



SEQUENTIELE AFBRAAK VOCL IN BIOREACTOREN

Gecombineerde anaerobe/aerobe biologische omzetting van VOCL in
verontreinigd grondwater door de toepassing van bioreactoren

Colofon

Datum: 30 augustus 2010
Kenmerk: 00.044.863
Status: Definitief
Titel: Sequentiële afbraak VOCL in bioreactoren
Auteur: Kees van Noord
Studentnr: 1532786
Paraaf auteur:

Inhoudsopgave

VOORWOORD	4
SAMENVATTING	6
ABSTRACT	7
1. INLEIDING	8
1.2 Aanleiding onderzoek	8
1.3 Doelstelling onderzoek	8
1.4 Leeswijzer	9
2. ACHTERGROND	10
2.1 Beschrijving VOCL	10
2.2 Reguliere grondwaterzuivering bij bodemsaneringen	11
2.3 Afbraakmechanismen VOCL	14
3 ONDERZOEKSOPZET	17
3.1 Onderzoeksopzet	17
3.2 Analysetechnieken	18
3.2.1 Zuurstofmetingen	18
3.2.2 Colorimetrische bepaling	19
3.2.3 HS-GCMS (head space gaschromatography- mass spectrodetection)	19
4. BATCHPROEF AEROBE AFBRAAK CDCE	21
4.1 Substraatkeuze voor co-metabole afbraak TCE, cDCE/VC	21
4.2 Materialen/methoden	22
4.2.1 Substraatconcentratie	23
4.2.2 Zuurstof en nutriënten dosering	24
4.3 Resultaten Batchproeven	26
4.4 Conclusie	32
5. REACTORPROEF SEQUENTIËLE AFBRAAK PCE	36
5.1 Materialen/Methoden	36
5.1.1 Substraatconcentraties	37
5.1.3 Zuurstof en nutriënten dosering	39
5.2 Resultaten Reactorproef	39
5.3 Conclusie	45
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	48
6.1 Toepasbaarheid co-metabole afbraak VOCL in waterzuivering	48
6.2 Aanbevelingen	48
6.2.1 Aanbevelingen vervolg reactorproef	48
6.2.1 Aanbevelingen veldproef	49
BRONVERMELDING	51
DEFINITIES VAN RELEVANTE BEGRIPPEN EN AFKORTINGEN	53

Bijlagen:

- 1 Chemiekaarten PCE, TCE, DCE en VC
- 2 Rekensheet batchproeven
- 3 Resultaten zuurstofmetingen batchproef
- 4 Overzicht toevoegingen aan batchreactoren
- 5 Overzicht analyseresultaten batchproeven
- 6 Analysecertificaten batchproef
- 7 Rekensheet reactorproef
- 8 Analyseresultaat bepaling elektronenacceptoren in grondwater voor reactorproef
- 9 Analysecertificaten reactorproef
- 10 Plan van Aanpak

Voorwoord

Na een mislukte poging tot een studie civiele techniek ben ik terecht gekomen bij BioSoil B.V. waar ik in 2003 mijn werkzame leven begon als assistent uitvoerder. Nadat ik me een aantal jaren bezig had gehouden met de aanleg van biologische in-situ systemen en grondreiniging begon het niet afmaken van een HBO-studie toch wat te knagen. Nadat ik dit kenbaar gemaakt had bij mijn leidinggevenden begon mijn 'avontuur' op de Hogeschool Utrecht.

Vanuit BioSoil B.V. heb ik vanaf het eerste moment alle medewerking ontvangen waar ik zeer dankbaar voor ben. Gedurende mijn driejarige opleiding heb ik alle afdelingen van het bedrijf van dichtbij mee mogen maken, zodat ik niet alleen op school veel heb kunnen leren, maar ook binnen het bedrijf. Dit is op zich al heel leerzaam geweest, tevens is het een unieke ervaring een bedrijf vanuit alle perspectieven mee te maken. Deze opzet van mijn interne opleiding is daarom zeer door mij gewaardeerd en ook zeker nuttig geweest. Nu ik de opleiding (bijna) heb afgerond ben ik (nog lang niet volleerd, maar zeker goed voorbereid) werkzaam als projectleider bodemsaneringen. Ik zie dit als een enorme uitdaging waarin ik de komende jaren mezelf steeds verder in hoop te ontwikkelen.

Voor u ligt het eindproduct van de drie jaren opleiding aan de Hogeschool Utrecht. Bij BioSoil R&D B.V. heb ik gedurende het afgelopen half jaar een onderzoek uit mogen voeren naar de biologische omzetting van VOCL in bioreactoren. Voor ik aan het onderzoek begon moest uiteraard een plan van aanpak ingediend worden, in dit plan van aanpak is het onderzoek veel breder opgezet. Echter gedurende de uitvoering bleek dit niet haalbaar. Een aantal onderdelen van het uit te voeren onderzoek heb ik moeten laten vallen om voldoende diepgang te kunnen creëren in de rest van het onderzoek. Tevens heb ik het onderzoeken zelf misschien wat onderschat. Dit vergt meer tijd dan ik vooraf had aangenomen. Al met al heb ik een mooi onderzoek kunnen doen en ben ik meer dan tevreden met het resultaat.

Het onderzoek zelf houdt overigens niet op met dit rapport, de mogelijke toepassingen van de sequentiële afbraak van VOCL in bioreactoren zijn enorm en het onderzoek zal zeker worden doorgezet zodat dit hopelijk ooit een in de praktijk toegepaste zuiveringstechniek zal worden. In hoeverre ik zelf nog bezig zal zijn met het onderzoek hangt af van mijn andere werkzaamheden, echter zal ik het verloop met zeer grote interesse blijven volgen.

Alvorens u veel leesplezier te wensen rest mij nog een aantal mensen te bedanken zonder wie dit rapport niet tot stand heeft kunnen komen. Allereerst wil ik BioSoil B.V. in de persoon van directeur Arnout van Diem en manager Jan van den Boogaart bedanken voor het bieden van de mogelijkheid deze studie te doen en alle mogelijkheden om gedurende mijn opleiding ook binnen het bedrijf zeer veel kennis en ervaring op te doen.

Een speciaal dankwoord wil ik richten tot de mensen die mijn begeleid hebben gedurende mijn opleiding. Allereerst Wim van Veen die mij gedurende de eerste jaren van mijn opleiding heeft begeleid. Na zijn vertrek bij BioSoil B.V. heeft John Dijk deze taak van hem overgenomen. Met name tijdens het afstudeeronderzoek heb ik veel te danken aan John, zonder zijn kennis en kunde had ik dit onderzoek niet op dit niveau uit kunnen voeren.

Ook de ondersteuning vanuit de Hogeschool Utrecht is in de afgelopen jaren zeer gewaardeerd. Tijdens mijn gehele opleiding heb ik veel gehad aan de begeleiding van Thadeus Gregorian, specifiek tijdens het afstuderen wil ik Annemiek van der Meijden en Ron Heusdens bedanken voor hun begeleiding en input.

Verder wil ik alle collega's, familie en vrienden bedanken die mij op wat voor manier hebben ondersteund gedurende mijn opleiding.

Veel leesplezier en wijsheid bij het beoordelen!

Kees van Noord

Samenvatting

BioSoil B.V. is een bedrijf dat reeds lange tijd actief is als allround bodemsaneerder. In al deze jaren heeft BioSoil B.V. een verregaande specialisatie opgebouwd in biologische in-situ bodemsaneringen. Hierbij wordt de bodemverontreiniging in de bodem biologisch afgebroken. Mede dankzij de grote R&D afdeling van BioSoil B.V. is in de loop van de jaren zeer veel kennis en ervaring opgedaan met betrekking tot biologische in-situ bodemsanering. Deze bodemsaneringen worden veelal uitgevoerd in combinatie met een bovengrondse grondwaterzuiveringsinstallatie, waarna het gezuiverde grondwater kan worden geïnfiltreerd ofwel geloosd.

Een van de meest voorkomende bodemverontreinigingen in Nederland zijn de vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (VOCL), deze zijn vooral in de bodem terecht gekomen in de vorm van PCE en TCE. Voor de zuivering van grondwater verontreinigd met deze VOCL zijn enkel chemisch/fysische zuiveringsmethoden of inefficiënte biologische zuiveringsmethoden voor handen. Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de mogelijkheid om door middel van het gebruik van een combinatie van verschillende biologische afbraakmechanismen te komen tot een efficiënt biologisch systeem voor de afbraak van VOCL in onttrokken grondwater. De biologische afbraakmechanismen welke verantwoordelijk zijn voor de totale omzetting van PCE en TCE in onschadelijke stoffen zijn anaerobe reductieve dechlorering en aerobe co-metabole oxidatie. In de beoogde grondwaterzuivering wordt door middel van de anaerobe reductieve dechlorering de PCE en TCE omgezet naar cDCE en deze wordt vervolgens door middel van aerobe co-metabole oxidatie omgezet in onschadelijke stoffen.

Reductieve dechlorering is een zeer bekend en veel toegepast principe in de wereld van de bodemsanering, echter de co-metabole oxidatie van cDCE is minder bekend. Aan de hand van literatuurstudie zijn allereerst een aantal substraten geselecteerd welke in het onderzoek meegenomen worden als substraat voor de aerobe co-metabole oxidatie van cDCE. De substraten zijn door middel van batchproeven getest op bruikbaarheid als substraat voor de co-metabole afbraak van cDCE. Op basis van de resultaten hiervan en de praktische toepasbaarheid is Benzylalcohol geselecteerd als meest geschikt substraat. In een reactorproef is de co-metabole afbraak met Benzylalcohol getest in combinatie met een voorgeschakelde anaerobe reactor waar op basis van reductieve dechlorering PCE via TCE werd afgebroken tot cDCE. Uit de reactorproef is gebleken dat een groot deel van de toegediende PCE tijdens verschillende monsternames van influentwater hier niet aanwezig bleek te zijn. Hiertoe zijn een aantal mogelijke oorzaken onderzocht en uitgesloten. Een eenduidige verklaring voor het 'verdwijnen' van de PCE is echter gevonden.

De totale hydraulische verblijftijd van de beide kolommen was gedurende de laatste periode van het onderzoek 8 uur, in deze periode van 8 uur is de aanwezige PCE volledig afgebroken. Op basis van eerdere literatuurstudies heeft de volledige anaerobe reductieve dechlorering van PCE tot etheen circa 4 dagen nodig. Het feit dat, ondanks de lage concentratie in het influent, 99,9% van de PCE biologisch werd afgebroken in deze relatief korte tijd, bewijst dat niet alleen de reductieve dechlorering in de eerste kolom hier verantwoordelijk voor kan zijn. Aerobe co-metabole afbraak in de 2^e kolom moet de verklaring voor deze volledige afbraak zijn. Dit wordt tevens bevestigd door de laatste resultaten, waarbij het afbraakrendement voor cDCE in de 2^e kolom 81 % is. De toepassing van een sequentiële biologische zuivering van grondwater blijkt hiermee mogelijk, wel moet er aanvullend onderzoek plaatsvinden om de efficiëntie hiervan te bepalen.

Abstract

BioSoil B.V. is an all-round soil remediation company that has developed a far-reaching specialization in the field of biological in-situ soil remediation. Biological in-situ soil remediation is the process of pollutants that are biodegraded in the soil itself by microorganisms. Soil remediation projects are often executed in combination with a above ground groundwater treatment, after which the purified groundwater can either be infiltrated in the soil or be discharged.

One of the most widespread pollutions in the Netherlands are the volatile organic chlorinated liquids (VOCL). Because of its extensive use in dry cleaning and metal degreasing processes, (mainly) PCE is one of the most important soil and groundwater contaminant in the Netherlands. For the treatment of groundwater contaminated with these VOCL are currently only chemical/physical systems and some in-effective biological systems available. This report sets out an investigation into the possibility of combining different biological degradation mechanisms to develop an effective biological system for degrading the VOCL in bioreactors. The applied biological degradation mechanisms for the complete degradation of PCE and TCE into harmless substances in a bioreactor are anaerobic reductive dechlorination and aerobic co-metabolic oxidation. In the first section of the proposed bioreactor PCE and TCE will biodegrade via anaerobic reductive dechlorination into cDCE, which then will be biodegraded via aerobic co-metabolic oxidation into harmless substances in a second stage of the bioreactor.

Anaerobic reductive dechlorination is a very well-known and much applied remediation technique, in contrary to the aerobic co-metabolic oxidation that is less applied. Based on a literature study a number of substrates for aerobic co-metabolic oxidation of cDCE have been selected and tested. Bases on the results of the tests and the practical applicability Benzylalcohol has been chosen as the most suitable substrate.

The applicability of Benzylalcohol as a substrate for the co-metabolic oxidation of cDCE has subsequently been tested in a two-stage setup. PCE is first reductively dechlorinated to cDCE which is co metabolically oxidized to harmless end products . During the experiment the measured influent concentrations of PCE was significant lower than to be expected based on the added amount. A number of possible causes for this discrepancy were investigated and ruled out, though, an unequivocal explanation for the 'disappearance' of the PCE has not been found.

The total hydraulic retention time of the two columns during the final stage of the investigation was 8 hours. During this period of time the ingoing PCE, though not in the concentration that had been expected, has been totally biodegraded. Based on previous reports regarding this subject the full the full anaerobic dechlorination of PCE into ethene will take approximately 4 days. Regarding the fact that, despite the low ingoing concentration of PCE, 99,9% of the PCE was biodegraded in the reactor within 8 hours into non-chlorinated compounds, it is not possible that only reductive dechlorination was responsible for this. Based on a degradation efficiency of 81 % for cDCE, co-metabolic oxidation played an important role in the total degradation of PCE to harmless products. This report shows that the application of a both anaerobic reductive dechlorination and aerobic co-metabolism proved to be effective in transforming PCE completely, though there will be additional research needed to determine the efficiency this treatment.

1. Inleiding

1.2 Aanleiding onderzoek

Dit onderzoek heeft betrekking op de biologische afbraak van een aantal verontreinigende stoffen in het grondwater. BioSoil B.V. is een allround bodemsaneerder met een vergaande specialisatie in de biologische in-situ bodemsanering. Hierbij wordt de meeste vracht in de bodem zelf afgebroken door de stimulatie van de biologische afbraak van de verontreiniging. Deze stimulatie vindt veelal plaats door de toediening van bepaalde hulpstoffen voor de biologische afbraak in de bodem. Wanneer er in de bodem zeer hoge concentraties aanwezig zijn is het niet rendabel deze biologisch in-situ aan te pakken, tevens is veelal een grondwateronttrekking nodig om te voorkomen dat de vlek zich verspreidt. Deze beide stromen zullen daarom bovengronds moeten worden gereinigd alvorens te worden geloosd op oppervlaktewater of het rioolstelsel. Dit onderzoek bekijkt de biologische mogelijkheden van deze bovengrondse reiniging van een veelvoorkomende verontreiniging, VOCL.

Het principe van biologische behandeling van grondwater is eenvoudig, het creëren van de ideale omstandigheden voor de organismen verantwoordelijk voor de biologische afbraak van de verontreinigende stoffen. In werkelijkheid komt hier nog wel het een en ander bij kijken.

1.3 Doelstelling onderzoek

Voor de biologische zuivering van grondwater verontreinigd met VOCL is op dit moment geen efficiënt zuiveringsstelsel voor handen. VOCL zijn vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen waarvan met name de gechloreerde ethenen veel als bodemverontreiniging voorkomen. De drie- en vierwaardig gechloreerde ethenen zijn in het verleden veelvuldig toegepast als industriële ontvetting- en reinigingsmiddelen, door onzorgvuldige omgang en calamiteiten met deze milieugevaarlijke stoffen zijn deze op een groot aantal plaatsen in de bodem terecht gekomen. Deze verontreinigingen vormen een groot deel van de totale Nederlandse bodemproblematiek. Bij de sanering van deze verontreinigingen wordt veelal gebruikt gemaakt van het principe van anaerobe biologische afbraak. Hierbij wordt de verontreiniging onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden door micro-organismen afgebroken tot onschadelijke stoffen. Dit is een proces dat vrij lang duurt, in de bodem is dit geen probleem, echter wanneer je grondwater ex-situ (bovengronds) in een bioreactor wilt reinigen is de snelheid van het proces van groot belang, omdat deze van invloed is op de dimensionering van de bioreactor. Een hoge hydraulische verblijftijd resulteert in een grote installatie of een laag debiet, wat uiteraard niet wenselijk is. Een mogelijk alternatief is het laatste deel van de biologische afbraak onder aerobe condities uit te voeren. Door middel van co-metabole aerobe afbraak kan de totale verblijftijd theoretisch significant gereduceerd worden. Een bijkomend voordeel van co-metabole afbraak is dat de biomassa groeit op een stof anders dan de verontreiniging, deze stof dient toegevoegd te worden aan de grondwaterstromen. Doordat deze stof wordt toegevoegd garandeert dit een constante biomassa dit niet afhankelijk is van de hoeveelheid verontreiniging in deze grondwaterstromen.

Voor het eerste anaerobe deel van de grondwaterzuiveringsinstallatie voor het afbreken van gechloreerde ethenen is het reeds mogelijk efficiënte systemen te bouwen, echter voor het aerobe deel is nog geen getoetst systeem voor handen. Onderzoek hiernaar kan leiden tot een ontwerp van een efficiënt zuiveringsdeel waarbij bioreactoren van een praktisch formaat voor de totale aanpak gebruikt kan worden. De efficiëntie hiervan moet blijken uit laboratoriumonderzoeken.

Uit het bovenstaande vloeit een advies aan BioSoil B.V. hoe eventueel de efficiëntie van de zuiveringsystemen kan worden verbeterd.

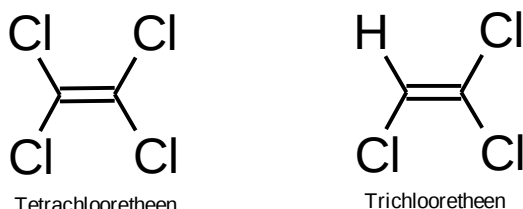
1.4 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk zal een algemene beschrijving van de achtergrond van de VOCL en de biologische afbraakmethoden worden gegeven. In hoofdstuk 3 zal een beschrijving worden gegeven van de onderzoeksopzet. De hieropvolgende hoofdstukken beschrijven de daadwerkelijke proeven die gedaan zijn om te onderzoeken of co-metabole afbraak van een aantal VOCL kan worden ingezet in de grondwaterzuivering. Het eerste hoofdstuk hiervan beschrijft hoe een aantal groeisubstraten zijn geselecteerd en getest in batchproeven op het laboratorium. Het volgende hoofdstuk beschrijft de zogenaamde reactorproef. Hier wordt de uiteindelijke zuiveringsinstallatie op laboratoriumschaal getest. Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen.

2. Achtergrond

2.1 Beschrijving VOCL

VOCL (volatile organic chlorinated liquids) zijn vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen, een aantal van deze stoffen, met name PCE (tetrachlooretheen of perchlooretheen) en TCE (trichlooretheen), ook wel bekend als PER en TRI, zijn in het verleden veelvuldig toegepast als ontvetter en oplosmiddel, met name in de metaalindustrie en in (chemische) waterrijen.



Figuur 1; Structuurformules PCE en TCE

In dit rapport wordt met de term VOCL de alifatische verbindingen met een of meer chlooratomen bedoeld. De gechloreerde verbindingen met ringstructuren worden in dit onderzoek geheel buiten beschouwing gelaten. VOCL hebben een aantal belangrijke eigenschappen waardoor het een moeilijke verontreiniging is om te saneren. De VOCL hebben een lage absolute oplosbaarheid in water, maar in verhouding tot de interventiewaarde nog altijd zeer hoog. Bijvoorbeeld de oplosbaarheid van PCE is 150.000 µg/l terwijl de interventiewaarde 40 µg/l is. De relatieve dichtheid van de VOCL is groter dan water, wanneer de stoffen dus in pure vorm in de bodem lekken vormen ze onder invloed van de zwaartekracht zogenaamde zaklagen, ook wel DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid), hierdoor zijn VOCL vaak moeilijk te bereiken omdat het pure product zich op diepe ondoorlatende lagen verzameld. De absorptiecoëfficiënten van de VOCL nemen af naarmate er minder chlooratomen gebonden zijn. Dit heeft tot gevolg dat de ook de retardatiefactoren afnemen naarmate er minder chlooratomen zijn gebonden, en deze stoffen dus makkelijk verspreiden in de bodem.

Deze studie richt zich met name op de stoffen PCE en TCE en de afbraakproducten hiervan. De overige VOCL worden niet of nauwelijks meegenomen, omdat het voorkomen hiervan als bodemverontreiniging relatief weinig voorkomt. Beide stoffen zijn toxisch, het voornaamste toxische effect van beide stoffen is depressie van het centrale zenuwstelsel, dit kan zich uiten in hoofdpijn, duizeligheid, sufheid, verminderd reactievermogen etc. Daarnaast zijn de beide stoffen licht toxisch voor lever en nieren.

De oorspronkelijke stoffen PCE en TCE breken onder invloed van micro-organismen in afwezigheid van zuurstof in de bodem af via cDCE en VC naar onschadelijke stoffen. De stoffen cDCE en VC zijn echter veel meer toxisch en mobiel als de oorspronkelijke stoffen, zie ook onderstaande tabel. In bijlage 1 zijn de chemiekaarten van de VOCL opgenomen.

Tabel 1; Eigenschappen VOCL

Verbinding	Oplosbaarheid (g/l)	Relatieve dichtheid (g/cm ³)	Koc (-)	MTR- humaan (µg/kg/dag)	Interventiewaarde grondwater (µg/l)
PER	0,15	1,60	240	16	40
TRI	1,1	1,50	110	540	500
CDCE	0,8	1,28	72	16	20
VC	1,1	0,91	33	3,5	5

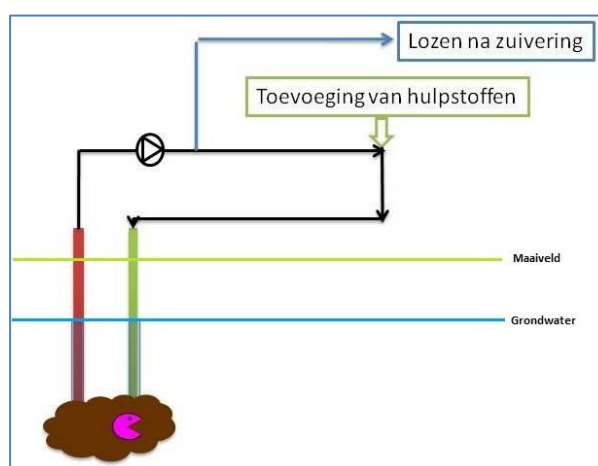
De MTR-humaan is het maximaal toelaatbaar risiconiveau in µg per kg lichaamsgewicht per dag. Dit zegt dus iets over de toxiciteit van de stoffen. De mobiliteit van de stoffen in de bodem is afhankelijk van de Koc, des te hoger de Koc des te beter deze stof zich aan het organisch stof in de bodem hecht, des te beter de stof hecht aan het organisch materiaal en des te kleiner is de mobiliteit van de stof.

Door de relatief hoge oplosbaarheid van de VOCL ziet men bij een bodemverontreiniging met PCE en TCE onder invloed van de grondwaterstroming een grote pluim met grondwaterverontreiniging, dit komt tevens doordat verder voorin de pluim de afbraak over het algemeen verder is gevorderd. Vooraan in de pluim vindt men de stoffen die het meest mobiel zijn, namelijk de afbraakproducten cDCE en VC.

2.2 Reguliere grondwaterzuivering bij bodemsaneringen

Bij een in-situ biologische bodemsanering worden hulpstoffen gedoseerd door middel van circulatie van grondwater, grondwater wordt opgepompt en na toediening van de juiste hulpstoffen weer in de bodem geïnfiltrerd. Een nadelig effect van deze circulatie is dat de verontreiniging wordt gemobiliseerd hierdoor vindt verspreiding plaats buiten de oorspronkelijke verontreinigingscontour. Bij VOCL verontreinigingen komt hierbij ook nog het feit dat de afbraakproducten cDCE en VC meer mobiel zijn als de oorspronkelijke verontreiniging. Om deze verspreiding tegen te gaan wordt veelal een grondwateronttrekking tot stand gebracht. Een ander reden voor een grondwateronttrekking is de aanwezigheid van zeer hoge concentraties van de verontreiniging of zelfs de aanwezigheid van puur product in de kern van de verontreiniging. Deze hoge concentraties kosten zeer veel tijd om biologisch aan te pakken, daarom wordt een zo groot mogelijke vracht verwijderd door middel van een grondwateronttrekking.

Het grondwater dat wordt onttrokken moet uiteraard geloosd worden, echter voordat dit water op het riool of het oppervlaktewater geloosd kan worden zal het eerst schoongemaakt moeten worden. Hiervoor is een grondwaterzuiveringsinstallatie noodzakelijk, er zijn een aantal principes die worden toegepast in deze grondwaterzuiveringsinstallaties echter niet allemaal zijn ze even geschikt voor alle verontreinigingen. De belangrijkste principes voor de behandeling van grondwater worden onderstaand beschreven.



Figuur 2; principe in-situ bodemsanering

Luchtstrippen

Luchtstrippen is een eenvoudige techniek waar bij het grondwater verontreinigd met vluchtige stoffen intensief met lucht in contact wordt gebracht. Door de voorkeur van de vluchtige stoffen om in de luchtfase te zitten zullen deze stoffen overgaan naar de luchtfase, waardoor de waterfase niet of nauwelijks vluchtige stoffen meer bevat. Randvoorwaarde is uiteraard wel de mate van vluchtigheid, ofwel de Henry-constante van de verontreinigende stof. Verder is de mate van contact tussen het verontreinigde grondwater en de lucht een belangrijke randvoorwaarde. De verontreinigende stoffen welke zich na het strippen in de luchtfase bevinden kunnen hier eenvoudig uit worden verwijderd door actief kool. Actief kool is een speciaal behandelde koolstof die de eigenschap heeft om allerlei met name hydrofobe stoffen aan zich te binden. De verontreinigende stoffen adsorberen aan het kool en de lucht is schoon genoeg om naar het milieu te emitteren. Het actief kool kan wanneer het verzadigd is geraakt met de verontreinigende stoffen door daarin gespecialiseerde bedrijven weer geregenereerd worden of wanneer dit niet mogelijk is zal het worden gestort. De belangrijkste uitvoeringsvormen zijn de striptoren of stripkolom en de plaatstripper. De striptoren is gebaseerd op het tegenstroomprincipe, waarbij een verticaal opgestelde kolom is gevuld met een pakkingmateriaal. De plaatstripper is gebaseerd op het

kruisstroomprincipe (crossflow) waarbij de vloeistofstroom intensief wordt belucht door een geperforeerde plaat. De verontreinigende stoffen die in aanmerking komen voor behandeling met een luchtstrippen zijn alle vluchtige verontreinigingen zoals BTEX en VOCL.



Figuur 3; Luchtstripper - torenmodel

Aerobe bioreactor

Veel verontreinigingen kunnen met behulp van micro-organismen worden verwijderd uit het grondwater. Hiervoor worden bioreactoren in gezet, het principe berust er op de juiste micro-organismen aanwezig te hebben in de reactoren en vervolgens de omstandigheden voor deze micro-organismen zo optimaal mogelijk te krijgen en te houden waardoor deze micro-organismen de verontreinigingen afbreken tot onschadelijke stoffen, vervolgens kan het 'schone' grondwater worden geloosd. De omzetting in deze bioreactor gebeurt onder aerobe omstandigheden, dit wil zeggen dat de micro-organismen zuurstof nodig hebben voor de omzetting. Een bioreactor is veelal een grote bak waar zich platen met kleine gaten in bevinden waardoor zuurstofrijke lucht wordt geblazen door middel van een blower. Hierdoor is ten alle tijden voldoende zuurstofaanwezig voor de biologische

afbraak van de verontreinigingen. De verontreinigingen welke veelal met dit principe worden afgebroken zijn BTEX, Minerale olie en in mindere mate PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen).



Figuur 4; Aerobe bioreactor (rechts) met bezinkbak (midden) en besturingsunit (links)

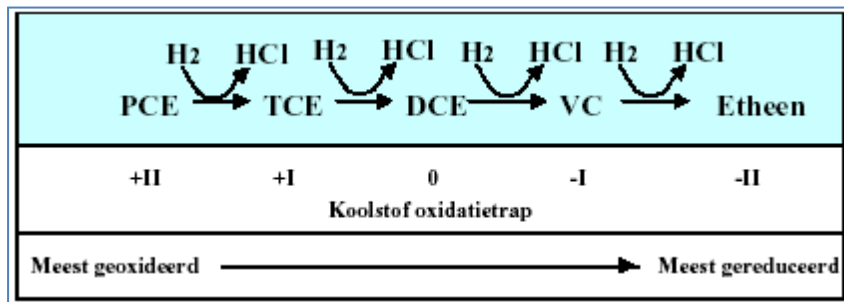
Buiten de bovenstaand beschreven zuiveringstechnieken zijn er nog een aantal minder vaak toegepaste zuiveringsprincipes zoals zandfiltratie, actieve koolfiltratie van de waterfase, chemische oxidatie, coagulatie/flocculatie/precipitatie. Voor de meest voorkomende grondwaterverontreinigingen zijn dit minder geschikte zuiveringstechnieken, echter voor de verontreinigingen die niet volgens de bovenstaand omschreven technieken kunnen worden verwijderd kunnen deze technieken meer geschikt zijn.

Voor het grondwater verontreinigd met VOCL is meest toegepaste zuiveringstechniek het luchtstrippen. Het nadeel van deze techniek is echter dat er relatief grote installaties voor nodig zijn, verder is een grote luchtstroom noodzakelijk waardoor een grote blower moet worden gebruikt, deze blowers hebben het nadelige effect dat zij geluidsoverlast kunnen veroorzaken. Een ander nadeel van deze techniek is dat het actief kool of de residuen van regeneratie van dit actief kool moeten worden gestort. De gechloreerde verbindingen worden dus wel vastgelegd, maar niet verwijderd uit het milieu. Wanneer het actief kool verzadigd is geraakt met VOCL zal het koolfilter 'doorslaan' dit wil zeggen dat het allen geadsorbeerde verbindingen weer los zal gaan laten, wanneer het kool niet op tijd wordt vervangen loopt men het risico deze verbindingen in de omgevingslucht te blazen. Verder moet worden opgemerkt dat niet alle VOCL verbindingen even eenvoudig van de waterfase naar de luchtfase gaan. Met name bij hoge concentraties zijn grote installaties, of eventueel verschillende in serie geschakelde installaties nodig zijn.

2.3 Afbraakmechanismen VOCL

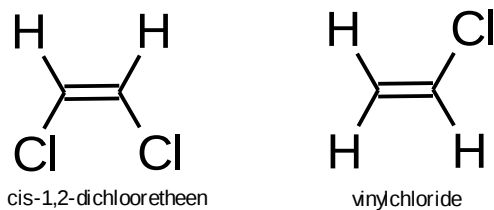
In de natuur breken VOCL onder invloed van micro-organismen zeer langzaam af. Dit kan via een aantal verschillende mechanismen voorkomen:

- Reductieve dechlorering
Hierbij worden de chlooratomen vervangen door waterstofatomen, hiervoor zijn anaerobe condities noodzakelijk om deze afbraak te laten plaatsvinden.



Figuur 5; Standaard afbraakroute van PCE door middel van reductieve dechlorering

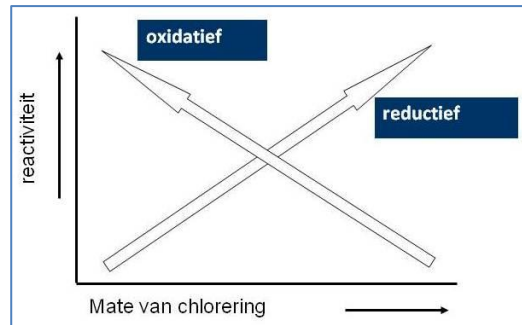
Zoals in bovenstaande figuur is weergegeven verloopt de afbraak van PCE en TCE via DCE en VC tot de milieuongevaarlijke stof etheen. Vervolgens breekt het etheen weer vrij snel af tot ethaan en methaan. In onderstaande figuur staan de structuurformules van de DCE en VC weergegeven.



Figuur 6; structuurformules cDCE en VC

Het verschil tussen cis-DCE (cDCE) en trans-DCE is de plaats van het chlooratoom bij cDCE zitten de chlooratomen aan dezelfde kant (zie figuur 4) en bij trans-DCE zijn de chlooratomen schuin tegenover elkaar geplaatst. De reductieve dechlorering van PCE verloopt in principe via cDCE. Al zijn recentelijk een aantal bacteriën geïsoleerd die PCE afbreken via tDCE (Cheng & He, 2009)

Deze reductieve dechlorering verloopt het snelst bij de meervoudig gechloreerde ethenen en naarmate de ethenen minder chlooratomen bevatten steeds langzamer. Hierdoor is er een risico dat er ophoping van DCE en/of VC plaatsvindt, mede omdat er vele bacteriën bekend zijn die een rol spelen bij de eerste stappen en slechts een of enkele die betrokken zijn bij de laatste stappen van de afbraak.

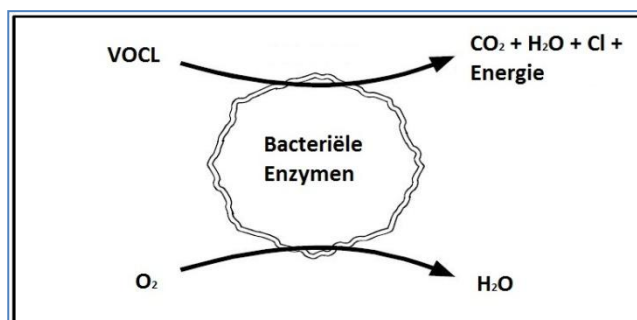


Figuur 7; reactiviteit - mate van chlorering

Voor de reductieve dechlorering is een elektronendonor vereist. Wanneer er sprake van natuurlijke afbraak is in de bodem fungeert hier over het algemeen veen voor, echter nevenverontreinigingen zoals petroleumkoolwaterstoffen kunnen ook als elektronendonor dienen. In de in-situ bodemsanering van gechloreerde koolwaterstoffen wordt dit principe veelvuldig toegepast, wanneer er van nature te weinig elektronendonor aanwezig is in de bodem wordt deze vaak toegediend in de vorm van bijvoorbeeld melasse, wei, protamylasse, acetaat, lactaat geëmulgeerde olie en HRC (Nipshagen & Praamstra, 2008). Reductieve dechlorering gebeurt het snelst onder sterk reducerende omstandigheden (sulfaat reducerend of methanogene condities).

- Metabole oxidatie

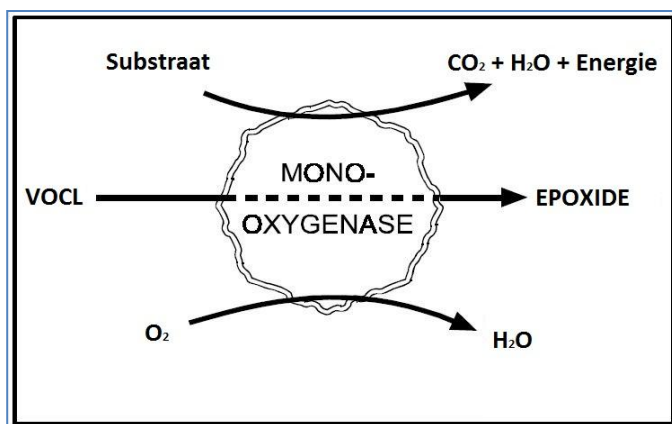
Hierbij dienen de VOCL direct als koolstof- en energiebron voor de organismen, deze organismen zetten de uiteindelijk VOCL om in anorganische moleculen zoals koolstofdioxide, water en chloride. Dit kan zowel onder aerobe als anaerobe condities voorkomen. Deze afbraak kan ondermeer voorkomen voor DCE (cis en trans), vinylchloride (VC), 1,2-dichloorethaan (DCA), dichloorbenzeen, chloorbenzeen en methylchloride.



Figuur 8; Directe aerobe oxidatie (EPA, 2000)

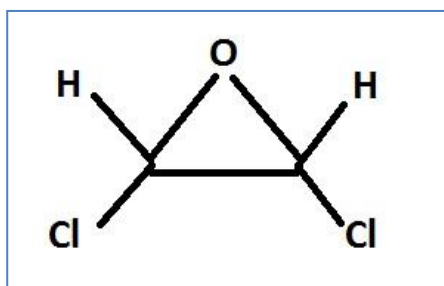
- Co-metabole oxidatie

Het principe van co-metabolisme berust erop dat bacteriën groeien op een andere stof dan VOCL, het substraat of de elektronendonor. Om dit substraat als energiebron te kunnen gebruiken produceren de bacteriën in aanwezigheid van zuurstof het enzym mono- of di-oxygenase. Deze enzymen dienen ervoor om de substraatmoleculen te breken zodat deze kunnen worden gebruikt als energiebron. Deze enzymen zijn zeer specifiek, dankzij hun vorm zijn zij in principe alleen in staat om de substraatmoleculen af te breken, echter in het geval van co-metabolisme zijn zij toevallig in staat om eveneens de VOCL moleculen af te breken. Het micro-organisme ondervindt hier in principe geen voordeel van, het gebeurt 'per ongeluk' (Horvath, 1972). De VOCL moleculen worden onder invloed van deze mono- of di-oxygenase omgezet in epoxiden. Van een redelijk groot aantal stoffen is inmiddels bekend dat deze kunnen dienen als substraat voor de co-metabole afbraak van VOCL, zoals bijvoorbeeld methaan, ethaan, etheen, butaan, propaan maar ook nevenverontreinigingen zoals fenol of toluen.



Figuur 9; Co-metabole aerobe oxidatie (EPA, 2000)

Bij de vorming van epoxiden wordt de dubbele binding in de alkeen verbroken en wordt hier een zuurstofatoom tussen geplaatst. In onderstaande figuur is als voorbeeld de epoxide van cDCE weergegeven. Epoxiden zijn zeer onstabiele verbindingen en vallen zeer snel uiteen in alcoholen en organische vetzuren. (Tsien, Brusseau, Hanson, & Wackett, 1989) (Little, Palumbo, Herbes, Lindstrom, Tyndall, & Gilmer, 1988) (Oldenhuis, Vink, Janssen, & Witholt, 1989) (Nelson M. J., Montgomery, Mahaffey, & Pritchard, 1987) (Rasche, Hyman, & Arp, 1991). Dit zijn op hun beurt ook weer goed afbreekbare stoffen.



Figuur 10; cDCE epoxide

3 Onderzoeksopzet

3.1 Onderzoeksopzet

Dit onderzoek is deels gebaseerd op de anaerobe afbraak van VOCL volgens het eerder genoemde principe van reductieve dechlorering. Dit principe wordt nu voornamelijk toegepast in de in-situ bodemsanering, dit wil zeggen dat het de bodemverontreiniging in-situ (dus in de bodem) wordt afgebroken door micro-organismen. Het is belangrijk dat de juiste micro-organismen aanwezig zijn in de bodem, de aanwezigheid van afbraakproducten duidt al op de aanwezigheid van deze micro-organismen, indien dit niet het geval is wordt vooraf door de saneerder een afbraaktest gedaan. Een positief resultaat bewijst dat de juiste micro-organismen aanwezig zijn. In een zeer zeldzaam geval zal geconcludeerd moeten worden dat de juiste micro-organismen niet aanwezig zijn in de te saneren bodem. In dat geval kan de saneerder overgaan tot zogenaamde bioaugmentatie, hierbij worden de juiste micro-organismen vanuit elders naar de bodemsaneringslocatie gebracht en in de bodem gebracht. Vervolgens moeten de omstandigheden voor de bacteriën zo optimaal mogelijk zijn, en er moeten voldoende energiebron en nutriënten aanwezig zijn voor de micro-organismen. Tevens is het van belang de juiste Redox-condities te creëren in de bodem, voor de afbraak van de VOCL moeten de omstandigheden in de bodem voldoende reductief zijn. Deze vorm van het aanpakken van bodemverontreinigingen met VOCL is een veel beschreven en toegepaste techniek.

In een onderzoek naar het gebruik van reductieve dechlorering in een bioreactor ter reiniging van met VOCL verontreinigd grondwater, onderdeel van het zogenaamde TCE-concept (Totaal Concept Evenblij), is gebleken dat de omzetting van PCE naar etheen circa 4 dagen duurt. De omzetting van PCE naar cDCE vindt al plaats in de eerste uren (Henssen, Bommel, Dorenbos, Blokzijl, Hubach, & Breidenbach, 2000). Dit is in overeenstemming met de opvatting dat de snelheid van de omzetting door middel van reductieve dechlorering afhankelijk is van het aantal chlooratomen aan de verontreinigende verbindingen, waarbij deze het snelst verloopt bij meervoudig gechloreerde ethenen.

Onderhavig onderzoek bekijkt wat de mogelijkheden zijn voor een gecombineerde afbraak van de gechloreerde ethenen. De gechloreerde ethenen worden allereerst door middel van anaerobe reductieve dechlorering omgezet naar cDCE waarop deze cDCE in een andere reactor aeroob co-metabool wordt afgebroken naar onschadelijke stoffen. Uit onderzoeken naar de co-metabole afbraak van cDCE blijkt deze omzetting eveneens in een aantal uren plaats te vinden (Olaniran, Pillay, & Pillay, 2006) (Tejasen S. , 2003). In een eerder tests door BioSoil B.V. blijkt de co-metabole afbraak van cDCE en zelfs binnen 4 uur plaats te vinden (Coremans, 2008). Bij het combineren van beide afbraakmechanismen is het dus in theorie mogelijk binnen een aantal uren het grondwater verontreinigd met PCE of TCE om te zetten naar milieu-ongevaarlijke stoffen, waarop het grondwater geloosd kan worden.

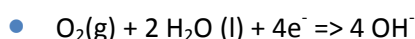
Dit onderzoek richt zich in eerste instantie op het vinden van een geschikt substraat voor de co-metabole afbraak van cis-DCE en het testen hiervan. Verder zal getracht worden een duidelijk beeld te krijgen van de totale hydraulische verblijftijd voor een gecombineerde anaerobe/aerobe zuivering van grondwater verontreinigd met VOCL. Dit zal worden gedaan door een literatuurstudie naar verschillende mogelijke substraten voor deze afbraak. Hiervan zullen een aantal substraten worden geselecteerd welke door middel van laboratoriumonderzoek zullen worden getest op geschiktheid. Vervolgens zal een reactorproef worden ingezet, eveneens op laboratoriumschaal. Hierbij wordt getest of de sequentiële afbraak van PCE eveneens mogelijk is. Er worden twee reactoren gebruikt, een anaerobe reactor waar de PCE reductief gedechloriseerd wordt tot cDCE en eventueel VC waarop het water in de tweede, aerobe, reactor terecht komt waar de omstandigheden zo worden gecreëerd dat de co-metabole afbraak van de cDCE en VC tot stand moet kunnen komen. Hiermee zou de PCE in twee stappen moeten worden afgebroken tot milieuongevaarlijke stoffen.

3.2 Analysetechnieken

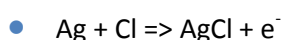
Gedurende de proeven wordt gebruik gemaakt van een aantal verschillende analysetechnieken om de concentratie van een aantal stoffen te bepalen om zo inzicht te krijgen in de voortgang van de verschillende proeven. In deze paragraaf worden de gebruikte analysetechnieken globaal omschreven.

3.2.1 Zuurstofmetingen

Gedurende de proeven is gebruikt gemaakt van 2 typen zuurstofsensoren, de meeste metingen zijn gedaan met een zuurstofsensor op basis van de zogenaamde Clark-cel. Dit is een platina elektrode en een Ag/AgCl referentie elektrode. Deze bevinden zich beide in een KCl oplossing. De zuurstofsensor wordt van het monsterwater gescheiden door een zuurstofpermeabel membraan. Tussen de beide elektroden staat een vaste spanning, aan de platina elektrode(kathode) vindt reductie plaats:

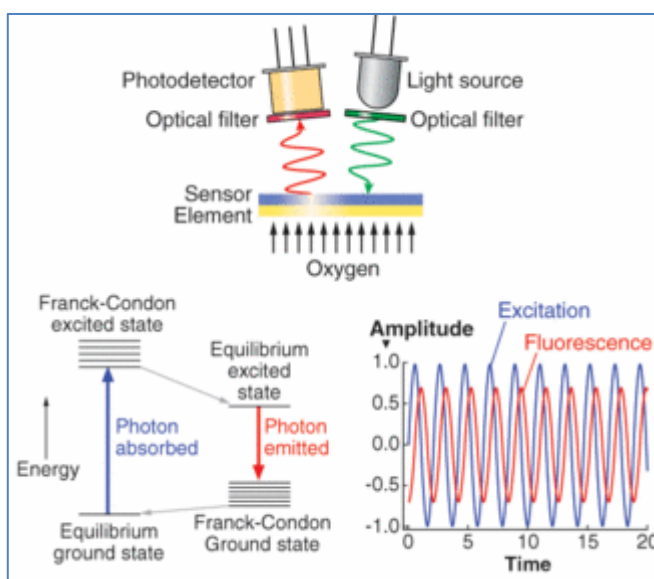


Aan de Ag/AgCl elektrode (anode) vindt oxidatie plaats:



De stroom door de cel is evenredig met de diffusiesnelheid van zuurstof door het membraan. Deze stroom wordt elektronisch omgezet in een spanning die evenredig is met de stroom. Deze spanning wordt door het meet apparaat vervolgens weer omgerekend naar een af te lezen zuurstofconcentratie.

Een ander zuurstofsensor die is gebruikt is een zogenaamde optische zuurstofsensor of een 'luminescent dissolved oxygen sensor' (LDO sensor). De sensor bevat twee LED's een rode en een blauwe en een



Figuur 11; LDO-sensor (Bron: www.optoiq.com)

silicium foto-elektrische cel. De cap van de sensor heeft een coating van een op platina gebaseerde luminofoor. Deze luminofoor wordt geactiveerd door het licht van de blauwe LED. Aan de buitenkant van de cap is deze luminofoor gecoat met een zwarte laag van polystyreen voor optisch isolatie. Hierdoor wordt voorkomen dat de meting wordt beïnvloed door licht van externe bronnen. De luminofoor wordt geactiveerd door de blauwe LED, waarna deze een bepaalde tijd een rood licht uitstraalt. De tijdsduur van deze luminescentie is afhankelijk van de hoeveelheid zuurstofmoleculen in de buurt van de luminofoor. Door middel van metingen naar de tijdsduur van deze luminescentie kan het apparaat de zuurstofconcentratie in de directe omgeving van de sensor bepalen. De rode LED dient als referentiewaarde voor de metingen. Het voordeel van een optische zuurstofsensor dat deze, in tegenstelling tot de zuurstofsensor op basis van de Clark-cel, geen zuurstof verbruikt tijdens zijn meting. Hierdoor is het ook mogelijk relatief kleine volumes water te bemonsteren en nog steeds een stabiele meting uitvoeren.

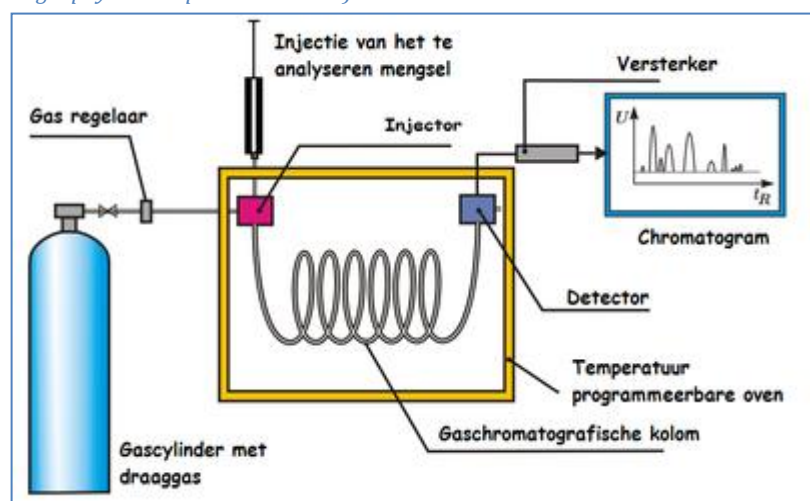
3.2.2 Colorimetrische bepaling

Gedurende de proeven is gebruik gemaakt van een zogenaamde spectrofotometer om de concentratie van bepaalde stoffen in het water te bepalen. De spectrofotometer kan de concentratie van deze stoffen bepalen door middel van het analyseren van de lichtintensiteit door de oplossingen. In de spectrofotometer bevindt zich een lamp met een aantal filters waardoor er licht van verschillende golflengten door het monster kunnen worden geleid. Deze golflengten zijn afhankelijk van de stoffen die geanalyseerd dienen te worden.

Afhankelijk van de te meten stof worden chemicaliën aan het monster toegevoegd welke reageren met de te meten stof tot verbindingen met een specifieke absorptie. De spectrofotometer meet de absorptie door het monster bij de golflengte specifiek voor deze analyse. Hoe groter de absorptie deze te hoger de concentratie van de te meten stof in het monster. De spectrofotometer rekent deze absorptie om in een concentratie van de te bepalen stof.

3.2.3 HS-GCMS (head space gaschromatography- mass spectrodection)

Voor de analyses naar VOCL in het water is gebruik gemaakt van gaschromatografie, hierbij worden stoffen in gas of dampfase gescheiden op hun selectieve verdeling tussen de stationaire en mobiele fase. Het te onderzoeken monster wordt verhit zodat alle vluchtige verbindingen overgaan naar de headspace, een deel van deze headspace het draaggas



Figuur 12; Schematische weergave gaschromatografie (Bron: Wikipedia)

geïnjecteerd, verdampt vervolgens en wordt met het draaggas naar de kolom gevoerd die zich op een bepaalde temperatuur bevindt. In de kolom vindt de scheiding van het mengsel plaats in de diverse componenten. De scheiding vindt plaats op basis van de hydrofobiciteit van de verschillende moleculen. PCE blijft bijvoorbeeld langer plakken aan de wand van de kolom dan VC. Uiteindelijk zullen alle moleculen de kolom weer verlaten. Aan het eind

van de kolom bevindt zich een zogenaamde detector. Deze detector registreert de moleculen die de kolom verlaten en zet deze gegevens om in een zogenaamd chromatogram. De verschillende pieken in deze chromatogram staan voor bepaalde specifieke stoffen, al naar gelang de snelheid van loskomen uit de kolom. Uit het chromatogram kunnen de concentraties van de specifieke stoffen worden afgelezen.

De VOCL-analyses gedurende de proeven zijn uitgevoerd door een STER-erkend laboratorium, waar bovenstaand beschreven techniek is toegepast.

4. Batchproef aerobe afbraak cDCE

4.1 Substraatkeuze voor co-metabole afbraak TCE, cDCE/VC

Een van de eerste onderzoeken naar de aerobe co-metabole afbraak van VOCL beschrijft het gebruik van aardgas als substraat voor de afbraak van TCE (Wilson & Wilson, 1985). Sindsdien is er veel onderzoek geweest naar geschikte substraten voor de aerobe co-metabole afbraak van TCE, cDCE en VC en is al van veel stoffen bekend dat zijn in staat zijn als groeisubstraat te dienen voor de micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de co-metabole afbraak van VOCL, onder andere:

Tabel 2; Substraten voor co-metabole afbraak van VOCL

Stof	Bronnen
Methaan	(Wilson & Wilson, 1985) (Strand & Shippert, 1986) (Little, Palumbo, Herbes, Lindstrom, Tyndall, & Gilmer, 1988) (Fogel, Taddeo, & Fogel, 1986) (Oldenhuis, Vink, Janssen, & Witholt, 1989)
Propaan	(Fliermans, Phelps, Ringelberg, Mikel, & White, 1988) (Phelps, Niedzielski, Schram, Herbes, & White, 1990)
Propeen	(Ensign, Hyman, & Arp, 1992)
Tolueen	(Nelson M. J., Montgomery, O'Neill, & Pritchard, 1986) (Wackett & Gibson, 1988)
Fenol	(Folsom, Chapman, & Pritchard, 1990) (Harker & Kim, 1990)
Butaan	(Coremans, 2008)
Glucose	(Ensign, 1996)
Benzylalcohol	(Tejasen S. , 2004)
Enz.	

S. Tejasen heeft in zijn onderzoek een groot aantal stoffen met elkaar vergeleken ten einde de geschiktheid van deze stoffen te onderzoeken als groeisubstraat voor bacterieculturen welke in staat zijn co-metabool cDCE en VC af te breken. Uit dit onderzoek komen een aantal potentieel geschikte groeisubstraten waaronder fenol, p-cresol, glucose, benzylalcohol, 1-butanol, fenylacetaat en tetrabutoxysilaan. (Tejasen S. , 2003)

Op basis van deze literatuurstudie zijn een aantal substraten geselecteerd die in een labproef worden getest op bruikbaarheid in het veld. De geselecteerde groeisubstraten zijn o-cresol, benzylalcohol, glucose en tolueen. Tevens is Percol® geselecteerd om in de labproef te worden meegenomen. Zoals uit bovenstaande blijkt is aangetoond dat p-cresol en fenol geschikt zijn voor de co-metabole afbraak van de VOCL, echter wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van o-cresol. Reden hiervoor is dat p-cresol, fenol en o-cresol qua structuur veel op elkaar lijken en omdat de ent die gebruikt zal gaan worden voor de laboratoriumproef afkomstig zal zijn uit onder andere een aerobe zuivering welke door BioSoil B.V. momenteel wordt ingezet in een bodemsanering waar de verontreinigende stof o-cresol is. Percol® is gekozen omdat dit een groeisubstraat is dat doorgaans door BioSoil B.V. gebruikt wordt bij de anaerobe afbraak van VOCL. Percol® voldoet eveneens aan de karakteristieken van groeisubstraten voor co-metabole afbraak van cDCE en VC, gezien het feit dat dit substraat reeds op grote schaal door BioSoil B.V. wordt toegepast heeft dit product uiteraard een bijzondere voorkeur. Tevens zal Percol® eveneens worden toegepast in het eerste, anaerobe, deel van de zuivering als substraat voor de reductieve dechlorering.

4.2 Materialen/methoden

Voor de proef zijn flessen gebruikt met een inhoud van 1150 ml, voor elk substraat zijn 3 flessen gevuld met circa 250 ml (leiding)water. Vervolgens is hier 5 ml pH-bufferoplossing aan toegevoegd. De pH-bufferoplossing bestond uit een mengsel van 0,1 M KOH oplossing en 0,1 M KH_2PO_4 oplossing, welke op een pH is gesteld van 7,00. De micro-organismen verantwoordelijk voor de co-metabole afbraak van cDCE gedijen het beste rond een pH van 7,00. De bufferoplossing dient ervoor dat om de pH-veranderingen tijdens de biologische processen op te vangen zodat de pH niet te ver af gaat wijken van de 7,00. Bij dechlorering wordt namelijk onder andere H^+ en Cl^- gevormd wat een pH daling tot gevolg kan hebben. Tevens is er 5 ml nutriëntenoplossing toegevoegd aan de



Figuur 13; schudtafel gebruikt voor batchproeven

flessen, deze oplossing bestaat uit een mengsel van monoammoniumfosfaat en ammoniumnitraat opgelost in H_2O . Vervolgens is er cDCE toegevoegd aan de flessen, per fles is er 0,98 μl toegevoegd, dit resulteert in een cDCE concentratie in het water van 5000 $\mu\text{g/l}$. Een deel hiervan zal diffunderen naar de headspace waardoor de concentratie in het water lager zal worden, echter wanneer de cDCE wordt omgezet in de waterfase zal de in de headspace aanwezige cDCE terug diffunderen naar het water waardoor uiteindelijk alle cDCE omgezet kan worden. Er is dus sprake van een verschuivend evenwicht tussen de concentratie in het water en de concentratie in de headspace. Om dit diffundatieproces te bevorderen worden de flessen op een zogenaamde schudtafel gezet, hierdoor is er een intensief contact tussen lucht en water in de flessen, zie figuur 11.

De bacteriën welke toegevoegd zijn aan de batchreactoren zijn afkomstig uit een tweetal aerobe zuiveringsinstallaties die BioSoil B.V. in bedrijf heeft. Gekozen is voor water uit twee aerobe grondwaterzuiveringsinstallaties. Het betreft een zuiveringsinstallatie voor de afbraak van o-Cresol en een zuiveringsinstallatie voor de afbraak van minerale olie en BTEX. Er is voor deze installaties gekozen omdat het beide zeer actieve bioreactoren zijn, dus er een grote kans is op een zeer divers biologisch leven in het water. De kans dat de juiste bacteriën erin aanwezig zijn is daarom groot. Uiteraard is er een kans dat dit niet het geval is, dit is wel in de overwegingen meegenomen, maar aangezien enten met een specifieke bacteriecultuur een zeer kostbare zaak is, is gekozen voor bovenstaand omschreven oplossing. Aan de flessen is in totaal 10 ml van deze biomassaoplossing toegevoegd, 5 ml afkomstig van de zuiveringsinstallatie voor de biologische afbraak van o-Cresol en 5 ml afkomstig van de zuiveringsinstallatie voor de biologische afbraak van minerale olie en BTEX.

Vervolgens is het te testen substraat toegevoegd aan de flessen, van elk substraat is 2 ml oplossing toegevoegd aan de flessen, deze oplossingen zijn zo bepaald dat er per substraat 2 ml oplossing nodig was om de benodigde hoeveelheid substraat toe te voegen. Per substraat zijn drie flessen gevuld, twee hiervan zijn volledig luchtdichte flessen. Deze flessen zullen ook gedurende de proef

niet worden geopend om verlies van cDCE te voorkomen. De derde fles dient ervoor om de voortgang te kunnen monitoren, door middel van zuurstof metingen in het water.

Naast de flessen met de te onderzoeken substraten is eveneens een blanco fles ingezet. Deze fles is eveneens gevuld met 250 ml leidingwater. Hieraan is enkel de cDCE toegevoegd. Deze fles kan gebruikt worden om een vergelijking te maken tussen de flessen waar biologische activiteit plaatsvindt en deze 'blanco' fles waar geen afbraak plaatsvindt. Hiermee kan worden uitgesloten dat de cDCE op een andere manier verdwijnt dan door biologische omzetting

4.2.1 Substraatconcentratie

Voor elk van de geselecteerde substraten is een berekening gedaan naar de concentratie waarin deze toegevoegd diende te worden aan de batchproeven. Wat de exacte verhoudingen zijn tussen de biologische afbraak van het substraat en de co-metabole afbraak van cDCE is niet te achterhalen. Reden hiervoor is dat niet precies kan worden gezegd welke bacteriën in de batchproef verantwoordelijk zijn voor deze omzetting en in welke mate deze co-metabool cDCE omzetten. In een onderzoek waarin eveneens een aantal substraten worden vergeleken wordt een verhouding van 5,4 mol glucose per mol VOCL toegepast (Tejasen S. , 2004). Op grond hiervan is tijdens de batchproef gekozen voor een verhouding van 10 mol glucose per mol VOCL, hier is bewust gekozen voor een overmaat omdat hierdoor de hoeveelheid substraat niet limiterend kan zijn voor de afbraak van de cDCE. Tevens zal in een full-scale zuivering niet altijd kunnen worden voorkomen dat een overmaat aan substraat zal worden gedoseerd. De effecten van deze overmaat mogen dus niet nadelig werken op de afbraak van cDCE. Op basis van de elektronenoverdracht tijdens de oxidatie van de substraten kan per substraat een vergelijkbare hoeveelheid toe te voegen materiaal worden berekend. Deze hoeveelheden worden berekend aan de hand van de hoeveelheid elektronen die vrijkomen bij de volledige oxidatie van de substraten. Omdat Percol een mengsel is van verschillende stoffen kan geen oxidatievergelijking worden opgesteld. Bij dit substraat is voor de vergelijking met glucose uitgegaan van het chemisch zuurstof verbruik (CZV). Uit de berekeningen komt per substraat een hoeveelheid zuurstof welke toegediend dient te worden aan de batchproef, zie onderstaande tabel 3.

Tabel 3; Zuurstofbehoefte oxidatie substraat

Substraat	Oxidatiereactie	Elektronenoverdracht (aantal elektronen die worden overgedragen bij de oxidatie van 1 molecuul substraat)	CZV (g/l)
o-Cresol	$2 \text{ C}_6\text{H}_4\text{CH}_3\text{OH} + 17 \text{ O}_2 = 14 \text{ CO}_2 + 8 \text{ H}_2\text{O}$	34	
Benzylalcohol	$2 \text{ C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH} + 17 \text{ O}_2 = 14 \text{ CO}_2 + 8 \text{ H}_2\text{O}$	34	
Glucose	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 = 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$	24	
Tolueen	$\text{C}_7\text{H}_8 + 9 \text{ O}_2 = 7 \text{ CO}_2 + 4 \text{ H}_2\text{O}$	36	
Percol®			558,00

Tabel 4; Substraatconcentratie batchproef

Substraat *	μmol		mg		μl
o-Cresol	91,01	=	9,84	=	9,19
Benzylalcohol	91,01	=	9,84	=	9,42
Glucose	128,93	=	23,23	=	15,08
Tolueen	85,95	=	7,92	=	9,10
Percol®			55,45	=	44,36

* (hoeveelheden zijn gebaseerd op de hoeveelheid elektronen die worden overgedragen tijdens oxidatie)

In bovenstaande tabel 4 staan de hoeveelheden substraat weergegeven die aan de batchreactoren zijn toegevoegd. Deze hoeveelheden zijn dus zo berekend dat de zuurstofbehoefte voor de oxidatie van elk substraat gelijk is.

4.2.2 Zuurstof en nutriënten dosering

In de vorige paragraaf is uiteengezet hoe de concentraties substraat in de batchreactoren tot stand zijn gekomen. De verhoudingen tussen de verschillende substraten zijn afgeleid van de zuurstofbehoefte van het desbetreffende substraat bij volledige oxidatie van dit substraat. Voor de proeven is het dus belangrijk dat voldoende zuurstof aanwezig is of eventueel wordt toegevoegd. Voor de volledige oxidatie van het substraat is tevens de zuurstofbehoefte van de cDCE oxidatie berekend. De som van deze beide zuurstofbehoeften is de totale zuurstofbehoefte van de batchreactoren. In onderstaande tabel staan de resultaten weergegeven, de zuurstofbehoefte is weergegeven zowel in ml lucht als in ml H_2O_2 -oplossing. Voor de hoeveelheid zuurstof in de lucht is uitgegaan van 21%VOL, de dichtheid van de lucht is aangenomen $1,293 \text{ kg/m}^3$ te zijn. H_2O_2 is een instabiele verbinding en valt vrij snel uiteen in H_2O en O_2 , per 2 mol H_2O_2 komt 1 mol O_2 vrij. De H_2O_2 -oplossing bestaat uit een oplossing van 350 ml/l H_2O .

Tabel 5; Zuurstofbehoefte batchreactoren

Zuurstofbehoefte	mg O_2	ml lucht	mg H_2O_2	ml H_2O_2 oplossing
cDCE	0,83 =	3,01 =	1,75	
Substraat	24,75 =	90,25 =	52,63	
Toevoeging zuurstof batchreactor	25,58 =	94,20 =	54,38 =	0,13

¹ Uitgegaan van 21 % VOL zuurstof in lucht

² Uitgegaan van een dichtheid van $1,293 \text{ kg/m}^3$

In paragraaf 3.2 is beschreven dat voor de batchreactoren flessen van 1150 ml gebruikt zijn, waaraan ca 250 ml oplossing is toegevoegd. Het headspacevolume is ca 900 ml, dit is het volume lucht dat boven de vloeistof staat. Deze 900 ml is, zoals uit bovenstaande tabel is af te lezen, voldoende om in de zuurstof behoefte van de afbraak van de cDCE en het substraat te voldoen. Enkel de flessen waarin periodiek zuurstofmetingen zijn gedaan naar de voortgang was het niet te voorkomen dat de headspace werd ververst door omgevingslucht tijdens de metingen, daarom zijn deze flessen na de metingen geflushed, dit wil zeggen dat de volledige headspace wordt vervangen door (zuurstofrijke) omgevingslucht. De headspace in deze flessen bevat dus na elke meting weer 21%VOL zuurstof. Hierdoor kan toch berekend worden hoeveel zuurstof in totaal wordt verbruikt.

Voor de opbouw van biomassa is tevens een aantal nutriënten nodig, met name fosfor en stikstof zijn van groot belang. De aangenomen (massa)verhouding tussen C, N en P zijn respectievelijk 100-6-2. In de berekening voor de toe te voegen hoeveelheid nutriënten is aangenomen dat alle koolstof in de substraten wordt gebruikt voor de opbouw van biomassa. In werkelijkheid is dit niet het geval, omdat een groot deel wordt omgezet in CO₂. Er is weinig informatie beschikbaar over de verhouding van het deel dat wordt omgezet in CO₂ en het deel dat daadwerkelijk wordt gebruikt voor de groei van de micro-organismen. Er is dus sprake van een overdosering van nutriënten, dit heeft verder geen effect op het verloop van de biologische processen.

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de berekening naar de benodigde hoeveelheid nutriënten weergegeven.

Tabel 6; Nutriëntenbehoefte per substraat uitgedrukt in koolstof (C)

Substraat *	C (g)	P (g)	N (g)
o-Cresol	7,65	0,15	0,46
Benzylalcohol	7,65	0,15	0,46
Glucose	9,29	0,19	0,56
Tolueen	7,23	0,14	0,43
Percol®	9,29	0,19	0,56

* Hoeveelheid koolstof in Percol wordt aangenomen gelijk te zijn met de hoeveelheid koolstof in glucose

In de batchreactoren zijn deze nutriënten toegevoegd als een oplossing van monoammoniumfosfaat (MAP) en ammoniumnitraat (NH₃NO₄). In onderstaande tabel staan de benodigde hoeveelheden van deze nutriënten, welke volgen uit de bovenstaande figuur.

Tabel 7; Nutriëntbehoefte in MAP (P) en NH₄NO₃(N)

Substraat	MAP (g)	NH ₄ NO ₃ (g)
Fenol	0,55	1,25
Benzylalcohol	0,55	1,25
Glucose	0,67	1,51
Tolueen	0,52	1,24
Percol®	0,67	1,51

In onderstaande tabel 3 is een overzicht weergegeven van de batchreactoren die zijn ingezet.

Tabel 8; Overzichtflessen batchproef met toevoegingen

Code	Substraat	Volume reactorvat (ml)	Kraanwater toegevoegd (ml)	Substraat toegevoegd	cDCE toegevoegd (μl)	Nutriënten toegevoegd mg P	Nutriënten toegevoegd mg N
1a	Benzylalcohol	1150	251,7	37,67 μl	0,98	9,8	44,45
1b	Benzylalcohol	1150	247,7	37,67 μl	0,98	9,8	44,45
1c	Benzylalcohol	1150	250,0	37,67 μl	0,98	9,8	44,45
2a	Glucose	1150	248,2	92,91 mg	0,98	9,8	44,45
2b	Glucose	1150	251,8	92,91 mg	0,98	9,8	44,45
2c	Glucose	1150	249,6	92,91 mg	0,98	9,8	44,45
3a	Tolueen	1150	250,9	36,41 μl	0,98	9,8	44,45
3b	Tolueen	1150	250,7	36,41 μl	0,98	9,8	44,45
3c	Tolueen	1150	251,5	36,41 μl	0,98	9,8	44,45
4a	Percol	1150	251,3	177,44 μl	0,98	9,8	44,45
4b	Percol	1150	251,9	177,44 μl	0,98	9,8	44,45
4c	Percol	1150	253,0	177,44 μl	0,98	9,8	44,45
5a	o-Cresol	1150	248,9	36,76 μl	0,98	9,8	44,45
5b	o-Cresol	1150	250,7	36,76 μl	0,98	9,8	44,45
5c	o-Cresol	1150	250,6	36,76 μl	0,98	9,8	44,45

In bijlage 2 is een rekensheet opgenomen waarin wordt verduidelijkt hoe alle toegevoegde hoeveelheden stoffen aan de batchreactoren tot stand zijn gekomen.

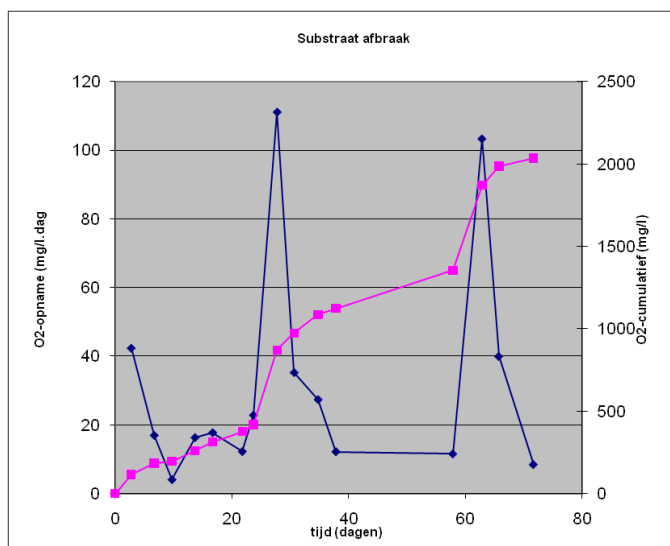
4.3 Resultaten Batchproeven

De laboratoriumproef is opgezet om een keuze te maken in het uiteindelijk toe te passen substraat. De proef is ingezet zoals reeds beschreven, de proef is uitgevoerd bij kamertemperatuur. In deze paragraaf worden de resultaten van de proef besproken, de resultaten zullen in eerste instantie per substraat worden besproken, waarna zij met elkaar worden vergeleken, aan de hand hiervan wordt een substraat gekozen.

De laboratoriumproef is 15 maart 2010 ingezet, vervolgens is een aantal keren per week de zuurstofconcentraties gemeten in de eerste fles met het gekozen substraat. Een aantal keren is er na de eerste toevoeging extra substraat toegevoegd aan de batchreactoren. Gedurende de proef zijn een aantal malen monsters genomen uit de verschillende batchreactoren. Deze monsters zijn ter analyse aangeboden aan een STER-erkend laboratorium. Vanwege de kosten van de laboratiumanalyses is dit tot een minimum beperkt, de voortgang van de proeven is met name gemonitord door de zuurstofmetingen. Op gestelde tijdstippen is de daadwerkelijke voortgang gecontroleerd door middel van laboratiumanalyses. In bijlage 3 zijn per substraat de meetresultaten van de zuurstofmetingen opgenomen, in bijlage 4 is een overzicht weergegeven van de toevoegingen van de verschillende stoffen gedurende de proeven. De analysecertificaten van de laboratiumanalyses gedurende de batchproef zijn opgenomen in bijlage 6.

Benzylalcohol

In de eerste flessen is het substraat Benzylalcohol getest. In de onderstaande figuur is het verloop van het zuurstofverbruik weergegeven in een grafiek uitgezet tegen de tijd. Hierin wordt verschil gemaakt in de zuurstofopname per dag en de totale zuurstofopname.



Figuur 15; Zuurstofverbruik benzylalcohol



Figuur 14; Flessen benzylalcohol

De zuurstofopname per dag begint op een redelijk hoog niveau, maar neemt echter in de eerste 10 dagen van de proef af tot bijna nihil. Waarop de zuurstofopname enigszins fluctueert tot de 24^e dag (08-04). Deze dag is de derde fles bemonsterd voor analyse op VOCL, na de monsternamen is er voor gekozen om extra substraat toe te voegen, met name omdat de zuurstofopname al geruime tijd niet echt veranderd. Deze maal is een vijfvoud van de oorspronkelijke hoeveelheid substraat toegevoegd.

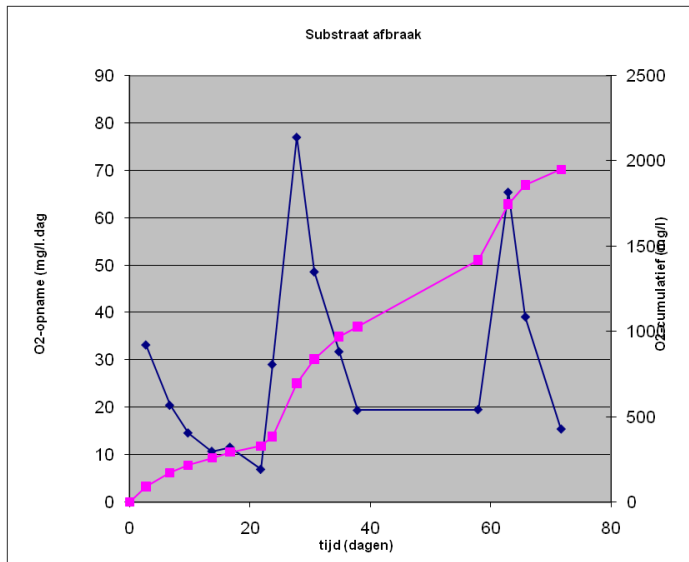
Uit de analyseresultaten van deze eerste bemonstering blijkt dat de toegevoegde hoeveelheid cDCE (5000 µg/l) is afgenomen tot 440 µg/l. Dit is een afname van 91,2%, de nog aanwezige cDCE in de headspace is hierin buiten beschouwing gelaten. Er is echter nog steeds cDCE aanwezig, het feit dat afbraak plaatsvindt zegt in elk geval dat de juiste micro-organismen aanwezig zijn in de reactoren, dat de afbraak nog niet volledig is kan er op duiden dat er niet voldoende substraat aanwezig is voor de afbraak. Dit zal uit het analyseresultaat van de tweede monsternamen volgen, omdat deze is genomen na de toevoeging van een vijfvoud van de oorspronkelijke hoeveelheid substraat.

Na deze toevoeging van substraat is in de bovenstaande grafiek af te lezen dat de zuurstofopname in de flessen weer enorm omhoog schiet, echter dit is van korte duur. De hieropvolgende meting laat wederom een veel lagere waarde zien en de daaropvolgende metingen steeds lager. Hieruit kan worden opgemaakt dat toegevoegde substraat al in de eerste dagen na toevoeging is opverbruikt. Op dag 58 is nogmaals een vijfvoud van de oorspronkelijk toegevoegde hoeveelheid substraat toegevoegd. Na deze toevoeging is wederom een hoge piek te zien in het zuurstofverbruik welke binnen enkele dagen weer afneemt. Hiermee wordt bevestigd dat de afbraak van het substraat binnen een paar dagen plaatsvindt. Wanneer inderdaad de cDCE co-metabool wordt afgebroken zal dit eveneens in deze eerste paar dagen plaatsvinden.

Op de 38^e dag (22-04) is het tweede monster genomen, deze keer is de tweede fles bemonsterd (1b). De resultaten van de analyse laten zien dat het cDCE gehalte verder is afgenomen (9,1 µg/l). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de co-metabole afbraak van cDCE met benzylalcohol als substraat mogelijk is.

Glucose

De tweede serie flessen zijn ingezet als batchreactoren voor het testen van glucose als substraat. In onderstaande figuur is wederom de zuurstofopname tijdens de proef weergegeven in een grafiek.



Figuur 17; Zuurstofverbruik glucose



Figuur 16; Flessen glucose

Het verloop van de zuurstofopname is te vergelijken met het verloop van de zuurstofopname in de batchreactor met Benzylalcohol. 8 april 2010 is eveneens een monster genomen uit de derde fles welke is geanalyseerd. Ook in deze reactor is op dag 24 (08-04) een vijfvoud van de oorspronkelijke hoeveelheid substraat toegevoegd.

Uit het eerste analyse resultaat blijkt dat de concentratie cDCE is afgenomen tot 5,3 µg/l. Dit is een afname van 99,9%, het gebruik van glucose als substraat lijkt op basis van deze eerste meting zeer goed mogelijk te zijn. Na de tweede toevoeging van substraat (dag 24) is een sterke stijging in de zuurstofopname waar te nemen, deze neemt binnen een paar dagen weer af. Dit beeld wordt nogmaals bevestigd na de toevoeging van substraat op de 58^e dag. Hieruit blijkt wederom dat de omzetting van het substraat, en hiermee tevens de omzetting van de cDCE in een aantal dagen plaatsvindt.

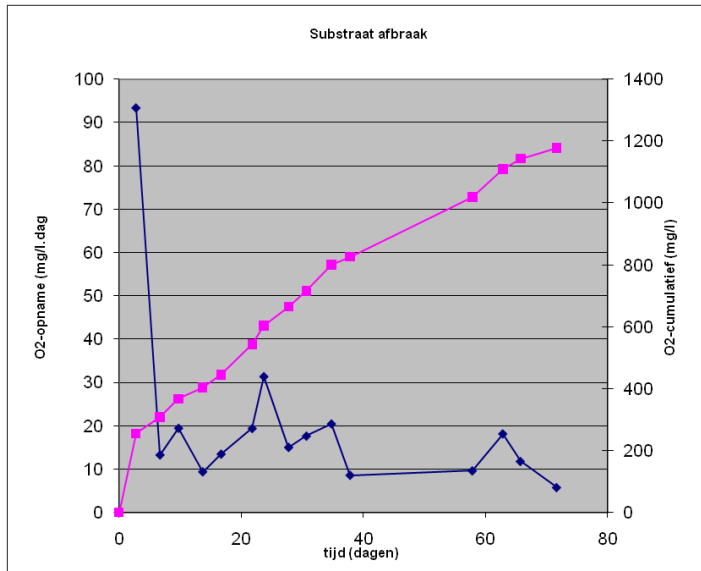
Op de 38^e dag (22-04) is het tweede monster genomen, hiertoe is deze keer de tweede fles gebruikt (1b). De resultaten van de analyse laten zien dat het cDCE gehalte verder is afgenomen (1,5 µg/l). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de co-metabole afbraak van cDCE met glucose als substraat zeer goed mogelijk is.

Tolueen

De derde batchreactor is ingezet om tolueen te testen als substraat voor de co-metabole afbraak van de cDCE. Uiteindelijk toepassing van tolueen als substraat is niet wenselijk echter aangezien tolueen als zeer geschikt wordt bevonden als substraat in verschillende literatuur is ervoor gekozen om deze als vergelijk mee te nemen in het onderzoek.



Figuur 18; Flessen tolueen



Figuur 19; Zuurstofverbruik tolueen

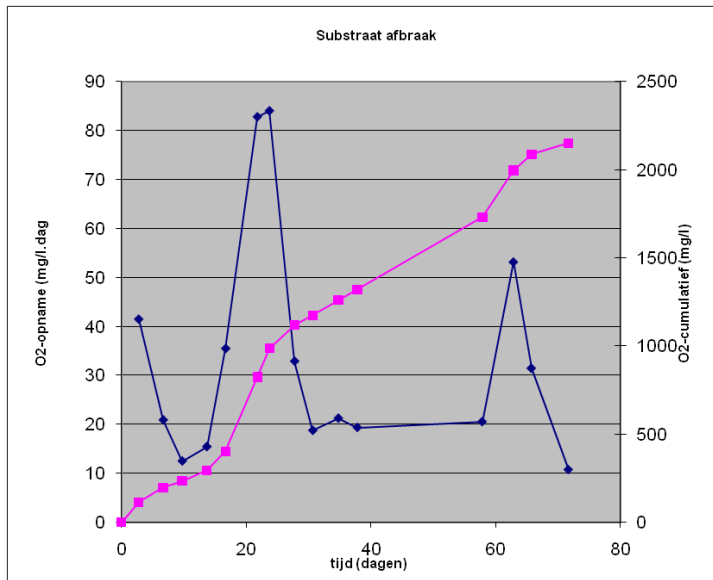
De zuurstofopname per dag uitgezet in de nevenstaande grafiek laat enkel in de eerste dagen een enorm zuurstofverbruik zien in de eerste dagen, hieruit blijkt dat al in de eerste dagen waarschijnlijk alle tolueen is geoxideerd, daarom is op dag 17 een dubbele hoeveelheid van de oorspronkelijk toegevoegde hoeveelheid substraat toegevoegd aan de reactoren. In dit geval is niet gekozen voor een vijfvoud van het substraat omdat tolueen een toxische werking kan hebben op de micro-

organismen. De toevoeging van het substraat (dag 17) resulteert in een lichte stijging van zuurstofopname per dag, eveneens na de toevoeging van substraat op dag 58 is een lichte stijging waar te nemen.

Op dag 24 (08-04) is de derde fles bemonsterd en geanalyseerd op VOCL. Uit het resultaat van deze analyse blijkt dat de hoeveelheid cDCE is afgenomen tot het niveau van 1,4 µg/l. Dit is een zeer goed resultaat, echter lag dit al in de lijn der verwachting omdat tolueen in de literatuur al vaak benoemd is als goed toepasbaar substraat voor de co-metabole afbraak van VOCL. Uit de analyse van de tweede fles, die op dag 38 (22-04) is bemonsterd, wordt wederom aangetoond dat de co-metabole afbraak van cDCE met tolueen als substraat mogelijk is.

Percol

In de vierde batchreactor is Percol getest als substraat. In onderstaande grafiek blijkt dat de zuurstofopname na de eerste dat sterk afneemt, ook in deze reactoren is ervoor gekozen om op de 17^e dag een extra hoeveelheid substraat



Figuur 20; Zuurstofverbruik Percol



Figuur 21; Flessen Percol

toe te voegen. In dit geval is er wederom een vijfvoud van de oorspronkelijke hoeveelheid substraat toegevoegd. Vervolgens is duidelijk te zien dat de zuurstofopname enorm toeneemt. Waarna het na een aantal dagen weer afneemt, wat wederom betekent dat het substraat in een zeer korte periode wordt afgebroken. Op dag 24 (08-04) is eveneens de inhoud van de derde fles bemonsterd en

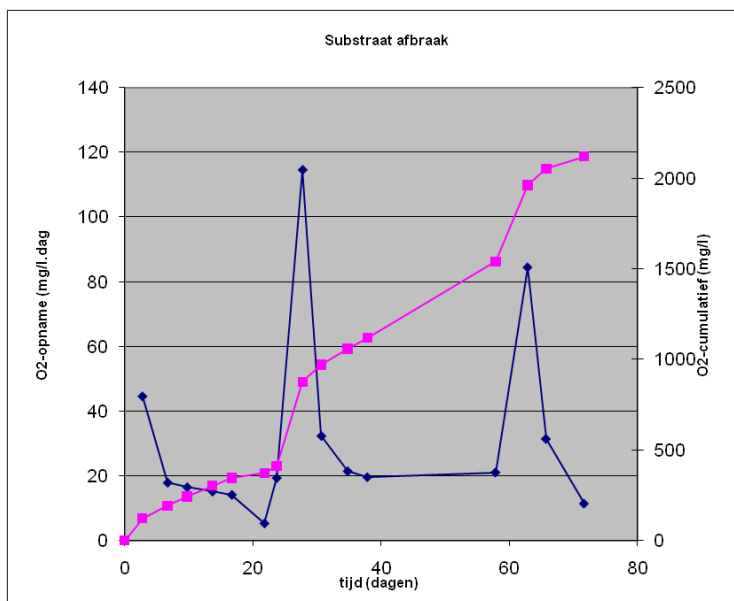
geanalyseerd op VOCL. Uit het analyseresultaat blijkt dat de concentratie cDCE is afgenomen tot 1,3 µg/l. Het gebruik van Percol lijkt hiermee een zeer geschikt substraat te zijn voor de anaerobe afbraak van VOCL. Op dag 38 (22-04) is de inhoud van de tweede fles bemonsterd en geanalyseerd op VOCL, het resultaat hiervan was minder veelbelovend dan het eerste resultaat. Er bleek in de tweede fles nog 1700 µg/l cDCE aanwezig te zijn, dit wijst erop dat er niet of nauwelijks afbraak heeft plaatsgevonden. Aangezien dit resultaat niet in de lijn der verwachting lag is er voor gekozen allereerst het monster te heranalyseren. Hier kwam een vergelijkbare concentratie (1600 µg/l) cDCE uit. Hierop is aan de flessen wederom cDCE en substraat toegevoegd om nogmaals een test te doen. Wanneer de juiste bacteriën aanwezig zijn kan dit vrij snel verlopen, dus zijn de beide flessen op dag 67 (21-05) opnieuw bemonsterd. Uit de resultaten van de analyses van deze monsters bleek dat er inderdaad niet of nauwelijks afbraak plaatsvindt in de flessen waaraan Percol als substraat is toegevoegd.

o-Cresol

Als laatste substraat is ortho-Cresol beproeft, met name omdat de gebruikte ent afkomstig was uit onder andere een aerobe reactor welke gebruikt wordt om o-Cresol af te breken. Vooraf was dus bekend dat de o-Cresol zeker af zou breken in de reactorproef, echter of hiermee eveneens cDCE co-metabool zou worden afgebroken was niet bekend. Echter gezien de chemische gelijkenis tussen o-Cresol en Fenol en p-Cresol, welke in staat zijn co-metabool cDCE af te breken (Tejasen S. , 2003), is wel de verwachting dat het gebruik van o-Cresol als substraat voor de co-metabole afbraak van cDCE mogelijk is.



Figuur 22; Flessen o-cresol



Figuur 23; zuurstofverbruik o-cresol

De nevenstaande grafiek laat eveneens zien dat de o-Cresol in de eerste dagen vrij snel af lijkt te breken. Na de 24^e dag waarop eveneens een vijfvoud van het oorspronkelijk toegevoegde substraat is toegevoegd schiet de zuurstofopname omhoog. Ook deze toevoeging lijkt zeer snel af te breken. Op dag 24 (08-04) heeft de eerste monstername plaatsgevonden uit de derde fles, dit monster is geanalyseerd op VOCL. Uit de resultaten van deze analyse

blijkt dat de concentratie cDCE is afgenomen tot 1600 µg/l. Er vind

dus wel afbraak van cDCE plaats, echter niet in de mate waarop was gehoopt.

De tweede analyse (22-04) wijst erop dat het wel degelijk mogelijk o-Cresol te gebruiken als substraat voor de co-metabole afbraak van cDCE. Het resultaat van deze analyse is 38 µg/l cDCE.

4.4 Conclusie

De micro-organismen die in staat zijn co-metabool cDCE af te breken blijken op alle van de geteste substraten in meer of mindere mate te groeien. In onderstaand overzicht zijn de resultaten van de laboratoriumanalyses samengevat. De analyseresultaten zijn per substraat gemiddeld, hierdoor kan een rendement per substraat uitgerekend worden. Opgemerkt moet wel worden dat er relatief weinig analyseresultaten aan ten grondslag liggen en dat sommige resultaten met elkaar in tegenspraak zijn. Wel kan worden verondersteld dat de substraten met het hoogste rendement het meest geschikt lijken te zijn voor de co-metabole afbraak van cDCE. In bijlage 5 is een overzicht opgenomen van alle analyseresultaten gedurende de batchproef. De analysecertificaten zelf zijn opgenomen in bijlage 6.

Tabel 9; Rendement op basis van analyseresultaat

Substraat	cDCE toegevoegd (µg/l)	Gem. Concentratie cDCE na proef (µg/l)	Rendement ¹ (%)
Benzylalcohol	5000 + 5000	113	97,0
Glucose	5000 + 5000	903	90,9
Tolueen	5000	6,2	99,9
Percol	5000 + 5000	1600	60,2
o-Cresol	5000	819	83,6

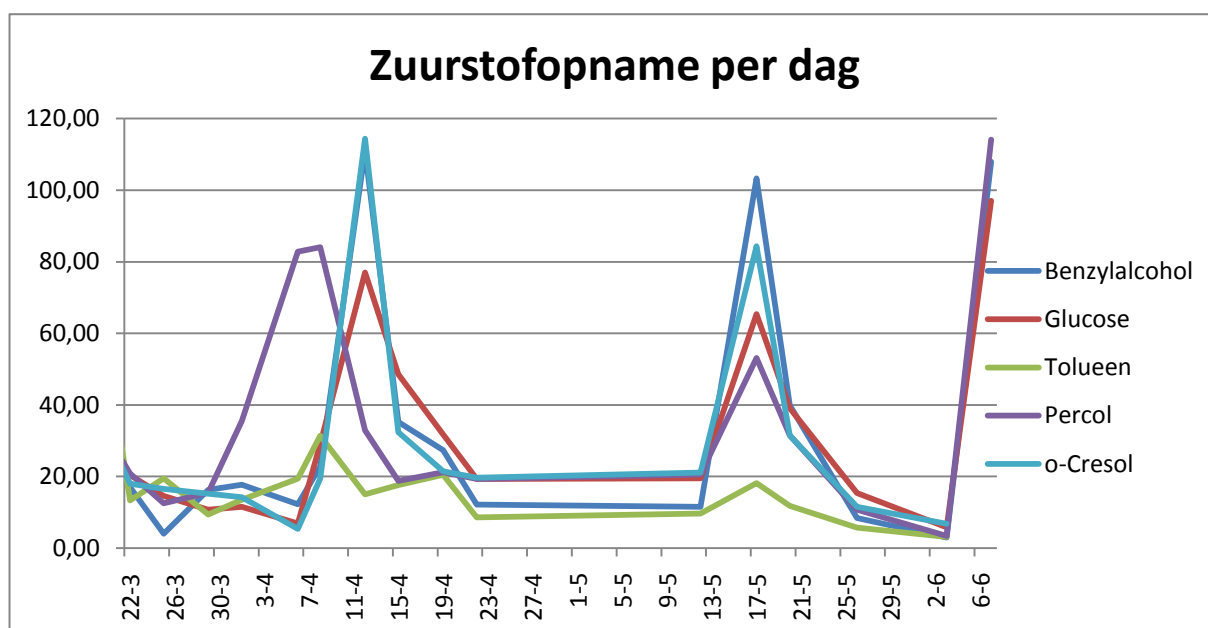
¹Voor rendementsberekening is het gemiddelde genomen van de afzonderlijke rendementen per analyse

Aan elke batchreactor is een hoeveelheid cDCE toegevoegd die overeenkomt met een concentratie in het medium van 5000 (µg/l). Een deel hiervan diffundeert naar de headspace, de hoeveelheid stof die uit het water diffundeert is afhankelijk van de Henry-constante, voor cDCE is dat 0,186 (Lide, 2009). Dit is een zogenaamde dimensieloze constante. Wanneer we de theoretische concentratie in het water berekenen is dit 2625 µg/l. Deze berekening wordt bevestigd door de analyse van de 'blanco' fles, waar een concentratie aan cDCE aanwezig is 2800 µg/l.

We kunnen dus uitgaan van een maximale concentratie in de batchreactoren van 2625 (µg/l) bij 1 maal cDCE toevoegen. In de batchreactoren is in totaal 2 maal cDCE toegevoegd, dit wil zeggen dat wanneer geen enkele afbraak plaatsvindt circa 5250 (µg/l) in de batchreactoren zou zitten.

De metingen van het zuurstofgehalte wijzen erop dat het substraat in alle reactoren zeer snel wordt afgebroken zoals ook in onderstaande figuur is weergegeven, dit blijkt uit de scherpe pieken na de toevoeging van het substraat. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de meetwaarde van 12-5-10 een fictieve waarde is. Na de meting van 22-4-10 zijn langere tijd geen metingen meer gedaan, omdat verondersteld werd dat er voldoende gegevens verzameld waren, echter op 12-5-10 is nogmaals substraat toegevoegd om meer gegevens te krijgen over de snelheid van de afbraak van het substraat. Nu is er geen zuurstof meting gedaan voor deze toevoeging waardoor het zuurstofverbruik in de dagen hierna zou worden uitgevlakt over de periode vanaf 22-4-10, dit zou uiteraard niet terecht zijn. Dit verklaart de rechte vlakke stukken in de grafiek, zie onderstaande grafiek.

De belangrijkste conclusie die getrokken moeten worden uit deze grafiek is dat de afbraak van alle substraten plaats lijkt te vinden en tevens binnen een aantal dagen verloopt.



Figuur 24; Zuurstofopname per dag per substraat

Het substraat dat de grootste afbraak van cDCE veroorzaakt is toluene, op basis van de hypothese was dit inderdaad ook de verwachting, echter het toxische karakter van toluene maakt het niet wenselijk deze full-scale toe te gaan passen in de grondwaterzuivering van grondwater verontreinigd met VOCL. Dit zelfde geldt voor o-Cresol, opmerkelijk is wel bij o-Cresol dat beide batchreactoren een totaal verschillende beeld laten zien, in 5c lijkt nauwelijks afbraak van cDCE plaats te vinden terwijl in 5b de resultaten redelijk goed zijn, maar op basis van de toxiciteit van o-Cresol zal ook dit substraat niet kunnen worden gebruikt in full-scale toepassingen.

Op basis van een eerste analyse van het medium in de batchreactor waaraan het substraat Percol is toegevoegd leek de co-metabole afbraak van cDCE zeer goed te werken. Echter de analyse van de tweede fles met dit substraat liet een heel ander beeld zien, hierin leek weinig afbraak te hebben plaatsgevonden. Omdat het resultaat geheel uit de lijn der verwachting lag is een heranalyse uitgevoerd, hieruit kwam een vergelijkbaar resultaat. Aansluitend is ook de derde fles opnieuw bemonsterd, na analyse van dit monster bleek ook hier niet of nauwelijks afbraak van cDCE te hebben plaatsgevonden. Op basis van deze resultaten bleek Percol dus ook niet geschikt als substraat voor de co-metabole afbraak van cDCE.

Glucose en Benzylalcohol lijken beide de beste resultaten te geven op basis van het zuurstofverbruik en de verschillende analyses. Om deze substraten nogmaals met elkaar te vergelijken is op de 80^e (03-06) dag nogmaals een monster genomen uit de flessen met Glucose en Benzylalcohol. De monsters zijn wederom ter analyse aangeboden aan het laboratorium. De resultaten van deze analyse staan in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 10; Analyseresultaten 3-06-10

Substraat	Reactor	Analyseresultaat cDCE (µg/l)
Benzylalcohol	1b	2,5
	1c	300
Glucose	2b	3600
	2c	65

Uit het analyseresultaat blijkt dat in 3 van de 4 flessen duidelijk afbraak waar te nemen is. Opvallend is dat reactor 2b (glucose) achterblijft bij de ander reactor waar glucose als substraat aan is toegevoegd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat op basis van reactor 2c glucose als substraat geschikt is voor de co-metabole afbraak van cDCE echter op basis van de resultaten van reactor 2b kan worden geconcludeerd dat dit niet in alle gevallen mogelijk blijkt. Dit kan iets zeggen over de robuustheid van de biologische afbraak, het niet te voorkomen dat er zeer kleine verschillen in de beide reactoren ontstaan, waarschijnlijk is een van die verschillen de oorzaak van het niet afbreken van de cDCE. Uit de analyseresultaten van de monsters uit de reactoren waaraan Benzylalcohol als substraat is toegevoegd kan worden geconcludeerd dat er in beide reactoren afbraak heeft plaatsgevonden. Hoewel in reactor 1c de afbraak wat achterblijft bij de afbraak in reactor 1b. Het is dus mogelijk beide substraten te gebruiken voor de co-metabole afbraak van cDCE, echter op basis van de resultaten lijkt de afbraak met Benzylalcohol als substraat wat meer bedrijfszeker te zijn.

Om een goede keuze te maken welk substraat voor verder onderzoek wordt, zijn een aantal andere factoren bekeken.

Om de substraten in de praktijk toe te kunnen passen moeten deze goed doseerbaar zijn in een relatief eenvoudige bioreactor. De toevoeging van Benzylalcohol zal niet veel problemen geven, omdat dit een vloeistof is en goed oplosbaar, hierdoor kan dit eenvoudig met een doseerpomp worden toegediend. Glucose daarentegen is verkrijgbaar als stroop of poeder, dit maakt het praktisch gezien minder geschikt dan Benzylalcohol. Een oplossing hiervoor zou kunnen zijn dat de glucose in poedervorm wordt opgelost in water waardoor het eenvoudig te doseren is. Echter de houdbaarheid van deze oplossing is zeer gering in verband met de groei van bacteriën en schimmels op de glucoseoplossing, waardoor verrotting plaatsvindt.

Een ander aspect bij de keuze van het substraat zijn de kosten, in onderstaande tabel zijn de kosten weergegeven van benodigd substraat op basis van de berekende hoeveelheid per kg cDCE.

Tabel 11; Kosten substraat voor afbraak van 1 kg cDCE

Toevoeging substraat per kg cDCE		
Benzylalcohol	7,87 kg	€ 11,90
Glucose	18,58 kg	€ 6,50

De bovenstaande gegevens zijn gebaseerd op de eerste verwachtingen van de benodigde hoeveelheden op basis van de literatuurstudie, in de praktijk zal verdere verfijning van deze hoeveelheden nog wenselijk zijn. Hiervoor zal een vervolgonderzoek noodzakelijk zijn. Aangenomen kan worden dat de bovenstaande hoeveelheden wel een goede indicatie geven van de hoeveelheden die nodig zijn en de kosten hiervan.

In alle batchreactoren waaraan Benzylalcohol is toegevoegd is duidelijk afbraak waargenomen, in de reactoren waaraan glucose is toegevoegd is dit niet het geval. De betrouwbaarheid van Benzylalcohol als substraat is daarom aanzienlijk groter op basis van de batchproef zal Benzylalcohol worden gekozen voor verder onderzoek in de reactorproef. De praktische toepasbaarheid van Benzylalcohol is groter dan die van glucose, het enige nadeel van Benzylalcohol is de prijs, echter weegt het verschil in kosten tussen Benzylalcohol en glucose niet op tegen de voordelen en betrouwbaarheid van Benzylalcohol als substraat. Benzylalcohol zal daarom in een reactorproef verder worden getest.

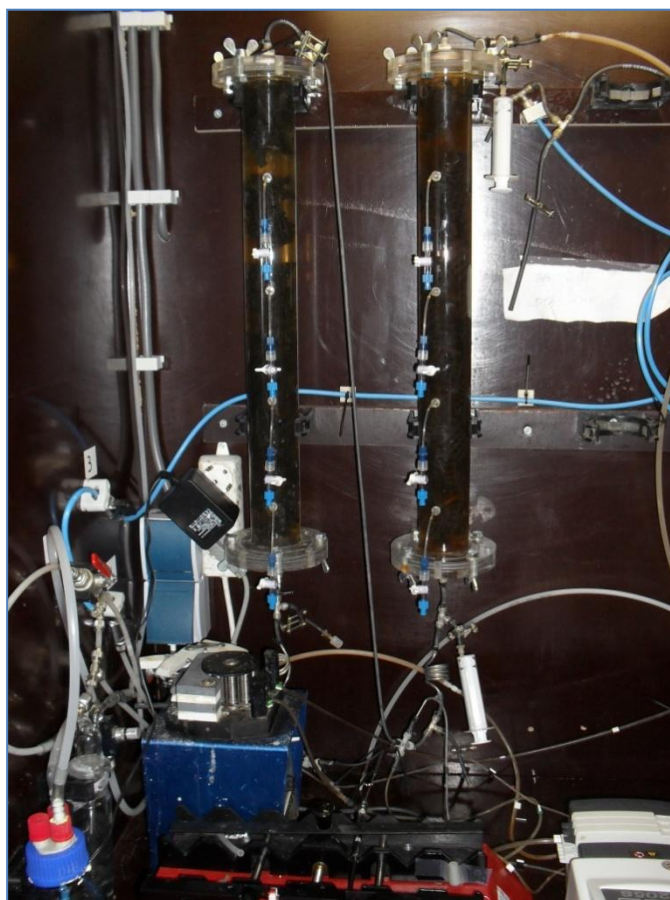
5. Reactorproef sequentiële afbraak PCE

5.1 Materialen/Methoden

Na de uitvoering van de batchproeven is overgegaan tot een reactorproef om meer informatie te verkrijgen over de aerobe afbraak van cDCE en VC in combinatie met de voorgeschakelde anaerobe afbraak van PCE en TCE. De reactorproef dient voornamelijk twee doelen, namelijk uitsluiten dat de voorgeschakelde anaerobe afbraak van PCE en TCE een negatief effect heeft op de daaropvolgende aerobe afbraak van cDCE en VC. Het andere doel is duidelijkheid te krijgen over benodigde hydraulische verblijftijden en benodigde hoeveelheden substraat.

In de reactorproef is de aerobe afbraak geschakeld na de anaerobe afbraak. Voor de proef zijn twee reactoren gebruikt die beide een inhoud hebben van 0,89 ltr. De reactoren zijn gevuld met dragermateriaal, dit dient er voor om de oppervlakte waar micro-organismen zich aan kunnen hechten te vergroten, hiermee wordt voorkomen dat de micro-organismen met het effluent worden weggespoeld.

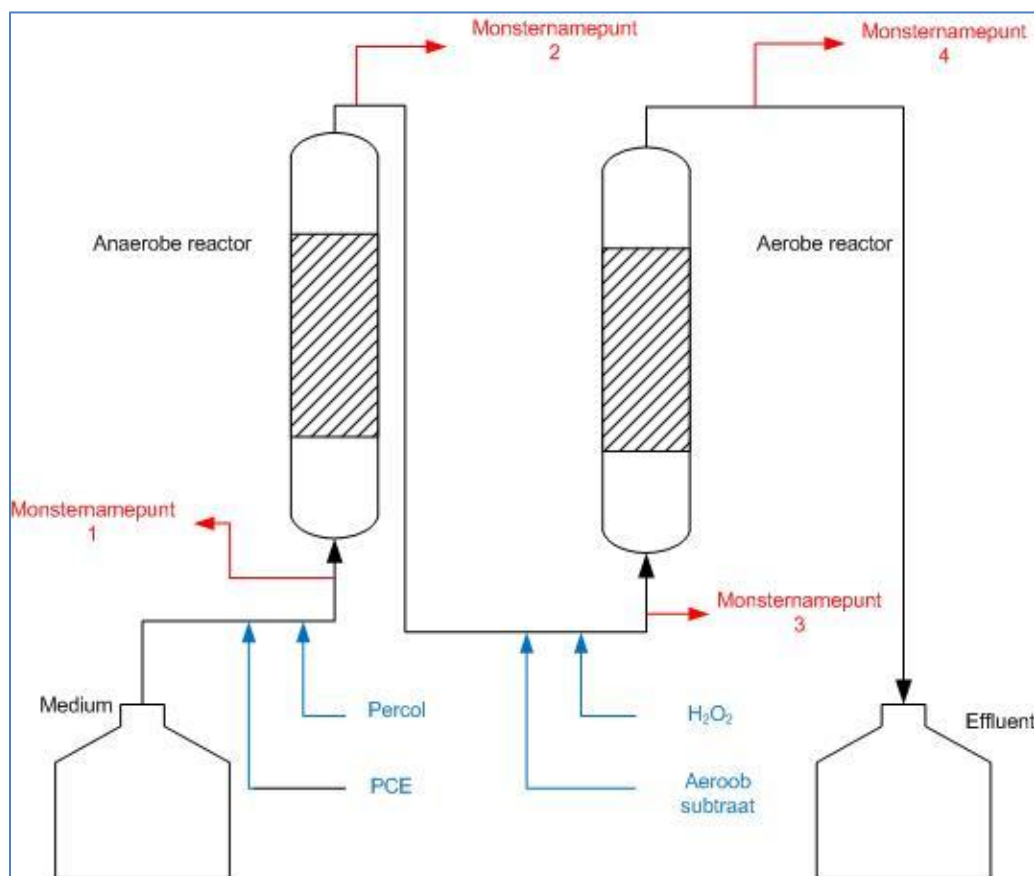
De beoogde hydraulische verblijftijd in de reactoren is circa 4 uur. Hiervoor is gekozen omdat de anaerobe afbraak van PCE tot cDCE in een reactor circa 4 uur nodig heeft. Dit getal is gebaseerd op de ervaringen van in een vergelijkbare pilot-proef die eerder door BioSoil B.V. is uitgevoerd (Coremans, 2008). Door middel van een instelbare peristaltische pomp wordt 'schoon' grondwater met een uiteindelijke snelheid van 0,2 ltr/uur door de reactoren geleid. Hiermee is de verblijftijd exact 4 uur per reactor. Na het opstarten van de proef is ervoor gekozen om te beginnen met een verblijftijd van 16 uur per kolom om te garanderen dat de bacteriën voldoende kans krijgen te hechten aan het dragermateriaal in de kolommen.



Figuur 25; Kolommen reactorproef. Links anaeroob, rechts aerob

Het medium dat gekozen is voor de proef is zoals eerder genoemd 'schoon' grondwater. Het grondwater is afkomstig uit een bron in Hendrik-Ido-Ambacht, de reden voor de keuze van dit grondwater is omdat er geen VOCL of nevenverontreinigingen aanwezig zijn, grondwater heeft de voorkeur ten opzichte van leidingwater of gedemineraliseerd water omdat in grondwater de benodigde sporenelementen aanwezig zijn die nodig zijn voor de groei van de micro-organismen. Het medium wordt gepompt uit een jerrycan die luchtdicht is afgesloten, op de can staat een lichte overdruk van stikstof en koolstofdioxide (resp. 90%-10%) zodat het water zo anaeroob mogelijk blijft.

In de leiding na de pomp wordt door middel van een spuitpomp 685 nl PCE per uur aan het medium toegevoegd, dit resulteert in een ingangconcentratie van circa 5000 µl/l PCE. Tijdens de eerste fase waarbij de verblijftijd verhoogd is, heeft de spuitpomp op de zelfde instelling gestaan zodat een ingangconcentratie van circa 20.000 µl/l PCE gerealiseerd zal worden.



Figuur 26; Schematische weergave reactorproef

In bovenstaande figuur is de opstelling van de reactorproef schematisch weergegeven. Het effluent van de anaerobe reactor wordt na toevoeging van het aerobe substraat (Benzylalcohol) en zuurstof, in de vorm van waterstofperoxide in de aerobe reactor gebracht. Het aerobe substraat en de waterstofperoxide worden door middel van een peristaltische pomp toegediend.

5.1.1 Substraatconcentraties

Voor de reactorproef dienen twee substraten toegevoegd te worden, namelijk een substraat voor de anaerobe reductieve dechlorering van PCE via TCE naar cDCE (of VC) en een substraat voor de co-metabole afbraak van cDCE en VC naar CO₂. Voor de anaerobe afbraak van PCE naar cDCE of VC is het substraat Percol geselecteerd, dit op basis van de goede ervaringen van BioSoil B.V. met dit product. De hoeveelheid substraat die toegevoegd dient te worden is afhankelijk van de hoeveelheid PCE of TCE aanwezig is in het grondwater en eventuele andere elektronenacceptoren zoals sulfaat, nitraat, ijzer(III) en zuurstof. Door middel van studies van BioSoil B.V. naar de anaerobe afbraak in in-situ bodemsaneringsystemen is de factor bepaald tussen de hoeveelheid PCE of TCE en de hoeveelheid benodigd CZV. De onderstaande factoren voorzien in een overmaat aan CZV zodat in deze reactorproef de substraatconcentratie niet limiterend kan zijn. Het CZV-gehalte van Percol is bekend (558 g/l), hiermee kan exact worden bepaald wat de hoeveelheid Percol is die toegevoegd dient te worden. Dit staat eveneens in onderstaande tabel weergegeven. Voor de start van de proef

is het gebruikte grondwater onderzocht op overige elektronacceptoren buiten de VOCL. Dit is gedaan door middel van colorimetrische bepalingen. Het grondwater is onderzocht op de parameters NO_3 , Fe(II) , Fe (tot) , en SO_4 . Uit deze testen bleek dat geen van de onderzochte stoffen in het grondwater aanwezig was boven de detectielimiet van de colorimetrische bepalingen. De resultaten zijn opgenomen in bijlage 7. De reductie van deze stoffen is energetisch voordeliger dan de reductie van de VOCL, deze stoffen worden daarom eerder gereduceerd dan de VOCL, en verbruiken daarbij substraat. Wanneer deze stoffen in grote mate aanwezig zouden zijn in het grondwater dient de hoeveelheid anaeroob substraat hierop aangepast te worden. Aangezien dit niet het geval is kunnen onderstaande substraathoeveelheden aangehouden worden.

Tabel 12; Substraatbehoefte anaerobe reactor

Anaerobe reactor	
factor PCE / CZV	5 mg CZV / mg PCE
factor TCE / CZV	1 mg CZV / mg TCE
Toevoeging CZV	25 mg CZV / ltr medium
Toevoeging Percol	44,8 μl / ltr medium

Naar aanleiding van de eerder beschreven batchproeven is Benzylalcohol geselecteerd als substraat voor de aerobe co-metabole oxidatie van cDCE (en VC). De hoeveelheid substraat is uiteraard afhankelijk van de ingangconcentraties van cDCE (en VC). Bij het starten van de proef is de theoretische concentratie cDCE in het effluent aangehouden bij het bepalen van de hoeveelheid substraat. Deze theoretische concentratie is gebaseerd op de hoeveelheid PCE die gedoseerd wordt in het influent van Kolom 1. De PCE wordt in deze eerste kolom reductief gedechloriseerd, hierbij wordt steeds een Cl-atoom vervangen door een H-atoom, dit betekent dat wanneer deze dechloratie plaatsvindt tot het moment dat alle PCE omgezet is naar cDCE er in feit net zoveel cDCE-moleculen aanwezig zijn in het effluent als dat er PCE-moleculen aanwezig zijn in het influent. Hieruit kan worden berekend dat de theoretische effluentconcentratie, wanneer alle PCE wordt omgezet naar cDCE, 2923 $\mu\text{g/l}$ zou moeten zijn. Uiteraard zal dit afwijken van de realiteit, omdat tevens een deel omgezet zal zijn naar VC of juist nog niet omgezet naar cDCE, maar voor de bepaling van de substraat concentratie bij de start van de proef is deze aanname voldoende. Voorafgaand aan de batchproef voor het bepalen welk substraat het meest geschikt is, is een vanuit de literatuur een aanname gedaan met betrekking tot de verhouding tussen de hoeveelheid VOCL en de benodigde hoeveelheid substraat. De aangenomen verhouding is een factor 10 tussen de hoeveelheid VOCL en de hoeveelheid Glucose, vervolgens is deze omgerekend op basis van de zuurstofbehoefte bij volledige afbraak naar de overige substraten, vervolgens kan er per substraat een nieuwe verhouding tussen de hoeveelheid VOCL en de hoeveelheid substraat worden berekend.

De verhouding tussen de VOCL en Benzylalcohol bij aanvang van de reactorproef is een factor 7,06, dit betekent per mol VOCL wordt 7,06 mol Benzylalcohol gedoseerd. Dit resulteert in een dosering van 4,9 μl Benzylalcohol / u .

5.1.3 Zuurstof en nutriënten dosering

Uit de dosering van het substraat blijkt eveneens de theoretische benodigde hoeveelheid zuurstof voor de afbraak van het substraat en de cDCE en VC. Deze zuurstofbehoefte is $58 \text{ mgO}_2 / \text{ltr}$ medium, deze zuurstof wordt in de vorm van een waterstofperoxideoplossing toegediend. Na aanvang van de proef wordt door middel van zuurstofbepalingen in het effluent van kolom 2 duidelijk of de theoretisch benodigde hoeveelheid zuurstof voldoende is en kan de waterstofperoxide dosering worden aangepast. De benodigde nutriënten zijn vooraf aan het medium toegevoegd, hiertoe zijn dezelfde nutriënten verhoudingen gebruikt als tijdens de batchproef, namelijk de massaverhoudingen tussen C, N en P (respectievelijk 100-6-2). In plaats van ammoniumnitraat (NH_4NO_3) is er voor de reactorproef gekozen voor de toevoeging van ureum ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), omdat nitraat een nadelig effect heeft in de anaerobe reactor. Nitraat is energetisch gezien een betere elektronenacceptor en nitraatreduceerders zullen hiervoor dus Percol gebruiken. Er vindt dus concurrentie om de Percol plaats, met het gebruik van Ureum wordt dit voorkomen.



Figuur 27; Dosering hulpstoffen via peristaltische pomp en luchtdichte spuit

In de berekening is alleen rekening gehouden met de aerobe afbraak omdat het gebruikte substraat in de anaerobe kolom voldoende nutriënten bevat voor de celbouw van de micro-organismen in de anaerobe kolom. In bijlage 8 is een rekensheet opgenomen waarin wordt verduidelijkt hoe alle toegevoegde hoeveelheden stoffen aan de batchreactoren tot stand zijn gekomen.

5.2 Resultaten Reactorproef

De reactorproef is 10 juni 2010 ingezet, beide kolommen zijn gevuld met water. Kolom 1 (anaeroob) is gevuld met grondwater afkomstig van een actieve bodemsaneringslocatie waar eveneens reductieve dechlorering wordt toegepast als saneringsmethode voor VOCL. De tweede (aerobe) kolom is gevuld met grondwater afkomstig van een bron in Hendrik-Ido-Ambacht. Dit water is geënt met bacteriën uit de batchreactoren 4b en 4c (Benzylalcohol). Hierdoor zijn in beide kolommen in theorie de juiste micro-organismen aanwezig om de verschillende afbraakmechanismen tot stand te brengen.

De eerste anaerobe kolom is meteen opgezet als reactorproef, terwijl de aerobe tweede kolom initieel is opgezet als batchreactor. Hier is voor gekozen omdat de effecten van het effluent van de eerste kolom op de tweede kolom niet bekend zijn en omdat cDCE zeer kostbaar is waardoor ervoor gekozen is dit niet toe te voegen aan het grondwater. Het is daarom beter om eerst wat biomassa op te bouwen zodat de tweede kolom minder kwetsbaar is voordat de kolommen in serie worden geschakeld.



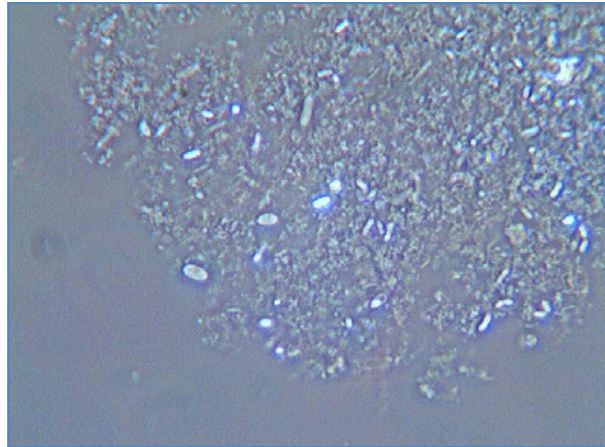
Figuur 29; biomassa in kolom 2 op dragermateriaal (zwart)

Tijdens deze

periode van opbouw van biomassa in kolom 2 is de kolom continu doorborrelt met lucht, hierdoor is altijd voldoende zuurstof aanwezig in het water en aangezien er nog geen VOCL door de kolom wordt geleid is er geen kans op vervluchtigen van de VOCL. Een week na aanvang van de proef begonnen er significante hoeveelheden biomassa te ontstaan, zoals op nevenstaande foto te zien is.

Het effluent van de kolom is bekeken onder de microscoop om te bevestigen dat er inderdaad sprake is van bacteriën (zie bovenstaande figuur). Microscopisch is waar te nemen dat er inderdaad micro-organismen aanwezig zijn in het water, op basis van visuele waarnemingen is echter niet vast te stellen of deze micro-organismen ook daadwerkelijk cDCE zullen omzetten. Dit

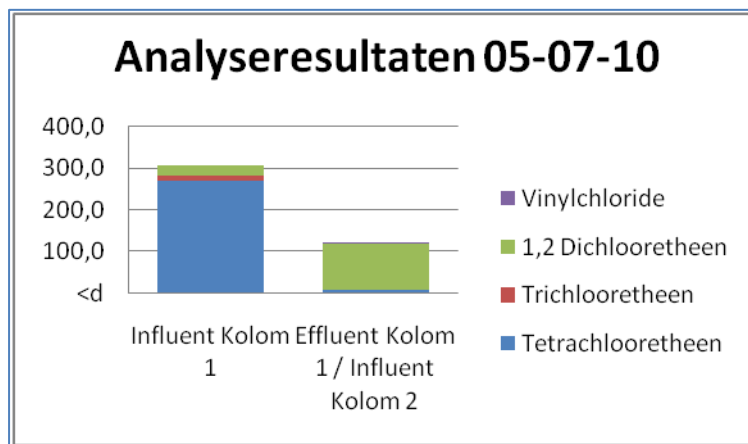
moet blijken uit de daadwerkelijke omzetting van cDCE en VC. Vanaf 18 juni zijn de beide kolommen aan elkaar gekoppeld, er leek voldoende biomassa aanwezig te zijn in de tweede kolom. Om de biomassa niet meteen onder druk te zetten door hoge concentraties VOCL er doorheen te pompen is het effluent van de eerste kolom eerst tijdelijk door een luchtstripper geleid. Dit heeft tevens tot effect dat het water voldoende aerob de 2^e kolom ingaat. Voordat de beide kolommen in serie geschakeld zijn is er een monster genomen van zowel het influent als het effluent van de eerste kolom, om een beeld te krijgen in of PCE volledig naar cDCE wordt omgezet. Uit het analyseresultaat van deze monsters blijkt in eerste instantie geen VOCL te zitten, zowel in het influent als in het effluent, dit is echter niet mogelijk omdat er wel degelijk PCE werd toegevoegd aan het medium. De PCE is toegevoegd door middel van een spuitpomp en het geïnjecteerde volume komt overeen met de instellingen van de pomp, het feit dat geen PCE gevonden kon worden in het influent moet te wijten zijn aan een lekkage van PCE, of onzorgvuldige monstername of analyse. Het analysecertificaat van deze meting is opgenomen in bijlage 9.



Figuur 28; Microscopische weergave van biomassa in effluent kolom 2

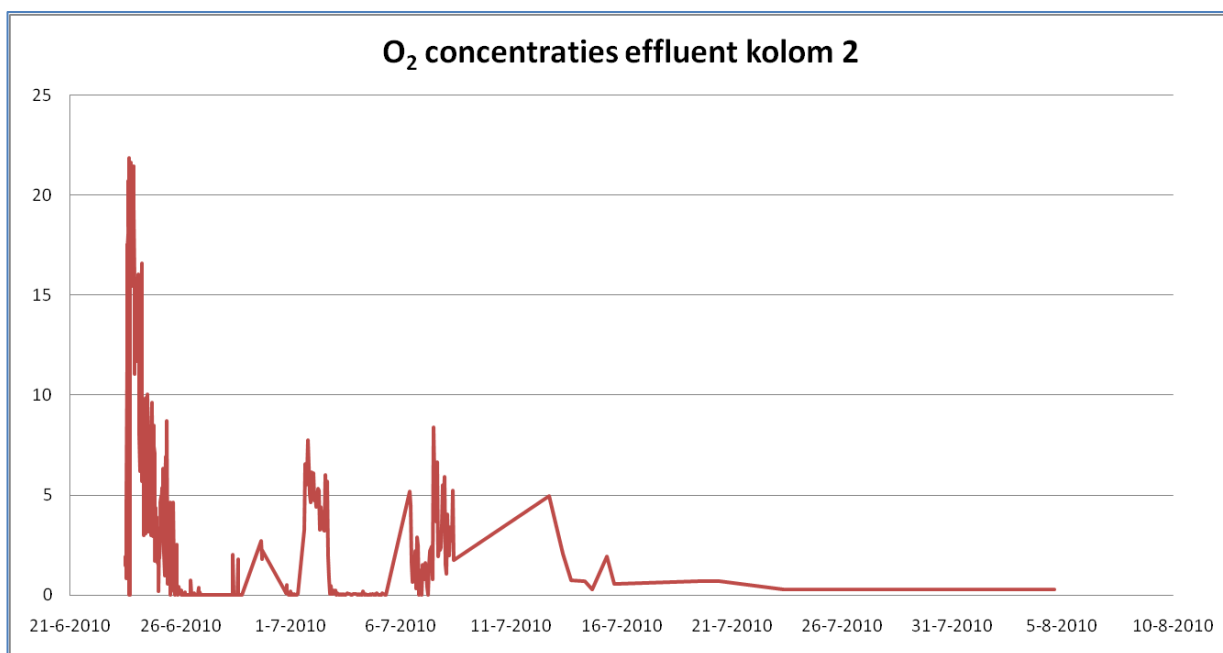
Om meer zekerheid te krijgen van een vaste concentratie PCE in het medium is er voor gekozen de PCE al in het mediumvat toe te voegen. Hiertoe is een 2 liter stockoplossing gemaakt met daar in 100.000 µg PCE. De reden voor deze relatief grote stockoplossing is de beperkte oplosbaarheid van PCE (150 mg/l). Deze stockoplossing is na langdurig roeren, om er zeker van te zijn dat alle PCE is opgelost, toegevoegd aan 18 ltr. 'schoon' grondwater, wat resulteert in een gemiddelde concentratie in het mediumvat van 5000 µg/l. 5 juli is zowel het influent als het effluent van de eerste kolom opnieuw bemonsterd. De analyseresultaten van deze monsters laten nog steeds niet de verwachte concentraties zien, echter wel is een duidelijke afbraak waar te nemen.

De concentratie PCE in het influent is afgenomen van 270 µg/l tot 6,5 µg/l in het effluent. Tevens is een duidelijke stijging waar te nemen van de afbraakproducten cDCE en VC (respectievelijk 25 µg/l en <0,1 µg/l in het influent tot respectievelijk 330 µg/l en 1,9 µg/l in het effluent). In nevenstaande figuur staan de resultaten samengevat. Het analysecertificaat is opgenomen in bijlage 9.



Figuur 30; concentraties chloorethenen 05-07-10

De resultaten van de metingen naar de zuurstofconcentratie in het effluent van kolom 2 zijn samengevat in onderstaand diagram. De eerste periode van de proef is continu gemeten met een optische zuurstofsensor. De eerste dagen was een hoge concentratie aan zuurstof in het effluent aanwezig, dit is te verklaren doordat er in de eerste dagen van de proef niet genoeg biomassa aanwezig was om alle zuurstof te verbruiken voor de omzetting van de substraten, tevens zorgde de luchtstripper al voor een relatief hoge zuurstofconcentratie in het influent. Na ongeveer twee weken bleek de zuurstofconcentratie te stabiliseren op circa 2,3 mg O₂/l. In de figuur is een aantal malen te zien dat de zuurstofconcentratie daalt tot 0. Controlemetingen met behulp van een zuurstofsensor op basis van de Clark-cel spraken deze waarden echter tegen. Na schoonmaken van de eerste (optische) zuurstofsensor bleek deze eveneens weer hogere waarden aan te geven. De twee 'dalen' in de trendlijn zijn dus waarschijnlijk veroorzaakt doordat de sensor vervuild is geraakt door aangroei van biomassa op de elektrode. Na deze waarneming is er voor gekozen niet meer continu te meten. De metingen vanaf 10 juli 2010 zijn daardoor meer betrouwbaar en relatief stabiel.



Figuur 31; O₂-concentraties effluent kolom 2

Aan de hand van de relatief lage zuurstofconcentraties in het effluent is er voor gekozen om de hoeveelheid waterstofperoxideoplossing die toegevoegd wordt te verhogen van 244 µl/ltr medium naar 629 µl/ltr medium. Deze hoeveelheid is zo gekozen dat de gebruikte oplossing in de spuitjes circa 100 ml H₂O₂-oplossing per liter demiwater is. Deze verhoging van de zuurstofdoserings is gedaan om er zeker van te zijn dat de toegevoegde hoeveelheid zuurstof niet limiterend kan zijn voor de afbraak van cDCE en VC. De toevoeging van een overmaat mag verder ook geen probleem vormen omdat dit in een real-time zuivering waarschijnlijk ook het geval zal zijn, zolang er in elk geval geen toxische hoeveelheden zuurstof worden toegediend, dit is echter pas het geval vanaf zuurstofconcentraties van 200 mg/l (Digitale richtlijn (water)bodemkwaliteit).

Op 12 juli 2010 is de luchtstripper tussen de beide kolommen verwijderd. Er was inmiddels zoveel biomassa aanwezig dat het risico op uitspoeling van de biomassa te verwaarlozen was. Vanaf dit moment is dus de volledige hoeveelheid VOCL door de beide kolommen geleid. Uit de metingen naar de zuurstofconcentratie in het effluent bleek dat de hoeveelheid zuurstof steeds wat afnam. Om uit te sluiten dat de waterstofperoxide eventueel niet helemaal ontleed wordt in de 2^e kolom zijn er op 15 juli 2010 metingen gedaan naar de H₂O₂ concentraties in zowel het influent na toevoeging van de waterstofperoxide en het effluent van de 2^e kolom.

In onderstaande tabel zijn de resultaten van deze metingen weergegeven, de metingen zijn uitgevoerd met behulp van een colorimetrische bepaling.

Tabel 13; Waterstofperoxide concentratie in het in- en effluent van kolom 2

Monster	Concentratie H ₂ O ₂ (mg/l)
Influent Kolom 2	360
Effluent Kolom 2	3,5

Door de biomassa zijn de monsters al enigszins troebel, wat de colorimetrische bepaling kan beïnvloeden. Om een correctie hiervoor uit te kunnen voeren is eveneens een effluent monster gemeten zonder toevoeging van chemicaliën. De optische dichtheid meter gaf hierbij een achtergrondconcentratie aan van 5 mg/l. Deze kan dus worden afgetrokken van de beide eerder metingen. Hieruit blijkt de concentratie waterstofperoxide in het influent dus wat lager uit te vallen dan de eerdere meting. De berekende waterstofperoxide concentratie is 1421 mg/l, het feit dat in de waterstofperoxide concentratie in de meting lager uitvalt kan alleen worden verklaard door het feit dat een deel van de waterstofperoxide al eerder uiteen is gevallen in water en zuurstof. Wanneer de waterstofperoxide concentratie in het effluent wordt gecorrigeerd met de controlemeting blijkt dat er geen of in elk geval heel weinig waterstofperoxide nog aanwezig is in het effluent van de 2^e kolom. Hiermee wordt dus uitgesloten dat een deel van de waterstofperoxide de kolom verlaat voordat het uiteenvalt in zuurstof en water.

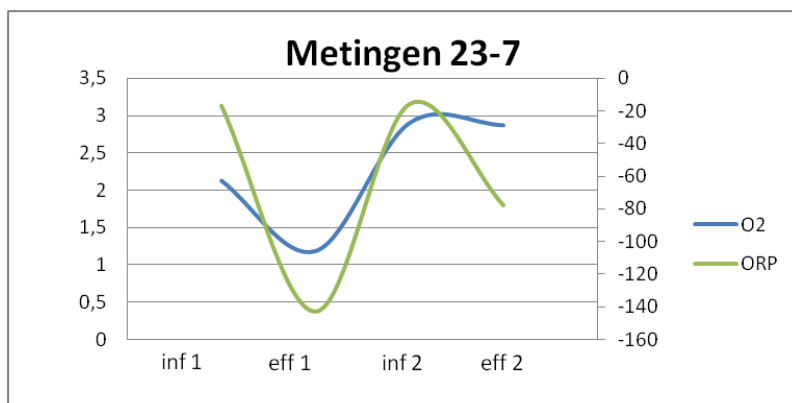
22 juli 2010 zijn de eerste VOCL-analyses op het volledige systeem van anaerobe en aerobe afbraak uitgevoerd in zowel de eerste als de tweede kolom. De monsters zijn onder grote zorgvuldigheid genomen omdat na de eerdere analyses veel van de PCE verdwenen bleek te zijn. Tevens zijn er verschillende metingen gedaan naar de zuurstofconcentratie en het redoxpotentiaal. De resultaten van deze metingen zijn onderstaand samengevat.

Tabel 14; Zuurstofconcentratie (O₂), pH, redoxpotentiaal (ORP) en temperatuur in de kolommen

	O ₂ (mg/l)	pH	ORP (mV)	T (°C)
inf 1	2,13	6,84	-17	25,1
eff 1	1,19	6,58	-143	25,5
inf 2	2,9	6,83	-16	25,1
eff 2	2,87	6,43	-78	25,2

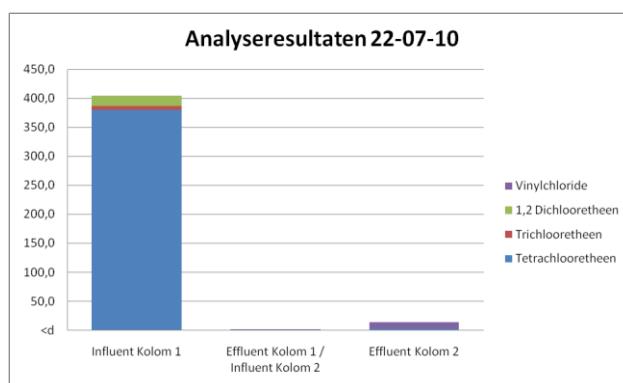
Uit deze resultaten blijkt een duidelijk verloop tussen de beide kolommen, de zuurstofconcentratie neemt af in de eerste kolom om vervolgens na de toevoeging van waterstofperoxide weer toe te nemen. In de 2^e kolom neemt deze zuurstofconcentratie weer af. De redoxpotentiaal geeft een vergelijkbaar beeld. De redoxpotentiaal geeft een indicatie van de mate van behoefte om elektronen op te nemen dan wel af te staan. In de eerste kolom heerst een gereduceerd milieu de redoxpotentiaal van het effluent van deze kolom zal daarom zo negatief mogelijk moeten zijn. In de 2^e kolom zal dit omgekeerd zijn.

Om dit beeld te verduidelijken zijn bovenstaande gegevens in een grafiek weergegeven. Duidelijk is het verloop in zuurstofconcentratie en redoxpotentiaal te zien door de beide kolommen heen.



Figuur 32; grafiek metingen O₂ en ORP

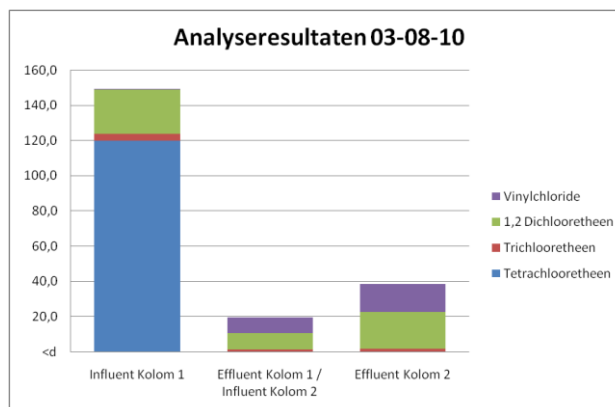
Uit de analyseresultaten van de monsternamen op 22 juli blijkt nog steeds niet veel PCE gevonden te kunnen worden in het influent (380 µg/l). Uit de overige analyses blijkt wel duidelijk afbraak plaats te vinden in zowel de eerste als de tweede kolom, zie nevenstaande figuur. Echter door de lage ingangconcentratie van PCE kunnen hier weinig conclusies uit worden getrokken. Het analysecertificaat is bijgevoegd in bijlage 9.



Figuur 33; Concentratie chloorethenen 22-07-10

Op basis van deze resultaten is nog een keer kritische gekeken naar de PCE dosering. Om uit te sluiten dat een deel van de PCE nog in pure vorm in het medium heeft gezeten of er sprake is van absorptie van PCE in de HDPE slangen en can is toch weer gekozen voor toediening van de PCE door middel van de spuitpomp. Vanaf 30 juli 2010 is de stroomsnelheid verhoogd naar 220 ml/u, tevens is de PCE concentratie in het influent verhoogd. De spuitpomp staat ingesteld op 1,36 µl/uur. Dit resulteert in een ingangconcentratie van 10.000 µg/l.

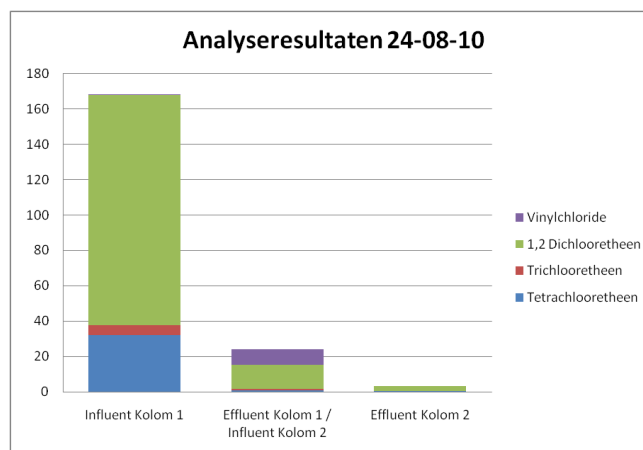
Op 3 augustus zijn wederom monsters genomen uit de kolommen, de resultaten hiervan geven een minder hoopvol beeld voor de afbraak van de VOCL. Allereerst valt het op dat de PCE in het influent van de eerste kolom wederom zo goed als verdwenen lijkt te zijn (120 µg/l). Terwijl na controle van de spuitpomp bleek dat de PCE de berekende hoeveelheid PCE uit de spuit verdwenen was.



Figuur 34; Concentratie chloorethenen 03-08-10

Hierop is de gehele PCE dosering nogmaals grondig onder de loep genomen. Echter kon geen gegronde verklaring worden gevonden voor de afwezigheid van PCE in het influent. Er is voor gekozen de concentratie nogmaals te verhogen. De spuitpomp is vanaf 19 augustus ingesteld op 2,72

µl/uur. Hierdoor komt de berekende concentratie in het influent van de 1^e kolom op ca. 20.000 µg/l. Op 24 augustus zijn de kolommen voor de laatste maal bemonsterd. Echter uit de resultaten van deze metingen blijkt dat de PCE wederom zo goed als verdwenen is, zie nevenstaande tabel. Van de in theorie aanwezige 20.000 µg/l werd slechts 37 µg/l teruggevonden. Verder is het opvallend dat er in het influent al zeer veel cDCE aanwezig is. Ook in het effluent van de 1^e kolom is cDCE en Vc aanwezig. Er vindt dus wel degelijk afbraak plaats in de eerste kolom. In het effluent van de 2^e kolom wordt nauwelijks VOCL meer waargenomen, wat ook duidt op afbraak in deze kolom.



Figuur 35; Concentratie chloorethenen 24-08-10

5.3 Conclusie

In de eerste fase van de reactorproef is vooral gefocust op de opbouw van biomassa in de beide kolommen. Hiertoe zijn de kolommen in eerste instantie nog niet in serie geschakeld. Tevens is de hydraulische verblijftijd in het begin relatief hoog gehouden, om uitspoeling te voorkomen. Doordat beide kolommen geënt zijn met, in theorie, de juiste bacteriën verliep het proces van opbouwen van biomassa vrij goed. Binnen enkele weken begonnen met het blote oog zichtbare hoeveelheden biomassa te ontstaan. Hieruit blijkt dat de aanwezig micro-organismen goed groeien op de gebruikte substraten. Dit is een vereiste voor de toepassing van bioreactoren voor reiniging van grondwater. Er dient voldoende biomassa aanwezig te zijn om het proces van omzetting voldoende snel te laten verlopen.

Gedurende de reactorproef zijn verschillende analyses verricht, in onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van alle laboratoriumanalyses.

Tabel 15; Analyseresultaten reactorproef

Datum	Beschrijving monster	Hydraulische Verblijftijd (uur)	Theoretische PCE concentratie (ug/l)	PCE (ug/l)	TCE (ug/l)	cDCE (ug/l)	VC (ug/l)
17-jun-10	Influent Kolom 1	32	5.000,0	<100	<100	<100	<100
5-jul-10		32	5.000,0	270,0	12,0	25,0	<d
22-jul-10		16	5.000,0	380,0	7,0	18,0	<d
3-aug-10		8	10.000,0	120,0	3,8	25,0	0,1
24-aug-10		8	20.000,0	32	5,7	130	0,6
17-jun-10	Effluent Kolom 1 / Influent Kolom 2	32		<100	<100	<100	<100
5-jul-10		32		6,5	1,9	110,0	1,9
22-jul-10		16		0,6	<d	0,3	0,8
3-aug-10		8		2,2	1,2	9,6	8,8
24-aug-10		8		1	0,43	14	8,5
22-jul-10	Effluent Kolom 2	16		2,3	0,3	0,2	11,0
3-aug-10		8		4,0	1,7	21,0	16,0
24-aug-10		8		0,4	<d	2,7	<d

Opvallend zijn de lage concentraties PCE in het influent ten opzichte van de theoretische PCE-concentraties in het influent. Ondanks verschillende manieren van PCE doseren en verschillende PCE-

doseringen laten de concentraties PCE in het influent op geen enkel moment de verwachte waarden zien. Gedurende de reactor proef zijn een aantal mogelijke oorzaken voor deze lage concentraties onderzocht.

De PCE is in eerste instantie gedoseerd door middel van een spuitpomp met een glazen spuit van 1 ml. De instellingen van deze pomp waren gebaseerd op een continue toediening van PCE van 0,68 $\mu\text{l}/\text{uur}$. Gezien het lage debiet van deze pomp was een van de mogelijke oorzaken van de lage PCE concentraties dat de PCE druppelsgewijs in de leiding werd gedoseerd. Hierdoor zou de concentratie van PCE in het influent afhankelijk worden van het moment van bemonstering. Dit was niet erg aannemelijk omdat de concentraties van de VOCl in het effluent in dat geval hoger zouden moeten zijn, omdat in de kolom volledige menging zou plaatsvinden. Het totaal van de concentratie PCE plus de eventuele afbraakproducten zou overeen moeten komen met de berekende hoeveelheid PCE in het influent. Om toch uit te sluiten dat deze druppelsgewijze dosering van PCE een oorzaak zou kunnen zijn, is gedurende de hierop volgende periode de PCE direct toegevoegd aan het medium.

Toen uit de volgende analyse bleek dat dit ook geen invloed had op de analyseresultaten ontstond onzekerheid of de PCE voldoende opgelost was in het mediumvat. Om dit uit te sluiten is de PCE nogmaals direct in het mediumvat toegediend, echter is de stockoplossing eerst gedurende twee dagen geroerd, zodat alle aanwezige PCE in de stockoplossing zeker was opgelost. Na toediening van deze stockoplossing aan het mediumvat is deze vervolgens eveneens goed geroerd zodat alle PCE zo goed mogelijk oplost was in het medium. Uit de volgende analyse bleek ook dit geen effect te hebben.

Hierop is weer teruggevallen op het systeem met de spuitpomp, tevens is de verwachte concentratie in het influent verhoogd van 5000 $\mu\text{g}/\text{l}$ naar 10.000 $\mu\text{g}/\text{l}$, zodat de kans dat de micro-organismen afsterven vanwege een gebrek aan PCE werd verkleind. Tevens werd verwacht hierdoor meer PCE aan te treffen in het influent van de 1^e kolom. Ook dit bleek geen merkbaar effect te hebben op de influentconcentratie van PCE. Een tweede verdubbeling van concentratie in een later stadium bleek hetzelfde gebrek aan effect te hebben.

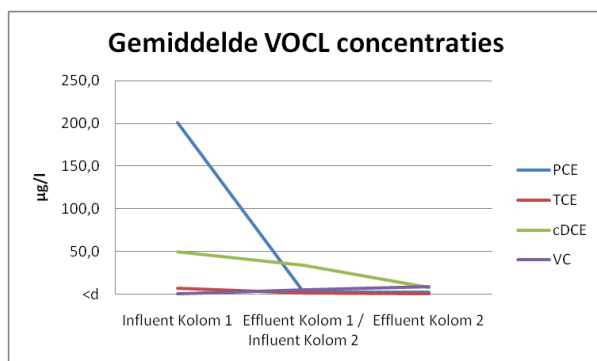
Een ander mogelijke oorzaak van de lage concentraties PCE in het influent zou in principe absorptie of verdamping in en uit de leidingen naar de eerste kolom zijn. Dit kan vrijwel uitgesloten worden, omdat enkel viton® slangen zijn gebruikt na de toediening van PCE. Viton® is een materiaal dat niet permeabel is voor gechloreerde verbindingen. De slangen zijn nogmaals grondig onderzocht op lekkages, dit bleek ook niet het geval te zijn.

Een andere oorzaak voor het niet aantreffen van de PCE in het influent zou hebben kunnen zijn dat de toegediende PCE in werkelijkheid geen PCE in pure vorm betreft. Echter dit is eveneens volledig uit te sluiten. De PCE die is gebruikt is van laboratoriumkwaliteit en is direct uit de fles in de spuiten gebracht. Tevens zijn er eerdere tests uitgevoerd waarbij dezelfde PCE uit dezelfde fles is gebruikt. Hierbij is nooit een dusdanig lagere concentratie aangetroffen dan vooraf berekend is. Dit kan dus eveneens worden uitgesloten.

Een andere verklaring zou kunnen zijn dat de PCE al dusdanig ver biologisch is afgebroken dat ook de afbraakproducten niet of nauwelijks meer detecteerbaar zijn, of dat de PCE via een ander route dan via TCE, cDCE en VC onder anaerobe omstandigheden afbreekt. De aanwezigheid van 130 $\mu\text{g}/\text{l}$ cDCE (analyseresultaat van 20-08) in het influent wijst erop dat er wel enige afbraak plaats vindt voor het

1^e monsternamepunt. Deze afbraak zou dan plaats hebben moeten vinden in slang naar de 1^e kolom, het volume in deze slang is dusdanig klein dat de afbraak met enorme snelheden heeft plaats moeten vinden, vele malen sneller dan enige afbraak die ooit is waargenomen bij PCE. Dit kan dus eveneens worden uitgesloten.

Dank zij de influentconcentraties van PCE is het niet expliciet vast te stellen of de volledige afbraak van PCE in de gecombineerde reactor mogelijk is. In onderstaande figuur staan de gemiddelde analyseresultaten weergegeven van de monsters die gedurende de reactorproef zijn geanalyseerd op



Figuur 36; Gemiddelde VOCL-concentraties over alle analyseresultaten.

VOCL. Dit geeft het meest betrouwbare beeld van de biologische afbraak van de VOCL in de beide reactoren.

De gemiddelde concentratie die is aangetroffen in het influent van de 1^e kolom is 200 µg/l, in het effluent van de 2^e kolom wordt hier gemiddeld nog 0,2 µg/l van aangetroffen. Dit is een afname van 99,9 %. Er kan dus wel worden geconcludeerd dat de biologische afbraak van PCE plaatsvindt. Door de lage concentraties is het echter onmogelijk een gegronde conclusie te

trekken over de verdeling van de biologische afbraak in de beide kolommen en het maximaal haalbare rendement bij de gewenste influentconcentraties. Wanneer daadwerkelijk de concentratie in het influent was aangetroffen die was voorzien zouden tevens de concentraties van de afbraakproducten vele malen hoger zijn, hierdoor zou een duidelijker beeld ontstaan van het verloop van de afbraak.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Toepasbaarheid co-metabole afbraak VOCL in waterzuivering

Uit de literatuurstudie is gebleken dat co-metabole afbraak van cDCE en VC mogelijk is bij verschillende groeisubstraten, dit werd bevestigd door de uitgevoerde batchproeven. Tijdens deze batchproeven zijn verschillende substraten getest voor de co-metabole afbraak van cDCE. Gedurende deze proeven is aangenomen dat wanneer de co-metabole afbraak van cDCE plaatsvindt dit eveneens geldt voor de co-metabole afbraak van VC.

Uit de batchproeven is gebleken dat benzylalcohol het meest geschikte substraat is voor de co-metabole afbraak van cDCE, gedurende de batchproef heeft de reactor met Benzylalcohol een afbraakrendement voor cDCE van 97 % behaald. Enkel tolueen had een hoger afbraak rendement (99%), echter tolueen was enkel meegenomen in de meting als referentie. Het toxische karakter van tolueen maakt het niet geschikt voor toepassing in real-time zuiveringsinstallaties. Buiten het afbraakrendement voor cDCE zijn tevens de praktische toepasbaarheid en de kosten van het substraat meegenomen in de afwegingen. Tijdens de reactorproef is de co-metabole afbraak getest in combinatie met een voorgeschakelde anaerobe reactor waar op basis van reductieve dechlorering PCE via TCE werd afgebroken tot cDCE. Uit de reactorproef is gebleken dat een groot deel van de toegediende PCE tijdens verschillende monsternames van influentwater hier niet aanwezig bleek te zijn. Hiertoe zijn een aantal mogelijke oorzaken uitgesloten, echter is niet een eenduidige verklaring voor het 'verdwijnen' van de PCE gevonden.

De PCE die aanwezig was in het influent is wel volledig afgebroken in beide kolommen, echter door de lage concentraties in het influent kan niet duidelijk worden geconcludeerd waar deze afbraak heeft plaatsgevonden. De totale hydraulische verblijftijd van de beide kolommen gedurende de laatste periode 8 uur, in deze periode van 8 uur is de PCE volledig afgebroken. Op basis van eerdere literatuurstudies heeft de volledige anaerobe reductieve dechlorering van PCE tot etheen circa 4 dagen nodig. Het feit dat, ondanks de lage concentratie in het influent, 99,9% van de PCE biologisch werd afgebroken in de reactor bewijst dat niet alleen de reductieve dechlorering in de eerste kolom hier verantwoordelijk voor kan zijn. Aerobe co-metabole afbraak in de 2^e kolom moet de verklaring voor deze volledige afbraak zijn. Dit wordt tevens bevestigd door de resultaten van 24 augustus 2010, het afbraakrendement voor cDCE in de 2^e kolom is 81 % (van 14 µg/l naar 2,7 µg/l). De afbraak in beide kolommen, zowel de anaerobe reductieve dechlorering in de eerste en de aerobe co-metabole afbraak in de tweede kolom, blijkt dus wel degelijk plaats te vinden.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van onderhavig onderzoek kan dus worden verwacht dat de sequentiële afbraak van PCE of TCE tot niet-toxische stoffen mogelijk is. Echter heeft dit onderzoek dit niet onomstotelijk kunnen bewijzen. Aanbevolen wordt de reactorproef door te zetten. Aansluitend van de reactorproef dient nog een veldproef te worden gestart om de praktische toepasbaarheid te testen.

6.2.1 Aanbevelingen vervolg reactorproef

De voornaamste reden dat de reactorproef niet onomstotelijk heeft kunnen aantonen dat de sequentiële afbraak van VOCL in een bioreactor mogelijk is heeft te maken met de lage influentconcentraties van PCE in het influent van de eerste kolom. Verschillende tests hebben niet

aan kunnen tonen wat de oorzaak hiervoor is geweest. Verdere mogelijke oorzaken dienen te worden uitgesloten of bewezen voor de proef kan worden voortgezet. Aangezien het duidelijk is dat de PCE de spuit in de spuitpomp heeft verlaten, moet de oorzaak hierachter liggen. De spuit is aangesloten op de 1^e kolom door middel van Viton® slangen. Viton® is vrijwel het meest inerte kunststof dat voor deze toepassingen gebruikt kan worden en is aangenomen niet permeabel te zijn voor PCE, wat het diffunderen van PCE door de slang naar de omgeving uitsluit.

Het zou mogelijk kunnen zijn dat de PCE verdampt vanuit een ondeugdelijke aansluiting van de slangen op de verschillende onderdelen van de opstelling. Onderzocht dient te worden of dit werkelijk het geval is geweest. Een mogelijke onderzoek hiernaar zou kunnen zijn om de opstelling te brengen in een gecontroleerde omgeving, waar de concentratie PCE in de omgevingslucht gemeten kan worden.

Tevens zal de eventuele biologische of chemische omzetting van PCE in de slang richting de 1^e kolom moeten worden uitgesloten of bewezen. Hoewel het zeer onwaarschijnlijk lijkt dat dit het geval zou zijn. Een mogelijk onderzoek hiernaar zou kunnen omvatten dat de afstand tussen de PCE-spuut en het 1^e monsterpunt wordt verkleind. Hierdoor wordt de kans dat de PCE in het monster gevonden wordt vergroot. Wanneer het werkelijk afbraak betreft dient de dosering van PCE verhoogd te worden, zodat je de maximale afbraak bepaald voor het eerste monsternamapunt. Tevens zal een aanvullend onderzoek gestart moeten worden naar het type afbraak, een afbraak in deze mate, chemisch of biologisch, kan vele toepassingen hebben.

Wanneer de oorzaak voor dit probleem is gevonden kan de reactorproef zoals deze in eerste instantie is ingezet worden hervat. Hogere influentconcentraties moeten leiden tot een beter inzicht in de afbraak per kolom. Op basis van dit onderzoek wordt verwacht dat deze afbraak verloopt in de 2 fasen zoals in de hypothese omschreven. Echter heeft dit onderzoek niet kunnen bewijzen welk deel van omzetting in welke kolom heeft plaatsgevonden. Het vervolg van de reactorproef dient hier meer duidelijkheid in te scheppen. Wanneer is bewezen dat de afbraak verloopt zoals op basis van dit onderzoek kan worden verwacht kan de reactorproef zich richten op het vinden van de juiste verblijftijden, substraat- en zuurstofconcentraties. Gestreefd moet worden naar een minimale hydraulische verblijftijd bij concentraties zoals deze in de praktijk voorkomen. Bij deze hydraulische verblijftijd dienen de minimale hoeveelheden substraat en zuurstof worden gevonden, dit bepaald in grote mate de bedrijfskosten van deze vorm van grondwaterzuivering. Deze parameters dienen door toepassing van een zogenaamde 'trial and error' methode te worden gevonden. Dit wil zeggen dat er steeds een aanpassing van een van de parameters moet plaatsvinden waarop het resultaat kan worden waargenomen door middel van het bemonsteren en analyseren van de verschillende in- en effluënten van de kolommen. Nadat bekend is wat de hoeveelheden substraat en zuurstof en de benodigde verblijftijd is, kan pas een vergelijking worden gemaakt met de huidige grondwaterzuiveringstechnieken. Dit is een tijdrovend proces, maar dit kan tegelijk en in combinatie verlopen met een veld proef op grotere schaal.

6.2.1 Aanbevelingen veldproef

Wanneer dus onomstotelijk is bewezen dat de sequentiële afbraak van VOCL mogelijk is op laboratoriumschaal zal dit door middel van een veldproef moeten worden getest op de praktische toepasbaarheid.

Voor de veldproef zal een zuiveringsinstallatie moeten worden gebouwd met een anaerobe bioreactor en een aerobe bioreactor. Om de anaerobe reactor zoveel mogelijk anaeroob te houden is een gesloten systeem nodig, zodat geen zuurstof vanuit de omgevingslucht kan toetreden tot het te behandelen water. Voor de aerobe reactor zal eveneens een gesloten systeem nodig zijn, om de vervluchting van VOCL in de omgevingslucht te voorkomen. Juist omdat een bioreactor een alternatief moet zijn voor actief kool moet worden gestreefd naar een minimale hoeveelheid afvalgassen. Het gebruik van waterstofperoxide als zuurstofbron in plaats van lucht voorkomt deze afvalgassen.

De veldproef moet worden opgezet met een debiet dat overeenkomt met de tijdens de reactorproef gevonden ideale verblijftijden. De substraat en zuurstoftoediening zal in de veldproef in een overmaat moeten plaatsvinden omdat de influentconcentraties gedurende de veldproef kunnen fluctueren. De hoeveelheden die worden gedoseerd kunnen wel worden geschat op basis van de resultaten van de reactorproef.

Wanneer de beide proeven zijn afgerond kan een vergelijk gemaakt worden met de huidige grondwaterzuiveringstechnieken voor met VOCL verontreinigd grondwater. De vergelijking dient plaats te vinden op basis van een aantal eigenschappen van de zuivering. De stabiliteit en bedrijfszekerheid alsmede het milieuhygiënisch rendement van de installaties moet worden vergeleken. Verder kan een vergelijking worden gemaakt in kosten voor instandhouding, geluidemissie en kans op emissie van toxische stoffen. Het resultaat van deze vergelijking kan potentieel leiden toe een nieuwe techniek voor het zuiveren van grondwater dat vrijkomt bij bodemsaneringen waar VOCL de verontreinigende stoffen zijn. Aangezien het grootste deel van de bodemverontreinigingen in Nederland deze verontreiniging bevat kan deze zuiveringstechniek op vele locaties toegepast worden in de toekomst.

Bronvermelding

- Cheng, D., & He, J. (2009). Isolation and Characterization of "Dehalococcoides" sp. Strain MB, Which Dechlorinates Tetrachloroethene to trans-1,2-dichloroethene. *Applied and Environmental Microbiology*, 5910-5918.
- Coremans, M. (2008). *Aerobic co-metabolic degradation of chloroethylenes in a bioreactor - Results pilot Nordhorn*. Hendrik-Ido-Ambacht: BioSoil B.V.
- Digitale richtlijn (water)bodemkwaliteit. (sd). *In situ biorestauratie, optimalisatie door toevoeging van een zuurstofbron*. Opgeroepen op augustus 22, 2010, van Digitale richtlijn (water)bodemkwaliteit: http://www.bodemrichtlijn.nl/topics/deel%20b/3/b3_3-3-1.html
- Ensign, S. A. (1996). Aliphatic and Chlorinated Alkenes and Epoxides as Inducers of Alkene Monooxygenase and Epoxidase Activities in Xanthobacter Strain Py2. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 62 No. 1*, 61-66.
- Ensign, S. A., Hyman, M. R., & Arp, D. D. (1992). Cometabolic degradation of chlorinated alkenes by alkene monooxygenase in a propylene-grown Xanthobacter strain. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 58 No. 9*, 3038-3046.
- EPA. (2000). *Engineered approaches to in situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Fliermans, C., Phelps, T., Ringelberg, D., Mikel, A., & White, D. (1988). Mineralisation of trichloroethylene by heterotrophic enrichment cultures. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 54 No. 7*, 1709-1714.
- Fogel, M. M., Taddeo, A. R., & Fogel, S. (1986). Biodegradation of Chlorinated Ethenes by a Methane-utilizing Mixed Culture. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 51 No.4*, 720-724.
- Folsom, B., Chapman, P., & Pritchard, P. (1990). Phenol and trichloroethylene degradation by Pseudomonas cepacia G4; Kinetics and interactions between substrates. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 56 No. 5*, 1279-1285.
- Harker, A. R., & Kim, Y. (1990). Trichloroethylene degradation by two independent aromatic degrading pathways in Alcaligenes eutrophus JMP 134. *Applied and Environmental Microbiology Vol 56 No. 4*, 1179-1181.
- Henssen, M., Bommel, J. v., Dorenbos, H., Blokzijl, R., Hubach, C., & Breidenbach, C. (2000). *Gestimuleerde anaerobe in-situ biorestauratie van chloorethenen*. Gouda: CUR/NOBIS.
- Horvath, R. S. (1972). Microbial co-metabolism and the degradation of organic compounds in nature. *Bacteriological Reviews Vol 36. No. 2*, 146-155.
- Little, C. D., Palumbo, A. V., Herbes, S. E., Lindstrom, M. E., Tyndall, R. L., & Gilmer, P. J. (1988). Trichloroethylene biodegradation by a methane-oxidizing bacterium. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 54 No. 4*, 951-956.

- Nelson, M. J., Montgomery, S., Mahaffey, W., & Pritchard, P. (1987). Biodegradation of trichloroethylene and involvement of an aromatic biodegradative pathway. *Applied and Environmental Microbiology* , 949-954.
- Nelson, M. J., Montgomery, S., O'Neill, E., & Pritchard, P. (1986). Aerobic metabolism of trichloroethylene by a bacterial isolate. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 52 No. 2* , 383-384.
- Nipshagen, A., & Praamstra, T. (2008). *Vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (VOCL) in de bodem; Doen en laten in de bodem*. Rijswijk: SKB.
- Olaniran, A. O., Pillay, D., & Pillay, B. (2006). Aerobic cometabolic degradation of cis- and trans-dichloroethene by a consortium of bacteria isolated from contaminated sites in Afrika. *African Journal of Biotechnology Vol 5. No. 20* , 1913-1917.
- Oldenhuis, R., Vink, R., Janssen, D., & Witholt, B. (1989). Degradation of chlorinated aliphatic hydrocarbons by *Methylosinus trichosporium* OB3b expressing soluble methane monooxygenase. *Applied and Environmental Microbiology* , 2819-2826.
- Phelps, T., Niedzielski, J., Schram, R., Herbes, S., & White, D. (1990). Biodegradation of trichloroethylene in continuous-recycle expanded bed reactor. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 56 No. 6* , 1702-170.
- Rasche, M. E., Hyman, M. R., & Arp, D. R. (1991). factors limiting aliphatic chlorocarbon degradation by *Nitrosomonas europaea*; Cometabolic Inactivation of Ammonia Monooxygenase and Substrate Specificity. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 57 No. 10* , 2986-2994.
- Strand, S., & Shippert, L. (1986). Oxidation of chloroform in aerobic soil expose to natural gas. *Applied and Environmental Microbiology Vol 52, No. 1* , 203-205.
- Tejasen, S. (2003). *Aerobic Biotransformation of Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons by a Benzylalcohol Grown Mixed Culture: Cometabolism, Mechanisms, Kinetics and Modeling*. Oregon State University.
- Tejasen, S. (2004). Aerobic biotransformation of trichloroethylene, cis-dichloroethylene, and vinylchloride by a mixed culture grown on a non-toxic substrate: Benzylalcohol. *Songklanakarin Journal of Science and Technology Vol. 26* , 117-129.
- Tsien, H.-c., Brusseau, G., Hanson, R., & Wackett, L. (1989). Biodegradation of trichloroethylene by *methylosinus trichosporium* OB3b. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 55, No. 12* , 3155-3161.
- Wackett, L. P., & Gibson, D. T. (1988). Degradation of trichloroethylene by toluene dioxygenase in whole-cell studies with *Pseudomonas putida* F1. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 54 No. 7* , 1703-1708.
- Wilson, J. T., & Wilson, B. H. (1985). Biotransformation of trichloroethylene in soil. *Applied and Environmental Microbiology Vol. 59 No. 1* , 242-243.

Definities van relevante begrippen en afkortingen

Aeroob	In aanwezigheid van zuurstof
Alifatisch	Verbindingen afgeleid van methaan (open skelet)
Anaeroob	In afwezigheid van zuurstof
Biomassa	De totale hoeveelheid levende organismen
BTEX	Benzeen, Tolueen, Ethylbenzeen, Xyleen
cDCE & tDCE	cis-1,2-dichlooretheen & trans-1,2-dichlooretheen
Chemische oxidatie	Afbreken verontreiniging door middel van oxidatie met chemicaliën
Clark-cel	Sensor om zuurstofconcentraties in water te bepalen
Coagulatie/flocculatie/precipitatie	Destabiliseren van colloïdale deeltjes/vlokvorming/neerslaan, zuiveringstechniek voor met name vaste deeltjes
Co-metabool	Vorm van afbraak waarbij een stof 'per ongeluk' mee wordt omgezet terwijl een andere stof als voedingsbron en energiebron fungeert
Dechlorering	Moleculen ontdoen van chlooratomen
Diffusie	Proces waarbij een stof zich verspreidt ten gevolge van verschil in concentratie
DNAPL	Dense Non Aqueous Phase Liquid, zaklaag
Effluent	Water dat een zuiveringsinstallatie heeft gepasseerd
Elektronendonor / elektronenacceptor	Reductor of oxidator, afstaan of opnemen van elektronen tijdens een chemische reactie
Epoxide	Cyclische ether met 3 ringatomen, zeer onstabiele verbinding met zuurstof.
Headspace	Ruimte gevuld met lucht boven een vloeistof
Influent	Water dat een grondwaterzuiveringsinstallatie binnenkomt
In-situ	Op de natuurlijke plaats

LED	Light emitting diode
Luminofoor	Anorganisch product dat onder inwerking van zichtbare of onzichtbare stralen lichtgevend wordt
Mono-oxygenase	Enzym
MTR-humaan	Maximaal Toelaatbaar Risico humaan
Nutriënten	Voedingstoffen voor micro-organismen
PAK's	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PCE	Tetrachlooretheen
Redoxpotentiaal	Potentiaalverschil dat bij een redoxreactie ontstaat tussen het reductiemiddel, de elektronendonor en het oxydatiemiddel
Stockoplossing	Volume van geconcentreerde verdunning om later verder te verdunnen
Substraat	Koolstof / energiebron voor micro-organisme
TCE	Trichlooretheen
VC	Vinylchloride
VOCL	Vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen

Bijlage 1

Chemiekaarten PCE, TCE, DCE en VC

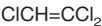
Synoniemen:
ethyleentetrachloride
tetrachlooretheen
tetrachloorethyleen
per



PERCHLOORETHYLEEN

CAS-nummer Kaartnummer		[127-18-4] C-0037		Brutoformule Relatieve molecuulmassa		C ₂ Cl ₄ 165,8	
FYSISCHE EIGENSCHAPPEN				ETIKETTERING			
Kookpunt, °C		121		CLP (EU-GHS) Annex-VI:			
Smeltpunt, °C		-19		Signaalwoord: WAARSCHUWING			
Soortelijke geleiding, pS/m		5,6*10 ¹⁰		H: 351-411			
Dampspanning in mbar bij 20°C		18,9					
Relatieve dichtheid bij 20°C van verzadigd damp/luchtmengsel (lucht = 1)		1,09		EU-etikettering Annex-I:		SchadelijkMilieu-gevaarlijk	
Relatieve dichtheid (water = 1)		1,6		R: 40-51/53			
Oplosbaarheid in water, g/100 ml		0,02		S: (2-)23-36/37-61			
Log P octanol/water		3,4					
Bioconcentratiefactor (BCF)		26-77					
Omrekenfactor: 1 mg/m ³ = 0,145 ppm				Transportindeling (ADR):		NFPA:	
				UN-nummer 1897			
				GEVI 60			
				ERIC 6-06			
BELANGRIJKE GEGEVENS							
KLEURLOZE VLOEISTOF MET TYPERENDE GEUR							
De damp mengt zich goed met lucht. De stof ontleedt bij verhitting boven 150°C en onder invloed van UV-licht onder vorming van giftige en bijtende dampen (o.a. fosgeen en chloorwaterstof, zie aldaar). Reageert heftig met (aard)alkalimetalen, fijn verdeelde lichte metalen en zink. Tast kunststoffen aan.							
Interventiewaarden		VRW = 500 mg/m ³ AGW = 1000 mg/m ³ LBW = 5000 mg/m ³		Indicatieve grenswaarde ¹⁾ Indicatieve grenswaarde TGG-15 min.		138 mg/m ³ 250 mg/m ³ H H	
Geurwaarneming: De geur alleen geeft onvoldoende informatie over het acute gezondheidsrisico.							
Acuut inademingsgevaar: Een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht kan door verdamping van deze stof bij ca. 20°C vrij snel worden bereikt; bij vernevelen nog sneller.							
Wijze van blootstelling: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp, via de huid en na inslikken.							
Eenmalige of kortdurende blootstelling: De stof werkt irriterend op de ogen, de huid en de luchtwegen. Inademing van hoge concentraties kan longoedeem veroorzaken. ²⁾ Na inslikken kan de vloeistof ook in de longen terechtkomen waardoor longontsteking ontstaat. De stof kan inwerken op het centrale zenuwstelsel, de lever en de nieren, met als gevolg disoriëntatie en functiaefwijkingen. Blootstelling kan bij hoge concentraties tot bewusteloosheid leiden.							
Herhaalde en/of langdurende blootstelling: Inademing van de damp kan astma veroorzaken. Huidcontact kan door overgevoeligheid eczeem veroorzaken. ³⁾ Afwijkingen van de lever, de nieren en het centraal zenuwstelsel kunnen optreden. Er zijn aanwijzingen dat perchloorethyleen het ongeboren kind kan schaden. Overdracht via moedermelk is mogelijk. ⁴⁾							
Biomonitoring: Is mogelijk (zie register "Biologische Monitoring").							
DIRECTE GEVAREN		PREVENTIE			MAATREGELEN		
Brand: niet brandbaar.					Blusstoffen: bij brand in directe omgeving: alle blusstoffen toegestaan.		
NOODSITUATIE: Acuut gezondheidsgevaar! Bij grotere hoeveelheden: gevarenszone ONMIDDELIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen!							
SYMPTOMEN		PERSOONLIJKE BESCHERMING			EERSTE HULP		
		PAS OP: HUIDOPNAME! STRENGE HYGIENE!			IN ALLE GEVALLEN ARTS RAADPLEGEN!		
Inademen: prikkeling, coördinatiestoornissen, verwarring, duizeligheid, sufheid, bewusteloosheid.		gesloten systeem met ruimtelijke afzuiging (geen recirculatie!) of onafhankelijke adembescherming.			frisse lucht, rust, arts raadplegen en direct spoedeisende medische hulp inzetten.		
Huid: prikkeling, roodheid en pijn, zie verder 'Inademen'.		handschoenen (polyvinylalcohol, nitrilrubber), gerichte beschermende kleding.			verontreinigde kleding uittrekken, minimaal 20 min. spoelen met veel water of douchen, arts raadplegen.		
Ogen: roodheid en pijn.		gelaatsscherm met veiligheidsbril of onafhankelijke adembescherming.			minimaal 15 min. spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar oogarts brengen.		
Inslikken: prikkeling, branderig gevoel, zie verder 'Inademen'.					mond laten spoelen (uitspugen!), GEEN braken opwekken en direct spoedeisende medische hulp inzetten.		
Bij vergiftiging door deze stof is specifieke eerste hulp noodzakelijk. Laat arts zo nodig het NVIC (+31(0)30-274 88 88) of het Belgisch Antigifcentrum (+32(0)70-245.245) bellen voor aanwijzingen over verdere behandeling.							
MILIEU, OPRUIMING EN OPSLAG							
Gevolgen voor het milieu: Deze stof is giftig voor het watermilieu. Gevaar voor opeenhoping in de voedselketen.							
Opruimen gemorst product: Deskundige waarschuwen. Draag chemiepak en verse luchtkap/ademluchtmasker. Extra ventilatie.							
Gemorst product indammen en zorgvuldig opzuigen. Restant opnemen in inert absorptiemiddel en dit zorgvuldig verzamelen en opslaan in vaten (hermetisch afsluiten). Eventuele laatste resten verwijderen met zeepoplossing. Spoelwater opvangen. ⁵⁾							
Opslag: Gescheiden van lichte metalen en zink, donker, ventilatie langs de vloer.							
Opmerkingen: NOOIT perchloorethyleen gebruiken in nabijheid van vlam, heet oppervlak of bij het lassen.							
Voetnoten: ¹⁾ Advies van de Gezondheidsraad. ²⁾ De verschijnselen van longoedeem en longontsteking kunnen pas na enkele uren tot dagen optreden en worden versterkt door lichamelijke inspanning. In dat geval is ziekenhuisopname noodzakelijk. ³⁾ De verschijnselen van astma kunnen pas na enige tijd optreden, iemand die overgevoeligheidsverschijnselen heeft gekregen door blootstelling aan perchloorethyleen dient in de toekomst elke blootstelling aan deze stof te vermijden. ⁴⁾ Aanvullende registratie van toepassing volgens Arbeidsomstandighedenbesluit. ⁵⁾ Lozing is aan bijzondere regelgeving onderhevig.							

Synoniemen:
ethyleentrichloride
tri
trichlooretheen
acetylentrichloride



TRICHLOORETHYLEEN

CAS-nummer Kaartnummer		[79-01-6] C-0042		Brutoformule Relatieve molecuulmassa		C ₂ HCl ₃ 131,4	
FYSISCHE EIGENSCHAPPEN				ETIKETTERING			
Kookpunt, °C		87		CLP (EU-GHS) Annex-VI:			
Smeltpunt, °C		-86		Signaalwoord: GEVAAR			
Vlampunt, °C		geen		H: 350-341-319-315-336-412			
Zelfontbrandingstemperatuur, °C		410					
Explosiegrenzen, volume% in lucht		7,9 - 90					
Soortelijke geleiding, pS/m		800 ¹⁾					
Dampspanning in mbar bij 20°C		77		EU-etikettering Annex-I:		Vergiftig	
Relatieve dichtheid bij 20°C van verzadigd damp/luchtmengsel (lucht = 1)		1,3		R: 45-36/38-52/53-67			
Relatieve dichtheid (water = 1)		1,5		S: 53-45-61			
Oplosbaarheid in water, g/100 ml		0,12					
Log P octanol/water (ber.)		ca. 2,3					
Omrekenfactor: 1 mg/m ³ = 0,183 ppm				Transportindeling (ADR):		NFPA:	
				UN-nummer 1710		1 2 0	
				GEVI 60			
				ERIC 6-06			
BELANGRIJKE GEGEVENS							
KLEURLOZE VLOEISTOF MET TYPERENDE GEUR							
De damp is zwaarder dan lucht. De stof ontleedt in een vlam of aan een heet oppervlak (boven 110°C) of onder UV-licht onder vorming van giftige en bijtende dampen (o.a. fosgeen en zoutzuur, zie aldaar). Reageert heftig met oxidatiemiddelen en lichte metalen <i>met kans op brand en explosie</i> bij aanwezigheid van aromatische koolwaterstoffen en/of een spoor zuur en met geconcentreerd loog onder vorming van zelfontbrandbaar (di)chlooracetyleen.							
Interventiewaarden		VRW = 500 mg/m ³ AGW = 2000 mg/m ³ LBW = 20000 mg/m ³		Indicatieve grenswaarde ²⁾ Indicatieve grenswaarde TGG-15 min.		190 mg/m ³ 538 mg/m ³	
Geurwaarneming: De geur alleen geeft onvoldoende informatie over het acute gezondheidsrisico.							
Acuut inademingsgevaar: Een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht kan door verdamping van deze stof bij ca. 20°C vrij snel worden bereikt; bij vernevelen nog sneller.							
Wijze van blootstelling: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp en de aerosol, via de huid en na inslikken.							
Enmalige of kortdurende blootstelling: De stof werkt irriterend op de ogen, de huid en de luchtwegen. De vloeistof ontvet de huid. De stof kan inwerken op het hart en centraal zenuwstelsel en kan bij hoge concentraties tot bewusteloosheid leiden. ³⁾							
Herhaalde en/of langdurende blootstelling: Contact met de huid kan een eczeemachtige huidaandoening veroorzaken op basis van een overgevoeligheidsreactie en corrosiviteit. ⁴⁾ De stof kan op lever, nieren en centraal zenuwstelsel inwerken. De stof wordt beschouwd als kankerverwekkend. ⁵⁾ Kan het ongeboren kind schaden. ⁶⁾							
Biomonitoring: Is mogelijk (zie register "Biologische Monitoring").							
DIRECTE GEVAREN		PREVENTIE			MAATREGELEN		
Brand: niet brandbaar. ⁷⁾					Blusstoffen: bij brand in directe omgeving: alle blusstoffen toegestaan.		
Explosie:		aarden en de tijd nemen om elektrostatische lading af te laten vloeien.			bij brand: tanks/vaten koel houden door spuiten met water.		
NOODSITUATIE: Acuut gezondheidsgevaar! Bij grotere hoeveelheden: gevarenczone ONMIDDELIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen!							
SYMPTOMEN		PERSOONLIJKE BESCHERMING			EERSTE HULP		
		ALLE CONTACT VERMIJDEN!					
Inademen: hoesten, hoofdpijn, duizeligheid, sufheid, moeizaam ademen, bewusteloosheid.		gesloten systeem met ruimtelijke afzuiging (geen recirculatie!) of onafhankelijke adembescherming.			frisse lucht, rust, arts raadplegen en direct spoedsende medische hulp inzetten.		
Huid: roodheid, droge huid.		handschoenen (polyvinylalcohol).			verontreinigde kleding uittrekken en minimaal 20 min. spoelen met veel water of douchen.		
Ogen: roodheid en pijn.		veiligheidsbril of onafhankelijke adembescherming.			minimaal 15 min. spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar oogarts brengen.		
Inslikken: hoesten, buikkramp, diarree, verwardheid, sufheid, moeizaam ademen, bewusteloosheid.					mond laten spoelen (uitspugen!) en direct spoedsende medische hulp inzetten.		
Bij vergiftiging door deze stof is specifieke eerste hulp noodzakelijk. Laat arts zo nodig het NVIC (+31(0)30-274 88 88) of het Belgisch Antigifcentrum (+32(0)70-245.245) bellen voor aanwijzingen over verdere behandeling.							
MILIEU, OPRUIMING EN OPSLAG							
Gevolgen voor het milieu: Deze stof is schadelijk voor het watermilieu. Gevaar voor opeenhoping in de voedselketen.							
Opruimen gemorst product: Deskundige waarschuwen. Draag chemiepak en verse luchtkap/ademluchtmasker. Extra ventilatie.							
Gemorst product indammen en zorgvuldig opzuigen. Restant opnemen in inert absorptiemiddel en dit zorgvuldig verzamelen en opslaan in vaten (hermetisch afsluiten). Eventuele laatste resten verwijderen met water of zeepoplossing. Spoelwater opvangen. ⁸⁾							
Opslag: Gescheiden van oxidatiemiddelen, sterke basen en metaalpoeders, droog, ventilatie langs de vloer, alleen indien gestabiliseerd, ⁹⁾ niet opslaan en/of vervoeren in aluminium.							
Opmerkingen: NOOIT trichloorethyleen gebruiken in nabijheid van vlam, heet oppervlak of bij het lassen. Gebruik stevige houder bij intern transport van breekbare verpakkingen.							
Voetnoten: ¹⁾ Vonkontlading door elektrostatische oplading is mogelijk. ²⁾ MAC-waarde. ³⁾ Gebruik van alcoholische dranken versterkt de schadelijke werking. ⁴⁾ Iemand die overgevoeligheidsverschijnselen heeft gekregen door blootstelling aan trichloorethyleen dient in de toekomst elke blootstelling aan deze stof te vermijden. ⁵⁾ Nadere voorschriften van toepassing volgens Arbeidsomstandighedenbesluit. ⁶⁾ Aanvullende registratie van toepassing volgens Arbeidsomstandighedenbesluit. ⁷⁾ De stof kan onder bepaalde omstandigheden brandbare damp/luchtmengsels vormen (7,9-90 vol.%), die moeilijk te ontsteken zijn (met behulp van een sterke energiebron, zoals een lasvlam). Toevoegingen van kleine hoeveelheden brandbare stof of verhogen van het zuurstofgehalte verhogen de brandbaarheid sterk. ⁸⁾ Lozing is aan bijzondere regelgeving onderhevig. ⁹⁾ Stabilisator: kresol of triethanolamine (< 1%).							

Synoniemen:
1,2-dichlooretheen

CICH=CHCI

1,2-DICHLOORETHYLEEN CIS/TRANS-MENGSEL

CAS-nummer [540-59-0]¹⁾
Kaartnummer C-1204

Brutoformule C₂H₂Cl₂
Relatieve molecuulmassa 96,9

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		ETIKETTERING	
Kookpunt, °C	48-60	CLP (EU-GHS) Annex-VI: Signaalwoord: GEVAAR H: 225-332-412 Nota C	 
Smeltpunt, °C	< -57		
Vlampunt, °C	2-6		
Zelfontbrandingstemperatuur, °C	440		
Explosiegrenzen, volume% in lucht	5,6 - 16		
Soortelijke geleiding, pS/m	8,5*10 ⁵²⁾	EU-etikettering Annex-I: R: 11-20-52/53 S: (2-)-7-16-29-61 Nota C	  Licht ontvlambaar Schadelijk
Dampspanning in mbar bij 20°C	220		
Relatieve dichtheid bij 20°C van verzadigd damp/luchtmengsel (lucht = 1)	1,5		
Relatieve dichtheid (water = 1)	1,3		
Oplosbaarheid in water, g/100 ml	0,4-0,6		
Log P octanol/water (ber.)	1,5	Transportindeling (ADR): UN-nummer 1150 GEVI 33 ERIC 3-09	NFPA: 
Omrekenfactor: 1 mg/m ³ = 0,248 ppm			
BELANGRIJKE GEGEVENS			
KLEURLOZE VLOEISTOF MET TYPERENDE GEUR De damp is zwaarder dan lucht en verspreidt zich over de grond met kans op ontsteking op afstand. De stof kan gemakkelijk peroxiden vormen. ³⁾ De stof ontleedt bij verhitting of verbranding onder vorming van giftige en bijtende dampen (o.a. fosgeen en zoutzuur, zie aldaar). Reageert heftig met lichte metalen (o.a. aluminium) met kans op brand en explosie. Reageert heftig met oxidatiemiddelen. Reageert heftig met basen met kans op brand en explosie.			
Interventiewaarden	VRW = 200 mg/m ³ AGW = 2000 mg/m ³ LBW = 5000 mg/m ³	Indicatieve grenswaarde⁴⁾	790 mg/m ³
Geurwaarneming: Het is onbekend of bij geurwaarneming schadelijke effecten te verwachten zijn. Acuut inademingsgevaar: Een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht kan door verdamping van deze stof bij ca. 20°C vrij snel worden bereikt; bij vernevelen nog sneller. Wijze van blootstelling: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp, via de huid en na inslikken. Eenmalige of kortdurende blootstelling: De damp van de stof werkt irriterend op de ogen en de luchtwegen. De stof werkt op het centraal zenuwstelsel. De stof kan inwerken op het centrale zenuwstelsel, de lever, de longen en hartweefsels, met als gevolg orgaanafwijkingen. Blootstelling aan zeer fijne partikeldeeltjes kan bij zeer hoge concentraties tot bewusteloosheid leiden. Herhaalde en/of langdurende blootstelling: De vloeistof kan een droge of gebarsten huid veroorzaken. De stof kan op de lever en de nieren inwerken. De stof wordt ervan verdacht schade toe te kunnen brengen aan de erfelijke eigenschappen.			
DIRECTE GEVAREN		PREVENTIE	
Brand: zeer brandgevaarlijk.	geen open vuur, geen vonken en niet roken.		Blusstoffen: poeder, sproeistraal water, schuim, koolzuur. bij brand: tanks/vaten koel houden door spuiten met water, brand bestrijden vanuit beschutte plaats.
Explosie: damp met lucht explosief.	gesloten apparatuur, ventilatie, explosieveilige elektrische apparatuur en verlichting, aarden, vonkarm handgereedschap.		
NOODSITUATIE: Explosiegevaar! Acuut gezondheidsgevaar! Bij grotere hoeveelheden: gevarenezone ONMIDDELIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen!			
SYMPTOMEN		PERSOONLIJKE BESCHERMING	
		VORMING VAN NEVEL VOORKOMEN! STRENGE HYGIENE!	
Inademen: hoesten, misselijkheid, sufheid, vermoeidheid, duizeligheid, bewusteloosheid.	ruimtelijke afzuiging, plaatselijke afzuiging, adembescherming (filtertype AX).		frisse lucht, rust en arts raadplegen.
Huid: blaren, roodheid, branderig gevoel, brandwonden.	handschoenen (vraag leverancier).		verontreinigde kleding uittrekken en minimaal 20 min. spoelen met veel water of douchen.
Ogen: branderig gevoel, roodheid en pijn, slecht zien, bindvliesontsteking.	veiligheidsbril, oogbescherming in combinatie met adembescherming.		minimaal 15 min. spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar oogarts brengen.
Inslikken: zie 'Inademen'.			mond laten spoelen (uitspugen!), GEEN braken opwekken en direct spoedeisende medische hulp inzetten.
Laat arts zo nodig het NVIC (+31(0)30-274 88 88) of het Belgisch Antigifcentrum (+32(0)70-245.245) bellen voor aanwijzingen over verdere behandeling.			
MILIEU, OPRUIMING EN OPSLAG			
Gevolgen voor het milieu: Deze stof is schadelijk voor het watermilieu. Gevaar voor opeenhoping in de voedselketen. Opruimen gemorst product: Deskundige waarschuwen. Draag handschoenen, laarzen en verse luchtkap/ademluchtmasker. Extra ventilatie. Gemorst product indammen en afdekken met schuim, vervolgens zorgvuldig opzuigen (explosieveilig). <i>Restant</i> opnemen in inert absorptiemiddel en dit zorgvuldig verzamelen en opslaan in vaten (hermetisch afsluiten). <i>Eventuele laatste resten</i> verwijderen met zeepoplossing. <i>Spoelwater</i> opvangen. ⁵⁾ Opslag: Brandveilig, gescheiden van oxidatiemiddelen, sterke basen en lichte metalen (o.a. aluminium), koel.			
Opmerkingen: De maatregelen op deze kaart gelden ook voor cis-1,2-dichloorethyleen en trans-1,2-dichloorethyleen. Voetnoten: ¹⁾ Het CAS-nummer van het cis-isomeer is [156-59-2]; van het trans-isomeer [156-60-5]. ²⁾ waarde voor het cis-isomeer. ³⁾ Vóór destillatie controleren op peroxide; bij positieve reactie dit onschadelijk maken. ⁴⁾ MAC-waarde. ⁵⁾ Lozing is aan bijzondere regelgeving onderhevig.			

CH2=CHCl

CAS-nummer [75-01-4]
Kaartnummer C-0044

Brutoformule	C ₂ H ₃ Cl
Relatieve molecuulmassa	62,5

1359

Bijlage 2

Rekensheet batchproeven

Rekensheet Batchproeven

Hoeveelheid substraat									
Inhoud batchreactor	0,25 ltr								
Concentratie cis-DCE	5000 µg/l								
Concentratie VC	0 µg/l								
cis-DCE	1250 µg	=	12,89 µmol						
VC	0 µg	=	0,00 µmol						
factor	10								
substraatoplossing	0,57 ml/l H ₂ O	(max op basis van oplosbaarheid tolueen)							
H ₂ O ₂ oplossing	350 ml/l H ₂ O								
Nutrientoplossing (/l H ₂ O)	70 g MAP								
	230 g NH ₄ NO ₃								
Substraat									
(hoeveelheden zijn gebaseerd op de hoeveelheid elektronen die worden overgedragen tijdens oxidatie)									
toegevoegd tijdens proef:									
o-Cresol	91,01 µmol	=	9,84 mg	=	9,19 µl	55,14 µl			
Benzylalcohol	91,01 µmol	=	9,84 mg	=	9,42 µl	56,51 µl			
Glucose	128,93 µmol	=	23,23 mg	=	15,08 µl	139,37 µl			
Tolueen	85,95 µmol	=	7,92 mg	=	9,10 µl	19,1 µl			
Percol®			55,45 mg	=	44,36 µl	266,17 µl			
Zuurstofbehoefte bij volledige omzetting									
cis-DCE	0,83 mg O ₂	=	3,01 ml lucht	=	1,75 mg H ₂ O ₂	=	1,21 µl H ₂ O ₂		
VC	0,00 mg O ₂	=	0,00 ml lucht	=	0,00 mg H ₂ O ₂	=	0,00 µl H ₂ O ₂		
Substraat	24,75 mg O ₂	=	90,25 ml lucht	=	52,63 mg H ₂ O ₂	=	36,29 µl H ₂ O ₂		
¹ Uitgegaan van 21 % VOL zuurstof in lucht									
² Uitgegaan van een dichtheid van 1,293 kg/m ³									
Toevoeging substraatoplossing									
o-Cresol	15,99 ml								
Benzylalcohol	16,39 ml								
Glucose	26,24 ml								
Tolueen	15,84 ml								
Percol®	77,19 ml								
Toevoeging zuurstof batchreactor									
	25,58 mg O ₂	=	121,80 mg lucht	=	94,20 ml lucht	=	54,38 mg H ₂ O ₂	=	0,11 ml H ₂ O ₂ oplossing
Nutrientbehoefte									
Ratio	C	100							
	N	6							
	P	2							
Substraat	C (g)	P (g)	N (g)						
o-Cresol	7,65	0,15	0,46						
Benzylalcohol	7,65	0,15	0,46						
Glucose	9,29	0,19	0,56						
Tolueen	7,23	0,14	0,43						
Percol®	9,29	0,19	0,56						
* Hoeveelheid koolstof in Percol wordt aangenomen gelijk te zijn met de hoeveelheid koolstof in glucose									
Nutrientbehoefte in MAP en NH ₄ NO ₃									
o-Cresol	MAP	0,55	gram	Nutrientoplossing	7,93 ml	7,93 ml			
	NH ₄ NO ₃	1,25	gram			5,41 ml			
Benzylalcohol	MAP	0,55	gram	Nutrientoplossing	7,93 ml	7,93 ml			
	NH ₄ NO ₃	1,25	gram			5,41 ml			
Glucose	MAP	0,67	gram	Nutrientoplossing	9,62 ml	9,62 ml			
	NH ₄ NO ₃	1,51	gram			6,57 ml			
Tolueen	MAP	0,52	gram	Nutrientoplossing	7,48 ml	7,48 ml			
	NH ₄ NO ₃	1,24	gram			5,39 ml			
Percol®	MAP	0,67	gram	Nutrientoplossing	9,62 ml	9,62 ml			
	NH ₄ NO ₃	1,51	gram			6,57 ml			

Stof	Molmassa (g/mol)	Dichtheid (g/ml)	Oxidatie			
cis-DCE	96,95	1,28	C ₂ H ₂ Cl ₂ + 2 O ₂ = 2 CO ₂ + 2 H ⁺ + 2 Cl ⁻			
VC	62,498	0,911	2 C ₇ H ₅ Cl + 5 O ₂ = 4 CO ₂ + 2H ⁺ + 2 Cl ⁻ + H ₂ O			
O ₂	31,998	1,43E-03				
C						
H ₂ O ₂	34,01468	1,45				
Lucht	28,97	1,29E-03				
C	12,011	2620				
Substraat	Molmassa (g/mol)	Dichtheid (g/ml)	Oxidatie	Elektronenoverdracht	CZV (g/l)	Oplosbaarheid (g/l)
o-Cresol	108,14	1,071	2 C ₆ H ₄ CH ₃ OH + 17 O ₂ = 14 CO ₂ + 8 H ₂ O	34		40
Benzylalcohol	108,14	1,045	2 C ₆ H ₅ CH ₂ OH + 17 O ₂ = 14 CO ₂ + 8 H ₂ O	34		40
Glucose	180,15588	1,54	C ₆ H ₁₂ O ₆ + 6 O ₂ = 6 CO ₂ + 6 H ₂ O	24		470
Tolueen	92,14	0,87	C ₇ H ₈ + 9 O ₂ = 7 CO ₂ + 4 H ₂ O	36		0,5
Percol®		1,25			558,00	goed

Zuurstofbehoefte bij volledige omzetting	
Fenol	24,75 mg O ₂
Benzylalcohol	24,75 mg O ₂
Glucose	24,75 mg O ₂
Tolueen	24,75 mg O ₂

Bijlage 3

Resultaten zuurstofmetingen batchproef

AFBRAAKPROEF

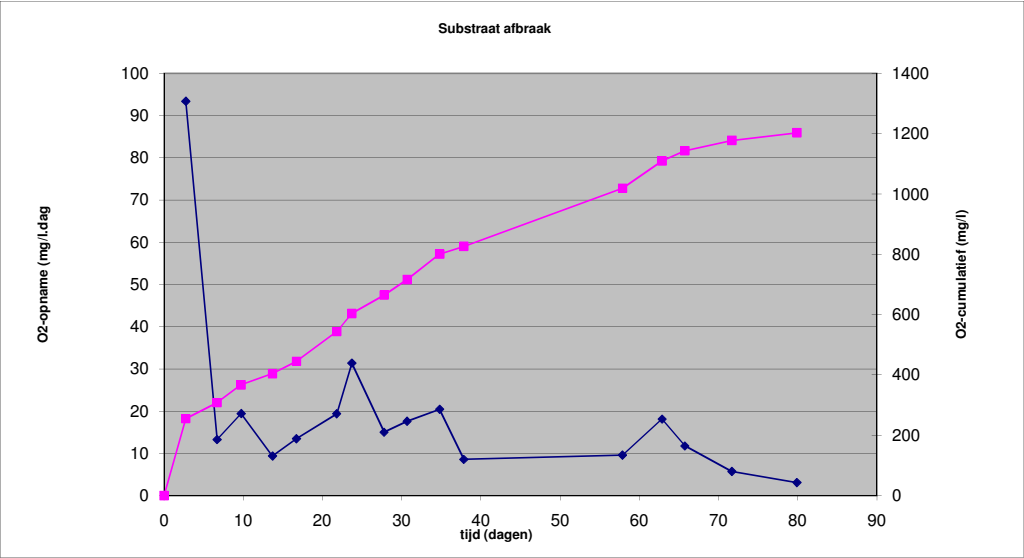
BIOSOIL R&D PROJECTNR: 80525
 MONSTERCODE Tolueen

BEGIN DATUM 15-3-2010
 BEGIN TIJD 17:00

CODERING		Tolueen	
VOLUME FLES (ml):		1150	
LUCHTVOLUME (ml):		898,3	
WATER TOEGEVOEGD (ml)		251,7	
WATER TOTAAL (ml)		251,7	

WAARNEMINGEN ZUURSTOFMETINGEN

DATUM	TIJD	O2-Gehalte	Temp	Duur	O2-opname		Opl O2
		(mg/l)			(mg/l.dag)	(mg/l)	
		12c	C	dagen	12c	12c cumulatief	DO2 (mg/l)
15-3-2010	17:00			0		0	
18-3-2010	10:40	6,78	20,0	3	93,38	255	9,07
22-3-2010	9:30	9,34	15,5	7	13,27	308	9,85
25-3-2010	10:30	8,54	19,6	10	19,44	367	9,07
29-3-2010	9:30	8,92	18,6	14	9,39	404	9,26
1-4-2010	10:00	9,07	17,8	17	13,48	445	9,45
6-4-2010	12:00	8,53	17,7	22	19,39	543	9,45
8-4-2010	10:00	8,71	18,7	24	31,36	604	9,26
12-4-2010	11:30	8,88	18,2	28	15,03	665	9,45
15-4-2010	9:30	8,97	18,1	31	17,63	716	9,45
19-4-2010	12:00	8,85	17,4	35	20,45	800	9,65
22-4-2010	13:15	9,02	19,0	38	8,59	826	9,26
12-5-2010	14:00	7,50	19,1	58	9,60	1019	9,26
17-5-2010	14:00	8,43	19,1	63	18,14	1109	9,26
20-5-2010	11:00	8,95	19,3	66	11,79	1143	9,26
26-5-2010	9:30	8,60	20,9	72	5,74	1177	8,9
3-6-2010	15:00	8,50	21,6	80	3,10	1203	8,72



10 ul tolueen (100%) toegevoegd

2 ml tolueen (verd) toegevoegd, 1 ml cis-DCE verdunning toegevoegd (12-5-10)

AFBRAAKPROEF

BIOSOIL R&D PROJECTNR: 80525
MONSTERCODE Percol

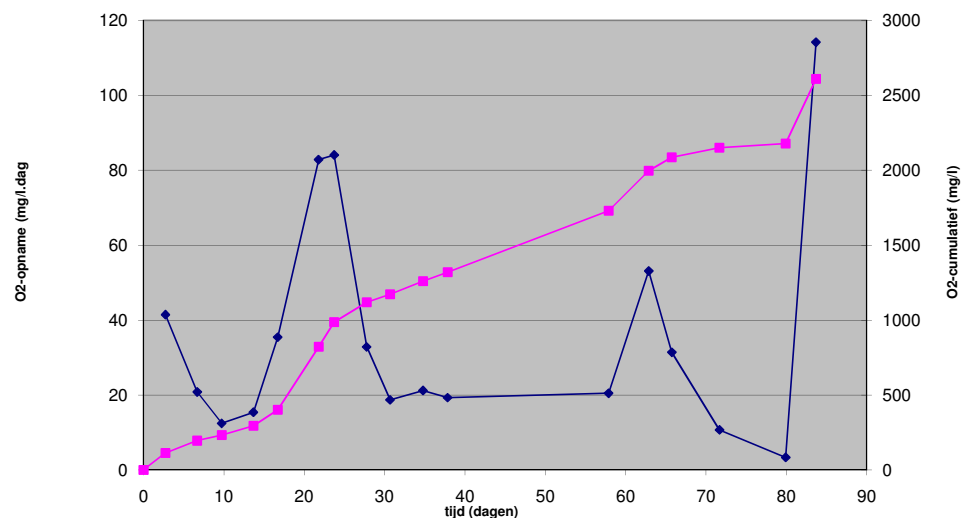
BEGIN DATUM 15-3-2010
BEGIN TIJD 17:00

CODERING		Percol	
VOLUME FLES (ml):		1150	
LUCHTVOLUME (ml):		898,3	
WATER TOEGEVOEGD (ml)		251,7	
WATER TOTAAL (ml)		251,7	

WAARNEMINGEN ZUURSTOFMETINGEN

DATUM	TIJD	O2-Gehalte (mg/l) 12c	Temp C	Duur dagen	O2-opname (mg/l.dag) 12c	(mg/l) 12c cumulatief	Opl O2 DO2 (mg/l)
15-3-2010	17:00			0		0	
18-3-2010	10:53	8,05	20,2	3	41,46	114	9,07
22-3-2010	9:30	9,05	15,5	7	20,86	196	9,85
25-3-2010	10:30	8,73	19,9	10	12,47	234	9,07
29-3-2010	9:30	8,88	18,2	14	15,43	295	9,45
1-4-2010	10:00	8,45	17,6	17	35,46	402	9,45
6-4-2010	12:00	5,52	17,7	22	82,82	823	9,45
8-4-2010	10:30	7,93	17,9	24	84,04	986	9,45
12-4-2010	11:30	8,21	17,9	28	32,87	1119	9,45
15-4-2010	9:30	8,76	18,5	31	18,74	1173	9,26
19-4-2010	12:00	8,82	17,3	35	21,22	1261	9,65
22-4-2010	13:15	8,72	19,0	38	19,34	1320	9,26
12-5-2010	14:00	5,50	19,2	58	20,52	1731	9,26
17-5-2010	14:00	6,83	19,2	63	53,12	1996	9,26
20-5-2010	11:00	8,26	19,5	66	31,43	2087	9,07
26-5-2010	9:30	8,34	20,9	72	10,72	2150	8,9
3-6-2010	15:00	8,48	21,6	80	3,38	2178	8,72
7-6-2010	9:30	5,01	22,0	84	114,14	2608	8,72

Substraat afbraak



10 ml Percol (verd) toegevoegd

10 ml Percol (verd) toegevoegd, 1 ml cis-DCE verd. Toegevoegd (12-5-10)

1 ml cis-DCE oplossing + 10 ml substraatoplossing + nutriënten toevoegen

AFBRAAKPROEF

BIOSOIL R&D PROJECTNR: 80525
MONSTERCODE o-Cresol

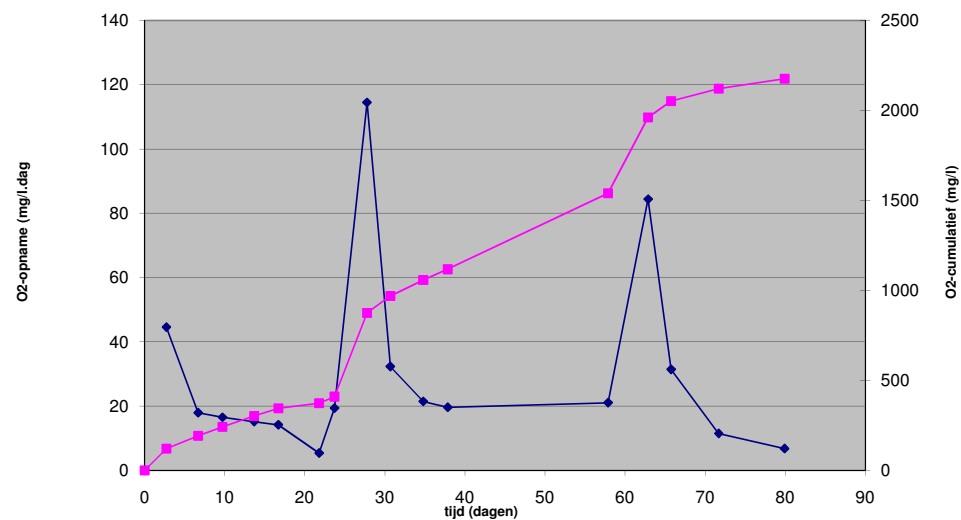
BEGIN DATUM 15-3-2010
BEGIN TIJD 17:00

CODERING		o-Cresol	
VOLUME FLES (ml):		1150	
LUCHTVOLUME (ml):		898,3	
WATER TOEGEVOEGD (ml)		251,7	
WATER TOTAAL (ml)		251,7	

WAARNEMINGEN ZUURSTOFMETINGEN

DATUM	TIJD	O2-Gehalte (mg/l) 12c	Temp C	Duur dagen	O2-opname (mg/l.dag) 12c	(mg/l) 12c cumulatief	Opl O2 DO2 (mg/l)
15-3-2010	17:00			0		0	
18-3-2010	10:30	7,98	20,1	3	44,56	122	9,07
22-3-2010	9:30	9,16	15,8	7	17,92	193	9,85
25-3-2010	10:30	8,62	19,8	10	16,51	243	9,07
29-3-2010	9:30	8,71	18,7	14	15,19	303	9,26
1-4-2010	10:00	9,05	17,8	17	14,18	346	9,45
6-4-2010	12:00	9,39	17,3	22	5,37	373	9,65
8-4-2010	10:00	8,92	18,7	24	19,39	410	9,26
12-4-2010	11:30	5,11	18,1	28	114,44	875	9,45
15-4-2010	9:30	8,57	17,9	31	32,32	969	9,45
19-4-2010	12:00	8,81	17,3	35	21,47	1057	9,65
22-4-2010	13:30	8,71	19,0	38	19,63	1118	9,26
12-5-2010	14:00	5,40	19,0	58	21,07	1540	9,26
17-5-2010	14:00	5,40	19,0	63	84,38	1961	9,26
20-5-2010	11:00	8,26	19,5	66	31,43	2052	9,07
26-5-2010	9:30	8,30	20,9	72	11,49	2120	8,9
3-6-2010	15:00	8,41	21,3	80	6,77	2176	8,9

Substraat afbraak



10 ml o-Cresol (verd) toegevoegd

10 ml o-Cresol (verd) toegevoegd, 1 ml cis-DCE verd. Toegevoegd (12-5-10)

AFBRAAKPROEF

BIOSOIL R&D PROJECTNR: 80525
 MONSTERCODE: Glucose

BEGIN DATUM: 15-3-2010
 BEGIN TIJD: 17:00

CODERING		Glucose	
VOLUME FLES (ml):		1150	
LUCHTVOLUME (ml):		901,8	
WATER TOEGEVOEGD (ml)		248,2	
WATER TOTAAL (ml)		248,2	

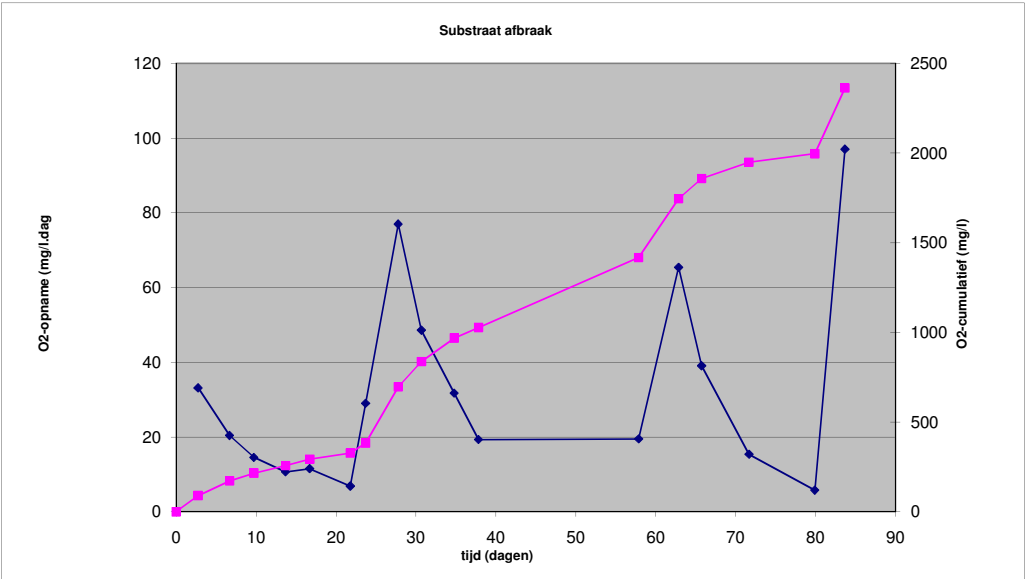
WAARNEMINGEN ZUURSTOFMETINGEN

DATUM	TIJD	O2-Gehalte	Temp	Duur	O2-opname		Opl O2
		(mg/l)			(mg/l.dag)	(mg/l)	
		12c	C	dagen	12c	12c cumulatief	DO2 (mg/l)
15-3-2010	17:00			0		0	
18-3-2010	10:45	8,27	19,9	3	33,16	91	9,07
22-3-2010	9:30	9,08	15,6	7	20,41	171	9,85
25-3-2010	10:30	8,68	19,6	10	14,56	216	9,07
29-3-2010	9:30	8,88	18,6	14	10,68	258	9,26
1-4-2010	10:00	9,13	17,6	17	11,55	293	9,45
6-4-2010	12:00	9,13	17,7	22	6,86	328	9,45
8-4-2010	10:00	8,76	18,7	24	29,02	383	9,26
12-4-2010	11:30	6,58	18,2	28	77,03	696	9,45
15-4-2010	9:30	8,15	18,3	31	48,60	838	9,45
19-4-2010	12:00	8,43	17,4	35	31,75	968	9,65
22-4-2010	13:10	8,73	19,0	38	19,34	1027	9,26
12-5-2010	14:00	5,75	19,2	58	19,49	1418	9,26
17-5-2010	14:00	6,32	19,2	63	65,42	1745	9,26
20-5-2010	11:00	8,25	18,8	66	39,08	1857	9,26
26-5-2010	9:30	8,11	20,8	72	15,40	1949	8,9
3-6-2010	15:00	8,49	21,0	80	5,77	1996	8,9
7-6-2010	9:30	5,62	21,8	84	97,08	2362	8,72

10 ml Glucose (verd) toegevoegd

10 ml Glucose (verd) toegevoegd + 1 ml cis-DCE verdunning toegevoegd (12-5-10)

1 ml cis-DCE oplossing + 10 ml substraatoplossing + nutriënten toevoegen



AFBRAAKPROEF

BIOSOIL R&D PROJECTNR: 80525
MONSTERCODE Benzylalcohol

BEGIN DATUM 15-3-2010
BEGIN TIJD 17:00

CODERING		Benzylalcohol	
VOLUME FLES (ml):		1150	
LUCHTVOLUME (ml):		898,3	
WATER TOEGEVOEGD (ml)		251,7	
WATER TOTAAL (ml)		251,7	

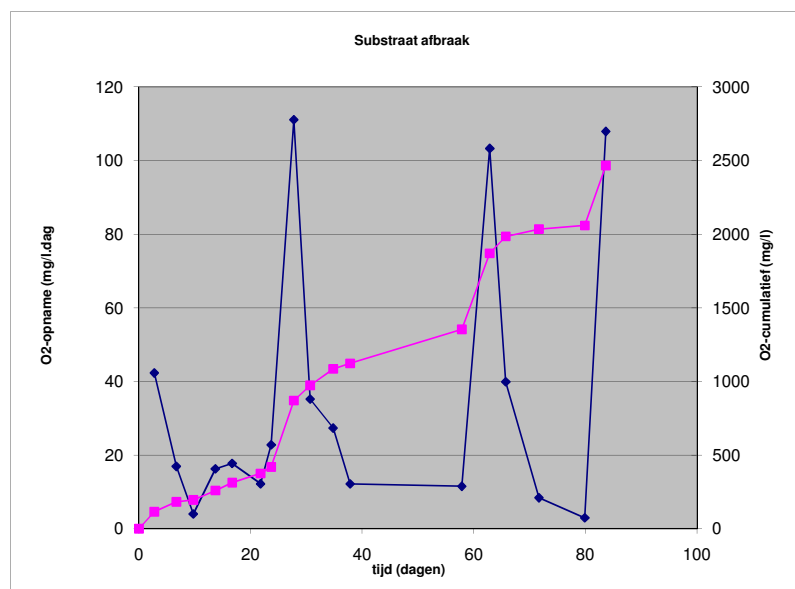
WAARNEMINGEN ZUURSTOFMETINGEN

DATUM	TIJD	O2-Gehalte (mg/l)	Temp	Duur dagen	O2-opname (mg/l.dag)	O2-opname (mg/l)	Opl O2 DO2 (mg/l)
		12c	C		12c	12c cumulatief	
15-3-2010	17:00			0		0	
18-3-2010	10:48	8,03	19,9	3	42,32	116	9,07
22-3-2010	9:30	9,20	15,8	7	16,94	183	9,85
25-3-2010	10:30	8,96	19,6	10	4,03	195	9,07
29-3-2010	9:30	8,67	19,1	14	16,29	260	9,26
1-4-2010	10:00	8,95	17,6	17	17,73	313	9,45
6-4-2010	12:00	8,87	17,6	22	12,22	375	9,45
8-4-2010	10:00	8,86	19,1	24	22,81	419	9,26
12-4-2010	11:30	5,13	18,7	28	111,12	870	9,26
15-4-2010	9:30	8,32	18,8	31	35,23	973	9,26
19-4-2010	12:00	8,58	16,7	35	27,35	1085	9,65
22-4-2010	13:15	8,92	19,0	38	12,18	1123	9,26
12-5-2010	14:00	7,00	19,6	58	11,53	1354	9,07
17-5-2010	14:00	4,44	19,6	63	103,31	1870	9,07
20-5-2010	11:00	8,21	18,9	66	39,92	1985	9,26
26-5-2010	9:30	8,46	20,8	72	8,42	2035	8,9
3-6-2010	15:00	8,51	21,6	80	2,96	2059	8,72
7-6-2010	9:30	5,32	20,6	84	107,93	2466	8,9

10 ml Benzylalcohol (verd) toegevoegd

10 ml Benzylalcohol (verd) toegevoegd + 1 ml cis-DCE oplossing (12-5-10)

1 ml cis-DCE oplossing + 10 ml substraatoplossing + nutriënten toevoegen



Bijlage 4

Overzicht toevoegingen aan batchreactoren

Batchproef				15-mrt	1-apr	1-apr	8-apr	12-mei	3-jun	Totaal		15-mrt	12-mei	3-jun	Totaal			
Code	Substraat	Volume	Kraanwater	Substraat	Substraat	Substraat	Substraat	Substraat	Substraat	Substraat		cis-DCE	cis-DCE	cis-DCE	cis-DCE	Nutriënten	Nutriënten	pH-bufteroplossing
		reactorvat	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd		toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd	toegevoegd
		(ml)	(ml)	(ml verd)	(ml verd)	(µl)	(ml verd)	(ml verd)	(ml verd)			(ml verd)	(ml verd)	(ml verd)	(µl)	mg P	mg N	(ml)
1a	Benzylalcohol	1150	251,7	2			10	10	10	150,69	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
1b	Benzylalcohol	1150	247,7	2			10	10	10	150,69	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
1c	Benzylalcohol	1150	250,0	2			10	10	10	150,69	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
2a	Glucose	1150	248,2	2			10	10	10	150,69	mg	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
2b	Glucose	1150	251,8	2			10	10	10	150,69	mg	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
2c	Glucose	1150	249,6	2			10	10	10	150,69	mg	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
3a	Tolueen	1150	250,9	20		10		2		20,01	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
3b	Tolueen	1150	250,7	20		10		2		20,01	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5
3c	Tolueen	1150	251,5	20		10		2		20,01	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5
4a	Percol	1150	251,3	2	10			10	10	709,78	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
4b	Percol	1150	251,9	2	10			10	10	709,78	µl	1	1	1	2,93	9,8	44,45	5
4c	Percol	1150	253,0	2	10				10	487,97	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5
5a	o-Cresol	1150	248,9	2			10	10		101,08	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5
5b	o-Cresol	1150	250,7	2			10	10		101,08	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5
5c	o-Cresol	1150	250,6	2			10	10		101,08	µl	1	1		1,95	9,8	44,45	5

Oplossingen	ml/l
cis-DCE	0,98
Benzylalcohol	4,71
Glucose	11,61
Tolueen	0,46
Percol	22,18
o-Cresol	4,59

Bijlage 5

Overzicht analyseresultaten batchproeven

Overzicht analyseresultaten batchproef

Substraat	Fles	Monstercode	Datum	Dag	cDCE toegevoegd (µg/l) in totaal	cDCE (µg/l)	rendement (%)
Benzylalcohol	1b	80525.1b	22-apr-10	38	5.000	9,1	99,8
			3-jun-10	80	10.000	2,5	100,0
	1c	80525.1c	8-apr-10	24	5.000	440,0	91,2
			3-jun-10	80	10.000	300,0	97,0
Glucose	2b	80525.2b	3-jun-10	80	10.000	3.600,0	64,0
	2c	80525.2c	8-apr-10	24	5.000	5,3	99,9
			22-apr-10	38	5.000	1,5	100,0
			3-jun-10	80	10.000	6,5	99,9
Tolueen	3b	80525.3b	22-apr-10	38	5.000	11,0	99,8
	3c	80525.3c	8-apr-10	24	5.000	1,4	100,0
Percol	4b	80525.4b	22-apr-10	38	5.000	1.700,0	66,0
			22-apr-10	38	5.000	1.600,0	68,0
			21-mei-10	67	10.000	3.400,0	66,0
	4c	80525.4c	8-apr-10	24	5.000	1,3	100,0
			21-mei-10	67	10.000	1.300,0	87,0
o-Cresol	5b	80525.5b	22-apr-10	38	5.000	38,0	99,2
	5c	80525.5c	8-apr-10	24	5.000	1.600,0	68,0
Blanco		80525.Blanco.A	22-apr-10	38	5.000	2.800,0	44,0

Bijlage 6

Analysecertificaten batchproef

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analyscertificaat

Datum: 16-04-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010052298
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	08-04-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010052298
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	08-04-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	16-04-2010/09:38
Datum monstername	08-04-2010	Bijlage	A, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	1/1

Analyse	Eenheid	1	2	3	4	5
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen						
Q Dichloormethaan	µg/L	22	<0.10	10	9.5	11
Q Trichloormethaan	µg/L	8.5	<0.10	12	9.7	10
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Q Trichlooretheen	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Q Tetrachlooretheen	µg/L	1.7	<0.10	0.10	<0.10	<1.0
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	27	1.3	13	14	14
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	440	5.3	1.4	1.3	1600
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	1.9	<0.10	1.8	0.88	2.4
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	440	5.3	3.2	2.2	1600
Q CKW (som)	µg/L	500	6.6	38	36	1600
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10	<0.10	<1.0
Uitbesteed / Overig onderzoek						
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.1c
2	80525.2c
3	80525.3c
4	80525.4c
5	80525.5c

Analytico-nr.

5332110
5332111
5332112
5332113
5332114

Akkoord

Pr.coörd.

CE

Eurofins Analytico B.V.

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



TESTEN
RvA L010


Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010052298

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5332110				0900887278	80525.1c
5332110				0900887279	
5332111				0900887280	80525.2c
5332111				0900887281	
5332112				0900887282	80525.3c
5332112				0900887283	
5332113				0900887284	80525.4c
5332113				0900783944	
5332114				0900783945	80525.5c
5332114				0900783946	


Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010052298**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
VOCL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analyscertificaat

Datum: 04-05-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	22-04-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	23-04-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	04-05-2010/09:53
Datum monstername	22-04-2010	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	1/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4	5
Voluchtige organische chloorkoolwaterstoffen						
Q Dichloormethaan	µg/L	7.4	<1.0	8.0	110	9.9
Q Trichloormethaan	µg/L	11	<1.0	13	<100	11
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q Trichlooretheen	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	2800	<0.10
Q Tetrachlooretheen	µg/L	2.3	<1.0	4.6	<100	2.3
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	16	<1.0	17	<100	13
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	9.1	1.5	11	1700	1.0
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	1.0	<1.0	1.3	<100	0.99
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	10	<2.0	12	1700	2.0
Q CKW (som)	µg/L	47	<11 1)	55	4600	38
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0	<1.0 1)	<1.0	<100	<0.10
Uitbesteed / Overig onderzoek						
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.1b 22-04-2010
2	80525.2c 22-04-2010
3	80525.3b 22-04-2010
4	80525.4b 22-04-2010
5	80525.5b 22-04-2010

Analytico-nr.

5362693
5362694
5362695
5362696
5362697

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
 A: AP04 erkende verrichting
 S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info@analytico.com
 Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
 VAT/BTW No.
 NL 8043.14.883.B01
 KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
 RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
 het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
 en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	23-04-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	04-05-2010/09:53
Datum monstername	22-04-2010	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	2/2

Analyse	Eenheid	δ
---------	---------	---

Voluchtige organische chloorkoolwaterstoffen

Q Dichloormethaan	µg/L	<1.0
Q Trichloormethaan	µg/L	13
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0
Q Trichlooretheen	µg/L	<1.0
Q Tetrachlooretheen	µg/L	<1.0
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	32
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	2800
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	6.4
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	2800
Q CKW (som)	µg/L	2900
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0

Uitbesteed / Overig onderzoek

Overig onderzoek	Uitgevoerd
Overig onderzoek	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving
6 80525.Blanco A 22-04-2010

Analytico-nr.
5362698

Eurofins Analytico B.V.

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting
Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Akkoord
Pr.coörd.
CE

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

TESTEN
RvA L010

Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010061203

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5362693 1		0	0	0900783951	80525.1b 22-04-2010
5362693 2		0	0	0900783950	
5362694 1		0	0	0900736645	80525.2c 22-04-2010
5362694 2		0	0	0900783948	
5362695 1		0	0	0900783947	80525.3b 22-04-2010
5362695 2		0	0	0900736650	
5362696 1		0	0	0900736648	80525.4b 22-04-2010
5362696 2		0	0	0900736649	
5362697 1		0	0	0900736646	80525.5b 22-04-2010
5362697 2		0	0	0900736647	
5362698 1		0	0	0900736644	80525.Blanco A 22-04-2010
5362698 2		0	0	0900736643	

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (B) met opmerkingen behorende bij analysecertificaat 2010061203**

Pagina 1/1

Opmerking 1)

Rapportagegrens verhoogd door matrixstoring.

**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010061203**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E
V0CL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analysecertificaat

Datum: 04-05-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	22-04-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	23-04-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	04-05-2010/09:53
Datum monstername	22-04-2010	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	1/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4	5
Voluchtige organische chloorkoolwaterstoffen						
Q Dichloormethaan	µg/L	7.4	<1.0	8.0	110	9.9
Q Trichloormethaan	µg/L	11	<1.0	13	<100	11
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q Trichlooretheen	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	2800	<0.10
Q Tetrachlooretheen	µg/L	2.3	<1.0	4.6	<100	2.3
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	16	<1.0	17	<100	13
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<100	<0.10
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	9.1	1.5	11	1700	1.0
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	1.0	<1.0	1.3	<100	0.99
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	10	<2.0	12	1700	2.0
Q CKW (som)	µg/L	47	<11 1)	55	4600	38
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0	<1.0 1)	<1.0	<100	<0.10
Uitbesteed / Overig onderzoek						
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.1b 22-04-2010
2	80525.2c 22-04-2010
3	80525.3b 22-04-2010
4	80525.4b 22-04-2010
5	80525.5b 22-04-2010

Analytico-nr.

5362693
5362694
5362695
5362696
5362697

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
 A: AP04 erkende verrichting
 S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info@analytico.com
 Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
 VAT/BTW No.
 NL 8043.14.883.B01
 KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
 RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
 het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
 en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010061203
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	23-04-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	04-05-2010/09:53
Datum monstername	22-04-2010	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	2/2

Analyse	Eenheid	δ
---------	---------	---

Voluchtige organische chloorkoolwaterstoffen

Q Dichloormethaan	µg/L	<1.0
Q Trichloormethaan	µg/L	13
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0
Q Trichlooretheen	µg/L	<1.0
Q Tetrachlooretheen	µg/L	<1.0
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	32
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	2800
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	6.4
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	2800
Q CKW (som)	µg/L	2900
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0

Uitbesteed / Overig onderzoek

Overig onderzoek	Uitgevoerd
Overig onderzoek	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving
6 80525.Blanco A 22-04-2010

Analytico-nr.
5362698

Eurofins Analytico B.V.

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting
Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Akkoord
Pr.coörd.
CE

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

TESTEN
RvA L010

Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010061203

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5362693 1		0	0	0900783951	80525.1b 22-04-2010
5362693 2		0	0	0900783950	
5362694 1		0	0	0900736645	80525.2c 22-04-2010
5362694 2		0	0	0900783948	
5362695 1		0	0	0900783947	80525.3b 22-04-2010
5362695 2		0	0	0900736650	
5362696 1		0	0	0900736648	80525.4b 22-04-2010
5362696 2		0	0	0900736649	
5362697 1		0	0	0900736646	80525.5b 22-04-2010
5362697 2		0	0	0900736647	
5362698 1		0	0	0900736644	80525.Blanco A 22-04-2010
5362698 2		0	0	0900736643	

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (B) met opmerkingen behorende bij analysecertificaat 2010061203**

Pagina 1/1

Opmerking 1)

Rapportagegrens verhoogd door matrixstoring.

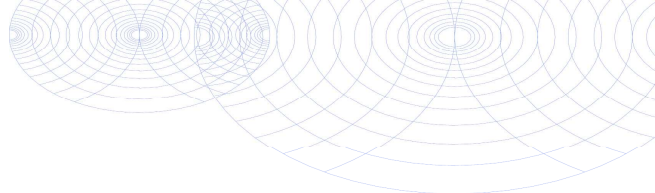
**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010061203**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E
V0CL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analyscertificaat

Datum: 02-06-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010077692
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	21-05-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010077692
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	26-05-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	02-06-2010/15:51
Datum monstername	21-05-2010	Bijlage	A, C
Monsternemer	Kees van Noord	Pagina	1/1

Analyse	Eenheid	1	2
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen			
Q Dichloormethaan	µg/L	<10	5.2
Q Trichloormethaan	µg/L	20	12
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<10	<1.0
Q Trichlooretheen	µg/L	<10	<1.0
Q Tetrachlooretheen	µg/L	<10	<1.0
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<10	<1.0
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	46	130
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<10	<1.0
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<10	<1.0
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	3400	1300
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	<10	1.8
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	3400	1300
Q CKW (som)	µg/L	3500	1400
Q Vinylchloride	µg/L	<10	<1.0
Uitbesteed / Overig onderzoek			
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.4b
2	80525.4c

Analytico-nr.

5418209
5418210

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Akkoord
Pr.coörd.
CE



TESTEN
RvA L010

Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010077692

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5418209 1		0	0	0900736630	80525.4b
5418209 2		0	0	0900736628	
5418210 1		0	0	0900736629	80525.4c
5418210 2		0	0	0900736627	

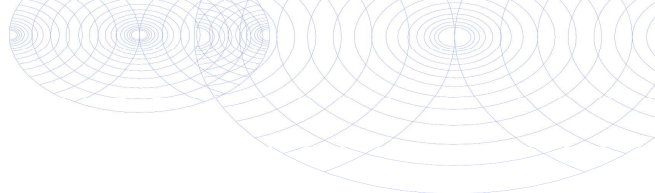
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010077692**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
VOCL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analysecertificaat

Datum: 10-06-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010084525
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	03-06-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010084525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	04-06-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	10-06-2010/14:00
Datum monstername	03-06-2010	Bijlage	A, C
Monsternemer	Kees van Noord	Pagina	1/1

Analyse	Eenheid	1	2	3	4
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen					
Q Dichloormethaan	µg/L	5.5	6.0	15	<0.10
Q Trichloormethaan	µg/L	18	13	21	0.49
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Q Trichlooretheen	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Q Tetrachlooretheen	µg/L	0.60	1.2	<10	<0.10
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	62	120	90	13
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	2.5	300	3600	65
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	0.36	1.1	<10	0.12
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	2.9	300	3600	65
Q CKW (som)	µg/L	89	430	3700	78
Q Vinylchloride	µg/L	<0.10	<1.0	<10	<0.10
Uitbesteed / Overig onderzoek					
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.1b 03-06-2010
2	80525.1c 03-06-2010
3	80525.2b 03-06-2010
4	80525.2c 03-06-2010

Analytico-nr.

5444585
5444586
5444587
5444588

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Akkoord
Pr.coörd.
CE


TESTEN
RvA L010

Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010084525

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5444585 1		0	0	0900736626	80525.1b 03-06-2010
5444586 1		0	0	0900736625	80525.1c 03-06-2010
5444587 1		0	0	0900736624	80525.2b 03-06-2010
5444588 1		0	0	0900736623	80525.2c 03-06-2010

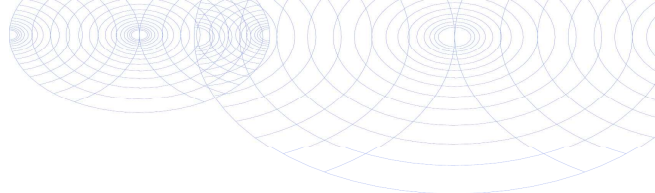
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010084525**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
VOCL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Bijlage 7

Rekensheet reactorproef

Rekensheet Reactorproef

Hoeveelheid substraat

Inhoud anaerobe reactor	0,89 ltr	
Inhoud aerobe reactor	0,89 ltr	
Verblijftijd totale reactor	8 uur	
Debiet	0,2225 ltr/uur	
Concentratie PCE	5000 µg/l	
Concentratie TCE	0 µg/l	
Berekende concentratie cis-DCE	2923,70 µg/l	Bij ingang 2e kolom
Concentratie cis-DCE	0 µg/l	Bij ingang 2e kolom
Concentratie VC	0 µg/l	Bij ingang 2e kolom

PCE	1112,5 µg/u	=	6,71 µmol/u
TCE	0 µg/u	=	0,00 µmol/u
cis-DCE	650,5239747 µg/u	=	6,71 µmol/u
VC	0 µg/u	=	0,00 µmol/u

Anaerobe reactor

factor PCE / CZV	5 mg CZV / mg PCE
factor TCE / CZV	1 mg CZV / mg TCE

Toevoeging CZV	5562,5 µg CZV / u	25000 µg CZV / ltr medium
Toevoeging Percol	9,97 µl / u	44,80 µl / ltr medium

Aerobe reactor

factor VOCL / Glucose (mol/mol)	10
Factor Zuurstofbehoefte / Zuurstoftoevoeging	1
H ₂ O ₂ oplossing	350 ml/l H ₂ O

Substraat

(hoeveelheden zijn gebaseerd op de hoeveelheid elektronen die worden overgedragen tijdens oxidatie)

					Factor VOCL/substraat
o-Cresol	47,36 µmol/u	=	5,12 mg/u	=	4,78 µl/u
Benzylalcohol	47,36 µmol/u	=	5,12 mg/u	=	4,90 µl/u
Glucose	67,10 µmol/u	=	12,09 mg/u	=	7,85 µl/u
Tolueen	44,73 µmol/u	=	4,12 mg/u	=	4,74 µl/u
Percol®			28,86 mg/u	=	23,09 µl/u

Zuurstofbehoefte bij volledige omzetting

cis-DCE	0,43 mg O2/u	=	1,57 ml lucht/u	=	0,91 mg H ₂ O ₂ /l	=	0,63 µl H ₂ O ₂ /u
VC	0,00 mg O2/u	=	0,00 ml lucht/u	=	0,00 mg H ₂ O ₂ /l	=	0,00 µl H ₂ O ₂ /u
Substraat	12,88 mg O2/u	=	46,97 ml lucht/u	=	27,39 mg H ₂ O ₂ /l	=	18,89 µl H ₂ O ₂ /u

¹ Uitgegaan van 21 % VOL zuurstof in lucht

² Uitgegaan van een dichtheid van 1,293 kg/m³

Totale zuurstofbehoefte per liter medium	58,33 mg O2	=	277,75 mg lucht	=	214,81 l lucht	=	124,01 mg H ₂ O ₂	=	244,35 µl H ₂ O ₂ oplossing
Te doseren hoeveelheid H ₂ O ₂	244,35 µl H ₂ O ₂ oplossing								

Totale zuurstofbehoefte per uur	13,31 mg O2/u	=	63,39 mg lucht/l	=	49,02 l lucht/u	=	28,30 mg H ₂ O ₂ /	=	55,77 µl H ₂ O ₂ oplossing/u
Te doseren hoeveelheid H ₂ O ₂	55,77 µl H ₂ O ₂ oplossing/u								

Nutrientbehoefte

Ratio	C	100
	N	6
	P	2

Substraat	C (mg/u)	P (mg/u)	N (mg/u)
o-Cresol	3,98	0,08	0,24
Benzylalcohol	3,98	0,08	0,24
Glucose	4,84	0,10	0,29
Tolueen	3,76	0,08	0,23
Percol®	4,84	0,10	0,29

* Hoeveelheid koolstof in Percol wordt aangenomen gelijk te zijn met de hoeveelheid koolstof in glucose

Nutrientbehoefte in MAP en NH₄NO₃

Fenol	MAP	288,71	µg/u		
	NH ₄ NO ₃	648,02	µg/u	Ureum	473,723 µg/u
Benzylalcohol	MAP	288,71	µg/u		
	NH ₄ NO ₃	648,02	µg/u	Ureum	473,723 µg/u
Glucose	MAP	350,58	µg/u		
	NH ₄ NO ₃	786,88	µg/u	Ureum	575,235 µg/u
Tolueen	MAP	272,67	µg/u		
	NH ₄ NO ₃	644,74	µg/u	Ureum	447,405 µg/u
Percol®	MAP	350,58	µg/u		
	NH ₄ NO ₃	786,88	µg/u	Ureum	575,235 µg/u

Stof	Molmassa (g/mol)	Dichtheid (g/ml)	Oxidatie	Elektronenoverdracht			
PCE	165,8	1,622					
TCE	131,38834	1,46					
cis-DCE	96,95	1,28	C ₂ H ₂ Cl ₂ + 2 O ₂ = 2 CO ₂ + 2 H ⁺ + 2 Cl ⁻	8			
VC	62,498	0,911	2 C ₂ H ₃ Cl + 5 O ₂ = 4 CO ₂ + 2H ⁺ + 2 Cl ⁻ + H ₂ O	10			
O ₂	31,998	1,43E-03					
C							
H ₂ O ₂	34,01468	1,45					
Lucht	28,97	1,29E-03					
C	12,011	2620					
Substraat	Molmassa (g/mol)	Dichtheid (g/ml)	Oxidatie	Elektronenoverdracht	mmol e ⁻ / g substraat	CZV (g/l)	Oplosbaarheid (g/l)
o-Cresol	108,14	1,071	2 C ₆ H ₄ CH ₃ OH + 17 O ₂ = 14 CO ₂ + 8 H ₂ O	34	314,41		40
Benzylalcohol	108,14	1,045	2 C ₆ H ₅ CH ₂ OH + 17 O ₂ = 14 CO ₂ + 8 H ₂ O	34	314,41		40
Glucose	180,15588	1,54	C ₆ H ₁₂ O ₆ + 6 O ₂ = 6 CO ₂ + 6 H ₂ O	24	133,22		470
Tolueen	92,14	0,87	C ₇ H ₈ + 9 O ₂ = 7 CO ₂ + 4 H ₂ O	36	390,71		0,5
Percol®		1,25			55,80	558,00	goed

Zuurstofbehoefte bij volledige omzetting

Fenol	12,88 mg O2
Benzylalcohol	12,88 mg O2
Glucose	12,88 mg O2
Tolueen	12,88 mg O2
Percol	12,88 mg O2

Uitvoering reactorproef

Toevoeging	Te gebruiken oplossing
Medium	0,22 l/u
PER	685,88 nl/u
H ₂ O ₂ oplossing	55,77 µl/u
Percol anaeroob	9,97 µl/u
Benzylalcohol	4,90 µl/u
	1000,00 ml/l H ₂ O
	39,83 ml/l H ₂ O
	7,12 ml/l H ₂ O
	3,50 ml/l H ₂ O

Flowsnelheid Pomp 1 Slang	13,5 ml/u
Flowsnelheid Pomp 2 Slang	1,4 ml/u
Flowsnelheid Pomp 3 Spuit	0,68588 µl/u

Bijlage 8

Analyseresultaat bepaling elektronenacceptoren in grondwater voor reactorproef

ANALYSERESULTATEN NUTRIËNTENBEPALING

bioSoil

Projectnaam: Afstudeerwerk Zuiveringen Spoed

Ja
Nee

Projectnummer: 80525

Monsterdatum: 17-5-2010

Aanvraagdatum:

Projectleider: Kees van Noord / John Dijk

Nr	Monsteromschrijving	Type monster	Analyse					SO ₄ (mg/l)	pH
			N-NO ₃ (mg/l)	Fe (II) (mg/l)	Fe tot (mg/l)	CZV (mg/l)			
1	Grondwater Kees		<0,5 (0,4)	<1,0 (0,1)	<1,0 (0,7)			<5 (2)	7,28
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

Overige analyse

grondwater diepwell Biosoil

H. J. ambacht

Datum uitgevoerd

Accoord R&D BV

Geboekte uren

Bijlage 9

Analysecertificaten reactorproef

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analysecertificaat

Datum: 02-07-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010093613
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	17-06-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010093613
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	18-06-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	02-07-2010/12:11
Datum monstername	17-06-2010	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Kees van Noord	Pagina	1/1

Analyse	Eenheid	1	2
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen			
Q Dichloormethaan	µg/L	<100	<100
Q Trichloormethaan	µg/L	<100	<100
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<100	<100
Q Trichlooretheen	µg/L	<100	<100
Q Tetrachlooretheen	µg/L	<100	<100
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<100	<100
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	<100	<100
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<100	<100
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<100	<100
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	<100	<100
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	<100	<100
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	<200	<200
Q CKW (som)	µg/L	<1100 ¹⁾	<1100 ¹⁾
Q Vinylchloride	µg/L	<100 ¹⁾	<100 ¹⁾

Uitbesteed / Overig onderzoek

Overig onderzoek Uitgevoerd Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving

- 1 influent kolom 1
- 2 effluent kolom 2

Analytico-nr.

5474888
5474889

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Akkoord
Pr.coörd.
CE



TESTEN
RvA L010



Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010093613

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster	Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5474888	1	influent kolo	0	0	0900736619	influent kolom 1
5474888	2	influent kolo	0	0	0900736620	
5474889	1	effluent kol	0	0	0900736622	effluent kolom 2
5474889	2	effluent kol	0	0	0900736621	



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (B) met opmerkingen behorende bij analysecertificaat 2010093613**

Pagina 1/1

Opmerking 1)

Rapportagegrens verhoogd door matrixstoring.

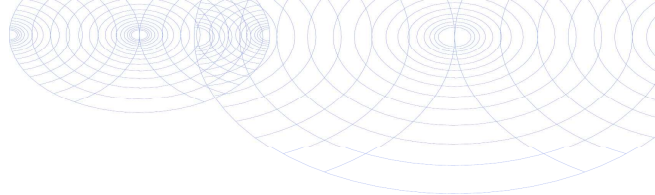
**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010093613**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
VOCL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analysecertificaat

Datum: 12-07-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010103355
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	05-07-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010103355
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	05-07-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	12-07-2010/16:18
Datum monstername	05-07-2010	Bijlage	A, C
Monsternemer	Gineke Klerk	Pagina	1/1

Analyse	Eenheid	1	2
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen			
Q Dichloormethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q Trichloormethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q Trichlooretheen	µg/L	12	1.9
Q Tetrachlooretheen	µg/L	270	6.5
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	20	22
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<0.10	<0.10
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	25	110
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	25	110
Q CKW (som)	µg/L	330	140
Q Vinylchloride	µg/L	<0.10	1.9
Uitbesteed / Overig onderzoek			
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd

Nr. Monsteromschrijving	
1 80525.kolom 1 influent	
2 80525.kolom 1 effluent	

Analytico-nr.	
5507666	
5507667	

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

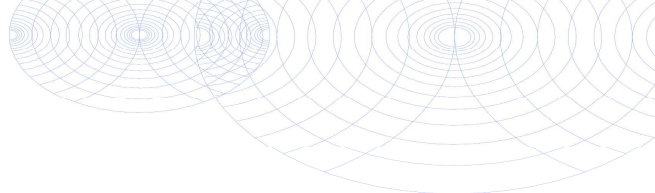
ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting
Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Akkoord
Pr.coörd.
CE




Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010103355

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5507666 1		0	0	0900736618	80525.kolom 1 influent
5507666 2		0	0	0900736615	
5507667 1		0	0	0900736617	80525.kolom 1 effluent
5507667 2		0	0	0900736616	

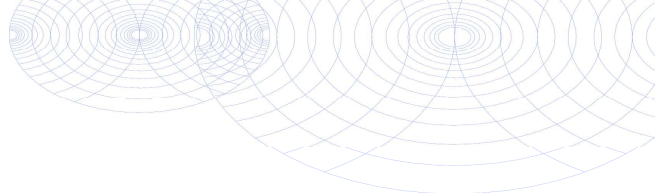

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010103355**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
VOCL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analyscertificaat

Datum: 29-07-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010113811
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	22-07-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010113811
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	22-07-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	29-07-2010/16:59
Datum monstername	22-07-2010	Bijlage	A, C, D
Monsternemer	Kees van Noord	Pagina	1/1
Monstermatrix	Water; Grondwater		

Analyse	Eenheid	1	2	3
Vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen				
Q Dichloormethaan	µg/L	<1.0	12	<0.10
Q Trichloormethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10
Q Trichlooretheen	µg/L	7.0	<0.10	0.31
Q Tetrachlooretheen	µg/L	380	0.57	2.3
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	<1.0	10	9.1
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<1.0	<0.10	<0.10
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	18	0.26	21
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	<1.0	<0.10	0.20
Q 1,2-Dichloorethenen (som)	µg/L	18	0.26	21
Q CKW (som)	µg/L	410	23	33
Q Vinylchloride	µg/L	<1.0	0.83	11

Nr. Monsteromschrijving

1	80525.inf kolom 1
2	80525.inf kolom 2
3	80525.eff kolom 2

Analytico-nr.

5541514
5541515
5541516

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Akkoord
Pr.coörd.
JD



TESTEN
RvA L010

Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010113811

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5541514 1		0	0	0900910840	80525.inf kolom 1
5541514 2		0	0	0900910841	
5541515 1		0	0	0900910842	80525.inf kolom 2
5541515 2		0	0	0900910843	
5541516 1		0	0	0900910845	80525.eff kolom 2
5541516 2		0	0	0900910844	

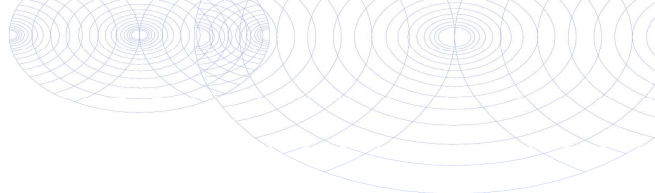
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010113811**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
CKW : Vinylchloride	W0254	HS-GC-MS	Eigen methode en CMA3/E
V0CL (11)	W0254	HS-GC-MS	Cf. NEN-EN-ISO 10301 en CMA 3/E

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



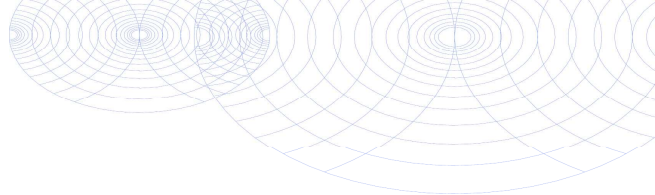
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (D) opmerkingen aangaande de monstername en conserveringstermijn 2010113811**

Pagina 1/1

Er zijn verschillen met de richtlijnen geconstateerd die de betrouwbaarheid van de resultaten van onderstaande monsters of analyses mogelijk hebben beïnvloed.

Betreft vluchtige verbindingen, niet geconserveerd aangeleverd.

Analytico-nr.**5541514****Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

BioSoil R en D BV
T.a.v. John Dijk
Nijverheidsweg 27
3341 LJ HENDRIK IDO AMBACHT

Analyscertificaat

Datum: 24-08-2010

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2010128813
Uw projectnummer	80525
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen
Uw ordernummer	
Monster(s) ontvangen	20-08-2010

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Analysecertificaat

Uw projectnummer	80525	Certificaatnummer	2010128813
Uw projectnaam	Afstudeervak Zuiveringen	Startdatum	20-08-2010
Uw ordernummer		Rapportagedatum	24-08-2010/16:55
Datum monstername	20-08-2010	Bijlage	A, C
Monsternemer	Kees van Noord	Pagina	1/1
Monstermatrix	Water; Grondwater		

Analyse	Eenheid	1	2	3
Uitbesteed / Overig onderzoek				
Overig onderzoek		Uitgevoerd	Uitgevoerd	Uitgevoerd
Gehalogeneerde Koolwaterstoffen				
Q Trichloormethaan	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20
Q Tetrachloormethaan	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/L	1.2	1.0	1.2
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20
Q Trichloorethanen (som)	µg/L	<0.40	<0.40	<0.40
Q Trichlooretheen	µg/L	5.7	0.43	<0.20
Q Tetrachlooretheen	µg/L	32	1.0	0.37
Q Dichloormethaan	µg/L	<0.50	<0.50	<0.50
Q Vinylchloride	µg/L	0.60	8.5	<0.20
Q trans 1,2-Dichlooretheen	µg/L	0.32	0.25	<0.20
Q cis 1,2-Dichlooretheen	µg/L	130	14	2.7
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20

Nr. Monsteromschrijving

- 1 Influent 1
- 2 Effluent 1
- 3 Effluent 2

Analytico-nr.

- 5591278
- 5591279
- 5591280

Eurofins Analytico B.V.

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting
A: AP04 erkende verrichting
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Akkoord
Pr.coörd.
CE

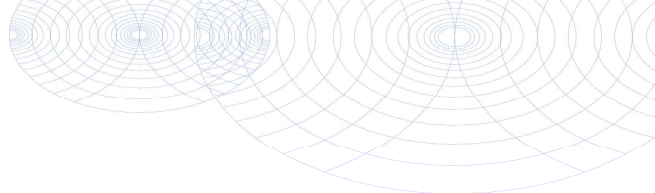
Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's
RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD)
en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

TESTEN
RvA L010



Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2010128813

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
5591278 1		0	0	0900910864	Influent 1
5591278 2		0	0	0900910863	
5591279 1		0	0	0900910866	Effluent 1
5591279 2		0	0	0900910865	
5591280 1		0	0	0900910868	Effluent 2
5591280 2		0	0	0900910867	



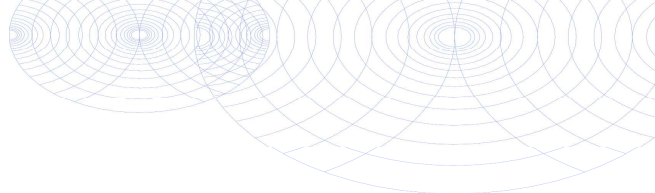
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2010128813**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
Vluchtige gehalogeneerde KWS	W6336	GC-MS	Eigen methode

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie juli 2009.



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info@analytico.com
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456
VAT/BTW No.
NL 8043.14.883.B01
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2008 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

Bijlage 10

Plan van Aanpak

Plan van Aanpak

Afstudeeropdracht Biologische Grondwaterzuiveringsystemen

In opdracht van: Hogeschool Utrecht

Student:

Naam: Kees van Noord
Adres: Balensteeg 6
Postcode: 4201 XC
Woonplaats: Gorinchem
e-mail werk: k.vannoord@biosoil.com
e-mail privé: kees_noord@hotmail.com
Student-ID: 1534786

Bedrijf:

Naam: BioSoil B.V.
Adres: Nijverheidsweg 27
Postcode: 3341 LJ
Gevestigd: Hendrik-Ido-Ambacht
Telefoon: 078-6820140
Bedrijfsbegeleider: dr. J. Dijk
Functie: teamleider BioSoil R&D B.V.
e-mail: j.dijk@biosoil.com

Afstudeerbegeleiders HU:

Naam: Annemiek van der Meijden
Naam: Ron Heusdens

Probleemstelling

BioSoil B.V. is een allround bodemsaneringsbedrijf, maar heeft zich in het bijzonder gespecialiseerd in bodemsaneringen op basis van een biologische afbraak. Bij deze biologische bodemsaneringen speelt het behandelen van vrijkomend verontreinigd grondwater een grote rol. Momenteel is er weinig inzicht in de werking en het rendement van de reeds in gebruik zijnde aerobe zuiveringsystemen. Voor biologische zuivering van grondwater verontreinigd met VOCL is momenteel geen efficiënt biologisch zuiveringsstelsel voor handen.

Doelstelling

Door middel van een inventarisatie van gebruikte en in gebruik zijnde aerobe biologische grondwater zuiveringssystemen kan de efficiëntie van deze systemen in kaart worden gebracht. Er wordt specifiek gekeken naar de omstandigheden (beluchting e.d.) en de dimensionering (verblijftijd) van de zuiveringsystemen, zodat deze kunnen worden vergeleken met het rendement van deze systemen. Hieruit kunnen conclusies worden getrokken of reactoren onder specifieke omstandigheden optimaal functioneerden.

Voor de biologische zuivering van grondwater verontreinigd met VOCL is op dit moment geen efficiënt zuiveringsstelsel voor handen. VOCL zijn gechlloreerde koolwaterstoffen waarvan met name de gechlloreerde ethenen een groot deel van de bodemproblemen vormen. De drie- en vierwaardig gechlloreerde ethenen (respectievelijk TCE en PCE) zijn in het verleden veelvuldig toegepast in de industrie en zijn derhalve ook in het milieu terecht gekomen. Bij de anaerobe biologische afbraak van deze gechlloreerde ethenen wordt in elke stap een chlooratoom vervangen door een waterstof atoom. De eerste twee stappen, van PCE naar TCE en van TCE van cis-DCE, verlopen relatief snel onder anaerobe omstandigheden echter de laatste twee stappen, van cis-DCE naar VC en van VC naar ETH, verlopen langzaam onder anaerobe omstandigheden. Bij in-situ saneringen is dit doorgaans geen probleem, echter voor een zuivering zou zich dit vertalen in enorme zuiveringen. Uit onderzoek is gebleken dat een verblijftijd van 72 vereist is voor de volledige afbraak van PER naar etheen. Een mogelijk alternatief is om de laatste 2 stappen (van CIS via VC naar etheen) onder aerobe condities uit te voeren. Door middel van cometafole aerobe afbraak kan de totale verblijftijd theoretisch significant gereduceerd worden. Voor het eerste anaerobe deel van de grondwaterzuiveringsinstallatie voor het afbreken van gechlloreerde ethenen is het reeds mogelijk efficiënte systemen te bouwen, echter voor het aerobe deel is nog geen getoetst systeem voor handen. Onderzoek hiernaar kan leiden tot een ontwerp van een efficiënt zuiveringsdeel waarbij bioreactoren van een praktisch formaat voor de totale aanpak gebruikt kan worden. De efficiëntie hiervan moet blijken uit laboratoriumonderzoek en veldproeven.

Uit het bovenstaande vloeit een advies aan BioSoil B.V. hoe eventueel de efficiëntie van de zuiveringsystemen kan worden verbeterd.

Operationele onderzoeksvragen

1. Welke zuiveringsystemen voor aerobe grondwaterzuivering zijn in gebruik (geweest) door BioSoil B.V.
2. Onder welke omstandigheden zijn deze waterzuiveringsystemen in gebruik (geweest). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in het soort verontreiniging, concentratie van de verontreinigingen en debieten (vracht).
3. Voldoen de huidige zuiveringen qua beluchting, nutriëntdosering en verblijftijd aan de theoretische berekende getallen, op basis van ingaande concentraties.
4. Welke rendementen worden met de onderzochte zuiveringsystemen behaald, en in hoeverre is dit afhankelijk van de omstandigheden genoemd in de 2^e en 3^e onderzoeksvraag.
5. Welk substraat is procestechnisch het meest geschikt voor de aerobe zuivering van CIS/VC op basis van literatuur onderzoek, rekening gehouden dient te worden met kosten, beschikbaarheid en verwerkbaarheid
6. Voldoet het geselecteerde substraat wat betreft zuiveringsrendement (labproeven) .
7. Kan een biologische zuivering voor grondwater verontreinigd met VOCL een alternatief bieden voor de nu toegepaste fysische/chemische technieken.

Beschrijving projectactiviteiten

Binnen BioSoil B.V. wordt een inventarisatie gemaakt van alle aerobe biologische grondwaterzuiveringsystemen die in gebruik zijn (geweest). De zuiveringsystemen worden uitgesplitst aan de hand van de verschillende verontreinigingstypen. Verder zal er onderzoek worden gedaan naar de specificaties van de grondwaterzuiveringsystemen. De specificaties die relevant zijn voor het onderzoek zijn de inhoud van de reactoren en de hoeveelheid lucht en nutriënten die worden toegevoegd. Op basis van influent en effluent concentraties van de zuiveringsystemen die normaal gezien regelmatig worden bemonsterd, kan het rendement van de zuiveringsystemen worden bepaald.

Door analyse van de verkregen gegevens kunnen conclusies getrokken worden uit de werking van de zuiveringsystemen, zoals de efficiëntie van de beluchting, nutriëntdosering en verblijftijd. De gegevens zullen in een vergelijkings tabel worden geplaatst zodat er eenvoudig een vergelijking kan worden gemaakt tussen zuiveringen die optimaal werken en zuiveringen die onvoldoende rendement hebben/hadden. Uit deze vergelijking kan mogelijk een conclusie worden getrokken wat de oorzaken van slecht werkende zuiveringen kan zijn (geweest).

Via een literatuurstudie wordt gezocht naar een geschikt substraat voor de aerobe cometafole afbraak van cis-DCE en VC. Het substraat dient hierbij als groeisubstraat voor microorganismen, waardoor er een constante aanmaak van biomassa (slib) is, waardoor cis-DCE en/of VC snel cometafool kunnen worden afgebroken. Selectie van het groeisubstraat wordt gemaakt op basis van biologische efficiëntie, kosten, beschikbaarheid en milieubelasting. De toepasbaarheid van dit substraat zal door middel van laboratoriumonderzoek worden onderzocht. Bij dit onderzoek wordt gekeken of met behulp van het geselecteerde substraat de omstandigheden voor de aerobe afbraak van cis-DCE en VC dusdanig kunnen worden gecreëerd dat de afbraak volledig (tot aan CO₂ kan verlopen).

Wanneer het substraat geschikt is bevonden, kan door middel van een pilot-proef in het veld de praktische toepasbaarheid worden onderzocht. Voor deze pilot-proef zal een geschikte locatie worden gezocht waar reeds een bodemsanering van gechloreerde ethenen in uitvoering is. Om te voorzien in voldoende hoge concentraties cis-DCE en VC is het denkbaar dat het anaerobe deel van de biologische zuivering ingezet gaat worden in deze proef. Dit deel van de grondwaterzuivering zal echter in het onderzoek geheel buiten beschouwing worden gelaten.

Uit de resultaten van de pilot-proef kunnen conclusies worden getrokken aangaande de praktische toepasbaarheid van dit type grondwaterzuivering. Tevens wordt onderzocht of de theoretische berekende en de op het lab bepaalde substraatconcentraties voldoende blijken in de praktijk. Dit zelfde geldt voor de verblijftijd.

Na het onderzoek naar de biologische zuivering van met VOCL verontreinigd grondwater kan een vergelijking worden gemaakt met de nu in gebruik zijnde fysisch/chemische technieken. In deze vergelijking kunnen aspecten worden meegenomen als hydraulische verblijftijd, energieverbruik, formaat van installatie en geluidhinder.

Persoonlijke leerdoelen

- Kennis vergroten van technische mogelijkheden van grondwaterzuivering
- Kennis vergroten van biologische processen in grondwaterzuivering
- Afwegingen leren maken tussen technische en financiële efficiëntie van zuiveringssystemen

Conceptinhoudsopgave

- Samenvatting
- Summary
- Definities van relevante begrippen en afkortingen
- Inleiding
 - Achtergrond grondwaterzuivering
 - Principe aerobe zuivering
 - Metabool/co-metabole aeroob afbraakproces
 - Beschrijving verontreinigingstypen en relevante eigenschappen
 - Doelstelling onderzoek
- Materiaal/methoden
 - Berekeningen gebruikte en in gebruik zijnde aerobe zuivering
 - Nutriëntdosering op basis van ingaande verontreinigingconcentraties
 - Lucht dosering op basis van ingaande verontreinigingconcentraties
 - Verblijftijd berekenen aan de hand van debiet en inhoud reactor
 - Literatuurstudie
 - Berekeningen cis-DCE / VC reactor
 - Theoretische substraatconcentratie
 - Theoretische verblijftijd
 - Theoretische lucht en nutriënten dosering
- Resultaten

- Overzicht gebruikte zuiveringen met gevonden getallen en berekeningen in vergelijkingstabel
- Karakterisatie goed en slecht werkende zuiveringen op basis van inventarisatie
- Substraatkeuze voor co-metabole afbraak cis-DCE/VC
- Resultaten laboratoriumproef gekozen substraat
- Resultaten pilot-proef
- Conclusies en aanbevelingen
 - Efficiëntie gebruikte en in gebruik zijnde grondwaterzuiveringsinstallaties
 - Verklaring goed slechte werking van installatie
 - Toepasbaarheid co-metabole afbraak VOCL in waterzuivering
 - Aanbevelingen
- Bronvermelding
- Bijlagen

Planning

Week	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Taak:																	
Literatuurstudie biologische zuiveringsprincipes VOCL																	
Literatuurstudie geschikt substraat zuivering VOCL																	
Proefopstelling laboratorium biologische zuivering VOCL																	
Selectie pilotlocatie																	
ontwerp + bouw zuivering voor pilotproef																	
Veldproef biologische zuivering VOCL																	
Inventarisatie bestaande zuiveringen																	
Verzamelen gegevens rendement bestaande zuiveringen																	
Literatuurstudie biologische zuiveringsprincipes OLIE																	
Berekeningen verzamelde gegevens																	
Omschrijven verbeteringen zuivering OLIE																	
Rapporteren bevindingen																	
Presenteren bevindingen																	

Overzicht benodigde bronnen

- Archief R&D
- Diverse BioSoil B.V. rapporten en archiefstukken
- Medewerkers BioSoil R&D B.V.
- Medewerkers BioSoil B.V.
- SKB / NOBIS
- Diverse wetenschappelijke artikelen

Definities en relevante begrippen

- VOCL vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen
 - PCE Tetrachlooretheen
 - TCE Trichlooretheen
 - (cis)-DCE (cis)-dichlooretheen
 - VC vinylchloride
- ETH Etheen
- BTEX Vluchtige aromatische koolwaterstoffen
(Benzeen, Tolueen, Ethylbenzeen, en Xyleen)
- SKB Stichting kennisontwikkeling kennisoverdracht bodem
- NOBIS Nederlands onderzoeksprogramma biotechnologische in-situ sanering

Afbakening onderzoek

Het onderzoek heeft betrekking op een aantal veel binnen BioSoil voorkomende verontreinigingen, in het onderzoek zullen enkel grondwaterzuiveringsinstallaties van BioSoil B.V. worden geïnterviewd. Er wordt onderscheid gemaakt in de biologische afbraak van minerale olie en BTEX en de afbraak van VOCL, dit omdat de beide biologische processen op een verschillende manier plaatsvinden.

De aerobe afbraak van VOCL tot aan ETH verloopt in een aantal stappen. De eerste twee stappen verlopen niet of nauwelijks onder aerobe omstandigheden. Deze stappen zullen daarom ook in dit onderzoek niet worden meegenomen. De laatste stappen in dit proces kunnen wel plaatsvinden onder aerobe omstandigheden. Tijdens de uitvoering van het laboratoriumonderzoek of de pilot-proef in het veld is het denkbaar dat tevens een anaerobe bioreactor zal worden toegepast om de eerste twee stappen van de afbraak van VOCL te bewerkstelligen, dit om de afbraakproducten cis-DCE en VC in hogere concentraties in het influentwater van de te onderzoeken reactor te krijgen. Gezien de kosten van cis-DCE is dit een meer te wensen oplossing dan het zelf toevoegen van de verontreiniging aan het grondwater.

Beroepsgerichte vakgebieden

In dit onderzoek staan een aantal beroepsgericht vakgebieden centraal, waaronder voornamelijk vakgebieden als afvalwaterzuivering en bodemsanering.