Code van goede praktijk voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie :

Procedures voor haalbaarheidsonderzoek, opvolging en stopzetting

OPENBARE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ
VOOR HET VLAAMSE GEWEST

OVAM, uw beleidspartner in afval en bodem

Documentbeschrijving

OPENBARE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ
VOOR HET VLAAMSE GEWEST

1. Titel publicatie

Code van goede praktijk voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie:
Procedures voor haalbaarheidsonderzoek, opvolging en stopzetting

2. Uitgever

Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest

3. Publicatienummer

4. Publicatiereeks

Achtergronddocumenten bodemsanering

5. Trefwoorden

Bodemsaneringswerken, bodemluchtextractie, persluchtinjectie

6. Aantal blz.

61

7. Aantal tabellen en figuren

8. Datum publicatie

September 2002

*9. Prijs**

10. Samenvatting

Procedures voor haalbaarheidsonderzoek, opvolging en stopzetting van saneringen door middel van bodemluchtextractie en persluchtinjectie

11. Begeleidingsgroep

Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest
Environmental Resources Management – ERM nv
Ondernemers Vereniging Bodemsaneerders (OVB)
Vereniging Erkende Bodemsaneringsdeskundigen (VEB)
Vlaamse Instelling voor technologisch onderzoek (Vito)

12. Contactperso(o)n(en)

Filip De Naeyer, Amy De Sloovere en Griet Van Gestel

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kan u raadplegen op de OVAM-website : http://www.ovam.be

* Prijswijziging voorbehouden.

INHOUDSTAFEL

INHOUDSTAFEL 1

1. INLEIDING 2

1.1 Algemene omkadering 2

1.2 Inhoud en doelstellingen 2
1.2.1 Literatuurstudie 2
1.2.2 Opbouw van de verschillende procedures 2
1.2.3 Toetsing van de procedures 3

1.3 Dankwoord 3

1.4 Verklarende woordenlijst 3

1.5 Lijst van afkortingen 6

2. LITERATUURSTUDIE : BODEMLUCHTEXTRACTIE EN PERSLUCHTINJECTIE 7

2.1 Bodemluchtextractie 7
2.1.1 Techniek 7
2.1.2 Wanneer is bodemluchtextractie toepasbaar? 9
2.1.3 Voordelen en beperkingen 12

2.2 Persluchtinjectie & bodemluchtextractie 13
2.2.1 Techniek 13
2.2.2 Wanneer is persluchtinjectie toepasbaar? 13
2.2.3 Voordelen en beperkingen 14

2.3 Haalbaarheidsonderzoek voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie 15
2.3.1 Benodigde parameters 15
2.3.2 Beschikbare checklists voor de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie 17

2.4 Monitoring en controle van een sanering door bodemluchtextractie en/of persluchtinjectie 20

3. PROCEDURE VOOR HAALBAARHEIDSONDERZOEK 23

3.1 Inleiding 23
3.1.1 Doelstellingen van een haalbaarheidsonderzoek 23
3.1.2 Situering van het haalbaarheidsonderzoek 23

3.2 Constructie van de checklists 24
3.2.1 Parameters voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie 24
3.2.2 Bodemluchtextractie 25
3.2.3 Bodemluchtextractie & persluchtinjectie 27

3.3 Pilootttesten voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie 29
3.3.1 Wat wordt verstaan onder een piloottest? 29
3.3.2 Welke parameters dienen te worden bepaald? 29
3.3.3 Hoe lang duurt een piloottest? 30
3.3.4 Hoe piloottest uitvoeren? 30

3.4 Modellering 34
3.4.1 Inleiding 34
3.4.2 AIRFLOW/SVE 34
3.4.3 HYPERVENTILATE 35
3.4.4 BioSVE 35
3.4.5 Courante grondwatermodellen 35

4. PROCEDURE VOOR HET OPVOLGEN VAN BODEMLUCHTEXTRACTIE EN PERSLUCHTINJECTIE 36

4.1 Monitoringparameters 36

4.2 Rapportage naar de OVAM 37

5. PROCEDURE VOOR HET STOPZETTEN VAN BODEMLUCHTEXTRACTIE & PERSLUCHTINJECTIE 38

5.1 Basiselementen voor de procedure 38
5.1.1 Uitgangspunt 38
5.1.2 Rendement van de sanering 38
5.1.3 Eindevaluatieonderzoek en oriënterend bodemonderzoek 38

5.2 Procedure voor stopzetting 39

6. TOETSING VAN DE PROCEDURES AAN DE HAND VAN GEVALSTUDIES 41

6.1 Sanering terrein in Roeselare 41
6.1.1 Situatieschets 41
6.1.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek 41
6.1.3 Toepassing procedure voor opvolging 42
6.1.4 Toepassing procedure voor stopzetting 43

6.2 Sanering terrein in Kessel (Nijlen) 43
6.2.1 Situatieschets 43
6.2.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek 43
6.2.3 Toepassing procedure voor opvolging 44
6.2.4 Toepassing procedure voor stopzetting 45

6.3 Sanering terrein in Kontich 46
6.3.1 Situatieschets 46
6.3.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek 46
6.3.3 Toepassing procedure voor opvolging 47
6.3.4 Toepassing procedure voor stopzetting 48

6.4 Sanering terrein in Wijnegem 49
6.4.1 Situatieschets 49
6.4.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidonderzoek 49
6.4.3 Toepassing procedure voor opvolging 50

6.4.4 Toepassing procedure voor stopzetting 51

7. CONCLUSIES 53

7.1 Procedure voor haalbaarheidsonderzoek 53

7.2 Procedure voor het opvolgen van saneringen 53

7.3 Procedure voor het opleveren van saneringen 53

8. REFERENTIELIJST 54

8.1 Geraadpleegde werken 54

8.2 Geraadpleegde websites 56

8.2.1 Bodemluchtextractie en persluchtinjectie 56

8.2.2 Software 56

1. INLEIDING

1.1 Algemene omkadering

Bodemsanering is een complexe aangelegenheid waarvan het eindresultaat en de evolutie moeilijk op voorhand in te schatten zijn. In dat opzicht kunnen duidelijke procedures met betrekking tot haalbaarheidsonderzoek en de opvolging en stopzetting van saneringen bijdragen tot een betere voorspelling van de saneringsefficiëntie en -evolutie.

In dit rapport worden voor de bodemsaneringstechniek *bodemluchtextractie en persluchtinjectie* de volgende procedures uitgewerkt:

1. Procedure voor haalbaarheidsonderzoek;
2. Procedure voor opvolging; en
3. Procedure voor stopzetting.

Voor meerdere saneringstechnieken worden door de OVAM procedures ter beschikking gesteld waarin deze verschillende aspecten aan bod komen. De in dit rapport uitgewerkte procedures dienen te worden gezien als een aanvulling op de OVAM standaardprocedure voor het opstellen van een bodemsaneringsproject.

Voor de uitvoering van bodemsaneringswerken dient tevens het Archilles protocol te worden gevolgd. Het Archilles protocol is een veiligheid-, gezondheid-, en milieupreventiesysteem dat werd ontwikkeld door de OVAM in samenwerking met de aannemers voor saneringswerken en de erkende bodemsaneringsdeskundigen om een maximale beheersing van de hinder voor mens en milieu, de veiligheid en de kwaliteit van on-site bodemsaneringswerken te garanderen.

1.2 Inhoud en doelstellingen

1.2.1 Literatuurstudie

Aan de hand van een literatuurstudie wordt nagegaan welke kennis voor handen is inzake:

1. Haalbaarheidsonderzoek voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie;
2. Het opvolgen van bodemluchtextractie en persluchtinjectie saneringen; en
3. Het stopzetten van bodemluchtextractie en persluchtinjectie saneringen.

De bevindingen van de literatuurstudie worden weergegeven in *hoofdstuk 2*.

1.2.2 Opbouw van de verschillende procedures

Uitgaande van de gegevens uit de literatuurstudie worden vervolgens 3 procedures opgebouwd:

1. Procedure voor onderzoek naar de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie (*Hoofdstuk 3*);
2. Procedure voor het opvolgen en controleren van bodemluchtextractie en persluchtinjectie tijdens de saneringswerkzaamheden (*Hoofdstuk 4*); en
3. Procedure voor het stopzetten van bodemluchtextractie en persluchtinjectie saneringen (*Hoofdstuk 5*).

1.2.3 Toetsing van de procedures

In *hoofdstuk 6* worden de in dit rapport voorgestelde procedures getoetst aan de hand van 4 voorbeelden uit de praktijk.

In *hoofdstuk 7* worden een aantal algemene conclusies geformuleerd.

1.3 Dankwoord

ERM dankt Watco Ecotechniek nv, Envisan nv, Mourik nv, Soils nv, de Ondernemersvereniging van Bodemsaneerders (OVB), de Vereniging van Erkende Bodemsaneringsdeskundigen (VEB), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) en de Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest (OVAM) voor hun medewerking aan deze studie.

1.4 Verklarende woordenlijst

Achtergrondwaarde: Het gehalte aan verontreinigende stoffen of organismen op of in de bodem, dat als normale achtergrond in niet–verontreinigde bodems met vergelijkbare kenmerken teruggevonden wordt. De achtergrondwaarden zijn vastgelegd in bijlage 6 van het VLAREBO.

Adsorptie: Proces waarbij een stof zich als gevolg van fysico-chemische krachten op het oppervlak van een vaste stof vasthecht.

Afvalstoffenanalyse compendium: Compendium van procedures inzake monsterneming en anorganische en organische analysemethoden voor vloeibare, pasteuze en vaste afvalstoffen, opgesteld door OVAM in samenwerking met VITO.

BATNEEC: Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs, beste beschikbare technologie tegen een redelijke kost.

Beschrijvend bodemonderzoek: In het kader van het bodemsaneringsdecreet dient het beschrijvend bodemonderzoek te worden ingesteld om de ernst van de verontreiniging vast te stellen. De inhoudelijke vereisten en vormvereisten voor het beschrijvend bodemonderzoek worden vastgelegd in het Bodemsaneringsdecreet en de Standaardprocedure Beschrijvend Bodem-onderzoek (OVAM, 2000).

Bioventing: Variant op bodemluchtextractie waarbij de nadruk eerder ligt op de stimulatie van de biologische activiteit in de onverzadigde zone door de aanvoer van zuurstofrijke lucht dan op actieve vuilvrachtverwijdering via de aangelegde luchtstroom.

Bodem: Het vaste deel van de aarde met inbegrip van het grondwater, en de andere bestanddelen en organismen die er zich in bevinden.

Bodemluchtextractie: Techniek waarbij met behulp van verticale onttrekkingsfilters en/of horizontale drains bodemlucht aan de onverzadigde zone wordt onttrokken.

Bodemluchtextractiefilter: Verticale filter of horizontale drain langs waar bodemlucht wordt onttrokken.

Bodemsaneringsdecreet: Het decreet van 22 februari 1995 betreffende de bodemsanering (B.S., 29 april 1995), herhaaldelijk gewijzigd.

Bodemsaneringsnorm: Een niveau van bodemverontreiniging bij overschrijding waarvan ernstige nadelige effecten kunnen optreden voor de mens of het milieu, gelet op de kenmerken en de functies die deze vervult. De bodemsaneringsnormen zijn vastgelegd in bijlage 4 van het VLAREBO.

Bodemsaneringsproject: In het kader van het bodemsaneringsdecreet dient een saneringsvoorstel aan de OVAM te worden overgemaakt onder de vorm van een bodemsaneringsproject.

Code van goede praktijk: Code van goede praktijk voor het uitvoeren van milieuboringen en het plaatsen van peilbuizen (OVAM, 2001). Code van goede praktijk voor bemonstering van grond, grondwater, bodemvocht, bodemlucht en waterbodems (OVAM, 2001).

Constante van Henry: De constante van Henry geeft een aanduiding van de mate waarin een organisch product vervluchtigt uit een waterige oplossing. De constante van Henry is direct gerelateerd aan de dampspanning, de oplosbaarheid in water en de temperatuur in het evenwichtssysteem van de vluchtige verbinding in lucht en water.

Dampspanning: De dampspanning van een vloeistof of vaste stof is de druk van het gas in evenwicht met de vloeistof of vaste stof bij een gegeven temperatuur.

Desorptie: Proces waarbij stoffen van het oppervlak van een vaste stof loskomen.

Doorlatendheid: Een coëfficiënt die de snelheid beschrijft waarmee water zich door een doorlaatbaar medium kan voortbewegen.

Drijflaag: Laag van organische (niet waterige) vloeistoffen (met een lagere dichtheid dan water) die op de grondwaterspiegel drijft.

Erkende bodemsanerings-deskundige:	Een onafhankelijk deskundige, erkend door de Vlaamse regering voor de uitvoering van opdrachten die in het Bodemsaneringsdecreet of het VLAREBO worden bepaald.
Grondwater:	Het water in de poriën beneden de wat ertafel in een watervoerende laag in de bodem.
Hydraulische conductiviteit:	Zie doorlatendheid.
Luchtdoorlatendheid:	Een coëfficiënt die de snelheid beschrijft waarmee lucht zich door een doorlaatbaar medium kan voortbewegen.
Onverzadigde zone:	Zone in de bodem boven de grondwatertafel.
Oplosbaarheid:	Maat voor de maximale hoeveelheid van een product, die kan opgelost worden in water zonder een neerslag, drijflaag of zaklaag te vormen.
OVAM:	Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest.
Partitiecoëfficiënt:	Verdelingscoëfficiënt, die de verhouding van de gehalten van een stof in twee fasen in evenwicht aangeeft.
Persluchtinjectie:	Techniek waarbij - met behulp van onder de grondwaterspiegel geplaatste filters (persluchtinjectielansen) - lucht in de bodem wordt gebracht.
Persluchtinjectielans:	Filter langs waar lucht wordt geïnjecteerd onder de grondwatertafel.
pH:	Zuurtegraad.
PID:	Fotoionisatiedetector (Photo Ionization Detector).
Piloottest:	Praktijkproef in het veld op semi-praktijkschaal.
Porositeit:	Maat voor de hoeveelheid poriën in de bodem. Deze parameter wordt meestal uitgedrukt in volume-procenten.
Preferentiële stroming:	Proces waarbij grondwater of bodemlucht hoofdzakelijk via grote poriën of scheuren door de bodem stroomt.
Redoxpotentiaal:	Grootheid waarmee wordt aangegeven in welke mate elektronen beschikbaar zijn voor redoxreacties.
Stoomstrippen:	Techniek waarbij - met behulp van onder de grondwaterspiegel geplaatste filters - stoom in de bodem wordt aangebracht.
Terugsaneerwaarde:	Gehalte aan verontreinigde stoffen of organismen op of in de bodem, dat beoogd wordt te bereiken door de bodemsaneringswerken.

Veiligheidscoördinator:	Coördinator inzake veiligheid- en gezondheid zoals bedoeld in het Koninklijk Besluit van 25 januari 2001 betreffende de Tijdelijke of Mobiele Bouwplaatsen. Het KB maakt een onderscheid tussen een coördinator ontwerp (voor de ontwerpfase van het project) en een coördinator verwezenlijking (voor de uitvoering van de werken).
Veiligheids- en gezondheidsplan:	Het veiligheids- en gezondheidsplan omvat het document of het geheel van documenten dat de risico-analyse en de vast te stellen preventie-maatregelen bevat ter voorkoming van de risico's waaraan de werknemers kunnen blootgesteld worden. De definitie en inhoudelijke vereisten worden vastgelegd in het Koninklijk Besluit van 25 januari 2001 betreffende de Tijdelijke of Mobiele Bouwplaatsen. Het veiligheids- en gezondheidsplan wordt opgesteld door de veiligheidscoördinator tijdens de ontwerpfase van de werken en verder aangevuld tijdens de verwezenlijking van de werken.
Verzadigde zone:	Zone in de bodem verzadigd met grondwater.
VITO:	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek.
VLAREBO:	Het besluit van de Vlaamse regering van 5 maart 1996 houdende vaststelling van het Vlaams reglement betreffende de Bodemsanering (B.S., 27 maart 1996), herhaaldelijk gewijzigd.
Zaklaag:	Laag van organische (niet waterige) vloeistoffen (met een hogere dichtheid dan water) die op een slecht doorlatende laag onder de grondwaterspiegel ligt.

1.5 Lijst van afkortingen

AS:	Air sparging (persluchtinjectie)
°C:	Graden Celsius (temperatuur)
BLE:	Bodemluchtextractie
BTEXN:	Benzeen, tolueen, ethylbenzeen, xyleen en naftaleen
m:	Meter (afstand)
m-mv:	Meter beneden het maaiveld (diepte)
m/s:	Meter per seconde (grondwaterstromingssnelheid)
mmHg:	Millimeter kwikkolom (eenheid van druk)
mg/l:	Milligram per liter (concentratie)

PAK's:	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PCB's:	Polychloorbiphenyls
PLI:	Persluchtinjectie
ppb:	Parts-per-billion (concentratie)
ppm:	Parts-per-million (concentratie)
VGP:	Veiligheids- en gezondheidsplan
µg/l:	Microgram per liter (concentratie)

2. LITERATUURSTUDIE : BODEMLUCHTEXTRACTIE EN PERSLUCHTINJECTIE

2.1 Bodemluchtextractie

2.1.1 Techniek

2.1.1.1 Principe van bodemluchtextractie

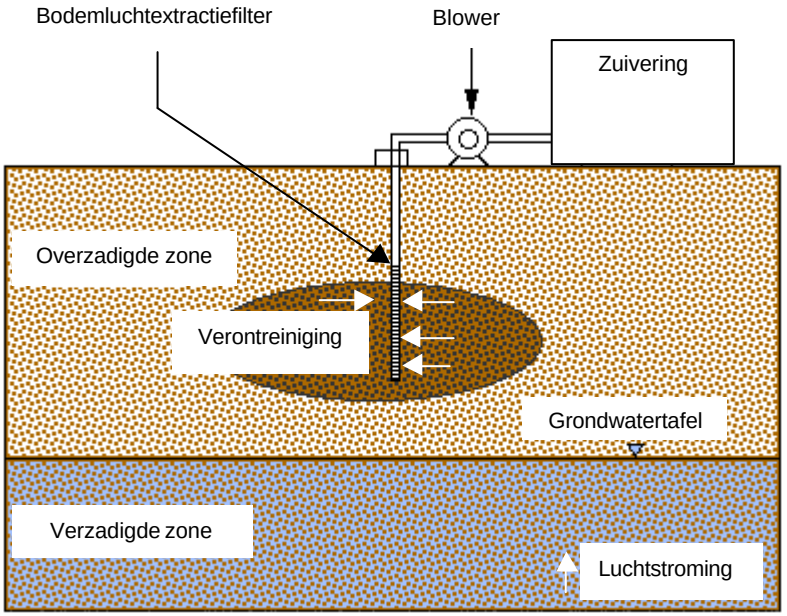
Bodemluchtextractie is een bodemsaneringstechniek waarbij bodemlucht aan de onverzadigde zone wordt onttrokken met behulp van verticale onttrekkingsfilters of horizontale drains en één of meerdere pompen. Door de onttrekking van bodemlucht worden vluchtige verbindingen uit de onverzadigde zone verwijderd en wordt schone (zuurstofrijke) lucht aangevoerd. Door de verlaging van de concentraties in de gasfase zal het evenwicht tussen de vloeibare fase (zowel het grondwater als het water rond de gronddeeltjes) en de gasfase zich opnieuw instellen, waarbij vluchtige verbindingen van de waterfase naar de gasfase migreren en bijgevolg de concentraties in de waterfase verlaagd worden. Door het steeds verversen van de bodemlucht kan op een dergelijke manier zowel de grond als het bovenste gedeelte van het grondwater gereinigd worden. Een bijkomend effect is dat de bodem wordt voorzien van zuurstof, wat de aërobe biodegradatie stimuleert.

Een typisch bodemluchtextractiesysteem bestaat uit één of meerdere verticale of horizontale extractiefilters voorzien van afsluitkleppen, een valse luchtinlaat, een condensatievat, een blower (ventilator) of vacuümpomp, het nodige leidingwerk, meetapparatuur (drukmeters en debietmeters) en bemonsteringskranen. De afgezogen lucht wordt bovengronds gereinigd met behulp van een actieve kool filter, een biofilter of katalytische oxidatie. Het maaiveld dient te zijn voorzien van een luchtondoorlatende afdekking of afdichting.

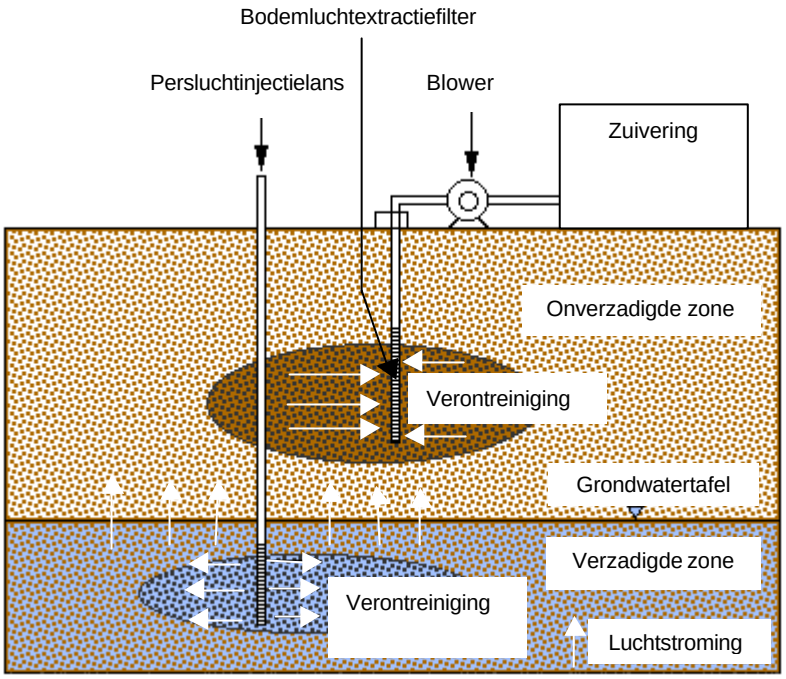
Het principe van bodemluchtextractie is weergegeven op Figuur 2.1.

Voor de behandeling van met vluchtige verbindingen verontreinigd grondwater wordt bodemluchtextractie in de onverzadigde zone toegepast in combinatie met persluchtinjectie in de verzadigde zone. De injectie van perslucht in het grondwater bevordert de vervluchtiging van in het grondwater opgeloste vluchtige verbindingen naar de onverzadigde zone, waar deze verbindingen kunnen worden opgevangen door de bodemluchtextractie-installatie (zie verder).

Het principe van bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie is weergegeven op Figuur 2.2.



Figuur 2.1. Principe bodemluchtextractie



Figuur 2.2. Principe bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie

2.1.2 Wanneer is bodemluchtextractie toepasbaar?

2.1.2.1 Bodemtype

Luchtdoorlatendheid

Het basisprincipe van bodemluchtextractie is het tot stand brengen van luchtstroming in de bodem. De doorlatendheid van de bodem is daarom één van de belangrijkste parameters. De doorlatendheid van de bodem is een verzamelparameter, die de samenhang van de porositeit, deeltjesgrootteverdeling, aanwezigheid van macroporiën en preferentiële stroombanen beschrijft. De overdrachtsprocessen in de bodem bij toepassing van bodemluchtextractie kunnen worden onderverdeeld in een aantal fasen:

Fase 1: De verontreiniging aanwezig in de bodemlucht wordt verwijderd. De concentratie in de onttrokken bodemlucht is hoog.
Fase 2: De verontreinigingen die beschikbaar zijn in de macroporiën en goed doorlatende lagen worden overgedragen aan de bodemlucht. Deze overdracht verloopt relatief snel.
Fase 3: De verontreinigingen die beschikbaar zijn in microporiën die kunnen worden doorstroomd, worden overgedragen. Deze overdracht verloopt relatief traag.
Fase 4: Verontreinigingen die gevangen zijn in microporiën die niet worden aangestroomd of zijn ingekapseld in aggregaten, moeten via diffusie worden overgedragen naar poriën die worden aangestroomd. Deze overdracht verloopt relatief zeer traag of helemaal niet.
Fase 5: Verontreinigingen die geadsorbeerd zijn aan de vaste bodemfase worden vervluchtigd (desorptie via de gasfase) naar de nabijgelegen microporiën door partiële drukverschillen vanwege de voorafgaandelijke verwijdering van de reeds in de microporiën aanwezige verontreiniging.

Uit het voorgaande kan reeds besloten worden dat de *homogeniteit en permeabiliteit van de bodem* alsook de *vluchtigheid van de verontreiniging* kritische parameters zijn voor de haalbaarheid van bodemluchtextractie.

Bodemluchtextractie is goed toepasbaar in bodems die (1) goed doorlatend zijn, dit wil zeggen waarbij de doorlatendheid (hydraulische conductiviteit) groter is dan 10^{-3} m/s, en (2) bovendien homogeen zijn. Ervaring in Vlaanderen leert echter dat bodemluchtextractie in een aantal gevallen ook toepasbaar is bij lagere doorlatendheden (10^{-3} - 10^{-7} m/s). Het spreekt voor zich dat de transportprocessen in dit laatste geval trager verlopen.

Een rondvraag bij een aantal Vlaamse aannemers van saneringswerken leert dat bodemluchtextractie in Vlaanderen goed toepasbaar is in zandige tot lemige bodems. De techniek is niet geschikt voor zware leem tot kleibodems.

Heterogeniteit van de bodem

Een goed doorlatende bodem alleen is geen garantie voor een optimaal bodemluchtextractieproces. Door heterogeniteit kunnen preferentiële stromingen optreden via krimpscheuren, wortel- en wormgangen en rond slecht doorlatende pakketten of lenzen, leidingen, riolen, oude grachten of kelders. Hierdoor wordt de bodem niet homogeen doorstroomd, waardoor slecht bereikbare lagen slechts via het langzame diffusieproces worden gereinigd. Kennis van het voorkomen van slecht doorlatende lagen of kleilenzen is daarom van groot belang voor het inschatten van de saneringsduur en de haalbare eindconcentratie.

Vochtgehalte

Daar de open ruimtes van de bodem die met water gevuld zijn niet kunnen worden doorstroomd met lucht, is het vochtgehalte van de bodem van invloed op de doorlatendheid van de bodem. Wanneer het vochtgehalte van de bodem echter te laag wordt, neemt de adsorptiecapaciteit van de bodem toe. Een relatieve luchtvochtigheid van de bodemlucht van 94 tot 98,5 procent wordt als optimaal gezien. Een te laag vochtgehalte remt bovendien de microbiologische activiteit in de bodem af.

Adsorptie

Een hoog organische stofgehalte heeft een negatief effect op de saneringsduur. Door de organische stof worden de verontreinigingen beter vastgehouden en zal het vrijkomen van de verontreiniging in de gasfase van de bodem langere tijd duren. Uit de literatuur blijkt dat zelfs bij lage gehalten organische stof (lager dan 1 procent), het grootste deel van de verontreiniging zich aan deze organische stof bindt (Hullegie en Lyman, 1994).

2.1.2.2 Aard van de verontreiniging

Belangrijke stofkarakteristieken

Het massatransport van de vluchtige verontreinigingen bij bodemluchtextractie wordt voornamelijk bepaald door de *dampspanning* en de *constante van Henry* van de aanwezige verbindingen.

De vervluchtigingsgraad van een verbinding stijgt met zijn dampspanning (Bilbao en D'Haene, 1998). De temperatuur heeft een grote invloed op de dampspanning van een product: de dampspanning stijgt drastisch met een temperatuurstijging. Voor de meeste organische producten stijgt de dampspanning met een factor 3 à 4 voor elke 10°C temperatuurstijging (Jury, 1986). Verhoging van de temperatuur door middel van stroomstrippen of injectie van hete lucht kan het toepassingsgebied van bodemluchtextractie verhogen. Er dient echter rekening te worden gehouden met de toename van adsorptie bij droge bodems.

Referentiewaarden voor dampspanning (Bilbao en D'Haene, 1998):

- Hoge dampspanning: > 0,5 mmHg; en
- Lage dampspanning: < 10^{-7} mmHg.

Een andere belangrijke fysische stofparameter die een indicatie is voor de mate van vervluchtiging is de constante van Henry (H_c). De constante van Henry geeft aan in welke fase (lucht of water) een bepaalde stof zich zal concentreren bij evenwicht. Producten met een hoge constante van Henry (dimensieloze $H_c > 10^{-2}$) komen in aanmerking voor verwijdering via bodemluchtextractie en persluchtinjectie. Voor een product met een dimensieloze H_c kleiner dan 10^{-3} is de neiging tot vervluchtiging zeer gering. De constante van Henry neemt met ongeveer een factor 1,6 toe bij een temperatuursverhoging van 10°C (Petersen, 1991).

Voor een groot aantal producten zijn de dampspanningswaarde en de constante van Henry beschikbaar in de literatuur. Goede referenties ter zake zijn het 'Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals' en de 'Material Environmental Data Sheets' van Karel Verschueren (Verschueren, 1996) en het 'Praktijkboek Milieu en Bedrijf' uitgegeven door Kluwer Editorial in 1998.

Andere stofparameters die het bodemluchtextractieproces beïnvloeden zijn de octanol-water partitiecoëfficiënt (K_{ow}) en de oplosbaarheid in water (S).

In de volgende tabel wordt per groep van polluenten de toepasbaarheid van bodemluchtextractie weergegeven (USEPA, 1995).

Polluentgroep		Voorbeeld	Toepasbaarheid
Organische stoffen **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			

Tabel 2.1. Overzicht van de toepasbaarheid van bodemluchtextractie voor verschillende polluentgroepen

2.1.2.3 Bodemluchtextractie in niet optimale omstandigheden

Te hoge grondwaterstand

Bodemluchtextractie vindt plaats in de onverzadigde zone. In het geval van een (periodiek) te hoge grondwatertafel (hoger dan 1 m-mv) is de onverzadigde zone (periodiek) te klein om bodemluchtextractie mogelijk te maken. Bovendien wordt de kans groot dat beschadiging optreedt aan de bodemluchtextractie-installatie (meer bepaald aan de blower/vacuümpomp en de luchtzuivering) door de opzuiging van water.

Door het aanbrengen van een grondwateronttrekking kan artificieel de onverzadigde zone worden vergroot en wordt de ruimte gecreëerd om van bodemluchtextractie een haalbaar saneringsalternatief te maken.

In het geval van bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie zal onder invloed van een tijdelijk verhoogde watertafel de onttrokken luchthoeveelheid verminderen bij een gelijk gebleven persluchtinjectie. Dit proces kan leiden tot ongecontroleerde emissies naar de omgevingslucht.

Sterk gelaagde bodem

In geval van een sterk gelaagde bodem dienen – om te vermijden dat slecht doorlatende lagen niet worden bereikt – filters per laag te worden voorzien. Dit laat toe om de sanering laag per laag bij te sturen.

Aanwezigheid drijf- of zaklaag

Indien een drijf- of zaklaag wordt aangetroffen, dient deze meestal vooraf te worden verwijderd. De hoge concentratie aan verontreiniging in de drijf- of zaklaag resulteert in een lange nalevering en bijgevolg een lange saneringsduur. De aanwezigheid van de drijf- of zaklaag leidt bovendien tot hoge concentraties in de afgezogen lucht wat op zijn beurt kan leiden tot explosiegevaar. Om explosiegevaar tegen te gaan is een bodemluchtextractie-installatie uit veiligheidsoverwegingen voorzien van een valse luchtinlaat waarmee - in geval van te hoge concentraties in de onttrokken bodemlucht - zuivere omgevingslucht kan worden bijgemengd/aangezogen.

Indien een drijf- of zaklaag aanwezig is, kan het gebruik van gecombineerde twee-fasefilters een uitweg bieden. Met deze filters kan tegelijkertijd drijflaag- en grondwaterverwijdering worden gerealiseerd en bodemlucht onttrokken.

Selectief afgraven

Wanneer zones met hoge concentraties aan verontreiniging (puur product) worden aangetroffen, zones die of sterk adsorberend zijn, of weinig doorlatend, of beide, kan de mogelijkheid worden overwogen om deze zones selectief af te graven. Hierdoor wordt voorkomen dat het grootste deel van de bodem is gezuiverd, maar dat deze zones met hoge concentraties nog gedurende lange tijd verontreiniging naleveren. Selectief afgraven kan zo leiden tot een aanzienlijke inkorting van de saneringsduur.

2.1.3 Voordelen en beperkingen

Voordelen

+ In-situ extractie van vluchtige organische verbindingen uit de bodem.
+ Minimale verstoring van de activiteiten op het terrein.
+ Relatief eenvoudige installatie.
+ Kan relatief eenvoudig worden gecombineerd met andere technologieën (persluchtinjectie, stoomstrippen, tweefasenextractie, pump & treat). Een bodem-

luchtextractiesysteem kan in een latere fase van het saneringsproces ook worden gebruikt als bioventingsysteem.
+ Kan worden aangebracht onder bebouwing.
+ De afvalstroom is beperkt tot (a) reiniging van de afgassen en (b) zuivering van het water uit het condensatievat.

Beperkingen

– De techniek is enkel toepasbaar voor vluchtige verbindingen of biologisch afbreekbare verbindingen (bioventing).
– Bodemluchtextractie zal zelden alle verontreiniging verwijderen omwille van de diffusieweerstand van de bodem.
– De techniek werkt het beste in homogene, goed tot matig permeabele gronden. De efficiëntie is lager in bodems met lage permeabiliteit of in sterk heterogene bodems. De efficiëntie is sterk afhankelijk van de gelaagdheid van de bodem.

2.2 Persluchtinjectie & bodemluchtextractie

2.2.1 Techniek

Persluchtinjectie is de techniek waarbij met behulp van onder de grondwaterspiegel geplaatste filters (persluchtinjectielansen) perslucht in de bodem wordt gebracht.

Door toepassing van persluchtinjectie onder de grondwaterspiegel worden de in het water opgeloste vluchtige verbindingen naar de luchtfase verdreven. Bovendien wordt zuurstof in het grondwater opgelost, wat aërobe biodegradatie stimuleert.

Een typisch persluchtinjectiesysteem bestaat uit één of meerdere horizontaal of verticaal geplaatste injectiefilters voorzien van afsluitkleppen en een compressor.

Wanneer het aanleggen van een overdruk wordt toegepast, zoals in het geval van persluchtinjectie, bestaat de kans dat de verontreinigde bodemlucht ongecontroleerd kan migreren, dat kanalen van preferentiële stroming ontstaan of dat zelfs de bodem openbarst. Daarom dient een persluchtinjectiesysteem *steeds* te worden gecombineerd met een bodemluchtextractiesysteem. Als vuistregel geldt dat het onttrokken luchtdebiet minstens gelijk moet zijn aan het geïnjecteerde debiet. Het principe van bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie is reeds weergegeven op Figuur 2.2.

Naast ongecontroleerde migratie van verontreiniging via de luchtfase, is onder invloed van persluchtinjectie ook ongecontroleerde laterale verspreiding van verontreiniging in het grondwater mogelijk. Om na te gaan of de injectie van perslucht geen laterale verspreiding van verontreiniging in het grondwater veroorzaakt, dient ook de grondwaterkwaliteit te worden opgevolgd ter hoogte van de behandelingszone, d.i. zowel ter hoogte van het injectiepunt als aan de rand van de behandelingszone.

2.2.2 Wanneer is persluchtinjectie toepasbaar?

2.2.2.1 Bodemtype

Er kan gesteld worden dat bodems die voldoen aan de criteria voor bodemluchtextractie ook voldoen aan de criteria voor persluchtinjectie. Het is belangrijk op te merken dat lagen of lenzen met een lage doorlatendheid een barrière vormen voor het omhoog gerichte transport van de geïnjecteerde lucht, wat resulteert in een slechte doorstroming van het bodempakket. Deze storing van het verticale luchttransport door een zone van lage doorlatendheid heeft bovendien tot gevolg dat – onder invloed van persluchtinjectie – de verontreiniging mogelijk lateraal (horizontaal) verspreid wordt. Indien een laterale

verspreiding verwacht wordt, zou de verontreinigde zone vooraf kunnen worden geïsoleerd. Omwille van praktische en economische redenen is de isolatie van de verontreinigde zone bij persluchtinjectie in de praktijk echter weinig of niet haalbaar.

Het grondwater dient zich minimum 1 m onder het maaiveld te bevinden. Een hogere grondwaterstand maakt het afvangen van de bodemlucht via bodemluchtextractie onmogelijk (zie hoger). Men moet tevens rekening houden met een zekere grondwaterstandstijging ten gevolge van de persluchtinjectie. Meestal wordt perslucht geïnjecteerd in een discontinu regime (intermitterende injectie).

2.2.2.2 Aard verontreiniging

Er kan gesteld worden dat verontreinigingen die voldoen aan de criteria voor bodemluchtextractie ook voldoen aan de criteria voor persluchtinjectie.

In de Verenigde Staten werd persluchtinjectie reeds succesvol toegepast voor de sanering van grondwaterverontreinigingen met PAK's (EPA, 1998).

Bij persluchtinjectie in de buurt van kelders, riolen of leidinggoten dient de invloed van deze structuren op het stromingspatroon van de bodemlucht te worden nagegaan. Onder invloed van persluchtinjectie kunnen de vluchtige verbindingen accumuleren in deze structuren tot concentraties die resulteren in een blootstellings- en/of explosierisico.

2.2.3 Voordelen en beperkingen

Voordelen

+ De techniek is bruikbaar voor de extractie van vluchtige verbindingen en een reeks halfvluchtige verbindingen uit het grondwater.
+ Versterkt het effect van bodemluchtextractie.
+ Minimale verstoring van de activiteiten op het terrein.
+ Relatief eenvoudige installatie.

Beperkingen

– Het effect van de techniek is beperkt in heterogene bodems of bodems met een lage permeabiliteit.
– De efficiëntie van de techniek daalt door de aangroei van biomassa ter hoogte van de persluchtinjectielansen.
– Indien het systeem fout gedimensioneerd wordt en/of onvoldoende opgevolgd wordt, kan de injectie van perslucht laterale verspreiding van de verontreiniging in het grondwater veroorzaken of ongecontroleerde migratie van de verontreiniging naar de omgevingslucht of ondergrondse structuren (kelders, leidinggoten) veroorzaken, met een mogelijk explosie- en/of blootstellingsrisico tot gevolg.
– Pilootproeven kunnen noodzakelijk zijn, vooral voor grotere of complexere verontreinigingen in heterogene bodems of onder gebouwen.

2.3 Haalbaarheidsonderzoek voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie

2.3.1 Benodigde parameters

De belangrijkste criteria voor de selectie van bodemluchtextractie (en persluchtinjectie) als saneringsalternatief zijn:

1. De vluchtigheid van de verontreiniging;
2. De (lucht-)doorlatendheid van de bodem; en
3. De toestand van het te saneren terrein (aanwezige bebouwing, kelders, leidingen en ondoorlaatbare verharding).

De haalbaarheid van bodemluchtextractie zal bijgevolg worden geëvalueerd aan de hand van 3 soorten parameters:

1. Eigenschappen van de verontreiniging;
2. Eigenschappen van de bodem; en
3. Terreinparameters.

2.3.1.1 Verontreinigingsparameters: aard en omvang van de verontreiniging

Er dient te worden nagegaan of de chemische karakteristieken van de verontreiniging bodemluchtextractie en/of persluchtinjectie toelaten. Verder dient te worden nagegaan of ook verontreiniging aanwezig is die niet met bodemluchtextractie of persluchtinjectie kan worden verwijderd. Hierbij wordt gedacht aan bijvoorbeeld (zwaardere) PAK's, zware metalen of PCB's. Hoger in dit rapport (tabel 2.1) werd reeds een overzicht gegeven van verbindingen waarvoor bodemluchtextractie (en persluchtinjectie) mogelijk is.

Er dient te worden nagegaan of er drijf- of zaklagen aanwezig zijn. Zowel uit de literatuur als de praktijk blijkt dat drijflaag in de onverzadigde zone in competitie treedt met bodemlucht en water voor porieruimte, wat resulteert in een lagere luchtpermeabiliteit. Verder dient een drijf- of zaklaag te worden beschouwd als een blijvende bron van verontreiniging. Indien een zaklaag aanwezig is, kan het aanwenden van persluchtinjectie het migratierisico uitgaande van de verontreiniging vergroten en zijn bijkomende maatregelen nodig om de migratie tegen te gaan (bijvoorbeeld hydraulische controle of een biologisch luchtinjectiescherm).

Naast de aard van de verontreiniging is het ook van groot belang om de omvang en de vuilvracht (massa) van de verontreiniging in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone voldoende te karakteriseren. De diepte en het volume van de verontreiniging hebben een grote invloed op het effect en het ontwerp van bodemluchtextractie en/of persluchtinjectiesystemen. In het geval dat de verontreiniging beperkt is tot de oppervlakte, zijn er mogelijk betere (snellere en efficiëntere) technieken beschikbaar (bijvoorbeeld ontgraven). In het geval de verontreiniging voornamelijk gesitueerd is in de verzadigde zone dient bodemluchtextractie te worden gecombineerd met persluchtinjectie.

Het spreekt voor zich dat de omvang (volume en massa) van de verontreiniging direct het ontwerp beïnvloedt: het aantal onttrekkingspunten, het aantal injectiepunten, de capaciteit van de blowers/vacuümpompen en de benodigde afgasbehandeling.

2.3.1.2 Bodemeigenschappen

De volgende tabel geeft een overzicht van de bodemfysische, bodemchemische en bodembiologische gegevens, die volgens het United States Army Corps of Engineers (USACE) nodig zijn om de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie in te schatten (USACE, 1995).

Parameter	Collectiemethode	Analysemethode
Permeabiliteit van de bodem (voor lucht)	In-situ of onverstoord bodemstaal met een diameter van 50 tot 75 mm	Permeabiliteitstest in het laboratorium.
Stratigrafie / heterogeniteit	Boring	Veldwaarneming; Breckenridge, Williams and Keck (1991); USEPA (1991)
Korrelverdeling	Bodemstaal	ASTM D422-63
Porositeit	Onverstoord bodemstaal met een diameter van 50 tot 75 mm	Berekend van de droge bulkdensiteit en partikeldensiteit
Droge bulk densiteit	Onverstoord bodemstaal met een diameter van 50 tot 75 mm	ASTM D2850
Gehalte organische stof	Bodemstaal	EPA Methode 415.1; Churcher en Dickhout (1989)
Vochtigheidsgraad	Metingen met neutronensonde Tensiometers Onverstoord bodemstaal met een diameter van 50 tot 75 mm	Neutronensonde (Gardner, 1986) Cassel and Klute (1986) ASTM D22 16-92
Waterretentiecurve	Onverstoord bodemstaal met een diameter van 50 tot 75 mm	Kolomproef in laboratorium
Diepte tot het grondwater en seizoensgebonden variatie	Periodieke grondwaterstandsmetingen	Waterniveaumeter
Concentratie aan verontreiniging in de bodemlucht	Meting bodemlucht	ASTM D3416-78
Concentratie aan O_2 in de bodemlucht	Meting bodemlucht	Draagbare meter (elektrochemische cellen)
Concentratie aan CO_2 in de bodemlucht	Meting bodemlucht	Draagbare meter (infrarood adsorptie methode)
Microbiële respiratie	Meting bodemlucht	Hinchee et al. (1992)
Heterotrofe bacteriële telling op plaat	Bodemstaal	EPA Methode 600/8-78-017
Micro-organismen die koolwaterstoffen afbreken	Bodemstaal	EPA Methode 600/8-78-017
PH	Bodemstaal	EPA methode 9040 of 9045
Nitraat/nitriet-stikstof	Bodemstaal	EPA Methode 353.2
Ammonium-stikstof	Bodemstaal	EPA Methode 350.2
Kjeldahl-stikstof	Bodemstaal	EPA Methode 351.3
Totaal en orthofosfaat	Bodemstaal	EPA Methode 365.2

Tabel 2.2. Checklist van bodemfysische, bodemchemische en bodembiologische gegevens

In Vlaanderen dienen voor de analysen in het kader van een bodemsaneringsproject zoveel mogelijk de door de OVAM ter beschikking gestelde procedures te worden gevolgd. Voor concrete informatie inzake de parameters in Tabel 2.2 wordt daarom verwezen naar o.a. het Afvalstoffenanalyse-compendium (OVAM-VITO, 1996).

2.3.1.3 Terreinparameters

Grondbedekking

De aard van de grondbedekking heeft een grote invloed op de efficiëntie van een bodemluchtextractiesysteem. Een impermeabele oppervlaktebedekking (folie, asfalt,

betonbedekking) zal de door het bodemluchtextractiesysteem geïnduceerde luchtstroming versterken en de invloedstraal van het bodemluchtextractiesysteem verhogen. Een doorlaatbare oppervlaktebedekking (klinkers, keien, grindlaag) daarentegen laat toe dat onder invloed van door het bodemluchtextractiesysteem aangelegde onderdruk, te veel atmosferische lucht in de bodem wordt aangezogen, wat resulteert in lekstromen en een lagere efficiëntie van het systeem. Indien een bestrating aanwezig is op de te saneren locatie, dient zijn integriteit te worden gecontroleerd. Hiervoor kunnen met behulp van een drukmeter drukmetingen worden uitgevoerd ter hoogte van scheuren. Mogelijke scheuren dienen te worden afgedicht. Specifiek dient hier aandacht te worden besteed aan de aanwezigheid van peilbuizen. Indien deze slecht afgedicht zijn ter hoogte van het maaiveld, kunnen via deze weg mogelijk lekstromen en ongecontroleerde emissies optreden.

Aanwezigheid van funderingen en gebouwen

De aanwezigheid van gebouwen of funderingen kan resulteren in preferentiële luchtstroming, waardoor bepaalde zones niet kunnen worden bereikt met het systeem. Bovendien bepaalt de aanwezigheid van gebouwen en funderingen in grote mate ook het finale design (beperkte installatiemogelijkheden) en de kostprijs.

Aanwezigheid van nutsvoorzieningen

In een aantal gevallen kan de aanwezigheid van riolen, leidinggoten of vulmateriaal resulteren in kortsluiting van luchtstroming gegenereerd door een bodemluchtextractiesysteem, wat resulteert in preferentiële luchtstroming van de verontreiniging langsheen deze structuren. Bovendien vormen deze structuren mogelijk migratieroutes van drijflagen en dampen in de onverzadigde zone. Persluchtinjectie in de buurt van kelders en leidinggoten kan resulteren in de migratie van dampen naar deze ondergrondse structuren met een mogelijk explosie- of blootstellingsrisico tot gevolg.

2.3.2 Beschikbare checklists voor de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie

Checklist uit Nederland

In het Handboek Bodemsaneringstechnieken (RIVM, 1995) wordt de volgende checklist weergegeven van gegevens die beschikbaar moeten zijn om de toepasbaarheid van bodemluchtextractie vast te kunnen stellen.

De gegevens kunnen worden onderverdeeld in 3 groepen:

1. Gegevens inzake de aard en omvang van de verontreiniging;
2. Bodemparameters; en
3. Terreinspecifieke gegevens.

Categorie	Parameter
1. Verontreinigingssituatie	Aanwezigheid en aard puur product Horizontale en verticale heterogeniteit (hot spots) Fysische parameters verontreinigingen: - Dampspanning; - Constante van Henry; - Octanol/water coëfficiënt Verdamping naar de onverzadigde zone / concentraties in de bodemlucht Biologische afbreekbaarheid van verontreinigingen Tijdsduur sinds het begin van de verontreiniging Positie verontreiniging t.o.v. grondwater
2. Bodemopbouw	Positie van slecht doorlatende lagen Voorkomen van preferente stromingsroutes Verhouding van doorlatendheid van bodemlagen

Categorie	Parameter
	Adsorptie/desorptiecapaciteit Vochtgehalte Fractie organische stof Korrelgrootteverdeling
3. Bodemchemie	Aanwezigheid nutriënten pH, redoxpotentiaal, elektrisch geleidingsvermogen Beschikbaarheid van de verontreiniging
4. Bodemmechanica	Porositeit
5. Bodemhydrologie	Stijghoogten, variaties in tijd en ruimte Verspreiding via het grondwater bij persluchtinjectie
6. Luchtdoorlatendheid van de bodem	Pneumatische doorlatendheid
7. Omgevingsfactoren	Aanwezigheid bebouwing Aanwezigheid grondwateronttrekking Aanwezigheid kabels, leidingen of leidinggoten Aanwezigheid funderingen en/of kruipruimtes Aanwezigheid vloeistofdichte vloeren

Tabel 2.3. Checklist van gegevens die beschikbaar moeten zijn om de toepasbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie te kunnen vaststellen (RIVM, 1995).

Deze checklist is relatief uitgebreid. Vanuit praktisch oogpunt kunnen een aantal parameters worden gegroepeerd. Zo is de luchtdoorlatendheid van de bodem een somparameter, die de samenhang van de bodemtextuur, porositeit, korrelgrootteverdeling, adsorptie/desorptiecapaciteit, vochtgehalte, fractie organische stof, aanwezigheid van macroporiën, preferentiële stroombanen en het voorkomen van slecht doorlatende lagen beschrijft.

De berekening van de luchtdoorlatendheid is een omslachtig proces. In de praktijk wordt daarom de hydraulische conductiviteit of doorlaatbaarheid van de bodem – een relatief eenvoudig te bepalen parameter – gebruikt als maat voor de luchtdoorlatendheid van de bodem.

Voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie zijn de aanwezigheid van nutriënten en de biologische afbreekbaarheid van de verontreiniging parameters van ondergeschikt belang. De aanwezige nutriënten en de mate van natuurlijke afbraak zijn echter wel cruciaal voor de keuze van de saneringstechniek.

De in de bovenstaande tabel weergegeven parameters of afgeleide somparameters kunnen relatief eenvoudig in het beschrijvend bodemonderzoek of in de literatuur worden teruggevonden.

Checklist uit de Verenigde Staten

Het Wyoming Department of Environmental Quality (WDEQ) maakt gebruik van de volgende checklist om na te gaan in hoeverre *bodemluchtextractie* een aanvaardbaar saneringsalternatief is.

Parameters	Ja/Neen
1. Factoren die bijdragen tot permeabiliteit van de bodem:	
1.1 Er zijn geen kleigronden aanwezig in de onverzadigde zone.	
1.2 Het grondwater zit dieper dan 1 m-mv.	
1.3 Het vochtgehalte van de bodem is g <10%.	
1.4 De bodem is vrij van impermeabele kleilenzen of andere structuren die mogelijk de luchtcirculatie bemoeilijken.	
2. Factoren die bijdragen tot de vluchtigheid van de verbinding:	
2.1 De te saneren verontreiniging bestaat voornamelijk uit vluchtige al dan niet gehalogeneerde organische verbindingen.	

Parameters	Ja/Neen
2.2 De verontreiniging met petroleumproducten bestaat voornamelijk uit andere verbindingen dan minerale olie. (Voor bijvoorbeeld een verontreiniging met smeerolie is het antwoord 'neen' en is bodemluchtextractie geen haalbaar saneringsalternatief.)	
2.3 Dampspanning > 0,5 mmHg.	
2.4 Henry constante > 100 atm/molfractie.	
2.5 Kookpunt < 300°C.	
2.6 Oplosbaarheid in water < 100 mg/l.	

Tabel 2.4. Checklist van gegevens die beschikbaar moeten zijn om de toepasbaarheid van bodemluchtextractie te kunnen vaststellen (WDEQ, 1999)

Deze checklist dient te worden opgevat als een reeks van stellingen:

- Is de stelling van toepassing op de site, antwoordt men 'ja'.
- Is de stelling niet van toepassing op de site, antwoordt men 'neen'.
- Heeft men geen informatie, antwoordt men '?'.

Indien het antwoord op alle vragen 'ja' is, kan bodemluchtextractie weerhouden worden als mogelijk saneringsalternatief.

Indien het antwoord op één of meerdere vragen 'neen' of '?' is, dient meer informatie te worden ingewonnen om de haalbaarheid van de techniek na te gaan. Dit kan gebeuren door verdere studie van het terrein, door modellering, door het uitvoeren van een piloottest of door een combinatie van deze studiemogelijkheden.

Het WDEQ maakt gebruik van de volgende checklist om na te gaan in hoeverre *bodemluchtextractie met persluchtinjectie* een aanvaardbaar saneringsalternatief is.

Parameters	Ja/Neen
1. Terreinspecifieke parameters	
1.1 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	
1.1.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	
1.2 Er zijn geen kelders, riolen, leidinggoten of andere begrensde ruimten aanwezig.	
1.2.1 Wordt bodemluchtextractie overwogen om de migratie van dampen en gassen onder controle te houden?	
1.3 Is de verontreinigde grond/grondwater gelokaliseerd ter hoogte van een freatische aquifer?	
2. Factoren die bijdragen tot permeabiliteit van de bodem:	
2.1 Er zijn geen kleilagen aanwezig.	
2.2 De hydraulische conductiviteit > 10^{-5} cm/s.	
2.3 De bodem is vrij van impermeabele kleilenzen of andere structuren die mogelijk de luchtcirculatie bemoeilijken.	
2.4 De concentratie aan opgelost ijzer < 5 mg/l.	
3. Factoren die bijdragen tot de vluchtigheid van de verbinding:	
3.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige of semi-vluchtige organische verbindingen.	
3.2 De verontreiniging met petroleumproducten bestaat voornamelijk uit andere verbindingen dan minerale olie. (Voor bijvoorbeeld een verontreiniging met smeerolie is het antwoord 'neen' en is persluchtinjectie en bodemluchtextractie geen haalbaar saneringsalternatief.)	
3.3 Dampspanning > 0,5 mmHg.	
3.4 Henry constante > 100 atm/molfractie.	
3.5 Kookpunt < 300°C.	

Tabel 2.5: Checklist van gegevens die beschikbaar moeten zijn om de toepasbaarheid van bodemluchtextractie met persluchtinjectie te kunnen vaststellen (WDEQ, 1999)

Hoewel deze WDEQ-checklists minder uitgebreid zijn dan de RIVM checklist, bevatten ze een toetsing van de relevantste parameters. De WDEQ gebruikt deze checklist als eerste haalbaarheidstest.

2.4 MONITORING EN CONTROLE VAN EEN SANERING DOOR BODEMLUCHTEXTRACTIE EN/OF PERSLUCHTINJECTIE

Om de werking van het bodemluchtextractiesysteem en de voortgang tijdens de sanering te volgen, wordt een monitoringprogramma opgesteld. De volgende tabel geeft een overzicht van welke systeem- en verontreinigingsparameters dienen te worden opgevolgd.

Parameter	Meetmethode
1. Debiet per filter	Debietmeters op installatie
2. Onderdruk/overdruk per filter	Drukmeters op installatie
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal	PID/drägerbuisjes/actievekoolbuisjes
4. Concentraties in de bodemlucht in de onverzadigde zone	PID/drägerbuisjes/actievekoolbuisjes
5. Concentraties verontreiniging in de grond en het grondwater	Grond(water)staalname en analyse
6. Grondwaterstand	Grondwaterstandsmeter
7. Analyse influent en effluent luchtzuivering	PID/drägerbuisjes/actievekoolbuisjes
8. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	PID/drägerbuisjes/actievekoolbuisjes

Tabel 2.6. Overzicht van monitoringparameters voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie (RIVM, 1995)

In de volgende paragrafen wordt het belang van de verschillende parameters verder toegelicht:

1. Debiet per filter

Wijzigingen in debiet kunnen wijzen op lekken in het systeem of de vorming van kanalen van preferentiële doorstroming (te hoog debiet) of verstoppingen in het systeem (te laag debiet). Voor kleinere, eenvoudige saneringen volstaat vaak een debietmeter op de collectorleiding. Debieten kunnen dan nog handmatig gemeten worden ter hoogte van de manifolds.

2. Onderdruk/overdruk per filter

Wijzigingen in druk kunnen wijzen op lekken in het systeem (drukverliezen) of verstoppingen in het systeem (ontstaan van te hoge onderdruk).

3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal

Deze parameters zijn van belang om het rendement van de verschillende filters na te gaan. Indien blijkt dat de concentratie in één of meerdere filters daalt, kan deze filter worden stilgelegd om een nieuw evenwicht in de bodemlucht ter hoogte van de filter te laten ontstaan. Vaak volstaat een indicatieve meting (PID, multigasmeter of Drägerbuisjes) per filter en wordt van het totale influent één chemische analyse uitgevoerd op een actievekoolbuisje. Het is echter aangewezen om de onttrokken lucht steeds te bemonsteren aan de hand van actievekoolbuisjes.

4. Concentraties in de bodemlucht in de onverzadigde zone

Dit is een parameter om de efficiëntie van de sanering na te gaan. Voor de bemonstering van bodemlucht dient de OVAM standaardprocedure te worden gevolgd.

5. Concentraties verontreiniging in de grond en het grondwater

Het verloop van de concentraties aan verontreinigende stoffen in de grond en het grondwater is één van de belangrijkste monitoringparameters. De sanerings-doelstellingen of terugsaneerwaarden worden namelijk meestal geformuleerd onder de vorm van te bereiken grond- en grondwaterconcentraties. De sanering dient een algehele afname van de polluentconcentraties in grond en/of het grondwater tot aan de respectievelijke terugsaneerwaarden te bewerkstelligen. De terugsaneerwaarde is meestal een concentratie beneden de bodemsaneringsnorm en is in het beste geval de achtergrondwaarde. Meestal zal de terugsaneerwaarde zich echter tussen de achtergrondwaarde en de bodemsaneringsnorm situeren. Het is dus van groot belang om tijdens een sanering het verloop van de grond- en/of grondwaterconcentraties in zowel tijd en ruimte op te volgen. Indien de concentraties dalen in de tijd in alle peilbuizen, wijst dit op polluentverwijdering en een succesvolle benadering van de sanering. Indien echter blijkt dat bijvoorbeeld de polluentconcentraties in de kern dalen, maar aan de rand van de verontreiniging stijgen, wijst dit op een verdere verspreiding van de verontreiniging en dient het saneringsconcept te worden herzien. Vaak zullen de grondwaterconcentraties initieel stijgen - door de vrijzetting van puur product vanuit de vaste fase in de waterfase - om pas later te dalen.

6. Grondwaterstand

Het is belangrijk de grondwaterstand regelmatig te meten. Vooral bij een ondiepe grondwatertafel bestaat de mogelijkheid dat - onder invloed van bodemluchtextractie of persluchtinjectie - het grondwaterniveau omhoog gestuwd wordt en dat grondwater de extractiefilters bereikt, waardoor de installatie wordt beschadigd en dient te worden stilgelegd. Verder dient ook rekening te worden gehouden met seizoenale schommelingen van de grondwatertafel of wijzigingen in de locale hydrogeologie (bijvoorbeeld het stilleggen van een nabijgelegen grondwaterwinning). In het geval van bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie zal onder invloed van een tijdelijk verhoogde watertafel de onttrokken luchthoeveelheid verminderen bij een gelijk gebleven persluchtinjectie. Dit proces kan leiden tot ongecontroleerde emissies naar de omgevingslucht.

7. Analyse influent en effluent luchtzuivering

Het in- en effluent van de luchtzuivering dient te worden bemonsterd om:

1. De hoeveelheid verwijderde vuilvracht te berekenen (debiet x duur x concentratie);
2. Om na te gaan wanneer de actieve kool dient te worden vervangen of geregenereerd (in geval van een luchtzuivering met actieve kool); en
3. Te controleren dat er geen emissie van verontreiniging is naar de omgevingslucht.

8. Polluentconcentraties in de omgevingslucht

Deze parameter is belangrijk om na te gaan of het systeem geen lekken naar de omgevingslucht vertoont met mogelijk explosie- en/of blootstellingsgevaar tot gevolg.

9. Verwijderde vuilvracht per periode en cumulatief

Deze parameter is belangrijk om een idee te krijgen van de vordering van de sanering. De schatting van de initiële hoeveelheid in de grond en/of in het grondwater opgeloste verontreiniging (uit het beschrijvend bodemonderzoek) dient te worden vergeleken met de hoeveelheid reeds verwijderde vuilvracht.

10. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool

Aan de hand van de som van de totale hoeveelheid afgevoerde actieve kool, kan worden berekend hoeveel verontreiniging reeds werd verwijderd. Dit is een relatief eenvoudige controleschatting op de reeds hoger berekende hoeveelheid verwijderde vuilvracht.

11. IJzer- en mangaanconcentraties in het grondwater

Door de toepassing van bodemluchtextractie wordt de zuurstofconcentratie in het grondwater verhoogd, wat oxidatie van het in het grondwater opgelost ijzer en mangaan tot gevolg heeft. In geval bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie plaatsvindt, kan zich ijzer- en mangaanoxide afzetten ter hoogte van de injectiefilters met verstopping van de filters tot gevolg. In het geval dat bodemluchtextractie in combinatie met grondwateronttrekking plaatsvindt, kan zich ijzer- en mangaanoxide afzetten ter hoogte van de pompen of de waterzuivering van het grondwater-onttrekkingssysteem, met vastlopen van de pompen of verstopping tot gevolg.

3. PROCEDURE VOOR HAALBAARHEIDSONDERZOEK

3.1 INLEIDING

3.1.1 Doelstellingen van een haalbaarheidsonderzoek

Met een haalbaarheidsonderzoek wordt een antwoord gezocht op de vraag of een bepaalde technologie zal werken voor een bepaald terrein. Deze vraag kan worden opgesplitst in een aantal deelvragen:

1. Laten de aard van de verontreiniging en de aard van het terrein die bepaalde techniek toe?
2. Welke saneringsdoelstellingen kunnen worden bereikt met deze techniek op welke termijn?
3. Wat zijn de optimale procescondities?
4. Bestaat er een risico voor verdere verspreiding?
5. Wordt mogelijk extra blootstelling gecreëerd? Zo ja, welke bijkomende maatregelen dienen te worden genomen? Is de techniek dan nog een valabel alternatief?

Via deze procedure wordt een antwoord geformuleerd op elk van de 3 hoger gestelde vragen.

1. Aan de hand van een *checklist* en een *beslisschema*, waarin de benodigde polluentspecifieke, bodemspecifieke en terreinspecifieke beoordelings-parameters zijn opgenomen, zal worden nagegaan in hoeverre de aard van de verontreiniging en de aard van het terrein bodemluchtextractie en persluchtinjectie toelaten.
2. Door het uitvoeren van een *piloottest* en/of *modellering* kan een inschatting van de te bereiken terugsaneerwaarden worden berekend.
3. Door het uitvoeren van een *piloottest* kunnen in zekere mate de optimale procescondities worden bepaald. In de praktijk wordt de installatie tijdens de opstart en het verloop van de sanering nog bijgeregeld waar nodig.

3.1.2 Situering van het haalbaarheidsonderzoek

Men kan het haalbaarheidsonderzoek als volgt situeren in de chronologie van het bodemsaneringsproject (naar D'Haene et al, 2000):

1. Beschrijvend bodemonderzoek;
2. Opstellen van het bodemsaneringsproject;
   - Screening van de beste beschikbare technieken;
   - *Haalbaarheidsonderzoek;*
   - *Piloottesten;*
   - Evaluatie van de beste beschikbare technieken;
3. Indiening bodemsaneringsproject bij de OVAM;
4. Beoordeling bodemsaneringsproject door de OVAM;
5. Implementatie;
6. Procesopvolging + voortgangsrapportage;
7. Oplevering van de sanering;
8. Eindevaluatieonderzoek; en
9. Nazorg.

Het is belangrijk om reeds in een vroege fase van het saneringstraject een haalbaarheidsonderzoek te voorzien. Zo kunnen bijvoorbeeld reeds tijdens het beschrijvend bodemonderzoek de gegevens nodig voor het haalbaarheids-onderzoek worden bepaald. Dit spaart veldwerkkosten en tijd uit.

De OVAM stelt evenwel dat deze gegevens niet dienen te worden gerapporteerd in het beschrijvend bodemonderzoek. Het is *aangewezen* deze gegevens enkel in het bodemsaneringsproject te rapporteren.

3.2 CONSTRUCTIE VAN DE CHECKLISTS

3.2.1 Parameters voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie

De volgende tabel geeft een overzicht van de benodigde polluentspecifieke, bodemspecifieke en terreinspecifieke parameters voor de evaluatie van de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie. Deze tabel werd opgesteld op basis van de gegevens van de literatuurstudie en verder aangevuld met ervaringsgegevens.

Parameter	Eenheid	Bodemluchtextractie	Persluchtinjectie
1. Polluentspecifiek:			
1.1 Aard van de verontreiniging	-	Gechloreerde of niet gechloreerde vluchtige organische verbindingen	Vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen, aëroob afbreekbare orga-nische verbindingen, sommige gechloreer-de solventen.
1.2 Aanwezigheid drijflagen of zaklagen	-	Neen	Neen
1.3 Dampspanning	mmHg	> 0,5 bij 20°C	> 0,5 bij 20°C
1.4 Constante van Henry	Atm/ molfractie	>100	> 100
1.5 Kookpunt	°C	< 250-300	< 250-300
1.6 Dominante fase van de verbinding	-	Gas in de onverzadigde zone	Opgelost in water, gas en residu.
2. Bodemspecifiek:			
2.1 Bodemtype in de verontreinigde zone	-	Zandige tot lemige bodem, relatief homogeen	Zandige tot lemige bodem, relatief homogeen.
2.2 Hydraulische conductiviteit	m/s	$> 10^{-7}$	$> 10^{-7}$
2.3 Diepte grondwater	m	Neen als grond-water < 1,0 m-mv	
2.4 Opgelost ijzer/mangaan	mg/l	nvt	<1 Als >5 is persluchtinjectie af te raden.
2.5 Aanwezigheid van slecht doorlaatbare lagen	-	Pilootproef	Pilootproef
3. Terreinspecifiek:			
3.1 Aanwezigheid ondoorlatende bovenafdekking	-	Folie, beton	Bij afwezigheid van ondoorlatende bovenbedekking is migratie naar de omgevingslucht mogelijk
3.2 Aanwezigheid bebouwing, funderingen of kruipruimtes	-	-	Rekening houden met mogelijke migratie naar kelders.

Parameter	Eenheid	Bodemluchtextractie	Persluchtinjectie
3.3 Aanwezigheid kabels, leidingen of leidinggoten	-	-	Rekening houden met mogelijke migratie naar leidinggoten of kelders.
3.4 Aanwezigheid grondwateronttrekkingen, voor zover deze de stroming op de site mogelijk beïnvloeden	-	Rekening houden met grondwater-schommelingen.	Rekening houden met grondwater-schommelingen.
3.5 Aanwezigheid van grondwateronttrekkingen stroomafwaarts	-	Kan de verontreiniging de grondwaterwinning bereiken tijdens de duur van de sanering?	Kan de verontreiniging de grondwaterwinning bereiken tijdens de duur van de sanering?

nvt: niet van toepassing

Tabel 3.1. Overzicht van de benodigde parameters voor de evaluatie van de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie

3.2.2 Bodemluchtextractie

Uitgaande van de gegevens in Tabel 3.1 wordt in de volgende tabel onder de vorm van een checklist een overzicht gecompileerd van de parameters nodig om de haalbaarheid van bodemluchtextractie in te schatten. In de checklist werd ook een kolom voorzien met hierin vermeld waar men welke gegevens kan vinden.

Parameter	Bron	Ja/neen
1. Polluentspecifiek:		
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit gechloreerde of niet gechloreerde vluchtige organische verbindingen.	BBO	
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	BBO	
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	-	
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg bij 20°C.	Literatuur	
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Literatuur	
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Literatuur	
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is gas in de onverzadigde zone.	BBO	
2. Bodemspecifiek:		
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	BBO	
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	BBO	
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	BBO	
2.4 Er zijn geen slecht doorlatende lagen aanwezig.	BBO	
3. Terreinspecifiek:		
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	BBO	
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	BBO	
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	BBO	
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	BBO	

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek

Tabel 3.2. Checklist voor bodemluchtextractie

Deze checklist dient te worden opgevat als een reeks van stellingen:

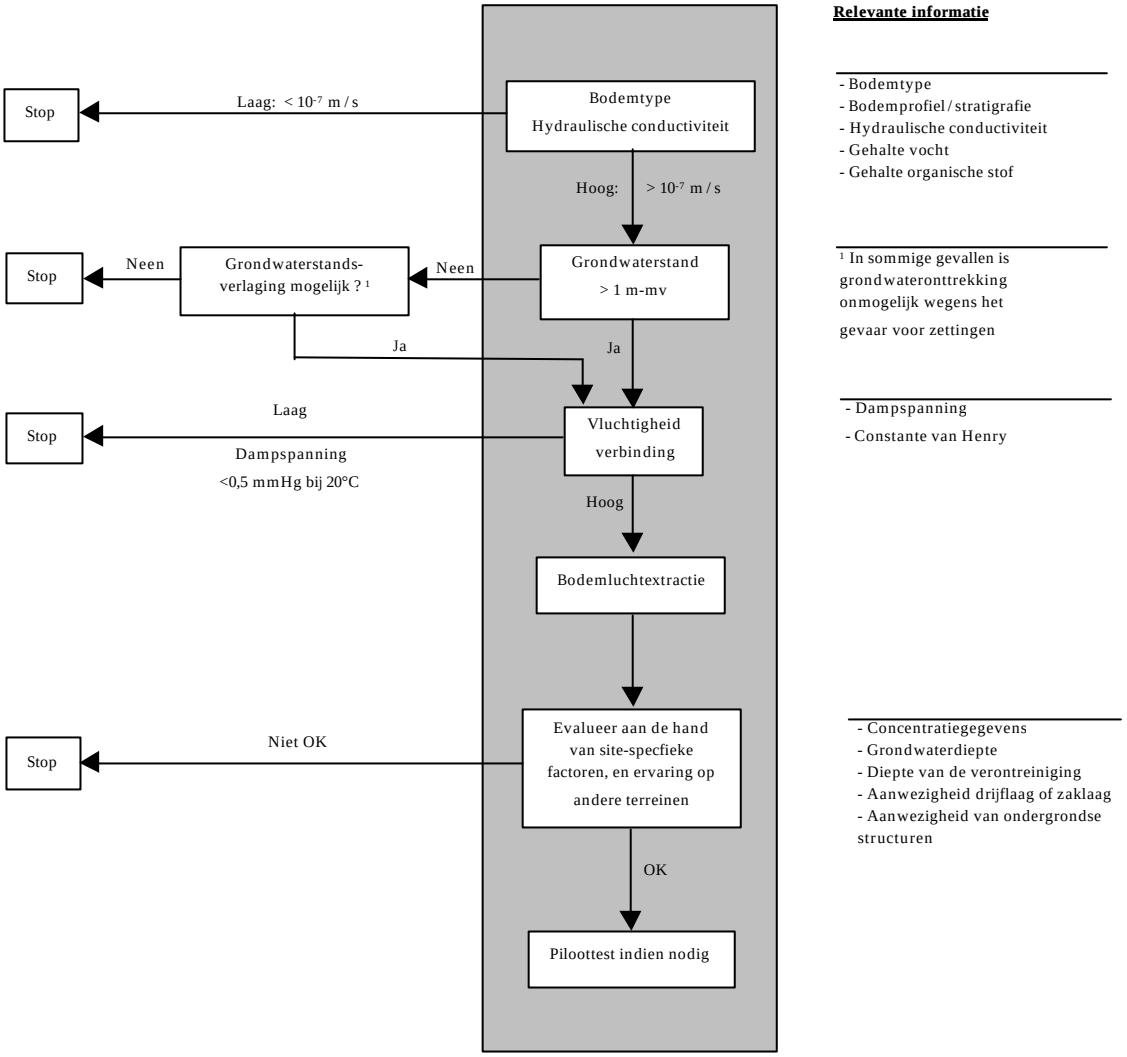
- Is de stelling van toepassing op de site, antwoordt men ‘ja’.
- Is de stelling niet van toepassing op de site, antwoordt men ‘neen’.
- Heeft men geen informatie, antwoordt men ‘?’.

Indien het antwoord op alle vragen 'ja' is, kan bodemluchtextractie weerhouden worden als mogelijk saneringsalternatief.

Indien het antwoord op één of meerdere vragen 'neen' of '?' is, dient meer informatie te worden ingewonnen om de haalbaarheid van de techniek na te gaan. Dit kan gebeuren door verdere studie van het terrein, door modellering, door het uitvoeren van een piloottest of door een combinatie van deze studie-mogelijkheden.

De checklist is indicatief. De erkende bodemsaneringsdeskundige kan er gemotiveerd van afwijken.

Het verband tussen de verschillende parameters wordt geïllustreerd aan de hand van de volgende beslisboom. Deze beslisboom dient te worden beschouwd als een bijkomend hulpmiddel voor het inschatten van de haalbaarheid van bodemluchtextractie.



Figuur 3.1. Beslisboom voor bodemluchtextractie

Door een doelgericht gebruik van de checklist weergegeven in Tabel 3.2 en deze beslisboom kan een goede inschatting bekomen worden van de haalbaarheid van

bodemluchtextractie op een bepaald terrein, en dit gebaseerd op relatief gemakkelijk beschikbare informatie uit hetzij het beschrijvend bodemonderzoek, hetzij de literatuur. Indien niet op alle items van de checklist of het beslisschema een pasklaar antwoord kan worden gegeven, roepen deze twee instrumenten voldoende vraagtekens op om (a) verdere informatie in te winnen, of (b) over te gaan tot een piloottest, of (c) een andere techniek te selecteren.

3.2.3 Bodemluchtextractie & persluchtinjectie

Uitgaande van de gegevens in Tabel 3.1 wordt in de volgende tabel onder de vorm van een checklist een overzicht gecompileerd van de parameters nodig om de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie in te schatten. In de checklist werd ook een kolom voorzien met hierin vermeld waar men welke gegevens kan vinden.

Parameter	Bron	Ja/neen
1. Polluentspecifiek:		
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen en/of aëroob afbreekbare organische verbindingen.	BBO	
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	BBO	
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	-	
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg.	Literatuur	
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Literatuur	
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Literatuur	
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is opgelost in het grondwater al dan niet onder de vorm van gas.	BBO	
2. Bodemspecifiek:		
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	BBO	
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	BBO	
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	BBO	
2.4 Er zijn geen slecht doorlaatbare lagen aanwezig.	BBO	
3. Terreinspecifiek:		
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	BBO	
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	BBO	
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	BBO	
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	BBO	

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek

Tabel 3.3. Checklist voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie

Deze checklist dient te worden opgevat als een reeks van stellingen:

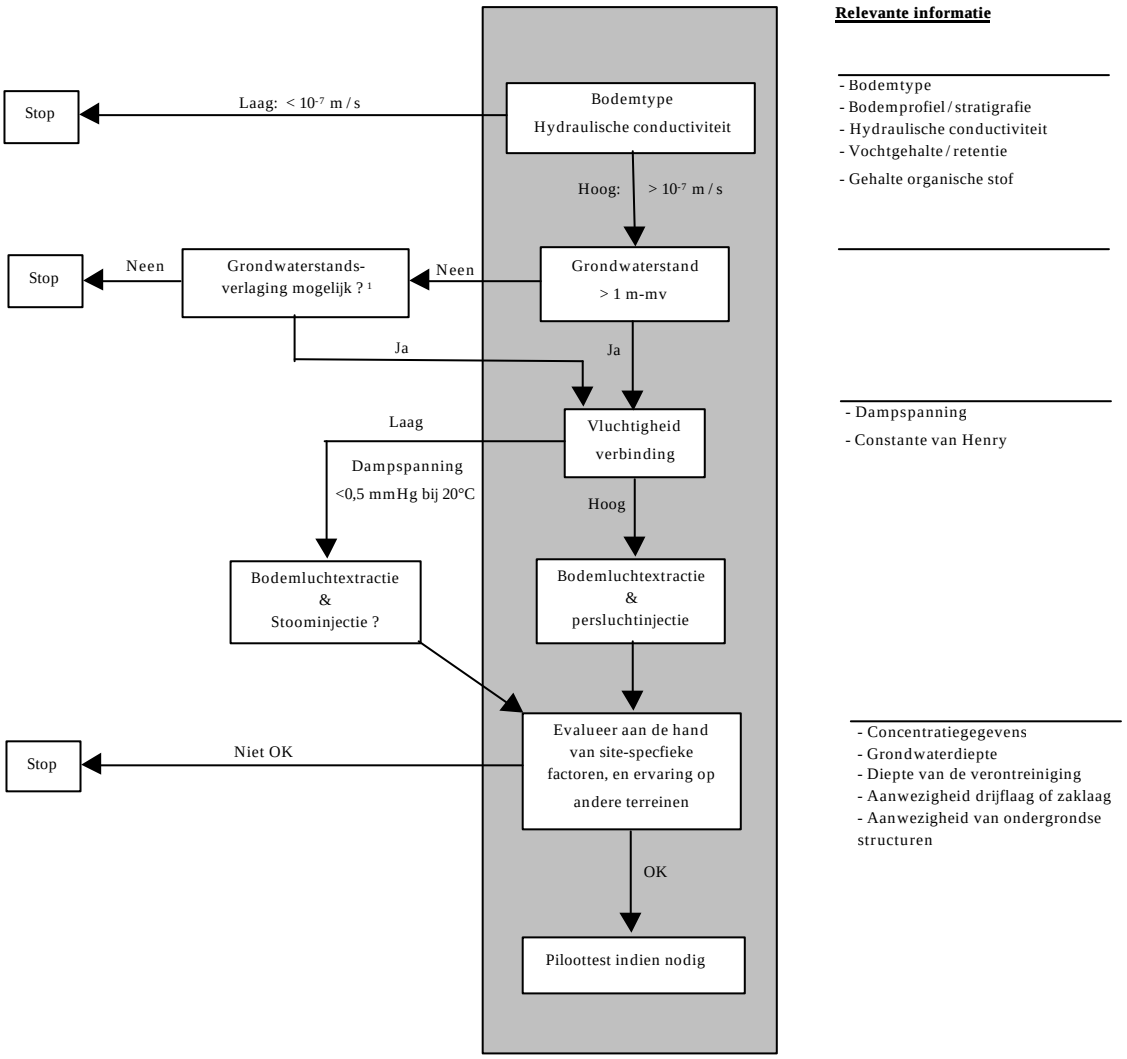
- Is de stelling van toepassing op de site, antwoordt men ‘ja’.
- Is de stelling niet van toepassing op de site, antwoordt men ‘neen’.
- Heeft men geen informatie, antwoordt men ‘?’.

Indien het antwoord op alle vragen ‘ja’ is, kan bodemluchtextractie en persluchtinjectie weerhouden worden als mogelijk saneringsalternatief.

Indien het antwoord op één of meerdere vragen ‘neen’ of ‘?’ is, dient meer informatie te worden ingewonnen om de haalbaarheid van de techniek na te gaan. Dit kan gebeuren door verdere studie van het terrein, door modellering, door het uitvoeren van een piloottest of door een combinatie van deze studie-mogelijkheden.

De checklist is indicatief. De erkende bodemsaneringsdeskundige kan er gemotiveerd van afwijken.

Het verband tussen de verschillende parameters wordt ook geïllustreerd aan de hand van de volgende beslisboom. Deze beslisboom dient te worden beschouwd als een bijkomend hulpmiddel voor het inschatten van de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie.



Figuur 3.2. Beslisboom voor bodemluchtextractie en persluchtinjectie

Door een doelgericht gebruik van de checklist weergegeven in tabel 3.3 en deze beslisboom kan een goede inschatting bekomen worden van de haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie op een bepaald terrein, en dit gebaseerd op relatief gemakkelijk beschikbare informatie uit hetzij het beschrijvend bodemonderzoek, hetzij de literatuur. Indien niet op alle items van de checklist of het beslisschema een pasklaar antwoord kan worden gegeven, roepen deze twee instrumenten voldoende vraagtekens op om (a) verdere informatie in te winnen, of (b) over te gaan tot een piloottest, of (c) een andere techniek te selecteren.

3.3 PILOOTTESTEN VOOR BODEMLUCHTEXTRACTIE EN PERSLUCHTINJECTIE

3.3.1 Wat wordt verstaan onder een piloottest?

Een piloottest is een praktijkproef in het veld op semi-praktijkschaal met een beperkte bodemluchtextractie- en/of persluchtinjectie-installatie.

3.3.2 Welke parameters dienen te worden bepaald?

1. Invloedstraal van de bodemluchtextractie

Dit is de afstand van de onttrekkingsfilter tot waar nog een significante onderdruk wordt vastgesteld. Als vuistregel geldt dat een significante onderdruk minimum 1% is van de aangelegde druk, gemeten ter hoogte van de blower.

2. Invloedstraal van de persluchtinjectie

Dit is de afstand van de injectiefilter tot waar nog een significante overdruk wordt vastgesteld. Als vuistregel geldt dat een significante overdruk minimum 1% is van de aangelegde druk, gemeten ter hoogte van de compressor.

3. Benodigde overdrukken en onderdrukken

De benodigde overdrukken en onderdrukken bepalen welk soort blower of vacuümpomp dient te worden gebruikt.

4. Optimaal onttrekkingsdebiet

Deze parameter is belangrijk voor (1) de dimensionering van het bodemluchtextractiesysteem en (2) de inschatting van de verwachte hoeveelheid verwijderde vuilvracht.

5. Te verwachten concentraties in de onttrokken bodemlucht

Deze parameter is belangrijk voor de inschatting van de verwachte hoeveelheid verwijderde vuilvracht. Verder kan aan de hand van deze parameter worden bepaald welke luchtzuivering nodig is.

6. Concentratieverloop

Indien blijkt dat de concentraties in de onttrokken bodemlucht gedurende de dag sterk wijzigen, kan tijdens de piloottest ‘intermitterend’ onttrekken worden getest.

7. Mate waarin het grondwater stijgt of daalt onder invloed van de aangelegde onder- of overdruk

Onder invloed van een aangelegde onderdruk of overdruk kan het grondwater stijgen in de buurt van de onttrekkingsfilters. Het dient vermeden te worden dat de bodemluchtextractiefilters grondwater onttrekken omdat (a) de onverzadigde zone (en dus de werkzone van de techniek) wordt verkleind met een lager rendement tot gevolg en (b) door contact met water beschadiging van het bodemlucht-extractiesysteem kan optreden.

8. Concentraties in de omgevingslucht

Dit is een controle dat de pilootproef geen blootstelling via de omgevingslucht veroorzaakt.

3.3.3 Hoe lang duurt een piloottest?

In de literatuur varieert de duur van een piloottest van enkele dagen tot enkele maanden. De ervaring leert echter dat tijdens een piloottest van een tweetal dagen met telkens minimaal 8 uur onafgebroken lucht ontrekken en/of injecteren reeds een aantal belangrijke parameters kunnen bepaald worden:

1. De invloedstraal van de bodemluchtextractie;
2. De invloedstraal van de persluchtinjectie;
3. Benodigde onder- en overdrukken (kritische drukken);
4. Mogelijke debieten;
5. Concentraties in het influent van de blower;
6. Concentraties in het in- en effluent van de luchtzuivering; en
7. Mate waarin het grondwater stijgt onder invloed van de aangelegde drukken.

Op basis van deze gegevens kan ook reeds een eerste inschatting worden gemaakt van de benodigde saneringsduur. Afhankelijk van de complexiteit, heterogeniteit en de aard van de stof kan een langere piloottest (enkele weken tot enkele maanden) noodzakelijk zijn.

3.3.4 Hoe piloottest uitvoeren?

3.3.4.1 Bodemluchtextractie

Voorbereiding

In of nabij de kern van de verontreiniging worden één of meerdere (horizontale of verticale) bodemluchtextractiefilters geïnstalleerd. Op verschillende afstanden en in drie verschillende richtingen van deze extractiefilter worden - in een cirkel rondom de extractiefilter - monitoringpunten geplaatst in de onverzadigde zone. Bij de installatie van de monitoringpunten moet erop worden gelet dat deze geen lekstromen kunnen veroorzaken. Er dient te worden voor gezorgd dat er een voldoende impermeabele bodembedekking (beton, folie) aanwezig is om lekstromen van de omgevingslucht naar de bodem te vermijden.

Na de installatie van de bodemluchtextractiefilters en de monitoringpunten, wordt een mobiele installatie (blower) geplaatst en aangesloten op de bodemluchtextractiefilter(s). Er dient te worden voor gezorgd dat de hele configuratie geen omgevingslucht kan aantrekken, met uitzondering van de inlaat voor ‘valse lucht’ (beveiliging tegen explosies).

Getrapte en continue druktesten

Bij de uitvoering van pilootproeven voor bodemluchtextractie worden typisch 2 soorten van performatietesten uitgevoerd (USACE Engineering Manual EM 1110-1-4001, 30 november 1995, USACE): (1) getrapte druktesten en (2) continue druktesten.

1. *Getrapte druktesten (‘stepped-rate tests’)*: Bij deze testen wordt gedurende gelijke tijdsintervallen de aangelegde onderdruk ter hoogte van de blower trapsgewijs verhoogd (het vacuüm wordt trapsgewijs verhoogd) en het resulterende debiet gemeten. Op basis van deze testen kan het optimale onttrekkingsdebiet worden bepaald. De gegevens van deze testen worden gebruikt om de systeemcurve (debiet versus vacuüm) van de testconfiguratie op te stellen. Op basis van deze curve kan de optimale (kritische) onderdruk voor de testconfiguratie worden bepaald. Deze test neemt een paar uur tot een dag in beslag.

2. *Continue druktesten ('continuous-rate tests')*: Deze testen worden na de getrapte druktesten uitgevoerd. Bij deze testen wordt bij de (eerder bepaalde) optimale onderdruk continu (onder steady-state condities) bodemlucht onttrokken. Aan de hand van deze testen worden de volgende parameters bepaald: (1) de invloedstraal van de configuratie, (2) een inschatting van de permeabiliteit van de bodem voor lucht, (3) de efficiëntie van de bodemluchtextractiefilter, (4) de concentraties in het in- en effluent van de blower, (5) de concentraties in het in- en effluent van de luchtzuivering en (6) de invloed op de grondwatertafel. Deze testen nemen een paar uur tot een aantal dagen in beslag.

Monitoring

Door een (onder-)drukmeter op een monitoringpunt aan te sluiten, kunnen drukwijzigingen in de bodem ter hoogte van het monitoringpunt worden vastgesteld. Met een fotoionisatiedetector[1] (PID) kunnen wijzigingen in concentraties in de evenwichtslucht ter hoogte van de monitoringpunten worden vastgesteld. Er dient aandacht te worden besteed aan (1) de calibratie van de PID en (2) het gebruik van de juiste responsfactor. Aanvullend dient de onttrokken bodemlucht te worden bemonsterd a.h.v. actievekoolbuisjes. Deze parameters worden met een regelmatige frequentie (elk uur) op alle monitoringpeilbuizen gemeten. Significante druk- of concentratiewijzigingen in het monitoringpunt wijzen erop dat de *invloedstraal* van de bodemluchtextractie tot dat bepaald monitoringpunt reikt. De *druk- en concentratiewijzigingen* zijn een maat voor het effect gegenereerd door de bodemluchtextractie.

Afgasbehandeling

Aan de hand van de concentratie aan polluent(en) in het effluent kan worden bepaald welke *afgasbehandeling* nodig is.

Intermitterend onttrekken

Met deze eenvoudige test kan ook het effect van *intermitterend* onttrekken worden nagegaan: hiervoor schakelt men met een bepaalde frequentie (bijvoorbeeld elk uur) de blower gedurende enkele minuten aan.

Invloed op het grondwater

In de aanwezige peilbuizen wordt op regelmatige tijdstippen de grondwaterstand opgenomen. Zo wordt nagegaan in welke mate het *grondwaterniveau stijgt* bij de aangelegde onderdrukken. Voor en na de testen dienen de *concentraties in het grondwater* te worden bepaald om het effect van bodemluchtonttrekking op de concentraties in het grondwater na te gaan.

3.3.4.2 Persluchtinjectie

Voorbereiding

In of nabij de kern van de verontreiniging wordt een persluchtinjectiefilter geïnstalleerd. Op verschillende afstanden en in drie verschillende richtingen van deze persluchtinjectiefilter worden in een cirkel rondom deze persluchtinjectiefilter monitoringpeilbuizen in het grondwater geplaatst. Er kunnen natuurlijk ook bestaande peilbuizen gebruikt worden. Bij de installatie van de monitoringpeilbuizen en het gebruik van reeds bestaande peilbuizen moet erop worden gelet dat deze geen lekstromen veroorzaken. Er dient te worden voor

[1] *Sommige stoffen hebben een hoge ionisatiepotentiaal en kunnen niet worden gedetecteerd met de gangbare PID toestellen. Kijk hiervoor de handleiding van het PID toestel na. Mogelijk dient een lamp met een hogere ionisatiepotentiaal te worden gebruikt.*

gezorgd dat er een voldoende impermeabele bodembedekking is (beton, folie) om lekstromen van de omgevingslucht naar de bodem of omgekeerd te vermijden.

Opstart

Na de installatie van de persluchtinjectiefilter en de monitoringpunten wordt met een 'mobiele' compressor intermitterend lucht geïnjecteerd in de persluchtinjectiefilter.

Monitoring

Door een drukmeter op een monitoringpeilbuis aan te sluiten kunnen drukwijzigingen ter hoogte van het monitoringpunt worden vastgesteld. Met een PID kunnen wijzigingen in concentraties in de evenwichtslucht in de peilbuizen worden vastgesteld. Er dient aandacht te worden besteed aan (1) de calibratie van de PID en (2) het gebruik van de juiste responsfactor. Aanvullend dient de onttrokken bodemlucht te worden bemonsterd a.h.v. actievekoolbuisjes. Deze parameters worden met een regelmatige frequentie (elk uur) op alle monitoringpeilbuizen gemeten. Significante druk- of concentratiewijzigingen in een peilbuis wijzen erop dat de *invloedstraal* van de persluchtinjectie tot die bepaalde peilbuis reikt. De *druk- en concentratiewijzigingen* zijn een maat voor het effect gegenereerd door de persluchtinjectie.

Intermitterend injecteren

Met deze eenvoudige test kan ook het effect van *intermitterend injecteren* worden nagegaan: hiervoor schakelt men met een bepaalde frequentie (bijvoorbeeld elk uur) de compressor aan en uit.

Invloed op het grondwater

In de aanwezige peilbuizen wordt op regelmatige tijdstippen de grondwaterstand opgenomen. Zo wordt nagegaan in welke mate de persluchtinjectie de grondwaterstand beïnvloedt. Voor en na de testen dienen de concentraties in het grondwater te worden bepaald om het effect van de bodemluchtonttrekking en persluchtinjectie op de concentraties in het grondwater na te gaan.

3.3.4.3 Uitvoering

Voor het uitvoeren van de test wordt best een beroep gedaan op een aannemer van saneringswerken. Bij de keuze van de aannemer dienen de volgende criteria te worden overwogen:

- Aantoonbare deskundigheid d.m.v. (1) referenties van reeds uitgevoerde en afgeronde bodemsaneringsprojecten met bodemluchtextractie en persluchtinjectie en (2) aantoonbare ervaring met de interpretatie van piloottestgegevens van bodemluchtextractie en persluchtinjectie;
- Voldoen aan veiligheids- en kwaliteitseisen (cfr. Archilles protocol);
- Beschikbare en flexibele installaties; en
- Beschikbare, degelijke en geijkte veldmeetapparatuur.

Het initiatief tot en met de rapportage van de piloottest dient te worden verzorgd door een erkend bodemsaneringsdeskundige type II. De verantwoordelijke projectleider dient te voldoen aan een aantal criteria, zoals:

- Aantoonbare deskundigheid d.m.v. (1) referenties van reeds uitgevoerde en afgeronde bodemsaneringsprojecten met bodemluchtextractie en persluchtinjectie en (2) aantoonbare ervaring met de interpretatie van pilootestgegevens van bodemluchtextractie en persluchtinjectie;

- Kennis van procedures op het gebied van monstername en analysemethodieken; en
- Voldoen aan veiligheids- en kwaliteitseisen.

3.3.4.4 Rapportage naar OVAM

De gegevens van de persluchtinjectie/bodemluchtextractietest dienen te worden samengevat in het bodemsaneringsproject. De volgende gegevens dienen te worden weergegeven:

- Resultaten van de test tot het bepalen van de kritische druk;
- Resultaten van vuilvrachtmetingen;
- Resultaten van tests ter bepaling van de invloedszone;
- Resultaten van tests ter evaluatie van eventuele 'clogging';
- Voorstel tot inplanting van filters(horizontaal en vertikaal);
- Evaluatie; en
- Besluit.

3.3.4.5 Veiligheid en gezondheid tijdens de pilootproef

Tijdens de uitvoering van de pilootproef zijn de bepalingen in de Wet op het Welzijn, het Algemeen Reglement op de Arbeidsbescherming (ARAB), de Welzijnscodex, het Koninklijk Besluit van 25 januari 2001 betreffende de Tijdelijke of Mobiele Bouwplaatsen en het Archilles protocol (OVAM, 2002) onverminderd van toepassing op alle medewerkers aan de pilootproef.

Het Koninklijk Besluit van 25 januari 2001 betreffende de Tijdelijke of Mobiele Bouwplaatsen houdt onder andere de aanstelling van een veiligheidscoördinator (ontwerp en uitvoering) in alsook het opmaken van een veiligheids- en gezondheidsplan (VGP) voor de geplande werken, en de naleving van de richtlijnen erin beschreven. In het VGP dient ook rekening te worden gehouden met mogelijke blootstelling naar derden (omwonenden) toe. De verschillende verantwoordelijkheden worden vastgelegd in het VGP. Het VGP wordt opgesteld door de veiligheidscoördinator in samenwerking met de opdrachtgever, de aannemer en de erkende bodemsaneringsdeskundige. De verschillende betrokken partijen dienen elkaar voldoende te informeren en hun werkzaamheden te coördineren.

Het Archilles protocol bevat naast een reeks algemene bepalingen voor saneringswerken een aantal zeer specifieke bepalingen voor saneringen door middel van bodemluchtextractie en persluchtinjectie. Voor deze specifieke bepalingen wordt verwezen naar Deel 2 ‘Basisregels van goed vakmanschap’, Hoofdstuk 5 ‘Injectie en extractie van lucht’ van het Archilles protocol.

De nodige aandacht dient te worden besteed aan explosievrij materiaal, ook voor het uitvoeren van de piloottest. In verband met het explosiegevaar dienen, in het kader van het ARAB en het AREI, de op de werf gebruikte elektrische installaties speciaal afgeschermd te worden. De elektrische installatie zelf dient gekeurd te worden door een terzake erkend organisme. De aannemer zorgt voor de aanwezigheid van poederblussers tijdens risicohoudende werken.

De betrokken werknemers dienen direct voor de aanvang van de werken te worden voorgelicht in een toolboxmeeting en geïnstrueerd over van de aard van de werkzaamheden en de eraan verbonden risico's, de maatregelen en middelen ter voorkoming of beperking van deze risico's, de te gebruiken persoonlijke beschermingsmiddelen, de organisatorische aspecten en de verantwoordelijkheden. Het personeel dient voldoende ervaring te hebben in het gebruik van alle apparatuur. In het bijzonder dienen diegenen, die metingen verrichten naar de aanwezigheid van schadelijke stoffen, voldoende onderricht te zijn in het gebruik van hun meetapparatuur.

Adequate persoonlijke beschermingsmiddelen dienen voor alle bij het werk betrokken personen voorhanden te zijn: standaard werkkledij (propere en goed aansluitende overall, olie- en chemicaliën bestendige handschoenen en veiligheidsschoeisel). Voor uitzonderlijke omstandigheden dient elke werknemer de beschikking te hebben over een chemieoverall, een vloeistofdichte overall en adembeschermingsmiddelen (volgelaatsmasker met ABEK P3 filter).

De concentraties in de omgevingslucht van de met de verontreiniging verband houdende vluchtige en semi-vluchtige componenten dient opgevolgd. Indien de maximum aanvaardbare concentratie voor één van deze parameters wordt overschreden, dient de pilootproef te worden stopgezet. Metingen dienen op regelmatige basis te gebeuren en de resultaten dienen bijgehouden in het coördinatiedagboek van de veiligheidscoördinator. De pilootproef kan pas hervat worden na het nemen van de gepaste veiligheids- en voorzorgsmaatregelen en na overleg en akkoord tussen de opdrachtgever, de aannemer, de erkende bodemsaneringsdeskundige en de veiligheidscoördinator.

De meet- en controle-infrastructuur dient steeds toegankelijk te zijn voor de bevoegde toezichthoudende ambtenaren of een daartoe aangestelde onafhankelijke deskundige. Om veiligheidsredenen is het echter aangewezen de toegang tot de zuiveringsinstallaties af te sluiten. Ter controle van deze installatie door de OVAM of een andere daartoe bevoegde instantie, dient steeds een sleutel van de installatie ter plaatse beschikbaar te zijn. In geval de werf of de inrichting waar de bodemsanering plaatsvindt niet permanent wordt bemand, dient voor aanvang der werken schriftelijk een contactpersoon (+ telefoonnummer) die steeds over de nodige sleutels beschikt, aan de OVAM meegedeeld te worden.

3.4 MODELLERING

3.4.1 Inleiding

Een inschatting van de haalbare terugsaneerwaarden en de saneringsduur kan worden berekend door middel van een computermodellering. In de volgende paragrafen worden een aantal relevante softwarepakketten, specifiek voor de modellering van luchtstroming in de bodem, toegelicht. Een aantal pakketten kunnen worden gebruikt voor de dimensionering van de bodemluchtextractie-installatie.

De resultaten van elk van de voorgestelde modellen dienen met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. De beste resultaten worden geboekt door een modellering uit te voeren op basis van gegevens verkregen uit een pilootproef. In sectie 3.3 werd ingegaan op het uitvoeren van pilootproeven.

3.4.2 AIRFLOW/SVE

Dit programma kan worden gebruikt om:

- Luchtstroming en transport van vluchtige verbindingen in onverzadigde, heterogene en anisotrope bodems te modelleren.
- Bodemluchtextractie- en bioventingsystemen te dimensioneren.

Voor meer info wordt verwezen naar de volgende website:

http://www.scisoftware.com/products/airflowsve_overview/airflowsve_overview.html

3.4.3 HYPERVENTILATE

Dit programma kan worden gebruikt om:

- De benodigde veldgegevens te bepalen en te evalueren;
- Te beslissen of bodemluchtextractie een haalbaar saneringsalternatief is voor een bepaalde site;
- Luchtdoorlatendheidstests te evalueren;
- Het gewenste en het maximale rendement van het geplande systeem in te schatten; en
- Het minimum aantal benodigde onttrekkingsfilters in te schatten.

De makers vermelden expliciet dat het programma niet bedoeld is als designinstrument voor de bodemluchtextractie-installatie.

Voor meer info wordt verwezen naar de volgende website:

http://www.mines.edu/research/igwmc/software/igwmcsoft/hyperv.html

3.4.4 BioSVE

Programma kan worden gebruikt voor het evalueren van de haalbaarheid van bodemluchtextractie, bioventing en biodegradatie.

Voor meer info wordt verwezen naar de volgende website:

http://www.scisoftware.com/products/biosve_overview/biosve_overview.html

3.4.5 Courante grondwatermodellen

De courante grondwatermodellen (bijvoorbeeld Modflow of MicroFEM) kunnen – mits een aantal aannames - worden gebruikt voor de modellering van luchtstroming in een bodempakket.

4. PROCEDURE VOOR HET OPVOLGEN VAN BODEMLUCHTEXTRACTIE EN PERSLUCHTINJECTIE

4.1 MONITORINGPARAMETERS

Gebaseerd op de gegevens uit de literatuurstudie en een rondvraag bij een selectie van saneringsaannemers werden een aantal monitoringparameters geselecteerd. Deze parameters, alsook hun meetfrequentie en mogelijke meetmethodes, worden weergegeven in de volgende tabel.

Parameter	Frequentie	Meetmethode
1. Debiet per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Debietmeters op installatie
2. Onder/overdruk per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Drukmeters op installatie
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal (+ berekening van de hoeveelheid onttrokken vuilvracht per filter en totaal)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	PID/multimeter Actievekoolbuisjes Drägerbuisjes
4. Schatting van de vuilvracht verwijderd per periode[1]	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Σ (Concentratie per filter x debiet x periode)
5. Concentraties verontreiniging onttrokken cumulatief (vuilvracht) in relatie tot de geraamde hoeveelheid aanwezige vuilvracht.	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Berekenen op basis van de gegevens in punt 4 van deze tabel.
6. Concentraties in de grond en/of het grondwater	Bij opstart sanering Vervolgens: 3 maandelijks	Staalname en analyse
7. Grondwaterstand	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Grondwaterstandsmeter
8. Analyse influent en effluent luchtzuivering (+ inschatting van de benodigde hoeveelheid actieve kool)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	PID/multimeter Actievekoolbuisjes Drägerbuisjes
9. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool	Bij vervanging	Ladingsbons
10. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	Maandelijks (aanvulling bij 3)	PID/actievekoolbuisjes
Voortgangsrapport naar OVAM	Voorstel in bodemsaneringsproject	

Tabel 4.1. Overzicht van monitoringparameters voor bodemluchtextractie en/of persluchtinjectie

[1] De verwijderde vuilvracht dient te worden vergeleken met de in de bodem aanwezige hoeveelheid vuilvracht.

Het belang van de verschillende monitoringparameters werd besproken in hoofdstuk 2. Verder dient de erkende bodemsaneringsdeskundige i.s.m. de aannemer het rendement van de sanering te evalueren.

Het in voorgaande tabel weergegeven bemonsteringsregime is indicatief. De erkende bodemsaneringsdeskundige kan hier gemotiveerd van afwijken.

4.2 RAPPORTAGE NAAR DE OVAM

Voor een goede evaluatie van het verloop van de saneringswerken, dient aan de OVAM een rapport overgemaakt te worden. Minimum de volgende gegevens dienen te worden opgenomen:

- Algemeen overzicht van de reeds uitgevoerde saneringswerken;
- Grafische weergave van de locatie der bemonsterde peilbuizen;
- Een aanduiding van de restconcentraties en de risico's dienaangaande;
- De regelmatig gemeten influent- en effluent-concentraties van de zuiverings-installatie;
- De bepaling van de invloedstraal van de onttrekking. De erkende deskundige dient op onderbouwde wijze na te gaan of de genomen maatregelen voldoende zijn om de vooropgestelde doelstellingen te behalen;
- Het verloop van de concentraties aan verontreinigde producten en Grondwaterstand in monitoringpeilbuizen ter hoogte van de verschillende kernen;
- De onttrokken en geloosde debieten;
- De hoeveelheid verwijderd product;
- Het saneringsrendement;
- Evaluatie; en
- Besluit.

Voor alle afzonderlijke parameters dient een éénduidige conclusie geformuleerd te worden met betrekking tot de verontreinigingstoestand in zowel het vaste deel van de aarde als in het grondwater op de verschillende diepten. Er dient nagegaan te worden of de verontreiniging door de genomen maatregelen zich effectief niet verder verspreidt, zowel vertikaal als horizontaal. Indien blijkt dat deze concentraties toenemen of dat de genomen saneringsmaatregelen onvoldoende de verontreinigingspluimen aanpakken, dienen bijkomende maatregelen getroffen te worden. Deze dienen ter goedkeuring aan de OVAM voorgelegd te worden.

5. PROCEDURE VOOR HET STOPZETTEN VAN BODEMLUCHTEXTRACTIE & PERSLUCHTINJECTIE

5.1 BASISELEMENTEN VOOR DE PROCEDURE

5.1.1 Uitgangspunt

Als uitgangspunt (basisstandpunt van OVAM) geldt dat de saneringswerken pas mogen stilgelegd worden na het bereiken van de vooropgestelde doelstellingen, zoals beschreven in het bodemsaneringsproject of na onderling overleg met de OVAM, rekening houdend met de efficiëntie van de saneringstechniek en de kwaliteit van het vaste deel van de aarde en grondwater. Voornoemde gegevens dienen samen met het laatste tussentijds verslag te worden opgenomen in het eindevaluatieverslag.

5.1.2 Rendement van de sanering

De erkende bodemsaneringsdeskundige dient het rendement van de saneringstechniek van in het begin op te volgen. Tijdens de sanering dient te worden nagegaan of de sanering voldoende efficiënt verloopt en of de sanering niet geoptimaliseerd dient te worden met bvb. bijkomende of aangepaste filters, intermitterend pompen, ... Bij daling van het rendement dient hij de mogelijke verschillende saneringstechnieken af te wegen om tot de vooropgestelde saneringsdoelstellingen te komen. De praktijk leert namelijk dat in een aantal gevallen het rendement van de installatie laag tot zeer laag wordt, maar dat de saneringsdoelstelling(en) nog niet werd(en) bereikt. De aannemer en de erkende bodemsaneringsdeskundige hebben hier een signaalfunctie: zij zullen aan respectievelijk de opdrachtgever en de OVAM aangeven wanneer het rendement van de sanering met de gehanteerde methode volgens het BATNEEC[1] principe te laag wordt. Deze gegevens dienen aan de OVAM te worden medegedeeld in een tussentijds verslag.

5.1.3 Eindevaluatieonderzoek en oriënterend bodemonderzoek

De monitoring van de grond en het grondwater bij het beëindigen van de saneringswerken dient te gebeuren nadat de evenwichtsituatie in de bodem is bereikt. Ter controle van de efficiëntie van de saneringsmaatregelen dienen minimaal de peilbuizen stroomafwaarts gecontroleerd te worden evenals de peilbuizen in de kern van de verontreiniging met de hoogste concentratie aan verontreinigde stoffen. Er moet een eindevaluatieonderzoek ingediend worden. Dit rapport dient enerzijds en duidelijk beeld te geven van de uitgevoerde bodemsaneringswerken en anderzijds te worden uitgewerkt als een oriënterend bodemonderzoek, rekening houdend met de bepalingen opgenomen in de standaardprocedure.

[1] BATNEEC : Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs, best beschikbare techniek tegen een redelijke kost.

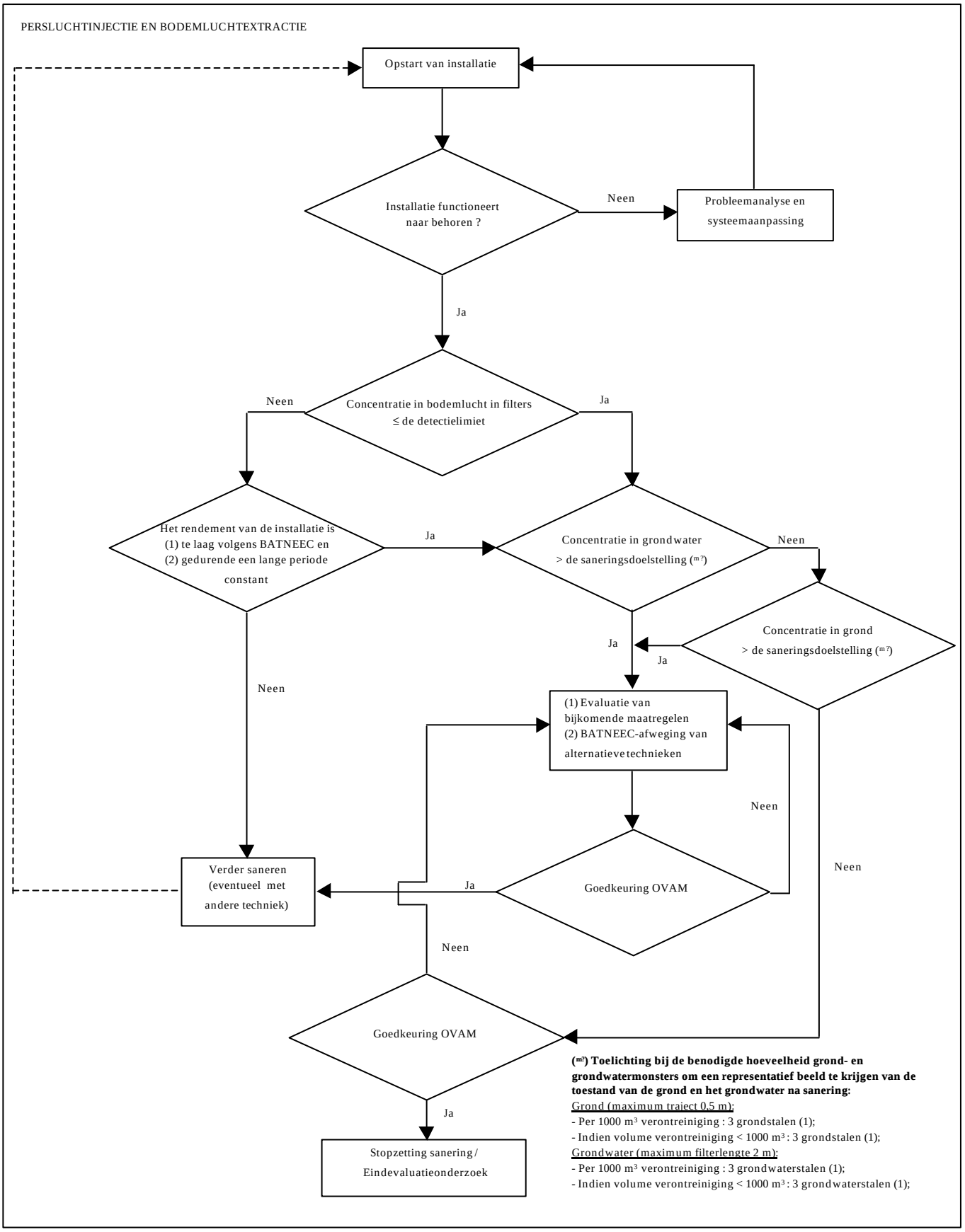
5.2 PROCEDURE VOOR STOPZETTING

Het voorgaande kan worden gecombineerd tot de procedure afgebeeld in Figuur 5.1. op de volgende pagina.

Na het opstarten van de installatie dient in eerste instantie te worden nagegaan of de installatie naar behoren functioneert. Als dit niet het geval is dient het probleem te worden geanalyseerd en dient de installatie te worden bijgeregeld. Wanneer de installatie naar behoren functioneert, worden de vereiste monitoringparameters (zie hoofdstuk 4) opgevolgd.

Vanaf het moment dat de concentraties in de bodemlucht beneden of in de buurt van de detectielimiet zijn, dient te worden nagegaan of de concentraties in de grond en het grondwater voldoen aan de saneringsdoelstellingen. Indien de concentraties in de grond en het grondwater aan de saneringsdoelstelling voldoen, kan – in overleg met de OVAM – de sanering worden stilgelegd.

Indien echter blijkt dat de concentraties in de grond of het grondwater nog steeds hoger zijn dan de saneringsdoelstellingen, dient de erkende saneringsdeskundige bijkomende maatregelen (bvb. extra bodemluchtonttrekkingsfilters) of alternatieve technieken (bvb. monitoring) te overwegen. Na goedkeuring van de OVAM dient de sanering te worden verder gezet totdat de saneringsdoelstellingen zijn bereikt of totdat de sanering in overleg met OVAM kan worden stopgezet.



Figuur 5.1. Procedure voor stopzetting/oplevering van saneringen door bodemluchtextractie en persluchtinjectie

6. TOETSING VAN DE PROCEDURES AAN DE HAND VAN GEVALSTUDIES

De in de vorige hoofdstukken uitgewerkte procedures worden getoetst aan de hand van 4 reeds door de OVAM conform verklaarde bodemsaneringsprojecten. Deze rapporten werden door de OVAM ter beschikking gesteld in het kader van deze studie. De referenties van de rapporten zijn opgenomen in de referentielijst.

De auteurs wensen duidelijk aan te geven dat de ter beschikking gestelde bodemsaneringsprojecten enkel werden geëvalueerd voor wat betreft de in dit rapport ontwikkelde procedures. De auteurs geven door deze evaluatie dan ook geen waardeoordeel over deze bodemsaneringsprojecten.

6.1 SANERING TERREIN IN ROESELARE

6.1.1 Situatieschets

De grond is matig verontreinigd met BTEXN. Het grondwater is sterk verontreinigd met tolueen (hoogste concentratie 29500 µg/l), xyleen (hoogste concentratie 23000 µg/l), ethylbenzeen (hoogste concentratie 39000 µg/l) en benzeen (hoogste concentratie 24 µg/l). Er werd geen drijflaag waargenomen. De site ligt in een zone waar de bodem tot een diepte van 4 meter hoofdzakelijk uit leemhoudend fijn zand bestaat, waaronder tot op een diepte van ca. 8,5 meter fijn zand voorkomt. Vanaf een diepte van 8,5 meter komt kleihoudend fijn zand voor. Op een diepte van 12 tot 14 meter is eerder sprake van sterk kleihoudend fijn zand tot zandige klei. De basis van de watervoerende laag bevindt zich op circa 10 m-mv. De basis van de grondwaterverontreiniging bevindt zich op circa 7 m-mv. Het grondwater bevindt zich op circa 1,7 m-mv. De hydraulische doorlatendheid werd geraamd op 1,0 m/d (of $1{,}15 \times 10^{-5}$ m/s). De verontreiniging is gedeeltelijk gesitueerd onder bebouwing en verharding.

6.1.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek

Gezien de kosten, de uitvoeringstermijn en de garantie op het bereiken van de terugsaneerwaarde werd *persluchtinjectie met bodemluchtextractie* als saneringsconcept weerhouden in het bodemsaneringsproject.

In de volgende tabel worden de voor de procedure benodigde parameters uit het bodemsaneringsproject getoetst aan de procedure voor haalbaarheid.

Parameter	Ja/neen
1. Polluentspecifiek:	
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen en/of aëroob afbreekbare organische verbindingen.	Ja
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	Ja
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	Nvt
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg.	Ja
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Ja
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Ja
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is opgelost in het grondwater al dan niet onder de vorm van gas.	Ja
2. Bodemspecifiek:	
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	Ja
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	Ja

Parameter	Ja/neen
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	Ja
2.4 Er zijn geen slecht doorlaatbare lagen aanwezig.	Ja
3. Terreinspecifiek:	
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	?
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	?
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	?
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	?

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek
NVT: Niet van toepassing

Op basis van de polluent- en bodemspecifieke parameters kan bodemlucht-extractie in combinatie met persluchtinjectie weerhouden worden als saneringsvariant. Door toepassing van de procedure blijkt echter dat de terreinspecifieke parameters (bodemafdekking, funderingen, leidinggoten, ...) onvoldoende gekend zijn.

Uit deze oefening kan reeds besloten worden dat de toepassing van de procedure leidt tot een meer volledige en meer gestructureerde inschatting van de haalbaarheid waarbij met zowel polluent- en bodemspecifieke als met terreinspecifieke parameters rekening wordt gehouden.

6.1.3 Toepassing procedure voor opvolging

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende saneringsopvolging voorgesteld:

- *6-maandelijkse monitoring van de BTEX concentraties in de bodem;*
- *2-maandelijkse staalname van het ondiepe grondwater op 5 plaatsen en analyse op BTEX;*
- *Maandelijkse opvolging van de bodemlucht in elke peilbuis op BTEX;*
- *Maandelijkse opvolging van procesparameters; en*
- *Opvolging van de grondwaterstand in 5 peilbuizen.*

In de volgende tabel wordt de voorgestelde monitoring vergeleken met de procedure voor opvolging:

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
1. Debiet per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Procesparameter: maandelijks
2. Onder/overdruk per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Procesparameter: maandelijks
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Procesparameter: maandelijks
4. Schatting van de vuilvracht verwijderd per periode	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
5. Concentraties verontreiniging onttrokken cumulatief (vuilvracht)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
6. Concentraties in de grond en/of het grondwater	Bij opstart sanering Vervolgens: 3 maandelijks	Tweemaandelijks
7. Grondwaterstand	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Frequentie wordt niet vernoemd
8. Analyse influent en effluent luchtzuivering	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Procesparameter: maandelijks

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
9. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool	Bij vervanging	Wordt niet voorgesteld
10. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	Maandelijks (aanvulling bij 3)	Wordt niet voorgesteld

De basisparameters – procesparameters, concentraties in grondwater en grondwaterstand – voor de opvolging van de sanering en hun meetfrequentie zijn in het monitoringprogramma opgenomen. Welke procesparameters exact worden bedoeld is echter onduidelijk.

Het oplijsten van het monitoringschema in tabelvorm volgens de voorgestelde procedure zou voor zowel de erkende saneringsdeskundige, de aannemer als de OVAM de geplande monitoring verduidelijken. Verder kan de tabel als checklist voor de voortgangsrapportage worden gebruikt, wat de homogeniteit tussen het bodemsaneringsproject en de erop volgende voortgangsrapporten verhoogt alsook de leesbaarheid van deze documenten.

6.1.4 Toepassing procedure voor stopzetting

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende eindevaluatiemethode voor de sanering voorgesteld:

- *Opmaak eindevaluatie van de sanering door uitvoering van een oriënterend bodemonderzoek.*
- *De aannemer heeft de plicht onderhavige BTEX verontreiniging dusdanig te saneren tot de (...) terugsaneerwaarde. Indien dit technisch niet mogelijk blijkt te zijn deze waarde te bereiken, of indien hiervoor een onevenredig hoge inspanning vereist is in verhouding tot de restrisico's, zal na een periode van drie jaar een risico-evaluatie opgesteld worden. Naar aanleiding van deze gegevens dient in overleg met de OVAM besloten te worden de sanering eerder te beëindigen, dan wel andere maatregelen te nemen.*

Vergelijking met de voorgestelde procedure voor stopzetting:

Deze aanpak komt overeen met de in dit rapport uitgewerkte procedure voor stopzetten.

6.2 SANERING TERREIN IN KESSEL (NIJLEN)

6.2.1 Situatieschets

Verontreiniging van grond en grondwater met minerale olie en BTEX (benzine). Er zijn geen drijflagen aanwezig. De bodem is zandig: de hydraulische doorlatendheid werd geraamd op 0,1 m/d (of $1{,}15 \times 10^{-6}$ m/s). De grondwaterstand varieert tussen 0,85 en 2,34 m-mv. De verontreiniging is gedeeltelijk gesitueerd onder bebouwing en verharding.

6.2.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek

Rekening houdend met de randvoorwaarden, argumentaties, voordelen en nadelen en de financiële impact van de afgewogen varianten, werd de in-situ variant *persluchtinjectie met bodemluchtextractie* als meest aangewezen variant weerhouden in het bodemsaneringsproject.

In de volgende tabel worden de voor de procedure benodigde parameters uit het bodemsaneringsproject getoetst aan de procedure voor haalbaarheid.

Parameter	Ja/neen
1. Polluentspecifiek:	
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen en/of aëroob afbreekbare organische verbindingen.	Ja
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	Ja
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	Nvt
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg.	Ja
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Ja
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Ja
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is opgelost in het grondwater al dan niet onder de vorm van gas.	Ja
2. Bodemspecifiek:	
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	Ja
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	Ja
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	?
2.4 Er zijn geen slecht doorlaatbare lagen aanwezig.	Ja
3. Terreinspecifiek:	
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	?
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	?
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	?
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	?

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek
NVT: Niet van toepassing

Op basis van de polluentspecifieke parameters kan bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie weerhouden worden als saneringsvariant. Door toepassing van de procedure blijkt echter dat de terreinspecifieke parameters (funderingen, leidinggoten, ...) onvoldoende gekend zijn. Door toepassing van de procedure blijkt ook dat specifiek aandacht dient te worden besteed aan de grondwaterstand.

Uit deze oefening kan reeds besloten worden dat de toepassing van de procedure leidt tot een meer volledige en meer gestructureerde inschatting van de haalbaarheid waarbij zowel met polluent- en bodemspecifieke als met terreinspecifieke parameters wordt rekening gehouden.

6.2.3 Toepassing procedure voor opvolging

De volgende monitoring werd voorgesteld in het bodemsaneringsproject:

- *Het in werking stellen van de installatie, waarbij o.a. door onderdrukmetingen in de BLE-filters, stijghoogtemetingen in de omliggende peilbuizen en de daadwerkelijke invloedssfeer van de AS-filters en BLE-filters wordt gecontroleerd. Niettegenstaande de dimensionering van de installatie, waarbij een modelmatige benadering en alle theoretische grondslagen in acht werden genomen, zal uit voorgaande controles blijken of de praktijk de theoretische benadering vervoegt. In voorkomend geval zal worden overgegaan tot het plaatsen van bijkomende BLE- of AS-filters.*
- *De installatie zal in werking worden gesteld en op gezette tijdstippen zullen de nodige controlestalen van bodemlucht en grondwater worden genomen ten einde een controle op de volledigheid en efficiëntie uit te voeren.*
- *De kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen en de concentraties in de opgepompte bodemlucht in het effluent van de BLE-unit wordt periodiek gecontroleerd tijdens de grond- en grondwatersaneringsfase (max. voorzien 12 maanden). In totaal zijn 6 controlerondes van telkens 5 waterstalen voorzien, waarbij analyse zal plaatsvinden op de gehalten minerale olie (IR) en BTEX: (…)*

In de volgende tabel wordt de voorgestelde monitoring vergeleken met de procedure voor opvolging:

Parameter	**Frequentie volgens procedure**	**Frequentie voorgesteld**
1. Debiet per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Enkel bij opstart
2. Onder/overdruk per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Enkel bij opstart
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Totaal effluent van de BLE-unit: tweemaandelijks
4. Schatting van de vuilvracht verwijderd per periode	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
5. Concentraties verontreiniging onttrokken cumulatief (vuilvracht)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
6. Concentraties in de grond en/of het grondwater	Bij opstart sanering Vervolgens: 3 maandelijks	Tweemaandelijks
7. Grondwaterstand	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Enkel bij opstart
8. Analyse influent en effluent luchtzuivering	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
9. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool	Bij vervanging	Wordt niet voorgesteld
10. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	Maandelijks (aanvulling bij 3)	Wordt niet voorgesteld

Een aantal basisparameters - de procesparameters en de concentraties in het grondwater en het effluent - zijn in monitoringschema opgenomen, maar welke procesparameters worden exact bedoeld? Met welke frequentie worden ze gemeten? Wat is de frequentie van de voortgangsrapporten?

Net als bij de vorige gevalstudie geldt dat het oplijsten van het monitoringschema in tabelvorm volgens de voorgestelde procedure de geplande monitoring zou verduidelijken voor zowel de erkende saneringsdeskundige, de aannemer als de OVAM. Verder kan de tabel als checklist (en inhoudstafel) voor de voortgangsrapportage worden gebruikt, wat de homogeniteit tussen het bodemsaneringsproject en de erop volgende voortgangsrapporten verhoogt alsook de leesbaarheid van deze documenten.

6.2.4 Toepassing procedure voor stopzetting

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende eindevaluatiemethode voor de sanering voorgesteld:

– *Er wordt gestreefd naar een maximale bescherming van de gebruikers van het terrein. De uiteindelijke bedoeling van de bodemsaneringswerken is een betere bodemkwaliteit, dan deze die overeenstemt met de bodem-saneringsnorm, te verkrijgen. Er wordt bovendien naar gestreefd om de VLAREBO-achtergrondwaarde te bereiken. Derhalve wordt als terugsaneerwaarde 50 mg minerale olie/kg d.s. voor de grond en 50 ug/L voor het grondwater voorgesteld, zijnde de achtergrondwaarden. Voor de aanwezige aromaten in de grond en het grondwater worden als*

terugsaneerwaarden eveneens de achtergrondwaarden vooropgesteld. Hiervan kan echter wel worden afgeweken indien, rekening houdend met het BATNEEC principe, kan worden aangetoond dat de voorgestelde waarden niet kunnen worden gehaald. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van de ervaring dewelke werd opgedaan tijdens de uitvoering van de bodemsaneringswerken.

– *Opmaak eindevaluatie van de sanering door uitvoering van een oriënterend bodemonderzoek.*

Vergelijking met de voorgestelde procedure voor stopzetting:

Deze aanpak komt slechts gedeeltelijk overeen met voorgestelde procedure. Wat indien de saneringsdoelstellingen niet worden gehaald?

Toepassing van de procedure voor stopzetting zou in dit specifieke geval voor alle betrokken partijen resulteren in een meer klare kijk op de voorgestelde saneringsdoelstellingen en op wat de mogelijkheden zijn indien blijkt dat de saneringsdoelstellingen niet kunnen worden gehaald.

6.3 SANERING TERREIN IN KONTICH

6.3.1 Situatieschets

De grond en het grondwater zijn verontreinigd met minerale olie en BTEXN. Er is een drijflaag aanwezig. Het bodemprofiel bestaat uit zandige leem tot leemhoudend zand, soms afgewisseld met zandhoudende klei. De hydraulische doorlatendheid werd geraamd op 1,05 $x10^{-3}$ m/dag (of 1,21$x10^{-8}$ m/s). De Boomse klei bevindt zich op 6 à 7 m-mv. De grondwaterstand situeert zich tussen de 3 en 4 m-mv. De verontreiniging is gesitueerd onder bebouwing en verharding.

6.3.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidsonderzoek

De volgende gefaseerde aanpak van de sanering werd voorgesteld in het bodemsaneringsproject:

1. Verwijdering van de verharding;
2. Selectieve ontgraving van de verontreinigingskern;
3. *Installatie van een persluchtinjectie en extractieputten in een alternerend rooster van 6 bij 6 meter;*
4. *Installatie grondwaterbehandeling en bodemluchtbehandeling (actieve kool gevolgd door compostfilter;*
5. Onttrekking van bodemlucht, gecombineerd met oppervlakkig grondwater, teneinde vrij product mee op te pompen tijdens de eerste 52 weken;
6. Afbraak waterzuivering; en
7. Onttrekking bodemlucht tijdens de laatste 52 weken.

In de volgende tabel worden de voor de procedure benodigde parameters uit het bodemsaneringsproject getoetst aan de procedure voor haalbaarheid.

Parameter	**Ja/neen**
1. Polluentspecifiek:	
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen en/of aëroob afbreekbare organische verbindingen.	Ja
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	Neen
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	-
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg.	Ja
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Ja
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Ja
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is opgelost in het grondwater al dan niet onder de vorm van gas.	Ja

Parameter	Ja/neen
2. Bodemspecifiek:	
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	Ja
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	Neen
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	Ja
2.4 Er zijn geen slecht doorlaatbare lagen aanwezig.	Ja
3. Terreinspecifiek:	
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	?
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	Neen
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	Neen
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	?

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek

Verschillende vragen dienden met 'neen' te worden beantwoord. Indien dit het geval is, dient volgens de procedure aanvullend onderzoek te gebeuren of te worden overgegaan tot een piloottest. In het onderhavige bodemsaneringsproject werd een piloottest uitgevoerd. Aangezien de resultaten van deze test gunstig waren, werd een persluchtinjectie- en bodemluchtextractiefase weerhouden binnen het saneringsconcept.

Uit deze oefening kan reeds besloten worden dat de toepassing van de procedure leidt tot een meer volledige en meer gestructureerde inschatting van de haalbaarheid waarbij zowel met polluent- en bodemspecifieke als met terreinspecifieke parameters wordt rekening gehouden.

6.3.3 Toepassing procedure voor opvolging

Tijdens de bodemluchtextractie en persluchtinjectiefase wordt in het bodemsaneringsproject de volgende monitoring voorgesteld:

- *Om de 6 maanden wordt voorzien in een luchtcampagne, teneinde na te gaan of de zuivering wel voldoende werkt. De eerste campagne zal plaats vinden nadat het systeem 1 maand operationeel is. Dit zal tevens een idee geven over het al dan niet noodzakelijk inzetten van actieve koolvaten. De vrijgekomen lucht zal geanalyseerd worden op debiet, totaal solventen en BTEX.*
- *Om de 4 maanden zal een in- en effluentcontrole plaatsvinden. Het effluent zal geanalyseerd worden op minerale olie en BTEX. Het effluent zal geanalyseerd worden op BOD, COD, pH, zwevende stoffen, bezinkbare stoffen, minerale olie en BTEX.*
- *Op basis van de analyseresultaten van het effluent kan besloten worden wanneer kan overgegaan worden tot het stopzetten van de grondwateronttrekking door middel van de dual phasepomp (...).*
- *Ten einde na te gaan of er geen verontreiniging wordt binnengetrokken op perceel 88h (...) zullen de peilputten PP101 en PP102 regelmatig (om de 2 maanden) bemonsterd en geanalyseerd worden.*
- *Er wordt voorgesteld om iedere 6 maand te rapporteren. Een eerste rapport zal worden opgesteld na circa 7 maanden effectieve sanering (...), met name nadat 2 luchtcampagnes en 2 watercampagnes reeds werden doorgevoerd.*
- *Tenslotte zal de eindevaluatie opgesteld worden in een eindevaluatierapport.*

In de volgende tabel wordt de voorgestelde monitoring vergeleken met de procedure voor opvolging:

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
1. Debiet per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
2. Onder/overdruk per filter	Eerste 2 maanden:	Wordt niet voorgesteld

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
	wekelijks Vervolgens: maandelijks	
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Totaal effluent van de BLE-unit: na één maand, vervolgens elke zes maanden
4. Schatting van de vuilvracht verwijderd per periode	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
5. Concentraties verontreiniging onttrokken cumulatief (vuilvracht)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
6. Concentraties in de grond en/of het grondwater	Bij opstart sanering Vervolgens: 3 maandelijks	In- en effluent grondwateronttrekking: Viermaandelijks Twee peilbuizen: Tweemaandelijks
7. Grondwaterstand	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet voorgesteld
8. Analyse influent en effluent luchtzuivering	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Na één maand: effluent BLE om na te gaan of actieve kool zuivering nodig is.
9. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool	Bij vervanging	Wordt niet voorgesteld
10. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	Maandelijks (aanvulling bij 3)	Wordt niet voorgesteld

Het voorgestelde monitoringprogramma gedurende de sanering is eerder beperkt te noemen. Welke procesparameters dienen te worden opgevolgd, en met welke frequentie, wordt bijvoorbeeld niet duidelijk aangegeven. Het gevaar bestaat dat de verontreiniging zich ongecontroleerd verspreidt naar de omgevingslucht of naar ondergrondse structuren (kelders), wat niet voldoende wordt gecontroleerd in het monitoringprogramma. Verder bestaat er ook een risico dat het systeem inefficiënt wordt omdat in de periode tussen de luchtmetingen (6 maanden) de verontreinigingssituatie wijzigt. Het in het bodemsaneringsproject voorgestelde monitoringprogramma laat geen nauwkeurige opvolging van de installatie toe.

Het toepassen van de in dit onderzoeksrapport voorgestelde procedure zou in dit specifieke geval leiden tot een meer volledige en veilige opvolging van de sanering. Het oplijsten van het monitoringschema in tabelvorm volgens de voorgestelde procedure zou voor zowel de erkende saneringsdeskundige, de aannemer als de OVAM de geplande monitoring enorm verduidelijken. Verder kan de tabel als checklist voor de voortgangsrapportage worden gebruikt, wat de homogeniteit tussen bodemsaneringsproject en de erop volgende voortgangsrapporten verhoogt alsook de leesbaarheid van deze documenten.

6.3.4 Toepassing procedure voor stopzetting

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende eindevaluatiemethode voor de sanering voorgesteld:

- *Met betrekking tot de te hanteren streefwaarden voor de bodemverontreiniging zal gestreefd worden tot een assymptotische terugsaneerwaarde met een maximale residuele concentratie gelijk aan:*
    - *Minerale olie: 300 ppm;*
    - *Benzeen: 1 ppm;*
    - *Tolueen: 5 ppm;*

- *Ethylbenzeen: 10 ppm;*
- *Xylenen: 20 ppm.*

- *Door toepassing van air sparging, gecombineerd met bioslurping, kan aangenomen worden dat de zwaardere minerale oliefractie (eventuele resten van Diesel) niet volledig zullen verwijderd worden. Rekening houdende met de vastgestelde verontreinigingssituatie en de resultaten van de saneringstest, dient te worden vooropgesteld dat de volgende concentraties door toepassing van dit concept tenminste dienen bereikt te worden:*
  - *Minerale olie (IR): 300 ppb;*
  - *Benzeen: 5 ppb;*
  - *Tolueen: 30 ppb;*
  - *Ethylbenzeen: 15 ppb;*
  - *Xylenen: 50 ppb.*

Vergelijking met de voorgestelde procedure voor stopzetting:

In het saneringsproject wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat de vooropgestelde saneringsdoelstellingen niet worden gehaald. Toepassing van de procedure voor stopzetting zou in dit specifieke geval voor alle betrokken partijen resulteren in een meer klare kijk op de voorgestelde saneringsdoelstellingen en op wat de mogelijkheden zijn indien blijkt dat de saneringsdoelstellingen niet kunnen worden gehaald.

6.4 SANERING TERREIN IN WIJNEGEM

6.4.1 Situatieschets

Het grondwater is verontreinigd met de gechloreerde solventen tetrachlooretheen (max. 1850 µg/l) en trichlooretheen (max. 180 µg/l). De bovengrond op het terrein is plaatselijk zwak tot sterk puinhoudend. De oorspronkelijke grond bestaat uit matig fijn zand. Tot op een diepte van circa 1,5 m-mv is deze zandgrond plaatselijk zwak tot matig humeus. Vanaf een diepte van circa 4 m-mv bevat deze zandgrond plaatselijk meer leem- en schelpenresten. Tot een diepte van 9 m-mv blijft het profiel bestaan uit hoofdzakelijk matig fijn zand. De hydraulische doorlatendheid werd geraamd op 5-8 m/jaar (of $1{,}58 \times 10^{-7}$- $2{,}53 \times 10^{-7}$ m/s). De grondwaterstand situeert zich tussen 2 en 3 m-mv. De verontreiniging bevindt zich bijna volledig onder bebouwing en verharding. Langs de weg is een onverharde zone.

6.4.2 Toepassing procedure voor haalbaarheidonderzoek

In het saneringsproject wordt bodemluchtextractie en persluchtinjectie voorgesteld als best beschikbare techniek.

In de volgende tabel worden de voor de procedure benodigde parameters uit het bodemsaneringsproject getoetst aan de procedure voor haalbaarheid.

Parameter	Ja/neen
1. Polluentspecifiek:	
1.1 De te saneren verontreiniging bestaat uit vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen en/of aëroob afbreekbare organische verbindingen.	Ja
1.2 Er zijn geen drijflagen of zaklagen aanwezig.	Ja
1.2.1 De aanwezige drijf- of zaklaag wordt vooraf verwijderd.	Nvt
1.3 Dampspanning > 0,5 mm/Hg.	Ja
1.4 Constante van Henry > 100 atm/molfractie.	Ja
1.5 Kookpunt < 250-300°C.	Ja

Parameter	Ja/neen
1.6 De dominante fase van de verontreiniging is opgelost in het grondwater al dan niet onder de vorm van gas.	Ja
2. Bodemspecifiek:	
2.1 Het bodemtype in de verontreinigde zone is zandig tot lemig en relatief homogeen.	Ja
2.2 Hydraulische conductiviteit > 10^{-7} m/s.	Ja
2.3 De diepte van het grondwater is > 1 m-mv.	Ja
2.4 Er zijn geen slecht doorlaatbare lagen aanwezig.	Neen
3. Terreinspecifiek:	
3.1 Er is een ondoorlatende bodemafdekking aanwezig.	Ja
3.2 Er zijn geen funderingen of kruipruimtes aanwezig.	Neen
3.3 Er zijn geen leidingen of leidinggoten aanwezig.	Neen
3.4 Er zijn geen grondwateronttrekkingen aanwezig.	?

BBO: Beschrijvend bodemonderzoek
Nvt: Niet van toepassing

Op basis van de polluentspecifieke parameters kan bodemluchtextractie in combinatie met persluchtinjectie weerhouden worden. Door toepassing van de procedure blijkt echter dat de bodem- en terreinspecifieke parameters (effect van slecht doorlatende lagen, funderingen, leidinggoten, ...) onvoldoende gekend zijn.

Uit deze oefening kan reeds besloten worden dat de toepassing van de procedure leidt tot een meer volledige en meer gestructureerde inschatting van de haalbaarheid waarbij zowel met polluent- en bodemspecifieke als met terreinspecifieke parameters wordt rekening gehouden.

6.4.3 Toepassing procedure voor opvolging

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende monitoring voorgesteld:

- *Bemonstering van de in- en uitlaatlucht: wekelijks gedurende de eerste maand, maandelijks gedurende het eerste half jaar en daarna tweemaandelijks;*
- *Driemaandelijkse tussentijdse rapportering;*
- *Op het einde: een evaluatierapport;*
- *De sanering zal worden opgevolgd door een verwijderde vuilvrachtbepaling via de in- en uitlaatlucht van elke BLE-eenheid. Daarnaast worden de peilbuizen 4, 8, 9, 16, 24, 25 en 26 op regelmatige wijze bemonsterd (direct na opstart en vervolgens om de 4 maanden) en geanalyseerd op VOCl. In het veld worden de temperatuur, pH en EC gemeten;*
- *Binnen 2 weken na het beschikbaar komen van de analyseresultaten, worden deze gerapporteerd aan OVAM. Indien dit noodzakelijk wordt geacht op basis van overleg tussen de erkende bodemsaneringsdeskundige en OVAM kan de frequentie van deze monitoring worden aangepast.*

In de volgende tabel wordt de voorgestelde monitoring vergeleken met de procedure:

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
1. Debiet per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet gespecifieerd
2. Onder/overdruk per filter	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet gespecifieerd
3. Concentraties verontreiniging in de onttrokken lucht per filter en totaal	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Totaal effluent van elke BLE-unit: wekelijks gedurende eerste maand, maandelijks gedurende de eerste 6 maanden vervolgens

Parameter	Frequentie volgens procedure	Frequentie voorgesteld
		tweemaandelijks.
4. Schatting van de vuilvracht verwijderd per periode	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Op basis van het effluent van elke BLE-unit: wekelijks gedurende eerste maand, maandelijks gedurende de eerste 6 maanden vervolgens tweemaandelijks
5. Concentraties verontreiniging onttrokken cumulatief (vuilvracht)	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Zie 4.
6. Concentraties in de grond en/of het grondwater	Bij opstart sanering Vervolgens: 3 maandelijks	Viermaandelijks: 7 peilbuizen
7. Grondwaterstand	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Wordt niet expliciet voorgesteld. Vermoedelijk voor elke grondwaterstaalname
8. Analyse influent en effluent luchtzuivering	Eerste 2 maanden: wekelijks Vervolgens: maandelijks	Op basis van het effluent van elke BLE-unit: wekelijks gedurende eerste maand, maandelijks gedurende de eerste 6 maanden vervolgens tweemaandelijks
9. Hoeveelheid afgevoerde actieve kool	Bij vervanging	Wordt niet voorgesteld
10. Polluentconcentraties in de omgevingslucht	Maandelijks (aanvulling bij 3)	Wordt niet voorgesteld

De belangrijkste verontreinigingparameters worden opgevolgd. Ook de meetfrequentie voor de verschillende parameters is duidelijk aangegeven. Welke installatieparameters dienen te worden opgevolgd, is echter niet duidelijk.

Het oplijsten van het monitoringschema in tabelvorm volgens de voorgestelde procedure zou voor zowel de erkende saneringsdeskundige, de aannemer als de overheid (OVAM) de geplande monitoring enorm verduidelijken. Verder kan de tabel als checklist (en inhoudstafel) voor de voortgangsrapportage worden gebruikt, wat de homogeniteit tussen het bodemsaneringsproject en de erop volgende voortgangsrapporten verhoogt alsook de leesbaarheid van deze documenten.

6.4.4 Toepassing procedure voor stopzetting

In het bodemsaneringsproject wordt de volgende eindevaluatiemethode voor de sanering voorgesteld:

- *(...) wordt 0,5xbodemsaneringsnorm, ofwel 20 µg/L, als technisch haalbare terugsaneerwaarde gehanteerd. Deze waarde is met het voorgestelde – intensieve – saneringssysteem, haalbaar binnen de voorziene saneringsduur van 12 maanden, (...).*
- *Na het staken van de sanering, omdat de onttrokken gehalten voldoende laag worden geacht, worden de peilbuizen nog tweemaal bemonsterd, met een tussentijd van 1 maand. Indien na de tweede controle geen sterk verhoogde gehalten meer worden vastgesteld, wordt na instemming van de OVAM, de sanering als voltooid aanzien.*

Vergelijking met de voorgestelde procedure voor stopzetting:

In het saneringsproject wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat de vooropgestelde saneringsdoelstellingen niet worden gehaald. Toepassing van de procedure voor stopzetting zou in dit specifieke geval voor alle betrokken partijen resulteren in een meer klare kijk op de voorgestelde saneringsdoelstellingen en op

wat de mogelijkheden zijn indien blijkt dat de saneringsdoelstellingen niet kunnen worden gehaald.

7. CONCLUSIES

In dit rapport worden voor de bodemsaneringstechniek *bodemluchtextractie en persluchtinjectie* de volgende procedures uitgewerkt:

1. Procedure voor haalbaarheidsonderzoek;
2. Procedure voor opvolging; en
3. Procedure voor stopzetting.

Deze procedures dienen te worden gezien als een aanvulling op de OVAM standaardprocedure voor het opstellen van een bodemsaneringsproject.

7.1 PROCEDURE VOOR HAALBAARHEIDSONDERZOEK

Door een doelgericht gebruik van de checklists en de beslisboom kan de eventuele haalbaarheid van bodemluchtextractie en persluchtinjectie op een snelle en gestructureerde manier worden ingeschat, waarbij rekening wordt gehouden met verontreinigingspecifieke, bodemspecifieke en terreinspecifieke parameters.

Deze parameters zijn gebaseerd op relatief gemakkelijk beschikbare informatie uit hetzij het beschrijvend bodemonderzoek, hetzij de literatuur.

Indien niet op alle items van de checklist of de beslisboom een pasklaar antwoord kan worden gegeven, roepen de twee aangereikte instrumenten voldoende vraagtekens op om verdere informatie in te winnen, over te gaan tot een piloottest of een andere techniek te selecteren.

7.2 PROCEDURE VOOR HET OPVOLGEN VAN SANERINGEN

Door toepassing van de checklist met monitoringparameters kan de monitoring van bodemluchtextractie en persluchtinjectie op een meer volledige, gestandaardiseerde en gestructureerde manier worden uitgevoerd.

Het oplijsten van het monitoringschema in tabelvorm volgens de voorgestelde procedure verduidelijkt voor zowel de erkende saneringsdeskundige en de aannemer als de OVAM de geplande monitoring. Het gebruik van het monitoringschema als checklist voor de voortgangsrapportage verhoogt de homogeniteit tussen het bodemsaneringsproject en de voortgangsrapporten en verhoogt ook de leesbaarheid van deze documenten.

7.3 PROCEDURE VOOR HET OPLEVEREN VAN SANERINGEN

Toepassing van de procedure voor stopzetting resulteert voor alle betrokken partijen in een meer klare kijk op de voorgestelde saneringsdoelstellingen en op wat de mogelijkheden zijn indien blijkt dat de saneringsdoelstellingen niet kunnen worden gehaald.

8. REFERENTIELIJST

8.1 GERAADPLEEGDE WERKEN

Alphenaar, A., Otten A., Pijls C., Spuy, F. en de Wit, H., (geen jaartal), In Situ Sanering, Tauw Milieu bv, Deventer.

Benning, J. and Sabalowsky, A. (1996), Soil Vapor Extraction, Website Civil Engineering Department, Virginia Tech.

Bilbao, V. en D'Haene, S. (1998), Praktijkboek Milieu en Bedrijf, Milieu-impacten en Oplossingen, Hoofdstuk 2: Parameters van bodemverontreiniging, Kluwer Editoriaal, pp 175-210.

Brooks, R. H. and Corey, A. T. (1966), Hydraulic Properties of Porous Media, Hydrology Papers No. 3, Colorado State University, Ft. Collins, CO, 29pp.

Brown, R.A., Bass, D.H. and Clayton, W. (1998), An Analysis of Air Sparging for Chlorinated Solvent Sites, Physical, Chemical, and Thermal Technologies, Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Eds. Wickramanayake, G.B. and Hinchee, R.E.), pp. 285-292.

Bruce, C.L., Gilbert C.D., Johnson R,L., Johnson, P.C., Methyl tert-Butyl Ether Removal by In Situ Air Sparging in Physical Model Studies, Chemical, and Thermal Technologies, Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Eds. Wickramanayake, G.B. and Hinchee, R.E.), pp. 293-298.

Davies, S. H. (1989), The Influence of Soil Characteristics on the Sorption of Organic Vapors. In: Proceedings of the Workshop on Soil Vacuum Extraction 27 en 28 april, R. S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, USA.

D'Haene, S., de Becker, G. en Gemoets, J. (2000), Bioremediatie: technieken, vooronderzoek en procesbewaking (artikel overhandigd aan de auteur van dit rapport).

Ecolas (1999), Saneringsplan, NV Neerland, Prins Boudewijnlaan 1, B-2550 Kontich.

Envirotox nv (1998), Bodemsaneringsproject Gheeraert Ons nv, Oostnieuwkerkesteenweg 7-9 te 8000 Roeselare.

Fetter, C.W. (1994), Applied Hydrogeology, Prentice Hill, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458.

Haarhoff, J. and Cleasby, J.L. (1990), Evaluation of Air Stripping for the Removal of Organic Drinking Water Contaminants, Water SA, Vol. 16, No 1, pp. 13-22.

Johnson, P.C., Kemblowski, M.W. and Colthart, J.D. (1990), Ground Water, Spring Issue, 28:413-429.

Johnson P.C., Stanley, C.C., Kemblowski M.W., Byers D.L. and Colthart J.D. (1990), Ground Water Monitoring Review, Spring Issue, pp. 159-177.

Johnson, R.L., Johnson, P.C., McWorter, D.B., et al. (1993), An Overview of In Situ Air Sparging, Groundwater Monitoring and remediation, pp. 127-135.

Jury, W.A. and Valentine, R.L. (1986), Transport Mechanisms and Loss Pathways for Chemicals in Soil. In: Vadose Soil Modeling of Organic

Pollutants, Hern S. C. en Melacon S.M. (eds.), Chelsea, MI, Lewis Publishers, pp. 37-55.

Kruger Curtis A. and Morse John G. (1993), Decision-support Software for Soil Vapor Extraction Technology Application: HyperVentilate, EPA/600/R-93/028.

Miller, R.N., Hinchee, R.E., Vogel, C.M., Dupound, R.R. and Downey, D.D. (1990), A Field Scale Investigation of Enhanced Petroleum Hydrocarbon Biodegradation in the Vadose Zone at Tyndall AFB, Florida, Proceedings: NGWA Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Conference, Houston, Texas, pp. 339-351.

Mualem, Y. (1986), Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soil: Prediction and Formulas. In: Klute, A. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1 – Physical and Mineralogical Methods, Monograph No.9 (2nd Ed), American Society of Agronomy – Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 799-823.

OVAM (2001), Code van goede praktijk voor het uitvoeren van milieuboringen en het plaatsen van peilbuizen.

OVAM (2000), Beschrijvend bodemonderzoek, Standaardprocedure.

OVAM (1996), Afvalstoffenanalyse compendium.

Pedersen Tom A. and Curtis James T. (1991), Soil Vapor Extraction Technology, Reference Handbook, EPA/540/2-91/003.

RIVM (1995), Handboek Bodemsanering, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, Den Haag.

Soresma nv (1999), Bodemsaneringsproject Turnhoutsebaan 488 te Wijnegem.

US Army Corps of Engineers (1995), Engineer Manual 1110-1-4001, Engineering and Design, Soil Vapor Extraction and Bioventing, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.

Vandelanotte Milieu-Advies bvba e.a. (1999), Bodemsaneringsproject, Tankstation ARAL N.V., Grote Steenweg 130 in 2560 Nijlen (Kessel).

Van Genuchten, M. T. (1980), A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal 44:892-8.

Verschueren, Karel (1996), Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, 3e ed, Van Nostrand Rijnhold.

Verschueren, Karel (1996) Material Environmental Data Sheets, Van Nostrand Rijnhold.

Wyoming Department of Environmental Quality, Water Quality Division (1999), Groundwater Pollution Control Program Guideline #4: Subsurface Investigation Content and Screening Criteria for Corrective Action Systems, http://deq.state.wy.us/wqd/ground/guide4.htm

Wyoming Department of Environmental Quality, Water Quality Division (1999), Groundwater Pollution Control Program Guideline #5: Minimum Design Requirements and Common Accepted Engineering Practices: Soil Vapor

Extraction and Bioventing Systems,
http://deq.state.wy.us/wqd/ground/guide5.htm

8.2 GERAADPLEEGDE WEBSITES

8.2.1 Bodemluchtextractie en persluchtinjectie

http://www.epa.gov

http://www.epareachit.org

http://home.flash.net/~nm2the4/BiioSparge.html

http://deq.state.wy.us/wqd/ground/guide4.htm

http://deq.state.wy.us/wqd/ground/guide5.htm

http://www.bouwweb.nl/CUR/NOBIS/html/body_95-1-05.html

8.2.2 Software

AIRFLOW/SVE:
http://www.scisoftware.com/products/airflowsve_overview/airflowsve_overview.html

HYPERVENTILATE:
http://www.mines.edu/research/igwmc/software/igwmcsoft/hyperv.html

BIOSVE:
http://www.scisoftware.com/products/biosve_overview/biosve_overview.html