

## HDDW: van concept tot realisatie

Overzicht van onderzoeken verricht in het kader van het HDDW project

**BTO 2010.029**  
**Oktober 2010**

**Visser & Smit Hanab**



## **HDDW: van concept tot realisatie**

Overzicht van onderzoeken verricht in het kader van het HDDW project

**BTO 2010.029**  
**Oktober 2010**

© 2009 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



# Colofon

**Titel**

HDDW: van concept tot realisatie

**Projectnummer**

B111643 / A308321

**Projectmanager**

Jan Willem Kooiman

**Opdrachtgever**

CvO

**Kwaliteitsborger(s)**

Participanten HDDW consortium

**Auteur(s)**

Femke Rambags, Gijsbert Cirkel (beiden KWR), Ilse van der Hoeven, Ruben Rothuizen (beiden Visser & Smit Hanab), & Bas Pittens (IF Technology)

**Met medewerking van**

Patrick van der Wens, Carl van Rosmalen (beiden Brabant Water), Ate Oosterhof (Vitens), Theo Olsthoorn (TU Delft en Waternet), Louis Wildvank (Wavin)

**Verzonden aan**

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.



# Voorwoord

De zogeheten HDD-techniek (Horizontal Directional Drilling) wordt al sinds lange tijd gebruikt bij de aanleg van (gesloten) pijpleidingen. Deze techniek wordt tevens als veelbelovend geacht voor het aanleggen van horizontale winningen. De toepassing van HDD voor de aanleg voor HDDW's (HDD Wells) biedt veel voordelen ten opzichte van verticale putten, maar was tot op heden niet succesvol. Een door middel van HDD aangelegde put in Krefeld (Duitsland) bleef zand leveren en heeft een te laag specifiek debiet. Een poging bij Houten om een horizontale put voor energieopslag aan te leggen, gaf zulke grote problemen dat uiteindelijk besloten is vervangende verticale putten te boren.

De aan de ene kant hoge potentie van de techniek, maar aan de andere kant weinig succesvolle pogingen was voor een breed consortium (KWR, IF Technology, TU Delft, Visser & Smit Hanab, Brabant Water, Vitens, Waternet en Wavin) aanleiding tot het uitvoeren van verschillende onderzoeken om te komen tot een duurzame en kostenefficiënte toepassing van HDD voor de aanleg van horizontale putfilters. Het onderzoekstraject, waarvoor een InnoWater subsidie is verkregen van Agentschap NL (voorheen SenterNovem), is gestart in 2006 en afgerond in juni 2010. Het voorliggende rapport doet verslag van alle stappen en onderzoeken uitgevoerd in het kader van dit project. Het is een samenvattend eindrapport waarin verwezen wordt naar achterliggende rapporten, en waarin memo's en notities als bijlagen zijn opgenomen, om de toegankelijkheid daarvan te waarborgen.



# Samenvatting

## Inleiding

Horizontale putten hebben grote voordelen boven de gebruikelijke verticale putten.

Bestaande conventionele technieken zijn echter niet voldoende geschikt voor het aanleggen van horizontale putten. Een veelbelovende en kostenefficiënte methode voor het maken van horizontale putten is horizontaal gestuurd boren (Horizontal Directional Drilling ofwel HDD).

De in potentie zeer grote voordelen van HDDW's was voor een breed consortium bestaande uit KWR, IF Technology, TU Delft, Visser & Smit Hanab, Brabant Water, Vitens, Waternet en Wavin reden tot het uitvoeren van verschillende onderzoeken om te komen tot een duurzame en kostenefficiënte toepassing van HDD voor de aanleg van horizontale putfilters. Het voorliggende rapport doet verslag van alle stappen en onderzoeken uitgevoerd in het kader van dit project.

## Werkpakketten

Naar aanleiding van de in een haalbaarheidstudie naar bovengekomen bottlenecks zijn vijf werkpakketten opgesteld: (1) Buis en filtermateriaal, (2) Boorvloeistof, (3) Prepareren van filtertraject, (4) Putconstructie en ontwerp, (5) Monitoring en regeneratie. Voor ieder werkpakket zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd.

### (1) Buis en filtermateriaal

Een goed putfilter heeft een groot open oppervlak, een hoge treksterkte en is betaalbaar. Van de conventionele materialen is alleen RVS (roestvast staal) wikkeldraadfilter geschikt. De kosten van RVS zijn echter zo hoog dat de techniek dan (ondanks andere voordelen) al snel niet meer concurrerend is met conventionele technieken. Door Wavin is een nieuw type PVC buis ontwikkeld met betere eigenschappen dan regulier PVC. Uit verschillende testen blijkt dat Apollo PVC voldoende treksterkte heeft om met een mantelbuis in boorgat getrokken te kunnen worden, maar door een beperkt open oppervlak moeilijk te ontwikkelen is. Een alternatief is het recent ontwikkelde Johnson PVC wikkeldraadfilter. De treksterkte en het open oppervlak maken de Johnson buis uitermate geschikt voor het de aanleg van een HDDW. Door de huidige verbindingen is het huidige Johnson filter echter niet sterk genoeg om zonder mantelbuis in het boorgat te trekken. Verdere ontwikkelingen moeten uitwijzen of dit in de toekomst wel mogelijk is.

### (2) Boorvloeistof

Eén van de grootste bottlenecks is de boorspoeling. Het transportvermogen moet hoog genoeg zijn, om neerslag van losgeboord formatiemateriaal te voorkomen. Verweking van de boorgatwand moet worden voorkomen door opbouw van een 'filterkoek'. Om onttrekken of infiltreren mogelijk te maken moet deze filterkoek echter weer verwijderd worden.

Uit laboratoriumproeven blijkt dat het mogelijk is met polymeren een spoeling te maken met gelijke eigenschappen als bentoniet. Xanthaan komt hierbij het meest overeen met bentoniet. Een proefboring toont aan dat met xanthaan een kwantitatief goede put kan worden gemaakt. Xanthaan kan hierbij alleen worden afgebroken door Fenton's reagens. De microbiologische groeipotentie van de boorvloeistof maakt xanthaan echter problematisch bij drinkwatertoepassingen.

In eerste instantie is aangenomen dat bentoniet een ongeschikte boorvloeistof is omdat bentoniet de poriën van het omliggende zandmassief verstopt. Uit een laboratorium- en veldproef blijkt echter dat bentoniet goed te verwijderen is dankzij een geringe indringdiepte en het gebruik van het regeneratiemiddel Aquaclear PFD.

### (3) Prepareren van het filtertraject

Bij HDD-boringen is de boorgatwand zo goed afgepleisterd dat het moeilijk is de regeneratiemiddelen op de juiste plaats te krijgen. Om het contactoppervlak tussen de regeneratiemiddelen en de boorvloeistof te vergroten en het regeneratiemiddel zo snel en efficiënt mogelijk in het boorgat te krijgen is een spoelkop ontwikkeld. Deze spoelkop wordt bevestigd aan het uiteinde van de mantelbuis. Het gebruik van de spoelkop leidt, als gevolg van onbekende variabelen, echter niet altijd tot het instorten van het boorgat. Daarnaast krijgt de spoelkop, bij vroegtijdig instorten van de boorgatwand, een soort



ankerfunctie waardoor de mantelbuis kan vastlopen. Het blijkt heel moeilijk om een goede gecontroleerde boring te maken met een mantelbuis. Er is een groot risico dat de mantelbuis kan vastlopen.

Tijdens een grootschalige testwinning, uitgevoerd met een bentoniet boorvloeistof, blijkt ontwikkelen door middel van jetten met Aquaclear zeer effectief voor het verwijderen van de boorvloeistof.

Om te voorkomen dat er zand uit de formatie in de put terecht komt en om een zo optimaal mogelijke toestroming te verkrijgen naar de put moet er een omstorting om een put worden aangebracht. Uit een proef blijkt dat het mogelijk is een natuurlijke omstorting te ontwikkelen door middel van jetten. Een groot open oppervlakte is een voorwaarde voor het succesvol ontwikkelen van het filter. De HDDW testwinning in Nieuwegein levert weinig zand. Er kan geconcludeerd worden dat het plaatsen van een filterbuis zonder omstorting goed heeft gewerkt.

Op locaties met fijn homogeen zand is het moeilijk om een natuurlijke omstorting te creëren. In dat geval moet een kunstmatige omstorting worden aangebracht. Dit kan door het gebruik van een filterbuis met prefab omstorting of het inspuiten van zand tijdens het uittrekken van de mantelbuis. Deze technieken moeten echter nog verder worden ontwikkeld.

#### **(4) Putconstructie en ontwerp**

Een juist putontwerp is voorwaarde voor een efficiënte en effectieve bedrijfsvoering. Voor dit werkpakket zijn echter geen speciale proeven uitgevoerd. Wel is er betreffende het ontwerpen van een put veel werk gedaan aan de put te Macharen en de HDDW testwinning te Nieuwegein. Voor beide cases zijn hydrologische modellen opgesteld waarbij capaciteit en afpompings zijn berekend.

Een belangrijk onderdeel van het putontwerp is het afstemmen van het filtermateriaal op de lokale geologische omstandigheden. Tijdens een pilotboring is geprobeerd om, aan de hand van returns, de variaties in gemiddelde korrelgrootte van de formatie te bepalen langs het geboorde traject. Deze methode bleek niet succesvol. Daarnaast is er een protocol opgesteld waarbij aan de hand van de gemiddelde korrelgrootte van een grondmonster de optimale filterspleetwijdte en de optimale korreldiameter van een eventuele kunstmatige zandomstorting kan worden bepaald. Dit protocol is nog niet getest.

#### **(5) Monitoring en regeneratie**

Een belangrijke eis van eindgebruikers bij de aanschaf van putten is de onderhoudbaarheid. Daarnaast is ook de mogelijkheid om het functioneren van de put en de waterkwaliteit te kunnen monitoren van groot belang. Bestaande onderhoudsapparatuur en monitoringsmethoden zijn veelal ontwikkeld voor verticale putten. Monitoring vereist momenteel, zo is de inschatting, geen vernieuwende concepten. Voor wat betreft de regeneratie kan gesteld worden dat al het onderzoek naar de putontwikkeling direct na aanleg, c.q. het verwijderen van de boorspoeling voor middel van jetten en sectiegewijs ontwikkelen ook van toepassing is op regeneratie.

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Horizontale technieken voor infiltratie en onttrekking van (grond)water	7
1.2 Conventionele technieken	8
1.3 Horizontaal gestuurd boren van putten	9
1.4 Toepassingsmogelijkheden HDDW	10
1.5 Probleemstelling	11
1.6 Beoogde resultaten en doelstellingen	11
1.7 Opzet van rapport, leeswijzer	11
<b>2 Onderzoeksoverzicht</b>	<b>13</b>
<b>3 Materiaal filterbuis en koppeling</b>	<b>15</b>
3.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	15
3.2 Resultaten en conclusies	15
3.3 Uitgevoerd onderzoek	16
<b>4 Boorspoeling</b>	<b>19</b>
4.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	19
4.2 Resultaten en conclusies	19
4.3 Uitgevoerd onderzoek	20
<b>5 Prepareren van het filtertraject</b>	<b>23</b>
5.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	23
5.1.1 Het verwijderen van de boorspoeling	23
5.1.2 Creëren van natuurlijke omstorting	23
5.2 Resultaten en conclusies	23
5.2.1 Het mechanisch verwijderen van de boorvloeistof	23
5.2.2 Het creëren van een natuurlijke omstorting	24
5.3 Uitgevoerd onderzoek	24
<b>6 Putconstructie en ontwerp</b>	<b>27</b>
6.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	27
6.2 Resultaten en conclusies	27
6.3 Uitgevoerd onderzoek	28

<b>7</b>	<b>Monitoring en regeneratie</b>	<b>31</b>
7.1	Achtergrond en onderzoeksvraag	31
7.2	Resultaten en conclusies	31
<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>33</b>
8.1	Werkpakket 1: Buis en filtermateriaal	33
8.2	Boorvloeistof	33
8.3	Preparen van filtertraject	33
8.4	Putconstructie en ontwerp	34
8.5	Monitoring en regeneratie	34
<b>9</b>	<b>Literatuur</b>	<b>35</b>
<b>I</b>	<b>Testen treksterkte Apollo PVC + koppelingen Elst</b>	<b>37</b>
<b>II</b>	<b>Testen gesleufde Apollo buizen</b>	<b>51</b>
<b>III</b>	<b>Johnson PVC VEE-WIRE screens</b>	<b>61</b>
<b>IV</b>	<b>Notitie afweging filterkeuzes</b>	<b>63</b>
<b>V</b>	<b>MEMO Biologische afbraak van CMC met behulp van enzymen</b>	<b>65</b>
<b>VI</b>	<b>MEMO Afbraak boorspoeling met enzymen</b>	<b>69</b>
<b>VII</b>	<b>MEMO Chemische ontwikkelmethoden voor xanthaan verwijdering</b>	<b>71</b>
<b>VIII</b>	<b>MEMO Effectiviteit oxidatoren voor xanthaan afbraak</b>	<b>75</b>
<b>IX</b>	<b>Eindrapport: afbraak van xanthaan (Biqualis)</b>	<b>77</b>
<b>X</b>	<b>Hydrologische modellering en ontwerp: Case Macharen</b>	<b>83</b>
<b>XI</b>	<b>Hydrologische modellering: Case Nieuwegein</b>	<b>91</b>
<b>XII</b>	<b>Protocol voor de bepaling van de kans op zandlevering bij een horizontaal filter met een natuurlijke of een kunstmatige omstorting:</b>	<b>95</b>

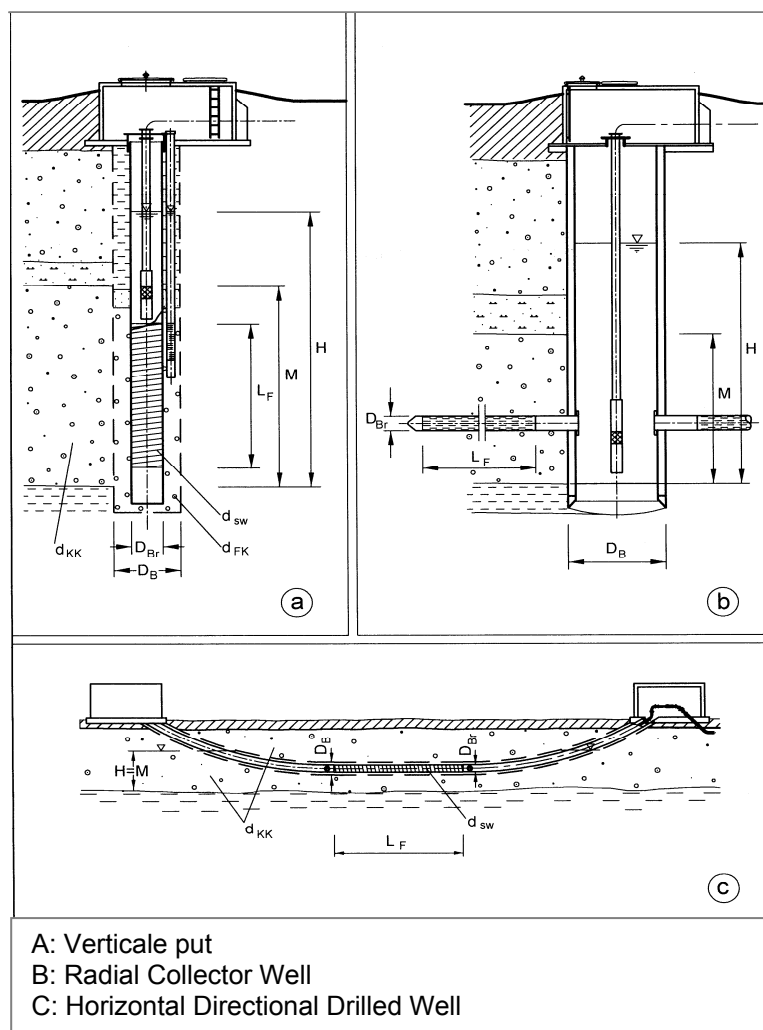
# 1 Inleiding

## 1.1 Horizontale technieken voor infiltratie en onttrekking van (grond)water

Horizontale technieken voor het onttrekken en eventueel injecteren van (grond)water krijgen steeds meer aandacht binnen de drinkwatervoorziening-, energieopslag-, (grond)waterbeheersing- en saneringssector. Horizontale putten hebben grote voordelen kunnen boven de gebruikelijke verticale putten.

Deze voordelen zijn:

1. Uit zeer dunne aquifers kan op een efficiënte wijze water worden onttrokken en geïnfilteerd;
2. Grondwater met éénzelfde kwaliteit kan gerichter worden onttrokken;
3. De lokale grondwaterstandverlagingen zijn significant lager;
4. Het ruimtebeslag aan het maaiveld is beperkter;



Figuur 1.1. Typen putten voor waterwinning en infiltratie

## 1.2 Conventionele technieken

Er zijn twee conventionele technieken voor aanleg van horizontale putten: de Ranney/Preussag-methode (zogenaamde 'Radial Collector Wells') (zie figuur 1.1b) en behulp van sleuftechnieken.

### *Radial Collector Well*

Voor het maken van de Radial Collector Well worden vanuit een betonnen schacht horizontaal filters de grond ingeperst. Deze techniek wordt al ruim 40 jaar toegepast in vooral de Verenigde Staten en Duitsland. In Nederland is deze techniek toegepast bij duininfiltratie (Katwijk, DZH) en oeverfiltraatwinningen (Roosteren, WML). Meer recent zijn Radial Collector Wells aangelegd in Laren (Hydron MN, thans Vitens), Boerhaar en Druuten (beide Vitens).

De Radial Collector Well heeft echter een aantal nadelen:

- De benodigde betonnen schacht maakt de put zeer duur en is tevens beperkend voor de diepte van de put (tot  $\pm 30$  m-mv).
- Verder is de lengte van de filterstrengen beperkt tot ongeveer 80 m.
- De techniek is hierdoor voor veel toepassingen financieel of technisch niet bruikbaar.

### *Sleuftechnieken*

Sleuftechnieken (zowel open vergraving als met een draineermachine) zijn in het verleden toegepast voor de aanleg van horizontale bronnen in de Nederlandse duingebieden. Nadelen van sleuftechnieken zijn:

- Een grote negatieve impact op de omgeving door de noodzakelijke vergraving. Dit was ondermeer het geval bij de aanleg van het 9 km lange horizontale drinkwaterwinsysteem in de Amsterdamse waterleidingduinen rond 1950. De aanleg van dit systeem vereiste open ontgravingen tot meer dan 5 meter diep en 10 m breed. Deze systemen zijn tegenwoordig niet meer op een dergelijke manier aan te leggen in natuurgebieden, maar ook niet daarbuiten, door de milieueffecten en kosten. Vervanging van bestaande systemen is hierdoor eveneens niet meer mogelijk.
- De benodigde sleuf is beperkend voor de diepte, aanleg van horizontale putten op grotere diepte dan 10 meter is hierdoor vrijwel niet mogelijk.
- Sleuftechnieken zijn niet toepasbaar in bestaande stedelijke gebieden waar putfilters onder bebouwing en infrastructuur aangelegd moeten worden. De toepasbaarheid bij ondermeer saneringen, grondwateroverlast en energieopslag is hierdoor beperkt.

**Samenvattend zijn de bestaande conventionele technieken niet voldoende geschikt voor het aanleggen van horizontale putten.**

Gezocht wordt naar een goedkopere techniek waarbij bronnen met grotere filterlengtes op grotere diepte, vrijwel zonder vergraving aangebracht kunnen worden. Een veelbelovende en kostenefficiënte methode voor het maken van horizontale putten is horizontaal gestuurd boren (Horizontal Directional Drilling ofwel HDD) (zie figuur 1.1 c). Horizontaal gestuurd boren wordt al geruime tijd toegepast bij het aanleggen van leidingen onder wegen, bebouwing en kanalen. Bij leidingen is interactie met de bodem ongewenst; bij putten is deze interactie juist het doel: infiltratie en onttrekking van (grond)water.

Voordelen van de toepassing van HDD voor de aanleg van putten zijn:

- vrijwel geen vergravingschade,
- een zeer beperkt ruimtebeslag aan maaiveld,
- mogelijkheden voor aanleg onder bestaande infrastructuur en bebouwing en
- vrijwel onbeperkte lengte en diepte van de filters.

Een nadere uiteenzetting van de voordelen en toepassingsmogelijkheden wordt gegeven in paragraaf 1.4.

### 1.3 Horizontaal gestuurd boren van putten

Het uitvoeren van een HDD boring bestaat uit drie verschillende fasen: pilotboring, ruimen en het intrekken van de buis. In figuur 1.2 is de techniek grafisch weergegeven.

#### Fase 1: pilotboring:

Tijdens de pilotboring wordt een boorbuis met kleine diameter boorkop onder een hoek tussen circa 10 en 17° ingebracht vanaf de intredezijde. Tijdens het boren wordt een boorvloeistof onder druk door de boorstang naar de boorkop geperst. Als gevolg van de hoge druk dan wel de eventueel aanwezige roterende tanden aan de boorkop wordt de grond losgewoeld en via het boorgat langs de boorstang naar het intredepunt geperst. Als de pilotboring op voldoende diepte is zal zij haar weg horizontaal vervolgen richting het uitredepunt. Met een bepaalde bochtstraal en een hoek tussen 10 en 17° komt de pilotboring ter hoogte van het uitredepunt weer boven maaiveld.

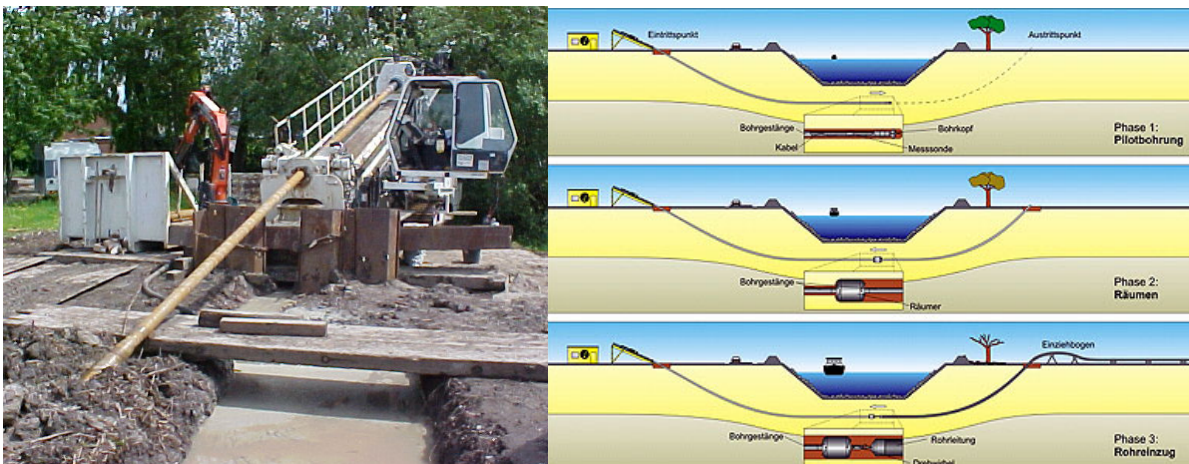
#### Fase 2: ruimen

Met een zogenaamde ruimer wordt het boorgat vergroot. De ruimer is een roterende boorkop met tanden en nozzles. De ruimer wordt ter hoogte van het uitredepunt aan de boorbuis van de pilotboring gekoppeld en roterend terug getrokken naar het intredepunt. Tijdens het roteren wordt het gat verruimd en wordt met de nozzles boorspoeling ingebracht. De boorspoeling met de losgewoelde grond wordt weer langs de boorstang of via de geruimde zijde afgevoerd naar het in- of uitredepunt. Tijdens het terugtrekken van de ruimer wordt aan de achterzijde van de ruimer een boorstang gekoppeld, zodat na de ruimslag een boorstang in het boorgat aanwezig is. Afhankelijk van de gewenste diameter van het boorgat wordt de ruimactie één of meerdere malen herhaald. Over het algemeen wordt de boorgatdiameter 1,3 tot 1,5 maal groter dan de diameter van de in te trekken buis geboord.

#### Fase 3: intrekken buis

Vanaf de uitredezijde wordt opnieuw een ruimer, zogenaamde barrelreamer, ingetrokken met daaraan gekoppeld de in te trekken buis. Tussen de buis en de ruimer wordt een swivel geplaatst die voorkomt dat de in te trekken buis gaat roteren tijdens het intrekken (de barrelreamer roteert, de in te trekken buis bij voorkeur niet). Voor het maken van een horizontale put bestaat de buis zowel aan de intrede- als uitredezijde uit een blinde buis ter hoogte van het schuine deel van maaiveld tot gewenste diepte en uit een filterbuis ter hoogte van horizontale deel op de gewenste diepte waaruit grondwater wordt onttrokken of geïnfiltrerd.

Voor het leggen van kabels en leidingen is het HDD-werk in principe na fase 3 klaar. Voor het maken van een horizontale put is er echter nog een fase waarbij het filtertraject wordt geprepareerd, zodanig dat deze geschikt is voor onttrekking en/of infiltratie van grondwater. Deze extra fase heeft grote gevolgen voor de wijze waarop de eerste drie fasen worden uitgevoerd; dit is verwoord in de probleemstelling.



Figuur 1.2. Techniek Horizontaal gestuurd boren

Voor het boren wordt een boorunit ingezet. De benodigde grootte/capaciteit van de boorunit is o.a. afhankelijk van de lengte, diepte en diameter van de boring en daarmee de krachten die nodig zijn om de boring uit te voeren. In de HDD-techniek wordt gesproken van mini-, midi- en maxi-rigs. Voor het realiseren van horizontale putten wordt meestal gebruik gemaakt van een midi-rig (20-40 ton trekkracht) of bij eventueel lange filters of grote diameters een maxi-rig (tot 450 ton trekkracht). De boorunit bestaat naast de boorrig uit een mudmix-unit voor het aanmaken van de boorspoeling en, afhankelijk van de boring, wordt een verwerkingsinstallatie geplaatst waarmee het opgeboorde materiaal uit de boorspoeling wordt verwijderd zodat de boorvloeistof hergebruikt kan worden.

#### **1.4 Toepassingsmogelijkheden HDDW**

De toepassingsmogelijkheden van HDDW's zijn groot. Mogelijkheden zijn er ondermeer binnen de drinkwatervoorziening, grondwaterbeheersing, energieopslag en milieutechniek.

##### *Drinkwatervoorziening*

- Uit relatief dunne watervoerende pakketten kan effectief water worden gewonnen.
- De kans op verzilting van onderaf wordt aanzienlijk verminderd doordat de afpompingskleinere is.
- De grondclaim aan maaiveld is zeer gering.
- Er kan gericht één waterkwaliteit worden onttrokken. Vooral het laatste geeft door de afname van putverstopping en een hoger zuiveringsrendement een grote kostenbesparing.
- Er kan op een zeer effectieve wijze oeverfiltraat worden onttrokken (bijvoorbeeld door een put onder de rivierbedding door te boren).
- Milieuwinst door het verminderen van verdroging en een reductie van het gebruik van chemicaliën bij regeneraties.
- Er zijn minder terreinleidingen nodig

##### *Energieopslag*

- Er zijn minder putten en terreinleidingen nodig.
- HDDW's nemen weinig ruimte in aan maaiveld. Energieopslag vindt vooral plaats in dichtbebouwde stedelijke gebieden. Ruimte is hier schaars, waardoor het plaatsen van verticale onttrekkings- en injectiebronnen moeilijk kan zijn.
- De kwaliteit van het onttrokken grondwater is over het algemeen constanter waardoor het risico op putverstopping kleiner is.
- Relatief dunne ondiepe watervoerende pakketten (momenteel ongeschikt voor energieopslag) kunnen effectief in gebruik genomen worden voor energieopslag.

##### *Grondwaterbeheersing/verziltingsbestrijding*

- Steeds meer steden hebben te maken met grondwateroverlast door het sluiten van drinkwater- en industriële winningen. Maar ook met te lage grondwaterstanden waardoor zettingen kunnen optreden en paalfunderingen worden aangetast. Met behulp van HDDW's kan de grondwaterstand onder bebouwing en infrastructuur worden gestuurd en op het goede peil gehouden. Hierdoor wordt schade door te hoge grondwaterstanden voorkomen, maar kan ook worden voorkomen dat houten paalfunderingen droog vallen waarbij grote schade kan ontstaan
- Verzilting van het oppervlakte water vanuit het grondwater is een toenemend probleem in diepe polders. Door gericht de te onttrekken en daarmee de kweldruk te verlagen kan het verziltingsprobleem worden teruggedrongen

##### *Milieutechniek*

- Door het toepassen van HDDW's kan zeer gericht water worden onttrokken of geïnjecteerd op een vervuilde locatie waardoor het saneringsrendement sterk kan toenemen
- De techniek van het horizontaal gestuurd boren maakt het mogelijk om zonder schade onder bestaande bebouwing en infrastructuur door te boren. Hierdoor kunnen saneringen in stedelijke gebieden met minder overlast worden uitgevoerd.

Met HDDW's kan op een efficiënte wijze een grondwaterverontreiniging worden afgeschermd, waardoor bijvoorbeeld drinkwateronttrekkingen in de omgeving minder risico lopen

### **1.5 Probleemstelling**

Ondanks de in potentie zeer grote voordelen van HDDW's stond de ontwikkeling van de techniek aan de start van dit project nog in de kinderschoenen. Het horizontaal gestuurd boren voor het maken van putten voor het onttrekken en/of infiltreren van grote volumes water in ongeconsolideerde aquifers was eerder niet succesvol. Een middels HDD aangelegde put in Krefeld (Duitsland) bleef zand leveren en heeft een te laag specifiek debiet. Een poging bij Houten voor energieopslag gaf zulke grote problemen dat uiteindelijk besloten is vervangende verticale putten te boren.

De aan de ene kant hoge potentie van de techniek, maar aan de andere kant weinig succesvolle pogingen was voor een breed consortium (KWR, IF Technology, TU Delft, Visser & Smit Hanab, Brabant Water, Vitens, Waternet en Wavin) aanleiding tot het uitvoeren van een IS-haalbaarheidsonderzoek (Cirkel et al, 2006). Uit deze studie is gebleken dat er toch (zowel technisch als financieel) goede mogelijkheden zijn om de techniek van horizontaal gestuurd boren geschikt te maken en te gebruiken voor het aanleggen van horizontale putten, mits met gedegen onderzoek en ontwikkeling de bestaande knelpunten op te lossen zijn.

Om te komen tot een duurzaam en kostenefficiënt alternatief voor conventionele technieken moeten een aantal technologische stappen gezet worden. Tijdens de IS-haalbaarheidsstudie zijn hiervoor een aantal haalbaar geachte ideeën ontwikkeld. Het gaat hierbij om technische ontwikkelingen met betrekking tot:

- Het buis- en filtermateriaal;
- De boorspoeling;
- Het prepareren van de boorgatwand rond het filtertraject;
- Het afstemmen van filtermateriaal op lokale geologische omstandigheden;
- Het ontwikkelen van de mogelijkheden voor monitoring en regeneratie.

### **1.6 Beoogde resultaten en doelstellingen**

Het beoogde eindresultaat van dit project is een duurzame, kosten efficiënte en breed toepasbare techniek voor horizontale putten, die wereldwijd toegepast kan worden.

Het consortium wil met de ontwikkeling van HDDW's een concurrerend (zowel qua kosten, duurzaamheid en kwaliteit) alternatief te bieden ten opzichte van conventionele puttechnieken (zowel verticaal als horizontaal).

### **1.7 Opzet van rapport, leeswijzer**

Het voorliggende rapport doet verslag van alle stappen en onderzoeken uitgevoerd in het kader van dit project en dient als naslagwerk. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van alle onderzoeken, waarbij deze zijn opgedeeld in vijf werkpakketten. In de navolgende hoofdstukken komt per hoofdstuk één werkpakket aan bod.





## 2 Onderzoeksoverzicht

Naar aanleiding van de in de IS haalbaarheidstudie naar bovengekomen bottlenecks zijn 5 werkpakketten opgesteld. Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle onderzoeken uitgevoerd in het kader van de verschillende werkpakketten. De werkpakketten worden uitgebreid behandeld in verdere hoofdstukken.

Tabel 2.1 Overzicht van onderzoeken verricht in het kader van HDDW

Titel rapport	Auteur	Datum afronding	Rapportnummer/ Bijlage
<b>WP 1. Buis en filtermateriaal</b>			
Proef Elst: Koppelingen en intrekken	Vincent Wesseling (Wavin)	11 sept 2006	Bijlage I
Testen gesleufde Apollo buizen	Marsman (Wavin)	nov 2007	Bijlage II
Veldproeven: ontwikkelen van PVC- en RVS filters met de Jetmaster (WP 1 & 3)	Bas Pittens, Gijsbert Cirkel en Femke Rambags	maart 2010	BTO 2010.010(s), IF rapportnr. 21.342/56412/BP
Ontwikkeling opgeplakte omstorting filterbuis	V&SH	2009	-
Verticale proef ten behoeve van HDDW Macharen (WP 1, 2 & 3)	Bas Pittens en Gijsbert Cirkel	maart 2010	IF rapportnr. 21.372/57352/BP
Additionele proeven filtersterkte tijdens jetten	Haitjema, V&SH	2010	-
Afweging filterkeuzes praktijktest	Ilse van der Hoeven, Bas Pittens	29 sept 2009	Bijlage IV
<b>WP 2. Boorvloeistof</b>			
Evaluatie HDDW "Meerpaal" (WP 2 & 3)	Vincent van der Heem (afstudeerder IF technology)	11 maart 2010	IF rapportnr. 52107-evaluatie
Biologische afbraak van CMC met behulp van enzymen	Gijsbert Cirkel	9 mei 2006	Bijlage V
Afbraak boorspoeling met enzymen	Gijsbert Cirkel	juni 2006	Bijlage VI
Chemische ontwikkelmethode voor Xanthaan verwijdering (verticale proef Macharen)	Gijsbert Cirkel	20 jan 2009	Bijlage VII
Effectiviteit oxidatoren voor Xanthaan afbraak (projectbeschrijving Biqualys)	Gijsbert Cirkel	9 feb 2009	Bijlage VIII
Eindrapport afbraak van xanthaan	J. Vervoort	mei 2009	Biqualys rapportnr. 0896 (Bijlage IX)
HDDW: laboratoriumtest naar de geschiktheid van drie boorvloeistoffen	Femke Rambags & Ilse van der Hoeven	jan 2010	BTO 2009.040 (s)
<b>WP 3. Prepareren van filtertraject</b>			
Ontwikkelen van spoelkop	V&SH	2009	-
Ontwikkelen van jet- en sectie-equipment	Haitjema in samenwerking met V&SH	2009	-
HDDW proefboring Nieuwegein (WP 3 & 4)	Femke Rambags, Gijsbert Cirkel en Ilse van der Hoeven	juni 2010	BTO 2010.028 (s)

<b>WP 4. Putconstructie en ontwerp</b>			
Hydrologische modellering en ontwerp: Case Macharen	Gijsbert Cirkel	2007	Bijlage X
Hydrologische modellering: Case Nieuwegein	Ruben Rothuizen	Juni 2010	Bijlage XI
Monsternamen returns horizontale proefboring Nieuwegein	Vincent van der Heem (IF Technology)	Feb 2010	IF 21.943
Protocol voor de bepaling van de kans op zandlevering bij een horizontaal filter met een natuurlijke of een kunstmatige omstorting	Ruben Rothuizen	Mei 2010	Bijlage XII
<b>WP 5. Monitoring en regeneratie</b>			
Monitoring vereist momenteel, zo is de inschatting, geen vernieuwende concepten.			

# 3 Materiaal filterbuis en koppeling

## 3.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

### Filtermateriaal en koppelingen

#### *Probleembeschrijving:*

Een goed putfilter heeft een groot open oppervlak. Met een groter open oppervlak neemt echter tevens de treksterkte van het materiaal af. Van de conventionele materialen is alleen RVS (roestvrijstaal) wikkeldraadfilter qua treksterkte en open oppervlak geschikt voor diameters vanaf  $\varnothing 250-350$  mm. De kosten van RVS zijn echter zo hoog dat de techniek dan (ondanks andere voordelen) al snel niet meer concurrerend is met conventionele technieken. Verder vergt het lassen van de RVS buisdelen veel ruimte en tijd, wat de toepassing in stedelijke gebieden sterk bemoeilijkt. Er moet dus een goedkoper en makkelijker te hanteren buis- en filter materiaal worden ontwikkeld.

#### *Technische kennisontwikkeling:*

Dure RVS buizen en filters vervangen door veel goedkoper maar toch duurzaam en sterk PVC. Voor de filters wordt gestreefd naar een sleufbreedte van 0,2-0,3 mm en toch voldoende open oppervlak (7-10%). (bij huidige voldoende sterke kunststof filters is maximaal 3-4% open oppervlak haalbaar of een grotere sleufbreedte (0,6 mm) noodzakelijk). Daarnaast moeten voor HDDW geschikte PVC-buiskoppelingen worden ontwikkeld.

#### *Mogelijke knelpunten:*

Als bij de gewenste (fijne) sleufbreedte en treksterkte het open oppervlak van 7 à 10% niet haalbaar is, kan dit problemen geven bij het prepareren van het filtertraject en toekomstig onderhoud van de put. Daarnaast moet het filter voldoende bestand zijn tegen de krachten die vrijkomen tijdens het ontwikkelen.

## 3.2 Resultaten en conclusies

### Apollo PVC

Door Wavin is een nieuw type PVC buis ontwikkeld met betere eigenschappen dan regulier PVC. Het is minder gevoelig voor krassen en puntbelasting, dus minder kans op scheurvorming. Om de geschiktheid van Apollo PVC voor HDDW te bepalen zijn verschillende proeven uitgevoerd.

Er is een horizontale proefboring met een dichte Apollo PVC streng uitgevoerd en een labtest naar de treksterkte van geslot Apollo PVC. Hieruit blijkt dat de Apollo PVC filterstreng voldoende sterk is om in een boorgat te trekken (memo's Wavin, Bijlage I en II). Bij grotere lengtes moet, afhankelijk van de gekozen configuratie, berekend worden of het toepassen van een mantelbuis noodzakelijk is.

Naast voldoende treksterkte moet het open oppervlak van de filterbuis voldoende zijn om zandlevering te voorkomen en het gewenste debiet te bewerkstelligen. Het Apollo PVC is daarom voorzien van slots. De minimaal te construeren sleufgrootte van een Apollo PVC filter blijkt 300  $\mu\text{m}$ . Het open oppervlak van het filter is hierbij 3-4%. Om bij deze sleufbreedte zandlevering te voorkomen is door V&SH een concept bedacht waarbij de filterbuis beplakt wordt met zand met een grotere korreldiameter. Op deze manier wordt een geschikte omstorting aangebracht.

Door middel van een de zogeheten container proeven is getest of Apollo PVC voldoende bestand is tegen krachten die vrijkomen tijdens het jetten. Hieruit is gebleken dat gesleufd (zowel radiaal als axiaal) Apollo PVC voldoende sterk is om jetkrachten tot 370 bar pompdruk te weerstaan (Pittens et al., 2010). Tijdens een herhaling van deze proef uitgevoerd door V&SH en Haitjema braken de bruggen tussen de sleuven van het Apollo PVC echter al bij 100 bar pompdruk. De maximale druk die gebruikt mag worden tijdens het jetten is daarom vastgesteld op 100 bar pompdruk. Aandachtspunt is wel dat het nieuwe buizen betreffen. Voor oudere buizen kan gelden dat deze eerder bezwijken als gevolg van druk op het filter.

### Johnson V-wire PVC filter

Tijdens het onderzoekstraject is een nieuwe filterbuis op de markt gekomen. Deze door Johnson op de markt gezette buis is een filter bestaande uit PVC-wikkeldraad. De buis kan, na wat aanpassingen, met behulp van de standaard trekvast koppelingen van Wavin aan elkaar gekoppeld worden. Het Johnson V-wire filter heeft een open oppervlak van 10-15%. De treksterkte en het open oppervlak maken de Johnson buis uitermate geschikt voor het de aanleg van een HDDW. Testen op het Johnson filter tonen aan dat jetkrachten van 200 bar kunnen worden toegepast op het filter. Door de huidige verbindingen is het huidige Johnson filter echter niet sterk genoeg om zonder mantelbuis in het boorgat te trekken. Verdere ontwikkelingen moeten uitwijzen of dit in de toekomst wel mogelijk is.

### 3.3 Uitgevoerd onderzoek

<b>Testen treksterkte Apollo PVC + koppelingen Elst</b>	<b>Wavin en V&amp;SH</b>
Louis Wildvank & Mike Woning	7 juni 2007 (Bijlage I)
Door middel van een horizontale proefboring (110 meter lang, max. diepte 12,5 m-mv) is nagegaan of het mogelijk is een Apollo PVC buis (ø 160 mm) met trekvast peeskoppelingen (Wavin) in een boorgat te trekken zonder het gebruik van een mantelbuis. Hierbij zijn trekkrachten tijdens het intrekken van de buis gemeten. Om te voorkomen dat de Apollo buis bezwijkt onder de uitwendige druk van 12,5 mwk is deze tijdens het intrekken gevuld met water. De maximaal waargenomen trekkracht tijdens het intrekken van de buis is 1,96 ton. Als gevolg van het intrekken van de buis, zijn er krassen in de buiswand ontstaan. De beschadigingen waren echter zodanig gering dat is aangenomen dat dit geen invloed heeft op de reststerkte van de buis.	

<b>Testen gesleufde Apollo buizen</b>	<b>Wavin</b>
Marsman	12 november 2007 (Bijlage II)
Door Wavin zijn proeven uitgevoerd naar de sterkte van zowel gesleufde als niet gesleufde Apollo PVC buizen. De proeven zijn uitgevoerd op een axiaal gesleufde filterbuis met diameter 110 mm, spleetwijdte 0,3 mm en open oppervlak 3-4%. Uit de proeven blijkt dat de treksterkte door het sleuven niet dramatisch afneemt (van ca 43 kN voor een volle buis naar 41 kN bij een gezaagde buis). Gezien de positieve ervaring met het intrekken van een vollewand PVC buis en koppelingen (Testen treksterkte Elst), lijkt het er op dat het intrekken van PVC filtermateriaal mogelijk is.	

<b>Bepalen van minimale sleufbreedte en testen bezande buis</b>	<b>VS&amp;H</b>
Ilse van der Hoeven	
Door V&SH is een proef uitgevoerd met als doel het bepalen van de minimaal te construeren sleufgrootte van een Apollo PVC filter en minimaal benodigde sleufgrootte van een Apollo PVC filter om een gewenst debiet te bewerkstelligen. Door middel van zagen is een minimale sleufgrootte van 300 µm mogelijk. Om bij een sleufgrootte van 300 µm zandlevering te voorkomen is door V&SH een concept bedacht waarbij de filterbuis beplakt wordt met zand met een grotere korreldiameter. Dit type filter bestaat uit een bestaand basisfilter waar een zandmengsel omheen gestort wordt. Dit zandmengsel is zo sterk dat het in een boorgat ingetrokken kan worden, maar zodanig bros dat het in de ondergrond van het filter loskomt en zo een kunstmatige omstorting vormt rond het filter. Op deze wijze is het mogelijk om een optimale afstemming tussen formatie en filter te creëren. Voor de samenstelling/configuratie van de omstorting van de met zand omplakte buis wordt uitgegaan van 4x D75 of 5x de zandmediaan.	

<b>Veldproeven: ontwikkelen van PVC- en RVS filters met de Jet Master</b>	<b>IF &amp; KWR</b>
Bas Pittens, Gijsbert Cirkel en Femke Rambags	BTO 2010.010(s), maart 2010
De JET Master is een jet-apparaat met twee paar roterende nozzles die tegen elkaar in draaien. Hierbij wordt een drukgolf gecreëerd die de deeltjes rondom de filter in beweging brengt en zo losmaakt van het bodemskelet. Doordat het fijne bodemmateriaal rondom het filter wordt verwijderd en het grove bodemmateriaal achterblijft rondom het filter ontstaat er een natuurlijke omstorting van grof zand.	

Uit een aantal proeven die zijn uitgevoerd met de JET Master® in verticale waterwinputten blijkt dat in sommige gevallen het PVC filtermateriaal onvoldoende bestand is tegen de krachten en bezwijkt (Cirkel et al., 2009).

In een grote container gevuld met water is het effect van het jetten (pompdruk tot 400 bar) op Apollo PVC filter onderzocht. Tijdens de proef is er bij het gebruik van de JET Master® voor zowel de axiaal als de radiaal gesleufde buizen geen beschadiging waargenomen. De JET Master® kan dus voor beide buizen gebruikt worden. Aandachtspunt is wel dat het nieuwe buizen betreffen. Voor oudere buizen kan gelden dat deze eerder bezwijken als gevolg van druk op het filter.

<b>MEMO Johnson PVC filter</b>	<b>KWR</b>
	Bijlage III
<p>De door Johnson op de markt gezette buis is een filter bestaande uit PVC-wikkeldraad. Aan de binnenzijde van het wikkeldraad zijn langs "draden" aangebracht om voor de nodige treksterkte te zorgen. De Johnson filter kan aan elkaar gekoppeld worden door middel van schroevenverbindingen. Door een blind stuk filter aan het Johnson filter te koppelen kan het filter met behulp van de standaard trekvast koppelingen van Wavin aan elkaar gekoppeld worden. Het Johnson V-wire filter zal gemaakt worden met een spleetwijdte van 0,3mm en een open oppervlak van 10-15%.</p>	

<b>Additionele proef filtersterkte tijdens jetten</b>	<b>Haitjema &amp; V&amp;SH</b>
Bas van Aggelen & Ilse van der Hoeven	
<p>Er zijn additionele testen uitgevoerd waarbij het effect van jetten (tot 200 bar pompdruk) op het Johnson filter en Apollo PVC filter is onderzocht. Hierbij zijn de filterbuisbuizen horizontaal neergelegd waarna het jet-apparaat door de buizen is getrokken. Bij het Johnsonfilter is geen beschadiging waargenomen. De bruggen tussen de sleuven van het Apollo PVC-filter zijn gebroken bij een jetkracht groter dan 100 bar. Voor het Apollo filter is de test in de waterbak, zoals deze in Macharen uitgevoerd is, herhaald. Ook hieruit is gebleken dat de brugjes van het geslotte filter boven de 100bar bezwijken. De maximale jetkracht van Apollo PVC is daarom vastgesteld op 100 bar. Dit is aanzienlijk lager dan gemeten tijdens de containerproef in Macharen.</p> <p>Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat de jetdruk slechts een relatieve waarde is. Welke druk er bij een bepaalde pompdruk uit de nozzles komt is niet bekend. Dit hangt sterk af van de vorm van de nozzle. Wat dan de druk is op de buiswand hangt af van de nozzle druk, spreidingshoek van de nozzles en de afstand tot de wand.</p>	

<b>Afweging filterkeuzes praktijktest</b>	<b>V&amp;SH &amp; IF Technology</b>
Ilse van der Hoeven en Bas Pittens	29 sept 2009 (memo, Bijlage IV)
<p>Tijdens de praktijktest kunnen als filtermateriaal onder andere de volgende filters worden toegepast: (1) Johnson-screen, (2) RVS wikkeldraad, (3) Apollo PVC axiaal geslot, (4) V&amp;SH buis met prefab omstorting. Het Johnson-screen is in vergelijking met RVS wikkeldraad 3x goedkoper bij een redelijk vergelijkbare configuratie. Bij het toepassen van RVS wikkeldraad met een mantelbuis kan het open oppervlak ca. 17% bedragen omdat er aan de binnenzijde minder steundraden nodig zijn om de trekkrachten op te vangen. Zonder mantelbuis zit je rond 13%. PVC Johnson-screen hebben ca. 11% open oppervlak.</p> <p>Totaal heeft het Johnson-screen wel een iets kleinere maximale trekkracht dan RVS door de wijze van koppelen van de buisdelen. De V&amp;SH-bezande buis wordt vooralsnog gemaakt op basis van de Apollo axiaal geslotte buis. Door afstemming van het aangebrachte zandpakket ten opzichte van de formatie kan mogelijk een grotere slotwijdte gehanteerd worden waardoor het open oppervlak ca. 7-9% kan bedragen. De normale Apollo axiaal geslotte buis heeft een open oppervlak van ca. 3-4%.</p>	



# 4 Boerspoeling

## 4.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

### *Probleembeschrijving:*

Eén van de grootste bottlenecks is de boerspoeling. De eisen die aan een boerspoeling voor HDDW worden gesteld zijn anders dan die worden gesteld aan een gewone horizontale boring. Het transportvermogen ("gelstrength" of rheologische eigenschappen) moet hoog genoeg zijn om neerslag van het boorgruis ("cuttings") te voorkomen. Verder moet, om verweking van de boorgatwand te voorkomen, het filtraatverlies klein zijn. Het is daarom nodig dat er een 'filterkoek' wordt opgebouwd. Voor het onttrekken en/of infiltreren van grondwater is de filterkoek uiteraard zeer ongewenst. Het gemak waarmee de filterkoek na het boren van de boorgatwand verwijderd kan worden is daarom tevens een belangrijk aspect van de boorvloeistof.

### *Technische kennisontwikkeling:*

Het ontwikkelen en testen van een boorvloeistof met dusdanige eigenschappen geschikt voor het aanleggen van een HDDW.

### *Mogelijke knelpunten:*

- ongeschikte rheologische eigenschappen boorvloeistof op basis van polymeren
- onvoldoende afpleistering van polymeer
- bacteriologische groei als gevolg van organische boorvloeistof
- filterkoek onvoldoende te verwijderen

## 4.2 Resultaten en conclusies

In eerste instantie is verondersteld dat bentoniet, de normaal gebruikelijke boorvloeistof voor horizontale boringen, niet geschikt is voor het aanleggen van een HDDW. Dit omdat bentoniet de poriën van het omliggende zandmassief verstopt, waardoor er lastig water naar de put zal kunnen toestromen (Van der Zon, 2006). Er is daarom gezocht naar een alternatieve boerspoeling die wel steun geeft tijdens de boring, maar naderhand eenvoudig te verwijderen is. Hierbij is gedacht aan afbreekbare polymeerspoelingen.

Uit het onderzoek van GeoDelft (Van der Zon, 2006) blijkt dat het mogelijk is met polymeren een spoeling te maken die gelijke eigenschappen heeft als bentoniet. Xanthaan komt hierbij het meest overeen met bentoniet. Tijdens de realisatie van HDDW "De Meerpaal" in Houten (Van der Heem, 2010) is een boring met xanthaan echter mislukt. De definitieve oorzaak is onbekend, het is mogelijk dat de draagkracht van xanthaan onvoldoende was. Om de geschiktheid van xanthaan voor de aanleg van HDDW nogmaals te testen is een verticale proefboring uitgevoerd in Macharen (Pittens en Cirkel, 2010). Het afbreken van xanthaan heeft hierbij direct na ontwikkelen geleid tot een eerste groeipiek van bacteriën. De microbiologische groeipotentie van het water is tot 15 maanden na aanleg van de put hoog gebleken. Dit maakt xanthaan qua bacteriologische nagroei problematisch bij drinkwatertoepassingen. Een ontwikkelactie met Fenton's reagens is wel zeer effectief gebleken voor het vergroten van de putcapaciteit.

Uit een aanvullende laboratoriumtest blijkt dat xanthaan een fors hogere bacteriologische groeipotentie heeft dan bentoniet en CMC (Vervoort, 2009). Daarnaast blijkt dat het gebruik van Fenton's reagens de enige wijze is waarop er enigszins afbraak van xanthaan plaatsvindt. Om dit ook kwantitatief te bewerkstellingen is het noodzakelijk om H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> te blijven bijmengen, totdat alle xanthaan is omgezet (Vrouwenvelder, 2006).

Er is vervolgens gekeken naar de mogelijkheid van het afbreken van polymeren met behulp van enzymen (Cirkel, Bijlage V en VI). Enzymen voor het afbreken van xanthaan zijn echter niet commercieel beschikbaar. Daarnaast zijn de effecten van het gebruik van enzymen op boorvloeistof en waterkwaliteit onbekend.



Naar aanleiding van de behaalde resultaten is er besloten labtesten uit te voeren naar de afdichtende werking en verwijderbaarheid van zowel xanthaan en bentoniet (OCMA) en daarnaast de boorvloeistof Biobore (Rambags en van der Hoeven, 2009). Uit deze experimenten blijkt OCMA het meest geschikt voor de aanleg van een HDDW. OCMA bentoniet heeft zoals verwacht een goede afdichtende werking, maar blijkt vooral door de geringe indringdiepte ook goed te verwijderen met behulp van een dispergent (AquaClear PFD) en het maken van inkepingen in de boorgatwand. Deze resultaten zijn bevestigd tijdens de grootschalige testwinning op het WRK terrein van Waternet te Nieuwegein. Ook hier bleek OCMA goed te verwijderen (Rambags et al., 2010).

### 4.3 Uitgevoerd onderzoek

<b>Inventarisatie HDDW 'De Meerpaal'</b>	<b>IF technology</b>
Vincent van der Heem (afstudeerder)	11 maart 2010
<p>In 2004 is door HBG op het bedrijventerrein "de Meerpaal" te Houten een recirculatie grondwatersysteem aangelegd dat gebruik maakt van een HDDW (Horizontal Directional Drilled Well). In het kader van het InnoWater project is de aanleg en werking van het systeem geanalyseerd. Tijdens de realisatie in 2004 is de eerste boring, met xanthaan, mislukt. Bij het intrekken van het wikkeldraadfilter liep deze vast op 80% van de in te trekken lengte. De definitieve oorzaak is onbekend, het is mogelijk dat de draagkracht van xanthaan onvoldoende was. De boringen met bentoniet die daarop volgden waren succesvol. Vervolgens is begonnen met ontwikkelen door middel van schoonpompen en jetten met verschillende regeneratiemiddelen (Aqua Quick en tetranatriumpyrofosfaat). Na maanden ontwikkelen heeft de horizontale infiltratiebron niet meer dan 50% van de ontwerpcapaciteit bereikt en is vervangen door verticale bronnen. De horizontale infiltratiebron heeft 80% tot 90% van de ontwerpcapaciteit gehaald. In verband met de hoge risico's die tijdens realisatie naar voren zijn gekomen en de lage kans op een goed functionerende bron en hoge vervangingskosten is besloten het concept te verlaten.</p>	
<b>Onderzoek boorspoeling, HDDW boren van drains t.b.v. waterwinning</b>	<b>GeoDelft (onderzoek uitgevoerd buiten het InnoWaterproject in opdracht van Oasen)</b>
W. van der Zon	April 2006
<p>Omdat bentoniet niet geschikt werd geacht voor de aanleg van een horizontale winning is er een onderzoek uitgevoerd om een onderbouwde keuze te kunnen maken uit 4 alternatieve boorspoelingen op basis van polymeren (xanthaan gum, guar gum, CMC en Drilling Starch). Tijdens dit onderzoek zijn de verschillende boorvloeistoffen getest aan de gesteld uitgangspunten voor HDDW. Bentoniet is in dit onderzoek meegenomen als referentie voor de boortechnische eigenschappen. Uit het onderzoek blijkt dat het mogelijk is met polymeren een spoeling te maken die gelijke eigenschappen heeft als bentoniet. Xanthaan komt hierbij het meest overeen met bentoniet. De afbraak van polymeerspoelingen met waterstofperoxide wordt bemoeilijkt door de aanwezigheid van organische bestanddelen in de grond. Deze organische stoffen zorgen voor veel gasontwikkeling.</p>	
<b>Groeiopotentie boorspoeling</b>	<b>KWR (onderzoek uitgevoerd buiten het InnoWater project in opdracht van Oasen)</b>
Hans Vrouwenvelder	KWR 06.026 , maart 2006
<p>Omdat bentoniet niet geschikt werd geacht voor de aanleg van een horizontale winning is er een onderzoek uitgevoerd om een onderbouwde keuze te kunnen maken uit alternatieve boorspoelingen waarbij de kans op nagroei van bacteriën beperkt is. Er is hierbij onderzoek uitgevoerd naar de groeiopotentie van vijf verschillende boorspoelingen met en zonder toevoeging van waterstofperoxide. De laagste microbiologische groei werd waargenomen bij de boorspoelingen met bentoniet (referentie) en, in iets mindere mate, bij carboxymethyl-cellulose (CMC). De boorspoelingen aardappelderivaat, guar gum en xanthaan hadden een fors hogere groeiopotentie dan bentoniet en CMC. Toevoegen van waterstofperoxide aan een boorspoeling resulteerde niet in (volledige) ontleding van organisch materiaal maar remde wel de biologische groei in de boorspoeling. Aangezien relatief lage</p>	

concentraties waterstofperoxide sterk groeibeperkend zijn kan overwogen worden om waterstofperoxide aan de boorspoeling toe te voegen.

<b>HDDW: verticale proefboring</b>	<b>IF Technology &amp; KWR</b>
Bas Pittens & Gijsbert Cirkel	maart 2010
<p>Door middel van een verticale proefboring is nagegaan of xanthaan een geschikte boorvloeistof is voor de grofzandige en grindige bodem in Macharen en of xanthaan volledig verwijderd kan worden met de gekozen ontwikkeltechnieken en er daardoor geen bacteriologische activiteit meer ontstaat in de put (bacteriologisch onderzoek).</p> <p>Na boring en ontwikkeling van de proefput is sterke microbiologische groei opgetreden. Oorzaken hiervoor zijn het gebruik van xanthaan als boorspoeling en gebrekkige ontwikkeling direct na het boren van de put. De tweede ontwikkelactie met Fenton's reagens is zeer effectief gebleken voor het vergroten van de putcapaciteit. Het afbreken van xanthaan in voor bacteriën makkelijk afbreekbare suikers heeft direct na ontwikkelen geleid tot een eerste piek van aerobe en facultatief anaerobe bacteriën. Na verloop van tijd is de zuurstof opgebruikt en nemen anaerobe bacteriën het over (tweede piek in ATP). Los van het feit of de put bacteriologisch betrouwbaar wordt is belangrijk of en hoe lang de groeipotentie van het water hoog zal blijven. De capaciteit van de put is wel ruim boven verwachting uitgekomen.</p>	

<b>Effectiviteit oxidatoren voor Xanthaan afbraak (projectbeschrijving Biququalys)</b>	<b>KWR</b>
Gijsbert Cirkel	9 feb 2009 (memo, Bijlage VIII)
<p>Uit de toepassing in de proefput in Macharen is gebleken dat met xanthaan een kwantitatief goede put kan worden gemaakt. Xanthaan blijkt echter een goede voedingsbodem voor bacteriën en achtergebleven resten zorgen voor langdurige nalevering van suikers als mannose en glucose. Het is dus zaak om na het boren zo snel mogelijk de xanthaan polymeren af te breken in kleine makkelijker uitspoelbare moleculen. Er is daarom een proef opgesteld met als doel het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit van drie oxidatoren (CBL(chloorbleekloog), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en Fenton's Reagens(hydroxyl radicaal)) voor het afbreken van xanthaan. Per oxidator moet 1/3 xanthaangel en 2/3 oxidatievloeistof worden gemengd en onder 10°C weggezet. Vervolgens na 1 uur, 4 uur, 12 uur en 24 uur monsters nemen en analyseren op de grootte verdeling van de moleculen en vergelijken met het referentiemonster.</p>	

<b>Eindrapport afbraak xanthaan</b>	<b>CSO Biququalys BV</b>
dr J. Vervoort	Mei 2009 (Bijlage IX)
<p>Het doel van dit onderzoek is om de effectiviteit te meten van drie verschillende oxidatoren (CBL(chloorbleekloog), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton's) op de afbraak van xanthaan. Uit de test blijkt dat de enige wijze waarop er enigszins afbraak van xanthaan kan plaatsvinden is met Fenton's reagens. Echter om ook kwantitatief dit te bewerkstellingen is het noodzakelijk om H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bij te blijven mengen, totdat alle xanthaan is omgezet.</p>	

<b>MEMO Biologische afbraak van CMC met behulp van enzymen</b>	<b>KWR</b>
Gijsbert Cirkel	MEMO (Bijlage V)
<p>Het na de boring effectief verwijderen van de boorspoeling uit de boorgatwand blijkt lastig. In een beknopte literatuurstudie is de verwijderbaarheid van CMC door middel van enzymen onderzocht. Andere componenten van de boorspoeling (bentoniet) en alternatieven voor de boorspoeling zoals xanthaan en guar gum zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.</p> <p>Er wordt geconcludeerd dat het toepassen van enzymen een mogelijkheid vormt om op een snelle manier resten CMC uit de boorgatwand te verwijderen. De omzettingssnelheid van de enzymen, de kosten en de invloed van procesomstandigheden in de boorgatwand op het afbraakproces moeten echter verder worden onderzocht.</p>	

<b>Afbraak boorspoeling met enzymen</b>	<b>KWR</b>
Gijsbert Cirkel	MEMO (Bijlage VI)
<p>Boorspoelingen op basis van polymeren zijn af te breken door middel van enzymen. Enzymen voor de afbraak van CMC zijn commercieel beschikbaar. Er zijn enzymen geschikt voor de afbraak van xanthaan,</p>	

deze zijn echter niet commercieel beschikbaar en zijn daarom te duur.  
 Bij het gebruik van enzymen kan het sturen van de enzymatische afbraak onder veldcondities problemen geven. Zo kan tijdens het boren de temperatuur van de boorspoeling te hoog oplopen waardoor de enzymen te vroeg actief worden en de boorspoeling al tijdens het boren afbreekt.  
 De boorspoeling is basisch, voor een optimale werking van de enzymen moet de boorspoeling aangezuurd worden, wat dit voor effect heeft op de eigenschappen van de boorspoeling is niet bekend.  
 Daarnaast mogen de kosten van de enzymen niet te hoog oplopen om de economische haalbaarheid niet in gevaar te brengen. Tevens dient onderzocht te worden of de aanwezigheid van enzymen geen nadelige gevolgen heeft voor de biologische betrouwbaarheid van het water.

<b>HDDW: laboratoriumtest naar de geschiktheid van drie boorvloeistoffen</b>	<b>KWR</b>
Femke Rambags & Ilse van der Hoeven	Februari 2010
<p>Als voorbereiding op een geplande HDDW proefboring is er een laboratoriumproef uitgevoerd naar de geschiktheid van drie boorvloeistoffen voor de aanleg van een HDDW. Er is gekozen voor het testen van een tweetal organische boorvloeistoffen (xanthaan en Biobore) en een boorvloeistof op basis van bentoniet (OCMA). De boorvloeistoffen zijn getest op afdichtende werking en verwijderbaarheid. Er zijn hiervoor vier zandmengsels samengesteld representatief voor de bodemeigenschappen op toekomstige toepassingslocaties van HDDW. Tijdens de proef zijn 4 kolommen (Ø15 cm, hoogte 30 cm) gevuld met de vier zandmengsels en verzadigd met water. Door middel van een drukvat is de boorvloeistof en vervolgens het regeneratiemiddel aangebracht. Tussen alle stappen wordt de doorlatendheid van het zandmengsel bepaald.</p> <p>Uit deze experimenten kan geconcludeerd worden dat OCMA de meest geschikte boorvloeistof is voor het uitvoeren van HDDW. OCMA heeft een goede afdichtende werking, een geringe indringdiepte en lijkt goed te verwijderen met behulp van een dispergent (Aquaclear PFD) in combinatie met het beschadigen van de boorgatwand met schrapers. Na OCMA lijkt xanthaan het meest geschikt. Het gebruik van deze boorvloeistof kan echter leiden tot ongewenste bacteriologische groei. Biobore lijkt het minst geschikt, deze boorvloeistof heeft geen goede afdichtende werking en leidt door de hoge benodigde concentraties waarschijnlijk tot extreme bacteriële groei.</p>	

# 5 Prepareren van het filtertraject

## 5.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

### 5.1.1 **Het verwijderen van de boorspoeling**

*Probleembeschrijving:*

Bij de aanleg van putten is het noodzakelijk om aansluitend aan de aanleg het filtertraject zo te behandelen dat de boorspoeling wordt verwijderd en de put optimaal water kan onttrekken en infiltreren. Een boorvloeistof kan worden afgebroken met een regeneratiemiddel (dispergent of oxidator). Het probleem is echter dat de boorgatwand bij HDD-boringen zo goed is afgepleisterd (om filtraatverlies te minimaliseren) dat het moeilijk is de regeneratiemiddelen op de juiste plaats te krijgen.

*Technische kennisontwikkeling:*

Het ontwikkelen en testen van methodes om boorvloeistof mechanisch uit het boorgat te verwijderen en het contactoppervlak tussen de boorvloeistof en het regeneratiemiddel (dispergent of oxidator) te vergroten.

*Mogelijke knelpunten:*

De boorvloeistof dringt te diep in de formatie, waardoor het moeilijk wordt de regeneratiemiddelen op de juiste plaats te krijgen. De maximale druk die een PVC-filter aankan voordat het breekt is te laag om effectief te kunnen ontwikkelen.

### 5.1.2 **Creëren van natuurlijke omstorting**

*Probleembeschrijving:*

Om te voorkomen dat er zand uit de formatie in de put terecht komt en een zo optimaal mogelijke toestroming te verkrijgen naar de put, is het bij verticale putten gebruikelijk om rond het putfilter een grind omstorting aan te brengen. Bij horizontaal gestuurd boren is dit echter moeilijk te realiseren en moet naar alternatieven worden gezocht.

*Technische kennisontwikkeling:*

Door met een hoge druk vanuit de put water door het filter te spuiten (jetten) gecombineerd met afpompen, wordt fijn formatiemateriaal uitgespoeld en ontstaat een 'natuurlijke' omstorting. Kennis dient te worden ontwikkeld over gedragingen van formatiemateriaal bij jetten op horizontale PVC-filters zodat een kwalitatief goede omstorting wordt verkregen.

*Mogelijke knelpunten :*

Als bij het gebruik van PVC filtermateriaal onvoldoende open oppervlak wordt verkregen is het mogelijk dat tijdens het jetten de stroming in de formatie te beperkt is om een 'natuurlijke' omstorting te vormen. Op locaties met fijn homogeen zand, zoals de duinen, is het moeilijk om een natuurlijke omstorting te creëren.

## 5.2 Resultaten en conclusies

### 5.2.1 **Het mechanisch verwijderen van de boorvloeistof**

Uit evaluatie van HDDW "De Meerpaal" (Van der Heem, 2010) blijkt dat bentoniet onvoldoende verwijderd kan worden door middel van jetten en het toevoegen van de dispergenten tetranatriumpyrofosfaat en Aqua Quick. Resultaten van de verticale proefboring in Macharen (Pittens en Cirkel, 2010) tonen dat ook xanthaan onvoldoende verwijderd kan worden door middel van jetten. Tijdens de verticale proefboring is naast jetten ook de verwijderbaarheid van xanthaan door middel van ontwikkelen met een oxidator onderzocht. Ontwikkelen met Fenton's reagens blijkt hierbij succesvol voor het vergroten van de capaciteit.

Een probleem bij het gebruik van regeneratiemiddelen is dat de boorgatwand zo goed is afgepleisterd dat het moeilijk is de regeneratiemiddelen op de juiste plaats te krijgen. Om het contactoppervlak tussen de regeneratiemiddelen en de boorvloeistof te vergroten is er door V&SH een spoelkop ontwikkeld die groeven aanbrengt in de boorgatwand. Daarnaast worden er via nozzles op de spoelkop regeneratiemiddelen onder druk in het boorgat aangebracht, terwijl borstels aan de voorzijde van de spoelkop de overtollige boorvloeistof uit het boorgat duwen. Het gewenste effect is een groter contactoppervlak en het instorten van de boorgatwand zodat de formatie om het filter komt te liggen. Daarnaast wordt ook een eerste ontwikkelactie uitgevoerd.

De spoelkop is getest tijdens een grootschalige testwinning in Nieuwegein (Rambags et al., 2010). Uit de proefboring blijkt dat het boorgat niet altijd instort. Het instorten van het boorgat is hierbij niet te voorspellen en is waarschijnlijk afhankelijk van andere onbekende variabelen, zoals de variatie in dichtheid van de boorvloeistof. Daarnaast krijgt de spoelkop, bij vroegtijdig instorten van de boorgatwand een soort ankerfunctie waardoor de mantelbuis kan vastlopen. Het blijkt moeilijk om een goede gecontroleerde boring te maken met een mantelbuis. Er is een groot risico dat de mantelbuis kan vastlopen. Meer praktijkervaring naar het aanleggen van een horizontale put zonder mantelbuis is gewenst.

De proefboring is uitgevoerd met een bentoniet boorvloeistof. Na de aanleg van de HDDW proefboring is gejet en sectiegewijs ontwikkeld met Aquaclear (actieve bestanddeel polyacrylamide) getest. Jetten met Aquaclear blijkt zeer effectief voor het verwijderen van de boorvloeistof. Het sectiegewijs ontwikkelen blijkt minder effectief, dit was echter alleen mogelijk met lage debieten.

### 5.2.2 **Het creëren van een natuurlijke omstorting**

Door middel van een containerproef (Pittens et al., 20100) is nagegaan of er een natuurlijke omstorting in een put kan worden gecreëerd door middel van jetten en sectiepompen. Op basis van de proeven kan gesteld worden dat er nauwelijks sprake is van natuurlijk omstorting rondom de PVC filters (tot 1,5 cm in het zandpakket). Bij de RVS wikkeldraadfilters (open oppervlak >15%) was daarentegen wel een natuurlijke omstorting gecreëerd (tot circa 8 cm in het zandpakket). Hieruit kan geconcludeerd worden dat een groot open oppervlak een voorwaarde is voor het succesvol ontwikkelen van het filter.

De HDDW testwinning in Nieuwegein levert weinig zand. Er kan geconcludeerd worden dat het plaatsen van een filterbuis zonder omstorting hierbij goed heeft gewerkt.

Op locaties met fijn homogeen zand, zoals de duinen, is het waarschijnlijk moeilijk om een natuurlijke omstorting te creëren. In dat geval moet een kunstmatige omstorting worden aangebracht. Dit kan door het gebruik van een filterbuis met prefab omstorting (Hoofdstuk 3) of het inspuiten van zand tijdens het uittrekken van de mantelbuis. Deze technieken moeten echter nog verder worden ontwikkeld.

## 5.3 Uitgevoerd onderzoek

Inventarisatie HDDW 'De Meerpaal'	IF technology
Vincent van der Heem (afstudeerder)	11 maart 2010
<p>In 2004 is er door HBG op het bedrijventerrein "de Meerpaal" te Houten een recirculatie grondwatersysteem aangelegd dat gebruik maakt van een HDDW (Horizontal Directional Drilled Well). Tijdens de realisatie in 2004 is de eerste boring, met xanthaan, mislukt. De boringen met bentoniet die daarop volgden waren succesvol.</p> <p>Vervolgens is begonnen met ontwikkelen. Eerst zou het zand en modder uit de leidingen gehaald worden door sectiegewijs pompen en jetten. In verband met de hoeveelheden zand in het filter kon de apparatuur niet door het filter getrokken worden. Er is door gebruik te maken van een rioolreinings- (zogenaamd rioolrat) apparaat waarmee het overgrote deel van het zand is verwijderd. Vervolgens is het afbreekmiddel Aqua Quick toegevoegd (op basis van citroenzuur) om het bentoniet af te breken en is er maanden lang gepompt. Rond augustus 2004 produceerde de bron nog steeds teveel zand. Vervolgens is tetranatriumpyrofosfaat toegevoegd tijdens jetten in combinatie met op maximale capaciteit pompen. Dit resulteerde tot 80 -90% van de ontworpen capaciteit bij de infiltratiebron. Het is niet gelukt de horizontale onttrekkingbron te ontwikkelen tot de vereiste capaciteit. Ook na het beproeven van alle alternatieven en inspanningen is het niet gelukt om meer dan 50 % van de ontwerpcapaciteit te halen. In</p>	

verband met de hoge risico's die tijdens realisatie naar voren zijn gekomen en de lage kans op een goed functionerende bron en hoge vervangingskosten is uiteindelijk besloten het concept te verlaten.

<b>Verticale proef ten behoeve van HDDW Macharen.</b>	<b>IF Technology</b>
Bas Pittens, Gijsbert Cirkel	1/57352/BP, 2010
<p>Als voorbereiding op een geplande HDDW proefboring is een verticale proefput geboord en ontwikkeld. De proef bestaat uit het boren van een verticale put, zodanig dat deze zo goed mogelijk vergelijkbaar is met een toekomstige HDDW put, zoals gepland in Macharen. Het doel van de proefboring is het testen van xanthaan als boorspoeling, het ontwikkelen van de put en de bepaling van de bacteriologie na het ontwikkelen.</p> <p>Er is gestart met mechanisch ontwikkelen met de JET Master®. Hierbij is het specifieke debiet van de put toegenomen van 0 naar 10 m<sup>3</sup>/h/m afpompings. Als volgende stap is waterstofperoxide gedoseerd en verdrongen om resten xanthaan af te breken en bacteriologische groei te remmen. Het doseren van waterstof peroxide bleek echter geen effect te hebben op het specifieke debiet. Doordat er na het ontwikkelen nog veel xanthaan achter is gebleven bleef het specifieke debiet te laag en is er een uitbundige bacteriegroei opgetreden. Besloten is de verticale proefput nogmaals te ontwikkelen met Fenton's reagens waarbij getracht wordt het Fenton proces op gang te brengen.</p> <p>Na de chemische ontwikkeling is nog sectiegewijs schoongepompt met 30 m<sup>3</sup>/h per meter filtertraject waarbij ook getracht is een Fenton reactie op gang te brengen. Deze actie is zeer succesvol gebleken. Na het ontwikkelen is het specifieke debiet gestegen naar 37 m<sup>3</sup>/h/m afpompings.</p>	

<b>Ontwikkelen van spoelkop</b>	<b>Haitjema in samenwerking met V&amp;SH</b>
Ilse van der Hoeven, Lukas Schoenmakers	
<p>V&amp;SH heeft een spoelkop ontwikkeld die aan de achterzijde van de mantelbuis wordt bevestigd. Borstels aan de buitenzijde van de spoelkop duwen overtollige boorvloeistof het boorgat uit. Via nozzles in de spoelkop worden de regeneratiemiddelen (zoals Aquaclear en Fenton's reagens) onder druk in het boorgat aangebracht. De boorgatwand bij HDD-boringen is echter zo goed afgepleisterd (om filtraatverlies te minimaliseren) dat het moeilijk is de regeneratiemiddelen op de juiste plaats te krijgen. Het contactoppervlak tussen de regeneratiemiddelen en de boorgatwand wordt daarom vergroot door met groeven aan de brengen in de boorgatwand. Als gevolg daarvan zal de boorgatwand instorten zodat de formatie om het filter komt te liggen.</p>	

<b>Veldproeven: ontwikkelen van PVC- en RVS filters met de Jetmaster (containerproef)</b>	<b>IF Technology en KWR</b>
Bas Pittens, Gijsbert Cirkel en Femke Rambags	BTO 2010.010(s), maart 2010
<p>Door middel van een kleinschalige verticale proef (2x3x2 m) in een container is nagegaan of er een natuurlijke omstorting in een put kan worden gecreëerd door middel van jetten. Op basis van de proeven kan gesteld worden dat er nauwelijks sprake is van natuurlijk omstorting rondom de PVC filters (zowel radiaal als axiaal geslot) na het ontwikkelproces met de JET Master®. Bij de RVS wikkeldraadfilters (open oppervlak &gt;10%) was daarentegen wel een natuurlijke omstorting gecreëerd. Met name bij het grote wikkeldraadfilter bleek een natuurlijke omstorting te zijn gecreëerd tot circa 8 cm in het zandpakket. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een groot open oppervlak een voorwaarde is voor het succesvol ontwikkelen van het filter.</p>	

<b>HDDW testwinning Nieuwegein</b>	<b>HDDW consortium, rapportage door KWR</b>
Femke Rambags, Gijsbert Cirkel en Ilse van der Hoeven	BTO 2010.028(s), juli 2010
<p>Op het WRK terrein van Waternet te Nieuwegein is een full-scale testwinning uitgevoerd. Hierbij is geboord met de boorvloeistof bentoniet. Uit de proefboring blijkt dat het boorgat niet altijd instort tijdens het uittrekken van de mantelbuis. Het blijkt heel moeilijk is om een goede gecontroleerde boring te maken met een mantelbuis. Er is een groot risico dat de mantelbuis kan vastlopen. Na de aanleg is begonnen met ontwikkelen door middel van jetten met het regeneratiemiddel Aquaclear (actieve bestanddeel polyacrylamide). Jetten met Aquaclear blijkt zeer effectief voor het verwijderen van de boorvloeistof en het ontwikkelen van de omliggende formatie. Helaas moest het jetten vroegtijdig (na</p>	

1,5 dagen) worden gestopt. Na verwachting leidt langer jetten tot een hogere capaciteit door betere verwijdering van de boorvloeistof en een beter ontwikkelde natuurlijke omstorting, door verdere verwijdering van de fijne fractie. Vervolgens is "surge & swab" toegepast. Dit heeft geen significant effect op de capaciteit van de put. Het sectiegewijs injecteren van Aquaclear en dit een aantal dagen laten inwerken heeft wel een positief effect op de onttrekkingcapaciteit van de put. Hierbij is de ondergrens van de ontwerpcapaciteit behaald. Het sectiegewijs onttrekken heeft geen significant effect op de capaciteit. Dit is deels te verklaren door het lage onttrekkingdebiet. Een hoger onttrekkingdebiet heeft naar verwachting meer effect op de capaciteit.

De HDDW testwinning in Nieuwegein levert weinig zand. Er kan geconcludeerd worden dat het plaatsen van een filterbuis zonder omstorting goed heeft gewerkt.

# 6 Putconstructie en ontwerp

## 6.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

Een juist putontwerp is voorwaarde voor een efficiënte en effectieve bedrijfsvoering. Voor dit werkpakket zijn echter geen speciale proeven uitgevoerd. Wel is er voor wat betreft het ontwerpen van een put veel werk gedaan aan de verticale proefput te Macharen en de HDDW testwinning te Nieuwegein. De aanleg van een HDDW is uitgebreid beschreven in de rapportage van de testwinning (Rambags et al., 2010).

### *Probleembeschrijving:*

(1) Voor het ontwerp van een horizontale put zijn hydrologische berekeningen nodig om de ontwerpcapaciteit en afpompings in en om een horizontale put te berekenen. Bestaande modellen zijn echter ongeschikt, aangezien deze vaak zijn gelimiteerd tot enkel stationaire berekeningen en geen dichtheidsafhankelijke stroming kunnen modelleren. Dit limiteert het modelleren van andere toepassingen van de HDDW, zoals zoutwaterinname voor ontziltinginstallaties, verziltingbestrijding en WKO.

(2) De eigenschappen van het te plaatsen filter dienen afgestemd te worden op de lokale geologische omstandigheden. Bij conventionele boortechnieken voor het aanleggen van putten is het gebruikelijk om tijdens het boren monsters te nemen van het doorboorde bodemmateriaal. Bij HDD-technieken is dit op dit moment nog niet goed mogelijk.

(3) De stijgbuizen staan onder een hoek tussen 10 en 17°. Het verwijderen en aanbrengen van de pompbuis, pomp incl. kabel en drukopnemer moet daarom onder een hoek tussen de 10 en 17° gebeuren. De putkopconstructie zal hiervoor aangepast moeten worden zodat dit mogelijk wordt. De gebruikte pompen en de pompbuis moeten gecentreerd worden in de stijgbuis. De lagering van de pomp zal eveneens aangepast moeten worden ten opzichte van normale onderwaterpompen om slijtage te voorkomen.

### *Technische kennisontwikkeling:*

(1) Om tot een goed putontwerp te komen is het noodzakelijk een grondwatermodel op te stellen om de stroming en stijghoogtes in en rond het horizontale filter te modelleren. Dit model moet gekalibreerd worden met meetgegevens van capaciteit en afpompings in een horizontale put.

(2) Er moet een methode worden ontwikkeld om bij HDD-boringen in-situ de lokale bodemeigenschappen te kunnen bepalen en de filtereigenschappen optimaal op de geologie af te kunnen stemmen.

(3) Voordat een definitieve HDDW wordt aangelegd moet er een uitgebreid putkopontwerp worden opgesteld.

## 6.2 Resultaten en conclusies

(1) Voor het ontwerp van een HDDW in Macharen zijn een aantal hydrologische berekeningen van de afpompings en reistijd uitgevoerd. Hiervoor is een door Artesia gemaakt TIM model van de ondergrond te Macharen op een aantal punten aangepast en nader gedetailleerd om een nauwkeurigere simulatie te verkrijgen van de driedimensionale stroming nabij de horizontale put.

Om de grondwaterstroming rond de aangelegde HDDW testwinning in Nieuwegein inzichtelijk te maken is er een grondwatermodel van de omgeving gemaakt in MODFLOW2000. Dit model wordt gebruikt om verdere toepassingen van de HDDW te onderzoeken, ontwerpen te maken voor volgende HDDW's en om de vergelijking met verticale putten te maken.

(2) Door het analyseren van returns verkregen tijdens een pilotboring is getracht inzicht te krijgen in het textuurverloop van de bodem. Deze methode blijkt echter ongeschikt. Door de wisselende samenstelling van de formatie die losgeboord wordt, in combinatie met de draagkracht van de boorvloeistof komt het



filtermateriaal van één locatie verspreid boven. Daarnaast is het, door de variatie in debiet, moeilijk de exacte locatie van de monsters te bepalen.

Er is een protocol opgesteld waarbij aan de hand van de gemiddelde korrelgrootte van een grondmonster de optimale filterspleetwijdte en de optimale korreldiameter van een eventuele kunstmatige zandomstorting kan worden bepaald (Bijlage XII). Hiervoor is gebruik gemaakt van statistische berekeningen, waarbij is aangenomen dat de korrelverdeling van zand normaal verdeeld is.

(3) Er is een HDDW testwinning aangelegd op het WRK terrein van Waternet in Nieuwegein. Hiervoor is een putontwerp opgesteld. Omdat het hier echter niet om een definitieve winning gaat is hierbij geen aandacht besteedt aan het putkopontwerp.

### 6.3 Uitgevoerd onderzoek

Hydrologische modellering en ontwerp: Case Macharen	KWR
Gijsbert Cirkel	Bijlage X
<p>Voor het ontwerp van een HDDW in Macharen zijn een aantal hydrologische berekeningen uitgevoerd. Het gaat hierbij om berekeningen van de afpompings in de horizontale put bij onttrekking en piekbelasting en de reistijd van de put naar de dichtst bijzijnde verticale put. Hierbij is een door Artesia gemaakt TIM model van de ondergrond te Macharen op een aantal punten aangepast en nader gedetailleerd om een nauwkeurigere simulatie te verkrijgen van de driedimensionale stroming nabij de horizontale put. Ter verificatie van het oorspronkelijke model is de afpompings in een aantal bestaande verticale putten berekend en vergeleken met de gemeten afpompings bij oplevering. Met het verbeterde TIM model voor de winning Macharen is vervolgens de geplande HDDW doorgerekend. Hiervoor is een filter met een lengte van 100 meter op een diepte van NAP -8.775 m tot NAP -9.225 m geplaatst (boorgatdiameter 450 mm). Vervolgens is de afpompings in de put berekend. Hierbij is er vanuit gegaan dat er geen weerstand over de boorgatwand of het filter aanwezig is. Uitgangspunt voor de berekening van de afpompings is dus een volledig ontwikkelde put zonder verstopping.</p>	

Hydrologische modellering: Case Nieuwegein	V&SH
Ruben Rothuizen	Bijlage XI
<p>Om de grondwaterstroming rond de aangelegde HDDW testwinning in Nieuwegein inzichtelijk te maken is er een grondwatermodel van de omgeving gemaakt. Dit model wordt gebruikt om verdere toepassingen van de HDDW te onderzoeken, ontwerpen te maken voor volgende HDDW's en om de vergelijking met verticale putten te maken.</p> <p>Het grondwatermodel is gemaakt in MODFLOW2000 (Harbaugh et. al, 2000). Dit model heeft voordelen ten opzichte van andere modellen, omdat er ook dichtheidsstroming gemodelleerd kan worden, zodat toepassingen als WKO en verziltingsbestrijding onderzocht kunnen worden.</p> <p>Met het model is de HDDW testwinning in Nieuwegein doorgerekend. Hiervoor zijn drie verschillende filterdelen met een gezamenlijk lengte van 30 meter op een diepte van ongeveer 12 meter onder maaiveld geplaatst. Tijdens het ontwikkelen van de HDDW testwinning zijn er debietmetingen uitgevoerd, waarbij de stijghoogte in het filter is gemeten. Deze metingen zijn gebruikt voor calibratie van het model.</p>	

Monsternamen returns horizontale testwinning Nieuwegein	IF Technology
Vincent Emile van der Heem (afstudeerder)	Maart 2010
<p>Het traject waar het filter van een HDDW in ligt kan verschillende types ondergrond bevatten. Het doel van dit onderzoek is om duidelijkheid te verkrijgen over de geschiktheid van de returns voor bepaling van het textuurverloop van de bodem. Dit maakt het mogelijk om te bepalen waar de fijnzandige bodemlagen zich bevinden. Indien deze met voldoende zekerheid gelokaliseerd kunnen worden, kunnen deze lagen worden afgeblind om zo zandlevering te voorkomen of te verminderen. Het blijkt niet mogelijk het textuurverloop van de bodem te bepalen aan de hand van de returns. Door de wisselende samenstelling van de formatie die losgeboord wordt, in combinatie met de draagkracht van de boorvloeistof, blijven de grotere zanddelen eerder op de bodem van het boorgat liggen dan de</p>	

fijnere delen, die beter door de boorvloeistof worden meegenomen. Hierdoor komt het filtermateriaal van één locatie verspreid boven. Daarnaast is het, door de variatie in debiet, moeilijk de exacte locatie van de monsters te bepalen.

<b>Protocol bepaling van de kans op continue zandlevering</b>	<b>V&amp;SH</b>
Ruben Rothuizen	Bijlage XII
Er is een protocol opgesteld waarmee, aan de hand van een gemiddelde korrelgrootte van grondmonsters op een diepte rondom de boorlijn en in de buurt van de boorlijn, de optimale spleetwijdte van een filter en de optimale korreldiameter van een eventuele kunstmatige zandomstorting kan worden bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van statistische berekeningen, waarbij is aangenomen dat de korrelverdeling van zand normaal verdeeld is. Aan de hand van verschillende grondmonsters in de buurt van de HDDW kan met een bepaalde zekerheid een korrelverdeling, die representatief is voor het gehele filter, worden berekend.	



# 7 Monitoring en regeneratie

## 7.1 Achtergrond en onderzoeksvraag

### *Probleembeschrijving:*

Een belangrijke eis van eindgebruikers bij de aanschaf van putten is de onderhoudbaarheid. Daarnaast is ook de mogelijkheid om het functioneren van de put en de waterkwaliteit te kunnen monitoren van groot belang. Bestaande onderhoudsapparatuur en monitoringsmethoden zijn veelal ontwikkeld voor verticale putten.

### *Technische kennisontwikkeling:*

Het ontwikkelen en/of geschikt maken van onderhoudsapparatuur zodat deze ook in HDDW's kunnen functioneren. Het ontwikkelen van kennis hoe het ontwerp van de put zo gemaakt kan worden dat regeneratie en monitoring efficiënt en effectief kunnen worden uitgevoerd.

## 7.2 Resultaten en conclusies

Monitoring vereist momenteel, zo is de inschatting, geen vernieuwende concepten.

Voor wat betreft de regeneratie kan gesteld worden dat al het onderzoek naar de putontwikkeling direct na aanleg, c.q. het verwijderen van de boorspoeling voor middel van jetten en sectiegewijs ontwikkelen (Hoofdstuk 5), ook van toepassing is op regeneratie.



# 8 Conclusies

## 8.1 Werkpakket 1: Buis en filtermateriaal

Van de conventionele materialen is RVS wikkeldraad geschikt voor de aanleg van een HDDW. De kosten van RVS zijn echter zo hoog dat de techniek dan niet meer concurrerend is met conventionele technieken. Apollo PVC heeft voldoende treksterkte om in te trekken in een mantelbuis, maar is door een beperkt open oppervlak moeilijk te ontwikkelen. De nieuw op de markt gekomen Johnson PVC wikkeldraadfilter is door voldoende treksterkte en een groot open oppervlak uitermate geschikt voor het de aanleg van een HDDW. Door de huidige verbindingen is het huidige Johnson filter echter niet sterk genoeg om zonder mantelbuis in het boorgat te trekken. Verdere ontwikkelingen moeten uitwijzen of dit in de toekomst wel mogelijk is.

## 8.2 Boorvloeistof

Het is mogelijk met polymeren een spoeling te maken die gelijke eigenschappen heeft als bentoniet. Xanthaan komt hierbij het meest overeen met bentoniet. Uit een proefboring blijkt dat met xanthaan een kwantitatief goede put kan worden gemaakt. Het gebruik van Fenton's reagens is hierbij de enige wijze is waarop er enigszins afbraak van xanthaan plaats kan vinden. De microbiologische groeipotentie van de boorvloeistof is echter hoog. Dit maakt het gebruik van xanthaan problematisch voor drinkwatertoepassingen.

In eerste instantie is aangenomen dat bentoniet een ongeschikte boorvloeistof is omdat het de poriën van het omliggende zandmassief verstopt. Uit een laboratorium- en veldproef blijkt echter dat bentoniet goed te verwijderen is dankzij de geringe indringdiepte van de boorvloeistof en door de afbraak van bentoniet met behulp van de dispergent Aquaclear PFD (actieve bestanddeel polyacrylamide).

## 8.3 Preparen van filtertraject

Om het contactoppervlak tussen de regeneratiemiddelen en de boorvloeistof te vergroten en het regeneratiemiddel zo snel en efficiënt mogelijk in het boorgat te krijgen is een spoelkop ontwikkeld. De spoelkop is aan de achterzijde van de mantelbuis is bevestigd. Het gewenste effect van de spoelkop is het instorten van de boorgatwand zodat de formatie om het filter komt te liggen. Het gebruik van de spoelkop leidt, als gevolg van onbekende variabelen, echter niet altijd tot het instorten van het boorgat. Daarnaast krijgt de spoelkop, bij vroegtijdig instorten van de boorgatwand, een soort ankerfunctie waardoor de mantelbuis kan vastlopen. Het blijkt heel moeilijk om een goede gecontroleerde boring te maken met een mantelbuis. Er is een groot risico dat de mantelbuis kan vastlopen. Meer praktijkervaring naar het aanleggen van een horizontale put zonder mantelbuis is gewenst.

Tijdens een grootschalige proefboring, uitgevoerd met een bentoniet boorvloeistof, blijkt ontwikkelen door middel van jetten met Aquaclear zeer effectief voor het verwijderen van de boorvloeistof. Waarschijnlijk is het boorgat tijdens het jetten ingestort. De bijdrage van de spoelkop aan het instorten van de boorgatwand is hierbij moeilijk te kwantificeren.

Om te voorkomen dat er zand uit de formatie in de put terecht komt en een zo optimaal mogelijke toestroming te verkrijgen naar de put moet er een omstorting om een put worden aangebracht. Het is mogelijk een natuurlijke omstorting te ontwikkelen door middel van jetten. Een groot open oppervlak een voorwaarde is hierbij voor het succesvol ontwikkelen van het filter.

De HDDW testwinning in Nieuwegein levert weinig zand. Er kan geconcludeerd worden dat het plaatsen van een filterbuis zonder omstorting goed heeft gewerkt. Op locaties met fijn homogeen zand is het waarschijnlijk moeilijk om een natuurlijke omstorting te creëren. In dat geval kan een kunstmatige omstorting worden aangebracht. Dit kan door het gebruik van een bezande filterbuis, het omplakte zandmengsel komt hierbij in de ondergrond los van het filter en kan zo een kunstmatige omstorting vormen rond het filter, of door het inspuiten van zand tijdens het uittrekken van de mantelbuis. Deze technieken moeten echter nog verder worden ontwikkeld en getest.

#### **8.4 Putconstructie en ontwerp**

Voor dit werkpakket zijn geen speciale proeven uitgevoerd. Voor het ontwerp van een HDDW in Macharen en voor de testwinning in Nieuwegein zijn hydrologische modellen opgesteld waarmee berekeningen van de afpompings- en capaciteit zijn uitgevoerd.

Er is een proef uitgevoerd waarbij is getracht lokale variaties in de formatie te bepalen aan de hand van de returns verkregen tijdens een pilotboring. Deze methode bleek onsuccesvol.

Ook is er een protocol opgesteld waarbij aan de hand van de gemiddelde korrelgrootte van een grondmonster de optimale filterspleetwijdte en de optimale korreldiameter van een eventuele kunstmatige zandstorting kan worden bepaald. Deze is nog niet getest.

Betreft het ontwerpen van een put is veel werk gedaan aan de HDDW testwinning te Nieuwegein. De aanleg van een deze HDDW is uitgebreid beschreven in de rapportage van de testwinning (Rambags et al., 2010). Het gaat hier echter niet om een definitieve winning. Het ontwerp voor de putafwerking is daarom nog niet uitgewerkt.

#### **8.5 Monitoring en regeneratie**

Monitoring vereist momenteel, zo is de inschatting, geen vernieuwende concepten.

Voor wat betreft de regeneratie kan gesteld worden dat al het onderzoek naar de putontwikkeling direct na aanleg, c.q. het verwijderen van de boorspoeling voor middel van jetten en sectiegewijs ontwikkelen ook van toepassing is op regeneratie.

## 9 Literatuur

- Cirkel, G. (KWR), Pittens, B. (IF Technology) & Kooiman, J.W. (KWR) (2006) Haalbaarheid Horizontal Directional Drilled Wells HDDW. Haalbaarheid ontwikkeling nieuwe materialen en technieken voor horizontale boringen en putten. KWR 06.065.
- Heem, van der, V.E. (2010a) Monsternamen returns horizontale proefboring Nieuwegein. IF Technology.
- Heem, van der, V.E. (2010b) Evaluatie HDDW 'De Meerpaal'. Afstudeerverslag, IF Technology, Referentie 52107-evaluatie.
- Marsman, M. (2007) Testen gesleufde Apollo buizen. R 10307, ATO nr./proj. nr. : 174092/2238, Wavin Technology & Innovation, Dedemsvaart
- Pittens, B. & Cirkel, D.G. (2010) Verticale proef ten behoeve van HDDW Macharen. IF Technology. 1/57352/BP.
- Pittens, B., Cirkel, G. & Rambags, F. (2010) Veldproeven: ontwikkelen van PVC- en RVS filters met de Jetmaster.
- Rambags, F. & Hoeven, van der, I. (2009) HDDW: laboratoriumtest naar de geschiktheid van drie boorvloeistoffen. Deelonderzoek Horizontal Directional Drilled Wells. BTO 2009.040 (s).
- Rambags, F., Cikel, D. G., Hoeven, van der, I., Rothuizen, R. (2010) HDDW testwinning Nieuwegein. BTO 2010.028 (s).
- Vrouwenvelder, H. (2006) Groeipotentie van boorspoelingen. KWR 06.026.
- Wesseling, V. (2006) MEMO treksterkte Apollo PVC + koppelingen Elst, Wavin.
- Zon, van der, W. (2006) Onderzoek boorspoeling, HDDW boren van drains t.b.v. waterwinning. GeoDelft (opgesteld in opdracht van Oasen) CO-420460-0019.





# I Testen treksterkte Apollo PVC + koppelingen Elst



## MEMO

Aan:	Cor Vis, Louis Wildvank	Van:	Vincent Wesseling
Cc:	-	Datum:	11-09-2006
Onderwerp:	Boren met PVC	Ref.	060911vw01

Op 30 augustus jl. heeft er een test plaatsgevonden met het boren met PVC. De test is uitgevoerd in samenwerking met Visser & Smit Hanab te Elst.

### Doel van de proef

Het doel van de proef is het testen van de mogelijkheid en geschiktheid van PVC om dit materiaal door een voorgeboord gat te trekken.

### Aandachtspunten

De maximaal benodigde trekkracht  
De staat van de buis nadat deze door het gat is getrokken

### Vorbereiding en gebruikte materialen

Voor de proef is gebruik gemaakt van

10x PVC Apollo buis DN160 L=10m

1x PVC Apollo buis DN160 L=5m

5x Trekvaste koppeling DN160 type III

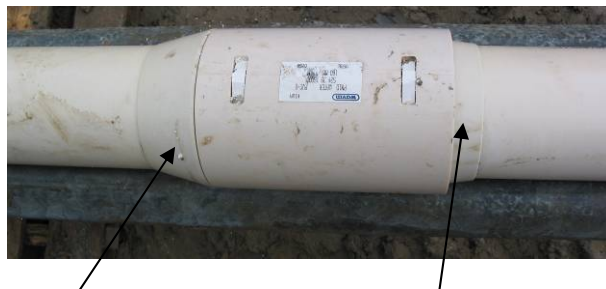
PVC spieën i.p.v. standaard PE spieën

Lijmbussen in trekrichting aangepast zodat deze aansluiten op de buitendiameter van de mof - tekening:W7002574

De lijmbussen zijn bij Wavin gelijmd.



Trekvaste koppeling met aangepast lijmbus

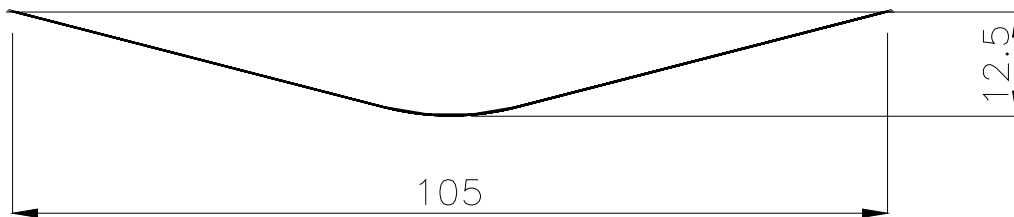


standaard lijmbus

1x Startkoppeling voor bevestiging van de eerste buis aan de trekkop - tekening:W7002753



Visser & Smit Hanab hebben een gat geboord van  $\pm 250$ mm. De lengte van het boorgat is ruim 100 meter, met een maximale diepte van 12,5meter.



### Uitvoering van de test

Om te voorkomen dat de PVC Apollo buis bezwijkt onder de uitwendige druk van 12,5 mwk is deze tijdens het intrekken gevuld met water.

Tijdens het intrekken van de buis is een aantal maal gemeten wat de benodigde trekkraft is.

~25 meter	~40 meter	~52 meter	~75 meter	~105 meter -
0.5 ton	0.8 ton	1.94 ton	0.8 ton	0.5 ton

Het intrekken van de buis heeft 1uur en 40 minuten in beslag genomen. Deze tijd is exclusief het voorbereiden (vastmaken kop, monteren van koppeling aan één zijde etc).

### Conditie van de buis

Als gevolg van het intrekken van de buis, zijn er krassen in de buiswand ontstaan. Welke invloed deze krassen hebben op de reststerkte van de buis hebben zal nader onderzocht moeten worden.

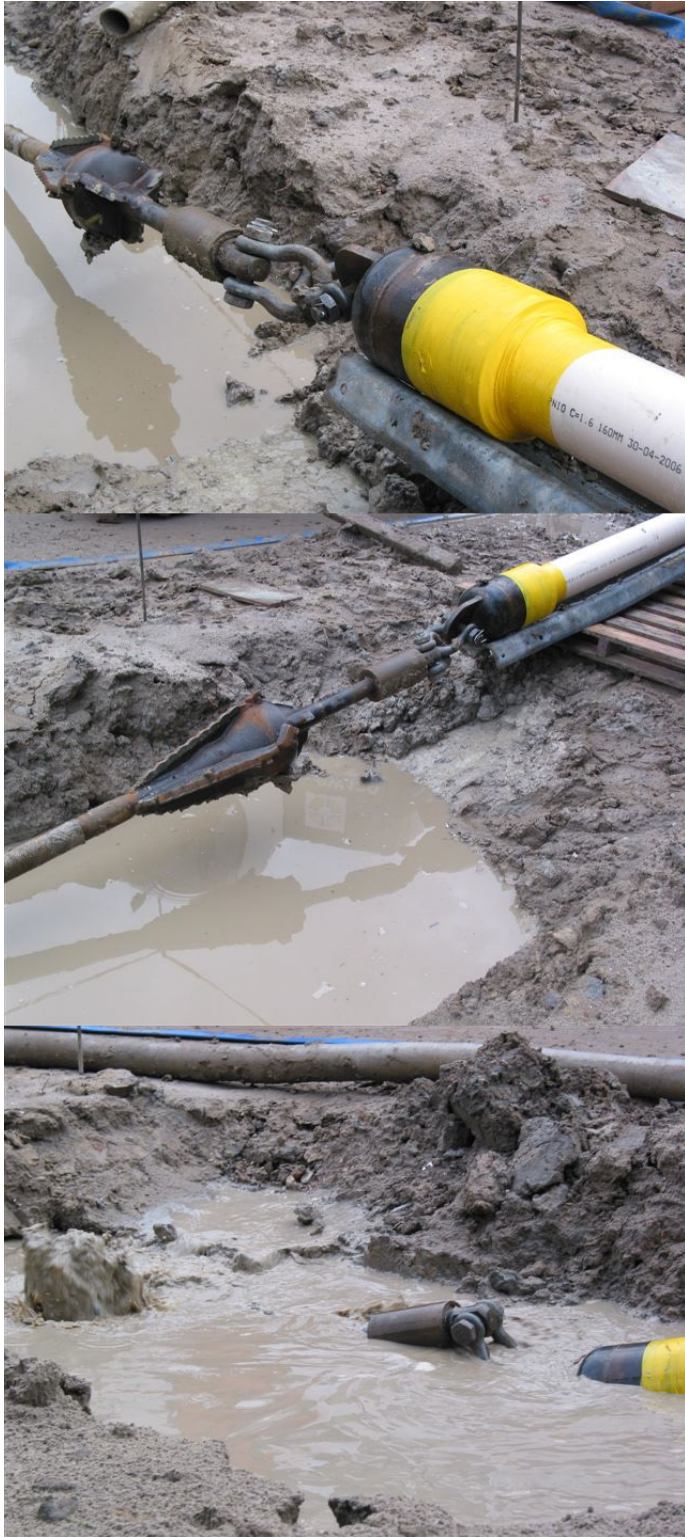
Een buiselement uit de proef is voor onderzoek meegenomen naar Wavin.

BIJLAGE: FOTO'S TREKPROEF



























# II Testen gesleufde Apollo buizen



Wavin Technology & Innovation

## TESTEN GESLEUFDE APOLLO BUIZEN

M. Marsman

R 10307

**Address**

Rollepaal 20  
P.O. Box 110  
7700 AC Dedemsvaart  
The Netherlands

**Telephone**  
+ (31)523-624911

**Telefax**  
+ (31)523-624700

**Homepage**  
[www.wavin.com](http://www.wavin.com)

**E-mail**  
wti@wavin.com

Naam aanvrager : V.H. Wesseling  
Bedrijf : Wavin Nederland B.V.  
Datum : 2007-11-12  
Distributie : V.H. Wesseling, M. Marsman  
Aantal pagina's : 2 (exclusief bijlagen)  
Bijlagen : 3 (7 pagina's)  
Classificatie : U  
ATO nr. / proj. nr. : 174092 / 2238  
Keywords : Biaxial orientation, Stiffness, Testing, Pipes, Tensile strength

Authorisatie

Department Manager:

MC member:



The laboratory of Wavin Technology & Innovation B.V. is accredited by RvA, registration no. 54. The test laboratory complies with the accreditation criteria from NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005. The accreditation covers the quality system of the laboratory as well as the specified activities described in the schedule which is provided with the accreditation certificate bearing the accreditation number. Recommendations and interpretations of the results from this report are excluded from the scope of the accreditation. Results are only valid for tested products.



Copyright Wavin T&I, Dedemsvaart, The Netherlands. No part of this document may be reproduced in any form without permission in writing. In case of dispute the version at Wavin T&I can be asked for at any time. All our contracts for the performance of work are subject to our General Conditions for the Performance of Work. The user of this report or the information contained therein releases us from all liability exceeded in the liability set out in these General conditions.



**SAMENVATTING**

**TESTEN GESLEUFDE APOLLO BUIZEN**

**Aanvraag** Het testen van gesleufde en niet gesleufde Apollo buis met betrekking tot stijfheid en buistreksterkte.

**Aanpak** De volgende testen zijn uitgevoerd:

- Ringstijfheid (STIS) volgens WKV3-1:2007 (conform ISO 9969:1994);
- Buistreksterkte volgens een interne Wavin T&I methode;
- Cyclische buistreksterkte volgens een interne Wavin T&I methode.

Zie voor gebruikte apparatuur en methodes Bijlage 3.

**Monster(s)** De volgende monsters zijn getest:

- Apollo buis DN110 SDR 41 ongesleufd;
- Apollo buis DN110 SDR 41 gesleufd, zie voor foto's Bijlage 1.

De print op de buizen is:  
"Wavin Apollo PVC-U-Biax 320 KIWA BRL-K565 SDR41 PN10 C=1,6 110 mm 13-07-2007 15:53 125-49 PVC MET HERGEBRUIKGARANTIE"  
De monsters zijn geregistreerd onder Wavin T&I monsternummer 3934.

**Resultaten** Zie voor gemiddelde test resultaten Tabel 1 en voor individuele resultaten Bijlage 2.

*Tabel 1 Gemiddelde test resultaten*

	Apollo	Apollo gesleufd
Stis [kN/m <sup>2</sup> ]	6,75	3,04 *)
Buistreksterkte, max [kN]	42,9	41,1
Cyclische buistreksterkte, tot 10 kN	Getest tot 50 cycli, geen breuk	Getest tot 50 cycli, geen breuk

\*) De Stis is bepaald op het gesleufde gedeelte.



M. Marsman  
2007-11-12

2/2 - R 10307

BIJLAGE 1: Foto's



Figuur 1 De Apollo buizen zijn gesleufd volgens bovenstaande tekening



Figuur 2 Foto gesleufde Apollo buis bij een buistreksterkte bepaling

R 10307

**BIJLAGE 2: Test resultaten**

*Tabel 2.1 Resultaten STIS*

	Apollo [kN/m <sup>2</sup> ]	Apollo gesleufd [kN/m <sup>2</sup> ]
Test 1	6,768	2,949
Test 2	6,712	3,031
Test 3	6,754	3,141
Gem.	6,75	3,04

*Tabel 2.2 Resultaten buistreksterkte, zie Figuur 2.5 voor een grafiek*

	Apollo [kN]	Apollo gesleufd [kN]
Test 1	42,7	41,1
Test 2	43,0	40,4
Test 3	43,2	41,7
Gem.	42,9	41,1

Opmerkingen:

- Apollo buis: Bij alle geteste buizen vloei de buis in de klem, zie Figuur 2.1;
- Apollo buis gesleufd: Test 1: Buis vloei tot maximale rek (beperking trekband), zie figuur 2.2;
- Apollo buis gesleufd: Test 2: Breuk buis in klemmen, zie figuur 2.3;
- Apollo buis gesleufd: Test 3: Breuk op gesleufde gedeelte, zie figuur 2.4.



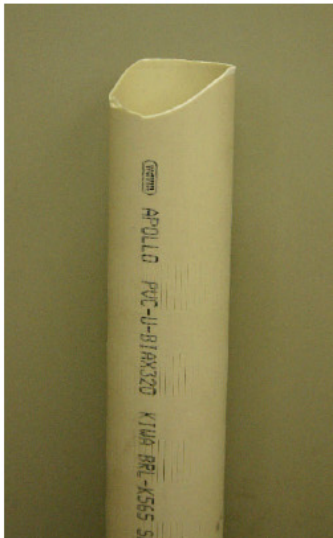
*Figuur 2.1 Vloei Apollo buis*



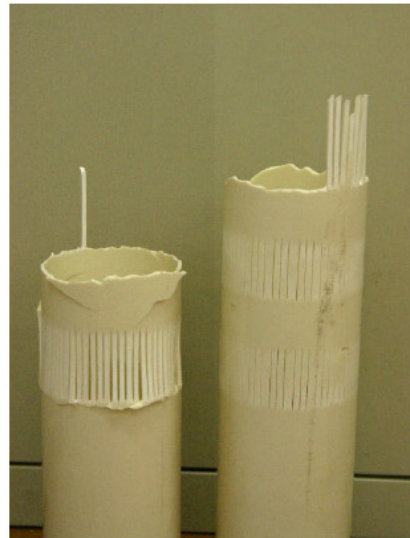
*Figuur 2.2 Apollo buis gesleufd, totale vloei*

R 10307

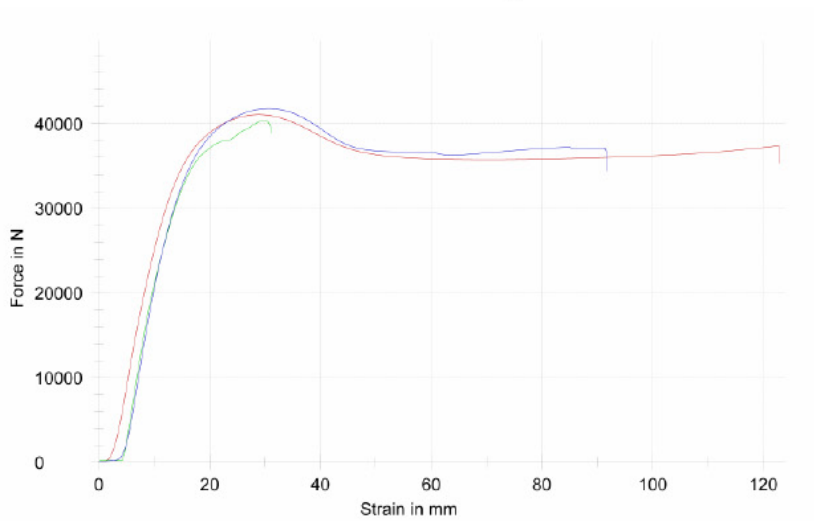
**BIJLAGE 2: Test resultaten (vervolg)**



*Figuur 2.3 Apollo gesleufd, breuk klem*



*Figuur 2.4 Apollo gesleufd, breuk gesleufde gedeelte*



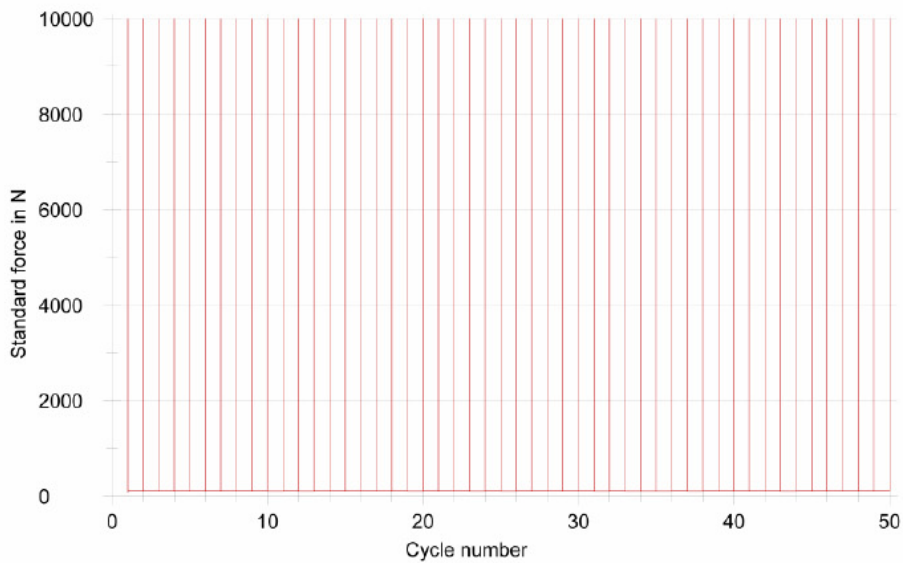
Legends	Nr	$F_{max}$ kN	dL at $F_{max}$ mm	$F_{Break}$ N/mm <sup>2</sup>	dL at break mm	$d_i$ mm	$d_a$ mm	$S_0$ mm <sup>2</sup>
	1	41,1	28,9	-	-	104,3	110,2	993,96
	2	40,4	29,9	39,1	31,1	104,3	110,2	993,96
	3	41,7	30,6	34,6	91,9	104,3	110,2	993,96

*Figuur 2.5 Grafiek buistrekproef Apollo gesleufd*  
R 10307

**BIJLAGE 2: Test resultaten (vervolg)**

*Tabel 2.3 Resultaten cyclische trekproef, aantal cycli zonder breuk (maximaal 50)*

	Apollo [cycli]	Apollo gesleufd [cycli]
Test 1	50	50
Test 2	50	50
Test 3	50	50



*Figuur 2.6 Grafiek cyclische buistrekproef*

R 10307

**BIJLAGE 3: Gebruikte apparatuur en methode**

*Tabel 3.1 Bepaling van de ringstijfheid*

Methode	WKV3-1:2007 (conform ISO 9969:1994).
Principe	Een buisstuk wordt tussen twee horizontale parallelle platen in verticale richting samengedrukt met een constante snelheid die afhangt van de buisdiameter.  Er wordt een grafiek van de kracht tegen de deformatie gemaakt. De ringstijfheid wordt berekend als een functie van de kracht die nodig is om de buis een bepaald percentage te vervormen.
Apparatuur (Wavin T&I code)	Zwick trek / druckbank (APP-354).
Monstername	Bij de testen van de gesleufde Apollo buis, is specifiek het gesleufde gedeelte getest.
Testcondities	Productiedatum : 2007-07-13 Datum van de proef : 2007-10-19 Lengte van het buisstuk : 300 mm Atmosferische condities : 23 ± 2°C / 50 ± 10% RV Testsnelheid : 5 mm/min Krachtsensor : 10 kN Deformatiemeting : traverse Deformatie voor S berekening : 3%
Afwijking van de methode	Geen.
Meetonzekerheid	5%
Accreditatie	WKV3-1:2007 is geaccrediteerd door <b>RvA</b> .

R 10307

**BIJLAGE 3: Gebruikte apparatuur en methode (vervolg)**

Tabel 3.2 *Bepaling van buistrekeigenschappen*

Methode	Gebaseerd op WKV6:2007 (gebaseerd op norm ISO 527-1:1993).
Principe	Het buisstuk wordt in zijn lengte as getrokken met een constante snelheid totdat het buisstuk breekt, of een van tevoren vastgestelde waarde bereikt. Tijdens de proef wordt de spanning (kracht) die het proefstuk opneemt en de rek (verlenging) gemeten.
Apparatuur (Wavin T&I code)	Zwick trek / drukbank ( APP-355).
Monstername	Lengterichting (buis). Bij de testen van de gesleufde Apollo buis, is specifiek het gesleufde gedeelte getest.
Testcondities	Datum van de proef : 2007-10-30 Proefstuktype : buis Buislengte : 685 mm, 200 mm boven en onder gesleufde gedeelte Atmosferische condities : 23 ± 2°C / 50 ± 10% RV Krachtsensor : 250 kN Testsnelheid : 5 mm/min Aantal proefstukken : 3
Werkwijze	Bepaling van de vloeisterkte volgens de norm.
Afwijking van de methode	Geen.
Meetonzekerheid	10% - vloeisterkte 30% - rek bij breuk
Accreditatie	Deze test is niet geaccrediteerd door <b>RvA</b> .

R 10307

**BIJLAGE 3: Gebruikte apparatuur en methode (vervolg)**

*Tabel 3.3 Bepaling van cyclische trekproef*

Methode	Cyclische trekproef
Principe	Het proefstuk wordt in zijn lengte as getrokken met een constante snelheid totdat het proefstuk een van tevoren vastgestelde maximale waarde is bereikt. Deze waarde wordt gedurende een bepaalde tijd vastgehouden, waarna het proefstuk ontlast wordt tot een van tevoren vastgestelde minimale waarde is bereikt. Deze waarde wordt ook gedurende een bepaalde tijd vastgehouden. Deze cyclus wordt gedurende een vast gestelde aantal herhaald.
Apparatuur (Wavin T&I code)	Zwick trek / drukbank ( APP-355).
Monstername	Lengterichting (buis). Bij de testen van de gesleufde Apollo buis, is specifiek het gesleufde gedeelte getest.
Testcondities	Datum van de proef : 2007-10-30 / 31 en 2007-11-01 Proefstuktype : buis Maximale kracht : 10 kN Tijdsduur op maximale kracht : 1 minuut Minimale kracht : 100 N Tijdsduur op minimale kracht : 1 minuut Aantal cycli : 50 Atmosferische condities : 23 ± 2°C / 50 ± 10% RV Krachtsensor : 250 kN Testsnelheid : 250 N/s Aantal proefstukken : 3
Afwijking van de methode	Geen.
Meetonzekerheid	N.v.t.
Accreditatie	Deze methode is niet geaccrediteerd door <b>RvA</b> .

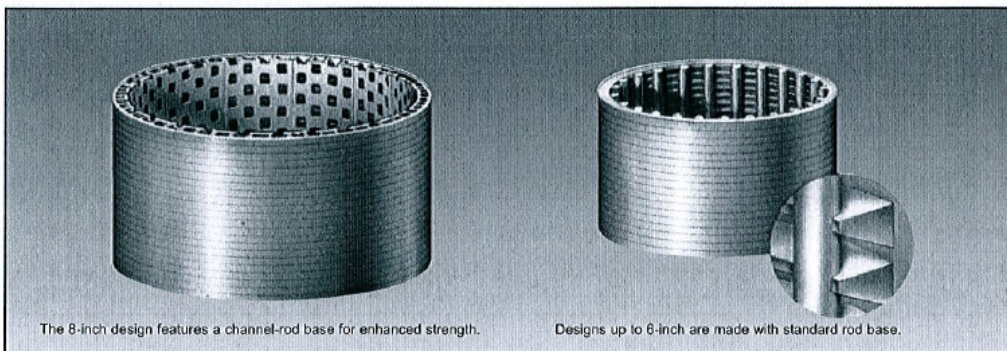
R 10307





# III Johnson PVC VEE-WIRE screens

(bron: Johnson)



## PVC VEE-WIRE® Screens

Commonly used in shallow wells, Johnson Screen's proprietary, sonic-welded PVC Vee-Wire® screens present higher open area for given slot size than any other non-metallic screen available. More economical than metal screens, PVC Vee-Wire screens resist

corrosion from salts and gases commonly found in either salt or fresh water, and they may be treated repeatedly with hydrochloric acid or Johnson's Nu-Well® pellets to remove incrustations. PVC screens are furnished with F480 flush threads or plain ends for connecting to standard PVC fittings.

SIZE (INCHES)	NOMINAL O.D. (INCHES)	DIAMETER I.D. (INCHES)(1)	WEIGHT/FT LBS	TENSIL STRENGTH LBS (2)	HANG WEIGHT LBS (4)	OPEN AREA (SQ INCHES) PER FOOT OF SCREEN					
						COLLAPSE STRENGTH - PSI (3)					
						SCREEN SLOT SIZE (INCHES)					
						0.006	0.010	0.020	0.030	0.040	0.050
1 - 1/4 PS	1.66	1.12	0.7	780	195	3.0	4.8	8.9	12.5	15.6	18.4
						269	261	242	226	212	199
1- 1/2 PS	1.90	1.41	0.8	1245	310	3.4	5.5	10.2	14.3	17.9	21.0
						181	175	163	152	143	134
2P/3T	2.37	1.88	0.8	1325	330	4.2	6.9	12.8	17.8	22.3	26.3
2 PS*	2.60	2.00	0.9	1325	330	95	92	85	79	74	70
						4.6	7.5	14.0	19.6	24.5	28.8
3 PS	3.50	2.89	1.5	1820	455	72	70	65	61	57	54
						5.4	8.8	16.5	23.3	29.3	34.7
4 Special	4.50	3.81	1.7	2100	525	169	164	154	145	137	130
						6.9	11.3	21.2	30.0	37.7	44.6
4 PS*	4.62	4.00	1.8	2100	52	81	78	74	69	65	62
						7.1	11.6	21.8	30.7	38.7	45.8
5 PS	5.56	4.81	2.5	3920	980	75	73	68	64	60	57
						8.1	13.1	24.6	34.9	44.1	52.4
6 PS	6.61	5.75	3.7	4600	1150	73	72	68	65	62	59
						8.0	13.1	24.9	35.6	45.3	54.2
8 PS	8.62	7.50	4.6	5500	1375	73	72	68	65	62	59
						13.3	21.6	40.6	57.3	72.2	85.5
						60	59	55	52	49	46

(1)Clear ID's are minimum inside diameters

(2)Tensile values are based on support rod area, other values are based on flush-thread test values

(3)Collapse strengths are calculated values - no safety factor included

(4)Hang weights are the maximum combined weight of riser and screen to be hung from the top screen joint

All strength properties are based on 73°F temperature

\*Alternate construction for environmental applications



# IV Notitie afweging filterkeuzes

**Project:** HDDW KWR Nieuwegein  
**Onderwerp:** Afweging filterkeuzes  
**Datum:** 29 september 2009  
**Referentie:** 56412/BP

## Opmerkingen Ilse van der Hoeven:

Overwegingen m.b.t. toe te passen filterconfiguratie praktijktest HDDW

Tijdens de praktijktest kunnen als filtermateriaal onder andere de volgende filters worden toegepast:

- Johnson-screen
- RVS wikkeldraad
- Apollo PVC axiaal geslot
- V&SH bezande buis

Johnson-screen is in vergelijking met RVS wikkeldraad 3x goedkoper bij een redelijk vergelijkbare configuratie. Bij het toepassen van wikkeldraad met een mantelbuis kan het open oppervlak ca. 17% bedragen. Zonder mantelbuis zit je rond 13%. Johnson-screen hebben ca. 11% open oppervlak. Totaal heeft het Johnson-screen wel een iets kleinere maximale trekkracht dan RVS.

De basis van de toe te passen filterstreng bestaat uit Apollo-PVC buizen. De bedoeling is wel om de inwendige diameter zoveel mogelijk gelijk te houden, eveneens moet gekeken worden om de verbinding tussen de verschillende filters zo makkelijk en sterk mogelijk te houden. Dat geeft op zich een voorkeur voor een samenstel van PVC buizen.

De V&SH-bezande buis wordt voornamelijk gemaakt op basis van de Apollo axiaal geslotte buis. Door afstemming van het aangebrachte zandpakket ten opzichte van de formatie kan een grotere slotwijdte gehanteerd worden waardoor het open oppervlak ca. 7-9% kan bedragen. De normale Apollo axiaal geslotte buis heeft een open oppervlak van ca. 3-4%.

Wanneer we alle 4 de filtertypes willen toepassen is er een boring nodig van ca. 170m (op basis van 10mtr filter en dan 5mtr blind).

Komende vrijdag kan ik het terrein van Waternet met dhr. Kees Dapper bezoeken. Dan kunnen we ook kijken hoe lang we de boring kunnen maken.

## Opmerkingen Bas Pittens:

Ik denk dat je je eerder gemaakte tabel moet vervolledigen. Hierin ook de praktijkcase meenemen als je grotere buizen wil gebruiken.

Dan nagaan of de praktijkcase (300mm) ook haalbaar is, want anders heeft testcase (100mm) 'minder' zin. De praktijk- en testcase is haalbaar als de buiskrachten (trekkracht en collapsekracht) groter is dan de geldende normen en verwachte krachten op die buis.

Filter (0,03 mm slots)	Kosten	Max. % open opp.	Max. trekkracht	Max. Collapse	Wat zijn de min. slots
Johnson-screen					??
- Zonder binnenbuis 100 mm		11%			
- Met binnenbuis 300 mm		??%			
RVS wikkeldraad (HP Wellscreen)					ik geloof 0,005mm
- 100 mm		17%			
- 300 mm					
Apollo PVC axiaal geslot					??
- 100 mm		3-4%			
- 300 mm		??%			
V&SH bezande buis					??
- 100 mm		7-9%			
- 300 mm					

Verskil gemaakt in 100mm en 300 mm. Met 100 mm wordt proef uitgevoerd, met 300 mm wordt rekening gehouden in bijvoorbeeld Macharen. Voor de bezande buis geldt eigenlijk dat een kleinere buis mogelijk zou zijn, omdat er al omstorting omheen zit.

**Actie:** Nagaan of de maximale collapse en trekkrachten van de buizen voldoende zijn om in echte praktijkcases te voldoen aan de geldende normen.

Wat zijn de benodigde trekkrachten en collapsekrachten, uitgangspunten:

- diepte conform Macharen
- gebruik van mantelbuis
- de blinde buis (voor en achter filter) is van gelijk materiaal als het filter
- optie is om RVS wikkeldraad te combineren met bijvoorbeeld HDPE/PVC blinde buizen i.p.v. die ook in RVS uit te voeren. Scheelt kosten en benodigde trekkracht.

Max. open oppervlak is afhankelijk van de trek- en collapse sterkte. Het RVS WWS kan zeer minimaal worden uitgevoerd en dus heel hoog % open opp.

Minimale slots: nu gaan we uit van 0,03 mm. We hebben namelijk te maken met grove zanden. Maar vaak zal het minder grof zijn en moeten we omlaag naar 0,02 of misschien 0,01 mm. Het zou goed zijn om te weten, welke filters welke potentie hebben in de toekomst. De slot opening is overigens ook afhankelijk van buisdikte en dus collapse- en trekkracht. Uitgangspunt is minimale benodigde sterkte van de buis lijkt me.

#### **Afweging maken:**

We kunnen een goede afweging maken als we de bovenstaande tabel ingevuld hebben, ofwel als we de technische en kostentechnische parameters op een rij hebben staan.

Verder kan gesteld worden:

- met RVS hebben we al veel ervaring en is een goede referentie, omdat we er zowat zeker van zijn dat die werkt.
- Het is inderdaad ongewenst als er grote verschillen zitten in inwendige diameters van de aan elkaar gekoppelde filters (verschil diameter RVS en PVC) i.v.m. het testen van een eventueel sectieapparaat of ander materieel dat in de put moet worden gebracht om de put te ontwikkelen.

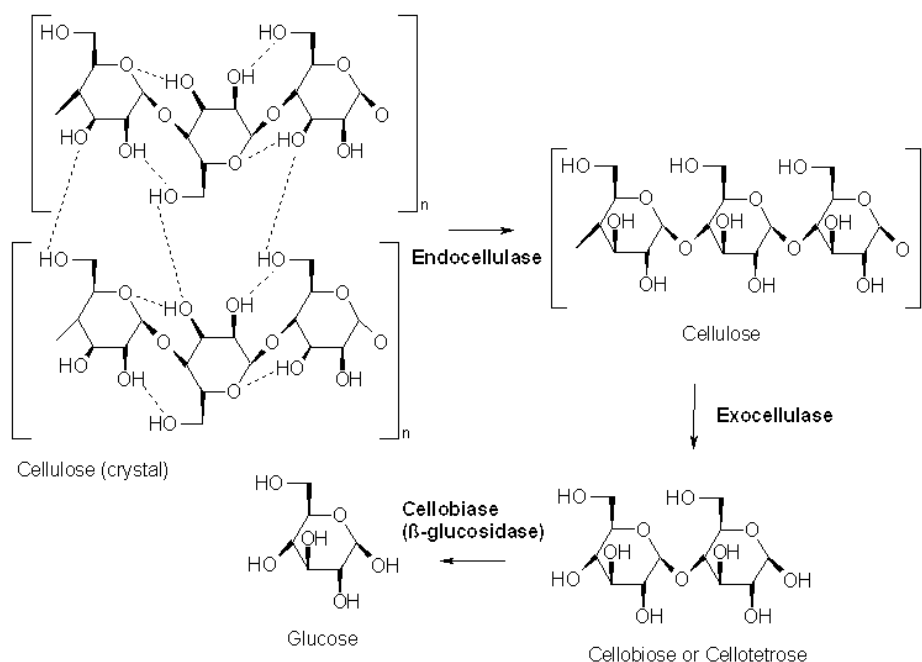
# V MEMO Biologische afbraak van CMC met behulp van enzymen

Bestemd voor: Projectgroep HDDW  
Betreft: Biologische afbraak van CMC met behulp van enzymen  
Van: Gijsbert Cirkel  
Datum: 9 mei 2006

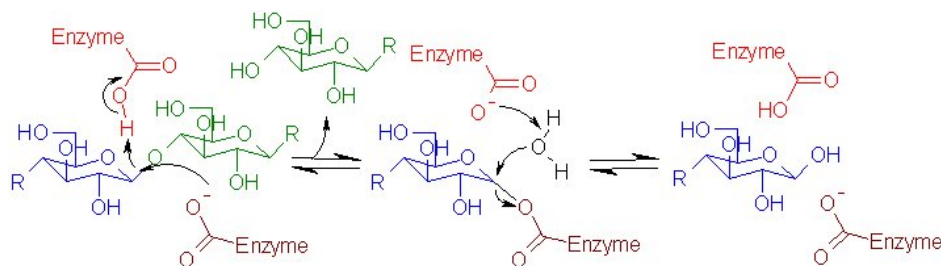
Het na de boring effectief verwijderen van de boorspoeling uit de boorgatwand blijkt lastig. Toch is effectieve verwijdering van de boorspoeling cruciaal. In deze memo richten we ons op CMC (Carboxy Methyl Cellulose) en worden andere componenten van de boorspoeling (bentoniet) en alternatieven voor de boorspoeling zoals xanthaan, aardappelderivaat en guar gum buiten beschouwing gelaten. Als CMC in de boorgatwand achterblijft kan dit een initiële barrière vormen waardoor mechanische verstopping versneld zal plaatsvinden. Verder kunnen resten CMC leiden tot bacteriegroei waardoor extra hydraulische weerstand (slijm) ontstaat en er waterkwaliteitsproblemen kunnen ontstaan. CMC zal dus zo snel en effectief mogelijk moeten worden verwijderd bij de ontwikkeling van de put. Momenteel wordt waterstofperoxide gebruikt voor de verwijdering van CMC. Dit geeft echter zowel milieu als arbotechnische problemen en blijkt niet altijd even effectief. We moeten dus op zoek naar een milieuvriendelijk middel dat snel en effectief CMC kan verwijderen. Een mogelijkheid is de toepassing van enzymen, waar in deze memo verder op in zal worden gegaan.

## Eigenschappen en werking

Met behulp van Cellulase preparaten kunnen celluloseproducten goed worden afgebroken. Cellulase is een enzymcomplex bestaande uit drie typen enzymen: endocellulase, exocellulase en cellobiase of beta-glucosidase. Deze drie enzymen breken cellulose in drie stappen af tot beta-glucose. In figuur 1 en 2 is dit proces weergegeven.



Figuur 1 Cellulase enzym-typen en acties



Figuur 2 Mechanisme cellulose afbraak

Endocellulase verbreekt de interne bindingen en verstoort de kristal structuur van cellulose waardoor individuele polysaccharide kettingen bloot komen. Exocellulase knipt 2-4 eenheden van de einden van de door endocellulase blootgestelde kettingen, resulterend in tetrasaccharides of disaccharides. Cellobiase of beta-glucosidase hydrolyseerd het endocellulase product in individuele monosaccharides.

Binnen de bovengenoemde types zijn er verder progressieve en niet-progressieve types. Progressieve cellulase zal voortdurend interactie hebben met een enkele polysaccharide strand, niet-progressieve cellulase heeft één keer interactie, maakt zich weer los en gaat dan door naar een volgende polysaccharide strand. De precieze samenstelling en eigenschappen van cellulase verschilt afhankelijk van de bron (dit kunnen zowel bacteriën bijv. *Cellulomonas* als schimmels bijv. *Trichoderma Reesei* zijn). De meeste cellulases hebben vergelijkbare pH optima, oplosbaarheid en aminozuur samenstelling. De thermale stabiliteit kan echter variëren. Cellulase preparaten zijn over het algemeen effectief tussen pH 3 and 7. De optimum pH ligt veelal tussen 4 and 5. De optimum temperatuur ligt veelal tussen de 40 - 50 °C. Door de industrie worden echter cellulases ontwikkeld die ook actief zijn bij lagere temperaturen en hogere pH's. Toch zal de activiteit van de enzymen bij boringen waarbij de grondwatertemperatuur rond de 10 graden ligt en de pH rond de 7 a 8 mogelijk te laag zijn. Verwarming en aanzuring van het grondwater is dan noodzakelijk voor voldoende activiteit.

### Beschikbaarheid en kosten

Tot voor kort was het gebruik van enzymen voor de afbraak van cellulose een vrij dure aangelegenheid. Door de zoektocht naar alternatieve brandstoffen is er echter een grote belangstelling ontstaan voor de omvorming van cellulose naar suikers om daar vervolgens door vergisting ethanol van te maken. De productie van enzymen zoals cellulase heeft hierdoor een flinke impuls gekregen, waardoor ook de prijzen aan het dalen zijn. Voor een precieze opgave van de kosten zal contact moeten worden gezocht met de industrie

### Belangrijke producenten:

**Genencor International, B.V.**  
Archimedesweg 30  
2333 CN Leiden, The Netherlands  
or at: P.O. Box 218  
2300 AE Leiden, The Netherlands  
Tel: +31-71-5686-168  
Fax: +31-71-5686-169

**Enzyme Development Corporation**  
21 Penn Plaza, 360 West 31st Street, New York, NY 10001  
212.736.1580  
212.279.0056 fax  
email: info@enzymedevelopment.com

**Togen**  
310 Hunt Club Rd. East  
Ottawa, Ontario  
Canada K1V 1C1

### Biologische groei en afbraak van CMC

Uit ervaring blijkt dat de afbraak van CMC in winputten onder anaërobe omstandigheden zeer traag verloopt is. Het onder anaërobe omstandigheden door in de bodem van nature aanwezige bacteriën laten afbreken van CMC zal dus niet succesvol zijn. De reden hiervoor is dat de energiewinst voor de bacteriën bij het afbreken van CMC onder deze omstandigheden zeer beperkt is. De bacteriegroei zal hierdoor zeer traag verlopen en de aanwezige bacteriën zullen de voorkeur geven aan makkelijker af te breken stoffen dan CMC.

Voordeel van het gebruik van CMC is dat bacteriologische groei onder anaërobe omstandigheden beperkt zal blijven, een put kan hierdoor bij succesvolle ontwikkeling weer snel in gebruik worden genomen. Nadeel is dat natuurlijke afbraak van eventuele achtergebleven CMC onder anaërobe omstandigheden eveneens traag zal verlopen, als de put dus niet goed wordt ontwikkeld zal worden kan dit mogelijk leiden tot een langdurige

beïnvloeding van de waterkwaliteit. Achtergebleven CMC zal dus actief verwijderd moeten worden door bijvoorbeeld het toevoegen van enzymen. Ook de toegepaste enzymen zelf en de afbraakproducten vormen echter een voedingsbron voor bacteriën, en moeten dus effectief verwijderd kunnen worden tijdens/na de ontwikkeling. Onder aërobe omstandigheden zal CMC een grotere biologische groeipotentie hebben. De energiewinst voor micro-organismen bij aërobe afbraak is immers veel groter. Onder aërobe omstandigheden zal CMC dus sneller op 'natuurlijke' wijze worden afgebroken, maar tevens resulteren in een grotere biologische groei en bijbehorende waterkwaliteits en verstoppingsproblemen. Het versnellen van de afbraak door toevoegen van enzymen kan de periode waarin biologische groei optreedt mogelijk verkorten.

### **Toepassing**

Om effect te hebben moeten de cellulase-enzymen direct in contact komen met het CMC. Zoals al aangegeven is de werking van de enzymen optimaal bij een temperatuur rond de 40 °C en een pH van 4 a 5. Bij de ontwikkeling van de put moet het water met de enzymen dus worden verwarmd en aangezuurd. Bij lage temperaturen zal de werking van de enzymen traag verlopen. Bij temperaturen boven de 88 °C verliezen de enzymen definitief hun werking. Omdat de werking van de enzymen het hoogst is bij een goede menging met de CMC is het mogelijk een idee om de enzymen tegelijk met het CMC toe te voegen aan de boorspoeling. Wel moet de werking van de enzymen worden vertraagd om bij het boren geen problemen te ondervinden. Bij het ontwikkelen kunnen de enzymen worden geactiveerd door de pH te verlagen en de temperatuur te verhogen. Na ontwikkeling kan eventuele ontstane biologische groei worden gestopt door een nabehandeling met waterstofperoxide. Waterstofperoxide heeft tevens een positief effect op de afbraak van CMC

### **Conclusies en suggesties voor vervolgonderzoek**

Het toepassen van enzymen vormt een mogelijkheid om op een snelle manier resten CMC uit de boorgatwand te verwijderen. Door de mogelijk snelle afbraak van CMC met enzymen kunnen zowel hydraulische als microbiologische problemen worden voorkomen of verminderd (betere ontwikkeling en verlaging van de kans op nagroei).

Criteria voor de toepassing (bij gelijktijdige injectie):

- Snelle werking: te traag vormt gevaar voor langdurige beïnvloeding van de waterkwaliteit.
- Niet te snel: instorting boorgatwand
- Volledige werking: half werk geeft langdurige invloed op waterkwaliteit
- Geen ophoping van enzym: enzym moet eenvoudig uitspoelbaar zijn anders is het een oplossing die een nieuw probleem creëert.
- Te gebruiken hoeveelheden en kosten moeten economisch haalbaar zijn.

Onderzoeksvragen:

1. Wat is de omzettingssnelheid van het enzym onder optimale condities? Zijn vast literatuurgegevens over te vinden.
2. Wat is de invloed van de procesomstandigheden in de boorgatwand op het enzymatische afbraakproces?
3. Is het enzym afbreekbaar en/of uitspoelbaar en hoe snel?
4. Kunnen we de werking van de enzymen vertragen waardoor we het met de boorspoeling mee kunnen toedienen. Bijvoorbeeld door pH of temperatuur te beïnvloeden
5. In hoeverre en in welke hoeveelheden is cellulase beschikbaar en tegen welke kosten
6. Hoeveel cellulase is nodig om CMC te kunnen verwijderen, we hoeven het CMC namelijk waarschijnlijk niet helemaal tot suikers te reduceren om het goed mechanisch te kunnen verwijderen
7. Welke invloed heeft de toepassing van de technologie op de hydraulische en microbiologische condities in de put?

De eerste vraag kan waarschijnlijk worden beantwoord met een literatuurstudie. De tweede en derde en vierde vraag zouden kunnen worden onderzocht met batchproeven onder verschillende condities (met en zonder dosering van versturende condities voorkomend in het pakket): de enzymactiviteit kan worden bepaald aan de hand van de vorming van de afbraakproducten (chemische analyses) of de mate waarin er biomassa productie plaatsvindt (biochemische analyse). De vijfde en zesde vraag kunnen waarschijnlijk worden beantwoord door middel van literatuurstudie en contact met de producenten. De zevende vraag zou kunnen worden onderzocht in een meeloopfilteropstelling: belasting van zandkolommen met CMC en CMC plus enzym (plus blanco) en meten van de weerstand/microbiologie.



- Chapin III, F.S., P.A. Matson, H.A. Mooney (2002) Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer-Verlag New York, NY.
- GENENCOR, General enzyme questions and answers, [www.GENENCOR.com](http://www.GENENCOR.com)
- The Merck Manual of Diagnosis and Therapy, Chapter 24

# VI MEMO Afbraak boorspoeling met enzymen

Gijsbert Cirkel,

De combinatie van een goede boorspoeling en goede afbreekbaarheid biedt goede mogelijkheden voor zowel horizontale als verticale toepassingen (denk aan boren door zwellende kleilagen). Belangrijk voordeel van het gebruik van enzymen (als toevoeging aan boorspoeling) is de mogelijkheid voor het aanbrengen van een omstorting. De enzymen zitten dan op de goede plek en kunnen na aanbrengen van de omstorting worden geactiveerd, waarna de polymeer ketens in makkelijk te verwijderen stukjes worden geknipt.

In de olieindustrie worden biopolymeren vooral gebruikt voor 'fracturing' van oude bronnen om de productie te verhogen. Het blijkt dat voor deze toepassing min of meer dezelfde biopolymeren worden gebruikt als degene die voor gestuurde boorspoelingen kunnen worden gebruikt. Het gaat hierbij om: Xanthaan, Guar Gum, CMC, Carrageenan Gum, Arabic Gum and Locust Bean Gum.

Genencor, een biotechnologisch bedrijf die enzymen voor industriële toepassingen produceert, heeft het effect van het toedienen van enzymen op de viscositeit van genoemde boorspoelingen getest. In de onderstaande tabel staan de onderzochte enzymen weergegeven. Er zijn echter ook nog andere enzymen mogelijk (gezien de toepassing moesten de gebruikte enzymen tegen vrij hoge temperaturen kunnen)

Product Name	Manufacturer	Production Organism	Principle Activity	pH Optimum
<b>Bacterial Xylanase</b>	<b>Danisco</b>		<b>Xylanase</b>	<b>5.8</b>
<b>Endoglucanase C</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Endoglucanase</b>	<b>5.0</b>
<b>Feedzyme Y5 Xylanase</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Xylanase</b>	<b>5.0</b>
<b>Fungal Xylanase</b>	<b>Danisco</b>		<b>Xylanase</b>	<b>4.5</b>
<b>GC 250E</b>	<b>Genencor</b>	<b>Bacillus licheniformis</b>	<b>Alpha-amylase</b>	<b>6.0</b>
<b>Multifect 720</b>	<b>Genencor</b>	<b>Bacillus licheniformis</b>	<b>Xylanase</b>	<b>7.5</b>
<b>Multifect CL</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Cellulases</b>	<b>4.5</b>
<b>Multifect GC</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Cellulases</b>	<b>4.0</b>
<b>Multifect Pectinase FE</b>	<b>Genencor</b>	<b>Aspergillus niger</b>	<b>Pectinase</b>	<b>3.9</b>
<b>Multifect XL</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Xylanase</b>	<b>5.0</b>
<b>Multifect Xylanase</b>	<b>Genencor</b>	<b>Trichoderma reesei</b>	<b>Xylanase</b>	<b>5.0</b>

- Uit het onderzoek bleek dat de in de tabel weergegeven enzymen niet werken op boorspoelingen met Xanthaan, maar wel op de overige spoelingen. Over het algemeen zelfs zeer effectief (een afname van de viscositeit van 100% naar <1% in een uur tijd). Zolang de temperatuur niet boven de 88°C komt zullen de enzymen blijven werken.
- Sturing van de enzymactiviteit is mogelijk, waarbij vooral gedacht moet worden aan de beïnvloeding met behulp van de temperatuur. Bij 10-15 °C is de activiteit van enzymen laag (ze werken wel maar veel minder snel) bij verhoging van de temperatuur naar 20-30 °C neemt de activiteit snel toe. Toevoeging tijdens de boring is dus alleen mogelijk indien de temperatuur van de boorspoeling laag kan worden gehouden.
- Enzymen zijn geen levende organismen en zijn waarschijnlijk niet schadelijk voor de gezondheid. Er dient echter verder te worden onderzocht of de aanwezigheid van enzymen geen nadelige gevolgen heeft voor de bacteriologische betrouwbaarheid van het water.
- De boorspoeling is basisch, voor ene optimale werking van de enzymen moet de boorspoeling aangezuurd worden, wat dit voor effect heeft op de boorspoeling is niet bekend.

Xanthaan kan dus niet goed worden afgebroken met commercieel beschikbare enzymen (Guar en CMC wel). Er zijn niet commerciële enzymen beschikbaar voor de afbraak van Xanthaan. Deze zijn echter te duur en brengen daarmee de economische haalbaarheid van het project in gevaar.



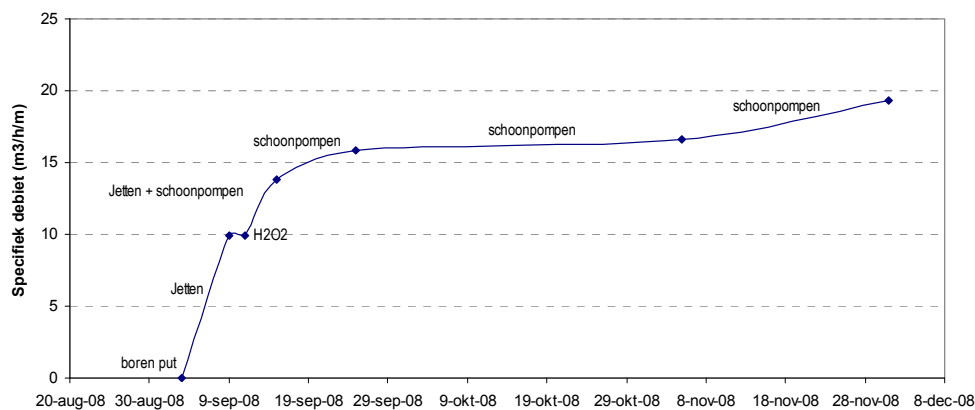
# VII MEMO Chemische ontwikkelmethoden voor xanthaan verwijdering

Chemische ontwikkelmethode voor Xanthaan verwijdering

Bestemd voor: projectgroep HDDW Macharen- InnoWater consortium  
Van: Gijsbert Cirkel  
Datum: 20 januari 2009

## Inleiding

Na het boren van de verticale proefput is gestart met ontwikkelen. Er is gestart met mechanisch ontwikkelen met de Jet-master. Hierbij is het specifieke debiet van de put toegenomen van 0 naar 10 m<sup>3</sup>/h/m afpompings. Als volgende stap is waterstofperoxide gedoseerd en verdrongen om resten Xanthaan af te breken en bacteriologische groei te remmen. Het doseren van waterstofperoxide bleek echter geen effect te hebben op het specifieke debiet. Doordat er na het ontwikkelen nog veel xanthaan achter is gebleven bleef het specifieke debiet te laag en is er een uitbundige bacteriegroei opgetreden. Xanthaan is een macromolecuul bestaande uit een keten van suikermoleculen (glucose en mannose), helaas een ideale voedingsbron voor bacteriën. De bacteriegroei heeft er toe geleid dat (door het afbreken van de resten Xanthaan) het specifieke debiet van de put over een periode van 8 weken verder is toegenomen tot ongeveer 20 m<sup>3</sup>/h/m afpompings begin december (zie Figuur 1-1). De uitbundige bacteriegroei en het nog steeds lage specifieke debiet (vergelijkbare putten op het puttenveld hebben een specifiek debiet van 30 a 40 m<sup>3</sup>/h/m afpompings) hebben er toe geleid om na de eerste ontwikkelacties op zoek te gaan naar een alternatieve ontwikkelmethode, en deze toe te passen op de verticale proefput.



Figuur 1-1 Ontwikkeling specifiek debiet verticale proefput Macharen. De stippen geven de momenten weer waarop capaciteitsmetingen zijn uitgevoerd.

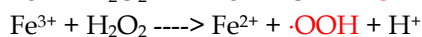
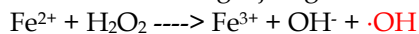
## Alternatieven voor waterstofperoxide

Voor het afbreken van de Xanthaan moleculen is gezocht naar alternatieve stoffen dan het in de eerste poging gebruikte waterstof peroxide. Randvoorwaarden hierbij zijn: veiligheid bij toepassing in het veld, geschiktheid op deze specifieke locatie, beschikbaarheid en gebruiksgemak. De volgende stoffen zijn als kansrijk geselecteerd: chloorbleekloog (HClO), chloordioxide (ClO<sub>2</sub>), natronloog (NaOH), perazijnzuur (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) en Fenton's reagent (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Fe<sup>2+</sup>). In een eerste toetsing valt chloordioxide al direct af omdat deze stof moeilijk beschikbaar is, grote problemen geeft bij vervoer en simpelweg te gevaarlijk is bij toepassing in het veld. Chloorbleekloog en Natronloog zijn voor het afbreken van Xanthaan goede alternatieven. Nadeel van deze stoffen is dat ze sterk pH verhogend werken. In aquifers met hoge ijzer en bicarbonaat gehalten zoals bij Macharen kan een geringe stijging van de pH al leiden tot neerslagen

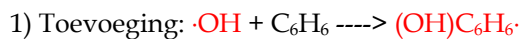
van kalk en ijzer(hydr)oxiden. Perazijnzuur is eveneens een goed alternatief. Het heeft een sterk oxiderend vermogen door de vorming van Hydroxyl radicalen. Daarnaast heeft het een sterke desinfecterende werking. Nadeel van deze stof is dat het zelf ook een organische verbinding is en daarmee in potentie voedsel voor bacteriën. Uiteindelijk is Fenton's reagent als meest veelbelovende alternatief naar voren gekomen.

### Fenton's reagent

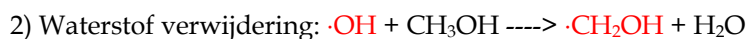
Waterstof peroxide wordt pas echt werkzaam voor organische stof als er zogenaamde hydroxyl radicalen gevormd worden. Hydroxyl radicalen zijn hydroxide moleculen die een electron te kort komen. Ze zijn hierdoor hoog reactief en zullen reageren met elke oxideerbare stof in de directe omgeving. Een bekende manier om hydroxyl radicalen te vormen is het zogeheten Fentons reagent waarbij waterstof peroxide met  $Fe^{2+}$  wordt gemengd. Van  $Fe^{2+}$  gaat één elektron ( $e^-$ ) over naar de waterstof peroxide, wat vervolgens uiteenvalt in hydroxide ( $OH^-$ ) en een instabiel hydroxyl radicaal. In onderstaande vergelijkingen is deze reactie weergegeven (de radicalen zijn rood weergegeven)



De ontstane radicalen werken op twee manieren in op organische verbindingen (voorbeelden  $C_6H_6$  en  $CH_3OH$ ):



Waarbij het hydroxyl radicaal aan een onverzadigde verbinding wordt toegevoegd, waarbij weer een vrije radicaal product wordt gevormd. (in dit geval een cyclohexadienyl radical)



Waarbij een organische vrije radicaal en water wordt gevormd.

De gevormde organische radicalen reageren verder met resten organische stof, waarbij weer nieuwe radicalen worden gevormd. Als je dit proces weet op te starten ontstaat een zeer efficiënte afbraak van organisch materiaal. De optimale pH bevindt zich tussen pH 3 en pH 6. De achteruitgang in efficiëntie aan de basische kant wordt veroorzaakt door transitie van gehydrateerd  $Fe^{2+}$  ion naar colloïdaal ijzer. Door ijzer in de laatste vorm ontleedt het waterstofperoxide in zuurstof en water, zonder vorming van hydroxyl radicalen.

### Toepassing op proefput Macharen

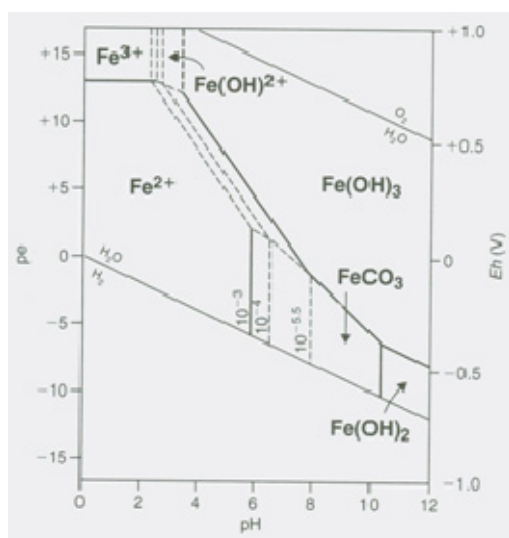
Besloten is de verticale proefput om Macharen nogmaals te ontwikkelen met waterstofperoxide waarbij getracht wordt het Fenton proces op gang te brengen. Hoewel het formatiewater te Macharen voldoende  $Fe^{2+}$  bevat is uit praktische overwegingen (aanvoer en het voorkomen van uitvloeking) besloten te werken met reinwater. Na aanzuren naar pH 3 tot 4 met HCl, is aan het water gehydrateerd IJzer(II)sulfaat toegevoegd. Voor het aanzuren is 0.5 tot 1 liter HCL 30% in scheutjes toegevoegd aan 750 liter reinwater. Reactie snelheden bij Fenton's reagent zijn gelimiteerd door de snelheid waarmee hydroxyl radicalen worden gevormd. Deze snelheid is op zijn beurt afhankelijk van de concentratie van de  $Fe^{2+}$  catalysator. Er is gekozen voor een relatief lage  $Fe^{2+}$  dosering van 30 mg/l. Deze concentratie komt ongeveer overeen met de concentratie van het opgepompte ruwwater op Macharen. Voordeel van de lage dosering is het relatief traag op gang komen van de reactie. Hierdoor is meer tijd om het reagens in de formatie te verdringen.

#### Recept voor Fenton's reagens

1. Vat vullen met 750 liter water
2. Aanzuren tot pH 3 (0.5 liter - 1,5 l HCl 30% in scheutjes toevoegen, roeren en de pH meten. Als de pH rond de 3 zit, dan stoppen met toevoegen)
3. Toevoegen gehydrolyseerd IJzer(II)sulfaat (180 gr.) onder goed roeren (moet goed oplossen)\*
4. Controleren op vlokvorming, zo ja dan meer zuur toevoegen
5. Toevoegen 250 liter (35%) Waterstofperoxide
6. Goed roeren
7. Sectiegewijs inbrengen

Om te voorkomen dat  $\text{Fe}^{2+}$  bij het inbrengen in de put alsnog omgezet wordt naar  $\text{Fe}^{3+}$  en vlokken gaat vormen moet ook de put en de formatie in de directe nabijheid van de put worden aangezuurd naar pH 3 a 4 (Figuur 1-2). Uitvlokken kan problemen geven doordat door  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  colloïden het  $\text{H}_2\text{O}_2$  zal ontleden. Hierbij kan een fontein ontstaan door de plotselinge hoeveelheid zuurstof die ontstaat. Als echter de vervuiling (organische verbindingen) afneemt, zullen de hydroxyl radicalen de gevormde  $\text{Fe}^{3+}$  weer omzetten naar  $\text{Fe}^{2+}$  en daarmee het risico op uitvlokken verminderen. Tijdens het proces ontstaat  $\text{H}^+$  waardoor de aanzuring tegelijkertijd op gang komt en het risico op neerslagen verder afneemt.

Het berekenen van de benodigde hoeveelheid HCl voor het aanzuren van de put is wat ingewikkelder gebleken dan verwacht. Zo blijkt uit de oververzadiging van  $\text{HCO}_3^-$  in de waarnemingsfilters dat er kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) in het pakket aanwezig moet zijn. De precieze hoeveelheid hiervan is moeilijk in te schatten. Uiteindelijk zijn met de data van de waarnemingsfilters en boorbeschrijvingen in Phreeqc een aantal berekeningen gemaakt, waarbij ook rekening is gehouden met het sterke bufferende vermogen van in het pakket aanwezige kalk. Voor het aanzuren van de put is afhankelijk van het kalkgehalte van de formatie (0.25 - 1 % kalk op basis van de boorbeschrijvingen) en het volume van het boorgat, 60 tot 120 l HCl 30% nodig. Voor de zekerheid is besloten 150 l HCl toe te voegen.

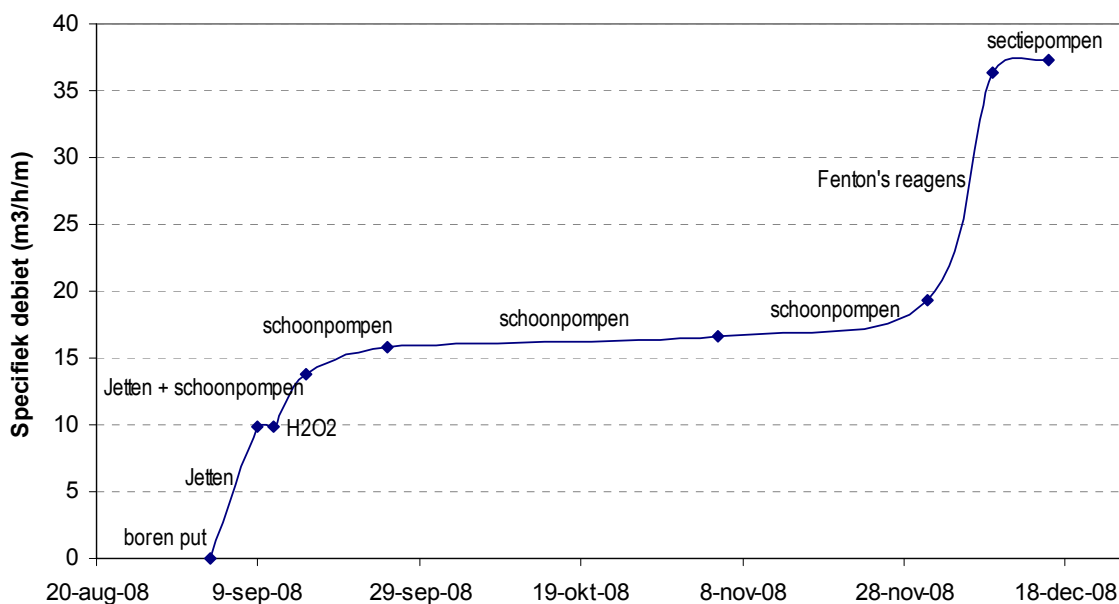


Figuur 1-2 Stabiliteitsrelaties in het Fe-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> systeem

Met een sectieapparaat is per meter filter 200 l reagens ingebracht. In verband met de geboorde overdiepte en de zandvang, is in de onderste meter van het filter 800 l reagens ingebracht. Na het aanbrengen is 5 minuten rondgepompt per sectie. Het reagens heeft vervolgens drie dagen kunnen inwerken op de resten boorspoeling. Vervolgens is de put schoongepompt met een debiet van 20 m<sup>3</sup>/h. Na de chemische ontwikkeling is nog sectiegewijs schoongepompt met 30 m<sup>3</sup>/h per meter filtertraject.

## Resultaten

Bij de eerste ontwikkeling van de put heeft het inbrengen van waterstof peroxide geen effect gehad op de capaciteit. Het na de behandeling met waterstof peroxide jetten en schoonpompen heeft geleid tot een lichte verbetering van specifiek debiet. Na het ontwikkelen is gestart met schoonpompen. Tijdens deze periode is de capaciteit verder verbeterd naar bijna 20 m<sup>3</sup>/h/m afpompings op 1 december. Deze verbetering wordt toegeschreven aan afbraak van resten Xanthaan door bacteriën. Vervolgens is nogmaals chemisch ontwikkeld, waarbij getracht is een Fenton reactie op gang te brengen. Deze actie is zeer succesvol gebleken. Na het ontwikkelen is het specifieke debiet gestegen naar 36,32 m<sup>3</sup>/h/m afpompings, een verbetering van 88%. Na sectiegewijs schoonpompen is de capaciteit verder verbeterd naar 37,3 m<sup>3</sup>/h/m afpompings. In Figuur 1-3 is het effect van het ontwikkelen middels Fenton's reagens weergegeven.



Figuur 1-3 Ontwikkeling specifiek debiet proefput Macharen inclusief ontwikkeling met Fenton's reagens. De stippen gevende momenten weer wanneer een capaciteitsmeting is uitgevoerd.

### Conclusies en discussie

Het ontwikkelen met Fenton's reagens heeft tot zeer goede resultaten geleid. De put heeft een specifiek debiet conform de andere verticale putten op het puttenveld. Op basis van de veldproef alleen is niet eenduidig vast te stellen wat precies het voor het resultaat verantwoordelijke proces is. Er zijn verschillende mogelijkheden die het opmerkelijk goede resultaat kunnen verklaren:

1. vorming van hydroxyl radicalen
2. inwerktijd peroxide
3. stabiliteit peroxide
4. voorafgaande periode met bacteriegroei
5. methode van inbrengen reagens

Een voor de hand liggende verklaring voor het succes is dat het opstarten van een Fenton reactie (zie paragraaf 1.3) is gelukt. Verificatie hiervan zal in een labopstelling plaats moeten vinden. In de bijlage is het onderzoeksvoorstel opgenomen voor uitvoering van deze laboratorium proeven. Omdat voor de analyse van de grote moleculen specialistische apparatuur nodig is, is contact gezocht met Biqualis, een in ongewone analyses gespecialiseerd bedrijf.

Echter ook als de reactie niet op gang is gekomen, zijn er verklaringen aan te wijzen voor het resultaat. Een belangrijke alternatieve verklaring is dat waterstof peroxide stabiel blijft bij een lage pH. De stof blijft hierdoor langer werkzaam. Daarnaast is de inwerktijd bij de tweede ontwikkelpoging vergroot van 1,5 dag naar 3 dagen. Overigens kan in dit geval verwacht worden dat het waterstof peroxide ook bij de eerste poging (een beperkt) effect gehad zou hebben. Een andere verklaring is dat in de periode met bacteriegroei er al gaten in de Xanthaan zijn ontstaan waardoor het contact oppervlak sterk verbeterd is. Een laatste factor van betekenis is de manier van inbrengen. Bij de tweede ontwikkelpoging is veel aandacht besteed aan het gericht inbrengen en verdringen van het reagens.

Het sectiegewijs inbrengen van het reagens in een horizontale put, is nog een flinke uitdaging. Momenteel is er nog geen apparaat beschikbaar om dit zonder grote risico's uit te voeren. Het binnen het consortium ontwikkelen van een geschikt sectieapparaat is dus van groot belang.

# VIII MEMO Effectiviteit oxidatoren voor xanthaan afbraak

## Projectvoorstel Biqualy

Bestemd voor: Biqualy  
Betreft: Effectiviteit oxidatoren voor Xanthaan afbraak  
Van: Gijsbert Cirkel  
Datum: 09 februari 2009

### Achtergrond:

Voor het boren van putten middels Horizontal Directional Drilling (HDD) is een zware boorspoeling nodig om het boorgat stabiel te houden en het losgeboorde materiaal in suspensie af te voeren. Voor conventionele boringen wordt hiervoor een mengsel van bentoniet en biopolymeren (CMC) gebruikt. Voor het boren van een put is het gebruik van bentoniet risicovol in verband met de moeizame verwijdering ervan uit de bodem rond het putfilter. Om deze reden is gezocht naar een boorspoeling op basis van een afbreekbare polymeer met dezelfde boortechnische eigenschappen als een bentoniet spoeling. Uit onderzoek van Geodelft is Xanthaan als vervangende stof naar voren gekomen. Uit toepassing in een tweetal proefputten is gebleken dat er een kwantitatief goede put mee kan worden gemaakt. Kwalitatief stuit het gebruik van Xanthaan echter op een aantal problemen. Xanthaan blijkt een goede voedingsbodem voor bacteriën en achtergebleven resten zorgen voor langdurige nalevering van suikers als Mannose en Glucose.

Het is dus zaak om na het boren zo snel mogelijk de Xanthaan polymeren af te breken in kleine makkelijker uitspoelbare moleculen.

### Doel:

Het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit van drie oxidatoren (CBL, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en Fenton's Reagens(hydroxyl radicaal) voor het afbreken van Xanthaan

### Methode:

Door KWR / V&S Hanab wordt een Xanthaan monster aangeleverd. Van dit monster wordt een mengsel gemaakt van 7,5 g/l en vervolgens goed gemixt tot een egale gel ontstaat. Het mengsel wordt vervolgens gesplitst in 4 monsters (1 referentiemonster en 3 monsters voor de toetsing van de betreffende oxidatoren)

Vervolgens worden de drie oxidatoren aangemaakt.

1. CBL (15%)
2. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7%)
3. Fenton's: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7 %) + 30 mg/l Fe<sup>2+</sup>, aanzuren met HCl naar pH 4

Vervolgens worden per oxidator 1/3 xanthaangel en 2/3 oxidatievloeistof gemengd en onder 10°C weggezet. De pH van het H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mengsel moet ongeveer 6 a 7 zijn en van het Fenton mengsel ongeveer pH 4

Vervolgens na 1 uur, 4 uur, 12 uur en 24 uur monsters nemen en analyseren op de grootte verdeling van de moleculen en vergelijken met het referentiemonster.





# IX Eindrapport: afbraak van xanthaan (Biqualis)



## Aanleiding voor deze opdracht

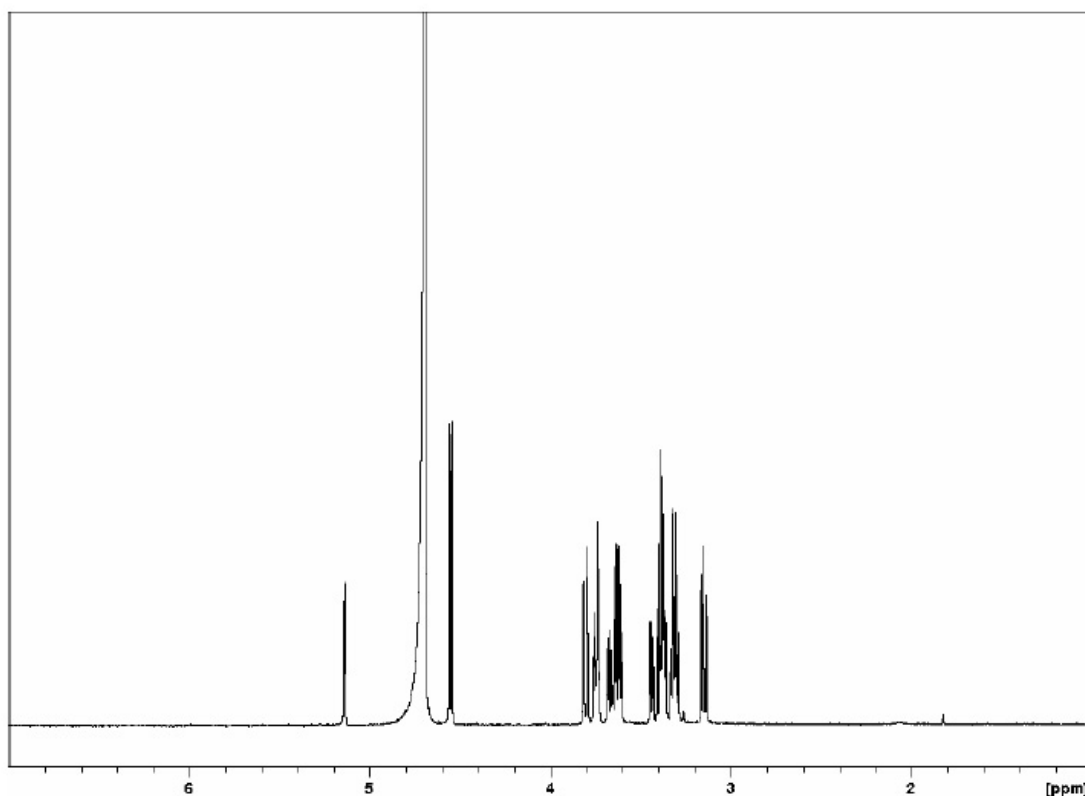
Het kennisinstituut KWR heeft een krachtige kennisbasis welke wordt ingezet voor de Nederlandse drinkwatersector en wereldwijde samenwerking op het gebied van drinkwater voorziening. KWR werkt momenteel o.a. aan een project gericht op het verbeteren van de kwaliteit van drinkwater afkomstig van waterputten.

Voor het boren van waterputten is een boorspoeling ontwikkeld op basis van xanthaan, een natuurproduct. Mede door de goede rheologische eigenschappen wordt het kwantitatieve risico bij een boring sterk gereduceerd. Kwalitatief moet er echter nog verder onderzoek worden gedaan. Xanthaan is namelijk wel biologisch afbreekbaar, maar afbraakproducten van het achtergebleven Xanthaan leiden tot een ongewenste bacteriegroei in de waterputten. Het doel van dit eerste onderzoek is om de effectiviteit te meten van drie verschillende oxidatoren (CBL, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton's) op de afbraak van Xanthaan. Het protocol voor deze oxidatoren is al door KWR aangeleverd.

Biqualis is gevraagd om een eerste onderzoek te doen naar de effectiviteit van de verschillende oxidatoren.

## De Analyse

Allereerst is een testmonster gemaakt van 2 mg glucose + 2 mg xanthaan in 0.55 ml D<sub>2</sub>O om de mogelijkheid van 2D-diffusie NMR metingen te onderzoeken. Het gel-vormende xanthaan blijkt zich vanuit NMR standpunt gezien als een vaste stof te gedragen. Met vloeistof-NMR is dan ook alleen een heel breed signaal van xanthaan te detecteren met daarbij de scherpe signalen van glucose (Figuur 1). Glucose heeft blijkbaar een grote mobiliteit in het xanthaan-glucose mengsel, hetgeen resulteert in scherpe pieken. Er is geen fysische en chemische interactie van xanthaan met glucose waar te nemen.



Figuur 1,  $^1\text{H}$  spectrum van een mengesel van xanthaan en glucose.

Hierna is de methode als voorgesteld door KWR gevolgd:

Van het door KWR geleverde xanthaan monster is 4x een 1 ml oplossing gemaakt van 7,5 g/l in D<sub>2</sub>O. Aan sample 1 is 2ml H<sub>2</sub>O toegevoegd (referentie). Aan sample 2 is 2ml 15% Chloorbleekloog (CBL), aan sample 3 is 2ml 7% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (pH 6.5), en aan sample 4 is 2 ml Fenton's (7% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 30 mg/l Fe<sup>2+</sup>, pH 4.0) toegevoegd.

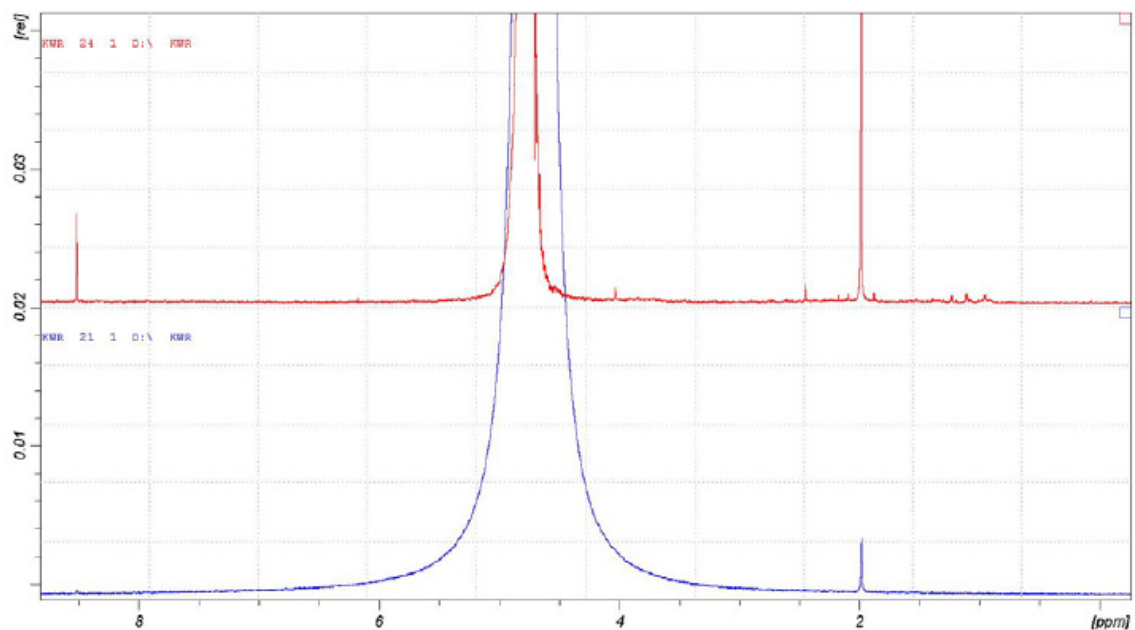
Vervolgens zijn na 1, 4, 12 en 24 uur uit elk van de 4 samples monsters van 0.55 ml genomen en gemeten met 1D proton NMR op een Bruker AV-600 uitgerust met een cryo-probe. Aan de monsters uit het Fenton's sample is 1 mg EDTA toegevoegd voor iedere meting om Fe<sup>2+</sup> weg te vangen, het monster daarmee geschikt te maken voor NMR metingen.

Bij metingen waar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is gebruikt zijn er zowel NMR metingen gedaan terwijl er belletjes aanwezig waren als NMR metingen na het tot rust komen van de belletjes vorming. De laatste



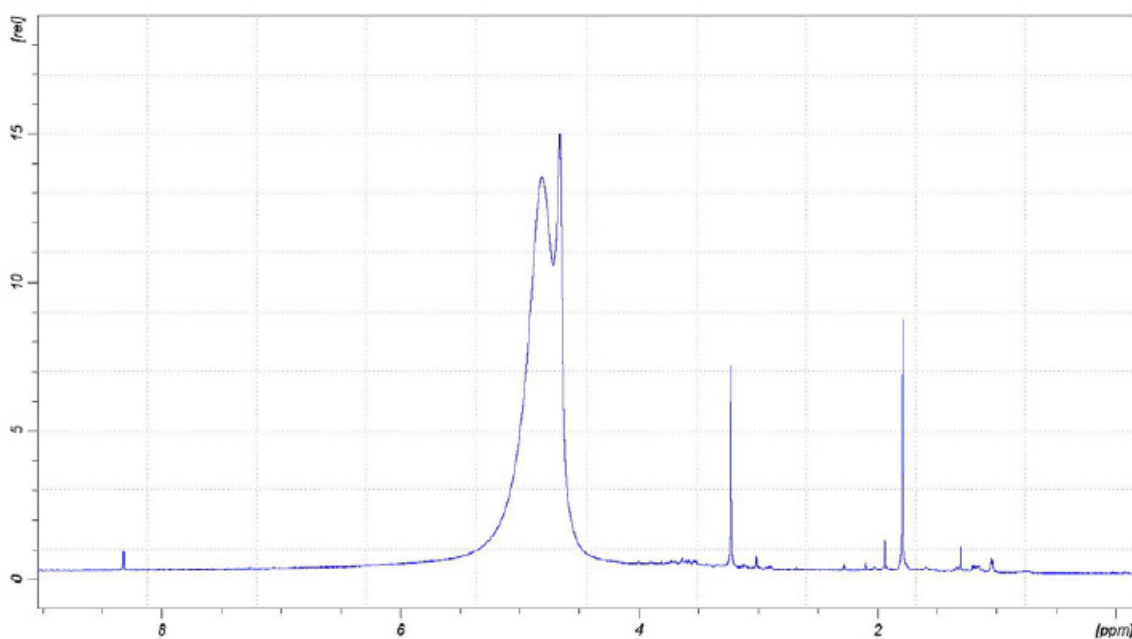
benadering (het wachten was meestal een 5-10 tal minuten) resulteerde in betere NMR signalen omdat er geen magnetische susceptibiliteits problemen optraden in het sample.

Het monster behandeld met chloorbleekloog gaf een heel lichte mate van product vorming te zien (Figuur 2). Er zijn pieken te zien bij 2.0 en 8.5 ppm. Dit moet afkomstig zijn van relatief eenvoudige kleine verbindingen omdat er geen hyperfijnstructuur op de resonanties aanwezig is. Er zijn ook een aantal resonanties met lage intensiteit te zien tussen de 0-5 ppm. Die resonanties moeten afkomstig zijn van xanthaan, maar zijn verder niet gekarakteriseerd.



Figuur 2:  $^1\text{H}$  NMR spectrum van sample behandeld met chloorbleekloog (direct na menging spectrum 21, blauwe spectrum) en na 4 uren (spectrum 24, rode spectrum).

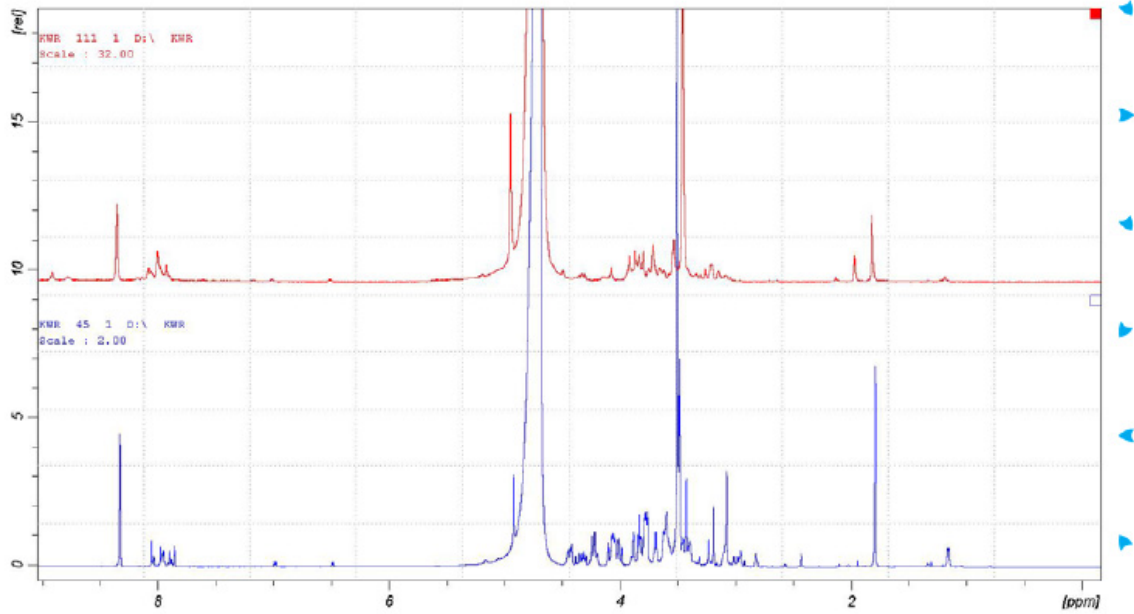
In de reactie van xanthaan met  $\text{H}_2\text{O}_2$  zijn er vergelijkbare resonanties te zien als met de behandeling met CBL maar de intensiteit van de pieken is hoger (figuur 3).



Figuur 3:  $^1\text{H}$  NMR spectrum van sample behandeld met  $\text{H}_2\text{O}_2$  (spectrum na 4 uur reactie).

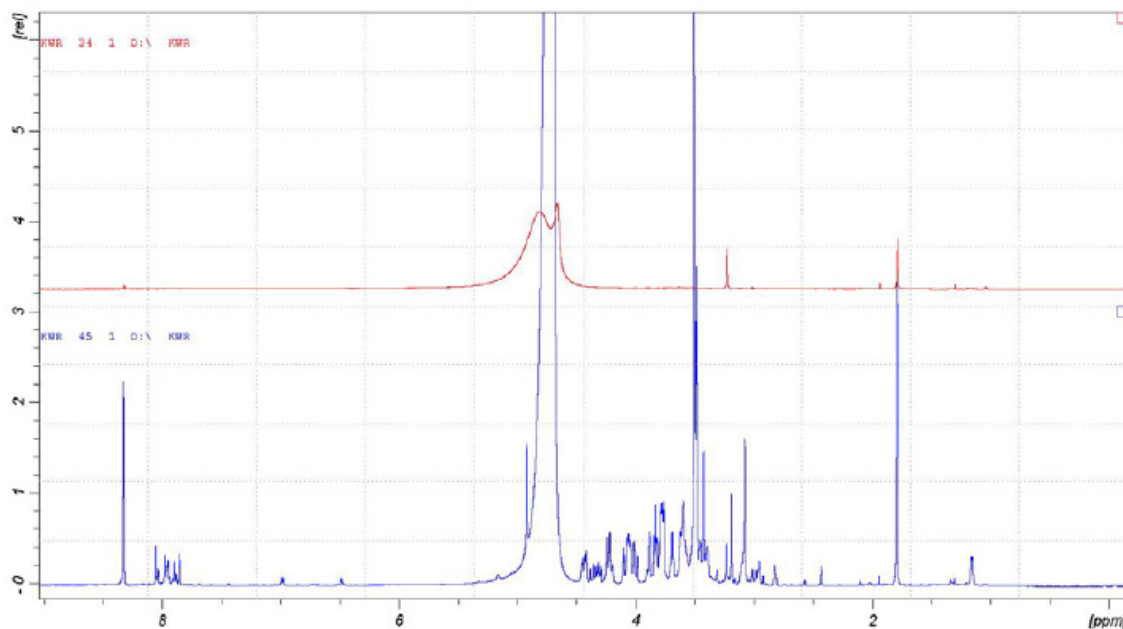
In de reactie van xanthaan met Fentons reagens zijn er veel resonanties te zien. Die resonanties komen gedeeltelijk van EDTA (gebruikt om problemen met Fe in de NMR metingen te vermijden).

Het is duidelijk dat er additionele resonanties te zien zijn in het sample met Fenton, die afkomstig zijn van xanthaan (Figuur 4).



*Figuur 4: <sup>1</sup>H NMR spectrum van sample behandeld met fenton (spectrum 45, blauwe spectrum) en een referentie spectrum van EDTA met Fenton (spectrum 111, rode spectrum)*

Een vergelijking van de spectra van xanthaan behandeld met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en xanthaan behandeld met Fentons reagens laat zien dat met Fentons reagens er veel meer gebeurt (Figuur 5). Omdat NMR kwantitatief is kunnen de spectra direct vergeleken worden.



Figuur 5:  $^1\text{H}$  NMR spectrum van samples behandeld met  $\text{H}_2\text{O}_2$  (rode spectrum) en met Fentons reagens (blauwe spectrum).

## Conclusie

De enige wijze waarop er enigszins afbraak van xanthaan kan plaatsvinden is met Fentons reagens. Echter om ook kwantitatief dit te bewerkstelligen is het noodzakelijk om  $\text{H}_2\text{O}_2$  bij te blijven mengen, totdat alle xanthaan is omgezet. Een vervolg onderzoek zal zich moeten richten op de efficiëntie van het bijmengen van  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

# X Hydrologische modellering en ontwerp: Case Macharen

## Aanleg horizontale put op pompstation Macharen

De winning Macharen is een 'kwetsbare' ondiepe winning bestaande uit 43 verticale pomputten. Het opgepompte water kent enkele problemen. Het bevat bestrijdingsmiddelen (Bentazon), het bevat een hoge concentratie ijzer (circa 20 mg/l) en dieper in het pakket is het chloride en sulfaatgehalte verhoogd. Door de hoge ijzerconcentraties en infiltratie lokale infiltratie van zuurstofhoudend water in het pakket, heeft het puttenveld veel last van (chemische) putverstopping. In de huidige situatie worden de putten jaarlijks preventief (mechanisch) geregenereerd, 1 keer per 4 jaar worden de putten geregenereerd door een extern bedrijf. Ook de onderwaterpompen worden jaarlijks schoongemaakt. De jaarlijkse exploitatiekosten zijn met ongeveer 180 k€ (Cirkel et al., 2005) zeer hoog. Omdat de winputten op het puttenveld grotendeels zijn afgeschreven, zoekt Brabant water naar alternatieve technieken voor vervangende productiecapaciteit. Uit een verkennende studie van Kiwa WR (Cirkel et al., 2005) blijkt dat horizontale winmiddelen op Macharen kostentechnisch voordeel bieden. Mogelijk bijkomend voordeel (niet meegenomen in de verkennende studie) is dat er met een horizontale put mogelijk minder of vertraagde menging van verschillende watertypen kan optreden. Dit kan een reductie van de putverstopping en verlaging van de belasting van de zuivering geven. Om meer inzicht te krijgen in de hydrologische aspecten in verband met ontwerp en aanleg zijn een aantal berekeningen uitgevoerd.

## Onderzoeksvragen

Voor het definitieve ontwerp zijn een aantal hydrologische berekeningen nodig. Het gaat hierbij om de volgende vragen:

1. Wat is de afpompingsnelheid in de horizontale put bij gemiddelde onttrekking en bij piekbelasting.
2. Wat is de reistijd van de put naar de dichtst bijzijnde verticale put.

De eerste vraag is van belang voor het ontwerp van de HDDW, op welke diepte moeten de onderwaterpompen worden gehangen. De tweede vraag is van belang voor het inschatten van mogelijke besmettingsrisico's voor het geval de boring mislukt en er een grote hoeveelheid boorspoeling in de aquifer achter blijft.

## Uitgangspunten

### Geohydrologie

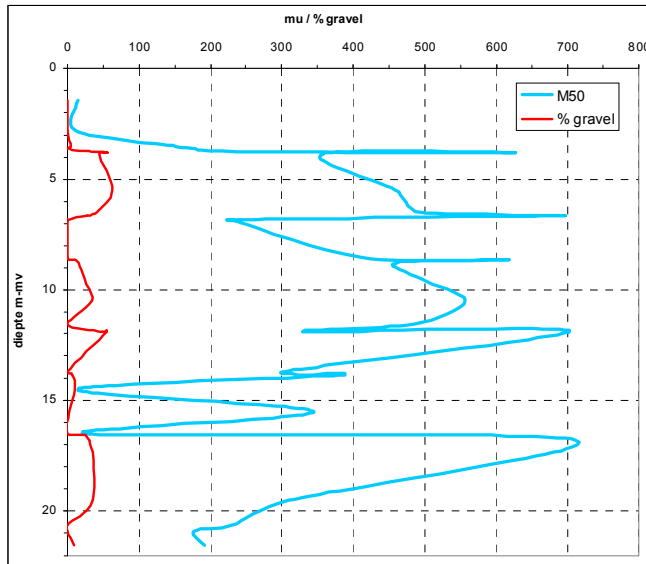
Het maaiveld ter plaatse van Macharen is gelegen op +5 à 6 m NAP. De dikte van de deklaag bedraagt ongeveer 3 meter en heeft een weerstand van 300 tot 500 dagen. De dikte van het eerste watervoerende pakket bedraagt 57 meter en bestaat uit 3 formaties:

- van ca. +3 tot -12 m NAP Formatie van Kreftenheye. Stenen houdende uiterst grove zanden en grove grinden.
- van -12 tot -29 m NAP Formatie van Tegelen. Grove grindhoudende zanden afgewisseld met klei. Vooral onderin de laag komt grof zand en grind voor, bovenin de laag veel fijn zand.
- van -29 tot -54 m NAP Formatie van Oosterhout matig fijn tot matig grof zand en onderin het pakket lokaal schelpgruis.

De gemiddelde doorlaatcoëfficiënt van het watervoerende pakket bedraagt gemiddeld 21 m/d op basis van een kD-waarde van 1200 m<sup>2</sup>/d (IWACO,19xx) en een dikte van 57 meter. Het watervoerende pakket is echter zeer heterogeen. Bovenin het watervoerende pakket (formatie van Kreftenheye) zijn zeer grove



sedimenten aanwezig, waardoor de doorlaatcoëfficiënt daar hoger zal zijn dan het gemiddelde. Ook binnen de formatie van Kreftenheye varieert de zandmediaan zeer sterk, zowel in de verticaal als over de productielocatie. Als voorbeeld van de verticale variatie is het verloop van de M50 en het percentage grind over de diepte voor TNO boring 45E0415 weergegeven in



Figuur 9-4 Verloop van de M50 en het percentage grind over de diepte op basis van TNO boring 45E0415

### TIM model Macharen

Door Artesia (Beekman, 2006) is een TIM model gemaakt, waarin de recente interpretatie van de ondergrond te Macharen met ondermeer een stroomgeul langs de winning (Kiden, 2006) is opgenomen. Voor een gedetailleerde beschrijving van het model wordt verwezen naar Beekman (2006). Het Artesia model is op een aantal punten aangepast en nader gedetailleerd. De Formatie van Kreftenheye is verdeeld in meer modellagen om een nauwkeurigere simulatie te verkrijgen van de driedimensionale stroming nabij de horizontale put. De onderste 10 meter van de formatie van Kreftenheye was in het oorspronkelijke model gesimuleerd met 3 modellagen, en dat is uiteindelijk verhoogd tot 8 lagen, conform de analyses in Bakker et al. (2005); nabij de horizontale put zijn de modellagen dunner. De in het oorspronkelijke model aanwezige kleilaag tussen de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Tegelen/Oosterhout is uit het model verwijderd (deze kleilaag wordt beschreven als discontinu en komt in veel boorbeschrijvingen in het geheel niet voor). Bovengenoemde aanpassingen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

### Verificatie TIM-model Macharen

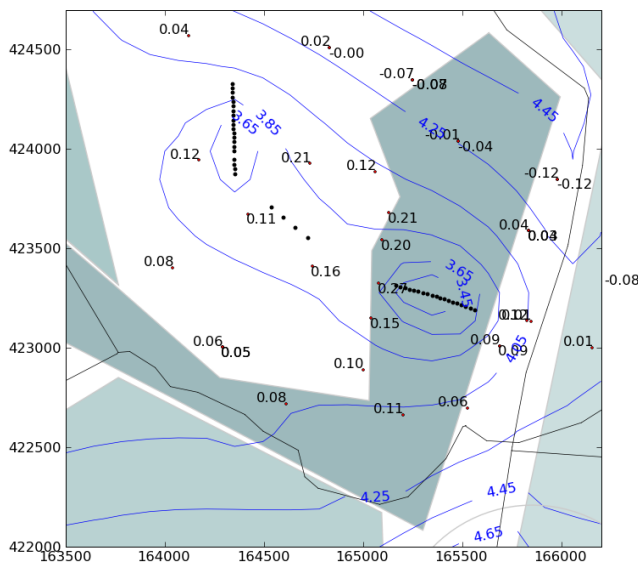
Het oorspronkelijke TIM model van Artesia is geoptimaliseerd op gemeten stijghoogtes in het watervoerende pakket. Gezien onze vraagstelling (berekening van de afpompings in de horizontale put) is ter verificatie van het oorspronkelijke model de afpompings in een aantal bestaande verticale putten berekend en vergeleken met de gemeten afpompings bij oplevering. In de berekening is de weerstandbiedende laag tussen de Formatie van Kreftenheye en Tegelen/Oosterhout niet meegenomen. Vervolgens is de doorlaatcoëfficiënt in de onderste laag van de Formatie van Kreftenheye stapsgewijs verhoogd. In Tabel 9-1 zijn de resultaten voor een aantal putten weergegeven.

Tabel 9-1 Effect waarde doorlaatcoëfficiënt laag 4 op de afpomping (m) van de verticale putten

	gemeten	36 m/d (oorspronkelijk model)		72 m/d		144 m/d		300 m/d	
		berekend	verschil	berekend	verschil	berekend	verschil	berekend	verschil
08-PP101	1.49	4.75	3.26	2.68	1.19	1.53	0.04	0.84	-0.65
08-PP102	0.96	5.43	4.47	3.06	2.10	1.34	0.38	0.96	0.00
08-PP201	0.52	4.99	4.47	2.77	2.25	1.58	1.06	0.87	0.35
08-PP202	0.99	7.12	6.13	4.02	3.03	2.29	1.30	1.26	0.27
08-PP203	1.06	6.90	5.84	3.89	2.83	2.22	1.16	1.22	0.16
08-PP208	0.49	3.6	3.11	2.03	1.54	1.16	0.67	0.64	0.15
08-PP223	0.99	5.52	4.53	3.11	2.12	1.77	0.78	0.97	-0.02
08-PP301	1.56	6.81	5.25	3.80	2.24	2.14	0.58	1.17	-0.39
08-PP302	1.37	6.23	4.86	3.51	2.14	1.99	0.62	1.10	-0.27
08-PP310	0.99	8.46	7.47	4.76	3.77	2.71	1.72	1.48	0.49
08-PP314	1.04	4.39	3.35	2.47	1.43	1.40	0.36	0.77	-0.27
08-PP319	1.07	7.96	6.89	4.47	3.40	2.53	1.46	1.38	0.31

Uit de tabel blijkt dat het oorspronkelijke TIM model de afpomping van de verticale pompputten fors overschat. Voor pompput 101 geldt dat de gemeten afpomping bij een gemiddelde doorlaatcoëfficiënt van 144 m/d voor de onderste laag van Kreftenheye, goed kan worden gereproduceerd. Bij de overige putten wordt bij deze waarde nog een te hoge waarde voor de afpomping berekend. Verhoging van de doorlaatcoëfficiënt naar 300 m/d geeft voor put 101 een onderschatting van de afpomping, maar een redelijke waarde voor de overige putten.

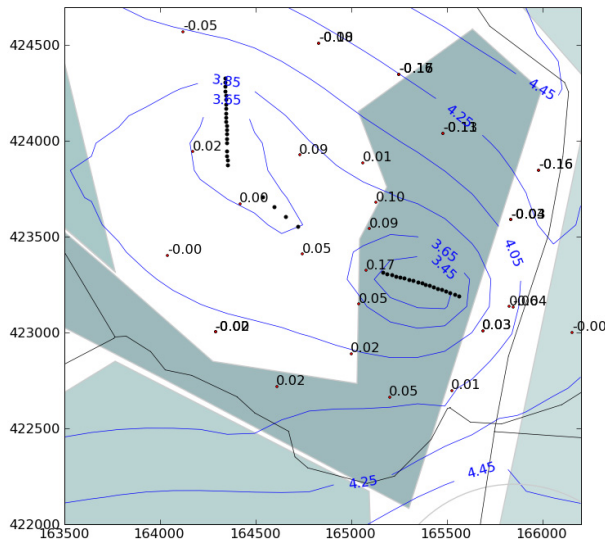
Ter verificatie is vervolgens de gemiddelde stijghoogte in het watervoerende pakket gereconstrueerd. Uit de berekeningen blijkt dat bij hogere doorlaatcoëfficiënten te hoge stijghoogtes in de waarnemingsfilters worden berekend. In Figuur 9-7 zijn de verschillen tussen gemeten en berekend weergegeven. Het blijkt dat de berekende verlaging bij de hogere doorlaat coëfficiënt wordt onderschat



Figuur 9-5 Stijghoogte reconstructie waarnemingsfilters bij een gemiddelde doorlaatcoëfficiënt van 144 m/d voor de onderste helft van de Formatie van Kreftenheye. Met de labels is het verschil (m) tussen gemeten en berekend weergegeven.

De in het model gehanteerde grondwateraanvulling is echter aan de hoge kant gezien de grotendeels uit enkele meters klei en veen bestaande toplaag. Door oppervlakkige afstroming zal een kleiner aandeel neerslagwater infiltreren. Verder zal een groot deel van de grondwateraanvulling oppervlakkig via maaiveld, greppels en buisdrainage worden afgevoerd. Meinardi et al. (1998) hanteren voor grondwateraanvulling in gebieden met een kleidek van enkele meters een waarde van grofweg de helft

van het neerslagoverschot. Een verlaging van de grondwateraanvulling naar 150 mm/d in de landbouwgebieden in combinatie met een hogere doorlaatcoëfficiënt geeft een goede reconstructie van de stijghoogtes in de waarnemingsfilters (Figuur 9-6) en een min of meer correcte afpompings in de verticale putten.



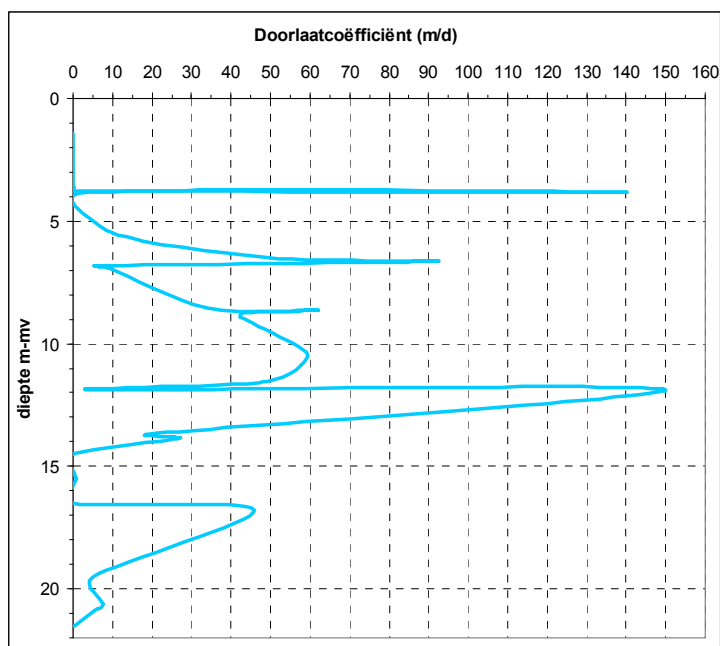
*Figuur 9-6 Stijghoogte reconstructie waarnemingsfilters bij een gemiddelde doorlaatcoëfficiënt van 144 m/d voor de onderste helft van de Formatie van Kreftenheye en een grondwateraanvulling van 150 mm/d . Met de labels is het verschil (m) tussen gemeten en berekend weergegeven.*

De doorlaatcoëfficiënt van de aquifer en de grondwateraanvulling zijn dus min of meer uitwisselbare parameters. Model optimalisatie kan in een dergelijk geval dus niet enkel plaatsvinden op grondwaterstanden. Er moet dus meer informatie bij de optimalisatie betrokken worden zoals afpompings van putten en op basis van zeefkrommes berekende doorlaatcoëfficiënten.

#### **Aanpassingen TIM-model Macharen**

Van een aantal boringen binnen het wingebied zijn gedetailleerde zeefkrommes beschikbaar. Het gaat hierbij om TNO-boring 45E0415 en de vier boringen ten behoeve van de waarnemingsputten op de locatie van de toekomstige horizontale put. Op basis van de zandfracties van deze boringen is per bemonsterde laag aan de hand van Ernst (1950) en Fahmi (1961) de doorlaatcoëfficiënt berekend. Zoals al eerder opgemerkt is de ondergrond zeer heterogeen, zowel in de verticaal als in de horizontaal, dit blijkt ook uit de berekende doorlaatcoëfficiënten (Figuur 9-7).

Een model schematisatie van de Formatie van Kreftenheye is dan ook niet eenvoudig. Op basis van de boringen en zeefkrommes is getracht een zo representatieve schematisatie van de verticaal te bepalen. Voor de horizontale variatie is voornamelijk de oorspronkelijke schematisatie overgenomen. In Figuur 9-8 is de nieuwe schematisatie van de ondergrond weergegeven. Zoals al eerder aangegeven is het aantal lagen in de onderste helft van de Formatie van Kreftenheye verhoogd van 3 naar 8 lagen.



Figuur 9-7 Berekende doorlaatcoëfficiënten TNO-boring 45E0415

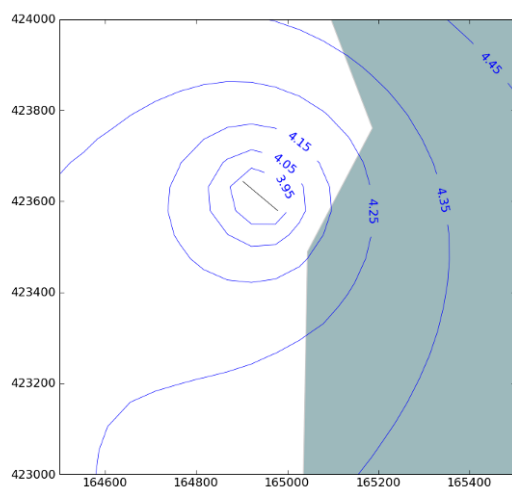
Betuwe F.	K= 76,8 m/d		Laag 1	NAP +5.31 m	
	Deklaag klei c= 90 d	Stroomgordel middelgrof / zeer grof Silt- en grind- houdend zand k=25,2 m/d	Laag 2	NAP +4.31 m	
Formatie van Kreeftenheye	k=36 m/d		Laag 3	NAP +1.31 m	
	k= 40 m/d		Laag 4	NAP -2.69 m	
	k= 80 m/d		Laag 5	NAP -5.00 m	
	k= 120 m/d		Laag 6	NAP -7.00 m	
	k= 650 m/d		Laag 7	NAP -8.00 m	
	k= 300 m/d		Laag 8	NAP -8.775 m	HDDW
	k= 160 m/d		Laag 9	NAP -9.225 m	
	k= 130 m/d		Laag 10	NAP -10.00 m	
	k= 85 m/d		Laag 11	NAP -11.00 m	
Oosterhout F. / Tegelen F.	Matig fijn tot matig grof zwak silthoudend zand k=22,5 m/d		Laag 12	NAP -12.69 m	
			Hydrologische basis (F. van Breda) NAP - 55.69		

Figuur 9-8 Bodemschematisatie aangepast model Macharen

De doorlaatcoëfficiënt van de onderste helft van de Formatie van Kreftenheije (laag 4 tot en met 11) komt hiermee op gemiddeld 140 m/d (gewogen gemiddelde op basis van de dikte van de afzonderlijke laagjes). Gezien de uiterst grove lagen in dit deel van de Formatie van Kreftenheije worden de op basis van de korrelgrootte verdelingen berekende doorlaatcoëfficiënten als plausibel beschouwd (Fetten, 2001; Kruzeman & de Ridder, 1994)

### Afpomping HDDW

Met het verbeterde TIM model voor de winning Macharen is vervolgens de geplande HDDW doorgerekend. Hiervoor is een filter met een lengte van 100 meter op een diepte van NAP -8.775 m tot NAP -9.225 m geplaatst (boorgatdiameter 450 mm). Vervolgens is de afpomping in de put berekend. Hierbij is er vanuit gegaan dat er geen weerstand over de boorgatwand of het filter aanwezig is. Uitgangspunt voor de berekening van de afpomping is dus een volledig ontwikkelde put zonder verstopping.



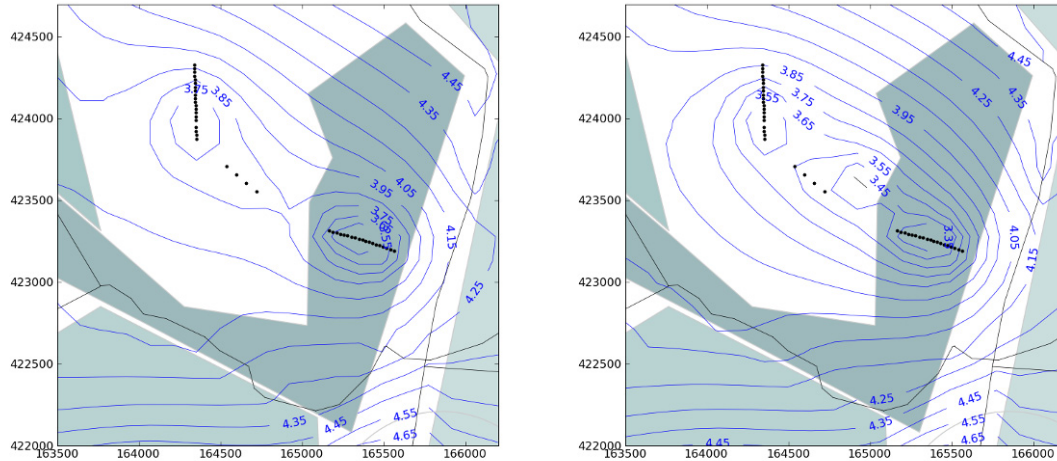
Figuur 9-9 Berekende stijghoogte (m+NAP) rond de geplande HDDW bij een gemiddelde jaaronttrekking van 800000 m<sup>3</sup> (100 m<sup>3</sup>/h op basis van 22 draaiuren per dag) voor een situatie zonder verticale putten.

Uitgangspunt bij het ontwerp van de put was een gemiddelde jaarcapaciteit van 800000 m<sup>3</sup>. uitgaande van 365 dagen en 22 draaiuren per dag geeft dit een gemiddelde uurcapaciteit van 100 m<sup>3</sup>/h. Verder is rekening gehouden met een piekfactor van 1.9. Onttrekking bij een dergelijke piekvraag bedraagt dan 190 m<sup>3</sup>/h. Uit de berekening blijkt dat bij gemiddelde capaciteit van 100 m<sup>3</sup>/h er ongeveer 103 cm afpomping zal optreden. Bij een piekonttrekking van 190 m<sup>3</sup>/h zal de afpomping stijgen naar 196 cm.

Bij het ontwerp van putkop moet bij het bepalen van de diepte van de onderwaterpompen natuurlijk ook rekening worden gehouden met verstopping van het filter en/of de boorgatwand waardoor de afpomping in de put sterk kan toenemen. Om te voorkomen dat de pomp droogvalt zal de pomp enkele meters lager dan de maximale ontwerp afpomping moeten komen te hangen. Deze diepte is afhankelijk van ervaringen met verstopping op het puttenveld.

### Stijghoogte contouren rond de HDDW

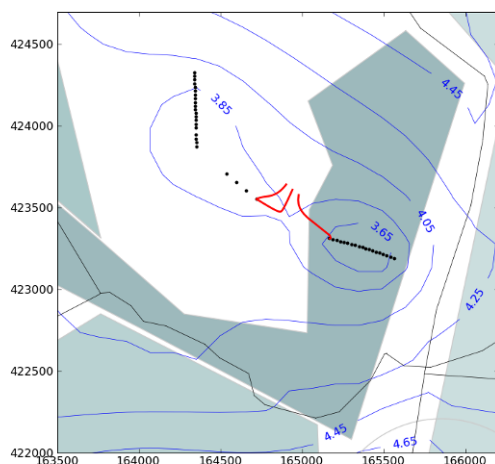
In Figuur 9-10 zijn de stijghoogte contouren rond op de winning Macharen weergegeven voor respectievelijk de huidige situatie (links) en de situatie na aanleg van de HDDW (rechts). In het rechter plaatje zijn zowel de verticale putten als de HDDW in bedrijf.



Figuur 9-10 Stijghoogte contouren pompstation Macharen voor een situatie zonder (links) en met HDDW (rechts)

### Reistijd vanaf boorlocatie naar de verticale putten

Bij een risicoanalyse moet rekening worden gehouden met het falen van een HDD boring. In het kader van dit project wordt geboord met een boorspoeling met als basis bestanddeel Xanthaan. Xanthaan is biologisch afbreekbaar en daarmee potentieel een voedingsbodem voor bacteriën. Om te bepalen of een mislukte boring een microbiologisch risico vormt voor de bestaande winning, is een reistijdberekening uitgevoerd. Op drie punten langs de boring (beide zijkanten en het midden) zijn in de aquifer tracelines gestart. In Figuur 9-11 is de loop van de tracelines met rode lijnen in het xy vlak weergegeven.



Figuur 9-11 Tracelines (rode lijnen) vanaf de boorlocatie naar de bestaande verticale putten

Uit de berekeningen blijkt dat de kortste reistijd loopt vanaf de meest westelijke zijde van de HDD-boring naar onttrekkingsput 101. De reistijd langs deze stroombaan bedraagt 189.7 dagen. De reistijd vanaf de meest oostelijke zijde van de HDD-boring naar de dichtstbijzijnde onttrekkingsput bedraagt

259.5 dagen. Vanaf het midden van de HDD-boring naar onttrekkingsput 101 bedraagt de reistijd 852.3 dagen. Voor de berekening van de reistijden is uitgegaan van een porositeit van 0.3. Voor een (vrijwel) zuurstofloos pakket is minimaal 110 dagen verblijftijd nodig om voldoende bescherming te bieden (Van der Wielen et al., 2008). Met bovengenoemde berekende reistijden wordt voldaan aan deze eis.

#### Literatuur

- Beekman, W.,(2006), Kans op verstopping van een horizontale put op Macharen, ten opzichte van de bestaande verticale putten, Artesia vof Schoonhoven
- Bakker, M.,(2008), Computational Python for Hydrologists, Delft university of Technology, KWR Watercycle Research institute
- Bakker, M.,(2007), TIMML A Multiaquifer Analytic Element Model version 3, Water Resources Section, Civil Engineering and Geosciences Delft University of Technology, Delft
- Bakker, M., V.A. Kelson, K.H. Luther. (2005). Multi-layer analytic element modeling of radial collector wells. *Ground Water*, 43(6), 926-934.
- Cirkel, D.G., M. Eck & J.Verstraelen, (2005), Vergelijking wintechnieken waterproductiebedrijf Macharen, vijf varianten met verticale putten, radial collector well en horizontaal gestuurde boring.,KWR 05.043, Kiwa Water Research Nieuwegein
- Ernst, L.F. (1950) A new formula for the calculation of the permeability factor with the auger hole method. TNO, Groningen
- Fahmy, M.I. (1961) The influence of clay particles on the hydraulic conductivity of sandy soils. PhD Thesis Wageningen University
- Fettes, C.W.,(2001), Applied Hydrogeology, Prentice Hall inc., Upper Saddle river, New Jersey
- Kruzeman, G.P., & N.A. de Ridder,(1994), Analysis and evaluation of pumping test data, ILRI publication 47 Wageningen
- Meinardi, C.R. ; Eertwegh, G.A.P.H. van den ; Schotten, C.G.J., (1998), Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland. Deel 2: De ontwatering van de kleigronden, *Stromingen* 4(1998)4, Nederlandse Hydrologische Vereniging De Meern
- Van der Wielen, P.W.J.J., W. Senden & G. Medema, (2008) De microbiologische veiligheid van de 60-dagenzone rond grondwaterwinningen, BTO 2008.004 Kiwa Water Research Nieuwegein

# XI Hydrologische modellering: Case Nieuwegein

## Inleiding

Om de grondwaterstroming rond de aangelegde HDDW inzichtelijk te maken is er een grondwatermodel van de omgeving gemaakt. Dit model wordt gebruikt om verdere toepassingen van de HDDW te onderzoeken, ontwerpen te maken voor volgende HDDW's en om de vergelijking met verticale putten te maken.

Het grondwatermodel is gemaakt in Modflow2000 (Harbaugh et. al, 2000). Dit model heeft voordelen ten opzichte van andere modellen, omdat er ook dichtheidsstroming gemodelleerd kan worden, zodat toepassingen als WKO en verziltingsbestrijding onderzocht kunnen worden. Nadeel is dat er voor deze toepassingen nog geen module is, die stroming rond een horizontale put correct kan modelleren. Deze zal zelf ontwikkeld moeten worden. Deze module kan zelf geschreven worden door de modeluitkomsten in geval van verticale putten te gebruiken en iteratief om te rekenen naar stroming rond horizontale putten.

## Randvoorwaarden

- Het modelgebied is 4x4 km rond de HDDW
- De hoofdwaterlopen binnen het modelgebied worden meegenomen in de berekening
- De grondopbouw is als volgt: een kleilaag van 8 m met een weerstand van 1250 dagen, een zandlaag van 42 m met een k-waarde van 15 m/dag (Grontmij, 2006). Deze grondopbouw heeft een grote onzekerheid en is een eerste schatting van de bodemgegevens. Deze zal verder uitgewerkt en gespecificeerd moeten worden aan de hand van pompproeven en boorstaten van peilbuizen
- Door de dikke kleilaag, is er geen grondwateraanvulling door neerslag
- De HDDW bestaat uit 3 filters op 10 m -mv, elk gescheiden door 2,5 m blinde buis: 10 m Apollo PVC, 10 m Johnson PVC en 9 m wikkeldraad RVS

## Calibratie

Tot er betere informatie beschikbaar is over de bodemopbouw en er gecalibreerd kan worden op pompproeven, is er gerekend met de hiervoor benoemde randvoorwaarden. De resultaten zijn dan ook voornamelijk kwalitatief van aard. Er is wel een controle van de stijghoogte op verschillende dieptes en verschillende locaties gedaan met behulp van stijghoogtegegevens, die beschikbaar zijn via DinoLoket van TNO. De afwijkingen tussen de gemeten en de gemodelleerde stijghoogten liggen tussen de 2 en de 19 cm. Voor nu is dat nauwkeurig genoeg.

Tijdens het ontwikkelen van de HDDW zijn er debietmetingen per filter uitgevoerd. Er is met een bekend debiet onttrokken aan de afzonderlijke filters, waarbij de stijghoogte in het filter is gemeten.

Apollo:	4,2-2,4 m <sup>3</sup> /h	bij 2,60 m afpomp
Johnson:	6 m <sup>3</sup> /h	bij 0,90 m afpomp
RVS:	3,3 m <sup>3</sup> /h	bij 0,55 m afpomp

Daarnaast is er een debietmeting over het gehele filter uitgevoerd: 19 m<sup>3</sup>/h bij 3,5 m afpomp.

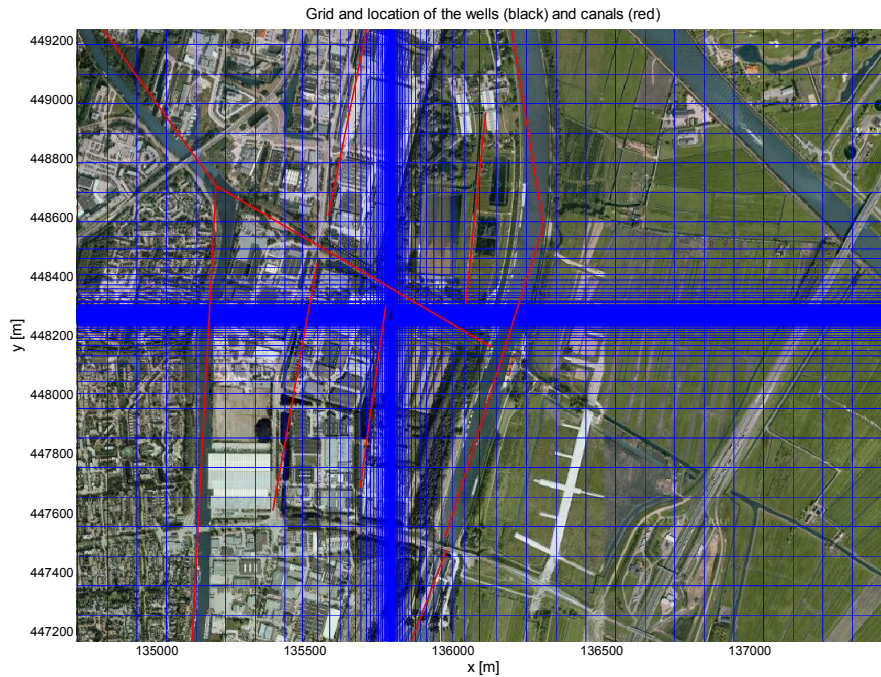
Deze meting is gebruikt ter validatie van de gecalibreerde parameters, te weten de weerstand in de omstorting rond de filters.

De debietmetingen per filter zijn in het model ingevoerd. Daarna is er gecalibreerd op de weerstand van de omstorting rond het filter. Uit de resultaten blijkt dat het Apollo-filter de meeste weerstand ondervindt en het Johnson en RVS filter ongeveer een gelijke weerstand ondervinden.

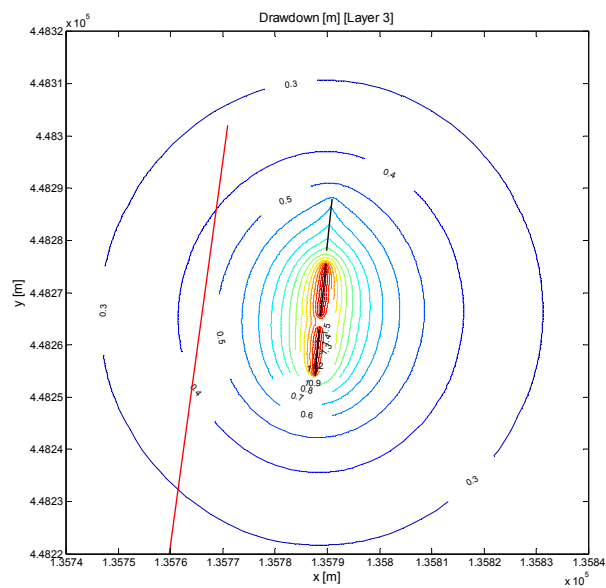


## Resultaten

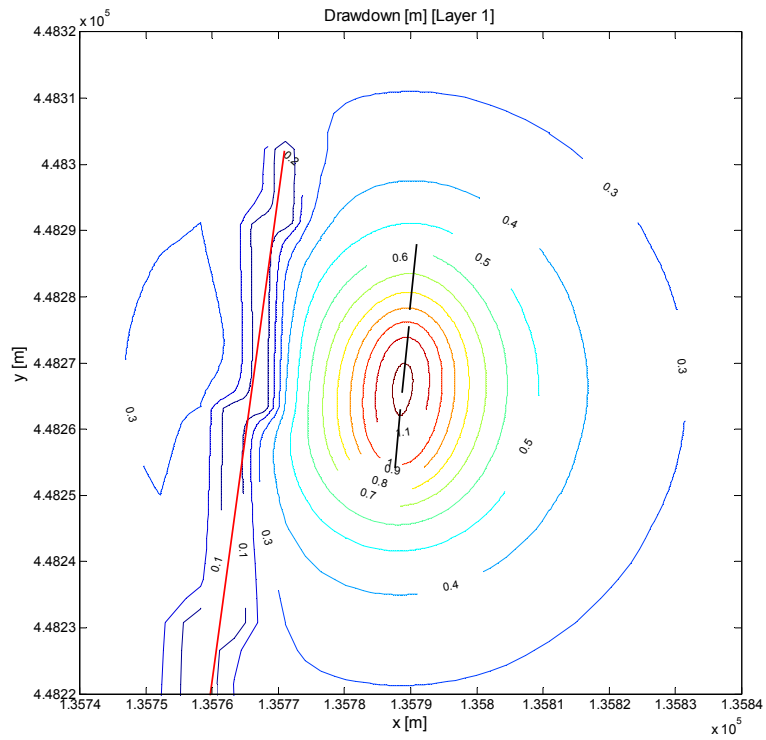
Onderstaande figuren geven een overzicht van het modelgebied en de eerste resultaten van de berekeningen met het grondwatermodel weer:



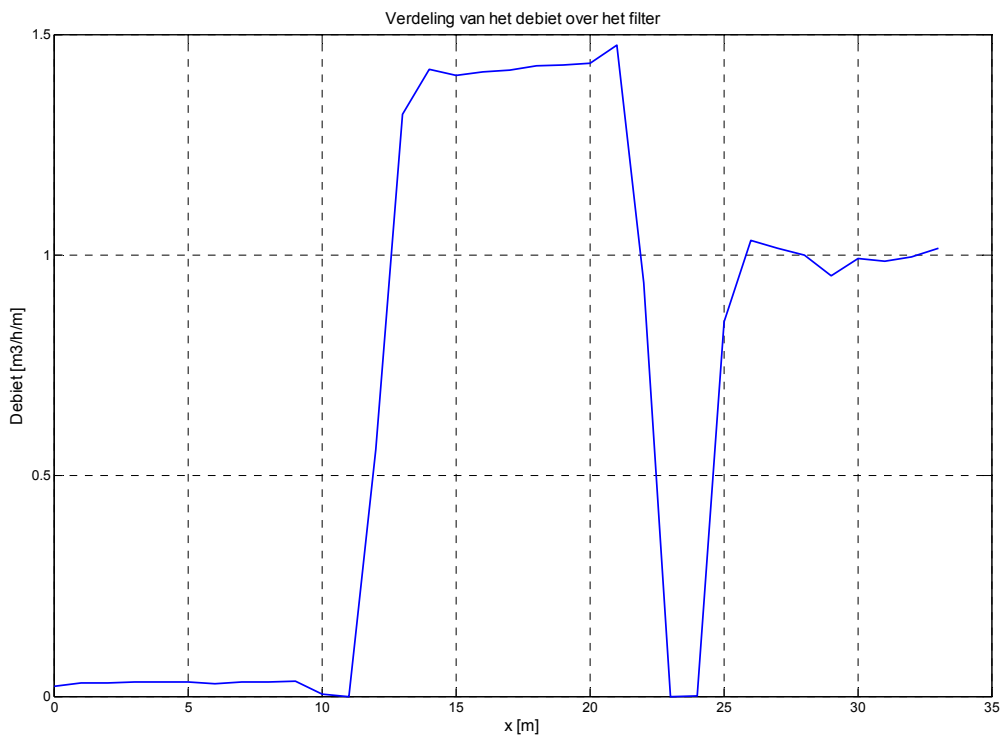
**Figuur 12:** Overzicht van het modelgebied met in het rood de waterlopen en in het zwart de HDDW. De blauwe lijnen geven het gebruikte grid weer om het model te discretiseren.



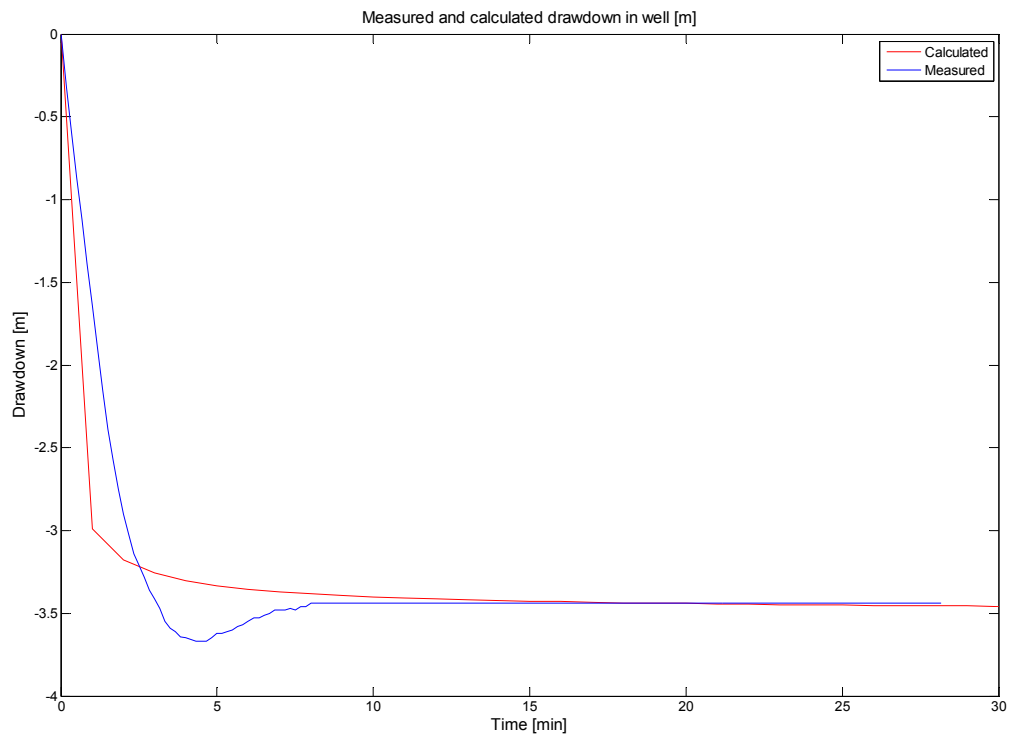
**Figuur 13:** Afpomping in het zandpakket (ter hoogte van de HDDW) bij een debiet van  $19 \text{ m}^3/\text{h}$  in stationaire situatie. Er is goed te zien dat er uit het bovenste filter (Apollo) het minste water wordt onttrokken (met als gevolg een kleinere afpomping) door de hogere weerstand door de omstorting.



Figuur 14: Grondwaterstandsverlaging in de kleilaag (ter hoogte van de HDDW) bij een debiet van 19 m<sup>3</sup>/h in stationaire situatie. Er is inzijging van water uit de sloten (in het rood) rond de HDDW.



Figuur 15: Verdeling van het debiet over het filter. Van 0 tot 10 m: Apollo filter, 2,5 m blind, van 12,5 tot 22,5 m: Johnson filter, 2,5 m blind en van 25 tot 34 m het RVS filter.



*Figuur 16: In het blauw de gemeten afpompings in de HDDW en in het rood de berekende afpompings in de HDDW over 30 min bij een debiet van 19 m<sup>3</sup>/h. Uit de gemeten waarden blijkt dat het debiet niet constant was, maar varieerde over de tijd. Door de weerstand in de omstorting te veranderen is de gemeten afpompings gemodelleerd.*

# XII Protocol voor de bepaling van de kans op zandlevering bij een horizontaal filter met een natuurlijke of een kunstmatige omstorting:

Ruben Rothuizen (V&SH)  
Mei 2010

## *Stap 1:*

Kies een betrouwbaarheidsinterval (dit is de kans dat er zanddeeltjes kleiner of groter dan het gemiddelde min of plus x maal de standaarddeviatie aanwezig zijn):

84% → 1 x de standaarddeviatie

97,5% → 2 x de standaarddeviatie

99,85 % → 3 x de standaarddeviatie

99,995% → 4 x de standaarddeviatie

## *Stap 2:*

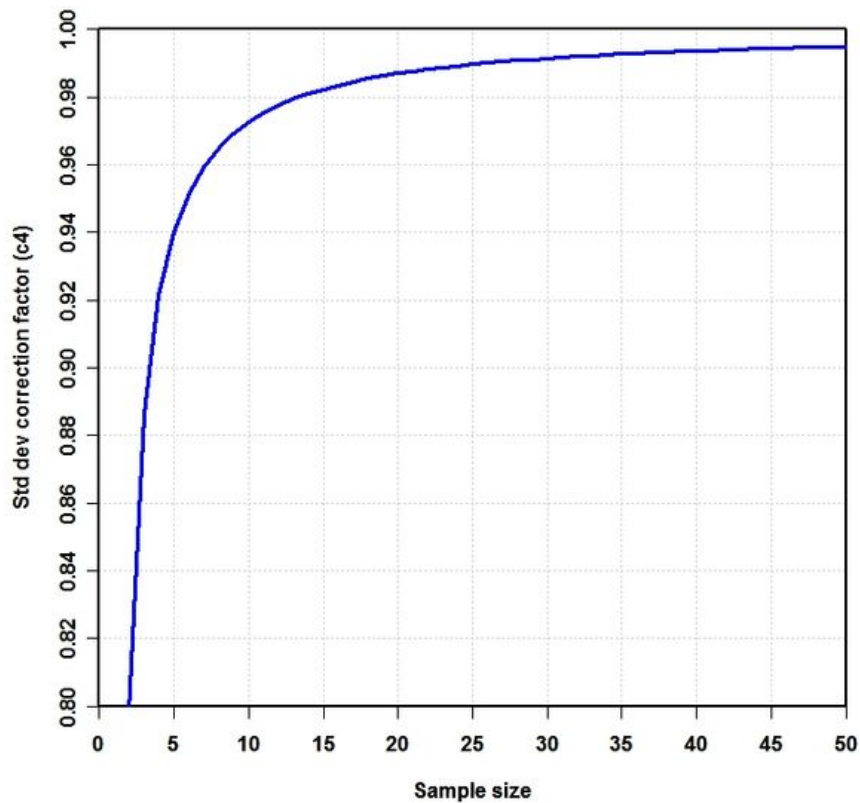
Kies grondmonsters in de buurt van de boorlijn die meegenomen dienen te worden in de analyse. Aanbevolen wordt om, indien aanwezig, monsters tot 1 m boven en onder het beoogde boortraject mee te nemen. Afhankelijk van de aard en de heterogeniteit van de formatie, dient gekozen te worden voor een afstand, waarbinnen boringen meegenomen moeten worden in de analyse (bijv. bij fluviale afzettingen is de opbouw zeer heterogeen, maar afhankelijk van de richting van de rivier kan een monster op 100 m bij het boortraject vandaan evenveel waarde hebben als een monster op 1 m afstand).

## *Stap 3:*

Bepaal de D10, D25, D50, D60 en de D70 van de meegenomen monsters. Hoe verder de boring bij het boortraject vandaan ligt, hoe minder groot de kans is dat de bodemopbouw hetzelfde is als op het boortraject (afhankelijk van heterogeniteit en aard van de formatie). Daarom moet er een naar de afstand gewogen gemiddelde berekend worden voor de bodemopbouw bij het boortraject. De Kriging-methode is hier geschikt voor:  $\lambda_i = 1/d_i^w / \sum(1/d_i^w)$ ;  $w=2$ ;  $Z(u) = \sum(\lambda_i \cdot Z(u_i))$ . Waarbij  $\lambda_i$  een gewogen factor is per monster,  $d_i$  de afstand van het monster tot het boortraject is en  $Z(u)$  de bodemopbouw ter plaatse van het boortraject is.

## *Stap 4:*

Van de meegenomen monsters wordt ook de standaarddeviatie berekend. Aan de hand van het aantal meegenomen grondmonsters, wordt de variatie in de standaarddeviatie berekend door een correctiefactor toe te passen. De gecorrigeerde standaarddeviatie is dan  $(1/\text{correctiefactor}) \times$  standaarddeviatie. De correctiefactor kan bepaald worden uit de volgende curve:



*Stap 5:*

Voor de variatie in het berekende gemiddelde wordt, afhankelijk van het gekozen betrouwbaarheidsinterval, een aantal maal de standaarddeviatie van het gemiddelde afgetrokken. Als het gemiddelde min de standaard deviaties negatief wordt, moet er naar een kleiner betrouwbaarheidsinterval gegaan worden, tot er geen negatieve waarde meer berekend wordt.

*Stap 6:*

Bereken  $U_c = D_{60}/D_{10}$

$U_c < 2,5 \rightarrow D_{50}$

$2,5 < U_c < 4 \rightarrow D_{60}$

$U_c > 4 \rightarrow D_{70}$

*Stap 7:*

Filterspleet <  $D_{50}/60/70$

Kies uit de volgende mogelijkheden voor filterspleten van verschillende fabrikanten:  
Johnson (PVC wikkeldraad): 0,15 mm (0,006") – 12,7 mm (0,5")

Boode (PVC wikkeldraad): 0,3 – 3 mm

HP Well Screen (RVS wikkeldraad): 0,3 – 2 mm

Boode (PVC slot): 0,3 – 1 mm

*Stap 8:*

Als de benodigde filterspleet kleiner is dan 0,15 mm, is er geen natuurlijke omstorting mogelijk, maar moet er een kunstmatige omstorting gemaakt worden.

### Bepaling korrelgrootte kunstmatige omstorting

*Stap 9:*

$U_c < 2$

D50 (omstorting) = 4 x D25 (formatie)

*Stap 10:*

Bepaal benodigde zand, beschikbaar bij bijv. Filcom:

korrelmaat	Ondermaat	Bovenmaat	Uc	Uc	
(mm)	max (%)	max (%)	max	gemiddeld	typering
0,20-0,50	5	5	1,5	1,4	fijn
0,20-0,63	5	5	1,6	1,5	fijn
0,40-0,63	5	5	1,4	1,25	fijn
0,40-0,80	5	5	1,4	1,35	fijn
0,50-0,80	5	5	1,4	1,3	fijn
0,50-1,00	5	5	1,4	1,3	fijn
0,63-1,00	5	5	1,4	1,2	fijn
0,71-1,25	5	5	1,4	1,3	middel
0,80-1,25	5	5	1,4	1,2	middel
1,00-1,60	10	10	1,4	1,2	middel
1,40-2,00	10	10	1,4	1,2	middel
1,00-2,00	10	10	1,4	1,35	middel
1,70-2,50	10	10	1,4	1,2	middel
2,00-4,00	10	10	1,4	1,3	grof
3,15-5,60	10	10	1,4	1,3	grof
5,00-8,00	10	10	1,5	1,4	grof

*Stap 11:*

Filterspleet < Ondergrens korrelmaat gekozen filtergrind

