

Code van goede praktijk 2

Bodempluchtexttractie in de onverzadigde zone

Leefmilieu Brussel

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Beschrijving van de techniek en werkingsprincipes.....	5
3.	Beschrijving van varianten.....	7
	Luchtinjectie in de onverzadigde bodem	7
3.2.	Persluchtinjectie in de verzadigde zone (sparging).....	9
3.3.	Het stimuleren van de bodemluchtextractie door verwarmen van de bodem (<100 °C).....	10
4.	Doelstelling: pluim vs. kern	13
5.	Verontreinigingsstoffen en de meest geschikte situaties (kwalitatief).....	14
6.	Onderzoek van de technische haalbaarheid	15
6.1	Beperkende eigenschappen van de verontreinigingsstoffen.....	15
6.2	Beperkende eigenschappen van de te behandelen bodem.....	19
6.3	Beperkende eigenschappen van de te saneren of beheren terrein.....	21
7.	Specifiek haalbaarheidsonderzoek	22
7.1	Op te meten parameters van de verontreiniging, de bodem en het terrein.....	22
7.2	Noodzaak voor voorafgaandelijke laboratorium testen	26
7.3	Noodzaak voor een pilootproef en minimale kenmerken van deze proef.....	26
8.	Beschrijving van een installatietype.....	31
8.1.	Enkel BLE.....	31
8.2.	Variant BLE + luchtinjectie in de onverzadigde bodem.....	32
8.3.	Variant BLE + luchtinjectie in de verzadigde bodem (sparging).....	32
8.4.	Variant BLE + verwarmen van de bodem.....	32
9.	Beschrijving van de installatie die voorzien wordt	33
10.	Bijzondere veiligheids- en stabiliteitsmaatregelen en beperking van hinder: geur, geluidsoverlast, stof,	36
10.1	Aandachtspunten	36
10.1.1	Hinder voor de luchtkwaliteit	36
10.1.2.	Explosiegevaar	36
10.1.3.	Geluidshinder	37
10.1.4.	Risico's voor naburige onttrekkingsinstallaties.....	37
10.2	Overeenstemming met de bestaande wettelijke kaders	37
11.	Opvolgingsmaatregelen	38
11.1	Opvolgingsmaatregelen: installatietype	38
11.1.1.	Enkelvoudige BLE.....	38
11.1.2.	BLE + Variant luchtinjectie in de onverzadigde zone van de bodem	39
	Bovenop de elementen beschreven in de paragraaf 11.1.1. zal de installatie ook een inrichting omvatten voor het meten van de debiet lucht geïnjecteerd op een actieve of passieve manier.	39
11.1.3.	BLE + Variant luchtinjectie in de verzadigde zone van de bodem (sparging).....	39
11.1.4.	BLE + Variant verwarmen van de bodem	39
11.2	Opvolgingsmaatregelen: op te volgen parameters en frequentie van opvolging	40
12.	Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen	43
12.1	Rapportage.....	43
12.2	Optimalisatie en corrigerende maatregelen	44
13.	Validatie methode en beslisschema voor stopzetting- voortzetting van de maatregel	46
13.1.	Mogelijke opvolgingsmaatregelen op lange termijn : installatie en type maatregelen ...	48
14.	Aanbevelingen op vlak van stabiliteit en veiligheid.....	50
14.1	Controle checklist voor de aannemers.....	50
14.2	Controle checklist voor de deskundige en de bodemverontreiniging	51
15.	Biibliografie.....	54

1. Inleiding

De behandelingstechniek die hier voornamelijk wordt beschreven is gekend als de « bodemluchtexttractie in de onverzadigde zone ».

Deze behandelingstechniek omvat hoofdzakelijk het onttrekken van bodemlucht van de onverzadigde zone en de daaropvolgende behandeling van de bodemlucht bovengronds. In de literatuur, wordt deze techniek vaak aangeduid met de Engelse benaming SVE (Soil Vapour Extraction).

Deze behandelingstechniek kan gekoppelde worden met verschillende alternatieven afhankelijk van de omstandigheden op het terrein. De voornaamste alternatieven beschreven in dit document zijn:

- Injectie van lucht in de onverzadigde zone, passief of actief
- Injectie van lucht in de verzadigde zone, vaak aangeduid met de Engelse term: air sparging
- Stimuleren van bodemluchtexttractie (BLE) door het verwarmen van de bodem, door het injecteren van warme lucht, het stoominjectie, Joule-effect, ...

In aanwezigheid van grote hoeveelheden puur product, een zaklaag (DNAPL) of een drijfslaag (LNAPL), dient dit puur product bij voorkeur behandeld te worden voorafgaand aan de uitvoering van de bodemluchtexttractie. De aanwezigheid van een dikke drijfslaag zou lijden tot excessieve verwerkingstijden, terwijl bij aanwezigheid van een zaklaag een verhoogd risico tot verticale verspreiding van deze zaklaag werd vastgesteld.

Slurping of meurfase-extractie (puur product, grondwater, bodemlucht) in de aanwezigheid van een drijfslaag (LNAPL) wordt beschreven in een afzonderlijke code van goede praktijk: Code van Goede Praktijk 1 – Grondwaterextractie in de onverzadigde zone.

Thermische bodembehandeling maakt deel uit van een afzonderlijke code van goede praktijk.

De behandelingstechniek beschreven in deze code van goede praktijk onderscheidt zich van de ondersteunende technieken die onderdeel uitmaken van afzonderlijke codes van goede praktijk: grondwaterextractie voor bemaling, de behandeling van opgepompte gasen en condensaat bovengronds.

Opmerking

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



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



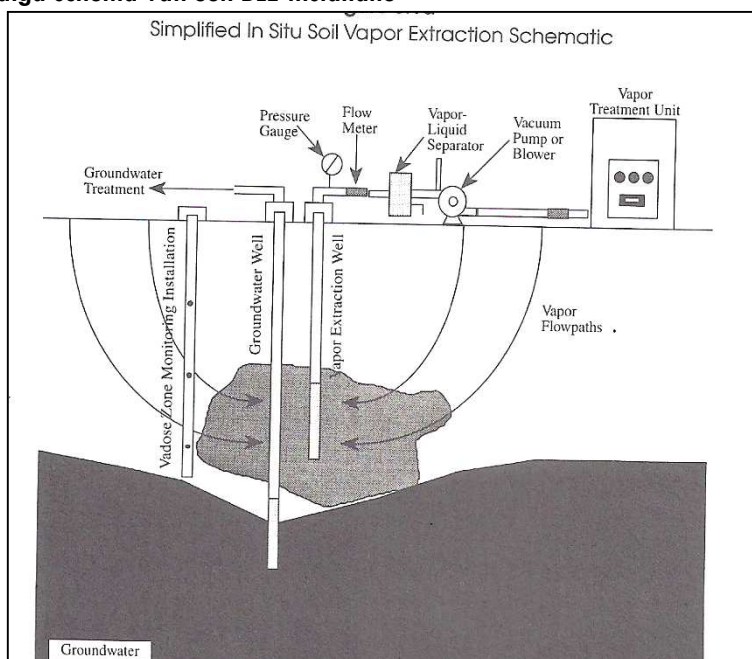
2. Beschrijving van de techniek en werkingsprincipes

De behandelingstechniek beoogt de behandeling van een verontreinigingskern en/of het beheer van de risico's veroorzaakt door de verontreiniging, door een extractie van lucht (of dampen) uit de bodem door het aanbrengen van een onderdruk. De extractie van bodemlucht uit de onverzadigde zone resulteert in een verwijdering van de verontreiniging door het verdampen van de verontreiniging naar de gasvormige fase en door de daaropvolgende behandeling van deze de gasvormige fase in een bovengrondse zuiveringsinstallatie.

Het objectief van deze behandelingstechniek is dus de behandeling van de vuilvracht aanwezig in de onverzadigde zone van de verontreiniging. De behandelde vuilvracht omvat de gasvormige fase, de verontreiniging geabsorbeerd op de vaste deel van de aarde, of de verontreiniging aanwezig als puur product in de bodemporiën of als drijfslaag (LNALP).

De techniek omvat gewoonlijk de installatie en de uitvoering van de volgende inrichting schematisch weergegeven in de onderstaande **figuur 1** (*Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*).

Figuur 1: vereenvoudigd schema van een BLE-installatie



- De inrichting voor bodemluchtexttractie omvat:
 - o Eén of meerdere verticale of horizontale extractiefilters in de onverzadigde zone voor de actieve onttrekking van de bodemlucht
 - o Eén of meerdere vacuÛpompen of ventilatoren (blowers)
- Een collector van de onttrokken lucht richting een zuiveringsinstallatie, nadat het overtollig vocht gecondenseerd werd in een condensatievat. Meerdere individuele leidingen of een buizenstelsel die uitmonden in één of meerdere collectors (manifolds) is mogelijk.
- Meetapparatuur ter controle en ter opvolging van de onderdruk, de pompdebieten (momentaan en cumulatief) en bemonsteringskranen op verschillende stappen in het systeem.
- Inrichtingen voor het monitoren van de behandeling in de bodem voor het afregelen van de onderdrukparameters, de concentraties in de gasvormige fase van de bodem en de diepte van grondwatertafel (bij ondiep grondwater).

- Een zuiveringsinstallatie voor de onttrokken lucht aangepast aan de verwachte debieten en de te behandelen verontreinigingen. De kwaliteit van de behandelde lucht moet voldoen aan de aanbevelingen van Leefmilieu Brussel beschreven in [de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#).
- Een inrichting ter behandeling of het beheer van het condensatievocht
- In het geval van oppervlakkige verontreinigingen, een inrichting voor de afdichting van het bodemoppervlak om de zone beïnvloed door de luchtstroom te vergroten

De behandelingstechniek is gebaseerd op de verwijdering van de verontreinigde lucht in de onverzadigde bodem verontreinigd met vluchtige stoffen. Door de extractie van de bodemlucht worden de vluchtige verbindingen geabsorbeerd op het vaste deel van de aarde of opgelost in het grondwater gemobiliseerd naar de gasvormige fase en verwijderd.

Deze techniek is gericht op stoffen die vluchtig zijn bij lage temperatuur, met een sterke voorkeur voor de dampvormige fase. Het bereiken van doelstelling van de behandeling waarbij de vuilvracht in zijn geheel of grotendeels verwijderd wordt, betekent dat een zoveel mogelijk dampen uit de verontreinigde zone onttrokken moeten worden en vervolgens behandeld.

Deze techniek verschilt aldus van de behandelingstechniek bio-venting waarbij het doel is om de bodemverontreiniging aanwezig in de onverzadigde zone biologisch te behandelen, door middel van « inheemse » micro-organismen. Hierbij wordt een gewisse hoeveelheid zuurstof aangebracht die leidt tot een luchtstroomcirculatie langsheen de verontreinigingszone. Deze techniek is gericht op verbindingen in de bodem die gemakkelijk biologische afbreekbaar en beschikbaar zijn en impliceert een beperkte luchtstroom, die aangepast is aan de afbraaksnelheid van de verontreinigingen in de bodem. Ze leidt tot de onttrekking van beperkte hoeveelheden verontreinigde dampen uit de bodem die behandeling vereisen.

Een duidelijk onderscheid tussen deze twee technieken is echter van academisch van aard, aangezien bij elke proces van luchtextractie de onverzadigde zone verrijkt wordt met zuurstof, waardoor biologische afbraak van biologische afbreekbare verbindingen gestimuleerd wordt. Anderzijds impliceert bio-venting gebaseerd op luchtextractie onvermijdelijk de extractie van vervluchtigde verontreinigingen in de gasvormige fase van de bodem.

Afhankelijk van de omstandigheden op het terrein, is het nuttig of noodzakelijk om de techniek van bodemluchtextractie met andere technieken te associëren: bio-venting met of zonder injectie van bio-stimulans, gestimuleerde biologische afbraak, grondwaterverlaging ... om de gewenste prestaties (behalen van de doelstellingen) en efficiëntie (respecteren van deadline en budget) te behalen.



3. Beschrijving van varianten

Luchtinjectie in de onverzadigde bodem

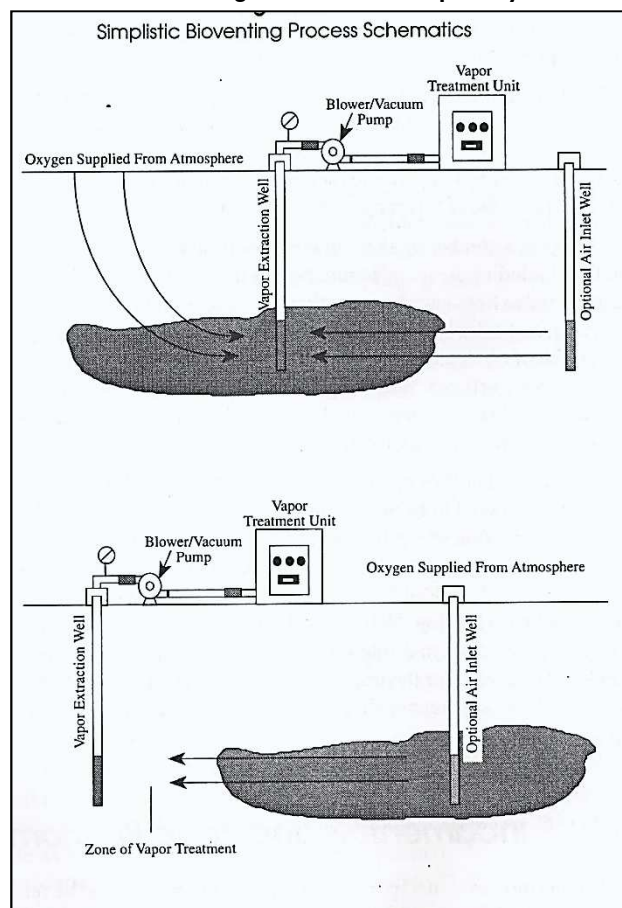
Deze techniek omvat het injecteren van lucht in de onverzadigde zone door middel van verticale of horizontale filters. De beoogde doelstellingen kunnen verschillen.

Wanneer deze techniek **alleenstaand** wordt toegepast, zonder inrichtingen voor de extractie van bodemlucht, is het beoogde objectief het aanleveren van zuurstof aan de micro-organismen in de bodem verantwoordelijk voor de biologische afbraak van de verontreinigingen. Daarnaast wordt met de techniek soms ook getracht om de meest vluchtige verbindingen te mobiliseren en te verspreiden en ook om het bodemvolume dat als bioreactor optreedt te vergroten. Deze techniek kan ook beroep doen op de injectie van zuiver zuurstof, ozon, metabolieten van micro-organismen (methaan, propaan ...).

Rekening houden met de risico's van ongecontroleerde vrijgave van vluchtige verontreinigingen en de accumulatie onder gebouwen en andere holtes in de ondergrond, kan als algemene regel beschouwd worden dat het gebruik van deze techniek alleenstaand nooit zal uitgevoerd worden in het drukbevolkte en dichtbebouwde Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Wanneer deze techniek **gekoppeld** is **aan een inrichting voor bodemluchtextractie**, zoals schematisch is voorgesteld in **figuur 2** (*Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*), beoogt ze een verhoging van de luchtstroom langsheen de verontreinigingszone zonder de verplichting om de onderdruk in de grond te verhogen en zonder de risico's gelinkt aan een verhoogde grondwatertafel. Nogmaals, het beoogde doel is om de verdamping en de extractie van vluchtige verbindingen te versnellen, of mogelijks om de toestroom van zuurstof te verhogen naar micro-organismen die instaan voor biologisch afbraak.

Figuur 2: schematische voorstelling van twee luchtinjectiesystemen



De luchtinjectie kan passief door de installatie van filters waarvan de filterdiepte overeenkomt met diepte van de verontreinigde zone. De circulatie van de atmosferische lucht richting de verontreinigde zone wordt geactiveerd als gevolg van onderdruk die ontstaat ter hoogte van de extractiefilters. De actieve injectie omvat het onder druk zetten van de geïnjecteerde lucht in de richting van de extractieputten om de drukgradiënt en dus de luchtstroom langs de verontreinigde zone te verhogen.

De volledige passieve extractie-injectiesystemen waar de luchtstroom langs de te saneren zone gebaseerd is op de variaties in atmosferische druk et het afwisselend sluiten/openen van extractie- en injectiefilters worden niet beschouwd in dit dossier, enerzijds door de beperkte barometrische variaties in het Brussels Hoofdstedelijk gewest en anderzijds door de beperkte luchtstroom die met deze techniek (met beperkt energieverbruik) ontwikkeld kan worden.

Een gecombineerd injectie/extractiesysteem is identiek aan een klassieke bodemluchtextractie waaraan de volgende elementen worden toegevoegd:

- Verticale (of horizontale) luchtinjectiefilters waarvan de filterdiepte gebaseerd is op de diepte van de te bereiken verontreiniging
- In het geval van actieve injectie: een pomp + een luchtfilter, eventueel met een luchtbevochtiger, alsook een controle- en opvolgingssysteem die de aangelegde drukken en de geïnjecteerde debieten (momentaan en cumulatief) opmeet.

3.2. Persluchtinjectie in de verzadigde zone (sparging)

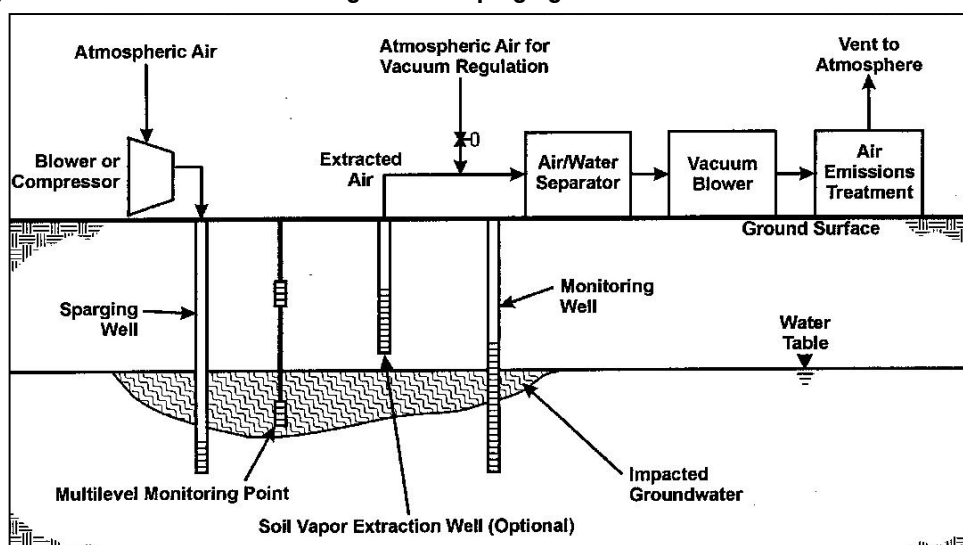
Deze techniek bestaat uit het injecteren van lucht in de verzadigde zone van de bodem door middel van injectiefilters. De onderzoeksdoelstellingen kunnen verschillen.

Wanneer deze techniek **alleenstaand** wordt toegepast, zonder een inrichting voor bodemluchtextractie, is het doel om zuurstof aan te leveren aan de micro-organismen in de bodem verantwoordelijk voor afbraak van verontreinigingsstoffen. Bovendien wordt soms ook getracht om de meest mobiele verontreinigingen opgelost in het grondwater te mobiliseren en naar de gasvormige fase te brengen in de onverzadigde zone. Daardoor breidt men het volume grond waarin deze vluchtige verbindingen zich bevinden uit, waardoor het volume bodem dat als bioreactor optreedt ook vergroot. Deze techniek kan ook gebruik maken van zuurstof, ozon, co-metaboliëten (methaan, propaan, ...) voor injectie.

Rekening houden met de risico's van ongecontroleerde vrijgave van vluchtige verontreinigingen en de accumulatie onder gebouwen en andere holtes in de ondergrond, kan als algemene regel beschouwd worden dat het gebruik van deze techniek nooit alleen zal uitgevoerd worden in het drukbevolkte en dichtbebouwde Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Wanneer deze techniek is **gekoppeld aan een bodemluchtextractie**, zoals schematisch is voorgesteld in **figuur 3** (*Air Sparging, Batelle Presse, 2002*), beoogt ze de mobilisatie van de vluchtige verbindingen in de opgeloste fase in het grondwater en een extractie van de verbindingen in de gasfase door middel van extractieputten.

Figuur 3: schematische voorstelling van een Sparging-installatie met bodemluchtextractie



Een andere doelstelling is de toename van de zuurstofstroom, die micro-organismen voedt verantwoordelijk voor de biodegradatie, zowel in verzadigde als onverzadigde zone van de bodem.

Slechts in beperkte omstandigheden, wordt sparging gebruikt voor het oprichtingen van een fysiek scherm om de voortgang van de verontreinigingspluim in de richting van een gevoelige receptor te voorkomen. De verhoogde aanwezigheid van lucht in de verzadigde zone van de bodem in het aldus ontstane scherm induceert namelijk een aanzienlijke verlaging van de permeabiliteit (relatieve permeabiliteit van water), waardoor de verspreidingsnelheid van het grondwater en de

opgeloste stoffen vertraagd wordt. Deze toepassing van sparging is echter zelden gezien rekening houdend met de ongecontroleerd verspreidingsrisico's in één of meerdere richtingen.

Ten slotte is sparging een ideale manier om verontreinigingen als puur product, aanwezig in de poriën van de onverzadigde zone en van de capillaire zone ter hoogte van de fluctuerende grondwatertafel, te mobiliseren. Het is niet zelden dat sparging eerst toegepast wordt bij een drijfslaag (LNAPL).

De installatie omvat meestal uit de volgende elementen:

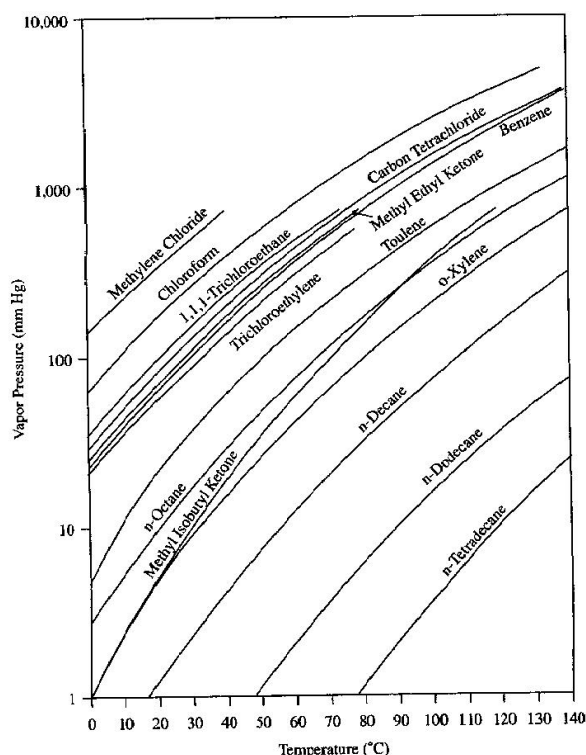
- Een inrichting voor de luchtinjectie in de verzadigde zone bestaande uit:
 - o Eén of meerdere verticale injectieputten (in beperkte gevallen horizontaal) in de verzadigde zone waarvan de filter volledig gesitueerd is onder de grondwatertafel
 - o Eén of meerdere pompen (compressors) opgesteld aan het bodemoppervlak elk verbonden met één of meerdere injectieputten.
- Een pompinrichting voor de bodemluchtexttractie bestaande uit:
 - o Eén of meerdere verticale of horizontale filters in de onverzadigde zone waardoor actieve monsternamen van de bodemlucht mogelijk is
 - o Eén of meerdere vacuümpompen of blowers aan het bodemoppervlak voorzien van druk- en debietmeters.
- Een inrichting voor het samenbrengen van de opgepompte dampen die leidt naar een lucht-water-afscheider (condensatievat) en vervolgens naar een zuiveringsinstallatie. De inrichting bestaande uit individuele leidingen of een buizenstelsel die uitmonden in één of meerdere collectors (manifolds) voor het samenbrengen van de onttrokken dampen
- Een controle- en opvolgingssysteem die de aangelegde (onder)drukken in de verzadigde zone en de onverzadigde zone en de pomp- en injectiedebieten (momentaan en cumulatief) opmeet, en die luchtstaalname mogelijk maakt van op verschillende punten in het systeem.
- Inrichtingen voor het monitoren van de behandeling in de bodem, die toelaat om de (onder)druk, de verontreiniging in de gasvormige fase van de bodem, het grondwaterniveau, ... af te regelen.
- Een zuiveringsinstallatie voor de onttrokken lucht aangepast aan de verwachte debieten en de te behandelen verontreinigingen. De kwaliteit van de behandelde lucht moet voldoen aan de aanbevelingen van Leefmilieu Brussel beschreven in [de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#).
- In het geval van oppervlakkige verontreinigingen, een inrichting voor de afdichting van het bodemoppervlak om de invloedstraal van de luchtstroom te vergroten

3.3. Het stimuleren van de bodemluchtexttractie door verwarmen van de bodem (<100 °C)

Het objectief van de thermische stimulatie is het verhogen van de vervluchtiging van de verontreinigingsstoffen door het verhogen van de temperatuur in de bodem. De dampdruk van organische verbindingen neemt namelijk drastisch toe met stijgende temperatuur, zoals grafisch is weergegeven in **figuur 4** (*Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*).

Figuur 4: Relatie tussen dampdruk en temperatuur voor enkele organische verbindingen

Vapor Pressure for Various Organic Compounds
as a Function of Temperature



Deze relatie kan beschreven worden door de Clausius-Clapeyron-relatie:

$$P_j^V = \exp\left[\frac{\Delta H_{v,j}}{RT} + B_j\right] \quad \text{waarbij}$$

P_j^V = de dampdruk van stof j bij temperatuur T (Pa)

$\Delta H_{v,j}$ = de molaire verdampingswarmte (J/mol)

R = de gasconstante (8,3143 J/mol.K)

T = de absolute temperatuur (K)

B_j = een constante (-)

Een ander beoogde doel van de temperatuurstijging is de verhoging van de diffusiesnelheid van de verbindingen in zones met beperkte permeabiliteit die de extractiesnelheid van de pollut op het eind van de behandeling beperkt.

Algemeen geldt dat bij een verandering van de temperatuur van T_1 naar T_2 (absolute temperatuur) de diffusiecoëfficiënten van de verbindingen in de gasvormige fase veranderen met de volgende factor $(T_2/T_1)^{3/2}$.

Bovendien leidt een toename van de temperatuur binnen de redelijke grenzen ($< 40^\circ\text{C}$) tot een toename van de snelheid van biologische processen, die de biodegradatie van pollutanten bepalen: de afbraaksnelheid vermenigvuldigd met een factor 2 bij een elke toename van 10°C .

Het opwarmen van de bodem kan op verschillende manieren

- De injectie van warme lucht met injectiefilters
- De injectie van waterdamp met injectiefilters
- Radiogolven: installatie van een netwerk met antennes in de bodem
- Door middel van het Joule-effect door de oprichting van een netwerk met elektroden en het aanleggen van een potentiaalverschil die een elektrische stroom creëert in de bodem

Van al deze technieken is stoominjectie de meeste gebruikelijke, aangezien het een eenvoudige techniek betreft met een beperkte kost. Het nadeel van deze methode is het groter volume condensatievocht dat behandeld moet worden dan bij een klassieke bodemluchtexttractie. Deze techniek laat toe om zeer tot matig vluchtige verbindingen te onttrekken uit de bodem, zoals naftaleen, fenolen en de lichtste PAK's, dankzij het effect van aangelegde "stoomdestillatie".

Gecombineerd met een warm waterinjectie, werd de techniek succesvol toegepast voor de eliminatie van compacte kernen met afvalstoffen diep in oude stortplaatsen.

De injectie van warm water gekoppeld aan een verwarming van de bodem door het Joule-effect met een twee-fasen pompsysteem (ET-DSP_{TM}) werd gebruikt voor de behandeling van sites voor houtbehandeling met een diepe verontreiniging met creosoot in een dikke veenlaag.

Bij de in-situ behandeling van grond met thermische desorptie wordt gewerkt met veel hogere temperaturen (>300 °C). Deze techniek wordt hier niet beschouwd, maar maakt deel uit van een aparte code van goede praktijk.

4. Doelstelling: pluim vs. kern

Bodemluchtexttractie, al dan niet met luchtinjectie in de onverzadigde of verzadigde zone van de bodem, pakt voornamelijk de verontreinigingskernen aan aanwezig in het vaste deel van de aarde, de capillaire zone of de zone ter hoogte van de fluctueren de grondwatertafel.

Ze laat namelijk toe om grote hoeveelheden vluchtige verontreinigingsstoffen in de gasvormige fase van de bodem, onder geabsorbeerde vorm of als puur product in de bodemporiën of als drijfslaag, te onttrekken. De variant sparging laat ook de verluchting toe van vluchtige stoffen opgelost in het grondwater. Gezien de benodigde middelen wordt sparging zelden gebruikt voor de verwijdering van opgeloste verontreinigingen in de pluim, tenzij voor het aanpakken van zones met hoge concentraties aan verontreinigingsstoffen.

In tegenstelling tot bio-venting of bio-sparging die beroep doen op een gelijkaardige inrichting, richt ze zich op verontreinigingspluimen waar de concentraties aan verontreinigingsstoffen lager zijn en toegankelijk voor biologische afbraak.

5. Verontreinigingsstoffen en de meest geschikte situaties (kwalitatief)

Bodemluchtexttractie kan toegepast worden voor de behandeling van verontreinigingen in de bodem en in grondwater met gunstige resultaten wanneer aan de volgende voorwaarden voldaan is:

- De te behandelen verontreiniging is vluchtig en licht of matig oplosbaar in water
- De verontreiniging is niet sterk geabsorbeerd aan het vaste deel van de aarde
- De bron van de verontreiniging is verwijderd, zodat er geen bijkomende aanlevering van de verontreiniging uitgesloten is
- Een bodem met een goede doorlaatbaarheid
- Een homogeen bodem: afwezigheid van lenzen en lagen met verschillende bodemtextuur, afwezigheid van preferentiële stroombanen als gevolg van nutsleidingen en niet-doorlaatbare ondergrondse structuren
- Afwezigheid van humusrijke lenzen of lagen met sterke adsorptie door de organische componenten
- Geen oppervlakkige verontreinigingsvlekken
- Een slecht doorlatend bodemoppervlak: aanwezigheid van niet-doorlatende afdekking
- Een grondwatertafel op grote diepte met beperkte seizoenale fluctuaties
- Gegevens voldoende volledig en gedetailleerd ter beschrijving van de verontreiniging
- Een gelijk verdeelde vuilvracht zonder puur product (als drijf- of zaklaag of in holtes opgesloten), zodat de afname van de verontreinigingsgraad in de bodem volgens een voorspelbare snelheid verloopt, zonder vertragingfenomeen, zonder asymptotisch verloop of zonder rebound na het afsluiten van de pompinstallatie.

In het geval van de variant “extractie + persluchtinjectie in de onverzadigde zone”, zijn de gunstige voorwaarden identiek.

In het geval van de variant “extractie + persluchtinjectie in de verzadigde zone (sparging)”, zijn de gunstige voorwaarden:

- Voldoende vermogen dat toelaat om op voldoende diep onder de grondwatertafel te injecteren zodat een groot bodemvolume beïnvloed wordt door de luchtstroom
- Een voldoende cohesieve bodem die een goede weerstand biedt aan het gevaar voor scheuren bij hoge injectiedrukken
- Een beperkte hoeveelheid opgeloste Fe en Mn, zodat er geen groot risico is op verstopping door neerslag van oxides in de poriën

In het geval van de variant “bodempluchtexttractie + verwarming van de bodem”, moet rekening gehouden worden de volgende bijkomende gunstige voorwaarden:

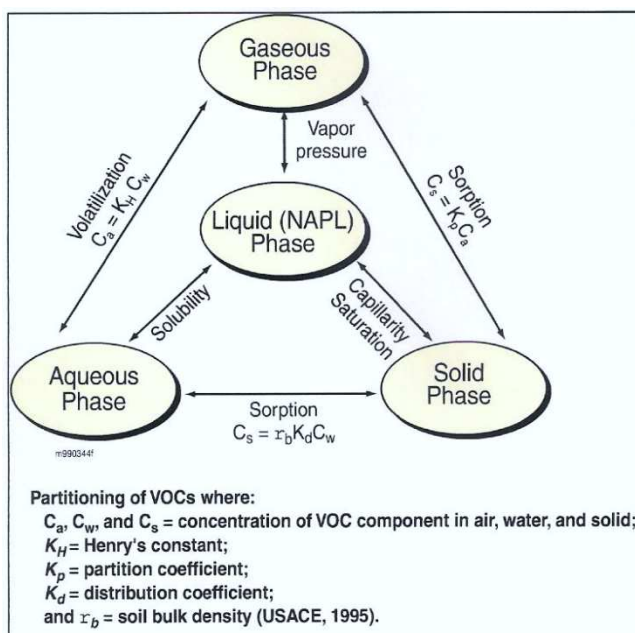
- Een bodem met goede en homogene thermische conductiviteit van de
- De afwezigheid van ondergrondse ijzerhoudende structuren (verwarming door middel van radiogolven of het Joule-effect)

6. Onderzoek van de technische haalbaarheid

6.1 Beperkende eigenschappen van de verontreinigingsstoffen

Zoals weergegeven in het schema in **figuur 5** (*Soil Vapor Extraction and Bioventing, US Army Corps of Engineers, 2002*), is de hoeveelheid verontreiniging in de gasvormige fase van de bodem, die uit de grond kan onttrokken worden, het resultaat van een evenwicht van verschillende processen.

Figuur 5: De evenwichten die de hoeveelheid verontreiniging in de gasvormige fase van de bodem controleren



- De evaporatie van puur product of van vrije fase bestaande uit een mengsel van verschillende stoffen
- Het verdampen van de verontreiniging in opgeloste fase vanuit de vloeibare fase
- Het verdampen van de verontreiniging van de vaste fase waarop het geadsorbeerd is
- Evenwicht tussen de verschillende fases in de bodem die verontreinigingen bevatten.

De parameters, die deze processen controleren, zijn:

- Evaporatie van puur product: de dampdruk P_{vi}° (in Pa) van de stof i is de kracht uitgeoefend per oppervlakte-eenheid door de damp in evenwicht met het puur product. De concentratie van de stof i in de gasvormige fase wordt bepaald door de relatie:

$$C_v \text{ (in kg/m}^3\text{)} = M P_v / R T \quad \text{waarbij}$$

M = molecuair gewicht Kg/mol
 R = gasconstante: $8,314 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 T = temperatuur in graden Kelvin

De neiging van een verbinding of een groep van verbindingen om te verdampen van een puur product wordt ook aangegeven door de kooktemperatuur.

- Evaporatie van een vrije fase bestaande uit een mengsel van verschillende stoffen (bijvoorbeeld aardolieproducten): de partiële dampdruk van de stof i in het mengsel wordt beschreven door de wet van Raoult:

$$P_{vi} \text{ (in Pa)} = X_i P_{vi}^{\circ} \quad \text{waarbij}$$

X_i = de molfractie van het bestanddeel i in de vloeibare fase (-)

P_{vi}° = de verzadigde dampdruk van de zuivere verbinding (in Pa)

De concentratie van de stof i de gasvormige fase wordt bepaald door de relatie:

$$C_{vi} \text{ (in Kg/m}^3\text{)} = X_i (M P_{vi}^{\circ} / R T)$$

- Het verdampen van de verontreiniging in opgeloste fase vanuit de vloeibare fase: de concentratie van de stof i in de gasvormige fase is beschreven door de wet van Henry:

$$C_{vi} \text{ (in Kg/m}^3\text{)} = H_i C_{wi} \quad \text{waarbij}$$

H_i = de Henry-constante specifiek voor de stof i (-). Deze parameter stijgt met de temperatuur: een stijging van een factor 1,6 per 10°C.

C_{wi} is het concentratie van de stof i in de vloeibare fase van de bodem (kg/m³)

Deze relatie geeft aan dat de concentratie in de gasvormige fase van de bodem proportioneel stijgt met de concentratie in de vloeibare fase. Het is belangrijk om op te merken dat deze relatie alleen geldt voor residuele concentraties in de bodem die voldoende laag zijn, met name bij de afwezigheid van een vrije fase (puur product of als mengsel), waarbij de concentratie in de gasvormige fase gecontroleerd worden door de dampdruk (of de partiële dampdruk bij mengsels).

- Het verdampen van de verontreiniging van de vaste fase waarop het geadsorbeerd is. De relatie betreffende de geabsorbeerde concentratie en de concentratie in de gasvormige fase (op basis van **figuur 5**)

$$C_s \text{ (in Kg/Kg)} = K_{pi} C_{vi} \quad \text{waarbij}$$

K_p = de verdelingscoëfficiënt vast/gas van de stof i (in m³/kg)

wordt in het algemeen niet toegepast.

Men beschouwt eerder dat het gehalte geabsorbeerd op de vaste fase gecontroleerd wordt door het evenwicht met de gehalten opgelost in de vloeibare fase van de bodem. Bijgevolg wordt de volgende relatie gebruikt:

$$K_{di} = C_{si} / C_{wi} \quad \text{waarbij}$$

K_{di} = de verdelingscoëfficiënt vast/vloeibaar van de stof i (in kg/m³)

C_{si} = het stofgehalte van element i in het vaste deel van de aarde (in kg/m³)

C_{wi} = de concentratie van dezelfde stof (element) i in de vloeibare fase van de bodem (in kg/m³).

Voor de organische stoffen, kan de K_d benaderd worden door

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc} \quad \text{waarbij}$$

K_{oc} = de affiniteit van de verbinding voor de organische fase (in kg/m³) bepaald door laboratoriumtesten (water-octanol partitietesten)

f_{oc} = de fractie organische koolstof in de bodem

Bij lage restconcentraties in de bodem (geen vrije fase) kunnen de concentraties in de gasfase in evenwicht met de twee andere fases dus benaderd worden door de relatie

$$C_{vi} = H_i T_i / [H_i \theta_a + \theta_w + p_b K_{di}] \quad \text{waarbij}$$

θ_a, θ_w = de volumefracties van respectievelijk lucht en water in de bodem (in m³/m³ bodem)

T_i = residuele concentratie van stof i in de bodem (in kg/m³)

De toelaatbare grenswaarden die algemeen worden toegepast voor de stoffen waarvoor een bodemluchtexttractie mogelijk is zijn samengevat in **tabel 1**.

Tabel 1: De grenswaarden voor verontreinigingen die verwijderd kunnen worden met bodemluchtexttractie

Fysico-chemische karakteristiek	Eenheid	Grenswaarde	Opmerkingen
Dampdruk	Pa	>66,7	bij een °T van 20°C
Henry-constante	-	>0,01	bij een °T van 20°C
Kooktemperatuur	°C	>250-300	toegepast voor de fracties in aardolieproducten
Variant 'Air sparging'			
Henry-constante	-	>0,001	bij een °T van 20°C
Thermische variant			
Dampdruk	Pa		Grenswaarden veel lager dan 66,7 Pa in functie van de °T van de bodem

De verbindingen die door middel van BLE uit de bodem onttrokken kunnen worden zijn opgenomen in de **tabel 2**.

Tabel 2: Review van de toepasbaarheid van BLE voor de verschillende groepen van verontreinigingsstoffen (Code van goede praktijk voor bodemluchtexttractie en persluchtinjectie, OVAM 2002).

Polluentgroep		Voorbeeld	Toepasbaarheid
Organische stoffen	Gehalogeneerde vluchtige organische stoffen	Koolstoftetrachloride Chloorbenzeen Chloorethaan Chloroform 1,1-Dichloorethaan 1,1-Dichloorethyleen 1,2-Dichloorbenzeen 1,2-Dichloorethaan 1,2-Dichloorethyleen 1,2-Dichloorpropaan 1,4-Dichloorbenzeen 1,1,1-Trichloorethaan 1,1,2-Trichloorethaan 1,1,2,2-Tetrachloorethaan Ethylbromide Methylchloride Perchloorethyleen (PER) Trichloorethyleen (TRI) Vinylchloride	+
	Gehalogeneerde semi-vluchtige organische stoffen	Para-dichloorbenzeen	+/-
	Niet-gehalogeneerde vluchtige organische stoffen	<u>Ketonen:</u> Aceton Methylethylketon Methylisobutylketon <u>Aromaten:</u> Benzeen Ethylbenzeen Tolueen m-Xyleen o-Xyleen p-Xyleen	+
	Niet-gehalogeneerde semi-vluchtige organische stoffen	Diesel	+/- (bioventing)
	PCB's	Aroclor – 1242	-
	Pesticides	Chlordaan	-
	Dioxines/furanen	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxine	-
	Organische cyanides		-
	Organische zuren		-
	PAK's	Naftaleen Benzo(a)pyreen	+ -
Anorganische stoffen	Vluchtige metalen	Kwik, tetraethyllood	-
	Niet-vluchtige metalen	Nikkel, chroom	-
	Asbest		-
	Radioactieve verbindingen		-
	Anorganische zuren		-
	Anorganische cyanides	Natriumcyanide	-
+ : goed +/- : matig - : niet toepasbaar			



6.2 Beperkende eigenschappen van de te behandelen bodem

Tabel 3 beschrijft de bodemparameters die 'a priori' als kritisch worden beschouwd bij de overweging van een bodemluchtexttractie.

Tabel 3: Kritische bodemparameters voor de behandeling van de bodem door middel van een bodemluchtexttractie en/of -injectie

Kenmerk	Parameter	Eenheid	Grens-waarde	Opmerkingen
Permeabiliteit	Intrinsieke permeabiliteit	m ²	>10 ⁻¹⁴	Of >10 ⁻² Darcy
Vochtigheid	Grondvochtgehalte	% watergehalte bij verzadiging	<50%	Beïnvloed de relatieve luchtdoorlaatbaarheid
	Watergehalte van de gasfase	% relatieve luchtvochtigheid	>94 à 98,5	Beïnvloed de desorptie van polluenten gebonden aan de vaste fase
Diepte van de verontreinigde zone	Diepte onder het maaiveld	m	>1,5	Een minimaal traject voor de luchtcirculatie
Diepte van de grondwaterpeil	stijghoogte t.o.v. het maaiveld	m	>3	Indien de grondwatertafel aanwezig is tussen 2 en 3 m: bijzondere maatregelen rekening houdend met de grondwaterstijging bij het aanleggen van een onderdruk
Seizoensale variaties van de grondwatertafel	Seizoensale variaties van de stijghoogtes	m	<1 à 2 m	In functie van de diepte van het grondwater
Doorlaatbaarheid van het bodemoppervlak	Ondoorlatend van het bodemoppervlak	-	-	Een minimaal traject voor de luchtcirculatie
Heterogeniteit van de bodem	Textuur van de verschillende bodemlagen (-lenzen)	% klei	-	In functie van de dikte van de verschillende lagen (lenzen)
Variant 'sparging'				
Ijzergehalte in het grondwater	Totaal opgelost ijzergehalte	kg/m ³	<10 ⁻²	Verstopingsrisico voor de injectiefilters

Opmerkingen tabel 3:

- De luchtcirculatie in de bodem bij bodemluchtexttractie kan gesimuleerd worden, bij aanname van een quasi-steady-state, door de volgende relatie (P. C. Johnson et al., 1990)

$$\frac{Q}{H} = \pi \frac{k}{\mu} P_w \frac{[1 - (P_{atm} / P_w)^2]}{\ln(R_w / R_l)} \quad \text{waarbij}$$

Q = het debiet van de bodemluchtexttractie in de extractieputten (m³/s)

H = de filterlengte van de extractieputten (m)

k = de intrinsieke permeabiliteit van de bodem (m²)

μ = de viscositeit bij normale °T en druk, 1.83 10⁻⁵ newton.s.m⁻²

P_w = de absolute druk in de pompputten (Pa)

P_{atm} = omgevingsdruk, 98 066 Pa

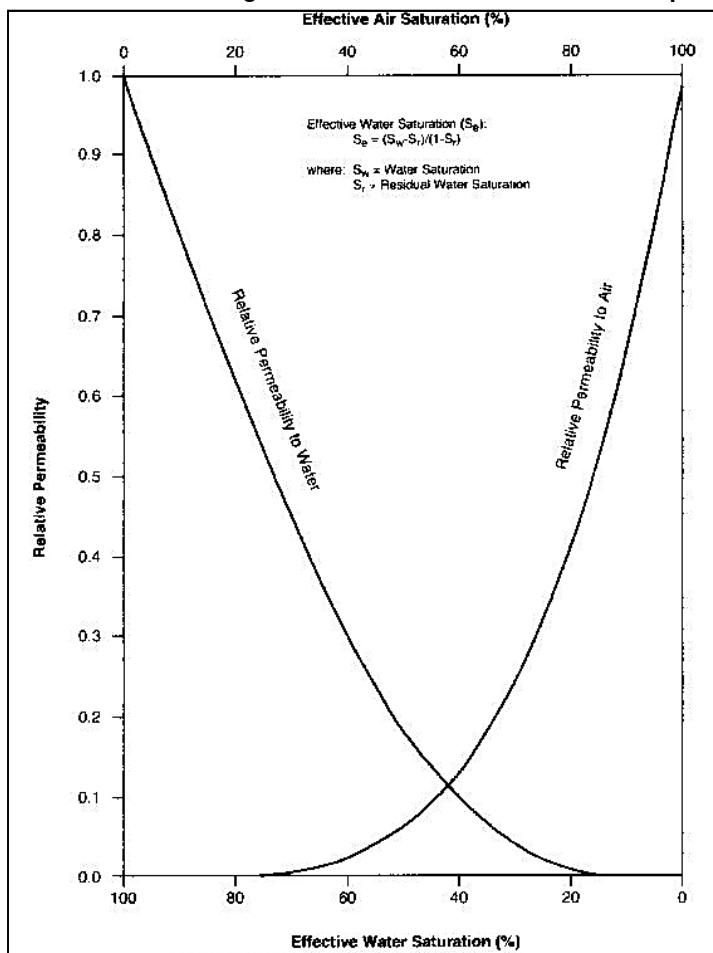
R_w = de straal van de extractieputten (m)

R_l = invloedsstraal van de extractieputten (m)

Men merkt dus dat:

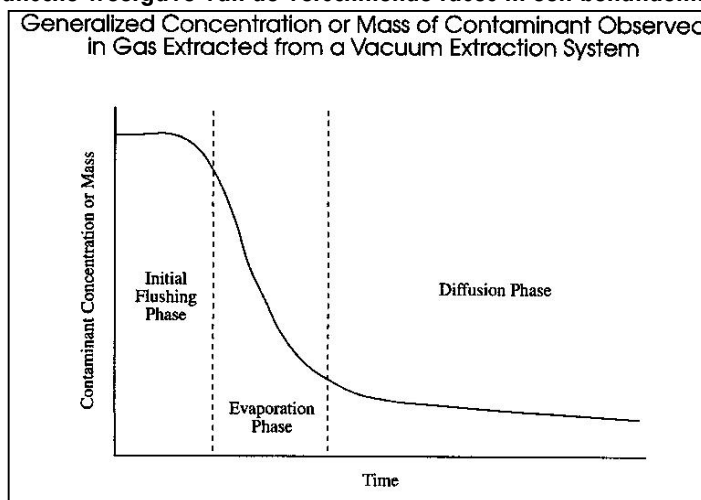
- De intrinsieke permeabiliteit van de bodem de belangrijkste parameter ter bepaling van de efficiëntie van de bodemluchtexttractie bij een bepaalde depressie
- Het vochtgehalte van de bodem speelt een rol in de relatieve permeabiliteit voor lucht omdat lucht en bodemvocht in competitie zijn voor het innemen van de poriën van de bodem, zoals aangetoond in het stroomschema van **figuur 6** (*Soil Vapor Extraction and Bioventing, US Army Corps of Engineers (EM 1110-1-4001, juni 2002)*).

Figuur 6: Relatie tussen het vochtgehalte van de bodem en de relatieve permeabiliteit voor lucht



- Het bodemvochtgehalte moet echter hoger blijven dan een bepaalde ondergrens opdat de desorptie van de vaste fase (voornamelijk bij gechloreerde solventen) niet wordt beperkt. Het watergehalte in de onttrokken lucht (relatieve luchtvochtigheid) geeft een goed beeld van deze ondergrens.
- De stijging van de grondwater als gevolg van de onderdruk, die wordt aangelegd ter hoogte van de extractieputten, kan negatieve gevolgen hebben als deze te groot is: een vermindering van het beschikbare volume voor luchtcirculatie en dus een vermindering van het extractiedebiet, het opsluiten van de vrije fase in de bodemporiën, de extractie van water in de inrichting voor bodemluchtexttractie
- De aanwezigheid van bodemlagen of -lenzen met een lage permeabiliteit, voornamelijk als gevolg van een hoger gehalte aan fijne bodemdeeltjes, leidt tot de stijging van de behandelingsduur, aangezien de extractiesnelheid uiteindelijk gecontroleerd wordt door de diffusiesnelheid door de lagen met beperkte permeabiliteit in de richting van de lagen met een hogere permeabiliteit, waar de lucht sneller circuleert. De opeenvolging van de verschillende fases in de behandeling met bodemluchtexttractie is schematisch weergegeven in **figuur 7** (*Vacuum Vapor Extraction, Paul C. Johnson et al., 1994, Springer*).

Figuur 7 : Schematische weergave van de verschillende fases in een behandeling met BLE



6.3 Beperkende eigenschappen van de te saneren of beheren terrein

- Grootte van de terrein: het terrein in kwestie moet voldoende groot zijn voor het oprichten van de installatie voor het oppompen, de recuperatie van het gas, alsook voor de behandeling van het opgepompte gas en het condensaat en eventueel voor de injectie van lucht
- Milieugevoeligheid: er zijn geen personen of activiteiten op de site of in de onmiddellijke omgeving die beïnvloed worden door de activiteiten: geluidsoverlast van de pompinstallatie en de zuiveringsinstallatie, geur, risico's door emissies van dampen, ...
- Ondergrondse structuren: de beperkte aanwezigheid van ondergrondse structuren die preferentiële routes creëren voor de luchtcirculatie in de bodem (nutsleidingen voor gas, water, elektriciteit, optische vezels, ontwatering, ...) of die barrières vormen voor deze circulatie (metro en spoorwegen) op het terrein of in de omgeving

7. Specifiek haalbaarheidsonderzoek

7.1 Op te meten parameters van de verontreiniging, de bodem en het terrein

De onderstaande **tabellen 4a, 4b en 4c** geven de parameters weer die opgemeten of gekwantificeerd moeten worden voor de opstart van een behandeling van een bodemverontreiniging met bodemluchtexttractie in de onverzadigde bodem. Deze tabellen vormen een checklist voor de gegevens die verzameld moeten worden in de opeenvolgende onderzoeksfases (verkennend bodemonderzoek, gedetailleerd onderzoek, risico-onderzoek) of bij het opstellen van het saneringsvoorstel of risicobeheersvoorstel, voorafgaand aan de pilootproef, [of voorafgaand aan de werken indien ze geen voorstel vereisen](#)

In deze tabellen wordt er een onderscheid gemaakt tussen:

- De parameters waarvoor de meting/schatting standaard vereist is
- De parameters waarvoor de meting/schatting nuttig is

Tabel 4a: Op te meten parameters van de verontreiniging voor de opstart van de behandeling

Parameter	Meetmiddelen	Opmerkingen
Bron van de verontreiniging		
Actieve of verwijderde verontreinigingsbron	Historisch onderzoek, plaatsbezoek	Beschikbaar na het verkennend bodemonderzoek
Concentraties in het vaste deel van de aarde		
Concentraties in de bodem: verticale en horizontale afperking van de verontreinigingszones (concentraties > IN, concentraties > SN, concentraties > objectieven)	Boringen, staalnames en analyses van het vaste deel van de aarde, verloop van de afperking (Kriging)	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Inschatting van de residuele vuilvracht	Op basis van de geschatte volumes en de gemiddelde concentraties	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Concentraties in het grondwater		
Concentraties in de bodem: verticale en horizontale afperking van de verontreinigingszones (concentraties > IN, concentraties > SN, concentraties > objectieven)	Installatie van filters, bemonstering, analyses, en verloop van de afperking (Kriging)	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Longitudinaal verspreidingssnelheid van de verontreiniging (voortgang van de pluim in de grondwaterstromingsrichting)	Simulatie met behulp van analytische modellen: vergelijkingen van Doménico met de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten... of de toepassing van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Opgemeten longitudinaal verspreidingssnelheid van de verontreiniging (voortgang van de pluim in de grondwaterstromingsrichting)	Opeenvolgende monitoringsrondes van de peilbuizen	
Laterale verspreidingssnelheid in de bodem (laterale uitbreiding van de pluim tijdens zijn migratie)	Simulatie met behulp van analytische modellen: de vergelijkingen van Doménico mte de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten... of de toepassing van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is. Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Opgemeten laterale verspreidingssnelheid in de bodem (laterale uitbreiding van de pluim tijdens zijn migratie)	Opeenvolgende monitoringsrondes van de peilbuizen	
Verticale verspreidingssnelheid in de bodem (verticale uitbreiding van de pluim tijdens zijn migratie)	Simulatie met behulp van analytische modellen: de vergelijkingen van Doménico met de longitudinale, laterale en verticale verspreidingscoëfficiënten... of de	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is.



	toepassing van numerieke modellen zoals MODFLOW, ...	Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Opgemeten verticale verspreidingssnelheid in de bodem (verticale uitbreiding van de pluim tijdens zijn migratie)	Opeenvolgende monitoringsrondes van de peilbuizen	
Concentraties in de gasvormige fase van de bodem		
Concentraties in de gasvormige fase in de kern van de verontreiniging	Staalnames en analyses op de samenstelling van de gasvormige fase	Voor elke verontreiniging waarvoor een interventie vereist is.
In het geval van een (beperkte) residuele vrije fase		
Chemische aard van de vrije fase	Staalname en analyse van ten minste 3 stalen van de drijf- of zaklaag	
Laterale uitbreiding van de vrije fase	Opmeten van de aanwezigheid van de drijf- of zaklaag in de verschillende peilbuizen - meetcampagnes met behulp van MIP-sonde (Geoprobe) of gasmetingen in de bodem	
Meting van de dikte van de drijf- of zaklaag	Opmeten van de dikte van de drijf- of zaklaag in de verschillende peilbuizen	
Inschatting van het volume van de vrije fase	Inschatting op basis van de metingen van de dikte van de drijf- of zaklaag in de verschillende peilbuizen	
	=Parameters waarvoor de meting/schatting standaard vereist is	
	=Parameters waarvoor de meting/schatting nuttig is	

Tabel 4b: Op te meten parameters van de bodem voor de behandeling

Parameter	Meetmiddelen	Opmerkingen
Stratigrafie van de bodem: heterogeniteit en variaties in textuur, aquifers, aquitard, aquiclude, ...	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen, analyses van de verschillende bodemlagen	Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Stijghoogte van de aquifer(s), hydraulische gradiënten, stromingsrichting, begrensd of onbegrensd karakter van de aquifer(s)	Geologische en geotechnische kaarten, sonderingen en een beschrijving van de bodemlagen, installatie van peilbuizen, opmeten van de stijghoogtes en omrekening naar een vast punt	Beschikbaar na het gedetailleerd bodemonderzoek
Type grondbedekking	Onderzoek naar de niet-doorlaatbaarheid van het bodemoppervlak	Voor de behandeling van oppervlakkige verontreinigingen
Fysische eigenschappen: schijnbare dichtheid, porositeit, waterretentie, watergehalte	Onverstoorte staalnames en opmeten van de fysische eigenschappen in het labo	Drie staalnames per bodemtype in de te behandelen zone
Permeabiliteit voor lucht	Pomptest voor bodemlucht	
Invloedsstraal van de extractieputten	Pomptest voor bodemlucht	
Seizoensvariëaties van de stijghoogtes	Opvolging van de stijghoogte in opeenvolgende meetcampagnes	
Voor de variant 'Sparging'		
Eigenschappen van het grondwater: pH, redoxpotentiaal, opgeloste Fe- en Mn-concentraties	Installatie van peilbuizen, staalname en analyse	
	=Parameters waarvoor de meting/schatting standaard vereist is	
	=Parameters waarvoor de meting/schatting nuttig is	

Tabel 4c: Te evalueren parameters van het terrein voor de opstart van de behandeling

Parameter	Meetmiddelen	Opmerkingen
Aanwezigheid van ondoordringbaar structuren in de grond ter hoogte van het terrein of de directe omgeving	Consultatie van de nutsmaatschappijen, gemeente, ...	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
	Detectie op het terrein: CAT-scan, ...	Uitgevoerd tijdens het verkennend en gedetailleerd onderzoek
Aanwezigheid van de receptoren gevoelig aan geluid, geur, gassen, ... op de site of in de directe omgeving	Inventaris	
Toegankelijkheid van het terrein voor de materialen en voldoende ruimte beschikbaar	Inventaris	
Voor de thermische variant		
Aanwezigheid van de infrastructuur die	Inventaris van de infrastructuur die mogelijks bedreigd	

mogelijks bedreigd worden door een verhoging van de bodemtemperatuur	worden door een verhoging van de bodemtemperatuur: optische vezels, leidingen met teer gecoat, ...
	=Parameters waarvoor de meting/schatting standaard vereist is
	=Parameters waarvoor de meting/schatting nuttig is

Opmerkingen tabellen 4a, 4b, 4c:

- Verontreinigingsbron: verwijderd of niet: zekerheid over de verwijdering van de bron van de residuele verontreiniging moet bekomen worden voorafgaand aan de opstart van een bodemluchtextractie
- Wanneer een belangrijke hoeveelheid puur product wordt vastgesteld, dient deze behandeld te worden voorafgaand aan de bodemluchtextractie. Deze behandeling is mogelijk door andere technieken: ontgraving, thermische behandeling, meelfase-extractie,... In de huidige Code van Goede Praktijk wordt uitgegaan van niet belangrijke residuele vrije fase.
- Chemische aard van de vrije fase indien aanwezig: Het is aangewezen om ten minste 3 stalen van deze fase te nemen en analyseren, aan de voorzijde van de migratie, in het centrum en de staart van de verontreinigingspluim. Voor de verontreiniging die uit een mengsel bestaat van verschillende stoffen, zoals koolwaterstoffen, verschillend de samenstelling van de vrije fase langsheen de verspreidingspluim, als gevolg van een verschil in verspreidingssnelheid voor de verschillende componenten. Meerdere analyses maken ook de detectie mogelijk van gemengde pluimen van verschillende verontreinigingen, zoals vaak wordt vastgesteld bij tankstations: diesel + benzine + smeeroliën
- Concentraties voor de verontreinigingsstoffen in de gasvormige fase: voor de staalname van bodemlucht wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk van Leefmilieu Brussel met betrekking tot de staalname van het vaste deel van de aarde, het grondwater en de bodemlucht. Deze staalnames zijn niet bedoeld voor de afperking van de verontreinigingszone, aangezien de verhouding tussen de concentraties gemeten in de bodemlucht en de concentraties gemeten in het vaste deel van de aarde niet altijd betrouwbaar/consistent is. Deze staalname heeft als doel om een inschatting te maken van de maximale concentratie aan verontreinigingsstoffen, die aanwezig zal zijn in de onttrokken gassen bij de eerste fase van de bodemluchtextractie (Flushing fase, zie **figuur 7**). De deskundige argumenteert het aantal monsters dat genomen/geanalyseerd wordt: 1 set van monsters op verschillende dieptes in het centrum van de verontreinigingszone (volgens een diepte-interval van 1,5 m) en 1 set van monsters in de omgeving van deze zone.
- De permeabiliteit van de bodem voor lucht kan bepaald worden op verschillende manieren
 - De indirecte manier, door middel van de hydraulische conductiviteit met behulp van de relatie:

$$k = K \mu / p g$$
 waarbij

k	intrinsieke permeabiliteit (m ²)
K	hydraulische conductiviteit (m/s)
μ	dynamische viscositeit van de stof (Pa.s)
p	soortelijke massa van water (kg/m ³)
g	zwaarteveldsterkte (m/s ²)

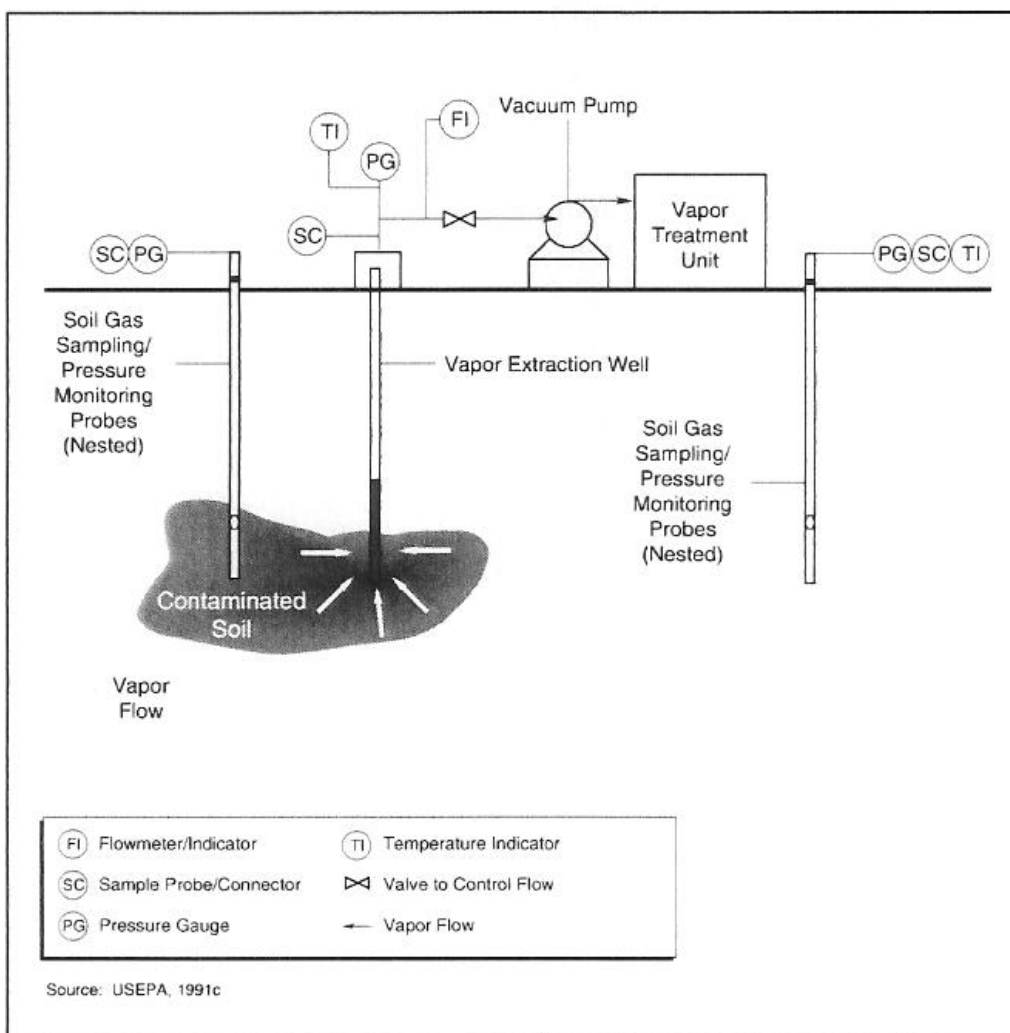
De permeabiliteit van lucht wordt afgeleid van de intrinsieke permeabiliteit door middel van relaties zoals deze van Corey (1986), waarbij de huidige verzadigingsgraad van de bodem met water (m³/m³) en de verzadigingsparameters met water (m³/m³) afgeleid worden en de index van de korrelgrootteverdeling van

Brooks-Corey afgeleid wordt van de studie van de saturatie/desaturatie curves van de bodem.

Rekening houdend met beperkte representatieve weergave van de zuigspanningscurve van de bodem bekomen met staalnames en extrapolatie van verzamelde gegevens voor de verzadigde zone (hydraulische conductiviteit) en de onverzadigde zone (permeabiliteit voor lucht), wordt deze methode zelden toegepast.

- In het laboratorium op basis van de korrelgrootteverdeling. De resultaten bekomen via deze methoden worden ook als onbetrouwbaar beschouwd
- Pomptest op het terrein:
Idealiter worden deze test uitgevoerd zoals schematische weergeven in **figuur 8** (*Soil Vapor Extraction and Bioventing, Us Army Corps of Engineers, 2002*).

Figuur 8: Schematische weergave van een pomptest voor bodemlucht



- Een extractiefilter met een debiet en manometer
- Twee sets van sondes voorzien met manometers, loodrecht opgesteld
- Bij elk set, worden de sondes geplaatst op een afstand van de extractieput die logaritmisch toeneemt, bijvoorbeeld 0,2 m, 2 m, 20 m

De pomptesten worden uitgevoerd in een pseudo-evenwicht en de permeabiliteit voor lucht wordt dan bepaald door middel van de volgende relatie

$$\frac{Q}{H} = \pi \frac{k}{\mu} P_w \frac{[1 - (P_{atm} / P_w)^2]}{\ln(R_w / R_l)}$$

zoals reeds hoger vermeld. Idealiter worden deze tests uitgevoerd bij 2 of 3 onderdrukken en vereist één tot enkele dagen.

De testen kunnen ook uitgevoerd worden in de transitie fase door middel van de volgende relatie:

$$P_{atm} - P_w = \frac{Q\mu}{4\pi H(k/\mu)} \left[-0.5772 - \ln\left(\frac{r^2 \theta_a \mu}{4kP_{atm} t}\right) \right] \quad \text{waarbij } t \text{ de tijd is (in s) sinds het aanleggen van de onderdruk.}$$

- In de invloedstraal van de extractiefilters kan ingeschat worden op basis van de resultaten bij het pseudo-evenwicht, door extrapolatie van de drukmetingen in de grond op een semi-logaritmische schaal van de afstand ten opzichte van de extractieputten
- Er zijn verschillende modellen beschikbaar om de resultaten van de pomptesten in rekening te brengen en de interpreteren, zoals het model HyperVentilate ontwikkeld door Shell Oil Company en de US EPA dat gratis ter beschikking is gesteld.

7.2 Noodzaak voor voorafgaandelijke laboratorium testen

Rekening houdend met de beperkte representatieve resultaten bekomen met kolomtesten, zijn laboratorium testen niet aangewezen.

7.3 Noodzaak voor een pilootproef en minimale kenmerken van deze proef

Rekening houdend met de vele onbekenden en de moeilijk te controleren parameters die een bodemluchtexttractie omvat, kan een pilootproef uitgevoerd worden, zelfs als het interventietype als een bewezen techniek beschouwd kan worden.

In aanwezigheid van grote hoeveelheden puur product, een zaklaag (DNAPL) of een drijf laag (LNAPL), dient bij voorkeur dit puur product behandeld te worden voorafgaand aan de uitvoering van de pilootproef.

De parameters te definiëren bij de uitvoering van de pilootproef zijn opgegeven in de onderstaande **tabel 5**. De installaties van de testproef zijn schematische weergegeven in **figuur 9** (*Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*).

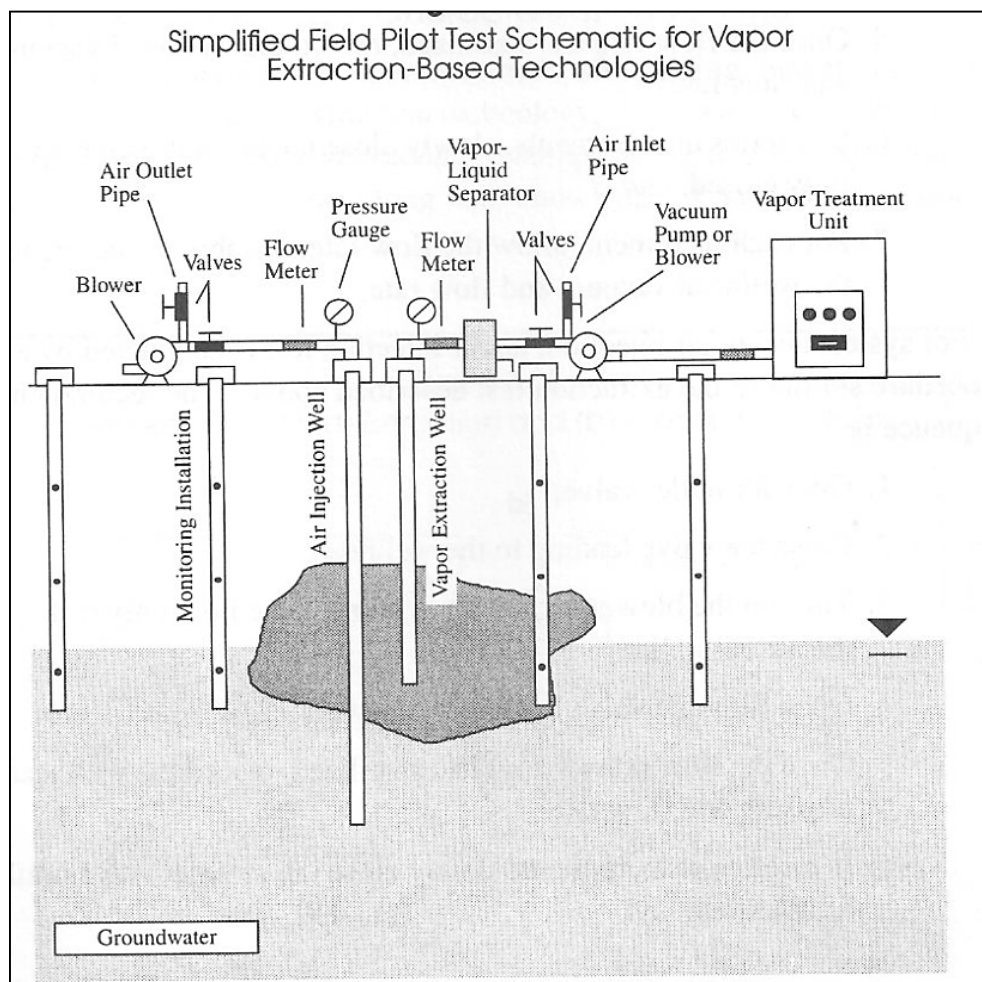
Tabel 5: Parameters en inhoud bij de pilootproef

Rubriek	Op te meten parameters en grootheden	Opmerkingen
Beschrijving van de installatie	Beschrijving van de elementen van de installatie: extractiefilters (aantal, locatie, diameter, diepte, filterlengte, filtergrind, kleistoppen in de annulaire ruimte), monitoringsfilters (aantal, locatie, diameter, diepte, filterlengte, filtergrind, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), inrichtingen voor het bepalen van het debiet (type, locatie, ...), inrichtingen voor het meten van de onderdruk (type, locatie, ...), inrichtingen voor het meten van de stijghoogte in de nabijheid van de extractiefilters, toevoerleidingen, zuiveringsinstallatie voor de opgepompte gassen en condensaat.	De ligging van de verschillende elementen van de installatie maakt onderdeel uit van de figuren toe te voegen aan bijlage 6 van het project
Peilputten	Eén of meerdere extractiefilters in de verontreinigingszone. De filterlengte komt overeen met de dikte van de te behandelen zone en bevindt zich minstens 0,5 à 1 meter boven de grondwaterafel	
Meetpunten	Gelegen op verschillende afstanden van de extractieputten voor de bepaling van de onderdruk en voor de staalname van bodemlucht in de verontreinigingszone op verschillende dieptes.	
Afvoerleidingen en zuiveringsinstallatie	Mogelijks gelegen op de site rekening houdend met de obstakels, de mogelijke hinder (geluid, geur) en de nabijheid van een lozingspunt	De behandeling van de opgepompte stoffen maakt onderdeel uit van een aparte Code van Code Praktijk
Parameters op te meten	Debeten en cumulatieve volumes van de opgepompte gassen. Onderdruk ter hoogte pomp, de extractieputten en de verschillende meetpunten. Bemonsteren en analyse van de opgepompte gassen: vochtgehalte, °T, concentraties aan verontreinigingsstoffen, O ₂ en CO ₂ . Bemonstering en analyse van het condensaat en meting van de concentraties aan verontreinigingsstoffen, Bemonstering en analyse van de concentraties aan verontreinigingsstoffen van de behandelde gassen voorafgaand aan lozing. Bemonstering en analyse van de concentraties aan verontreinigingsstoffen in de omgevingslucht van de zuiveringsinstallatie. Stijghoogte in de nabijheid van de extractie en variaties in functie van de onderdruk	
Parameters te berekenen	Invloedstraal van de extractieputten	
	Massabalans: ratio puur product opgepompt/puur product aanwezig gedurende de piloottest	
	Inschatting van de behandelingstijd	
	Relatie tussen de onderdruk en de opgepompte debieten. Voorstel van een optimale onderdruk	
Operationele modus	Continue versus intermitterende extractie	
Variant: injectie (actief of passief) van lucht in de onverzadigde zone		
Beschrijving van de aanvullende installatie	Beschrijving en ligging van de injectiefilters (diameter, lengte en diepte van de filter, afwerking, eventuele luchtbevochtiging). Inrichting voor het meten van de drukken en debieten van de injectie,	
Aanvullende parameters op te meten	Injectiedruk, debieten en cumulatieve volumes geïnjecteerde lucht	
Variant: injectie in de verzadigde zone (sparging)		
Beschrijving van de aanvullende installatie	Beschrijving en ligging van de injectiefilters (diameter, lengte en diepte van de filter, afwerking, eventuele luchtbevochtiging). Inrichting voor het meten van de drukken en debieten van de injectie. Bijkomende controlepunten voor de druk en staalname in de verzadigde zone: types, ligging, diepte. Inrichting voor het meten van de stijghoogte in de nabijheid van de injectiefilters	
Aanvullende parameters op te meten	Injectiedruk, debieten en cumulatieve volumes geïnjecteerde lucht, druk in de verzadigde zone, zuurstofgehalte in de verzadigde zone	
Variant: thermische behandeling		
Beschrijving van de aanvullende installatie	Beschrijving en ligging van de verwarmingsinrichting: injectiepunten voor stoom of warme lucht, sonde voor radiogolven, verwarmingselektrode door Joule-effect. Inrichting voor het meten van de temperaturen van het geïnjecteerde medium, gassen in de bodem en de onttrokken gassen: type, ligging, diepte	
Aanvullende parameters op te meten	Temperatuur van de geïnjecteerde medium, injectiedruk, debieten en cumulatieve volumes van geïnjecteerde warme lucht of toom, vermogen ontwikkeld in de andere inrichtingen voor verwarming (radiogolven of elektrische velden), temperatuur van de bodemlucht en onttrokken gassen	
	Massabalans: ratio puur product opgepompt/puur product aanwezig gedurende de piloottest. Residuele concentraties in de capillaire zone van de bodem ,	
Conclusies van de piloottest		
	Haalbaarheid van de behandelingstechniek: aantal extractieputten, injectieputten, behandelingsduur, volumes gas onttrokken/condensaat/puur product in rekening te brengen, volumes lucht/stoom geïnjecteerd, nodige energieverbruik, ...	



	Dimensioneren van de 'full scale' behandelingsinrichting: aantal en afstand tussen de extractieputten en eventuele injectieputten, onderdruk en eventuele in te stellen temperaturen, behandelingsduur, dimensioneren en samenstelling van de zuiveringsinstallatie, hoeveelheden te behandelen en te lozen gassen/vloeistoffen, ... Definiëring van de opvolgingsparameters	
	Aangewezen operationele modus: continue versus intermitterende extractie, periodes van afwisseling	
	Massabalans en te verwachten resultaten: massa onttrokken verontreinigingsstoffen, massa/volume restverontreinigingen	

Figuur 9 : Typische inrichting van een pilootproef (BLE + Sparging)



Opmerkingen bij tabel 5:

- De duur van de pilootproef is afhankelijk van te bereiken nauwkeurigheid van voor de te meten parameters. Volgens OVAM (Code van Goede Praktijk voor bodemluchtexttractie en perslucht injectie, 2002), zou een groot hoeveelheid informatie bekomen worden na 2 dagen testen.
- De controle- en meetpunten, die toelaten om de onderdruk, temperatuur (indien nodig) op te volgen en om stalen te nemen van de van gasvormige fase van de bodem, worden zinvol opgesteld op verschillende afstanden van de extractiefilters en volgens drie assen rekening houdend met de anisotropie van de bodem.
- De meetfrequentie van de parameters gedurende de piloottest wordt geargumenteed door de deskundige
- Met betrekking tot de analyse van de concentraties aan verontreinigingsstoffen in de onttrokken gassen en ter hoogte van de meetpunten, is het mogelijk om de indirecte metingen uit te voeren met behulp van een FID en PID-meter voor de deskundige kan

bewijzen dat er een goede overeenkomst is tussen de concentraties aan verontreinigingsstoffen en de gemeten waarden met deze toestellen.

- De bepaling van de invloedstraal van de extractiefilters kan door beroep te doen op de methode van extrapolatie op basis van een semi-logaritmische schaal van de afstand ten opzichte van de filters, zoals hoger vermeld, of door beroep te doen op de volgende empirische regel: de grens van de invloedstraal bevindt zich daar waar de onderdruk kleiner is dan 1% van de onderdruk gemeten aan de pomp.
- De bepaling van de invloedstraal in de verzadigde zone bij het gebruik van 'sparging' kan bepaald word op basis van de metingen van de druk in de omgeving van de injectieputten en met behulp van de volgende empirische regel: de grens van de invloedstraal bevindt zich daar waar de gemeten overdruk in de bodem kleiner is dan 1% van de injectiedruk gemeten aan de pomp (of compressor). De meting van de gehalten aan O₂ in het grondwater geeft eveneens een indicatie geven voor de invloedstraal van de luchtinjectie. In de literatuur wordt er vermelding gemaakt van de injectie van een inert gas zoals He om de bepaling van de invloedstraal te vergemakkelijken. Het gebruik van deze, vaak dure, techniek wordt niet als standaardprocedure beschouwd in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
- De veranderingen van het grondwatervniveau als gevolg van het aanleggen van de onderdruk in de bodem verdient bijzondere aandacht aangezien dat de stijging van het grondwater een vermindering veroorzaakt voor de dikte van de bodemlaag die beschikbaar is voor de gasstroom en aangezien verontreinigingen aanwezig als vrije fase opgesloten kunnen worden in de microporiën van de bodem.
- Bij het opzetten van een pilootproef die beroep doet op een luchtinjectie in de onverzadigde zone,

- Het drukniveau dat de instroom van lucht in de bodem mogelijk maakt wordt geschat met behulp van de volgende relatie:

$$Injectiedruk = P_h + P_e + P_{ch}$$

waarbij P_h (Pa) = hydrostatische druk aan de top van de filter van de injectieputten

$$P_h = p_w g (Z_s - Z_w)$$

met Z_s de hoogte (m) van de grondwatertafel et Z_w de hoogte van de top van de filter (m)

p_w soortelijk gewicht van water (kg/m³)

g = valversnelling (m/s²)

P_{ch} (Pa) = drukverliezen in de leidingen en buizen (vaak verwaarloosbaar) n

P_e (Pa) = de druk voor intrede in de formatie, afhankelijk van de diameter van de poriën

De onderstaande **tabel 6** geeft waarden voor de druk voor intrede in typische bodems volgens verschillende textuurklasse:

Tabel 6 : Representatieve waarde voor de druk voor intrede

Textuurklasse	Diameter van de grootste poriën (µm)	Druk voor intrede kPa
Grof zand	>1000	<0.3
Fijn tot middel zand	100	3
Leem	10	30
Siltige klei	<1	>300

(In-situ Air Sparging, 2008, US Army Corps of Engineers)

- Het kritische weerstandsniveau van de aquifer wordt geschat op basis van de volgende relatie, op basis van de schijnbare soortelijk gewicht van de bodem van 1680 kg/m³:

$$P_{fr} \text{ (Pa)} = 0.73 D_{sol} \text{ waarbij}$$



D_{sol} de dikte (m) is van de bodemlaag van het bodemoppervlak tot de top van de filter van de injectieputten.

-
- Bij de uitvoering van een piloottest is het aangeraden om twee operationele modi uit te testen: continue of intermitterende extractie. De intermitterende extractie is aangewezen bij de opzetten van de variant Sparging.
- Bij de opvolging van de piloottest, worden de berekening van de cumulatieve volumes opgepompte gas en de concentraties van verontreinigingsstoffen in het gas systematisch uitgevoerd na aanpassing van de gegevens aan de standaardomstandigheden voor druk en volume.

8. Beschrijving van een installatietype

Een installatie voor bodemluchtexttractie in de onverzadigde zone van de bodem omvat typisch de volgende elementen.

8.1. Enkel BLE

- Eén of meerder extractiefilters (of extractiesleuven, minder voorkomend) gelokaliseerde in de verontreinigingszone. De extractiefilters zijn voorzien met een filterstelling die de volledige zone vlek doorsnijdt. In het geval van een uitgebreide verontreinigingszone, zal het netwerk van extractiefilters worden voorzien met filters op verschillende dieptes en opeenvolgend. De afstanden tussen de extractiefilters worden berekend opdat het gas dat circuleert over de volledige verontreinigingszone onderschept wordt. Er dient op te worden toegezien dat de annulaire ruimte tussen de wand van de boorput en de peilbuis degelijk wordt afgedicht om te verhinderen dat lucht wordt opgepompt langs het oppervlakte van de peilbuis.
- Een extractiesysteem: vacuümpompen, ventilatoren, ... verbonden aan één of meerdere extractieputten. Om de geluidsoverlast te beperken, kunnen de pompeenheden geplaatst worden in een geïsoleerde ruimte (kisten, containers, ...)
- Een inrichting om het bodemoppervlak ondoorlatend te maken bij oppervlakkige verontreinigingen: PE-membranen, koolwaterstofafdekking, afdekking met beton met een ondoorlatende onderlaag, ...
- Een systeem voor het regelen van de pomp kan verschillende zeer verschillende vormen aannemen: elektronische sensoren (niveau max – niveau min) in de peilbuizen voor de opvolging van de stijging van de grondwatertafel, sensoren gelinkt aan de manometers in de verschillende secties van de inrichting, sensoren in de verschillende elementen van de zuiveringsinstallatie, verbonden aan een elektriciteitskast voor de afregeling van de pompen, aan systemen voor de tijdsregeling, aan de opeenvolgende systemen die de werking van de procescyclus van de verschillende zones van de pompinrichting regelen
- De verzamel- en toevoerleidingen van de opgepompte gassen verbinden de pomp(en) aan de extractieputten en vervolgens aan de zuiveringsinstallatie. Deze leidingen zijn bij voorkeur ingegraven, zijn voorzien van terugslagkleppen. Bij de plaatsten van de leidingen moet voorkomen worden dat er secties opwaarts worden geplaatst om de accumulatie van condensaat te voorkomen. De debietmeters maken de opvolging van het momentane en cumulatieve opgepompte volume mogelijk ter hoogte van de individuele putten of ter hoogte van de pompen. De manometers worden geplaatst ter hoogte van de extractiepompen, de putten en op verschillende punten in de installatie om de effectiviteit van de pompen en om de luchttoevoer op te volgen. Eén of meerder explosiemeters worden geplaatst voor de doorgang van het gas naar de pompen. Voorafgaand aan de doorgang van het gas naar deze pompen, worden de gassen over een lucht/water-afscheider geleid voor de recuperatie van condensaat en over een deeltjesfilter.
- Een zuiveringsinstallatie voor de opgepompte gassen. De behandeling van het gas voor de lozing in de atmosfeer bestaat meestal uit een filter met actief kool. Bij hoge concentraties worden ook andere methoden gebruikt: katalytische oxidatie, thermische oxidatie, bio-filters, adsorptie aan harsen, ...
- De inrichting voor een staalname van de gassen bestaat uit verschillende meetpunten ter hoogte van de individuele putten of de verschillende pompen, alsook ter hoogte van de zuiveringsinstallatie om de gassen voor lozing in de atmosfeer te bemonsteren. De installatie is eveneens voorzien van inrichtingen voor het regelen, alarmeren en afsluiten in het geval van storingen/defecten.
- Een opvolgings- en monitoringssysteem (zie hoofdstuk 11).

8.2. Variant BLE + luchtinjectie in de onverzadigde bodem

In de meeste van de systemen hieronder beschreven, bestaat de inrichting uit één of meerder luchtinjectiefilters, passief of actief, geïnstalleerd tussen de extractiefilters. Het filtergedeelte voor injectie bevindt zich in de verontreinigingszone. Indien wordt de luchtinjectie voorzien van luchtbevochtigers. Idealiter zijn de putten voorzien van debietmeters voor het opmeten van de debieten en de cumulatieve geïnjecteerde volumes.

Er dient op te worden toegezien dat de annulaire ruimte tussen de wand van de boorput en de peilbuis degelijk wordt afgedicht om te verhinderen dat lucht wordt opgepompt langs het oppervlakte van de peilbuis.

8.3. Variant BLE + luchtinjectie in de verzadigde bodem (sparging)

Aanvullend op de infrastructuur beschreven in sectie 8.1. bestaat de inrichting uit één of meerdere luchtinjectiefilters geïnstalleerd tussen de extractiefilters. De filters bevinden zich idealiter 1-1,5 m onder de verontreinigingszone in de verzadigde zone.

Idealiter zijn de putten voorzien van debietmeters voor het opmeten van de debieten en de cumulatieve geïnjecteerde volumes. Ze zijn ook voorzien van manometers om de injectiedruk te meten/controleren.

Als algemene regel geldt dat de debieten van de luchtinjectie een factor 2 à 3 groter moeten zijn dan de extractiedebieten.

8.4. Variant BLE + verwarmen van de bodem

Aanvullende op de infrastructuur beschreven in sectie 8.1., omvat de inrichting:

- Ingegraven antennes voor het versturen van radiogolven in de bodem of
- Ingegraven elektroden voor het verwarmen door middel van het Joule-effect
- Een inrichting voor de verwarming door middel van lucht of voor de aanmaak van waterdamp voor injectie in de onverzadigde/verzadigde zone in putten zoals beschreven in sectie 8.2 en 8.3. De injectieputten zijn voorzien van sondes voor het meten van de temperatuur van het geïnjecteerde medium.

Het dimensioneren van deze apparatuur wordt gerealiseerd door middel van de informatie verzameld gedurende de pilootfase. De opvolgings- en monitoringssysteem (zie hoofdstuk 11) bestaat bovendien uit temperatuursondes ter hoogte van verschillende controlepunten en de extractieputten.

Algemene opmerking

De gebruikte apparatuur voor de installaties zijn van een standaardtype: putten, pompen, debietmeters, LEL-meters, manometers, actief kool filters, ... beschikbaar op de markt bestaan in verschillende dimensies en kwaliteit, zodat er geen ondernemingen kritische of modulaire maten aanbieden. Er zijn geen beperkingen wat het dimensioneren betreft bij [de uitwerking van de behandeling](#).

9. Beschrijving van de installatie die voorzien wordt

De inrichting die geïnstalleerd wordt in kader van de behandeling zal beschreven worden door het verstrekken van ten minste de indicatoren opgenomen in **tabel 7**. De installatie zal beschreven worden door de deskundige met behulp van een technisch schema, gelijkaardig aan het schema weergegeven in **figuur 10**.

Tabel 7 : Vereiste gegevens voor de te implementeren behandelingstechniek

Gedeelte van de inrichting	Element	Vereiste gegevens	Opmerkingen
Opvolgings-systeem	Behandeling van de onverzadigde zone van de bodem	Objectief voor de te behalen concentraties in de bodem, actuele omvang van de verontreiniging in X, Y en Z. Debieten die bereikt moeten worden door de putten. Verwachte duur.	
	Behandeling van de verzadigde zone van de bodem	Objectief voor de te behalen concentraties in het grondwater en eventueel de bodem (capillaire zone), actuele omvang van de verontreiniging in X, Y en Z. Debieten die bereikt moeten worden door de putten. Verwachte duur.	
Luchtextractie-systeem	Extractieputten	Liggen en afstand tussen de verschillen putten, diepte van de blinde buis en filters, diameter en type van de buis, grootte van de filteropeningen, type en positie van het filtergrind, type en positie van de kleistoppen (bentoniet), type van de filterafsluiting (straatpot, stalen koker, ...). Positie van de manometers	Indien de verontreinigingszone een grootte omvang heeft, kan de installatie bestaan uit putten op verschillende dieptes
	Pomp	Type en ligging van de pomp: vacuümpomp, ventilators, ... verbonden aan één of meerdere extractieputten, lucht/waterafscheider, deeltjesfilter. Aangelegde onderdruk. Operationele modus: continu - intermitterend	Het vermogen van de pompen moet berekend worden op basis van de te bereiken extractiedebieten afhankelijk van de behandelingsduur en realistische onderdrukken
	Systeem voor afregeling	Pompsysteem continu of periodiek (gewenste grondwaterstand), pompen simultaan of sequentiële in verschillende secties, heropstart/onderbreken volgens het grondwaterniveau	
Variant injectie in de onverzadigde zone	Injectieputten	Liggen en afstand tussen de verschillen putten, diepte van de blinde buis en filters, diameter en type van de buis, grootte van de filteropeningen, type en positie van het filtergrind, type en positie van de kleistoppen (bentoniet), type van de filterafsluiting, passief of actief systeem. Injectiedruk en -debiet. Luchtbevochtiger	
Variant injectie in de verzadigde zone	Injectieputten	Liggen en afstand tussen de verschillen putten, diepte van de blinde buis en filters, diameter en type van de buis, grootte van de filteropeningen, type en positie van het filtergrind, type en positie van de kleistoppen (bentoniet), type van de filterafsluiting. Injectiedruk en -debiet. Continue of intermitterend	
Variant thermisch	Injectie van warme lucht of damp	Temperatuur van het medium. Injectiedruk en -debiet	
	Verwarmen met radiogolven of Joule-effect	Liggen en afstand tussen de antennes/elektrodes, dieptes, ontwikkelde vermogen, gewenste temperaturen	
Inrichting voor het verzamelen van het opgepompte gas	Toevoerleidingen	Type, dimensionering en ligging van de toevoerleidingen, egalisatie van de ondergrond, antivriesinrichting, inrichting tegen vandalisme, controle explosiegevaar. Locatie en inrichting voor de controlestaalnames. Locatie van de debietmeters en de manometers	
Zuiverings-installatie voor het opgepompte gas	Deze rubriek is onderdeel van een andere Code van Goede Praktijk		
Kwaliteits-objectieven voor de opgepompte/ behandelde stoffen voor lozing	Behandelde condensaat	De kwaliteitsnormen voor het onttrokken water voor lozing op de openbare riolering of op de oppervlaktewateren komt overeen met de saneringsnormen van de BBHR van 29/03/2018 ter bepaling van de interventie- en saneringsnormen	

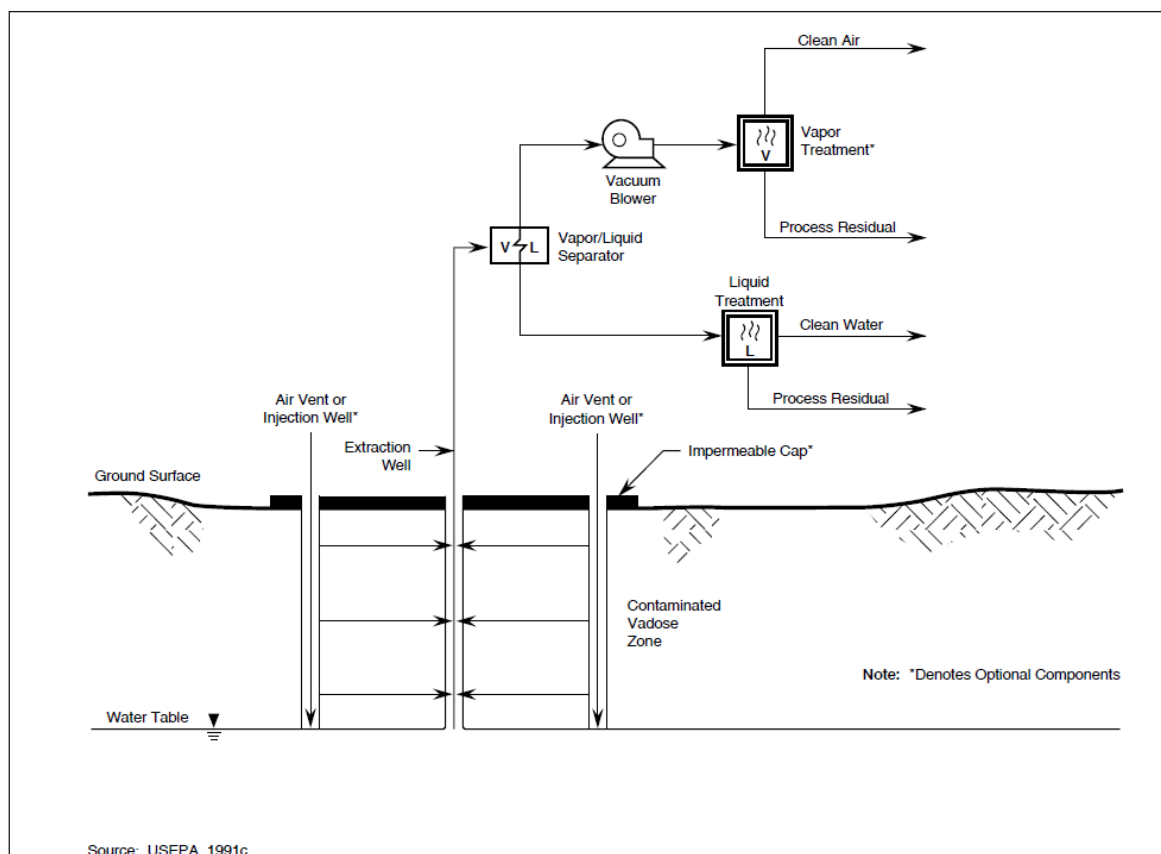


	Puur product	Beheer afhankelijk van het type product en de geldende wet: beheer volgens de kwaliteit van het afval, gevaarlijk afval, energetische valorisatie,	
	Behandelde gassen	Vaststelling de normen voor emissie van effluent gassen van een sanering volgens de de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'	
Inrichting tegen hinder	Maatregelen tegen geluid	Type maatregel: anti-cavatie, isolatie, akoestiek van de pompen	
	Maatregelen tegen geur	Eventueel voor vluchtige componenten (aceton, aromaten)	

Opmerkingen :

- De afstand tussen de extractieputten kunnen op verschillende manieren berekend worden :
 - Op basis van de invloedstralen bepaald tijdens de pomptest en de pilootproef zodanig dat er een voldoende afdekking/invloed is tussen de invloedstralen van de verschillende putten. Hoewel eenvoudig, heeft deze werkwijze vele onvolkomenheden
 - Een inschatting op basis van de volgende relatie

$$N_{wells} = V_{soil} C_s \alpha p_s / (Q_v \tau_{clean})$$
 waarbij
 - N_{wells} = aantal putten
 - V_{soil} = volume bodem beïnvloed (m³)
 - p_s = schijnbaar soortelijk gewicht van de bodem (kg/m³)
 - C_s = gemiddelde concentratie in de bodem (kg/kg)
 - Q_v = volume onttrokken gas (m³/s)
 - τ_{clean} = behandelingsduur (s)
 - α = het minimum volume aan gas dat onttrokken moet worden voor het bereiken van de doelstelling (in m³/kg verontreinigende stof). De factor α kan bepaald worden aan de hand van modellen zoals Hyperventilate waarop de efficiëntie van de behandeling van de BLE tussenkomt of er vergelijking wordt gemaakt tussen de gemeten concentraties in het bodemlucht (in evenwicht) en de concentraties in de onttrokken gassen tijdens de pilootproef.
- De afstand tussen de putten voor sparging wordt bepaald op basis van de geschatte invloedstraal tijdens de pilootproef. In de literatuur wordt gewoonlijk Intervallen van 4,6 tot 6 m vermeld
- De aangewezen lengte voor de injectiefilters voor sparging is 0,3 à 0,6 m. De filtergrind rond de filter is fijn zodat deze kan optreden als verspreider.
- Bij een aanzienlijke stijging van het grondwater waarbij het volume beschikbaar voor luchtcirculatie beperkt wordt, kan een ontwatering noodzakelijk zijn. Deze techniek is een onderdeel van een aparte Code van Goede Praktijk « Oppompen van grondwater met als doelstelling ontwatering ».



Figuur 10 : type-installation (Soil Vapor Extraction and Bioventing, Us Army Corps of Engineers, 2002)

10. Bijzondere veiligheids- en stabiliteitsmaatregelen en beperking van hinder: geur, geluidsoverlast, stof, ...

10.1 Aandachtspunten

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

- Hinder voor de luchtkwaliteit ter hoogte van het terrein en de directe omgeving: schadelijke concentraties, geur, stof
- Explosiegevaar
- Geluidshinder
- Risico's voor de naburige onttrekkingsinstallaties

10.1.1 Hinder voor de luchtkwaliteit

Volgens de definitie geldt voor de BLE dat de extractie van bodemlucht gericht is op vluchtige verontreinigingsstoffen zoals de lichte alifatische koolwaterstoffen (C5-C8, C8-C10), aromatische verbindingen (BTEX), ethers (MTBE...) en vluchtige solventen. De lucht die in rechtstreeks contact komt met de pompinstallatie, het leidingwerk en de zuiveringsinstallatie kunnen gecontamineerd worden met dampen die ontsnapt zijn (niet luchtdichte gedeeltes). Om te voorkomen dat schadelijke of geurende dampen naar de receptoren verspreiden aanwezig op de site of omgeving, dient het afdichten van de installatie in het bijzonder aandacht te krijgen.

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

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

Stofemissies zijn niet waarschijnlijk bij een installatie voor bodemluchtexttractie.

10.1.2. Explosiegevaar

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

Een luchtinjectie die niet gelinkt is aan de bodemluchtexttractie in de onverzadigde bodem is a priori uitgesloten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, doordat er ongetwijfeld explosiegevaar is door de mogelijke accumulatiezones in de bodem: grotten, holtes, ...

10.1.3. Geluidshinder

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

Maatregelen moeten getroffen worden op de hinder te beperken:

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

10.1.4. Risico's voor naburige onttrekkingsinstallaties

De onttrekkingsinstallaties met de openbare voorziening als doel eind moeten beschouwd worden als prioritaire risicogroep. Met de andere onttrekkingsinstallaties voor privédoeleinden moet eveneens rekening worden gehouden indien deze mogelijk beïnvloed worden door de bodemluchtexttractie.

Deze installatie kunnen beïnvloed door een onvoldoende behandeling van het grondwater ter hoogte van de verontreinigingskern en het tot stand brengen van een pluim richting de onttrekkingszones.

De controle van de kwaliteit van het grondwater stroomafwaarts van de interventiezone moet dus steeds uitgevoerd worden.

10.2 Overeenstemming met de bestaande wettelijke kaders

Voor de atmosferische hinder worden de lozingsnormen voor de lozing van gassen in de atmosfeer gegeven door de [code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'](#).

De normen voor omgevingslucht, voor het meten van de mate waarin de verontreiniging het gevolg is van de installatie met bodemluchtexttractie, zijn niet beschikbaar in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Bij de eerste benadering worden de gemeten vluchtige stoffen vergeleken met de [waarden die beschikbaar zijn op het S-RISK platform © \(Substance data sheets, <https://s-risk.be/documents>\)](#).

. Een overschrijding van deze waarden vraagt voor een controle van de luchtdichtheid van de inrichting. In de zones met een verhoogde luchtverontreiniging (drukke verkeersassen, industriële zones ...) wordt geverifieerd of de mate van luchtverontreiniging vastgesteld nabij de installaties de mate van de luchtverontreiniging in de omgeving (bij een meting over 24 u) overschrijdt.

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

Betreffende de geluidsoverlast, is het toelaatbare geluidsniveau gegenereerd door de installatie voor behandeling van het grondwater door oppompen geregeld door de Ordonnantie van

17.07.1997 en zijn uitvoeringsbesluit van 24 november 2002 betreffende de strijd tegen de geluids- en trillingenhinder voortgebracht door de ingedeelde inrichtingen.

11. Opvolgingsmaatregelen

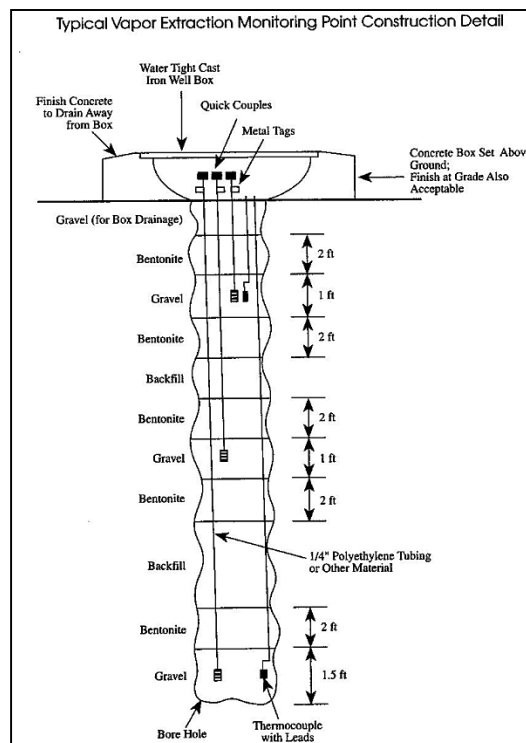
11.1 Opvolgingsmaatregelen: installatietype

11.1.1. Enkelvoudige BLE

De installatie voor de opvolging omvat de volgende elementen:

- Een netwerk van monitoringspunten verdeeld over de invloedzone waarvoor het opvolgen van de evolutie van de volgende parameters is voorzien: drukken, concentraties in de bodemlucht en eventueel temperatuur. Een voorbeeld van een monitoringspunt is weergegeven in **figuur 11** (*Vacuum Vapor Extraction, Springer, 1994*)

Figure 11 : Voorbeeld van een monitoringspunt



In het geval van een grote verontreinigingszone, laten deze monitoringspunten toe op deze parameters op te meten op verschillende dieptes waarbij de sondes op verschillende dieptes in hetzelfde boorgat of in het naburige boorgat wordt ingebracht. Het aantal, de dichtheid en de ligging van de monitoringspunten maakt onderdeel uit van het voorstel van de deskundige.

- De hermetisch afgesloten peilputten die zich situering nabij de extractieputten dienen voor het controleren van de stijging van de grondwatertafel door het aanbrengen van de onderdruk.
- Een meetinstallatie voor de onttrokken debieten. Deze metingen worden samengevoegd met de druk- en temperatuurmetingen om de resultaten uit te drukken in standaardomstandigheden van temperatuur en druk.

- Een inrichting voor de bemonstering van het onttrokken gas van elke extractieput (sof een groep extractieputten) laat toe om de hoeveelheid onttrokken verontreinigende stoffen te meten.
- Een inrichting voor de bemonstering van het behandelde gas voor lozing in de atmosfeer.
- Een inrichting voor de bemonstering van het condensaat voor behandeling op het terrein of off-site.

11.1.2. BLE + Variant luchtinjectie in de onverzadigde zone van de bodem

Bovenop de elementen beschreven in de paragraaf 11.1.1. zal de installatie ook een inrichting omvatten voor het meten van de debiet lucht geïnjecteerd op een actieve of passieve manier.

Monitoringspunten voorzien van manometers en sondes voor luchtstaalname in de nabijheid van de injectieputten die toelaten om de evolutie op te volgen van de invloed van de luchtinjectie in termen van druk en zuurstofgehalte op discrete afstanden van de injectieputten

11.1.3. BLE + Variant luchtinjectie in de verzadigde zone van de bodem (sparging)

Bovenop de elementen beschreven in de paragraaf 11.1.1. zal de installatie ook de volgende elementen omvatten:

- Debietmeter voor het meten van de debieten en gecumuleerde volumes lucht geïnjecteerd, manometers voor het aangeven van de injectiedruk, alsook temperatuurmeters ter hoogte van de injectieputten
- Monitoringspunten voorzien van manometers en sondes voor luchtstaalname in de nabijheid van de injectieputten die toelaten om de evolutie op te volgen van de invloed van de luchtinjectie in termen van druk en zuurstofgehalte op discrete afstanden van de injectieputten

11.1.4. BLE + Variant verwarmen van de bodem

Bovenop de elementen beschreven in de paragraaf 11.1.1. zal de installatie ook de volgende elementen omvatten:

- Bij gebruik van injectie van de warme lucht en warme damp in de onverzadigde zone van de bodem worden ter hoogte van de injectieputten debietmeters voorzien voor het meten van de debieten en de gecumuleerde volumes lucht of damp geïnjecteerd, manometers voor het aangeven van de injectiedruk, alsook temperatuurmeters.
- Bij gebruik van injectie van warme lucht en warme damp in de verzadigde zone van de bodem worden ter hoogte van de injectieputten debietmeters voorzien voor het meten van de debieten en de gecumuleerde volumes lucht of damp geïnjecteerd, manometers voor het aangeven van de injectiedruk, alsook temperatuurmeters. Monitoringspunten voorzien van manometers en sondes voor luchtstaalname in de nabijheid van de injectieputten die toelaten om de evolutie op te volgen van de invloed van de luchtinjectie in termen van druk en zuurstofgehalte op discrete afstanden van de injectieputten
- Bij gebruik van opwarming door het Joule-effect of door radiogolven, worden verschillende monitoringspunten voorzien voor het opmeten van de temperatuur.

11.2 Opvolgingsmaatregelen: op te volgen parameters en frequentie van opvolging

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

Tabel 8. Frequentie en op te volgen parameters

Opvolgingsparameter	Methode	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Enkelvoudige BLE				
Extractiedebieten door de extractieputten	Debietmeter ter hoogte van de putten	Debiet (m ³ /s) en gecumuleerde volume	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Bron: OVAM
Onderdruk en temperatuur ter hoogte van de extractieputten	Manometer en temperatuursonde ter hoogte van de putten	Onderdruk (Pa) en temperatuur (°C)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Voor het berekenen van de volumes onttrokken in genormaliseerde eenheden (standaard T° en druk)
Concentraties aan verontreinigende stoffen in de onttrokken gasen van elke put	Staalname ter hoogte van de extractiepunten en analyse van de stalen: actiefkoolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigende stoffen in navolging van een interventie	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Bron: OVAM
watergehalte, O ₂ - en CO ₂ -concentraties in de onttrokken gasen van elke put	Staalname ter hoogte van de extractieputten en analyse van de stalen: directe meting, ballonnen, ...	Watergehalte, O ₂ - en CO ₂ -concentraties (kg/m ³)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Opvolging van het minimale watergehalte en parameters voor biologische afbraak
Onderdruk ter hoogte van de monitoringspunten	Manometer ter hoogte van de monitoringspunten	Onderdruk (Pa)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Opvolging van de invloedstraal en het aanduiden van niet-beïnvloede zones
Residuele concentraties aan verontreinigende stoffen ter hoogte van de monitoringspunten	Staalname ter hoogte van de monitoringspunten en analyse van de stalen: actiefkoolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigende stoffen (kg/m ³) in navolging van een interventie	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Opvolging van het rendement van de extractie
Inschatting van de vuilvracht verwijderd per put en in het totaal	Som van de hoeveelheid onttrokken over verschillende controlemomenten	Massabalans: hoeveelheid verontreinigde stoffen onttrokken en residueel volume (kg)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Inschatten van de behandelingsduur
Opvolging van de stijghoogte in de peilputten	Opmeten van de stijghoogte in de monitoringspeilputten	Peillint of sonde	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Bron: OVAM
Concentraties in gasvormige lozingen en inschatting van het nodige actief kool (indien behandeling van het gas door filtratie met actief kool)	Staalname van de lucht aan het influent en effluent van de zuiveringsinstallatie en analyse op de verontreinigende stoffen: actiefkoolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentraties aan verontreinigende stoffen na een interventie (kg/m ³)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Bron: OVAM
Hoeveelheden actief kool gebruikt	Hoeveelheden actief kool gebruikt in de filter	Kg	Volgens levering + verwerkingsbonnen	Bron: OVAM
Hoeveelheid condensaat en concentratie aan verontreinigende stoffen in het condensaat	Hoeveelheden vloeistof gerecupereerd in de afscheider en de gehalten aan verontreinigende stoffen	m ³ en kg/m ³	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Identificeren van de behandelingsmethode on-site of off-site
Residuele concentraties in de bodem en het grondwater	Boringen en staalnames van de bodem en het grondwater in de monitoringsputten en analyse van de verontreinigende stoffen in navolging van een interventie	Gehalten aan verontreinigende stoffen na een interventie (kg/kg of kg/m ³)	Bij opstart en vervolgens elke 3 maanden	Bron: OVAM
BLE + variant injectie in de onverzadigde zone Aanvullende parameters				
Opmeten van de	Debietmeters en	Debieten en	Twee eerste	



geïnjecteerde debieten en injectiedruk ter hoogte van de injectieputten	manometers ter hoogte van de putten	gecumuleerde volumes geïnjecteerde lucht	maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	
BLE + variant injectie in de verzadigde zone Aanvullende parameters				
Opmeten van de geïnjecteerde debieten en injectiedruk ter hoogte van de injectieputten	Debietmeters en manometers ter hoogte van de putten	Debieten en gecumuleerde volumes geïnjecteerde lucht	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	
Opmeten van de druk in de monitoringspunten nabij de injectieputten	Manometers ter hoogte van de monitoringspunten	Druk in de verzadigde bodem en controle van de invloedstraal	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Opvolging van de effectiviteit van Sparging
Opmeten van O ₂ in de monitoringspunten nabij de injectieputten	Staalname en analyse op O ₂	Zuurstofgehalte en controle van de luchtcirculatie in de verzadigde bodem	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	Opvolging van de effectiviteit van Sparging
BLE + variant verwarmen van de bodem Aanvullende parameters				
Opmeten van temperatuur ter hoogte van de injectieputten bij injectie van warme lucht of waterdamp	Temperatuursondes in de injectieputten	T° (°C)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	
Opmeten van temperatuur in de bodem in de monitoringspunten	Temperatuursondes in de controlepunten	T° (°C)	Twee eerste maanden (opstart): wekelijks en vervolgens maandelijks	

Opmerkingen tabel:

- Tijdens het meten van de verontreinigende stoffen in navolging van een interventie (deze waarvan de gemeten concentraties in het gedetailleerd onderzoek leiden tot de noodzaak voor het uitvoeren van de behandeling), worden de verontreinigende componenten ontstaan door de afbraak van de eerste ook geanalyseerd. Bijvoorbeeld, bij een interventie door de aanwezigheid van hoge concentraties aan TCE en DCE, moet eveneens vinylchloride worden opgemeten. Op dezelfde manier dient bij een behandeling van een verontreiniging met pentachloorfenol de concentraties van alle chloorfenolen opgevolgd worden.
- De analyse op de verontreinigende stoffen in de gassen wordt gerealiseerd in het laboratorium na staalname met actiefkoolbuisjes of in ballonnen. De deskundige kan echter voorstellen om directe metingen van de concentraties uit te voeren met behulp van FID- of PID-meter of Drägerbuisjes indien is aangetoond dat er goede overeenkomst is tussen de directe metingen en de laboratoriumanalyses. Voor de verontreinigende stoffen in mengsels, zoals koolwaterstoffen, zal de overeenkomst tussen de directe metingen en de laboratoriumanalyses onderworpen worden aan periodieke aanpassingen volgens een periodieke frequentie voorgesteld door de deskundige, gezien de evolutie van het mengsel tijdens de vooruitgang van de behandeling. De metingen van de gehalten aan O₂, CO₂ en water in de gassen kunnen direct gemeten worden.

Voor de staalname van bodem, grondwater en bodemlucht, wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel voor « Codes van goede praktijk voor het nemen van bodem-, grondwater-, sediment en bodemluchtstalen ... ». Voor de analyse van de stalen, wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 4 « Codes van goede praktijk voor de analysemethode ... », van Leefmilieu Brussel

De op te volgen parameters met betrekking tot overlast zijn opgenomen in **tabel 8bis**.

Tabel 8bis : Frequentie en monitoringsparameters met betrekking tot overlast

Opvolgingsparameter	Methode	Parameter	Minimale frequentie	Opmerkingen
Concentraties aan verontreinigende stoffen in de omgevingslucht	Staalname van de omgevingslucht in de nabij de installatie of nabij de gevoelige zones en analyses van stalen, actiefkoolbuisjes, Drägerbuisjes, PID, FID	Concentratie aan verontreinigende stoffen (kg/m ³) na een interventie	Bij opstart, vervolgens elke 2 weken en nadien elke 3 maanden	
Geluidsmetingen	Opzetten van een meetnetwerk	Geluidsniveau	In geval van klachten van de bewoners	
Geurmetingen	Opzetten van een meetnetwerk	Geurniveau	In geval van klachten van de bewoners	

12. Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen

12.1 Rapportage

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

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

De inhoud van het eerste tussentijdse rapport omvat minstens de informatie opgenomen in **tabel 9**.

Tabel 9 : informatie die in het eerste tussentijdse rapport voorgelegd moet worden

Rubriek	Te meten parameters en aantal	Opmerkingen
Beschrijving van de installatie (as built) voor de eerste fase	Beschrijving van de verschillende elementen van de installatie: extractieputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), monitoringspeilputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen in de annulaire ruimte, afwerking), inrichting voor het opmeten van de debieten onttrokken gassen (type, ligging, ...), inrichting voor het meten van de onderdruk (type, ligging), inrichting voor het meten van de stijghoogte nabij de extractieputten, toevoerleidingen, lucht/waterafscheider, zuiveringsinstallatie voor de onttrokken gassen	De ligging van de verschillende elementen van de installatie is het onderwerp van figuren toegevoegd in bijlage van het tussentijdse rapport
Beschrijving van de aanvullende inrichtingen van de varianten	Beschrijving van de aanvullende elementen: injectieputten (aantal, ligging, diameter, diepte, filterstelling, grindkoffer, kleistoppen, afwerking), inrichting voor het opmeten van debieten geïnjecteerd (type, ligging), inrichting voor de verwarming van de bodem, elektrodes of antennes (aantal, ligging, type, diepte, ...), inrichting voor het opmeten van de temperatuur in de bodem	
Te rapporteren parameters bij een enkelvoudig BLE	Onderdruk gemeten ter hoogte van de putten en de monitoringspunten en debieten en volumes onttrokken in de verschillende putten. Controle van grootte van de invloedzone. - Concentraties gemeten in de onttrokken gassen en massabalans van de aanwezige verontreinigende stoffen (hoeveelheid onttrokken en residueel) - Residuele concentraties in de bodem in de monitoringspunten bij aanvang en na opstart van de pomp. - Concentraties aan verontreinigende stoffen in de behandelde en geloosde gassen, concentraties in het condensaat en hoeveelheid	

	condensaat. Hoeveelheden actief kool verbruikt. Duur van de voorziene behandeling op basis van de verzamelde gegevens. Operationele modus: continue of intermitterend. Stijghoogte van het grondwater. Haalbaarheid van de interventie - Corrigerende maatregelen	
Aanvullende te rapporten parameters bij BLE + variant injectie in de onverzadigde zone	Injectiedruk en debieten geïnjecteerde lucht (en cumulatieve volumes)	
Aanvullende te rapporten parameters bij BLE + variant injectie in de verzadigde zone	Injectiedruk in de verschillende putten. Debieten en volumes cumulatief geïnjecteerd. Parameters aanvullend gemeten in de monitoringspunten nabij de injectieputten (druk en O ₂) en bevestiging van de invloedstraal van de putten. Optreden van een vrije fase in de monitoringspeilbuizen	
Aanvullende te rapporten parameters bij BLE + variant verwarmen van de bodem	Bij verwarming door injectie van warme lucht of damp: injectiedruk in de verschillende putten, debieten en volumes cumulatief geïnjecteerd. Temperatuur van de geïnjecteerde lucht/damp. Bij opwarming door het Joule-effect of radiogolven: aangelegd vermogen aan het netwerk van sondes en elektrodes. Bodemtemperatuur gemeten in de monitoringspunten. Optreden van een vrije fase in de monitoringspeilbuizen	

12.2 Optimalisatie en corrigerende maatregelen

De corrigerende maatregelen bij een interventie van bodemluchtextractie omvatten verschillende aspecten. De meest voorkomende situaties zijn de volgende:

Probleem:

De debieten van luchtextractie dalen snel zelfs indien de opgelegde onderdruk constant blijft

Mogelijke corrigerende oplossingen

- Opzetten van een systeem om de grondwatertafel te verlagen met de bedoeling om het volume beschikbaar voor luchtcirculatie te vergroten
- Ontstoppen van de extractieputten
- Injectieputten plaatsen tussen de extractieputten om de aangelegde onderdruk te verminderen en zo de grondwatertafel te verlagen terwijl het debiet behouden blijft.

Probleem:

De concentraties aan verontreinigende stoffen in de onttrokken gasen dalen snel of stabiliseren op een laag niveau

Mogelijke corrigerende oplossingen:

- Aanpassen van de onderdrukken en de debieten ter hoogte van de verschillende putten om de luchtcirculatie in het centrum van de verontreinigingszone ten kosten van de rand
- Als de daling van de concentraties het gevolg is van de heterogeniteit van de bodem (snelheid van extractie beperkt door de snelheid van diffusie over minder doorlatende lagen), overgaan op een intermitterende extractie of overwegen de bodem te verwarmen om de diffusiesnelheid te verhogen

Probleem:

De onderdruk in de bodem is niet uniform over zone

Mogelijke corrigerende oplossingen:

Mogelijke corrigerende oplossingen:

- Verhogen van de dichtheid aan extractieputten

Probleem:

Rekening houdend met de extractiedebieten en de concentraties aan verontreinigende stoffen in de onttrokken gassen, is de te verwachten duur te groot

Mogelijke corrigerende oplossingen:

- Verhogen van de dichtheid aan extractieputten
- Verhogen van de onderdruk en debieten
- Installatie van injectieputten tussen de extractieputten
- Overwegen de bodem te verwarmen

Probleem:

Variant Sparging: de debieten van luchtinjectie in de grondwater dalen snel of zijn te laag

Mogelijke corrigerende oplossingen:

- Ontstoppen van de injectieputten: behandeling met behulp van een biocide (bacteriële kolonies) of met een zuur (ijzer- en/of mangaanneerslag)
- Verhogen van de injectiedruk binnen de redelijke grenzen ($P < P$ scheuren van de bodem)
- Verhogen van de dichtheid aan injectieputten

Probleem:

Het volume van de verzadigde zone beïnvloed door de geïnjekteerde luchtstroom is te beperkt.

Mogelijke corrigerende oplossingen:

- Intermitterende injectie om de luchtstroom in de poriën te homogeniseren
- Verhogen van de injectiedruk (binnen de redelijke grenzen) en zodanig de invloedstraal vergroten
- Verhogen van de dichtheid aan injectieputten

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

De metingen voor validatie zijn bedoeld om te verduidelijken of dat de doelstelling van de behandeling bereikt is op een duurzame manier, zodat de behandeling als afgerond kan beschouwd worden. Deze metingen voor validatie zijn:

- Bij een bodempluchtexttractie ter behandeling van de grondverontreiniging in de onverzadigde zone, de verzadigde zone of de capillaire zone van de aquifer bestaan de metingen voor validatie uit een laatste staalnameronde en analyse van de beïnvloede bodemlagen. Deze analysecampagne omvat de verontreinigende stoffen waarvoor de aanwezigheid een interventie rechtvaardigt en hun eventuele schadelijke afbraakproducten. De concentraties van deze stoffen wordt vergeleken met de interventiewaarden gedefinieerd in het [BBHR van 02/03/2018](#). Indien nodig, worden deze interventiewaarden beschouwd als bijkomende objectieve waarmee rekening gehouden moet worden. De gemeten concentraties worden vergeleken met de objectiefwaarden.

Bij het bereiken van de doelstellingen in de verontreinigingszone, kan de behandeling worden stilgelegd, de installatie worden ontmanteld en wordt een definitief eindverslag opgemaakt en ingediend.

Indien de objectieven niet bereikt worden, blijft de bodempluchtexttractie in gebruik nadat corrigerende maatregelen getroffen zijn: installatie van extra extractieputten, intermitterende extractie, luchtinjectie, opwarmen van de bodem, ... of nadat aanvullende maatregelen getroffen zijn: uitgraving van de kern, in-situ chemische oxidatie...

Indien tijdens de volgende validatieronde de objectieven niet steeds niet bereikt zijn, kan een aanpassing van de doelstelling worden voorgesteld door de deskundige tezamen met een risicostudie (met eventueel een voorstel tot gebruiksbeperkingen). Na goedkeuring van deze aanpassing door Leefmilieu Brussel, kunnen zich twee gevallen voordoen: op basis van de nieuwe objectieven kan de behandeling als afgerond beschouwd worden, of de behandeling moet heropgestart worden met aanvullende corrigerende maatregelen of aanvullende maatregelen.

- Indien de behandeling gericht is op de behandeling van de verontreiniging in het grondwater, bestaan de metingen voor validatie uit een laatste staalnameronde en analyse van de concentraties aan verontreinigende stoffen in de monitoringspeilputten. De gemeten concentraties worden vergeleken met de doelstellingen van de behandeling. Bij deze validatie, worden de concentraties van alle verontreinigende stoffen waarvoor de aanwezigheid een interventie rechtvaardigt opgemeten. De concentraties van de afbraakproducten die een schadelijke rol op de gezondheid of milieu kunnen spelen worden ook opgemeten. De concentraties van deze laatste stoffen worden vergeleken met de interventiewaarden gedefinieerd in het [BBHR van 02/03/2018](#). Indien nodig, worden deze interventiewaarden beschouwd als bijkomende objectieve waarmee rekening gehouden moet worden.

Bij het behalen van de objectieven, wordt de meting 2 maal herhaald, 3 en 6 maanden na stopzetting van de pompen om de duurzaamheid van de bekomen resultaten te controleren.

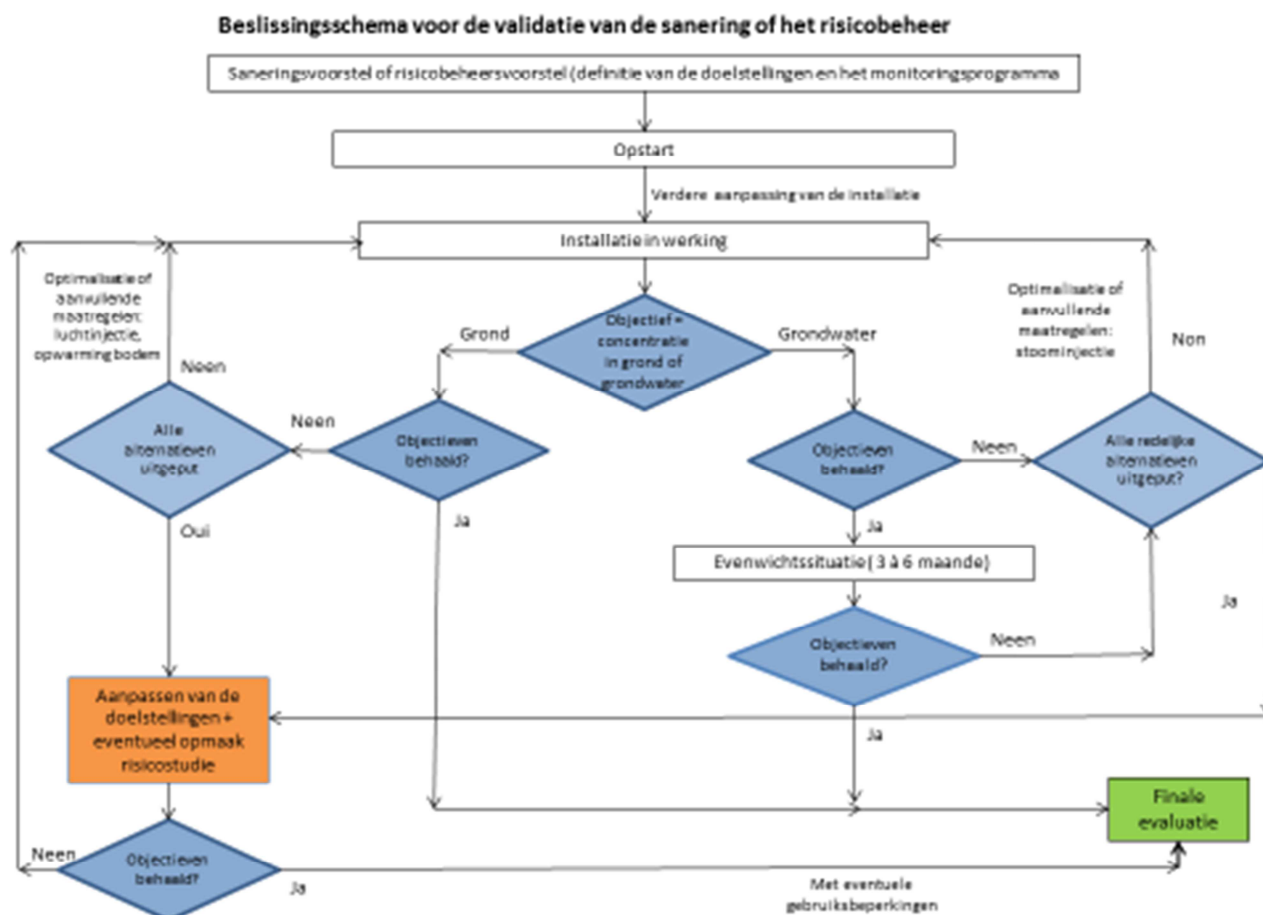
Bij het bekomen van de concentraties in evenwicht onder de waarden bepaald in de doelstelling, kan de behandeling als volledig beschouwd worden. De installatie kan ontmanteld worden en een finaal evaluatierapport wordt opgesteld.

In het andere geval, wordt de extractie herstart nadat eventuele corrigerende maatregelen getroffen zijn: installatie van extra extractie- of injectieputten, intermitterende extractie, injectie van warme lucht of damp, ... of nadat aanvullende maatregelen getroffen zijn: uitgraving van de kern, in-situ chemische oxidatie...

Indien bij de volgende meetronde voor validatie de objectieven nog steeds niet bereikt zijn, kan een aanpassing van de doelstellingen voorgesteld worden door de deskundige tezamen met een risicostudie ((met eventueel een voorstel tot gebruiksbependingen). Na goedkeuring van deze aanpassing door Leefmilieu Brussel, kunnen zich twee gevallen voordoen: op basis van de nieuwe objectieven kan de behandeling als afgerond beschouwd worden, of de behandeling moet heropgestart worden met aanvullende corrigerende maatregelen of aanvullende maatregelen.

N.B. Hoewel de interventie gericht is op een daling van de concentraties in de grondwater, kan het nuttig zijn om het niveau van de resterende verontreiniging in de bodem na behandeling te kennen om de categorie van het perceel volgens artikel 3 van de Ordonnantie van 5 maart 2009 te specificeren. Om deze reden, kan de stalname en analyse van grondstalen uitgevoerd worden?

Hieronder het beslissingsschema in de validatiefase van een behandeling.



13.1. Mogelijke opvolgingsmaatregelen op lange termijn : installatie en type maatregelen

Op voorstel van de deskundige of op vraag van Leefmilieu Brussel, kunnen opvolgingsmaatregelen (langdurige of nazorg validatie) gevraagd worden aan de behandelingsplichtige na afsluiten van de behandeling . Deze metingen worden voorzien om na te bevestigen dat de resultaten van de werken en met name de doelstelling bereikt zijn op een duurzame manier op lange termijn. Logische gezien zijn deze opvolgingsmaatregelen gerechtvaardigd indien er een onzekerheid bestaat over de duurzaamheid van de bekomen resultaten: aanzienlijke variantie in de gemeten concentraties in de monitoringspeilbuizen, concentraties gestabiliseerd op een waarde nabij de doelstellingen, specifieke ongunstige omstandigheden...

Voor zover de doelstellingen de kwaliteit van het grondwater omvat, kan de inrichting voor de opvolging op lange termijn eventueel bestaan uit enkele monitoringspeilputten geplaatst in de verontreinigingszone en stroomafwaarts van de verontreinigingszone.

In tegenstelling tot de opvolgingsmaatregelen en validatie, impliceren de opvolgingsmaatregelen op lange termijn geen staalname en analyse van de kwaliteit van het grondwater ter hoogte van alle monitoringspeilputten, maar een zeker aantal peilputten die representatief zijn voor het grondwater in de in de verontreinigingszone en stroomafwaarts van de verontreinigingszone.

In ieder geval worden in de staalname- en analysecampagnes een of meerdere monitoringspeilputten voorzien stroomopwaarts van de geïdentificeerde risicogroepen .

De geanalyseerde parameters zijn:

- De residuele concentraties aan verontreinigende stoffen in het grondwater. Enkel de verontreiniging die tot de interventie leidde worden geanalyseerd. Hun afbraakproducten die de gezondheid en het milieu kunnen schaden worden ook geanalyseerd.
- De parameters die de natuurlijke afbraak van de verontreiniging aantonen of beïnvloeden indien met deze afbraak rekening is gehouden bij de analyse van de risico's die uitgaan van de residuele verontreinigingen: pH, O₂, CO₂, methaan, nitraat, sulfaat, nutriënten, ijzer, mangaan, ... afhankelijk van de processen verantwoordelijk voor de verwachte natuurlijke afbraak.

De staalname van het grondwater wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 3 van Leefmilieu Brussel « Codes van goede praktijk voor het nemen van bodem-, grondwater-, sediment- en bodemluchtstalen ... ». Voor de analyse van de grondwaterstalen, wordt verwezen naar de Code van Goede Praktijk n° 4 « Codes van goede praktijk voor de analysemethode ... », van Leefmilieu Brussel.

De duur en frequentie van de opvolgingsmaatregelen op lange termijn variëren afhankelijk van de situatie: graad van onzekerheid en concentraties van de restverontreinigingen, verontreinigingstypes aanwezig en de risico's die deze restverontreinigingen induceren, aanwezigheid en afstand van risicogroepen, verspreidingssnelheid van de verontreinigingen.

Het opvolgingsprogramma dat het duurzaam behalen van de finale behandelingsdoelstellingen beoogt, dient representatief en redelijk te zijn zowel wat de frequentie als de duurtijd van de gehele opvolging betreft, zodat een uitspraak kan gedaan worden (1) over de stabiliteit van het

finale resultaat van de behandeling of (2) over een eventuele stijgende trend. Zonder specifieke motivatie dient de opvolging de termijn van 2 jaar niet te overschrijden.

Jaarlijks of eventueel na elke meetcampagne worden de metingen gerapporteerd en de rapporten overgemaakt aan Leefmilieu Brussel.

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

- Indien alle concentraties systematisch lager zijn dan de doelstellingen: de resultaten zijn duurzaam en het dossier wordt afgerond
- Indien ter hoogte van enkele monitoringspunten de concentraties van enkele verontreinigende stoffen fluctueren met beperkte overschrijdingen van de doelstellingen: verlengen van de periode voor langdurige validatie indien een dalende trend waargenomen kan worden.
- Indien de concentraties van enkele verontreinigende stoffen herhaaldelijk de doelstellingen overschrijden ook na verlenging van de monitoringsperiode of indien de concentraties van enkele verontreinigende stoffen de saneringsdoelstelling aanzienlijk en aanhoudend overschrijden en/of indien een vrije fase (opnieuw) ontstaat zijn er drie mogelijkheden:
 - De verontreiniging vertoont een andere karakter dan zoals waargenomen in het gedetailleerd onderzoek: nieuwe actieve bron, nieuwe calamiteit, nieuwe omstandigheden, ... Een nieuw gedetailleerd onderzoek is nodig die leidt tot een nieuwe behandeling met dezelfde of een andere behandelingsplichtige
 - Aanvullende werkzaamheden zijn noodzakelijk voor het bereiken van de doelstellingen die voordien gedefinieerd werden. Natuurlijke afbraak en gestimuleerde natuurlijke afbraak kunnen een mogelijkheid zijn
 - Het is niet mogelijk om de doelstellingen te halen op een duurzame manier binnen een realistische termijn en met een realistisch budget: de doelstellingen van de behandeling worden aangepast (interventiewaarden of waarden gedefinieerd in een risicostudie)

14. Aanbevelingen op vlak van stabiliteit en veiligheid

14.1 Controle checklist voor de aannemers

De checklist voor de aannemers is hieronder beschreven. Deze lijst is bedoeld om aannemers te helpen bij de opmaak van hun offertes naar aanleiding van de lastenboeken opgemaakt door de deskundige. Gezien de grote verscheidenheid aan mogelijke situaties, is deze lijst niet alomvattend.

Tabel 10 : checklist voor aannemers

Rubriek	Verificatie
Voldoende en volledige informatie voorafgaand (lastenboek, beschrijving van de werken, ...)	
Nutsleidingen	De navraag bij de exploitanten van nutsleidingen en een toereikend antwoord
Eigenschappen van de infrastructuur op de site en de naburige terreinen	Inventaris en kartering van de gebouwen en structuren bovengronds. Inventaris en kartering van de begraven structuren en nutsleidingen
Stabiliteitsstudie voor de ondergrondse structuren	Toereikende stabiliteitsstudie in overeenstemming met de geplande werkzaamheden
Stabiliteitsstudie voor de bovengrondse structuren	Toereikende stabiliteitsstudie in overeenstemming met de geplande werkzaamheden
Risicogroepen	Goed geïdentificeerde risicogroepen aanwezig op en rondom de site
Technische aspecten van het lastenboek of van de beschrijving van de werken	Beschrijving van de installatie voor extractie (putten, ligging, grootte, ...) en eventueel injectie: vast te stellen hoeveelheden: debiet, druk, onderdruk, pomptype...
Identificatie van de benodigde vergunningen en de te respecteren wetgeving	Controleer of de benodigde vergunningen zijn opgevraagd door de opdrachtgever. Controleer of de te leveren prestaties coherent zijn aan het wetgevend kader dat van kracht is
Identificatie van specifieke procedures die gevolgd moeten worden	Identificeren van de specifieke procedures en nagaan of deze zijn opgenomen in het lastenboek of in de beschrijving van de werken: vervoer van gevaarlijke producten (condensaat), gasvormige lozingen
Lozingspunten	Lozingspunten van de behandelde gassen geïdentificeerd en verenigbaar met de kenmerken van de site. Vergunningen opgevraagd en bekomen
De communicatielijnen zijn gedefinieerd	Identiteit en gegevens van de aannemer, de opdrachtgever, de BIM-agent en de bevoegde autoriteiten zijn bekend
De informatie in het veiligheids-, gezondheids- en preventieplan van de aannemer	
Identificatie en aard van de risico's	Explosiegevaar in het leidingswerk gezien de brandbaarheid van de onttrokken verbindingen
	Risico op ondergrondse structuren bij het verwarmen van de bodem
	Explosiegevaar door de ophoping van de brandbare vluchtige stoffen in de grond
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van gevaarlijke producten
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van verontreinigende bodem op de site (tijdens de installatie van putten of gleuven)
	Gezondheidsrisico's voor het personeel door de aanwezigheid van vluchtige en gevaarlijke producten
	Risico op ongevallen in het algemeen: vallen, brandwonden, elektrocutie
	Risico's verbonden aan de inbraak op de site door onbevoegden: diefstal, vandalisme en gezondheidsrisico's
	Risico's verboden aan het werken in gesloten ruimtes (kelder, tanks, ...) als gevolg van de slechte luchtkwaliteit
	Klimatologische risico's: bevriezen van de leidingen bij veel condensaat
	Risico's verbonden aan het verkeer indien structuren aanwezig op de openbare weg
Preventieve maatregelen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identificatie en implementatie van preventieve maatregelen (explosiemeters) inclusief opleiding van het personeel
corrigerende maatregelen en interventie maatregelen	Voor ieder geïdentificeerd risico, opstellen van corrigerende maatregelen en interventies (bij een noodgeval, indien nodig)
Personen en diensten te contacteren in geval van problemen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identiteiten en gegevens van de personen of diensten die gecontacteerd moeten worden: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsmaatschappij
Identificatie van de mogelijke hinder	Geuren en gevaarlijke dampen in de buurtomgeving in het geval van lekkages/verliezen aan de installaties
	Geluid van de apparatuur: pompen, generatoren, ...
	Overbelasting van de wegen
	Vervuilen van de wegen
Preventieve maatregelen	Voor iedere geïdentificeerde hinder, identificatie en beschrijving van de interventie maatregelen.

	Bijvoorbeeld het gebruik van explosiemeters en automatisch alarmsystemen back-up-, afsluitsysteem (toedienen van lucht in het leidingwerk)
Corrigerende maatregelen en interventie maatregelen	Voor iedere geïdentificeerde hinder, voorbereiden van corrigerende en interventie maatregelen (bij een noodgeval, indien nodig)
Interventieplan	
Monitorings- en onderhoudsplan	Inplannen van inspecties: minimum tweemaandelijks
	Inplannen van onderhoud
Identificatie van storingen en technische problemen die zich kunnen voordoen	Defecte apparatuur/installaties: lekkage
	Verstopping van de extractieputten of injectieputten: daling van de debieten, drukken en onderdrukken
	Voortijdige uitputting van de materialen die gebruikt worden voor het behandelen van het gas (actief kool)
Opzetten van een automatisch alarm-, back-up- en afsluitsysteem op de installatie	
Corrigerende maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de problemen die zich kunnen voordoen: voorbereiding van de corrigerende maatregelen en interventie maatregelen (bij een noodgeval, indien nodig)
Monitoringsrapporten van de deskundige	Rekeninghouden met de monitoringsrapporten van de deskundige en in overeenstemming corrigerende maatregelen treffen of optimaliseren

Opmerkingen:

- Voor aannemers met VCA-certificatie of gelijkaardig, worden de maatregelen vermeld in **tabel 10** en met betrekking tot de veiligheid systematisch toegepast
- De checklist van **tabel 10** is van toepassing voor de aannemers en hun onderaannemers met betrekking tot hun respectievelijke interventie
- In het algemeen, worden de inspecties ter plaatste ten minste tweemaandelijks uitgevoerd
- Voor de verzamel- en toevoerleiding van het opgepompte gas, gaat systematisch de voorkeur uit naar ondergraven leidingen om ongevallen, vriezen (condensaat) en vandalisme te voorkomen
- Bij de installatie van de voorzieningen (extractieputten en zuiveringsinstallatie) nabij gebouwen, zullen luchtanalyses gebeuren in de nabijheid van de gebouwen om de concentraties aan vluchtige stoffen na te gaan. Deze meting zullen uitgevoerd worden bij opstart, 1 keer na 2 weken van de behandeling en vervolgens om de drie maanden.
- Wanneer een explosierisico is gebleken ter hoogte van de pompputten, leidingwerk of zuiveringsinstallatie, zal het explosierisico (LEL) doorlopend gemeten worden en zal een back-up-systeem opgesteld met grenswaarde 10% LEL (toedienen van lucht en alarm)
- Indien vervuilde bodem als gevolg van de plaatsing van de putten wordt opgeslagen op het terrein, worden maatregelen getroffen om te voorkomen dat de onderliggende grond en het onderliggend grondwater verontreinigd worden: afdekken van de bodem met HDPE-folie, ophalen en behandeling van het opgepompte grondwater, bescherming tegen neerslag door een dekzeil, verzamelen van het regenwater en behandeling on-site of off-site indien nodig (contact met verontreinigde materialen). Dezelfde maatregelen worden genomen bij de opslag van gevaarlijke producten of verontreinigende stoffen op het terrein.

14.2 Controle checklist voor de deskundige en de bodemverontreiniging

De checklist voor de deskundigen is hieronder beschreven. Deze lijst is bedoeld om de deskundige te helpen bij de beschrijving van de werken, het inschatten van de kost en het opstellen van de lastenboek voor de aannemer.

Tabel 11 : checklist voor deskundigen

Rubriek	Verificatie
Voldoende en volledige informatie voorafgaand (voorstudies, lastenboek, beschrijving van de werken, ...)	
Kenmerken van de te behandelen van de onverzadigde of verzadigde bodem	Bodemsamenstelling: opeenvolging en eigenschappen van de bodemlagen, de aanwezigheid van bodemlagen met verschillende doorlaatbaarheid, adsorptiecapaciteit, homogeniteit, ... Dichtheid van de waarnemingen voldoende?
	Permeabiliteit voor de bodem voor lucht, pompproeven, stijghoogtemetingen en stromingsrichting van het grondwater, seizoenale variaties van de stijghoogte, dikte van de aquifer, isolatie van de aquifer, eventueel verschillende aquifers. Doorlatendheid van de afdeklaag. Dichtheid van de waarnemingen voldoende en voldoende gedetailleerd?
De aanwezige en/of te behandelen verontreinigingen	Aard van de aanwezige en/of te behandelen verontreinigingen, verdeling van de concentraties, bron nog actief? Evaluatie van de vuilvracht in de verschillende fases van de bodem, verspreidingspotentieel, aanwezigheid van zak/drijfslag, verwachte natuurlijke afbraak (gemeten evolutie, potentiële natuurlijke afbraak)
Eigenschappen van de infrastructuur op de site en de onmiddellijke omgeving	Inventaris en kartering van de bovengrondse gebouwen en infrastructuren. Inventaris en kartering van gekende ondergrondse structuren en nutsleidingen
Risicogroepen	Goed geïdentificeerde risicogroepen aanwezig op de site of in de omgeving
Technische aspecten van het lastenboek of van de beschrijving van de werken	Beschrijving van de installatie voor extractie (putten, ligging, grootte, ...) en eventueel injectie: vast te stellen hoeveelheden: debiet, druk, onderdruk, pomptype...
	Functionele modus van de installatie: continue of intermitterend. Verstoppingsrisico's. Mogelijke corrigerende en optimaliserende maatregelen.
	A priori verificatie van de werking van de installatie: richting en methode van luchtstroom door de bodem, uitbreiding van de zone voor bodemluchtexttractie, rendement van bodemluchtexttractie
	Objectieven van de behandeling zijn goed gedefinieerd voor grond en grondwater
	Inschatting van de duur van de behandeling en noodzaak tot het overgaan op bijkomende inrichtingen: luchtinjectie, verwarmen van de bodem
	Controleer of de beschrijving van de zuiveringsinstallatie voldoende gedetailleerd is. Zijn fysische hoeveelheden voor de installatie (volume, grootte, prestaties, ...) coherent aan parameters van de site (debieten, verwachte concentraties, condensaat ...)?
Lozingspunten	Lozingspunten van de behandelde gassen van de zuiveringsinstallatie geïdentificeerd en verenigbaar met de kenmerken van de site. Vergunningen opgevraagd en verkregen,
Identificatie van de benodigde vergunningen en de te respecteren wetgeving	Controleer of de benodigde vergunningen zijn opgevraagd door de opdrachtgever. Controleer of de te leveren prestaties coherent zijn aan het wetgevend kader dat van kracht is. Zijn de voorziene procedures conform aan de Codes van Goede Praktijk en andere aanbevelingen van Leefmilieu Brussel
Identificatie van specifieke procedures die gevolgd moeten worden	intensifiëren van de specifieke procedures en nagaan of deze zijn opgenomen in het lastenboek of in de beschrijving van de werken: vervoer van gevaarlijke producten (condensaat), gasvormige lozingen
De communicatielijnen zijn gedefinieerd	Identiteit en gegevens van de aannemer, de opdrachtgever, de BIM-agent en de bevoegde autoriteiten zijn bekend
Identificatie en aard van de risico's	Explosiegevaar in het leidingswerk gezien de brandbaarheid van de onttrokken verbindingen
	Risico op ondergrondse structuren bij het verwarmen van de bodem met Joule-effect of radiogolven of een ander systeem
	Explosiegevaar door de ophoping van de brandbare vluchtige stoffen in de grond
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van gevaarlijke producten
	Risico op verontreiniging van de grond en het grondwater door de opslag van verontreinigende bodem op de site (tijdens de installatie van putten of gleuven)
	Klimatologische risico's: bevroren van de leidingen bij veel condensaat
	Risico's verbonden aan het verkeer indien structuren aanwezig op de openbare weg
Preventieve maatregelen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identificatie en implementatie van preventieve maatregelen (explosiemeters) inclusief opleiding van het personeel
Personen en diensten te contacteren in geval van problemen	Voor ieder geïdentificeerd risico, identiteiten en gegevens van de personen of diensten die gecontacteerd moeten worden: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsmaatschappij
Identificatie van de mogelijke hinder	Geuren en gevaarlijke dampen in de buurtomgeving in het geval van lekkages/verliezen aan de installaties
	Geluid van de apparatuur: pompen, generatoren, ...
	Overbelasting van de wegen
	Vervuilen van de wegen
Preventieve maatregelen	Voor iedere geïdentificeerde hinder, identificatie en beschrijving van de preventieve maatregelen
	Gebruik van explosiemeters en automatisch alarmsystemen back-up-, afsluitsysteem (toedienen van lucht in het leidingswerk)
Planning en inhoud van de opvolgingsmaatregelen, de validatie en de opvolgingsmaatregelen op lange termijn	
Inrichtingen voor de opvolging	Beschrijving, ligging en in kaart brengen van de inrichtingen voor de opvolging: debietmeters, manometers, temperatuursondes ter hoogte van de extractieputten, de injectieputten, de monitoringspeilputten, de controlepunten in de bodem en de staalnames van het onttrokken en het behandelde gas, staalnames van de

	omgevingslucht ... rekening houdend met de te beschermen risicogroepen
Opvolgingsparameters	Opmeten van de depressie en extractiedebieten in de grond, de stijghoogte, concentraties in het onttrokken gas, massabalans voor de verontreinigende stoffen, residuele concentraties aan verontreinigende stoffen en afbraakproducten (indien schadelijk) in de bodem en het grondwater en de verdeling, berekening van de invloedszone van de extractie, de concentraties in het onttrokken gas aan het influent en effluent van de zuiveringsinstallatie, aanwezigheid en dikte van de vrije fase, luchtinjectiedebieten en -druk, T° van de geïnjecteerde lucht, T° van de geïnjecteerde en onttrokken medium, °T van de bodem, verspreiding van de verontreinigingen in de pluim richting risicogroepen.
Optimalisatie-parameters	Intermitterende modus - extractie en injectie, aanpassen van de onderdruk volgens de zones, optimaliseren van de onderdruk, verlagen van de grondwatertafel, verwarmen van de bodem, installatie van nieuwe extractie- of injectieputten, toereikende filterdiepte, ...
Rapportage	Planning voor het indienen van het eerste tussentijdse verslag en de daaropvolgende tussentijdse verslagen
	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor deze opmaak van deze rapporten?
Validatie van de resultaten	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor het uitvoeren van deze fase: de realisatie van de residuele concentraties in de bodem en het grondwater, de rebound, de beoordeling van de vuilvracht
Risico-studie indien aanpassing van de objectieven	Zijn de verzamelde gegevens toereikend voor het uitvoeren van deze fase?
Monitoring op lange termijn	Inrichtingen voor de monitoring: het bemonsteren van peilputten
	Op te volgen parameters: concentraties aan verontreinigende stoffen en afbraakproducten, parameters voor het opvolgen van de natuurlijke afbraak indien hiermee rekening wordt gehouden

15. Biobibliografie

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

- Code van goede praktijk voor bodemluchtextractie en perslucht injectie, OVAM, 2002
- Air Sparging, A Project Manager's Guide, Keith Fields et al., Battelle Press, 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
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001.