

**Passieve staalname van  
vluchtige componenten  
in grondwater –  
Pilotproject  
Arcadis Belgium nv**



**SAMEN MAKEN WE  
MORGEN MOOIER**





## **Bijlage 6**

### **Passieve staalname van vluchtige componenten in grondwater - pilootproject Arcadis Belgium nv**



# Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*  
Bijlage 6 – Passieve staalname van vluchtige componenten in grondwater - pilootproject  
Arcadis Belgium nv

---

2. *Verantwoordelijke Uitgever*  
Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

---

4. *Aantal bladzijden*  
49

5. *Aantal tabellen en figuren*

---

6. *Prijs\**

7. *Datum Publicatie*

---

8. *Trefwoorden*

---

9. *Samenvatting*

---

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*  
Arcadis Belgium nv

---

11. *Contactperso(n)en(en)*

---

12. *Andere titels over dit onderwerp*

---

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

---

# Inhoudstafel

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Beschrijving onderzoekslocatie</b>	<b>9</b>
2.1	Onderzoekslocatie 1	9
2.1.1	Historiek	9
2.1.2	Geologie en hydrogeologie	9
2.1.3	Verontreinigingssituatie	11
2.2	Onderzoekslocatie 2	12
2.2.1	Historiek	12
2.2.2	Geologie en hydrogeologie	12
2.2.3	Verontreinigingssituatie	13
<b>3</b>	<b>Onderzoekopzet</b>	<b>15</b>
3.1	Selectie PAS techniek	15
3.2	Inzet PAS techniek	18
<b>4</b>	<b>Uitgevoerde werkzaamheden</b>	<b>19</b>
4.1	Terrein- en velwerkzaamheden	19
4.1.1	Onderzoekslocatie 1	19
4.1.2	Onderzoekslocatie 2	20
4.2	Laboratoriumonderzoek	20
<b>5</b>	<b>Resultaten en interpretatie</b>	<b>21</b>
5.1	Resultaten veldwerkzaamheden en analyses	21
5.1.1	Resultaten onderzoekslocatie 1	21
5.1.2	Resultaten onderzoekslocatie 2	25
5.2	Interpretatie	28
5.2.1	Variabiliteit tussen technieken	28
5.2.2	Toepasbaarheid in verschillende bodems	30
5.3	Kosten-batenanalyse inzet PAS	30
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage 1:</b>	<b>Lijst van tabellen</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage 2:</b>	<b>Lijst van figuren</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage 3:</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage 4:</b>	<b>Locatie peilbuizen site 1</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage 5:</b>	<b>Locatie peilbuizen site 2</b>	<b>43</b>
<b>Bijlage 6:</b>	<b>Foto's uitvoering veldwerk</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage 7:</b>	<b>Technische gegevens HydraSleeve en Passive Diffusion Bags</b>	<b>49</b>

# 1 Inleiding

In Vlaanderen is het grondwater op vele plaatsen in meer of mindere mate verontreinigd met BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen), VOC's (vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen) en zware metalen. In de meeste gevallen zijn deze verontreinigingen veroorzaakt door lekkende opslagtanks, calamiteiten, lozingspunten of storting van polluenten. Het uitvoeren van een grondige karakterisatie van de verontreiniging is onontbeerlijk voor de uitvoering van saneringen of het opstellen van beheersmaatregelen. Dit geldt niet alleen voor megasites, waarbij meerdere verontreinigingsbronnen verantwoordelijk zijn voor een mix aan polluenten in het grondwater, maar ook voor bijvoorbeeld perceelsoverschrijdende verontreinigingen en voor verontreinigingen ter hoogte van woonzones.

De basis van elk soort bodemonderzoek, uitgevoerd in het kader van het bodemdecreet, wordt gevormd door het nemen van representatieve stalen op basis van klassiek bodemonderzoek (i.e. plaatsen van boringen en peilbuizen, staalname van bodem en grondwater gevolgd door chemische analyse). Traditionele methoden voor de bepaling van grondwaterconcentraties en de daaraan gekoppelde risicoanalyse, bestaan uit actieve concentratiemetingen (oppompen van grondwater, gevolgd door ex-situ analyse van de aanwezige verontreinigingsparameters) in combinatie met berekeningen of metingen van de Darcy waterflux.

Recent wordt met betrekking tot de karakterisatie, risico-evaluatie en sanering van grondwaterverontreinigingen meer en meer belang gehecht aan het bepalen van tijdsgeïntegreerde grondwaterconcentraties en pollutfluxen door middel van passieve staalnametechnieken (PAS). Tot op heden zijn deze technieken weinig gebruikt in Vlaanderen. Bovendien is er, indien toegepast, nog onduidelijkheid in verband met de terugkoppeling naar risico-evaluatie en grondwatermanagement.

In het kader van het CityChlor project werden door de bodemsaneringsdeskundigen Antea, Arcadis en Tauw één of meerdere PAS technieken toegepast op sites waar zij als deskundigen verantwoordelijk zijn voor de uitvoering van bodemonderzoek. De resultaten van de PAS metingen bekomen tijdens deze pilootproeven worden afgetoetst aan de reeds beschikbare (recente) resultaten van het bodemonderzoek of bijkomende metingen op het terrein.

Voorliggend rapport beschrijft de bevindingen van Arcadis Belgium nv.

## 2 Beschrijving onderzoekslocatie

### 2.1 Onderzoekslocatie 1

#### 2.1.1 Historiek

Het huidige bedrijf is op de locatie gevestigd sinds 1955. Op het terrein worden sinds de opstart de volgende activiteiten uitgevoerd:

- ontwerp en fabricatie van industriële hoge druk natrium- en kwikdamplampen;
- fabricage van glazen en metalen onderdelen van lampen.

#### 2.1.2 Geologie en hydrogeologie

##### 2.1.2.1 Geologie

De algemene geologische opbouw ter hoogte van de onderzoekslocatie werd beschreven op basis van volgende bronnen:

- de Geologische Tertiairkaart (Kaartblad Turnhout);
- de beschrijvingen van boringen uitgevoerd in de omgeving, opgenomen in 'Databank Ondergrond Vlaanderen';
- de informatie opgenomen over de 'Geologie van de provincie Antwerpen', opgenomen op de website van Pidpa;
- de informatie opgenomen in 'Geologie van de Kempen' (NIRAS);
- de beschrijvingen van een aantal diepe boringen die in het kader van een hydrogeologische studie werden uitgevoerd ter hoogte van het terrein (2005)
- de gegevens die werden verzameld in het kader van het beschrijvend bodemonderzoek (boringen, sonderingen).

De geologische opbouw ter hoogte van de onderzoekslocatie kan als volgt geschematiseerd worden in Tabel 1: Geologie en hydrogeologie.

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Textuur	Heterogeniteit en gelaagdheid	Horizontale doorlatendheid <sup>1</sup>	
				Decimaal (m/d)	Beschrijving hydrogeologie
0 tot 2	Verstoorde zone	Zand, puinhoudend	-	-	
2 tot 12 à 18 (dikker naar noordoosten toe)	Quartair Pleistoceen Formatie van de Kempen	Afwisseling van fijn tot plaatselijke grof zand en klei	Lokale kleilagen en kleilagen, bovenaan leem en veen	1,45 <sup>2</sup>	Plaatselijk doorlatend, plaatselijk slecht doorlatend
12 à 18 tot 30 à 32	Quartair Pleistoceen Formatie van Brasschaat Lid van Schorvoort	Witgrijze middelmatig fijne kwartsrijke zanden, licht glauconiet- en glimmerhoudend - Een matige vermenging met bruine silt en grijze klei komt sporadisch voor. De dikte kan oplopen tot 15 m	Lokale kleilagen en kleilagen	6,8 <sub>3</sub>	Doorlatend, plaatselijk slecht doorlatende niveaus.
30 à 32 tot 36 à 40	Tertiair Pliocene Formatie van Lillo	Grijsgele tot grijsbruine fijne glauconiethoudende zanden met schelpfragmenten. Soms niveaus met schelprijk kleihoudend fijn zand tot klei	Afwisseling van zandige en kleiige lagen, bovenaan sterk kleihoudend	Top-laag: 1,0 <sup>4</sup>	Slecht doorlatend
				8 à 9 <sup>3</sup>	Doorlatend met plaatselijk slecht doorlatende niveaus
36 à 40 tot 44 à 50	Tertiair Pliocene Formatie van Kasterlee	Groengrijze tot blauwgrijze siltige kleiig fijn zand, glimmer en licht glauconiethoudend met kleihoudende intercalaties, tot 10 m dik	Heterogeen, gelaagd	8 à 9 <sup>3</sup>	Doorlatend, plaatselijk slecht doorlatend
44 à 50 tot 135 à 155	Tertiair Mioceen Formatie van Diest	Groengrijs tot bruin heterogeen middelmatig grof tot grof zand, sterk glauconiethoudend met glauconiet-	Zandsteenbank en, afwisseling grovere en fijnere zanden	8 à 12 <sup>3</sup>	Doorlatend

1 De doorlatendheid werd afgeleid op basis van een hydrogeologische pomptest die werd uitgevoerd in het kader van dit beschrijvend bodemonderzoek en rekening houdend met de hydrogeologische gegevens. Voor de Formaties van Diest en Berchem werden een range aangenomen, variërend tussen de waarden bekomen via de pompproof en de waarden die gehanteerd werden tijdens de hydrogeologische studie dd. 2005 (Arcadis Gedas)

2 Gemiddelde waarde. Gelet op de heterogeniteit en de afwisseling van zandhoudende en kleihoudende lagen moet er rekening gehouden worden met sterke verschillen. De zandlagen worden dan ook gekenmerkt door een grotere doorlatendheid.

3 Gemiddelde waarde. Bevat tevens niveaus met hogere en lagere doorlaatbaarheden.

4De verticale doorlatendheid van deze laag wordt o.b.v. de uitgevoerde pomptest geschat op 0,2 m/dag.



Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Textuur	Heterogeniteit en gelaagdheid	Horizontale doorlatendheid	
				Decimaal (m/d)	Beschrijving hydrogeologie
		zandsteen fragmenten en soms kleihoudende zones			
135 à 155 tot 154 à 170	Tertiair Mioceen Formatie van Berchem	Donkergrijs tot zwart fijn tot middelmatig fijn kleiig en sterk glauconiethoudend zand, schelphoudend	Homogeen, gelaagd	8 à 12 <sup>3</sup>	Doorlatend, plaatselijk slecht doorlatende niveaus
> 154 à 170	Tertiair Oligoceen Formatie van Boom	Klei alternerend met siltige klei	Homogeen, gelaagd	-	Zeer slecht doorlatend

**Tabel 1: Geologie en hydrogeologie**

De lokale geologische opbouw van de eerste watervoerende laag kan als volgt worden samengevat:

- De bovenste 1 à 2 meter betreft verstoorde ondergrond die lokaal puinhoudend is;
- Hieronder bevindt zich, tot op 14 à 16 m-mv, een afwisseling van middelmatig fijne zandlagen en middelmatig grove zandlagen met slecht doorlatende intercalaties. Het betreft de Formatie van de Kempen, bestaande uit afwisselend doorlatende en minder doorlatende lagen. In het pakket komen ook niet-continue kleilagen en kleilagen voor. Tussen 3 en 5 m-mv is dikwijls een 1 à 2 m dikke leem- en veenhoudende laag aanwezig. Dieper in het pakket kunnen tevens kleihoudende lagen en lenzen onderscheiden worden.;
- Onder dit pakket komt tussen gemiddeld 14 à 16 m-mv en 31 à 34 m-mv een laag voor die voornamelijk bestaat uit fijn zand (Formatie van Brasschaat, gekenmerkt door een relatief hoge doorlaatbaarheid). Bovenaan, rond 20 à 22 m diepte, is in bepaalde zones een kleilaag aanwezig in dit niveau. Deze laag werd voornamelijk in het zuidoostelijke gedeelte van het studiegebied vastgesteld. Tussen gemiddeld 23 en gemiddeld 27 m-mv kan een iets grover horizont onderscheiden worden. Lokaal is deze grovere laag dikker. Ook in het pakket tussen 14 en 32 m kunnen lokaal niet-continue kleilagen en kleilagen onderscheiden worden. Er werd ook zandsteen vastgesteld;
- Vanaf gemiddeld 30 à 34 m-mv werd minder doorlatend kleihoudend glauconiethoudend zand aangetroffen, bestaande uit de Formatie van Lillo, de Formatie van Kasterlee en de top van de Formatie van Diest.

### 2.1.2.2 Hydrogeologie

Algemeen kan een onderscheid gemaakt worden tussen de eerste (freatische) watervoerende laag, die zich bevindt tussen 0 en 32 m-mv, een semipermeabele laag tussen 32 en 50 m-mv, de tweede watervoerende laag tussen 50 en vermoedelijk 150 m-mv en de slecht doorlatende klei van Boom (> 150 m-mv).

De tweede watervoerende laag, bestaande uit de Formatie van Diest, is één van de belangrijkste grondwatersystemen van Vlaanderen.

De hydrologische gegevens met betrekking tot de site is worden samengevat in onderstaande tabel.

<b>Algemene hydrogeologische opbouw</b>	Algemeen kan het ganse pakket boven de klei van de Formatie van Boom, zich op een diepte van 155 à 170 m beneden het maaiveld bevindt, als doorlatend en watervoerend beschouwd worden. In dit pakket bevinden zich echter minder doorlatende niet-continue niveaus. Bovenaan bevindt zich een laag verstoorde grond waaronder meestal een veen- en leemhoudend horizont voorkomt. Tussen 5 en 30 m bestaat voornamelijk uit goed doorlatende zandafzettingen waartussen lokaal minder doorlatende en slecht doorlatende kleihoudende afzettingen voorkomen. Vanaf ongeveer 30 à 32 m-mv is een minder doorlatend pakket met een dikte van ongeveer 15 à 20 m aanwezig (Formatie van Lillo en Formatie van Kasterlee). Bovenaan bevat deze laag klei. Vanaf 50 m-mv bevinden zich goed doorlatende zanden. In deze zanden komen minder doorlatende zandsteenlagen voor. De zanden worden grover vanaf ongeveer 80 m-mv.
Diepte van de grondwatertafel	1 à 2,5 m-mv
Grondwaterstroming	De regionale stromingsrichting is in zuid-zuidoostelijke richting en dit zowel voor de ondiepe als de diepe aquifer. De grondwaterstromingsrichting in de tweede watervoerende laag wordt lokaal beïnvloed door de pompputten.

**Tabel 2: Algemene hydrologische gegevens**

### 2.1.3 Verontreinigingssituatie

Ter hoogte van de onderzoekslocatie bevindt zich voornamelijk een verontreiniging met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (VOCI) in het grondwater.

Gechloreerde ethenen in concentraties boven de bodemsaneringsnorm worden verspreid over het volledige terrein vastgesteld. Er kunnen 4 te saneren verontreinigingskernen (gekenmerkt door concentraties > 1.000 µg/l) onderscheiden worden.

Vanuit de verschillende kernzones is verdere verspreiding opgetreden in stroomafwaartse (zuid-zuidoostelijke) richting. Daarnaast treedt ook verspreiding op via de riolering. Verschillende verontreinigingen, afkomstig van verschillende kernzones, zijn met elkaar vermengd waardoor ze verder stroomafwaarts niet meer afzonderlijk onderscheiden kunnen worden. Op basis van het uitgevoerde onderzoek blijkt dat er buiten de eigenlijke kernzones natuurlijke afbraak van de verontreiniging optreedt.

Behalve horizontale verspreiding, is er ook verticale verspreiding opgetreden. Tussen ongeveer 32 en 50 m-mv is een minder doorlatende laag aanwezig. Deze laag remt verdere verticale verspreiding van de verontreiniging af. De laag is echter niet ondoorlatend.

De testen met passieve staalnames werden in voorliggend onderzoek uitgevoerd op peilputten gelegen ter hoogte van de stroomafwaartse verontreinigingspluim in de eerste watervoerende laag (0- 34 m-mv) met filters op verschillende diepte.

## 2.2 Onderzoekslocatie 2

### 2.2.1 Historiek

Tot 1972 was het huidige bedrijfsterrein agrarisch gebied. In 1975 werden de activiteiten op het terrein opgestart.

In het verleden werden verschillende activiteiten op het terrein gevoerd, die allen momenteel niet meer aanwezig zijn. Enkele activiteiten waren o.a.:

- van 1975 tot 1993 was er een Galvano-installatie (oppervlaktebehandeling door verzinken) in gebruik. In 1994 werd de Galvano-installatie verwijderd. In dezelfde periode waren ook handbaden voor vernikkelen, vertinnen en verchromen in gebruik.
- Tussen 1975 en 1979 werden ontvettingsactiviteiten uitgevoerd, gebruik makend van perchloorethyleen (tetrachlooretheen). Deze activiteiten vonden plaats ten zuidoosten van de galvano-installatie.
- In het verleden was er op het terrein een bovengrondse stookolietank aanwezig.

### 2.2.2 Geologie en hydrogeologie

De geologie ter hoogte van de onderzoekslocatie werd opgesteld aan de hand van de Geologische kaart van België (ref.: kaartblad 23 Mechelen; schaal 1/50.000). De geologie werd verder verfijnd aan de hand van de boorbeschrijvingen, beschikbaar uit voorgaande bodemonderzoeken.

Diepte (m-mv)	Stratigrafie	Textuur	Heterogeniteit en gelaagdheid	Hydrogeologie
0 – 13	Quartair (Vlaamse vallei)	Zand	Heterogeen: leemhoudend tot grindhoudend Onderaan basisgrind	Doorlatend
13 – 25	Formatie van Lede	Grijs fijn zand	Soms zandsteenbanken Kalkhoudend, soms glauconiethoudend	Doorlatend
25 - 35	Lid van Vlierzele (Formatie van Gent)	Grijsgroen fijn zand	Grijsgroen, glauconiethoudend Lokale kleilenzen	Doorlatend
Vanaf 35	Lid van Merelbeke (Formatie van Gent)	Donkergrijze klei	Homogeen	Zeer slecht doorlatend

**Tabel 3: Beschrijving van de verschillende bodemlagen aangeboord in het beschrijvend bodemonderzoek**

Ter hoogte van de onderzoekslocatie bestaat de bovenste 12 à 13 m uit Quartaire afzettingen van de Vlaamse Vallei. Volgende niveaus kunnen hier onderscheiden worden:

- De bovenste 5 meter is een heterogene mix van leem en (zeer) fijn zand;
- Van ca. 5 tot 7 (of 7,5) m-mv komt een laag fijn zand voor;
- Tussen ca. 7 (of 7,5) en 8 m-mv bevindt zich een minder doorlatende laag. Op verscheidene plaatsen op de onderzoekslocatie bestaat deze minder doorlatende laag uit plastische klei (zoals ter hoogte van de kernzone van de verontreiniging met VOC's), op andere locaties is er eerder sprake van een leem en/of is er in meerdere of mindere mate vermenging met fijn zand;
- Tussen ca. 8 en 13 m-mv bevindt zich goed doorlatend matig fijn tot matig grof zand dat onderaan sterk grindhoudend wordt. Deze grindhoudende basis van ongeveer 2 meter dikte wordt verondersteld de sterkst doorlatende laag in het Quartair pakket te zijn;
- Vanaf 12 à 13 m-mv komen de Tertiaire zanden van de Formatie van Lede voor. Deze zanden bestaan uit silthoudend fijn zand. De overgang van het Quartair naar het Tertiair

wordt vaak gekenmerkt door het voorkomen van een zandsteenbankje. Dieper in de Tertiaire zanden komen ook zandsteenlagen voor.

De algemene grondwaterstromingsrichting in de lagen dieper dan 10 m-mv is noordwestelijk gericht, in de richting van de Schelde. De grondwaterstromingsrichting in de ondiepe lagen is niet eenduidig te bepalen

### 2.2.3 Verontreinigingssituatie

Ter hoogte van de onderzoekslocatie bevindt zich een verontreiniging met VOCl en zware metalen. Aangezien voorliggende pilotstudie zich enkel toespitst op vluchtige stoffen, wordt hieronder enkel de VOCl verontreiniging besproken:

- Ter hoogte van de site wordt één kernzone met VOCl aangetroffen. Het grootste deel van de verontreiniging ter hoogte van de kernzone bevindt zich in de bovenste 5 m van de bodem in de lemige toplaag. De vastgestelde concentraties in het grondwater en de PID-metingen in de kern van de verontreiniging wijzen op mogelijke aanwezigheid van residueel puur product in de poriënholten. Er zijn echter geen indicaties op de aanwezigheid van een aparte fase met puur product. Op vrij geringe afstand van de meest verontreinigde peilput, wordt dit moederproduct niet meer vastgesteld en bestaat de verontreiniging voornamelijk uit de afbraakproducten cis-1,2-dichlooretheen en vinylchloride;
- Vanuit de lemige toplaag is er verdere verticale verspreiding opgetreden tot in de onderliggende meer doorlatende zandlaag (die zich bevindt tussen gemiddeld 5 en 7 m-mv). Doordat de zandlaag gekenmerkt is door een hogere doorlatendheid en een snellere grondwaterstroming is de verontreiniging in deze zandlaag veel sterker verspreid. Zo is er een vrij lange maar smalle verontreinigingspluim ontstaan. De verontreiniging heeft zich voornamelijk verspreid in noordelijke richting. De concentraties in de zandlaag zijn een grootte-orde kleiner dan de concentraties in de bovenste 5 m van de bodem;
- Op een diepte van 7 à 7,5 tot 8 m-mv wordt in de kernzone een minder doorlaatbare leem/kleilaag vastgesteld. Onder deze minder doorlatende laag werden in de kern van de verontreiniging op een diepte van 11 m-mv en 17 m-mv slechts beperkte overschrijdingen van de bodemsaneringsnormen vastgesteld. Verder stroomafwaarts werd de minder doorlatende laag (rond 7 à 7,5 m-mv) niet overal vastgesteld en is deze laag dus niet volledig continu. Enerzijds doordat de minder doorlatende laag in deze zone niet aanwezig is en anderzijds door de invloed van de pompputten op de natuurlijke grondwaterstroming, is er verder stroomafwaarts verspreiding tot op grotere diepte opgetreden. Meer dan 100 m ten noorden van de verontreinigingskern wordt 50 à 100 µg/l VOCl (cis-1,2-dichlooretheen en vinylchloride) in het grondwater vastgesteld. Deze concentraties worden vastgesteld in de grindhoudende basis van het Quartair (11 à 13 m-mv);

De testen met passieve staalnames werden in voorliggend onderzoek uitgevoerd op peilputten gelegen ter hoogte van de stroomafwaartse verontreinigingspluim op verschillende dieptes, zowel in de leemlaag als diepere zandige lagen.

## 3 Onderzoeksopzet

### 3.1 Selectie PAS techniek

Er zijn verschillende soorten passieve staalnametechnieken zoals ook beschreven in het tussentijds rapport "Toepassing van passieve staalnametechnieken voor grondwaterstaalname naar vluchtige verbindingen in het kader van het bodemdecreet-literatuurstudie, VITO, 2012".

Op basis van een eerste screening naar kost, technische randvoorwaarden en gebruiksgemak en rekening houdend met de ervaringen van ARCADIS in meerdere projecten (zoals gepubliceerd en gepresenteerd: Verhack et al. 2010; Baillieul et al. 2011), heeft ARCADIS in het kader van dit pilootproject twee methodes geselecteerd voor verdere evaluatie: **Passive Diffusion Bags (PDBs) en hydrasleeve™ samplers (HS)**. Aanvullend worden ter vergelijking **low flow staalnames** voorzien.

In deze paragraaf wordt een motivatie gegeven voor de relevantie van de geselecteerde technieken in het kader van voorliggend onderzoek. De selectie wordt onderbouwd aan de hand van de relevante criteria die door VITO in het tussentijds rapport werden opgenomen (VITO, 2012, tabel 10). Deze criteria werden aangevuld met een bijkomende criteria zoals gedefinieerd door ARCADIS (materiaalgebruik ed).

<b>Passive Diffusion Bags (PDBs)</b>	
<b>Criterium (tabel 10, VITO)</b>	<b>Verantwoording</b>
Polluent specificatie VOC	PDBs zijn specifiek toepasbaar voor VOCl's.
Commerciële beschikbaarheid	PDBs zijn commercieel beschikbaar
Sterkte	Beschadiging van de sampler (bv. tijdens transport) kan niet uitgesloten worden
Toepasbaarheid in peilbuis	In meeste peilbuizen toepasbaar, standaard PDBs passen in peilbuizen met minimale diameter van 50 mm. Ook smallere PDBs kunnen op specifieke vraag verkregen worden.
Kwantitatieve metingen	Kwantitatieve metingen worden verkregen via klassieke analyse
Tijdsgeïntegreerde meting	PDB staalnames resulteren in evenwichtsconcentraties, waarbij de waargenomen concentraties representatief zijn voor de samenstelling van het grondwater enkele dagen voor het ophalen van de sampler
Betrouwbaarheid	Uit eigen onderzoek blijken de analyseresultaten reproduceerbaar en betrouwbaar zowel voor risicobeoordeling, monitoring als karakterisatie, mits het in acht nemen van een aantal technische criteria.
Standaard Chemische Analyse	Standaard chemische analyse (grondwaterstaal wordt in recipiënt overgebracht) lage, standaard analysekost (i.v.m. o.a. duurdere analyses bij SorbiCell)
Eenvoud van toepassing	Eenvoudig toepasbaar mits in acht nemen van standaard uitvoeringsprocedure.
Aankoopprijs	PDBs zijn op verschillende niveaus zeer kostenefficiënt in vergelijking met andere passieve bemonsteringstechnieken: <ul style="list-style-type: none"> <li>— relatief lage materiaalkost;</li> <li>— lage kost van uitvoering (wel 2 terreinbezoeken noodzakelijk voor een staalname (bij plaatsing en bij staalname));</li> <li>— standaard analysekost ;</li> </ul> Omwille van deze lage kost hebben PDBs het potentieel om frequent toegepast te worden (vb. langlopende monitoring op meerdere monitoringsputten)
<b>Aanvullende criteria</b>	
Materiaal verbruik	Er moet met uitzondering van de gewichten (metaal), geen materiaal gereinigd te worden, bijgevolg resulteert dit in een kleinere kans op cross-contaminatie.
Toepassingsdiepte	theoretisch niet gelimiteerd
Afval ten gevolge van staalname	beperkt
Hoeveelheid staal (ml)	Standaard maat: 250-350 ml. Andere maten kunnen op specifieke vraag verkregen worden bij bepaalde leveranciers.

**Tabel 4: Criteria ter verantwoording van de keuze van PDBs**

<b>HydraSleeves™ (HS)</b>	
<b>Criterium (tabel 10, VITO)</b>	<b>Verantwoording</b>
Polluent specificatie VOC	In vergelijking met PDBs, zijn HydraSleeves toepasbaar voor een breed scala aan verontreinigingsparameter. Voornamelijk het volume is hier een beperkende factor.
Commerciële beschikbaarheid	HS zijn commercieel beschikbaar
Sterkte	In vergelijking met PDBs, zijn HS niet op voorhand gevuld met water, dus geen gevaar op beschadiging van de sampler of cross contaminatie door diffusie tijdens transport.
Toepasbaarheid in peilbuis	Standaard HS kunnen toegepast worden in peilbuizen met minimale diameter van 50 mm.
Kwantitatieve metingen	Kwantitatieve metingen worden verkregen via klassieke analyse
Tijdsgeïntegreerde meting	HydraSleeves resulteren in puntstaalnames, waarbij enkele andere PAS technieken eerder een gemiddelde concentratie geven over een periode van enkele dagen tot enkele maanden. Ervaring leert echter dat de temporele variaties in deze relatief korte tijdsperiodes op de meeste sites relatief beperkt is en voor bepaalde toepassing minder relevante o.a. bij lang lopende monitoringsrondes.
Betrouwbaarheid	Theoretisch is er bij toepassing van HydraSleeves voor vluchtige componenten wel een hogere kans op vervluchtiging dan bij o.a. SNAP-staalnames. Echter, uit internationaal onderzoek (o.a. ARCADIS USA) en ook uit eigen onderzoek blijken de analyseresultaten vergelijkbaar met klassieke staalnamemethodes en/of Passive Diffusion Bags.
Standaard Chemische Analyse	Standaard chemische analyse (grondwaterstaal wordt in recipiënt overgebracht) lage, standaard analysekost
Eenvoud van toepassing	Eenvoudig toepasbaar mits in acht nemen van standaard uitvoeringsprocedure.
Aankoopprijs	HydraSleeves zijn op verschillende niveaus zeer kostenefficiënt in vergelijking met andere passieve bemonsteringstechnieken: <ul style="list-style-type: none"> <li>— relatief lage materiaalkost;</li> <li>— lage kost van uitvoering (slechts één terreinbezoek noodzakelijk voor een staalname);</li> <li>— lage, standaard analysekost.</li> </ul> Omwille van deze lage kost hebben HydraSleeves het potentieel om frequent toegepast te worden (vb. langlopende monitoring op meerdere monitoringsputten)
<b>Aanvullende criteria</b>	
Materiaal	Net zoals bij PDBs, moet er met uitzondering van de gewichten (metaal), geen materiaal gereinigd te worden, bijgevolg resulteert dit in een kleinere kans op cross-contaminatie.
Toepassingsdiepte	Theoretisch niet gelimiteerd
Afval ten gevolge van staalname	beperkt
Hoeveelheid staal (ml)	500-2000 ml

**Tabel 5: Criteria ter verantwoording van de keuze van HS**

De technische gegevens van de weerhouden passieve staalname technieken worden weergegeven in bijlage 7.

## 3.2 Inzet PAS techniek

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het nagaan van de toepassingsmogelijkheden van de Passive Diffusion Bags (PDBs) en HydraSleeve (HS) en dit in vergelijking met low flow staalname.

Op de geselecteerde onderzoekslocaties is het doel van het onderzoek:

- Nagaan van **variabiliteit en dus ook betrouwbaarheid**: Aangezien op de geselecteerde onderzoekslocatie 1 reeds een uitgebreide dataset bestaat van passieve staalnames met PDBs en HS, kan deze bestaande dataset samen met de nieuwe data van dit onderzoek gebruikt worden om een uitspraak te doen over de variabiliteit. Door aanvullend deze bestaande en nieuwe dataset van dit onderzoek te vergelijken met klassieke low flow sampling, kan een betere uitspraak gedaan worden over de variabiliteit bij de verschillende technieken en kan nagegaan worden of deze variabiliteit kleiner/groter is bij de passieve tijdsgemiddelde staalnames (PDBs) als bij puntstaalnames (HS);
- **Vergelijking met low flow staalname**: De resultaten van de PDB en HS technieken zullen vergeleken worden met de klassieke gepompte staalname methode;
- **Toepasbaarheid in functie van de doorlatendheid van de bodem**: door de staalnames op verschillende dieptes en op verschillende terreinen (geologische formaties) uit te voeren, kan een bijkomend inzicht verkregen worden over de invloed van doorlatendheid van de bodem op de resultaten. Door ook hier de vergelijking met de low flow staalnames uit te voeren, kan de toepasbaarheid van de passieve technieken beter ingeschat worden;
- **Kosten-baten analyse**: in het kader van lange termijn monitoring (en zeker voor diepe grondwaterpluimen waarbij de klassieke monitoringskost voor de bemonstering van diepe peilbuizen sterk kan oplopen) is het belangrijk dat bij de selectie van de PAS techniek een balans gevonden wordt tussen effectieve doelstelling van de meting (trendanalyse, absolute concentraties, ...) en de kost. Voor de verschillende geselecteerde technieken zal een vergelijking gemaakt worden van de effectieve uitvoeringskost (materiaal, uurkost, verwerken water afkomstig van voerpompen..) evenals een overzicht van de kostenbepalende parameters;

Er wordt geen specifiek onderzoek naar equilibratieperiode noch naar biofouling van de PDBs gedaan. Uit ervaring binnen de ARCADIS groep en uitgaande van internationale literatuur, wordt een equilibratieperiode van grootteorde 2 weken vooropgesteld. Binnen deze periode wordt geen biofouling verwacht voor wat de PDBs betreft.



# 4 Uitgevoerde werkzaamheden

## 4.1 Terrein- en velwerkzaamheden

### 4.1.1 Onderzoekslocatie 1

Op deze onderzoekslocatie werden 5 peilbuizen (pb) bemonsterd met de twee voorgestelde PAS technieken (PDB en HS) en met de low flow (LF) staalnametechniek. Het bemonsteringsplan wordt schematisch weergegeven in Tabel 6. De specificaties van de bemonsterde peilbuizen worden weergegeven in Tabel 7, hun ligging wordt weergegeven op het plan in bijlage 4.

Voor de PDB staalnames werd een equilibratie periode van 14 dagen gekozen, deze periode is voldoende voor VOCl staalnames. Voor de HS staalnames werd een rusttijd van 1 à 3 uur aangehouden tussen ophangen en bemonsteren.

De peilbuizen werden voor uitvoering van de passieve staalnames niet voorgepompt, noch ontwikkeld met een andere methode.

De veronderstelling van een goede doorstroming doorheen de peilbuis werd niet specifiek getest in voorliggend onderzoek.

De volledige veldwerkcampagnes werden uitgevoerd door de eigen veldwerkploeg van ARCADIS Belgium.

Methode	Veldwerkdag 1	Veldwerkdag 2	Veldwerkdag 3
	24/10/2012	7/11/2012	22/11/2012
Staalname met hydrasleeve HS_1	X (5 pb)		
Inhangen van PDB_1 in peilputten	X (5 pb)		
PDB_1 bemonsteren		X (5 pb)	
HS_2 staalname		X (5 pb)	
low flow bemonstering		X (5 pb)	
Inhangen van PDB_2 in peilputten		X (5 pb)	
PDB_2 bemonsteren			X (5 pb)
HS_3 staalname			X (5 pb)

Tabel 6: Bemonsteringsplan onderzoekslocatie 1

Meetpunt	P958-16	P958-21	P732-26	P327-30	P724-32
Diepte boring (m-mv)	21	21	33	30	34,5
Filterstelling (m)	14,0-16,0	19,0-21,0	24,0-26,0	29,0-30,0	30,0-32,0
bodemtype	Fijn zand	Fijn zand	Fijn zand	Fijn zand	Fijn zand, weinig kleihoudend

Tabel 7: Specificaties bemonsterde peilbuizen onderzoekslocatie 1

## 4.1.2 Onderzoekslocatie 2

Op deze onderzoekslocatie werden 4 peilbuizen geselecteerd voor bemonstering met de twee voorgestelde PAS technieken (PDB en HS) en met de low flow staalnametechniek. Het bemonsteringsplan wordt schematisch weergegeven in Tabel 8. De specificaties van de bemonsterde peilbuizen worden weergegeven in Tabel 9.

Voor de PDB staalnames werd eveneens een equilibratie periode van 14 dagen aangehouden, Voor de HS staalnames werd een rusttijd van 1 à 2 uur aangehouden tussen ophangen en bemonsteren.

De peilbuizen werden voor uitvoering van de passieve staalnames niet voorgepompt, noch ontwikkeld met enige andere methode.

De volledige veldwerkcampagnes werden uitgevoerd door de eigen veldwerkploeg van ARCADIS Belgium.

Methode	Veldwerkdag 1	Veldwerkdag 2
	6/11/2012	20/11/2012
Inhangen van PDB_1 in peilputten	X (4 pb)	
PDB_1 bemonsteren		X (4 pb)
HS_1 staalname		X (4 pb)
low flow bemonstering		X (4 pb)

Tabel 8: Bemonsteringsplan onderzoekslocatie 2

Meetpunt	P803	P820-7	P826-8	P849
Diepte boring (m-mv)	13,0	12,2	13,0	4,2
Filterstelling (m)	10,3 – 12,3	6,5 – 7,5	7,5 – 8,5	2,2 – 4,2
bodemtype	Middelmatig tot fijn zand	Fijn zand	Fijn zand, weinig kleihoudend	Zeer fijn zand, matig siltig*

Tabel 9: Specificaties bemonsterde peilputten onderzoekslocatie 2

\* in de meeste andere boringen op deze diepte wordt de bodem beschreven als leem.

## 4.2 Laboratoriumonderzoek

De grondwaterstalen zijn geanalyseerd door het door OVAM erkende Eurofins Belgium nv.

# 5 Resultaten en interpretatie

## 5.1 Resultaten veldwerkzaamheden en analyses

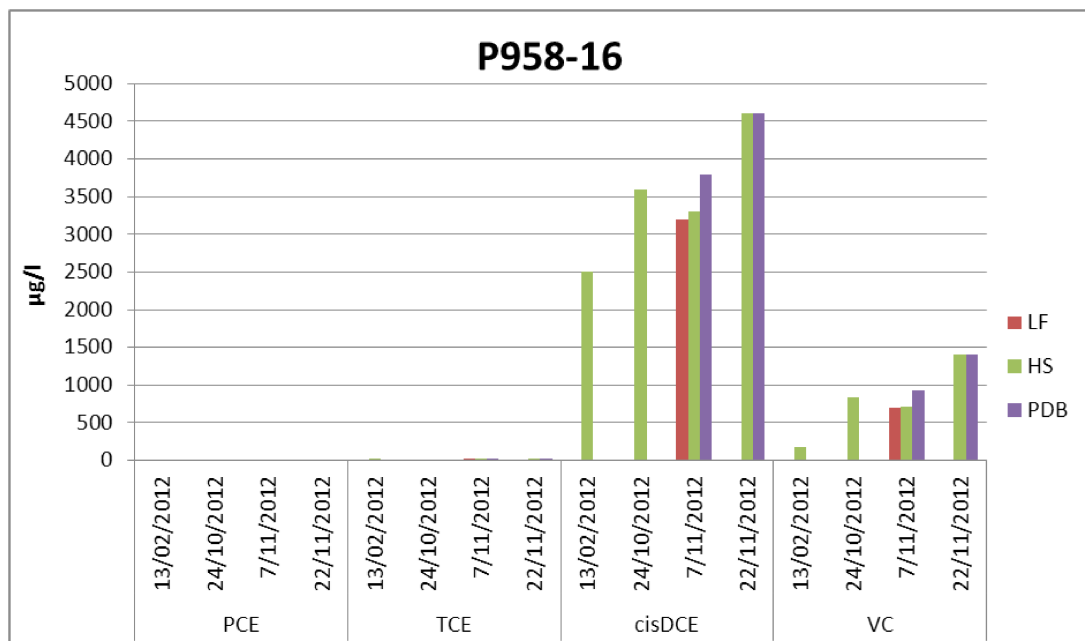
### 5.1.1 Resultaten onderzoekslocatie 1

De analyseresultaten van de bemonsteringen uitgevoerd met de verschillende technieken, namelijk HydraSleeve, Passive Diffusion Bags en low flow sampling, voor onderzoekslocatie 1 worden in deze paragraaf grafisch voorgesteld en besproken per peilbuis.

Om een vergelijking te maken met vorige analyseresultaten, worden eveneens de beschikbare analyses van eerdere staalnames weergegeven.

#### **P958-16**

Figuur 1 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P958-16 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten met HS uit een voorgaande bemonsteringsronde (13/02/2012) gerapporteerd ter vergelijking.



**Figuur 1: Analyseresultaten P958-16**

Uit de resultaten van P958-16 kan het volgende afgeleid worden:

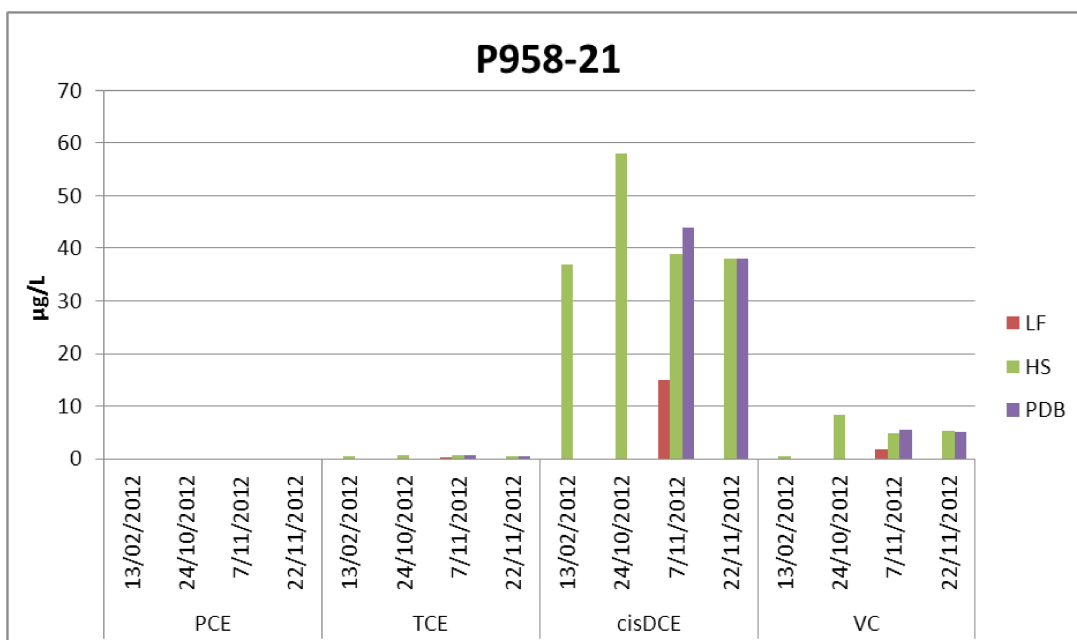
- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat voornamelijk uit relatief hoge concentraties aan cis-DCE (grootteorde 3500 µg/l) (70 x BSN) en VC (grootte-orde 750 µg/l) (150 x BSN). PCE en TCE komen weinig of niet voor (concentraties onder de BSN);
- Deze filter van deze peilbuis is gelegen in “fijn zand”;
- De drie verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) resulteren in onderling dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012: HS, PDB en LF en op tijdstip 22/11/2012: PDB en HS). Bijvoorbeeld, bij

de bemonstering op 7/11/2012 is de concentratie aan cis-DCE bij staalname via PDB, HS en LF, respectievelijk 3800 µg/l; 3300 µg/l en 3200 µg/l;

- Tussen verschillende bemonsteringsdata wordt er een iets grotere spreiding vastgesteld bij eenzelfde staalnametechniek. Staalname met HS op resp. 24/10, 7/11 en 22/11, resulteren in een cis-DCE concentratie van resp. 3600 µg/l, 3300 µg/l en 4600 µg/l. Gezien een analoge stijging ook wordt vastgesteld bij de uitgevoerde PDB techniek (resp. 3200 µg/l en 4600 µg/l), wordt deze variatie in de tijd eerder aan de aquifercondities of variabiliteit op analyse toegeschreven dan aan de variabiliteit van bemonsteringstechniek;
- Bij de HS staalname op 13/02/2012 is de concentratie lager dan de resultaten uit de voorliggende bemonsteringscampagne. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de cis-DCE concentratie door het laboratorium gerapporteerd werd als “> 2500” en dus waarschijnlijk een onderschatting is. Bij VC op 13/02/2012 wordt echter ook een lagere concentratie vastgesteld;
- In vergelijking met klassieke high flow staalname uit BBO worden dezelfde grootte-orde aan concentraties vastgesteld (cis-DCE 2200 µg/L, VC 99 µg/). Met de huidige bemonsteringen worden wel hogere concentraties voor VC gemeten. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn onder meer een beperkte vervluchtiging bij de huidige staalnames of het optreden van biologische afbraak sinds de laatste high flow staalname;

### **P958-21**

Figuur 2 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P958-21 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten met HS uit een voorgaande bemonsteringsronde (13/02/2012) gerapporteerd ter vergelijking.



**Figuur 2: Analyseresultaten P958-21**

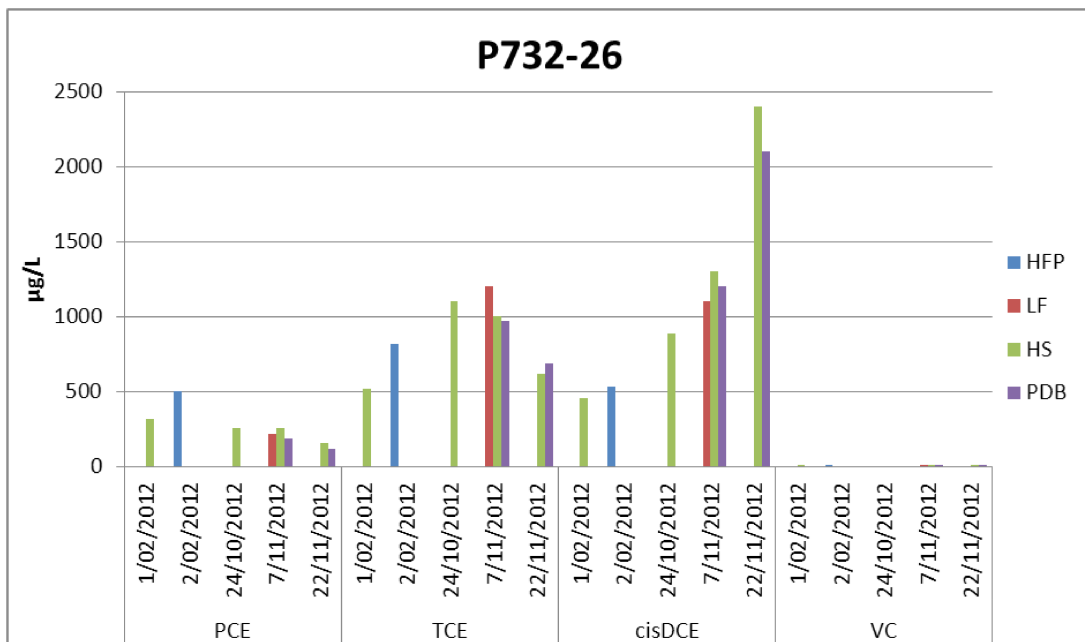
Uit de resultaten van P958-21 kan het volgende afgeleid worden:

- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat voornamelijk uit lage concentraties aan cis-DCE en VC (grootte-orde BSN). PCE en TCE komen weinig of niet voor (concentraties beneden detectielimiet en/of streefwaarde);
- De passieve staalname technieken (HS en PDB) resulteren in onderling dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012 en op tijdstip 22/11/2012). Bij de LF bemonstering worden lagere concentraties vastgesteld bij bemonstering op dezelfde dag (circa factor 3 verschil met de PDB staalname);

- Tussen verschillende bemonsteringsdata worden met de passieve staalnametechnieken analoge concentraties vastgesteld. De staalname op 24/10/2012 resulteert voor de HS bemonstering in beperkt hogere concentraties (in vergelijking met de BSN wordt deze op 24/10 overschreden en op de andere staalnamedata niet overschreden). De concentraties liggen echter in dezelfde grootte-orde in de tijd.

### **P732**

Figuur 3 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P732-26 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten met HS uit een voorgaande bemonsteringsronde (02/2012) evenals de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) uit voorgaande onderzoeken gerapporteerd ter vergelijking.



**Figuur 3: Analyseresultaten P732-26**

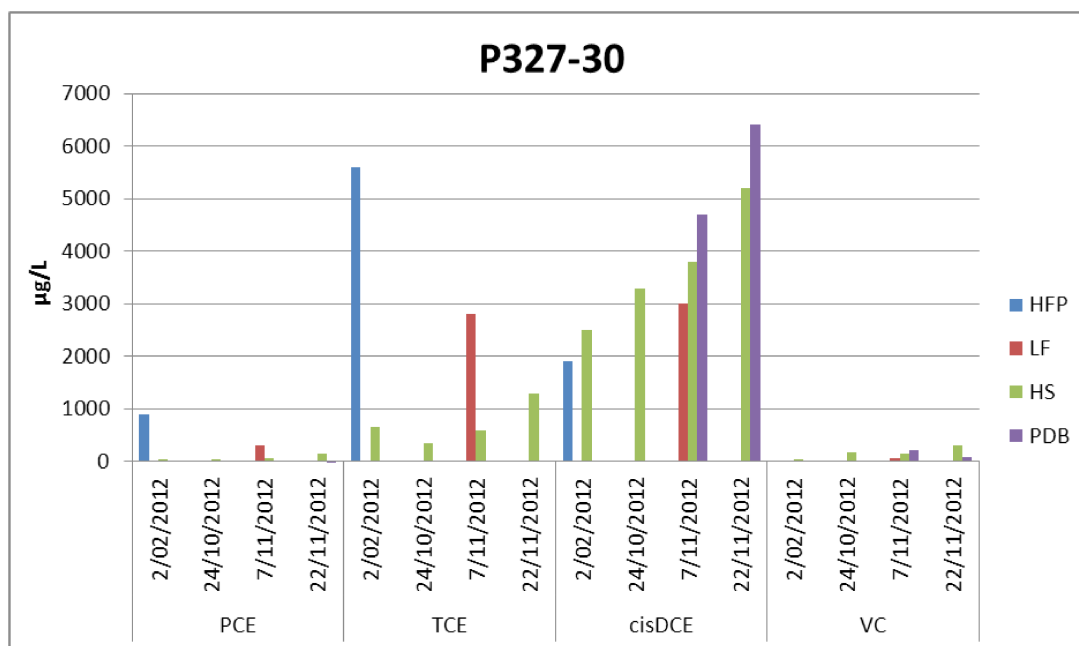
Uit de resultaten van P732-26 kan het volgende afgeleid worden:

- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat voornamelijk uit het moederproduct PCE (grootte-orde 250 µg/l) en de afbraakproducten TCE (1000 µg/l) en cis-DCE (1200 µg/l), VC komt slechts heel beperkt voor;
- Deze filter van deze peilbuis is gelegen in “fijn zand”, echter op deze diepte iets grover.
- De drie verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) resulteren in onderling dezelfde grootte-ordes aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012: HS, PDB en LF en op tijdstip 22/11/2012: PDB en HS). Bijvoorbeeld, bij de bemonstering op 7/11/2012 is de concentratie aan cis-DCE bij staalname via PDB, HS en LF, respectievelijk 1200 µg/l; 1300 µg/l en 1100 µg/l;
- Tussen verschillende bemonsteringsdata wordt er een grote spreiding vastgesteld bij eenzelfde staalnametechniek. Staalname met HS of PDB op resp. 7/11 en 22/11, resulteren in een gemiddelde cis-DCE concentratie van resp. 1250 µg/l en 2250 µg/l. Gezien een analoge stijging zowel wordt vastgesteld bij de uitgevoerde PDB techniek als bij HS, wordt deze variatie in de tijd eerder aan de aquifercondities of variabiliteit op analyse toegeschreven eerder dan aan de variabiliteit ten gevolge van bemonsteringstechniek.

### **P327-30**

Figuur 4 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P327-30 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten met HS uit een voorgaande

bemonsteringsronde (02/2012) evenals de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) uit voorgaande onderzoeken gerapporteerd ter vergelijking.



Figuur 4: Analyseresultaten P327-30

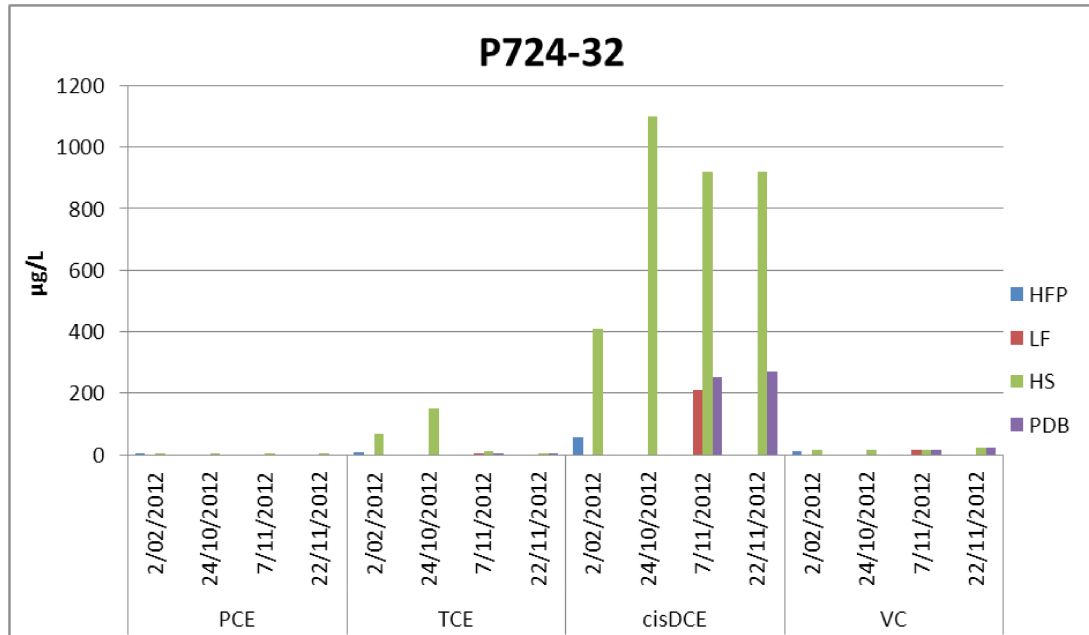
Uit de resultaten van P327-30 kan het volgende afgeleid worden:

- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat voornamelijk de afbraakproducten TCE en cis-DCE. PCE komt in concentraties grootteorde 300 µg/l voor en VC komt in concentraties 150 µg/l voor;
- Deze filter van deze peilbuis is gelegen in “fijn zand”, lokaal iets meer siltig rond deze diepte;
- Voor cis-DCE en VC, resulteren de drie verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) in onderling dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012: HS, PDB en LF en op tijdstip 22/11/2012: PDB en HS). Bijvoorbeeld, bij de bemonstering op 7/11/2012 is de concentratie aan cis-DCE bij staalname via PDB, HS en LF, respectievelijk 4700 µg/l; 3800 µg/l en 3000 µg/l (gemiddelde concentratie op 7/11/2012 is 3800 µg/l). De staalname met LF resulteert in een lagere concentratie dan de gemiddelde van alle staalnames voor cis-DCE;
- Voor PCE en TCE resulteren de drie verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012: HS, PDB en LF en op tijdstip 22/11/2012: PDB en HS) voor sterk verschillende concentraties. De concentraties nemen af in volgende volgorde LF, HS en PDB (in tegenstelling met cis-DCE waar de hoogste cis-DCE concentratie gemeten wordt via PDB en de laagste via low flow). Vergeleken met de hoge debietstaalnames (HFP) (bemonstering dd 02 2012) zijn de verschillen nog groter voor PCE en TCE. De hogere concentraties aan PCE en TCE bij actieve staalnames zijn vermoedelijk het gevolg van een verhoogde mobilisatie van verontreiniging ten gevolge van de actieve onttrekking van grondwater. Volgens de ervaring van ARCADIS treden deze verschillen tussen actieve en passieve staalnames op in zones met indicaties van puur product (al dan niet residueel) (zie ook onder meer. Verhack *et al.* 2010; Baillieul *et al.* 2011);
- Tussen verschillende bemonsteringsdata wordt er een grotere spreiding vastgesteld bij eenzelfde staalnametechniek. De concentraties aan TCE variëren in functie van tijd en staalnametechniek tussen 340 µg/l en 2800 µg/l in de huidige staalnamecampagne. De concentraties aan DCE variëren in functie van tijd bij eenzelfde staalnametechniek tussen 3000 µg/l en 5200 µg/l in de huidige staalnamecampagne (tijdsstip waarbinnen alle bemonsteringen plaats vonden is ongeveer 1 maand). Dit geeft aan dat andere factoren

gerelateerd aan bijvoorbeeld afbraak, aquiferkarakteristieken of variabiliteit op analyse een grotere invloed kunnen hebben op de variabiliteit dan de staalname technieken zelf:

### **P724-32**

Figuur 5 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P724-32 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten met HS uit een voorgaande bemonsteringsronde (02/2012) evenals de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) uit voorgaande onderzoeken gerapporteerd ter vergelijking.



**Figuur 5: Analyseresultaten P724-32**

Uit de resultaten van P724-32 kan het volgende afgeleid worden:

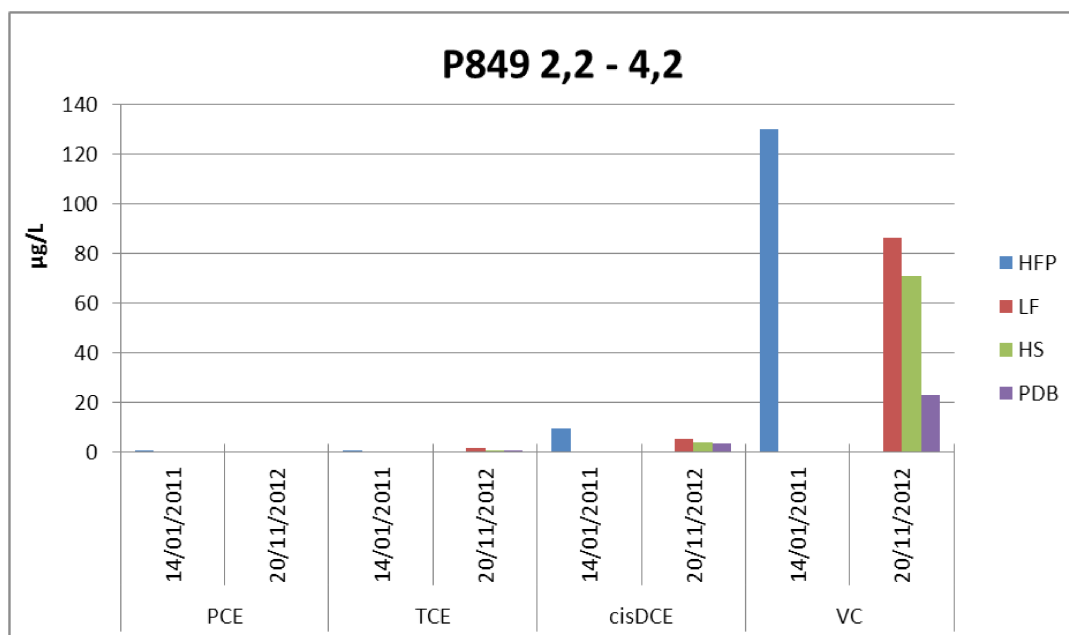
- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat voornamelijk uit de afbraakproducten cis-DCE en in mindere mate uit VC;
- Voor VC, resulteren de verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) in onderling dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 7/11/2012 en op tijdstip 22/11/2012). Daarentegen, voor cis-DCE resulteren LF en PDB staalname in analoge concentraties, echter de HS staalnames resulteren in opmerkelijk hogere concentraties aan cis-DCE (factor 4 hoger). Deze hogere concentraties en dezelfde verschillen tussen HS en PDB worden bevestigd bij de HS-staalnames uitgevoerd op verschillende data. Hiervoor kan geen eenduidige verklaring gegeven worden.

### **5.1.2 Resultaten onderzoekslocatie 2**

De analyseresultaten van de bemonsteringen uitgevoerd met de verschillende technieken, namelijk HydraSleeve, Passive Diffusion Bags en low flow sampling, voor onderzoekslocatie 2 worden in deze paragraaf grafisch voorgesteld en besproken per peilbuis.

Om een vergelijking te maken met vorige analyseresultaten, worden eveneens de beschikbare analyses van eerdere staalnames weergegeven.

### **P849 (2,2 – 4,2 m-mv)**



**Figuur 6: Analyseresultaten 849**

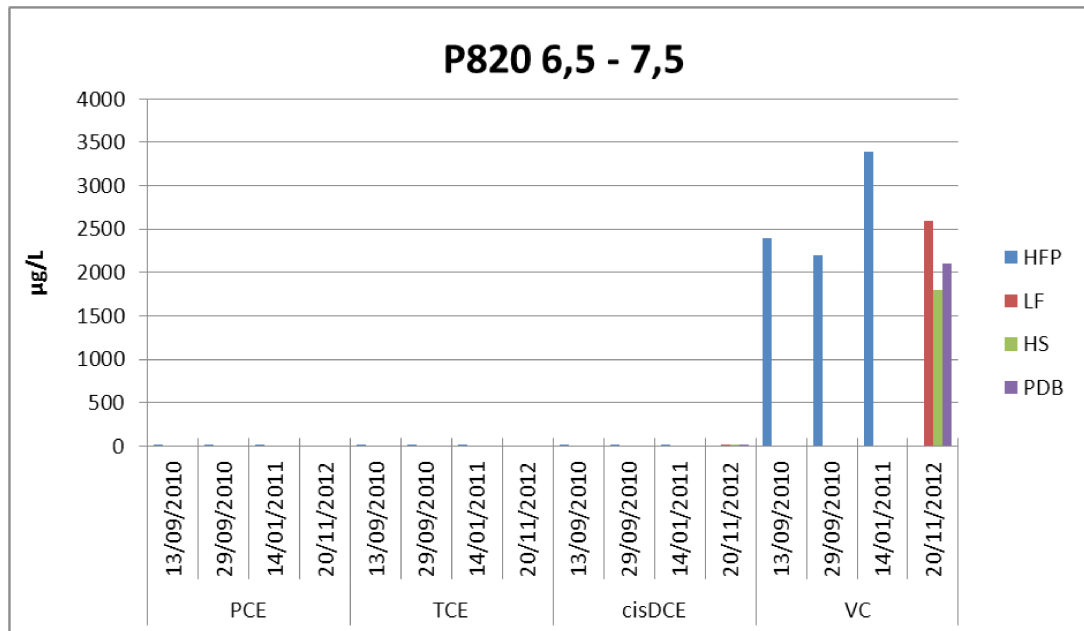
Figuur 6 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P849 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten van de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) (5 x pb volume) ter vergelijking opgenomen.

Uit de resultaten van P849 kan het volgende afgeleid worden:

- Deze ondiepe peilbuis heeft een filter gesitueerd in de ondiep lemige laag;
- De verontreiniging in deze peilbuis bestaat in hoofdzakelijk uit VC (grootte-orde 80 µg/l of 160 x BSN) en slechts zeer beperkt cis-DCE concentraties, PCE en TCE (concentraties ruim lager dan BSN);
- De staalnametechnieken HS en LF resulteren in onderling sterk gelijkaardige concentraties voor VC. Bij de PDB staalname wordt een beduidend lagere concentratie vastgesteld;
- In vergelijking met de eerder uitgevoerde klassieke staalname (voorpompen), worden met HS en LF zelfde grootteorde aan VC gemeten.



### P820 (6,5 – 7,5 m-mv)



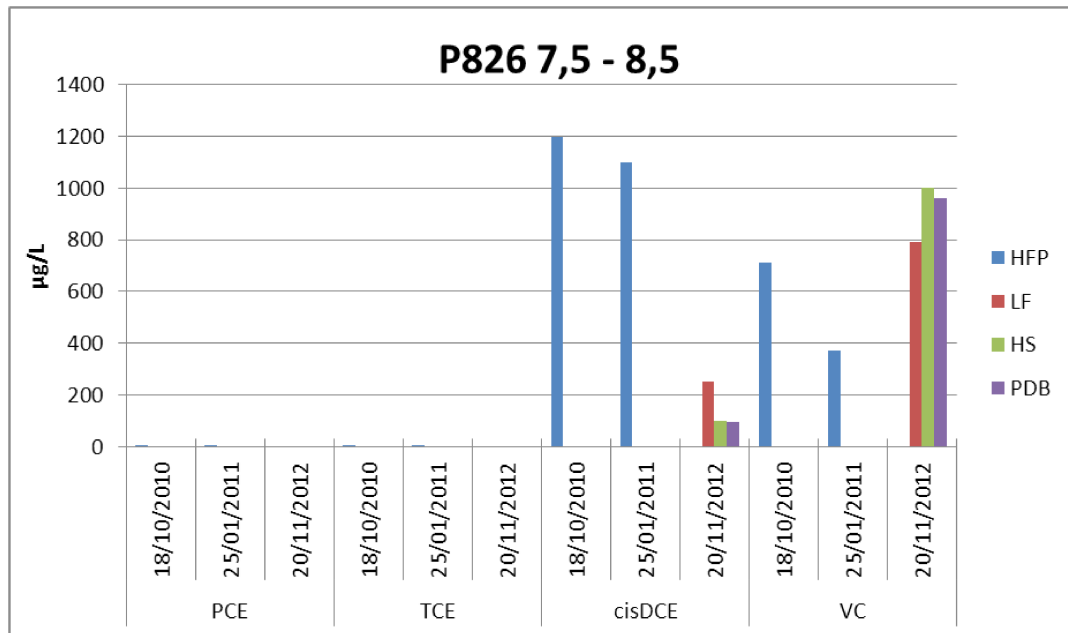
**Figuur 7: Analyseresultaten P820**

Figuur 7 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P820 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten van de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) (5 x pb volume) ter vergelijking opgenomen.

Uit de resultaten van P820 kan het volgende afgeleid worden:

- Peilbuis P820 heeft een filter in een fijn tot matig grofzandige laag, gelegen onder de leemlaag;
- De verontreiniging ter hoogte van deze peilbuis bestaat hoofdzakelijk uit relatief hoge concentraties aan VC (grootteorde 2500 µg/l);
- De drie verschillende staalnametechnieken (HS, PDB en LF) resulteren in onderling sterk gelijkaardige concentraties (variërend tussen 1800 µg/l bij HS en 2600 µg/l bij LF staalname);
- In vergelijking met de eerder uitgevoerde klassieke staalname (voorpompen), worden gemiddeld over de beschikbare bemonsteringsdata zelfde grootteorde aan VC gemeten.

### **P826 (7,5 – 8,5 m-mv)**



**Figuur 8: Analyseresultaten P826**

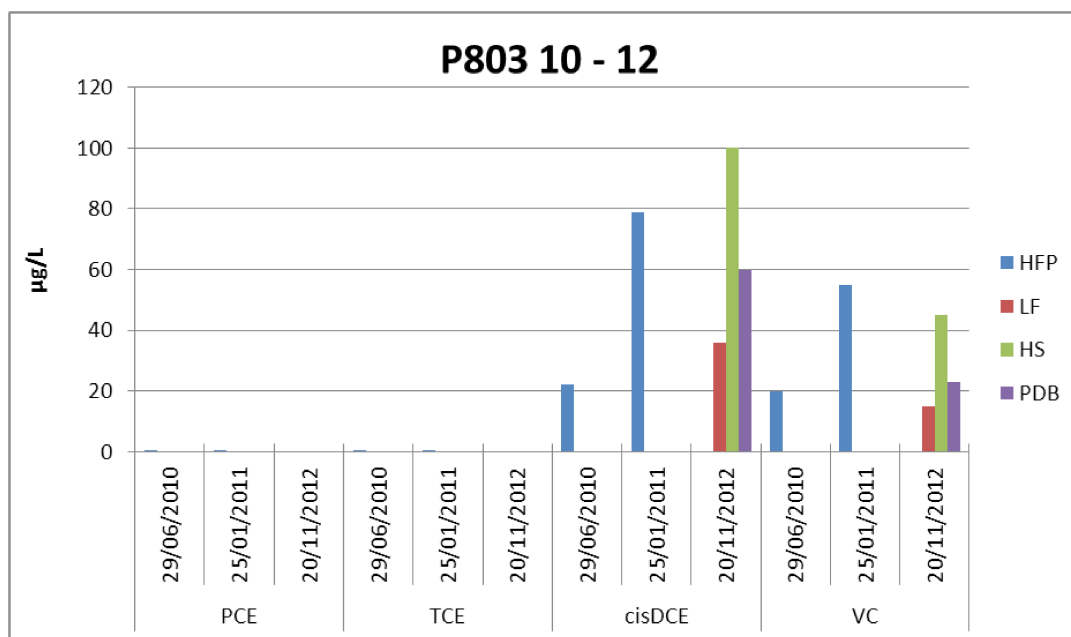
Figuur 8 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P820 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten van de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) (5 x pb volume) ter vergelijking opgenomen.

Uit de resultaten van P826 kan het volgende afgeleid worden:

- De filter van deze peilbuis is eveneens gesitueerd in de fijn tot matig grofzandige laag, gelegen onder de leemlaag.;
- De verontreiniging ter hoogte van deze peilbuis bestaat hoofdzakelijk uit relatief hoge concentraties aan VC en cis DCE;
- Voor VC, resulteren de verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) in dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 20/11/2012). LF resulteert in beperkt lagere concentraties in vergelijking met HS/PDB (790 µg/l versus 1000 µg/l);
- Voor cis-DCE, resulteren de verschillende staalname technieken (HS, PDB en LF) in dezelfde grootte-orde aan concentraties bij een bemonstering op hetzelfde tijdstip (op tijdstip 20/11/2012) (grootte-orde 100-200 µg/l). LF resulteert in hogere concentraties in vergelijking met HS/PDB (250 µg/l versus 100 µg/l);
- In vergelijking met de eerder uitgevoerde klassieke staalname (voorpompen) (2010-2011), worden gemiddeld over de beschikbare bemonsteringsdata lagere gehalten in aan cis-DCE gemeten en hogere gehalten aan VC gemeten.

### **P803 (10,3 – 12,3)**

Figuur 9 geeft de analyseresultaten weer van peilbuis P803 van de bemonsteringscampagne van voorliggend onderzoek. Aanvullend worden de resultaten van de staalnames met klassiek voorpompen van de peilbuis (HFP- high flow purge) (5 x pb volume) ter vergelijking opgenomen.



**Figuur 9: Analyseresultaten P803**

Uit de resultaten van P803 kan het volgende afgeleid worden:

- Deze peilbuis is op grotere diepte gelegen in een fijnzandige laag;
- De verontreiniging bestaat uit relatief lage concentraties aan DCE (grootte-orde BSN) en VC (grootte-orde 10 x BSN). Zowel voor DCE en VC is er circa een factor 3 verschil tussen de laagste concentraties (low flow staalname) en de hoogste concentraties (HS staalname);
- De huidige analyseresultaten liggen in dezelfde grootteorde als gemiddelde gehalten van vroegere staalnames. De variabiliteiten tussen verschillende staalnametechnieken vallen bijgevolg binnen de variabiliteiten die ontstaan door andere factoren dan de bemonsteringstechnieken zelf.

## **5.2 Interpretatie**

### **5.2.1 Variabiliteit tussen technieken**

Over het algemeen kan vastgesteld worden dat op de stalen, bemonsterd met de drie geëvalueerde bemonsteringstechnieken, gelijkaardige VOCl concentraties worden geanalyseerd. Deze goede overeenkomst is vooral duidelijk indien de verschillende staalnames werden uitgevoerd binnen een korte tijdsperiode, zoals de datareeks van 7/11/2012 en 22/11/2012 voor onderzoekslocatie 1 en van 20/11/2012 voor onderzoekslocatie 2.

De goede overeenkomst tussen HydraSleeve en Passive Diffusion Bag is te wijten aan het feit dat beide methoden op eenzelfde passief principe gebaseerd zijn, nl. een natuurlijke

grondwaterstroming doorheen de filter van de peilput, en grondwater dat bemonsterd wordt in de direct omgeving van de peilbuis zonder actief residueel product dat in de poriën zit, aan te trekken. Ook kan vastgesteld worden dat de richting van afwijking, alsook de grootte-orde, voor de verschillende VOCl dezelfde is. Meer bepaald worden er met de passieve bemonsteringstechnieken over het algemeen hogere concentraties gemeten in vergelijking met de low flow methode. Het feit dat een HydraSleeve staalname een 'grijp'-staalname betreft en een PDB staalname daarentegen gebaseerd is op diffusie, lijkt dan ook slechts een beperkte invloed te hebben.

Voor TCE en PCE zijn slechts een beperkt aantal stalen beschikbaar met concentraties boven de detectielimiet. Bij peilbuis P327 wordt de grootste spreiding vastgesteld in de gemeten concentraties tussen de verschillende bemonsteringstechnieken (factor 140 tot 720). Bij het PDB staal worden voor PCE en TCE de laagste concentraties gemeten en de hoogste concentraties bij low flow staalname. De HydraSleeve staalname ligt ergens tussen in, maar is eerder gelijkaardig met de low flow staalname. De filter van deze peilput is gesitueerd in de fijnzandige 1<sup>ste</sup> watervoerende laag, maar op deze diepte is deze laag reeds siltiger (overgang naar de onderliggende minder doorlatende laag). De hoogste concentraties aan PCE en TCE bij de low flow staalname zijn vermoedelijk het gevolg van een verhoogde mobilisatie ten gevolge van het pompen in vergelijking met een natuurlijke grondwaterstroming. Deze vaststellingen zijn in overeenkomst met eerdere ervaringen van ARCADIS met de toepassing van passieve staalnametechnieken ter hoogte van de kernzones op deze site.

Voor de meeste van de andere bemonsterde peilbuizen variëren de gemeten concentraties tussen de drie bemonsteringstechnieken maximaal met een factor van circa 4, maar echter vaak ook veel minder. Relatief grote verschillen worden onder meer vastgesteld bij peilput P724 en P849. Bij P724 is vooral de HS-staalname voor cis-1,2-dichlooretheen sterk afwijkend van de 2 andere technieken. Een duidelijke verklaring is hiervoor niet gekend. P724 is net zoals P327 gesitueerd op een diepte waar de fijn zandige watervoerende laag, siltiger wordt. Bij P849 wijkt de PDB staalname voor vinylchloride af ten opzichte van de andere technieken. Bij deze put, gelegen in de lemige laag, kan een lichte trend vastgesteld worden dat bij de passieve staalnames lagere concentraties worden gemeten dat bij de gepompte staalnames (low flow, alsook high flow purge). Mogelijk wordt er bij het pompen een verhoogde mobilisatie van verontreiniging vastgesteld.

HS en PDBs vertonen over het algemeen een afwijking in dezelfde richting, nl. hogere concentraties gemeten met de passieve technieken, uitzondering hierop zijn voornamelijk P327 en P849.

#### **5.2.1.1 Variabiliteit in de tijd**

De geselecteerde peilputten ter hoogte van onderzoekslocatie 1 werden reeds op vier verschillende data bemonsterd met HS en 2-maal met PDB. De low flow staalname werd echter nog maar éénmalig uitgevoerd.

Zelfs binnen een korte periode van 1 maand, worden verschillen in de tijd waargenomen bij eenzelfde bemonsteringstechniek, de concentraties blijven echter wel in dezelfde grootte-orde aanwezig. Verschillen in de tijd kunnen bij VOCl-verontreinigingen eveneens het gevolg zijn van temporele fluctuaties in de verontreiniging, variërende aquifercondities of analytische variabiliteit.

#### **5.2.1.2 Algemene interpretatie variabiliteit**

In de pluimzone (zones waar voornamelijk/enkel nog cis DCE en VC voorkomen) worden voor de 3 technieken gelijkaardige gehalten aangetroffen.

In de kernzone (zones waar nog PCE en TCE residueel in poriën kan voorkomen) zijn de verschillen tussen de 3 technieken groter.

Op basis van de beschikbare dataset kan besloten worden dat de verschillende technieken op zich elk een representatief beeld geven van de verontreinigingssituatie. Verschillen tussen de technieken zijn gerelateerd aan het fundamenteel verschillende principe van bemonstering (met name natuurlijke versus geforceerde grondwaterstroming, of diffusie versus 'grijp' staalname). De interpretatie van de data dient bijgevolg steeds gelinkt te worden aan het beschikbaar conceptueel sitemodel.

Bij de passieve staalnametechnieken kan geen trend van systematisch lagere VOCl concentraties vastgesteld worden in vergelijking met de low flow staalname. Hieruit kan onder meer bevestigd worden dat tijdens het overgieten van het bemonsterde water in het staalnamereciënt geen significant hogere uitdamping optreedt.

De bemonsterde peilbuizen in voorliggend onderzoek betreffen allen relatief oude peilputten, die recentelijk niet meer ontwikkeld werden. De laatste 'high flow purge' staalname voor de meeste peilputten is ruim ouder dan 1 jaar (enkel voor de P724, P327 en P732 slechts 8 maanden geleden).

### **5.2.2 Toepasbaarheid in verschillende bodems**

Door de staalnames op verschillende dieptes en op verschillende terreinen (geologische formaties) uit te voeren, werd getracht een bijkomend inzicht te verkrijgen over de invloed van doorlatendheid van de bodem op de resultaten. Door ook hier de vergelijking met de low flow staalnames uit te voeren, kan de toepasbaarheid van de passieve technieken beter ingeschat worden.

Op basis van de resultaten van onderzoekslocatie 1 en 2 kan vastgesteld worden dat passieve staalnames toepasbaar zijn voor de verschillende bodemtypes. In minder doorlatende bodems kan echter wel vastgesteld worden dat er grotere verschillen optreden, waarvan de oorzaak nog niet eenduidig gekend is. Hiervoor is bijkomend onderzoek vereist.

## **5.3 Kosten-batenanalyse inzet PAS**

Een kostenanalyse van de twee passieve bemonsteringstechnieken en de low flow staalname wordt weergegeven in onderstaande tabel. De kostenraming werd opgemaakt voor de bemonstering van 5 peilputten, overeenkomstig de tweede veldwerkdag uitgevoerd op onderzoekslocatie 1. Er kan vastgesteld worden dat beide passieve bemonsteringstechnieken een kostenreductie met zich meebrengen in vergelijking met de low flow staalname, meer bepaald voor HydraSleeves een reductie met 16,6% en voor PDB met 5,6%. De kostenbesparing situeert zich voornamelijk op het vlak van kortere uitvoeringstermijn (dus lagere uitvoeringskosten) en verminderde afvalstromen (te verwerken verontreinigd grondwater of bemonsteringsslangen). De kosten van deze afvalstromen zijn echter niet vervat in onderstaande kostenbepaling.

In vergelijking met HydraSleeve staalnames komen Passive Diffusion Bags duurder uit, vermits hiervoor steeds een extra terreinbezoek noodzakelijk is. In onderstaande kostenraming, telt dit extra transport zeer sterk door omwille van het beperkt aantal staalnames (slechts 5). In de kostprijs is geen rekening gehouden met voorafgaandelijk ontwikkelen van de peilbuizen.

Op het vlak van analysekosten zijn er geen verschillen tussen de drie verschillende technieken.

De kostenbesparing van passieve passieve staalnames zal voornamelijk significant zijn naarmate grotere volumes dienen voorgepompt te worden bij een gepompte staalname of bij grotere staalnamecampagnes.

	HydraSleeve	Passive Diffusion Bags	low flow
<b>arbeidskost</b>			
aantal veldwerkers	1	1	1
aantal veldwerkdagen (d)			
. grondwaterstaalname			1
. plaatsing PAS	1	1	
. ophalen PAS		1	
aantal werkuren per veldwerkdag (u)			
. grondwaterstaalname			7
. plaatsing PAS	1.3	1.3	
. ophalen PAS	2.1	1.7	
arbeidskost (per uur, per persoon)	70	70	70
daegerepeding (per persoon)			
verplaatsingskost	105	105	105
<b>totaal (€)</b>	<b>338</b>	<b>414</b>	<b>595</b>
<b>materiaalkost</b>			
aankooprijs per stuk	36	40	
eventueel huurprijs			
afschrijvinge materiaal (€/stuk, peristaltische pomp, gewichten)	0.1		30
aantalsamplers	5	5	
aankooprijs PE slang of koord (€/m)	0.2	0.2	0.5
m PE slang/koord	125	125	125
<b>totaal (€)</b>	<b>205.5</b>	<b>225</b>	<b>92.5</b>
<b>analysekost</b>			
opmeten veldparameters	-	-	
kostprijs VOC analysepakket	35.5	35.5	35.5
aantal analyses	5	5	5
aantal blanks			
<b>totaal (€)</b>	<b>177.5</b>	<b>177.5</b>	<b>177.5</b>
<b>kost afvalstroom</b>	koord/leeg HS	koord/leeg PDB	water/PE slang
<b>totaalprijs (€)</b>	<b>721</b>	<b>817</b>	<b>865</b>

**Tabel 10: Indicatieve kostenraming van de staalname met HydraSleeve, Passive Diffusion Bags en low flow op basis van beschikbare eenheidsprijzen (in EURO excl BTW)**

## 6 Conclusies

Op basis van voorliggend onderzoek en door ARCADIS eerder uitgevoerd onderzoek naar de toepassing van passieve bemonsteringstechnieken, kan besloten worden dat zowel de HydraSleeves als de Passieve Diffusion Bags betrouwbare staalnametechnieken zijn. Echter, vermits de passieve bemonsteringstechnieken en actieve low flow technieken inherent van elkaar verschillen (actief water verpompen versus natuurlijke grondwaterstroming), kunnen de analyseresultaten van elkaar verschillen. Bijgevolg is het logisch dat er niet steeds een goede correlatie van de resultaten is tussen beide technieken.

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat passieve staalnames reproduceerbaar zijn en geen grotere variabiliteit vertonen dan klassieke staalnames.

De passieve staalnametechnieken zijn toepasbaar in zowel goed doorlatende als minder doorlatende bodems.

Op basis van de literatuur en ervaring van ARCADIS met deze technieken, kunnen passieve staalnamemethoden kostenbesparend zijn ten opzichte van de gepompte low flow staalname. De kostenbesparing van passieve passieve staalnames zal voornamelijk significant zijn naarmate grotere volumes dienen voorgepompt te worden bij een gepompte staalname of bij grotere staalnamecampagnes.

# Bijlage 1: Lijst van tabellen

Tabel 1: Geologie en hydrogeologie	11
Tabel 2: Algemene hydrologische gegevens	12
Tabel 3: Beschrijving van de verschillende bodemlagen aangeboord in het beschrijvend bodemonderzoek	13
Tabel 4: Criteria ter verantwoording van de keuze van PDBs	16
Tabel 5: Criteria ter verantwoording van de keuze van HS	18
Tabel 6: Bemonsteringsplan onderzoekslocatie 1	19
Tabel 7: Specificaties bemonsterde peilbuizen onderzoekslocatie 1	19
Tabel 8: Bemonsteringsplan onderzoekslocatie 2	20
Tabel 9: Specificaties bemonsterde peilputten onderzoekslocatie 2	20
Tabel 10: Indicatieve kostenraming van de staalname met HydraSleeve, Passive Diffusion Bags en low flow op basis van beschikbare eenheidsprijzen (in EURO excl BTW)	32



## Bijlage 2: Lijst van figuren

Figuur 1: Analyseresultaten P958-16	21
Figuur 2: Analyseresultaten P958-21	22
Figuur 3: Analyseresultaten P732-26	23
Figuur 4: Analyseresultaten P327-30	24
Figuur 5: Analyseresultaten P724-32	25
Figuur 6: Analyseresultaten 849	26
Figuur 7: Analyseresultaten P820	27
Figuur 8: Analyseresultaten P826	28
Figuur 9: Analyseresultaten P803	29

## Bijlage 3: Bibliografie

Baillieul, H., Verhack, J., Van Geert, K., Olivier, I., Leys, W. & Gevaerts, W. (ARCADIS Belgium) Comparison of purge and no-purge samplings strategies for deep groundwater. Nicole workshop "Operating windows for site characterization". Copenhagen 25-27 May 2011

Van Keer I., Verreydt G. & Bronders J.; Toepassing van passieve staalnametechnieken voor grondwaterstaalname naar vluchtige verbindingen in het kader van het bodemdecreet – Literatuurstudie (fase I), VITO, 2012.

Verhack J., Baillieul H., Olivier I., Leys W., Reynders S., Van Geert K. & Gevaerts W. Comparison of purge and no-purge sampling strategies for deep groundwater. (ARCADIS Belgium). ConSoil 2010.

## **Bijlage 4: Locatie peilbuizen site 1**



## **Bijlage 5: Locatie peilbuizen site 2**

LEGENDE:

XX - onderzoeklocatie

● - plaats en nummer boring Arcadis - OBO

● - plaats en nummer peilbuis Arcadis - OBO

● - plaats en nummer peilbuis Arcadis, verbuimen

● - plaats en nummer peilbuis Arcadis - BBO

■ - grondwaterontkenningsput

zone 1 - verfspuits

zone 2 - opslag van oplosmiddelen en andere gevaarlijke stoffen

zone 3 - voormalige spuitcabine

zone 4 - 3e- of 4e-oppervlaktelocatie

zone 5 - voormalige ontvettingshal (4a)

zone 6 - voormalig galvanisatie - 4a

zone 7 - voormalige waterzuiveringsinstallatie (kelder) (4b)

zone 8 - containerlocatie

zone 9 - voormalige lokale handbaden voor vernieuwen, verlijmen en chromeren

zone 10 - waterpark

zone 11 - voormalige papierpulp-halalocatie

zone 12 - lozingspunt



## **Bijlage 6: Foto's uitvoering veldwerk**



**Afbeelding 1: Uitvoering bemonstering PDB staalname**



**Afbeelding 2: Uitvoeren PDB bemonstering, overgieten in recipiënt**





**Afbeelding 3: Uitvoering HS Staalname**



**Afbeelding 4: Uitvoering low flow staalname**

## Bijlage 7: Technische gegevens HydraSleeve en Passive Diffusion Bags

	<b>Passive Diffusion Bags</b>	<b>HydraSleeves™</b>
Leverancier	IMW Innovative Messtechnik, Dr. Weiss, Germany	GeoInsight, USA
Sampler	Polyethylene Bag, OD: 45mm; L: 450 mm, volume 350 ml OD: 35 mm, L: 800 mm, volume: 400L	Standard 2" HydraSleeve OD: 2,5", L: 30", Volume: 625 ml
Kabel	Polyethylene, 2mm	Polyethylene, 2mm