RAPPORT
betreffende

# BARRIEREWERKING NIEUWBOUW KENNISCLUSTER RIJNBOOG TE ARNHEM

Opdrachtnummer: 7209-0513-002

Opdrachtgever : Gemeente Arnhem
Postbus 5283
6802 EG Eindhoven

Projectleider : ing. J. Vosdingh Bessem

Opgesteld door : W. Kooijman MSc
Adviseur Hydrologie

Gecontroleerd door : Ing. G.J.P. Boers
Adviseur Hydrologie

| VERSIE | DATUM | OMSCHRIJVING WIJZIGING | PARAAF PROJECTLEIDER |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 december 2010 | 1e versie | |
| 2 | 2 december 2010 | 2e versie (dieper doorzetten CSM-wand) | |
| 3 | 31 januari 2010 | 3e versie (aanpassing n.a.v. aanvullende info) | |

FILE: 7209-0513-002.R01_3e versie.doc Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

## INHOUDSOPGAVE


**1. INLEIDING** **1**

**2. PROJECTOMSCHRIJVING** **2**

**3. BODEM- EN (GEO)HYDROLOGISCHE GESTELDHEID** **5**
3.1. Bodem- en geohydrologische gesteldheid 5
3.2. Open waterpeil 5
3.3. Grondwaterstanden en stijghoogten 5

**4. GEOHYDROLOGISCHE EFFECTBESCHOUWING** **7**
4.1. Beschouwing geohydrologisch systeem 7
4.2. Beschouwing barrièrewerking 7
4.3. Conclusies 10

**BIJLAGEN**
- Situatietekening 1
- Locatieoverzicht peilbuizen TNO 2
- Tijd-stijghoogtegegevens peilbuizen TNO 3
- Tijd-stijghoogtegegevens peilbuizen Gemeente 4
- Theoretische onderbouwing barrièrewerking 5

## 1. INLEIDING

Fugro Ingenieursbureau B.V. ontving van Gemeente Arnhem opdracht voor het opstellen van een geohydrologisch advies ten behoeve van de nieuwbouw van het Kenniscluster Rijnboog aan de Oude Oeverstraat te Arnhem waaronder een kelder is voorzien.

In een eerder stadium is door Fugro een grond- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd en zijn separaat onder de opdrachtnummers, 7209-0513-000 en -001 een damwandadvies (CSM-wand) en een bemalingsadvies uitgebracht. Naast deze rapporten wordt ook nog een grondwateranalyse uitgevoerd. Het grondonderzoek en de adviezen hebben betrekking op de nieuwbouw van het Kenniscluster Rijnboog aan de Oude Oeverstraat te Arnhem.

Het voorliggende advies heeft betrekking op de gevolgen van de nieuwbouw van de kelder op de lokale waterhuishouding in de gebruiksfase. De kelder kan in de toekomstige gebruiksfase een barrière vormen voor de regionale grondwaterstroming. Hierbij treedt mogelijk bovenstrooms een verhoging van de grondwaterstand op. Naar aanleiding van aanvullende informatie ten aanzien van de locatie en diepte van kelders in de omgeving van de projectlocatie is de rapportage bijgewerkt.

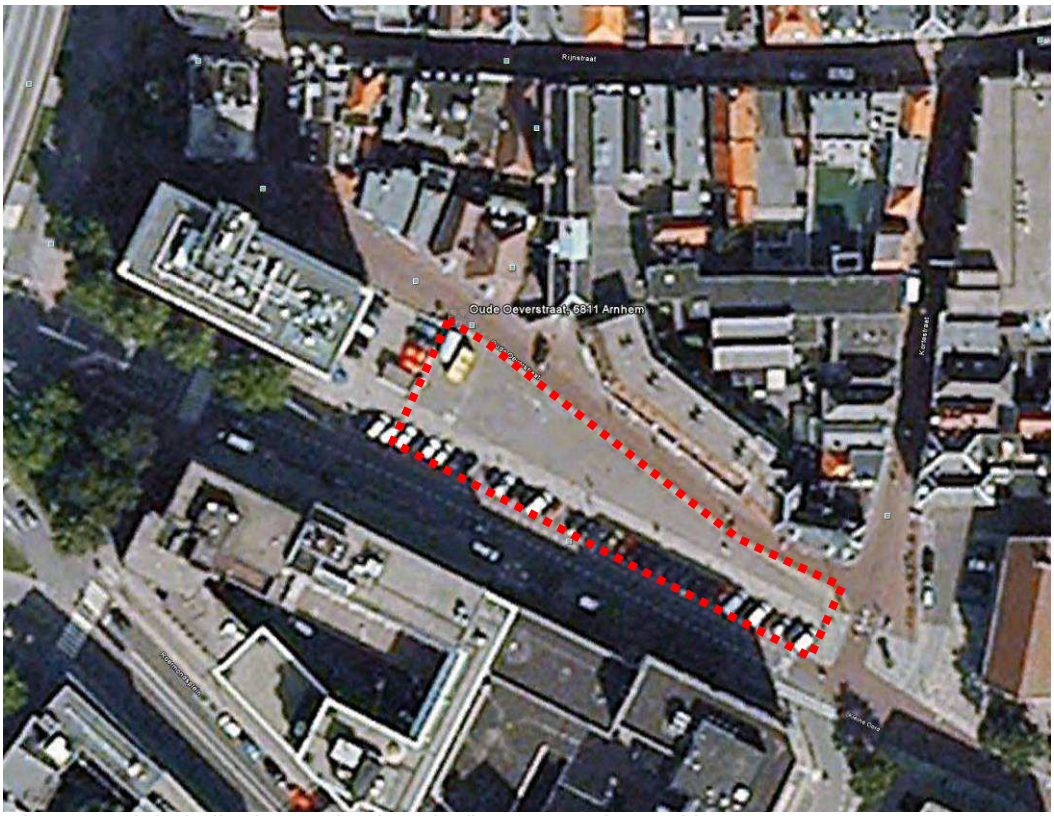
Het doel van het onderzoek is:

- Bepalen van het effect van de parkeerkelder op de grondwaterstanden in de omgeving in de permanente situatie;
- Indien (negatieve) effecten worden verwacht wordt een voorstel gedaan voor mitigerende maatregelen.

De voorliggende rapportage is als volgt opgebouwd:
In hoofdstuk 2 wordt een projectomschrijving gegeven en worden de uitgangspunten beschreven, waarna in hoofdstuk 3 de bodem- en de geohydrologische gesteldheid van de projectlocatie wordt behandeld. In hoofdstuk 4 worden de geohydrologische effecten als gevolg van barrièrewerking beschreven.

## 2. PROJECTOMSCHRIJVING

Op de projectlocatie wordt de nieuwbouw van het Kenniscluster Rijnboog gerealiseerd. Onder de nieuwbouw is een kelder voorzien. De projectlocatie ligt aan de Oude Oeverstraat, in de Gemeente Arnhem (kadastrale situatie: Sectie AHM01O, nr. 08206). Binnen het Rijksdriehoeksnet heeft de projectlocatie globaal de coördinaten X = 190.500 m en Y = 443.750 m. In figuur 1 is de projectlocatie op een topografische ondergrond weergegeven.



*Figuur 1: globale ligging projectlocatie (bron: Google Earth)*

Voor het vervullen van de opdracht is door de opdrachtgever de volgende informatie ter beschikking gesteld:
- Definitief ontwerp Kenniscluster Rijnboog, Neutelings Riedijk Architecten, DO-101, d.d. 10 april 2010;
- Definitief ontwerp Kenniscluster Arnhem, Neutelings Riedijk Architecten, DO-201, DO-301, DO-302, DO-351/DO352, DO-353, d.d. 9 september 2010;
- Varianten fundering, Van de Laar BV;
- Locatie en diepte kelders in de omgeving.

Daarnaast is gebruik gemaakt van de reeds opgestelde rapporten en het grondonderzoek uitgevoerd onder de opdrachtnummers F-3897, 7209-0513-000 en -001.

*Inrichtings- en bouwtechnische uitgangspunten*
Op de projectlocatie wordt een 1-laags kelder gerealiseerd. Rondom de projectlocatie zijn wegen aanwezig. Direct aangrenzend aan de projectlocatie zijn, voor zover bekend, geen

grote kelders aanwezig onder deze bebouwing die mogelijke barrièrewerking kan versterken. De dichtstbijzijnde grote kelder is aanwezig op een afstand van minimaal. 24 m, aan de andere zijde van de Kortestraat. Aangezien nog een wegcunet tussen de beide ondergrondse constructies aanwezig is, wordt verwacht dat deze kelder de mogelijke barrièrewerking niet zal versterken.

In de directe omgeving (ten noordwesten) van de projectlocatie is sprake van kwetsbare bebouwing waaronder het oudste gebouw van Arnhem. De laagste “kwetsbare” kelder in de omgeving heeft een peil van bovenkant vloer van NAP +11,67 m (bron: Gemeente Arnhem). De grondwaterstand dient bij voorkeur niet tot boven deze keldervloer uit te stijgen als gevolg van barrièrewerking.

Aan de hand van de verstrekte informatie zijn de afmetingen en niveaus afgeleid van de projectlocatie zoals zijn weergegeven in tabel 2-1. In figuur 2 is het kelderontwerp weergegeven. Hierbij is uitgegaan van een bouwpeil van NAP +14,65 m. Onder de keldervloer zal, daar waar nodig, een zandbed worden aangebracht van ca. 0,5 m dik.

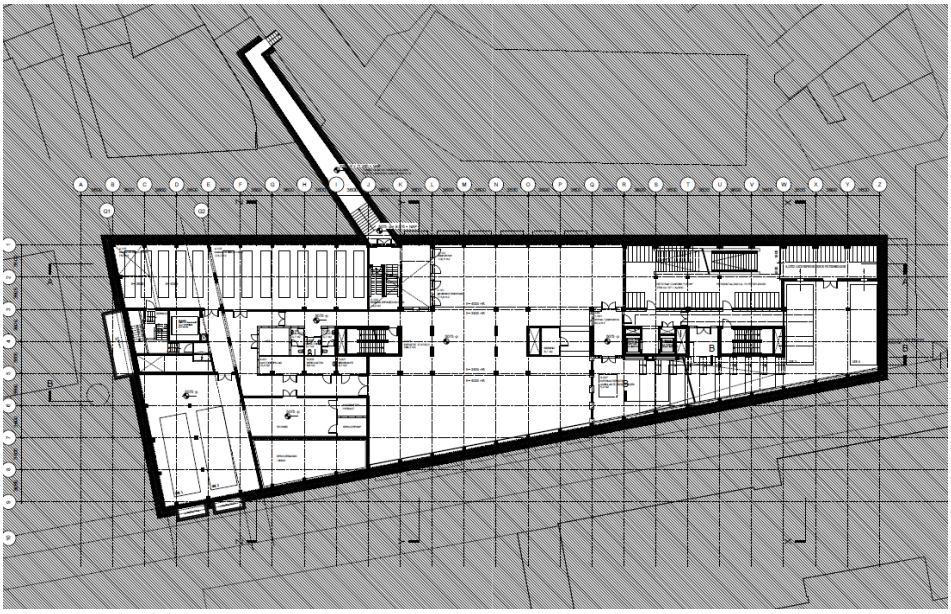
*Tabel 2-1: Afmetingen en ontgravingsniveaus*

| Onderdeel | Afmetingen [ca. m x m] | Aanlegniveau* | |
|---|---|---|---|
| | | [Peil m] | [NAP m] |
| Keldervloer in bouwput | 90 x 15 à 30 | -6,675 | +8,0 |
| CSM-Wand | 90 x 19 à 34 | - | - |

* Als aanlegniveau wordt de onderzijde van de vloer of het betreffende onderdeel beschouwd.

De ontgraving zal worden uitgevoerd binnen een CSM-wand (Cutter Soil Mix -wand). De bovenzijde van de CSM-wand bevindt zich op NAP +14,6 m en de onderzijde op ca. NAP +3,1 m. Mogelijk zal voor de aanleg van de kelder onderwaterbeton worden toegepast. In dat geval zal de CSM-wand dieper moeten worden doorgezet tot NAP +0,1 m. De contour voor de CSM-wand is wat ruimer genomen zodat een deel van een nieuw te leggen riool in de Oeverstraat eveneens binnen de CSM-wand kan worden gerealiseerd.

In het ontwerp is een tunnel opgenomen naar de historische kelders (richting het noorden). De tunnel wordt in een later stadium aangelegd en het ontwerp is nog niet beschikbaar. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat in de definitieve situatie bij de tunnel geen permanente damwanden of CSM-wand wordt toegepast. Indien blijkt dat toch permanente damwanden worden toegepast, dient dit advies te worden herzien. De vloer zal worden aangelegd op een niveau van ca. +11,36 m.



*Figuur 2: Kelderontwerp*

## 3. BODEM- EN (GEO)HYDROLOGISCHE GESTELDHEID

Op de projectlocatie is door Fugro Ingenieursbureau B.V. in meerdere fases grondonderzoek uitgevoerd. Een overzichtstekening van de locatie met het uitgevoerde grondonderzoek is opgenomen in bijlage 1.Voor de resultaten van de boringen en sonderingen wordt verwezen naar het vergunningsonderbouwend bemalingsadvies.

### 3.1. Bodem- en geohydrologische gesteldheid

De bodemopbouw is, op basis van het uitgevoerde grondonderzoek, het Fugro-archief en gegevens uit de literatuur, (geohydrologisch) geschematiseerd en weergegeven in tabel 3-1.

*Tabel 3-1: Bodemopbouw*

| Diepte [ca. NAP m] | | | Bodembeschrijving | Typering | Laag |
|---|---|---|---|---|---|
| +14,5 à +14,0 | | | Maaiveld | Infiltratieoppervlak | 0 |
| +14,5 à +14,0 | tot | -18 à -25* | ZAND, tussen NAP +11,9 en NAP +7,8 kleiige lagen, plaatselijk veen. Deze laag is niet overal aangetroffen, met name niet aan de noordzijde (B1, B2 en DKM9) | 1e Watervoerend pakket | 1 |
| -18 à -25 | tot | -20 à -30** | KLEI, siltig zand | Waterremmende laag | 2 |
| -20 à -25 | tot | ca. -65 | ZAND | 2e Watervoerend pakket | 3 |

* Maximaal door Fugro verkende diepte: NAP +2,9 m.

** De waterremmende laag is in boringen (B40B1487 en 1484) ten zuiden en ten westen van de projectlocatie op 200 m afstand aangetroffen. Ten noorden van de projectlocatie, op een afstand van ca. 400 m is deze laag 3 à 5 dieper ook aangetroffen in verschillende boringen (B40B0323, 0324, 0253, 0265, 0279, 0423 en 0193).

Op NAP -65 m wordt een dikke kleilaag aangetroffen, die in deze rapportage als geohydrologische basis wordt beschouwd.

### 3.2. Open waterpeil

Op ca. 250 m ten zuiden van de projectlocatie is het open water van de Nederrijn gelegen. Het waterpeil van de Nederrijn varieert tussen ca. NAP +9,5 en NAP +7,5 met een gemiddelde van ca. NAP +8,5 m. In extreme situaties kan de waterstand ca. NAP +13,0 bij hoog water en NAP +6,2 m bij laag water bedragen. In deze analyse zijn de extreme situaties niet meegenomen.

### 3.3. Grondwaterstanden en stijghoogten

In tabel 3-2 zijn de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten in de op de locatie geplaatste peilbuizen opgenomen. In deze tabel zijn ook de peilbuisgegevens weergegeven.

*Tabel 3-2: Gemeten grondwaterstand/stijghoogte in peilbuizen op de locatie*

| Peilbuis | Bovenkant peilbuis | Filterafstelling [ca. NAP m] | Laag | Grondwaterstand/stijghoogte [ca. NAP m] |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 26 juli 2010* |
| B1-1 | NAP +14,83 m | +8,9 tot +7,9 | 1 | +9,1 |
| B1-2 | NAP +14,80 m | +3,9 tot +2,9 | 1 | +9,1 |

* Deze grondwaterstand en stijghoogte zijn op de dag van plaatsing van de peilbuis gemeten, waardoor de natuurlijke grondwaterstand mogelijk nog niet is hersteld.

Om (meer) inzicht te krijgen in de fluctuatie van de grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving van de locatie zijn grondwaterstandgegevens opgevraagd uit de DINO-database van TNO. De locaties van de TNO-peilbuizen zijn weergegeven op bijlage 2. De tijd-stijghoogtegrafieken zijn uitgewerkt op bijlage 3. Door de Gemeente zijn grondwaterstandgegevens aangeleverd van peilbuizen in de omgeving van de projectlocatie, deze zijn opgenomen in bijlage 4. Opgemerkt wordt dat deze grondwaterstandgegevens zijn weergegeven t.o.v. maaiveld. Voor de analyse van de grondwaterstanden van de Gemeente wordt verwezen naar de grondwateranalyse die separaat door Fugro zal worden uitgebracht.

*Uitgangsgrondwaterstand en -stijghoogte*
Op basis van bovenstaande informatie zijn de representatieve stijghoogten afgeleid zoals is weergeven in tabel 3-3.

*Tabel 3-3: Raming grondwaterstand en stijghoogte op de projectlocatie*

| Laag | Extreem hoog [NAP m] | Hoog [NAP m] | Gemiddeld [NAP m] | Laag [NAP m] | Extreem laag [NAP m] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **+11,0** | **+10,3** | +9,2 | +8,0 | +7,5 |

De **vetgedrukte** waarde worden als uitgangsgrondwaterstand en -stijghoogte beschouwd voor de berekening van de bemaling en barrièrewerking, maar mogen niet zonder meer worden gebruikt voor andere (ontwerp)doeleinden. De aangenomen, maatgevende, waarden zijn niet tot stand gekomen met behulp van een statistische analyse.

Opgemerkt wordt dat op de slecht doorlatende kleiige en venige lagen tussen NAP +11,9 en +7,8 m bij hevige regenval mogelijk schijngrondwaterstanden kunnen ontstaan.

Uit de Grondwaterkaart van Nederland blijkt dat de regionale stromingsrichting van het grondwater in het eerste watervoerend pakket overwegend in zuid-zuidwestelijke richting is. Bij hoge waterstanden op de Nederrijn kan de stromingsrichting draaien. Op basis van de uitgevoerde grondwateranalyse wordt verwacht dat het gemiddelde verhang ca. 2 meter over 1000 meter richting de Nederrijn is. Bij relatief lage waterstanden is het maximale verhang 8 meter over 1000 meter richting de Nederrijn. Bij relatief hoge waterstanden is het maximale verhang 8 meter over 1000 meter richting het noorden. De lengte van de kelder in noord-zuidelijke richting van de kelder bedraagt maximaal 35 meter (breedte kelder en 5 meter extra voor de riolering). Het verhang van de stijghoogte over de projectlocatie varieert daarmee globaal tussen de 0,1 en 0,3 meter in zowel de zuid-zuidwestelijke als noord-noordoostelijke stromingsrichting.

Opgemerkt wordt dat deze raming van het verhang is opgesteld op basis van peilbuizen van de Gemeente. De exacte hoogte van de kop van de peilbuizen is echter niet bekend. Indien meer inzicht is gewenst in het verhang op de projectlocatie dienen de peilbuizen te worden ingemeten t.o.v. NAP.

# 4. GEOHYDROLOGISCHE EFFECTBESCHOUWING

## 4.1. Beschouwing geohydrologisch systeem

Bij nieuwbouw met ondergrondse constructies bestaat de kans dat een wijziging van de grondwaterstroming optreedt. In het geval dat er in het gebied sprake is van een (regionaal) verhang van de grondwaterspiegel, kan deze ondergrondse constructie leiden tot een stijging van de grondwaterstand bovenstrooms van de constructie en een daling van de grondwaterstand benedenstrooms van de constructie (barrièrewerking).
Indien er geen (regionaal) verhang over de projectlocatie aanwezig is treedt geen barrièrewerking op. Dit is bijvoorbeeld het geval indien op de locatie sprake is van een lokale opbolling tussen twee wegcunetten of watergangen. Ook in dat geval leidt de kelder mogelijk tot een wijziging van de grondwaterstroming, doordat door de aanleg van de kelder water minder makkelijk in de bodem kan infiltreren of tot afstroming kan komen.

Op basis van de in hoofdstuk 3 beschreven data wordt verwacht dat op de projectlocatie sprake is van een regionaal grondwaterverhang over de projectlocatie. Er is (voor zover bekend) geen sprake van een lokale opbolling van de grondwaterstand.

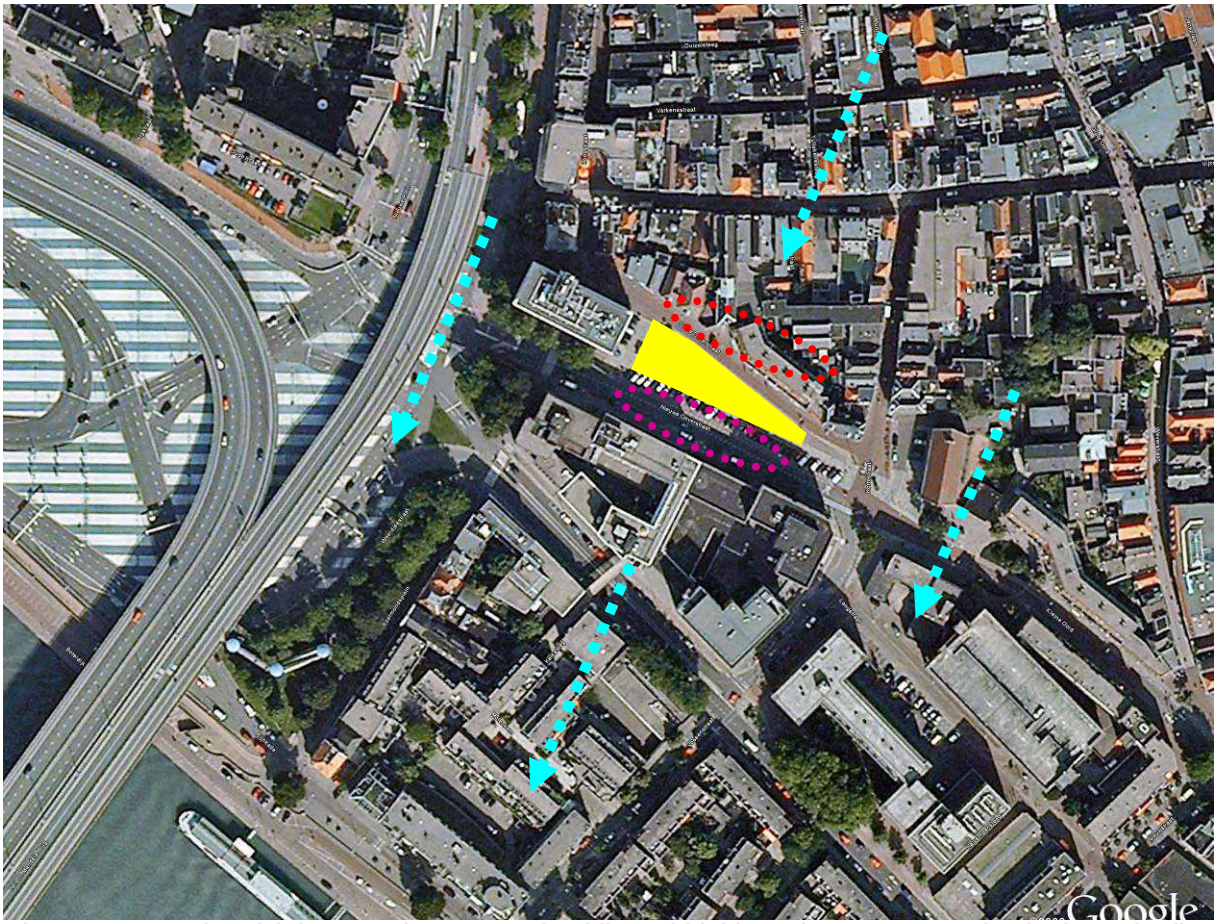
## 4.2. Beschouwing barrièrewerking

Door de aanleg van een parkeerkelder op de projectlocatie kan mogelijk barrièrewerking optreden. Of en in welke mate barrièrewerking zal optreden wordt in deze paragraaf getoetst. Uit de toelichting van de theoretische achtergrond (bijlage 5) volgt dat het gevaar voor barrièrewerking in de onderhavige situatie af zal hangen van:

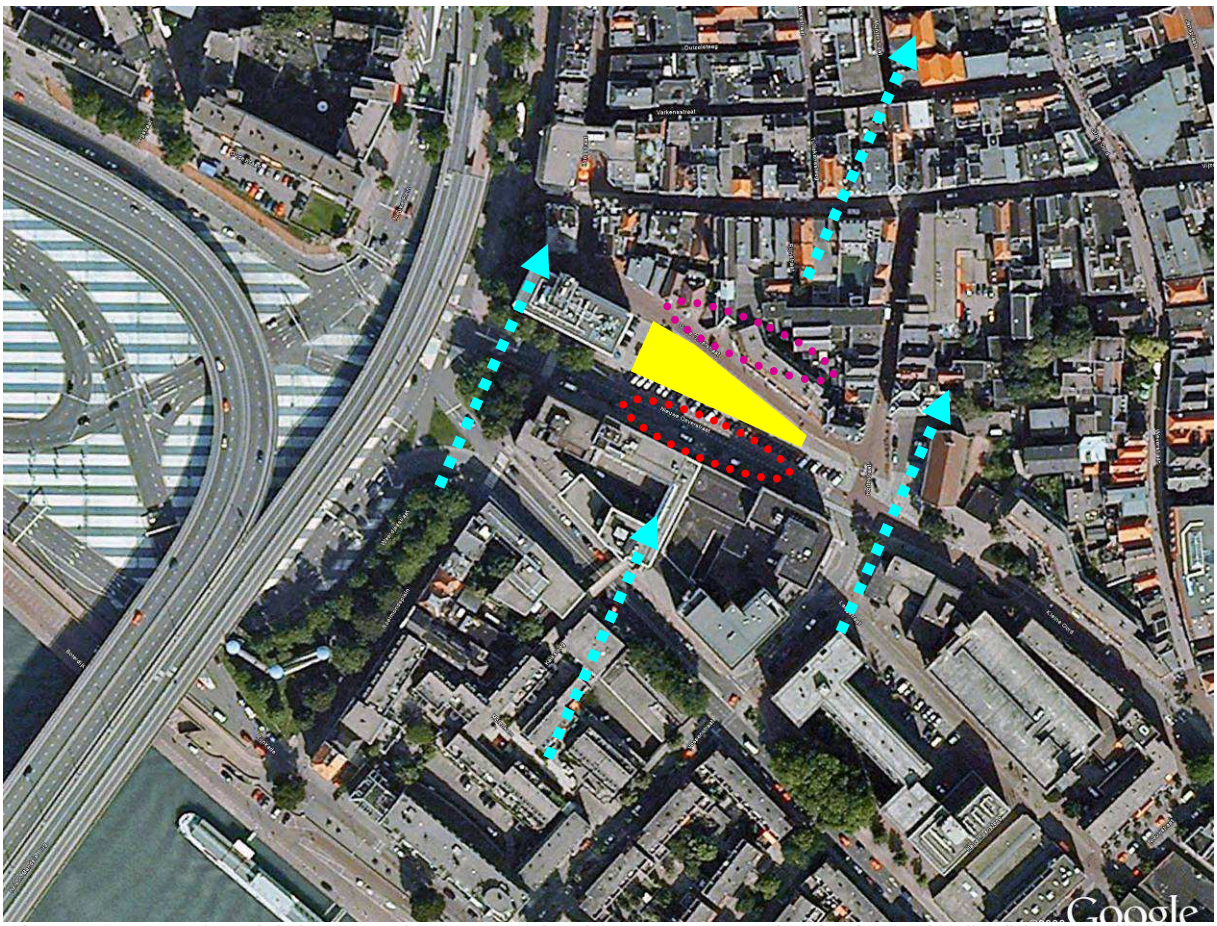
1. De omvang van de barrière die gerealiseerd wordt in relatie tot de stromingsrichting van het grondwater;
2. De diepte van de barrière die gerealiseerd wordt in relatie tot de bodemgesteldheid en de mate waarin de ondergrondse bouwdelen watervoerende lagen doorsnijden;
3. De bodemgesteldheid (de verticale doorlatendheid) van de lagen onder de barrière;
4. De locale grondwaterstandsituatie (is er sprake van een significant verhang).

Bovenstaande punten worden hieronder kort toegelicht.

*Ad 1 Omvang barrière*
De parkeergarage wordt onder de gehele nieuwbouw aangelegd, met een afmeting van ca. 90 x 15 à 30 m. De grondwaterstroming staat haaks op de lange zijde van de kelder (90 m). Aan de noord-noordwestelijke zijde en zuid-zuidoosteliijke zijde van de kelder kan daardoor een verhoging van de grondwaterstand plaatsvinden (afhankelijk van de stromingsrichting) en aan de andere zijde kan een verlaging van de grondwaterstand plaatsvinden. Zie ook figuur 3 en 4. Aan de west en oostzijde van de kelder wordt geen verandering in de grondwaterstand verwacht. Gezien de theoretische onderbouwing (bijlage 4), mag worden gesteld dat de omvang van de kelder voldoende groot is om onder bepaalde omstandigheden barrièrewerking te veroorzaken. De omvang van de verwachte barrièrewerking wordt hieronder verder toegelicht.




*Figuur 3, verwachte richting grondwaterstroming bij gemiddelde en lage waterstanden in de Nederrijn (blauwe pijlen) en verwachte stijging en daling als gevolg van barrièrewerking (respectievelijk rode en paarse ovaal)*



*Figuur 4, verwachte richting grondwaterstroming hoge waterstanden in de Nederrijn (blauwe pijlen) en verwachte stijging en daling als gevolg van barrièrewerking (respectievelijk rode en paarse ovaal)*

*Ad 2 Diepte barrière*
Uit de theoretische beschouwing blijkt dat barrièrewerking pas significant wordt bij een doorsnijding van de van de doorstroomde hoogte van het watervoerende pakket van ca. 60 à 70 %. Op de projectlocatie wordt vanaf ca. NAP -18 à -25 de eerste goed ontwikkelde waterremmende laag aangetroffen. De onderzijde van CSM-wand bevindt zich op NAP +3,1 m. Mogelijk wordt de CSM-wand dieper doorgezet tot NAP +0,1 m.
Het bovenste watervoerende pakket wordt in beide gevallen voor minder dan 60% doorsneden. Op basis van dit uitgangspunt is geen tot een minimale barrièrewerking te verwachten.

Tussen NAP +11,9 en NAP +7,8 m worden echter kleiige lagen en plaatselijk veenlagen aangetroffen. Deze lagen zijn niet overal aangetroffen (met name niet aan de noordzijde). Bij het voorkomen van deze lagen wordt het bovenste zandpakket tussen maaiveld en ca. NAP +11,9 m (gedeeltelijk) afgesloten door de CSM-wand en kelder. Hierdoor kan mogelijk barrièrewerking optreden in de zandlaag tussen maaiveld en NAP +11,9 m.

Aan de noordzijde van de projectlocatie is in het ontwerp een tunnel opgenomen naar de historische kelders. De vloer zal worden aangelegd op een niveau van NAP +11,36 m. Aan deze zijde van de projectlocatie is de waterremmende laag niet aangetroffen. Derhalve wordt

op basis van de beschikbare gegevens verwacht dat ter plaatse van de tunnel geen barrièrewerking zal optreden. Hierbij wordt wel opgemerkt dat er relatief weinig grondonderzoek beschikbaar is ter plaats van de toekomstige tunnel. Indien meer zekerheid gewenst is over het voorkomen van de stoorlagen ter plaatse van de tunnel dient aanvullend grondonderzoek te worden uitgevoerd.

*Ad 3 Bodemgesteldheid waterremmende laag*
Door de aanwezigheid van de plaatselijk aangetroffen waterremmende laag tussen ca. NAP +11,9 en NAP +7,8 m kan mogelijk in het hierboven gelegen zandpakket barrièrewerking ontstaan ter plaats van de kelder. De weerstand tegen verticale grondwaterbeweging van de waterremmende veen-/ kleilaag laag is vermoedelijk matig (matige verticale doorlatendheid).

De dikte en daarmee de weerstand van deze waterremmende veen-/ kleilaag varieert (ruimtelijk) sterk, lokaal is deze laag afwezig.

Doordat deze waterremmende laag mogelijk deels afwezig is en niet een zeer grote weerstand heeft, kan grondwater relatief makkelijk door deze laag stromen en onder de kelder en CSM-wand doorstromen. Hierdoor worden de mogelijke stijgingen en dalingen als gevolg van barrièrewerking gereduceerd.

*Ad 4 Grondwaterstanden*
De regionale stromingsrichting van het grondwater in het eerste watervoerend pakket is overwegend in zuid-zuidwestelijke richting. Bij hoge waterstanden op de Nederrijn kan de stromingsrichting draaien. Barrièrewerking is alleen aan de orde als er sprake is van een verhang van de grondwaterstand over de projectlocatie (stijghoogteverschil). Op basis van de beschikbare grondwatergegevens nabij de projectlocatie wordt verwacht dat er sprake is van een verhang over de projectlocatie tussen de 0,1 en 0,3 meter in zowel de zuid-zuidwestelijke als noord-noordoostelijke stromingsrichting. Door de barrièrewerking kunnen ten noord-noordoosten en zuid-zuidwesten van de parkeerkelder grondwaterstanden stijgen en dalen.

### 4.3. Conclusies
De opstuwing als gevolg van barrièrewerking kan niet groter zijn dan de helft van het verhang over de projectlocatie. Het maximale grondwaterverhang bedraagt ca. 0,1 tot 0,3 m. Doordat de waterremmende kleiige lagen en plaatselijk veenlagen mogelijk deels afwezig is en niet een grote weerstand heeft, kan grondwater relatief makkelijk door deze laag stromen en onder de CSM-wand doorstromen. Hierdoor worden de mogelijke stijgingen en dalingen van de grondwaterstand als gevolg van barrièrewerking gereduceerd.

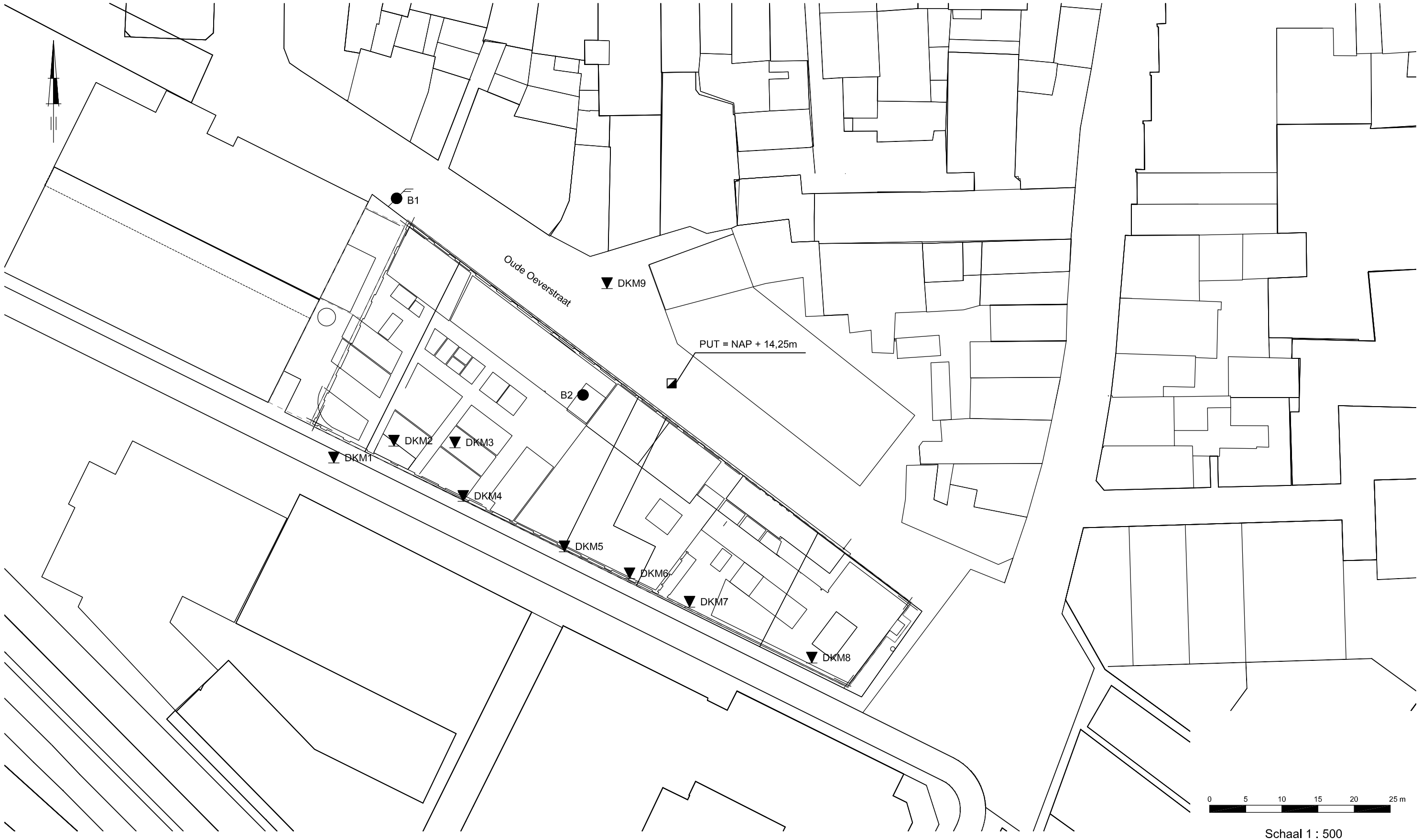
Op basis van de theoretische onderbouwing wordt verwacht dat de opstuwing van het grondwater met een factor 0,2 tot 0,3 mag worden gereduceerd. Uitgaande van een verhang van 0,1 tot 0,3 m. bedraagt dan de maximale opstuwing ca. 0,1 m.

Door de opdrachtgever is aangegeven dat aan de noordzijde van de toekomstige kelder gevoelige bebouwing aanwezig is. De laagste “kwetsbare” kelder in de omgeving heeft een peil van bovenkant vloer van NAP +11,67 m (bron: Gemeente Arnhem). De grondwaterstand dient bij voorkeur niet tot boven deze keldervloer uit te stijgen als gevolg van barrièrewerking. Uitgaande van een maatgevend hoge grondwaterstand van

ca. NAP + 11,0 m en een opstuwing van maximaal 0,1 m direct bij de nieuw te bouwen kelder, blijft de grondwaterstand naar verwachting ca. 0,5 m onder de bovenkant van de vloer van de “kwetsbare” kelder. Gezien de beperkte stijging als gevolg van barrièrewerking en omdat het verschil tussen de maatgevende grondwaterstand en het maaiveldniveau groot is wordt verwacht dat de gevolgen van de barrière op de grondwaterstanden te verwaarlozen zijn. Op basis van de uitgevoerde analyse worden op basis van de beschikbare gegevens compenserende maatregelen niet noodzakelijk geacht.

Voor de analyse ten aanzien van de barrièrewerking wordt er vanuit gegaan dat eventuele damwanden ter plaatse van de tunnel aan de noordzijde na de aanleg van tunnelbak worden getrokken en dat in de permanente situatie er geen damwanden meer aanwezig zijn. Indien blijkt dat toch damwanden aanwezig blijven, dient dit advies te worden geverifieerd en mogelijk te worden herzien.

Opgemerkt wordt dat relatief weinig grondonderzoek beschikbaar is ter plaats van de toekomstige tunnel. Indien meer zekerheid gewenst is over het voorkomen van de stoorlagen ter plaats van de tunnel dient aanvullend grondonderzoek te worden uitgevoerd. Tevens wordt opgemerkt dat de grondwateranalyse is opgesteld op basis van peilbuizen van de Gemeente. De exacte hoogte van de kop van de peilbuizen is echter niet bekend. Indien meer inzicht is gewenst in het verhang op de projectlocatie dienen de peilbuizen te worden ingemeten t.o.v. NAP.



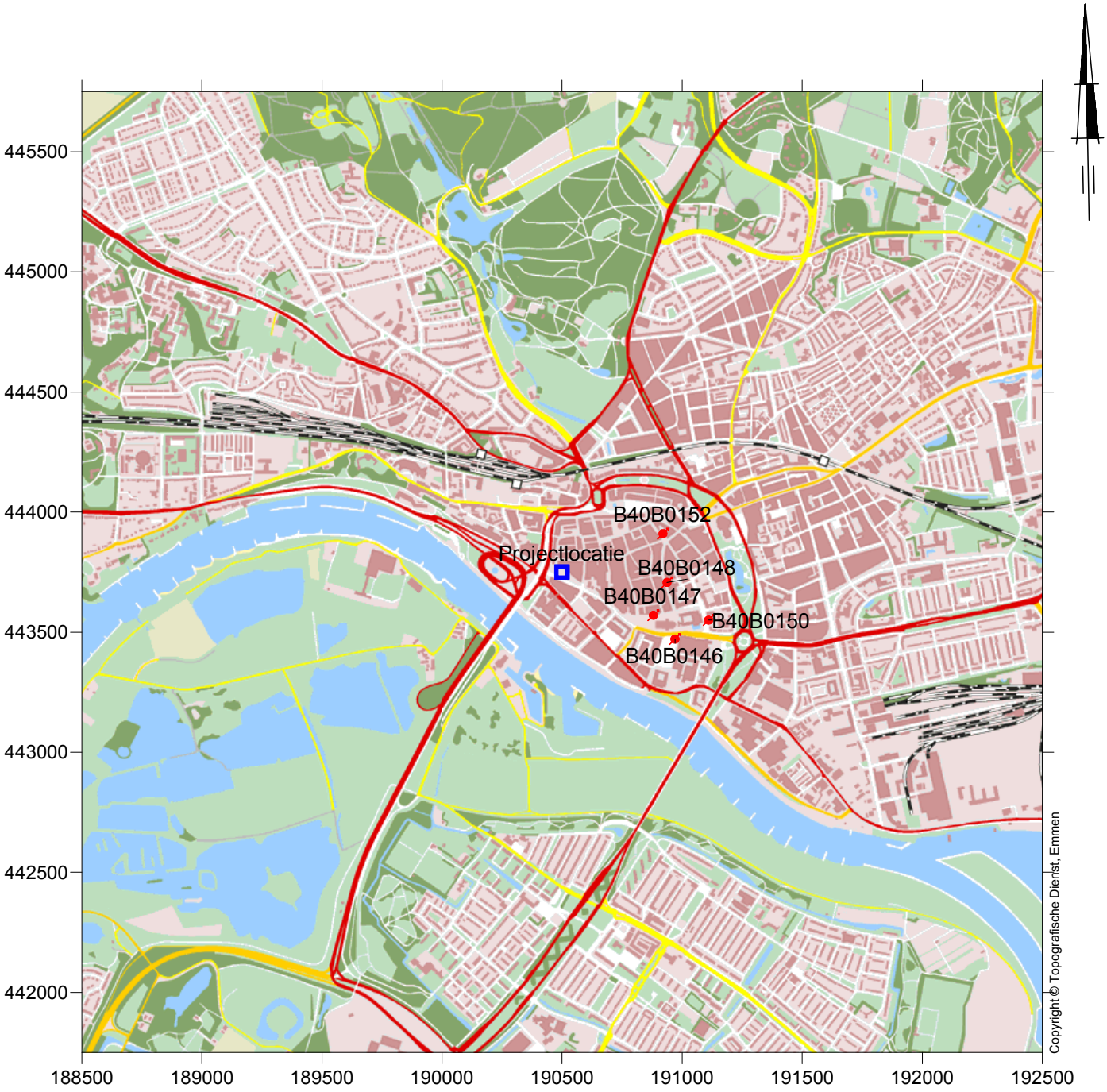

Schaal 1 : 500

Get.: YGZ Datum: 25-10-2010 Versie : Revisie Datum:

G:\72\7209-0513-000\acad\7209-0513-000_1.dwg

SITUATIE MET BOORPUNTEN
NIEUWBOUW KENNISCLUSTER RIJNBOOG AAN DE OUDE OEVERSTRAAT TE ARNHEM

Opdr. : 7209-0513-000
Bijl. : 1




Peilbuizen van het landelijk meetnet van TNO

*schaal 1 : 25.000*

**LOCATIEOVERZICHT EN PEILBUISLOCATIES TNO**

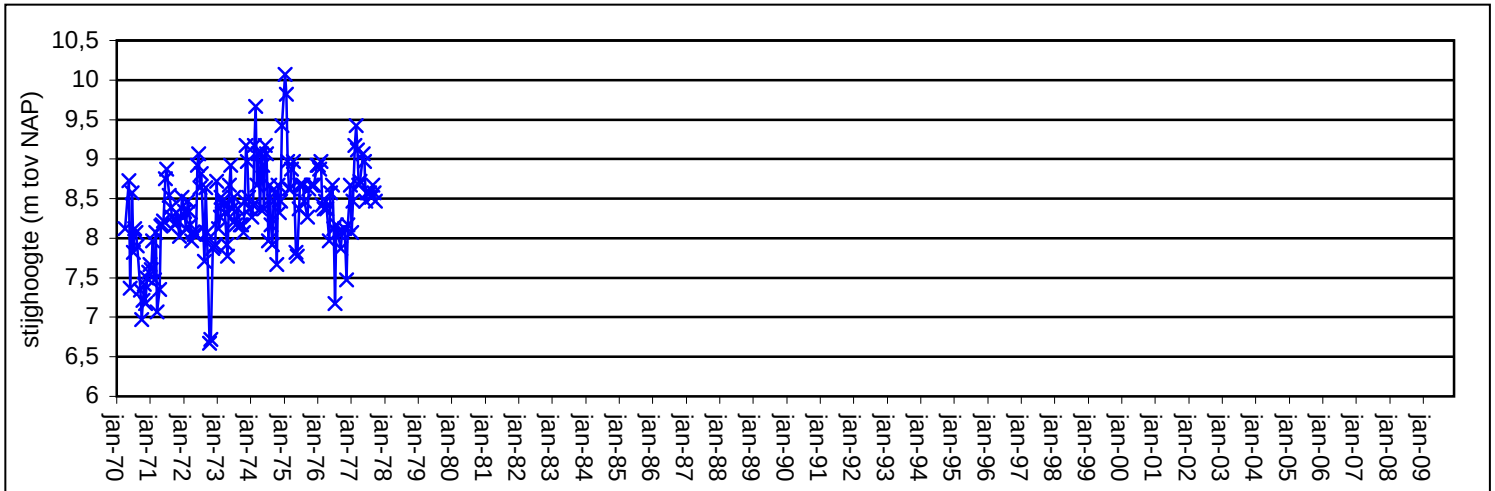
NIEUWBOUW KENNISCLUSTER RIJNBOOG A/D OUDE OEVERSTRAAT TE ARNHEM

Opdr. : 7209-0513-000
Bijlage : 2

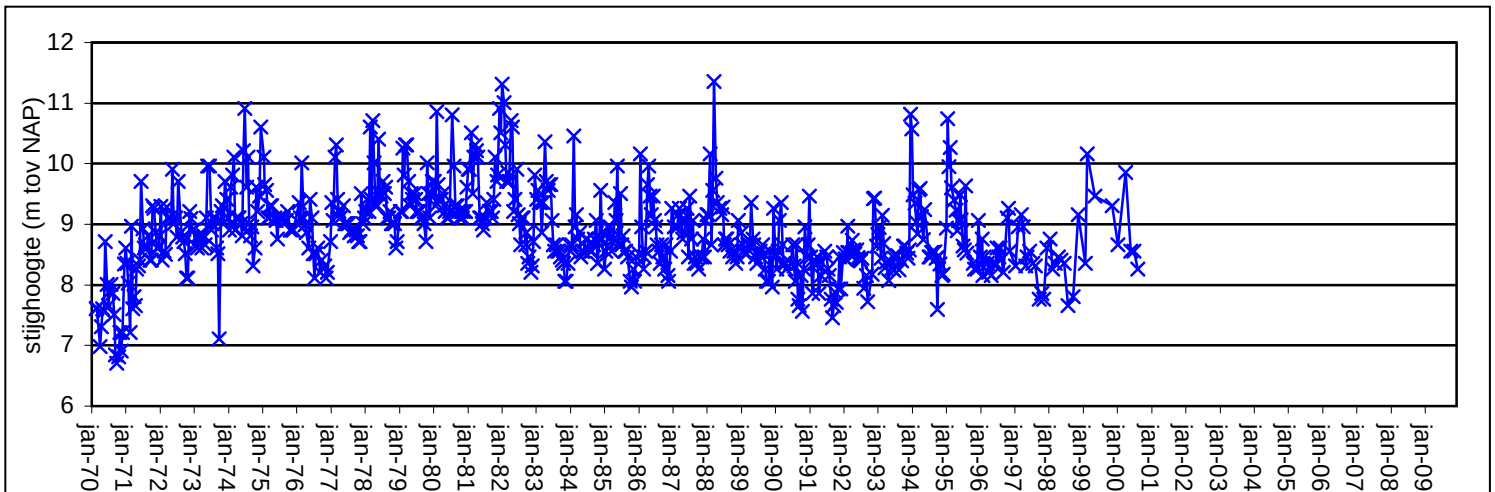
**DINO**
**Grondwater**
**TNO**

## Tijd-stijghoogtelijnen

**Periode van:** 1-1-1970 **tot:** 1-1-2010 **Referentie: NAP**




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peilbuisnummer: | **B40B0146 01** | x-coord. | 190970 | Filterafstelling: | van | 3,06 | m tov NAP |
| Maaiveldhoogte: 12.56 m tov NAP | | y-coord. | 443471 | | tot | -8,94 | m tov NAP |

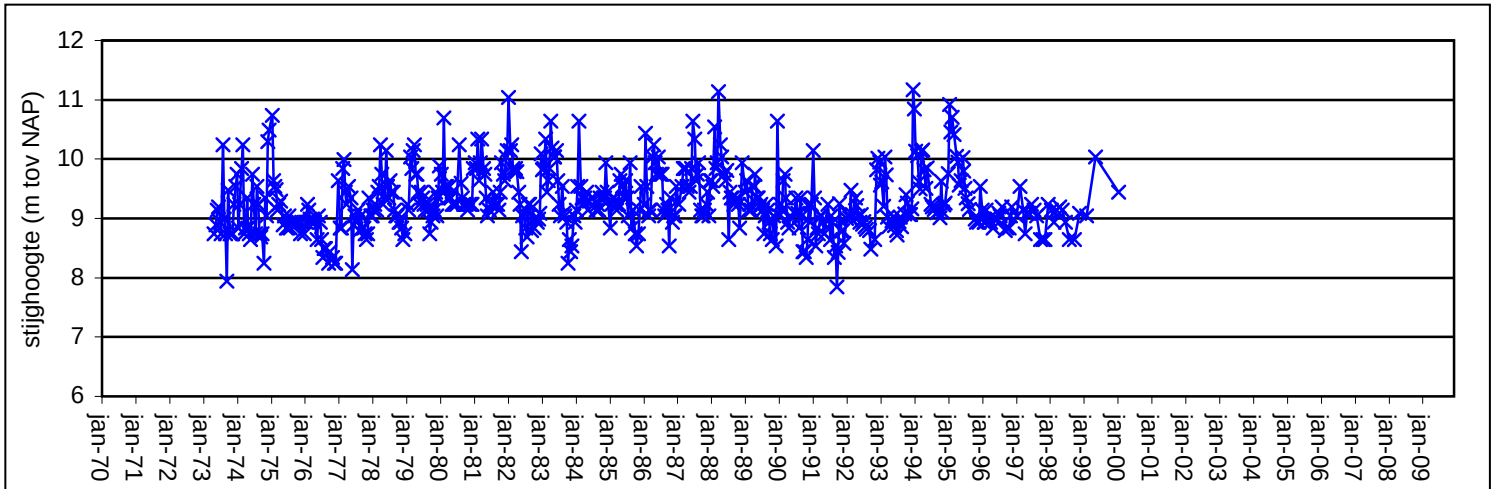



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peilbuisnummer: | **B40B0147 01** | x-coord. | 190880 | Filterafstelling: | van | 5,45 | m tov NAP |
| Maaiveldhoogte: 12.88 m tov NAP | | y-coord. | 443570 | | tot | -6,55 | m tov NAP |

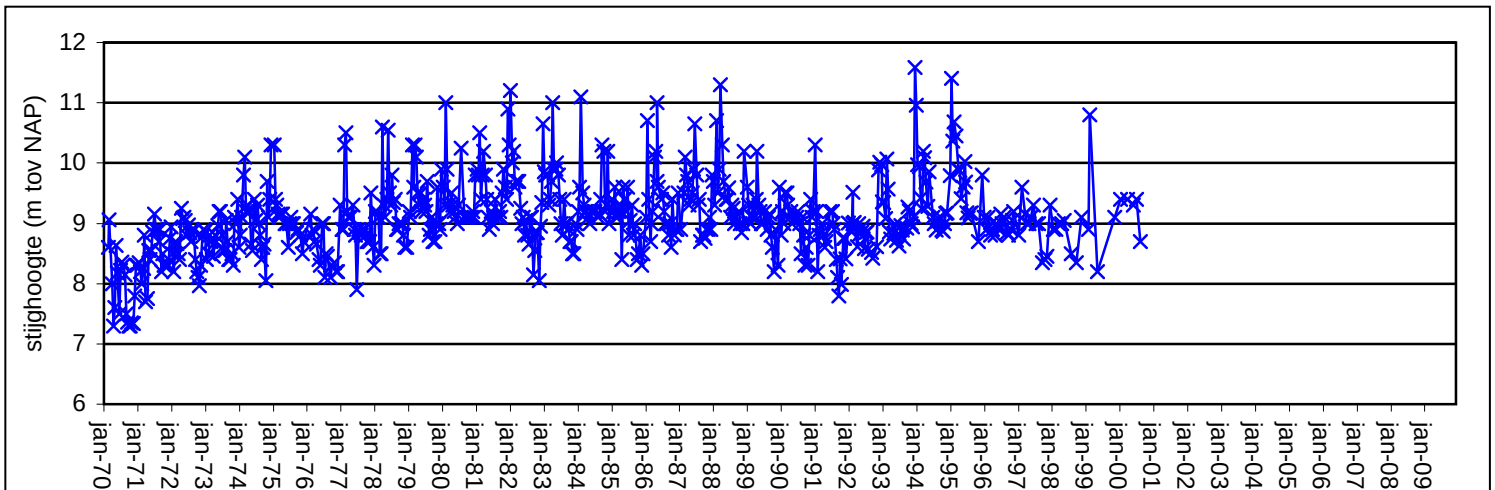
**DINO**
**Grondwater**
**TNO**

## Tijd-stijghoogtelijnen

**Periode van:** 1-1-1970 **tot:** 1-1-2010 **Referentie: NAP**




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peilbuisnummer: | **B40B0148 01** | x-coord. | 190937 | Filterafstelling: | van | 5,11 | m tov NAP |
| Maaiveldhoogte: 13.11 m tov NAP | | y-coord. | 443707 | | tot | -6,89 | m tov NAP |




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Peilbuisnummer: | **B40B0150 01** | x-coord. | 191110 | Filterafstelling: | van | 4,50 | m tov NAP |
| Maaiveldhoogte: 12.5 m tov NAP | | y-coord. | 443550 | | tot | -7,50 | m tov NAP |

**DINO**
**Grondwater**
**TNO**

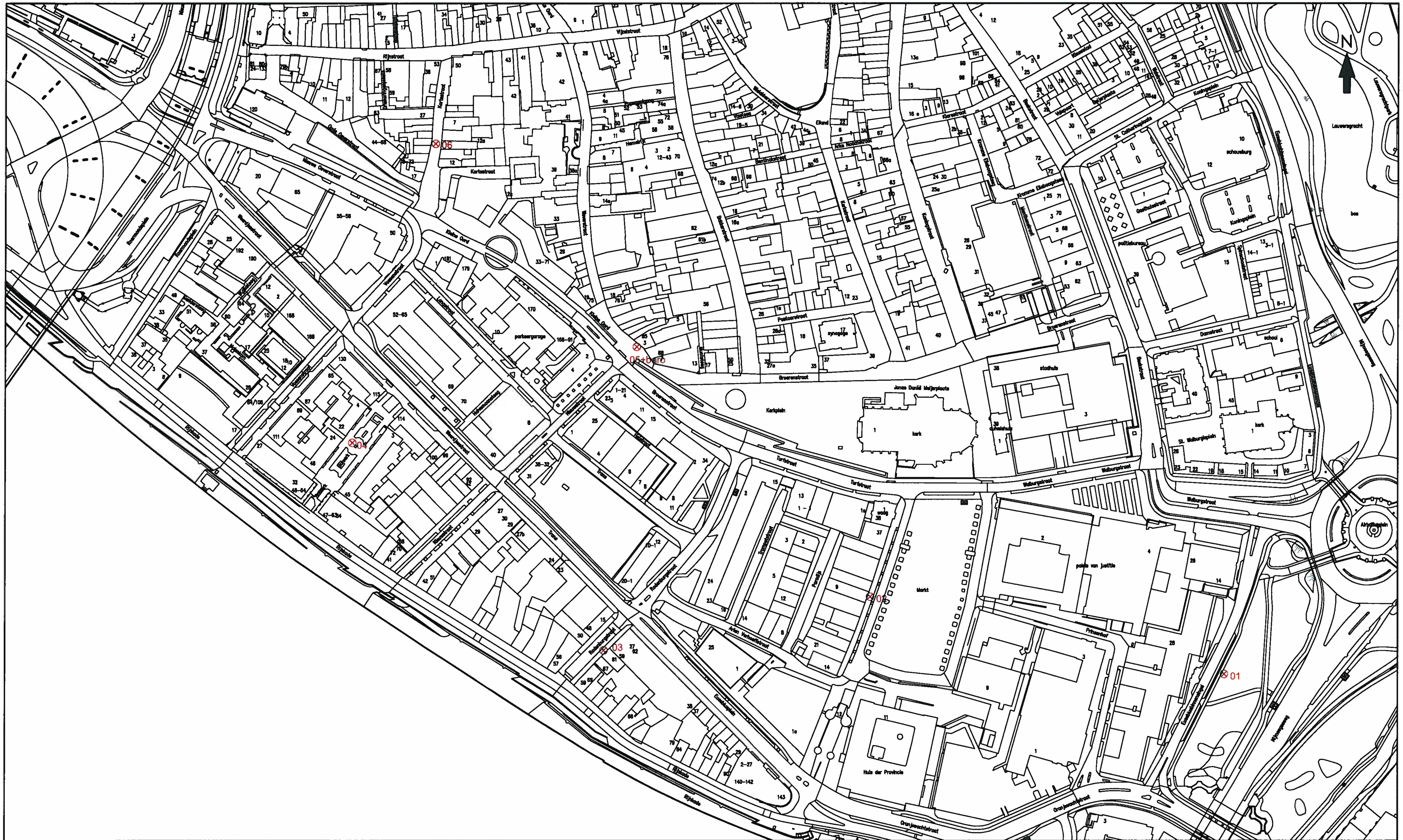
**Tijd-stijghoogtelijnen**

**Periode van:** 1-1-1970 **tot:** 1-1-2010 **Referentie: NAP**




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Peilbuisnummer: | **B40B0152 01** | x-coord. | 190920 | Filterafstelling: | van | 5,23 m tov NAP |
| Maaiveldhoogte: 13.23 m tov NAP | | y-coord. | 443910 | | tot | -6,77 m tov NAP |

# BIJLAGE 4:
# Grondwaterstandgegevens van peilbuizen van de Gemeente Arnhem




VERKLARING:

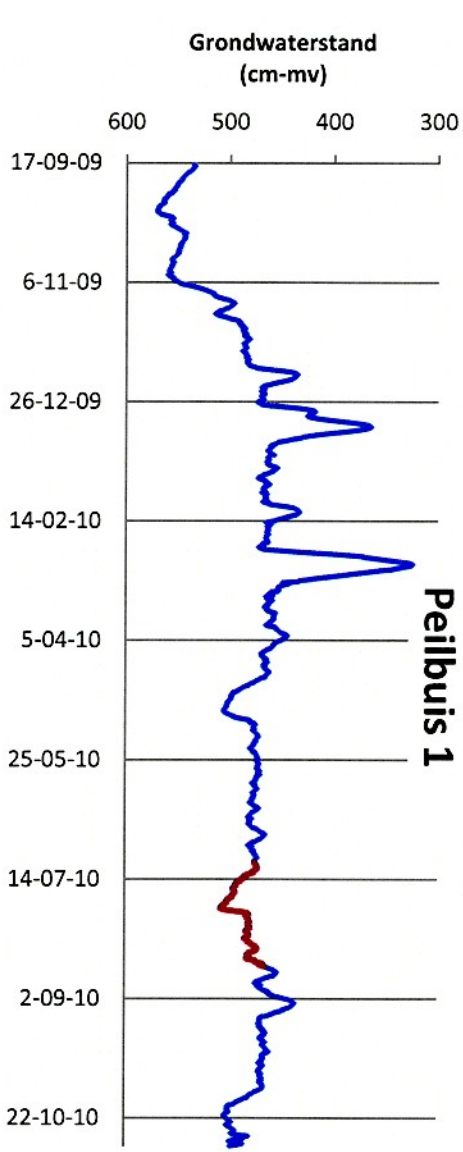
⊗ PEILBUIS

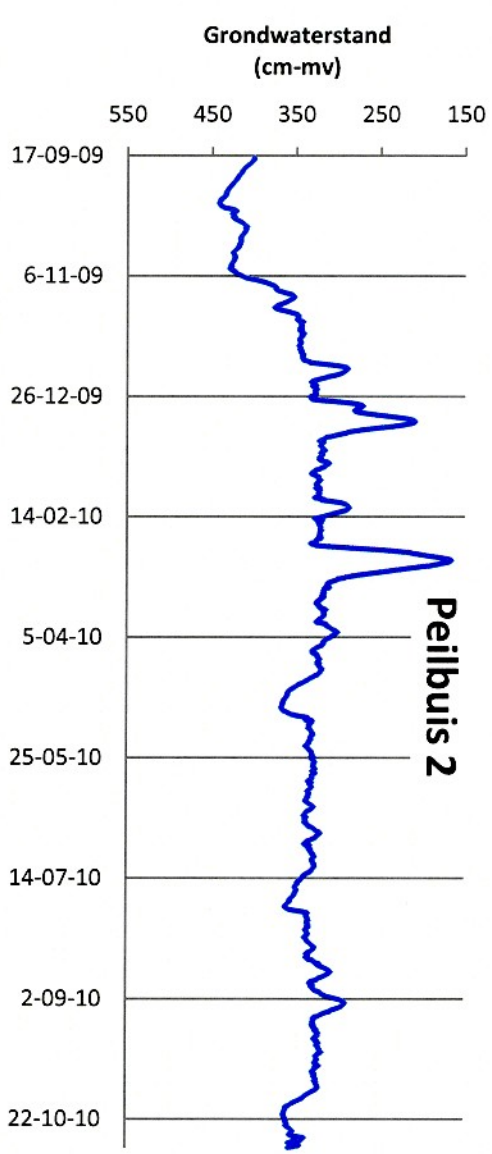
0 25 50 75 100 125 150m.

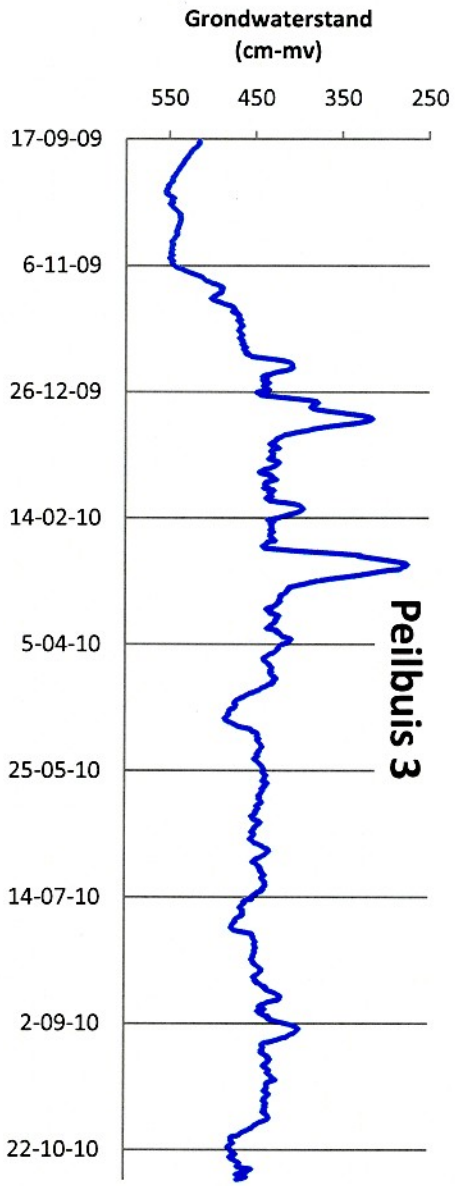
de plaats van boringen is op deze tekening globaal aangegeven

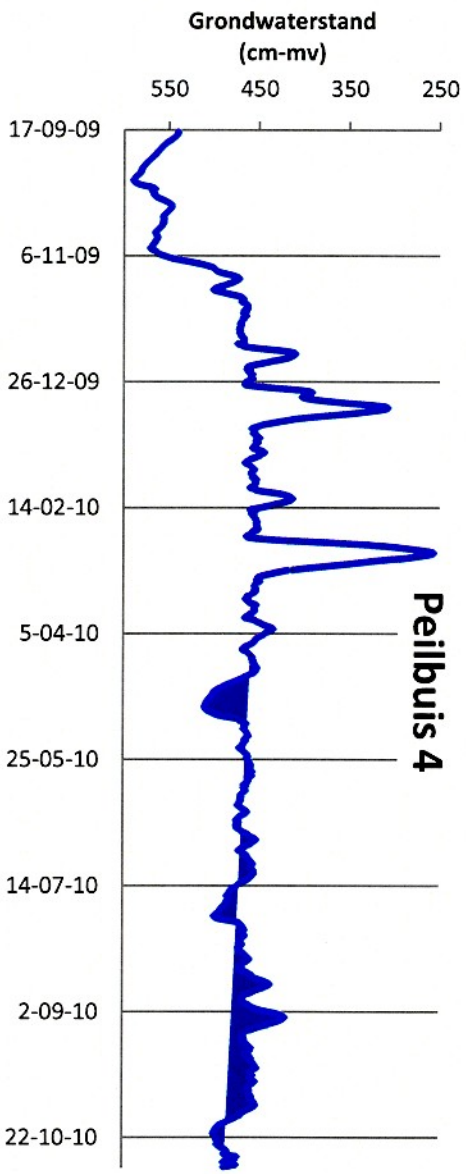
B9B18802 PS1 formaat:A3

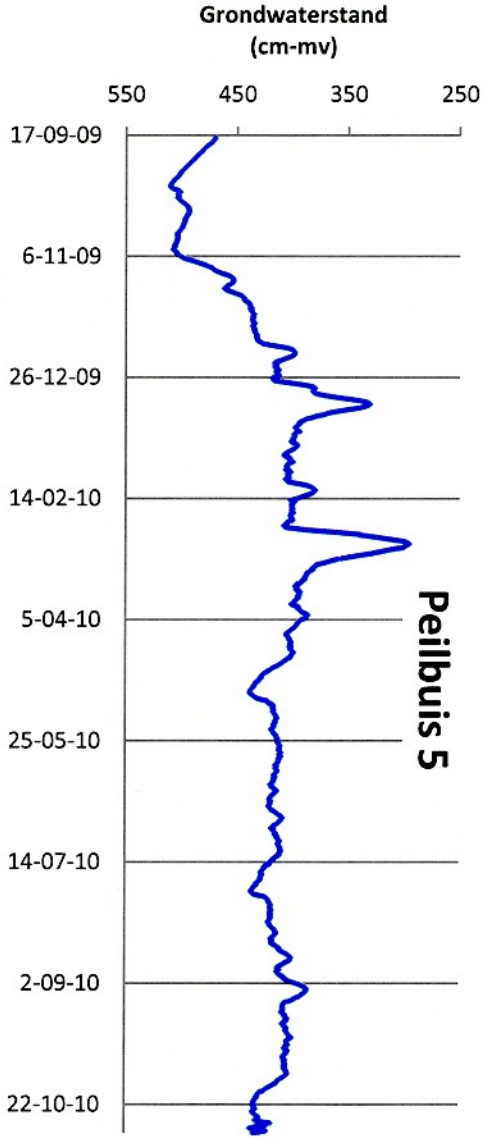
| BIJLAGE | SITUATIETEKENING | BIJLAGENR. 1 |
|---|---|---|
| PROJECT | Monitoring grondwaterstanden Rijnboog te Arnhem | TEKENAAR: T.Janssen |
| OPDRACHTGEVER | Gemeente Arnhem | MWH |
| DATUM 18-08-2010 | SCHAAL 1:2500 | PROJECTNR. B09B0188 |

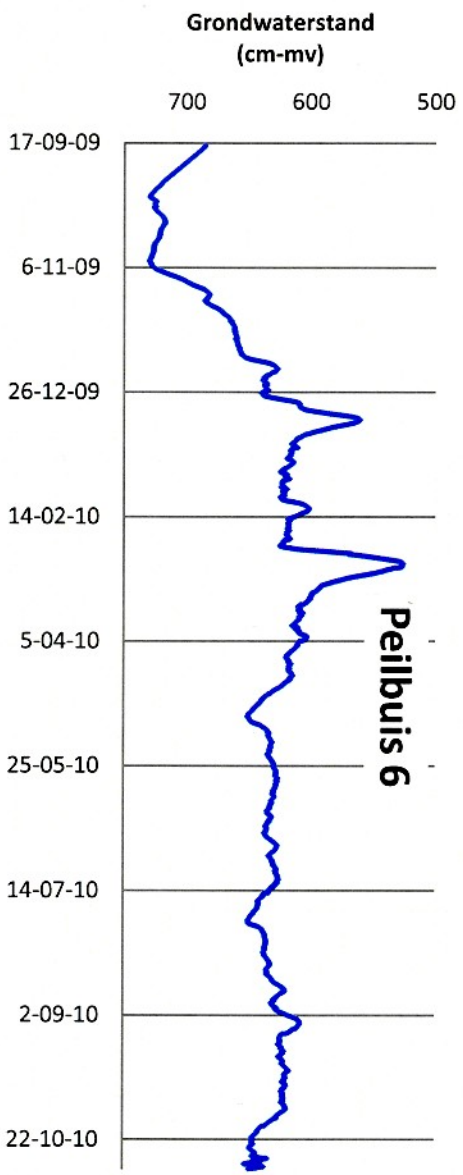

Grondwaterstand
(cm-mv)
600
500
400
300
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 1


Grondwaterstand
(cm-mv)
550
450
350
250
150
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 2


Grondwaterstand
(cm-mv)
550
450
350
250
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 3

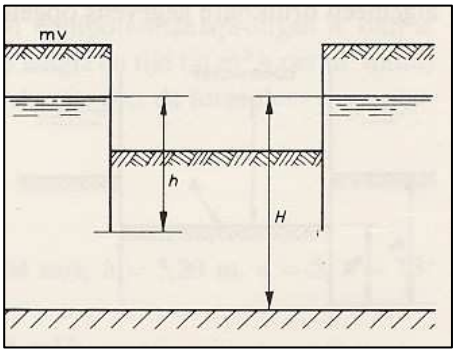

Grondwaterstand
(cm-mv)
550
450
350
250
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 4


Grondwaterstand
(cm-mv)
550
450
350
250
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 5


Grondwaterstand
(cm-mv)
700
600
500
17-09-09
6-11-09
26-12-09
14-02-10
5-04-10
25-05-10
14-07-10
2-09-10
22-10-10
Peilbuis 6

**THEORETISCHE ONDERBOUWING BARRIÈREWERKING**

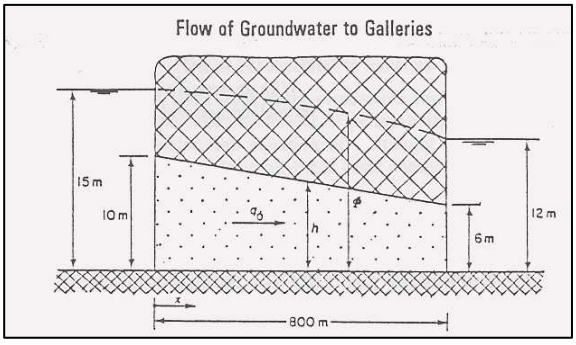
Fugro heeft, ten behoeve van de Geotechniekdag 2001 te Breda, barrièrewerking nader bestudeerd en toegelicht in een artikel. De hiernavolgende theoretische onderbouwing van barrièrewerking is aan dat artikel ontleend [1].




De theoretische veronderstelling is dat de grootte van de barrièrewerking afhankelijk is van de mate waarin de ondergrondse constructie de watervoerende lagen afsluit. Hierbij is er sprake van een analogie met de onderzoeken van Weber *(H. Weber, Die Reichweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen, 1928)*. Uit deze bleek dat er minder water naar een bouwput stroomt naarmate de damwand die de bouwput omsluit, dieper wordt geheid en daarmee een groter deel van de watervoerende laag afsluit.

*Figuur 1 Principeschets bouwput*

De relatie die werd gevonden, bleek onafhankelijk van de doorlatendheid (k-waarde), maar (niet verwonderlijk) afhankelijk van de verhouding tussen de inheidiepte van de damwand ten opzichte van het piezometrisch niveau (h) en de diepte van de onderzijde van de beschouwde watervoerende laag ten opzichte van ditzelfde piezometrische niveau (H) zoals op figuur 1 [*Bron: M.J. Fraanje, 'Bronbemaling', 1974, p. 166.*] is weergegeven.
Wanneer de damwand de watervoerende laag geheel afsluit geldt h/H = 1,0 en is de reductie in het waterbezwaar uiteraard 100%. De reductie wordt pas significant wanneer de verhouding h/H groter is dan 0,6 à 0,7.

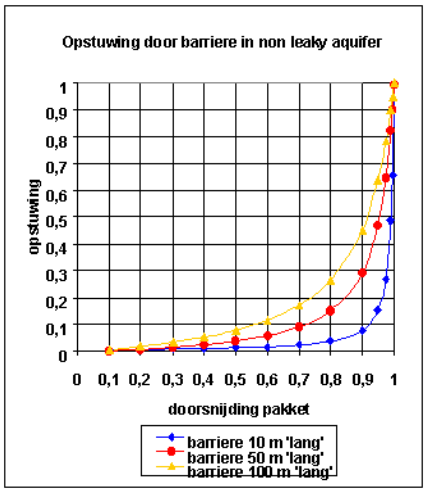



*Figuur 2 Grondwaterstroming*

De hoeveelheid water die van de ene naar de andere kant wil stromen, is afhankelijk van het verschil in stijghoogte, de dikte van het doorstroomde pakket en de doorlatendheid. Met vaste aangenomen stijghoogten op de randen en met een afnemende dikte van de watervoerende laag lijkt het model op Huismans' "Flow of groundwater through a confined aquifer without recharge" [*Bron: L. Huisman; Groundwater Recovery, 1972, p.19]*, zie figuur 2. Hierbij mag de rechterkant van de figuur ook gelezen worden als een ondergronds element (bijv. een kelder) die de watervoerende laag doorsnijdt. In deze figuur, waarin h is uitgedrukt als h= a + bx geldt dat:

$$\varphi = - q_0/kb * ln(a+bx)+C$$

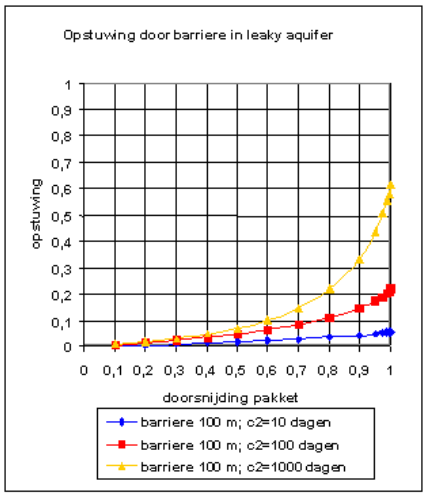
In figuur 3 zijn de resultaten gegeven van een simulatie van de geohydrologisch meest simpele situatie van 1 watervoerende laag met ‘volkomen’ spanningswater: zowel aan de boven- als onderzijde wordt de watervoerende laag begrensd door 100% ondoorlatende lagen, waardoor er geen ‘voeding’ is door bijvoorbeeld neerslag of kwel.




*Figuur 3 Berekende opstuwing door barrière*

In de simulatie is sprake van een oneindig brede barrière die waterondoorlatend is (de lengte in stromingsrichting varieert van 10, 50 en 100 m ‘lang’). In de grafiek is zichtbaar dat, omdat er geen sprake is van voeding, alle lijnen bij 100% doorsnijding van de watervoerende laag een opstuwing van 100% te zien geven, waarbij 100% gelijk is aan het halve verschil in stijghoogte zoals dat er was voordat de barrière werd gerealiseerd. Uit de grafiek is te concluderen dat bij een betrekkelijk ‘korte’ barrière pas na zeer significante afsluiting van een watervoerend pakket enige opstuwing merkbaar is. Bij langere barrières, bijvoorbeeld 50 of 100 m in de stromingsrichting (en ‘volkomen’ in de breedte) zijn de effecten eerder merkbaar, maar worden ook pas vanaf een afsluiting van 60 tot 70% significant.

Omdat de ‘ideale’ geohydrologische situatie niet voorkomt, is een simulatie uitgevoerd met dezelfde barrière maar met een extra watervoerende laag onder de barrière.
De watervoerende lagen zijn van elkaar gescheiden door een waterremmende laag met een weerstand (in ‘dagen’) tegen verticale grondwaterbeweging die bepalend is voor de hoeveelheid grondwater die van de ene naar de andere laag kan stromen. Deze weerstand is in de simulaties gevarieerd (10, 100 en 1000 dagen).



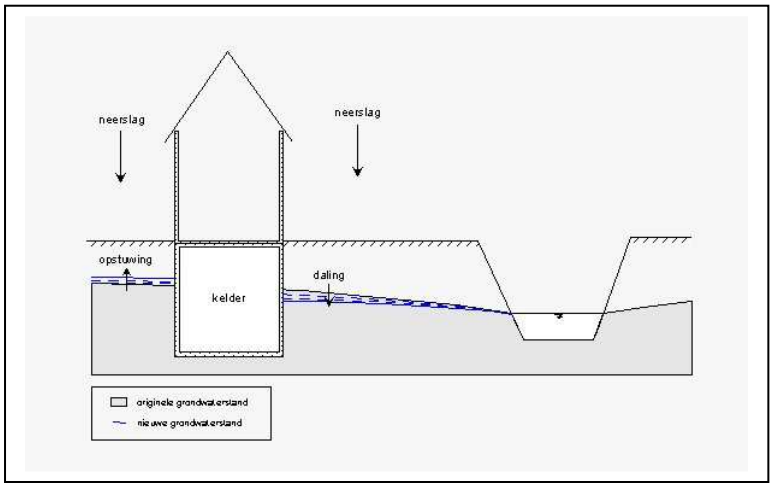

*Figuur 4 Berekende opstuwing door barrière met onderliggende watervoerende laag*

Uit figuur 4 blijkt duidelijk dat, als gevolg van de voeding, ook bij 100% doorsnijding van de bovenste watervoerende laag, de opstuwing nooit 100% zal kunnen worden, tenzij de weerstandslaag een oneindig grote weerstand heeft. Verder is duidelijk uit de figuur op te maken dat, in vergelijking met de vorige figuur, het effect van de barrière nu veel minder merkbaar is.

Na aanvullende simulaties met kleinere objecten werd besloten met de volgende conclusie: opstuwing van grondwater door de barrièrewerking van ondergrondse constructies zal over het algemeen pas significant worden:

1. wanneer sprake is van een significant stijghoogteverschil over de beschouwde locatie;
2. wanneer een watervoerende laag over meer dan 60 à 70% van de totale hoogte van de laag wordt doorsneden,
   a. waarbij de totale barrière een significante breedte loodrecht op de grondwater stromingsrichting heeft van enkele tot meerdere tientallen meters;
   b. waarbij de totale barrière een significante lengte in de richting van de grondwaterstroming heeft van meerdere tientallen meters;
3. wanneer de watervoerende laag aan boven- en onderzijde wordt begrensd door waterremmende lagen met een grote weerstand van enkele honderden tot (enkele) duizend(en) dagen waardoor voeding in verticale zin (verwaarloosbaar) klein blijft.

In een omgeving met meerdere aaneengesloten ondergrondse constructies, mag wanneer sprake is van een stijghoogteverschil, significante opstuwing niet worden uitgesloten, met name niet in ondiepe freatische watervoerende lagen.




*Figuur 5: Barrièrewerking*