

**Deelresultaat 2 en 3 praktijkproef
ISMP de Kempen (PT7105)**

18 december 2008

Deelresultaat 2 en 3 praktijkproef ISMP de Kempen (PT7105)

**In situ gestimuleerde vastlegging van zware metalen uit grondwater
middels ISMP in de Kempen**

Verantwoording

Titel	Deelresultaat 2 en 3 praktijkproef ISMP de Kempen (PT7105)
Opdrachtgever	SKB
Projectleider	Thomas Keijzer
Auteur(s)	Karen de Roo, Martine van Gool, Ilse Reijlink en Jaap Steketee
Uitvoering meet- en inspectiewerk	Jos Richaerts, Mark van Meeuwen, Marc Angenent en Nicky Bonants
Projectnummer	4472846
Aantal pagina's	62 (exclusief bijlagen)
Datum	18 december 2008
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Bedrijven Bodem
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom.

De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001
- VCA**-certificering voor veilig werken bij meet- en inspectieactiviteiten en bodemsaneringen, ook in risicogebieden railinfra
- Er zijn analyses uitgevoerd door het NEN-EN-ISO 17025 geaccrediteerde milieulaboratorium van AL-West
- De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd volgens BRL SIKB 2000 inclusief de van toepassing zijnde onderliggende protocollen voor het veldwerk bij milieuhygiënisch bodemonderzoek

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

Inhoud

Verantwoording en colofon	5
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Doelstellingen deelresultaat 2 en 3.....	11
1.2 Tussentijdse rapportage van de deelresultaten	12
1.3 Leeswijzer	12
2 Deelresultaat 2 - Vaststelling locatie praktijkproef	15
2.1 Locatiebezoek en historische gegevens	15
2.2 Aanvullend grondwateronderzoek en waterpassing	16
2.3 Afweging en keuze locatie praktijkproef.....	18
2.4 Go/no go	18
3 Deelresultaat 2 - Ontwerp en aanleg injectie- en monitoringssysteem	19
3.1 Ontwerp	19
3.2 Werkzaamheden met betrekking tot het injectie- en monitoringssysteem.....	21
3.3 Aanleg injectie- en monitoringssysteem	22
3.4 Aanpassingen injectie- en monitoringssysteem.....	24
4 Deelresultaat 2 - Bodemopbouw en eerste monitoringsresultaten	27
4.1 Schematisatie bodemopbouw.....	27
4.2 Interpretatie resultaten nulmeting	30
4.2.1 Grondwatersamenstelling en heersende redoxcondities.....	31
4.2.2 Verontreinigingssituatie zink en cadmium in het grondwater.....	34
5 Deelresultaat 2 - Laboratoriumexperimenten	39
5.1 Werkwijze.....	40
5.2 Resultaten.....	40
5.3 Betekenis resultaten voor opzet praktijkproef	46
6 Deelresultaat 3 – praktijkproef injectiewerkzaamheden en eerste monitoring	47
6.1 Kerngetallen praktijkproef op basis laboratoriumexperimenten	47
6.2 Injectie werkzaamheden	47
6.2.1 Eerste injectieronde	47

6.2.2	Tweede injectieronde.....	49
6.3	Resultaten controlemetingen substraatinjectie	50
6.4	Eerste monitoringsronde.....	53
6.4.1	Heersende redoxcondities	53
6.4.2	Vastlegging van zink en cadmium	54
7	Evaluatie resultaten en conclusies	59
8	Aanbevelingen voor de vervolgfase	61

Bijlage(n)

1. Situering injectie- en monitoringssysteem in relatie tot de rest van het emplacement
Budel-Schoot
2. Overzicht analyseresultaten grond en grondwater nulmeting
3. Resultaten grondwateranalyses 1^o monitoringsronde

Samenvatting

In dit rapport is de tussenrapportage van het project 'In situ gestimuleerde vastlegging van zware metalen uit grondwater in de Kempen (PT7105)' opgenomen. Deze rapportage heeft betrekking op twee deelresultaten, 2 en 3 zoals gedefinieerd in het projectplan P001-4472846JJS-beb-V02-NL d.d. 5 april 2007. Deelresultaat 2 omvat het vooronderzoek op de locatie, de laboratoriumexperimenten en het ontwerp van het injectiesysteem. Deelresultaat 3 omvat de aanleg van het systeem en de injectie van hulpstoffen inclusief de eerste monitoringsresultaten.

Deelresultaat 2 en de daarbijbehorende doelstellingen hebben betrekking op het vooronderzoek op de locatie, de laboratoriumexperimenten en het ontwerp van het injectiesysteem. De tussentijdse resultaten en de daaruit afgeleide aanpassingen voor het verdere verloop van het project zijn:

- Dat de zuidzijde van het emplacement van Budel-Schoot een geschikte locatie biedt om de praktijkproef uit te voeren
- Het ontwerp van het injectie- en monitoringssysteem is aangepast naar aanleiding van de op de locatie heersende geohydrologische situatie. Er is voornamelijk sprake van een infiltratiesituatie
- De bodemopbouw op het emplacement en ook ter hoogte van de praktijkproef bestaat uit een sterk heterogeen bodempakket. Op de plaats van het injectie- en monitoringssysteem is een kleilaag aanwezig die niet in gelijke mate en dikte aanwezig is binnen het gebied van de praktijkproef. Deze laag is van invloed op de uitvoering van de praktijkproef besloten is ondiep een kleiner volume te injecteren dan in het diepere deel van de bodem
- Op het laboratorium komt de sulfaatreductie in de meeste batches op gang na uitsluitend het toevoegen van organische substraten. Enting met sulfaatreducerende bacteriën is dus niet noodzakelijk op de locatie. De van nature aanwezige sulfaatconcentratie in het grondwater van de locatie is laag, toevoeging van extra sulfaat is daarom nodig voor de vorming van een voldoende sulfidenbuffer
- Bij de hoogste melassedosering op het laboratorium is het sulfaatreductieproces niet op gang gekomen. Voor de praktijkproef is besloten om een lagere melasseconcentratie van 10 g/l aan te houden voor de hoge dosering

Deelresultaat 3 en de daarbijbehorende doelstellingen hebben betrekking op de injectiewerkzaamheden. De voorlopige resultaten en de daaruit afgeleide aanpassingen op basis van de injectiewerkzaamheden zijn:

- De doorlatendheid op de locatie is laag, lager dan verwacht. Dit heeft verregaande invloed op de uitvoering van de praktijkproef. Hiervoor is een pragmatische oplossing gekozen die bestaat uit het onttrekken van grondwater uit alle injectoren, dit op te mengen en pas daarna de gewenste concentratie substraat en sulfaat op te lossen
- De substraatdosering is afgeleid uit de resultaten van de laboratoriumexperimenten. Aan de te injecteren oplossingen wordt tevens sulfaat toegevoegd. De injectieoplossingen zijn:
 - Lage dosering substraat: 2 g melasse/L wat overeenkomt met 2 kg/m³ met 240 mg Na₂SO₄/L of 240 g/m³
 - Hoge dosering substraat: 10 g melasse, wat overeenkomt met 10 kg/m³ met daarin 1,2 g Na₂SO₄ of 1,2 kg/m³
- Injectie van de beide substraatdoseringen hebben plaatsgevonden. Verspreiding in het diepere bodemtraject is goed, in het ondiepere deel van de bodem treedt verspreiding op maar in mindere mate. Het lijkt erop dat er sprake is van voorkeursstroming
- Na de eerste monitoringsronde lijkt het, op basis van de Eh-pH-diagrammen met daarin de vastleggingsindicator, dat naast vastlegging van zink en cadmium door middel van adsorptie ook vastlegging in de vorm van precipitatie op de locatie optreedt

1 Inleiding

In dit rapport is de tussenrapportage van het project '*In situ gestimuleerde vastlegging van zware metalen uit grondwater in de Kempen (PT7105)*' opgenomen. Deze rapportage heeft betrekking op deelresultaat 2 en gedeeltelijk deelresultaat 3 uit het projectplan (P001-4472846JJS-beb-V02-NL d.d. 5 april 2007). Deelresultaat 2 omvat het vooronderzoek op de locatie, de laboratoriumexperimenten en het ontwerp van het injectiesysteem. Deelresultaat 3 omvat de aanleg van het systeem en de injectie van hulpstoffen inclusief de eerste monitoringsresultaten. In het projectplan is uitgegaan van een tweetal korte notities maar vanwege het samenlopen van een aantal activiteiten is gekozen voor een uitgebreidere rapportage waarbij de onderdelen behorende tot deze twee deelresultaten integraal zijn verwerkt in deze rapportage.

Op het NS-emplacement in Budel heeft in het verleden ophoging van het maaiveld plaatsgevonden met behulp van zinkassen. Door uitloging van de zinkassen is sprake van een bodemverontreiniging op deze locatie. Dit soort verontreiniging komt veelvuldig voor in het gebied De Kempen. Op de onderzoekslocatie is voornamelijk cadmium en zink aangetroffen in grond en grondwater. Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) is geïnteresseerd in alternatieven om eventuele onaanvaardbare verspreiding van metalen in het grondwater te voorkomen. Dit omdat toepassing van conventionele saneringstechnieken zoals *pump and treat* voor een gebied als de Kempen onrealistisch is. In situ metaal precipitatie (ISMP) is een techniek waarbij door injectie van substraat mobiele metalen worden vastgelegd als metaalsulfiden. Met de techniek kunnen meerdere zware metalen gelijktijdig geïmmobiliseerd worden.

1.1 Doelstellingen deelresultaat 2 en 3

De voor dit project gestelde doelstellingen, zoals eerder verwoord in het projectplan, zijn:

- Demonstratie van de techniek ISMP
In het project dient te worden aangetoond dat het voorgestelde concept op de geselecteerde locatie effectief is voor meerdere zware metalen (cadmium en zink). De concentraties dienen ten minste worden teruggebracht tot achtergrondwaarden in het gebied, maar bij voorkeur tot de T-waarden (voor deze demonstratie). Tevens dient te worden aangetoond dat de aanpak kosteneffectief is ten opzichte van klassieke methoden zoals *pump and treat*
- Verdere ontwikkeling/optimalisatie van de techniek
De techniek wordt verder ontwikkeld en geoptimaliseerd door vast te stellen onder welke omstandigheden een zodanige sulfidenbuffer kan worden gecreëerd dat toekomstige emissies vanuit de bovengrond van zware metalen worden afgevangen. Hiervoor is het nodig om voldoende organisch substraat, sulfaat en/of ijzer in de bodem te brengen

- **Beoordelen en verifiëren van de stabiliteit van de gevormde metaalsulfides**
De stabiliteit van de gevormde metaalsulfides wordt beoordeeld op basis van de tools die beschikbaar zijn in het Beslissings- Ondersteunend Systeem (BOS) vastlegging zware metalen (stabiliteitsindicator) en vindt plaats voor dosering aan substraat c.q. de verwachte vorming van sulfiden. Verificatie vindt plaats door monitoring van de grondwaterkwaliteit en de hoeveelheid en aard van de gevormde sulfiden
- **Vergroten van het draagvlak en kennisoverdracht**
Door rapportages, een voordracht en een on site dag wordt de opgedane kennis gedeeld met het bevoegd gezag, zodat een betere beoordeling plaats kan vinden van de toepassingsmogelijkheden van ISMP en onzekerheden weggenomen kunnen worden

Deze rapportage behandelt voornamelijk de eerste twee doelstellingen. Zoals omschreven in het projectvoorstel omvat deelresultaat 2 het vooronderzoek op de locatie, de laboratoriumexperimenten en het ontwerp van het injectiesysteem en sluit daarmee aan op de demonstratie van de techniek. Deelresultaat 3 omvat de aanleg van het systeem en de injectie van hulpstoffen inclusief de eerste monitoringsresultaten en sluit daarbij aan op de verdere optimalisatie van de techniek.

1.2 Tussentijdse rapportage van de deelresultaten

Als onderdeel van deelresultaat 2 is een go/no go-notitie opgesteld (N001-4472846MPM-cju-V01-NL d.d. 7 februari 2008) die ingaat op het vooronderzoek met betrekking tot het vaststellen van de locatie van de praktijkproef. De belangrijkste uitkomsten en conclusies van deze notitie zijn in deze rapportage verwerkt.

Deze tussenrapportage omvat deelresultaat 2 en delen van deelresultaat 3 en gaat in op karakterisatie van de locatie met betrekking tot de actuele verontreinigingssituatie, bodemopbouw, macrochemie en redoxcondities. Naast een beschrijving van de laboratoriumproeven met resultaten wordt ook het ontwerp van het injectiesysteem besproken. Tevens wordt een overzicht van de analyseresultaten gegeven, ondermeer de nulmeting voorafgaand aan de injectie van het substraat en de eerste controle meting na uitvoering van de injectie.

1.3 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 de vaststelling van de proeflocatie, zoals eerder gerapporteerd in de go/no go-notitie, kort samengevat. Hoofdstuk 3 beschrijft de werkzaamheden zoals het ontwerp en de aanleg van het injectie- en monitoringssysteem, waarna de verkregen monitoringsresultaten van de nulmeting en de eerste monitoringsronde worden besproken. In dit hoofdstuk is eveneens een schematisatie gegeven van de bodemopbouw van de locatie en hoe deze de proef kan beïnvloeden.



In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op het uitgevoerde laboratoriumonderzoek waarna in hoofdstuk 6 de injectiewerkzaamheden worden beschreven evenals de voorlopige resultaten na het verkrijgen van de nulmeting en eerste monitoringsronde.

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

2 Deelresultaat 2 - Vaststelling locatie praktijkproef

In dit hoofdstuk wordt kort de inhoud en belangrijkste waarnemingen en conclusies uit de go/no go-notitie opgenomen. Deze notitie, N001-4472846MPM-cju-V01-NL d.d. 7 februari 2008 is voorgelegd aan SKB en de begeleider uit het KIT, de heer Heimovaara. De notitie had als belangrijkste doelstelling te bepalen op welk deel van de locatie de praktijkproef zou kunnen worden uitgevoerd. Daarvoor zijn diverse activiteiten zoals een locatiebezoek, interpretatie van historische gegevens en een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Op basis van de verzamelde gegevens is de uiteindelijke locatie van de praktijkproef gekozen. Deze werkzaamheden maken deel uit van deelresultaat 2.

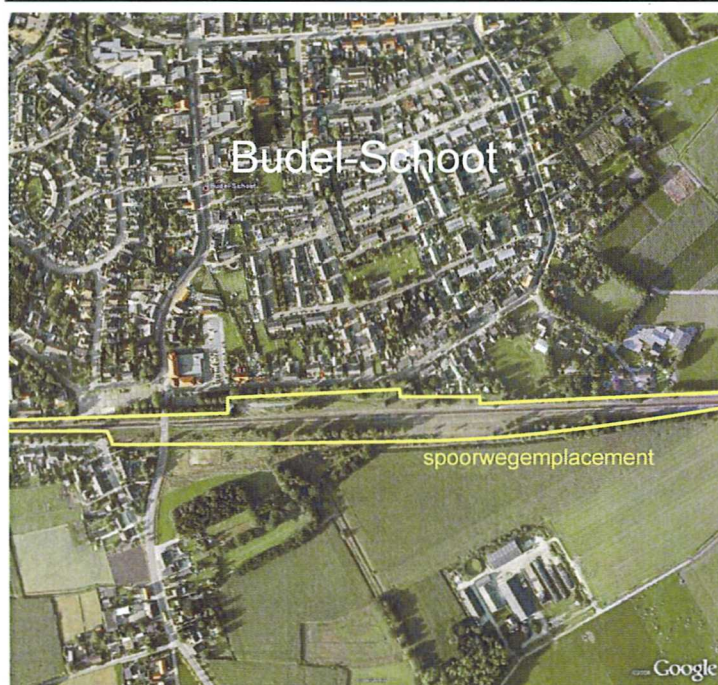
2.1 Locatiebezoek en historische gegevens

Om te bepalen waar de proef het beste kan worden uitgevoerd is op 23 augustus 2007 een locatiebezoek afgelegd door Peter van den Broek (A&G Milieutechniek) en Martine van Gool (Tauw). Tijdens dit locatiebezoek zijn vijf geselecteerde locaties bezocht. De locaties waren geselecteerd op basis van de verontreinigingssituatie zoals deze is vastgesteld in het rapport van Cauberg Huygen (kenmerk 2002.1188-8). Gezocht is naar de meest verontreinigde locaties op basis van zinkgehalten in de grond en zinkconcentraties in het grondwater. Op basis van het Cauberg Huygen-rapport blijkt het zwaartepunt van de verontreiniging met kelderassen te liggen op het zuidelijke deel van het emplacement tussen kilometrerings 54,6 en 55,5. In figuur 2.1 is een luchtfoto gegeven van de ligging van het emplacement ten opzichte van Budel-Schoot, in figuur 2.2 is een meer gedetailleerdere opname opgenomen.

In de notitie van 7 februari 2008 is op basis van de voorgaande bodemonderzoeken en veldwerk waarbij bestaande peilbuizen zijn bemonsterd de geschikte proeflocatie vastgesteld. De locatie tussen kilometrerings 54,9 en 55,1 is vervolgens in meer detail nader onderzocht.

Voordelen van de locatie tussen kilometrerings 54,9 en 55,1 zijn:

- In eerder onderzoek is een sterke verontreiniging aangetroffen in de grond. Echter, tijdens het nader onderzoek zijn in één sleuf dergelijk hoge concentraties aan cadmium en zink niet meer aangetroffen
- Er is meer dan voldoende ruimte op de locatie om de proef uit te voeren
- Het is niet noodzakelijk dat een veiligheidsman van ProRail aanwezig is tijdens het uitvoeren van het werk. Deze dient te worden ingeschakeld wanneer binnen de PVR +3 m van een spoorlijn wordt gewerkt. Overleg met Strukton voor kabelaanwijzing tijdens boorwerkzaamheden moet wel blijven plaatsvinden
- De waterpassing voor de bepaling van de grondwaterstromingsrichting is goed uit te voeren in verband met goede toegankelijkheid van omliggende percelen



Figuur 2.1 Globale ligging van de ligging van het spoorwegemplacement van Budel-Schoot
(foto: © Google, 2008)

Nadeel van de locatie tussen kilometring 54,9 en 55,1 is dat:

- Het niet bekend is of verontreiniging met zware metalen in voldoende mate aanwezig is in het grondwater

2.2 Aanvullend grondwateronderzoek en waterpassing

Om te bepalen of de gekozen locatie, tussen kilometring 54,9 en 55,1, inderdaad representatief is, is het grondwater aanvullend onderzocht. Hiertoe zijn twee peilbuizen tot 4 m -mv geplaatst, en samen met drie bestaande peilbuizen bemonstert en geanalyseerd op cadmium en zink.

Uit de resultaten (zie N001-4472846MPM-cju-V01-NL) blijkt dat vooral in het ondiepe grondwater sterk verhoogde concentraties aan zink worden aangetoond. De gemeten concentraties in het grondwater uit de peilbuizen die ook in 2002 zijn bemonstert zijn in 2007 over het algemeen hoger. De gemeten pH in het grondwater is in 2007 lager dan in 2002, waardoor mogelijk meer mobilisatie van het zink is opgetreden.



Figuur 2.2 Detailopname van het spoorwegemplacement Budel-Schoot met indicatief de ligging van de locatie (© Google, 2008)

Dit is een mogelijke verklaring voor de hogere zinkconcentraties die worden waargenomen. Over het algemeen ligt de zinkconcentratie in het grondwater aan de zuidzijde van de spoorlijn, tussen kilometering 54,9 en 55,1, tussen de 3.000 en 4.000 $\mu\text{g/l}$. De concentratie aan cadmium in het grondwater varieert sterk.

Uit de uitgevoerde waterpassing blijkt dat géén eenduidige grondwaterstromingsrichting is vast te stellen. In de deklaag, dat wil zeggen in de eerste 10 m van de bodem, is de grondwaterstroming waarschijnlijk voornamelijk in de verticale richting en heerst er een infiltratiesituatie. Als er toch horizontale stroming plaatsvindt in de deklaag zal die, op basis van de *Grondwaterkaart van Nederland*, in noordoostelijke richting zijn. In het eerste watervoerende pakket is de stroming naar het noorden gericht.

2.3 Afweging en keuze locatie praktijkproef

Om vast te stellen of aan de zuidzijde van het spoor tussen kilometrerings 54,9 en 55,1 een geschikte locatie aanwezig is om de proefsanering met ISMP uit te voeren is gekeken naar de volgende punten:

- **Toegankelijkheid locatie**
Aan de zuidzijde van het emplacement in Budel-Schoot, tussen kilometrerings 54,9 en 55,1, is voldoende werkruimte beschikbaar om een injectie- en monitoringssysteem voor de praktijkproef aan te leggen. De aanvoerroute ligt buiten de PVR +3 m waardoor geen veiligheidsman voor het uitvoeren van de werkzaamheden ingeschakeld hoeft te worden. A&G Milieutechniek heeft in bestaand hekwerk een aparte toegang gemaakt
- **Grondwaterstromingsrichting**
De grondwaterstromingsrichting is voornamelijk verticaal gericht. Hierdoor zal een ander ontwerp van het injectie- en monitoringssysteem moeten worden gemaakt dan waar in het projectvoorstel vanuit is gegaan. Monitoring zal moeten worden uitgevoerd naar de diepte
- **Verontreinigingssituatie**
Over het algemeen ligt de zinkconcentratie in het grondwater aan de zuidzijde van de spoorlijn tussen kilometrerings 54,9 en 55,1 tussen 3.000 en 4.000 µg/l. De cadmiumconcentratie in het grondwater varieert tussen <0,10 en 21 µg/l. Ondanks dat de hoge cadmiumconcentraties het grootste probleem in de Kempen is, zijn de concentraties aan zink voldoende hoog om een afname van zinkconcentraties aan te tonen. Een nadeel kan zijn dat de concentratieafname van de sanering minder spectaculair zal zijn. Daar staat echter tegenover dat deze verontreinigingsconcentraties wel representatiever zijn voor de gemiddelde concentratie in het grondwater dat te relateren is aan de zinkassenproblematiek

2.4 Go/no go

Op basis van de bovengenoemde afwegingscriteria is besloten door te gaan en de proef met ISMP aan de zuidzijde van het emplacement te Budel-Schoot tussen kilometrerings 54,9 en 55,1 uit te voeren.

3 Deelresultaat 2 - Ontwerp en aanleg injectie- en monitoringssysteem

Het injectie- en monitoringssysteem dient ter verificatie, het verzamelen van aanvullende informatie en het volgen van de ISMP-praktijkproef. In het projectvoorstel is voorzien in een injectie- en monitoringssysteem op basis van een (deels) horizontaal gerichte grondwaterstroming waarbij men met twee filterdiepten de praktijkproef gevolgd kan worden. Uit de waterpassing blijkt echter dat de grondwaterstroming voornamelijk verticaal gericht is. Hierdoor is een ander soort ontwerp voor het monitoringssysteem nodig. Het aangepaste ontwerp wordt in dit hoofdstuk besproken evenals de werkzaamheden met betrekking tot de aanleg. Deze werkzaamheden maken deel uit van deelresultaat 2. De uitgevoerde werkzaamheden met betrekking tot de injectie van substraat en de daarbij behorende, voorlopige resultaten zijn gegeven in hoofdstuk 6 (deelresultaat 3).

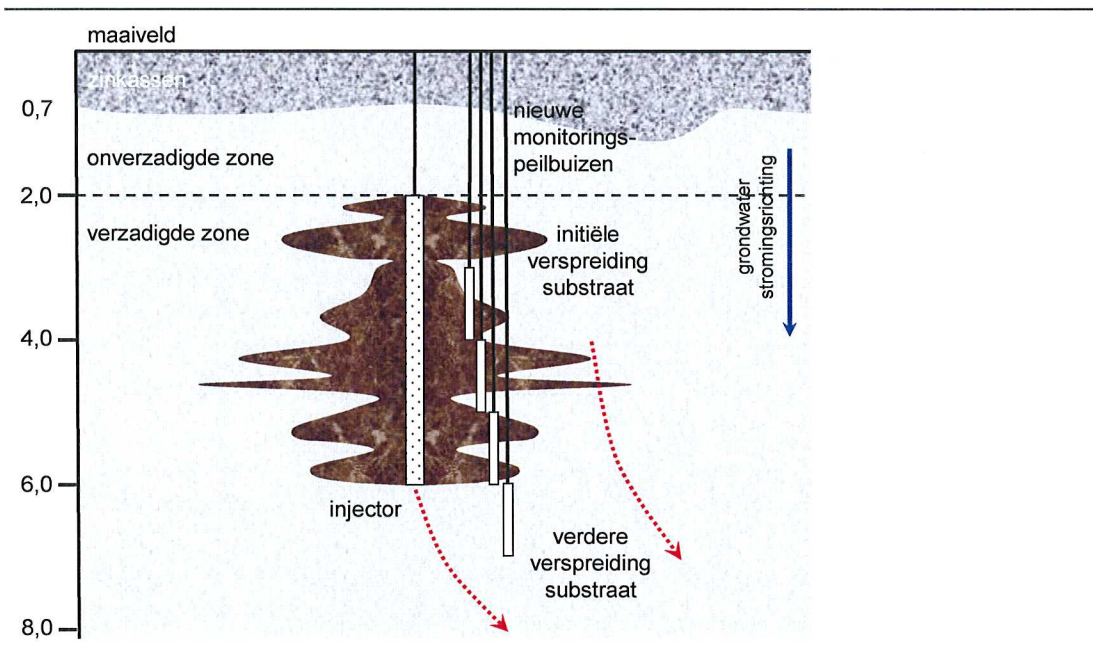
Door middel van het bemonsteren van het monitoringssysteem gedurende de ISMP-praktijkproef moeten de volgende doelstellingen bepaald kunnen worden:

1. Vaststellen van de verspreiding van het substraat
2. Vaststellen van de effecten van de substraatinjectie
3. Bepalen van de stabiliteit van de effecten van de substraatinjectie
4. Bepalen van het bufferend vermogen voor (toekomstige) vastlegging van metalen en van de stabiliteit van dit vermogen

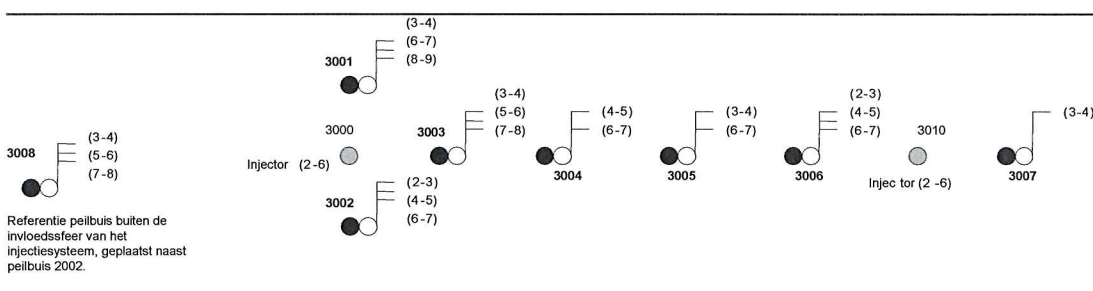
3.1 Ontwerp

Doordat de grondwaterstroming voornamelijk verticaal gericht is zal monitoring van de proef ook in verticale richting moeten worden uitgevoerd. Op basis van de bodemopbouw (zie hoofdstuk 4) die is bepaald aan de hand van een intacte bodemkern tot 10 m -mv, is gekozen voor een injector met een vier m lang filter met een filterstelling van 2,0-6,0 m -mv. Zodat een filterbereik ontstaat van iets boven een aanwezige kleiige laag, van circa 2,5-3,1 à 3,3 m -mv, tot in het meer zandige deel van het pakket onder deze kleiige laag. Onder de injectiefilters zijn, vanaf circa 7,3 m -mv, wederom afwisselend klei- en zandlaagjes aanwezig.

Wanneer wordt uitgegaan van een homogene en radiale verspreiding van het geïnjecteerde substraat rondom een injector, dan zal bij een verticale grondwaterstroming de laterale verspreiding met de diepte toenemen. In de praktijk zal verspreiding van het geïnjecteerde substraat niet geheel volgens dit theoretisch model plaatsvinden, maar bestaat de kans op voorkeursstroming. Eventuele voorkeursstroming in horizontale richting kan worden opgevangen door dat ook op 2 en 3 m afstand van de injector te monitoren. In figuur 3.1 is een schematische weergave gegeven van verticale monitoring van het substraat na injectie.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de verticale monitoring tijdens ISMP pilotsanering (© Tauw, 2008)



Figuur 3.2 Schematische weergave (bovenaanzicht) van het injectie- en monitoringssysteem. In de tekening is bij de verschillende peilbuizen de filterstelling aangegeven (© Tauw, 2008)

Vervolgens is deze theoretische verspreiding van substraat vertaald naar een praktisch uitvoerbaar injectie- en monitoringssysteem op basis van twee injectoren, zodat de proef met twee verschillende substraatconcentraties kan worden uitgevoerd. Het systeem is dusdanig opgezet dat het gehele bodemtraject van 2 tot 9 m -mv rondom elke injector kan worden gemonitord.



In figuur 3.2 is een schematische weergave (bovenaanzicht) opgenomen van het geplaatste monitoringssysteem. De situering van het injectie- en monitoringssysteem ten opzichte van de overige peilbuizen op de locatie is weergegeven in bijlage 1.

Het geplaatste monitoringssysteem omvat, naast de twee injectoren (3000 en 3010), 17 filters op verschillende dieptes verdeelt over de peilbuizen 3001 tot en met 3007. Deze zeven peilbuizen en de twee injectoren hebben een beoogde onderlinge afstand van circa 1 m. Tevens is een referentiepeilbuis (3008), met drie filters buiten de invloedssfeer van de injectoren aanwezig op circa 30 m ten westen van injector 3000.

Zoals in figuur 3.2 te zien is, is rond injector 3000 het complete bodemtraject van 2,0-9,0 m -mv van filters voorzien. Rondom injector 3010 is, na karakterisering van de bodemopbouw, het bodemtraject van 2,0 tot 7,0 m -mv van filters voorzien. Hiervoor is gekozen omdat vanaf een diepte van circa 7,3 m -mv kleiige laagjes voorkomen die mogelijk een horizontale voorkeursstroming kunnen veroorzaken.

3.2 Werkzaamheden met betrekking tot het injectie- en monitoringssysteem

In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden aan het injectie- en monitoringssysteem in de periode november 2007 tot medio juli 2008. In figuur 3.2 is een situatieschets gegeven van de ligging van de monsterpunten. In bijlage 1 is de ligging op het emplacement gegeven en ten opzichte van de overige peilbuizen. De verkregen resultaten of een gedetailleerdere omschrijving van de werkzaamheden wordt elders in deze rapportage gegeven.

Tabel 3.1 Overzicht uitgevoerde veldwerkzaamheden (tabel vervolgt op volgende pagina)

Activiteit	Datum	Peilbuisnummers
Plaatsen van 2 peilbuizen tot 4 m -mv	16 november 2007	2001, 2002
Bemonsteren en analyseren grondwater uit 5 peilbuizen	23 november 2007	1038, 1072, 1075, 2001, 2002
Plaatsen van 8 peilbuizen tot 3 m -mv ten behoeve van waterpassing	11 december 2007	2003 tot en met 2010
Waterpassing van 16 peilbuizen	Week 2-2008	1042, 1068, 1075, 1072, 1077, 1113, 2001 tot en met 2010
Fase 1 plaatsing monitoringssysteem: 4 peilbuizen met 3 filters en 1 liner ten behoeve van karakterisatie bodemopbouw (Grobotec)	24, 25, 28 april 2008	3001, 3002, 3003, 3008 liner gestoken naast injector 3000

Activiteit	Datum	Peilbuisnummers
Bemonsteren en analyseren grondwater uit 4 peilbuizen + 2 boorpunten ten behoeve van grondmonsters onverzadigde zone, buiten het emplacement (referentie atmosferische depositie) en groot monster zinkassen	6 mei 2008	3001, 3002, 3003, 3008 4001, 4002
Plaatsing van de injectoren (A&G Milieutechniek)	8 mei 2008	3000 en 3010
Grondwaterbemonstering ten behoeve van labproeven	19 mei 2008	3008
Fase 2 plaatsing monitoringssysteem: 4 peilbuizen met 1, 2 of 3 filters	23 juni 2008	3004, 3005, 3006, 3007
Bemonsteren en analyseren alle 22 filters van het injectie- en monitoringssysteem ten behoeve van nulmeting	30 juni, 1, 2 juli 2008	3000, 3001, 3002, 3003, 3004, 3005, 3006, 3007, 3008, 3010
Ontrekken grondwater, aanmaken oplossing en injecteren van substraat	7, 8, 9 en 14 juli 2008	Onttrekking grondwater 3000 en 3010, injectie substraat in filter 3010
Controlemeting injectie substraat in 3010	21 en 22 juli 2008	Alle filters monitoringssysteem

3.3 Aanleg injectie- en monitoringssysteem

De aanleg van het injectie- en monitoringssysteem heeft in verschillende fases plaatsgevonden zoals ook blijkt uit de vorige paragraaf. Deze fasen zijn:

- Fase 1 van de aanleg van het monitoringssysteem -24, 25 en 28 april 2008- bestond uit het plaatsen van de peilbuizen 3001, 3002, 3003 en 3008. Tevens is tijdens deze fase een volledige bodemkern gestoken tot 10 m -mv gestoken ten behoeve van karakterisatie van de bodemopbouw ter plaatse (circa 0,5 m naast de beoogde locatie van injectiefilter 3000). Tijdens het plaatsen van de peilbuizen is het opgeboorde materiaal tevens Per halve m bemonsterd. Deze grondmonsters zijn deels gebruikt voor het creëren van mengmonsters voor chemische analyses en deels gebruikt in de laboratorium experimenten (zie hoofdstuk 5)
- Na deze fase zijn de twee injectoren geïnstalleerd. Deze zijn op 8 mei 2008 door A&G Milieutechniek geplaatst. De injectoren hebben de nummers 3000 en 3010
- Tijdens fase 2 op 23 juni 2008 zijn de resterende peilbuizen, 3004, 3005, 3006 en 3007 geplaatst

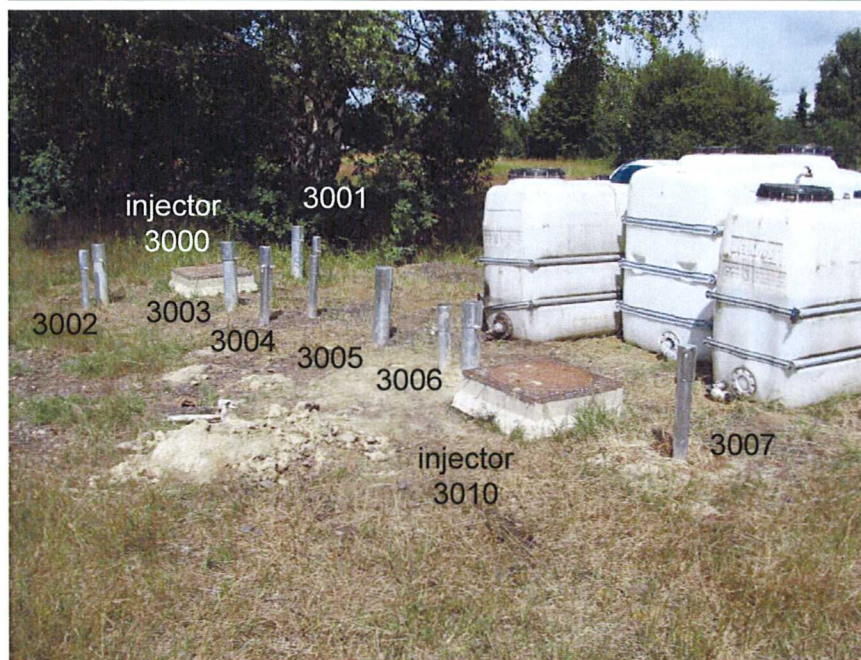
In totaal is er een injectie- en monitoringssysteem ontstaan dat bestaat uit 20 monitoringfilters en twee injectiefilters. In figuur 3.2 is de lay-out van het systeem gegeven. In figuur 3.3 is een momentopname halverwege de aanleg van het systeem. Te zien is dat beide injectoren al zijn geplaatst (onder de betonnen deksels) en een deel van het monitoringssysteem rond injector 3000. In figuur 3.4 is een detailfoto te zien van één van de injectoren. In figuur 3.5 is het hele injectie- en monitoringssysteem zichtbaar.



Figuur 3.3 Overzichtsfoto op 9 mei 2008. Beide injectoren zijn geplaatst en afgedekt met een betonnen putdeksel. Ook is al een deel van het monitoringstelsel rond injector 3000 geplaatst. Foto is genomen kijkend naar het noordoosten, richting Budel-Schoot. De spoorlijn is eveneens zichtbaar (© Tauw, 2008)



Figuur 3.4 Detailfoto van injector 3000 (© Tauw, 2008)



Figuur 3.5 Het injectie- en monitoringssysteem op 9 juli 2008. De foto is genomen vanuit het zuidoosten tijdens de eerste injectieronde, zie verder hoofdstuk 6. De nummering van de injectoren en de monitoringspeilbuizen is weergegeven. Niet zichtbaar is de referentiepeilbuis 3008. Vergelijk ook met de lay-out van het systeem in figuur 3.2 (© Tauw, 2008)

De foto is genomen tijdens de eerste injectieronde (zie verder hoofdstuk 6). Ter verduidelijking is in de figuur ook de nummering van de monitoringspeilbuizen schematisch aangegeven. Alleen referentiepeilbuis 3008 is niet zichtbaar.

De interpretatie op basis van de boorprofielen van de geplaatste boringen, zowel de monitoringspeilbuizen als de injectoren, van de bodemopbouw is gegeven in hoofdstuk 4.

3.4 Aanpassingen injectie- en monitoringssysteem

Tijdens het bemonsteren van het grondwater tijdens de nulmeting en ook later tijdens de eerste injectieronde bleek dat enkele filters waren vernield. Door deze vernielingen stonden beschermkokers en/of filters scheef waardoor de peilbuizen niet meer bruikbaar waren. Een ondiepe filter was zelfs verwijderd. Na aanleiding van dit vandalisme is besloten om voor het injectie- en monitoringssysteem een andere wijze van afwerking van de peilbuizen te kiezen. Zodat vernielingen met als gevolg het herhaaldelijk moeten herplaatsen van filters voorkomen wordt. Als oplossing is gekozen de filters van het monitoringssysteem te voorzien van een zogenaamde brandkraanstraatpot met imbusslot in plaats van een beschermkoker als afwerking.

Tijdens de tweede controle bemonsteringsronde in week 37-2008 zijn de beschermkokers vervangen door deze brandkraanstraatpotten. In figuur 3.6 is een foto weergegeven van het injectie- en monitoringssyteem nadat de onbruikbare filters zijn hersteld en alle beschermkokers zijn vervangen.



Figuur 3.6 Het injectie- en monitoringssyteem op 10 september 2008 nadat de herstelwerkzaamheden waren uitgevoerd. De foto is genomen vanuit het noordoosten, niet zichtbaar is de referentiepeilbuis 3008. Vergelijk ook met de lay-out van het syteem in figuur 3.2 en 3.5 (© Tauw, 2008)

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

4 Deelresultaat 2 - Bodemopbouw en eerste monitoringsresultaten

In tabel 3.1 (pagina 20) is een overzicht gegeven van de verschillende veldwerkzaamheden. Tijdens deze veldwerkzaamheden is naast verschillende bodemprofielen ook een complete gestoken boorkern, zogenaamde liner genomen. In dit hoofdstuk is een interpretatie gegeven van de bodemopbouw van het gebied waar de proef wordt uitgevoerd. Kennis met betrekking tot de bodemopbouw moet inzicht geven in de heterogeniteit van de bodem en de invloed die dit heeft op de verspreiding van het geïnjecteerde substraat. Daarnaast zal op basis van de monitoringsgegevens van de nulsituatie, verkregen net na de aanleg van het systeem maar vooraf aan de eerste injectieronde worden geschetst welke geochemische condities er van nature heersen. Deze werkzaamheden maken deel uit van deelresultaat 2.

4.1 Schematisatie bodemopbouw

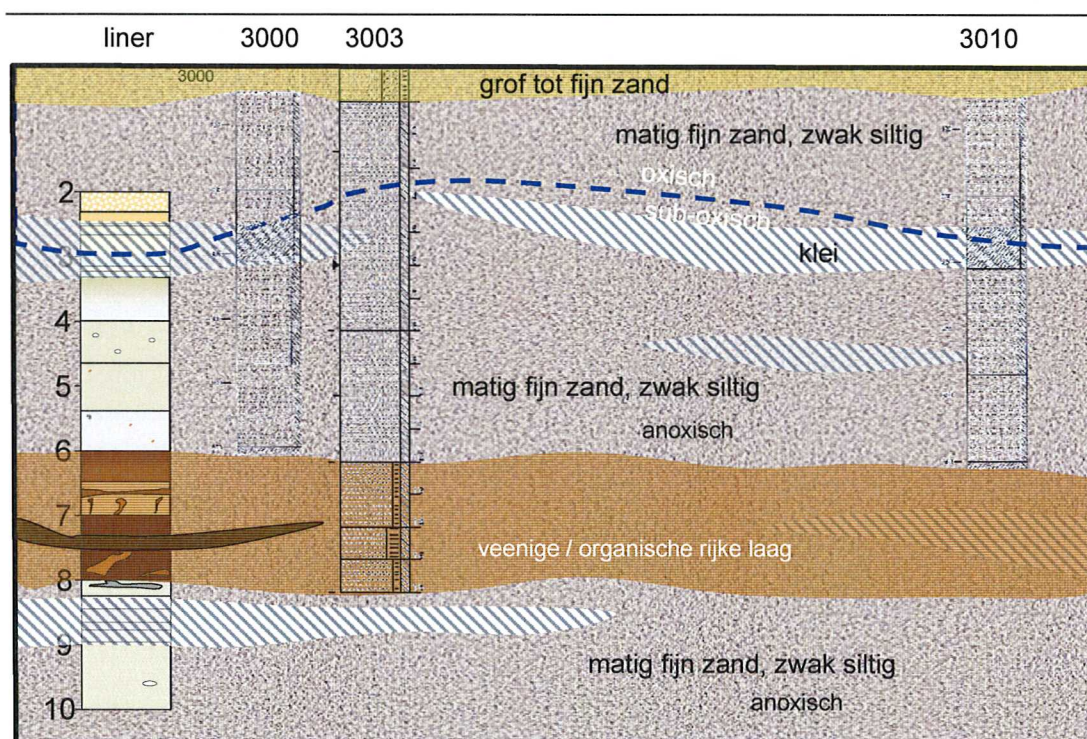
Geologisch kader

Tijdens de laatste twee ijstijden (Weiseliën & Saalien) vindt sterke erosie plaats in de Belgische en Nederlandse Kempen. Er worden fluvioperiglaciale sedimenten afgezet, enerzijds wordt leem afgezet in dooimeren en gedurende de zomer wanneer veel smeltwater vrij komt verspoelen eerdere dekzand- en rivierafzettingen. In het systeem van verwilderde geulen en geultjes ontstaan echter ook nieuwe, sterk heterogene gelaagde zand afzettingen met ingesloten leemlagen en/of planten- en houtresten. Aan het eind van de laatste ijstijd veranderde het klimaat. Het wordt een stuk milder en het systeem van ondiepe verwilderde geulen veranderd in meanderende beken. Riviertjes als de Dommel, Warmbeek en Abeek snijden het Kempens plateau in aan de noord-noordoostzijde. In de dalen wordt zand en klei afgezet in dikkere pakketten. De ondiepe ondergrond tot circa 10 m -mv in Budel-Schoot is onderdeel van de Formatie van Bortel.

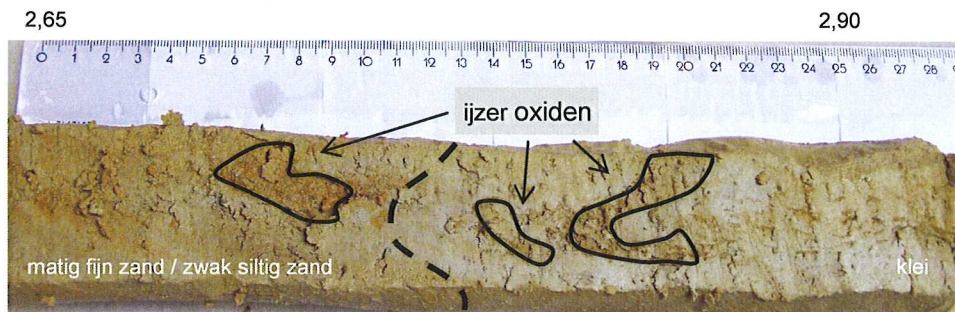
Schematisatie bodemopbouw

Op basis van de rapportages van Cauberg Huygen (rapport 2202.1188-8 dd. 3 november 2003) blijkt dat de ondergrond over het algemeen matig fijn tot fijn, zwak siltig zand bevat. De bovenste m is in vele gevallen grindachtig en humeus. Er zijn echter ook dieper humusrijke bodemlagen aangetroffen. In enkele boringen zijn zandige kleilagen aangetroffen, deze varieerden in dikte tussen enkele tientallen centimeters tot maximaal een m dikte. In de meeste gevallen werd het zwak siltige bodemprofiel onderbroken door matig siltige zandlagen van ongeveer een m dikte. Noch de dikkere kleilagen noch de siltige bodemlagen zijn tussen de verschillende boorpunten te correleren.

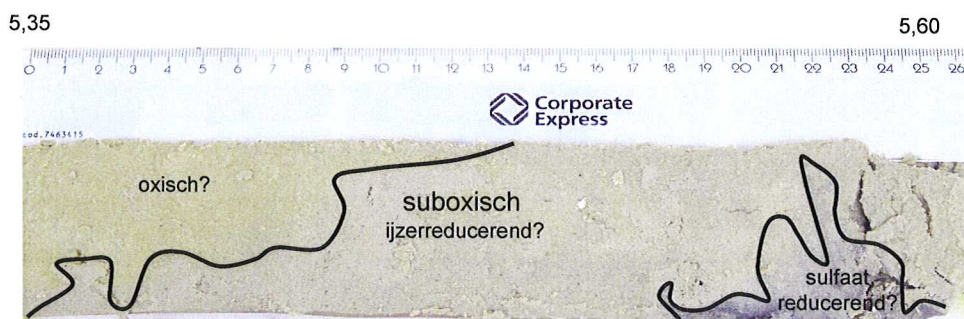
Er mag dan ook worden aangenomen dat deze lagen voorkomen als geïsoleerde lenzen en de bodem, met name in de eerste 10 m die in de diverse onderzoeken zijn onderzocht, zeer heterogeen is. Bijvoorbeeld in het bodemprofiel van beide injectoren, 3000 en 3010, wordt op circa 2 m -mv een kleilaag aangetroffen van iets minder dan een m dikte. Deze kleilaag komt echter tussen beide injectoren niet in alle boorprofielen van de monitoringsfilters voor. Het voorkomen van deze niet continue kleilagen en de grote heterogeniteit van de bodem past in het beeld van de ontstaansgeschiedenis van het gebied. De verschillende bodemlagen zijn afgezet in een verwilderd systeem van kleine geultjes die zich met enige regelmaat verplaatste waardoor telkens dunne lagen klei, silt en zand zijn afgezet. De bodemlagen (waarschijnlijk eveneens lenzen) van grovere zanden zijn kenmerkend voor afzettingen in de rivierloop.



Figuur 4.1 Geschematiseerde bodemopbouw op het emplacement van Budel-Schoot ter hoogte van het monitoring- en injectiesysteem op basis van de verschillende boringen en de gehele bodemkern (liner). De bodem tot circa 10 m -mv bestaat uit voornamelijk matig fijn zand vaak ook wat siltig. Er komen kleilagen voor met een maximale dikte van een m die niet correleerbaar zijn tussen de verschillende diepe boringen. In het bodemprofiel van beide injectoren, 3000 en 3010, wordt op circa 2 m -mv een kleilaag aangetroffen. Deze komt echter tussen beide injectoren niet in alle boorprofielen van de monitoringsfilters voor. Op grotere diepte, dieper dan 6 m -mv, komt een zeer organisch rijke laag voor



B5.3



B5.11



B5.18

Figuur 4.2 Enkele foto's van de gehele boorkern (liner) met daarin een aantal waarnemingen; helemaal boven kern B5.3 gley-verschijnselen in zowel kleiige als zandige bodemtextuur. Goed zichtbaar zijn de ijzeroxiden maar ook de meer gereduceerde, grijze bodemdelen zijn zichtbaar. Midden kern B5.11 naast elkaar voorkomende redoxcondities en onder kern B5.18 zeer organisch rijke bodemlaag in zowel kleiige als zandige textuur (© Tauw, 2008)

Ter hoogte van de proeflocatie is door Tauw een bodemkern tot 10 m -mv gestoken. In figuur 4.2 zijn een aantal foto's opgenomen van delen van de kern. De kern is in de buurt van eerder door Cauberg Huygen geplaatste diepe boringen tot 9 m. Ook Tauw heeft in het kader van dit project enkele diepe boringen tot 8 m geplaatst. Op basis van deze boringen en de bodemkern kan het volgende worden geconstateerd

- Tot ongeveer 3,30 m heeft de bodem een gelige kleur die langzaam overgaat in wit/grijze kleur tot een diepte van circa 5,5 m -mv. Vanaf die diepte komen zogenaamde gleyverschijnselen (zie figuur 4.2, kern B5.3) voor. Deze ijzeroxiden die sterke gelijkenis vertonen met roestvlekken ontstaan door wisselende waterstanden. Tijdens hoge grondwaterstanden is de bodem op die plekken anaëroob waardoor ijzeroxiden in oplossing gaan (wit/grijze kleur). Tijdens lage grondwaterstanden wordt de bodem juist weer aëroob waardoor opgelost ijzer weer neerslaat, geel/oranje kleur, dit gebeurt voornamelijk rond bestaande ijzeroxides. Hierdoor ontstaat een karakteristiek vlekkenpatroon. Daarnaast vertoont de bodem ook op andere diepte trajecten sporen van naast elkaar voorkomende redoxomstandigheden (figuur 4.2, kern B5.11)
- Lokaal komen abrupte overgangen voor naar zeer organisch materiaal rijk zand en klei (5.4 % organisch stof). In de boorkern komt een dergelijke overgang twee keer voor, op circa 6 en op circa 7 m -mv. In figuur 4.2 (kern B5.18) is een voorbeeld gegeven van deze organisch rijke laag. In de boringen 3001, 3002, 3003 komen dergelijke overgangen tussen 6 en 8 m -mv voor. In boring 3002 is deze laag siltiger dan in de andere boringen. De diepe boringen door Cauberg Huygen gezet op andere delen van het emplacement bevatten deze organisch rijke lagen niet. Wel wordt in de boorbeschrijvingen aangegeven dat op deze diepte de kleur van de bodem van grijs/geel naar bruin overgaat. Dit kan echter ook wijzen op een redoxovergang
- Op circa 8 m is de bodem grijs/wit met enkele blauw/grijze vlekken, deze zouden kunnen wijzen op sulfaatreducerende omstandigheden. Dieper dan 8,50 m -mv verliest de bodem zijn geel/oranje kleur en krijgt het een grijzere kleur wat duidt op een continue anaëroob milieu

4.2 Interpretatie resultaten nulmeting

In het kader van de zogenaamde nulmeting voorafgaand de uitvoering van de praktijkproef is in het grondwater uit alle monitoringsfilters en de injectiefilters de concentraties aan cadmium, ijzer en zink vastgesteld. Ter bepaling van de algemene grondwatercompositie is tevens voor het grondwater uit filters op verschillende dieptes de concentraties aan macronutriënten vastgesteld.

Tijdens het bemonsteren van het grondwater op 30 juni, 1 en 2 juli 2008 bleek dat de filterstellingen van het bovenste en onderste filter van peilbuis 3006 op een foutieve diepte waren geplaatst. Deze filters zijn na deze constatering herplaatst op de juiste diepte. Echter was het door het onttrekken van het grondwater ten behoeve van de injectie niet meer mogelijk om grondwatermonsters voor de nulmeting te nemen.

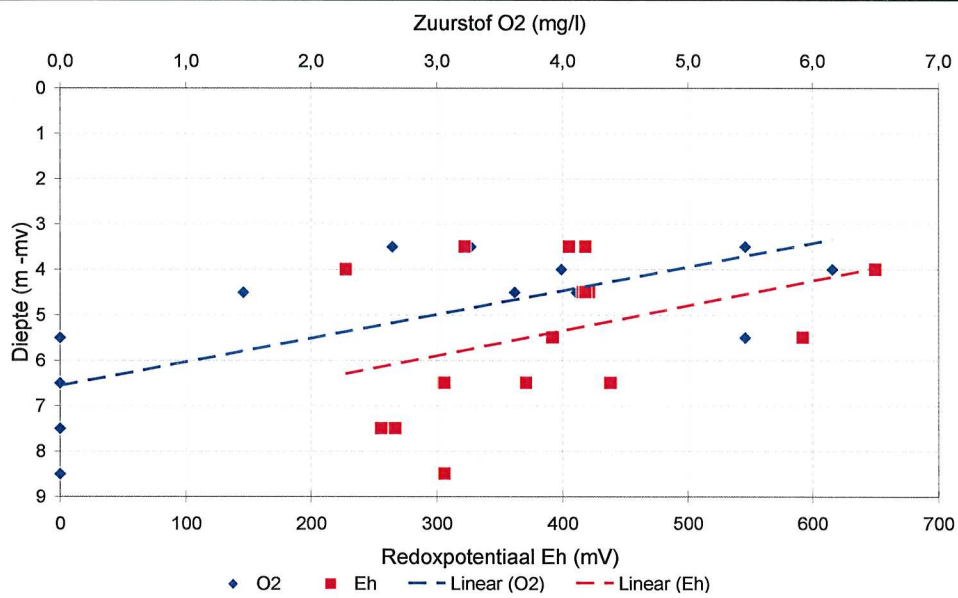
In de hierna volgende paragrafen zijn de analyseresultaten van de nulmeting opgenomen in een interpretatie dat de van nature voorkomende geochemische condities van het grondwater schetst. De veld- en analysedata zijn terug te vinden in de tabellen opgenomen in bijlage 2.

4.2.1 Grondwatersamenstelling en heersende redoxcondities

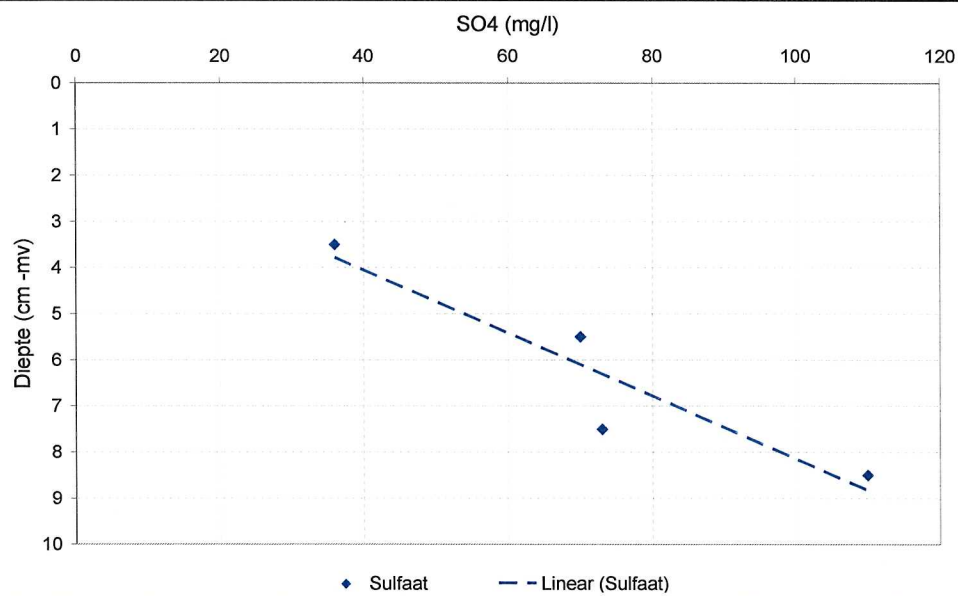
In het grondwater uit filters met een diepte van 3-4, 5-6, 7-8 en 8-9 m -mv zijn de concentraties van de macronutriënten aluminium, bicarbonaat, calcium, carbonaat, DOC, kalium, natrium, nitraat, ortho-fosfaat, stikstof (Kjeldahl-methode) en sulfaat bepaald.

Ter bepaling van de heersende redoxcondities kan naast de in het veld gemeten redoxpotentiaal (Eh) en zuurstofconcentratie van het grondwater ook worden gekeken naar redoxbepalende parameters als nitraat, ijzer en sulfaat. Uit de analyseresultaten van de nulmeting kan vervolgens worden bepaald dat de volgende redoxcondities heersen voor:

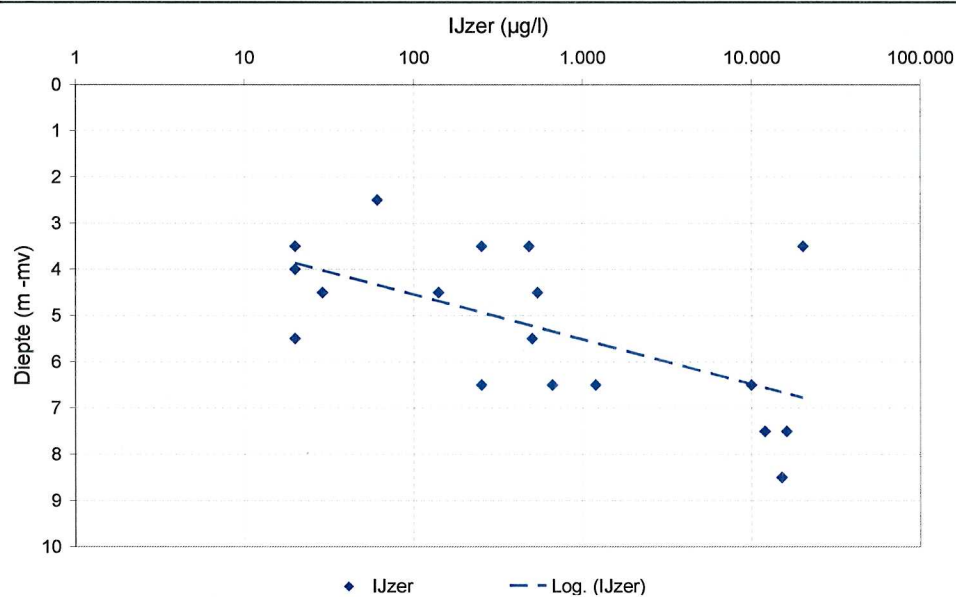
- Bodemtraject 3-4 m -mv
Met een gemiddelde zuurstofconcentratie in de filters op deze diepte van circa 4 mg/l, een gemiddelde redoxpotentiaal van circa 380 mV en een nitraatconcentratie van 0,97 mg/l ($\text{NO}_3\text{-N} = 0,22$ mg/l) kan worden vastgesteld dat op een diepte van 3-4 m -mv aërobe omstandigheden in het grondwater heersen
- Bodemtraject 5-6 m -mv
Op deze diepte wordt geen zuurstof meer gemeten in het veld (zie figuur 4.3) en een gemiddelde redoxpotentiaal van circa 490 mV. Er wordt echter nog wel nitraat aangetroffen met een concentratie van circa 1,5 mg/l ($\text{NO}_3\text{-N} = 0,35$ mg/l). Ook komt nog ijzer voor tot een concentratie van 0,5 mg/l. Op basis van deze gegevens wordt vastgesteld dat op een diepte van 5-6 m -mv subanaërobe omstandigheden heersen die enigszins nitraat-, mogelijk ook ijzerreducerend zijn
- Bodemtraject 7-8 m -mv
Met een sulfaatconcentratie van 73 mg/l (zie figuur 4.4) en een ijzerconcentratie variërend tussen 12 en 16 mg/l (figuur 4.5) kan worden vastgesteld dat op een diepte van 7-8 -mv anaërobe omstandigheden heersen, gezien de afnemende ijzer- en sulfaatconcentraties wordt onder de aanwezige omstandigheden ijzer en sulfaat gereduceerd
- Bodemtraject 8-9 m -mv
Op deze diepte is ten opzichte van het bodemtraject hierboven de sulfaatconcentratie hoger en ligt op circa 110 mg/l (figuur 4.4). De ijzerconcentratie blijft min of meer constant op circa 15 mg/l (figuur 4.5). Geconcludeerd wordt dat ook op deze diepte ijzer- tot sulfaatreducerende omstandigheden heersen



Figuur 4.3 Zuurstofconcentratie en redoxpotentiaal in grondwater nemen beide over diepte af, alle waarnemingen van de nulmeting



Figuur 4.4 Concentratie sulfaat in het grondwater tijdens de nulmeting, alle waarnemingen

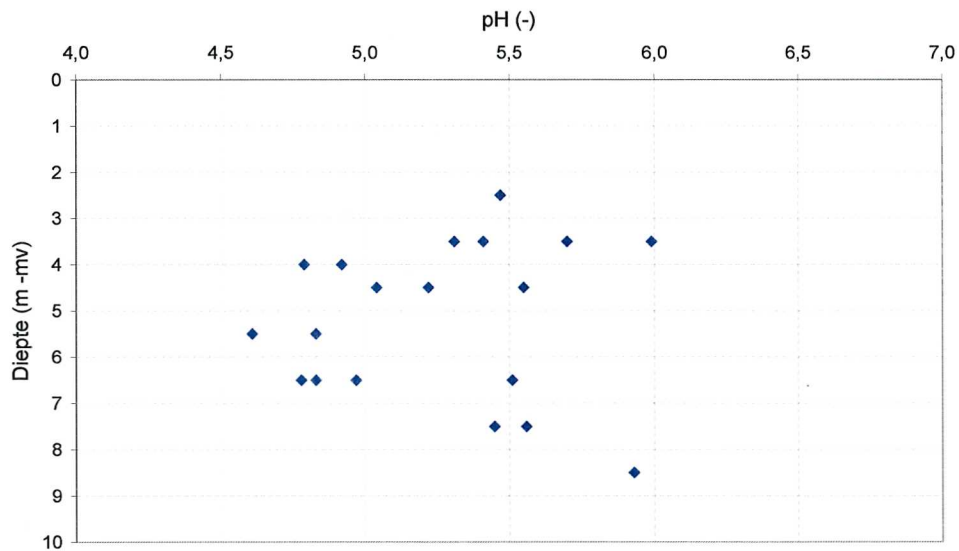


Figuur 4.5 Concentratie ijzer in grondwater tijdens de nulmeting, alle waarnemingen

Om de praktijkproef uit te kunnen voeren is de aanwezigheid van ijzer en sulfaat in het grondwater vereist. Volgens het principe van ISMP wordt sulfaat, welke in voldoende mate aanwezig moet zijn in het grondwater, gereduceerd waardoor metaalsulfides kunnen precipiteren. Door middel van co-precipitatie met ijzersulfides zal het aanwezige zink en cadmium gebonden worden. Zowel ijzer als sulfaat moeten dus in voldoende mate aanwezig zijn in het grondwater om deze vastlegging mogelijk te maken.

De ijzerconcentraties vastgesteld in het grondwater tijdens de nulmeting zijn weergegeven in figuur 4.5. In deze figuur is te zien dat bekeken over het injectie- en monitoringssysteem ijzerconcentratie in het grondwater met de diepte toeneemt. Wanneer naar de pH-variatie van het grondwater over de diepte wordt gekeken, figuur 4.6, blijkt dat na 6,5 tot 7 m -mv de pH enigszins toeneemt. Op basis van afnemende oplosbaarheid bij een toenemende pH zou een afname van de ijzerconcentratie verwacht worden. Het toenemen van de ijzerconcentratie wijst daarom op de aanwezigheid van meer ijzerreducerende omstandigheden.

Een bijkomend aspect van het sulfaatreductie proces is de vorming van bicarbonaat welke een bufferende werking op de pH heeft. De van nature aanwezige buffercapaciteit van het grondwater wordt bepaald door de bicarbonaat- en calciumconcentraties in het grondwater.



Figuur 4.6 pH-variatie in het grondwater tijdens als nulmeting, alle waarnemingen

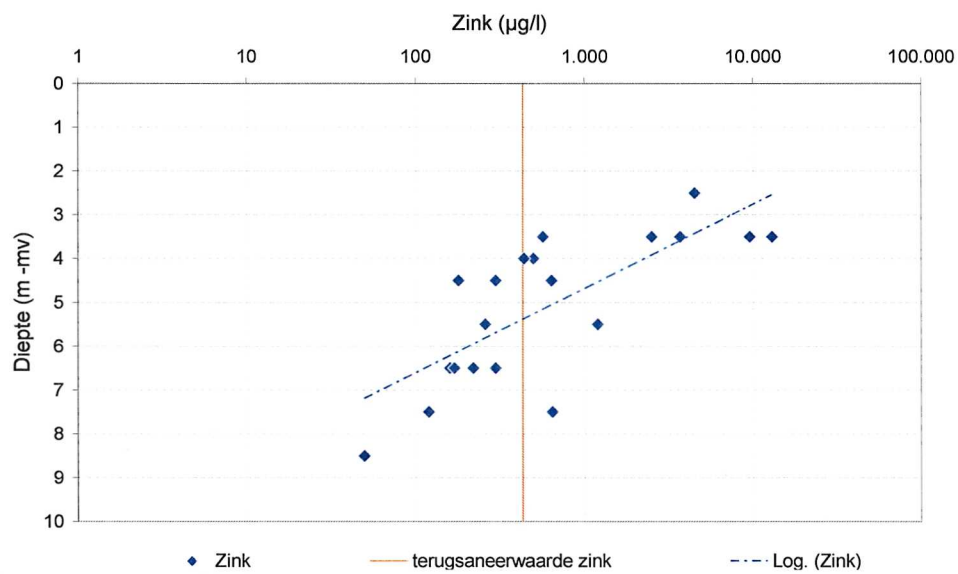
4.2.2 Verontreinigingssituatie zink en cadmium in het grondwater

Door uitloging van de op het maaiveld aangebrachte zinkassen zijn in het grondwater verhoogde concentraties van zink en cadmium aanwezig. Als doel van dit praktijkproef project is gesteld om het aanwezige zink- en cadmiumconcentraties in het grondwater terug te brengen tot bij voorkeur de tussenwaarde volgens de STI-toetsingswaarden. Voor zink en cadmium zijn dit respectievelijk concentraties van 433 $\mu\text{g/l}$ en 3,2 $\mu\text{g/l}$.

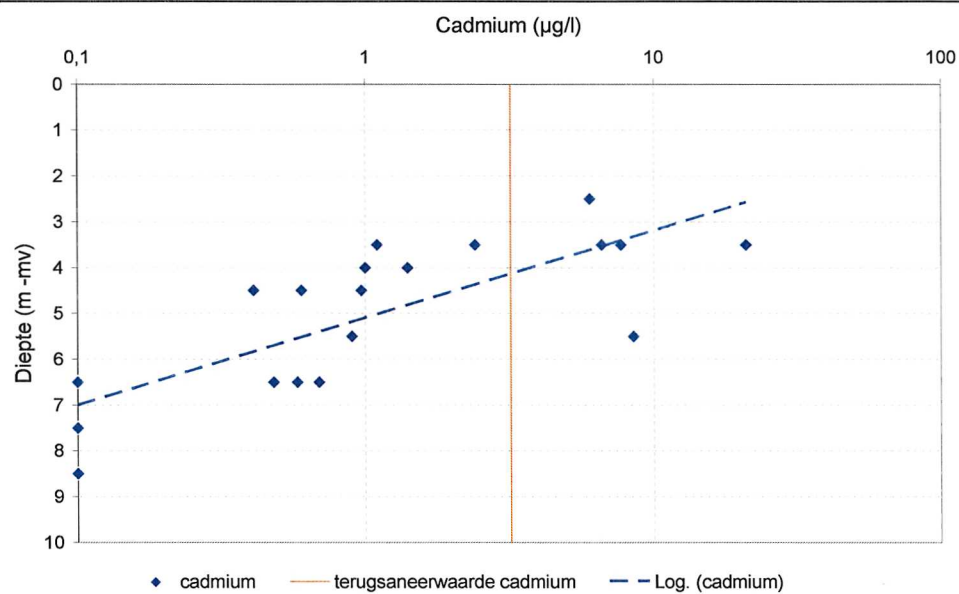
In figuur 4.7 is de zinkconcentratie tijdens de nulmeting, in het grondwater voor alle filters uitgezet tegen de diepte. Hieruit blijkt dat de zinkconcentratie met de diepte afneemt. In de grafiek is tevens de terugsaneerwaarde voor zink (433 $\mu\text{g/l}$) aangegeven. De zinkconcentraties in het grondwater zijn verhoogd ten opzichte van deze terugsaneerwaarde, voornamelijk in het ondiepe deel van de bodem. Ook uit de verontreinigingssituatie van cadmium in het grondwater blijkt dat de concentratie met de diepte afneemt (figuur 4.8). Uit de zink- en cadmiumconcentraties is duidelijk af te leiden dat door de aanwezigheid van zinkassen op het maaiveld het grondwater in de bovenste bodemlagen is verontreinigd met deze metalen.

Een zelfde trend, het afnemen van zink en cadmium met de diepte is terug te vinden in de gehalten die zijn gemeten in de mengmonsters van verschillende bodemlagen (figuur 4.9). Ook voor andere metalen zoals lood wordt deze afname met de diepte waargenomen. Het gehalte aan nikkel daarentegen vertoont geen correlatie met de diepte (figuur 4.9).

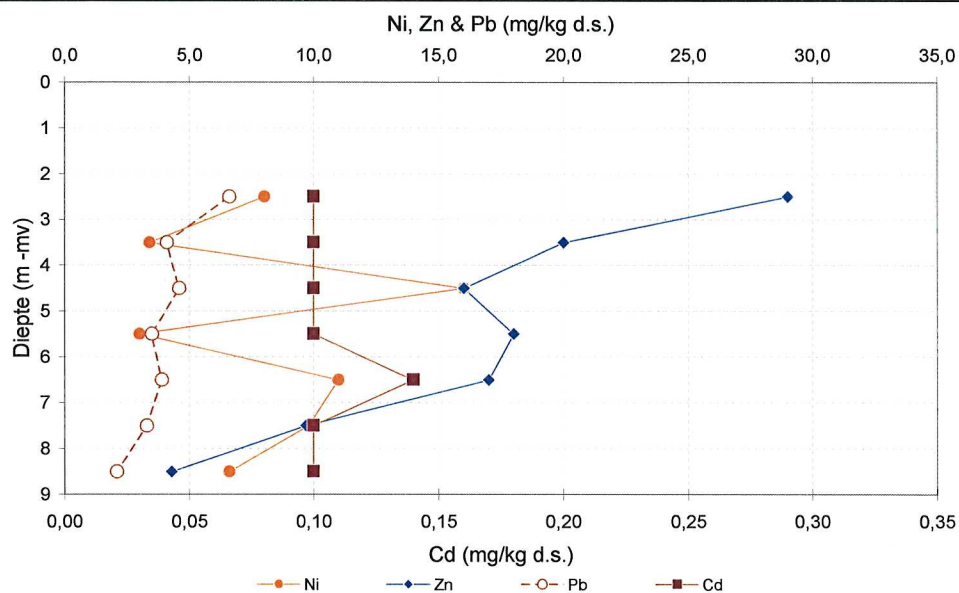
Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL



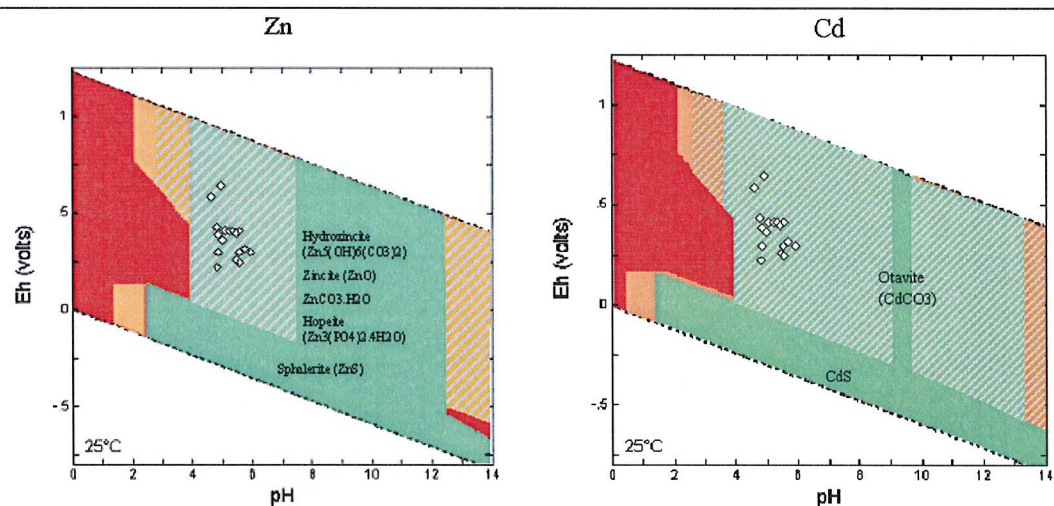
Figuur 4.7 Concentratie zink in grondwater tijdens de nulmeting, alle waarnemingen



Figuur 4.8 Concentratie cadmium in grondwater tijdens de nulmeting, alle waarnemingen



Figuur 4.9 Gehalten in de grond aan zink (Zn), cadmium (Cd) nikkel (Ni) en lood (Pb) als functie van de diepte



Figuur 4.10 pH-Eh-diagram en de vastleggingsindicator voor op basis van de nulmeting; links zink en rechts cadmium. In de vastleggingsindicator geeft een groene kleur aan dat vastlegging plaatsvindt in de vorm van precipitaten, arcering geeft vastlegging door adsorptie aan en een rode kleur geeft aan dat er geen vastlegging plaatsvindt en er risico op verspreiding aanwezig is



Onder de heersende geochemische omstandigheden zoals gemeten tijdens de nulmeting blijft de in het grondwater aanwezige zink en cadmium in oplossing. De redoxpotentiaal (Eh) in het grondwater neemt met de diepte af (figuur 4.3). Om vast te stellen of onder de heersende redoxomstandigheden zink en cadmium worden vastgelegd, kan gebruik worden gemaakt van zogenaamde pH-Eh-diagrammen. In figuur 4.10 is het pH-Eh-diagram voor zink en cadmium gegeven met daarin eveneens de vastleggingsindicator. In de vastleggingsindicator geeft een groene kleur aan dat vastlegging plaatsvindt in de vorm van precipitaten, arcering geeft vastlegging door adsorptie aan en een rode kleur geeft aan dat er geen vastlegging plaatsvindt en er risico op verspreiding aanwezig is. Op basis van figuur 4.8 kan worden afgeleid dat vastlegging van zink en cadmium door middel van adsorptie onder de omstandigheden geconstateerd tijdens de nulmeting op de locatie waarschijnlijk is.

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

5 Deelresultaat 2 - Laboratoriumexperimenten

Hoewel sulfaatreducerende bacteriën meestal van nature in de bodem aanwezig zijn, zijn er voorbeelden dat sulfaatreductie in aërobe, sterk verzuurde en/of sterk verontreinigde aquifers niet of nauwelijks op gang komt. Uit de veldmetingen en de interpretatie op basis van de bodemprofielen en grondwatergegevens (hoofdstuk 4) blijkt dat het grondwater op de locatie tot een diepte van circa 5 m -mv oxisch of sub-oxisch is. De pH-waarden en de concentraties aan verontreinigingen zijn niet extreem. In dit hoofdstuk wordt de werkwijze van het laboratoriumonderzoek beschreven om aan een aantal cruciale vragen te beantwoorden en te bepalen welk type substraat geschikt is voor toepassing op de locatie. Deze werkzaamheden maken deel uit van deelresultaat 2.

Door middel van schudproeven met grond en grondwater van de locatie is gecontroleerd of sulfaatreductie spontaan op gang komt. Behalve organische substraten (koolstofbron) is er niets toegevoegd aan het grondwater. De volgende parameters zijn gevarieerd:

- Diepte van de bodemlaag (ondiepe laag is aëroob, diepere niet of hooguit sub-oxisch)
- Type substraat: lactaat en melasse. Lactaat is een substraat dat meteen kan worden gebruikt door sulfaatreducerders, waardoor het proces snel op gang kan komen. Melasse moet eerst door fermentatie worden omgezet in geschikte substraten, dit kost dus meer tijd. Melasse wordt in de praktijk gebruikt omdat het veel goedkoper is dan lactaat
- Concentratie van substraat: deze is voor melasse gevarieerd tussen een gangbare praktijkwaarde en een hoge concentratie. Met een hoge concentratie is het in theorie mogelijk een sulfidenbuffer te creëren, waarmee toekomstige emissies vanuit de verontreinigde toplaag afgevangen kunnen worden

De meeste proeven zijn uitgevoerd met het ondiepe monster omdat de zinkconcentraties in het ondiepe grondwater veel hoger zijn dan in het diepere monster. Ter controle is één serie proeven ingezet met het diepere monster, met melasse als substraat.

Naast het op gang komen van het sulfaatreductieproces, is onderzoek uitgevoerd naar toekomstige emissies op de locatie. Naast de nog aanwezige assen (die mogelijk in de toekomst worden verwijderd) zal de onverzadigde zone van de bodem metalen naleveren door desorptie. Dit geldt ook voor het deel van de verzadigde zone dat na behandeling niet (permanent) sulfaatreducerend blijft. De toekomstige emissies zijn onderzocht met behulp van kolomproeven.

5.1 Werkwijze

Alle proeven zijn ingezet als zuurstofloze schudproeven bij een L/S (Liquid/Solid) waarde van 5. Hierbij is grond van de locatie gemengd met grondwater, waaraan substraten zijn toegevoegd. De grond die voor deze proeven is gebruikt is afkomstig uit boring 3000, diepte 3-5 m (ondiep) en 5-7 m (diep). Het grondwater is afkomstig uit peilbuis 3008, filters 3-4 m (ondiep) en 5-7 m (diep).

De volgende proeven zijn ingezet met het ondiepe grond-/grondwatermonster:

- Lactaat: 4 g/l Na-lactaat 60 %
- Gangbare melasseconcentratie: 1,68 g/l
- Hoge melasseconcentratie: 16,8 g/l

Voor het diepe grondmonster is alleen de gangbare melasseconcentratie ingezet. Voor alle proeven geldt dat vier identieke flessen zijn gevuld, die op verschillende tijdstippen zijn opgeofferd. De waterfase is daarbij geanalyseerd op cadmium, zink, ijzer, zwavel en sulfaat (begin en eind, tussentijds op zink, ijzer en zwavel). De laatste fles van een serie is ook op DOC geanalyseerd. Onmiddellijk na het openen van een fles zijn de redoxpotentiaal en de pH gemeten. Er zijn analyses uitgevoerd na 1, 18, 40 en na ruim 80 dagen.

De uitloogproeven zijn uitgevoerd als kolomproeven volgens NEN 7373. Hierbij zijn drie eluaatfracties geanalyseerd op cadmium, zink en zwavel, namelijk L/S 0-1, 1-5 en 5-10. In deze fracties is tevens pH en geleidbaarheid gemeten. De volgende monsters zijn ingezet:

- Mengmonster van op de locatie verzamelde (zink)assen. Dit relatief grove materiaal moest voor de kolomproef eerst worden gebroken tot < 4 mm
- Mengmonster onverzadigde zone 0-1 m -maaiveld
- Mengmonster onverzadigde zone, 1-2 m -maaiveld
- Mengmonsters verzadigde zone, diepte nader te bepalen

5.2 Resultaten

De resultaten van de batchproeven zijn samengevat in tabel 5.1. Dit betreft de frequent gemeten parameters. Uit de resultaten blijkt het volgende:

- Na één dag zijn de zinkconcentraties in de meeste monsters afgenomen en in het diepe monster toegenomen als gevolg van fysisch-chemische processen. Dit betreft adsorptie/desorptie (grond en grondwater zijn niet noodzakelijkerwijs met elkaar in evenwicht, mede als gevolg van veranderingen in pH en de testmethode) en eventueel complexatie door het toegevoegde substraat. De toename van de zwavelconcentratie (na 18 dagen schudden) wordt verklaard uit nalevering van de grond en zwavel aanwezig in het substraat. De startconcentratie is alleen de samenstelling van het grondwater, zonder substraat

Tabel 5.1 Resultaten batchproeven sulfaatreductie. Frequent gemeten parameters. Start = grondwater, zonder substraat

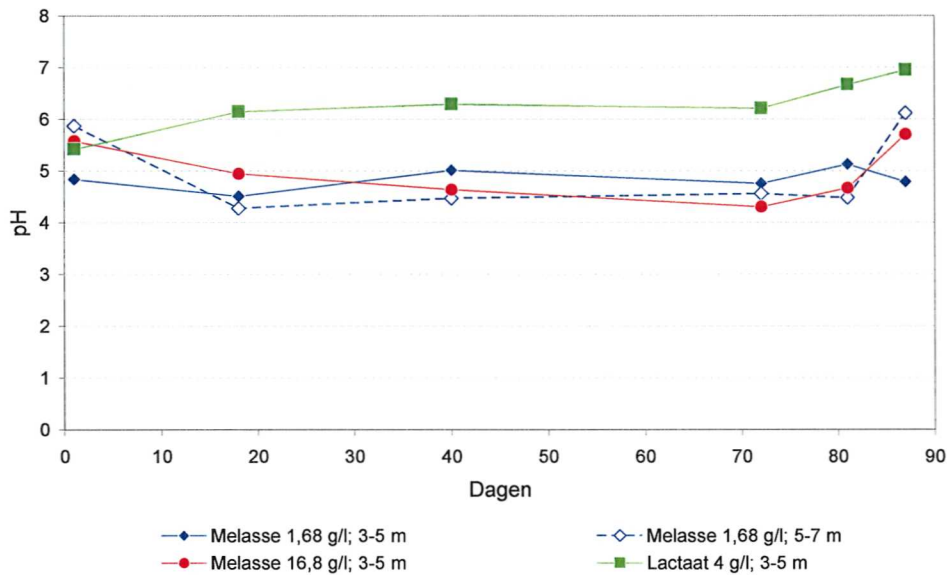
Proef/parameter	Tijd na inzetten				
	Start	1 dag	18 dagen	40 dagen	81/87 dagen (1)
Ondiep/lactaat					
pH	5,82	5,42	6,15	6,29	6,67/6,95
Redoxpotentiaal (mV)	257	391	-8	-83	-125/-50
Zink (µg/l)	11.000	8.000	47	9,2	310/280
Cadmium (µg/l)	17,0	2,9	-	-	<0,1 (2)
IJzer (mg/l)	< 0,020	-	2,5	4,4	2,5/-
Zwavel (mg/l)	8,9	-	21	0,75	-/1,0
Ondiep/melasse, gangbaar					
pH	5,82	4,84	4,51	5,01	5,13/4,79
Redoxpotentiaal (mV)	257	366	325	-62	-37/29
Zink (ug/l)	11.000	5.700	5.300	48	510/340
Cadmium (µg/l)	17,0	2,9	-	-	<0,1 (2)
IJzer (mg/l)	< 0,020	-	17,0	21,0	32,0/-
Zwavel (mg/l)	8,9	-	18,0	9,5	-/8,5
Ondiep/melasse, hoog					
pH	5,82	5,58	4,95	4,64	4,67/5,71
Redoxpotentiaal (mV)	257	255	-223	87	60/77
Zink (ug/l)	11.000	14.000	5.600	6.300	9.100/5.200
Cadmium (µg/l)	17,0	7,5	-	-	<5 (2)
IJzer (mg/l)	< 0,020	-	39,0	44,0	65,0/-
Zwavel (mg/l)	8,9	-	48,0	46,0	-
Diep/melasse, gangbaar					
pH	4,93	5,87	4,28	4,47	4,48/6,12
Redoxpotentiaal (mV)	288	303	244	57	66/-40
Zink (ug/l)	1.500	3.300	650	630	910/280
Cadmium (µg/l)	8,4	1,5	-	-	<0,1 (2)
IJzer (mg/l)	0,036	-	16,0	16,0	20,0/-
Zwavel (mg/l)	19,0	-	25,0	24,0	20 (2)

(1) analyse van eerder geopende flessen, meting redoxpotentiaal mogelijk soms minder betrouwbaar analyse na 72 dagen

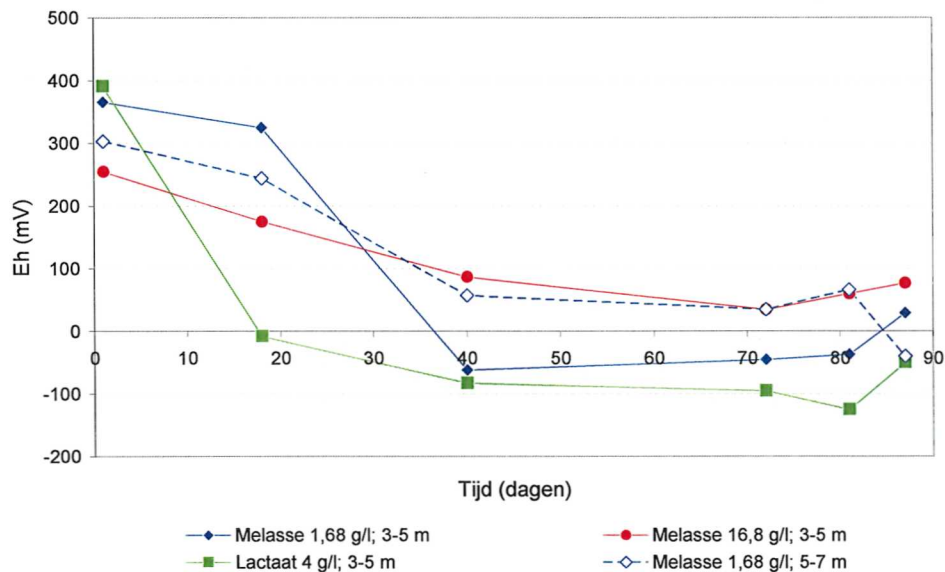
- Uit zowel de afname van redoxpotentiaal, de zwavelconcentratie als de zinkconcentratie (zie ook figuren 5.1-5.3) kan worden afgeleid dat in de monsters ondiep/lactaat en ondiep/melasse de sulfaatreductie na ruim vijf weken goed op gang is gekomen. De zinkconcentraties zijn gedaald tot onder de streefwaarde. Na ruim 80 dagen worden hogere concentraties gemeten, hoewel meestal nog onder de T-waarde. De oorzaak van deze toename is niet zondermeer duidelijk. Naast variatie tussen de batches, kan meespelen dat complexatie door DOC sterker wordt en dat er, door de lage sulfaatconcentratie, een tekort is aan sulfide, met name bij de proef met lactaat
- In het monster ondiep/melasse, hoge concentratie komt de sulfaatreductie binnen 81 dagen niet op gang. Het proces stagneert, mogelijk als gevolg van substraatremming. De pH is wel aan de lage kant, maar niet lager dan bij de proef met de gangbare melasse concentratie. Uit de toename van opgelost ijzer blijkt dat wel ijzerreductie optreedt
- In het monster diep/melasse, gangbare concentratie komt de sulfaatreductie binnen 81 dagen niet op gang. Alleen na pH-correctie ontstaan wel sulfaatreducerende condities. In dit monster lijkt de pH, die daalt door fermentatie van de toegevoegde melasse, de kritische factor
- Voor cadmium (niet vermeldt in tabel 5.1) geldt dat de concentraties na 72 dagen zijn gedaald tot $<0,1 \mu\text{g/l}$, alleen het monster met de hoge concentratie melasse is minder goed te beoordelen omdat hier een concentratie van $<5 \mu\text{g/l}$ werd gerapporteerd. De beginconcentraties van cadmium waren $17 \mu\text{g/l}$ in het ondiepe monster en $8,4 \mu\text{g/l}$ in het diepe monster

Bij alle proeven stijgt de ijzerconcentratie aanzienlijk als gevolg van ijzerreductie. De toename is het minst bij de proef met lactaat. Bij deze proef is de zwavelconcentratie het sterkst gedaald, daarom is gemobiliseerd ijzer wellicht neergeslagen als ijzersulfide. Het aanwezige sulfaat is bij de proef met lactaat na vijf weken vrijwel volledig verbruikt. Dit van nature aanwezige sulfaat is voldoende om zink neer te slaan, maar voor het neerslaan van voldoende ijzer c.q. het opbouwen van een sulfidenbuffer, moet wellicht additioneel sulfaat worden toegevoegd.

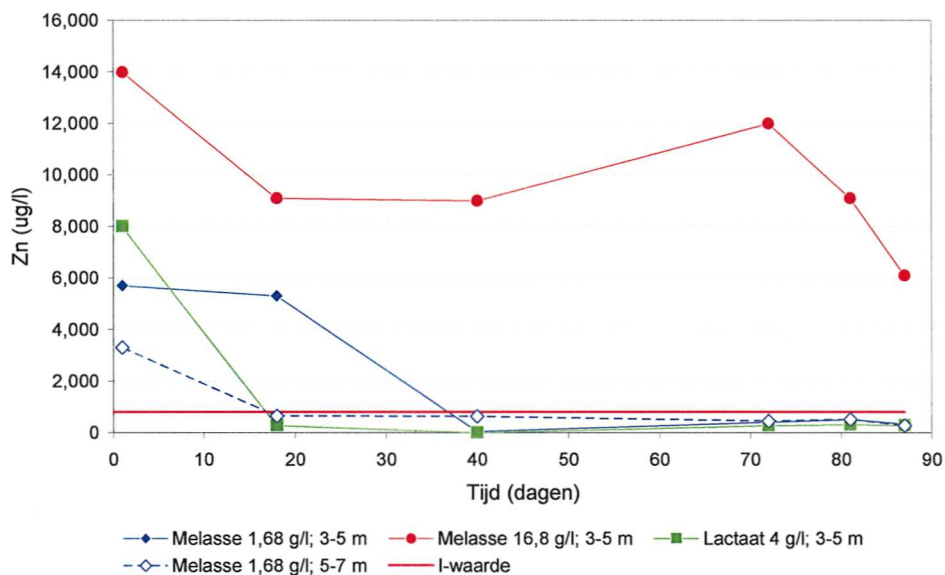
Het optreden van sulfaatreductie wordt bevestigd door zwartkleuring van de grond en een zwavelwaterstofgeur in de flessen. In het monster melasse, hoge concentratie zijn deze kleur en geur niet waargenomen.



Figuur 5.1 Resultaten batchproeven sulfatreductie: verloop pH met de tijd. Bij de laatste meetwaarden van melasse 16,8 g/l en melasse 1,68 g/l; 5-7 m is de pH op een eerder tijdstip gecorrigeerd

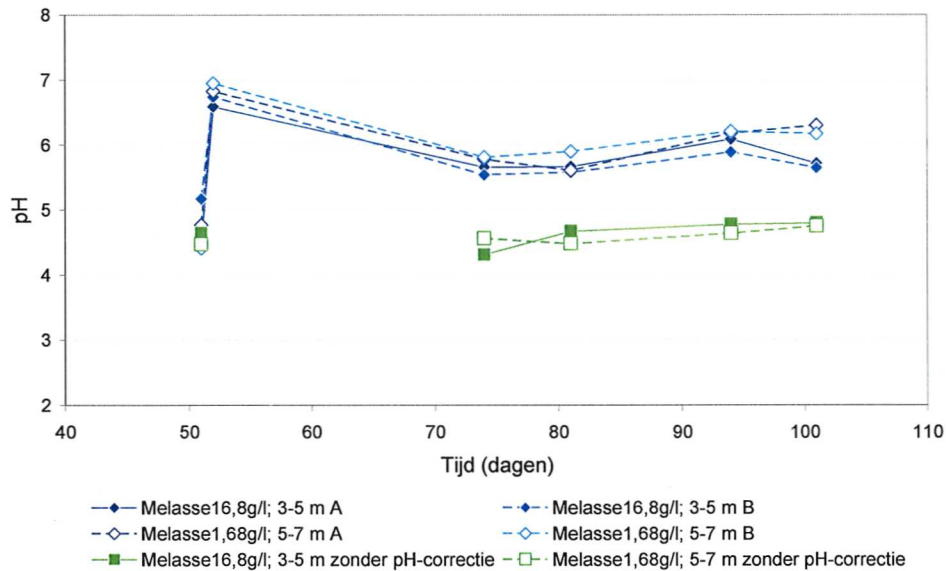


Figuur 5.2 Resultaten batchproeven sulfatreductie: verloop redoxpotentiaal met de tijd. Waarde melasse 16,8 g/l na circa 20 dagen is geschat, meetwaarden op dag 87 door herhaald openen fles mogelijk minder betrouwbaar, bij melasse 1,68 g/l 5-7 m sterke daling door pH-correctie

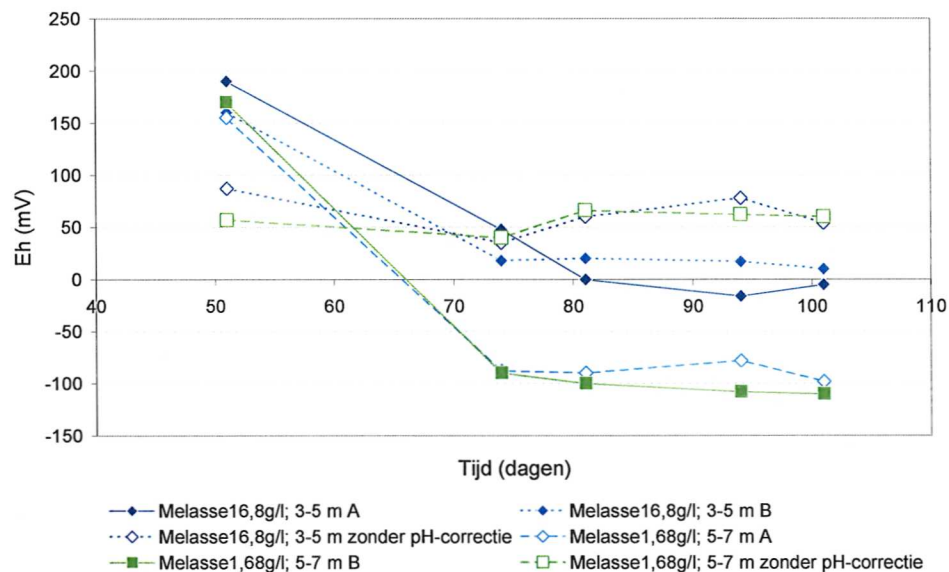


Figuur 5.3 Resultaten batchproeven sulfaatreductie: verloop zinkconcentratie met de tijd. Bij laatste meetwaarden melasse 16,8 g/l en melasse 1,68 g/l; 5-7 m is de pH op een eerder tijdstip gecorrigeerd

Hierboven is al vermeld dat bij twee proefseries is geëxperimenteerd met pH-correctie. In de figuren 5.4 en 5.5 zijn de resultaten van deze experimenten samengevat. Aangezien de pH van invloed is op de redoxpotentiaal, leidt een hogere pH altijd tot een afname van de redoxpotentiaal. Bij het diepe monster gaat de afname verder en ontstaan sulfaatreducerende condities. Bij de hoge melassedosering is dit echter niet het geval.



Figuur 5.4 Verloop pH na pH-correctie bij batchproeven sulfaatreductie, uitgevoerd 51 dagen na de start van de proeven, in duplo. Ter vergelijking zijn ook metingen in niet gecorrigeerde monsters getoond



Figuur 5.5 Verloop redoxpotentiaal na pH-correctie bij batchproeven sulfaatreductie, uitgevoerd 51 dagen na de start van de proeven, in duplo. Ter vergelijking zijn ook metingen in niet gecorrigeerde monsters getoond

5.3 Betekenis resultaten voor opzet praktijkproef

Aangezien de sulfaatreductie bij een aantal proeven op gang komt na uitsluitend het toevoegen van organische substraten, wordt geconcludeerd dat enting met sulfaatreducerende bacteriën niet noodzakelijk is. Het toevoegen van nutriënten of sporenelementen is blijkaar evenmin noodzakelijk, hoewel het niet uitgesloten is dat bijvoorbeeld bij de proef met de hoge melassedosering een tekort aan bepaalde elementen optreedt. Anderzijds bevat melasse zelf ook een groot aantal nutriënten.

De van nature aanwezige sulfaatconcentraties zijn relatief laag, zodat additie van extra sulfaat noodzakelijk is voor zowel een goede benutting van het substraat als voor de vorming van een sulfidenbuffer. Daarom is bij de praktijkproef extra sulfaat toegevoegd.

Bij het toevoegen van substraat aan de diepere lagen is er een risico op verzuring door fermentatie van melasse. Hoewel de pH door sulfaatreductie weer kan stijgen, zijn pH-waarden rond 4,5 blijkaar kritisch. Eventueel kan met het substraat ook een stof met bufferende werking worden toegevoegd, maar dit is bij de praktijkproef vooralsnog niet gedaan.

Bij de hoogste melassedosering is het sulfaatreductieproces niet op gang gekomen. Een oorzaak hiervoor kan remming zijn als gevolg van de ophoping van fermentatieproducten (vetzuren). Ook pH-correctie resulteert na 50 dagen niet in sulfaatreducerende condities. Voor de praktijkproef is besloten om een lagere melasseconcentratie van 10 g/l aan te houden. Er kan echter niet op basis van de batchproeven worden geconcludeerd dat bij deze concentratie het sulfaatreductie proces wel goed op gang komt. Anderzijds treedt er in de praktijk door stroming van het grondwater verdunning op, hetgeen in de batchproeven uiteraard niet het geval is. Verder is ook de verhouding tussen grondwater en grond in het veld anders (veel lager) dan in het laboratorium. Daarom kunnen niet alle resultaten van de laboratoriumproef 1:1 vertaald worden naar de veldsituatie. Het belangrijkste resultaat, dat sulfaatreductie op gang komt door uitsluitend het toevoegen van een substraat, mag wel op de praktijksituatie worden toegepast. Van belang is hierbij om te controleren of randvoorwaarden in het veld overeen komen met de condities in het laboratorium. De pH in het veld mag bijvoorbeeld niet veel lager zijn dan bij de laboratorium proeven.

Tijdens de batchproeven neemt de ijzerconcentratie als gevolg van ijzerreductie sterk toe. Als er in voldoende mate sulfaatreductie optreedt, zal het ijzer weer neerslaan als sulfide en kan het zo een buffer aan beschikbaar sulfide vormen. Dit betekent dat toevoegen van een ijzerzout aan het substraat niet noodzakelijk is.



6 Deelresultaat 3 – praktijkproef injectiewerkzaamheden en eerste monitoring

Uit de laboratoriumproeven, zie voorgaand hoofdstuk, blijkt dat enting met sulfaatreducerende bacteriën voor de praktijkproef niet noodzakelijk is. Ook het toevoegen van nutriënten of sporenelementen lijkt vooralsnog evenmin noodzakelijk. De van nature aanwezige sulfaatconcentraties zijn echter laag, zodat toevoeging van extra sulfaat voor de praktijkproef noodzakelijk is. In de laboratoriumproeven is bij de hoogste melassedosering het sulfaatreductieproces nog niet op gang gekomen. Voor de praktijkproef is besloten om een lagere melasseconcentratie van 10 g/l aan te houden. In dit hoofdstuk worden de werkzaamheden, die deel uit maken van deelresultaat 3, met betrekking tot de praktijkproef tot nu toe besproken.

6.1 Kerngetallen praktijkproef op basis laboratoriumexperimenten

Op basis van de laboratoriumproeven is besloten de volgende oplossingen te injecteren:

- Lage dosering substraat: 2 g melasse/L wat overeenkomt met 2 kg/m³ met 240 mg Na₂SO₄/L of 240 g/m³
- Hoge dosering substraat: 10 g melasse, wat overeenkomt met 10 kg/m³ met daarin 1,2 g Na₂SO₄ of 1,2 kg/m³

Gezien de bodemopbouw is besloten om in elke injector in het meer slecht doorlatende gedeelte van het bodempakket van 2,0-3,1 m -mv (tot onderkant kleiige laag) 1,4 m³ substraatoplossing te injecteren. In het diepere bodempakket van 3,1-6,0 m -mv wordt 3,6 m³ substraatoplossing geïnjecteerd. Dit is mogelijk met behulp van een packer waardoor op elke gewenste diepte in het filter van de injector kan worden geïnjecteerd. De te injecteren volumes grondwater komen overeen met het grondwatervolume in de bodem in een straal van 1 m rondom de injector (uitgaande van een homogene verspreiding).

6.2 Injectie werkzaamheden

6.2.1 Eerste injectieronde

Op 7 juli 2008 (week 28) is door A&G Milieutechniek begonnen met het onttrekken van grondwater uit injector 3010. De opzet van de injectie was zo beoogd dat Per laag -2,0 tot 3,1 en van 3,1 tot 6,0 m -mv het substraat zou worden toegevoegd met grondwater uit dat desbetreffende bodempakket. De doorlatendheid van met name het ondiepe bodempakket bleek echter slechter te zijn dan op basis van de bodemopbouw werd verwacht.

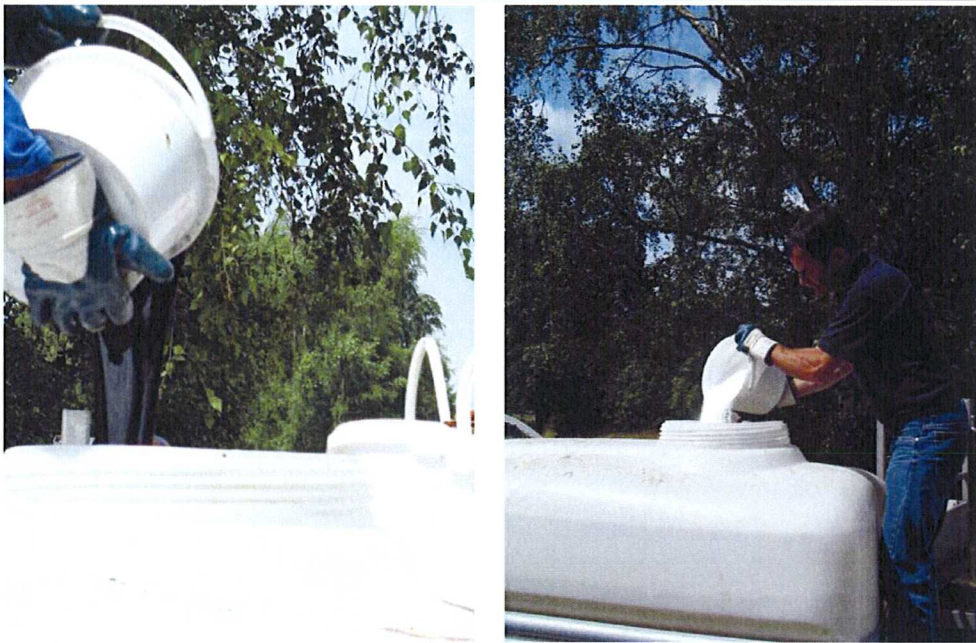
Na circa vier uur onttrekken was er minder dan 0,5 m³ grondwater onttrokken om op te mengen voor de substraatinjectie.

Tijdens de uitvoering is daarom besloten uit beide injectoren en van alle twee beoogde diepten het grondwater te verzamelen en op te mengen. In totaal was na drie dagen onttrekken 5 m³ grondwater verzameld. Deze hoeveelheid grondwater is vervolgens opgemengd met melasse en natriumsulfaat zodat de hoge dosering met 10 g substraat is verkregen. Dit is vervolgens in injector 3010 geïnjecteerd waarbij circa 1,4 m³ in het slecht doorlatende, ondiepe bodempakket geïnjecteerd (2,0-3,1 m -mv), en 3,6 m³ is in het diepere deel geïnjecteerd (3,1-6,0 m -mv). In figuur 6.1 en 6.2 zijn een aantal foto's opgenomen die een beeld geven van de injectiewerkzaamheden.

Vanwege de lage doorlatendheid hebben de werkzaamheden langer geduurd dan voorzien. Hierdoor is het in week 28 alleen mogelijk geweest om te injecteren op een injector, 3010.



Figuur 6.1 Onttrekken van grondwater door A&G Milieutechniek. Onttrokken grondwater wordt eerst verzameld in een 3 m³ container. Op de voorgrond is injector 3000 zichtbaar (© Tauw, 2008)



Figuur 6.2 Opmengen van het onttrokken grondwater met; links melasse en rechts Na_2SO_4

Vooraf aan het opmengen met melasse is van de 5 m^3 verzameld grondwater de pH en Ec gemeten, deze meting is herhaald na het opmengen met het substraat (zie tabel 6.1). Vooraf aan het opmengen is eveneens gekeken wat de concentratie aan Zn en Cd was in het opgepompte en gemengde grondwater. Ook deze gegevens staan in tabel 6.1.

6.2.2 Tweede injectieronde

Het injecteren van de lagere substraatdosis op injector 3000 heeft op 28 augustus 2008 (week 35-2008) plaatsgevonden. Ook tijdens deze tweede injectieronde is voorafgaand aan de injectie grondwater uit beide injectoren onttrokken, opgemengd en vervolgens geïnjecteerd in injector 3000. Tijdens het opmengen en injecteren is in eerste instantie een verkeerde substraatconcentratie opgemengd met het onttrokken grondwater (hoge dosering). Na het constateren van deze fout is het injecteren gestopt en opnieuw onttrokken uit de injector. De volgende dag is de juiste substraatdosering opgemengd en alsnog geïnjecteerd.

In tabel 6.2 zijn de veldmetingen pH en Ec voor het opgemengde grondwater weergegeven. Tevens zijn de geanalyseerde metalen- en DOC-concentraties van de geïnjecteerde oplossing in de tabel opgenomen.

6.3 Resultaten controlemetingen substraatinjectie

In tabel 6.1 en 6.2 is een overzicht gegeven van de veld- en analyseresultaten van het opgepompte en gemengde grondwater zonder en met substraat. Hieruit blijkt dat het opmengen van het grondwater met 10 g/l substraat een Ec-verhoging geeft van 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$ naar 2360 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De pH blijft gelijk. Circa één week na de injectie, in week 30-2008, is een controlemeting uitgevoerd (zie tabel 6.3). In tabel 6.3 is indicatief met een kleur aangegeven welke filters in het monitoringssysteem, op basis van de geleidbaarheid zijn beïnvloed door de eerste substraatinjectie. De monitoringsfilters dichtbij injector 3010 zijn duidelijk beïnvloedt en de beïnvloeding wordt in alle filters op alle diepten geconstateerd: 3007, 3006, 3005. Verder van de injector, zoals in 3004 en 3003, maar ook in 3001 stijgt de geleidbaarheid na de injectie. Dit gebeurt, met uitzondering van 3004 (4-5 m -mv), in de diepere filters. Gezien de stijging in geleidbaarheid en DOC in 3001 is er mogelijk sprake van verspreiding via voorkeursbanen.

Tabel 6.1 Ec en pH van het verzamelde grondwater vooraf en na opmengen met melasse van de eerste injectieronde (week 28-2008). Ook de concentraties aan Zn, Cd, Fe en S van het opgepompte en gemengde grondwater is gegeven

	Gemengd grondwater	Grondwater + substraat (10 g/l)
pH	5,2	5,2
Ec ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	135	2.360
Zn ($\mu\text{g}/\text{l}$)	450	-
Cd ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1,6	-
Fe ($\mu\text{g}/\text{l}$)	400	-
S (totaal) (mg/l)	14	-

Tabel 6.2 Ec, pH, Cd, Fe en S van het opgemengde grondwater met melasse van de tweede injectieronde (week 35-2008). Ook de DOC-concentraties bij de start van injectie en op het eind van de injectie zijn gegeven

	Grondwater + substraat (2 g/l) start injectie	Grondwater + substraat (2 g/l) eind injectie
pH	3,6	-
Ec ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	840	-
Cd ($\mu\text{g}/\text{l}$)	<1,0	-
Fe ($\mu\text{g}/\text{l}$)	2600	-
S (totaal) (mg/l)	74	-
DOC (mg/l)	430	380

Tabel 6.3 Overzicht pH en Ec-nulmeting ten opzichte van 1^e controlemeting en geanalyseerde parameters DOC en S van de controlemeting. Indicatief is aangegeven op basis van de Ec-metingen welke filters in het monitoringssysteem al dan niet zijn beïnvloed door de substraatinjectie tijdens de eerste injectieronde

Peilbuis	Filterdiepte (m -mv)	pH nulmeting	pH 1 ^e controle- meting	Ec nulmeting (μ S/cm)	Ec 1 ^e controle- meting (μ S/cm)	DOC 1 ^e controle- meting (mg/l)	S 1 ^e controle- meting (mg/l)
3000	2-4	4,8	4,4	93	126	1,4	12
3001	3-4	6,0	5,8	325	304	-	-
	6-7	4,8	4,6	182	173	-	-
	8-9	5,9	6,3	358	436	3,1	31
3002	2-3	5,5	5,2	105	107	-	-
	4-5	5,0	5,4	170	164	1,1	16
	6-7	4,8	4,4	147	179	1,4	21
3003	3-4	5,3	5,4	104	104	-	-
	5-6	4,8	4,8	202	197	-	-
	7-8	5,5	5,3	219	224	-	-
3004	4-5	5,2	5,3	168	205	1,7	21
	6-7	5,0	4,8	171	180	1,9	18
3005	3-4	5,7	5,9	183	284	5,4	22
	6-7	5,5	6,0	290	791	2,7	70
3006	2-3	-	4,9	-	1660	1.800	270
	4-5	5,6	-	175	-	-	-
	6-7	-	4,6	-	1779	1.500	220
3007	3-4	5,3	5,5	112	190	1,6	11
3008 ¹⁾	3-4	5,4	4,9	178	200	3,6	11
	5-6	4,6	4,4	243	253	2,2	23
	7-8	5,6	5,2	275	293	2,0	32
3010	2-6	4,9	3,6	89	761	650	83

¹⁾ Referentiepeilbuis

Tabel 6.4 Overzicht pH en Ec-nulmeting ten opzichte van 2^e controlemeting en geanalyseerde parameters DOC en S van de controlemeting. Indicatief is aangegeven op basis van de Ec-metingen welke filters in het monitoringssysteem al dan niet zijn beïnvloed door de substraatinjectie tijdens de tweede injectieronde

Peilbuis	Filter- diepte (m -mv)	pH nulmeting	pH 1 ^e controle- meting	pH 2 ^e controle- meting	Ec nulmeting (μ S/cm)	Ec 1 ^e controle- meting (μ S/cm)	Ec 2 ^e controle- meting (μ S/cm)	DOC 2 ^e controle- meting (mg/l)	S 2 ^e controle- meting (mg/l)
3000	2-4	4,8	4,4	3,7	93	126	816	340	75
3001	3-4	6,0	5,8	5,7	325	304	342	-	-
	6-7	4,8	4,6	4,2	182	173	615	300	74
	8-9	5,9	6,3	5,8	358	436	352	-	-
3002	2-3	5,5	5,2	5,7	105	107	172	20	8
	4-5	5,0	5,4	5,0	170	164	219	15	16
	6-7	4,8	4,4	4,2	147	179	568	210	62
3003	3-4	5,3	5,4	4,6	104	104	149	50	9,2
	5-6	4,8	4,8	4,2	202	197	692	250	73
	7-8	5,5	5,3	5,2	219	224	228	-	-
3004	4-5	5,2	5,3	4,9	168	205	162	-	-
	6-7	5,0	4,8	4,3	171	180	273	56	24
3005	3-4	5,7	5,9	5,8	183	284	216	6,1	8,8
	6-7	5,5	6,0	4,9	290	791	637	220	52
3006	2-3	-	4,9	5,6	-	1660	247	45	15
	4-5	5,6	-	4,1	175	-	629	470	57
	6-7	-	4,6	4,5	-	1779	551	350	34
3007	3-4	5,3	5,5	4,9	112	190	188	62	1,4
3008 ¹⁾	3-4	5,4	4,9	4,7	178	200	273	3,1	9,2
	5-6	4,6	4,4	4,3	243	253	280	4,3	19
	7-8	5,6	5,2	5,2	275	293	298	4,1	27
3010	2-6	4,9	3,6	5,4	89	761	142	20	13

¹⁾ Referentiepeilbuis

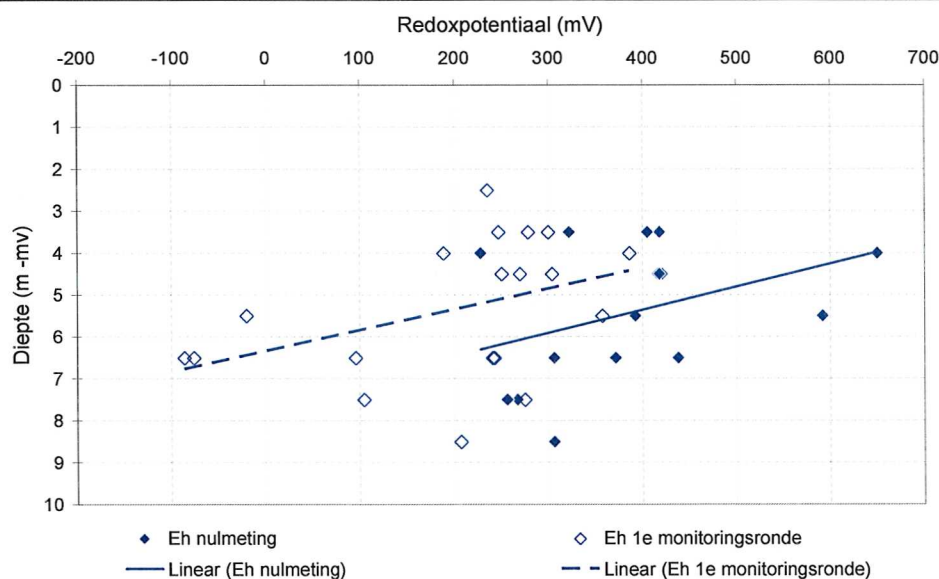
Net als in tabel 6.3 is ook in tabel 6.4 indicatief met een kleur aangegeven welke filters in het monitoringssysteem, op basis van geleidbaarheid zijn beïnvloed door de tweede substraatinjectie. Ook nu zijn de monitoringfilters dicht bij de injector waarop de injectie heeft plaatsgevonden duidelijk beïnvloed. De beïnvloeding is wederom op de verschillende filterdiepten waargenomen: peilbuizen 3001, 3002 en 3003. Opmerkelijk is wel dat de Ec-waarde in het diepe filter (8-9 m -mv) juist enigszins is afgenomen ten opzichte van de eerste controlemeting.

6.4 Eerste monitoringsronde

De eerste monitoringsronde na het injecteren van het substraat op beide injectoren heeft zes weken na de tweede injectieronde plaatsgevonden in week 41-2008 (8 tot en met 10 oktober 2008). Tijdens deze eerste monitoringsronde zijn alle filters van het monitoringssysteem bemonsterd en geanalyseerd op Zn, Cd, Fe en S en in het veld zijn naast pH- en Ec-metingen ook het zuurstofgehalte en de redoxpotentiaal (Eh) bepaald. De analyseresultaten zijn opgenomen in de tabellen van bijlage 3. Interpretatie en terugkoppeling van de analyseresultaten staat beschreven in de volgende paragrafen.

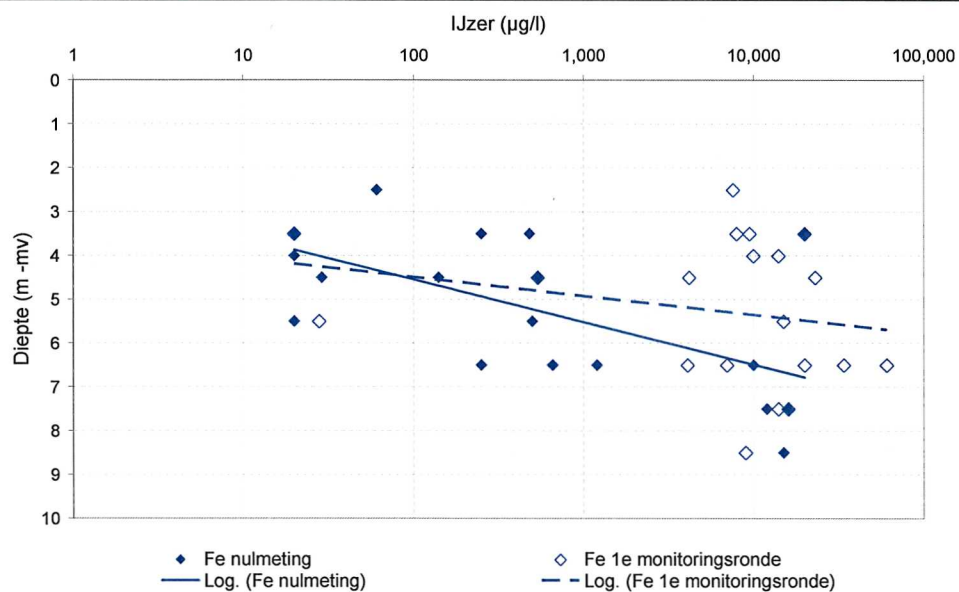
6.4.1 Heersende redoxcondities

Omdat deze eerste monitoringsronde een beperkte ronde betrof aangaande de te analyseren parameters zijn ter bepaling van de heersende redoxcondities alleen veldmetingen (zuurstof en Eh) beschikbaar. Wanneer een vergelijking wordt gemaakt met de heersende redoxcondities tijdens de nulmeting (paragraaf 4.2.1) en de redoxcondities tijdens de eerste monitoringsronde blijkt dat de bodemtrajecten die eerst aëroob en/of subanaëroob waren na de substraatinjectie meer anaëroob zijn geworden. Dit is ook te zien in figuur 6.3 waarin de gemeten redoxpotentiaal van zowel nulmeting als van de eerste monitoringsronde is uitgezet over de diepte. Uit de grafiek valt af te leiden dat het doseren van substraat er toe heeft geleid dat de redoxpotentiaal afneemt.



Figuur 6.3 Redoxpotentiaal in grondwater tijdens nulmeting en eerste monitoringsronde, alle waarnemingen

Uit de gecombineerde gegevens voor sulfaat en ijzer was het mogelijk om voor de nulmeting vast te stellen of in het grondwater op een zeker dieptetraject ijzer- tot sulfaatreducerende condities heersen. In het kader van de eerste monitoringsronde zijn alleen gegevens met betrekking tot ijzerconcentratie in het grondwater voorhanden. In figuur 6.4 zijn deze ijzerconcentraties weergegeven samen met de bepaalde ijzerconcentraties tijdens de nulmeting. Uit de grafiek blijkt dat voornamelijk in het grondwater afkomstig uit de bovenste monitoringsfilters de ijzerconcentratie behoorlijk is toegenomen. Hetgeen impliceert dat de redoxomstandigheden zijn veranderd van nitraatreducerend naar ijzerreducerend tot sulfaatreducerend.



Figuur 6.4 IJzerconcentratie in grondwater tijdens nulmeting en eerste monitoringsronde, alle waarnemingen

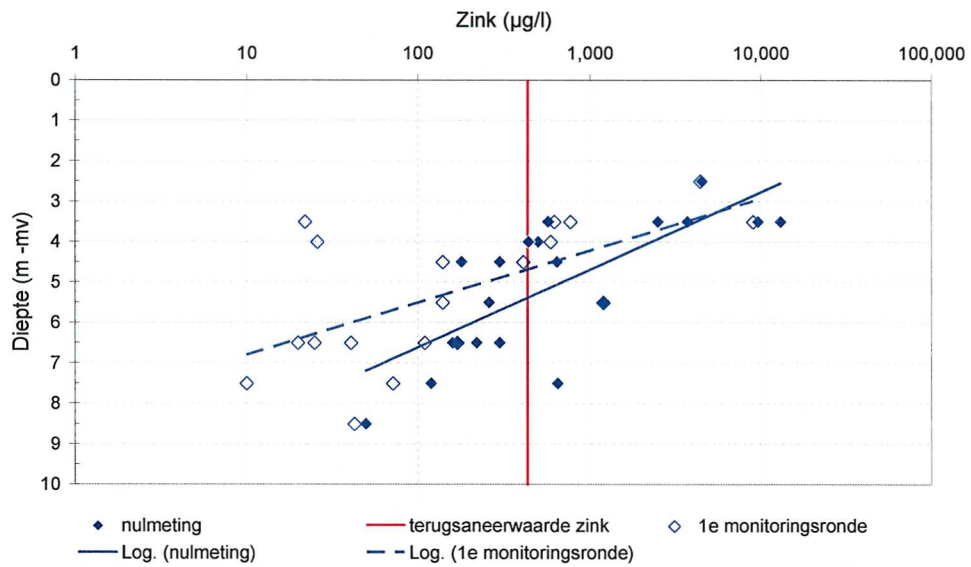
6.4.2 Vastlegging van zink en cadmium

Ter vaststelling of de substraatdosering tot gevolg heeft dat zink en cadmium wordt vastgelegd zijn de zink- en cadmiumconcentraties bepaald tijdens de eerste monitoringsronde uitgezet tegen de concentraties tijdens de nulmeting. Zie figuren 6.5 en 6.6. Voor beide stoffen geldt dat onder invloed van het gedoseerde substraat de concentraties in het grondwater zijn afgenomen. Vastlegging van zink en cadmium is gezien de afname in pH en de ijzerreducerende condities niet aannemelijk. Daling in zink- en cadmiumconcentratie kan mogelijk ook plaatsvinden door processen als verdringing of menging.

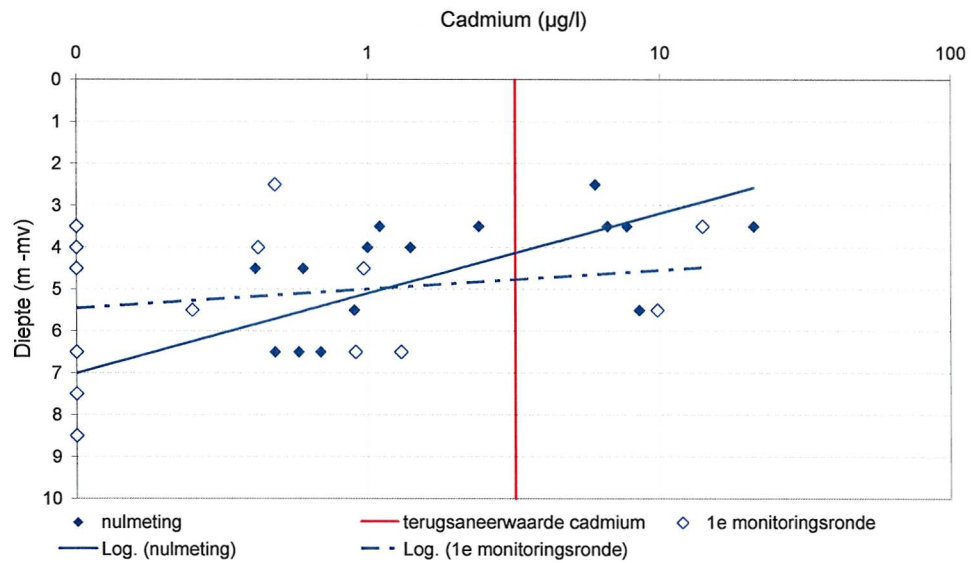
Kijken we naar het pH-Eh-diagram met daarin de vastleggingsindicator voor de concentraties vastgesteld tijdens de eerste monitoringsronde (figuur 6.7), dan geeft deze figuur aan dat naast vastlegging van zink en cadmium door middel van adsorptie ook vastlegging in de vorm van precipitatie ook mogelijk is.

De pH is op veel punten gedaald als gevolg van fermentatie van melasse. Dit is een normaal onderdeel van het proces, echter is er een risico aanwezig dat de pH zover daalt dat sulfaatreductie niet op gang komt. Deze situatie is dan ook waargenomen bij de labproeven, diep monster, hier is geen sulfaatreductie opgang genomen bij een pH van circa 4,5.

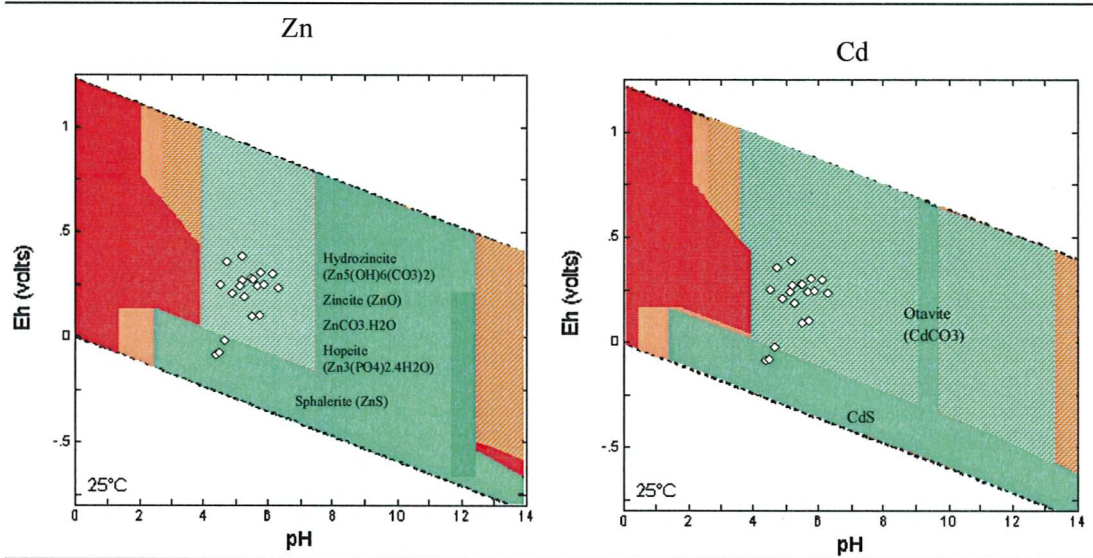
Aanbevolen wordt om de resultaten van de volgende monitoringsronde te evalueren en na te gaan of een pH-correctie nodig is. Melasse lijkt een minder of geen goed substraat voor zure of verzuringsgevoelige locaties, tenzij een buffer wordt toegevoegd.



Figuur 6.5 Zinkconcentratie in grondwater tijdens nulmeting en eerste monitoringsronde, alle waarnemingen



Figuur 6.6 Cadmiumconcentratie in grondwater tijdens nulmeting en eerste monitoringsronde, alle waarnemingen



Figuur 6.7 pH-Eh-diagram en de vastleggingsindicator op basis van de eerste monitoringsronde; links zink en rechts cadmium

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

7 Evaluatie resultaten en conclusies

Een evaluatie van de resultaten in het veld en het laboratorium is in dit stadium nog niet helemaal mogelijk. De laboratoriumproeven lopen nog door en pas op één van de twee injectoren is een hoeveelheid substraat geïnjecteerd. Hieronder worden een aantal tussentijdse resultaten samengevat die in de loop van het project zijn verkregen en die de verdere uitvoering van het project hebben beïnvloed.

Deelresultaat 2 en de daarbijbehorende doelstellingen hebben betrekking op het vooronderzoek op de locatie, de laboratoriumexperimenten en het ontwerp van het injectiesysteem. De tussentijdse resultaten en de daaruit afgeleide conclusies voor het verdere verloop van het project zijn:

- Op basis van de afwegingscriteria is besloten de praktijkproef met ISMP aan de zuidzijde van het emplacement van Budel-Schoot tussen kilometering 54,9 en 55,1 uit te voeren
- Het ontwerp van het injectie- en monitoringssysteem is aangepast naar aanleiding van de op de locatie heersende geohydrologische situatie. Er is voornamelijk sprake van een infiltratiesituatie
- De bodemopbouw op het emplacement en ook ter hoogte van de praktijkproef bestaat uit een sterk heterogeen bodempakket die bestaat uit matig fijn zand. Hierbinnen komen kleine klei, lemige en siltige laagjes voor van verschillende diktes. Lokaal, waaronder op de plaats waar de praktijkproef, komen dikkere kleilagen voor. In de aanloop op de injectiewerkzaamheden is daarom besloten te injecteren op verschillende bodemlagen met behulp van een packer
- Op de plaats van het injectie- en monitoringssysteem is een kleilaag aanwezig met een dikte van circa 1 m, deze is niet in gelijke mate en dikte aanwezig binnen het gebied van de praktijkproef. Deze laag is van invloed op de uitvoering van de praktijkproef. Op de ondiepe laag zal door de aanwezigheid van de kleilaag daarom een kleiner volume geïnjecteerd worden dan op het diepere deel van de bodem
- In het laboratorium komt de sulfaatreductie in de meeste batches op gang na uitsluitend het toevoegen van organische substraten. Enting met sulfaatreducerende bacteriën is dus niet noodzakelijk op de locatie
- De van nature aanwezige sulfaatconcentratie in het grondwater van de locatie is echter relatief laag, toevoeging van extra sulfaat is nodig voor de vorming van een voldoende sulfidenbuffer
- Bij de hoogste melassedosering op het laboratorium is het sulfaatreductieproces (nog) niet op gang gekomen. Een oorzaak hiervoor kan remming zijn als gevolg van de ophoping van fermentatie producten waardoor tevens een lage pH ontstaat. Er zal nog worden nagegaan in hoeverre het proces (eventueel na pH-correctie) na verloop van tijd toch op gang komt. Voor de praktijkproef is daarom besloten om een lagere melasseconcentratie van 10 g/l aan te houden voor de hoge dosering

Deelresultaat 3 en de daarbijbehorende doelstellingen hebben betrekking op de injectiewerkzaamheden. De voorlopige resultaten en de daaruit afgeleide aanpassingen en conclusies op basis van de injectiewerkzaamheden zijn:

- De doorlatendheid op de locatie is laag, lager dan verwacht. Dit heeft verregaande invloed op de uitvoering van de praktijkproef. Als oplossing hiervoor is gekozen om eerst uit alle injectoren grondwater te onttrekken, dit op te mengen en pas daarna de gewenste concentratie substraat en sulfaat op te lossen. Als minimum hoeveelheid is 5 m³ grondwater gehanteerd. Ook is ervoor gekozen op het ondiepe bodempakket een kleiner volume te injecteren dan op het diepere bodemtraject vanwege de aanwezigheid van een kleilaag in het ondiepere deel van de bodem, respectievelijk 1,4 en 3,6 m³
- Substraatdosering is afgeleid uit de voorlopige resultaten van de laboratoriumexperimenten. Aan de te injecteren oplossingen wordt tevens sulfaat toegevoegd. De injectieoplossingen zijn:
 - Lage dosering substraat: 2 g melasse/L wat overeenkomt met 2 kg/m³ met 240 mg Na₂SO₄/L of 240 g/m³
 - Hoge dosering substraat: 10 g melasse, wat overeenkomt met 10 kg/m³ met daarin 1,2 g Na₂SO₄ of 1,2 kg/m³
- Injectie van de beide substraatdoseringen hebben plaatsgevonden. Verspreiding in het diepere bodemtraject is goed, in het ondiepere deel van de bodem treedt verspreiding op maar in mindere mate. Het lijkt erop dat er sprake is van voorkeursstroming. Gezien de heterogeniteit van de bodem is dit te verwachten. In hoeverre dit van invloed zal zijn op de resultaten van de praktijkproef zal moeten blijken uit de monitoring
- Na de eerste monitoringsronde lijkt het, op basis van de Eh-pH-diagrammen met daarin de vastleggingsindicator, dat naast vastlegging van zink en cadmium door middel van adsorptie ook vastlegging in de vorm van precipitatie mogelijk is
- De pH is op veel punten gedaald als gevolg van fermentatie van melasse. Dit is een normaal onderdeel van het proces, echter is er een risico aanwezig dat de pH zover daalt dat sulfaatreductie niet op gang komt. Deze situatie is dan ook waargenomen bij de labproeven, diep monster, hier is geen sulfaatreductie opgang genomen bij een pH van circa 4,5

8 Aanbevelingen voor de vervolgfase

Op basis van de huidige voortgang van de werkzaamheden op het laboratorium en in het veld zijn de volgende aanbevelingen voor de vervolgfase geformuleerd. Gezien de verwevenheid van de beide deelresultaten en om de voortgang van het project te garanderen zijn een aantal van de aanbevelingen tussentijds kortgesloten met de KIT-begeleider, de heer Heimovaara, en geïmplementeerd.

Tussentijds geïmplementeerde aanbevelingen zijn:

- De hoge substraatconcentratie van 20 g/l zoals voorgesteld in het originele projectvoorstel laat in de laboratoriumexperimenten ook na ruim 80 dagen nog geen sulfaatreductie zien. Hiervoor zijn meerder oorzaken te benoemen (zie hoofdstuk 5). Op basis van deze resultaten is de concentratie van de hoge substraatconcentratie verlaagd naar 10 g/l
- Vanwege de geconstateerde bodemopbouw en lage doorlatendheid is het niet mogelijk Per te injecteren bodemlaag gebiedseigen grondwater te onttrekken, op te mengen met substraat en weer te injecteren. Aanbevolen wordt om een menggrondwater te maken waarbij uit beide injectoren, en van alle bodemtrajecten waarop geïnjecteerd gaat worden, grondwater te onttrekken, op te mengen (gewenste substraat- en sulfaatconcentratie) en daarna te injecteren. Afgeraden wordt voor de injectie oppervlaktewater of ander gebiedsvreemd water te gebruiken.

Aanbevelingen vervolgfase

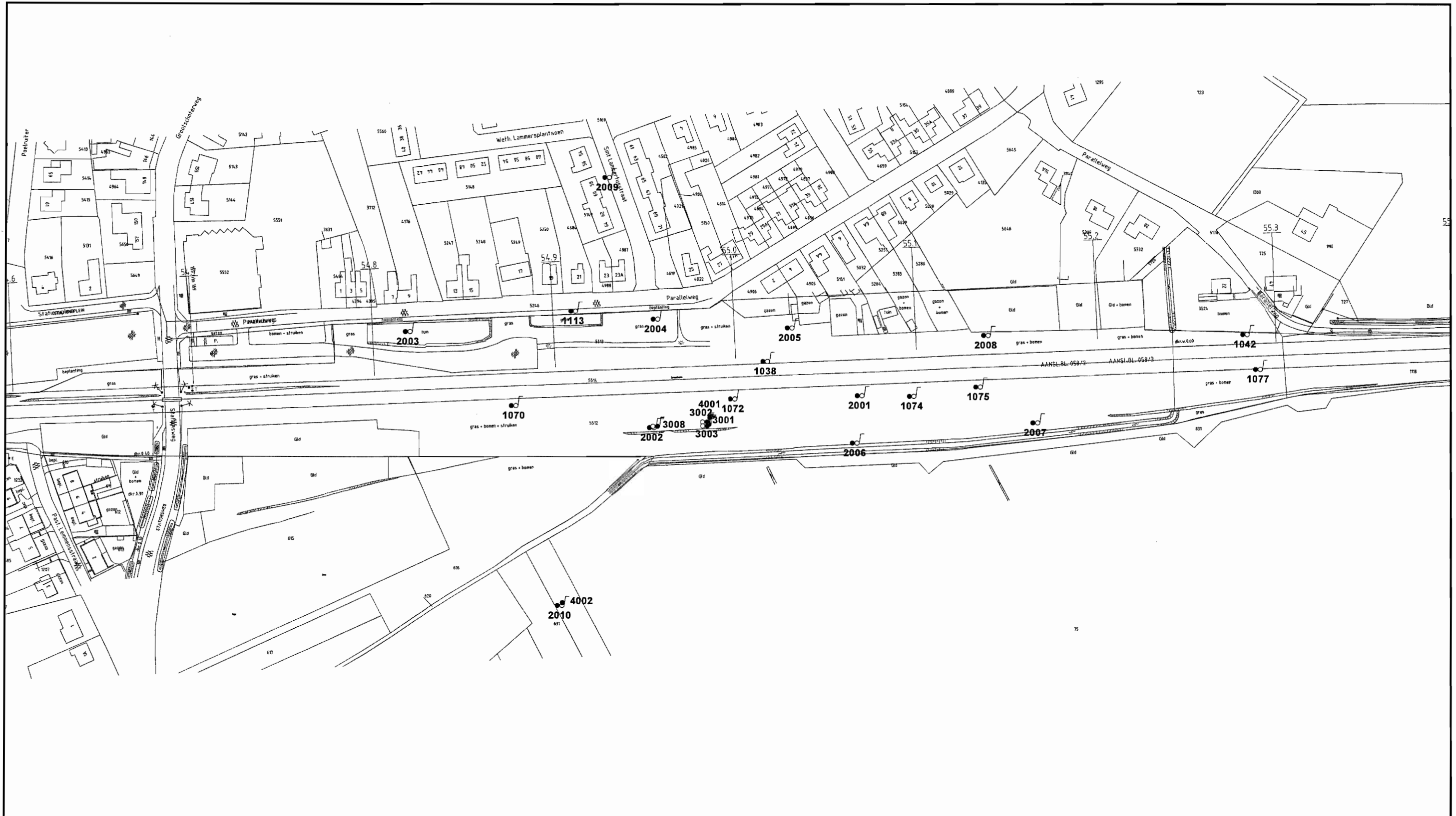
- Aanbevolen wordt om de resultaten van de volgende monitoringsronde te evalueren en na te gaan of een pH-correctie nodig is. Melasse lijkt een minder of geen goed substraat voor zure of verzuringsgevoelige locaties, tenzij een buffer wordt toegevoegd
- Daarnaast wordt aanbevolen de geplande AVS-proeven, een half jaar na injectie, uit te stellen tot na de tweede monitoringsronde. Zodat eerst kan worden vastgesteld of sulfaatreductie voldoende op gang is en met de AVS-proeven het gewenste resultaat kan worden behaald

Kenmerk R001-4472846ORK-sbk-V02-NL

Bijlage

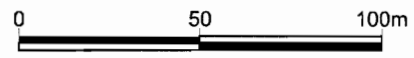
1

**Situering injectie- en monitoringssysteem in relatie tot de rest van
het emplacement Budel-Schoot**



● Metingen

Depot



Opdrachtgever SKB	Schaal 1 : 2.000	Status Definitief
Project Pilot ISMP de Kempen	Formaat A3 297x420	Projectnummer 4472846
Onderdeel Overzicht peilbuizen Budel-Schoot t/m fase 2	Dat. 28.5.2008 14:53	Tekeningnummer P00016
	Getek. TEGSIS	
	Gec. ork	

Tauw Postbus 133
7400 AC Deventer
Tel. (0570)699911
Fax (0570)699666

Bijlage

2

Overzicht analyseresultaten grond en grondwater nulmeting

Grondmonsters

De samenstelling van de mengmonsters afkomstig van de grondmonsters genomen tijdens fase 1 van de aanleg van het monitoringssysteem is weergegeven in tabel B2.1. De mengmonsters zijn vervolgens geanalyseerd op zware metalen en op organische stof IB.

Tabel B2.1 Samenstelling mengmonsters grondmonsters fase 1

Mengmonster*	Diepte (m -mv)	Deelmonsters opgenomen in mengmonster (diepte in m -mv)
1	2-3	3001 (2-2.5) + 3001 (2.5-3) + 3002 (2-2.5) + 3002 (2.5-3) + 3003 (2-2.5) + 3003 (2.5-3) + 3008 (2-2.5) + 3008 (2.5-3)
2	3-4	3001 (3-4) + 3002 (3-3.5) + 3002 (3.5-4) + 3003 (3-3.5) + 3003 (3.5-4) + 3008 (3-3.5) + 3008 (3.5-4)
3	4-5	3001 (4-4.5) + 3001 (4.5-4) + 3002 (4-4.5) + 3002 (4.5-5) + 3003 (4-4.5) + 3003 (4.5-5) + 3008 (4-4.5) + 3008 (4.5-5)
4	5-6	3001 (5-5.5) + 3001 (5.5-6) + 3002 (5-5.5) + 3002 (5.5-6) + 3003 (5-5.5) + 3003 (5.5-6) + 3008 (5-5.5) + 3008 (5.5-6)
5	6-7	3001 (6-7) + 3002 (6-6.5) + 3002 (6.5-7) + 3003 (6-6.5) + 3003 (6.5-7) + 3008 (6-6.5) + 3008 (6.5-7)
6	7-8	3001 (7-7.5) + 3001 (7.5-8) + 3003 (7-7.5) + 3003 (7.5-8) + 3008 (7-7.5) + 3008 (7.5-8)
7	8-9	3001 (8-8.1) + 3001 (8.1-8.9) + 3001 (8.9-9)

* Het samenstellen van de mengmonsters heeft plaatsgevonden in het laboratorium

In tabellen B2.2 en B2.3 is een overzicht en interpretatie gegeven van de analyseresultaten van de grondmengmonsters.

Tabel B2.2 Analyseresultaten grond (mg/kg d.s.) en interpretatie

Mengmonster	1	2	3	4
Diepte (m -mv)	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0
Lutum (%)	10,0	10,0	5,2	2,1
Humus (%)	1,3	0,8	0,6	0,3

METALEN

arseen (As)	1,4	- <1,0	- <1,0	- <1,0	-
cadmium (Cd)	<0,10	- <0,10	- <0,10	- <0,10	-
chromium (Cr)	14	- 7,3	- 22	- 6,9	-
koper (Cu)	3,7	- 3,1	- 5,2	- 1,5	-
kwik (Hg)	<0,05	- <0,05	- <0,05	- <0,05	-
lood (Pb)	6,6	- 4,1	- 4,6	- 3,5	-
nikkel (Ni)	8,0	- 3,4	- 16	+ 3,0	-
zink (Zn)	29	- 20	- 16	- 18	-

Niet in STI-lijst van de Wbb

organische stof vlgs. IB-methode (% van Ds)	0,2	0,1	<0,1	0,1
---	-----	-----	------	-----

Tabel B2.3 Analyseresultaten grond (mg/kg d.s.) en interpretatie

Mengmonster	5	6	7
Diepte (m -mv)	6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0
Lutum (%)	5,1	3,0	2,6
Humus (%)	3,0	1,9	0,7

METALEN

arseen (As)	8,9	-	4,8	-	<1,0	-
cadmium (Cd)	0,14	-	<0,10	-	<0,10	-
chromium (Cr)	18	-	17	-	10	-
koper (Cu)	4,0	-	1,3	-	1,3	-
kwik (Hg)	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-
lood (Pb)	3,9	-	3,3	-	2,1	-
nikkel (Ni)	11	-	9,8	-	6,6	-
zink (Zn)	17	-	9,7	-	4,3	-

Niet in STI-lijst van de Wbb

organische stof vlgs. IB-methode (% van Ds)	2,6	1,6	0,3
---	-----	-----	-----

Grondwatermonsters

In tabellen B2.4, B2.5, B2.6, B2.7 en B2.8 is een overzicht en interpretatie gegeven van de analyseresultaten van de nulmeting van de monitoringsfilters 3001 tot en met 3008.

Tabel B2.4 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3001	3001	3001	3002	3002
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)	(6-7)	(8-9)	(2-3)	(4-5)

METALEN

cadmium (Cd)	2,4	+	0,58	+	<0,10	-	6,0	++	0,60	+
cobalt (Co)					2,1	-				
molybdeen (Mo)					<2,0	-				
seleen (Se)					<5,0	<<				
zink (Zn)	9600	+++	220	+	50	-	4500	+++	640	++

Niet in STI-lijst van de Wbb

aluminium (Al)					23					
calcium (Ca)					23000					
ijzer (Fe)	20000		1200		15000		61		540	
kalium (K)					4800					
natrium (Na)					25000					
nitraat als N (mg N/l)					<0,05					
Orthofosfaat (mg P/l)					0,00					
bicarbonaat (HCO ₃) gehalte (mg/l)					37					
carbonaat (CO ₃ ²⁻) gehalte (mg/l)					<6,00					
DOC vlgs. NPR 6522 (mg DOC/l)					2,2					
stikstof vlgs. Kjeldahl (mg N/l)					0,14					
sulfaat (mg/l)					110					

<< Geen streefwaarden voor grondwater, alleen tussen- en interventiewaarde bekend

Tabel B2.5 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3002		3003		3003		3003		3004	
Filterdiepte (m -mv)	(6-7)		(3-4)		(5-6)		(7-8)		(4-5)	
METALEN										
cadmium (Cd)	0,69	+	7,7	+++	0,90	+	<0,10	-	0,97	+
cobalt (Co)			11	-	27	+	6,1	-		
molybdeen (Mo)			<2,0	-	<2,0	-	<2,0	-		
seleen (Se)			<5,0	<<	<5,0	<5,0	<5,0	<<		
zink (Zn)	300	+	2500	+++	260	+	120	+	300	+
Niet in STI-lijst van de Wbb										
aluminium (Al)			110		180		19			
calcium (Ca)			9700		13000		14000			
ijzer (Fe)	250		<20		500		16000		140	
kalium (K)			2200		4800		4600			
natrium (Na)			9000		8900		9400			
nitraat als N (mg N/l)			0,22		0,35		<0,05			
orthofosfaat (mg P/l)			<0,00		<0,00		0,00			
bicarbonaat (HCO ₃ ⁻) gehalte (mg/l)			37		7,8		24			
carbonaat (CO ₃ ²⁻) gehalte (mg/l)			<6,00		<6,00		<6,00			
DOC vlgs. NPR 6522 (mg DOC/l)			4,2		3,5		1,2			
stikstof vlgs. Kjeldahl (mg N/l)			0,12		<0,10		<0,10			
sulfaat (mg/l)			36		70		73			
<<	Geen streefwaarden voor grondwater, alleen tussen- en interventiewaarde bekend									

Tabel B2.6 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3004		3005		3005		3006		3007	
Filterdiepte (m -mv)	(6-7)		(3-4)		(6-7)		(4-5)		(3-4)	
METALEN										
cadmium (Cd)	0,48	+	6,6	+++	<0,10	-	0,41	+	1,1	+
zink (Zn)	160	+	3700	+++	170	+	180	+	570	++
Niet in STI-lijst van de Wbb										
ijzer (Fe)	660		480		10000		29		250	

Tabel B2.7 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3008		3008		3008	
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)		(5-6)		(7-8)	
METALEN						
cadmium (Cd)	21	+++	8,5	+++	<0,10	-
zink (Zn)	13000	+++	1200	+++	650	++
Niet in STI-lijst van de Wbb						
ijzer (Fe)	<20		<20		12000	

Tabel B2.8 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3000		3010		3020	
Filterdiepte (m -mv)	(2-6)		(2-6)		Opgemengd grondwater t.b.v injectie	
METALEN						
cadmium (Cd)	1,4	+	1,0	+	1,6	+
zink (Zn)	500	++	440	++	450	++
Niet in STI-lijst van de Wbb						
ijzer (Fe)	<20		<20		400	
Zwavel (totaal S)					14000	

Bijlage

3

Resultaten grondwateranalyses 1^e monitoringsronde

Tabel B3.1 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3000		3001		3001		3002		3002	
Filterdiepte (m -mv)	(2-6)		(6-7)		(8-9)		(4-5)		(6-7)	
METALEN										
cadmium (Cd)	0,42	+	0,91	+	<0,10	-	<0,10	-	<1,3	-
zink (Zn)	590	++	110	+	43	-	140	+	170	+
Niet in STI-lijst van de Wbb										
ijzer (Fe)	14000		7000		9000		4200		4100	
Zwavel-totaal (S)	67000		84000		26000		13000		100000	
pH (-)	4,2		4,4		4,9		5,8		4,5	
EC (µS/cm)	676		606		366		162		605	
Temperatuur (°C)	13,6		13,3		13,0		14,4		12,9	
Zuurstof (mg/l)	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
Redox (mV)	386		-86		207		304		-76	

Tabel B3.2 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3003		3003		3003		3004		3004	
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)		(5-6)		(7-8)		(4-5)		(6-7)	
METALEN										
cadmium (Cd)	<0,10	-	0,28	-	<0,10	-	0,97	+	<0,10	-
zink (Zn)	770	++	140	+	10	-	410	+	20	-
Niet in STI-lijst van de Wbb										
ijzer (Fe)	20000		15000		16000		540		20000	
Zwavel-totaal (S)	730		59000		17000		16000		24000	
pH (-)	5,5		4,7		5,8		5,2		5,5	
EC (µS/cm)	225		517		225		166		221	
Temperatuur (°C)	n.b		14,0		13,8		14,3		14,8	
Zuurstof (mg/l)	n.b		0,0		0,0		1,9		0,0	
Redox (mV)	n.b		-20		105		270		96	

n.b Niet bepaalbaar

Tabel B3.3 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3005		3005		3006		3006		3006	
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)		(6-7)		(2-3)		(4-5)		(6-7)	
METALEN										
cadmium (Cd)	<0,10	-	<0,10	-	0,48	+	<0,10	-	<0,10	-
zink (Zn)	620	++	25	-	4400	+++	140	+	41	-
Niet in STI-lijst van de Wbb										
ijzer (Fe)	8000		34000		7600		23000		61000	
Zwavel-totaal (S)	7200		51000		10000		45000		6700	
pH (-)	6,2		5,2		6,3		4,5		5,7	
EC (µS/cm)	214		1056		147		595		476	
Temperatuur (°C)	14,2		13,0		14,7		13,6		13,2	
Zuurstof (mg/l)	0,5		0,0		8,9		0,0		0,0	
Redox (mV)	300		243		235		251		241	

Tabel B3.4 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	3007		3008		3008		3008		3010	
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)		(3-4)		(5-6)		(7-8)		(2-6)	
METALEN										
cadmium (Cd)	<0,10	-	14	+++	9,8	+++	<0,10	-	<0,10	-
zink (Zn)	22	-	9000	+++	1200	+++	72	+	26	-
Niet in STI-lijst van de Wbb										
ijzer (Fe)	9500		<20		28		14000		10000	
Zwavel-totaal (S)	4300		13000		23000		32000		12000	
pH (-)	5,9		5,5		4,7		5,5		5,3	
EC (µS/cm)	273		156		235		266		163	
Temperatuur (°C)	15,2		13,8		12,7		12,1		14,6	
Zuurstof (mg/l)	7,7		2,2		1,7		0,0		0,0	
Redox (mV)	247		279		357		275		189	