TNO Bouw en Ondergrond

Bodem- en Grondwatersystemen
Daltonlaan 400
Postbus 85467
3508 AL Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 33 577 55
F +31 88 33 577 20

TNO-rapport

0912-0247

Onderzoeken stabiele eindsituatie grondwaterverontreiniging met VOCl's; locatie Zaltbommel

Datum	30 november 2009
	Drs. Eric van Nieuwkerk Drs. Suzanne van der Meulen
Opdrachtgever	BioSoil; dit project is uitgevoerd in het kader van het project Holland In situ Proeftuin (HIP) met financiële ondersteuning vanuit de EZ-cofinanciering van TNO.
Projectnummer	092.69225/01.04
Aantal pagina's	6 (incl. bijlagen)
Goedgekeurd door	ing. Hans van Duijne

Deleted: 24

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

©2009

Inhoudsopgave

Samenvatting 4

1 Inleiding 6
1.1 Vraagstelling en doel 6
1.2 Globale aanpak 6

2 Gegevens onderzoekslocatie 6
2.1 Locatie 6
2.2 Bodemopbouw 6
2.3 Grondwaterstroming 6
2.4 Verontreinigingssituatie en verspreidingspaden 6
2.5 Grondwatersanering 6

3 Methode 6
3.1 Onderzoeksopzet 6
3.2 Methode van uitwerken 6

4 Resultaten en discussie 6
4.1 Verontreinigingssituatie en dechlorering 6
4.2 Redoxcondities en beschikbaarheid electrondonor 6
4.3 Discussie en synthese 6

5 Conclusies en aanbevelingen 6

Literatuur 6

A Overzichtstekening
B Analyseresultaten nulsituatie verontreiniging

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24
Deleted: 3
Deleted: 3
Deleted: 5
Deleted: 3
Deleted: 5
Deleted: 3
Deleted: 5
Deleted: 3
Deleted: 6
Deleted: 3
Deleted: 6
Deleted: 3
Deleted: 6
Deleted: 3
Deleted: 7
Deleted: 3
Deleted: 8
Deleted: 3
Deleted: 9
Deleted: 3
Deleted: 10
Deleted: 3
Deleted: 10
Deleted: 3
Deleted: 10
Deleted: 3
Deleted: 12
Deleted: 3
Deleted: 12
Deleted: 3
Deleted: 14
Deleted: 3
Deleted: 17
Deleted: 3
Deleted: 18
Deleted: 3
Deleted: 20

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

Samenvatting

Verontreinigingsituatie

Aan de Kerkstraat 37 en 39 in Zaltbommel zijn door de activiteiten van een metallurgisch bedrijf de grond en het grondwater verontreinigd geraakt met VOCl's. De hoogste concentraties in de bovengrond (tot ca. 5 m-mv) van de uitgangsproducten PER en TRI zijn in het verleden (lit.1) aangetroffen in de achtertuin, in het oostelijk deel van de steeg en plaatselijk in de Kerkstraat. Tijdens de huidige onderzoeksperiode (maart 2007 - maart 2008) zijn dat de locaties waar de hoogste CIS en VC concentraties zijn aangetroffen. In de achtertuin zijn bovendien in de huidige situatie nog licht verhoogde concentraties PER (25 µg/l) en TRI (6 µg/l) aangetroffen.

De percelen aan de Kerkstraat 37 en 39 zijn bebouwd met woningen en achter de woningen bevinden zich tuinen. In zowel de steeg als de Kerkstraat heeft in het verleden riolering gelegen, die vermoedelijk lek was. De riolering is tijdens ontgraving van de verontreinigde bovengrond verwijderd. De locatie ligt midden in het oude centrum van Zaltbommel, binnen de oude stadsveste. De bodemopbouw is opgenomen in onderstaande tabel.

Diepte	Lithologie	Geohydrologie
0 tot 1,2 m-mv	ophooglaag	Horizontaal tamelijk goed doorlatend,
1,2 - 4,7 m-mv	Klei en zand, zeer heterogeen	verticaal slecht doorlatend
4,7 m-mv tot 10 m-mv	Klei	Slechtdoorlatend
> 10 m-mv	Zand en grind	Goed doorlatend

Voor het onderhavige onderzoek is geen informatie beschikbaar over de ondiepe grondwaterstroming in het freatische pakket. De grondwaterstromingsrichting kan wel globaal beredeneerd worden. Aangezien de oude binnenstad van Zaltbommel en de ondiepe grondwaterstand een stuk hoger liggen dan het peil van de omringende stadsingel en het gemiddelde rivierpeil, zal het grondwater deels afwateren op de singel en deels verticaal afstromen naar het eerste watervoerende pakket. Lokaal kunnen drainagemiddelen of lekkende riolering zorgen voor een horizontale afstroming. In het eerste watervoerende pakket zal sprake zijn van voornamelijk horizontale stroming. De stromingsrichting aldaar is onbekend.

Sanering en doelstelling HIP pilot

Tussen 1987 en 1998 heeft een sanering plaatsgevonden waarbij de verontreinigde bovengrond is ontgraven en een grondwatersanering door middel van pump&treat is uitgevoerd. Tussen 1999 en 2007 heeft BioSoil een in situ sanering uitgevoerd, door middel van het stimuleren van de biologische afbraak met als doel het bereiken van de tussenwaarden voor PER, TRI en de afbraakproducten cis-DCE en VC. Gedurende de uitvoering van de sanering is gebleken, dat de gecompliceerde bodemopbouw het behalen van de oorspronkelijke doelstelling onmogelijk dan wel zeer moeilijk zou maken. In het licht van de gewijzigde inzichten t.a.v. saneringsdoelstellingen is voorgesteld het saneringsdoel te wijzigen in het bereiken van een stabiele eindsituatie.

Het doel van de onderhavige HIP pilot is het demonstreren van een werkwijze waarmee met behulp van geavanceerde monitoringstechnieken, eenduidig het al dan niet sprake

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

zijn van een stabiele eindsituatie kan worden aangetoond. Gedurende een jaar is op verschillende momenten gemonitord, waarbij de verontreinigingssituatie, de redoxcondities en de beschikbaarheid van electrondonoren zijn bepaald in 12 peilbuizen tijdens drie monitoringsrondes. Op basis van de monitoringsgegevens zijn trends in de verontreinigingssituatie bepaald en is de voortgang van de natuurlijk afbraakprocessen gevolgd.

Conclusies en aanbevelingen

Bij graafwerkzaamheden is destijds vastgesteld dat er op 2 plaatsen puur product uit het riool in de steeg weglekt en er dus sprake was van 2 bronzones:

1. Op de hoek van de achtertuin en de steeg
2. Op de hoek van de Kerkstraat en de steeg.

Volgens opgaaf zijn de verontreinigingen vanuit deze 2 bronzones verspreid in oostelijke richting, waardoor verontreinigingen in de achtertuin zijn terecht gekomen. Momenteel is ter plaatse van de laatst genoemde zone nog een restverontreiniging aanwezig. Onder andere door de invloed van de lekkende riolering in de steeg en in de Kerkstraat zijn verontreinigingen horizontaal verspreid, de richting is niet vast te stellen. Aangezien sprake is van een infiltratiesituatie zijn de verontreinigingen deels ook verticaal verspreid richting het eerste watervoerende pakket. De verontreiniging is maar beperkt verticaal afgeperkt. Het is niet bekend tot hoe diep de verontreinigingen in het bodemprofiel zijn terecht gekomen.

Hoewel er ter plaatse van de tuin in de bovengrond en holocene kleilaag natuurlijke afbraak optreedt, lijkt geen sprake te zijn van een duidelijke toenemende dechlorering. Dit heeft vermoedelijk te maken met continue nalevering uit de bovengrond in de achtertuin en de betrekkelijk ongunstige redoxcondities voor de volledige afbraak van VOCl's. Ook blijkt er een vermoedelijk tekort te zijn aan electrondonor voor de volledige natuurlijke afbraak in de bronzone.

In de zone met de grondwaterverontreiniging in de bovengrond ter plaatse van de steeg en de Kerkstraat vindt wel volledige afbraak plaats van de verontreinigingen en blijkt sprake te zijn van zowel gunstige redoxcondities als een in voldoende mate aanwezigheid van electrondonor om te spreken van een duurzame natuurlijke afbraak.

Aangezien de verontreiniging nauwelijks verticaal is afgeperkt tot in de holocene kleilaag en het eerste watervoerende pakket, is het goed mogelijk dat de bronzone vele malen groter is dan tot dusver is aangenomen. Door het gebrek aan informatie over de grondwaterstromingssituatie en bodemopbouw en de beperkte mate van verticale uitkartering van de verontreiniging is het onmogelijk om te bepalen hoeveel nalevering nog plaatsvindt. Het is daarom niet mogelijk om te bepalen of de natuurlijke biologische afbraak in voldoende mate optreedt om te kunnen spreken van een stabiele eindsituatie.

In het algemeen kan worden aanbevolen wordt om in het vooronderzoek voorafgaand aan het ontwerp van een saneringssysteem, een goed inzicht te verkrijgen van de bodemopbouw, doorlatendheden, verspreidingspaden, verontreinigingsituatie en natuurlijke afbraak potentieel. In lit.4 is in meer detail ingegaan op de te verzamelen informatie.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

1 Inleiding

Aan de Kerkstraat 37 en 39 in Zaltbommel zijn door de activiteiten van een metallurgisch bedrijf de grond en het grondwater verontreinigd geraakt met VOCl's. Tussen 1987 en 1998 heeft een sanering plaatsgevonden waarbij de verontreinigde bovengrond is ontgraven en een grondwatersanering door middel van pump&treat is uitgevoerd. De oorspronkelijke doelstelling van de grondwatersanering was het terugsaneren tot de streefwaarde, maar dit bleek niet behaald te worden. Nadat BioSoil de sanering had overgenomen is de saneringsdoelstelling het behalen van de tussenwaarde voor alle componenten geworden. Deze doelstelling is bijgesteld, omdat de doelstelling in een beperkt deel van de locatie niet gehaald kon worden in verband met de sterke gelaagdheid waarbij wordt ingestoken op het behalen van een stabiele eindsituatie, waarbij lokaal concentraties tot boven de interventiewaarde worden geaccepteerd zolang er geen risico's zijn op verspreiding en de totale hoeveelheid verontreiniging van nature afneemt. Tussen 1999 en 2007 heeft BioSoil een in situ sanering uitgevoerd, door middel van het stimuleren van de biologische afbraak.

1.1 Vraagstelling en doel

Door de biologische sanering zijn de concentraties verontreinigingen aanzienlijk afgenomen. De natuurlijke afbraak blijkt zich ook na het stopzetten van de sanering door te zetten. Het is echter mogelijk dat door nalevering de concentraties op den duur weer toenemen. BioSoil heeft Deltares gevraagd om in beeld te brengen of de mate waarin de verontreinigingen worden afgebroken voldoende is om de nalevering van verontreinigingen te kunnen opvangen en er sprake is van een stabiele eindsituatie.

Het doel van de onderhavige HIP pilot is het demonstreren van een werkwijze waarmee met behulp van geavanceerde monitoringstechnieken, eenduidig het al dan niet sprake zijn van een stabiele eindsituatie kan worden aangetoond.

1.2 Globale aanpak

Met de onderhavige HIP pilot is getracht om op basis van enkele monitoringsrondes aan te tonen of er al dan niet sprake is van een stabiele eindsituatie. Daartoe zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Veldwerk
2. Laboratoriumanalyses
3. Interpretatie
4. Rapportage

In de onderhavige rapportage zijn de resultaten en de conclusies van de HIP pilot beschreven. Ook zijn aanbevelingen opgenomen die zowel voor deze locatie als voor vergelijkbare situaties houvast geven om gedegen onderzoek te doen naar het aantonen van een stabiele eindsituatie.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

2 Gegevens onderzoekslocatie

2.1 Locatie

De saneringslocatie betreft de percelen Kerkstraat 37 en 39, de straat ter hoogte van deze percelen en de steeg ten noorden van de percelen. De percelen zijn bebouwd met woningen en achter de woningen bevinden zich tuinen. In zowel de steeg als de Kerkstraat ligt riolering, die vermoedelijk lek is geweest. De huisaansluitingen komen uit op het riool in de steeg die weer uitkomt op het verzamelriool in de Kerkstraat. De locatie ligt midden in het oude centrum van Zaltbommel, binnen de oude stadsveste. Naar schatting ligt het straatniveau op circa NAP+5 m (bron: www.ahn.nl) en ligt daarmee ruim boven het gemiddelde rivierpeil en het peil in de omringende stadssingel (circa NAP+1,6 m). In figuur 2.1 is een overzichtskaartje van de onderzoekslocatie opgenomen. Een gedetailleerde overzichtskaart met ondermeer de ligging van de peilbuizen en boringen, is opgenomen in Bijlage A.

Deleted: 1.2

Figuur 2.1: De onderzoekslocatie aan de Kerkstraat te Zaltbommel

2.2 Bodemopbouw

Uit informatie van BioSoil blijkt dat de bodem tot circa 4,7 m –mv bestaat uit een gelaagde bodem met afwisselend zand en kleilagen met een dikte variërend van 1 of enkele centimeters tot 1,5 m. Er worden ook sterk humeuze lagen en plantenresten aangetroffen. Ter plaatse van de Kerkstraat en de steeg bestaat de bovenste 1,5 m uit matig fijn zand en van 1,5 tot 3,0 m –mv uit licht tot matig zandig of zwak tot matig siltige kei. Onder het gelaagde pakket bevindt zich klei. Uit de Grondwaterkaart van Nederland (kaartblad 45B) blijkt dat in de regio de kleilaag circa 10 m dik is en zich

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

daaronder een zandpakket bevindt met middel grof tot uiterst grove zanden waarin ook grind aanwezig is, dat het eerste watervoerende pakket vormt.

Ter plaatse van de steeg direct ten noorden van Kerkstraat 37 bevond zich in het verleden een sloot. Vermoedelijk is de sloot gedempt met zeer doorlatend materiaal (puin). Er zijn geen boorstaten beschikbaar gesteld. In tabel 2.1 wordt de globale bodemopbouw beschreven.

Tabel 2.1: Globale bodemopbouw

Diepte	**Lithologie**	**Geohydrologie**
0 tot 1,2 m-mv	Ophooglaag	Horizontaal tamelijk goed doorlatend,
1,2 tot 4,7 m-mv	Klei en zand, zeer heterogeen	verticaal slecht doorlatend
4,7 m-mv tot 10 m-mv	Klei	Slechtdoorlatend
> 10 m-mv	Zand en grind	Goed doorlatend

2.3 Grondwaterstroming

Voor het onderhavige onderzoek is geen informatie beschikbaar over de ondiepe grondwaterstroming in het freatische pakket. Bij het uitgevoerd veldwerk zijn wel grondwaterstanden gemeten, maar door het ontbreken van actuele hoogtes van het maaiveld te plaatse van de peilbuizen, is het niet mogelijk om grondwaterstanden te bepalen. Het is daarom ook niet mogelijk de stroomrichting en snelheid in de huidige situatie af te leiden. In tabel 2.2 zijn de gemeten grondwaterstanden opgenomen.

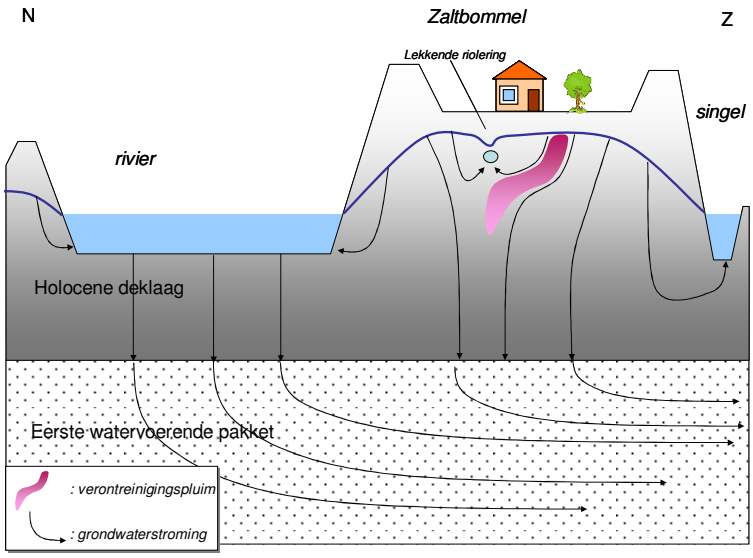
Tabel 2.2: gemeten grondwaterstanden in m t.o.v. maaiveld

Locatie beschrijving	Peilbuis	Diepte peilbuis of filter (m-mv)	Grondwaterstand (m-mv) datum:	
			28-8-2008	4-9-2008
Overzijde Kerkstraat	C	3	1.70	1.70
Westzijde steeg	R 1	2-3	1.58	1.59
	R 2	2-3	1.41	1.40
	R 4	2-3	1.68	1.72
	R 3	5-6	2.54	2.72
	PP 1	4.8-6.8	4.02	4.19
Centraal deel steeg	R 14	2.7	1.14	1.55
	R 5	2-3	2.03	2.03
	R 15	5	3.54	3.62
Kerkstraat	R 12	2-3	2.46	2.49
	109.2	5-6	2.41	2.42
	62.2	5-6	4.09	4.28
	62.1	9.5-11.5	2.16	2.31
	109.1	12-15	4.01	4.20

De grondwaterstromingsrichting kan wel globaal beredeneerd worden. Aangezien de oude binnenstad van Zaltbommel een stuk hoger ligt dan het peil van de omringende stadsingel en het gemiddelde rivierpeil, zal het grondwater deels afwateren op de singel. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket wordt in Zaltbommel in grote mate bepaald door het rivierpeil en zal daarom ongeveer daaraan gelijk zijn. De freatische grondwaterstand bolt in deze situatie op tussen de ontwateringsmiddelen (in dit geval de stadsingel en mogelijke lekkende riolering) en ligt dus hoger dan de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Er is derhalve sprake van een infiltratiesituatie. Lokaal

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

kunnen drainagemiddelen of lekkende riolering zorgen voor een horizontale afstroming. In het eerste watervoerende pakket zal sprake zijn van voornamelijk horizontale stroming. De stromingsrichting aldaar is onbekend. In figuur 2.2 is schematisch de vermoedelijke grondwaterstromingssituatie weergegeven.



Figuur 2.2: schematische weergave van de vermoedelijke grondwaterstroming

2.4 Verontreinigingssituatie en verspreidingspaden

Op de locatie bevond zich in het verleden een metallurgisch bedrijf. Door de bedrijfsactiviteiten zijn grond en grondwater op de locatie verontreinigd geraakt met VOCl's (zie bijlage 2 voor de gemeten concentraties uit voorgaand onderzoek):

- De hoogste concentraties in de bovengrond (tot ca. 5 m-mv) van de uitgangsproducten PER en TRI zijn in het verleden (lit.1) aangetroffen in de achtertuin (peilbuis 7.1, 106, 4.1 en 8.3), in het oostelijk deel van de steeg (peilbuis 107) en plaatselijk in de Kerkstraat (peilbuis 109.1). Tijdens de huidige onderzoeksperiode (maart 2007 - maart 2008) zijn dat de locaties waar de hoogste CIS en VC concentraties zijn aangetroffen. Tijdens de laatste monitoringsronde werden deze verbindingen alleen nog in de steeg aangetroffen (peilbuizen R14 en 107) en ter plaatse van peilbuis 8.3 in de achtertuin. In de achtertuin zijn bovendien in de huidige situatie nog licht verhoogde concentraties PER (25 µg/l) en TRI (6 µg/l) aangetroffen.
- Alleen in de Kerkstraat en in de achtertuin zijn peilbuizen geplaatst tot op grotere diepte (dieper dan ca. 5 m-mv). De hoogste concentraties zijn tijdens voorgaand bodemonderzoek aangetroffen in de achtertuin. Bij de meest recente monitoring bleken de diepe peilbuizen schoon te zijn.

In lit.1 wordt aangegeven dat het lekkende riool in de steeg de bron van de verontreiniging vormt. Bij graafwerkzaamheden is destijds vastgesteld dat er op 2 plaatsen puur product uit het riool in de steeg weglekt en er dus sprake was van 2 bronzones:

3. Op de hoek van de achtertuin en de steeg;

Formatted: Not Highlight

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24
Formatted: Not Highlight

4. Op de hoek van de Kerkstraat en de steeg.

Ook is geconstateerd dat het riool in de steeg hoger ligt dan de grondwaterstand en het riool in de steeg kan dus geen grondwater hebben aangetrokken. Het verzamelriool in de Kerkstraat zal vermoedelijk wel onder de grondwaterstand zijn aangelegd. Bij eventuele lekkage van dat riool zal wel grondwater worden aangetrokken. Hier is echter niets over bekend. Volgens opgaaf zijn de verontreinigingen vanuit deze 2 bronzones verspreid in oostelijke richting, waardoor verontreinigingen in de achtertuin zijn terecht gekomen.
Er wordt geconcludeerd dat naast de lekkende riolering de oorspronkelijke bronzone zich mogelijk ook in de achtertuin en in het oostelijk deel van de steeg heeft bevonden. Momenteel is ter plaatse van de laatstgenoemde zone nog een restverontreiniging aanwezig. Onder andere door de invloed van lekkende riolering in de steeg en in de Kerkstraat zijn verontreinigingen horizontaal verspreid, de richting is niet bekend. Ook zal de grondwatersanering in de jaren ’90 gezorgd hebben voor enige horizontale verspreiding van de verontreinigingen, hoewel de richting niet duidelijk is (exacte ligging onttrekkingsfilters is onbekend).

Aangezien sprake is van een infiltratiesituatie zijn de verontreinigingen deels ook verticaal verspreid richting het eerste watervoerende pakket. De verontreiniging is maar beperkt verticaal afgeperkt. Het is niet bekend tot hoe diep de verontreinigingen in het bodemprofiel zijn terecht gekomen

De uitgangsproducten PER en TRI zijn relatief slecht oplosbaar in het grondwater en zijn in pure vorm zwaarder dan water. Wanneer ze in de bodem terecht komen kan het pure product van PER of TRI zogenoemde ‘zaklagen’ vormen, die door de bodem heen zakken en tot op aanzienlijke diepte terecht kunnen komen. Het is onbekend of er zich op deze locatie zaklagen hebben gevormd van PER of TRI in pure vorm, hoewel in lit.1 wel wordt gemeld dat er eind jaren ’90 ‘sterke aanwijzingen’ voor waren.

2.5 Grondwatersanering

Uit informatie van Biosoil (lit.1) blijkt dat in de periode 1987-1998 de eerste fase van de sanering is uitgevoerd. Allereerst is hierbij de verontreiniging rond het lekkende riool voor een belangrijk deel ontgraven. In de periode van het najaar in 1999 tot het voorjaar in 2007 heeft Biosoil een sanering met behulp van gestimuleerde reductieve dechlorering uitgevoerd door toevoeging van een electronendonor (substraat) die 0,06 mol electronen levert per gram donor. Daarbij is zowel in de steeg als in de Kerkstraat substraat geïnjecteerd in de filters R1 t/m R 15 (zie bijlage 1). De toediening van substraat bleek met name in R5 goed mogelijk te zijn, doordat zich daar goeddoorlatend puin en zand bevind (vermoedelijke dempingsmateriaal van de voormalige sloot, die nu de steeg vormt). Verder is het grondwater rondgepompt waarbij de filters R1 t/m R15 deels werden gebruikt voor infiltratie en deels voor onttrekking.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

3 Methode

3.1 Onderzoeksopzet

Gedurende een jaar is op verschillende momenten gemonitord, waarbij de verontreinigingssituatie, de redoxcondities en de beschikbaarheid van electrondonoren (op basis van DOC en H_2 metingen) zijn bepaald. Er hebben drie monitoringsrondes plaatsgevonden: op 27 maart 2007, op 5 september 2007 en op 11 maart 2008. Tijdens alle monitoringrondes zijn metingen verricht en monsters genomen van het grondwater ter plaatse van 12 peilbuizen: peilbuizen 62.1, 62.2, 109.1, 109.2, PP-1, R6, R14, 107, 8.1, 8.2, 8.3 en 4.1. Tijdens het veldwerk op 5 september kon geen monsterneming plaatsvinden bij peilbuis 8.3 vanwege een gebrek aan toestroming van grondwater. De monitoringspeilbuizen zijn niet direct bereikbaar; grondwater wordt bemonsterd via een leidingennetwerk. De grondwatermonsters zijn geanalyseerd op VOCl en afbraakproducten, redoxparameters, DOC en waterstof. Een overzichtstekening waarop de monitoringspeilbuizen zijn aangegeven is opgenomen in Bijlage 1.

Op basis van de monitoringsgegevens zijn trends in de verontreinigingssituatie bepaald en is de voortgang van de natuurlijk afbraakprocessen gevolgd. Door het gebrek aan informatie over de grondwaterstromingssituatie en bodemopbouw en de beperkte mate van verticale uitkartering van de verontreiniging is het onmogelijk om te bepalen hoeveel nalevering nog plaatsvindt. Het is daarom niet mogelijk om te bepalen of de natuurlijke biologische afbraak in voldoende mate optreedt om te kunnen spreken van een stabiele eindsituatie. Wel kan een algehele indruk worden gegeven van het verloop van de natuurlijke afbraak van verontreinigingen op deze locatie. De resultaten zijn opgenomen in Hoofdstuk 4.

3.2 Methode van uitwerken

PER kan onder anaerobe, (sulfaat- tot) methanogene omstandigheden volledig worden afgebroken door middel van reductieve dechlorering. Hiervoor is voldoende organische koolstof als electronendonor nodig. Reductieve dechlorering vindt namelijk plaats doordat specifieke bacteriën organische stof afbreken (oxideren) en de verontreiniging gebruiken als electronenacceptor. Om volledige reductieve dechlorering van VOCl's te laten plaatsvinden is waterstof nodig, die geproduceerd moet worden door omzetting van een bepaalde hoeveelheid organische stof. Niet alle organische stof kan echter worden omgezet in waterstof. Ten behoeve van het vaststellen van de omstandigheden voor natuurlijke afbraak zijn de volgende parameters bepaald: redoxpotentiaal, zuurstof, nitraat, sulfaat, ijzer-totaal, methaan, DOC (Dissolved Organic Carbon) en waterstof.

De redoxpotentiaal, waterstof en zuurstofconcentratie zijn tijdens monsterneming van het grondwater voor de monitoring van de afbraak van de verontreiniging in het veld bepaald. In het laboratorium zijn analyses op het grondwater uitgevoerd voor PER, TRI, DCE, VC, ethaan, etheen en methaan, DOC, sulfaat, nitraat en ijzer-totaal. De grondmonsters zijn geanalyseerd op PER, TRI, CIS en organische stof.

3.2.1 Redoxconditie en electronenbalans

VOCl's kunnen onder anaerobe, methanogene omstandigheden volledig worden afgebroken middels reductieve dechlorering. Nitraat, ijzer(III)oxiden en zuurstof dienen

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

(bijna) afwezig te zijn en sulfaat mag hooguit in een lage concentratie aanwezig zijn omdat deze concurreren met de verontreiniging om de aanwezige hoeveelheid electrondonor. Sulfaat, nitraat en zuurstof zijn de belangrijkste electronenacceptoren in grondwater. De redoxomstandigheden zijn bepaald aan de hand van de redoxpotentiaal en de electronenacceptoren in het grondwater: zuurstof, nitraat en sulfaat.

Voor de reductieve dechlorering van VOCl is voldoende koolstof als electronendonor nodig. Voordat electronen worden gebuikt voor de reductie van de verontreiniging worden de concurrerende electronenacceptoren gereduceerd. De electronenbalans is uitgedrukt als de hoeveelheid koolstof die overblijft na reductie van zuurstof, nitraat en sulfaat. Zuurstof en nitraat worden sneller gereduceerd dan sulfaat en de verontreiniging. De reductie van sulfaat, Per of Tri zijn processen die gelijktijdig kunnen plaatsvinden. Het is daarom niet exact vast te stellen in hoeverre sulfaat als electronenacceptor concurreert met de verontreiniging. In de berekeningen voor de electronenbalans wordt ervan uitgegaan dat sulfaat eerst wordt gereduceerd. Naast zuurstof, nitraat en sulfaat kan ook driewaardig ijzer dat gebonden is aan de grond worden gereduceerd. Mogelijk is de benodigde hoeveelheid electronendonor voor de concurrerende electronenacceptoren dus hoger dan verwacht op basis van de concentraties zuurstof, nitraat en sulfaat.

Voor een uitgebreide uitleg over het berekenen van een electronenbalans verwijzen wij naar de D-NA systematiek (lit.3). In dit geval is voor de berekening van een electronenbalans gebruik gemaakt van DOC.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

4 Resultaten en discussie

4.1 Verontreinigingssituatie en dechlorering

In tabel 4.1 is het verloop van de concentraties van verontreinigingen weergegeven gedurende de monitoringsperiode van 1 jaar.

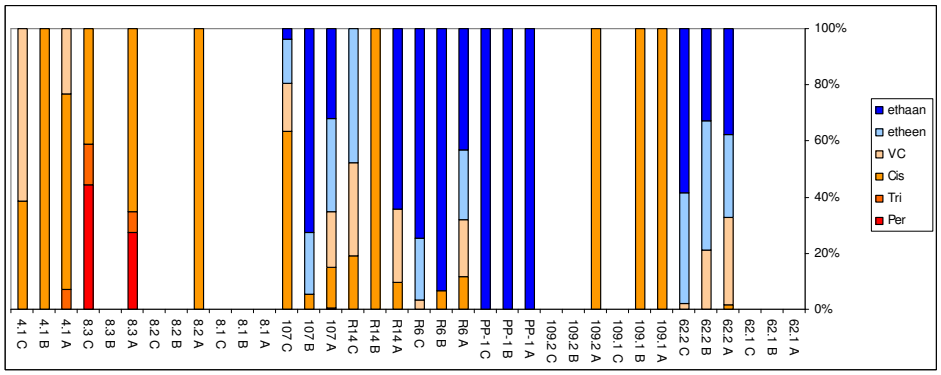
Tabel 4.1: Analyseresultaten monitoring verontreinigingssituatie

Peilbuis filtertraject (m -mv)	Datum	Per (ug/l)	Tri (ug/l)	Cis (ug/l)	VC (ug/l)	etheen (ug/l)	ethaan (ug/l)	methaan (ug/l)
R14	27-mrt-07	<5	<5	25	44	<14	52	2307
(2,0-4,0)	5-sep-07	<5	<5	16	<2.5	<14	<15	933
	11-mrt-08	<5	<5	59	68	43	<15	309
107	27-mrt-07	5	<5	95	83	63	64	6402
(2,5-4,5)	5-sep-07	<5	<5	23	<2.5	27	95	2174
	11-mrt-08	<5	<5	2094	369	149	40	2447
8.3	27-mrt-07	29	6	41	<2.5	<14	<15	<8
(3,0-5,0)	5-sep-07	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
	11-mrt-08	25	6	13	<2.5	<14	<15	60
4.1	27-mrt-07	<5	5	40	9	<14	<15	843
(4,3-6,3)	5-sep-07	<5	<5	14	<2.5	<14	<15	358
	11-mrt-08	<5	<5	5	5	<14	<15	314
62.2	27-mrt-07	<5	<5	11	124	52	72	8609
(5,0-6,0)	5-sep-07	<5	<5	<5	61	58	45	5798
	11-mrt-08	<5	<5	<5	5	38	60	8133
109.2	27-mrt-07	<5	<5	7	<2.5	<14	<15	15430
(5,0-6,0)	5-sep-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	12231
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	12873
R6	27-mrt-07	<5	<5	191	212	117	219	11766
(5,0-6,0)	5-sep-07	<5	<5	29	<2.5	<14	130	12390
	11-mrt-08	<5	<5	<5	13	38	139	12039
PP-1	27-mrt-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	174	13988
(4,8-6,8)	5-sep-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	384	11976
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	356	14512
8.2	27-mrt-07	<5	<5	9	<2.5	<14	<15	2464
(6,0-8,0)	5-sep-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	1617
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	1392
8.1	27-mrt-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	2340
(9,5-10,5)	5-sep-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	1741
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	1668
62.1	27-mrt-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	18536
(9,5-11,5)	5-sep-07	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	12059
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	17130
109.1 (12,0-15,0)	27-mrt-07	<5	<5	10	<2.5	<14	<15	7938
	5-sep-07	<5	<5	4	<2.5	<14	<15	7895
	11-mrt-08	<5	<5	<5	<2.5	<14	<15	2833

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

De volgende trends kunnen worden afgeleid uit tabel 4.1:

- De concentraties van de afbraakproducten CIS, VC en etheen in de bovengrond in het oostelijke deel van de steeg (peilbuizen R14 en 107) blijken in de monitoringsperiode toe te nemen, vermoedelijk samenhangend met de afbraak van PER en TRI door nalevering uit de restverontreiniging in de achtertuin.
- Alleen in peilbuis 8.3 worden de uitgangsproducten PER en TRI aangetroffen. De concentraties PER en TRI in 8.3 lijken overigens constant, wat doet vermoeden dat er sprake is van een restverontreiniging ter hoogte van 8.3, waar de afbraak niet of nauwelijks plaatsvindt en daardoor nog sprake is van enige nalevering naar het grondwater.
- Overigens daalt in alle overige peilbuizen in de bovengrond de concentratie aan CIS en VC.
- Ook in het beperkt aantal diepere peilbuizen blijken de concentraties CIS en VC, voor zover die nog aanwezig waren, sterk af te nemen tot beneden de detectielimiet.



Figuur 4.1: Verloop van de dechlorering (A: 27 maart 2007; B: 5 september 2007; C: 11 maart 2008; leeg: beneden detectielimiet)

In figuur 4.1 is de verhouding tussen de concentraties PER, TRI, CIS, VC, etheen en ethaan weergegeven in elke peilbuis (betreffend nummer) en elke monitoringsronde (A: 27 maart 2007; B: 5 september 2007; C: 11 maart 2008). Op deze wijze wordt het verloop van de dechlorering gevisualiseerd. Bij een toename van de afbraakproducten CIS en VC treedt er een visuele verschuiving op van donkerder oranje naar lichter oranje. Een toename van de bijdrage etheen en ethaan (onschadelijke stoffen) betekent een toename in dechlorering en een afname van het aandeel VOCl's (de schadelijke stoffen). In de grafiek wordt dit gevisualiseerd door de toenemende hoeveelheid blauwtinten. De interpretatie is als volgt:

- Hoewel er in de in de bovengrond en holocene kleilaag bij de peilbuizen 8.3, en 4.1 natuurlijke afbraak optreedt, lijkt er bij 8.3 geen sprake te zijn van een duidelijke toenemende en volledige dechlorering waarbij de verontreinigingen tot de onschadelijke producten etheen en ethaan worden afgebroken. Dit heeft vermoedelijk te maken met enige nalevering uit de bovengrond in de achtertuin en de betrekkelijk ongunstige redoxcondities (zie volgende paragraaf).
- In het oostelijk deel van de steeg (peilbuizen R6, R14 en 107) blijkt volledige dechlorering op te treden in de bovengrond, maar fluctueert de mate van

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

dechlorering. Er is geen duidelijke verschuiving zichtbaar van uitgangs- naar omzettingsproducten.

- In de overige peilbuizen, gelegen in de Kerkstraat en het westelijk deel van de steeg, neemt de dechlorering toe en is er sprake van een volledige afbraak van de verontreinigingen tot onschadelijke producten (etheen en ethaan).

4.2 Redoxcondities en beschikbaarheid electrondonor

Tijdens de drie monitoringsrondes die in het kader van onderhavig onderzoek zijn uitgevoerd zijn eveneens de redoxparameters gemeten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.2. Op basis van onderstaande tabel en lit.2 zijn voor de verschillende peilbuizen de redoxomstandigheden in beeld gebracht.

- R14: ijzer- tot sulfaatreducerend
- 107: nitraatreducerend
- 8.3: nitraat- tot ijzerreducerend
- 4.1: ijzer- tot sulfaatreducerend
- 62.2: methanogene condities
- 109.2: methanogene condities
- R6: methanogene condities
- PP-1: methanogene condities
- 8.2: ijzer- tot sulfaatreducerend
- 8.1: ijzer- tot sulfaatreducerend
- 62.1: methanogene condities
- 109.1: ijzer- tot sulfaatreducerend

Zoals in paragraaf 3.2.1. al werd uitgelegd bieden de concentraties zuurstof, nitraat en sulfaat een indicatie van de redoxomstandigheden. De conclusies in deze paragraaf zijn tot stand gekomen op basis van de combinatie van bovengenoemde parameters, de redoxpotentiaal, waterstofmetingen en de methaanconcentratie. Het geheel aan informatie biedt een betrouwbaar beeld van de omstandigheden voor reductieve dechlorering.

Voor de afbraak van VOCl's zijn nitraat-, ijzer- en sulfaatreducerende condities ongunstig. De concentratie ijzer (II) is een indicatie dat op enig moment reductie van ijzer (III) heeft plaatsgevonden. Op basis van de ijzer (II) concentratie kan geen onderscheid gemaakt worden tussen ijzer- en sulfaatreducerende condities. De reductie van sulfaat, PER en TRI kan gelijktijdig plaatsvinden; de mate van concurrentie tussen sulfaat en de verontreiniging is hierdoor niet exact te bepalen. Omdat dit onderscheid niet te maken valt, wordt ervan uitgegaan dat eerst sulfaat wordt gereduceerd. Zoals te verwachten blijken in de peilbuizen waar natuurlijke afbraak met volledige dechlorering niet goed doorzet geen methanogene condities te heersen.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

Tabel 4.2: Analyseresultaten van redoxparameters

peilbuis	datum	H2 (nM)	Eh (mV)	O2 (mg/l)	IJzer (II) (mg/l)	nitraat (mg/l)	sulfaat (mg/l)	methaan (µg/l)
R14	27-mrt-07	0.5	-109	0.00	nb	0.0	142.4	2307
(2,0-4,0)	5-sep-07	0.4	-139	0.17	nb	0.0	180.2	933
	11-mrt-08	0.1	-100	0	4.7	0.0	167.5	309
107	27-mrt-07	0.4	-121	0.02	nb	92.0	138.7	6402
(2,5-4,5)	5-sep-07	nb	-34	0.70	nb	83.7	102.3	2174
	11-mrt-08	0.25	-109	0.01	0.56	47.95	128.7	2447
8.3	27-mrt-07	0.1	-43	4.00	nb	66.0	183.6	0
(3,0-5,0)	5-sep-07	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
	11-mrt-08	nb	-83	4.9	0.1	0.0	177.9	60
4.1	27-mrt-07	0.8	-139	0.02	nb	0.0	78.3	843
(4,3-6,3)	5-sep-07	0.9	-121	0.01	nb	0.0	91.2	358
	11-mrt-08	0.5	-120	0.01	5.1	0.0	92.2	314
62.2	27-mrt-07	0.1	-125	0.01	nb	0.0	0.5	8609
(5,0-6,0)	5-sep-07	2.5	-156	0.01	nb	0.0	0.0	5798
	11-mrt-08	1	-101	0.05	28	0.0	0.0	8133
109.2	27-mrt-07	2.5	-115	0.01	nb	0.0	1.1	15430
(5,0-6,0)	5-sep-07	4.5	-105	0.01	nb	0.0	0.0	12231
	11-mrt-08	0.9	-109	0.01	17	0.0	6.0	12873
R6	27-mrt-07	0.0	-147	0.03	nb	0.0	0.8	11766
(5,0-6,0)	5-sep-07	nb	-62	1.50	nb	0.0	0.0	12390
	11-mrt-08	nb	nb	nb	7.3	0.0	0.0	12039
PP-1	27-mrt-07	0.4	-142	0.03	nb	0.0	0.6	13988
(4,8-6,8)	5-sep-07	1.1	-142	0.70	nb	0.0	0.0	11976
	11-mrt-08	0.4	-120	0	17	0.0	1.1	14512
8.2	27-mrt-07	0.5	-165	0.18	nb	0.0	62.9	2464
(6,0-8,0)	5-sep-07	0.6	-150	0.20	nb	0.0	53.5	1617
	11-mrt-08	0.2	-150	0	7.1	0.0	31.7	1392
8.1	27-mrt-07	0.5	-163	0.00	nb	0.0	69.2	2340
(9,5-10,5)	5-sep-07	0.4	-155	0.12	nb	0.0	59.4	1741
	11-mrt-08	0.3	-145	0	8.5	0.0	22.7	1668
62.1	27-mrt-07	1.5	-127	0.08	nb	0.0	0.6	18536
(9,5-11,5)	5-sep-07	0.4	-127	0.02	nb	0.0	0.0	12059
	11-mrt-08	0.4	-119	0.02	11	0.0	0.0	17130
109.1	27-mrt-07	5.7	-133	0.01	nb	0.0	41.6	7938
(12,0-15,0)	5-sep-07	6.0	-156	0.01	nb	0.0	33.4	7895
	11-mrt-08	0.6	-125	0.01	4.8	0.0	44.1	2833

In tabel 4.2 zijn de electronenbalans en verdere interpretatie van de algehele duurzaamheid van de optredende natuurlijke afbraak weergegeven. De resultaten van de monitoringsronde van 11 maart 2008 zijn geïnterpreteerd. Daaruit volgt dat in de zone waar de restverontreiniging aanwezig is (dus in bovengrond van de achtertuin en de oostelijke kant van de steeg; peilbuizen R14, 107, 8.3 en 4.1) vermoedelijk een tekort aan electrondonor is om de natuurlijke afbraak in voldoende mate in gang te houden. Voor de peilbuizen 8.1 en 8.2, die zich eveneens in de zone met de restverontreiniging in de achtertuin bevinden, wisselt het beeld. Ook de situatie in peilbuis 109.1, in de oorspronkelijke bronzone in de hoek van de Kerkstraat, varieert. Dit vermoeden wordt versterkt door de lagere waterstofconcentraties in deze peilbuizen op 11 maart 2008. In de peilbuizen in de pluimzone (westzijde steeg en Kerkstraat) blijkt wel voldoende electrondonor aanwezig te zijn om te kunnen spreken van een ‘duurzame afbraak’ van de verontreinigingen.

Opgemerkt wordt dat uit ervaring blijkt dat in het veld gemeten zuurstofconcentraties vaak onbetrouwbaar zijn. Overigens blijken de zuurstofconcentraties die hier zijn gemeten, consistent te zijn met de meetresultaten van de andere redoxparameters.

Field Code Changed

Deleted: 25

Deleted: 24

Deleted: 2008op basis van D-NA systematiek

Tabel 4.2: Resultaten interpretatie van monitoringsronde van 11 maart

Metingen

Locatie	Filternr.	Diepte (m-mv)	Zuurstof (mg/l)	Nitraat (mg/l)	Sulfaat (mg/l)	PER (µg/l)	TRI (µg/l)	CIS (µg/l)	VC (µg/l)	DOC (mg/l)
pluim	62.1	9,5-11,5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4
pluim	62.2	5,0-6,0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	140.9
pluim	109.1	12,0-15,0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	4.0	0.0	18.7
pluim	109.2	5,0-6,0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.3
pluim	PP-1	4,8-6,8	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	34.2
pluim	R6	5,0-6,0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	12.8	54.9
restveront.	R14	2,0-4,0	0.0	0.0	167.5	0.0	0.0	59.3	67.6	25.3
restveront.	107	2,5-4,5	0.0	48.0	128.7	0.0	0.0	2093.7	368.5	23.8
restveront.	8.1	9,5-10,5	0.0	0.0	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2
restveront.	8.2	6,-8,0	0.0	0.0	31.7	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6
restveront.	8.3	3,0-5,0	4.9	0.0	177.9	24.5	6.3	13.2	0.0	16.5
restveront.	4.1	4,3-6,3	0.0	0.0	92.2	0.0	0.0	4.7	4.9	21.7

Berekeningen elektronenbalans

Locatie	Filternr.	Diepte (m-mv)	Som acceptoren (mmol e-/l)	Som donor (mmol e-/l)	e-Balans	Conclusie
pluim	62.1	9,5-11,5	0.003	14.810	5924.00	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
pluim	62.2	5,0-6,0	0.006	46.952	7342.72	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
pluim	109.1	12,0-15,0	3.672	6.223	1.69	Neutrale electronenbalans. Duurzaamheid NA wordt betwijfeld
pluim	109.2	5,0-6,0	0.499	27.750	55.60	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
pluim	PP-1	4,8-6,8	0.095	11.390	120.02	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
pluim	R6	5,0-6,0	0.096	18.293	190.49	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
restveront.	R14	2,0-4,0	13.942	8.427	0.60	Neutrale electronenbalans. Duurzaamheid NA wordt betwijfeld
restveront.	107	2,5-4,5	14.594	7.917	0.54	Neutrale electronenbalans. Duurzaamheid NA wordt betwijfeld
restveront.	8.1	9,5-10,5	1.888	8.050	4.26	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
restveront.	8.2	6,-8,0	2.639	7.537	2.86	Overschot electrondonor. NA is duurzaam
restveront.	8.3	3,0-5,0	15.419	5.490	0.36	Electrondonor gelimiteerd. NA is niet duurzaam
restveront.	4.1	4,3-6,3	7.677	7.217	0.94	Neutrale electronenbalans. Duurzaamheid NA wordt betwijfeld

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

4.3 Discussie en synthese

Wanneer het verloop van de verontreinigingssituatie, de dechlorering, de redoxcondities en de hoeveelheid beschikbare electrondonor in samenhang worden beschouwd, blijken de analyseresultaten en bijbehorende interpretaties goed met elkaar in overeenstemming te zijn:

- De restverontreiniging bevindt zich in de bovengrond tot circa 5 m –mv en strekt zich uit over een zone in de achtertuin en het oostelijk deel van de steeg. In deze zone zijn de concentraties CIS en VC het hoogst en bij peilbuis 8.3 worden de uitgangsproducten PER en TRI nog aangetroffen.
- De redoxomstandigheden ter plaatse van de peilbuizen R14, 107 8.3, 4.1, 8.2 en 8.3 zijn ongunstig voor de volledige afbraak van VOCl's in onschadelijke producten. Daarmee samenhangend blijkt er een tekort te zijn aan electrondonor voor de volledige natuurlijke afbraak van VOCl's. Hierbij wordt opgemerkt dat op de diepte van de filters van 8.2 en 8.3 geen verontreiniging (meer) aanwezig is.
- Vanuit de zone met restverontreiniging in de achtertuin kan nog verticale verspreiding van verontreinigingen plaatsvinden.
- In de pluimzone vindt in de bovengrond wel volledige afbraak plaats van de verontreinigingen en blijkt sprake te zijn van zowel gunstige redoxcondities als een voldoende hoeveelheid electrondonor om te spreken van een duurzame natuurlijke afbraak.
- De verontreiniging is maar beperkt verticaal afgeperkt en het kan zijn dat er zich nog verontreinigingen in hoge concentraties in het bodemprofiel bevinden. Er is geen inzicht in de afbraak in de holocene kleilaag en eventuele verspreidingsrisico's richting het eerste watervoerende pakket.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de in het kader van HIP uitgevoerde onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Bij graafwerkzaamheden is destijds vastgesteld dat er op 2 plaatsen puur product uit het riool in de steeg weglekt en er dus sprake was van 2 bronzones:
  1. Op de hoek van de achtertuin en de steeg
  2. Op de hoek van de Kerkstraat en de steeg.

  Volgens opgaaf zijn de verontreinigingen vanuit deze 2 bronzones verspreid in oostelijke richting, waardoor verontreinigingen in de achtertuin zijn terecht gekomen. Momenteel is ter plaatse van de laatst genoemde zone nog een restverontreiniging aanwezig. Door de invloed van lekkende riolering in de steeg en in de Kerkstraat zijn verontreinigingen horizontaal in noordelijke en westelijke richting verspreid. Aangezien sprake is van een infiltratiesituatie zijn de verontreinigingen deels ook verticaal verspreid richting het eerste watervoerende pakket. De verontreiniging is maar beperkt verticaal afgeperkt. Het is niet bekend tot hoe diep de verontreinigingen in het bodemprofiel zijn terecht gekomen.
- De restverontreiniging van de verontreiniging bevindt zich in de bovengrond tot 5 m -mv en strekt zich uit over de achtertuin en het oostelijk deel van de steeg. In deze zone zijn de concentraties CIS en VC het hoogst en worden plaatselijk (peilbuis 8.3) de uitgangsproducten PER en TRI nog aangetroffen. Hoewel er in de bovengrond en holocene kleilaag natuurlijke afbraak optreedt, lijkt geen sprake te zijn van een duidelijke toenemende en volledige dechlorering waarbij de verontreinigingen tot de onschadelijke producten etheen en ethaan worden afgebroken. Dit heeft vermoedelijk te maken met voortdurende nalevering uit de bovengrond in de achtertuin en de betrekkelijk ongunstige redoxcondities voor de volledige afbraak van VOCl's. Ook blijkt er een tekort te zijn aan electrondonor voor de volledige natuurlijke afbraak in de bronzone. In hoofdstuk 4 worden de redoxomstandigheden en brandstofbalans per peilbuis weergegeven.
- In de pluimzone (de steeg en de westzijde van de Kerkstraat) in de bovengrond vindt wel volledige afbraak plaats van de verontreinigingen en blijkt sprake te zijn van zowel gunstige redoxcondities als een in voldoende mate aanwezigheid van electrondonor om te spreken van een duurzame natuurlijke afbraak.
- Aangezien de verontreiniging vooral in de steeg nauwelijks verticaal is afgeperkt tot in de holocene kleilaag en het eerste watervoerende pakket, is het goed mogelijk dat de bronzone groter is dan tot dusver is aangenomen.
- Door de beperkte informatie over de grondwaterstromingssituatie en bodemopbouw en de beperkte mate van verticale uitkartering van de verontreiniging is het onmogelijk om te bepalen hoeveel nalevering nog plaatsvindt. Het is daarom niet mogelijk om te bepalen of de natuurlijke biologische afbraak in voldoende mate optreedt om te kunnen spreken van een stabiele eindsituatie.

In deze HIP pilot is geconstateerd dat door middel van gecombineerde monitoringstechnieken en strategieën het in principe goed mogelijk is om vast te stellen in hoeverre sprake is van een stabiele eindsituatie ten aanzien van de geconstateerde verontreinigingsituatie. Wel is het altijd nodig om de verontreinigingssituatie in het horizontale en verticale vlak goed af te perken op basis van een goed inzicht in de verspreidingspaden van de desbetreffende verontreiniging. De beschikbare informatie voor onderhavige pilot bleek te beperkt te zijn om volledig de risico's van

Field Code Changed

Deleted: 25

Deleted: 24

verontreinigingen en het al dan niet sprake zijn van een stabiele eindsituatie in te kunnen schatten. Net als in lit.4 wordt aanbevolen om in het vooronderzoek voorafgaand aan het ontwerp van het saneringssysteem, een goed inzicht te verkrijgen van de bodemopbouw, doorlatendheden, verspreidingspaden, verontreinigingsituatie en natuurlijke afbraak potentieel. In lit.4 is in meer detail ingegaan op de te verzamelen informatie.

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

Literatuur

Lit.1: BioSoil, 2009, Rapport, Evaluatie stand sanering Kerkstraat 35-39, Zaltbommel en voorstel afronding, conceptrapportage maart 2009, kenmerk: 00.038.631-6776.012

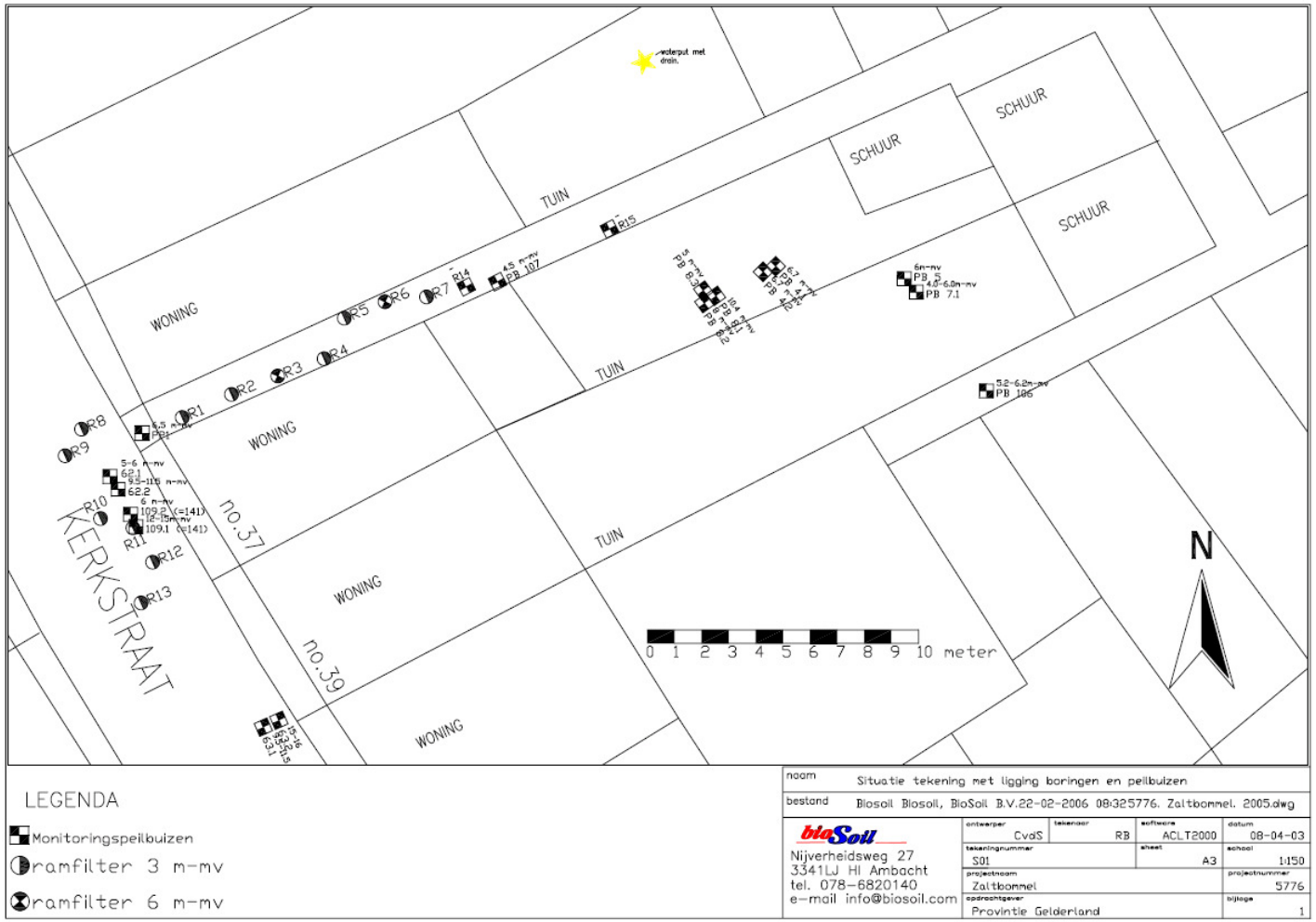
Lit.2: NOBIS, 2001, Beslissingsondersteunend systeem voor de beoordeling van natuurlijke afbraak als saneringsvariant (versie 2.0), NOBIS 98-1-21

Lit. 3: SKB, 2003, Methodiek voor het vaststellen van de duurzaamheid van natuurlijke afbraak (D-NA) van gechloreerde ethenen, SV-513

Lit. 4: TNO, 2009, Onderzoeken stabiele eindsituatie grondwaterverontreinigingen met VOCl's, rapportnummer 2009-U-R69225

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

A Overzichtstekening



LEGENDA

Monitoringspeilbuizen

ramfilter 3 m-mv

ramfilter 6 m-mv

naam	Situatie tekening met ligging boringen en peilbuizen
bestand	Biosoil Biosoil, BioSoil B.V.22-02-2006 08:325776. Zaltbommel. 2005.dwg

bioSoil
Nijverheidsweg 27
3341LJ Hi Ambacht
tel. 078-6820140
e-mail info@biosoil.com

ontwerper CvdS	tekenaar RB	software ACLT2000	datum 08-04-03
tekeningnummer S01		sheet A3	schaal 1:150
projectnaam Zaltbommel			projectnummer 5776
opdrachtgever Provintie Gelderland			bijlage 1

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

B Analyseresultaten nulsituatie verontreiniging

peilbuis	diepte (m-mv)	datum	PER (µg/l)	TRI (µg/l)	DCE (µg/l)	VC (µg/l)	etheen (µg/l)
107	2,5 - 4,5	apr 99	24.000	4.300	3.700	20	
		mrt 03	4.500	1.800	8.400	410	<d
		nov 05	1,4	1,3	1.200	23	35
		mrt 06	24	6.3	620	67	110
		mrt 07	5	< 0,2	95	83	63
		sep 07	< 0,2	< 0,2	23	< 0,7	27
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	2094	369	149
		feb 09	5,0	3,7	420	65	10
Pb R6	5 – 6	mrt 06	0,88	< 0,2	210	460	510
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	191	212	117
		sep 07	< 0,2	< 0,2	29	0	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	13	38
		mrt 09	< 0,1	< 0,1	0,51	0,37	6
PB R14	2 - 4	mrt 06	4,2	0,6	19	24	
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	25	44	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	16	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	59	68	43
		mrt 09	2,4	0,48	0,49	0,40	3
PP-1	4,8 – 6,8	jul 99	510	2.000	14.000	2.700	6,8
		feb 04	1,6	1,7	5.000	2.500	
		nov 05	0,7	0,3	4,3	1,6	< 2
		mrt 06	0,31	0,54	8,5	1,1	8,5
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
62.2	5,0 – 6,0	apr 99	4,0	1,1	510	500	
		nov 99	210	190	7.100	4.700	
		nov 05	0,4	0,2	26	15	19
		mrt 06	0.28	< 0,2	< 0,2	3,0	61
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	11	124	52
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	61	58
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	5	38
		feb 09	0,24	< 0,1	< 0,1	1,4	7
62.1	9,5 – 11,5	apr 99	3,4	0,7	16	2,3	
		feb 04	16	24	4.600	64	
		nov 05	2,3	0,4	12	2,3	< 2
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	1,3	< 0,7	< 2
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

peilbuis	diepte (m-mv)	datum	PER (µg/l)	TRI (µg/l)	DCE (µg/l)	VC (µg/l)	etheen (µg/l)
109.2	5,0 – 6,0	apr 99	370	185	660	76	
		mrt 01	130	140	4.000	200	
		apr 05	0,9	1,6	14.000	320	430
		nov 05	1,9	0,5	31	5,7	< 2
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	3,8	0,78	9,2
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	7	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
109.1	12 – 15	apr 99	6,9	1,9	380	24	
		mei 04	19	8,9	2.500	15	
		nov 05	2,5	0,8	46	8,4	3,1
		1 mrt 06	1,5	0,60	30	170	1100
		14 mrt 06	4,0	1,4	18	14	
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	10	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	4	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
63.2	8,0 – 10,0	apr 99	14	1,5	3,8	1.1	
		nov 05	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
63.1	9,5 – 11,5	apr 99	8,6	2,1	0,8	0,5	
		nov 05	0,3	< 0,2	0,3	0,7	
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
8.3	3,0 - 5,0	jul 99	741	38	79	< 0,7	
		aug 05	< 0,2	< 0,2	1,0	< 0,7	< 2
		1 mrt 06	< 0,2	< 0,2	11	3,8	3,6
		14 mrt 06	< 0,2	< 0,2	21	4,1	
		mrt 07	29	6	41	< 0,7	< 2
		sep 07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		mrt 08	25	6	13	< 0,7	< 2
		feb 09	47	8,7	12	< 0,1	< 2
8.2	6,0 – 8,0	jan 00	0,2	83	190	5,9	
		mrt 03	20	10	91	87	17
		nov 05	< 0,2	< 0,2	1,6	< 0,7	< 2
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	0,31	< 2	< 2
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	9	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
8.1	9,5 – 10,5	jan 00	241	24	27	0,1	
		mrt 03	2,0	3,0	52	57	2
		nov 05	< 0,2	< 0,2	2,3	< 0,7	< 2
		mrt 06	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		mrt 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,7	< 2

Field Code Changed
Deleted: 25
Deleted: 24

peilbuis	diepte (m-mv)	datum	PER (µg/l)	TRI (µg/l)	DCE (µg/l)	VC (µg/l)	etheen (µg/l)
4.1	4,3 – 6,3	sep 99	530	55	68	0,1	
		mei 01	70	16	260	4,0	
		nov 05	< 0,2	< 0,2	0,3	< 0,7	< 2
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	3,2	3,0	< 2
		mrt 07	< 0,2	5	40	9	< 2
		sep 07	< 0,2	< 0,2	15	< 0,7	< 2
		mrt 08	< 0,2	< 0,2	5	5	< 2
		feb 08	< 0,1	< 0,1	5,7	4,6	< 2
7.1	4,0 – 6,0	jul 99	120	29	9,5	0,1	
		jan 00	310	82	180	0,5	
		nov 05	< 0,2	< 0,2	7,8	< 0,7	< 2
		mrt 06	< 0,2	< 0,2	0,55	< 0,7	< 2
106	5,2 – 6,2	jan 00	140	29	40	0,5	
		nov 05	0,9	< 0,2	0,2	< 0,7	< 2
		mrt 06	1,0	< 0,2	0,98	< 0,7	< 2