Deltares

Bronkarakterisatie VOCI-verontreiniging

HIP-pilot

Suzanne van der Meulen
Johan Valstar

1202031-000

© Deltares, 2010

Deltares

Titel
Bronkarakterisatie VOCl-verontreiniging

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Milieudienst West-Holland	1202031-000	1202031-000-BGS-0007	61

Trefwoorden
Bronnen, pluimen, karakterisering, conceptueel model, grondwaterstroming

Samenvatting
Ten gevolge van de bedrijfswerkzaamheden van een voormalige chemische wasserij is een bodemverontreiniging met vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen (VOCl) ontstaan. In opdracht van Milieudienst West-Holland is aanvullend onderzoek naar de aard en de omvang van de verontreiniging, de ligging van de bronlocatie(s) en de verspreidingsroutes van de verontreiniging uitgevoerd. De Milieudienst heeft toestemming gegeven voor het beschikbaar maken van de resultaten in het kader van het Holland In situ Proeftuin (HIP) programma. Dit programma heeft als doel het optimaliseren en demonstreren van in situ saneringstechnieken. De ervaringen die tijdens verschillende zogenaamde HIP-pilots worden opgedaan worden beschikbaar gemaakt via de website www.soilection.nl. Met deze pilot is gedemonstreerd hoe de bronnen en pluimen op een bebouwde locatie beter inzichtelijk gemaakt kunnen worden.

Het doel van de pilot is het complementeren van het conceptuele model van de bodemverontreiniging. Hiermee worden de aanwezige bronnen met bijbehorende pluimen nader onderscheiden en kan de verspreiding ingeschat worden. Deze informatie is belangrijk bij het afwegen van saneringsopties en ook voor het monitoringsprogramma. Ten gevolge van de dichte bebouwing is de bodemverontreiniging moeilijk te onderzoeken en zijn de saneringsmogelijkheden beperkt. In het kader van dit onderzoek wordt onderzocht hoe secundair kan worden afgeleid wat de aard van de onbereikbare kern is.

Tijdens dit onderzoek is bestaande informatie aangevuld met analyse van het grondwater ter plaatse van bestaande en nieuwe peilbuizen, MIP-sonderingen en onderzoek naar de grondwaterstroming op basis van meetdata en modelberekeningen.

Uit het onderzoek blijkt dat sprake is van meerdere bronnen en (overlappende) pluimen. In tegenstelling tot de aanname in het saneringsplan, is puur product aanwezig op de locatie. Er zal nog (tientallen) jaren nalevering plaatsvinden naar het grondwater. Aan de hand van de verontreinigingssituatie, afbraak en kennis over de verspreidingsrichting is berekend tot waar de verontreiniging vermoedelijk voorkomt in concentraties boven de interventiewaarde. Op basis van de nieuwe kennis over de onderzoekslocatie zijn aanbevelingen gedaan ten aanzien van saneringsmogelijkheden en aanpassing van de lopende monitoring.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2010	Suzanne van der Meulen		Nanne Hoekstra		Hans Gehrels	
		Johan Valstar					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding 1
1.1 Aanleiding 1
1.2 Doel van deze HIP-pilot 2

2 Aanpak 3
2.1 Aandachtspunten naar aanleiding van voorgaand onderzoek en het saneringsplan 3
2.2 Uitgevoerde werkzaamheden 4
2.2.1 Hydrologisch model 4
2.2.2 MIP 5
2.2.3 Bodemluchtmetingen 5
2.2.4 Monitoringspeilbuizen 6
2.2.5 Verwerking gegevens 6

3 Resultaten 8
3.1 Locatie 8
3.2 Bodemopbouw en grondwaterstroming 9
3.2.1 Bodemopbouw en geohydrologie 9
3.2.2 Grondwaterstroming 10
3.3 Verontreinigingsbeeld 12
3.3.1 Grond 12
3.3.2 Grondwater monitoring 13
3.3.3 MIP 16
3.3.4 Bodemluchtmetingen 18
3.4 Natuurlijke afbraak 18
3.4.1 Dechlorering 18
3.4.2 Bacteriën 19
3.4.3 Redoxparameters 20
3.4.4 Elektronenbalans 20
3.4.5 Nutriënten 20
3.5 Afbraaksnelheid en verspreiding 23
3.6 Andere verontreinigingen 25

4 Discussie: bronnen, pluimen en verspreiding 27
4.1 Algemeen beeld 27
4.2 Straat W 27
4.3 Straat O 29

5 Conclusies en aanbevelingen 30
5.1 Conclusies 30
5.1.1 Conclusies projectgerelateerde kennisvragen (vragen aangaande de onderzoekslocatie) 30
5.1.2 Generieke kennisvragen 31
5.2 Aanbevelingen voor de Milieudienst 32

6 Geraadpleegde bronnen 34

Bijlagen

A	Bijlage Analyseresultaten	A-1
B	Bijlage Gegevens peilbuizen	B-1
C	Bijlage Overzichtstekening	C-3
D	Bijlage Profielen op basis van voorgaand onderzoek en boorstaten 201-207	D-5
E	Bijlage Rapport MIP-sonderingen	E-1
F	Bijlage Voorstel aanpassing monitoringsplan	F-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ten gevolge van de bedrijfswerkzaamheden van een voormalige chemische wasserij (vanaf 1953 tot heden) aan 'straat W'(est) 128 is een bodemverontreiniging met vluchtige organische chloorkoolwaterstoffen (VOCl) ontstaan[1]. Vanwege de dichte bebouwing is de bodemverontreiniging moeilijk te onderzoeken en zijn de saneringsmogelijkheden beperkt.

De pilotlocatie betreft een locatie in de binnenstad. De bron van de bodemverontreiniging bevindt zich binnen het blok dat wordt ingesloten door 'Straat W'(nummers 122 t/m 140), 'Steeg N'(oord), 'Straat O'(oost) (nummers 12 t/m 19) en 'Steeg Z'(uid). De bebouwing bestaat uit woningen en winkelpanden. De locatie, geheel bebouwd en verhard, heeft een oppervlakte van circa 3.000 m^2.

Op twee uiteenliggende locaties is tetrachlooretheen (PER) in de grond aangetroffen (Straat W en Straat O) wat duidt op meerdere bronlocaties. De verontreiniging heeft zich verspreid vanuit de deklaag tot aan de basis van het 1e watervoerend pakket op 56 m –maaiveld (mv) en bestaat momenteel hoofdzakelijk in de vorm van de afbraakproducten cis 1,2-dichchlooretheen (CIS) en vinylchloride (VC). Milieudienst West-Holland (info: Kor van Hateren) heeft op basis van voorgaande onderzoeken en maatregelen ten aanzien van waterleidingen vastgesteld dat momenteel geen sprake is van humane risico's.

In opdracht van de Milieudienst West-Holland is door Bioclear een (concept) saneringsplan voor de locatie opgesteld[1]. Hiertoe is de natuurlijke afbraakpotentie in kaart gebracht, welke gunstig bleek te zijn voor de afbraak van VOCl. Vervolgens is een afweging gemaakt van mogelijk toepasbare saneringstechnieken. Als voorkeursvariant is gestimuleerde biologische afbraak voorgesteld waarbij gedurende 5 jaar elektronendonor wordt toegediend met als doelstelling het bereiken van een stabiele eindsituatie binnen 30 jaar. Uitgangspunt dat hierbij gehanteerd werd is dat er geen sprake is van een kern met puur product en hoge concentraties VOCl. Om nader inzicht te krijgen in de verontreinigingssituatie, verspreidingssnelheid van de verontreiniging en voortgang van de natuurlijke afbraak op de locatie is er voor gekozen om de verontreiniging gedurende een periode van 5 jaar te monitoren. Op basis van de resultaten van deze monitoring wordt dan vervolgens besloten of de sanering conform het opgestelde saneringsplan uitgevoerd kan worden.

Milieudienst West-Holland heeft naast de (sinds 2008) lopende monitoring en diverse voorgaande onderzoeken behoefte aan aanvullend onderzoek naar de aard en de omvang van de verontreiniging, de ligging van de bronlocatie(s) en de verspreidingsroutes van de verontreinigingen. Het conceptuele model van de verontreiniging is door diverse oorzaken onvoldoende uitgewerkt. De milieudienst heeft daarom aan Deltares (voorheen TNO) opdracht gegeven voor de uitvoering van aanvullend onderzoek. De Milieudienst heeft toestemming gegeven voor het beschikbaar maken van de resultaten in het kader van het Holland In situ Proeftuin (HIP) programma. Dit programma heeft als doel het optimaliseren en demonstreren van in situ saneringstechnieken. De ervaringen die tijdens verschillende zogenaamde HIP-pilots worden opgedaan worden beschikbaar gemaakt via de website www.soilection.nl.

1. *Nummers verwijzen naar de lijst met geraadpleegde bronnen in Hoofdstuk 6.*

1.2 Doel van deze HIP-pilot

Het doel van de pilot is het complementeren van het conceptuele model van de bodemverontreiniging. Hiermee worden de aanwezige bronnen en bijbehorende pluimen nader onderscheiden en kan de verwachte verspreiding berekend worden.

Door Milieudienst West Holland zijn de volgende kennisvragen voorgesteld:
Hoe kan secundair worden afgeleid wat de aard van de onbereikbare kern is? en
Hoeveel vracht bevindt zich in de kern of kernen en in welke mate vindt nalevering uit de kern plaats?

Er worden generieke kennisvragen en projectgerelateerde kennisvragen onderscheiden.

Te beantwoorden generieke kennisvragen:

- Kunnen bronnen van mobiele bodemverontreiniging met geohydrologische modellering onderscheiden worden?
- Wat is de waarde van geohydrologische modellering voor het opstellen van een conceptueel model van een mobiele bodemverontreiniging?
- Welke informatie is nodig voor het opstellen van een conceptueel model op basis waarvan een goede afweging gemaakt kan worden van doelmatige saneringsvarianten?

Te beantwoorden projectgerelateerde kennisvragen:

- Kan aangegeven worden waar de bronnen van de mobiele bodemverontreiniging zich op de pilotlocatie bevinden?

Kan aangegeven worden hoeveel verontreiniging in de bron aanwezig is; kan aangegeven worden wat de vracht is die nalevert vanuit het brongebied (verspreiding)?

2 Aanpak

2.1 Aandachtspunten naar aanleiding van voorgaand onderzoek en het saneringsplan

Na bestudering van de beschikbaar gestelde gegevens (zie H6, Geraadpleegde bronnen) wordt het volgende opgemerkt:

- In de grond in de deklaag is op twee afzonderlijke locaties (ca. 30 m uit elkaar) PER aangetroffen. Dit zou kunnen wijzen op twee gescheiden bronlocaties. Onduidelijk is wat de relatie is van de grondverontreiniging nabij Straat O met de bronzone bij de chemische wasserij aan Straat W, nummer 128.
- Het saneringplan gaat uit van de afwezigheid van puur product. De monitoringsgegevens duiden echter op de waarschijnlijke aanwezigheid van puur product ter plaatse van de chemische wasserij[2] (dit is ook door BioSoil aangegeven in een second opinion op het saneringsplan[3]). Deze kern is niet goed in beeld gebracht, wat door de bebouwing ook bemoeilijkt wordt. De diepe peilbuis (130) lijkt bovenstrooms van de verontreiniging geplaatst te zijn.
- De verontreiniging in het 1e watervoerend pakket wordt als één aaneengesloten pluim beschouwd. Het is echter niet waarschijnlijk dat de verontreiniging ter plaatse van peilbuis BC01 (overzijde van de Gracht) behoort tot de pluim. Mogelijk is sprake van meerdere bronlocaties met overlappende pluimen, bijvoorbeeld: bron-1 Straat W 128, bron-2 Straat O, bron-3 bovenstrooms van peilbuis BC01. Aanvullend onderzoek naar de verontreinigingssituatie en betere vaststelling van de geohydrologie (grondwaterstromingsrichting en verspreidingsroutes) kan hierover uitsluitsel geven.

Geconcludeerd wordt dat het conceptueel model van het verontreinigingsgeval onvolledig is. Voor het opstellen van een conceptueel model is kennis nodig over:

- Locatie (gebruik, inrichting, omgeving)
- Bodemopbouw, grondwaterstroming
- Verontreiniging (aard en omvang, ontstaanswijze, locatie en ruimtelijke variatie)
- (potentiële en actuele) verspreiding verontreiniging.

Ten behoeve van het onderzoeken van saneringsopties is per af te wegen techniek kennis over specifieke kenmerken van de bodem en de locatie-inrichting noodzakelijk.

Om de kennisvragen te beantwoorden wordt door middel van aanvullend onderzoek het conceptueel model gecomplementeerd.

In bijlage A zijn monitoringsdata van de verontreiniging uit voorgaande onderzoeken en het huidige onderzoek samengebracht in één tabel.

Bronnen

De 'bron' van een verontreiniging kan verwijzen naar:
- de oorspronkelijke bron, de oorzaak van de bodemverontreiniging (bv. lozing of lekkage)
- puur product dat door oplossing als bron van grondwaterverontreiniging (de pluim) aanwezig is; deze bron kan aanwezig zijn in de bodem terwijl de oorspronkelijke bron verwijderd is.

Vaak verwijst de term 'bronzone' naar de zone waar de verontreiniging in hoge concentraties aanwezig is en/of waar puur product aanwezig is.

2.2 Uitgevoerde werkzaamheden

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd en op basis van de eerste onderzoeksresultaten (op basis van bestudering bestaande data en grondwatermodel) is besloten om eerst MIP sonderingen uit te voeren om meer inzicht te krijgen in de vermoedelijke bron (puur product) van de verontreiniging. Naar aanleiding van de resultaten van de MIP-sondering en de analyseresultaten uit voorgaande onderzoeken zijn peilbuizen geplaatst in Steeg Z, en zijn bodemluchtmetingen uitgevoerd. Na plaatsing van de peilbuizen (op 1, 2 en 6 april 2010) is het grondwater van 37 bestaande en nieuwe peilbuizen bemonsterd (13 t/m 16 april 2010) en in het laboratorium van ALcontrol Laboratories geanalyseerd op het volgende analysepakket: VOCl[#2], etheen, ethaan, methaan, DOC, sulfaat, nitraat, ammonium, orthofosfaat. In het veld zijn de volgende parameters in het grondwater bepaald: pH, EC, zuurstof, redox potentiaal en temperatuur. Als gevolg van een gebrek aan toestromend grondwater zijn een aantal veldmetingen niet ter plaatse van alle peilbuizen uitgevoerd.

In de volgende subparagrafen wordt uitgebreider ingegaan op de werkzaamheden en de toegepaste methodes.

2.2.1 Hydrologisch model

Inzicht in de grondwaterstroming is van belang voor het onderzoeken van mogelijke verspreidingspaden van de grondwaterverontreiniging.

Gezien de onzekerheid in de benodigde modelparameters, zoals de ruimtelijke variatie van de deklaag, de exacte richting van de achtergrondstroming in het watervoerende pakket, de hoeveelheid en ruimtelijke verdeling van de grondwateraanvulling en de mate van infiltrerende werking vanuit de oppervlaktewateren is besloten om een eenvoudig numeriek model te bouwen.

In het model zijn drie lagen aangebracht, zoals weergegeven in tabel 2.1. De diepte van de onderkant van de deklaag in de boorstaten varieert tussen NAP -0.1 m en NAP -4m. Uit de boorstaten kan geen duidelijk verloop van de ligging van de onderkant van de deklaag worden afgeleid. Daarom is gekozen om voor de onderkant van de deklaag in het model een diepte van NAP-2m aan te houden voor het gehele modelgebied. Zodra modelresultaten teruggekoppeld worden naar het veld dient met deze vereenvoudiging rekening te worden

[#] *1,2-dichlooretheen, cis 1,2-dichlooretheen, 1,2-dichlooretheen, trans-1,2-dichlooretheen, 1,2-dichloorpropaan, tetrachloorteheen, tetrachloormethaan, 1,1,1-trichloorehtaan, 1,1,2-trichloorethaan, trichlooretheen, chloroform, vinylchloride.*

gehouden. Bijvoorbeeld bij het plaatsen van peilbuisfilters onder de deklaag op basis van stroombaanberekeningen wordt de afstand tot de onderkant van de deklaag aangehouden en niet de NAP waarde.

Tabel 2.1 Laagindeling grondwatermodel

Laag	Diepte	Horizontale doorlatendheid (m/dag)	Verticale doorlatendheid (m/dag)
Deklaag	Freatisch tot NAP -2m	0.01	0.001
Watervoerend pakket Ia	NAP -2m tot NAP -22m	15	5
Watervoerend pakket 1b	NAP -22m tot NAP -50 m	15	5

Het model bestaat uit 100 bij 100 modelcellen van 5 m bij 5 m; waarbij het midden ongeveer op de onderzoekslocatie ligt.

De Gracht en een gracht in de buurt zijn in het model opgenomen in zowel de eerste als de tweede modellaag met een weerstand van 100 dagen.

In beide modellagen van het watervoerende pakket zijn constante stijghoogten als randvoorwaarden opgenomen. Deze heeft een waarde van NAP -1m35 in de noordwesthoek van het model en neemt in oost zuidoostelijk richting af met een gradiënt van 0.00025.

De grondwateraanvulling is gekozen op 0.1 mm/dag.

Uit informatie van de milieudienst (Kor van Hateren) blijkt dat er geen onttrekkingen van invloed zijn op het onderzoeksgebied.

Geraadpleegde bronnen:
- Polderbesluit Boezem Rijnland, Hoogheemraadschap Rijnland
- REGIS databank
- TNO Grondwaterkaart
- Stijghoogtemetingen 2001
- Boorstaten.

2.2.2 MIP

MIP-sonderingen worden ingezet als screeningstechniek; er worden geen absolute concentraties gemeten. De metingen kunnen wel een indicatie geven voor de aanwezigheid van verschillende relatieve concentraties aan verontreiniging en de aanwezigheid van puur product.
De MIP(Membrane Interface Probe)-sonderingen zijn op 15 en 16 september 2010 uitgevoerd door Fugro. In het MIP-systeem worden met behulp van de Flame Ionisation Detector (FID), Photo Ionisation Detector (PID) en Dry Electrolytic Conductivity Detector (DELCD) respectievelijk koolwaterstofverbindingen (FID), chloorethenen en aromaten (PID) en specifiek chloorhoudende koolwaterstoffen (DELCD) aangetoond. Tevens wordt met de MIP een beeld verkregen van de bodemopbouw (op basis van conusweerstand, wrijvingsweerstand en wrijvingsgetal).

2.2.3 Bodemluchtmetingen

Deze methode is ingezet als aanvullende screeningsmethode. Indien hoge waardes in de gasfase worden aangetroffen kan dit een aanwijzing zijn voor de aanwezigheid van verhoogde concentraties VOCl in de bodem. Tijdens het bodemgasonderzoek worden gaten

in de vloer geboord (circa 1,5 cm doorsnede), waarin een pvc-buis wordt geplaatst. De pvc-buis is verbonden met een siliconenslang waaraan een Photo Ionisation Detector (PID) is gekoppeld. Deze PID-meter geeft een indicatie van de hoeveelheid vluchtige organische stoffen in de gasfase. Zo kan op relatief eenvoudige wijze en met zo min mogelijk verstoring van de locatie het zoekgebied voor de locatie van het brongebied verkleind worden. Op basis van de bestaande informatie over de vermoedelijke locatie van de bronzone is ervoor gekozen om metingen uit te voeren ter plaatse van de panden ten noordwesten van de lijn Straat W 132-Straat O 16/17. Tijdens een locatiebezoek en de werkzaamheden is gebleken dat het aantal mogelijke plaatsen waar onderzoek gedaan kan worden zeer beperkt is. Dit is het gevolg van de inrichting en het gebruik van de panden. Daarnaast heeft een aantal eigenaren en/of gebruikers geen toestemming gegeven voor het uitvoeren van werkzaamheden.

2.2.4 Monitoringspeilbuizen

In bijlage B wordt een overzicht gegeven van de peilbuizen waarin in het kader van de pilot grondwater is bemonsterd en geanalyseerd. In bijlage C wordt de ligging van de peilbuizen weergegeven. Peilbuizen 201 t/m 207 zijn op 1, 2 en 6 april 2010 geplaatst in het kader van dit onderzoek. De overige buizen waren reeds bestaande peilbuizen.
De nieuwe peilbuizen zijn geplaatst om meer zekerheid te krijgen over verspreiding via het eerste watervoerende pakket. Op basis van de grondwatermodellering wordt namelijk verwacht dat verontreiniging vooral vlak onder de deklaag door zal worden verplaatst. De filters zijn direct onder de deklaag geplaatst op twee dieptes: 0-1 m beneden de onderzijde van de deklaag en 1-2 m beneden de onderzijde van de deklaag.

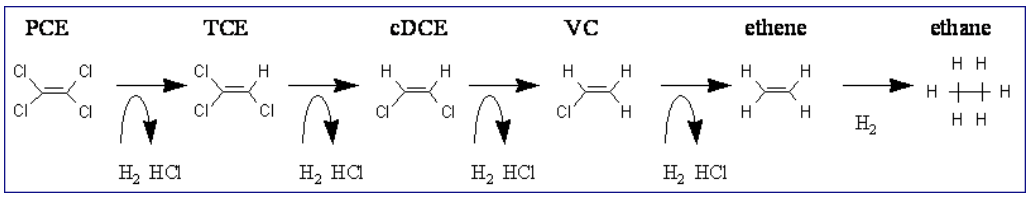
2.2.5 Verwerking gegevens

Om inzicht te krijgen in de reductieve dechlorering van de verontreiniging (paragraaf 3.5) is gekeken naar de verhouding tussen uitgangsproducten (in dit geval waarschijnlijk zowel PER als TRI) en afbraakproducten (TRI, som-DCE en VC, etheen, ethaan).

Redoxparameters geven inzicht in de omstandigheden voor reductieve dechlorering. Voor volledige reductieve dechlorering dienen nitraat, ijzer^{III} en zuurstof (bijna) afwezig te zijn omdat deze concurreren met de verontreiniging als electronenacceptor. De belangrijkste electronenacceptoren in grondwater zijn zuurstof, nitraat en sulfaat. Zuurstof en nitraat worden sneller gereduceerd dan sulfaat en VOCl. De reductie van sulfaat, PER en TRI kan gelijktijdig plaatsvinden. Voor volledige afbraak, via (o.a. cis-) dichlooretheen en VC, naar etheen en ethaan zijn methanogene omstandigheden nodig.

Reductieve dechlorering

De volledige biologische omzetting van VOCl's onder anaerobe condities verloopt volgens een afbraakroute met als eindproducten etheen en/of ethaan. Deze afbraakroute verloopt volgens het mechanisme van de reductieve dechlorering, via de stapsgewijze vervanging van de chloride atomen door waterstofatomen. De anaerobe afbraakroute van PER wordt hieronder weergegeven.



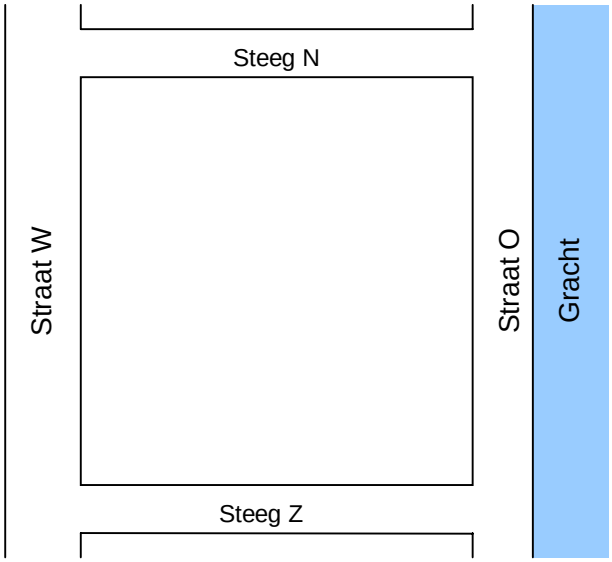
De afbraak van tertrachlooretheen (PER) verloopt via trichlooretheen (TRI), cis-1,2-dichlooretheen (CIS of cis-DCE), vinylchloride (VC) naar etheen en soms verder naar ethaan. De reductieve dechlorering van PER en TRI (hoger gechloreerde verbindingen) verloopt met relatief hoge snelheden en kan plaatsvinden onder ijzerreducerende, sulfaatreducerende en methanogene condities. De hoogste afbraaksnelheid wordt onder methanogene omstandigheden gevonden. Op een aantal locaties vindt er een ophoping van CIS en VC plaats tijdens de anaerobe afbraak van PER. Dit komt doordat de dechlorering van CIS en VC tot etheen en/of ethaan onder striktere voorwaarden verloopt; volledige afbraak is alleen mogelijk onder methanogene condities.

De aanwezigheid en beschikbaarheid van nutriënten is van belang voor de bacteriën. Omdat stikstof (N) en fosfor (P) de belangrijkste beperkende nutriënten zijn, zijn deze geanalyseerd in het grondwater. Wij hanteren als gewenste verhouding tussen koolstof, stikstof en fosfor (C:N:P) 1 : 0.2 : 0.02. Deze verhouding is gebaseerd op celopbouw van bacteriën (niet specifiek voor dechloreerders).

3 Resultaten

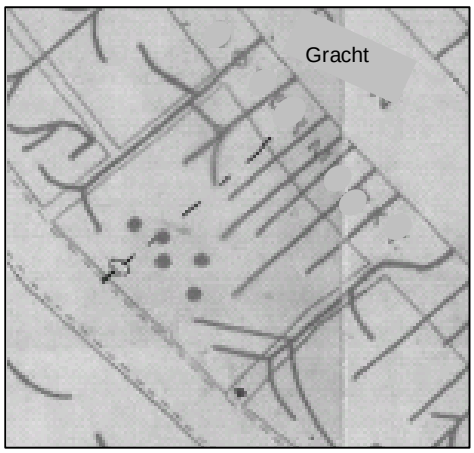
3.1 Locatie

De onderzoekslocatie is gelegen in de historische binnenstad. De onderzoekslocatie betreft het gebied tussen Straat O, Straat W, Steeg N, Steeg Z en een gracht (figuur 3.1). De locatie, geheel bebouwd en verhard, heeft een oppervlakte van circa 3.000 m^2. Ten gevolge van de dichte bebouwing is de bodemverontreiniging moeilijk te onderzoeken en zijn de saneringsmogelijkheden beperkt. De bebouwing bestaat uit woningen en winkelpanden.



Figuur 3.1 De onderzoekslocatie is gelegen in het centrum van de stad.

In figuur 3.2 is een detail van een schets uit circa 1860 met informatie over de riolering opgenomen. De stippellijn geeft de middenlijn van Straat W 128 richting Straat O 15 aan. Als gevolg van een brand in het gemeentearchief in 1992 zijn geen oorspronkelijke rioleringskaarten meer beschikbaar[5]. Tauw heeft in het nader onderzoek[5] in 2002 gegevens uit het rioleringsarchief bestudeerd. Hieruit blijkt dat in het verleden afvalwater van Straat W 128 via Straat O 14 op de gracht werd geloosd. In het rapport wordt niet vermeld in welke periode deze situatie gold. In 1977 is een gesloten riolering aangelegd. De woningen aan de Straat W hebben een huisaansluiting die is verbonden met de riolering in de Straat w. Het is niet bekend of het achterste deel van de riolering van Straat W 128 hierop is aangesloten. Mogelijk is deze nog steeds aangesloten op de riolering bij Straat O 14 of 15. Er is geen andere rioolverbinding bekend vanuit Straat W 128 met panden aan de Straat O. De panden aan de Straat O zijn aangesloten op de riolering evenwijdig aan de gracht. Aangezien er vanuit Straat W 128 in ieder geval tot 1977 een rioolverbinding vanuit Straat W 128 richting de Straat O heeft bestaan, is verspreiding van de verontreiniging met PER en/of TRI via lekkage in de riolering niet uit te sluiten.



Figuur 3.2 De globale ligging van de riolering (dikke lijnen) en beerputten (stippen) omstreeks 1860. De middenas van Straat W 128 is aangegeven met een stippellijn.

Halverwege het pand is volgens de Hinderwetvergunning van 1953 een opslagtank voor water en TRI aanwezig geweest[3]. In 1959 is volgens een uitbreiding/wijziging op de vergunning TRI vervangen door PER[5]. PER werd opgeslagen in vaten (totale voorraad 500 l) op een andere plaats dan de voormalige opslag voor TRI. In 1960 is uitbreiding/wijziging aangevraagd voor 300 kg PER op de locatie. In 1975 wordt vergunning verleend voor de opslag van maximaal 250 l PER in een vat.

3.2 Bodemopbouw en grondwaterstroming

3.2.1 Bodemopbouw en geohydrologie

Het maaiveld vertoont een duidelijke gradiënt ter plaatse van het onderzoeksgebied. In Straat W ligt het maaiveld in het noorden op ongeveer NAP + 2.9 m en dit loopt af naar NAP +0.4 m ter plaatste van Straat O[5]. In Straat W loopt het maaiveld van NAP + 2.9 m (peilbuis 146) naar NAP + 2.2 m (peilbuis 147). De onderzijde van de deklaag bevindt zich ook niet overal op gelijke NAP-hoogte. Puur product kan zich in de bodem heterogeen verspreiden door absorptie en afglijden over schuine lagen.

Voor de panden bestaat in ieder geval de eerste meter uit zand. De globale bodemopbouw wordt beschreven in tabel 3.1. Enkele profielen, gebaseerd op boorstaten uit voorgaande onderzoeken, en de boorstaten van de boringen in Steeg Z worden weergegeven in Bijlage D.

Tabel 3.1 Globale bodemopbouw

Diepte (m t.o.v. NAP)	Pakket	Beschrijving
Circa +1 tot -4 (maaiveldhoogte varieert op de onderzoekslocatie zelf van circa 0,3 tot 2.9 + NAP)	Deklaag (overwegend klei/veen)	Vanaf het maaiveld is een zandlaag aanwezig die varieert in dikte van 0.30 m tot 2.50 m en heeft in de meeste boorstaten een dikte van ongeveer 1 m. Deze zandige laag ligt altijd boven de gemeten grondwaterstand en is dus onverzadigd. Onder de zandige laag is in de boorstaten altijd klei aangetroffen en in sommige boorstaten wordt er ook veen aangetroffen boven de kleilaag. De onderzijde van deze laag varieert sterk tussen de NAP -0.10m en NAP -4.0m en wordt gemiddeld op ongeveer NAP -2m aangetroffen. De freatische grondwaterstand wordt vrijwel altijd in deze laag aangetroffen.
Circa -4 tot -50	Eerste watervoerend pakket (zand)	Onder de dunne deklaag ligt een dik watervoerend pakket. Volgens de schematisatie van REGIS loopt dit pakket tot ongeveer NAP -50 m en heeft het een doorlatendheid van 15 m/dag. In rapportages wordt vaak onderscheid gemaakt tussen het bovenste en onderste deel van het watervoerende pakket, waarbij het bovenste deel (ongeveer 20 m) fijnzandiger zou zijn. Dit verschil blijkt ook uit de diepe MIP-sondering die in het kader van deze HIP-pilot is uitgevoerd.
Circa -50 tot -60	Scheidende laag	Onder het eerste watervoerende pakket bevindt zich regionaal een dunne (1 m) scheidende laag van slibhoudend fijn zand en klei.
Tot circa -140	Tweede watervoerende pakket	De geohydrologische basis bevindt zich op een diepte van circa 140 m – NAP.

3.2.2 Grondwaterstroming

Uit de TNO grondwaterkaart blijkt dat de regionale stroming in het watervoerende pakket oostzuidoost is met een verhang van ongeveer 0.00025. Op regionale schaal stroomt het grondwater van de duinen naar de dieper gelegen polders in het Groene Hart. Nabij de locatie liggen een tweetal grachten. Beide wateren zijn boezemwateren met een zomerpeil van NAP -0.59 en een winterpeil van NAP-0.62m (bron: Polderbesluit Boezem Rijnland, Hoogheemraadschap Rijnland).

Het gebied kenmerkt zich door een hoge bebouwingsgraad. Tussen de panden aan Straat W en Straat O bevinden zich geen tuinen. Grondwateraanvulling zal daarom maar in beperkte mate optreden tussen de tegels van straten en steegjes en eventueel uit lekkages van leidingen en/of rioleringen. Gezien de stijghoogtemetingen uit de volgende alinea valt er wel te concluderen dat er aanvulling van het grondwater zal zijn.

De stijghoogten in de deklaag gemeten in 2001[5] variëren van NAP 0.0 m tot NAP -1.4. Uit de gemeten stijghoogten valt geen duidelijk horizontale gradiënt af te leiden. Wel zijn de stijghoogten in de deklaag hoger dan diepere watervoerende pakketten en vertonen geen enkele relatie met de afstand tot de oppervlaktewateren. Hieruit kan worden afgeleid dat de infiltrerende werking van de oppervlaktewateren in de deklaag zeer beperkt is en dat er grondwateraanvulling op moet treden. Uit de stijghoogtemetingen in het watervoerende pakket blijkt dat de verschillen

in stijghoogten over de locatie zeer beperkt zijn (enige centimeters), waaruit ook geen duidelijke stromingsrichting valt af te leiden.

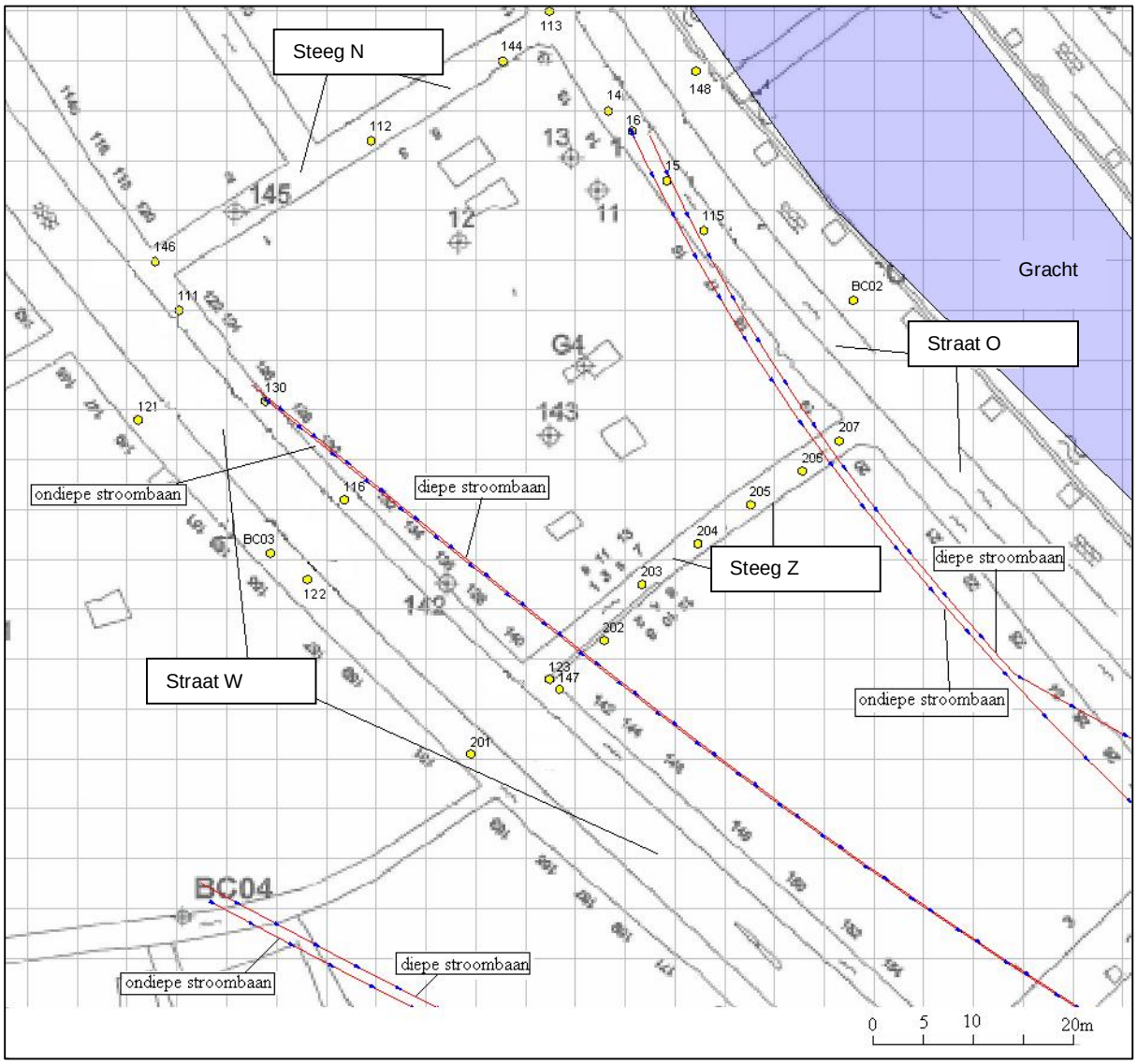
De grondwaterstroming ter plaatse van de verontreiniginglocaties is hoofdzakelijk verticaal door de deklaag en zal daarna in het watervoerende pakket in oostzuidoostelijke richting stromen. Wellicht is er in dit pakket wel een infiltrerende werking van de gracht en zullen de stroombanen wat meer zuidelijk stromen. De grondwateraanvulling ter plaatse heeft mogelijk wat locale variaties (infiltratie van regenwater bij de straten en / of lekkende riolen/leidingen). Eventueel is het mogelijk dat water dat lokaal infiltreert via bijvoorbeeld een grindkoffer van een riolering toch enige horizontale stroming in de deklaag vertoont.

Voorafgaand aan dit onderzoek was er de hypothese dat de VOCL-verontreiniging van de bron bij Straat W 128 met het grondwater in het watervoerende pakket naar Straat O en zelfs onder de gracht door zou stromen. Gezien de hydrologische omstandigheden is dat niet mogelijk. Wel zou het kunnen dat de bronzone bij Straat O oorspronkelijk als puur product op het terrein van Straat W 128 is ontstaan en zich als puur product op of in de deklaag, bijvoorbeeld via een grindkoffer van de riolering, heeft verplaatst tot onder het pand aan Straat O.

Vanaf drie verschillende locaties - peilbuis 130, 16 en BC04 - zijn vanaf 2 diepten (grondwaterstand en NAP -14m) stroombanen berekend. Deze zijn weergegeven in figuur 3.3. De diepere stroombanen beginnen steeds in het midden van de modelcel. Wat in de figuur opvalt, is dat de stroombanen exact dezelfde richting hebben, behalve bij Straat O. In de zuidoosthoek van de figuur is te zien dat de stroombanen divergeren. Dat komt omdat de diepere stroombaan de derde modellaag bereikt en daarin de infiltrerende werking van de gracht minder is. De pijlen staan steeds voor een reistijd (van grondwater) van 1 jaar. Hieruit blijkt dat het grondwater na ongeveer 1 jaar door de deklaag heen stroomt en daarna ongeveer 5 m per jaar verplaatst.

De verplaatsingsnelheid voor CIS en VC zal langzamer zijn door adsorptie aan organische stof. Bij een aanname van organisch stofgehalte in deklaag van 5% en van 0,2% in het watervoerende pakket zal voor CIS de retardatiefactor voor beide pakketten 12 respectievelijk 1,44 zijn. Voor VC zijn deze waarden respectievelijk 6 en 1,2.

De resultaten van de stroombaanberekeningen zijn met name gevoelig voor de richting van de achtergrondstroming en de infiltrerende werking van de gracht, die de lokale stromingsrichting wat in zuidelijke richting duwt.



Figuur 3.3 *Stroombanen vanaf drie peilbuizen op twee diepten (afstand tussen blauwe pijlen is de afstand die het grondwater in 1 jaar aflegt).*

3.3 Verontreinigingsbeeld

3.3.1 Grond

Er is volgens voorgaand bodemonderzoek in ieder geval ter plaatse van Straat W 126-128 in de bovenste zandlaag (op circa 1 m –mv) sprake van een grondverontreiniging met PER, TRI, DCE en in sommige monsters VC[5,6] (respectievelijk maximaal 3,9; 0,2; 13 en 19 mg/kg). Bij een boring in het pand van nummer 130, tegen nummer 128 aan is op 0,5-0,7 m –mv een laag gehalte (0,07 mg/kg) PER aangetoond[7]. Ook op circa 6 m –mv is VOCl aangetroffen in de grondmonsters (PER 3,2 mg/kg, TRI 1,7 mg/kg, Cis 1,6 mg/kg, VC 0,34 mg/kg)[5]. Ter plaatse van nummer 130 zijn PER en TRI aangetoond (minder dan 1 mg/kg)[6].

Voor de panden van Straat O 13-15 is in de bovenste zandlaag PER aangetoond[6]. Bij nummer 15 zijn ook TRI en DCE aangetroffen. Op 2,5-3,0 m –mv zijn Cis en VC aangetoond

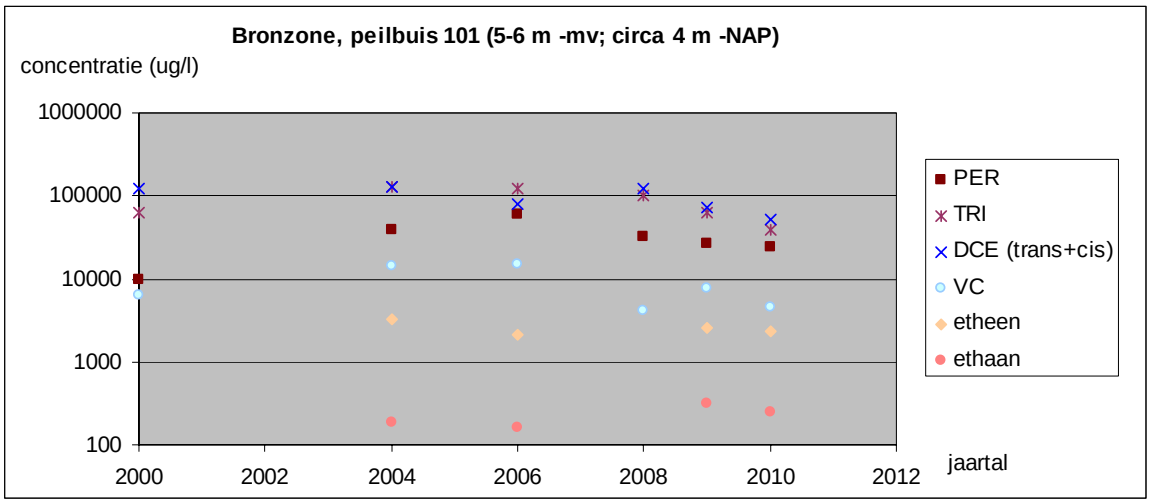
(respectievelijk 190 en 33 mg/kg)[5]. Ten zuidoosten en oosten van nummer 15 is geen verontreiniging met VOCl aangetoond[8]. Ook in Steeg N is geen verontreiniging aangetoond in het traject 0,5 tot 1,7 m –mv[7,8].

3.3.2 Grondwater monitoring

Verspreiding van de verontreiniging in grondwater van Straat W naar Straat O is hydrologisch gezien niet mogelijk. Dit feit, in combinatie met de aanwezigheid van verontreiniging in grond in beide straten duidt op de aanwezigheid van meerdere huidige bronnen van puur product. In onderstaande paragrafen wordt de verontreinigingssituatie daarom beschreven voor drie deellocaties:
Straat w, Straat O en het overige deel van de locatie. De resultaten worden besproken per geohydrologische eenheid (bv. deklaag of bovenste/onderste deel eerste watervoerende pakket). De locatie van de peilbuizen is weergegeven in figuur 3.3 en bijlage C.

3.3.2.1 Stroombaan Straat W

<u>Overgang deklaag-1e watervoerende pakket (circa 5 tot 6 m –mv)</u>
In bijlage A is een overzicht van monitoringsdata op de onderzoekslocatie opgenomen. Hieruit blijkt dat de hoogste concentraties PER en TRI zijn aangetoond net onder de deklaag, in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van peilbuis 101 (5-6 m –mv) bij Straat W 128 (wasserij). Ook DCE en VC zijn in hoge concentraties aanwezig. De concentraties PER, TRI, DCE en VC bedroegen tijdens de laatste monitoringsronde in 2010 respectievelijk 24.000, 39.000, 52.000 en 4600 µg/l. Het totaal (op molbasis) van de som PER+TRI+DCE+VC is na 2004 gedaald (figuur 3.4). Deze dalende trend in de concentratie is als gevolg van de vorming en afbraak van afbraakproducten niet continue voor alle componenten.



Figuur 3.4 VOCl-concentratie in de bronzone net onder de deklaag, in het eerste watervoerende pakket

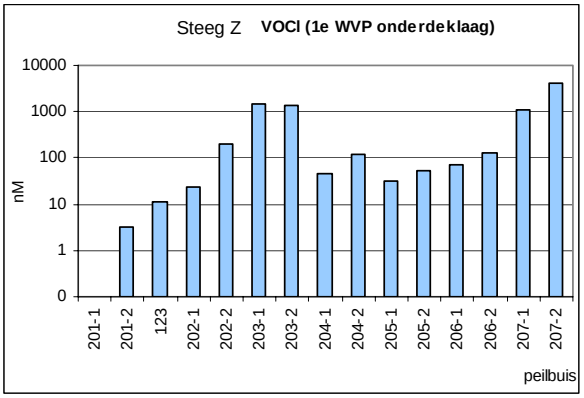
Aan de overzijde van Straat W, ter hoogte van nr 130-136, is op de overgang van de deklaag naar het eerste watervoerende pakket een verontreiniging met DCE en VC aangetoond in pb BC03-1 (3,4 tot 4,5 m –mv) en net onder de deklaag (pb 122; 5-6 m -mv). Er is, met uitzondering van de laatste meting (0,13 µg/l PER bij pb BC03-1), geen PER of TRI aangetoond. De concentraties som-DCE en VC zijn lager dan bij Straat W 128 en vertonen bij pb BC03-1 in de periode 2004-2010 een dalende trend; in april 2010 bedroegen de concentraties som-DCE en VC respectievelijk 23 µg/l en 400 µg/l. Bij pb 122 in het eerste watervoerende pakket zijn tussen de twee metingen van 2000 en 2010 de concentraties som-DCE en VC juist toegenomen tot 61

µg/l en 1100 µg/l. Stroomopwaarts, bij peilbuis 121 (deklaag), werden in 2000 lage concentraties (enkele µg/l) PER, TRI, DCE en VC gemeten; in 2010 worden al deze componenten niet meer aangetoond. Ook bij peilbuis 111 (watervoerende pakket, net onder deklaag) is geen VOCl aangetoond.

In de 'oude' peilbuizen langs Straat W met filters direct onder de deklaag (116, 142 en 123) stroomafwaarts van peilbuis 101 worden lagere concentraties PER en TRI aangetoond dan bij 101; bij peilbuis 123 is de concentratie aan PER, TRI en VC lager dan de detectielimiet. De concentratie DCE bedraagt 1,1 µg/l. Op basis van de beperkte data in de tijd die beschikbaar zijn voor peilbuizen 116, 142 en 123 kan worden geconstateerd dat bij peilbuis 116 de verontreinigingsgraad verlaagd is en dat bij peilbuis 142 VC is toegenomen (overige componenten gedaald). Bij peilbuis 123 zijn DCE en CV toegenomen maar de concentraties zijn hier zo laag dat hier veel onzekerheid over de mogelijke trend bestaat.

Omdat de peilbuizen langs Straat W mogelijk niet in het centrum van de pluim liggen, zijn in 2010 haaks op de stoombaan van Straat W nieuwe peilbuizen geplaatst (201 t/m 207). Op basis van de modelberekening wordt verwacht dat peilbuizen 202 en 203 het dichtst bij het centrum van de pluim vanuit de wasserij liggen. Tijdens de monitoring in april 2010 bedragen hier de concentraties net onder de deklaag voor PER, som-DCE en VC in Steeg Z maximaal respectievelijk 0,41 µg/l (pb 202-1), 9 µg/l (pb 203-1) en 84 µg/l (pb203-1). TRI is niet aangetoond (lager dan detectielimiet). In figuur 3.5 zijn de totale concentraties VOCl op molbasis weergegeven. Hierin is te zien dat de lengteas van de pluim die is ontstaan bij de wasserij in Straat W zich waarschijnlijk bevindt rondom peilbuis 203.

Peilbuis	Filterdiepte (m-mv) van	tot	PER	TRI	som DCE	VC
			µg/l			
201-1	6,8	7,8	<0,2	<0,6	<0,1	<0,1
201-2	7,9	8,8	<0,1	<0,6	0,32	<0,1
123	5	6	<0,1	<0,6	1,1	<0,5
202-1	4,2	5,1	0,29	<0,6	0,69	0,9
202-2	5,3	6,2	0,41	<0,6	0,12	12
203-1	4,1	5,2	<0,1	<0,6	9,09	84
203-2	5,2	6,1	<0,1	<0,6	8,8	80
204-1	3,8	4,7	0,67	<0,6	1,73	1,5
204-2	4,9	5,8	0,29	<0,6	0,41	6,9
205-1	4	5,9	<0,1	<0,6	0,96	1,4
205-2	5,1	6	3,5	<0,6	0,94	1,4
206-1	5	5,9	<0,1	2	1,6	2,5
206-2	6,1	7	<0,1	2,8	2,43	5
207-1	5,8	6,7	<0,1	18	92	2
207-2	6,9	7,8	130	90	250	12



Figuur 3.5 In de tabel en de grafiek zijn de filters in Steeg Z in de top van het eerste watervoerende pakket (het traject van circa 0-2 m onder de deklaag) opgenomen. Alle data zijn afkomstig uit de monitoring van april 2010. De concentratie PER, TRI, som-DCE en VC in µg/l is in de tabel links opgenomen. In de grafiek rechts staan de totale concentraties VOCl op molbasis. Waardes beneden de detectielimiet zijn in de laatste berekening niet meegenomen.

Dieper in het eerste watervoerende pakket

Op circa 12-13 m –mv, in het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket, bevinden zich drie peilbuizen in de stroombaan: peilbuis 146 en 130 stroomopwaarts ten opzichte van de stomerij en peilbuis 147 stroomafwaarts van de bron bij de wasserij (zie bijlage C). Peilbuis 130 is het dichtst bij de vermoedelijke kern van de wasserij gelegen. De hoogste concentraties PER en TRI worden aangetoond bij peilbuis 146 (PER 11 µg/l, TRI 14 µg/l). De hoogste concentraties DCE en VC komen voor bij peilbuis 130 (som-DCE 255 µg/l, VC 670 µg/l); deze concentraties vertonen sinds 2001 een wisselende trend. De verontreiniging die is aangetoond bij peilbuis 146 kan mogelijk wijzen op enige instroom van verontreiniging van een stroomopwaarts gelegen bron

maar kan ook het gevolg zijn van dichtheidsstroming van puur product vanuit de wasserij. Bij BC03, aan de overzijde van Straat W worden op deze diepte lagere concentraties DCE en VC aangetoond dan direct onder de deklaag. Er wordt op 12-13 m –mv sinds 2006 geen PER en TRI aangetoond in het grondwater; de concentraties DCE en VC zijn gedaald tot in 2010 respectievelijk 0,32 en 2,7 µg/l. Ter hoogte van Steeg Z, bij peilbuis 147, bedragen de concentraties PER, TRI, DCE en VC na jarenlange afwezigheid in 2010 respectievelijk 5,2; 6,5; 7 en 0,87 µg/l.

In het onderste deel van het eerste watervoerende pakket, in het traject van circa 24 tot 28 m -mv, zijn de concentraties VOCl over het algemeen lager dan in het bovenste deel van het watervoerende pakket. Bij pb 146 wordt alleen VC aangetoond (maximaal 4,3 µg/l). De hoogste concentraties PER, TRI en DCE worden aangetoond bij peilbuis 130: 1,6 µg/l (PER), 0,3 µg/l (TRI), 52 µg/l (som-DCE). VC is het hoogst bij peilbuis BC03; hier zijn de concentraties DCE en VC gedaald tot respectievelijk 6,6 en 280 µg/l op 24-25 m –mv. PER en TRI komen hier niet voor. Net als op circa 12 m –mv werd bij peilbuis 147 op 23,5-24.5 m –mv jaren geen VOCl aangetoond; in 2010 bedragen DCE en VC respectievelijk 1,9 en 0,8 µg/l.

Bij peilbuis 130 zijn nog diepere filters aanwezig op circa 44,5 m –mv en 55,5 m –mv. PER en TRI zijn op deze dieptes niet aangetoond. Som-DCE en VC zijn op 44,5 m –mv hoger dan bij boven- en onderliggende filters en bedragen respectievelijk 103 en 79 µg/l. Na een toegenomen concentratie, lijken DCE en VC hier weer af te nemen. Onderin het watervoerende pakket, op circa 55.5 m –mv zijn deze componenten sinds 2001 gedaald tot 1,5 en 0,5 µg/l. De resultaten wijzen erop dat puur product tot diep in het watervoerende pakket is gezakt en daar een verontreiniging van het grondwater heeft veroorzaakt.

De peilbuizen 101 en 130 liggen dicht bij elkaar, maar peilbuis 130 is stroomopwaarts van peilbuis 101 geplaatst. Het is hierdoor heel goed mogelijk dat de maximale concentraties VOCl in het grondwater in het watervoerende pakket hoger zijn dan de concentraties die ter plaatse van peilbuis 130 zijn aangetoond.

3.3.2.2 Straat O

<u>Deklaag</u>

Na peilbuis 101 worden de hoogste concentraties VOCl's aangetoond in de deklaag bij peilbuis 11 (3,1-4,1 m –mv; Straat O 15). De concentratie PER en TRI is hier tussen 1998 en 2010 gestegen van maximaal 0,3 µg/l (PER) en 2,7 µg/l (TRI) tot 76 µg/l (PER) en 310 µg/l (TRI). De concentraties som-DCE en VC zijn in dezelfde periode gedaald van 150.000 µg/l naar 25.300 µg/ (som-DCE) en van 48.000 µg/l naar 7.500 µg/l (VC). Er is vermoedelijk een (kleine) bron van puur product in de noordoosthoek van de locatie, nabij peilbuis 11, die nog nalevert. De oorspronkelijke bron van de verontreiniging is mogelijk de riolering die vanuit de wasserij naar Straat O liep.

Bij peilbuizen 1, 12 en 13 (Straat O nr 14 en 15) werden in 1998 PER en TRI niet of nauwelijks (eenmaal TRI: 0,3 µg/l) aangetoond. De concentraties DCE en VC bedroegen in de orde grootte van duizenden µg/l. Tijdens de monitoring in 2010 konden peilbuizen 12 en 13 niet bemonsterd worden omdat ze niet meer gevonden zijn. Bij peilbuis 1 zijn de concentraties som-DCE en VC inmiddels gedaald tot 41 µg/l en 8,4 µg/l; PER en TRI bedragen nu circa 3 µg/l.

Ter plaatse van de straat ten oosten van de panden (peilbuizen 14, 15, 16) wordt VC aangetoond of DCE én VC (peilbuis 115). In 1998 werd de hoogste concentratie gemeten bij peilbuis 14 (18 µg/l); in 2010 kon deze peilbuis niet bemonsterd worden. Bij peilbuis 15 is in 2010 geen VOCl meer aangetoond en bij peilbuizen 16 en 115 is de concentratie DCE en/of VC gedaald tot minder dan 0,3 µg/l.

In Steeg N zijn aan de zijde van Straat O (peilbuizen 113 en 144) in 2000 concentraties DCE en VC aangetoond die gelijk zijn aan de detectielimiet; tijdens de laatste analyse in 2010 is geen VOCl aangetoond. Ter plaatse van peilbuis 112 zijn in 2000 geen VOCl-componenten aangetoond; in 2010 kon de peilbuis niet bemonsterd worden. Bij peilbuis 145 is in 2010 alleen PER aangetoond (0,65 µg/l).

Eerste watervoerende pakket

Bij peilbuis 148 (op een diepte van circa 12,5 m –mv) zijn tussen 2001 en 2010 geen PER en TRI aangetoond; de concentraties DCE en VC zijn gedaald van duizenden µg/l tot respectievelijk 24,4 en 280 µg/l. Bij peilbuis BC02 zijn ook geen PER en TRI aangetoond; de concentraties DCE en VC zijn lager dan bij peilbuis 148; in 2010 respectievelijk 0,44 en 4,8 µg/l.

In Steeg Z zijn bij peilbuis 207-1 (5,8 -6,7 m –mv) en 207-2 (6,9-7,8 m –mv) PER, TRI, DCE en VC aangetoond in concentraties van maximaal 130, 90, 250 en 12 µg/l. Bij de peilbuizen in het midden van de steeg (peilbuizen 204, 205 en 206) komen lagere concentraties voor (figuur 3.5). Waarschijnlijk is peilbuis 207 nabij de as van de stroombaan vanuit Straat O 15 gesitueerd. Het is mogelijk dat ten zuidoosten van peilbuis 11 nog sprake is van een kleine bron die nalevert aan het grondwater.

3.3.2.3 Overige peilbuizen

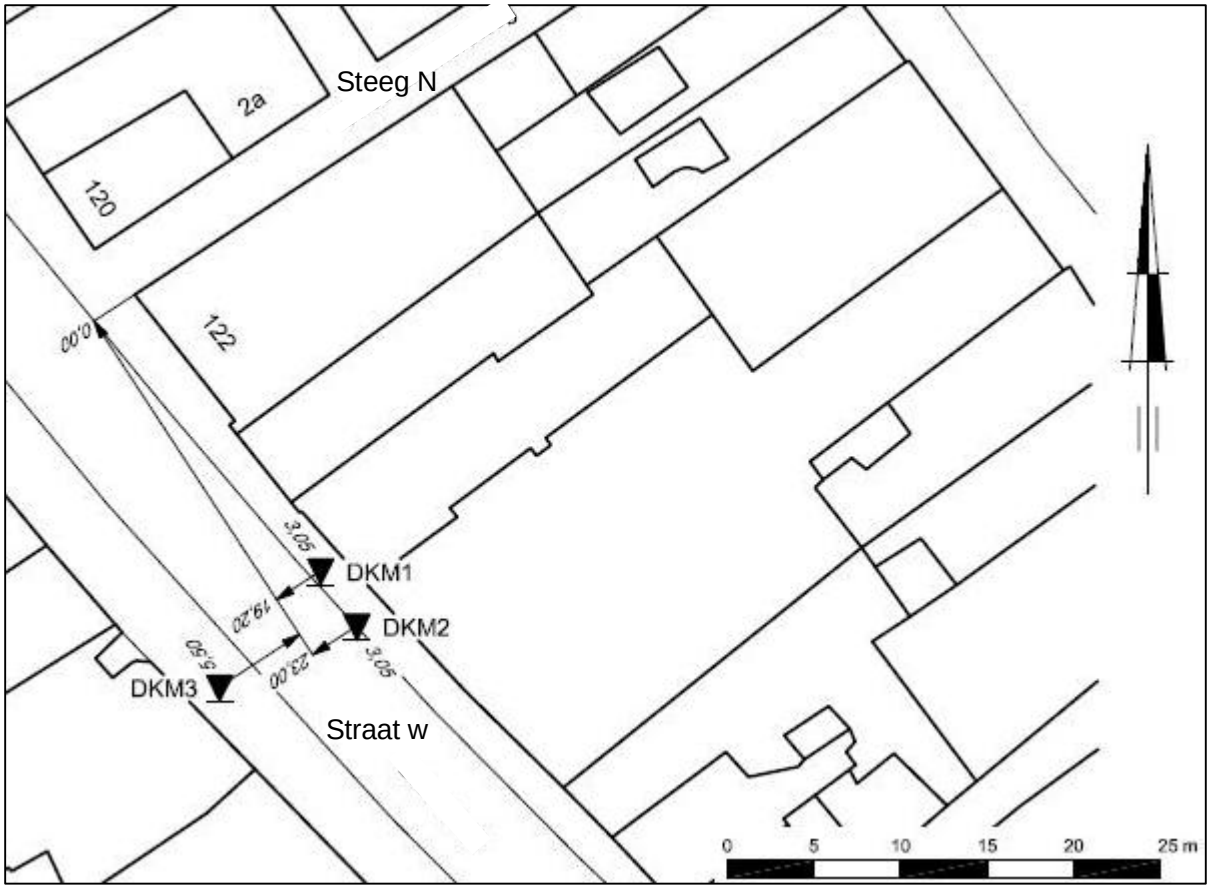
Bij peilbuizen G4 (2,7-4,7 m –mv) en 143 (3,8-4,8 m –mv) tussen Straat W en Straat O zijn VC en/of DCE aangetoond tijdens de (enige) meting in respectievelijk 1996 en 2001. De maximale concentratie was 11 µg/l.

Ter plaatse van BC04 (filters op 3-4, 12-13 en 24-25 m –mv) zijn in het verleden tijdens sommige monitoringsrondes zeer lage concentraties PER, TRI, DCE of VC aangetoond, die vermoedelijk niet afkomstig zijn van de bron bij de wasserij. Ook bij peilbuis 141 (5-6 m –mv) zijn lage concentraties VOCl aangetoond.

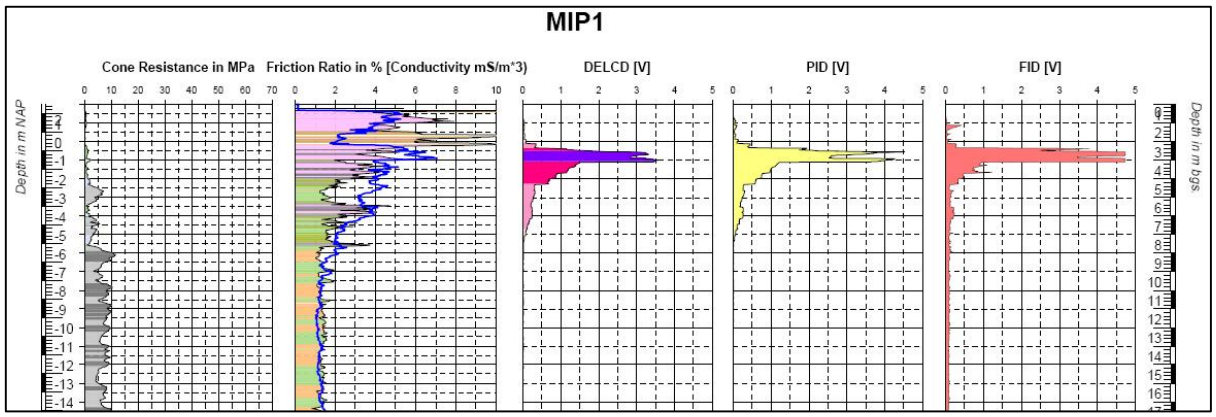
De verontreiniging die in het verleden is aangetoond bij peilbuis BC01 aan de overzijde van de gracht heeft zeer waarschijnlijk een andere herkomst dan de verontreinigingen op de locatie die wordt ingesloten door Steeg N-Straat O-Straat W-Steeg Z.

3.3.3 MIP

Uit de resultaten van de MIP-sondering (zie bijlage E) blijkt dat in de deklaag nabij peilbuis 101(MIP1; DKM1 in figuur 3.6) in Straat W mogelijk puur product aanwezig is op circa 2,3-3,5 m –mv. In figuur 3.7 is een detail uit de grafiek voor MIP1 weergegeven. Bij MIP2 (DKM2), voor Straat W 130, is de uitslag lager maar deze duidt nog wel op vrij hoge concentraties VOCl in grondwater. De hoogste respons wordt gemeten in het traject 2,8 tot 3,0 m –mv. Mogelijk is hier residueel product aanwezig. De respons bij MIP3 (DKM3) duidt niet op de aanwezigheid van puur product; er wordt wel verontreiniging verwacht in het traject 3 to 7 m –mv.



Figuur 3.6 De locatie van de MIP1 (DKM1), MIP2 (DKM2) en MIP3 (DKM3).

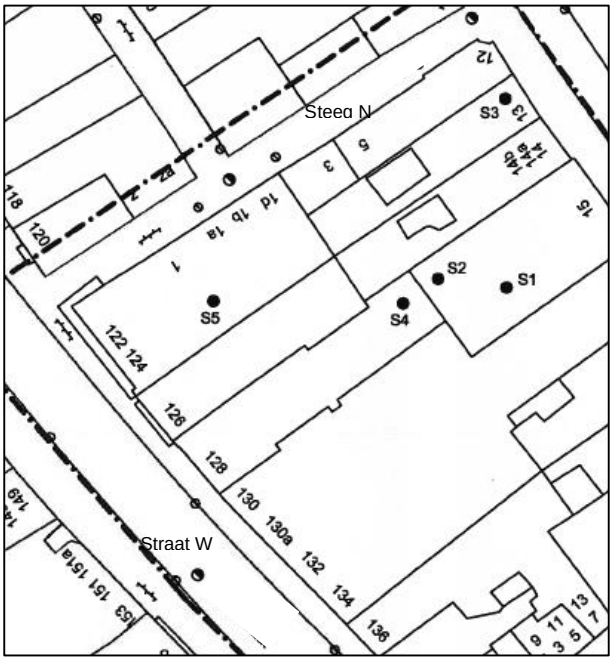


Figuur 3.7 Detail uit de grafiek voor MIP1

3.3.4 Bodemluchtmetingen

Aan de hand van de bodemluchtmetingen zijn geen verhoogde concentraties VOCl in de bodemlucht aangetroffen onder de onderzochte panden (zie figuur 3.8).

Meetpunt	Beschrijving	meting 1	meting 2
S1	Straat O 15	0	0
S2	Straat O 15,	0	0
S3	Straat O 13,	0	0
S4	Straat W 128,	0	0
S5	Straat W 122-124	0	0
P1	Peilbuis 101	65	2-3
P2	Peilbuis 116	0	0
P3	Peilbuis 142	0	0
P4	Peilbuis 101-1	16	6
P5	Peilbuis 121	0	5-6



Figuur 3.8 Resultaten bodemluchtmetingen

Uit de meetresultaten van de bodemluchtanalyses in peilbuizen in Straat W is gebleken dat ter plaatse van peilbuis 101 (in de straat voor huisnummer 128) 65 ppm aan vluchtige organische stoffen is aangetoond. Na één uur uitdamping was er nog steeds een signaal meetbaar (2-3 ppm). In peilbuis 101-1 is een geringe verhoging van vluchtige organische stoffen waargenomen (16 ppm). In de overige peilbuizen zijn geen verhoogde waarden gemeten. De luchtmetingen hebben geen aanwijzingen opgeleverd voor de aanwezigheid van een ondiepe bron aan de achterzijde van de wasserij en de panden in de omgeving waar metingen zijn verricht. Dit betekent niet dat geen bodemverontreiniging aanwezig kan zijn.

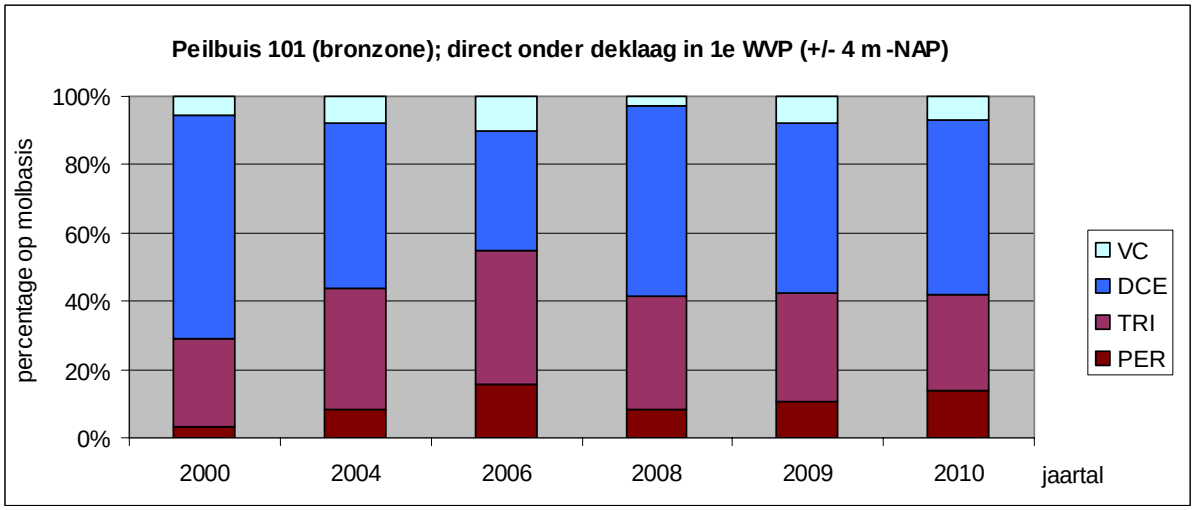
3.4 Natuurlijke afbraak

3.4.1 Dechlorering

Gezien de gegevens die bekend zijn over gebruikte middelen bij de wasserij in Straat W bestaat de oorspronkelijke verontreiniging waarschijnlijk uit PER of een mengsel van PER en TRI. De aanwezigheid van DCE en VC duidt op afbraak van de verontreiniging middels reductieve dechlorering. Uit de monitoringsdata van voorgaande bodemonderzoeken[9,2] en monitoring in het kader van deze pilot blijkt dat op verschillende dieptes etheen en ethaan aanwezig zijn. Hieruit kan worden afgeleid dat ook afbraak van VC naar etheen en ethaan plaatsvindt of plaats heeft gevonden. De hoogste concentraties etheen en ethaan zijn aangetoond in de deklaag, bij peilbuis 11.

De afname van de totale concentratie VOCl's direct onder de deklaag ter plaatse van de wasserij (pb 101) valt niet samen met een sterke trend van relatieve toename van afbraakproducten ten opzichte van uitgangsproducten (figuur 3.9). Uit de aanwezigheid van afbraakproducten blijkt dat afbraak plaatsvindt, maar de verontreinigingsgraad daalt waarschijnlijk niet snel doordat hoger in

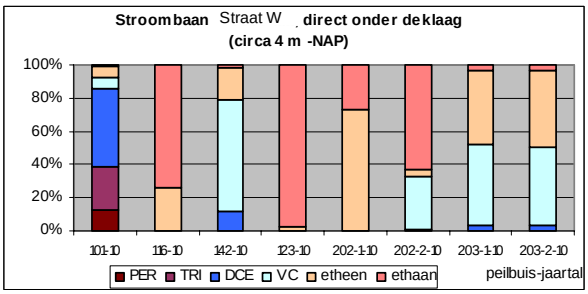
de deklaag puur product aanwezig is dat nalevert aan het grondwater en de afbraak niet snel genoeg verloopt om de nalevering bij te houden.



Figuur 3.9 Verhouding uitgangsproducten en afbraakproducten als functie van de tijd. Waardes lager dan de detectielimiet zijn niet meegenomen in deze grafiek. Etheen en ethaan zijn niet weergegeven omdat deze niet voor alle jaartallen beschikbaar zijn. Dit heeft geen effect op de conclusies over verloop van de afbraak.

De lagere verontreinigingsgraad stroomafwaarts van de wasserij (in de richting van Steeg Z) valt samen met een toenemende mate van dechlorering. Dit blijkt uit de verhouding van uitgang- en afbraakproducten (figuur 3.10). De concentratie vinylchloride lijkt bij peilbuis 142 toe te nemen in de tijd; dit kan het gevolg zijn van de afbraak van DCE. Voor de ontwikkeling van de pluim is het wel of niet plaatsvinden van afbraak van VC van groot belang. Op basis van de etheen- en ethaanconcentraties wordt verwacht dat VC wel afbreekt, maar (toekomstige) stagnatie van de afbraak bij DCE en vooral VC is een risico waar bij monitoring van natuurlijke afbraak rekening mee moet worden gehouden.

Peilbuis	PER	TRI	som DCE (µg/l)	VC	etheen	ethaan
101	24000	39000	52000	4600	2300	250
116	4,9	5,9	6,4	1,2	5700	17000
142	1,7	2,1	500	1900	240	25
123	0,1	0,6	1,1	0,5	1,8	93
202-1	0,29	0,6	0,69	0,9	0,69	0,27
202-2	0,41	0,6	0,12	12	0,68	11
203-1	0,1	0,6	9,09	84	34	2,9
203-2	0,1	0,6	8,8	80	35	2,9



Figuur 3.10 Op de x-as staan de peilbuisnummers (eerste drie getallen) en het jaartal (laatste twee getallen) van de analyse vermeld. Waardes lager dan de detectielimiet zijn niet meegenomen in deze grafiek.

3.4.2 Bacteriën

Chloorethenen kunnen door verschillende groepen micro-organismen gedeeltelijk worden omgezet. Van *Dehalococcoides ethenogenes* is bekend dat deze bacteriën PER volledig kunnen afbreken naar onschuldige afbraakproducten. Bioclear heeft in 2004[9,10] onderzoek gedaan naar de potentie voor natuurlijke afbraak van de verontreiniging met VOCl. Tijdens een grondwaterkarakterisering[9] is vastgesteld dat de dechlorerende bacteriepopulatie *Dehalococcoides spp*. (waartoe ook *Dehalococcoides ethenogenes* behoort) aanwezig is in

zowel de deklaag als het eerste watervoerende pakket. Het is niet bekend in welke aantallen deze aanwezig zijn. Voor een vlotte volledige afbraak van de verontreiniging zijn minimaal circa 1.000 genkopieën per ml grondwater nodig. Dit kan bepaald worden aan de hand van kwantitatieve analyses.

3.4.3 Redoxparameters

Bioclear[9] heeft ook redoxparameters gemeten: redoxpotentiaal, zuurstof, ijzer-totaal, sulfaat, sulfide en methaan. Hieruit blijkt dat in de deklaag (gegevens van peilbuizen 1 en 11 bij Straat O) methanogene omstandigheden heersen. Bovenin het eerste watervoerende pakket zijn de condities sulfaatreducerend. Vanaf circa 25 m –mv heersen in het eerste watervoerende pakket methanogene omstandigheden, wat gunstig is voor volledige reductieve dechlorering, waarbij ook VC wordt omgezet tot onschadelijke afbraakproducten.

Uit de redoxparameters die tijdens de monitoring in het kader van dit aanvullende onderzoek zijn bepaald (op meer meetpunten dan tijdens voorgaand onderzoek) blijkt ook dat in de deklaag overwegend methanogene omstandigheden heersen (zie bijlage A). Direct onder de deklaag en iets dieper, op circa 12-13 m –mv in het eerste watervoerende pakket worden sulfaatreducerende tot methanogene omstandigheden geconstateerd. Dit is plaatselijk ongunstig voor volledige afbraak van de verontreiniging (tot en met de omzetting van VC naar etheen en ethaan) vanwege concurrentie om elektronen. Het diepere grondwater is tijdens de monitoring voor deze pilot niet geanalyseerd. De resultaten van voorgaand onderzoek heeft aangetoond dat hier methanogene omstandigheden heersen.

3.4.4 Elektronenbalans

Bioclear heeft volgens de D-NA systematiek[11] een brandstofbalans berekend op basis van de TOC (koolstofgehalte opgelost en onopgelost materiaal) concentratie. Uit de berekeningen blijkt dat in de deklaag en de onderste helft van het eerste watervoerende pakket waarschijnlijk voldoende elektronendonor aanwezig is voor de afbraak van de verontreiniging, maar in de bovenste helft van het eerste watervoerende pakket niet.

In het kader van het huidige onderzoek is de DOC-concentratie (dissolved organic carbon; koolstofgehalte opgeloste organische stof) bepaald. Over het algemeen wordt een minimaal benodigde hoeveelheid van 20 mg/l DOC gehanteerd. Dit is slechts een indicatie die in samenspraak met andere parameters een aanwijzing kan geven over de afbraakpotentie. Niet alle organische stof is namelijk geschikt als elektronendonor voor het dechloreringsproces. Uit tabel 3.2 blijkt dat in de deklaag en direct hieronder in het eerste watervoerende pakket de DOC-concentratie varieert van circa 3,5 tot 44 mg/l; de meeste concentraties zijn lager dan 20 mg/l. Alleen bij peilbuis 11 (3,1 tot 4,1 m –mv) en peilbuis 144 (2 tot 3 m –mv) zijn hogere waardes aangetoond (respectievelijk 35 en 44 mg/l). Dieper in het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket (maximaal 12-13 m –mv) varieert de concentratie van 7,3 tot 18 mg/l. Deze relatief lage waardes voor de DOC-concentratie passen bij de conclusie van eerder onderzoek dat onvoldoende elektronendonor aanwezig is voor volledige afbraak van de verontreiniging in het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket.

3.4.5 Nutriënten

In tabel 3.2 is de berekende verhouding tussen koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (F) opgenomen. Bij anaerobe omzetting wordt niet al het "substraat" omgezet in celmateriaal. De verhouding is hier berekend voor de aanname dat 10% tot 20% van de koolstof wordt gebruikt voor de opbouw van celmateriaal. Voor waardes beneden de detectielimiet is bij het berekenen van de verhouding 0,7*detectielimiet gehanteerd. Uit de tabel blijkt dat nutriënten waarschijnlijk

niet limiterend zijn voor biologische activiteit op de locatie. Hierbij moet worden opgemerkt dat de concentratie DOC over het algemeen vrij laag is op de onderzoekslocatie. Wanneer de verhouding wordt berekend met de aanname dat DOC overal 20 mg/l bedraagt, is in veel monsters sprake van een verhouding C:N:P die wijst op een mogelijk gebrek aan nutriënten. Indien in de toekomst de afbraak van de verontreiniging gestimuleerd zou worden door het toedienen van een elektronendonor, is het daarom raadzaam om te zorgen dat een substraat wordt gebruikt waarin stikstof en fosfor aanwezig zijn (bijvoorbeeld protamylasse).

Tabel 3.2 Koolstofgehalte in opgeloste organische stof (Dissolved Organic Carbon-DOC), ammonium en fosfaat. De verhouding van de nutriënten is weergegeven voor de aanname dat 10% of 20% van de aanwezige koolstof gebruikt wordt voor de opbouw van celmateriaal. '-': niet bepaald. Vetgedrukte waardes: < detectielimiet.

Straat	Peilbuis	Filter (m-mv)		DOC	ammonium	orthofosfaat	DOC	ammonium	orthofosfaat	verhouding bij 10% C			verhouding bij 20% C		
		van	tot		(mg/l)			(mM)		C	: N	: P	C	: N	: P
Straat W	111	4,3	5,3	16	24	7,5	1,33	1,33	0,08	1	10,0	0,59	1	5,0	0,30
	101	5	6	9,2	15	1,3	0,77	0,83	0,01	1	10,9	0,18	1	5,4	0,09
	116	4,3	5,3	19	39	9,3	1,58	2,17	0,10	1	13,7	0,62	1	6,8	0,31
	142	5	6	9,2	11	5,5	0,77	0,61	0,06	1	8,0	0,76	1	4,0	0,38
	123	5	6	17	20	8,4	1,42	1,11	0,09	1	7,8	0,62	1	3,9	0,31
	146-1	12	13	7,3	7,6	1,7	0,61	0,42	0,02	1	6,9	0,29	1	3,5	0,15
	130-1	12,2	12,7	9,8	6,1	0,98	0,82	0,34	0,01	1	4,1	0,13	1	2,1	0,06
	147-1	12	13	15	30	2,2	1,25	1,67	0,02	1	13,3	0,19	1	6,7	0,09
	121	5	6	16	9,2	10	1,33	0,51	0,11	1	3,8	0,79	1	1,9	0,39
	BC03-1	3,5	4,5	14	13	1,6	1,17	0,72	0,02	1	6,2	0,14	1	3,1	0,07
	122	5	6	16	14	6,2	1,33	0,78	0,07	1	5,8	0,49	1	2,9	0,24
	BC03-2	12	13	9,8	11	5,3	0,82	0,61	0,06	1	7,5	0,68	1	3,7	0,34
Steeg N	112	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	144	2	3	44	12	6,2	3,67	0,67	0,07	1	1,8	0,18	1	0,9	0,09
	145	2	3	6,5	8,7	3,2	0,54	0,48	0,03	1	8,9	0,62	1	4,5	0,31
Straat O	11	3,1	4,1	35	65	**0,07**	2,92	3,61	0,00	1	12,4	0,00	1	6,2	0,00
	113	2	3	7,2	2,8	0,67	0,60	0,16	0,01	1	2,6	0,12	1	1,3	0,06
	14	2,2	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	2	3	**3,5**	3,2	0,91	0,29	0,18	0,01	1	6,1	0,33	1	3,0	0,16
	16	3,7	4,7	45	74	3,8	3,75	4,11	0,04	1	11,0	0,11	1	5,5	0,05
	15	2,5	3,5	15	17	3,4	1,25	0,94	0,04	1	7,6	0,29	1	3,8	0,14
	115	2	3	6	16	4,2	0,50	0,89	0,04	1	17,8	0,88	1	8,9	0,44
	148-1	12	13	13	22	4,8	1,08	1,22	0,05	1	11,3	0,47	1	5,6	0,23
	BC02-1	12	13	12	16	5	1,00	0,89	0,05	1	8,9	0,53	1	4,4	0,26
Steeg Z	207-1	5,8	6,7	9,4	12	3,5	0,78	0,67	0,04	1	8,5	0,47	1	4,3	0,24
	207-2	6,9	7,8	9,3	9,8	2,7	0,78	0,54	0,03	1	7,0	0,37	1	3,5	0,18
	201-1	6,8	7,8	15	43	8,3	1,25	2,39	0,09	1	19,1	0,70	1	9,6	0,35
	201-2	7,9	8,8	12	21	6,3	1,00	1,17	0,07	1	11,7	0,66	1	5,8	0,33
	202-1	4,2	5,1	11	9,8	6,3	0,92	0,54	0,07	1	5,9	0,72	1	3,0	0,36
	202-2	5,3	6,2	18	24	7,2	1,50	1,33	0,08	1	8,9	0,51	1	4,4	0,25
	203-1	4,1	5,2	15	25	6,4	1,25	1,39	0,07	1	11,1	0,54	1	5,6	0,27
	203-2	5,2	6,1	15	26	6,9	1,25	1,44	0,07	1	11,6	0,58	1	5,8	0,29
	204-1	3,8	4,7	18	28	6,8	1,50	1,56	0,07	1	10,4	0,48	1	5,2	0,24
	204-2	4,9	5,8	15	20	5,7	1,25	1,11	0,06	1	8,9	0,48	1	4,4	0,24
	205-1	4	5,9	13	9,4	4,1	1,08	0,52	0,04	1	4,8	0,40	1	2,4	0,20
	205-2	5,1	6	13	9,5	3,6	1,08	0,53	0,04	1	4,9	0,35	1	2,4	0,17
	206-1	5	5,9	17	12	6	1,42	0,67	0,06	1	4,7	0,45	1	2,4	0,22
	206-2	6,1	7	11	11	5,6	0,92	0,61	0,06	1	6,7	0,64	1	3,3	0,32

3.5 Afbraaksnelheid en verspreiding

Voor de pluim in Straat W is een model gemaakt dat de sequentiële afbraak van de VOCl-pluim beschrijft. Deze modelberekeningen zijn geijkt op de bewerkte data van een drietal peilbuizen, te weten 101, 142 (Straat W) en 203 (Steeg Z). Deze laatste is gekozen omdat hier de hoogste concentratie aan vinylchloride is aangetroffen van alle peilbuizen in Steeg Z. Voor de peilbuizen 101 en 142 zijn de monitoringsdata uit het filter van 5 tot 6 m –mv gebruikt en voor peilbuis 203 zijn de filters van 4,1 tot 5,2 en 5,2 tot 6,1 m – mv gebruikt met als doel om de pluim net onder de deklaag te analyseren.

De data zijn bewerkt om de relatieve concentraties van PER en alle afbraakproducten te bepalen. Hiertoe zijn eerst alle concentraties omgewerkt naar molconcentraties en is de totale som van PER, TRI, CIS, VC, etheen en ethaan bepaald. Vervolgens zijn voor iedere peilbuis de molconcentraties gedeeld door de som van alle componenten om de relatieve concentraties voor ieder peilbuis te bepalen.

Het model beschrijft de sequentiële afbraak als functie van de afstand x:

$$\frac{dPer(x)}{dx} = -k_{per} Per(x)$$

$$\frac{dTri(x)}{dx} = -k_{tri} Tri(x) + k_{per} Per(x)$$

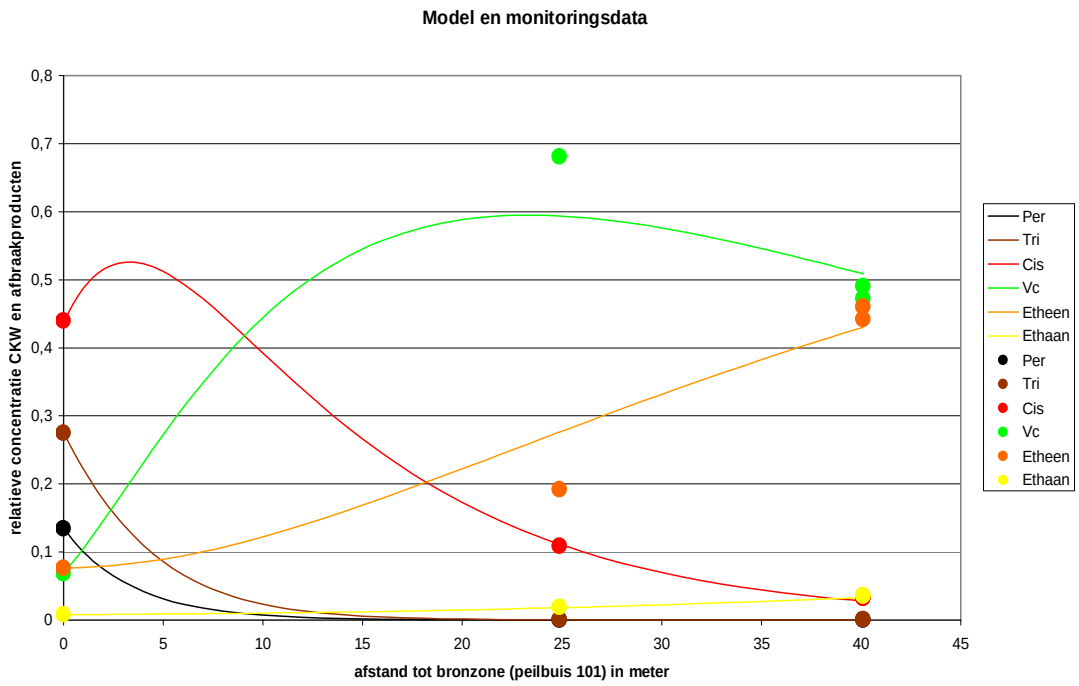
etc. voor de overige afbraakproducten.

Hierin is de afbraaksnelheid een functie van de concentratie (1e orde afbraak) en is de afbraak (in mol) van een component gelijk aan de productie (in mol) van het afbraakproduct. Als randvoorwaarden zijn op afstand x=0 de gemeten relatieve molconcentraties van peilbuis 101 bij de bronzone gebruikt.

De afbraakconstanten k_{per}, k_{tri}, etc, worden nu uitgedrukt in de eenheid (1/m) en kunnen worden omgewerkt naar de standaard eenheid (1/dag) door ze te vermenigvuldigen met de stroomsnelheid van het grondwater die ongeveer 1,4 cm/dag bedraagt. De geijkte afbraakconstanten zijn weergegeven in tabel 3.3 en de doorbraakcurven inclusief de monitoringsdata zijn weergegeven in figuur 3.11.

Tabel 3.3 Geijkte afbraakconstanten (1/m) en (1/dag)

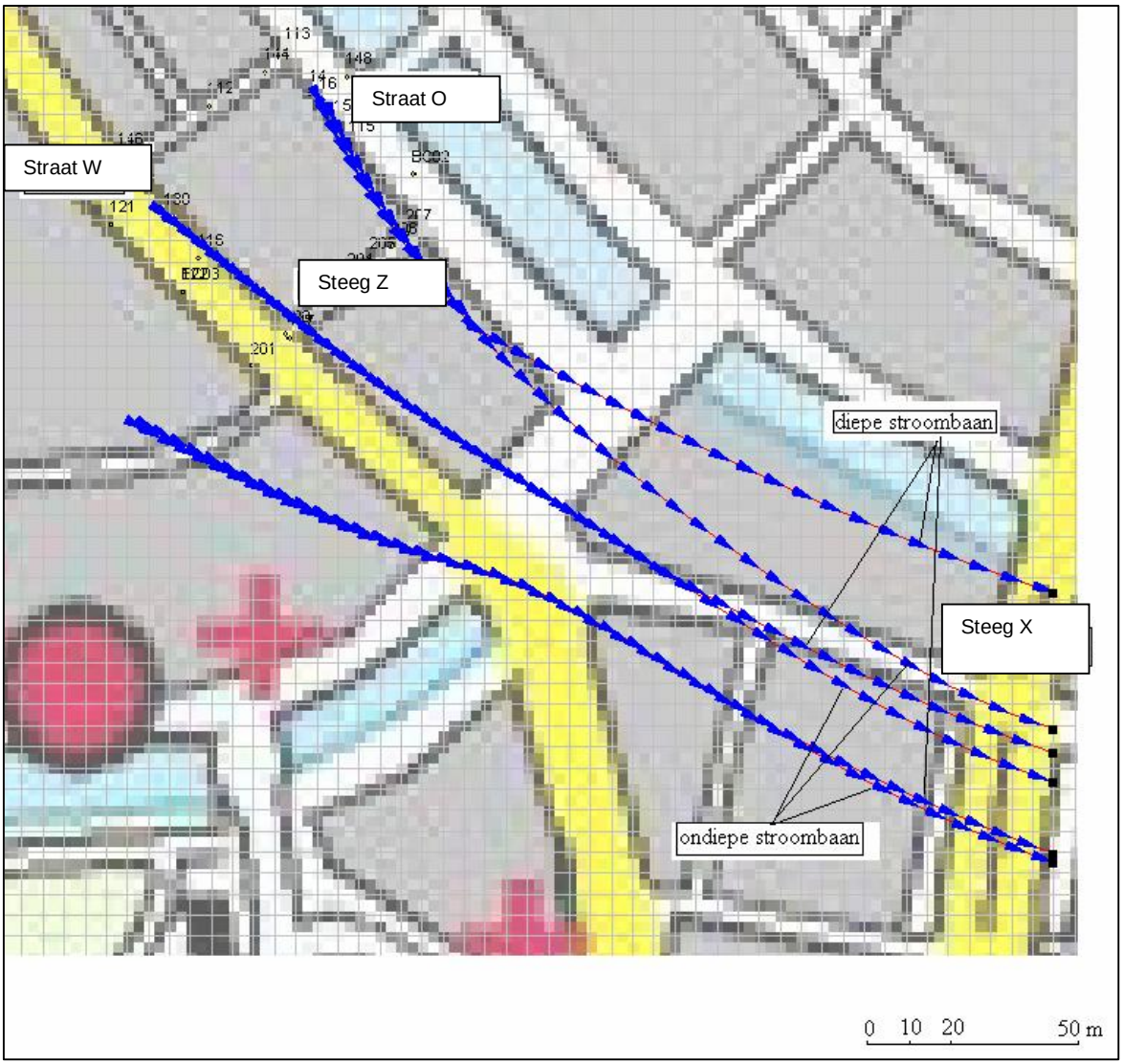
Stof	Afbraaksnelheid (1/m)	Afbraaksnelheid (1/dag)
PER	0,29	0,00397
TRI	0,38	0,005202
cis-DCE	0,092	0,001259
VC	0,02	0,000274
etheen	0,0028	3,83E-05
ethaan	0	0



Figuur 3.11 Berekende (lijn) en gemeten (punt) relatieve molconcentraties

Met behulp van de geijkte afbraaksnelheden kan nu ook een schatting gemaakt worden van hoe de concentraties van vinylchloride stroomafwaarts van Steeg Z zullen verlopen. Uitgaande van de maximale gemeten concentratie in Steeg Z (84 µg/l in peilbuis 203) is berekend dat deze binnen 141 m vanaf Steeg Z afneemt tot onder de interventiewaarde van 5 µg/l. De verontreiniging zal dus verder verspreid worden. Gezien de bekende stromingsrichting zal dat net stroomopwaarts van Steeg X zijn, zie figuur 3.12. Uit de TNO-grondwaterkaart valt af te leiden dat het grondwater zal doorstromen tot de polders ten zuidoosten van de stad en op zijn vroegst zal opkwellen circa 1,5 km ten zuidoosten van de verontreinigde locatie, maar zeer waarschijnlijk zal doorstromen tot de diepgelegen polder op ruim 6 km van de verontreinigde locatie.

De bovenstaande berekening gaat ervan uit dat de afbraak gelimiteerd wordt door de concentratie van de VOCL (1ste orde afbraak) . Het is ook goed mogelijk dat de afbraak van de VOCL gelimiteerd wordt door de beschikbaarheid van organisch stof. In dat geval zal de afbraak in het centrum van de pluim, waar de concentraties hoger zijn, langzamer verlopen dan aan de randen van de pluim, waar de concentraties lager zijn. Wat opvalt is dat de absolute concentraties van de VOCL in de peilbuizen bij de bronnen (101 en 11) veel hoger zijn dan absolute concentraties in alle andere peilbuizen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een sterke verdunning, maar het is ook mogelijk dat het centrum van de pluim niet door de monitoringsbuizen stroomafwaarts van de bron gemonitoord wordt.



Figuur 3.12 Berekende stroombanen tot Steeg X.

3.6 Andere verontreinigingen

In het nader bodemonderzoek van Tauw[5] wordt melding gemaakt van normoverschrijdingen in grond voor enkele zware metalen en PAK. Ter plaatse van Steeg N (bij de hoek met de dwarssteeg, is chloroform aangetoond in waardes boven de streefwaarde maar beneden de tussenwaarde[7]; de herkomst is niet bekend. In grondwatermonsters nabij de boring waar chloroform werd aangetroffen is deze stof niet aangetoond. Bij luchtonderzoek in het pand van Straat O 15 zijn waardes beneden de TLC-waarde aangetoond.

We kunnen aan deze informatie toevoegen dat chloroform (trichloormethaan) diverse industriële toepassingen kent. Het kan als afbraakproduct van TETRA (tetrachloormethaan) worden gevormd als gevolg van reductieve dechlorering. Beide stoffen worden gebruikt als oplosmiddelen. Bij de analyse van VOCL worden naar de chloorethenen ook chloorethanen of chloroform geanalyseerd. Deze verbindingen zijn tijdens de monitoring in 2010 in geen enkel grondwatermonster aangetoond.

In grondwater is in het verleden vluchtige olie aangetoond bij Straat O 17/18. Dit kan invloed hebben op de afbraak van VOCl omdat de minerale olie kan fungeren als substraat voor de bacteriën.

4 Discussie: bronnen, pluimen en verspreiding

4.1 Algemeen beeld

Vanuit Straat W nr 128 is een bodemverontreiniging ontstaan als gevolg van gebruik van PER en TRI door de voormalige wasserij. Vermoedelijk zijn deze VOCl-componenten in het verleden in de bodem terecht gekomen via lekke riolering, lozing in beerputten, eventuele lekkage via de vloer en/of mogelijke directe lozing op het maaiveld ter plaatse van voormalige buitenruimtes. Puur product is tot diep in het eerste watervoerende pakket gezakt, wat blijkt uit de grondwaterverontreiniging die over de gehele diepte van het watervoerende pakket wordt aangetroffen.

Verspreiding van de grondwaterverontreiniging van Straat W naar Straat O is hydrologisch gezien niet mogelijk. Op basis van de grondwaterstroming lijkt het zeer waarschijnlijk dat de verontreinigingen bij Straat O 14/15 en Straat W ieder een eigen verontreinigingsbron hebben. Er kan tussen Straat W en Straat O op verschillende plaatsen VOCl in de bodem zijn gekomen als gevolg van gebruik van deze verbindingen. Aan de zijde van Straat O is de verontreiniging vermoedelijk veroorzaakt door lekkage ter plaatse van oude riolering die vanuit de wasserij aan Straat W naar Straat O liep. Mogelijk zijn er tussen Straat O en Straat W nog enkele andere (kleine) bronnen aanwezig (geweest).

De grondwaterverontreiniging wordt eerst vertikaal door de deklaag naar het eerste watervoerende pakket verplaatst. In het eerste watervoerende pakket vindt verspreiding in de richting van de grondwaterstroming plaats (zuidoost). De verontreinigingspluimen (verontreiniging opgelost in grondwater) die op verschillende plaatsen zijn ontstaan, kunnen elkaar overlappen.

Op basis van de grondwaterstroming, concentraties VOCl en concentratietrends wordt verwacht dat secundaire bronnen (puur product) die naleveren naar het grondwater momenteel aanwezig zijn bij de wasserij (Straat W 128) en in het noordoosten van de locatie nabij peilbuis 11. De eerste is de grootste bron. Mogelijk bevindt zich ten zuidenoosten van peilbuis 11 nog een kleine bron.

De aanwezigheid van VOCl in peilbuizen in het eerste watervoerende pakket in het noordwesten van de locatie wijzen mogelijk op instroom van verontreiniging vanaf een locatie buiten de onderzoekslocatie. Dit geldt in ieder geval voor de verontreiniging bij peilbuis BC01 en mogelijk ook voor die bij peilbuizen 141 en BC04.

Hieronder wordt verder ingegaan op de pluimen in Straat W en Straat O.

4.2 Straat W

Net onder de deklaag in het eerste watervoerende pakket wordt ter plaatse van Straat W 128 een sterke verontreiniging aangetoond met PER, TRI, CIS en VC (concentraties in de orde grootte van duizenden µg/l voor VC tot tienduizenden voor PER, TRI en DCE µg/l). Mogelijk komen onder het pand hogere concentraties voor. Een veelgebruikte stelregel is dat een concentratie van 5-10% van de oplosbaarheid van het uitgangsproduct al kan wijzen op de nabijheid van puur product. Voor PER en TRI betekent dit dat een concentratie van respectievelijk 7.500 µg/l en 55.000 µg/l kan duiden op een nabije bron. De concentraties bij peilbuis 101 doen vermoeden dat ter plaatse van de wasserij puur product aanwezig is in de bodem. De MIP sondering biedt ook een aanwijzing voor de aanwezigheid van puur product.

Uit de meetresultaten blijkt dat de bron (puur product) zich vermoedelijk bevindt in (en beperkt tot) de deklaag, op circa 2,0-3,5 m –mv in de directe omgeving van peilbuis 101. Het is lastig om in te schatten tot hoever in de richting van Straat O onder de panden puur product aanwezig is. Aangezien bij de bodemluchtmetingen geen vluchtige verbindingen zijn gedetecteerd en in het verleden bij de peilbuizen 12, G4 en 143 geen PER en TRI zijn aangetoond, wordt aangenomen dat dit beperkt is tot een (voorste) gedeelte van het perceel van de wasserij. Tot onderin het eerste watervoerende pakket is het grondwater verontreinigd als gevolg van puur product dat in het verleden tot deze diepte is gezakt.

De concentraties PER en TRI zijn bij peilbuis 101 na een stijging tussen 2000 en 2004 (PER) / 2006 (TRI) gedaald. Dit duidt vermoedelijk op een afname van de nalevering.

Redoxomstandigheden, nutriënten, DOC-concentraties en eerdere moleculaire analyses (DNA) wijzen tezamen op matig omstandigheden voor volledige reductieve dechlorering van VOCl in het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket. In de deklaag en het diepere deel van het watervoerende pakket zijn de omstandigheden gunstiger. Dit is een veelvoorkomende situatie.

In het eerste watervoerende pakket direct onder de deklaag daalt globaal gezien de totale concentratie VOCl vanaf de bron richting Steeg Z en neemt de dechlorering toe. Dit blijkt uit de verhouding tussen uitgang- en afbraakproducten. Waarschijnlijk is de snelheid van afbraak gering als gevolg van een tekort aan elektronendonor. Gezien het verloop van de concentraties, aard en afbraak van de verontreiniging zal nalevering nog vele (tientallen) jaren duren.

De aanwezigheid van afbraakproducten DCE, VC, etheen en ethaan in zowel de deklaag als op verschillende dieptes in het watervoerende pakket duidt op biologische afbraak van de verontreiniging.
Aangezien boven in het eerste watervoerende pakket niet overal methanogene omstandigheden heersen en vermoedelijk onvoldoende elektronendonor aanwezig is, zou het kunnen zijn dat DCE en VC hier niet afbreken en dat de afbraakproducten etheen en ethaan geheel afkomstig zijn van reductieve dechlorering van VC in de deklaag. Afname van de concentratie DCE en VC in de richting van de stroombaan zou in dat geval het gevolg zijn van verdunning in plaats van afbraak. Op basis van de plaatselijk gunstige omstandigheden en de toenemende dechlorering in de richting van de stroombaan wordt verwacht dat in de top van het eerste watervoerende pakket toch wel enige afbraak van DCE en VC plaatsvindt. De mogelijkheid dat stagnatie (in de toekomst) optreedt kan echter niet uitgesloten worden; hier zou bij de doorlopende monitoring rekening mee gehouden moeten worden. Het plaatsvinden van volledige afbraak tot en met de afbraak van VC kan worden bewezen met specifieke isotopenanalyses. Ook kan aan de hand van moleculaire technieken (DNA-analyse) worden vastgesteld of specifieke enzymen die verantwoordelijk zijn voor de omzetting van VC naar etheen aanwezig zijn. Een kwantitatieve analyse op deze enzymen biedt meer zekerheid over de afbraak van VC dan een kwalitatieve analyse op *Dehalococcoides Spp.* Dergelijke specialistische parameters kunnen tijdens enkele monitoringsrondes worden ingezet om direct inzicht te krijgen in afbraakprocessen.

De verontreinigingspluim reikt tot voorbij Steeg Z. Op basis van monitoringsdata en de modelberekeningen wordt verwacht dat de VC-concentratie tot ongeveer de Sint Jorissteeg ten zuidoosten van de locatie hoger zal zijn dan de interventiewaarde van 5 µg/l. Deze berekeningen zijn gebaseerd op meetdata en enkele aannames. In hoofdstuk 3 is aangegeven welke onzekerheden met de berekening gepaard gaan. De verontreiniging zal

verder verspreid worden in de richting van de grondwaterstroming. Uit de TNO-grondwaterkaart valt af te leiden dat het grondwater zal doorstromen tot de polders ten zuidoosten van de stad en op zijn vroegst zal opkwellen circa 1,5 km ten zuidoosten van de verontreinigde locatie, maar zeer waarschijnlijk zal doorstromen tot de diepgelegen polder op ruim 6 km van de verontreinigde locatie.

4.3 Straat O

Voor de panden van Straat O 13-15 is in het verleden in de bovenste zandlaag PER en/of TRI en DCE aangetoond. Momenteel is in de deklaag nabij peilbuis 11 vermoedelijk een kleine bron van puur product aanwezig die nalevert aan het grondwater. Dit vermoeden is gebaseerd op de relatief lage maar stijgende PER en TRI-concentraties. De bron bevindt zich waarschijnlijk niet in de straat, maar onder het pand.

De aanwezigheid van afbraakproducten in de deklaag en het eerste watervoerende pakket duidt op afbraak. De etheen- en ethaanconcentraties in de deklaag bij peilbuis 11 zijn het hoogst van de hele onderzoekslocatie. De mate van dechlorering bij peilbuis 207 (Steeg Z), direct onder de deklaag in het eerste watervoerende pakket, is niet hoger dan bij peilbuis 11, de concentraties zijn wel lager. Mogelijk bevindt zich ook ten zuidoosten van peilbuis 11 nog een kleine bron.

De snelheid van afbraak in de bovenste helft van het watervoerende pakket wordt evenals in Straat W waarschijnlijk gelimiteerd door matige omstandigheden voor biologische afbraak.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De kennisvragen uit hoofdstuk 1 worden hieronder beantwoord.

5.1.1 Conclusies projectgerelateerde kennisvragen (vragen aangaande de onderzoekslocatie)

Kan aangegeven worden waar de bronnen van de mobiele bodemverontreiniging zich op de onderzoekslocatie bevinden?
Met dit onderzoek is het conceptuele model van de onderzoekslocatie aangevuld. Voorgaande onderzoeken hadden hier onvoldoende inzicht in gegeven. Het vermoeden bestond dat op de locatie meerdere bronnen van de bodemverontreiniging met VOCl hebben bestaan waaruit door oplossing in grondwater pluimen zijn ontstaan. Er blijkt inderdaad niet sprake te zijn van één bron (puur product) van VOCl-verontreiniging waaruit één pluim voorkomt, maar van meerdere bronnen met overlappende pluimen. De verontreiniging van grond en grondwater is veroorzaakt doordat op meerdere plaatsen VOCL in de bodem terecht is gekomen. Waarschijnlijk zijn deze oorspronkelijke bronnen van verontreiniging lekkende riolering, beerputten en/of directe lozingen op het voormalige maaiveld of doorlatende vloeren.

Momenteel is, in tegenstelling tot wat eerder werd aangenomen, zeer waarschijnlijk puur product aanwezig in de bodem. Dit blijkt uit monitoringsdata en MIP-sonderingen. Hierdoor vindt nog geruime tijd (vermoedelijk tientallen jaren) nalevering naar het grondwater plaats. Er is in het verleden ook puur product tot onderin het eerste watervoerende pakket gezakt, wat blijkt uit de grondwaterverontreiniging die over de gehele diepte van het watervoerende pakket wordt aangetroffen.

Kan aangegeven worden wat de vracht is die nalevert vanuit het brongebied (verspreiding)? Kan aangegeven worden hoeveel verontreiniging in de bron aanwezig is?
Puur product komt zeer waarschijnlijk voor in, en is voor het pand van de wasserij vermoedelijk beperkt tot een laag van circa 1,5 meter dikte. In het horizontale vlak beperkt de DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid / puur product) zich waarschijnlijk tot een deel van het pand van Straat W 128. Daarnaast is waarschijnlijk residuair product aanwezig aan de zijde van Straat O. De bron van puur product in de deklaag bij de wasserij zal waarschijnlijk nog (tientallen) jaren naleveren naar het grondwater.

Op verzoek van de milieudienst is een zeer globale inschatting van de orde grootte van de omvang van de bron bij de wasserij gemaakt. De dikte van de laag waarin puur product voorkomt is ter plaatse van de MIP-sondering midden voor de wasserij circa 1,5 meter. Wanneer er in een ruime schatting vanuit wordt gegaan dat in het horizontale vlak de omvang 60 m^2 bedraagt (minder breed dan het pand van de wasserij; en in lengte voorbij de helft van het pand), bedraagt het bodemvolume waarin de DNAPL zich bevindt 90 m^3. Als wordt uitgegaan van een porositeit van 0,3 is het porievolume 27 m^3. Bij een aangenomen porieverzadiging van 0,5 bedraagt de orde grootte van de DNAPL 13,5 m^3. Bij een soortelijke dichtheid van circa 1,5 g/cm^3 (uitgegaan van mengsel PER en TRI) is dat 20.250 kg puur product. Indien de bron 10 keer kleiner is (bijvoorbeeld bij verzadiging 0,1 en oppervlakte 30 m^2), bedraagt het totaal 2.025 kg. Indien we ervan uitgaan dat de bron veel kleiner is: gemiddelde dikte 1 m over een oppervlak van 4 m^2, bij een verzadiging van 0,5; dan bedraagt

de hoeveelheid in de bron bij de wasserij 900 kg. In het saneringsplan is, bij de aanname dat geen puur product aanwezig is, uitgegaan van een totale vracht van VOCL-componenten in grond en grondwater op de gehele onderzoekslocatie van 1.050 kg. De hierboven beschreven indicatieve berekeningen van de omvang van de bron (puur product) bij de wasserij laten zien welk effect het wel of niet rekening houden met de aanwezigheid van puur product heeft.

De grondwaterverontreiniging verplaatst zich verticaal door de deklaag en wordt daarna in het eerste watervoerende pakket in zuidoostelijke richting verspreidt tot voorbij Steeg Z. Uit monitoring van het grondwater via nieuwe peilbuizen in Steeg Z blijkt dat de verontreiniging in het eerste watervoerende pakket verspreid wordt tot voorbij Steeg Z. Op basis van de monitoring en modelberekeningen wordt verwacht dat de VC-concentratie ter hoogte van de Sint Jorissteeg lager dan de interventiewaarde zal zijn. Deze berekening is gebaseerd op het vermoeden dat VC bovenin het eerste watervoerende pakket langzaam afbreekt. Indien afbraak alleen plaatsvindt in de deklaag, of hogere concentraties voorkomen dan nu aangetoond werd, zal de verspreiding verder zijn.

5.1.2 Generieke kennisvragen

Kunnen bronnen van mobiele bodemverontreiniging met geohydrologische modellering onderscheiden worden? Wat is de waarde van geohydrologische modellering voor het opstellen van een conceptueel model van een mobiele bodemverontreiniging?

In dit project is gedemonstreerd hoe op basis van een eenvoudig numeriek model kan worden vastgesteld wat de mogelijke stromingsrichting van het grondwater, en dus ook van de daarin opgeloste verontreiniging is. Aan de hand hiervan kan bepaald worden waar zoekgebieden liggen voor de bron(nen) van de verontreiniging en welke bronnen en pluimen niet aan elkaar gerelateerd kunnen worden. De resultaten van de modelberekeningen leveren in combinatie met andere onderzoeksmethode een beeld op van de aanwezige bronnen van VOCl op de locatie. Hieronder worden ook de andere onderzoeklijnen toegelicht.

Een veelgebruikte stelregel is dat een concentratie van 5-10% van de oplosbaarheid van het uitgangsproduct al kan wijzen op de nabijheid van puur product. Voor PER en TRI betekent dit dat een concentratie van respectievelijk 7.500 µg/l en 55.000 µg/l kan duiden op een nabije bron. Binnen de zoekgebieden kan met behulp van veldmetingen gezocht worden naar de meer exacte locatie van de bron. Het is echter altijd lastig om puur product te vinden omdat het een grillig verspreidingspatroon heeft en in volume zeer klein kan zijn ten opzichte van de dichtheid van boringen en bodemmonsters die geanalyseerd worden. Vaak is op een locatie die verontreinigd is met VOCL wel puur product aanwezig. Omdat op de huidige locatie als gevolg van volledige bebouwing en de activiteiten op de locatie het niet wenselijk en/of mogelijk is om boringen en peilbuizen te plaatsen, zijn bodemluchtmetingen uitgevoerd. Verhoogde PID-waardes kunnen wijzen op de aanwezigheid van (grote) bronnen en hiermee het zoekgebied verkleinen. Met behulp van een MIP-sondering kan over een profiel van wel tientallen meters een continu beeld verkregen worden van de relatieve verontreinigingsgraad. Er worden geen absolute concentraties verkregen, maar er kan wel aangegeven worden op welke diepte zich zeer waarschijnlijk puur product bevindt en waar hoge concentraties VOCl in grondwater voorkomen.

Zo leidt een combinatie van onderzoekstechnieken, waaronder de modelberekening, op verschillende schaalniveaus tot een steeds duidelijker beeld van de aanwezige bron(nen).

Welke informatie is nodig voor het opstellen van een conceptueel model op basis waarvan een goede afweging gemaakt kan worden van doelmatige saneringsvarianten?

Voor het opstellen van een conceptueel model is kennis nodig over:

- Locatie (gebruik, inrichting, omgeving)
- Bodemopbouw, grondwaterstroming
- Verontreiniging (aard en omvang, ontstaanswijze, locatie en ruimtelijke variatie)
- (potentiële en actuele) verspreiding verontreiniging.

In een historisch onderzoek wordt informatie verzameld over het huidige en vroegere gebruik van de locatie. Dit geeft inzicht in mogelijke oorzaken van de verontreiniging. De inrichting van de locatie heeft invloed op de grondwateraanvulling. Lekke riolering kan een drainerende werking hebben of de oorzaak zijn van verontreiniging doordat puur product in de bodem terecht komt. De ligging van de riolering ten opzichte van de grondwaterspiegel is hierbij van belang. De bodemopbouw en de grondwaterstroming bepalen de mogelijke verspreidingspaden van de verontreiniging. Dit is uiteraard ook afhankelijk van de aard van de verontreiniging, zoals bijvoorbeeld in dit geval het grote soortelijk gewicht dat ertoe leidt dat het puur product tot diep in de bodem kan zakken. Voor het afwegen van saneringsvarianten zijn, afhankelijk van de potentiële technieken, meestal aanvullende gegevens nodig over bijvoorbeeld de redoxchemie en biologische processen.

5.2 Aanbevelingen voor de Milieudienst

Tijdens een overleg met de milieudienst (Kor van Hateren) is vastgesteld dat er stroomafwaarts van de onderzoekslocatie geen kwetsbare objecten aanwezig zijn. De verspreiding van de verontreiniging, met name met DCE en VC, kan echter wel tot gebruiksbeperkingen leiden. Dit kan een rol spelen bij de keuze om wel of geen saneringsmaatregelen te nemen. Overlap met eventuele stroomafwaarts gelegen pluimen met VOCl-verontreiniging zou hierbij ook punt van aandacht kunnen zijn. Tijdens het overleg met de milieudienst is geconstateerd dat vermoedelijk stroomafwaarts van de onderzoekslocatie ook sprake is van een grondwaterverontreiniging met VOCl. Wij raden aan dit nader te onderzoeken.

Sanering van de bron wordt bemoeilijkt door de bebouwing op de locatie waardoor deze fysiek moeilijk bereikbaar is. Deze mogelijkheid zou wel onderzocht kunnen worden. Mogelijk zijn in de (nabije) toekomst werkzaamheden gepland waarmee fysieke verwijdering van een deel van de bron gecombineerd zou kunnen worden. Verwijdering van alle puur (residuair) product zal niet haalbaar zijn vanwege het grillige verspreidingspatroon van deze verontreiniging. In situ chemische oxidatie is geen geschikte methode vanwege de aanwezigheid van veen, dat ook geoxideerd zal worden. Zoals in eerdere onderzoeken reeds is voorgesteld, is het stimuleren van de biologische afbraak in het eerste watervoerende pakket door het toedienen van een elektronendonor een geschikte aanpak voor beheersing van de verontreiniging. Wij adviseren om daarbij te kiezen voor een langwerkend substraat dat nutriënten bevat. De toediening van het substraat zou bijvoorbeeld kunnen plaatsvinden in de vorm van directe injecties in Steeg Z en in Straat W voor de wasserij.

Indien (voorlopig) geen saneringsmaatregelen getroffen worden, adviseren wij om de lopende monitoring aan te passen op basis van de nieuwe inzichten die tijdens dit project zijn verkregen. Om meer zekerheid te krijgen over de afbraak van VC zouden tijdens enkele monitoringsrondes moleculaire analyses (DNA) uitgevoerd kunnen worden op VC-reductasen. Hiermee kan worden aangetoond dat reductieve dechlorering van specifiek VC mogelijk is. Afbraak kan worden aangetoond met behulp van stofspecifieke stabiele isotopen; dit kan tevens inzicht geven in mogelijke andere (oxidatieve) afbraakroutes van VC. Hiervoor zijn meerdere metingen in de stroombaan van een pluim nodig of een meetreeks in de tijd.

VC verspreidt sneller dan PER, TRI en DCE. Bovendien is het een zeer schadelijke stof. Een voorstel voor een aangepast monitoringsplan is opgenomen als bijlage F.

6 Geraadpleegde bronnen

1. Saneringsplan voor de locatie, Bioclear, i.o.v.
Milieudienst West-Holland, projectcode 2003.2112, 25 november 2005.
2. Monitoring van de VOCL verontreiniging op de locatie,
Bioclear, i.o.v. Milieudienst West-Holland, 20093558/6442, november 2009.
3. Second opinion, BioSoil, i.o.v.
Milieudienst West-Holland, rapportnummer 80123.001, 21 september 2006.
4. Resultaten afperkend onderzoek, Bioclear, i.o.v.
Milieudienst West-Holland, projectcode 2003.2112, 3 december 2004.
5. Nader bodemonderzoek, Tauw, i.o.v.
Milieudienst West-Holland, R001-3957233BRH-D01-R.
6. Rapport betreffende een milieukundig onderzoek en deelsaneringsplan, IDDS, i.o.v. Milieudienst West-Holland, rapportnummer 02073758/MB/rap1.
7. Resultaten afperkend onderzoek, tweede fase, Bioclear,
i.o.v. Milieudienst West-Holland, projectcode 2003.2112, 17 juni 2005.
8. Aanvullende analyses grond, IDDS, i.o.v.
Milieudienst West-Holland, kenmerk 02073784/MB/brf1.
9. Meetbrief, Bioclear, i.o.v. Milieudienst West-Holland, referentie 2003.2112/2469, 14 juli 2004.
10. Verificatie instrinsieke en gestimuleerde afbraak van de gechloreerde ethenen verontreiniging op de locatie, Bioclear, i.o.v. Milieudienst West-Holland, projectcode 2003.2112, 17 juni 2005.
11. Methodiek voor het vaststellen van de duurzaamheid van natuurlijke afbraak (D-NA) van gechloreerde ethenen. Bioclear en DHV, januari 2003. SKB project SV-513.

A Bijlage Analyseresultaten

A I Verontreiniging in grondwater en afbraakproducten
A II Redoxparameters
A III DOC en nutriënten

BIJLAGE A I Verontreiniging grondwater en afbraakproducten

In onderstaande tabel worden de analysegegevens uit voorgaande onderzoeken en de monitoring ten behoeve van het huidige onderzoek weergegeven (resultaten april 2010). Alle concentraties zijn in µg/l. Waar geen resultaten bekend zijn wordt een blanco plaats weergegeven. Vetgedrukte waardes zijn lager dan de detectielimiet. De peilbuizen zijn op volgorde van toenemende diepte gesorteerd.

Peilbuis (filterdiepte)	datum	PER	TRI	SOM DCE	VC	etheen	ethaan
114 (1,5-2,5 m -mv)	sep-00	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
1 (2-3 m -mv)	dec-97	**0,2**	**0,2**	1600			
1 (2-3 m -mv)	jan-98	**0,2**	**0,2**	1900			
1 (2-3 m -mv)	mrt-98	**0,2**	0,3	2000	1100		
1 (2-3 m -mv)	jun-04	**0,1**	**0,1**	1,9	0,5	21	150
1 (2-3 m -mv)	apr-10	2,8	3,2	41	8,4	0,42	0,57
113 (2-3 m -mv)	sep-00	**0,1**	**0,1**	0,2	**0,1**		
113 (2-3 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	0,84	1,5
115 (2-3 m -mv)	sep-00	**0,1**	**0,1**	0,2	0,2		
115 (2-3 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	0,2	0,26	**0,25**	7,6
144 (2-3 m -mv)	okt-01	**0,2**	**0,2**	**0,2**	0,1		
144 (2-3 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	0,26	1,4
145 (2-3 m -mv)	apr-10	0,65	**0,6**	**0,1**	**0,1**	**0,25**	0,5
14 (2,2-3,2 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	**1**	8,4		
14 (2,2-3,2 m -mv)	apr-98	**0,2**	**0,2**	**1**	18		
15 (2,5-3,3 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	**1**	5,2		
15 (2,5-3,3 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	9,2	30
13 (2,5-3,5 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	120	150		
13 (2,5-3,5 m -mv)	apr-98	**0,2**	**0,2**	1900	1500		
12 (2,6-3,6 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	2300	10000		
12 (2,6-3,6 m -mv)	apr-98	**0,2**	**0,2**	1500	5800		
BC04-1 (3-4 m -mv)	jun-05	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
BC04-1 (3-4 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,2	2,2
BC04-1 (3-4 m -mv)	apr-08	**0,1**	0,11	0,12	**0,1**		
BC04-1 (3-4 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	2	2
11 (3,1-4,1 m -mv)	mrt-98	0,3	2,7	78000	32000		
11 (3,1-4,1 m -mv)	apr-98	**0,2**	**0,2**	150000	48000		
11 (3,1-4,1 m -mv)	jun-04	1	12	29310	11000	34000	300
11 (3,1-4,1 m -mv)	jun-06	4	15	32720	28000	26000	310
11 (3,1-4,1 m -mv)	apr-08	1	1,3	37140	12000		
11 (3,1-4,1 m -mv)	okt-09	33	120	27100	8000	15000	11000
11 (3,1-4,1 m -mv)	apr-10	76	310	25300	7500	36000	23000
BC03-1 (3,5-4,5 m -mv)	nov-04	**10**	**10**	550 010	2500		
BC03-1 (3,5-4,5 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	1149	1800	660	3,6
BC03-1 (3,5-4,5 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	46130	1600		
BC03-1 (3,5-4,5 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	133	1000	360	19
BC03-1 (3,5-4,5 m -mv)	apr-10	0,13	**0,6**	22,8	400	63	11
G4 (2,7-4,7 m -mv)	jan-96	**0,1**	**0,1**	4,2			
16 (3,7-4,7 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	**1**	0,8		
16 (3,7-4,7 m -mv)	mrt-98	**0,2**	**0,2**	**1**	2,5		
16 (3,7-4,7 m -mv)	okt-01	**0,2**	**0,2**	**1**	0,2		
16 (3,7-4,7 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	0,29	3,5	560
143 (3,8-4,8 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	8,1	11		
112 (3-5 m -mv)	sep-00	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
111 (4,3-5,3 m -mv)	sep-00	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,4		
111 (4,3-5,3 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	1,2	36

(Vervolg tabel op volgende bladzijde)

Vervolg bijlage A I Verontreiniging grondwater en afbraakproducten

Peilbuis (filterdiepte)	datum	PER	TRI	SOM DCE	VC	etheen	ethaan
116 (4,3-5,3 m -mv)	sep-00	**5**	**5**	2200	790		
116 (4,3-5,3 m -mv)	apr-10	4,9	5,9	6,4	1,2	5700	17000
101 (5-6 m -mv)	sep-00	9600	64000	120000	6400		
101 (5-6 m -mv)	jun-04	39000	130000	130750	14000	3200	190
101 (5-6 m -mv)	jun-06	60000	120000	79860	15000	2100	160
101 (5-6 m -mv)	apr-08	32000	100000	124000	4100		
101 (5-6 m -mv)	okt-09	27000	62000	72800	7600	2600	320
101 (5-6 m -mv)	apr-10	24000	39000	52000	4600	2300	250
121 (5-6 m -mv)	okt-00	2,1	1,8	2,3			
121 (5-6 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	0,87	2
122 (5-6 m -mv)	okt-00	**0,1**	**0,1**	1,4	44		
122 (5-6 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	61	1100	1200	250
123 (5-6 m -mv)	okt-00	**0,1**	**0,1**	0,4	0,3		
123 (5-6 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	1,1	**0,5**	1,8	93
141 (5-6 m -mv)	okt-01	1,1	0,3	4,6	3,6		
141 (5-6 m -mv)	jun-04	**0,1**	0,2	0,78	**0,1**		
142 (5-6 m -mv)	okt-01	4,6	15	1600	1100		
142 (5-6 m -mv)	jun-04	**10**	**10**	496	810	200	5,2
142 (5-6 m -mv)	apr-10	1,7	2,1	500	1900	240	25
201-1 (6,8-7,8 m -mv)	apr-10	**0,2**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	4,2	1,4
201-2 (7,9-8,8 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	0,32	**0,1**	0,59	**0,25**
202-1 (4,2-5,1 m -mv)	apr-10	0,29	**0,6**	0,69	0,9	0,69	0,27
202-2 (5,3-6,2 m -mv)	apr-10	0,41	**0,6**	0,12	12	0,68	11
203-1 (4,1-5,2 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	9,09	84	34	2,9
203-2 (5,2-6,1 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	8,8	80	35	2,9
204-1 (3,8-4,7 m -mv)	apr-10	0,67	**0,6**	1,73	1,5	0,58	11
204-2 (4,9-5,8 m -mv)	apr-10	0,29	**0,6**	0,41	6,9	0,68	22
205-1 (4-5,9 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	0,96	1,4	1,5	42
205-2 (5,1-6 m -mv)	apr-10	3,5	**0,6**	0,94	1,4	1,3	59
206-1 (5-5,9 m -mv)	apr-10	**0,1**	2	1,6	2,5	1,8	200
206-2 (6,1-7 m -mv)	apr-10	**0,1**	2,8	2,43	5	1	43
207-1 (5,8-6,7 m -mv)	apr-10	**0,1**	18	92	2	7,6	680
207-2 (6,9-7,8 m -mv)	apr-10	130	90	250	12	5,9	210
130-1 (12,2-12,7 m -mv)	mrt-01	110	**530**	1500	180		
130-1 (12,2-12,7 m -mv)	okt-01	**0,1**	0,6	110	160		
130-1 (12,2-12,7 m -mv)	jun-04	1	2,1	98	230	94	7,7
130-1 (12,2-12,7 m -mv)	apr-10	0,12	**0,6**	255	670	86	11
BC03-2 (12-13 m -mv)	nov-04	0,1	0,1	2,05	5,9		
BC03-2 (12-13 m -mv)	jun-06	0,13	0,15	10,16	120	14	3,8
BC03-2 (12-13 m -mv)	apr-08	0,1	0,1	2	33		
BC03-2 (12-13 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	0,6	8,8	2	**1**
BC03-2 (12-13 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	0,32	2,7	1,5	4,1
BC01-1 (12-13 m -mv)	nov-04	**0,1**	**0,1**	0,38	0,3		
BC01-1 (12-13 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,1	54
BC01-1 (12-13 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
BC01-1 (12-13 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	0,5	0,3	**1**	140
BC02-1 (12-13 m -mv)	nov-04	**0,1**	**0,1**	0,49	15		
BC02-1 (12-13 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	0,34	6,2	0,9	74
BC02-1 (12-13 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	6,89	5		
BC02-1 (12-13 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	3,5	3,8	**1**	290
BC02-1 (12-13 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	0,44	4,8	0,62	340

(Vervolg tabel op volgende bladzijde)

Vervolg bijlage A I Verontreiniging grondwater en afbraakproducten

Peilbuis (filterdiepte)	datum	PER	TRI	SOM DCE	VC	etheen	ethaan
BC04-2 (12-13 m -mv)	jun-05	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,33		
BC04-2 (12-13 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,1	2,9
BC04-2 (12-13 m -mv)	apr-08	1,5	1,8	1,82	0,11		
BC04-2 (12-13 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**1**	**1**	**2**
146-1 (12-13 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	1,3	0,2		
146-1 (12-13 m -mv)	apr-10	11	14	15,2	1,8	3,7	0,83
147-1 (12-13 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	**0,2**	0,5		
147-1 (12-13 m -mv)	sep-04	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
147-1 (12-13 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,1	5,2
147-1 (12-13 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
147-1 (12-13 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	1,3	0,9	**1**	2
147-1 (12-13 m -mv)	apr-10	5,2	6,5	7	0,87	2,1	1,7
148-1 (12-13 m -mv)	okt-01	**5**	**5**	3600	2400		
148-1 (12-13 m -mv)	jun-04	**1**	**1**	580	370	190	190
148-1 (12-13 m -mv)	apr-10	**0,1**	**0,6**	24,4	280	33	51
BC01-2 (23-24 m -mv)	nov-04	**0,1**	**0,1**	0,49	15		
BC01-2 (23-24 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	0,83	1,9	**0,1**	110
BC01-2 (23-24 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	0,47	2,8		
BC01-2 (23-24 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	0,7	3,3	**1**	20
146-2 (23,5-24,5 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	**0,2**	0,5		
146-2 (23,5-24,5 m -mv)	jun-04	**0,1**	**0,1**	**0,1**	4,3		
147-2 (23,5-24,5 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	**0,2**	**1,5**		
147-2 (23,5-24,5 m -mv)	sep-04	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
147-2 (23,5-24,5 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,48	13	13
147-2 (23,5-24,5 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**		
147-2 (23,5-24,5 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	1,9	0,8	**1**	6,6
148-2 (23,5-24,5 m -mv)	okt-01	**0,1**	**0,1**	110	240		
148-2 (23,5-24,5 m -mv)	jun-04	**0,1**	**0,1**	29	8,4	33	300
BC03-3 (24-25 m -mv)	nov-04	9,3	4	454	2000		
BC03-3 (24-25 m -mv)	jun-06	0,1	0,1	1345	2700	680	12
BC03-3 (24-25 m -mv)	apr-08	0,1	0,1	163	1		
BC03-3 (24-25 m -mv)	okt-09	**0**	**0,6**	6,6	280	210	9
BC02-2 (24-25 m -mv)	nov-04	**0,1**	**0,1**	0,21	7		
BC02-2 (24-25 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	1,6	13	0,6	10
BC02-2 (24-25 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	15,9	11		
BC02-2 (24-25 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	1,4	3,5	**1**	1
BC04-3 (24-25 m -mv)	jun-05	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,89		
BC04-3 (24-25 m -mv)	jun-06	**0,1**	**0,1**	**0,1**	2,1	**0,1**	13
BC04-3 (24-25 m -mv)	apr-08	**0,1**	**0,1**	**0,1**	0,34		
BC04-3 (24-25 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	**0,1**	**0,1**	**1**	**6**
130-2 (27-28 m -mv)	mrt-01	**1,9**	**5,5**	140	57		
130-2 (27-28 m -mv)	okt-01	**0,2**	**1**	210	630		
130-2 (27-28 m -mv)	jun-04	1,6	0,3	51,93	29	3	10,3
130-3 (44-44,5 m -mv)	mrt-01	**0,1**	0,2	19	2,5		
130-3 (44-44,5 m -mv)	okt-01	**0,1**	0,2	15,3	33		
130-3 (44-44,5 m -mv)	jun-04	1,6	0,3	85,8	15	3,1	7,3
130-3 (44-44,5 m -mv)	jun-06	1,3	0,66	111,6	46	2	6,7
130-3 (44-44,5 m -mv)	apr-08	1,6	0,1	293	67		
130-3 (44-44,5 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	103	79	9	4
130-4 (55-56 m -mv)	mrt-01	**0,1**	0,3	12	6,3		
130-4 (55-56 m -mv)	okt-01	0,3	2	325,2	73		
130-4 (55-56 m -mv)	jun-04	1,3	**1**	252,4	50		
130-4 (55-56 m -mv)	jun-06	1,9	0,3	68,3	21	1,4	6
130-4 (55-56 m -mv)	apr-08	**0,1**	0,11	10,6	3		
130-4 (55-56 m -mv)	okt-09	**0,1**	**0,6**	1,5	0,5	4	1

BIJLAGE A II Redoxparameters

Analyseresultaten van de monitoring ten behoeve van dit onderzoek (monsterneming april 2010). Lege cellen betekenen dat de betreffende meting niet heeft kunnen plaatsvinden ‘ <’ : lager dan detectielimiet. In bijlage B is per peilbuis aangegeven of het filter zich in de deklaag of het eerste watervoerende pakket bevindt.

Straat	Peilbuis	Filterdiepte (m-mv)		Eh	zuurstof	nitraat	sulfaat	methaan
		van	tot	(mV)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µg)
Straat W	111	4,3	5,3			<0,75	<5	3300
	101	5	6			<0,75	180	2200
	116	4,3	5,3			<0,75	10	17000
	142	5	6	-115,6	0	<0,75	23	5400
	123	5	6	-142,2	0	<0,75	<5	23000
	146-1	12	13	-107,7	0	<0,75	30	<25
	130-1	12,2	12,7			<0,75	16	<25
	147-1	12	13	-103,7	0	<0,75	<5	4900
	121	5	6			<0,75	<5	2100
	BC03-1	3,5	4,5	-112,9	0	<0,75	11	300
	122	5	6	-105,1	0	<0,75	52	3100
	BC03-2	12	13	-81,9	0	<0,75	13	620
Steeg N	112	3	5					
	144	2	3			<0,75	<5	<25
	145	2	3			72	70	<25
Straat O	11	3,1	4,1	-51,5		<0,75	<5	1200
	113	2	3			<0,75	15	<25
	14	2,2	3,2					
	1	2	3	-428,7	0,06	<0,75	74	<25
	16	3,7	4,7			<0,75	<5	15000
	15	2,5	3,5			<0,75	<5	2700
	115	2	3	-18,8		<0,75	12	540
	148-1	12	13			<0,75	<5	470
	BC02-1	12	13	-20,1	0	<0,75	54	130
Steeg Z	201-1	6,8	7,8	-108,1	0	<0,75	87	650
	201-2	7,9	8,8	-113,2	0	<0,75	13	230
	202-1	4,2	5,1	-105,7	0	<0,75	27	40000
	202-2	5,3	6,2	-101,2	0	<0,75	37	1300
	203-1	4,1	5,2	-122	0	<0,75	270	430
	203-2	5,2	6,1	-123	0	<0,75	270	130
	204-1	3,8	4,7	-144	0	<0,75	230	650
	204-2	4,9	5,8	-98,2	0	<0,75	31	650
	205-1	4	5,9	-96	0	<0,75	21	340
	205-2	5,1	6	-82,4	0	<0,75	18	370
	206-1	5	5,9	-76,9	0	<0,75	12	3500
	206-2	6,1	7	-91,4	0	<0,75	33	3400
	207-1	5,8	6,7	-74,8	0	<0,75	61	4800
	207-2	6,9	7,8	-96	0	<0,75	63	730

BIJLAGE A III DOC en nutriënten

Analyseresultaten van de monitoring ten behoeve van dit onderzoek (monsterneming april 2010). Lege cellen betekenen dat de betreffende meting niet heeft kunnen plaatsvinden ‘ <’ : lager dan detectielimiet. In bijlage B is per peilbuis aangegeven of het filter zich in de deklaag of het eerste watervoerende pakket bevindt.

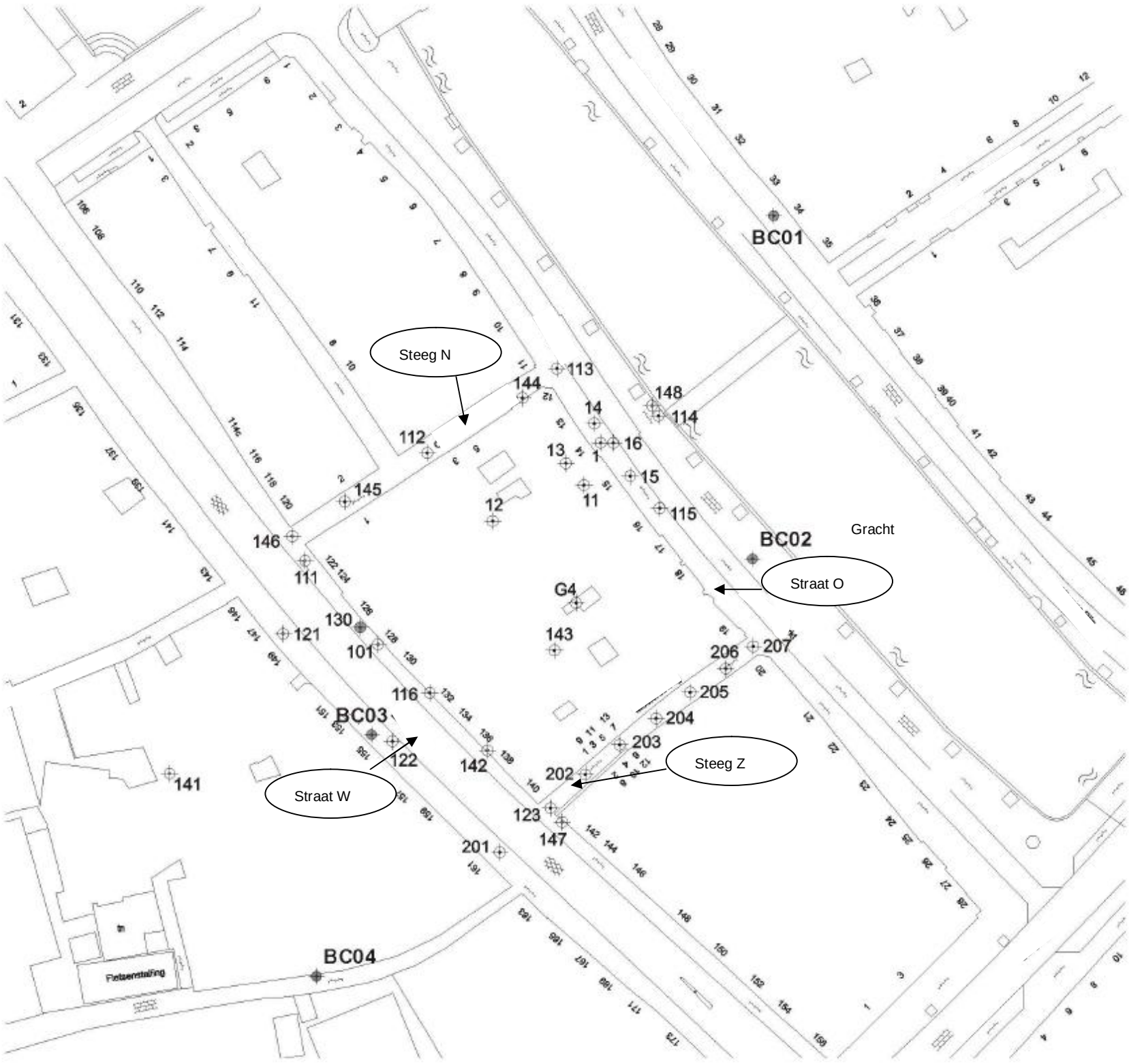
Straat	Peilbuis	Filterdiepte (m-mv)		DOC	ammonium	orthofosfaat
		van	tot	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Straat W	111	4,3	5,3	16	24	7,5
	101	5	6	9,2	15	1,3
	116	4,3	5,3	19	39	9,3
	142	5	6	9,2	11	5,5
	123	5	6	17	20	8,4
	146-1	12	13	7,3	7,6	1,7
	130-1	12,2	12,7	9,8	6,1	0,98
	147-1	12	13	15	30	2,2
	121	5	6	16	9,2	10
	BC03-1	3,5	4,5	14	13	1,6
	122	5	6	16	14	6,2
	BC03-2	12	13	9,8	11	5,3
Steeg N	112	3	5			
	144	2	3	44	12	6,2
	145	2	3	6,5	8,7	3,2
Straat O	11	3,1	4,1	35	65	<0,1
	113	2	3	7,2	2,8	0,67
	14	2,2	3,2			
	1	2	3	<5	3,2	0,91
	16	3,7	4,7	45	74	3,8
	15	2,5	3,5	15	17	3,4
	115	2	3	6	16	4,2
	148-1	12	13	13	22	4,8
	BC02-1	12	13	12	16	5
Steeg Z	201-1	6,8	7,8	15	43	8,3
	201-2	7,9	8,8	12	21	6,3
	202-1	4,2	5,1	11	9,8	6,3
	202-2	5,3	6,2	18	24	7,2
	203-1	4,1	5,2	15	25	6,4
	203-2	5,2	6,1	15	26	6,9
	204-1	3,8	4,7	18	28	6,8
	204-2	4,9	5,8	15	20	5,7
	205-1	4	5,9	13	9,4	4,1
	205-2	5,1	6	13	9,5	3,6
	206-1	5	5,9	17	12	6
	206-2	6,1	7	11	11	5,6
	207-1	5,8	6,7	9,4	12	3,5
	207-2	6,9	7,8	9,3	9,8	2,7

B Bijlage Gegevens peilbuizen

Gegevens van de peilbuizen die in het kader van dit onderzoek zijn bemonsterd. Voor peilbuizen waarvan aan de hand van boorstaten kan worden vastgesteld of het filter in de deklaag of het eerste watervoerende pakket staat, is dit aangegeven met een kleur. Geel: eerste watervoerende pakket; Oranje: deklaag. Indien de hoogte van het maaiveld bekend is, wordt dit ook aangegeven. Nieuwe peilbuizen zijn in het kader van het huidige onderzoek geplaatst in april 2010.

Straat	Peilbuis	Filterdiepte (m-mv)		Maaiveld	Bestaand (B)/
		van	tot	(m t.o.v. NAP)	Nieuw (N)
Straat W	111	4,3	5,3		B
	101	5	6		B
	116	4,3	5,3		B
	142	5	6		B
	123	5	6		B
	146-1	12	13	2,90	B
	130-1	12,2	12,7		B
	147-1	12	13	2,20	B
	121	5	6		B
	BC03-1	3,5	4,5		B
	122	5	6		B
	BC03-2	12	13	2,66	B
Steeg N	112	3	5		B
	144	2	3		B
	145	2	3		B
Straat O	11	3,1	4,1		B
	113	2	3		B
	14	2,2	3,2		B
	1	2	3		B
	16	3,7	4,7	0,40	B
	15	2,5	3,5		B
	115	2	3		B
	148-1	12	13		B
	BC02-1	12	13	0,29	B
Steeg Z	201-1	6,8	7,8	2,18	N
	201-2	7,9	8,8	2,18	N
	202-1	4,2	5,1	1,77	N
	202-2	5,3	6,2	1,77	N
	203-1	4,1	5,2	1,49	N
	203-2	5,2	6,1	1,49	N
	204-1	3,8	4,7	1,20	N
	204-2	4,9	5,8	1,20	N
	205-1	4	5,9	1,01	N
	205-2	5,1	6	1,01	N
	206-1	5	5,9	0,77	N
	206-2	6,1	7	0,77	N
	207-1	5,8	6,7	0,55	N
	207-2	6,9	7,8	0,55	N

C Bijlage Overzichtstekening



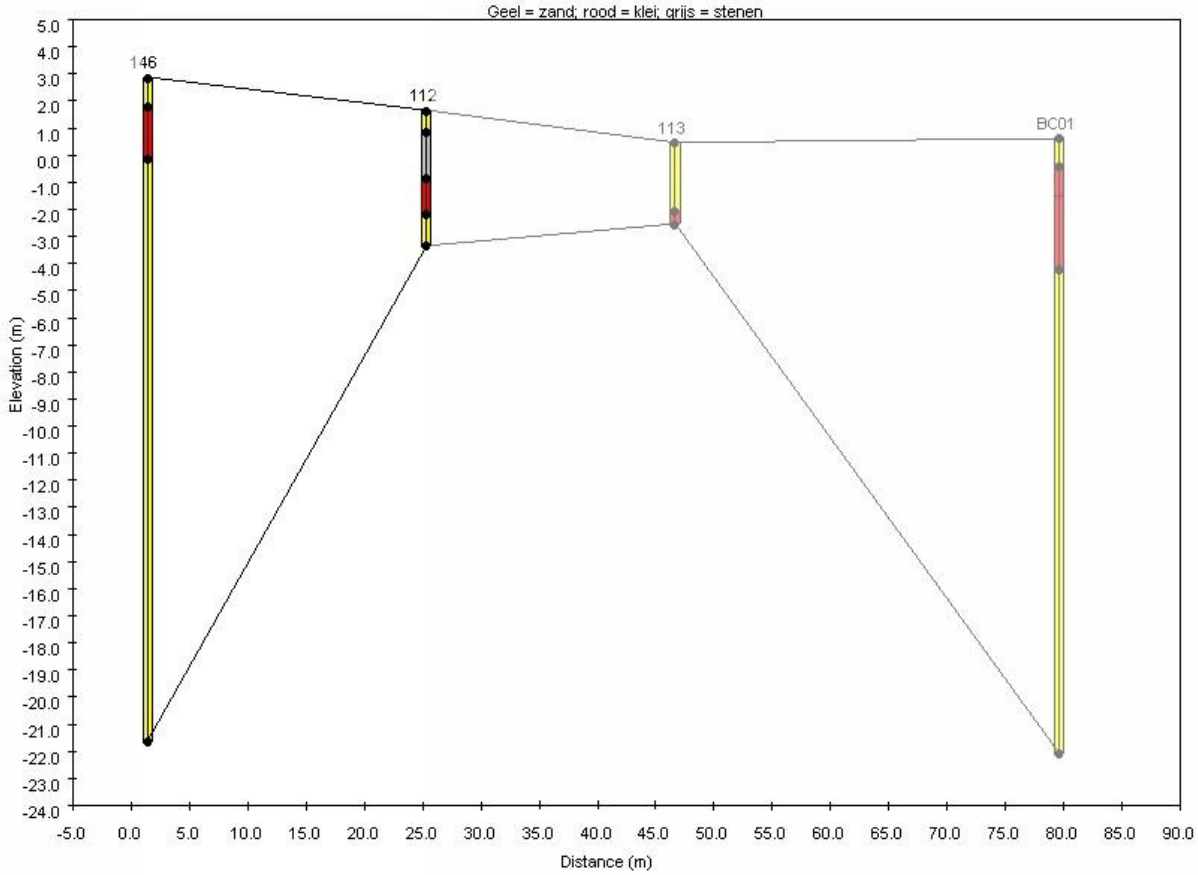
N

Project:			Tekenaar / Projectleider
Opdrachtgever:	Gemeente Leiden		
Omschrijving:	Situatie met peilbuizen		
bioclear	Projectnummer: 2007.3085	19 augustus 2010	AV / NR
	Schaal 1:1000 (bij benadering)	Bijlage 1	EV

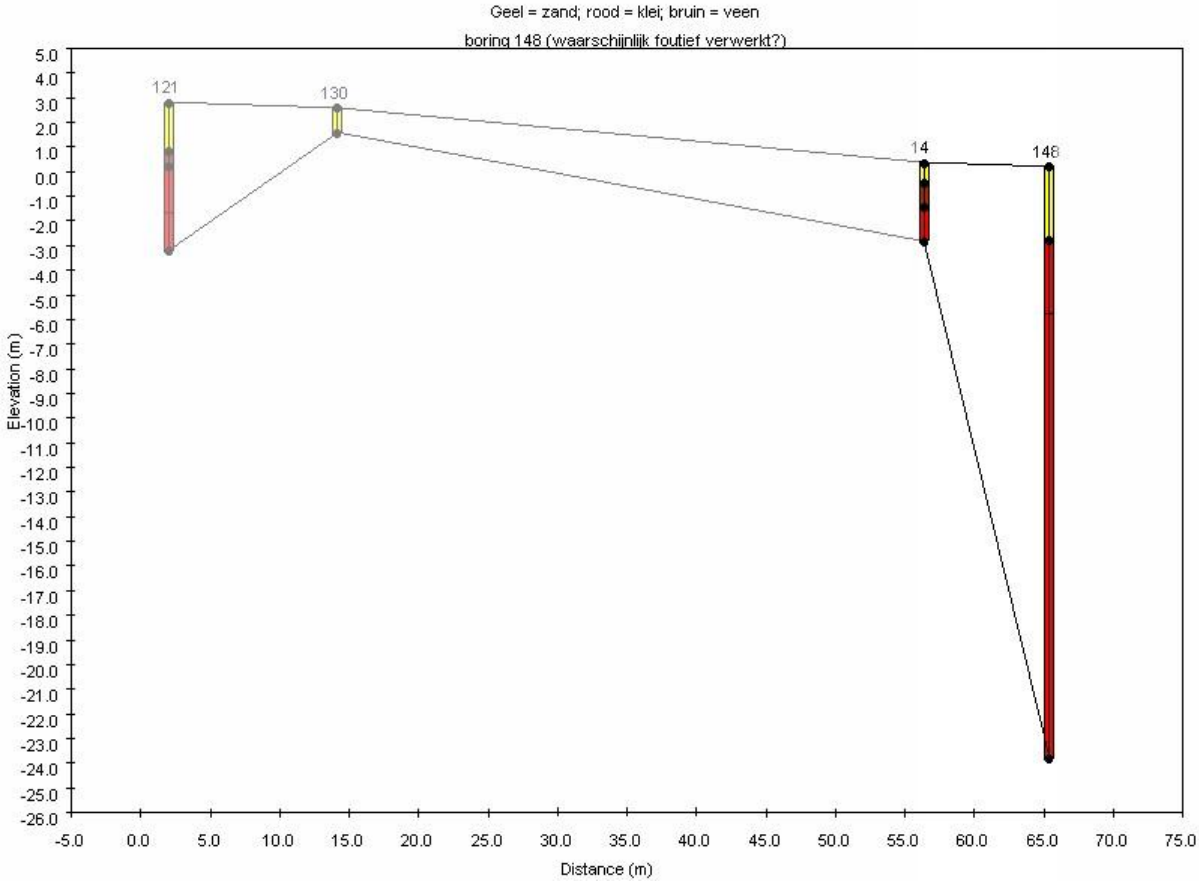
Gebaseerd op tekening van Bioclear.

D Bijlage Profielen op basis van voorgaand onderzoek en boorstaten 201-207

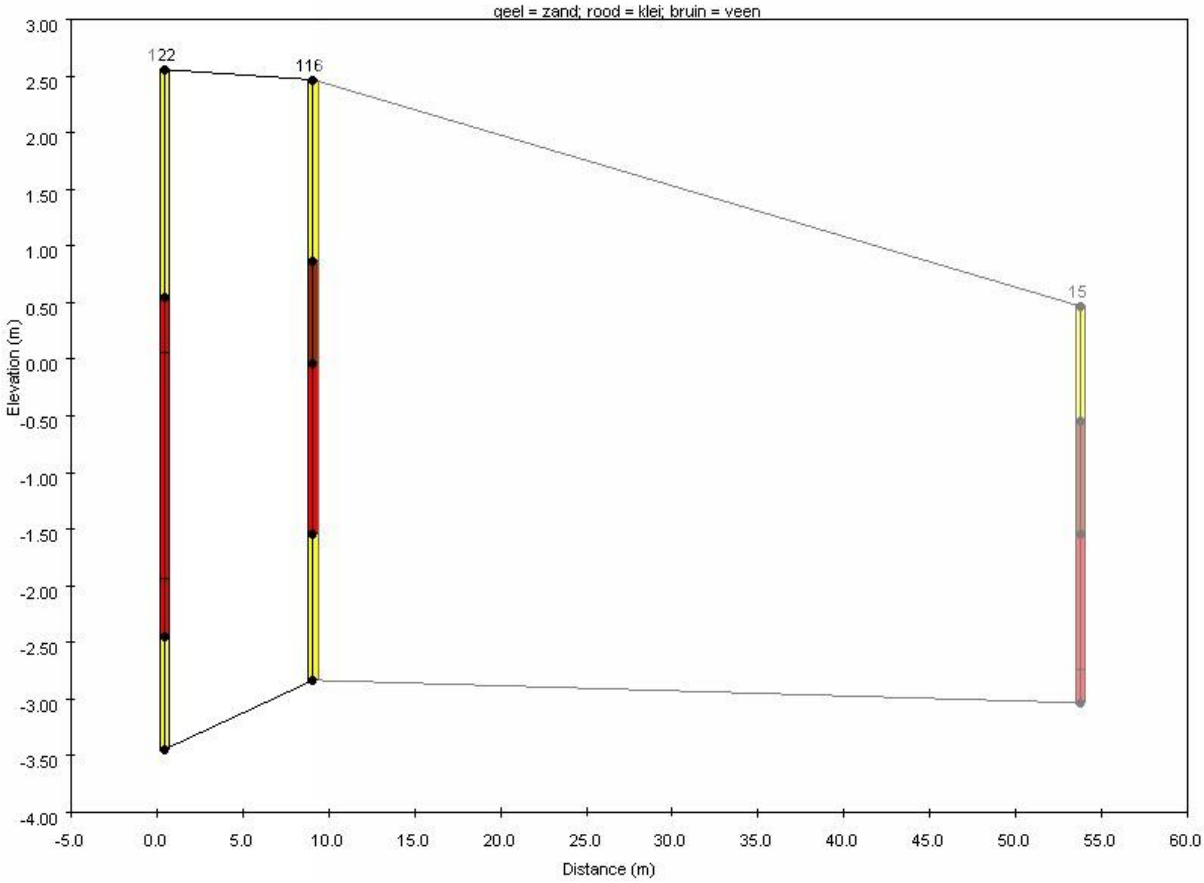
Profiel 1



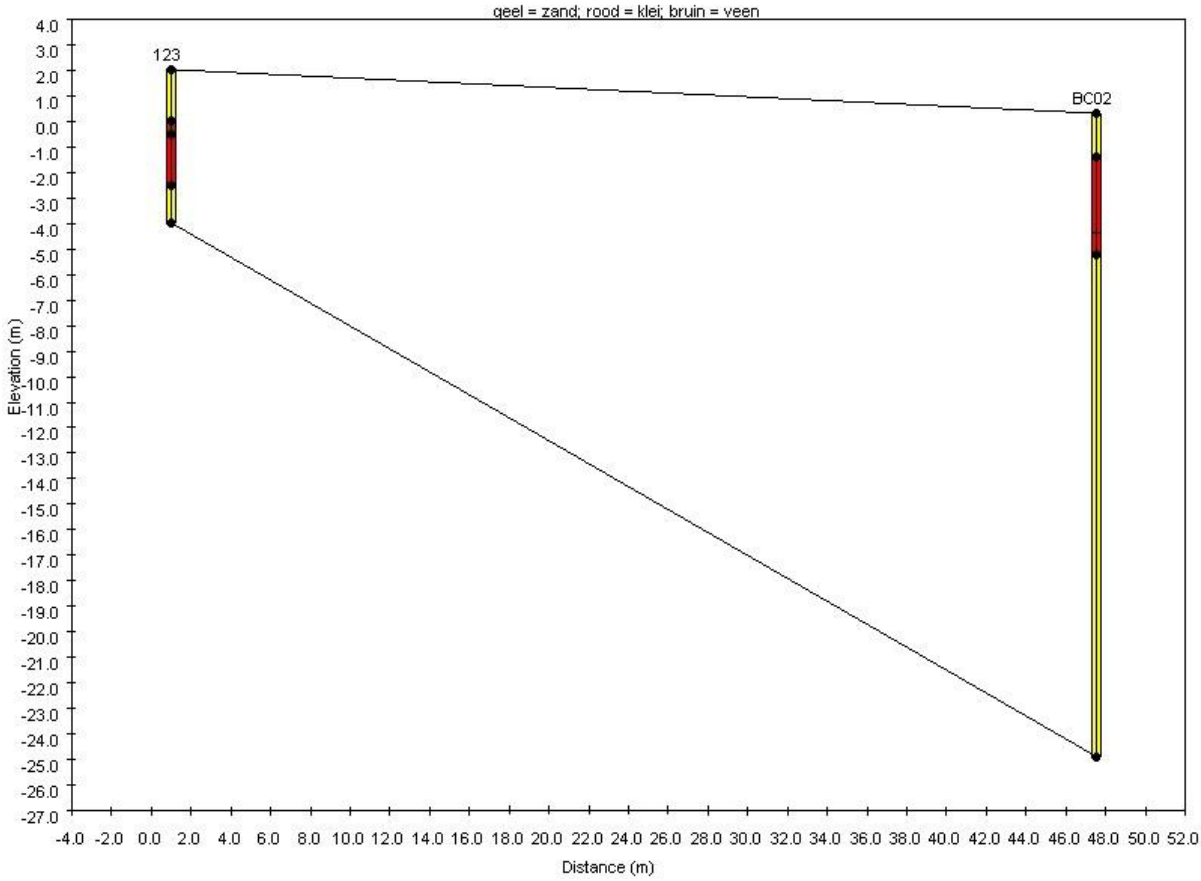
Profiel 2


Geel = zand; rood = klei; bruin = veen
boring 148 (waarschijnlijk foutief verwerkt?)
121
130
14
148
Elevation (m)
Distance (m)

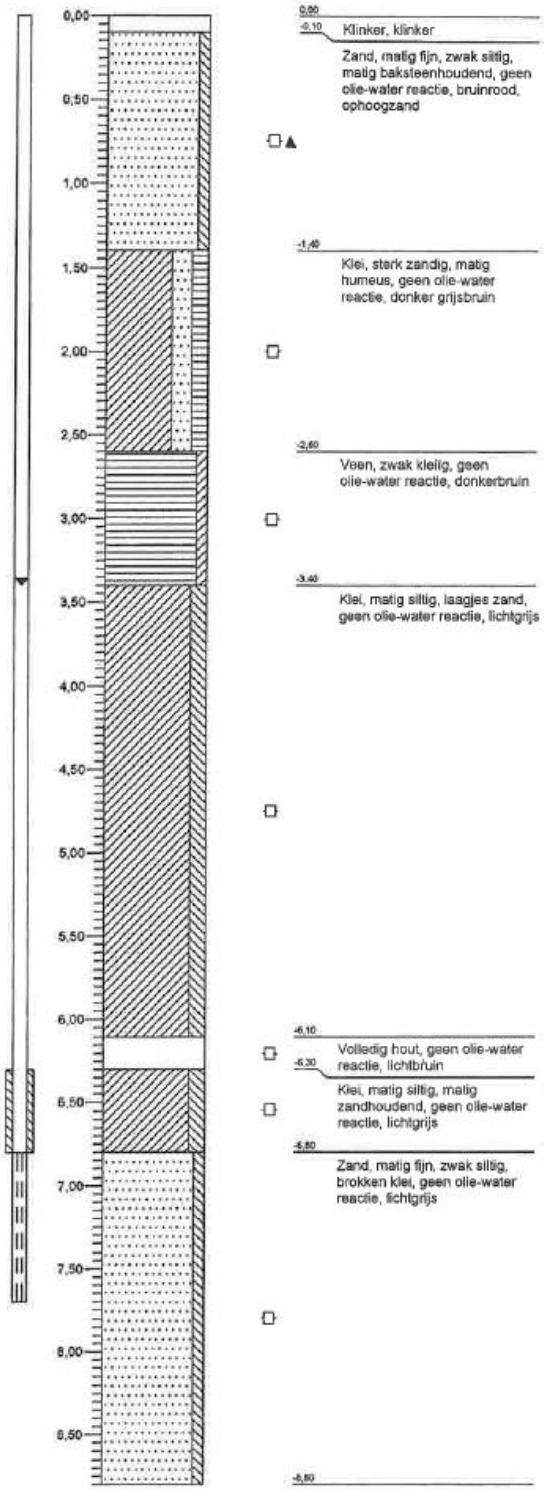
Profiel 3


geel = zand; rood = klei; bruin = veen
122
116
15
Elevation (m)
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
-0.50
-1.00
-1.50
-2.00
-2.50
-3.00
-3.50
-4.00
-5.0
0.0
5.0
10.0
15.0
20.0
25.0
30.0
35.0
40.0
45.0
50.0
55.0
60.0
Distance (m)

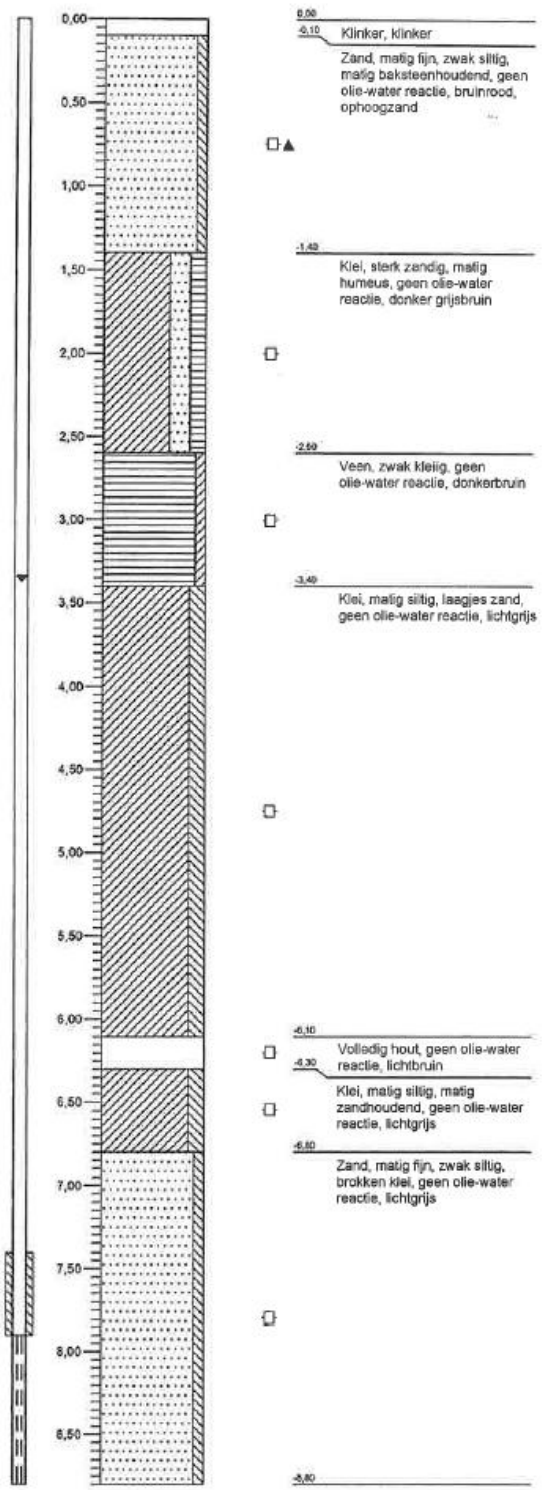
Profiel 4


geel = zand; rood = klei; bruin = veen
123
BC02
Elevation (m)
Distance (m)

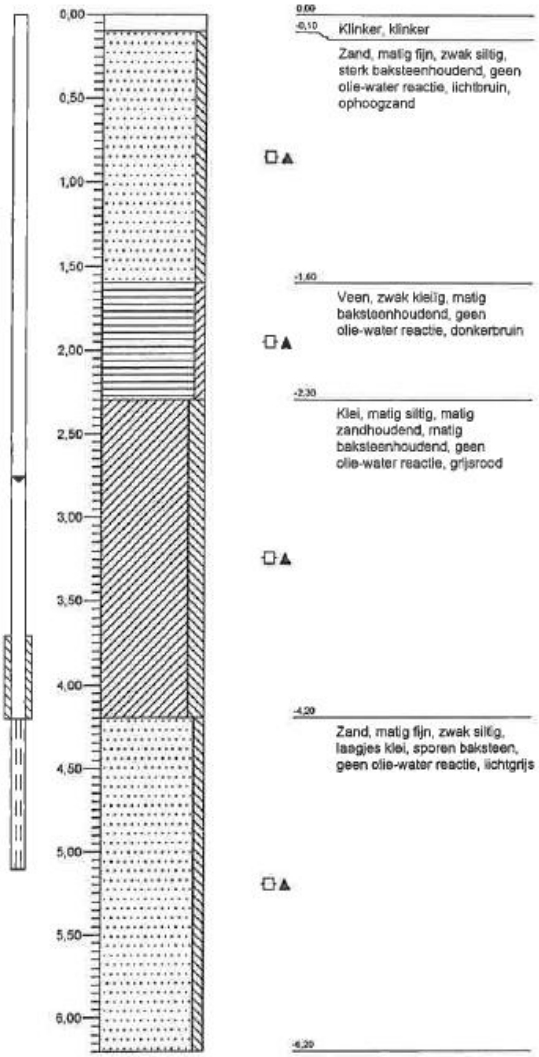
Boring: 201-1



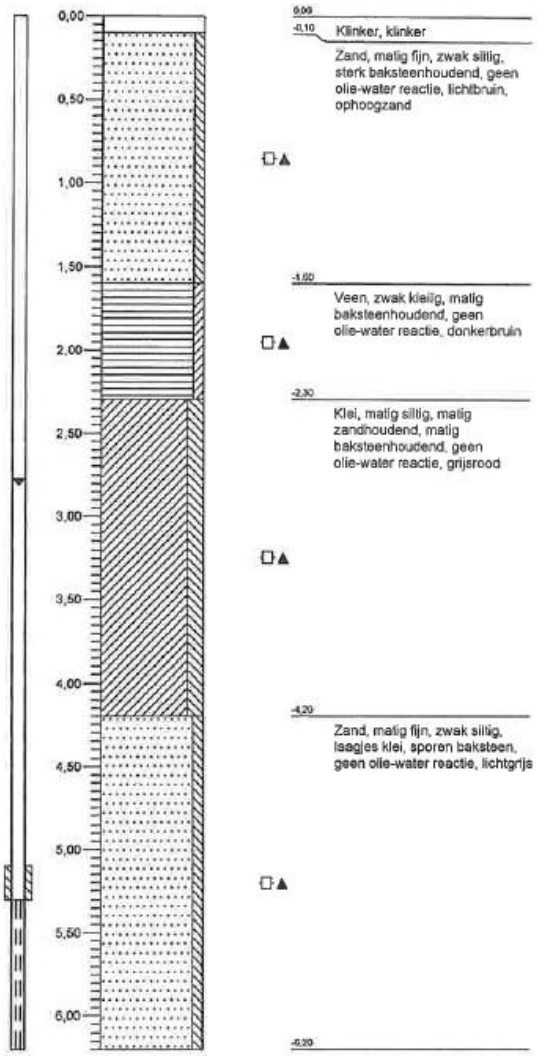
Boring: 201-2



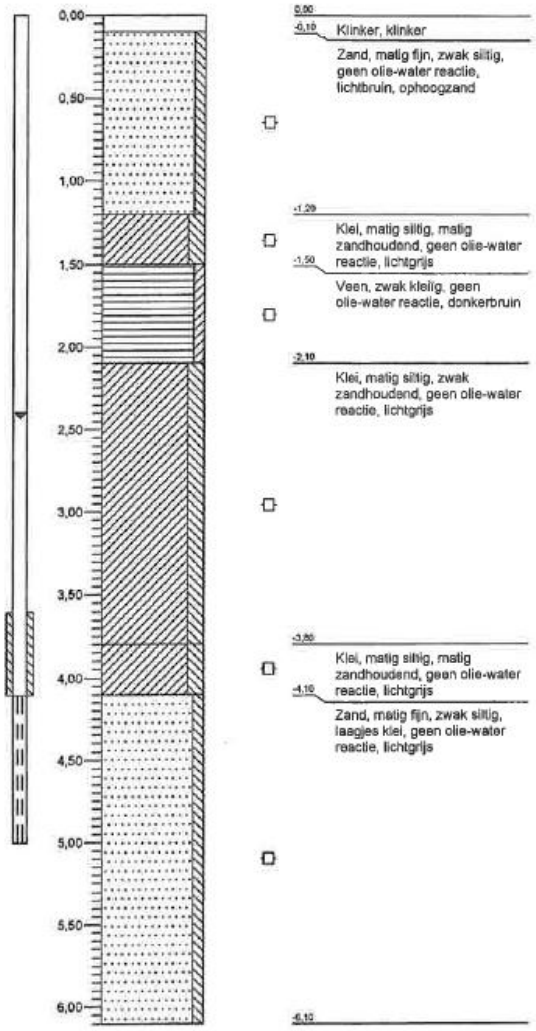
Boring: 202-1



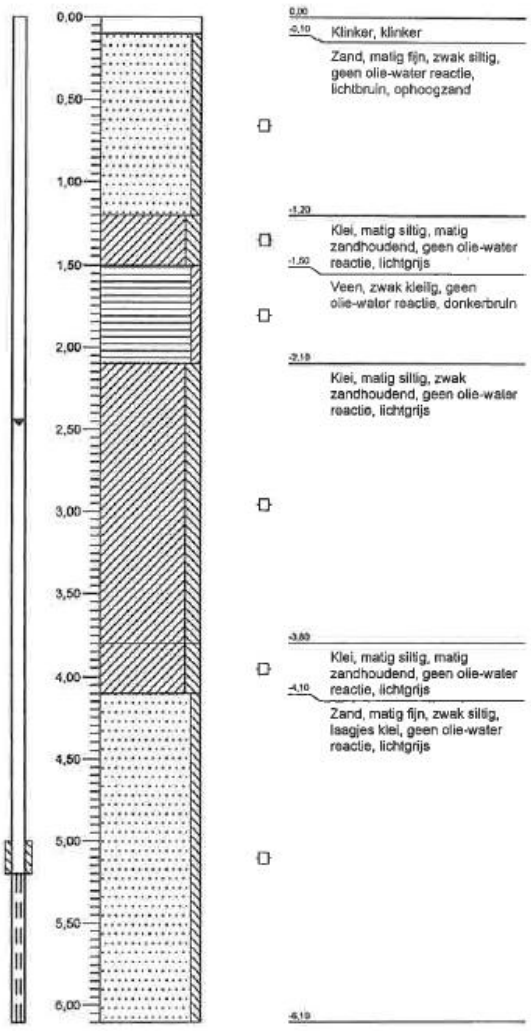
Boring: 202-2



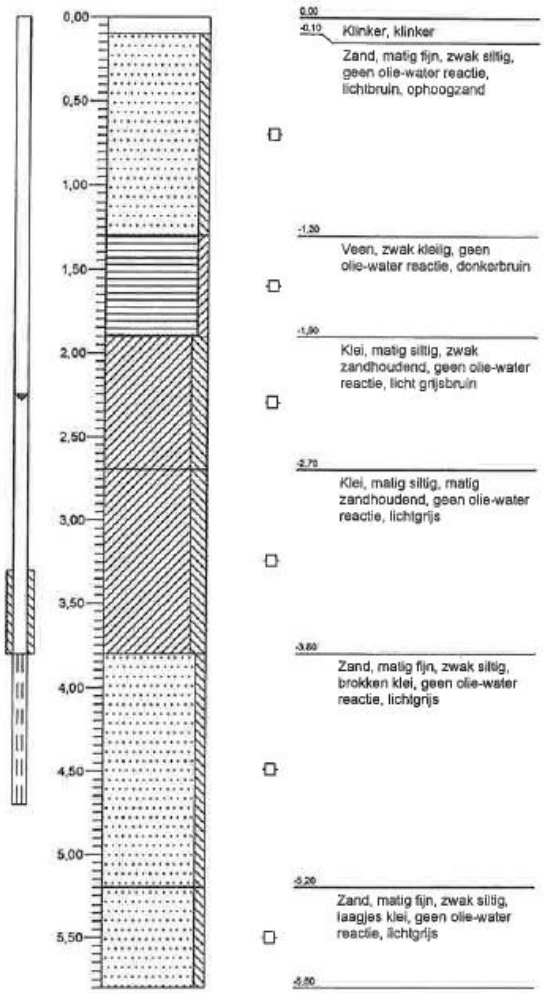
Boring: 203-1



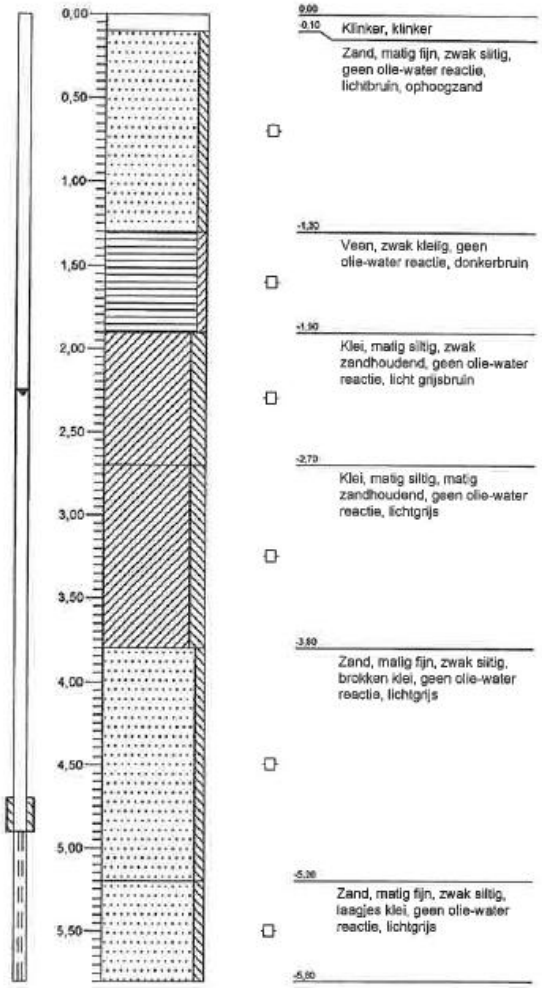
Boring: 203-2



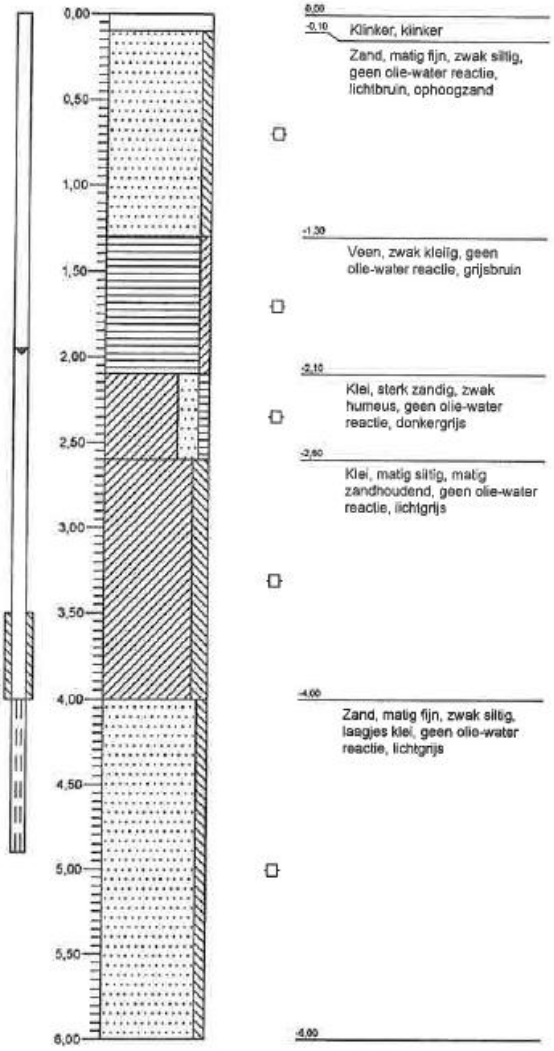
Boring: 204-1



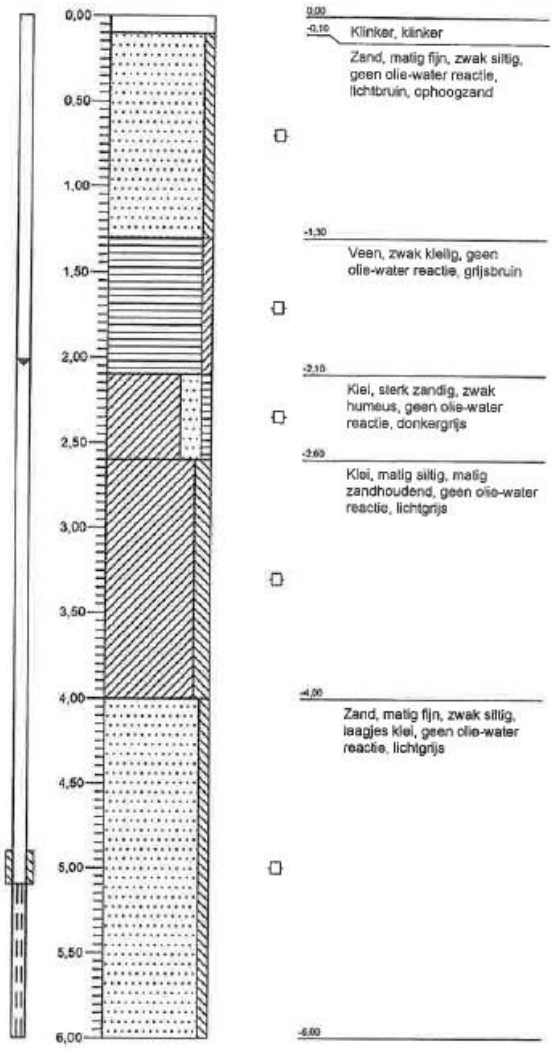
Boring: 204-2



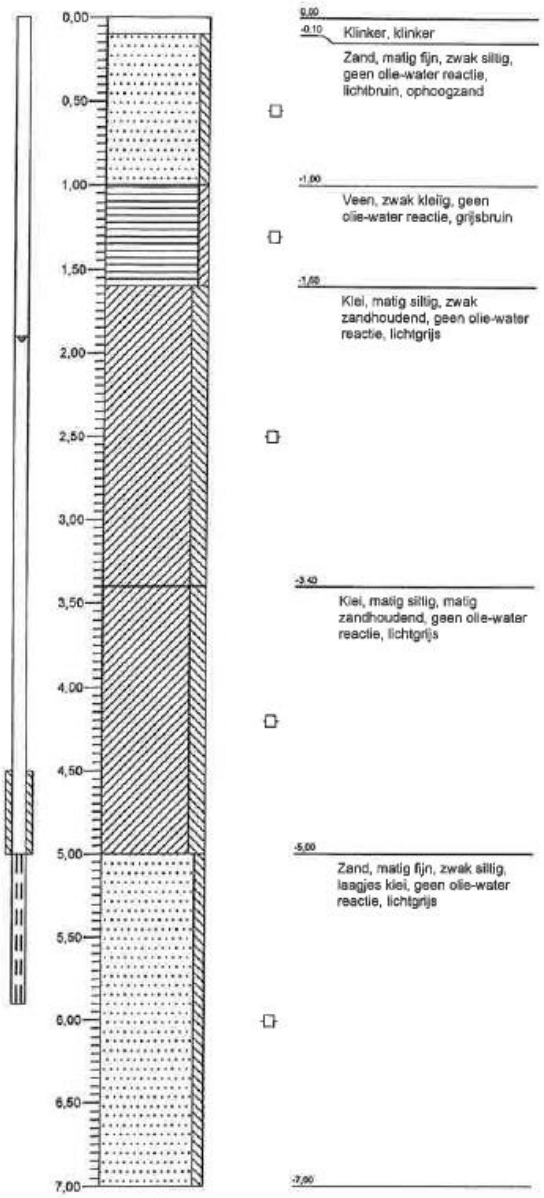
Boring: 205-1



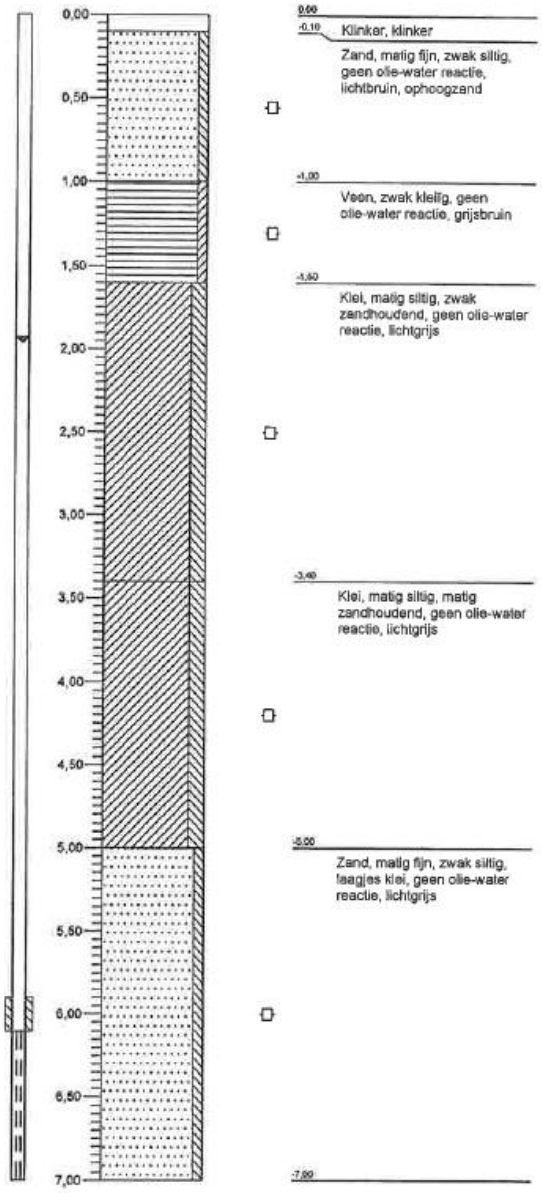
Boring: 205-2



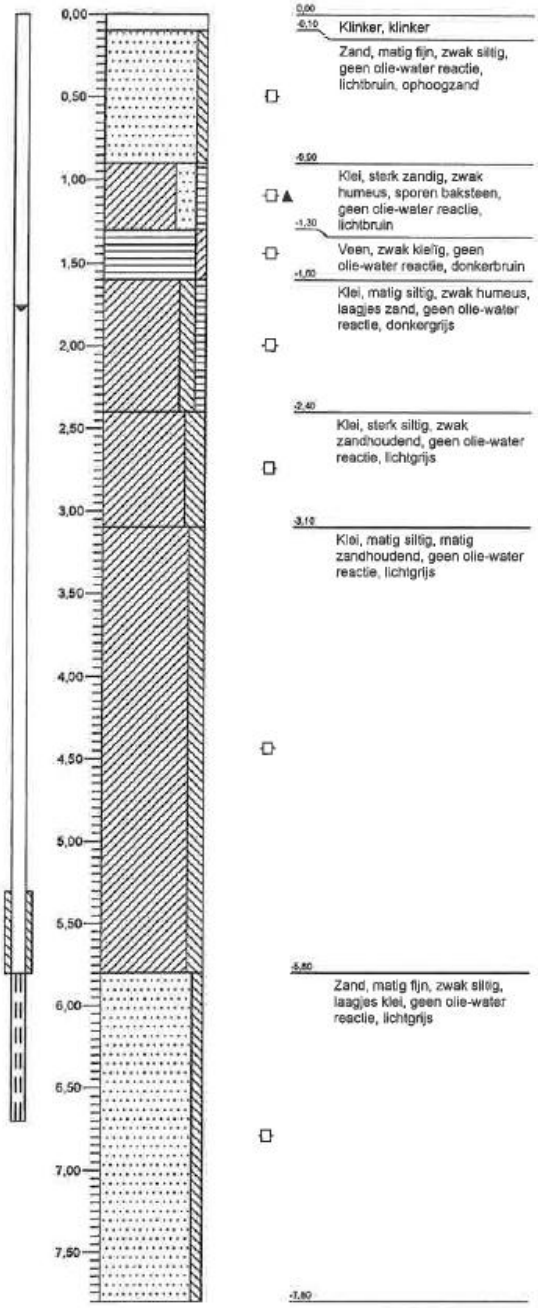
Boring: 206-1



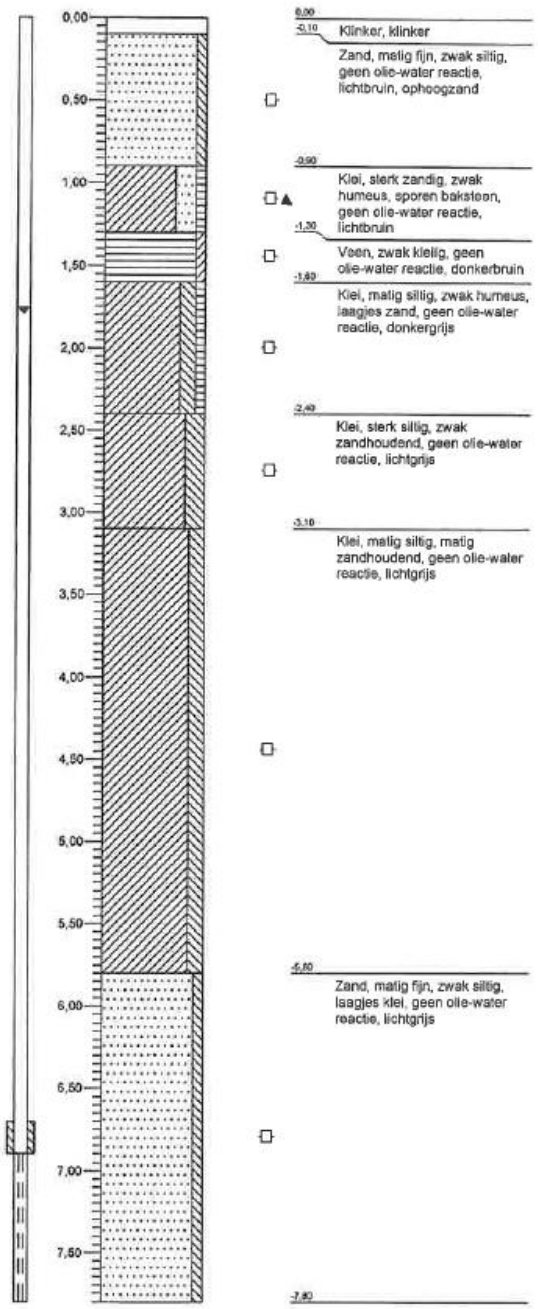
Boring: 206-2



Boring: 207-1



Boring: 207-2



E Bijlage Rapport MIP-sonderingen

Gehele rapport (21 pagina's) rapport MIP sonderingen, Fugro, i.o.v. Deltares, opdrachtnummer 1709-0431-000, 29 september 2009.

F Bijlage Voorstel aanpassing monitoringsplan

Dit voorstel tot aanpassing van het monitoringsplan is opgesteld omdat het conceptuele model van de verspreiding van de verontreiniging is gewijzigd. Sommige peilbuizen die in het huidige monitoringsplan gebruikt worden, zullen naar verwachting in de toekomst geen extra informatie geven. Daarom kan de inspanning beter gericht worden op het monitoren van enkele andere peilbuizen.

Herziening conceptueel model

Het conceptuele model van de verontreinigingssituatie is nu als volgt:

Nabij peilbuis 101 (Straat W) bevindt zich waarschijnlijk een bron van puur product VOCl in de deklaag. Mogelijk is nabij peilbuis 11 (Straat O) een tweede (kleine) bron met puur product aanwezig. De horizontale verspreiding in de deklaag is gering, maar wel leveren de bronnen (vooral de bron bij Straat W 128) een significante vracht naar het onderliggende watervoerende pakket. In het eerste watervoerende pakket stroomt het water in oost-zuidoostelijke richting met een snelheid van ongeveer 5 m/jaar. De pluim die uit de deklaag afkomstig is, blijft in het bovenste deel van het watervoerende pakket en verspreidt zich nauwelijks in de diepte.

Naast de bron in de deklaag is het ook waarschijnlijk dat VOCL als puur product in het watervoerende pakket terecht is gekomen. Het puur product is in het watervoerende pakket verder naar beneden gezakt, waarbij er langs het gehele traject wat puur product zal achterblijven (residuaire verzadiging) en dat zou zich kunnen hebben opgehoopt op een dieper gelegen slecht doorlatende laag. Gezien de concentraties die op deze locatie dieper in het watervoerende pakket zijn aangetroffen valt te concluderen, dat de bronnen puur product dieper in het watervoerende pakket significant kleiner zijn dan de bron in de deklaag.

In de deklaag en in het watervoerende pakket breken de VOCL-verbindingen af. De omstandigheden in het bovenste deel van het watervoerende pakket lijken echter niet gunstig voor de volledige dechlorering van VOCL, alhoewel de dechloreringsgraad stroomafwaarts in het watervoerende pakket wel toeneemt en er ook etheen en ethaan gevormd worden. Deze afbraakproducten kunnen gevormd zijn in het bovenste deel van eerste watervoerende pakket of zijn afkomstig uit de deklaag als gevolg van volledige afbraak in die laag. De afbraak verloopt waarschijnlijk dermate traag dat de concentraties VOCL niet onder de interventiewaarde komen voordat het bij Steeg Z buiten het onderzochte gebied stroomt.

Uiteindelijk zal na verloop van tijd in de bronzone al het puur product opgelost worden en zal er een einde komen aan de nalevering. Dit proces kan wel verscheidene decennia of zelfs langer duren.

Doelstelling monitoringsplan

Het toetsingskader van het huidige monitoringsplan is om vast te stellen dat de jaarlijkse volumetoename van de verontreiniging kleiner is dan de toegestane norm en om de biologische afbraak te verifiëren. Bij het opstellen van het monitoringsplan was dit 5.000 m^3/jaar (circulaire bodemsanering 2006), maar deze is aangepast naar 1.000 m^3/jaar (circulaire bodemsanering 2009). Bioclear heeft in de rapportage van de resultaten tot en met 2009 aangegeven dat moet worden gekeken hoe met deze verandering om wordt gegaan[2].

Heroverweging huidige monitoringssysteem

Het huidige monitoringsprogramma[2] is samengevat in tabel 1. De volgende peilbuizen zijn opgenomen in het programma:

- Deklaag: 11, BC03-1, BC04-1;
- Bovenste deel watervoerende pakket: 101, BC03-2, BC03-3, 147-1, 147-2, BC01-1, BC01-2, BC02-1, BC02-2, BC04-2, BC04-3;
- Onderste deel watervoerende pakket: 130-3, 130-4.

Volgens het nieuwe conceptuele model blijkt dat het met huidige monitoringssysteem niet direct antwoord gevonden kan worden op de vraag of de verspreiding van de verontreiniging binnen de gestelde norm blijft. Het front van de pluim is niet in beeld omdat de pluim het onderzoeksgebied verlaat op een plek waar tot nu toe niet gemonitoord werd. Ook blijkt dat er in een aantal peilbuizen gemonitoord wordt op locaties waar de pluim gezien de stromingsrichting niet langs zal komen: peilbuizen BC01 en BC04. De daar gemeten (lage) concentraties VOCL zullen waarschijnlijk veroorzaakt zijn door andere bronnen. Bij BC04 worden geen VOCL-verbindingen meer aangetoond.

De analyse van grondwater op etheen en ethaan, eens in de drie jaar, geeft informatie over het plaatsvinden van volledige afbraak van VOCL via reductieve dechlorering ter plaatse van de peilbuizen of stroomopwaarts hiervan. Er worden geen redoxparameters bepaald. Aanwijzingen voor de eventuele stagnatie van het reductieve dechloreringsproces bij VC kunnen verkregen worden uit het concentratieverloop van VOCL en etheen en ethaan. Hiervoor zijn tijdreeksen van meerdere metingen nodig.

Tabel 1 Het huidige monitoringsprgramma[2]. Naast VOCl's, etheen en ethaan, worden ook pH en geleidbaarheid (EC) bepaald.

Monitoring	Frequentie	Tijdstippen	Analyses
verspreiding en nalevering (regulier)	iedere anderhalf jaar	maart 2008	VOCl (PER, TRI, cis- en trans-DCE, VC)
		september 2009	
		maart 2011	
		september 2012	
natuurlijke afbraak (uitgebreid)	iedere drie jaar	september 2009	etheen en ethaan (in aanvulling op reguliere monitoring)
		september 2012	

Voorstel vervanging te bemonsteren peilbuizen

Het monitoren van het front van de pluim als functie van de tijd is op deze locatie niet haalbaar wegens de bebouwing op de locatie waar het front van de pluim wordt verwacht. Indien de milieudienst beslissingen neemt over het beheer van de verontreiniging en eventueel te nemen actieve maatregelen op basis van de hoeveelheid verspreiding is een inschatting hiervan nodig. Om een mate van verspreiding te kunnen bepalen zou bij Steeg Z een schatting gemaakt kunnen worden van het doorstroomd oppervlak dat een concentratie groter dan de interventiewaarde heeft en deze te vermenigvuldigen met de stroomsnelheid van het grondwater (5m/jaar). Voor de meetronde van 2010 blijkt dat in peilbuizen 202-2, 203-1, 203-2, 204-2, 206-2, 207-1 en 207-2 concentraties >= I gemeten zijn. Op basis van een onderlinge afstand van ongeveer 7 m en een filterlengte van 1 m is het doorstroomde oppervlak per peilbuis 7 m^2. Voor zeven peilbuizen en een stroomsnelheid van 5 m/jaar bedraagt de geschatte verspreiding dus 7 x 7 m^2 x 5 m/jaar = 245 m^3/jaar. Deze inschatting kent belangrijke onzekerheden. Er wordt aangenomen dat de concentraties stroomafwaarts niet beneden de interventiewaarde zijn gekomen door afbraak (conservatieve aanname, anders is de verspreiding kleiner) of dat de pluim deels onder of langs de raai met peilbuizen stroomt (waardoor de verspreiding groter zou zijn). Indien de veranderingen in volume leidend zullen zijn voor de beslissingen die worden genomen op deze locatie zouden de onzekerheden in de berekening verkleind moeten worden. Dat zou bijvoorbeeld kunnen door peilbuizen te plaatsen op de diepte die bepalend is voor de omvang van het doorstromend oppervlak dat zou leiden tot een volumetoename van meer dan 1.000 m^3 per jaar. Voor een nauwkeurig beeld van de doorsnede van de pluim vraagt dit waarschijnlijk om een gefaseerd onderzoek waarbij de resultaten steeds bepalen waar de volgende peilbuis geplaatst wordt.

Ten behoeve van het onderzoek naar verspreiding van de verontreiniging wordt voorgesteld om in het vervolg de monitoring in de peilbuizen BC01 (filters 1 en 2) en BC04 (filters 1, 2 en 3) te laten vervallen omdat deze peilbuizen waarschijnlijk niet in de stroombaan van de bronnen op de locatie liggen, bovendien worden bij BC04 geen VOCl-verbindingen meer aangetoond. Ter plaatse van peilbuis 130-4 zijn de concentraties VOCl-verbindingen sinds 2001 afgenomen tot beneden de detectielimiet (PER en TRI) of zeer lage waarden (DCE: 1,5 µg/l, VC: 0,5 µg/l). Deze peilbuis zou in het vervolg ook kunnen worden uitgesloten in het monitoringsprogramma. Peilbuizen 147-1 en 147-2 zouden in de toekomst mogelijk verwijderd kunnen worden uit het monitoringsprogramma als blijkt dat de in 2010

aangetoonde toename van VOCl-concentraties (tot lage waardes) gedurende drie meetrondes niet doorzet. Eventueel kan gekozen worden vervanging door diepere filters die dichter bij de as van de stroombaan staan.
In aanvulling op het huidige monitoringsplan, stellen wij voor om de volgende peilbuizen op te nemen in het monitoringsprogramma: 202-2, 203-1, 203-2, 204-2, 206-2, 207-1, en 207-2 omdat deze peilbuizen dichtbij de assen van de pluimen liggen.

Wij adviseren om tijdens de monitoring in 2012 naast VOCL, etheen en ethaan, pH en EC, het grondwater ook te analyseren op DOC, reeds eerder bepaalde redoxparameters (zuurstof, nitraat, sulfaat) en VC-reductase (enzym voor reductieve afbraak van VC). DOC en redoxparameters geven informatie over eventuele variatie in de condities voor reductieve afbraak. Waterstofmetingen zijn nog specifieker maar DOC is eerder ook bepaald, waardoor vergelijking in de tijd mogelijk is. Omdat de omstandigheden in het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket waarschijnlijk net wel of net niet geschikt zijn voor volledige reductieve afbraak, en de afbraak van VC belangrijk is voor verspreiding van de verontreiniging, adviseren wij om tijdens de laatste monitoringsronde van het huidige plan (tot en met 2012) op grondwatermonsters afkomstig uit het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket moleculaire analyses voor VC-reductase uit te voeren. Hiermee kan worden aangetoond of reductieve afbraak van VC tot onschadelijke producten in dit deel van watervoerende pakket (waar de verspreiding vooral plaatsvindt) kan plaatsvinden. Eventueel kan met behulp van specifieke stabiele isotopen voor VC worden aangetoond dat afbraak plaatsvindt. Hiervoor zijn wel voldoende geschikte meetpunten in de stroombaan of de tijd nodig.

De andere peilbuizen in het huidige monitoringsplan kunnen wel bemonsterd blijven worden omdat ze informatie geven over het uitdoven van de bronnen. In tabel 2 is het voorgestelde aangepaste monitoringsplan samengevat.

Tabel 2 Voorgestelde aangepaste monitoringsprogramma. Naast standaard veldparameters worden de genoemde analyses uitgevoerd. Zuurstof wordt in het veld bepaald.

Peilbuis	Filter van…	tot (m -mv)	eens per 1,5 jaar	eens per 3 jaar
Deklaag				
11	3,1	4,1	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
BC03-1	3,5	4,5	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
~~BC04-1~~	~~3,0~~	~~4,0~~	~~VOCl~~	~~VOCl+etheen en ethaan~~
Eerste watervoerende pakket				
101	5	6	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
BC03-2	12	13	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
BC03-3	24	25	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
147-1*	12	13	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
147-2*	23,5	24,5	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
~~BC01-1~~	~~12~~	~~13~~	~~VOCl~~	~~VOCl+etheen en ethaan~~
~~BC01-2~~	~~23~~	~~24~~	~~VOCl~~	~~VOCl+etheen en ethaan~~
BC02-1	12	13	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
BC02-2	24	25	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
~~BC04-2~~	~~12~~	~~13~~	~~VOCl~~	~~VOCl+etheen en ethaan~~
~~BC04-3~~	~~24~~	~~25~~	~~VOCl~~	~~VOCl+etheen en ethaan~~
130-3	44	44,5	VOCl	VOCl, etheen, ethaan, *DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
~~130-4~~	~~55~~	~~56~~	~~VOCl~~	~~VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat~~
202-2	*5,3*	*6,2*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
203-1	*4,1*	*5,2*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
203-2	*5,2*	*6,1*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
204-2	*4,9*	*5,8*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
206-2	*6,1*	*7*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*
207-1	*5,8*	*6,7*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat*
207-2	*6,9*	*7,8*	*VOCl*	*VOCl, etheen, ethaan, DOC, zuurstof, nitraat, sulfaat, VC-reductase*

Doorgestreepte ~~regels~~: voorstel om uit monitoringsprogramma te verwijderen

Schuin gedrukte *regels*: voorstel om aan monitoring toe te voegen

* Vooralsnog blijven monitoren; in de toekomst mogelijk verwijderen uit monitoringsprogramma (zie toelichting in tekst)