

Code van goede praktijk 4

Gestimuleerde afbraak van VOCL's in de bodem onder anaerobe condities

Leefmilieu Brussel

Inhoudstafel

1.	Inleiding	4
2.	Beschrijving van de techniek en de gebruikte technologische processen	5
2.1.	VOCL in de bodem en het grondwater	5
2.2.	Biologische afbraak van VOCL onder anaerobe condities	5
2.2.1.	Gechloreerde ethenen	6
2.2.2.	Gechloreerde Ethanen	8
2.2.3.	Gechloreerde methanen	8
2.3.	Methodes voor in-situ behandeling van VOCL in anaeroob milieu	8
2.3.1.	De verschillende types koolstofbronnen (elektronendonoren)	8
2.3.2.	Toedieningsmethodes voor koolstofbronnen (elektronendonoren)	9
3.	Beschrijving van de varianten.....	10
3.1.	Toediening koolstofbron met stroomafwaarts grondwater oppompen.....	10
3.2.	Maken van een stroomafwaartse behandelings-barrière door het plaatsen van een scherm van directe injectieputten.....	10
3.3.	Gebruik van tensioactieve stoffen	10
3.4.	Combinatie van gestimuleerde afbraak in anaeroob en aerob milieu.....	11
3.5.	Inoculatie van de bodem door bacteriestammen (bio-augmentatie)	11
4.	Doelstellingen: pluim versus kern.....	12
5.	Polluenten en de meest gunstige situaties (kwalitatieve evaluatie).....	13
6.	Technische haalbaarheidsvoorstudie	15
6.1	Keuze koolstofbron (elektrondonor) indien nodig	15
6.2	Limitatieve eigenschappen van de te behandelen bodem	15
6.2.1	Fysische bodemeigenschappen	15
6.2.2	Fysico-chemische eigenschappen van de bodem.....	16
6.2.3	Microbiële populaties en enzymatisch pallet aanwezig in de bodem	19
6.3	Limitatieve karakteristieken van de te saneren of te beheren site.....	20
7.	Specifiek haalbaarheidsonderzoek voor een behandeling	21
7.1.	Te meten bodem en site verontreinigingsparameters	21
7.2.	Noodzakelijke voorafgaandelijke laboratoriumproeven.....	25
7.3.	Noodzakelijkheid van een piloottest en minimale eigenschappen van de test.....	26
7.3.1.	Push-Pull methode	26
7.3.2.	Toevoeging in de bodem en observatie op kleine schaal	26
8.	Beschrijving van een type-installatie	28
8.1.	Actieve of passieve infiltratie	28
8.2.	Infiltratie (actief of passief) met grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie.....	28
8.3.	Directe injectie onder druk (direct push)	29
8.4.	Combinatie van gestimuleerde aerobe en anaerobe afbraak.....	29
8.5.	Conceptueel schema	29
9.	Beschrijving van de installatie die wordt geplaatst	30
10.	Beperking van de effecten van het project op het leefmilieu: geur, geluid , stof	31
10.1.	Aandachtspunten	31
10.2.	Gevaren en toxiciteit van het gebruikte additief	31
10.3.	Hinder voor de luchtkwaliteit (in geval van bodemluchtexttractie)	32
10.4.	Brand en explosierisico	32
10.5.	Risico op ongecontroleerde verspreiding van de verontreiniging en zijn afbraakproducten in de grondwaterlagen.....	32
10.6.	Geluidshinder	32
10.7.	Risico's voor nabijgelegen waterwinningen.....	33
10.8.	Overeenstemming met de bestaande wettelijke kaders.....	33

11.	Opvolgmaatregelen	34
11.1	Bewakingsmetingen : eenheidstype	34
11.1.1.	Passieve en actieve infiltratie en directe injectie	34
11.1.2.	Infiltratie (actief of passief) met stroomafwaartse grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie	34
11.1.3.	Combinatie van gestimuleerde afbraak aerobe en anaerobe condities met persluchtinjectie en bodemluchtexttractie	34
11.2.	Opvolgmaatregelen : op te volgen parameters en frequentie van opvolging	35
12.	Rapportage, optimalisatie en correctieve maatregelen.....	38
12.1	Rapportage.....	38
12.2	Correctieve maatregelen en optimalisatie.....	39
13.	Validatie methode en beslisschema voor stopzetting - voortzetting van de maatregel	41
14.	Mogelijke opvolgmaatregelen op lange termijn: installatie en type maatregelen.....	43
15.	Aanbevelingen op het vlak van gezondheid, veiligheid en organisatie	45
15.1	Korte checklist voor de aannemers	45
15.2	Korte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige	49
16.	Bibliografie	51

1. Inleiding

Deze actieve behandelingstechniek wordt 'gestimuleerde afbraak van VOCL in bodem en grondwater' genoemd.

VOCL is een verzamelnaam voor gechloreerde alifatische vluchtige koolwaterstoffen, zijnde:

- Gechloreerde ethenen : perchlooretheen (PCE), trichlooretheen (TCE), dichloorethenen (DCE isomeren cis, trans en 1,1) en vinylchloride (VC)
- Gechloreerde ethanen : trichlooretheen (TCA), dichloorethaan (DCA isomeren 1,1 en 1,2) en chloorethaan (CA)
- Gechloreerde methanen : tetrachloormethaan (TC of tetrachloorkoolstof), trichloormethaan (CF of chloroform), dichloormethaan (DCM) en chloormethaan (CM).

De techniek behelst het creëren van gunstige omgevingscondities die de biologische afbraak van VOCL in grond en grondwater toelaten. Deze techniek is efficiënt en snel onder anaerobe condities (voor de hoog gechloreerde solventen althans) en richt zich op het creëren van een sterk reductief milieu in de bodem. Het einddoel is de volledige afbraak van de VOCL met vorming van de onschadelijke en natuurlijk aanwezige eindproducten in de bodem: CO₂, CH₄, C₂H₂ en Cl. Ze kan toegepast worden in de mate dat de VOCL beschikbaar is voor biologische afbraak, zowel de verzadigde als onverzadigde zone van het bodemcomplex. In tegenstelling met de vaste, gasvormige of vrije fase is de biobeschikbaarheid het grootst in de opgeloste fase. De techniek wordt bij voorkeur in het grondwater toegepast. Meer bepaald om zowel bronzones met hoge gehalten als pluimzones met lagere verdunde gehalten aan te pakken.

Deze techniek is minder geschikt om VOCL in vrije fase (zinklagen of DNAPL) of VOCL opgesloten in het bodemcomplex aan te pakken omdat deze weinig beschikbaar is voor biodegradatie. Deze fasen dienen met andere technieken (ontgraving, bodemluchtextractie, ..) voorafgaandelijk verwijderd te worden. Zonder voorafgaandelijk verwijdering dient deze techniek langdurig toegepast te worden omwille van het continue naleveringsproces uit het aanwezige vrije product (zinklaag of DNAPL). Deze techniek maakt gebruik van biologische processen die complex zijn en de haalbaarheid van deze techniek verdient een bijzondere aandacht.

Opmerking

De ordonnantie van 5 maart 2009 met betrekking tot het beheer en de sanering van verontreinigde bodems en diens uitvoeringsbesluiten geven in verschillende artikels aan dat de codes van goede praktijk dienen nageleefd te worden. Wat de codes van goede praktijk met betrekking tot de sanering en het risicobeheer betreft, kan de erkende bodemverontreinigingsdeskundige in bepaalde gevallen mits een degelijk gefundeerde argumentatie, zoals bvb. op basis van een voorstel van de bodemsaneringsaannemer, afwijken van de bepalingen van de codes van goede praktijk. In dat geval behoudt Leefmilieu Brussel zich op elk moment het recht voor om bijkomende informatie of om bijkomend terreinwerk te vragen op basis van de bepalingen van de codes van goede praktijk, indien het noodzakelijk en pertinent wordt geacht.

We willen verduidelijken dat de code van goede praktijk van toepassing is voor alle werken die een behandeling door sanering of door risicobeheer omvatten, voor werken uitgevoerd in het kader van de minieme behandeling, voor werken van beperkte duur, follow-upmaatregelen en noodmaatregelen.

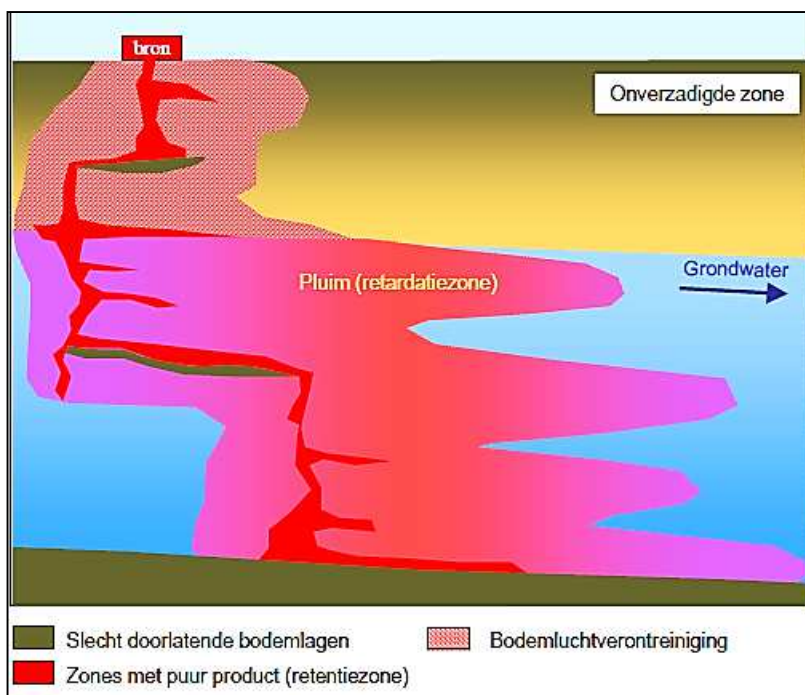
2. Beschrijving van de techniek en de gebruikte technologische processen

2.1. VOCL in de bodem en het grondwater

VOCL's in de bodem verspreiden zich over de verschillende bodemcompartimenten: de luchtfase (poriën), waterfase (poriën) en vaste fase (bodemmatrix). Uiteindelijk zal het product voorkomen (figuur 1):

- Als geadsorbeerde fractie aan de bodempartikels (minerale oppervlakken en organische stof) in de onverzadigde en/of verzadigde zone;
- In de gasfase in de onverzadigde zone;
- Als vrij (mobiel) puur product rond de grondwatertafel, als immobiel puur product, door capillaire krachten gevangen in bodemporiën (residueel product) in de onverzadigde of verzadigde zone, als zaklaag op een minder doorlaatbare lagen en lenzen;
- Opgelost in het grondwater of in het poriënwater.

Figuur 1 : Schematische voorstelling van de verschillende het voorkomen van de verschillende fasen van VOCL in bodem en grondwater (bron : Code van goede praktijk in situ anaerobe bioremediatie van VOCL's, OVAM 2007)



Bij het inschatten van de vuilvracht in de bodem dient men dus rekening te houden met de verschillende fasen die hierboven werden beschreven en dit zowel in de verzadigde als onverzadigde zone.

2.2. Biologische afbraak van VOCL onder anaerobe condities

Als algemene regel geldt dat VOCL's relatief stabiel zijn in de bodem. Nochtans kan onder anaerobe condities biodegradatie via halo-respiratie optreden waarin VOCL's als elektron acceptoren optreden. Verschillende soorten bacteriën zijn hiervoor verantwoordelijk: methanogene, sulfidogene en homoacetogene bacteriën.

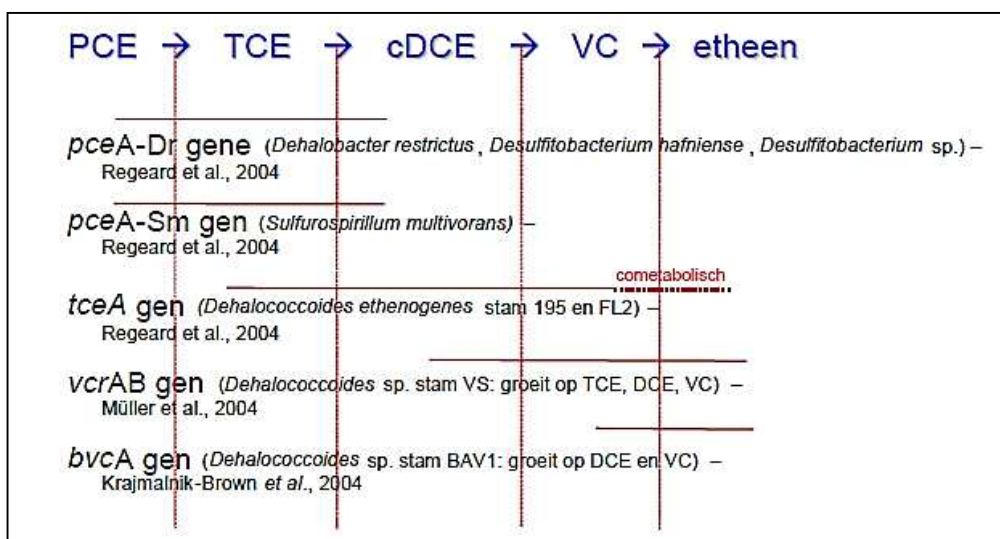
2.2.1. Gechloreerde ethenen

Onder anaerobe condities worden gechloreerde ethenen volgens het volgende pad afgebroken : PCE → TCE → cisDCE → VC → etheen. Het CIS-isomeer vormt de preferentiële afbraakwijze.

Meestal stopt het afbraakproces na de vorming van cis-DCE en VC (stagnatie). Dit fenomeen is verontrustend gezien deze tussenproducten grotere risico's voor de volksgezondheid bezitten (carcinogene eigenschappen) en gezien de grotere mobiliteit in de ondergrond.

De mogelijkheden tot volledige in-situ biodegradatie van VOCL's (etheen en daarna ethaan) is gelinkt aan de aanwezigheid van microbiële stammen waarvan de genen en dus ook de enzymen alle fasen van het afbraakproces kunnen uitvoeren. Op figuur 2 worden de mogelijke afbraakpaden per gen (en dus ook de enzymen) opgelijst. Tevens worden de micro-organismen verantwoordelijk voor de transformaties opgenomen.

Figuur 2 : Overzicht van betrokken dechlorinasegenen bij de dechlorering van PCE tot etheen (Code van goede praktijk in situ anaerobe bioremediatie van VOCL's, OVAM 2007)



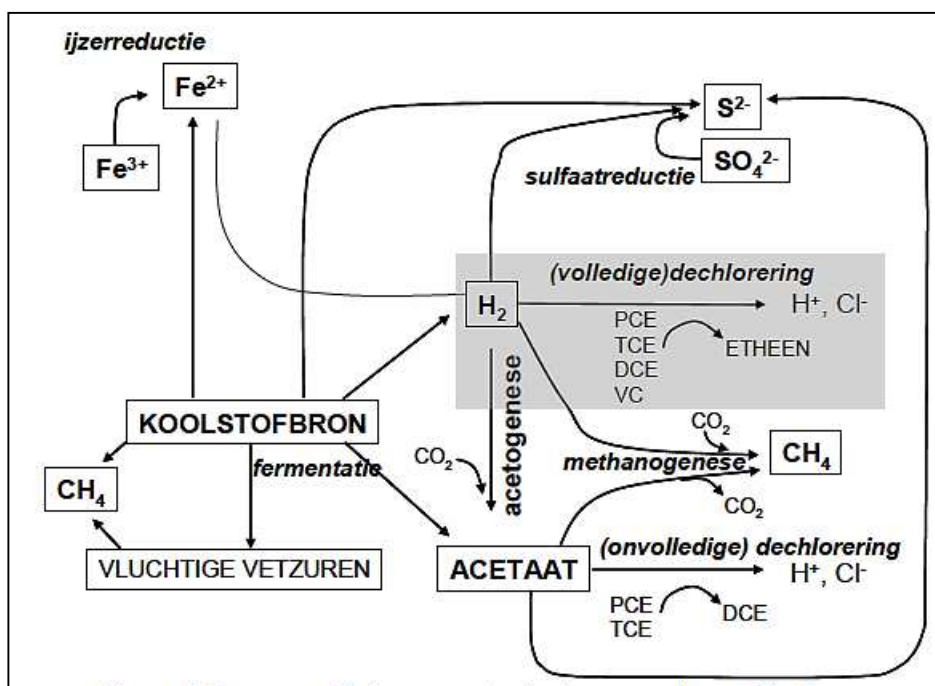
Uit deze figuur kan worden opgemaakt dat maar een beperkt aantal van de beschikbare micro-organismen het volledige afbraak pad kunnen doorlopen, wat een volledige afbraak onder anaerobe condities bemoeilijkt. Meer nog de laatste stappen vereisen een strikt anaerobe condities in de bodem.

Daarentegen verloopt de afbraak van VC onder aerobe condities vlot en snel door een groot aantal micro-organismen (d.m.v. enzymatische oxigenase). Het is daarom aangewezen, als de omstandigheden het toelaten, te overwegen om de biodegradatie in twee opeenvolgende stappen te laten verlopen: biodegradatie d.m.v. halo-respiratie onder anaerobe condities tot cisDCE en VC en daarna oxidatie van de tussenproducten onder aerobe condities. In de aanwezigheid van een bodemredoxinertie (aanwezigheid van gereduceerd ijzer of mangaan en sulfiden) kan een aanpassing van het milieu vrij gemakkelijk gebeuren door bv. het beluchten van de bodem. In het geval de zuivering van een pluim wordt beoogd, kan de beluchting grondwater stroomafwaarts van de initiële anaerobe behandeling plaatsvinden.

Het stimuleren van de microbiële activiteit verantwoordelijk voor de halo-respiratie onder anaerobe condities gebeurt hoofdzakelijk door toevoeging van een koolstofbron die als elektrondonor

fungeert. De **figuur 3**, hieronder weergegeven, geeft een schematisch overzicht van de betrokken processen die zich afspelen na de injectie van een koolstofbron.

Figure 3 : Processen die kunnen optreden in een aquifer na injectie van een koolstofbron (Code van goede praktijk in situ anaerobe bioremediatie van VOCL's, OVAM 2007)



Men merkt op dat meerdere microbiële processen in competitie treden met de flora die verantwoordelijk is voor de halo-respiratie (grijs kader op figuur 3) In het schema merkt men op dat :

- De homoacetogene flora (zoals de *Desulfitobacterium* sp.), die acetaat als primaire elektrondonor gebruikt, in staat is om de eerste stap van de halo-respiratie te doorlopen tot aan cisDCE, maar niet de volgende stappen. Wanneer grote hoeveelheden acetaat geproduceerd zijn (door toevoeging van grote hoeveelheden melasse die fermenteren) kan deze flora concurreren met de bacteriën die de volledige cyclus doorlopen.
- De volledige dehalogenatie is hoofdzakelijk bewerkstelligd door een consortium van bacteriën die het *Dehalococcoides* sp. bevatten en H_2 gebruiken als elektrondonor. Het H_2 kan komen van de fermentatie van lactaat in de bodem of langzaam worden vrijgesteld door een specifiek ingebracht additief.
- Ingeval er een overmaat aan koolstofbron wordt ingebracht wordt er teveel H_2 geproduceerd die de activiteit van de methanogene flora stimuleert ten nadele van de activiteit van de halo-respirerende bacteriën. Hierbij kan opgemerkt worden dat propionaten en butylaten, waarvan de fermentatie plaatsvindt indien de partiële dampdruk van waterstofgas in de bodem respectievelijk beneden de $10^{-3,5}$ et $10^{-4,4}$ atm ligt, meer aangewezen zijn als elektrondonoren dan ethanol en lactaat die fermenteren bij partiële dampdrukken van waterstofgas die 2 à 3 grootteordes hoger liggen.
- De flora verantwoordelijk voor de reductie van sulfaat kan ook in competitie treden met H_2 als elektrondonor. Lage sulfaatgehalten (< 100 mg/l) zijn daarom aangewezen om tot een volledige en snelle dechlorinatie te komen.

2.2.2. Gechloreerde Ethanen

Onder anaerobe condities worden chloorethanen door halo-respiratie gedegradeerd volgens het volgende pad: $TCA \rightarrow DCA \rightarrow CA \rightarrow \text{ethaan}$

De enzymen verantwoordelijk voor de verschillende stappen van de halo-respiratie zijn nog niet geïdentificeerd.

2.2.3. Gechloreerde methanen

Verschiede mechanismen zijn verantwoordelijk voor de afbraak van deze componenten :

- Hydrogenolytische dechlorinatie met aanvoer van $2 e^-$ en $1 H^+$ en met vrijstelling van een Cl^- via het sequentiële afbraak pad: $TCM \rightarrow CF \rightarrow DCM \rightarrow CM$.
- Afbraak van TC met vorming van koolstofmonoxide en chloroform (CF) als tussenproduct.
- Afbraak van TC en CS_2 volgens een substitutiereactie met uitwisseling van zwavel en zuurstof en via een tussenstap met CO_2 .

DCM kan ook als koolstof- en energiebron een rol spelen voor nitraat reducerende bacteriën zowel in aerob als anaerob milieu. Formol, een carcinogeen en product met bacteriedodende eigenschappen is echter het tussenproduct

2.3. Methodes voor in-situ behandeling van VOCL in anaerob milieu

Deze methode behelst de stimulering van biologische afbraak van VOCL via de inbreng van een koolstofbron en eventueel nutriënten in de bodem ter hoogte van een verontreinigingsvlek.

Mogelijk kunnen micro-organismen, gespecialiseerd in de afbraak van VOCL en ontwikkeld in een laboratorium (bio-augmentatie of inoculatie) in de bodem worden ingebracht, teneinde afbraak te initiëren en om volledige afbraak te bewerkstelligen.

2.3.1. De verschillende types koolstofbronnen (elektronendonoren)

Onder de verschillende koolstofbronnen kan er worden geciteerd:

- De zouten van organische zuren : acetaat, lactaat en pyruvaat
- Melasse: zowel de zetmeel houdende reststof uit de aardappelindustrie als de reststoffen uit de zuivelindustrie (lactoserum)
- De alcoholen : methanol, ethanol, ..

Verder zijn er nog de koolstofbronnen die langzaam beschikbaar worden. Volgende kunnen worden geciteerd:

- Substanties die waterstof vrijgeven, een ester van polylactaat dat geleidelijk lactaat en glycerol vrijstelt.
- Geëmulgeerde plantaardige oliën (olijfolie, maïsolie of sojaolie) die als oplosmiddel fungeren voor VOCL en vooral als elektron donor.

Het juiste type product dat dient te worden geïnjecteerd is grotendeels functie van de site specifiek omstandigheden en dient te worden gekozen op basis van haalbaarheidsstudies en piloottesten.



Sommige additieven zoals melasse, lactoserum en lactaatzuur zijn aanzurend voor de bodem. Ze zijn niet aangewezen in bodems met een beperkt buffervermogen. De optimale zuurtegraad voor halorespiratie situeert zich tussen pH 6 en pH 8. Bij zuurtegraden boven pH 9 en onder pH 5 wordt het proces negatief beïnvloed.

2.3.2. Toedieningsmethodes voor koolstofbronnen (elektrondonoren)

2.3.2.1. *Passieve en actieve Infiltratie van waterige oplossingen*

De koolstofbron, eventueel aangerijkt met nutriënten wordt geïnfiltreerd in de bodem in een waterige oplossing. De kan op passieve wijze, door het effect van de zwaartekracht of op actieve wijze onder druk.

De infiltratie kan gebeuren via horizontale drains of via verticale filters. Drains hebben het voordeel dat ook onder gebouwen kan geïnfiltreerd worden (horizontale boringen). Echter behelzen ze een mindere controle op de juiste plaats van infiltratie en in geval van een grote pluim is de plaatsing van drains op verschillende niveaus noodzakelijk.

2.3.2.2. *Injectie met « Direct Push »*

De koolstofbron, eventueel aangerijkt met nutriënten wordt in de grond geïnjecteerd onder druk met een sonde. Via het ophalen van de sonde komt het product op de gewenste diepte vrij en kan product tussen de top en de bodem van de verontreinigingsvlek worden aangebracht.

Ruimtelijk worden de injecties in een grid gespreid waardoor de totaliteit van de zone wordt behandeld.

2.3.2.3. *Injectie van waterstof in de bodem*

Door middel van putten uitgerust met vezelmembranen wordt het waterstofgas in het grondwater geïnjecteerd. Het gas verspreidt zich in het grondwater in opgeloste vorm, zonder de vorming van bellen. Hierdoor treedt er geen verlies op door het omhoog borrelen naar het dak van de aquifer en dispersie naar de bodem.

Er is weinig of geen ervaring beschikbaar over het gebruik in het Brussels Gewest.

Uit voorzorg is het aangewezen dat, gezien de grote vluchtigheid en explosiviteit van waterstof, dat deze techniek in het Brussels Gewest wordt toegepast samen met een bodemluchtexttractie in de onverzadigde zone. Er wordt in dit verband verwezen naar de betreffende Code van goede praktijk.

3. Beschrijving van de varianten

Er kunnen vijf varianten voor de behandeling worden overwogen.

3.1. Toediening koolstofbron met stroomafwaarts grondwater oppompen

Hierbij wordt de koolstofbron, eventueel aangerijkt met nutriënten geïnfiltreerd in de bodem in een waterige oplossing samen met een grondwateronttrekking stroomafwaarts van de toediening. Het doel van de onttrekking is om de verspreiding van de toegediende stoffen te versnellen.

Het opgepompte water wordt naar een waterzuivering geleid waarna het ofwel kan worden geloosd in de openbare riool, ofwel terug wordt geïnfiltreerd nadat het is aangerijkt met de betreffende koolstofbron.

Voor de toepassing van deze variant wordt verwezen naar de Code van goede praktijk nr1 (oppompen van vloeistoffen in de verzadigde zone) en de Aanvullende code van goede praktijk (behandeling van opgepompt grondwater).

In het geval de waterzuivering een anaerobe zuiveringsstap bevat, is het geïnjecteerde water aangerijkt met een belangrijke hoeveelheid micro-organismen die in staat zijn aan halo-respiratie te doen.

3.2. Maken van een stroomafwaartse behandelings-barrière door het plaatsen van een scherm van directe injectieputten

Deze techniek behelst het creëren van een reactieve zone stroomafwaarts van de verontreinigingsbron in de verontreinigingspluim. De zone wordt opgebouwd door een dicht grid van directe injecties van additieven (koolstofbron en eventueel nutriënten), zodat een uniforme verdeling doorheen de pluim wordt bewerkstelligd en bijgevolg ook een biologisch actieve zone. Door de juiste dosering wordt een stroomafwaartse verspreiding tegengegaan.

3.3. Gebruik van tensioactieve stoffen

Teneinde VOCL's aanwezig onder vrije fase (zinklaag of DNAPL) meer beschikbaar te maken voor halo-respirerende micro-organismen kunnen tensioactieve stoffen worden toegevoegd.

Hierbij dient de hoge soortelijke massa van de VOCL's en het hieraan gebonden risico op verticale verspreiding in rekening te worden genomen.

De tensioactieve stoffen die worden ingezet moeten van het bio afbreekbare type zijn en voldoen aan de Europese regelgeving (reglement 648/2004 van 31 maart 2004 en zijn latere aanpassingen): finale biologische afbraak > 60 % in 28 dagen en de primaire biologische afbraak > 80 % in 21 dagen.



3.4. Combinatie van gestimuleerde afbraak in anaeroob en aeroob milieu

De biologische afbraak van licht gechloreerde VOCL's (VC en DCE) gebeurt vlot en snel onder aerobe condities door een groot aantal micro-organismen (dmv. enzymatische oxigenase).

Nochtans wanneer de afbraak onder anaerobe omstandigheden niet volledig tot aan het laatste stadium (etheen) gebeurt en stagneert bij de tussenproducten van de halorespiratie die accumuleren in de bodem, kan het interessant zijn de biodegradatie te laten gebeuren in twee opeenvolgende stappen, zijnde:

- Anaerobe halorespiratie tot aan cisDCE en VC;
- Daarna oxidatie van de tussenproducten in oxidatieve condities. In functie van de inertieredox, gelinkt aan het bodemcomplex (gereduceerd ijzer en mangaan alsook sulfieten), kan het omzetten van het redoxmilieu moeilijk of niet moeilijk zijn.

Het omzetten van het redoxmilieu van anaerobe naar aerobe kan gedaan worden door luchtinjectie in de onverzadigde zone (passief of actief), door luchtinjectie in de verzadigde zone van de bodem (sparging), door het gebruik oxidatieve stoffen zoals peroxides, ... Indien lucht in de bodem wordt geïnjecteerd (verzadigde of onverzadigde zone) dient noodzakelijk een bodemluchtextractie te worden voorzien gekoppeld aan deze techniek. Dit om vervluchtiging naar de atmosfeer te vermijden of migratie naar ondergrondse structuren zoals kelders, leidinggrachten, etc.. Voor de modaliteiten rond luchtinjectie en bodemluchtextractie wordt verwezen naar de code van goede praktijk nr. 2 (pompen van gas in de onverzadigde zone van de bodem). Voor de injectie van oxidatieve stoffen in de bodem wordt verwezen naar de code van goede praktijk nr. 3 (gestimuleerde afbraak door in-situ chemische oxidatie)

Bij de behandeling van de verontreinigingspluim kan de verandering naar een oxidatief milieu plaatsvinden stroomafwaarts van de anaerobe behandeling. Dit tweede alternatief is, indien dit ruimtelijk kan worden gerealiseerd, goedkoper en eenvoudiger dan de redox switch.

3.5. Inoculatie van de bodem door bacteriestammen (bio-augmentatie)

De variant behelst het inoculeren van de bodem met bacteriestammen die in staat zijn de volledige afbraak van VOCL's te realiseren (tot etheenstadium) onder gelijkaardige conditie dan deze die aanwezig zijn in de bodem.

De variant kan nuttig zijn indien dat onvolledige dechlorinering wordt vastgesteld van de VOCL's onder anaerobe omstandigheden. Deze micro-organismen (of beter gezegd consortium van micro-organismen) kunnen worden aangeleverd worden door een laboratorium die hun karakteristieken en hun origine garanderen of kunnen bemonsterd zijn op sites waar een volledige dechlorinering is aangetoond.

Op dit ogenblik is er nog geen ervaring van deze variant in het Brussels Gewest.

Gezien er in geen enkele regio van België er voorschriften bestaan over de wijze en karakteristieken van inoculatie en over de wijze van toepassing van deze additieven in de bodem, wordt deze variant niet verder uitgewerkt in het raam van deze code van goede praktijk.

4. Doelstellingen: pluim versus kern

De gestimuleerde anaerobe biodegradatie van VOCL's richt zich bij voorkeur op de pluim en niet op de bron.

De aanwezige hoge VOCL gehalten in de bronzone zijn veelal toxisch voor de bacteriën verantwoordelijk voor de halo-respiratie. Meer nog, de bacteriën die in staat zijn de volledige dehalogenering te bewerkstelligen zijn nog gevoeliger voor toxische effecten bij hoge VOCL-concentraties. Hierdoor verloopt het dehalogeneringsproces niet verder dan de vorming van DCE.

Verder zijn de minder oplosbare VOCL's (PCE en TCE) in veel gevallen aanwezig onder vorm van vrij product (zinklaag of DNAPL) en weinig bio-beschikbaar voor de micro-organismen, zodat de behandeling van bronzones via biologische weg niet kan worden bewerkstelligd binnen realistische termijnen.

Het toevoegen van koolstofhoudende componenten in de bronzone kan de VOCL's, aanwezig onder vrije productvorm in oplossing brengen en aldus beschikbaar maken voor biodegradatie. Plantaardige oliën en ethanol, geïnjecteerd in hoge dosissen kunnen deze rol van detergent waarmaken (ethanol flushing).

5. Polluenten en de meest gunstige situaties (kwalitatieve evaluatie)

In volgende situatie kunnen VOCL verontreinigingen in grond en grondwater met technieken van gestimuleerde anaerobe afbraak met succes worden toegepast :

- De gechloreerde componenten zijn in de bronzone niet aanwezig in hoge gehalten (cfr. Toxiciteit van VOCL's bij hoge gehalten) en zitten homogeen verspreid
- De VOCL's zijn bv. niet in de bronzone aanwezig als vrij product (DNAPL) gevangen in de bodemporiën. Rekening houdend met de lage biobeschikbaarheid van de vrij fase is de noodzakelijke tijd voor de biodegradatie veel te lang zonder de inzet van bijkomende technieken (vb. de inzet van tensioactieve stoffen).
- De verontreinigingsbron is niet meer aanwezig zodat er geen product meer in de bodem en het grondwater blijkt.
- De bodem heeft een goede permeabiliteit en infiltratiecapaciteit.
- Er is een homogene bodemopbouw, zonder lenzen met een andere textuur en zonder preferentiële verspreidingsroutes afkomstig van leidingen en andere ondergrondse infrastructuren.
- Er zijn in bodem en grondwater voldoende organische componenten aanwezig (koolstofbron) zonder overmaat (die de methanogene flora bevoordelen)
- Het gehalte aan reduceerbare componenten in het grondwater is laag: nitraten, Fe^{3+} , Mn^{4+} , sulfaten, Het reduceren behelst extra consumptie van elektrondonoren
- De grondwaterstroming verloopt snel in de bodem.
- Er zijn micro-organismen aanwezig in de bodem die een snellen en volledige halo-respiratie bewerkstellingen.
- De beschikbare onderzoeksgegevens zijn voldoende, volledig en gedetailleerd.
- Er zijn geen ondergrondse leidingen of infrastructuren die gevoelig zijn voor reducerende omstandigheden (neerslag van metaalsulfiden).
- De te behandelen verontreiniging bevindt zich ondiep, omdat anders de kosten voor injectie mogelijk oplopen.

Indien bij de gestimuleerde afbraak tevens stroomafwaarts grondwateronttrekking dient te worden uitgevoerd, dient men met volgende gunstige voorwaarden rekening te houden :

- Er mogen geen andere verontreinigingen aanwezig zijn dan de VOCL's die een zuivering vereisen, voor de lozing of herinfiltratie in de bodem (gehalten $> \text{SN}$)

Indien bij de gestimuleerde afbraak tevens tensioactieve stoffen of solventen wil injecteren dient men met volgende gunstige voorwaarden rekening te houden :

- ondergrondse leidingen of infrastructuur waarvan de beschermende teerlaag kan worden aangetast

Indien bij de gestimuleerde afbraak een anaerobe sequentie omvat voor sterk gechloreerde componenten onder anaerobe omstandigheden gevolgd door een sequentie voor weinig gechloreerde componenten onder aerobe omstandigheden dient men met volgende gunstige voorwaarden rekening te houden :

- in geval van een 'redox-switch': bodem met een lage redox buffer

- in geval van een aerobe behandeling stroomafwaarts : lage gehalten aan organische sulfiden en opgeloste koolstofcomponenten.

6. Technische haalbaarheidsvoorstudie

6.1 Keuze koolstofbron (elektrondonor) indien nodig

Zoals hiervoor beschreven kunnen verschillende koolstofbronnen toegevoegd worden aan de bodem die als elektrondonor kunnen fungeren teneinde de gunstige reductieve omstandigheden te creëren. De keuze van de bron hangt van volgende parameters af:

- Het natuurlijk gehalte aan afbreekbaar organisch materiaal en de noodzaak tot extra toevoeging
- Het type pollutant en de aanwezige vuilvracht
- De ingeschatte hoeveelheden additief en zijn prijs
- De mobiliteit van de reactieve stof
- Het zuur genererend vermogen van het additief
- De nutriënten rijkdom van de bodem en het additief (N en P). Er kan een noodzaak zijn om stikstof (nitraat, ammonium of ureum) en/of fosfor bij te doseren teneinde een C/N/P verhouding van 100/10/1 (of 100/5/1 volgens andere literatuurbronnen) te bewerkstellingen
- Is er een 'detergent' effect nodig of niet om vrij fase in oplossing te brengen
- Dient er een 'slow release' effect te worden gegenereerd teneinde het aantal toedieningen te beperken
- De karakteristieken van de grond: zuurtegraad, gehalten aan zware metalen, gehalten aan reducerende componenten en organisch materiaal
- De lokale geologie en hydrogeologie.

6.2 Limitatieve eigenschappen van de te behandelen bodem

6.2.1 Fysische bodemeigenschappen

De samenstelling van de bodem beïnvloedt de verspreiding van het ingebrachte additief. Bij de formaties met lage permeabiliteit lemen en kleien (hydraulische geleidbaarheid $< 5 \times 10^{-7}$ m/s) is de verspreiding van de toegediende additieven, bij definitie, laag. Deze formaties lijken weinig geschikt voor een behandeling. Om aan deze lage permeabiliteit tegemoet te komen dient de dosering met grote dichtheid te gebeuren (dicht grid van toedieningsputten, drains of injectieputten).

Infiltratietesten in de geviseerde bodemlagen zijn dan ook noodzakelijk om het aantal injectiepunten vanuit technisch en economisch oogpunt te definiëren (opgelost volume van het additief en het volume/debiet per infiltratiepunt).

Een grondwaterpompsysteem die een betere grondwatercirculatie binnen de verontreinigingsvlek genereert is eveneens noodzakelijk. Dit kan bijkomende kosten induceren.

Doordat de te injecteren producten de verstopping van de poriën kunnen veroorzaken geven voorafgaandelijk metingen van de permeabiliteit een te optimistisch beeld van de circulatiecapaciteit van de bodem. Deze terugval van de permeabiliteit kan volgende gevolgen hebben door:

- Toename van de bacteriële biomassa in de poriën
- Neerslag van metaalsulfiden

- Inname van de poriën door gasvormige producten (methaan,...)

6.2.2 Fysico-chemische eigenschappen van de bodem

6.2.2.1 Bodem zuurtegraad

De optimale zuurtegraad voor de halorespiratieve processen ligt tussen pH 6 en pH 8. Het eigen zuur bufferend vermogen van de bodem dient het verzurend effect van sommige toegevoegde elektrondonoren te compenseren (melasse, lactoserum, organische zuren).

6.2.2.2 Gehalte aan organische componenten (elektrondonoren)

Teneinde de volledig anaerobe afbraak van de VOCL's in het grondwater te genereren dienen de koolstofbronnen onder opgeloste vorm beschikbaar te zijn (gemeten op basis van CZV of Chemisch Zuurstof Vraag) met gehalten van minimum 60 mg/l. Volgens sommige literatuurbronnen dient de beschikbare koolstof 100 à 300 mg/l te bedragen.

Bij het vaststellen van de juiste dosis aan toe de dienen organische componenten om de halorespiratie te bepalen dient met volgende twee parameters rekening te houden:

- Een te hoge CZV zal de methanogene flora bevoordelen ten nadelen van de halorespiratieve flora
- Het redox bufferend vermogen van de bodem dient in rekening te worden gebracht. Dit laatste behelst de aanwezigheid van reduceerbare componenten (elektron acceptoren) zoals: Fe^{3+} , Mn^{4+} , nitraat, sulfaat en opgeloste zuurstof. **Tabel 1** hieronder geeft een voorbeeld van de hoeveelheid elektron donoren (voor lactaat) nodig om het aanwezig bufferend natuurlijk redox vermogen van de bodem te compenseren.

Tabel 1 : voorbeeld van de vraag naar elektrondonoren (lactaat) voor een bodem met in acht name van het gehalte aan elektronacceptoren in het grondwater

<i>Elektron acceptor</i>	<i>Gehalte in grondwater mg/l</i>	<i>Vraag naar elektronen in eq/m^3 bodem*</i>	<i>Corresponderende lactaatvraag in g/m^3 de bodem *</i>
O_2	1	0,04	0,3
NO_3^-	75	2	15
Fe^{3+}	0.5	16,3	115
SO_4^{2-}	200	5,5	41,5
Total		24	172

Uittreksel uit (Code van goede praktijk in situ anaerobe bioremediatie van VOCL's, OVAM 2007).

*De omrekening gebeurde op basis van een watergehalte in de bodem van 33 % (v/v)



6.2.2.3 Karakteristieken van het grondwater

Het is mogelijk om voorafgaandelijk het potentieel voor anaerobe natuurlijke afbraak voor VOCL's te evalueren in het grondwater door middel van de opgemeten fysico-chemische parameters op de site. Volgens de voorgestelde methode van de US-EPA in 1998 is het mogelijk zich uit te spreken over de aanwezigheid van biodegradatie onder de heersende omstandigheden in de geïmpacteerde bodem. **Tabel 2** hieronder geeft de kwantitatieve evaluatie van de parameters terwijl **tabel 3** de interpretatieschaal geeft.

Tabel 2 : Op te meten parameters in het grondwater en toe te wijzen score voor de evaluatie van het afbraak potentieel. Uittreksel uit US-EPA, 1998, Technical protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in groundwater

Analysis	Concentration in Most Contaminated Zone	Interpretation	Value
Oxygen*	<0.5 mg/L	Tolerated, suppresses the reductive pathway at higher concentrations	3
Oxygen*	>5 mg/L	Not tolerated; however, VC may be oxidized aerobically	-3
Nitrate*	<1 mg/L	At higher concentrations may compete with reductive pathway	2
Iron II*	>1 mg/L	Reductive pathway possible; VC may be oxidized under Fe(III)-reducing conditions	3
Sulfate*	<20 mg/L	At higher concentrations may compete with reductive pathway	2
Sulfide*	>1 mg/L	Reductive pathway possible	3
Methane*	<0.5 mg/L	VC oxidizes	0
	>0.5 mg/L	Ultimate reductive daughter product, VC Accumulates	3
Oxidation Reduction Potential* (ORP) against Ag/AgCl electrode	<50 millivolts (mV)	Reductive pathway possible	1
	<-100mV	Reductive pathway likely	2
pH*	5 < pH < 9	Optimal range for reductive pathway	0
	5 > pH > 9	Outside optimal range for reductive pathway	-2
TOC	> 20 mg/L	Carbon and energy source; drives dechlorination; can be natural or anthropogenic	2
Temperature*	> 20°C	At T >20°C biochemical process is accelerated	1
Carbon Dioxide	>2x background	Ultimate oxidative daughter product	1
Alkalinity	>2x background	Results from interaction between CO ₂ and aquifer minerals	1
Chloride*	>2x background	Daughter product of organic chlorine	2
Hydrogen	>1 nM	Reductive pathway possible, VC may accumulate	3
Hydrogen	<1 nM	VC oxidized	0
Volatile Fatty Acids	> 0.1 mg/L	Intermediates resulting from biodegradation of more complex compounds; carbon and energy source	2
BTEX*	> 0.1 mg/L	Carbon and energy source; drives dechlorination	2
Tetrachloroethene		Material released	0
Trichloroethene*		Material released	0
		Daughter product of PCE	2 ^{a/}
DCE*		Material released	0
		Daughter product of TCE	2 ^{a/}
		If cis is > 80% of total DCE it is likely a daughter product	
		1,1-DCE can be chemical reaction product of TCA	
VC*		Material released	0
		Daughter product of DCE	2 ^{a/}
1,1,1-Trichloroethane*		Material released	0
DCA		Daughter product of TCA under reducing conditions	2
Carbon Tetrachloride		Material released	0
Chloroethane*		Daughter product of DCA or VC under reducing conditions	2
Ethene/Ethane	>0.01mg/L	Daughter product of VC/ethene	2
	>0.1 mg/L		3
Chloroform		Material released	0
		Daughter product of Carbon Tetrachloride	2
Dichloromethane		Material released	0
		Daughter product of Chloroform	2

* Required analysis. a/ Points awarded only if it can be shown that the compound is a daughter product (i.e., not a constituent of the source NAPL).

Tabel 3: interpretatie van de in het grondwater bepaalde fysico-chemische parameters in functie van het potentieel voor natuurlijke afbraak van chloorsolventen

Score	Interpretation
0 to 5	Inadequate evidence for anaerobic biodegradation* of chlorinated organics
6 to 14	Limited evidence for anaerobic biodegradation* of chlorinated organics
15 to 20	Adequate evidence for anaerobic biodegradation* of chlorinated organics
> 20	Strong evidence for anaerobic biodegradation* of chlorinated organics
*reductive dechlorination	

Indien een variëte met stroomafwaartse grondwateronttrekking en herinfiltratie wordt beoogd, kunnen de kritische fysico-chemische parameters van het grondwater om verstopping van de installaties te voorkomen worden afgeleid van volgende **tabel 4** (uittreksel 'Code van Goede Praktijk – Pump and Treat ' van de OVAM).

Tabel 4: kritische parameters voor de infiltratie van grondwater

<i>Parameters lozingswater</i>	<i>eenheid</i>	<i>Grenswaarde</i>
<i>IJzergehalte</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,1</i>
<i>Mangaangehalte</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,1</i>
<i>Methaangehalte</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,1</i>
<i>Carbonaatgehalte (saturatie-index Langeleir</i>	<i>-</i>	<i>0,01</i>
<i>Biomassa of AOC</i>	<i>µg AOC/l</i>	<i>10</i>
<i>Zwevende stoffen - MFI</i>	<i>S/l</i>	<i>3</i>

6.2.3 Microbiële populaties en enzymatisch pallet aanwezig in de bodem

Zoals op figuur 2 wordt aangegeven kan anaerobe dechlorinering van hoog gechlloreerde VOCL's (PCE, TCE) gerealiseerd worden door een groot aantal micro-organismen. Dit is niet het geval voor de minder gechlloreerde componenten DCE en VC, die afbreken door het werk van een kleiner aantal type bacteriën (Dehalococcoides sp.) die de enzymen vcrAB en bvcA kunnen coderen.

Hierdoor is het aantonen in het grondwater van de bacteriestammen zoals Dehalococcoides en de detectie van genen zoals vcrAB en bvcA een goede indicatie dat de natuurlijk aanwezige bacteriële flora in staat is om de volledige dehalogenatie uit te voeren indien de optimale condities worden gecreëerd (biostimulatie). De parameters worden in het bemonsterde grondwater gemeten met behulp van analysetechniek PCR (Polymerase Chain Reaction).

Men veronderstelt dat indien de populatie aan Dehalococcoides sp. boven de 10⁴ cellen/ml grondwater ligt er een goede indicatie is van de capaciteit van de microbiële flora in de bodem voor een volledige halo-respiratie. Een populatie tussen 4 en de 10 cellen/ml is in staat een volledige halo-respiratie te verzekeren onder biostimulatie op voorwaarde dat de enzymen vcrAB en bvcA zijn gedetecteerd. Bij lagere metingen is een volledige halo-respiratie door de aanwezige microbiële flora twijfelachtig.

6.3 Limitatieve karakteristieken van de te saneren of te beheren site

- Omvang van de site : er dient voldoende ruimte beschikbaar zijn voor de stockage en bereiding van de additieven, de injectie/infiltratie van de additieven, het oppompen en recupereren van het grondwater (variant met grondwateronttrekking) alsook voor het eventuele plaatsen van een waterzuiveringsinstallatie.
- Gevoelige omgeving : er bevinden zich op de site of in de onmiddellijke omgeving geen personen of activiteiten die kunnen gehinderd worden door : de injecties en eventueel pompings, geluid van de compressoren, pompen of de waterzuivering, geuren of risico's op dampemissies, ..
- Inname van de ondergrond : beperkte inname van de ondergrond van de site en omgeving door : ondergrondse infrastructuur die preferentiële paden voor het verspreiden van vloeistoffen zijn; distributienetten van gas, water en elektriciteit; of die barrières vormen voor het verspreiden van vloeistoffen: metrokokers, spoorwegen, ...)
- Afwezigheid van ondergrondse infrastructuur die gevoelig zijn voor sterk reducerende omstandigheden : afzettingen van metaalsulfiden.

7. Specifiek haalbaarheidsonderzoek voor een behandeling

7.1. Te meten bodem en site verontreinigingsparameters

In de onderstaande **tabellen 5a, 5b en 5c** worden de parameters opgelijst die dienen te worden onderzocht voorafgaandelijk aan een behandelingsprogramma voor VOCL's in bodem en grondwater door anaerobe afbraak. Deze tabellen vormen de 'check lists' van de gegevens die dienen te worden verzameld, ofwel in voorafgaandelijke studies (verkennend bodemonderzoek, gedetailleerd onderzoek of risicostudie) ofwel in het kader van het behandelingsplan, maar zeker voorafgaand aan de uitvoering van laboratoriumtests of pilootproeven. In de tabellen wordt onderscheid gemaakt tussen twee niveaus:

- Parameters die noodzakelijk dienen te worden gemeten of ingeschat
- Parameters waarvan de meting of inschatting nuttig wordt geacht.

Tabel5a : Verontreinigingsparameters op te meten voor de opstart van gestimuleerde afbraak onder anaerobe condities

Parameters	type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Verontreinigingsbron al dan niet nog aanwezig	Historische studie, terreinbezoek	Ter beschikking na het verkennend onderzoek
Concentraties in de bodem		
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > teruganeerwaarde/saneringsdoelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Concentraties in de bodem : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > teruganeerwaarde/saneringsdoelstelling)	Boringen, staalname en analyses van de bodem en afperking	Voor verontreinigende stoffen voortgekomen door biodegradatie
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor alle verontreinigende stoffen die betrokken zijn in de keten van de biologische afbraak
Concentraties in het grondwater		
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > teruganeerwaarde/saneringsdoelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlekken (contour concentraties > IN en contour concentraties > SN en > teruganeerwaarde/saneringsdoelstelling)	Plaatsing van peilbuizen, staalname en analyses van grondwater en afperking	Voor verontreinigende stoffen voortgekomen door biodegradatie
Inschatting van de totale vuilvracht	Op basis van ingeschatte volumes en gemiddelde concentraties	Voor alle verontreinigende stoffen die betrokken zijn in de keten van de biologische afbraak
Retardatiefactor	Kd waarden en effectieve porositeit van de aquifer	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Migratie snelheid van de pollutant volgens de longitudinale richting (verspreiding van de pluim in de richting van de grondwaterstroming)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Afgeleide migratiesnelheid van de pollutant volgens de longitudinale richting (verspreiding van de pluim in de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende opmetingen in het peilputnetwerk	
Migratie snelheid van de pollutant volgens de laterale richting (verspreiding van de pluim loodrecht op de richting van de grondwaterstroming)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Afgeleide migratiesnelheid van de pollutant volgens de laterale richting (verspreiding van de pluim in de richting van de grondwaterstroming)	Opeenvolgende opmetingen in het peilputnetwerk	
Verticale bewegingssnelheid in de bodem (verticale verspreiding van de pluim tijdens de migratie ervan)	Simulatie met behulp van analytische modellen : Domenico vergelijkingen met longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten Of gebruik van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het risico onderzoek
Afgeleide verticale bewegingssnelheid in de bodem (verticale verspreiding van de pluim tijdens de migratie ervan)	Opeenvolgende opmetingen in het peilputnetwerk	
Aanwezigheid van vrij fase (DNAPL)		
Aanwezigheid van een vrije fase nagaan	Bemonstering en analyse van bodem en grondwaterstalen in de kernzone	
Laterale verspreiding van de vrije fase	Observatie van de aanwezigheid van een vrije fase (drijfslaag/zinklaag) ter hoogte van een netwerk van peilbuizen - meetcampagnes aan de hand van een MIP-systeem (Géoprobe) of door bodemluchtmetingen	
Opmeten dikte gevangen laag of zinklaag	Opeenvolgende opmetingen in het peilputnetwerk	
ingeschatte volume vrije fase	inschatting vanaf peilputopmetingen of sonderingen	
Mobiliteit van de vrije fase	recuperatietesten op de site en voorafgaande inschatting door berekening of modelstudie	
Algemene parameters (alle voorkomingsfasen)		
Inschatting volledige vuilvracht	op basis van de schattingen en opmetingen	voor alle parameters die deelnemen aan de biodegradatie
Chloorindex	Op basis van alle opmetingen en voor alle componenten	Voor alle aanwezige pollutanten individueel bekeken - effect van de combinatie van de verschillende pollutanten
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Tabel 5b: Bodemparameters op te meten voor de opstart van gestimuleerde afbraak onder anaerobe condities

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Hydrodynamische parameters van de bodem		
Stratigrafie van de bodem : aquifers, aquitards, aquicludes, ...	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Peilbuizen van de aquifer(s), hydraulische gradiënten, stromingsrichting, ingesloten of half ingesloten karakter	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen, plaatsing van peilbuizen, opvolging van de stijghoogtes en bemonstering van peilbuizen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Omvang van de aquifer(s)	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en beschrijvingen van de bodemlagen	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Infiltratiecapaciteit van de bodem door injectie in de onverzadigde zone en/of in de verzadigde zone(putten, drains of sleuven)	continue of intermitterende infiltratieproeven op het terrein	met inachtnaam van de adjuvant op de infiltratiecapaciteit (stabiliteit van de structuur,...)
Siezoensfluctuaties van de grondwaterstijghoogtes	Opvolging van de stijghoogtes tijdens de opeenvolgende meetcampagnes	
Karakteristieken van het grondwater		
Fysico-chemische parameters van het grondwater : pH, Ec, opgeloste O ₂ , T°	Metingen op het terrein	Beschikbaar na het gedetailleerd onderzoek
Chemische parameters : metingen van intermediaire afbraakproducten, Etheen, Ethaan, methaan, TOC, elektron acceptoren : Nitraat, Fe(III), Mn(IV), sulfaten, CO ₂ en hun reductie product : nitrieten, Fe(II), Mn(II), sulfieten, sulfide.	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	cfr.OVAM 2007
Bijkomende chemische parameters : opgelost H ₂ , acetaat + andere vluchtige vetzuren, opgeloste anorganische koolstof, Cl-	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	cfr.OVAM 2007
PCR test en bepaling van hoeveelheid bacteriën : populatie van de specifieke bacteriën	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	cfr.OVAM 2007
Voor de variant injectie/infiltratie en stroomafwaartse grondwateronttrekking		
Fysico-chemische parameters in het opgepompt en gezuiverd grondwater: gehalten aan ijzer, mangaan, arseen, carbonaten, deeltje in suspensie, risico op verstopping	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses	aanvullende Code van goede praktijk 1: waterzuivering
Chemische parameters in het opgepompte water	Gehalten voor de componenten > NA die dienen te worden behandeld in de waterzuivering	aanvullende Code van goede praktijk 1: waterzuivering
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Tabel 5c : Site parameters op te meten voor de opstart van gestimuleerde afbraak onder anaerobe condities

Parameters	Type van opvolging	Opmerkingen/commentaar
Aanwezigheid van kabels en leidingen in de bodem, op de site of in de onmiddellijke omgeving	Opvragen van informatie over kabels en leidingen bij nutsmaatschappijen, gemeente,....	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
	Detectie op het terrein : voorgraven, CAT-scan ,....	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
Aanwezigheid van bedreigde bovengrondse receptoren voor geur, lawaai en dampen (op de site en in de nabijheid)	Inventaris	
Aanwezigheid van bedreigde receptoren ter hoogte van de betreffende aquifer en andere onderliggende aquifers	Inventaris van de waterwinningen, hydrogeologische studie	Uitgevoerd tijdens het gedetailleerd onderzoek
Toegankelijkheid van de site voor opvolgingscampagnes	Inventaris	
Kans dat verontreinigingspluim de nabijgelegen percelen nadert of bereikt	Simulatie op basis van bekomen gegevens	
Aanwezigheid van infrastructuur die potentieel beschadigd kan worden ten gevolge van het instellen van strikte anaerobe condities	Inventaris	
Aanwezigheid van infrastructuur die potentieel beschadigd kan worden ten gevolge van het gebruik van solventen en tensioactieve stoffen (teerbeschermingen)	Inventaris	
	= parameters waarvan de meting of estimatie vereist is	
	= parameter waarvan de meting of estimatie nuttig is	

Bij deze tabellen worden volgende commentaren geformuleerd :

- Bron van de verontreiniging verwijderd of niet: de zekerheid dient verkregen te worden of de residuele bron van verontreiniging nog aanwezig is of niet, voordat de behandeling door gestimuleerde afbraak wordt opgestart.
- De gehaltes aan intermediaire afbraakproducten dient te worden bepaald voor de opstart van de behandeling. Dit, enerzijds gezien het migratiepotentieel en de toxiciteit van deze producten (VC) en anderzijds om de nul situatie vast te leggen.
- Hierbij aansluitend : de chloride-index die toelaat om de voortgang van de dechlorinering op te volgen; deze wordt als volgt berekend:

Voor de chloorethenen

Chloride-index = $(4 \times \text{PCE} + 3 \times \text{TCE} + 2 \times \text{DCE} + \text{VC}) / (\text{PCE} + \text{TCE} + \text{DCE} + \text{VC} + \text{ethen} + \text{ethaan})$, de verschillende termen worden uitgedrukt in $\mu\text{mol/l}$.

Een waarde tussen 3 en 4 betekent : dechlorering is beperkt ; Een waarde tussen 2 en 3 betekent : dechlorering onvolledig met accumulatie van DCE (stagnatie) ; Een waarde kleiner dan 2 betekent : volledige dechlorering mogelijk.

Voor de chloorethanen

Chloride-index = $(3 \times \text{TCA} + 2 \times \text{DCA} + \text{CA}) / (\text{TCA} + \text{DCA} + \text{CA} + \text{ethaan})$.

Voor de chloormethanen : Gezien de TC en CF ook via andere paden ontbinden dan dehalogenering is de index niet echt conclusief.

- Het gehalte aan gasvormige pollutanten in de bodem dat wordt gebruikt voor de afperking van de vrij fase in de bodem: voor de staalname wordt verwezen naar de codes van goede praktijk nr. 1 en nr. 2 van Leefmilieu Brussel, meer bepaald voor de bodem, grondwater, lucht en bodemlucht.
- Voor het in praktijk brengen van de variant infiltratie/injectie + stroom afwaartse grondwateronttrekking zijn pomp testen niet onontbeerlijk gezien het beperkt is tot

het opdrijven van grondwaterstroomsnelheid en niet om de volledige grondwaterverontreinigingspluim te capteren (een pilootproef zou kunnen voorzien worden).

- Betreffende het meten van bodempolluenten die gemobiliseerd kunnen worden en het risico hebben om uit te spoelen na het instellen van reducerende omstandigheden (Arseen, ...) wordt de zorg, om uit te maken of de analytische resultaten uit het verkennend of gedetailleerd onderzoek voldoende zijn, overgelaten aan de expert. Hij dient uit te maken of er bijkomende gegevens dienen te worden verzameld, zoals: minimale, maximale en gemiddelde concentraties, ruimtelijke verdeling,

7.2. Noodzakelijke voorafgaandelijke laboratoriumproeven

Gezien het belangrijk aantal factoren (bodemeigenschappen, aanwezige bacteriële flora, type verontreiniging, compatibiliteit tussen type verontreiniging en type additief, wijze van toediening van het additief, toe te passen hoeveelheid, ...) die de technische (en financiële) haalbaarheid bepalen voor een behandeling met gestimuleerde anaerobe afbraak, is de eerste stap een test van de technische haalbaarheid, alvorens er kan worden overgegaan tot de volle schaal.

In het [besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 29/03/2018 tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, de aangifte voorafgaand aan de behandeling van beperkte duur en de modaliteiten van de bekendmaking door aanplakking van de behandeling van beperkte duur](#), wordt de noodzaak en de inhoud van een piloottest geargumenteerd.

De expert dient zich uit te spreken over de inhoud van deze eerste stap en dit nadat duur en kostprijs van elke stap en de graad van representativiteit werd overwogen in functie van de complexiteit van het te behandelen geval (complexe VOCL verontreiniging+zware metalen, ...):

- Laboratoriumtest → piloottest → implementatie
- Piloottest → implementatie
- Laboratoriumtest → implementatie

In alle gevallen waarbij inoculatie van de bodem door micro-organismen die een volledige halo-respiratie mogelijk kunnen bewerkstelligen is een laboratoriumtest noodzakelijk, zowel als deze afkomstig zijn van een laboratorium of van een site waar volledige halo-respiratie werd geobserveerd.

Laboratoriumtesten (of microcosm testen) dienen te worden uitgevoerd met hermetisch afgesloten recipiënten waarin representatieve bodem- en/of grondwaterstalen aan verschillende omstandigheden worden onderworpen (T° , verschillende koolstofbronnen, pH correcties, ...). Op regelmatige tijdstippen en dit gedurende meerdere maanden wordt de voortgang van de halo-respiratie opgevolgd door analyse van de VOCL gehalten (moederproduct, metabolieten en eindproducten). De resultaten worden vergeleken met controle testen, zijnde:

- Microbiële afbraak = 0; de microbiële activiteit wordt geïnhibiteerd door toevoeging van een bacteriocide.
- Natuurlijke afbraak zonder stimulatie: zonder toevoeging van additieven

Er dienen voldoende herhalingen te gebeuren om de reproductiviteit van de test te borgen.

7.3. Noodzakelijkheid van een piloottest en minimale eigenschappen van de test

Piloottesten kunnen op 2 wijzen worden uitgevoerd :

- De 'Push-Pull' methode
- Toevoeging in de bodem (injectie/infiltratie) en observatie op de site op kleine schaal

7.3.1. Push-Pull methode

Bij een push-pulltest wordt in essentie op één filter gewerkt. Er wordt een bepaald volume water opgepompt uit de filter, waaruit tevens sub-stalen worden genomen voor analyse op relevante parameters. Vervolgens worden toeslagstoffen toegevoegd aan dat water, en datzelfde volume water wordt opnieuw in hetzelfde filter geïnfiltreerd. Na een bepaalde tijd wordt de procedure herhaald en worden de begin- en eindresultaten van de analyses met elkaar vergeleken om het effect van de toeslagstoffen te beoordelen.

Voordeel t.o.v. het tweede piloottest-type is dat injectie- en monitoringsplaats dezelfde zijn (geen kans op 'missen' van de behandelde zone door voorkeursstroombanen) en dat er geen 'reistijd' verstrijkt tussen injectiepunt en monitoringsplaats, dus dat de pilootproef meestal korter duurt.

7.3.2. Toevoeging in de bodem en observatie op kleine schaal

Bij deze methode worden de additieven die noodzakelijk worden geacht door injectie/infiltratie in de bodem ingebracht op één of meerdere punten, gesitueerd in de verontreinigingsvlek. Op geregelde intervallen wordt, in dichtbijgelegen controle peilputten, de evolutie van de grondwaterkwaliteit, de consumptie van het ingebracht additief en eventueel de ontwikkeling van de bacteriële flora nuttig aan de dechlorinering opgevolgd.

In **tabel 6** worden parameters die in het kader van een piloottest dienen te worden opgevolgd gedefinieerd.

Tabel 6 : Inhoud en parameterisatie van piloottesten voor de behandeling met gestimuleerde afbraak onder anaerobe condities

Rubriek	Te meten parameters en hoeveelheid	Opmerkingen
In geval van een test met 'Push and Pull'		
Beschrijving van de installatie	Beschrijving van de installatie: infiltratie/pomputten (aantal, ligging, diameter, diepte, lengte van het filter, kleistop in de annulaire ruimte, kop), monitoringpeilbuizen: (aantal, situering, diameter, diepte, lengte van het filter, filteromstorting, annulaire opvulling, top)	De ligging van de verschillende opvolgingspeilputten worden toegevoegd op een tekening als onderdeel van het bijlage 6 v/h saneringsproject
Saneringsparameters	Samenstelling van de additiefoplossing: type koolstofbron, nutriënten (N en P), pH correctiestof, eventueel tensioactieve stof, tracer. Infiltratiedruk en debiet. Planning infiltratie en onttrekking	
Te meten parameters: in het grondwater voor de test en vervolgens op het opgepompte grondwater en eventueel in de observatiepeilputten	Gehaltes aan VOCL (originele en intermediaire afbraakproducten), Etheen, Ethaan, methaan, pH, Eh, T°, gehalte O ₂ . Eventueel gehalte aan tensioactieve stoffen, TOC, gehalte aan toegevoegde koolstofbron, Nitraat, Nitriet, Sulfaat, Sulfit, Sulfide, Fosfaat, Fe(III) en totaal, Mn(II) en totaal, chloride en tracergehalte	
Andere parameters in het water, voor en na de test	Analyse van grondwater door PCR: gehalte aan Dehalococcoides sp. en enzymen bvcA etr vcrA	Eventueel uit te voeren als er twijfel is over de volledige halo-respiratie
Te berekenen parameters	Verbruik van de koolstofbron en nutriënten. Massabalans: verlaging van de vuilvracht in het grondwater, chloride-index, hoeveelheid koolstofbron nodig voor verwijdering van totale vuilvracht. Optimaal infiltratiedebiet. Verdunning (tracer). Schatting van de saneringsduur	
In geval van infiltratie/injectie met observatiepeilputten op kleine schaal		
Beschrijving van de installatie	Beschrijving van de installatie: infiltratie/pomputten (aantal, ligging, diameter, diepte, lengte van het filter, kleistop in de annulaire ruimte, kop), monitoringpeilbuizen: (aantal, situering, diameter, diepte, lengte van het filter, filteromstorting, annulaire opvulling, top), meetsysteem voor de infiltratiedebieten	De ligging van de verschillende opvolgingspeilputten worden toegevoegd op een tekening als onderdeel van het bijlage 6 v/h saneringsproject
Saneringsparameters	Samenstelling van de additiefoplossing: type koolstofbron, nutriënten (N en P), pH correctiestof, eventueel tensioactieve stof, tracer. Infiltratiedruk en debiet. Planning infiltratie en onttrekking	
Te meten parameters: in het grondwater voor de test en vervolgens op het opgepompte grondwater en eventueel in de observatiepeilputten	Gehaltes aan VOCL (originele en intermediaire afbraakproducten), Etheen, Ethaan, methaan, pH, Eh, T°, gehalte O ₂ . Eventueel gehalte aan tensioactieve stoffen, TOC, gehalte aan toegevoegde koolstofbron, Nitraat, Nitriet, Sulfaat, Sulfit, Sulfide, Fosfaat, Fe(III) en totaal, Mn(II) en totaal, chloride en tracergehalte	
Andere parameters in het water, voor en na de test	Analyse van grondwater door PCR: gehalte aan Dehalococcoides sp. en enzymen bvcA etr vcrA	Eventueel uit te voeren als er twijfel is over de volledige halo-respiratie
Te berekenen parameters	Verbruik van de koolstofbron en nutriënten. Massabalans: verlaging van de vuilvracht in het grondwater, chloride-index, hoeveelheid koolstofbron nodig voor verwijdering van totale vuilvracht. Optimaal infiltratiedebiet. Verdunning (tracer). Schatting van de saneringsduur	
Conclusies van de piloottest		
	Haalbaarheid van de saneringstechniek: aantal infiltratie/injectieputten, saneringsduur, volumes en samenstelling additiefinjectie, noodzaak voor stroomafwaartse grondwateronttrekking	
	Ontwerp van de saneringsinstallatie full scale: aantal en afstand tussen de injectie/infiltratieputten, debiet toe te voegen additief, geraamde saneringsduur, ... Definiëring van op te volgen parameters	
	Massabalans en te verwachten resultaten: massa aan gebiodegradeerde verontreiniging, massa en gehalte aan residuele verontreiniging	

Volgende opmerkingen zijn van belang bij **tabel 6**:

- De tabel is een raam-checklist van alle parameters die noodzakelijk in geëvalueerd, gemeten en gerapporteerd dienen te worden in het kader van het uitvoeren van de piloottest. De expert wordt geachte om de piloottest op te zetten en uitvoeringsmodaliteiten te justifiëren op basis van de voorgestelde checklist.
- Zowel de duur van de piloottest als de meetfrequentie maken deel uit van het voorstel van de expert.

8. Beschrijving van een type-installatie

De installatie voor de behandeling met gestimuleerde afbraak onder anaerobe condities bestaat typisch uit volgende elementen.

8.1. Actieve of passieve infiltratie

- Een installatie voor de aanmaak en de conditionering van de additievenoplossing (koolstofbron + eventueel nutriënten, pH correctie, tensioactieve stoffen, ...) eventueel dient er een opslageenheid voor de additieven te worden voorzien.
- Eén of meerdere infiltratieputten (of zeldzamer infiltratiedrains) geplaatst in een grondwater stroomopwaartse positie m.b.t. de verontreinigingsvlek. De putten hebben een filterstelling die het mogelijk maakt de omvang van de verontreinigingsvlek met het additief te infiltreren. De tussenafstand wordt berekend om de volledige vlek met additief te behandelen.
- Bij toepassing van injecties onder druk wordt een pomp of compressor uitgerust met een manometer en een regelsysteem voor de drukken en een lekdetectie ingezet.
- Het ingezette systeem om de infiltratie te regelen kan divers zijn: elektrische sensoren (min/max peilen) in de putten, elektrische regeling op pompen, timersysteem, sequentiële regeling per infiltratie-zone, ...
- Debietsmeter en registratie-eenheid van de geïnjecteerde volumes.

8.2. Infiltratie (actief of passief) met grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie

Bijkomend aan de bovenbeschreven installaties omvat de installatie :

- Een of meerdere pompputten (of drains) geplaatst in een grondwater stroomafwaartse positie of in de pluim, tussen deze laatste en mogelijke receptoren. Het doel kan enerzijds het versnellen van de grondwaterstroming zijn om de toediening van additieven te optimaliseren, maar kan ook het afvangen van de verspreidende grondwaterpluim met afbraakproducten zijn. In dit laatste geval dienen de filters voldoende diep te worden geplaatst om de volledige omvang van de pluim te capteren. De afstanden en verbreidheid van de interceperende putten dient te berekend te worden om de volledige pluim te interceperen.
- Een pompeenheid om het water te interceperen bestaat mogelijks uit: deepwells in de pompputten zelf, een vacuümpomp aangesloten aan één of meerdere putten, ... Om geluidshinder te voorkomen dienen de bovengrondse pompdelen in een geïsoleerde omkasting te worden geplaatst (caissons, container, etc.)
- De regeleenheid van de pompinstallatie kan op verschillende wijzen: vlotters voor deepwells, elektrische sensoren (min/max peilen) in de putten, elektrische regeling op pompen, sensoren in de verschillende onderdelen van de waterzuivering, timersystemen, sequentiële regeling per pompzone, ...
- Via een leidingsysteem wordt het verzamelde water doorgepompt naar een waterzuiveringseenheid. De leidingen, bij voorkeur ingegraven, worden uitgerust met terugslagkleppen en debietsmeters die toelaten om het onttrokken debiet en gecumuleerd volume per individuele put en per pomp op te volgen.
- Er dienen monsternamepunten voor het opgepompt grondwater te worden voorzien op niveau van de individuele put, van de aanvoerleidingen, aan de ingang van de waterzuiveringseenheid en bij het lozingsput (of ter hoogte van de infiltratie-eenheid).

- Een waterzuiveringseenheid voor het opgepompte grondwater.

N.B : er bestaat een aparte code van goede praktijk voor de zuivering van opgepompt grondwater (CVGP AUX 1)

8.3. Directe injectie onder druk (direct push)

- Een installatie voor de aanmaak en de conditionering van de additieven oplossing; eventueel dient er een opslageenheid voor de additieven te worden voorzien.
- Een mobile machine die gridgewijs een gefilterde injectieconus induwt of inklopt, waarna de additieve oplossing onder druk over het gewenste dieptetraject wordt ingebracht. Het inbrengen kan eenmalig over het volledige dieptetraject gebeuren of sequentieel over deeltrajecten.
- De installatie is uitgerust met een debiets- en drukregeling alsook met een noodstop in geval het additief aan het grondoppervlak vrijkomt of als er een sterke drukval is (injectie in een voorkeursbaan).
- De dichtheid van het injectie grid wordt bepaald aan de hand van een piloottest.

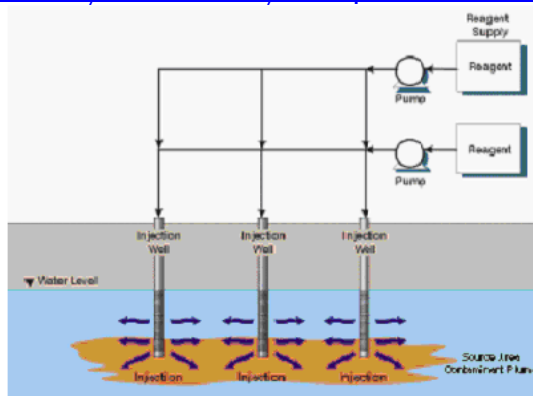
8.4. Combinatie van gestimuleerde aerobe en anaerobe afbraak

Een tweede fase van de afbraak onder aerobe condities kan men grondwater stroomafwaarts realiseren of op dezelfde plaatst dan de anaerobe afbraakcondities maar in een later stadium (Redox Switch).

In het tweede geval wordt het aeroob milieu verkregen door injectie van lucht in de onverzadigde zone van de bodem, injectie van lucht in de verzadigde zone van de bodem (sparging), door injectie van componenten die zuurstof vrijgeven, door infiltratie/injectie van oxidatieve stoffen zoals peroxides, Indien lucht in de bodem wordt geïnjecteerd (verzadigde of onverzadigde zone) dient noodzakelijk een bodemluchtextracties te worden voorzien gekoppeld aan deze techniek. Dit om vervluchting naar de atmosfeer te vermijden of migratie naar ondergrondse structuren zoals kelders, leidinggrachten, etc.. Voor de modaliteiten rond luchtinjectie en bodemluchtextractie wordt verwezen naar de code van goede praktijk nr. 2 (pompen van gas in de onverzadigde zone van de bodem). Voor de injectie van oxidatieve stoffen in de bodem wordt verwezen naar de code van goede praktijk nr. 3 (gestimuleerde afbraak door in-situ chemische oxidatie).

8.5. Conceptueel schema

In de onderstaande figuur wordt een schema voor een eenheid met chemische in-situ oxidatie gepresenteerd. (<http://emis.vito.be/techniekfiche/concept-situ-chemical-oxidation?language=en>)



9. Beschrijving van de installatie die wordt geplaatst

De eenheid die effectief wordt geplaatst in het kader van de behandeling zal beschreven worden met minimaal de gegevens opgelijst in **tabel 7**. De installatie wordt beschreven door de expert volgens een technisch schema vergelijkbaar met dit voorgesteld op **figuur 3**.

Tabel 7 : Gegevens die dienen te worden aangeleverd voor een te plaatsen installatie

Onderdeel van de installatie	Element	Gegevens over de installatie	Opmerkingen
Te gebruiken oplossing	Koolstofbron	Type van de koolstofbron en gehalte in de geïnjecteerde oplossing. Voorziene hoeveelheden van de koolstofbron op basis van de vuilvracht en de aanwezige elektronacceptoren	Op basis van de laboratorium en/of piloottesten
	Andere additieven	Nutriënten (type, hoeveelheid en gehalten), pH regelaar (type, hoeveelheid en gehalten), tensioactieve stoffen (type, hoeveelheid en gehalten)	Op basis van de laboratorium en/of piloottesten
	Installatie om de oplossing in voor te bereiden	ligging en omschrijving	
Toedieningsmethode	Passieve of actieve infiltratie	Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangspuit, straatpot of koker). Plaats van de manometer, debietmeter. Infiltratiedebieten. Infiltratiedruk.	
	Directe injectie	Ligging en tussenafstand van de verschillende injectiepunten, diepte van de injectie, beschrijving van het materieel (verbuizing, filters,...), wijze van injectie (eenmalig/sequentieel). Druk en debiet van de injectie. Injectiehoeveelheid per punt	
Regelsysteem	Inregeling van de sanering	Infiltratie/injectiesysteem werkend in continu of in periodes, aan/afslagpeilen in functie van de verschillende waterlagen	
Nagestreefd doel	Behandeling in de onverzadigde zone (kern)	Duurzame te behalen saneringsdoelstellingen in de bodem, actuele verbreiding X, Y en Z van de verontreiniging. Vooropgestelde duur	
	Behandeling van de verzadigde zone	Duurzame te behalen saneringsdoelstellingen in het grondwater en eventueel de bodem (capillaire zone), actuele verbreiding X, Y en Z van de verontreiniging. Vooropgestelde duur	
Maatregelen tegen hinder	Maatregelen tegen geluid	Voorziene type van maatregelen: accoustische isolatie van pompen, ...	
	Maatregelen tegen geur	Eventueel voor vluchtige organische componenten (aceton, aromaten, ...)	
Variant : infiltratie/injectie additief + stroomafwaartse grondwateronttrekking			
Pompsysteem voor het grondwater		Ligging en tussenafstand van de verschillende pompputten, voor de putten: diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangspuit, straatpot of koker). Plaats van de debietmeters. pompdebieten	
Pompen		Type en lokalisatie van de pompen: vacuümpomp, ... verbonden met 1 of meerdere putten. Te realiseren grondwaterverlaging. Werkingsregime: continu of intermitterend	
Verzamelsysteem opgepompt water	Aanvoerleidingen opgepompt water	Type, afmetingen en uitvoering aanvoerleidingen, antivries systeem, anti vandalisatiesysteem en controle van het uitrafelen. Ligging en uitvoering van de staalnamepunten, ligging debietmeters.	
Waterzuiveringsinstallatie Deze rubriek maakt deel uit van een andere code van goede praktijk			
Variant : Combinatie gestimuleerde afbraak onder aerobe en anaerobe condities			
Te injecteren oxidatieve stoffen		Type reactieve stof : injectielucht, ORC, peroxides, ... Hoeveelheid en frequentie	
Injectiesysteem indien verschillend van fase 1	Passieve of actieve infiltratie	Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangspuit, straatpot of koker). Plaats van de manometer, debietmeter. Infiltratiedebieten. Infiltratiedruk.	
	Directe injectie	Ligging en tussenafstand van de verschillende injectiepunten, diepte van de injectie, beschrijving van het materieel (verbuizing, filters,...), wijze van injectie (eenmalig/sequentieel). Druk en debiet van de injectie. Injectiehoeveelheid per punt	
systeem voor persluchtinjectie en bodemluchtextractie		Ligging en tussenafstand van de verschillende putten, diepte van de slibvang en filter, diameter en type stijgbuis, filterlengte en diameter van de filteropeningen, type en positie van het filtermassief, type en diepte van de afsluitende stoppen (bentoniet), type van het puthoofd (afsluitend als er onder druk wordt geïnjecteerd), bescherming van het puthoofd (toegangspuit, straatpot of koker). Plaats van de manometer, debietmeter. Infiltratiedebieten. Infiltratiedruk.	
Luchtzuiveringsinstallatie Deze rubriek maakt deel uit van een andere code van goede praktijk			

10. Beperking van de effecten van het project op het leefmilieu: geur, geluid , stof

10.1. Aandachtspunten

In functie van het huidige en toekomstig gebruik van het terrein en de directe omgeving, wordt rekening gehouden met de volgende punten:

- Risico's gelinkt aan de toxiciteit en de gevaarklasse van het gebruikte additief (in het geval van peroxyde bij de variant combinatie aerobie/anaerobie)
- Hinder voor de luchtkwaliteit ter hoogte van het terrein en de directe omgeving: schadelijke concentraties, geur, stof (in het geval van bodemluchtextractie voor de variant combinatie aerobie/anaerobie)
- Explosie en brandgevaar
- Geluidhinder
- Risico's voor nabijgelegen waterwinningen
- Risico's voor mobilisatie en verspreiding van de contaminanten via grondwater of bodemlucht

10.2. Gevaren en toxiciteit van het gebruikte additief

Algemeen geldt dat de gebruikte additieven geen gevaarlijke of toxische eigenschappen hebben (lactaat, olie emulsies, ...). Echter de peroxydes en permanganaten in vloeibare vorm, gebruikt voor de variant combinatie anaerobie/aerobie, hebben gevaarlijke en toxische eigenschappen. Er dienen voorzorgsmaatregelen te worden genomen bij aanmaak, opslag en manipulatie van deze stoffen. De evaluatie van de risico's dient reeds te gebeuren in de opmaak van het voorstel, of voorafgaand aan de werken indien ze geen voorstel vereisen.

Conform de Europese regelgeving REACH dienen de fysische eigenschappen, de toxicologische gegevens, de ecotoxicologische gegevens en risico's gelinkt aan opslag en gebruik alsook de te nemen voorzorgsmaatregelen (ook bij ongeval) door de fabrikant te worden neergeschreven in de MSDS (Material Safety Data Sheets). Aanvullend geven de veiligheidszinnen op de verpakking ook de nodige informatie over de mogelijk gevaarlijke stoffen aanwezig op de werf.

De nodige specifieke maatregelen te nemen op de werf dienen in het risicobeheersvoorstel of het saneringsvoorstel reeds te worden beschreven, of dienen voor een behandeling die geen voorstel vereist in het daaropvolgend rapport te worden toegelicht. Deze maatregelen kunnen o.a. gaan over :

- De opslag en manipulatie van gevaarlijke en toxische stoffen : risico op verspreiding, lekken,
- De verwerking van stoffen die de site verlaten.
- Blootstellingsrisico's van personen: inhalatie, dermaal contact,...
- Beschermingsmaatregelen voor personen: PBM (persoonlijke beschermingsmaatregelen), omgevingsmetingen, ...
- Informatie en vorming van de personen die op site werken



10.3. Hinder voor de luchtkwaliteit (in geval van bodemluchtexttractie)

Bij bodemluchtexttractie in geval van persluchtinjectie (variant combinatie aerobie/anaerobie) kan de lucht die in rechtstreeks contact komt met de pompinstallatie, het leidingwerk en de zuiveringsinstallatie gecontamineerd zijn met dampen die ontsnapt zijn (niet luchtdichte gedeeltes). Om te voorkomen dat schadelijke of geurende dampen zich naar de receptoren verspreiden, aanwezig op de site of omgeving, dient het afdichten van de installatie, in het bijzonder, aandacht te krijgen.

Zoals vermeld in het hoofdstuk over de opvolging van de activiteiten, wordt controle gedaan naar de kwaliteit van de lucht in de nabijheid van de zuiveringsinstallatie bij de opstart van de installaties en nadien om, de twee weken, indien er risicogroepen aanwezig zijn in de nabijheid (woonzones, scholen, ...). In het geval van herhaalde klachten van de omwonende betreffende de aanwezigheid voor geur als gevolg van de behandeling, wordt een meetcampagne uitgevoerd om de luchtkwaliteit na te gaan.

De lozing van onttrokken gassen na behandeling moeten periodiek gecontroleerd worden.

Stofemissies zijn niet waarschijnlijk bij een installatie voor bodemluchtexttractie.

10.4. Brand en explosierisico

Het oppompen van bodemlucht met vluchtige componenten kan risico's voor explosiegevaar met zich meebrengen ter hoogte van de onttrekkingsinstallatie en zuiveringsinstallatie van de opgepompte bodemlucht. Explosiemeters moeten dus geplaatst worden op verschillende plaatsen: ter hoogte van de kanalisatie van de collector van onttrokken gassen voor doorgang aan de pompen, ter hoogte van de zuiveringsinstallatie ... Deze explosiemeters moeten gelinkt zijn aan een alarmsysteem, een automatische inlaat van zuurstof en indien nodig de stopzetting van de werking bij een overschrijding van de LEL-waarde (Lower Explosieve Limit) met 10%.

10.5. Risico op ongecontroleerde verspreiding van de verontreiniging en zijn afbraakproducten in de grondwaterlagen

Er dient met het risico op ongecontroleerde verspreiding van de verontreiniging en zijn afbraakproducten in de grondwaterlagen rekening te worden gehouden als gevolg van de infiltratie/injectie van additiefoplossingen. Deze risico's zijn het grootst bij het inbrengen van tensioactieve stoffen of koolstofhoudende componenten (emulsies van plantaardige oliën, ethanol, ...) die als solvent gebruikt worden bij de aanwezigheid van vrij product (DNAPL).

10.6. Geluidshinder

De geluidsoverlast voor bewoners rondom de site kan het gevolg zijn van de werking van de pompen en van de generator in de zones die niet aangesloten zijn aan het elektriciteitsnetwerk.

Maatregelen moeten getroffen worden om de hinder te beperken:

- Het plaatsen van de installaties op een behoorlijke afstand van woonzones

- Het afregelen van de debieten om cavitatie van de pompen te voorkomen
- Het plaatsten van te luidruchtige installaties in goed geïsoleerde kisten/containers
- Afregelen van de werkuren van de installatie, in het geval van een intermitterende werking, om geluidsoverlast gedurende de nacht te voorkomen

10.7. Risico's voor nabijgelegen waterwinningen

Waterwinningen die gebruikt worden in de publieke distributie moeten beschouwd worden als een prioritaire receptor. Met andere waterwinningen, gebruikt voor privédoeleinden moet eveneens rekening gehouden worden, indien deze riskeren hinder te ondervinden ten gevolge van de behandeling. Deze waterwinningen kunnen hinder ondervinden ten gevolge van een onvoldoende werking van de grondwaterbehandeling ter hoogte van de pluim, dewelke zich naar de waterwinningen toe kan verspreiden. Deze risico's zijn het grootst bij het inbrengen van tensioactieve stoffen of koolstofhoudende componenten (emulsies van plantaardige oliën, ethanol, ...) die als solvent gebruikt worden bij de aanwezigheid van product in vrije fase van de VOCL's

De controle op de grondwaterkwaliteit stroomafwaarts van de behandelingszone dient bijgevolg verplicht te worden uitgevoerd.

10.8. Overeenstemming met de bestaande wettelijke kaders

Voor de atmosferische hinder worden de normen voor de lozing van gassen in de atmosfeer vermeld in de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'.

De normen voor de omgevingslucht, voor het meten van de mate waarin de verontreiniging het gevolg is van de installatie met bodemluchtexttractie, zijn niet beschikbaar in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Bij de eerste benadering worden de gemeten vluchtige stoffen vergeleken met de waarden [die beschikbaar zijn op het S-RISK platform © \(Substance data sheets, https://s-risk.be/documents\)](https://s-risk.be/documents). Een overschrijding van deze waarden vraagt voor een controle van de luchtdichtheid van de inrichting. In de zones met een verhoogde luchtverontreiniging (drukke verkeersassen, industriële zones ...) wordt geverifieerd of de mate van luchtverontreiniging vastgesteld nabij de installaties de mate van de luchtverontreiniging in de omgeving (bij een meting over 24 u) overschrijdt.

Betreffende de geurwaarneming is er geen wettelijke limiet van kracht voor de verschillende geurcomponenten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Een controle van de luchtdichtheid van de inrichting is nodig in het geval van herhaalde klachten door de omwonenden.

Betreffende de geluidsoverlast, is het toelaatbare geluidsniveau gegenereerd door de installatie voor behandeling van het grondwater door oppompen geregeld door de Ordonnantie van 17.07.1997 en zijn uitvoeringsbesluit van 24 november 2002 betreffende de strijd tegen de geluids- en trillingenhinder voortgebracht door de ingedeelde inrichtingen. In zones met een te hoog omgevingslawaaï (wegen, actieve industriële zones,...) volstaat het om de gemeten waarde afkomstig van de impact van de installaties te vergelijken met het omgevingslawaaï.



11. Opvolgmaatregelen

11.1 Bewakingsmetingen : eenheidstype

11.1.1. Passieve en actieve infiltratie en directe injectie

De opvolging steunt op volgende elementen :

- Een peilputnetwerk gericht om de piëzometrie en de grondwaterparameters in de loop van de behandeling op te volgen: in de verontreinigingsvlek en zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts ervan. In ieder geval en zeker bij aanwezigheid van gevoelige receptoren dienen tussen de stroomafwaartse limiet van de verontreinigingsvlek (perceelgrenzen en grondwaterwinningen) en de geïdentificeerde gevoelige receptoren observatiepeilputten te worden geplaatst. Tevens dient de laterale afperking van de pluim door observatiepeilputten te worden bewaakt. De peilputten in de kern van de verontreiniging moeten tevens de mogelijke verticale verspreiding controleren.
- Een systeem om de infiltratiedebieten en de geïnfiltreerde volumes van de additieven op te volgen.
- Een systeem om de infiltratiedrukken van de additieven op te volgen (in geval van injectie).

11.1.2. Infiltratie (actief of passief) met stroomafwaartse grondwateronttrekking en eventueel herinfiltratie

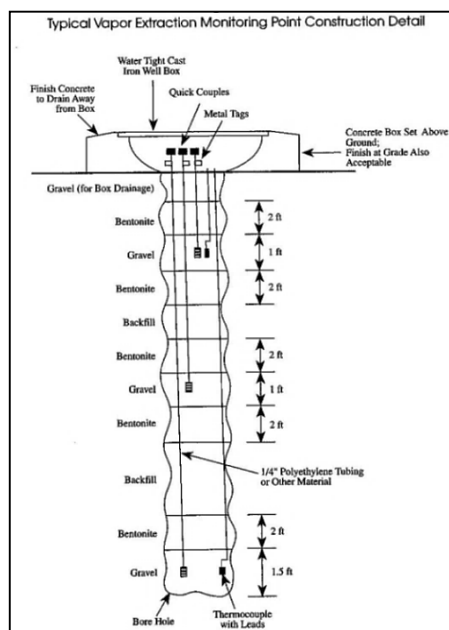
- Een peilputnetwerk gericht om de piëzometrie en de grondwaterparameters in de loop van de behandeling op te volgen: in de verontreinigingsvlek en zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts ervan. In ieder geval en zeker bij aanwezigheid van gevoelige receptoren dienen tussen de stroomafwaarts limiet van de verontreinigingsvlek (perceelgrenzen en grondwaterwinningen) en de geïdentificeerde gevoelige receptoren observatiepeilputten te worden geplaatst. Tevens dient de laterale afperking van de pluim door observatiepeilputten te worden bewaakt. De peilputten in de kern van de verontreiniging moeten tevens de mogelijke verticale verspreiding controleren.
- Een systeem om de infiltratiedebieten en de geïnfiltreerde volumes van de additieven op te volgen.
- Een systeem om de infiltratiedrukken van de additieven op te volgen (in geval van injectie).
- Een systeem van debietmeters die toelaten om het onttrokken debiet en gecumuleerd volume per individuele put en per pomp op te volgen.
- Er dienen monsternamepunten voor het opgepompt grondwater te worden voorzien op niveau van de individuele put, van de aanvoerleidingen, aan de ingang van de waterzuiveringseenheid en bij het lozingsput (of ter hoogte van de infiltratie-eenheid).

11.1.3. Combinatie van gestimuleerde afbraak aerobe en anaerobe condities met persluchtinjectie en bodemluchtextractie

Aanvullend aan de systemen beschreven onder punt 11.1.1.en in geval van persluchtinjectie (verzadigde en onverzadigde zone) :

- De putten zijn voorzien van debietmeters voor het opmeten van de debieten en de cumulatieve geïnjecteerde volumes. Ze zijn ook voorzien van manometers om de injectiedruk te meten/controleren alsook de temperatuur.
- Een netwerk van monitoringspunten verdeeld over de invloedzone waarvoor het opvolgen van de evolutie van de volgende parameters is voorzien: drukken, concentraties in de bodemlucht en eventueel temperatuur. Een voorbeeld van een monitoringspunt is weergegeven in **figuur 4** (Bron : *Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*).

Figuur 4 : voorbeeld van een observatiepunt (monitoring)



- In het geval van een grote verontreinigingszone, laten deze monitoringspunten toe op deze parameters op te meten op verschillende dieptes waarbij de sondes op verschillende dieptes in hetzelfde boorgat of in het naburige boorgat wordt ingebracht. Het aantal, de dichtheid en de ligging van de monitoringspunten maakt onderdeel uit van het voorstel van de deskundige.
- De hermetisch afgesloten peilputten die zich situeren nabij de extractieputten dienen voor het controleren van de stijging van de grondwatertafel door het aanbrengen van de onderdruk.
- Een meetinstallatie voor de onttrokken debieten. Deze metingen worden samengevoegd met de druk- en temperatuurmetingen om de resultaten uit te drukken in standaardomstandigheden van temperatuur en druk.
- Een inrichting voor de bemonstering van het onttrokken gas van elke extractieput (of een groep extractieputten) laat toe om de hoeveelheid onttrokken verontreinigende stoffen te meten.
- Een inrichting voor de bemonstering van het behandelde gas voor lozing in de atmosfeer.
- Een inrichting voor de bemonstering van het condensaat voor behandeling op het terrein of off-site.

11.2. Opvolgmaatregelen : op te volgen parameters en frequentie van opvolging

De op te volgen parameters en de meetfrequentie zijn weergegeven in **tabel 8**:

Tabel 8 : Parameters en meetfrequentie voor de opvolging van de behandeling

Op te volgen parameters	Middel	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Actieve en passieve infiltratie en injectie				
Geïnfiltreerde debieten en volumes van het additief per infiltratieput/drain	Debietsmeter op putniveau	Debiet (m³/s) et gecumuleerde volume	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	Bij langdurige infiltratie
Opvolging van de stijghoogte in de peilputten	Opmeten van de stijghoogte in de monitoringspeilputten	Peilint of sonde	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	Opmaak stijghoogtekaart met grondwaterstromingsrichting
Parameters van het grondwater	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses van het grondwater	Gehalte aan VOCL's en de afbraakproducten: ethaan, etheen, methaan, TOC. concentraties in elektron acceptoren : O₂, Nitraat, sulfaat, Fe(II), Mn(II), pH, Ec, T°	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Parameters van het grondwater, facultatief	Nemen van stalen en uitvoeren van laboratoriumanalyses van het grondwater	PCR onderzoek, acetaat en vetzuren, anorganisch opgeloste koolstof, chlorides, nitriet, sulfiet en sulfide	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Residuele concentraties in de bodem	Boringen en staalnames van de bodem en analyses op VOCL en afbraakproducten	Concentraties aan VOCL van het bronproduct en van intermediaire afbraakproducten (kg/Kg of kg/m³)	Bij opstart en nadien na 6 maand	De diepte van de staalname moet toelaten moet toelaten om een eventuele verticale verspreiding op te sporen - indien mogelijk nagaan welke rol neerslag/sorptie speelt in het proces
Massabalans : Inschatting van de residuele hoeveelheden VOCL en van de afbraakproducten	Gemiddelde residuele concentraties van de verschillende fase in de bodem in de betrokken zone	Massabalans : initiële hoeveelheid van de verontreiniging, residuele hoeveelheid, afgebroken hoeveelheid (Kg) en geproduceerde hoeveelheid (kg) aan intermediaire afbraakproducten	Elke 6 maand	Inschatting van de duurtijd van de behandeling
Omvang van de verontreinigingsvlek	Grondwaterstaalname en analyse	laterale en verticale extensie van de grondwaterpluim	Elke 2 maand	Verspreidingsrisico naar gevoelige receptoren en in de diepte
Infiltratie (actief of passief) + tensioactieve stoffen : bijkomende parameters				
Gehalte aan tensioactieve stoffen in het grondwater	Grondwaterstaalname en analyse	Gehalte aan tensioactieve stoffen	Elke 2 maand	Verspreidingsrisico buiten de interventiezone
Infiltratie (actief of passief) + grondwateronttrekking : bijkomende parameters				
Kwaliteit opgepompte water	Staalname en analyse opgepompte water	Gehalte aan VOCL's en de tussenafbraakproducten. Gehalte aan polluenten> SN. TOC. gehalte O₂, Fe(tot), Mn(tot), pH, Ec, T°	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Opgepompte debieten per pompput	Debietsmeter op putniveau	Debiet (m³/s) et gecumuleerde volume	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Kwaliteit van het geloosde water	aanvullende code de goede praktijk : Zuivering opgepompt grondwater			
Combinatie gestimuleerde afbraak onder aerobe en anaerobe condities met persluchtinjectie en bodemluchtextractie. Bijkomende parameters.				
Opmeten van de geïnjecteerde debieten en injectiedruk ter hoogte van de injectieputten	Debietsmeters en manometers en T° sondes ter hoogte van de putten	Debieten en gecumuleerde volumes geïnjecteerde lucht	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Opmeten van O2 en VOCL in gasfase in de monitoringspunten verspreid over de zone	Staalname bodemlucht en analyse op O2, VOCL en afbraakproducten, manometrische opvolging	Zuurstofgehalte, VOCL en afbraakproducten en controle van de luchtcirculatie in de verzadigde bodemlagen	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	Opvolging van de beluchtingsefficiëntie en de gehalten in gasfase
Extractiedebieten door de extractieputten	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m³/s) en gecumuleerde volume	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Onderdruk en temperatuur ter hoogte van de extractieputten	Manometer en temperatuursonde ter hoogte van de putten	Onderdruk (Pa) en temperatuur (°C)	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	Voor de berekening van de volumes onder standaardomstandigheden (T° en standaarddruk)
Concentraties aan verontreinigende stoffen in de onttrokken gasen van elke put	Staalname ter hoogte van de extractiepunten en analyse van de stalen: actiefkoolbuisjes, drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigende stoffen in navolging van een interventie	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	
Massabalans : Inschatting van de onttrokken hoeveelheden VOCL en van de afbraakproducten	Optelling van onttrokken hoeveelheden voor de betreffende controleperiode	Massabalans : initiële hoeveelheid van de verontreiniging, residuele hoeveelheid, afgebroken hoeveelheid (Kg) en geproduceerde hoeveelheid (kg) aan intermediaire afbraakproducten	Elke 6 maand	
Geloosde luchtkwaliteit				
Hoeveelheid condensaat en concentratie aan verontreinigende stoffen in het condensaat	Hoeveelheden vloeistof gerecupereerd in de afscheider en de gehalten aan verontreinigende stoffen	m³ en kg/m³	Eerste maand (opstartfase): wekelijks, daarna maandelijks en dan driemaandelijks	verwijdering regelen op of buiten de site
* in functie van de opvolgresultaten kan de expert de frequentie aanpassen				

Deze tabel lokt volgende commentaren uit:

- De analyse op de verontreinigende stoffen in de gasen wordt gerealiseerd in het laboratorium na staalname met actiefkoolbuisjes of in luchtzak. De deskundige kan echter voorstellen om directe metingen van de concentraties uit te voeren met behulp van FID- of PID-meter of Drägerbuisjes, indien is aangetoond dat er goede overeenkomst is tussen de directe metingen en de laboratoriumanalyses. Voor de verontreinigende stoffen in mengsels, zoals koolwaterstoffen, zal de overeenkomst tussen de directe metingen en de laboratoriumanalyses onderworpen worden aan periodieke aanpassingen volgens een periodieke frequentie voorgesteld door de deskundige, gezien de evolutie van het mengsel tijdens de vooruitgang

van de behandeling. De metingen van de gehalten aan O₂, CO₂ en water in de gassen kunnen direct gemeten worden.

- Zowel het analyseprogramma voor bodem, grondwater en bodemlucht als de periodiciteit van de monitoring kan op voorspraak van de expert worden aangepast.
- Voor de staalname van bodem, grondwater en bodemlucht, wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel voor « Codes van goede praktijk voor het nemen van bodem-, grondwater-, sediment en bodemluchtstalen ... ». Voor de analyse van de stalen, wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 4 « Codes van goede praktijk voor de analysemethode ... », van Leefmilieu Brussel

De op te volgen parameters met betrekking tot overlast zijn opgenomen in **tabel 9**.

Tabel 9: meetfrequentie voor de opvolging van de mogelijke hinder

Op te volgen parameters	Middel	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Concentraties aan VOCL in de omgevingslucht	Staalname van de omgevingslucht in de nabij de installatie of nabij de gevoelige zones en analyses van stalen, actiefkoolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan VOCL en schadelijke afbraakproducten (kg/m ³)	Bij de opstart, daarna elke 2 weken en daarna elke 3 maand	
Geluidsmetingen	Opzetten van een meetnetwerk	Geluidsniveau	In geval van klachten van de bewoners	
Geurmetingen	Opzetten van een meetnetwerk	Geurniveau	In geval van klachten van de bewoners	

12. Rapportage, optimalisatie en correctieve maatregelen

12.1 Rapportage

Conform aan [het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 29/03/2018 tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, de aangifte voorafgaand aan de behandeling van beperkte duur en de modaliteiten van de bekendmaking door aanplakking van de behandeling van beperkte duur](#), impliceert een interventie door middel van in situ - oxidatie het overmaken van één of meerdere rapporten aan Leefmilieu Brussel :

- Tussentijdse rapportage ter beëindiging van de opstartfase. De normale duur van de uitvoering van de opstartfase wordt geschat op 2 maanden. Door middel van een geargumenteed voorstel, kan de duur gewijzigd worden.
- Andere tussentijdse rapporten indien de behandeling zich over meerdere jaren volstrekken. De frequentie van de tussentijdse verslagen wordt niet gespecificeerd in het Besluit. Deze frequentie zal bepaald en , geargumenteed worden door de deskundige. Een tussentijds rapport zal opgemaakt en voorgesteld worden aan Leefmilieu Brussel wanneer, op basis van de gegevens verzameld gedurende de verschillende monitoringscampagnes, blijkt dat er significante wijzigingen nodig zijn van de interventie en dat deze wijzigingen goedgekeurd moeten worden door Leefmilieu Brussel: installatie van nieuwe extractie- of injectieputten, buitengebruikstelling van putten, uitbreiding van het netwerk aan monitoringspeilputten door uitbreiding van de pluim, installatie of wijziging van een inrichting voor het dalen van de grondwatertafel, ...

De inhoud van het eerste tussentijdse rapport omvat minstens de informatie opgenomen in **tabel 10**.

Tabel 10 : informatie aan te leveren in het eerste tussentijds rapport

Rubriek	Te meten parameters en aantal
Beschrijving van de installatie (as built) voor de eerste fase , alle technieken van toevoeging van additieven en hun varianten	Type koolstofbron, nutriënten, pH regelmatig, tensioactieve stoffen (gehalten en karakteristieken), Beschrijving van de verschillende elementen van de installatie: infiltratie/injectieputten/onttrekkingsputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), monitoringspeilputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), inrichting voor het opmeten van de geïnfilterde/geïnjecteerde en onttrokken debieten aan additieven/grondwater (type, ligging, ...), inrichting voor het meten van de onderdruk (type, ligging), inrichting voor het meten van de stijghoogte nabij de extractieputten, toevoerleidingen, product/waterafscheider, waterzuiveringsinstallaties
Beschrijving van complementaire installaties voor de combinatie gestimuleerde attenuatie onder anaërobie/aërobie met persluchtinjectie en bodemluchtextractie	Beschrijving van de verschillende elementen van de installatie: extractieputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), monitoringspeilputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), inrichting voor het opmeten van de debieten onttrokken gassen (type, ligging, ...), inrichting voor het meten van de onderdruk (type, ligging), inrichting voor het meten van de stijghoogte nabij de extractieputten, toevoerleidingen, lucht/waterafscheider, zuiveringsinstallatie voor de onttrokken gassen
Te rapporteren parameters indien de toevoeging gebeurde met actieve of passieve infiltratie of directe injectie	Geïnfilterde debieten en toegepaste drukken in de verschillende putten, verificatie van de invloedssfeer van de infiltratie, opgemeten peilputniveaus en piezometrische kaart + grondwaterstroming. Geanalyseerde concentratie aan VOCL's en afbraakproducten en geochemische indicatoren van de afbraak : etheen, ethaan, methaan, TOC, concentraties in elektron acceptoren : O ₂ , Nitraat, sulfaat, Fe(II), Mn(II), pH, Ec, T°. Vooropgestelde duur van de behandeling op basis van de beschikbare gegevens - Interventie haalbaarheid - Correctieve acties
Facultatief te rapporteren parameters indien de toevoeging gebeurde met actieve of passieve infiltratie of directe injectie	Resultaten PCR onderzoek, opgemeten grondwater gehalten aan: H ₂ acetaat en vetzuren, anorganisch opgeloste koolstof, chlorides, nitriet, sulfiet en sulfide
Complementair te rapporteren parameters indien de infiltratie gecombineerd werd met stroomafwaartse grondwateronttrekking	Opgepompte grondwaterdebieten, invloedssfeer van de onttrekking, gehalten aan VOCL en afbraakproducten en gehalten aan polluenten > SN in het opgepompte water, kwaliteit van het geloosde gezuiverde water
Complementair te rapporteren parameters indien persluchtinjectie en bodemluchtextractie werd toegepast	Injectiedruk in de verschillende putten. Debieten en volumes cumulatief geïnjecteerd. Onderdruk, T° en debiet uit de extractieputten. Verificatie van de invloedssfeer per put, gehalten aan O ₂ +VOCL+afbraakproducten, T° en onderdruk in de controlepunten verdeeld over de behandelingszone. Polluentgehalten (VOCL+afbraakproducten+anderen), O ₂ en CO ₂ in de onttrokken bodemlucht. Kwaliteit van de geloosde lucht.

12.2 Correctieve maatregelen en optimalisatie

Zoals bij elke methode van aanpak waarbij biologische processen in natuurlijke condities plaatsvinden een belangrijke rol spelen, is de efficiëntie van de gestimuleerde afbraak afhankelijk van een groot aantal factoren die een invloed kunnen hebben op de goede afloop ervan : fysico-chemische karakteristieken van de bodem en van het grondwater, heterogeniteit van de bodem, gemengde verontreinigingen die de biologische activiteit negatief kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld zware metalen, ...).

Correctieve maatregelen kunnen noodzakelijk zijn indien blijkt dat, ondanks de hoge graad aan beschikbare informatie bekomen uit voorgaande fases, tijdens onderzoeken uitgevoerd op het terrein of in het laboratorium, de graad van onzekerheid over de haalbaarheid (technisch en economisch) van het proces door natuurlijke afbraak als te groot wordt beschouwd, of dat de afbraaksnelheid van de verontreinigende stoffen lager blijkt te zijn dan deze die verondersteld werd tijdens de opmaak van het saneringsvoorstel of risicobeheersvoorstel.

Drie types van problematische situaties kunnen regelmatig voorkomen :

Trage afbraak van hooggechlororeerde componenten (PCE en TCE), dit ondanks dat aan alle gunstige voorwaarden voor halrespiratie is voldaan. De rede hiervan is de geleidelijke vrijstelling van deze componenten uit de aanwezige vrije fase (DNAPL). Volgende correctieve maatregelen kunnen een oplossing bieden:

- De kernzone van de verontreiniging kan met een andere techniek worden verwijderd: ontgraving, thermische behandeling, chemische oxidatie.
- Infiltratie met oplossingen die componenten met tensioactieve of solvent eigenschappen hebben zodat de vrije fase beschikbaar voor de biologische processen wordt gesteld.

Stagnatie of accumulatie van intermediaire afbraakproducten die mogelijk meer mobiel of meer toxisch zijn (DCE en VC) door, bijvoorbeeld, de afwezigheid van de juiste bacteriën die in staat zijn om de laatste stappen van de afbraak te verwezenlijken. Dit kan eventueel nagegaan worden door het uitvoeren van een PCR test in het grondwater. De correctieve maatregelen die in overwegingen dienen te worden genomen zijn:

- Combinatie met een techniek van gestimuleerde afbraak met wijzing van milieu aerobie/anaerobie: dit kan bewerkstelligd worden door een 'redox switch' in dezelfde zone of creëren van een stroomafwaartse aerobe zone.
- Enting, in de bodem, van micro-organismen die in staat zijn om de afbraak tot op het eindstadium te verwezenlijken (CO₂, etheen, ethaan) na laboratoriumtesten en het bekomen van de nodige machtigingen. Deze micro-organismen kunnen afgeleverd worden door een laboratorium die gegevens over hun karakteristieken en hun afbraakpotentieel aanleveren of ze kunnen aangemaakt worden door een ent (bodem of grondwater) afkomstig van een site waar volledige afbraak werd waargenomen.

Migratie van de gechloreerde componenten buiten de behandelings- en bewakingszone met een gevaar voor gevoelige receptoren. Dit kan het gevolg zijn van verschillende processen: minder snelle afbraak dan voorzien, een hogere verspreidingssnelheid door de inbreng van de additieven, de mobilisatie van vrij product als gevolg van tensioactieve of solventwerking. De juiste correctieve actie is functie van de afstand tot de gevoelige stroomafwaartse receptoren:

- Aanpassing van de geohydrologische omstandigheden om verdere verspreiding tegen te gaan
- Het plaatsen van een actief scherm met gestimuleerde afbraak door putten met additief
- Het plaatsen van een 'pump & treat' barrière in het grondwater
- Het plaatsen van een scherm met persluchtinjectie en bodemluchtextractie
- Het plaatsen van een actieve grondwaterzuiveringsbarrière.

13. Validatie methode en beslisschema voor stopzetting - voortzetting van de maatregel

De validatie methode heeft als doel om te vast te leggen dat de einddoelstellingen van de behandeling op een duurzame manier behaald werden, waardoor gesteld kan worden dat de behandeling beëindigd kan worden.

Deze maatregel bestaat uit het uitvoeren van een laatste meet- en bemonsteringscampagne van de geïmpacteerde bodem- en grondwaterlagen. Deze analysecampagne behelst een analyse van alle verontreinigende stoffen waarvoor een interventie nodig was, al hun intermediaire toxische afbraakproducten en andere mogelijke verontreinigende stoffen die verondersteld mogelijk te zijn ontstaan door aanwezigheid van de verontreiniging (As,...). De concentraties van deze stoffen wordt vergeleken met de interventiewaarden gedefinieerd in het [BBHR van 29/03/2018](#).

In het geval dat de doelstellingen werden bereikt voor een bepaalde verontreinigingsvlek, dienen twee opeenvolgende bemonsteringscampagnes te worden uitgevoerd, respectievelijk na 3 en na 6 maanden, te tellen na het beëindigen van de werkingsperiode van de laatste additietoediening, om de duurzaamheid van de behaalde resultaten na te kunnen gaan.

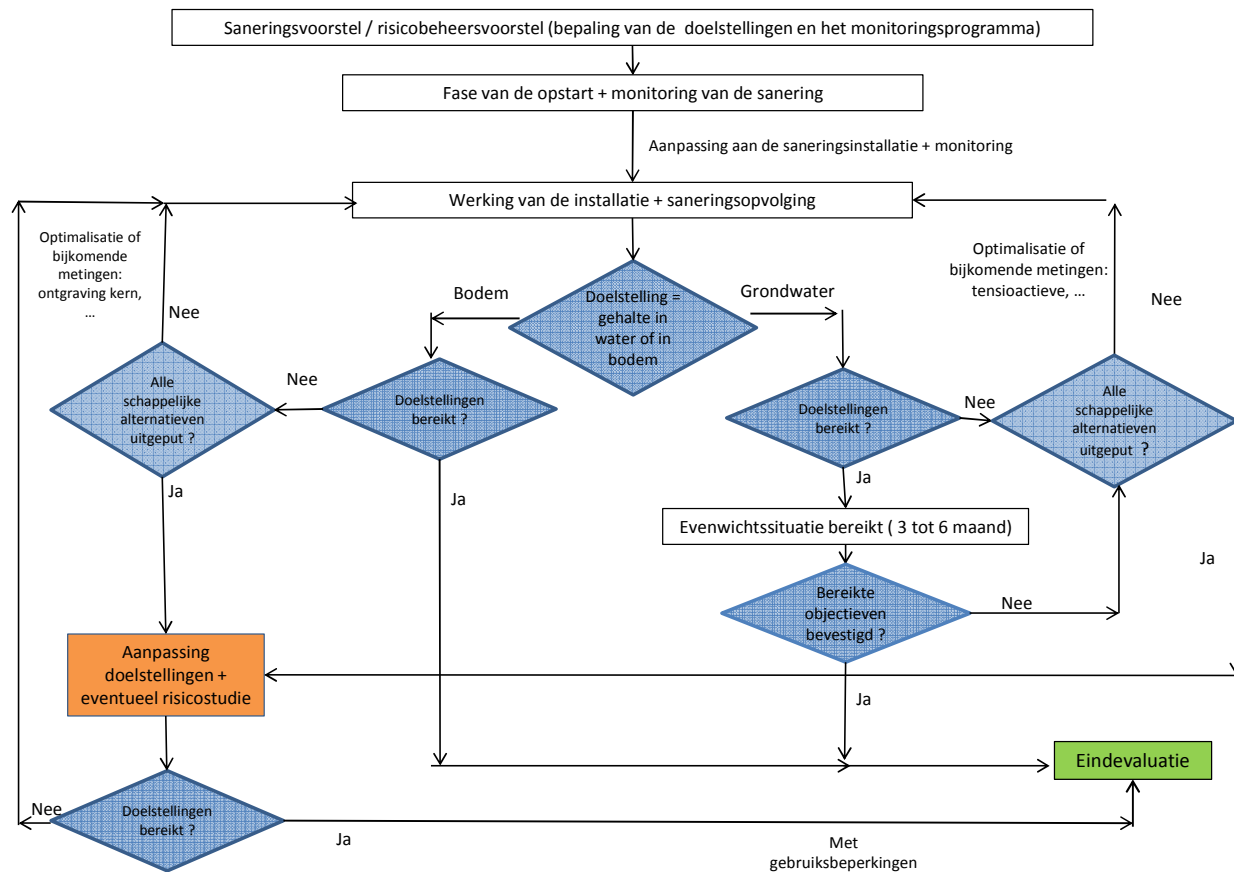
In het geval dat de concentraties in evenwicht onder de doelstellingen blijven, kan de behandeling als afgerond beschouwd worden. De opvolgingsmaatregelen kunnen dan ontmanteld worden (tenzij een validatie op langere termijn dient te worden gerealiseerd), en er kan een eindevaluatierapport worden opgesteld.

In het geval dat er geen stabiele eindtoestand aangetoond kan worden (doelstellingen bereikt), dienen de opvolgingsmaatregelen van kracht te blijven en dienen eventueel ook bijkomende correctieve maatregelen genomen te worden: overgaan tot meer actieve maatregelen zoals gestimuleerde natuurlijke afbraak door infiltratie/injectie van componenten die de condities kunnen wijzigen zoals de pH, de T°, de beschikbaarheid van elektron donoren of acceptoren; de injectie van surfactanten; een ontgraving van de kern...

Indien tijdens de volgende validatie campagnes, de doelstellingen nog steeds niet bereikt worden, kan een aanpassing van de doelstellingen door de deskundige voorgesteld worden in combinatie met een risico studie (met eventueel een voorstel voor gebruiksbepkeringen). Na goedkeuring van dit aangepast voorstel door Leefmilieu Brussel, zijn er twee mogelijkheden: op basis van de nieuwe doelstellingen kan de maatregel als afgerond beschouwd worden of in het andere geval dienen de verrichtingen opnieuw opgestart worden al dan niet samen met bijkomende correctieve maatregelen.

Het beslisschema tijdens de validatiefase ziet er als volgt uit :

Beslisschema validatie van de sanering of het risicobeheer



14. Mogelijke opvolgmaatregelen op lange termijn: installatie en type maatregelen

Na aangeven van de deskundige of op vraag van Leefmilieu Brussel kunnen opvolgingsmaatregelen (validatie op lange termijn of na beheersing) gevraagd worden aan de behandelingsplichtige na afronding van de behandeling. Deze maatregelen hebben als doel de resultaten van de werken te bevestigen en na te gaan of het behalen van de doelstellingen van blijvende aard zijn. Deze opvolgingsmaatregelen op lange termijn zijn gerechtvaardigd van zodra er een onzekerheid bestaat in de bekomen resultaten: grote concentratie wijzigingen in de controlepeilbuizen, grote wijzigingen in stijghoogtes, concentraties die stabiel zijn maar die dicht bij de doelstellingen aanleunen, specifieke ongunstige omstandigheden....

Bij de maatregelen waarbij de doelstellingen gerelateerd zijn aan de kwaliteit van het grondwater, kan deze opvolging op lange termijn plaatsvinden door de opvolging van een aantal peilbuizen ter hoogte van de verontreinigde zone en stroomafwaarts ervan.

In tegenstelling tot de maatregelen genomen tijdens de opvolgings- of validatiefase, zullen in deze fase niet alle peilbuizen bemonsterd worden voor analyse maar slechts een aantal representatieve peilbuizen die toelaten de kwaliteit op te volgen in de verontreinigde zone en stroomafwaarts ervan.

In ieder geval, dient één of meerdere peilbuizen die stroomopwaarts gelegen is ten opzichte van de geïdentificeerde potentieel bedreigde receptoren te worden opgenomen in het opvolgingsplan voor bemonstering en analyse.

De parameters die opgevolgd zullen worden zijn :

- De residuele concentraties aan verontreinigende stoffen in het grondwater (verontreinigende stoffen waardoor de maatregelen opgestart werden worden geanalyseerd + intermediaire afbraakproducten die een mogelijke negatieve impact om mens en leefmilieu hebben, metalen en andere mogelijke verontreinigende stoffen die gevoelig zijn voor veranderingen in redox condities in de bodem).
- De parameters die een invloed hebben op het verdere verloop van de natuurlijke afbraak van de verontreiniging: pH, O₂, CO₂, TOC, nitraat, sulfaat, nutriënten, Fe(II), Mn(II), ... afhankelijk van de processen die verantwoordelijk zijn voor de natuurlijke afbraak.

Voor de bemonstering van stalen in het grondwater, is het aangewezen om de Code van goede praktijk nr. 3 van Leefmilieu Brussel « Staalname van bodem, grondwater, sedimenten en bodemlucht ... » te raadplegen. Voor het analyseren van stalen, is het noodzakelijk dat dit gebeurt conform de Code van goede praktijk nr. 4 « Code van goede praktijk voor analysemethoden ... », van Leefmilieu Brussel.

De duurtijd en de frequentie van de opvolgingsmaatregelen op lange termijn zijn afhankelijk van de situatie: de graad van onzekerheid en het niveau van de residuele concentraties, type van aanwezige verontreinigende stoffen en de ernst van het risico dat hun aanwezigheid teweeg brengt, aanwezigheid en afstand tot potentieel bedreigde receptoren, snelheid van verspreiding van de verontreinigende stoffen.

Het opvolgingsprogramma dat het duurzaam behalen van de finale behandelingsdoelstellingen beoogt, dient representatief en redelijk te zijn zowel wat de frequentie als de duurtijd van de

gehele opvolging betreft, zodat een uitspraak kan gedaan worden (1) over de stabiliteit van het finale resultaat van de behandeling of (2) over een eventuele stijgende trend. Zonder specifieke motivatie dient de opvolging de termijn van 2 jaar niet te overschrijden.

De rapportage van de meet- en bemonsteringscampagnes en het overmaken van de rapporten aan Leefmilieu Brussel gebeurt op jaarlijkse basis of (minder gebruikelijk) na elke opvolgingsronde.

De gemeten concentraties worden vergeleken met de doelstellingen. De interpretatie van de van de waarden worden uitgevoerd als volgt :

- Alle concentraties zijn systematisch lager dan de doelstellingen : de bekomen resultaten zijn bevestigd en het dossier kan afgesloten worden.
- De concentraties van een aantal verontreinigende stoffen en ter hoogte van de bemonsteringspunten zijn er fluctuaties doorheen de tijd waardoor er soms tijdelijk lichte overschrijdingen van de doelstellingen worden waargenomen: verlenging van de validatiefase op lange termijn, indien er geen dalende trend wordt waargenomen.
- De concentraties aan verontreinigende stoffen overschrijden de doelstellingen regelmatig, zelfs na verlenging van de opvolgingsmaatregel of de concentraties aan verontreinigende stoffen overschrijden in belangrijke mate en op systematische wijze de doelstellingen en/of er wordt (terug) vrij fase aangetroffen. Indien deze situatie zich voordoet zijn er drie mogelijke scenario's :
 - De verontreiniging is van een andere aard dan deze die werd beschreven tijdens het gedetailleerd onderzoek : nieuwe actieve bron, nieuwe omstandigheden, nieuwe verontreiniging, ... Een nieuw gedetailleerd onderzoek is noodzakelijk, welke aanleiding zal geven aan een nieuwe behandeling, waarbij nagegaan wordt of het over eenzelfde of een andere plichtige gaat.
 - Aanvullende verrichtingen zijn noodzakelijk om de eerder gedefinieerde doelstellingen te bereiken.
 - Het is niet mogelijk om de doelstellingen op duurzame manier binnen een redelijke termijn en met een realistisch budget te behalen : de doelstellingen van de sanering of het risicobeheer worden gewijzigd (interventienorm of waarden die bepaald worden op basis van een risico studie)



15. Aanbevelingen op het vlak van gezondheid, veiligheid en organisatie

15.1 Korte checklist voor de aannemers

De checklist bedoeld voor de aannemers is opgenomen in onderstaande **tabel 11**. Deze checklist heeft als doel de aannemers te helpen bij het opstellen van hun offertes als antwoord op de bestekken opgesteld door de experts. Rekening houdend met de grote verscheidenheid van situaties die kunnen voorkomen, kan deze checklist worden uitgebreid.

Tabel 11 : checklist voor de aannemers

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (bestek, omschrijving der werken,...)	
Nutsleidingen	Aanvraag bij netwerkbeheerders gedaan en toereikend antwoord ontvangen
Karakteristieken van de infrastructuur op en in de onmiddellijke nabijheid van de site	Inventaris en opmeting van de bovengrondse gebouwen en infrastructuur. Inventaris en opmeting van de ondergrondse structuren.
Gevoeligheid van de ondergrondse infrastructuur voor strikte anearobe condities, solventen en tensioactieve stoffen	Opmaak inventaris gevoelige infrastructuur
Stabiliteitsstudie voor ondergrondse structuren	Toereikende stabiliteitsstudie, in overeenstemming met de uit te voeren werken (bij bemaling)
Stabiliteitsstudie voor de bovengrondse werken	Toereikende stabiliteitsstudie, in overeenstemming met de uit te voeren werken (bij bemaling)
Gevoelige receptoren	Toereikende identificatie van gevoelige receptoren op en in de omgeving van de werf
Technische aspecten van het bestek of van de omschrijving der werken	Beschrijving van de onttrekkingsinstallatie (putten, situering, dimensies, ...) en eventueel de injectie-installatie; vastleggen van de juiste hoeveelheden: debieten, drukken, onderdrukken, type pompen, ...
Bepaling van de nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever. Verifiëren of de systeemvereisten in overeenstemming zijn met de normeringen.
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: transport van gevaarlijk afval (condensaat), gasemissies,...
Lozingspunten	Lozingspunten voor de behandelde onttrokken bodemlucht zijn bekend en in overeenstemming met de karakteristieken van de site. Vergunningen zijn aangevraagd en verkregen.
De communicatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van bouwheer, opdrachtgever, dossierhouder van Leefmilieu Brussel en bevoegde overheden zijn bekend
Informatie verplicht aanwezig in het Veiligheid-, Gezondheid- en Milieuplan (VGM-plan) van de aannemer	
Identificatie en aard van de risico's	Explosierisico in het collectorsysteem voor bodemgas rekening houdend met de ontvlambaarheid van de onttrokken componenten
	MSDS - fiches en veiligheidszinnen voor de gevaarlijke en toxische stoffen ivm. opslag, manipulatie, gebruik: risico voor het personeel (inademen, dermaal contact), brandrisico en verspreidingsrisico
	Risico voor de ondergrondse infrastructuur door de ondergrondse inzet van tensioactieve stoffen of solventen
	Risico voor ondergrondse structuren bij opwarming door injectie van warme lucht, damp of een ander systeem

	Explosierisico door de vorming van bellen met ontvlambare vluchtige producten in de bodem
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging door de opslag van gevaarlijke of mogelijke verontreinigende stoffen (brandstof)
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van verontreinigde bodem op de site (tijdens het plaatsen van putten of sleuven)
	Gezondheidsrisico's voor het personeel ten gevolge van de aanwezigheid van vluchtige en gevaarlijke producten
	Risico's op ongevallen : vallen, snijden, knellen, brand, elektrocutie,...
	Risico's verbonden aan het betreden van het terrein door niet-bevoegde personen : diefstal, vandalisme en gezondheidsrisico's
	Risico's bij werken in besloten ruimtes (kelders, sleuven, ...) verbonden aan een slechte omgevingsluchtkwaliteit
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevriezing van de leidingen indien er veel condensaat gevormd wordt....
	Risico's verbonden aan het verkeer (voetgangers, auto's,...) indien er zich infrastructuur op het openbaar domein bevinden
Preventiemaatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste preventiemaatregelen te worden vastgelegd en geïmplementeerd (o.a. explosieveilig elektrisch materiaal), evenals een juiste opleiding van het personeel
verbeterende en interventie maatregelen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de juiste verbeterende en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toepasbaar met hoge snelheid)
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en voor de omgeving gevaarlijke dampen in geval van lekken en verliezen aan de installatie
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen,
	Verkeersopstoppen
	Bevuiling van de wegenis
Preventiemaatregelen	Voor elke potentiële overlast dienen gepaste preventiemaatregelen te worden vastgelegd en beschreven. Bijvoorbeeld de installatie van explosiemeters, alarmsystemen, automatische noodstop en beveiligingsmodus (door bijvoorbeeld omgevingslucht aan te zuigen in de piping)
verbeterings- en interventie maatregelen	Voor elke potentiële overlast dienen de juiste verbeterings- en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge snelheid)
Planning van interventies	
Monitorings- en onderhoudsplan	Planning van controlebezoeken: minimaal tweemaandelijks

	Planning van onderhoud
Vaststelling van pannes en mogelijk te verwachten technische problemen	Onvolkomenheden aan materieel en installatie : bvb fouten in de lektheid
	Risico op verstopping van de onttrekkings- en injectieputten : terugval van debieten, drukken en onderdrukken
	Vroegtijdige uitputting van de materialen voor de reiniging van de onttrokken bodemlucht (actief kool)
Installatie alarmsysteem, beveiligingsmodus en automatische noodstop	
verbeterende en interventie maatregelen	Voor elk mogelijk te verwachten probleem dienen de juiste verbeterende en interventie maatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge snelheid)
Veiligheidsrapporten van de toezichthouder	Rekening houdend met de monitoringsverslagen van de deskundige en de gecoördineerde implementatie van verbeterende maatregelen of optimalisaties.

Volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt:

- Voor de VCA gecertificeerde aannemers (of op gelijkaardig wijze bekomen) zijn de in de **tabel 11** opgesomde maatregelen met betrekking tot veiligheid systematisch van toepassing.
- De checklist van **tabel 11** is geldig voor de aannemers en hun onderaannemers in hun respectievelijke interventiedomeinen
- In het algemeen, worden de inspecties ter plaatste ten minste tweemaandelijks uitgevoerd
- Voor de verzamel- en toevoerleiding van het opgepompte gas, gaat systematisch de voorkeur uit naar ondergraven leidingen om ongevallen, vriezen (condensaat) en vandalisme te voorkomen
- Bij de installatie van de voorzieningen (extractieputten en zuiveringsinstallatie) nabij gebouwen, zullen luchtanalyses gebeuren in de nabijheid van de gebouwen om de concentraties aan vluchtige stoffen na te gaan. Deze meting zullen uitgevoerd worden bij opstart, 1 keer na 2 weken van de behandeling en vervolgens om de drie maanden.
- Wanneer een explosierisico is gebleken ter hoogte van de pompputten, leidingwerk of zuiveringsinstallatie, zal het explosierisico (LEL) doorlopend gemeten worden en zal een back-up-systeem opgesteld met grenswaarde 10% LEL (toedienen van lucht en alarm)
- In het geval van stockage op site van verontreinigde gronden opgegraven tijdens de plaatsing van de barrière, moeten er maatregelen genomen worden om te vermijden dat de onderliggende bodem en grondwater verontreinigd wordt: afscherming van de bodem met HDPE-folie, recuperatie van drainagewater, bescherming tegen neerslag door middel van een bovenafdek, recuperatie van hemelwater en verwerking ervan op of buiten de site indien nodig (na contact met verontreinigd materiaal).

15.2 Korte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige

De checklist voor de deskundigen is opgenomen in **tabel 12**. Deze lijst is bedoeld om de deskundige te helpen bij de beschrijving van de werken, het inschatten van de kost en het opstellen van de lastenboek voor de aannemer.

Tabel 12 : checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundigen

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (voorstudie, bestek, omschrijving der werken,...)	
Karakterisatie van de te behandelen verzadigde en onverzadigde zone	Samenstelling van de bodem: opeenvolging en eigenschappen van de lagen, aanwezigheid van lagen met verschillende permeabiliteit, adsorptiecapaciteit, homogeniteit,... Is de dichtheid van de waarnemingen voldoende?
	Eigenschappen van de doorlatendheid van de bodem voor lucht, pomptesten, peilmetingen en grondwaterstromingsrichting, seizoenale variaties in grondwaterstroming, dikte van de aquifer, eventuele afscheidingen tussen verschillende aquifers. Graad van ondoorlatendheid van bovenlaag. Is densiteit en detail van gegevens voldoende?
Aanwezige en te saneren verontreiniging	Aard van de aanwezige verontreiniging, verdeling van de concentraties, is de bron nog actief?, evaluatie van de vuilvracht in de verschillende bodemfases, verspreidingsrisico, aanwezigheid van een drijfzand of een zaklaag, verwachte natuurlijke evolutie van de concentraties (gemeten evolutie, potentieel natuurlijke afbraak)
Fysico-chemische karakterisatie van de bodem	Karakteriseer: pH, geleidbaarheid, redoxpotentiaal, elektronacceptoren (nitraat, sulfaat,...), elektrondonnoren (TOC,...)
Karakteristieken van de infrastructuur op de site en onmiddellijke omgeving	Inventaris en plannen van de gebouwen en bovengrondse infrastructuur. Inventaris en plannen van de ondergrondse infrastructuur.
Gevoelige receptoren	Gevoelige receptoren aanwezig op en rond de werf zijn goed geïdentificeerd
Technische aspecten van de sanering en beschrijving van de werken	Beschrijving van het injectiesysteem (putten, locatie, afmeting, ...) en eventueel het pompsysteem: bepalen van hoeveelheden: debieten, drukken, onderdrukken, pomptype,...
	Uitvoeringswijze: continu of intermitterend. Risico op clogging. Mogelijke corrigerende maatregelen en optimalisaties.
	Bevestiging vooraf van de werking van het systeem: richting en wijze van grondwaterstroming, omvang van de captatiezone, verspreidingssnelheid additieven...
	Saneringsdoelstellingen zijn goed gedefinieerd voor bodem en grondwater
	Inschatting van de duurtijd en noodzaak om beroep te doen op complementaire processen: injectie/onttrekking van lucht, ontgraving kern, toediening van nutriënten, bio-augmentatie,...
	Nagaan of de beschrijving van de zuiveringseenheid voldoende gedetailleerd is. Zijn de fysische hoeveelheden van de materialen (volume, grootte, vermogen, ...) in overeenstemming met de uitvoeringsparameters (debieten, voorziene concentraties, condensaat,...)?
Lozingspunten	Lozingspunten voor de (eventueel) behandelde bodemlucht en grondwater zijn bekend en verenigbaar met de karakteristieken van de site. Vergunningen zijn aangevraagd en verkregen
Bepaling van nodige vergunningen en te respecteren normeringen	Nagaan of de nodige vergunningen aangevraagd zijn door de opdrachtgever. Verifiëren of de systeemvereisten in overeenstemming zijn met de normeringen. Zijn de voorziene procedures conform met de codes van goede praktijk en andere aanbevelingen van het BIM?
Opzoeken van specifieke procedures	Specifieke procedures opzoeken en nagaan of hiermee voldoende rekening is gehouden in het bestek of beschrijving van de werken: transport van gevaarlijk afval (condensaat), gasemissies, inoculatie van micro-organismen...
De communicatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van de bouwheer, de opdrachtgever, dossierhouder van het BIM, bevoegde overheden zijn bekend
Identificatie en aard van de risico's	Explosierisico in het collectorsysteem voor bodemgas rekening houdend met de ontvlambaarheid van de onttrokken componenten
	Risico voor ondergrondse structuren door gebruik van tensioactieve stoffen en solventen
	Explosierisico door de vorming van bellen met ontvlambare vluchtige producten in de bodem
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van gevaarlijke of mogelijk verontreinigende stoffen (brandstof)
	Risico op bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van opslag van verontreinigde bodem op de site (tijdens het plaatsen van putten of sleuven)
	Risico's door klimatologische omstandigheden : bevriezing van de leidingen indien er veel condensaat gevormd wordt....
	Verkeersrisico's als er infrastructuur aanwezig is op de openbare weg
Preventiemaatregelen	Voor elk potentieel risico, moeten preventieve maatregelen genomen worden, alsook opleiding van het personeel
Personen en diensten te contacteren bij problemen	Voor elk van deze potentiële risico's dienen de coördinaten van de juiste contactpersonen en diensten te worden vastgelegd : brandweer, gemeente, civiele bescherming, netwerkbeheerder
Vaststelling van mogelijke overlast	Geur en gevaarlijke dampen voor de omgeving in geval van lekken in de installatie
	Geur en voor de omgeving gevaarlijke dampen in geval van lekken en verliezen aan de installatie
	Lawaai van het materieel : pompen, stroomgroepen,
	Verkeersopstoppen
Preventiemaatregelen	Bevuiling van de wegenis
	Plaatsen van explosiemeters, alarmsystemen, automatische noodstop en beveiligingsmodus (als bijvoorbeeld omgevingslucht wordt aangezogen in de piping)
Planning en inhoud van de werkzaamheden in het kader van de opvolging, validatie en lange termijn opvolging (nazorg)	
Controlesysteem	Beschrijving, locatie en plannen van het controlesysteem: debietmeters, drukmeter en temperatuursondes ter hoogte van de onttrekkingsputten, injectieputten, controlepeilbuizen, meetpunten in de bodem en staalnamepunten van bodemgas en onttrokken behandeld gas, staalname van omgevingslucht... Rekening houdend met de gevoelige receptoren die moeten beschermd worden
Monitoringsparameters	Metingen van onderdruk en onttrekkingsdebiet, metingen van onderdruk in de bodem, metingen van de grondwaterstand, concentraties in opgepompt gas, massabalans van de vuilvracht, residuele concentraties aan verontreiniging en afbraakproducten (al schadelijk) in de bodem en het grondwater, berekening van de captatiezone, gasconcentraties aan de in- en uitgang van de luchtzuivering, aanwezigheid en grootte van puur product, debieten en drukken van injectie van lucht, temperatuur van geïnjecteerde en onttrokken gassen, bodemtemperatuur, verspreiding van verontreiniging naar het grondwater en naar gevoelige receptoren
Optimalisatieparameters	Intermitterend pompen en injecteren, aanpassen van onderdruk afhankelijk van de zones, optimalisatie van de onderdruk, verlaging van de grondwatertafel, inoculatie, installeren van nieuwe onttrekkings- of injectieputten (stagnatiezones), juiste filterdieptes,...
Rapportage	Planning voor het indienen van het eerste tussentijds rapport en de volgende tussentijdse rapporten
	Zijn de verzamelde gegevens voldoende voor het opstellen van deze rapporten?
Validatiestap van de resultaten	Zijn de verzamelde gegevens voldoende voor de uitwerking van deze fase: residuele gehalten in de bodem en het grondwater, rebound, balans van de vuilvracht
Risicostudie ingeval van aanpassing van de doelstellingen	Zijn de verzamelde gegevens voldoende om deze fase uit te voeren?
Lange termijn monitoring (nazorg)	Monitoringssysteem: peilbuizen voor bemonstering
	Monitoringsparameters: concentraties aan pollutanten en afbraakproducten, parameters voor het opvolgen van de natuurlijke afbraak

16. Bibliografie

De bronnen die gebruikt werden bij de opmaak van dit document zijn :

- Code van goede praktijk : in-situ anaerobe bioremediatie van VOCL's, OVAM, 2007;
- Technical protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in groundwater. US-EPA, 1998;
- Biodégradation des solvants chlorés en conditions naturelles, S. Denys, INERIS, octobre 2004 ;
- Chloronet, Guide des hydrocarbures chlorés, Propriétés et comportement dans l'environnement, Schlieren et al., Office Fédéral Suisse de l'Environnement, mai 2008 ;
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001;
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazorg, versie oktober 2011, OVAM ;
- Vacuum Vapor Extraction , Paul C. Johnson et al., Springer, 1994.