

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

Gemeente Woerden 11.005443



Registratiedatum: 07/04/2011
Behandelend afdeling
Afgehandeld door/op:

**Grondwater- en
funderingsonderzoek
Schilderskwartier te
Woerden**

definitief

Uitgebracht aan:

Gemeente Woerden/Oasen Drinkwater
p.a. Blekerijlaan 14
3447 GR WOERDEN

Projecttitel : Grondwater- en funderingsonderzoek
Schilderskwartier te Woerden

Projectcode : KE54B


Soort document : definitief


Kenmerk : KE54B, RAP20110323

Opdrachtgever : Gemeente Woerden; Oasen Drinkwater

Opgesteld door : ing. M. Mees

Senior projectleider : ir. P.J.M. den Nijs

Paraaf opsteller : 

Paraaf senior projectleider : 

Datum : 23 maart 2011

Inhoudsopgave

Tekst	pagina
1. Inleiding	1
1.1. Aanleiding en doel	1
1.2. Plan van aanpak op hoofdlijnen	2
2. Beschrijving van het onderzoeksgebied	3
3. Inventarisatie funderingen Schilderskwartier	6
3.1. Onderzoek naar funderingstype en hoogte funderingshout	6
3.2. Afbakening risicogebied	7
4. Grondwater modellering	11
4.1. Algemeen	11
4.2. Resultaten modelstudie	11
4.2.1. Berekende historische grondwatersituatie	12
4.2.2. Toekomstige grondwatersituatie	13
4.2.3. Geohydrologische scenario's	14
4.3. Bespreking van de resultaten	15
5. Conclusies	19

Bijlagen

1. Overzichtstekening open water Schilderskwartier en omgeving
2. Resultaten archiefonderzoek funderingsgegevens
3. Niveau onderkant betonopzetter
4. Afbakening risicogebied en locatie boringen en peilbuizen
5. Boorbeschrijvingen
6. Restfout 1e watervoerend pakket
7. Stijghoogte 1e watervoerend pakket
8. Stijghoogte 1e watervoerend pakket vóór aanleg van de wijk
9. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – stopzetten onttrekking
10. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – halveren onttrekking
11. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – opzetten polderpeil
12. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – afkoppelen en infiltreren hemelwater
13. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – diepinfiltratie straten
14. Stijghoogte 1e watervoerend pakket – verbeterde infiltratie watergangen
15. Geohydrologisch onderzoek
16. Resultaten modelstudie
17. Bronnen
18. Details betonopzetter

1. Inleiding

1.1. Aanleiding en doel

Wareco heeft onderzoek naar de grondwaterstanden in de gemeente Woerden uitgevoerd (kenmerk ke54.009mma.rap.doc d.d. 4 maart 2009). Onder andere is naar aanleiding van dit onderzoek geadviseerd vervolgonderzoek uit te voeren naar de grondwateronderlast (droogstand van funderingshout) in de wijk Schilderskwartier. Deze rapportage heeft betrekking op dit vervolgonderzoek.

Er is sprake van onderlast als de grondwaterstand lager is dan het bovenste funderingshout van een fundering. Reeds voor de bouw van het Schilderskwartier waren geohydrologische omstandigheden aanwezig die een lagere grondwaterstand in het gebied veroorzaakten. De omliggende polders hadden een lager peil en de grondwaterwinning in het nabijgelegen Kamerik was al sinds 1932 actief. De verlaagde grondwaterstand en de aanwezige paalfunderingen in de wijk zijn in het verleden (jaren '90) al aanleiding geweest voor het instellen van onderzoek naar de hoogte van het grondwater en de kwaliteit van funderingshout. Indertijd is besloten het onderzoek na circa 10 jaar nog eens te herhalen om eventuele schade te kunnen vaststellen.

De wijk Schilderskwartier is weergegeven op de luchtfoto van figuur 1.



Figuur 1: Luchtfoto wijk Schilderskwartier, gemeente Woerden (bron: Google Maps)

Het doel van het aanvullend onderzoek is:

- Het bepalen van de omvang van het onderlast probleem (risicobepaling en afbakening van het probleemgebied).
- Het beschouwen van mogelijke scenario's van maatregelen om de gevolgen van onderlast te voorkomen.

1.2. Plan van aanpak op hoofdlijnen

Het onderzoek heeft bestaan uit twee sporen: een inventarisatie van de hoogte van het funderingshout en een modelmatige grondwaterstromingsanalyse in de wijk.

1. Inventarisatie hoogte funderingshout Schilderskwartier

In de wijk komen verschillende type funderingen voor. Met de inventarisatie van het type funderingsconstructie en eventueel de hoogte van het funderingshout wordt een afbakening van het probleem/risicogebied bereikt.

2. Grondwaterstroming: modelstudie

Er wordt een geactualiseerd en gedetailleerd grondwaterstromingsmodel opgesteld voor de wijk en haar omgeving. Het bestaande model (voorgaand onderzoek) wordt verfijnd en geschikt gemaakt om de geohydrologische relaties tussen de verschillende invloedsfactoren op de hoogte van de grondwaterstand vast te leggen. Het model wordt afgestemd (gekalibreerd) op de recent uitgevoerde grondwaterstandsmetingen.

Met het grondwatermodel zijn vervolgens effectberekeningen uitgevoerd om na te gaan welke invloed op de grondwaterstand zal plaatsvinden bij wijzigingen in het grondwatersysteem.

Uit combinatie van gegevens uit 1 en 2 wordt afgeleid in hoeverre de onderlastproblemen aanwezig zijn en tegemoet kunnen worden getreden met wijzigingen in het grondwatersysteem.

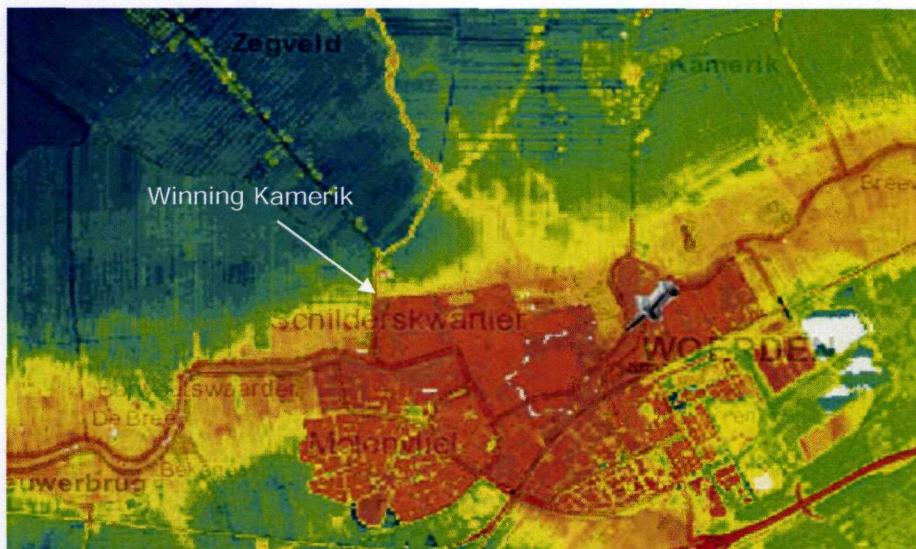
2. Beschrijving van het onderzoeksgebied

Algemeen

Het Schilderskwartier is een wijk aan de noordzijde van Woerden, ten noorden van de Oude Rijn. De wijk is gebouwd in de jaren '60 van de vorige eeuw. De bebouwing in het onderzoeksgebied bestaat voornamelijk uit bouwblokken met eengezinswoningen. Daarnaast zijn ook vrijstaande villa's en twee-onder-een-kapwoningen in de wijk aanwezig. De woningen binnen het onderzoeksgebied hebben in het algemeen zowel een voor- als achtertuin. Een overzicht van het onderzoeksgebied is weergegeven in bijlage 1.

Bodemopbouw

Door Woerden loopt het stroomgordelgebied van de Oude Rijn, gekenmerkt door een hoger maaiveldniveau. De oude stroomgordel is duidelijk terug te zien in de maaiveldhoogten, zie figuur 2. Op deze locatie is de bodem door rivierafzettingen grotendeels zandig ontwikkeld. In de zandafzetting komt op relatief kleine diepte (< 2 m onder het maaiveld) een kleilaag voor, welke ter plaatse van wegen vermoedelijk veelal doorsneden is waarbij de klei is vervangen door zand.



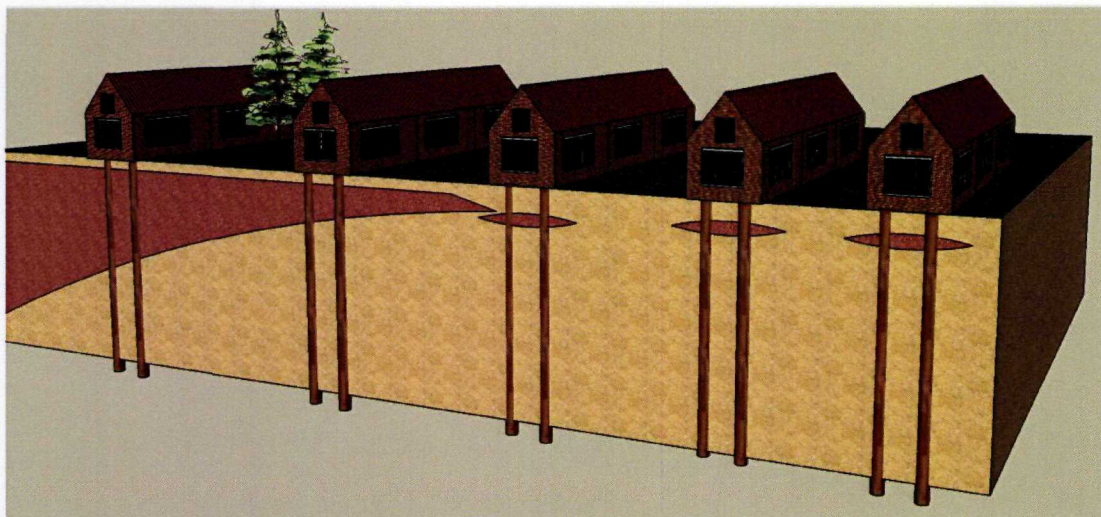
Figuur 2: Maaiveldhoogten Woerden en omgeving (Bron: AHN)

Het maaiveld in de omgeving van Zegveld is het laagst gelegen in de omgeving van het onderzoeksgebied (circa NAP -2,1 m). In de omgeving van Kamerik en het poldergebied rondom de drinkwaterwinning bedraagt dit niveau circa NAP -1,50 m. Het Schilderskwartier ligt hoger dan het omringende landelijk gebied. De gemiddelde maaiveldhoogte in het Schilderskwartier bedraagt circa NAP +0,50 m.

Het Schilderskwartier is niet integraal opgehoogd. Over het algemeen is gebouwd op het bestaande maaiveld. In het openbare gebied is plaatselijk wel opgehoogd. In het noordelijk deel van het Schilderskwartier wordt een relatief dik klei- en veenlagen pakket tot enkele meters beneden maaiveld aangetroffen.

In het zuidelijk deel van de wijk is de gelaagde opbouw van rivierafzettingen aangetroffen waarbij de horizontale verspreiding van de verschillende lagen beperkt is.

Onderstaande figuur geeft een artist impression van de bodemopbouw onder het Schilderskwartier.



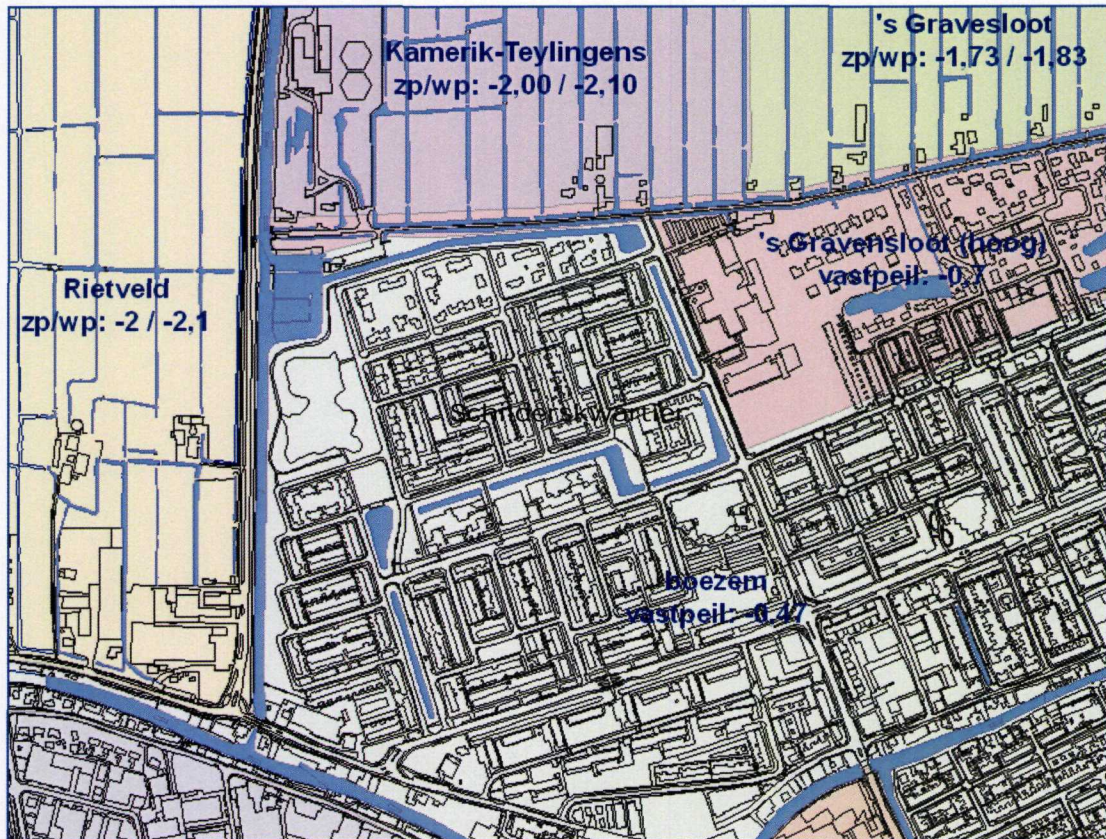
Figuur 3: Artist impression bodemopbouw

Oppervlaktewater

Aan de zuidzijde wordt het Schilderskwartier begrensd door de Oude Rijn. De rivier loopt door Woerden en maakt daar deel uit van de Singelgracht. Voor het waterpeil wordt een vast peil (boezempeil) van NAP -0,47 m gehanteerd.

In het Schilderskwartier is een oppervlaktewatersysteem aanwezig, waar eveneens het boezempeil wordt beheerd. In een deel van de oostkant van de wijk en langs de noordgrens van de wijk wordt een lager peil gehanteerd van NAP -0,70 m. De oppervlaktewatergangen zijn weergegeven in figuur 4.

In de directe omgeving van het Schilderskwartier zijn verschillende lager gelegen polders aanwezig. Ten oosten van de wijk ligt het peilgebied Rietveld, waar een zomerpeil van NAP -2,0 m en een winterpeil van NAP -2,1 m wordt gehanteerd. Ten noorden van het Schilderskwartier liggen de polders 's Gravensloot (zomerpeil NAP -1,73 m/ winterpeil NAP -1,83 m) en een uitloper van het peilgebied Kamerik - Teylingens (zomerpeil NAP -2,0 m / winterpeil AP -2,1 m). In figuur 4 zijn de diverse peilen weergegeven.



Figuur 4: Oppervlaktewaterpeilen Schilderskwartier en omgeving (bron: HDSR)

Grondwater

In de polders rondom de wijk Schilderskwartier wordt de ondiepe (freatische) grondwaterstand met name bepaald door de aanwezige poldersloten. Uit peilbuismetingen blijkt dat de ondiepe grondwaterstanden in de polders nagenoeg gelijk zijn aan het polderpeil (zie bijlage 15).

In het noordelijk deel van het Schilderskwartier is sprake van een ondiepe (schijn)grondwaterstand op de slecht doorlatende kleilaag. De ondiepe grondwaterstanden worden hier mede bepaald door het waterpeil van de op korte afstand aanwezige omliggende watergangen. In het noordelijk deel varieert de grondwaterstand van circa NAP -0,30 m tot circa NAP -0,80 m. In het zuidelijk deel van het Schilderskwartier vormt de bovenste zandlaag (het freatisch watervoerend pakket) één geheel met het eerste watervoerend pakket.

In het Schilderskwartier is in het eerste watervoerend pakket sprake van een noordwaarts gerichte grondwaterstroming. De hoogste grondwaterstanden treden op nabij de Oude Rijn, waar het water uit de Oude Rijn in de bodem infiltreert. De laagste grondwaterstanden treden op nabij de grondwaterwinning van Kamerik.

Het grondwaterniveau varieert van gemiddeld circa NAP -1,80 m aan de zuidzijde van de wijk tot circa NAP -2,60 m aan de noordzijde van de wijk. De gemiddelde seizoens fluctuatie (tussen zomer en winter) van het grondwater bedraagt circa 0,40 m.

3. Inventarisatie funderingen Schilderskwartier

3.1. Onderzoek naar funderingstype en hoogte funderingshout

De inventarisatie is in een aantal stappen uitgevoerd:

- Archiefonderzoek.
- Inmeten onderzijde betonopzetters.
- Funderingsinspecties.

Archiefonderzoek

In het streekarchief is archiefonderzoek uitgevoerd naar de funderingstypen. Bij het onderzoek is gebleken dat vaak meerdere bouwblokken tegelijk in een bouwstroom gebouwd zijn. Gezocht is naar informatie over het toegepaste funderingstype, het vloerpeil en het niveau van het bovenste funderingshout.

Er zijn overwegend twee funderingstypen in het archief aangetroffen. In het zuidoostelijke deel van het Schilderskwartier zijn overwegend funderingen op staal op de originele tekeningen weergegeven. In het noordwestelijke deel zijn op de tekeningen voornamelijk funderingen op houten palen met betonopzetters weergegeven. Bij een aantal bouwstromen zijn de lengtes van de toegepaste betonopzetters en de maatvoering ten opzichte van de begane grond weergegeven op de archieftekening. Op vrijwel geen enkele tekening is een NAP hoogte weergegeven. Afgeleid van de tekening en met aanvullende meetgegevens over de hoogte van de beganegrondvloer ten opzichte van NAP is voor een aantal plaatsen een hoogte van de onderzijde van de betonopzetter berekend. Opvallend is dat het op deze wijze verkregen niveau van de onderzijde van de betonopzetters een zeer grote variatie over het gebied laat zien van circa NAP -1,30 m tot aan NAP -2,75 m aan toe. Gezien de methode van verkrijgen van deze informatie moet rekening gehouden worden met een grote mate van onzekerheid.

In 2007 is een funderingsinspectie uitgevoerd waarbij een fundering met een prefab-betonopzetter is aangetroffen.

De funderingstypen zoals weergegeven op de archieftekeningen zijn weergegeven op een overzichtskaart in bijlage 2.

Bij de aanleg van een fundering op houten palen met een betonopzetter is doorgaans een grotere onderlinge afwijking in het niveau van de onderzijde van de betonopzetter (en dus de bovenzijde van het funderingshout) aanwezig dan bijvoorbeeld bij funderingen die zijn aangelegd op houten palen zonder opzetters. Bij dat type fundering werden de palen de grond ingeslagen en bij voldoende stuit op een hoogte afgezaagd. Bij betonopzetters moet voordat de stuit wordt bereikt de betonopzetter al op de houten paal zijn aangebracht. Door het verder heien van de samengestelde paal van hout en beton werd de paal op voldoende stuit weggeheid. Op welke diepte de stuit werd bereikt is niet overal gelijk. In de regel werd vervolgens een deel van de bovenzijde van de opzetter over een zekere lengte stukgehakt. Door middel van de daardoor uit de opzetter stekende wapening werd vervolgens de constructieve aansluiting op de betonbalk gerealiseerd. Het is niet ongebruikelijk dat voldoende stuit, eerder dan in het ontwerp aangenomen, werd bereikt met het gevolg dat de betonopzetter niet tot volledige diepte werd weggeslagen. Dit had dan tot gevolg dat meer van de betonopzetter werd afgehakt. Het niveau van de onderzijde van de betonopzetter ten opzichte van NAP is onder andere om deze reden niet met

grote zekerheid uit de archiefgegevens af te leiden en zullen ook bij inmeting verschillen in de orde van een decimeter te zien geven.

Inmeten onderzijde betonopzetters

Op een aantal locaties is een betonopzetter met houten paal ontgraven en is de onderzijde van de betonopzetter ingemeten ten opzichte van NAP.

Het voornemen was om op circa 50 locaties in het gebied de lengte van de opzetters te bepalen. Door problemen bij het verkrijgen van toestemming om een gat te graven is uiteindelijk op 19 locaties de ontgraving uitgevoerd en is de lengte van de betonopzetter bepaald. Van één locatie was de onderzijde van de betonopzetter reeds bekend uit voorgaand onderzoek. Derhalve is met dit onderzoek op 20 locaties verspreid over het Schilderskwartier de onderzijde van de betonopzetter bekend geworden.

De ingemeten niveaus variëren van NAP -1,46 m tot NAP -2,75 m. De gemeten niveaus van de onderzijde van de ontgraven betonopzetters zijn weergegeven in [bijlage 3](#).

Het niveau van de onderzijde van de betonopzetters laat, evenals de informatie uit het archief, een zeer grote variatie zien. Opvallend is dat bij relatief dicht naast elkaar gelegen panden grote verschillen zijn aangetroffen (bijvoorbeeld Leo Gestelstraat en Johan Jongkindstraat / Vincent van Goghlaan).

Beoordeling houtkwaliteit funderingen

Bij de inmeting is op een aantal plaatsen ook onderzoek verricht naar de kwaliteit van het hout van de fundering. Er zijn drie funderingsinspecties uitgevoerd bij funderingen met een relatief hoog niveau van de onderzijde van de betonopzetter ten opzichte van de optredende grondwaterstand. Bij de uitgevoerde funderingsinspecties is droogstand van het bovenste funderingshout aangetroffen. Aantasting van de palen als gevolg van droogstand (schimmels) is nog niet ver gevorderd en heeft op dit moment geen gevolgen voor de draagkracht van de fundering van de betreffende panden.

Op langere termijn moet verwacht worden dat bij te lage grondwaterstanden aantasting zal doorgaan, hetgeen op enig moment in de toekomst zal leiden tot afname van de draagkracht van de fundering. Het is mogelijk dat vanwege de bijzondere gelaagdheid (afwisseling van klei- en zandlaagjes) van de bodemopbouw in de eerste meters van de bodem een vertragend effect op de aantasting door schimmels aanwezig is. Het is niet mogelijk een accurate voorspelling te doen over de snelheid van houtdegradatie.

Bij de funderingsinspecties zijn zowel vurenhouten als grenenhouten palen aangetroffen. Bij beide houtsoorten zal aantasting door schimmels optreden als gevolg van droogstand van het funderingshout. Grenenhouten palen zijn daarnaast ook nog eens gevoelig voor bacteriële aantasting. Deze specifieke aantasting treedt met name onder water op. In tegenstelling tot de schimmelaantasting is voor deze vorm van aantasting geen droogstand noodzakelijk.

De volledige rapportage van de funderingsinspecties is separaat aan de opdrachtgever uitgebracht.

3.2. Afbakening risicogebied

Met het risicogebied wordt in dit onderzoek uitsluitend bedoeld die omstandigheden waarbij door een lagere grondwaterstand dan het funderingshout schade aan het funderingshout kan ontstaan.

Het risicogebied wordt afgebakend op basis van twee aspecten: er moeten houten palen zijn toegepast. Daarnaast is zuurstoftoetreding bij het hout noodzakelijk om schimmel-aantasting bij de palen te laten ontstaan en daarmee verrotting van het hout.

Funderingen op staal, het funderingstype waarbij direct op de aanwezige grondslag het metselwerk van de bouwmuren is aangebracht, zijn hier niet gevoelig voor wegens het ontbreken van hout in de constructie. Het hout van de palen met betonopzetters die in een dikke kleilaag zijn geslagen waarvan de onderzijde zich in het grondwater bevindt, is niet toegankelijk voor zuurstof en zal niet door schimmels worden aantast.

Fundering op staal

Bij funderingen op staal wordt de belasting direct op de ondergrond afgedragen. Er is bij dit type fundering doorgaans geen gebruik gemaakt van hout in de bodem.

Houtaantasting speelt hier dan ook geen rol. Verlagen van grondwaterstanden kunnen wel leiden tot grotere belasting op het bodemprofiel en daarmee maaiveldzakkingen veroorzaken. Deze maaiveldzakkingen worden doorgaans nagenoeg geheel door de funderingen op staal gevolgd waarbij in geval van ongelijkmatige zakkingen schade aan het casco kan ontstaan.

In het oostelijk deel van de wijk (ten oosten van de Jozef Israellaan) is een groot deel van de origineel aanwezige bebouwing op staal gefundeerd, zodat de droogstandproblematiek in dit deel van de wijk niet aan de orde is.

Funderingen op houten palen

Schimmelaantasting van funderingshout treedt op als de grondwaterstand lager is dan het bovenste funderingshout. In het onderzoeksgebied zijn drie situaties te onderscheiden:

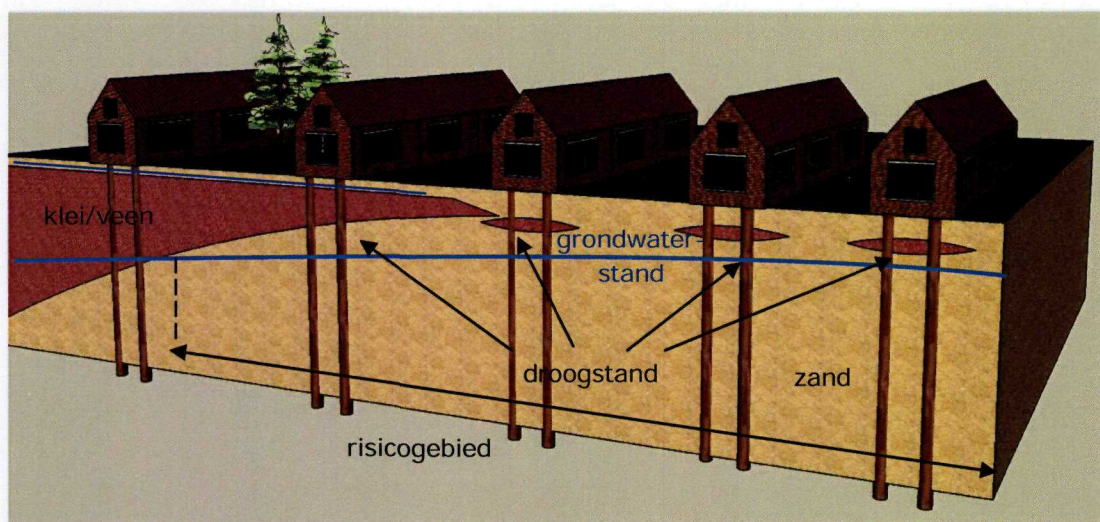
- Een te lage grondwaterstand ten opzichte van het bovenste funderingshout in een zandig bodempakket leidt er toe dat zuurstof kan toetreden tot het hout. In deze omstandigheden komt schimmelaantasting tot stand. Bij de funderingsinspecties is droogstand van de bovenzijde van de houten paal vastgesteld. Op de onderzoekslocaties is daarbij ook een zandige bodemopbouw aangetroffen. In de loop der tijd zal in deze situatie schimmelaantasting van de houten palen tot stand komen. Een tekening met een weergave van deze situatie is opgenomen in bijlage 18 (afbeelding 2).
- Bij een grondwaterstand hoger dan de onderzijde van de betonopzetter zal geen zuurstof kunnen toetreden tot de paalkop. Voor de volledigheid is een tekening met de gewenste situatie voor de paalkop weergegeven in bijlage 18 (afbeelding 1).
- In een kleipakket waarvan de onderzijde permanent in het grondwater staat, kan het water decimeters tot zelfs meters capillair opstijgen en daarmee zuurstoftoetreding in de bodem en dus direct tot de houten palen belemmeren. Bij een boven de grondwaterstand gelegen paalkop leidt deze capillaire werking in klei er toe dat bij de paalkop toch sprake is van een voldoende met water verzadigde bodem waarin geen zuurstof kan toetreden. Daardoor kunnen bij een kleipakket waarvan de onderzijde in het grondwater staat geen schimmels tot ontwikkeling komen bij de paalkop. Een tekening met een weergave van deze situatie is opgenomen in bijlage 18 (afbeelding 3).

In het merendeel van de wijk is het grondwaterniveau in de zandlaag lager dan de lokaal aanwezige ondiepe kleilagen. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het vochtgehalte in de ondiepe kleilaag. Het relatief lage vochtgehalte van de kleilaag en de droogstand van de houten paalfunderingen onder de kleilaag brengen een verhoogd risico op funderingschade met zich mee.

Aan de noordzijde van de wijk is de kleilaag dusdanig dik en zijn de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket zodanig hoog dat de kleilaag van onderaf vochtig wordt gehouden. Als gevolg hiervan is geen sprake van zuurstoftoetreding bij de houten paal-

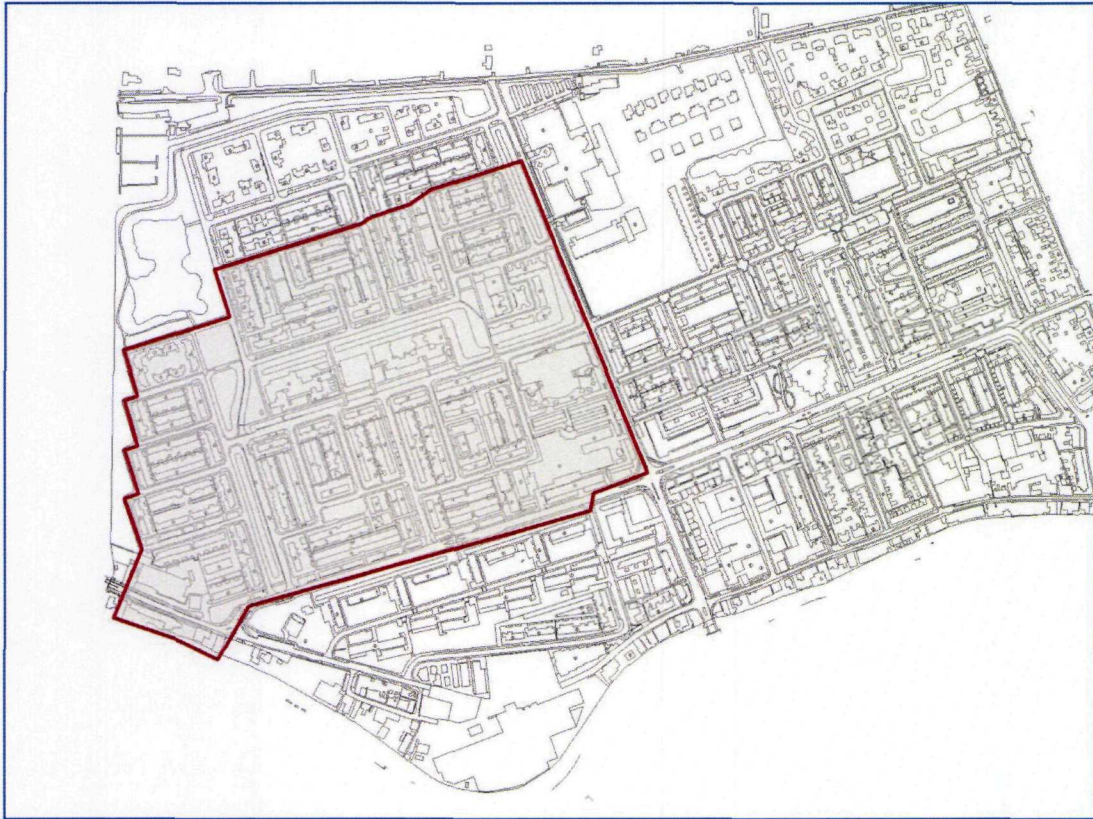
funderingen in de zandlaag. Het funderingshout dat zich in de kleilaag bevindt wordt voldoende van zuurstoftoetreding gevrijwaard. In dit deel van de wijk het risico op schade aan de fundering door schimmelaantasting minimaal. Een en ander is schematisch geïllustreerd in figuur 5. Tijdens het onderzoek zijn aanvullende grondboringen verricht om de grens van de kleilaag goed in kaart te brengen.

Op basis van bovenstaande inzichten is het risicogebied afgebakend, zoals weergegeven in bijlage 4.



Figuur 5: Schematische doorsnede risicogebied

Uit de verzamelde informatie, inclusief de tijdens dit onderzoek uitgevoerde extra grondboring, zijn de in onderstaand figuur aangegeven begrenzing van het risicogebied afgeleid.



Figuur 6: Begrenzing risicogebied

4. Grondwater modellering

4.1. Algemeen

Voor de detaillering van het grondwatermodel is de ondergrond in beeld gebracht op basis van de gegevens uit de reeds uitgevoerde onderzoeken [1] tot en met [5]. Aanvullend op de beschikbare boringen zijn extra grondboringen en grondwaterstandmetingen in het centrale deel van het gebied uitgevoerd. Er zijn twee raaien met extra peilbuizen geplaatst om te bepalen in hoeverre sprake is van infiltratie in het gebied vanuit het boezemwater. De resultaten van de boringen zijn opgenomen in bijlage 5.

De locaties waar aanvullend boringen zijn uitgevoerd en peilbuizen zijn geplaatst betreffen:

- twee raaien van ieder drie boringen/peilbuizen in het gebied tussen de Floris Versterstraat en de Willem de Zwartstraat / Johan Bosboomstraat (peilbuizen 01 tot en met 06);
- twee boringen/peilbuizen in het gebied ten zuiden van de Jan Steenstraat (peilbuizen 07 en 08);
- twee raaien van ieder drie boringen nabij het boezemwater ter plaatse van de Vredenburgstraat - C. van Leeuwenstraat (peilbuizen HB2, 2a tm 2c) en ter plaatse van het noordelijke deel van de Vincent van Goghlaan (peilbuizen HB4, 4a tm 4c).

In de periode van half december 2009 tot half januari 2010 zijn grondwatergegevens verzameld in de acht aanvullend geplaatste freatische peilbuizen. Daarnaast is in april 2010 de grondwaterstand in de bestaande peilbuizen eenmalig opgenomen, zie bijlage 4.

Aanvullend op de archiefinformatie is een tijdreeksanalyse uitgevoerd. Hierbij is een relatie gelegd tussen de gemeten grondwaterstanden in de periode 1995 tot en met heden en de periode waarin de wijk gebouwd is (circa 1965).

Over de omgeving van het onderzoeksgebied zijn diverse grondwatermodellen beschikbaar. Het beschikbare grondwatermodel [3] is geactualiseerd en gedetailleerd voor het onderzoeksgebied. Met behulp van de modelstudie is inzicht verkregen in de werking van het grondwatersysteem.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de modelstudie beknopt samengevat. Voor een uitgebreide beschrijving van het grondwateronderzoek en de uitgevoerde modelstudie wordt verwezen naar bijlage 15 en bijlage 16.

4.2. Resultaten modelstudie

In bijlagen 15 en 16 wordt behandeld hoe het model is opgebouwd en welke model-technische stappen er ondernomen zijn om de berekende grondwaterstanden zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de gemeten grondwaterstanden. Aan de hand van de beschikbare informatie over bodemopbouw, bodemparameters en gemeten grondwaterstanden is een maximaal haalbare nauwkeurigheid van het model nagestreefd. Er is enige variatie over het onderzoeksgebied aanwezig maar bij interpretatie van berekeningsresultaten dient rekening te worden gehouden met een nauwkeurigheid in de orde van een decimeter ter plaatse van de peilbuizen (zie bijlage 6). Gezien de grote variatie van de bodemopbouw in het horizontale vlak, moet bij de interpretatie van de resultaten ter

plaats van de funderingen een minder grote nauwkeurigheid worden verwacht. De gemiddelde grondwaterstanden in het onderzoeksgebied in de huidige situatie zijn opgenomen in bijlage 7. Er is in de grondwaterstand een systematisch verschil aanwezig tussen het noorden van het risicogebied (circa NAP -2,3 m) en het zuiden van het risicogebied (circa NAP -1,85 m) van 45 cm (verhanglijn).

Bij de bespreking van de modelresultaten wordt bij het grafisch weergegeven van de resultaten de geografische verspreiding steeds in de bijlagen weergegeven. Bij de bespreking zijn voor het overzicht steeds de resultaten van een grondwaterstands-berekening gevisualiseerd ten opzichte van een grondwaterstand van NAP -2,00 m. Dit is de gemiddelde grondwaterstand in het midden van het risicogebied. De bandbreedte van de gepresenteerde berekeningen hebben betrekking op de variatie in het horizontale vlak. Voor vergelijking van de grondwaterstand met een specifieke hoogte van funderingshout dient natuurlijk wel rekening gehouden te worden met de verhanglijn in de grondwaterstand.

Bij de interpretatie van de berekende gemiddelde grondwaterstanden dient gerealiseerd te worden dat als gevolg van de variatie in meteorologische omstandigheden er een fluctuatie in de grondwaterstand door het jaar heen zal optreden. Uit berekeningen wordt afgeleid dat rekening gehouden dient te worden met circa 0,2 m lagere grondwaterstanden in droge perioden. Dit zijn dan grondwaterstanden die slechts een aantal maanden per jaar optreden.

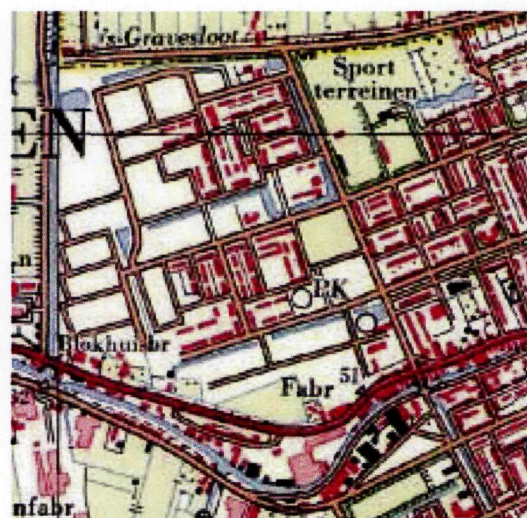
4.2.1. Berekende historische grondwatersituatie

Om inzicht in te krijgen in de grondwatersituatie toen de wijk werd aangelegd, is op basis van oud kaartmateriaal [11] (zie figuur 7) de historische geohydrologische situatie in het grondwatermodel ingevoerd en doorgerekend.

Voor de bouw van de wijk was het gebied een deel van een polder waarin een dicht slotenpatroon aanwezig was voor de ontwatering. Een slotenpatroon vergelijkbaar met de omliggende polders (slootafstand circa 50 m). In deze poldersloten werd in de jaren '50 van de vorige eeuw een zomerpeil gehanteerd van circa NAP -0,80 m en een winterpeil van NAP -0,90 m (peilbesluit Oudeland en Tournoisveld 1955).



dicht slotenpatroon



Figuur 7: Oppervlaktewatersysteem vóór aanleg (links, 1949) en na aanleg wijk (rechts, 1969)

Deze sloten hadden een belangrijke invloed op het grondwatersysteem. Niet alleen vanwege de ontwatering van de aanliggende landbouwgrond maar juist ook waar het gaat om aanvulling van grondwater. De grondwaterstand zal tussen de sloten lager zijn geweest als het toenmalig polderpeil. Het wegvallen van de sloten (verminderde infiltratie van grondwater) door de bouw van de wijk is als geohydrologisch effect in het model opgenomen. In het model is meegerekend dat er een afname van de infiltratie van water in de wijk als gevolg van het aanbrengen van verharding in de wijk is opgetreden. Door het bouwen van de wijk worden bijvoorbeeld dakvlakken en straten direct aangesloten op de riolering. Een groot deel van het hemelwater dat op de wijk valt wordt dan direct afgevoerd door het rioolsysteem en draagt daardoor niet bij aan aanvulling van het grondwatersysteem. In de oude situatie (landbouwgrond) vond 100 % infiltratie plaats.

In de berekeningen is rekening gehouden is het feit dat in de jaren '50 circa 70% minder onttrokken dan in de huidige situatie. Als laatste effect kan worden genoemd dat in de jaren '50 de polderpeilen in de omliggende polders enkele decimeters hoger dan in de huidige situatie. Ook dit effect is in de modelberekeningen meegerekend.

Het grondwaterniveau welke verwacht zou moeten worden door de bouw van de wijk is, rekening houdend met alle genoemde wijzigingen in het grondwatersysteem, berekend op circa NAP -1,5 m aan de noord/westzijde van de wijk tot NAP -1,3 m aan de zuid/oostzijde van de wijk. Opgemerkt wordt dat deze niveaus weer de gemiddelde situatie betreffen. Vanwege meteorologische omstandigheden kunnen de grondwaterstand in droge perioden circa 0,2 m lager zijn. In bijlage 8 is het stijghoogtepatroon over de wijk weergegeven.

4.2.2. Toekomstige grondwatersituatie

Om de verschillende geohydrologische scenario's die in dit hoofdstuk worden behandeld in de context van de toekomst te bezien, zijn twee aspecten van belang: het veranderende klimaat en de maaiveldvaling van de omliggende polders.

Er is studie verricht naar de invloed van klimaatveranderingen op het watersysteem. Gebruikmakend van de modelmatige beschrijving van het grondwatersysteem is beschouwd in hoeverre wijzigingen in het grondwaterregiem verwacht mogen worden als gevolg van klimaatwijziging. Hierbij moet met name worden gedacht aan mogelijke aanvullende verlagingen van de grondwaterstanden als gevolg van langere en meer droge perioden in een zomerhalfjaar. De wijzigingen in het grondwaterregiem in de periode tot 2050 zijn met behulp van het grondwatermodel inzichtelijk gemaakt.

De klimaatscenario's zijn doorgerekend voor het jaar 2050. Voor dit jaartal zijn diverse voorspellingen gedaan op het gebied van neerslag en zeespiegelstijging (KNMI, WB21, IPCC). De KNMI'06 scenario's zijn onder andere vertaald naar een verandering van de gemiddelde neerslag gedurende een zomersituatie. In het minst gunstige geval neemt de gemiddelde neerslag af met 19% in een zomersituatie. Dit heeft in het Schilderskwartier geen belangrijke veranderingen in het grondwatersysteem tot gevolg. De maximale grondwaterdaling bedraagt in deze worstcase benadering enkele centimeters. Voor de verschillende scenario's is deze kleine invloed niet verder in de beschouwing opgenomen.

In de toekomst moet verwacht worden dat het maaiveld van de agrarische gebieden in de omgeving van het Schilderskwartier zal zakken. Dit is een natuurlijk proces waarop door het Waterschap doorgaans wordt gereageerd met peilaanpassing. Verwacht moet dan ook

worden dat in de toekomst peil aanpassingen zullen plaatsvinden als gevolg waarvan ook de grondwaterstand in de wijk zal dalen. De relatie tussen de omliggende polderpeilen en de grondwaterstand in de wijk is niet sterk (zie H 4.2.3 onderdeel 2). Voor een orde van grote van het toekomstig effect moet bedacht worden dat het maaiveld in de polder circa 1 cm per jaar zakt. Over vijftig jaar is het maaiveld dan circa 0,5 m gezakt. In geval het peil gelijke tred houdt met het maaiveld moet over vijftig jaar een 0,5 m lager polderpeil worden verwacht. Het verlagend effect op de grondwaterstand in de zal in de orde van 15 cm zijn).

4.2.3. Geohydrologische scenario's

Met behulp van het grondwatermodel zijn een aantal scenario's doorgerekend waarmee een grondwaterstijging in de wijk kan worden bereikt.

De volgende (geohydrologische) scenario's zijn met behulp van het grondwatermodel beschouwd:

- Verminderen van het onttrekkingsdebiet van de winputten van Oasen.
- Opzetten van het polderpeil van nabijgelegen gebieden.
- Afkoppelen en infiltreren van hemelwater.
- Infiltratiesysteem in de straten.
- Verbeteren infiltratie vanuit oppervlaktewater.

Voor ieder scenario is de berekende (nieuwe) grondwatersituatie vergeleken met de huidige situatie. Hiermee is inzicht verkregen in het effect van iedere maatregel op de grondwaterstanden.

Opgemerkt moet worden dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor een gemiddelde situatie. Het effect van een maatregel zal in de regel door het jaar een variatie te zien geven die bijvoorbeeld samenhangt met de meteorologische omstandigheden. In een droge zomerperiode kunnen de grondwaterniveaus uitzakken tot gemiddeld 0,2 m onder het gemiddeld berekende niveau.

1. Verminderen onttrekkingsdebiet winputten

Met behulp van het grondwatermodel is berekend wat het effect is van het volledig stopzetten van de winning en van het halveren van het totale onttrekkingsdebiet.

Bij stopzetting van de winning stijgt het gemiddeld grondwaterniveau aan de noordzijde van het risicogebied circa 0,65 m. Aan de zuidzijde van het risicogebied bedraagt de stijging circa 0,30 m. Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 9.

Bij halvering van de winning bedraagt de stijging aan de noordzijde van het risicogebied circa 0,35 m. Aan de zuidzijde van het risicogebied bedraagt de stijging circa 0,15 m. Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 10.

2. Opzetten polderpeil

Het opzetten van het polderpeil van de nabijgelegen polders leidt tot een toename van de infiltratie van water in de poldergebieden. Dit heeft een stijging van het grondwaterniveau in het eerste watervoerend pakket tot gevolg. Om gevoel voor schaal te krijgen is met het model het effect op de grondwaterstand in het Schilderskwartier berekend bij een (theoretische) verhoging van het polderpeil met 0,5 m in de polders Rietveld, Zegveld en 's Gravensloot. Ter plaatse van het risicogebied leidt dit tot een maximale stijging van 0,10 m tot 0,15 m. Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 11.

3. Afkoppelen en infiltreren van hemelwater

Een deel van het hemelwater dat in het Schilderskwartier valt wordt direct afgevoerd via het rioolsysteem. Dit deel komt niet ten goede aan grondwateraanvulling. Indien de wegen en een deel van de daken worden afgekoppeld van het rioolsysteem en het hemelwater wordt geïnfiltreerd in de bodem, leidt dit tot een stijging van het grondwaterniveau.

Met het model is een berekening uitgevoerd, waarbij circa 50% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld en het hemelwater in de bodem wordt geïnfiltreerd. Dit is in een bestaande wijk praktisch het best haalbare afkoppelpercentage. Het afkoppelen en infiltreren van het hemelwater heeft een zeer beperkte stijging tot gevolg (minder dan 0,05 m). Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 12. Vanwege het zeer geringe effect wordt dit scenario in de verdere beschouwing niet meer meegenomen.

4. Infiltratiesysteem in de straten

In dit scenario is uitgegaan van een infiltratiesysteem, waarbij in alle straten in het risicogebied infiltratieleidingen zijn aangelegd, die worden gevoed met oppervlaktewater uit het boezemsysteem. Als gevolg van het infiltratiesysteem is berekend dat de stijghoogte toeneemt met 0,25 m tot 0,30 m. Bij benadering wordt in het risicogebied circa 1.300 m³/dag geïnfiltreerd. Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 13.

5. Verbeteren infiltratie oppervlaktewater

Door goed onderhoud van het oppervlaktewatersysteem en eventueel het vergraven van aanwezige kleilagen onder de waterbodem wordt de infiltratie vanuit het oppervlaktewater naar de onderliggende bodem verbeterd. Met het model is doorgerekend wat het effect is van een verbeterd contact met de ondergrond. Indien geen sliblaag aanwezig is in de watergangen en de onderliggende kleilagen zijn vergraven, neemt de stijghoogte in het risicogebied toe met circa 0,15 m tot 0,25 m. Het berekende grondwaterniveau is weergegeven in bijlage 14. Dit scenario heeft als nadeel dat het berekend effect van deze maatregel slecht tijdelijk wordt gehaald. Door het opnieuw afzetten van een sliblaag zal de infiltratie weer worden belemmerd. Het betreft derhalve geen robuuste maatregel en wordt om deze reden niet verder in de beschouwing opgenomen.

4.3. Bespreking van de resultaten

Resumé model scenario's

Uit de modelanalyse naar de grondwaterstand, welke na aanleg van de wijk en herinrichting van het watersysteem zou moeten worden verwacht, blijkt een gemiddelde grondwaterstand van circa gemiddeld NAP -1,5 m in het midden van het risicogebied. Dit is belangrijk lager dan het open waterpeil in de wijk. Het is aannemelijk te veronderstellen dat effect op de grondwaterstand als gevolg van de bouw van de wijk indertijd door de bouwers werd voorzien. Verwacht wordt dat mede om deze reden indertijd is besloten om betonopzetters toe te passen. Met de berekende gemiddelde grondwaterstand van NAP -1,5 m en rekening houdend met het uitzakken van de grondwaterstand in de zomer hadden de betonopzetters tot minimaal NAP -1,70 m moeten reiken. Achteraf kan worden vastgesteld dat in een aantal gevallen de toegepaste opzetters te kort zijn geweest. De effecten op het grondwatersysteem van een aantal mogelijke scenario's zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Resultaten modelstudie

Scenario	Effect (m)
Stoppen winning Oasen	0,30 - 0,65
Halveren winning Oasen	0,15 - 0,35
Opzetten polderpeil van nabijgelegen gebieden	0,10 - 0,15
Infiltratiesysteem onder de straten	0,25 - 0,30

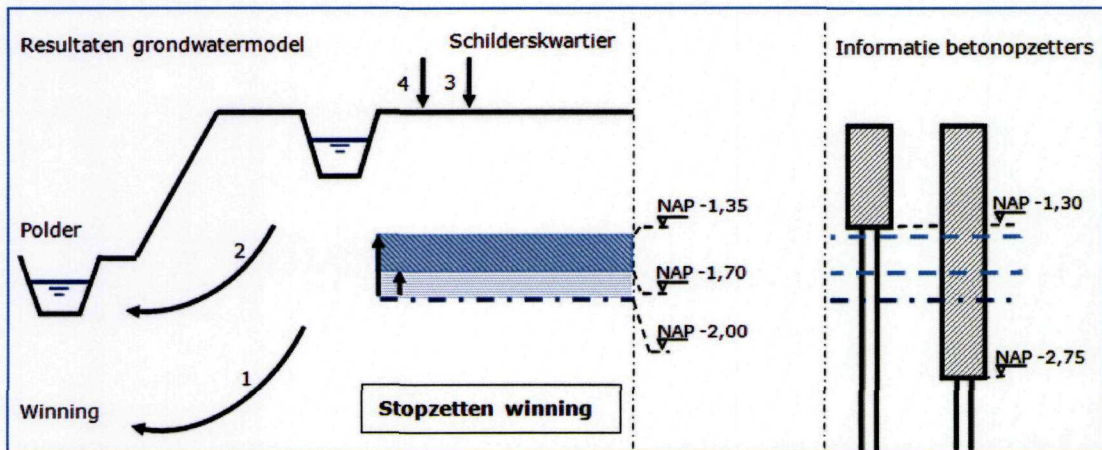
* grondwatervniveau in het risicogebied in een gemiddelde situatie

Er zijn slechts weinig meetgegevens bekend van de onderzijde van de betonopzetters. Van de 20 locaties waar de onderzijde van de betonopzetters zijn gemeten, blijken er achteraf slechts 10 binnen het risicogebied liggen. De spreiding in de resultaten is daarbij ook nog eens bijzonder groot. Langs de lijnen van gelijke grondwaterstanden worden grote verschillen op korte afstand van elkaar gemeten. Dit betekent dat het niet mogelijk is om de verschillende geohydrologische scenario's te kunnen voorzien van een effectiviteit afgemeten ten opzichte van de hoeveelheid minder droogstand. Er ontbreken hiervoor op dit moment te veel gegevens over de hoogte van het funderingshout. Voorgesteld wordt om deze leemte aan kennis in te vullen alvorens verdere conclusies over effectiviteit van geohydrologische maatregelen te trekken.

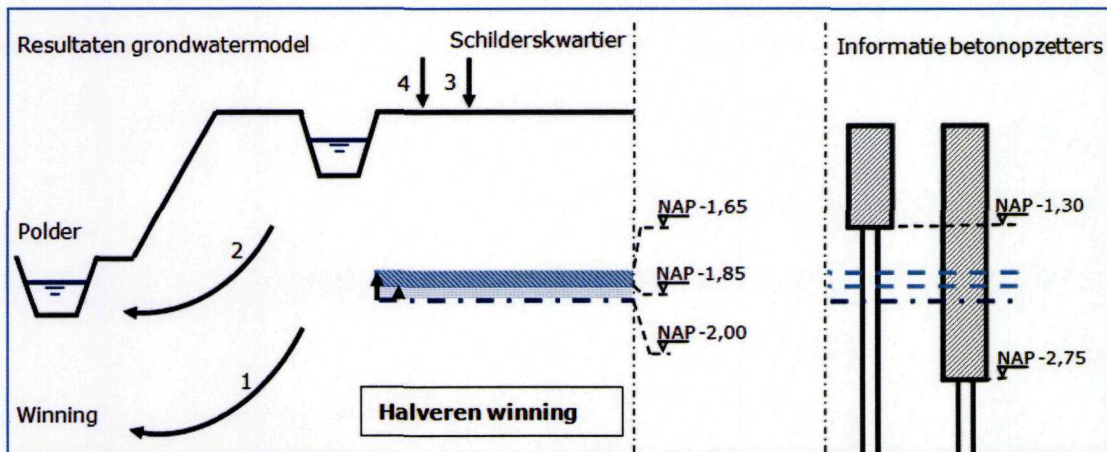
Onderstaande grafische voorstellingen geven een beeld van de invloed op de gemiddelde grondwaterstand als gevolg van de besproken scenario's ten opzichte van de gegevens over de hoogte van het funderingshout. Deze grafische voorstellingen hebben uitsluitend tot doel op eenvoudige wijze gevoel te krijgen voor de verhoudingen in de scenario's. Er dient hierbij gerealiseerd te worden dat de effecten berekend zijn voor de gemiddelde omstandigheden en dat de berekeningen een onnauwkeurigheid in zich hebben. Voor het overzicht zijn steeds de resultaten van een grondwaterstandsberekening gevisualiseerd ten opzichte van een grondwaterstand van NAP -2,00 m. Dit is de huidige gemiddelde grondwaterstand in het midden van het risicogebied. De bandbreedte van de gepresenteerde berekeningen hebben betrekking op de variatie in het horizontale vlak (de noord- en zuidzijde van het risicogebied). Voor de complete modelresultaten wordt verwezen naar de bijlagen.

Voor de gegevens over de onderzijde van de betonopzetters zijn de afgeleide uitersten op basis van de archiefinformatie weergegeven.

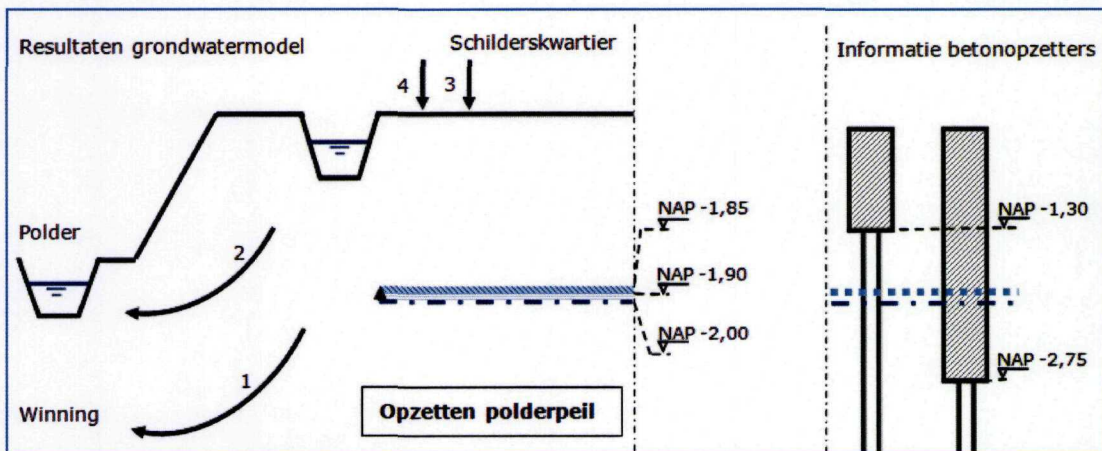
In de figuren zijn middels pijlen zeer schematisch de geohydrologische relaties weergegeven. De pijl met 1 staat voor afstroming van grondwater naar de winning; pijl 2 geeft de invloed van het peil van de omliggende polders weer. De pijlen 3 en 4 staan symbool voor geohydrologische relaties in de wijk zelf: bijvoorbeeld de mate van infiltratie in de wijk.



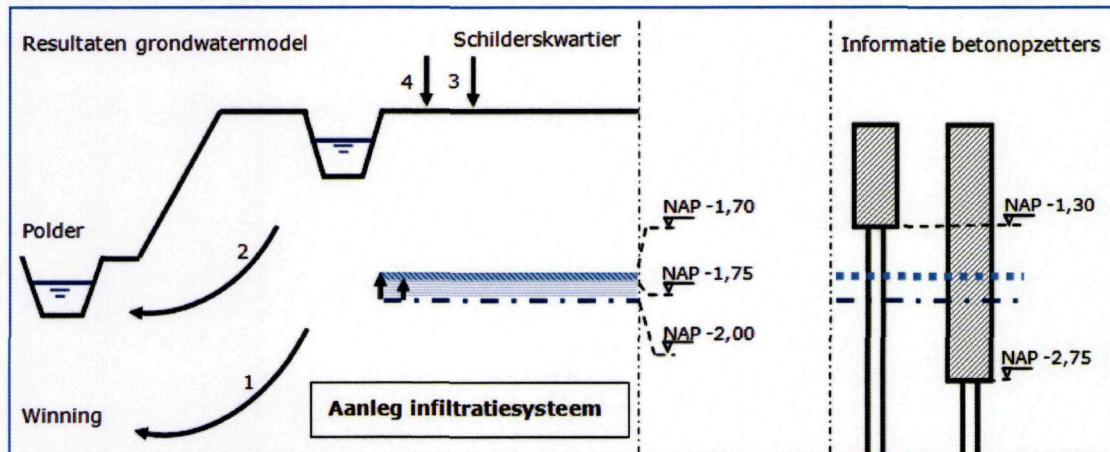
Figuur 8: Stopzetten winning



Figuur 9: Halveren winning



Figuur 10: Opzetten polderpeil



Figuur 11: Aanleg infiltratiesysteem

Deze voorstellingen pogen inzichtelijk te maken in welke mate de grondwaterstand te beïnvloeden is en hoe de deze invloed zich vertaald naar het funderingshout.

Combinatie van verschillende geohydrologische scenario's zijn mogelijk en kunnen worden berekend maar zijn vanwege de leemte aan kennis over het bovenste funderingshout in deze fase van het onderzoek nog niet opportuun. Pas als alle niveaus van het funderingshout bekend zijn is het zinvol verdere exercities over doelmatigheid en effectiviteit van geohydrologische scenario's uit te voeren. Bij deze nadere exercities van mogelijke combinaties van oplossingen zal ook nadrukkelijk het aspect van zekerheid van de oplossingen een rol moeten krijgen. De onzekerheden van alle mogelijke oplossingen zullen in kaart moeten worden gebracht om tot een goede aanpak te komen. Wij achten het ook pas bij deze afwegingen opportuun om de zekere oplossing van compleet nieuwe funderingen als (deel)oplossing te bespreken.

5. Conclusies

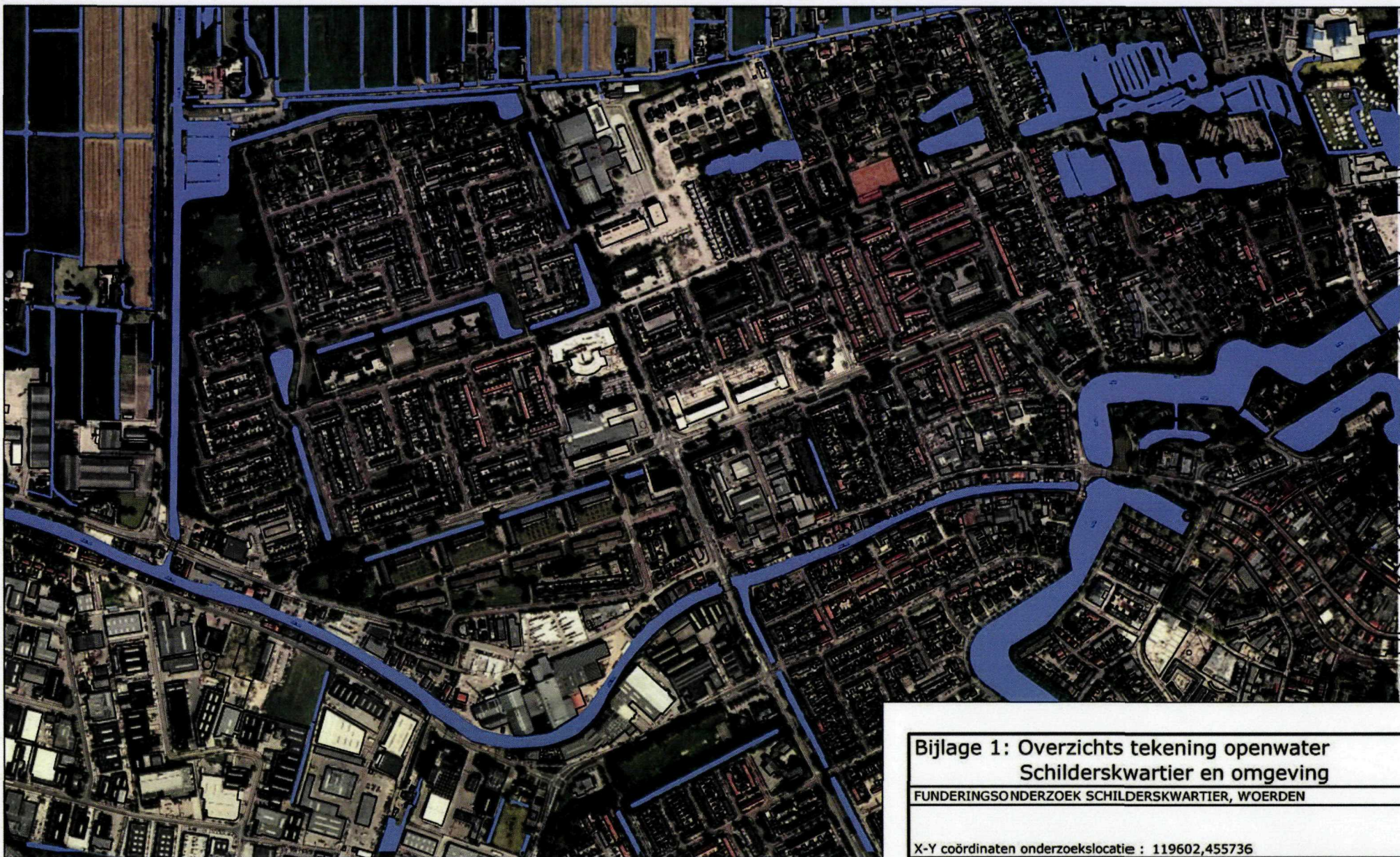
Op basis van het uitgevoerde geohydrologisch modelonderzoek en de inventarisatie van funderingshout hoogten blijkt dat:

- Er sprake is van een risicogebied waar sprake is van grondwaterstanden lager dan het bovenste funderingshout. Dit risicogebied is met name gebaseerd op de bodemopbouw en het funderingstype in het gebied en betreft een deel van het Schilderskwartier.
- Er zijn in het gebied betonopzetters op houten palen toegepast.
- Op een aantal plaatsen is vastgesteld dat de huidige optredende grondwaterstanden lager zijn dan het bovenste funderingshout.
- Uit een reconstructie van de grondwaterstand ten tijde van de aanleg van de wijk wordt afgeleid dat op een aantal plaatsen betonopzetters met een te korte lengte zijn toegepast.
- Op drie locaties is vastgesteld dat de grondwaterstand lager is dan het funderingshout en dat de aantasting van het hout nog niet ver gevorderd is. Er zijn nog geen negatieve gevolgen voor de draagkracht van de betreffende funderingen.
- Ingeval droogstand in de toekomst voortduurt, zal achteruitgang van het funderingshout plaatsvinden. Uiteindelijk zal complete vervanging van de fundering noodzakelijk zijn.
- Uit de grondwatermodelscenario's komt naar voren dat:
 - Stopzetten van de drinkwaterwinning een stijging oplevert van de grondwaterstand van circa 0,30 m tot 0,65 m.
 - Halveren van de drinkwaterwinning een stijging oplevert van de grondwaterstand van circa 0,15 m tot 0,35 m.
 - Opzetten van het polderpeil met 0,50 m een stijging oplevert van de grondwaterstand van 0,10 m tot 0,15 m.
 - Infiltratiesysteem onder de straten een stijging oplevert van de grondwaterstand van 0,25 m tot 0,30 m.
- Er zijn te weinig gegevens beschikbaar over de werkelijke aanwezige hoogte van het funderingshout onder de woningblokken om effectiviteit en doelmatigheid van scenario's te kunnen beoordelen.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om middels ontgraving en inmeting van alle woningblokken de hoogte van de betonopzetter vast te stellen. Met deze informatie, in combinatie met de inzichten over het geohydrologisch systeem, moet nader worden vastgesteld waar een probleem aanwezig is. Door middel van verdere monitoring van werkelijk optredende grondwaterstanden bij woningblokken kan duidelijk worden of het, voor een deel op theoretische gronden afgeleid, probleem niet of nauwelijks optreedt. Aanbevolen wordt dan ook om voor die gevallen de grondwaterstanden te monitoren.

In de gevallen waar daadwerkelijk een probleem met droogstand aanwezig is, kunnen op basis van de dan verzamelde informatie maatregelen worden overwogen. Deze maatregelen kunnen zowel grondwatertechnisch als funderingstechnische van aard zijn. Hiermee kan dan gericht schade aan de bebouwing worden voorkomen.



**Bijlage 1: Overzichts tekening openwater
Schilderskwartier en omgeving**

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

X-Y coördinaten onderzoekslocatie : 119602,455736

A4I x 210	297 schaal:	datum:	get. door: MPA	gezien:
	1 : 7500	16-06-2010	<i>mpa</i>	<i>D</i>

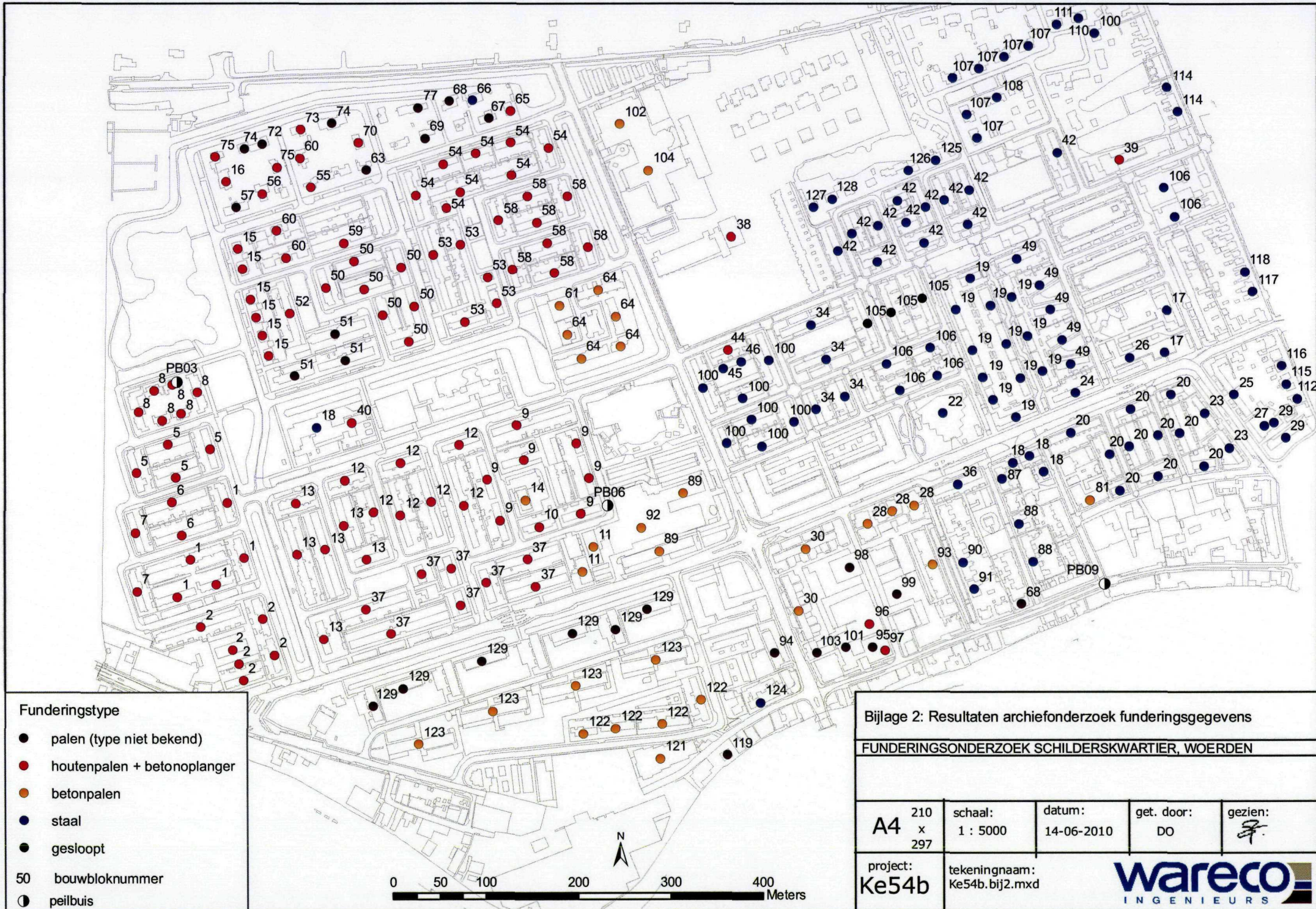
project:
Ke54b

tekeningnummer:
Ke54b_07
001

wareco
INGENIEURS

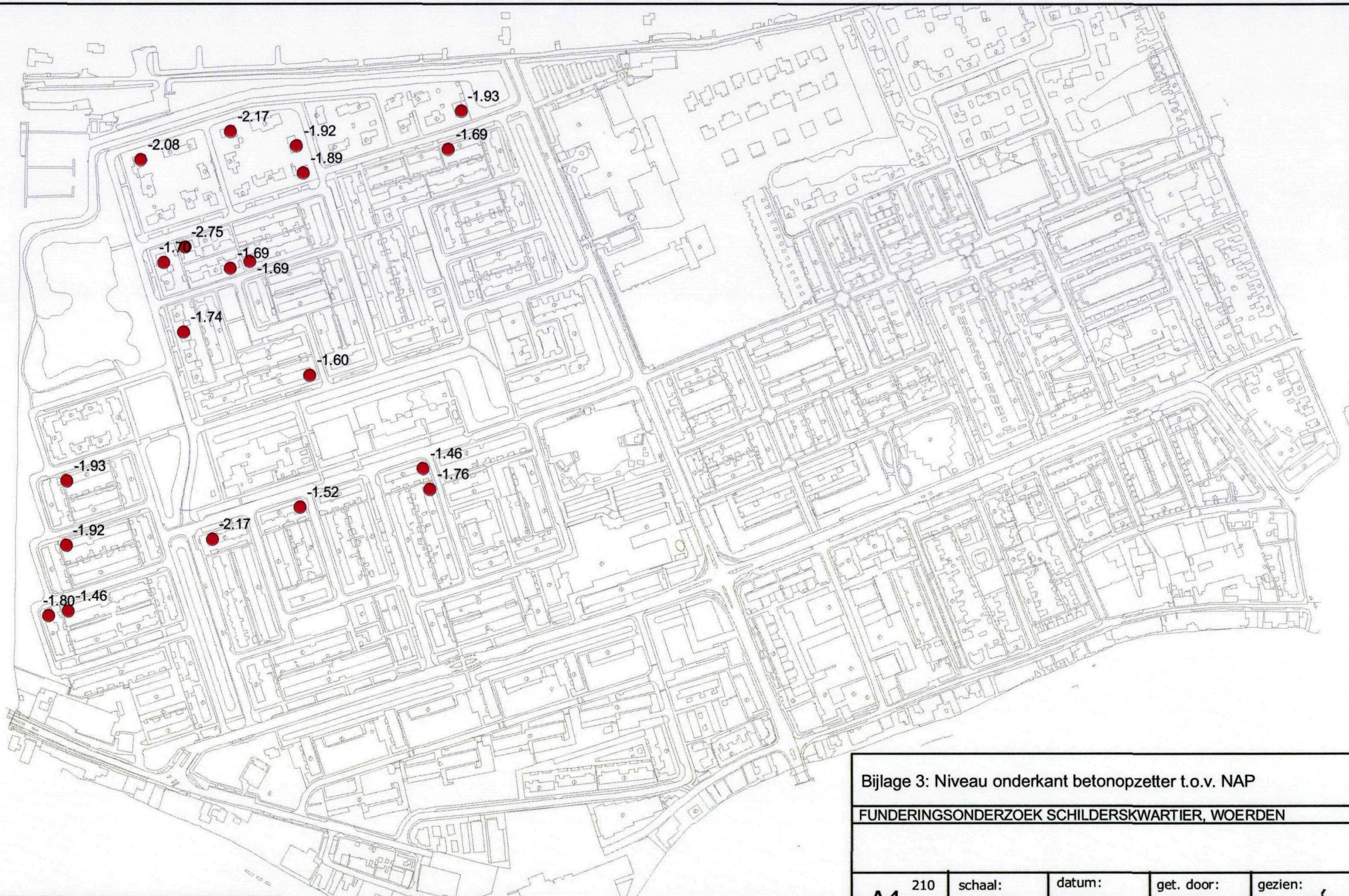


0 75 375m

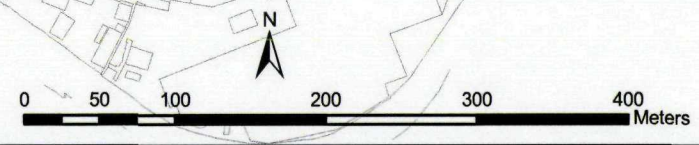


- Funderingstype**
- palen (type niet bekend)
 - houtenpalen + betonoplanger
 - betonpalen
 - staal
 - gesloopt
 - 50 bouwbloknummer
 - peilbuis

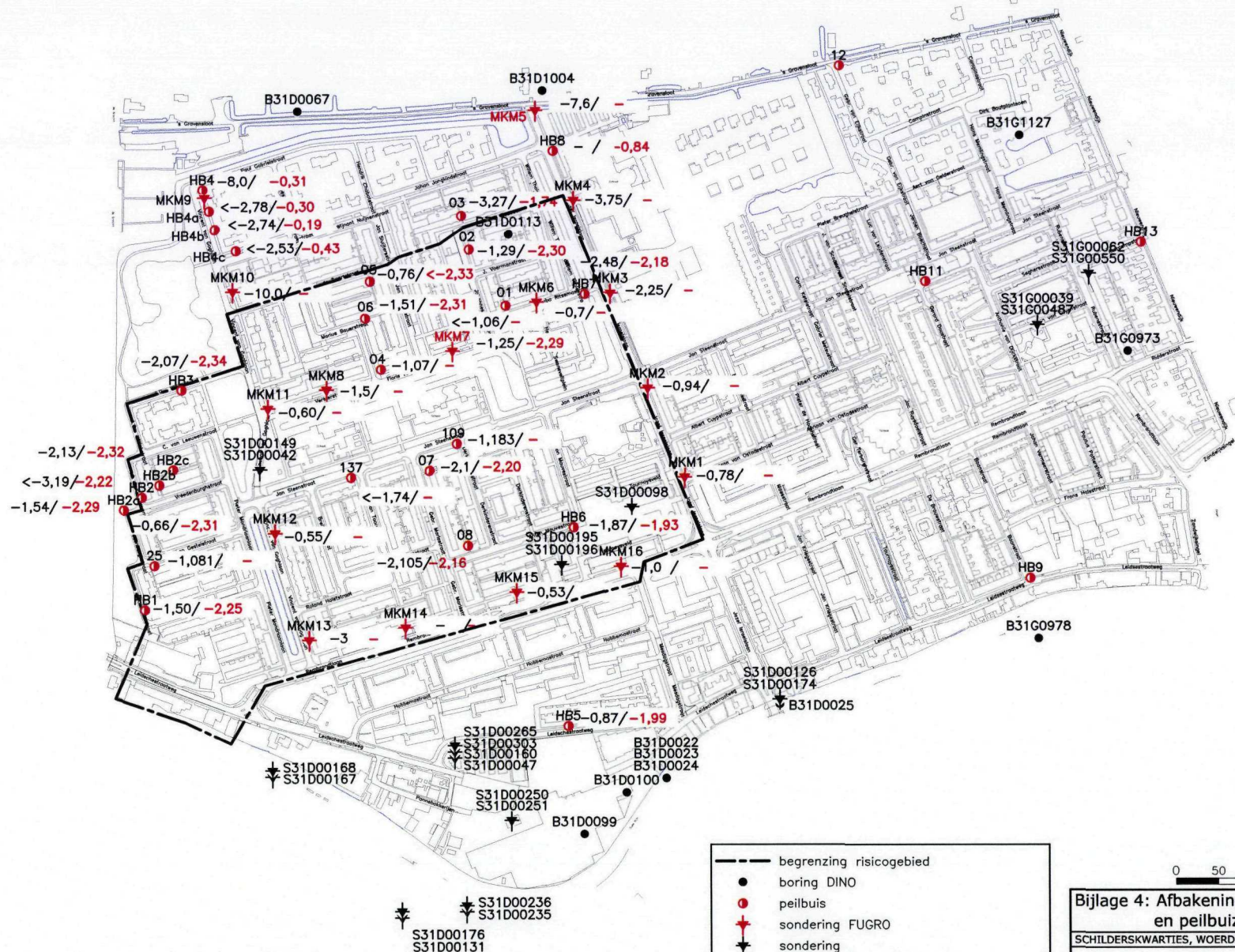
Bijlage 2: Resultaten archiefonderzoek funderingsgegevens				
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN				
A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 14-06-2010	get. door: DO
project: Ke54b	tekeningnaam: Ke54b.bij2.mxd		gezien: <i>[Handwritten Signature]</i>	
wareco INGENIEURSBUREAU				



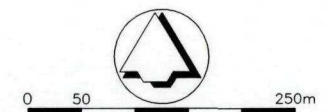
● -1.46
 ● meetlocatie; waarde in m t.o.v. NAP



Bijlage 3: Niveau onderkant betonopzetter t.o.v. NAP				
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN				
A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 14-06-2010	get. door: DO
project: Ke54b	tekeningnaam: Ke54b.bij3.mxd		gezien: 	
wareco			INGENIEURS	



- begrenzing risicogebied
- boring DINO
- peilbuis
- ⬇ sondering FUGRO
- ⬇ sondering
- geen klei aangetroffen
- 1,25 onderkant kleilaag t.o.v. NAP
- <-3,19 klei tot einddiepte boring
- 2,45 grondwaterstand t.o.v. NAP d.d. 08/04/2010



Bijlage 4: Afbakening risicogebied & locatie boringen en peilbuizen				
SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN				
X-Y coördinaten onderzoekslocatie : 119624,455855				
420	schaal:	datum:	get. door: MPA	gezien:
A3	x	1 : 5000	15-03-2011	<i>mpa</i>
297				
project:	tekeningnummer:			
Ke54b	Ke54b_08 001			

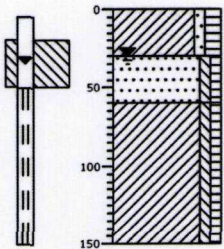
BIJLAGE 5
Boorbeschrijvingen

Boorbeschrijving

getekend volgens NEN 5104
veldwerker:

Boring: 01

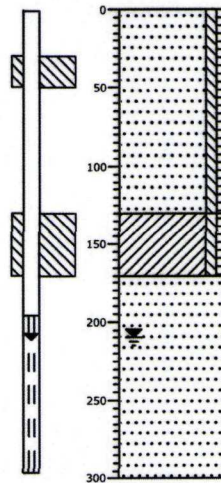
datum: 10/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Diepte (cm)	Soort
0	N.A.P.
44	groenstrook
	Bruin
14	
	Grijs
-16	
	Grijs
-106	

Boring: 02

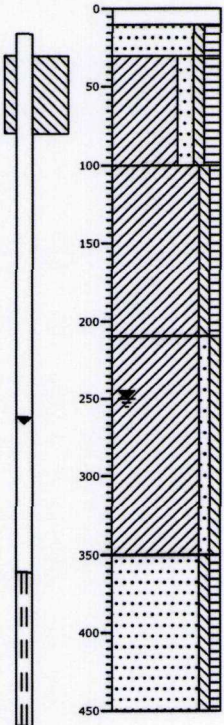
datum: 08/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Diepte (cm)	Soort
0	N.A.P.
41	tuin
	Bruin
-89	
	Grijs
-129	
	Matig grindhoudend, bruin
-259	

Boring: 03

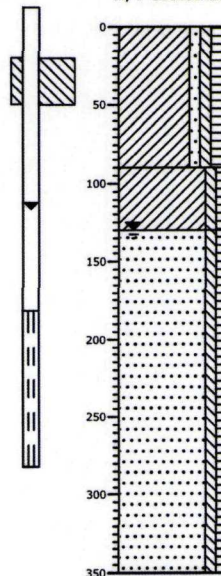
datum: 08/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Diepte (cm)	Soort
0	N.A.P.
23	tegel
13	
	Bruin
-7	
	Grijsbruin
-77	
	Grijs
-187	
	Grijs
-327	
	Grijs
-427	

Boring: 04

datum: 08/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



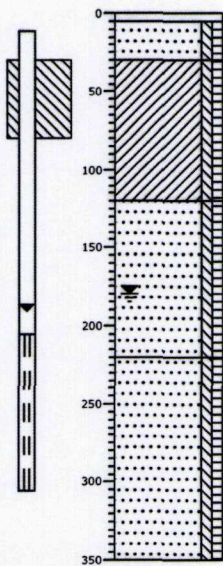
Diepte (cm)	Soort
0	N.A.P.
23	tuin
	Bruin
-67	
	Grijs
-107	
	Zwak grindhoudend
-327	

Boorbeschrijving

getekend volgens NEN 5104
veldwerker:

Boring: 05

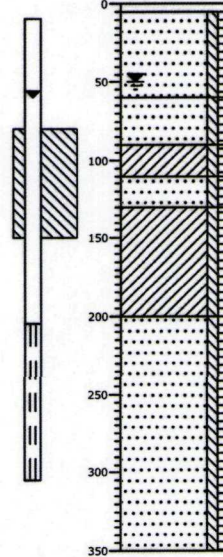
datum: 08/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



N.A.P.	
0	tegel
14	Brokken klei, grijs
	Grijs
-76	Zwak grindhoudend, bruin
-176	Zwak grindhoudend, grijs
-306	

Boring: 06

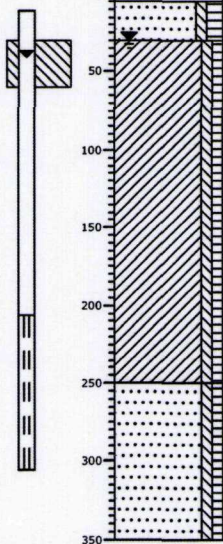
datum: 09/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



N.A.P.	
0	tegel
	Bruin
-11	Brokken klei
-41	Grijs
-61	Laagjes klei, grijs
-81	Grijs
-151	Matig grindhoudend
-301	

Boring: 07

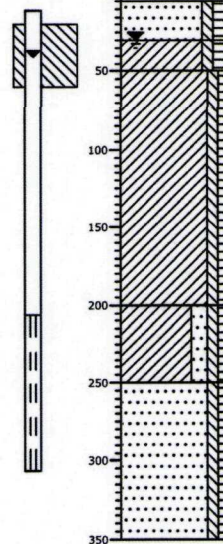
datum: 09/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



N.A.P.	
0	tegel
	Bruin
10	Grijs
-210	Zwak grindhoudend, grijs
-310	

Boring: 08

datum: 09/03/2010
opmerking:
X/Y-coördinaat:



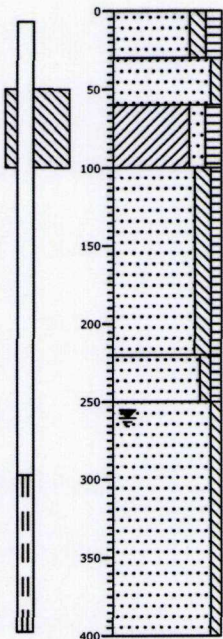
N.A.P.	
0	tegel
	Bruin
4	Bruin
-16	Grijs
-166	Grijs
-216	Grijs
-316	

Boorbeschrijving

getekend volgens NEN 5104
veldwerker:

Boring: HB2A

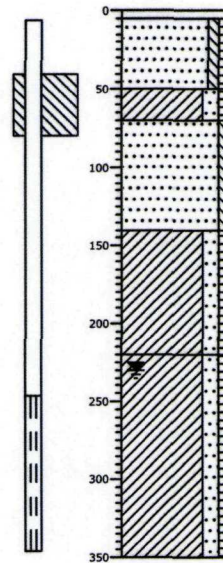
datum: 24/11/2009
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Depth (cm)	Soil Type
0 - 34	gras
34 - 4	Bruin
4 - 26	Beige
26 - 66	Bruin
66 - 186	Lichtbruin
186 - 216	Sporen roest, lichtbruin
216 - 366	Grijs

Boring: HB2B

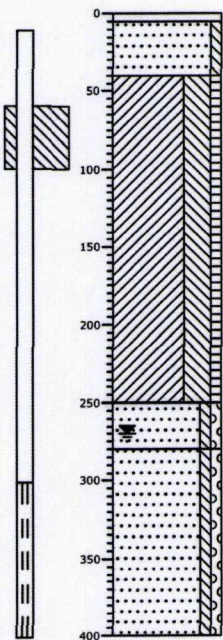
datum: 24/11/2009
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Depth (cm)	Soil Type
0 - 26	tegel
26 - 19	Lichtbruin
19 - 39	Grijs
39 - 108	Bruin
108 - 189	Bruin

Boring: HB2C

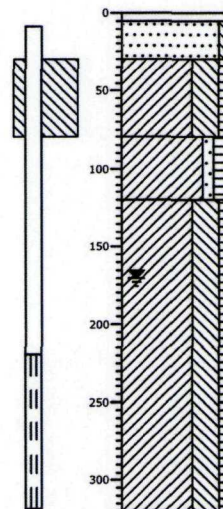
datum: 24/11/2009
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Depth (cm)	Soil Type
0 - 32	tegel
32 - 3	Lichtbruin, 10cm hangwater
3 - 213	Bruin
213 - 242	Licht roodbruin
242 - 363	Grijs

Boring: HB4A

datum: 24/11/2009
opmerking:
X/Y-coördinaat:



Depth (cm)	Soil Type
0 - 37	tegel
37 - 12	Lichtbruin
12 - 38	Grijs
38 - 78	Bruin
78 - 278	Grijs

Boorbeschrijving

getekend volgens NEN 5104
veldwerker:

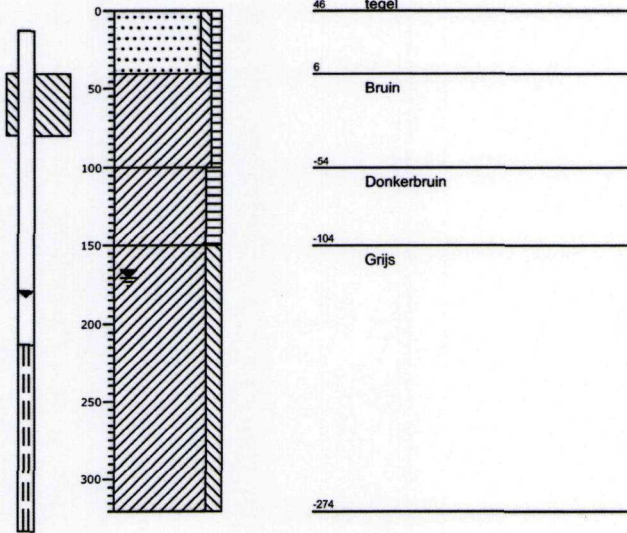
Boring: HB4B

datum: 24/11/2009

opmerking:

X/Y-coördinaat:

N.A.P.



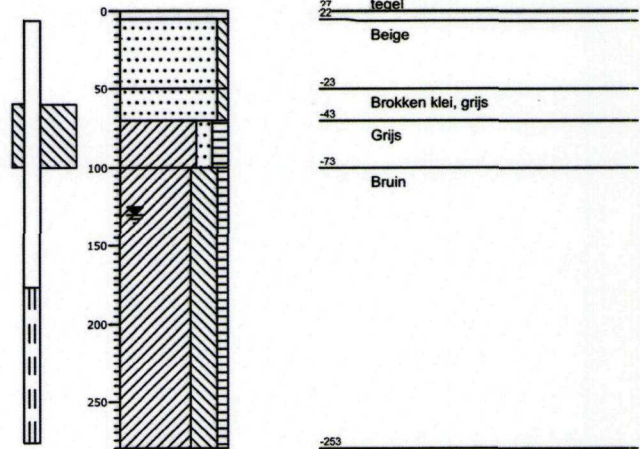
Boring: HB4C

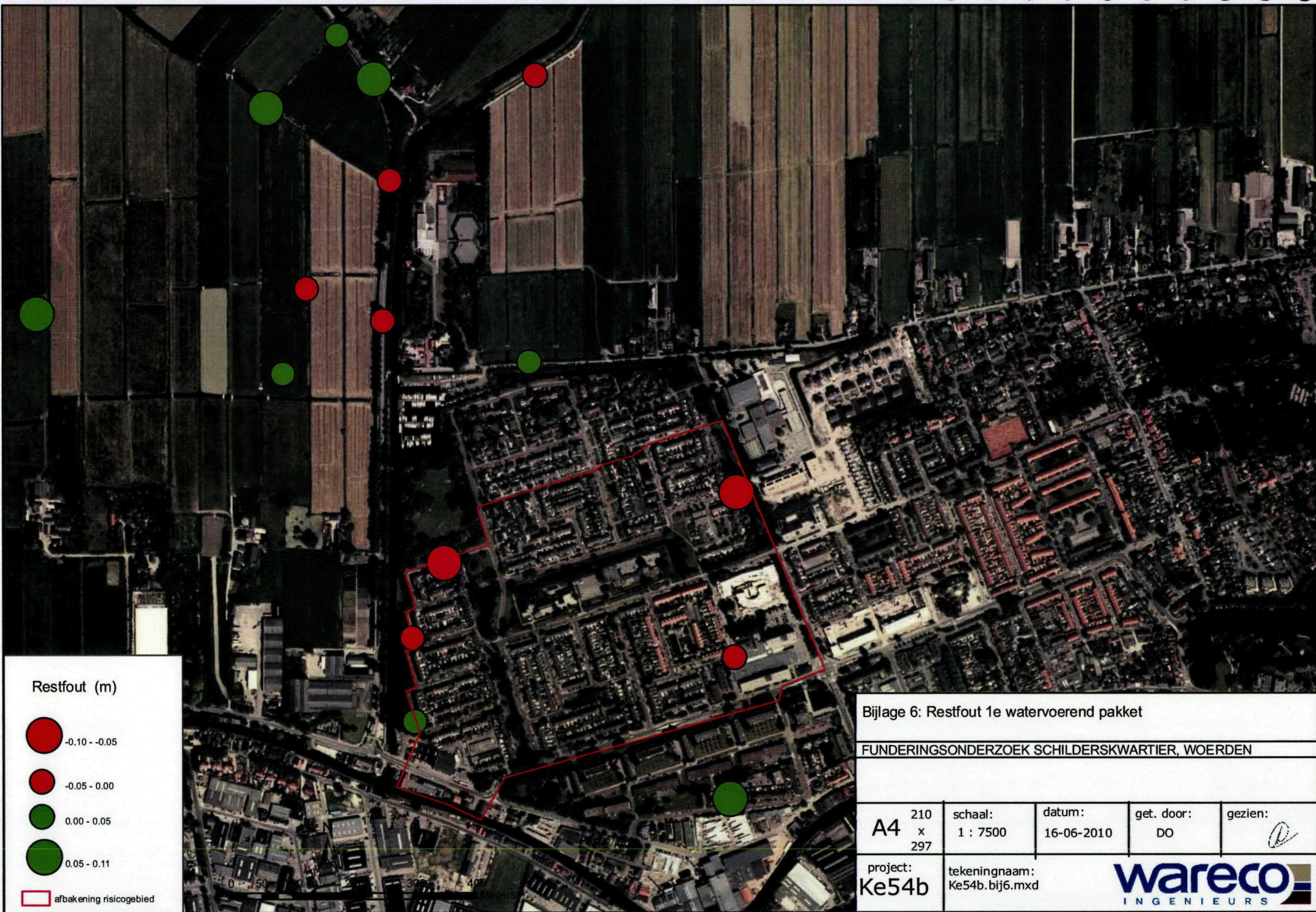
datum: 24/11/2009

opmerking:

X/Y-coördinaat:

N.A.P.





Restfout (m)

- -0.10 - -0.05
- -0.05 - 0.00
- 0.00 - 0.05
- 0.05 - 0.11

afbakening risicogebied

Bijlage 6: Restfout 1e watervoerend pakket

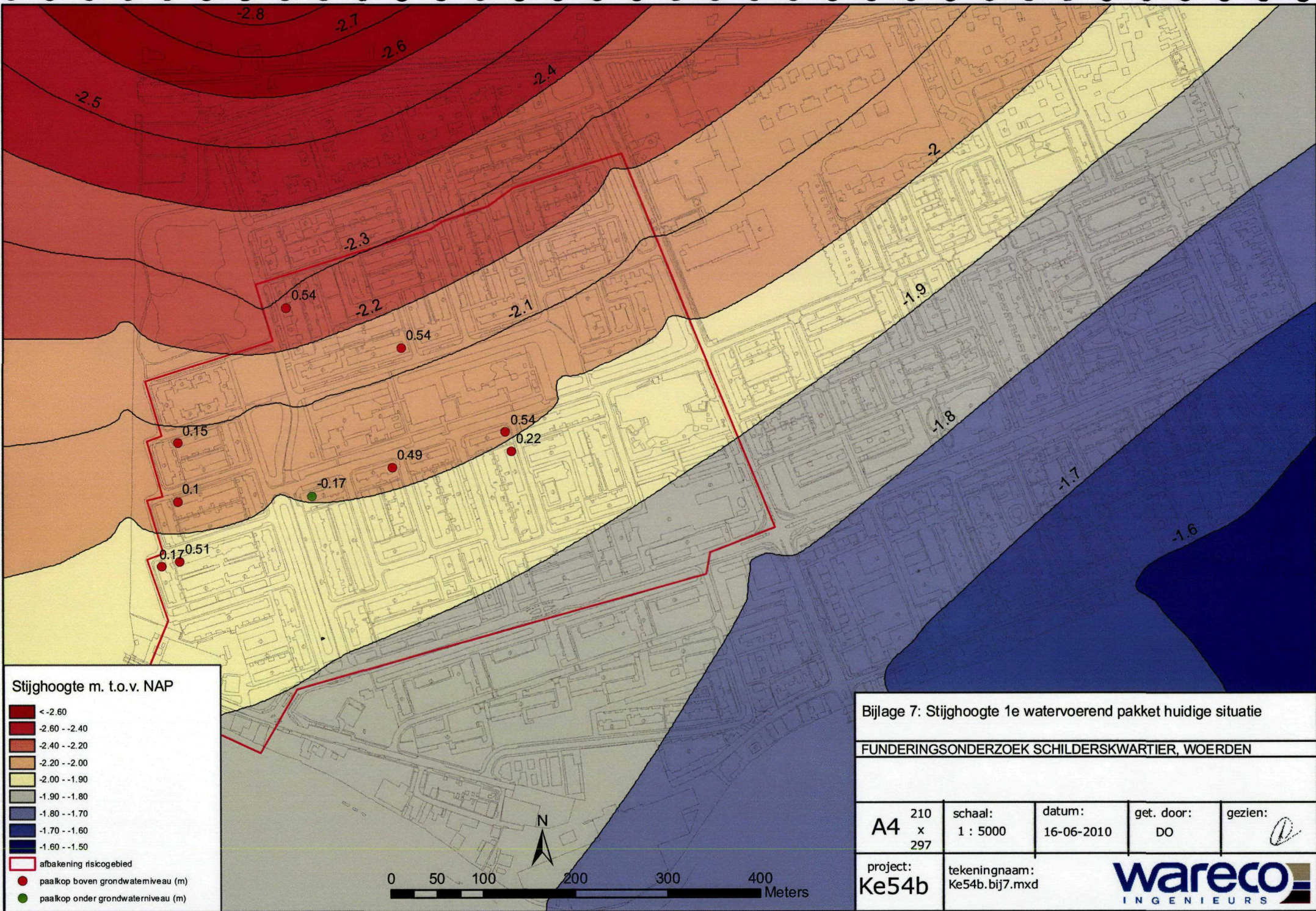
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 7500	datum: 16-06-2010	get. door: DO	gezien:
----	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project:
Ke54b

tekeningnaam:
Ke54b.bij6.mxd





Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- < -2.60
- 2.60 - -2.40
- 2.40 - -2.20
- 2.20 - -2.00
- 2.00 - -1.90
- 1.90 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50

afbakening risicogebied

- paalkop boven grondwaterniveau (m)
- paalkop onder grondwaterniveau (m)

Bijlage 7: Stijghoogte 1e watervoerend pakket huidige situatie

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 16-06-2010	get. door: DO	gezien:
project: Ke54b		tekeningnaam: Ke54b.bij7.mxd		wareco INGENIEURS	

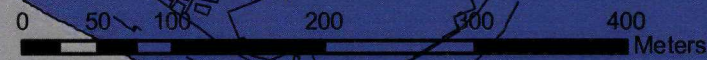
-1.8

Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- < -1.80
- 1.80 -- -1.70
- 1.70 -- -1.60
- 1.60 -- -1.50
- 1.50 -- -1.40
- 1.40 -- -1.30
- 1.30 -- -1.20

afbakening risicogebied

- paalkop boven grondwaterniveau (m)
- paalkop onder grondwaterniveau (m)



Bijlage 8: Stijghoogte 1e watervoerend pakket vóór aanleg van de wijk

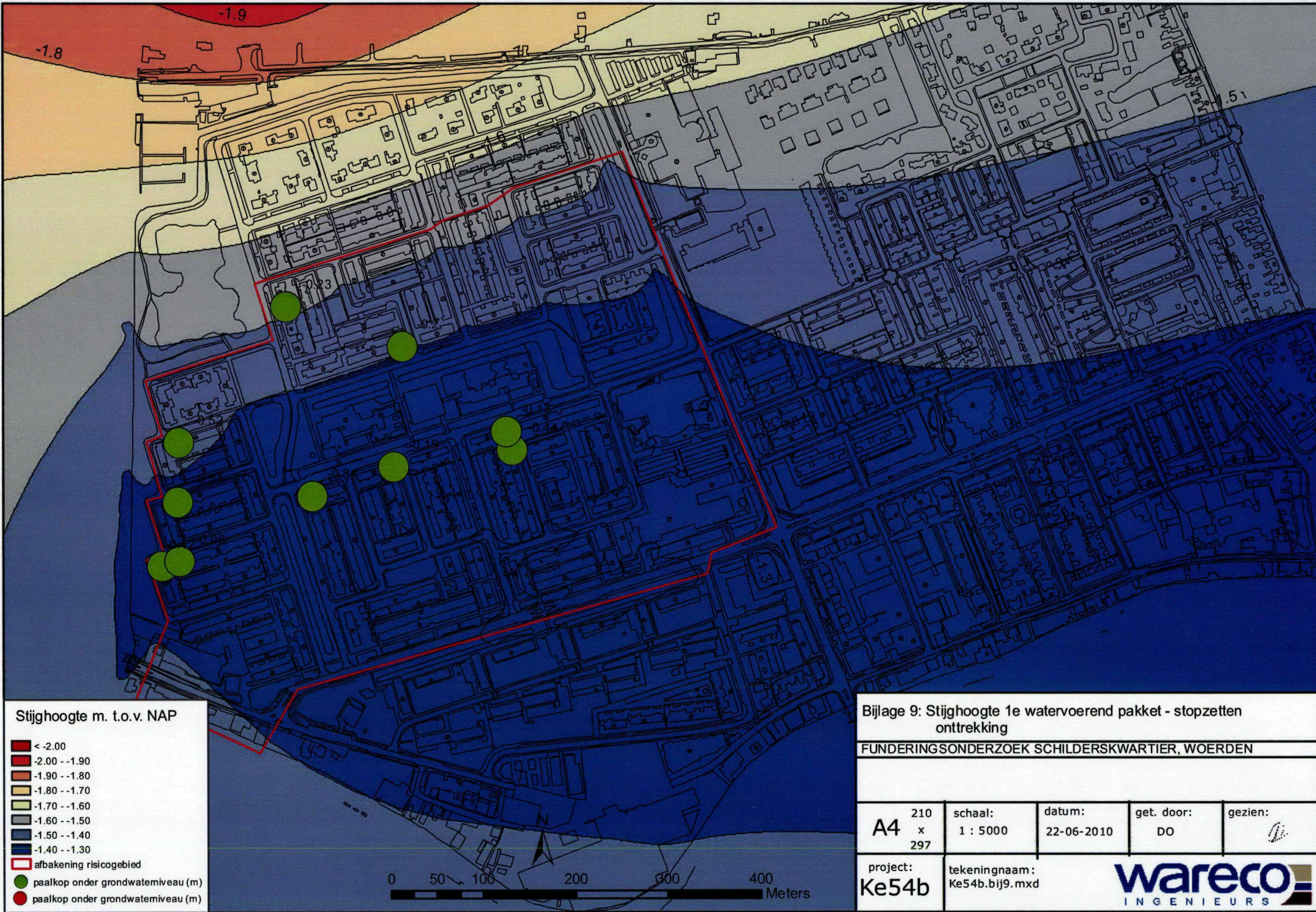
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4 210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
-----------------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project:
Ke54b

tekeningnaam:
Ke54b.bij8.mxd





Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- < -2.00
- 2.00 -- -1.90
- 1.90 -- -1.80
- 1.80 -- -1.70
- 1.70 -- -1.60
- 1.60 -- -1.50
- 1.50 -- -1.40
- 1.40 -- -1.30
- afbakening risicogebied
- paalkop onder grondwateriveau (m)
- paalkop onder grondwateriveau (m)

Bijlage 9: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - stopzetten onttrekking

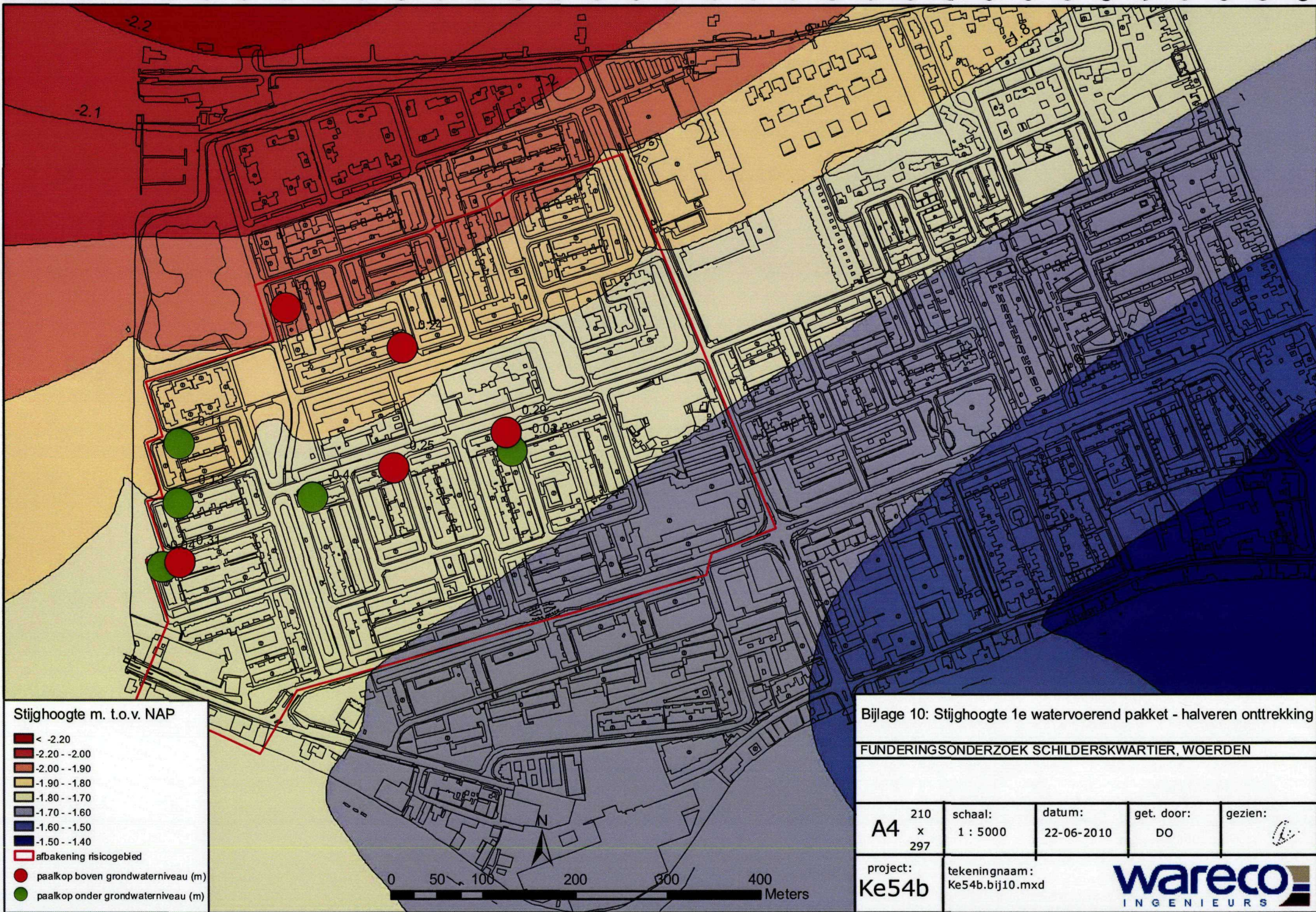
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
-----------	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project:
Ke54b

tekeningnaam:
Ke54b.bij9.mxd





Stijghoogte m. t.o.v. NAP

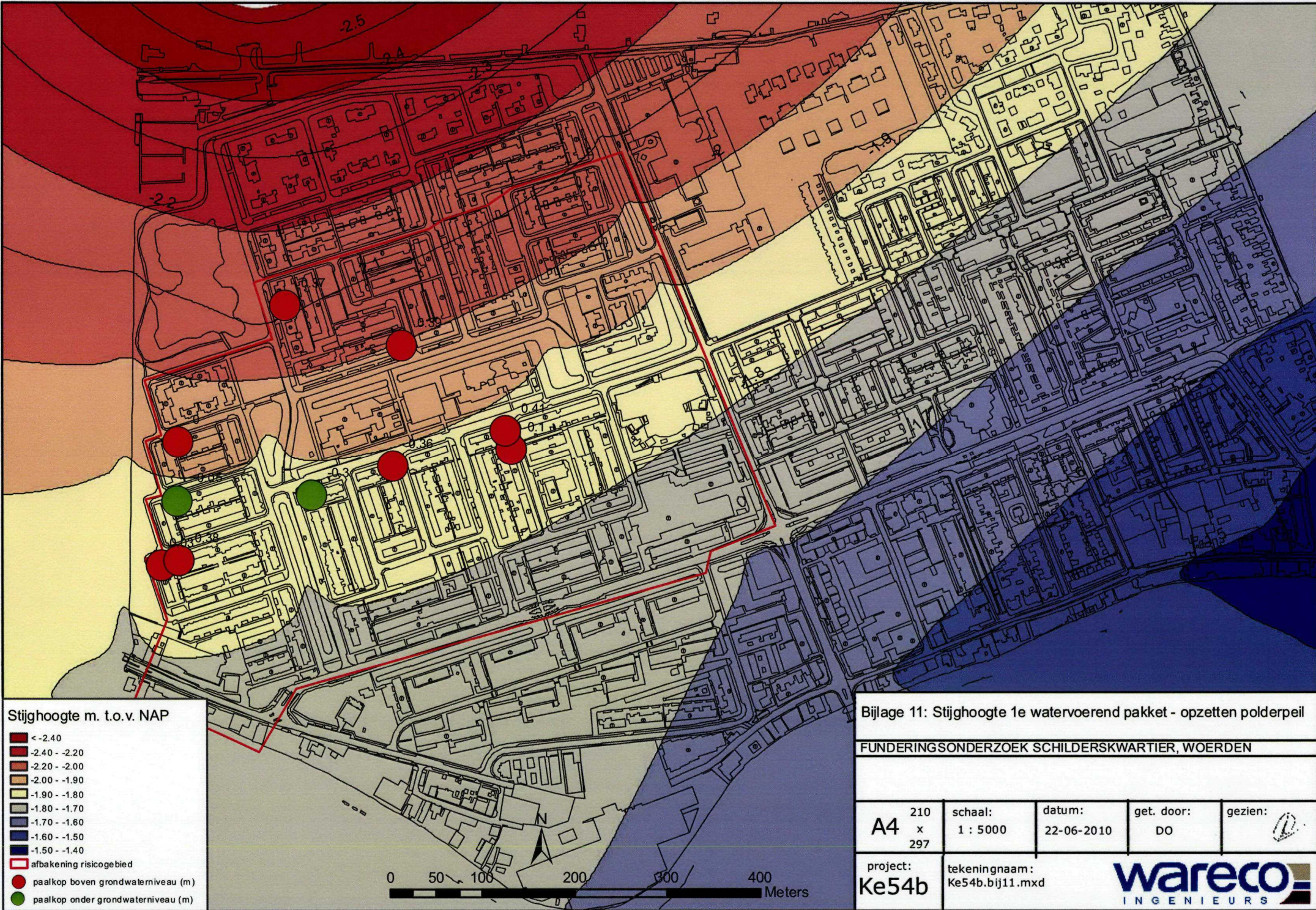
- < -2.20
- 2.20 - -2.00
- 2.00 - -1.90
- 1.90 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50
- 1.50 - -1.40
- afbakening risicogebied
- paalkop boven grondwatervniveau (m)
- paalkop onder grondwatervniveau (m)

Bijlage 10: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - halveren onttrekking

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
----	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project: Ke54b	tekeningnaam: Ke54b.bij10.mxd	
--------------------------	----------------------------------	--



Stijghoogte m. t.o.v. NAP

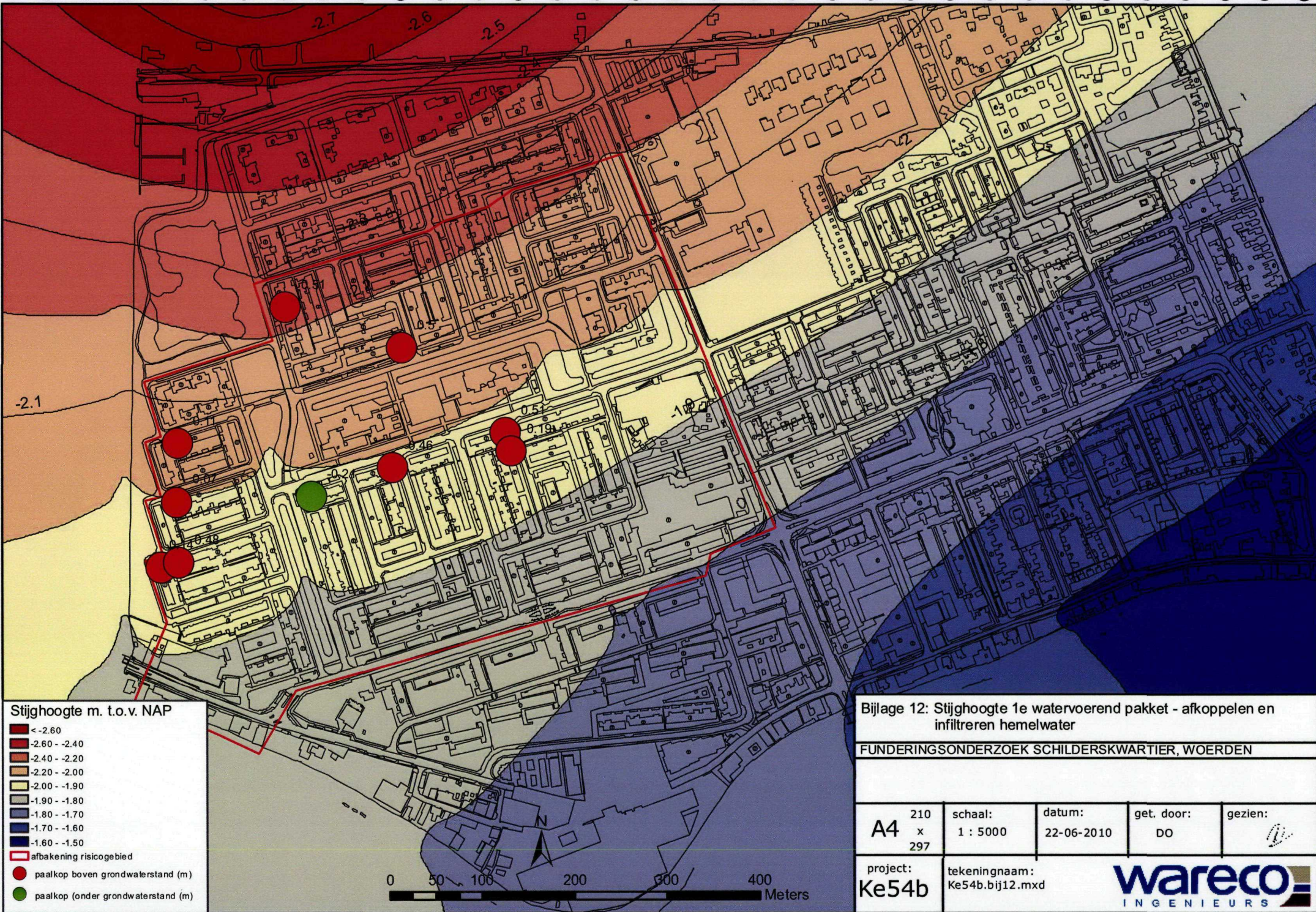
- < -2.40
- 2.40 - -2.20
- 2.20 - -2.00
- 2.00 - -1.90
- 1.90 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50
- 1.50 - -1.40
- afbakening risicogebied
- paalkop boven grondwatervniveau (m)
- paalkop onder grondwatervniveau (m)

Bijlage 11: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - opzetten polderpeil

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
----	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project: Ke54b	tekeningnaam: Ke54b.bij11.mxd	
--------------------------	----------------------------------	--



Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- <math>< -2.60</math>
- 2.60 - -2.40
- 2.40 - -2.20
- 2.20 - -2.00
- 2.00 - -1.90
- 1.90 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50
- afbakening risicogebied
- paalkop boven grondwaterstand (m)
- paalkop onder grondwaterstand (m)

Bijlage 12: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - afkoppelen en infiltreren hemelwater

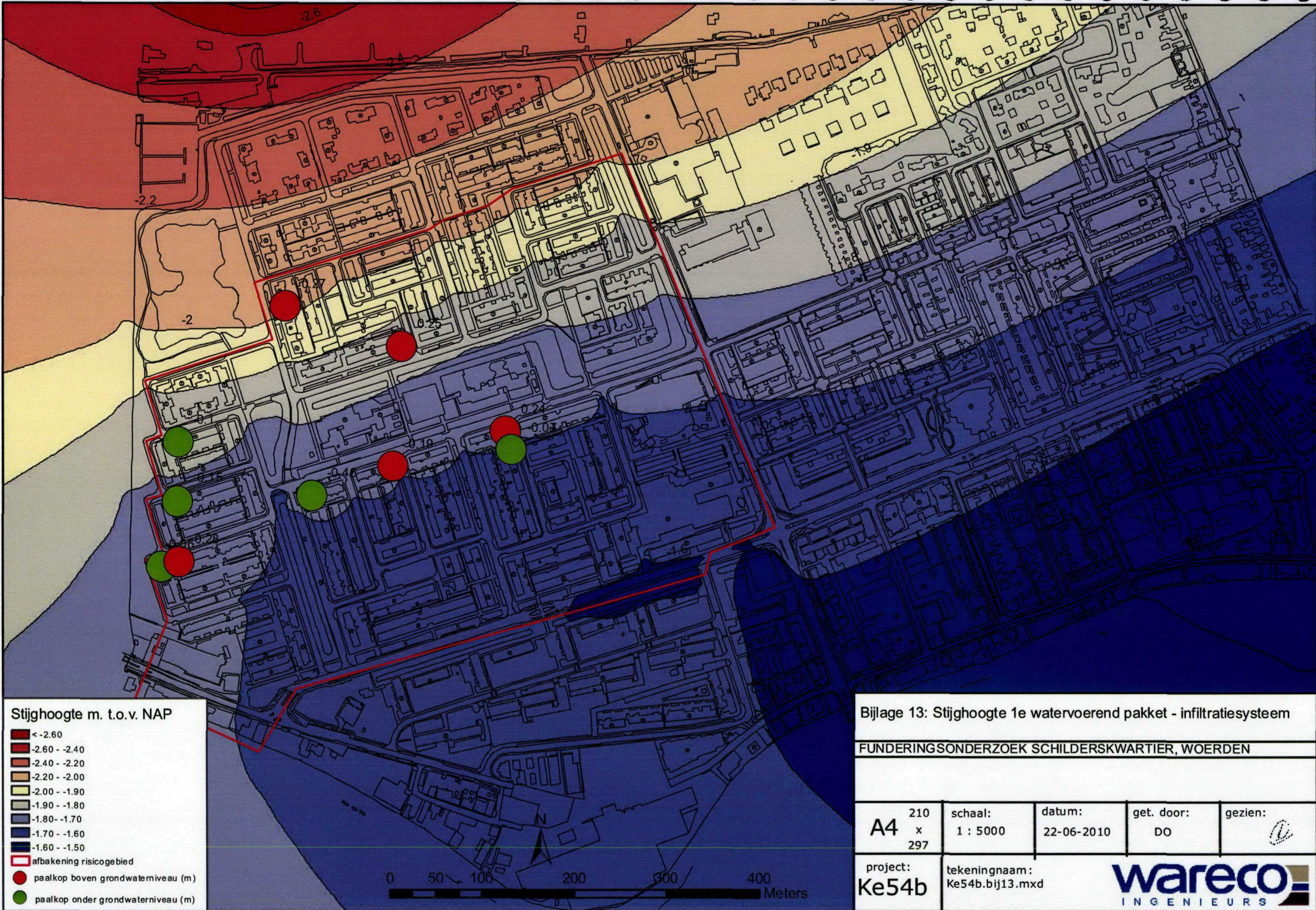
FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
----	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project:
Ke54b

tekeningnaam:
Ke54b.bij12.mxd





Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- < -2.60
- 2.60 - -2.40
- 2.40 - -2.20
- 2.20 - -2.00
- 2.00 - -1.90
- 1.90 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50
- afbakening risico gebied
- paalkop boven grondwater niveau (m)
- paalkop onder grondwater niveau (m)

Bijlage 13: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - infiltratiesysteem

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210 x 297	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
----	-----------------	---------------------	----------------------	------------------	-------------

project:
Ke54b

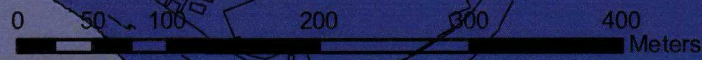
tekeningnaam:
Ke54b.bij13.mxd





Stijghoogte m. t.o.v. NAP

- < -2.60
- 2.60 - -2.40
- 2.40 - -2.20
- 2.20 - -2.10
- 2.10 - -2.00
- 2.00 - -1.80
- 1.80 - -1.70
- 1.70 - -1.60
- 1.60 - -1.50
- afbakening risicogebied
- paalkop boven grondwaterniveau (m)
- paalkop onder grondwaterniveau (m)



Bijlage 14: Stijghoogte 1e watervoerend pakket - verbeterde infiltratie watergangen

FUNDERINGSONDERZOEK SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

A4	210	schaal: 1 : 5000	datum: 22-06-2010	get. door: DO	gezien:
	x 297				
project: Ke54b		tekeningnaam: Ke54b.bij14.mxd			

Bijlage 15: Geohydrologisch onderzoek

15.1. Algemeen

Uit het funderingsonderzoek is duidelijk geworden dat het niveau van het bovenste funderingshout in hoogte varieert en dat veelal sprake is van droogstand. Om vast te stellen in welke gebieden sprake is van risico op het tot stand komen van droogstandschade is het van belang een gebiedsdekkend inzicht te hebben in de bodemopbouw en het grondwatersysteem in het Schilderskwartier. Op basis van deze inzichten kan het risicogebied voor droogstandschade worden afgebakend.

Het onderzoek heeft in eerste instantie bestaan uit het verzamelen en beoordelen van de sonderingen uit het streekarchief, gegevens uit voorgaande onderzoeken [1] tot en met [5], de gegevens van het Dinoloket van TNO [8] en een naverkenning van de in het gebied aanwezige peilbuizen. Daarnaast is gebruik gemaakt van de gegevens van het gemeentelijk grondwatermeetnet.

Gedurende de periode van half december 2009 tot half januari 2010 zijn in acht freatische peilbuizen hoogfrequent grondwatergegevens verzameld met behulp van dataloggers (peilbuis HB2, HB2a tot en met HB2c en H4, H4a tot en met H4c).

Uit de beschikbare gegevens is geen vlakdekkend beeld verkregen van de verspreiding en diepte van de kleilagen en de optredende grondwaterstanden. Derhalve zijn aanvullend acht peilbuizen in het gebied geplaatst (nummers 01 tot en met 08), waar de grondwaterstand eenmalig is opgenomen.

De locaties van de beschikbare boringen, sonderingen en peilbuizen zijn weergegeven in [bijlage 4](#). De boorbeschrijvingen van de geplaatste peilbuizen zijn opgenomen in [bijlage 5](#).

15.2. Bodemopbouw

Ter plaatse van het onderzoeksgebied zijn watervoerende pakketten en waterscheidende lagen te onderscheiden. Watervoerende pakketten zijn relatief goed waterdoorlatende zand- of grindpakketten waarin de horizontale component van de grondwaterstroming overheerst. Waterscheidende lagen zijn slecht waterdoorlatende klei-, zavel- of veenlagen en sterk kleihoudende zandlagen waarin de verticale component van de grondwaterstroming overheerst. Van boven naar beneden zijn in het onderzoeksgebied de volgende lagen te onderscheiden:

Freatisch watervoerend pakket en Holocene deklaag

Door Woerden loopt het stroomgordelgebied van de Oude Rijn, gekenmerkt door een hoger maaiveldniveau. Op deze locatie is de deklaag door rivierafzettingen grotendeels zandig ontwikkeld. In de zandafzetting komt op relatief kleine diepte (< 2 m onder het maaiveld) een kleilaag voor, welke ter plaatse van wegen vermoedelijk veelal doorsneden is. Over het algemeen staat de ondiepe zandlaag, het freatisch watervoerend pakket, in direct hydraulisch contact met het onderliggende eerste watervoerend pakket.

In [bijlage 4](#) is op basis van de beschikbare bodemgegevens de onderzijde van de ondiepe kleilagen weergegeven. Uit deze kaart wordt duidelijk dat ten noorden van de Willem de

Zwartstraat en Johan Bosboomstraat een prominente klei/veenlaag wordt aangetroffen. Het niveau van de onderzijde van deze laag ligt op circa NAP -3,5 m tot NAP -10 m.

Ten zuiden van deze fictieve lijn ligt de onderzijde van de kleilaag op een hoger niveau. De onderzijde van de kleilaag varieert in dit gebied van circa NAP -0,5 m tot circa NAP -1,5 m. Op enkele locaties wordt de kleilaag dieper aangetroffen (NAP -2,5 tot NAP -3 m).

Het Schilderskwartier is niet integraal opgehoogd. Over het algemeen is gebouwd op het bestaande maaiveld. In het openbare gebied is plaatselijk wel opgehoogd. In het noordelijk deel van het Schilderskwartier, waar Holocene klei- en veenlagen worden aangetroffen, vormt de ophooglaag het freatisch watervoerend pakket. In het zuidelijk deel van het Schilderskwartier vormt de ondiepe zandlaag het freatisch watervoerend pakket.

Eerste watervoerend pakket

De bovenzijde van het eerste watervoerend pakket bestaat uit zandige afzettingen van de formaties van Boxtel, Kreftenheye, Urk en Sterksel. In de omgeving van het onderzoeksgebied wordt op een diepte van circa NAP -40 m een relatief dunne klei/leemlaag aangetroffen, behorend tot de formatie van Sterksel. De dikte bedraagt maximaal enkele meters. De onderzijde van het eerste watervoerend pakket wordt gevormd door zandige afzettingen van de formaties van Sterksel en Stamproy. De onderzijde van het eerste watervoerend pakket bevindt zich op een gemiddelde diepte van NAP -60 m.

Eerste scheidende laag

De eerste scheidende laag wordt gevormd door kleiige afzettingen van de formatie van Waalre. Plaatselijk worden ook kleiige afzettingen van de formatie van Stamproy aangetroffen. De onderzijde van de eerste scheidende laag wordt aangetroffen op een diepte van circa NAP -65 m.

Tweede en derde watervoerend pakket

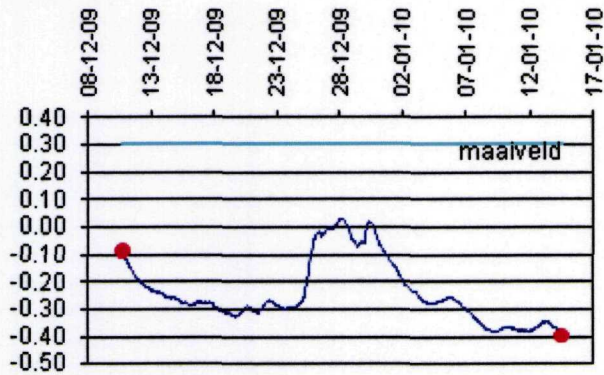
Het tweede en derde watervoerend pakket staan in de omgeving van het onderzoeksgebied in direct hydraulisch contact met elkaar en vormen derhalve één watervoerend pakket. De watervoerende pakketten worden gevormd door de formaties van Peize en Maassluis. De onderzijde van het derde watervoerend pakket wordt beschouwd als ondoorlatende basis. De hydrologische basis wordt aangetroffen op een diepte van circa NAP -170 m.

15.3. Beschrijving grondwatersysteem

Freatische grondwaterstanden

In de polders rondom de wijk Schilderskwartier wordt de ondiepe (freatische) grondwaterstand met name bepaald door de aanwezige poldersloten. In het noordelijk deel van het Schilderskwartier is sprake van een ondiepe (schijn)grondwaterstand boven de aanwezige slecht doorlatende Holocene deklaag. De ondiepe grondwaterstanden worden hier mede bepaald door het waterpeil van de omliggende watergangen. In het noordelijk deel varieert de grondwaterstand van circa NAP -0,3 m tot circa NAP -0,8 m. Ter illustratie is een meetreeks van het noordelijk deel van de wijk weergegeven in figuur 15.1.

Peilbuis hb4



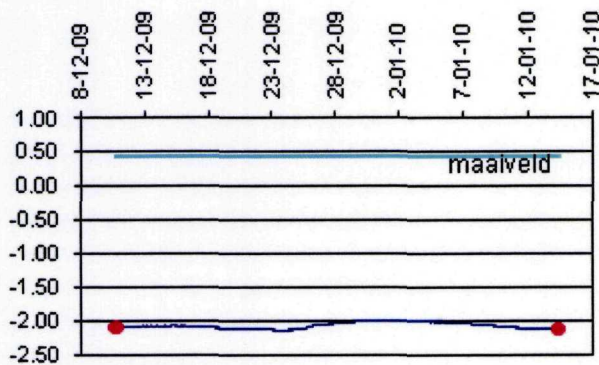
Figuur 15.1: meetreeks ondiepe grondwaterstand noordzijde Schilderskwartier

In het zuidelijk deel van het Schilderskwartier vormt het freatisch watervoerend pakket één geheel met het eerste watervoerend pakket.

Eerste watervoerend pakket

In het Schilderskwartier is in het eerste watervoerend pakket sprake van een noordwaarts gerichte grondwaterstroming. De hoogste grondwaterstanden treden op nabij de Oude Rijn, waar het water uit de Oude Rijn in de bodem infiltreert. De laagste grondwaterstanden treden op nabij de grondwaterwinning van Kamerik, waar het grondwater uit de omgeving naartoe stroomt. Het grondwaterniveau varieert van gemiddeld circa NAP -1,8 m aan de zuidzijde van de wijk tot circa NAP -2,6 m aan de noordzijde van de wijk. De gemiddelde seizoens fluctuatie bedraagt circa 0,4 m. Ter illustratie is een meetreeks van het zuidwestelijke deel van de wijk weergegeven in figuur 15.2.

Peilbuis hb2



Figuur 15.2: meetreeks ondiepe grondwaterstand zuidwestzijde Schilderskwartier

15.4. Afbakening risicogebieden

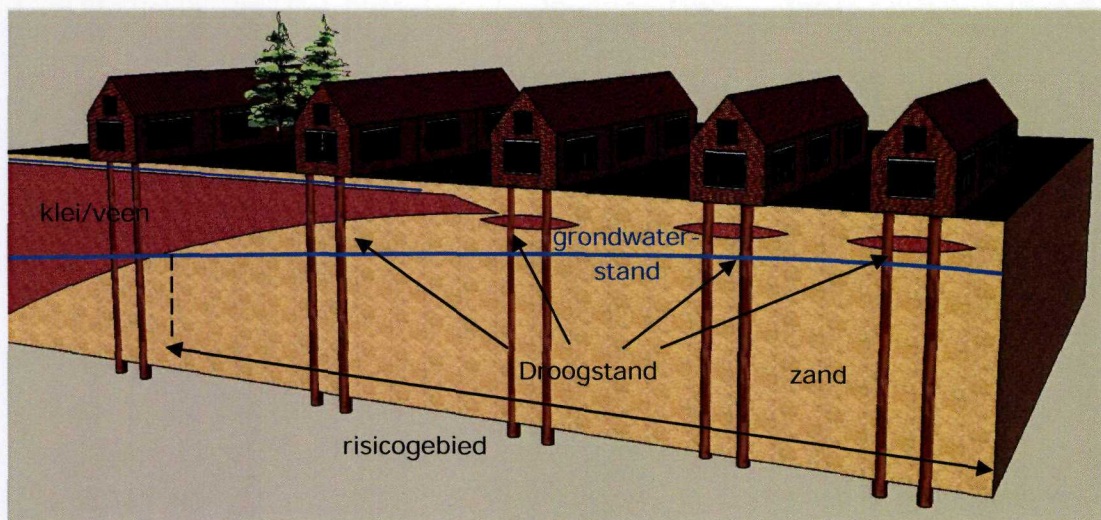
In hoofdstuk 3 is de theoretische onderbouwing gegeven voor het risico op schade aan de bebouwing. Bij deze onderbouwing zijn de aspecten die voor het risico van belang zijn benoemd.

Op 8 april 2010 is het grondwaterniveau in het Schilderskwartier eenmalig opgenomen in de beschikbare peilbuizen. Dit grondwaterniveau is vergeleken met het niveau van de onderzijde van de aanwezige kleilaag, zie [bijlage 4](#). In het merendeel van de wijk is het grondwaterniveau in de zandlaag lager dan de lokaal aanwezige ondiepe kleilagen. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het vochtgehalte in de ondiepe kleilaag. Het relatief lage vochtgehalte van de kleilaag en de droogstand van de houten paalfunderingen onder de kleilaag brengen een verhoogd risico op funderingsschade met zich mee, zie hoofdstuk 3.

Aan de noordzijde van de wijk is de kleilaag dusdanig dik dat de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket hoger is dan de onderzijde van de kleilaag en de kleilaag derhalve van onderaf vochtig wordt gehouden. Als gevolg hiervan is geen sprake van droogstand van houten paalfunderingen in de zandlaag en wordt het funderingshout dat zich in de kleilaag bevindt voldoende vochtig gehouden. Derhalve is in dit deel van de wijk het risico op droogstandschaade gering. Aan de zuidzijde van de wijk, waar de grondwaterstanden lager zijn dan het niveau van de onderzijde van de kleilaag is sprake van droogstand van de houtenpaalfundering. Een en ander is schematisch geïllustreerd in figuur 15.3.

In het oostelijk deel van de wijk (ten oosten van de Jozef Israellaan) is de bebouwing op staal gefundeerd, zodat de droogstandproblematiek in dit deel van de wijk niet aan de orde is.

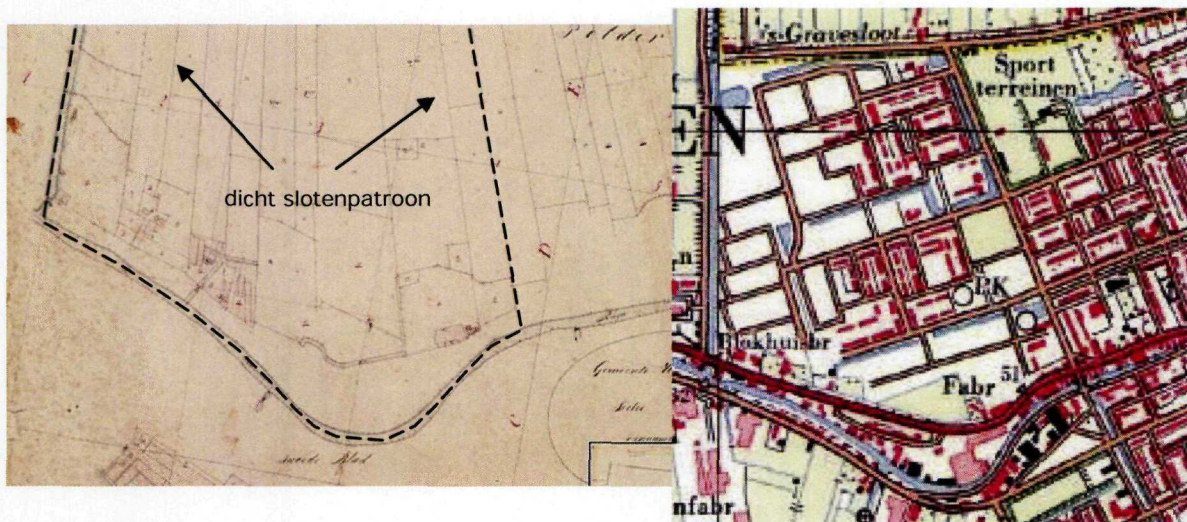
Op basis van deze resultaten is het risicogebied afgebakend, zoals weergegeven in [bijlage 4](#).



Figuur 15.3: schematische doorsnede Schilderskwartier

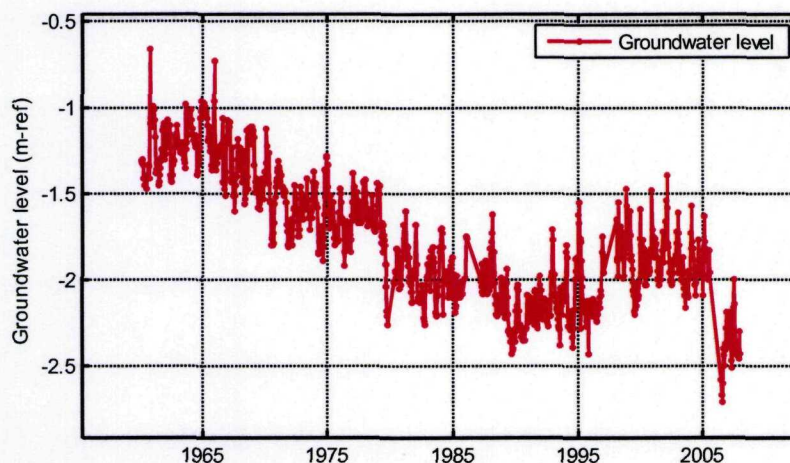
15.5. Historisch verloop grondwaterstanden

Sinds de aanleg van het Schilderskwartier is een aantal elementen die van invloed is op het grondwatersysteem gewijzigd. Te denken valt aan het wijzigen van de onttrekkingsdebieten van de winning te Kamerik, het wijzigen van polderpeilen en de toename van het verhardingspercentage als gevolg van de aanleg van de wijk. Daarnaast is in de wijk een nieuw oppervlaktewatersysteem aangelegd (zie figuur 15.4), waarbij het waterpeil is verhoogd van een beheerst polderpeil (NAP -0,8 m tot NAP -0,9 m) naar het boezemniveau van NAP -0,47 m. Het dichte slotenpatroon van vóór de aanleg van de wijk is vervangen door een enkele watergang die door de wijk heen is aangelegd.



Figuur 15.4: oppervlaktewatersysteem vóór aanleg (links) en na aanleg wijk (rechts)

De veranderingen in het grondwatersysteem zijn geïllustreerd aan de hand van een meetreeks in het oostelijk deel van het Schilderskwartier in figuur 15.5



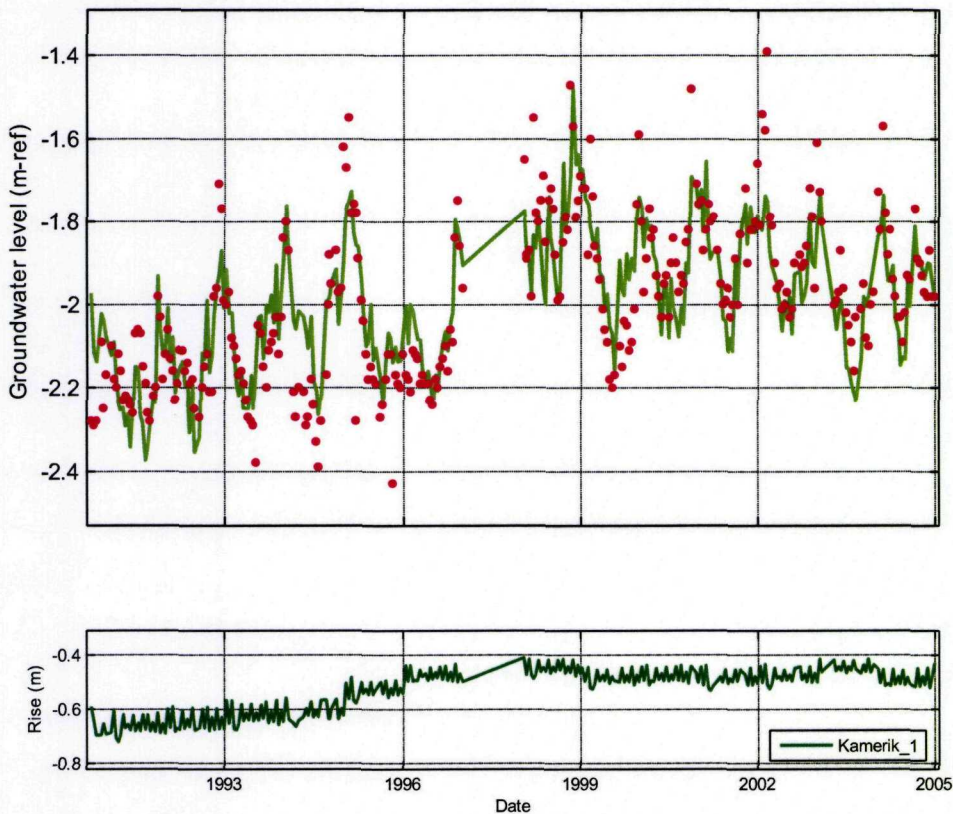
Figuur 15.5: historisch verloop grondwaterstanden peilbuis B31D0181 op 250 m ten oosten van de Jozef Israellaan

Volgens het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden is het polderpeil in de polders rond het Schilderskwartier niet gewijzigd sinds de aanleg van de wijk. Van de winning te Kamerik is bekend dat de onttrekkingsdebieten wel verschillende malen zijn gewijzigd.

Ten behoeve van het vaststellen van de invloed van neerslag, verdamping en de invloed van het onttrekkingsregiem op het grondwater zijn diverse tijdreeksmodellen opgesteld met behulp van het door KWR Watercycle Research Institute ontwikkelde softwarepakket Menyanthes.

In het risicogebied zelf zijn onvoldoende metingen beschikbaar voor een gedegen analyse. Peilbuis B31D0181 ligt in het oostelijk deel van het Schilderskwartier, circa 250 m buiten het risicogebied. Deze reeks is wel geschikt voor tijdreeksanalyse (zie figuur 15.6). Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat het verlagen van het onttrekkingsdebiet halverwege de jaren '90 van de vorige eeuw op deze locatie een stijging van circa 0,2 m van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tot gevolg had. Het gemiddelde onttrekkingsdebiet in de jaren 1996 - 2000 lag circa 25% lager dan in de jaren 1990 - 1996. Hieruit blijkt dat veranderingen in het onttrekkingsregiem een structurele invloed hebben op het grondwatersysteem.

De effecten van het wijzigen van het oppervlaktewatersysteem zijn niet gekwantificeerd op deze wijze, omdat geen gegevens voorhanden zijn van de periode van voor de aanleg van de wijk.



Figuur 15.6: simulatie tijdreeks B31D0181 en de bijdrage van de onttrekking te Kamerik

15.6. Meerwaarde model

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de droogstandproblematiek sterk samenhangt met de optredende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Verschillende maatregelen tegen grondwateroverlast zijn sterk afhankelijk van de onderlinge samenhang van factoren die het grondwatersysteem beïnvloeden en de eigenschappen van het hydrologische systeem.

Om de effectiviteit van maatregelen tegen grondwateronderlast te bepalen is besloten een modelstudie uit te voeren. Het gedrag van het grondwater in watervoerende pakketten is goed te simuleren met behulp van een grondwatermodel. Door de verschillende maatregelen door te rekenen, de effecten hiervan op het grondwatersysteem en de waterbalanscomponenten te beoordelen kan een gefundeerde uitspraak worden gedaan over de effectiviteit en haalbaarheid van de maatregelen.

De uitgevoerde modelstudie wordt behandeld in hoofdstuk 4 en bijlage 16.

Bijlage 16: Resultaten modelstudie

In deze bijlage worden een overzicht en technische beschrijving gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden.

16.1. Aanpak modelstudie

Van de omgeving van het onderzoeksgebied zijn diverse grondwatermodellen beschikbaar:

- Model HYDROMEDAH van het beheersgebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) [7], opgesteld in iMOD.
- Model Grontmij 1996 [3], opgesteld in MicroFEM, geactualiseerd in 2006 (aangeleverd door OASEN).
- Grondwatermodel Kamerik e.o. OASEN "KM2007" [10], opgesteld in Triwaco.

Het grondwatermodel HYDROMEDAH is regionaal van opzet, waarbij het gehele beheergebied van HDSR in het model is opgenomen. Gezien het belang van HDSR bij het project is in eerste instantie in overleg met het projectteam (gemeente Woerden, OASEN, HDSR) gekozen om de modelstudie met dit model uit te voeren. Gezien de technische problemen met de geïnstalleerde versie van iMOD in combinatie met een beperkt tijdspad, is gekozen om de modelstudie voort te zetten met het MicroFEM model. Wareco beschikt niet over een Triwaco licentie.

Ten behoeve van de modelstudie zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- Opzet grondwatermodel.
- Literatuur- en archiefonderzoek.
- Aanvullen en detailleren van het grondwatermodel.
- Nadere kalibratie en actualisatie van het grondwatermodel.
- Vastleggen huidige situatie en verifiëren omvang probleemgebied.
- Uitvoeren van scenarioberekeningen voor mogelijke maatregelen tegen grondwateronderlast.

16.2. Opzet grondwatermodel

Modelschematisatie

Het modelnetwerk omvat een gebied van 17 km bij 17 km. De buitengrenzen van het model zijn zodanig gekozen, dat eventuele fouten op de randen van het model niet doorwerken in de berekeningsresultaten voor de ondiepe grondwaterstand ter plaatse van het onderzoeksgebied. De celgrootte buiten het onderzoeksgebied bedraagt 500 m bij 500 m. Ter plaatse van het onderzoeksgebied is het netwerk verfijnd (circa 10 m bij 10 m) om de watergangen en stratenpatronen nauwkeurig te kunnen modelleren. De watergangen in het Schilderskwartier zijn gedetailleerd in het netwerk opgenomen, zodat de vorm en breedte van de watergangen goed benaderd worden.

Het model is conform de in hoofdstuk 4 beschreven geohydrologische schematisatie opgebouwd. In tabel 16.1 is de modelopbouw schematisch weergegeven.

Het model is representatief voor de periode 1996 tot en met 2000. In deze periode was het onttrekkingsdebiet van de winning bij Kamerik redelijk constant. Tevens is van deze periode een goede set aan meetgegevens beschikbaar ten behoeve van de kalibratie van het model.

Tabel 16.1: modelopbouw

Modellaag	Hydrologische eenheid	Omschrijving	Geohydrologie	Herkomst gegevens
KD1	freatisch WVP	zandige ophooglaag/zandige Holocene rivierafzettingen	KD = 2 m ² /dag	Model Grontmij
c2	Holocene deklaag	Holocene veen- en kleilagen	c = 1 - 16.000 dagen (200 - 3.000 dagen)	Model HDSR
KD2	Bovenste deel 1 ^e WVP	formaties van Boxtel, Kreftenheye, Urk en Sterksel	KD = 500 - 2.000 m ² /dag (800 - 1.600)	REGIS II.1
c3	SDL binnen 1 ^e WVP	klei/leem formatie van Sterksel	c = 1 - 1.600 dagen (100 - 400)	REGIS II.1
KD3	Onderste deel 1 ^e WVP	formaties van Sterksel en Stamproy.	KD = 10 - 1200 m ² /dag (30 - 700)	REGIS II.1
c4	1 ^e SDL	formatie van Waalre, plaatselijk kleiige afzettingen formatie van Stamproy	c = 35 - 5.000 dagen (1.200 - 3.500)	REGIS II.0
KD4	2 ^e WVP	formatie van Peize	KD = 1.300 - 3.000 m ² /dag	REGIS II.1
c5	-	fictieve tussenlaag	c = 5 dagen	-
KD5	3 ^e WVP	formaties van Peize en Maassluis	KD = 0 - 800 m ² /dag (400 - 600)	REGIS II.1

Opmerkingen:

In deze tabel is de range van de verschillende parameters voor het gehele model weergegeven.

Tussen de haken () is de range weergegeven voor het Schilderskwartier en omgeving.

KDx modellaag (met volgnummer) fungeert als watervoerend pakket

cx scheidende lagen worden als weerstandbiedende lagen (met volgnummer) tussen de KD lagen gemodelleerd

WVP watervoerend pakket

SDL scheidende laag

KD doorlaatvermogen watervoerend pakket

c verticale hydraulische weerstand scheidende laag

REGIS Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem van TNO [8]

Grondwateraanvulling

Met het grondwatermodel is een gemiddelde meteorologische situatie doorgerekend met behulp van stationaire modelberekeningen. Dit houdt in dat de grondwaterstanden en stijghoogten voor een stabiele evenwichtssituatie worden berekend, waarin geen rekening wordt gehouden met de variatie van parameters (zoals neerslag) in de tijd.

In een stationair grondwatermodel worden de grondwaterstanden gesimuleerd door een constante grondwateraanvulling in te voeren over een oneindige lange periode. De grondwateraanvulling is gebaseerd op de gemiddelde netto jaarlijkse neerslag.

Voor niet bebouwde gebieden is de grondwateraanvulling mede afhankelijk van het landgebruik en eigenschappen van de onverzadigde zone. In het HDSR model is de grondwateraanvulling door Alterra afgeleid [7]. Deze waarden zijn voor het gebruikte grondwatermodel eveneens gehanteerd.

In bebouwde gebieden zal een deel van de netto neerslag direct worden afgevoerd naar het rioolstelsel of het oppervlaktewater. Er is gecorrigeerd voor het verhardingspercentage van de bebouwde delen. Voor het Schilderskwartier is een gemiddeld verhardingspercentage van 50% gehanteerd.

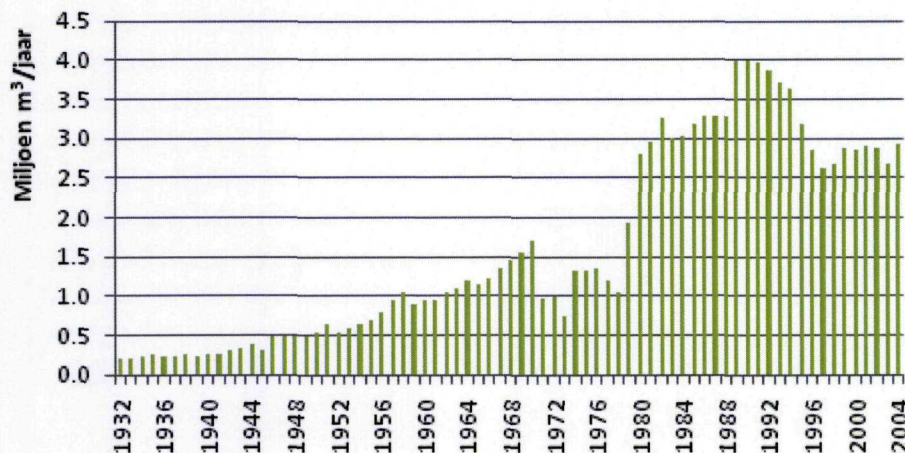
Oppervlaktewater en drainage

Alle waterlopen in het Schilderskwartier zijn afzonderlijk opgenomen in het grondwatermodel. Buiten het onderzoeksgebied zijn alleen enkele hoofdwatgangen opgenomen. Voor gebieden buiten het Schilderskwartier met een (beheerst) polderpeil zijn de watgangen niet individueel maar als bovenrandvoorwaarde met een vast waterpeil en een specifieke drainageweerstand gemodelleerd (100 dagen).

Grondwateronttrekkingen

De belangrijkste grondwateronttrekking in de omgeving van het Schilderskwartier is de drinkwaterwinning te Kamerik. De locaties en diepte van de filters van deze winning zijn in het model opgenomen, waarbij gebruik is gemaakt van gegevens uit het Triwaco model van OASEN [10]. De onttrekkingsgegevens zijn gecorrigeerd voor de modelperiode (1996 -2000). In de periode 1996 - 2000 is gemiddeld 2,8 miljoen m³ grondwater onttrokken. De jaarlijkse onttrekkingsgegevens van de grondwaterwinning zijn weergegeven in figuur 16.1. Tevens is de in het Schilderskwartier aanwezige interceptieput in het grondwatermodel opgenomen.

Nabij Linschoten is eveneens een drinkwaterwinning aanwezig en in het model opgenomen. De onttrekkingsgegevens zijn gebaseerd op het provinciale grondwaterregister [9].



Figuur 16.1: Jaarlijks onttrekkingsdebiet Kamerik

Stijghoogte

Op de modelranden is een vaste stijghoogte ingevoerd, waardoor grondwaterstroming over de modelranden mogelijk is. De stijghoogte van het Grontmijmodel [3] is ongewijzigd gelaten.

16.3. Kalibratie grondwatermodel

Algemeen

Bij de modelkalibratie worden nog onbekende of geschatte geohydrologische parameters geoptimaliseerd. De door het grondwatermodel berekende grondwaterstanden worden na elke wijziging van een geohydrologische parameter getoetst aan de feitelijke grondwaterstandmetingen. Modelkalibratie is derhalve een iteratief proces.

Voor de kalibratie is gebruikgemaakt van diverse peilbuizen afkomstig uit het DINOloket van TNO. Er zijn meetgegevens beschikbaar van zowel de freatische grondwaterstanden als grondwaterstanden in het eerste en tweede watervoerend pakket. Voor de kalibratie is een selectie gemaakt van de meetreeksen op basis van de beschikbare meetperiode (1996 - 2000). Voor kalibratie zijn acht freatische meetreeksen, 20 meetreeksen in het eerste watervoerend pakket en drie in het tweede watervoerend pakket beschikbaar. Over het algemeen zijn de grondwaterstanden opgenomen met een frequentie van tweemaal per maand. Ten behoeve van de kalibratie van het model zijn de gemiddelden van de meetwaarden per meetreeks bepaald. Aangezien in het tweede watervoerend pakket slechts drie kalibratiewaarden beschikbaar zijn, zijn deze indicatief ingezet ten behoeve van de kalibratie.

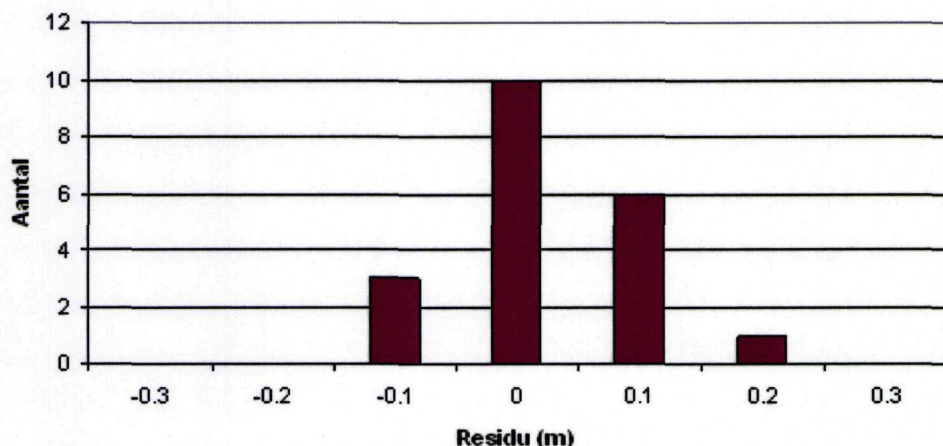
Daarnaast beschikt de gemeente Woerden over een grondwatermeetnet. In de periode 1996 - 2000 zijn op reguliere basis grondwatermetingen verricht (gemiddeld zes maal per jaar). Nadien is minder frequent gemeten. Van deze peilbuizen is eveneens de gemiddelde meetwaarde bepaald. Gezien het beperkte aantal metingen worden deze waarden slechts indicatief ingezet ten behoeve van kalibratie. Hierbij is alleen gebruik gemaakt van peilbuizen waarvan het filter zich in het zandpakket (eerste watervoerend pakket) bevindt. De filters van ondiepere peilbuizen bevinden zich over het algemeen in een slecht doorlatende kleilaag. De problematiek van droogstand draait met name om de grondwaterstanden in de onderliggende zandlaag. Gezien de beperkte rol van de freatische (schijn)grondwaterstanden op het grondwatersysteem in het Schilderskwartier, zijn deze peilbuizen achterwege gelaten in het kalibratieproces.

Kalibratie

De nauwkeurigheid tot waarop het grondwatermodel kan worden gekalibreerd is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid gegevens voor geohydrologische parameters. Gestreefd is naar een afwijking van minder dan 0,3 m en een willekeurige spreiding van de restfouten in het eerste watervoerend pakket. Dit wordt, gezien de nabijgelegen grondwateronttrekking in Kamerik, acceptabel geacht. Over het algemeen treden lokaal sterke verschillen op in de stijghoogten nabij onttrekkingsputten.

In bijlage 6 is de afwijking van de berekende grondwaterstanden en stijghoogten ten opzichte van de meetwaarden weergegeven (restfout). De grootte van de bollen geeft aan hoeveel de berekende waarden afwijken ten opzichte van de gemeten grondwaterstanden.

In figuur 16.2 is de statistische verdeling van de restfout gegeven voor het eerste watervoerend pakket.



Figuur 16.2: verdeling restfouten eerste watervoerend pakket

De gemiddelde absolute afwijking van de berekende stijghoogten ten opzichte van de gemeten stijghoogten bedraagt 0,07 m in het eerste watervoerend pakket. In het freatisch watervoerend pakket bedraagt de afwijking gemiddeld 0,08 m.

Op basis van een analyse van de restfouten wordt geconcludeerd dat de grondwatersituatie voor het doel waarvoor het grondwatermodel is opgesteld, voldoende wordt benaderd.

16.4. Resultaten modelstudie

16.4.1. Huidige grondwatersituatie

Met behulp van het grondwatermodel is de gemiddelde grondwatersituatie in beeld gebracht. De uitgangssituatie is representatief voor de gemiddelde grondwaterstanden in de periode 1996 tot en met 2000.

Op basis van de berekende stijghoogten is het risicogebied voor droogstandschaade geverifieerd (zie [bijlage 4](#)). Hiertoe zijn de berekende stijghoogten vergeleken met het niveau van de onderzijde van de diverse kleilagen en het niveau van het bovenste funderingshout. De berekende stijghoogten in het eerste watervoerend pakket zijn weergegeven in [bijlage 7](#). De kleur van de bollen in deze kaart geeft aan of ter plaatse van de geïnspecteerde funderingen in een gemiddelde situatie sprake is van droogstand.

Uit de resultaten blijkt dat in het gedefinieerde risicogebied droogstand optreedt bij alle bekende funderingsniveaus.

16.4.2. Effecten van mogelijke maatregelen tegen grondwateronderlast

Met behulp van het grondwatermodel zijn diverse maatregelen en scenario's doorgerekend. Hiermee is inzicht verkregen in de individuele en gezamenlijke bijdrage van de oplossingen om grondwateronderlast en eventuele schade aan funderingen tegen te gaan.

De mogelijke ingrepen en maatregelen zijn ingevoerd in het model, waarna het model voor de nieuwe situatie is doorgerekend. De volgende (hydrologische) ingrepen zijn met behulp van het grondwatermodel op effectiviteit geanalyseerd:

- 1) Effecten van het verminderen van het onttrekkingsdebiet van de winputten van Oasen.
- 2) Opzetten van het polderpeil van nabijgelegen gebieden.
- 3) Effecten van het afkoppelen en infiltreren van hemelwater.
- 4) Infiltratie op straatniveau.
- 5) Aanleg extra open water.
- 6) Verbeteren infiltratie oppervlaktewater.

De berekende (nieuwe) grondwatersituatie met een maatregel of ingreep is vergeleken met de uitgangssituatie. Hiermee is inzicht verkregen in het effect van een ingreep of maatregel op de grondwaterstanden. Daarnaast is een waterbalansanalyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de mate waarin het grondwaterregiem wijzigt.

1. Verminderen onttrekkingsdebiet winputten

Met behulp van het grondwatermodel is bepaald wat het effect is van het volledig stopzetten van de winning en van het halveren van het totale onttrekkingsdebiet.

Het onttrekkingsdebiet in de uitgangssituatie bedraagt 2,8 miljoen m³/jaar (circa 7.670 m³/dag). Ten behoeve van dit scenario zijn in het grondwatermodel de onttrekkingsdebieten te Kamerik gehalveerd, voor zowel de putfilters in het eerste als in het tweede watervoerend pakket. Tevens is van een halvering uitgegaan voor de interceptieput in het Schilderskwartier.

Bij stopzetting van de winning neemt de stijghoogte aan de noordzijde van het risicogebied toe met maximaal circa 0,65 m. Aan de zuidzijde van het risicogebied bedraagt de stijging circa 0,30 m. De berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 9.

Bij halvering van de winning bedraagt de stijging aan de noordzijde van het risicogebied maximaal circa 0,35 m. Aan de zuidzijde van het risicogebied bedraagt de stijging circa 0,15 m. De berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 10.

Beide maatregelen leiden op zichzelf niet tot een dekkende oplossing voor droogstand van houten paalfundering. Het hoogst aangetroffen niveau van het funderingshout ligt boven de berekende grondwaterstand.

2. Opzetten polderpeil

Het opzetten van het polderpeil van nabijgelegen polders leidt tot een toename van de infiltratie van water in de poldergebieden. Dit heeft een toename van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tot gevolg. Met het model zijn de gevolgen bepaald van een theoretische verhoging van het polderpeil met 0,5 m in de polders Rietveld, Zegveld en 's Gravensloot. Ter plaatse van het risicogebied leidt dit tot een maximale stijging van 0,10 m tot 0,15 m. De drainageweerstand van het poldersysteem is ongewijzigd gelaten. De berekende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 11.

Het opzetten van de polderpeilen met 0,5 m leidt niet tot de gewenste stijgingen.

3. Afkoppelen en infiltreren van hemelwater

Een deel van het hemelwater dat in het Schilderskwartier valt wordt direct afgevoerd via het riolsysteem. Dit deel komt niet ten goede aan grondwateraanvulling. Indien de wegen en een deel van de daken worden afgekoppeld van het riolsysteem en het hemelwater wordt geïnfiltreerd in de bodem, leidt dit tot een toename van de stijghoogte.

Met het model is een berekening uitgevoerd, waarbij circa 50% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld en het hemelwater in de bodem wordt geïnfiltreerd. Dit is in een bestaande wijk praktisch het best haalbare afkoppelpercentage. In het model is voor de grondwateraanvulling uitgegaan van 50% verhardingspercentage. De grondwateraanvulling is modelmatig in de wijk met 50% verhoogd.

Het afkoppelen en infiltreren van het hemelwater heeft een zeer beperkte stijging tot gevolg (minder dan 0,05 m) en heeft daarom niet het gewenste resultaat, zie bijlage 12.

4. Infiltratie op straatniveau

In dit scenario is uitgegaan van een infiltratiesysteem, waarbij in alle straten in het risicogebied infiltratieleidingen zijn aangelegd, die worden gevoed met oppervlaktewater van het boezemsysteem. De infiltratieleidingen zijn hierbij onder eventueel aanwezige kleilagen en onder de grondwaterspiegel aangelegd.

De infiltratieleidingen worden in de zandlaag aangelegd en dienen een relatief grote diameter te hebben (minimaal Ø200 mm) om de infiltratieweerstand zo klein mogelijk te houden. In dit geval kan een zeer kleine infiltratieweerstand worden gehanteerd (één à twee dagen). Modelmatig is het netwerk dusdanig verdicht dat elke straat afzonderlijk in het netwerk is opgenomen. Voor het bepalen van de infiltratieweerstand van de afzonderlijke leidingen is gecorrigeerd voor de knooppuntafstand. Als infiltratieniveau is het boezempeil gehanteerd (NAP -0,47 m).

Als gevolg van het infiltratiesysteem neemt de stijghoogte toe met 0,25 m tot 0,30 m. Bij benadering wordt circa 1.300 m³/dag geïnfiltreerd. Het effect op het grondwatersysteem in weergegeven in bijlage 13.

Bij deze maatregel is nog sprake van droogstand ter plaatse van de hoogst aangetroffen funderingsniveaus. Opgemerkt moet worden dat de locatie van de infiltratieleidingen (midden van de straat of direct langs de woningen) niet leidt tot andere resultaten. Gezien de goede doorlatendheid van het zandpakket verspreidt het geïnfiltreerde water zich goed in het zandpakket, waardoor ook op enige afstand van de infiltratieleidingen stijging plaatsvindt.

5. Aanleg extra open water

Aangezien infiltratie op straatniveau niet leidt tot het gewenste resultaat, wordt verwacht dat het aanbrengen van enkele nieuwe watergangen evenmin leidt tot de gewenste veranderingen. Dit scenario is derhalve niet doorgerekend.

6. Verbeteren infiltratie oppervlaktewater

Door goed onderhoud van het oppervlaktewatersysteem en eventueel het vergraven van aanwezige kleilagen onder de waterbodem, wordt de infiltratie vanuit het oppervlaktewater naar de onderliggende bodem verbeterd. Het eventueel aanbrengen van bijvoorbeeld verticale grindpalen op verschillende locaties kan de infiltratie nog verder bevorderen.

Het modelnetwerk is dusdanig verdicht dat de modelmatige breedte van de watergang goed overeenkomt met de werkelijke breedte. In dit geval hoeft de infiltratieweerstand niet gecorrigeerd te worden voor de knooppuntafstand. In de uitgangssituatie is uitgegaan van een infiltratieweerstand van 15 dagen, waarbij de weerstand van eventuele kleilagen ongemoeid is gelaten. Het verbeterde contact van de watergang met de ondergrond is gemodelleerd door de infiltratieweerstand te verkleinen met een factor 3. Hierbij is de weerstand van eventuele onderliggende kleilagen eveneens teruggebracht.

Met het model is doorgerekend wat het effect is van een verbeterd contact met de ondergrond. Indien geen sliblaag aanwezig is in de watergangen en onderliggende kleilagen zijn vergraven, neemt de stijghoogte in het risicogebied toe met circa 0,15 m tot 0,25 m. Dit levert onvoldoende resultaat op om het hoogst aangetroffen funderingshout onder water te zetten, zie bijlage 14.

16.5. Toekomstige situatie

Naast het doorrekenen van deze maatregelen is tevens aandacht besteed aan wijzigingen in het grondwaterregiem als gevolg van klimaatwijziging. Hierbij moet met name worden gedacht aan mogelijke aanvullende verlagingen van de grondwaterstanden als gevolg van langere en meer droge perioden in een zomerhalfjaar. De wijzigingen in het grondwaterregiem in de periode tot 2050 zijn met behulp van het grondwatermodel inzichtelijk gemaakt.

De klimaatscenario's zijn doorgerekend voor het jaar 2050. Voor dit jaartal zijn diverse voorspellingen gedaan op het gebied van neerslag en zeespiegelstijging (KNMI, WB21, IPCC). De KNMI'06 scenario's zijn onder andere vertaald naar een verandering van de gemiddelde neerslag gedurende een zomersituatie. In het minst gunstige geval neemt de gemiddelde neerslag af met 19% in een zomersituatie. Dit heeft in het Schilderskwartier geen belangrijke veranderingen in het grondwatersysteem tot gevolg. De maximale grondwaterdaling bedraagt in deze worstcase benadering enkele centimeters.

16.6. Historische grondwatersituatie

Zoals in bijlage 15 is beschreven, heeft de herinrichting van het watersysteem en de aanleg van de wijk geleid tot een verlaging van het grondwaterniveau. Daarnaast zijn in de loop van de tijd de polderpeilen verlaagd en is het onttrekkingsdebiet te Kamerik verhoogd. Hierdoor zijn de grondwaterstanden verder gedaald.

Om vast te stellen hoe de grondwatersituatie vóór aanleg van de wijk was en of hiermee het relatief hoge niveau van de paalkoppen kan worden verklaard, is een modelberekening uitgevoerd waarbij de historische situatie is gereconstrueerd. De volgende aanpassingen zijn doorgevoerd in het model:

- Onttrekking Kamerik 27% van de situatie 1996 - 2000 (gemiddelde jaren '50).
- Geen verharding.
- Schilderskwartier integraal polderpeil van NAP -0,85 m (gemiddeld peil).
- Polderniveaus Rietveld en 's Gravensloot verhoogd.

Uit de berekeningen blijkt dat uit de funderingsonderzoek bekende niveaus onder het toenmalige grondwaterniveau lagen. Het grondwaterniveau lag in de periode voorafgaand aan de bouw van de wijk circa 0,5 tot 0,75 m hoger dan in de huidige situatie.

Uit onderzoek naar de historische grondwatersituatie blijkt dat vóór aanleg van de wijk en herinrichting van het watersysteem het grondwaterniveau dusdanig hoog was, dat het funderingshout op de geïnspecteerde locaties onder het grondwaterniveau gelegen zou hebben. Deze situatie is weergegeven in bijlage 8.

16.7 Waterbalans en interpretatie

Van de huidige situatie en de verschillende scenario's is een waterbalansanalyse uitgevoerd als controlemiddel. Hierin zijn per scenario de belangrijkste waterbalans componenten beoordeeld.

Uit de waterbalans blijkt dat grondwateraanvulling door neerslag in het Schilderskwartier slechts een beperkte rol speelt in de waterbalans (inkomende fluxen). Hiermee kan ook het beperkte effect van het infiltreren van hemelwater worden verklaard (scenario 3).

Uit de analyse blijkt eveneens dat de onttrekking bij Kamerik een relatief belangrijke rol speelt in de waterbalans. Het effect van deze winning is het grootst aan de noordzijde van het Schilderskwartier.

Nabij het puttenveld te Kamerik infiltreert water van de poldersloten naar het onderliggende pakket. Op grotere afstand van het puttenveld wordt door de poldersloten juist water uit het gebied afgevoerd. Indien het polderpeil wordt opgezet met 0,5 m wordt meer water geïnfilteerd via de poldersloten. De infiltratie neemt met bijna een factor vier toe. Dit heeft een belangrijke stijging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tot gevolg.

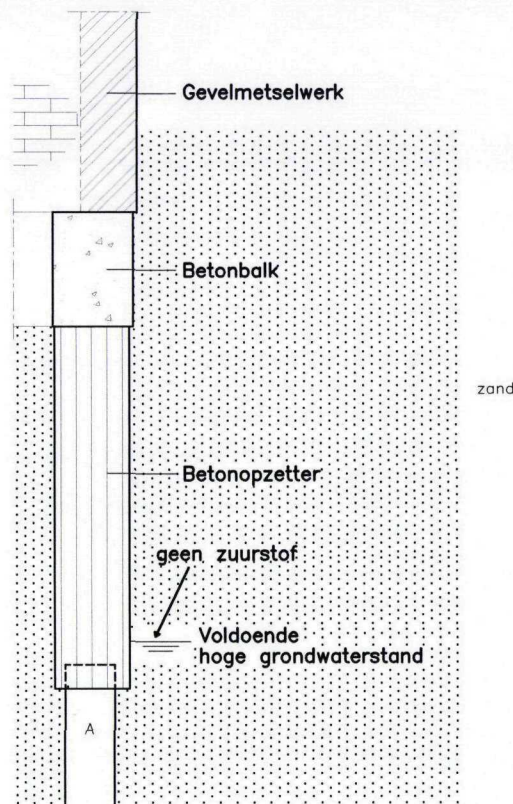
Het oppervlaktewater in het Schilderskwartier, waar het boezempeil wordt gehanteerd, heeft eveneens een belangrijke infiltrerende functie. In de huidige situatie infiltreert in het risicogebied tweemaal zoveel water naar dieper gelegen pakketten dan in de omliggende polders (circa 1.000 m³/dag). Door het verbeteren van het contact van het oppervlaktewater met de bodem, kan tweemaal zoveel water worden geïnfilteerd door het lokale oppervlaktewatersysteem.

Met behulp van een infiltratiesysteem op straatniveau kan eveneens een grote hoeveelheid water in het zandpakket worden gebracht. Indien een infiltratiesysteem wordt aangebracht, wordt in totaal ongeveer tweemaal zoveel water in het eerste watervoerend pakket geïnfilteerd, als in de huidige situatie.

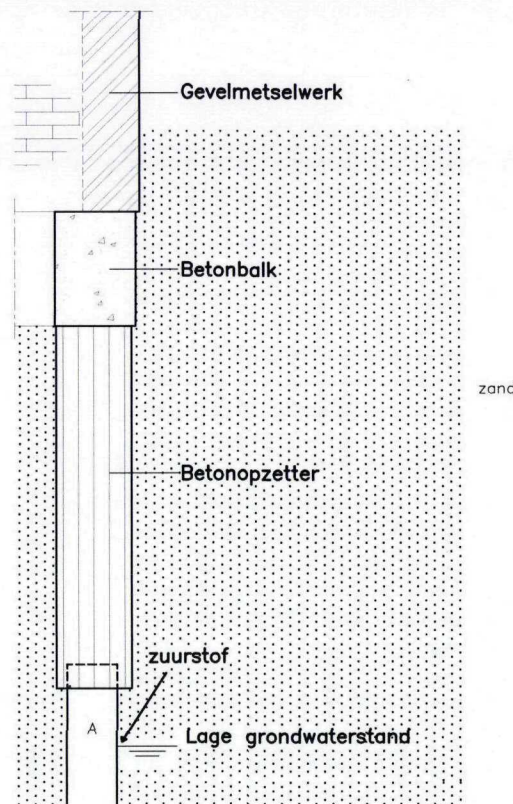
Bijlage 17: Bronnen

1. Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek betreffende Schilderskwartier te Woerden, fase 1', Fugro, opdrachtnummer D-6448, d.d. 18-7-1995
2. Peilbuizen in het Schilderskwartier te Woerden', Fugro, opdrachtnummer D-6876, d.d. 12-3-1996
3. Geohydrologische modelstudie grondwaterstanddaling Woerden', Grontmij, kenmerk 96000297.wp5/atI, d.d. 20-3-1996
4. Funderingsonderzoek Schilderskwartier te Woerden', IFCO, opdrachtnummer 96718, d.d. 28-10-1996
5. Grondwaterplan gemeente Woerden', Wareco, kenmerk Ke54.011mma.rap, d.d. 16-3-2009
6. Onderzoek grondwateronderlast Schilderskwartier te Woerden', Wareco, kenmerk KE54B, RAP20090910, d.d. 16-9-2009
7. Ontwikkeling HDSR hydrologische modelinstrumentarium - HYDROMEDAH - deelrapport 1: Beschrijving MODFLOW-model', Delatres, kenmerk 0912-0231, december 2009
8. DINO oket en Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem (REGIS), TNO, www.dinoloket.nl
9. Grondwaterregister Provincie Utrecht, www.provincie-utrecht.nl/prvutr/internet/water.nsf/all/3.7 opendocument
10. Grondwatermodel Kamerik, Oasen, KM2007.
11. www.watwaswaar.nl

ZANDIGE BODEM

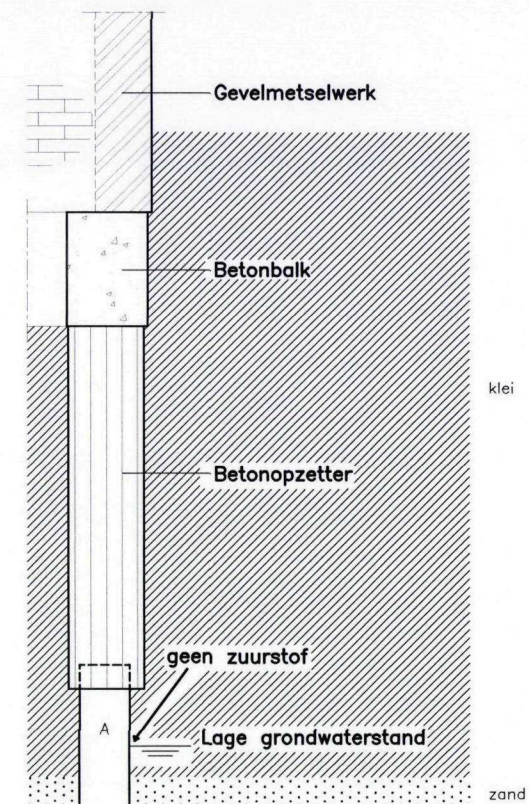


Tekening 1



Tekening 2

KLEIBODEM



Tekening 3

Bijlage 18: Details betonopzetter

A3 420 x 297	schaal:	datum:	get. door: MPA	gezien:
	1 : 20	15-03-2011		
project: Ke54b	tekeningnummer: Ke54b_09 001			