

## Biostimulatie voormalig Cebeco-terrein te 's Gravenmoer

***(RESANAT, restverontreiniging sanering met nature-based technieken)***

Projectnummer: C18015-001R-01D

Status: definitief

19 december 2022

## Colofon

**Auteur**

Lisanne Keijzer  
Arne Alphenaar

**Datum**

19 december 2022

**Vrijgave**

Arne Alphenaar

**Projectnummer**

C18015

**Opdrachtgever**

InterREG project RESANAT

**Project**

Biostimulatie voormalig Cebeco-terrein te 's Gravenmoer



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Resanat	1
1.2	Historie locatie Havenkade	1
<b>1.3</b>	<b>Historie Bodemonderzoek en sanering</b>	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Doel onderzoek</b>	<b>4</b>
1.5	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>Conceptueel Site Model</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>1999</b>	<b>Onderzoeksvragen</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Uitgevoerde onderzoeken</b>	<b>8</b>
3.1	Sonderingen	8
3.2	Fluxbepalingen	9
3.3	Capaciteit biologische afbraak	9
3.4	Chemische samenstelling puur product	10
3.5	Grondwaterkwaliteit	11
<b>4</b>	<b>Beschikbare informatie en onderzoeksvragen</b>	<b>12</b>
4.1	Bodemopbouw	12
<b>4.2</b>	<b>Hydrologie</b>	<b>14</b>
<b>4.3</b>	<b>Omvang / locatie bronzone</b>	<b>17</b>
<b>4.4</b>	<b>Samenstelling puur product</b>	<b>20</b>
<b>4.5</b>	<b>Grondwater</b>	<b>23</b>
4.5.1	Bronzone	24
4.5.2	Pluimzone	27
<b>4.6</b>	<b>Biologische afbraak</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie onderzoek verontreinigingssituatie / Geactualiseerd CSM32</b>	
5.1	Conclusie	32
5.2	Geactualiseerd CSM	33
<b>6</b>	<b>Pilot</b>	<b>35</b>
6.1	Aeroob (biosparging/luchtinjectie)	35
6.2	Nitraat	36
6.3	Sulfaat	37
6.4	Monitoring	37



**Bijlage 1: Referenties**

**Bijlage 2: Rapport EnISSA**

**Bijlage 3: Rapportage iFlux**

**Bijlage 4: Rapportage Deltares**

**Bijlage 5: Rapport teercharacterisatie**

**Bijlage 6: Analysecertificaten**

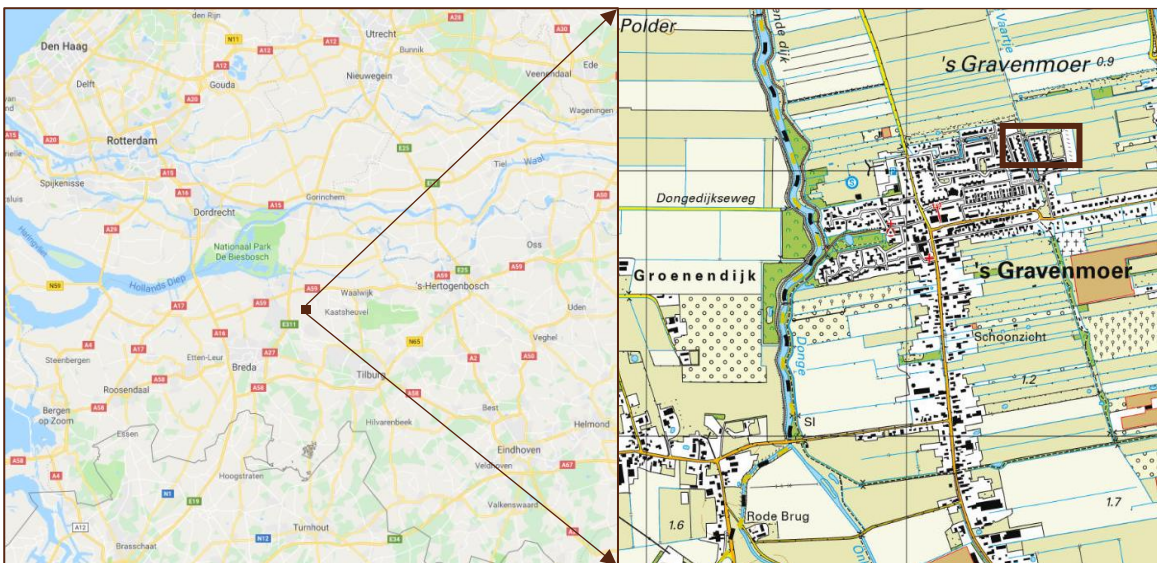
**Bijlage 7: Figuren**

**Bijlage 8: Voorstel pilots**

# 1 Inleiding

## 1.1 Resanat

Deze memo is opgesteld ten behoeve van het Project RESANAT. RESANAT is een project waarbij zeven kleine en grote bedrijven uit Nederland en Vlaanderen met kennisinstituut Deltares en de OVAM samenwerken om 'nature based' methoden en strategieën te ontwikkelen om de herontwikkeling van verontreinigde locaties in Nederland en Vlaanderen te stimuleren. Eén van de verontreinigde locaties is het voormalig houtbewerkingsbedrijf aan de Havenkade te 's Gravenmoer. De ligging van de locatie is weergegeven in het kader in figuur 1.1.



Figuur 1.1. Ligging van de locatie in 's Gravenmoer. In het bruine kader rechts de locatie van het voormalig houtbewerkingsbedrijf.

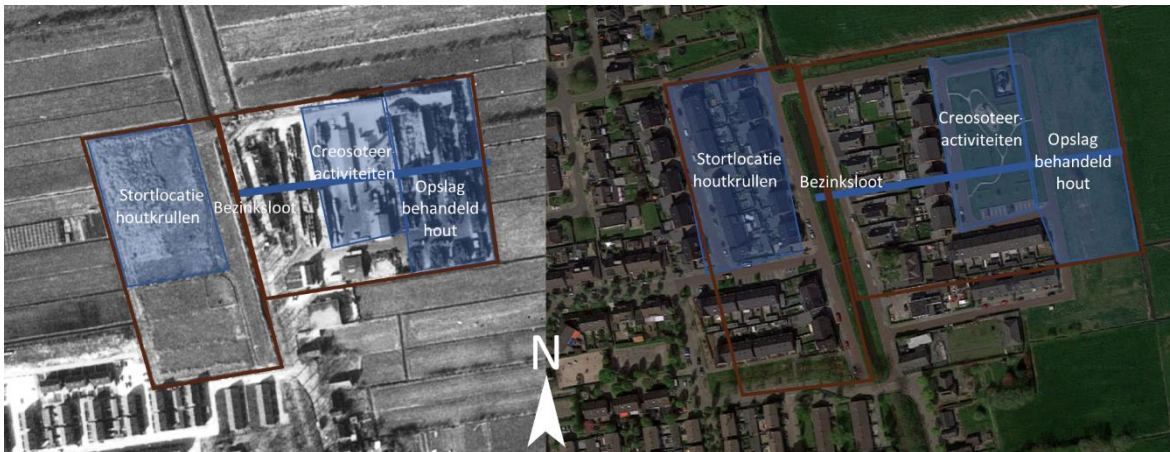
## 1.2 Historie locatie Havenkade

Van 1962 tot midden jaren '90 is op het terrein aan de Havenkade in 's Gravenmoer een houtbewerkingsbedrijf gevestigd geweest [ref 1]. Tijdens de bedrijfsactiviteiten tot in de jaren '80 is een aanzienlijke grond- en grondwaterverontreiniging ontstaan.

Houten palen werden met creosootolie behandeld en opgeslagen op het terrein. Het gecreosoteerde hout werd op voorraad geproduceerd en de opslagcapaciteit van het hout op het terrein was aanzienlijk. Om uitloging van creosoot uit de palen te beperken, werd het hout langdurig nabehandeld in een lucht- of watersproeitunnel [ref 2].

Het afvalwater dat bij het verduurzamingsproces vrijkwam werd tot 1985 geloosd op de watergangen. Creosoot (puur product) werd in een bezinksloot gevuld met houtkrullen of boomschors opgevangen [ref 2]. De houtkrullen/schors werden vervolgens afgevoerd naar het westelijk gelegen weiland of verbrand. Met name bij de bezinksloot is puur product in de bodem terecht gekomen.

In figuur 1.2 is de inrichting van de locatie weergegeven.



Figuur 1.2. Historische inrichting houtbewerkingbedrijf 's Gravenmoer (links) en de historische inrichting geprojecteerd op de situatie in 2019 (rechts) [ref 3].

Het eerste voorstel voor sanerings- en beheersmaatregelen stamt uit 1985. In de loop van de jaren zijn verschillende onderzoeken en saneringsvoorstellen geschreven. Een overzicht daarvan is te vinden in tabel 1.1. Sommige documenten worden als referenties voor de rapportage gebruikt. Een overzicht van de referenties is te vinden in Bijlage 1.

Tabel 1.1. Overzicht saneringsonderzoeken en -voorstellen voor locatie 's Gravenmoer.

Document	Opsteller	Jaar	Ref
Voorstel sanerings- en beheersmaatregelen	Tauw	1985	-
Mogelijke saneringsvarianten	Tauw	1989	-
Uitloogonderzoek	Tauw	1989	-
Saneringsonderzoek	Tauw	1989	-
Haalbaarheidsstudie in-situ biorestauratie	Tauw	1991	5
Saneringsonderzoek	Tauw	1991	-
Saneringsplan westelijk gelegen weiland	Tauw	1991	-
Plan In-situ biorestauratie bedrijfsterrein	Tauw	1991	-
Saneringsplan	Tauw	1992	-
Technische omschrijving bodemsanering	Tauw	1992	-
Waterbodemsanering	Niebeek Milieumanagement	1999	-
Evaluatie Pilot Landfarming Terrein Houtbewerkingbedrijf 's-Gravenmoer	Borger & Burghouts milieuadvies B.V.	Maart 2000	7
Evaluatie pilot in-situ sanering fase II Terrein Houtbewerkingbedrijf 's-Gravenmoer	Borger & Burghouts milieuadvies B.V.	Maart 2000	8
Rapportage aanvullend bodemonderzoek	Dura Vermeer Milieu BV	Februari 2004	6
Compilatie-rapportage bodemonderzoeken	Dura Vermeer	Juni 2006	2
Definitief saneringsplan	Dura Vermeer	Augustus 2008	3
Evaluatie sanerings fase 3 en 4 voormalig houtbewerkingbedrijf 's-Gravenmoer	Tauw	April 2012	1
Voortgangsrapportage beheersing pluimgebied Havenkade 's Gravenmoer	Tauw	November 2017	4

In januari 2010 is er begonnen met de sloop van de gebouwen en is de bodemsanering van start gegaan. De grondsanering op het westelijk gelegen weiland en het westelijk deel van het voormalig bedrijfsterrein is in 2012 afgerond en hierna is het westelijk gelegen weiland bebouwd [ref 1].

### 1.3 Historie Bodemonderzoek en sanering

Het eerste milieutechnische onderzoek op de locatie stamt uit 1983 [ref 2]. Zoals in tabel 1 zichtbaar is, zijn er meerdere onderzoeken en saneringsactiviteiten uitgevoerd op de locatie. In de onderzoeken naar de verontreiniging op de locatie is onderscheid gemaakt tussen een tweetal deellocaties:

- Het westelijk gelegen weiland (het linker bruine kader in figuur 1.2), de stortlocatie van de houtkrullen. In 2008 is hier de grond ontgraven en is een leeflaag aangebracht. De locatie is inmiddels volledig gesaneerd.
- Het bedrijfsterrein (het rechter bruine kader in figuur 1.2) bevat zowel het brongebied van de verontreiniging ter plaatse van de voormalig creosoteeractiviteiten als de opslag van het behandeld hout. In 1993 heeft de provincie Noord-Brabant schriftelijk ingestemd met een tijdelijke beheersmaatregel (hiervoor is geen beschikking Wbb afgegeven [ref 3]). Sinds 1994 vindt er in opdracht van Houtbewerkingsbedrijf 's Gravenmoer een geohydrologische beheersing van de bodemverontreiniging plaats. In 1996 wordt, op basis van het saneringsplan uit 1992, een pilottest gestart op het bedrijfsterrein met *in situ* biologische afbraak, die tot 1999 heeft gelopen [ref 2]. De relevante lessen hieruit worden besproken in hoofdstuk 4.6.

Niet alle saneringsplannen zijn uitgevoerd. Hieronder worden de uitgevoerde saneringsactiviteiten besproken.

Het saneringsplan van Dura Vermeer is door de provincie Noord-Brabant in 2008 beschikt (kenmerk 1471075). In de beschikking wordt vastgesteld dat het een ernstige en spoedeisende locatie betreft, met risico's voor mens, plant of dier en verspreidingsrisico's [ref 1].

Aan de beschikking is het voorschrift verbonden dat voor de volgende zaken vooraf een melding gedaan moet worden:

- Startmelding grondsanering
- Melding diepste punt ontgraving grondsanering
- Melding einde grondsanering na aanvulling ontgraving
- Tijdstip bemonsteren nulsituatie
- Start aanleg grondwateronttrekkingsysteem of grondwatersaneringsysteem
- Melding bemonstering tussentijdse rapportage
- Monitoringgrondes in het kader van het bereiken van stabiele eindsituatie

Ook is er een beschikking grondwaterwet uit 2010 (kenmerk 1649884) voor de locatie [ref 1].

Eind 2011 is een geohydrologische barrière geplaatst, bestaande uit een bentoniet-diepwand tot op de afsluitende laag op 36m-mv met aan beide uiteinden een diepwell-onttrekking. Aan weerszijden van deze diepwand zijn diepwells geplaatst om te voorkomen dat verontreinigd grondwater langs de barrière afstroomt. De diepwells zijn nog steeds actief [ref 4]. Op dit moment is daarmee sprake van een 'eeuwigdurende beheersing'.

Na de aanleg van de wand is bovendien gestart met het onttrekken van grondwater uit het pluimgebied achter de barrière, om de daar aanwezige vracht te verlagen zodat de onttrekking op een later moment uitgezet kon worden. In 2015 is de vracht in de pluim achter de wand voldoende afgenomen en kon de grondwateronttrekking in het pluimgebied worden beëindigd.

## 1.4 Doel onderzoek

Momenteel wordt de verontreiniging conform beschikking beheerst middels een diepwand met deepwell onttrekkingen. Het onttrokken grondwater wordt na zuivering op het riool geloosd. Het doel van het onderzoek is het op een duurzame manier nazorgloos maken van de situatie. Mocht dit onverhoopt niet mogelijk blijken, is het secundaire doel om de huidige beheersmaatregel zodanig te optimaliseren dat risico's van de aanwezige restverontreiniging zo efficiënt mogelijk (met minimale kosten en inspanning) worden beheerst.

Om dit te bereiken is belangrijk om te weten:

- Hoeveel verontreiniging er (nog) in de bodem zit;
- Waar de verontreiniging zich in de bodem bevindt;
- Hoe de verontreiniging zich verspreidt;
- Welke samenstelling deze verontreiniging heeft (puur product én opgelost in het grondwater);
- Welke bacteriepopulaties aanwezig zijn in de bodem;
- Wat de met het oog op biologische afbraak relevante condities in de bodem zijn (redox, nutriënten etc.).

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt kort het Conceptueel Site Model (CSM) uit de voorgaande rapportage herhaald en uitgelegd. Dit model vormt de basis voor de opzet en de uitvoering van het onderzoek.

In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de verschillende onderzoeken samengevat en ondergebracht in de thema's zoals gebruikt in de eerste versie van het CSM. Per thema worden de relevante onderzoeksvragen van het eerste CSM herhaald. Daarnaast wordt gekeken of deze vragen voldoende zijn beantwoord door middel van de uitgevoerde onderzoeken. De samenvatting van de onderzoeksvragen is in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 behandelt de conclusie van het onderzoek naar de verontreinigingssituatie en de geactualiseerde CSM.

In hoofdstuk 6 wordt tenslotte vooruit gekeken naar de opzet van mogelijke pilots voor de onderzoekslocatie.





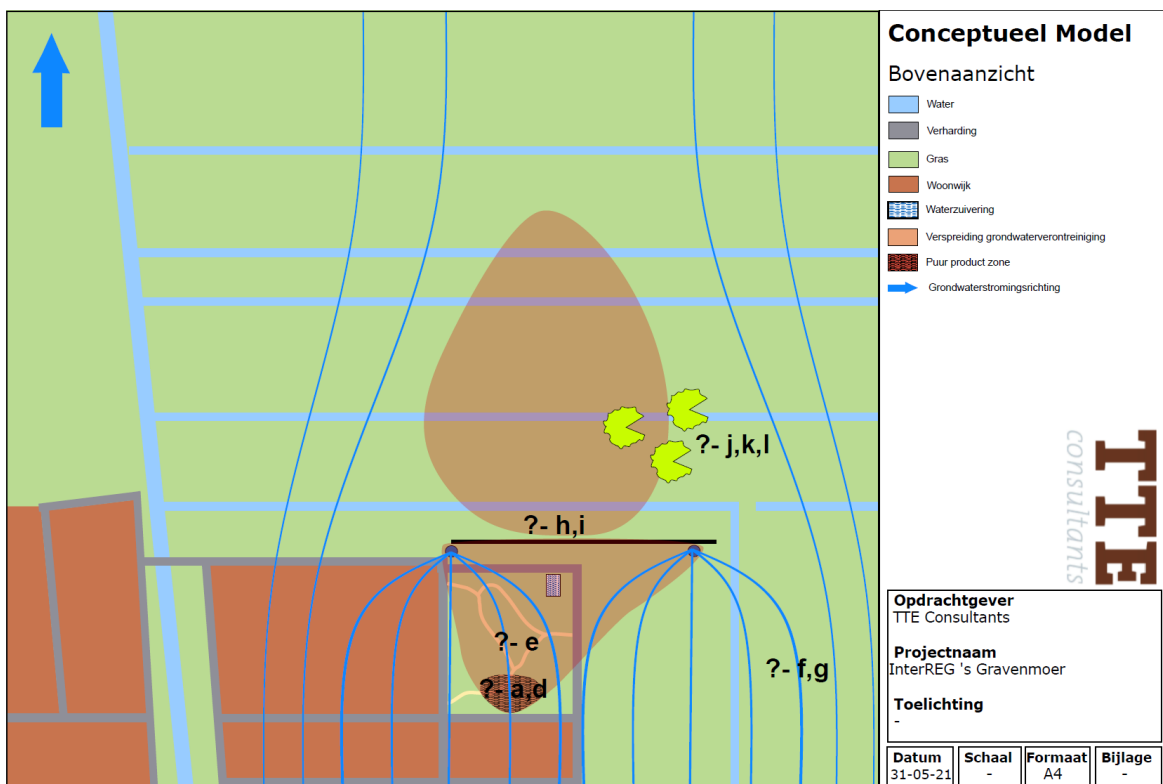
## 2 Conceptueel Site Model

### 2.1 Inleiding

De essentie van het project wordt beschreven in het Conceptueel Site Model (verder CSM). Het CSM heeft de volgende functies:

- Het CSM schetst op een voor iedereen toegankelijke wijze de essentiële aspecten en processen (vanuit saneringsperspectief of doelstelling);
- Aan de hand van het CSM wordt inzichtelijk gemaakt welke kennisleemten moeten worden weggenomen om de doelstelling te behalen;
  - Aan de hand van de gesignaleerde kennisleemten kunnen in het CSM de opzet en uitvoering van de deelonderzoeken worden uitgewerkt.
- Tijdens de uitvoering van het onderzoek kunnen de (monitoring)resultaten aan de hand van het CSM worden geduid en kan het CSM worden geactualiseerd tot een steeds representatiever beeld van de situatie in de ondergrond.

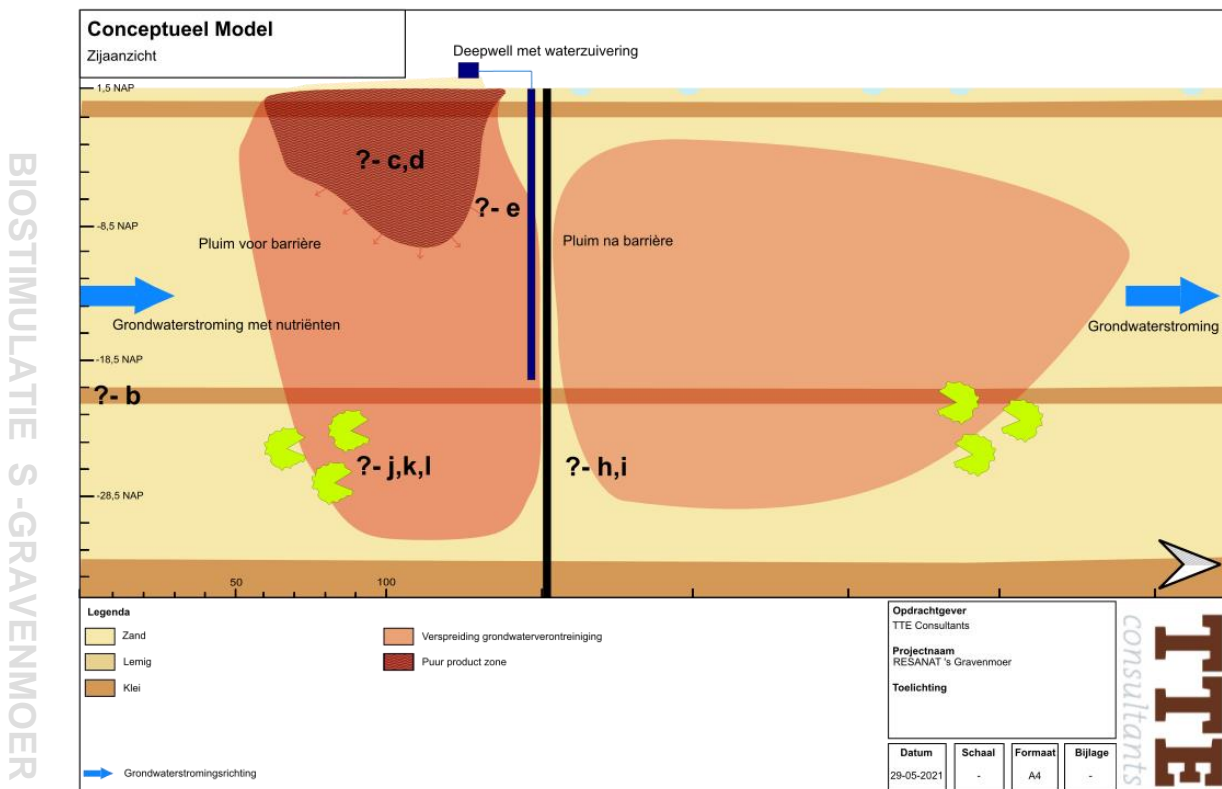
De figuren 2.1 (bovenaanzicht) en 2.2 (dwarsdoorsnede) vormen de basis van het CSM. De figuren zijn een zeer schematische weergave van de situatie. In het figuren staan de processen die van belang zijn op de verontreinigingssituatie met betrekking tot het saneringsperspectief. Deze processen worden verder in het rapport uitgewerkt. De processen waar onvoldoende informatie momenteel beschikbaar is, vormen onderzoeksvragen. De vraagtekens in de figuren corresponderen met de benodigde informatie zoals later in dit hoofdstuk beschreven.



Figuur 2.1. Bovenaanzicht van de onderzoeklocatie in 's Gravenmoer. In zwart is de bentonietwand met aan weerszijden de (blauwe) onttrekkingsputten weergegeven.

In het conceptuele model worden de volgende relevante processen, m.b.t. de doelstelling, onderscheiden:

- Nalevering van verontreinigingen vanuit de bron naar het grondwater: Bepalend voor concentratie en samenstelling van de verontreiniging in het grondwater;
- Verspreiding grondwaterverontreiniging: Bepalend zijn de snelheid en richting van het grondwater vóór en achter de barrière;
- Biologische afbraak verontreiniging. Bepalend zijn de redoxcondities, de beschikbaarheid van (macro) nutriënten en de aanwezigheid van creosoot afbrekende bacteriën (in de ondergrond en in de zuivering);



Figuur 2.2. Dwarsdoorsnede van de onderzoeklocatie in 's Gravenmoer.

## 1999 Onderzoeksvragen

Om deze processen te kunnen kwantificeren en daarop een ontwerp te kunnen baseren is de volgende kennis/informatie essentieel:

### Nalevering

- Locatie en omvang (horizontaal en verticaal) van de bronzone?
- De bodemopbouw / gelaagdheid. Ter plaatse van de bron (waar bevindt zich puur product, hoe wordt de bron doorstroomd) en in de pluim (waar stroomt het grondwater, zijn er meer en minder verontreinigde lagen).
- De 'opbouw' van de bronzone (waar en hoe bevindt zich het puur product (druppels, 'plasjes', aaneengesloten)).
- Welke samenstelling en verschijningsvorm heeft het puur product (welke producten en welke concentraties gaan vanuit de bron in oplossing) ?
- Hoeveel vracht verspreidt er zich vanuit de bronzone en in de pluimzone?

### **Stroomsnelheid**

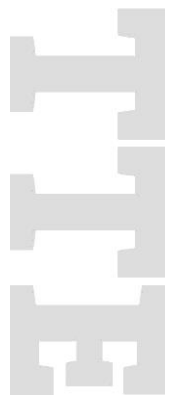
- f. Stromingsrichting en snelheid van het grondwater in de bron- en pluimzone met en zonder onttrekking?
- g. Onttrekkingsdebiet en concentratie in de deepwells
- h. De locatie en opbouw van de verontreiniging (concentraties en samenstelling in verticale en horizontale richting) in de pluimzone (vóór en achter de barrière)

### **Afbraakcapaciteit**

- i. Welke samenstelling (nutriënten, elektronenacceptoren, anionen, kationen, DOC, sulfide, methaan, redox, pH etc.) heeft het grondwater (vóór de bron en in de pluim)?
- j. Wat is de capaciteit van de biologische afbraak in de bodem en kan deze gestimuleerd worden?
- k. Wat is het percentage afbreekbare verontreiniging, en welke stoffen worden afgebroken?
- l. Welke bacteriepopulaties zijn reeds aanwezig in de bodem?

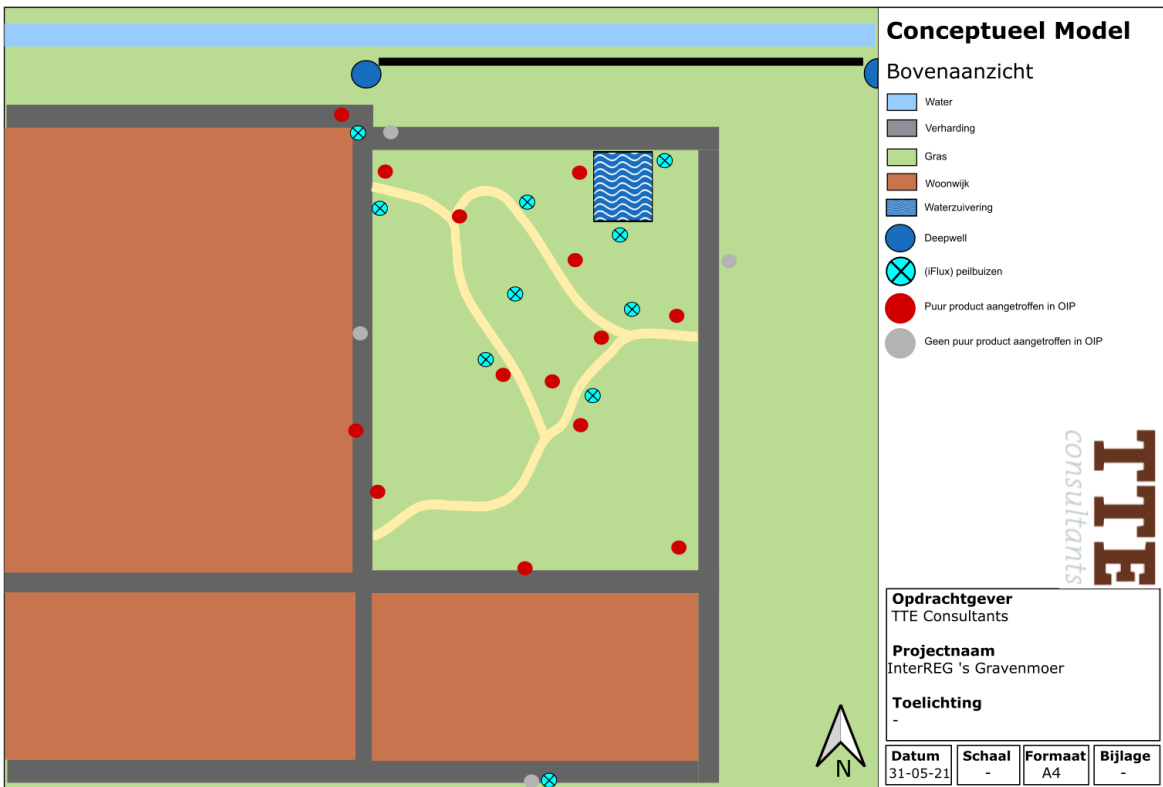
In hoofdstuk 4 worden de onderzoeksvragen van deze processen beantwoord op basis van de volgende thema's:

- Bodemopbouw
- Hydrologie
- Omvang/locatie bronzone
- Samenstelling puur product
- Grondwater
- Biologische afbraak



### 3 Uitgevoerde onderzoeken

Er zijn enkele meetcampagnes uitgevoerd. In figuur 3.1 is een overzicht gegeven van de meetlocaties. De verschillende methodes worden in dit hoofdstuk verder uitgelegd.



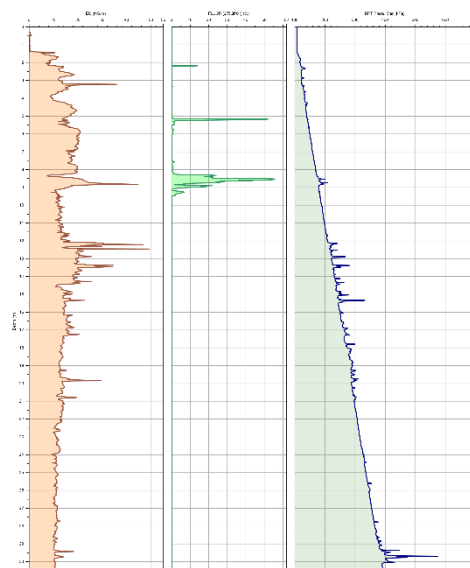
Figuur 3.1. Bovenaanzicht met meetlocaties van uitgevoerde onderzoeken, met in zwart de bentonietwand. Zie ook figuur 2.1 in het vorige hoofdstuk.

#### 3.1 Sonderingen

EnISSA heeft in het veld zowel Optical Image Profiler (OIP) als Membrane Interface Probe (MIP) sonderingen uitgevoerd. Met de OIP sondering zijn gegevens verkregen met betrekking tot de korrelgrootte, EC, doorlatendheid (HPT druk) en aanwezigheid puur product (middels fluorescentie). Met de MIP sondering zijn gegevens verkregen van de bodemgeleidbaarheid, vluchtige organisch componenten (PID) en individuele componenten.

In figuur 3.2 hiernaast is één van de OIP-sonderingen weergegeven. In oranje is de conductiviteit (in mS/m) weergegeven, als maat voor de korrelgrootte en daarmee de grondsoort.

In groen is de OIP meting weergegeven, waarbij door middel van fluorescentie de aanwezigheid van puur product aangegeven kan worden. Er is geen lineair verband tussen de fluorescentie-uitslag en de hoeveelheid puur product, maar dit geeft wel een indicatie.



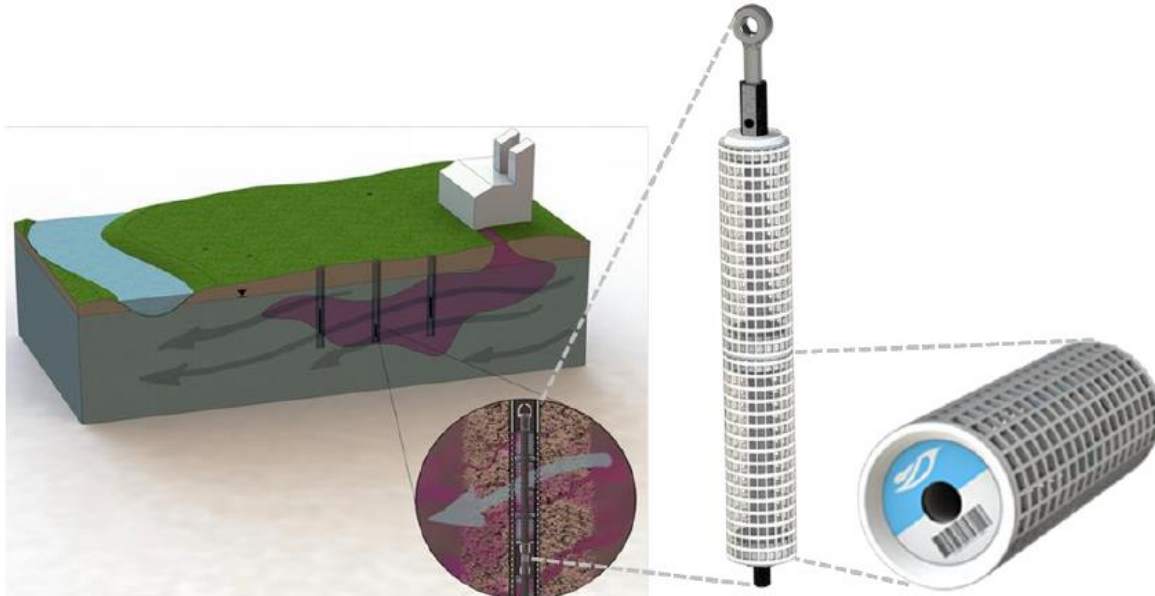
Figuur 3.2. Resultaat sondering met conductiviteit (oranje), fluorescentie (groen) en HPT druk (blauw).

In blauw is de HPT druk weergegeven. Hiermee wordt de doorlaatbaarheid van de bodem gemeten, wat maat geeft voor de poriegrootte en grondsoort. De druk wordt door de waterdruk standaard hoger als de sonde dieper de bodem ingaat.

Meer informatie over de meetmethode en de ruwe resultaten zijn te vinden in het rapport van EnISSA (Bijlage 2).

### 3.2 Fluxbepalingen

iFlux heeft in geplaatste peilbuizen fluxmeters geplaatst. Het onderzoek van iFlux richt zich op het bepalen van de flux (concentratie x debiet) van de verontreiniging en de richting van de grondwaterstroming.



Figuur 3.3 Visualisatie van een iFlux sampler.

Dit wordt gedaan door middel van passieve samplers voor waterflux en massaflux, zoals weergegeven in figuur 3.3. Een sampler bestaat uit een buis met een zout of adsorbens. De samplers zijn voor 19 dagen blootgesteld, waarna op basis van de afname zout of toename verontreiniging in de adsorbens de flux bepaald kan worden.

Meer informatie over de meetmethode en de ruwe resultaten zijn te vinden in het rapport van iFlux (Bijlage 3).

### 3.3 Capaciteit biologische afbraak

Deltares heeft in samenwerking met Orvion en Isodetect gekeken naar de capaciteit voor biologische afbraak op de locatie, door te kijken naar drie "bewijslijnen" voor natuurlijke afbraak. Dit is gedaan door middel van grondwateranalyses, intermediairen en isotopen- en DNA-analyses.

#### *Bewijslijn 1: Verandering in de verontreiniging*

Bij de grondwateranalyses zijn grondwatermonsters geanalyseerd op BTEXN, PAK en minerale olie. De grondwatermonsters zijn ook op 23 intermediairen geanalyseerd. Deze stoffen worden voornamelijk gevormd als afbraakproduct van de verontreiniging. De aanwezigheid van deze stoffen geeft daarom een indicatie van biologische afbraak. De grondwatermonsters zijn ook geanalyseerd op isotopen ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^2\text{H}/^1\text{H}$  en  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). Er treedt een verrijking in zwaardere isotopen op als biologische afbraak optreedt.

### Bewijslijn 2: Verandering in de grondwatersamenstelling

Veranderingen in de geochemie van het grondwater in de zones waar verontreiniging aanwezig is, vormen een belangrijke aanwijzing voor het optreden van afbraakprocessen. Om deze redenen zijn fysische parameters en de chemische samenstelling van het grondwater bepaald op de locatie (zoals zuurstof, pH, elektronenacceptoren).

### Bewijslijn 3: De aanwezigheid van micro-organismen met afbraakcapaciteit

Er is microbieel DNA uit verschillende grondwatermonsters geanalyseerd, waarbij op basis van 16S rRNA genen gekeken is naar de verschillende bacteriefamilies in het grondwater.

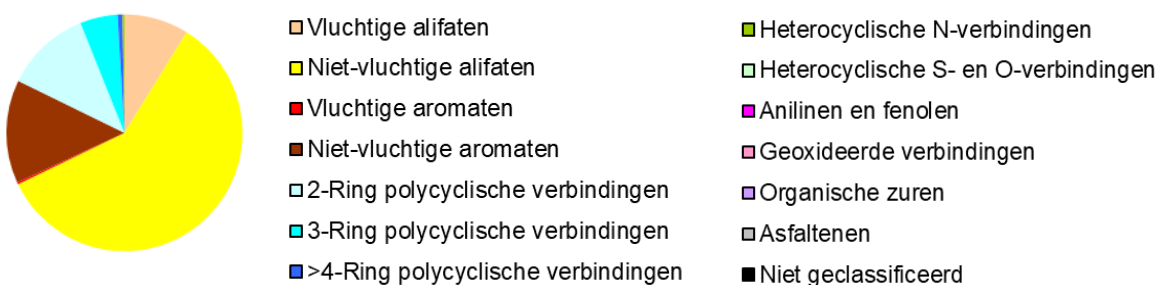
Aan de hand van deze drie bewijslijnen kan een indicatie gegeven worden of er natuurlijke afbraak plaatsvindt op de locatie en onder welke omstandigheden dit gebeurt. Meer informatie over de meetmethodes en de resultaten zijn te vinden in het rapport van Deltares (Bijlage 4)

## 3.4 Chemische samenstelling puur product

TTE Consultants heeft op bodem- en grondwatermonsters een teercharacterisatie uitgevoerd om inzicht in de chemische samenstelling van het puur product te krijgen.

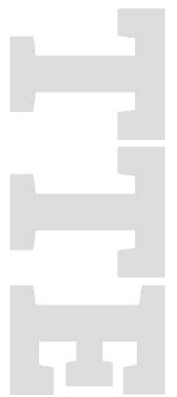
De teercharacterisatietest meet die eigenschappen van de verontreiniging die het gedrag van de olie in de bodem in hoofdlijnen bepalen. De informatie kan worden gebruikt om de risico's voor mens en ecosysteem en de risico's van verspreiding in te schatten en om potentiële saneringsmogelijkheden voor de betreffende locatie aan te geven.

De samenstelling van een verontreiniging kan op vele manieren worden weergegeven. De meest gebruikelijke indeling is gebaseerd op de analyses van specifieke stoffen zoals BTEX of som parameters zoals C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>. De teercharacterisatietest is zeer flexibel met betrekking tot de presentatie van de resultaten: de samenstelling van de olie kan op vele manieren worden weergegeven. In de rapportage (Bijlage 5) worden ter illustratie drie verschillende indelingen gegeven: indeling in stofgroepen (zoals weergegeven in Figuur 3.4), indeling in koolstoffracties plus genormeerde componenten en een indeling in alifatische fracties.



Figuur 3.4 Voorbeeld indeling in stofgroepen.

Deze verschillende indelingen geven inzicht in het stofgedrag van het puur product. Hierbij wordt gekeken naar oplosbaarheid, vluchtigheid en de potentie voor biologische afbraak. Deze informatie wordt vervolgens gebruikt om de potentie voor sanering en eventuele risico's in te schatten.



### 3.5 Grondwaterkwaliteit

Ten behoeve van het onderzoek zijn door Dura Vermeer op de locatie 12 peilbuizen geplaatst waaruit grondwatermonsters zijn genomen. Op 3 locaties zijn grondmonsters genomen.

Bij de grondwateranalyses zijn grondwatermonsters geanalyseerd op BTEXN, PAK en minerale olie en elektronacceptoren, om bij te dragen aan de onderzoeken naar de capaciteit voor biologische afbraak en de chemische samenstelling van het puur product. Voor dat laatste onderzoek zijn ook grondmonsters geanalyseerd op BTEXN, PAK en minerale olie. De analysecertificaten van grond- en grondwatermonsters zijn opgenomen in Bijlage 6.



## 4 Beschikbare informatie en onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk is de beschikbare informatie verzameld over de onderzoeksvragen en thema's die in hoofdstuk 2 in het CSM naar voren zijn komen. Daarbij zijn kennisleemten en onderzoeksvragen met betrekking tot het thema geïdentificeerd. Op basis van die informatie wordt het CSM, in deelfiguren, nader gedetailleerd.

### 4.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw wordt in het compilatie-rapport bodemonderzoeken uit 2006 [ref 2] als volgt beschreven:

In de deklaag wordt tot circa 1 m-mv, naast houtkrullen, plaatselijk een lichte bijmenging van puin en sintels waargenomen. De deklaag wordt van het eerste watervoerend pakket gescheiden door een dunne leemlaag. Het eerste watervoerend pakket heeft een laag gehalte aan humus en lutum (<0,1 en 0,4% respectievelijk). De doorlaatbaarheid van het eerste watervoerend pakket ligt rond de 700m<sup>2</sup>/d. Op circa 20m-mv bevindt zich een matig kleiige laag. Hier kan een ophoping van puur product, of zaklaag, ontstaan.

In de formatie van Kedichem en Tegelen, onder het eerste watervoerende pakket, bevindt zich op een diepte van 28m-mv een kleipakket met een dikte van circa 50m [ref 2].

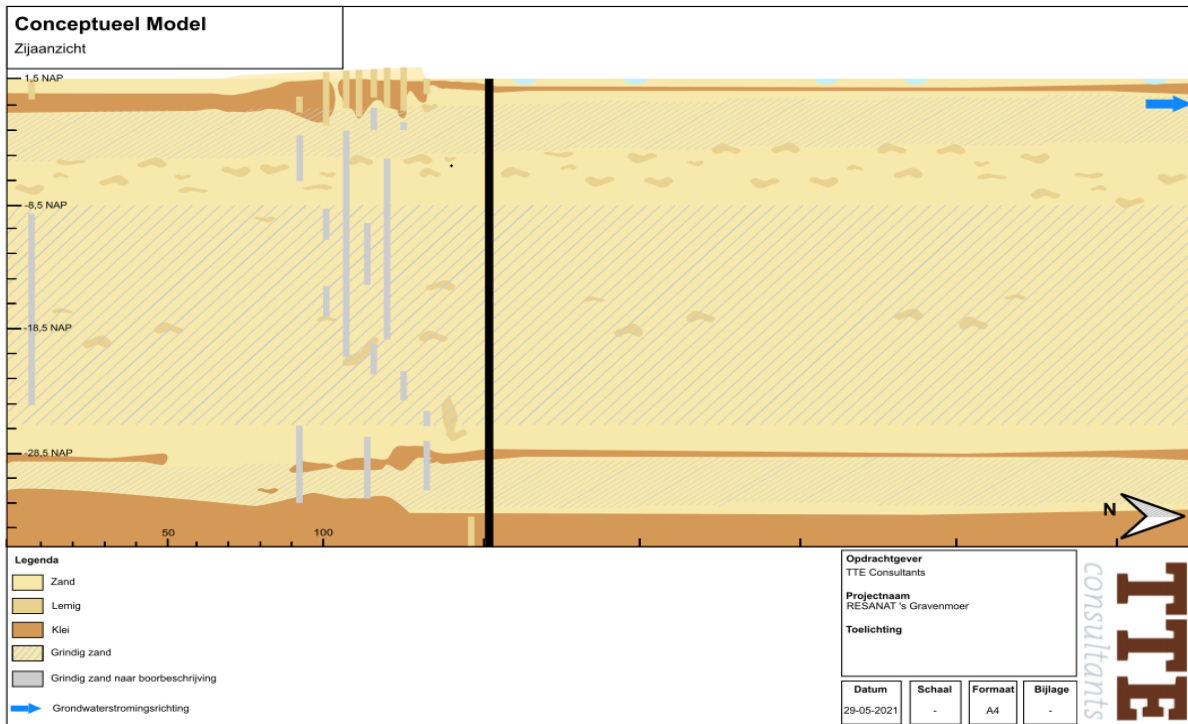
Door de lage gehalten aan humus en lutum zal de verontreiniging weinig adsorberen aan de bodem, waardoor weinig retardatie plaatsvindt.

Door de uitgevoerde bodemsanering is de bodemopbouw lokaal veranderd. In de bronzone is de toplaag gesaneerd, er is een geotextiel aangebracht en de locatie is afgedekt met klasse industriegrond tot oud maaiveld en opgehoogd met ca. 1,5 m leeflaag klasse wonen/AW. Het maaiveld van de ophoging is daarbij op een hoogte van gemiddeld 2,70m+NAP komen te liggen. Omdat het terrein niet volledig vlak is, wordt de data verder in m+NAP/m-NAP uitgedrukt.

In het veld is onderzoek naar de bodemopbouw gedaan door middel van grondsonderingen en -boringen. Figuur 4.1 geeft de resultaten van deze onderzoeken weer. De grote afbeelding is terug te vinden in Bijlage 7.







Figuur 4.1. Schematische weergave resultaten veldonderzoek naar bodemopbouw.

In de resultaten is te zien dat er plaatselijk sterke heterogeniteit in de bodem is, vooral in de vorm van laagjes.

Zowel EC als HPT data tonen een duidelijk zandige bodemopbouw met hier en daar dunnere laagjes met hogere EC waarden en hogere HPT druk (fijnere bodemtextuur). Deze laagjes bevinden zich voornamelijk van 1,5m+NAP tot 8,5m-NAP en rond 28,5 m-NAP.

In de bovenste meters, van 1,5m+NAP tot 2 m-NAP, bevindt zich een slecht doorlatende laag, plaatselijk puinhoudend. Dit is waarschijnlijk afkomstig van de opgebrachte leeflaag. Het grootste deel van de bodem is goed doorlatend zand, plaatselijk bijmenging met grind. Op enkele plaatsen bevinden zich laagjes met een fijnere bodemstructuur die minder doorlaatbaar zijn dan het grindig zand. Vanaf 28,5m-NAP neemt in dunne lagen de doorlaatbaarheid af. De afsluitende kleilaag is in dit onderzoek niet doorboord.

Onderaan, rond ca 29 tot 30 m-NAP wordt een hoge HPT druk (slecht doorlatende bodemlaag) vastgesteld, wat vermoedelijk de afsluitende kleilaag betreft. Dit wordt door de boorbeschrijving van het veldwerk ondersteund. Daar wordt de goed doorlaatbare bodem als zand, matig tot sterk grindig omschreven. Slechts één van de boorlocaties gaat tot 29m-mv, maar hier wordt een sterk siltige laag met laagjes klei aangetroffen.

### Conclusie

De bodem bestaat voornamelijk tot 29m-NAP uit goed doorlaatbaar zand, met plaatselijk grind- en lemige lagen. Hierdoor ontstaat een sterke heterogeniteit. Rond 29m-NAP bevindt zich een slecht doorlatende laag, bestaande uit silt en klei.

## 4.2 Hydrologie

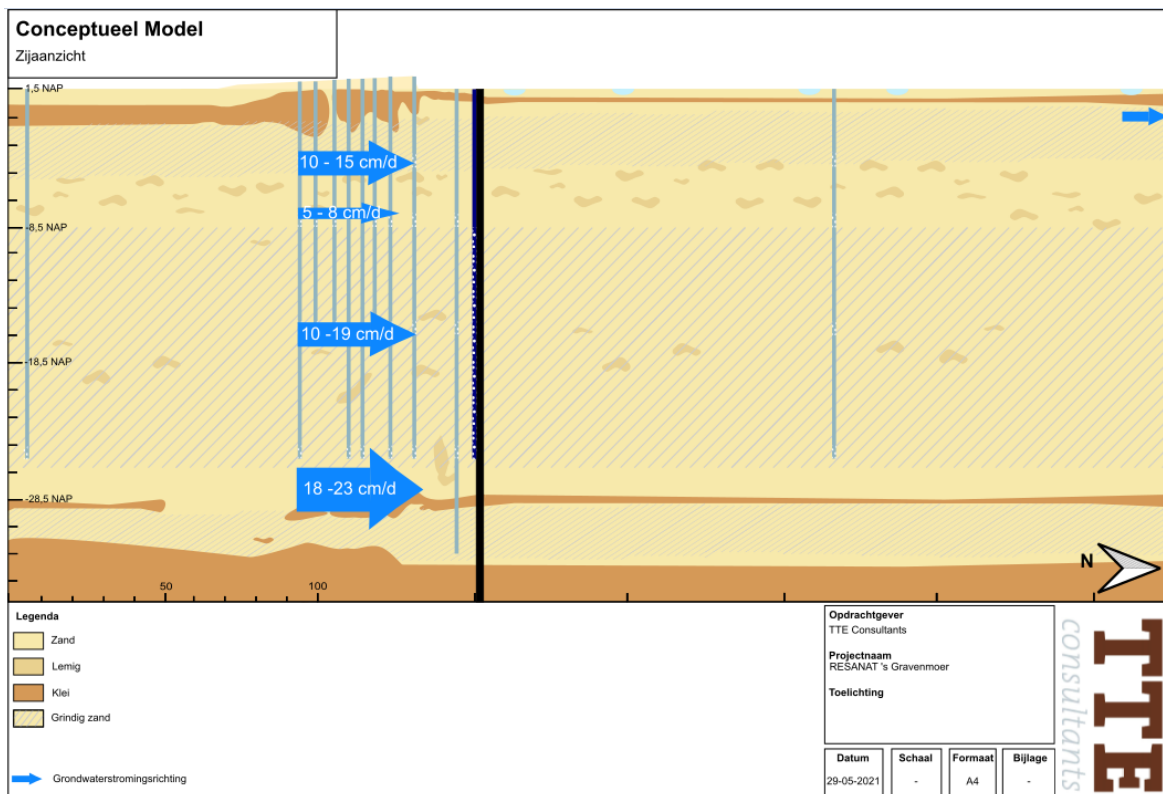
De gemeten grondwaterstand in de polder waar 's Gravenmoer in gelegen is, ligt op 1,7-1,2m+NAP. Grondwaterstroming in de deklaag en het eerste watervoerend pakket is overwegend noordnoordwestelijk gericht. De grondwaterstromingsnelheid in de deklaag is gering (1,5m per jaar). De stromingsnelheid in het eerste watervoerend pakket is in 1991 geschat op 20-40m per jaar [ref 2].

In 2004 zijn op verschillende dieptes stijghoogtemetingen gedaan en k-waarden bepaald met zeefkrommes, waarmee de volgende grondwaterstromingsnelheden zijn berekend [ref 6]:

- 5m-NAP : 73m/jaar
- 10m-NAP : 28m/jaar
- 15m-NAP : 36m/jaar

Het pakket direct onder het freatisch grondwater stroomt daarmee sneller dan de 20-40m/jaar die in 1991 was geschat. Het dieper grondwater valt wel binnen die spreiding.

In het veld is onderzoek gedaan naar de grondwaterstroming door middel van fluxmetingen. Uitleg over deze metingen is te lezen in hoofdstuk 3.2. In de onderstaande afbeelding zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven. Een grotere weergave van de afbeelding is te vinden in Bijlage 7.



Figuur 4.2. Schematische weergave resultaten veldonderzoek naar grondwaterstromingsnelheid.

In de onderstaande tabel zijn de algemene conclusies per diepte samengevat en vergeleken met de eerder genoemde waarden uit het literatuuronderzoek.

Tabel 4.1. Gemeten waterflux in het veld en literatuur.

Diepte	Waterflux	Waterflux (cm/d)*	Waterflux (m/jaar)	Eerdere onderzoeken (m/jaar)
2,0m-NAP tot 3,5m-NAP	Gemiddeld	10-17	37-62	73
5,5m-NAP tot 8,0m-NAP	Laag	1-19	4-69	28
11,5m-NAP tot 16,0m-NAP	Gemiddeld	6-34	22-124	36
25,0m-NAP tot 30,5m-NAP	Hoog	4-16	15-58	20-40
<b>Totaal gemiddelde</b>		<b>12</b>	<b>44</b>	<b>42</b>

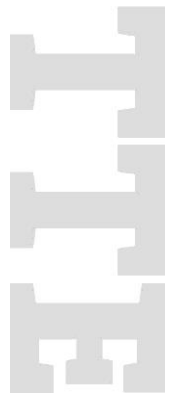
\*Enkele extreme uitschieters in de metingen zijn buiten beschouwing gelaten.

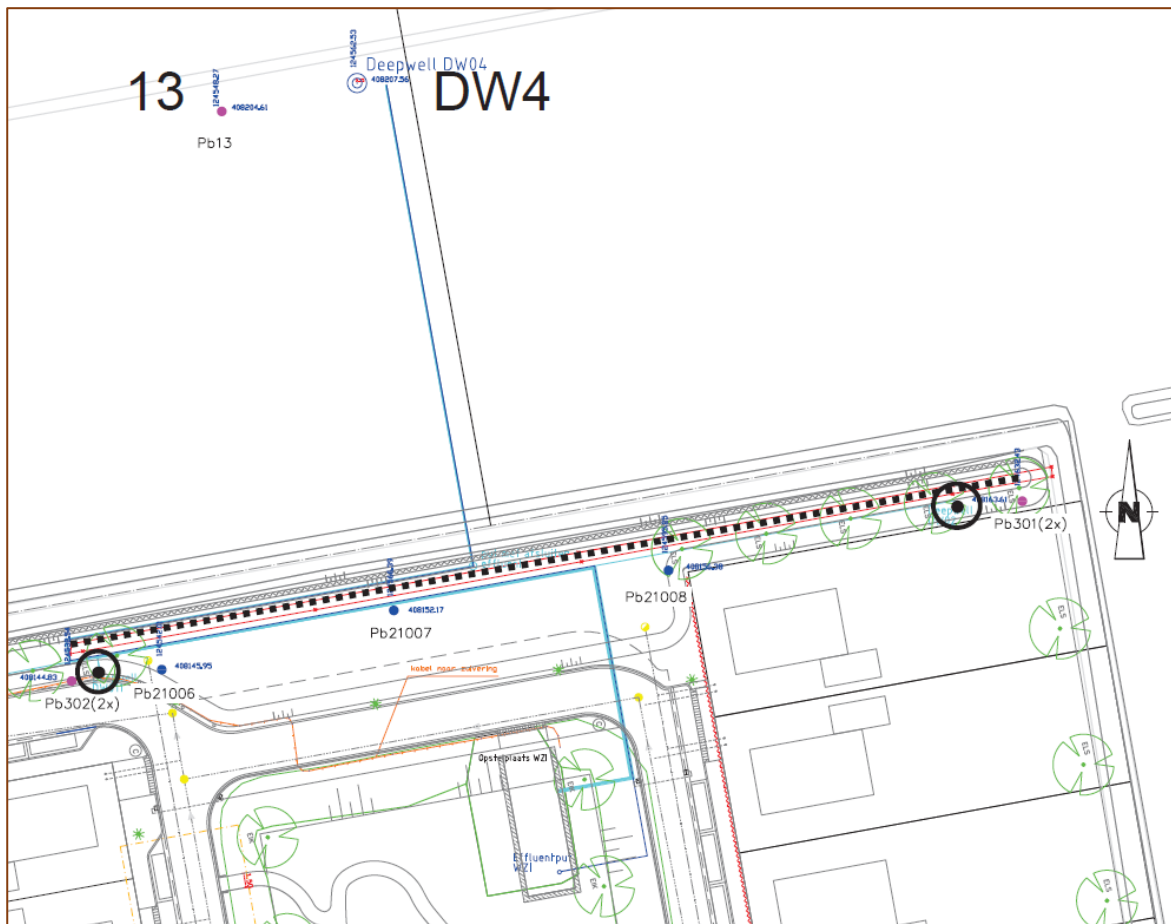
In vergelijking met de resultaten uit het literatuuronderzoek lijkt het beeld te kloppen dat de grondwaterstromingssnelheid rond 5,5m-NAP af lijkt te nemen, waarna deze rond 16m-NAP toeneemt. De door iFlux gemeten stromingssnelheid ligt gemiddeld hoger dan voorgaande metingen en berekeningen.

### Stromingsrichting

Naast fluxonderzoek is er ook onderzoek gedaan naar de stromingsrichting op de locatie, in de 3 noordelijkste peilbuizen, op een diepte van 17-19m-NAP. Het resultaat daarvan is hieronder weergegeven.

De resultaten van de stromingsrichtingsmetingen worden sterk beïnvloed door de aanwezige beheersmaatregel. Deze beheersmaatregel is in 2008 in een saneringsplan op basis van een IBC-variant uitgevoerd. De restverontreiniging wordt eeuwigdurend beheerst door middel van een barrière aan de noordzijde van het terrein en grondwateronttrekkingen, van gemiddeld 3,5m<sup>3</sup>/uur, naast de wand die het stromende grondwater afvangen. Het bovenaanzicht van de diepwand en deepwells is zichtbaar in figuur 4.3.

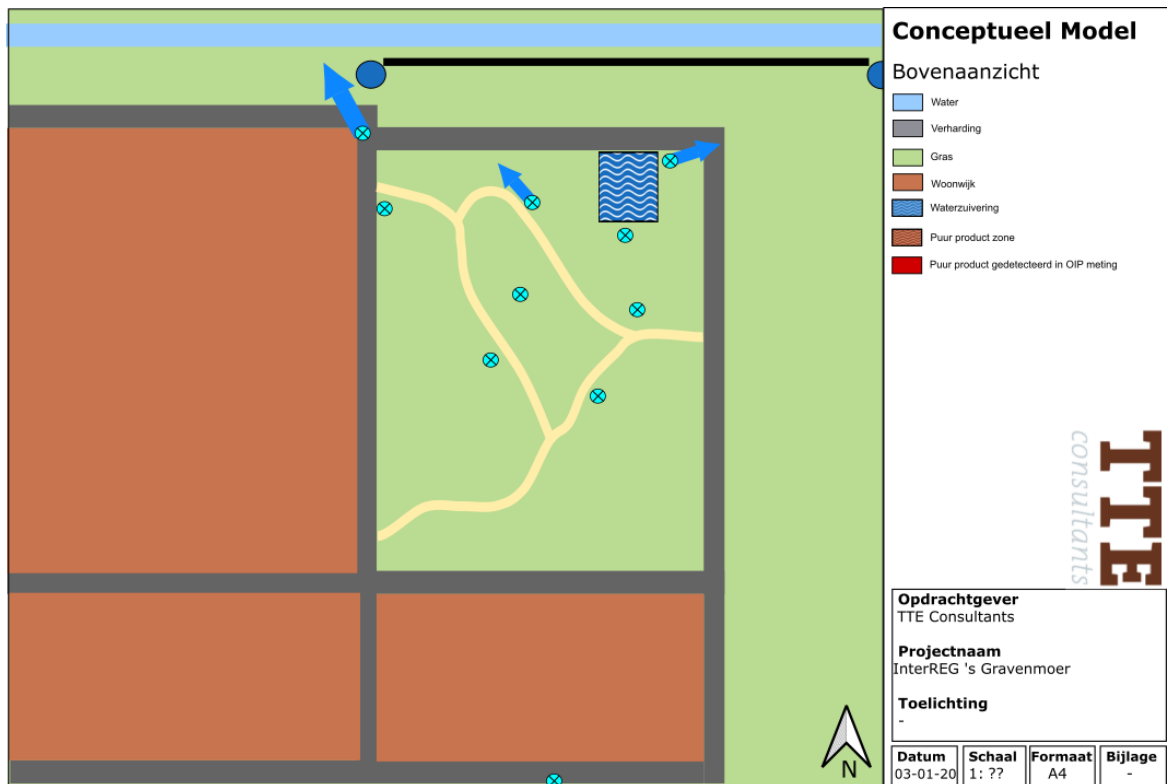




Figuur 4.3. Locatie van de diepwand (stippellijn) en deepwells (zwarte cirkels) op de onderzoeklocatie.

In figuur 4.4 is te zien dat de grondwaterstromingsrichting voornamelijk in de noordwestelijke richting gaat, naar de linker onttrekkingsput. iF15 aan de oostelijke zijde van de waterzuivering geeft een stromingsrichting naar de oostelijke onttrekkingsput aan.

Het feit dat de globale stromingsrichting richting de westelijke deepwell stroomt wordt bevestigd door zowel de aangetroffen verspreiding van de verontreinigingspluim in die richting en de aangetroffen concentraties in die deepwell, die vele malen hoger liggen dan in de oostelijke deepwell.



Figuur 4.4. Schematische weergave resultaten veldonderzoek naar grondwaterstromingsrichting zoals gerapporteerd door iFlux

#### Conclusie

De grondwaterstromingssnelheid ligt gemiddeld rond de 40-69 m/jaar. De stromingssnelheid neemt af rond 5,5m-NAP en neemt in de diepte verder toe tot de hoogst gemeten snelheid van 124m/jaar rond 16m-NAP.

De grondwaterstromingsrichting op de onderzoekslocatie loopt gemiddeld richting de westelijke deepwell. Het filter in de meest oostelijke peilbuis geeft een stromingsrichting naar de oostelijke deepwell. De regionale grondwaterstromingsrichting is noordnoordwestelijk.

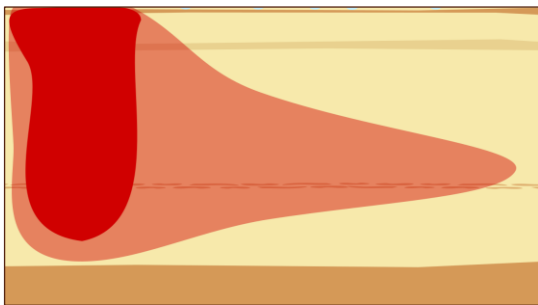
### 4.3 Omvang / locatie bronzone

Het terrein van het voormalig houtbewerkingsbedrijf is in de loop van de jaren meerdere malen onderzocht op het vóórkomen van bodemverontreiniging. De grootste bron van de verontreiniging bevindt zich ten noorden en oosten van het voormalig ketelhuis. In een uitgebreid bodemonderzoek uit 1991 blijkt dat in de toplaag (tot 0,5m-mv) verhoogde verontreinigingsgehalten gemeten werden op de locatie waar het behandeld hout werd opgeslagen [ref 6].



Figuur 4.5. Historische inrichting houtbewerkingsoedrijf 's Gravenmoer (links) en de historische inrichting ge-projecteerd op de situatie in 2019 (rechts).

Ter plaatse van het ketelhuis en de bezinksloot werden in 1991 op een diepte van 12,5m-NAP nog sterke verhoogde PAK-gehalten aangetroffen. In 2006 zijn in het brongebied op een diepte van 26,5m-NAP hoge gehalten aan creosoot aangetoond [ref 3], wat een indicatie is voor de aanwezigheid van puur product. De verontreinigingssituatie op basis van deze gegevens is schematisch weer-gegeven in figuur 4.6, met puur product dat gezakt is tot 26,5m-NAP.



Figuur 4.6. Een schets van het beeld van de verontreinigingssituatie op diepte op het bedrijfsterrein vóór de 2008 sanering.

Door de bedrijfsactiviteiten is er ook een waterboderverontreiniging ontstaan. In 1991 is op meer-dere plaatsen de verontreinigingssituatie van de watergangen in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat er zowel in de sloten op als rondom het bedrijfsterrein verhoogde gehalten aan PAK voorkomen. De ringsloot rond het terrein is in 1999 gesaneerd. De sloten op het terrein zijn destijds niet mee-ge-nomen. De sloten op het bedrijfsterrein, zoals de bezinksloot, zijn zwaar verontreinigd en deel van het brongebied. In de periode tussen 2010 en 2012 is het bedrijfsterrein gesaneerd waarbij in het brongebied een grote restverontreiniging is achtergebleven.

### Omvang bronzone

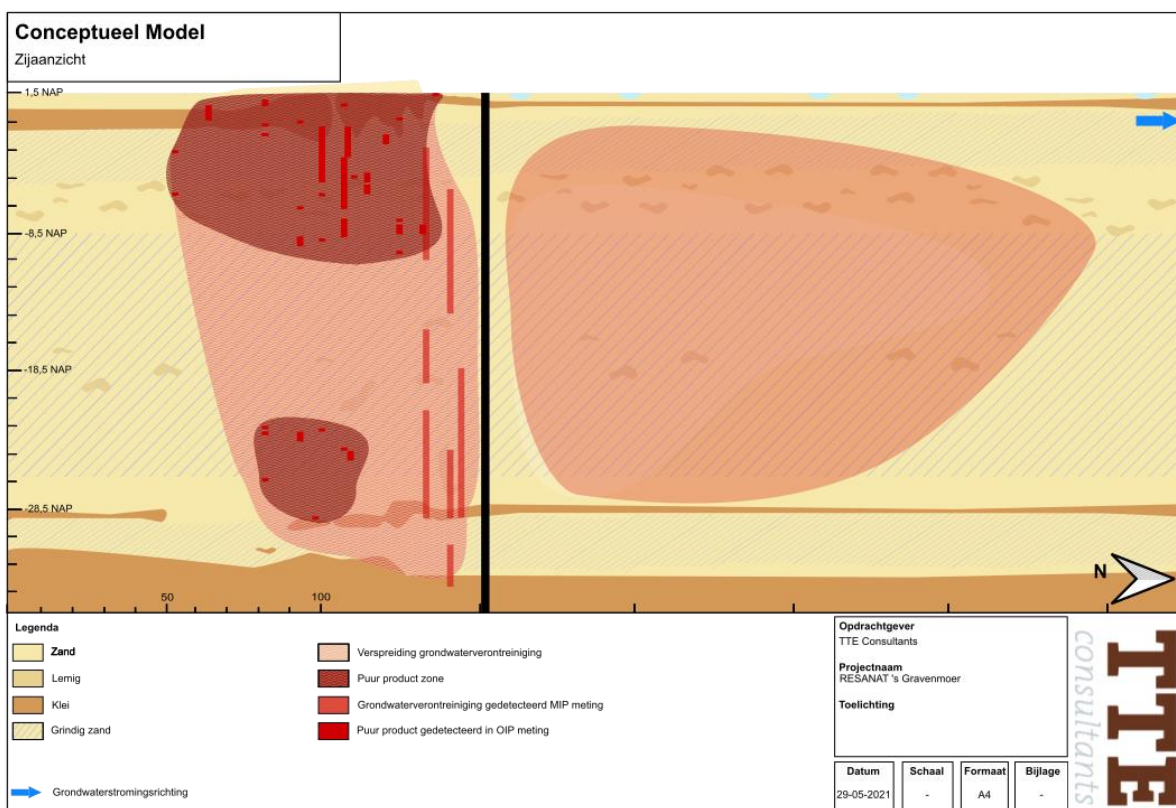
Voor het definitieve saneringsplan uit 2008 [ref 3] is een inschatting gemaakt van het resterende volume verontreinigde grond. Hierin wordt onderscheid gemaakt in 4 locaties, waarvan momenteel nog twee verontreinigd zijn. In tabel 4.2 staan naast de verontreinigingsomvang voor de resterende locatie ook de hoogst aangetroffen gehalte verontreiniging, gemeten in het aanvullend bodemonder-zoek uit 2004 [ref 6].



Tabel 4.2. Inschatting omvang grondverontreiniging.

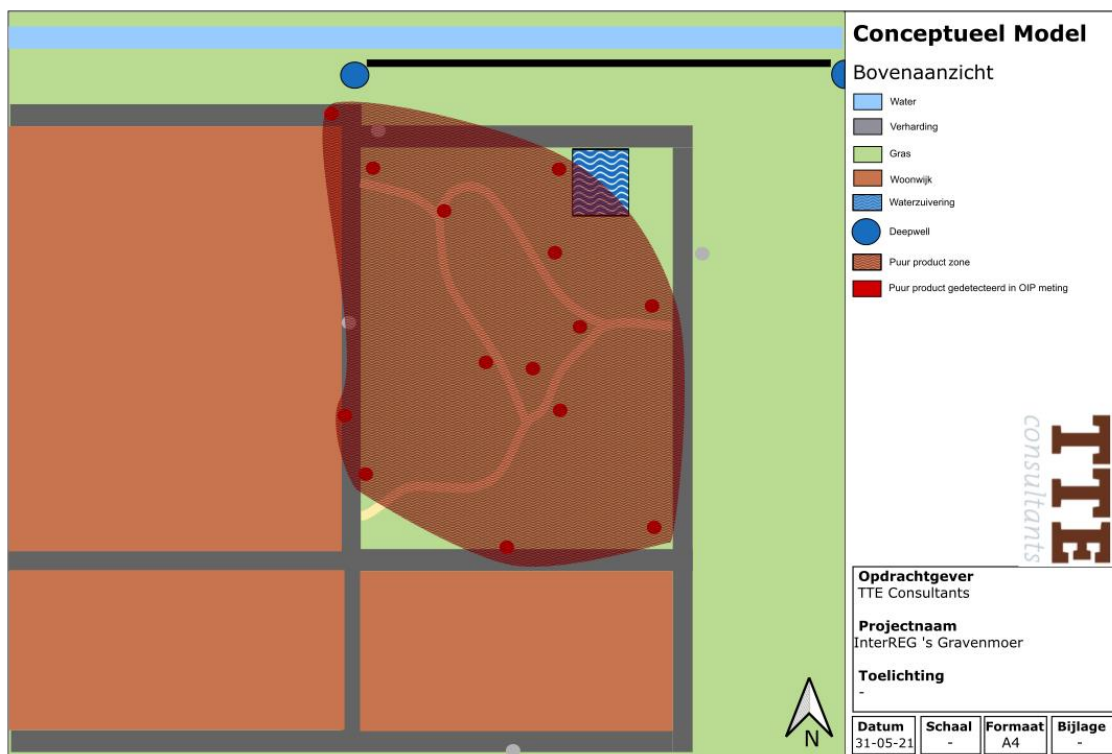
Deellocatie	Geschat verontreinigd volume in 2008	Hoogst aangetroffen gehalte (mg/kg DS) in 2004
Bedrijfsterrein - creosoteeractiviteiten	100.000m <sup>3</sup>	Pak (1.700), Olie (3.500)
Bedrijfsterrein - opslag behandeld hout	15.000m <sup>3</sup>	Niets boven IW

In het veld is onderzoek gedaan naar de omvang van de bronzone door middel van OIP sonderingen en organoleptische waarnemingen tijdens de boorwerkzaamheden. Meer informatie over de sonderingen is te lezen in hoofdstuk 3.1. De resultaten van het veldonderzoek zijn weergegeven in figuur 4.7. Een grotere afbeelding is opgenomen in Bijlage 7.



Figuur 4.7. Schematisch beeld van de verontreinigingssituatie geactualiseerd n.a.v. de resultaten van het veldonderzoek naar aanwezigheid van puur product

In het veld is er maar op één locatie zintuigelijk puur product aangetroffen. Uit de fluorescentie van de OIP sonderingen, zichtbaar in figuur 4.7 als felrode balken, zijn twee ogenschijnlijk aparte puur product zones aangetroffen. Vermoedelijk zijn deze (in het verleden) verbonden door dunne verbindende puur product “vingers”, maar in de goed doorlaatbare laag uitgespoeld.



Figuur 4.8. Overzicht resultaten veldonderzoek naar aanwezigheid puur product

In de uitgevoerde onderzoeken is gebleken dat het puur product zich uiterst heterogeen verdeeld is in de bodem. De puur product zones moeten daarom gezien worden als “zone waarin puur product mogelijk aangetroffen kan worden”, in plaats van “zone waarin een aaneengesloten hoeveelheid puur product zit”. Dit wordt ondersteund door de afwezigheid van de zintuiglijke waarnemingen. Deze verschijningsvorm heeft als voordeel dat het een groot contactoppervlak heeft, waardoor de verontreiniging beter beschikbaar is voor bacteriën. Er bevindt zich een kleinere toxische zone (zone waarin de concentraties toxisch zijn voor bacteriën) rondom het puur product en de combinatie met de grotere oplosbaarheid door het grote contactoppervlak zorgt voor een hogere potentie voor biologische afbraak.

**Conclusie**

Het puur product bevindt zich zintuiglijk onzichtbaar en is zeer heterogeen verdeeld over een groot deel van de locatie. Er lijkt sprake te zijn van twee verticaal gescheiden zones waarin het puur product nog aanwezig is.

**4.4 Samenstelling puur product**

De locatie is verontreinigd met creosoot. Er is in het verleden geen onderzoek gedaan naar de creosootsamenstelling op locatie. In de samenvatting van de bodemonderzoeken uit 2006 wordt de volgende algemene samenstelling van creosoot weergegeven [ref 2]:

Fenolen	3%	Naftaleen	7-28%	Fenantreen	9-14%
Acenaftaleen	2-5%	Fluoranteen	2-5%	Fluoreen	2-4%
Methylnaftaleen	1-4%	Pyreen	2-3%	Carbozol	2-3%
Anthraceen	1-2%	BTEX	-		

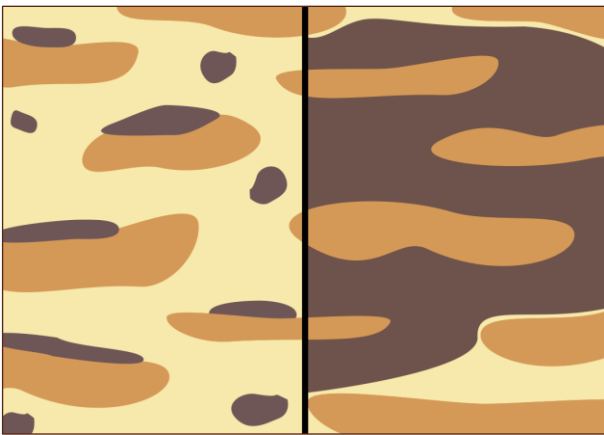


Creosootolie / carbolineum is een slecht oplosbare vloeistof met hoge dichtheid die zich als een DNAPL gedraagt met zaklagen in verticale richting, horizontaal transport met grondwater is naar verwachting minder snel dan de grondwaterstroming.

Het daadwerkelijke puur product kan echter een andere samenstelling hebben, welke relevant is voor de biologische afbraakcapaciteit en het verspreidingsrisico.

In de rapportage van het aanvullend bodemonderzoek in 2004 [ref 6] wordt in de genomen boringen zintuigelijk verontreiniging waargenomen. Hierin wordt puur product zowel in de vorm van een olie-film als in de vorm van olie-watervlekjes waargenomen.

Als er nog puur product in de bodem zit, is de nalevering waarschijnlijk significant. Waar dit puur product zich bevindt en hoe dit is gedistribueerd en in welke vorm (druppels<sup>1</sup>, blobs of zaklaag, zie figuur 4.9), is belangrijk voor het inschatten van verspreidingsrisico's.



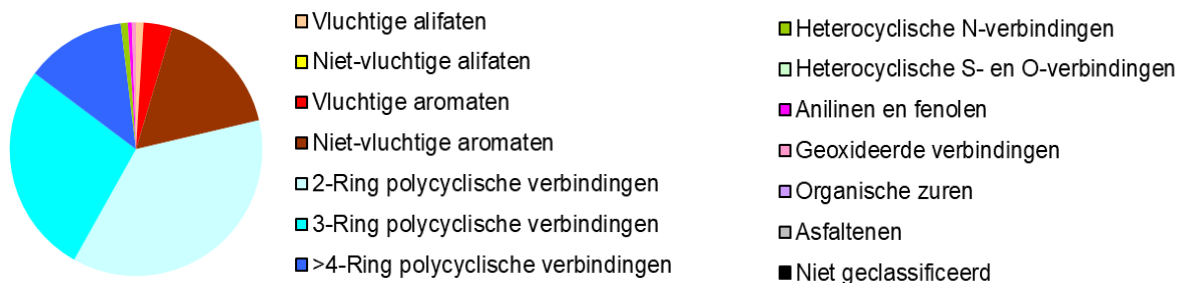
Figuur 4.9. Verschijningsvormen van puur product in de bodem (druppels, links of zaklaag, rechts).

---

<sup>1</sup> Er is in het veld zintuigelijk vrijwel geen puur product aangetroffen en naast de teercharacterisatie zijn maar 2 veldmonsters geanalyseerd, die vrijwel geen verontreiniging bevatte. Zoals in hoofdstuk 4.3 gemeld is de verontreiniging zeer heterogeen verdeeld en vermoedelijk in zeer kleine druppels.

Tabel 4.3. Samenstelling naar stofgroepen en gewogen gemiddelde stofgroepeigenschappen

Stofgroep	Fractie (%)	M Molecuulgewicht (g/mol)	S Water-oplosbaarheid (µg/l)	Vp verzadigde dampspanning (Pa)	LogK <sub>ow</sub> octanol-water verdelingscoëfficiënt
Vluchtige alifaten	1,0%	133	949	759	5,02
Niet-vluchtige alifaten	0,0%	-	-	-	-
Vluchtige aromaten	3,7%	120	46.800	469	3,93
Niet-vluchtige aromaten	16,7%	140	44.800	106	4,15
2-Ring polycyclische verbindingen	36,8%	142	23.900	12	4,13
3-Ring polycyclische verbindingen	27,1%	180	7.390	0	4,75
>4-Ring polycyclische verbindingen	12,8%	215	1.590	-	5,42
Heterocyclische N-verbindingen	0,9%	191	31.200	0	3,97
Heterocyclische S- en O-verbindingen	0,0%	-	-	-	-
Anilinen en fenolen	0,5%	135	-	-	3,70
Geoxideerde verbindingen	0,5%	227	11.400	-	3,91
Organische zuren	0,0%	-	-	-	-
Asfaltene	0,0%	-	-	-	-
Niet geclassificeerd	0,0%	-	-	-	-



Figuur 4.10. Samenstelling grondmonster 13264290-001 zoals bepaald middels de teercharacterisatie

De verontreiniging die is aangetroffen in het grondmonster bestaat voornamelijk uit 2- en 3-ring polycyclische verbindingen (37 en 27%, respectief). Waarschijnlijk bestaan de 2-ring polycyclische verbindingen vrijwel alleen uit naftaleen, gezien dat als enige in de andere grondmonsters is teruggevonden en in hoge concentraties in het grondwater zit. De 3-ring polycyclische verbindingen bestaan waarschijnlijk uit fenantreen, dat in het grondwater veelvuldig is teruggevonden. Andere stofgroepen worden in kleinere percentages aangetroffen.

## Oplosbare fractie

In het veld zijn op dezelfde locatie als het grondmonster van de teercharacterisatie ook grondwatermonsters genomen op 3 verschillende dieptes. Het grondmonster is genomen op vergelijkbare diepte als het "ondiepe" grondwatermonster. In de onderstaande tabel wordt de emissie van het grondmonster, het water dat in evenwicht is gebracht met de grond, vergeleken met de grondwatermonsters.

Tabel 4.4. Vergelijking verontreinigingsfracties grondwatermonster en emissie uit grondmonster.

Stofgroep	Fractie Emissie (%)	Fractie Grondwater - Ondiep (%)	Fractie Grondwater - Middeldiep (%)	Fractie Grondwater - Diep (%)
Vluchtige alifaten	0,0%	0,1%	0,1%	0,9%
Niet-vluchtige alifaten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Vluchtige aromaten	9,3%	7,2%	8,0%	9,7%
Niet-vluchtige aromaten	34,1%	19,7%	26,6%	33,2%
2-Ring polycyclische verbindingen	40,2%	49,2%	41,6%	26,9%
3-Ring polycyclische verbindingen	9,1%	16,9%	12,2%	15,5%
>4-Ring polycyclische verbindingen	0,9%	4,8%	4,7%	9,8%
Heterocyclische N-verbindingen	1,5%	1,4%	0,6%	0,8%
Heterocyclische S- en O-verbindingen	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Anilinen en fenolen	4,6%	0,0%	4,0%	0,1%
Geoxideerde verbindingen	0,3%	0,7%	1,4%	1,3%
Organische zuren	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Asfaltene	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Niet geïndiceerd	0,0%	0,0%	0,1%	1,9%

De totale concentratie oliegerelateerde producten in de grondwatermonsters bedraagt 16.100 µg/l (ondiep), 7.060 µg/l (middeldiep) en 5.140 µg/l (diep). Uit de tabel is zichtbaar dat de verschillende grondwatermonsters sterk lijken in samenstelling op de emissie van het grondmonster. Dit geeft de indicatie dat het grondwater vrijwel in evenwicht staat met het puur product en er waarschijnlijk weinig tot geen biologische afbraak heeft plaatsgevonden. Enkele verschillen zijn te zien in de hoeveelheden niet-vluchtige aromaten en verschillende PAK verbindingen. Naar de diepte toe neemt de hoeveelheid niet-vluchtige aromaten toe en het percentage 2-ring PAK af.

### Conclusie

Het puur product bestaat voornamelijk uit 2- en 3-ring polycyclische verbindingen, zoals naftaleen. Dit komt overeen met de samenstelling van creosootolie zoals in de samenvatting van de bodemonderzoeken uit 2006 is beschreven. Ook in het eluaat van het puur product is deze samenstelling, dat voor bijna 50% uit 2-ring polycyclische verbindingen (naftaleen) bestaat, terug te vinden. De geanalyseerde grondwatermonsters lijken in samenstelling sterk op de emissie van het puur product. Dit geeft de indicatie dat het grondwater vrijwel in evenwicht staat met het puur product en er waarschijnlijk weinig tot geen biologische afbraak heeft plaatsgevonden.

## 4.5 Grondwater

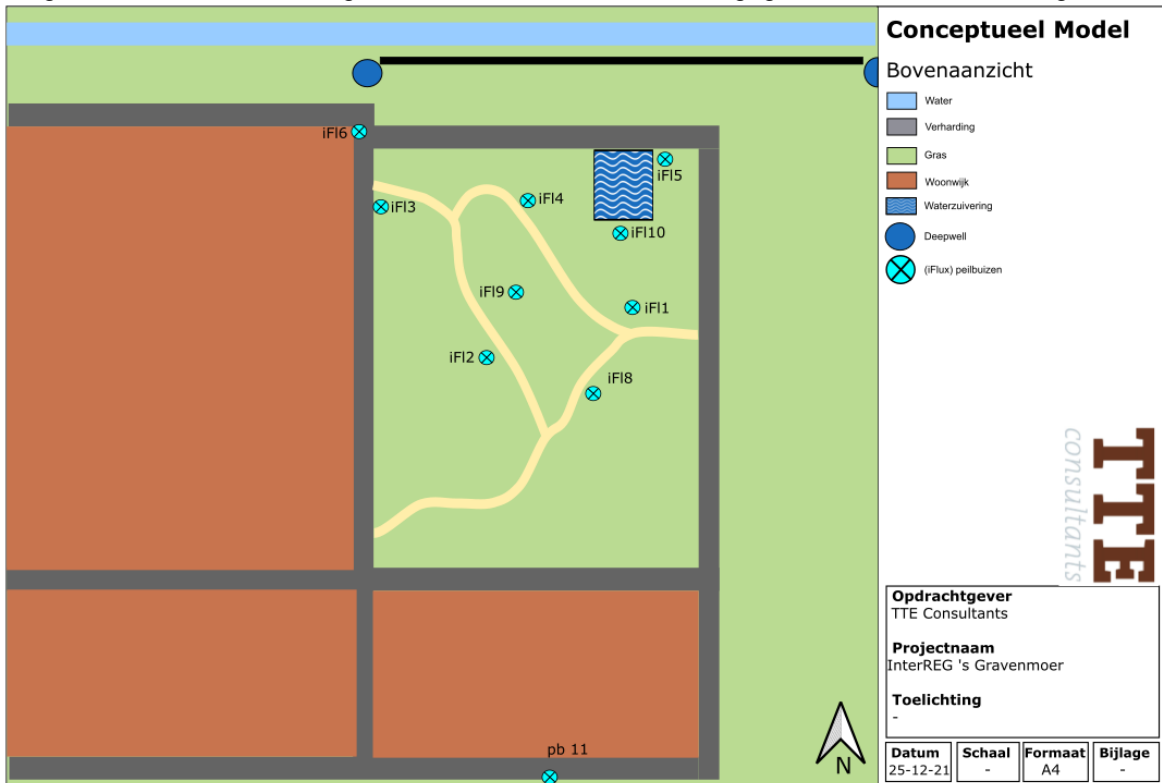
De grondwaterverontreiniging werd in 1985 tot 30m-mv aangetroffen, bestaande uit fenolen, PAK en aromaten. De omvang van de grondwaterverontreiniging wordt in het saneringsplan geschat op 1.320.000m<sup>3</sup> op basis van BTEX, PAK en minerale olie [ref 3]. Ter plaatse van de



creosoteeractiviteiten zijn op een diepte van 27m-mv hoge concentraties opgelost creosoot aangetroffen. De verontreiniging is op de andere delen van het terrein minder diep gezakt [ref 4]. Het doel van de diepwand, naast de hydrologische stand still, is dat er een effectieve “knip” plaatsvindt tussen bron en pluim. De twee zones worden apart van elkaar besproken.

#### 4.5.1 Bronzone

Op de onderzoekslocatie zijn peilbuizen geplaatst, met filters op verschillende diepte, weergegeven in figuur 4.11. Peilbuis iFI-7 ligt stroomafwaarts en is niet weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4.11. Locatie peilbuizen op de onderzoekslocatie.

Allereerst is gekeken naar de aanwezige grondwaterverontreiniging. Tabel 4.5 geeft de gemeten grondwaterconcentraties voor verschillende teer componenten weer. Op de stroomopwaartse peilbuis Pb11 en iFI10 na is in alle peilbuizen verontreiniging aangetroffen, voornamelijk PAK en minerale olie.

Tabel 4.5. Gemeten grondwaterconcentraties van de aanwezige verontreiniging op de onderzoekslocatie.

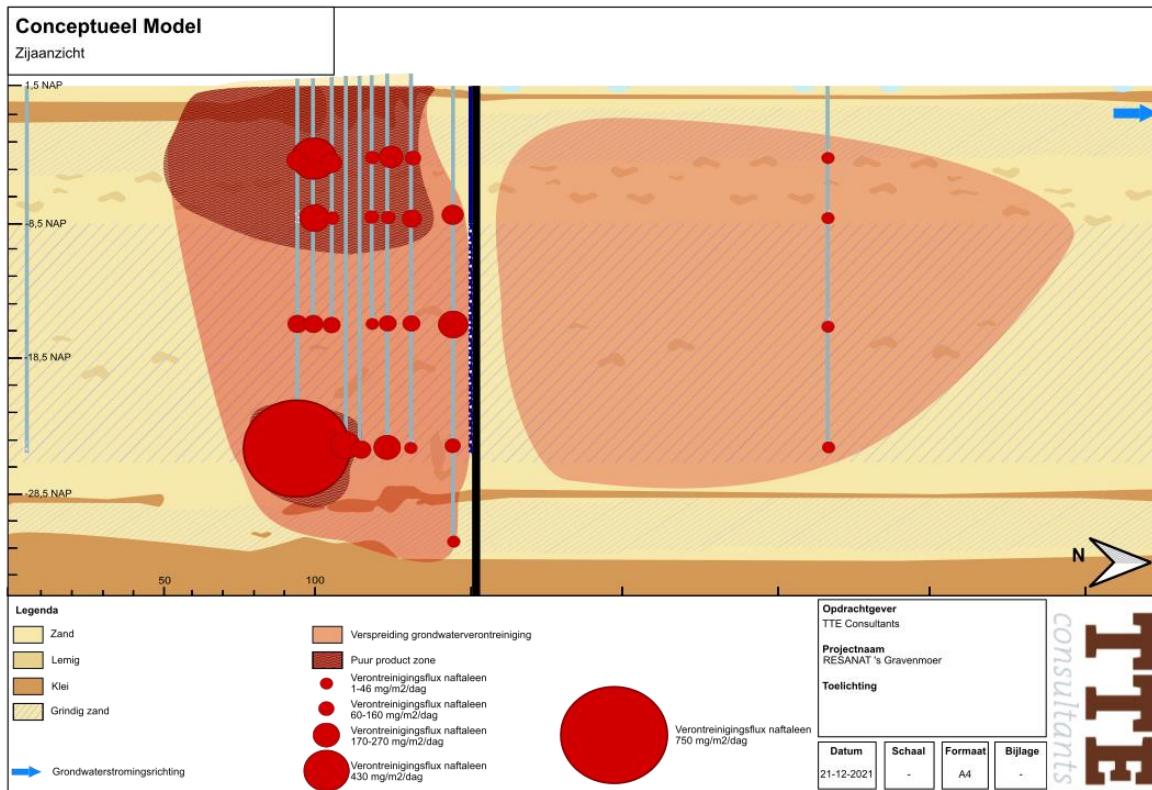
Peilbuis	Filterstelling	PAK10	Naftaleen	Minerale olie	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen (som)
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
iFI-1	550-650	9.200	9.000	15.000	<40	<20	170	360
	1800-1900	600	600	1.000	<10	<5	31	48
iFI-2	550-650	19.000	19.000	37.000	<100	74	610	1.230



Peilbuis	Filterstelling	PAK10	Naftaleen	Mine-rale olie	Ben-zeen	Tolueen	Ethyl-benzeen	Xylenen (som)
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
	1800-1900	7.200	7.100	12.000	16	100	170	270
iFI-4	550-650	16.000	16.000	2.100	<40	320	650	1.230
	1800-1900	1.900	1.900	3.100	<10	9	68	60
	2600-2700	1.200	1.200	1.800	<20	50	130	234
iFI-5	550-650	4.200	4.200	8.300	<10	<5,0	68	67
	1800-1900	1.300	1.300	1.700	<20	<10	67	65
	2600-2700	5	4	410	<0,2	0	0	1
iFI-6	1000-1100	5.700	5.700	8.200	110	130	490	730
	3510-3610	230	230	510	1	0	4	3
	2600-2700	0	na	990	<10	<5	44	15
iFI-7 (stroom-afwaarts)	1800-1900	0	0	na				
iFI-8	550-650	8.100	7.900	13.000	<20	<10	170	270
	1800-1900	3.900	3.900	4.800	<10	11	57	86
	2600-2700	1.300	1.300	2.100	10	42	45	74
iFI-9	2600-2700	10.000	10.000	17.000	<10	94	86	148
iFI-10	10	Na	na	na				
	26	2	0	na				
Pb11 (Stroom-opwaarts)	550-650	na	na	na				
	1800-1900	1	0	na				

Uit de tabel is te zien dat de aanwezige PAK verontreiniging vrijwel volledig uit naftaleen bestaat. De resultaten van de teercharacterisatie ondersteunt deze conclusie. Daarnaast zijn benzeen en toluen in mindere mate aanwezig ten opzichte van ethylbenzeen en xyleen.

In het veld is onderzoek gedaan naar de grondwaterverontreinigingsstroming door middel van flux-metingen. Uitleg over deze metingen is te lezen in hoofdstuk 3.2. In de onderstaande afbeelding zijn de resultaten van deze onderzoeken weergegeven. Een grotere bol geeft een grotere verontreinigingsflux weer. Een grotere weergave van de afbeelding is te vinden in Bijlage 7.



Figuur 4.12. Representatie van de verontreinigingsflux naftaleen. Een grotere bol geeft een grotere verontreinigingsflux aan. Voor overige aangetroffen stoffen (zoals minerale olie) zijn vergelijkbare trends in de flux.

Ter plaatse van peilbuis iF18 is op diepte 8,5m-NAP zo'n hoge verontreinigingsflux aangetroffen dat er vermoedelijk puur product in het filter terecht is gekomen. Deze meting is in Figuur 4.12 daarom weggelaten. De hoogste verontreinigingsfluxen (6000-500 mg/m<sup>2</sup>/dag minerale olie) zijn in de puur product zones aangetroffen of nabij het onttrekkingsfilter, wat aangeeft dat de beheersing naar behoren werkt.

In het diepste filter rond 33,5m-NAP wordt een van de laagste fluxen minerale olie (170 mg/m<sup>2</sup>/dag) en naftaleen (1,5 mg/m<sup>2</sup>/dag) aangetroffen. In alle filters wordt een flux aangetroffen van ten minste 140 mg/m<sup>2</sup>/dag minerale olie.

## Elektronacceptoren

Naast de aanwezige verontreiniging is ook gekeken naar de aanwezigheid van beschikbare elektronen acceptoren. Deze zijn noodzakelijk voor de biologische afbraak van de verontreiniging.

Tabel 4.6 Gemeten elektronenacceptoren.

Peilbuis	Filterstelling	Nitraat	Nitriet	Sulfaat	Methaan
		mg/L	mg/L	mg/L	µg/L
iFI-1	550-650	n.a.	n.a.	n.a.	2.500
	1800-1900	n.a.	n.a.	73	6.300
iFI-2	550-650	n.a.	n.a.	n.a.	1.200
	1800-1900	n.a.	n.a.	30	360
iFI-4	550-650	n.a.	n.a.	7,7	3.400
	1800-1900	n.a.	n.a.	28	270
	2600-2700	n.a.	n.a.	17	740
iFI-5	550-650	n.a.	n.a.	11	4.800
	1800-1900	n.a.	n.a.	n.a.	5.700
	2600-2700	n.a.	n.a.	13	n.a.
iFI-6	1000-1100	n.a.	n.a.	6,3	1.400
	3510-3610	n.a.	n.a.	32	200
	2600-2700	n.a.	n.a.	11	2.500
iFI-7 (Stroomafwaarts)	1800-1900	n.a.	n.a.	47	21
iFI-8	550-650	2,4	4,3	12	3.800
	1800-1900	n.a.	n.a.	5,2	3.600
	2600-2700	n.a.	n.a.	18	1.700
iFI-9	2600-2700	n.a.	n.a.	8,2	440
iFI-10	1000-1100	n.a.	n.a.	24	94
	2600-2700	n.a.	n.a.	52	17
Pb11 (Stroomopwaarts)	550-650	n.a.	n.a.	16	82
	1800-1900	n.a.	n.a.	76	70

Op de locatie is op één filter na geen nitraat of nitriet aangetroffen. Het aanstromende grondwater (Pb11) bevat al geen nitraat, waardoor dit ook niet kan worden afgebroken. Sulfaat wordt wel in meerdere peilbuizen aangetroffen, waardoor deze elektronacceptor gebruikt kan worden voor afbraak, meer hierover in hoofdstuk 4.6. Er is geen duidelijk verschil in de sulfaatconcentraties tussen de stroomopwaartse en overige peilbuizen.

### Conclusie

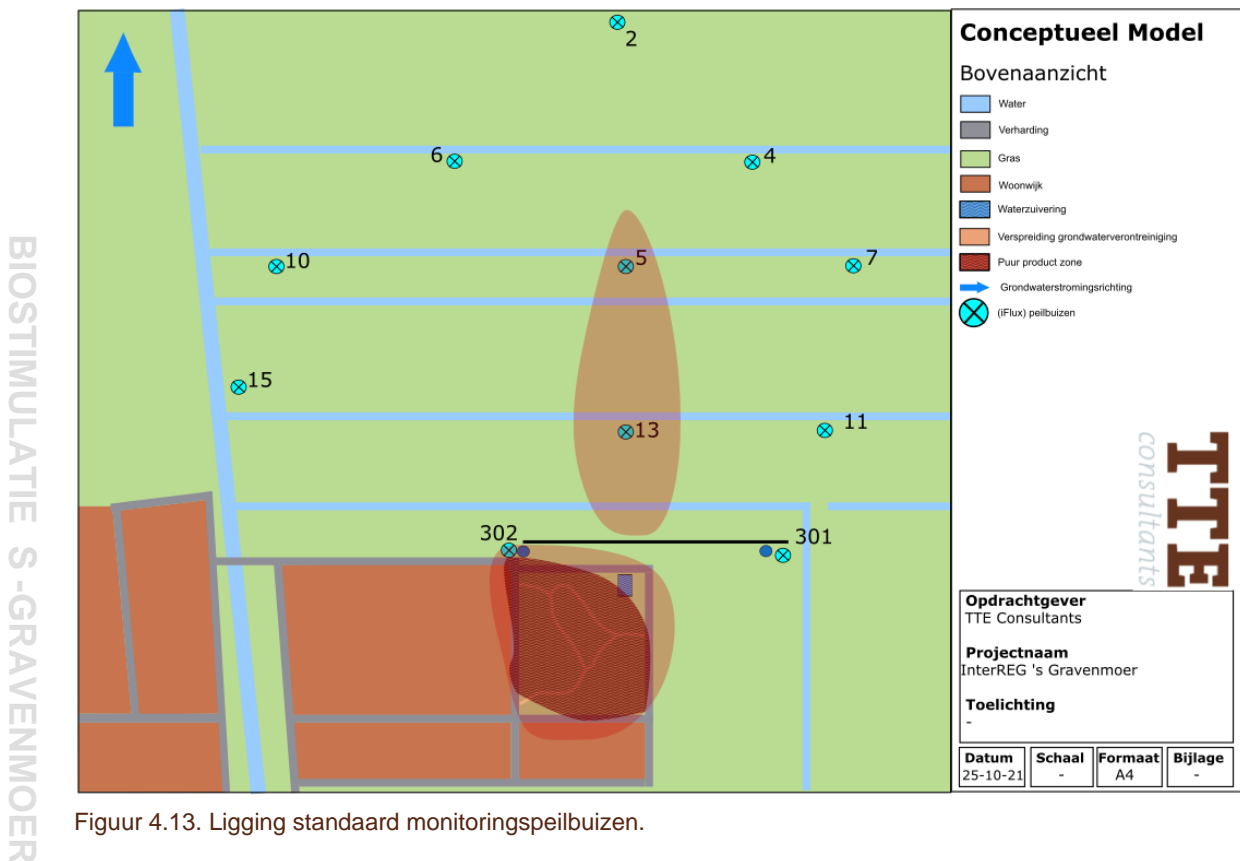
De grondwaterverontreiniging bestaat vrijwel volledig uit naftaleen en minerale olie. De hoogste verontreinigingsfluxen zijn in de puur product zones aangetroffen of nabij het onttrekkingsfilter, wat aangeeft dat de beheersing naar behoren werkt. Alleen sulfaat is in het grondwater aanwezig als elektronenacceptor, meer uitleg over de elektronenacceptoren is te vinden in hoofdstuk 4.6.

### 4.5.2 Pluimzone

In 1989 werd vastgesteld dat de pluim zich 250 meter ten noorden van de locatie had verspreid. Destijds is een uitloogonderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in het verspreidingsgedrag van de grondwaterverontreiniging. Zolang zich in de bodem een puur product fase bevindt, zal de nalevering

uit de puur product fase afhankelijk van de hoeveelheid, de distributie, biologische afbraak en grondwaterstromsnelheden voor “onbepaalde” tijd doorgaan. Uit het onderzoek komt ook dat er geen desorptie plaatsvindt, waardoor geen retardatie optreedt [ref 2]. In een actualiserend onderzoek in 2001 blijkt dat de grondwaterverontreiniging zich nauwelijks verplaatst heeft.

De ligging van deze peilbuizen en de mogelijke loop van de pluim is weergegeven in de onderstaande afbeelding. Een grotere afbeelding is opgenomen in Bijlage 7. De peilbuizen uit tabel 4.7 zijn hierop ingetekend.



Figuur 4.13. Ligging standaard monitoringspeilbuizen.

In december 2020 heeft de meest recente monitoring plaatsgevonden van de peilbuizen in de pluim. De resultaten daarvan zijn in de onderstaande tabel weergegeven. In tabel 4.7 is zichtbaar dat er 3 peilbuizen zijn bemonsterd met creosoot componenten boven de detectielimiet, met de hoogste concentraties bij peilbuis 302, direct naast de westelijke deepwell. De concentraties beneden detectielimiet zijn grijs gemaakt voor de leesbaarheid van de tabel.



Tabel 4.7. Resultaten standaard monitoring grondwater uit december 2020 en de iFI-11.

Peilbuis	Filterstelling	Naftaleen	MO	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen (som)
		ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
301	19	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	29	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
302	19	3.800	9.000	0,46	0,49	180	27
	29	320	150	0,39	3,1	48	27
2	15	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
4	15	<0,5	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	20	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
5	15	33	96	<0,2	<0,2	0,71	0,37
	30	55	72	<0,2	<0,2	0,8	1,5
6	15	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	20	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
7	15	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
10	15	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	20	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
11	5	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	10	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
13	5	<0,15	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	10	4,7	96	6,8	0,51	0,73	3,1
	15	13	91	<0,2	0,46	<0,2	1,2
15	5	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	10	<0,02	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Het is hierbij nog onduidelijk in hoeverre de grondwaterverontreiniging zich op de locatie verspreidt. Met name in de westelijke richting onder de woonwijk en ten westen van de bentonietwand is er nog onduidelijkheid over de verspreiding. De concentraties in peilbuizen 5 en 13 zijn de afgelopen 4 jaar afgenomen, wat aangeeft dat de beheersing naar behoren functioneert.

#### Conclusie

Er is nog sprake van een verontreinigingspluim achter de bentonietwand. De concentraties nemen stroomafwaarts af en liggen over het algemeen lager dan sinds de start van de monitoring in 2013. Er bevindt zich een stabiele situatie achter de bentonietwand.

## 4.6 Biologische afbraak

Er zijn verschillende onderzoeken naar biologische afbraak geweest de afgelopen jaren. Op de locatie zijn pilots gedaan met landfarming en biorestauratie [ref 7,8].

### Elektronen acceptoren

Op de locatie zijn verschillende elektronen acceptoren aanwezig, met name sulfaat, opgelost mangaan en ijzer. Toevoeging van nitraat in de biorestauratie pilot heeft geen toegevoegde waarde gehad [ref 5]. Opvallend is dat nitraat wel omgezet werd naar nitriet, maar nitriet niet verder omgezet werd.

In de pilot met landfarming werd geconcludeerd dat het toevoegen van nutriënten in de vorm van stikstof en fosfor een positieve invloed had op aerobe afbraak [ref 7].

De biologische afbraak onder zuurstofrijke omstandigheden is ook getest in een haalbaarheidsonderzoek voor in situ biorestauratie [ref 5]. In de laboratoriumproeven werd een zuurstofverbruik van circa 50mg O<sub>2</sub>/kg ds\*d gemeten, met een biodegradatiesnelheid van ongeveer 3mg PAK/kg/dag en 15mg minerale olie/kg/dag.

### Surfactants

In de biorestauratie pilot is gevonden dat de verontreiniging een lage biobeschikbaarheid heeft. De toevoeging van detergenten had weinig invloed op de biologische afbraak, omdat de makkelijk afbreekbare stoffen ook goed oplosbaar zijn. De toevoeging had wel effect op de uitloging, omdat de verontreiniging zich sneller verspreidde [ref 5].

### Bacteriën

De 4 jaar durende pilot met biorestauratie bevatte een herinfiltratie van gezuiverd grondwater. Het verontreinigd grondwater dat werd opgepompt uit de grond, werd gezuiverd met een biologische grondwaterzuiveringsinstallatie (Biopur®).

In de pilot werd een deel van het effluent van de Biopur® geïnfiltreerd in de bodem. Dit grondwater is verrijkt met nutriënten en nitraat voor het de grond inzakte. Het systeem heeft herhaaldelijk stilgestaan vanwege verstoppingen.

In de pilotproef is besloten om niet langer effluent van de Biopur® te gebruiken, maar een andere deelstroom uit de grondwaterzuiveringsinstallatie. Het ontstaan van biomassa en de daarop volgende verstoppingen, was in de pilot een duidelijk argument tegen opschaling.

### Bewijslijnen voor biologische afbraak

Om antwoord te geven op de onderzoeksvragen, kan gekeken worden naar de verschillende bewijslijnen voor natuurlijke afbraak. Meer hierover in het rapport van Deltares, opgenomen in Bijlage 4.

1. Veranderingen in de verontreiniging;
2. Verandering van de grondwatersamenstelling;
3. De aanwezigheid van micro-organismen met afbraak-capaciteit.

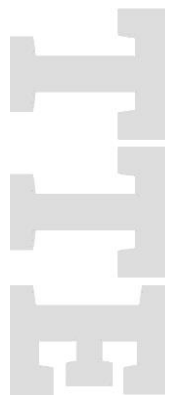
De verschillende uitgevoerde analyses (isotopenanalyses, aanwezigheid (signaal)metabolieten, DNA-analyses) laten geen duidelijk beeld van het optreden van natuurlijke afbraak zien. De aanwezigheid van (signaal)metabolieten suggereert dat er mogelijk natuurlijke aerobe en/of anaerobe afbraak optreedt van naftaleen en PAK. DNA-analyses suggereren dat er mogelijk potentie is voor anaerobe afbraak van aromatische koolwaterstoffen zoals m-xyleen en naftaleen door *Desulfobacterium*. Bij de DNA-analyses zijn ook veel aerobe bacteriën gevonden. Dit resultaat is in lijn met de positief gemeten redoxpotentialen en zuurstofconcentraties in het grondwater. Dit wijst er dus mogelijk op dat zuurstof een rol kan spelen in de natuurlijke afbraak op deze locatie.

De ijzer-, mangaan- en sulfaatreducerende tot methanogene omstandigheden zijn ongunstig voor afbraak van creosootverontreiniging. Het is niet duidelijk wat de betrouwbaarheid van de veldmetingen is in verband met een positieve redoxpotentiaal en zuurstofconcentraties van 0,5 tot 2,7 mg/L.

### Potentie biologische afbraak op basis van samenstelling puur product

De vergelijking van de verontreinigingsfracties in hoofdstuk 4.4, tabel 4.4, van de grondwatermonsters en de emissie uit het grondmonster geeft de indicatie dat het grondwater vrijwel in evenwicht staat met het puur product en er weinig tot geen (biologische) afbraak plaatsvindt. Vanuit de samenstelling van het puur product kan het volgende gezegd worden over biologische afbraak:

Het maximaal *in situ* bereikbare saneringsresultaat op basis van de samenstelling van het puur product is een verwijdering van ongeveer 87% van de gehele teer, op basis van aerobe biologische afbraak. Onder anaerobe omstandigheden kan 5% van de teer worden afgebroken. De biologische



afbreekbaarheid wordt bepaald op basis van de afbreekbaarheid van de individuele stofgroepen. De emissie en de grondwaterverontreiniging is voor een groot deel (circa 97%) aëroob afbreekbaar en voor een klein deel (circa 14%) anaëroob afbreekbaar.

*Conclusie*

Op basis van verschillende uitgevoerde analyses is er momenteel geen of zeer beperkte biologische afbraak op de locatie. Er is potentie tot afbraak van de verontreiniging, mits de ongunstige anaerobe reducerende condities veranderen. Er zijn geen aanwijzingen dat natuurlijk afbraak tot een stabiele eindsituatie kan leiden.



## 5 Conclusie onderzoek verontreinigingssituatie / Geactualiseerd CSM

### 5.1 Conclusie

In het CSM in hoofdstuk 2 zijn de belangrijkste processen met betrekking op de doelstelling op de onderzoekslocatie gedefinieerd:

- Nalevering van verontreinigingen vanuit de bron naar het grondwater: Bepalend voor concentratie en samenstelling van de verontreiniging in het grondwater;
- Verspreiding grondwaterverontreiniging: Bepalend zijn de snelheid en richting van het grondwater vóór en achter de barrière;
- Biologische afbraak verontreiniging. Bepalend zijn de redoxcondities, de beschikbaarheid van (macro) nutriënten en de aanwezigheid van bacteriën (in de ondergrond en in de zuivering).

Om inzicht te krijgen in deze processen zijn onderzoeksvragen geformuleerd en zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. De verkregen informatie wordt per proces besproken.

#### Nalevering

Bij nalevering is het belangrijk om te kijken naar de samenstelling van het puur product en waar deze zich op dit moment in de bodem bevindt. De opbouw van de bodem speelt een rol in de omvang en locatie van de bronzone. Op de onderzoekslocatie bestaat de bodem voornamelijk tot -29mNAP uit goed doorlaatbaar zand, met plaatselijk grind- en lemige lagen. Hierdoor ontstaat een sterke heterogeniteit. Rond -29mNAP bevindt zich een slecht doorlatende laag, bestaande uit silt en klei.

Het puur product is zintuigelijk onzichtbaar en zeer heterogeen verdeeld over een groot deel van de locatie. Er lijkt sprake te zijn van twee verticaal gescheiden zones waarin het puur product nog aanwezig is, één rond 4m-NAP en de ander rond 25m-NAP.

Het puur product bestaat voornamelijk uit 2- en 3-ring polycyclische verbindingen, zoals naftaleen. Ook in het eluaat van het puur product is deze samenstelling, dat voor bijna 50% uit 2-ring polycyclische verbindingen (naftaleen) bestaat, terug te vinden. De geanalyseerde grondwatermonsters lijken in samenstelling sterk op de emissie van het puur product. Dit geeft de indicatie dat het grondwater vrijwel in evenwicht staat met het puur product en er waarschijnlijk weinig tot geen biologische afbraak heeft plaatsgevonden.

Door de brede verspreiding van het puur product over de locatie en de samenstelling van het puur product zal er onder de huidige omstandigheden lang nalevering zijn.

#### Verspreiding

Om een indruk te krijgen van de mogelijke verspreiding van de verontreiniging is gekeken naar de stromingssnelheid en -richting op de locatie. De grondwaterstromingssnelheid ligt gemiddeld rond de 40-69 m/jaar. De stromingssnelheid neemt af rond 5,5m-NAP en neemt in de diepte verder toe tot de hoogst gemeten snelheid van 124m/jaar rond 16m-NAP. De grondwaterstromingsrichting op de onderzoekslocatie is gemiddeld richting de westelijke diepwell. Het filter in de meest oostelijke peilbuis geeft een stromingsrichting naar de oostelijke diepwell. De regionale grondwaterstromingsrichting is noordnoordwestelijk. Er is nog sprake van een verontreinigingspluim achter de bentonietwand. De concentraties nemen stroomafwaarts af en liggen over het algemeen lager dan sinds de start van de monitoring in 2013.

De huidige beheersmaatregel werkt naar behoren, en onder de huidige omstandigheden is er geen sprake van verdere verspreiding.



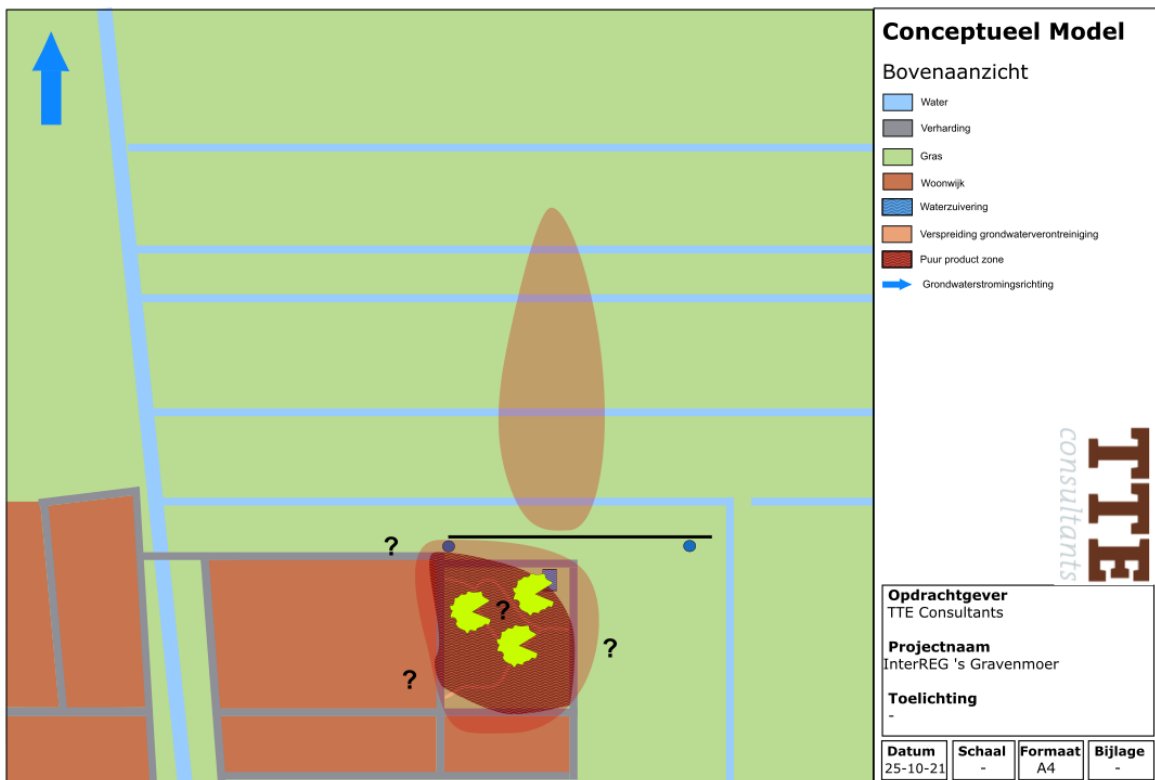
## Biologische afbraak

Biologische afbraak van de verontreiniging kan een oplossing zijn op de locatie, om de huidige beheersmaatregel los te laten. Daarvoor moet de afbraak sneller gaan dan de verspreiding.

Op basis van verschillende uitgevoerde analyses is er momenteel geen of zeer beperkte biologische afbraak op de locatie. Er is potentie tot afbraak van de verontreiniging, mits de ongunstige condities veranderen. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat onder de huidige omstandigheden niet op natuurlijke afbraak kan worden vertrouwd als mechanisme om verspreiding van creosootverontreiniging tegen te gaan.

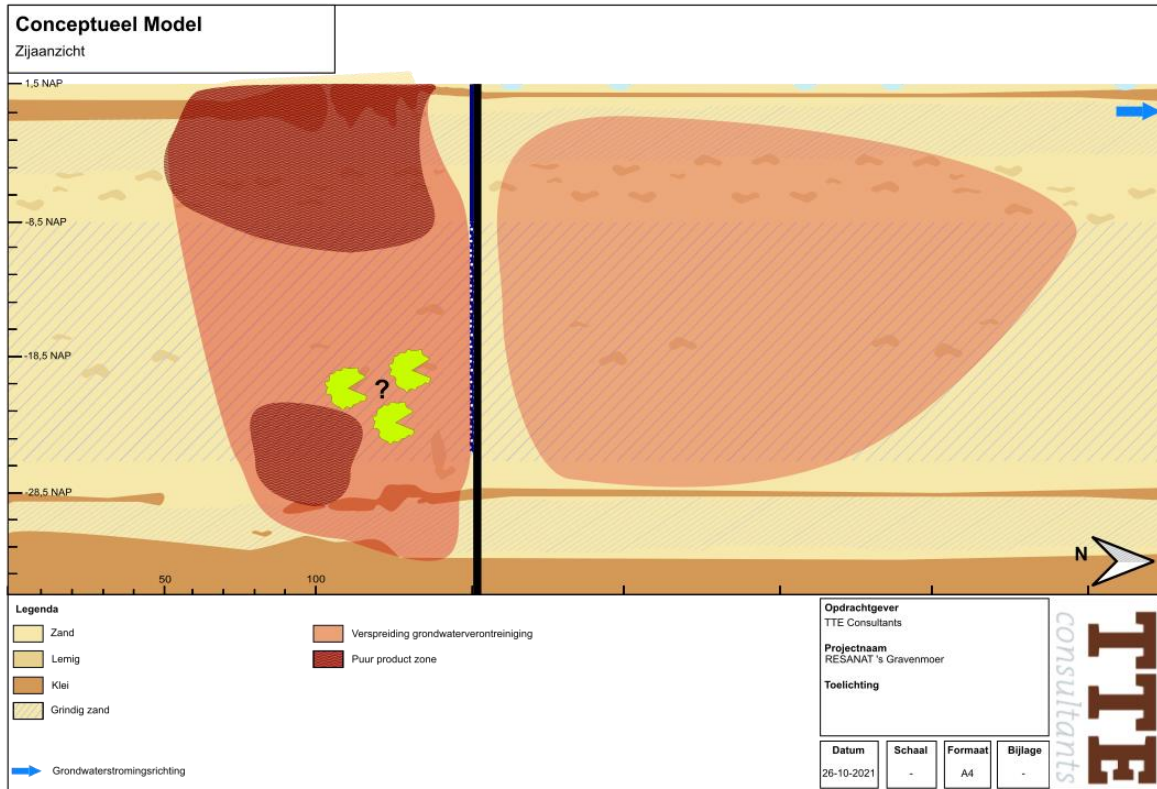
## 5.2 Geactualiseerd CSM

De hierboven genoemde processen vormen de basis voor het conceptueel model op de locatie. De figuren 5.1 (bovenaanzicht) en 5.2 (dwarsdoorsnede) zijn een zeer schematische weergave hiervan op de locatie. De meeste onderzoeksvragen zoals gevormd in hoofdstuk 2.2 zijn door de uitgevoerde onderzoeken beantwoord. De processen waar nog onvoldoende informatie momenteel beschikbaar is, vormen nieuwe onderzoeksvragen.



Figuur 5.1. Bovenaanzicht van de onderzoeklocatie in 's Gravenmoer

Tijdens de uitgevoerde onderzoeken is er nog onvoldoende informatie beschikbaar over de daadwerkelijke omvang van grond- en grondwaterverontreiniging. De grondverontreiniging is niet in westelijke richting afgeperkt en de grondwaterverontreiniging is ook in oostelijke richting niet volledig afgeperkt. Vermoedelijk wordt de oostelijke grondwaterverontreiniging volledig opgevangen door de oostelijke deepwell.

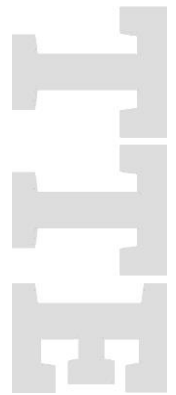


Figuur 5.2. Dwarsdoorsnede van de onderzoeklocatie in 's Gravenmoer.

Daarnaast is er in de onderzoeken aangetoond dat er mogelijk wel potentie voor biologische afbraak is, maar dat deze onder de huidige omstandigheden niet plaatsvindt. Hiermee ontstaat de onderzoeksvraag:

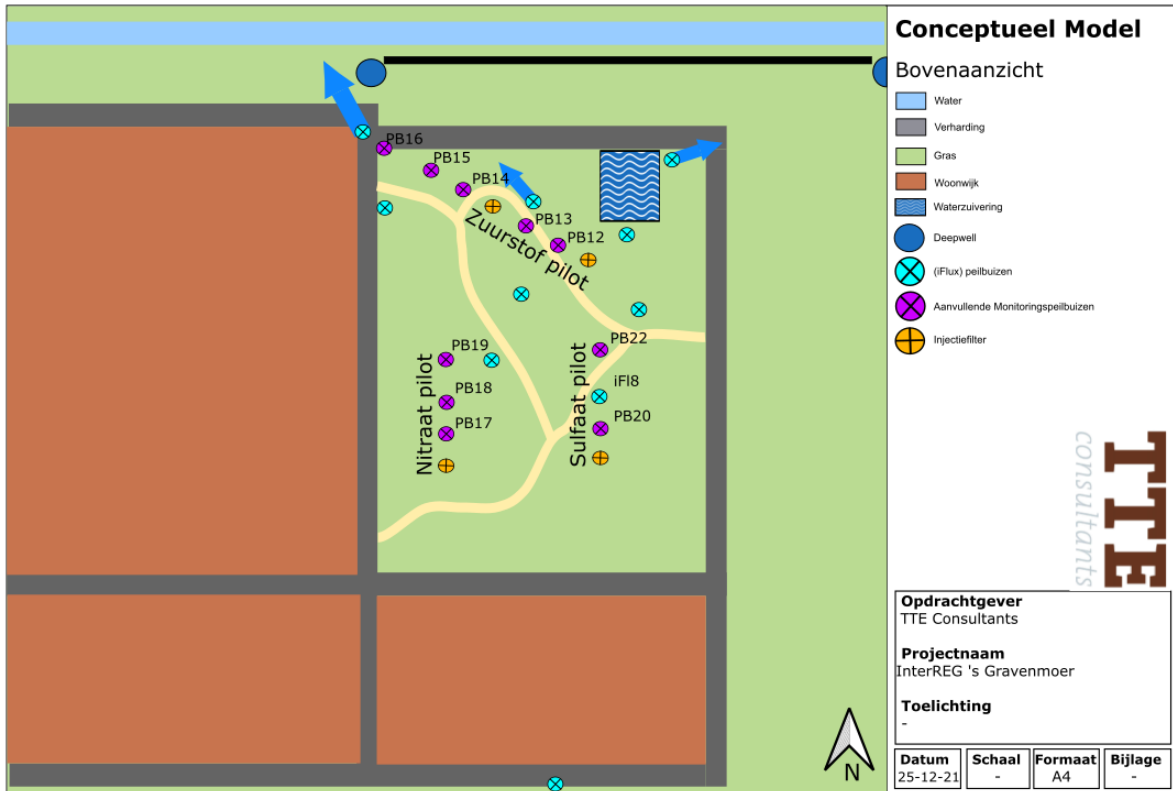
- Onder welke omstandigheden vindt er biologische afbraak plaats?

Om op deze vraag antwoord te geven, worden op de locatie 3 pilotonderzoeken gedaan. De opzet van deze onderzoeken wordt besproken in hoofdstuk 6.



## 6 Pilot

Door Orvion en Deltares is in april 2021 een plan voor de pilots opgesteld (Bijlage 8). Het plan bestaat uit 3 verschillende pilotopstellingen die parallel aan elkaar zullen plaatsvinden. De locaties van de verschillende opstellingen zijn in de afbeelding hieronder weergegeven. In een eerste modellering van Orvion is geschat dat met deze opstelling de pilots geen invloed van elkaar ondervinden.



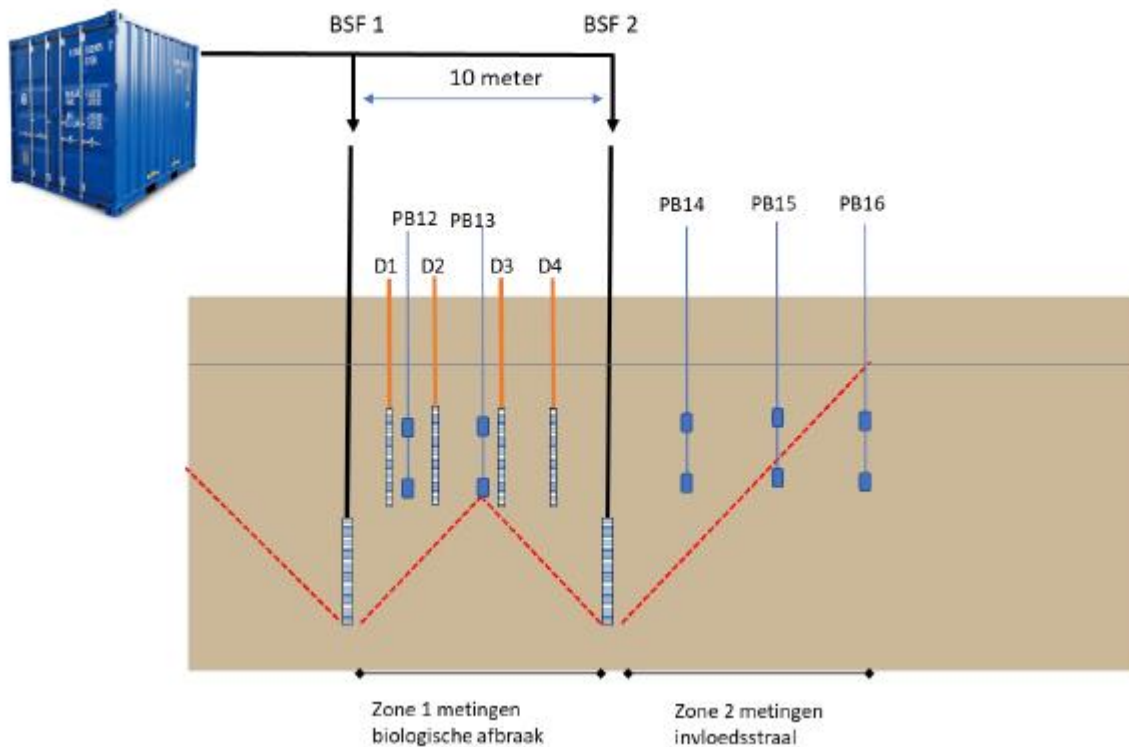
Figuur 6.1. Globale ligging pilots.

Alle drie de pilots richten zich in het bodempakket van 4,5 tot 6,5m-mv op 3 verschillende redoxcondities en zullen in de volgende paragrafen apart besproken worden. De volledige specificatie van de pilotopstellingen is te vinden in het plan in Bijlage 8.

### 6.1 Aeroob (biosparging/luchtinjectie)

In Pilot 1 wordt zuurstof door middel van biosparging/luchtinjectie in de bodem gebracht. In deze pilot wordt gekeken naar de *in situ* aerobe biologische afbraak van de verontreiniging. Zuurstof heeft een grote potentie voor biologische afbraak van creosootcomponenten. Op basis van de samenstelling van het puur product kan 97% van de grondwaterverontreiniging en 87% van het puur product met zuurstof worden afgebroken.

Vanuit een bovengrondse container worden de luchtfilters intermitterend van lucht voorzien. De compressor voorziet de injectiefilters om de beurt 3 uur van lucht. De compressor wordt nabij de zuivering geplaatst en van stroom voorzien. De looptijd van de proef is omstreeks 3 maanden.



Figuur 6.2. Dwarsdoorsnede opstelling aerobe pilot.

Naast de biosparging filters BSF1 en BSF2 wordt bij de start van de proef een nutriëntenoplossing voor extra voeding gedoseerd, in filter D1t/mD4 (figuur 6.2). Indien nodig kan herdosering plaatsvinden. De monitoringpeilbuizen staan met intervallen van 2,5m van elkaar en de injectiefilters. Meer informatie over de aerobe pilot is te vinden in het pilotontwerp in Bijlage 8.

Een nadeel aan het gebruik van zuurstof voor afbraak is dat de oplosbaarheid van zuurstof in water beperkt is, waardoor een bovengrondse installatie en continue injectie noodzakelijk is. Er wordt daarom ook gekeken naar twee stoffen met een betere oplosbaarheid, nitraat en sulfaat.

## 6.2 Nitraat

In Pilot 2 wordt een oplossing van kaliumnitraat, tracer en natriumheametafosfaat in de bodem gebracht door middel van een infiltratiefilter. Nitraat heeft na zuurstof de meeste potentie voor afbraak. Nitraat is goed oplosbaar, waardoor bij infiltratiemomenten een grote hoeveelheid in het water gebracht kan worden en geen permanente bovengrondse installatie noodzakelijk is.

Enkel bij de start van de proef zijn er bovengrondse apparaten aanwezig. Er wordt gebruik gemaakt van vaste infiltratiefilters en een tijdelijk leidingwerk. Tijdens de infiltratie moet het mengvat op druk worden gehouden om te voorkomen dat er lucht (en daarmee zuurstof) in het mengsel terecht komt. De looptijd van de proef is omstreeks 12 maanden. Nitraat blijft volgens de modellering maximaal 60 dagen aanwezig, dus zal er herdosering plaatsvinden. Een dosering duurt ongeveer 24 uur. Meer informatie over de nitraat pilot is te vinden in het pilotontwerp in Bijlage 8.

Een nadeel aan het gebruik van nitraat is dat er weinig aanwijzingen op de locatie zijn gevonden dat er nitraat afbrekende bacteriën aanwezig zijn.



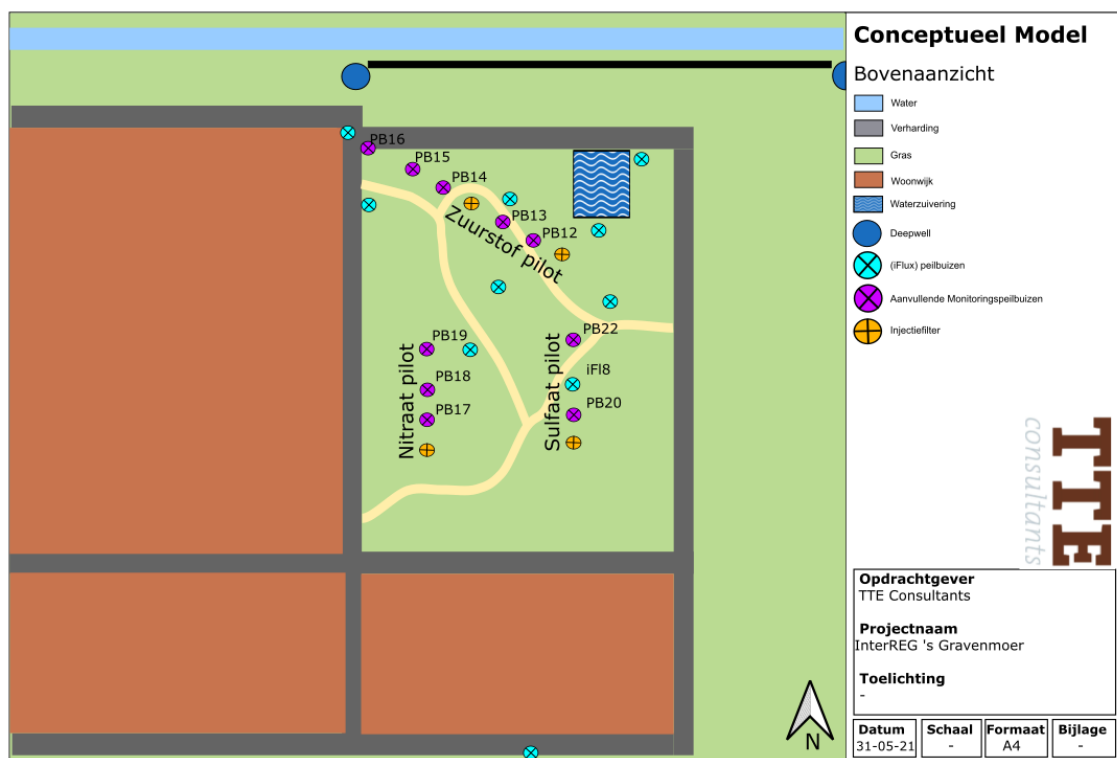
### 6.3 Sulfaat

Bij Pilot 3 wordt een oplossing van natriumsulfaat, ammoniumacetaat, tracer en natriumheametafosfaat in de bodem gebracht door middel van een infiltratiefilter. Sulfaatdosering geeft potentie voor biologische afbraak van teercomponenten, omdat op de locatie sulfaat afbrekende bacteriën zijn aangetroffen. Sulfaat is goed oplosbaar, waardoor bij infiltratiemomenten een grote hoeveelheid in het water gebracht kan worden en geen bovengrondse installatie noodzakelijk is.

Enkel bij de start van de proef zijn er bovengrondse apparaten aanwezig. Er wordt gebruik gemaakt van vaste infiltratiefilters en een tijdelijk leidingwerk. Tijdens de infiltratie moet het mengvat op druk worden gehouden om te voorkomen dat er lucht (en daarmee zuurstof) in het mengsel terecht komt. De looptijd van de proef is omstreeks 12 maanden. Sulfaat blijft volgens de modellering maximaal 90 dagen aanwezig, dus zal herdosering plaatsvinden. Een dosering duurt ongeveer 24 uur. Meer informatie over de sulfaat pilot is te vinden in het pilotontwerp in Bijlage 8.

### 6.4 Monitoring

Om de voortgang van de verschillende pilots bij te houden wordt er actief gemonitord. Er zijn ten behoeve van de pilots 10 monitoringspeilbuizen bij geplaatst in de verwachte stromingsrichting van de respectievelijke pilot, zoals in paars zijn weergegeven in afbeelding 6.3.



Figuur 6.3. Ligging monitoringspeilbuizen.

De peilbuizen worden elke 3 maanden na start van de pilot bemonsterd. Naast de verontreiniging en de geïnjecteerde stoffen worden ook DNA analyses uitgevoerd als indicatie voor de groei van de populatie bacteriën. Ook worden eerder geplaatste peilbuizen meegenomen in de monitoringsronde. Meer informatie over het monitoringsplan staat in Bijlage 8.

**ITTE**



Bijlagen

BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER



## Bijlage 1: Referenties

Ref.	Document	Opsteller	Kenmerk	Datum
1	Evaluatie sanerings fase 3 en 4 voormalig houtbewerkingsbedrijf 's-Gravenmoer	Tauw	R007-4698408EDN-hgm-V01-NL	April 2012
2	Compilatie-rapportage bodemonderzoeken	Dura Vermeer	243000-243002-100/RD	Juni 2006
3	Definitief saneringsplan	Dura Vermeer	414169w/RD/100-7R	Augustus 2008
4	Voortgangsrapportage beheersing pluimgebied Havenkade 's Gravenmoer	Tauw	R009-1211403PSN-hgm-V01-NL	November 2017
5	Haalbaarheidsstudie In Situ bio-restauratie	Tauw	R3143880.A02/HVV	Januari 1991
6	Rapportage aanvullend bodemonderzoek	Dura Vermeer Milieu BV	243000-243002-301/RD	Februari 2004
7	Evaluatie Pilot Landfarming Terrein Houtbewerkingsbedrijf 's-Gravenmoer	Borger & Burg-houts milieuadvies B.V.	LH000222/01	Maart 2000
8	Evaluatie pilot in-situ sanering fase II Terrein Houtbewerkingsbedrijf 's-Gravenmoer	Borger & Burg-houts milieuadvies B.V.	JK000120/02	Maart 2000





## Bijlage 2: Rapport EnISSA

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**



## Bijlage 3: Rapportage iFlux

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**



## Bijlage 4: Rapportage Deltares

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**



## Bijlage 5: Rapport teercharacterisatie

**ITTE**

BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER



## Bijlage 6: Analysecertificaten

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**





## Bijlage 7: Figuren

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**



## Bijlage 8: Voorstel pilots

**ITTE**

**BIOSTIMULATIE S-GRAVENMOER**



## Ontwerp biologische RESANAT pilots CEBECO terrein

Opdrachtgever: Dura Vermeer

Projectcode: P673

Auteur(s): P. Appeldoorn (Orvion), J. van Leeuwen (Deltares)

Publicatiedatum: 31 maart 2021

---

**Orvion**

# Ontwerp biologische RESANAT pilots CEBECO terrein

Oprachtgever: Dura Vermeer  
Projectcode: P673  
Uw referentie:  
Publicatiedatum: 31 maart 2021  
Projectleider: Ir. P. Appeldoorn  
Auteur(s): P. Appeldoorn, J. van Leeuwen (Deltares)  
Documenttype: Rapport

Website: [www.orvion.nl](http://www.orvion.nl)  
Bezoekadres: 't Vaartland 27; 2821 LH Stolwijk; Nederland  
Email: [info@orvion.nl](mailto:info@orvion.nl)  
Telefoon: +31 (0) 182 606360  
IBAN: NL47RABO0179558625  
KvK: 57368929  
BTW: NL852550480B01

## Inhoudsopgave

1.	<b>Opzet pilot</b>	4
1.1.	Introductie en doelstelling	4
1.2.	Locatie	4
1.3.	Type pilots	5
1.4.	Onderzoeksvragen	5
2.	<b>Algemene uitgangspunten</b>	6
2.1.	Systeem eisen	6
2.2.	Grondwatermodellering	6
3.	<b>P1: Biosparging pilot</b>	7
3.1.	Opzet P1	7
3.2.	Nutriëntendosering	7
3.3.	Systeemeisen	8
3.4.	Optionele verlenging van pilot P1	9
4.	<b>P2 en P3: Dosering van nitraat en sulfaat/ammoniumacetaat</b>	10
4.1.	Opzet P2 en P3	10
4.2.	Systeemeisen en gedoseerde substraten	12
5.	<b>Monitoring</b>	14
5.1.	Monitoringsnetwerk	14
5.2.	Monitoringsparameters	15
5.3.	Monitoringsprogramma	16
5.4.	Tussentijdse(evaluatie) en afronding	16
Bijlage A	<b>Uitgangspunten grondwatermodel en hydrologie</b>	17
Bijlage B	<b>Eisen aan filters</b>	19
Bijlage C	<b>Monitoringsprogramma P1, P2, P3 en omgeving</b>	20

## 1. Opzet pilot

### 1.1. Introductie en doelstelling

In opdracht van Dura Vermeer is een ontwerp gemaakt voor het uitvoeren van een pilotsanering op het voormalige CEBECO terrein in 's Gravenmoer. De bodem ter plekke is verontreinigd met creosoot, hetgeen geleid heeft tot verhoogde concentraties BTEX, PAK10 en minerale olie. Verder wordt de aanwezigheid van puur product vermoed.

De pilots zijn onderdeel van het INTERREG project RESANAT. De huidige saneringsaanpak bestaat uit een ondoorlatende bentonietwand in combinatie met grondwateronttrekking en een waterzuivering. Deze aanpak is langdurig, kostbaar en energie-intensief. RESANAT zet in op innovatie van nature-based saneringstechnieken, waarbij planten, micro-organismen, natuurlijke materialen, en wind- en zonne-energie worden ingezet om restverontreiniging te beheersen.

Het doel van de pilot is om te testen welke (combinatie) van intensieve en extensieve biologische in situ oplossingen, de 'bouwstenen', onderdeel kunnen worden van een extensieve biologische saneringsaanpak. Na afronding van de pilot wordt met deze bouwstenen een aantal saneringsvarianten technisch en financieel uitgewerkt. Deze werkzaamheden vormen geen onderdeel van de pilot.

### 1.2. Locatie

Het voormalige CEBECO terrein is gelegen aan het Aapark in 's Gravenmoer. Het is momenteel in gebruik als speelterrein. De pilots worden aan de noordzijde van het speelterrein gepositioneerd. In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de positionering van de pilots.



Figuur 1. Locatie pilots

### 1.3. Type pilots

Op de locatie worden drie pilots uitgevoerd, elk met een ander biologisch werkend principe:

- Pilot 1 (P1) test het werkingsprincipe van biosparging. Het doel van biosparging is door dosering van zuurstof (in combinatie met nutriënten) de aerobe afbraak van de verontreiniging te stimuleren. De afbraak gaat in de aanwezigheid van zuurstof het snelst, maar vereist een relatief intensief saneringssysteem.
- In pilot 2 (P2) wordt de anaerobe afbraak van de verontreiniging gestimuleerd door het doseren van nitraat. Een potentieel extensieve saneringsoplossing met middellange werkingsduur.
- In pilot 3 (P3) wordt de anaerobe afbraak gestimuleerd door het doseren van sulfaat en ammoniumacetaat. Op voorhand wordt ingeschat dat dit het langzaamst werkende afbraakmechanisme is, maar met een potentieel lange werkingsduur in de bodem en het vereist eveneens een relatief extensief saneringssysteem.

### 1.4. Onderzoeksvragen

De pilot moet antwoord geven op de volgende vragen:

- Treedt biologische afbraak van de verontreiniging op in de afzonderlijke pilotgebieden?
- Wat is de invloedstraal, werkingsduur en benodigde concentratie aan gedoseerde hulpstoffen?
- Neemt het aantal of de activiteit van de verontreiniging afbrekende bodembacteriën toe?
- Welke (combinatie van) biologische technieken komen in aanmerking voor een extensieve aanpak waarbij de zuivering kan worden verwijderd?

## 2. Algemene uitgangspunten

### 2.1. Systeem eisen

- De duur van de pilotfase is 12 maanden.
- Pilot P1 heeft een beoogde duur van 3 maanden. Gedurende deze periode is een deels bovengronds biosparge-systeem aanwezig.
- P2 en P3 hebben een looptijd van 12 maanden waarbij periodiek herdosering van hulpstoffen plaatsvindt. Er is geen vaste bovengrondse installatie.
- De pilot richt zich op het bodempakket van 4,5 tot 6,5 m-NAP.
- Bij pilots P2 en P3 wordt gebruik gemaakt tracers om de verspreidingsroutes van de gedoseerde hulpstoffen te controleren en het effect van verdunning en afbraak van de hulpstoffen inzichtelijk te maken.
- De pilots mogen elkaar niet beïnvloeden. Om dit te controleren worden tussen de pilots peilbuizen geplaatst.
- De monitoringspeilbuizen in P1 moeten luchtdicht afgedopt kunnen worden om kortsluitstroom te voorkomen.
- Het bestaande saneringssysteem (onttrekking en zuivering) wordt gedurende de pilotfase in stand gehouden.
- Voor P2 en P3 wordt een tijdelijk infiltratie- en onttrekkingsysteem ingericht. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de aanwezige infrastructuur.

### 2.2. Grondwatermodellering

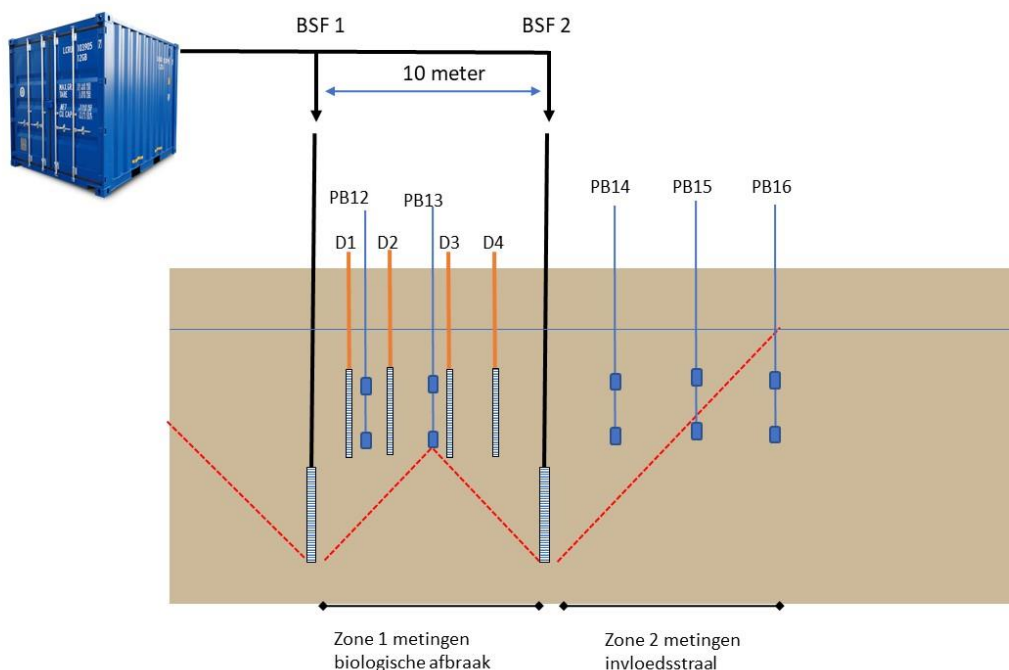
Voor het dimensioneren van P2 en P3 is gebruik gemaakt van een grondwatermodel en stoftransport module in MODFLOW/MT3D. De uitgangspunten voor het geohydrologische model (bodempopbouw, doorlatendheid etc.) en het stoftransport (zoals afbraaksnelheden) zijn opgenomen in bijlage A. Bij de opbouw van het model is gebruik gemaakt van de beschikbaar gestelde (geo)hydrologische gegevens van de locatie en van regionale informatie van het DINO loket.



### 3. P1: Biosparging pilot

#### 3.1. Opzet P1

De pilot wordt aan de oostzijde van de locatie gepositioneerd, nabij deepwell DW02. Figuur 2 toont een schematische opzet.



**Figuur 2. Schematische opzet P1**

Het systeem wordt aangelegd door Dura Vermeer onder BRL 7002 (Uitvoering van landbodemsaneringen met in-situ methoden). Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

Het systeem heeft 2 zones:

- In het gebied tussen de Biosparging filters BSF1 en BSF2 wordt de biologische afbraak gemonitord. Dit is de meest intensief beluchte zone, hier is de kans op het meten van biologische afbraak het grootst. Uitgangspunt is dat de injectiefilters 10 meter uit elkaar staan.
- Het gebied naast het filter wordt gebruikt voor het meten van de invloedstraal. Door te meten wat de invloed is van één afzonderlijk filter, wordt onderbouwd wat de afstand tussen injectiefilters moet zijn.

#### 3.2. Nutriëntendosering

Voor de aerobe biologische afbraak van creosoot zijn nutriënten (biologisch beschikbaar stikstof en fosfor) benodigd en deze worden als een oplossing aan de bodem toegevoegd. Voor de dosering van nutriëntenoplossingen worden vloeistof doseerfilters geplaatst, in het gebied tussen de biosparging filters (zone 1, het biologisch actieve deel). Het betreft filters D1 t/m D4, die op een onderlinge afstand van 2,0 meter staan.

De nutriëntenvraag is berekend aan de hand van de uitgangspunten weergegeven in tabel 1. Als nutriënten worden natriumnitraat en natriumhexametafosfaat toegevoegd. Uitgangspunt is dat voor de aerobe afbraak een nutriëntenvraag is van C:N:P van 250:10:5 (op basis van gewicht).

**Tabel 1. Benodigde hoeveelheden nutriënten per doseerfilter**

	eenheid	Hoeveelheid
Beïnvloed bodemvolume per doseerfilter	M <sup>3</sup>	126
Drooggewicht grond	Kg/m <sup>3</sup>	1.650
Gemiddelde creosootconcentratie*	Mg/kg ds	2.500
Vracht aan creosoot	kg	520
Vracht aan C	Kg	480
Benodigde hoeveelheid N	Kg	19
Benodigde hoeveelheid natriumnitraat	Kg	120
Benodigde hoeveelheid P	Kg	10
Benodigde hoeveelheid natriumtripolyfosfaat	Kg	40

\* Helft van de maximaal gemeten PAK concentratie van 3.400 mg/kg ds en naftaleenconcentratie van 1.700 mg/kg ds

Voor de dosering van de nutriënten wordt gebruik gemaakt van hetzelfde doseersysteem als voor de anaerobe pilot (zie paragraaf 4.1). De berekende hoeveelheden natriumnitraat en natriumtripolyfosfaat worden opgelost in een mengvat van 1 m<sup>3</sup> gevuld met (grond)water. De nutriëntenoplossing wordt met het doseersysteem opgemengd aan grondwater uit de deepwell. Het debiet uit de deepwell bedraagt 2 m<sup>3</sup>/uur. In onderstaande tabel is dit samengevat.

**Tabel 2. Doseervolumes en debieten per doseerfilter (D1 t/m D4)**

	eenheid	Hoeveelheid
Benodigde hoeveelheid natriumnitraat	Kg	120
Benodigde hoeveelheid natriumtripolyfosfaat	Kg	40
Volume mengvat	M <sup>3</sup>	1
Doseerdebiet uit deepwell (maximaal)	M <sup>3</sup> /uur	2
Duur van dosering	uur	2

Onderstaande tabel bevat de locatie van de monitoringsfilters ten opzichte van de biosparge filters.

**Tabel 3. Afstand monitoringsfilters tov biosparge filters**

monitoringsfilter	Afstand tot BSF1 (m)	Afstand tot BSF2 (m)
Pb12	2	8
Pb13	5	5
Pb14	2	
Pb15	5	
Pb16	10	

### 3.3. Systeemeisen

De biosparge filters worden intermitterend van lucht voorzien. De compressor moet een regelbare druk en debiet hebben van 2,0 tot 2,5 bar en 5 tot 10 Nm<sup>3</sup>/uur en voorziet BSF1 en 2 om de beurt 3 uur van lucht (elk uur omschakeling). Uitgangspunt is dat de compressor nabij de zuivering wordt geplaatst en van stroom wordt voorzien. Op t=0 wordt een nutriëntenoplossing gedoseerd op filters D1 t/m D4. Indien nodig kan herdosing plaatsvinden.

De oplosbaarheid van natriumtripolyfosfaat is beperkt. Derhalve wordt de dag voor het doseren de nutriëntenoplossing (met zowel natriumnitraat als natriumtripolyfosfaat) op de locatie aangemaakt in 4 separate IBC tanks van 1 m<sup>3</sup> (1 per doseerfilter). Hiervoor moet de oplossing in de tanks goed worden doorgeroerd en indien nodig opgewarmd tot 20 graden.

Het doseren van de oplossing aan de vier filters duurt 8 uur. Hierna dient direct het biospargesysteem te worden aangezet om goede menging van de nutriënten met het omliggende grondwater te bewerkstelligen.

De Biosparge filters (BSF1 En BSF2), de nutriënten doseerfilters (D1 t/m D4), de monitoringsfilters (Pb12 t/m PB16) en filter iFL4 (3 filterstellingen) dienen luchtdicht te worden afgewerkt in verband met eventuele kortsluitstroming. De eisen aan de biosparge filters, de doseerfilters en de monitoringsfilters zijn samengevat in bijlage B.

**Tabel 4. Dimensionering biosparge systeem.**

	Aantal	Filterstelling m-NAP	Filterstelling (m-mv)
Biosparge filters (BSF1 en BSF2)	2	-9,5 tot -11,5	12 – 14
Nutriënten doseerfilters (D1 t/m D4)	4	-2 tot -5	4,5 – 7,5
Ondiepe monitoringsfilters	5	-1,5 tot -2,5	4 – 5
Diepe monitoringsfilters	5	-4,5 tot -5,5	7 – 8
Regelbare compressor	1		
Luchtdebietmeter	1		
Drukmeter	1		
Schakelklok	1		
Stroomaansluiting	1		
Leidingwerk	1		

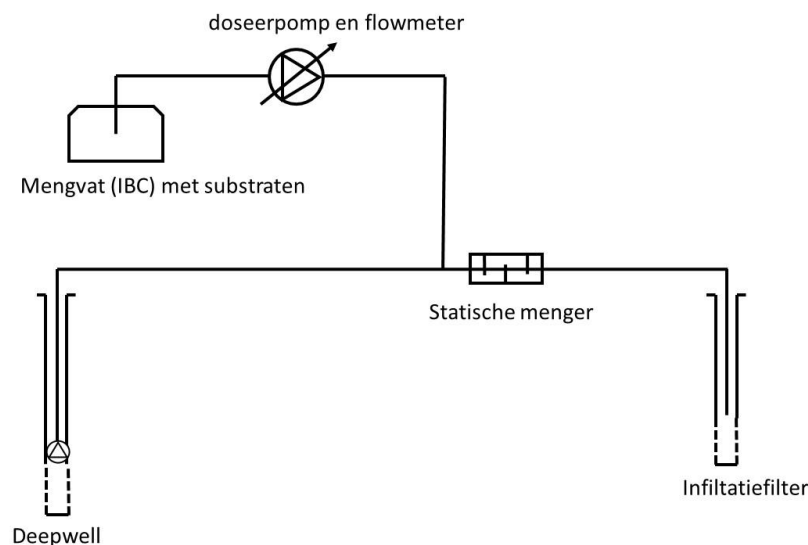
### 3.4. Optionele verlenging van pilot P1

Na afronding van pilot P1 (t=3 maanden) worden de resultaten geëvalueerd en besproken of de pilot wordt verlengd. Dit kan bijvoorbeeld door het langer injecteren van lucht of dosering van een nitraatoplossing. Dosering van een nitraatoplossing op de doseerfilters D1 t/m D4 geeft inzicht in het effect van een gecombineerde (sequentiële) aerobe en anaerobe afbraak.

## 4. P2 en P3: Dosering van nitraat en sulfaat/ammoniumacetaat

### 4.1. Opzet P2 en P3

De anaerobe pilots P2 en P3 worden naast elkaar uitgevoerd. Het systeem bestaat uit 2 vaste doseerfilters die op 20 meter afstand van elkaar staan. In het model zijn de doseerfilters op circa 70 meter stroomopwaarts van de bentonietwand met deepwells DW01 en DW02 geplaatst. Deze deepwells onttrekken gemiddeld circa 2 m<sup>3</sup>/uur. Het water uit de deepwells via een mengsysteem met substraten op de infiltratiefilters gedoseerd. P2 en P3 hebben elk hun eigen deepwell, mengsysteem en infiltratieput. In onderstaande figuur is dit schematisch weergegeven.



**Figuur 3. Schematische opzet P2 en P3, zonder vast leidingwerk.**

Er wordt gebruik gemaakt van vaste infiltratiefilters en tijdelijk leidingwerk. Het mengvat voor nitraat moet op druk worden gehouden met een mengsel van stikstof (95%) en CO<sub>2</sub> om onbedoelde zuurstofdosing aan het opgepompte anaerobe water te voorkomen. Voor het mengvat met sulfaat en ammoniumacetaat is dit niet nodig, aangezien de hoge concentratie ammoniumacetaat in het mengvat voor anaerobe condities zorgt. De karakteristieken van P2 en P3 zijn in onderstaande tabel samengevat.

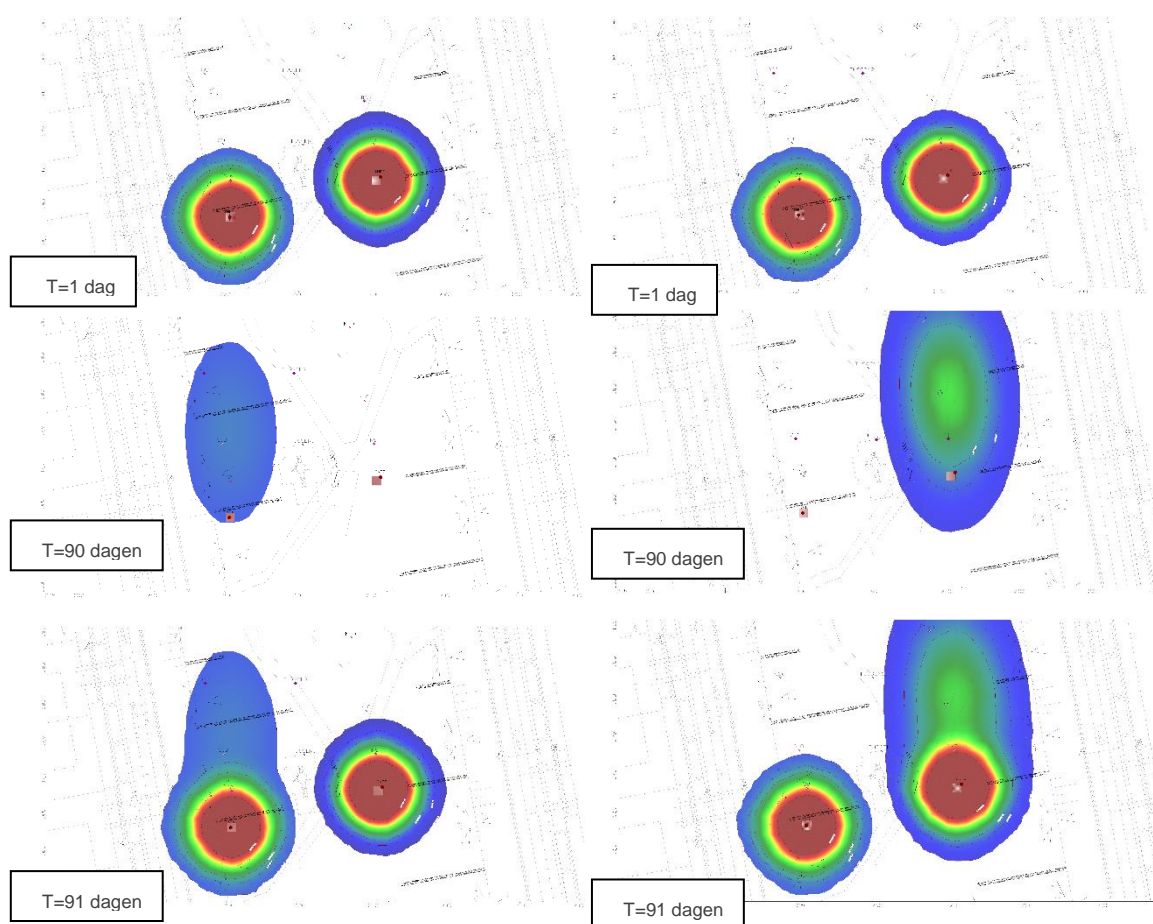
Het systeem wordt aangelegd door Dura Vermeer onder BRL 7002 (Uitvoering van landbodemsaneringen met in-situ methoden). Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

**Tabel 5. Karakteristieken systeem P2 en P3**

Onderdeel	
Onttrekkingsbronnen	DW01 en DW02 (bestaand)
Infiltratiefilters	2 INF1 en INF2 (nieuw)
Leidingwerk	Tijdelijk
Debiet per filter	2 m <sup>3</sup> /uur
Dosering	Elke kwartaal gedurende 1 dag (op t=0, 3, 6 en 9)
Monitoringsfilters	6 (3 per pilot)
Doseerconcentratie nitraat	1.000 mg/l
Doseerconcentratie sulfaat	3.000 mg/l

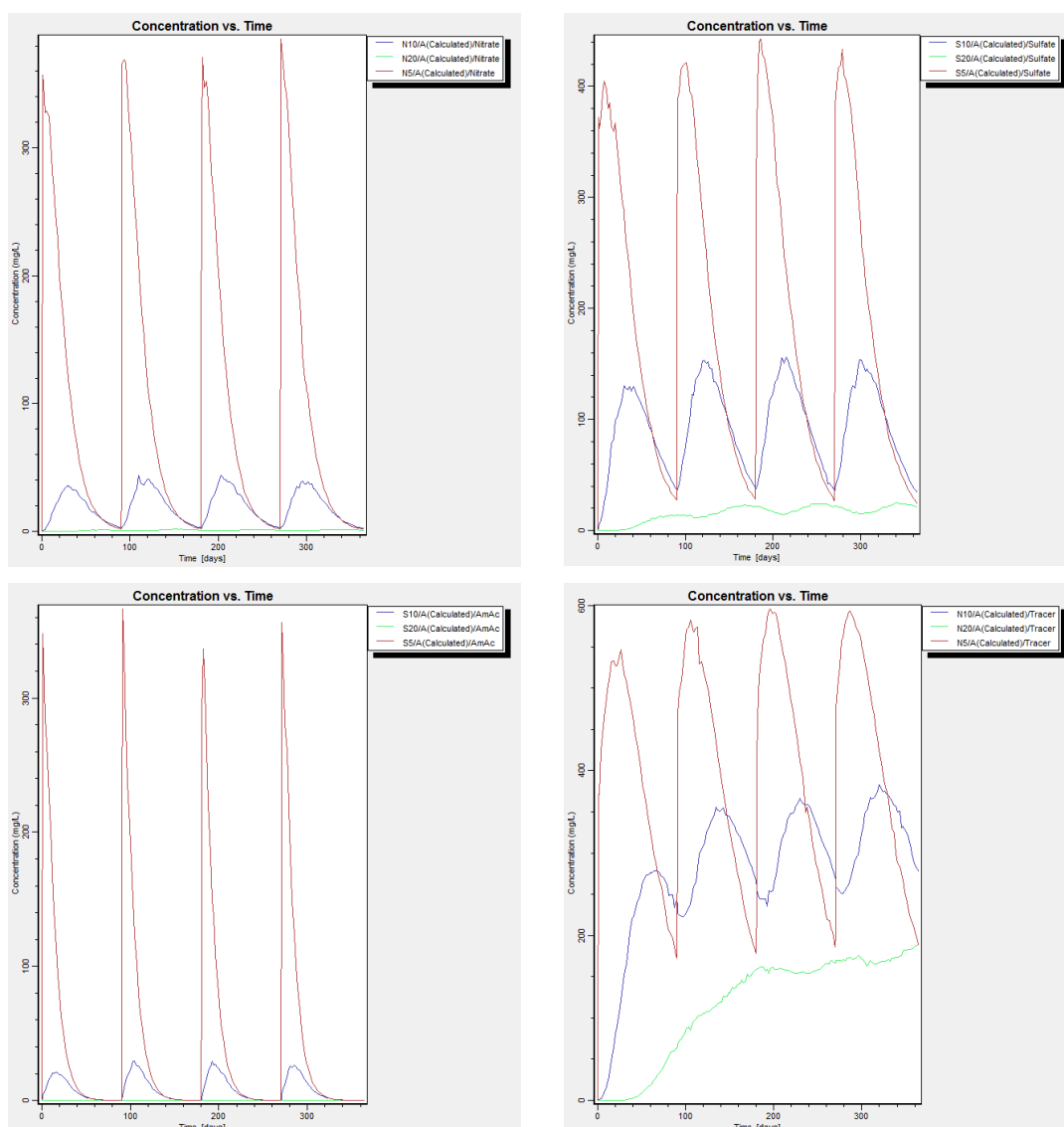
Doseerconcentratie ammoniumacetaat	300 mg/l
Doseerconcentratie tracer (NaBr)	1.000 mg/l

Met behulp van het grondwatermodel en de stoftransportmodule is de verspreiding berekend van de gedoseerde stoffen. Daarbij is uitgegaan van een afbraaksnelheid van ammoniumacetaat van 0,1/dag, nitraat 0,05/dag, sulfaat 0,02/dag en de tracer 0/dag, met een startconcentratie van alle stoffen van 1.000 mg/l. Ter vergelijking: bij het ontwerp van vergelijkbare anaerobe systemen voor de afbraak van VOCl, waarbij afbraak onder sterk gereduceerde methanogene condities plaatsvindt, wordt een afbraaksnelheid van 0,01/dag voor substraat gebruikt. Onderstaande figuur toont de verspreiding van de substraten op t=1 dag, na 90 dagen (vlak voor de herdosering) en op t= 91 dagen (vlak na de herdosering). Bijlage A bevat gegevens over bodemopbouw, stromingssnelheid, stijghoogtes tijdens doseren etc.



**Figuur 4. Verspreiding substraten uitgaande van een startconcentratie van 1.000 mg/l. Linkerzijde: Sulfaat (INF1) en Nitraat (INF2). Rechterzijde: Ammoniumacetaat (INF1) en tracer (INF2). Opmerking: in de pilot worden op zowel INF1 als INF2 tracer gedoseerd.**

Figuur 5 toont de berekende concentraties nitraat, sulfaat ammoniumacetaat en tracer op een afstand van 5, 10 en 20 meter van de infiltratiepunten. De berekening laat zien de substraten die snel afbreken, ammoniumacetaat en nitraat, een beperkte invloedstraal en werkingsduur hebben. Bijvoorbeeld: het effect van de nitraatdosering is op 20 meter nauwelijks waarneembaar en binnen 90 dagen is het nitraat op. Sulfaat heeft een langere werkingsduur (>90 dagen) en het effect van de dosering is op 20 meter nog waarneembaar.



**Figuur 5. Concentraties van de substraat op 5, 10 en 20 meter afstand van de doseerfilters.**

#### 4.2. Systeemeisen en gedoseerde substraten

In de onderstaande tabel zijn de systeemeisen weergegeven, inclusief de benodigde hoeveelheden substraten. Aan zowel P2 als P3 wordt additioneel fosfaat gedoseerd. De substraten worden 1 dag voor doseren in het mengvat aangemaakt. Aan beide mengvaten wordt natriumhexametafosfaat gedoseerd. Het mengvat met de nitraatoplossing wordt onder druk gezet met stikstof (95%) en CO<sub>2</sub> (5%). De inhoud van de mengvaten wordt in 24 uur aan het infiltratiewater gedoseerd.

De infiltratiefilters dienen dusdanig te worden afgedopt dat deze kunnen worden bemonsterd tijdens de monitoring. Dit geldt ook voor filter iFL4 dat in de invloedstraal van de biospargefilters ligt. De overige eisen aan filters zijn samengevat in bijlage B.

**Tabel 6. Systeemeisen en hoeveelheden substraten**

Onderdeel	hoeveelheid	Opmerking
Infiltratiefilters	2	-4,5 tot -6,5 m-NAP
Monitoringsfilters	6	- 4 tot -5 m-NAP
IBC vat	2 (elk 1 m <sup>3</sup> )	
Doseerpomp en flowmeter	2	
Debietmeter	2	
Statische menger	2	
Kaliumnitraat <sup>1)</sup>	48 kg	Per doseerronde
Ammoniumacetaat <sup>2)</sup>	4,8 kg	Per doseerronde
Natriumsulfaat <sup>3)</sup>	144 kg	Per doseerronde
Kaliumbromide <sup>1)</sup>	48 kg	Per doseerronde
Natriumhexametafosfaat	2 maal 1 kg	Per doseerronde

1) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 1.000 mg/l

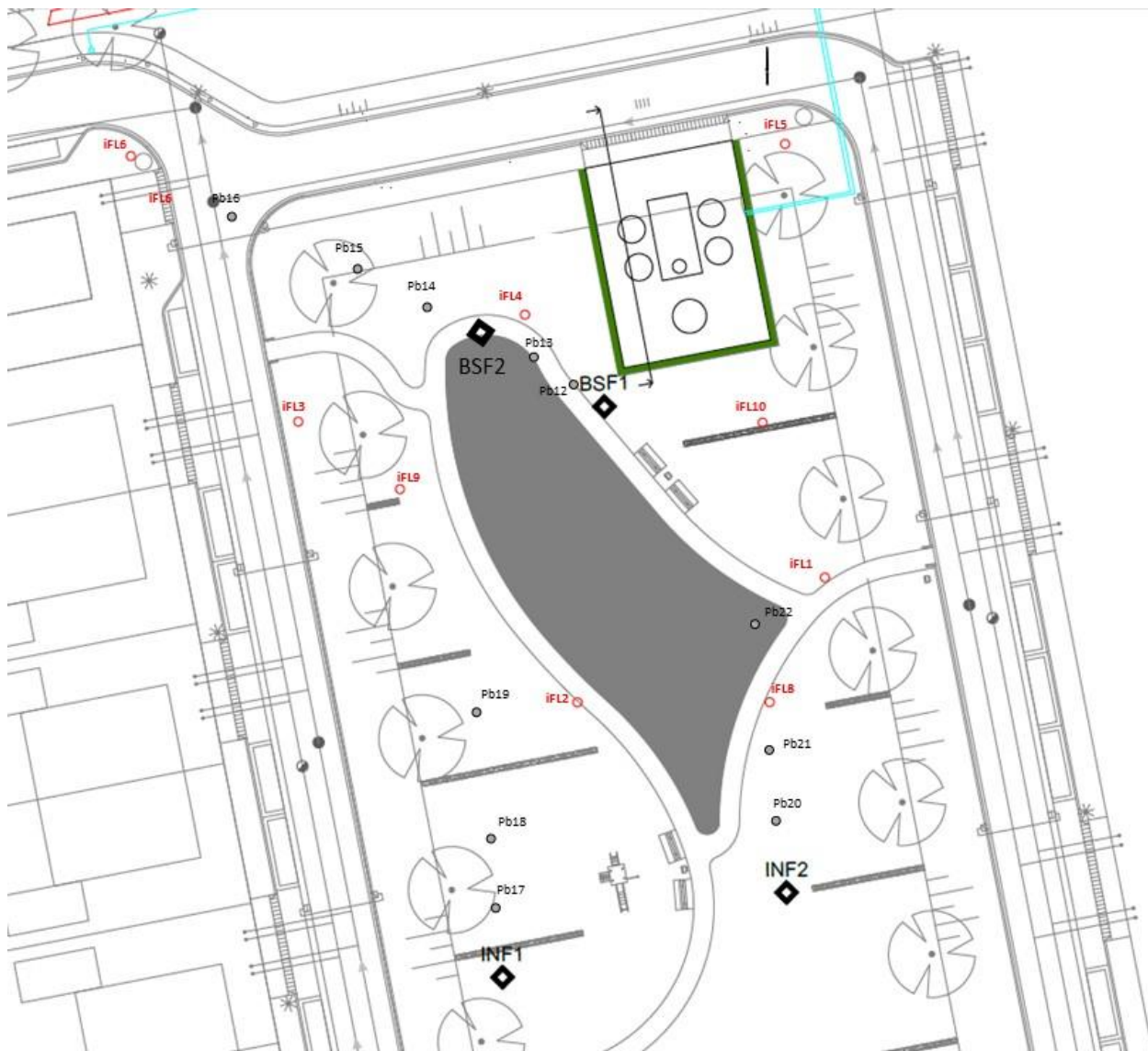
2) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 300 mg/l

3) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 3.000 mg/l



## 5. Monitoring

### 5.1. Monitoringsnetwerk



**Figuur 6. Locatie pilots en monitoringsnetwerk. Op de afbeelding zijn de nutriënten doseerfilters D1 t/m D4 niet afgebeeld. Deze zijn tussen BSF1 en BSF2 gepositioneerd.**

Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

Tabel 7 bevat de monitoringspeilbuizen. Alle peilbuizen (nieuw en bestaand) worden ingemeten ten opzichte van NAP. De bestaande peilbuizen iFL2, iFL6 en pb11 maken onderdeel uit van het netwerk. Pb12 (2 filterstellingen), Pb13 (2 filterstellingen), Pb17 en Pb20 krijgen een diameter van 64 mm, zodat daar optioneel iFLUX meetapparatuur in kan worden geplaatst. Deze meten continu stromingsrichting, -snelheid en verontreinigingsgraad. De hoeveelheid en het type iFLUX metingen wordt nog vastgesteld. De eisen aan de monitoringsfilters zijn samengevat in bijlage B.



**Tabel 7. Monitoringsnetwerk.**

Peilbuis	Filterstelling (m-NAP)	opmerking
Pb12*	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 2 meter BSF1
Pb13*	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 5 meter BSF1
Pb14	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 2 meter BSF2
Pb15	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 5 meter BSF2
Pb16	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 10 meter BSF2
Pb17*	- 4 tot -5	Op 5 meter INF1
Pb18	- 4 tot -5	Op 10 meter INF1
Pb19	- 4 tot -5	Op 20 meter INF1
Pb20*	- 4 tot -5	Op 5 meter INF2
Pb21	- 4 tot -5	Op 10 meter INF2
Pb22	- 4 tot -5	Op 20 meter INF2
IFL2	- 4 tot -5	Tussen P2 en P3
IFL6	-7,4 tot -8,4	Stroomafwaarts
Pb11	-2,9 tot -3,9	Stroomopwaarts

\* Deze filters krijgen een diameter van 64 mm, voor het optioneel plaatsen van iFLUX meetapparatuur.

## 5.2. Monitoringsparameters

Om biologische afbraak vast te stellen, wordt op de volgende parameters gemeten in het grondwater. Voor de optionele teercharacterisatie meting worden analyses uitgevoerd op grond. Deze locatie en diepte van de grondmonsters wordt nader bepaald.

**Tabel 8. Monitoringsparameters**

parameters	Type	Opmerking
BTEX	Verontreiniging	
PAK16	Verontreiniging	
Minerale olie	Verontreiniging	
Redoxpotentiaal	Indicator bodemconditie	On line meting in het veld
O <sub>2</sub>	Elektronacceptor	On line meting in het veld
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Elektronacceptor	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Elektronacceptor	
Br <sup>-</sup>	Tracer	
qPCR	Bacterieaantallen	Op 4 bacteriesoorten/targets
NGS/qPCR (RNA)	Biodiversiteit en activiteit	Optioneel
ME- CSIA	Afbraak indicatoren	Optioneel
iFLUX	Stromingsrichting, -snelheid grondwater en verontreiniging	Optioneel
Teercharacterisatie	Samenstelling verontreiniging	Optioneel. Op grondmonsters

Microbiologische monitoring met qPCR wordt bij P2 en P3 uitgevoerd op 4 bacteriesoorten die een indicatie geven voor de heersende afbraakcondities en gerelateerd zijn aan anaerobe naftaleen/BTEX afbraak. Het gaat om bacterie totaal, *Dechloromonas aromatica* (Ethylbenzeen afbraak onder nitraatreducerende condities), *Geobacter* (tolueen afbraak onder ijzerreducerende condities) en ncrC (naftaleen afbraak onder sulfaatreducerende condities). Bij de aerobe pilot P1 wordt met qPCR alleen het totaal aantal bacteriën gemeten.

Gedurende de monitoring worden geconserveerde samples verzameld voor biodiversiteitsmetingen (NGS). Indien uit de reguliere monitoring meer bewijslast ten aanzien van afbraak benodigd is, wordt een goede meetreeks geanalyseerd en in kaart gebracht wat de meest relevante soorten zijn. Hiervoor kunnen op maat qPCR analyses worden gemaakt om bacterieaantallen en bacterieactiviteit te meten (aan de hand van RNA). Hiervoor wordt een separaat budget gereserveerd dat optioneel wordt ingezet.

Ook worden geconserveerde monsters verzameld voor ME-CSIA analyse om onderbouwing van afbraakroutes te geven. De specificaties van benodigd materiaal (flessen en conservering) worden door Deltarea aan Orvion aangeleverd. Voor het uitvoeren van de ME-CSIA analyses wordt een separaat budget gereserveerd dat optioneel wordt ingezet.

De inzet van iFLUX metingen wordt nog nader bepaald.

### 5.3. Monitoringsprogramma

Bijlage C bevat het monitoringsprogramma. De kwartaalmetingen worden voorafgaand aan de herdoseringen uitgevoerd (t=0; t=2,5; t=5,5 en t=8,5). De monitoring met iFLUX is continu, deze metingen zijn niet opgenomen in de tabel.

### 5.4. Tussentijdse(evaluatie) en afronding

Onderstaand schema toont de uit te voeren evaluaties en afronding.

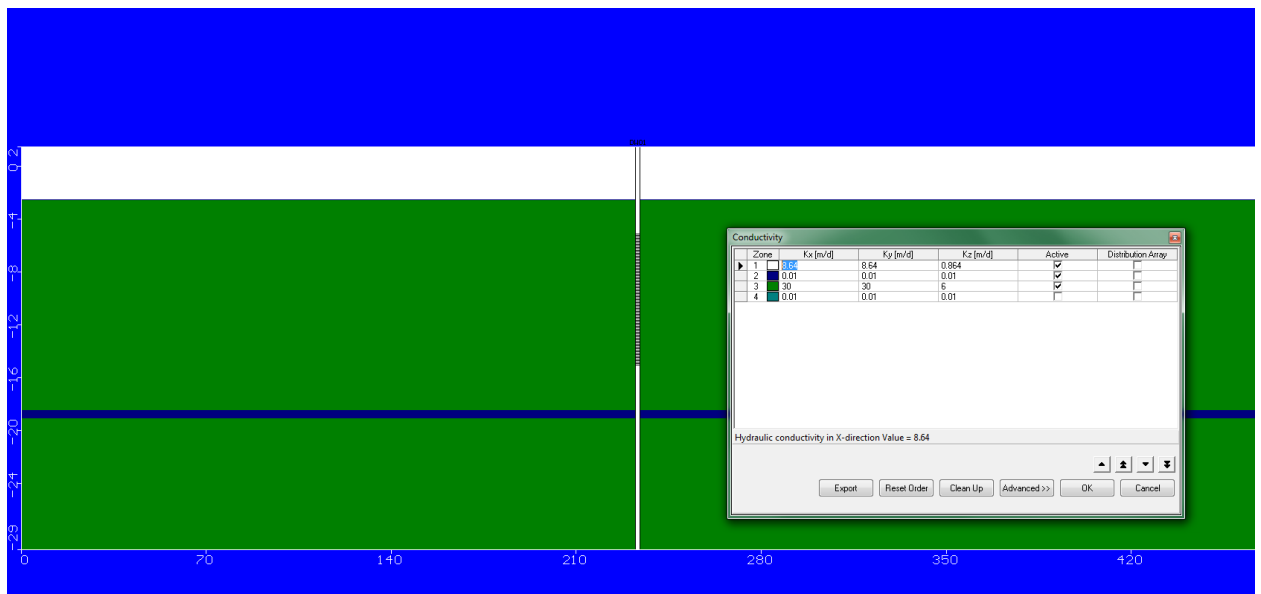
**Tabel 9. Evaluatiemomenten en afronding**

Tijdstip (maanden)	omschrijving	Doel
0	Start	Vastleggen nulsituatie
1	Monitoring opstart	Dataverzameling P1, P2 en P3. P1: Start- stopproef voor meten biologische activiteit. Indien nodig bijsturen. Vastleggen situatie.
2	Monitoring opstart	Dataverzameling P1, P2 en P3. P1: Start- stopproef voor meten biologische activiteit. Indien nodig bijsturen. Vastleggen situatie
3	Evaluatie opstart	P1: Evaluatie, afronding en rapportage. Vaststellen vervolg. P2 en P3: Kalibreren model, updaten voorspelling verspreiding, eventueel aanpassen doseerregime en rapportage
6	Tussentijdse evaluatie	P2 en P3: interpretatie verspreiding substraten, eventueel aanpassen doseerregime. Vastleggen in notitie.
9	Tussentijdse evaluatie	P2 en P3: interpretatie verspreiding substraten, eventueel aanpassen doseerregime. Vastleggen in notitie.
12	Eindevaluatie	Afronding, interpretatie resultaten, advisering werkingsprincipe biologische saneringstechnieken en inzet van 'bouwstenen' voor full scale aanpak. Eindrapportage.

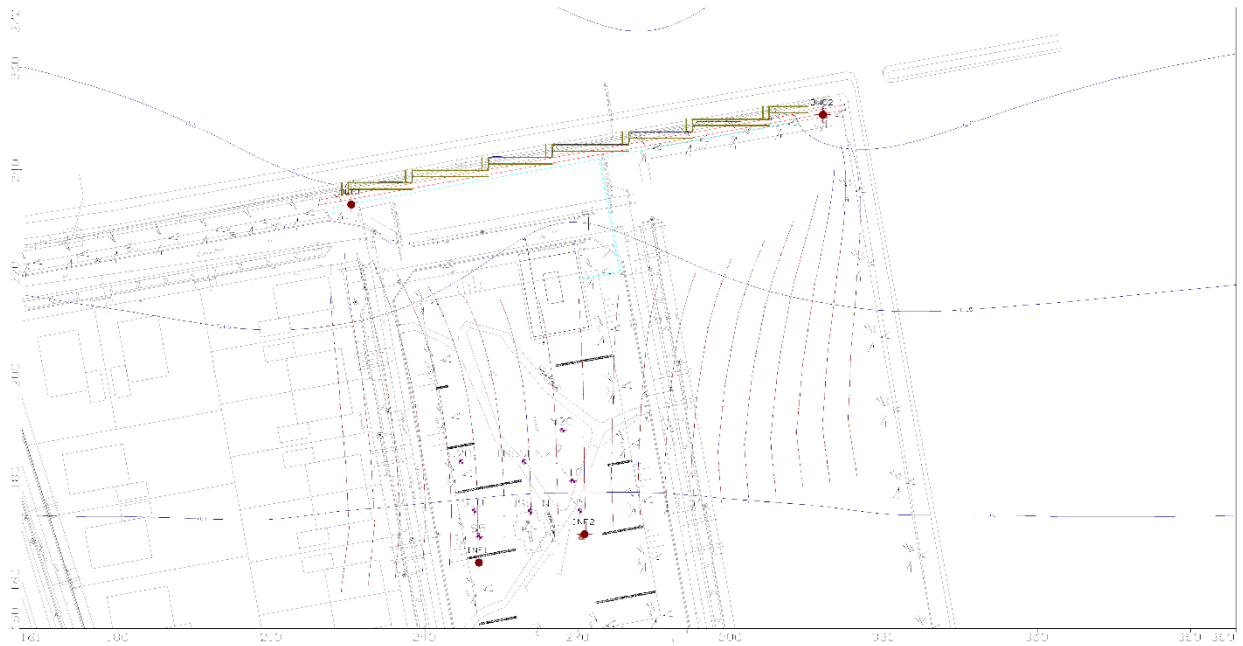
## Bijlage A      Uitgangspunten grondwatermodel en hydrologie



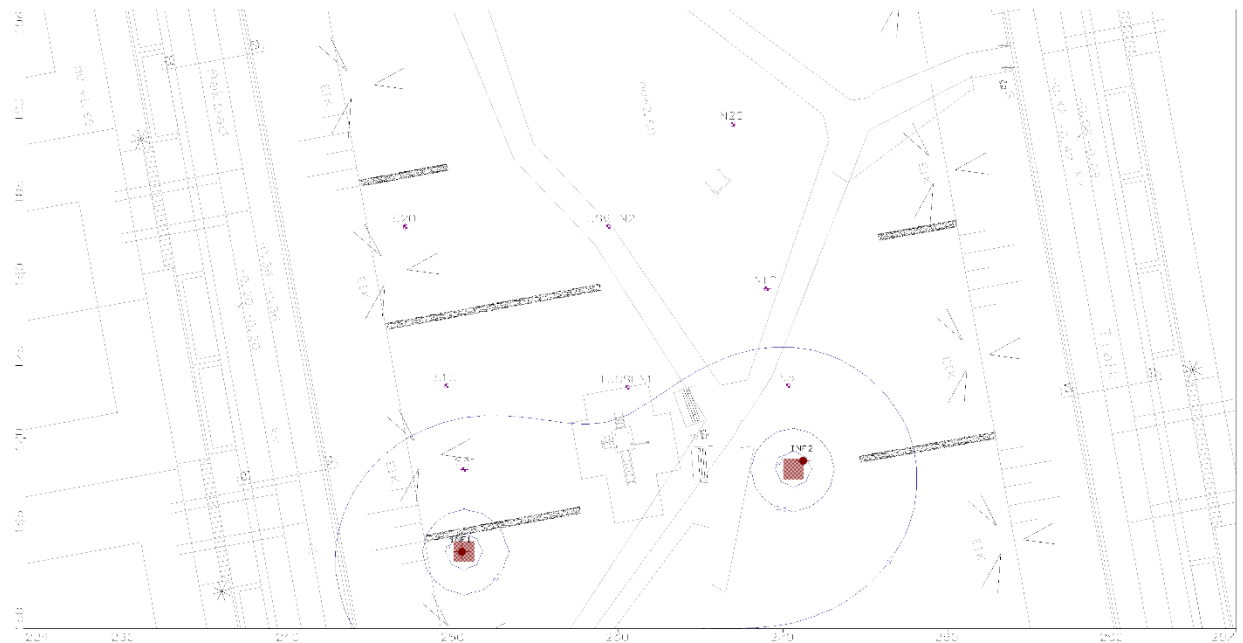
**Modelgebied**



**Bodemopbouw en doorlatendheid**



**Stroombanen en isohypsen huidige situatie**



**Stijphoogtes tijdens doseren**

## Bijlage B Eisen aan filters

Peilbuis	x	y	Filterstelling (m-NAP)	Diameter in mm	Materiaal	Afwerking	opmerking
Pb12*			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	64	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 2 meter BSF1
Pb13*			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	64	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 5 meter BSF1
Pb14			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 2 meter BSF2
Pb15			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 5 meter BSF2
Pb16			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 10 meter BSF2
Pb17*			- 4 tot -5	64	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 5 meter INF1
Pb18			- 4 tot -5	Normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 10 meter INF1
Pb19			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 20 meter INF1
Pb20*			- 4 tot -5	64	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 5 meter INF2
Pb21			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 10 meter INF2
Pb22			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 20 meter INF2
IFL2			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Tussen P2 en P3
IFL6			-7,4 tot -8,4	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Stroomafwaarts
Pb11			-2,9 tot -3,9	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Stroomopwaarts
INF1			-4,5 tot -6,5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Circa 70m van bentonietwand
INF2			-4,5 tot -6,5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Circa 70m van bentonietwand
D1			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D2			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D3			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D4			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
BSF1	124573	408123	-9,5 tot -11,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	
BSF2			-9,5 tot -11,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	

## Bijlage C Monitoringsprogramma P1, P2, P3 en omgeving

P1 aerobe pilot totaal 10 filters (P12 t/m P16, elk 2 filterstellingen)								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4				16
no3	4	4	4	4				16
so4								0
nh4+								0
na2+								0
br-								0
po42-	4	4	4	4				16
TOC								0
AS3000 toeslag	4			4				8
PAK16	4			4				8
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4				8
qPCR 1 target	4	4	4	4				16
qPCR 4 targets								
extra conserveringen DNA	6			6				12

P2 anaerobe nitraat pilot totaal 3 filters (PB17, 18 en 19)								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4	4	4	4	28
no3	4	4	4	4	4	4	4	28
so4								0
nh4+								0
na2+								0
br-	4	4	4	4	4	4	4	28
po42-	4			4	4	4	4	20
TOC								0
AS3000 toeslag	4			4	4	4	4	20
PAK16	4			4	4	4	4	20
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4	4	4	4	20
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	4			2	2	2	4	14
extra conserveringen DNA	0			2	2	2	0	6
extra conserveringen ME-CSIA	2			2			2	6

<b>P3 anaerobe sulfaat pilot totaal 3 filters (PB 20, 21 en 22)</b>								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4	4	4	4	28
no3								0
so4	4	4	4	4	4	4	4	28
nh4+	4			4	4	4	4	20
na2+								0
br-	4	4	4	4	4	4	4	28
po42-	4			4	4	4	4	20
TOC	4			4	4	4	4	20
AS3000 toeslag	4			4	4	4	4	20
PAK16	4			4	4	4	4	20
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4	4	4	4	20
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	4			2	2	2	4	14
extra conserveringen DNA	0			2	2	2	0	6
extra conserveringen ME-CSIA	2				2		2	6

<b>Overige filters: IFI2, IFL6 en pb11</b>								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	3			1	1	1	3	9
no3	3			1	1	1	3	9
so4	3			1	1	1	3	9
nh4+	3						3	6
na2+								0
br-								0
po42-	3						3	6
TOC	3			1	1	1	3	9
AS3000 toeslag	3						3	6
PAK16	3						3	6
minerale olie, C6-C12, BTEX	3						3	6
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	3						3	6
extra conserveringen DNA	0						0	0
extra conserveringen ME-CSIA	1				1		1	3



[www.orvion.nl](http://www.orvion.nl)





## Ontwerp biologische RESANAT pilots CEBECO terrein

Opdrachtgever: Dura Vermeer

Projectcode: P673

Auteur(s): P. Appeldoorn (Orvion), J. van Leeuwen (Deltares)

Publicatiedatum: 31 maart 2021

---

**Orvion**

# Ontwerp biologische RESANAT pilots CEBECO terrein

Oprachtgever: Dura Vermeer  
Projectcode: P673  
Uw referentie:  
Publicatiedatum: 31 maart 2021  
Projectleider: Ir. P. Appeldoorn  
Auteur(s): P. Appeldoorn, J. van Leeuwen (Deltares)  
Documenttype: Rapport

Website: [www.orvion.nl](http://www.orvion.nl)  
Bezoekadres: 't Vaartland 27; 2821 LH Stolwijk; Nederland  
Email: [info@orvion.nl](mailto:info@orvion.nl)  
Telefoon: +31 (0) 182 606360  
IBAN: NL47RABO0179558625  
KvK: 57368929  
BTW: NL852550480B01

## Inhoudsopgave

<b>1. Opzet pilot</b>	<b>4</b>	
1.1. Introductie en doelstelling	4	
1.2. Locatie	4	
1.3. Type pilots	5	
1.4. Onderzoeksvragen	5	
<b>2. Algemene uitgangspunten</b>	<b>6</b>	
2.1. Systeem eisen	6	
2.2. Grondwatermodellering	6	
<b>3. P1: Biosparging pilot</b>	<b>7</b>	
3.1. Opzet P1	7	
3.2. Nutriëntendosering	7	
3.3. Systeemeisen	8	
3.4. Optionele verlenging van pilot P1	9	
<b>4. P2 en P3: Dosering van nitraat en sulfaat/ammoniumacetaat</b>	<b>10</b>	
4.1. Opzet P2 en P3	10	
4.2. Systeemeisen en gedoseerde substraten	12	
<b>5. Monitoring</b>	<b>14</b>	
5.1. Monitoringsnetwerk	14	
5.2. Monitoringsparameters	15	
5.3. Monitoringsprogramma	16	
5.4. Tussentijdse(evaluatie) en afronding	16	
<b>Bijlage A</b>	<b>Uitgangspunten grondwatermodel en hydrologie</b>	<b>17</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Eisen aan filters</b>	<b>19</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Monitoringsprogramma P1, P2, P3 en omgeving</b>	<b>20</b>

## 1. Opzet pilot

### 1.1. Introductie en doelstelling

In opdracht van Dura Vermeer is een ontwerp gemaakt voor het uitvoeren van een pilotsanering op het voormalige CEBECO terrein in 's Gravenmoer. De bodem ter plekke is verontreinigd met creosoot, hetgeen geleid heeft tot verhoogde concentraties BTEX, PAK10 en minerale olie. Verder wordt de aanwezigheid van puur product vermoed.

De pilots zijn onderdeel van het INTERREG project RESANAT. De huidige saneringsaanpak bestaat uit een ondoorlatende bentonietwand in combinatie met grondwateronttrekking en een waterzuivering. Deze aanpak is langdurig, kostbaar en energie-intensief. RESANAT zet in op innovatie van nature-based saneringstechnieken, waarbij planten, micro-organismen, natuurlijke materialen, en wind- en zonne-energie worden ingezet om restverontreiniging te beheersen.

Het doel van de pilot is om te testen welke (combinatie) van intensieve en extensieve biologische in situ oplossingen, de 'bouwstenen', onderdeel kunnen worden van een extensieve biologische saneringsaanpak. Na afronding van de pilot wordt met deze bouwstenen een aantal saneringsvarianten technisch en financieel uitgewerkt. Deze werkzaamheden vormen geen onderdeel van de pilot.

### 1.2. Locatie

Het voormalige CEBECO terrein is gelegen aan het Aapark in 's Gravenmoer. Het is momenteel in gebruik als speelterrein. De pilots worden aan de noordzijde van het speelterrein gepositioneerd. In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de positionering van de pilots.



**Figuur 1. Locatie pilots**

### 1.3. Type pilots

Op de locatie worden drie pilots uitgevoerd, elk met een ander biologisch werkend principe:

- Pilot 1 (P1) test het werkingsprincipe van biosparging. Het doel van biosparging is door dosering van zuurstof (in combinatie met nutriënten) de aerobe afbraak van de verontreiniging te stimuleren. De afbraak gaat in de aanwezigheid van zuurstof het snelst, maar vereist een relatief intensief saneringssysteem.
- In pilot 2 (P2) wordt de anaerobe afbraak van de verontreiniging gestimuleerd door het doseren van nitraat. Een potentieel extensieve saneringsoplossing met middellange werkingsduur.
- In pilot 3 (P3) wordt de anaerobe afbraak gestimuleerd door het doseren van sulfaat en ammoniumacetaat. Op voorhand wordt ingeschat dat dit het langzaamst werkende afbraakmechanisme is, maar met een potentieel lange werkingsduur in de bodem en het vereist eveneens een relatief extensief saneringssysteem.

### 1.4. Onderzoeksvragen

De pilot moet antwoord geven op de volgende vragen:

- Treedt biologische afbraak van de verontreiniging op in de afzonderlijke pilotgebieden?
- Wat is de invloedstraal, werkingsduur en benodigde concentratie aan gedoseerde hulpstoffen?
- Neemt het aantal of de activiteit van de verontreiniging afbrekende bodembacteriën toe?
- Welke (combinatie van) biologische technieken komen in aanmerking voor een extensieve aanpak waarbij de zuivering kan worden verwijderd?

## 2. Algemene uitgangspunten

### 2.1. Systeem eisen

- De duur van de pilotfase is 12 maanden.
- Pilot P1 heeft een beoogde duur van 3 maanden. Gedurende deze periode is een deels bovengronds biosparge-systeem aanwezig.
- P2 en P3 hebben een looptijd van 12 maanden waarbij periodiek herdosering van hulpstoffen plaatsvindt. Er is geen vaste bovengrondse installatie.
- De pilot richt zich op het bodempakket van 4,5 tot 6,5 m-NAP.
- Bij pilots P2 en P3 wordt gebruik gemaakt tracers om de verspreidingsroutes van de gedoseerde hulpstoffen te controleren en het effect van verdunning en afbraak van de hulpstoffen inzichtelijk te maken.
- De pilots mogen elkaar niet beïnvloeden. Om dit te controleren worden tussen de pilots peilbuizen geplaatst.
- De monitoringspeilbuizen in P1 moeten luchtdicht afgedopt kunnen worden om kortsluitstroom te voorkomen.
- Het bestaande saneringssysteem (onttrekking en zuivering) wordt gedurende de pilotfase in stand gehouden.
- Voor P2 en P3 wordt een tijdelijk infiltratie- en onttrekkingsysteem ingericht. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de aanwezige infrastructuur.

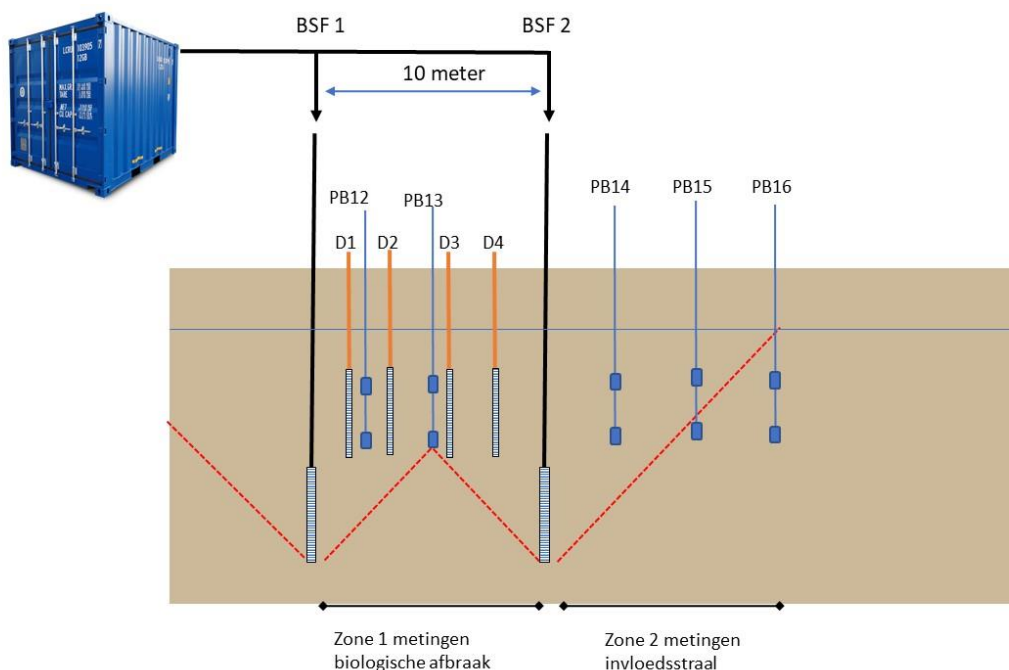
### 2.2. Grondwatermodellering

Voor het dimensioneren van P2 en P3 is gebruik gemaakt van een grondwatermodel en stoftransport module in MODFLOW/MT3D. De uitgangspunten voor het geohydrologische model (bodempopbouw, doorlatendheid etc.) en het stoftransport (zoals afbraaksnelheden) zijn opgenomen in bijlage A. Bij de opbouw van het model is gebruik gemaakt van de beschikbaar gestelde (geo)hydrologische gegevens van de locatie en van regionale informatie van het DINO loket.

### 3. P1: Biosparging pilot

#### 3.1. Opzet P1

De pilot wordt aan de oostzijde van de locatie gepositioneerd, nabij deepwell DW02. Figuur 2 toont een schematische opzet.



**Figuur 2. Schematische opzet P1**

Het systeem wordt aangelegd door Dura Vermeer onder BRL 7002 (Uitvoering van landbodemsaneringen met in-situ methoden). Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

Het systeem heeft 2 zones:

- In het gebied tussen de Biosparging filters BSF1 en BSF2 wordt de biologische afbraak gemonitord. Dit is de meest intensief beluchte zone, hier is de kans op het meten van biologische afbraak het grootst. Uitgangspunt is dat de injectiefilters 10 meter uit elkaar staan.
- Het gebied naast het filter wordt gebruikt voor het meten van de invloedstraal. Door te meten wat de invloed is van één afzonderlijk filter, wordt onderbouwd wat de afstand tussen injectiefilters moet zijn.

#### 3.2. Nutriëntendosering

Voor de aerobe biologische afbraak van creosoot zijn nutriënten (biologisch beschikbaar stikstof en fosfor) benodigd en deze worden als een oplossing aan de bodem toegevoegd. Voor de dosering van nutriëntenoplossingen worden vloeistof doseerfilters geplaatst, in het gebied tussen de biosparging filters (zone 1, het biologisch actieve deel). Het betreft filters D1 t/m D4, die op een onderlinge afstand van 2,0 meter staan.

De nutriëntenvraag is berekend aan de hand van de uitgangspunten weergegeven in tabel 1. Als nutriënten worden natriumnitraat en natriumhexametafosfaat toegevoegd. Uitgangspunt is dat voor de aerobe afbraak een nutriëntenvraag is van C:N:P van 250:10:5 (op basis van gewicht).



**Tabel 1. Benodigde hoeveelheden nutriënten per doseerfilter**

	eenheid	Hoeveelheid
Beïnvloed bodemvolume per doseerfilter	M <sup>3</sup>	126
Drooggewicht grond	Kg/m <sup>3</sup>	1.650
Gemiddelde creosootconcentratie*	Mg/kg ds	2.500
Vracht aan creosoot	kg	520
Vracht aan C	Kg	480
Benodigde hoeveelheid N	Kg	19
Benodigde hoeveelheid natriumnitraat	Kg	120
Benodigde hoeveelheid P	Kg	10
Benodigde hoeveelheid natriumtripolyfosfaat	Kg	40

\* Helft van de maximaal gemeten PAK concentratie van 3.400 mg/kg ds en naftaleenconcentratie van 1.700 mg/kg ds

Voor de dosering van de nutriënten wordt gebruik gemaakt van hetzelfde doseersysteem als voor de anaerobe pilot (zie paragraaf 4.1). De berekende hoeveelheden natriumnitraat en natriumtripolyfosfaat worden opgelost in een mengvat van 1 m<sup>3</sup> gevuld met (grond)water. De nutriëntenoplossing wordt met het doseersysteem opgemengd aan grondwater uit de deepwell. Het debiet uit de deepwell bedraagt 2 m<sup>3</sup>/uur. In onderstaande tabel is dit samengevat.

**Tabel 2. Doseervolumes en debieten per doseerfilter (D1 t/m D4)**

	eenheid	Hoeveelheid
Benodigde hoeveelheid natriumnitraat	Kg	120
Benodigde hoeveelheid natriumtripolyfosfaat	Kg	40
Volume mengvat	M <sup>3</sup>	1
Doseerdebiet uit deepwell (maximaal)	M <sup>3</sup> /uur	2
Duur van dosering	uur	2

Onderstaande tabel bevat de locatie van de monitoringsfilters ten opzichte van de biosparge filters.

**Tabel 3. Afstand monitoringsfilters tov biosparge filters**

monitoringsfilter	Afstand tot BSF1 (m)	Afstand tot BSF2 (m)
Pb12	2	8
Pb13	5	5
Pb14	2	
Pb15	5	
Pb16	10	

### 3.3. Systeemeisen

De biosparge filters worden intermitterend van lucht voorzien. De compressor moet een regelbare druk en debiet hebben van 2,0 tot 2,5 bar en 5 tot 10 Nm<sup>3</sup>/uur en voorziet BSF1 en 2 om de beurt 3 uur van lucht (elk uur omschakeling). Uitgangspunt is dat de compressor nabij de zuivering wordt geplaatst en van stroom wordt voorzien. Op t=0 wordt een nutriëntenoplossing gedoseerd op filters D1 t/m D4. Indien nodig kan herdosing plaatsvinden.

De oplosbaarheid van natriumtripolyfosfaat is beperkt. Derhalve wordt de dag voor het doseren de nutriëntenoplossing (met zowel natriumnitraat als natriumtripolyfosfaat) op de locatie aangemaakt in 4 separate IBC tanks van 1 m<sup>3</sup> (1 per doseerfilter). Hiervoor moet de oplossing in de tanks goed worden doorgeroerd en indien nodig opgewarmd tot 20 graden.



Het doseren van de oplossing aan de vier filters duurt 8 uur. Hierna dient direct het biospargesysteem te worden aangezet om goede menging van de nutriënten met het omliggende grondwater te bewerkstelligen.

De Biosparge filters (BSF1 En BSF2), de nutriënten doseerfilters (D1 t/m D4), de monitoringsfilters (Pb12 t/m PB16) en filter iFL4 (3 filterstellingen) dienen luchtdicht te worden afgewerkt in verband met eventuele kortsluitstroming. De eisen aan de biosparge filters, de doseerfilters en de monitoringsfilters zijn samengevat in bijlage B.

**Tabel 4. Dimensionering biosparge systeem.**

	Aantal	Filterstelling m-NAP	Filterstelling (m-mv)
Biosparge filters (BSF1 en BSF2)	2	-9,5 tot -11,5	12 – 14
Nutriënten doseerfilters (D1 t/m D4)	4	-2 tot -5	4,5 – 7,5
Ondiepe monitoringsfilters	5	-1,5 tot -2,5	4 – 5
Diepe monitoringsfilters	5	-4,5 tot -5,5	7 – 8
Regelbare compressor	1		
Luchtdebietmeter	1		
Drukmeter	1		
Schakelklok	1		
Stroomaansluiting	1		
Leidingwerk	1		

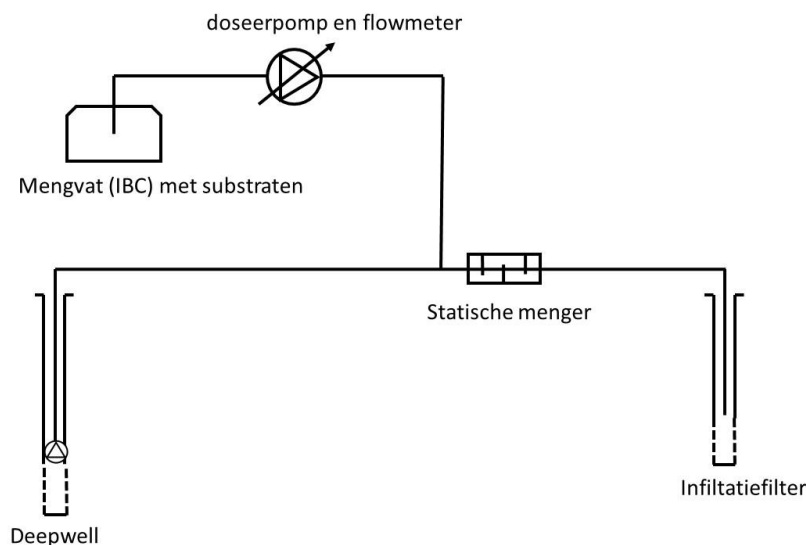
### 3.4. Optionele verlenging van pilot P1

Na afronding van pilot P1 (t=3 maanden) worden de resultaten geëvalueerd en besproken of de pilot wordt verlengd. Dit kan bijvoorbeeld door het langer injecteren van lucht of dosering van een nitraatoplossing. Dosering van een nitraatoplossing op de doseerfilters D1 t/m D4 geeft inzicht in het effect van een gecombineerde (sequentiële) aerobe en anaerobe afbraak.

## 4. P2 en P3: Dosering van nitraat en sulfaat/ammoniumacetaat

### 4.1. Opzet P2 en P3

De anaerobe pilots P2 en P3 worden naast elkaar uitgevoerd. Het systeem bestaat uit 2 vaste doseerfilters die op 20 meter afstand van elkaar staan. In het model zijn de doseerfilters op circa 70 meter stroomopwaarts van de bentonietwand met deepwells DW01 en DW02 geplaatst. Deze deepwells onttrekken gemiddeld circa 2 m<sup>3</sup>/uur. Het water uit de deepwells via een mengsysteem met substraten op de infiltratiefilters gedoseerd. P2 en P3 hebben elk hun eigen deepwell, mengsysteem en infiltratieput. In onderstaande figuur is dit schematisch weergegeven.



**Figuur 3. Schematische opzet P2 en P3, zonder vast leidingwerk.**

Er wordt gebruik gemaakt van vaste infiltratiefilters en tijdelijk leidingwerk. Het mengvat voor nitraat moet op druk worden gehouden met een mengsel van stikstof (95%) en CO<sub>2</sub> om onbedoelde zuurstofdosing aan het opgepompte anaerobe water te voorkomen. Voor het mengvat met sulfaat en ammoniumacetaat is dit niet nodig, aangezien de hoge concentratie ammoniumacetaat in het mengvat voor anaerobe condities zorgt. De karakteristieken van P2 en P3 zijn in onderstaande tabel samengevat.

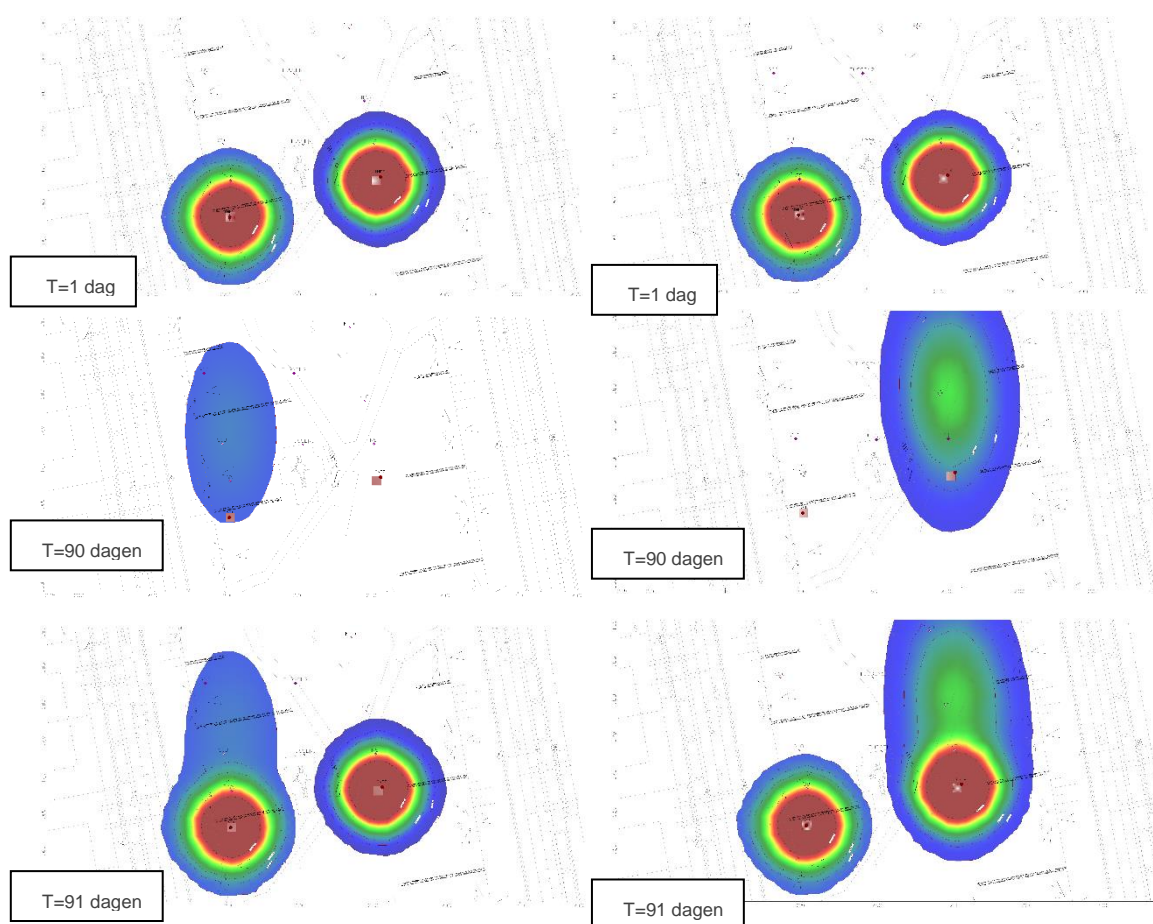
Het systeem wordt aangelegd door Dura Vermeer onder BRL 7002 (Uitvoering van landbodemsaneringen met in-situ methoden). Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

**Tabel 5. Karakteristieken systeem P2 en P3**

Onderdeel	
Onttrekkingsbronnen	DW01 en DW02 (bestaand)
Infiltratiefilters	2 INF1 en INF2 (nieuw)
Leidingwerk	Tijdelijk
Debiet per filter	2 m <sup>3</sup> /uur
Dosering	Elke kwartaal gedurende 1 dag (op t=0, 3, 6 en 9)
Monitoringsfilters	6 (3 per pilot)
Doseerconcentratie nitraat	1.000 mg/l
Doseerconcentratie sulfaat	3.000 mg/l

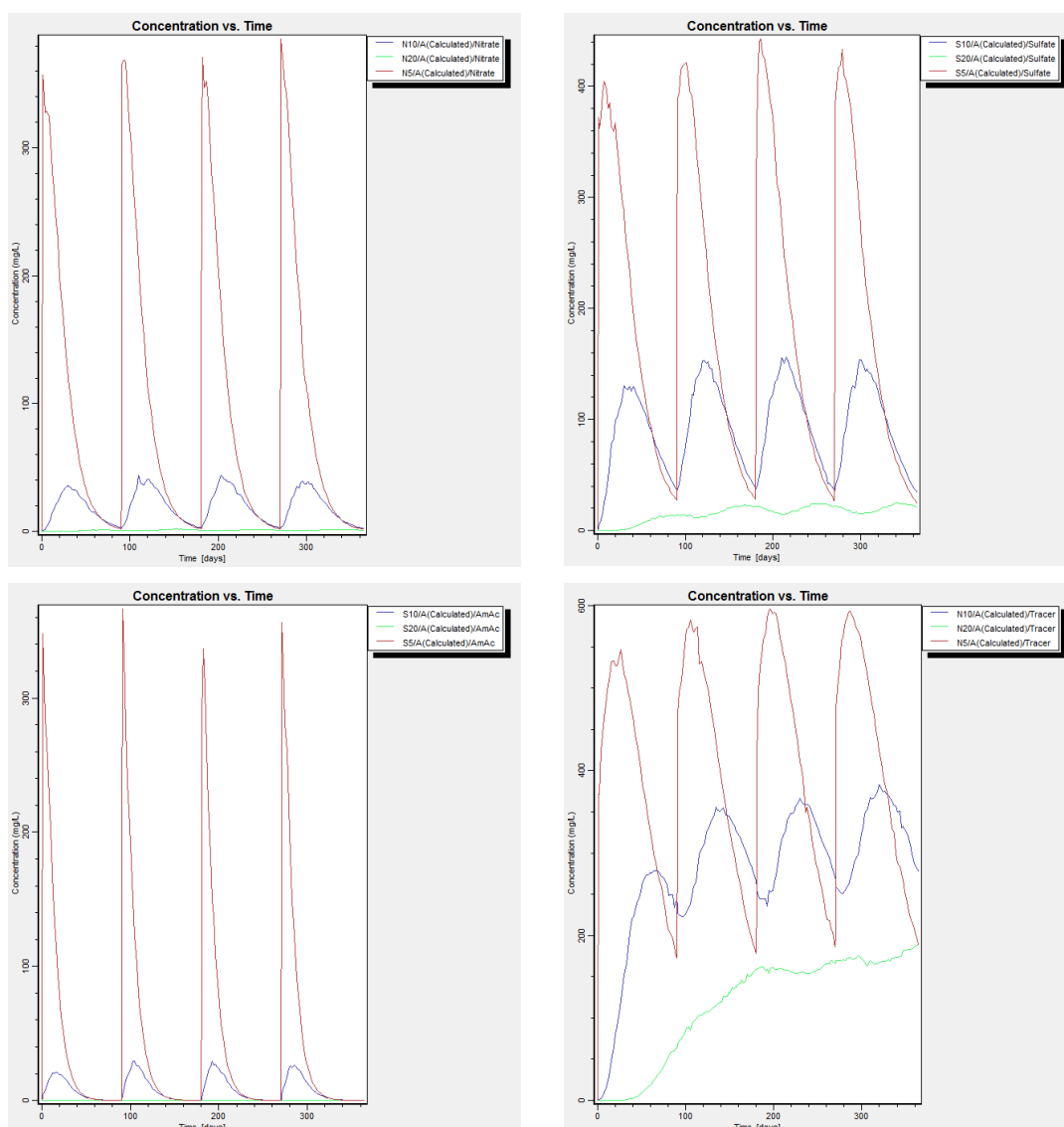
Doseerconcentratie ammoniumacetaat	300 mg/l
Doseerconcentratie tracer (NaBr)	1.000 mg/l

Met behulp van het grondwatermodel en de stoftransportmodule is de verspreiding berekend van de gedoseerde stoffen. Daarbij is uitgegaan van een afbraaksnelheid van ammoniumacetaat van 0,1/dag, nitraat 0,05/dag, sulfaat 0,02/dag en de tracer 0/dag, met een startconcentratie van alle stoffen van 1.000 mg/l. Ter vergelijking: bij het ontwerp van vergelijkbare anaerobe systemen voor de afbraak van VOCl, waarbij afbraak onder sterk gereduceerde methanogene condities plaatsvindt, wordt een afbraaksnelheid van 0,01/dag voor substraat gebruikt. Onderstaande figuur toont de verspreiding van de substraten op t=1 dag, na 90 dagen (vlak voor de herdosering) en op t= 91 dagen (vlak na de herdosering). Bijlage A bevat gegevens over bodemopbouw, stromingssnelheid, stijghoogtes tijdens doseren etc.



**Figuur 4. Verspreiding substraten uitgaande van een startconcentratie van 1.000 mg/l. Linkerzijde: Sulfaat (INF1) en Nitraat (INF2). Rechterzijde: Ammoniumacetaat (INF1) en tracer (INF2). Opmerking: in de pilot worden op zowel INF1 als INF2 tracer gedoseerd.**

Figuur 5 toont de berekende concentraties nitraat, sulfaat ammoniumacetaat en tracer op een afstand van 5, 10 en 20 meter van de infiltratiepunten. De berekening laat zien de substraten die snel afbreken, ammoniumacetaat en nitraat, een beperkte invloedstraal en werkingsduur hebben. Bijvoorbeeld: het effect van de nitraatdosering is op 20 meter nauwelijks waarneembaar en binnen 90 dagen is het nitraat op. Sulfaat heeft een langere werkingsduur (>90 dagen) en het effect van de dosering is op 20 meter nog waarneembaar.



**Figuur 5. Concentraties van de substraat op 5, 10 en 20 meter afstand van de doseerfilters.**

#### 4.2. Systeemeisen en gedoseerde substraten

In de onderstaande tabel zijn de systeemeisen weergegeven, inclusief de benodigde hoeveelheden substraten. Aan zowel P2 als P3 wordt additioneel fosfaat gedoseerd. De substraten worden 1 dag voor doseren in het mengvat aangemaakt. Aan beide mengvaten wordt natriumhexametafosfaat gedoseerd. Het mengvat met de nitraatoplossing wordt onder druk gezet met stikstof (95%) en CO<sub>2</sub> (5%). De inhoud van de mengvaten wordt in 24 uur aan het infiltratiewater gedoseerd.

De infiltratiefilters dienen dusdanig te worden afgedopt dat deze kunnen worden bemonsterd tijdens de monitoring. Dit geldt ook voor filter iFL4 dat in de invloedstraal van de biospargefilters ligt. De overige eisen aan filters zijn samengevat in bijlage B.

**Tabel 6. Systeemeisen en hoeveelheden substraten**

Onderdeel	hoeveelheid	Opmerking
Infiltratiefilters	2	-4,5 tot -6,5 m-NAP
Monitoringsfilters	6	- 4 tot -5 m-NAP
IBC vat	2 (elk 1 m <sup>3</sup> )	
Doseerpomp en flowmeter	2	
Debietmeter	2	
Statische menger	2	
Kaliumnitraat <sup>1)</sup>	48 kg	Per doseerronde
Ammoniumacetaat <sup>2)</sup>	4,8 kg	Per doseerronde
Natriumsulfaat <sup>3)</sup>	144 kg	Per doseerronde
Kaliumbromide <sup>1)</sup>	48 kg	Per doseerronde
Natriumhexametafosfaat	2 maal 1 kg	Per doseerronde

1) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 1.000 mg/l

2) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 300 mg/l

3) Berekend op basis van 24 uur, 2 m<sup>3</sup>/uur infiltratie en 3.000 mg/l

## 5. Monitoring

### 5.1. Monitoringsnetwerk



**Figuur 6. Locatie pilots en monitoringsnetwerk. Op de afbeelding zijn de nutriënten doseerfilters D1 t/m D4 niet afgebeeld. Deze zijn tussen BSF1 en BSF2 gepositioneerd.**

Monitoring van het verloop wordt uitgevoerd door Orvion onder BRL 6002 (Milieukundige begeleiding van landbodemsanering met in-situ methoden en nazorg).

Tabel 7 bevat de monitoringspeilbuizen. Alle peilbuizen (nieuw en bestaand) worden ingemeten ten opzichte van NAP. De bestaande peilbuizen iFL2, iFL6 en pb11 maken onderdeel uit van het netwerk. Pb12 (2 filterstellingen), Pb13 (2 filterstellingen), Pb17 en Pb20 krijgen een diameter van 64 mm, zodat daar optioneel iFLUX meetapparatuur in kan worden geplaatst. Deze meten continu stromingsrichting, -snelheid en verontreinigingsgraad. De hoeveelheid en het type iFLUX metingen wordt nog vastgesteld. De eisen aan de monitoringsfilters zijn samengevat in bijlage B.



**Tabel 7. Monitoringsnetwerk.**

Peilbuis	Filterstelling (m-NAP)	opmerking
Pb12*	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 2 meter BSF1
Pb13*	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 5 meter BSF1
Pb14	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 2 meter BSF2
Pb15	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 5 meter BSF2
Pb16	-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Op 10 meter BSF2
Pb17*	- 4 tot -5	Op 5 meter INF1
Pb18	- 4 tot -5	Op 10 meter INF1
Pb19	- 4 tot -5	Op 20 meter INF1
Pb20*	- 4 tot -5	Op 5 meter INF2
Pb21	- 4 tot -5	Op 10 meter INF2
Pb22	- 4 tot -5	Op 20 meter INF2
IFL2	- 4 tot -5	Tussen P2 en P3
IFL6	-7,4 tot -8,4	Stroomafwaarts
Pb11	-2,9 tot -3,9	Stroomopwaarts

\* Deze filters krijgen een diameter van 64 mm, voor het optioneel plaatsen van iFLUX meetapparatuur.

## 5.2. Monitoringsparameters

Om biologische afbraak vast te stellen, wordt op de volgende parameters gemeten in het grondwater. Voor de optionele teercharacterisatie meting worden analyses uitgevoerd op grond. Deze locatie en diepte van de grondmonsters wordt nader bepaald.

**Tabel 8. Monitoringsparameters**

parameters	Type	Opmerking
BTEX	Verontreiniging	
PAK16	Verontreiniging	
Minerale olie	Verontreiniging	
Redoxpotentiaal	Indicator bodemconditie	On line meting in het veld
O <sub>2</sub>	Elektronacceptor	On line meting in het veld
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Elektronacceptor	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Elektronacceptor	
Br <sup>-</sup>	Tracer	
qPCR	Bacterieaantallen	Op 4 bacteriesoorten/targets
NGS/qPCR (RNA)	Biodiversiteit en activiteit	Optioneel
ME- CSIA	Afbraak indicatoren	Optioneel
iFLUX	Stromingsrichting, -snelheid grondwater en verontreiniging	Optioneel
Teercharacterisatie	Samenstelling verontreiniging	Optioneel. Op grondmonsters

Microbiologische monitoring met qPCR wordt bij P2 en P3 uitgevoerd op 4 bacteriesoorten die een indicatie geven voor de heersende afbraakcondities en gerelateerd zijn aan anaerobe naftaleen/BTEX afbraak. Het gaat om bacterie totaal, *Dechloromonas aromatica* (Ethylbenzeen afbraak onder nitraatreducerende condities), *Geobacter* (tolueen afbraak onder ijzerreducerende condities) en ncrC (naftaleen afbraak onder sulfatreducerende condities). Bij de aerobe pilot P1 wordt met qPCR alleen het totaal aantal bacteriën gemeten.

Gedurende de monitoring worden geconserveerde samples verzameld voor biodiversiteitsmetingen (NGS). Indien uit de reguliere monitoring meer bewijslast ten aanzien van afbraak benodigd is, wordt een goede meetreeks geanalyseerd en in kaart gebracht wat de meest relevante soorten zijn. Hiervoor kunnen op maat qPCR analyses worden gemaakt om bacterieaantallen en bacterieactiviteit te meten (aan de hand van RNA). Hiervoor wordt een separaat budget gereserveerd dat optioneel wordt ingezet.

Ook worden geconserveerde monsters verzameld voor ME-CSIA analyse om onderbouwing van afbraakroutes te geven. De specificaties van benodigd materiaal (flessen en conservering) worden door Deltarea aan Orvion aangeleverd. Voor het uitvoeren van de ME-CSIA analyses wordt een separaat budget gereserveerd dat optioneel wordt ingezet.

De inzet van iFLUX metingen wordt nog nader bepaald.

### 5.3. Monitoringsprogramma

Bijlage C bevat het monitoringsprogramma. De kwartaalmetingen worden voorafgaand aan de herdoseringen uitgevoerd (t=0; t=2,5; t=5,5 en t=8,5). De monitoring met iFLUX is continu, deze metingen zijn niet opgenomen in de tabel.

### 5.4. Tussentijdse(evaluatie) en afronding

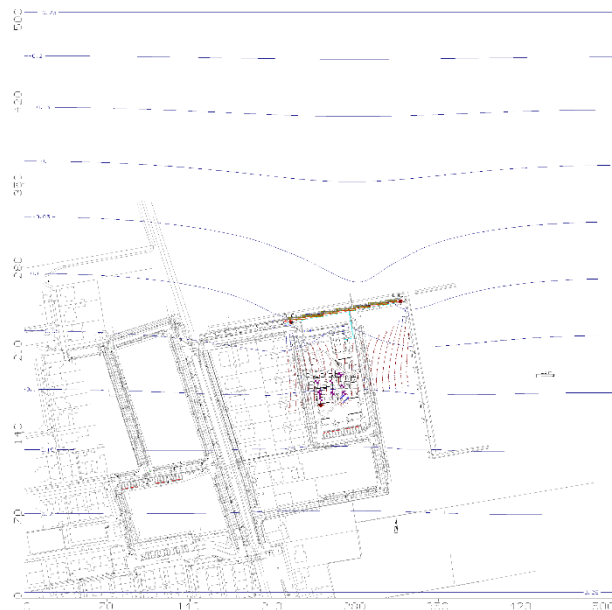
Onderstaand schema toont de uit te voeren evaluaties en afronding.

**Tabel 9. Evaluatiemomenten en afronding**

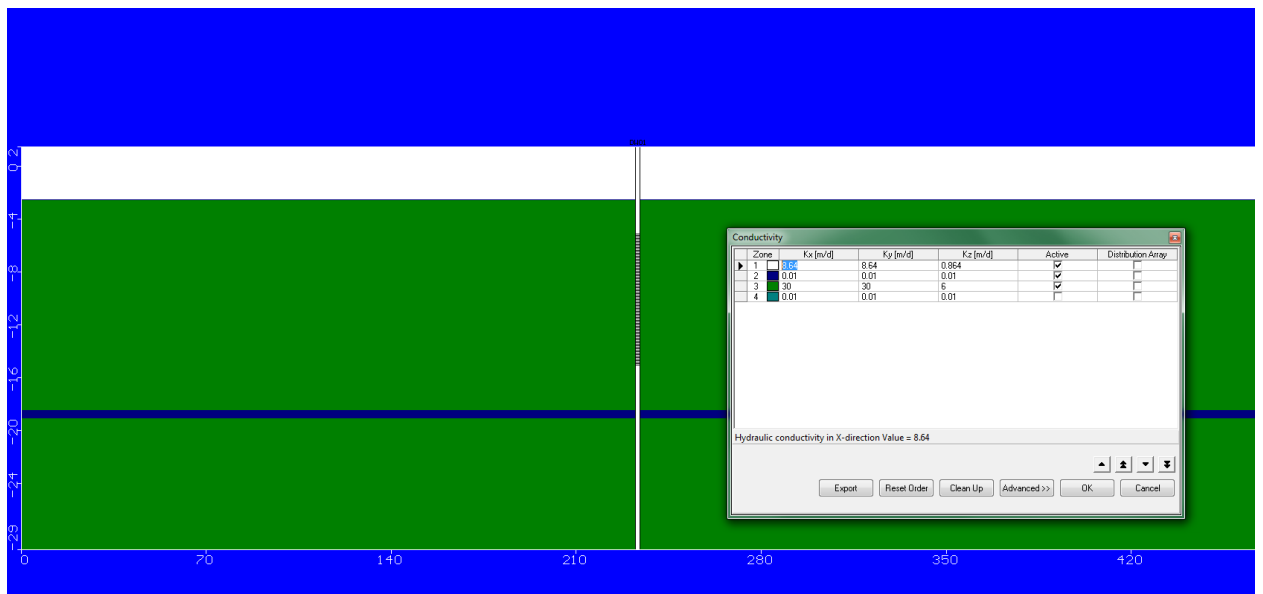
Tijdstip (maanden)	omschrijving	Doel
0	Start	Vastleggen nulsituatie
1	Monitoring opstart	Dataverzameling P1, P2 en P3. P1: Start- stopproef voor meten biologische activiteit. Indien nodig bijsturen. Vastleggen situatie.
2	Monitoring opstart	Dataverzameling P1, P2 en P3. P1: Start- stopproef voor meten biologische activiteit. Indien nodig bijsturen. Vastleggen situatie
3	Evaluatie opstart	P1: Evaluatie, afronding en rapportage. Vaststellen vervolg. P2 en P3: Kalibreren model, updaten voorspelling verspreiding, eventueel aanpassen doseerregime en rapportage
6	Tussentijdse evaluatie	P2 en P3: interpretatie verspreiding substraten, eventueel aanpassen doseerregime. Vastleggen in notitie.
9	Tussentijdse evaluatie	P2 en P3: interpretatie verspreiding substraten, eventueel aanpassen doseerregime. Vastleggen in notitie.
12	Eindevaluatie	Afronding, interpretatie resultaten, advisering werkingsprincipe biologische saneringstechnieken en inzet van 'bouwstenen' voor full scale aanpak. Eindrapportage.



## Bijlage A      Uitgangspunten grondwatermodel en hydrologie



**Modelgebied**



**Bodemopbouw en doorlatendheid**



Stroombanen en isohypsen huidige situatie



Stijphoogtes tijdens doseren

## Bijlage B Eisen aan filters

Peilbuis	x	y	Filterstelling (m-NAP)	Diameter in mm	Materiaal	Afwerking	opmerking
Pb12*			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	64	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 2 meter BSF1
Pb13*			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	64	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 5 meter BSF1
Pb14			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 2 meter BSF2
Pb15			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 5 meter BSF2
Pb16			-1,5 tot -2,5 en -4,5 tot -5,5	Normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	Op 10 meter BSF2
Pb17*			- 4 tot -5	64	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 5 meter INF1
Pb18			- 4 tot -5	Normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 10 meter INF1
Pb19			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 20 meter INF1
Pb20*			- 4 tot -5	64	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 5 meter INF2
Pb21			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 10 meter INF2
Pb22			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Op 20 meter INF2
IFL2			- 4 tot -5	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Tussen P2 en P3
IFL6			-7,4 tot -8,4	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Stroomafwaarts
Pb11			-2,9 tot -3,9	normaal	HDPE	Normaal afgedopt en afgewerkt onder maaiveld	Stroomopwaarts
INF1			-4,5 tot -6,5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Circa 70m van bentonietwand
INF2			-4,5 tot -6,5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Circa 70m van bentonietwand
D1			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D2			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D3			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
D4			-2 tot -5	90	HDPE	Afgedopt met aansluitmogelijkheid voor tijdelijk leidingwerk. Grondwaterbemonstering moet mogelijk blijven.	Onderling 2 meter van elkaar
BSF1	124573	408123	-9,5 tot -11,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	
BSF2			-9,5 tot -11,5	normaal	HDPE	Luchtdicht afgedopt	

## Bijlage C Monitoringsprogramma P1, P2, P3 en omgeving

P1 aerobe pilot totaal 10 filters (P12 t/m P16, elk 2 filterstellingen)								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4				16
no3	4	4	4	4				16
so4								0
nh4+								0
na2+								0
br-								0
po42-	4	4	4	4				16
TOC								0
AS3000 toeslag	4			4				8
PAK16	4			4				8
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4				8
qPCR 1 target	4	4	4	4				16
qPCR 4 targets								
extra conserveringen DNA	6			6				12

P2 anaerobe nitraat pilot totaal 3 filters (PB17, 18 en 19)								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4	4	4	4	28
no3	4	4	4	4	4	4	4	28
so4								0
nh4+								0
na2+								0
br-	4	4	4	4	4	4	4	28
po42-	4			4	4	4	4	20
TOC								0
AS3000 toeslag	4			4	4	4	4	20
PAK16	4			4	4	4	4	20
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4	4	4	4	20
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	4			2	2	2	4	14
extra conserveringen DNA	0			2	2	2	0	6
extra conserveringen ME-CSIA	2			2			2	6

<b>P3 anaerobe sulfaat pilot totaal 3 filters (PB 20, 21 en 22)</b>								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	4	4	4	4	4	4	4	28
no3								0
so4	4	4	4	4	4	4	4	28
nh4+	4			4	4	4	4	20
na2+								0
br-	4	4	4	4	4	4	4	28
po42-	4			4	4	4	4	20
TOC	4			4	4	4	4	20
AS3000 toeslag	4			4	4	4	4	20
PAK16	4			4	4	4	4	20
minerale olie, C6-C12, BTEX	4			4	4	4	4	20
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	4			2	2	2	4	14
extra conserveringen DNA	0			2	2	2	0	6
extra conserveringen ME-CSIA	2				2		2	6

<b>Overige filters: IFI2, IFL6 en pb11</b>								
	t=0	t=1	t=2	t=3	t=6	t=9	t=12	totaal
Veldmetingen	3			1	1	1	3	9
no3	3			1	1	1	3	9
so4	3			1	1	1	3	9
nh4+	3						3	6
na2+								0
br-								0
po42-	3						3	6
TOC	3			1	1	1	3	9
AS3000 toeslag	3						3	6
PAK16	3						3	6
minerale olie, C6-C12, BTEX	3						3	6
qPCR 1 target								0
qPCR 4 targets	3						3	6
extra conserveringen DNA	0						0	0
extra conserveringen ME-CSIA	1				1		1	3



[www.orvion.nl](http://www.orvion.nl)