

SV-058

Totaal Concept Evenblij

Optimalisatie van de infiltratie en meting van
de effectiviteit van de infiltratie binnen het
TCE-concept

ir. A.W. van der Werf (Bioclear b.v.)
ir. M.J.C. Henssen (Bioclear b.v.)
ing. C. Hubach (DHV Milieu en Infrastructuur BV, vestiging Noord)
C. Haasnoot (Logisticon Water Treatment b.v.)

november 2001

Gouda, SKB

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Totaal Concept Evenblij", november 2001, SKB, Gouda."

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Titel rapport

Totaal Concept Evenblij

SKB rapportnummer

SV-058

Optimalisatie van de infiltratie en meting van de
effectiviteit van de infiltratie binnen het TCE-concept

Project rapportnummer

SV-058

Auteur(s)

ir. A.W. van der Werf
ir. M.J.C. Henssen
ing. C. Hubach
C. Haasnoot

Aantal bladzijden

Rapport: 22
Bijlagen: 19

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

Provincie Drenthe (ing. E. Meijerink, 0592-365881)
DHV Milieu en Infrastructuur BV, vestiging Noord (ing. C. Hubach, 050-3695409)
Bioclear b.v. (ir. A.W. van der Werf, 050-5718455)
Logisticon Water Treatment b.v. (C. Haasnoot, 0184-608260)
Wageningen Universiteit (dr.ir. G. Schraa, 0317-483620)

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Op de locatie Evenblij te Hoogeveen wordt een biologische in situ proefsanering uitgevoerd door infiltratie in de bodem van het effluent van anaërobe dechlorerende bioreactoren: het TCE-concept. De doelstelling hiervan is het aanbrengen van dechlorerende biomassa in de bodem, waardoor anaërobe dechlorering van de VOCl-verontreiniging wordt gestimuleerd. Tot januari 2000 is de herinfiltratie van het biomassahoudende water een kritische stap gebleken door snelle verstopping van de infiltratieputten. In de periode van april tot oktober 2000 zijn de knelpunten in het systeem geïdentificeerd en zijn de mechanismen van putverstopping opgehelderd. Na aanpassingen in het systeem is infiltratie gedurende minimaal drie maanden mogelijk gebleken zonder dat significante verstopping van de infiltratieput is opgetreden. Bovendien blijkt het stimulerend effect van de biomassa in de bodem zeer groot te zijn. Op basis van de resultaten is besloten over te gaan tot fase 2 van het TCE-project: de implementatie op praktijkschaal.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

anaëroob, biologische afbraak, biomassa
infiltratie, in situ

Vrije trefwoorden:

anaërobe dechlorering, bio-augmentatie, bioreactor, gechlorideerde koolwaterstoffen, totaal concept

Titel project

Totaal Concept Evenblij

Projectleiding

DHV Milieu en Infrastructuur BV,
vestiging Noord
(ing. C. Hubach, 050-3695409)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:
SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

INHOUD

		SAMENVATTING	V
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
	1.1	Achtergrond van het TCE-concept	1
	1.2	Doelstelling	2
	1.3	Resultaten van de mini-workshop	2
	1.4	Leeswijzer	3
Hoofdstuk	2	UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN	5
	2.1	Inleiding	5
	2.2	Vooronderzoek	5
	2.3	Infiltratieproef	5
	2.3.1	Infrastructuur van de infiltratieproef	6
	2.3.2	Debieten	6
	2.3.3	Koolstofbron	6
	2.3.4	Preventieve putgeneratie	7
	2.4	Meeloopfilteronderzoek	7
Hoofdstuk	3	RESULTATEN VAN HET VOORONDERZOEK	9
	3.1	Inleiding	9
	3.2	Samenvatting van de resultaten van het vooronderzoek	9
	3.3	Aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering	10
Hoofdstuk	4	RESULTATEN VAN DE INFILTRATIEPROEF	11
	4.1	Inleiding	11
	4.2	Verloop van de infiltratieproef	11
	4.2.1	Verificatie van het effect van de aanpassingen	11
	4.2.2	Uitvoering van de infiltratieproef	11
	4.2.3	Effect van de preventieve putgeneratie	12
	4.2.4	Effect van de open/gesloten putkop	12
Hoofdstuk	5	EFFECTIVITEIT VAN DE INFILTRATIE	13
	5.1	Inleiding	13
	5.2	Monitoring van de waarnemingsfilters	13
	5.2.1	Resultaten van de eerste monitoringsronde	13
	5.2.2	Monitoring van de overige waarnemingsfilters en putten	14
	5.2.3	Resultaten van de monitoringsronden tijdens de infiltratieproef	14
	5.3	Waterbatches	15
	5.4	Modelberekeningen	16
Hoofdstuk	6	MEELOOPFILTERONDERZOEK	17
	6.1	Inleiding	17
	6.2	Uitvoering van het meeloopfilteronderzoek	17
	6.3	Resultaten van het meeloopfilteronderzoek	18
Hoofdstuk	7	SAMENVATTENDE CONCLUSIES	19

Bijlage	A	KAART VAN DE LOCATIE
Bijlage	B	STIJGHOOGTEVERLOOP VAN DE INFILTRATIEPROEF VAN DECEMBER 1999 TOT JANUARI 2000
Bijlage	C	ANALYSERESULTATEN VAN DE MONITORING VAN DE WAARNEMINGSFILTERS
Bijlage	D	ANALYSERESULTATEN VAN DE OVERIGE WAARNEMINGS- FILTERS EN PUTTEN
Bijlage	E	RESULTATEN VAN DE WATERBATCHES
Bijlage	F	ANALYSERESULTATEN VAN DE MONITORING VAN HET MEELOOPFILTERONDERZOEK
Bijlage	G	NOTITIE VAN DE OPMENGING/VERDRINGING VAN HET GRONDWATER BIJ INFILTRATIE
Bijlage	H	LIJST VAN DE AANWEZIGEN OP DE MINI-WORKSHOP D.D. 10 MAART 2000

SAMENVATTING

Totaal Concept Evenblij

Op de locatie Evenblij te Hoogeveen wordt getracht door middel van het TCE-concept (Totaal Concept Evenblij) de aanwezige grond- en grondwaterverontreiniging biologisch in situ te verwijderen. De Evenblij-locatie is verontreinigd met gechloreerde ethenen. Door de infiltratie van (anaërobe) dechlorerende biomassa wordt afbraak van de verontreiniging in situ gestimuleerd: het TCE-concept.

In figuur I is het TCE-concept schematisch weergegeven.

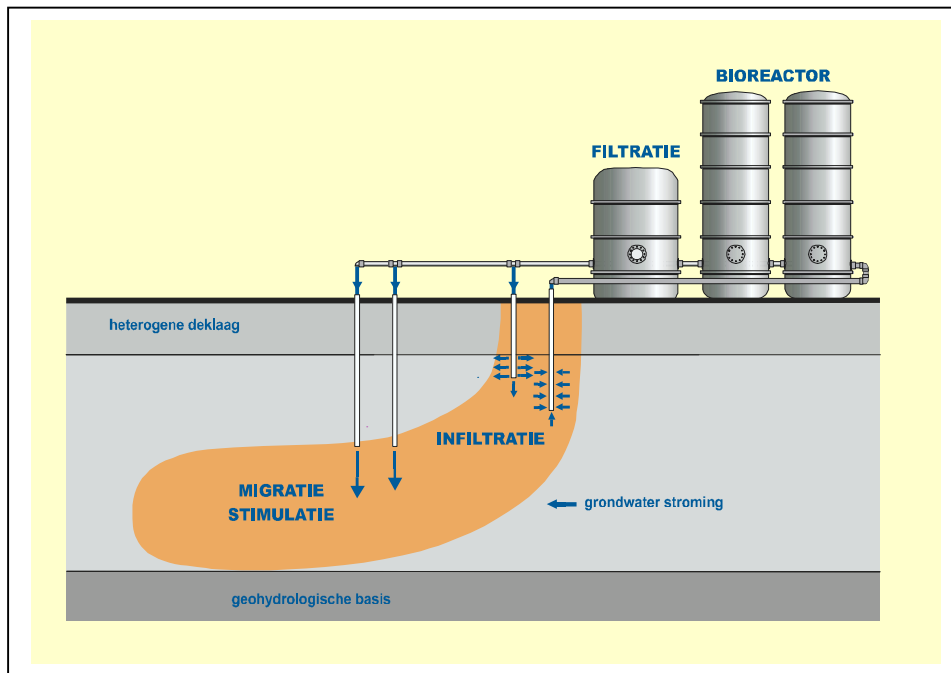


Fig. I. TCE-concept.

Het onttrokken verontreinigde grondwater wordt bovengronds behandeld in een anaërobe dechlorerende bioreactor. Het behandelde water wordt na een zandfiltratiestap geherinfiltréerd. Het infiltratiewater bevat anaërobe dechlorerende biomassa die, eenmaal in de bodem aangebracht, de in situ dechlorering tot stand dient te brengen.

Een belangrijk onderdeel van het TCE-concept is het infiltreren van dechlorerende biomassa. Tot januari 2000 is de herinfiltratie van het biomassahoudende water een kritische stap gebleken door snelle verstopping van de infiltratieputten. Daarnaast was niet bekend hoe groot het stimulerend effect van de biomassa in de bodem is, hetgeen van belang is voor het bepalen van de benodigde standtijd van de infiltratieputten.

In de periode van april tot oktober 2000 zijn de knelpunten in het systeem geïdentificeerd en zijn de mechanismen van putverstopping opgehelderd. Gebleken is dat door een onvoldoende stabiele bedrijfsvoering regelmatig aëroob water in de putten wordt geïnfiltreerd met als gevolg de vorming van oxide- en hydroxideneerslagen. Daarnaast worden door sulfaatreductie sulfiden gevormd in de bioreactoren, die in de infiltratieputten neerslaan als ijzer- en zinksulfiden. Fosfaat-

neerslagen worden (in mindere mate) gevormd in de putten, afkomstig van de (te hoge) dosering van fosfaat op het influent van de bioreactoren.

Op basis van de geïdentificeerde knelpunten en de mechanismen van putverstopping zijn aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering aangebracht. Het doel van deze aanpassingen is om een stabiele en continue bedrijfsvoering te garanderen. Bovendien is de nutriëntendosering op de bioreactoren geoptimaliseerd.

Het effect van de uitgevoerde aanpassingen is geverifieerd in een infiltratieproef. Infiltratie gedurende minimaal drie maanden is mogelijk gebleken zonder dat significante verstopping van de infiltratieput is opgetreden. In deze periode is circa 1.250 m³ per put geïnfiltreerd. In deze testperiode is gebleken dat preventieve putregeneratie door middel van periodieke dosering van citroenzuur in de infiltratieputten een positief effect heeft op de mate van putverstopping.

Om de benodigde tijdsduur voor de infiltratie te kunnen inschatten, en daarmee de benodigde standtijd van de infiltratieputten, is het nodig om te weten hoe groot het stimulerend effect van het infiltratiewater in de bodem is. De verspreiding van de biomassa in de bodem verloopt snel: na drie maanden infiltratie is op minimaal 7,5 meter afstand van de infiltratieputten dechloreringscapaciteit van PER tot etheen aanwezig. Op basis van een geohydrologische modelstudie wordt ingeschat dat de retardatiecoëfficiënt van biomassa 3 bedraagt. Na de infiltratie treedt in het grondwater binnen korte tijd een volledige dechlorering van de gechloreerde verbindingen tot de onschadelijke producten etheen en zelfs ethaan op.

Deze positieve resultaten ondersteunen de werking van het Totaal Concept Evenblij. De infiltratie van biomassahoudend water is beheersbaar en het stimulerend effect in de bodem is groot. Derhalve is besloten over te gaan tot fase 2 van het TCE-project: de implementatie op praktijkschaal.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 Achtergrond van het TCE-concept

Op de locatie Evenblij te Hoogeveen wordt getracht door middel van het TCE-concept (Totaal Concept Evenblij) de aanwezige grond- en grondwaterverontreiniging biologisch in situ te verwijderen. De Evenblij-locatie is verontreinigd met gechloreerde ethenen. In een eerdere fase van het TCE-project (fase 1) is aangetoond dat de bodem van nature onvoldoende capaciteit bevat om de verontreiniging af te breken. Ook door stimulatie van de anaërobe afbraak, door middel van dosering van een koolstofbron, is volledige biologische afbraak van de verontreiniging niet mogelijk gebleken. Geconcludeerd is dat op de locatie de juiste microbiële populatie niet aanwezig is. Derhalve wordt getracht door de infiltratie van (anaërobe) dechlorerende biomassa de afbraak van de verontreiniging in situ te stimuleren: het TCE-concept.

In figuur 1 is het TCE-concept schematisch weergegeven.

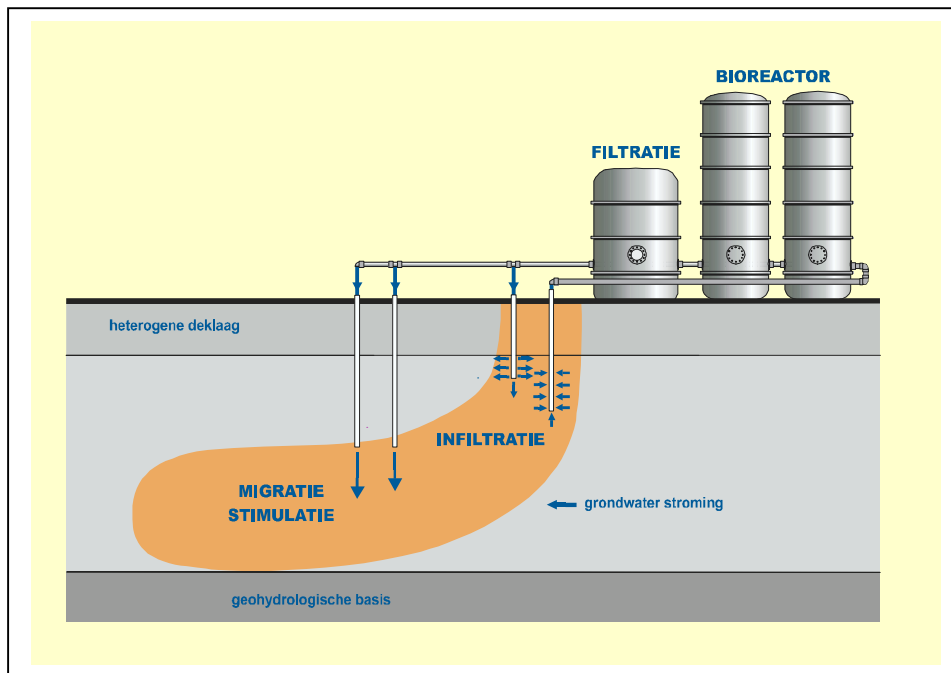


Fig. 1. TCE-concept.

Het onttrokken verontreinigde grondwater wordt bovengronds behandeld in een anaërobe dechlorerende bioreactor. Het behandelde water wordt na een zandfiltratiestap geherinfiltrerd. Het infiltratiewater bevat anaërobe dechlorerende biomassa die, eenmaal in de bodem aangebracht, de in situ dechlorering tot stand dient te brengen.

Een belangrijk onderdeel van het TCE-concept is het infiltreren van dechlorerende biomassa en het toevoegen van een koolstofbron aan het grondwater. In de periode tot januari 2000 zijn meerdere infiltratieproeven uitgevoerd. Infiltratie van het effluent van de bioreactoren is hierin problematisch gebleken. Vanaf de opstart van de infiltratie beginnen de infiltratieputten te verstopten en binnen 2 tot 4 weken zijn de putten volledig verstopt (maximaal behaald infiltratievolume 1.000 m³ per put).

Tot nu toe is niet alleen de infiltratie problematisch gebleken, maar bovendien is niet bekend wat het stimulerend effect van het effluent van de bioreactoren in de bodem is: de invloedsstraal van het beïnvloede gebied en de snelheid van het dechloreringsproces in situ. Het stimulerend effect in de bodem is bepalend voor de benodigde hoeveelheid infiltratiewater en daarmee voor de benodigde standtijd van de infiltratieputten.

1.2 Doelstelling

In deze rapportage worden de resultaten behandeld van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd naar aanleiding van de verstoppingsproblemen in de infiltratieputten op de locatie Evenblij te Hoogeveen. De werkzaamheden zijn uitgevoerd in de periode van april tot oktober 2000.

Het doel van de uitgevoerde werkzaamheden is:

- het mechanisme van putverstopping op de locatie te achterhalen;
- oplossingen te creëren om een langduriger probleemloze infiltratie van het effluent van de bioreactoren mogelijk te maken;
- vaststellen wat het effect van de oplossingen is op de infiltratieduur;
- vaststellen van de mate van stimulatie door infiltratie van het effluent van de bioreactoren in de bodem.

1.3 Resultaten van de mini-workshop

Voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden in het kader van de interimfase is de problematiek en het plan van aanpak binnen een mini-workshop besproken met externe deskundigen (d.d. 10 maart 2000). De lijst van de aanwezigen op de mini-workshop is weergegeven in bijlage H.

Naar aanleiding van de workshop zijn de volgende conclusies getrokken:

- Zeer waarschijnlijk speelt aërobie een rol in de verstopping. Het nauwkeurig doormeten van het totale systeem op zuurstoetreding, zowel bovengronds als ondergronds, is daarom essentieel. Mogelijke knelpunten in het proces, zoals afsluiters, stilstaand water en bij stilstand van het proces leeglopende leidingen, dienen daarbij te worden vermeden en verwijderd. Het infiltratiewater is nu nog niet anaëroob genoeg.
- Melasse als koolstofbron wordt als minder gunstig beschouwd. Indien praktisch, technisch en kostentechnisch mogelijk wordt de voorkeur gegeven aan andere, meer eenzijdige koolstofbronnen (die eventueel in hogere concentraties toxisch zijn).
- De dimensionering van de putten en de procescondities in de put lijken goed. Dit is echter niet eenduidig. Het is mogelijk dat door temperatuurverschillen en de relatief lange verblijftijd van het water in de put een ongunstige menging optreedt in de put. Verhoging van het debiet (en verlaging van de temperatuur) kan dan helpen. Anderen impliceren juist dat de snelheid nu al te hoog is.
- Ten aanzien van het gebruik van open of gesloten putkoppen heersen verschillende meningen. De conclusie was echter dat veiligheidshalve gekozen zou moeten worden voor het gebruik van gesloten putkoppen.
- Meeloopfilters worden gezien als een nuttig middel om verstoppingsproblemen in kaart te brengen, vooropgesteld dat vooraf goed duidelijk is wat je gaat doen en met welk doel.
- Wellicht dat continue infiltratie van biomassa problemen geeft. Discontinue dosering van de bacteriën uit de reactoren, in combinatie met discontinue koolstofbrondosering en/of een nutriëntenlimitering, kan dan een oplossing bieden.
- Gezien de samenstelling van het infiltratiewater is het mogelijk dat het water chemisch nog niet in evenwicht is, maar dat het optreden van chemische neerslagen kinetisch bepaald is. Het is

derhalve mogelijk dat in het zeer heldere infiltratiewater nog (langzaam) neerslagen worden gevormd.

- Algemeen wordt aangegeven dat preventieve putregeneratie nodig is voor een langere termijn van probleemloze infiltratie.

Op basis van de resultaten van de workshop is het definitieve plan van aanpak geformuleerd en zijn de bijbehorende activiteiten nader gespecificeerd.

1.4 **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt een beknopt overzicht gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het vooronderzoek samengevat. In het vooronderzoek is getracht het mechanisme van putverstopping op te helderen en de knelpunten in het systeem en de bedrijfsvoering in kaart te brengen. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de infiltratieproef behandeld, met name de infiltratietechnische aspecten. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de werkzaamheden weergegeven die zijn uitgevoerd om het effect van de infiltratie en de invloedsstraal in de bodem vast te stellen. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van het meelooptfilteronderzoek weergegeven. Tot slot zijn in hoofdstuk 7 de conclusies van de interimfase samengevat.

HOOFDSTUK 2

UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN

2.1 Inleiding

Het doel van de in het kader van de interimfase uitgevoerde werkzaamheden is om de mechanismen van putverstopping op te helderen, de knelpunten in het systeem en de bedrijfsvoering te identificeren en aan te passen, vaststellen wat het effect van de aanpassingen op de infiltratie is en bepalen wat het stimulerend effect van de infiltratie in de bodem is.

De werkzaamheden kunnen worden onderverdeeld in:

- *Vooronderzoek*
Het vooronderzoek heeft zich gericht op het mechanisme van de putverstopping en de knelpunten in het systeem en de bedrijfsvoering van het systeem. Op basis van de resultaten van het vooronderzoek zijn aanpassingen aan het systeem uitgevoerd met het doel te komen tot een meer probleemloze infiltratie.
- *Uitgevoerde infiltratieproef*
Na de uitgevoerde aanpassingen is de infiltratie wederom opgestart. De werkzaamheden ten tijde van de infiltratieproef zijn gericht geweest op het effect van de aanpassingen op de infiltratieduur en op het effect van de infiltratie van biomassa op de dechloreringscapaciteit van de bodem.

2.2 Vooronderzoek

Zuurstoeftoetreding in het systeem is mogelijk één van de belangrijkste oorzaken van putverstopping. Het doorlichten van het systeem vormt daarmee de eerste stap naar de oplossing van het infiltratieprobleem. De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd in het vooronderzoek:

- *Evaluatie en doormeten van het systeem*
Het bovengrondse systeem voor de grondwaterbehandeling is geëvalueerd en doorgemeten onder verschillende bedrijfscondities (met name analyses op redoxparameters). De focus heeft hierbij gelegen op het identificeren van de knelpunten in het systeem die zuurstoeftoetreding in het systeem tot gevolg hebben. Bovendien zijn de leidingen op diverse punten geïnspecteerd op mogelijke aangroei en indien aanwezig zijn monsters van aangegroeid materiaal geanalyseerd.
- *Regeneratie van verstopte infiltratieputten en uitvoering van analyses op het vrijkomende verstoppingsmateriaal*
De in de vorige infiltratieperiode verstopte infiltratieputten zijn mechanisch en chemisch (met waterstofperoxide en zoutzuur) geregenereerd. De doelstelling hiervan is te onderzoeken in hoeverre eenmaal verstopte putten te regenereren zijn en welke methode het beste rendement geeft. Bovendien zijn analyses uitgevoerd op het vrijkomende verstoppingsmateriaal om de samenstelling van dit materiaal te achterhalen en daarmee inzicht te verkrijgen in het verstoppingsmechanisme.

2.3 Infiltratieproef

Na de uitvoering van het vooronderzoek zijn aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering aangebracht. Vervolgens is de infiltratie opgestart. De doelstelling van de infiltratieproef is het vaststellen van de invloed van de aangebrachte aanpassingen op de infiltratieduur en bepalen wat

de mate van stimulatie in de bodem is door de infiltratie van biomassa en koolstofbron (invloedsstraal en afbraaksnelheden).

De invloed van de aanpassingen op de putverstopping is vastgesteld en gevolgd door monitoring van de stijghoogten in de infiltratieputten. Bovendien is de samenstelling van het infiltratiewater gemonitord.

Uit waarnemingsfilters, geplaatst rondom de infiltratieputten I5B en O6C, zijn tijdens de infiltratieproef periodiek watermonsters genomen. Door middel van analyses op VOCl, koolstofbron (TOC) en nutriënten (ammonium en ortho-fosfaat) op het grondwater en afbraaktests op laboratoriumschaal is het effect van de infiltratie op de dechlorering in de bodem vastgesteld en de invloedsstraal van het gestimuleerde gebied.

2.3.1 *Infrastructuur van de infiltratieproef*

Bij de uitvoering van de infiltratieproef is gebruik gemaakt van het in tabel 1 weergegeven infiltratie- en onttrekkingssysteem. Voor de exacte ligging van de putten wordt verwezen naar de kaart van de locatie in bijlage A.

Tabel 1. Infiltratie- en onttrekkingssysteem van de infiltratieproef.

put	opmerking	open/gesloten putkop	waarnemingsfilters*
<i>Infiltratie:</i>			
- I5B (17,5 - 24 m-mv)	nieuw geplaatste put	gesloten	Wa en Wb (20 - 22 m-mv)
- O6C (25 - 33 m-mv)	bestaande put, gebruikt/ge-regenereerd	open	Wc en Wd (28 - 30 m-mv)
- O4C (33 - 40 m-mv)	bestaande put, vers	gesloten	-
<i>Onttrekking:</i>			
- O5A (17,5 - 25 m-mv)			
- O5B (25 - 33 m-mv)			

* Wa en Wb bevinden zich op respectievelijk 3 en 7,5 meter vanaf infiltratieput I5B
Wc en Wd bevinden zich op respectievelijk 5 en 10 meter vanaf infiltratieput O6C

Put O6C is uitgevoerd met een open putkop. Aangezien deze put ook is gebruikt in de eerder uitgevoerde infiltratieproef, dient deze put als referentie om vast te stellen of aanpassingen in het bovengrondse systeem het gewenste effect hebben met betrekking tot het voorkomen van putverstopping. De putten I5B en O4C zijn uitgevoerd met een gesloten putkop. Er zijn geen verdere aanpassingen van de dimensionering van de putten uitgevoerd.

2.3.2 *Debieten*

Infiltratiedebiet: 0,75 m³/uur per put.

Onttrekkingsdebiet: circa 4,3 m³/uur (totaal):

→ O5A (17,5 - 25 m-mv): 1,1 m³/uur;

→ O5B (25 - 33 m-mv): 3,2 m³/uur.

Bioreactor 1 en 2: 1 m³/uur elk → conventionele zuivering.

Bioreactor 3 en 4: 2,25 m³/uur totaal → infiltratie.

Bij de ingestelde infiltratiedebieten bedraagt de snelheid op de boorgatwand circa 0,16 m/uur.

2.3.3 *Koolstofbron*

Gedurende de eerste vier weken van de infiltratieproef is geen koolstofbron gedoseerd in de putten. Vanaf de vijfde week is wekelijks eenmalig koolstofbron gedoseerd op alle infiltratieputten

(handmatig). Een mengsel van acetaat en lactaat is gebruikt als koolstofbron (14 kg natriumacetaat en 21 kg 60 % natriumlactaat per dosering). Ammoniumchloride en natriumtripolyfosfaat zijn toegevoegd als anorganische nutriënten (1,2 kg ammoniumchloride en 0,13 kg natriumtripolyfosfaat per dosering).

2.3.4 *Preventieve putregeneratie*

De preventieve putregeneratie is getest op put I5B. Regeneratie is uitgevoerd door middel van een wekelijkse dosering van citroenzuur. Na de dosering is de infiltratie gedurende 6 tot 12 uur stilgezet om de gevormde neerslagen te laten oplossen. Vervolgens is de infiltratie hervat. De infiltratieputten zijn niet afgepompt voorafgaand aan de hervatting van de infiltratie.

2.4 **Meeloofilteronderzoek**

Parallel aan de infiltratieproef is een meeloofilteronderzoek uitgevoerd. Meeloofilters zijn bovengronds geplaatste kolommen gevuld met bodemmateriaal, waardoor de te infiltreren waterstromen worden geleid. Met behulp van meeloofilters kunnen de processen, die bij infiltratie in de infiltratieputten optreden, gesimuleerd en nauwkeurig gemonitord worden. Het meeloofilteronderzoek is uitgevoerd door KIWA.

RESULTATEN VAN HET VOORONDERZOEK

3.1 Inleiding

In het kader van de optimalisatie van de infiltratie binnen het TCE-project zijn, voorafgaand aan de opstart van de nieuwe infiltratieproef, werkzaamheden verricht om de knelpunten met betrekking tot de infiltratie van het effluent van de bioreactoren te identificeren en het mechanisme van putverstopping op te helderen. De werkzaamheden hebben bestaan uit de inspectie van het systeem en de monitoring op kritische parameters en de regeneratie van verstopte putten inclusief de analyses op het vrijkomende verstoppingsmateriaal.

Op basis van de resultaten zijn verschillende aanpassingen aangebracht in het systeem, zowel het in bovengrondse systeem als in het infiltratiesysteem, en in de bedrijfsvoering van het bovengrondse systeem.

3.2 Samenvatting van de resultaten van het vooronderzoek

Met betrekking tot de mogelijke knelpunten in het systeem in verband met putverstopping zijn de volgende conclusies getrokken:

Anaërobie van het infiltratiewater

In het effluent van de bioreactoren worden regelmatig licht aërobe condities vastgesteld. Als gevolg van continue toetreding van zuurstof in het systeem zijn de anaërobe condities van het infiltratiewater onvoldoende gewaarborgd. De toetreding van zuurstof in het systeem wordt veroorzaakt doordat het bovengrondse systeem op een aantal punten niet volstrekt lekdicht is. Het effect van zuurstoftoetreding wordt versterkt doordat regelmatig niveauschommelingen in het systeem optreden. Hierdoor wordt de zeer geringe overdruk in het systeem (ca. 1 cm waterkolom) tenietgedaan en wordt zelfs een onderdruk in het systeem gecreëerd, waardoor buitenlucht het systeem binnentreedt.

Meetsysteem

Het meetsysteem vormt een knelpunt voor een goede monitoring van het infiltratieproces. Als gevolg van de samenstelling van het infiltratiewater vervuilen de elektroden binnen een korte periode (enkele dagen), waarna een goede meting van redox en zuurstof niet meer mogelijk is. Bovendien is als gevolg van vervuiling van de meetleidingen een goede toestroom van de te meten waterstroom naar het meetsysteem niet gewaarborgd. Tot slot vindt in de meetcyclus van het systeem geen continue monitoring van het daadwerkelijke infiltratiewater plaats, waardoor de eventuele infiltratie van water met een voor infiltratie onvoldoende kwaliteit (anaërobie) niet kan worden vastgesteld.

Samenstelling van het infiltratiewater

De samenstelling van het infiltratiewater vormt mogelijk een knelpunt voor de infiltratie. Naast het feit dat de anaërobie van het infiltratiewater niet gewaarborgd is, bevat het water als gevolg van de fosfaatdosering op de bioreactoren verhoogde concentraties aan fosfaat (ca. 5 mg/l). Uit chemische evenwichtsberekeningen blijkt dat hierdoor in de infiltratieputten fosfaatneerslagen kunnen ontstaan.

Resultaten van de putregeneratie

De putten O4B (25 - 33 m-mv) en O6C (25 - 33 m-mv), die bij de infiltratieproef van januari 2000 verstopt zijn geraakt, zijn mechanisch en chemisch (zoutzuur of waterstofperoxide) gereinigd. Op

het vrijkomende verstoppingsmateriaal zijn microscopische analyses uitgevoerd op biomassa en elementenanalyses (P, IC, S, Al, Ca, Mg, Mn en Fe). Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

- het bij regeneratie vrijkomende materiaal bestaat voornamelijk uit anorganische neerslagen en slechts in geringe mate uit biomassa;
- in het materiaal worden verhoogde concentraties fosfor en sulfide aangetroffen;
- in het materiaal worden verhoogde concentraties ijzer en (in geringere mate) aluminium aangetroffen;
- carbonaten worden in het vrijkomende materiaal niet aangetroffen.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde analyses wordt geconcludeerd dat de putverstopping voornamelijk anorganisch van aard is en dat biomassa van minder belang is.

Voor, tijdens en na de uitvoering van de putregeneratie zijn capaciteitsproeven op de betreffende putten uitgevoerd. Hierin is het volgende vastgesteld:

- voor reiniging van de putten bedraagt de putcapaciteit 10 - 15 % van de begincapaciteit;
- mechanische reiniging (waterjetten) heeft een verbetering van de putcapaciteit tot 30 - 35 % van de begincapaciteit tot gevolg;
- de vervolgens op een put uitgevoerde regeneratie met waterstofperoxide geeft een verdere stijging van de putcapaciteit tot 50 - 55 % van de begincapaciteit;
- de op een tweede put uitgevoerde regeneratie met zoutzuur geeft een verbetering van de putcapaciteit tot de oorspronkelijke capaciteit van de put.

Geconcludeerd is dat een mechanische putregeneratie gevolgd door een chemische regeneratie met zoutzuur een goede methode is waarmee de infiltratieput verregaand kan worden geregeneerd.

Mechanisme van putverstopping

Op basis van de resultaten van het vooronderzoek zijn de volgende processen geïdentificeerd als bepalend voor de infiltratie:

- door een onvoldoende stabiele bedrijfsvoering van het systeem wordt regelmatig aëroob water in de putten geïnfiltreerd met als gevolg de vorming van oxide- en hydroxideneerslagen;
- door de aanwezigheid van ortho-fosfaat in het infiltratiewater treedt neerslag van met name ijzerfosfaten op in de infiltratieputten;
- door de aanwezigheid van sulfiden in het infiltratiewater worden in de putten sulfideneerslagen gevormd.

3.3 Aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering

Op basis van de identificatie van mogelijke knelpunten in het systeem en de bedrijfsvoering van het systeem, zijn veranderingen aangebracht met het volgende doel:

- door een stabiele bedrijfsvoering van het bovengrondse systeem voor de waterbehandeling (bioreactoren, buffertank en zandfilter) wordt de toetreding van zuurstof in het systeem voorkomen, waardoor de anaërobie van het infiltratiewater beter gewaarborgd is;
- optimalisatie van de nutriëntendosering op de bioreactoren, waardoor met name de fosfaatconcentratie van het infiltratiewater wordt verlaagd (tot 1 mg/l);
- optimalisatie van het meetsysteem, waardoor een goede monitoring van het infiltratiewater mogelijk is.

RESULTATEN VAN DE INFILTRATIEPROEF

4.1 Inleiding

Na de aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering, zoals is beschreven in hoofdstuk 3, en verificatie van het effect van de aanpassingen is de infiltratieproef opgestart op 10 juli 2000. Het doel van de infiltratieproef is tweeledig:

1. Vaststellen of langdurig probleemloze infiltratie van het biomassahoudende water mogelijk is na de uitgevoerde aanpassingen en het optimaliseren van de infiltratie.
2. Vaststellen wat de invloed van de infiltratie is in de bodem (redoxcondities, dechloreringscapaciteit en invloedsstraal van de infiltratie).

4.2 Verloop van de infiltratieproef

4.2.1 Verificatie van het effect van de aanpassingen

Op basis van de resultaten van het vooronderzoek zijn de aanpassingen in het systeem en de bedrijfsvoering van het systeem doorgevoerd (zie hoofdstuk 3). Vervolgens is het effect van de aanpassingen voor de aanvang van de infiltratieproef geverifieerd. Het infiltratiewater is anaëroob (redox -350 tot -450 mV, zuurstof 0,00 mg/l) en bevat in vergelijking met de voorgaande fase een sterk verlaagde concentratie fosfaat (0,5 - 1 mg/l). Het meetsysteem voldoet voor een goede monitoring van het proces in het algemeen en van het infiltratiewater in het bijzonder. Derhalve is de infiltratieproef opgestart op 10 juli 2000.

4.2.2 Uitvoering van de infiltratieproef

Het ingestelde infiltratiedebiet bedraagt circa 0,75 m³/uur per infiltratieput. In figuur 2 is het stijghoogteverloop (tot 5 oktober 2000) tijdens de uitvoering van de infiltratieproef weergegeven.

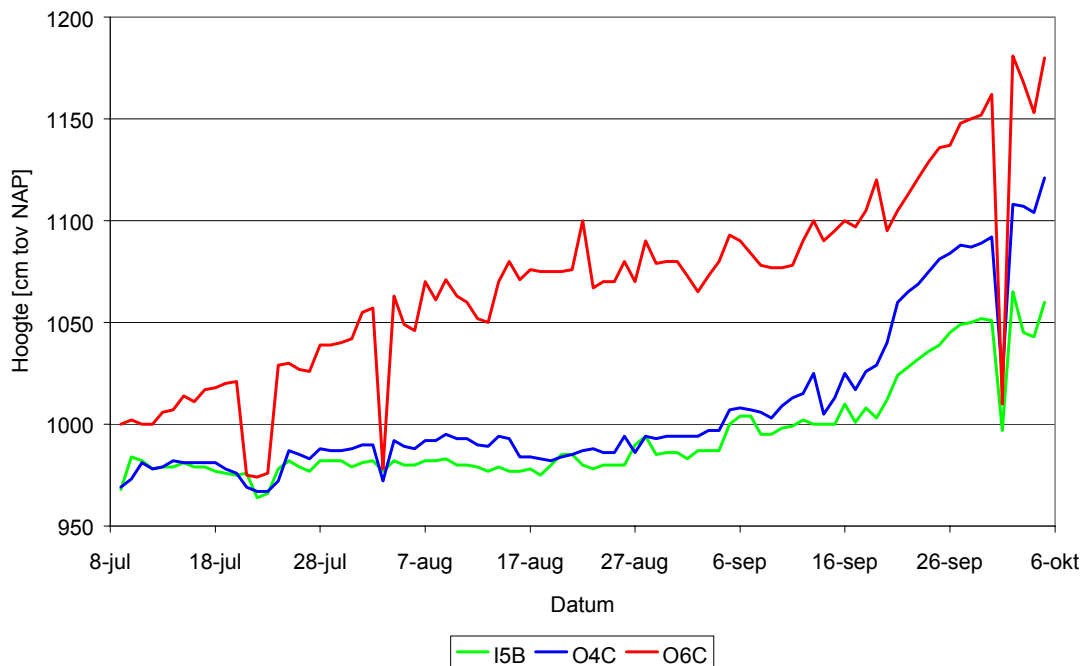


Fig. 2. Stijghoogteverloop tijdens de uitvoering van de infiltratieproef.

Ter vergelijking zijn in bijlage B de resultaten weergegeven van de infiltratieproef die is uitgevoerd van december 1999 tot januari 2000.

In de eerste 3 maanden van de infiltratieproef is ongeveer 1.200 m³ biomassahoudend water per put geïnfiltreerd, totaal dus circa 3.600 m³. De infiltratie is probleemloos verlopen, zonder dat één van de putten het afslagniveau heeft bereikt.

Gedurende de eerste 8 weken van de infiltratieproef vindt geen significante toename van de stijghoogte plaats in de met een gesloten putkop uitgevoerde infiltratieputten I5B en O4C. Vanaf begin september treedt in de putten I5B en O4C een significante toename van de stijghoogte op. Vanaf de tweede helft van september wordt bovendien een duidelijke toename van de natuurlijke stijghoogte in de putten waargenomen, waarschijnlijk als gevolg van een verhoging van de grondwaterstand door overmatige regenval. Om onderscheid te maken tussen de niveautoename als gevolg van de (natuurlijke) achtergrond en als gevolg van de (gedeeltelijke) verstopping van de putten is de toename van de achtergrond bepaald door de infiltratie gedurende 24 uur te stoppen (uitgevoerd op 1 oktober 2000) en het aldus bepaalde niveau in de putten te vergelijken met de waarden voor de opstart van de infiltratieproef. In tabel 2 is de stijging van het niveau in de putten gecorrigeerd voor de toename van de natuurlijke toename van de stijghoogte.

Tabel 2. Overzicht van de toename van de stijghoogte in de infiltratieputten sinds de opstart van de infiltratieproef tot begin oktober.

infiltratieput	toename van de stijghoogte sinds de opstart (cm)	toename van de natuurlijke stijghoogte (cm)	gecorrigeerde toename van de stijghoogte* (cm)
I5B (17,5 - 24 m-mv)	65	circa 40	25
O4C (33 - 40 m-mv)	125	circa 55	70
O6C (25 - 33 m-mv)	155	circa 35	120

* stijghoogte gecorrigeerd voor de toename van de achtergrond ('natuurlijke' stijghoogte)

Uit tabel 2 blijkt na de correctie voor de natuurlijke stijghoogte dat de druk in de putten na drie maanden infiltratie licht is toegenomen, met andere woorden: er is gedeeltelijke putverstopping opgetreden. Dit is echter een grote verbetering ten opzichte van de eerder uitgevoerde infiltratieproeven. Bij deze infiltratieproeven is een druktoename in de putten opgetreden vanaf de opstart van de infiltratie en er is binnen 2 tot 3 weken geen probleemloze continue infiltratie mogelijk geweest (afslag van de infiltratie bij hoog niveau in de putten).

4.2.3 *Effect van de preventieve putregeneratie*

De toename van de stijghoogte in put I5B (met preventieve putregeneratie) is significant lager dan de toename in put O4C (zonder preventieve putregeneratie). Het positieve effect van de citroenzuurdosering op de standtijd van de infiltratieputten is hiermee aangetoond. Hoeveel de standtijd van de infiltratieput door de preventieve putregeneratie wordt verlengd is nog niet helemaal duidelijk, maar besloten is op basis hiervan in fase 2 van het TCE-project preventieve putregeneratie toe te passen.

4.2.4 *Effect van de open/gesloten putkop*

Put O6C is als enige uitgevoerd met een open putkop. Vanaf het begin van de infiltratieproef is de stijghoogte in deze put significant hoger dan in de overige putten die zijn uitgevoerd met een gesloten putkop. Derhalve is besloten de infiltratieputten in het vervolg zekerheidshalve uit te voeren met een gesloten putkop.

EFFECTIVITEIT VAN DE INFILTRATIE

5.1 Inleiding

De benodigde standtijd van de infiltratieputten is afhankelijk van de effectiviteit van de infiltratie, met ander woorden: hoeveel water moet er in een put worden geïnfiltreerd om de afbraak in een gebied met een bepaalde invloedsstraal te stimuleren.

Om de effectiviteit van de infiltratie vast te stellen zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Voorafgaand aan en tijdens de uitvoering van de infiltratie zijn op vier waarnemingsfilters die zijn geplaatst nabij de infiltratieputten (Wa t/m Wd) analyses op redoxcondities en concentraties gechloreerde verbindingen en afbraakproducten uitgevoerd. Het doel hiervan is vast te stellen of de condities in het grondwater meer gereduceerd worden en of en tot waar dechlorering optreedt in de bodem.
- Door middel van de uitvoering van afbraaktests met grondwatermonsters uit de waarnemingsfilters is de dechloreringscapaciteit van het grondwater op de locatie gemonitord. Het doel hiervan is vast te stellen of de dechloreringscapaciteit toeneemt als gevolg van de infiltratie.
- Op basis van de resultaten van de afbraaktests is door middel van modelberekeningen de snelheid van de toename van het gestimuleerde gebied vastgesteld.

5.2 Monitoring van de waarnemingsfilters

Om de invloed van de infiltratie in de bodem vast te stellen is voorafgaand aan en tijdens de uitvoering van de infiltratie grondwater uit de waarnemingsfilters Wa t/m Wd bemonsterd en geanalyseerd op redoxparameters en de concentraties gechloreerde ethenen, etheen en ethaan (de ongechloreerde eindproducten van biologische dechlorering). De resultaten van de monitoringsronden zijn weergegeven in bijlage C.

5.2.1 Resultaten van de eerste monitoringsronde

Voorafgaand aan de uitvoering van de infiltratieproef zijn de waarnemingsfilters Wa t/m Wd en het ontrekkings- en infiltratiewater bemonsterd.

Het grondwater ter plaatse van de waarnemingsfilters Wc en Wd bevat geen gechloreerde verbindingen. Wel worden etheen en ethaan aangetroffen, de ongechloreerde eindproducten van de anaërobe dechlorering.

Deze waarnemingsfilters bevinden zich op respectievelijk 5 en 10 meter stroomafwaarts van put O6C. Op deze put is in de voorgaande infiltratieproef (december 1999 tot januari 2000) in totaal circa 1.000 m³ behandeld water geïnfiltreerd. Bovendien is in deze periode op deze put (shots-gewijs) melasse gedoseerd.

Het infiltratiewater bevat bij alle tot nu toe uitgevoerde monitoringsronden de gechloreerde verbindingen c-DCE en vinylchloride, ook bij de ronde die is uitgevoerd ten tijde van de infiltratieproef. Het feit dat ter plaatse van de waarnemingsfilters Wc en Wd geen gechloreerde verbindingen worden aangetroffen kan derhalve niet worden verklaard door de infiltratie van 'schoon' water.

In bijlage D zijn ter vergelijking de monitoringsresultaten van de putten O6C en O5B weergegeven die zijn uitgevoerd van oktober tot december 1998. De afstand tussen beide putten bedraagt circa 25 meter. Het grondwater bevat ter plaatse van Wc en Wd naar schatting 4.000 - 6.000 µg/l VOCl.

De ter plaatse van Wc aangetroffen hoeveelheid etheen en ethaan komt goed overeen met de hoeveelheid die bij volledige dechlorering van de in het grondwater aanwezige VOCl wordt gevormd. De hoeveelheid etheen en ethaan in Wd is lager dan verwacht op basis van de in het grondwater aanwezige hoeveelheid VOCl.

Geconcludeerd wordt dat in het bodempakket ter plaatse van de waarnemingsfilters Wc en Wd als gevolg van stimulatie door infiltratie van het effluent van de bioreactoren en koolstofbrondosering tijdens de eerste infiltratieproef volledige dechlorering tot de ongechloreerde eindproducten etheen en ethaan is opgetreden. Dit komt goed overeen met de resultaten van de waterbatches (zie 5.3). Voor de aanvang van de tweede infiltratieproef bevat het grondwater uit Wc en Wd reeds de capaciteit tot volledige dechlorering tot de ongechloreerde eindproducten. Dit is een gevolg van de beïnvloeding door eerder uitgevoerde infiltratieproeven binnen de invloedsstraal van Wc en Wd.

Ter plaatse van de waarnemingsfilters Wa en Wb worden met name PER, TRI en CIS aangetroffen. VC en de ongechloreerde eindproducten etheen en ethaan worden in lage concentraties aangetroffen.

5.2.2 *Monitoring van de overige waarnemingsfilters en putten*

Op basis van de resultaten van de monitoring van de waarnemingsfilters Wc en Wd is op 5 juli 2000 aanvullend een aantal extra waarnemingsfilters op de locatie bemonsterd. Het betreft de waarnemingsfilters die zich op een afstand van 1 tot 3 meter van de infiltratieputten bevinden die zijn gebruikt in eerder uitgevoerde infiltratieproeven. Als referentie zijn twee putten bemonsterd uit een gebied waar tot op heden geen water geïnfiltreerd is, O3C (33 - 40 m-mv) en O7B (17,5 - 25 m-mv). De analysedata zijn weergegeven in bijlage D.

Uit deze monitoring blijkt:

- in alle waarnemingsfilters nabij (tot 3 meter) eerder gebruikte infiltratieputten worden geen gechloreerde verbindingen meer aangetroffen, maar slechts ethaan, het ongechloreerde eindproduct van biologische dechlorering;
- in de bemonsterde putten buiten het gebied waarin geïnfiltreerd is, zijn de concentraties gechloreerde ethenen vergelijkbaar met de monitoring van november 1998; verhoogde concentraties etheen en ethaan worden niet aangetroffen.

Geconcludeerd wordt dat als gevolg van een eerder uitgevoerde infiltratie van biomassa en een koolstofbron volledige dechlorering van de gechloreerde ethenen tot het onschadelijke eindproduct ethaan is opgetreden in de bodem.

5.2.3 *Resultaten van de monitoringsronden tijdens de infiltratieproef*

Tijdens de uitvoering van de infiltratieproef zijn na 3 en 8 weken monitoringsronden van de waarnemingsfilters Wa en Wb uitgevoerd. Deze filters bevinden zich op respectievelijk 3 en 7,5 meter vanaf infiltratieput I5B. Op de waarnemingsfilters Wc en Wd zijn in deze rondes geen analyses op VOCl uitgevoerd, aangezien het grondwater ter plaatse van deze filters bij de eerste monitoring geen gechloreerde verbindingen blijkt te bevatten.

Uit de monitoring van de filters Wa en Wb en het infiltratiewater blijkt:

- na 3 weken infiltratie worden in Wa geen PER en TRI meer aangetroffen;
- in Wb is na 3 weken een sterke verschuiving van PER en TRI naar CIS waarneembaar;
- na 8 weken infiltratie worden in Wa geen gechloreerde verbindingen meer aangetroffen, maar slechts ethaan, het eindproduct van biologische dechlorering;

- na 8 weken worden in Wb lage concentraties CIS en VC aangetroffen en sterk verhoogde concentraties etheen en ethaan;
- het infiltratiewater bevat tijdens de infiltratieproef lage concentraties gechloreerde verbindingen (CIS en VC). Het feit dat in Wa geen gechloreerde verbindingen meer worden aangetroffen kan derhalve niet worden verklaard door de infiltratie van schoon water; of echter dechlorering optreedt van de geïnfiltreerde gechloreerde verbindingen of van de in de bodem aanwezige gechloreerde verbindingen kan op basis van deze waarneming niet worden onderscheiden. Hiervoor zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd (zie bijlage G);
- uit berekeningen op basis van de analysedata blijkt dat bij infiltratie opmenging van het infiltratiewater met het grondwater optreedt;
- voor de aanvang van de infiltratie is de DOC-concentratie in de waarnemingsfilters bepaald. De DOC-concentratie in het grondwater varieert van 13 tot 21 mg/l. Na 5 weken infiltratie is gestart met de wekelijkse dosering van de koolstofbron en nutriënten op alle drie de infiltratieputten. Drie weken later wordt in de waarnemingsfilters Wa en Wb een significant verhoogde DOC-concentratie aangetroffen (resp. 190 en 48 mg/l). Dit betekent dat de gedoseerde koolstofbron is verspreid.

Op basis van de resultaten van de monitoring wordt geconcludeerd dat stimulatie van de bodem heeft plaatsgevonden door de infiltratie: volledige dechloreringscapaciteit is vanuit de bioreactoren overgebracht in de bodem, waardoor dechlorering van de in de bodem aanwezige gechloreerde verbindingen optreedt. De werking van het TCE-concept is aangetoond.

5.3 Waterbatches

Door middel van een periodieke uitvoering van de waterbatches met grondwater afkomstig uit de waarnemingsfilters Wa t/m Wd is de dechloreringscapaciteit van het grondwater op de locatie bepaald. De incubatietijd van deze batches bedraagt 30 dagen. De gedetailleerde resultaten van de waterbatches zijn weergegeven in bijlage E.

In tabel 3 is een overzicht weergegeven van de resultaten van de waterbatches.

Tabel 3. Overzicht van de resultaten van de waterbatches (incubatietijd 30 dagen).

waarnemingsfilter	1e ronde (voor infiltratie)	2e ronde (na 3 weken infiltratie)	3e ronde (na 8 weken infiltratie)
nabij put I5B ¹⁾ : - Wa (20 - 22 m-mv) - Wb (20 - 22 m-mv)	dechlorering tot c-DCE geen dechlorering tot c-DCE	volledige dechlorering dechlorering tot c-DCE	volledige dechlorering volledige dechlorering
nabij put O6C ²⁾ : - Wc (28 - 30 m-mv) - Wd (28 - 30 m-mv)	volledige dechlorering volledige dechlorering	volledige dechlorering volledige dechlorering	volledige dechlorering volledige dechlorering
infiltratiewater	n.g.	n.g.	volledige dechlorering

¹⁾ waarnemingsfilters Wa en Wb bevinden zich op respectievelijk 3 en 7,5 meter vanaf infiltratieput I5B

²⁾ waarnemingsfilters Wc en Wd bevinden zich op respectievelijk 5 en 10 meter vanaf infiltratieput O6C
n.g. niet gemeten

Uit de waterbatches, die zijn uitgevoerd met grondwater uit de waarnemingsfilters Wc en Wd, blijkt dat het grondwater voor de aanvang van de huidige infiltratieproef reeds de dechloreringscapaciteit tot etheen/ethaan bezit. De waarnemingsfilters Wc en Wd bevinden zich op respectievelijk 5 en 10 meter vanaf O6C. Op deze put is in het kader van een eerdere uitgevoerde infiltratieproef (december 1999 tot januari 2000) water geïnfiltrerd. Stimulatie van het gebied tussen O6C en Wb heeft derhalve reeds plaatsgevonden. Deze resultaten komen goed overeen met de

resultaten van de VOCl-analyses op het grondwater uit Wc en Wd. In deze filters worden geen gechloreerde verbindingen aangetroffen, maar slechts de ongechloreerde eindproducten etheen en ethaan. Dit resultaat is een indicatie van de blijvende capaciteit na de infiltratie: eenmaal aangebrachte bacteriën blijven gedurende langere tijd actief.

Voor de aanvang van de infiltratie is geen volledige dechloreringscapaciteit aanwezig in het grondwater ter plaatse van Wa en Wb. Na 3 weken infiltratie is de dechloreringscapaciteit tot etheen/ethaan in Wa aanwezig maar niet in Wb. Na 8 weken infiltratie heeft het front van de dechloreringscapaciteit zicht verspreid tot voorbij Wb. De invloedsstraal bedraagt derhalve na 8 weken infiltratie minimaal 7,5 meter.

Geconcludeerd wordt dat door de infiltratie van dechlorerend effluent van de bioreactoren volledige dechloreringscapaciteit in de bodem wordt aangebracht. Het gestimuleerde gebied strekt zich in een periode van 8 weken infiltratie minimaal uit tot waarnemingsfilter Wb, die zich op een afstand van 7,5 meter vanaf infiltratieput I5B bevindt.

5.4 Modelberekeningen

Op basis van stijghoogtemetingen in het veld, de infiltratie- en onttrekkingsdebieten en de resultaten van de waterbatches van de waarnemingsfilters Wa en Wb zijn modelberekeningen uitgevoerd om de snelheid van verspreiding van het gestimuleerde gebied in de bodem te kwantificeren. Wa en Wb bevinden zich op respectievelijk 3 en 7,5 meter vanaf infiltratieput I5B. De snelheid van verspreiding wordt hierbij uitgedrukt als retardatiefactor.

Op basis van het geohydrologisch model blijkt:

- de looptijd van I5B naar filter Wa bedraagt 3,0 dagen;
- de looptijd van I5B naar filter Wb bedraagt 14,0 dagen.

Uit de waterbatches blijkt:

- voor de infiltratie is er ter plaatse van Wa en Wb geen volledige dechloreringscapaciteit tot etheen/ethaan;
- na 22 dagen infiltratie bevindt de dechloreringscapaciteit (tot etheen/ethaan) zich ter plaatse van Wa, maar niet bij Wb;
- na 57 dagen infiltratie bevindt de dechloreringscapaciteit zich ter plaatse van Wa en Wb.

Op basis van deze resultaten is de retardatiecoëfficiënt van het stimuleringsfront ingeschat op minimaal 1,6 in de situatie waarbij het front na 22 dagen Wb nog net niet heeft bereikt. De retardatiecoëfficiënt bedraagt maximaal 4 in de situatie waarbij het front na 57 dagen Wb precies heeft bereikt. Ter vergelijking is voor deze locatie de retardatiecoëfficiënt van PER bepaald. De retardatiecoëfficiënt van PER wordt geschat op 4.

Op basis van het geohydrologisch model is ingeschat dat het gebied waar de dechloreringscapaciteit is aangebracht een invloedsstraal heeft van 8 tot 10 meter.

HOOFDSTUK 6

MEELOOPFILTERONDERZOEK

6.1 Inleiding

Parallel aan de infiltratieproef is een meeloopfilteronderzoek uitgevoerd. Meeloopfilters zijn bovengronds geplaatste kolommen gevuld met bodemmateriaal, waardoor de te infiltreren waterstromen worden geleid. Met behulp van meeloopfilters kunnen de processen, die bij infiltratie in de infiltratieputten optreden, gesimuleerd en nauwkeurig gemonitord worden. Het meeloopfilteronderzoek is uitgevoerd door KIWA.

6.2 Uitvoering van het meeloopfilteronderzoek

Om de effecten van de boorgatwand, de omstorting van het filter en de filterspleten te simuleren zijn de meeloopfilters gevuld met achtereenvolgens een laag met bodemmateriaal van de locatie, een laag met filtergrind en hier bovenop een PVC-plaatje met filterspleten. Het meeloopfilteronderzoek is uitgevoerd met 4 meeloopfilters (zie tabel 4).

Tabel 4. Overzicht van de meeloopfilters.

filter	voeding	snelheid* (m/h)	koolstofbron	opmerkingen
1	influent BR	0,7	-	-
2	effluent BR	0,7	-	-
3	effluent BR	0,7	+ (acetaat/lactaat)	-
4	effluent BR	0,7	+ (acetaat/lactaat)	pH-correctie influent tot pH = 5,5

* de snelheid op de boorgatwand bedraagt bij de infiltratieproef 0,16 m/h

Het meeloopfilter, dat is gevoed met het influent van de bioreactoren (filter 1), dient als referentie of onbehandeld grondwater wel goed infiltreerbaar is en om vast te stellen of in fase 2 een infiltratieprocedure bestaande uit het doseren van biomassa gevolgd door het naspoelen met relatief schoon water zinvol is. Filter 2 is uitgevoerd met het effluent van de bioreactoren om nader inzicht te verkrijgen in het (eventuele) verstoppingsproces in de put. De filter 3 en 4 dienen om de invloed van de koolstofbron en van een continue pH-correctie te onderzoeken. De continue pH-correctie dient om de vorming van anorganische neerslagen te voorkomen.

De mate van verstopping van de kolom is vastgesteld door de drukval over de kolom te monitoren. De drukval is hierbij gemeten over de bovenste laag (filtergrind + filter), de onderste laag (formatie-zand) en over de gehele kolom.

Tijdens de uitvoering van de experimenten zijn periodiek on line analyses uitgevoerd op het influent en effluent van de meeloopfilters (redoxpotentiaal, zuurstof, pH, geleidbaarheid en temperatuur) (zie bijlage F). Na de afronding van de experimenten zijn elementenanalyses uitgevoerd op het bodemmateriaal in de meeloopfilters om de samenstelling van het verstoppingsmateriaal vast te stellen.

In figuur 3 is de opstelling van de meeloopfilters weergegeven.



Fig. 3. Opstelling van de meeloopfilters.

6.3 Resultaten van het meeloopfilteronderzoek

De resultaten van het meeloopfilteronderzoek kunnen als volgt worden samengevat:

- In de meeloopfilters, die worden gevoed met het effluent van de bioreactoren, vindt de drukval voornamelijk plaats op de overgang van het filtergrind naar het formatiezand (op de boorgatwand). In het referentiefilter, dat wordt gevoed met het onbehandelde onttrekkingswater, vindt de drukval plaats in de laag met het filtergrind en het filter.
- Putverstopping wordt veroorzaakt door anorganische neerslagen. Biomassa is wel aantoonbaar in het verstoppingsmateriaal, maar is van ondergeschikt belang voor putverstopping. Deze conclusie sluit goed aan bij het resultaat van het uitgevoerde vooronderzoek.
- Het anorganische materiaal bestaat hoofdzakelijk uit ijzer- en zinksulfiden. Fosfaten zijn aanwezig, maar in mindere mate.
- Op basis van de resultaten van het meeloopfilteronderzoek wordt door KIWA voorspeld dat bij de stroomsnelheid op de boorgatwand uit de infiltratieproef probleemloze infiltratie van het (behandelde) effluent van de bioreactoren mogelijk is gedurende 20 weken.
- Periodieke koolstofbrondosering heeft geen significant effect op de snelheid van putverstopping. Koolstofbrondosering ter stimulatie van de in situ biologische processen is derhalve goed mogelijk en heeft geen negatief effect op de standtijd van de infiltratieputten.
- Door de continue pH-correctie van het infiltratiewater zal minder verstopping van de infiltratieputten optreden en zal een verlenging van de infiltratieduur plaatsvinden (minimaal 35 - 40 weken probleemloze infiltratie).

SAMENVATTENDE CONCLUSIES

Op de locatie Evenblij te Hoogeveen zijn in de periode van april tot oktober 2000 werkzaamheden uitgevoerd om de infiltratie van het effluent van de bioreactoren in de bodem te optimaliseren en het stimulerend effect van het infiltratiewater in de bodem te onderzoeken. Het doel van de uitgevoerde werkzaamheden is geweest:

1. het mechanisme van putverstopping op de locatie te achterhalen;
2. oplossingen te creëren om een langduriger probleemloze infiltratie mogelijk te maken;
3. vaststellen wat het effect van de oplossingen is op de infiltratieduur;
4. vaststellen van de mate van stimulatie door infiltratie van het effluent van de bioreactoren in de bodem.

1. *Mechanisme van putverstopping*

Voorafgaand aan de opstart van de nieuwe infiltratieproef is het bovengrondse systeem uitgebreid doorgelicht om knelpunten met betrekking tot de infiltratie te identificeren en het mechanisme van putverstopping op te helderen. Bovendien is onderzocht op welke wijze en in hoeverre infiltratieputten na verstopping regenererbaar zijn.

Knelpunten

De volgende knelpunten voor de infiltratie zijn in het onderzoek naar voren gekomen:

- Aërobie van het infiltratiewater, waardoor vorming van anorganische neerslagen optreedt in de putten. Met name door de onregelmatige bedrijfsvoering van het systeem (in- en uitschakelen) vindt zuurstoftoetreding plaats in het systeem. Dit effect wordt versterkt door niveauschommelingen in het systeem, waardoor de geringe overdruk in het systeem overgaat in onderdruk waardoor toetreding van buitenlucht plaatsvindt.
- Te hoge fosfaatconcentratie in het infiltratiewater. Het infiltratiewater bevat als gevolg van fosfaatdosering op de bioreactoren verhoogde concentraties fosfaat (ca. 5 mg/l). Uit chemische evenwichtsberekeningen blijkt dat hierdoor fosfaatneerslagen in de putten kunnen ontstaan.
- Het meetsysteem. Snelle vervuiling van het meetsysteem treedt op binnen korte tijd. Bovendien is de toestroom van het te meten water naar het meetsysteem niet gewaarborgd. Hierdoor is een kwalitatief goede meting niet mogelijk. Bovendien vindt geen continue meting van het infiltratiewater plaats en kunnen aërobe condities in het infiltratiewater niet worden vastgesteld.

Mechanisme van putverstopping

De volgende conclusies zijn getrokken met betrekking tot putverstopping:

- Putverstopping is hoofdzakelijk anorganisch van aard. Biomassa speelt voor de putverstopping geen grote rol.
- Door een onvoldoende stabiele bedrijfsvoering wordt regelmatig aëroob water in de putten geïnfilteerd met als gevolg de vorming van oxide- en hydroxideneerslagen.
- Door de aanwezigheid van ortho-fosfaat in het infiltratiewater treedt neerslag van met name ijzerfosfaten op in de putten.
- Door de aanwezigheid van sulfiden in het infiltratiewater worden in de putten sulfideneerslagen gevormd.

De uitgevoerde aanpassingen in het systeem zijn gericht op het voorkomen van zuurstoftoetreding en minimalisatie van de fosfaatconcentratie.

Meeloopfilteronderzoek

Parallel aan de infiltratieproef is door KIWA een meeloopfilteronderzoek uitgevoerd. Hieruit wordt het volgende geconcludeerd:

- Putverstopping wordt veroorzaakt door anorganische neerslagen. Biomassa is wel aantoonbaar in het verstoppingsmateriaal, maar is van ondergeschikt belang voor putverstopping. Deze conclusie sluit goed aan bij het resultaat van het uitgevoerde vooronderzoek.
- Het anorganische materiaal bestaat hoofdzakelijk ijzer- en zinksulfiden. Fosfaten zijn aanwezig, maar in mindere mate.
- Op basis van de meeloopfilters wordt door KIWA voorspeld dat bij de stroomsnelheid op de boorgatwand uit de infiltratieproef probleemloze infiltratie mogelijk is gedurende 20 weken.
- Periodieke koolstofbrondosering heeft geen significant effect op de snelheid van putverstopping en is derhalve goed mogelijk.
- Door de continue pH-correctie van het infiltratiewater zal minder verstopping van de infiltratieputten optreden en zal een verlenging van de infiltratieduur plaatsvinden (minimaal 35 - 40 weken probleemloze infiltratie).

2. Doorgevoerde aanpassingen ter optimalisatie van de infiltratie

Op basis van de gedefinieerde knelpunten en de mechanismen voor putverstopping is een aantal veranderingen aangebracht in het systeem en de bedrijfsvoering van het systeem:

- Door aanpassingen in het systeem (onder andere installatie van een niveauregeling en een andere infiltratiepomp, een betere afstemming van het onttrekkings- en infiltratiedebiet) wordt een stabiele bedrijfsvoering verkregen, waardoor de anaërobie van het infiltratiewater gewaarborgd is.
- De nutriëntendosering op de bioreactoren is geoptimaliseerd, waardoor met name de fosfaatconcentratie in het infiltratiewater is verlaagd tot 1 mg/l.
- Het meetsysteem is geoptimaliseerd, waardoor een goede monitoring van het infiltratiewater mogelijk is. Bovendien vindt continue meting van het infiltratiewater plaats.

Putregeneratie

Naast de doorgevoerde aanpassingen is onderzocht op welke manier en in hoeverre verstopte putten kunnen worden geregenereerd. De volgende conclusies zijn getrokken met betrekking tot (curatieve) putregeneratie:

- Mechanische putregeneratie (waterjetten), gevolgd door chemische regeneratie met zoutzuur, is een effectieve methode gebleken om verstopte putten te regenereren.
- Zoutzuurdosering is veel effectiever dan de dosering van waterstofperoxide.
- Met de methode van waterjetten en zoutzuurdosering is het mogelijk gebleken om een verstopte put (op 10 - 15 % van de begincapaciteit) verregaand te regenereren tot de oorspronkelijke kwaliteit.

3. Testen van het effect van de aanpassingen in de hernieuwde infiltratieproef

Na de uitvoering van de aanpassingen op basis van het vooronderzoek en verificatie van het effect van de aanpassingen is op 10 juli 2000 de nieuwe infiltratieproef opgestart. De infiltratie wordt uitgevoerd op drie putten: O6C (geregenereerde put met een open putkop), O4C (bestaande put) en I5B (nieuwe put), beide met een gesloten putkop. Op I5B is als preventieve putregeneratie wekelijks citroenzuur gedoseerd. Het infiltratiedebiet bedraagt circa 15 m³/dag per put.

Op basis van de resultaten van de infiltratieproef worden de volgende conclusies getrokken:

- De doorgevoerde optimalisatie van het systeem heeft een positief effect op putverstopping: probleemloze continue infiltratie van biomassa is mogelijk in alle drie de putten gedurende een periode van minimaal 3 maanden, waarbij totaal 1.250 m³ per put is geïnfilteerd.
- Preventieve putregeneratie door middel van periodieke citroenzuurdosering heeft een positief effect op het voorkomen van putverstopping. De stijghoogte in de put met citroenzuurdosering loopt minder snel op dan in de put zonder dosering. Mede gezien de resultaten van het meeloopfilteronderzoek wordt verwacht dat verdere verlenging van de standtijd van de putten door optimalisatie van de preventieve putregeneratie mogelijk is.
- De put met een open putkop verstopt sneller dan de putten met gesloten putkopen. Zekerheidshalve wordt aanbevolen in fase 2 gebruik te maken van gesloten putten, hoewel niet onomstotelijk is aangetoond dat de putverstopping wordt veroorzaakt door de open putkop.

4. Stimulatie-effect in de bodem

Om de benodigde tijdsduur voor infiltratie te kunnen inschatten is het nodig om te weten hoe groot het stimulerend effect van het infiltratiewater in de bodem is: wat is de invloedsstraal van het beïnvloede gebied en hoe snel verloopt de dechlorering in situ. Door middel van afbraaktests (waterbatches) met grondwatermonsters en monitoring van waarnemingsfilters op verschillende afstanden van de infiltratieputten is het stimulerend effect onderzocht. Hieruit worden de volgende conclusies getrokken:

- Uit de waterbatches blijkt dat door infiltratie van het effluent van de bioreactoren de capaciteit om gechloreerde ethenen te dechloreren tot de onschadelijke eindproducten wordt aangebracht in de bodem.
- De dechlorering in situ verloopt zeer snel. In de waterbatches is aangetoond dat binnen een periode van 30 dagen PER volledig wordt gedechloriseerd tot etheen en ethaan.
- Aangetoond is dat bij de infiltratie opmenging plaatsvindt van het infiltratiewater met het grondwater. Dit betekent dat door infiltratie in situ dechlorering van de in de bodem aanwezig gechloreerde verbindingen optreedt.
- De verspreiding van de biomassa in de bodem verloopt snel: na drie maanden infiltratie is op minimaal 7,5 meter afstand van de infiltratieputten dechloreringscapaciteit van PER tot etheen aanwezig.
- Op basis van geohydrologische modelberekeningen is ingeschat dat na drie maanden infiltratie het beïnvloede gebied zich in een invloedsstraal van 8 tot 10 meter rondom de infiltratieputten bevindt.
- In alle waarnemingsfilters nabij (tot 3 meter) de infiltratieputten waar in het verleden op geïnfilteerd is, worden geen gechloreerde verbindingen meer aangetroffen, maar slechts ethaan, het ongechloreerde eindproduct van biologische dechlorering.

Overall conclusie en aanbeveling voor fase 2

Door het verkregen inzicht in de verstoppingsmechanismen en de daaruit voortgekomen verbeteringen aan het systeem en de bedrijfsvoering van het systeem is een probleemloze continue infiltratie van biomassa bereikt gedurende minimaal 3 maanden. De procedures voor infiltratie, koolstofbrondosering en preventieve putregeneratie zijn bekend en werken.

Daarnaast is gebleken dat bij een (gedeeltelijke) putverstopping (curatieve) regeneratie goed mogelijk is. Hiermee wordt voldaan aan een belangrijke voorwaarde voor het toepassen van het TCE-concept: het infiltreren van biomassa en koolstofbron als brandstof voor biologische in situ processen. Minstens even belangrijk is het effect dat de infiltratie teweegbrengt in de bodem. Uit de uitgevoerde tests is duidelijk geworden dat infiltratie gedurende enkele maanden al een groot effect heeft op de dechloreringscapaciteit in de bodem.

Na de infiltratie treedt binnen korte tijd een volledige dechlorering van de gechloreerde verbindingen tot de onschadelijke producten etheen en zelfs ethaan op. Deze positieve resultaten onderstrepen de werking van het Totaal Concept Evenblij.

BIJLAGE A

KAART VAN DE LOCATIE

BIJLAGE B

**STIJGHOOGTEVERLOOP VAN DE INFILTRATIEPROEF VAN DECEMBER 1999
TOT JANUARI 2000**

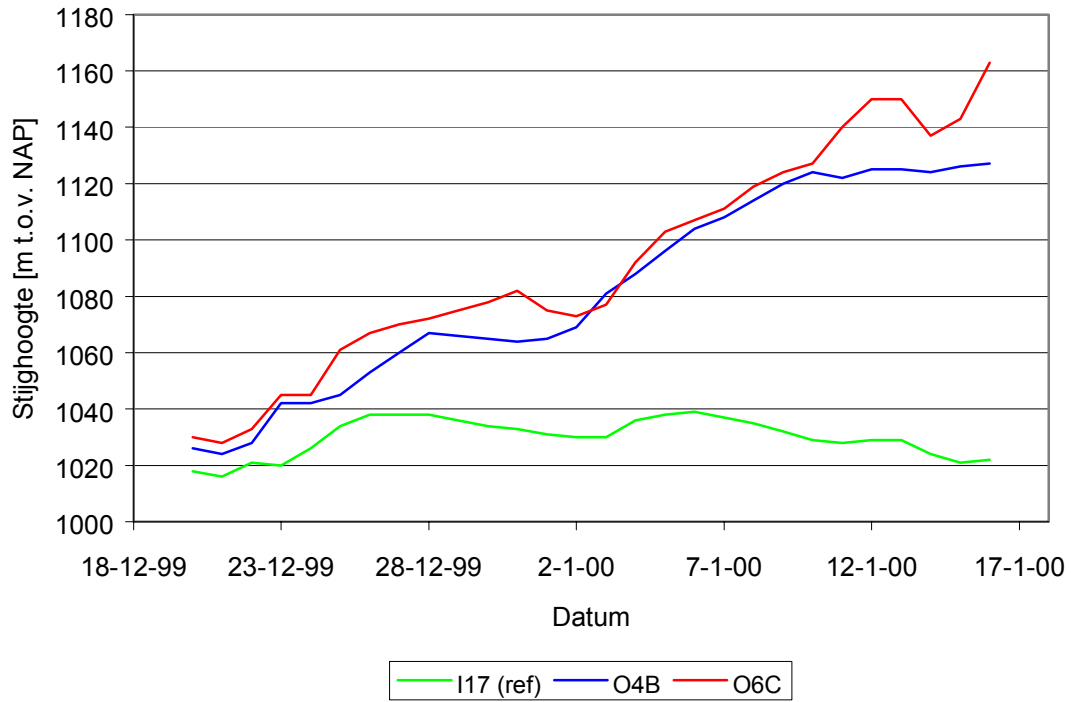


Fig. B1. Stijghoogteverloop van de infiltratieproef.

Bij deze infiltratieproef is op beide putten circa 1.000 m³ water geïnfilteerd.

BIJLAGE C

ANALYSERESULTATEN VAN DE MONITORING VAN DE WAARNEMINGSFILTERS

Tabel C1. Monitoring 22-6-2000 (nul karakterisatie).

parameter	eenheid	INF	EFF ZF	Wa	Wb	Wc	Wd
		onttrekkingswater	infiltratiewater	(20 - 22 m-mv)	(20 - 22 m-mv)	(28 - 30 m-mv)	(28 - 30 m-mv)
pH	-	5,8	6,2	6,1	5,8	6,2	6,2
temperatuur	°C	19,0 ¹⁾	19,5	13,1	13,9	15,6	16,0
zuurstof	mg/l	0,2	0,3	1,0	0,4	0,3	0,3
redox	mV	224	147	203	204	144	155
geleidbaarheid	µS	320	500	394	326	509	339
PER	µg/l	2.800	13	1.800	30.600	< 1	< 1
TRI	µg/l	1.800	13	5.600	11.000	< 1	< 1
c-DCE	µg/l	1.400	270	770	970	< 5	< 5
t-DCE	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
VC	µg/l	170	190	11	30	< 1	< 1
etheen	µg/l	140	430	3,4	7,5	410	< 0,1
ethaan	µg/l	75	390	1,8	1,4	460	56
methaan	µg/l	6.500	15.800	4.500	3.600	8.000	6.500
DOC	mg/l	23	17	14	13	19	21

Tabel C2. Monitoring 1-8-2000 (na 3 weken infiltratie).

parameter	eenheid	INF	EFF ZF	Wa	Wb	Wc	Wd
		onttrekkingswater	infiltratiewater	(20 - 22 m-mv)	(20 - 22 m-mv)	(28 - 30 m-mv)	(28 - 30 m-mv)
pH	-	5,8	6,3	6,2	5,6	-	-
temperatuur	°C	19,8 ¹⁾	20,9	18,3	14	-	-
zuurstof	mg/l	0	0	0	0,1	-	-
redox	mV	64	2	13	95	-	-
geleidbaarheid	µS	295	525	616	403	-	-
PER	µg/l	2.000	6,5	< 1	11.100	-	-
TRI	µg/l	2.300	42	< 1	13.900	-	-
c-DCE	µg/l	1.500	610	460	22.800	-	-
t-DCE	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-
VC	µg/l	82	200	180	81	-	-
etheen	µg/l	56	300	280	98	-	-
ethaan	µg/l	77	320	320	140	-	-
methaan	µg/l	4.000	16.000	15.800	12.000	-	-
DOC	mg/l	-	-	-	-	-	-

Tabel C3. Monitoring 5-9-2000 (na 8 weken infiltratie).

parameter	eenheid	INF	EFF ZF	Wa	Wb	Wc	Wd
		onttrekkingswater	infiltratiewater	(20 - 22 m-mv)	(20 - 22 m-mv)	(28 - 30 m-mv)	(28 - 30 m-mv)
pH	-	5,9	6,3	6,2	6,2	6,4	6,2
temperatuur	°C	20,8 ¹⁾	20,2	18,4	16,6	16,2	14,7
zuurstof	mg/l	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
redox	mV	56	147	-131	69	64	80
geleidbaarheid	µS	323	613	936	582	606	497
PER	µg/l	1.400	< 1	< 1	< 1	-	-
TRI	µg/l	1.100	< 1	< 1	< 1	-	-
c-DCE	µg/l	1.500	200	< 5	340	-	-
t-DCE	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-
VC	µg/l	92	64	< 1	58	-	-
etheen	µg/l	82	150	1	160	-	-
ethaan	µg/l	145	370	670	640	-	-
methaan	µg/l	5.200	15.700	13.800	13.100	-	-
DOC	mg/l	19	22	190	48	26	20
NH ₄	mg/l	3,6	2,9	3,6	4,5	4,7	6
PO ₄	mg/l	0,66	1,3	2	0,75	1,4	3,5

¹⁾ temperatuur van het onttrekkingswater na opwarmen

BIJLAGE D

ANALYSERESULTATEN VAN DE OVERIGE WAARNEMINGSFILTERS EN PUTTEN

Tabel D1. Monitoring 5-7-2000.

parameter	eenheid	beïnvloed door infiltratie op put						onbeïnvloed	
		O4A W2 (21 - 23 m-mv)	O4B W2 (26 - 28 m-mv)	I17 W4 (21 - 23 m-mv)	O6B Wc (20 - 22 m-mv)	O6B Wd (20 - 22 m-mv)	O3C (33 - 40 m-mv)	O7B (17,5 - 25 m-mv)	
pH	-	6,3	6,3	6,2	6,3	6,2	5,7	5,5	
temperatuur	°C	14,6	14,7	14	14,2	14,5	12,9	11,9	
zuurstof	mg/l	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	
redox	mV	171	173	126	131	121	252	169	
geleidbaarheid	µS	548	580	528	530	582	243	279	
PER	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	310	3.800	
TRI	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2.300	2.500	
c-DCE	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	410	4.500	
t-DCE	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
VC	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	19	
etheen	µg/l	< 0,1	13	9,1	28	0,8	< 0,1	1,2	
ethaan	µg/l	1.500	1.100	1.300	1.400	1.000	0,4	0,6	
methaan	µg/l	17.800	19.900	14.900	12.500	15.000	6.700	460	

Tabel D2. Resultaten van eerdere monitoringsronden (ter vergelijking).

parameter	eenheid	18-11-1998						
		12-10-1998 O4A (17,5 - 25 m-mv) W2 (21 - 23 m-mv)	14-10-1998 O4B (25 - 33 m-mv) W2 (26 - 28 m-mv)	4-11-1998 O5A (17,5-25 m-mv) W4 (21 - 23 m-mv)	2-11-1998 O6B (17,5-25 m-mv) Wc/Wd (20 - 22 m-mv)	4-11-1998 O5B (25 - 33 m-mv)	4-12-1998 O6C (25 - 33 m-mv) Wc/Wd (28 - 30 m-mv)	14-10-1998 O3C (33 - 40 m-mv)
pH	-	-	5,8	6,2	-	-	6,1	5,8
temperatuur	°C	-	11,6	14	-	-	11,5	10,3
zuurstof	mg/l	-	< 0,1	0,5	-	-	< 0,1	1,8
redox	mV	-	250	126	-	-	-155	343
geleidbaarheid	µS	-	300	528	-	-	295	300
PER	µg/l	78.000	31.000	35.000	40.000	880	2.500	8.500
TRI	µg/l	920	1.600	8.900	5.900	2.000	2.800	1.300
c-DCE	µg/l	< 5	< 5	840	2.300	2.700	260	950
t-DCE	µg/l	-	< 2	< 2	-	< 2	< 2	< 2
VC	µg/l	< 1	< 1	< 1	88	23	< 1	30
etheen	µg/l	-	0,5	7	-	-	1,7	3,1
ethaan	µg/l	-	1,1	2	-	-	6,4	2,0
methaan	µg/l	-	3.600	1.200	-	-	7.200	3.400

BIJLAGE E

RESULTATEN VAN DE WATERBATCHES

E1 Inleidng

Om de dechloreringscapaciteit in het grondwater op de locatie Evenblij te Hoogeveen vast te stellen en de verandering van de dechloreringscapaciteit te monitoren zijn waterbatches uitgevoerd.

In deze bijlage worden de resultaten van de waterbatches weergegeven.

E2 Resultaten van de waterbatches

Wa, ronde 1, fles 1

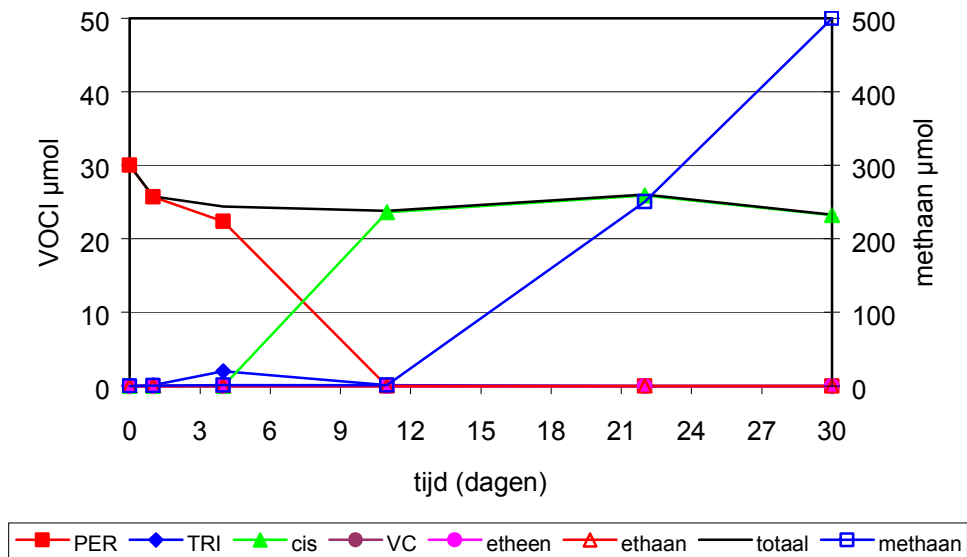


Fig. E1. Wa, eerste ronde (voor de aanvang van de infiltratie).

Wb, ronde 1, fles 1

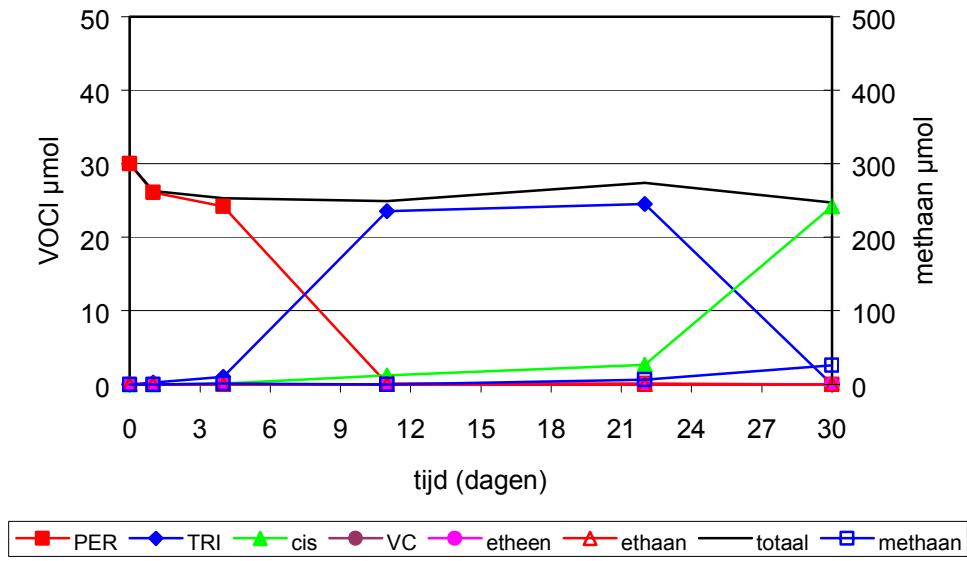


Fig. E2. Wb, eerste ronde (voor de aanvang van de infiltratie).

Wc, ronde 1, fles 1

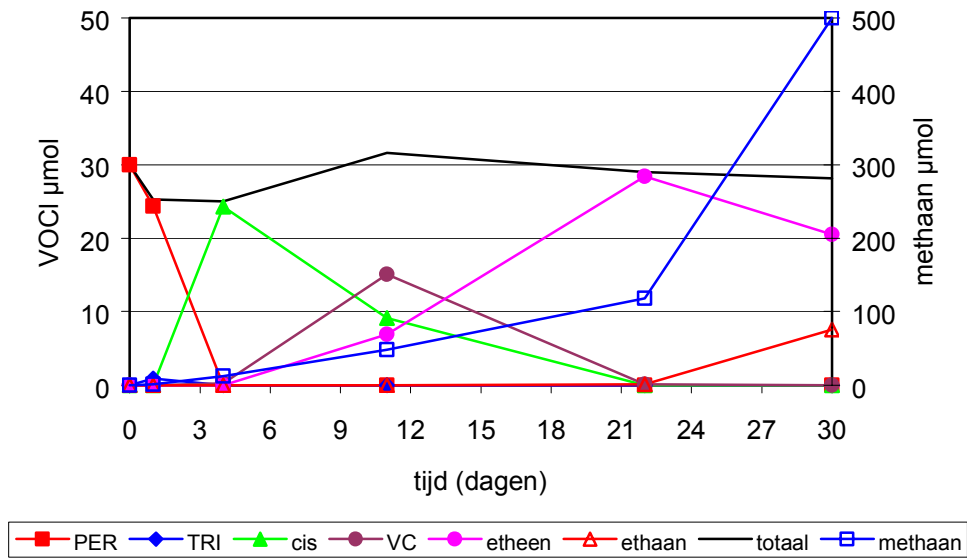


Fig. E3. Wc, eerste ronde (voor de aanvang van de infiltratie).

Wd, ronde 1, fles 1

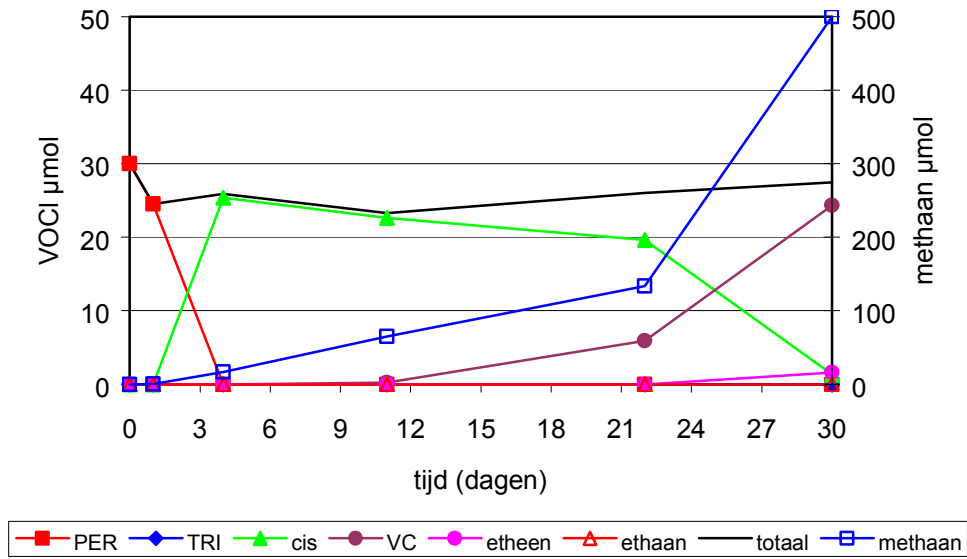


Fig. E4. Wd, eerste ronde (voor de aanvang van de infiltratie).

Wa2, ronde 2, fles 1

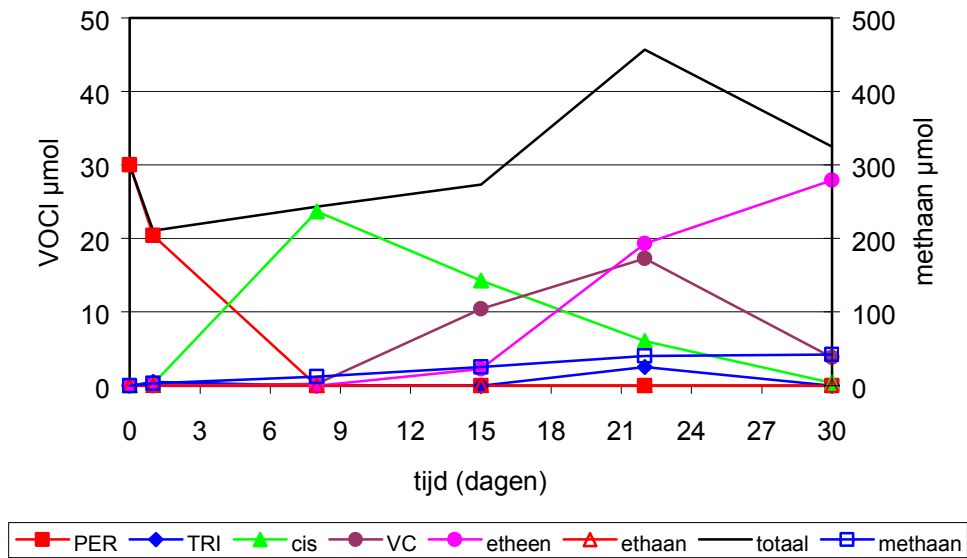


Fig. E5. Wa2, tweede ronde (na 3 weken infiltratie).

Wb2, ronde 2, fles 1

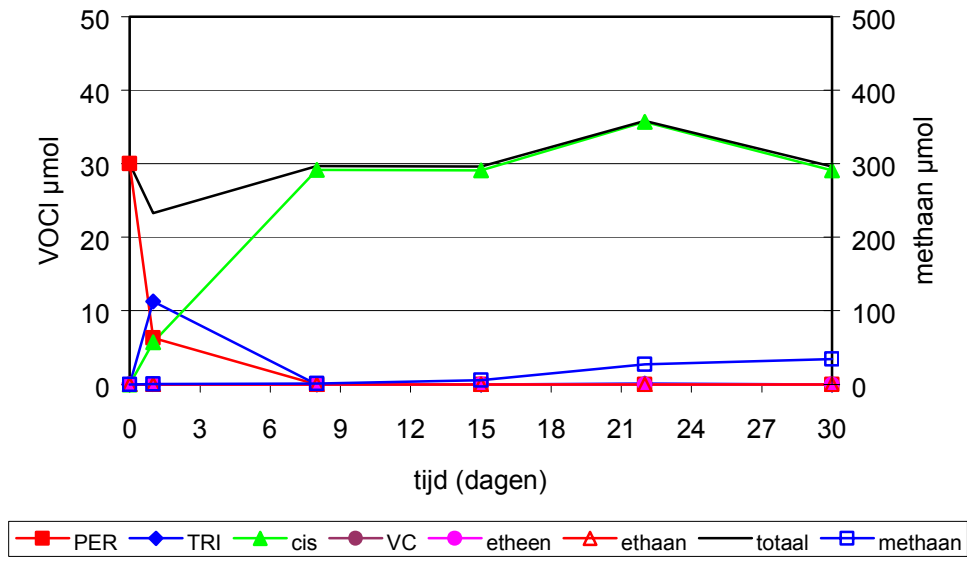


Fig. E6. Wb2, tweede ronde (na 3 weken infiltratie).

Wc2, ronde 2, fles 1

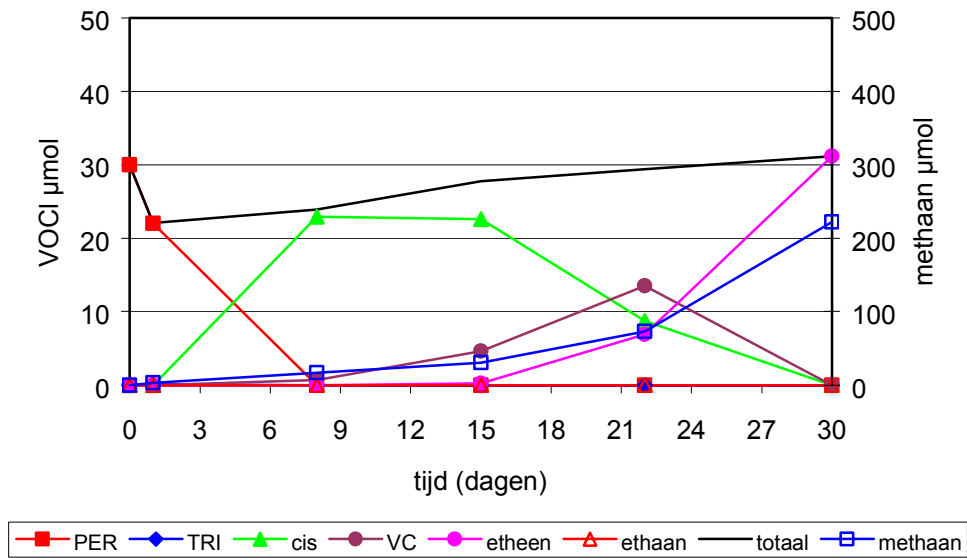


Fig. E7. Wc2, tweede ronde (na 3 weken infiltratie).

Wd2, ronde 2, fles 1

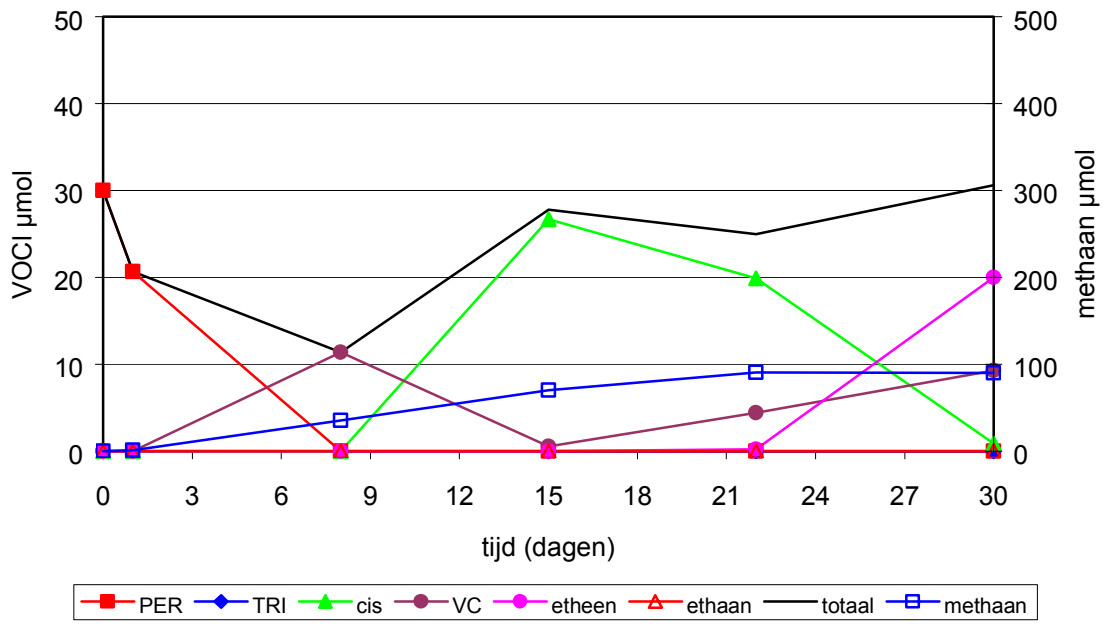


Fig. E8. Wd2, tweede ronde (na 3 weken infiltratie).

Wa3, ronde 3, fles 1

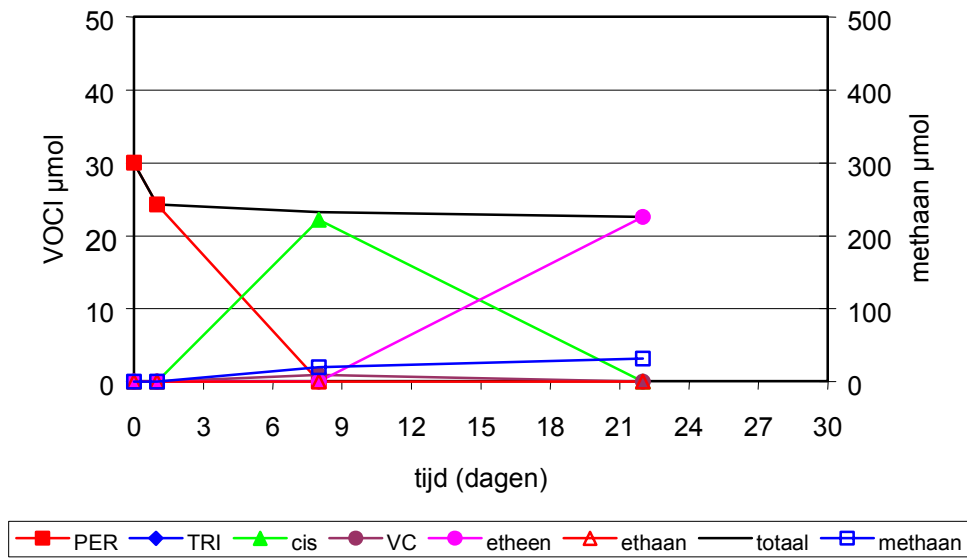


Fig. E9. Wa3, derde ronde (na 8 weken infiltratie).

Wb3, ronde 3, fles 1

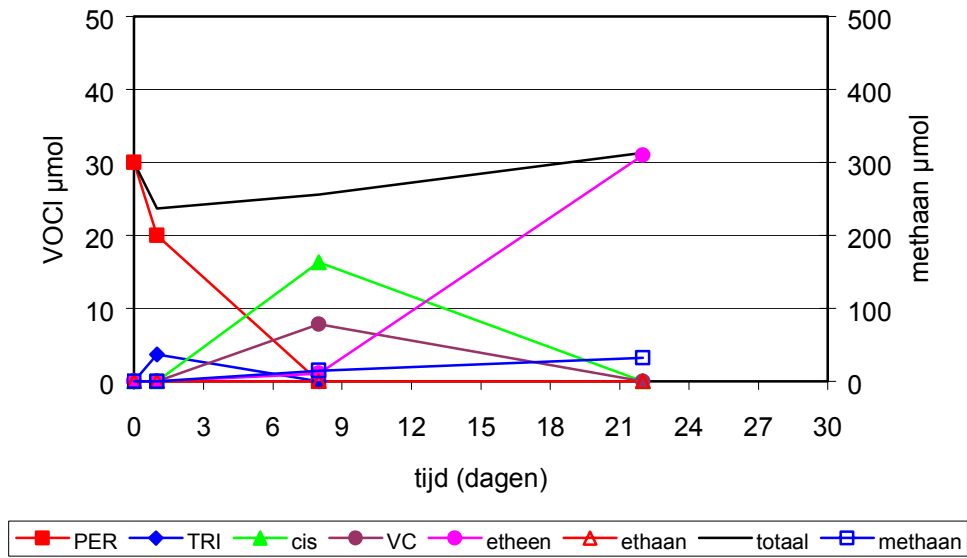


Fig. E10. Wb3, derde ronde (na 8 weken infiltratie).

Wc3, ronde 3, fles 1

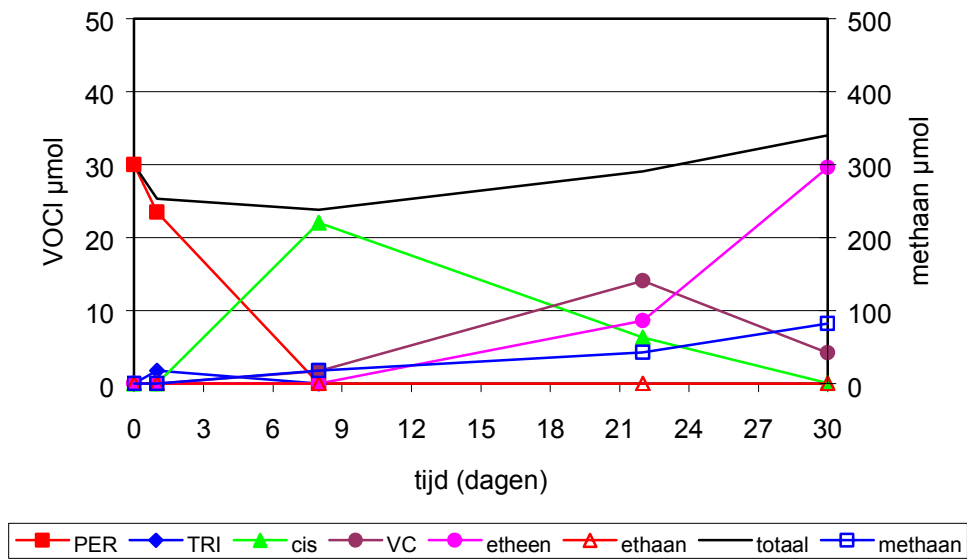


Fig. E11. Wc3, derde ronde (na 8 weken infiltratie).

Wd3, ronde 3, fles 1

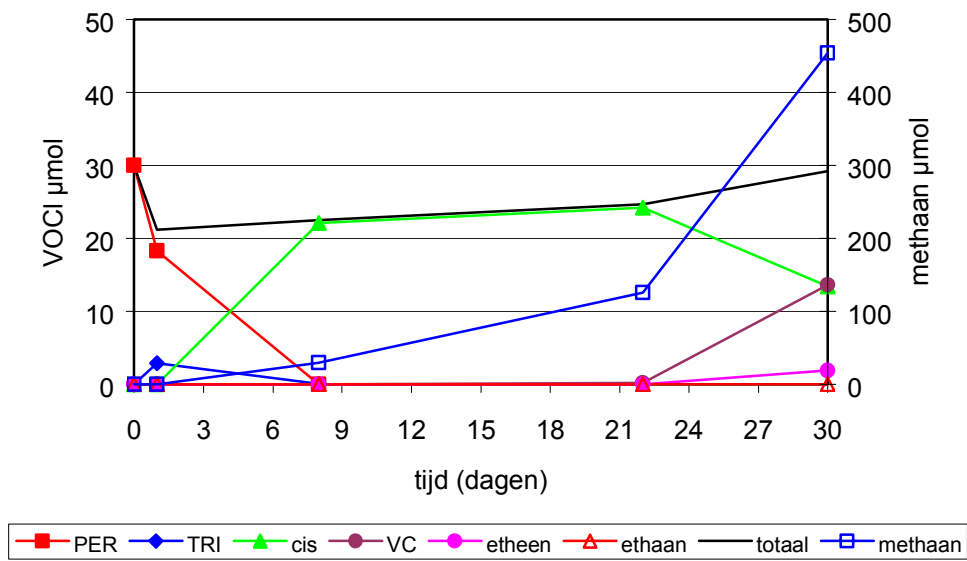


Fig. E12. Wd3, derde ronde (na 8 weken infiltratie).

Eff zf3, ronde 3, fles 1
(infiltratiewater)

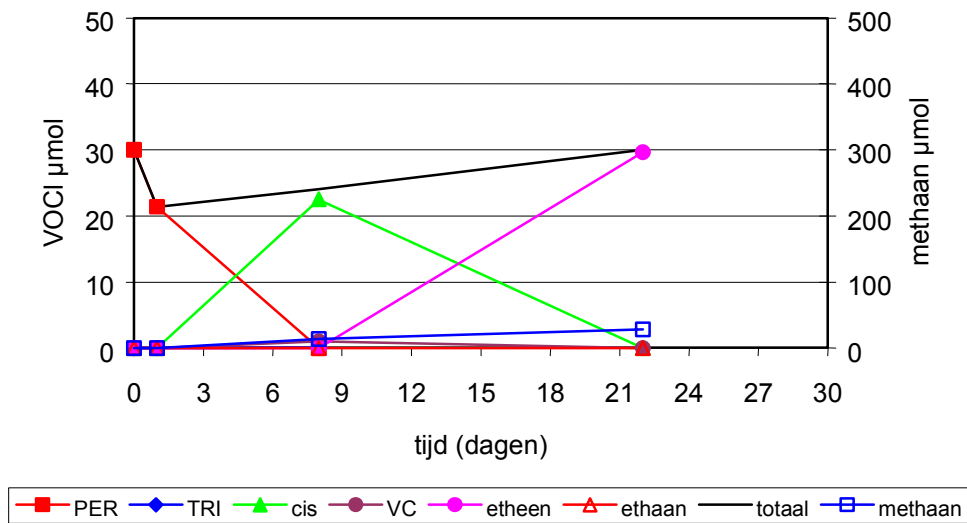


Fig. E13. Eff zf3 (infiltratiewater), derde ronde (na 8 weken infiltratie).

BIJLAGE F

**ANALYSERESULTATEN VAN DE MONITORING VAN HET
MEELOOPFILTERONDERZOEK**

Tabel F1. Monitoring 14-7-2000 (monitoring 28).

parameter	eenheid	monsterpunt							
		influent	MF1 ²⁾	EFF ZF ³⁾	MF2 ²⁾	MF3 ²⁾	INF MF4 ²⁾	MF4 ²⁾	EFF BR3 ⁴⁾
pH	-	5,8	5,9	6,4	6,4	-	6,3	6,1	6,4
temperatuur	°C	17,6	17,3	18	17,7	-	18	17,9	17,9
O ₂	mg/l	0,1	0,2	0,1	0,3	-	0,1	0,3	0,1
redox gemeten ¹⁾	mV	-37	-45	-83	-73	-	-75	-70	-78
redox t.o.v. H ₂ ¹⁾	mV	152	144	106	116	-	114	119	-
geleidbaarheid	µS	359	310	596	562	-	610	640	458

¹⁾ Het resultaat van de redox van EFF BR3 is niet gecorrigeerd, de overige data zijn wel gecorrigeerd ten opzichte van de standaard waterstofpotentiaal. Ter correctie is bij de gemeten redoxpotentiaal een waarde van 188,6 opgeteld.

²⁾ MF: meeloopfilter.

³⁾ EFF ZF: effluent van het zandfilter (infiltratiewater).

⁴⁾ EFF BR3: effluent van bioreactor 3.

Tabel F2. Monitoring 25-7-2000 (monitoring 30).

parameter	eenheid	monsterpunt							
		influent	MF1 ³⁾	EFF ZF ⁴⁾	MF2 ³⁾	MF3 ³⁾	INF MF4 ³⁾	MF4 ³⁾	EFF BR3 ⁵⁾
pH	-	5,4	5,9	6,3	6,3	6,3	5,9	5,8	-
temperatuur	°C	20,5	20,7	20,6	22,4	33	20,6	21,4	-
O ₂	mg/l	0,5 (?) ²⁾	0,7 (?) ²⁾	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	-
redox gemeten ¹⁾	mV	-36	51	-100	-132	-131	-70	-79	-
redox t.o.v. H ₂ ¹⁾	mV	157	244	93	61	62	123	114	-
geleidbaarheid	µS	331	397	571	568	569	622	644	-

¹⁾ Alle redoxdata zijn gecorrigeerd ten opzichte van de standaard waterstofpotentiaal. Ter correctie is bij de gemeten redoxpotentiaal een waarde van 193,1 opgeteld.

²⁾ (?): als eerste bemonsterd na het opstarten van het systeem; mogelijk minder betrouwbaar. Dit komt ook tot uiting in een relatief hogere redoxpotentiaal.

³⁾ MF: meeloopfilter.

⁴⁾ EFF ZF: effluent van het zandfilter (infiltratiewater).

⁵⁾ EFF BR3: effluent van bioreactor 3.

Tabel F3. Monitoring 1-8-2000 (monitoring 31).

parameter	eenheid	monsterpunt							
		influent	MF1 ²⁾	EFF ZF ³⁾	MF2 ²⁾	MF3 ²⁾	INF MF4 ²⁾	MF4 ²⁾	EFF BR3 ⁴⁾
pH	-	5,8	5,9	6,3	6,4	6,4	6,0	5,9	-
temperatuur	°C	19,8	24,0	20,9	23,5	23,2	20,9	22,0	-
O ₂	mg/l	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	-
redox gemeten ¹⁾	mV	-120	-168	-182	-192	-191	-145	-146	-
redox t.o.v. H ₂ ¹⁾	mV	64	16	2	-8	-7	39	38	-
geleidbaarheid	µS	295	310	525	543	542	569	586	-

¹⁾ Alle redoxdata zijn gecorrigeerd ten opzichte van de standaard waterstofpotentiaal. Ter correctie is bij de gemeten redoxpotentiaal een waarde van 183,6 opgeteld.

²⁾ MF: meeloopfilter.

³⁾ EFF ZF: effluent van het zandfilter (infiltratiewater).

⁴⁾ EFF BR3: effluent van bioreactor 3.

Tabel F4. Monitoring 8-8-2000 (monitoring 32).

parameter	eenheid	monsterpunt							
		influent	MF1 ²⁾	EFF ZF ³⁾	MF2 ²⁾	MF3 ²⁾	INF MF4 ²⁾	MF4 ²⁾	EFF BR3 ⁴⁾
pH	-	5,8	5,9	6,2	6,3	6,3	6,0	5,8	-
temperatuur	°C	19,0	21,2	20,2	21,2	21,3	20,2	20,9	-
O ₂	mg/l	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-
redox gemeten ¹⁾	mV	-182	-179	-231	-210	-218	-168	-171	-
redox t.o.v. H ₂ ¹⁾	mV	-1	2	-50	-29	-37	13	10	-
geleidbaarheid	µS	348	374	551	573	537	648	654	-

¹⁾ Alle redoxdata zijn gecorrigeerd ten opzichte van de standaard waterstofpotentiaal. Ter correctie is bij de gemeten redoxpotentiaal een waarde van 181,1 opgeteld.

²⁾ MF: meelooftfilter.

³⁾ EFF ZF: effluent van het zandfilter (infiltratiewater).

⁴⁾ EFF BR3: effluent van bioreactor 3.

Tabel F5. Monitoring 22-8-2000 (monitoring 34).

parameter	eenheid	monsterpunt							
		influent	MF1 ²⁾	EFF ZF ³⁾	MF2 ²⁾	MF3 ²⁾	INF MF4 ²⁾	MF4 ²⁾	EFF BR3 ⁴⁾
pH	-	5,9	5,9	6,0	6,3	6,3	5,7	5,6	-
temperatuur	°C	19,7	21,6	20,2	22,4	22,3	20,5	20,5	-
O ₂	mg/l	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0	0,1	-
redox gemeten ¹⁾	mV	-	-	-	-	-	-	-	-
redox t.o.v. H ₂ ¹⁾	mV	112	41	54	20	26	19	62	-
geleidbaarheid	µS	332	345	600	583	621	2.200	671	-

¹⁾ Alle redoxdata zijn gecorrigeerd ten opzichte van de standaard waterstofpotentiaal. Ter correctie is bij de gemeten redoxpotentiaal een waarde van 185,1 opgeteld.

²⁾ MF: meelooftfilter.

³⁾ EFF ZF: effluent van het zandfilter (infiltratiewater).

⁴⁾ EFF BR3: effluent van bioreactor 3.

BIJLAGE G

NOTITIE VAN DE OPMENGING/VERDRINGING VAN HET GRONDWATER BIJ INFILTRATIE

Naar aanleiding van de resultaten van de interimfase in het TCE-project zijn in de klankbord-groepvergadering van 12 oktober 2000 de volgende vragen/kanttekeningen geplaatst met betrekking tot stimulatie van de dechlorering in de bodem:

1. In hoeverre is het geschetste geohydrologisch model realistisch en treedt geen zeer sterke voorkeurstroming op tussen de infiltratie- en onttrekkingsput ('water stroomt door de smalle zone van infiltratie en onttrekking'), met andere woorden: hoe groot is het beïnvloede gebied.
2. In hoeverre wordt bij de monitoring van de waarnemingsfilters nabij de infiltratiepunten gemeten aan het infiltratiewater en niet aan de processen die optreden in het grondwater, met andere woorden: treedt er bij infiltratie verdringing op van het grondwater of vindt er opmenging plaats van het infiltratie- en grondwater.

In deze bijlage wordt getracht een antwoord te geven op de bovenstaande vragen op basis van bestaande analysedata en wordt aangegeven of aanvullend onderzoek nodig is om deze vragen te beantwoorden. Hierbij is gebruik gemaakt van het door DHV opgestelde geohydrologisch model en de analysedata van de monitoring van de infiltratieproef (zie bijlage C).

Ad 1. Geohydrologie

Het geohydrologisch model is opgesteld aan de hand van het natuurlijk verhang op de locatie, door middel van putcapaciteisproeven bepaalde doorlatendheden en de infiltratie- en onttrekkingsdebieten. Enige voorkeurstroming tussen de infiltratie- en onttrekkingsput zal altijd optreden, maar de mate van voorkeurstroming is sterk afhankelijk van het verhang tussen beide putten. Op basis van het opgestelde model is het onwaarschijnlijk dat sterke voorkeurstroming optreedt.

Indien sterke voorkeurstroming zou optreden tussen de infiltratie en onttrekking, zou de looptijd tussen de infiltratie en respectievelijk de waarnemingsfilters en de onttrekking veel korter zijn dan ingeschat. De looptijd tussen I5B en Wb zou derhalve veel lager zijn dan de ingeschatte 14 dagen. Bij een looptijd van bijvoorbeeld 4,5 dagen zou na 22 dagen infiltratie het grondwater ter plaatse van Wb vijfmaal doorgespoeld zijn. Gezien de samenstelling van het grondwater in Wb na 22 dagen is dit zeer onwaarschijnlijk.

Op basis van het geohydrologisch model en de monitoringsdata wordt geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat een sterke voorkeurstroming plaatsvindt tussen de infiltratie- en onttrekkingsput, zonder dat het gebied buiten deze zone wordt beïnvloed.

Ad 2. Verdringing versus opmenging

Analysedata

In de tweede monitoringsronde zijn hoge concentraties CIS aangetroffen in Wb (22.800 µg/l) die niet kunnen worden verklaard op basis van de geïnfiltreerde concentratie CIS. Zeer waarschijnlijk heeft in situ dechlorering van de in het grondwater aanwezig PER en TRI plaatsgevonden (= opmenging).

Tracer

Op basis van de beschikbare analysedata zijn methaan en etheen/ethaan geselecteerd als componenten die kunnen fungeren als tracer.

Uit de resultaten van de monitoring van de waarnemingsfilter Wb en het onttrekkings- en infiltratiewater (zie tabel 1 in hoofdstuk 2 van het rapport) wordt de mate van opmenging van het infiltratiewater met het grondwater ingeschat.

Gebruik wordt gemaakt van de analysedata van de eerste en tweede monitoringsronde (resp. voor de uitvoering van de infiltratie en na 22 dagen infiltratie). Op basis van de ingeschatte looptijd tussen de infiltratieput I5B en Wa (3,0 dagen) en Wb (14,0 dagen) wordt geconcludeerd dat de meetdata van Wa niet voldoen om onderscheid te maken tussen opmenging en verdringing (te korte looptijd in vergelijking met het tijdstip van de monitoring).

Methaan als tracer

Methaan gedraagt zich conservatief in het grondwater (geen retardatie). Aangenomen wordt dat geen methanogenese optreedt in de bodem ('worst-case' benadering).

Gemiddelde concentratie methaan in het grondwater voor de infiltratie (c_0): 4.050 $\mu\text{g/l}$.

Gemiddelde concentratie methaan in het infiltratiewater (c_{inf}): 15.830 $\mu\text{g/l}$.

Indien volledige verdringing van het grondwater zou optreden, zou de methaanconcentratie in Wb na 22 dagen (= ca. 1,5 maal de looptijd tussen I5B en Wb) 15.830 $\mu\text{g/l}$ bedragen. De gemeten methaanconcentratie (c_{22}) bedraagt 12.000 $\mu\text{g/l}$. Op basis van dit verschil kan een mate van opmenging van het infiltratiewater met het grondwater worden ingeschat:

$$V_{\text{grondwater}} + V_{\text{infiltratiewater}} = V_{\text{totaal}}$$

$$V_{\text{grondwater}} \cdot c_0 + V_{\text{infiltratiewater}} \cdot c_{\text{inf}} = V_{\text{totaal}} \cdot c_{22}$$

Met de bovenstaande vergelijking kan worden berekend dat 1 liter infiltratiewater opmengt met 0,5 liter grondwater. Waarschijnlijk zal in de bodem methaanvorming optreden, waardoor de berekende opmenging een onderschatting is voor de werkelijke menging.

Etheen en ethaan als tracer

Op een vergelijkbare wijze als hierboven voor methaan is beschreven kan de berekening ook worden uitgevoerd voor etheen en ethaan als tracer. Ook etheen en ethaan gedragen zich conservatief. Dezelfde aanname geldt dat geen etheen- en ethaanvorming plaatsvindt in de bodem ('worst-case' benadering).

Gemiddelde concentratie etheen/ethaan in het grondwater voor de infiltratie (c_0): 9 $\mu\text{g/l}$.

Gemiddelde concentratie etheen/ethaan in het infiltratiewater (c_{inf}): 650 $\mu\text{g/l}$.

Indien volledige verdringing van het grondwater zou optreden, zou de concentratie in Wb na 22 dagen (= ca. 1,5 maal de looptijd tussen I5B en Wb) 650 $\mu\text{g/l}$ bedragen. De gemeten concentratie (c_{22}) bedraagt 238 $\mu\text{g/l}$. Op basis van dit verschil kan een mate van opmenging van het infiltratiewater met het grondwater worden ingeschat:

$$V_{\text{grondwater}} + V_{\text{infiltratiewater}} = V_{\text{totaal}}$$

$$V_{\text{grondwater}} \cdot c_0 + V_{\text{infiltratiewater}} \cdot c_{\text{inf}} = V_{\text{totaal}} \cdot c_{22}$$

Met de bovenstaande vergelijking kan worden berekend dat 1 liter infiltratiewater opmengt met 1,8 liter grondwater. Waarschijnlijk zal in de bodem etheen- en ethaanvorming optreden, waardoor de berekende opmenging een onderschatting is voor de werkelijke menging.

Algemene conclusies

- Op basis van het opgestelde geohydrologisch model en de monitoringsdata is het onwaarschijnlijk dat een sterke voorkeurstroming plaatsvindt tussen de infiltratie- en onttrekkingsput, zonder dat het gebied buiten deze zone wordt beïnvloed.
- Opmenging van het infiltratiewater met het grondwater is aangetoond op basis van 'worst-case' benaderingen voor de verspreiding van methaan en etheen/ethaan. Door infiltratie van het dechlorerende effluent van de bioreactoren worden de in de bodem aanwezige gechloreerde verbindingen afgebroken tot de onschadelijke eindproducten.
- Aanvullend onderzoek om de mate van opmenging vast te stellen wordt derhalve niet nodig geacht.

BIJLAGE H

LIJST VAN DE AANWEZIGEN OP DE MINI-WORKSHOP D.D. 10 MAART 2000

dhr. L. Beekman	KIWA
dhr. L.M. Bakker	TAUW
dhr. A. Alphenaar	TAUW
dhr. H. Slenders	TNO-MEP
dhr. J. Gerritse	TNO-MEP
dhr. A. Nieuwaal	Grondboorbedrijf Haitjema
dhr. J. Smittenberg	IWACO
dhr. J.H. Tjaden	Tjaden Geohydrologie
dhr. P. van Mullekom	SKB
dhr. J. Verkuijlen	DHV Water
dhr. J. Peters	DHV Water
dhr. B Alblas	Logisticon Water Treatment
dhr. H. Bosgoed	Logisticon Water Treatment
dhr. A.W. van der Werf	Bioclear
dhr. M.J.C. Henssen	Bioclear
dhr. C. Hubach	DHV Milieu en Infrastructuur
dhr. R. Blokzijl	DHV Milieu en Infrastructuur