

## **Karakterisatie van DNAPL sites (DNAPLKAR)**

Gedifferentieerde onttrekking te Leusden

Vorbereiding en systeemontwerp

Documentnr. : 16245-86553  
Revisie : 01  
Datum : 20 januari 1999

### **Opdrachtgever**

Stichting NOBIS  
Postbus 420  
2800 AK GOUDA

datum vrijgave	beschrijving revisie	goedkeuring	vrijgave
20 januari 1999	01	ir. A.H. van de Velde	ir. K.R. Weytingh

---

## Colofon

Project	: Karakterisatie van DNAPL sites (DNAPLKAR) Gedifferentieerde onttrekking te Leusden
Status	: Tussenrapport: Vorbereiding en systeemontwerp
Versie	: 001
NOBIS-projectnummer	: 95-2-10
Datum	: 20 januari 1999
Consortium	: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. Provincie Utrecht Provincie Noord-Brabant/Gemeente Tilburg Koninklijke Landmacht, vertegenwoordigd door DGW&T
Opstellers	: Productgroep in situ, Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. Ir. A.H. van de Velde Ir. K.R. Weytingh Ir. D. Tijdeman
Penvoerder	: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO

## Productsheet 'gedifferentieerd onttrekken'

### Doel

Het doel van gedifferentieerd onttrekken is de positiebepaling en karakterisatie van de bronzone van een DNAPL-site. Gedifferentieerd onttrekken resulteert vervolgens in een optimaal ontwerp voor de permanente beheersing van de bronzone en een kosteneffectieve aanpak, waarbij

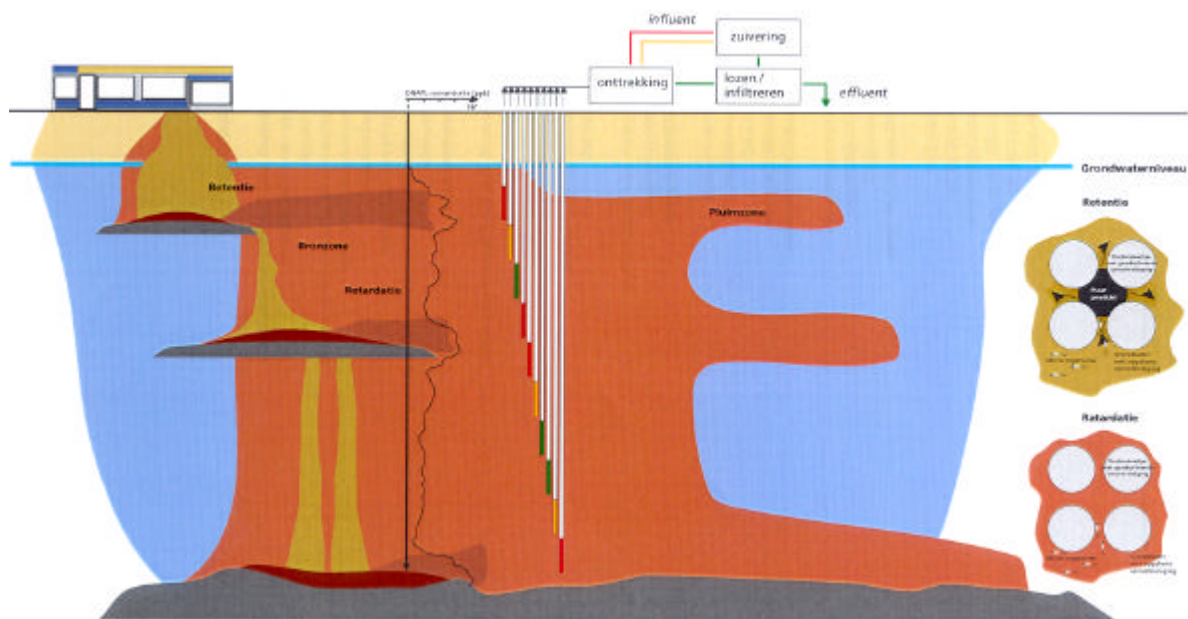
- het beheersingsdebiet minimaal is en de gehalten in het bemalingswater maximaal zijn door gerichte onttrekking in de verticaal
- de pluimzone tevens effectief gesaneerd kan worden

Het gedifferentieerd onttrekkingsstelsel wordt in beginsel (gedeeltelijk) gebruikt voor de permanente beheersing van de bronzone.

### Principe (zie figuur 1)

Het principe van gedifferentieerd onttrekken hangt samen met het verspreidingspatroon van DNAPLs in de ondergrond. Het product gaat gedeeltelijk in oplossing en de concentratie aan opgeloste DNAPL neemt af naarmate de afstand tot de bron toeneemt. Vanwege het grillige voorkomen van het product in de bodem, kan het verticale concentratieprofiel stroomafwaarts van de bron worden gekenmerkt door sterke fluctuaties. Door nu te onttrekken uit zoveel mogelijk filters in de verticaal kan dit verticale concentratieprofiel zo gedetailleerd mogelijk worden vastgesteld en daarmee wordt inzicht in de verticale positie van het product verkregen. Vanwege de flexibiliteit van het onttrekkingsstelsel kan het minimaal benodigde debiet voor de beheersing van de bronzone worden gerealiseerd en kan de behandeling zo optimaal worden uitgevoerd.

Het gedifferentieerd onttrekkingsstelsel wordt op verschillende manieren gebruikt (filters aan/uit, debiet e.d.) waarbij telkenmale de veranderingen in grondwaterstroming en concentraties (in peilbuizen en onttrekkingsfilters) worden vastgesteld. Deze aanpak resulteert in een duidelijk beeld van het voorkomen en de verbreiding van DNAPLs in de ondergrond en vervolgens in een kostenoptimaal ontwerp voor de beheersing van de bronzone en de sanering van de pluimzone.



Figuur 1: Concept gedifferentieerd onttrekken

### Toepassingsgebied

Locaties waar een DNAPL (naar verwachting) tot grotere diepte is weggezaakt, waarbij met name de verticale positie van de (veronderstelde) zinklagen niet bekend is.

### Randvoorwaarden toepasbaarheid

- toestemming bevoegd gezag voor een vroegtijdige implementatie van een geohydrologische

---

beheersmaatregel

- vergunningen (lozingsvergunning, onttrekkingsvergunning)
- ieder onttrekkingsfilter moet apart onttrokken en bemonsterd kunnen worden
- het vrijkomende bemalingswater moet in verschillende stromen behandeld kunnen worden
- ruimte voor de aanleg van een gedifferentieerd onttrekkingsstelsel

### **Operationaliteit en ontwikkelingen**

Gedifferentieerd onttrekken is een innovatief saneringsconcept en is nog niet eerder in de praktijk toegepast. De techniek wordt ontwikkeld in NOBIS-verband door het consortium: 'Oranjewoud', NITG-TNO, Provincie Noord-Brabant/Gemeente Tilburg, Provincie Utrecht, Koninklijke Landmacht/DGW&T.

### **Kosten**

De kosten zijn locatiespecifiek (afhankelijk van bodemopbouw en verontreinigingssituatie). Ten opzichte van een conventionele beheersvariant zijn de installatiekosten van het stelsel hoger, de exploitatiekosten zijn echter lager vanwege een lager debiet en daarmee lagere zuiverings- en lozingskosten. Door inzet van de techniek in een vroeg stadium vindt tevens een besparing plaats op de onderzoekskosten.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
	1.1 Probleem- en doelstelling	6
	1.2 Principe 'gedifferentieerd onttrekken'	6
	1.3 Onderzoeksopzet	7
	1.4 Locatie MCW	7
	1.5 Leeswijzer	7
<b>2</b>	<b>Programma van eisen</b>	<b>8</b>
	2.1 Doelstelling	8
	2.2 Uitgangspunten	8
	2.3 Randvoorwaarden	8
<b>3</b>	<b>Ontwerpsystematiek</b>	<b>9</b>
	3.1 Probleemdefinitie	9
	3.2 Ontwerp	12
	3.3 Dimensionering	12
	3.4 Implementatie	13
<b>4</b>	<b>Probleemdefinitie</b>	<b>14</b>
	4.1 Basisinformatie	14
	4.2 Definitie van de bronzone	16
<b>5</b>	<b>Ontwerp</b>	<b>18</b>
	5.1 Geohydrologisch model	18
	5.2 Globaal ontwerp	18
	5.3 Scenarioberekeningen	18
	5.4 Selectie ontwerp	19
	5.5 Toetsing aan programma van eisen	19
<b>6</b>	<b>Dimensionering</b>	<b>20</b>
	6.1 Algemeen	20
	6.2 Boormethode	20
	6.3 Onttrekkingssysteem	20
	6.4 Pomsysteem	21
	6.5 Conventioneel systeem	22
	6.6 Detaillering geohydrologisch model	23
	6.7 Zuivering	24
	6.8 Meet- en regeltechniek	24
	6.9 Toetsing aan programma van eisen	25
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>26</b>

---

## Bijlagen

1	Stuwingsrichting en helling bodemopbouw
2	Boorbeschrijvingen en verticale doorlatendheidsverdeling
3	Historie en verontreinigingssituatie
4	Overzicht analyseresultaten grondwater
5	Beschrijving geohydrologisch model
6	Scenarioberekeningen globaal ontwerp
7	Financiële haalbaarheid
8	Boortechnieken
9	Programma van eisen pulsboringen
10	Boorgat
11	Detailering geohydrologisch model
12	Programma van eisen waterzuivering

## Tekeningen

87202-O-1	Overzicht
87202-GWV-1	Grondwaterverontreiniging met per tot 10 m -mv.
87202-GWV-2	Grondwaterverontreiniging met per van 10 tot 50 m -mv.
87202-GWV-3	Grondwaterverontreiniging met per van 10 tot 50 m -mv.
87202-GWV-4	Grondwaterverontreiniging met per van 50 tot 145 m -mv.
87202-GP-1	Stroombaanberekeningen projectie x,y-vlak
86865-DP-25	Geohydrologisch lengteprofiel
86865-DP-26	Lengteprofiel stroombanen
86553-TG-1	Toestromingsgebied bij beheersdebiet van 480 en 120 m <sup>3</sup> /dag

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleem- en doelstelling

Op een groot aantal locaties in Nederland zijn in het verleden gechloreerde oplosmiddelen en andere *Dense Non Aqueous Phase Liquids (DNAPLs)* in de bodem terecht gekomen. Vanwege de slechte mengbaarheid met water en de hoge dichtheid kunnen deze stoffen als een aparte vloeistoffase diep in de bodem doordringen. Hierbij blijft langs het verspreidingspad product achter in de vorm van zinklagen en als restverzadiging.

Het belangrijkste knelpunt voor een succesvolle sanering van een met gechloreerde koolwaterstoffen verontreinigde bodem is de aanwezigheid van product in de ondergrond en het vaststellen van de positie van het product (de bronzone) dat grillig en op grote diepte in de bodem aanwezig kan zijn. Met de tot op heden gebruikte meet- en evaluatiemethoden kan de positie van de DNAPLs in de ondergrond niet in voldoende mate worden aangetoond. Oplossingen voor dit knelpunt worden gezocht in het kader van het door NOBIS gesubsidieerde onderzoeksproject 'Karakterisatie van DNAPL sites (DNAPLKAR)'.

Gedifferentieerd onttrekken is één van de karakterisatiemethodieken die in het kader van DNAPLKAR wordt onderzocht en is tevens een saneringsconcept dat tot doel heeft in een cyclisch proces een kostenoptimale beheersing van de bronzone te realiseren. Het doel van het voorliggende onderzoek is het opstellen van een ontwerpmethodiek, het implementeren en het evalueren van een gedifferentieerd onttrekkingssysteem. Op de locatie 'Mechanische Centrale Werkplaats' (MCW) te Leusden wordt dit systeem toegepast.

## 1.2 Principe 'gedifferentieerd onttrekken'

Het principe van gedifferentieerd onttrekken hangt samen met het verspreidingspatroon van DNAPLs in de ondergrond. Het product gaat gedeeltelijk in oplossing en de concentratie aan opgeloste DNAPL neemt af naarmate de afstand tot de bron toeneemt. Vanwege het grillige voorkomen van het product in de bodem, kan het verticale concentratieprofiel stroomafwaarts van de bron worden gekenmerkt door sterke fluctuaties. Door nu te onttrekken uit zoveel mogelijk filters in de verticaal kan dit verticale concentratieprofiel zo gedetailleerd mogelijk worden vastgesteld en daarmee wordt inzicht in de verticale positie van het product verkregen. Vanwege de flexibiliteit van het onttrekkingssysteem kan tevens het minimaal benodigde debiet voor de beheersing van de bronzone worden gerealiseerd en kan de behandeling zo optimaal worden uitgevoerd.

Het gedifferentieerd onttrekkingssysteem wordt op diverse wijzen gebruikt waarbij telkenmale de veranderingen in grondwaterstroming en concentraties worden vastgesteld. Deze aanpak resulteert in een duidelijk beeld van het voorkomen en de verbreiding van DNAPLs in de ondergrond en vervolgens in een kostenoptimaal ontwerp voor de beheersing van de bronzone en de sanering van de pluimzone. Gedifferentieerd onttrekken is een cyclisch saneringsconcept, waarbij bewust gebruik gemaakt wordt van de resultaten van een vroegtijdig geïmplementeerde geohydrologische beheersmaatregel.

---

### 1.3 Onderzoeksopzet

De algemene onderzoeksopzet, zoals vastgelegd in het basisprojectplan [1], is als volgt:

- I Vorbereiding*
  - a. Inventarisatie van bestaande locatiegegevens
  - b. Vaststellen technische mogelijkheden gedifferentieerd onttrekkingssysteem
  
- II Gedifferentieerde onttrekking*
  - a. Opzet multi-layer grondwatermodel
  - b. Met het model wordt op basis van de verzamelde gegevens een isolatiesysteem gedimensioneerd voor de bronzone
  - c. Het systeem wordt geïmplementeerd
  - d. De onttrekking wordt gemonitord en de resultaten worden geïnterpreteerd
  - e. Evaluatie van de methodiek
  
- III Verificatie van de methodiek door concentratiemetingen in het grondwater*
  - a. Bepaling van de meetmethodiek en locatie van meetpunten
  - b. Uitvoeren van de metingen
  - c. Evaluatie van de methodiek gedifferentieerde onttrekking
  
- IV Gedifferentieerde onttrekking (fase 2)*
  - a. De optimalisatie van het systeem wordt gedimensioneerd en geïmplementeerd
  - b. De onttrekking wordt gemonitord en de resultaten worden geïnterpreteerd
  - c. Evaluatie van de methodiek en aanzet tot protocollering

In het voorliggende rapport worden de werkzaamheden tot en met fase IIb gerapporteerd.

### 1.4 Locatie MCW

Het MCW-terrein is sinds 1957 in gebruik als tankwerkplaats waar onderhoud, revisie en renovatie van tankmaterieel is verricht. Hierbij is onder meer tetrachlooretheen gebruikt, dat in de bodem is terechtgekomen. Bodemonderzoeken zijn in diverse fasen uitgevoerd, ten tijde van het voorliggende project was het bodemonderzoek nog niet afgerond. De gemeten concentraties geven aanleiding te veronderstellen dat de DNAPL op grote diepte aanwezig is.

### 1.5 Leeswijzer

De opbouw van het rapport is als volgt. Allereerst wordt in hoofdstuk 2 een programma van eisen geformuleerd waaraan het ontwerp moet voldoen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een algemene ontwerpsystematiek van een gedifferentieerd onttrekkingssysteem gepresenteerd. In de daaropvolgende hoofdstukken worden de verschillende werkstappen van deze systematiek toegepast op de locatie MCW: de probleemdefinitie vanuit saneringsperspectief (hoofdstuk 4), het ontwerp (hoofdstuk 5) en tot slot de dimensionering (hoofdstuk 6).



---

## 2 Programma van eisen

### 2.1 Doelstelling

Het doel van gedifferentieerd onttrekken is de positiebepaling en karakterisatie van de bronzone van een DNAPL-site. Gedifferentieerd onttrekken resulteert vervolgens in een optimaal ontwerp voor de permanente beheersing van de bronzone en een kosteneffectieve aanpak, waarbij:

- het beheersingsdebiet minimaal is en de gehalten in het bemalingswater maximaal zijn door gerichte onttrekking in de verticaal;
- de pluimzone tevens effectief gesaneerd kan worden.

Het gedifferentieerd onttrekkingssysteem wordt in beginsel (gedeeltelijk) gebruikt voor de permanente beheersing van de bronzone, en is daarmee de eerste stap in dit traject.

### 2.2 Uitgangspunten

Bij het ontwerp worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de bronzone wordt gescheiden van de pluimzone
- de bronzone wordt beheerst zowel onder natuurlijke condities als ten tijde van de (eventuele) pluimsanering
- de gedifferentieerde onttrekkingssput wordt bij voorkeur stroomafwaarts van de bronzone geplaatst
- de gedifferentieerde onttrekkingssput maakt deel uit van de toekomstige sanerings-/beheersmaatregel
- de verspreidings situatie van de DNAPL wordt niet negatief beïnvloed

### 2.3 Randvoorwaarden

De volgende algemene randvoorwaarden zijn te benoemen:

- gedifferentieerd onttrekken is goedkoper dan een traditionele aanpak
- instemming van het bevoegd gezag met een vroegtijdige implementatie van een geohydrologische beheersmaatregel
- het onttrekkingssysteem voldoet aan de eisen van benodigde vergunningen
- de grondwaterstroming wordt gesimuleerd met behulp van een grondwatermodel waarin het aantal modellen is afgestemd op de filterstellingen
- elk onttrekkingfilter kan apart onttrokken en bemonsterd worden
- het vrijkomende bemalingswater kan in verschillende stromen behandeld en/of geloosd worden
- grondwaterstands daling is acceptabel

---

## 3 Ontwerpsystematiek

De ontwerpsystematiek bestaat uit de volgende werkstappen:

1. Probleemdefinitie
  - a. basisinformatie
  - b. definitie van de bronzone
2. Ontwerp
  - a. geohydrologisch model
  - b. globaal (hydrologisch) ontwerp
  - c. scenarioberekeningen
  - d. selectie ontwerp
  - e. toetsing aan programma van eisen
3. Dimensionering
  - a. boormethode
  - b. onttrekkingsstelsel
  - c. pompsysteem
  - d. detaillering geohydrologisch model
  - e. zuivering
  - f. meet- en regeltechniek
  - g. toetsing aan programma van eisen
4. Implementatie
  - a. installeren systeem
  - b. monitoren
  - c. optimaliseren
  - d. monitoren

Gedurende het ontwerpproces worden de activiteiten van probleemdefinitie tot implementatie doorlopen. In het algemeen wordt nagestreefd om deze activiteiten chronologisch te laten verlopen. Buiten het feit dat dit bij bodemsanering niet altijd mogelijk is, is dit ook niet per definitie de meest kosteneffectieve aanpak. Aangezien het inzicht in het op te lossen probleem in de loop van de tijd toeneemt, kan hier in het proces gebruik van gemaakt worden (cyclisch ontwerpen, flexibel saneringssysteem). Dat wil zeggen het gelijktijdig doorlopen van alle projectactiviteiten.

### 3.1 Probleemdefinitie

Het probleem wordt vanuit het saneringsperspectief gedefinieerd in de vorm van een conceptueel model van de locatie. Voor het conceptueel model moet minimaal die informatie beschikbaar zijn die nodig is om tot een weloverwogen keuze te komen met betrekking tot de toe te passen saneringsstrategie en -techniek(en).

De minimaal benodigde basisinformatie voor het toepassen van gedifferentieerd onttrekken bestaat uit:

- inzicht in de bodemopbouw en gelaagdheid
- inzicht in de geohydrologische situatie (grondwaterstand, stroming)
- de (potentiële) locatie van de DNAPL-bronnen
- (globale) verontreinigingssituatie/aanwezigheid puur product

Het ontwerp wordt met name bepaald door de inkadering van de bronzone. De beschikbare onderzoeksresultaten zullen hiervoor veelal onvoldoende zijn.

De volgende methodieken kunnen een hulpmiddel zijn om met behulp van de basisinformatie te komen tot de definitie van de potentiële bronzone. De gedefinieerde bronzone wordt vervolgens gehanteerd als ontwerphypothese.

### Combinatie verspreidingspaden DNAPL en (geschatte) vrijgekomen hoeveelheid

Het verspreidingspad van de DNAPLs wordt beïnvloed door de bodemopbouw. De verspreiding vindt plaats door preferente banen in het bodemprofiel, bijvoorbeeld over minder doorlatende bodemlagen. Van belang voor het verspreidingsgedrag zijn derhalve de diepteligging en scheefstelling van overgangen in het bodemprofiel van goed naar minder doorlatende bodemlagen of van minder naar sterker gecompacteerd bodemlagen. Er moet rekening gehouden worden met het voorkomen van 'kortsluitstromen' als gevolg van menselijk ingrijpen in de bodem: boorgaten, heipalen, ontgravingen etc.

Vervolgens kan, wanneer de hoeveelheid geïnfiltreerde DNAPL's bekend is een schatting worden gemaakt van de infiltratiediepte en de horizontale verspreiding van de DNAPL. In het algemeen is over de hoeveelheden weinig bekend. Er zal dan ook een aanname gedaan moeten worden in de vorm van een ordegrootte (tientallen, honderden of duizenden liters). Als verder een infiltratieoppervlak en een retentiecapaciteit bepaald worden kan de infiltratiediepte berekend worden. Ook kunnen intreedrukken van slecht doorlatende lagen berekend worden. Deze eenvoudige berekeningen zijn gezien de vele aannames puur indicatief.

### Combinatie van grondwaterstroming en concentratiemetingen

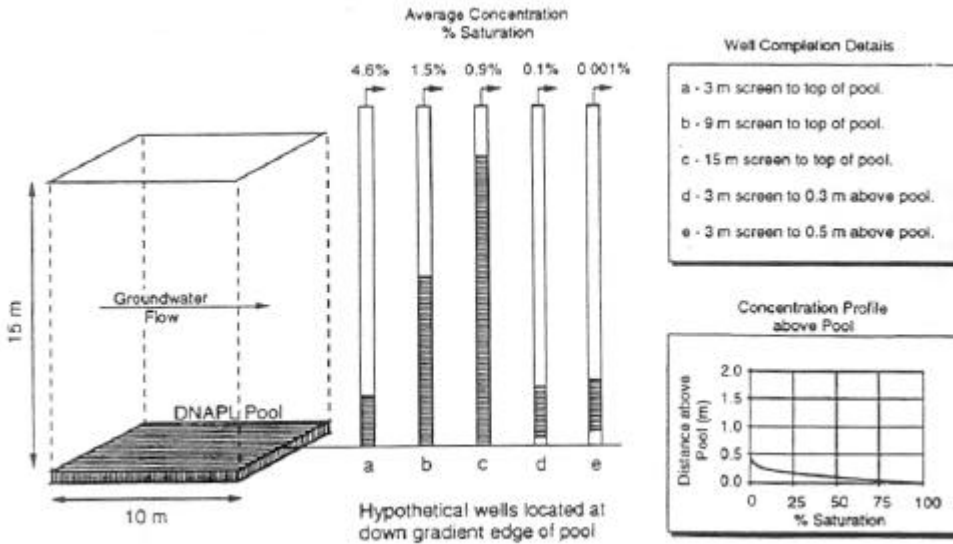
De hoogte van de concentratie DNAPL-componenten opgelost in grondwater kan, in combinatie met informatie over de herkomst van het bemonsterde grondwater, inzicht verschaffen in de horizontale en verticale verspreiding van product. Een knelpunt bij deze aanpak is de indirectheid van deze methodiek. Centraal staat dan ook de vraag bij deze methodiek bij welk concentratieniveau in het grondwater er sprake is van de aanwezigheid van DNAPL stroomopwaarts van de meting.

In het algemeen nemen de concentraties in de pluimzone af naarmate de afstand (horizontaal/verticaal) tot de bronzone toeneemt. De grillige vorm van bronzones heeft tot gevolg dat de grondwaterverontreiniging benedenstrooms van DNAPL-bronzones uit verschillende pluimen kan bestaan, die slechts enkele meters breed en enkele decimeters hoog maar wel zeer lang kunnen zijn. Pankow en Cherry [2] toonden aan dat de concentraties stroomafwaarts door menging met schoon grondwater kunnen verminderen tot 10% van de oplosbaarheid. Anderson et al. [3] toonden aan dat naar gelang de verticale positie van het peilfilter ten opzichte van de zinklaag en de grondwatersnelheid, concentraties lager dan 1% van de oplosbaarheid aanwijzing kunnen zijn voor product. In tabel 1 zijn de oplosbaarheden van een aantal chloorkoolwaterstoffen opgenomen.

Tabel 1: Oplosbaarheden chloorkoolwaterstoffen

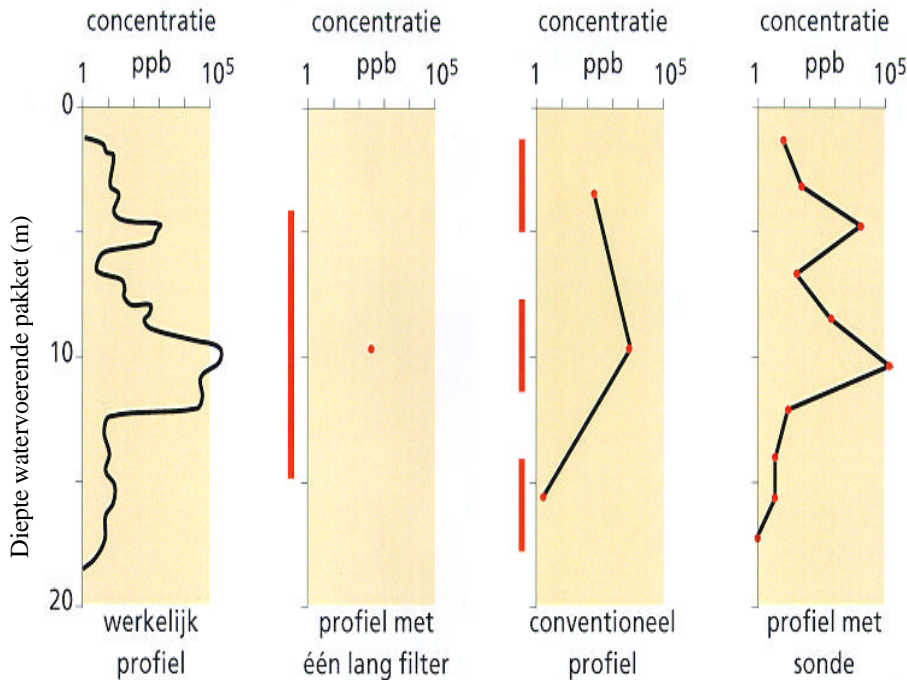
Chloorkoolwaterstof	Oplosbaarheid (mg/l)
Tetrachlooretheen	150
Trichlooretheen	1.100
1,1-dichlooretheen	3.350
Cis-1,2-dichlooretheen	3.500
Trans-1,2-dichlooretheen	6.300
1,1,2,2-tetrachloorethaan	2.900
1,1,2-trichloorethaan	4.400
1,1,1-trichloorethaan	1.300
1,2-dichloorethaan	8.500
1,1-dichloorethaan	5.100
Trichloormethaan	8.000
Dichloormethaan	20.000

Naast de lengte van het filter is ook de plaats ten opzichte van de pluim belangrijk voor de gemeten concentraties. Dit is geïllustreerd in figuur 1. Deze figuur geeft aan dat in een 'verkeerd' geplaatst filter concentraties worden gemeten die zeer veel lager zijn dan wanneer het filter 'juist' was geplaatst.



Figuur 1: Concentraties in 5 hypothetische meetpunten even benedenstrooms van een DNAPL zinklaag [2]

Figuur 2 laat het effect zien dat de lengte van het filter heeft op de gemeten concentratie. Behalve een verlaging van de gemeten concentratie heeft een lang filter ook tot gevolg dat de verticale verdeling van de concentratie niet is te bepalen.



Figuur 2: Verticaal concentratieprofiel met behulp van puntmetingen [4]

Uit het voorgaande blijkt dat het geen eenvoudige opgave is om tot een definitie van de bronzone te komen. Vooral nog blijft de ervaring en het inschattingsvermogen van de adviseur onmisbaar en zullen bepaalde risico's geaccepteerd moeten worden. Zolang de risico's bekend zijn kunnen deze echter wel bij het ontwerp/dimensionering geminimaliseerd worden. Het verdient aanbeveling een minimaal en maximaal mogelijke bronzone te bepalen en voor beide situaties een ontwerp van de gedifferentieerde onttrekking te maken.

### 3.2 Ontwerp

Allereerst wordt een grondwatermodel opzet ten behoeve van het hydrologische ontwerp. Vervolgens wordt een aantal hydrologische ontwerpen, binnen de gestelde randvoorwaarden en bij een aantal onttrekkingsscenario's, bepaald. De ontwerpen hebben een globaal karakter. De plaats en diepte van de put, het debiet, het intrekgebied en de grondwaterstandsverlagingen worden bepaald. Op basis van onder meer kosten en overwegingen ten aanzien van het faalrisico wordt het hydrologisch ontwerp vastgesteld.

De volgende overwegingen spelen een rol:

- Als gevolg van doorboring van de bronzone kan het puur product verticaal verspreid worden.
- Bij plaatsing van de put in de bronzone kan de beheersing van de bronzone niet volledig zijn.
- De faalkans van gedifferentieerd onttrekken neemt toe naarmate de afstand van de onttrekkingssput tot de werkelijke bronzone groter is; de pieken in het verticale concentratieprofiel vervagen verder van de bronzone af. Bij gedifferentieerd onttrekken wordt continue onttrokken. Dit wil zeggen dat een continue grondwaterstroming langs eventuele zinklagen wordt geforceerd. Is een zinklaag aanwezig dan zal de concentratie in de onttrekking naar verwachting constant blijven. Is stroomopwaarts van het onttrekkingfilter geen pure DNAPL, dan wordt verwacht dat de gehalten in de filters 'snel' zullen afnemen.
- De nauwkeurigheid van het toe te passen grondwatermodel is van belang bij de positiebepaling van DNAPL. De te berekenen stroombanen moeten goed overeen komen met de werkelijkheid teneinde de positie van DNAPL te kunnen bepalen op basis van de gemeten concentraties in de diverse onttrekkingfilters. Hoe groter de afstand tussen de bronzone en de onttrekkingssput hoe groter de afwijkingen kunnen zijn. Bij een te globaal model moet de put dichtbij de bronzone worden geplaatst, bij een nauwkeurig model kan de afstand groter zijn.

### 3.3 Dimensionering

Bij de dimensionering wordt het gekozen hydrologisch ontwerp technisch/constructief uitgewerkt. Hierbij zijn een aantal hoofdonderdelen te onderscheiden die nader ingevuld moeten worden:

- boortechniek: afhankelijk van benodigde diepte en diameter, risico's doorboring puur product zones en kosten wordt een keuze gemaakt
- onttrekkingssysteem: aantal filters, filterdiameter, filterstelling, afwerking boorgat, materiaalkeuze
- pompsysteem: type pomp, capaciteit pomp, afwerking pompput, bemonsteringspunten, afsluitkleppen etc.
- detaillering geohydrologisch model: modellagen aanpassen aan het aantal onttrekkingfilters en de filterstelling
- zuivering: capaciteit, modulaire opbouw, etc.
- meet- en regeltechniek: het systeem moet flexibel en zoveel mogelijk op afstand bestuurbaar en controleerbaar zijn

### 3.4 Implementatie

Het uiteindelijke ontwerp van de onttrekkingssput wordt bepaald nadat de boring is uitgevoerd. Op basis van het boorprofiel wordt, afgestemd op de aangetroffen bodemlagen, de definitieve filterstelling bepaald. Vervolgens wordt gedurende de exploitatie in een cyclisch proces het systeem continu geoptimaliseerd

---

op basis van monitoringsresultaten. Aan dit proces wordt in het vervolg van deze rapportage geen nadere invulling aangegeven, de systematiek wordt proefondervindelijk ontwikkeld, en zal in een latere rapportage gepresenteerd worden.

## 4 Probleemdefinitie

### 4.1 Basisinformatie

Het MCW-terrein is gelegen in het Utrechtse Heuvelrug-gebied ten zuidwesten van Amersfoort. De regionale ligging van de locatie is weergegeven op tekening 87202-O-1. Het MCW-terrein is sinds 1957 in gebruik als tankwerkplaats waar onderhoud, revisie en renovatie van tankmaterieel is verricht. Het oppervlak van het MCW-terrein bedraagt circa 11,3 ha. De terreinhoogte is circa N.A.P.+ 10 m.

#### Geohydrologie en bodemopbouw

De onderzoekslocatie bevindt zich in het Utrechtse Heuvelrug-gebied. Het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van stuwwallen. Ten gevolge van stuwing kan scheefstelling, verkneding en verschuiving van bodemlagen hebben plaatsgevonden.

#### Regionale bodemopbouw

De regionale bodemopbouw is samengevat in tabel 2. De eerste en tweede scheidende laag zijn ter plaatse van de onderzoekslocatie geohydrologisch niet van betekenis en dientengevolge is sprake van één watervoerend pakket, dat wordt begrensd door de kleiïge afzettingen uit de Formatie van Tegelen.

Tabel 2: Geohydrologische schematisatie

Diepte (in m t.o.v. N.A.P.)	Formatie		Geohydrologische eenheid	Samenstelling
	Gestuwd gebied	Gelderse Vallei		
+50 à +3 tot -5	Formatie van Twente en Urk		1 <sup>e</sup> w atervoerend pakket	zand, afgewisseld met klei- en grindlaagjes
-5 tot -10	-	Eem-Formatie	1 <sup>e</sup> scheidende laag	klei en veen
-10 tot -30	Formatie van Sterksel en Urk		2 <sup>e</sup> w atervoerend pakket	zand, afgewisseld met klei en grindlaagjes
-30 tot -40	-	Formatie van Drente	2 <sup>e</sup> scheidende laag	klei en leemafzettingen
-40 tot -115	Formatie van Harderwijk		3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	grove zanden en grind
-115 tot -150	Formatie van Tegelen		3 <sup>e</sup> scheidende laag	klei en fijn zand
-150 tot -220	Formatie van Tegelen en Maassluis		4 <sup>e</sup> watervoerend pakket	grove zanden
Geohydrologische basis (-220 m)				

Het doorlaatvermogen (kD-waarde) van het watervoerende pakket (1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup>) wordt bij het 'Model diepinfiltratie locaties Soestduinen en Amersfoort Berg' (verder te noemen het OEDI-model) [5] geschat op circa 6.000 m<sup>2</sup> per dag. Het doorlaatvermogen (kD-waarde) van het 4<sup>e</sup> watervoerende pakket wordt geschat op circa 1.200 m<sup>2</sup> per dag.

#### Lokale bodemopbouw

Op basis van de boor- en sondeergegevens is in tabel 3 een globale beschrijving van de bodemlagen tot 145 m -mv. (de maximale boordiepte) gegeven.

Tabel 3: Lokale bodemopbouw

Diepte in m -mv.	Samenstelling
0-10	matig fijn tot matig grof sterk gecompacteerd zand afgewisseld met grind- en leemlaagjes
10-25	fijne en grove grindhoudende zanden. Op het noordwestelijke deel van het MCW-terrein wordt op een diepte van circa 10 m -mv. een kleiige (houtrijke) veenlaag met een dikte van maximaal 1 m aangetroffen
25-50	grof grindhoudend zand. In dit traject worden sterk gecompacteerd zandlagen en lokale leemlagen aangetroffen
50-55	matig grof tot zeer grof grindhoudend zand
55-116	matig grof zand afgewisseld met kleibrokjes
116-145	matig fijn tot uiterst grof zand afgewisseld met lokaal voorkomende klei- en siltlaagjes

#### Gecompacteerd zandlagen

Uit alle sondeergrafieken blijkt dat de bodem tot circa 8,0 m -mv., wordt gekenmerkt door sterk gecompacteerd zandlagen. Tevens zijn sterk gecompacteerd zandlagen (conusweerstand hoger dan 40 MPa) aangetroffen beginnend op een diepte tussen 25 en 40 m -mv, waarvan de dikte varieert van enkele meters tot ruim 20 meter.

De bovenste tientallen meters betreffen gestuwde bodemlagen. Meer dan algemene informatie over scheefstelling en verschuiving van bodemlagen is niet bekend (zie bijlage 1): de stuwing heeft plaatsgevonden vanuit oostelijke richting, de strekking van de gestuwde lobben is noord-zuid en de diepte van de stuwing bedraagt circa N.A.P. -50 m. Het afleiden van de helling van gestuwde lagen door het correleren van de boor- en sondeergegevens is onmogelijk gebleken vanwege het niet kunnen vervolgen van specifieke lagen (klei- en gecompacteerd zandlagen).

#### Veenlaag

Op het noordwestelijke deel van het MCW-terrein en langs de Rijksweg A28 is een veenlaag op circa N.A.P.- 1 m aangetroffen. Waarschijnlijk komt deze veenlaag in dit gebied aaneengesloten voor. In het bodemprofiel zijn verder geen minder doorlatende bodemlagen aangetroffen. Het is echter niet uitgesloten dat minder doorlatende laagjes zijn verboord.

De doorlatendheid van de zandlagen is geschat op basis van het M50-cijfer. In bijlage 2 is het verticale doorlatendheidsprofiel aangegeven. Het totale doorlaatvermogen tot 115 m -mv is geschat op circa 9.000 m<sup>2</sup>/dag en wijkt dus af ten opzichte van de in het OEDI-model ingevoerde waarde van 6.000 m<sup>2</sup>/dag. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat lokaal (boorlocatie) hoge doorlatendheden kunnen worden afgeleid. Gelet op de beperkte verbreiding van deze lagen en de aanwezigheid van minder doorlatende lagen (heterogeniteit van de bodem) zal de totale doorlatendheid van het watervoerend pakket lager zijn.

#### Grondwaterstroming

De laagste grondwaterstand bevindt zich op circa N.A.P.+ 3,0 m, oftewel circa 7 m -mv. De grondwaterstand ter plaatse varieert sterk. Zo bedraagt de hoogste grondwaterstand circa N.A.P.+ 5,5 m. De stromingsrichting van het grondwater varieert van noord tot noordoostelijk. Het regionale verhang van het freatische grondwater is circa 0,4 m/km.

Benedenstreams van het MCW-terrein begint na 1,5 km het waterwingebied 'Amersfoortse Berg'. Voorts is een aantal onttrekkingen in de omgeving aanwezig.



## Verontreinigingssituatie

Ten gevolge van de werkzaamheden op het MCW-terrein zijn DNAPLs (met name tetrachlooretheen (per)) in de bodem terechtgekomen. De verontreinigingsbronnen zijn aangegeven op tekening 87202-GWV-1. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor het grafisch presenteren van de verontreinigingssituatie de 25 maal interventiewaardecontour is gekozen en niet gerelateerd mag worden met de definitie van de bronzone. In tabel 4 zijn de piekconcentraties aan per in grond en grondwater bij de belangrijkste bronlocaties vermeld. Voor een gedetailleerde beschrijving van de verontreinigingssituatie wordt verwezen naar bijlage 3.

Tabel 4: Overzicht van de belangrijkste bronlocaties van DNAPLs

Bronlocatie	Oorzaak	Piekconcentratie in grond (in mg/kg)	Piekconcentratie in grondwater (in mg/l)
locatie 26/37, noordwestelijke deel van gebouw 1	lekkage van restanten uit vaten	20	19.000
locatie 31, westelijk van gebouw 7	opslag (lekkage) van vaten en morsen bij gebruik	1.700	260.000
Locatie 33, zuidwesthoek gebouw 1	steamcleaner, opslag oplosmiddelen en verven	8	10.000

De mate en omvang van de verontreiniging met per in het grondwater is weergegeven op de tekeningen:  
 87202-GWV-1: tot 10 m -mv. op het MCW-terrein  
 87202-GWV-2: van 10 tot 50 m -mv. op het MCW-terrein  
 87202-GWV-3: van 10 tot 50 m -mv. buiten het MCW-terrein  
 87202-GWV-4: van 50 tot 145 m -mv. buiten het MCW-terrein  
 86865-DP-26: lengteprofiel stroombanen

Het front van de verontreinigingspluim bevindt zich ongeveer 100 meter ten noorden van de brandput van de politieschool op een diepte van circa 80 m -mv. Voor een overzicht van de gemeten concentraties aan gechlororeerde koolwaterstoffen in het grondwater wordt verwezen naar bijlage 4.

## 4.2 Definitie van de bronzone

### Combinatie verspreidingspaden en vrijgekomen hoeveelheid

Ten aanzien van de hoeveelheid puur product die op de locatie in de bodem terecht is gekomen zijn geen gegevens beschikbaar. Gezien het grootschalige gebruik van de DNAPL's zal de hoeveelheid naar verwachting in de orde grootte van honderden tot duizenden liters liggen.

In het bodemprofiel zijn, behalve een (lokaal voorkomende) veenlaag op circa -1 m NAP, geen minder doorlatende bodemlagen aangetroffen. Het is echter niet uitgesloten dat minder doorlatende laagjes zijn verboord. Wel zijn sterk gecompacteerd zandlagen aangetroffen, die van invloed kunnen zijn op de verspreiding van DNAPL, beginnend op een diepte tussen 25 en 40 m -mv, waarvan de dikte varieert van enkele meters tot ruim 20 meter.

De bovenste tientallen meters betreffen waarschijnlijk gestuwde bodemlagen. Meer dan algemene informatie over scheefstelling en verschuiving van bodemlagen is niet bekend. De stuwings heeft plaatsgevonden vanuit oostelijke richting, de strekking van de gestuwde lobben is noord-zuid en de diepte van de stuwings bedraagt circa N.A.P. -50 m.

Mocht stuwings voorkomen onder het MCW terrein dan zal deze hoofdzakelijk een dip hebben in oost-west richting en zal het transport van puur product in oostelijke richting bevorderd worden. Dit zou wellicht de breedte van de pluim met verontreinigd grondwater kunnen verklaren.

Stuwung kan hoogstwaarschijnlijk niet tot verregaande migratie van product in noordelijke richting hebben geleid. De hoge concentraties in de minifilters langs de A28 zijn dan ook vermoedelijk eerder toe te schrijven aan verontreinigd grondwater in de pluim dan aan de aanwezigheid van puur product ter plekke van deze filters.

Vanwege de onzekerheid over de vrijgekomen hoeveelheid puur product en de aanwezigheid van gestuwde bodemlagen is deze methodiek slechts beperkt toepasbaar.

#### **Combinatie van grondwaterstroming en concentratiemetingen**

Ter plaatse van de noordelijke terreingrens bevat het grondwater plaatselijk tot circa 55 m -mv. (B1002 en B1003) per in concentraties boven 10% van de oplosbaarheid c.q. 15 mg/l (zie 86865-DP-26 en bijlage 4). In het verticale concentratieprofiel is geen sprake van een dalende trend. Op 100 m -mv. is nog een concentratie van 720 µg/l gemeten, significant hoger dan de boven- en onderliggende meetwaarden. Op basis van deze gegevens mag worden verondersteld dat DNAPL tot grotere diepte is doorgedrongen. Als ondergrens voor de verticale verspreiding van puur product wordt de Formatie van Tegelen aangehouden op circa 115 m -mv.

Over de ruimtelijke verdeling van per direct benedenstrooms van de terreingrens zijn geen gegevens verzameld vanwege het daar aanwezige bos. Het wordt mogelijk geacht dat ter plaatse van het bos DNAPL-baantjes in het bodemprofiel aanwezig zijn. Een aanwijzing hiervoor is dat de concentraties op de terreingrens beduidend hoger zijn dan 10% van de oplosbaarheid.

#### **Synthese**

Omwillen van het ontwerp van een gedifferentieerd onttrekkingsstelsel wordt van de volgende werkhypothese uitgegaan:

##### *Minimale bronzone*

- de verspreidingsdiepte is 115 m -mv.
- er heeft overwegend verticale verspreiding plaatsgevonden, als uitgangspunt wordt gehanteerd dat in horizontale richting gezien het puur product niet ten noorden van de terreingrens aanwezig is

##### *Maximale bronzone*

- de verspreidingsdiepte is 115 m -mv.
- het puur product is, ondanks een overwegend verticale wegzakking, als gevolg van scheefstelling, minder doorlatende laagjes en gecompacteerd zandlagen ook in horizontale richting verspreid. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de horizontale verspreiding gemiddeld over een hoek van 45 graden heeft plaatsgevonden. De puur product grens ligt derhalve op maximaal 115 m ten noorden van meest noordelijke bronlocatie (locatie 31, westelijk van gebouw 7).

---

## 5 Ontwerp

### 5.1 Geohydrologisch model

In het kader van 'regulier' onderzoek op de locatie is een geohydrologisch modelonderzoek [6] uitgevoerd naar de grondwaterstroming en stofverspreiding. Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van MODFLOW en de daaraan te koppelen module MODPATH voor de stroombaanberekeningen. Voor de invoer zijn (regionale) gegevens ontleend aan het 'Model diepinfiltratie locaties Soestduinen en Amersfoort Berg' [5]. Vervolgens is op basis van locatiespecifieke gegevens (boorbeschrijvingen en sonderingen) het model steeds verder gedetailleerd.

In gestuwde gebieden kan de doorlatendheid in de strekkingsrichting beduidend hoger zijn dan in de stuwingsrichting. Dit is in het model verdisconteerd door gebruik te maken van een anisotropiefactor in het tweede watervoerend pakket. Een beschrijving van het model is opgenomen in bijlage 5.

### 5.2 Globaal ontwerp

Ten behoeve van het globale ontwerp is als uitgangspunt een boorgatdiameter van 600 mm aangehouden (maximale diameter pulsborings). Het aantal onttrekkingsfilters dat in het boorgat aangebracht kan worden is afhankelijk van de diameter van de stijgbuizen. De minimale diameter wordt bepaald door het toelaatbare wrijvingsverlies in de stijgbuis. Voor 100 m stijgbuis met een diameter van 1 inch bedragen de stijghoogteverliezen bij een debiet van 2 m<sup>3</sup>/uur ca. 5,2 m. Bij een stijgbuis met een diameter van 2 inch bedraagt dit stijghoogteverlies slechts circa 0,15 m. Om de stijghoogteverliezen in de stijgbuizen te beperken is gekozen voor een diameter van de onttrekkingsfilters van 2 inch.

In overleg met een boorbedrijf is vervolgens indicatief vastgesteld dat in een boorgat van 600 mm 17 onttrekkingsfilters kunnen worden aangebracht. De onttrekkingsfilters worden gelijkmatig in de verticaal afgesteld over het traject van 15 m -mv. tot 115 m -mv.

Voor het toe te passen totale onttrekkingsdebiet wordt het 'conventionele' beheersdebiet voor de bronzone gehanteerd. Dit debiet is vastgelegd in het saneringsonderzoek 1<sup>e</sup> fase [7] en bedraagt 16 m<sup>3</sup>/uur (range +/- 25%).

### 5.3 Scenarioberekeningen

Er zijn twee scenario's berekend: een minimale en een maximale bronzone.

Bij de minimale bronzone is de onttrekkingsput nabij de noordelijke terrein-grens geplaatst, aan de overzijde van het daar aanwezige zandpad. Voor het tweede watervoerend pakket is een (maximaal) onttrekkingsdebiet van 144 m<sup>3</sup>/dag ingevoerd en voor het derde watervoerend pakket een debiet van 240 m<sup>3</sup>/dag. In totaal wordt dus 384 m<sup>3</sup>/dag (16 m<sup>3</sup>/uur) onttrokken. De berekende stroombanen, inclusief verblijftijden, voor het tweede en derde watervoerend pakket staan weergegeven op tekening in bijlage 6.

Bij de maximale bronzone is de onttrekkingsput op circa 100 m ten noorden van de terreingrens geplaatst. De verdeling van de debieten over de watervoerende pakketten is hetzelfde als bij het vorige scenario. De berekende stroombanen, inclusief verblijftijden, voor het tweede en derde watervoerend pakket staan weergegeven op tekening in bijlage 6.

## 5.4 Selectie ontwerp

Op basis van de volgende overwegingen is voor het scenario van de minimale bronzone gekozen:

- De putlocatie van het scenario met de maximale bronzone ligt midden in een bos. Deze locatie wordt vanuit het oogpunt van bereikbaarheid en uitvoeringstechnisch (kappen bomen) niet wenselijk geacht. De put zou derhalve ten noorden van het bos, langs de rijksweg A28 geplaatst moeten worden. Dit heeft als grote nadeel dat het erg lang duurt voordat informatie verkregen wordt over de werking van het gedifferentieerde onttrekkingsstelsel.
- In het geval dat DNAPL zich buiten het intrekgebied van het eerste ontwerp bevindt, kan stroomafwaarts (langs de rijksweg A28) een tweede put geplaatst worden. De filterstelling van deze put kan optimaal worden gekozen op basis van de resultaten van de gedifferentieerde onttrekking. Deze put kan tevens worden gebruikt voor (een deel van) de sanering van de pluimzone.
- Een onttrekking uit een put nabij de terreingrens zal scherpere concentratieverschillen opleveren en zodoende kan de positiebepaling van de DNAPL eenvoudiger zijn, verder stroomafwaarts mag worden verwacht dat de concentratieverschillen zijn afgevlakt.
- Binnen de duur van het NOBIS-project kan met behulp van het gedifferentieerd onttrekkingsstelsel bij de terreingrens de positie van de DNAPL mogelijk worden vastgesteld. Bij het ontwerp voor de maximale bronzone wordt dit uitgesloten gelet op de afstand van de put tot de bronlocaties en de geïnitieerde grondwaterstromingssnelheid.
- Bij de plaatsing van een put nabij de terreingrens wordt mogelijk de bronzone doorboord met het gevolg dat DNAPL zich verder kan verspreiden. Dit risico is bekend en kan geminimaliseerd worden door hier bij het dimensioneren van de boring rekening mee te houden.

## 5.5 Toetsing aan programma van eisen

In dit stadium van het ontwerpproces is bij de toetsing aan het programma van eisen met name de randvoorwaarde dat gedifferentieerd onttrekken goedkoper is dan een traditionele aanpak van belang. Aan de overige randvoorwaarden wordt in de dimensioneringsfase een invulling gegeven.

De kosten van het geselecteerde ontwerp (put nabij terreingrens) en die van de conventionele beheersvariant zijn indicatief geraamd (zie bijlage 7). Voor de gedifferentieerde onttrekking zijn twee scenario's uitgewerkt: een worst-case scenario en een optimaal scenario. De aannamen die zijn gemaakt ten behoeve van de indicatieve kostenramingen zijn opgenomen in bijlage 7. Een samenvattend overzicht is opgenomen in tabel 5.

Tabel 5: Kosten gekapitaliseerd voor 100 jaar

Alternatief	Conventionele beheersvariant	Gedifferentieerde onttrekking (worst case)	Gedifferentieerde onttrekking (optimaal)
Investeringskosten	200.000	320.000	320.000
Exploitatie	5.545.000	5.605.000	4.115.000
Vervangingskosten	115.000	125.000	125.000
<b>Totaal</b>	<b>5.860.000</b>	<b>6.050.000</b>	<b>4.560.000</b>

Uit de gekapitaliseerde kosten blijkt dat in het geval van de 'worst-case' scenario van de gedifferentieerde onttrekking de totale kosten niet noemenswaardig verschillen met die van de 'conventionele' variant (circa 0,2 miljoen). Bij het 'optimale' scenario wordt daarentegen een aanzienlijke kostenreductie van circa 1,3 miljoen bereikt. Gedifferentieerd onttrekken wordt derhalve financieel haalbaar bevonden.

---

## 6 Dimensionering

### 6.1 Algemeen

Voor aanvang van het dimensioneren van het definitieve systeemontwerp is door DGW&T de **aanvullende randvoorwaarde** gesteld dat het grondwater uit het diepere pakket onttrokken moet worden uit 'conventionele lange filters' door middel van onderwaterpompen en dat alleen voor het bovenste deel van het pakket een gedifferentieerd onttrekkingsstelsel mag worden toegepast. De grens tussen beide systemen wordt bepaald door het aantal 'gedifferentieerde kleine onttrekkingsfilters' dat boven elkaar in één boorgat kan worden geplaatst.

De dimensionering van het conventionele systeem en de zuivering worden slechts kort toegelicht, aangezien deze geen innovatieve aspecten in zich hebben.

### 6.2 Boormethode

Er is een afweging gemaakt tussen het uitvoeren van de boring als puls boring of als zuig boring (zie bijlage 8). Hierbij zijn de volgende aspecten gewogen:

- financiële aspecten; een puls boring is duurder dan een zuig boring
- puls boren is veiliger ten aanzien van verspreiding van puur product
- bij zuig boren wordt een grote hoeveelheid boorspoeling de boring ingedrukt, dit moet eerst opgepompt worden
- verwijderen pleisterwand bij zuig boring kan probleem zijn met kleine onttrekkingsfilters

Op basis van deze afweging is gekozen voor een puls boring. Met name het risico ten aanzien van de doorboring van bronzones (zie par. 5.4) en daarmee de mogelijke verspreiding van puur product heeft hierbij de doorslag gegeven.

De maximale binnendiameter van een puls boring is 550 mm. In zo'n boring kunnen afhankelijk van de gekozen stijg- en filterbuisdiameter meerdere filters worden afgesteld. Gelet op de dimensionering van de put komen slechts enkele (nederlandse) boorbedrijven in aanmerking die materiaal/materieel voorradig hebben en ervaring hebben met het plaatsen van een dergelijk complex filtersysteem.

### 6.3 Onttrekkingsstelsel

#### Filterunits

Het onttrekkingsstelsel wordt opgebouwd uit zogenaamde filterunits. Een filterunit bestaat uit:

- een filter van 3 meter lengte, omstort met filtergrind. De diameter van het filter is tenminste 2 inch; bij een diameter van 1 inch kunnen de wrijvingsverliezen oplopen tot enkele meters en dat levert een significante beperking op voor het pompdebiet (zie par. 5.2)
- filteromstorting van 0,5 meter aan boven- en onderzijde van het filter
- een bentonietprop van 1 meter tussen de filterunits

De lengte van een filterunit is derhalve 5 meter. De bentonietafdichtingen tussen de filters worden aangebracht met behulp van een stortkoker.

Om de afdichtingen goed aan te kunnen brengen kunnen maximaal 11 filterunits in een boorgat van 550 mm worden aangebracht. De bovenkant van de eerste filterunit wordt aangebracht op 11 m -mv. De units worden direct boven elkaar aangebracht, hetgeen betekent dat de onderkant van de onderste unit een einddiepte heeft van 66 m -mv.

De technische uitvoering van de puls boring is vastgelegd in een programma van eisen (zie bijlage 9). De opstelling van de onttrekkingsfilters in het boorgat en de wijze van aanvulling van het boorgat is weergegeven op tekening in bijlage 10.

De lengte van een filterunit kan afhankelijk van de bodemopbouw in de installatiefase worden bijgesteld.

### **Opnamecapaciteit**

De opnamecapaciteit van het onttrekkingssysteem moet groter zijn dan het beoogde debiet van 20 m<sup>3</sup>/uur. De opnamecapaciteit van een filterunit  $Q_f$  (m<sup>3</sup>/sec) is afhankelijk van de doorlatendheid  $k$  (m<sup>3</sup>/sec), de boordiameter  $d$  (m) en de filterlengte ( $L$ ), volgens [8]:

$$Q = \pi \cdot d \cdot L \cdot k^{0.5} / 30$$

De opnamecapaciteit van een filterunit, uitgaande van een minimale doorlatendheid van 10<sup>-4</sup> m/sec, een boordiameter van 0,55 m en een filterlengte van 3 m, bedraagt minimaal 6,2 m<sup>3</sup>/uur. De opnamecapaciteit van het totale systeem is derhalve ruim voldoende.

## **6.4 Pompsysteem**

De 11 filterunits tot 66 m -mv. worden aangesloten op een vacuumpompsysteem. Het te initiëren vacuüm zorgt voor de onttrekking van grondwater. Er kan een onderdruk van 100 mbar worden bereikt en daarmee een zuighoogte van 9 meter waterkolom. Het onttrokken water komt in het vacuumvat en wordt door middel van een centrifugaalpompe naar de zuivering gepompt.

Een systeem met onderwaterpompen is voor deze toepassing niet geschikt. Bij gebruik van deze pompen zijn vanwege de grootte van de boordiameter meerdere putten noodzakelijk om een gelijkwaardig gedifferentieerd onttrekkingssysteem te realiseren. De kosten zijn dientengevolge hoog.

Een systeem met zuig/perspompompen wordt niet aanbevolen omdat de opvoerhoogte beperkt is (tot 5 m waterkolom), het systeem onderhoudsgevoelig is, het grondwater pulserend wordt onttrokken waardoor de gemeten concentraties minder betrouwbaar zijn en bovendien zo'n systeem niet goedkoper is dan een vacuumsysteem.

### **Opstelhoogte vacuumpompsysteem**

De maximale opvoerhoogte van een vacuumpompsysteem is 9 meter, maar de voorkeur gaat uit naar een statische zuighoogte, dit is het hoogteverschil tussen het pompsysteem en de waterspiegel in de filters, van 7,5 m waterkolom. De opstelhoogte van het pompsysteem moet hierop zijn afgestemd. De opstelhoogte wordt bepaald door de laagst voorkomende grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, de grondwaterstandsverlaging in de put en stromingsverliezen in de filteromstorting en in de filters.

De laagst voorkomende grondwaterstand is aangehouden op 7,0 m -mv. De met het geohydrologisch model berekende grondwaterstandsverlaging is 0,2 à 0,4 m.

---

Het totale stromingsverlies in een stijgbuis bij een debiet van 2 m<sup>3</sup>/uur is aangehouden op 1,5 meter. Het vacuumpompsysteem dient derhalve op een diepte van 1,5 m -mv. te worden geïnstalleerd.

### **Detailering pompsysteem**

Het pompsysteem, met een capaciteit van maximaal 20 m<sup>3</sup>/uur, wordt aangesloten op het onttrekkingsstelsel en een waterzuivering op het MCW-terrein te Leusden. Het pompsysteem is een DM-VEX onttrekkingsstelsel, bestaande uit een onderdrukketel, een vacuumpomp, een centrifugaalpomp en drie trilvorkmetingen.

Het pompsysteem wordt opgesteld in een container. Dit heeft als voordeel dat de installatie van het stelsel in de container van te voren geheel boven maaiveld uitgevoerd kan worden. De container wordt in de put op 0,5 m hoge betonpoeren geplaatst zodat ook onder de container gewerkt kan worden. Alle filters dienen apart te kunnen worden bemonsterd en geregeld. Om monsternamen in de onttrekkingsleidingen mogelijk te maken, dienen deze uitgevoerd te worden met een afsluit-, belucht- en aftapbaar gedeelte. Dit deel van de leiding is zo groot dat het volume ervan voldoende is om er een watermonster uit te nemen. Berekend is dat voor de monsternamen ongeveer een 0,8 m lang stuk recht leidingwerk nodig is. Hierbij wordt uitgegaan van een verticale opstelling van het monsternametraject. Dit betekent dat de verzamelleiding op 1 à 1,5 meter boven de bodem van de te plaatsen container wordt aangebracht. Hieruit volgt dat het onttrekkingsstelsel zich op ruim 2 meter boven de bodem van de pompsysteem bevindt.

Om voldoende grondwater te kunnen onttrekken, wordt de container in een put met een diameter van ongeveer 5 meter en een diepte van ca. 3,5 m -mv. geplaatst. De put wordt afgewerkt met een putring van betonelementen. De onttrekkingsfilters worden ter hoogte van de putbodem afgewerkt. De zuigleidingen worden via de bodem van de container aangesloten. Via een flensverbinding aan de buitenzijde van de container wordt de persleiding naar de waterzuivering gelegd en aangesloten.

In de bodem van de put wordt een waterdichte opvangput geplaatst om waswater en eventueel vrijkomend lekwater of condenswater uit de container op te vangen. In deze opvangput wordt een pomp met ingebouwd vlotterstelsel geplaatst, zodat vrijkomend water automatisch naar de waterzuivering kan worden gepompt (er zal een persleiding naar de waterzuiveringsinstallatie worden gelegd en aangesloten). In de opvangput wordt tevens een hoog water signalering geplaatst om te voorkomen dat het opgevangen water ongemerkt in de bodem kan verdwijnen.

## **6.5 Conventioneel systeem**

Op twee andere plaatsen in de directe omgeving van de gedifferentieerde onttrekkingsput, zal door middel van een pulsborings een lang onttrekkingsfilter geplaatst worden. De onttrekkingsfilters hebben een filterlengte van 10 meter en een filteromstorting tot 1,5 m boven en onder het filter. Aan beide zijden van de filteromstorting wordt een kleiafdichting van 0,5 m aangebracht. De beide onttrekkingsfilters worden respectievelijk afgesteld van 72 tot 86 m -mv. en van 86 tot 100 m -mv. De technische uitvoering van de pulsboringen is vastgelegd in een programma van eisen (zie bijlage 9).

In ieder onttrekkingsfilter wordt een onderwaterpomp met een maximale capaciteit van 10 m<sup>3</sup>/uur aangebracht. Beide onderwaterpompen worden via ondergronds afgewerkte persleidingen aangesloten op de waterzuivering.

In iedere persleiding wordt een elektromagnetische debietmeter geplaatst. De debietmeters worden afgewerkt in PVC-putten.

## 6.6 Detaillering geohydrologisch model

Het bestaande geohydrologische model (zie bijlage 5) is ten behoeve van de gedifferentieerde onttrekking verder gedetailleerd (zie bijlage 11): de bodemopbouw is in meerdere modellagen opgesplitst.

Er is voor gekozen het modelgrid (aantal cellen per laag) niet aan te passen. Ter plaatse van de onttrekking bedraagt de celgrootte 10 meter. Voor het dimensioneren van het debiet, het uitvoeren van stroombaanberekeningen, het berekenen van de verlagingen in de omgeving en vaststellen van het invloedsgebied van de onttrekking is deze celgrootte toereikend. Bij MODFLOW is er een maximum aantal cellen dat gedefinieerd kan worden. Bij het gekozen modelgrid, is het mogelijk om het model op te delen in maximaal 15 modellagen. In totaal zijn 11 modellagen beschikbaar om onttrekkingen in te voeren; in de twee bovenste modellagen (1,2) en de twee onderste modellagen (14,15) wordt geen grondwater onttrokken. Het is dus noodzakelijk drie onttrekkingsfilters gecombineerd te plaatsen in één modellaag. Gezien de verontreinigingssituatie is er voor gekozen de bovenste drie filterunits samen te voegen in één laag.

In tabel 6 is de aangepaste modelschematisatie weergegeven. In figuur 1 in bijlage 11 is de verticale schematisatie van de modellagen in combinatie met de filterstelling gepresenteerd. In tabel 5 is tevens de initiële debietconfiguratie vermeld. In totaal wordt met een debiet van 20 m<sup>3</sup>/uur (480 m<sup>3</sup>/dag) grondwater onttrokken. Voor de 11 filters tot 66 m -mv is een debiet van 32 m<sup>3</sup>/dag ingevoerd. Het debiet uit de beide diepe filters is aangehouden op elk 64 m<sup>3</sup>/dag. De werkelijke debieten zijn afhankelijk van de doorlatendheid, de stijghoogte en de aangebrachte onderdruk.

Tabel 6: Geohydrologische invoerparameters ter plaatse van het MCW terrein

Geohydrologische eenheid	M-odel-laag	Diepte (m tov N.A.P.)	Dikte (m)	Debiet	K <sub>hor</sub> (m/d)	K <sub>ver</sub> (m/d)	c (dagen)	kD <sub>2</sub> waarde (m <sup>2</sup> /d)	porositeit
eerste watervoerend pakket	1	+8 tot -2	10		10	10	-	75	0,33
<i>eerste scheidende laag</i>	2	-2 tot -2,1	0,1		0,01	0,01	10	-	0,33
tweede watervoerend pakket	3	-2,1 tot -17	15	96	15	15	-	420/ 1.050*	0,33
	4	-17 tot -22	5	32					
	5	-22 tot -27	5	32					
<i>tweede scheidende laag</i>	6	-27 tot -32	5	32	15	0,025	200	-	0,33
derde watervoerend pakket	7	-32 tot -37	5	32	50	50	-	4.350	0,33
	8	-37 tot -42	5	32					
	9	-42 tot -47	5	32					
	10	-47 tot -52	5	32					
	11	-52 tot -57	5	32					
	12	-57 tot -75	18	64					
	13	-75 tot -92	17	64					
	14	-92 tot -120	28	-					
derde scheidende laag en vierde watervoerend pakket	15	-120 tot -224	104	-	12	0,087	800	1.200	0,33
Geohydrologische basis									

k-waarde in de x-richting. De k-waarde (en doorlaatvermogen) in de y-richting is afhankelijk van de ingevoerde anisotropie  
 .. doorlaatvermogen freatisch pakket kH, met H als verzadigde pakketdikte



---

## Modelberekeningen

Het intrekgebied en de grondwaterstandsverlagingen zijn berekend bij de voornoemde debieten. In tekening 86553-TG-1 is het toestromingsgebied bij veranderend debiet weergegeven. Het toestromingsgebied wordt gevormd door de projectie op het maaiveld van alle stroombanen die in een bepaald filter eindigen. De stroombanen kunnen zich hierbij op alle diepten bevinden. Het toestromingsgebied is hierdoor altijd groter of gelijk aan het intrekgebied. Het intrekgebied of voedingsgebied is dat gebied waar alle waterdeeltjes die uiteindelijk in de putten stromen, in de bodem infiltreren.

Uitgaande van een debiet van 32 m<sup>3</sup>/dag/filter is in tekening 86553-TG-1 het invloedsgebied van de onttrekking per watervoerend pakket weergegeven. Uit tekening 86553-TG-1 blijkt dat stroomafwaarts van de onttrekking bij een onttrekking van 480 m<sup>3</sup>/dag verontreinigd water wordt aangetrokken terwijl deze bij een debiet van 120 m<sup>3</sup>/dag niet meer optreedt.

Uit de modeluitkomsten blijkt dat volledige beheersing plaatsvindt van de per verontreiniging in het grondwater, inclusief de drie bronlocaties op het MCW-terrein bij een totaal debiet van 20 m<sup>3</sup>/uur. Het betreft hier de bronlocaties ten westen van gebouw 7, de uiterste noordwesthoek van gebouw 1 en de bronlocatie langs de westgrens van het MCW-terrein. De (kleinere) bronlocatie zoals aangetoond in het grondwater onder gebouw 1, wordt alleen in het tweede watervoerende pakket beheerst: indien hier DNAPL is doorgedrongen tot in het derde watervoerende pakket (dieper dan N.A.P. -30 m) dan wordt dit niet beheerst. Het uitbreiden van het onttrekkings(beheers)-systeem of het verhogen van het onttrekkingsdebiet dient dan te worden onderzocht.

Op basis van te verzamelen gegevens (debieten, verlagingen) in de uitvoeringsfase wordt het geohydrologisch model gevalideerd.

## 6.7 Zuivering

In de zuivering dienen verontreinigde lucht- en waterstromen te worden gereinigd tot gehalten beneden de lozingseisen. De genoemde stromen zijn afkomstig van de gedifferentieerde onttrekking en de conventionele onttrekking (totaal circa 20 m<sup>3</sup>/uur) en van een locatie op het MCW-terrein (deelsanering op locatie 31, naar verwachting circa 5 m<sup>3</sup>/uur).

Voor het ontwerp van de zuivering is de algemene kwaliteit van het vrijkomende grondwater uit het diepe(re) pakket bepaald. Het grondwater uit diverse peilbuizen is bemonsterd en geanalyseerd op een aantal macroparameters. Ten aanzien van de verwachte influentconcentraties is in eerste instantie rekening gehouden met concentraties van circa 15.000 µg/l aan VCK (met name tetrachlooretheen).

Voor de waterzuivering is een programma van eisen opgesteld (zie bijlage 12).

## 6.8 Meet- en regeltechniek

Aangezien het pompsysteem continu (onbemand) bedreven wordt, is een meet- en regelsysteem nodig dat er voor zorgt dat het systeem optimaal functioneert en bij calamiteiten een waarschuwingssignaal afgeeft. De procesbesturing kan volledig geautomatiseerd worden, maar er kan ook voor een semi-automatische procesbesturing worden gekozen. Hierbij spreekt het voor zich dat de investeringskosten van de regeling toenemen indien het systeem verder geautomatiseerd wordt.

---

Daartegenover staat echter dat de personeelskosten lager worden. Het regeltechnische en financiële optimum van de besturing zal mede afhankelijk zijn van de storingsgevoeligheid van de installatie en de bedrijfstijd (in principe eeuwigdurend).

Beide pompen van het pompsysteem, de beide onderwaterpompen, de pomp in de opvangput, de afzuigventilator in de container en de drie debietmeters worden aangesloten op de schakelkast in de container. Deze schakelkast is voorzien van een PLC en een Centraal Alarmerings- en Registratie-Systeem (CARS).

Op deze wijze vindt een continue bewaking en registratie plaats en worden alle toegepaste motoren (pompen en ventilatoren) op het juiste moment in- of uitgeschakeld.

De debietregeling van de verschillende onttrekkingsfilters wordt handmatig uitgevoerd door middel van regelkleppen. De debietmeting (portable debietmeter) en de monsternamen worden eveneens handmatig verricht.

## 6.9 Toetsing aan programma van eisen

Bij de dimensionering van het gedifferentieerde onttrekkingsstelsel is nog geen invulling gegeven aan de randvoorwaarde dat het vrijkomende bemalingswater in verschillende stromen behandeld en/of geloosd kan worden.

Vooralsnog worden eerst de resultaten van een proefperiode van twee jaar afgewacht. Op het moment dat aangetoond wordt dat het technisch mogelijk en kosteneffectief is om het bemalingswater in deelstromen van verschillende kwaliteit te scheiden kan het stelsel eenvoudig worden aangepast. Door het bijplaatsen van een onderdrukketel in de pompput (hier is bij de dimensionering rekening mee gehouden) kan het bemalingswater in twee deelstromen gescheiden worden. Afhankelijk van de kwaliteit van de deelstromen, mogelijk kan één stroom direct geloosd worden, wordt de zuivering geoptimaliseerd (bijv. bijplaatsen zuiveringsunit).

---

## Literatuurlijst

- 1 Consortium DNAPLKAR; 1997; Basisprojectplan 'Karakterisatie van DNAPL sites (DNAPLKAR)
- 2 Pankow, J.F., Cherry, J.A.; 1996; Dense Chlorinated Solvents and other DNAPL's in Groundwater: History, Behavior and Remediation; 1st Edition, Waterloo Press, Portland, Oregon
- 3 Anderson, M.R., R.L. Johnson en J.F. Pankow; 1992; Dissolution of Dense Chlorinated Solvents into Groundwater. 3. Modelling Contaminant Plumes from Fingers and Pools of Solvent; Environ. Sci. Technol. 26, nr. 5, pp. 901-908
- 4 Waterloo Centre for Groundwater Research (WCGR); 1994; Diagnosis and Remediation of DNAPL sites; WCGR, Arlington, Virginia
- 5 Iwaco; 1996; OEDI-model
- 6 'Oranjewoud'; 1998; Geohydrologisch modelonderzoek
- 7 'Oranjewoud', 1998, Saneringsonderzoek 1<sup>e</sup> fase Mechanisch Centrale Werkplaats en Oude Tankgarage-complex (MCW/OTG) te Leusden
- 8 TU Delft, faculteit Civiele Techniek, 1996, Groundwater abstraction and artificial recharge, volume 1: groundwater abstraction



---

## Bijlage 1: Stuwingsrichting en helling bodemopbouw

---

### **Algemene informatie Rijks Geologische Dienst (RGD)**

Meer dan algemene kennis over het gebied nabij het MCW terrein is niet bekend: de stuwing heeft plaatsgevonden vanuit oostelijke richting vanuit de Gelderse Vallei, de strekking van de gestuwde lobben is noord-zuid. De diepte van de stuwing is gelijk aan de diepte van het glaciële bekken, hetgeen ongeveer N.A.P. -50 m bedraagt. De dip van de gestuwde lagen zal met toenemende diepte afnemen. Over het algemeen kan de hellingshoek variëren tussen de 10 en 80 graden. Naarmate je verder van het gestuwde gebied verwijderd bent kan de stuwing overgaan in plooiing. Het zal duidelijk zijn dat de aard van de stuwing op lokale schaal kan afwijken van deze algemene kenmerken.

### **Beschikbare informatie binnen project**

Het afleiden van de helling van gestuwde lagen door het correleren van boringen en sonderingen heeft slechts een beperkte praktische waarde (Ruegg en van de Wateren, mededelingen RGD V35 afl 1 t/m 7, 1981). In de praktijk blijkt dit vaak onuitvoerbaar tenzij kleilagen goed te vervolgen zijn. Bestudering van de gegevens die beschikbaar zijn (boringen en sonderingen) bevestigde deze bewering. In de ondiepe boringen wordt geen klei aangetroffen en deze kunnen mede door de geringe diepte niet gebruikt worden voor het afleiden van de stuwingshoek. Uit de diepe sonderingen blijkt dat er weinig duidelijke kleilagen worden aangetroffen in het gebied, op basis waarvan correlatie zou kunnen plaatsvinden. Nadere beschouwing van de sonderingen in profielen loodrecht op de stuwingsrichting (oost-west) gaf alleen in het meest zuidelijke profiel (sondering 928-912-934-916) een vermoeden van stuwing: in sondering 928 wordt een complex van lagen met een lage conusweerstand en een hoog wrijvingsgetal aangetroffen tussen 12 en 18 m -mv., in 912 tussen 16 en 19 m -mv. en in 934 tussen 23 en 29 m -mv. De sonderingen liggen echter dermate ver van elkaar verwijderd (50 tot 100 meter), dat de hellingshoek van de kleilaag (mits het dezelfde laag betreft) slechts enkele graden bedraagt.

### **Informatie Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG-TNO)**

Om een scheefgestelde laag met een helling van 45 graden over een diepte van 50 meter te kunnen volgen (50 meter is maximale diepte stuwing) dienen minimaal drie diepe boringen/sonderingen binnen een afstand van 50 meter te liggen. Hieruit kan worden afgeleid dat bij TNO beschikbare boringen (die verder dan 100 meter van elkaar af liggen) weinig kunnen toevoegen aan de beschikbare informatie. Drie diepe boringen maken al deel uit van de projectinformatie. In een gebied met een oppervlak van 1 vierkante kilometer waarin het defensie terrein gesitueerd is, zijn verder nog 5 ondiepe RGD boringen beschikbaar (tot ongeveer 12 m -mv.).

### **Conclusie**

Mocht stuwing voorkomen onder het MCW terrein dan zal deze hoofdzakelijk een dip hebben in oost-west richting en zal het transport van puur product in oostelijke richting bevordert worden. Dit zou wellicht de breedte van de pluim met verontreinigd grondwater kunnen verklaren. Stuwing kan hoogstwaarschijnlijk niet tot verregaande migratie van product in noordelijke richting hebben geleid. De hoge concentraties in de minifilters langs de A28 zijn dan ook vermoedelijk eerder toe te schrijven aan verontreinigd grondwater in de pluim dan aan de aanwezigheid van puur product ter plekke van deze minifilters.



---

## **Bijlage 2: Boorbeschrijvingen en verticale doorlatendheidsverdeling**

Deze bijlage is niet in de digitale versie van het rapport opgenomen.



---

## Bijlage 3: Historie en verontreinigingssituatie MCW-terrein

## Historie

Het onderzoeksterrein is sinds 1957 in gebruik als tankwerkplaats. De totale oppervlakte van het MCW-terrein bedraagt 11,3 ha. Op het terrein bevinden zich onderhoudswerkplaatsen, de- en montagehallen, verfspuit-en reinigingsruimten en bijbehorende opslagplaatsen, kantoren en overige infrastructuur.

Op de locatie verricht men onderhoud aan divers militair materieel, waaronder tanks e.d. Tevens worden ter plaatse grootschalige revisie en/of renovatieprojecten ten aanzien van dergelijk materieel uitgevoerd.

## Verontreinigingssituatie

De grond en het grondwater ter plaatse zijn sterk verontreinigd met de volgende componenten: vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen, vluchtige aromaten, minerale olie en individuele zware metalen. Voor het gedifferentieerd onttrekken is met name de verontreinigingssituatie van het grondwater van belang. In het onderstaande wordt deze kort samengevat.

### Vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen

De verontreiniging met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen in het grondwater betreft vooral een verontreiniging met tetrachlooretheen (per).

De verontreinigingssituatie in het grondwater voor per op het MCW-terrein is weergegeven in de tekeningen 87202-GWV-1 (4,0-10 m -mv.) en 87202-GWV-2 (10-50 m -mv.). Buiten het MCW-terrein is de verontreinigingssituatie weergegeven op de tekeningen 87202-GWV-3 (10-50 m -mv.) en 87202-GWV-4 (50-145 m -mv.). De tekeningen zijn opgenomen in het hoofdrapport.

Uit tekening 87202-GWV-1 blijkt dat het grondwater op een diepte van 4-10 m -mv. ter plaatse van het grootste gedeelte van gebouw 1 en ten noorden en noordwesten van gebouw 1 sterk verontreinigd is met per. Binnen de contour van de sterke verontreinigingen zijn drie brongebieden aanwezig waarbinnen de gemeten concentraties de interventiewaarde (40 µg/l) meer dan 25 maal overschrijden. Deze drie bronlocaties zijn waarschijnlijk de oorzaak van een groot deel van de thans in het grondwater aanwezige verontreinigingen. Naast genoemde hoofdbronnen zijn vermoedelijk (talrijke) kleine(re) bronlocaties aanwezig in gebouw 1. Overigens betreft de 25 maal de interventiewaardecontour een arbitraire grens. Hoewel deze grens een indicatie geeft van de zone waarin concentraties tot 1% van de oplosbaarheid worden aangetoond en dus een aanwijzing voor puur product kunnen vormen is de verontreinigingscontour van 25 maal de interventiewaarde presentatietechnisch gekozen. De oppervlakte van de sterke verontreiniging (binnen de I-contour) ter plaatse van het MCW-terrein bedraagt circa 35.000 m<sup>2</sup>.

Uit de tekeningen 87202-GWV-2, -GWV-3 en -GWV-4 blijkt dat de verontreiniging vanuit de verschillende bronlocaties (zie 87202-GWV-1) is weggezakt naar het diepere grondwater en zich verspreid in een noordelijke tot noordoostelijke richting. Hierdoor vormen de in het ondiepe grondwater nog te onderscheiden verontreinigingen op grotere diepte één verontreiniging.

Buiten het MCW-terrein is op een aantal locaties onderzoek uitgevoerd naar de omvang van de perverontreiniging in het grondwater. Langs de Rijksweg A28 zijn minifilters geplaatst. Ten noorden van de Rijksweg A28 is het grondwater uit een aantal bestaande onttrekkingsputten bemonsterd. Het betreft hier de beregeningsput ter plaatse van de golfbaan, de brandput ter plaatse van politieschool 'De Boskamp' en de onttrekkingsputten ter plaatse van het hoofdkantoor van DHV. Daarnaast zijn ten noorden van de Rijksweg A28 in totaal vier boringen (1004 t/m 1007) verricht tot een diepte van circa 100 m -mv. waarin peilbuizen op verschillende diepten zijn afgesteld. Deze locaties zijn weergegeven op tekening 87202-GP-1 (opgenomen in hoofdrapport).

De grondwaterverontreiniging buiten het MCW-terrein is niet in verticale richting afgeperkt. In horizontale richting heeft langs de A28 een globale afperking plaatsgevonden in het traject tussen 10,0-50 m -mv.





---

Op basis van de beschikbare gegevens wordt de oppervlakte binnen de I-contour ter plaatse van het MCW-terrein en daarbuiten geschat op groter dan 65.000 m<sup>2</sup>. Het totale oppervlak binnen de streefwaarde-contour wordt geschat als groter dan 200.000 m<sup>2</sup>.



---

## **Bijlage 4: Analyseresultaten (VCK) grondwater**

Deze bijlage is niet in de digitale versie van het rapport opgenomen.



---

## Bijlage 5: Beschrijving geohydrologisch model

---

## 1 Inleiding

In opdracht van de Dienst Gebouwen, Werken & Terreinen, Regionale Directie West-Nederland van het Ministerie van Defensie heeft Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. een geohydrologisch modelonderzoek uitgevoerd voor het gebied rond de Mechanische Centrale Werkplaats en het Oude Tankgarage-complex te Leusden.

Het geohydrologisch modelonderzoek is uitgevoerd met behulp van het computerprogramma MODFLOW. Dit programma is een (quasi) 3-dimensionaal grondwaterstromingsmodel waarmee zowel stationaire als niet-stationaire grondwaterstroming gesimuleerd kan worden. MODFLOW heeft als voordeel dat door koppeling met MODPATH en met MT3D respectievelijk stroombaanberekeningen en stoftransportberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Het nadeel van MODFLOW is dat slechts één anisotropiefactor per modellaag kan worden opgegeven. Differentiatie binnen één modellaag (deels gestuwd, deels niet gestuwd) is hierdoor niet mogelijk.

De regionale modelinvoer is grotendeels gebaseerd op het 'Model diepinfiltratie locaties Soestduinen en Amersfoort Berg' (verder te noemen het OEDI-model) dat is vervaardigd in het kader van de MER-OEDI, fase 3 (IWACO, 1996). De modelinvoer heeft plaatsgevonden door op kaarten weergegeven modelparameters te digitaliseren en in te voeren in MODFLOW. De diepteligging van de boven- en onderkant van modellen zijn als digitaal bestand beschikbaar gesteld door WMN. De lokale invoergegevens zijn grotendeels gebaseerd op de veldgegevens die zijn verzameld in het kader van voorgaande (bodem)onderzoeken op het MCW/OTG-terrein en op gegevens zoals die uit beschikbare gegevens zijn geïventariseerd [lit 1 t/m 9].

## 2 Modelopzet

### 2.1 Modelbegrenzing en modelnetwerk

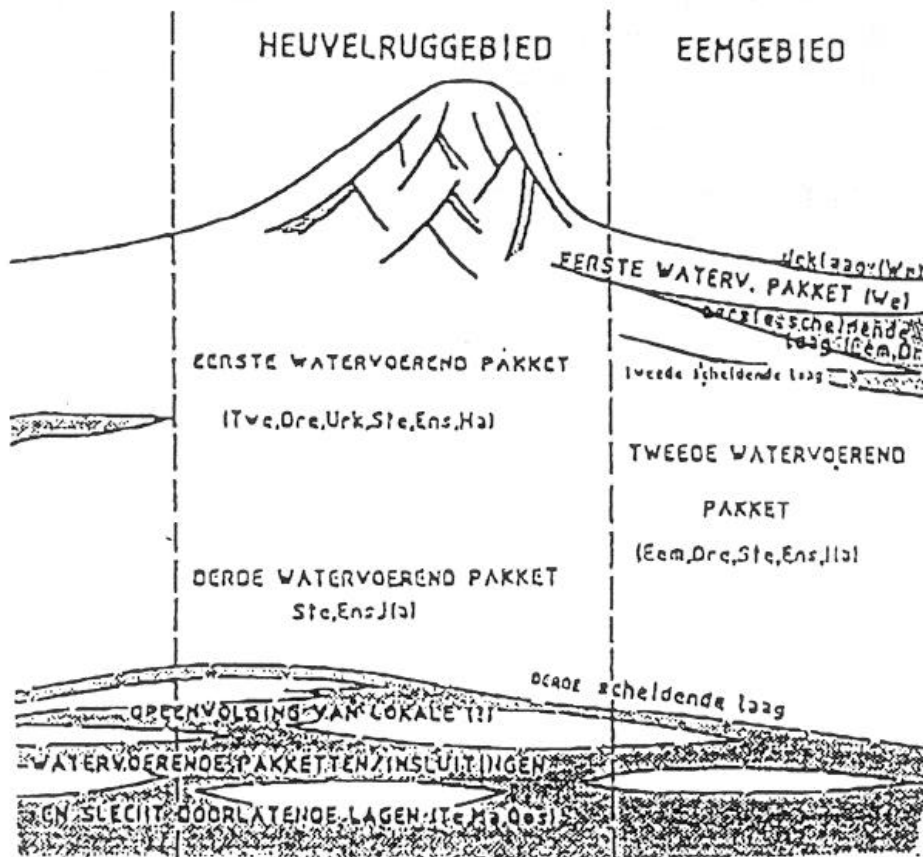
MODFLOW maakt gebruik van de zogenaamde eindige differentie methode. Het modelgebied is door middel van een rechthoekig raster verdeeld in een groot aantal cellen. De celgrootte varieert van 10 bij 10 meter ter plaatse van het MCW/OTG-terrein en maximaal 650 bij 650 m ter plaatse van de modelranden. Het modelgrid en het modelgebied (opp. 7,5 x 8,5 km<sup>2</sup>; Y-coördinaten 150 tot 157.5; X-coördinaten 456 tot 464.5) is weergegeven in tekening 86598-N-1.

De noord- en oostgrens van het modelgebied zijn vrijwel gelijk aan de modelgrenzen van het OEDI-model. De west- en zuidgrens zijn gekozen op een afstand van 3 maal de spreidingslengte vanaf de onderzoekslocatie. Door deze gebiedsbegrenzing heeft de modelrand een verwaarloosbare invloed op de berekeningsresultaten (zie ook paragraaf 2.4.1).

### 2.2 Bodemopbouw en geohydrologische schematisering

#### 2.2.1 Regionale bodemopbouw en geohydrologische schematisering

De gehanteerde indeling in watervoerende pakketten en scheidende lagen is aangegeven in figuur 1.



Figuur 1: Geohydrologische schematisering (provincie Utrecht, 1987)

Tijdens het Saalien bereikte het landijs Nederland. Door het gewicht en de beweging van ijstongen over de tot grote diepte bevroren bodem werd de oorspronkelijke topografie van het pre-glaciale landschap veranderd.

Op verschillende plaatsen groeven de ijstongen zich diep in de ondergrond en duwden het vrijkomend materiaal lateraal weg. Zo ontstonden diepe glaciale bekkens (Eem Vallei) en stuwwallen (Utrechtse Heuvelrug). Het reliëf binnen het modelgebied varieert daarom sterk. Ter plaatse van de Leuserheide komen terreingedeelten voor hoger dan N.A.P. +50 m, terwijl in de omgeving van Oud-Leusden het maaiveld op circa N.A.P. +2 m wordt aangetroffen.

De afzettingen van de Formaties van Urk en Twente ter plaatse van de stuwwallen vormen het *eerste watervoerend pakket*. Deze afzettingen hebben een fluviale oorsprong.

Na afsmelting van het landijs zijn in de ontstane bekkens schelpenhoudende zanden en kleilagen afgezet met een mariene oorsprong behorende tot de Eem-Formatie en de fluviale afzettingen van de Formatie van Drente. De *eerste scheidende laag* bestaat in de meeste gevallen uit de kleiige en soms venige afzettingen van de Eem-Formatie. De *tweede scheidende laag* wordt in de Eem Vallei gevormd door de klei- en lemafzettingen van de Formatie van Drente. In de gestuwde gebieden ontbreken beide scheidende lagen.

In de gestuwde delen wordt het *tweede watervoerend pakket* gevormd door de zandige afzettingen van de Formaties van Enschede en Urk (Sterksel). Kleilagen komen slechts plaatselijk voor.

De grofzandige afzettingen van de Formatie van Harderwijk vormen het *derde watervoerend pakket*. Geohydrologisch kan voor de gestuwde gebieden in het modelgebied tot aan de derde scheidende laag worden gesproken over één watervoerend pakket (1<sup>e</sup>+2<sup>e</sup>+3<sup>e</sup> wvp). De *derde scheidende laag* wordt gevormd door de kleiige afzettingen van de Formatie van Tegelen. Dit pakket van fluviaatiele oorsprong bestaat overwegend uit klei met inschakelingen van fijn zand. De bovenzijde van deze laag wordt in Soestduinen en in het noordoosten van Amersfoort aangetroffen op een diepte van circa N.A.P. -130 m. Ter plaatse van het MCW/OTG-terrein wordt deze scheidende laag ondieper verwacht (N.A.P. -115 m).

Onder de Formatie van Tegelen vormen de doorlatende afzettingen van de Formatie van Maassluis het *vierde watervoerend pakket*. Zowel de jongere afzettingen van de Formatie van Oosterhout als de oudere afzettingen van de Formatie van Tegelen kunnen eveneens tot het vierde watervoerend pakket worden gerekend indien deze zandig ontwikkeld zijn.

De *geohydrologische basis* wordt gevormd door het systeem van kleilagen van tertiaire ouderdom (Formaties van Oosterhout en Breda). Deze afzettingen zijn van mariene oorsprong. De bovenzijde van deze laag wordt ter plaatse van Amersfoort verwacht op een diepte van circa N.A.P. -220 m. De hier beschreven geohydrologische schematisatie is samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Geohydrologische schematisatie ter plaatse van het MCW/OTG-terrein

Diepte (m - N.A.P.)	Formatie		Geohydrologische eenheid	Samenstelling
	Gestuwd gebied	Gelderse Vallei		
maaiveld tot -5	Formaties van Twente en Urk		<b>eerste watervoerend pakket</b>	gestuwde zanden, afgewisseld met klei- en grindlaagjes
-5 tot -5,1 <sup>**</sup>	-	Eem-Formatie	eerste scheidende laag	klei en veen
-5,1 tot -30	Formaties van Sterksel en Urk		<b>tweede watervoerend pakket</b>	gestuwde zanden, afgewisseld met klei en grindlaagjes
-30 tot -30,1 <sup>**</sup>	-	Formatie van Drente	tweede scheidende laag	klei en leemafzettingen
-30,1 tot -117	Formatie van Harderwijk		<b>derde watervoerend pakket</b>	grove zanden en grind
-117 tot -121	Formatie van Tegelen		derde scheidende laag	klei en fijn zand
-121 tot - 220	Formaties van Tegelen en Maassluis		<b>vierde watervoerend pakket</b>	grove zanden
Geohydrologische basis (-220 m)				

\* zie tekening 86598-C-2, waarbij het gebied met een weerstand groter dan 10 dagen overeenkomt met gestuwd gebied

\*\* ter plaatse van het MCW/OTG-terrein ontbreken de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> scheidende laag.

## 2.2.2 Lokale bodemopbouw en geohydrologische schematisering

Het maaiveld ter plaatse van het MCW-terrein bevindt zich op N.A.P. +9 m tot N.A.P. +11 m. De maaiveldhoogte van het OTG-terrein varieert van N.A.P. +9 m tot N.A.P. +15 m. Het 1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> watervoerende pakket vormen ter plaatse één watervoerend pakket. Ter plaatse van het MCW/OTG-terrein is een beperkte hydraulische weerstand opgenomen tussen het eerste en het tweede (circa 10 dagen), respectievelijk het tweede en derde watervoerende pakket (circa 200 dagen). Deze hydraulische weerstand is op basis van 'expert judgement' vastgesteld en representeert de verticale weerstand, gevormd door verspreid voorkomende kleibandjes in gestuwde formaties (IWACO, 1996).

Bij uitgevoerde bodemonderzoeken is in de noordwesthoek van het MCW-terrein en in de sonderingen langs de A28 op een diepte van circa N.A.P. -1 m een (houtrijke) veenlaag aangetroffen met een maximale dikte van circa 1,0 m. Op basis van de thans beschikbare boringen en sonderingen komt het beeld naar voren dat het veen naar de randen toe dunner wordt en uiteindelijk overgaat in een leemlaagje ('Oranjewoud', 1997).

De derde scheidende laag werd, op basis van literatuurgegevens, ter plaatse verwacht op een diepte van N.A.P. -115 m of circa 125 m -mv. In de periode juni-augustus 1997 zijn ter plaatse van het MCW-terrein twee diepboringen uitgevoerd tot respectievelijk 146 en 120 m -mv. (respectievelijk de boringen B1002 en B1003 op tekening 87202-GP-1 (opgenomen in hoofdrapport) en in bijlage 2). Vanaf een diepte van respectievelijk N.A.P. -104 en -98 m zijn fijnere afzettingen aangetroffen. Afzonderlijk waarneembare kleilagen zijn aangetroffen op een diepte van N.A.P. -128 tot -129 m (B1002) en N.A.P. -86 tot -87/-101 m tot -101,25 m (B1003). De exacte begrenzing van de Formatie van Tegelen is niet geverifieerd door middel van lithostratigrafisch onderzoek.

Geconcludeerd kan worden dat de 3<sup>e</sup> scheidende laag ter plaatse van het MCW-terrein niet een duidelijke kleilaag betreft, maar een complexe afwisseling van zandig en kleilig ontwikkelde lagen en laagjes. Tevens kan op basis van de beschikbare gegevens worden geconcludeerd dat het watervoerende pakket boven de Formatie van Tegelen zeker niet homogeen is en alles bevat tussen klei en zeer grof zand met grind. Een overzicht van de geohydrologische situatie wordt gegeven in tekening 86865-DP-25 (opgenomen in hoofdrapport; voor de ligging van dit lengteprofiel wordt verwezen naar tekening 87202-GP-1).

### 2.2.3 Bodemconstanten

De geohydrologische parameters die zijn ingevoerd zijn weergegeven in diverse tekeningen. In de tekeningen 86598-C-1 en 86598-C-2 zijn de hydraulische weerstanden voor de eerste en tweede scheidende laag weergegeven. In de tekeningen 86598-kD-1 tot en met -kD-4 is het doorlaatvermogen van de diverse watervoerende pakketten in de x-richting weergegeven. De hydraulische weerstand van de derde scheidende laag (klei van de Formatie van Tegelen) is voor het gehele modelgebied gesteld op 800 dagen. Voor de porositeit is voor alle modellagen een waarde van 0.33 aangenomen. Een overzicht van de gehanteerde invoerparameters ter plaatse van het MCW/OTG-terrein wordt gegeven in tabel 2.

Tabel 2: Geohydrologische invoerparameters ter plaatse van het MCW/OTG-terrein

Geohydrologische eenheid	Dikte (m)	K <sub>hor</sub> (m/d)	K <sub>ver</sub> (m/d)	c (dagen)	kD <sub>2</sub> -waarde (m <sup>2</sup> /d)	Porositeit
eerste watervoerend pakket	10	10	10	-	75 <sup>**</sup>	0,33
eerste scheidende laag	.1	0.01	0.01	10	-	0,33
tweede watervoerend pakket	28	15 <sup>*</sup>	15 <sup>*</sup>	-	420/1.050 <sup>*</sup>	0,33
tweede scheidende laag	.1	5E <sup>-04</sup>	5E <sup>-04</sup>	200	-	0,33
derde watervoerend pakket	87	50	50	-	4.350	0,33
derde scheidende laag	4	5E-03	5E-03	800	-	0,33
vierde watervoerend pakket	100	12	12	-	1.200	0,33
Geohydrologische basis						

k-waarde in de x-richting. De k-waarde (en doorlaatvermogen) in de y-richting is afhankelijk van de ingevoerde anisotropie. In het model is een anisotropiefactor van 2,5 aangenomen voor het tweede watervoerend pakket. Het doorlaatvermogen voor dit pakket bedraagt in een west-oost richting 420 m<sup>2</sup>/d en in een zuid-noord richting 1.050 m<sup>2</sup>/d. Het totale doorlaatvermogen van het 1e, 2e en 3e watervoerend pakket tezamen (uitgaande van een overwegend zuid-noord optredende stromingsrichting) bedraagt 5.475 m<sup>2</sup>/d.

..

doorlaatvermogen freatisch pakket kH, met H als verzadigde pakketdikte

### Hydraulische weerstand

Zoals reeds aangegeven is in de noordwesthoek van het MCW-terrein en in de sonderingen langs de A28 een veenlaag aangetroffen. Tijdens recent uitgevoerde boorwerkzaamheden ter plaatse is een aantal ongeroerde grondmonsters gestoken van een aantal bodemlagen, waaronder de veenlaag. Met behulp van de falling head methode is vervolgens door het materiaalkundig laboratorium van Fugro

te Arnhem van drie ongeroerde grondmonsters de waterdoorlatendheid bepaald. De resultaten van deze metingen staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3: Doorlatendheid (afgeleide  $k_v$ -waarde, falling head methode)

Monster	Diepte (in m -mv.)	Beschrijving boorprofiel	Doorlatendheid (in mm/sec)	Doorlatendheid (in m/dag)	Weerstand (dagen)
B1002.1	8,25-8,85	veen incl. zandlaagjes	2,5E-04	0,0216	13 (alleen veen in beschouwing nemend)
B1002.2	9,2-10,2	matig fijn zand	6,9E-03	0,60	1,7
B1002.3	146,0-146,5	fijn zand met kleibrokjes	7,2E-03	0,62	0,8

Uit de doorlatendheidsbepalingen blijkt dat de weerstand van de veenlaag zodanig laag is, dat de weerstand voor de 1<sup>e</sup> scheidende laag, zoals ingevoerd op basis van expert judgement (10 dagen, IWACO, 1996) niet hoeft te worden aangepast. Wel is de top van de eerste scheidende laag (veen- en leemlaag) ter plaatse van het MCW-terrein en langs de A28 aangepast op basis van de gemeten diepte van de top van deze laag (gem. N.A.P. -2 m). Vervolgens zijn de doorlaatvermogens voor het eerste en tweede watervoerend pakket gewijzigd conform de afname- en toename van de dikte.

De hydraulische weerstand van de tweede scheidende laag is gebaseerd op expert judgement en gesteld op 200 dagen ter plaatse van het MCW/OTG-terrein (IWACO, 1996). De tweede scheidende laag representeert de verticale weerstand, gevormd door de verspreid voorkomende kleibandjes in gestuwde formaties. Uit monster B1002.2 blijkt een verticale weerstand van 1,7 dagen. Omgerekend naar de dikte van het tweede watervoerend pakket (28 meter) bedraagt de totale verticale weerstand van deze modellaag 48 dagen. Gezien het feit dat in het steekmonster geen duidelijke kleilaagjes aanwezig waren terwijl die lokaal wel voorkomen, kan worden geconcludeerd dat de parameter zoals gebaseerd op expert judgement kan worden gehandhaafd.

Uit B1002.3 blijkt dat de doorlatendheid gelijk is aan de doorlatendheid van monster B1002.2. Hieruit moet worden geconcludeerd dat de aangetroffen klei waarschijnlijk kleilensjes betreft die slechts een beperkte invloed hebben op de verticale doorlatendheid. Op basis van B1002.3 kan geen uitspraak worden gedaan over de totale weerstand van de 3<sup>e</sup> scheidende laag.

Een overzicht van de modelschematisatie van de slecht doorlatende lagen ten opzichte van de situatie zoals die in de uitgevoerde boringen is aangetroffen, is gegeven in het geohydrologische lengteprofiel (zie tekening 86865-DP-25).

#### Doorlaatvermogen

Ten aanzien van deze parameter kan worden opgemerkt dat in het Grondwaterplan (provincie Utrecht, 1987) en de Grondwaterkaart van Nederland (DGV-TNO, 1979) een doorlaatvermogen voor dit watervoerend pakket wordt vermeld zoals dat is afgeleid uit een pompproef en uit een putproef die zijn uitgevoerd ter plaatse van Amersfoort Berg en in de onmiddellijke omgeving van het MCW-terrein. Uit de resultaten van beide blijkt dat het totale doorlaatvermogen respectievelijk 6.400 m<sup>2</sup>/dag en ruim 6.000 m<sup>2</sup>/dag bedraagt. Voor de horizontale doorlatendheid worden, op basis van de pompproeven waarden van respectievelijk 51 en 71 m/d aangegeven.

Gezien de boorbeschrijving van de boringen B1002 en B1003 is ter plaatse van het MCW-terrein een  $k_D$ -waarde in de orde van grootte van 6.000 m<sup>2</sup>/dag reëel.

#### Anisotropiefactor

Uit resultaten van pompproeven in gestuwde gebieden, is gebleken dat de doorlatendheid in de strekkingsrichting beduidend hoger kan zijn dan in de stuwingsrichting (IWACO, 1992).

De verhouding tussen de doorlatendheid in de strekkingsrichting en die in de stuwingsrichting (anisotropiefactor) is onder meer afhankelijk van de mate waarin doorlatende afzettingen zijn meegeestuwd. Over het algemeen kan worden aangenomen dat de verhouding groter wordt wanneer de afzettingen minder doorlatend worden. In MODFLOW kan alleen een anisotropiefactor per modellaag en niet voor een deel van het modelgebied worden ingevoerd. Aangezien de invoering van een anisotropiefactor met name voor het tweede watervoerende pakket van belang kan zijn (zie tekening 86865-DP-25) is voor deze modellaag een anisotropiefactor 2,5 ingevoerd. Dit houdt in dat de



doorlatendheid in noord/zuid-richting (y-richting) 2,5 maal zo groot wordt dan de opgegeven doorlatendheid in oost/west-richting (x-richting).

## 2.3 Grondwateronttrekking en oppervlaktewater

### 2.3.1 Grondwateronttrekking

In het model zijn de onttrekkingen van zowel industriële winningen als van de drinkwaterwinning Amersfoort Berg opgenomen. De ingevoerde debieten zijn de gemiddelde jaaronttrekkingen voor 1994. Dit omdat ijking van het model heeft plaatsgevonden aan de hand van jaargemiddelde grondwaterstijghoogten voor 1994. De ingevoerde debieten per pompput van de waterwinning Amersfoort Berg zijn gecorrigeerd voor zowel de draaiuren als voor de volumestroom van de pomp. Een overzicht van de aanwezige grondwateronttrekkingen in het modelgebied is vermeld in tabel 4. De locaties van de belangrijkste onttrekkingen staan weergegeven in tekening 86598-GO-1.

Tabel 4: Grondwateronttrekkingen (1994)

Locatie	X-coörd.	Y-coörd.	Diepte (in m tov N.A.P.)	Debiet (in 1.000 m <sup>3</sup> /jaar)	Watervoerend pakket
MCW Leusden	152.4	459.7	-60 tot -95	14,8	3e
Bosbad Amersfoort	151.9	463.2	-55 tot -60	16,0	3e
Bernardkazerne	152.2	462.1	-5 tot -30	4,9	2e
Wolter en Dros	153.3	464.1	0 tot -60	57,8	2e en 3e
Amersfoort Berg	153.6	461.6	10 tot -35	2.960	2e
DHV faciliteiten	153.7	460.6	-80 tot -100	74,7 <sup>1</sup>	3e
Amersfoort verzekering	154.7	463.1	0 tot -7	81,0	1e
Golfbaan Hoge Klei	153.6	460.2	10 tot -38	35,0	1e en 2e
san. Teut/Bredesteeg	155.3	463.3	0 tot -8	41,9	1e
san. garagebedrijf Brink	155.6	463.3	1 tot -6	14,9	1e
san. Hapam	155.9	462.7	1 tot -7	138,8	1e
san. St Elisabeth	155.4	463.0	0 tot -2	3,3	1e

<sup>1</sup> Onttrokken water wordt geïnfiltreerd (0-13 m-mv). Infiltratiedebiet is gelijk aan onttrekking

Voor de stroombaanberekeningen ter bepaling van de waarschijnlijke ligging van het verontreinigingsfront zijn de debieten ter plaatse van Amersfoort Berg opgesplitst in een drietal perioden met sterk afwijkende debieten (bron: WMN): 1957-1967, 1968-1972 en 1973-1996.

Voor de overige onttrekkingen zijn op basis van onttrekkingsgegevens van de provincie Utrecht (REGSEL) gemiddelde debieten bepaald voor de periode 1972 tot en met 1996. Gegevens van voor 1972 zijn niet beschikbaar. Deze gemiddelde debieten voor de periode 1972-1996 staan vermeld in tabel 5.

Tabel 5: Grondwateronttrekkingen (1972-1996)

Locatie	X-cord.	Y-cord.	Diepte (in m tov N.A.P.)	Gem. debiet (in 1.000 m <sup>3</sup> /jaar)	Watervoerend pakket
MCW Leusden (I, II en III)	152.4	459.7	-60 tot -95	65,2	3e
Bosbad Amersfoort	151.9	463.2	-55 tot -60	28,2	3e
Bernardkazerne	152.2	462.1	-5 tot -30	6,6	2e
Wolter en Dros	153.3	464.1	0 tot -60	115,1	2e en 3e
Amersfoort Berg (P1 t/m P10)	153.6	461.6	10 tot -35	1957-1967; 1 put (nr 7), 523,9 1968-1972; 10 putten, 1.789,8 1973-1996; 10 putten, 2.877,4	2e
DHV facilities	153.7	460.6	-80 tot -100	70,2 <sup>1</sup>	3e

<sup>1</sup> Ontrokken water wordt geïnfiltreerd (0-13 m -mv). Infiltratiedebiet is gelijk aan onttrekking

### 2.3.2 Interactie grondwater/oppervlaktewater

In het modelgebied komt nauwelijks oppervlaktewater van betekenis voor. Een uitzondering zijn de vrij afwaterende- en poldergebieden aan de noord- en oostzijde van het modelgebied. Voor deze deelgebieden is de in het OEDI-model gehanteerde drainageweerstand ingevoerd (zie tekening 86598-DW-1) en zijn de polderpeilen ingevoerd op basis van de Waterstaatskaart Amersfoort West, kaartblad 32.

## 2.4 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden van het model worden gevormd door een stijghoogteafhankelijke randflux in de onderscheiden watervoerende pakketten en een grondwateraanvulling aan de bovenzijde (bovenrandvoorwaarde).

### 2.4.1 Randfluxen

De fluxen over de rand van het model zijn afhankelijk van de bekende stijghoogten buiten het modelgebied. De randstijghoogten zijn opgegeven voor alle zijden van het modelgebied. Bij het opstellen van het model is een inschatting gemaakt van de benodigde afstand van de modelgrenzen, met name de west- en zuidgrens, tot de onderzoekslocatie. De achterliggende gedachte is dat de randen zover weg moeten liggen dat eventuele fouten in de randvoorwaarden geen of een geringe invloed hebben op de te berekenen effecten van de hydrologische ingrepen. In het algemeen wordt uitgegaan van 3 tot 4 keer de spreidingslengte. In formulevorm (Stromingen, 1997):

$$3 a 4 \sqrt{k D_{tot} c_{boven}}$$

met:

$k D_{tot}$  = doorlaatvermogen (m<sup>2</sup>/dag)

$c_{boven}$  = verticale weerstand boven de geplande ingreep (dagen)

Aangezien thans geen grondwater wordt onttrokken uit het vierde watervoerend pakket en een onttrekking (sanering/beheersing verontreiniging) in het vierde watervoerend pakket niet waarschijnlijk is, bedraagt de spreidingslengte ter plaatse van de onderzoekslocatie (MCW-terrein X-coörd. 153.3, Y-coörd 459.4) circa 800 meter. De west- en zuidgrens van het model zijn daarom gekozen op X-coörd. 150.0 en Y-coörd. 456.0.

Gesteld kan worden dat wanneer het type randvoorwaarde voor een belangrijk deel van de modelrand wordt veranderd, en dit geen noemenswaardige invloed heeft op het berekende effect van de ingreep, de rand voldoende ver van de ingreep is verwijderd. Uit controleberekeningen met een onttrekking van 2.400 m<sup>3</sup>/dag ter plaatse van de onderzoekslocatie bleek dat geen flux- of stijghoogteverandering aan de west- en zuidgrens optreedt.

#### 2.4.2 Grondwateraanvulling

De resultante van de neerslag minus de verdamping levert het neerslagoverschot c.q. -tekort. Het neerslagoverschot minus de oppervlakkige afstroming geeft de grondwateraanvulling. Voor de grondwateraanvulling in het modelgebied is uitgegaan van jaargemiddelden. De grondwateraanvulling is gebaseerd op eerdere berekeningen met het programma FLUZO (IWACO, 1996). Voor de ijking van het onderhavige model is de grondwateraanvulling voor 1994, zoals berekend met FLUZO, in het model ingevoerd.

Voor de stroombaanberekeningen in het kader van het vaststellen van de ligging van het verontreinigingsfront is een grondwateraanvulling ingevoerd op basis van het langjarige gemiddelde. In het kader van de opzet van het GMN-model (IWACO, 1992) is geconcludeerd dat het kalenderjaar 1985 als een gemiddeld hydrologisch jaar naar voren komt. Tevens hebben zich in de voorliggende jaren geen extreme situaties voorgedaan in meteorologisch opzicht. Als gemiddelde grondwateraanvulling wordt in het GMN-model voor de Utrechtse Heuvelrug 0,9 mm/dag aangegeven, waarbij tengevolge van de sterke variatie in grondgebruik, grondwaterstandsdiepte, bodemopbouw en regionale verschillen in neerslag de grondwateraanvulling per deelgebied kan variëren tussen 0,8 mm/d en 1,4 mm/d (heidegebied). In tabel 6 wordt voor enkele vormen van bodemgebruik de gemiddeld langjarige grondwateraanvulling (Gehrels, 1995) vermeld, zoals die in het onderhavige model is ingevoerd voor de stroombaanberekeningen.

Tabel 6: Gemiddeld langjarige grondwateraanvulling (mm/jaar en mm/dag) voor enkele vormen van bodemgebruik

Bodemgebruik	Op grof zand met diepe grondwaterstanden (mm/jaar)	Grondwateraanvulling (mm/dag)
Naaldbos	199	0,55
Loofbos	349	0,96
Gras	354	0,97
Heide	438	1,2
grasverstuiving	547	1,5

Op basis van tabel 6 en de topografische kaart is per te onderscheiden deelgebied de gemiddeld langjarige grondwateraanvulling ingevoerd. Voor stedelijk gebied is aangenomen dat de grondwateraanvulling 0,3 mm/d bedraagt (zie tekening 86598-GA-1).

#### MCW/OTG-terrein

Op het MCW-terrein zijn twee bezinksloten aanwezig. De hemelwaterafvoer van het MCW-terrein (terreinverharding en gebouwen) komt uit op deze bezinksloten.

Het overtollige hemelwater afkomstig van de parkeerplaats aan de zuidzijde van het MCW-terrein wordt geloosd op de bezinksloot ten westen van de portiersloge. Het overige deel van het MCW-terrein loost op de bezinksloot op het noordoostelijke deel van het MCW-terrein.

Voor het MCW-terrein is, gelet op het oppervlak aan terreinverharding, aangenomen dat de grondwateraanvulling 0,1 mm/d bedraagt. Het deel van het neerslagoverschot dat niet direct bijdraagt aan de grondwateraanvulling is gelijk aan het infiltratiedebiet voor beide bezinksloten. Uitgaande van een oppervlak van 10 ha (250 m bij 400 m) en een aangenomen actueel neerslagoverschot van 365 mm/jaar, zal bij een grondwateraanvulling van 0,1 mm/dag (36,5 mm/jaar) voor het MCW-terrein zelf circa 32.850 m<sup>3</sup>/jaar (90 m<sup>3</sup>/dag) worden geloosd op de bezinksloten. Naar evenredigheid van oppervlak is een infiltratiedebiet van 10 m<sup>3</sup>/dag voor de zuidelijke bezinksloot en 80 m<sup>3</sup>/dag voor de noordoostelijke bezinksloot aangenomen.

Ter plaatse van het OTG-terrein hebben in het verleden enkele gebouwen gestaan die in 1988 zijn gesloopt. Tot 1988 heeft lozing van de hemelwaterafvoer van de terreinverharding plaatsgevonden op de bezinksloot in het uiterste noordwesten van het OTG-terrein. Gelet op het relatief kleine percentage terreinverharding op het OTG-terrein is aangenomen dat de grondwateraanvulling voor het gehele OTG-terrein vanaf 1957 1,2 mm/dag (heide en struiken) bedraagt.

### **3 IJking en gevoeligheidsanalyse**

#### **3.1 IJking**

In deze paragraaf wordt ingegaan op de ijking van het grondwatermodel. Calibratie in de betekenis van het optimaliseren van de geohydrologische parameters is reeds uitgevoerd (IWACO, 1996) en is daarom in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Voor het onderhavige grondwatermodel zijn voor de grondwateraanvulling en de grondwateronttrekkingen de jaargemiddelden over het kalenderjaar 1994 gebruikt. De ijking van het model is uitgevoerd zonder dat een aantal lokale omstandigheden ter plaatse van het MCW/OTG-terrein zijn ingevoerd.

De ijking van de uitkomsten van het model is uitgevoerd aan de hand van de gemeten, gemiddelde stijghoogten over het kalenderjaar 1994. Deze stijghoogten over 1994 zijn voor dit doel door WMN beschikbaar gesteld. De peilbuislocaties zijn weergegeven op tekening 86598-PB-1.

De ijkresultaten voor de geselecteerde meest relevante peilbuizen staan vermeld in tabel 7.

Tabel 7: Gemeten versus berekende stijghoogten (in m tov N.A.P.) voor de meest relevante peilbuizen

Peilbuis	X-coörd	Y-coörd	wvp	Gem. 1994	Berekend	Vershil
0148	155.2	460.0	1	3,10	3,60	0,50
0030	154.7	461.3	1	4,78	3,34	-1,44
0029	155.4	461.5	1	4,22	3,26	-0,96
0028	156.0	462.2	1	1,14	2,81	1,67
0164	152.2	458.0	1	4,60	5,21	0,61
0166	154.9	456.7	1	4,77	4,14	-0,63
0166	154.9	456.7	2	4,39	4,03	-0,36
0056	153.3	459.5	2	4,29	4,30	0,01
0148	155.2	460.0	2	3,21	3,35	0,14
B001	155.0	462.3	3	2,67	2,82	0,15
B005	154.3	461.3	3	3,12	3,21	0,09
B006	155.3	461.9	3	2,42	2,78	0,36
B0074	153.4	463.6	3	2,52	2,71	0,19
B0098	154.0	462.8	3	2,84	2,74	-0,1
B0115	153.1	463.4	3	2,57	2,75	0,18

De orde van grootte van de afwijkingen komt overeen met de orde van grootte van de afwijkingen in het OEDI-model (IWACO, 1996). Gezien het feit dat er géén sprake is van structureel te hoge of te lage berekende waarden, noch van 'rotatie' van stijghoogten, waarbij aan één zijde de stijghoogten gemiddeld te hoog zijn en aan een andere zijde gemiddeld te laag, kan worden gesteld dat de ijking van het model voldoet.

### 3.2 Gevoeligheidsanalyse

Na de ijking is aan de hand van een gevoeligheidsanalyse het effect van een aantal parameters op de modeluitkomsten bepaald. Door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse kan worden nagegaan in hoeverre onzekerheden met betrekking tot de ingevoerde gegevens invloed hebben op de verkregen modelresultaten (stijghoogte en/of stroombanen/verblijftijden).

Voor het model is de gevoeligheid voor de volgende parameters bepaald:

- anisotropie (parameter die slecht bekend is en niet per deelgebied kan worden ingevoerd)
- hydraulische weerstand 2<sup>e</sup> scheidende laag (expert judgement)
- doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten (boven Formatie van Tegelen)

In deze gevoeligheidsanalyse zijn alleen die parameters in beschouwing genomen die van invloed kunnen zijn op grondwaterstroming in het onderzoeksgebied (het gebied zoals begrensd op tekening 86598-PB-1). In de tabellen 8, 9 en 10 is een selectie van peilbuizen opgenomen die zich binnen dit gebied bevinden.

#### 3.2.1 Anisotropie

De parameter die het slechtst bekend is, is de anisotropiefactor. De richting van de anisotropie kan worden afgeleid uit de geologische structuur, waarbij in het algemeen de stuwingsrichting redelijk goed is vast te stellen.

Uit de resultaten verkregen door middel van pompproeven is gebleken dat de doorlatendheid in de strekkingsrichting beduidend groter kan zijn dan in de stuwingsrichting.

In MODFLOW is het niet mogelijk voor een deel van het modelgebied een anisotropiefactor op te geven. Wel is het mogelijk om per modellaag de anisotropie te veranderen. Tussen het MCW-terrein (Leusderheide) en Amersfoort Berg is grotendeels sprake van een noordoostelijke strekkingsrichting (Maarleveld, 1993). De anisotropie die van deze stuwingsrichting het gevolg is, is in het model verdisconteerd door in de Y-richting (noord-zuidrichting) een andere doorlatendheid op te geven dan in de X-richting (oost-westrichting). Op basis van gegevens omtrent de grondwaterstandsdiepte en de maximale stuwingsdiepte (RGD, 1997) is de anisotropie alleen ingevoerd voor het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket (zie ook tekening 86865-DP-25). In tabel 8 zijn de resultaten van de stijghoogteberekeningen vermeld voor anisotropiefactoren 1, 2 en 3. Dit wil zeggen, respectievelijk een gelijke doorlatendheid in noord-zuid en oost-westrichting en een doorlatendheid in de noord-zuidrichting die 2 en 3 maal zo groot is als in de oost-westrichting.

Uit de stijghoogteberekeningen blijkt dat de berekende stijghoogten in beperkte mate worden beïnvloed door de anisotropie.

Tabel 8: Berekende stijghoogten in m t.o.v. N.A.P. (wijziging anisotropiefactor)

Peilbuis	X-coörd	Y-coörd	wvp	Factor 1	Factor 2	Factor 3
0148	155.2	460.0	1	3,62	3,61	3,60
0164	152.2	458.0	1	5,28	5,23	5,19
0166	154.9	456.7	1	4,18	4,15	4,13
0166	154.9	456.7	2	4,07	4,03	4,01
0056	153.3	459.5	2	4,35	4,31	4,28
0148	155.2	460.0	2	3,40	3,36	3,33

Indien naast stijghoogten tevens wordt gekeken naar het verloop (richting) van de stroombanen en verblijftijden dan blijkt dat deze wel in sterke mate worden beïnvloed door de ingevoerde anisotropie.

### 3.2.2 Hydraulische weerstand

De hydraulische weerstand van de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> scheidende laag ter plaatse van het gestuwde gebied representeert de gesommeerde weerstand van de verschillende klei-en keileemlaagjes. Uit zowel regionaal onderzoek waarbij gebruik is gemaakt van de geo(hydro)logische gegevensbank voor het GMN-model alsmede uit lokaal bodemonderzoek ter plaatse van het MCW-terrein blijkt dat de ruimtelijke verbreiding van dergelijke laagjes (dikte en diepte) sterk kan variëren. De gehanteerde waarden zijn gebaseerd op expert judgement (IWACO, 1996). Vanwege de grotere hydraulische weerstand van de 2<sup>e</sup> scheidende laag (200 dagen) heeft deze laag de grootste invloed op het stromingsbeeld. Om deze redenen is voor deze laag een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In tabel 9 zijn de berekende stijghoogten vermeld indien de weerstand van de 2<sup>e</sup> scheidende laag wordt veranderd.

Tabel 9: Berekende stijghoogten in m tov N.A.P. (wijziging weerstand tweede scheidende laag)

Peilbuis	X-coörd	Y-coörd	wvp	C2 ongewijzigd	x 0,5	x 2
0148	155.2	460.0	1	3,60	3,85	3,38
0164	152.2	458.0	1	5,21	5,26	5,16
0166	154.9	456.7	1	4,14	4,32	3,98
0166	154.9	456.7	2	4,03	4,11	3,92
0056	153.3	459.5	2	4,30	4,35	4,23
0148	155.2	460.0	2	3,35	3,47	3,25

Uit de stijghoogteberekeningen blijkt dat de berekende stijghoogten weinig gevoelig zijn voor ingevoerde weerstand voor de 2<sup>e</sup> scheidende laag. Tevens blijkt de stromingsrichting relatief ongevoelig voor de weerstand van deze laag. Uiteraard zijn de verblijftijden hiervoor wel gevoelig. Op basis van deze analyse is er geen reden om de weerstand van de 2<sup>e</sup> scheidende laag te wijzigen.

### 3.2.3 Doorlaatvermogen

In tabel 10 zijn de resultaten vermeld van de modelberekeningen waarbij de doorlatendheid van het tweede watervoerende pakket is verdubbeld. Uit tabel 2 blijkt dat de doorlatendheid in de x-richting voor het tweede watervoerend pakket 15 m/dag bedraagt, waarbij een anisotropiefactor van 2,5 is ingevoerd. Gelet op de aangetoonde bodemopbouw ter plaatse van het MCW-terrein en daarbuiten (zie bijlage 2) kan een (nog) hogere doorlatendheid worden verwacht. Voor de gevoeligheidsanalyse is de doorlatendheid verdubbeld waarbij de anisotropiefactor gelijk is gebleven. Uitgaande van een gelijkblijvende dikte van het tweede watervoerend pakket van 28 meter bedraagt het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket in de y-richting voor de gevoeligheidsanalyse, respectievelijk 1.050 m<sup>2</sup>/dag en 2.100 m<sup>2</sup>/dag. Uit tabel 10 blijkt dat een verdubbeling van de doorlatendheid invloed heeft op de berekende stijghoogten in de diverse watervoerende pakketten ter plaatse van het gestuwde gebied. Een verdubbeling van de doorlatendheid heeft daarnaast aanzienlijke gevolgen voor het verloop (snelheid) van de stroombanen.

Tabel 10: Berekende stijghoogten (in m tov N.A.P.) bij verandering kD-waarde

Peilbuis	X-coörd	Y-coörd	wvp	kD <sub>z</sub> -waarde 1.050 m <sup>2</sup> /dag (in y-richting)	kD <sub>z</sub> -waarde 2.100 m <sup>2</sup> /dag (in y-richting)
0148	155.2	460.0	1	3,60	3,58
0164	152.2	458.0	1	5,21	5,05
0166	154.9	456.7	1	4,14	4,09
0166	154.9	456.7	2	4,03	3,97
0056	153.3	459.5	2	4,30	4,18
0148	155.2	460.0	2	3,35	3,34

### 3.2.4 Resumé

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de berekende stijghoogten relatief weinig gevoelig zijn voor de ingevoerde anisotropie, de hydraulische weerstand van de tweede scheidende laag en het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket.

---

Mogelijk wordt de geringe variatie in stijghoogten veroorzaakt doordat sprake is van een systeem van scheidende lagen met een relatief lage weerstanden en watervoerende pakketten met hoge doorlatendheden. Tevens speelt de invloed van de reliëfverschillen in het modelgebied een belangrijke rol.

De anisotropie en doorlatendheid hebben echter wel invloed op het verloop van de stroombanen en verblijftijden. Gelet op het belang van de anisotropie ten aanzien van de stroombaanberekeningen is een anisotropiefactor van 2,5 voor het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket in het model verdisconteerd. Deze anisotropiefactor komt ongeveer overeen met een gemiddelde anisotropiefactor voor het gebied tussen de Leusderheide, het MCW/OTG-terrein en Amersfoort Berg.



---

## Literatuur

1. Historisch onderzoek en bodemonderzoek op de MCW te Leusden. Oranjewoud versie 2.0, 1997
2. Grondwaterkaart van Nederland. DGV/TNO, 1979
3. Stroming, samenstelling en winning van grondwater in het gebied van de Utrechtse Heuvelrug. RIVM, 1986
4. Onderzoek grondwaterbeheer Midden-Nederland, Modelling watersysteem. IWACO, 1992
5. Grondwaterbeschermingsgebieden. Uitwerkingsplan provincie Utrecht (1993-1997)
6. Grondwaterplan provincie Utrecht (1987)
7. Peilbuisgegevens Landelijk grondwatermeetnet. IGG-TNO (1992-1995)
8. MER-OEDI fase 3, Inrichtingsniveau. IWACO, augustus 1996
9. Stromingen (3), Nederlandse Hydrologische Vereniging (1997, nr.1)
10. Niet-stationaire grondwatermodellering van de Veluwe. Een studie naar de invloed van grondwaterwinning, inpoldering en verloofing op de grondwaterstand sinds 1951. J.C. Gehrels (Vrije Universiteit), 1995.
11. Ice-pushed ridges in the central Netherlands (in glacial deposits in north-western Europe). G.C. Maarleveld, 1993.
12. Lithostratigrafische beschrijving boring 32D0204 op waterwinplaats Amersfoort-berg. RGD, 1997

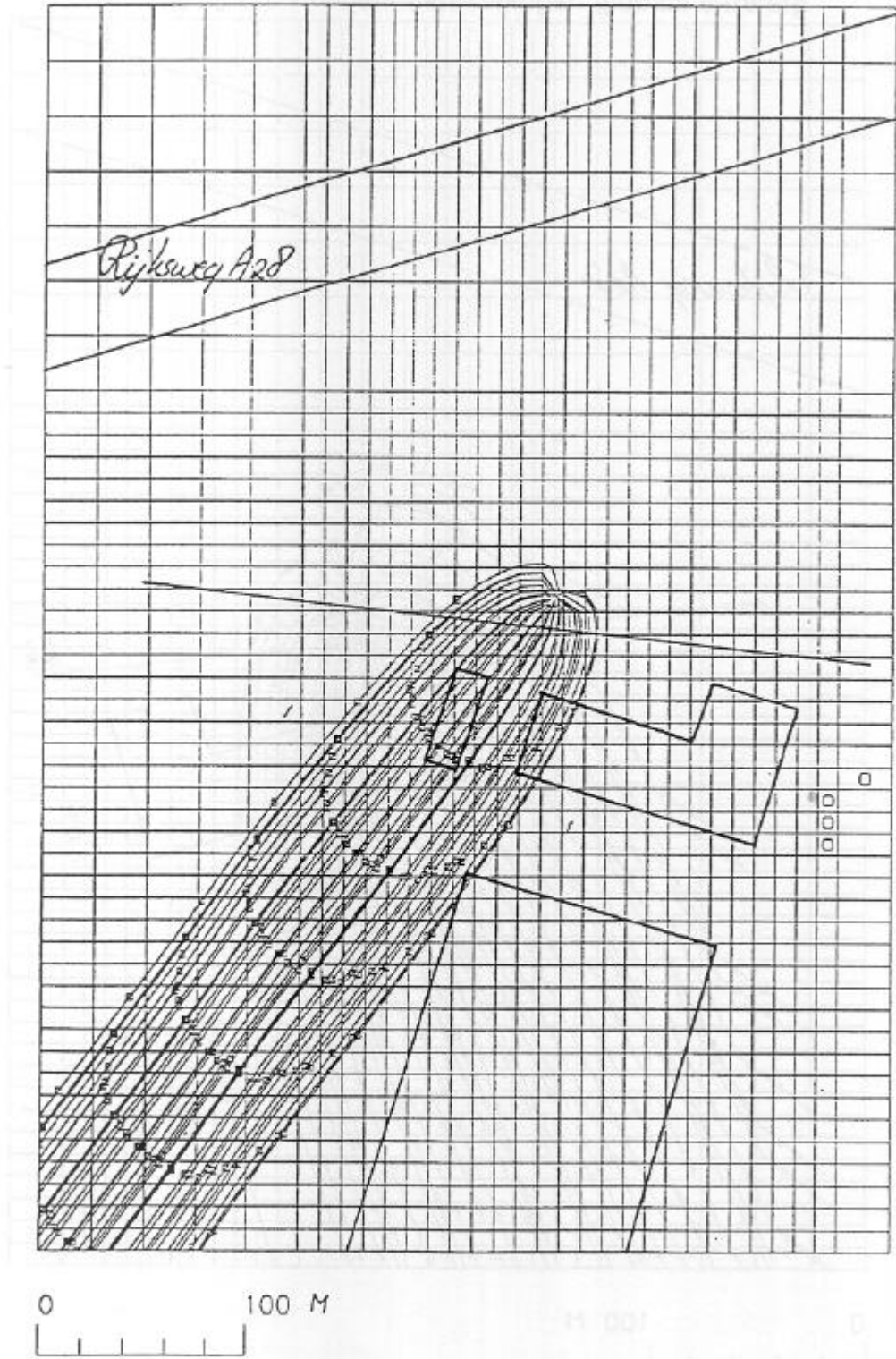


---

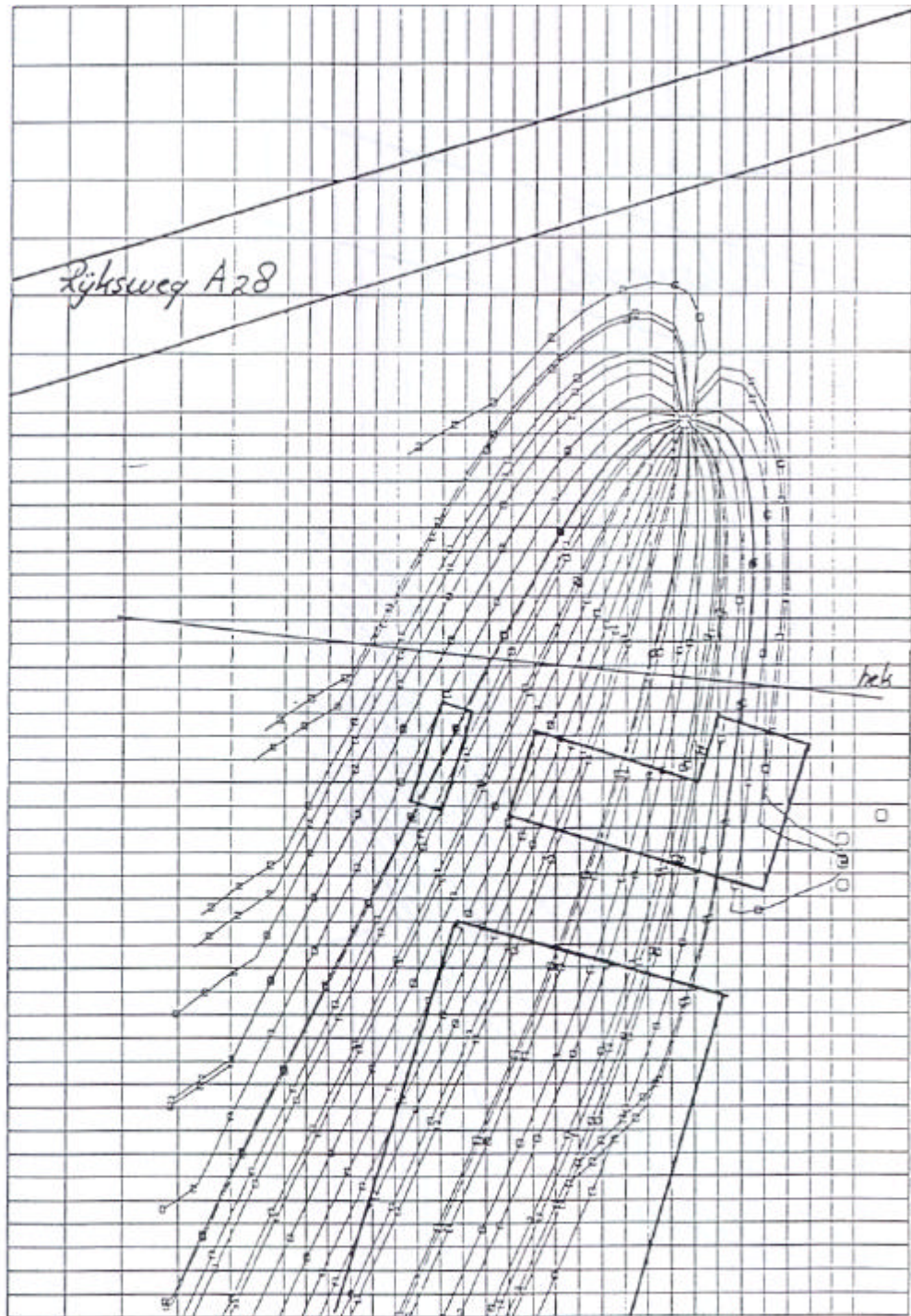
## Bijlage 6: Scenarioberekeningen globaal ontwerp



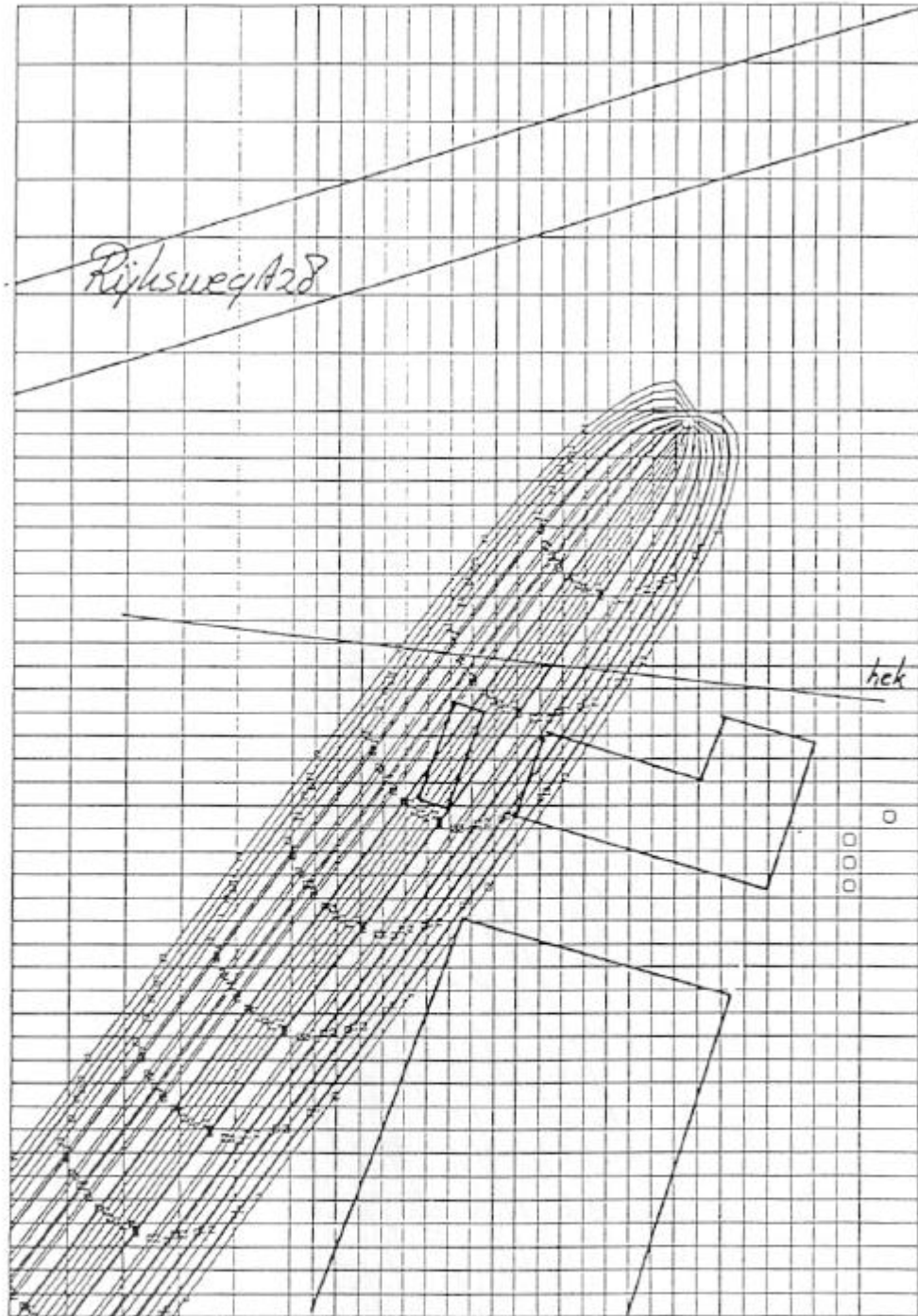
2e wvp,  $Q=144$  m<sup>3</sup>/dag, tijdstap 2 jaar



3e wvp,  $Q=240$  m<sup>3</sup>/dag, tijdstap 2 jaar



2e wvp,  $Q=144 \text{ m}^3/\text{dag}$ , tijdstap 2 jaar



0 100 M

3e wvp, Q=240 m<sup>3</sup>/dag, tijdstap 2 jaar



---

## Bijlage 7: Financiële haalbaarheid

Voor het toetsen van de financiële haalbaarheid zijn de kosten van een conventionele beheersvariant en van de gedifferentieerde onttrekking indicatief geraamd. Voor de gedifferentieerde onttrekking zijn twee scenario's uitgewerkt: een 'worst case' scenario en een 'optimaal' scenario. De uitgangspunten die zijn gehanteerd voor de kostenramingen zijn weergegeven in tabel 1. De kostenramingen zijn opgenomen in tabel 2 en een overzicht van de gekapitaliseerde kosten is opgenomen in tabel 3.

Tabel 1: Uitgangspunten kostenramingen

Variant	Conventionele beheersvariant	Gedifferentieerde onttrekking 'worst case'	Gedifferentieerde onttrekking 'optimaal'
Type boring	zuigboring	zuigboring	zuigboring
Filterstelling	Eén filter van 15 tot 50 m -mv. en één filter van 50 tot 115 m -mv.	17 filters over een traject van 15 tot 115 m -mv.	17 filters over een traject van 15 tot 115 m -mv.
Tijdsduur	eeuwigdurend	eeuwigdurend	eeuwigdurend
<b>Eerste jaar</b>			
Debiet	20 m <sup>3</sup> /uur	20 m <sup>3</sup> /uur	20 m <sup>3</sup> /uur
Concentratie	10.000 µg/l	10.000 µg/l	10.000 µg/l
Bemonstering/analyses onttrekkingsstelsel	2x/jaar 2 filters	6x/jaar 17 filters	6x/jaar 17 filters
Bemonstering/analyses zuivering	52x/jaar	52x/jaar	52x/jaar
Bemonstering/analyses monitoringspeilbuizen	2x/jaar 20 peilbuizen	2x/jaar 30 peilbuizen	2x/jaar 30 peilbuizen
<b>Tweede jaar</b>			
Debiet	20 m <sup>3</sup> /uur	10 m <sup>3</sup> /uur	10 m <sup>3</sup> /uur
Concentratie	10.000 µg/l	15.000 µg/l	15.000 µg/l
Bemonstering/analyses onttrekkingsstelsel	2x/jaar 2 filters	6x/jaar 9 filters	6x/jaar 9 filters
Bemonstering/analyses monitoringspeilbuizen	2x/jaar 20 peilbuizen	2x/jaar 30 peilbuizen	2x/jaar 30 peilbuizen
Bemonstering/analyses zuivering	12x/jaar	12x/jaar	12x/jaar
<b>Volgende jaren</b>			
Debiet	20 m <sup>3</sup> /uur	20 m <sup>3</sup> /uur	10 m <sup>3</sup> /uur
Concentratie	10.000 µg/l	10.000 µg/l	15.000 µg/l
Bemonstering/analyses onttrekkingsstelsel	2x/jaar 2 filters	2x/jaar 2 filters	-
Bemonstering/analyses monitoringspeilbuizen	2x/jaar 20 peilbuizen	2x/jaar 20 peilbuizen	2x/jaar 20 peilbuizen
Bemonstering/analyses zuivering	12x/jaar	12x/jaar	12x/jaar



Tabel 2: Kostenramingen

Variant	Conventionele beheers-variant	Gedifferentieerde onttrekking 'worst case'	Gedifferentieerde onttrekking 'optimaal'
<b>Vaste kosten</b>			
Installatie onttrekkingsput	70.000	85.000	85.000
Leveren en plaatsen betonput	16.000	23.000	23.000
Verleggen kabels en leidingen	5.000	5.000	5.000
Opbreken verhardingen	3.000	3.000	3.000
Installeren onttrekkingsstelsel (inclusief besturing en signalering)	35.000	115.000	115.000
Plaatsing zuivering (incl. vloei-stofdichte bestrating)	12.000	12.000	12.000
Kosten vergunningen, leges	25.000	25.000	25.000
Aansluitkosten	2.000	2.000	2.000
Engineering circa 8%	13.500	21.500	21.500
Onvoorzien en afronding circa 10%	18.500	28.500	28.500
<b>Totaal</b>	<b>200.000</b>	<b>320.000</b>	<b>320.000</b>
<b>Exploitatie eerste jaar</b>			
Onttrekkingsstelsel:			
- bediening en onderhoud	13.000	26.000	26.000
- energiekosten en telefoon	6.000	6.000	6.000
- bemonstering	500	6.000	6.000
Zuivering:			
- bediening en huur	30.000	30.000	30.000
- energiekosten	16.000	16.000	16.000
- actief kool	67.000	67.000	67.000
- bemonstering	13.000	13.000	13.000
Bemonstering monitoringspeilbuizen	4.000	6.000	6.000
Lozingskosten	43.800	43.800	43.800
Analyses:			
- onttrekkingsstelsel	400	10.200	10.200
- zuivering	34.320	34.320	34.320
- monitoringspeilbuizen	4.000	6.000	6.000
Optimalisatie gedif. stelsel (na 0,5 jaar resp. 1 jaar)	-	10.825	10.825
Interpretatie en evaluatie	3.000	18.375	18.375
Evaluatie verificatie	-	20.965	20.965
Onvoorzien en afronding circa 10%	24.980	30.515	30.515
<b>Totaal</b>	<b>260.000</b>	<b>345.000</b>	<b>345.000</b>
<b>Exploitatie tweede jaar</b>			
Onttrekkingsstelsel:			
- bediening en onderhoud	13.000	26.000	26.000
- energiekosten en telefoon	6.000	3.000	3.000
- bemonstering	500	3.000	3.000
Zuivering:			
- bediening en huur	36.000	27.000	27.000
- energiekosten	16.000	11.000	11.000
- actief kool	67.000	47.000	47.000
- bemonstering	3.000	3.000	3.000
Bemonstering monitoringspeilbuizen	4.000	6.000	6.000
Lozingskosten	43.800	21.900	21.900
Analyses:			
- onttrekkingsstelsel	400	5.400	5.400
- zuivering	7.920	7.920	7.920
- monitoringspeilbuizen	4.000	6.000	6.000

Interpretatie en evaluatie	3.000	10.000	10.000
Evaluatie verificatie	-	5.000	5.000
Onvoorzien en afronding circa 10%	20.380	17.780	17.780
<b>Totaal</b>	<b>225.000</b>	<b>200.000</b>	<b>200.000</b>
<b>Exploitatie volgende jaren</b>			
Onttrekkingssysteem:			
- bediening en onderhoud	13.000	13.000	13.000
- energiekosten en telefoon	6.000	6.000	3.000
- bemonstering	500	500	-
Zuivering:			
- bediening en huur	36.000	36.000	27.000
- energiekosten	16.000	16.000	11.000
- actief kool	67.000	67.000	47.000
- bemonstering	3.000	3.000	3.000
Bemonstering monitoringspeilbuizen	4.000	4.000	4.000
Lozingskosten	43.800	43.800	21.900
Analyses:			
- onttrekkingssysteem	400	400	-
- zuivering	7.920	7.920	7.920
- monitoringspeilbuizen	4.000	4.000	4.000
Interpretatie en evaluatie	3.000	3.000	3.000
Onvoorzien en afronding circa 10%	20.380	20.380	15.180
<b>Totaal</b>	<b>225.000</b>	<b>225.000</b>	<b>160.000</b>
<b>Vervanging</b>			
Pompen (1x/10 jaar)	10.000	15.000	15.000
Put (1x/15 jaar)	80.000	80.000	80.000

- Voor de kosten van de zuivering is, terwille van de vergelijkbaarheid tussen de alternatieven, uitgegaan van huur van de installatie(s), mede omdat mogelijkwerwijs in de verschillende alternatieven tussentijds wijziging moet worden gebracht in de opzet van de zuivering (wijziging capaciteit dan wel gehalten)
- de lozingskosten zijn berekend op basis van een tarief van  $f 0,25/m^3$

Tabel 3: Kosten gekapitaliseerd voor 100 jaar (effectief rentepercentage van 4%)

Variant	Conventionele beheersvariant	Gedifferentieerde onttrekking 'worst case'	Gedifferentieerde onttrekking 'optimaal'
Investeringskosten	200.000	320.000	320.000
Exploitatie	5.545.000	5.605.000	4.115.000
Vervangingskosten	115.000	125.000	125.000
<b>Totaal</b>	<b>5.860.000</b>	<b>6.050.000</b>	<b>4.560.000</b>



---

## Bijlage 8: Boortechnieken

### **Pulsboring**

De puls bestaat uit een buis met aan de onderzijde een terugslagklep. Door de puls op diepte op en neer te bewegen wordt sediment losgewerkt dat zich verzamelt in de buis en vervolgens kan worden verwijderd. Het waterpeil in het boorgat wordt lager gehouden dan het grondwaterniveau waardoor het water onderin het boorgat opwelt en het materiaal makkelijker loskomt.

Tegelijk met de vordering van de puls wordt een verbuizing ingelaten (draaien danwel hydraulisch persen) die het boorgat in stand moet houden. Uiteindelijk wordt de wrijving op de buiswand zo groot dat een verbuizing met een kleinere diameter moet worden ingebracht (vertoering of telescopische verbuizing). In het verleden zijn pulsboringen verricht met een maximale diameter van 1.000 mm. Vanwege de ontwikkeling van ander boormethoden worden dergelijke pulsboringen niet meer uitgevoerd. De huidige maximale boordiameter bedraagt circa 600 mm. De benodigde boortijd is bij een puls boring veel groter dan bij andere boormethoden.

### **Zuigboring**

In principe wordt bij de zuigboring geen casing gebruikt. Het boorgat zal tijdens het boren in stand worden gehouden door het instellen van een overdruk. Hierbij wordt in het boorgat een hoger waterniveau gecreëerd dan buiten het boorgat (grondwaterniveau). Door de ingestelde niveauverschillen zal waterverlies optreden. Gelet op de grove samenstelling van het boormateriaal ter plaatse (MCW-terrein) wordt, uitgaande van een boordiepte van meer dan 100 m -mv., een aanzienlijk waterverlies verwacht (in totaal enkele duizenden m<sup>3</sup>). Bij een dergelijk waterverlies kan verdere verspreiding van verontreiniging optreden.

Teneinde het waterverlies te verminderen, c.q. te beperken wordt gebruik gemaakt van een boorspoeling. De boorspoeling kan bestaan uit een afbreekbare, op natuurlijke basis vervaardigde boorspoeling (zetmeel) of door het toevoegen van bentoniet. In combinatie met de fijne fractie van het opgeboorde materiaal (silt en zeer fijn zand) wordt met beide methoden een afpleistering van de boorgatwand verkregen waardoor een aanzienlijk debietsreductie en naval in het boorgat kan worden verkregen. De benodigde hoeveelheid werkwater wordt geschat op enkele tientallen m<sup>3</sup>.

Het gebruik van een boorgatspoeling op basis van zetmeel is niet direct toepasbaar gelet op de volgende onzekerheden:

- de afbreekbaarheid onder anaërobe condities en afbraaksnelheid is onbekend. Indien wel afbraak onder anaërobe condities optreedt kan 'verslijming' van het oorspronkelijke product ontstaan. Verwacht wordt dat indien het afbraakproces optreedt dit meerdere weken (3 à 4 weken) in beslag kan nemen. Vanwege het ontbreken van licht en de benodigde afbraak-enzymen is het echter tevens mogelijk dat helemaal geen afbraak optreedt.
- de invloed op verontreiniging is onbekend. Door de aanwezigheid van organisch materiaal kan de afbraak- of omzetting van de per-verontreiniging optreden met bijbehorende risico's voor ieder afbraak- of omzettingproduct afzonderlijk.

### *Pleisterwand boorgat*

Na het beëindigen van de boorwerkzaamheden en het afstellen van de filters worden de filters 'ontwikkeld'. Door het opvoeren van het debiet wordt ter hoogte van het filter de pleisterwand, aanwezig aan de binnenzijde van het boorgat, en de fijne fractie in de aanwezige bodemlagen verwijderd. Opgemerkt wordt dat het ontwikkelen van putten is afgeleid uit ervaringen met pompfilters met grotere diameters. Door het toepassen van relatief kleine 2" filters is het debiet en daarmee de stromingssnelheid rondom het boorgat laag. In hoeverre de pleisterwand en de fijne fractie kan worden verwijderd bij het onttrekkingsstelsel is niet met zekerheid vast te stellen.

### *Verspreidingsrisico's zuigboring*

Bij de aanwezigheid van puur product in de bodem zijn er drie mogelijke verspreidingsroutes bij zuigboren te onderscheiden:

- het puur product wordt met het losgewoelde bodemmateriaal naar het maaiveld getransporteerd en komt via de bezinkbak weer terug in de bodem. Hoewel vervluchtiging zal optreden is niet uit te sluiten dat sterk verontreinigd water wordt teruggebracht in de bodem.
- het puur product wordt de bodem 'ingeperst' vanwege de ingestelde overdruk
- het puur product zakt naar het diepste punt van de boring en (eventueel) vervolgens naar de eerstvolgende scheidende laag.

De indringafstand van het werkwater wordt geschat op maximaal 15 à 20 meter vanaf het boorgat indien geen boorspoeling wordt toegepast. Bij het gebruik van een boorspoeling zal de indringafstand van het werkwater beperkt blijven tot de eerste meters ten opzichte van het boorgat.

### **Vergelijking pulsborings en zuigborings**

<b>Boormethode</b>	<b>Pulsboring</b>	<b>Zuigboring</b>
Boordiameter	tot 600 mm	> 1.200 mm
Boorsnelheid	10 à 20 m/dag	25 tot 100 m/d
Boorspoeling	geen	soms
Pleisterwand	geen	wel
Waterbezuwaar	toestroming naar boorgat	infiltratie vanuit boorgat



---

## Bijlage 9: Programma van eisen pulsboringen

## Algemeen

- 1 De locatie ligt tussen de reeds verrichte boringen B1002 en B1003 langs de noordrand van het MCW-terrein.
- 2 In totaal worden twee boringen verricht. Beide boringen worden uitgevoerd als puls boring.
- 3 Bij iedere boring wordt, voor de grondlagenbeschrijving, per meter en bij iedere laagsverandering een monster genomen en opgeslagen in verzamelkisten
- 4 Het uitkomend materiaal dient door de opdrachtnemer tijdelijk opgeslagen te worden in afgedekte containers. De containers worden tot 2 weken na afronding van de boorwerkzaamheden gehuurd door de opdrachtnemer.
- 5 Van de boring dient een boorbeschrijving te worden gemaakt volgens de NEN 5104. De definitieve boorstaat dient een diepteschaal ten opzichte van N.A.P. te bevatten.
- 6 De einddiepte van beide boringen bedraagt respectievelijk (maaiveld circa N.A.P. +9,5 m) circa 66 m -mv. (N.A.P. -56,5 m) en circa 100 m -mv. (N.A.P. -90,5 m). Hierbij wordt opgemerkt dat de einddiepte voor boring 1 enigszins van 66 m -mv. kan afwijken i.v.m. flexibiliteit in de filterstellingen.
- 7 De buizen worden voorzien van dieptemerken/labels van duurzaam materiaal. De filterstelling wordt in m t.o.v. N.A.P. aangegeven. De waterpassing en het inmeten van de locatie t.o.v. bebouwing en overige filters (B1002 en B1003) vindt plaats door de opdrachtnemer. De buizen dienen door middel van een schroefdraad met rubberringen of teflon-inleg verbonden te worden. Aan de onderzijde wordt het filter afgewerkt met een dop (schroefdraad met rubberring of teflon-inleg). De bovenste 4 meter van de mantelbuis moet blijven staan i.v.m. bescherming van de filters tijdens aanleg van de pompput.
- 8 De filters worden niet voorzien van een zandvang.
- 9 Voor de kleiafdichting dient Mikolit 300 te worden toegepast.
- 10 De hoeveelheid werkwater dient minimaal te zijn en de hoeveelheid werkwater dient te worden geregistreerd in verband met het schoonpompen.

## Boring 1 (66 m -mv.)

- 1 In totaal worden 11 filters afgesteld. De filterperforatie van ieder filter bedraagt 3 m. Als materiaal wordt voor het diepste filter RVS ( $\varnothing$  76,1\*70 mm) toegepast en voor de overige 10 filters hdpe ( $\varnothing$  63\*51 mm). Inbouwen van de filters en stijgbuizen in één geheel aan het centrale rvs filter. De filteromstorting wordt tot minimaal 0,5 m boven en onder het filter aangebracht. Verder wordt ervan uitgegaan dat er een minimale kleiafdichting van 0,5 m boven en onder de filteromstorting wordt aangebracht. De filters worden direct op elkaar geplaatst. Hierdoor ontstaat tussen de filters een kleiafdichting van 1 m. Een filterunit heeft hiermee een totale lengte van 5 m.
- 2 Bij het aanbrengen van de filteromstorting en de afdichtlagen dient gebruik te worden gemaakt van een stortkoker  $\varnothing$  110 mm. De stortkoker wordt gelijktijdig maar onafhankelijk van de inbouwconstructie ingebouwd en voortdurend gecontroleerd op bewegingsvrijheid. Het aanvulniveau wordt continu gecontroleerd met behulp van een peillood.
- 3 De puls boring wordt uitgevoerd met boordiameters (binnenmaat mantelbuizen) van 550, 500 en 450 mm. De afstellingsdiepte, c.q. inbouwschema van de elf filterunits is vooralsnog van beneden naar boven (in m tov N.A.P.):  
 filter 1: -52 tot -56,5 (exclusief bentoniet aan onderzijde)  
 filter 2: -47 tot -52  
 filter 3: -42 tot -47  
 filter 4: -37 tot -42  
 filter 5: -32 tot -37  
 filter 6: -27 tot -32  
 filter 7: -22 tot -27  
 filter 8: -17 tot -22  
 filter 9: -12 tot -17  
 filter 10: -7 tot -12  
 filter 11: -2 tot -7

Op basis van de boorbeschrijving worden de definitieve filterstellingen bepaald (de beschrijving dient direct na afronding van de boring ter beschikking te worden gesteld).

## Boring 2 (100 m -mv.)

- 1 De tweede puls boring wordt uitgevoerd tot circa 100 m -mv. (maaiveld N.A.P. +9,5 m; einddiepte

- N.A.P. -90,5 m). Deze tweede puls boring heeft op einddiepte een diameter van 219 mm. In totaal worden in deze boring 2 filters afgesteld. De filterperforatie van beide filters bedraagt 10 m. Als materiaal wordt voor de filterbuis hdpe toegepast ( $\varnothing$  90\*73,6 mm).
- 2 In de filterbuis dient een onderwaterpomp te worden geïnstalleerd; in de filterbuis is een pompkamer voorzien. De lengte van de pompkamer bedraagt 20 m (onderzijde op 20 m -mv.). Voor de pompkamer wordt hdpe ( $\varnothing$  125\*110 mm) toegepast.
  - 3 De filteromstorting wordt tot minimaal 1,5 m boven en onder het filter aangebracht. Verder wordt een minimale kleiafdichting van 0,5 m boven en onder de filteromstorting aangebracht. De filters worden direct op elkaar geplaatst. Hierdoor ontstaat tussen de filters een kleiafdichting van 1 m. Per filterunit is een lengte benodigd van minimaal 14 m.

De filterunits zijn van beneden naar boven (in m tov N.A.P.):  
filter 1: -77 tot -90,5 (exclusief bentoniet onderzijde)  
filter 2: -63 tot -77

Van N.A.P. -57 tot N.A.P. -63 m wordt bentoniet aangebracht.

### Ontwikkelen put/Schoonpompen

- 1 Na afloop van het plaatsen van de onttrekkingsfilters wordt de (gehele) put ontwikkeld naar de maximale capaciteit. Voor de benodigde pompcapaciteit (vacuümpomp) dient voor de 3 meter filters te worden uitgegaan van maximaal 5 m<sup>3</sup>/uur en voor de 10 meter filters van 10 m<sup>3</sup>/uur. Het debiet dient inregelbaar en afleesbaar te zijn. Tijdens het afpompen wordt in de filterbuis de verlaging van het grondwaterniveau gemeten. De niveaumetingen vinden plaats met een geijkte drukopnemer en worden digitaal opgeslagen. De gegevens zijn tevens on-site direct afleesbaar. De gegevens worden beschikbaar gesteld aan de opdrachtgever.
- 2 De benodigde afpomptijd per filter wordt geschat op 4 uur.
- 3 Tijdens het afpompen dient het verloop van de EC en de mate van troebelheid nauwkeurig te worden bijgehouden.
- 4 Het vrijkomende water dient door middel van een aftapkraan te kunnen worden bemonsterd.

### Opmerking

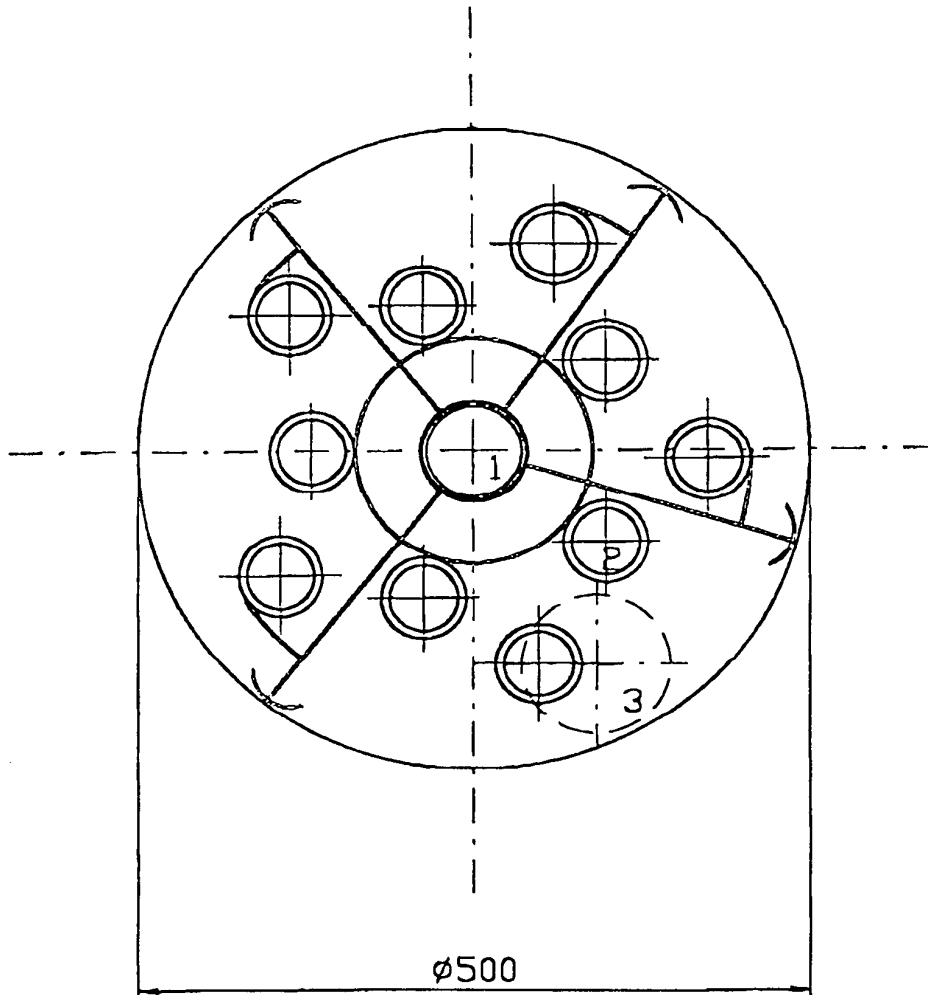
- 1 Voor de uitvoering van de tweede diepboring (2 filters) kunnen alternatieven worden ingediend (bijv. uitvoeren van twee boringen met elk één filter).





---

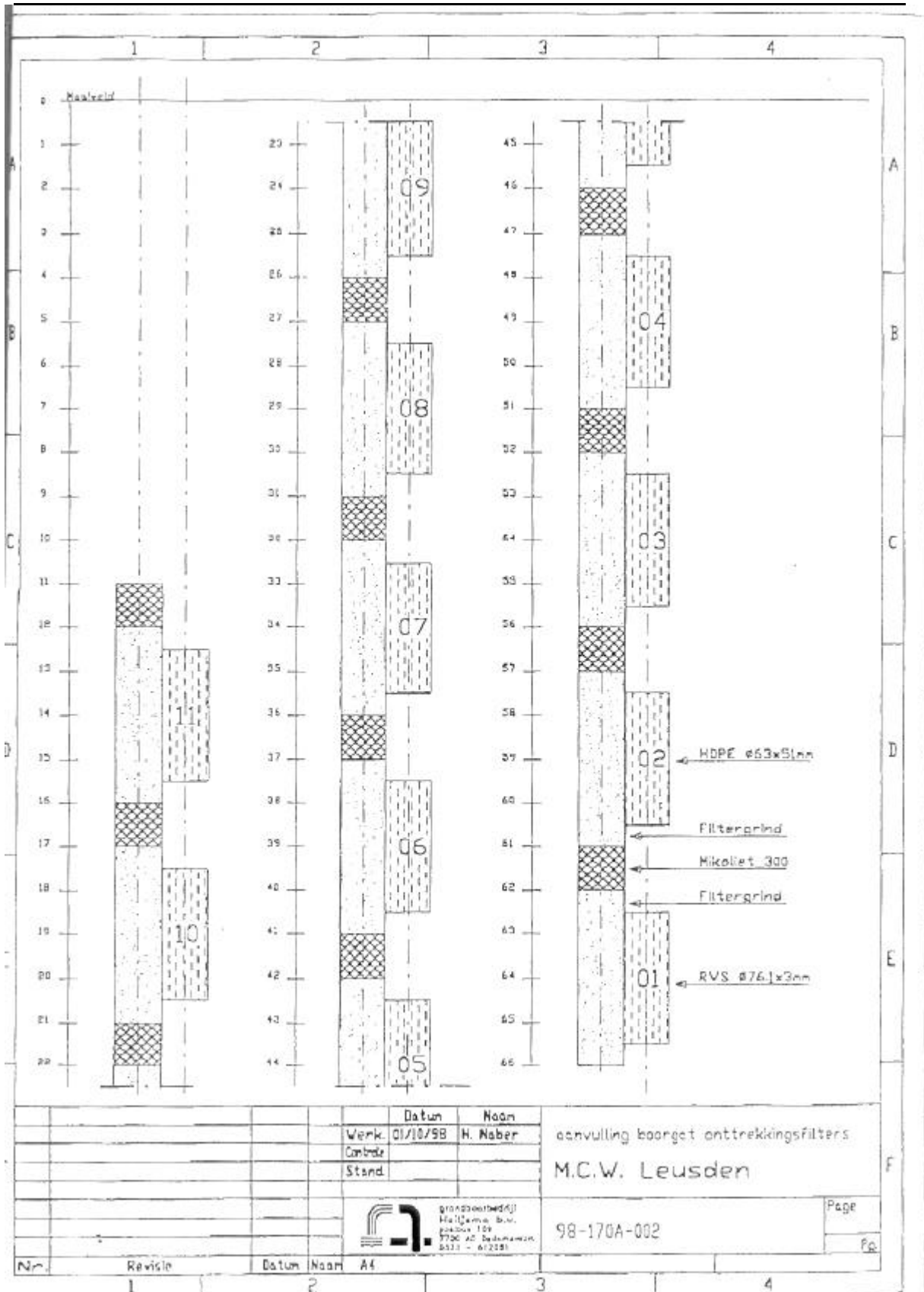
## Bijlage 10: Boorgat



- 1 = 1x RVS  $\varnothing$ 76.1\*3mm
- 2 = 10x HDPE  $\varnothing$ 63\*51mm
- 3 = stortkoker  $\varnothing$ 110mm



Karakterisatie van DNAPL sites (DNAPL KAR)  
 Gedifferentieerde onttrekking te Leusden  
 Voorbereiding en systeemontwerp





---

## Bijlage 11: Detaillering geohydrologisch model

### Modelbegrenzing en modelnetwerk

De modelbegrenzing is niet veranderd ten opzichte van het originele model. De celgrootte ter plaatse van de voorgenomen locatie voor het gedifferentieerd onttrekken is verkleind. In het oorspronkelijke model bedroeg de celgrootte 10 meter; deze is verkleind tot 5 meter.

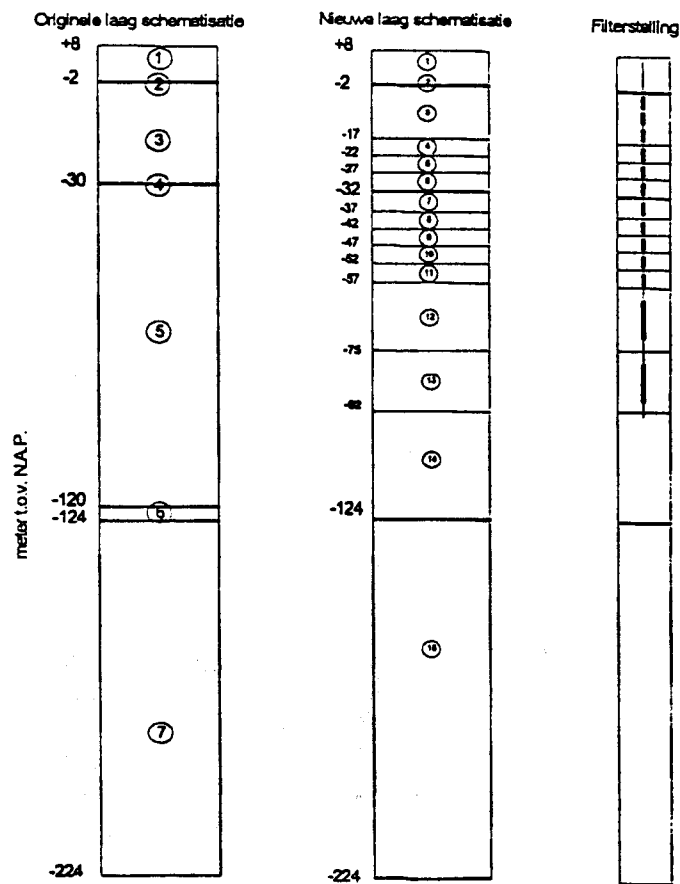
### Geohydrologische schematisering

Het originele model bestond uit zeven lagen en is uitgebreid naar 15 modellagen. Deze uitbreiding betreft het maximaal aantal modellagen dat (momenteel) kan worden ingevoerd bij de bestaande modelgrenzen en celconfiguratie.

De nieuwe schematisatie is gebaseerd op:

- bestaande geohydrologische indeling
- bodemopbouw en bodemsamenstelling afgeleid uit de diepboringen
- verontreinigingssituatie van het grondwater
- filterconfiguratie met betrekking tot het 'gedifferentieerd onttrekken'

In figuur 1 zijn de originele en de nieuwe laagschematisatie naast elkaar weergegeven.



Figuur 1: Laagschematisatie

Het eerste watervoerend pakket (1) en de eerste scheidende laag (2) zijn zonder aanpassing overgenomen in het nieuwe model. Het tweede watervoerend pakket is opgedeeld in 4 lagen waarbij de onderste modellaag (laag 6) dezelfde hydraulische weerstand (200 dagen) heeft als de tweede scheidende laag (4) in het originele model. Het derde watervoerend pakket is opgedeeld in acht verschillende modellagen waarbij wederom aan de onderste modellaag (laag 14) dezelfde hydraulische weerstand is toegekend als aan de derde scheidende laag (800 dagen) in het 7-laagsmodel. Het vierde watervoerend pakket is niet aangepast.

### Grondwateronttrekkingen

De verschillende grondwateronttrekkingen in het gebied zijn opnieuw in het 15-laags model ingevoerd.

---

In het 7-laags model waren alle putten ter plaatse van Amersfoort Berg ingevoerd in het tweede watervoerend pakket en deels in het derde watervoerend pakket. Door het opsplitsen van het tweede watervoerend pakket van één laag naar vier lagen en het derde watervoerend pakket van één laag naar acht lagen kan de onttrekkingsdiepte van de putten in het waterwingebied van Amersfoort Berg nu op een meer 'realistische' wijze in het model worden ingevoerd.

### **Stijghoogten**

De berekende stijghoogten van het grondwater met het 15-laags model komen voor het gehele modelgebied, met uitzondering van het waterwingebied, goed overeen met het 7-laags model. De berekende stijghoogte van het grondwater ter plaatse van het waterwingebied van Amersfoort Berg ligt lager dan berekende met het 7-laags model. Eén en ander is het gevolg van de gedetailleerde invoer van de onttrekkingsdiepte in het 15-laags model waardoor de invloed van onvolkomen putten is geminimaliseerd. De berekende verschillen zijn minimaal en liggen in de orde van grootte van een stijghoogteverschil van 0,05 à 0,1 meter.

### **Doorlatendheid**

Aan de hand van de boorbeschrijving van in totaal 6 uitgevoerde diepboringen (boornrs.: 1002 t/m 1007) en het M50-getal (mediaan korrelgrootteverdeling sediment) is van elke specifiek te onderscheiden bodemlaag de doorlatendheid bepaald met behulp van empirische doorlatendheidsformules (Stromingen, 1996). Met beide methoden blijken de (berekende) doorlatendheden zeer hoog te kunnen liggen, tot boven de 500 m/d, waarbij nog kan worden opgemerkt dat de grindlagen buiten beschouwing zijn gelaten. Dergelijke doorlatendheden komen lokaal voor: de verbreiding van deze lagen is waarschijnlijk vrij beperkt. Voor de doorlatendheid zoals die geldt in de berekening van het doorlaatvermogen van een laag/pakket (product van k-waarde en pakketdikte) moet daarom worden uitgegaan van een gemiddelde k-waarde. Ondanks de uitgevoerde verticale detaillering is nog steeds sprake van een heterogene bodemopbouw per modellaag waarin van een gemiddelde k-waarde dient te worden uitgegaan. Op basis van de boorbeschrijvingen en de afgeleide doorlatendheden is het aannemelijk dat de doorlatendheid van een aantal modellagen hoger is dan in het originele 7-laags model is verdisconteerd.

Het 15-laags model is daarom doorgerekend met een doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket van 2 maal (30 m/d) de originele invoerwaarde (15 m/d) en gelijkblijvende anisotropiefactor van 2,5. De doorlatendheid in horizontale richting is veranderd van 37,5 m/d naar 75 m/d.

### **Literatuur**

Pomper, A.B., Schattingen van doorlaatfactoren (k-waarden) aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen. Stromingen 4: blz. 37-46, 1996.



---

## Bijlage 12: Programma van eisen waterzuivering

## Specifieke uitvoeringseisen

- 1 de PLC in de schakelkast van de waterzuiveringsinstallatie (WZI) moet geschikt zijn om te kunnen communiceren met een Hitachi H200 CPE-02H (deze PLC bevindt zich in de schakelkast van de container in een pompput) en dient minimaal twee vrije uitbreidings-slots te hebben;
- 2 de alarmering en registratie dient via CARS (Centraal Alarmerings- en Registratie Systeem) te geschieden (leverancier is Y. Prins engineering uit Drachten). De alarmering van de WZI dient afgestemd te zijn op de alarmering van het pomp- en onttrekkingssysteem. De wijze van schakeling, alarmering en registratie dient vooraf schriftelijke goedkeuring van de directie. De leverancier dient twee zgn. meekijkposten te leveren (één voor DGW&T en één voor 'Oranjewoud');
- 3 de elektrische installatie dient minimaal te voldoen aan de NEN 3140 en NEN 1010. De elektrische installatie dient vooraf schriftelijke goedkeuring van de directie;
- 4 het geluidsrukniveau mag op een buitengevel van een gebouw niet meer bedragen dan 40 dB(A);
- 5 de capaciteit van de WZI dient afgestemd te zijn op de maximaal te verwachten hoeveelheid water- en luchtaanvoer;
- 6 de WZI dient voorzien te zijn van een magnetisch inductieve debietmeter in het effluent (Endress + Hauser, promag 30F of gelijkwaardig);
- 7 de WZI dient te zijn voorzien van aftappunten in het in- en effluent en tussen de afzonderlijke zuiveringscomponenten;
- 8 de WZI dient te worden geplaatst op een vloeistofdichte ondergrond, zodanig dat bij eventuele calamiteiten uit de installatie vrijkomend water volledig wordt opgevangen in een opvangput. Het opgevangen water moet via drainage worden teruggevoerd als influent in de WZI. In de opvangput van de drainage dient een onderwaterpomp (incl. schakelmomenten) en een hoogwatermelding te worden opgenomen. Zowel de pomp als de hoogwatermelding dienen via de PLC geschakeld te worden. De opdrachtgever verzorgt hekwerk met twee toegangspoorten (één in het bestaande hekwerk en een in het te leveren hekwerk);
- 9 indien een zand- en/of actiefkoolfilter wordt toegepast mag de stroomsnelheid hierin maximaal 5 m/uur bedragen en dient deze op tijd en druk automatisch terugspoelbaar te zijn, met inachtneming van de navolgende bepalingen:
  - \* het spoelwater dient te worden opgevangen in een vloeistofdicht bassin;
  - \* het spoelwater dient na voldoende bezinking te worden teruggevoerd als influent in de WZI;
- 10 bij de opstelplaats zullen aansluitpunten voor electriciteit, (leiding)water, telefoon (analoog) en aarding door de opdrachtgever ter beschikking worden gesteld. Voor de WZI zal 3 x 32 of 64 Amp, 380 V beschikbaar zijn. Er kan worden aangesloten middels een vijfpolige CE-stekker;
- 11 de WZI moet vorstvrij kunnen draaien tot - 15 °C. De buitentemperatuur dient via analoge meting op de PLC te worden aangesloten. Er dient melding plaats te vinden indien de genoemde temperatuur wordt overschreden. In overleg met de opdrachtgever kan de WZI dan tijdelijk worden stopgezet;
- 12 de WZI moet zodanig worden geïnstalleerd dat geen afgassen de installatie ongezuiverd verlaten. Het reinigingsrendement dient tenminste 98% te zijn. De afgassen in de atmosfeer brengen op minimaal vijf meter boven maaiveld. Het reinigingsresultaat en het reinigingsrendement dienen middels één analyse van in- en effluent te worden aangetoond;
- 13 de leverancier dient de goede werking van de WZI aan te tonen door middel van twee analyse-resultaten van zowel in- als effluent (kontrole op het reinigingsrendement en het reinigingsresultaat);
- 14 de WZI dient voorzien te zijn van aansluitpunten met flensverbindingen voor de onderstaande leidingen:
  - waterpersleiding (diam. 90 mm) van de container (maximaal 20 m<sup>3</sup>/u);
  - waterpersleiding (diam. 25 mm) van de pomp in de opvangput;
  - twee waterpersleidingen (diam. 63 mm) van de onderwaterpompen (per leiding maximaal 10 m<sup>3</sup>/u);
  - waterpersleiding (diam. 50 mm) van een lokatie op het MCW-terrein (maximaal 5 m<sup>3</sup>/u);
- 15 de WZI dient voorzien te zijn van aansluitpunten met flensverbindingen voor de onderstaande luchtleidingen:
  - luchtafvoerleiding (diam. 25 mm) van een vacuümpomp (t.b.v. wateronttrekking van maximaal 20 m<sup>3</sup>/u);
  - luchtafvoerleiding (diam. 75 mm) van een afzuigventilator in een container;
  - luchtafvoerleiding (diam. 90 mm) van een bodemluchtonttrekking op het MCW-terrein (25 Nm<sup>3</sup>/u).



- 
- 16 de leverancier van de WZI dient bij het hekwerk van de opstelplaats en op het MCW-terrein een noodstop aan te brengen om de WZI bij calamiteiten direkt uit te kunnen schakelen;
  - 17 de leverancier van de WZI dient de effluentleiding aan te sluiten op de riolering in de directe nabijheid van de opstelplaats (max. 20 meter afstand). Lozing onder vrij verval. De effluentleiding onder afschot naar het lozingspunt aanbrengen (het vorstvrij maken van deze leiding is dan niet nodig).
  - 18 de waterzuiveringsinstallatie dient voorzien te zijn van brandblussers (koolzuur- en poederblusser), een EHBO-B-does, een wasbak (incl. zeepdispensor en tissue om de handen te drogen) en de benodigde bestickeringen (o.a. vluchtwegen, EHBO, brandblussers etc.).





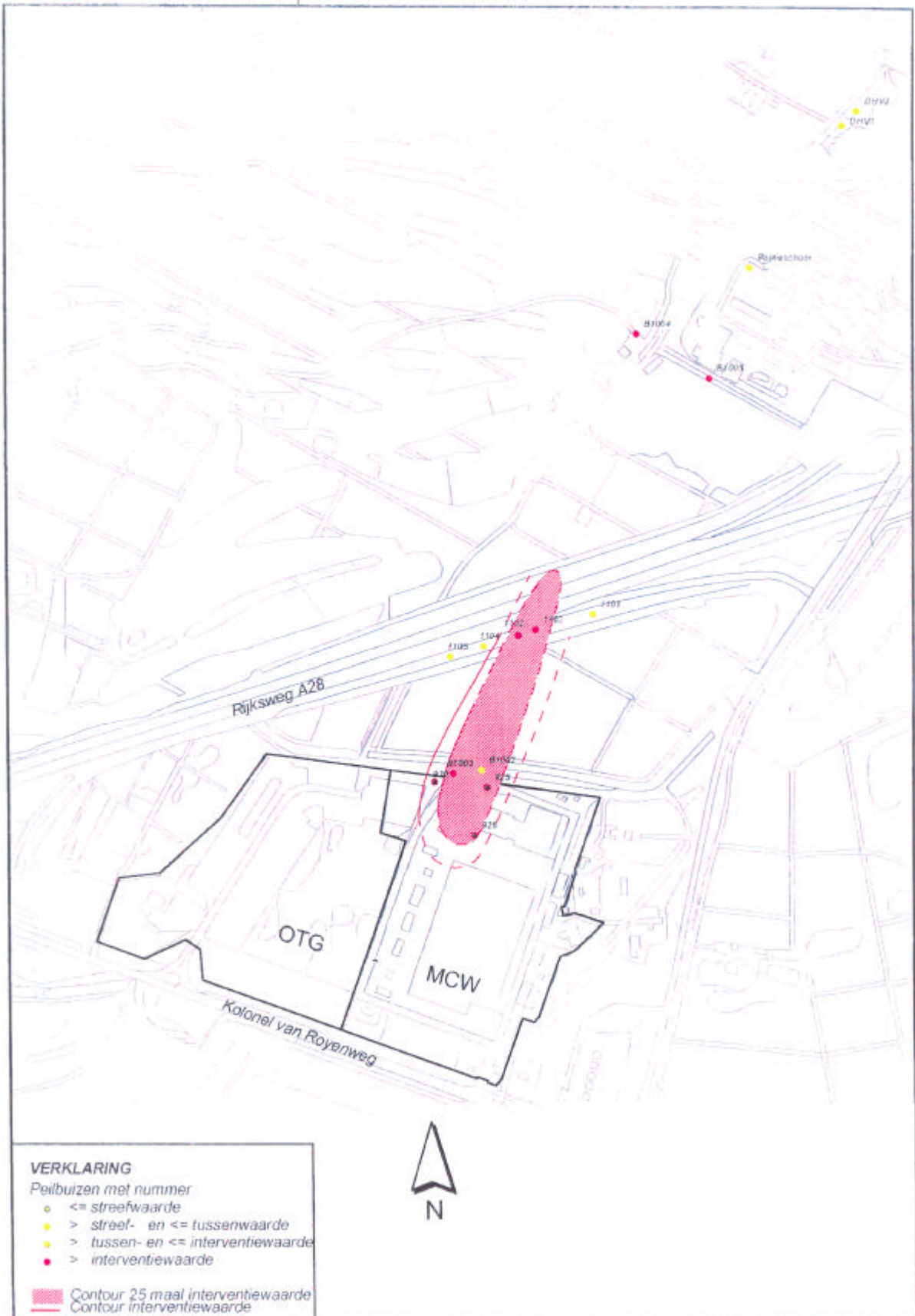
Tekening 87202-GWV-1: Grondwaterverontreiniging met per tot 10 m-mv.



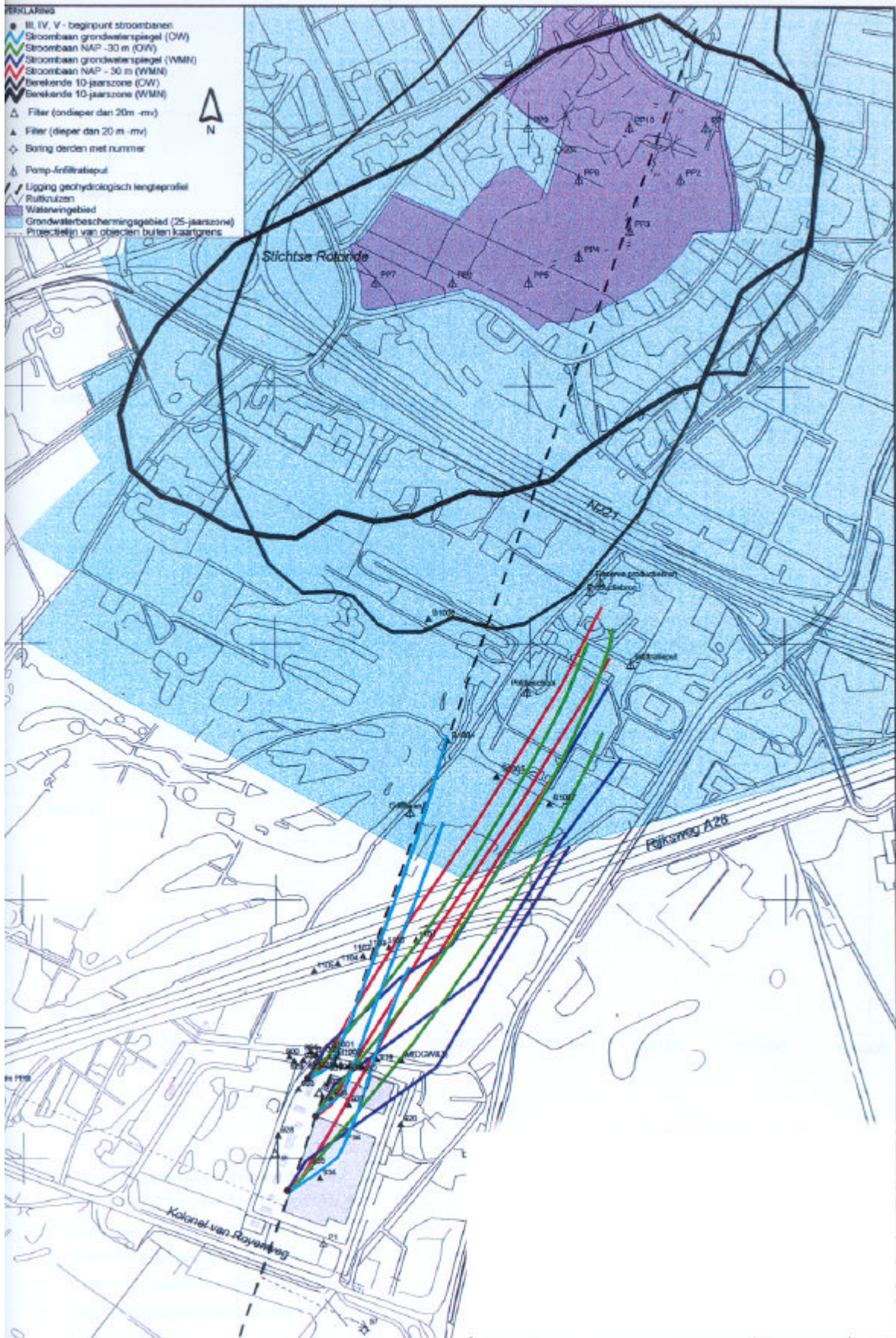
Tekening 87202-GWV-2: Grondwaterverontreiniging met per van 10 tot 50 m–mv.



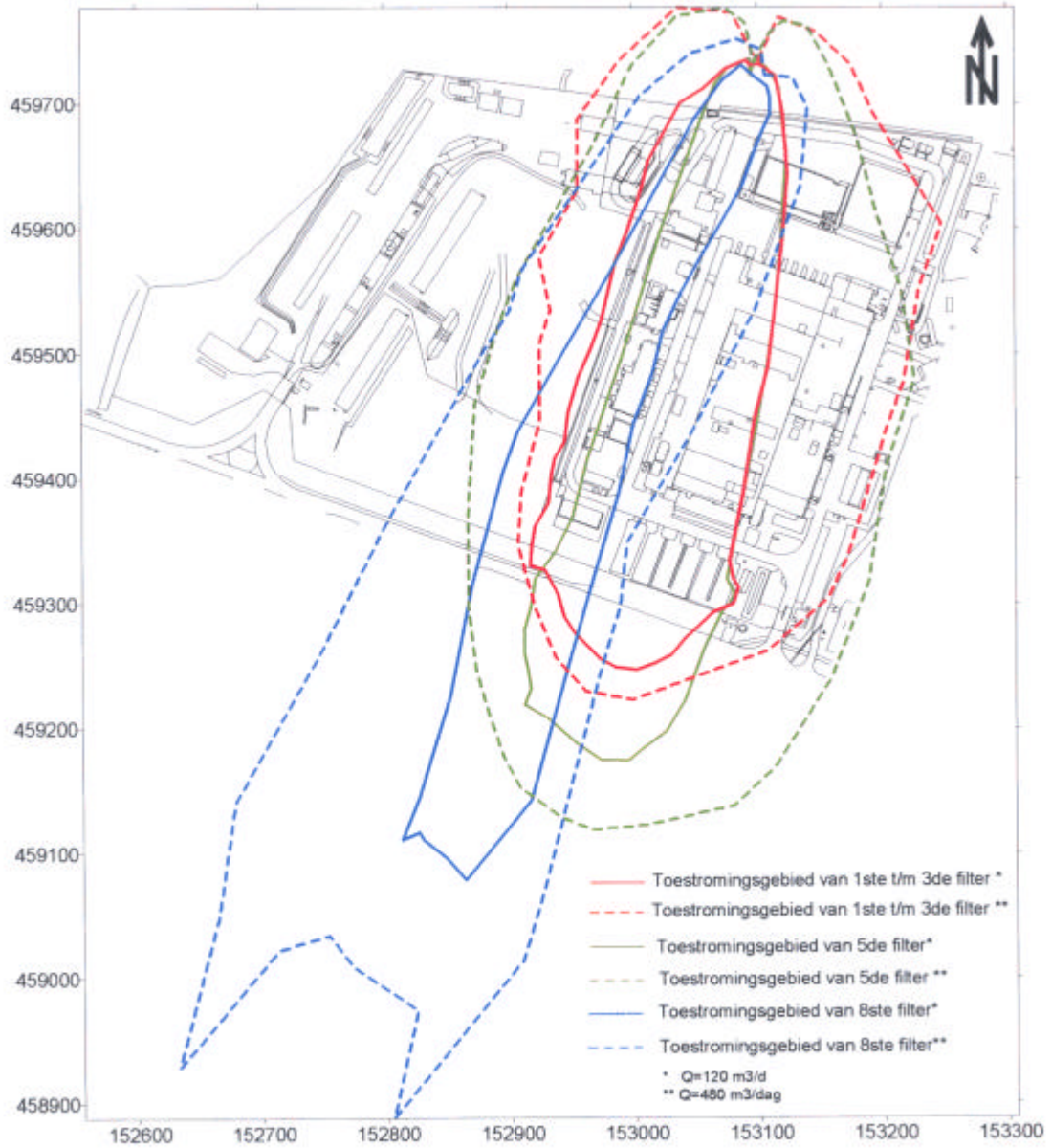
Tekening 87202-GWV-3: Grondwaterverontreiniging met per van 10 tot 50 m–mv.



Tekening 87202-GWV-4: Grondwaterverontreiniging met per van 50 tot 145 m-mv.



Tekening 87202-GP-1: Stroombaanberekeningen projectie x,y-vlak



Tekening 86553-TG-1: Toestromingsgebied bij beheersdebiet van 480 en 120 m<sup>3</sup>/dag