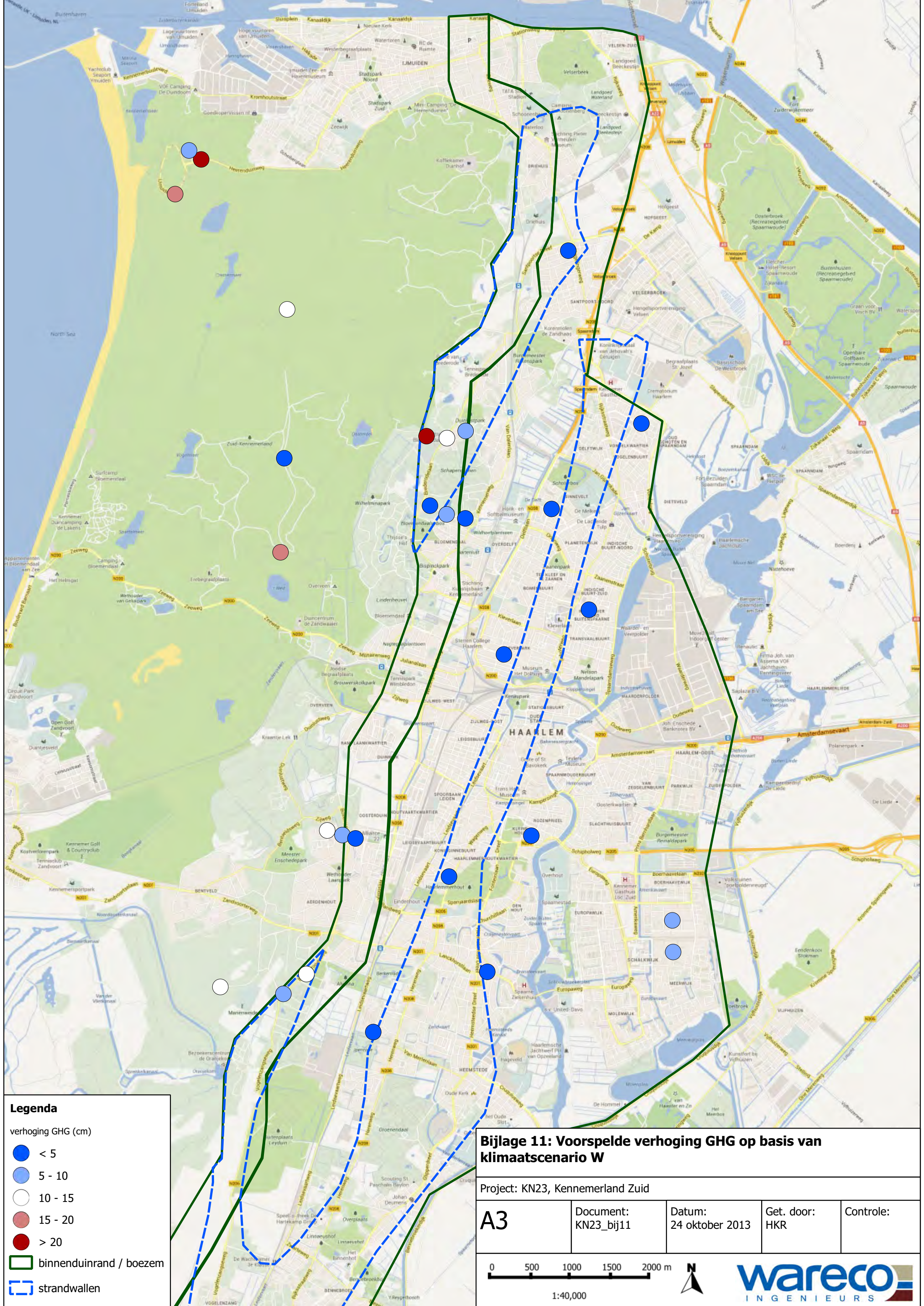
WB21: Waterbeheer 21^e eeuw

G: 1°C temperatuurstijging, geen verandering in luchtdrukpatroon

G+: 1°C temperatuurstijging, wel verandering in luchtdrukpatroon

W: 2°C temperatuurstijging, geen verandering in luchtdrukpatroon

W+: 2°C temperatuurstijging, wel verandering in luchtdrukpatroon



Legenda

verhoging GHG (cm)

- < 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- > 20
- binnenduinrand / boezem
- strandwallen

Bijlage 11: Voorspelde verhoging GHG op basis van klimaatscenario W

Project: KN23, Kennemerland Zuid

A3	Document: KN23_bij11	Datum: 24 oktober 2013	Get. door: HKR	Controle:
-----------	-------------------------	---------------------------	-------------------	-----------

