

**In-situverwijdering van zware metalen uit
grondwater middels ISMP in combinatie met de
afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen**

Eindrapportage SKB

PT04.105

Auteurs

M.E. Visser, gemeente Arnhem

M. Mulder, gemeente Arnhem

E.J.M. Temminghoff, Wageningen Universiteit

P.A.M. van den Broek, A&G Milieutechniek

M.P.M. van Gool, Tauw bv

J.J. Steketee, Tauw bv

Definitief, 8 augustus 2007, Gouda, SKB

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron, SKB, Gouda, op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt.'

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

**In-situverwijdering van zware metalen uit grondwater
middels ISMP in combinatie met de afbraak van
gechloreerde koolwaterstoffen**

SKB PT04-105

Aantal bladzijden

Rapport: 42

Bijlagen: 10

Uitvoerende organisaties (consortium)

Penvoerder:

A&G Milieutechniek bv:

P.A.M. van den Broek

M.F. Pruijn

Overige consortiumleden:

Tauw bv:

J.J. Steketee

M.P.M. van Gool

Gemeente Arnhem:

M.E. Visser

M. Mulder

Wageningen Universiteit:

E.J.M. Temminghoff

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Gecontroleerde trefwoorden

Zware metalen, In situ, Grondwater

Vrije trefwoorden

ISMP, Immobilisatie, CKW

Inhoud

Verantwoording en colofon		
1	Inleiding	7
1.1	Toelichting	7
1.2	Aanleiding	7
1.3	Doelstelling	8
1.4	Uitvoering van het project	9
1.5	Leeswijzer en verklarende woordenlijst	9
2	Algemene beschrijving locatie en verontreinigingssituatie	11
2.1	Regionale ligging	11
2.2	Bodemopbouw en geohydrologie	11
2.2.1	Bodemopbouw	11
2.2.2	Geohydrologie	12
2.3	Verontreinigingssituatie	13
2.4	Geochemie	14
3	Plan van aanpak en uitgevoerde werkzaamheden	17
3.1	Plan van aanpak	17
3.1.1	Deelresultaat 1: Opstellen projectplan	17
3.1.2	Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie	17
3.1.3	Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek	19
3.1.4	Deelresultaat 4: Ontwerp van het systeem	19
3.1.5	Deelresultaat 5: Aanleg systeem en injectie van hulpstoffen	19
3.1.6	Deelresultaat 6: Overzicht eerste resultaten en toetsing aan criteria herinjectie	20
3.1.7	Deelresultaat 7: Kennisoverdracht	20
3.1.8	Deelresultaat 8: Vervolg monitoring en totaaloverzicht behaalde resultaten	20
3.1.9	Deelresultaat 9: Eindrapportage	21
3.2	Uitgevoerde werkzaamheden	21
3.2.1	Algemeen	21
3.2.2	Deelresultaat 1: Opstellen projectplan	21
3.2.3	Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie	21
3.2.4	Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek	23
4	Resultaten en interpretatie	25
4.1	Deelresultaat 1: Opstellen projectplan	25
4.2	Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie	25
4.2.1	Interpretatiemethodiek van de resultaten	25

4.2.2	Karakterisatie van de locatie	26
4.2.3	Aanvullend bodemonderzoek naar de verontreinigingssituatie op de locatie	27
4.2.4	Aanvullend grondwateronderzoek naar de verontreinigingssituatie stroomafwaarts van de geselecteerde locatie voor het demonstratieproject.....	30
4.2.5	Laboratoriumonderzoek GO/NO GO veldtest	32
4.3	Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek.....	34
5	Discussie, conclusies en aanbevelingen	37
5.1	Werking in-situ metaal precipitatie (ISMP) op de locatie Schaapsdrift.....	37
5.2	Uitvoering veldproef locatie Schaapsdrift	37
5.3	Leerpunten	38
5.4	Toepassingsmogelijkheden ISMP op andere locaties en aanbevelingen	38

Bijlage(n)

1. Regionale ligging locatie
2. Ligging onderzoekslocatie
3. Ligging brongebieden en oude peilbuizen
4. Ligging nieuwe peilbuizen
5. Boorprofielen
6. Definitieve rapportage Wageningen Universiteit
7. Locatiespecifieke STI-waarden
8. N002-4342065MPM-V01 d.d. 15 maart 2005 (concept)
9. L002-4342065MPM-sbb-V01-NL d.d. 8 juni 2005
10. Rapportage Tebodin

1 Inleiding

Het SKB demonstratieproject 'In-situverwijdering van zware metalen uit grondwater middels ISMP in combinatie met de afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen' (PT04.105) is parallel uitgevoerd aan de voorbereiding van de sanering van de locatie 'Schaapsdrift' te Arnhem. Het SKB demonstratieproject is daarmee gekoppeld aan een concreet praktijkproject.

Bij de sanering zijn betrokken de Gemeente Arnhem (één van de opdrachtgevers en tevens bevoegd gezag), vijf ondernemers die eigenaar zijn van de bronlocaties en Tebodin (adviseur gemeente). Het SKB demonstratieproject PT04.105 is uitgevoerd door een consortium van de Gemeente Arnhem, Wageningen Universiteit, Tauw en A&G Milieutechniek als penvoerder. In onderhavig rapport worden de resultaten van het project besproken. Er wordt niet ingegaan op de sanering van de totale locatie.

1.1 Toelichting

Op de locatie 'Schaapsdrift' in Arnhem hebben in het verleden bedrijfsactiviteiten plaatsgevonden die geleid hebben tot bodemverontreiniging. Op de onderzoekslocatie is een diversiteit aan verontreinigingen aangetroffen, waaronder zware metalen en chloorhoudende koolwaterstoffen (CKW). De gemeente Arnhem was in 2004 op zoek naar een techniek waarmee beide verontreinigingen gelijktijdig aangepakt konden worden, met de nadruk op de aanpak van de zware metalen verontreiniging.

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. Daarnaast worden door substraatinjectie de redoxparameters voor de natuurlijke afbraak van CKW gunstig beïnvloed. Hierdoor zal de natuurlijke afbraak van CKW toenemen.

1.2 Aanleiding

Op meerdere deellocaties aan de Schaapsdrift in Arnhem hebben in het verleden bedrijfsactiviteiten plaatsgevonden die geleid hebben tot bodemverontreiniging met voornamelijk zware metalen, minerale olie en CKW. Door de provincie Gelderland zijn al deze verontreinigingen in 1997 als één geval beschikt. De gemeente Arnhem heeft in maart 2007 het geval opnieuw beschikt en daarmee ook de contour van de grondwaterverontreiniging vastgelegd. Het geval is spoedeisend. De mobiliteit van de verontreinigingen is voor de Provincie reden geweest om te concluderen dat de sanering tussen 2002 en 2007 opgestart moet zijn. In 2004 is voor de locatie door Tebodin een gefaseerd saneringsplan voor Schaapsdrift 51 en omgeving te Arnhem geschreven (projectnummer 32912-00, september 2004). In maart 2007 is een nieuw saneringsplan ingediend door de vijf ondernemers en de gemeente Arnhem gezamenlijk.

In verband met de diversiteit van de verontreinigingen (zware metalen en CKW) heeft de Gemeente Arnhem aan A&G Milieutechniek gevraagd of ISMP een geschikte saneringstechniek is. Met deze techniek kan, naast het precipiteren van metalen, namelijk gelijktijdig de afbraak van CKW gestimuleerd worden.

A&G Milieutechniek heeft hierop een voorstel gedaan voor een demonstratieproject en dit ingediend bij SKB. A&G Milieutechniek heeft voor dit project samenwerking gezocht met Tauw en Wageningen Universiteit.

Het gebied rondom de bodemsaneringslocatie Schaapsdrift is in het 'Concept-structuurplan Arnhem 2010' opgenomen als herstructurerings-locatie in de 'Streefbeeldkaart 2010-2030'. Insteek van de Gemeente Arnhem is de bodemsanering van het geval zoveel mogelijk af te stemmen op de herinrichtingsplannen van het gebied. Aangezien er echter voorlopig geen herinrichtingsplannen zijn, zal de grondwatersanering autonoom worden uitgevoerd. Het demonstratieproject wordt door de gemeente Arnhem gezien als een aanvullend saneringsonderzoek voor de aanpak van de verontreinigingen op de locatie.

1.3 Doelstelling

Binnen het project zijn doelstellingen en onderzoeksvragen geformuleerd. Onderstaand zijn de doelstellingen en de onderzoeksvragen (hypothesen) puntsgewijs opgesomd.

Daarnaast geldt voor de gehele sanering de saneringsdoelstelling om de concentraties van de verschillende verontreinigingen terug te brengen tot onder de tussenwaarde en/of stabiel te laten worden binnen 30 jaar (Saneringsplan Schaapsdrift 51 en omgeving te Arnhem, Tebodin, september 2004). Omdat met de methode van ISMP alleen zware metalen geïmmobiliseerd en CKW wordt afgebroken, wordt verwacht dat na afloop van de demonstratie nog wel aanvullende maatregelen moeten worden getroffen voor de verontreinigingen met cyanide en minerale olie. Deze maatregelen zijn niet meegenomen in het demonstratieproject.

Doelstellingen:

- Het bewijzen van het voorgestelde saneringsconcept, immobiliseren van metalen door het vormen van sulfides (ISMP)
- Aantonen dat meerdere metalen gelijktijdig geïmmobiliseerd worden
- Aantonen van de mate van stabiliteit/irreversibiliteit van de gevormde metaalsulfiden en dat het concept zonodig aangepast kan worden in die zin dat deze stabiliteit wordt verzekerd
- Aantonen dat ISMP kosteneffectief is
- Stimulering van ISMP in combinatie met natuurlijke afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen
- Aantonen dat de combinatie ISMP met stimulering natuurlijke afbraak vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen kosteneffectief is
- Aantonen dat de toegepaste technieken robuust en flexibel zijn en dat onverwachte situaties worden opgevangen

-
- Aantonen dat de gewenste terugsaneerwaarde (tussenwaarde) voor metalen en CKW met behulp van deze techniek haalbaar is
 - De opgedane kennis delen met het Bevoegd Gezag, zodat het Bevoegd Gezag deze en toekomstige saneringen/bodemverontreinigingen beter kan beoordelen
 - Kennis vergaren en verspreiden binnen het vakgebied

Onderzoeksvragen/hypothesen:

- Kunnen meerdere metalen gelijktijdig in de bodem geïmmobiliseerd worden in de aanwezigheid van gechloreerde koolwaterstoffen?
- Hoe kan de lange-termijn-stabiliteit van de gevormde metaalsulfiden op deze locatie het beste worden bepaald? Hiertoe zullen de resultaten van modelberekeningen, laboratoriumproeven en monitoring met elkaar worden vergeleken
- Welke mechanismen vormen een bedreiging voor de stabiliteit van de metaalsulfides en in welke mate, met andere woorden hoe robuust is ISMP?
- Welke maatregelen zijn mogelijk om de stabiliteit van de metaalsulfides te vergroten?
- Wat is het effect van ISMP op biologische afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen? Zijn er positieve of negatieve interacties tussen beide processen?
- Wat zijn de praktijkaspecten (ruimtebeslag, hoeveelheden substraat, hoe injecteren) van ISMP?
- Wat is de snelheid van gestimuleerde anaërobe afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen? Treedt volledige afbraak op?
- Is het mogelijk het ontwerp van de saneringstechnieken eenvoudig aan te passen bij afwijkende praktijksituaties, met andere woorden hoe flexibel is de techniek? Is bijvoorbeeld stimulatie van de CKW-afbraak door enting met micro-organismen eenvoudig te combineren met substraatinjectie?

1.4 Uitvoering van het project

Om verschillende redenen, die later in het rapport worden besproken, is het project na uitvoering van nader locatie- en laboratoriumonderzoek gestopt. Desondanks geven de verkregen resultaten veel informatie over de mogelijkheden van ISMP voor vastlegging van metalen.

1.5 Leeswijzer en verklarende woordenlijst

In hoofdstuk 2 worden de locatie en de verontreinigingssituatie beschreven. In hoofdstuk 3 komt het plan van aanpak aan de orde en wordt beschreven welke werkzaamheden zijn uitgevoerd. In hoofdstuk 4 worden de resultaten gepresenteerd en in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.

Aangezien in de literatuur verschillende naamgevingen en afkortingen worden gehanteerd voor chloorhoudende koolwaterstoffen, is onderstaand de betekenis ter verduidelijking weergegeven:

- CKW of VOCL = vluchtige chloorhoudende koolwaterstoffen
- Per (PER) = tetrachlooretheen (vroegere benaming perchlooretheen)
- Tri = trichlooretheen
- Cis (CIS)= cis-dichlooretheen
- Trans = trans-dichlooretheen

2 Algemene beschrijving locatie en verontreinigingssituatie

2.1 Regionale ligging

De locatie 'Schaapsdrift' is gelegen aan de oostkant van Arnhem. In bijlage 1 is de regionale ligging van de locatie weergegeven. De deellocatie voor het demonstratieproject is afgeleid op basis van resultaten uit eerder uitgevoerde bodemonderzoeken:

- 'Nader bodemonderzoek fase 3 Schaapsdrift 51 en 83-87 te Arnhem' (Tauw-rapportnummer R3468798, juni 1997)
- 'Actualisatie onderzoek grondwaterverontreiniging Schaapsdrift te Arnhem' (Tauw-apportnummer: R001-3923649VSM-DO1-D, juli 2001)

In bijlage 2 is een kaart opgenomen met de ligging van de onderzoekslocatie. Op de locatie zijn enkele loodsen voor de opslag van verschillende materialen aanwezig. Voor de monitoring is ook toegang geregeld voor de percelen die stroomafwaarts zijn gelegen:

- In&Oud (Schaapsdrift 79)
- USN-Centuri (Schaapsdrift 85)

2.2 Bodemopbouw en geohydrologie

2.2.1 Bodemopbouw

De lokale bodemopbouw is bepaald aan de hand van boorprofielen/beschrijvingen. In tabel 2.1 is de lokale bodemopbouw weergegeven.

Tabel 2.1 Lokale bodemopbouw

Diepte (m -mv)	Samenstelling	Geohydrologische eenheid
0 - 30	Matig fijn tot grof zand met grind met enkele leem- of kleilaagjes	1 ^e watervoerend pakket
>30	Klei- en veenlagen afgewisseld met zandlagen	Scheidende lagen

De geschematiseerde regionale bodemopbouw en geohydrologie ter plaatse van de projectlocatie is afgeleid uit de 'Grondwaterkaart' van Nederland en is weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Regionale bodemopbouw

Diepte (m -mv)	Samenstelling	Formatie	Geohydrologische eenheid
0 - 30	Matig grof tot grof zand met grind	Kreftenheye, Drenthe	1 ^e watervoerende pakket (freatisch)
30 - 40	Klei met kleihoudend zand	Drenthe, Kedichem	Scheidende laag (mogelijk scheefgesteld)
40 - > 90	Fijn tot grof zand met grind	Harderwijk, Tegelen, Maassluis	2 ^e watervoerende pakket

De bodemopbouw kan ter plaatse van de projectlocatie heterogeen zijn door de aanwezigheid van gestuwde (scheefgestelde) lagen en leem- of kleischotten. Deze scheefgestelde lagen zijn slecht doorlatend. Hierdoor zal het doorlatend vermogen in horizontale richtingen variëren (anisotropie). Gevolg is dat de doorlaatfactor, in de richting van de scheefgestelde kleilagen, vaak groter zal zijn dan loodrecht erop. Een andere mogelijkheid is dat het eerste watervoerende pakket dikker is dan verwacht (door bijvoorbeeld het niet aanwezig zijn op bepaalde plaatsen van de scheidende laag op 30 m -mv).

2.2.2 Geohydrologie

In tabel 2.3 zijn de geohydrologische parameters weergegeven. Deze gegevens zijn afkomstig van de 'Grondwaterkaart van Nederland', bemalingslocaties in de directe omgeving en gericht onderzoek (Nader bodemonderzoek fase 3 Schaapsdrift 51 en 83-87 te Arnhem, Tauw-R3468798, juni 1997).

Tabel 2.3 Geohydrologische parameters

Parameter	aantal	eenheid
Dikte 1 ^e watervoerende pakket	30	m
Doorlatend vermogen 1 ^e watervoerend pakket, kD-waarde	2.700	m ² /dag
Gemiddelde doorlaatfactor 1 ^e watervoerende pakket	100	m/dag
Verhang stijghoogte in 1 ^e watervoerende pakket	0,002	m/m
Diepte grondwaterspiegel onder maaiveld	2,5	m -mv
Grondwater stromingssnelheid	180*	m/jaar

*Berekend op basis van de doorlaatfactor, verhang en porositeit

Op de locatie is een waterpassing van de grondwaterstanden uitgevoerd. Uit de isohypsenpatronen valt globaal een zuidelijke stromingsrichting van het freatische grondwater af te leiden. De peilingen in de verschillende filters duiden niet op een duidelijke kwel- dan wel infiltratiesituatie.

2.3 Verontreinigingssituatie

De locatie 'Schaapsdrift' is een gebied waarin meerdere bronnen van bodemverontreiniging voorkomen. De verschillende bronnen zijn dicht bij elkaar gelegen en hebben min of meer één gezamenlijke pluim veroorzaakt. De verontreinigingen worden daarom in hetzelfde kader onderzocht en aangepakt.

Op basis van de in 2.1 genoemde onderzoeken worden drie brongebieden onderscheiden (zie ook kaart bijlage 3):

- Schaapsdrift 41-49 (locatie van een aantal voormalige wasserijen)
- Schaapsdrift 51-89 (locatie van voormalige wasserijen, een tassenfabriek en een metaalwarenfabriek)
- Eleonorastraat 9-13 (geen historische verdachte activiteiten, wel verontreiniging met chloorhoudende oplosmiddelen)

Het brongebied 'Schaapsdrift 51-89' wordt in het kader van het demonstratieproject aangepakt. De bronlocatie is weergegeven in bijlage 2. De verontreinigingssituatie op de onderzoekslocatie wordt hieronder uitgebreid beschreven. Op deze locatie is een verontreiniging aangetroffen van metalen, cyanide, minerale olie en gechloreerde koolwaterstoffen.

Brongebied Schaapsdrift 51-89

In dit gebied zijn in het verleden op meerdere locaties grondverontreinigingen met Per en Tri aangetoond. Op meerdere locaties zijn in het grondwater onder andere concentraties $>1.000 \mu\text{g/l}$ Tri gevonden (circa 4 m -mv). Ook rondom deze verontreinigingen is het grondwater sterk verontreinigd.

In dit gebied is tevens een oliespot en cyanideverontreiniging in grond en grondwater waargenomen. Voor het uitvoeren van het demonstratieproject is een locatie bepaald waar deze verontreinigingen niet of in geringe mate voorkomen.

Op de locatie blijkt over een oppervlakte van circa 7.500 m^2 een geroerde toplaag aanwezig te zijn, waarin verhoogde concentraties zware metalen in de grond voorkomen. De meeste normoverschrijdingen (interventiewaarde) worden veroorzaakt door lood en zink. Lokaal komen nikkel en koper voor, sporadisch is sprake van cadmium, kwik en arseen. De sterke grondwaterverontreiniging met metalen valt samen met de sterke Per-verontreiniging. In tabel 2.4 zijn de maximaal gevonden concentraties op basis van de genoemde rapporten in paragraaf 2.1 weergegeven van de verontreinigende stoffen in het grondwater.

Tabel 2.4 Maximale concentraties verontreinigende stoffen in het grondwater

Parameter	Gehalte grondwater (µg/l) (maximaal)
Perchlooretheen (Per)	280
Trichlooretheen (Tri)	1.100
Chroom (Cr)	2,7
Koper (Cu)	1.000
Lood (Pb)	
Nikkel (Ni)	32.000
Zink (Zn)	

Verspreiding van de verontreinigingen

Op basis van de regionale en de lokale grondwaterstroming wordt gesteld dat de verontreiniging zich in zuidelijke richting verspreidt. Op basis van de gemeten stijghoogteverschillen (maximaal 0,2 m) kan verspreiding naar de diepte optreden.

2.4 Geochemie

Op de locatie is een onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van natuurlijke afbraak (TNO, Natuurlijke afbraakpotentieel Schaapsdrift en Spijkerlaan te Arnhem, mei 2000). Uit dit onderzoek kwam naar voren, dat het natuurlijke afbraakpotentieel zowel voor het diepe als ondiepe grondwater laag is. De redoxomstandigheden zijn overwegend aëroob en de dechloreringsgraad (mate van natuurlijke afbraak) gering. Tevens zijn de concentraties van natuurlijk aanwezig opgelost koolstof, noodzakelijk als voedingstof voor de dechlorerende bacteriën, laag. Alle beoordelingspunten voor natuurlijke afbraak beschouwend zijn er geringe mogelijkheden voor natuurlijke afbraak op de Schaapsdrift-locatie. Gezien de aanwezigheid van afbraakproducten van Per en Tri is het *stimuleren* van de *natuurlijke* afbraak mogelijk. Complete afbraak van gechlloreerde koolwaterstoffen is zowel aëroob als anaëroob een in de praktijk bewezen saneringsmethode.

Gezien de overwegend aërobe condities op de locatie is *natuurlijke* precipitatie van metaalsulfiden niet mogelijk. Daarom is dit een aandachtspunt en moet worden nagegaan of en zo ja, welke maatregelen nodig zijn om precipitatie mogelijk te maken. Aan de hand van de resultaten van een laboratoriumproef wordt duidelijkheid verkregen over de mogelijkheden van precipitatie en de samenstelling van het substraat. Tevens wordt gekeken naar de stabiliteit van de metaalsulfiden.

Naast metalen en gechlloreerde koolwaterstoffen komen ook andere verontreinigingen in het grondgebied voor, zoals cyanide en minerale olie. Afbraak van deze beide stoffen wordt door toevoeging van substraat niet extra gestimuleerd. Minerale olie is zelf koolstofbron voor de CKW-verontreiniging en zal, indien mogelijk, reeds door de aanwezige bacteriën gebruikt zijn.

Voor cyanide geldt dat, indien het milieu zuur wordt, er mogelijk blauwzuurgas ontstaat. Omdat de pH eerder stijgt dan daalt en omdat de concentraties aan cyanide zeer laag zijn, is de kans op het ontstaan van blauwzuurgas verwaarloosbaar. De invloed van substraatinjectie op beide stoffen zal echter wel gemonitord worden.



3 Plan van aanpak en uitgevoerde werkzaamheden

3.1 Plan van aanpak

Een gedeelte van de locatie wordt geactiveerd door de injectie van substraat. Dit substraat zorgt ervoor dat metaal neerslaat en dat CKW's worden afgebroken. Het bepalen van de verwachte effecten van de toevoeging van hulpstoffen gebeurt door een voorafgaand laboratoriumonderzoek. Metingen aan het grondwater laten zien in hoeverre de metalen en de CKW's uit het grondwater zijn verwijderd. De resultaten zijn voor de Gemeente Arnhem bruikbaar om te bepalen hoe deze locatie verder aangepakt moet worden. Daarnaast demonstreert dit project wat de mogelijkheden in de praktijk zijn van de technieken ISMP en CKW-afbraak.

Dit project bestaat uit de volgende deelresultaten:

1. Opstellen projectplan
2. Conclusie over geschiktheid locatie
3. Rapportage laboratoriumonderzoek
4. Ontwerp
5. Aanleg systeem en hulpstoffen conform ontwerp geïnjecteerd
6. Overzicht eerste resultaten en toetsing aan criteria herinjectie
7. Kennismanagement
8. Vervolg monitoring en totaaloverzicht behaalde resultaten
9. Rapportage

Hieronder staat in grote lijnen per deelresultaat beschreven uit welke activiteiten het deelresultaat bestaat. Deze aanpak is overgenomen uit het projectplan ('In-situverwijdering van zware metalen uit grondwater middels ISMP in combinatie met de afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen, Projectplan SKB, PT04.105, A&G Milieutechniek bv, rapportnummer 517/1222/TK/avd d.d. 16 december 2004). In paragraaf 3.2 zal vervolgens worden omschreven welke werkzaamheden zijn uitgevoerd.

3.1.1 Deelresultaat 1: Opstellen projectplan

Het voorbereiden van het project, de contractvorming en het opstellen van het projectplan maken deel uit van deelresultaat 1.

3.1.2 Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie

ISMP is een op labschaal en op pilotschaal bewezen techniek (SKB project SV-064). Deze demonstratie moet laten zien dat ISMP ook voor deze locatie geschikt is. Het is noodzakelijk om eerst op laboratorioschaal vast te stellen onder welke omstandigheden en in welke mate de precipitatie plaatsvindt. Om voor de laboratoriumproef het gewenste monstermateriaal te verkrijgen, wordt op de onderzoekslocatie een monitoringsfilter geplaatst.

Het vrijkomende materiaal zal voor de laboratoriumproef gebruikt worden. De overige filters worden na de Go/No Go beslissing geplaatst.

ISMP is als techniek toepasbaar als de resultaten voorspelbaar zijn. Deze deelactiviteit heeft twee doelstellingen:

1. Het aantonen van geschiktheid van de locatie voor ISMP (meerdere metalen en de aanwezigheid van gechloreerde koolwaterstoffen). Hierbij wordt ook aandacht besteed aan de substraatkeuze
2. Het aantonen van de stabiliteit van de gevormde metaalsulfides en andere precipitaten. Met name de mate van vorming en stabiliteit van meerdere metaalsulfiden tegelijkertijd (Ni, Cu) in de aanwezigheid van gechloreerde koolwaterstoffen wordt vastgesteld. Voor chroom geldt dat wellicht geen sulfide wordt gevormd, maar dat chromaat (Cr(VI)) wordt gereduceerd tot het slecht oplosbare Cr(III) en vervolgens neerslaat als (hydr)oxide

Bij de laboratoriumproef wordt de afbraak van CKW niet bepaald aangezien stimulatie van de afbraak van CKW's een bewezen techniek is. Wel wordt nagegaan of de redoxcondities en pH die ontstaan voldoen aan de eisen voor anaërobe CKW-afbraak.

De geschiktheid van de locatie volgt uit het beantwoorden van de 1^e doelstelling waarbij doorgekeken wordt naar de saneringsdoelstelling. Bij een positief antwoord kan de volgende activiteit in het project starten. Dit is een eerste resultaat van deze activiteit. Het laboratoriumonderzoek loopt hierna nog door om doelstelling 2 ook te kunnen toetsen.

Go/No Go

Als aangetoond is dat de metalen in de laboratoriumproef na substraattoevoeging in voldoende mate neerslaan, wordt de demonstratie op praktijschaal uitgevoerd. Indien de laboratoriumproeven (eventueel na variatie van het substraattype) niet bevestigen dat een goede metaalneerslag verkregen kan worden, dan zal het demonstratieproject op dat ogenblik afgebroken worden.

Als blijkt uit de laboratoriumproef dat de gevormde metaalsulfides onvoldoende stabiel zijn, wordt nagegaan in hoeverre het ontwerp moet worden aangepast. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld om de substraatdosering te vergroten of de dosering te herhalen.

3.1.3 Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek

Het laboratoriumonderzoek zal worden gerapporteerd in een beknopt verslag waarin beschreven staat:

- Een omschrijving van het verrichte werk
- Welke mate van precipitatie verwacht kan worden tijdens de demonstratie
- De stabiliteit (irreversibiliteit) van het gevormde precipitaat en de opties om de stabiliteit te vergroten
- Een voorschrift voor de injectie tijdens de demonstratie
- Tracertoevoeging in verband met onttrekking conform het saneringsplan

3.1.4 Deelresultaat 4: Ontwerp van het systeem

Onder andere op basis van het resultaat van de laboratoriumproef wordt een aanpak voor de locatie ontworpen. Dit ontwerp bevat:

- Injectiesysteem
- Plaats van injectie
- Samenstelling te injecteren hulpstoffen
- Hoeveelheid te injecteren hulpstoffen
- Criteria voor herinjectie: vereiste omzetting en stabiliteit
- Plaats van monitoringsfilters

Het ontwerp en het monitoringsplan moeten goed op elkaar aansluiten. In deze fase zal daarom ook het monitoringsplan geschreven worden. Het monitoringsplan wordt daarmee een onderdeel van het ontwerp. In het monitoringsplan wordt onderbouwd op welke plaatsen filters geplaatst moeten worden en op welke tijdstippen welke parameters gemeten worden.

Het monitoringssysteem bestaat uit een raai peilbuizen evenwijdig aan de stromingsrichting van het grondwater en door het hart van de verontreinigingsvlek. De peilbuizen worden zodanig geplaatst dat informatie wordt verkregen over de kwaliteit van het instromende grondwater, de invloedstraal van de substraatinjectie, de kwaliteit van het uitstromende grondwater en de omzettingen binnen de behandelde verontreinigingsvlek.

3.1.5 Deelresultaat 5: Aanleg systeem en injectie van hulpstoffen

Na goedkeuring op het ontwerp zal het systeem aangelegd worden en de injectie worden uitgevoerd. Mocht blijken dat na de 1^e injectie onvoldoende substraat is geïnjecteerd, dan zal een 2^e injectieronde plaatsvinden. Om het verspreidingspatroon van het substraat te volgen, wordt bromide als tracer toegevoegd aan de substraatoplossing.

3.1.6 Deelresultaat 6: Overzicht eerste resultaten en toetsing aan criteria herinjectie

Na injectie zal monitoring uitgevoerd worden. Doelstellingen van de monitoring zijn:

1. Toetsen of door substraatinjectie de redoxpotentiaal afneemt
2. Vaststellen verspreiding substraat, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de tracer
3. Vaststellen effecten substraatinjectie op de concentraties aan metalen, CKW, minerale olie en cyanides in het grondwater met andere woorden of ISMP plaats vindt
4. Bepalen van de stabiliteit van de vastlegging door monitoring van metaalconcentraties en redoxpotentiaal

In de eerste fase vinden circa vijf monitoringsrondes plaats. Uit de resultaten volgt in hoeverre de injectie leidt tot de gewenste en verwachte aanpassing van de condities in de ondergrond en omzetting van de verontreinigingen. De meetresultaten worden geïnterpreteerd zodat kan worden vastgesteld welke mechanismen een rol spelen. Mogelijke praktijkproblemen zijn bijvoorbeeld:

- a. Proces komt traag op gang door lange lagfase (groei van bacteriën verloopt langzaam)
- b. Ophoping van afbraakproducten CKW's omdat omzetting niet volledig is
- c. Oxidatie van sulfides treedt op

Elk van deze mechanismen vereist een andere remedie. In geval van a is een langere monitoringstijd noodzakelijk. In geval van b kan een bacterie toegevoegd worden of is een andere saneringstechniek noodzakelijk. Indien oxidatie optreedt, is een nieuwe injectie van substraat noodzakelijk om het oxidatie proces tegen te gaan.

Bij de beoordeling van de condities op de locatie wordt gebruik gemaakt van tools die in het kader van het SKB-project BOS zware metalen zijn ontwikkeld (vastleggingsindicator, stabiliteitsindicator) en die worden geverifieerd in het kader van het project PT04.110 (demonstratie natuurlijke vastlegging van zware metalen).

3.1.7 Deelresultaat 7: Kennisoverdracht

Voor de kennisoverdracht zullen de volgende activiteiten worden ondernomen:

- On-site dag: bijwonen van een injectie en bespreking van de resultaten van het project tot op dat moment
- Samenvatting voor handboek 'Richtlijn Herstel & Beheer'

3.1.8 Deelresultaat 8: Vervolg monitoring en totaaloverzicht behaalde resultaten

In deze fase vinden circa vier monitoringsrondes plaats. De stabiliteit van de metaalprecipitaten op de lange duur, na afronding van de nu voorziene werkzaamheden, wordt geëxtrapoleerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de veldwaarnemingen en de tools die in het kader van het BOS zware metalen en het project PT04-110 zijn/worden ontwikkeld. De afbraak van de andere verontreinigingen zal in de rapportage kort beschreven worden.

3.1.9 Deelresultaat 9: Eindrapportage

In de beknopte rapportage worden de volgende onderwerpen behandeld: bodemopbouw, geohydrologie, verontreinigingssituatie, beschrijving laboratoriumtest, ontwerp van de praktijktest en monitoring, relevante gegevens uit de uitvoering, resultaten monitoring, beantwoorden vragen doelstelling en onderzoeksvragen projectvoorstel, vertaling van locatiespecifiek naar landelijke toepasbaarheid, conclusie, samenvatting in format van 'Richtlijn Herstel en Beheer (Water)bodemkwaliteit'.

3.2 Uitgevoerde werkzaamheden

3.2.1 Algemeen

Op 2 september 2004 heeft de eerste consortiumvergadering plaatsgevonden met alle consortiumpartners bij de gemeente Arnhem. Tijdens deze consortiumvergadering is het plan van aanpak zoals hierboven besproken. In de navolgende paragrafen zullen de uitgevoerde werkzaamheden per deelresultaat worden beschreven. Omdat na deelresultaat 3 de opdrachtgever zich op basis van de bekende resultaten heeft teruggetrokken, worden alleen de deelresultaten 1, 2 en 3 besproken.

3.2.2 Deelresultaat 1: Opstellen projectplan

Op basis van overleg met het consortium heeft A&G Milieutechniek een projectplan opgesteld. Dit plan is op 16 december 2004 bij SKB ingediend en goedgekeurd.

3.2.3 Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie

Op de locatie aan de Schaapsdrift 51 is op 15 februari 2005 een nieuwe peilbuis 2001 geplaatst door A&G Milieutechniek bv met drie filterstellingen (3-4, 6-7 en 8-9 m -mv). De peilbuis is geplaatst in de buurt van de locatie waar in het verleden de hoogste concentraties aan zware metalen zijn aangetroffen (peilbuis 22 (3-4 m -mv) concentraties aan nikkel 32.000 µg/l, koper 1.000 µg/l, zink 180 µg/l). Tijdens het plaatsen van de peilbuis zijn steekbusmonsters genomen ten behoeve van de laboratoriumexperimenten. De locatie van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 4. Op 1 maart 2005 is het grondwater via deze filters bemonsterd op zware metalen, CKW, minerale olie en cyanide en tevens het grondwater uit een aanwezige peilbuis uit eerder onderzoek (peilbuis 22/307 3-4 m -mv).

De grondanalyses van de grond die vrijkwam bij de boring van peilbuis 2001 zijn uitgevoerd door het door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde chemisch en biologisch laboratorium van centrum Bodem van de Wageningen Universiteit. Op 22 februari 2005 heeft Tauw het grondwater uit de drie filters van peilbuis 2001 en het grondwater uit peilbuis 22/307 bemonsterd. De locatie van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 3 en 4. Alle grondwateranalyses zijn uitgevoerd door het door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde milieulaboratorium van Tauw Laboraties cv.

Aangezien de concentraties aan verontreinigingen in de nieuwe peilbuizen relatief laag bleken te zijn, is een overleg geweest op 8 april 2005 met een gedeelte van het consortium. Tijdens deze vergadering is besloten om nog aanvullend bodemonderzoek uit te voeren naar de aanwezigheid van de zware metalen in het grondwater stroomafwaarts van de peilbuizen 2001 en 22/307. Daarnaast is besloten om parameters in de grond en het grondwater te bepalen om uit te zoeken of de zware metalen mogelijk natuurlijk worden vastgelegd en wat de retardatiefactor is van de zware metalen.

Op 13 mei 2005 zijn voor het aanvullende bodemonderzoek drie peilbuizen stroomafwaarts van de peilbuizen 2001 en 22/307 tot 4,5 m -mv geplaatst (peilbuizen 2002, 2003 en 2004). De locatie van de nieuw geplaatste peilbuizen is weergegeven in bijlage 4. Tijdens het plaatsen van de peilbuizen zijn grondmonsters genomen van 2,5-4,5 m -mv. De boorprofielen van de boringen zijn opgenomen in bijlage 5. De grondmonsters zijn geanalyseerd op organische stof en lutumgehalten door het door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde milieulaboratorium van Tauw Laboratories cv. Daarnaast is het Fe/Al oxidengehalte bepaald middels oxalaatextractie. Op 20 mei 2005 is het grondwater uit de filters bemonsterd en geanalyseerd op vijf zware metalen (Ni, Cu, Pb, Zn en Cr) en op CKW. Het grondwater uit peilbuis 2003 is tevens geanalyseerd op DOC. Naast de bodemsamenstelling is de concentratie aan DOC van belang bij de bepaling van de potentie van natuurlijke vastlegging.

Op basis van het aanvullend onderzoek en een consortiumvergadering op 16 juni 2005 is verder stroomafwaarts op 26 augustus 2005 het grondwater uit nog zeven peilbuizen bemonsterd door Tebodin. Het gaat hierbij om de peilbuizen 19, 38, 41 (drie filters), 73 en 287. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 3. Deze analyses zijn uitgevoerd door het door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde milieulaboratorium van Alcontrol Laboratories.

Nadat de resultaten van het aanvullende onderzoek bekend waren, zijn de laboratoriumproeven bij de Wageningen Universiteit in de week van 29 september 2005 ingezet. Onderstaand is een korte uitleg van de uitgevoerde werkzaamheden opgenomen. In bijlage 6 is een rapportage van de uitgevoerde werkzaamheden opgenomen.

Voor de kolomexperimenten is gebruik gemaakt van grond die is vrijgekomen bij de boring 2001 (zie bijlage 4) op een diepte van 6,6 m -mv. Voor het grondwater dat tijdens de kolomproeven is gebruikt, is driemaal grondwater uit peilbuis 2004 (diepte: 3,5-4,5 m -mv) gehaald en éénmaal grondwater uit peilbuis 2001 (diepte: 8-9 m -mv). Ten behoeve van de laboratoriumtesten zijn drie kolommen ingezet. De grond van een diepte van 6,6 m -mv en locatie 2001 werd dus het grootste deel van de tijd doorstroomd met grondwater van een andere diepte en een andere sublocatie. Dit is gedaan omdat de nikkelconcentratie alleen in het grondwater van peilbuis 2004 voldoende hoog was. Een belangrijk verschil met peilbuis 2001 is de hogere pH (6,6 versus 5,2).

Tijdens het onderzoek waren vijf verschillende fasen waarbij verschillende toevoegingen aan het grondwater zijn toegevoegd te onderscheiden. In tabel 3.1 zijn de behandelingen in de verschillende kolommen en fasen weergegeven. Tijdens fase 0 (incubatie) is vier dagen lang in alle drie de kolommen grondwater uit peilbuis 2004 toegevoegd. Na vier dagen is aan de kolommen I en II grondwater met melasse en sulfaat toegevoegd. Aan kolom II zijn tevens sulfaatreducerende bacteriën toegevoegd. Kolom III bleef alleen doorspoeld met grondwater uit peilbuis 2004. Dit om te controleren of ook metaalsulfide precipitatie optreedt zonder toevoegingen. Na vijftig dagen is aan alle drie de kolommen wederom alleen grondwater uit peilbuis 2004 toegevoegd. Metaalsulfide precipitatie was in de kolommen op gang gekomen en na 50 dagen is bepaald of het proces reversibel is. Na 64 dagen (114 dagen na start) is de pH van het grondwater uit peilbuis 2004 verlaagd naar een pH van 5 omdat dit de pH van het grondwater is ter plaatse van locatie waar de grond vandaan komt. Na 70 dagen is wederom de stimulering van metaalsulfide precipitatie op gang gebracht door aan de kolommen I en II extra melasse en sulfaat aan het grondwater van peilbuis 2004 (verlaagd tot een pH van 5) toe te voegen. Na 54 dagen is opnieuw de irreversibiliteit bepaald door grondwater uit peilbuis 2001 met een pH van 5 toe te voegen.

Tabel 3.1 Overzicht verschillende percolatiefasen bij de verschillende kolommen

Fase nr	0	1	2	3	4	5
Fase omschrijving	Incubatie met grondwater	Stimulering metaalsulfide precipitatie	(Ir)reversibiliteit	Percolatie met grondwater pH 5	Stimulering metaalsulfide precipitatie pH 5	(Ir)reversibiliteit pH 5
Startdag	-4	0	50	114	184	238
Kolom I		Grondwater pb 2004 + melasse + sulfaat			Grondwater pb 2004 en pH 5 + melasse + sulfaat	Grondwater pb 2001 (lage Ni concentratie) en pH 5
Kolom II (toevoeging SRB)*	Grondwater pb 2004		Grondwater pb 2004	Grondwater pb 2004 en pH 5		
Kolom III (referentie)		Grondwater pb 2004			Grondwater pH 5	

* SRB = sulfaatreducerende bacteriën

Op basis van de eerste resultaten van de kolomproeven (na fase 1 en 2) bleken aanvullende laboratoriumproeven noodzakelijk te zijn bij een lagere pH. In overleg met SKB is besloten deze aanvullende werkzaamheden uit te voeren. Deze aanvullende werkzaamheden zijn eveneens beschreven in de rapportage in bijlage 6.

3.2.4 Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek

De Wageningen Universiteit heeft de eindrapportage van het laboratoriumonderzoek afgegeven op 3 november 2006.

4 Resultaten en interpretatie

4.1 Deelresultaat 1: Opstellen projectplan

De uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven in het projectplan ('In-situverwijdering van zware metalen uit grondwater middels ISMP in combinatie met de afbraak van gechloroerde koolwaterstoffen, Projectplan SKB, PT04.105, A&G Milieutechniek bv, rapportnummer 517/1222/TK/avd d.d. 16 december 2004).

4.2 Deelresultaat 2: Conclusie over geschiktheid locatie

Onderstaand worden per paragraaf de belangrijkste resultaten van de verschillende onderzoeken besproken. De volledige resultaten van deze onderzoeken zijn opgenomen in de bijlagen 4-10. Maar eerst zal worden ingegaan op de interpretatiemethodiek van de resultaten volgens de Wet bodembescherming.

4.2.1 Interpretatiemethodiek van de resultaten

De analyseresultaten van de grond en het grondwater zijn getoetst aan de STI-waarden uit de Wet bodembescherming (Wbb). Dit toetsingskader bestaat uit **Streefwaarden**, **Toetsingswaarden** voor nader onderzoek en **Interventiewaarden**. Dit zijn concentratieniveaus waaraan de analyseresultaten zijn getoetst. De betekenis van de waarden en de wijze van weergave in de tabellen 4.1 en 4.2, zijn vermeld in het onderstaande tabel.

Tabel 4.1 Overzicht toetsingskader Wbb

Concentratieniveau voor een stof	Betekenis	Weergave in tabellen
\leq S-waarde (of < detectielimiet)	Niet verontreinigd	-
$>$ S-waarde \leq T-waarde	Licht verontreinigd (geen <i>duurzame bodemkwaliteit</i> voor de functionele eigenschappen van de bodem voor mens, dier en plant)	+
$>$ T-waarde \leq I-waarde	Nader bodemonderzoek noodzakelijk	++
$>$ I-waarde	Ernstige bodemverontreiniging	+++

De STI-waarden voor grond zijn afhankelijk van het bodemtype hetgeen wordt bepaald door het gehalte aan **Humus** (organische stof) en/of **Lutum** (kleifractie). In bijlage 7 zijn de locatiespecifieke toetsingswaarden opgenomen.

4.2.2 Karakterisatie van de locatie

Voor de karakterisatie van de locatie zijn de grond die is vrijgekomen bij de boring van peilbuis 2001 en het grondwater uit de drie filters van 2001 en peilbuis 307/22 geanalyseerd. In tabel 4.2 en 4.3 zijn de analyseresultaten voor respectievelijk het grondwater en de grond gerapporteerd. In bijlage 8 is de rapportage opgenomen.

Tabel 4.2 Analyseresultaten grondwater ($\mu\text{g/l}$) en interpretatie

Peilbuis	22	2001	2001	2001
Filterdiepte (m -mv)	(3-4)	(3-4)	(6-7)	(8-9)
METALEN				
koper (Cu)	5	- < 2	- 14	- 3,0
nikkel (Ni)	600	+++ 650	+++ 85	+++ < 5
zink (Zn)	8	- 24	- 120	+ 13
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN				
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	6,1	+ 25	+++ n.a.	n.a.
tri(chlooretheen)	30	+ 29	+ 0,3	- < 0,1
tetrachl.etheen (per)	7,1	+ 6,6	+ 0,8	+ < 0,1
OVERIGE STOFFEN				
minerale olie (C10-C40)	< 50	- 2800	+++ < 50	- < 50
totaal cyanide	6	- 29	+ < 2	- < 2
pH (-)	5,8	6,1	5,2	6,7
EC ($\mu\text{S/cm}$)	396	488	310	447

n.a.: niet aantoonbaar

Tabel 4.3 Analyseresultaten grond (mg/kg d.s.) en interpretatie

Monsteromschrijving 2001	2001	
Diepte (m -mv)	(5,0)	(6,6)
Lutum (%)	3,0	3,0
Humus (%)	2,0	2,0
METALEN (mg/kg)		
koper (Cu)	1,67 + 0,43	- 2,35 + 0,04 -
ijzer (Fe)	269,16 + 4,25	172,29 + 2,48
nikkel (Ni)	4,32 + 0,47	- 2,36 + 0,00 -
zink (Zn)	1,6	- 2,93 + 0,06 -

Uit de analyseresultaten in tabel 4.2 blijkt dat in de voormalige bron (peilbuizen 2001 en 22/307) te weinig verontreiniging in het grondwater aanwezig is om de proefsanering uit te voeren. Van de zware metalen is in de peilbuizen 2001 en 22/307 alleen nikkel in het grondwater nog in een concentratie boven de interventiewaarde aangetroffen (op een diepte van 3-4 m -mv). De concentratie aan nikkel is circa 50x lager dan in 1994 voor het laatst is gemeten. Op een diepte van 3-4 m -mv worden de hoogste concentraties aan CKW gemeten. De concentraties aan Tri en Per zijn echter te laag om gedurende een proefsanering een duidelijke afname te zien in de concentraties. Naast CKW en zware metalen worden in peilbuis 2001 (3-4 m -mv) sterk verhoogde (> I-waarde) concentraties aan minerale olie gemeten en licht verhoogde (> S-waarde) concentraties aan cyanide. De aanwezigheid aan cyanide en minerale olie in het proefsaneringsgebied is echter niet gewenst omdat voor de sanering van cyanide en minerale olie juist zuurstof nodig is voor afbraak (in tegenstelling tot ISMP in combinatie met natuurlijke afbraak van CKW). Op basis van de resultaten in tabel 4.2 en bovenstaande interpretatie is besloten stroomafwaarts nog enkele peilbuizen te plaatsen.

Uit de analyseresultaten in tabel 4.3 blijkt dat geen grondverontreiniging met de zware metalen koper, nikkel en zink aanwezig is ter plaatse van boring 2001.

4.2.3 Aanvullend bodemonderzoek naar de verontreinigingssituatie op de locatie

Voor het aanvullend bodemonderzoek zijn drie nieuwe peilbuizen (2002, 2003 en 2004) met filterstelling 3,5-4,5 m -mv geplaatst. Van de grondmonsters op een diepte van 3 tot 4 m -mv zijn twee mengmonsters gemaakt en geanalyseerd op verschillende parameters. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.4. Tevens is het grondwater uit de peilbuizen bemonsterd en geanalyseerd op zware metalen en CKW. Deze resultaten zijn opgenomen in tabel 4.5. In bijlage 9 is de rapportage van het aanvullend bodemonderzoek opgenomen.

Tabel 4.4 Analyseresultaten grond (mg/kg d.s.) en interpretatie

Monsteromschrijving	2002+2003+2004	2002+2003+2004
Diepte (m -mv)	(3-3,5)	(3,5-4,5)
Lutum (%)	1,0	1,0
Humus (%)	0,3	0,3
aluminium (Al-ox) (mmol/kg Ds)	3	3
ijzer (Fe-ox) (mmol/kg Ds)	1	1
calciumcarbonaat (%Ds)	<2,0	<2,0
fractie < 2 um (%Ds)	<1	<1
gloeirest (%Ds)	99,7	99,7

Tabel 4.5 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	2002	2003	2004
Filterdiepte (m -mv)	(3,5-4,5)	(3,5-4,5)	(3,5-4,5)
METALEN			
koper (Cu)	<4,5	- <6	- <2
nikkel (Ni)	800	+++ 1300	+++ 1700
zink (Zn)	45	- 19	- 60
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN			
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	20	++ 14	++ 26
tri(chlooretheen)	160	+ 50	+ 260
tetrachl.etheen (per)	8,6	+ 7,5	+ 20
OVERIGE STOFFEN			
DOC (mg/l)		4,5	
pH (-)	6,4	6,5	6,6
EC (µS/cm)	550	570	550

Uit de resultaten in tabel 4.5 blijkt dat op 10 en 24 m afstand van de voormalige bron een tweemaal hogere concentratie aan nikkel is aangetroffen dan de concentraties die gemeten zijn in peilbuis 2001 en 22/307. De aangetroffen concentraties aan nikkel in de pluim zijn hoger dan de concentraties die in het verleden in de pluim zijn aangetroffen. Op basis van de resultaten lijkt het erop dat nikkel zich stroomafwaarts van de bron heeft verspreid. De concentraties aan nikkel in de pluim zijn in principe hoog genoeg om een afname te zien tijdens de proefsanering met ISMP.

Er is echter alleen sprake van de aanwezigheid van nikkel, terwijl in het projectvoorstel is gesproken over het uitvoeren van ISMP op meerdere zware metalen.

De concentraties aan Per en Tri zijn in peilbuis 2004 (3,5-4,5 m -mv) licht verhoogd waargenomen. De concentraties zijn echter in verhouding met de waargenomen metingen in 1993 sterk afgenomen (peilbuis 16; 1.100 µg/l Tri, 56 µg/l Per).

De lagere concentraties aan zware metalen in de bron kunnen mogelijk worden verklaard door het niet meer naleveren van de bron in de onverzadigde zone. Door de bouw van de loods op de Schaapsdrift 51, tien jaar geleden, kan geen regenwater meer infiltreren en zorgen voor nalevering van zware metalen vanuit de verontreinigde toplaag aan het grondwater. De verwachting is daarom dat (alleen) de metalen die circa tien jaar geleden in opgeloste vorm aanwezig waren, zich gedeeltelijk stroomafwaarts hebben verplaatst. Met behulp van de parameters in tabel 4.4 en het BOS-NV is de retardatiefactor berekend. Op basis hiervan is bepaald waar de hoge concentraties aan zware metalen zich kunnen bevinden. Op deze locaties zijn in een volgend aanvullend onderzoek nieuwe grondwatermonsters genomen (zie paragraaf 4.2.4).

Op basis van de grond- en grondwaterresultaten is tevens de potentie van natuurlijke vastlegging bepaald. Uit de parameters van tabel 4.4 blijkt dat de bodemsamenstelling arm is. Hierdoor is de verwachting dat natuurlijke vastlegging minder kansrijk is. Het is echter van belang hierbij ook naar de vracht te kijken. Wanneer wordt uitgegaan van een concentratie van 1.000 µg/l in een gebied van 1.200 m² met een dikte van 1 m en een poriefactor van 0,3 kan een vracht worden berekend van 400 gram nikkel. Met behulp van het BOS-NV systeem is berekend dat zonder nalevering vanuit de vaste fase voor de vastlegging van nikkel een bodemvolume nodig is van 330 m³. Hierbij daalt de nikkelconcentratie in het grondwater tot de T-waarde. Dit zou betekenen dat de pluim nog circa tien meter uitbreidt en dat dan alle zware metalen zijn vastgelegd (in het geval dat geen nalevering vanuit de pluim of de bron plaatsvindt). Uit bovengenoemde globale berekening blijkt dat de vracht aan nikkel niet extreem hoog is, waardoor natuurlijke vastlegging een mogelijke saneringsvariant is (ook aangezien de aangetroffen concentraties lager zijn dan de concentraties in de bron in het verleden). Nadeel van natuurlijke vastlegging is wel dat dit een langdurige monitoring vereist. Verder is het aannemelijk dat nalevering (desorptie) van nikkel vanuit de bodem optreedt, waardoor de uitbreiding van de pluim groter zal zijn dan nu is berekend.

Op basis van de resultaten zijn drie opties voor de locatie van het demonstratieproject aan het consortium voorgelegd (zie bijlage 9). Tijdens het consortiumoverleg op 8 april 2005 is besloten nog aanvullend grondwateronderzoek stroomafwaarts van 2004 uit te voeren om te bepalen of injectie van substraat in peilbuis 2004 de beste optie is.

4.2.4 Aanvullend grondwateronderzoek naar de verontreinigingssituatie stroomafwaarts van de geselecteerde locatie voor het demonstratieproject

Door Tebodin zijn op 26 augustus 2005 de peilbuizen 19, 38, 41 (3 filterstellingen), 73 en 287 bemonsterd. In de tabellen 4.6 en 4.7 zijn de analyseresultaten opgenomen. De rapportage van Tebodin is opgenomen in bijlage 10.

Tabel 4.6 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	19	38	41	41	41
Filterdiepte (m -mv)	(3,0-4,0)	(3,0-4,0)	(14-15)	(9,0-10,0)	(4,0-5,0)
METALEN					
koper (Cu)	<5	- <5	- <5	- <5	- <5
nikkel (Ni)	29	+ <10	- <10	- 22	+ 120
zink (Zn)	<20	- <20	- <20	- <20	- <20
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN					
1,2-dichlooretheen (c)	39	+++ <20	- 39	+++ 0,33	+ 0,19
tetrachl.etheen (per)	220	+++ 14.000	+++ 35	++ 41	+++ 16
tri(chlooretheen)	400	++ 81	+ 200	+ 3,7	- 2,5
OVERIGE STOFFEN					
minerale olie (C10-C40)	<50	- <50	- <50	- <50	- <50

Tabel 4.7 Analyseresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie

Peilbuis	73	287
Filterdiepte (m -mv)	(3,25-4,25)	(2,5-4,5)
METALEN		
koper (Cu)	<5	- <5
nikkel (Ni)	<10	- <10
zink (Zn)	25	- <20
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN		
1,2-dichlooretheen (c)	34	+++ 0,37
tetrachl.etheen (per)	880	+++ 11
tri(chlooretheen)	130	+ 4,8
OVERIGE STOFFEN		
minerale olie (C10-C40)	<50	- <50

Uit de resultaten blijkt dat stroomafwaarts van peilbuis 2004 zich geen hoge concentraties aan zware metalen in het grondwater bevinden (met uitzondering van de verhoogde nikkelconcentratie in peilbuis 41 (4-5 m -mv). Er blijkt echter wel een sterk verhoogde concentratie aan Per aanwezig te zijn stroomafwaarts van peilbuis 2004.

4.2.5 Laboratoriumonderzoek GO/NO GO veldtest

Met grond die is vrijgekomen bij boring 2001 en grondwater uit peilbuis 2004 (maximale nikkelconcentratie) zijn drie kolomproeven ingezet. In bijlage 6 is de volledige rapportage van de kolomproeven opgenomen.

Na toediening van melasse komt in de kolommen I en II de sulfaatreductie snel op gang, enting met sulfaatreducerende bacteriën (zoals uitgevoerd in kolom II) is blijkaar geen harde randvoorwaarde. De referentiekolom III blijft aëroob. Desondanks wordt nikkel in alle kolommen vastgelegd. Uit aanvullend onderzoek bleek dat vastlegging van nikkel naar alle waarschijnlijkheid heeft plaatsgevonden in de vorm van carbonaten, hetgeen samenhangt met de relatief hoge pH en aanwezigheid van opgelost (bi)carbonaat. In de laboratoriumopstelling blijkt de pH in het influent op te lopen tot circa 8,2, de effluent-pH waarden zijn rond de 7,3. In het veld is de pH tussen 5,2 en 6,6, de pH in de laboratoriumproeven is dus aanzienlijk hoger dan in het veld. Uit schudproeven bij pH 8,2 blijkt dat nikkel in sterke mate wordt vastgelegd, bij pH 5 treedt nauwelijks binding op. Uit modelberekeningen blijkt dat nikkelfcarbonaat stabiel is dan nikkelsulfide bij pH-waarden van globaal 7,5 en hoger.

De afwijking van de pH in het veld en de pH in het laboratorium is als volgt te verklaren:

- In het laboratorium ontwijkt gedurende de opslag CO₂ uit het grondwater. Hierdoor stijgt de pH in het opslagvat. Deze reactie vindt plaats omdat de atmosferische CO₂-spanning veel lager is dan de CO₂-spanning in de grond
- Het bovengenoemde effect kan versterkt worden doordat het grondwater van een andere diepte/sublocatie komt dan de grond

Op 20 april 2006 heeft een overleg plaatsgevonden met het gehele consortium. Tijdens dit overleg is besproken dat de gemeente Arnhem twijfels heeft over de voortzetting van het project. Dit omdat de gemeente twee argumenten had om aan het project deel te nemen: het bepalen van de saneringsmethodiek op de locatie en het bijdragen aan het als maatschappelijk nuttig ervaren SKB-project. De locatie Schaapsdrift begint echter inmiddels in een fase te komen dat er besluiten genomen moeten worden over de saneringsmethodiek. Er is nog onvoldoende informatie beschikbaar om te kiezen voor ISMP. Het doel van de veldproef was om voldoende informatie te geven zodat ISMP een onderdeel van de full-scale aanpak kan zijn. Als er geen reële kans is dat ISMP toegepast kan worden bij een geslaagde veldproef, dan is het minder zinvol om de veldproef uit te voeren. Daarnaast is tijdens het overleg de Go of No Go van deelresultaat 2 bepaald.

Aan de hand van de resultaten wordt besloten dat het wenselijk is om eerst aanvullend laboratoriumonderzoek uit te voeren voordat het besluit voor de Go of No Go genomen wordt. De reden daarvoor is dat de resultaten van de laboratoriumproeven bij een lagere pH essentieel zijn voor het vormen van een oordeel over de kansrijkheid van de veldproef met ISMP.

Op 26 mei 2006 heeft de gemeente Arnhem besloten om niet verder te gaan met het ISMP project op de Schaapsdrift. De overwegingen hierbij zijn:

- De concentraties aan zware metalen in het grondwater zijn de laatste tien jaar sterk afgenomen, waarmee het 'probleem' ook is gereduceerd, een natuurlijke binding van nikkel is niet uitgesloten
- Op basis van de resultaten van de laboratoriumproef op dat moment, twijfelt de gemeente aan de irreversibiliteit van de techniek op de locatie en daarmee aan de duurzaamheid ervan
- Er is daarom nog onvoldoende informatie beschikbaar om te kiezen voor ISMP, terwijl er wel besluiten moeten worden genomen over de saneringstechniek: het project moet door, mede vanwege de urgentiebeschikking, en er zijn meerdere partijen betrokken
- ISMP legt beperkingen op aan chemische oxidatie, terwijl in de toekomst wellicht nog chemische oxidatie van de grondverontreinigingen van olie en cyanide gaat plaatsvinden (toelichting: chemische oxidatie kan niet worden uitgevoerd op een deellocatie die al met ISMP is behandeld omdat hierdoor de sulfiden ook worden geoxideerd. Het is wel mogelijk om andere deellocaties te behandelen, waarbij een eventuele instroom van oxidatoren in het ISMP-gebied door substraatinjectie geneutraliseerd kan worden)
- Door de hoge grondwaterstromingssnelheid is mogelijk veel en vaak substraatinjectie nodig of dubbele bioschermen, wat de techniek financieel minder aantrekkelijk maakt¹
- De geohydrologische situatie ter plaatse van de Schaapsdrift is grillig:
 - Hoge grondwatersnelheid
 - Heterogene (gelaagde) bodemopbouw, waardoor de kans groot is dat voorkeursstroming optreedt

Hierdoor is het effect van een substraatinjectie moeilijk te voorspellen. Daarnaast kan de grillige geohydrologische situatie nadelig zijn voor de instandhouding van metaalprecipitatie. Door deze onzekerheden is het invulling geven aan een eventueel nazorgplan, en de intensiteit van deze nazorg (bepaalde condities die ter plaatse dienen te worden gehandhaafd om ISMP een langdurig succes te laten worden) vooraf moeilijk in te schatten

- Tijdens het ISMP-project waren de saneringsaanpak, de juridische situatie en de toekomstplannen voor het gebied nog aan verandering onderhevig. Idealiter zou je, voordat je aan een pilotproject begint, precies willen weten hoe de sanering wordt aangepakt en zekerheid willen hebben over de juridische situatie en het toekomstbeeld van de locatie

¹ Op het moment van beslissing was de mate van stabiliteit nog onvoldoende duidelijk. Uit aanvullend onderzoek blijkt een langdurige stabiliteit, zie 4.3.

Op basis van de terugtrekking van de gemeente Arnhem is besloten om de veldproef niet te gaan uitvoeren (No Go). SKB heeft aangegeven wel geïnteresseerd te zijn in de verdere uitvoering van de laboratoriumexperimenten bij een lagere pH.

4.3 Deelresultaat 3: Rapportage laboratoriumonderzoek

De laboratoriumproef is voortgezet door de kolommen te voeden met influent met pH 5. Dit omdat tijdens aanvullend onderzoek voor deelresultaat 2 bleek dat de pH grote invloed kan hebben op het wel of niet vormen van metaalsulfiden of andere precipitaten. Omdat de grond die gebruikt is voor de kolomexperimenten normaal werd doorstroomd met grondwater met een pH van 5,2 (in plaats van een pH van 6,6, die tijdens de proef verder oploopt) is besloten om de proef voort te zetten met grondwater met een lagere pH (vanaf fase 3 in tabel 3.1). Hiervoor is de pH van het grondwater gecorrigeerd naar een waarde van 5.

Gedurende fase 4 als bedoeld in tabel 3.1 is opnieuw metaalsulfideprecipitatie gestimuleerd door melasse en sulfaat toe te voegen. In de referentiekolom III treedt nu geen vastlegging meer op maar als melasse wordt toegevoegd aan de kolommen I en II is de verwijdering van nikkel vrijwel volledig.

In fase 5 als bedoeld in tabel 3.1 is de irreversibiliteit getest door de kolommen te voeden met relatief schoon, aëroob grondwater met een pH van 5. De redoxpotentiaal blijft gedurende deze periode stabiel op circa -200 mV en er treedt geen mobilisatie op van nikkel. De irreversibiliteit is hiermee in elk geval voor drie maanden aangetoond. De snelheid in het laboratorium (circa 1 porievolume/dag) is globaal tweemaal zo hoog als in het veld. Aangenomen wordt dat de binding in een kolom van 9 cm lengte onder veldcondities ook drie maanden stabiel is en dat toevoer van oxidatoren alleen via horizontale stroming optreedt. Na een jaar is in het veld dan een zone van 36 cm geoxideerd. In de praktijk is de lengte van de verontreinigingsvlek 50 meter. Als de volledige zone een zelfde hoeveelheid substraat krijgt als in de laboratoriumkolom en een zelfde sulfaatreductie optreedt, wordt berekend dat het 139 jaar duurt voordat deze zone volledig is geoxideerd. Mobilisatie van metalen zal echter al eerder optreden. Er wordt vanuit gegaan dat de immobilisatie in stand blijft zolang de helft van de zone sulfaatreducerend blijft. In dat geval is de stabiliteit dus voor bijna 70 jaar verzekerd.

Een andere benadering is om te berekenen hoe lang het duurt voordat de gevormde sulfiden zijn geoxideerd. Deze berekening vindt plaats onder de volgende aannamen:

- De lengte van de verontreinigde zone is 50 meter
- Oxidatie van de sulfiden vindt plaats door zuurstof en nitraat in het grondwater. Er vindt alleen aanvoer van de oxidatoren plaats in horizontale richting. Aangezien de locatie hoofdzakelijk is bebouwd en verhard, zal er weinig zuurstofrijk regenwater infiltreren. Diffusie van zuurstof kan op de grens van de onverzadigde zone nog wel een extra bijdrage leveren, waardoor de stabiliteit in het bovenste grondwater lager kan zijn dan berekend
- De geoxideerde zone verplaatst zich als een front door de bodem

-
- In het grondwater is 3 mg/l zuurstof aanwezig (schatting) en 12 mg/l nitraat-N (meting Tauw in grondwater 3,5-4,5 meter peilbuis 2004)
 - De oxidatoren reageren alleen met de gevormde sulfiden. Dit leidt tot een onderschatting van de stabiliteit, aangezien ook oxidatie van organische stof (restanten substraat, bacterie-materiaal) en ijzer zal optreden
 - Uit de analyseresultaten van zwavel in fase 1 van het laboratoriumonderzoek wordt afgeleid dat circa 370 mg sulfide/kg natte grond is gevormd. Overigens is de hoeveelheid sulfide die wordt gevormd tot op zekere hoogte naar keuze, afhankelijk van de hoeveelheid substraat en sulfaat die worden toegevoegd

Onder de bovengenoemde aannamen duurt het 33 jaar voordat alle gevormde sulfiden zijn geoxideerd. Als opnieuw wordt verondersteld dat de helft van de locatie sulfaatreducerend moet blijven, is de stabiliteit voor 16,5 jaar verzekerd. Waarschijnlijk onderschat deze berekeningswijze de stabiliteit voor het wat diepere grondwater. Een directe vertaling van de kolomproef naar het veld leidt immers tot een stabiele periode die aanzienlijk langer is. Bovendien is het mogelijk om door een hogere substraatdosering een langere stabiliteit te bewerkstelligen.

De berekeningen zijn gebaseerd op de resultaten in het laboratorium. De omrekening van de laboratoriumproef naar de praktijk kan ook tot een *overschatting* van de stabiliteit leiden:

- In de kolomproef is sprake van een optimale menging van grondwater (met substraat) en grond, in de praktijk is de bodem heterogeen en kan voorkeursstroming optreden
- De hoeveelheid substraat per eenheid grond is in het laboratorium optimaal (er vindt geen verdunning of afvlakking plaats zoals in de bodem wel plaats zal vinden)

Anderzijds kan als gevolg van de proefopzet (contact met de atmosfeer) het grondwater dat de kolomproef instroomt aërober zijn dan in het veld. Verder zijn de uitgangspunten bij de oxidatieberekening ongunstig. Al met al is het wel aannemelijk dat een stabiliteit van tientallen jaren op een aërobe locatie in de praktijk haalbaar is.

Verder is duidelijk dat een gedeeltelijke oxidatie van de sulfiden niet meteen leidt tot mobilisatie van metalen. Het is immers aannemelijk dat na drie maanden toevoer van aëroob grondwater (fase 5 uit tabel 3.1) nabij de instroomopening van de kolom een geoxideerd laagje is ontstaan, maar desondanks is geen nikkel gemobiliseerd.

Na afloop van de experimenten zijn de nikkelgehalten in het kolommateriaal laagsgewijs bepaald. Hieruit blijkt dat in kolom II meer nikkel is verwijderd dan in kolom I. Het lijkt er daarom op dat enting met sulfaatreducerende bacteriën gunstig is voor de vorming van nikkelsulfide, ondanks dat de redoxcondities in de kolommen die met melasse zijn gevoed vergelijkbaar zijn.

.....

5 Discussie, conclusies en aanbevelingen

5.1 Werking in-situ metaal precipitatie (ISMP) op de locatie Schaapsdrift

In-situ metaal precipitatie (ISMP) lijkt een goede mogelijkheid om nikkel uit het grondwater te verwijderen op de locatie Schaapsdrift. Door toediening van sulfaat en melasse neemt de redoxpotentiaal sterk af en wordt sulfaat onder anaërobe condities gereduceerd tot sulfide waarna nikkelsulfide precipitatie kan optreden. Hiervoor moet de pH echter wel onder de 7,3 liggen anders treedt nikkelcarbonaat vastlegging op. De nikkelconcentratie in het grondwater kan gereduceerd worden met meer dan 99 %. De irreversibiliteit is middels de kolomexperimenten aangetoond voor minimaal drie maanden. De pH op de locatie is duidelijk lager dan 7,3 waardoor in de praktijk waarschijnlijk geen vorming van nikkelcarbonaat optreedt. De nikkelcarbonaat vastlegging is sterk reversibel (pH-afhankelijk) en is daarom voor de onderhavige locatie geen gewenste vorm van vastlegging.

5.2 Uitvoering veldproef locatie Schaapsdrift

Op de locatie 'Schaapsdrift' is geen veldproef uitgevoerd. Dit omdat de gemeente Arnhem zich uit het consortium heeft teruggetrokken met de redenen:

- De concentraties aan zware metalen in het grondwater zijn de laatste tien jaar sterk afgenomen, waarmee het 'probleem' ook is gereduceerd, een natuurlijke binding van nikkel is niet uitgesloten
- Op basis van de resultaten van de laboratoriumproef op dat moment, twijfelt de gemeente aan de irreversibiliteit van de techniek op de locatie en daarmee aan de duurzaamheid ervan
- Er is daarom nog onvoldoende informatie beschikbaar om te kiezen voor ISMP, terwijl er wel besluiten moeten worden genomen over de saneringstechniek: het project moet door, mede vanwege de urgentiebeschikking, en er zijn meerdere partijen betrokken
- ISMP legt beperkingen op aan chemische oxidatie, terwijl in de toekomst wellicht nog chemische oxidatie van de grondverontreinigingen van olie en cyanide gaat plaatsvinden
- Door de hoge grondwaterstromingssnelheid is mogelijk veel en vaak substraatinjectie nodig of dubbele bioschermen, wat de techniek financieel minder aantrekkelijk maakt (de stabiliteit blijkt uiteindelijk mee te vallen, zie 5.4)
- De geohydrologische situatie ter plaatse van de Schaapsdrift is grillig:
 - Hoge grondwatersnelheid
 - Heterogene (gelaagde) bodemopbouw, waardoor de kans groot is dat voorkeursstroming optreedt

Hierdoor is het effect van een substraatinjectie moeilijk te voorspellen. Daarnaast kan de grillige geohydrologische situatie nadelig zijn voor de instandhouding van metaalprecipitatie. Door deze onzekerheden is het invulling geven aan een eventueel nazorgplan vooraf moeilijk in te schatten

-
- Tijdens het ISMP-project waren de saneringsaanpak, de juridische situatie en de toekomstplannen voor het gebied nog aan verandering onderhevig. Idealiter zou je, voordat je aan een pilotproject begint, precies willen weten hoe de sanering wordt aangepakt en zekerheid willen hebben over de juridische situatie en het toekomstbeeld van de locatie

5.3 Leerpunten

De verontreinigingssituatie op de locatie bleek in circa tien jaar drastisch te zijn gewijzigd, ondanks dat geen actieve saneringsmaatregelen zijn getroffen. Oorzaken hiervoor zijn waarschijnlijk:

- Bebouwing van een deel van de locatie, waardoor uitspoeling vanuit de verontreinigde toplaag is gestopt
- Natuurlijke vastlegging van metalen
- Verdunning door grondwaterstroming

Eenzijds wordt hiermee de noodzaak geïllustreerd om de verontreinigingssituatie na verloop van tijd te actualiseren, anderzijds illustreert dit de mogelijkheden van natuurlijke processen om een verontreiniging met metalen te saneren.

Voor laboratoriumonderzoek naar gestimuleerde vastlegging is een belangrijk aandachtspunt dat de pH bij de experimenten niet te veel mag afwijken van de veldcondities. Verder blijkt enting met sulfaatreducerende bacteriën gunstig voor de mate van sulfideprecipitatie, ondanks dat in een kolom zonder enting ook sulfaatreductie optreedt.

Het uittesten van een 'nieuwe' techniek is niet altijd te combineren met een lopende afweging van saneringsvarianten op een specifieke locatie. Als op redelijk korte termijn een beschikking moet worden afgegeven, kan er onvoldoende tijd zijn voor het uitvoeren van het onderzoek. De informatie vooraf is niet altijd voldoende (verandering in verontreinigingssituatie) en gaandeweg het project kunnen veranderingen optreden, zoals de bestemming van de locatie, snelheid van ontwikkelingen, aanpak van de sanering en dergelijke.

Geconcludeerd wordt daarom dat het combineren van een 'wetenschappelijke' proef en een praktijksituatie die in een saneringsplan beschikking moet uitmonden spanning kan opleveren in tijd en financiën en daardoor aanleiding kan geven tot het stopzetten van de proef.

5.4 Toepassingsmogelijkheden ISMP op andere locaties en aanbevelingen

Het laboratoriumonderzoek heeft opnieuw bevestigd dat met ISMP vergaande reductie van metaalconcentraties in het grondwater mogelijk is. Verder is gebleken dat instroom van aëroob grondwater geen belemmering hoeft te zijn voor de toepassing van ISMP.

Bij toepassing dient altijd aandacht te zijn voor de mogelijkheid dat naast sulfiden ook andere precipitaten gevormd kunnen worden. Hierbij zijn het carbonaatgehalte en de pH in het grondwater belangrijke parameters.

Wanneer tijdens een veldproef blijkt dat de pH door substraatinjectie verhoogd wordt moet worden nagegaan of hierbij andere precipitaten dan sulfiden worden gevormd en of deze stabiel zijn. Zoniet, dan kan het nuttig zijn om de pH in de bodem gedurende de substraatinjectie omlaag te brengen.

De toepassingsmogelijkheden van ISMP dienen goed te worden afgewogen tegen de alternatieven. Het gaat hierbij vaak om een (zeer langdurige) grondwaterbeheersing. Alle technieken hebben voor- en nadelen. Voordelen van ISMP zijn dat geen grondwater hoeft te worden onttrokken, geen waterzuivering noodzakelijk is en dat de kosten wellicht relatief laag zijn. Potentiële nadelen zijn:

1. de verontreiniging wordt alleen verplaatst (van het grondwater naar de vaste fase), niet verwijderd
2. Er is een risico op remobilisatie als in het grondwater oxidatoren aanwezig zijn

Ad 1.) Bij de onderzochte nikkelverontreiniging stijgt het gehalte in de vaste fase met slechts 0,4 mg/kg ds als wordt uitgegaan van injectie in de bron. Deze toename valt ruim binnen de range van natuurlijke achtergrondconcentraties.

Ad 2.) Zoals blijkt uit het laboratoriumonderzoek en de vertaling van de resultaten naar de praktijk, kunnen de gevormde sulfiden ook onder aërobe condities langdurig (tientallen jaren) stabiel zijn. Daarnaast is het de vraag welke concentraties uiteindelijk ontstaan. Als de oxidatie zeer geleidelijk verloopt, zullen lage concentraties ontstaan (< T-waarde), die geen risico's met zich meebrengen. Verder is er nog de optie om de substraatinjectie van tijd tot tijd te herhalen. Hoewel dit dus nazorg vereist, zijn minder inspanningen nodig dan bij een langdurige beheersing van het grondwater.

Op basis van de resultaten van de laboratoriumexperimenten blijkt dat ISMP een techniek is die kan worden toegepast. Daarom wordt voorgesteld een doorstart te maken van het onderhavige SKB-project op een andere locatie waar voldoende zware metalen verontreiniging aanwezig is. Uitvoering van een veldproef is van groot belang om inzicht te krijgen in aspecten als verspreiding van het substraat en stabiliteit van de gevormde sulfiden, onder realistische condities.



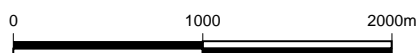
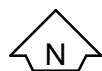
Bijlage

1

Regionale ligging locatie



© Topografische Dienst Nederland, Emmen



Opdrachtgever SKB	Schaal 1 : 40.000	Status Definitief
Project Arnhem, Schaapsdrift ISMP. en NA CKW	Formaat A4-Portrait	Projectnummer 4342065
Onderdeel Regionale ligging van de onderzoekslocatie	Dat. 9.7.2007 12:44 Getek. TDA Gec. mpm	Tekeningnummer 0



Tauw

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

Bijlage

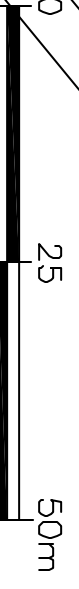
2

Ligging onderzoekslocatie



topografie

Legenda
 - - - - - locatiegrens



Opdrachtgever GEMEENTE ARNHEM	Bestand 1750	Status DEFINIEF
Project ARNHEM, SCHAPSDRIFT	Formaat A3	Projectnummer 3923649
Ontwerper TOPOGRAFIE	Datum 07-08-01	Tekeningnummer 103
	Opst.: JBV	
	Overz.: ROL	

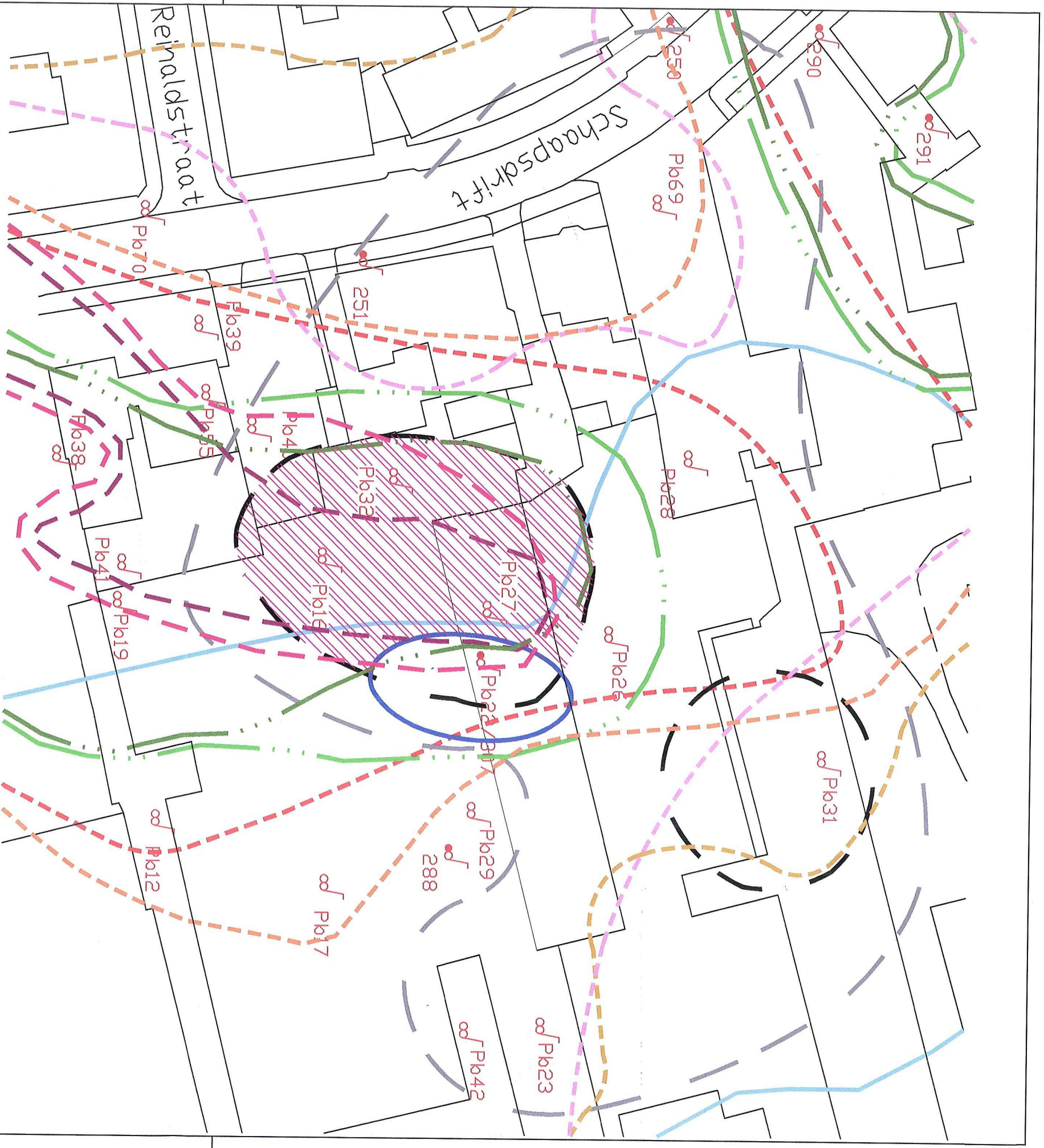


Postbus 53
 7400 AC Deventer
 Telefoon (0570) 89 89 11
 Fax (0570) 89 89 88

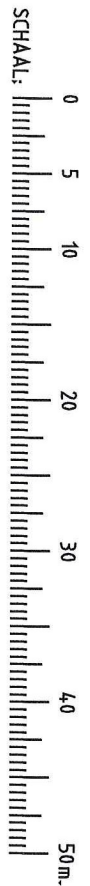
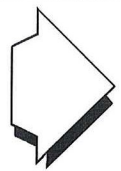
Bijlage

3

Ligging brongebieden en oude peilbuizen

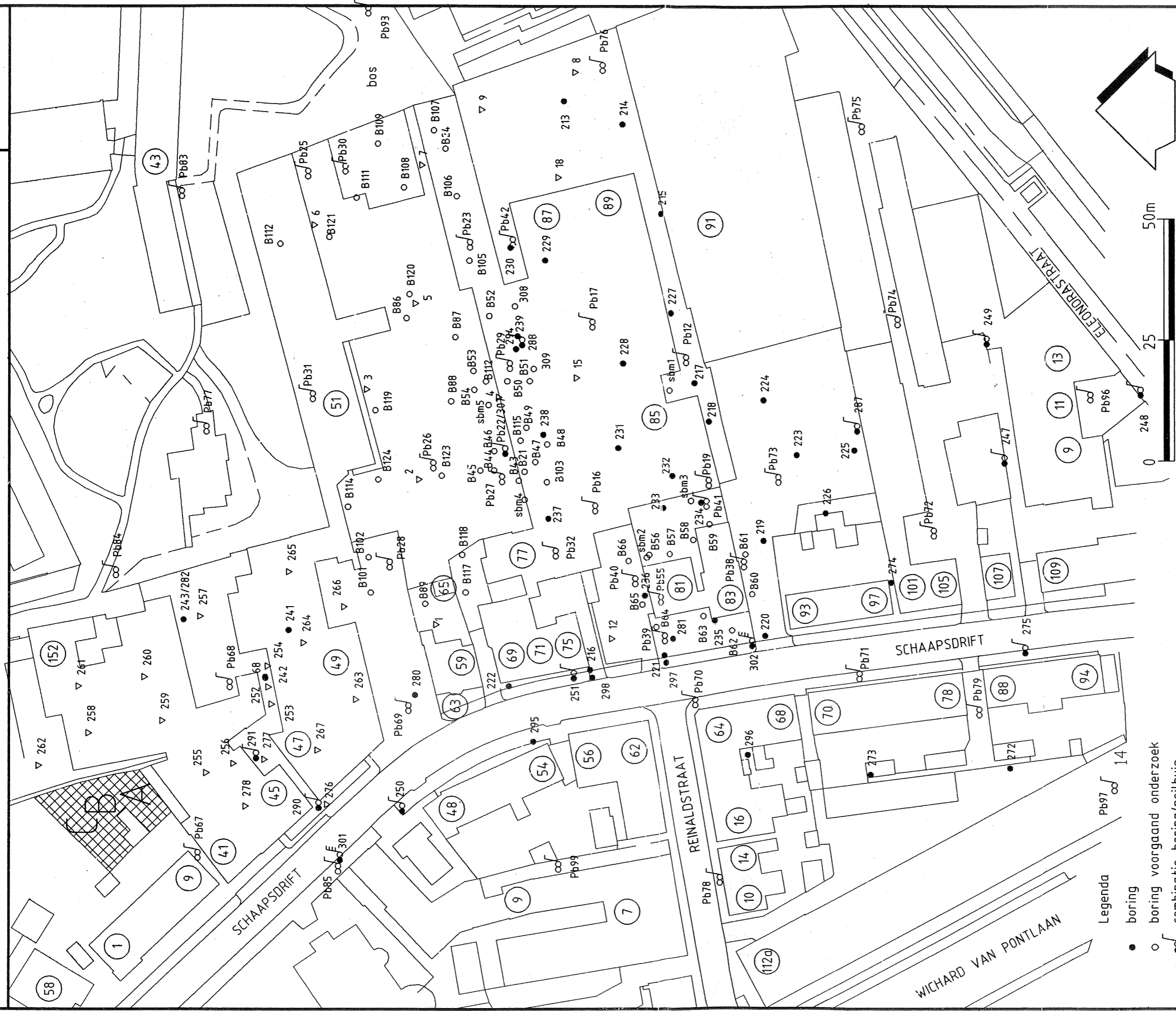


- Legenda**
- boring
 - boring voorgaand onderzoek
 - ⊕ combinatie boring/pellbuis
 - ⊕ combinatie boring/pellbuis met 4 filters
 - ∞ boring/pellbuis voorgaand onderzoek
 - ▽ bodemluchtmeting
-
- S-waarde contour PER
 - T-waarde contour PER
 - I-waarde contour PER
 - S-waarde contour TRI
 - T-waarde contour TRI
 - I-waarde contour TRI
 - T-waarde contour CIS
 - I-waarde contour CIS
 - T-waarde contour Metalen
 - I-waarde contour Metalen
 - S-waarde contour Cyanide
 - I-waarde contour Cyanide



Project: ISMP Schaapsdrieff te Arnhem		Discipline: Bodemsanering	
Omschrijving: Verontreinigingscontouren vergroot		Fase: Uitvoering	
Opdr.ggever: Gemeente Arnhem		Pr.-nr.: WA044216	
Hoofdkontoor: Toeschikweg 8b 5M1 PA Yvaulwijk Postbus 468 3812 CA Amstelveen Tel. 020-354244		Gemeentekantoor: Huisdwing 25 4782 PV Nieuwgr Tel. 086-372200 vrv Architectuurtechniek.nl	
Schaal: 1:500 Formaat: A3 Datum: 10-09-2004		Pr.-L.: PvdlB Tekeningnr.: 2	
Gef.: MB		Gef.: MB	

Tekeningfile: Verontreinigingscontouren vergroot.dwg



Legenda

- boring
- boring voorgaand onderzoek
- ◊ combinatie boring/peilbuis
- ◊ combinatie boring/peilbuis met 4 filters
- ◊ boring/peilbuis voorgaand onderzoek
- ◊ combinatie boring/peilbuis met 3 filters voorgaand onderzoek
- ◊ combinatie boring/peilbuis met 4 filters voorgaand onderzoek
- ◊ sondering met 4 filters
- ◊ sondering voorgaand onderzoek
- ▽ bodemluchtmeting
- ▨ moestuin
- ⑩ huisnummer

Opdrachtgever	GEMEENTE ARNHEM	
	Schaal	1: 750
Project	ARNHEM, SCHAAPSDRIFT	
	Projectnr.	3468798
Onderdeel	SITUERING MONSTERPUNTEN	
	Datum	20/05/1997
	Getek. / Gewijz. / Gezien	DRA / DRA / DRA
Tekeningnr.		122
Her.		E

ODAY

Papierschaal 3 cm 2 1 0



Town & Milieu

Postbus 133, 7400 AC Deventer

Bijlage

4

Ligging nieuwe peilbuizen



Opdrachtgever Gemeente Arnhem	Schaal 1:500	Status DEFINITIEF
Project Arnhem, schaapsdrift SKB-project ISMP	Formaat A3	Projectnummer 4342065
Onderdeel Situering monsterpunten	Datum 11-07-05 Getek. EWM Gec. EWM	Tekeningnummer 101

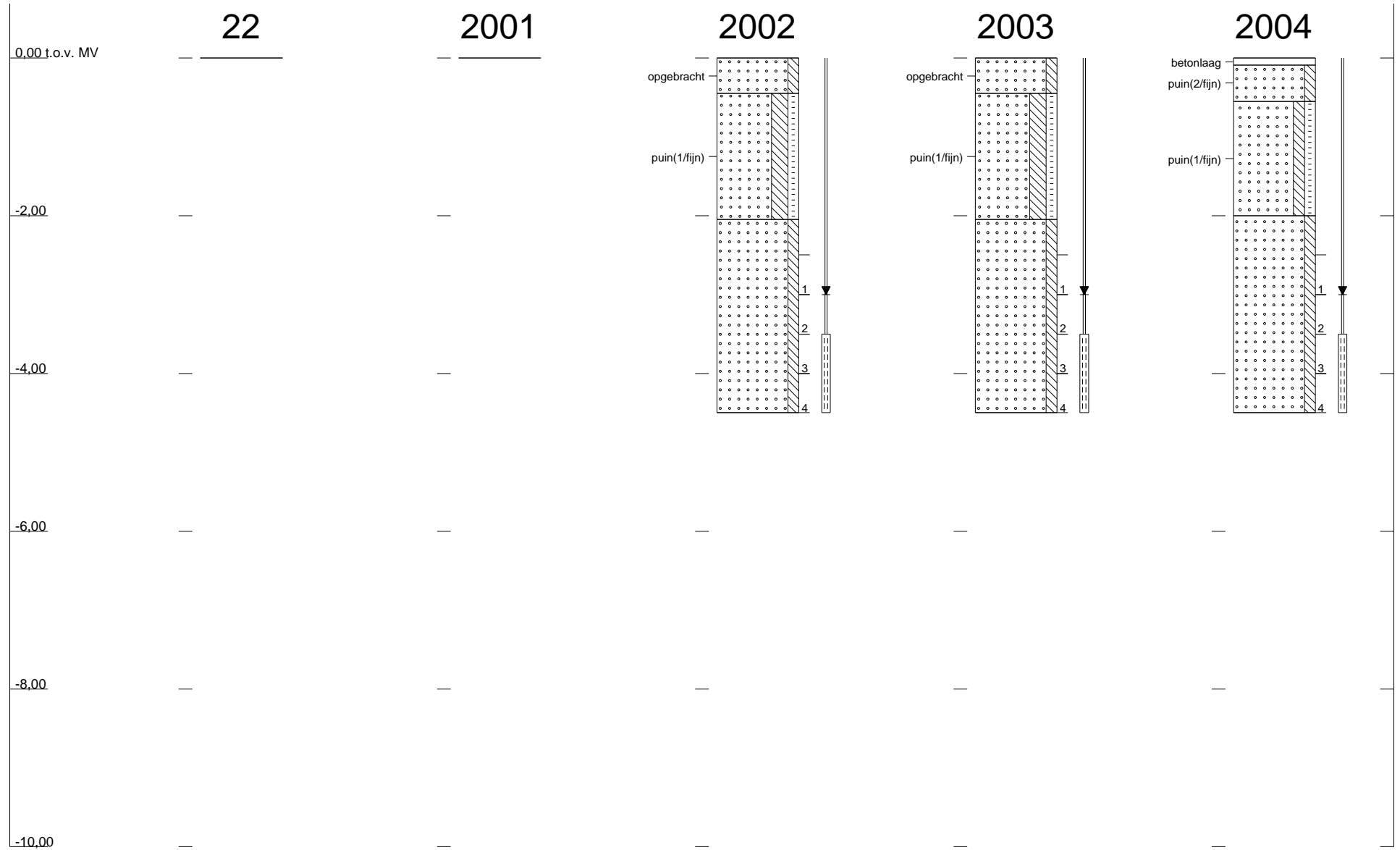


 Postbus 133
 7400 AC Deventer
 Telefoon (0570) 69 99 11
 Fax (0570) 69 96 66

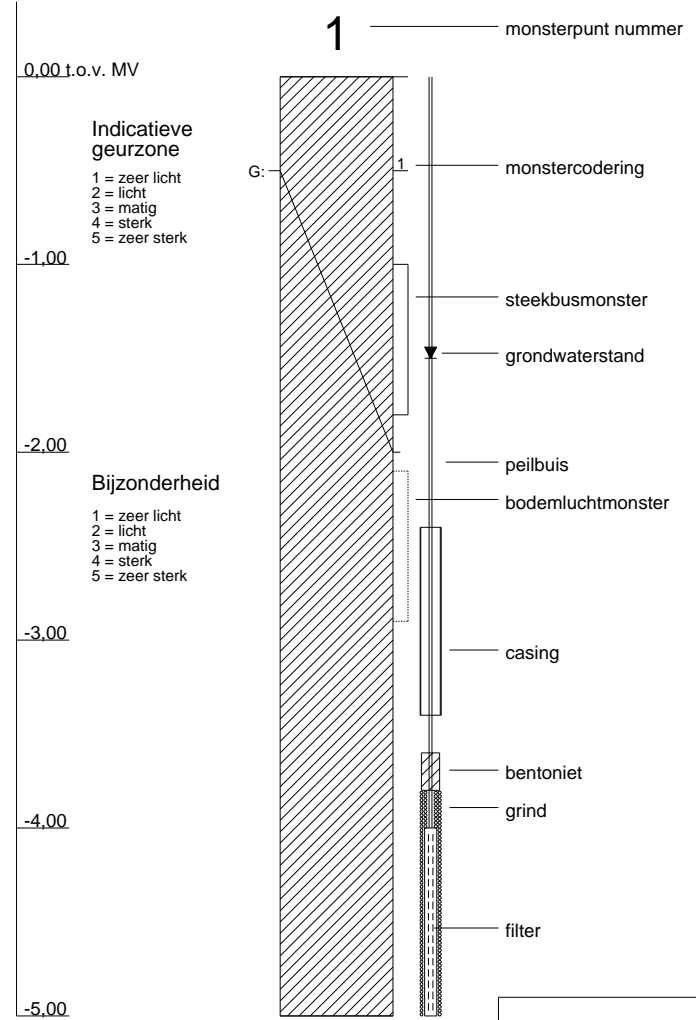
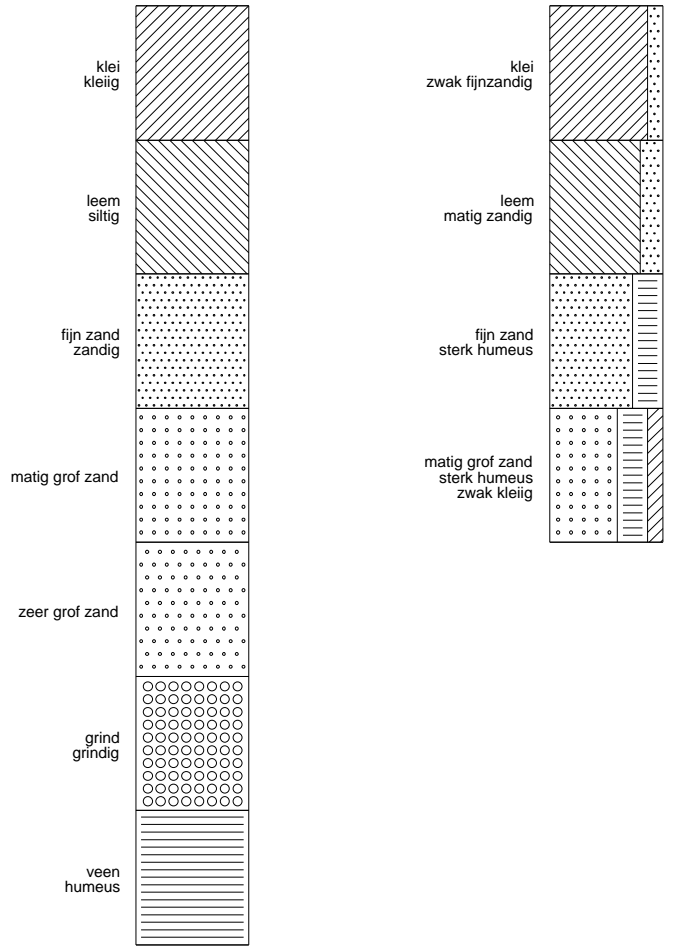
Bijlage

5

Boorprofielen



Legenda boorprofielen



Bijlage

6

Definitieve rapportage Wageningen Universiteit

***In-situ* verwijdering van zware metalen uit grondwater met behulp van ISMP
in combinatie met de afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen**

SKB project PT04.105

rapportage laboratoriumonderzoek

Dr. Erwin J.M. Temminghoff

Ing. Gerlinde Vink

1 Inleiding

Op meerdere locaties op de Schaapsdrift in Arnhem hebben in het verleden bedrijfsactiviteiten plaatsgevonden die geleid hebben tot bodemverontreiniging. Door de Provincie Gelderland zijn al deze verontreinigingen als één geval beschikt. De mobiliteit van de verontreinigingen is voor de provincie reden geweest om te concluderen dat de sanering tussen 2002 en 2007 opgestart moet zijn.

In het kader van de diversiteit van de verontreinigingen, zware metalen en vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen heeft de Gemeente Arnhem aan A&G Milieutechniek gevraagd of ISMP (In Situ Metaal Precipitatie) een mogelijkheid is. Met deze techniek kan, naast het precipiteren van metalen, namelijk gelijktijdig de afbraak van chloorkoolwaterstoffen (CKW) gestimuleerd worden. A&G Milieutechniek heeft hierop een voorstel gedaan voor een demonstratieproject en dit ingediend bij SKB. A&G Milieutechniek heeft voor dit project samenwerking gezocht met Tauw BV en Wageningen Universiteit het geen beschreven is in een projectplan. Eén van de onderdelen van het projectplan was een laboratoriumonderzoek naar de mogelijkheden van ISMP op de locatie Schaapsdrift. Aangezien er tijdens het project besloten is om aanvullend laboratoriumonderzoek uit te voeren is besloten om de rapportage van het laboratorium onderzoek als geheel te beschrijven, dus inclusief het aanvullende onderzoek.

2 Bodem- en grondwaterkarakterisering

Om een goed beeld te krijgen van de bodem van de locatie Schaapsdrift is er vooraf een bodem- en grondwater karakterisatie uitgevoerd van de bodem die gebruikt is bij het kolom experiment.

2.1 Bodemkarakterisatie

Op de locatie Schaapsdrift zijn twee grondmonsters genomen door A&G Milieutechniek tijdens het aanleggen van het injectie filter (boring 2001; zie Appendix 1 en 2) op een diepte van 4.8-5.2 en 6.4-6.8 m. De grond is op de volgende parameters geanalyseerd:

- Droge stofgehalte (105°C) van de veldvochtige grond
- Organisch stofgehalte (gloeiverlies)
- pH
- Totaal extraheerbare zware metalen + zwavel (2 M HNO₃-extractie): chroom (Cr), koper (Cu), ijzer (Fe), nikkel (Ni), lood (Pb), zink (Zn) en zwavel (S).
- CaCl₂ extraheerbare nutriënten, zware metalen + zwavel en zink, inclusief pH meting: N-NO₃ + NO₂, N-NH₄, N_{totaal}, P-PO₄, Na, K, DOC, chroom (Cr), koper (Cu), ijzer (Fe), nikkel (Ni), lood (Pb), zink (Zn) en zwavel (S) (CaCl₂ extraheerbare gehalten zijn een maat voor de biologische beschikbare hoeveelheden in de bodem).

De resultaten van de bodemkarakteristieken, totaal (2 M HNO₃ extraheerbare) gehalten aan zware metalen en de beschikbare hoeveelheid nutriënten en metalen (0.01 M CaCl₂) zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 1, 2 en 3. Het bodemmateriaal is grof zandig met een laag organisch stofgehalte (0,2 %) en met een pH van ca. 6,4. Voor het kolomexperiment is de Schaapsdrift grond van 6.6 m diepte genomen (Tabel 1).

De totaal gehalten aan zware metalen (Tabel 2) zijn laag en liggen dicht bij de streefwaarden voor dit type bodem. M.a.w. er is hier geen sprake van verontreiniging van de bodem.

Tabel 1. Enkele bodemkarakteristieke parameters voor de bodemmonsters op twee dieptes.

parameter	bodemdiepte 5m	bodemdiepte 6.6m
pH	6,6	6,2
vocht	10.8 ± 1.0	8.9 ± 0.4
org. stof (%)	0.16	0.23

Tabel 2. Totaal gehalten (2 M HNO₃) van diverse zware metalen in de bodem op 5m en 6.6 m diepte.

	bodemdiepte 5m (mg/kg)	bodemdiepte 6.6m (mg/kg)
Cr	4.9 ± 0.9	3.9 ± 0.1
Cu	1.7 ± 0.4	2.4 ± 0.4
Fe	269 ± 4	172 ± 2
Ni	4.3 ± 0.5	2.4 ± 0.0
Pb	2.9 ± 0.1	3.4 ± 0.1
Zn	1,6	2.9 ± 0.1

De nutriënten nitraat (NO₃), ammonium (NH₄), fosfaat (PO₄), natrium (Na) en kalium (K) zijn op beide dieptes aanwezig in lage concentraties (Tabel 3). De zware metalen zijn in zeer lage hoeveelheden beschikbaar m.u.v. nikkel waarbij een iets verhoogde concentratie werd gevonden.

Tabel 3. Enkele bodemkarakteristieke parameters, beschikbare nutriënten en zware metaal gehalten (0.01M CaCl₂) in de bodem op 5m en 6.6 m diepte.

parameter		bodemdiepte 5m	bodemdiepte 6.6m
		mg/kg	mg/kg
nutriënten	N-NO ₃	0.04 ± 0.04	0.20 ± 0.01
	N-NH ₄	0.08 ± 0.06	0.17 ± 0.04
	Nts	0.26 ± 0.12	0.37 ± 0.03
	P-PO ₄	0.87 ± 0.31	0.69 ± 0.53
	Na	1.66 ± 0.02	1.46 ± 0.03
	K	7.53 ± 0.11	16.9 ± 0.7
	DOC	2.27 ± 2.02	0.17 ± 0.27
zware metalen	Cr	0.005 ± 0.001	0.008 ± 0.000
	Cu	<0.05	0.01
	Fe	0.23 ± 0.01	0.17
	Ni	1.00 ± 0.03	0.62 ± 0.02
	Pb	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01
	Zn	0.18	0.53 ± 0.02

2.2 Grondwaterkarakterisatie

Voor het kolomexperiment is grondwater genomen door A&G Milieutechniek van peilbuis 2004 (zie Appendix 2). Meetresultaten van de zware metalen en de pH in het grondwater zijn gegeven in Tabel 3. Er is drie keer verontreinigd grondwater gehaald van de locatie in Arnhem en één keer relatief schoonwater.

Tabel 3. De pH, DOC en diverse metaalconcentraties in het grondwater van peilbuis 2004 (batch 1 t/m 3 en peilbuis 2001 (batch 4). (zie Figuur 1)

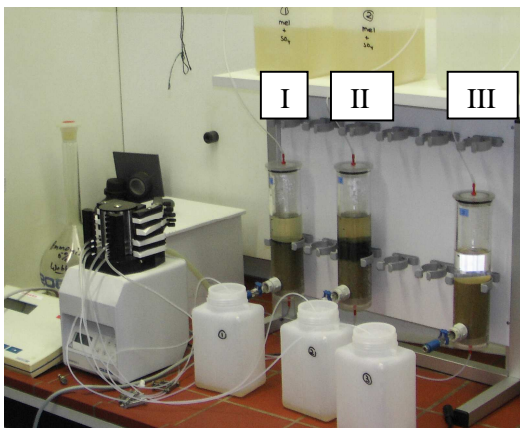
	batch 1	batch 2	batch 3	batch 4
pH	8,2	8,2	6.77*	6.91*
DOC (mg/l)	5	4	3	4
Cr (mg/l)	0,00	0,00	-	-
Cu	0,00	0,00	-	-
Fe	0,01	0,01	0,01	0,00
Ni	1,66	1,92	2,46	0,005
Pb	0,00	0,00	-	-
totaal S	9,70	12,80	-	-
Zn	0,01	0,24	-	-

* pH gemeten direct nadat het monster uit koelkast is gehaald. Na verloop van tijd (paar weken) stijgt de pH in het monster vaak tot pH 8 (conservering op lab temperatuur).

De nikkelconcentratie van grondwater uit peilbuis met code 2004 (batch 1 t/m 3) is aanmerkelijk hoger dan de interventiewaarde voor nikkel in grondwater het geen aangeeft dat we duidelijk te maken hebben met een sterk verontreinigde locatie t.a.v. het grondwater (nikkelconcentratie van circa 2000 $\mu\text{g/l}$ Ni; interventiewaarde 75 $\mu\text{g/l}$). Het relatief schone grondwater (peilbuis 2001) van batch 4 is gebruikt voor het toetsen van de irreversibiliteit in fase 5.

3 Kolomexperiment

Het kolomexperiment is uitgevoerd met drie perspex kolommen (inwendige diameter 5 cm, lengte 24.5 cm). De kolommen zijn achtereenvolgens gevuld met: een papieren filter, plastic filter (maaswijdte ± 2 mm), kwartszand (laagdikte ± 1 cm), ± 350 g veldvochtige grond (Schaapsdrift 6.4-6.8 m), laagdikte ongeveer 9 cm, één kolom (nr II) is aan de bovenkant geïnjecteerd met 10 ml bacterieslurry uit een Winogradsky kolom welke sulfaatreducerende bacteriën bevat en 1 ml voedingsoplossing. In de kolommen is op 1.5 cm van de kolombodem een gecombineerde Ag/AgCl redoxelectrode gemonteerd, zodat de redoxpotentiaal in de kolommen in-situ is gemeten (zie Figuur 1).



Figuur 1. Opstelling kolomexperiment

De kolommen zijn aan de bovenkant dichtgemaakt met kunststof doppen met een aansluiting voor vloeistoftoevoer via teflon slangetjes. De onderkant van de kolommen is op dezelfde wijze afgesloten. Daarna zijn de kolommen van onderaf langzaam verzadigd met grondwater, door dit grondwater via slangetjes de kolom in te pompen, totdat het grondwater een peil bereikt had boven de grondkolom. Vervolgens is 4 dagen gewacht met de aanvang van het experiment om de grond en het grondwater in de kolommen de kans te geven op evenwicht te komen. Hierna zijn de kolommen met verschillende vloeistoffen gepercoleerd van bovenaf, met een pompsnelheid van 0.15 rpm, oftewel ca. 65 ml/dag (Appendix 1). In totaal hebben de kolommen vijf verschillende fases doorlopen (voor een overzicht zie tabel 4). In de eerste fase (stimulering van de sulfide precipitatie) zijn de 1e en 2e kolom (+ sulfaat reducerende bacteriën (SRB)) gepercoleerd met verontreinigd grondwater (pH ca 8,3) waaraan melasse (1 g/l) en sulfaat (40 mg/l S) is toegevoegd. De derde kolom was de referentiekolom en is alleen gepercoleerd met verontreinigd grondwater. Na de sulfide precipitatie (zwartkleuring) van de kolommen in de 1^e fase zijn de kolommen gepercoleerd met uitsluitend aerob verontreinigd grondwater in fase 2 (bepaling irreversibiliteit). Tijdens fase 3 is gepercoleerd met verontreinigd grondwater met een lagere pH (ca 5) terwijl in fase 4 opnieuw voor kolom 1 en 2 melasse is

toegevoegd aan het grondwater (pH ca 5). In de laatste fase (5) is de irreversibiliteit opnieuw bepaald door met relatief schoon grondwater te percoleren waarvan de pH ca 5 was. Een overzicht van de diverse fasen voor de drie kolommen is gegeven in tabel 4.

Tabel 4: Overzicht verschillende percolatiefases bij de verschillende kolommen

Fase nr	0	1	2	3	4	5
Fase omschrijving	Incubatie met grondwater	Stimulering metaalsulfide precipitatie	(Ir)reversibiliteit	Percolatie met grondwater pH 5	Stimulering metaalsulfide precipitatie pH 5	(Ir)reversibiliteit pH 5
Startdag	-4	0	50	114	184	238
Kolom I	grondwater	Grondwater + melasse + sulfaat	Grondwater	Grondwater pH 5	grondwater pH 5 + melasse + sulfaat	Grondwater pH 5 lage Ni conc.
Kolom II (toevoeging SRB)						
Kolom III (referentie)		Grondwater			Grondwater, pH 5	

Het experiment is afgebroken na 330 dagen.

Gedurende al deze fasen is de redoxpotentiaal, pH en vloeistofsnelheid bepaald. In de eerste twee fasen is de chroom (Cr), koper (Cu), ijzer (Fe), nikkel (Ni), lood (Pb), zwavel (S), zink (Zn) concentratie bepaald. In de daarop volgende fasen zijn alleen de Fe, Ni, S en DOC concentratie gemeten. De andere elementen zijn niet meer geanalyseerd, vanwege de zeer lage concentraties in het grondwater. De zware metalen en zwavel zijn gemeten m.b.v. een ICP-AES. De monsters zijn na de bemonstering gefiltreerd en aangezuurd tot 0.14 M HNO₃. De DOC analyse is uitgevoerd op het 'Segmented Flow Analysis'-DOC systeem (monsters niet gefiltreerd/aangezuurd).

4 Nikkel adsorptie experiment

Voor grond afkomstig van de locatie Schaapsdrift is de Ni adsorptie isotherm bepaald bij het grondwater zoals gebruikt bij het laboratoriumonderzoek bij pH ≈ 8 en bij pH ≈ 5. De grond is gedurende 3 dagen end over end geschud met grondwater (Schaapsdrift) waaraan verschillende Ni concentraties zijn toegevoegd. Bij de oorspronkelijke pH van het grondwater (pH 8), is 0, 4, 6, 8 en 10 mg/l Ni toegevoegd. Bij het grondwater wat is aangezuurd tot pH 5 is 0 en 4 mg/l Ni toegevoegd. Tevens zijn referenties meegenomen (zelfde oplossingen, alleen zonder grond geschud). Voor de analyse zijn de monsters 10 min. gecentrifugeerd bij 3000 rpm, gefiltreerd (0.45 µm) en aangezuurd tot 0.14 M HNO₃. In deze monsters is de nikkelconcentratie gemeten op de ICP-AES.

5 Resultaten en discussie

In figuur 2 zijn de resultaten van redoxpotentiaal (a), pH (b) en de nikkelconcentratie (c) in het effluent van de kolomproef gedurende de verschillende fasen weergegeven. De resultaten zijn per fase beschreven. In Appendix 3 en 4 zijn de figuren weergegeven voor de pompsnelheid, DOC, Fe, totaal S, Pb en Cu.

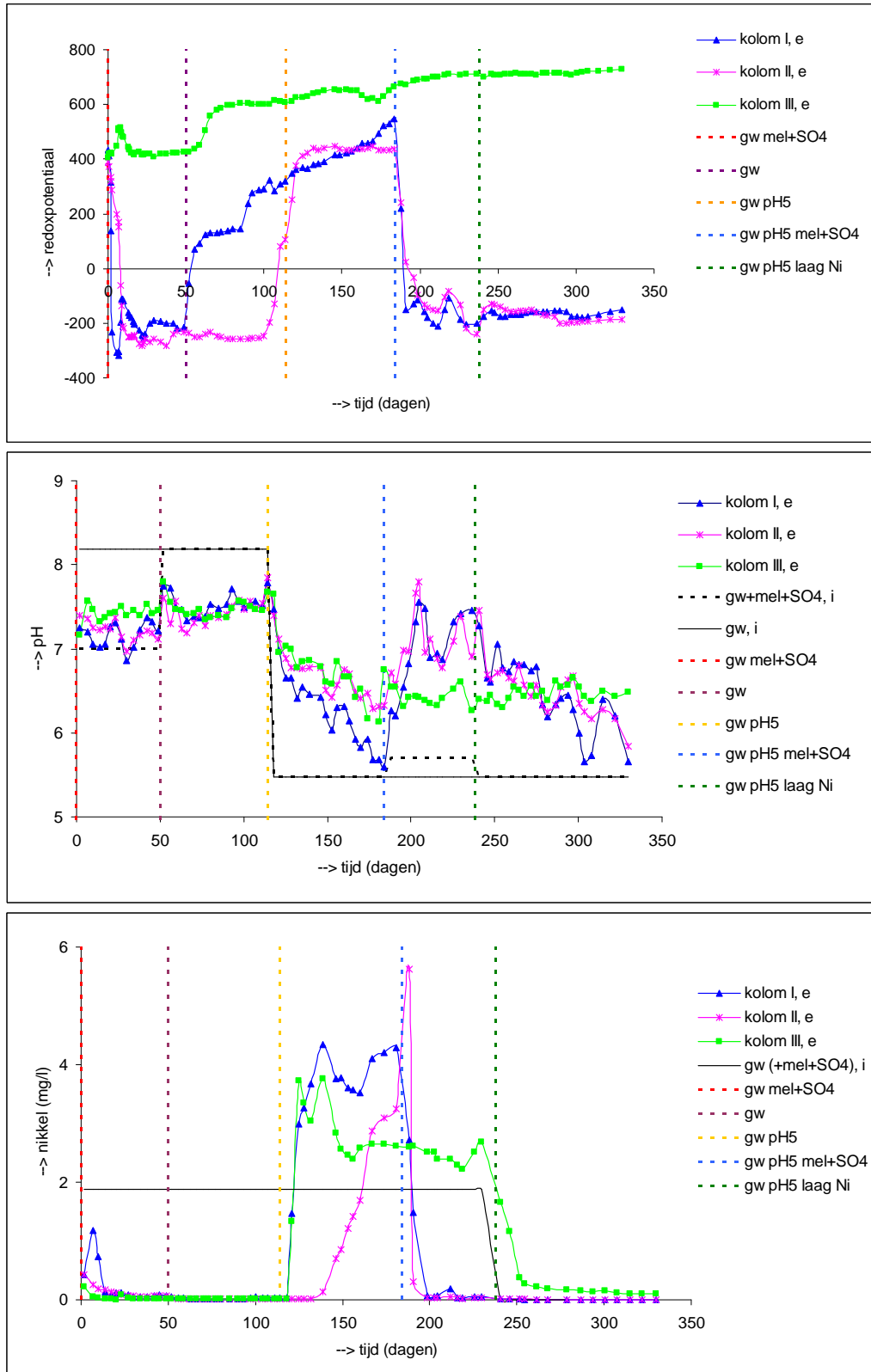
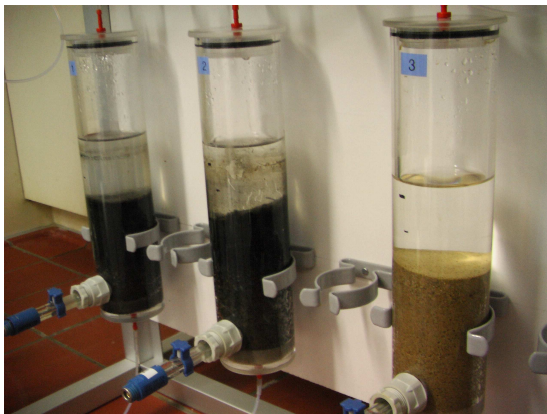


Fig. 2 De redoxpotentiaal (a), de pH (b) en de nikkelconcentraties (c) in het effluent tijdens de diverse fasen (elke fase is met een stippellijn weergegeven).

Fase 1: Stimulering metaalsulfideprecipitatie

Ten gevolge van de toediening van melasse aan het grondwater (kolommen I en II) daalt de redoxpotentiaal van +400 mV naar -200 mV binnen 10 dagen (Fase 1) terwijl kolom III (de referentie kolom) waaraan geen melasse is toegevoegd niet daalt en zo rond de + 400 mV blijft (Fig. 2a). Maw de kolommen I en II worden anaeroob t.g.v. zuurstof consumptie door bacteriën. Kolom III, de referentiekolom blijft zoals verwacht aerob en dus vindt er geen zuurstofconsumptie plaats door bacteriën. De pH van het effluent voor alle drie de kolommen is rond de 7,3 terwijl de pH van het influent ongeveer 8,2 is. De ijzerconcentraties in het effluent van de kolommen I en II stijgen na ca 7 dagen tgv anaerobe condities en neemt hierna weer vrij snel af (Appendix 2) tgv FeS precipitatie in de kolommen (zwartkleuring van de grond in de kolommen I en II) (Fig. 3). In kolom III verandert de Fe concentratie niet (geen anaerobe omstandigheden, geen zwartkleuring). De nikkelconcentratie in het influent is ongeveer 1,7 mg/l. Deze concentratie daalt echter snel voor alle drie de kolommen in het effluent. Voor kolommen I en II zou dit verklaard kunnen worden door SO_4 -reductie in het grondwater tot sulfide waarna nikkelsulfide precipitatie gaat optreden. Echter voor kolom III (referentie kolom) kan dit niet de verklaring zijn aangezien hier geen sulfidenvorming plaats vond. Gedacht wordt in eerste instantie dan ook dat dit komt door dat het grondwater van een andere locatie komt en dat er mogelijk enige nikkelvastlegging optreedt in de kolom. Opvallend is echter dat de nikkelvastlegging na 50 dagen nog steeds plaats vond in kolom III.



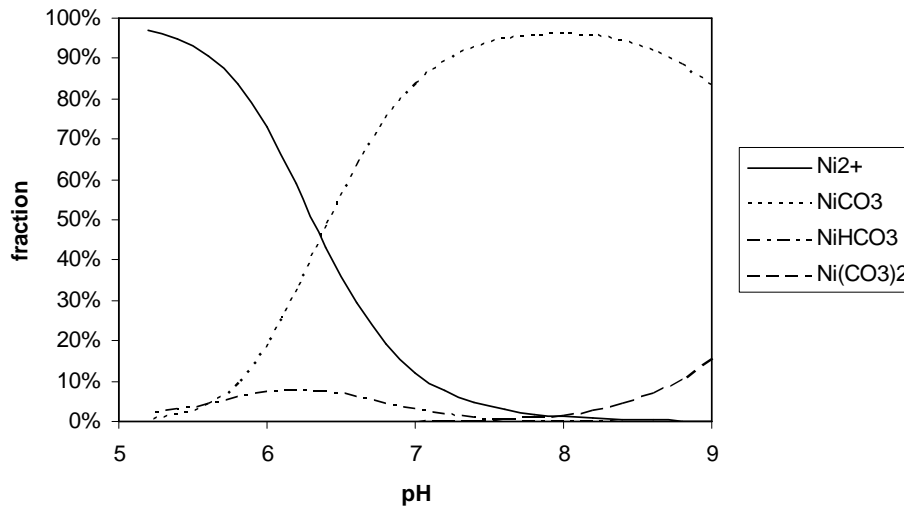
Figuur 3. Kolommen I, II en III na fase 1 (De zwartkleuring bij de kolommen I en II wijst op ijzersulfide precipitatie).

Fase 2: (Ir)reversibiliteit

Na 50 dagen is de melasse dosering gestopt en is alleen verontreinigd grondwater gepercoleerd om de (ir)reversibiliteit te toetsen. De redoxpotentiaal stijgt in kolom I nagenoeg direct na een potentiaal van ca +100 mV en stijgt vervolgens langzaam door naar +400 mV na 160 dagen. Kolom II handhaaft zich na stopzetting ruim 50 dagen op -200 mV waarna ook hier de redoxpotentiaal stijgt naar + 400 mV. De snelle stijging van de redoxpotentiaal geeft aan dat het proces sterk reversibel is en dat de kolom weer snel aerob worden.

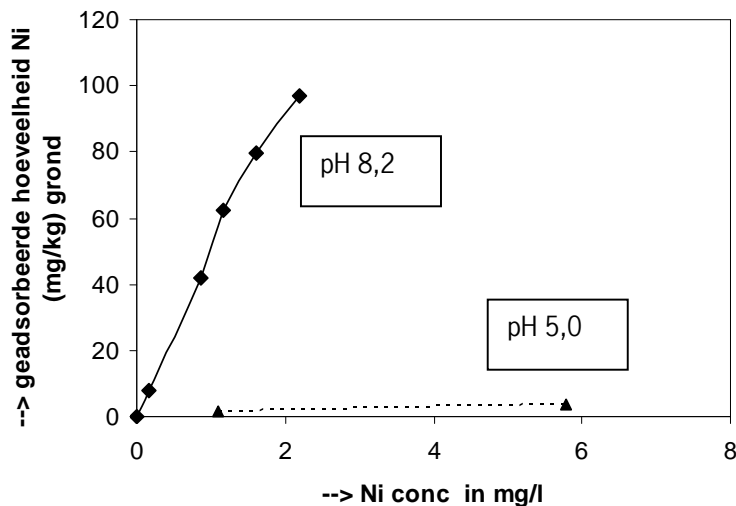
Des te opvallender zijn de resultaten van nikkel (Fig. 2c). De nikkelconcentratie stijgt nl niet op het moment dat de redoxpotentiaal stijgt. In de kolommen I en II is dit mogelijk t.g.v. nikkelsulfide precipitatie (Fig. 2c). Echter in kolom III vindt er ook Ni verwijdering plaats terwijl hier geen redoxverlaging is opgetreden en er dus geen sulfide in de kolom gevormd kan zijn (zie tevens Fig. 3). Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat er een ander nikkelneerslag gevormd heeft dat zich vastgelegd heeft in de grondkolom. Aangezien de pH van het grondwater hoog is (ca 8,2; zie Fig. 2b) is het mogelijk dat nikkelhydroxide of nikkelcarbonaat een verklaring is waarom Ni uit het grondwater verdwijnt voor kolom 3. De hoeveelheid carbonaat in het influent is vervolgens geanalyseerd waarna bleek dat er ca 2,5 mmol/l CO_3 aanwezig was in het grondwater. Vervolgens zijn modelberekeningen uitgevoerd mbv het chemische evenwichtenprogramma ECOSAT om te onderzoeken of er de

mogelijkheid bestaat dat nikkelformaat dan wel nikkelformaat vastlegging is opgetreden. In Fig. 4 is de berekende Ni speciatie in het grondwater weergegeven als functie van de pH. Hierin is te zien dat bij de pH van het grondwater (8,2) Ni voor het overgrote deel (95%) als opgelost Ni-carbonaat species in het grondwater aanwezig is. In deze vorm hecht Ni zich schijnbaar goed vast aan de bodem.



Figuur 4. Model berekening van de Ni speciatie in het grondwater als functie van de pH (2 mg/l Ni en 2,5 mmol/l CO₃²⁻)

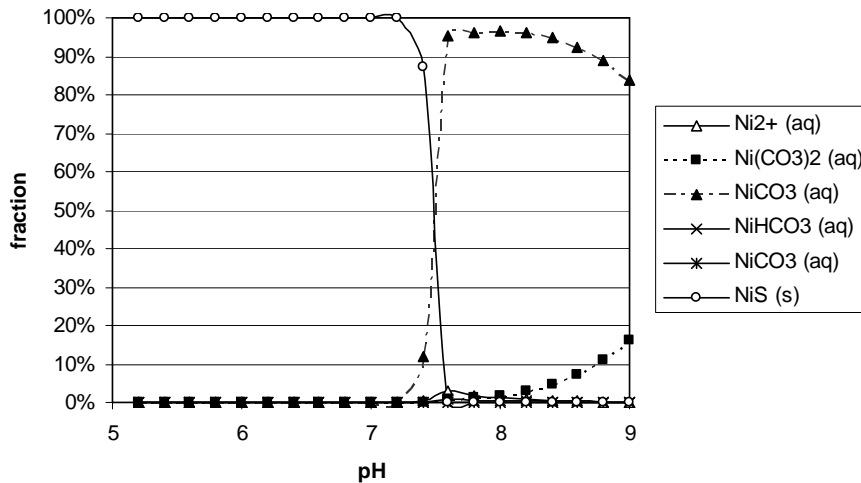
Mede hierdoor is dan ook besloten om de nikkelformaat m.b.v. een adsorptie isotherm te bepalen onder aerobe condities (Fig. 3) bij twee pH's, te weten de pH van het grondwater (pH 8,2) en het grondwater maar dan aangezuurd tot pH 5. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Ni vastlegging aan de bodemmatrix als functie van de nikkelconcentratie bij pH 8,2 en pH 5,0.

De nikkelformaat vastlegging in de bodem bij pH 8,2 is hoog terwijl bij pH 5,0 er nagenoeg geen Ni vastlegging optreedt. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat nikkelformaten wel goed vastgelegd cq geprecipiteerd kunnen worden in de bodem terwijl de vrije nikkelform (Ni²⁺) niet wordt vastgelegd.

Het exacte mechanisme hiervan is echter niet bekend in de literatuur. Verder onderzoek hiernaar is nodig om dit te verklaren. De vastlegging treedt niet op t.g.v. lading maar waarschijnlijk als gevolg van vastlegging van nikkelfcarbonaat precipitaten aan de kwarts in de bodem. De exacte vastlegging is echter niet bekend, hiervoor is aanvullend onderzoek noodzakelijk maar valt buiten de doestelling van dit project. Wel is er nog een berekening uitgevoerd om te kijken of bij de lage redoxpotentiaal nu nikkelfcarbonaat dan wel nikkelsulfide gevormd is. Hiervoor zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd bij een redoxpotentiaal van -200 mV waarbij sulfide gevormd is en tevens carbonaat aanwezig is. Deze resultaten zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6. Nikkelspecië bij een redoxpotentiaal van -200mV in de aanwezigheid van carbonaat en sulfide als functie van de pH.

Beneden een pH van 7,5 hebben we te maken met nikkelsulfide precipitatie en boven een pH van 7,5 met nikkelfcarbonaat vorming. De pH in de kolommen was ongeveer 7,4 (Fig. 1b) waardoor het moeilijk is aan te geven of er nu wel of geen nikkelsulfide precipitatie is opgetreden in de kolommen I en II.

Fase 3: pH verlaging van het grondwater

Daarom is besloten om de pH van het grondwater in de kolommen te verlagen naar een pH van ca 5,5 (fase 3). De pH in het effluent daalt geleidelijk naar ca 6,5 terwijl de nikkelconcentratie in het effluent snel toeneemt tot concentraties boven de 4 mg/l voor de kolommen I en III. Voor kolom II wordt deze toename van de Ni-concentratie pas gevonden na ca 25 dagen. Maw er vindt een snelle sterke nikkeldesorptie plaats in de kolommen I en III terwijl voor kolom II dit iets langer duurt maar ook nog relatief snel. Dit kan verklaard worden doordat we in de kolommen I en III te maken hebben met NiCO₃ desorptie terwijl in kolom II er mogelijk naast nikkelfcarbonaat ook nikkelsulfide vastlegging heeft plaats gevonden. Opvallend is wel dat de redoxpotentiaal wel veel eerder aerobe condities aangeeft waardoor NiS in principe niet mogelijk zou kunnen zijn. Hierdoor kan met vrij grote zekerheid geconcludeerd worden dat in we in de kolommen I, II en III hoofdzakelijk te maken hebben gehad met NiCO₃ vastlegging in de kolommen.

Fase 4: Stimulering metaalsulfideprecipitatie bij lage pH

Om te toetsen of er dan wel NiS plaats kan vinden wordt het onderzoek voortgezet waarbij nu weer melasse en sulfaat wordt toegevoegd aan het aangezuurde grondwater van de kolommen I en II. Gelij aan fase 1 treedt er nu ook een snelle redoxpotentiaal verlaging op in de kolommen I en II naar ca -200 mV terwijl in kolom III de redoxpotentiaal onveranderd hoog blijft (ca + 600mV). De kolommen I en II beginnen dan ook weer zwart te kleuren. De Ni-concentratie daalt ongeveer gelijk met de redoxpotentiaal voor de kolommen I en II terwijl in kolom III de Ni-concentratie hoog blijft (ca. 2,4 mg/l Ni). De concentratie in het effluent (kolom III) is nog altijd hoger dan de concentratie in het influent wat

aangeeft dat er in deze fase nog altijd uitspoeling van Ni in de kolom plaats vindt. Aangezien kolom III nu geen verlaging van de nikkelconcentratie laat zien en dat de nikkelconcentratie erg laag is in kolom I en II mogen we aannemen dat we nu te maken hebben met NiS precipitatie en vastlegging in de kolom. De berekeningen zoals weergegeven in Figuur 6 geven ook aan dat bij een pH < 7,3 NiS de belangrijkste species is. De pH van het effluent in de kolommen I en II liggen in (nagenoeg) alle gevallen lager dan 7,3 waardoor met vrij grote zekerheid kan worden aangenomen dat we in de kolommen I en II te maken hebben met NiS vastlegging. In kolom III (de referentie kolom) is de pH ook lager dan 7,3 echter de redoxpotentiaal is hier hoog (+ 600mV) en treedt er ook geen NiS precipitatie op.

Fase 5: (Ir)reversibiliteit bij lage pH

Om de irreversibiliteit te toetsen bij lage pH is in fase 5 het grondwater vervangen door relatief schoon grondwater (batch 4, Tabel 3). De redoxpotentiaal bleef gedurende 3 maanden op ca -200 mV in kolom I en II hetgeen wijst op de continuering van de anaerobe condities in de kolom ondanks de doorstroming van de kolom met aerob grondwater. De nikkelconcentratie blijft dan ook laag gedurende deze 3 maanden in fase 5. In kolom III zien we de nikkelconcentratie langzaam afnemen vanwege het schone grondwater maar de nikkelconcentratie blijft hoger t.g.v. nikkeluitspoeling uit de kolom. De irreversibiliteit is hiermee voor in ieder geval 3 maanden aangetoond.

Na deze 3 maanden is de grond uit de kolommen opgedeeld in 5 lagen van ca 2 cm en gedroogd. Vervolgens is aan deze grondmonsters een HNO₃ extractie (0,43 M) uitgevoerd om te onderzoeken of en waar de Ni zich in de kolom bevindt. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5. Ni gehalten in 5 lagen van elke kolom (van boven naar beneden).

kolom	I	II	III
laag	Ni gehalte (mg/kg)	Ni gehalte (mg/kg)	Ni gehalte (mg/kg)
1	34,1	98,4	18,0
2	21,5	64,9	2,4
3	17,2	33,6	1,9
4	15,7	23,3	1,9
5	9,3	11,9	1,4

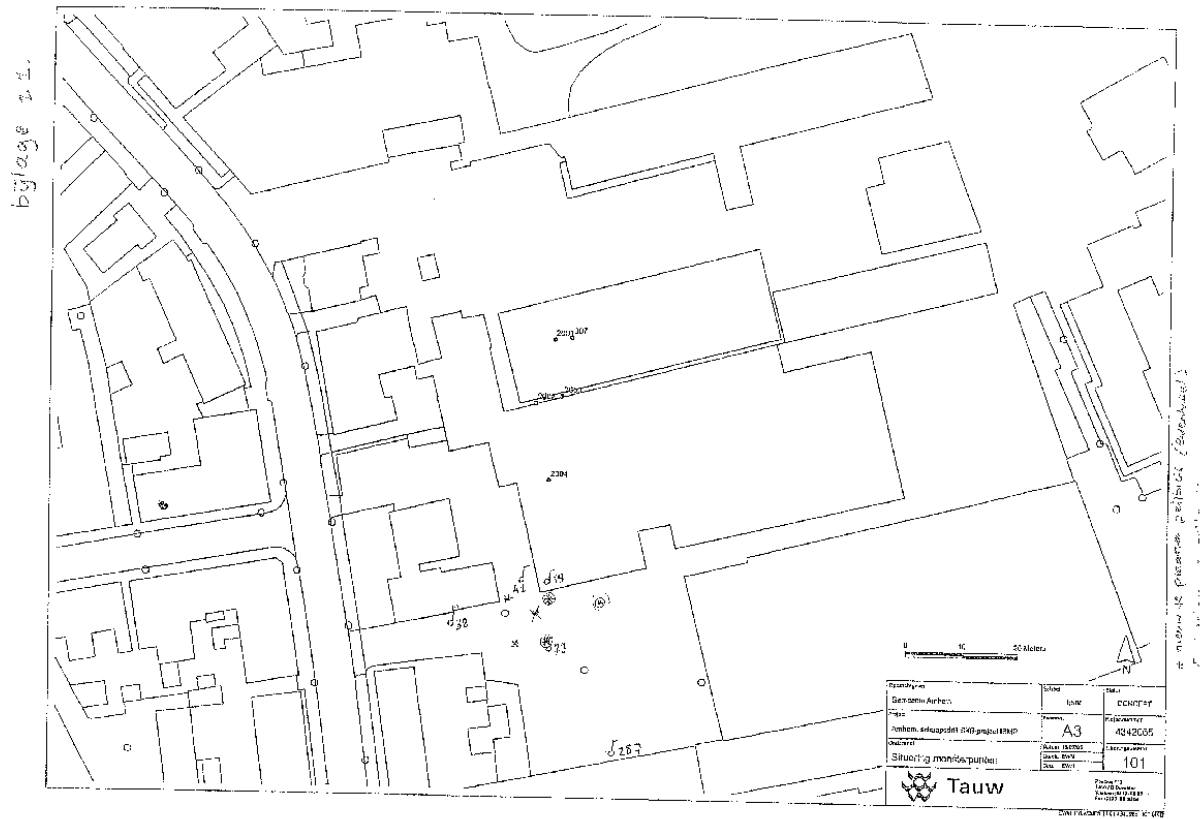
De kolommen waarin sulfide precipitatie en vastlegging heeft plaats gevonden wordt ook een hoger Ni gehalte in de bodem gevonden (dit geldt voor alle lagen van de kolom). In kolom II wordt de hoogste Ni vastlegging gemeten hetgeen waarschijnlijk veroorzaakt wordt door het toedienen van de sulfaatreducerende bacteriën. Met name tijdens fase 3 is er aanzienlijk meer Ni vastgelegd in kolom II dan in kolom I.

6 Conclusies

In-situ metaal precipitatie (ISMP) lijkt een goede mogelijkheid om nikkel uit het grondwater te verwijderen op locatie Schaapsdrift. Echter vanwege de hoge pH kan het ook mogelijk zijn dat nikkelferriet vastlegging gaat optreden. De nikkelferriet vastlegging is echter sterk reversibel. Door toediening van sulfaat en melasse neemt de redoxpotentiaal sterk af en wordt sulfaat onder anaerobe condities gereduceerd tot sulfide waarna nikkelsulfide precipitatie kan optreden. Hiervoor moet de pH echter wel onder de 7,3 liggen anders treedt nikkelferriet vastlegging op. De nikkelconcentratie in het grondwater kan dan gereduceerd worden voor meer dan 99 %. De irreversibiliteit is aangetoond voor minimaal 3 maanden. De pH in-situ is waarschijnlijk lager dan 7,3

waardoor door de toediening van melasse en sulfaat waarschijnlijk nikkelsulfide precipitatie gaat optreden. Om hier echter zekerheid over te geven is een pilotproef aan te bevelen.

Appendix 1



Overzicht van de onderzoekslocatie Schaapsdrift te Arnhem met de peilbuizen (Bij peilbuis 2001 zijn ook de grondmonsters genomen. Uit peilbuis 2004 is het verontreinigde grondwatermonster genomen terwijl uit peilbuis 2001 en relatief schone gronwater is genoemn voor het toetsen van de ISMP irreversibiliteit.

Appendix 2

A

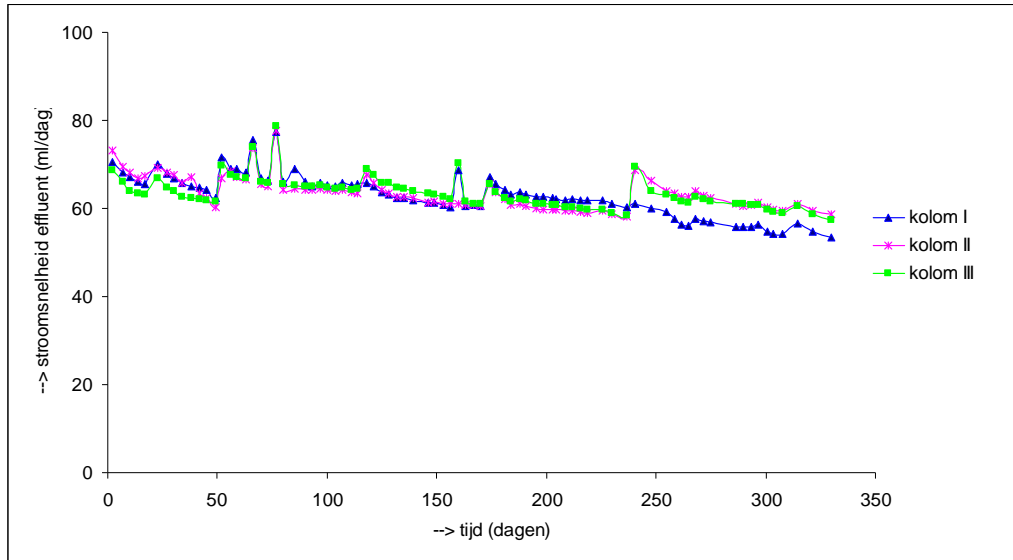


B



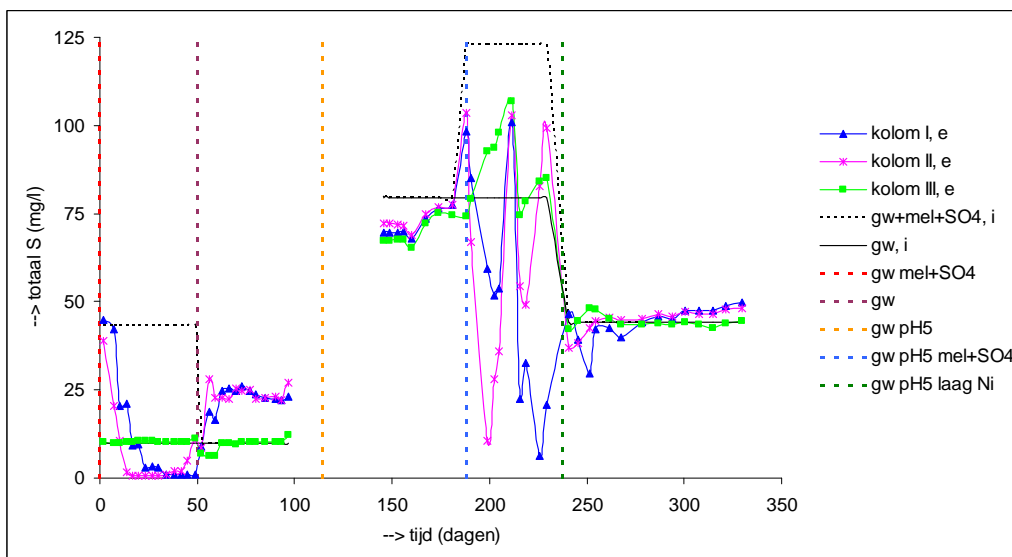
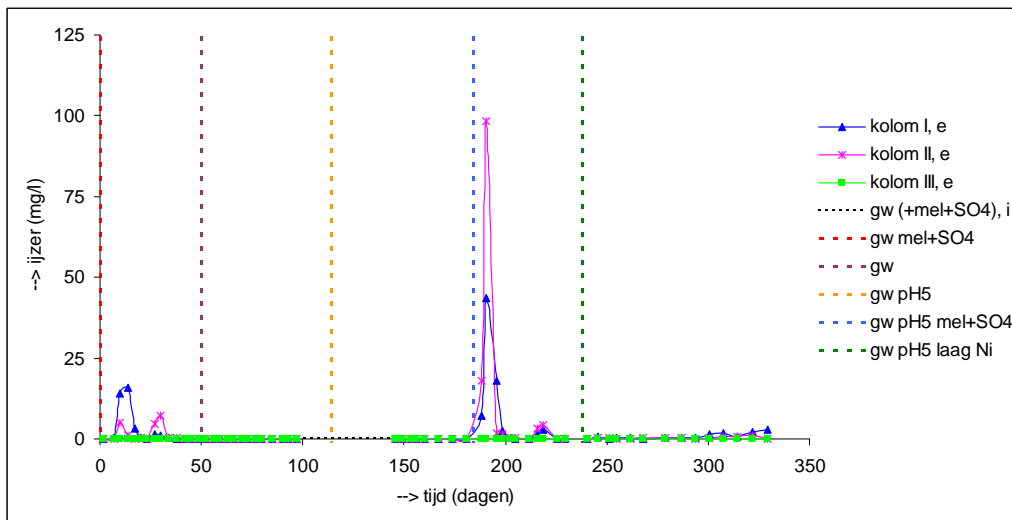
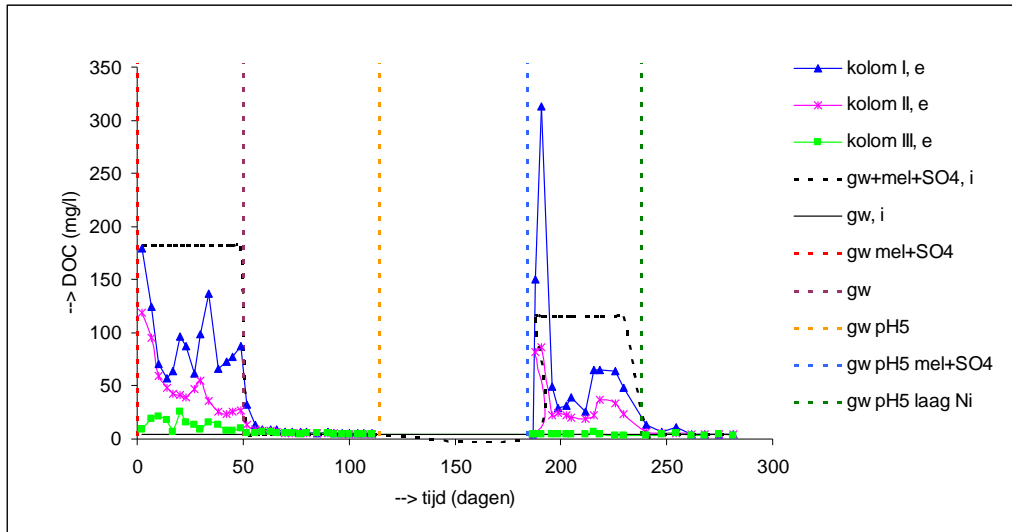
De loods op het terrein Schaapsdrift waar peilbuis 2001 staat (A) en monstername van het grondwater voor de proef uit peilbuis 2004 (B).

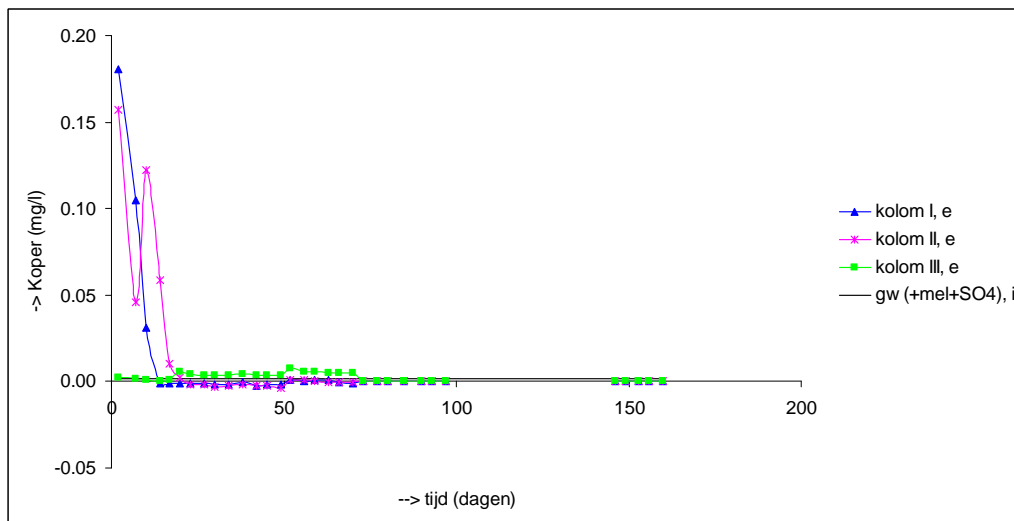
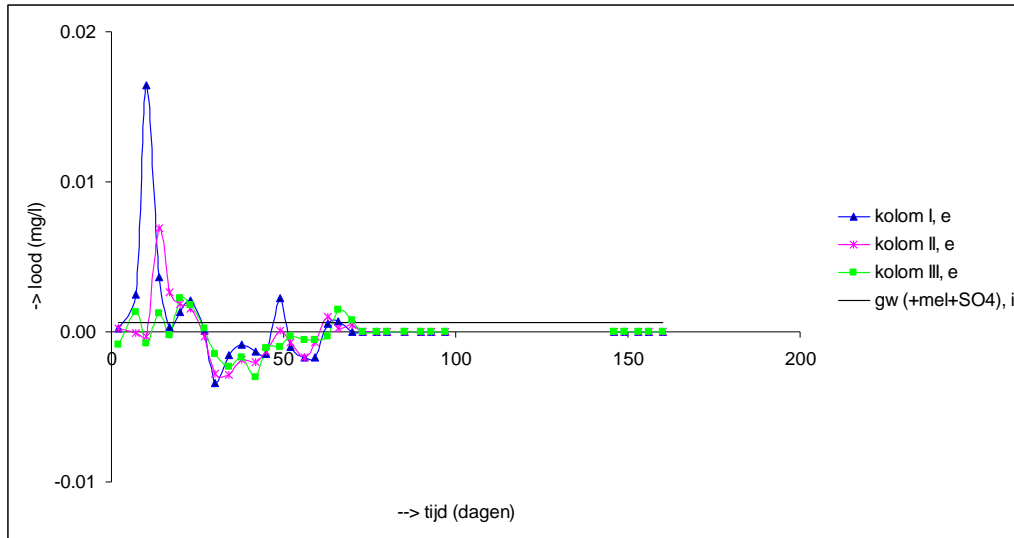
Appendix 3



Figuur 7. Pompsnelheid (ml/dag) in de kolommen gedurende het experiment.

Appendix 4





Figuur 8 Meetresultaten van de DOC (a), ijzer (b), zwavel (c), lood (d) en koper (e) concentraties in het effluent van de kolommen als functie van de percolatietijd. Voor zwavel zijn de resultaten in fase 3 t/m 5 verstoord doordat aangezuurd is met zwavelzuur!

Bijlage

7

Locatiespecifieke STI-waarden

Humus: 2,0 [%]
Lutum: 3,0 [%]

	S	T	I
METALEN			
koper	18	57	95
nikkel	13	46	78
zink	62	190	319

De waarden voor grond in mg/kg ds

S: Streefwaarde grond
T: Tussenwaarde grond
I: Interventiewaarde grond

De S-, T- en I-waarden zijn gebaseerd op de circulaire 'Interventiewaarden Bodemsanering' van de Staatscourant, d.d. 24 februari 2000, nummer 39

De concentraties van EOX en waterdampvluchtige fenolen gelden als 'triggerwaarden' en zijn niet toetsbaar conform de STI-waarden voor grondwater

Humus: 0,3 [%]
Lutum: 1,0 [%]

	S	T	I
METALEN			
koper	16	50	83
nikkel	11	39	66
zink	53	164	275

De waarden voor grond in mg/kg ds

S: Streefwaarde grond
T: Tussenwaarde grond
I: Interventiewaarde grond

De S-, T- en I-waarden zijn gebaseerd op de circulaire 'Interventiewaarden Bodemsanering' van de Staatscourant, d.d. 24 februari 2000, nummer 39

De concentraties van EOX en waterdampvluchtige fenolen gelden als 'triggerwaarden' en zijn niet toetsbaar conform de STI-waarden voor grondwater

	So	To	Io
METALEN			
chrom	1,0	16	30
nikkel	15	45	75
zink	65	433	800
ANORGANISCH			
CN (totaal vrij)	5,0	753	1500
CN (totaal complex pH<5)	10	755	1500
CN (totaal complex pH=>5)	10	755	1500
thiocyanaten (som)	-	750	1500
CHLOOROPLOSMIDDELEN			
dichloormethaan	0,010	500	1000
trichloormethaan (chloroform)	6,0	203	400
tetrachloormethaan	0,010	5,0	10
11-dichloorethaan	7,0	454	900
12-dichloorethaan	7,0	204	400
111-trichloorethaan	0,010	150	300
112-trichloorethaan	0,010	65	130
vinylchloride	0,010	2,5	5,0
11-dichlooretheen	0,010	5,0	10
12-dichlooretheen (c&t)	0,010	10	20
dichloorpropanen	0,80	40	80
trichlooretheen	24	262	500
tetrachlooretheen	0,010	20	40
overige gechloreerde oplosm	-	-	-
OVERIGE			
minerale olie	50	325	600

De waarden voor grondwater in ug/L

So: Streefwaarde ondiep grondwater

To: Tussenwaarde ondiep grondwater

Io: Interventiewaarde ondiep grondwater

De S-, T- en I-waarden zijn gebaseerd op de circulaire 'Interventiewaarden Bodemsanering' van de Staatscourant, d.d. 24 februari 2000, nummer 39

De concentraties van EOX en waterdampvluchtige fenolen gelden als 'triggerwaarden' en zijn niet toetsbaar conform de STI-waarden voor grondwater

Bijlage

8

N002-4342065MPM-V01 d.d. 15 maart 2005 (concept)

Interpretatiemethodiek van de resultaten

De analysesresultaten van de grond en het grondwater zijn getoetst aan de STI-waarden uit de Wet bodembescherming (Wbb). Dit toetsingskader bestaat uit **Streefwaarden**, **Toetsingswaarden** voor nader onderzoek en **Interventiewaarden**. Dit zijn concentratieniveaus waaraan de analysesresultaten zijn getoetst. De betekenis van de waarden en de wijze van weergave in de tabellen 2 en 3, zijn vermeld in het onderstaand overzicht.

Tabel 1 Overzicht toetsingskader Wbb.

Concentratieniveau voor een stof	Betekenis	Weergave in tabellen
≤ S-waarde (of < detectielimiet)	Niet verontreinigd	-
> S-waarde ≤ T-waarde	Licht verontreinigd (geen <i>duurzame bodemkwaliteit</i> voor de functionele eigenschappen van de bodem voor mens, dier en plant)	+
> T-waarde ≤ I-waarde	Nader bodemonderzoek noodzakelijk	++
> I-waarde	Ernstige bodemverontreiniging	+++

Als de I-waarde voor een stof of parameter wordt overschreden in meer dan 25 m³ grond of in meer dan 100 m³ grondwater (bodenvolume), dan wordt gesproken van *een geval van ernstige bodemverontreiniging*.

De STI-waarden voor grond zijn afhankelijk van het bodemtype hetgeen wordt bepaald door het gehalte aan **Humus** (organische stof) en/of **Lutum** (kleifractie). In dit onderzoek zijn de gehalten aan humus en lutum vastgesteld op basis van de gegevens uit 1993.

Tabel 1 Analyseresultaten grondwater ($\mu\text{g/l}$) en interpretatie

Peilbuis	22		2001		2001		2001
Filterdiepte (m-mv)	(3-4)		(3-4)		(6-7)		(8-9)
METALEN							
chrom (Cr)	<2	-	2,0	+	<2	-	<2
koper (Cu)	5	-	<2	-	14	-	3,0
lood (Pb)	<5	-	<5	-	<5	-	<5
nikkel (Ni)	600	+++	650	+++	85	+++	<5
zink (Zn)	8	-	24	-	120	+	13
ANORGANISCHE VERBINDINGEN							
totaal cyanide (o-NEN 6655)	6	-	29	+	<2	-	<2
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN							
dichloormethaan	<1	-	<20	-	<1	-	<1
trichloormethaan	<0,1	-	<1	-	<0,1	-	<0,1
tetra(chloormethaan)	<0,1	-	<0,5	-	<0,1	-	<0,1
1,1-dichloorethaan	<0,1	-	<0,5	-	<0,1	-	<0,1
1,2-dichloorethaan	<0,1	-	<2	-	<0,1	-	<0,1
1,1,1-trichloorethaan	<0,1	-	<0,5	-	<0,1	-	<0,1
1,1,2-trichloorethaan	<0,1	-	<2	-	<0,1	-	<0,1
1,2-dichlooretheen (c)	6,0		25		<0,1		<0,1
1,2-dichlooretheen (t)	0,1		<0,5		<0,1		<0,1
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	6,1	+	25	+++	n.a.		n.a.
tri(chlooretheen)	30	+	29	+	0,3	-	<0,1
tetrachl.etheen (per)	7,1	+	6,6	+	0,8	+	<0,1
OVERIGE STOFFEN							
minerale olie (C10-C40)	<50	-	2800	+++	<50	-	<50
kws-fractie C10-C12	<10		2400		<10		<10
kws-fractie C12-C16	<10		140		<10		<10
kws-fractie C16-C20	<5		<50		<5		<5
kws-fractie C20-C24	<5		<50		<5		<5
kws-fractie C24-C28	<5		74		<5		<5
kws-fractie C28-C32	<5		56		<5		<5
kws-fractie C32-C36	<5		<50		<5		<5
kws-fractie C36-C40	<5		<50		<5		<5
pH (-)	5,8		6,1		5,2		6,7
EC ($\mu\text{S/cm}$)	396		488		310		447

n.a.: niet aantoonbaar.

Peilbuis 2001 is een nieuwe peilbuis die in de buurt van peilbuis 22/307 is geplaatst. In de andere bijlage is locatie van peilbuis 22/307 weergegeven.

De grondanalyses zijn uitgevoerd door de Universiteit van Wageningen, Sectie Bodemkwaliteit.

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

Monsteromschrijving	2001		2001
Diepte (m-mv)	(5,0)		(6,6)
Lutum (%)	3,0		3,0
Humus (%)	2,0		2,0
METALEN			
chrom (Cr)	$4,87 \pm 0,94$	-	$3,90 \pm 0,031$
koper (Cu)	$1,67 \pm 0,43$	-	$2,35 \pm 0,04$
ijzer (Fe)	$269,16 \pm 4,25$	-	$172,29 \pm 2,48$
lood (Pb)	$2,94 \pm 0,05$	-	$3,43 \pm 0,03$
nikkel (Ni)	$4,32 \pm 0,47$	-	$2,36 \pm 0,00$
zink (Zn)	1,6	-	$2,93 \pm 0,06$

n.a.: niet aantoonbaar.

Tabel .3 **Analysesresultaten grondwater (µg/l) en interpretatie**

Peilbuis Filterdiepte (m-mv)	2002 (3.5-4.5)	2003 (3.5-4.5)	2004 (3.5-4.5)		
METALEN					
chrom (Cr)	<2	- <2	- <2	-	-
koper (Cu)	<4,5	- <6	- <6	-	-
lood (Pb)	<5	- <5	- <5	-	-
nikkel (Ni)	800	+++ 1300	+++ 1700	+++	+++
zink (Zn)	45	- 19	- 60	-	-
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN					
dichloormethaan	<1	- <1	- <10	-	-
trichloormethaan	<0,1	- <0,1	- 0,7	-	-
tetra(chloormethaan)	<0,1	- <0,1	- <0,2	-	-
1,1-dichloorethaan	<0,1	- <0,1	- <0,2	-	-
1,2-dichloorethaan	<0,1	- <0,1	- <1	-	-
1,1,1-trichloorethaan	<0,1	- <0,1	- <0,5	-	-
1,1,2-trichloorethaan	<0,1	- <0,1	- <1	-	-
1,2-dichlooretheen (c)	19	14	25		
1,2-dichlooretheen (t)	0,6	0,3	0,8		
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	20	++ 14	++ 26	+++	+++
tri(chlooretheen)	160	+ 50	+ 260	+	+
tetrachl.etheen (per)	8,6	+ 7,5	+ 20	+	+
OVERIGE STOFFEN					
DOC vlg. NPR 6522 (mg DOC/l)		4,5			
pH (-)	6,4	6,5	6,6		
EC (µS/cm)	550	570	550		

Bijlage

9

L002-4342065MPM-sbb-V01-NL d.d. 8 juni 2005

afdeling Bedrijven Bodem

Gemeente Arnhem
Dienst Stadsbeheer
t.a.v. mevrouw M. Visser
Postbus 9200
6800 HA ARNHEM

Tauw bv
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66
E-mail info.deventer@tauw.nl
Internet www.tauw.com
KvK 38014985
Lid ONRI

Datum	8 juni 2005	Onze ref.	L002-4342065MPM-sbb-V01-NL
Projectnummer	4342065	Uw ref.	
Behandeld door	mw. ir. M.P.M. van Gool ((0570) 69 91 59)		
E-mail	mpm@tauw.nl		

Betreft analyseresultaten (aanvullend) bodemonderzoek voor proefsanering met ISMP aan de Schaapsdrift te Arnhem

Geachte mevrouw Visser,

Middels deze brieffrapportage ontvangt u de analyseresultaten en interpretatie van het (aanvullend) bodemonderzoek voor de proefsanering met ISMP aan de Schaapsdrift te Arnhem.

Inleiding

In het kader van het SKB-project PT04-105 'In-situ verwijdering van zware metalen uit grondwater middels ISMP in combinatie met de afbraak van gechloroerde koolwaterstoffen' is op de locatie aan de Schaapsdrift onderzoek uitgevoerd naar de concentraties aan zware metalen en chloorhoudende koolwaterstoffen (CKW). De aanleiding van het onderzoek ligt in het feit dat de laatste analyseresultaten van het grondwater op zware metalen uit 1993/1994 zijn en dat laboratoriumproeven moeten worden uitgevoerd waarvoor grond en grondwatermonsters noodzakelijk zijn. Het is niet bekend of de concentraties aan zware metalen tegenwoordig nog in dezelfde hoeveelheden aanwezig zijn. Doel van het onderzoek is het bepalen van de exacte locatie waar de proefsanering met ISMP zal worden uitgevoerd. Daarnaast is het bodemonderzoek uitgevoerd voor het verkrijgen van monsters voor de laboratoriumexperimenten die in het kader van het SKB project zullen worden uitgevoerd.

Uitgevoerde werkzaamheden

Op de locatie aan de Schaapsdrift 51 is op 15 februari 2005 een nieuwe peilbuis 2001 geplaatst door A&G Milieutechniek bv met drie filterstellingen (3-4, 6-7 en 8-9 m -mv). De peilbuis is geplaatst in de buurt van de locatie waar in het verleden de hoogste concentraties aan zware metalen zijn aangetroffen (peilbuis 22 (3-4 m -mv) concentraties aan nikkel 32.000 µg/l, koper 1.000 µg/l, zink 180 µg/l). Tijdens het plaatsen van de peilbuis zijn steekbusmonsters genomen ten behoeve van de laboratoriumexperimenten. De locatie van de peilbuizen is weergegeven in bijlage 1.

Op 1 maart 2005 is het grondwater via deze filters bemonsterd op zware metalen, CKW, minerale olie en cyanide en tevens het grondwater uit een aanwezige peilbuis uit eerder onderzoek (peilbuis 22/307 3-4 m -mv).

Aangezien de concentraties aan verontreinigingen in de nieuwe peilbuizen relatief laag bleken te zijn, is een overleg geweest op 8 april 2005 met een gedeelte van het consortium. Tijdens deze vergadering is besloten om nog aanvullend bodemonderzoek uit te voeren naar de aanwezigheid van de zware metalen in het grondwater stroomafwaarts van de peilbuizen 2001 en 22/307. Daarnaast is besloten om parameters in de grond en het grondwater te bepalen om uit te zoeken of de zware metalen mogelijk natuurlijk worden vastgelegd en wat de retardatiefactor is van de zware metalen.

Op 13 mei 2005 zijn voor het aanvullende bodemonderzoek drie peilbuizen stroomafwaarts van de peilbuizen 2001 en 22/307 tot 4,5 m -mv geplaatst (peilbuizen 2002, 2003 en 2004). De locatie van de nieuw geplaatste peilbuizen is weergegeven in bijlage 1. Tijdens het plaatsen van de peilbuizen zijn grondmonsters genomen van 2,5-4,5 m -mv. De boorprofielen van de boringen zijn opgenomen in bijlage 2. De grondmonsters zijn geanalyseerd op organische stof en lutumgehalten. Daarnaast is het Fe/Al oxidengehalte bepaald middels de oxalaatextractie.

Op 20 mei 2005 is het grondwater uit de filters bemonsterd en geanalyseerd op vijf zware metalen (Ni, Cu, Pb, Zn en Cr) en op CKW. Het grondwater uit peilbuis 2003 is tevens geanalyseerd op DOC. Naast de bodemsamenstelling is de concentratie aan DOC van belang bij de bepaling van de potentie van natuurlijke vastlegging.

Alle analyses zijn uitgevoerd door het door de Raad van Accreditatie geaccrediteerde milieulaboratorium van Tauw Laboratoires cv.

Interpretatiemethodiek van de resultaten

De analyseresultaten van de grond en het grondwater zijn getoetst aan de STI-waarden uit de Wet bodembescherming (Wbb). Dit toetsingskader bestaat uit **Streefwaarden**, **Toetsingswaarden** voor nader onderzoek en **Interventiewaarden**. Dit zijn concentratieniveaus waaraan de analyseresultaten zijn getoetst. De betekenis van de waarden en de wijze van weergave in de tabellen 2, 3, 4 en 5, zijn vermeld in het onderstaande overzicht.

Tabel 1 Overzicht toetsingskader Wbb.

Concentratieniveau voor een stof	Betekenis	Weergave in tabellen
≤ S-waarde (of < detectielimiet)	Niet verontreinigd	-
> S-waarde ≤ T-waarde	Licht verontreinigd (geen <i>duurzame bodemkwaliteit</i> voor de functionele eigenschappen van de bodem voor mens, dier en plant)	+
> T-waarde ≤ I-waarde	Nader bodemonderzoek noodzakelijk	++
> I-waarde	Ernstige bodemverontreiniging	+++

De STI-waarden voor grond zijn afhankelijk van het bodemtype hetgeen wordt bepaald door het gehalte aan **Humus** (organische stof) en/of **Lutum** (kleifractie).

Resultaten

In de tabellen 2, 3, 4 en 5 zijn de resultaten van de grond- en grondwateranalyses weergegeven. De analyseresultaten in tabel 2 zijn ontvangen van Wageningen Universiteit en Research Centrum.

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

Monsteromschrijving	2001		2001	
Diepte (m-mv)	(5,0)		(6,6)	
Lutum (%)*	1,0		1,0	
Humus (%)*	0,3		0,3	
METALEN				
chrom (Cr)	4,87 ± 0,94	-	3,90 ± 0,031	-
koper (Cu)	1,67 ± 0,43	-	2,35 ± 0,04	-
ijzer (Fe)	269,16 ± 4,25	-	172,29 ± 2,48	-
lood (Pb)	2,94 ± 0,05	-	3,43 ± 0,03	-
nikkel (Ni)	4,32 ± 0,47	-	2,36 ± 0,00	-
zink (Zn)	1,6	-	2,93 ± 0,06	-

* bepaald in grondmonsters 2002, 2003 en 2004 (zie tabel 3)

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

Monsteromschrijving	2002+2003+2004 (3-3,5)	2002+2003+2004 (3,5-4,5)
Diepte (m-mv)		
Lutum (%)	1,0	1,0
Humus (%)	0,3	0,3
OVERIGE STOFFEN		
aluminium (Al) (mmol/kg Ds)	3	3
fosfor (P) (mmol/kg Ds)	0,4	0,3
ijzer (Fe) (mmol/kg Ds)	1	1
fosfaatverzadiging (-)	0,22	0,17
calciumcarbonaat (%Ds)	<2,0	<2,0
droge stof (%Ds)	84,5	84,2
fractie < 2 um (%Ds)	<1	<1
gloeirest (%Ds)	99,7	99,7
gloeiverlies (organische stof) (%Ds)	<1	<1

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

Peilbuis	22	2001	2001	2001
Filterdiepte (m-mv)	(3-4)	(3-4)	(6-7)	(8-9)
METALEN				
chrom (Cr)	<2	-	2,0	+ <2
koper (Cu)	5	-	<2	- 14
lood (Pb)	<5	-	<5	- <5
nikkel (Ni)	600	+++	650	+++ 85
zink (Zn)	8	-	24	- 120
				+ 13
ANORGANISCHE VERBINDINGEN				
totaal cyanide (o-NEN 6655)	6	-	29	+ <2
				- <2
GECHLOREERDE KOOLWATERSTOFFEN				
dichloormethaan	<1	-	<20	- <1
trichloormethaan	<0,1	-	<1	- <0,1
tetra(chloormethaan)	<0,1	-	<0,5	- <0,1
1,1-dichloorethaan	<0,1	-	<0,5	- <0,1
1,2-dichloorethaan	<0,1	-	<2	- <0,1
1,1,1-trichloorethaan	<0,1	-	<0,5	- <0,1
1,1,2-trichloorethaan	<0,1	-	<2	- <0,1
1,2-dichlooretheen (c)	6,0	-	25	- <0,1
1,2-dichlooretheen (t)	0,1	-	<0,5	- <0,1
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	6,1	+	25	+++ n.a.
tri(chlooretheen)	30	+	29	+ 0,3
tetrachl.etheen (per)	7,1	+	6,6	+ 0,8
				+ <0,1
OVERIGE STOFFEN				
minerale olie (C10-C40)	<50	-	2800	+++ <50
				- <50
kws-fractie C10-C12	<10	-	2400	<10
kws-fractie C12-C16	<10	-	140	<10
kws-fractie C16-C20	<5	-	<50	<5
kws-fractie C20-C24	<5	-	<50	<5
kws-fractie C24-C28	<5	-	74	<5
kws-fractie C28-C32	<5	-	56	<5
kws-fractie C32-C36	<5	-	<50	<5
kws-fractie C36-C40	<5	-	<50	<5
pH (-)	5,8	-	6,1	5,2
EC (µS/cm)	396	-	488	310
				447

n.a.: niet aantoonbaar

Tabel 5 Analyseresultaten grondwater ($\mu\text{g/l}$) en interpretatie.

Peilbuis Filterdiepte (m-mv)	2002 (3,5-4,5)	2003 (3,5-4,5)	2004 (3,5-4,5)			
METALEN						
chrom (Cr)	<2	-	<2	-	<2	-
koper (Cu)	<4,5	-	<6	-	<2	-
lood (Pb)	<5	-	<5	-	<5	-
nikkel (Ni)	800	+++	1300	+++	1700	+++
zink (Zn)	45	-	19	-	60	-
GECHLOOREERDE KOOLWATERSTOFFEN						
dichloormethaan	<1	-	<1	-	<10	-
trichloormethaan	<0,1	-	<0,1	-	0,7	-
tetra(chloormethaan)	<0,1	-	<0,1	-	<0,2	-
1,1-dichloorethaan	<0,1	-	<0,1	-	<0,2	-
1,2-dichloorethaan	<0,1	-	<0,1	-	<1	-
1,1,1-trichloorethaan	<0,1	-	<0,1	-	<0,5	-
1,1,2-trichloorethaan	<0,1	-	<0,1	-	<1	-
1,2-dichlooretheen (c)	19		14		25	
1,2-dichlooretheen (t)	0,6		0,3		0,8	
1,2-dichl.etheen (cis+trans)	20	++	14	++	26	+++
tri(chlooretheen)	160	+	50	+	260	+
tetrachl.etheen (per)	8,6	+	7,5	+	20	+
OVERIGE STOFFEN						
DOC vlgs. NPR 6522 (mg DOC/l)			4,5			
pH (-)	6,4		6,5		6,6	
EC ($\mu\text{S/cm}$)	550		570		550	

In bijlage 3 zijn de analysecertificaten van de uitgevoerde analyses opgenomen.

Interpretatie van de resultaten

Uit de analyseresultaten in tabel 4 blijkt dat in de voormalige bron (peilbuizen 2001 en 22/307) te weinig verontreiniging in het grondwater aanwezig is om de proefsanering uit te voeren. Van de zware metalen is in de peilbuizen 2001 en 22/307 alleen nikkel in het grondwater nog in een concentratie boven de interventiewaarde aangetroffen (op een diepte van 3-4 m -mv). De concentratie aan nikkel is circa 50x lager dan in 1994 voor het laatst is gemeten.

Op een diepte van 3-4 m -mv worden de hoogste concentraties aan CKW gemeten. De concentraties aan tri en per zijn echter te laag om gedurende een proefsanering een duidelijke afname te zien in de concentraties. Naast CKW en zware metalen worden in peilbuis 2001 (3-4 m -mv) sterk verhoogde (> I-waarde) concentraties aan minerale olie gemeten en licht verhoogde (> S-waarde) concentraties aan cyanide. De aanwezigheid aan cyanide en minerale olie in het proefsaneringsgebied is echter niet gewenst omdat voor de sanering van cyanide en minerale olie juist zuurstof nodig is voor afbraak (in tegenstelling tot ISMP in combinatie met natuurlijke afbraak van CKW).

Op basis van de resultaten in tabel 4 en bovenstaande interpretatie is besloten stroomafwaarts nog enkele peilbuizen te plaatsen. In bijlage 1 is de locatie van de peilbuizen 2002, 2003 en 2004 weergegeven. De peilbuizen 2003 en 2004 zijn direct ten zuiden (in de stromingsrichting van het grondwater) respectievelijk circa 10 en 24 m van peilbuis 2001 en 22/307 geplaatst. Peilbuis 2002 is circa 4,5 m meer oostelijk dan peilbuis 2003 geplaatst.

Uit de resultaten in tabel 5 blijkt dat op 10 en 24 m afstand van de voormalige bron een tweemaal hogere concentratie aan nikkel is aangetroffen dan de concentraties die gemeten zijn in peilbuis 2001 en 22/307. De aangetroffen concentraties aan nikkel in de pluim zijn hoger dan de concentraties die in het verleden in de pluim zijn aangetroffen. Op basis van de resultaten lijkt het erop dat nikkel zich stroomafwaarts van de bron heeft verspreid. De concentraties aan nikkel in de pluim zijn in principe hoog genoeg om een afname te zien tijdens de proefsanering met ISMP.

Er is echter alleen sprake van de aanwezigheid van nikkel, terwijl in het projectvoorstel is gesproken over het uitvoeren van ISMP op meerdere zware metalen.

De concentraties aan per en tri zijn in peilbuis 2004 (3,5-4,5 m -mv) licht verhoogd waargenomen. De concentraties zijn echter in verhouding met de waargenomen metingen in 1993 sterk afgenomen (peilbuis 16; 1.100 µg/l tri, 56 µg/l per).

De lagere concentraties aan zware metalen in de bron kunnen mogelijk worden verklaard door het niet meer naleveren van de bron in de onverzadigde zone. Door de bouw van de loods op de Schaapsdrift 51, tien jaar geleden, kan geen regenwater meer infiltreren en zorgen voor nalevering van zware metalen aan het grondwater. De verwachting is daarom dat de bron zich gedeeltelijk stroomafwaarts heeft verspreid. Met behulp van de parameters in tabel 3 en het BOS-NA systeem is opnieuw de retardatiefactor bepaald. In tabel 6 is weergegeven wat de resultaten hiervan zijn.

Tabel 6 Bepaling retardatiefactor.

	Stromingssnelheid grondwater 90 m/jaar	Stromingssnelheid grondwater 180 m/jaar
Humus (%)	0,3	0,3
Lutum (%)	1	1
Fe/Al oxides (%)	0,036	0,036
Gemiddelde retardatie berekend in BOS-NA bij pH 5,5-6,0-6,5	91,3	91,3
Retardatiefactor (m/jaar)	0,99	1,97
Afstand tot bron na 12 jaar (m)	12	24

Uit de resultaten blijkt dat de verontreiniging aan zware metalen zich zonder natuurlijke vastlegging zal hebben verspreid op een afstand tussen de 12 en 24 m vanaf de voormalige bron.

Natuurlijke vastlegging

Uit de parameters van tabel 3 blijkt dat de bodemsamenstelling arm is. Hierdoor is de verwachting dat natuurlijke vastlegging minder kansrijk is. Het is echter van belang hierbij ook naar de vracht te kijken. Wanneer wordt uitgegaan van een concentratie van 1.000 µg/l in een gebied van 1.200 m² met een dikte van 1 m en een poriefactor van 0,3 kan een vracht worden berekend van 400 gram nikkel. Met behulp van het BOS-NA systeem en de concentratie aan DOC is globaal berekend dat zonder nalevering een volume grond en grondwater nodig is van 330 m³. Dit zou betekenen dat de pluim nog 11 meter uitbreidt en dat dan alle zware metalen zijn vastgelegd (in het geval dat geen nalevering vanuit de pluim of de bron plaatsvindt). Uit bovengenoemde globale berekening blijkt dat de concentraties aan nikkel niet extreem hoog zijn waardoor natuurlijke vastlegging een mogelijke saneringsvariant is (ook aangezien de aangetroffen concentraties lager zijn dan de concentraties in de bron in het verleden). Nadeel van natuurlijke vastlegging is wel dat dit een langdurige monitoring vereist. Verder is het aannemelijk dat nalevering (desorptie) van nikkel vanuit de bodem optreedt, waardoor de uitbreiding van de pluim groter zal zijn dan nu is berekend.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de analyseresultaten is gebleken dat de concentraties aan nikkel en CKW voldoende hoog zijn om de proefsanering met ISMP en natuurlijke afbraak van CKW stroomafwaarts van de bron uit te voeren. Voor de proefsanering zijn drie locaties mogelijk (die worden aangeduid met behulp van de nieuw geplaatste peilbuizen, zie bijlage 4):

1. 2001 als referentiepeilbuis en injectie net stroomafwaarts van peilbuis 2001, monitoringsfilters worden in de loods aan de Schaapsdrift 51 geplaatst met 2002 en 2003 als monitoringsfilters;
2. 2003 als injectiefilter en stroomafwaarts in de In&Oud (Schaapsdrift 79) worden monitoringsfilters geplaatst;
3. 2004 als injectiefilter en stroomafwaarts worden monitoringsfilters geplaatst in de USN-Centuri (Schaapsdrift 85).

Het voordeel van optie 1 is dat alle peilbuizen in de loods kunnen worden geplaatst en dat peilbuizen 2002 en 2003 als monitoringsfilters kunnen worden gebruikt. Het nadeel van optie 1 is dat de concentraties aan zware metalen en CKW lager zijn ten opzichte van de locaties stroomafwaarts. Daarnaast zijn minerale olie en cyanide op de locatie aangetroffen wat mogelijk in een later stadium bij sanering van deze verontreinigingen het effect van ISMP teniet kan doen. Het voordeel van optie 2 is dat de concentraties aan nikkel in peilbuis 2003 hoog genoeg zijn en dat de concentraties waarschijnlijk tot en met peilbuis 2004 in deze orde van grootte liggen. Het nadeel van optie 2 is dat de locatie (In&Oud) in een redelijk druk bezocht winkelpand is waardoor het plaatsen van monitoringsfilters, injectie en monitoring veel overlast met zich meebrengt. Daarnaast is niet bepaald of minerale olie en cyanide aanwezig is op deze locatie.

Het voordeel van optie 3 is dat de instroom van verontreiniging met zware metalen gewaarborgd is. Omdat stroomopwaarts nog steeds hoge concentraties worden gemeten, zal een continue hoge concentratie aan nikkel het proefsaneringsgebied instromen. Daarnaast is in peilbuis 2004 de hoogste concentratie aan CKW van alle vier de nieuw geplaatste peilbuizen gemeten. Tevens is het in de USN-Centuri goed mogelijk monitoringsfilters te plaatsen, te injecteren en te monitoren. Het nadeel van optie 3 is dat niet bekend is wat de concentraties aan nikkel verder stroomafwaarts zijn en dat geen gebruik kan worden gemaakt van eerder geplaatste peilbuizen. Daarnaast is niet bepaald of minerale olie en cyanide aanwezig is op deze locatie.

Het is nu aan het consortium om te bepalen of het vindt dat de concentraties aan zware metalen en CKW hoog genoeg zijn om de proefsanering uit te voeren. Wanneer de beslissing wordt genomen om de proef uit te voeren, zal moeten worden bepaald op welke locatie de proef zal worden uitgevoerd.

Wij verwachten u hiermee van dienst te zijn.

Met vriendelijke groet,

ir. J.J. Steketee
senior-adviseur grond- en reststoffen

Bijlage(n):

1. Situering monsterpunten
2. Boorprofielen
3. Analysecertificaten
4. Mogelijke locaties proefsanering

c.c.: de heer M. Pruijn - A&G Milieutechniek bv
 de heer P.A.M. van den Broek - A&G Milieutechniek bv
 de heer E. Temminghoff - Wageningen Universiteit



T4342065

● B4342065

0 10 20 Meters

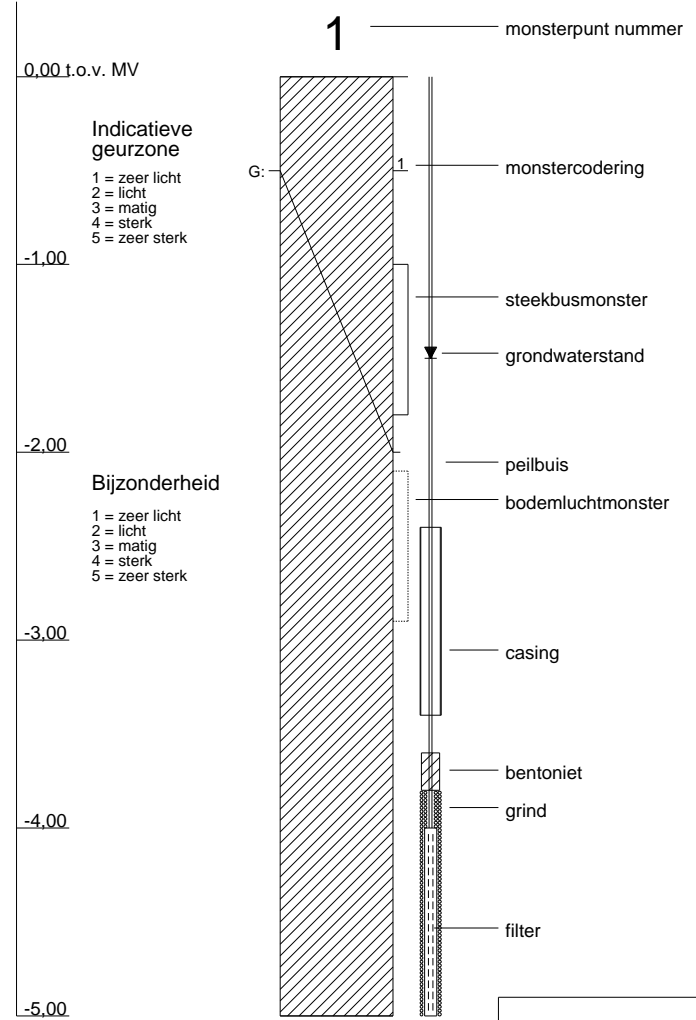
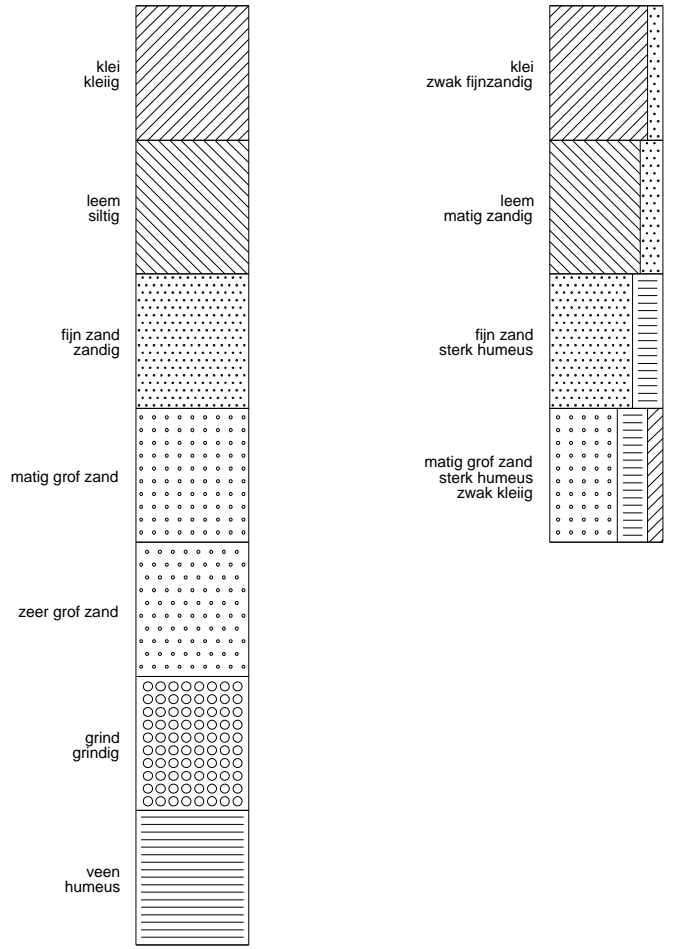


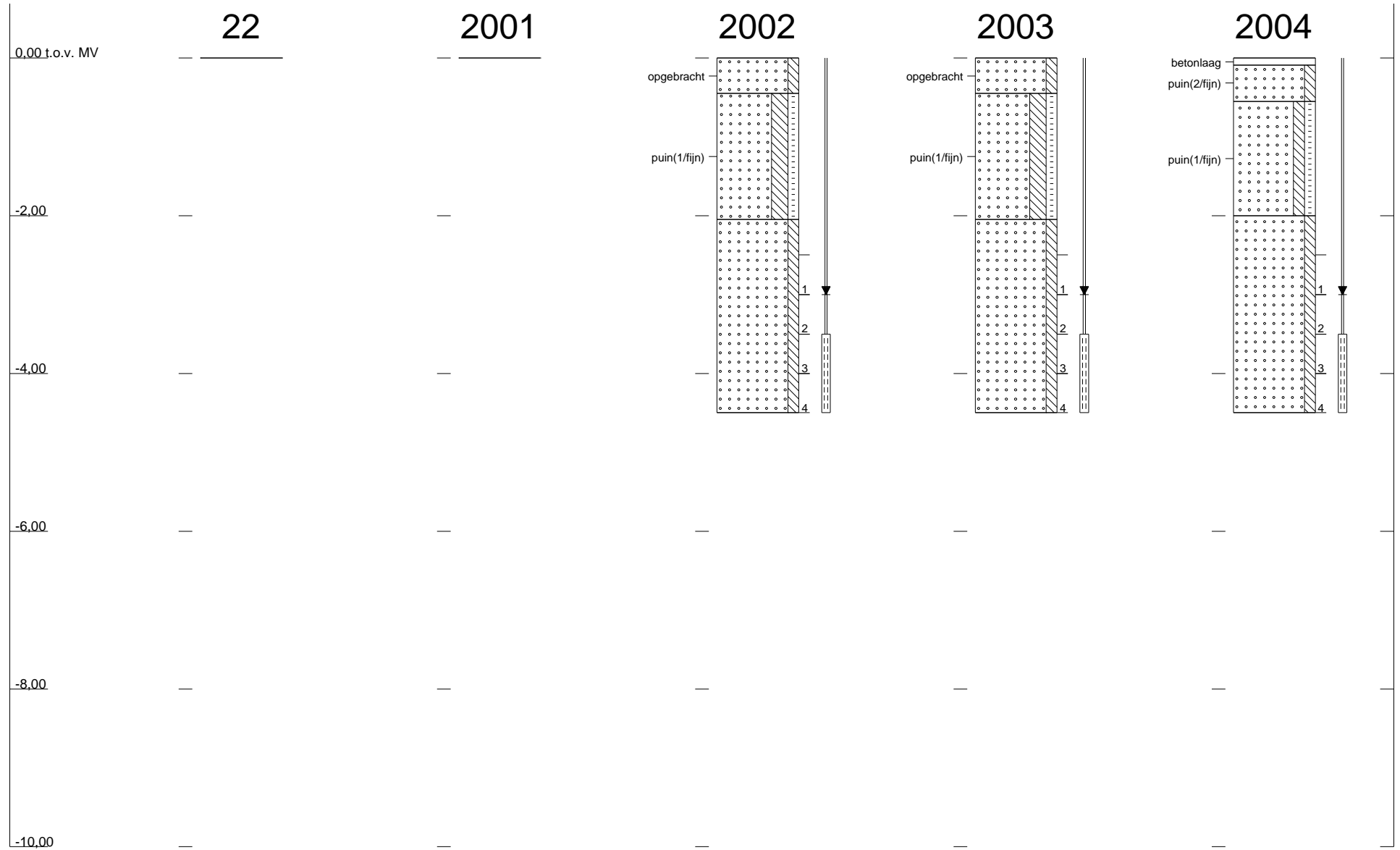
Opdrachtgever Gemeente Arnhem	Schaal 1:500	Status CONCEPT
Project Arnhem, schaapsdrift SKB-project ISMP	Formaat A3	Projectnummer 4342065
Onderdeel Situering monsterpunten	Datum 11-07-05 Getek. EWM Gec. EWM	Tekeningnummer 101



Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Legenda boorprofielen







Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

Blad 1 van 3

ANALYSERESULTATEN

Projectnummer : 4342065
Project/lokatie : arnhem, schaapsdrift ismp. en
na ckw

Analyselijstnummer : 892752
Bemonsterd door : Tauw bv
Opdrachtacceptatie : 01/03/05
Datum rapport : 07/03/05

Omschrijving monsters	Betreffende	Monstername
1 : Pb 22 F(3-4)	grondwater	01/03/05
2 : Pb 2001 F(3-4)	grondwater	01/03/05
3 : Pb 2001 F(6-7)	grondwater	01/03/05
4 : Pb 2001 F(8-9)	grondwater	01/03/05

ANALYSE		Einheid	1	2	3	4
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES						
Q	Totaal cyanide (NEN)	µg/l	6	29	<2	<2
VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE						
	Geen voorbehandeling uitgevoerd		+	+	+	+
ICP-TECHNIEK (AES)						
Q	Chroom (Cr)	µg/l	<2	2.0	<2	<2
Q	Koper (Cu)	µg/l	5	<2	14	3.0
Q	Nikkel (Ni)	µg/l	600	650	85	<5
Q	Lood (Pb)	µg/l	<5	<5	<5	<5
Q	Zink (Zn)	µg/l	8	24	120	13
CHLOORHOUDENDE KOOLWATERSTOFFEN						
d.m.v. GC-MS						
Q	Dichloormethaan	µg/l	<1	<20	(h) <1	<1
Q	Chloroform	µg/l	<0.1	<1	<0.1	<0.1
Q	Tetrachloorkoolstof (tetra)	µg/l	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1
Q	Trichlooretheen (tri)	µg/l	30	29	0.3	<0.1
Q	Tetrachlooretheen (per)	µg/l	7.1	6.6	0.8	<0.1
Q	1,1,1-Trichloorethaan	µg/l	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1
Q	1,1,2-Trichloorethaan	µg/l	<0.1	<2	<0.1	<0.1
Q	1,1-Dichloorethaan	µg/l	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1
Q	1,2-Dichloorethaan	µg/l	<0.1	<2	<0.1	<0.1
Q	1,2-Dichlooretheen (cis)	µg/l	6.0	25	<0.1	<0.1
Q	1,2-Dichlooretheen (trans)	µg/l	0.1	<0.5	<0.1	<0.1
	Som 1,2-Dichloorethenen	µg/l	6.1	25	n.a.	n.a.
OLIE ANALYSE						
Q	d.m.v. GC-FID					
	Koolwaterstoffractie C10-C40	µg/l	<50	2800	<50	<50
	Koolwaterstoffractie C10-C12	µg/l	<10	2400	<10	<10
	Koolwaterstoffractie C12-C16	µg/l	<10	140	<10	<10
	Koolwaterstoffractie C16-C20	µg/l	<5	<50	<5	<5
	Koolwaterstoffractie C20-C24	µg/l	<5	<50	<5	<5
	Koolwaterstoffractie C24-C28	µg/l	<5	74	<5	<5
	Koolwaterstoffractie C28-C32	µg/l	<5	56	<5	<5
	Koolwaterstoffractie C32-C36	µg/l	<5	<50	<5	<5
	Koolwaterstoffractie C36-C40	µg/l	<5	<50	<5	<5

De met "Q" gemerkte analyses op dit blad zijn door de Raad voor Accreditatie geaccrediteerd.

De tussen haakjes vermelde lettercodes geven aan dat betreffende bepaling of monster van commentaar is voorzien. Zie hiervoor het blad 'Toelichting' bij dit rapport.



Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

T O E L I C H T I N G

Blad 2 van 3

Behorende bij : Projectnummer : 4342065
Analyselijstnummer : 892752

VERKLARING LETTERCODES

(h) : Vanwege de storende invloed van de monstermatrix zijn de bepalingsgrenzen van een of meerdere verbindingen verhoogd.



Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

Blad 3 van 3

TOELICHTING

Behorende bij : Projectnummer : 4342065
Analyselijstnummer : 892752

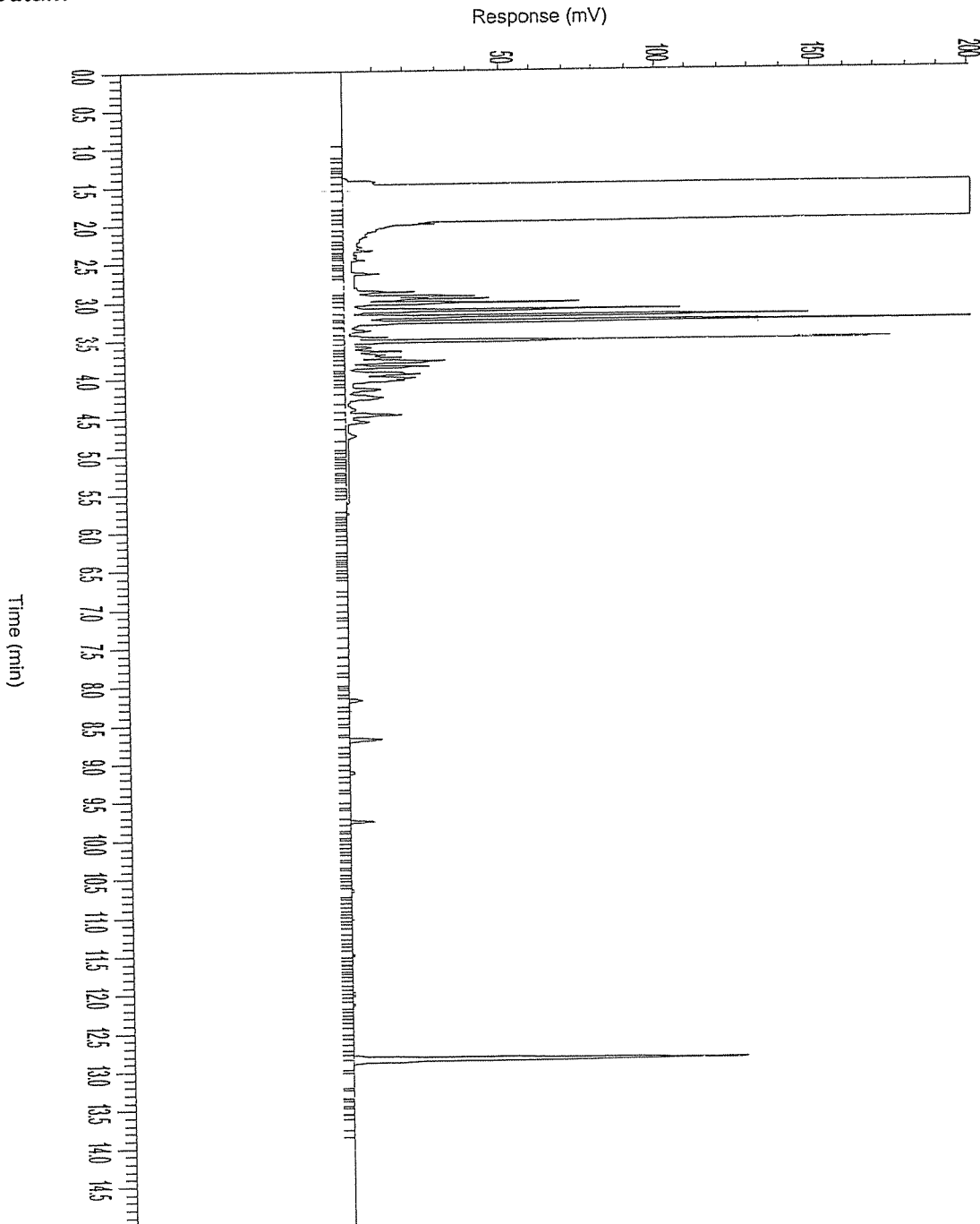
TOEGEPASTE METHODEN EN TECHNIEKEN.

KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES Totaal cyanide (NEN)	[grondwater] : conform NEN EN ISO 14403, d.m.v. fotometrie (met auto-analyzer)
VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE Geen voorbehandeling uitgevoerd	[grondwater] : niet van toepassing,
ICP-TECHNIEK (AES) Voor alle parameters	[grondwater] : conform NEN 6426 / conform NEN-EN-ISO 11885, d.m.v. ICP-AES
CHLOORHOUDENDE KOOLWATERSTOFFEN Voor alle parameters	[grondwater] : conform NEN 6407, d.m.v. GC-MS
OLIE ANALYSE Voor alle parameters	[grondwater] : eigen methode, d.m.v. GC-FID



Chromatogram

Analyselijst 892752
Monsternr 02
Datum 07-03-2005





Handelskade 39
 7417 DE Deventer
 Postbus 693
 7400 AR Deventer
 Telefoon (0570) 69 97 65
 Fax (0570) 69 97 61

A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Blad 1 van 2

Projectnummer : 4342065
 Project/lokatie : Arnhem, Schaapsdrift ISMP. en NA CKW

Analyselijstnummer : 899252
 Bemonsterd door : abd
 Opdrachtacceptatie : 13/05/05
 Datum rapport : 23/05/05

Omschrijving monsters	Betreffende	Monstername
13 : 2002 (3-3.5)+2003 (3-3.5)+2004 (3-3.5)	bodem/grond	13/05/05
14 : 2002(3.5-4)+2002(4-4.5)+2003(3.5-4)+2003(4-4.5)+2004	bodem/grond	13/05/05

A N A L Y S E	Eenheid	13	14
ALGEMENE MONSTERVOORBEHANDELING			
Mengen, 3 potten/flessen		+	+
Mengen, 6 potten/flessen			
MONSTERVOORBEHANDELING KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES			
Q Voorbehandeling fractie analyse		+	+
Q Calciumcarbonaat	% van Ds	<2.0	<2.0
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES			
Q Droge stof (Ds)	%	84.5	84.2
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES			
Q Gloeirest	% van Ds	99.7	99.7
Gloeiverlies (organische stof)	% van Ds	<1	<1
FRACTIES m.b.v. SEDIGRAAF			
Q Fractie < 2 µm	% van Ds	<1	<1
VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE			
Extractie fosfaatverzadiging		+	+
ICP-TECHNIEK (AES)			
Aluminium (Al)	mmol/kg Ds	3	3
IJzer (Fe)	mmol/kg Ds	1	1
Fosfaatverzadiging		0.22	0.17
Fosfor (P)	mmol/kg Ds	0.4	0.3

De met "Q" gemerkte analyses op dit blad zijn door de Raad voor Accreditatie geaccrediteerd.

De tussen haakjes vermelde lettercodes geven aan dat betreffende bepaling of monster van commentaar is voorzien. Zie hiervoor het blad 'Toelichting' bij dit rapport.



Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

T O E L I C H T I N G

Blad 2 van 2

Behorende bij : Projectnummer : 4342065
Analyselijstnummer : 899252

TOEGEPASTE METHODEN EN TECHNIEKEN.

ALGEMENE MONSTERVOORBEHANDELING [bodem/grond]
Mengen, 3 potten/flessen : eigen methode,
Mengen, 6 potten/flessen : eigen methode,

MONSTERVOORBEHANDELING KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES [bodem/grond]
Voor alle parameters : eigen methode, d.m.v. gravimetrie
Met uitzondering van:
Voorbehandeling fractie analyse : eigen methode, diversen

KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES [bodem/grond]
Droge stof (Ds) : gelijkwaardig aan NEN 5747, d.m.v. gravimetrie

KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES [bodem/grond]
Gloeirest : eigen methode, d.m.v. gravimetrie
Gloeiverlies (organische stof) : eigen methode, d.m.v. gravimetrie

FRACTIES m.b.v. SEDIGRAAF [bodem/grond]
Voor alle parameters : methode zie 'Voorbehandeling fractie analyse', d.m.v. sedigraaf

VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE [bodem/grond]
Extractie fosfaatverzadiging : conform NEN 5776, d.m.v. extractie met een mengsel van oxaalzuur en ammoniumoxalaat

ICP-TECHNIEK (AES) [bodem/grond]
Voor alle parameters : conform NEN 5776, d.m.v. ICP-AES



Handelskade 39
 7417 DE Deventer
 Postbus 693
 7400 AR Deventer
 Telefoon (0570) 69 97 65
 Fax (0570) 69 97 61

ANALYSERESULTATEN

Blad 1 van 3

Projectnummer : 4342065
 Project/lokatie : arnhem, schaapsdrift ismp. en na ckw

Analyselijstnummer : 899786
 Bemonsterd door : Tauw bv
 Opdrachtacceptatie : 20/05/05
 Datum rapport : 26/05/05

Omschrijving monsters
 1 : Pb 2002 F(3.5-4.5)
 2 : Pb 2003 F(3.5-4.5)
 3 : Pb 2004 F(3.5-4.5)

Betreffende
 grondwater 20/05/05
 grondwater 20/05/05
 grondwater 20/05/05

A N A L Y S E		Eenheid	1	2	3
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES					
Q DOC	mg DOC/l			4.5	
VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE					
Geen voorbehandeling uitgevoerd					
ICP-TECHNIEK (AES)					
Q Chroom (Cr)	µg/l	<2		<2	<2
Q Koper (Cu)	µg/l	<4.5	(ha)	<6	(ha) <2
Q Nikkel (Ni)	µg/l	800		1300	1700
Q Lood (Pb)	µg/l	<5		<5	<5
Q Zink (Zn)	µg/l	45		19	60
CHLOORHOUDENDE KOOLWATERSTOFFEN					
d.m.v. GC-MS					
Q Dichloormethaan	µg/l	<1		<1	<10 (az)
Q Chloroform	µg/l	<0.1		<0.1	0.7
Q Tetrachloorkoolstof (tetra)	µg/l	<0.1		<0.1	<0.2
Q Trichlooretheen (tri)	µg/l	160		50	260
Q Tetrachlooretheen (per)	µg/l	8.6		7.5	20
Q 1,1,1-Trichloorethaan	µg/l	<0.1		<0.1	<0.5
Q 1,1,2-Trichloorethaan	µg/l	<0.1		<0.1	<1
Q 1,1-Dichloorethaan	µg/l	<0.1		<0.1	<0.2
Q 1,2-Dichloorethaan	µg/l	<0.1		<0.1	<1
Q 1,2-Dichlooretheen (cis)	µg/l	19		14	25
Q 1,2-Dichlooretheen (trans)	µg/l	0.6		0.3	0.8
Q Som 1,2-Dichloorethenen	µg/l	20		14	26

De met "Q" gemerkte analyses op dit blad zijn door de Raad voor Accreditatie geaccrediteerd.

De tussen haakjes vermelde lettercodes geven aan dat betreffende bepaling of monster van commentaar is voorzien. Zie hiervoor het blad 'Toelichting' bij dit rapport.



Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

T O E L I C H T I N G

Blad 2 van 3

Behorende bij : Projectnummer : 4342065
Analyselijstnummer : 899786

VERKLARING LETTERCODES

- (az) : Vanwege het hoge gehalte aan een of meerdere verbindingen zijn bepalingsgrenzen verhoogd.
- (ha) : Vanwege de storende invloed van de monstermatrix is de bepalingsgrens voor dit element verhoogd.



Handelskade 39
7417 DE Deventer
Postbus 693
7400 AR Deventer
Telefoon (0570) 69 97 65
Fax (0570) 69 97 61

T O E L I C H T I N G

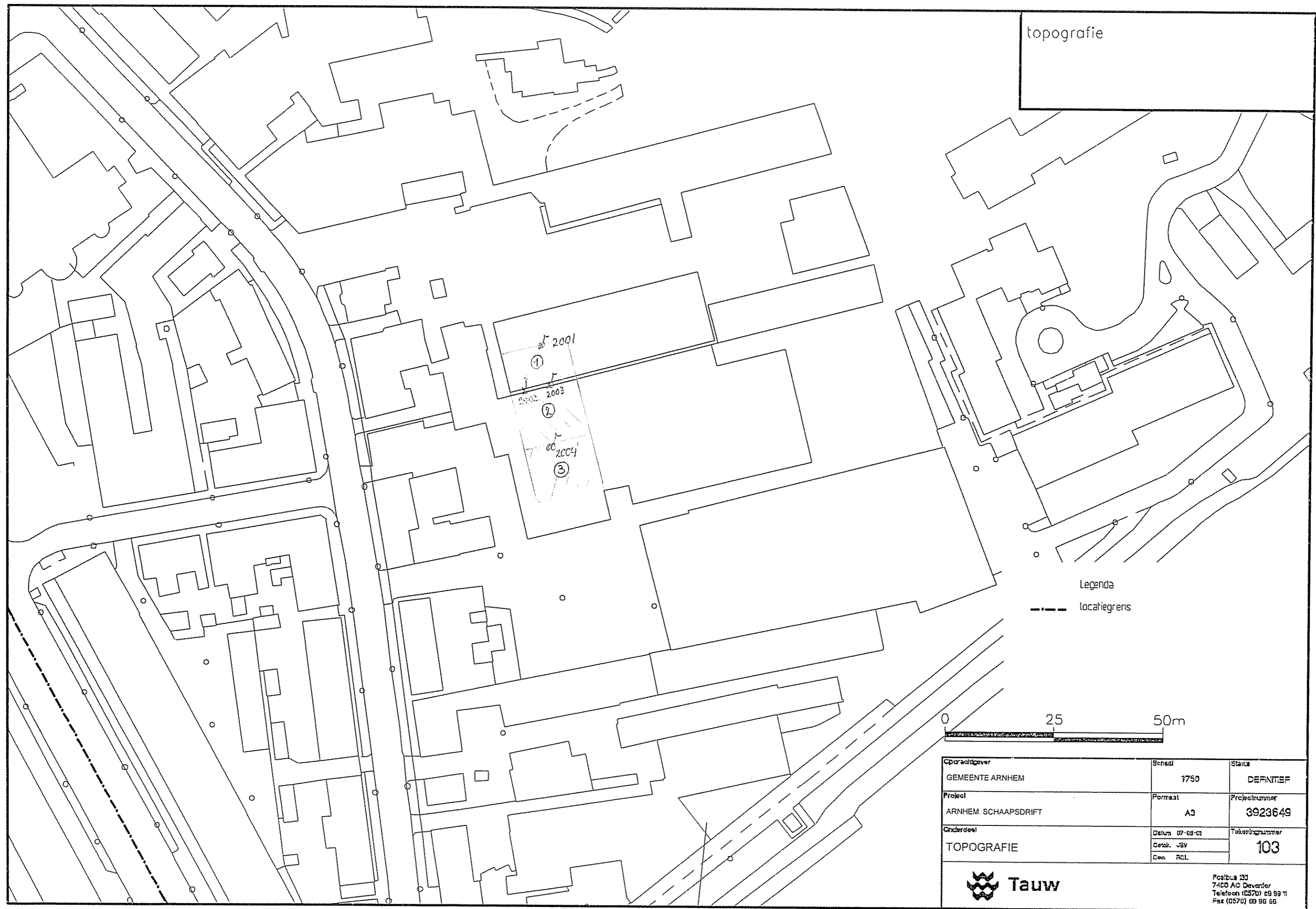
Blad 3 van 3

Behorende bij : Projectnummer : 4342065
Analyselijstnummer : 899786

TOEGEPASTE METHODEN EN TECHNIEKEN.

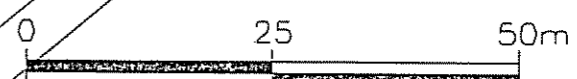
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES DOC	[grondwater] : conform NEN-EN 1484, d.m.v. UV-ontsluiting en IR-detectie
VOORBEHANDELING METALEN ANALYSE Geen voorbehandeling uitgevoerd	[grondwater] : niet van toepassing,
ICP-TECHNIEK (AES) Voor alle parameters	[grondwater] : conform NEN 6426 / conform NEN-EN-ISO 11885, d.m.v. ICP-AES
CHLOORHOUDENDE KOOLWATERSTOFFEN Voor alle parameters	[grondwater] : conform NEN 6407, d.m.v. GC-MS

topografie



Legenda

--- locatiegrens



Opdrachtgever GEMEENTE ARNHEM	Schaal 1:750	Status DEFINITIEF
Project ARNHEM, SCHAAPSDRIEF	Formaat A3	Projectnummer 3923649
Orderdeel TOPOGRAFIE	Datum 07-08-01 Getek. J&V Oec. RCL	Tekeningnummer 103



Postbus 333
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 49 99 11
Fax (0570) 49 96 66

Bijlage

10

Rapportage Tebodin



Fax

Aan	Fax
Gemeente Arnhem	026 - 3774 224
Ter attentie van	
Marion Visser	
Opsteller	Uw referentie
J. Jansen	-/-
Telefoon	Ordernummer
040 - 2652 170	34893/00
Fax	Volgnummer
040 - 2652 200	238
E-mail	Datum
j.jansen@tebodind.nl	7 september 2005
Project	Pagina
Schaapsdrift 85-91 te Arnhem	1 van 9
Onderwerp	
Resultaten en toetsing grondwateranalyses	

Beste Marion,

Zoals zojuist telefonisch besproken ontvang je hierbij een kopie van het rapport van de grondwateranalyses met betrekking tot bovengenoemd project. Tevens zijn de toetsingstabellen bijgevoegd.

Ik vertrouw erop je hiermee in voldoende mate van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,
Tebodin B.V.

Johan Jansen



Bijlage: Analyserapport (053449P, 5 pagina's) + toetsing (3 pagina's)



ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.
 Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
 Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34
 www.alcontrol.nl

TEBODIN EINDHOVEN
 J. Jansen
 Postbus 7613
 5601 JP Eindhoven

Hoogvliet, 02-09-2005

Geachte J. Jansen,

Hierbij zenden wij u de analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek van het door u aangeboden monstermateriaal met de bij de monsterspecificatie weergegeven beschrijving.
 Deze resultaten hebben betrekking op :

Uw projektnaam : Schaapsdrift te Arnhem
 Uw projektnummer : 34895/00

ALcontrol rapportnummer : 053449P

Dit analyserapport bestaat uit een begeleidende brief, 4 resultaatbijlagen en eventuele informatieve bijlagen. De bijlagen hebben betrekking op de analyseresultaten, toegepaste analysemethoden, aangeleverde verpakkingen, monsternamedatum, oliechromatogrammen en mogelijke geconstateerde afwijkingen. Alle bijlagen maken onlosmakelijk onderdeel uit van het rapport. Uitgebreide informatie over de toegepaste analysemethoden kunt u terugvinden in onze informatiegids, uitgave 2004.

Indien u vragen en/of opmerkingen heeft naar aanleiding van deze resultaten, verzoeken wij u contact op te nemen met de afdeling Customer Services.
 Alleen vermenigvuldiging van het hele rapport is toegestaan.

Hoogvliet,

Vertrouwende u met deze informatie van dienst te zijn, verblijven wij
 Hoogachtend,

drs. M.G.M. Groenewegen
 Business Manager Milieu

voor deze:



ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.

Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet

Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34

www.alcontrol.nl

Bijlage 1 van 4

TEBODIN EINDHOVEN

J. Jansen

Projectnaam : Schaapsdrift te Arnhem

Projectnummer : 34895/00

Datum opdracht : 26-08-2005

Startdatum : 26-08-2005

Rapportnummer : 053449P

Rapportagedatum : 02-09-2005

Analyse	Eenheid	X01	X02	X03	X04	X05	X06
METALEN							
arsen	ug/l	<5	<5	<5	<5	<5	5.8
cadmium	ug/l	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
chrom	ug/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1
koper	ug/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5
kwik	ug/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
lood	ug/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10
nikkel	ug/l	29	<10	<10	22	120 #	<10
zink	ug/l	<20	<20	<20	<20	<20	25
VLUCHTIGE AROMATEN							
benzeen	ug/l	<2 #	<40 #	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
tolueen	ug/l	<2 #	<40 #	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
ethylbenzeen	ug/l	<2 #	<40 #	<0.2	<0.2	<0.2	0.25
xylene	ug/l	<5 #	<100 #	<0.5	<0.5	<0.5	1
Totaal BTEX	ug/l	<10 #	<200 #	<1	<1	<1	1.5
naftaleen	ug/l	<2 #	<80 #	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
GEHALOGENEERDE KOOLWATERSTOFFEN							
1,2-dichloorethaan	ug/l	<1 #	<20 #	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
cis 1,2-dichlooretheen	ug/l	39	<20 #	39	0.33	0.19	34
tetrachlooretheen	ug/l	220	14000	35	41	16	880
tetrachloormethaan	ug/l	<1 #	<20 #	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1,1,1-trichloorethaan	ug/l	<1 #	<20 #	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1,1,2-trichloorethaan	ug/l	<1 #	<20 #	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
trichlooretheen	ug/l	400	81	200	3.7	2.5	130
chloroform	ug/l	2.9	27	<0.1	<0.1	<0.1	4.6
CHLOORBENZENEN							
monochloorbenzeen	ug/l	<2 #	<40 #	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
dichloorbenzenen	ug/l	<2 #	<40 #	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
MINERALE OLIE							
fractie C10 - C12	ug/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fractie C12 - C22	ug/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fractie C22 - C30	ug/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fractie C30 - C40	ug/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10
totaal olie C10-C40	ug/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Kode	Monstersoort	Monsterspecificatie
X01	grondwater	pb 19
X02	grondwater	pb 38
X03	grondwater	pb 41-1
X04	grondwater	pb 41-2
X05	grondwater	pb 41-3
X06	grondwater	pb 73





ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.
 Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
 Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34
 www.alcontrol.nl
 Bijlage 2 van 4

TEBODIN EINDHOVEN
 J. Jansen

Projectnaam : Schaapsdrift te Arnhem
 Projectnummer : 34895/00
 Datum opdracht : 26-08-2005
 Startdatum : 26-08-2005

Rapportnummer : 053449P
 Rapportagedatum : 02-09-2005

Analyse	Eenheid	X07
---------	---------	-----

METALEN

arseen	ug/l	<5
cadmium	ug/l	<0.4
chrom	ug/l	<1
koper	ug/l	<5
kwik	ug/l	<0.05
lood	ug/l	<10
nikkel	ug/l	<10
zink	ug/l	<20

VLUCHTIGE AROMATEN

benzeen	ug/l	<0.2
tolueen	ug/l	<0.2
ethylbenzeen	ug/l	<0.2
xylene	ug/l	0.77
Totaal BTEX	ug/l	1.0
naftaleen	ug/l	<0.2

GEHALOGENEERDE KOOLWATERSTOFFEN

1,2-dichloorethaan	ug/l	<0.1
cis 1,2-dichlooretheen	ug/l	0.37
tetrachlooretheen	ug/l	11
tetrachloormethaan	ug/l	<0.1
1,1,1-trichloorethaan	ug/l	<0.1
1,1,2-trichloorethaan	ug/l	<0.1
trichlooretheen	ug/l	4.8
chloroform	ug/l	<0.1

CHLOORBENZENEN

monochloorbenzeen	ug/l	<0.2
dichloorbenzenen	ug/l	<0.2

MINERALE OLIE

fractie C10 - C12	ug/l	<10
fractie C12 - C22	ug/l	<10
fractie C22 - C30	ug/l	<10
fractie C30 - C40	ug/l	<10
totaal olie C10-C40	ug/l	<50

Kode	Monstersoort	Monsterspecificatie
------	--------------	---------------------

X07	grondwater	pb 287
-----	------------	--------





ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.
 Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
 Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34
 www.alcontrol.nl
 Bijlage 3 van 4

TEBODIN EINDHOVEN
 J. Jansen

Projectnaam : Scheepsdrift te Arnhem
 Projectnummer : 34895/00
 Datum opdracht : 26-08-2005
 Startdatum : 26-08-2005

Rapportnummer : 053449P
 Rapportagedatum : 02-09-2005

Opmerkingen

Monster X001	pb 19
monochloorbenzeen	De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. de aanwezigheid van componenten, die een storende invloed hebben op de meting.
dichloorbenzenen	Idem
tetrachloormethaan	Idem
1,2-dichloorethaan	Idem
1,1,1-trichloorethaan	Idem
1,1,2-trichloorethaan	Idem
benzeen	Idem
tolueen	Idem
ethylbenzeen	Idem
xylenen	Idem
naftaleen	Idem
Totaal BTEX	Idem
Monster X002	pb 38
monochloorbenzeen	De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. de aanwezigheid van componenten, die een storende invloed hebben op de meting.
dichloorbenzenen	Idem
tetrachloormethaan	Idem
1,2-dichloorethaan	Idem
cis 1,2-dichlooretheen	Idem
1,1,1-trichloorethaan	Idem
1,1,2-trichloorethaan	Idem
benzeen	Idem
tolueen	Idem
ethylbenzeen	Idem
xylenen	Idem
naftaleen	De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. de aanwezigheid van componenten, die een storende invloed hebben op de meting.
Totaal BTEX	Rapportagegrens is verhoogd i.v.m. een storende component. De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. de aanwezigheid van componenten, die een storende invloed hebben op de meting.
Monster X005	pb 41-3
nikkel	De spreiding op het meetresultaat ligt tussen de 1-5%, dit kan als oorzaak hebben de monstermatrix. De eis van de NPR 6425-norm is <1%.



ALcontrol Laboratories

ALcontrol B.V.
 Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
 Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34
 www.alcontrol.nl

TEBODIN EINDHOVEN
 J. Jensen

Projectnaam : Schaapsdriфт te Arnhem
 Projectnummer : 34895/00
 Datum opdracht : 26-08-2005
 Startdatum : 26-08-2005

Rapportnummer : 053449P
 Rapportagedatum : 02-09-2005

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
arsen	grondwater	NEN 6426, ICP-AES
cadmium	grondwater	Idem
chrom	grondwater	Idem
koper	grondwater	Idem
kwik	grondwater	Eigen methode, ontsluiting, analyse m.b.v. koude damp-techniek
lood	grondwater	NEN 6426, ICP-AES
nikkel	grondwater	Idem
zink	grondwater	Idem
benzeen	grondwater	Eigen methode, analyse met P&T- GCMS.
tolueen	grondwater	Idem
ethylbenzeen	grondwater	Idem
xylenen	grondwater	Idem
naftaleen	grondwater	Idem
1,2-dichloorethaan	grondwater	Idem
cis 1,2-dichlooretheen	grondwater	Idem
tetrachlooretheen	grondwater	Idem
tetrachloormethaan	grondwater	Idem
1,1,1-trichloorethaan	grondwater	Idem
1,1,2-trichloorethaan	grondwater	Idem
trichlooretheen	grondwater	Idem
chloroform	grondwater	Idem
monochloorbenzeen	grondwater	Idem
dichloorbenzenen	grondwater	Idem
Minerale olie GC (C10-C40)	grondwater	Eigen methode, hexaan-extractie, clean-up, analyse m.b.v. GC-FID

De met een * gemerkte analyses vallen niet onder de RvA erkenning.

Monstr Barcode Aanlevering Monstername Verpakking

Monstr	Barcode	Aanlevering	Monstername	Verpakking	Relatie tot norm
X01	b0565674	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191151	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191152	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X02	b0565672	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191162	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191163	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X03	b0565679	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191150	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191156	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X04	b0565675	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191141	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191147	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X05	b0565691	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191157	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191158	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X06	b0565694	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191138	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191144	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
X07	b0565677	26-08-05	26-08-05	ALC204	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191153	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)
	g5191159	26-08-05	26-08-05	ALC236	(Theoretische monsternamedatum)



Projectnaam: Schaapsdrift te Arnhem
 Projectcode: 34895/00
 Datum: 07-09-'05

Analyseresultaten grondwatermonsters (gehalten in µg/l, tenzij anders vermeld)

Peilbuis	pb 19	pb 38	pb 41-1	S	½(S-I)	I
Metalen						
arsen (ug/l)	<5	<5	<5	10	35	60
cadmium (ug/l)	<0,4	<0,4	<0,4	0,40	3,2	6,0
chrom (ug/l)	<1	<1	<1	1,0	16	30
koper (ug/l)	<5	<5	<5	15	45	75
kwik (ug/l)	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,17	0,30
lood (ug/l)	<10	<10	<10	15	45	75
nikkel (ug/l)	29 *	<10	<10	15	45	75
zink (ug/l)	<20	<20	<20	65	433	800
Vluchtige Aromaten						
benzeen (ug/l)	<2	<40	<0,2	0,20	15	30
tolueen (ug/l)	<2	<40	<0,2	7,0	504	1000
ethylbenzeen (ug/l)	<2	<40	<0,2	4,0	77	150
xyleen (ug/l)	<5	<100	<0,5	0,20	35	70
Totaal BTEX (ug/l)	<10	<200	<1			
naftaleen (GC-purge & trap) (ug/l)	<2	<80	<0,2	0,01	35	70
Vluchtige Chloorkoolwaterstoffen						
1,2-dichloorethaan (ug/l)	<1	<20	<0,1	7,0	204	400
cis 1,2-dichlooretheen (ug/l)	39 ***	<20	39 ***	0,01	10	20
tetrachlooretheen (per) (ug/l)	220 ***	14000 ***	35 **	0,01	20	40
tetrachloormethaan (ug/l)	<1	<20	<0,1	0,01	5,0	10
1,1,1-trichloorethaan (ug/l)	<1	<20	<0,1	0,01	150	300
1,1,2-trichloorethaan (ug/l)	<1	<20	<0,1	0,01	65	130
trichlooretheen (tri) (ug/l)	400 **	81 *	200 *	24	262	500
trichloormethaan (chloroform) (ug/l)	2,9	27 *	<0,1	6,0	203	400
Chloorbenzenen						
monochloorbenzeen (ug/l)	<2	<40	<0,2	7,0	94	180
dichloorbenzeen (ug/l)	<2	<40	<0,2	3,0	27	50
Minerale olie						
fractie C10 - C12 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C12 - C22 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C22 - C30 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C30 - C40 (ug/l)	<10	<10	<10			
totaal olie (ug/l)	<50	<50	<50	50	325	600

Analyseresultaten grondwatermonsters (gehalten in µg/l, tenzij anders vermeld)

Peilbuis	pb 41-2	pb 41-3	pb 73	S	½(S+I)	I
Metalen						
arsen (ug/l)	<5	<5	5,8	10	35	60
cadmium (ug/l)	<0,4	<0,4	<0,4	0,40	3,2	6,0
chrom (ug/l)	<1	<1	<1	1,0	16	30
koper (ug/l)	<5	<5	<5	15	45	75
kwik (ug/l)	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,17	0,30
lood (ug/l)	<10	<10	<10	15	45	75
nikkel (ug/l)	22	120	<10	15	45	75
zink (ug/l)	<20	<20	25	65	433	800
Vluchtige Aromaten						
benzeen (ug/l)	<0,2	<0,2	<0,2	0,20	15	30
tolueen (ug/l)	<0,2	<0,2	<0,2	7,0	504	1000
ethylbenzeen (ug/l)	<0,2	<0,2	0,25	4,0	77	150
xylenen (ug/l)	<0,5	<0,5	1	0,20	35	70
Totaal BTEX (ug/l)	<1	<1	1,5			
naftaleen (GC-purge & trap) (ug/l)	<0,2	<0,2	<0,2	0,01	35	70
Vluchtige Chloorkoolwaterstoffen						
1,2-dichloorethaan (ug/l)	<0,1	<0,1	<0,1	7,0	204	400
cis 1,2-dichlooretheen (ug/l)	0,33	0,19	34	0,01	10	20
tetrachlooretheen (per) (ug/l)	41	16	880	0,01	20	40
tetrachloormethaan (ug/l)	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	5,0	10
1,1,1-trichloorethaan (ug/l)	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	150	300
1,1,2-trichloorethaan (ug/l)	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	65	130
trichlooretheen (tri) (ug/l)	3,7	2,5	130	24	262	500
trichloormethaan (chloroform) (ug/l)	<0,1	<0,1	4,6	6,0	203	400
Chloorbenzenen						
monochloorbenzeen (ug/l)	<0,2	<0,2	<0,2	7,0	94	180
dichloorbenzeen (ug/l)	<0,2	<0,2	<0,2	3,0	27	50
Minerale olie						
fractie C10 - C12 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C12 - C22 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C22 - C30 (ug/l)	<10	<10	<10			
fractie C30 - C40 (ug/l)	<10	<10	<10			
totaal olie (ug/l)	<50	<50	<50	50	325	600

Analyseresultaten grondwatermonsters (gehalten in µg/l, tenzij anders vermeld)

Peilbuis	pb 287	S	½(S+I)	I
Metalen				
arsen (ug/l)	<5	10	35	60
cadmium (ug/l)	<0,4	0,40	3,2	6,0
chrom (ug/l)	<1	1,0	16	30
koper (ug/l)	<5	15	45	75
kwik (ug/l)	<0,05	0,05	0,17	0,30
lood (ug/l)	<10	15	45	75
nikkel (ug/l)	<10	15	45	75
zink (ug/l)	<20	65	433	800
Vluchtige Aromaten				
benzeen (ug/l)	<0,2	0,20	15	30
tolueen (ug/l)	<0,2	7,0	504	1000
ethylbenzeen (ug/l)	<0,2	4,0	77	150
xylenen (ug/l)	0,77 *	0,20	35	70
Totaal BTEX (ug/l)	1,0			
naftaleen (GC-purge & trap) (ug/l)	<0,2	0,01	35	70
Vluchtige Chloorkoolwaterstoffen				
1,2-dichloorethaan (ug/l)	<0,1	7,0	204	400
cis 1,2-dichlooretheen (ug/l)	0,37 *	0,01	10	20
tetrachlooretheen (per) (ug/l)	11 *	0,01	20	40
tetrachloormethaan (ug/l)	<0,1	0,01	5,0	10
1,1,1-trichloorethaan (ug/l)	<0,1	0,01	150	300
1,1,2-trichloorethaan (ug/l)	<0,1	0,01	65	130
trichlooretheen (tri) (ug/l)	4,8	24	262	500
trichloormethaan (chloroform) (ug/l)	<0,1	6,0	203	400
Chloorbenzenen				
monochloorbenzeen (ug/l)	<0,2	7,0	94	180
dichloorbenzeen (ug/l)	<0,2	3,0	27	50
Minerale olie				
fractie C10 - C12 (ug/l)	<10			
fractie C12 - C22 (ug/l)	<10			
fractie C22 - C30 (ug/l)	<10			
fractie C30 - C40 (ug/l)	<10			
totaal olie (ug/l)	<50	50	325	600

De analyseresultaten zijn getoetst aan het toetsingskader van VROM (circulaire: Streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering d.d. 24 februari 2000.)

De gehalten zijn als volgt geïnclassificeerd:

- * Het gehalte is groter dan de streefwaarde (of de detectiegrens, indien deze hoger is) en kleiner dan of gelijk aan het gemiddelde van de streef- en interventiewaarde
- ** Het gehalte is groter dan het gemiddelde van de streef- en interventiewaarde en kleiner dan of gelijk aan de interventiewaarde
- *** Het gehalte is groter dan de interventiewaarde
- geen toetsingswaarden voor op gesteld
- niet geanalyseerd
- +++ indicatieve niveaus voor ernstige verontreiniging