

# SKB PT04-113

## Sanering ozoninjectie (C-sparge™) van drie CKW verontreinigingen binnen de gemeente Utrecht. Bepaling van grondwatermenging en saneringseffecten van ozoninjectie via MIP en tracetests

- Eindrapport -



*Dhr. P. van Diest*  
026-369 84 44



**Verhoeve Milieu**

*Dhr. A. Lobs*  
078-652 00250



**Gemeente Utrecht**  
Dienst Stadsontwikkeling

*Dhr. M. Meihuizen*  
030-286 47 15



**MATEBOER**

*Dhr. T. Vendrig*  
036-530 24 10



**Tauw**

*Dhr. F. Hartendorf*  
020-606 32 22

Mei 2006  
Gouda, SKB

**Titel rapport**

Sanering ozoninjectie (C-sparge™) van drie CKW verontreinigingen binnen de gemeente Utrecht.  
Bepaling van grondwatermenging en saneringseffecten van ozoninjectie via MIP en tracertests

**SKB rapportnummer**

**Project rapportnummer**  
PT04-113

---

**Auteur(s)**

T. Vendrig  
E. van de Ven  
R. Hekkenberg, F. Hartendorf  
R.J. Stuit

**Aantal bladzijden**

**Rapport: 23**  
**Aantal bijlagen: 9**

---

**Uitvoerende organisaties (consortium)**

Gemeente Utrecht	De heer M. Meihuizen
Mateboer Milieutechniek B.V.	De heer T. Vendrig
Verhoeve Milieu West bv	De heer A. Lobs
Fugro Ingenieursbureau BV	De heer P. van Diest
Tauw bv (penvoerder)	De heer F. Hartendorf

---

**Uitgever**

**SKB, Gouda**

---

**Samenvatting**

Binnen de gemeente Utrecht is een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke saneringsvarianten van VOCl-verontreinigingen in binnenstedelijk gebied. De techniek is succesvol gebleken en toegepast op de locatie Baanstraat te Utrecht. In een periode van twee jaar is door middel van deze techniek de grondwaterverontreiniging met VOCl ter plaatse van de Baanstraat grotendeels gesaneerd. Het succes van de techniek op deze locatie betrof de grote mobiliserende werking waardoor de totale sanerende werking wordt vergroot.

---

Onderhavige rapportage beschrijft het succesvolle saneringsproces bij de saneringslocatie Baanstraat. Daarnaast op twee andere locaties in de stad Utrecht gedurende drie weken een injectieproef (C-sparge™) uitgevoerd. Door middel van een intensieve monitoring van de verontreiniging, redoxcondities, de injectie van een traceroplossing en de plaatsing van MIP sonderingen is getracht de invloed van C-sparge™ op de verontreiniging in kaart te brengen. De gemeten parameters geven een beeld over het invloedsgebied, zowel de verspreiding van het gas als de reikwijdte van de invloed op de grondwaterstroming.

De resultaten laten zien dat binnen 3 weken injectie een saneringsresultaat wordt behaald (concentratiedaling). Er is een invloedsstraal van circa 10 meter vastgesteld. Over het algemeen wordt een aanvullende mobilisatie van verontreiniging gerealiseerd na inschakeling van het injectiesysteem. Mobilisatie van verontreinigingen tot buiten het invloedsgebied van de saneringsmaatregel (zowel horizontaal als verticaal) is niet aangetoond.

---

**Trefwoorden**

**Gecontroleerde termen:**

Chloorkoolwaterstoffen  
In situ  
Bodemsanering  
Karakterisatie  
Grondwater

**Vrije trefwoorden:**

ISCO  
C-sparge™  
Ozon  
MIP  
Utrecht.

---

**Titel project**

Demonstratie en karakterisering sanering VOCl-verontreinigingen door middel van ozon-injectie

**Projectleiding**

Tauw bv (dhr. M. Hensens  
en F. Hartendorf)

# INHOUD

<b>Samenvatting .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>5</b>
1.1 Aanleiding project.....	5
1.2 Doel project .....	6
1.2.1 Presentatie ozon injectie als saneringstechniek.....	6
1.2.2 C-sparge™ proces .....	6
1.3 Onderzoeksvoorstel proces/werking C-sparge™ .....	7
1.4 Hypothese proces C-sparge™ .....	7
1.5 Uitvoeringsvorm onderzoek.....	7
1.6 Leeswijzer .....	8
<b>2 Presentatie C-sparge™ injectie .....</b>	<b>9</b>
2.1 Omschrijving locatie Baanstraat.....	9
2.1.1 Afweging saneringsvariant .....	9
2.2 Monitoring sanering Baanstraat .....	10
2.2.1 Resultaten monitoring .....	10
2.3 Resultaat sanering .....	11
2.4 Evaluatie resultaat sanering.....	11
<b>3 Procesbeschrijving C-sparge™ injectie.....</b>	<b>12</b>
3.1 Vraagstelling.....	12
3.2 Hypothese C-sparge™-injectie Theemsdreef en Van Ostadelaan .....	12
3.3 Methode van toetsen hypothese .....	12
3.4 Resultaten uitvoering C-sparge™ proef .....	13
3.4.1 Theemsdreef .....	13
3.4.2 Van Ostadelaan.....	13
3.5 Resultaten monitoring .....	13
3.5.1 Theemsdreef .....	13
3.6 Resultaten Ostadelaan.....	16
3.7 Conclusies C-sparge™ proef .....	18
<b>4 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>20</b>
4.1 Conclusies.....	20
4.1.1 Presentatie C-sparge™ injectie.....	20
4.1.2 Procesbeschrijving C-sparge™ injectie.....	20
4.2 Aanbevelingen.....	20
4.3 Nieuwe ontwikkelingen.....	22

**Bijlage(n)**

1. Schematisch overzicht optreden circulatiestroom C-sparge <sup>TM</sup> techniek
2. Saneringssysteem Baanstraat
3. Monitoringsgegevens Baanstraat
4. Saneringssysteem Theemsdreef
5. Monitoringsgegevens Theemsdreef
6. Resultaten MIP-sonderingen Theemsdreef
7. Saneringssysteem Ostadelaan
8. Monitoringsgegevens Ostadelaan
9. Resultaten MIP-sonderingen Ostadelaan

## Samenvatting

Binnen de gemeente Utrecht is een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke saneringsvarianten van VOCl-verontreinigingen in binnenstedelijk gebied. Eén van de getoetste varianten betrof ozoninjectie door middel van de C-sparge™-techniek. De techniek is succesvol gebleken. De C-sparge™-techniek is ingezet ter plaatse van de saneringslocatie Baanstraat te Utrecht. Tijdens de uitvoering van de sanering is, na inschakeling van de injectie, een concentratietoename zowel in de bron als in de pluim van de grondwaterverontreiniging gemeten. In een periode van twee jaar is de verontreiniging grotendeels gesaneerd. Deze opmerkelijke stijging van de concentraties in de pluim en het presenteren van ozon injectie als succesvolle saneringstechniek heeft de basis voor onderhavig rapport gevormd.

Gedurende drie weken is op de locaties Theemsdreef en Ostadelaan een C-sparge™ proef uitgevoerd. Door middel van een intensieve monitoring van de verontreiniging, redoxcondities, de injectie van een traceroplossing en de plaatsing van MIP sonderingen is getracht de invloed van C-sparge™ op de verontreiniging in kaart te brengen. De gemeten parameters geven een beeld over het invloedsgebied, zowel de verspreiding van het gas als de reikwijdte van de invloed op de grondwaterstroming.

Uit de resultaten van de proef is gebleken dat op beide locaties binnen de termijn van drie weken een duidelijke invloed van de C-sparge™ techniek wordt waargenomen. Een duidelijk beeld van de reikwijdte van het gas wordt gevormd door de redoxpotentiaal en zuurstofmetingen in het grondwater. Er is een invloedsstraal van circa 10 meter vastgesteld. Over het algemeen wordt een aanvullende mobilisatie van verontreiniging gerealiseerd na inschakeling van het injectiesysteem. In enkele monitoringspunten is binnen drie weken reeds een afname in concentratie waarneembaar. Mobilisatie van verontreinigingen tot buiten het invloedsgebied van de saneringsmaatregel (zowel horizontaal als verticaal) is niet aangetoond.

Resumerend kan worden gesteld dat ozon-injectie een zeer geschikte techniek is voor vluchtige verbindingen. De sanering Baanstraat is in een laatste fase beland en op de full-scale sanering Ostadelaan zijn reeds na 4 maanden injecteren aanzienlijke reducties in concentraties behaald. Door de mobiliserende werking van de techniek komt ten opzichte van reguliere technieken een groter deel van de verontreiniging beschikbaar voor afbraak.

Bij het dimensioneren van een saneringsmaatregel dient zorgvuldig de bodemopbouw, vracht verontreiniging, het bodemoxidant verbruikt en de aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur (bijvoorbeeld grondwateronttrekkingsfilters e.d.) in kaart gebracht te worden. De oxidant injectie dient zorgvuldig te worden afgestemd op de locatiespecifieke situatie. In dit geval wordt gemobiliseerde vracht direct afgebroken. De lay-out van het systeem dient hierop afgestemd te worden.

In onderstaande fact sheet kan in één oogopslag de geschiktheid van ozoninjectie voor een saneringslocatie bepaald worden.

**Tabel 0.1 Overzicht toepasbaarheid C-sparge™ techniek**

Onderdeel	Verklaring
Verontreinigingen	Alkenen, alkanen mono-aromaten, ethers (VOCl, BTEX, Minerale olie, ftalaten, fenolen en MTBE)
Bodemopbouw	Zand en zandhoudende leem en klei
Ondoorlatende lagen	Maatwerk, mobilisatie product op scheidende laag mogelijk
Bodemzone	Verzadigde zone (onverzadigde zone in Nederland nog niet uitgevoerd, wel positieve resultaten behaald in projecten in de VS)
Saneringsduur bronaanpak	Enkele maanden tot enkele jaren. Afhankelijk van de vracht van de verontreiniging versus de capaciteit
Geschikt concentratieniveau	0 – 10 <sup>5</sup> µg/l
Fase verontreinigingen	Geschikt voor opgeloste fase, bodemlucht en geabsorbeerd product (mobilisatie effect)
Risico's omgeving	Bij brongebieden; uitdamping in kruipruimte.
Kosten per m <sup>3</sup> bodemvolume0	2 – 25 €/m <sup>3</sup> ; afhankelijk van situatie (kleine geconcentreerde bron of zeer groot verontreinigd oppervlak)
Combinatietechnieken	Goed resultaat in combinatie met grondwateronttrekking Biologische stimulatie na ozon injectie wordt onderzocht
Aandachtspunten	In brongebieden kan injectie leiden tot zeer grote concentratietoename. De oxidantinjectie afstemmen op deze vracht zorgt voor vrijwel directe afbraak van de verontreiniging. Hiermee wordt een eventueel risico op verspreiding voorkomen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding project

In opdracht en in samenwerking met de gemeente Utrecht is door Tauw gezocht naar een effectieve aanpak van verontreinigingen met VOCl (vluchtige organische chloorhoudende oplosmiddelen) in binnenstedelijk gebied. In het kader van het onderzoek zijn een aantal pilotsaneringen uitgevoerd.

In deze pilotsaneringen is ervaring opgedaan met een aantal in-situ technieken waaronder ozon injectie (C-sparge™). De techniek C-sparge™ gaf in Utrecht een veelbelovend resultaat. Ozon injectie is door genoemde resultaten een goed toepasbare techniek gebleken die meer aandacht verdient. Door de opgedane ervaring zijn voor en nadelen inzichtelijk geworden.

De ervaringen met C-sparge™ in de gemeente Utrecht waren de aanleiding voor het onderzoeksvorstel 'Project PT04-113; Sanering ozoninjectie (C-sparge) van drie VOCl-verontreinigingen binnen de gemeente Utrecht.

Ten behoeve van het onderzoek is het consortium opgericht. De leden van het consortium zijn opgenomen in onderstaande tabel:

**Tabel 1.1 overzicht consortium PT04.113**

<b>Bedrijf</b>	<b>Contactpersoon</b>
Tauw bv (pervoerder)	De heer M. Hensens De heer F. Hartendorf De heer R. Hekkenberg
Gemeente Utrecht	De heer M. Meihuizen
Mateboer Milieutechniek B.V.	De heer T. Vendrig De heer M. Zwietink
Verhoeve Milieu West bv	De heer A. Lobs De heer W. Brabers De heer E. van de Ven
Fugro Ingenieursbureau BV	De heer P. van Diest De heer R.J. Stuu

## 1.2 Doel project

Het doel van het project is tweeledig namelijk:

1. Presentatie van ozon injectie als saneringstechniek. Onderhavige rapportage geeft de mogelijke eindgebruiker de benodigde informatie ten behoeve van het inzetten van ozon injectie als saneringstechniek. Hierbij wordt zowel naar technische als financiële aspecten gekeken
2. Het inzichtelijk maken van de werking/ procesbeschrijving van ozon injectie als saneringstechniek. Met name invloed van C-sparge™ op mobilisatie met als gevolg verspreiding is daarbij een aandachtspunt

### 1.2.1 Presentatie ozon injectie als saneringstechniek

Chemische oxidatie is een techniek waar in de "bodemsaneringswereld" in Nederland nog relatief weinig ervaring mee is opgedaan. Met name de C-sparge™ techniek is relatief onbekend. Op het project Baanstraat te Utrecht wordt C-sparge™ met succes toegepast. De sanering is gestart in 2002. De eerste weken na de start van de injectie door middel van C-sparge™ is zowel in de bron als in de pluim een aanzienlijke verhoging van de grondwaterconcentraties gemeten. In een periode van twee jaar is de verontreiniging vervolgens grotendeel gesaneerd. Op dit moment is de actieve inzet van C-sparge™ beëindigd en wordt een intensieve monitoring uitgevoerd. Doel van de monitoring is het eventueel optreden van rebound inzichtelijk te maken.

### 1.2.2 C-sparge™ proces

Het C-sparge™ proces berust grotendeels op het in-situ strippen van vluchtige verbindingen en gelijktijdige chemische oxidatie door ozon. Hiertoe wordt een gasmengsel van perslucht met ozon in de bodem geïnjecteerd. De vluchtige verbindingen gaan vanuit de waterfase over naar de gasfase, waarin deze verbindingen worden geoxideerd door de aanwezige ozon. Tevens lost de ozon uit de gasfase ook makkelijk op in de waterfase om daar de verontreinigingen aan te pakken. De "C" in C-Sparge™ staat voor Criegee oxidatie en beschrijft het proces van chemische afbraak.

Bij de chemische oxidatie van verontreinigingen door ozon wordt in sommige gevallen waterstofperoxide als tussen product gevormd. Deze waterstofperoxide kan reageren met ozon tot de zeer reactieve en krachtige OH• radicalen. Ozon kan ook reageren met het hydroxide ion om reactieve deeltjes te vormen. Kortom er vinden allerlei reacties plaats, waardoor verontreinigingen kunnen worden afgebroken.

Het C-Sparge™ proces wordt in de praktijk op 2 manieren uitgevoerd, namelijk middels:

- Individuele microporeuze Spargepoints® en/of
- Re-circulatiebronnen(C-sparge™ bronnen), waarin ook de microporeuze Spargepoints® worden gebruikt

Onderhavig onderzoeksrapport richt zich op beide technieken.

### **1.3 Onderzoeksvoorstel proces/werking C-sparge™**

Het onderzoeksvoorstel omvat in grote lijnen het presenteren van een succesvolle sanering met ozoninjectie aan de hand van de resultaten aan de Baanstraat. Daarnaast is op twee locaties namelijk de Theemsdreef en A. van Ostadelaan, waar tevens een VOCl-verontreiniging aanwezig is, een proef met C-sparge™ uitgevoerd. Doelstelling van de proef is om de in het grondwater optredende processen en de invloed van C-sparge™ op deze processen inzichtelijk te maken. Middels MIP-sonderingen, tracetests, monitoring procesparameters (onder andere redoxpotentiaal en opgelost zuurstof) en reguliere grondwatermonstername is getracht deze processen inzichtelijk te maken.

### **1.4 Hypothese proces C-sparge™**

De hypothese is dat de C-sparge™-circulatiebronnen en spargepunten een grondwaterstroming en -menging op gang brengen, zodat ozon over een groot gebied verspreid wordt en in aanraking komt met de VOCl-verontreiniging en dat door deze grondwaterstroming verontreiniging gemobiliseerd wordt..

Op de locatie Baanstraat maar ook bij ervaringen op andere locaties waar C-sparge™ is toegepast, zijn na de start van de ozonsanering, in de pluim van de verontreiniging, de concentraties significant verhoogd.

De vraagstelling van het onderzoek is welke mechanismen deze verhogingen veroorzaakt. Het onderzoek richt zich op mobilisatie als mechanisme. De gasinjectie via microporeuze spargepoints® vergroot de dynamiek in de ondergrond en zorgt derhalve voor een optimaal contact tussen de verschillende bodemfasen. Door deze dynamische mobiliserende werking zal, voorheen zeer lokaal aanwezige verontreiniging, beschikbaar komen in de waterfase (oplossen/mobiliseren puur en/of residuair product) of zichtbaar worden uit hoge concentratiezones. Dit mechanisme kan de mogelijke oorzaak zijn van het zichtbaar worden van de verhoogde concentraties in de grondwatermonsters.

De hypothese is getoetst met veldmetingen. Door middel van de veldmetingen is het effect van de injectie op de grondwaterstroming, gedrag van de verontreiniging en mogelijk ongewenste verspreiding getracht in kaart te brengen.

### **1.5 Uitvoeringsvorm onderzoek**

Het onderzoek wordt uitgevoerd met een tweetal verschillende injectietechnieken, namelijk met de C-sparge™-bron (Baanstraat, Theemsdreef) en met het individuele Spargepoint® (Van Ostadelaan). Beide injectietechnieken hanteren het microporeuze injectiepunt. De hypothese is, dat als gevolg van de injectie een grondwater circulatiestroom ontstaat.

Het verschil tussen de twee methodes is dat de C-sparge™-bron bestaat uit twee microporeuze injectiepunten en is uitgerust met een onderwaterpomp, waarmee water wordt rondgepompt. Dit rondpompen zorgt voor een tweede circulatie-effect. Deze circulatiestroming versterkt de circulatiestroom als gevolg van de luchtinjectie. Voor een schematische weergave van de circulatie-effecten van de C-sparge™-bron als het Spargepoint® wordt verwezen naar bijlage 1.

## **1.6 Leeswijzer**

Zoals gesteld in paragraaf 1.2 is het doel van het C-sparge™ onderzoek tweeledig, dit geeft zich ook weer in de opbouw van het rapport. Hoofdstuk drie geeft de presentatie van de successen van de C-sparge™ techniek ter plaatse van de Baanstraat Utrecht. Tevens wordt een omschrijving gegeven van de achtergrond van het project, monitoring van de voortgang van de sanering en het uiteindelijk resultaat.

Hoofdstuk vier gaat in op het proces en de werking van de C-sparge™ techniek. Op de locaties Theemsdreef en A. van Ostadelaan is een 3-wekelijks onderzoek uitgevoerd. De werkzaamheden en resultaten van beide locaties worden in dit hoofdstuk omschreven.

Tot slot worden in hoofdstuk vijf de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek omschreven.

## 2 Presentatie C-sparge™ injectie

### 2.1 Omschrijving locatie Baanstraat

Ter plaatse van de Baanstraat 11 te Utrecht bevindt zich sinds 1965 een chemische wasserij die tot op heden nog in gebruik is. Als gevolg van chemische textielreiniging is een grondwaterverontreiniging met VOCl ontstaan. Aangenomen wordt dat de bron van de verontreiniging de gedempte zinkput is die onder het pand aanwezig was. Deze put is tot 20 à 30 jaar geleden gebruikt en bevond zich aan de zuidoostzijde van het pand. Tijdens het dempen van de put met zand is op de bodem puur product aangetroffen.

Tijdens het nader onderzoek in 2001 is de volgende situatie aangetroffen. Ter plaatse van de bron zijn in de deklaag, tot een diepte van 4 m –mv, de hoogste concentraties aan VOCl gemeten. De hoogst aangetroffen concentratie in de onderzoeksfase tetrachlooretheen (per) is 68.000 µg/l. Afbraak heeft nauwelijks plaatsgevonden, de verontreiniging bestaat vrijwel geheel uit tetrachlooretheen. In het 1e watervoerend pakket is een pluim aanwezig. De pluim heeft zich horizontaal tot circa 50 meter van de bron verspreid.

#### 2.1.1 Afweging saneringsvariant

In het VOCl-project van de gemeente Utrecht zijn de saneringslocaties onderverdeeld in de toe te passen saneringstechnieken. Deze indeling is gemaakt aan de hand van de doorlatendheid en gelaagdheid van de bodem en de mogelijkheid tot het optreden van natuurlijke afbraak. Voor de Baanstraat geldt, vanwege de grote onverzadigde zone en de afwezigheid van humeuze of veenhoudende lagen, dat de locatie uitermate geschikt is voor convectief transport in gas- en waterfase.

Gezien het verontreinigingsproduct (Per) en het niet optreden van natuurlijke afbraak is gekozen voor een oxidatief middel. Gezien de goede doorlatendheid is gekozen voor ozoninjectie middels het C-spargesysteem. Een techniek die destijds nog relatief weinig in een full-scale opzet was toegepast. In totaal zijn vier C-sparge™ bronnen, twee sparge® punten. Op basis van de aangetroffen (sterk gestegen) concentraties na de start van de sanering is aanvullend een grondwateronttrekking en -zuivering geplaatst. De grondwateronttrekking en zuivering is geplaatst om de effectiviteit van de sanering te verhogen. Voor een schematisch overzicht van het saneringssysteem wordt verwezen naar bijlage 2.

## 2.2 Monitoring sanering Baanstraat

Door middel van veldmetingen (zuurstof en redox) in het grondwater is gedurende de sanering de effectiviteit van de ozon-injectie bepaald.

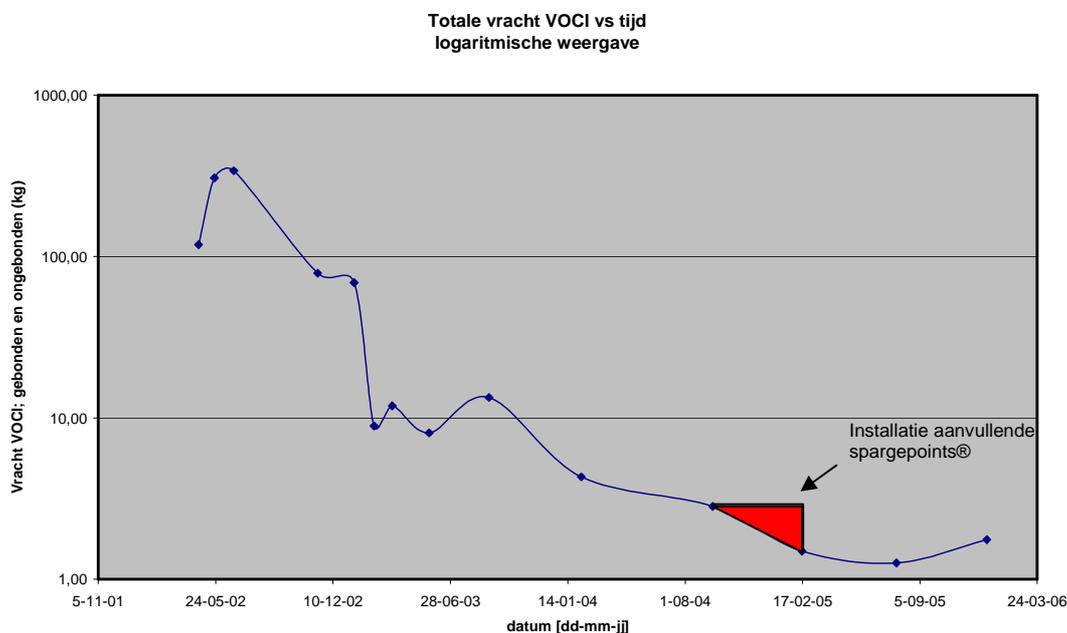
Door middel van grondwatermonsternamen en binnenluchtmetingen in woningen en kruipruimten is het concentratieniveau in bodem/binnenlucht en grondwater in de tijd bepaald. De monitoringsgegevens van de sanering zijn opgenomen in bijlage 3.

### 2.2.1 Resultaten monitoring

Inmiddels is op basis van de influentconcentraties van de zuivering een vracht van ruim 40 kg verwijderd. Vanaf de start van de sanering in mei 2002 tot aan begin 2004 is de vracht VOCl (gebonden en ongebonden) teruggedrongen van 340 kg naar circa 2 kg. Deze vrachtbenadering is gebaseerd op concentraties gemeten in monitoringspeilbuizen. Als gevolg van de grondwateronttrekking en zuivering is circa 45 kg aan vracht verwijderd. In totaal is dus bijna 300 kg aan vracht VOCl door middel van ozon injectie verwijderd.

In de periode na begin 2004 is een afname gerealiseerd echter betreft dit in vergelijking tot de eerdere afname een geringe afname. Om de (kosten) effectiviteit van de sanering te verhogen zijn twee aanvullende spargepunten aangebracht. De spargepunten zijn eind december 2004 geplaatst. De berekende vrachtverwijdering is weergegeven in onderstaande grafiek.

Grafiek 2-1 Logaritmische weergave vrachtverwijdering vs tijd



Uit de grafiek blijkt dat er na augustus 2004 een sterkere daling in concentraties plaats heeft gevonden. Vermoedelijk is de reductie van grondwaterconcentraties het gevolg van de aanvullende spargepunten.

### **2.3 Resultaat sanering**

Uit de grafiek blijkt dat door middel van de injectie een groot deel van de vracht is gemobiliseerd en afgebroken. Echter is er ook hier sprake van een asymptotisch verloop. Op basis van de huidige effectiviteit van de sanering aan de Baanstraat is besloten om een stoptest uit te voeren. Per 1 januari 2006 is de actieve sanering door middel van C-spargen<sup>TM</sup> gestaakt. Door middel van een intensief monitoringsprogramma wordt het eventueel optreden van rebound in kaart gebracht. Op basis van de monitoring wordt het daadwerkelijke saneringsresultaat (in evenwichtssituatie) vastgesteld. Uitgangspunt is afronding van de sanering eind 2006. Voor een grafisch overzicht van de behaalde resultaten wordt verwezen naar de in bijlage 3 opgenomen tekeningen.

### **2.4 Evaluatie resultaat sanering**

Door de mobiliserende werking van de C-spargen<sup>TM</sup> techniek is een groot deel van de aanwezige vracht gemobiliseerd en afgebroken. Regulier grondwater/ bodem onderzoek verschaft vaak onvoldoende inzicht in deze aanwezige vracht.

Op basis van de vrachtberekening is ruim 99% van de gebonden en ongebonden vracht verwijderd. Uit de monitoringsgegevens blijkt dat ondanks de aanvullende mobiliserende werking van techniek uiteindelijk een asymptotisch verloop van de vrachtreductie wordt behaald. Dit asymptotisch verloop is een bekend verschijnsel bij vele andere saneringstechnieken. Het grote voordeel van de C-spargen<sup>TM</sup> techniek ten opzichte van overige technieken is dat een groot deel van de anders onbereikbare vracht wordt verwijderd waardoor uiteindelijk een beter saneringsresultaat wordt behaald.

Het verkrijgen van inzicht in, en het optimaliseren van, de mobiliserende werking van de techniek kan de effectiviteit van de saneringsmaatregel aanzienlijk verhogen.

### 3 Procesbeschrijving C-sparge™ injectie

De sanering ter plaatse van de Baanstraat Utrecht is succesvol gebleken. Het succes ligt onder andere in de behaalde mobilisatie van verontreinigingen. Mobilisatie als gevolg van de injectie heeft dan ook een tweeledig effect

1. Het inzichtelijk maken van de werkelijk aanwezige vracht
2. Het beschikbaar maken van een groot deel van de vracht voor chemische oxidatie

Dit proces is een samenspel van injectiedebieten, ozon belading, afstelling injectiedieptes etc. In onderstaande paragrafen wordt kort omschreven welke onderzoeksinspanningen zijn verricht en wat de resultaten hiervan zijn.

Op de locaties Theemsdreef en Van Ostadelaan is een C-sparge™-installatie aangelegd. Met een proefopstelling wordt getracht eenzelfde situatie te creëren (mobilisatie en afbraak) als op de Baanstraat is gerealiseerd. Onderhavig onderzoeksrapport omvat een integrale weergave van de eindresultaten. Voor gedetailleerde informatie met betrekking tot uitgangspunten en historie van de onderzoekslocaties wordt verwezen naar de voorgaande deelrapportages.

#### 3.1 Vraagstelling

De vraagstelling is: *“Wat is de oorzaak van de verhoogde concentratie in de pluim na injectie van ozon”*. En in samenhang daarmee *“Wat is het invloedsgebied van een C-sparge™ bron en sparge® point”*.

#### 3.2 Hypothese C-sparge™-injectie Theemsdreef en Van Ostadelaan

Op basis van de behaalde resultaten op de Baanstraat en ervaringen van de aannemers met het systeem, is de volgende hypothese van de proef op de locaties Theemsdreef en Van Ostadelaan opgesteld:

*De hypothese is dat door C-sparge-injectie-™ mobilisatie en grondwatermenging optreedt en de grondwaterconcentraties toenemen.*

#### 3.3 Methode van toetsen hypothese

Op beide locaties is een C-sparge™ systeem aangelegd. Op de Theemsdreef een systeem met een C-sparge™ bron en op de Ostadelaan een systeem met individuele Spargepoints®. Gedurende een drietal weken is het systeem ingeschakeld.

Door middel van het aanbrengen van een monitoringsnetwerk van peilbuizen, grondwaterbemonsteringen, injecteren van tracer en het plaatsen van MIP-sonderingen, is getracht het effect van C-sparge™-injectie op de grondwaterstroming, het gedrag van de VOCl-verontreiniging en invloedsgebied van de C-sparge™-injectie in kaart te brengen.

Door middel van de veldmetingen van opgelost zuurstof, redoxpotentiaal, pH en grondwaterstand, binnen en rondom het verwachte invloedsgebied, kunnen de condities bij het C-Sparge™ proces vastgelegd worden. Tezamen met de grondwaterconcentraties en de MIP-sonderingen kunnen deze waarden inzicht geven in het invloedsgebied en de spelende bodemprocessen. Het redoxpotentiaal is van de parameters de meest bepalende factor. Een redoxpotentiaal > 150 mV duidt op optimale omstandigheden voor chemische oxidatie. Een verhoogd zuurstofgehalte ten opzichte van de nulmeting duidt erop dat de betreffende peilbuis binnen het invloedsgebied van de gas injectie is gelegen.

### **3.4 Resultaten uitvoering C-sparge™ proef**

De proef (injectie en monitoring) is uitgevoerd in de weken 26 t/m 28 2005. De installaties zijn in- en uitgeschakeld op de volgende data:

- Theemsdreef; ingeschakeld 27-06-2005; uitgeschakeld 30-07-2005
- Van Ostadelaan; ingeschakeld 27-06-2005; uitgeschakeld 20-07-2005

#### **3.4.1 Theemsdreef**

Op 27-06-2005 is de proef gestart door de installatie aan te zetten. Voor de proef is alleen gebruik gemaakt van de C-sparge™ bron 1. Hierbij is wisselend op de "outwell" (onderste) en de "inwell" (bovenste) Spargepoint® met een debiet van 4 Nm<sup>3</sup>/h gesparged. Met behulp van de "inwellpomp" is ±75m<sup>3</sup> water rond gepompt. In totaal is 4,4 kg ozon geïnjecteerd. Op 30-07-2005 is de installatie uitgezet.

#### **3.4.2 Van Ostadelaan**

De ozoninjectie heeft in Spargepoint SP6A (10,3 - 11 m -mv) plaatsgevonden in de periode 27 juni t/m 20 juli 2005. Het totale gasdebiet (overwegend lucht) bedroeg ca. 8 à 10 Nm<sup>3</sup>/uur. Hierbij heeft de injectie intermitterend plaatsgevonden (25 minuten aan, 25 minuten uit). Netto is gedurende ca. 222 uur ozon geïnjecteerd. In totaal is gedurende de proef 7,8 kg ozon geïnjecteerd. Er heeft geen grondwateronttrekking plaatsgevonden.

### **3.5 Resultaten monitoring**

#### **3.5.1 Theemsdreef**

In bijlage 5 is een dwarsdoorsnede van het monitoringsnetwerk inclusief de monitoringsgegevens opgenomen. De resultaten van de MIP sonderingen zijn opgenomen in bijlage 6.

Op de locatie is reeds een biologische sanering uitgevoerd. Op de locatie is een ondergronds netwerk van injectie- en onttrekkingsfilters aanwezig. Door middel van injectie van lactaat en onttrekking van grondwater op een kleine afstand van het injectiepunt is getracht het lactaat over de saneringslocatie te verspreiden. De sanering is gestaakt wegens tegenvallende resultaten.

### *Veldmetingen*

Uit de boorprofielen en de sonderingen blijkt dat op de locatie een zandpakket aanwezig is. In het traject tussen 7,0 en 9,0 m -mv bevindt zich een storende laag van wisselende dikte. Op basis van de sondeergegevens lijkt deze laag te bestaan uit kleilaagjes met zandige inschakelingen. De redoxpotentiaal was bij de nulmeting bij nagenoeg alle monitoringspunten ruim negatief. Dit betekent dat er sprake is van gereduceerde omstandigheden. Waarschijnlijk is dit het resultaat van het in de voorgaande sanering ingebrachte lactaat. Ook het zuurstofgehalte was zeer laag. De resultaten van de veldmetingen variëren per peilbuis. De metingen zijn weergegeven in de bijlage. Bij de C-Sparge™ bron wordt een zeer hoog zuurstofgehalte en hoge redoxpotentiaal gemeten. In een groot aantal peilbuizen is sprake van een stijgend verloop van de redoxpotentiaal en het zuurstofgehalte. In de overige peilbuizen is een fluctuerend zuurstofgehalte en redoxpotentiaal te zien. Opvallend is dat in enkele peilbuizen op grote afstand (Pb ?4 op 11 m afstand van de bron en Pb ?8 op 13.5 m afstand van de bron) belletjes te zien zijn in de peilbuizen.

In peilbuis 203 (4-5), circa 13 m zuidwestelijk van de bron en peilbuis 205 (4-5), circa 8,0 m noordoostelijk van de bron neemt zowel het zuurstofgehalte als de redoxpotentiaal in de tijd toe. In noordwestelijke en zuidoostelijke richting is een minder duidelijke toename van zuurstofgehalte en redoxpotentiaal te zien (fluctuerend).

### *Injectie tracer*

In de C-Sparge™ bron is eenmalig kaliumbromide oplossing geïnjecteerd. Tijdens de monitoring is in geen van de peilbuizen bromide aangetoond. In de bron zelf zijn wisselende maar aanzienlijke lagere bromide concentraties dan de geïnjecteerde oplossing aangetoond.

### *MIP-sonderingen*

Over het algemeen wordt van circa 2 tot 14 m –mv een significante uitslag op de DELCD verkregen. Dit is een indicatie voor de aanwezigheid van chloorhoudende verbindingen. Uit vergelijking van de resultaten van de nul- en eindmeting kan opgemaakt worden dat de respons op het MIP-systeem in de eindsituatie beduidend hoger is dan bij de nulsituatie. Zeer waarschijnlijk is in de tussenliggende tijd geadsorbeerd product gemobiliseerd. Mogelijk is als gevolg van mobilisatie en verspreiding binnen het proefgebied de concentratie plaatselijk verhoogd. Plaatselijk wordt in de nulmeting een hoge methaanpiek waargenomen, deze piek is niet gemeten in de eindmeting.

### *Concentratie metingen*

Tijdens de eindsituatie van de voorgaande sanering werd een rebound van vooral PER aangetoond. De samenstelling van de VOCl verontreiniging die is aangetroffen in de nulsituatie bestaat uit vinylchloride en CIS. Bij alle monitoringspunten wordt de interventiewaarde voor zowel CIS als vinylchloride overschreden. In geen enkel monitoringspunt komt een verhoogd gehalte aan PER en/ of TRI voor.

Tijdens de test is van 5 peilbuizen en de C-sparge™ bron het concentratieverloop in de tijd bepaald. De resultaten zijn weergegeven in de bijlage. In alle gemonitorde peilbuizen is na een aanvankelijke stijging van de concentraties sprake van een daling.

### *Resumé Theemsdreef*

Op basis van de resultaten veldmetingen, grondwatermonsternamen en MIP sonderingen is een invloedsstraal ingeschat. Als gevolg van de gelaagde bodemopbouw lijkt er enige verstoring in de verspreiding te zijn opgetreden. Ook door de vele verticale filters van de voorgaande sanering is waarschijnlijk verstoring van het invloedsgebied opgetreden. Uit de veld en laboratoriummetingen kan worden geconcludeerd dat een invloedsstraal van circa 10 meter is behaald. Op enige plaatsen is op een grotere afstand een invloed gemeten. Vermoedelijk is dit het resultaat van de storende laag op een diepte van circa 7 – 9 m –mv.

Het concentratieverloop van VOCL en de C-sparge™ bron laten een mobilisatie zien wat typerend is voor een C-sparge™ sanering. Door het mobilisatie-effect neemt in korte tijd de concentratie sterk toe. Doordat de verontreiniging niet homogeen verdeeld is in de bodem kan er fluctuatie ontstaan in het verloop. De concentratie neemt af indien er door mobilisatie minder vrijkomt dan er door het toegediende ozon kan worden afgebroken.

De door de C-Sparge™ Bron op gang gebrachte mobilisatie zorgt er voor dat de heterogene verdeling van de verontreiniging in het grondwater 'homogener' wordt en zo ook zichtbaar wordt in de peilbuizen. Na een aanvankelijke stijging (mobilisatie) dalen de concentraties. Ongewenste verspreiding (zowel verticaal als horizontaal) is niet waargenomen.

De driewekelijkse proef heeft inzicht verschaft over de distributie van de verontreiniging. De proef laat zien dat ook bij lagere concentraties op korte termijn een reductie van grondwaterconcentraties wordt behaald.

### **3.6 Resultaten Ostadelaan**

In bijlage 8 is een dwarsdoorsnede van het monitoringsnetwerk inclusief de monitoringsgegevens opgenomen. De resultaten van de MIP sonderingen zijn opgenomen in bijlage 9.

#### *Veldmetingen*

Het bodempakket bestaat uit een zandpakket tot een diepte van circa 40 m –mv. Bij de start van de proef is in de nulmeting een positieve redoxpotentiaal gemeten. Gedurende de proef is in de peilbuizen 2001, 2002 en 26 een duidelijke invloed gemeten. Circa 1,5 maand na beëindiging van de proef blijkt de redoxpotentiaal in de peilbuizen 2001, 2002, 2004, 26 en 102 verhoogd ten opzichte van de nulsituatie.

#### *Injectie tracer*

Op 27 juni is door Tauw de bromide oplossing geïnjecteerd via peilbuis 2002 (filter 2 8,5 – 9,5 m –mv). Uit de analyseresultaten van de nulmeting is gebleken dat er reeds een verhoogde concentratie met bromide in het grondwater aanwezig was.

Een significant verhoogde concentratie is uitsluitend waargenomen ter plaatse van monitoringsfilter 2002-2 (hierin is Br-oplossing geïnjecteerd). Het concentratieverloop van bromide laat een fluctuerend beeld in de tijd zien.

#### *MIP sonderingen*

Uit vergelijking van de resultaten van de nul- en eindmeting kan duidelijk opgemaakt worden dat de respons op het MIP-systeem in de eindsituatie sterk (circa 50%) is afgenomen t.o.v. de nulsituatie. Plaatselijk (MIP 4) is een toename in de respons van de DELCD waargenomen.

#### *Concentratie metingen*

Tijdens de proef blijven de concentraties in het monitoringsnetwerk over het algemeen in dezelfde orde grootte als tijdens de nulmeting. Peilbuis 2002 vormt hierop een uitzondering. Een stijging van grondwaterconcentraties na start van de injectie is niet waargenomen. Na de uitvoering van de proef is een eindmeting in een rustsituatie vergelijkbaar met de nulmeting uitgevoerd (na uitschakeling systeem). Opvallend zijn de lagere concentraties ter plaatse van de peilbuizen 2002 en 2003 (4,0 – 5,0 m -mv). In het kader van de full-scale sanering zijn eveneens grondwatermetingen verricht. Uit deze metingen blijkt dat de reductie in concentratie zich heeft doorgezet en ook wordt waargenomen in andere monitoringsfilters (o.a. 24, 2001-1, 101-1 en 102-1). De resultaten van de monitoringsgegevens van de proef, eindmeting en resultaten full-scale sanering zijn opgenomen in bijlage 8.

### *Resumé Ostadelaan*

De plotselinge toename aan VOCl-grondwaterconcentraties zoals waargenomen op de locatie Baanstraat is niet waargenomen. Het gemobiliseerde product is direct door het aanwezig ozon geoxideerd. Uit de sterk lagere concentratie in het grondwater ca. 1,5 maand na afloop van de proef (peilbuizen 2003 en 2004) en uit de MIP sonderingen worden afgeleid dat in zeer korte tijd een reductie van de grondwaterconcentraties is behaald (zie bijlage 8).

Bij de concentratie metingen in de peilbuizen, alsmede de MIP-sonderingen is geen op- of neerwaartse verspreiding en menging van verontreiniging geconstateerd. De DELCD en PID- pieken bij de MIP-sonderingen worden voor en na de injectie op hetzelfde traject waargenomen.

Zoals vermeld blijkt uit de MIP sonderingen dat een aanzienlijke reductie in vracht is behaald. De respons van de MIP sondering wordt bepaald door de totaal aanwezige vracht (opgelost, geadsorbeerd en puur product). De reguliere concentratiemetingen in het grondwater vertonen echter geen of een geringe reductie in concentratie. Er wordt dus wel een reductie behaald in de totale vracht (op basis van MIP resultaten) maar niet in de grondwaterconcentraties (op basis van monitoringsresultaten). Uitzondering hierop vormt peilbuis 2002 gelegen direct nabij het spargepoint®. Uit een vergelijk tussen de resultaten van de MIP sonderingen en grondwaterconcentraties kan worden geconcludeerd dat er wel degelijk mobilisatie optreedt maar dat er een soort van evenwicht bestaat tussen afbraak door ozon en mobilisatie.

Op basis van de sterk lagere concentratie in het grondwater ca. 1,5 maand na afloop van de proef (peilbuizen 2003 en 2004) worden afgeleid dat tijdens de proef een evenwichtsverschuiving van grond naar grondwater is opgetreden (mobilisatie tijdens de proef, herstel adsorptie evenwicht na afloop van de proef). Dit is een aanwijzing voor desorptie/mobilisatie tijdens de injectie. De desorptie / mobilisatie heeft tijdens de injectie niet geleid tot concentratie stijgingen doordat de gemobiliseerde verontreiniging meteen is geoxideerd door de geïnjecteerde ozon.

Inmiddels is de sanering full-scale doorgezet. Ter plaatse van het brongebied wordt grondwater onttrekking en aan de straatzijde wordt ozon geïnjecteerd. Uit de monitoringsresultaten blijkt dat de reductie van grondwaterconcentraties zich heeft doorgezet. Na 4 maanden is een aanzienlijke reductie behaald. Voor een overzicht van de resultaten wordt verwezen naar bijlage 8. Eind augustus is tevens het C-sparge™ systeem ingeschakeld. In totaal is een 15-tal spargepoints® in werking.

### 3.7 Conclusies C-sparge™ proef

De verklaring voor het optreden van concentratiestijgingen was dat dit mede veroorzaakt werd door de gevormde circulatiestroming. Ten behoeve van het aantonen van deze stroming is een bromide oplossing geïnjecteerd. Analyses geven echter geen uitsluitsel, in de monitoringsfilters zijn geen verhoogde bromide concentraties gemeten. In een theoretische situatie zou een circulatiestroming op moeten treden. Echter zelfs in een zandpakket met een uniforme opbouw zijn heterogeniteiten aanwezig die dat proces mogelijk verstoren. Dat er mobilisatie optreedt is, aan de hand van veld- en laboratoriummetingen bewezen en deze levert een grote bijdrage aan de effectiviteit van de techniek.

Op de locatie Theemsdreef is in eerste instantie een verhoging in grondwaterconcentraties gemeten. Deze verhoging na start injectie is op de Ostadelaan niet waargenomen. Waar bij de Ostadelaan het product waarschijnlijk direct is afgebroken door de ozon is ter plaatse van Theemsdreef eerst een toename in concentratie geconstateerd. Mogelijk is een deel van de afbraakcapaciteit verbruikt door resterende hoeveelheden substraat in de ondergrond. Na de toename op de locatie Theemsdreef wordt een afname in concentraties waargenomen. De grondwaterconcentraties op de Ostadelaan tonen gedurende de proef eenzelfde orde van grootte met uitzondering van monitoringsfilter 2002 gelegen direct naast het spargepoint®. Na beëindiging van de proef blijkt uit metingen dat de totale concentraties ter plaatse van de Ostadelaan zijn gereduceerd. Een mogelijke verklaring van de verschillen in mobilisatie Theemsdreef/ Ostadelaan kan liggen in ozon belading, aanwezige vracht en bodemopbouw. Ter plaatse van de Theemsdreef is een storende laag aanwezig tussen de 7 en 9 m –mv. Binnen deze storende laag kunnen zich pockets of zones met hoge concentratie bevinden. Op de Ostadelaan is een dik zandpakket aanwezig waar de verontreiniging zich van nature beter heeft verdeeld (zie ook MIP-sonderingen).

Daarnaast blijkt uit de MIP sonderingen uitgevoerd op de Ostadelaan na afloop van de proef dat er een aanzienlijke reductie is behaald. Echter zijn echter grondwaterconcentraties gemeten op de Ostadelaan van eenzelfde orde van grootte. De MIP sondering meet de totale (gebonden en ongebonden) vracht waar grondwater analyses alleen inzicht verschaffen in de opgeloste fase. Op basis van de verschillen in meting is er dus wel degelijk een reductie behaald welke door middel van de reguliere grondwatermonsternamen niet direct inzichtelijk wordt gebracht. Met andere woorden mobilisatie heeft wel plaatsgevonden maar er is waarschijnlijk direct afbraak opgetreden. Het wel of niet optreden van deze verhoogde concentraties is dan ook een samenspel van de bodemopbouw, aanwezige vracht en ozon belading (oxidatieve kracht).

Circulatiestromen zijn niet waargenomen. Door middel van een afdoende oxidantbelading wordt gemobiliseerde verontreiniging direct afgebroken en is er van een verspreidingsrisico geen sprake. In beide proeven is onderzoek verricht naar horizontale (afstroming van grondwater) als verticale (uitzakken van verontreinigd grondwater) verspreiding. Ongewenste verspreiding is niet aangetoond.

De hypothese: “De hypothese is dat door C-sparge-injectie-™ mobilisatie en grondwatermenging optreedt en de grondwaterconcentraties toenemen” kan op basis van de resultaten worden geaccepteerd. Door middel van veldmetingen en concentratiemetingen is op beide locaties een invloedsstraal van circa 10 meter aangetoond.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

De volgende conclusies worden getrokken, er is onderscheid gemaakt in de presentatie en doorgronding van het proces:

#### 4.1.1 Presentatie C-sparge™ injectie

- Aanvullende mobilisatie van verontreiniging waardoor de sanerende werking vergroot wordt is het voornaamste succes van C-sparge™
- De gasvormige injectie zorgt voor een relatief grote reikwijdte
- Binnen de korte tijdsperiode van een aantal weken kan een concentratiedaling van verontreiniging worden gerealiseerd

#### 4.1.2 Procesbeschrijving C-sparge™ injectie

- Het invloedsgebied waarin mobilisatie en afbraak plaats vindt is in de gebruikte proefopstellingen circa 10 meter
- Circulatiestromingen als gevolg van C-sparge™ injectie zijn niet aangetoond
- De bodemopbouw, ondergrondse infrastructuur en hoogte waterkolom t.o.v. filterstelling is bepalend voor de reikwijdte en voorspelbaarheid van deze reikwijdte
- Door het afstemmen van de ozon belading van het luchtmengsel wordt gemobiliseerd product direct afgebroken en vindt er geen verspreiding plaats
- Ongewenste verspreiding van verontreinigd grondwater, zowel verticaal als horizontaal is niet aangetoond

### 4.2 Aanbevelingen

Resultaten van saneringsprojecten alsmede de resultaten van het SKB onderzoek laten zien dat C-sparge™ een techniek is waar op korte termijn een goed resultaat kan worden behaald. Echter vanwege de relatieve onbekendheid van de techniek kiezen eindgebruikers soms voor een andere, meer conventionele techniek. Een aanbeveling is om de resultaten van behaalde projecten middels C-sparge™ door middel van publicaties, symposia etc te presenteren aan de markt (eindgebruikers).

De locatie Theemsdreef laat zien dat bodemopbouw maar ook de ondergrondse infrastructuur en effecten (mogelijke aanwezigheid substraat) van de voorgaande sanering van groot belang zijn bij het dimensioneren van een sanering door middel van de C-sparge™ techniek. Bij het dimensioneren van een saneringsmaatregel dienen zorgvuldig de eventuele obstakels, bodemopbouw en eventuele al dan niet natuurlijke bodembehoefte in kaart gebracht te worden. Door bijvoorbeeld aanvullende spargepunten op een ondoorlatende laag te plaatsen kan een groot invloedsgebied worden behaald en verontreiniging aanwezig ter hoogte van deze laag worden gemobiliseerd. In het kader van de full-scale sanering Theemsdreef is deze strategie gehanteerd. Resultaten van deze full-scale sanering zijn ten tijde van het opstellen van onderhavig document nog niet bekend. De full-scale sanering ter plaatse van de Ostadelaan laat

zien dat injectie door twee verticaal geplaatste spargepunten het invloedsgebied aanzienlijk vergroot (straal circa 18 meter). Een overzicht van het behaalde invloedsgebied is opgenomen in bijlage 8.

Door het zorgvuldig in kaart brengen van de lokale situatie kan vooraf een goede voorspelling van het te verwachten invloedsgebied gemaakt worden. Daarnaast dient de ozon belading zorgvuldig afgestemd te worden op de aanwezige vracht. Blijkt na injectie dat er een aanvullende vracht aanwezig is (mobilisatie van product) kan relatief eenvoudig de ozon belading en/of het injectiedebiet aangepast worden. Hiermee wordt te allen tijde het eventueel optreden van verspreiding als gevolg van C-sparge™ injectie voorkomen.

Daarnaast is uit de monitoring van de proef gebleken dat de resultaten van de MIP-sonderingen een ander beeld geven dan de reguliere grondwatermonstername. De MIP-sondering geeft een goede relatie tussen de bodemopbouw en de verontreiniging. De MIP metingen bevatten veel meer informatie dan tevoren vermoed, het verdient aanbeveling het maximale aan gegevens uit deze meetmethode te extraheren in de vervolgfase.

Een probleem in bodemsaneringsprojecten van VOCl verontreinigingen is de aanwezigheid van puur/ residuair product. Ten einde een juiste inschatting van de benodigde saneringsmiddelen en saneringsduur te komen is een goed beeld van de verontreinigingsopbouw noodzakelijk. MIP's kunnen hierin een bron van aanvullende informatie zijn, puur product of zones van hoge concentratie kunnen hiermee inzichtelijk gemaakt worden. Echter heeft de MIP techniek ten opzichte van de reguliere grondwatermonstername een relatief hoge detectielimiet. Daarnaast is het binnen het huidige beleid niet mogelijk de resultaten van een MIP sondering te toetsen aan bijvoorbeeld de streef- en interventiewaarden. Op dit moment worden deze twee meetmiddelen beide gebruikt in het onderzoek. Het is moeilijk om een vergelijk te maken tussen de resultaten van beide methoden, MIP geeft een indruk van de totale gehalten in grond en grondwater, reguliere peilbuisbemonsteringen een reflectie van de concentratie in watervoerende lagen. Aangeraden wordt om de vergelijkbaarheid en betrouwbaarheid van de meetmethoden van VOCl nader te onderzoeken in de vervolgfase.

### **4.3 Nieuwe ontwikkelingen**

Uit de gegevens van de locatie Baanstraat blijkt dat er ook bij C-sparge™ sanering een evenwicht tussen mobilisatie, afbraak en nalevering kan ontstaan. Op de locatie Baanstraat zijn tussentijds aanvullende spargepoints® geplaatst om de effectiviteit te verhogen. Er is echter op een gegeven moment het maximale rendement van de techniek behaald. Dit vertaalt zich in de zogenaamde asymptoot bij de vrachtbenadering (zie Grafiek 2-1 Logaritmische weergave vrachtverwijdering vs tijd). Bij het bereiken van dit punt is, uit oogpunt van kosteneffectiviteit, een andere benadering noodzakelijk. Mogelijk is er sprake van een stabiele eindsituatie wanneer dit punt bereikt wordt.

Gegevens van de stoptest op de locatie Baanstraat zijn ten tijde van het opstellen van onderhavige rapportage niet bekend. Wel zijn er proeven bekend die aangeven dat, op een locatie waar biologische afbraak optreedt, deze na chemische oxidatie wordt gestimuleerd. Gezien de bodemopbouw ter plaatse van de Baanstraat is het voor deze locatie waarschijnlijk niet de best mogelijke techniek. Maar voor andere locaties zou het een goed alternatief zijn om de laatste resterende verontreiniging aan te pakken indien dit nodig is. Aangeraden wordt onderzoek te verrichten naar de mogelijkheden van (gestimuleerde) biologische afbraak na chemische oxidatie.

Naast de injectie door middel van de C-sparge™ techniek zijn er ook technieken waarin een gas/vloeistof mengsel wordt geïnjecteerd. Het gas wordt voorzien van een coating van een oxidatieve vloeistof. Naast een versterking van de oxidatieve kracht wordt, volgens opgave van de producent, ook het invloedsgebied vergroot. In het brongebied van het project Ostadelaan is het zogenaamde Perozone® systeem geïnstalleerd. Ten tijde van het opstellen van onderhavige rapportage zijn hier echter nog geen resultaten van bekend.

# Bijlage

## 1

Schematisch overzicht optreden circulatiestroom C-sparge™

techniek



# **Bijlage**

## **2**

**Saneringssysteem Baanstraat**



# Bijlage

## 3

Monitoringsgegevens Baanstraat



# Bijlage

## 4

Saneringssysteem Theemsdreef



# Bijlage

## 5

Monitoringsgegevens Theemsdreef



# Bijlage

## 6

Resultaten MIP-sonderingen Theemsdreef



# Bijlage

## 7

Saneringssysteem Ostadelaan



# Bijlage

## 8

Monitoringsgegevens Ostadelaan



# Bijlage

## 9

Resultaten MIP-sonderingen Ostadelaan