

Aanvullende Code van goede praktijk 1

Bovengrondse grondwaterbehandeling

Leefmilieu Brussel

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Beschrijving van de technologie en de technologische principes	4
2.1	Algemene beschrijving.....	4
2.2	Beschrijving van de meest voorkomende zuiveringstechnieken	4
2.2.1	Olie-water afscheiding	4
2.2.2	Luchtstrippen	5
2.2.3	Zandfiltratie	8
2.2.4	Biologische zuivering in systemen met gefixeerde biomassa	9
2.2.5	Filtratie op actieve kool.....	11
2.2.6	Ionenwisseling	14
2.2.7	Membraanfiltratie.....	15
2.2.8	Neerslagvorming.....	17
2.2.9	Coagulatie – Flocculatie	19
2.2.10	Chemische oxidatie.....	20
3	Beschrijving van varianten – opstelling van de verschillende technieken.....	23
4	Doelstellingen : pluim versus kern	24
5	Voorafgaandelijk beoordeling van de technische haalbaarheid	25
5.1	Keuze van de meest geschikte techniek op basis van de aanwezige verontreinigingen...	25
6	Specifieke beoordeling van de technische haalbaarheid.....	26
6.1	Te meten parameters.....	26
6.2	Noodzaak aan voorafgaande laboratorium tests	28
6.3	Noodzaak aan een pilootproef	30
7	Beschrijving van een typische installatie	31
8	Beschrijving van de behandelingsinstallatie.....	32
9	Beperking van de milieu-impact van het project : geur, geluid, stof,.....	35
9.1	Aandachtspunten	35
9.2	Risico's verbonden aan de gevaarlijke of giftige aard van de gebruikte reagentia	35
9.3	Risico's voor luchtkwaliteit	36
9.4	Brand- en explosiegevaar.....	36
9.5	Risico's op verspreiding van gevaarlijke en giftige stoffen.....	36
9.6	Geluidshinder.....	36
9.7	Risico's voor naburige grondwateronttrekkingen	37
9.8	Naleving van de bestaande wettelijke kaders	37
10	. Toezicht op de installatie.....	38
10.1	Monitoringsmaatregelen: type apparaat	38
10.2	Toezichtmaatregelen: te analyseren parameters en monitoringfrequentie	38
11	. Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen.....	43
11.1	Rapportage.....	43
11.2	Correctieve maatregelen en optimalisatie.....	44
12	Gezondheid, veiligheid en organisatie	45
12.1	Korte checklist voor de aannemers	45
12.2	Korte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige	47
13	. Bibliografie.....	50

1 Inleiding

Deze code van goede praktijk betreft een aanvullende technologie, doordat deze alleen gebruikt zal worden als aanvulling op de andere beschreven technieken. Het betreft de zuivering van het water aan de oppervlakte dat tijdens een behandeling opgepompt wordt.

Deze verwerkingsstap vergezelt de volgende behandelingstechnieken :

- Het pompen van vloeistoffen in de verzadigde zone van de bodem ;
- In-situ chemische oxidatie en gestimuleerde natuurlijke afbraak gepaard met het oppompen van grondwater (recirculatie);
- Het pompen van gas in de onverzadigde bodemlaag samen met een verlaging van de grondwatertafel.

Het opgepompte water is afkomstig uit de puntverontreiniging of haar directe omgeving en is meestal vervuild, zodat de behandeling vóór lozing of infiltratie in de bodem nodig is. De vervuiling bestaat uit ofwel verontreinigende stoffen waarvan de inhoud zelf de behandeling rechtvaardigt, of hun afbraakproducten, of zelfs andere verbindingen of elementen, van dewelke de concentraties gemeten in het opgepompte water de normen overschrijden die van kracht zijn in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest voor lozing op oppervlaktewater of in de openbare riolering of voor infiltratie in de bodem.

De zuivering van het water bovengronds kan aanleiding geven tot het vrijkomen van gassen en dampen die behandeling vereisen voor lozing in de atmosfeer. Deze gasbehandeling is het onderwerp van Code van Goede Praktijk Bijlage 2: behandeling van gas opgepompt bij een behandeling.

Opmerking

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

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

2 Beschrijving van de technologie en de technologische principes

2.1 Algemene beschrijving

Deze extra interventietechniek is ontworpen om het gepompt water te behandelen om zo aan de eisen te voldoen die in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest van kracht zijn, voor zowel de fysische als de chemische eigenschappen van de verontreinigende stoffen en voor lozing op oppervlaktewater en de openbare riolering of voor infiltratie in de bodem.

Ter herinnering, de kwaliteit van het gezuiverde water moet voldoen aan de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'.

Bij de behandeling van het opgepompte water kan men beroep doen op verschillende technieken die alleen kunnen ingezet worden (zelden) of die na elkaar geschakeld kunnen worden op modulaire wijze om zo een aaneenschakeling van technieken te vormen. De complexiteit hiervan is afhankelijk van de samenstelling van het te zuiveren water.

2.2 Beschrijving van de meest voorkomende zuiveringstechnieken

2.2.1 Olie-water afscheiding

Deze zuiveringstechniek wordt toegepast wanneer een relatief puur product een drijvende laag vormt op het water.

Het meest toegepaste systeem is de afscheider met coalescentiescheider. Deze bestaat uit een tank verdeeld in verscheidene compartimenten :

- Eerste compartiment (bezinktank) dat zorgt voor bezinking van vaste deeltjes en een eerste scheiding van de drijfslag;
- Tweede compartiment waar de oliedruppeltjes in contact komen met een coalescentiefilter en grotere druppels vormen die een drijfslag vormen op het water;
- Een derde compartiment (indien aanwezig) waar de uiteindelijke scheiding kan plaatsvinden;
- Na het passeren van een duikschot, wordt het behandelde water afgevoerd uit de afscheider.

De andere types van afscheiders die gebruikt worden zijn de zwaartekracht afscheider en de lamellenseparator.

In een afscheider is de verhouding hoogte/breedte minstens 0,3. De verblijftijd van het water is minimum 2.5 tot 12.5 minuten.

De afscheiders kunnen gebruikt worden voor het winnen van een met water mengbare fase voor zover de stijgsnelheid van de oliedruppels (of andere niet-mengbare fase) hoger is dan de stroomsnelheid van de vloeistof in de afscheider.

Wanneer de niet-mengbare fase in de vorm van zeer fijne druppels die een emulsie vormt voorkomt, kan deze niet gescheiden worden van het water met behulp van een separator van het type niet-coalescent.

De zwaartekrachtafscheiders kunnen water behandelen met een maximum concentratie aan oliën tot 100 mg/l. Voor lamellaire separatoren en afscheiders met coalescentiefilters is de maximum concentratie aan aanvaardbare oliën respectievelijk 20 mg/l en 5 tot 20 mg/l.

De rendementen in termen van hoeveelheid gescheiden olie zijn 50 tot 90% van de initiële hoeveelheid aanwezig. De factoren van invloed op de rendementen zijn: de oppervlakte en de karakteristieken van de afseparator, het debiet en de fysicochemische eigenschappen van de te scheiden componenten (dichtheid, oplosbaarheid, ...).

Beperkingen

De hoeveelheid zwevende stoffen is bij voorkeur lager dan 1 % (vol/vol).

Gekoppelde technieken

Er is geen specifieke voorbehandeling van het grondwater nodig. Olie-waterafscheiding wordt meestal zelf ingezet als voorbehandelingsstap om problemen met een nageschakelde zuiveringseenheid te vermijden. In een aantal gevallen, o.a. bij het voorkomen van emulsies, kan de techniek gekoppeld worden aan flotatie.

Bedrijfszekerheid

Afscheiders worden beschouwd als eenvoudige hulpmiddelen. Les séparateurs sont considérés comme des outils simples. De enige te nemen voorzorgsmaatregel is het regelmatig afvoeren van het supernatans.

Storingsgevoeligheid

Aangezien er geen mechanische componenten aanwezig zijn, zullen afscheiders niet gauw falen en vereisen zij niet veel onderhoud.

Impact op het milieu

De bovenstaande fase (drijfslag of supernatans) moet beschouwd worden als gevaarlijk afval en dient afgevoerd worden van de site naar de juiste instantie om gerecycleerd, gevaloriseerd en/of behandeld te worden. In aanwezigheid van vluchtige verontreinigingen in het te behandelen water, kan de scheidingsstap het ontstaan van dampen veroorzaken, die verpompt en dan behandeld worden vóór lozing (actieve kool filtratie bijvoorbeeld).

2.2.2 Luchtstrippen

Luchtstrippen is een techniek waarbij via een intensieve uitwisseling tussen grondwater en lucht de in grondwater aanwezige vluchtige verontreinigingen overgebracht worden naar de luchtfase. Het strippen kan in mee- of tegenstroom gebeuren. In het eerste geval komen lucht en grondwater beide aan de bovenzijde van de striptoren binnen, in het tweede wordt lucht onderaan geïnjecteerd.

Er zijn twee soorten striptorens:

- Schotel- of plaatstrippers : kolommen met geperforeerde platen loodrecht op de lengteas of één of twee geperforeerde platen onderaan;
- Kolomstrippers: toren gevuld met een pakking die homogeen verdeeld is.

De kolomstrippers komen vaker voor (afhankelijk van het type pakkingsmateriaal). Ze hebben een groter contactoppervlak per volume zodat de ontwerpverblijftijd korter is. Ze hebben een lagere drukval per volume geïnjecteerde lucht, zodat het energieverbruik lager ligt. Kolomstrippers werken bij een kleinere lucht/water verhouding dan plaatbeluchters wat de efficiëntie van de

afgaszuivering ten goede komt, maar ze zijn moeilijker te reinigen. Bij een relatief hoog luchtdebiet is er een risico dat er voorkeurstromen gevormd worden (- rekening houden met verlies aan efficiëntie).

Bij de keuze van een stripkolom tijdens een bodembehandeling, dient men rekening te houden met volgende parameters:

- de concentratie van de vervuilende componenten in het grondwater
- de gewenste effluent kwaliteit
- de werkingstemperatuur en de pH, want deze bepalen mee de vluchtigheid van een contaminant
- het waterdebiet
- de Henry-coëfficiënt van de componenten. Deze geeft de verhouding aan tussen de partiële dampspanning van de component in de lucht en de concentratie in het water, en is afhankelijk van de temperatuur. Hoe hoger de Henry-coëfficiënt, hoe vluchtiger de component.
- het contactoppervlak tussen lucht en water (specifiek voor de kolom)
- de hoogte van de kolom. Deze varieert typisch tussen 1 en 5 m.
- de diameter van de kolom. Deze ligt tussen 0.5 en 2 m.

Voor een mengsel van contaminanten, moet een stripper uiteraard zodanig ontworpen worden dat de dominante of moeilijkst te strippen component met het gewenste rendement verwijderd wordt.

Toepassingsgebied

Luchtstripping is toepasbaar voor alle vluchtige contaminanten met een Henry-coëfficiënt groter dan $2,9 \text{ à } 4,1 \times 10^{-5}$ (dimensieloos) en waarvan de dampspanning groter is dan 70-100 Pa. In deze groep bevinden zich BTEX, organohalogenenverbindingen en vluchtige minerale olie. Ook vluchtige anorganische verbindingen zoals ammoniak en waterstofsulfide kunnen mits pH correctie via stripping verwijderd worden uit grondwater. De techniek is niet toepasbaar voor zware organische en weinig volatiele verbindingen (PCBs, dioxines en pesticiden) of voor anorganische metaalcomponenten.

De behaalde zuiveringsrendementen liggen typisch boven 90 %. Onder optimale omstandigheden en voor zeer vluchtige componenten zijn rendementen tot boven 99 % haalbaar. Voor VOCs kunnen effluentwaarden kleiner dan $1 \mu\text{g/l}$ bereikt worden. Voor vluchtige minerale olie is $100 \mu\text{g/l}$ haalbaar en voor BTEX $2 \mu\text{g/l}$. In principe kunnen grondwaterconcentraties van een tiental μg tot een tiental mg/l verontreiniging behandeld worden, waar nodig met meerdere strippers in serie. Een concentratie aan opgeloste verontreiniging onder de 100 mg/l wordt meestal beschouwd als een maximum.

Factoren van invloed op de zuiveringsrendementen :

- de Henry-coëfficiënt van de verontreinigingen
- de snelheid van stofoverdracht, die afhangt van het contactoppervlak luchtwater en van de contacttijd
- de verhouding waterdebiet-luchtdebiet
- de concentratie van de verontreiniging in het grondwater
- variaties in de concentratie van de contaminanten en in het debiet
- de gehaalde rendementen

- de temperatuur en de pH.

Influent vereisten

Het gehalte zwevende stoffen blijft best lager dan 1 à 5 mg/l. De vorming van neerslag (ijzeroxide en mangaan) dient men te vermijden waardoor het uitwisselingsoppervlak lucht-water vermindert. Ontijzering is dus noodzakelijk bij gehalten boven 2 mg/l voor een stripkolom en boven 5 mg/l voor een plaatstripper. De pH moet zich tussen 5 en 8 bevinden zodat kalkafzetting en corrosie vermeden worden. De aanwezigheid van olieachtige stoffen interfereert eveneens met het stripproces omdat vluchtige organische verbindingen er gedeeltelijk in oplossen en dan niet meer goed te strippen zijn. De concentraties aan methanol, aceton of methylethylketon dienen lager te zijn dan 3, 0,5 en 1 g/l respectievelijk. Hoge concentraties van deze componenten beïnvloeden namelijk de Henry coëfficiënt van andere contaminanten.

Gekoppelde technieken

Toegepaste voorbehandeling :

- Verwijdering van zwevende stoffen met coagulatie/flocculatie gevolgd door bezinking;
- Ontijzering door beluchting gevolgd door sedimentatie of filtratie ;
- Verwijdering van olieachtige stoffen met een oliefilter.

Om debiet- en concentratievariaties op te vangen wordt best een bufferbekken voorzien.

Nabehandeling kan bestaan uit behandeling van de uitgaande luchtstroom (bio filter of luchtzijdige actiefkoolfilter). Indien nodig, kan een nabehandeling van het water met actieve kool toegepast worden.

Bedrijfszekerheid

De luchtstripper wordt algemeen toegepast. In het geval van lage omgevingstemperaturen kan met het rendement behouden door thermische isolatie van het leidingwerk en recirculatie van de striplucht in gesloten kring na zuivering in een actief koolfilter. De belangrijkste procesparameter die best permanent gemeten wordt is de drukval in het systeem.

Storingsgevoeligheid

Luchtstrippen is een robuuste techniek op voorwaarde dat voldoende aandacht wordt besteed aan de voorzuivering. Indien de stripper vervuild is (bacteriële groei, gesuspendeerd materiaal of neerslag van ijzer of calcium), kan hij snel gereinigd worden door te spoelen met zuur. Bij normale omstandigheden (matige concentraties van anorganisch materiaal) is routineonderhoud om de 18 maanden nodig. Dit moet vaker gebeuren (om de 6 maanden) bij slechtere omstandigheden: bijvoorbeeld hardheid van het water > 300 mg/l (als CaCO_3)

Impact op het milieu

- Impact op het water : in het geval van fluctuerende influent concentraties, wordt best een nabehandeling ingeschakeld;
- Impact op luchtkwaliteit : als bij de transfer van vluchtige componenten naar de luchtfase concentraties bereikt worden die de emissienorm overschrijden, moet een actiefkoolfilter of bio filter voorzien worden;
- Afvalstoffen : slib (oxides, bezonken materiaal, ...) en zure afvalstroom van spoelingen;
- Hinder : de geluidshinder veroorzaakt door de ventilator kan beperkt worden door de ventilator in een geïsoleerde ruimte te plaatsen. Geurhinder kan vermeden worden door nazuivering van de lucht met een bio filter.

2.2.3 Zandfiltratie

Zandfiltratie wordt toegepast voor het verwijderen van contaminanten zoals biomassa, fosfaat, ijzer, mangaan en gedeeltelijk zware metalen. Het grondwater stroomt verticaal naar beneden door een filterbed, bestaande uit zand en/of grint, in één of meerdere lagen met verschillende partikeldiameter. Gesuspendeerde deeltjes worden verwijderd door middel van adsorptie of fysische inkapseling. De dosering van een coagulant kan het rendement verhogen.

Wanneer de weerstand van het filterbed door het aangroeien van de filterkoek te hoog wordt, dient het zandfilter te worden teruggespoeld in tegenstroom. Het terugspoelwater wordt bezonken in een vuilwaterbuffer voordat het wordt afgevoerd.

Om een continue filtratie te waarborgen worden twee zandfilters vaak in parallel geplaatst. Er zijn ook continue zandfilters waarbij voortdurend vervuild zand verwijderd wordt.

De hydraulische snelheid van discontinue zandfilters varieert tussen 3 en 20 m³/m²/uur met een gemiddelde van ongeveer 10 m³/m²/uur. Continue zandfilters hebben een hydraulische snelheid van 5-10 m³/m²/uur. De diameter van een filter is van de grootteorde van 1,5 m.

Toepassingsgebied

De meest gebruikte toepassing in grondwaterbehandeling is de ontijzering. Zware metalen kunnen verwijderd worden mits voorafgaandelijke precipitatie via loog- of sulfidedosering. In bepaalde gevallen worden continue zandfilters geïnoculeerd met biomassa en toegepast voor verwijdering van nitraat of van zware metalen.

Het rendement hangt sterk af van de te verwijderen componenten. Rendementen kunnen dan ook variëren van 50 tot 95 %. Zwevende deeltjes kunnen uit het grondwater worden verwijderd tot circa 2,5 tot 5 mg/l. Het rendement van een zandfilter is afhankelijk van het type filtratie: namelijk oppervlaktefiltratie en dieptefiltratie. Door toevoeging van coagulant kunnen de rendementen van zandfilters aanzienlijk worden verbeterd, aangezien zandfiltratie optimaal werkt wanneer de verontreinigingen in grote vlokken aanwezig zijn.

Influent vereisten

Het ijzer moet voorkomen onder de vorm van driewaardig ijzer. Concentraties aan ijzer tot 15 mg/l kunnen behandeld worden. Bij hogere concentraties geniet het de voorkeur om een voorbehandeling door middel van sedimentatie voor te schakelen.

Gekoppelde technieken

Zandfilters worden meestal ingezet als voorbehandeling. Wanneer een zandfilter wordt toegepast voor ontijzering dient hier een beluchtingsstap (oxidatie tot Fe³⁺) aan vooraf te gaan.

Zandfilters worden ook ingezet als nabehandeling voor de verwijdering van zwevende deeltjes en uitgespoelde ijzervlokken na behandeling met een installatie met precipitatie, coagulatie, flocculatie en bezinking.

Bedrijfszekerheid

Zandfiltratie is een eenvoudige technologie. Het voornaamste ongemak is de noodzaak voor regelmatig terugspoelen, waardoor grote hoeveelheden vervuild water ontstaan, die op zich ook behandeld moeten worden (bezinking met terugvoer van het water naar de zandfilter).

Storingsgevoeligheid

Zandfilters zijn weinig storingsgevoelig. Een verstopping kan veroorzaakt worden door de groei van biomassa.

Impact op het milieu

Afvalstoffen : (oxides, bezonken materiaal, ...).

2.2.4 Biologische zuivering in systemen met gefixeerde biomassa

Bij deze techniek worden milieubelastende organische bestanddelen door micro-organismen deels afgebroken tot CO₂, water en mineralen en deels omgevormd tot nieuw celmateriaal. Deze biologische afbraak gebeurt in de aanwezigheid van zuurstof in een open systeem of in anaerobe condities ter hoogte van het reactievat.

In tegenstelling tot de klassieke actief slibsystemen, gebruikt het systeem met gefixeerde biomassa een drager met hoog specifiek oppervlak, waarop de micro-organismen een bio film vormen.

Er bestaan verschillende uitvoeringsvormen :

- Biorotor waarbij de biomassa afwisselend in contact komt met lucht en verontreinigd grondwater;
- Statische filters, van het type droog of ondergedompeld, geïsoleerd of in opeenvolgende compartimenten ;
- Dynamische filtratiebedden, voortdurend in beweging.

Belangrijke factoren die de werking van systemen met gefixeerde biomassa zijn:

- Kenmerken van verontreinigende stoffen;
- De organische belasting;
- De te behandelen stroom;
- De te bereiken eindconcentraties.

Biorotoren werken meestal bij een hydraulische belasting van 0.1 m³/m² drager/d. De organische belasting hangt af van de verontreiniging en van het rendement en kan vb. 20 tot 50 g/m³/d bedragen. Voor bio filters liggen de hydraulische en organische belastingen ongeveer 10 keer hoger.

Toepassingsgebied

Omdat de biomassa een lange tijd nodig heeft om zich aan te passen aan de procescondities voor zuivering van een bepaald grondwater, heeft het geen zin om biologische zuivering toe te passen als de behandeling minder dan drie maanden duurt. De hydraulische verblijftijd (in aanwezigheid van zuurstof) moet ongeveer 2 u zijn.

Minerale olie wordt beschouwd als matig tot goed biodegradeerbaar, VOC's als zeer slecht tot goed biodegradeerbaar. Ook fenolen, ftalaten, alcoholen, enz. werden al met succes biologisch verwijderd. Bepaalde innovatieve technologieën (PACT of Powdered Activated Carbon treatment) verhogen de efficiëntie door de verblijftijd van de stoffen in de reactor te verlengen door adsorptie.

De gerapporteerde rendementen voor minerale olie variëren tussen 50 en 99 %, voor BTEX tussen 85 en 99 %.

Onderstaande **Tabel 1** presenteert de gehaalde effluentconcentraties, in gemiddelde en optimale omstandigheden voor drie families van vervuilende componenten.

Tabel 1 : gehaalde effluentconcentraties, in gemiddelde en optimale omstandigheden

Familie van vervuilende component	Effluentconcentraties in normale omstandigheden µg/l	Effluentconcentraties in optimale omstandigheden µg/l
Minerale olie	< 100	50
BTEX	20 – 50	2
PAK	10 – 100	<0.1

(volgens OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

Algemeen geldt dat biofilmsystemen best werken bij influent CZV concentraties lager dan 400 mg/l. Influent concentraties mogen oplopen tot 10-20 mg/l voor minerale olie en tot 10 à 15 mg/l voor BTEX.

Factoren die rendement bepalen zijn :

- de influent CZV concentratie
- het type en de concentratie van de verontreiniging
- schommelingen in concentratie van de verontreiniging
- het gehalte aan nutriënten
- de biobeschikbaarheid van de verontreinigingen in grondwater
- debietschommelingen
- de verblijftijd in de reactor
- het beschikbaar oppervlak voor biofilm
- de temperatuur

Influent vereisten

Het te behandelen grondwater moet de groei van micro-organismen niet belemmeren: alle sporenelementen en nutriënten die nodig zijn voor microbiële groei, moeten in voldoende mate aanwezig zijn. Hierbij geldt als vuistregel dat de verhouding BZV:N:P (in mg/l) ongeveer 100:10:1 moet bedragen (volgens andere bronnen 100:5:1). Het water moet een neutrale pH hebben en mag niet teveel zouten bevatten. Er mogen geen toxische componenten in het grondwater aanwezig zijn, vb. zware metalen of hoge concentraties aan gechlloreerde koolwaterstoffen. De optimale temperatuur bevindt zich tussen 20 en 40°C (de activiteit van de meeste micro-organismen halveert per temperatuurdaling van 10°C).

Om eventuele verstoppingen van het dragermateriaal in de biofilmsystemen te vermijden, mag het water geen te hoge concentraties aan gesuspendeerd materiaal bevatten en mag het ijzergehalte maximaal 10-25 mg/l bedragen (5 mg/l volgens een andere bron).

Gekoppelde technieken

Geïmplementeerde voorbehandelingen zijn : pH aanpassing, ontijzering (beluchting + zandfilter), reductie van gesuspendeerd materiaal (voorbezinking), verwijdering van toxische componenten (neerslag van metalen), verwijdering van vluchtige niet-afbreekbare stoffen of VOCl met een striptoren. Om debiet- en concentratievariaties op te vangen wordt best een bufferbekken voorzien.

De nabehandeling kan bestaan uit : verwijdering van uitgespoelde biomassa (nabezinktank); indien nodig kan als aanvullende reiniging van het effluent een behandeling met actieve kool toegepast worden.

Bedrijfszekerheid

De beschreven systemen worden, na een zekere opstartperiode, gekenmerkt door een grote bedrijfszekerheid. Vooral de biorotor is zeer bestendig tegen schokbelastingen en de accidentele aanwezigheid van toxische componenten in het water. Over het algemeen worden grote schommelingen in werkingsparameters best vermeden. Bij extreme koude is bescherming tegen ijsvorming nodig.

Storingsgevoeligheid

De belangrijkste procesparameters zijn de opgeloste zuurstofconcentratie, de pH en de slibbelasting

Impact op het milieu

- Impact op het water : bij resterende vervuiling die niet afgebroken werd door de micro-organismen is een nabehandeling nodig om aan de lozingseisen te voldoen. Een deel van de gefixeerde biomassa kan uitspoelen.
- Impact op de luchtkwaliteit : als belangrijke hoeveelheden van volatiele polluenten bv. BTEX aanwezig zijn, moet er een luchtzuivering voorzien worden.
- Afvalstoffen : uitgespoeld biologisch slib, chemisch slib (oxides, bezonken materiaal, ...) van de voorbehandeling;
- Hinder: geluidshinder vanwege de mechanische componenten is meestal beperkt. Bij overbelasting of storingen kan H₂S gevormd worden. Het is dus aangewezen de installatie te overkappen en het afgas te behandelen.

2.2.5 Filtratie op actieve kool

Het principe van actieve koolfiltratie is gebaseerd op de adsorberende capaciteit van de actieve kool, dankzij het grote interne oppervlak. Ze kan toegepast worden op een brede variëteit aan organische verbindingen

Een filtratie installatie bestaat altijd uit twee filters in serie, zodat de tweede de filtratie waarborgt wanneer de eerste verzadigd is. Na gebruik kan de actieve kool worden geregenereerd door oxidatie van de organische fractie in een oven. Daarbij treedt een verlies aan koolstof op van 5-10% en vermindert de activiteit.

Andere uitvoeringsvormen zijn het fluïde bed (kooldeeltjes in suspensie in de afvalwaterstroom) en het pulserend bed (periodieke waterstromen).

Ontwerp van een actief koolfilter impliceert dat berekend wordt hoeveel actief kool nodig is voor de toepassing. Te beschouwen parameters zijn: belading van het grondwater (of gas), de contacttijd, de adsorptiecapaciteit van de kool en de regeneratiefrequentie.

De verhouding hoogte/diameter van de kolom is meestal een verhouding 2/1. Filtratiesnelheden bedragen 0,5 tot 4 mm/s. Meestal worden actieve koolfilters zo ontworpen dat de kool slechts om de drie maanden vervangen moet worden.

Toepassingsgebied

De techniek wordt veelvuldig gebruikt voor de verwijdering van organische stoffen en in mindere mate ook metalen in organische complexen. Door de hoge investeringskosten is de toepassing vooral toegespitst op de 'polishing' van afvalwater na hoofdzuivering of voor de zuivering van lage debieten of kortlopende afpompingen. Vinylchloride zou zeer slecht adsorberen op actieve kool.

Rendementen

Waterzijdige actieve kooladsorptie is geschikt voor contaminantconcentraties tussen 10 ppb en 10 ppm. De capaciteit van een kolom voor een specifieke component, hangt af van het type actieve kool, de vervuiling, de concentratie en de temperatuur. De adsorptiecapaciteit bedraagt circa 6-10% van de massa actieve kool (0.5-7% volgens andere bronnen). De werking van de filter kan vooraf vrij nauwkeurig bepaald worden aan de hand van laboratoriumtesten (voor zover deze de reële condities op het terrein kunnen nabootsen).

De adsorptiecapaciteit van een filter q_e (uitgedrukt in kg geadsorbeerde verontreiniging/kg actieve kool) wordt meestal bepaald met de isotherm van Freundlich :

$$q_e = Kc^{1/n} \quad \text{waarbij}$$

K en n = empirische constanten, experimenteel te bepalen voor elke soort kool en pollutant (in m^3/kg voor K en zonder eenheid voor n)

c = concentratie verontreiniging in grondwater in contact met de actieve kool (kg/m^3)

De waarden van de constanten voor een actieve kool gemaakt uit kokosnoot zijn gerapporteerd voor enkele pollutanten in **Tabel 2**.

Les valeurs de ces constantes pour un charbon à base de coques de coco, pour quelques polluants sont rapportées dans le **tableau 2**.

Tabel 2 : Waarden van Freundlich constanten voor enkele pollutanten op kokosnoot gebaseerde kool.

Contaminant	K	1/n
VOCL	17	0.64
BTEX	36	0.57
Minerale olie	100	0.5
PAK	245	0.5
MTBE	11	0.5

(volgens OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

In de praktijk wordt voor waterzijdige actieve kool vaak de volgende beladingsgraad gehanteerd :

Tabel 3 : Adsorptiecapaciteit mogelijk voor verschillende contaminanten (g pollutant/kg kool)

Influentwaarde $\mu g/l$	100 $\mu g/l$	1 000 $\mu g/l$	10 000 $\mu g/l$
VOCL	3 – 5 g/kg	10 – 20 g/kg	50 – 75 g/kg
BTEX	8 -12 g/kg	30 – 40 g/kg	100 – 130 g/kg
Minerale olie	25 – 35 g/kg	80 – 100 g/kg	250 – 300 g/kg
PAK	70 – 80 g/kg	200 – 250 g/kg	500 – 750 g/kg
MTBE	5 g/kg	11 g/kg	24 g/kg

(volgens OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

N.B. De hoge waarden van minerale olie en PAK in het influent, ruim boven de oplosbaarheid, beschrijven de concentraties in emulsies of niet-opgeloste fase. De gerapporteerde belastingniveaus komen niet overeen met de geadsorbeerde hoeveelheden die door Freundlich isothermen voorspeld worden, maar komen overeen met afzettingen.

In het geval van ideale omstandigheden kunnen de restconcentraties zoals gerapporteerd in **Tabel 4** behaald worden.

Tabel 4 : Effluentconcentraties na actief kool filtratie onder ideale omstandigheden

Polluent	Effluentconcentratie µg/l
BTEX	<2
Minerale olie	<150
PAK	<0.1
Naphtaleen	<0.2
Chlorobenzeen	<0.5

(volgens OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

Factoren die het rendement bepalen zijn : de hoeveelheid en het type van actief kool (adsorptie capaciteit voor de beschouwde verontreiniging), de concentraties aanwezig in het grondwater en de contacttijd. Deze laatste moet minstens 10 en 20 minuten bedragen bij een doorstroomsnelheid van 10 à 15 m/u.

Een toenemende polariteit van de te adsorberen verontreiniging (ionisatie) doet de adsorptie afnemen zodat de pH van het grondwater dus belangrijk is.

Bij toenemende vluchtigheid neemt de adsorptie af. In het geval van gemengde verontreinigingen, kan een competitie (verdringing) optreden tussen de verontreinigingen voor de adsorptieplaatsen. Men kan de verontreinigingen klasseren naargelang hun affiniteit voor de actief kool als volgt:

fenolen en VOC's → vluchtige aromaten → naftaleen → zwaardere oliefracties en PAK

Influent vereisten

Onopgeloste deeltjes (zand en humus) veroorzaken vaak verstopping van de filter. Concentraties groter dan 50 mg/l worden best vermeden. Ook neerslag van ijzeroxides en kalk kunnen verstoppingen veroorzaken. Dit is een probleem bij ijzerconcentraties vanaf 5 mg/l en calcium- of magnesiumconcentraties boven 50 mg/l.

Wanneer de concentratie aan olie of vetten groter is dan 10 mg/l, moet een voorbehandeling voorzien worden. De zuurtegraad van het grondwater moet gecontroleerd worden om ionisatie van verontreinigingen te vermijden.

Gekoppelde technieken

Filtratie met actief kool wordt voornamelijk ingezet in de polishing fase. Een voorbehandeling is nodig om zwevende stoffen te verwijderen (bij > 1 mg/l), met behulp van een voorfiltratie (zandfilter of bezinking). Olieachtige verontreinigingen kunnen met een oliefilter worden afgescheiden.

Om schommelingen in de samenstelling op te vangen, wordt in de regel een buffering van het influent voorzien. Aldus kan desorptie vermeden worden bij periodes van lage influent concentraties.

In het algemeen zijn de behaalde concentraties in het effluent zo laag dat verdere nabehandeling van het grondwater niet nodig is.

Bedrijfszekerheid

Actieve koolfiltratie is een goed gekende techniek die slechts weinig toezicht en onderhoud vergt.

Storingsgevoeligheid

Actieve kool filters zijn gevoelig aan verstopping (zwevende stoffen, afzettingen, ...). Eventuele groei van micro-organismen heeft weliswaar een positieve bijdrage voor de verwijdering van biologisch afbreekbare verontreinigingen, maar belemmert de adsorptie aan het oppervlak.

Uitschuring van de actieve kool door het langsstromende water, zorgt ervoor dat er kool in het effluent terechtkomt.

Impact op het milieu

Afvalstoffen : De actieve kool moet geregeld op hoge temperatuur geregenereerd worden of vernietigd in een verbrandingsoven. Slib (oxides, bezonken materiaal, ...) afkomstig van de voorbehandeling moet gestort worden.

2.2.6 Ionenuitwisseling

Deze techniek is gebaseerd op de uitwisseling van ionen die aan de vaste fase geadsorbeerd zijn met ionische verontreinigingen in water. De uitwisselingsoppervlakken zijn voornamelijk synthetische harsen met functionele groepen:

- Kationenwisselaars : bevatten zure functionele groepen met als tegenion bijvoorbeeld protonen of natrium voor de extractie van zware metalen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen sterk en zwak zure kationenwisselaars.
- Anionenwisselaars: bevatten basische functionele groepen met bijvoorbeeld chloride of hydroxide als tegenion, gebruikt voor het uitwisselen van negatief geladen deeltjes. Ook voor de anionenwisselaars bestaan sterk en zwak basische types.

De ionenwisselaars moeten regelmatig geregenereerd worden met een oplossing met een hoge concentratie van het kation of anion dat oorspronkelijk aan de ionenwisselaar geadsorbeerd was. Dit is meestal een sterk zure of sterk basische of een geconcentreerde zoutoplossing. Na regeneratie bekomt men een eluens met een veel hogere concentratie van de contaminanten dan in het grondwater.

Bij het ontwerp dient men rekening te houden met de volgende karakteristieken :

- Capaciteit van het hars: totaal aantal beschikbare bindingsplaatsen per gewicht aan hars, variërend van 0,5 tot 2,5 eq/kg ionenwisselaarmateriaal, afhankelijk van het gebruikte type;
- Selectiviteit van het hars: affiniteit voor een bepaald ion in relatie tot andere ionen;
- Hoogte van het uitwisselingsbed;
- Debiet te behandelen grondwater.

In de grondwaterzuivering wordt over het algemeen gebruik gemaakt van selectieve harsen: eliminatie van zware metalen met selectieve zwak zure harsen en chelerende harsen, selectieve anionische harsen voor de verwijdering van chromaat, metaalcyanide complexen, enz.

De aanbevolen verhouding tussen het volume van de reactor en het volume van de hars is 2. De te behandelen debieten zijn in de orde grootte 10 m³ water per m³ reactor per uur, met stroomsnelheden van 10 tot 40 m/u.

Toepassingsgebied : Ionenwisseling kan toegepast worden voor de verwijdering van metalen, metalloïden, metaalcomplexen, zouten (nitraten, ammonium, cyanide,..), zuren en basen en voor de ontharding van water.

De gerapporteerde rendementen situeren zich tussen 80 en 99%. Restwaarden rond 10 □g/l kunnen gehaald worden als het proces gebruikt wordt als nazuiveringstap. Ionenconcentraties in het influent mogen tot 1 g/l bedragen, maar zijn best lager dan 500 mg/l. Andere bronnen vermelden dat maximum te behandelen influentconcentraties 10 tot 20 g/l bedragen. Het rendement van ionenwisseling hangt af van de selectiviteit en capaciteit van het hars, van het voorkomen van andere verontreinigingen en van de pH.

Influentvereisten

Componenten die de ionenwisselaar beschadigen, vervuilen of verstoppert, moeten uit het influent verwijderd worden:

- Concentratie aan zwevende stoffen moet kleiner dan 25 mg/l zijn (100 mg/l volgens andere bronnen)
- Neerslagen van ijzer- en mangaanoxide moeten vermeden worden omdat deze de uitwisselingsoppervlakte beperken en onder ionische vorm in competitie treden met de te verwijderen metalen. Ijzerconcentraties blijven best onder 5 mg/l en mangaanconcentraties onder 2 mg/l.
- Kalkafzettingen dienen eveneens vermeden te worden;
- Concentraties aan minerale olie en grote organische componenten groter dan 20 mg/l (10 mg/l volgens andere bronnen) dienen vermeden te worden.
- De pH moet gecontroleerd worden om flocculatie van verontreinigingen tegen te gaan. Voor sterk zure of basische ionenwisselaars kunnen de ionen uitgewisseld worden over en pH range van 0 tot 14, voor zwak zure ionenwisselaars enkel bij pHs tussen 4 en 10.

Gekoppelde technieken

Ionenwisseling wordt meestal achteraan in de behandelingstrein geplaatst als nazuiveringstechniek.

De voorbehandeling bestaat meestal uit een filtratiefase voor de zwevende stoffen en voor de verwijdering van ijzer en mangaan (na beluchting). De pH van het water moet aangepast worden.

De nabehandeling bestaat voornamelijk uit het opvangen van de regeneratiestroom, bestaande uit sterk geconcentreerde ionische afvalstoffen (metalen en andere). Deze vloeistoffen worden behandeld door precipitatie en filtratie.

Bedrijfszekerheid : ionenuitwisseling is een eenvoudige techniek en algemeen toegepast. De levensduur van de harsen varieert tussen 3 en 10 jaar.

Storingsgevoeligheid : Ionenwisseling is relatief weinig gevoelig voor storingen indien de voorafgaande behandelingen die hierboven werden beschreven uitgevoerd werden.

Impact op het milieu

Afvalstoffen : slib (oxides, bezonken materiaal, ...) afkomstig van de ontijzering voor de ionenwisseling en de neerslag/filtratie van de regeneratievloeistof.

2.2.7 Membraanfiltratie

Deze techniek betreft de scheiding van bepaalde componenten door transport van water door een semi-permeabel membraan onder invloed van een drukverschil. Deze behandeling resulteert in de

vorming van een stroom gefiltreerd water (permeaat) en een geconcentreerde afvalstroom (retentaat of concentraat). Afhankelijk van de grootte van de poriën van het membraan, spreekt men van microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose.

Met de volgende criteria dient rekening gehouden te worden bij het ontwerp van een membraanproces:

- kwaliteit grondwater en debiet ;
- type en selectiviteit membraan en opbouw: modules in serie en parallel, continu of batch-regime
- aan te leggen druk
- pakkingsdichtheid (membraanoppervlakte/m³ membraanmodule)
- reinigingsmethode van het membraan

Toepassingsgebied

Microfiltratie wordt toegepast voor het afscheiden van deeltjes met een grootte van 0,1 tot 10 μ m, zoals colloïdale deeltjes en micro-organismen. Zware metalen kunnen enkel verwijderd worden, als ze eerst neergeslagen worden.

Ultrafiltratie wordt toegepast voor het afscheiden van deeltjes met een grootte van 0,001 tot 0,1 μ m. Opgeloste grotere moleculen en deeltjes (colloïden, pigmenten, ...) met een molecuulgewicht groter dan 500 worden tegengehouden.

Bij nanofiltratie worden deeltjes groter dan 1 nm, d.w.z. met een molecuulgewicht groter dan 200, tegengehouden. Het membraan is namelijk alleen doorlaatbaar voor monovalente ionen en water. Meerwaardige zware metalen kunnen dus in principe verwijderd worden. Nanofiltratie wordt meestal toegepast voor CZV-reductie van een water.

Bij omgekeerde osmose wordt een membraan gebruikt dat alleen doorlaatbaar is voor water. De gehanteerde drukken liggen tussen de 10 en 100 bar (10^6 - 10^7 Pa). Er is 50 m²/m³ membraanoppervlak nodig om 1 m³/u grondwater te reinigen.

De rendementen In de literatuur liggen in de grootteorde van 90% tot 99% afhankelijk van de keuze en geschiktheid van het membraan. Hoewel de meeste organische verontreinigingen en zware metalen in principe door omgekeerde osmose zouden kunnen verwijderd worden, is het aan te raden om testen uit te voeren om de compatibiliteit tussen grondwater en membraan en de haalbaarheid (filtratietijd) na te gaan.

Influentconcentraties lager dan 1 mg/l worden aangeraden.

Deze techniek wordt voornamelijk toegepast voor effluent polishing en voor het bekomen van ultra puur water.

Influent vereisten

De influent vereisten hebben vooral betrekking op het vermijden van membraanvervuiling, d.i. een neerslag van tegengehouden deeltjes, colloïden, afzetting van kalk en ijzer in of op het membraan. De pH en de elektrische conductiviteit van het water moeten gecontroleerd worden. Bepaalde in grondwater opgeloste bestanddelen (humuszuren) kunnen geadsorbeerd worden door sommige membranen.

Gekoppelde technieken

Voorbehandeling bestaat uit: eliminatie van gesuspendeerd materiaal door coagulatie/flocculatie gevolgd door filtratie, ontijzing door beluchting gevolgd door bezinking of filtratie, correctie van de pH voor kalk afzettende waters.

De nabehandeling bestaat uit de behandeling van het concentraat (10 tot 50% van de voedingsstroom). Afhankelijk van de samenstelling kan dit eventueel gebeuren door coagulatie/flocculatie/precipitatie, indamping, elektrodialyse, enz.

Bedrijfszekerheid

Deze techniek wordt nog weinig ingezet bij grondwaterzuivering maar zij heeft het voordeel dat het permeaat van constante kwaliteit is ongeacht de variaties in influent debiet en –concentraties.

Storingsgevoeligheid

Membraanfiltratie is gevoelig aan vervuiling zodanig dat reinigingen noodzakelijk zijn aan een frequentie afhankelijk van de kwaliteit van de voorbehandeling. Door opconcentrerings van zouten in het concentraat, kunnen minder oplosbare verbindingen zoals calciumcarbonaat en calciumsulfaat neerslaan wat tot membraanvervuiling leidt.

Impact op het milieu

Impact op het water : productie van geconcentreerde reststroom (concentraat) die verder gezuiverd moet worden.

Afvalstoffen : slib (oxides, neergeslagen, geflocculeerde, gecoaguleerde componenten...) vrijgekomen bij de voorbehandeling.

2.2.8 Neerslagvorming

Neerslagvorming of precipitatie is het fysisch-chemisch proces waarbij stoffen met toegevoegde chemicaliën een onoplosbare neerslag (precipitaat) vormen. Vervolgens worden bovenstaande vloeistof en neerslag gescheiden.

Bijvoorbeeld, metalen kunnen neergeslagen worden door toevoeging van natronloog (vorming van hydroxides), sulfaten, sulfide, carbonaat. Thiocarbamaten en polymeren met zwavelgroepen kunnen ook gebruikt worden. Andere metalen kunnen verwijderd worden door een reducerend agens toe te voegen (chrom VI naar chrom III)

De belangrijkste ontwerpparameters zijn de dosering aan chemicaliën, de vereiste contacttijd en de roersnelheden.

Toepassingsgebied

Precipitatie wordt vooral aangewend voor de verwijdering van metaalionen uit het grondwater. De techniek is tevens toepasbaar voor de verwijdering van anorganische ionen zoals cyanide en fosfaat.

De precipitatie met vorming van hydroxides wordt gebruikt voor zware metalen. Deze heeft de volgende voordelen :

- Eenvoudige bedrijfsvoering ;
- lage kost van het precipiterend agens.

De nadelen van de methode zijn :

- Hydroxideneerslagen lossen terug op als de pH van de oplossing verandert;
- Interferentie van complexerende componenten en cyanide;
- De pH van minimale oplosbaarheid verschilt voor verschillende metalen;
- Er wordt veel slib gegenereerd dat moeilijk ontwaterbaar is.

De voordelen van neerslag onder de vorm van sulfaten zijn:

- hoge verwijdering van metalen, zelfs bij lage pH
- Hoge reactiesnelheden en dus lage verblijftijden in de reactor
- Selectieve metaalverwijdering mogelijk
- Slib is goed ontwaterbaar
- De invloed van complexerende stoffen is veel beperkter dan bij een hydroxideprecipitatie

De voornaamste nadelen zijn :

- eventuele vorming van H_2S (toxisch en geurhinder);
- sulfidetoxiciteit.

De neerslag onder vorm van carbonaten wordt gebruikt voor de verwijdering van Pb, Cd en Sb.

De co-precipitatie met ijzeroxides kan gebruikt worden om arseen en cyanide neer te slaan.

Het rendement is sterk afhankelijk van de filtratiestap van de neergeslagen fase. Theoretisch is het rendement echter beperkt tot de oplosbaarheidsgrens van het gevormde metaalzout. Voor zware metalen worden gemiddeld eindconcentraties tussen 100 en 200 $\mu g/l$ bereikt.

Influent vereisten

De factor pH is zeer belangrijk : een te lage pH verhindert de vorming van een neerslag, behalve voor een sulfideprecipitatie, en een te hoge pH kan volledige neerslagvorming verhinderen door complexatie. Een hoog ijzergehalte kan een voordeel zijn omdat geoxideerd ijzer als coagulans fungeert. Complexerende componenten dienen vooraf verwijderd te worden: cyaniden (verwijdering door chemische oxidatie),...

Gekoppelde technieken

Voorbehandelingstechnieken die eventueel ingeschakeld worden zijn : pH correctie, beluchting van het water (om ijzerneerslag te bevorderen) of net de toevoeging van een reducerend agens (neerslag van chroom).

Precipitatie leunt nauw aan en wordt meestal gecombineerd met coagulatie/flocculatie. Deze worden gebruikt om de colloïdale neerslag om te vormen tot goed af te scheiden vlokken.

Na de vorming van het precipitaat dient het gezuiverde grondwater gescheiden te worden van de neerslag door sedimentatie, flotatie en filtratie.

Eventueel is nog een pH aanpassing (risico op in oplossing gaan van overmaat aan sulfides) of verdere zuivering met ionenwisseling vereist.

Bedrijfszekerheid : neerslagvorming is een eenvoudige techniek, die een grote bedrijfszekerheid kan waarborgen. Nevenverontreinigingen zoals ijzer, kunnen het chemicaliënverbruik sterk doen stijgen.

Storingsgevoeligheid : Er moet rekening gehouden worden met kalk- en gipsafzetting in de leidingen.

Impact op het milieu

- Impact op water : restconcentraties aan reagens toegevoegd aan het water;
- Impact op luchtkwaliteit : risico op emissie van H_2S indien de pH niet correct ingesteld is;
- Afvalstoffen: neergeslagen slib (hydroxides, sulfiden, carbonaten, ...), bezonken materiaal,

2.2.9 Coagulatie – Flocculatie

Coagulatie/flocculatie is een bewerking die erop gericht is kleine vaste deeltjes, die als zodanig moeilijk te verwijderen zijn omdat ze te klein of colloïdaal van aard zijn, te laten conglomereren naar grotere afmetingen, waarna ze wel door filtratie of bezinking afgescheiden kunnen worden.

Coagulatie of chemische klaring is het destabiliseren van emulsies door toevoeging van chemicaliën (coagulantia). Flocculatie is het proces van vlokvorming en vloggroei tot afmetingen van ongeveer 1 mm, dat bevordert wordt door het toevoegen van een flocculant.

Vooreerst wordt het grondwater in een vat met sneldraaiend roerwerk gemengd met een coagulatiemiddel. Dit coagulatiemiddel is meestal een chloride of een sulfaat van een meerwaardig metaal, vb $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$. Indien het grondwater veel Fe^{2+} bevat, volstaat een beluchtingsstap om het om te zetten naar Fe^{3+} , dewelke coagulerend optreedt. Door correctie van de pH worden ideale omstandigheden bereikt voor een co-precipitatie met metaalhydroxides. De dosering van ijzerchloride bedraagt meestal ongeveer 5 mg Fe^{3+} /l.

De minimale verblijftijd voor de neerslag van metalen is 1,5 tot 2 uur. De recirculatiesnelheid is meestal 1 m/u.

In een volgend vat vindt, onder toevoeging van een flocculant (of polyelektroliet), de vlokvorming plaats. Dit vat wordt langzaam geroerd om de vlokvorming te bevorderen. De dosering van polyelektroliet bedraagt ongeveer 2 mg/l.

Toepassingsgebied : Coagulatie/flocculatie wordt gebruikt voor de verwijdering van zwevende stof of metalen.

De rendementen worden sterk bepaald door de gebruikte methode van slibafscheiding. Labotesten kunnen een indicatie geven van de rendementen met de gebruikte reagentia. Complexerende componenten (cyanides) kunnen interfereren met het rendement evenals ijzer, mangaan en andere aanwezige componenten het reagensverbruik en de slibproductie kunnen verhogen.

Influentvereisten

In het geval van grote fluctuaties in concentraties wordt aangeraden om een buffering van het influent te voorzien.

Gekoppelde technieken

De gevormde vlokken dienen gescheiden te worden van het water door bezinking, flotatie of filtratie.

Bedrijfszekerheid : de gebruikte technieken zijn zeer eenvoudig. De keuze van flocculant beïnvloedt het rendement van de filtratie.

Storingsgevoeligheid : Men dient rekening te houden met verstopping van leidingen door de gevormde vlokken.

Impact op het milieu

- Impact op de luchtkwaliteit : door het intensief roeren kunnen vluchtige verontreinigingen verdampen;
- Afvalstoffen: slib (oxides, geflocculeerd materiaal,...).

2.2.10 Chemische oxidatie

Bij chemische oxidatie worden vervuilende componenten afgebroken tot water, CO₂ en zouten. Dit gebeurt met behulp van oxidantia zoals ozon, waterstofperoxide, permanganaat, persulfaat, chloordioxide en hypochloriet.

Ozon en waterstofperoxide hebben het voordeel dat ze geen extra zoutlast veroorzaken. De chemische oxidatie loopt zeer snel. Er kunnen dan ook zeer compacte reactoren worden ingezet.

Het oxiderend vermogen van een stof is verhoogd omdat radicalen gevormd worden (Hydroxyl-, waterstof-, zuurstofradicalen. Om deze activatie te realiseren wordt een UV-lamp (photochemische oxidatie) ondergedompeld in het reactorvat. Een andere manier om het oxidatieproces te activeren is het gebruik van een katalysator, vb. actieve kool. De verontreinigingen adsorberen aan de kool en blijven daardoor langer in de reactor zodat het procesrendement dus minder gevoelig wordt voor fluctuaties in de influent concentratie.

De verblijftijd in de reactor varieert van 5 tot 10 seconden.

Toepassingsgebied

Chemische oxidatie kan toegepast worden voor organische verbindingen, evenals voor anorganische componenten zoals cyanide en ammonium.

Cyanide wordt in een eerste fase bij pH 11 tot 12 met hypochloriet geoxideerd tot cyanaat, dat verder gehydrolyseerd wordt tot ammonium en carbonaat bij neutrale pH of verder geoxideerd wordt tot stikstof en koolstofdioxide bij pH 4 tot 6. Ook cyanidecomplexen kunnen via oxidatie met hypochloriet worden omgezet. IJzercyanidecomplexen kunnen enkel met sterke oxidantia zoals waterstofperoxide of ozon verwijderd worden.

Afbraak van organische grondwaterverontreinigingen zoals gechloreerde koolwaterstoffen, BTEX, minerale olie, PAK, fenolen en pesticiden is reeds aangetoond.

Rendementen

De restconcentraties die gehaald kunnen worden met chemische oxidatie zijn de volgende :

- Cyanides geoxideerd met hypochloriet : 100 µg/l ;
- VOCl : 10µg/l met 1 µg/l voor individuele componenten;
 - o Dichloorethaan: 1 tot 10 µg/l (beginconcentratie = 200 µg/l) ;
 - o Trichloorethaan: 1 tot 10 µg/l (beginconcentratie = 5 000 µg/l).
- Benzeen : 1,1 µg/l (bij beginconcentratie = 1100 µg/l) ;
- PAK : 3µg/l (beginconcentratie = 300 µg/l) ;

Rendementen rond 99 % zijn dus haalbaar.

Factoren die het rendement bepalen zijn: de keuze van het oxidatiemiddel, de hoeveelheid, de pH en de verblijftijd in de reactor. De optimale omstandigheden moeten proefondervindelijk worden vastgelegd via labotesten of tijdens de opstartfase. Te korte verblijftijden in de reactor zorgen

voor de vorming van tussenproducten. Bij veranderingen in de influent concentraties wordt ofwel oxidans ofwel niet-geoxideerd contaminanten teruggevonden in het effluent.

Organisch materiaal wordt bij voorkeur afgebroken door oxidantia, zodat een verhoogde aanwezigheid hiervan in het grondwater kan leiden tot een onvolledige afbraak van de verontreiniging.

Influentvereisten : geen beperkingen op valk van debiet of beginconcentratie

Bij toepassing van UV-licht moet men rekening houden met:

- de troebelheid van het water moet voldoende laag zijn: zwevende stoffen lager dan 100 mg/l.
- Nitraatconcentraties lager dan 100 mg/l (absorberen in grote mate UV-straling);
- Bij de aanwezigheid van kleurstoffen is een meer intensieve straling nodig;
- De aanwezigheid van een onoplosbare fase vermindert eveneens de effectiviteit van UV-straling;
- Carbonaat, bicarbonaat en tertiair-butylalcohol zijn radicaalvangers en zullen de afbraakrendementen voor de verontreinigingen verlagen bij concentraties vanaf 400 mg/l of vanaf 100 mg/l afhankelijk van de bron.
- IJzer- en mangaanconcentraties boven 5 mg/l kunnen oxideafzettingen op de lamp veroorzaken welke de efficiëntie van de straling verlagen.

Gekoppelde technieken

De voorbehandeling bestaat meestal uit de volgende sequentie : precipitatie, flocculatie, klaring en/of filtratie om vaste deeltjes, micro-organismen, carbonaat, ijzer en/of metalen te verwijderen.

De nabehandeling kan bestaan uit: verwijdering van restconcentraties aan reagens (waterstofperoxide, ozon, hypochloriet,...), verwijdering van bijproducten van de reactie (gehalogeneerde koolwaterstoffen). Eventuele restanten van verontreinigingen kunnen via actief koolfiltratie geëlimineerd worden.

Bedrijfszekerheid: chemische oxidatie is welbekend en geniet een grote bedrijfszekerheid. Om de dosis aan oxidans te kunnen regelen, wordt de totale hoeveelheid oxideerbare verbindingen in het grondwater best regelmatig gemonitord.

Storingsgevoeligheid: bij fotochemische oxidatie moeten de UV lampen regelmatig gereinigd worden.

Impact op het milieu

- Impact op water: niet-oxideerbare verontreinigingen of een onvolledige oxidatie kunnen zorgen voor een restvervuiling;
- Impact op luchtkwaliteit: bij gebruik van ozon komt er een ozonrestemissie vrij die katalytisch afgebroken moet worden. Vluchtige stoffen kunnen gestript worden en een luchtemissie geven.
- Afvalstoffen: slib (oxides, bezonken materiaal, ...) ontstaan tijdens de voorbehandeling en neerslag van metaaloxides die eventueel gevormd worden.

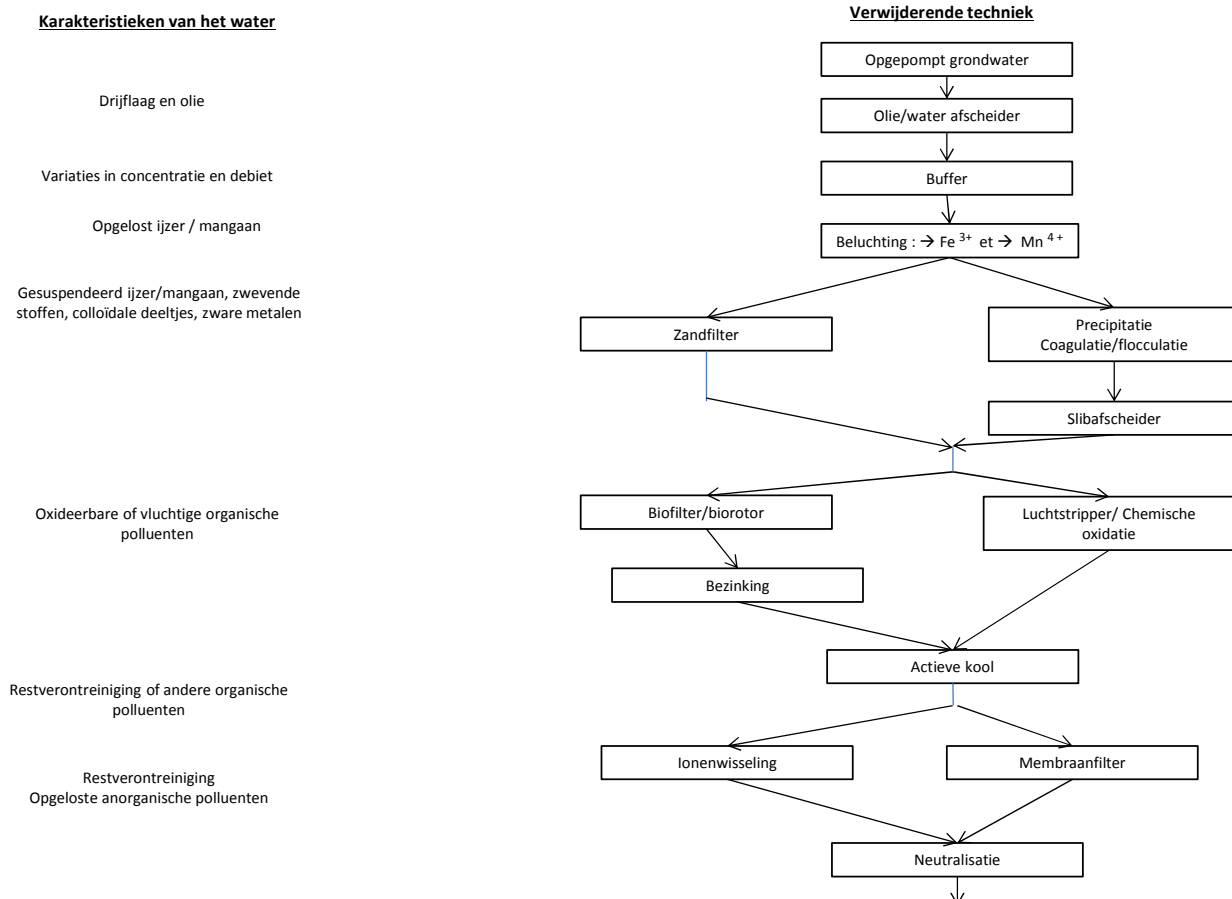
Veiligheid

Er moeten aangepaste veiligheidsmaatregelen genomen worden voor het werken met sterk reactieve oxidantia. Oxidatiereacties zijn sterk exotherm en de snelle decompositie van waterstofperoxide kan o.a. gekatalyseerd worden met nikkel- of ijzerionen. Toepassing van hypochloriet bij lage pH kan door ontbinding aanleiding geven tot de vorming van chloorgas.

3 Beschrijving van varianten – opstelling van de verschillende technieken

Afhankelijk van de eigenschappen van het te behandelen water, kunnen de verschillende technieken op sequentiële wijze een geschikt systeem vormen. Het schema in **Figuur 1** hieronder toont verschillende alternatieven van modulaire sequenties volgens de eigenschappen van het te behandelen grondwater.

Figuur 1 Mogelijke opstellingen van verschillende technieken voor de behandeling van grondwater



Dit diagram geeft alle gemakkelijk te mobiliseren technologieën weer voor de behandeling van het grondwater. In de praktijk zijn de meest gebruikte modules: olie/water afscheider, het bufferbekken met beluchter, de zandfilter, de stripkolom, sedimentatie, actief koolfilter. De andere modules worden meer gericht gebruikt voor specifieke gevallen van vervuiling.

4 Doelstellingen : pluim versus kern

Het opgepompt grondwater uit de pluim of de kern van de vervuiling verschillen in de grootte van de te behandelen vuilvracht. De waterzuivering wordt ontworpen om het water van de ene of het andere gebied te behandelen, ofwel door verschillende opeenvolging van de modules of na menging in de buffertank.

5 Voorafgaandelijk beoordeling van de technische haalbaarheid

5.1 Keuze van de meest geschikte techniek op basis van de aanwezige verontreinigingen

Tabel 5 toont voor elk type verontreiniging in grondwater de meest geschikte zuiveringstechnieken.

Tabel 5 : Indicatie van de meest geschikte zuiveringstechnieken voor een serie verontreinigingen

Type verontreiniging	Minerale olie	BTEX	PAK	VOCs	Niet-vluchtige gechlor. KWS	Zware metalen	Vrij cyanide	Complexe cyaniden
Olie/water afscheiding	+	-	-	-	-	-	-	-
Loog-precipitatie	-	-	-	-	-	+	-	-
Coagulatie/flocculatie	+	0	+	-	0	+	-	+
Actievekoolfiltratie	+	+	+	+	+	-	-	-
Luchtstrippen	0	+	-	+	-	-	-	-
Biorotor – biologische filter	+	+	0	?	?	-	0	-
Chemische oxidatie/reductie	+	+	+	+	?	?	+	0
Ionenwisseling	-	-	-	-	-	+	+	+
Membraanfiltratie	?	?	?	?	?	?	?	?
Zandfiltratie	-	-	-	-	-	+	-	0

Legende : - = niet bepaald, 0 = gemiddeld toepasbaar, + = geschikt, ? = resultaat afhankelijk van de verbinding

Bij Tabel 5 horen de volgende opmerkingen :

- Voor membraanfiltratie is de verwijdering van een bepaald type verontreiniging afhankelijk van het type membraanfiltratie : micro-, ultra en nanofiltratie of omgekeerde osmose;
- De technieken olie/water afscheider, actieve kool filtratie, luchtstrippen en biologische behandeling zijn technieken die alleenstaand kunnen voorkomen in een zuiveringsinstallatie. Dit is niet het geval voor technieken zoals membraanfiltratie, ionenwisseling, coagulatie/flocculatie, die telkens deel uitmaken van een keten van procesmodules.

6 Specifieke beoordeling van de technische haalbaarheid

6.1 Te meten parameters

Tabel 6 hieronder toont de te meten en / of te kwantificeren parameters voor de lancering van een sanering of risicobeheer waarbij een processtap van opgepompt grondwater voorkomt. Deze tabel is een checklist van de gegevens die worden verkregen, of in de opeenvolgende onderzoeksfasen (oriënterend onderzoek, gedetailleerde studie, risico-onderzoeken) of bij het opstellen van het saneringsvoorstel of risicobeheersvoorstel voor de lancering van laboratoriumtests en mogelijke piloottesten, of die voorhanden zijn voor de aanvang van werken die geen voorstel vereisen. Deze tabel toont enerzijds de parameters die bekend moeten zijn, ongeacht de technologieën welke ingezet worden, en anderzijds de parameters specifiek voor de toepassing van een bepaalde techniek.

Tabel 6 : te meten parameters van het grondwater volgens de soort beoogde technologie

Parameters	Meetmethode	Opmerking
Parameters nodig ongeacht de beoogde technologie		
Verwacht debiet van te behandelen water		Evaluatie van de verwachte variaties
Fysicochemische parameters: pH, T°, elektrische conductiviteit, zuurstofconcentratie en redoxpotentiaal	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Data beschikbaar na oriënterend onderzoek, gedetailleerde studie, risico-onderzoek
Concentraties aan verontreinigende stoffen die kunnen interfereren	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Beginconcentraties gekend na oriënterend onderzoek, gedetailleerde studie en risico-onderzoek. Inschatting van de evolutie van de concentraties door behandeling.
Concentraties aan verontreinigende stoffen die de saneringsnorm overschrijden en die moeten behandeld worden vóór lozing	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Beginconcentraties gekend na oriënterend onderzoek, gedetailleerde studie en risico-onderzoek. Inschatting van de evolutie van de concentraties door behandeling.
Concentraties aan opgelost ijzer en mangaan	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Aanwezigheid en dikte van een drijfslaag	Observatie in de monitoringsputten	Data beschikbaar na oriënterend onderzoek, gedetailleerde studie, risico-onderzoek
Parameters specifiek voor de olie/water afscheider		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	

Parameters specifiek voor luchtstrippen		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Concentraties aan methanol, aceton, méthylethylketon en andere polaire oplosmiddelen kunnen interfereren met de behandeling	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Water hardheid	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Invloed op de onderhoudsfrequentie
Parameters specifiek voor biologische behandeling met gefixeerde biomassa		
CZV concentratie	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
BZV concentratie	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Inschatting van de hoeveelheid nutriënten nodig
N en P concentraties snel opneembaar door micro-organismen (ammonium, nitraat, fosfaat)	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Parameters specifiek voor actieve koelfiltratie		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Water hardheid	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Risico op afzettingen
Parameters specifiek voor ionenwisseling		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Water hardheid	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Risico op afzettingen
Concentraties aan kationen en anionen die in competitie kunnen treden voor de uitwisselingsplaatsen: Ca, Mg, K, NO ₃ , NH ₄ , Cl, SO ₄ ...	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Parameters specifiek voor membraanfiltratie		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Water hardheid	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Risico op afzettingen
Parameters specifiek voor neerslagvorming		
Concentratie aan vrij cyanide		Risico op de vorming van ioncomplexen
Parameters specifiek voor coagulatie-flocculatie		
TOC	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Verbruik van reagens en slibproductie

Parameters specifiek voor chemische oxidatie		
Hoeveelheid zwevende stoffen	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	
Water hardheid	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Risico van afzettingen – vangt vrije radicalen
TOC	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Verbruik van oxidans voor de afbraak van organisch materiaal
Turbiditeit	Bemonstering in de monitoringsputten en analyse	Bij activering door UV-straling

Bij zandfiltratie is analyse van specifieke parameters niet nodig.

6.2 Noodzaak aan voorafgaande laboratorium tests

De diverse hierboven beschreven technieken zijn bewezen technieken waarvan de efficiëntie op basis van de gegevens in **Tabel 6** kan worden geschat.

Voor chemische oxidatie echter, dient men de technische (en financiële) haalbaarheid van de behandeling eerst te onderzoeken met behulp van een laboratoriumtest. De technische parameters van de behandeling kunnen daarbij worden bepaald.

De te meten parameters en de te rapporteren gegevens in deze stap zijn het onderwerp van de volgende **Tabel 7**.

Tabel 7 : haalbaarheidstest in het labo voor in-situ chemische oxidatie: te meten parameters en te rapporteren gegevens

Te meten parameters	Uit te voeren tests	Te rapporteren gegevens
Karakterisatie van het grondwater	Analyse van fysicochemische parameters: pH, TOC, concentraties aan te behandelen verontreinigingen, concentratie aan ijzer en andere katalyserende elementen, concentratie carbonaten	Analysemethoden, grootte van het staal, en resultaten van de analyses : pH, TOC...
Bufferende vermogen van het grondwater	Titratietests met zuren of verdunde basen	Titratiekrommen en buffercapaciteit (hoeveelheid zuur / base toegevoegd per eenheid volume water en pH-eenheid)
CZV van het grondwater	Verbruik aan oxidans door het water in de afwezigheid van verontreinigingen: batch testen	Verhouding grondwater / oxiderende oplossing, concentratie aan oxidans in de oplossing, de behandeldingsduur, type oxidatiemiddel, pH tijdens behandeling, karakteristieken van UV straling

Efficiëntie van de oxidatie voor de verwijdering van de verontreinigingen in grondwater	Restconcentraties in grondwater na behandeling, hoeveelheid oxidans verbruikt, effect op pH, vorming van intermediaire componenten, concentratie aan reactieproducten (Cl^- en SO_4^{2-}). Batch testen.	Eindconcentraties aan verontreinigingen, verhouding water / oxidatie-oplossing, concentratie aan oxidans in de oplossing, start pH, katalysatorgehalte, eind pH, concentratie aan gevormde intermediaire componenten, concentratie aan reactieproducten, tijdsduur en de omstandigheden (temperatuur, UV straling) van de test. Verbruik van oxidans door het vervuild water. Vergelijking met een blanco staal.
Gevolgen voor verhoogde mobiliteit van andere verontreinigingen	Concentraties aan verontreinigende stoffen in het grondwater die niet beschouwd worden als verplicht te saneren (Cr, As, organische verbindingen, ...)	Eindconcentraties in het water van metalen (Cr, As, ...) en organische verbindingen die problematisch kunnen worden na de behandeling (concentraties > saneringsnorm). Vergelijking met een blanco staal.

Bij deze tabel horen de volgende opmerkingen :

- De titratie onderzoeken van de bodem en het grondwater of het mengsel van de twee geeft een indicatie van de hoeveelheid zuur of base die moet toegevoegd worden om de optimale zuurgraad voorwaarden te creëren voor de ontwikkeling van oxidatie;
- Voor onderzoek en analyse van de intermediaire producten van de oxidatiereactie dient men zich te baseren op gegevens uit de literatuur. De deskundige zal de keuzes en opties geselecteerd in dit opzicht te rechtvaardigen;
- In het algemeen zullen we trachten om die experimentele omstandigheden te selecteren die de omstandigheden in de te behandelen grond benaderen: temperatuur, behandelduur overeenkomend met de duur van de persistentie van de verontreiniging in de bodem, ...;

Het kan nuttig zijn om de verwachte resultaten van coagulatie / flocculatie in het laboratorium na te gaan. De te bepalen informatie is:

- Keuze van het meest geschikte coagulant en flocculant;
- Optimale hoeveelheden (technisch en economisch) van toe te voegen reagens;
- Moeilijkheidsgraad van het scheiden en het ontwateren van het slib.

Hetzelfde geldt voor membraanfiltratie. Omstandigheden die de beste resultaten van behandeling geven worden bepaald:

- Membraantype;
- Werkdruk;
- Filtratiedebiet / membraanoppervlak;
- Circulatiesnelheid;
- Concentraties in het filtraat;
- Vereiste frequentie van reiniging.
-

6.3 Noodzaak aan een pilootproef

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

Voor zover de verzamelde gegevens voldoende blijken, is er geen behoefte om een pilootproef op het veld uit te voeren. De deskundige zal zijn aanbevelingen in dit opzicht formuleren en rechtvaardigen.

Voor biologische behandeling, gezien de tijd die nodig is voor de aanpassing van de biomassa, kunnen de kalibratie en instellen van optimale omstandigheden tijdens de opstartfase gebeuren. Tijdens deze opstartfase, moet een alternatieve optie (backup-optie) van behandeling operationeel zijn.

7 Beschrijving van een typische installatie

Gezien de grote verscheidenheid aan opeenvolgingen van technieken die kunnen worden toegepast, is het moeilijk om een beschrijving van een typische installatie te geven. De werking van de waterzuiveringsinstallaties kan continu of intermitterend zijn.

De verschillende aanwezige onderdelen kunnen worden gegroepeerd in:

- Het systeem voor de inzameling en het transport van het te behandelen water: leidingwerk (bij voorkeur ondergronds) en collectors met de controle-apparaten (flowmeters, temperatuursensoren, manometers, explosiemeters) en staalnamepunten van het opgepompte water;
- Eventueel een bufferbekken (in geval van variaties in debiet en concentraties);
- De voorbehandelingsmodules: beluchtingstanks, sedimentatietanks (met of zonder coagulatie/flocculatie), zandfilters, ... Deze modules zijn ook uitgerust met controle-instrumenten, staalnamepunten en regelsystemen;
- Technische modules van de eigenlijke behandeling: stripkolom, biorotor ... eveneens uitgerust met controle-instrumenten staalnamepunten en regelsystemen;
- De nabehandelingsmodules: ionenwisseling, actieve koolfilters ... voorzien van controle-instrumenten, staalnamepunten en regelsystemen en uitmondend in het lozingspunt of infiltratie apparaat.

Aan het einde van de behandeling is de plaatsing van een monsternamepunt verplicht. De vaste afvalproducten zoals slib van de ontijzering, afzettingen, gebruikte actieve kool, gebruikte harsen, ... worden opgeslagen met de nodige voorzorgsmaatregelen vanwege hun vervuilende of gevaarlijke aard.

Indien nodig zal een gasbehandeling aanwezig zijn om de uitstoot in de lucht van dampen van vluchtige verbindingen die mogelijk aanwezig zijn in het grondwater, de overtollige ozon en de beladen lucht die de stripkolom verlaat, te beperken. Er wordt aan herinnerd dat de behandeling van gas het onderwerp is van een aparte gedragscode.

8 Beschrijving van de behandelingsinstallatie

De behandelingsinstallatie die zal worden geplaatst in het kader van de behandeling zal worden beschreven aan de hand van, als een minimum, de vermelde parameters in Tabel 8.

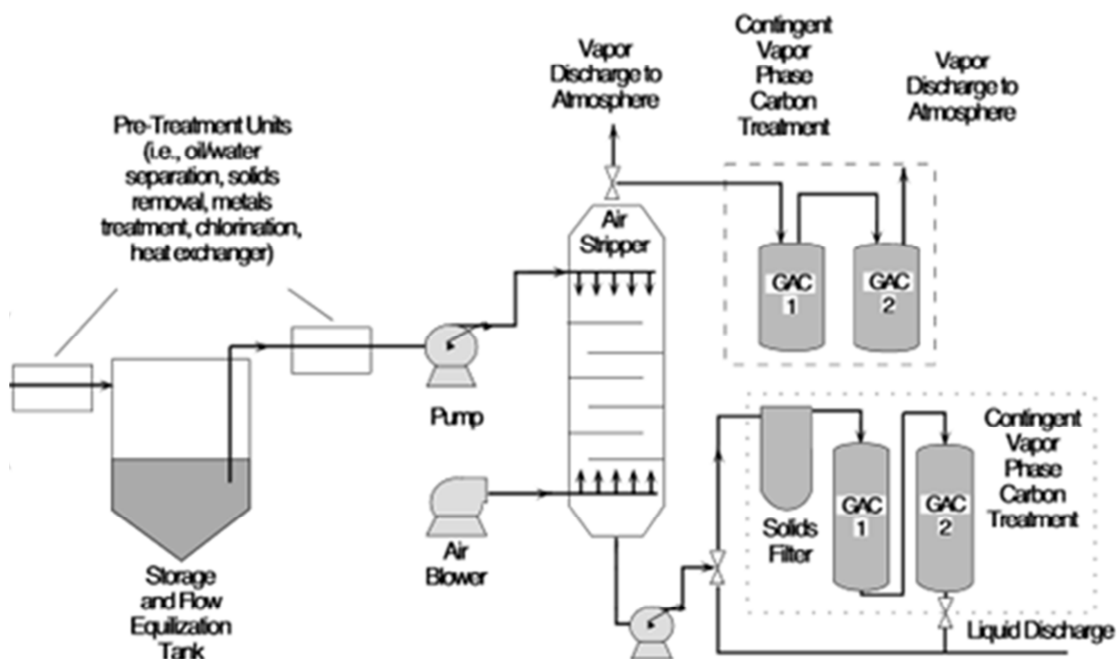
Tabel 8 : Te verstrekken gegevens over de behandelingsinstallatie van opgepompt grondwater

Onderdeel van de waterzuivering	Element	Gegevens
Nodige parameters ongeacht de gebruikte technologieën		
Onderdeel voor het verzamelen en voeden van het grondwater	Leidingwerk	Diameter, type (materialen), locatie, verwachte debieten
	Controleapparatuur	Manometers, debietmeters, explosiemeters, temperatuursensors, staalnamepunten
	Buffer	Volume, locatie
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
	Lozingspunt	Locatie, staalnameinrichting
Aanverwante onderdelen	Aanpassing van de pH en concentraties aan nutriënten, beluchting, ...	Chemische reagentia en doseerhoeveelheden, luchtdebiet
Parameters specifiek voor de olie/waterafscheider		
Afscheider	Afscheider	Volume, debiet, voorziene frequentie van leegmaken
	Controleapparatuur	Debietmeters, staalnamepunt, niveau van puur product
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor luchtstrippen		
Stripkolom	Stripkolom	Afmetingen en volume, type, debiet aan lucht en water
	Controleapparatuur	Manometers, debietmeters, explosiemeters, temperatuursensors, staalnamepunten
	Regelapparatuur	Kleppen, stop- en startprocedure
Parameters specifiek voor biologische behandeling met gefixeerde biomassa		
Biologische filter	Biorotor, ondergedompelde of droogfilter	Type, afmetingen, actieve oppervlakte, debieten, verblijftijd, indien nodig opvangmethode van slib e
	Controleapparatuur	debietmeters, temperatuursensors, staalnamepunten
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure (anti-vries)
Parameters specifiek voor actieve koolfiltratie		
Actief koolfilter	Opeenvolging van filters	Type, adsorptiecapaciteit, afmetingen, debieten, doorstromsnelheid en contacttijd, vervangingsfrequentie, inschatting van hoeveelheid actieve kool nodig

	Controleapparatuur	Manometers, debietmeters, temperatuursensors, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor ionenwisseling		
Ionenwisselaar	Harsen	Type van hars, hoeveelheden hars, volume van de ionenwisselaar, adsorptiecapaciteit, debieten, doorstroomsnelheid, contacttijd, regeneratiefrequentie, hoeveelheden aan te behandelen geconcentreerde oplossingen
	Behandeling van geconcentreerde oplossingen	Behandeling op of buiten de site. Indien on-site, beschrijving van de behandeling.
	Controleapparatuur	Manometers, debietmeters, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor membraanfiltratie		
Filter	Membraanunit	Type van membraan, selectiviteit, oppervlakte van membraan, werkingsdruk, debieten en recirculatiesnelheid, voorziene reinigingsfrequentie
	Behandeling van geconcentreerde oplossingen	Behandeling op of buiten de site. Indien on-site, beschrijving van de behandeling, hoeveelheden aan te behandelen geconcentreerde oplossingen
	Controleapparatuur	Manometers, debietmeters, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor neerslagvorming		
Neerslag van opgeloste componenten	Vorbereiding	Toegevoegd reagens, hoeveelheden toegevoegd / m ³ water, debieten, mengregime
	Afscheiding van de neergeslagen fase	Volume van de installatie, verblijftijd, debieten, scheidingsmethode (filtratie, bezinking, flottatie)
	Verwerking van de neerslag	Verwachte hoeveelheden. Opslagmethode en verwerkingsmethode
	Controleapparatuur	Debietmeters, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor coagulatie-flocculatie		
Scheiding van onopgeloste elementen	Vorbereiding	Toegevoegd reagens, hoeveelheden toegevoegd / m ³ water, debieten, mengregime
	Afscheiding van de vaste fase	Volume van de installatie, verblijftijd, debieten, scheidingsmethode (filtratie, bezinking, flottatie)
	Verwerking van de vaste stoffen	Verwachte hoeveelheden. Opslagmethode, indikking (ontwatering) en verwerkingsmethode
	Controleapparatuur	Debietmeters, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor chemische oxidatie		

Reactor	Procesvoering	Type oxidans, type katalysator, hoeveelheden toegevoegd / m ³ water, pH na behandeling, reactorvolume, debieten, contacttijd. Indien UV-activatie, karakteristieken van de straling en reinigingsfrequentie, mogelijke intermediaire producten
	Controleapparatuur	Debietmeters, staalnamepunt, temperatuursondes, analyse van omgevingslucht (ozon),...
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure
Parameters specifiek voor zandfiltratie		
Zandfilter	Opeenvolging van filters	Aantal en opstelling van filters type (standaard of continu), afmetingen (oppervlakte), gefilterde debieten, reinigingsfrequentie
	Verwerking van de reinigingsvloeistoffen	Type scheiding vloeibaar / vast (bezinking, neerslagvorming), verwerkingsmethode, verwachte hoeveelheden slib
	Controleapparatuur	Debietmeters, staalnamepunt
	Regelapparatuur	Kleppen, stopprocedure

De installatie wordt beschreven door de deskundige aan de hand van een technisch diagram (conceptueel diagram) die vergelijkbaar is aan die getoond in **Figuur 2**.



Figuur 2 Principeschema (Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems, EPA 1997)

9 Beperking van de milieu-impact van het project : geur, geluid, stof,...

9.1 Aandachtspunten

Afhankelijk van de huidige en toekomstige bezetting van de site en de onmiddellijke omgeving, moeten de volgende punten worden beschouwd:

- Risico's verbonden aan de toxische / gevaarlijke aard van de gebruikte reagentia (oxidantia, zuren, basen, ...);
- Overlast voor de luchtkwaliteit op de site en zijn directe omgeving: hoeveelheid geurende en schadelijke gassen, stof;
- Brand- en explosiegevaar;
- Risico op verspreiding van reagentia;
- Geluidsoverlast;
- Risico's voor nabijgelegen grondwaterwinningen.

9.2 Risico's verbonden aan de gevaarlijke of giftige aard van de gebruikte reagentia

De te beschouwen risico's vloeien voort uit opslag, hantering en toepassing van schadelijke en/of giftige stoffen (zuren, basen, oxidantia,...). Deze risico's moeten worden geïdentificeerd en beoordeeld tijdens de voorbereiding van het saneringsvoorstel of risicobeheersvoorstel, of voorafgaand aan de aanvang van de werken indien ze geen voorstel vereisen.

Risico's die verband houden met de aard van de stof die gebruikt kan worden ingeschat met behulp van het veiligheidsinformatieblad of Engels MSDS (Material Safety Data Sheet). Deze bestanden waarvan de inhoud wordt bepaald door de Europese REACH-verordening, geven de fysische eigenschappen, de toxiciteitgegevens, ecotoxiciteit, risico's met betrekking tot de opslag, de reactiviteit van gegevens, ...weer van de afzonderlijke stoffen. Deze beschrijven ook de te nemen beschermende maatregelen en de corrigerende maatregelen die moeten worden genomen in geval van een ongeval.

R en S zinnen (risico's en veiligheid) op de verpakking van de reagentia bieden ook een houvast over de risico's verbonden aan de formulering van deze verbindingen op de werf.

De specifieke maatregelen die tijdens de uitvoering van het project moet worden genomen, worden beschreven bij het opstellen van het saneringsvoorstel of het risicobeheersvoorstel, of worden beschreven in het rapport volgend op de werken die geen voorstel vereisen. Deze maatregelen zijn onder meer :

- De opslag en verwerking van gevaarlijke of giftige stoffen: Risico op verspreiding, lekkage, ...;
- Neutralisatie van stoffen die de site verlaten (slib, puur product, ...);
- Risico van blootstelling aan mensen: inademing, aanraking met de huid;
- Maatregelen voor de bescherming van personen: PBM (persoonlijke beschermingsmiddelen), detectiemetingen in de lucht;
- Voorlichting en opleiding van mensen die moeten werken in de buurt of met gevaarlijke of giftige stoffen.

9.3 Risico's voor luchtkwaliteit

De lucht in direct contact met de verwerkingsinstallaties kan mogelijk verontreinigd worden op verschillende manieren afhankelijk van de gebruikte technieken:

- Opruiming van ozon (giftig) wanneer dit als oxidans wordt gebruikt;
- Opruiming van H₂S (giftig) in geval van gebruik van sulfide en zure pH;
- Opruiming van dampen van vluchtige verontreinigingen aanwezig in het te behandelen water.

Om het risico van verspreiding van schadelijke of geurende dampen voor gevoelige doelgroepen die aanwezig op de site of in de directe omgeving kunnen zijn te voorkomen, moet de afdichting van de installatie met speciale zorg behandeld worden.

Zoals aangegeven in de paragraaf over toezicht op de behandeling, dient bij de start van de werking, en twee weken later, een meting van de luchtkwaliteit in de omgeving van gasverwerkingsfaciliteiten worden uitgevoerd indien gevoelige doelgroepen aanwezig zijn in de onmiddellijke nabijheid van het terrein (woonwijken, scholen, ...). In geval van herhaalde klachten van omwonenden over de aanwezigheid van geuren uit de behandeling, zal een campagne van metingen van de luchtkwaliteit uitgevoerd worden.

Stofemissie is geen waarschijnlijk gevolg van een grondwaterzuiveringsinstallatie.

9.4 Brand- en explosiegevaar

Oxidatiereacties, met name bij aanwezigheid van katalysatoren, genereren grote hoeveelheden warmte. De afgifte van zuurstof die deze reacties in sommige gevallen vergezelt kan voorwaarden creëren die bevorderlijk zijn voor het optreden van branden en explosies.

De extractie van grondwater rijk aan vluchtige stoffen kan leiden tot het ontstaan van een explosieve situatie in de leidingen en tanks. In aanwezigheid van vluchtige verbindingen, moeten dus explosiemeters worden geplaatst op verschillende locaties van de installatie: aan de leidingen van de extractie of in de buffer, in de zuiveringsinstallaties ... Deze explosiemeters moet worden aangesloten op een alarmsysteem, automatisch openen en luchtinlaat en, indien nodig, de werking van de installatie stoppen in het geval van overschrijding van de waarde van 10% van de LEL (Lower Explosive Limit).

9.5 Risico's op verspreiding van gevaarlijke en giftige stoffen

De volgende risico's op ongecontroleerde verspreiding van gevaarlijke en giftige reagentia moeten worden beschouwd: lekken in de opslag, tijdens de uitvoering, overlopen, leidingbreuk ... Hetzelfde geldt voor de gevormde producten die ter plaatse tijdelijk opgeslagen worden: afgescheiden pure minerale oliën, slib, vlokken ...

9.6 Geluidshinder

Geluidsoverlast voor de bewoners rond de site kan het gevolg zijn van de werking van pompen en een elektrische generator in gebieden die niet aangesloten zijn op een elektriciteitsnet.

De te nemen maatregelen die overlast minimaliseren:

- Inrichting van de installatie op een redelijke afstand van woonwijken;
- Regeling van de debieten zodanig dat cavitatie in de pompen wordt voorkomen;

- Luidruchtige installaties worden in akoestisch geïsoleerde containers geplaatst;
- Instelling van de bedrijfstijden zodat nachtelijke overlast voorkomen wordt in geval van intermitterende werking.

9.7 Risico's voor naburige grondwateronttrekkingen

De grondwateronttrekkingen voor openbare distributie moeten worden beschouwd als prioritaire doelstellingen. Met de andere grondwateronttrekkingen gebruikt voor privédoeleinden moet men ook rekening mee houden indien deze riskeren om onder invloed te zijn van in-situ chemische oxidatiebehandeling.

Deze faciliteiten zullen waarschijnlijk worden beïnvloed als gevolg van significante effusies in de bodem van schadelijke of toxische stoffen opgeslagen of gebruikt in de zuiveringsinstallatie.

9.8 Naleving van de bestaande wettelijke kaders

Voor luchtvervuiling worden de normen voor de emissie van gassen in de atmosfeer gegeven in de code van goede praktijk 'lozingsnormen in het kader van saneringswerken risicobeheerswerken'. De normen aangegeven in de milieuvergunning moeten ook worden aan voldaan.

Er zijn geen luchtkwaliteitsnormen beschikbaar voor immissie in de buitenlucht voor het meten van de omvang van de verontreiniging als gevolg van de ingebruikname van een ozoninjectie apparaat en het oppompen van bodemgas in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. In een eerste benadering worden de gemeten hoeveelheden aan vluchtige stoffen vergeleken met de waarden die beschikbaar zijn op het S-RISK platform © (Substance data sheets, <https://s-risk/be/documents>). el. Bij overschrijding van deze waarden is het noodzakelijk om de lekdichtheid van de installatie te controleren. In gebieden die gevoelig zijn voor hoge niveaus van luchtverontreiniging (wegen met intensief verkeer, industriële gebieden, ...) zal een verificatie-operatie worden geactiveerd als de mate van verontreiniging van de lucht in de buurt van de installatie het niveau van verontreiniging van de omgeving overschrijdt, gemeten gedurende een periode van 24 uur.

In termen van de waarneming van geuren, is er geen wettelijke limiet van kracht voor de verschillende verbindingen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De lekdichtheid van de installaties zal in geval van herhaalde klachten gecontroleerd worden. In termen van geluidsoverlast, is het aanvaardbaar geluidsniveau van het oppompen van de aquifer vastgelegd door de Verordening van 1997/07/17 en zijn uitvoeringsbesluit van 24 november 2002 betreffende de strijd tegen geluidshinder en trillingen door ingedeelde installaties. In gebieden met veel omgevingsgeluid (wegen, actieve industriële gebieden, ...) moet het gemeten niveau worden vergeleken met de impact van de installaties op het omgevingsgeluidniveau.

10 Toezicht op de installatie

10.1 Monitoringsmaatregelen: type apparaat

Gezien de opeenvolging van technische modules die kunnen worden toegepast zeer divers is, is de beschrijving van een typische inrichting moeilijk. We kunnen hooguit noemen:

- Modelregeling voor alle types installatie:
 - o op het niveau van het inzamelsysteem (leiding, spruitstuk of buffertank) van het te behandelen water: debietmeters, temperatuursensoren, manometers, staalnamepunten;
 - o op het niveau van het lozingspunt of vóór het infiltratie apparaat: debietmeters, temperatuursensoren, staalnamepunt;
- Regelingsapparatuur eigen aan elke module of groep van technologie in de volgorde van modules: debietmeter aan de inlaat, druk en mogelijks temperatuursonde, meetpunten bij de inlaat en uitlaat.

10.2 Toezichtmaatregelen: te analyseren parameters en monitoringfrequentie

De te monitoren parameters en de frequentie van de metingen worden weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 : Frequenties en op te volgen parameters

Parameters	Meetmethode	Parameter	Minimale frequentie *	Opmerkingen
Nodige parameters ongeacht de gebruikte technologieën				
Debiet aan te behandelen water	Debietmeters op het inzamelsysteem	Debieten (m ³ /s) en cumulatieve volumes	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Bufferbekken nodig indien variaties in debiet
Debiet aan te lozen of te infiltreren water	Debietmeter vóór het lozingspunt of vóór het infiltratie apparaat	Debieten (m ³ /s) en cumulatieve volumes	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	
Fysisch-chemische parameters van het te behandelen water	Staalname aan de staalnamepunten in het inzamelsysteem	pH, T°, elektrische conductiviteit, zuurstofconcentratie, redoxpotentiaal, concentratie aan opgelost ijzer en mangaan	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Bufferbekken nodig indien variaties in debiet
Concentraties aan verontreinigende stoffen in het te behandelen water	Staalname aan de staalnamepunten in het inzamelsysteem	Concentratie aan verontreinigende stoffen die verwijderd moeten worden. Concentratie aan verontreinigende stoffen > saneringsnorm en die voor lozing moeten worden behandeld.	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Bufferbekken nodig indien variaties in debiet
Aanwezigheid van een drijfslag	Staalname aan de staalnamepunten in het inzamelsysteem	Aanwezigheid van een vrije fase, de aard en de omvang	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	

Concentraties aan verontreinigende stoffen in het effluent	Staalname aan de staalnamepunten vóór het lozingspunt of vóór het infiltratie apparaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen die verwijderd moeten worden. Concentratie aan verontreinigende stoffen > saneringsnorm	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	
Parameters specifiek voor de olie/waterafscheider				
Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt voor de afscheider	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	
Efficiëntie van de afscheider	Staalname aan het staalnamepunt na de afscheider	Hoeveelheid aan minerale olie, vetten, ...	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	
Hoeveelheid puur product	Meters aan de afscheider	Hoeveelheid puur product opgeslagen in het apparaat	Te bepalen door de expert	Frequentie van leegmaken
Parameters specifiek voor luchtstrippen				
Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, manometers aan inlaat en uitlaat van lucht, debietmeter voor lucht en water	Temperatuur van het water, drukval door passage van water, verhouding lucht/waterdebiet, verblijftijd van water	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Tekenen van verstopping van de kolom en onderhouds frequentie
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt voor water aan de uitlaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen aan de uitlaat	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	
Luchtkwaliteit na passage door de kolom	Staalname aan het staalnamepunt voor lucht aan de uitlaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen in de gasemissies	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Noodzaak voor luchtbehandeling voor lozing in de atmosfeer
Parameters specifiek voor biologische behandeling met gefixeerde biomassa				
Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, debietmeter, staalnamepunt aan inlaat van module	Temperatuur van het water, debiet en verblijftijd. CZV, BZV, concentraties aan N, P, pH, zuurstof	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt voor water aan de uitlaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen aan de uitlaat	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Noodzaak aan een effluent polishing
Parameters specifiek voor actieve koolfiltratie				
Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt voor de filter	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	
Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, manometer aan inlaat en uitlaat van water, debietmeter	Temperatuur van het water, drukval door passage van water, verhouding lucht/waterdebiet, verblijftijd van water	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Tekenen van verstopping van de kolom en onderhouds frequentie
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt aan de uitlaat van de eerste filter	Concentratie aan verontreinigende stoffen aan de uitlaat	Eerste maand wekelijks dan maandelijks dan driemaandelijks	Vervanging van de filters

Parameters specifiek voor ionenwisseling

Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt voor de ionenwisselaar	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	
Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, manometer aan inlaat en uitlaat van water, debietmeter	Temperatuur van het water, drukval door passage van water, verblijftijd van water	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Tekenen van verstopping van de kolom en onderhoudsfrequentie
Karakteristieken van te behandelen water	Staalname aan het staalnamepunt voor de ionenwisselaar	pH, concentratie aan kationen en anionen die in competitie kunnen treden voor uitwisselingsplaatsen : Ca, Mg, K, NO ₃ , NH ₄ , Cl, SO ₄ ...	Te bepalen door de expert	Afhankelijk van de selectiviteit van het hars
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt aan de uitlaat van de eerste ionenwisselaar	Concentratie aan verontreinigende stoffen aan de uitlaat	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Vervanging van de ionenwisselaar

Parameters specifiek voor membraanfiltratie

Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt voor het membraan	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	
Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, manometers en debietmeters aan inlaat en uitlaat	Temperatuur van het water, werkdruk, debieten en recirculatiesnelheden, debiet aan filtraat en concentraat	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Tekenen van membraanvervuiling en onderhoudsfrequentie
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan de staalnamepunten voor filtraat en concentraat	Concentratie aan verontreinigende stoffen in filtraat en concentraat	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	

Parameters specifiek voor neerslagvorming - coagulatie-flocculatie

Procesparameters	Temperatuursensor aan inlaat, debietmeter, doseerhoeveelheden van zuren, basen, coagulanten, flocculanten	Temperatuur van het water, debieten, verblijftijd, doseerhoeveelheden	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Kalibratie van doseerhoeveelheden
Karakteristieken van te behandelen water	Staalname aan het staalnamepunt aan de inlaat	TOC, onopgeloste of gesuspendeerde componenten, concentratie aan cyanide en andere complexerende ionen	Te bepalen door de expert	Reagensverbruik en slibproductie
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt aan de uitlaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen in effluent	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Kalibratie van doseerhoeveelheden

Parameters specifiek voor chemische oxidatie

Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt aan de inlaat van reactor	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	
------------------------------	---	---------------------------	---------------------------	--

Procesparameters	Temperatuursensor in reactor, debietmeter, verblijftijd	Temperatuur van het water, drukval, debieten, verblijftijd, doseerhoeveelheden (per m ³ behandeld), UV stralingdosis	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	
Karakteristieken van te behandelen water	Staalname aan het staalnamepunt aan de inlaat van reactor	pH, hardheid	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Correctie van de pH
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt aan de uitlaat	Concentratie aan verontreinigende stoffen in effluent	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Onderhoudsfrequentie (lampen, ozongenerator)

Parameters specifiek voor zandfiltratie

Hoeveelheid zwevende stoffen	Staalname aan het staalnamepunt aan de inlaat van de filter	Hoeveelheid vaste stoffen	Te bepalen door de expert	Slibproductie
Procesparameters	Temperatuursensor, manometer voor en na de filter, debietmeter	Temperatuur van het water, drukval, debieten, verblijftijd	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	Verstopping van de filter – reinigingsfrequentie
Efficiëntie van de behandeling	Staalname aan het staalnamepunt aan de uitlaat van de filter	Concentratie aan verontreinigende stoffen in effluent	Eerste maand wekelijks dan maandelijkse dan driemaandelijks	

* de frequentie zal worden aangepast door de expert op basis van de meetgegevens

Bij deze tabel horen de volgende opmerkingen :

- Analyses van de concentraties aan verontreinigende stoffen in de gasemissies worden in een laboratorium uitgevoerd na staalname in actieve kool cartridges of ballonnen. De deskundige kan echter voorstellen om ter plekke te meten met behulp van FID, PID apparatuur of Dräger cartridges, indien deze een goede overeenkomst vertonen tussen de directe metingen en de laboratoriumanalyses. Voor verontreinigingen die voorkomen als mengsels, zoals koolwaterstoffen, gezien de ontwikkeling van de samenstelling van mengsels tijdens de voortgang van de behandeling, zal de overeenkomst tussen directe metingen en laboratoriumanalyses onderworpen moeten worden aan periodieke aanpassingen, aan een frequentie voorgesteld door de deskundige. De metingen van O₂ en CO₂ in gas kunnen met een directe methode uitgevoerd worden;
- De controlemonsters van grondwater behandeld door chemische oxidatie kunnen nog oxiderende reagentia bevatten die in staat zijn de oxidatiereactie van te analyseren verbindingen te laten doorgaan tijdens de opslag en het transport naar het laboratorium. Om deze te neutraliseren, is het noodzakelijk een reductiemiddel (natriumthiosulfaat bijvoorbeeld) toe te voegen zodra het monster genomen wordt;
- De frequentie van de staalnamecampagnes en de analyse van de waterstalen kan op gemotiveerd voorstel van de deskundige worden gewijzigd.

Voor analyse van de stalen, moet voldaan worden aan de Code van Goede Praktijk No. 4 " Code van Goede Praktijk voor analysemethoden ...", van Leefmilieu Brussel.

De op te volgen parameters met betrekking tot hinder worden behandeld in **Tabel 10**.

Tabel 10 : Frequenties en op te volgen parameters met betrekking tot hinder

Parameters	Meetmethode	Parameter	Minimale frequentie *	Opmerkingen
Concentratie aan ozon en verontreinigingen in de omgevingslucht	Staalname van de lucht in nabijheid van de zuiveringsinstallatie of gevoelige zones en analyse van de stalen, FID, PID apparatuur, andere	Concentraties aan verontreinigingen die interventie noodzaken (kg/m ³)	Bij opstart, na 2 weken en dan driemaandelijks	
Meting van geluidsniveau	Opzetten van een meetnet	Geluidsniveau	Bij klachten van omwonenden	
Meting van geur	Opzetten van een meetnet	Geurniveau	Bij klachten van omwonenden	

11 Rapportage, optimalisatie en corrigerende maatregelen

11.1 Rapportage

Zoals voorgeschreven in [het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 29/03/2018 tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, de aangifte voorafgaand aan de behandeling van beperkte duur en de modaliteiten van de bekendmaking door aanplakking van de behandeling van beperkte duur](#) omvat het inzetten van een bovengrondse grondwaternabehandeling de levering aan Leefmilieu Brussel van één of meer tussentijdse verslagen:

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

De inhoud van het eerste tussentijdse rapport omvat minstens de informatie opgenomen in **Tabel 11**.

Tabel 11 : inhoud van het eerste tussentijdse rapport

Rubriek	Op te meten parameters en grootheden	Opmerkingen
Beschrijving van de inrichting (as built) voor de eerste fase	Beschrijving van de elementen van de verzamelinrichting voor het water (leidingen, collectors en buffertank). : Beschrijving van de verschillende technische modules van de waterbehandeling. Beschrijving van de controle-inrichtingen: manometers, debietmeters, temperatuursensor, staalnamepunten. Beschrijving van de lozing of infiltratie inrichting.	
De debieten en karakteristieken van het te behandelen water	Gemeten debieten. Fysisch-chemische kenmerken (pH, Eh, opgeloste O ₂ , elektrische geleidbaarheid, T °, ijzer en opgelost mangaan, hardheid, zwevende stoffen) en de concentraties aan te behandelen verontreinigende stoffen.	Variaties. Evolutie. Noodzaak aan buffer.
Beschrijving van procesparameters	Debieten en verblijftijden in verschillende modules, T °, druk, pH. Doseerhoeveelheden van reagentia.	Voorstellen ter optimalisatie

Behaalde resultaten	Fysische parameters: drukverliezen in de modules hoeveelheden geproduceerd slib, gescheiden hoeveelheden pure producten, hoeveelheden gebruikte koolstof, hoeveelheid verzadigd hars, aantal spoelgangen membranen, zandfilters, ... Chemische parameters: concentraties van verontreinigende stoffen aan de uitlaat van de modules en aan het lozingspunt, concentraties in de afgassen	Voorstellen ter optimalisatie
----------------------------	--	-------------------------------

11.2 Correctieve maatregelen en optimalisatie

Problemen met de waterzuiveringseenheden zijn meestal te wijten aan een slecht onderhoud, verstopping, lekkage of bevrozing. Vooral ionenwisseling, membraanfiltratie en precipitatie – coagulatie - flocculatie vragen een intensieve opvolging.

De belangrijkste technische problemen in de technische modules zijn de volgende :

- Olie-waterafscheider : verstopping tussen coalescentieplaten (zorg voor tijdige afvoer geaccumuleerde olie en reinig indien nodig);
- Luchtstrippen : verstopping door neerslagvorming, biologische groei, ... (voorzie gepaste voorbehandeling en reiniging met zuur);
- biologische zuivering: eventueel mechanische problemen voor biorotor, problemen met beluchting (regelmatig onderhoud) ;
- zandfiltratie, actieve koolfiltratie, membraanfiltratie, ionenwisseling : verstopping door neerslagvorming, zwevende deeltjes, ... (voorzie gepaste voorbehandeling , regelmatig onderhoud, terugspoelen en eventueel reinigen van filters en membranen);
- Precipitatie – coagulatie – flocculatie : slechte dosering van chemicaliën (coagulantia, vlokmiddelen, ...) (zorg voor een goede kalibratie van de doseersystemen, reinig de sondes op regelmatige basis, controleer op verstoppingen in de toevoersystemen, afvoerleidingen, ..)
- chemische oxidatie : lichtemissie door UV lampen weinig efficiënt (frequente reiniging en vervanging van de lampen).

12 Gezondheid, veiligheid en organisatie

12.1 Korte checklist voor de aannemers

De checklist bedoeld voor de aannemers is opgenomen in onderstaande **Tabel 12**. Deze checklist heeft als doel de aannemers te helpen bij het opstellen van hun offertes als antwoord op de bestekken opgesteld door de experts. Rekening houdend met de grote verscheidenheid van situaties die kunnen voorkomen, kan deze checklist worden uitgebreid.

Tabel 12 : Checklist voor de aannemers

Rubriek	Controle
Voorafgaande informatie compleet en voldoende (bestek, omschrijving der werken)	
Controle van de dimensionering in functie van het specifieke materiaal en de ervaring van de aannemer	Toezicht tussen de compatibiliteit tussen het gebruikte materiaal en de aanwezige verontreinigingen Evaluatie van het risico op dichtslibben Evaluatie van ladingverlies op het netwerk, Evaluatie van het ontploffingsgevaar (vluchtige componenten, materiaal ATEX, etc.)
Gevoelige doelgroepen	Gevoelige doelgroepen aanwezig op en in de omgeving van de werf correct geïdentificeerd
Technische specificaties van het lastenboek of werkbeschrijving	Beschrijving van de verzamelinrichting, de voorbehandeling, hoofdbehandeling en nabehandeling (omvang, kenmerken, locatie ...) Definitie van de fysische grootheden: debieten, druk, drukval, pomptypes. Instellingen van de bedrijfsmodus: doseringen ...
Vaststelling van de benodigde toelatingen en van het normatieve kader dat gerespecteerd moet worden	Controle of de noodzakelijke toelatingen aangevraagd werden door de opdrachtgever. Controle of de uitgevoerde inspanningen coherent zijn met het normatieve kader.
Vaststelling van specifieke procedures die gerespecteerd moeten worden	Vaststelling van specifieke procedures en controle of er in het bestek of in de werkschrijving mee rekening is gehouden: opslag en transport van gevaarlijke en/of toxische afvalstoffen, gasemissies, ...
Lozingspunten	Lozingspunten van water en behandelde gassen uit voornoemde behandeling bepaald en compatibel met de kenmerken van de site. Vergunningen gevraagd en verkregen
De communicatielijnen zijn gedefinieerd	Identiteit en de contactgegevens van de toezichthouder, de opdrachtgever, de agent van Leefmilieu Brussel, de bevoegde autoriteiten zijn bekend.
Informatie die beschikbaar moet zijn in het veiligheids- en gezondheidsplan van de aannemer	
Vaststelling en aard van de risico's	MSDS (Material Safety Data Sheet) en R- en S- zinnen van de gebruikte stoffen. Risico's tijdens opslag, handling en toepassing van verschillende stoffen: de risico's voor het personeel (inademing, aanraking met de huid), brandgevaar, risicoverspreiding, ...
	Elektrisch risico : respect van A.R.E.I., gelijkvormigheid van de installaties en controlerapporten
	Risico op explosie in het leidingnetwerk te wijten aan de aanwezigheid van vluchtige verbindingen

	Risico op brand te wijten aan de toename van de temperatuur en de aanwezigheid van O ₂ (bij gebruik van oxidansen)
	Risico op verontreiniging van de bodem en het grondwater als gevolg van de opslag van gevaarlijke producten en/of verontreinigende stoffen
	Risico voor het personeel vanwege het risico van lekken en morsen
	Gezondheidsrisico's voor het personeel vanwege de aanwezigheid van vluchtige, gevaarlijke/giftige stoffen op de site in het algemeen. Risico van giftige uitstoot van gassen (ozon) in de atmosfeer bij oxidatie met ozon, risico van gevaarlijke vluchtige verbindingen in de atmosfeer
	Risico op ongevallen in het algemeen: vallen, brandwonden, elektrische schokken
	Risico's verbonden aan de inbraak op de site van onbevoegden: diefstal, vandalisme en risico voor de gezondheid
	Klimatologische risico's: beschermmaatregelen tegen het bevriezen van installaties
	Risico's die verband houden met het verkeer indien infrastructuur aanwezig is op de openbare weg
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde risico's, vaststelling en uitvoering van preventieve maatregelen (explosieveilige elektrische apparatuur, persoonlijke beschermingsmiddelen), inbegrepen opleiding van het personeel
Correctieve maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, voorbereiding van correctieve maatregelen en interventie maatregelen (in spoed indien nodig)
Te contacteren personen en diensten in geval van een probleem	Voor elk van de vastgestelde risico's, identiteit en coördinaten van te contacteren personen en diensten: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsbedrijf,...
Vaststelling van mogelijke hinder	Geur en gevaarlijke dampen voor de buurt in geval van lekkages en verliezen uit de installaties
	Geluidshinder van de machines: pompen, generatoren,
	Opstopping van de toegangswegen
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, vaststelling en omschrijving van de preventieve maatregelen. Bijvoorbeeld, het inzetten van explosiemeters, alarmsystemen en stopprocedure en back-up (toedienen van lucht in de leidingen)
Correctieve maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, voorbereiding van correctieve maatregelen en interventie maatregelen (in spoed indien nodig)
Planning van de interventies	
Monitoringsplan en onderhoud	Planning van controlebezoeken: minstens tweemaandelijks
	Planning van onderhoudsbezoeken
Vaststelling van defecten en technische problemen	Defecten aan de uitrusting en aan de installatie: lekken
	Risico op verstopping van leidingen en filters: daling van debieten, druk en onderdruk
	Voortijdige uitputting van de materialen die worden gebruikt voor de verwerking van gas en water (actief kool)
Plaatsen van alarmsystemen, backup en stopprocedure	Bij elk onderhoud van de installaties dient het alarmsysteem te worden getest

Correctieve maatregelen en interventie maatregelen	Voor elk van de mogelijke problemen: voorbereiding van correctieve maatregelen en interventie maatregelen (in spoed indien nodig)
Toezichtrapportage van de expert	Rekening houdend met de opvolgingsrapporten van de expert, uitvoering van correctieve en optimalisatie maatregelen
Specifieke aandachtspunten voor de uit te voeren behandeling	
Algemeenheden	Controle van de lekdichtheid van het leidingennetwerk en de installatie bij de op start van de behandeling Controle van de lekdichtheid van het leidingennetwerk en de installatie bij functioneren op volle capaciteit Controle van het alarmsysteem op afstand Periodieke controle van de installatie (minimum maandelijks) Verwijdering van de gebruikte reinigingsmiddelen volgens de adequate verwerkingsstroom Opmeten van het rendement van de installatie Opvolging van de debieten en behandelde volumes
Filtratie op actieve kool	Controle van de druk en stroomverlies
Katalytische behandeling van de lucht	Controle van de temperatuur Controle van de rendementen, evaluatie van de katalytische desactivatie Opmeten van stroomverlies Controle van het LEL-niveau
Controle van de emissies en hinder	Punctuele controles tijdens de opstart van de installatie en nadien periodiek voor de gasemissies met behulp van meetapparatuur (PID, explosiometer) Controle van de geurhinder

Volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt:

- Voor de VCA gecertificeerde aannemers (of op gelijkaardig wijze bekomen) zijn de in de **Tabel 12** opgesomde maatregelen met betrekking tot veiligheid systematisch van toepassing;
- De checklist van **Tabel 12** is geldig voor de aannemers en hun onderaannemers in hun respectievelijke interventiedomeinen;
- In het algemeen, worden de inspecties ter plaatste ten minste tweemaandelijks uitgevoerd;
- Voor de verzamel- en toevoerleiding van het opgepompte water, gaat systematisch de voorkeur uit naar ondergraven leidingen om ongevallen, vriezen (condensaat) en vandalisme te voorkomen;
- Bij de installatie van de voorzieningen nabij gebouwen, zullen luchtanalyses gebeuren in de nabijheid van de gebouwen om de concentraties aan vluchtige stoffen na te gaan. Deze meting zullen uitgevoerd worden bij opstart, 1 keer na 2 weken van de behandeling en vervolgens om de drie maanden;
- Wanneer een explosierisico is gebleken ter hoogte van het leidingwerk of zuiveringsinstallatie, zal het explosierisico (LEL) doorlopend gemeten worden en zal een back-up-systeem opgesteld met grenswaarde 10% LEL (toedienen van lucht en alarm).

12.2 Korte checklist voor de bodemverontreinigingsdeskundige

De checklist voor de deskundigen is opgenomen in **Tabel 13**. Deze lijst is bedoeld om de deskundige te helpen bij de beschrijving van de werken, het inschatten van de kost en het opstellen van de lastenboek voor de aannemer.

Tabel 13 : Checklist voor de deskundige

Rubriek	Controle
Voorafgaande informatie compleet en voldoende (voorafgaande studie, bestek, omschrijving der werken)	
Aanwezige verontreinigingen en/of te behandelen in het grondwater	Aard van de te behandelen verontreinigingen, concentraties en de mogelijke variaties in concentraties, de aanwezigheid van een drijfslag, verwachte veranderingen in de concentraties (gemeten evolutie, potentieel aan natuurlijke afbraak)
Potentieel bedreigde receptoren	Potentieel bedreigde receptoren aanwezig op en in de omgeving van de werf correct geïdentificeerd
Technische aspecten van de zuiveringsinstallatie	Beschrijving van de verzamelinrichting, de voorbehandeling, hoofdbehandeling en nabehandeling (omvang, kenmerken, locatie ...) Definitie van de fysische grootheden: debieten, druk, drukval, pomptypes. Instellingen van de bedrijfsmodus: doseringen, pH instellingen, ... Zijn de technische vereisten aangepast aan de karakteristieken en debiet van het te behandelen water.
	Werkingsmodus van de installatie: continue versus intermitterend. Verstopping risico's. Corrigerende maatregelen en mogelijke optimalisatie.
	A priori controle van de prestaties van de installatie: op basis van beschikbare gegevens, laboratoriumtesten.
Lozingspunten	Lozingspunten van water en behandelde gassen uit voornoemde behandeling bepaald en compatibel met de kenmerken van de site. Vergunningen gevraagd en verkregen
Vaststelling van de benodigde toelatingen en van het normatieve kader dat gerespecteerd moet worden	Controle of de noodzakelijke toelatingen aangevraagd werden door de opdrachtgever. Controle of de uitgevoerde inspanningen coherent zijn met het normatieve kader. De voorziene procedures zijn deze conform met de codes van goede praktijk en andere aanbevelingen van Leefmilieu Brussel
Vaststelling van specifieke procedures die gerespecteerd moeten worden	Vaststelling van specifieke procedures en controle of er in het bestek of in de werkomschrijving mee rekening is gehouden: transport van gevaarlijke afvalstoffen (condensaten), gasemissies, ...
De communicatielijnen zijn gedefinieerd	Identiteit en coördinaten van de toezichthouder, de opdrachtgever, de BIM inspecteur, het bevoegd gezag zijn gekend
Vaststelling en aard van de risico's	Risico op explosie in het leidingnetwerk te wijten aan de aanwezigheid van vluchtige verbindingen
	Risico op verontreiniging van de bodem en het grondwater als gevolg van de opslag van gevaarlijke producten en/of verontreinigende stoffen
	Klimatologische risico's: het bevriezen van leidingwerk en installaties
	Risico's die verband houden met het verkeer indien infrastructuur aanwezig is op de openbare weg
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde risico's, identificatie en installatie van preventieve maatregelen inbegrepen de opleiding van het personeel
Te contacteren personen en diensten in geval van een probleem	Voor elk van de vastgestelde risico's, identiteit en coördinaten van te contacteren personen en diensten: brandweer, gemeente, civiele bescherming, nutsbedrijf,...
Vaststelling van mogelijke hinder	Geur en gevaarlijke dampen voor de buurt in geval van lekkages en verliezen uit de installaties
	Lawaai van de machines : pompen, generatoren,

	Opstopping van de toegangswegen
Preventieve maatregelen	Voor elk van de vastgestelde hindergevallen, vaststelling en omschrijving van de preventieve maatregelen
	Inzetten van explosiemeters, alarmsystemen en stopprocedure en back-up (toedienen van lucht in de leidingen)
Planning en inhoud van het toezicht, van de evaluatie en van de evaluatie op lange termijn (nazorg)	
Controleapparatuur	Beschrijving van de controle-apparatuur: debietmeters, manometers en temperatuursondes in installaties en staalnamepunten in verschillende stadia van de behandeling, de bemonstering van de omgevingslucht ... Rekening houden met de bescherming van gevoelige doelgroepen.
Op te volgen parameters	Debietmetingen van te behandelen water, concentraties in het te behandelen water (variëaties en evolutie), de aanwezigheid van een drijflaag, procesparameters (temperatuur, pH, debiet, druk, het verbruik van reagentia, actiefkool, ...). Concentraties in effluent en gasemissies.
Te optimaliseren parameters	Opeenvolging van de verschillende modules, aanpassing van de voorbehandeling, kalibratie van doseerhoeveelheden, debieten en doorvoer tijd, frequentie van het onderhoud. Aanpassing van de installatie aan de evolutie in de kwaliteit van te behandelen water.
Rapportage	Planning voor de indiening van het eerste tussentijdse rapport en voor de indiening van volgende tussentijdse rapporten
	Zijn de verzamelde gegevens voldoende voor de opstelling van deze rapporten?

13 Bibliografie

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

- Code van goede praktijk : Pump & Treat, Deel 2, Bovengrondse grondwaterbehandeling , OVAM, 2002;
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001;
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazog-versie oktober 2011, OVAM.
- Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems. EPA 1997