

Code van goede praktijk 8

Bioventing

Leefmilieu Brussel



Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Beschrijving van de techniek	5
2.1.	Algemene beschrijving.....	5
2.2.	Technieken die in combinatie met bioventing gebruikt worden.....	7
2.3.	Toedienen van nutriënten.....	7
2.4.	Aanpassen van de fysico-chemische eigenschappen van de bodem.....	8
2.5.	Toediening van micro-organismen aan de bodem (bio-augmentatie).....	8
3.	Beschrijving van varianten.....	9
3.1.	Injectie van lucht in de onverzadigde zone.....	9
3.2.	Bioventing gekoppeld aan opwarming van de bodem door injectie van warme lucht of waterdamp	10
4.	Behandelingsdoelstellingen : kern vs pluim.....	11
5.	Meest gunstige verontreinigingen en omstandigheden (kwalitatieve beoordeling).....	12
5.1.	Verontreinigingen die met bioventing kunnen behandeld worden.....	12
5.2.	Meest geschikte omstandigheden.....	14
6.	Screening van de haalbaarheid	16
6.1.	Toepassingscriteria.....	16
6.2.	Screening van de haalbaarheid.....	16
7.	Uitgebreid onderzoek naar de haalbaarheid	21
7.1.	Eerste onderzoeksstap.....	21
7.2.	Tweede onderzoeksstap	25
7.3.	Noodzaak van een piloottest.....	27
8.	Beschrijving van een type-installatie	30
8.1.	Luchtcirculatie door bodemluchtexttractie.....	30
8.2.	Variant met een combinatie van injectie en onttrekking van lucht.....	31
8.3.	Variant bodemluchtexttractie en opwarming van de bodem.....	31
8.4.	Toediening van nutriënten door infiltratie	31
8.5.	Conceptueel schema	32
9.	Beschrijving van het te installeren systeem.....	33
10.	Beperken van de invloed van de behandeling op de omgeving : geur, geluid, stof,...	36
10.1.	Aandachtspunten	36
10.2.	Hinder voor de luchtkwaliteit in geval van aanwezigheid van vluchtige verontreiniging	36
10.3.	Brand- en explosierisico's.....	36
10.4.	Geluidshinder	37
10.5.	Risico's voor naburige grondwaterwinningen	37
10.6.	Conformiteit met bestaande wetgeving	37
11.	Opvolging van de behandeling	39
11.1.	Basisregels voor de opvolging	39
11.2.	Controlemetingen voor het behandelingssysteem.....	39
11.3.	Controlemetingen : zuiveringsparameters en -frequenties.....	39
12.	Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen	43
12.1.	Rapportage.....	43
12.1.	Corrigerende maatregelen en optimalisatie	43
13.	Validatiemetingen en beslisboom voor het stopzetten-verderzetten van de behandeling....	46
14.	Lange termijn monitoring	48
15.	Aanbeveling op het vlak van gezondheid, veiligheid en organisatie.....	49
15.1.	Bondige checklist voor de aannemers	49
15.1.	Bondige checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige	51
16.	Bibliografie	54



1. Inleiding

De behandelingstechniek « Bioventing » bestaat uit het stimuleren van de aerobe biologische afbraak in de onverzadigde zone door lucht in de bodem te brengen.

Deze techniek verschilt bijgevolg van de behandelingstechniek bodemluchtextractie (SVE) waarbij verontreiniging uit de onverzadigde zone verwijderd wordt door vervluchting van verontreiniging, gevolgd door een onttrekking van de bodemlucht door convectie.

Bioventing is een in situ behandelingstechniek waarbij de aerobe biologische afbraak wordt gestimuleerd met behulp van de van nature aanwezige micro-organismen. De nodige zuurstof wordt toegediend door het circuleren van lucht door de verontreinigde zone. De techniek is bijgevolg geschikt voor het saneren van componenten die gemakkelijk biobeschikbaar en biodegradeerbaar zijn in de bodem. Lucht dient maar in beperkte mate toegediend te worden en dient afgestemd te worden op de afbraaksnelheid van de verontreiniging in de bodem en de bijbehorende zuurstofvraag voor de micro-organismen. In het ideale geval wordt de afbraak van de verontreiniging verder gezet tot onschadelijke eindproducten die ook van nature in de bodem aanwezig zijn. Er wordt slechts in beperkte mate verontreinigde bodemlucht onttrokken waarvoor zuivering nodig is.

In praktijk is het verschil tussen bioventing en SVE niet altijd duidelijk te maken gezien bij het proces waarbij bodemlucht onttrokken wordt, de onverzadigde zone ook aangerijkt wordt met zuurstof en bijgevolg zal de natuurlijke afbraak van de biodegradeerbare componenten gestimuleerd worden. Omgekeerd, zal bij bioventing, waarbij ook bodemlucht onttrokken wordt, vluchtige verontreiniging uit de bodemlucht onttrokken worden.

In functie van de omstandigheden op de site zal het nodig zijn om bioventing te combineren met andere behandelingstechnieken: toedienen van nutriënten, grondwateronttrekking voor het verlagen van de grondwatertafel, ontgraving van de verontreinigingskern,... om tot het gewenste resultaat (het bereiken van de doelstelling) en efficiëntie (binnen een redelijke tijd en aanvaardbaar budget) te komen.

Er bestaan verschillende varianten geassocieerd met deze behandelingstechniek die afhankelijk van de omstandigheden op de site kunnen toegepast worden. De meest courante varianten zijn hieronder opgelijst :

- De injectie van lucht in de onverzadigde zone van de bodem, passief of actief ;
De injectie van lucht in de verzadigde zone, ook wel airsparging genoemd. De uitvoeringswijze van deze techniek is beschreven in de Code van goede praktijk n° 2 die gaat over onttrekking en injectie van gassen in de onverzadigde zone en zal niet in de huidige code behandeld worden.
- De stimulatie van de afbraak door opwarmen van de bodem door injectie van warme lucht, injectie van damp, elektrische weerstand, ...

In geval er grote hoeveelheden puur product aanwezig zijn, gevangen in de poriën van de bodem of onder de vorm van een drijf laag (LNAPL), moet deze verwijderd worden voor het toepassen van bioventing. Grote hoeveelheden puur product zijn weinig beschikbaar voor de micro-organismen en zullen leiden tot een (te) lange behandelingsduur.

Technieken die in ondersteuning van bioventing worden gebruikt, worden beschreven in andere Codes van goede praktijk : grondwateronttrekking voor het verlagen van de grondwatertafel, de bovengrondse behandeling van bodemgas en condensaat.



Deze techniek is gebaseerd op een goed begrip en een kwantitatieve evaluatie van de mechanismen en natuurlijke processen aanwezig op de site. De techniek moet ertoe leiden dat mensen en milieu voldoende beschermd worden tegen de blootstelling aan verontreiniging.

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

2.1. Algemene beschrijving

Met deze behandelingstechniek wordt een verontreiniging in de onverzadigde zone aangepakt door stimulatie van de aerobe biologische afbraak. De stimulatie van de biologische processen verantwoordelijk voor de afbraak, wordt uitgevoerd door het creëren en onderhouden van geschikte omstandigheden voor de micro-organismen.

Het doel van de behandeling is om de vuilvracht in de onverzadigde zone te reduceren of, in het beste geval volledig, te verwijderen. De verontreiniging kan aanwezig zijn geadsorbeerd aan de bodemmatrix, als residueel puur product in de poriën of als (beperkte) drijfslaag (LNAPL). In het ideale geval wordt de verontreiniging afgebroken tot onschadelijke producten die ook van nature in de bodem voorkomen zoals CO_2 , SO_4^{2-} , Cl^- , H_2O ,... Als de afbraak echter onvolledig is, bijvoorbeeld door gebrek aan zuurstof, kunnen intermediaire afbraakproducten gevormd worden. In het algemeen zijn deze afbraakproducten minder schadelijk en beter biologisch afbreekbaar dan de oorspronkelijke verontreinigingscomponenten.

De ideale omstandigheden voor de micro-organismen worden typisch gecreëerd door :

- Het toevoegen van zuurstof aan de onverzadigde zone door het circuleren van lucht doorheen de verontreiniging. De luchtcirculatie wordt uitgevoerd door een installatie voor het onttrekken van bodemlucht. Deze bestaat uit :
 - o Eén of meerdere verticale of horizontale pompputten in de onverzadigde zone die actief de bodemlucht onttrekken ;
 - o Eén of meerdere vacuümpompen of ventilatoren aan de oppervlakte
- Een collectorsysteem die de opgepompte bodemlucht, via een druppelvanger, naar een zuiveringssysteem leidt. Het opvangsysteem bestaat ofwel uit aparte leidingen ofwel uit één of meerdere collectorleidingen.
- Toevoegen van nutriënten, nodig voor de opbouw van de microbiële biomassa, door een infiltratiesysteem ;
- Controle van het watergehalte van de te behandelen bodem door een infiltratiesysteem voor water ;
- Toevoegen van micro-organismen (culturen of consortia) nodig voor een effectieve biodegradatie ingeval de aanwezige micro-organismen de verontreiniging onvoldoende kunnen afbreken (bio-augmentatie);
- Toevoegen van stoffen nodig om de juiste fysico-chemische omstandigheden te creëren : stoffen voor pH-correctie, ...
- Een meetinstallatie voor de opvolging van bodemlucht, waarbij de onderdrukken en de debieten (momentaan en cumulatief) gemeten worden en waarbij de nodige bodemluchtstalen op verschillende punten in het systeem kunnen gemeten worden.
- Het opvolgen van het niveau van het grondwater (ingeval het grondwater ondiep aanwezig is) ;
- Een zuiveringssysteem voor bodemlucht, aangepast aan de verwachte onttrekkingsdebieten en verontreinigingscomponenten. De gezuiverde bodemlucht moet voldoen aan de kwaliteit, door Leefmilieu Brussel beschreven in de [de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#);
- Een systeem voor de behandeling van het opgevangen condenswater ;

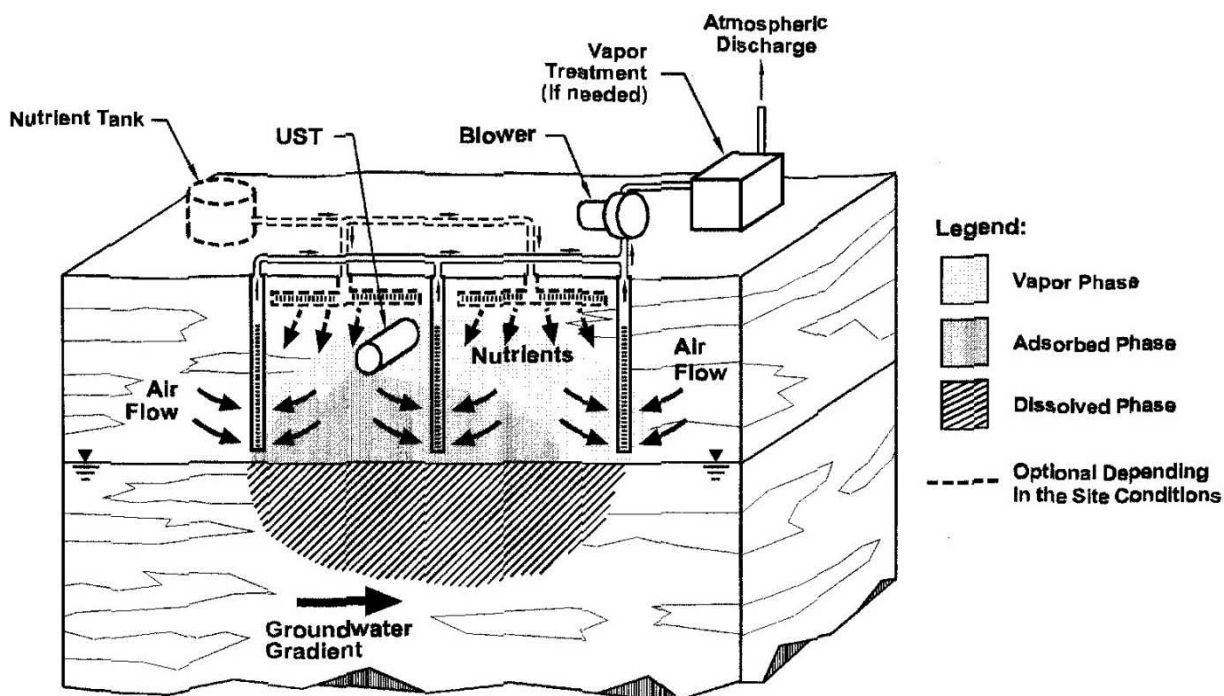


- Het aanbrengen van een ondoorlatende laag op het grondoppervlak ingeval van oppervlakkige verontreinigingen om zo de luchtcirculatie doorheen de verontreiniging te verbeteren ;
- Een controlesysteem waarmee de risico's op incidenten worden opgevolgd : verspreiding van toegevoegde stoffen en polluenten (en de intermediaire producten) naar gevoelige receptoren, explosie- en brandrisico's,...

Soms worden **varianten** van bioventing toegepast :

- De injectie van lucht in de onverzadigde zone van de bodem, passief of actief ;
- De injectie van lucht in de verzadigde zone, ook wel airsparging genoemd. De uitvoeringswijze van deze techniek is beschreven in de Code van goede praktijk n° 2 die gaat over onttrekking en injectie van gassen in de onverzadigde zone en zal niet in de huidige code behandeld worden.
- De stimulatie van de afbraak door opwarmen van de bodem door injectie van warme lucht, injectie van damp, elektrische weerstand, ...

Een bioventing systeem (met toevoeging van nutriënten en luchtinjectie) is weergegeven in **Figuur 1**.



Figuur 1 : Bioventing systeem (Uit document USEPA, 1995, 510-D-95-007, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers)

Algemeen kan de biologische afbraak van organische componenten in de bodem beschreven worden door volgende reactie :



De term $\text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.5}\text{N}_{0.2}$ stelt de gemiddelde moleculaire biomassa voor.

Er wordt verondersteld dat er 3 à 3,5 kg O_2 nodig is om 1 kg (koolwaterstof)verontreiniging in de bodem af te breken.

De biodegradatie vindt plaats onder optimale omstandigheden als de nutriënten N en P beschikbaar zijn in de bodem volgens onderstaande ratio :

C : N : P in verhouding 100:10:1 à 100:1:0,5 afhankelijk van de te degraderen componenten en de micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de biodegradatie.

De metabolische afbraakpaden die door de verschillende micro-organismen (of consortia) gevolgd worden voor de afbraak van verontreiniging in de bodem is beschreven in de literatuur. Volgende database kan hiervoor geraadpleegd worden : the University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation Database ; <http://eawag-bbd.ethz.ch/>.

2.2. Technieken die in combinatie met bioventing gebruikt worden

De biologische afbraak, zelfs gestimuleerd, is niet geschikt om zwaar vervuilde zones aan te pakken, zoals in het geval van de aanwezigheid van een drijfslaag. Verschillende redenen kunnen hiervoor gegeven worden :

- De behandelingsduur is zeer lang in vergelijking tot alternatieve behandelingsmethodes ;
- De toxiciteit van de micro-organismen voor bepaalde componenten als deze in hoge concentraties aanwezig zijn (bijvoorbeeld : lichte koolwaterstoffen en BTEX) ;
- Beperkte biobeschikbaarheid van verontreiniging in een drijfslaag, gezien deze gevangen zit in de microporiën van de bodem.

Daarom wordt bioventing dikwijls toegepast na andere, meer actieve, behandelingsmethodes zoals ontgraven en afvoeren van de verontreinigde grond, behandeling van puur product door oppompen uit de kern van de verontreiniging, behandeling door chemische oxidatie... De techniek wordt dus meestal ingezet in de fase van na behandeling.

Omgekeerd kan bioventing ook geselecteerd worden als de meest aangewezen techniek maar daarna vervangen worden door een meer actieve behandelingstechniek wanneer de resultaten niet voldoen aan de verwachtingen. Dit is bijvoorbeeld het geval als gevoelige receptoren bedreigd worden door migratie van de verontreinigingspluim.

2.3. Toedienen van nutriënten

Om een microbiële biomassa op te bouwen die voldoende is voor de afbraak van de verontreiniging, is het aan te raden om nutriënten toe te dienen aan de bodem. Meestal worden stoffen toegediend door infiltratie van opgeloste zouten in verticale putten of horizontale infiltratiedrains. Het doel is om in de bodem een verhouding C : N : P = 100:10:1 te bereiken. Soms worden andere verhoudingen gebruikt (100:5:1 of 100:10:10), afhankelijk van de mobiliseerbare hoeveelheden door de micro-organismen.

De optimale nutriëntgehalten worden bepaald door labtesten (batch test). De gebruikte nutriënten zijn : ureum (bruikbaar door de micro-organismen na enzymatische hydrolyse en ammonificatie = vertraagd effect), nitraat en ammoniumnitraat.

Door het toedienen van nutriënten onder de vorm van een oplossing wordt de bodem ook bevochtigd zodat een optimaal vochtgehalte voor de microbiële activiteit wordt behouden.

Een concentratie aan nitraat > 50 mg/L in het grondwater als gevolg van de toediening van nutriënten is echter te vermijden gezien deze concentratie overeenstemt met de interventienorm voor grondwater, opgenomen in het [BBHR van 29/03/2018](#) waarin de saneringsnormen en interventienormen zijn opgenomen.



2.4. Aanpassen van de fysico-chemische eigenschappen van de bodem

De pH van de bodem bevindt zich in het ideale geval tussen 6 en 8. Een aanpassing van de pH van de bodem door het direct aanbrengen (voor een oppervlakkige verontreiniging) of door infiltratie van een zuur of base kan nuttig zijn wanneer de omstandigheden in de bodem niet optimaal zijn. De hoeveelheid toe te dienen reagentia zijn dikwijls niet te onderschatten door het bufferend vermogen van de grond en dienen bepaald te worden in het lab.

In zure bodems moet er ook over gewaakt worden dat stikstof niet onder een zure vorm in de bodem wordt gebracht (ammonium en in beperkte mate, ureum).

2.5. Toediening van micro-organismen aan de bodem (bio-augmentatie)

Het toedienen van micro-organismen, gespecialiseerd in de afbraak van verontreiniging kan toegepast worden als :

- De afbraak van verontreiniging in de bodem door de van nature aanwezige micro-organismen verloopt te traag, zelfs na stimulatie (toedienen van zuurstof, nutriënten, ...) ;
- Micro-organismen nodig voor natuurlijke afbraak zijn niet of onvoldoende aanwezig in de bodem.

De micro-organismen kunnen op verschillende manieren toegediend worden :

- Directe inbrenging in de bodem (in geval van oppervlakkige verontreinigingen) ;
- Infiltratie van een suspensie van micro-organismen, al dan niet aangerijkt met nutriënten, in de onverzadigde zone van de bodem. Bepaalde commercieel beschikbare micro-organismen adsorberen maar beperkt aan de bodem, wat hun verspreiding vergemakkelijkt.

Zeer dikwijls moet het toedienen van micro-organismen (specifieke culturen of consortia) een aantal keer herhaald worden gezien de korte overlevingstijd van de toegediende micro-organismen.

Bio-augmentatie komt in aanmerking als :

- De bacterietellingen van de bacteriën die in staat zijn om de verontreiniging af te breken geven een resultaat $< 10^3$ organismen (of CFU : colony forming unit) per gram bodem. In deze omstandigheden, zal de afbraak van de verontreiniging mogelijk traag verlopen. Deze toestand wordt aangetroffen in bodems arm aan nutriënten of bodems die toxische of inhibitorische stoffen bevatten.
- De biologische activiteit van de bodem moet hersteld worden, bijvoorbeeld na toepassing van een fysische of chemische behandeling van een ander type verontreiniging.
- De tijdsduur voor behandeling is beperkt waardoor de bacteriële biomassa onmiddellijk aanwezig en in werking moet zijn zonder tijd voor adaptatie ;
- Er is onzekerheid over de aard en de effectiviteit van de micro-organismen die van nature aanwezig zijn.



3. Beschrijving van varianten

Volgende varianten kunnen aangehaald worden.

3.1. Injectie van lucht in de onverzadigde zone

Deze techniek bestaat uit de injectie van lucht in de onverzadigde zone van de bodem door middel van putten of horizontale drains. De techniek kan om verschillende redenen toegepast worden.

Wanneer deze techniek **alleen wordt toegepast**, zonder installatie van een bodemluchtexttractiesysteem dan is het doel om zuurstof toe te dienen aan de micro-organismen in de bodem die verantwoordelijk zijn voor afbraak van de verontreiniging. Bijkomend is het hierbij dikwijls de bedoeling om de meest vluchtige verontreiniging te mobiliseren en te verspreiden om zo het volume van de bodem-bioreactor te verhogen. Deze techniek kan ook toegepast worden onder de vorm van injectie van pure zuurstof, ozon of cometabolieten om micro-organismen te stimuleren (methaan, propaan,...).

Rekening houdend met het risico op ongecontroleerde verspreidings van de vluchtige componenten en de accumulatie onder gebouwen en andere holtes in de bodem, wordt deze techniek in het algemeen nooit alleen toegepast in het dichtbevolkt en dichtbewoond Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Wanneer deze techniek **gekoppeld wordt aan een bodemlucht-onttrekkingssysteem**, is het de bedoeling om de luchtstroming doorheen de verontreiniging te verbeteren, zonder de onderdruk in de bodem te verhogen en zonder risico op verhoging van de grondwatertafel. Nogmaals, het doel is om de luchtcirculatie in de verontreinigde zones te versnellen om zo de toediening van O₂ aan de micro-organismen verantwoordelijk voor biodegradatie verhogen.

De injectie van lucht kan uitgevoerd worden op een passieve manier door putten te installeren waarvan de filterstelling overeenkomt met de diepte van de verontreiniging. De luchtcirculatie doorheen de verontreiniging wordt geactiveerd door de onderdruk die gecreëerd wordt aan de extractieputten. Bij actieve injectie wordt de lucht geïnjecteerd onder druk in de richting van de onttrekkingsputten om zo de drukgradiënt en dus ook de luchtstroom doorheen de verontreiniging te verhogen.

Volledig passieve systemen van extractie-injectie waar de luchtstroom doorheen de te behandelen zone afhankelijk is van de variaties in atmosferische druk en het afwisselend openen en sluiten van onttrekkings- en injectieputten worden hier niet in overweging genomen, enerzijds gezien de beperkte variaties in luchtdruk die geregistreerd worden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en anderzijds gezien de zwakke luchtstroom die deze techniek kan ontwikkelen.

Het te installeren systeem is identiek aan het systeem van bioventing waarbij volgende componenten toegevoegd worden :

- Putten (of horizontale drains) van injectie van lucht waarvan de filterstelling overeenkomt met de diepte van de verontreiniging ;
- In geval van een actieve injectie : een pomp en een luchtfilter, eventueel ook een luchtbevochtiger, alsook een meettoestel voor onderdruk en injectiedebieten (instantaan en cumulatief)



3.2. Bioventing gekoppeld aan opwarming van de bodem door injectie van warme lucht of waterdamp

Opwarming van de bodem heeft de volgende doelstellingen : verhoging van de oplosbaarheid en vermindering van de viscositeit van de verontreiniging aanwezig onder de vorm van puur product met als gevolg een verhoogde mobiliteit en een hogere biobeschikbaarheid voor de micro-organismen. De snelheid van diffusie van verontreiniging door minder doorlatende zones wordt eveneens verhoogd.

De verhoogde temperatuur van de bodem versnelt ook de biologische processen verantwoordelijk voor afbraak. Zoals voor alle biologische processen, nemen de afbraaksnelheden toe met een factor 2 voor elke temperatuursverhoging van 10°C. De bodemtemperatuur moet zich bevinden tussen 10°C en 45°C. Onder 5°C wordt de microbiële activiteit nihil beschouwd. De temperatuur van de bodem en de geïnjecteerde dampen mogen niet hoger zijn dan 45°C, anders zullen de afbraaksnelheden afnemen.

De methode van injectie van waterdampen in de bodem wordt beschreven in de Code van goede praktijk n°2 (Pompen van gassen in de onverzadigde zone van de bodem).

Deze variant wordt zelden toegepast in het Brussels Hoofdstedelijk gewest en is enkel te verantwoorden in gevallen waarin de beschikbare behandelingsduur relatief kort is.



4. Behandelingsdoelstellingen : kern vs pluim

Bioventing wordt bij voorkeur eerder toegepast in de pluimzone dan in de kern van de verontreiniging.

Ter hoogte van de kern kunnen de verontreinigingsconcentraties hoog zijn en bijgevolg toxisch of ongunstig zijn voor de micro-organismen verantwoordelijk voor de biologische afbraak.

In de kern van de verontreiniging zijn de minst oplosbare verontreinigingen dikwijls aanwezig onder de vorm van een aparte fase (LNAPL) die weinig biobeschikbaar zijn voor de micro-organismen. Bijgevolg kan de behandeling van deze zones op biologische wijze niet gerealiseerd worden in realistische tijdsspannes.



5. Meest gunstige verontreinigingen en omstandigheden (kwalitatieve beoordeling)

5.1. Verontreinigingen die met bioventing kunnen behandeld worden

In **Tabel 1**, uit de Code van goede praktijk n° 6 over de natuurlijke afbraak, wordt voor de belangrijkste verontreinigingen aangetroffen in de bodem een uitspraak gedaan over de kennis van de natuurlijke afbraakmechanismen in de bodem en wordt weergegeven wat de kans is op succes van natuurlijke afbraak.

In **Figuur 2** worden de meest voorkomende koolwaterstoffen gerangschikt volgens relatieve biodegradeerbaarheid.

De andere gunstige eigenschappen voor bioventing zijn de volgende :

- De verontreiniging is mobiel en beschikbaar voor een goed contact met de micro-organismen in de bodem ;
- De eigenschappen van de af te breken polluenten moeten voldoen aan onderstaande voorwaarden :
 - Dampdruk < 0,5 mm Hg (<66,67 Pa) ;
 - Kookpunt > 250-300 °C ;
 - Henry constante < 100 atm ($7,5 \cdot 10^{-5}$, zonder eenheid) ;

anders zullen de verontreinigingscomponenten eerder de neiging hebben om vervluchtigd te worden en vervolgens opgetrokken te worden door het onttrekkingssysteem dan afgebroken te worden in de bodem.

- De verontreiniging is biologisch afbreekbaar zonder vorming van toxische intermediaire tussenproducten die zich kunnen accumuleren of verspreiden in de bodem.

Tabel 1 : Lijst van de voornaamste verontreinigingen in de bodem, het kennisniveau van de afbraakmechanismen en een inschatting van de kans op succes van de afbraak zonder stimulatie

Verontreiniging	Meest belangrijke afbraakproces	Huidig kennisniveau van de afbraak-mechanismen	Kans op succes van de afbraak
Organische polluenten			
Koolwaterstoffen			
BTEX	Biotransformatie	hoog	hoog
Bezine - stookolie	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
Alifaten weinig vluchtige	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
PAK's	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Creosoot	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
Geoxydeerde koolwaterstoffen			
Alcoholen met laag moleculair gewicht, ketonen en esters	Biotransformatie	hoog	hoog



MTBE	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
VOCI			
PCE, TCE, CCL4	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
TCA, DCA	Biotransformatie/transformatie abiotisch	gemiddeld	zwak
Dichloromethaan	Biotransformatie	hoog	hoog
Vinylchloride	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
DCE	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Aromatische halogeenverbindingen			
<u>Sterk gehalogeneerd</u>	Biotransformatie/immobilisatie	gemiddeld	zwak
PCB's			
Pentachloorfenolen			
Chloorfenolen			
Tetrachlorodibenzofuran			
<u>Zwak gehalogeneerd</u>			
PCB's	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Dioxine	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Monochlorobenzeen	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
Aromatische nitroverbindingen			
TNT, RDX	Biotransformatie/immobilisatie/abiotische transformatie	gemiddeld	zwak
Anorganische pollutanten			
Metallisch			
Ni	immobilisatie	gemiddeld	gemiddeld
Cu, Zn	immobilisatie	gemiddeld	gemiddeld
Cd	immobilisatie	gemiddeld	zwak
Pb	immobilisatie	gemiddeld	gemiddeld
Cr	Biotransformatie/ immobilisatie	gemiddeld	zwak/gemiddeld
Hg	Biotransformatie/ immobilisatie	gemiddeld	zwak
Niet metallisch			
As	Biotransformatie/ immobilisatie	gemiddeld	zwak
Se	Biotransformatie/ immobilisatie	gemiddeld	zwak
Oxyanionen			
Nitraten	Biotransformatie	hoog	zwak
Perchloraten	Biotransformatie	gemiddeld	zwak
Cianiden			
vrij	Biotransformatie	gemiddeld	gemiddeld
complex (ijzer)	immobilisatie	gemiddeld	zwak
Radionucliden			
⁶⁰ Co, ¹³⁷ CS	immobilisatie	gemiddeld	gemiddeld
³ H	desintegratie	hoog	gemiddeld
⁹⁰ Sr	immobilisatie	hoog	gemiddeld
⁹⁹ Tc	Biotransformatie/ immobilisatie	zwak	zwak



238,239,240 Pu	immobilisatie	gemiddeld	zwak
235, 236 U	Biotransformatie/ immobilisatie	gemiddeld	zwak

Exhibit VIII-9 Chemical Structure And Biodegradability		
Biodegradability	Example Constituents	Products In Which Constituent Is Typically Found
More degradable	n-butane, l-pentane, n-octane Nonane	☐ Gasoline ☐ Diesel fuel ☐ Gasoline
	Methyl butane, dimethylpentenes, methyloctanes	☐ Gasoline
	Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes Propylbenzenes	☐ Gasoline ☐ Diesel, kerosene
	Decanes	☐ Diesel
	Dodecanes	☐ Kerosene
	Tridecanes	☐ Heating fuels
	Tetradecanes	☐ Lubricating oils
	Naphthalenes	☐ Diesel
	Fluoranthenes	☐ Kerosene
	Pyrenes	☐ Heating oil
	Acenaphthenes	☐ Lubricating oils
Less degradable		

Figuur 2 : Rangschikking van verschillende koolwaterstoffen volgens biodegradeerbaarheid (Uit USEPA, 1995, 510-D-95-007, *How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers*)

Bepaalde databases geven voor verschillende polluenten in de bodem de natuurlijke afbraakpaden weer. In dit opzicht kan volgende database vermeld worden « University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation database » (<http://eawg-bbd.ethz.ch/>).

5.2. Meest geschikte omstandigheden

Bioventing leidt tot gunstige resultaten in volgende omstandigheden :

- De te saneren verontreiniging is niet aanwezig in te hoge concentraties (toxiciteit of ongunstige omstandigheden voor de micro-organismen) en is homogeen verdeeld in de bodem.
- De verontreiniging is niet aanwezig onder de vorm van een aparte fase, alse en drijfslaag of als residueel puur product in de bodemporiën. Gezien de beperkte biobeschikbaarheid van deze aparte fase, zal de tijdsduur van biodegradatie te lang worden zonder aanvullende technieken te gebruiken ;
- De bron van de verontreiniging is verwijderd zodat er geen continue nalevering is van verontreiniging naar de bodem ;



- Homogeen bodemgesteldheid : afwezigheid van lagen of lenzen met verschillende textuur, afwezigheid van preferentiële voorkeursbanen voor luchtstroming als gevolg van de aanwezigheid van ondergrondse infrastructuur en afwezigheid van een ondoorlatende laag.
- Een voldoende doorlatende onverzadigde zone zodat een goede luchtstroming en verspreiding van zuurstof en vlotte toediening van nutriënten en andere additieven kan verkregen worden. Doorlatendheid $> 10^{-10} \text{ cm}^2$ (of een hydraulische conductiviteit bij 20°C $> 10^{-7} \text{ m/s}$) ;
- Aanwezigheid van voldoende nutriënten (of met maar beperkte tekorten) in de bodem. De gunstige C : N : P verhouding voor biodegradatie van organische verontreinigingen bevindt zich tussen 100:10:1 en 100:1:0.5 ;
- pH van de bodem tussen 6 en 8 ;
- Bodemtemperatuur tussen 10°C en 45°C ;
- Aanwezigheid van micro-organismen die de verontreiniging snel en volledig kunnen afbreken, zonder vorming van toxische tussenproducten die mobiel zijn in de bodem. In het algemeen wordt bioventing als efficiënt beschouwd als de bodem meer dan 10^3 CFU (colony forming units) aan heterotrofe bacteriën per gram bodem bevat ;
- De verzamelde gegevens tijdens het gedetailleerd onderzoek zijn volledig en gedetailleerd ;
- Laag gehalte aan organisch stof, afwezigheid van veenlenzen of veenlagen die de organische componenten sterk kunnen adsorberen en kunnen leiden tot een hoge zuurstofvraag van de bodem ;
- Beperkt gehalte aan zware metalen, die een toxisch effect kunnen uitoefenen op de micro-organismen. In het algemeen beschouwt met een gehalte aan zware metalen $> 2.500 \text{ mg/kg}$ (droge bodem) als een ongunstige factor voor het slagen van afbraak, gezien de risico's op toxiciteit voor de micro-organismen ;
- Watergehalte van de te behandelen bodemlagen tussen 40 en 85% van de retentiecapaciteit van de bodem (veldcapaciteit) ;
- De verontreiniging bevindt zich niet dicht bij het bodemoppervlak zodat de luchtstroming van het oppervlak naar de onttrekkingsputten niet voor een groot deel rechtstreeks naar de putten stroomt ;
- De grondwatertafel bevindt zich dieper dan 3 m, anders kan de grondwaterstijging als gevolg van het onttrekken van lucht problemen veroorzaken : water komt in de onttrekkingsputten waardoor de luchtcirculatie in de bodem verminderd wordt. De variëte waarbij lucht geïnjecteerd wordt in de bodem (en bijgevolg een daling van de grondwatertafel veroorzaakt) kan een antwoord bieden aan deze beperking maar in elk geval moet de grondwatertafel zich dieper bevinden dan 1 m ;
- Aanwezigheid van een ondoorlatende afdeklaag aan het bodemoppervlak.

Wanneer de behandeling gepaard gaat met een opwarming van de bodem door injectie van warme damp of lucht, moet voldaan worden aan onderstaande voorwaarden :

- De thermische geleidbaarheid van de bodem is goed en homogeen ;
- Afwezigheid van ondergrondse infrastructuur die kan beschadigd worden als gevolg van een temperatuursverhoging : optische vezels, leidingen in PE, leidingen met isolerende beklaag, ...



6. Screening van de haalbaarheid

6.1. Toepassingscriteria

De voornaamste criteria om bioventing in overweging te nemen als behandelingsmethode zijn de volgende :

- De verontreiniging is volledig biologisch afbreekbaar in de omstandigheden die tijdens de behandeling op de site aanwezig zullen zijn ;
- Er werd voldoende onderzocht dat natuurlijke afbraak plaatsvindt in de bodem zodat behandelingsdoelstelling kan bereikt worden ;
- Het behandelingsdoel kan binnen een redelijke tijd bereikt worden en deze tijdsduur is niet overdreven lang in vergelijking met andere behandelingstechnieken ;
- Objectieve en voldoende gegevens zijn voorhanden die toelaten om te bevestigen dat tijdens de behandeling gevoelige receptoren beschermd blijven en dat geen significante uitbreiding van de verontreinigingspluim zal plaatsvinden.

Bioventing kan beschouwd worden als een innovatieve techniek waarvan de resultaten niet kunnen gegarandeerd worden. In het geval waarin het behandelingsdoel niet kan bereikt worden binnen een redelijke tijd, moet een meer actieve variant overwogen worden. Daarom moet een gedetailleerde variant uitgewerkt worden in een saneringsvoorstel of een risicobeheersvoorstel.

Volgende opmerkingen kunnen geformuleerd worden :

- De graad van detail van de gegevens die moeten verzameld worden hangen af van het type en de grootte van de verontreiniging en de risico's die eruit voortvloeien ;
- De geschatte tijdsduur om de doelstellingen te bereiken moet in relatie staan tot de omstandigheden op de site : fysico-chemische eigenschappen van de verontreiniging, hydrogeologie,... ;
- Het gebruik van de site mag niet gehinderd of beperkt worden op lange termijn door het proces van bioventing. De verontreinigde zones van de site moeten toegankelijk blijven voor monitoringsdoeleinden en, indien nodig, moet op voorhand toestemming van de burens gevraagd worden als monitoring op buurpercelen nodig is.

6.2. Screening van de haalbaarheid

Volgende gegevens moeten minstens beschikbaar zijn om de haalbaarheid van de techniek te kunnen evalueren .

Verontreinigingsparameters :

- Plaats en omvang (vertikaal en horizontaal) van de kern van de verontreiniging ;
- Plaats en omvang (vertikaal en horizontaal) van de pluim van de verontreiniging ;
- Concentraties (grootte en verdeling) in de kern- en pluimzones ;
- Vuilvracht in de kern- en pluimzones voor de verschillende bodemcompartimenten (vaste fase, waterfase en gasfase) en de aanwezigheid van een puurproductfase. Dit moet onderzocht worden voor de aanwezige verontreiniging en de afbraakproducten die ook als verontreiniging kunnen beschouwd worden ;
- Bron en oorzaak van de verontreiniging ;



- Achtergrondconcentraties in de omgeving van de te behandelen site ; eventuele aanwezigheid van andere verontreinigingsbronnen in de omgeving .

Bodemparameters :

- Samenstelling van de bodem (heterogeniteit en aanwezigheid van verschillende lagen), voorkeurskanalen voor bodemgas, ...
- Parameters die de beschikbaarheid van de verontreiniging beïnvloeden (pH, kleigehalte, organisch stof gehalte, ...)
- Parameters die de een invloed hebben op de biodegradeerbaarheid van de verontreiniging : redoxpotentiaal, beschikbaarheid van zuurstof, aanwezigheid van verschillende verontreinigingscomponenten,...

Als een waterhoudende laag aanwezig is en beïnvloed wordt door de verontreiniging :

- Belangrijkheid (fysisch en economisch) van de waterhoudende laag ;
- Aanwezigheid van een grondwateronttrekkingen (bestaand of toekomstig) in de waterhoudende laag ;
- Hydrodynamische parameters van de waterhoudende laag : hydraulische conductiviteit, hydraulische gradiënt, grondwaterstromingssnelheid, grondwaterstromingsrichting (en variaties op deze richting).

Receptoren :

Identificatie en localisatie van de gevoelige actuele en potentiële receptoren : waterhoudende lagen, grondwateronttrekkingen, oppervlaktewater, woonzones, groene zones en andere specifieke zones (volgens de definitie in bijlage 3 van het [BBHR van 29/03/2018](#)).

Het haalbaarheidsonderzoek zal op voorhand uitgevoerd worden volgens onderstaande criteria.

Haalbaarheid van de techniek :

- Onderzoek van de fysico-chemische eigenschappen van de aanwezige verontreiniging, toxiciteit en biodegradeerbaarheid, volgens de literatuurgegevens ;
- Onderzoek naar de eigenschappen van de te behandelen bodem en invloed van deze parameters op de natuurlijke afbraak ;
- Onderzoek van de omvang en de evolutie van de verontreiniging door de oorspronkelijke verontreinigingscomponenten en de afbraakproducten die ook als verontreiniging kunnen beschouwd worden : vuilvracht, concentraties, laterale en verticale omvang, verspreidingsnelheid van de verontreiniging (oorspronkelijke verontreiniging en afbraakproducten), stabiliteit of of evolutie van de omvang van de verontreiniging (kern en pluim) ;
- Aanwezigheid van een actueel of potentieel risico voor gevoelige sensoren ;
- Onderzoek van de specifieke eigenschappen van de site en de compatibiliteit met een gestimuleerde biologische afbraak van de verontreiniging op basis van literatuurgegevens : bijvoorbeeld pH, redoxpotentiaal,...



Praktische aspecten van de haalbaarheid :

- Is de toekomstige bestemming van de site bekend ? Kan de toegankelijkheid van de site gegarandeerd worden gedurende de behandeling ? Zal het risico stabiel blijven tijdens de behandeling ?
- Bezettingsgraad en eigenaars van de naburige percelen die mogelijk verontreinigd kunnen worden in geval van verspreiding van de verontreinigingsvlek, toegankelijkheid van deze percelen voor monitoringsactiviteiten ;
- Ingeval natuurlijke afbraak niet voldoende is : zijn de alternatieve behandelingstechnieken bekend en kunnen ze op een realistische manier toegepast worden ? De haalbaarheid van alternatieve technieken moet geëvalueerd worden tijdens het uitwerken van een behandeling met gestimuleerde afbraak ;
- Grootte van de site : de te saneren site moet voldoende plaats hebben om materiaal voor bereiding van eventuele additieven, injectie of infiltratie en onttrekking van bodemlucht te stockeren, alsook materiaal voor de zuivering van onttrokken bodemlucht en eventueel een systeem voor het maken van damp of warme lucht (verwarming en bevochtiging) ;
- Gevoelige omgeving : op de site en in de onmiddellijke omgeving zijn er geen personen of activiteiten die gehinderd kunnen worden door de onttrekking of eventuele injectie : geluid van compressoren, pompen en zuiveringssysteem, geur, risico van dampemmissies, lekken,....
- Infrastructuur in de ondergrond : op de site en in de omgeving is er weinig ondergrondse infrastructuur aanwezig die een voorkeursbaan voor luchtstroming kunnen vormen : gas-water- en elektriciteitsleidingen, optische kabels, riolering, ... of die een hinderpaal kunnen vormen voor luchtcirculatie (metrostelsel, spoorwegen, ...).
- Afwezigheid van ondergrondse infrastructuur die gevoelig is voor corrosie als gevolg van het toedienen van zuurstof aan de bodem : ondergrondse tanks en onbeschermde leidingen, metaalstructuren of gewapend beton, ...

Financiële en economische haalbaarheid

- Het evalueren van de haalbaarheid van een behandeling dmv bioventing impliceert de uitvoering van een gedetailleerde studie waarvan de kosten niet mogen onderschat worden ;
- Ook de kosten voor monitoring op lange termijn kunnen behoorlijk zijn. Hierbij dient bekeken te worden of deze kosten correct ingeschat zijn, rekening houdend met de lange behandelingsduur (inflatie, actualisering). De economische impact van een behandeling met lange duurtijd op het gebruik van het perceel en de commerciële waarde dient geëvalueerd te worden.
- Evaluatie van de waarschijnlijkheid dat een alternatieve behandelingstechniek zal moeten opgestart worden. In de evaluatie van de kosten voor natuurlijke afbraak moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat deze alternatieve behandelingstechniek zal moeten uitgevoerd worden.
- De vergelijking tussen de kosten op lange termijn van bioventing en de kosten op korte termijn van een alternatieve meer actieve behandelingstechniek moet gebaseerd zijn op betrouwbare en volledige gegevens. Zo moeten bijvoorbeeld de meerkosten verbonden aan de onzekerheden van een behandeling door uitgraving en off site reiniging in rekening gebracht worden, alsook de meerkosten verbonden aan de lange duurtijd van natuurlijke afbraak, een gedetailleerd onderzoek van de te saneren zone en de mogelijkheid van het toepassen van een alternatieve behandelingstechniek.



Waarschijnlijkheid van acceptatie door de publieke opinie en de overheid

Deze waarschijnlijkheid hangt af van volgende elementen :

- Betrouwbaarheid van de risico-evaluatie ;
- Kans op succes van bioventing in vergelijking met de betrouwbaarheid van andere, meer actieve behandelingstechnieken ;
- Langere tijdsduur dat het betrokken perceel zal opgenomen blijven in categorie 4 van de inventaris van de bodemtoestand.

De impact van de verschillende evaluatiecriteria op de haalbaarheid van een behandeling door natuurlijke afbraak wordt (kwalitatief) samengevat in **Tabel 3**.

Tabel 3 : Kwalitatieve evaluatie van de impact van verschillende onderzoekscriteria van de haalbaarheidsstudie

Onderzoekscriterium	Voordelige situatie	Intermediaire situatie	Nadelige situatie
A. Technische aspecten			
Verontreinigingsbron	Verwijderd	Uitgeput of bijna uitgeput	Aanwezig en actief
Puur product	Afwezig of verwijderd	Aanwezig zonder verspreiding	Aanwezig met verspreiding
Verontreinigingsvlek	Goed ruimtelijk afgeperkt en aan het afnemen	Stabiel	Slecht ruimtelijk afgeperkt en aan het toenemen
Verspreidingsrisico buiten de perceelsgrenzen	Geen risico	Beperkt risico	Ernstig risico
Theoretische mogelijkheid tot natuurlijke afbraak, rekening houdend met de specifieke condities op het terrein	Goed	Middelmatig	Zwak of onzeker
Mobiliteit van de verontreinigingsparameter	Laag	Middelmatig	Hoog
Verloop van de attenuatie	Onomkeerbare afbraak tot een stabiele situatie		Onvolledige of omkeerbare afbraak
Tussenproducten bij onvolledige afbraak	Tussenproducten worden verder afgebroken en vormen geen risico		Toename in concentratie aan tussenproducten met een risico tot gevolg
Schadelijke gevolgen door de combinatie van effecten van een mix van verontreinigingen	Geen effect: de attenuatie gaat door zonder beïnvloed te worden		De natuurlijke attenuatie van de ene parameter heeft een negatieve invloed op de natuurlijke attenuatie van een andere parameter
Te behandelen bodemlagen: homogeniteit en isotropie van de bodemluchtcirculatie	homogene en isotrope bodemlagen		Heterogeen/anisotroop: vorming van prefentiële circulatiepaden
Aanwezigheid van een gevoelige receptor :			

'- actueel	Afwezig	Aanwezig zonder risico	Aanwezig met verhoogd risico
'- potentieel	Afwezig	Aanwezig zonder risico	Aanwezig met verhoogd risico
Betrouwbaarheid van de monitoringsgegevens	Hoog : de gegevens worden reeds meer dan 2 jaar bijgehouden		Laag : de gegevens worden minder dan 2 jaar bijgehouden
Betrouwbaarheid van de gegevens betreffende de vuilvracht en de verdeling over de verschillende bodemfasen en de ruimtelijke verspreiding	Hoog: verontreiniging in volledig oplosbare concentraties		Laag : er is bijvoorbeeld onzekerheid omtrent de aanwezigheid van puur product
B. Bevoegde overheid			
Kans op conformiteit en aanvaarding	Geen conflict met het wetgevend kader; geen onzekere techniek	Geen conflict met het wetgevend kader; onzekere techniek	Conflict met het wetgevend kader; onzekere techniek
C. Praktische elementen en economische haalbaarheid			
Monitoringslocaties buiten de onderzoekssite	Onvoorwaardelijke toegang	Toegang mogelijk	Beperkte toegang of geen toegang
Financiële aspecten	Langdurig budgetten beschikbaar; financiële zekerheid in orde via wettelijke verbintenis	Langdurig budgetten beschikbaar; geen financiële zekerheid via wettelijke verbintenis	Geen budget op lange termijn

7. Uitgebreid onderzoek naar de haalbaarheid

Volgende stappen kunnen gevolgd worden.

7.1. Eerste onderzoeksstap

Deze stap heeft als doel om aan te tonen dat de biodegradatie van de verontreiniging plaatsvindt op de site en kan gestimuleerd worden door bioventing. Dit kan op verschillende manieren bewezen worden :

- Micro-organismen nodig voor de biodegradatie zijn aanwezig en actief : de bacteriën die de verontreiniging kunnen gebruiken om te groeien zijn waargenomen in de verontreinigde bodem in voldoende grote aantallen. De activiteit van de micro-organismen wordt gemeten door het aantonen van afbraakproducten van de verontreiniging (vooral als kan aangetoond worden dat deze afwezig zijn in stalen buiten de verontreinigingszone) ;
- De omstandigheden in de onverzadigde zone zijn gunstig voor de afbraak van verontreiniging en voor de stimulatie ervan : het toedienen en verspreiden van zuurstof, nodig voor de degradatie kan gebeuren door bioventing op een manier die economisch en technisch haalbaar is, de biobeschikbaarheid van de verontreiniging is voldoende, de natuurlijke afbraak kan ook op lange termijn verzekerd worden (of misschien verbeterd worden), de aanwezigheid van nutriënten is voldoende of kan verbeterd worden op een manier die economisch en technisch haalbaar is.
- Gebruik van geochemische of biochemische indicatoren van natuurlijke afbraak : vermindering van het zuurstof- en nitraatgehalte, aanwezigheid van afbraakproducten van verontreiniging (zoals chloride) of intermediaire producten. Deze metingen geven informatie over het mechanisme dat verantwoordelijk is voor de afbraak en over de afbraaksnelheid van de verontreiniging. Ze laten ook toe om het aandeel van natuurlijke afbraak te onderscheiden van het aandeel van andere niet destructieve attenuatiemechanismen zoals verdunning (als gevolg van uitspoeling door infiltratie van regenwater), vervluchtiging, reversibele sorptie,...).
- De concentraties aan polluenten analyseren in de onttrokken bodemplucht.

In de **Tabellen 4a, 4b en 4c** worden de parameters voorgesteld die moeten gemeten worden vooraleer een behandeling met bioventing op te starten. De tabellen stellen een checklist voor van de gegevens die moeten verzameld worden, ofwel tijdens de opeenvolgende onderzoeksfases (verkenkend onderzoek, gedetailleerd onderzoek, risicostudie) ofwel tijdens het opstellen van een saneringsvoorstel of risicobeheersstudie, voordat eventuele labo- of piloottesten worden opgestart, of voor de behandeling indien deze geen voorstel vereist.

In de tabellen worden de parameters opgesplitst in twee niveaus :

- Parameters waarvan de meting of schatting vereist is ;
- Parameters waarvan de meting of schatting nuttig is.



Tabel 4a : Verontreinigingsparameters te verzamelen voor opstart van een behandeling met bioventing

Parameters	Meetmethode	Opmerkingen
Verontreinigingsbron actief of verwijderd	Historisch onderzoek, terreinbezoek	Moet gekend zijn in de loop van het verkennend bodemonderzoek
Concentraties in het vaste deel van de aarde		
Concentraties in het vaste deel van de aarde : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlek (verontreinigingscontouren van de concentraties > IN en concentraties > SN en concentraties > beoogde doelstellingen)	Boringen, staalname en analyses van grondstalen en afperkingscontouren (door interpolatie)	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor behandeling nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Concentraties in het vaste deel van de aarde : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlek (verontreinigingscontouren van de concentraties > IN en concentraties > SN en concentraties > beoogde doelstellingen)	Boringen, staalname en analyses van grondstalen en afperkingscontouren (door interpolatie)	Voor verontreinigingsparameters die ontstaan door biodegradatie.
Schatting van de totale vuilvracht	Op basis van de geschatte volumes en de gemiddelde concentraties	Voor alle verontreinigingsparameters betrokken in het biodegradatieproces
Concentraties in het grondwater (indien verontreinigd grondwater aanwezig)		
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlek (verontreinigingscontouren van de concentraties > IN en concentraties > SN en concentraties > beoogde doelstellingen)	Installatie van peilbuizen, staalname en analyses van grondstalen en afperkingscontouren (door interpolatie)	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor behandeling nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Concentraties in het grondwater : verticale en horizontale afperking van de verontreinigingsvlek (verontreinigingscontouren van de concentraties > IN en concentraties > SN en concentraties > beoogde doelstellingen)	Installatie van peilbuizen, staalname en analyses van grondstalen en afperkingscontouren (door interpolatie)	Voor verontreinigingsparameters die ontstaan door biodegradatie.
Schatting van de totale vuilvracht	Op basis van de geschatte volumes en de gemiddelde concentraties	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor interventie nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Retardatiefactor	Kd-waarden en effectieve porositeit van de watervoerende laag	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor interventie nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Longitudinale verspreidingssnelheid van de verontreiniging (horizontale verspreiding van de verontreinigingsvlek volgens de stromingsrichting van het grondwater)	Simulatie aan de hand van analytische modellen: Domenico vergelijking voor de afstemming van de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten ... of gebruik van numerische modellen zoals MODFLOW	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor interventie nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Laterale verspreidingssnelheid van de verontreiniging (horizontale verspreiding van de verontreinigingsvlek loodrecht op de stromingsrichting van het grondwater)	Simulatie aan de hand van analytische modellen: Domenico vergelijking voor de afstemming van de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten ... of gebruik van numerische modellen zoals MODFLOW	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor interventie nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Verticale verspreidingssnelheid van de verontreiniging	Simulatie aan de hand van analytische modellen: Domenico vergelijking voor de afstemming van de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten ... of gebruik van numerische modellen zoals MODFLOW	Voor elke verontreinigingsparameter waarvoor interventie nodig is. Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Concentraties in de gasfase		
Meting van de verontreinigingsconcentraties in de gasfase binnen de verontreinigingscontour	Installatie van monitoringsputten en meting van de concentraties in de gasfase van de bodem (bodempluchtmetingen)	
Aanwezigheid van een vrije fase (puur product)		
Aanwezigheid van een vrije fase nagaan	Staalname en analyses van grond en grondwater in de kernzone	
Horizontale en verticale verspreiding van de vrije fase	Aanwezigheid van een vrije fase (puur product in de bodem, drijfslag op het grondwater of zinklaag) nagaan aan de hand van een raster van boringen/peilbuizen - meetcampagnes met MIP sonderingen of on-site analyses of bodempluchtmetingen	Indien aanwezig
Totale vuilvracht		
Schatting van de totale vuilvracht (som van alle fasen)	Op basis van de geschatte volumes en de gemiddelde concentraties	
Fysico-chemische eigenschappen van de aanwezige verontreinigingen		



Mogelijkheid tot natuurlijke abraak van de verontreinigingen in de bodem - gunstige en ongunstige omstandigheden	Literatuurgegevens	Voor elke afzonderlijke verontreinigingsparameter + Effect van de combinatie van verontreinigingen
--	--------------------	--

	= parameters waarvan de meting of de inschatting vereist is
	= parameters waarvan de meting of de inschatting nuttig is

Tabel 4b : Bodemparameters te verzamelen voor opstart van een behandeling met bioventing

Parameters	Meetmethode	Opmerkingen
Bodemsamenstelling		
Bodemstratigrafie: heterogeniteit, textuurvariaties, watervoerende lagen (dikte en capaciteit), aquitards, kwellagen, afgesloten watervoerende laag, ...	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en lithologische beschrijvingen	Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Peilgegevens van de aquifer(s), hydraulische gradiënten, hydraulische conductiviteit, stromingssnelheid en -richting, afgesloten of semi-afgesloten karakter	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en lithologische beschrijvingen, installatie peilbuizen, peilmetingen en waterpassingen	Moet gekend zijn in de loop van het gedetailleerd bodemonderzoek.
Type verharding aan de oppervlakte	Waarneming of meting van de graad van doorlatendheid van het bodemoppervlak	Voor de aanpak van oppervlakkige verontreinigingen
Seizoensale schommelingen van de peilniveaus	Monitoring van de peilgegevens in opeenvolgende meetcampagnes	
Bodemkarakteristieken in de onverzadigde zone		
Nutriëntconcentraties : stikstof (nitraat en ammoniak), opneembare fosfor, Ca, pH van de bodem	Staalname en labanalyses	OVAM 2003
Totaaltelling van bacteriën en PCR test : specifieke bacteriënpopulatie	Staalname en labanalyses	OVAM 2003
Fysische eigenschappen : schijnbare dichtheid, porositeit, waterretentiecapaciteit, actueel vochtgehalte	Nemen van ongeroerde bodemstalen en meten van fysische parameters in labo	Drie stalen per aangetroffen bodemlaag in de te behandelen zone
Bodemlucht doorlaatbaarheid	Bodemluchtpomptesten	
Invloedstraal van de onttrekkingsputten	Bodemluchtpomptesten	
Infiltratiecapaciteit van de bodem (putten, drains of sleuven)	Continue of onderbroken infiltratietesten op het terrein	Indien er twijfel bestaat over de infiltratiecapaciteit van de bodem voor nutriëntoplossingen

	= parameters waarvan de meting of de inschatting vereist is
	= parameters waarvan de meting of de inschatting nuttig is

Tabel 4c : Siteparameters te verzamelen voor opstart van een behandeling met bioventing

Parameters	Meet- en waarnemingsmethode	Opmerkingen
Aanwezigheid van kabels en leidingen in de bodem op de site of de onmiddellijke nabijheid	Raadplegen van de netwerkbeheerders, gemeentes, ...	Uit te voeren tijdens verkennende en gedetailleerde bodemonderzoeken
	Leidingdetectie op het terrein: proefsleuven, CAT scan, ...	Uit te voeren tijdens verkennende en gedetailleerde bodemonderzoeken
Toegankelijkheid van de site voor meetcampagnes, leveringen, ...	Inventaris	
Toegankelijkheid van de buurpercelen voor meetcampagnes	Inventaris	
Aanwezigheid van bovengrondse receptoren gevoelig voor geluid, dampen, geur, ... op de site en in de omgeving	Inventaris	



Aanwezigheid van infrastructures die kunnen beschadigd worden door de aanwezigheid van de verontreiniging of afbraakproducten, rekening houdend met de duur van de behandeling	Inventaris	
Indien gekozen voor een variant waarbij de bodem wordt opgewarmd		
Aanwezigheid van infrastructures die kunnen beschadigd worden door de verhoging van de bodemtemperatuur	Inventaris	
Aanwezigheid van infrastructures die kunnen beschadigd worden door stimulatie-additieven	Inventaris van de infrastructures waarop een impact te verwachten is door oxiderende additieven (metalen leidingen) en tensio-actieve stoffen (teerhoudende omhulsels of isolatie)	

	= parameters waarvan de meting of de inschatting vereist is
	= parameters waarvan de meting of de inschatting nuttig is



Hieronder wordt bijbehorende uitleg gegeven betreffende bovenstaande tabellen :

- Verontreinigingsbron verwijderd of niet : er moet zekerheid verkregen worden over de afwezigheid van een bijkomende verontreinigingsbron voor opstarten van een behandeling met bioventing ;
- Zoals reeds vermeld, wanneer de aanwezigheid van een belangrijke hoeveelheid puur product wordt vastgesteld, moet deze aangepakt worden in een fase voor opstarten van een behandeling met bioventing. Deze behandeling kan uitgevoerd worden door een ander behandelingsproces : ontgraving, thermische behandeling, meelfasenextractie,...
- Gehalte aan verontreiniging in de bodemlucht : voor het nemen van stalen van de bodemlucht, wordt verwezen naar de Code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel over het nemen van stalen van grond, grondwater, sediment en bodemlucht. Deze bemonsteringscampagne heeft niet als doel om de verontreiniging in de grond in kaart te brengen gezien de correlatie tussen de gemeten concentraties in bodemluchtstalen en grondstalen niet altijd betrouwbaar en coherent is. De bemonstering heeft als doel om de maximale gehalten aan verontreiniging in de onttrokken bodemlucht tijdens de eerste fase van de behandeling (flushingfase) in te schatten. Het aantal stalen dat genomen en geanalyseerd moet worden wordt ingeschat door een deskundige : een aantal stalen worden genomen op verschillende dieptes in het centrum van de vlek (volgens diepteintervallen van 1,5m) en een aantal stalen wordt genomen aan de rand van de verontreiniging.
- Het meten van de permeabiliteit van de bodem voor lucht en het uitvoeren van pomptesten wordt beschreven in de Code van goede praktijk n° 2 die gaat over het pompen van gassen in de onverzadigde zone.
- Methodes van sparging en biosparging worden beschreven in de Code van goede praktijk n° 2 die gaat over het pompen van gassen in de onverzadigde zone en de Code van goede praktijk n° 7 die de natuurlijke afbraak gestimuleerd door de toevoeging van zuurstof aan het grondwater behandelt.

7.2. Tweede onderzoeksstap

Deze stap heeft als doel om de haalbaarheid van bioventing te bevestigen door labtesten of kleinschalige veldtesten. De deskundige moet oordelen over de noodzaak van het uitvoeren van deze testen, rekening houdend met de reeds verzamelde gegevens en de betrouwbaarheid ervan.

De testen moeten een antwoord geven op onderstaande vragen :

- Kan de verontreinigde zone gesaneerd worden op biologische wijze ?
- Wat zijn de optimale omstandigheden voor het proces ?
- Wat is de snelheid van de behandeling ?
- Tot welke concentraties kan gesaneerd worden ?
- Welke intermediaire producten (mogelijk toxisch of niet afbreekbaar) worden gevormd tijdens het proces ?
- Wat is het effect van toediening van nutriënten (N en P) ?
- Wat is het effect van inoculatie van de bodem met micro-organismen ?

De resultaten van deze testen zullen gebruikt worden tijdens de conceptfase van het voorstel.



De labotesten worden in het algemeen uitgevoerd onder de vorm van batchtesten door het schudden van een bodemmateriaal in grondwater (slurry), met toevoeging van lucht. Deze omstandigheden zijn te beschouwen als optimaal en leiden tot een snellere afbraak van onder veldomstandigheden.

Tijdens de behandeling, zullen onderstaande parameters regelmatig gemeten worden :

- Productie van CO₂ ;
- Verbruik van zuurstof ;
- Eventueel : pH en gehalte aan verontreiniging (moederproduct en afbraakproducten).

In het begin en op het einde van de test, worden de pH, het gehalte aan verontreiniging (moederproduct en afbraakproducten) gemeten. Eventueel wordt ook het gehalte aan stikstof en fosfor gemeten. Deze analyses kunnen aangevuld worden met tellingen van bacteriën verantwoordelijk voor de afbraak, PCR analyses en meting van stabiele isotopen.

Bij elke test moeten herhalingen en een abiotische controle uitgevoerd worden. Deze laatste laat toe om een verschil te maken tussen concentratiedalingen als gevolg van biodegradatie en dalingen te wijten aan abiotische processen (sorptie, chemische degradatie, ...). Deze testen laten toe om een massabalans en de kinetiek van de behandeling te bepalen. Ze hebben ook als doel om de optimale omstandigheden (toediening van nutriënten of eventueel bacterieculturen) te bepalen voor de behandeling op grote schaal. De testen geven ook een idee van de minimale concentraties aan verontreiniging die kunnen gehaald worden onder optimale omstandigheden, wat toelaat om meer betrouwbare doelstellingen voor te stellen. Ze kunnen ook gebruikt worden om te bewijzen dat de afbraak van de verontreiniging volledig is tot onschadelijke eindproducten die van nature aanwezig zijn in de bodem. Ze kunnen dienen om de afbraak van recalcitrante componenten aan te tonen (bijvoorbeeld, benzeen onder anaerobe omstandigheden, MTBE onder aerobe omstandigheden).

De uitvoering van batchtesten vraagt ongeveer 6 à 8 weken (in functie van het type verontreiniging).

Een variant voor deze batchtesten zijn respirometrietesten in lab. Volgens deze methode circuleert een gasfase continue doorheen de bodemslurry en worden de gehalten aan CO₂ en O₂ continue geanalyseerd. Het is bijgevolg mogelijk om zo de respiratiesnelheid van de micro-organismen te meten. Wanneer deze laatste zakt, wordt de test stopgezet en worden de overblijvende concentraties gemeten. De test wordt uitgevoerd onder niet afgesloten omstandigheden en is toepasbaar op niet vluchtige verontreiniging (zware olie, PAK's, ...).

Labtesten op grote schaal in reactorvaten kunnen uitgevoerd worden. In deze reactoren (volumes tot 100 L), kunnen parameters zoals het gehalte aan O₂, CO₂, T°, ... continue gemeten worden en worden de grond- en grondwaterstalen regelmatig op de normale manier genomen.

Biodegradatietesten kunnen ook uitgevoerd worden onder de vorm van kolomtesten op ongeroerde bodemstalen van de verontreinigde zone waarbij een continue luchtflux doorheen het staal circuleert. De gehalten aan CO₂ en O₂ in het effluent van de gasstroom worden op de normale manier geanalyseerd. In het begin en op het einde van de test, worden pH en gehalten aan verontreiniging (moederproduct en afbraakproducten) gemeten, en eventueel ook de gehalten aan stikstof en fosfor. Analyses kunnen aangevuld worden met tellingen van bacteriën verantwoordelijk voor de afbraak, PCR analyses, enz. Deze kolomtesten geven een meer realistische indicatie van de te verwachten resultaten als gevolg van een behandeling dmv bioventing.



Veldtesten die uitgevoerd worden in de onverzadigde zone (respirometingen in situ) zijn in het algemeen van het type « start - stop ». Hierbij wordt een beperkte zone in de grond aangerijkt met lucht gedurende een korte tijd zodat aerobe omstandigheden ontstaan. Vervolgens wordt de bodemlucht onttrokken gedurende enkele dagen (tussen 1 en 5 dagen) en geanalyseerd op de gehalten aan O₂ en CO₂ om de respiratiesnelheid te meten. Deze test wordt uitgevoerd in verschillende peilbuizen geïnstalleerd in de te saneren verontreiniging, alsook in verschillende peilbuizen buiten de verontreinigingsvlek om op deze manier de achtergrondrespiratie van de bodem te meten (afbraak van humus of oxidatie van gereduceerde componenten in de bodem). De geïnjecteerde lucht bevat een inerte tracer (He of SF₆) om het aandeel van verdunning en diffusie te kunnen inschatten in de daling in zuurstofconcentraties tijdens de onttrekkingsfase. De respiratiesnelheden die zo gemeten worden geven een inschatting van de haalbaarheid van bioventing. Ze laten toe om een vergelijking te maken tussen de gemeten afbraaksnelheden en de data uit de literatuur onder gelijkaardige omstandigheden. Volgens de USEPA worden veldtesten voorbehouden voor verontreinigingen met een grote omvang (> 75.000 m³) of wanneer de bodem een beperkte permeabiliteit heeft (permeabiliteit <10⁻⁸ cm²), of ook wanneer de doelstelling lager is dan 80% van de initiële waarden.

7.3. Noodzaak van een piloottest

De deskundige vindt 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](#), waarin de inhoud van een risicobeheersvoorstel en een (beperkt) saneringsvoorstel zijn vastgelegd, de omstandigheden waaronder een piloottest nodig is en de inhoud van een piloottest.

Rekening houden met de verschillende onbekenden en de moeilijk te controleren parameters die een behandeling met bioventing met zich meebrengen in een sterk geurbaniseerde omgeving zoals het Brussels Hoofdstedelijk gewest, wordt de uitvoering van een piloottest aangeraden. De deskundige kan echter zelf oordelen dat een piloottest niet nodig is wanneer er reeds voldoende informatie beschikbaar is en wanneer er voldoende garanties zijn over de kans op succes voor het toepassen van bioventing.

De aspecten met betrekking tot de installatie en het uitvoeren van een piloottest zijn beschreven in Code van goede praktijk n° 2 over het pompen van gassen in de onverzadigde zone van de bodem.

De parameters die in een piloottest dienen bepaald te worden zijn weergegeven in onderstaande **Tabel 5**.

Bij **Tabel 5** kunnen volgende opmerkingen gegeven worden :

- De duurtijd van een piloottest is variabel in functie van de gewenste nauwkeurigheid van de te meten parameters. Volgens de OVAM (Code van Goede Praktijk voor bodemluchtextractie en perslucht injectie, 2002), kunnen reeds een groot aantal belangrijke parameters gemeten worden op een periode van twee dagen.
- De uitvoering van een piloottest heeft als doel om de parameters mbt de luchtcirculatie en de toediening van zuurstof in de bodem op punt te stellen. De initiële concentratie aan verontreiniging in onttrokken bodemlucht wordt eveneens bepaald. De test heeft niet als doel om de evolutie aan verontreinigingsparameters in de bodem te bepalen omdat de afbraak over zo'n korte tijd te beperkt is.



Tabel 5 : Parameters en inhoud van piloottesten voor de behandeling dmv bioventing van de onverzadigde zone.

Rubriek	Parameters en aan te geven hoeveelheden	Opmerkingen
Beschrijving van de installatie bij opstart	Beschrijving van de verschillende elementen van de installatie : pompputten (aantal, situering, diameter, diepte, filterlengte, grind, afsluitende klei- of cementstop, afwerking,...) , monitoringspeilbuizen (aantal, situering, diameter, diepte, filterlengte, grind, afsluitende klei- of cementstop, afwerking filterkop,...) , meetinstallatie voor debieten van opgepompte bodemlucht (type, situering, ...), meetinstallatie voor de onderdruk (type, situering), meetinstallatie voor de peilhoogtes in de omgeving van de onttrekkingsputten (bvb divers), aanzuig- en afvoerleidingen voor vloeistoffen en bodemlucht, en zuiveringsinstallatie voor bodemlucht en condensvloeistof	De situering van de verschillende elementen van de installatie wordt aangegeven op de figuren
Putten	Eén of meerdere onttrekkingsputten binnen de verontreinigingscontour. Lengte van de filter dient overeen te komen met de dikte van de te behandelen laag en dient minstens 0,5 tot 1 m boven de freatische grondwaterstand uit te stijgen.	
Monitoringsputten	Gesitueerd op verschillende afstanden van de onttrekkingsput(ten), waarop de onderdruk kan gemeten worden en waarop bodemluchtmetingen kunnen worden uitgevoerd binnen de verontreinigingscontour op verschillende dieptes	
Aan- en afvoerleidingen voor onttrokken grondwater en puur product en zuiveringsinstallatie	Situering mogelijk op de site, rekening houdend met mogelijke opstoppingen van leidingen en ongemakken (geluid, geur,...) en de nabijheid van een lozingspunt ?	De behandeling van onttrokken vloeistoffen maakt deel uit van een afzonderlijke code van goede praktijk
Te meten parameters	Debieten en cumulatieve volumes van de onttrokken bodemlucht. Onderdruk bij de pomp, bij de onttrekkingsputten en bij de verschillende monitoringsputten. Staalname en analyses van de onttrokken bodemlucht: vochtgehalte, temperatuur, concentratie aan pollutant (oorspronkelijke of tussenproducten), O ₂ en CO ₂ . Staalname en analyse van condensvloeistoffen en bepaling van de pollutantconcentratie. Staalname en analyse van de pollutantconcentratie in de behandelde bodemlucht vóór lozing. Staalname en analyse van de pollutantconcentratie in de omgevingslucht rond de zuiveringsinstallatie. Peilmetingen in de omgeving van de onttrekkingsputten en variaties in functie van de bemaling.	
Te berekenen parameters	Invloedstraal van de onttrekkingsputten	
	Massabalans : verhouding onttrokken en afgebroken verontreiniging / verontreiniging aanwezig gedurende de pilootproef.	
	Inschatting van de duur van de behandeling	
	Verband tussen de onderdruk en het opgepompte debiet. Voorstel voor een ideale onderdruk	
Werkwijze	Continue of intermitterende onttrekking	
Variant : injectie (actief of passief) van lucht in de onverzadigde zone		
Beschrijving van de bijkomende te plaatsen installatie bij opstart	Beschrijving en situering van de injectieputten (diameter, lengte, diepte van het filtergedeelte, afwerking filterkop, eventuele luchtbevochtiger). Meetinstallatie voor de drukken en debieten van de injectie.	
Bijkomend te meten parameters	Injectiedruk, debieten en cumulatieve volumes van de geïnjecteerde lucht.	
Variant : opwarming van de bodem		
Beschrijving van de bijkomende te plaatsen installatie bij opstart	Beschrijving en situering van de verwarmingselementen : injectieputten voor damp of warme lucht, uitzendsonde voor radiogolven, verwarmingselektrodes (verwarming dmv elektrische stroom). Meetinstallatie voor de temperatuur van de geïnjecteerde vloeistoffen, van de bodemlucht en van de onttrokken dampen: type, situering en diepte.	
Bijkomend te meten parameters	Temperatuur van de geïnjecteerde vloeistoffen, injectiedruk, debieten en cumulatieve volumes van warme lucht of geïnjecteerde dampen, gebruikte energie in andere opwarmingsinstallaties (radiogolven of elektrisch veld), temperatuur van de bodemlucht en de onttrokken dampen.	
	Massabalans : verhouding onttrokken puur product / puur product aanwezig tijdens de pilootproef. Restconcentraties in de capillaire zone.	
Besluiten van de pilootproef		
	Haalbaarheid van de behandelingstechniek: aantal onttrekkings- en injectieputten, duur van de behandeling, onttrokken en behandelde volumes, volume condensvloeistof, af te voeren / te reinigen volumes, te injecteren lucht- en dampvolumes, energieverbruik	



	Dimensionering van de installatie op full scale : aantal en afstanden tussen de verschillende onttrekkingsputten en eventueel injectieputten, debieten te onttrekken en eventueel te injecteren bodemlucht, onderduk en eventueel te implementeren temperatuur, behandelingsduur, dimensionering en uitrusting van de zuiveringsinstallatie, hoeveelheden te behandelen en te lozen bodemlucht en condensaat Vastleggen van de monitoringsparameters.	
	Aanbevolen werkwijze: continue of intermitterende onttrekking, tijdschema van de alternerende onttrekking	
	Massabalans en verwachte resultaten : massa van de onttrokken pollutent , massa van de afgebroken pollutenten, massa en concentraties van de restverontreiniging	



8. Beschrijving van een type-installatie

De type-installatie nodig om een behandeling met bioventing uit te voeren bevat typisch volgende componenten.

8.1. Luchtcirculatie door bodemluchtexttractie

- Eén of meerdere onttrekkingsputten (meestal vertikaal, soms ook horizontaal) in het midden van de verontreiniging. De putten zijn voorzien van een filterlengte over het hele verontreinigde diepte-interval. Als de verontreiniging verspreid is over een grote diepte, dienen verschillende onttrekkingsputten met opeenvolgende filterlengtes voorzien te worden over het hele verontreinigde interval. De afstanden tussen onttrekkingsputten worden zo bepaald dat de bodemlucht in de verontreinigde zone volledig wordt opgevangen.
- Een onttrekkingssysteem voor bodemlucht : vacuümpomp, ventilator, ..., verbonden aan één of meerdere onttrekkingsputten. Om de geluidshinder te verminderen moeten de pompen in een afgesloten ruimte geplaatst worden (omkasting, container,...).
- Ondoorlatende afdekking van het bodemoppervlak in het geval van oppervlakkige verontreiniging : PE-folies, asfalt, betonafdekking met een ondoorlatende onderlaag,...
- Een regelsysteem voor de onttrekking kan verschillende vormen aannemen : elektrische sensoren (min – max niveau) in peilbuizen die de stijging van het grondwater opmeten, druksensoren in verschillende secties van het systeem, sensoren op verschillende plaatsen in het zuiveringssysteem, elektriciteitskast voor regeling van de pompen, timers, sequentiële systemen die ervoor zorgen dat verschillende onttrekkingszones achtereenvolgens worden aangezet.
- Leidingen die de opgepompte bodemlucht transporteren van de onttrekkingsputten naar de pompen en vervolgens naar het zuiveringssysteem. De leidingen liggen bij voorkeur ondergronds en worden voorzien van terugslagkleppen. Tijdens de plaatsing moet er op gelet worden dat er geen condenswater kan accumuleren in de leidingen. Daarnaast worden ook debietmeters voorzien om zowel het momentane debiet als het cumulatieve volume op te volgen, ofwel per individuele onttrekkingsput ofwel ter hoogte van de pompen. Manometers worden geïnstalleerd ter hoogte van de onttrekkingspompen, de putten en op verschillende plaatsen in de installatie om zo de efficiëntie van de pompen op te volgen en lekken te kunnen opsporen. Eén of meerdere explosiemeters worden voorzien voordat de bodemlucht in de pompen komt. Voordat de bodemlucht in de pompen komt, stroomt de lucht door een druppelvanger waarin het condensaat afgescheiden wordt en door een deeltjesfilter.
- Een zuiveringsinstallatie voor bodemlucht ;
- Er dienen ook staalnamepunten aangebracht te worden in de installatie voor het nemen van bodemluchtstalen ter hoogte van de verschillende individuele putten of de verschillende pompen en ook ter hoogte van de zuiveringsinstallatie om stalen te kunnen nemen van het gezuiverde gas voordat het in de atmosfeer terechtkomt. De installatie wordt eveneens voorzien van een regelsysteem met een alarm en een automatische noodstop in geval van panne of slecht functioneren ;
- Opvolging van het systeem (zie hoofdstuk 11).



8.2. Variant met een combinatie van injectie en onttrekking van lucht

Bovenop het hierboven beschreven systeem, worden bij deze variant ook nog één of meerdere actieve of passieve injectieputten voorzien tussen de onttrekkingsputten. Deze putten hebben een filter over het verontreinigd interval. Indien nodig worden ze ook voorzien van luchtbevochtigers voor de geïnjecteerde lucht. In het ideale geval worden deze putten voorzien van debietmeters die toelaten om de debieten en het cumulatief volume van de geïnjecteerde lucht te meten.

8.3. Variant bodemluchtexttractie en opwarming van de bodem

Bovenop de infrastructuur beschreven onder hoofdstuk 8.1, bevat het systeem ook :

- Een toestel voor de opwarming van lucht of voor het maken van waterdamp om te injecteren in de onverzadigde zone van de bodem in putten die geïnstalleerd worden zoals beschreven in hoofdstukken 8.1 en 8.2. De injectieputten zijn voorzien van sensoren die toelaten om de temperatuur van de geïnjecteerde lucht te meten.

Soms worden onderstaande zaken ook voorzien in een bodemverwarming :

- Ondergrondse sondes voor het uitsuren van radiogolven in de bodem ;
- Ondergrondse electrodes voor opwarming dmv elektriciteit.

De dimensionering van het systeem wordt gerealiseerd op basis van informatie verzameld tijdens de pilootfase. Het systeem voor opvolging (hoofdstuk 11) bevat ook temperatuursondes ter hoogte van controlepunten en onttrekkingsputten.

8.4. Toediening van nutriënten door infiltratie

De nutriënten kunnen toegediend worden aan de bodem door directe toediening (oppervlakkige verontreiniging) of door het besproeien van de bodem met nutriëntoplossingen. Meestal worden de nutriënten toegediend door infiltratie van oplossingen met zouten van stikstof (nitraat en ammonium) en fosfor (fosfaat). Onderstaand materiaal wordt meestal gebruikt :

- Vat voor de bereiding en opslag van de te infiltreren oplossing met eventueel plaats voor de stockage van de nutriënten ;
- Een netwerk van infiltratiedrains (soms ook verticale putten) bovenop de verontreiniging. De afstanden tussen de infiltratiedrains (of putten) worden zo bepaald dat de additieven over de hele vlek kunnen toegediend worden ;
- Ingeval van injectie onder druk, zal een pomp of compressor gebruikt worden. Deze wordt voorzien van een manometer en een systeem om de drukken te regelen en lekken te detecteren ;
- Een systeem om de infiltratie te regelen kan verschillende vormen aannemen : elektrische sensoren (min – max niveau) in de infiltratiedrains/-putten verbonden met een elektriciteitskast voor de regeling van de pompen, timers, sequentiële systemen die ervoor zorgen dat verschillende onttrekkingszones achtereenvolgens worden aangezet,...
- Meetinstallatie voor debieten en geïnjecteerde volumes.

Het onder controle houden van de vochtigheidsgraad van de bodem door infiltratie van water gebeurt door hetzelfde systeem.

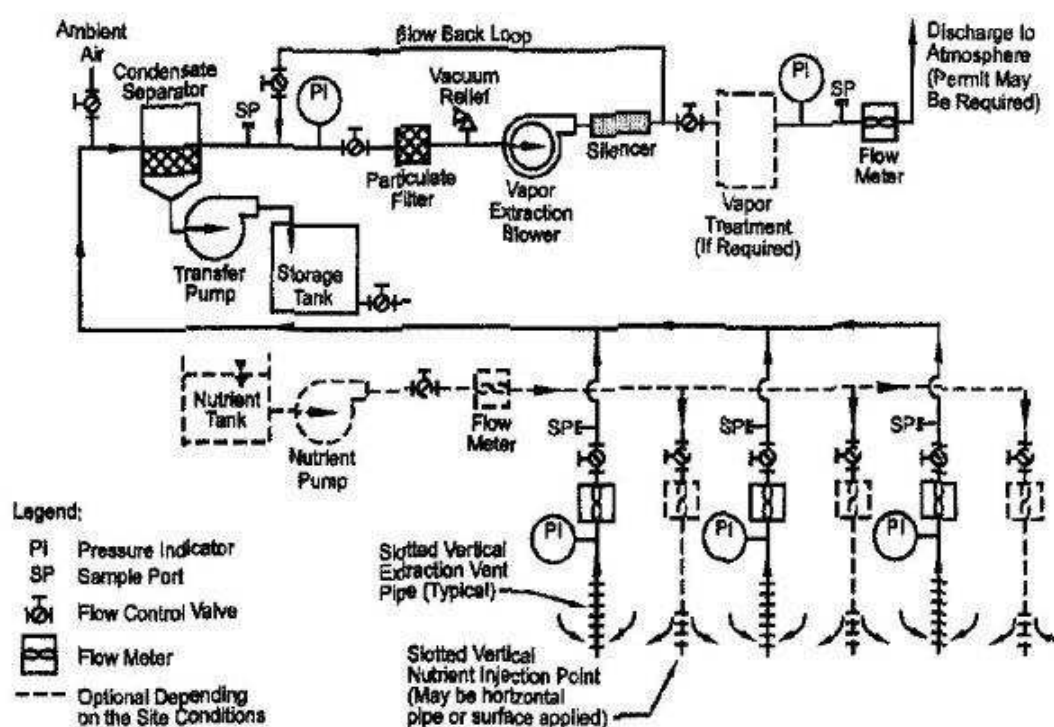


Algemene opmerking :

Voor de installatie worden standaardmaterialen gebruikt : putten, pompen, debietsmeters, LEL-sensoren, manometers, actief kool filters,... . De materialen zijn beschikbaar op de markt in verschillende afmetingen en kwaliteiten. Er zijn dus geen speciale afmetingen of modules nodig die door de aannemer moeten voorzien worden. Er moet geen rekening gehouden worden met beperkingen voor de dimensionering van het materiaal tijdens opmaak van het saneringsvoorstel, het risicobeheersvoorstel en de bestekken.

8.5. Conceptueel schema

De installatie wordt door de deskundige beschreven met behulp van een technisch schema vergelijkbaar aan het schema voorgesteld in Figuur 2.



Figuur 2 : Technisch schema van een bioventing installatie met bodemluchtonttrekking (Uit USEPA, 1995, 510-D-95-007, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers)



9. Beschrijving van het te installeren systeem

In het saneringsvoorstel of de risicobeheersstudie worden de elementen uit de haalbaarheidsstudie hernomen. Volgende elementen worden duidelijk weergegeven :

- De geschatte duur van de behandeling door bioventing om de doelstelling te bereiken ;
- De vergelijking van deze duurtijd met de duurtijd van een meer actieve behandelingstechniek ;
- De waarschijnlijkheid dat de natuurlijke afbraak zich verderzet aan de verwachte snelheid of, omgekeerd, de waarschijnlijkheid dat de afbraak in de toekomst vertraagt : bijvoorbeeld door de accumulatie van intermediaire producten (stagnatie), clogging van de bodem door metaaloxiden of bacteriële biomassa, verzuring van de bodem,...
- De betrouwbaarheid en de volledigheid van de verzamelde gegevens en het begrijpen van de processen die tot de huidige situatie geleid hebben ;
- Enerzijds de betrouwbaarheid van de voorspellingen en simulaties over de uitbreiding van de pluim en de verspreiding van de verontreiniging en anderzijds de efficiëntie van de natuurlijke afbraak op basis van de verzamelde gegevens. Zijn deze gegevens volledig of minstens voldoende om een betrouwbare inschatting te kunnen maken?

Het voorstel voorziet eveneens in een beschrijving van één of meerdere alternatieven voor behandeling van de verontreiniging in geval van mislukking van de gestimuleerde natuurlijke attenuatie.

De minimaal aan te leveren gegevens van het systeem dat zal geïnstalleerd worden in het kader van een risicobeheer of een sanering worden weergegeven in **Tabel 6**.

Opmerking : Het is mogelijk dat een systeem voor het verlagen van de grondwatertafel moet geïnstalleerd worden om de luchtcirculatie doorheen de verontreiniging te verbeteren en om de vermijden dat het grondwater stijgt als gevolg van het aanleggen van een onderdruk in de bodem. De aspecten verbonden met het verlagen van het grondwater worden beschreven in een andere Code van goede praktijk.



Tabel 6 : Aan te leveren gegevens van het te installeren behandelingssysteem

Deel van systeem	Onderdeel	Beschrijving	Opmerkingen
Beoogde doelstellingen	Behandeling van de onverzadigde zone van de bodem	Beoogde te bereiken en stabiele concentraties in de bodem. Actuele verspreiding van de verontreiniging in het XYZ-vlak. Initiële vuilvracht. Beoogde behandelingsduur. Voorziene debieten voor de bodemventing.	
Installatie voor de onttrekking van bodemlucht in de onverzadigde zone	Onttrekkingsputten	Situering en onderlinge afstand van de verschillende onttrekkingsputten, diepte van de blinde en gefilterde onttrekkingsbuizen, diameter en type putmateriaal, afmetingen van de filteropeningen, type en diepte van het grind rond de putten, type en dieptes van de afsluitende kleistoppen (bentoniet) of cementstoppen, type kop en afwerking op de putten (luchtdicht bij putten in onderdruk). Bescherming van de filterkop (toezichtsput, metalen buis met hangslot). Positie van de manometers.	Als de te behandelen verontreiniging verspreid is over een groot diepte-interval, kan de installatie onttrekkingsputten op verschillende dieptes bevatten
	Pomp	Type en situering van de pompen : vacuümpompen, ventilatoren, ... verbonden met 1 of meerdere onttrekkingsputten, druppelvanger, deeltjesfilter. Onderdruk tijdens de inwerkingstelling. Werkwijze: continu - intermitterend	Het vermogen van de pompen moet berekend worden in relatie tot de weerhouden onttrekkingsdebieten gebaseerd op de gewenste zuurstoftoevoer en realistisch toegepaste onderdrukken
	Regelsysteem	Onttrekkingssysteem continu of periodiek (gewenste verlaging van het freatisch grondwater), onttrekking gelijktijdig of afwisselend op verschillende delen van de installatie, criteria voor opstarten of onderbreken naar gelang de diepte van het grondwater	
Variant luchtinjectie in de onverzadigde zone	Injectieputten	Situering en onderlinge afstand van de verschillende onttrekkingsputten, diepte van de blinde en gefilterde onttrekkingsbuizen, diameter en type putmateriaal, afmetingen van de filteropeningen, type en diepte van het grind rond de putten, type en dieptes van de afsluitende kleistoppen (bentoniet) of cementstoppen, type kop. Actief of passief systeem. Druk en injectiedebiet. Luchtbevochtiger	



Variant opwarming van de bodem	Injectie warme lucht of damp	Situering van de injectiepunten en beschrijving (diameters, dieptes, afstanden, ...). Temperatuur van de geïnjecteerde lucht/damp. Injectiedrukken en -debieten.	
Materieel voor de opvang van de onttrokken bodemlucht	Aan- en afvoerleidingen van de onttrokken bodemlucht	Type, afmetingen en installaties van de aanvoerleidingen, buffervat, anti-vries installatie, anti-vandalisme installatie en controle explosiegevaar. Situering en installatie voor controlemonsters. Situering debietmeters, manometers en temperatuursondes.	
Materieel voor de aanvoer van nutriënten	Infiltratieputten of -drains	Situering en onderlinge afstand tussen de verschillende infiltratieputten en -drains, dieptes van installatie, lengtes van blinde en gefilterde delen, diameter, verwachte debieten, injectiedruk (bij actieve injectie), frequentie van de aanvoer, samenstelling van de nutriëntoplossingen, installatie voor het mengen en voorbereiden van de oplossingen en het stockeren van de additieven.	Hetzelfde materieel zou kunnen gebruikt worden voor de aanvoer van micro-organismen in geval van bioremediatie.
Zuiveringsinstallatie van de onttrokken bodemlucht en installatie voor de opvang van condensaat	Deze rubriek maakt deel uit van een aanvullende Code van Goede Praktijk.		
Materiaal tegen overlast	Maatregelen voor geluidsoverlast	Voorziene maatregelen : anti-cavitatie voor de vacuümpomp, akoestische isolatie, geluidsarme pompen, ...	
	Maatregelen voor geuroverlast	Eventuele maatregelen voor de vluchtige componenten (aceton, aromatische verbindingen, lichte koolwaterstoffracties)	



10. Beperken van de invloed van de behandeling op de omgeving : geur, geluid, stof,...

10.1. Aandachtspunten

In functie van de huidige en toekomstige bezetting van de site en onmiddellijke omgeving moet rekening gehouden worden met onderstaande punten :

- Invloed op de luchtkwaliteit ter hoogte van de werf en onmiddellijke omgeving : gehalte aan schadelijke gassen en geuren, stof ;
- Risico op brand en explosie ;
- Geluidshinder ;
- Risico voor grondwaterwinningen in de omgeving ingeval van verticale migratie van de verontreiniging naar de grondwatertafel.

10.2. Hinder voor de luchtkwaliteit in geval van aanwezigheid van vluchtige verontreiniging

De onttrokken bodemgassen kunnen verspreid worden als het systeem voor verzamelen en transport van de bodemlucht naar het zuiveringssysteem niet goed is afgesloten. Om het risico op verspreiding van schadelijke gassen of geur naar gevoelige receptoren op de site en in de onmiddellijke omgeving te vermijden moet de luchtdichtheid van de installatie zorgvuldig gecontroleerd worden.

Zoals opgenomen in het hoofdstuk over de opvolging van de installatie, moet een meting uitgevoerd worden van de kwaliteit van de lucht in de omgeving van de zuiveringsinstallatie als er gevoelige receptoren aanwezig zijn in de onmiddellijke omgeving van de werf (woonzones, scholen, ...). In geval van herhaalde klachten van omwonenden over de aanwezigheid van geur afkomstig van de zuivering, dient ook een meetcampagne van de luchtkwaliteit uitgevoerd worden.

De effluentgassen van de zuiveringsinstallatie moeten regelmatig gecontroleerd worden.

De emissie van stof wordt niet verwacht als gevolg van het uitvoeren van biosparging.

10.3. Brand- en explosierisico's

De injectie van lucht in de bodem gecombineerd met onttrekking van bodemlucht, in de aanwezigheid van vluchtige verontreiniging, kan leiden tot het creëren van explosieve omstandigheden in de leidingen en tanks van het systeem (vluchtige gassen, aangerijkt aan zuurstof). Explosiometers moeten dus op verschillende plaatsen in het systeem aangebracht worden : in de leidingen van het collectorsysteem van onttrokken gassen voor doorgang door de pompen, ter hoogte van de zuiveringsinstallatie, ... De explosiometers moeten gekoppeld zijn aan een alarmsysteem, een automatische opening voor het aanzuigen van verdunningslucht en, als nodig, een automatische noodstop ingeval van overschrijden van een waarde van 10% LEL (Lower Explosive Limit).

Gezien systemen met injectie van lucht in de bodem in aanwezigheid van vluchtige componenten die niet voorzien zijn van een onttrekkingssysteem in de onverzadigde zone sowieso niet toegelaten zijn in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, moeten de explosierisico's op ophoping van ontvlambaar gas in de bodem (kelders, holtes, ...) niet in overweging genomen worden.



10.4. Geluidshinder

Geluidshinder voor omwonenden kan veroorzaakt worden door de werking van de pompen, compressoren, ventilatoren en een stroomgroep in zones waar geen elektriciteitsnet aanwezig is.

Maatregelen om deze hinder te vermijden moeten genomen worden :

- Installeren van het systeem op een redelijke afstand van woonzones ;
- Debietsregeling om te vermijden dat cavitatie in de pompen optreedt ;
- Luide toestellen in goed geïsoleerde omkastingen en containers plaatsen ;
- Vermijden dat de installatie 's nachts draait in geval van een intermitterende werking.

10.5. Risico's voor naburige grondwaterwinningen

Grondwaterwinningen die gebruikt worden voor de verdeling van drinkwater moeten beschouwd worden als prioritaire receptoren. Grondwaterwinningen voor privédoeleinden moeten ook in rekening gebracht worden als deze bedreigd worden.

Deze winningen kunnen bedreigd zijn wanneer de snelheid van afbraak van verontreiniging (of intermediaire producten) onvoldoende is in vergelijking tot de verticale migratiesnelheid van de verontreiniging in de richting van de grondwaterlaag in exploitatie.

De kwaliteit van het grondwater onder de te saneren zone moet dus gecontroleerd worden als er een risico bestaat op verticale migratie van de verontreiniging.

10.6. Conformiteit met bestaande wetgeving

In verband met de luchtkwaliteit worden de emissienormen voor gasen naar de atmosfeer weergegeven in de [de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#).

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn geen normen beschikbaar voor het evalueren van de luchtkwaliteit in de buitenlucht (immissie) die kunnen dienen om het aandeel afkomstig van een behandelingssysteem met bioventing te kunnen inschatten. In een eerste benadering worden de gemeten waarden aan vluchtige polluenten vergeleken met [de waarden die beschikbaar zijn op het S-RISK platform © \(Substance data sheets, <https://s-risk/be/documents>\)](#). In geval van overschrijding van deze waarden, moet de lekdichtheid van het systeem gecontroleerd worden. In de zones die beïnvloed worden door een verhoogde achtergrondconcentratie in de buitenlucht (nabijheid drukke verkeersader, industriezones, ...) is een controle van de lekdichtheid nodig als de luchtconcentraties in de nabijheid van de installatie verhoogd zijn ten opzichte van de omgevingsconcentraties gemeten over een periode van 24u.

Op het gebied van geur zijn er geen wettelijke normen van kracht in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Een controle van de lekdichtheid van de installatie is nodig in geval van herhaaldelijke klachten van omwonenden.

Op het vlak van geluidshinder, is het aanvaardbaar geluidsniveau dat gegenereerd wordt door zuiveringssystemen voor de onttrekking van grondwater vastgelegd in de Ordonnantie van 17.07.1997 en het uitvoeringsbesluit van 24.11.2002 over de bestrijding van geluid en trillingen door geklasseerde installaties. In zones met een verhoogd omgevingsgeluid (drukke verkeersaders, industriezones,...), is het voldoende om de impact van de installatie te vergelijken met het lokale geluidsniveau.



Het toevoegen van nutriënten in de onverzadigde zone en de uitloging ervan mag geen aanleiding geven tot nitraatgehaltes in het grondwater die hoger zijn dan de interventienormen opgenomen in het [BBHG van 29/03/2018](#) die de interventie- en saneringsnormen vastlegt.

De opgelegde aanbevelingen in de eventuele milieuvergunning moeten ook gerespecteerd worden.



11. Opvolging van de behandeling

11.1. Basisregels voor de opvolging

De handelingen in het kader van de opvolging van een behandeling met bioventing hebben als doel om een juist en actueel beeld van de verontreiniging en de geochemische en hydrogeologische parameters te leveren. De verzamelde gegevens moeten eveneens toelaten om een uitspraak te doen over de efficiëntie van de behandeling.

Meer in detail moet de opvolging een antwoord geven op volgende doelstellingen :

- Aantonen dat bioventing verloopt zoals ingeschat ;
- Identificeren van alle intermediaire producten van degradatie die mogelijk gevormd zijn (vooral deze die een toxisch karakter vertonen) ;
- Opvolgen van de omvang van de pluim (in drie dimensies) ;
- Nagaan dat geen enkele gevoelige receptor bedreigd wordt ;
- De efficiëntie van de gebruikte middelen voor de stimulatie evalueren, met name voor de optimalisatie en controle van de heersende bodemcondities ;
- De evolutie van de concentraties evalueren en eventueel het bereiken van de doelstellingen controleren.

Het controleprogramma moet aangepast zijn aan de te saneren site (gebaseerd op het conceptueel model van de verontreiniging) en het moet een meet- en staalnameprogramma bevatten waarin periodieke staalnames en analyses van bodemstalen voorzien zijn. Het controleprogramma moet meer uitgewerkt en gedetailleerd zijn wanneer er onzekerheden bestaan over de juistheid en de representativiteit van het conceptueel model.

Het meet- en staalnameprogramma tijdens de behandeling moet minimum onderstaande zaken bevatten :

- Duurtijd van de controle ;
- De frequentie van de meet- en staalnamecampagnes
- De plaats van de meet- en staalnamepunten ;
- De wijze van staalname en de te meten en analyseren parameters.

11.2. Controlemetingen voor het behandelingssysteem

Het systeem voor de opvolging van de installatie is beschreven in de Code van goede praktijk n° 2 over het pompen van gasen in de onverzadigde zone.

Bovenop de elementen die in deze code beschreven zijn, moet het infiltratiesysteem van nutriëntoplossingen toelaten om de debieten en volumes aan toegevoegde additieven ter hoogte van elk injectiepunt te meten.

11.3. Controlemetingen : zuiveringsparameters en -frequenties

De parameters voor opvolging van de zuivering en de frequentie van de metingen zijn weergegeven in **Tabel 7**.



Tabel 7 : Op te volgen parameters voor de uitvoering van de behandeling en meefrequenties

Monitoringsparameters	Materiaal	Parameter	Minimum frequentie	Opmerkingen
Luchtcirculatie door enkel bodemluchtextractie				
Debiten uit de onttrekkingsputten	Debietmeters per onttrekkingsput	Débit (m ³ /s) en cumulatief volume	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	bron: OVAM
Onderdruk en temperatuur bij elke onttrekkingsput	Manometer en temperatuursonde bij elke onttrekkingsput	Onderdruk (Pa) en temperatuur (°C)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	Voor de berekening van de onttrokken volumes in gestandaardiseerde eenheden (standaard T° en druk)
Concentraties aan verontreinigingsparameters in de bodemlucht per onttrekkingsput	Staalname aan de onttrekkingsput en analyse (actief koolbuisje, Dräger buisje, PID, FID)	Concentraties van de te saneren polluenten + tussen- en afbraakproducten	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	bron: OVAM
Gehaltes aan water, O ₂ en CO ₂ in de onttrokken bodemlucht voor elke onttrekkingsput	Staalname aan de onttrekkingsput en analyse : directe meting, luchtzakken	Gehaltes aan water, O ₂ et CO ₂ (kg/m ³)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	Opvolging van het minimale gehalte aan water et opvolging van de biologische activiteit
Onderdruk bij elke monitoringsput	Manometers bij elke monitoringsput	Onderdruk (Pa)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	Opvolging van de invloedstraal en aantonen van niet-beïnvloede of behandelde zones
Schatting van de verwijderde vuilvracht per put en in totaal	Som van de verwijderde vuilvrachten voor de verschillende monitoringsperiodes	vuilvracht van de verwijderde polluenten (kg)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	
Concentraties in de gasfase van de bodem in de onverzadigde zone	Staalname in de monitoringsputten en analyse op de bodemluchtstalen	Gehaltes aan verontreinigingsparameters en aan secundaire afbraakproducten, gehaltes aan O ₂ en aan CO ₂	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	In kaart brengen van de zones die niet beïnvloed worden door de bodemluchtcirculatie, waardoor geen vluchtige verontreinigingen ontsnappen
Opvolging peilmetingen	Metingen van de grondwaterpiepeilbuizen	Peillint (m)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	bron: OVAM
Vuilvracht en gehaltes aan verontreinigingsparameters in het condensaat	Hoeveelheden opgevangen vloeistof in de afscheider en concentraties aan verontreinigingsparameters	m ³ en kg/m ³	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	Bepalen van het reinigingssysteem op of buiten de site.
Restconcentraties in de grond	Boringen, staalname en analyses van bodemstalen	Concentraties aan te saneren verontreinigingsparameters en afbraakproducten, aan organische koolstof en stikstof (nitraat en ammonium), aan opneembare fosfor (kg/Kg), pH, vochtgehalte	Bij de opstart en vervolgens elke 3 maanden	Facultatief : telling van de heterotrofe bacteriën (CFU/gr bodem). De diepte van de staalnames moet toelaten om een eventuele verticale migratie van de verontreiniging op te volgen.
Massabalans van de vuilvracht	Op basis van de gemeten concentraties	Initiële vuilvracht, restvuilvracht, onttrokken hoeveelheden, afgebroken hoeveelheden	Bij de opstart en vervolgens elke 3 maanden	
Hoeveelheden aan aangebrachte nutriënten en de verhouding C:N:P	hoeveelheden en concentraties van de geïnfilterde nutriëntoplossingen en analyse van bodemstalen	Verhouding C:N:P in de bodem en hoeveelheden N en P aangebracht	Bij de opstart en vervolgens elke 3 maanden	Bijsturing van de frequentie van de aanbreng van N en P en controle van de verspreiding van de nutriënten
BLE (bodemluchtextractie) + Variant injectie in de onverzadigde zone - Aanvullende parameters				
Meting van de geïnjecteerde debieten en injectiedrukken op elke injectieput	Debietmeters en manometers op elke injectieput	Debiten en cumulatieve volumes van de geïnjecteerde lucht	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	
BLE (bodemluchtextractie) + Variant opwarming van de bodem - - Aanvullende parameters				
Meting van de temperatuur op elke injectieput bij verwarming door warme lucht of waterdamp	Temperatuursondes in de injectieputten	T (°C)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	
Meting van de temperatuur van de bodem op een aantal observatiepunten	Temperatuursondes op de controleplaatsen	T (°C)	Eerste twee maanden (fase van de opstart): wekelijks vervolgens maandelijks	

* de frequentie zal aangepast worden door de deskundige in functie van de monitoringsresultaten



Onderstaande opmerkingen zijn te maken bij de tabel :

- Betreffende de te analyseren parameters, geeft **Tabel 7** hierboven een checklist voor de deskundigen. Tijdens het opstellen van een meet- en staalnameplan, zal de deskundige een voorstel formuleren en motiveren voor de te analyseren parameters in de verschillende bodemfases.
- De lijst met te analyseren parameters, voorgesteld door de expert kan aangepast worden in de tijd : verminderen van het aantal te analyseren parameters na de opstartfase als de gestimuleerde afbraak verloopt zoals gepland en als de beschikbare gegevens als voldoende worden beoordeeld om de evolutie van de verontreinigingspluim te voorspellen op het vlak van concentraties en omvang. In geval van onvoorziene omstandigheden of verloop, kan het echter aangeraden zijn om het aantal te analyseren parameters opnieuw te verhogen.
- De analyse van de gehaltes aan verontreiniging in de gassen zal gerealiseerd worden in labo na staalname op actief kool of met gaszakken. De deskundige kan echter voorstellen om directe metingen uit te voeren met FID- of PID-toestellen of Drägerbuisjes als er een goede correlatie bestaat tussen de directe metingen en de labo-analyses. Voor een verontreiniging bestaande uit een mengsel, zoals koolwaterstoffen, kan de samenstelling van deze mengsels evolueren tijdens de voortgang van de behandeling. Bijgevolg moet de overeenstemming tussen directe metingen en labo-analyses regelmatig bijgesteld worden volgens een frequentie voorgesteld door de deskundige. O₂ en CO₂ metingen in de gassen kunnen direct uitgevoerd worden.
- De periodiciteit van de staalnamecampagnes en de analyses van de bodemstalen, het grondwater en bodemlucht kunnen aangepast worden op basis van een goed geargumenteed voorstel van de deskundige.
- Voor het nemen van stalen van grond, grondwater en bodemlucht wordt verwezen naar Code van goede praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Nemen van stalen van bodem, grondwater, sediment en bodemlucht. ... ». Voor de analyse van deze stalen, wordt verwezen naar Code van goede praktijk n° 4 « Code van goede praktijk voor analysemethodes ... », uitgegeven door Leefmilieu Brussel.
- Wat betreft de behandeling van onttrokken bodemlucht (gehalten in effluent, verbruik van actief kool, ...), wordt verwezen naar de aanbevelingen in Code van goede praktijk n° 2.

De te controleren parameters voor de zuivering in verband met hinder worden weergegeven in **Tabel 8**.

Tabel 8 : Frequenties en te controleren parameters in verband met hinder

Monitorings-parameters	Materiaal	Parameter	Minimum frequentie	Opmerkingen
Concentraties aan verontreinigings-parameters in de omgevingslucht	Luchtstaalname in de omgeving van de zuiveringsinstallatie of van gevoelige zones en analyse van de luchtstalen door actief koolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigings-parameters waarvoor behandeling vereist is (kg/m ³)	Bij de opstart, vervolgens na 2 weken en vervolgens elke 3 maanden.	In het geval er vluchtige pollutanten worden onttrokken.
Geluidsmetingen	Opstelling van een meetnetwerk	Geluidsniveau	Bij klachten van omwonenden	



Geurmetingen	Opstelling van een meetnetwerk	Geurniveau	Bij klachten van omwonenden	
--------------	--------------------------------	------------	-----------------------------	--



12. Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen

12.1. Rapportage

Volgens het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 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, dienen bij een behandeling met bioventing één of meerdere tussentijdse rapporten aan Leefmilieu Brussel bezorgd te worden :

- Tussentijds rapport na afsluiting van de opstartfase. Een normale duurtijd voor een opstart duurt ongeveer 2 maanden. De deskundige kan voorstellen deze duurtijd aanpassen.
- Andere tussentijdse rapporten worden ingediend indien de sanerings of het risicobeheer verschillende jaren duren. De frequentie van deze tussentijdse rapporten wordt door de deskundige voorgesteld in het sanerings- of risicobeheersvoorstel. Een tussentijds rapport zal opgemaakt worden voor Leefmilieu Brussel wanneer op basis van de verzamelde gegevens tijdens verschillende controlecampagnes, significante aanpassingen aan het behandelingssysteem nodig zijn en de goedkeuring van Leefmilieu Brussel nodig hebben : plaatsing van nieuwe onttrekkings- of injectieputten, buiten gebruik stellen van putten, uitbreiding van het monitoringsnetwerk als gevolg van een uitbreiding van de pluim, in werking stellen van andere behandelingstechnieken,...

De inhoud van het eerste tussentijds rapport bevat minimum de informatie opgenomen in **Tabel 9**.

Wat betreft de zuivering van bodemlucht (effluentconcentraties, verbruik van actief kool,...) wordt verwezen naar de Code van goede praktijk n° 2.

12.1. Corrigerende maatregelen en optimalisatie

Zoals elke behandelingsmethode waarbij biologische processen een grote rol spelen, is de efficiëntie van bioventing onderhevig aan verschillende onzekerheden rekening houdend met een groot aantal factoren die de goede uitvoering van de behandeling kunnen beïnvloeden : fysicochemische eigenschappen van de bodem, heterogeniteit van de bodem, gemengde verontreiniging die de bacteriële activiteit negatief kan beïnvloeden (bijvoorbeeld zware metalen),...

De methodes voor het stimuleren van de afbraak hebben als doel om de optimale omstandigheden voor aerobe biologische afbraak in de bodem te creëren. Deze methodes worden bepaald in voorstudies, labotesten, veldtesten en pilootproeven.

Ondanks de veelheid aan informatie die verzameld werd in de voorafgaande fases kunnen aanpassingen aan het systeem zich opdringen. Bijvoorbeeld in het geval dat de onzekerheid wat betreft de haalbaarheid (technisch en economisch) van bioventing te groot is of als de snelheid van afbraak van verontreiniging lager blijkt te zijn dan de snelheid die ingeschat werd bij opmaak van het voorstel.

De optimalisatie kan bestaan uit beperkte aanpassingen aan het behandelingssysteem en aan de uitvoeringswijze. Naast deze zaken die eenvoudig kunnen aangepast worden, kunnen zich ook grotere problemen voordoen.



Tabel 9 : Aan te leveren informatie in het eerste tussentijds rapport

Rubriek	Parameters en te meten hoeveelheden	Opmerkingen
Beschrijving van de beginsituatie vanaf de start van de behandeling	Verdeling van de verontreinigingsconcentraties en intermediaire producten (in de 3 dimensies) in de vaste bodem en in de bodemlucht van de onverzadigde zone en eventueel in het grondwater. Gehaltes aan C (organisch), N en beschikbare P, pH watergehalte in de bodem. Peilmetingen. Gehalte aan O ₂ en CO ₂ in de gasfase van de bodem en verdeling.	Grafische voorstelling van de omvang van de verontreinigingspluim
Beschrijving van het geïnstalleerde systeem (as built) voor de eerste fase	Beschrijving van de elementen van de installatie : pompputten (aantal, situering, diameter, diepte, filterlengte, grind, afsluitende klei- of cementstop, afwerking filterkop,...) , monitoringsputten (aantal, situering, diameter, diepte, filterlengte, grind, afsluitende klei- of cementstop, afwerking filterkop,...) , meetinstallatie voor debieten van opgepompte bodemlucht (type, situering, ...), meetinstallatie voor de onderdruk (type, situering), aanzuig- en afvoerleidingen voor vloeistoffen en bodemlucht, druppelvanger en zuiveringsinstallatie voor bodemlucht	De situering van de verschillende onderdelen van de installatie moet weergegeven worden op figuren in bijlage bij een tussentijds verslag
Beschrijving van bijkomende installaties ingeval van een variant met luchtinjectie en verwarming door injectie van damp of warme lucht	Beschrijving van bijkomende onderdelen: injectieputten (aantal, situering, diameter, diepte, filterlengte, grind, afsluitende klei- of cementstop, filterkop), meetinstallatie voor de injectiedebieten (type, situering), meetinstallatie voor temperatuur van de geïnjecteerde damp of warme lucht en de temperatuur van de bodem.	De situering van de verschillende onderdelen van de installatie moet weergegeven worden op figuren in bijlage bij een tussentijds verslag
Beschrijving van het geïnstalleerde systeem (as built) voor de eerste fase voor de toevoeging van nutriënten	Beschrijving van de onderdelen van de installatie: infiltratie- of injectieputten of -drains (aantal, situering, lengte blinde buis en filter, meetsysteem voor debieten). Samenstelling van de geïnfiltreerde of geïnjecteerde oplossingen. Injectiedrukken (bij actieve injectie).	De situering van de verschillende onderdelen van de installatie moet weergegeven worden op figuren in bijlage bij een tussentijds verslag
Te rapporteren parameters in geval van enkel onttrekking van gas in de onverzadigde zone	Onderdrukken gemeten ter hoogte van de putten en in de peilbuizen en onttrokken debieten en volumes uit de verschillende putten. Nagaan van de omvang van de captatiezone. Gemeten concentraties in de onttrekkingsgassen (verontreiniging, intermediaire producten, O ₂ , CO ₂ , H ₂ O) - Concentraties in de bodemlucht in de verschillende monitoringsputten voor opstart en na opstart van de onttrekking (verontreiniging, intermediaire producten, O ₂ , CO ₂). Hoeveelheden en concentraties condensaat. Residuele concentraties in de bodem (verontreiniging, intermediaire producten, organische C, N, P) en massabalans (residuele vuilvracht, initiële vuilvracht, hoeveelheid onttrokken verontreiniging, hoeveelheid afgebroken verontreiniging). Gehaltes aan N en P in de bodem, verhouding C:N:P in de bodem. Hoeveelheid geïnfiltreerde of geïnjecteerde nutriëntoplossing. Voorziene duurtijd van de behandeling op basis van de verzamelde gegevens. Uitvoeringswijze: continu of intermitterend pompen. Peilmetingen van het grondwater. Haalbaarheid van de behandeling - Toe te passen corrigerende maatregelen	
Bijkomende te rapporteren parameters in geval van variant met injectie in de onverzadigde zone	Injectiedrukken en -debieten (en cumulatieve volumes)	
Bijkomende te rapporteren parameters in geval van variant met injectie van damp of warme lucht	Debiet, temperatuur, injectiedruk van damp/warme lucht. Geïnjecteerde hoeveelheden. Gemeten temperaturen in de bodem	
Facultatief te rapporteren parameters	Tellingen van heterogene bacteriën in de bodem	Indien noodzakelijk geacht door de deskundige
Interpretatie van de resultaten	Simulatie van de toekomstige omvang van de verontreinigingspluim (vertikale migratie) en risiconiveau voor de gevoelige receptoren. Schatting van de duurtijd van de behandeling. Analyse van de haalbaarheid van de behandeling door bioventing	
Corrigerende maatregelen	Aan te brengen wijzigingen aan het monitoringssysteem. Aanpassingen aan de bioventing-installatie. Als bioventing onvoldoende blijkt te werken (te lange duurtijd, verticale migratie van de verontreiniging en risico voor gevoelige receptoren): in werking stellen van een alternatieve behandelingstechniek.	



De verzamelde informatie blijkt onvoldoende om een uitspraak te doen over de haalbaarheid (technisch of economisch) van bioventing. Volgende corrigerende maatregelen kunnen uitgevoerd worden:

- Verdichten of uitbreiden van het monitoringsnetwerk ;
- Metingen van aanvullende parameters die toelaten om de evolutie van de natuurlijke afbraak op te volgen.

De duurtijd van de behandeling met bioventing blijkt onrealistisch vanuit economisch standpunt. De geschatte duurtijd van de behandeling om de doelstellingen te bereiken moet naar boven bijgesteld worden op basis van waarnemingen tijdens de beginfase waardoor de nodige tijdsduur onrealistisch wordt voor ingebruikname en toegang van het terrein, kosten voor toezicht, ... Bij het overwegen van aanpassingen wordt het inschakelen van meer actieve maatregelen ter hoogte van de kern of pluim geëvalueerd.

De afbraaksnelheid van de verontreiniging en van intermediaire producten is niet voldoende om te verhinderen dat (vertikale) migratie van de verontreiniging naar gevoelige sensoren (grondwaterlaag, ...) plaatsvindt. Volgende corrigerende maatregelen dienen overwogen te worden : het toepassen van meer actieve behandelingstechnieken, het stoppen van de verspreiding van de pluim, het verhogen van de afbraak van verontreiniging (door verwarming of bio-augmentatie) of een combinatie van deze twee laatste.

Het debiet van de onttrokken bodemlucht zakt snel, zelfs als de aangelegde onderdruk constant blijft. De corrigerende oplossingen die mogelijk zijn, zijn de volgende :

- Installeren van een systeem voor het verlagen van de grondwatertafel om zo de zone waarin lucht kan circuleren te vergroten ;
- Reinigen van de onttrekkingsputten ;
- Injectieputten plaatsen tussen de onttrekkingsputten om de nodige onderdruk te verminderen en zo het niveau van het grondwater te doen dalen en een voldoende debiet te behouden.

De onderdruk in de bodem is niet uniform ter hoogte van de vlek. Een mogelijke oplossing hiervoor is om het aantal onttrekkingsputten te verhogen.



13. Validatiemetingen en beslisboom voor het stopzetten-verderzetten van de behandeling

De validatiemetingen hebben als doel om te verifiëren of de doelstellingen van de (beperkte) behandeling of het risicobeheer bereikt zijn zodat de behandeling als beëindigd kan beschouwd worden.

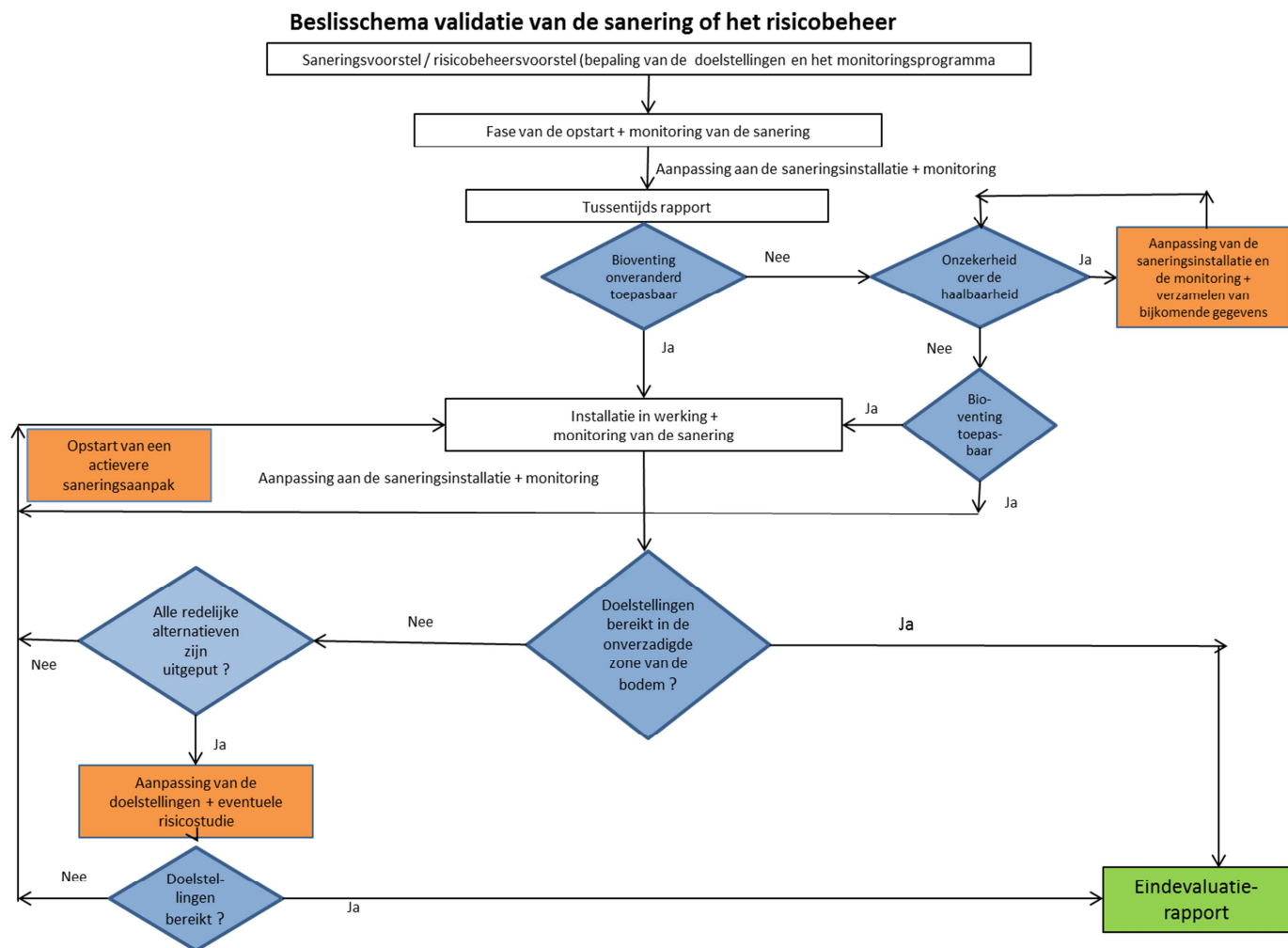
Deze metingen bestaan uit een laatste bemonsteringscampagne van de bodem. Deze campagne dient uitgevoerd te worden op alle verontreinigingsparameters waarvan de aanwezigheid tot een behandeling geleid heeft, de toxische intermediaire afbraakproducten en andere polluenten die kunnen vrijgezet zijn als gevolg van de aanwezigheid van verontreiniging (As, ...).

Wanneer de doelstellingen bereikt worden in het midden van de verontreinigde zone, kan de sanering of het risicobeheer als beëindigd beschouwd worden. Bijgevolg mag het behandelingssysteem gedemobiliseerd worden (voor zover een bevestiging op lange termijn niet nodig is) en een finaal evaluatierapport kan ingediend worden.

Wanneer de doelstellingen niet bereikt worden, moet de behandeling en de opvolging verdergezet worden na het uitvoeren van eventuele corrigerende maatregelen : bio-augmentatie, bodemverwarming, opstarten van meer actieve behandelingsmethodes : uitgraving van de kern,...

Als de tijdens de monitoringscampagnes die volgen op de validatiemetingen, de terugsaneerwaarden nog steeds niet bereikt werden, dan kan een aanpassing van de doelstellingen voorgesteld worden door de deskundige, tegelijkertijd met een risicostudie (met eventueel voorstellen van gebruiksbependingen). Na goedkeuring van deze aanpassing door Leefmilieu Brussel, kunnen zich twee zaken voordoen : op basis van de nieuwe doelstellingen, kan de behandeling als beëindigd beschouwd worden of de behandeling moet heropgestart worden met nieuwe corrigerende maatregelen of met aanvullende behandelingstechnieken.

Het beslissingsschema tijdens de validatiestap van de behandeling is hieronder weergegeven.



14. Lange termijn monitoring

Op voorstel van de deskundige en/of op vraag van Leefmilieu Brussel, kunnen opvolgingsmaatregelen (validatie op lange tijd of nazorg) gevraagd worden aan de behandelingsplichtige na het beëindigen van de sanering of het risicobeheer. Deze maatregelen moeten de resultaten van de werken en vooral het bereiken van de doelstellingen op lange termijn bevestigen. De lange termijnmonitoring dient uitgevoerd te worden als er een onzekerheid bestaat over het resultaat op lange termijn: significante variatie van gemeten concentraties in de grondstalen, stabiliseren van de concentraties dicht bij de terugsaneerwaarden, specifieke ongunstige omstandigheden, ...

De op te volgen parameters moeten vastgelegd worden op basis van de conclusies in het evaluatierapport.



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

15.1. Bondige checklist voor de aannemers

De checklist voor de aannemers is weergegeven in **Tabel 10**. Deze lijst dient om de aannemers te helpen bij het opmaken van hun offertes en antwoorden op de bestekken, opgesteld door de deskundigen. Rekening houdend met de grote diversiteit van de verschillende situaties, zal deze lijst nooit volledig zijn.

Onderstaande opmerkingen kunnen gemaakt worden :

- Voor de aannemers met VCA certificaat of equivalent, zijn de maatregelen in **Tabel 10** over veiligheid automatisch van toepassing ;
- De checklist in **Tabel 10** is van toepassing op aannemers en hun onderaannemers in hun respectievelijke vakgebieden ;
- In het algemeen, worden inspectiebezoeken op de werf minimum op halfmaandelijke basis uitgevoerd ;
- Voor de collectorleidingen en het opgepompte water (bij eventuele verlaging van de grondwatertafel), worden bij voorkeur ondergrondse leidingen verkozen om accidenten, vorstschade en schade door vandalisme te vermijden ;
- Wanneer de installaties op de werf (putten en zuiveringsinstallatie) zich dicht bij gebouwen bevinden, kunnen luchtanalyses in deze gebouwen voorzien worden om het gehalte aan vluchtige stoffen te bepalen ;
- Wanneer er een explosierisico blijkt te zijn ter hoogte van de pompputten, de leidingen of de zuivering, wordt de LEL continu gemeten en veiligheidsmaatregelen treden in werking bij overschrijding van 10% LEL.
- Wanneer tijdelijk verontreinigde grond wordt gestockeerd op de site, zullen maatregelen genomen worden om verontreiniging van bodem en grondwater te vermijden.

Tabel 10 : checklist voor aannemers

Rubriek	Controle
Verplicht vooraf beschikbare informatie (bestek, omschrijving der werken,...)	
Kabels en leidingen	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.
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	Risico's voor gebouwen en bovengrondse inrichtingen wegens bemaling (stabiliteitsstudie) - Preventieve maatregelen om zettingen tegen te gaan - Controlemaatregelen om zettingen tegen te gaan
	Risico's voor ondergrondse inrichtingen wegens bemaling - Preventieve maatregelen om zettingen tegen te gaan - Controlemaatregelen om zettingen tegen te gaan
	Explosierisico in het collectorsysteem voor bodemgas rekening houdend met de ontvlambaarheid van de onttrokken componenten
	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
	Elektrische risico's : respecteren van A.R.E.I., gelijkvormigheid van de installaties en controlerapporten
	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....
	Klimatologische risico's : bevriezen van de leidingen
	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. explosie veilig 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 spoed)
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
	Niveau van de geluidshinder : 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 interventiemaatregelen	Voor elke potentiële overlast dienen de juiste verbeterings- en interventiemaatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge spoed)
Planning van interventies	
Monitorings- en onderhoudsplan	Planning van controlebezoeken: minimaal maandelijks
	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	Controle van de goede werking van het monitoringssysteem op afstand en de goede werking van de installatie
verbeterende en interventiemaatregelen	Voor elk mogelijk te verwachten probleem dienen de juiste verbeterende en interventiemaatregelen te worden vastgelegd (indien nodig, toe te passen met hoge spoed)
Veiligheidsrapporten van de toezichthouder	Rekening houdend met de monitoringsverslagen van de deskundige en de gecoördineerde implementatie van verbeterende maatregelen of optimalisaties.
Specifieke aandachtspunten voor de te nimplementeren technieken	
Kwaliteit van het materiaal	Al het materiaal werd getest voor functioneren onder druk Een test ter hoogte van de leidingen werd uitgevoerd om zich te verzekeren dat er geen lek of obstructie aanwezig is. Voor alle gebruikte onderdelen bestaat een geldige technische fiche
Nutsleidingen	Desbetreffend via een geofysische prospectie de eventuele lokalisatie van de nutsleidingen aanvullen. Voorafgaande manuele uitgraving in de nabijheid van de nutsleidingen of in de buurt van potentiële risicozones
Pompen en leidingen	Secundaire polluenten in de uitgestoten lucht en lekkage van smeermiddelen worden permanent gecontroleerd De pompen zijn voorzien van recipiëntopvangsers die toelaten om lekkage van de smeermiddelen te voorzien Een alarm slaat aan in geval van een drukverleis ter hoogte van de installatie
Bescherming van de injectie-installatie tegen vrieskou	Het is noodzakelijk om een compromis te zoeken tussen het rendement van de bioventing en de duurzaamheid van de behandelingsinstallatie
Uitbating van de extratieputten voor bodemlucht	Maatregelen ter preventie van het dichtslibben van de extratieputten voor bodemlucht of de injectieputten voor nutriënten. Bij de bodemverontreinigingsdeskundige de evaluatie van de potentiële factoren navragen die het dichtslibben kunnen beïnvloeden (onzuiverheden, biologische activiteit, dichtheid van de te injecteren oplossing, ...)
Vluchtige componenten / explosieven	In functie van de vluchtigheid van de polluenten die in voorgaande studies werden aangetoon, dient op basis van de de chemische fiches of bestaande MSDS-fiches, o.a. nagegaan worden of de verontreiniging kan vervluchten en een risico kan vormen voor de menselijke gezondheid. Adequate meetinstallaties ter plaatse worden geïnstalleerd; tijdens de maandelijkse controles worden in de installaties en eventuele infrastructuur opmetingen gedaan. De metingen worden met een explosiemeter of indien mogelijk met een toestel dat individuele substanties kan opmeten.
Zuiveringsinstallatie	Het influent en effluent van de zuiveringsinstallatie worden regelmatig gecontroleerd. Indien noodzakelijk worden twee zuiveringsinstallaties in serie geplaatst in geval van saturatie van de eerste eenheid.

15.1. Bondige checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige

De checklist voor de deskundigen is weergegeven in **Tabel 11**. Deze lijst heeft als doel om de deskundigen te helpen bij het opmaken van een beschrijving van de werken, kostenramingen en het uitwerken van een bestek voor de aannemers.

Tabel 11 : checklist voor deskundigen

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 drijfslag of een zaklaag, verwachte natuurlijke evolutie van de concentraties (gemeten evolutie, potentieel natuurlijke afbraak)
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 pompsysteem (putten, locatie, afmeting, ...) en eventueel het injectiesysteem: 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 luchtstroming van bodemgassen, omvang van de captatiezone, rendement van onttrekking van bodemgassen...
	Doelstellingen zijn goed gedefinieerd voor bodem en grondwater
	Inschatting van de duurtijd en noodzaak om beroep te doen op complementaire processen: injectie van lucht, verwarming van de bodem, 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 behandelde bodemlucht 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 Leefmilieu Brussel?
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,...
De communicatielijnen zijn vastgelegd	Identiteit en coördinaten van de bouwheer, de opdrachtgever, dossierhouder van Leefmilieu Brussel, 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 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 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 : bevrozing 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, opwarming van de bodem, 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 polluenten en afbraakproducten, parameters voor het opvolgen van de natuurlijke afbraak



16. Bibliografie

- Code van goede praktijk : in-situ chemische oxidatie – Draft, OVAM, 2014
- Code van goede praktijk : in-situ Bioremediatie van Petroleumwaterstoffen, OVAM 2005
- Code van goede praktijk : Natuurlijk attenuatie, OVAM, 2003
- Air Sparging, A Project Manager's Guide, Keith Fileds et al., Battelle Press, 2002
- US EPA, Guidance on the Assessment and Monitoring of Natural Attenuation of Contaminants in groundwater » M.A. Carey et al., June 2000)
- Vacuum Vapor Extraction, Johnson Paul C. et al., Springer, 1994)
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001.
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazog-versie oktober 2011, OVAM
- Code van goede praktijk voor bodemluchtextractie en perslucht injectie, OVAM, 2002
- Innovative Site Remediation Technology Vol. 8, Paul C. Johnson et al., Springer 1994.
- Soil Vapor Extraction and Bioventing, US Army Corps of Engineers, June 2002.
- Engineering and Design IN-SITU AIR SPARGING, US Army Corps of Engineers, January 2008
- HyperVentilate Users Manual, US EPA, January 1993

