



# Meer met Bodemenergie

## Effecten op sanering

Effecten van  
bodemenergiesystemen bij  
inzet bodemsanering -  
resultaat metingen op  
pilotlocaties  
en in labtesten



## **Rapport 9 – Effecten op sanering**

**Effecten van bodemenergiesystemen bij inzet bodemsanering -  
resultaat metingen op pilotlocaties en in labtesten**

**Eindrapport**

## Colofon

Dit is een gezamenlijk rapport van Bioclear, Deltares, IF Technology en Wageningen Universiteit in het kader van het project Meer met Bodemenergie.

## Opdrachtgever

SKB duurzame ontwikkeling ondergrond  
Postbus 420  
2800 AK GOUDA  
T 0182 – 54 06 90  
E [info@skbodem.nl](mailto:info@skbodem.nl)  
Contactpersoon: Arno Peekel

## Auteurs

Inez Dinkla, Bioclear  
Shakti Lieten, Bioclear  
Erik de Vries, Bioclear  
Niels Hartog, Deltares  
Nanne Hoekstra, Deltares

Dank aan de volgende onafhankelijke wetenschappers en experts voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit rapport:

Hans Slenders, Arcadis Nederland BV  
Jack Schreurs, Philips  
Philip Visser, Arcadis Nederland BV  
Patrick van Beelen, RIVM  
Arno Peekel, SKB

Rachelle Verburg, Arcadis Nederland BV  
Albert de Vries, Gemeente Utrecht  
Mathijs Bonte, KWR  
Martijn Smit, Wageningen Universiteit

## Datum

15 mei 2012

## Goedgekeurd door de Technische Commissie Meer met Bodemenergie

Maurice Henssen, Bioclear  
Hans Gehrels, Deltares  
Guido Bakema, IF Technology  
Tim Grotenhuis, Wageningen Universiteit  
Huub Rijnaarts, Wageningen Universiteit

## Penvoerder

Marc Koenders, IF Technology

## Secretariaat

Marion Hetterscheid, IF Technology

## Website

[www.meermetbodemenergie.nl](http://www.meermetbodemenergie.nl)

Copyright © cover Identim 2012

Copyright © MMB 2012

Delen uit dit rapport mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Meer met Bodemenergie (MMB), de titel van de publicatie en jaar van uitgave'.

### **Participanten**

Agentschap NL / Bodem+

Arcadis

Brabant Water - Hydreco

Eneco

Essent

gemeente Almelo

gemeente Amersfoort

gemeente Apeldoorn

gemeente Den Bosch

gemeente Deventer

gemeente Haarlem

gemeente Hengelo

gemeente Tilburg

gemeente Utrecht

gemeente Zwolle

Havenbedrijf Rotterdam

NVOE

Productschap Tuinbouw

provincie Drenthe

provincie Flevoland

provincie Friesland

provincie Gelderland

provincie Groningen

provincie Limburg

provincie Noord-Brabant

provincie Noord-Holland

provincie Overijssel

provincie Utrecht

provincie Zeeland

provincie Zuid-Holland

SKB

Stichting Bodemsanering NS

Vewin

Vitens

Waterschap Groot Salland

Waterschap Regge en Dinkel

## Samenvatting

Door het grote aantal verontreinigde locaties in Nederland heeft de toegenomen toepassing van WKO-systemen tot gevolg dat deze steeds vaker in of nabij een verontreinigd gebied worden aangelegd. Er is hierdoor in toenemende mate behoefte aan inzicht in het wederzijds effect tussen WKO-systemen en bodemverontreinigingen. Het effect van WKO-systemen is tweeledig: effect als gevolg van verandering van de temperatuur en effect als gevolg van menging (dynamiek aanbrengen in de ondergrond).

Dit rapport beschrijft de interpretatie van mogelijke effecten van warmte en koude opslagsystemen op in de bodem aanwezige verontreinigingen. Voor het inschatten van deze effecten is gebruik gemaakt van gegevens van veldmonitoring op twee verontreinigde locaties waar WKO-systemen actief zijn; dit zijn de locaties Utrecht-Centrum en Strijp-S in Eindhoven. Op de locatie Strijp-S zijn nog niet alle peilbuizen beïnvloed, hierdoor is het alleen mogelijk om voorlopige conclusies te trekken. Daarnaast zijn laboratoriumtesten uitgevoerd met grond van locatie Strijp-S. Doel van de testen was om het effect van temperatuur op de afbraak van VOCl en de samenstelling van de microbiologische populaties vast te stellen.

*Heeft temperatuur effect op de afbraak binnen het beïnvloedingsgebied van een WKO-systeem.*

De temperatuursinvloed van de bodemenergiesystemen is op beide onderzoekslocaties te gering om een duidelijk effect van de temperatuursverandering te kunnen waarnemen. Op de locatie Utrecht-Centrum is de temperatuursverandering slechts enkele graden, op Strijp-S is de verandering nog minder. De waargenomen effecten in het veld worden dus veroorzaakt door het mengeffect van het WKO-systeem.

De omstandigheden in de uitgevoerde labtesten, waarschijnlijk door intrede van zuurstof, hebben mogelijk geleid tot stimulering van micro-aerofiele afbraak. De micro-aerofiele afbraak verliep bij lagere temperatuur beter dan bij hogere temperatuur (30 graden), de reden hiervoor is niet nader onderzocht. In deze monsters was geen reductieve afbraakpotentie aanwezig (afwezigheid van de *Dehalococcoides* bacterie). In het veld lijkt in Strijp-S reductieve dechlorering het primaire afbraak proces te zijn.

*Wat is het effect van menging door een WKO-systeem op (afbraak van) de verontreiniging*

Op de locatie Utrecht-Centrum is de geochemische samenstelling van het grondwater vrij homogeen. Het is aannemelijk dat hier het grondwater door de WKO in de loop van de gebruikstijd (20 jaar) is gehomogeniseerd. Hier heeft de menging van verontreiniging en koolstofbron (elektron donor) weinig effect, onder andere omdat van nature het organisch stofgehalte laag is. Doordat het zwaartepunt van de verontreiniging aan de stroomopwaartse zijde van het WKO-systeem ligt, heeft de WKO niet noemenswaardig bijgedragen aan verspreiding van de verontreiniging. Er treedt op deze locatie enige afbraak op, zowel bij de WKO-filters als op enige afstand daarvan. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de WKO de afbraak op directe wijze heeft gestimuleerd. Wel zijn er aanwijzingen dat bacteriën door het rondpompen van het grondwater worden verplaatst. De aanwezigheid van deze bacteriën kan een positief effect hebben op de afbraak van VOCl, als ook de overige condities voor afbraak gunstig zijn.

Het operationeel worden van het Striip-S systeem heeft geleid tot verspreiding van de verontreinigingen, organisch stof en waterstof binnen de grenzen van het aangelegde systeem. Het opmengen van grondwater binnen het WKO-systeem heeft plaatselijk (ter plaatse van de beïnvloede peilbuizen) geleid tot een toename in organisch stof en waterstof (elektron donor). Deze plaatselijke toename in organisch stof heeft waarschijnlijk geleid tot het gunstiger worden van de redoxcondities en groei van de dechlorerende bacteriën. Ter plaatse waar deze gunstige condities heersen zal afbraak van VOCl optreden. Ook op deze locatie heeft verspreiding van bacteriën door het rondpompen van grondwater plaatsgevonden. Aangezien nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed is het op dit moment niet bekend of de aangetoonde afbraak(capaciteit) zich over de rest van het terrein zal verspreiden en of de afbraakcapaciteit voldoende is om alle verontreiniging te verwijderen. Indien afbraak optreedt/blijft optreden dan heeft dit een gunstig effect op het saneringsrendement. Vervolgmonitoring moet hier meer inzicht in verschaffen.

*Wat is de invloed van verontreiniging op de operationele werking van een WKO-systeem*  
Binnen het MMB-project is geen onderzoek verricht om de invloed van verontreiniging op de werking van de WKO vast te stellen. Uit praktijkervaring en literatuur kan geconcludeerd worden dat lage VOCl-concentraties het functioneren van een WKO-systeem niet nadelig beïnvloeden.

# Inhoudsopgave

Samenvatting .....	4
Inleiding .....	8
1 Achterliggende hypothesen en theoretische kennis.....	9
1.1 Theoretische achtergrond .....	9
1.2 Achterliggende hypothesis .....	10
1.3 Aantonen afbraakprocessen VOCl.....	11
2 Uitgevoerde werkzaamheden.....	12
2.1 Algemeen .....	12
2.2 Werkzaamheden Meer Met Bodemenergie (MMB) .....	12
2.3 Werkzaamheden Cofinancieringsonderzoek (25 % categorie).....	13
2.3.1 Locatie Utrecht-Centrum .....	13
2.3.2 Locatie Strijp-S te Eindhoven.....	14
2.4 Werkwijze en analyses veldmetingen .....	15
2.4.1 Monsternamen verontreinigde locaties .....	15
2.4.2 Analyse fysische parameters .....	16
2.4.3 Analyse chemische parameters .....	16
2.4.4 Analyses biologische parameters .....	18
2.5 Werkwijze labtesten .....	19
2.5.1 Proefopzet.....	19
2.5.2 Uitvoering .....	19
2.6 Interpretatie gegevens veldmetingen en labtesten .....	20
3 Locatie Utrecht-Centrum .....	21
3.1 Situatiebeschrijving .....	21
3.1.1 Algemeen .....	21
3.1.2 Systeembeschrijving .....	21
3.1.3 Bodemopbouw en geohydrologie.....	23
3.1.4 Geochemische condities en redoxsituatie .....	24
3.1.5 Verontreinigingssituatie.....	24
3.1.6 Historische temperatuurgegevens .....	26
3.2 Resultaten uitgevoerd onderzoek .....	30
3.2.1 Sensoronderzoek temperatuur en stijghoogte .....	30
3.2.2 Geochemische condities .....	31
3.2.3 Biologische gegevens .....	32
3.2.4 Omzettingen van verontreinigingen .....	34
3.3 Evaluatie.....	36
4 Locatie Strijp-S, Eindhoven .....	38
4.1 Situatiebeschrijving .....	38
4.1.1 Algemeen .....	38
4.1.2 Systeembeschrijving .....	39

4.1.3	Bodemopbouw en geohydrologie.....	41
4.1.4	Verontreinigingssituatie.....	41
4.1.5	Potentieel voor biologische afbraak (resultaten eerder onderzoek) .....	42
4.2	Resultaten uitgevoerd onderzoek .....	43
4.2.1	Sensoronderzoek temperatuur en stijghoogte .....	43
4.2.2	Geochemische condities .....	44
4.2.3	Biologische gegevens .....	45
4.2.4	Omzettingen van verontreinigingen .....	46
4.3	Evaluatie.....	50
5	Labtesten: temperatuurseffect op afbraak .....	52
5.1	Algemeen .....	52
5.2	Resultaten uitgevoerd onderzoek .....	52
5.3	Evaluatie.....	56
6	Conclusies en vervolgonderzoek .....	58
6.1	Conclusies (antwoord op onderzoeksvragen).....	58
6.2	Vervolg .....	63
	Literatuur .....	66
	Bijlage I Meetnet locatie Centrum Utrecht .....	LXVIII
	Bijlage II Meetgegevens meetrondes locatie Utrecht-Centrum .....	LXIX
	Bijlage III Fysische metingen Centrum-Utrecht.....	LXX
	Bijlage IV Meetnet locatie Strijp-S.....	XCI
	Bijlage V Meetgegevens meetrondes locatie Strijp-S.....	XCII
	Bijlage VI Fysische metingen Strijp-S .....	XCIII
	Bijlage VII GC resultaten labtesten .....	CI
	Bijlage VIII Isotopenanalyses labtesten .....	CII



## Inleiding

Door het grote aantal verontreinigde locaties in Nederland heeft de toegenomen toepassing van WKO-systemen tot gevolg dat deze steeds vaker in of nabij een verontreinigd gebied worden aangelegd. Ambities op het gebied van duurzame energie en ambities vanuit het bodemsaneringsprogramma dienen in hetzelfde gebied gerealiseerd te worden. Er is hierdoor in toenemende mate behoefte aan inzicht in het wederzijds effect tussen WKO-systemen en bodemverontreinigingen.

Dit heeft geleid tot een aantal onderzoeksvragen die in de onderliggende rapportage worden beantwoord:

1. Welk effect heeft de temperatuur op biologische afbraak van verontreinigingen, redoxcondities, chemische evenwichten en adsorptie/desorptie van verontreinigingen?
2. Wat is het effect van het rondpompen van water op de aanwezige verontreiniging?
3. Wat is de invloed van de verontreiniging op de werking van de WKO?
4. Wat is het risico op onbeheersbare verspreiding door toepassing van WKO van verontreinigingen en hoe kan die worden afgedekt?
5. Leidt WKO tot een verhoogd risico op ophoping van toxische tussenproducten ten opzichte van natuurlijke afbraak zonder WKO?
6. Welke positieve effecten op de saneringsduur heeft de optredende bovengrondse menging van verontreinigingen, brandstof en nutriënten op het saneringsrendement?

Door twee locaties te onderzoeken waar WKO-systemen in een verontreinigingsgebied zijn gesitueerd, kan achterhaald worden welke effecten een WKO-systeem heeft op de natuurlijke afbraak of beheersing van de verontreiniging. Verder wordt hiermee inzicht verkregen in de effecten van de verontreiniging op de werking van het WKO-systeem.

Dit rapport beschrijft de interpretatie van mogelijke effecten van warmte en koude opslagsystemen op in de bodem aanwezige verontreinigingen. Voor het inschatten van deze effecten is gebruik gemaakt van gegevens van veldmonitoring op twee verontreinigde locaties waar WKO-systemen actief zijn. Daarnaast zijn laboratoriumtesten uitgevoerd met als doel vast te stellen welke effecten verschillende temperaturen hebben op de afbraak van VOCl en de samenstelling van de microbiologische populaties.

De interpretatie van de gegevens is per locatie besproken. Hierbij zijn de opvallendste effecten uitgelicht. Daarbij is gebruik gemaakt van de meetresultaten van de locatie gecombineerd met eventueel aanwezige historische data en aangevuld met kennis uit de literatuur. Bij elke locatie komen zowel de fysische, chemische als biologische effecten aan bod gevolgd door een algemene conclusie van de effecten op de locatie.

# 1 Achterliggende hypothesen en theoretische kennis

## 1.1 Theoretische achtergrond

Om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot het effect van de WKO op de verontreiniging is het belangrijk om scherp voor ogen te hebben welke effecten het WKO-systeem kan veroorzaken. Het toepassen van WKO leidt doorgaans tot verhoging / verlaging van de grondwatertemperatuur en tot een grotere stromingssnelheid / veranderde stromingsrichting van het grondwater binnen het beïnvloede gebied. Dit betekent dat voor een mogelijk effect op verontreinigingen twee processen van belang zijn: temperatuurwijziging en menging.

Een WKO kan menging van het grondwater in de omgeving op de volgende wijze bevorderen:

1. Op de momenten van onttrekken en infiltreren ontstaan instantaan tijdelijke stijghoogteverschillen die tot op relatief grote afstand merkbaar kunnen zijn. De afwisseling van natuurlijke en geïnduceerde grondwaterstroming kan op vrij grote afstand van de WKO-bronnen tot een veranderde stromingspatroon en daarmee tot meer menging van plaatselijk grondwater leiden.
2. De onttrekkingen leiden tot een geïnduceerde grondwaterstroming naar de onttrekkingsbronnen toe en van de infiltratiebronnen af. Dit heeft op grotere schaal menging van grondwatervolumes tot gevolg. Bij een WKO-systeem met doubletten resulteert door omdraaiing van de stromingsrichting per seizoen een onregelmatiger patroon dan bij een recirculatiesysteem. Bij laatstgenoemd systeem blijft de geïnduceerde stromingsrichting, alhoewel intermitterend, immers gehandhaafd. Daarom zal vaak een blijvende en verder reikende invloed te merken zijn op het grondwaterstromingspatroon.
3. De meest uitgesproken menging ontstaat door het infiltreren van elders onttrokken water. Het kan geruime tijd duren voordat water dat de WKO heeft gepasseerd monitoringpeilbuizen bereikt.

Het onderscheid tussen de genoemde verschillende vormen van menging is in de praktijk moeilijk te maken, behalve als het grondwater ter plaatse van de onttrekkingsputten een significant andere geochemische samenstelling heeft of als bij infiltratie een tracer wordt gedoseerd. De meest uitgesproken aanwijzing dat geïnfiltreerd water een bepaalde monitoringspeilbuis heeft bereikt, is het meten van een temperatuursprong. Ook temperatuurswijzigingen worden door menging echter verzwakt. Op beide onderzochte verontreinigde locaties Strijp-S en Utrecht-Centrum is de temperatuurswijziging vanwege het toepassen van de WKO gering (slechts enkele graden, zie verder hoofdstukken 4 en 5). Om het effect van temperatuur toch te kunnen meten zijn in de laboratoriumtesten die binnen het MMB-project zijn uitgevoerd grotere temperatuurverschillen aangebracht (variërend van 6 graden tot 30 graden, zie hoofdstuk 6).

Als water wordt aangetrokken met een duidelijk afwijkende geochemische samenstelling, ontstaan gewijzigde interacties met de vaste bestanddelen van de bodem. Hierdoor kan bijvoorbeeld ijzer vrijkomen, neerslaan of adsorberen. Behalve opgeloste stoffen verplaatsen ook micro-organismen zich met het grondwater. Door menging kunnen reactanten (bijvoorbeeld elektronendonoren en –acceptoren), nutriënten en micro-organismen met elkaar in aanraking worden gebracht. Indien voor de gewenste omzettingen optimale condities aanwezig zijn of door menging ontstaan zal een hogere temperatuur tot versnelling van de afbraak leiden. Een dergelijke versnelling is in de praktijk nog niet bij WKO's aangetoond. Naast afbraak treedt door menging ook verdunning op. Om deze beide processen te onderscheiden is geavanceerde monitoring nodig.

## 1.2 Achterliggende hypothese

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen zoals beschreven in hoofdstuk 1 is het van belang om deze vragen op te knippen in afzonderlijke hypothesen die aan de hand van de resultaten van de meetgegevens getoetst kunnen worden.

De hypothesen die in deze rapportage getoetst worden zijn:

- Een hogere temperatuur van het grondwater leidt tot
  - o versnelde natuurlijke afbraak van de verontreiniging doordat de activiteit van de bacteriën toeneemt.
  - o beter in oplossing gaan van de organische stof (elektronendonator) waardoor deze beter beschikbaar komt voor de bacteriën en zodoende afbraak wordt gestimuleerd.
  - o beter in oplossing gaan van de verontreinigingen (elektronacceptor) waardoor verspreiding van verontreiniging kan toenemen.
- Het rondpompen van grondwater leidt tot
  - o verspreiding of verdunning van de verontreiniging als gevolg van het mengen van verontreinigd en schoon grondwater
  - o verspreiding van specifiek verontreiniging-afbrekende bacteriën waardoor afbraak in een groter gebied kan plaatsvinden.
  - o opmenging van verschillende verontreinigingen VOCI en BTEX waardoor de afbraak van de afzonderlijke componenten wordt gestimuleerd.
  - o versneld stoftransport (in oplossing gaan van verontreiniging, bijvoorbeeld bij een zaklaag) waardoor verspreiding van de verontreiniging kan plaatsvinden.

- o opmenging van water van verschillende lagen/kwaliteit waardoor
  - i. niches verloren gaan. In niches kunnen van nature andere processen plaatsvinden dan in het grondwater daaromheen. Het verloren gaan van niches heeft een negatief effect op de afbraak ter plaatse.
  - ii. de redoxcondities veranderen door toestroom van andere elektronenacceptoren (zuurstof, nitraat, ijzer, sulfaat) Verandering van redox (zuurstof, nitraat, ijzer, sulfaat, methaan) kan zowel een positief als negatief effect hebben.
  - iii. het organisch stofgehalte toeneemt. De toename in organisch stof heeft een positief effect op de afbraak van VOCl.
  - iv. het bij elkaar brengen van organische stof, nutriënten (ammonium, fosfaat), bacteriën en verontreiniging (VOCl), dit kan een positief effect hebben op de afbraak van VOCl.

### 1.3 Aantonen afbraakprocessen VOCl

Het tot nu toe best beschreven afbraakproces voor cis-dichlooretheen en vinylchloride wordt reductieve dechlorering genoemd. Dit is een anaeroob proces. Dit proces vindt plaats indien gelijktijdig wordt voldaan aan de volgende randvoorwaarden:

- Geschikte redoxcondities (sterk gereduceerd): Dit wordt gekenmerkt door lage concentraties nitraat en sulfaat en relatief hoge waterstofconcentraties;
- De aanwezigheid van voldoende organisch koolstof voor de afbraak van de aanwezige elektronenacceptoren (inclusief VOCl). Dit wordt gekenmerkt door TOC-gehalten en waterstofconcentraties. Waterstof wordt door de dechlorerende bacteriën gebruikt als elektrondonor;
- De aanwezigheid van geschikte bacteriën of genen die in staat zijn tot de afbraak van VOCl. Dit wordt gekenmerkt door *Dehalococcoides* spp (DHC) en *vcrA* gen (voor afbraak van VC).

DCE en VC kunnen naast een anaeroob proces ook aerob worden omgezet naar koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). In dit proces wordt DCE of VC geoxideerd, voor dit proces is zuurstof nodig. Dit oxidatief proces kan ook plaatsvinden indien zeer lage zuurstofconcentraties in het grondwater aanwezig zijn; dan spreekt men over micro-aerofiele oxidatie. De genen die betrokken zijn bij micro-aerofiele afbraak van DCE en VC zijn *etnC* en *etnE*. De bacterie die in staat is om DCE oxidatief om te zetten naar CO<sub>2</sub> is *Polaromonas* JS666.

## 2 Uitgevoerde werkzaamheden

### 2.1 Algemeen

Om de in hoofdstuk 2 omschreven onderzoekshypothesen te kunnen toetsen, en daarmee de in hoofdstuk 1 geformuleerde onderzoeksvragen te beantwoorden, is op twee locaties onderzoek verricht en zijn labtesten uitgevoerd. Beide verontreinigde locaties zijn geselecteerd na een uitgebreide inventarisatie van WKO-systemen in de onmiddellijke nabijheid van grondwaterverontreinigingen. Hieruit bleek dat het aantal locaties met WKO-systemen die daadwerkelijk verontreinigd grondwater onttrekken en weer infiltreren zeer beperkt is. Aangezien bovendien voor enkele van deze locaties geen toestemming kon worden verkregen voor onderzoek, bleef uiteindelijk alleen één locatie in het centrum van de stad Utrecht over. Daarnaast is de eerste locatie opgenomen waar een gecombineerd systeem voor bodemenergie en bodemsanering operationeel is: Strijp-S in Eindhoven.

Om zoveel mogelijk resultaat te behalen, is het voor Meer Met Bodemenergie (MMB) ontworpen onderzoek efficiënt gecombineerd met het TNO-cofinancieringsonderzoek *'Ontwikkeling combinatie van gebruik grondwater voor warmte en koude met biologische bodemsanering'* met in essentie dezelfde onderzoeksvragen. De binnen de beide projecten uitgevoerde werkzaamheden zijn hieronder separaat weergegeven. De interpretatie van de gegevens die binnen de beide projecten zijn verkregen, zijn in het vervolg van dit rapport volledig geïntegreerd weergegeven.

### 2.2 Werkzaamheden Meer Met Bodemenergie (MMB)

Voor de twee verontreinigde locaties omvat het onderzoeksprogramma in principe vijf monitoringsfilters. Naast een doorlopende meting van temperatuur en stijghoogte gedurende één jaar, behelst het programma het in twee ronden doormeten en analyseren op verschillende analysepakketten:

1. Veldparameters troebelheid, geleidbaarheid, pH, zuurstof en redoxpotentiaal.
2. Geochemische parameters nitraat, sulfaat, ortho-fosfaat, chloride, ammonium, bicarbonaat, opgelost organisch koolstof (TOC) alsmede metaalachtige verbindingen (As, B, Ba, Cd, Co, Cr, K, Li, Mo, Ni, Sb, Tl, U, V, Y, Zn, Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Sr, Ti, Zr).
3. Verontreinigingscomponenten chloorkoolwaterstoffen (op beide locaties) en vluchtige aromaten (alleen Strijp-S).

4. Indicatoren van algemene biologische processen:
  - a. Totaal bacteriën, totaal archaea;
  - b. *amoA* (ammonium mono oxygenase in nitrificeerders), *mrcA* (methyl coenzym A in methanogenen), *dsrA* en *dsrB* (sulfiet reductase in sulfaat reducerende bacterien), *aprA* (adenylyl sulfiet reductase in sulfaatreducerende bacterien/zwaveloxiderende bacterien) en denitrificatie genen (*NarG*, *NirK*, *NirS* en *NosZ*), zwavel oxidatie gen (*SoxB*);
  - c. Fe-oxideerders, Fe-reduceerders.
5. Indicatoren van biologische afbraakprocessen van verontreinigingen:
  - a. *Dehalococcoides* sp;
  - b. Genen betrokken bij VOCl afbraak zoals *vcrA*, *bvcA* ,en *tceA*;
  - c. *Polaromonas* JS666, genen *EaCoMT*, *etnC* en *etnE* (micro-aerofiele oxidatieve afbraak chlooralkenen en –alkanen). Dit betreft net ontwikkelde analyses die alleen in de tweede ronde van Strijp-S konden worden meegenomen.

In het MMB-onderzoeksprogramma is daarnaast het uitvoeren van labtesten om het effect van temperatuur op de afbraak van VOCl te onderzoeken opgenomen (§ 3.5).

## 2.3 Werkzaamheden Cofinancieringsonderzoek (25 % categorie)

Door combinatie met het cofinancieringsonderzoek ‘Ontwikkeling combinatie van gebruik grondwater voor warmte en koude met biologische bodemsanering’ is zowel een kwantitatieve als een kwalitatieve uitbreiding gerealiseerd. Deze uitbreiding is hieronder besproken.

### 2.3.1 Locatie Utrecht-Centrum

Op de locatie Utrecht-Centrum werd het in het meetnet opgenomen aantal peilbuizen uitgebreid naar in totaal 63, waarvan 20 peilbuizen beide ronden zijn bemeaten en bemonsterd. In plaats van 10 peilfilters (2x 5) zijn nu 63 (20 tweemaal en 23 eenmaal) filters meegenomen. Tussentijdse aanpassing van het gebruikte meetnet heeft plaatsgevonden ten behoeve van een zo doelmatig mogelijk onderzoek, gericht op het meest verontreinigde deel, zoals vastgesteld tijdens de eerste onderzoeksronde. Het aantal continue-metingen van temperatuur en stijghoogte is uitgebreid van 3 naar 11. De periode waarover de meting is uitgevoerd, is verlengd van 1 naar circa 2 jaar.

Omdat het cofinancieringsonderzoek eerder van start ging dan het MMB-onderzoek, dit een enigszins afwijkende opzet kende en van een locatie-eigenaar geen toestemming kon worden verkregen voor onderzoek in het kader van MMB, is in onderstaande punten afgeweken van het MMB-onderzoeksprogramma:

- In de eerste ronde zijn in 12 peilbuizen de algemene biologische processen (analysepakket 4) onderzocht volgens de reguliere methode van Bioclear. Omdat met deze methode de gewenste lage detectiegrenzen niet konden worden gehaald, waren de resultaten aanleiding in het kader van MMB de kunstniermethode toe te passen (zie paragraaf 3.4).
- Bij de tweede ronde zijn de algemene biologische processen (analysepakket 4) en de metalenanalyses (behorende tot onderdeel 2) nog op 6 peilbuizen geanalyseerd.

Door de combinatie van het cofinancieringsonderzoek kon de rest van het bovengenoemde MMB-onderzoek op alle overige peilbuizen worden toegepast. Bovendien kon het analysepakket tevens worden uitgebreid met:

- Waterstofmetingen (1<sup>e</sup> ronde).
- Isotopenbepalingen op alle monsters met voldoende hoge concentraties aan verontreinigende componenten.
- De nieuw ontwikkelde analyse op de genen voor oxidatieve VC-afbraak: *EaCoMT*, *etnE* en *etnC*, en *Polaromonas* de bacterie in staat tot oxidatieve afbraak van CIS (2<sup>e</sup> ronde)

### 2.3.2 Locatie Strijp-S te Eindhoven

Het aantal monitoringsrondes is van 2 uitgebreid tot 3, met tussenpozen van ongeveer een half jaar. Het betreft:

- 1<sup>e</sup> uitgebreide ronde voorafgaand aan de opstart van het systeem,
- 2<sup>e</sup>, beperkte, ronde op het moment dat theoretisch (bij optimaal functioneren) de menging door waterverplaatsingen bij de meetpunten merkbaar is
- 3<sup>e</sup>, uitgebreide ronde om de eerste effecten op de omzettingsprocessen te bepalen.

Het aantal in het meetnet opgenomen peilbuizen is met 9 filters uitgebreid tot 14.

De additioneel uitgevoerde metingen en analyses in de 1<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> ronde betreffen:

- In 9 extra peilfilters alle in § 3.2 beschreven metingen en analyses van de pakketten 1 t/m 5, met uitzondering van de algemene biologische processen (analysepakket 4) en de metalenanalyses (behorende tot analysepakket 2).
- Waterstofmetingen in 8 geselecteerde monitoringsfilters.
- Isotopenbepalingen op alle monsters met voldoende hoge concentraties aan verontreinigende componenten.
- De nieuw ontwikkelde analyse op het gen voor oxidatieve VC-afbraak: *EaCoMT*, *etnE*, *etnC* en de bacterie in staat tot oxidatieve afbraak van CIS (*Polaromonas*).

De 2<sup>e</sup> ronde omvatte onderstaande extra analyses:

- Veldparameters, zoals omschreven onder onderdeel 1 in § 3.2.
- Sulfaat.
- Chloorkoolwaterstoffen.
- Benzeen

Daarnaast is door Philips zelf een beperkte monitoring uitgevoerd in december 2011. Tijdens deze bemonstering zijn alleen de drie filters van peilbuis 29SH bemonsterd. De monsternamen tijdens deze ronde is afwijkend ten opzichte van de overige monitoringsrondes. Bemonstering is uitgevoerd conform BRL 2002 waarbij voorafgaand aan de bemonstering het peilbuis volume drie keer is afgepompt. Het grondwater uit de filters is geanalyseerd op:

- Metalen: Lithium, arseen, zirconium, chroom, koper, kalium, molybdeen, natrium, nikkel en vanadium
- VOCI
- DOC
- pH en EC

## 2.4 Werkwijze en analyses veldmetingen

In onderstaande subparagrafen is in het kort de werkwijze beschreven van de uitgevoerde bemonstering en analyses van de veldlocaties. De werkwijze van de labtesten is beschreven in § 3.5.

### 2.4.1 Monstername verontreinigde locaties

Monstername is uitgevoerd door gebruik te maken van slangenpompen (bemonsteringsdebiet is  $0,2 \pm 0,1$  l/min). Het grondwater is bemonsterd ter hoogte van het peilbuisfilter. Deze bemonsteringstechniek staat bekend als low flow-purging of micro-purging. De grondwaterbemonstering is gestart op het moment dat het opgeloste zuurstofpercentage en het elektrisch geleidend vermogen, gemeten in een doorstroomcel, stabiel waren.

Voorafgaand aan de bemonstering zijn on-line metingen op pH, zuurstof, redoxpotentiaal, en geleidbaarheid uitgevoerd. Voor het uitvoeren van de on-line metingen is gebruik gemaakt van een doorstroomcel. pH, zuurstof en redoxpotentiaal, kleur. Hierbij zijn de temperatuur en geleidbaarheid ook geregistreerd. Ook is de visuele inspectie van de kleur van het grondwatermonster uitgevoerd.

In het veld zijn zowel gefiltreerde als ongefiltreerde grondwatermonsters genomen. Sommige monsters zijn in het veld geconserveerd. Na het afvullen van voorgeconserveerde monsterflessen is telkens de monsternameslang aan het uiteinde van de pomp (het deel dan in aanraking is geweest met conserveringsmiddel) vervangen.



figuur 2.1 Peilbuis in WKO put op de Uithof wordt bemonsterd (links), opstelling van de kunstnier met een slangenpomp, kunstnier, afvalvat en monsterpotje (rechts)



## 2.4.2 Analyse fysische parameters

### Temperatuur, stijghoogtes en geleidbaarheid

In het voorjaar van 2010 zijn de meetinstrumenten voor temperatuurmetingen en stijghoogtemetingen geplaatst. De meetinstrumenten registreren meerdere malen per dag de gegevens. Deze metingen zijn gedurende één jaar uitgevoerd. De temperatuur is over de lengte van het injectiefilter op een paar plaatsen gemeten. Ook is een temperatuurmeting boven de waterscheidende laag uitgevoerd om te verifiëren of daar ook veranderingen optreden. De stijghoogtemetingen dienen ter verschaffing van inzicht in de stijghoogte-effecten in het onttrekkingspakket, het eventueel aanwezige bovenliggende watervoerend pakket en de freatische grondwaterstand.

De geleidbaarheid van het water is meerdere malen per dag middels een EC logger gemeten. Deze worden in het voorjaar in het systeem geplaatst. Met deze meetinstrumenten worden veranderingen in zoutconcentratie vastgelegd. Op basis van de geleidbaarheidsmeting is tevens toetsing van de ionenbalans mogelijk (controle juistheid analysesresultaten kat- en anionen).

Op beide locaties zijn ook on-line metingen (op een mengmonster) uitgevoerd ten tijde van de monsternamen, hierbij is de temperatuur en geleidbaarheid gemeten.

## 2.4.3 Analyse chemische parameters

### Redoxcondities, algemene geochemische omstandigheden en verontreinigingen

Voor het bepalen van de redoxcondities zijn onderstaande analyses uitgevoerd: Nitraat, sulfaat, sulfide,  $\text{Fe}^{2+}$  (als ijzer-totaal na filtratie over  $0,45 \mu\text{m}$ ), methaan.

Voor het bepalen van de hoeveelheden aan beschikbare nutriënten en substraten zijn de volgende analyses uitgevoerd:

Ammonium, ortho-fosfaat, DOC (organisch koolstof)

Voor het vaststellen van het effect van temperatuur en het rondpompen op de aanwezige ionen in het systeem en het opstellen van een sluitende ionenbalans zijn de volgende parameters gemeten (deels binnen de ICP-MS en ICP-OES pakketten):

Kationen: Ca, K, Mg, Mn, Na

Anionen: Cl, bicarbonaat

Er is een zeer uitgebreid pakket aan metalen zeer kostenefficiënt gemeten met behulp van ICP-MS en ICP-OES metingen. Hiermee wordt in kaart gebracht in hoeverre de verhoging en verlaging van de temperatuur effect heeft op het meer of minder beschikbaar komen van (zware) metalen.

Het pakket bevat: ICP-OES: Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Sr, Ti, Zr;  
ICP-MS: As, B, Ba, Cd, Co, Cr, K, Li, Mo, Ni, Sb, Tl, U, V, Y, Zn

Op beide locaties zijn analyses op chloorkoolwaterstoffen uitgevoerd: PER (tetrachlooretheen), TRI (trichlooretheen), 1,1-DCE (alleen bij TCA verontreiniging), *trans*-DCE (*trans*-dichlooretheen), CIS (*cis*-dichlooretheen), VC (vinylchloride), etheen/ethaan, chloorethaan (alleen bij TCA verontreiniging), 1,1-DCA (dichloorethaan), 1,2-DCA (dichloorethaan), 1,1,1-TCA (trichloorethaan).

Op Strijp-S is daarnaast ook op benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, naftaleen geanalyseerd (meetbaar in één analyse).

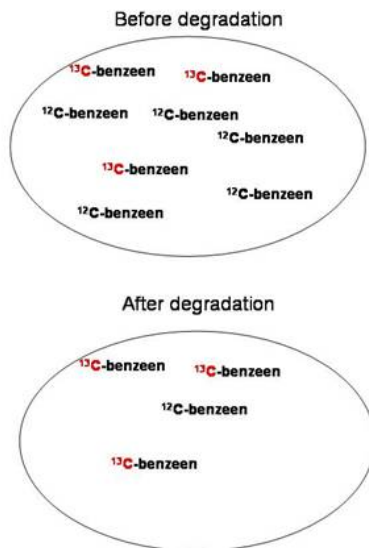
### Waterstof (H<sub>2</sub>)

De waterstofconcentratie is een maat voor de hoeveelheid direct bruikbare electronendor (energiebron) voor de *Dehalococcoides* bacterie (DHC), deze bacterie is in staat om tetrachlooretheen (PER) volledig af te breken tot de onschadelijke eindproducten etheen/ethaan. Waterstof (H<sub>2</sub>) wordt ook gebruikt voor het vaststellen van de redoxcondities. Een waterstofconcentratie van minimaal 1 à 2 nM, globaal overeenkomend met sulfaatreducerende omstandigheden, is nodig voor reductieve dechlorering van laaggechlorreerde chloorkoolwaterstoffen. Optimaal voor volledige dechlorering zijn waterstofconcentraties boven 5 nM, die overeenkomen met methanogene condities. Omdat waterstof meestal snel wordt verbruikt, verplaatst deze stof zich over het algemeen niet over grote afstanden. Zowel *Dehalococcoides* als etheen, het eindproduct van reductieve dechlorering, kunnen bijvoorbeeld stroomopwaarts zijn geproduceerd en met het grondwater worden verplaatst. Als beide (DHC en etheen) in combinatie met waterstof worden aangetroffen, is het zeer aannemelijk dat de chloorkoolwaterstoffen ter plaatse worden afgebroken. Sluitend bewijs van volledige dechlorering kan worden verkregen als bovendien een toename van *Dehalococcoides* en isotopenverschuivingen kunnen worden aangetoond.

De waterstofmeting is ten tijde van de grondwatermonsternamen uitgevoerd.

### Isotopenanalyses

Deze meting geeft aan of een afname in verontreinigingconcentraties is veroorzaakt door verdunning of door biologische afbraak. Binnen MMB zijn isotopenmetingen uitgevoerd op het koolstofatoom. Koolstof komt van nature in twee verschillende stabiele isotopen voor: de lichtere isotoop <sup>12</sup>C (waarvan de atoomkern 6 neutronen en 6 protonen bevat) en de zwaardere isotoop <sup>13</sup>C (met 6 protonen en 7 neutronen). Tijdens biologische afbraakprocessen wordt de lichtere isotopen fractie (<sup>12</sup>C) preferent afgebroken ten opzichte van de zwaardere <sup>13</sup>C fractie. Dit betekent dat indien bijvoorbeeld VC biologisch wordt afgebroken in de loop der tijd de isotopenfractionering positiever zal worden (er blijft meer <sup>13</sup>C VC over). Complicerende factor bij de interpretatie is dat VC bij reductieve dechlorering wordt gevormd, wat een verlaging van het aandeel <sup>13</sup>C oplevert, en afgebroken, wat een <sup>13</sup>C-verhoging tot gevolg heeft. De interpretatie wordt bij WKO's voorts bemoeilijkt door de sterke menging van het grondwater. Voor het interpreteren van de isotopenanalyses is ook aangenomen dat de oorspronkelijke moederproducten PER en TRI een isotopenwaarde hebben van respectievelijk circa -23 à -34 ‰ en -28 à -32 ‰ (op basis van expertise Deltares). De isotopenwaarden van CIS en VC worden tevens vergeleken met de isotopenwaarde van het moederproduct.



figuur 2.2 Aanrijking van moleculen met  $^{13}\text{C}$  door afbraak

#### 2.4.4 Analyses biologische parameters

##### Algemene microbiologie

Deze metingen geven inzicht in de mate waarin de totale biologische populatie wordt beïnvloed, oftewel of er een algemene toe of afname van de biomassa concentratie optreedt. De metingen zijn uitgevoerd met kwantitatieve moleculaire analyses op basis van Q-PCR technologie.

- Totaal aantal bacteriën, totaal aantal archaea

##### Specifieke micro-organismen en functionele genen

Deze analyses geven inzicht in welke mate de specifieke populaties worden beïnvloed. Hiermee wordt inzicht verkregen in de mate waarin microbiologische functies worden beïnvloedt. De metingen zijn uitgevoerd met kwantitatieve moleculaire analyses op basis van Q-PCR technologie. Er is op het DNA (aantallen) gemeten:

- Genen betrokken bij sulfaatreductie (*dsrA* + *dsrB* + *aprA*)
- Gen betrokken bij zwavel oxidatie (*SoxB*)
- Gen betrokken bij nitrificatie (*amoA*)
- Genen betrokken bij denitrificatie (*narG* + *NirK* + *NirS* + *NosZ*)
- Fe-oxideerders (*Gallionella* en *Leptothrix*)
- Fe-reduceerders (*Geobacter*)
- Gen betrokken bij methylering/methanogenese (*mcrA*)

### **Afbraakgerelateerde micro-organismen en genen**

Met betrekking tot afbraakgerelateerde processen zijn de volgende microbiologische analyses zijn uitgevoerd:

- *Dehalococcoides* spp. + specifieke genen die betrokken zijn bij verschillende omzettingstappen in de reductieve afbraakroute (*tceA*, *vcrA*, *bvcA*)
- *EaCoMT*, *etnE*, *etnC* (genen betrokken bij de micro-aerofiele aerobe oxidatie van VC)
- *Polaromonas* (bacterie die in staat is tot metabole micro-aerofiele oxidatie van CIS)

## **2.5 Werkwijze labtesten**

### **2.5.1 Proefopzet**

Er zijn labtesten uitgevoerd om vast te stellen wat het effect is van verschillende temperaturen op de afbraaksnelheid van VOCl in verontreinigde bodempakketten waar een WKO systeem toegepast zou kunnen worden. Naast batchexperimenten met actieve biologische processen (biotische batchexperimenten) zijn ook abiotische referentietesten (steriele controle) ingezet. Aan de referentietesten is een biocide toegevoegd om de biologische afbraakprocessen stil te leggen. Door vergelijking van het concentratieverloop in de biotische batchexperimenten met die van de steriele controle kan bepaald worden of daadwerkelijk biologische afbraak van VOCl is opgetreden of dat er sprake is van abiotische omzettingen of verliezen door bijvoorbeeld hechting aan de vaste fase.

De batchexperimenten zijn bij vier verschillende temperaturen uitgevoerd, respectievelijk 6, 10, 18 en 30°C. De temperaturen zijn gekozen omdat zij model staan voor een aantal relevante praktijkcondities:

- 6 graden als ondergrens in een groot aantal WKO systemen,
- 10 graden als representatie van de gemiddelde bodemtemperatuur,
- 18 graden, veelal planttemperatuur van warme bronnen in WKO-systemen, iets boven de gemiddelde boventemperatuur in WKO's maar model voor een significante verhoging ten opzichte van de basistemperatuur,
- en 30 graden als optimum temperatuur voor veel micro-organismen (maar al boven de wettelijke grens van 25 graden die nu wordt toegestaan).

### **2.5.2 Uitvoering**

De batchexperimenten zijn ingezet met grond en grondwater van de met VOCl-verontreinigde locatie Strijp-S in Eindhoven. Voor het inzetten van de batchexperimenten is van de aangeleverde grondmonsters (30SBP, dieptes 29,5; 38; 38,5 en 39 m-mv) en grondwatermonsters (2 liter uit 30SBP 30 m-mv en 1,3 liter uit 30SBP 40 m-mv) onder anaerobe omstandigheden een representatief mengmonster gemaakt. Tot aan het moment van inzetten zijn de monsters onder anaerobe omstandigheden bewaard. In figuur 2.3 zijn de ingezette testen weergegeven.



**figuur 2.3 Inzetten afbraaktesten (rechts: anaeroob inzetten; links: klimaatkast)**

De anaerobe batchexperimenten zijn uitgevoerd conform protocol beschreven in het NO-BIS rapport (code 97-4-04). Dit protocol is in het kader van het Nederlands Onderzoeksprogramma voor Biotechnologische In situ Sanering (NOBIS) ontwikkeld en gevalideerd.

De labtesten zijn bij vier verschillende temperaturen uitgevoerd, respectievelijk 6°C, 10°C, 18°C en 30°C. Bij opstart van de 30°C batch is de temperatuur geleidelijk van de intrinsieke condities verhoogd naar 30°C (eerste week 20°C, tweede week 25°C en daarna 30°C).

Er zijn bij elke temperatuur twee verschillende labtesten uitgevoerd:

- één abiotische test
- één biotische test

Voor het inzetten van de labtesten is gebruik gemaakt van grond en grondwater afkomstig van de locatie Strijp-S. Bij start van het experiment is de concentratie VOCl in de monsters bepaald. De startconcentratie bedroeg 700 µg/l. Besloten is om geen extra verontreiniging toe te voegen.

Gedurende de test zijn analyses uitgevoerd op concentratie VOCl, pH, de redoxparameters (ijzer en sulfaat) en de microbiologische parameters (algemeen bacteriën, VOCl-afbrekers zowel reductief als oxidatief en specifieke groepen).

## 2.6 Interpretatie gegevens veldmetingen en labtesten

Om vast te stellen of er op de locaties sprake is van een effect (positief of negatief) op de verontreiniging is binnen MMB gebruik gemaakt van drie lijnen van bewijsvoering:

- Verandering in chemische parameters;
- Verandering in microbiële parameters;
- Verandering in isotopenwaarde.

## 3 Locatie Utrecht-Centrum

### 3.1 Situatiebeschrijving

#### 3.1.1 Algemeen

Type systeem: cluster-WKO met meervoudige koude- en warmtebronnen. Het systeem is met koude- en warmtebronnen weergegeven in figuur 3.1. Het monitoringsmeetnet is weergegeven in bijlage 1. Het systeem is sinds 1993 (bijna 20 jaar) in bedrijf.

Meetrondes zijn uitgevoerd op 28 oktober 2008 en 17 november 2010. De meetresultaten zijn weergegeven in de tabel in bijlage 2.



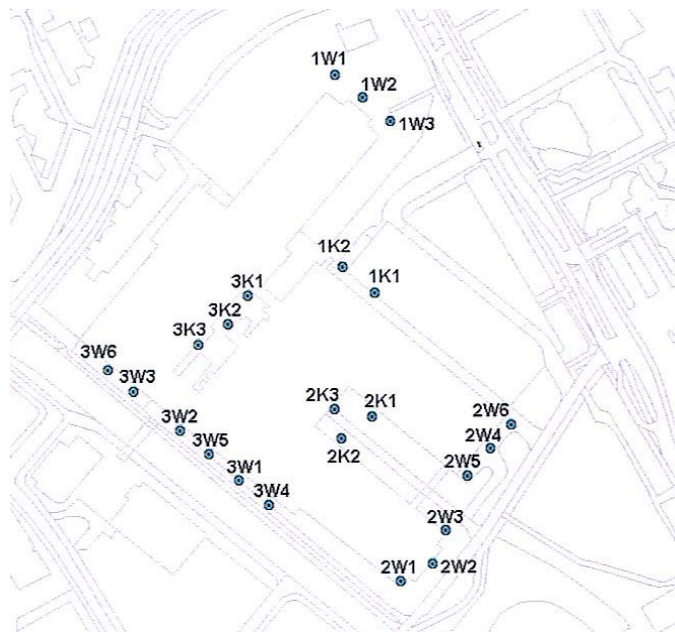
Provincie:	Utrecht
In bedrijf sinds:	Zomer 1993
Nog in de bedrijf:	ja
Soort systeem:	3 clusters met 3, 6 en 6 warme en 2, 3, en 3 koude bronnen
Gemiddelde infiltratietemperatuur zomer (laatst beschikbare jaar)	Niet bekend
Redoxtoestand:	anoxisch
Interactie met ander systeem:	Mogelijk met WKO Rabobank
Bemonsterde meetputten:	Zie tabel

#### 3.1.2 Systeembeschrijving

Op de locatie Utrecht-Centrum is in de zomer van 1993 een WKO-installatie aangelegd die sinds december 1993 in gebruik is, met diverse filtertrajecten tussen 15 en 50 m –mv. In de loop van de tijd is het systeem uitgebreid tot 3 clusters:

- Cluster 1 bestaat uit 3 warme en 2 koude bronnen;
- Cluster 2 bestaat uit 6 warme bronnen en 3 koude bronnen;
- Cluster 3 bestaat uit 6 warme en 3 koude bronnen.

De koude bronnen van alle clusters zijn centraal geplaatst binnen wat ruwweg als een halve cirkel met alle warme bronnen kan worden beschreven (zie figuur 3.1). Deze halve cirkel is open aan de zijde waar het grondwater heen stroomt: de westnoordwestelijke richting. Uit modelberekeningen blijkt dat in zomers met een grote koelvraag de stromingsrichting tijdelijk oostelijk kan worden [DHV rapport, 2008]. Derhalve is zowel op relatief kleine schaal rond de afzonderlijke bronfilters als ook op wat grotere schaal in het hele beschouwde gebied sprake van een zeer dynamische geohydrologische situatie.



**figuur 3.1 Configuratie WKO-clusters**

Per cluster is een debiet vergund van 238.000 m<sup>3</sup>/j, met een totaal van 714.000 m<sup>3</sup>/j. De gerealiseerde debieten liggen lager. Volgens het nader bodemonderzoek [DHV rapport, 2008] lag het totale debiet in de periode 2003 t/m 2005 op circa 379.000 m<sup>3</sup>/j. Door de gebruiker van de installatie kon maar over een deel van de meetperiode beperkte operationele informatie van de WKO-installatie ter beschikking worden gesteld. Uit tabel 4.1 blijkt dat in 2009 in de wintermaanden vooral cluster 3 is gebruikt voor het opslaan van koude en vanaf het vroege voorjaar uit alle clusters koude is gewonnen. Meer gedetailleerde gegevens, zoals debieten per dag of per uur, konden niet worden verkregen. Bij de provincie waren alleen oudere en minder gedetailleerde gegevens verkrijgbaar.

**tabel 3.1 Operationele informatie WKO-installatie (Bron: gebruiker)**

Koude-opslagsysteem Centrum Utrecht						
2009	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Laden m <sup>3</sup>	Ontladen m <sup>3</sup>	Laden m <sup>3</sup>	Ontladen m <sup>3</sup>	Laden m <sup>3</sup>	Ontladen m <sup>3</sup>
februari	0	0	3469	0	40917	10
maart	0	0	0	0	6756	-7
april	1	1434	0	5662	0	319
mei	0	164	3	10496	0	522
juni	7	2661	1	17987	31	3741
juli	0	3753	0	8607	0	9387
augustus	0	5731	0	5508	0	10263

### 3.1.3 Bodemopbouw en geohydrologie

Onder een dunne deklaag van ca. 3 m strekt zich tot ca. 50 m -mv het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket uit, met daaronder een scheidende laag van ca. 20 m en vanaf 70 m -mv het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket. De WKO-installatie is geplaatst in het eerste watervoerende pakket, bestaande uit de formaties van Boxtel, Kreftenheye, Urk en Sterksel (zie tabel 3.2 en tabel 3.3 en figuur 3.2). Dit watervoerend pakket wordt aan de onderkant afgesloten door de kleien van de formatie van Waalre. De horizontale doorlatendheden in het watervoerend pakket liggen gemiddeld tussen de 20 en 40 m per dag. De stromingsrichting van het grondwater is westnoordwestelijk.

**tabel 3.2 Geologische opbouw van de locatie**

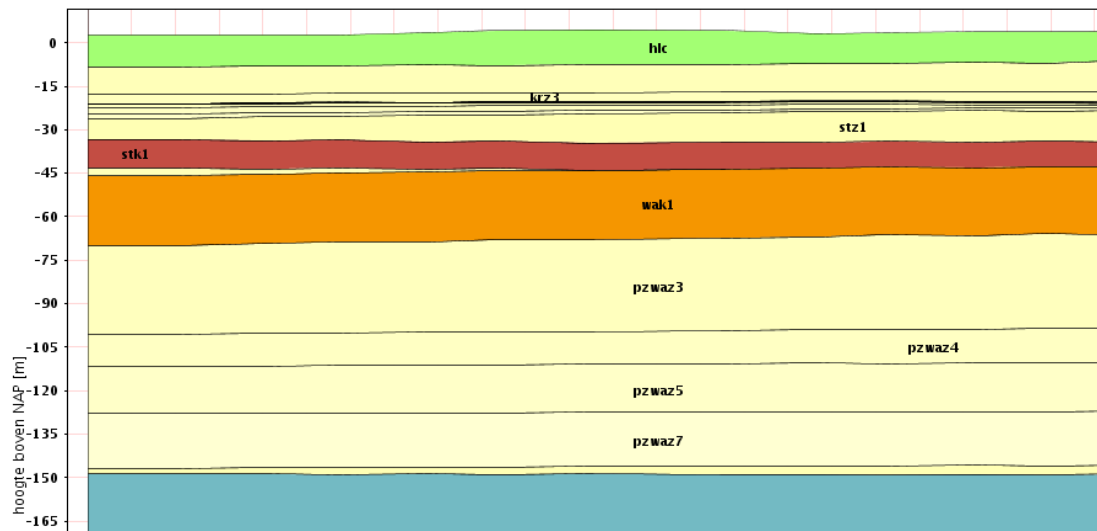
diepte - mv	Lithostratigrafie	Hydrogeologische eenheden met horizontale doorlatendheden (m/dag)			
0,0 - 2,8	Formatie van Echteld				
2,8 - 7,5	Formatie van Boxtel	bx-z3	25 - 50		
7,5 - 20,0	Formatie van Kreftenheye	kr-z2	30 - 40	kr-z3 30 - 40	kr-z5 20 - 40
20,0 - 27,5	Formatie van Urk	ur-z1	20 - 30	u-z3 20 - 30	
27,5 - 40,0	Formatie van Sterksel	st-z1	20 - 30	st-z2 30 - 40	st-kl 0,02 - 0,03
40,0 - 70,0	Formatie van Waalre	wa-k1	0,00-0,1		

N.B. Toelichting bij de afkortingen: de letter z achter de formatienaam geeft aan dat dit een zandlaag is. De letter k heeft betrekking op een kleilaag. Het nummer verwijst naar het specifieke onderscheiden laagpakket (bron: [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl))

**tabel 3.3 Nadere beschrijving geologische opbouw (bron: [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl))**

<b>Formatie van Echteld</b>	<i>Fluviatiel, meanderend en anastomoserend</i> ; klei, zwak siltig tot zandig en zeer fijn tot uiterst grof zand, soms grindhoudend, kalkloos tot kalkhoudend.
<b>Formatie van Boxtel</b>	<i>Geulafzettingen</i> ; zand, uiterst fijn tot uiterst grof (63 – 2000 µm), soms grindhoudend, kalkhoudend tot kalkloos, grijs tot bruin. Soms komt hierin ook klei, zandig of uiterst tot sterk siltig, kalkhoudend tot kalkloos voor.
<b>Formatie van Kreftenheye</b>	<i>Fluviatiel, verwilderd en meanderend</i> ; zand, matig fijn tot uiterst grof, grindhoudend en grind, plaatselijk kleilagen.
<b>Formatie van Urk</b>	<i>Fluviatiel, meanderend en verwilderd</i> ; zand, matig grof tot uiterst grof, zwak tot matig grindhoudend, plaatselijk kleilagen, kalkhoudend.
<b>Formatie van Sterksel</b>	<i>Fluviatiel, verwilderd en meanderend</i> ; zand, matig grof tot uiterst grof en grind, plaatselijk kleilagen, deels kalkhoudend.
<b>Formatie van Waalre</b>	<i>Fluviatiel, meanderend, anastomoserend en estuarien</i> ; zand, zeer fijn tot uiterst grof, veel kleilagen, plaatselijk grindhoudend, deels kalkhoudend.





figuur 3.2 Schematische dwarsdoorsnede van de bodemopbouw in het onderzoeksgebied. Zie ook tabel 4.2a (bron: www.dinoloket.nl)

### 3.1.4 Geochemische condities en redoxsituatie

Gegevens over de geochemie voordat de eerste WKO-cluster werd geïnstalleerd, zijn niet beschikbaar. Een indicatie van de redoxsituatie in het watervoerend pakket voortvloeiend aan de mogelijke invloed hierop van de WKO-installatie kan grondwateronderzoek geven dat ter plaatse van het eveneens in de binnenstad van Utrecht gelegen Vrouwjutenhof is uitgevoerd [Gefox-Lexmond, 2005]. Uit de oudste bekende geochemische gegevens van deze eveneens met chloorkoolwaterstoffen verontreinigde locatie resulteert in de volgende redoxsituatie voor het eerste watervoerend pakket tussen 19 en 44 m –mv:

- DOC varieert tussen 5,7 en 8,2 mg/l
- Zuurstof varieert tussen 0,21 en 0,38 mg/l
- Nitraat is overall < 0,05 mg/l
- IJzer (II) varieert tussen < 0,1 en 2,2 mg/l
- Sulfaat varieert het sterkst van alle gemeten parameters, concentraties variërend tussen 30 en 300 mg/l zijn gemeten
- Methaan varieert tussen 15 en 580 mg/l

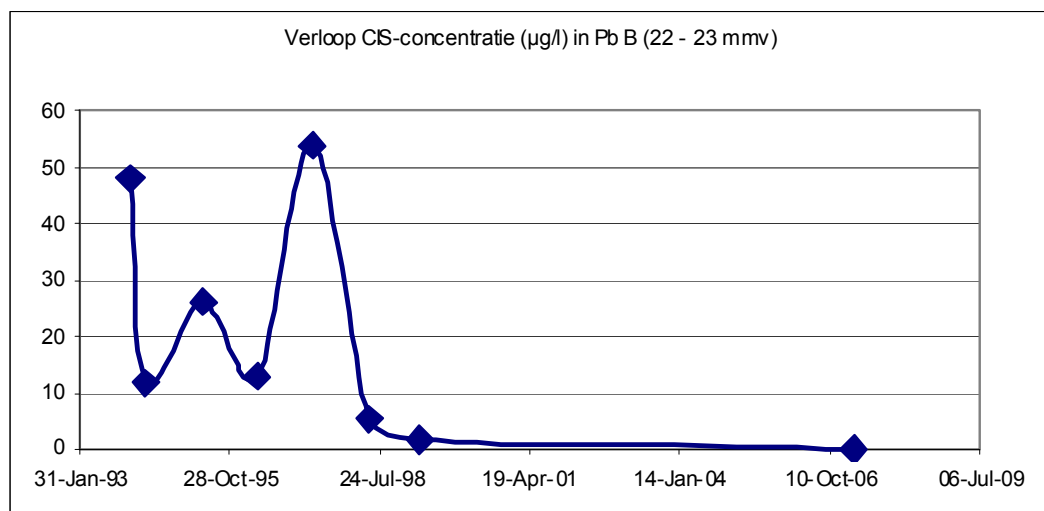
Op de meeste punten op de locatie zijn de redoxcondities sulfaatreducerend.

### 3.1.5 Verontreinigingssituatie

Over het hele gebied is het grondwater verontreinigd met chloorkoolwaterstoffen. In de bodemlaag waarin de WKO-filters staan, betreft dat overwegend VC en in mindere mate CIS. De VC-concentraties liggen veelal boven de interventiewaarde van 5 µg/l, en zijn plaatselijk meer dan 10x tot 100x zo hoog. Volgens het rapport van het nader bodemonderzoek [DHV, 2008] strekt deze verontreiniging zich in verticale richting uit tot de bovenzijde van het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket op ruim 70 m –mv.

Het zwaartepunt van de aanwezige verontreiniging ligt aan de stroomafwaartse zijde van de WKO-filters. De grondwaterverontreiniging wordt voor het overgrote deel niet door de WKO aangetrokken en daarin beheerst (dat was ook niet het doel van deze installatie). Uit de monitoringsdata blijkt dat het WKO-systeem de verontreinigingen wel enigermate verplaatst maar niet zodanige verspreiding veroorzaakt dat het zwaartepunt van de verontreiniging hierdoor wordt verlegd. Hierbij speelt de clustering van de WKO-bronnen een rol: onttrokken verontreinigende stoffen worden relatief dichtbij weer geïnfiltreerd. Uit analysegegevens (door de gebruiker van de WKO-installatie ter beschikking gesteld), blijkt dat bij alle clusters in het water dat door het systeem gaat sinds 2004 lage concentraties (orde van grootte van 1 µg/l) *cis*-1,2-dichlooretheen (CIS) zijn aangetroffen (monitoringsrapportages BMC-Bodemconsult B.V). In de beginperiode (t/m 1999) werden in het infiltratiewater hogere CIS-concentraties gemeten die sterk varieerden tussen 3 en 52 µg/l (monitoringsrapportages IF Technology bv). Omdat na de eeuwwisseling de monitoring door een andere partij is uitgevoerd en gebruik is gemaakt van andere monsterpunten, kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken over het verloop van de concentraties aan verontreinigingen. Wel kan worden geconcludeerd dat verontreinigende componenten door de WKO-installatie worden aangetrokken en weer geïnfiltreerd. Incidenteel zijn andere chloorkoolwaterstoffen (TRI, PER, dichloorethaan) in relatief lage concentraties aanwezig. Sinds hierop wordt geanalyseerd, zijn in het systeemwater relatief verhoogde concentraties aan vinylchloride (VC) gemeten: in 2007 en 2009 in de clusters 1, 2 en 3 respectievelijk 92, 0,53, 3,7 µg/l en 75, 0,33, 2,9 µg/l. Hieruit blijkt dat hoge VC-concentraties (ver boven de interventiewaarde van 5 mg/l) alleen in cluster 1 zijn aangetroffen.

Van de stroomafwaarts van de WKO's gelegen peilbuis B (zie bijlage 1) is slechts van één monitoringsfilter in het bodemtraject van de WKO-filters een lange meetreeks beschikbaar voor de CIS-concentratie, die is samengesteld door combinatie van de bovengenoemde beschikbare literatuurbronnen en weergegeven in figuur 3.3.

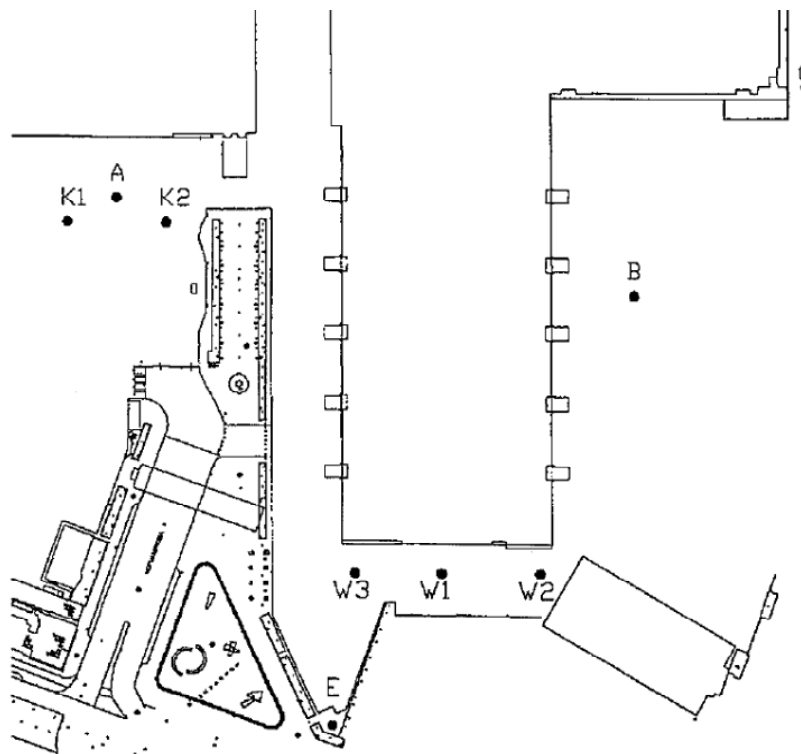


figuur 3.3 Langjarig concentratieverloop CIS-verontreiniging in peilbuis B

Uit figuur 3.3 blijkt dat de CIS-concentratie sinds het in gebruik nemen van de WKO in het begin sterk fluctueerde maar sinds 1998 gestaag is afgenomen. Dit kan zowel duiden op afbraak als op verdunning.

### 3.1.6 Historische temperatuurgegevens

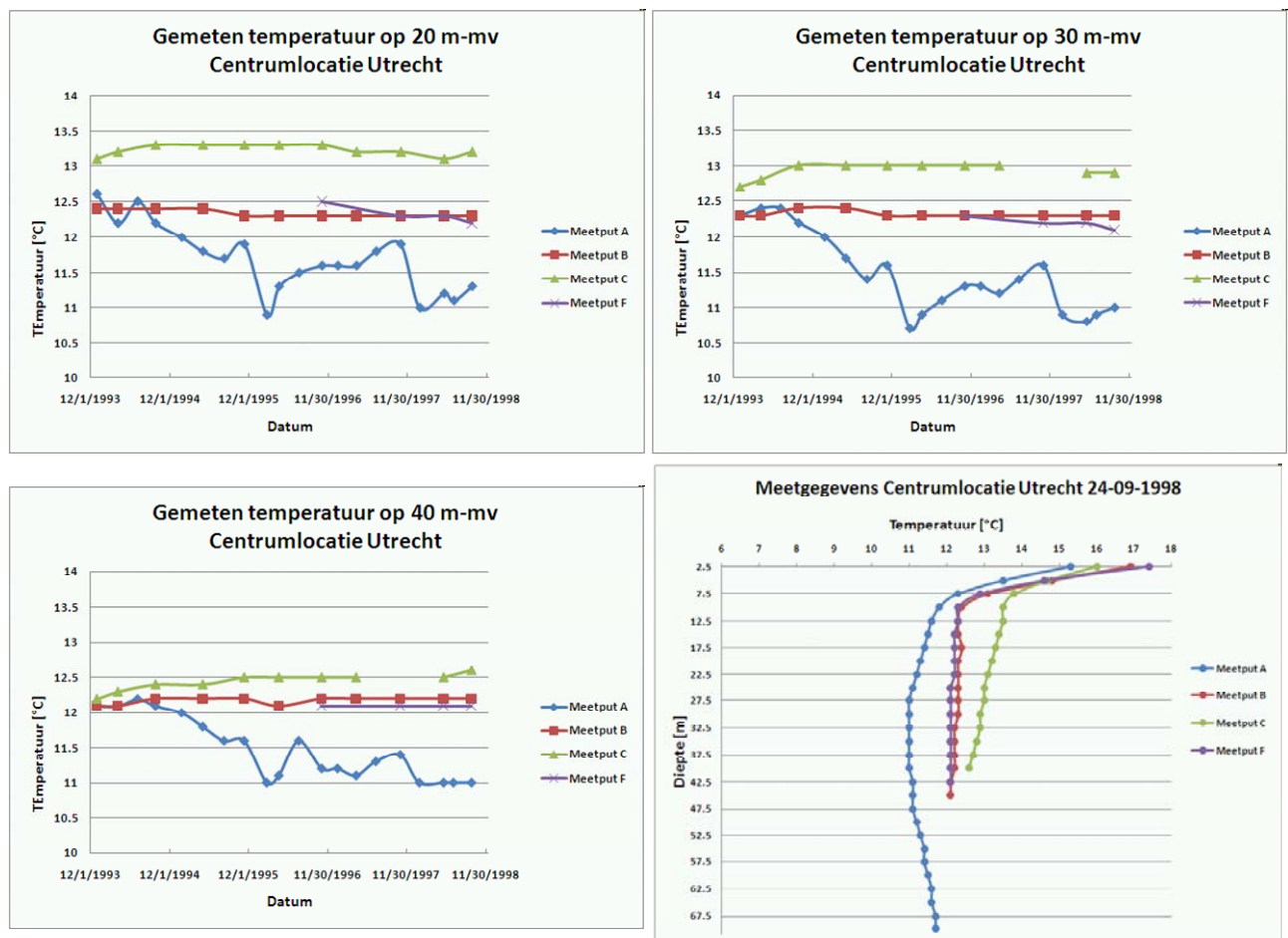
In de periode 1993-1998 is een groot aantal temperatuurprofielen gemeten in de diepste peilbuizen van meetputten (weergegeven in figuur 3.4). Deze profielen zijn gemeten in meetbuizen, waarbij is aangenomen dat op elke diepte in de buis het water, oorspronkelijk afkomstig uit de laag waar zich het filter bevindt, de temperatuur van de omliggende bodem aanneemt. Hierbij worden waterbewegingen als gevolg van temperatuurverschillen in de buis (die veel sneller plaatsvinden dan in de bodem) verwaarloosbaar geacht. Dit is alleen terecht bij relatief kleine temperatuurverschillen.



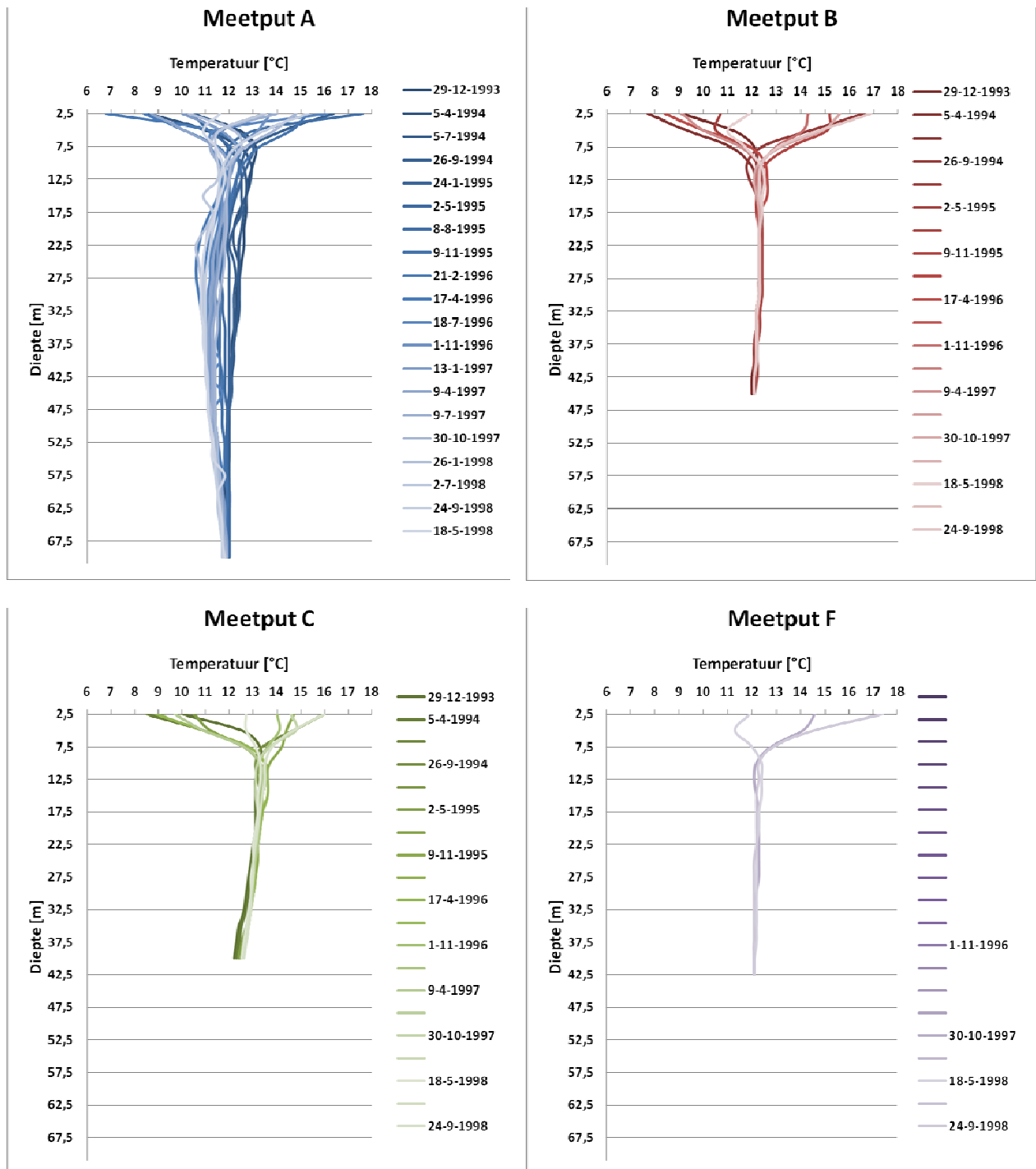
figuur 3.4 Locaties van bronnen en meetputten (situatie eind 20<sup>e</sup> eeuw).  
Diepte bronfilters: 15 – 46 m-mv

In de onderstaande grafieken (figuur 3.5) zijn de resultaten van de metingen geplot. Tot een diepte van ongeveer 10 meter zijn de fluctuaties van de bodemtemperatuur te zien die het gevolg zijn van de seizoensafhankelijke temperatuurfuctuaties aan het maaiveld. Uit de metingen is af te leiden dat in de meetputten B, C en F geen noemenswaardige temperatuurveranderingen als gevolg van het systeem optreden. De putten liggen (in de meetperiode) blijkbaar buiten het thermisch invloedsgebied van de warme en koude bronnen. Dit komt overeen met de verwachting - geen significante beïnvloeding - op basis van de berekeningen uit de effectenstudie.

In meetput A, gelegen nabij de koude bronnen K1 en K2, is een beperkte temperatuurdaling zichtbaar die vooral in het bovenste deel van het temperatuurprofiel te zien is. De maximale daling bedraagt ongeveer 2,0 °C en onderin is nog slechts 0,5 °C daling van de temperatuur zichtbaar. Mogelijk infiltreert in het bovenste deel van het filtertraject van de koude bronnen verhoudingsgewijs veel water ten opzichte van het diepere deel. Op basis van deze metingen lijken de temperatuurveranderingen gering.



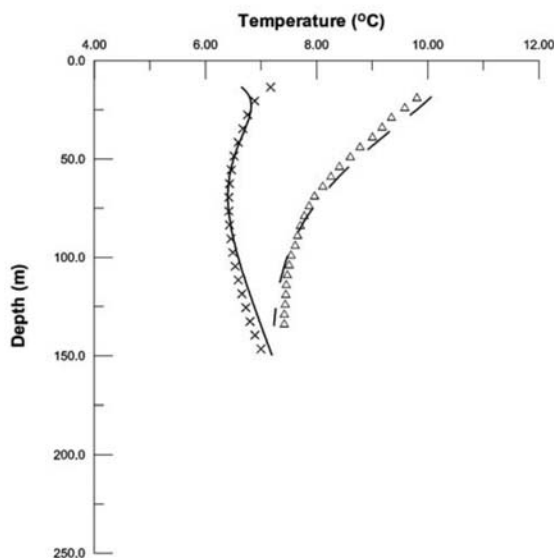
figuur 3.5 Temperatuurverloop over de tijd per diepte voor vier meetputten



figuur 3.6 Temperatuurverloop over de diepte op verschillende tijdstippen voor vier meetputten

Bovenstaande grafieken (figuur 3.6) tonen het gemeten temperatuurverloop op een aantal dieptes en over de tijd.

Uit de grafieken blijkt dat de temperatuur in de meetputten B en F vrijwel gelijk en constant is. De temperatuur in meetput A is duidelijk lager als gevolg van de invloed van de koude bronnen. De temperatuur in meetput C is ook vrijwel constant, maar ligt duidelijk hoger dan de temperatuur in meetputten B en F. In meetput C is op 20 m-mv het temperatuurverschil ongeveer 0,9 °C, op 30 m-mv ongeveer 0,7 °C en op 40 m ongeveer 0,5 °C. Vermoedelijk is dit het gevolg van het feit dat meetput C dicht tegen het gebouw staat, waardoor de gemiddelde oppervlakte temperatuur hier hoger ligt: extrapoleren van de verschillen levert aan maaiveld een gemiddelde temperatuurverschil van 1,3 °C. Dit fenomeen wordt in de literatuur ook gesuggereerd: metingen van Ferguson en Woodbury geven aan dat de temperatuur op 20 m diepte in een meetpunt op 2 m van een gebouw ongeveer 3 °C hoger is dan in een meetpunt op 18 m afstand van een ander gebouw (zie figuur 3.7). Meetpunten op verschillende afstanden van hetzelfde gebouw waren in het onderzoek van Ferguson en Woodbury niet beschikbaar.



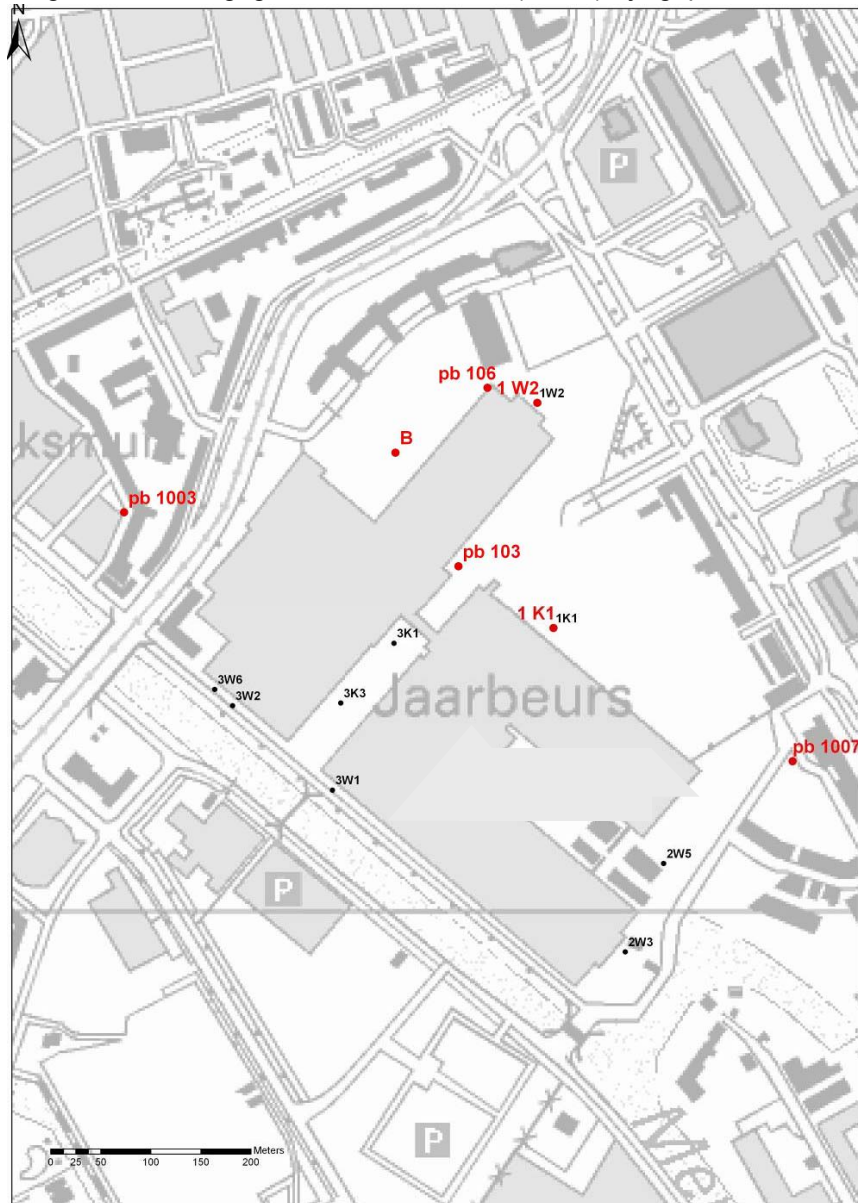
**figuur 3.7** Gemeten (punten) en berekende (lijnen) temperatuurprofielen op 18 m afstand van een gebouw (kruisjes) en op 2 m afstand van een ander gebouw (driehoeken). Bron: Ferguson en Woodbury, 2004

## 3.2 Resultaten uitgevoerd onderzoek

De resultaten zijn weergegeven in de tabel in bijlage 2 en worden in deze paragraaf per categorie besproken.

### 3.2.1 Sensoronderzoek temperatuur en stijghoogte

In figuur 3.8 is aangegeven waar sensoren (divers) zijn geplaatst.



figuur 3.8 Overzicht sensoren. De rood gemarkeerde punten zijn de punten waar divers in de peilbuizen zijn gehangen. [Erratum: de locatie van peilbuis 1007 is niet geheel correct weergegeven. Voor de juiste locatie wordt verwezen naar bijlage 1]

Er van uitgaande dat de stijghoogte reageert op het infiltreren dan wel onttrekken dan is de invloed van de WKO nog meetbaar op een afstand van circa 200 meter.

Het temperatuurverschil tussen de warme en koude bron is circa 3 °C. Door een lagere grondwatertemperatuur en de aanwezigheid van de koude bel zal er een verloop in grondwatertemperatuur zijn van de warme bel naar buiten toe. Op een afstand van 40 m is een lichte temperatuursdaling van 0,8 graden geconstateerd en op een afstand van 185 m een daling 1,1 graden. Op een afstand van 290 m naar de warme bron (W3) is er een daling van 2,2 graden.

Op een afstand van 280 m is nog een effect op de stijghoogte waar te nemen tijdens infiltratie in de koude bron.

Tijdens infiltratie in warme bron W2 is op een afstand van 50 meter de stijghoogte gelijk aan die in de bron. Tijdens infiltratie dan wel onttrekking is de invloed van de temperatuurverandering niet direct terug te zien. Dit komt doordat processen die van invloed zijn op de overdracht van energie veel trager zijn dan de drukveranderingen.

### 3.2.2 Geochemische condities

De heterogeniteit van bodems in aanmerking nemende, zijn de concentraties van de meeste in het grondwater opgeloste stoffen vrij uniform, zowel in de tijd als van plaats tot plaats. Uitzondering vormt de opgeloste organische stof, die op de meeste plaatsen stijgt van 4 naar 8 mg/l. Deze toename is niet in alle peilbuizen zichtbaar en wordt daardoor niet toegeschreven aan een systematisch analysefout. De gemeten waarden zijn vergelijkbaar met de beginwaarden genoemd in § 4.1.4. De absolute toename is gering: slechts enkele milligrammen per liter; te weinig om te kunnen spreken van een toenemende trend (ook gezien de concentraties vergelijkbaar zijn met de beginwaarden). De concentratie van sulfaat varieert van plaats tot plaats relatief het sterkst: van enkele tientallen tot rond de 100 mg/l. Daarbij worden de hoge concentraties altijd dieper aangetroffen, maar omgekeerd geldt niet dat de diepste peilbuizen altijd de hoogste sulfaatconcentraties bevatten. Waarschijnlijk hangt de verdeling van de sulfaatconcentraties samen met de bodemopbouw met meer plaatselijke kleilagen op grotere diepte (zie figuur 3.2 en § 4.1.4). Op basis van de gevonden geochemie is het grondwater te homogeen voor een indeling in verschillende watertypen.

Dit wijst erop dat op dit moment de WKO's de grondwaterchemie niet of nauwelijks nog beïnvloeden. Het is wel mogelijk dat de WKO's het grondwaterpakket in het verleden hebben gehomogeniseerd, maar diverse grondwateronttrekkingen in de binnenstad van Utrecht zullen daar ook aan bij hebben gedragen. Uit de informatie die in de toekomst met behulp van een uitgebreid monitoringsmeetnet in de stad Utrecht zal worden verzameld is het mogelijk om hier beter inzicht in te krijgen.



Op de locatie Utrecht-Centrum duidt de aanwezigheid van meer bicarbonaat dan op basis van de evenwichtsconcentratie voor kalk/kooldioxide mag worden verwacht, op afbraak van organisch materiaal, dit kan verontreiniging betreffen of natuurlijk voorkomend organisch materiaal. Wat betreft afbraak van de VOCI-verontreiniging zijn de redoxcondities ter plaatse niet optimaal voor reductieve dechlorering. Dit wordt gekenmerkt door de relatief lage concentraties organische stof en waterstof, er is dus weinig elektronendonor voorhanden, en de concentraties van de concurrerende elektronenacceptor sulfaat is relatief hoog. Voor volledige reductieve dechlorering toerijkende concentraties waterstof zijn alleen aangetroffen ter plaatse van peilbuis 1007. Dit duidt op plaatselijk afwijkende condities, mogelijk onder invloed van infiltrerend oppervlaktewater. Dit wordt echter niet bevestigd door de overige parameters, deze wijken niet af ten opzichte van de overige peilbuizen. De condities zijn overwegend mogelijk wel geschikt voor het optreden van micro-aerofiele afbraak (zie voor de interpretatie § 4.2.3).

### 3.2.3 Biologische gegevens

#### Capaciteit reductieve dechlorering

Het DNA van het voor reductieve dechlorering vereiste organisme (*Dehalococcoides*) en bijbehorende genen is tijdens de eerste meetronde (in 2008) op diverse plaatsen in relatief lage aantallen (< 100 cellen/ml) aangetroffen, ook in de peilbuis 1007 (35 m-mv) waar op basis van de waterstofconcentraties is geconcludeerd dat de condities voor reductieve dechlorering gunstig zijn. In een aantal peilbuizen zijn specifieke afbraak genen in verhoogde aantallen (>100 cellen/ml) aangetroffen: VC-reductase (*vcrA* en *bvcA*) in van warmtecluster 1 stroomafwaarts gelegen peilbuis 1003 (49m-mv) en nabij de warmtecluster 1 gelegen peilbuis PB 106 (35 m-mv) en trichlooretheen-reductase (*tceA*) in van warmtecluster 1 stroomafwaarts gelegen peilbuis B (47 m-mv). Er zijn indicaties dat er ter plaatse van de warmtecluster 1 potentie voor reductieve dechlorering aanwezig is.

In de tweede meetronde, eind 2010, is in de stroomafwaartse peilbuizen HK4 (20-m-mv), 1003 (49 m-mv) en bij de warme bron gelegen peilbuis peilbuis 106 (20 m-mv) een toename in *Dehalococcoides* (> factor 100) waargenomen. Deze toename in *Dehalococcoides* gaat gepaard met een toename in VC-reductase. In peilbuis 106 (20 m-mv) gaat dit niet gepaard met een toename in DOC (organisch stof), in de andere twee peilbuizen wel. Dergelijke gehalten duiden op een lage hoeveelheid elektronendonor. Hierbij is het van belang om vast te stellen of het voor organismen bruikbare organische materiaal betreft. De lage waterstofconcentraties duiden er op dat de aanwezige organische stof voor organismen nauwelijks bruikbaar is. Opgemerkt dient te worden dat het systeem al bijna 20 jaar in bedrijf is. Op basis van twee meetpunten is het niet mogelijk om dit verschil (toename) in dechloreringscapaciteit te verklaren door een effect van het WKO-systeem. Om het effect van het WKO-systeem duidelijk vast te stellen is vergelijking met meetgegevens van buiten de beïnvloede zone van belang. Het verband tussen de toename in afbraakpotentie en de WKO-clusters is nog niet duidelijk vastgelegd. Het vergelijken van data van buiten het beïnvloede gebied moet uitwijzen of deze conclusie terecht is.

### Capaciteit oxidatieve afbraak

Het DNA voor het enzym betrokken bij micro-aerofiele aerobe afbraak van VC (*EaCoMT*, *etnC* en *etnE*) en afbraak van CIS (*Polaromonas*) is alleen in de 2<sup>e</sup> meetronde (2010) geanalyseerd. Er zijn ook beperkte analysesresultaten van *etnE*, *etnC* en *Polaromonas* beschikbaar van de meting uit 2008.

In 2010 is de bacterie *Polaromonas* in geen van de peilbuizen aangetroffen. Het *EaCoMT*, *etnC* en *etnE* gen is niet of nauwelijks (<10 cellen/ml) aangetroffen. De hoogste aantallen *EaCoMT* zijn in peilbuis 106 (20 m-mv, nabij de warmtecluster 1) gemeten, waar ook een toename in dechlorerende bacteriën/genen was waargenomen. *EtnC* is in peilbuizen 1W2 (39 m-mv, warme bron), pb 106 (35 m-mv, nabij warme bron) en in pb B (40 m-mv, stroomafwaarts van warme bron) in verhoogde aantallen (>100 cellen/ml) aangetroffen. Op basis van de resultaten uit 2008 blijkt dat plaatselijk een toename in het *etnC* gen is (1W2 (39 m-mv)) en plaatselijk een lichte afname (pb106 (35 m-mv) en pb B (40 m-mv)) in dit gen waargenomen is. Deze resultaten tonen aan dat er mogelijk een effect van de WKO (mengeffect) is op de aanwezigheid van genen betrokken bij de afbraak van VOCI. Binnen het beïnvloede gebied worden de micro-organismen via het grondwater verplaatst.

Deze resultaten duiden er op dat ter plaatse zowel een potentie voor reductieve dechlorering als voor micro-aerofiele afbraak aanwezig is. Door de heterogeniteit van de bodem is het mogelijk dat deze processen op vrijwel dezelfde plaats in verschillende bodemporiën plaatsvinden. Met de huidige analyses is het daadwerkelijk optreden van deze twee processen nog niet vastgesteld.

### Overige microbiële parameters

De hoeveelheid biomassa is in alle peilbuizen vergelijkbaar ( $10^7$  cellen/ml). De samenstelling van de bacteriële populatie varieert onderling. De grootste variatie is te zien in peilbuis 106 (nabij de warmtebron) hierin worden de hoogste concentraties sulfaat reducerders (*dsrA* en *dsrB*) aangetroffen. Dit duidt op sulfaatreducerende condities. Sulfaatreducerende condities zijn gunstiger voor het optreden van reductieve dechlorering.

Verder is er geen duidelijk verband gevonden tussen het aantal bacteriën en archaea en de temperatuur. Mogelijk is niet de temperatuur maar een andere parameter (bijvoorbeeld organisch koolstof) groeilimiterend. We zien een duidelijke aanwezigheid van sulfaatreducerende capaciteit in bijna alle peilbuizen. Dit komt overeen met de aanwezige sulfaatreducerende condities. Er is geen kwantitatief verband tussen het aantal *dsr* kopieën en de concentratie sulfaat, sulfide of methaan.

In een aantal peilbuizen worden ijzeroxideerders aangetroffen, deze worden ook op andere locaties vaker aangetroffen op plaatsen waar chemische oxidatie van ijzer(II) niet meer plaatsvindt maar biologische oxidatie mogelijk wel een rol speelt.

### 3.2.4 Omzettingen van verontreinigingen

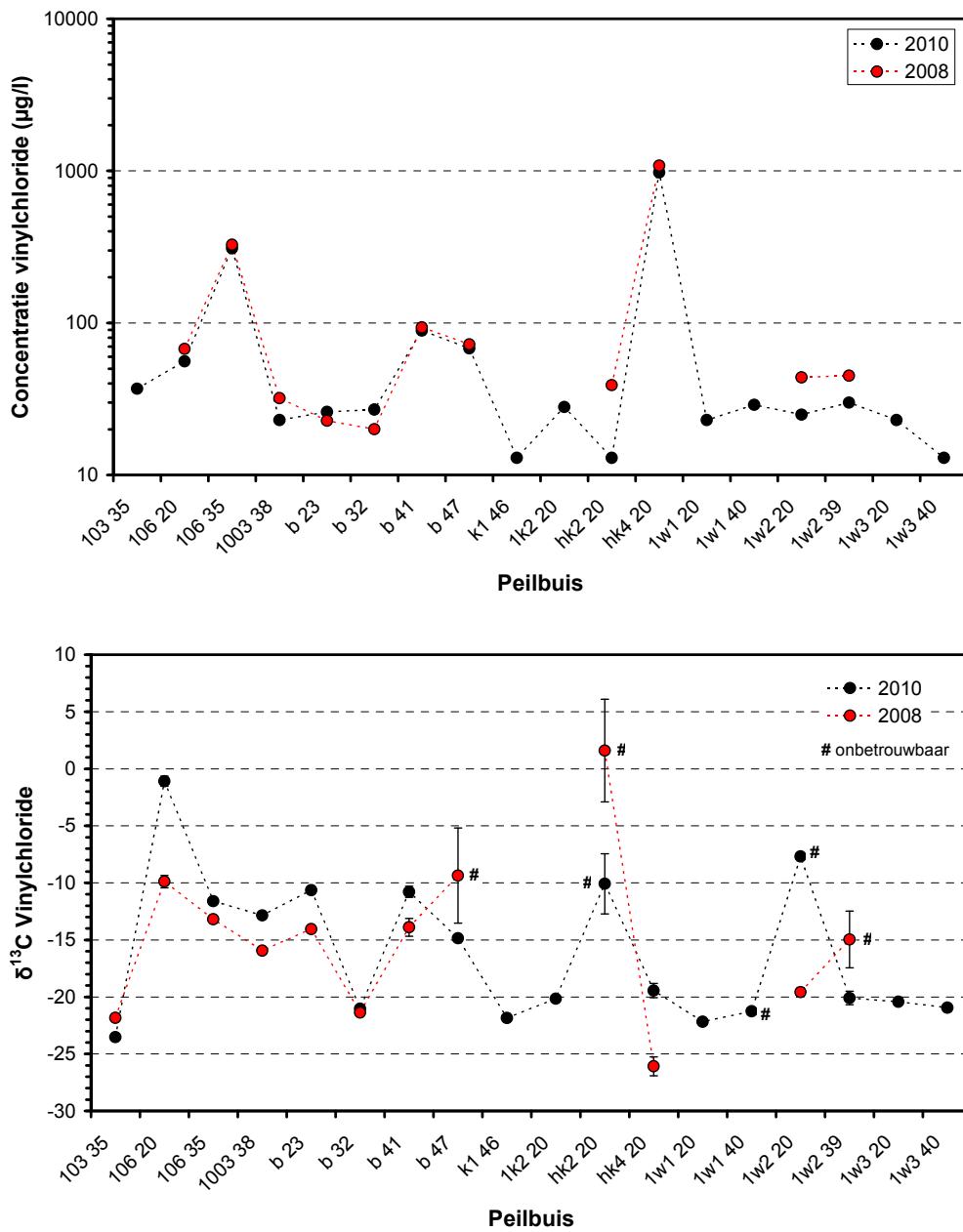
Ter plaatse van de clusters 2 en 3 zijn geen verontreinigingen aangetroffen. De afwezigheid van verontreiniging is dus mogelijk het gevolg van afbraak of van het aantrekken van minder verontreinigd/schoon grondwater.

De concentraties van VC, de meest verbreid voorkomende verontreinigingscomponent, fluctueren tussen de verschillende meetpunten (ruimtelijke fluctuatie) en lijken in de tijd tussen beide meetronden af te nemen. De afname bedraagt niet meer dan enkele tientallen  $\mu\text{g/l}$  (en is daardoor niet zichtbaar in figuur 3.9 waarin een logaritmische concentratieschaal is gehanteerd). Cluster 1 ligt volgens het nader onderzoek (DHV, 2008) duidelijk binnen de interventiewaardecontouren voor vinylchloride, dit wordt in deze twee monitoringsrondes bevestigd. Ook wordt bevestigd dat de hoogste concentraties aan chloor-koolwaterstoffen aan de stroomafwaartse kant van de WKO-installatie liggen.

Het niet-gechloreerde eindproduct van reductieve dechlorering, etheen, is alleen aangetroffen ter plaatse van de stroomafwaartse peilbuis HK4-20m en peilbuis 106-35 m bij de warmtebronnen van cluster 1. Sporen van etheen (concentraties beneden de reguliere rapportagegrens die in de tabel is gehanteerd, maar significant boven de detectiegrens) zijn bovendien aangetroffen in de filters 1W2-20m (in warmtecluster 1 in 2008), 106-20m (stroomafwaarts van warmtecluster 1, in 2008 ook in het filter op 35m), B-41/47m (stroomafwaarts van cluster 1, in beide ronden) en 1003-49m (stroomafwaarts van het hele WKO-veld, alle clusters, in de 2<sup>e</sup> ronde). Het betreft enkele microgrammen per liter. Dit duidt op geringe maar volledige afbraak van chloorethenen. De aanwezigheid van dechlorerende organismen (zie § 4.2.3) duidt er op dat reductieve dechlorering van CIS en VC op deze locatie kan plaatsvinden.

Naast concentratiemetingen zijn tevens isotopenmetingen uitgevoerd. De verschillen in gehalte  $^{13}\text{C}$  in VC variëren op de locatie. De verschillen worden veroorzaakt door preferente afbraak van moleculen met  $^{12}\text{C}$  en is een bewijs voor het optreden van biologische omzettingen. Complicerende factor bij de interpretatie is dat VC bij reductieve dechlorering wordt gevormd, wat een verlaging van het aandeel  $^{13}\text{C}$  oplevert, en afgebroken, wat een  $^{13}\text{C}$ -verhoging tot gevolg heeft.

In onderstaande grafieken zijn de isotopenverhoudingen en de concentraties in beide ronden vergeleken. Er is geen volledige overlap omdat sommige peilbuizen eenmalig zijn geanalyseerd en een isotopenanalyse alleen mogelijk is bij voldoende hoge VC-concentraties (> ca. 10  $\mu\text{g/l}$ ).



figuur 3.9 Concentraties (boven) en isotopenverhoudingen (onder) van VC in de hier op onderzochte peilbuisen

Uit figuur 3.9 blijkt dat ten opzichte van de veronderstelde uitgangsstoffen over vrijwel de hele linie relatief hoge promillages  $^{13}\text{C}$  zijn gemeten, hetgeen er op duidt dat meer VC wordt afgebroken dan gevormd. Verder blijkt dat in de meeste peilbuizen tussen de beide meetrondes een significante verschuiving plaats heeft gevonden naar zwaardere VC-isotopen ( $^{13}\text{C}$ ). De significantie hangt af van de signaalsterkte en de standaarddeviatie van herhalingsmetingen (zie de foutenbalken in figuur 3.9). Een verschuiving van enkele promillen is significant. Dit bewijst dat de geringe concentratie-afname in VC toe te schrijven is aan afbraak van VC.

In de tussen koude- en warmtecluster 1 gelegen peilbuis 103-35m treedt een significante verschuiving naar de lichtere isotoop ( $^{12}\text{C}$  VC) op, wat duidt op vorming van VC (uit CIS). Als de peilbuizen in warmtecluster 1 onderling worden vergeleken is de isotopenverhouding stabiel. Dit is in tegenstelling tot de nabijgelegen peilbuis 106, waar de grootste aanrijking met  $^{13}\text{C}$  wordt gemeten. Ook een aanzienlijke aanrijking is waargenomen in de verder stroomafwaarts gelegen peilbuis HK4-20m. Dit betekent dat in de WKO-filters geen afbraak van VC plaatsvindt, maar in de nabije omgeving wel. Als overigens de minder betrouwbare data mee worden genomen, duiden deze op zowel vorming als afbraak van VC in de warmtefilters van 1W2. Een dynamische situatie is overeenkomstig de verwachting in de filters waar zowel onttrekking als infiltratie plaatsvindt. Mede gezien de correlatie tussen de aanwezigheid van (sporen) etheen, dechlorerende organismen en isotopenverschuivingen, is het in ieder geval zeker dat VC in de omgeving van warmtecluster 1 wordt / is afgebroken.

### 3.3 Evaluatie

Stijghoogte-effecten van het WKO-systeem op het grondwater in de omgeving zijn meetbaar tot op enkele honderden meters afstand. De temperatuursinvloed hierbij is gering: slechts enkele graden.

Op basis van de geochemische samenstelling heeft het grondwater een vrij homogeen karakter. Uitzondering hierop vormen de opgeloste organische stof en sulfaatconcentraties. Deze variëren in tijd en ruimte. De gemeten waarden zijn echter in zijn geheel vergelijkbaar met de beginwaarden genoemd in § 4.1.4. Op basis van de gevonden geochemie is het grondwater te homogeen voor een indeling in verschillende watertypen. Mogelijk dat het grondwater door de WKO is gehomogeniseerd ten opzichte van de beginsituatie. Overige grondwateronttrekking in de binnenstad van Utrecht hebben mogelijk ook een homogeniserende werking (gehad). Uit de informatie die in de toekomst met behulp van een uitgebreid monitoringsmeetnet in de stad Utrecht zal worden verzameld is het mogelijk om hier beter inzicht in te krijgen.

De redoxchemische condities zijn niet overal optimaal voor de reductieve biologische afbraak van de aanwezige VOCl verontreinigingen. Uit de combinatie van data als omzettingenproducten, de aanwezigheid van specifieke organismen en (verschuivingen in) isotopenverhoudingen blijkt dat afbraak van de meest wijd verbreide verontreinigingscomponent, VC, in ieder geval in het verleden, heeft plaatsgevonden. Er is daarnaast ter plaatse en stroomafwaarts van de warmtecluster een toename in specifiek VOCl afbrekende bacteriën waargenomen. Met de huidige analyses is nog niet vastgesteld of de aanwezige bacteriën ter plaatse actief zijn. Verwacht wordt dat deze toename het gevolg is van verspreiding en plaatselijke groei van de bacteriën. Of de groei van deze bacteriën (en de daarmee samenhangende afbraak) beïnvloed wordt door het WKO-systeem is niet te zeggen. Mogelijk dat door het WKO-systeem wel verspreiding van specifieke bacteriën plaatsvindt. Gezien de matige temperatuursverschillen (ten opzichte van de achtergrondtemperatuur) wordt niet verwacht dat temperatuur een meetbaar effect heeft op het voorkomen van de bacteriën en de daarbij behorende afbraaksnelheid. Op basis van de meetgegevens kan niet worden vastgesteld of stimulering van de afbraak door de WKO door menging, via het bij elkaar brengen van reactanten als elektronendonor en – acceptor, optreedt. Dit komt doordat er geen vergelijking gemaakt kan worden met onbeïnvloed gebied. Er zijn op basis van de huidige meetreeks wel aanwijzingen verkregen dat dit effect optreedt.

Om te verifiëren of de afbraak ter plaatse gestimuleerd of geremd wordt door het WKO-systeem is het nodig om de resultaten van de peilbuizen gelegen binnen het beïnvloede gebied te vergelijken met resultaten van peilbuizen buiten het gebied (indien beschikbaar). Om vast te stellen of de afbraakprocessen ook daadwerkelijk optreden zijn analyses op RNA niveau zinvol.

## 4 Locatie Strijp-S, Eindhoven

### 4.1 Situatiebeschrijving

#### 4.1.1 Algemeen

Op de locatie Strijp-S is in 2011 een WKO recirculatie systeem opgestart. Dit systeem is bewust in een verontreiniging geplaatst. Naast energiewinning is het systeem zo ontworpen dat de verontreiniging voor het overgrote deel wordt beheerst en verspreiding wordt geminimaliseerd. Het Sanergy systeem leidt ertoe dat de natuurlijke grondwaterstroming grotendeels om de locatie heen wordt geleid. Het systeem heeft als gevolg daarvan een beheersend effect, waarmee de verspreiding van verontreinigingen vanaf de locatie met ongeveer 60-80% afneemt. In de ontwerpfase van de sanering is veel kennis opgedaan op het gebied van combinatieconcepten. Er zijn grondwater analysedata beschikbaar van voorgaande meetronden. Met een uitgebreid pakket aan metingen, uitgevoerd binnen MMB, is het daadwerkelijke effect van een WKO-systeem op de afbraak van een verontreiniging te volgen. Het systeem is met infiltratie-, onttrekkings en monitoringsfilters weergegeven in bijlage 4.



Op de locatie Strijp-S is tijdens de 1<sup>e</sup> ronde een zogenaamde nulmeting uitgevoerd. Op dit tijdstip was het systeem operationeel maar de meetpunten konden op basis van de hydrologische situatie nog niet beïnvloed zijn. Tijdens meetronde 2 (april 2011) werden de eerste invloeden van het systeem verwacht. De resultaten bevestigen dit beeld niet. Bij meetronde 3 (september 2011) en 4 (december 2011) is een deel van de meetpunten beïnvloed. De meetresultaten zijn weergegeven in de tabel in bijlage 5.

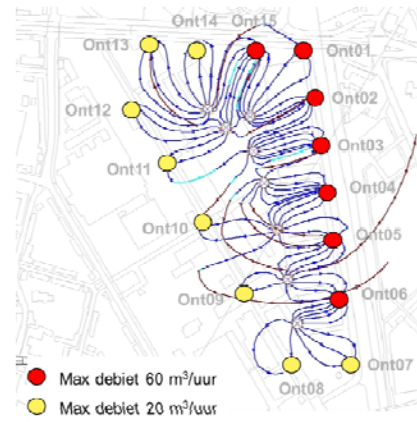
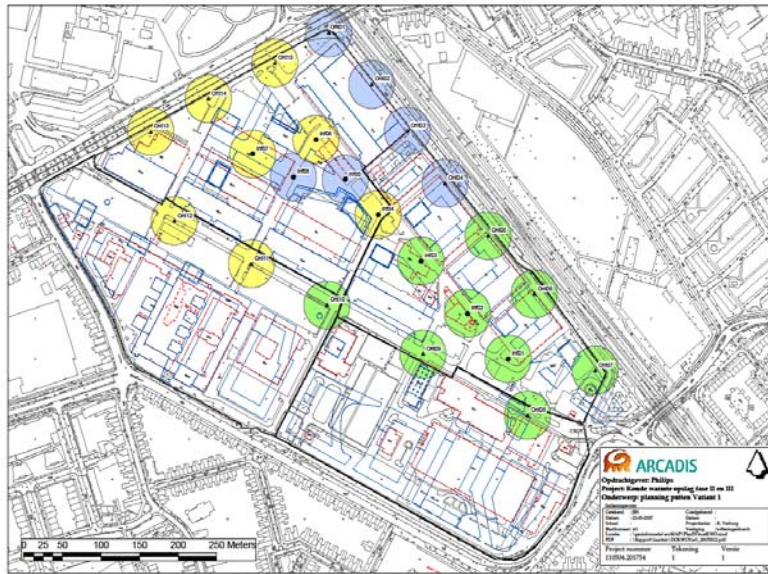
Provincie:	Brabant
In bedrijf sinds:	Maart 2010
Nog in bedrijf:	Ja
Soort systeem:	Recirculatiesysteem
Gemiddelde temperatuur in het systeem (laatst beschikbare jaar)	13 °C (2010)
Redoxtoestand:	IJzer- tot sulfaatreducerend. Plaatselijk methaangeen.
Interactie met ander systeem:	Binnen een straal van 2 km staan 3 onttrekkingen en 10 WKO systemen
Bemonsterde meetputten:	29SH (29-30 m-mv), 29SH (39-40 m-mv) 29SH (49-50 m-mv), 30SBP (28-30 m-mv) 30SBP (38-40 m-mv), 30SBP (48-50 m-mv) 31SAN (28-30 m-mv) 31SAN (38-40 m-mv) 31SAN (48-50 m-mv), 4A (29-30 m-mv) 5/5A (29-30 m-mv), 5/5A (43-44 m-mv) 6 (29-30 m-mv), 6 (46-47 m-mv)

#### 4.1.2 **Systeembeschrijving**

Sanergy is een recirculatiesysteem dat zorgt voor energiewinning én voor gedeeltelijke beheersing van de aanwezige grondwaterverontreiniging. Grondwater wordt onttrokken uit een ring van onttrekkingsbronnen die zoveel mogelijk is aangelegd aan de rand van de verontreiniging. De infiltratiebronnen zijn geplaatst binnen deze ring van onttrekkingsbronnen. De buitenring van onttrekkingsputten zorgt ervoor dat de grondwaterverontreiniging voor het overgrote deel op zijn plaats gehouden wordt. Hierdoor wordt een beheerssysteem gecreëerd.

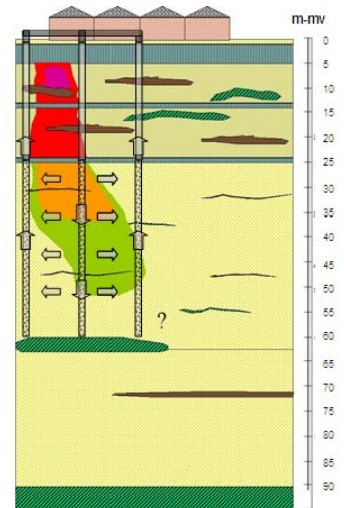
Sinds maart 2010 is Sanergy operationeel. Alleen cluster 1 en 2 zijn gerealiseerd (zie figuur 4.1). Cluster 3 zal omstreeks 2016 in bedrijf worden genomen.





figuur 4.1

Overzicht locatie met gerealiseerde (I, blauw en II geel) en geplande (III, groen) Sanergyclusters (linksboven), de geplande debieten met berekende stroomlijnen (rechtsboven) en een schematisch dwarsprofiel van de door het bodem-energiesysteem beheerste verontreiniging (rechtsonder)



### **Specificaties Sanergy**

- Maximaal grondwateronttrekkingdebiet op jaarbasis is 2,8 miljoen m<sup>3</sup>.
- Maximaal onttrekkingdebiet is 600 m<sup>3</sup>/uur.
- Gemiddeld onttrekkingdebiet is 320 m<sup>3</sup>/uur.
- Aantal onttrekkingbronnen = 15 stuks.
- Aantal infiltratiebronnen = 8 stuks.
- Filterstelling: 30 tot 60 m-mv.
- Onttrekkingdebiet = infiltratiedebiet.

Een overzichtstekening met de ligging van de onttrekkings- en infiltratiefilters en de aanwezige peilbuizen in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket is opgenomen als bijlage 4.

#### **4.1.3 Bodemopbouw en geohydrologie**

**tabel 4.1 Bodemopbouw en geohydrologie**

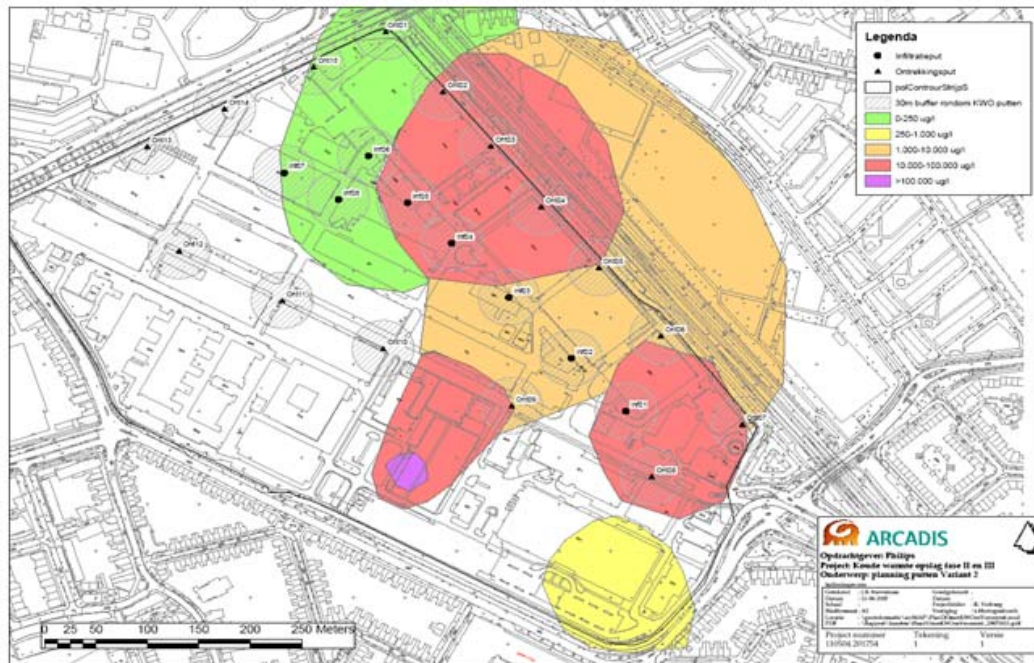
<b>Diepte (m - mv.)</b>	<b>Geohydrologische laag</b>	<b>Samenstelling</b>
0 – 3	Deklaag Nuenen groep	Leem en klei met uiterst fijn zand
3 – 24		Zand, fijn tot zeer fijn, slibhoudend
24 – 27		Klei (op enkele plaatsen afwezig)
27 – 90	1 <sup>e</sup> watervoerende pakket, Formaties van Veghel en Sterksel	Zand, fijn tot grof, met enkele dunne kleilaagjes, gedeeltelijk wordt tussen 60 en 65 m -mv. een niet aaneengesloten kleilaag aangetroffen
> 90	Scheidende laag, Formaties van Kedichem en Tegelen	Fijne slibhoudende zanden en kleien
150-250	2 <sup>e</sup> en 3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	

De grondwaterstromingsrichting in het eerste watervoerend pakket is noord-noordoostelijk. De grondwaterstromingssnelheid bedraagt circa 37 meter per jaar. De natuurlijke grondwaterstromingsrichting en –snelheid wordt beïnvloed door de industriële grondwaterwinning op complex Vredeoord.

#### **4.1.4 Verontreinigingssituatie**

Het grondwater ter plaatse van Strijp-S is verontreinigd met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (VOCI) en benzeen. De benzeenverontreiniging komt hoofdzakelijk voor in het freatische grondwater en in de eerste meters van het watervoerende pakket. De VOCI verontreiniging is hoofdzakelijk aangetroffen in het watervoerende pakket. De grondwaterstroming is noord tot noordoostelijk gericht.

De verontreinigingssituatie van het grondwater op Strijp-S voor het in werking treden van Sanergy is gevisualiseerd in figuur 4.2. Deze afbeelding illustreert de verontreinigingssituatie met VOCI in het grondwater van 30-60 m.



**figuur 4.2** Een impressie van de verontreinigingssituatie voor wat betreft VOCI tussen 30 en 60 m –mv

De grondwaterverontreiniging bevindt zich hoofdzakelijk in de bovenste deel van het watervoerende pakket (30-60 m). In de onderste deel van het watervoerende pakket (60-90 m) is binnen de contouren van het grondwaterenergiesysteem geen verontreiniging aangetroffen. Op het zuidoostelijke gedeelte van het terrein bevindt zich een leemlaag op circa 60 à 65 meter diepte. Op het rest van het terrein ontbreekt deze laag.

#### 4.1.5 Potentieel voor biologische afbraak (resultaten eerder onderzoek)

Op het Strijp-S terrein zijn de afgelopen jaren meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de natuurlijke afbraak van VOCI. Uit deze onderzoeken blijkt dat:

- De BTEX verontreinigingen, als substraat, een positieve rol gespeeld hebben bij de afbraak van de VOCI.
- Etheen en ethaan, de afbraakproducten van VOCI, zijn op locatie aangetroffen. Dit toont aan dat natuurlijke afbraak heeft plaatsgevonden.
- De specifieke bacterie *Dehalococcoides* die volledige biologische afbraak van VOCI kan realiseren is analytisch aangetoond in meerdere peilbuizen in het gebied.
- De continue stijging van het  $\delta^{13}$ - gehalte van VC stroomafwaarts van de bronzones vormt bewijs van de voortgaande afbraak ervan.
- Uit de isotopenkarakterisatie van de VOCI in de bronzone blijkt dat het gaat om een verontreiniging die oorspronkelijk voornamelijk uit TRI bestond. PER is waarschijnlijk als “verontreiniging” in TRI aanwezig geweest.

- Met de resultaten van het isotopenonderzoek van de peilbuizen die gelegen zijn langs de centrale stroombaan, is op de Vrije Universiteit Amsterdam een modellering (simulatie) uitgevoerd. Hieruit konden schattingen worden verkregen van de halfwaardetijd van TRI (0,7 jaar), CIS (1,0 jaar) en VC (1,7 jaar). Wanneer deze halfwaardetijden worden gehanteerd zou een concentratie VC van 2.000 µg/l in circa 17 à 20 jaar kunnen worden afgebroken tot onder de interventiewaarde.

## 4.2 Resultaten uitgevoerd onderzoek

De resultaten zijn weergegeven in de tabel in bijlage 5 en worden in deze paragraaf per categorie besproken.

### 4.2.1 Sensoronderzoek temperatuur en stijghoogte

De relatief grote variatie in stijghoogte, van enkele tientallen centimeters, duidt op beïnvloeding door het systeem, maar referentiegegevens over de natuurlijke fluctuaties konden door technische problemen met eerdere sensormetingen en de diver in de referentiepeilbuis niet worden verkregen. Aangezien het systeem gedurende de hele meetperiode operationeel was en drukverschillen zich over relatief grote afstand kunnen voortplanten, is het aannemelijk dat de stijghoogtevariatie door het Sanergy-systeem veroorzaakt is. Dat zegt echter niets over wanneer geïnfiltreerd water bij de betreffende peilbuizen arriveert. Uit operationele informatie over het systeem blijkt dat het debiet van Sanergy tijdens de gehele monitoringsperiode binnen MMB lager was dan de geplande 100 m<sup>3</sup>/uur. Reden hiervoor is de vertraging van de herontwikkeling van Strijp-S en de bijbehorende energievraag als gevolg van de recessie. Het is daarom mogelijk dat nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed.

Temperatuurverschillen kunnen daarover, indien significant, wel uitsluitsel geven. Kleine maar opvallende en tevens significante temperatuurpieken zijn te zien in 29SH-50m, zuidelijk van de infiltratiebronnen, vanaf augustus 2011. Het is niet aannemelijk dat het artefacten betreft, omdat op dezelfde tijdstippen ook pieken zijn geregistreerd in 29SH-30m, al zijn deze nog beduidend kleiner. Daarom wordt aangenomen dat geïnfiltreerd water in ieder geval in de nazomer van 2011 bij deze peilbuis was gearriveerd. Opmerkelijk is het ontbreken van deze pieken in het middelste filter 29SH-30m. Mogelijk staat dit filter in een minder goed doorlatende laag. In de andere peilbuizen zuidelijk van de infiltratiefilters, 30SBP en 31SAN, zijn geen duidelijke temperatuureffecten waargenomen. In één van de peilbuizen van 5A (44 m), noordelijk van de infiltratie gelegen, zet in mei 2011 een kleine temperatuurverlaging in, die kan duiden op het arriveren van infiltratiewater. In de ondiepere peilbuis (30 m) is geen duidelijk temperatuureffect waargenomen. Het geleidelijke temperatuurverloop in peilbuis 6 (47 m) zet al in aan het begin van 2011, toen infiltratiewater deze peilbuis nog niet kon hebben bereikt en is daarom niet toe te schrijven aan invloed van het Sanergy-systeem.

De richting van de temperatuurontwikkeling is niet eenduidig. De temperatuurpieken bij 29SH zouden een gevolg moeten zijn van eerder in de zomer geïnfiltreerd koelwater, de temperatuurverlaging bij 5A zijn veroorzaakt door in de winter geïnfiltreerd verwarmingswater. Daarbij komt dat de temperatuurverschillen gering zijn: hoogstens een halve graad. Dit is in overeenstemming met operationele gegevens over het systeem waaruit blijkt dat de koel- en de warmtevraag doorgaans in evenwicht met elkaar zijn. Het uiteindelijke temperatuurverschil in de bodem is klein (enkele graden).

#### 4.2.2 Geochemische condities

Volgens de modelberekeningen had het infiltratiewater, met een geïnduceerde stromingssnelheid van 30 à 40 m/j, bij de monitoringsronde in september 2011 alle peilbuizen bereikt moeten hebben. Uit informatie van Philips blijkt dat er minder water is verplaatst dan gepland, dit betekent dat het WKO-water tijdens de huidige monitoringsrondes nog niet alle peilbuizen heeft bereikt.

Na het opstarten van het systeem neemt de pH toe ter plaatse van 29SH (verreweg het sterkst in het middelste filter (40 m), van pH 7 naar pH 10) en af ter plaatse van 31SAN (vooral op 30 m) en 5A (beide filters). De geleidbaarheid neemt met ongeveer een verdubbeling toe ter plaatse van 29SH. De redoxpotentiaal vertoont plaatselijk (ter plaatse van 31SAN en het bovenste filter van 29SH) een duidelijke toename en plaatselijk een afname (overige filters van 29SH en het bovenste filter van 5A). Hieruit blijkt dat er duidelijke effecten zichtbaar zijn in een aantal peilbuizen van het opstarten van het WKO-systeem.

In september 2011 laten de peilbuizen nabij de infiltratieputten sterk verhoogde chlorideconcentraties zien in enkele filters op 30m (29SH en 5/5A), 40m diepte (29SH) en 50m diepte (29SH). De toename in chlorideconcentraties wijst op een bijdrage van meer chlooridrijk water in het mengwater van de WKO. Tevens geeft de relatie tussen chloride en sulfaat in deze monsters aan dat het geïnjecteerde water zich met het oorspronkelijke grondwater heeft vermengd. De sulfaatconcentratie neemt toe ter plaatse van 29SH. Ter plaatse van het bovenste filter van 5A fluctueert de sulfaatconcentratie sterk. Gezien de orde van grootte van de chlorideconcentratietoename, ca. 100 á 300 mg/l, is deze niet te verklaren door afbraak van de aanwezige chloorkoolwaterstoffen, aangezien deze op een concentratieniveau fluctueren dat ruwweg een factor 100 lager ligt (zie § 5.2.4). De referentiepeilbuis (4A) die zich buiten de menginvloed van de WKO bevindt, laat geen sterke toename van chlorideconcentraties zien. Hieruit blijkt dat peilbuizen 29SH en 5A het sterkst beïnvloed zijn door het WKO-systeem (zie ook MMB-rapport 3+4 - Effecten op de ondergrond). In de filters van 29SH nemen daarnaast ook de concentraties opgelost koolstof (TOC) en waterstof toe; minder duidelijk gebeurt hetzelfde in het bovenste filter van 5A. In 29SH-50m) komt met een toename van 2 nM naar 60 nM waterstof voor reductieve dechlorering ruim voldoende direct bruikbare elektronendonor beschikbaar uit de ter plaatse aanwezige organische stof.

In de grondwatermonsters uit alle monitoringsfilters ten zuiden van de infiltratiebronnen, uitgezonderd de referentiepeilbuis, nemen de concentraties van enkele metalen duidelijk toe na het opstarten van het systeem. Het betreft vooral chroom, koper en nikkel. Noordelijk van de infiltratiefilters (5A, ondiepste filter) is plaatselijk een toename in de concentratie van het metalloïde boor en het overgangsmetaal mangaan geconstateerd. Ter plaatse van 29SH neemt na opstart van het systeem een groter aantal metaalachtige elementen in concentratie toe, de concentraties ijzer, magnesium en mangaan nemen af (zie ook MMB-rapport 3+4 - Effecten op de ondergrond). De laatste analyseresultaten van 29SH, uit de beperkte ronde van december 2011, wijzen op lagere concentraties metalen dan de meting in september 2011. Wel wordt nog steeds water van een afwijkende samenstelling door het WKO-systeem aangetrokken. De natrium- en geleidbaarheidswaarden zijn nog verhoogd ten opzichte van de achtergrond rondes in september 2010 en april 2011. De huidige pH-waardes zijn lager dan die gemeten in september 2011 maar wel hoger dan de achtergrondwaarden. Uit de resultaten blijkt dat er wel degelijk een effect van het rondpompen van het WKO wordt bewerkstelligd, onder andere het aantrekken van grondwater met verschillende kwaliteiten, dit leidt onder andere tot veranderingen (fluctuatie) in metalenconcentraties.

Uit het verloop van een groot aantal parameters (geleidbaarheid, pH, chlorideconcentratie) blijkt dat peilbuis 29SH, ten zuiden van de infiltratiefilters, sterk is beïnvloed door het Sanergy-systeem. In iets mindere mate geldt datzelfde voor peilbuis 5A, ten noorden van de infiltratie. Op basis van het verloop van enkele metalen is het aannemelijk dat ook de peilbuizen 30SBP en 31SAN al beïnvloed zijn. De filters van peilbuis 6 lijken nog onbeïnvloed. De meest voor de hand liggende wijze van beïnvloeding is die door menging, waardoor onder andere de redoxcondities kunnen wijzigen: water met meer, nog niet voor omzettingen gebruikt, organische stof, wordt gemengd met verontreinigd grondwater.

Uit de monitoring blijkt plaatselijk, waar beïnvloeding van de WKO is geconstateerd, een verbetering van de geochemische condities voor de vastgestelde biologische afbraak door middel van reductieve dechlorering (zie § 5.1.5). Afgaand op de waterstofconcentraties zijn de redoxcondities verschoven richting sulfaatreducerende omstandigheden ter plaatse van 29 SH-30m en -40m en 5A-30m en naar methanogene omstandigheden ter plaatse van 29SH-50m.

#### 4.2.3 Biologische gegevens

De aantallen van diverse organismen nemen tussen de eerste en de derde meetronde significant toe (met een factor van circa 100 of meer). Dit effect is vooral zichtbaar in het middelste filter van 29SH, hierin is een sterke (> factor 100) toename in totaal aantal bacteriën. De toename in totaal aantal bacteriën kan verklaard worden door de toename in organisch stof (zie ook literatuurstudie). In peilbuis 29SH-40m nemen de genen voor sulfaatreductie (*dsrB*), zwaveloxidatie (*SoxB*) en methaanvorming (*mcrA*) ook sterk in aantal toe. Dit duidt op een toename van deze processen.

In de meeste peilbuizen (29SH alle dieptes, 30SBP-30m en -40m, 31SAN alle dieptes en 5A-30m), inclusief in de referentiepeilbuis, nemen de aantallen *Dehalococcoides* toe. In een aantal peilbuizen gaat dit gepaard met een toename in de specifieke genen betrokken bij de reductieve afbraak van VOCl (*vcrA*). In de referentiepeilbuis is geen toename in specifieke afbraak genen waargenomen, er is hier dus geen toename in dechloreringspotentie ontstaan. Ter plaatse van de meest beïnvloede peilbuis 29SH neemt de concentratie aan genen die coderen voor VC-reductasen (*vcrA* en *bvcA*) het sterkst toe. Wat duidt op een toename in afbraakpotentie. Deze toename in afbraakpotentie hangt sterk samen met de toename in organisch stof ter plaatse (rondpomp effect van WKO § 6.2.2). In de peilbuizen 30SBP en 31SAN is er geen toename in organisch stof waargenomen maar wel een toename in *Dehalococcoides*. Deze toename kan veroorzaakt worden door het verplaatsen van water als gevolg van de aangelegde onttrekkingen (zie ook § 2.1 rondpomp effect 2). Mogelijk dat groei van bacteriën ter plaatse van sterk beïnvloede peilbuizen heeft plaatsgevonden (rondpomp effect 3 zie § 2.1) en dat vervolgens vanwege grondwaterstroming deze bacteriën zich met het grondwater verplaatsen. Een andere verklaring is dat van nature plaatselijk hogere aantallen bacteriën aanwezig zijn welke door de aangelegde grondwaterstroming worden verplaatst (rondpomp effect 2). Indien ook de overige condities voor afbraak (aanwezigheid van voldoende elektrondonor) gunstig zijn (zoals in peilbuis 29SH) zal ter plaatse vrijwel zeker afbraak van VOCl plaatsvinden.

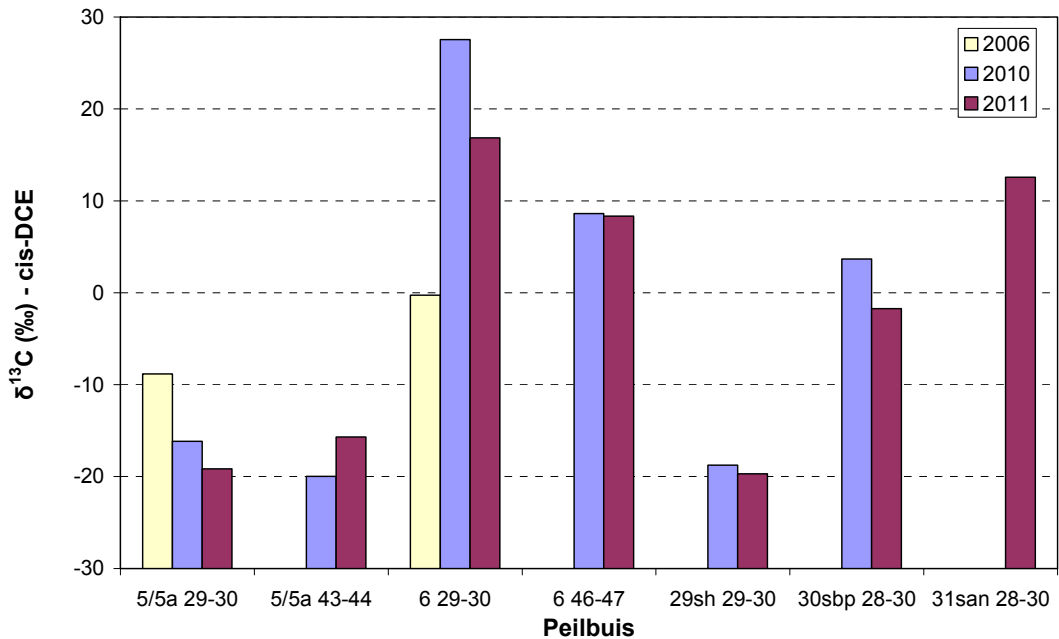
Naast genen betrokken bij de anaerobe afbraak van VOCl zijn in peilbuizen 29SH-30m, 29SH-50m, 30SBP-30m en 31SAN-50m een geringe (factor 10) toename in het gen *Ea-CoMT* betrokken bij micro-aerofiele afbraak waargenomen. In peilbuis 5A is het aantal genen *etnE* en *etnC* het hoogst (>100 cellen/ml). Dit wijst erop dat er naast reductieve dechlorering ook een potentie aanwezig is voor micro-aerofiele afbraak van VOCl. Of dit micro-aerofiele afbraakproces op locatie daadwerkelijk plaatsvindt is nog niet vastgesteld.

#### 4.2.4 Omzettingen van verontreinigingen

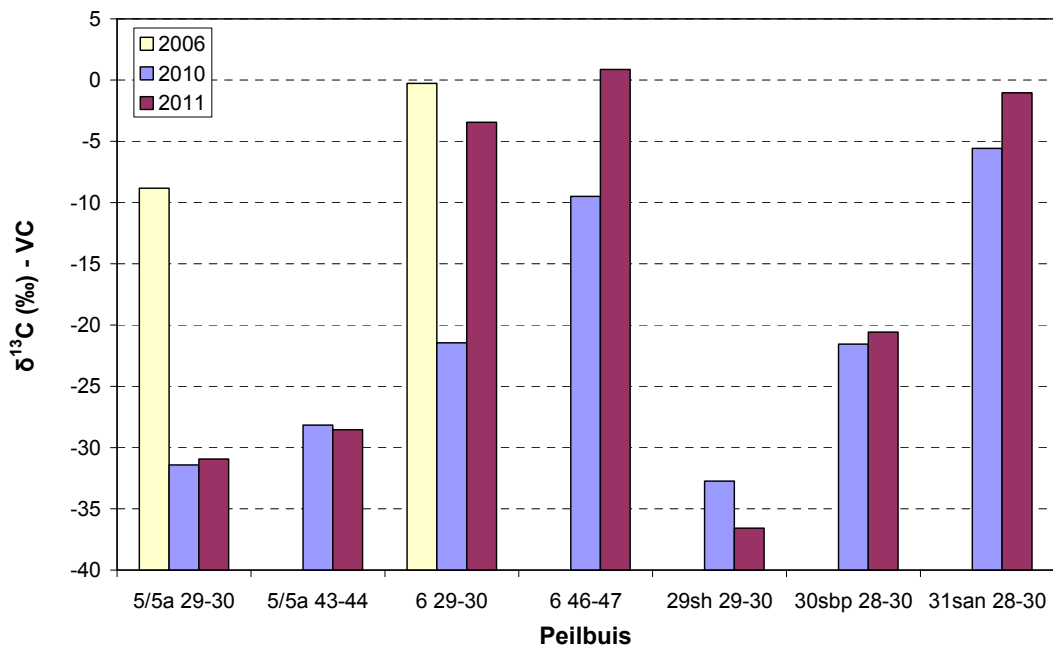
De concentraties van CIS- en VC nemen in het bovenste filter (30 m) van 29SH sterk af en in het onderste (50 m) duidelijk toe, net als die van benzeen. In de bovenste filters van 31SAN (die minder beïnvloed lijkt, zie § 5.2.2) en van 5A nemen de concentraties van deze verbindingen eveneens toe. Van uitgangspunt trichlooretheen, dat alleen hier is aangetroffen, fluctueert de concentratie. Ter plaatse van 30SBP fluctueren de CIS- en VC-concentraties, vooral in het bovenste filter. Dit wijst eerder op menging van grondwater dan op toename van de afbraak.

De concentraties etheen fluctueren in de tijd en zijn sterk afhankelijk van de locatie, maar variëren veelal van enkele tientallen tot honderden microgrammen per liter. In overeenstemming met eerder verkregen resultaten (zie § 5.1.5) duidt dit op plaatselijke reductieve dechlorering. Omdat de etheenconcentraties over de locatie als geheel niet eenduidig stijgen, is het niet zeker dat de afbraak zich voortzet.

Door middel van isotopenanalyses kan de voortgang van afbraak nauwkeuriger worden vastgesteld. In de figuren 5.3 en 5.4 is het verloop van de isotopenratio's voor CIS en VC weergegeven. Voor zover van toepassing zijn ook eerdere gegevens opgenomen.



figuur 4.3 Vergelijking tussen de isotopenwaarden van CIS uit 2006, 2010 en 2011



figuur 4.4 Vergelijking tussen de isotopenwaarden van VC uit 2006, 2010 en 2011

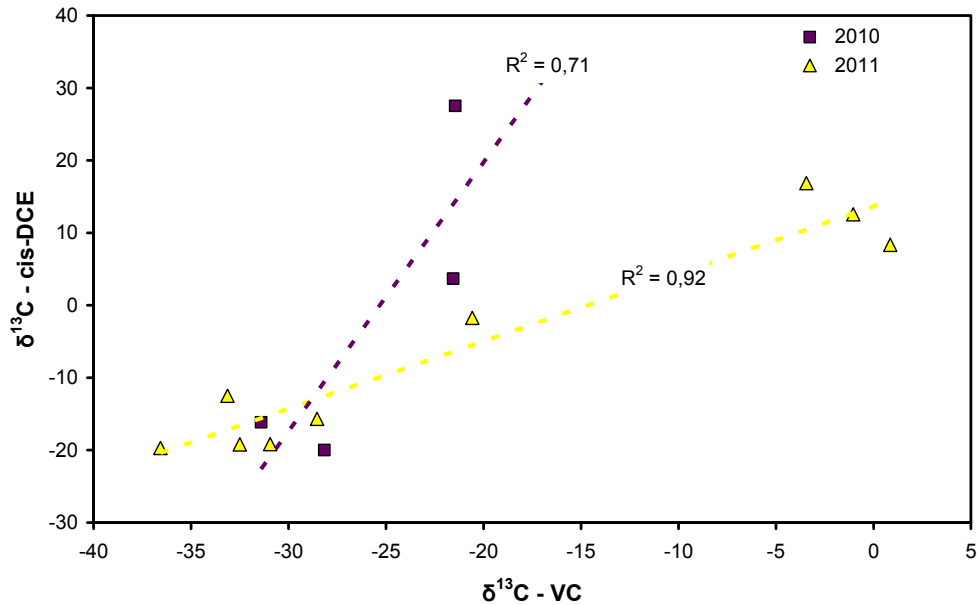
Uit de figuur 4.3 en figuur 4.4 blijkt geen eenduidige voortgaande afbraak van CIS en VC in alle bemonsterde peilbuizen over het afgelopen jaar.



Voor wat betreft CIS zou het promillage  $^{13}\text{C}$  dan, aangezien TRI nog maar sporadisch aanwezig is, door preferente afbraak van moleculen met  $^{12}\text{C}$  moeten toenemen en een dergelijke trend is niet algemeen te onderscheiden. TRI is vrijwel alleen in 5A-30m aangetroffen. Daar neemt het aandeel  $^{13}\text{C}$  in CIS over 2006, 2010 en 2011 duidelijk af, hetgeen door vorming van CIS kan worden verklaard. In het diepere filter 5A-44m, neemt de fractie  $^{13}\text{C}$  juist toe, wat duidt op afbraak van CIS. Bij de overige peilbuizen is dat minder duidelijk het geval en lijkt er vanwege een tussen 2010 en 2011 afnemende fractie  $^{13}\text{C}$  eerder CIS gevormd te worden. Gezien de afwezigheid van TRI betreft het hier waarschijnlijk door de met het bodemenergiesysteem geïnduceerde grondwaterstroming aangevoerd 'vers' CIS. Een bevestiging hiervan geeft het isotopenverloop ter plaatse van peilbuis 6-30m waar tussen 2006 en 2010 de fractie  $^{13}\text{C}$  steeg, dit betekent dat hier in deze periode wel CIS-afbraak heeft plaatsgevonden.

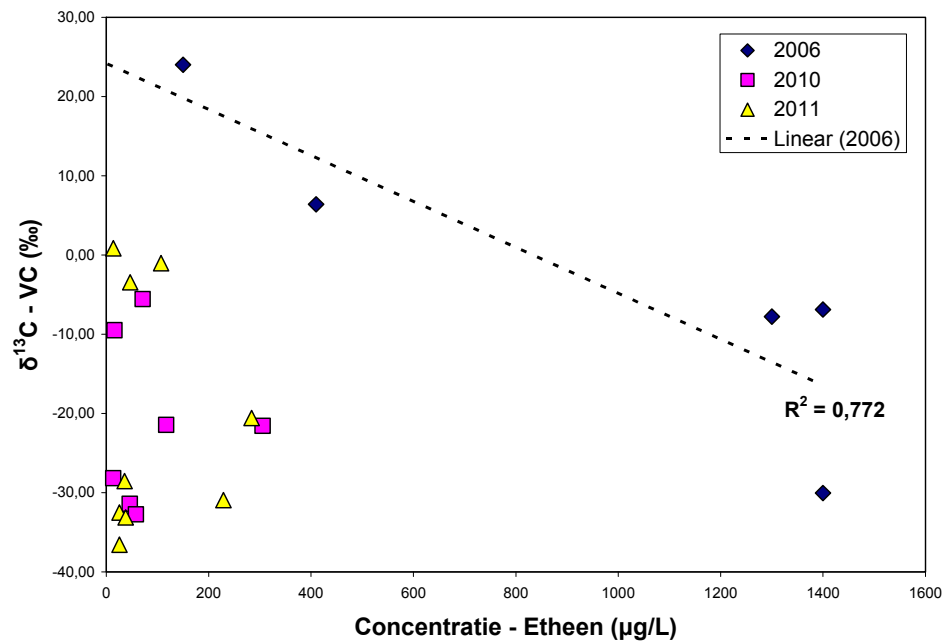
Voor wat betreft VC kan de fractie  $^{13}\text{C}$ , tijdens het afbraakproces, zowel af -als toenemen, door respectievelijk vorming uit CIS, dat nog op veel plaatsen aanwezig is, en verdere afbraak naar etheen. Een eenduidige trend valt uit de meetreeks niet af te leiden. Het lijkt er op dat zowel VC-vorming optreedt (bij 29SH-30m in het afgelopen jaar en bij 5A-30m en 6-30m in de 5 jaar daarvoor) als VC-afbraak (vooral bij 6-30m, 6-47m en 31SAN-30m in het afgelopen jaar).

Hoewel over de hele linie een eenduidige voortzetting van de eerder met behulp van analyses op stabiele isotopen vastgestelde afbraak niet kan worden bevestigd, liggen de waarden voor de fractie  $^{13}\text{C}$  in CIS allemaal boven de in het eerdere onderzoek (Tauw, 2008) vastgestelde uitgangswaarde van TRI van -22 à -25 ‰. Er van uitgaande dat het aanwezige CIS volledig gevormd is uit het uitgangspunt TRI, betekent dit dat meer CIS is afgebroken dan gevormd (isotopenratio nu meestal tussen -20 en +20 ‰). Bij VC is dit niet het geval (isotopenratio nu van rond -35 tot ca 0 ‰). De sterke correlatie tussen de isotopenratio's in CIS en VC in de monitoringsrondes in 2011 (zie figuur 5.5) wijzen erop dat de isotopenwaarde van VC wordt bepaald door CIS en dat VC na 2010 niet significant verder is afgebroken.



**figuur 4.5** Correlatie tussen aandeel  $^{13}\text{C}$  (‰) in CIS en VC in de monitoringsrondes van 2010 en 2011.

Dat significante voortgaande afbraak van VC sinds de opstart van het Sanergy-systeem nog niet kan worden aangetoond, blijkt ook uit de grafiek die de correlatie weergeeft tussen de fractie  $^{13}\text{C}$  en de etheenconcentratie in alle drie meetronden (zie figuur 4.6). Voor de situatie in 2006 blijkt er een redelijke correlatie te bestaan tussen beide, hetgeen erop duidt dat de concentratie van etheen bepaald wordt door de afbraak van VC. Voor 2010 en 2011 bestaat er geen enkele correlatie tussen beide parameters. Dit kan veroorzaakt worden doordat gevormd etheen al omgezet is naar ethaan. Ethaan is ter plaatse aangetroffen. Een andere reden waarom de individuele isotopenresultaten geen eenduidig beeld geven is omdat er menging optreedt en dit een vertekening op peilbuisniveau geeft. De isotopenresultaten zijn daarom vooral voor de locatie als geheel beschouwd.



figuur 4.6 Correlatie tussen de isotopenratio van VC en de concentratie etheen

### 4.3 Evaluatie

Uit de effecten op pH, redoxcondities en organisch stof blijkt dat er duidelijke effecten zichtbaar zijn in een aantal peilbuizen van het opstarten van het WKO-systeem. Bij de peilbuizen die het dichtst bij de infiltratiefilters staan, 29SH en 5A, zijn de effecten van het in werking treden van het systeem het duidelijkst. In deze peilbuizen is ook een toename in chloride- en sulfaatconcentraties waargenomen, dit wijst op een bijdrage van meer chloriderijk water in het mengwater van de WKO. Deze filters zijn dus beïnvloed door het WKO-systeem.

In de grondwatermonsters uit alle monitoringsfilters ten zuiden van de infiltratiebronnen, uitgezonderd de referentiepeilbuis, nemen de concentraties van enkele metalen duidelijk toe na het opstarten van het systeem (september 2011). De laatste analyseresultaten, uit de beperkte ronde van december 2011, wijzen op lagere concentraties metalen dan de meting in september 2011. De metalenconcentraties fluctueren dus over de tijd. Uit de resultaten blijkt dat er een effect van het rondpompen van het WKO wordt bewerkstelligd, onder andere door het aantrekken van grondwater met verschillende kwaliteiten, dit leidt onder andere tot veranderingen (fluctuatie) in metalenconcentraties en redoxcondities en aanvoer van organisch stof. Uit de resultaten blijkt dus dat op dit moment een deel van de peilbuizen beïnvloed zijn terwijl in een ander deel nog geen beïnvloeding door de WKO heeft plaatsgevonden.

Om vast te stellen of het WKO-systeem een effect heeft op de afbraak van de VOCl verontreiniging zijn drie lijnen van bewijsvoering beoordeeld, te weten verandering in chemische parameters, verandering in microbiële parameters en verandering in isotopenwaarden.

Lokaal is een toename van organische stof en het direct voor reductieve dechlorering te benutten waterstof waargenomen; dit is mogelijk het gevolg van het aantrekken van organisch materiaal door het WKO-systeem. Het aantrekken van dit organisch materiaal leidt tot een verbetering van de afbraakcondities. Deze stoffen kunnen als elektrondonor dienen voor de reductieve afbraak van VOCl.

In de meeste peilbuizen nemen de aantallen *Dehalococcoides* toe. In een aantal peilbuizen gaat dit gepaard met een toename in de specifieke genen betrokken bij de reductieve afbraak van VOCl (*vcrA*), dit is een indicatie voor plaatselijke toename in afbraakcapaciteit. Ter plaatse van de meest beïnvloede peilbuis neemt de concentratie aan genen die coderen voor VC-reductasen (*vcrA* en *bvcA*) het sterkst toe. Deze toename in afbraakpotentie hangt sterk samen met de toename in organisch stof ter plaatse (stimulerend effect). Uit ervaring blijkt dat indien aan alle randvoorwaarden voor reductieve dechlorering wordt voldaan (aanwezigheid juiste bacteriën, verontreiniging en elektrondonor) er afbraak zal plaatsvinden. Ter plaatse van de sterkst beïnvloede peilbuizen zal dus afbraak optreden. In de overige peilbuizen is geen toename in organisch stof waargenomen maar wel een toename in *Dehalococcoides*. Deze toename kan veroorzaakt worden door het verplaatsen van water als gevolg van de aangelegde onttrekkingen waarbij bacteriën verplaatst worden vanuit reeds sterk beïnvloede gebieden of vanuit gebieden waar van nature hogere bacterie aantallen aanwezig zijn. Of de met het grondwater verplaatste bacteriën daadwerkelijk actief zijn is niet bekend. Om dit vast te stellen zijn moleculaire metingen op RNA-niveau nodig.

Op basis van de verontreinigingsdata is niet eenduidig vast te stellen of er afbraak van VOCl is opgetreden, de concentraties fluctueren. De aanwezigheid van de omzettingproducten duidt wel op het optreden van afbraak. Hoewel over de hele linie een eenduidige voortzetting van de eerder met behulp van analyses op stabiele isotopen vastgestelde afbraak niet kan worden bevestigd, liggen de waarden voor de fractie <sup>13</sup>C in CIS allemaal boven de in het eerdere onderzoek vastgestelde uitgangswaarde in TRI van -22 à -25 ‰. Dit betekent dat meer CIS is afgebroken dan gevormd. Voor wat betreft VC kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken

Uit de resultaten blijkt dat op de locatie afbraak heeft plaatsgevonden, dat er afbraakpotentie aanwezig is (gunstige condities) en dat deze afbraakpotentie door het WKO-systeem wordt beïnvloed. Ter plaatse van de sterkst beïnvloede peilbuizen vindt reductieve afbraak van VOCl plaats. Aangezien nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed is het op dit moment niet bekend of de aangetoonde afbraakcapaciteit zich over de rest van het terrein zal verspreiden en of de afbraakcapaciteit voldoende is om alle verontreiniging te verwijderen. Om vast te stellen of deze positieve effecten zich doorzetten, zijn vervolgmeteringen nodig.

## 5 Labtesten: temperatuurseffect op afbraak

### 5.1 Algemeen

Er zijn labtesten uitgevoerd om vast te stellen wat het effect is van verschillende temperaturen op de afbraaksnelheid van VOCl in verontreinigde bodempakketten waar een WKO systeem toegepast zou kunnen worden. Daarnaast is ook gekeken wat het effect is op een aantal specifieke genen die betrokken zijn bij afbraak van VOCl, hierbij is onderscheid gemaakt tussen het anaerobe reductieve dechloreringsproces en het micro-aerofiele oxidatie proces.

De laboratorium experimenten zijn uitgevoerd met VOCl-verontreinigde grond van locatie Strijp-S. De werkwijze is opgenomen in hoofdstuk 3 (§ 3.5). De beschreven laboratorium-experimenten zijn geschikt voor het onderling vergelijken van effecten en het bepalen van de orde grootte van deze effecten. Rechtstreekse vertalingen van bijvoorbeeld snelheden naar de praktijk dienen met voorzichtigheid te worden benaderd.

### 5.2 Resultaten uitgevoerd onderzoek

In bijlage 7 is het verloop in VOCl-concentraties weergegeven bij 6°C, 10°C, 18°C en 30°C van respectievelijk de biotische en de abiotische testen.

Puur op basis van de GC data van de biotische testen (bijlage 7) is het lastig om een uitspraak te doen of er een afname in CIS of VC plaatsvindt. Het betreft hier lage concentraties die (bijvoorbeeld CIS bij 10°C) een afname en vervolgens een toename (schommeling) laten zien.

Daarom is gekozen om de GC data van de biotische afbraaktesten te normaliseren ten opzichte van de abiotische testen. Dit is gedaan door de gemiddelde biotische waarde (van drie GC flessen) op een specifiek tijdstip te delen door de gemiddelde abiotische waarde (van drie GC flessen) op datzelfde tijdstip. In figuur 6.2 zijn de genormaliseerde waarden gegeven voor CIS, VC en etheen bij respectievelijk 6°C, 10°C, 18°C en 30°C.

In bijlage 7 zijn de niet genormaliseerde waarden weergegeven. Daarnaast zijn in bijlage 7 de resultaten van de individuele GC flessen van de abiotische en van de biotische testen weergegeven. Wat opvalt is dat in twee van de drie flessen bij 18°C wel afbraak van VC en etheen plaatsvindt maar in 1 van de flessen (M2) niet. In de drie GC flessen van de overige temperatuurtesten tonen de drie GC flessen een vergelijkbaar resultaat.

In tabel 5.1 is te zien dat er vooral bij de lagere temperaturen (6 en 10 graden en mogelijk ook bij 18 graden, zie bijlage 7) afbraak optreedt van CIS, VC en etheen. Om vast te stellen of hier daadwerkelijk sprake is van (micro-aerofiele afbraak) zijn isotopen analyses uitgevoerd op batchflessen van zowel de biotische als abiotische testen.

Opvallend is namelijk dat de afbraak bij hogere temperatuur (30 graden) niet optreedt. De verklaring hiervoor kan zijn:

- Oplosbaarheid van zuurstof is een temperatuursafhankelijk proces, bij 30 graden lost er minder zuurstof op dan bij 10 graden. Dit kan een verklaring zijn waarom de afbraak bij 30 graden niet verloopt.
- De optimale temperatuur voor organismen die deze reactie uitvoeren. In de literatuur is beschreven dat de optimum temperatuur voor *Mycobacterium* (bacterie die het *etnC* gen bezit) 30 graden is. *Mycobacterium* heeft geen lagfase terwijl andere bacteriën (die het *etnC* gen bezitten) zoals *Nocardiodes* wel een lagfase hebben, deze varieert van 20 tot 110 dagen (Mattes 2010). De optimum temperatuur van *Nocardiodes* is niet bekend. Mogelijk dat op deze locatie vooral *Nocardiodes* voorkomt.
- De bacteriën die onder micro-aerofiele condities CIS/VC afbreken zijn trage groeiers. Mogelijk worden deze bacteriën bij hoge temperaturen weggeconcurrereerd door andere sneller groeiende bacteriën.

In onderstaande tabel 5.1 zijn de resultaten van de redoxparameters (nitraat, sulfaat en methaan), TOC (totaal organisch koolstof) en pH weergegeven voor de intrinsieke afbraaktesten uitgevoerd bij 6°C, 10°C, 18°C en 30°C.

**tabel 5.1 Resultaten redoxparameters, inclusief TOC en pH voor de verschillende temperatuurtesten**

temperatuur		6°C			10°C			18°C			30°C		
tijdstip (mnd)	start	4	8,5	12	4	8	12	4	8,5	12	4	8	12
Nitraat (mg/l)	<1	<1	-	-	<1	-	-	<1	-	-	<1	-	-
ijzer totaal (mg/kg ds)	3200	3000	-	-	3300	-	-	3800	-	-	2900	-	-
Sulfaat (mg/l)	127	143	233	430	137	249	283	143	238	432	126	231	254
CZV (mg/l)	20,8	15,2	-	-	<15	-	-	<15	-	-	15,1	-	-
Ammonium (mg/l)	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (mg/l)	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0
pH	6,7	6,2	6,4	6,7	6,2	6,4	7	6,2	6,7	6,9	6,2	6,7	6,8
TOC (mg/l)	-	5,2	-	-	6,9	-	-	6,5	-	-	6,5	-	-

In het monster dat gebruikt is voor het inzetten van deze test is zeer weinig koolstofbron aanwezig (CZV is 20 mg/l). Deze koolstof wordt gedurende de afbraaktest verbruikt, zoals blijkt uit de afname in CZV (na 4 maanden) en een lage TOC concentratie van circa 5 à 7 mg/l.

Uit de resultaten blijkt verder dat bij alle temperaturen de concentratie sulfaat in de loop van de testtijd toeneemt (van circa 130 mg/l naar 250 mg/l à 430 mg/l). Dit is een indicatie dat in de intrinsieke testen zwavel oxidatie plaatsvindt. Dit proces kan alleen plaatsvinden indien er (geringe hoeveelheden) zuurstof in de flessen aanwezig is. Gezien het feit dat er in de abiotische flessen geen verlies van VOCl plaatsvindt (zie vorige paragraaf) betekent dit dat er mogelijk micro-aerofiele condities heersen (zeer lage zuurstofconcentratie).

In onderstaande tabel zijn de microbiële parameters van de verschillende temperatuurstesten weergegeven.

**tabel 5.2 Resultaten microbiële parameters**

Temperatuur	Start	6°C			10°C			18°C			30°C		
		4 mnd	8,5mnd	12 mnd	4 mnd	8,5mnd	12 mnd	4 mnd	8,5mnd	12 mnd	4 mnd	8,5mnd	12 mnd
Totaal bact	9E+04	1E+07	2E+07	1E+05	2E+08	2E+06	4E+05	1E+06	3E+07	4E+05	8,7E+06	1,1E+07	2E+06
DHC	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl
<i>vcrA</i>	-	-	< dl	< dl	-	< dl	< dl	-	< dl	< dl	-	< dl	< dl
<i>etnC</i>	< dl	< dl	4E+04	< dl	3E+03	1E+05	3E+03	5E+03	2E+04	< dl	< dl	8,5E+03	< dl
<i>etnE</i>	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl
<i>Polaromonas</i>	< dl	< dl	7E+03	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl	< dl

-: niet gemeten

<: beneden detectielimiet ( $10^3$  cellen/ml)

Totaal bact: totaal bacteriën

DHC: *Dehalococcoides* spp, bacterie in staat tot volledige afbraak van CIS naar etheen/ethaan via reductieve dechlorering

*vcrA*: gen betrokken bij afbraak van VC

*etnC* en *etnE*: genen betrokken bij metabole micro-aerofiele afbraak van VC

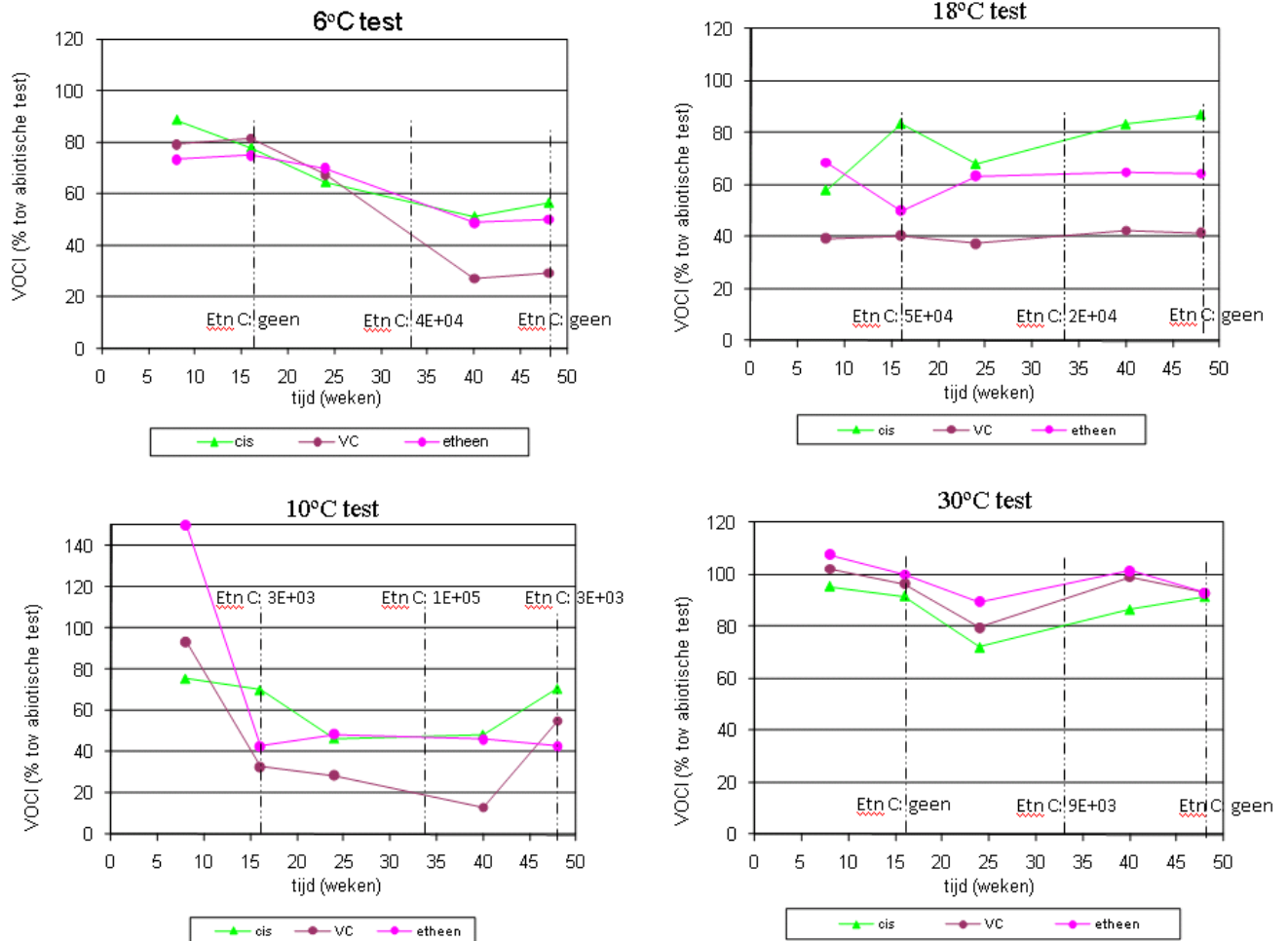
*Polaromonas*: betrokken bij de metabole micro-aerofiele afbraak van CIS

In geen van de monsters is de dechlorerende bacterie *Dehalococcoides* boven de detectielimiet aangetroffen, er heeft geen groei van deze bacterie plaatsgevonden. Ook het gen dat betrokken is bij de afbraak van VC (*vcrA*) is niet aangetroffen. Dit betekent dat in deze afbraaktesten geen reductieve dechlorering plaatsvindt.

Het gen dat betrokken is bij de micro-aerofiele afbraak van VC (*etnC*) is in een aantal monsters aangetroffen (tabel 5.2 en figuur 5.1).

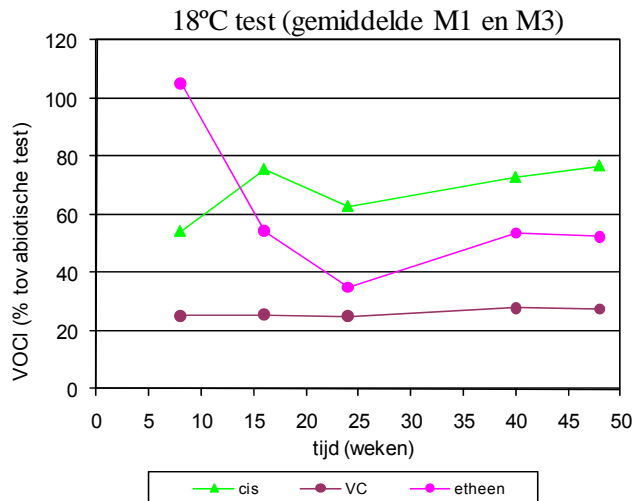
Uit figuur 5.1 blijkt dat de aanwezigheid van het *etnC* gen sterk correleert met de afname van VC en etheen. Dit lijkt voor de test bij 18°C niet op te gaan, maar indien de afwijkende fles (M2) buiten beschouwing wordt gelaten is voor etheen een ander beeld zichtbaar (een sterke afname in etheen concentratie, zie figuur 5.2).

De resultaten van de moleculaire analyse op *Polaromonas* laten zien dat *Polaromonas* in de 6 graden batch in de loop van de test in aantal is toegenomen. Dit is een extra indicatie dat er in de 6 graden batch sprake is van micro-aerofiele afbraak van CIS.



figuur 5.1 Resultaten van analyse op etnC weergegeven in de genormaliseerde VOCi grafiek





**figuur 5.2 Resultaten van de genormaliseerde VOCI waarden bij 18 graden waarbij alleen de GC resultaten van twee flessen is meegenomen**

De toename in *etnC* is het grootst bij de test van 10°C (1E+05 cellen/ml). In deze test lijkt de afbraak van VC en etheen het snelst te verlopen. In de overige flessen komt gedurende de looptijd van de test) *etnC* in lagere aantallen voor. Zoals al eerder aangegeven varieert de lagfase van de bacterie *Nocardiodes* (bevat het *etnC* gen) tussen de 20 en 110 dagen, mogelijk dat in de testen bij 18°C en 30°C alsnog een toename in het *etnC* gen waargenomen wordt. Vooralsnog lijkt het er op dat de afbraak van VC en etheen op deze locatie het snelst verlopen bij 6°C - 10°C. Ook de afname in CIS lijkt op te treden bij de temperatuurstest van 6 graden. In deze test is eveneens de CIS- afbrekende bacterie *Polaromonas* aangetroffen.

Na afronding van de afbraaktest is op vier biotische flessen (van elke temperatuur 1 fles) en een abiotische fles isotopenanalyse uitgevoerd. De resultaten zijn in bijlage 8 opgenomen. De resultaten bevestigen de GC waarneming en de moleculaire metingen. In de batch bij 30 graden vindt geen afbraak plaats van CIS en VC, in de overige flessen vindt wel afbraak plaats. De afbraak wordt hierbij veroorzaakt door micro-aerofiele afbraak.

### 5.3 Evaluatie

De resultaten van deze afbraaktest tonen dat in het grond en grondwater monsters gebruikt voor deze test de aanwezige VOCI middels een oxidatief proces worden afgebroken. Micro-aerofiele oxidatie van CIS, VC en etheen kan onder zeer lage zuurstofconcentraties plaatsvinden (> 0,5 mg/l). De analyseparameters bevestigen dat in deze testen sprake is van micro-aerofiele condities (aanwezigheid van spoortjes zuurstof). Dit is bijvoorbeeld te zien in de sulfaatconcentraties, deze nemen gedurende de looptijd van het project gestaag toe.

Daarnaast is het gen dat betrokken is bij de micro-aerofiele afbraak van VC en etheen in de monsters aangetroffen. In de 6 graden test is daarnaast ook de bacterie *Polaromonas* aangetroffen. Deze bacterie is in staat om CIS onder micro-aerofiele condities af te breken. In deze afbraaktesten is de anaeroob dechlorerende bacteriesoort *Dehalococcoides* niet aangetroffen. Dit toont aan dat er op de locatie een potentie voor (micro-aerofiele) aerobe afbraak van VOCl aanwezig is.

Zoals blijkt uit hoofdstuk 6 zijn de dechlorerende bacterie *Dehalococcoides* inclusief de genen betrokken bij VC afbraak op de locatie aangetroffen en deze nemen in aantallen toe. Er is etheen en ethaan op de locatie Strijp-S aangetroffen. Deze resultaten laten zien dat op de locatie reductieve dechlorering optreedt/heeft opgetreden. De moleculaire analyses op veldmonsters van Strijp-S tonen daarnaast ook de aanwezigheid van de genen betrokken bij micro-aerofiele afbraak. Plaatselijk nemen deze genen in aantallen toe, terwijl op andere plekken de aantallen afnemen.

Om de resultaten uit de labtesten te kunnen koppelen aan de situatie in het veld is het belangrijk om de resultaten van het lab te vergelijken met de resultaten in het veld zoals beschreven in hoofdstuk 6. In het veld lijkt reductieve dechlorering het primaire afbraak proces te zijn. In de labtesten is specifiek het optreden van micro-aerofiele afbraak gerealiseerd. Deze potentie is relevant voor het veld maar omvat niet de opties voor reductieve dechlorering.

Uit combinatie van de lab en veld resultaten kan worden geconcludeerd dat op locatie zowel reductieve dechlorering als (micro-aerofiele) oxidatieve afbraak (kan) plaatsvinden. Uit de veldresultaten blijkt dat op locatie vooral reductieve dechlorering plaatsvindt en dat dit proces door het WKO-systeem wordt gestimuleerd.

## 6 Conclusies en vervolgonderzoek

In dit laatste hoofdstuk zijn in paragraaf 7.1 op basis van het huidige resultaten antwoorden geformuleerd op de onderzoeksvragen die binnen MMB zijn gesteld. In paragraaf 7.2 is aangegeven welke vervolg moniteringen nodig zijn om antwoord te krijgen op nog onbeantwoorde vragen.

### 6.1 Conclusies (antwoord op onderzoeksvragen)

**Welk effect heeft de temperatuur op biologische afbraak van verontreinigingen, redoxcondities, chemische evenwichten en adsorptie/desorptie van verontreinigingen?**

*De in paragraaf 2.2 gestelde hypothesen om deze vraag te beantwoorden zijn:*

- versneld natuurlijke afbraak van de verontreiniging doordat de activiteit van de bacteriën toeneemt.
- beter in oplossing gaan van de verontreinigingen waardoor verspreiding van de verontreiniging plaatsvindt
- beter in oplossing gaan van organisch stof waardoor deze beschikbaar wordt voor bacteriën en afbraak wordt gestimuleerd

De temperatuursinvloed van de bodemenergiesystemen is op beide onderzoekslocaties te gering om een duidelijk effect van de temperatuursverandering te kunnen waarnemen. Op de locatie Utrecht-Centrum is de temperatuursverandering slechts enkele graden, op Strijp-S in Eindhoven is de verandering nog minder.

Uit de resultaten in Utrecht-Centrum blijkt niet dat de verontreiniging of organische stof in oplossing gaat. Daarnaast blijkt nagenoeg geen verspreiding van de verontreiniging op te treden. Wel blijkt plaatselijk, nabij de warme bron, een recente toename in afbraakcapaciteit door een toename in dechlorerende bacteriën (*Dehalococcoides*). Ter plaatse is ook een toename waargenomen van de genen betrokken bij micro-aerofiele afbraak. Gezien het feit dat het WKO-systeem al bijna 20 jaar in bedrijf is en de temperatuurstijging ter plaatse gering is, kan deze toename in afbraakcapaciteit niet direct toegeschreven worden aan een temperatuureffect maar eerder aan een mengeffect. Plaatselijk is namelijk ook een afname in *Dehalococcoides* bacteriën waargenomen.

Op de locatie Strijp-S is het temperatuurseffect zeer gering. Ter plaatse van de sterkst beïnvloedde peilbuizen is een toename waargenomen in elektronendonoren: organisch stof en het daaruit gevormde waterstof dat voor reductieve dechlorering kan worden aangewend. Het waargenomen effect wordt veroorzaakt door het rondpompen van het grondwater en niet als gevolg van verandering in temperatuur. Dit blijkt uit de overige macroparameters. In een aantal peilbuizen is een significante toename waargenomen in de genen betrokken bij de reductieve dechlorering van VOCl. Plaatselijk is ook een toename waargenomen in de genen betrokken bij micro-aerofiele afbraak van VC. Deze toename in bacteriën kan enerzijds veroorzaakt zijn door de gunstige afbraakcondities (toename in organisch stof) en anderzijds doordat bacteriën in het systeem worden rondgepompt.

Verder zijn er binnen MMB afbraaktesten uitgevoerd waarbij het effect van temperatuur op de afbraak van VOCl is onderzocht. De omstandigheden in de labtesten, waarschijnlijk door intrede van zuurstof, hebben geleid tot stimulering van micro-aerofiele afbraak. In deze monsters was geen reductieve afbraakpotentie aanwezig (afwezigheid van de *Dehalococcoides* bacterie). Uit de resultaten blijkt dat micro-aerofiele afbraak bij 30 graden niet plaatsvond, de oorzaak hiervan is niet in detail onderzocht. Een mogelijke verklaring kan de oplosbaarheid van zuurstof zijn; bij 30 graden lost minder zuurstof op in de waterfase. Zuurstof is in dit proces de snelheidsbepalende factor. Andere mogelijke verklaringen zijn verder uitgewerkt in het MMB-rapport 3+4 - Effecten op de ondergrond. In het veld lijkt in Strijp-S reductieve dechlorering het primaire afbraakproces te zijn. In de literatuur is beschreven dat, tot 30 graden, de reductieve dechloringssnelheid toeneemt met toename van temperatuur.

#### **Wat is het effect van het rondpompen van water op de aanwezige verontreiniging?**

*De in paragraaf 2.2 gestelde hypotheses om deze vraag te beantwoorden zijn:*

- verspreiding van specifiek verontreiniging afbrekende bacteriën waardoor afbraak in een groter gebied kan plaatsvinden.
- opmenging van de verschillende 'verontreinigingen' VOCl en BTEX waardoor de afbraak van de afzonderlijke componenten wordt gestimuleerd.
- versnelde stoftransport (van verontreiniging) waardoor verspreiding van de verontreiniging kan plaatsvinden
- versnelde stoftransport (vrijkomen) van organisch stof waardoor de natuurlijke afbraak van VOCl wordt gestimuleerd
- opmenging van water van verschillende lagen/kwaliteit waardoor
  - o niches verloren gaan. In niches kunnen van nature andere processen plaatsvinden dan in het grondwater daaromheen. Het verloren gaan van niches heeft een negatief effect op de afbraak ter plaatse.
  - o de redoxcondities veranderen. Verandering van redox kan zowel een positief als negatief effect hebben
  - o het organisch stofgehalte toeneemt. De toename in organisch stof heeft een positief effect op de afbraak van VOCl.
  - o opmenging van water waardoor organisch stof, nutriënten, bacteriën en verontreiniging beter met elkaar in contact komen. Dit heeft een positief effect op de afbraak van VOCl.

Op de locatie Utrecht-Centrum is de geochemische samenstelling van het grondwater redelijk homogeen. Het lijkt aannemelijk dat het grondwater door de WKO in de loop van de gebruikstijd (20 jaar) is gehomogeniseerd. Door de ligging aan de stroomopwaartse kant van het zwaartepunt van de verontreiniging heeft de WKO niet noemenswaardig bijgedragen aan verspreiding van de verontreiniging. Er treedt op deze locatie enige afbraak op, zowel bij WKO filters als op enige afstand daarvan. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de WKO de afbraak op directe wijze heeft gestimuleerd, bijvoorbeeld door het in oplossing gaan van organisch stof etc. Wel zijn er aanwijzingen dat bacteriën door het rondpompen van het grondwater worden verplaatst. De aanwezigheid van deze bacteriën kan een positief effect hebben op de afbraak van VOCl, daarvoor moeten de bacteriën echter wel actief zijn en dus de overige condities voor afbraak ook gunstig (aanwezigheid van voldoende elektrondonor).

Op basis van de Strijp-S data zijn nog geen eenduidige conclusies te trekken doordat nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed. Uit de resultaten tot nu toe blijkt dat de concentraties wat betreft de macrochemie fluctueren. Er lijkt hier sprake te zijn van grondwater van andere kwaliteit dan eerder vastgesteld dat binnen het WKO-systeem wordt gemengd (zie MMB-rapport 3+4 - Effecten op de ondergrond). Wat betreft de verontreiniging heeft het operationeel worden van het Sanergy-systeem geleid tot verspreiding van de verontreinigingen, organisch stof en de voor reductieve dechlorering direct te benutten elektrodonor waterstof binnen de grenzen van het aangelegde systeem. Het lijkt er op dat deze plaatselijke toename in organisch stof heeft geleid tot groei van dechlorerende bacteriën en het gunstiger worden van de redoxcondities voor het optreden van reductieve dechlorering van VOCl. Op deze locatie heeft ook verspreiding van bacteriën door het rondpompen van grondwater plaatsgevonden. Aangezien nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed is het op dit moment niet bekend of de aangetoonde afbraakcapaciteit zich over de rest van het terrein zal verspreiden en of de afbraakcapaciteit voldoende is om alle verontreiniging te verwijderen. Vervolgmonitoring moet hier meer inzicht in verschaffen.

**Wat is de invloed van de verontreiniging op de operationele werking van de WKO?**

*Voor deze vraag is binnen het MMB-onderzoek geen hypothese geformuleerd.*

Binnen het MMB-project is geen onderzoek verricht om de invloed van de verontreiniging op de werking van de WKO vast te stellen.

In de literatuurstudie is aangegeven met welke aspecten rekening gehouden dient te worden indien een WKO-systeem in verontreinigd grondwater wordt geplaatst. Hierbij is vooral aandacht besteedt aan het type materiaal wat gebruikt moet worden. Uit praktijkervaring op de locatie Utrecht-Centrum waar al bijna 20 jaar een WKO-systeem actief is, blijkt dat er geen nadelig effect is op het functioneren daarvan. Op basis van deze ervaring en literatuur kan geconcludeerd worden dat bij lage VOCl-concentraties het functioneren van het WKO-systeem niet nadelig wordt beïnvloed.

In het MMB-rapport 5 - Modelling systemen is ook aandacht besteed aan de mogelijke risico's voor verstopping van de WKO-putten indien WKO's in een verontreinigd gebied worden geplaatst en indien combinatie van WKO en sanering wordt toegepast (MMB-rapport 10 - Mogelijkheden voor combinatie van WKO met bodemsanering). Om het gehalte aan deeltjes in het verpompte water te minimaliseren en de variatie in redoxcondities van het verpompte water te minimaliseren wordt in de praktijk voor het plaatsen van WKO-putten gezocht naar geschikte bodemlagen met de juiste grondwaterkwaliteit. Bij de combinatie van WKO en saneren is de kans op waterkwaliteitsverschillen vaak groter. Dit vergroot de kans op het optreden van putverstopping. Berekeningen aan de te verwachten biomassavorming bij gestimuleerde afbraak geven aan dat het toevoegen van alleen biomassa waarschijnlijk niet of nauwelijks verstopping zal veroorzaken; dit scenario komt overeen met groei van biomassa als gevolg van natuurlijk afbraak. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het toepassen van WKO in een verontreinigd gebied waar natuurlijke afbraak optreedt een geringe kans op putverstopping heeft.

Verder zijn binnen het MMB-project modelleringen uitgevoerd om het theoretisch effect van VOCl verontreiniging op het WKO-systeem en vice-versa te onderzoeken. De resultaten zijn opgenomen in rapport 5. Hierin is ook het effect van het plaatsen van WKO-putten in de nabijheid van zaklagen onderzocht. Uit de resultaten blijkt dat indien een WKO-put in de nabijheid van een zaklaag wordt geplaatst dit leidt tot een groter verontreinigd volume doordat de verontreiniging sneller in oplossing gaat. Ter plaatse van de zaklaag zijn de VOCl-concentraties zeer hoog, wat een nadelig effect kan hebben op het WKO-systeem (materiaal).

#### **Wat is het risico op onbeheersbare verspreiding van verontreinigingen door toepassing van WKO en hoe kan die worden afgedekt?**

Op de locatie Utrecht-Centrum bevinden de WKO-clusters zich aan de stroomopwaartse zijde van de verontreiniging. Hierdoor treedt nagenoeg geen extra verspreiding van de verontreiniging op. Dit systeem draait al bijna 20 jaar en in deze periode lijkt slechts beperkte verspreiding te zijn opgetreden.

Op de locatie Strijp-S wordt de verontreiniging geohydrologisch voor 60-80% beheerst. Indien op deze locatie afbraak zich voortzet, kan in principe volledige beheersing worden gerealiseerd. Voortgezette afbraak na het operationeel worden van het systeem kan voor het hele terrein nog niet worden bevestigd. De condities voor afbraak zijn plaatselijk (na het opstarten van de WKO) verbeterd, mede door het intrekken van organisch materiaal en toename en verspreiding van *Dehalococcoides*. Het aantrekken van dit organisch materiaal heeft een positief effect op de afbraak van de verontreiniging. Het is echter niet bekend wat de exacte oorsprong van dit organisch materiaal is. Vervolgmonitoring moet meer duidelijkheid bieden of dit positief effect zich doorzet en zich over het overige beïnvloede gebied verspreid.

Verder zijn binnen het MMB-project modelleringen uitgevoerd om het theoretisch effect van VOCl-verontreiniging op het WKO-systeem en vice-versa te onderzoeken. De resultaten zijn opgenomen in rapport 5. Belangrijkste conclusie is dat indien sprake is van puur product (zaklaag) vlakbij een onttrekkingsput de verontreiniging over een groot gebied zal worden verspreid. Indien ter plaatse van nature afbraak optreedt, is de 'extra' verspreiding van de verontreiniging geringer, dit is afhankelijk van de afbraaksnelheid. Daarom is het van belang om op basis van historische gegevens alert te zijn op de aanwezigheid van zaklagen.

Ongewenste verspreiding kan worden voorkomen door een goede configuratie van bronnen ten opzichte van de verontreinigingspluim. Hierover is meer informatie te vinden in BOEG.

### **Leidt WKO tot een verhoogd risico op ophoping van toxische tussenproducten ten opzichte van natuurlijke afbraak zonder WKO?**

Negatieve effecten van de WKO op de chemische en biologische samenstelling van het grondwater zijn niet gevonden. Vorming van het relatief toxische tussenproduct (vinylchloride) vindt op beide onderzoekslocaties (van nature) plaats. Op de locatie Utrecht-Centrum zijn er geen aanwijzingen dat de WKO de vorming van VC specifiek heeft gestimuleerd, terwijl wel is aangetoond dat VC verder afbreekt. Op locatie Strijp-S nemen de VC-concentraties niet eenduidig toe. Op deze locatie zijn er op basis van de microbiologie aanwijzingen dat er plaatselijk een toename is in de genen betrokken bij afbraak van VC. Voor zover uit de huidige resultaten blijkt, heeft het WKO-systeem geen negatief noch positief effect op de vorming van VC binnen het systeem en daarmee dus geen verhoogd risico. Er zijn binnen MMB geen metingen uitgevoerd om humane risico's vast te stellen. Wat betreft verspreidingsrisico's blijkt uit de resultaten van de locatie Utrecht-Centrum dat er geen extra verspreiding van de verontreiniging heeft plaatsgevonden. Het systeem van Strijp-S is zo ontworpen dat minimale verspreiding optreedt.

### **Welke positieve effecten op de saneringsduur heeft de optredende (bovengrondse) menging van verontreinigingen, brandstof en nutriënten op het saneringsrendement?**

Een deel van het antwoord van deze vraag is reeds verwoord bij punt 2.

Op de locatie Utrecht-centrum is het grondwater vrij uniform van samenstelling. Hier heeft de menging van verontreiniging en brandstof (elektronodonor) weinig effect, onder andere omdat van nature het organisch stofgehalte laag is. Daarnaast is het zwaartepunt van de verontreiniging gelegen aan de stroomopwaartse zijde van het WKO-systeem. Er treedt op deze locatie wel enige afbraak op. Er zijn echter geen duidelijke aanwijzingen dat de WKO de afbraak op directe wijze heeft gestimuleerd, bijvoorbeeld door het in oplossing gaan van organisch stof etc. Wel zijn er aanwijzingen dat bacteriën door het rondpompen van het grondwater worden verplaatst. De aanwezigheid van deze bacteriën kan een positief effect hebben op de afbraak van VOCl, daarvoor moeten de bacteriën ter plaatse wel actief zijn.

Het opmengen van grondwater binnen het WKO-systeem heeft op de locatie Strijp-S plaatselijk (ter plaatse van de beïnvloede peilbuizen) geleid tot een toename in organisch stof en waterstof (elektrondonor). Het lijkt er op dat deze plaatselijke toename in organisch stof heeft geleid tot groei van dechlorerende bacteriën en het gunstiger worden van de redoxcondities voor het optreden van reductieve dechlorering van VOCl. Op deze locatie heeft ook verspreiding van bacteriën door het rondpompen van grondwater plaatsgevonden. Indien afbraak optreedt/blijft optreden dan heeft dit een gunstig effect op het saneringsrendement.

## 6.2 Vervolg

Op basis van de resultaten verkregen binnen het MMB-project is meer inzicht verkregen in welke analyses noodzakelijk zijn voor het goed kunnen monitoren van de effecten van een WKO-systeem op de aanwezige verontreiniging. Op basis van de ervaring opgedaan in dit project zijn de volgende aanbevelingen voor vervolg onderzoek gedaan.

### **Vervolg monitoring locatie Utrecht-centrum**

Op de locatie Utrecht-Centrum heeft verdere monitoring van de locatie zelf weinig toegevoegde waarde om het effect van WKO op de afbraak van de verontreiniging vast te stellen. Dit komt onder andere door de ligging van het systeem ten opzichte van de verontreiniging, de geringe temperatuursverandering ter plaatse en het feit dat het WKO-systeem al circa 20 jaar in bedrijf is. Hierdoor verwachten we dat op korte termijn geen grote veranderingen in afbraak(condities) zullen plaatsvinden.

Door de bevinding uit dit onderzoek te vergelijken met monitoringsresultaten buiten het beïnvloede gebied waar verontreiniging aanwezig is, kan mogelijk nog wel bepaald worden of de condities en afbraak binnen het WKO-beïnvloede gebied wezenlijk anders zijn dan de condities daarbuiten. Verwacht wordt dat deze gegevens van buiten het beïnvloede gebied beschikbaar komen vanuit het monitoringsmeetnet van de gemeente Utrecht. Een complicerende factor is echter dat in het verontreinigd gebied buiten de beïnvloeding van het WKO-systeem Utrecht-Centrum mogelijk beïnvloed wordt door andere grondwateronttrekkingen in de binnenstad van Utrecht en door mogelijke (nieuwe) WKO systemen. Bij het beoordelen van nieuwe onderzoeksgegevens is het belangrijk om deze aspecten in ogenschouw te nemen.

### **Vervolg monitoring locatie Strijp-S**

Het WKO-systeem op de locatie Strijp-S is recent opgestart. Op dit moment zijn nog niet alle peilbuizen beïnvloed door het WKO-water. Daarom is het belangrijk om deze locatie te blijven monitoren om vast te stellen of de positieve effecten ter plaatse van de beïnvloede zone zich verder verspreiden over de rest van de locatie en of dit effect van lange duur is.



Om inzicht te krijgen in het effect van de WKO op de (afbraak van de) verontreiniging kan in principe worden volstaan met het meten op VOCl en de afbraakproducten (etheen en ethaan). Echter indien hier verandering in optreedt zal het niet duidelijk zijn of deze verandering wordt veroorzaakt door afbraak of door verdunning. Middels isotopenanalyses kan op periodieke basis gecontroleerd worden of de afname in VOCl van biologische aard is.

Om te controleren of de condities ter plaatse (on)gunstiger worden voor afbraak van VOCl (is het afbraakproces duurzaam) is het daarnaast zinvol om analyses uit te voeren op de elektrondonoren waterstof en organische stof, dechlorerende bacteriën en genen (het liefst op RNA-niveau aangezien dit aangeeft of de bacteriën actief zijn) en de redoxcondities (elektronacceptoren: o.a. zuurstof, nitraat, sulfaat en methaan).

Om inzicht te krijgen in het functioneren van het WKO systeem, welke peilbuizen zijn beïnvloed is het zinvol om middels sensoren de stijghoogte en temperatuur te blijven monitoren. Omdat het systeem nog maar net is opgestart en nog niet alle peilbuizen zijn beïnvloed en de resultaten van de geochemische parameters tot nu toe fluctuerende resultaten laten zien is het zinvol de eerst volgende meting uit te voeren op het moment dat alle peilbuizen beïnvloed zijn.

In het kader van het effect van menging op grondwaterkwaliteit (rapport 3+4) is het daarnaast zinvol om uitgebreider te meten op overige geochemische parameters zoals bijvoorbeeld chloride en sulfaat om vast te stellen welk type water wordt aangetrokken. Gezien de resultaten van de monitoring in Strijp-S is het daarnaast interessant om ook op een aantal metalen te meten (zie rapport 3+4) waar fluctuaties in concentraties is waargenomen. Voorgesteld wordt om de analyses op isotopen minder frequent uit te voeren (bijvoorbeeld iedere 5 jaar). De voorgestelde vervolgmeting kan dus extensiever worden uitgevoerd dan tot nu toe binnen MMB is uitgevoerd.

Voorgesteld wordt om de eerstvolgende meting pas uit te voeren op het moment dat alle peilbuizen zijn beïnvloed door het WKO systeem. Daarnaast wordt aanbevolen om naast peilbuizen ook het onttrokken en geïnfilterde grondwater te analyseren en indien mogelijk een extra referentiepeilbuis te bemonsteren.

### **Vervolg metingen nieuwe WKO projecten**

Bij het uitvoeren van metingen bij nieuwe WKO-systemen die in een verontreinigd gebied worden geplaatst is het belangrijk om voorafgaand aan het plaatsen van het systeem een uitgebreide meting uit te voeren om de nulsituatie vast te leggen. Hierin is het zinvol om isotopenmetingen uit te voeren.

De uit te voeren vervolgemeetronden moeten goed afgestemd worden met het WKO-regiem. Bij de keuze van mogelijke monitoringspeilbuizen is het belangrijk om voldoende referenties mee te nemen, hierbij kan het waargenomen effect binnen het WKO-gebied vergeleken worden met veranderingen buiten het WKO-gebied. Hierdoor kunnen effecten daadwerkelijk toegeschreven worden aan het functioneren van het WKO-systeem.

Belangrijke parameters om te meten om het effect op de afbraak vast te stellen zijn onder andere:

- De verontreiniging inclusief afbraakproducten (VOCl inclusief etheen en ethaan)
- Organisch materiaal en/of waterstofconcentratie
- Bacteriën betrokken bij afbraak van de verontreiniging
- Tracer (indien van toepassing) en anders macro-parameters zoals chloride en sulfaat
- pH (indicatie voor verstoringen/veranderingen)
- redoxparamters (dit geeft extra inzicht in de processen die ter plaatse plaatsvinden)
- isotopenanalyses (op een minder frequente basis van de overige metingen)

Voorgesteld wordt om de eerste vijf jaar intensief te meten (jaarlijks) en afhankelijk van de resultaten de vervolg monitoring in te vullen.

## Literatuur

Actualisatie en nader onderzoek VOCL verontreiniging dieper grondwater Vrouwjuttenthof (v.m. Arentzstraat 11) e.o. te Utrecht; Geofox-Lexmond, 2005.

Effectenstudie koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, december 1992 (doc. nr. 3/9217/GB).  
Jaarbeurs Utrecht referentiemetingen koudeopslag 1993; IF, januari 1994 (doc.nr. 1/9323/GB).

Meetrapportage 1994 koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, februari 1995 (doc. nr. 3/9323/GB).

Meetrapportage 1995 koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, januari 1996 (doc. nr. 4/9323/GB).

Effectenstudie koudeopslag Jaarbeurs Utrecht, Bernhard Hall III; IF, januari 1996 (doc. nr. 4/9522/GB).

Evaluatie 1993 - 1996/Meetrapportage 1996 koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, maart 1997 (doc. nr 5/9323/GB).

Ferguson en Woodbury, 2004. Subsurface heat flow in an urban environment. Journal of geophysical research, vol. 109, B02402.

Graadt van Roggenweg te Utrecht. Nader bodemonderzoek en grondwatermodellering; DHV, februari 2008.

Handleiding BOEG, bodemenergie en grondwaterverontreiniging, kenmerk 074529688:0.1, d.d. 6 april 2010

Lieten, S. en Dinkla, I. (2011). Literatuurstudie Meer Met Bodemenergie, Overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom warmte- en koudeopslag - Hoofdstuk 7: Effecten op ondergrondse microbiologie. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2011.

Meer Met Bodemenergie, rapport 3/4 Effecten op de ondergrond. Effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in de praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meer Met Bodemenergie, rapport 5 Modelling systemen. Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving. Modelling individuele projecten. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meer Met Bodemenergie, rapport 10 Mogelijkheden voor combinatie van WKO met bodemsanering. Overzicht van technieken en nieuwe mogelijkheden. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meetrapportage 1997 koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, februari 1998 (doc. nr. 6/9323/GB).

Meetrapportage 1998 koudeopslag Jaarbeurs Utrecht; IF, januari 1999 (doc. nr. 7/9323/GB).

Meetrapportage t/m 2000 Koudeopslag Koninklijke Jaarbeurs Utrecht; IF, 16 november 2001 (doc. nr. 8/9323/SH)

Meetrapportage 2001 Koudeopslag Koninklijke Jaarbeurs Utrecht; IF, 27 juni 2002 (doc. nr. 9/M9323/JW).

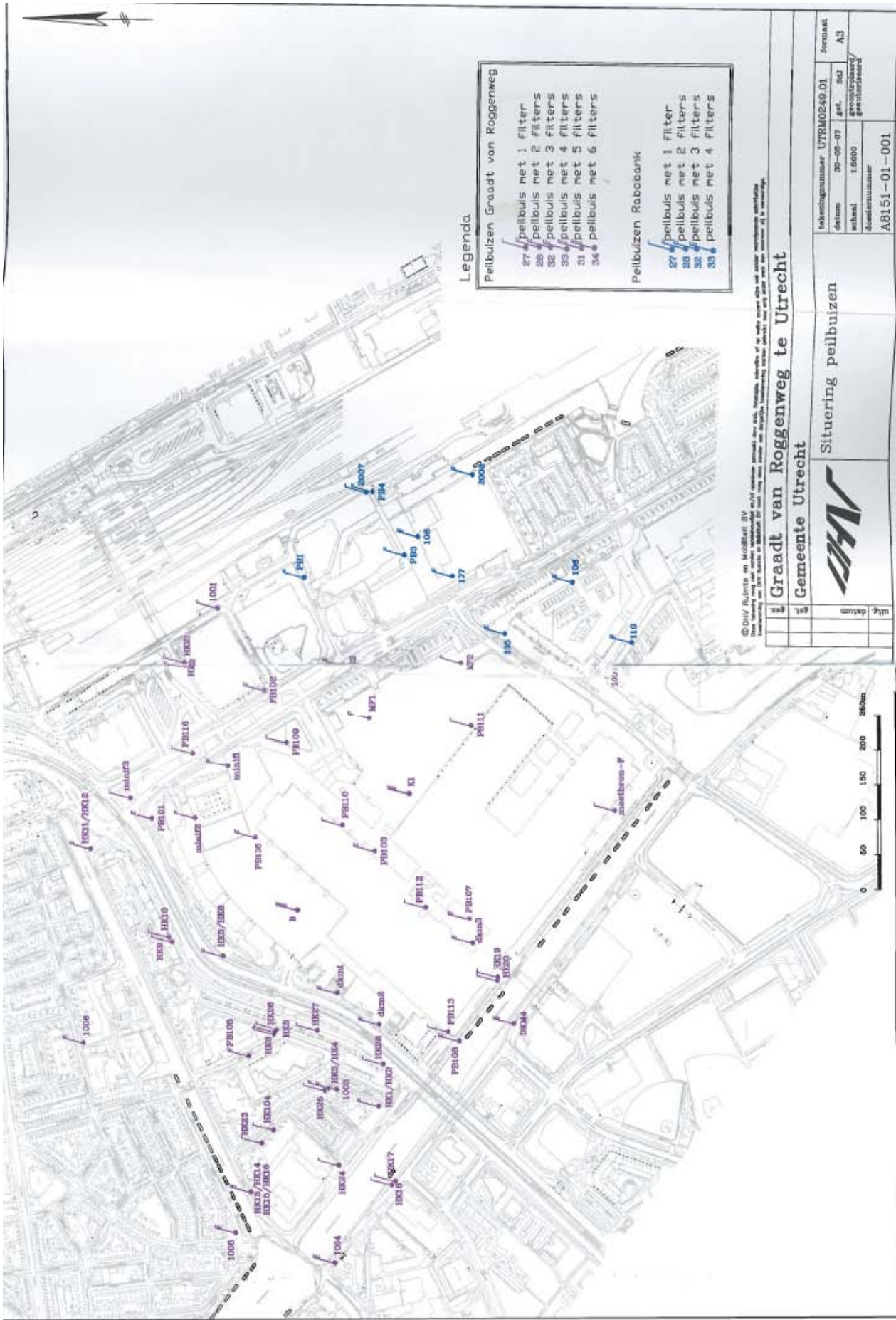
Selection and validation of a practical protocol for anaerobic dechlorination, NOBIS 97-4-04, d.d. august 2001

SKB-project 6416. Nieuwe processen achterNA. Demonstratielocatie Eindhoven; Tauw 2008.

Ter inzage gegeven vertrouwelijk archief van de eigenaar van de WKO in Utrecht.

# **Bijlage I**

## **Meetnet locatie Centrum Utrecht**



**Legenda**

- Peilbuizen Graadt van Roggenweg**
- 27 Peilbuiz met 1 filter
  - 28 Peilbuiz met 2 filters
  - 32 Peilbuiz met 3 filters
  - 33 Peilbuiz met 4 filters
  - 34 Peilbuiz met 5 filters
  - 34 Peilbuiz met 6 filters
- Peilbuizen Rabobank**
- 27 Peilbuiz met 1 filter
  - 28 Peilbuiz met 2 filters
  - 32 Peilbuiz met 3 filters
  - 33 Peilbuiz met 4 filters

© DNV Rijkis en Mobiliteit BV  
 Deze tekening mag niet worden verspreid of openbaar gemaakt. Het is niet toegestaan deze tekening te kopiëren, te verspreiden of openbaar te maken. Het is niet toegestaan deze tekening te kopiëren, te verspreiden of openbaar te maken. Het is niet toegestaan deze tekening te kopiëren, te verspreiden of openbaar te maken.

**Graadt van Roggenweg te Utrecht**  
**Gemeente Utrecht**

Situering peilbuizen



Tekeningnummer	UTRM0249.01	Formaat	A3
Datum	30-09-07	sch. no.	1
Schaal	1:5000	Projectnummer	
		Bestandsnummer	AB151-01-001

Utg.	
Datum	

## **Bijlage II**

# **Meetgegevens meetrondes locatie Utrecht-Centrum**









		Monster Omschrijving										pb'					
		pb1003 (49)					pb1007 (20)						pb1007 (35)				
		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010	
Datum		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010	
Veld data		49		49		20		20		35		35		49		49	
filterdiepte	m	38															
g.w.s bovenkanipb	m	1,8	2,4	1,7		1,2	1,1	1,1		1,2	1,1	1,1		1,2	1,0		1,0
geleidbaarheid	µS/cm	695	518	764		400	476	476		416	571	571		497	524		524
pH	pH	7,1	7	7,0		7,3	7,5	7,5		7,3	7,3	7,3		7,2	7,3		7,3
redox	mv	-109	-125	-116		-109	-132	-132		-104	-121	-121		-104	-146		-146
spoelvolume		40		45			20	20			35	35			30		30
temperatuur	°C	12,5	12,5	14,8		13,2	12,7	12,7		13	12,3	12,3		13	12,7		12,7
zuurstof	mg/l	0,18	0	0,17		0,03	0,15	0,15		0,03	0,16	0,16		0	0,12		0,12
Ammonium (NH4) (ongefiltreerd)	mg/l	2,0	1,9	2,7		1,3	0,5	0,5		0,6	0,5	0,5		3,5	3,8		3,8
bicarbonaat	mg/l		541			194				205	213	213		200			
Chloride (Cl) (ongefiltreerd)	mg/l	72	62	63		83	77	77		87	96	96		156	139		139
DOC na purgen	mg C/l	6,6	4,2	8,0		4,9	6,4	6,4		5,9	6,8	6,8		3,8	7,0		7,0
Nitraat (NO3) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5		0,5
Nitriet (NO2) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5		0,5
Ortho-Fosfaat (PO4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5	0,61	0,61		< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5
Sulfaat (SO4) (ongefiltreerd)	mg/l	71	111	103		57	60	60		61	59	59		66	49		49
Sulfide	mg/l	0	0,1	1,04		0,1	0	0		0,1	0	0		0,1	0		0
Waterstof	nM		0,1			0,1				2,4				2,5			
eihaan	µg/l	15	< 15	< 15		< 15	< 15	< 15		< 15	< 15	< 15		< 15	< 15		< 15
eiheien	µg/l	14	< 14	< 14		< 14	< 14	< 14		< 14	< 14	< 14		< 14	< 14		< 14
Methaan	µg/l	64	50	23		30	32	32		60	26	26		90	89		89
1,1,1-trichloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
1,1-dichloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
1,1-dichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
1,2-dichloorethaan	µg/l	10	< 10	< 10		< 10	< 10	< 10		< 10	< 10	< 10		< 10	< 10		< 10
chloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
dis-1,2-dichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
tetrachlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
trans-1,2-dichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
trichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5		< 5	< 5		< 5
vinylchloride	µg/l	23	40	< 2,5		< 2,5	< 2,5	< 2,5		< 2,5	< 2,5	< 2,5		< 2,5	< 2,5		< 2,5
Aluminium Al (gefiltreerd)	µg/l										3	3					
Antimoon Sb (gefiltreerd)	µg/l										0	0					
Arsen As (gefiltreerd)	µg/l										2	2					
Barium Ba (gefiltreerd)	µg/l										192	192					
Boor B (gefiltreerd)	µg/l										128	128					
Bromide (gefiltreerd)	mg/l	0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5
Cadmium Cd (gefiltreerd)	µg/l										0,00	0,00					

## ICP-MS en ICP-OES analyses

Monster Omschrijving		38)		pb1003 (49)		pb1007 (20)		pb1007 (35)		pb1007 (49)		pb'
		7-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010		
Datum												
Calcium Ca (gefiltreerd)	mg/l	141	<	188	177	72	72	74	74	86	65	1
Chroom Cr (gefiltreerd)	µg/l								0			
Fosfor P (gefiltreerd)	mg/l		0,1			1,2		0,5	1,0	0,1		
IJzer Fe (gefiltreerd)	mg/l		12			1,2		1,7	2,0	2,0		
Kalium K (gefiltreerd)	mg/l	2,7	3,3	3,1		4,6		5,8	5,5	3,1	2,6	
Kobalt Co (gefiltreerd)	µg/l								0			
Koper Cu (gefiltreerd)	µg/l								0			
Lithium Li (gefiltreerd)	µg/l								7			
Lood Pb (gefiltreerd)	µg/l								0			
Magnesium Mg (gefiltreerd)	mg/l	15	17	17		10		10	10	8	7	
Mangaan Mn (gefiltreerd)	µg/l		0,7			1,2		0,4	0,0	0,4		
Molybdeen Mo (gefiltreerd)	µg/l								1			
Natrium Na (gefiltreerd)	mg/l	45	28	35		46		50	54	75	70	
Nikkel Ni (gefiltreerd)	µg/l								0			
Stabiele C isotopen_VC	C13‰	-13	1									
Strontium Sr (gefiltreerd)	mg/l								1			
Thallium Tl (gefiltreerd)	µg/l								<	0,05		
Titaan Ti (gefiltreerd)	µg/l								2			
Uranium U (gefiltreerd)	µg/l								0			
Vanadium V (gefiltreerd)	µg/l								1			
Yttrium Y (gefiltreerd)	µg/l								0			
Zink Zn (gefiltreerd)	µg/l								0			
Zirkonium Zr (gefiltreerd)	µg/l								<	0,3		
Zwavel S (gefiltreerd)	mg/l								21			











		Monster Omschrijving											
		Datum											
		pb106 (10)		pb106 (20)		pb106 (35)		pb109/64B (36)		pb109/64C (46)		pb1W1 (18)	
		7-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	17-11-2010	17-11-2010	17-11-2010	17-11-2010	17-11-2010
<b>Veld data</b>	filterdiepte	m	20	20	20	20	35	35	38	38	46		
	g.w.s bovenkanipb	m	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9		0,5
	geleidbaarheid	µS/cm	695	913	913	900	867	900	792	792	849		855
	pH	pH	7,4	6,9	6,9	7,3	6,8	7,3	7,1	7,1	7,0		7,3
	redox	mv	-99	-84	-84	-94	-93	-94	-142	-142	-116		-92
	spoelvolume			25	25		10	10	25	25	25		25
	temperatuur	°C	12,5	13,3	13,3	13,4	12,9	13,4	13,1	13,1	12,8		13,9
	zuurstof	mg/l	0	0,07	0,07	0	0,15	0	0,15	0,15	0,1		0,1
	Ammonium (NH4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,6	0,6	0,5	1,8	0,5	1,8	0,5	2,8	5,3		3,6
	bicarbonaat	mg/l	477			412	378						
<b>Anionen + TOC</b>	Chloride (Cl) (ongefiltreerd)	mg/l	205	213	213	204	211	204	126	128		193	
	DOC na purgen	mg C/l	4,7	4,5	4,5	5,0	4,7	5,0	5,5	5,2		5,4	
	Nitraat (NO3) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5
	Nitriet (NO2) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5
	Ortho-Fosfaat (PO4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5
	Sulfaat (SO4) (ongefiltreerd)	mg/l	37	49	50	52	54	52	54	92	115		40
	Sulfide	mg/l	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0		0
	Waterstof	nM	0,2			0,2							
	eithaan	µg/l	15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15		< 15
	eihen	µg/l	14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14		< 14
<b>Verontreinigingen</b>	Methaan	µg/l	47	121	107	78	116	78	23	23		136	
	1,1,1-trichloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	1,1-dichloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	1,1-dichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	1,2-dichloorethaan	µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10		< 10	
	chloorethaan	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	dis-1,2-dichlooretheen	µg/l	19	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	tetrachlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	trans-1,2-dichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	trichlooretheen	µg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	
	vinylchloride	µg/l	4	68	56	327	310	327	4	4	3		23
	Aluminium Al (gefiltreerd)	µg/l					4						
	Antimoon Sb (gefiltreerd)	µg/l					0						
Arseen As (gefiltreerd)	µg/l					1							
Barium Ba (gefiltreerd)	µg/l					208							
Boor B (gefiltreerd)	µg/l					41							
Bromide (gefiltreerd)	mg/l	0,7	< 0,5	< 0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,6	
Cadmium Cd (gefiltreerd)	µg/l					< 0,00							







Monster Omschrijving		Datum											
		pb1W1 (45)		pb1W2 (20)		pb1W2 (39)		pb1W3 (20)		pb1W3 (45)		pb2K2 (44)	
		17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008
Calcium Ca (gefiltreerd)	mg/l	134	134	132	136					133	134		100
Chroom Cr (gefiltreerd)	µg/l												
Fosfor P (gefiltreerd)	mg/l		0,6		0,6								1,0
IJzer Fe (gefiltreerd)	mg/l		9,0		9,1								4,4
Kalium K (gefiltreerd)	mg/l	5,9	5,5	5,8	5,7					5,8	6,0		5,3
Kobalt Co (gefiltreerd)	µg/l									0			
Koper Cu (gefiltreerd)	µg/l									0			
Lithium Li (gefiltreerd)	µg/l									5			
Lood Pb (gefiltreerd)	µg/l									0			
Magnesium Mg (gefiltreerd)	mg/l	13	12	13	12					13	13		11
Mangaan Mn (gefiltreerd)	µg/l		1,4		1,4					2,0			0,6
Molybdeen Mo (gefiltreerd)	µg/l									0			
Natrium Na (gefiltreerd)	mg/l	103	101	102	102					103	104		90
Nikkel Ni (gefiltreerd)	µg/l									1			
Stabiele C isotopen_VC	C13‰	-21	-20	-8	-15					-20	-21		
Strontium Sr (gefiltreerd)	mg/l									0			
Thallium Tl (gefiltreerd)	µg/l									< 0,05			
Titaan Ti (gefiltreerd)	µg/l									2			
Uranium U (gefiltreerd)	µg/l									0			
Vanadium V (gefiltreerd)	µg/l									1			
Yttrium Y (gefiltreerd)	µg/l									0			
Zink Zn (gefiltreerd)	µg/l									8			
Zirkonium Zr (gefiltreerd)	µg/l									0,4			
Zwavel S (gefiltreerd)	mg/l									15			

Monster Omschrijving		pb1W1 (45)		pb1W2 (20)		pb1W2 (39)		pb1W3 (20)		pb1W3 (45)		pb2K2 (44)	
Datum		17-11-2010		13-11-2008		17-11-2010		17-11-2010		17-11-2010		13-11-2008	
Q-PCR	Adenylyl sulfite reductase (aprA)	gen copies/ml											
	Bacterial ammonium monooxygenase (amoA)	gen copies/ml											
	Denitrificatie (NarG)	gen copies/ml											
	Denitrificatie (NirK)	gen copies/ml											
	Denitrificatie (NirS)	gen copies/ml											
	Denitrificatie (NosZ)	gen copies/ml											
	Gallionella ferruginea	cellen/ml											
	Geobacter sp.	cellen/ml											
	Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp.	cellen/ml											
	Methyl coenzyme M reductase (mcrA)	gen copies/ml											
	Sulfite reductase (dsrA)	gen copies/ml											
	Sulfite reductase (dsrB)	gen copies/ml											
	Thiosulfate oxygenase (soxB)	gen copies/ml											
	E. coli (Glucuronidase)	cellen/ml											
	Enterobacteriaceae (23S rRNA)	cellen/ml											
	Total Archaea	cellen/ml											
	Total Bacteria	cellen/ml											
trichlooretheen-reductase (trichlooretheenA)	gen copies/ml	< 2,00E+00	< 2,50E+01	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,50E+01	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 5,00E+00	< 2,50E+01	< 2,50E+01	
vcrA	gen copies/ml	6,68E+01	< 1,20E+01	1,49E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 2,00E+00	2,33E+01	< 2,33E+01	6,02E+00	< 1,20E+01	< 1,20E+01	<
bvcA	gen copies/ml	< 1,00E+00	< 2,00E+00	< 1,00E+00	< 1,00E+00	< 2,00E+00	< 1,00E+00	< 1,00E+00	< 1,00E+00	< 1,00E+00	< 1,00E+00	< 4,60E+00	<
Dehalococcoides sp.	gen copies/ml	9,42E+01	< 5,00E+00	1,06E+01	< 1,06E+01	8,40E+01	1,78E+02	3,59E+01	9,23E+00	1,86E+00	7,90E+01		
EaCoMT	gen copies/ml	< 2,00E+00		< 2,00E+00				6,22E+00	6,12E+00				
etnC	gen copies/ml					< 2,50E+02	1,20E+02						
etnE	gen copies/ml					< 2,50E+02	< 1,60E+01						

Monster Omschrijving		pb2W3 (40)	pb2W5 (51)
Datum		13-11-2008	13-11-2008
<b>Veld data</b>	filterdiepte	m	51
	g.w.s bovenkanipb	m	1,6
	geleidbaarheid	µS/cm	538
	pH	pH	7,0
	redox	mv	-105
	spoelvolumen		
	temperatuur	°C	14,2
	zuurstof	mg/l	0
	Ammonium (NH4) (ongefiltreerd)	mg/l	2,8
	bicarbonaat	mg/l	293
<b>Anionen + TOC</b>	Chloride (Cl) (ongefiltreerd)	mg/l	150
	DOC na purgen	mg C/l	6,3
	Nitraat (NO3) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5
	Nitriet (NO2) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5
	Ortho-Fosfaat (PO4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5
	Sulfaat (SO4) (ongefiltreerd)	mg/l	48
	Sulfide	mg/l	0,1
	Waterstof	nM	0,1
	eithaan	µg/l	15
	eiheden	µg/l	14
<b>GC data</b>	Methaan	µg/l	49
	1,1,1-trichloorethaan	µg/l	5
	1,1-dichloorethaan	µg/l	5
	1,1-dichlooretheen	µg/l	5
	1,2-dichloorethaan	µg/l	10
	chloorethaan	µg/l	5
	cis-1,2-dichlooretheen	µg/l	5
	tetrachlooretheen	µg/l	5
	trans-1,2-dichlooretheen	µg/l	5
	trichlooretheen	µg/l	5
<b>ICP-MS en ICP-OES analyses</b>	vinylchloride	µg/l	3
	Aluminium Al (gefiltreerd)	µg/l	
	Antimoon Sb (gefiltreerd)	µg/l	
	Arsen As (gefiltreerd)	µg/l	
	Barium Ba (gefiltreerd)	µg/l	
	Boor B (gefiltreerd)	µg/l	
	Bromide (gefiltreerd)	µg/l	
	Cadmium Cd (gefiltreerd)	µg/l	
		mg/l	0,5
		µg/l	< 0,5

Monster Omschrijving		pb2W3 (40)	pb2W5 (51)
Datum		13-11-2008	13-11-2008
Calcium Ca (gefiltreerd)	mg/l	97	98
Chroom Cr (gefiltreerd)	µg/l		
Fosfor P (gefiltreerd)	mg/l	1,1	1,1
IJzer Fe (gefiltreerd)	mg/l	4,3	4,4
Kalium K (gefiltreerd)	mg/l	4,9	5,1
Kobalt Co (gefiltreerd)	µg/l		
Koper Cu (gefiltreerd)	µg/l		
Lithium Li (gefiltreerd)	µg/l		
Lood Pb (gefiltreerd)	µg/l		
Magnesium Mg (gefiltreerd)	mg/l	11	11
Mangaan Mn (gefiltreerd)	µg/l	0,6	0,6
Molybdeen Mo (gefiltreerd)	µg/l		
Natrium Na (gefiltreerd)	mg/l	81	79
Nikkel Ni (gefiltreerd)	µg/l		
Stabiele C isotopen_VC	C13‰		
Strontium Sr (gefiltreerd)	mg/l		
Thallium Tl (gefiltreerd)	µg/l		
Titaan Ti (gefiltreerd)	µg/l		
Uranium U (gefiltreerd)	µg/l		
Vanadium V (gefiltreerd)	µg/l		
Yttrium Y (gefiltreerd)	µg/l		
Zink Zn (gefiltreerd)	µg/l		
Zirkonium Zr (gefiltreerd)	µg/l		
Zwavel S (gefiltreerd)	mg/l		



Monster Omschrijving		pb2W3 (40)	pb2W5 (51)
Datum		13-11-2008	13-11-2008
Q-PCR			
	Adenylyl sulfite reductase (aprA)	gen copies/ml	
	Bacterial ammonium monooxygenase (amoA)	gen copies/ml	
	Denitrificatie (NarG)	gen copies/ml	
	Denitrificatie (NirK)	gen copies/ml	
	Denitrificatie (NirS)	gen copies/ml	
	Denitrificatie (NosZ)	gen copies/ml	
	Gallionella ferruginea	cellen/ml	
	Geobacter sp.	cellen/ml	
	Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp.	cellen/ml	
	Methyl coenzyme M reductase (mcrA)	gen copies/ml	
	Sulfite reductase (dsrA)	gen copies/ml	
	Sulfite reductase (dsrB)	gen copies/ml	
	Thiosulfate oxygenase (soxB)	gen copies/ml	
	E. coli (Glucuronidase)	cellen/ml	
	Enterobacteriaceae (23S rRNA)	cellen/ml	
	Total Archaea	cellen/ml	
	Total Bacteria	cellen/ml	
	trichlooretheen-reductase (trichlooretheenA)	gen copies/ml	3,00E+02
	vcrA	2,79E+01	< 1,20E+01
	bvcA	1,20E+01	< 2,00E+00
	Dehalococcoides sp.	2,00E+00	< 2,00E+00
	EaCoMT	8,05E+01	8,10E+01
	etnC	gen copies/ml	
	etnE	gen copies/ml	





Monster Omschrijving		pb3K1 (49)	pb3K3 (48)	pb3W1 (41)	pb3W2 (44)	pb3W6 (43)	pbB (20)		pbB (3C)
Datum		13-11-2008	13-11-2008	13-11-2008	13-11-2008	13-11-2008	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008
Q-PCR	Adenylyl sulfite reductase (aprA)								
	Bacterial ammonium monooxygenase (amoA)	gen copies/ml							
	Denitrificatie (NarG)	gen copies/ml							
	Denitrificatie (NirK)	gen copies/ml							
	Denitrificatie (NirS)	gen copies/ml							
	Denitrificatie (NosZ)	gen copies/ml							
	Gallionella ferruginea	cellen/ml							
	Geobacter sp.	cellen/ml							
	Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp.	cellen/ml							
	Methyl coenzyme M reductase (mcrA)	gen copies/ml							
	Sulfite reductase (dsrA)	gen copies/ml							
	Sulfite reductase (dsrB)	gen copies/ml							
	Thiosulfate oxygenase (soxB)	gen copies/ml							
	E. coli (Glucuronidase)	cellen/ml							
	Enterobacteriaceae (23S rRNA)	cellen/ml							
	Total Archaea	cellen/ml							
	Total Bacteria	cellen/ml							
trichlooretheen-reductase (trichlooretheenA)	gen copies/ml	< 2,50E+01	< 2,50E+01	< 2,50E+01	< 2,50E+01	2,68E+01	2,64E+01	< 2,00E+00	< 2,50E+01
vcrA	gen copies/ml	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 2,00E+00	< 1,20E+01
bvcA	gen copies/ml	2,74E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 1,00E+00	< 2,00E+00
Dehalococcoides sp.	gen copies/ml	< 5,00E+00	< 5,00E+00	8,45E+01	< 5,00E+00	8,55E+01	8,15E+01	1,10E+01	< 5,00E+00
EaCoMT	gen copies/ml							2,78E+00	<
einC	gen copies/ml						< 1,25E+02		
einE	gen copies/ml						< 1,25E+02		

		Monster Omschrijving											
		Datum				Datum							
Veld data		7-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	
	filterdiepte	m	41	41	47	47	47	47	18	18	46		
	g.w.s bovenkanipb	m	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	0,7	0,2	0,7	0,3	
	geleidbaarheid	µS/cm	918	1018	1160	1118	1160	1118	546	795	557	815	
	pH		7,1	6,8	7,1	6,6	7,1	6,6	6,9	6,5	6,9	6,5	
	redox	mv	-81	-78	-67	-87	-67	-87	-91	-144	-102	-136	
	spoelvolume		30	35	40	40	40	40	25	25	25	25	
	temperatuur	°C	13,1	12,5	13,4	12,6	13,4	12,6	11,5	11,9	11,9	11,5	
	zuurstof	mg/l	0	0,17	0	0,17	0	0,17	0	0,24	0,03	0,14	
<b>Anionen + TOC</b>	Ammonium (NH4) (ongefiltreerd)	mg/l	1,8	3,5	1,8	3,6	1,8	3,6	2,7	5,2	2,0	4,3	
	bicarbonaat	mg/l	464	438	471	471	471	471	428	437	437	402	
	Chloride (Cl) (ongefiltreerd)	mg/l	163	263	309	278	309	278	183	157	185	162	
	DOC na purgen	mg C/l	4,4	5,8	5,8	5,5	5,8	5,5	4,9	10,1	5,6	7,3	
	Nitraat (NO3) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,505	0,5	
	Nitriet (NO2) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Ortho-Fosfaat (PO4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <	0,5 <
	Sulfaat (SO4) (ongefiltreerd)	mg/l	23	108	112	101	112	101	54	50	52	43	
	Sulfide	mg/l	0,32	0,1	0,266	0,1	0,21	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0
	Waterstof	nM		0,1	0,1		0,1	0,1		0,8	2,7		
	<b>GC data</b>	eethaan	µg/l	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		eieen	µg/l	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	<b>Verontreinigingen</b>	Methaan	µg/l	42	34	36	33	36	33	94	24	98	63
		1,1,1-trichloorethaan	µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		1,1-dichloorethaan	µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		1,1-dichlooretheen	µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1,2-dichloorethaan		µg/l	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
chloorethaan		µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
dis-1,2-dichlooretheen		µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
tetrachlooretheen		µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
trans-1,2-dichlooretheen		µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
trichlooretheen		µg/l	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
vinylchloride		µg/l	27	93	89	72	68	72	68	46	6	40	
Aluminium Al (gefiltreerd)		µg/l		3	3								4
Antimoon Sb (gefiltreerd)		µg/l		0	0								0
Arseen As (gefiltreerd)		µg/l		1	1								3
Barium Ba (gefiltreerd)		µg/l		235	235								353
Boor B (gefiltreerd)	µg/l		23	23								89	
Bromide (gefiltreerd)	mg/l	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	
Cadmium Cd (gefiltreerd)	µg/l		0	0								0	

) Monster Omschrijving												
Datum												1
		7-11-2010	pbB (40)		pbB (41)		pbB (47)		pbk1 (20)		pbk1 (46)	
		13-11-2008	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010
Calcium Ca (gefiltreerd)	mg/l	123	143	133	145	137	136	118	138	122		
Chroom Cr (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Fosfor P (gefiltreerd)	mg/l		0,2	0,0	0,2		0,7		0,6	1,0		
IJzer Fe (gefiltreerd)	mg/l		5,9	6,0	6,5		8,4		8,8	9,0		
Kalium K (gefiltreerd)	mg/l	2,8	2,6	2,6	2,5	2,6	5,7	5,9	5,5	6,3		
Kobalt Co (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Koper Cu (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Lithium Li (gefiltreerd)	µg/l			6						6		
Lood Pb (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Magnesium Mg (gefiltreerd)	mg/l	11	12	12	12	12	13	13	12	13		
Mangaan Mn (gefiltreerd)	µg/l		0,4	0,0	0,6		1,4		1,4	2,0		
Molybdeen Mo (gefiltreerd)	µg/l			0						1		
Natrium Na (gefiltreerd)	mg/l	62	198	181	192	189	100	87	101	91		
Nikkel Ni (gefiltreerd)	µg/l			0						1		
Stabiele C isotopen_VC	C13‰	-21	-14	-11	-9	-15				-22		
Strontium Sr (gefiltreerd)	mg/l			1						0		
Thallium Tl (gefiltreerd)	µg/l			< 0,05						0,01		
Titaan Ti (gefiltreerd)	µg/l			1						2		
Uranium U (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Vanadium V (gefiltreerd)	µg/l			1						1		
Yttrium Y (gefiltreerd)	µg/l			0						0		
Zink Zn (gefiltreerd)	µg/l			2						2		
Zirkonium Zr (gefiltreerd)	µg/l			0,4						0,4		
Zwavel S (gefiltreerd)	mg/l			40						17		

Monster Omschrijving													
Q-PCR	Datum	) 7-11-2010		pbB (40)		pbB (41)		pbB (47)		pbk1 (20)		pbk1 (46)	
		13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010	13-11-2008	17-11-2010
	Adenyl sulfite reductase (aprA)					9,51E+03							9,29E+03
	Bacterial ammonium monooxygenase (amoA)					< 1,56E+01							1,66E+01
	Denitrificatie (NarG)					8,03E+02							2,91E+03
	Denitrificatie (NirK)					2,30E+01							< 15
	Denitrificatie (NirS)					3,63E+02							4,61E+02
	Denitrificatie (NosZ)					< 2,00E+02							< 2,00E+02
	Gallionella ferruginea					1,28E+02							7,98E+03
	Geobacter sp.					8,56E+01							7,94E+01
	Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp.					7,76E+02							3,99E+03
	Methyl coenzyme M reductase (mcrA)					< 1,56E+01							2,74E+05
	Sulfite reductase (dsrA)					5,02E+01							1,05E+02
	Sulfite reductase (dsrB)					1,21E+02							1,42E+02
	Thiosulfate oxygenase (soxB)					1,13E+03							1,86E+02
	E. coli (Glucuronidase)					< 1,00E+01							< 1,00E+01
	Enterobacteriaceae (23S rRNA)					< 2,50E+01							2,70E+01
	Total Archaea					2,74E+04							4,26E+04
	Total Bacteria					6,28E+06							1,57E+07
	trichlooretheen-reductase (trichlooretheenA)		2,00E+00		< 2,50E+01	< 2,00E+00		2,56E+02	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,50E+01	< 2,50E+01	< 2,00E+00
	vcrA		3,37E+02		< 1,20E+01	< 2,00E+00		1,20E+01	< 2,00E+00	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,20E+01	< 1,02E+01
	bvcA		1,00E+00		< 2,00E+00	< 1,00E+00		2,00E+00	< 1,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 2,00E+00	< 1,00E+00
	Dehalococcoides sp.		3,40E+00		< 5,00E+00	8,31E+01		8,30E+01	3,53E+01	9,05E+01	1,29E+02	< 5,00E+00	1,33E+01
	EaCoMT		2,00E+00			6,80E+00			3,38E+00		< 2,00E+00		< 2,00E+00
	etnC				< 2,53E+02	< 1,60E+01				< 2,50E+02			6,40E+01
	etnE				< 1,25E+02	< 1,60E+01				< 2,50E+02			<

Monster Omschrijving		pbk2 (20)	pbk2 (40)
Datum		7-11-2010	17-11-2010
<b>Veld data</b>	filterdiepte	m	
	g.w.s bovenkanipb	m	0,4
	geleidbaarheid	µS/cm	916
	pH	pH	6,9
	redox	mv	-131
	spoelvolume		15
	temperatuur	°C	11,7
	zuurstof	mg/l	0,14
	Ammonium (NH4) (ongefiltreerd)	mg/l	5,3
	bicarbonaat	mg/l	
	Chloride (Cl) (ongefiltreerd)	mg/l	176
	DOC na purgen	mg C/l	8,4
	Nitraat (NO3) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5
Nitriet (NO2) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	
Ortho-Fosfaat (PO4) (ongefiltreerd)	mg/l	0,5	
Sulfaat (SO4) (ongefiltreerd)	mg/l	48	
Sulfide	mg/l	0	
Waterstof	nM		
<b>GC data</b>	eethaan	µg/l	15
	eieen	µg/l	14
<b>Verontreinigingen</b>	Methaan	µg/l	69
	1,1,1-trichloorethaan	µg/l	5
	1,1'-dichloorethaan	µg/l	5
	1,1'-dichlooretheen	µg/l	5
	1,2-dichloorethaan	µg/l	10
	chloorethaan	µg/l	5
	dis-1,2-dichlooretheen	µg/l	5
	tetrachlooretheen	µg/l	5
	trans-1,2-dichlooretheen	µg/l	5
	trichlooretheen	µg/l	5
	vinylchloride	µg/l	28
	Aluminium Al (gefiltreerd)	µg/l	
	Antimoon Sb (gefiltreerd)	µg/l	
	Arsen As (gefiltreerd)	µg/l	
	Barium Ba (gefiltreerd)	µg/l	
Boor B (gefiltreerd)	µg/l		
Bromide (gefiltreerd)	mg/l	0,6	
Cadmium Cd (gefiltreerd)	µg/l		



Monster Omschrijving		pbk2 (20)		pbk2 (40)	
Datum		7-11-2010		17-11-2010	
Calcium Ca (gefiltreerd)	mg/l	135		139	
Chroom Cr (gefiltreerd)	µg/l				
Fosfor P (gefiltreerd)	mg/l				
IJzer Fe (gefiltreerd)	mg/l				
Kalium K (gefiltreerd)	mg/l	4,8		6,5	
Kobalt Co (gefiltreerd)	µg/l				
Koper Cu (gefiltreerd)	µg/l				
Lithium Li (gefiltreerd)	µg/l				
Lood Pb (gefiltreerd)	µg/l				
Magnesium Mg (gefiltreerd)	mg/l	15		13	
Mangaan Mn (gefiltreerd)	µg/l				
Molybdeen Mo (gefiltreerd)	µg/l				
Natrium Na (gefiltreerd)	mg/l	98		110	
Nikkel Ni (gefiltreerd)	µg/l				
Stabiele C isotopen_VC	C13‰	-20			
Strontium Sr (gefiltreerd)	mg/l				
Thallium Tl (gefiltreerd)	µg/l				
Titaan Ti (gefiltreerd)	µg/l				
Uranium U (gefiltreerd)	µg/l				
Vanadium V (gefiltreerd)	µg/l				
Yttrium Y (gefiltreerd)	µg/l				
Zink Zn (gefiltreerd)	µg/l				
Zirkonium Zr (gefiltreerd)	µg/l				
Zwavel S (gefiltreerd)	mg/l				

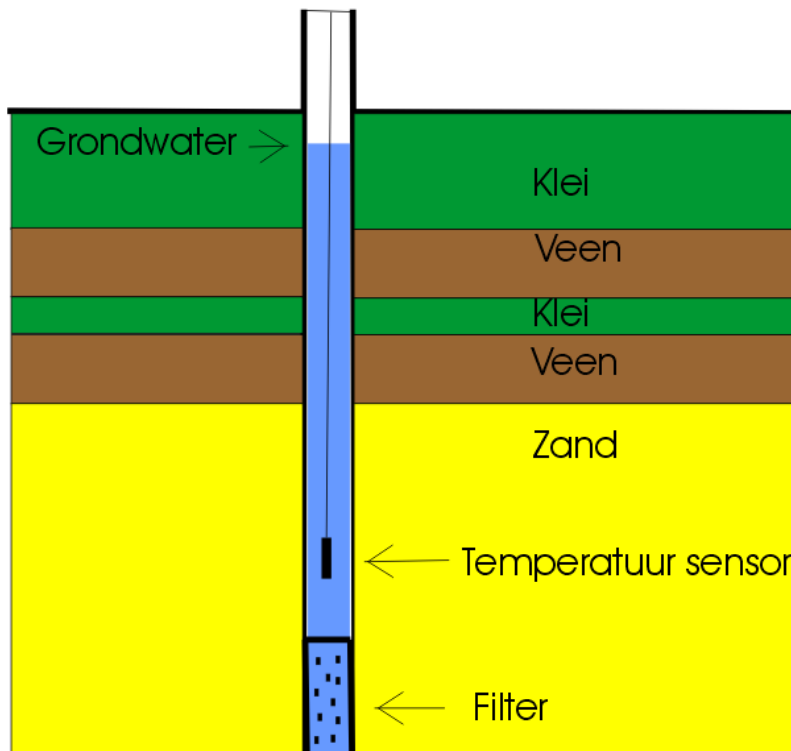
Monster Omschrijving		pbk2 (20)	pbk2 (40)	
Datum		7-11-2010	17-11-2010	
Q-PCR	Adenylyl sulfite reductase (aprA)	gen copies/ml		
	Bacterial ammonium monooxygenase (amoA)	gen copies/ml		
	Denitrificate (NarG)	gen copies/ml		
	Denitrificate (NirK)	gen copies/ml		
	Denitrificate (NirS)	gen copies/ml		
	Denitrificate (NosZ)	gen copies/ml		
	Gallionella ferruginea	cellen/ml		
	Geobacter sp.	cellen/ml		
	Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp.	cellen/ml		
	Methyl coenzyme M reductase (mcrA)	gen copies/ml		
	Sulfite reductase (dsrA)	gen copies/ml		
	Sulfite reductase (dsrB)	gen copies/ml		
	Thiosulfate oxygenase (soxB)	gen copies/ml		
	E. coli (Glucuronidase)	cellen/ml		
	Enterobacteriaceae (23S rRNA)	cellen/ml		
	Total Archaea	cellen/ml		
	Total Bacteria	cellen/ml		
	trichlooretheen-reductase (trichlooretheenA)	gen copies/ml	2,00E+00	< 2,00E+00
	vcrA	gen copies/ml	2,00E+00	1,51E+01
	bvcA	gen copies/ml	1,00E+00	1,81E+00
	Dehalococcoides sp.	gen copies/ml	3,40E+01	1,51E+01
	EaCoMT	gen copies/ml	2,00E+00	< 2,00E+00
	etnC	gen copies/ml		
etnE	gen copies/ml			

## **Bijlage III**

# **Fysische metingen Centrum-Utrecht**

### Uitvoering

De metingen zijn verricht met een 'diver'. Dit is een sensor die veel wordt gebruikt om in water variabelen als druk en temperatuur te meten. De essentie van temperatuurmetingen op een vast punt is om een beeld in de tijd te krijgen van de temperatuurvariaties in de ondergrond op een vast punt (zie figuur B3.1). Het is dus niet mogelijk om met deze metingen een doorlopend profiel in de diepte te verkrijgen. Het type diver dat is gebruikt voor deze metingen is van Schlumberger (Cera-diver). De nauwkeurigheid van deze sensor is 0,1 °C. Per uur wordt er een meting gedaan.



figuur B3.1 Een diver in een peilbuis (de bodemopbouw is schetsmatig weergegeven)

### Grondwaterstandmetingen

De grondwaterstand wordt gemeten door middel van druksensoren in de diver. Variaties in druk in de waterkolom worden veroorzaakt door variaties in grondwaterstand, met name doordat er water wordt geïnfiltreerd in of onttrokken uit het pakket. Luchtdrukvariaties kunnen ook zorgen voor variaties in de waterdruk maar deze worden gecorrigeerd door het meten van de luchtdruk op het maaiveld met een zogeheten 'baro-diver'.

Om inzicht te krijgen in het verschil in temperatuur tussen de koude en de warme bronnen zijn er zowel bij een koude als bij een warme bron (resp. K1 en W2) twee divers geplaatst. Om te bepalen wat het invloedsgebied is van de warme en koude bellen zijn divers op verschillende afstanden in peilbuizen opgehangen volgens tabel B3.1 en B3.2 en figuur 3.8.

**tabel B3.1**      **Overzicht van de divers**

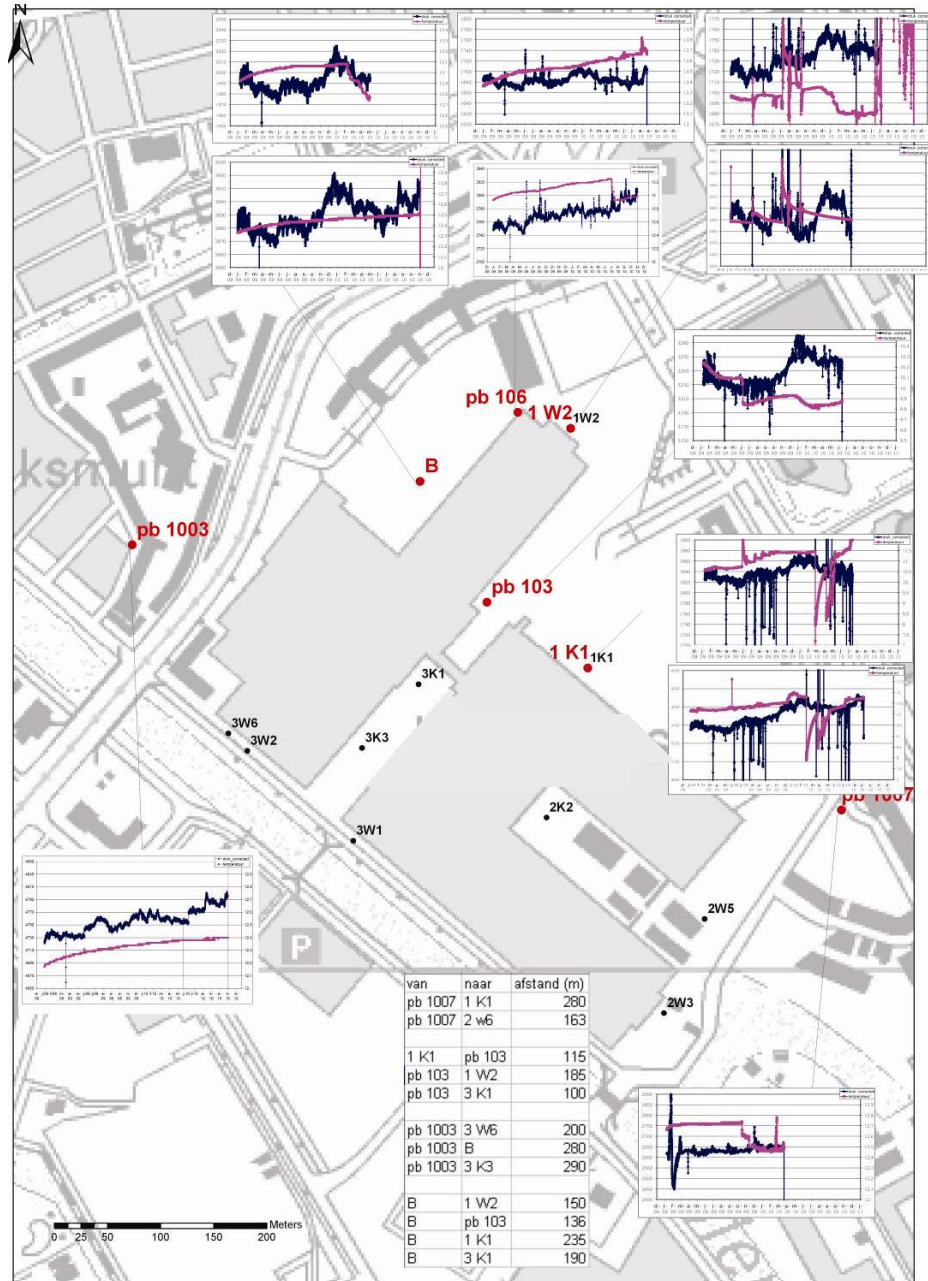
Peilbuis	diepte (m)	Opvoerhoogte (m)	Diepte diver (m)
K1	18-21	0,67	17,6
K1	45	0,69	41,8
103	35	1,8	32,8
103	20	1,8	16,2
W2	20	0,67	17,2
W2	43	0,72	43,9
106	19,6	1,83	16,4
B	23	1,79	19,7
B	47	1,77	38,8
106	30,3	1,91	27,8
1003	39	1,92	47,4
1007	30	2,08	26

**tabel B3.2**      **Afstanden tussen de peilbuizen**

van	naar	afstand (m)
pb 1007	1 K1	280
pb 1007	2 w6	163
1 K1	pb 103	115
pb 103	1 W2	185
pb 103	3 K1	100
pb 1003	3 W6	200
pb 1003	B	280
pb 1003	3 K3	290
B	1 W2	150
B	pb 103	136
B	1 K1	235
B	3 K1	190

### Overzicht stijghoogte en temperatuur

In deze paragraaf worden de resultaten van de stijghoogte en de temperatuur gepresenteerd. Allereerst wordt een totaal overzicht gegeven van de metingen in figuur B3.2. Voor details wordt verwezen naar bijlage A. Vervolgens worden de stijghoogtes en temperaturen apart besproken. Er zijn geen divers geplaatst die tevens de geleidbaarheid registreren, aangezien hier geen sprake is van zoet-/brak-/zout overgangen in de buurt van de bronfilters.



figuur B3.2 Totaal overzicht van de metingen

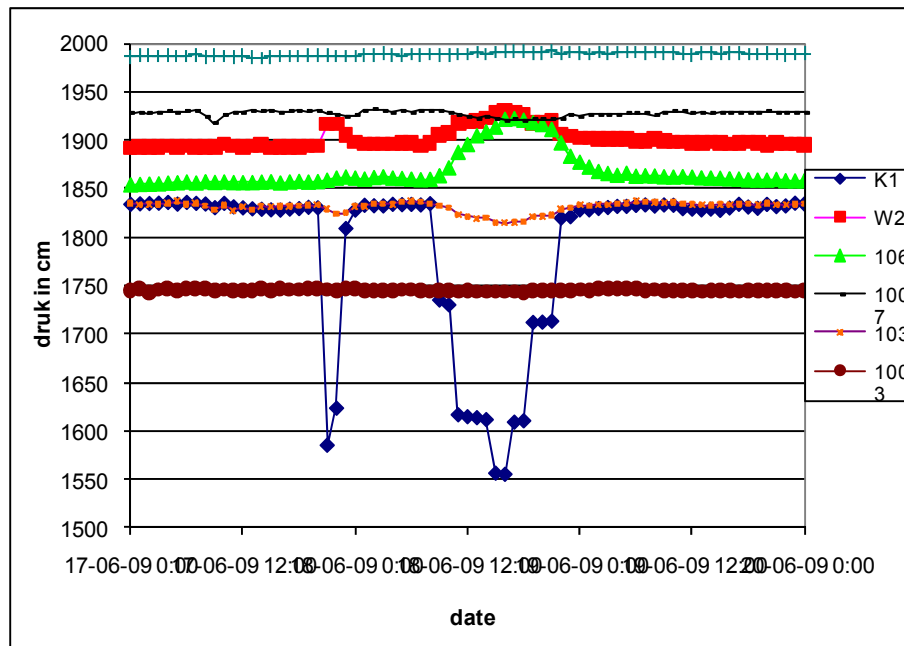
### Resultaten stijghoogtemetingen

Er zijn in de grondwaterstanden bij de koude en warme bronnen meerdere perioden van lichte stijging te zien en meerdere perioden van lichte daling (zie tabel B3.3). Deze stijgingen en dalingen vinden hun oorzaak voor een groot deel door de infiltraties en onttrekkingen van water uit de ondergrond via de warme en koude bronnen. In deze paragraaf wordt het effect van de drukgolf geanalyseerd. De drukgolf wordt omschreven als het drukverschijnsel dat zichtbaar is door het injecteren dan wel onttrekken van water in de ondergrond. Deze drukgolf verplaatst zich vervolgens in de ondergrond. De verplaatsing en snelheid van deze drukgolf zijn afhankelijk van verschillende factoren. Deze factoren zijn (a) de hoeveelheid water die wordt geïnjecteerd, (b) de snelheid waarmee dit gebeurt en (c) de opbouw van de ondergrond. Er zijn onvoldoende gedetailleerde gegevens beschikbaar over de hoeveelheid water die over de meetperiode wordt geïnjecteerd en onttrokken.

**tabel B3.3** Overzicht stijghoogtepatronen met interpretatie

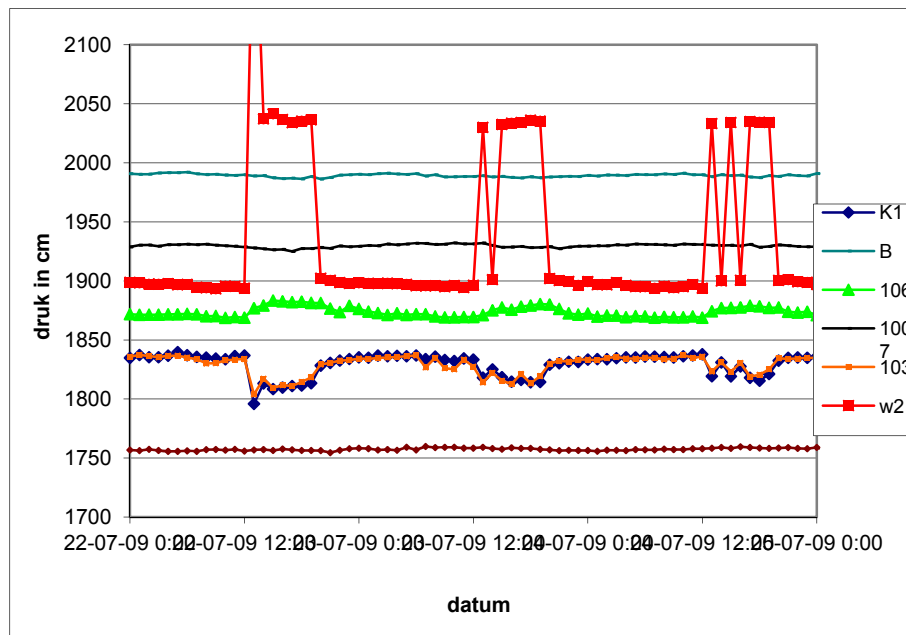
Peilbuis nummer	diepte diver (m - mv)	max stijging (cm)	max daling (cm)	Interpretatie
B	19	+ - 10	+ - 10	op dit punt is een cyclus zichtbaar met hogere stijghoogte in de wintermaanden
106	16,8	+ - 10	+ - 10	geen eenduidig patroon zichtbaar. Wellicht te veel beïnvloeding van warme en koude bron.
K1	20	+ - 20	+ - 20	op dit punt zijn verschillende injecties zichtbaar
103	17	+ - 10	+ - 10	op dit punt is een cyclus zichtbaar met hogere stijghoogte in de wintermaanden
103	32,3	+ - 20	+ - 20	op dit punt is een cyclus zichtbaar met hogere stijghoogte in de wintermaanden
1007	26,4	+ - 10	+ - 10	geen eenduidige patroon zichtbaar
106	27,8	+ - 10	+ - 10	geen eenduidig patroon zichtbaar. Wellicht te veel beïnvloeding van warme en koude bron.
B	38	+ - 10	+ - 10	op dit punt is een cyclus zichtbaar met hogere stijghoogte in de wintermaanden
W2	44	+ - 20	+ - 20	bij de warme bron is een zaagtandpatroon zichtbaar dat hoogstwaarschijnlijk samenhangt met het aan en uit slaan van de bronnen.
K1	41,5	+ - 20	+ - 20	op dit punt zijn verschillende injecties zichtbaar
1003	47,5	+ - 20	+ - 15	geen eenduidige patroon zichtbaar. Wellicht te veel beïnvloeding van warme en koude bron.

Om te bepalen of er een directe relatie is tussen het onttrekken dan wel infiltreren in de filters door de bronnen en de drukveranderingen in de peilbuizen zijn twee perioden geselecteerd. Eén periode (17-06-2009 / 20-06-2009) laat een duidelijke onttrekking zien en de andere periode (22-07-2009 / 26-07-2009) laat een duidelijke infiltratie zien (de respectievelijke figuren B3.3 en B3.4). Tijdens een onttrekking vanuit bijvoorbeeld de koude bron wordt het water vervolgens weer geïnfiltreerd in de warme bron. Het valt op dat in peilbuis 106, peilbuis 103 en in veel minder mate peilbuis 1003 er een reactie in druk is te zien.



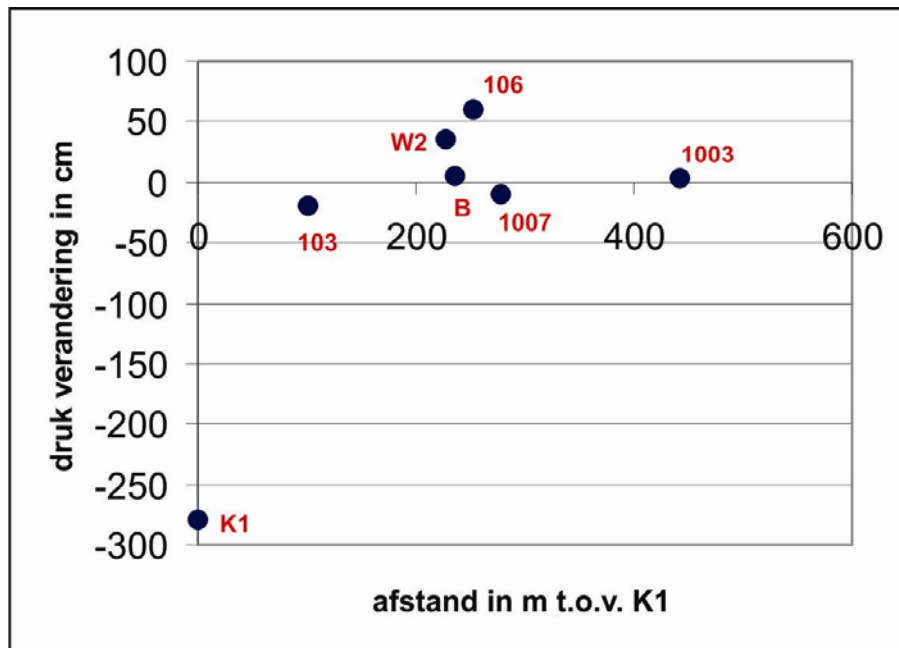
**figuur B3.3** In dit figuur is een duidelijke onttrekking te zien in de koude bron. Het water wordt vervolgens weer in de warme bron geïnfiltreerd





**figuur B3.4** In dit figuur is een duidelijke infiltratie te zien in de warme bron. Het water wordt vervolgens weer in de koude bron geïnfiltreerd

Om inzicht te krijgen in drukveranderingen rond een bron is een plot gemaakt waarin de maximale verandering in druk is uitgezet tegen de afstand van de koude bron (figuur B 3.5). Er moet hierbij echter wel rekening worden gehouden dat bij sommige peilbuizen de afstand tot de warme bron kleiner kan zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij peilbuis 106 en peilbuis B. Daarom is de stijging in druk in deze peilbuizen te verklaren. De druk wordt hier beïnvloedt door de infiltratie van het water in de warme bron. Op een afstand van 280 m (peilbuis 1003) is nog een lichte daling in druk zichtbaar veroorzaakt door de onttrekking in K1.



figuur B3.5 De maximale druk uitwijking voor de verschillende peilbuizen met daarbij de afstand t.o.v. van de koude bron 1

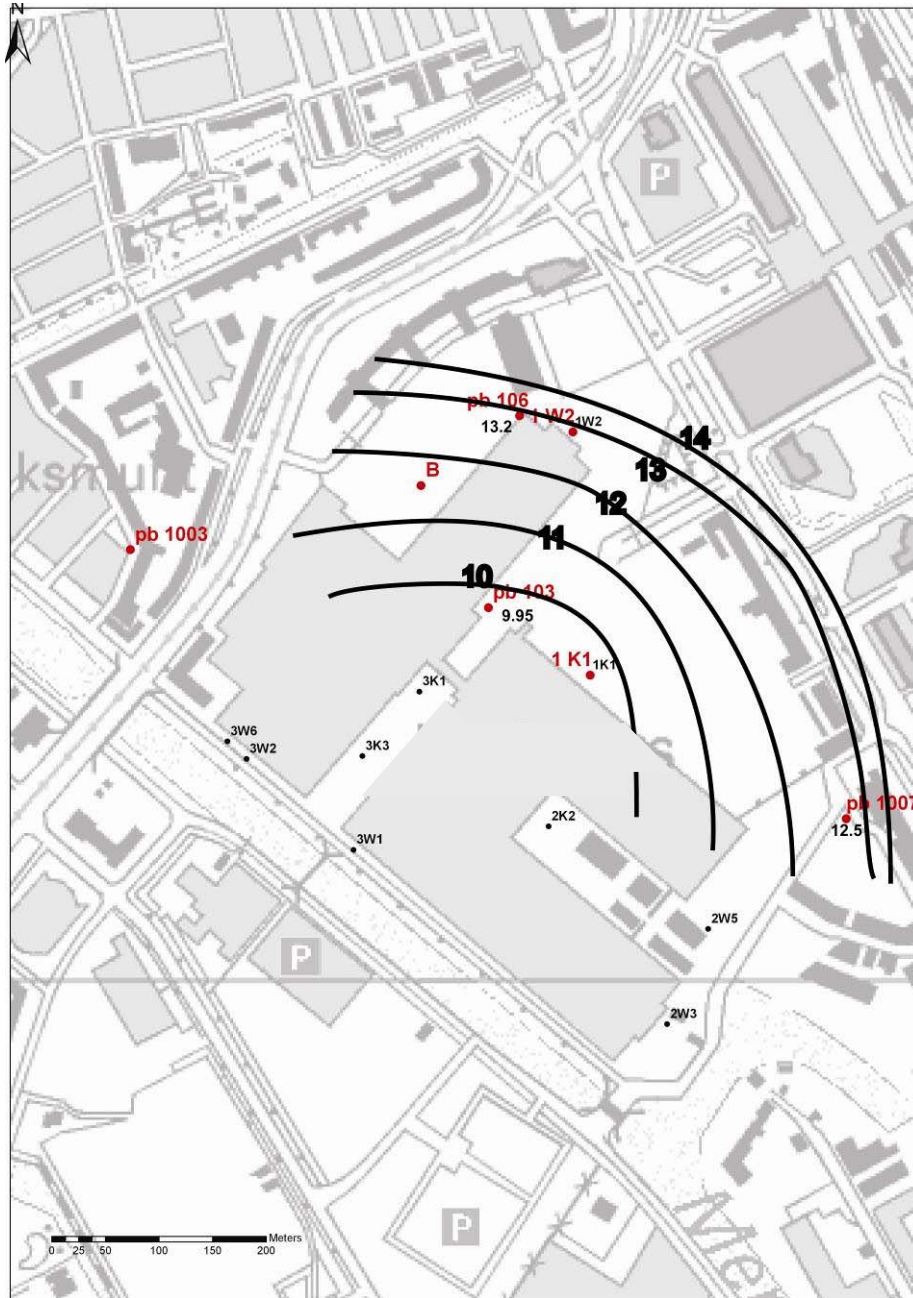
### Resultaten temperatuurmetingen

Tussen de warme en koude bron is een duidelijk temperatuurverschil zichtbaar van +/- 3 graden Celsius (zie tabel B3.4 en figuur B3.2; zie ook appendix A).

Met de gegevens van de divers is het mogelijk om een isothermenkaarten te maken (zie figuur B3.6 en B3.7). Er moet rekening gehouden worden met de diepte van de divers en het moment in het jaar. De isothermenkaarten zijn opgebouwd uit hoogstens 6 temperatuurwaarden waardoor de interpretatie van de isothermenlijnen niet als 'harde' lijnen beschouwd kunnen worden. In totaal zijn 6 van deze isothermenkaarten bijgesloten in bijlage B.

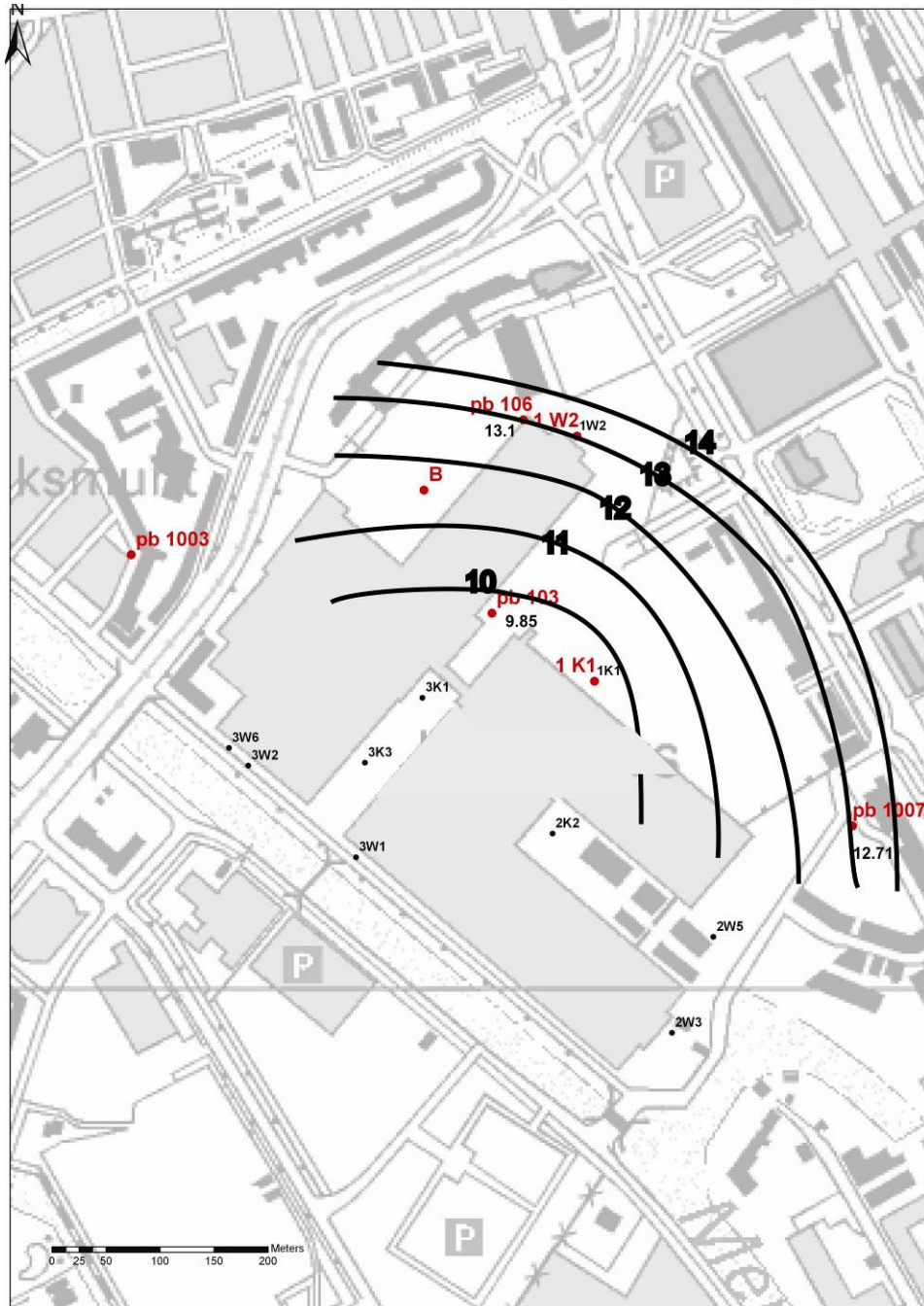
tabel B3.4 Overzicht van de temperaturen

Peilbuis nummer	diepte diver (m - mv)	temp juli 09	temp dec 09	temp juli 10	temp dec 10
B	19	13,05	13,05	X	x
106	16,8	13,5	13,55	13,6	x
K1	20	11	11,4	11,4	x
103	17	9,6	10,05	10,05	10,4
103	32,3	9,85	9,95	9,88	x
1007	26,4	12,71	12,5	x	x
106	27,8	13,1	13,1	13,25	13
B	38	12,45	12,45	12,5	12,5
W2	44	13,6	14	13,8	x
K1	41,5	10,4	10,5	10,3	x
1003	47,5	12,3	12,35	x	x



figuur B3.6

Isothermenkaart van divers op een diepte van 20-30 meter – mv. De kleinste zwart gedrukte waarden bij de peilbuizen zijn de temperaturen in december 2009



**figuur B3.7** Isothermenkaart van divers op een diepte van 20-30 meter – mv. De kleine zwart gedrukte waarden bij de peilbuizen zijn de temperaturen in juli 2010

### **Conclusies fysische gegevens**

Onderstaand volgt een interpretatie van alle gemeten waarden tot een synthese van waterdruk en temperatuurwaarden.

#### Waterdruk

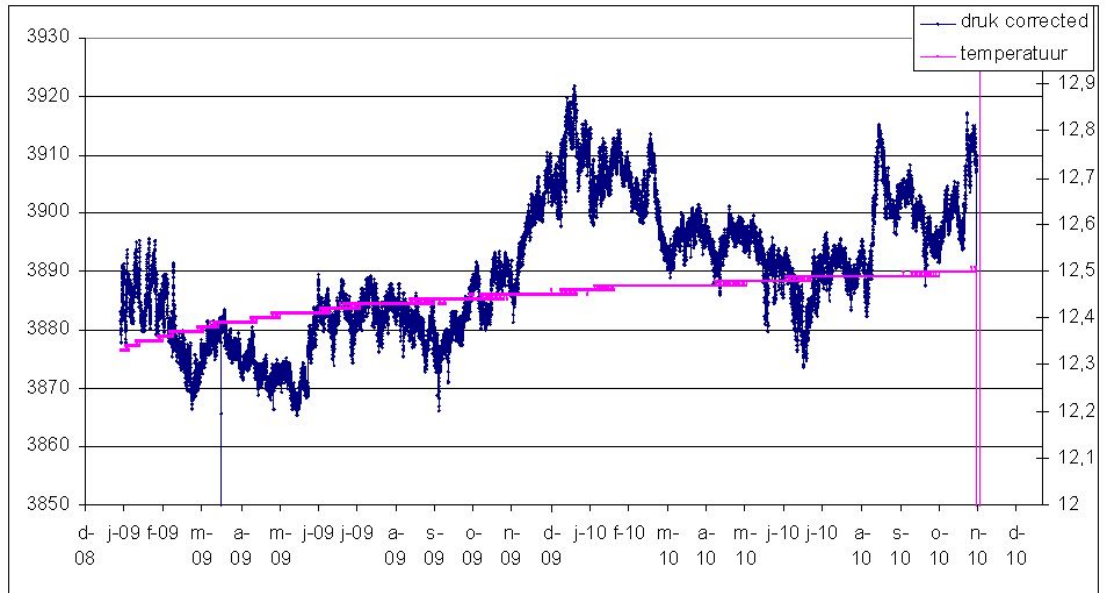
Er zijn meerdere perioden zichtbaar van stijging en meerdere perioden van daling. Deze perioden zijn enerzijds direct te koppelen aan onttrekkingen en infiltraties, anderzijds zijn de grote perioden terug te koppelen aan de seizoensafhankelijke variaties. Wanneer deze stijgingen / dalingen worden veroorzaakt door het onttrekken dan wel infiltreren dan is de drukgolf zichtbaar tot een afstand van 200 meter.

#### Temperatuur

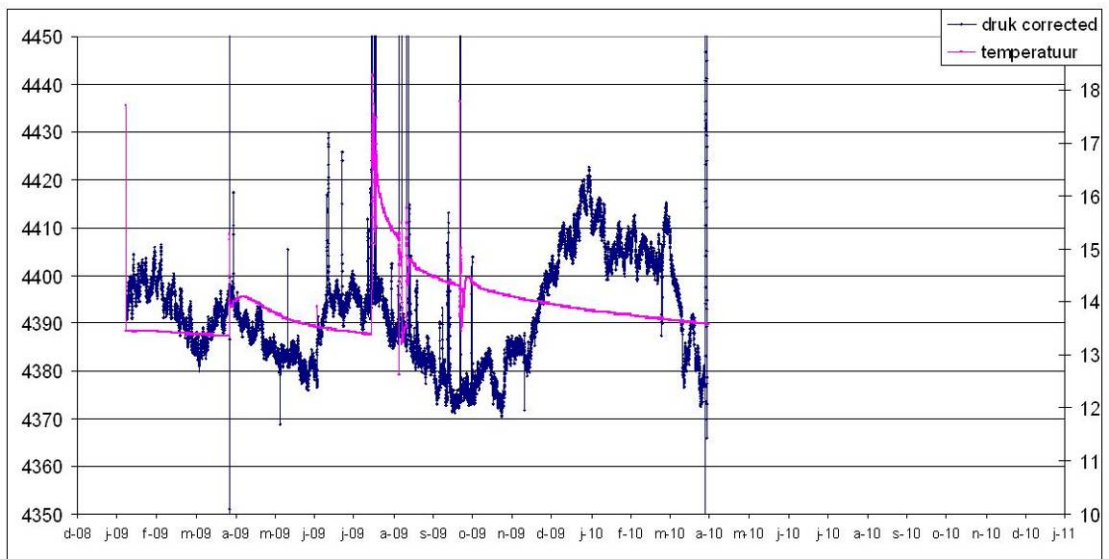
Het temperatuurverschil tussen de warme en koude bron is ca. 3 graden. Het verloop van de temperatuur, van de koude zone in het midden naar de warme zone (die om de koude zone heen ligt), kan mede aangetoond worden met behulp van de meetreeks bij peilbuis 103. Op een afstand van 185 m van de warme bron en 100 meter van de koude bron is de temperatuur vergelijkbaar met die van de koude bron.

Door een lagere grondwatertemperatuur en de aanwezigheid van de koude bel zal er een verloop in grondwatertemperatuur zijn van de warme bel naar buiten toe. Het verloop van de warme bel naar buiten toe kan geanalyseerd worden door de meetreeks van peilbuis 106, B, en 1003. Op een afstand van 40 m (peilbuis 106) is er een lichte temperaturredaling van 0,8 graden. Op een afstand van 185 m een daling 1,1 graden. Op een afstand van 290 naar de warme bron (w3) is er een daling van 2,2 graden.

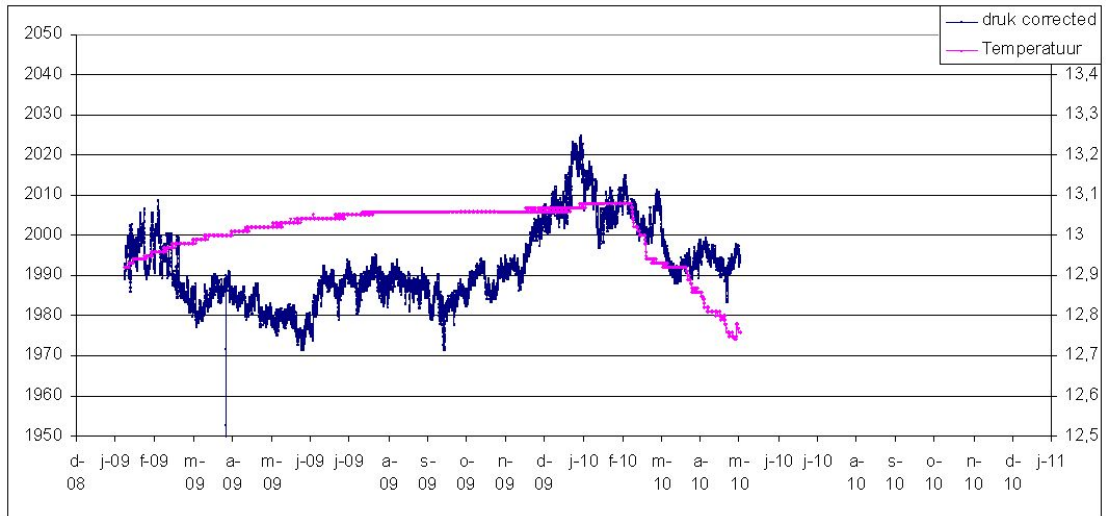
**Appendix A** Overzicht van de divermetingen per locatie  
(cm waterstand boven diver)



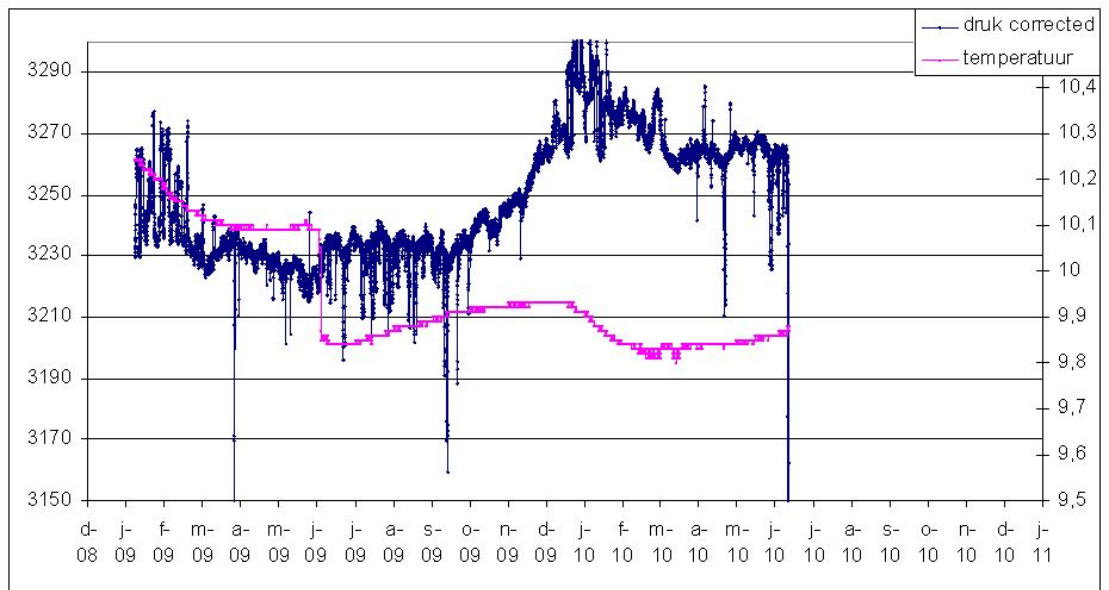
**figuur 4039** Peilbuis B



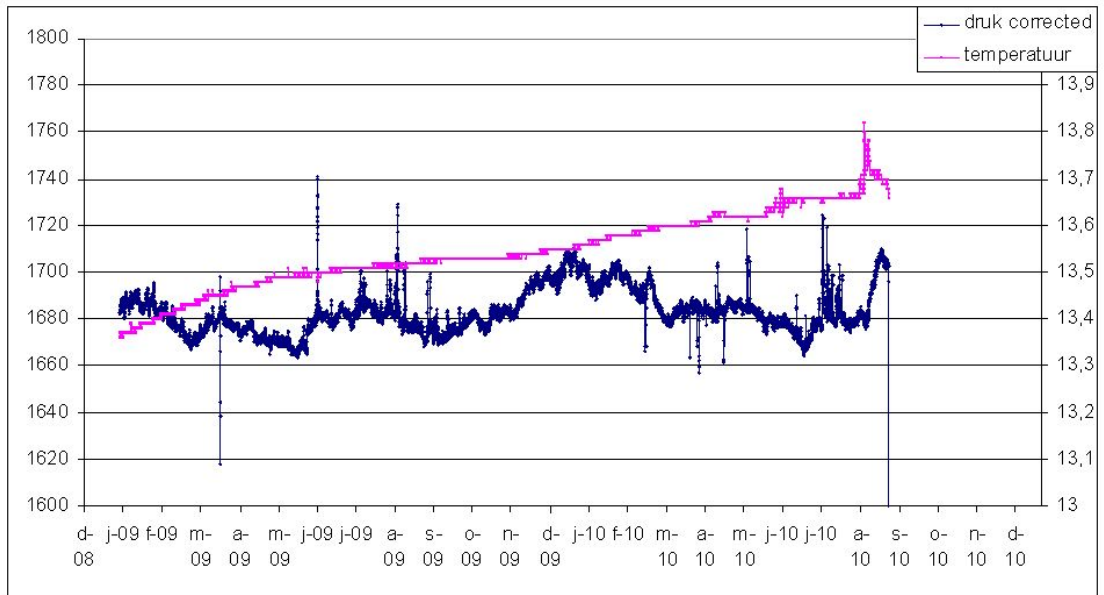
**figuur 4050** W2 44 m



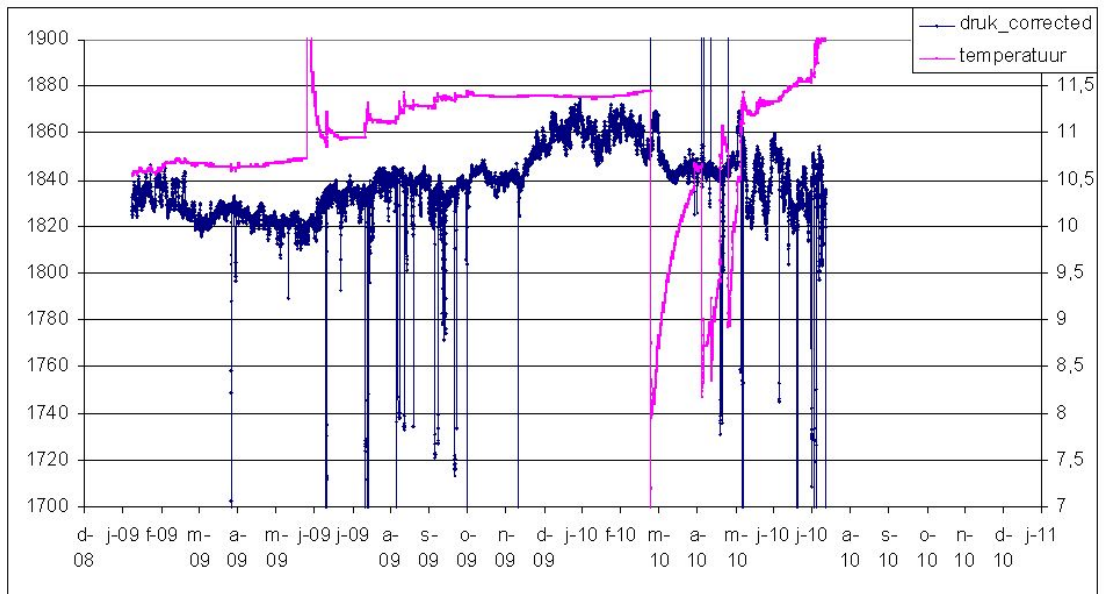
**figuur 4051 B 19 meter**



**figuur c7285 Pb 103 32,3**

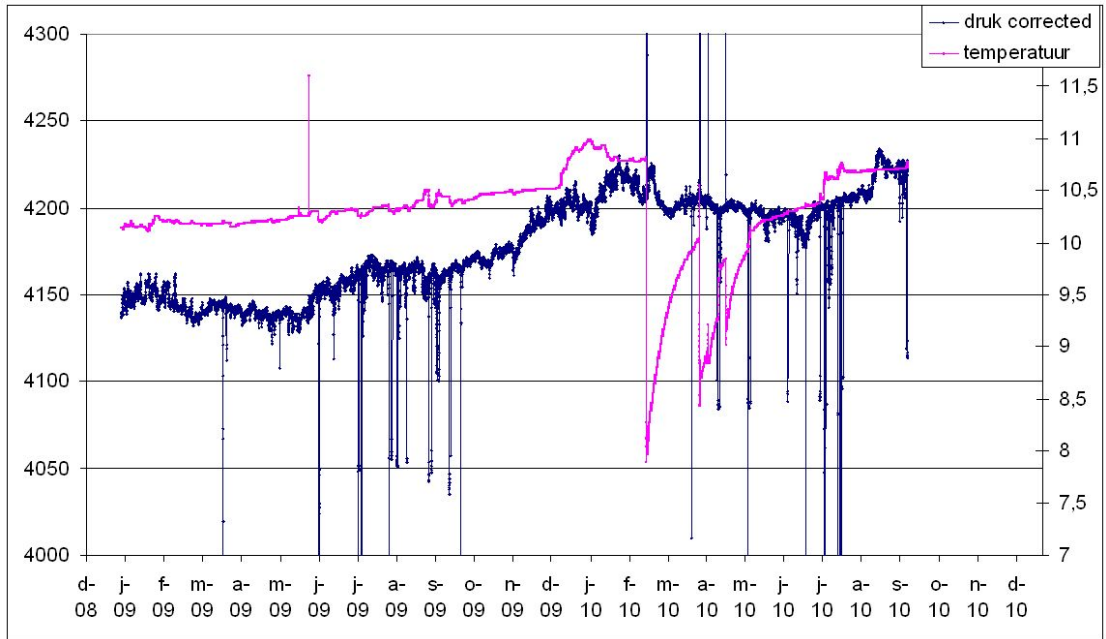


**figuur c7286 Pb 106**

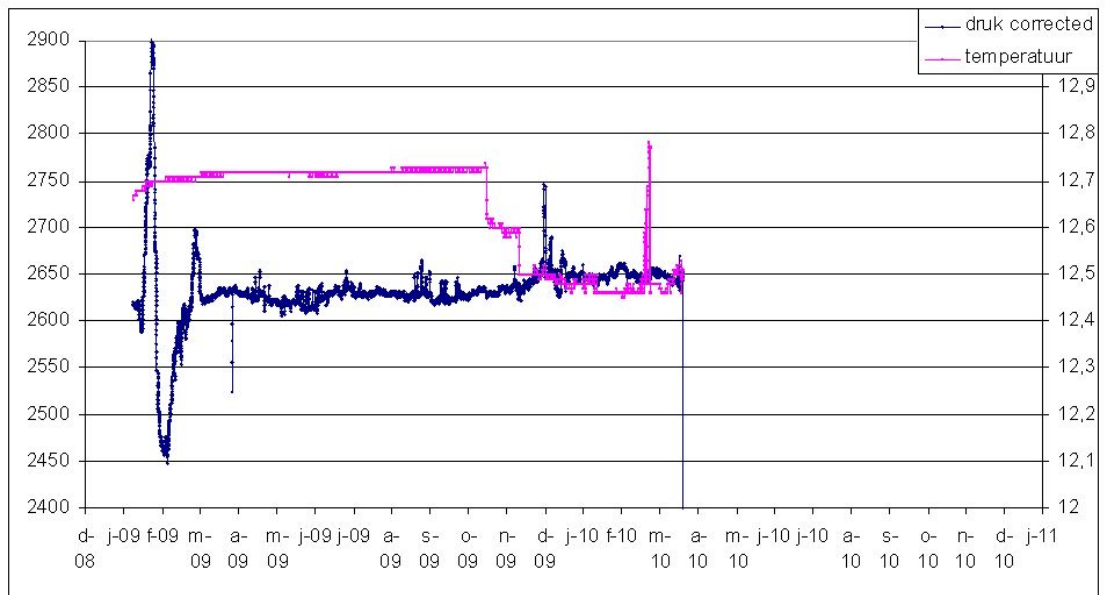


**figuur c7287 K1 20 m**

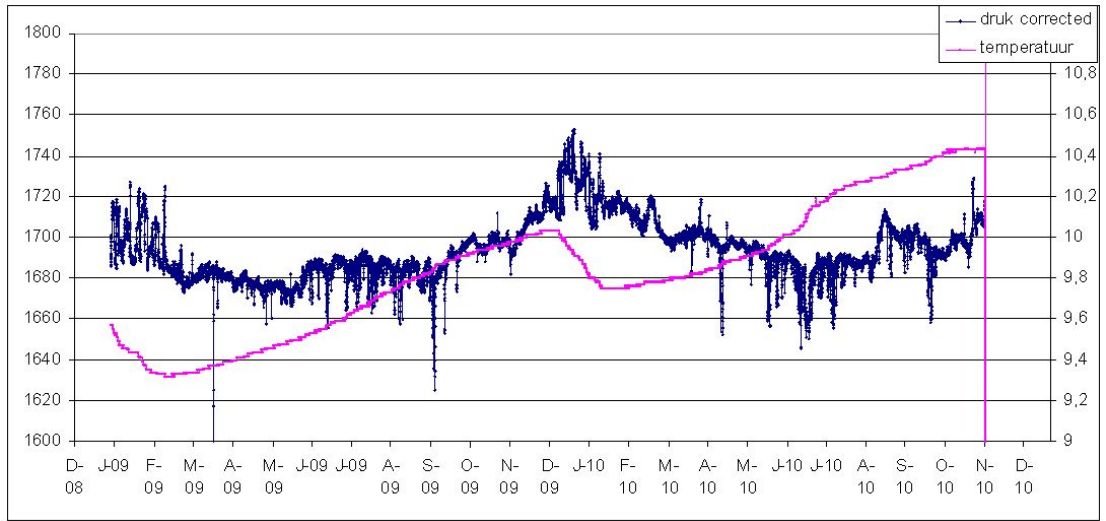




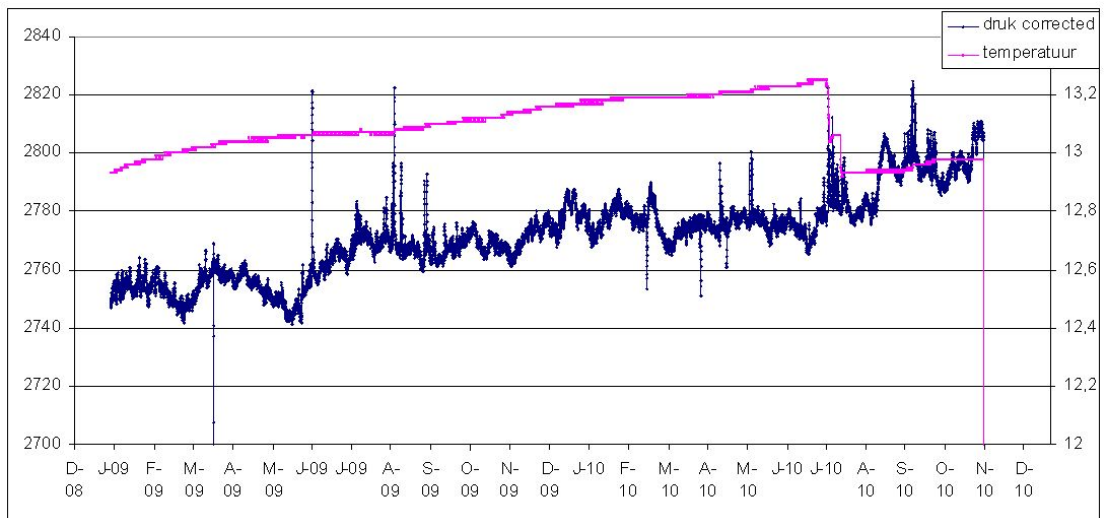
**figuur c7289 K1 45 m**



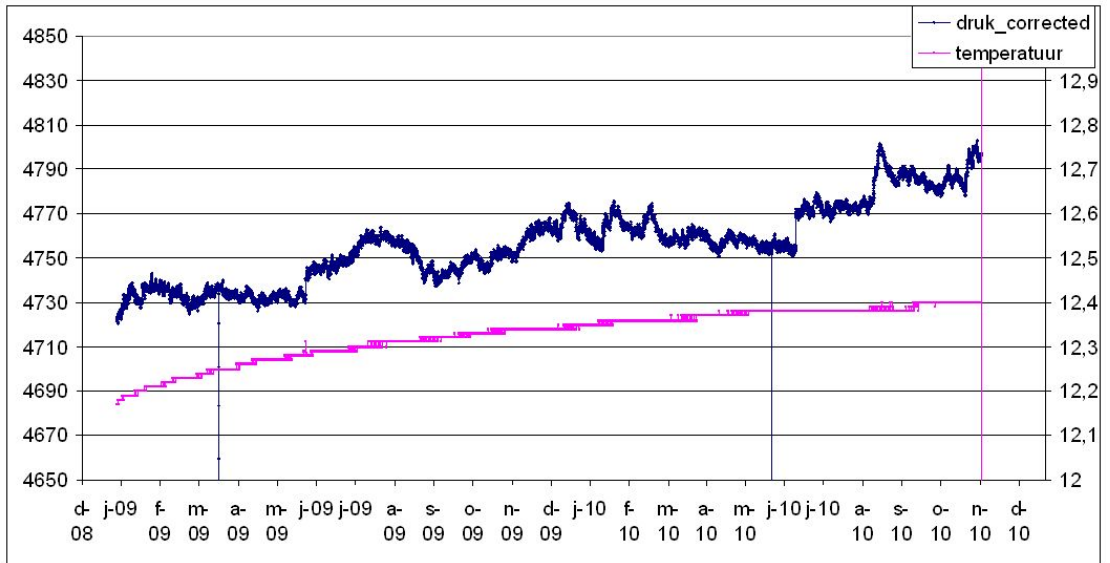
**figuur c7290 Pb 1007**



**figuur c7291 Peilbuis 103 17 m**

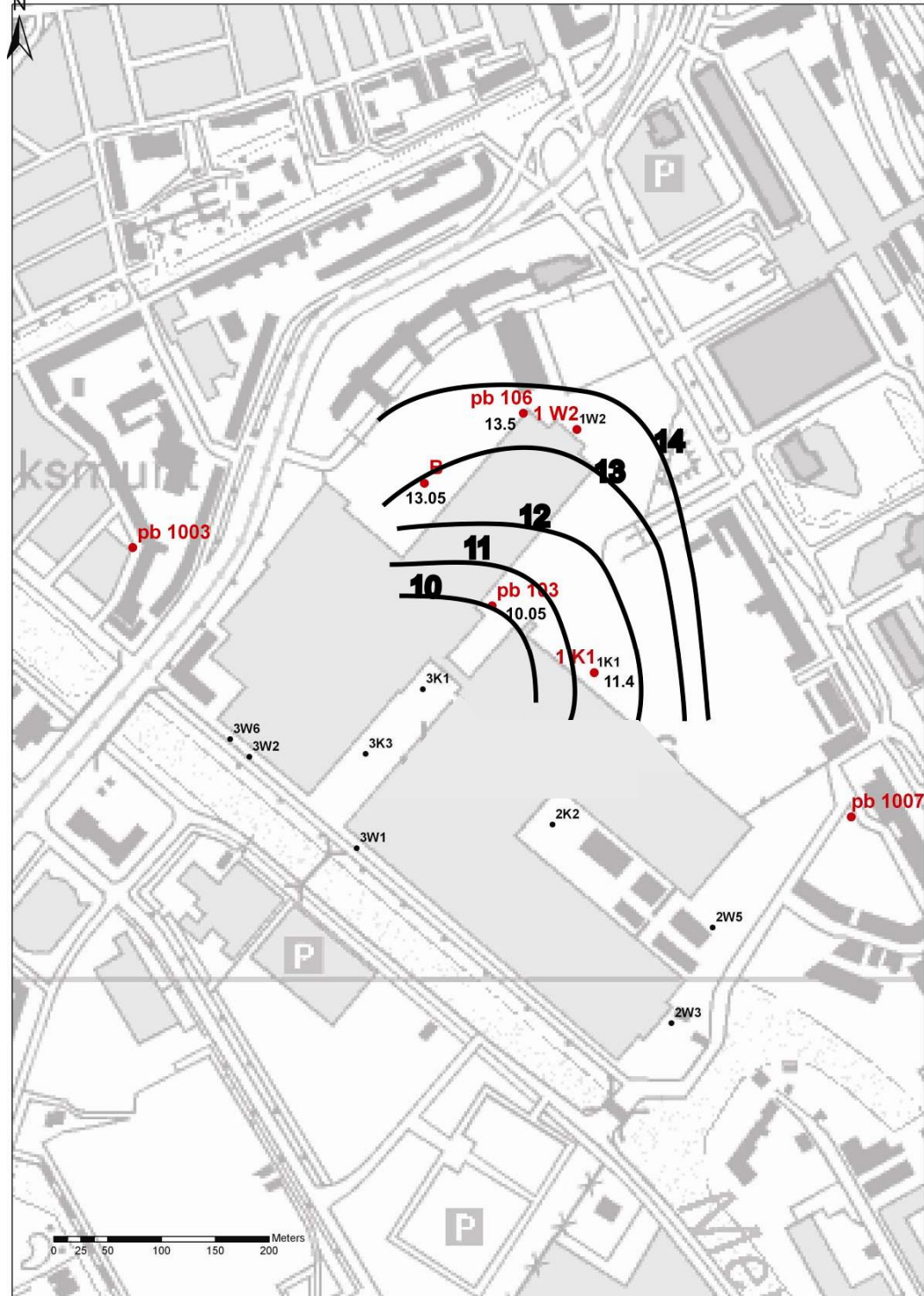


**figuur C7292 Peilbuis 106 30 m**

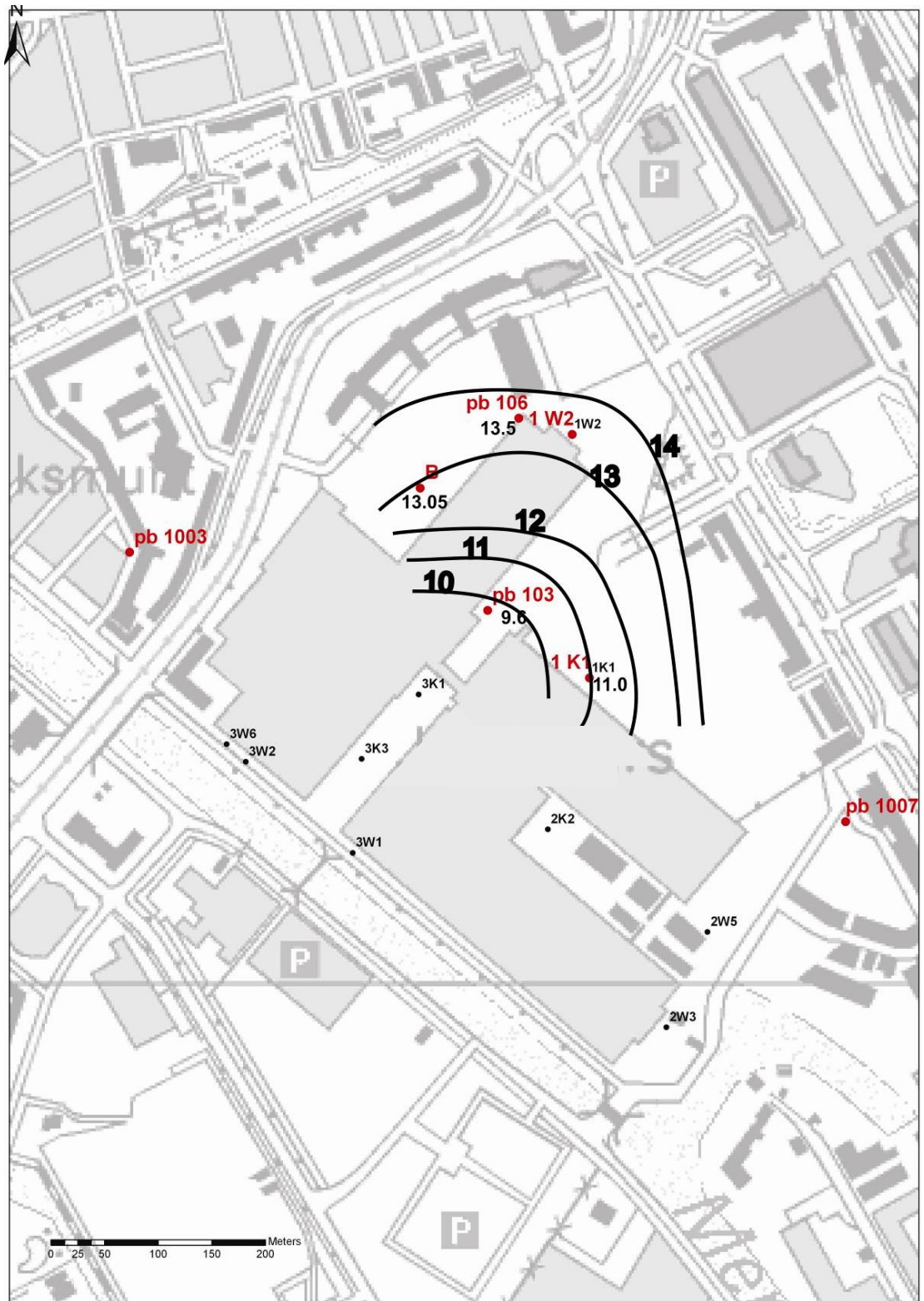


figuur C7293 Peilbuis 1003

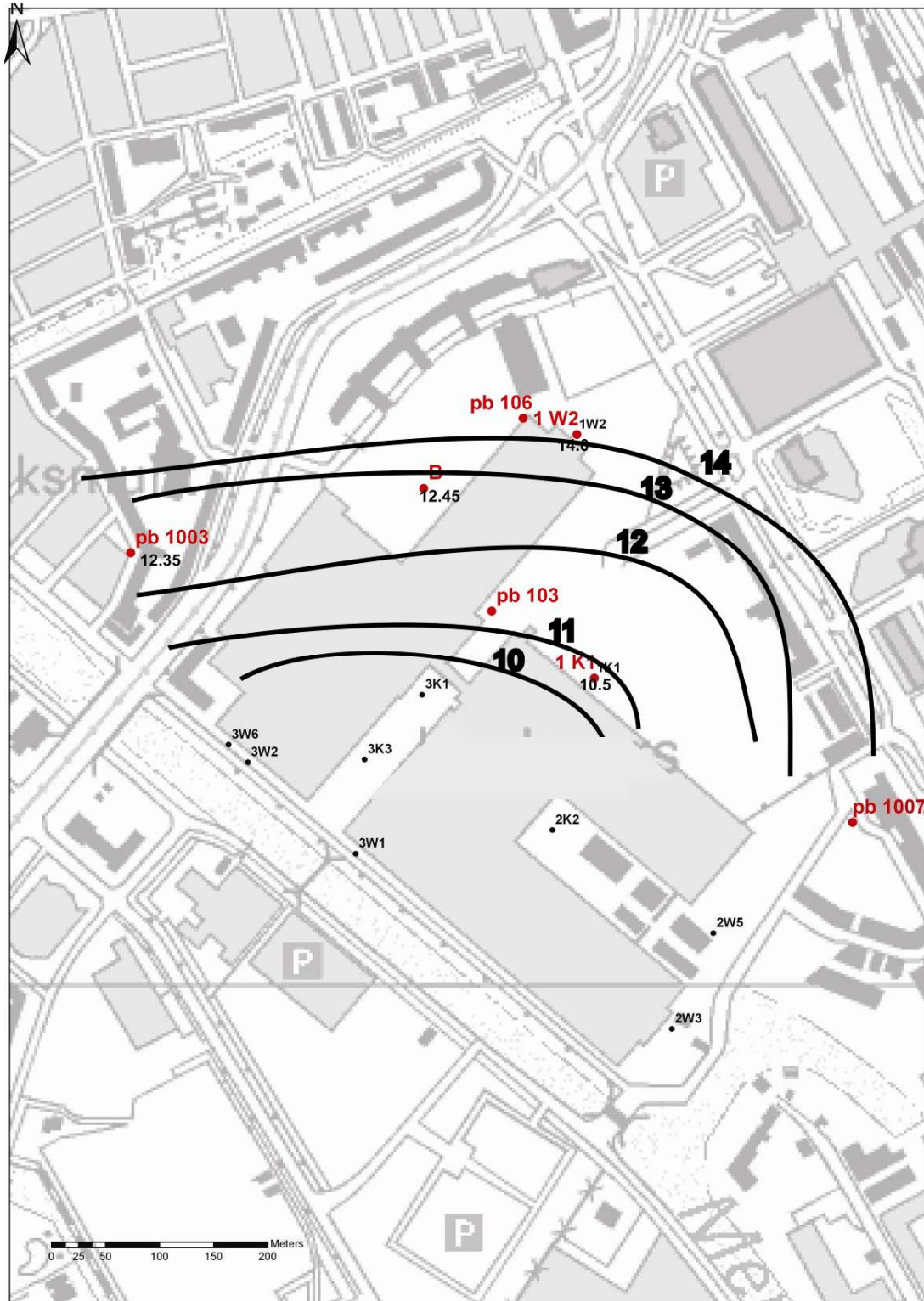
Appendix B Isothermenkaarten



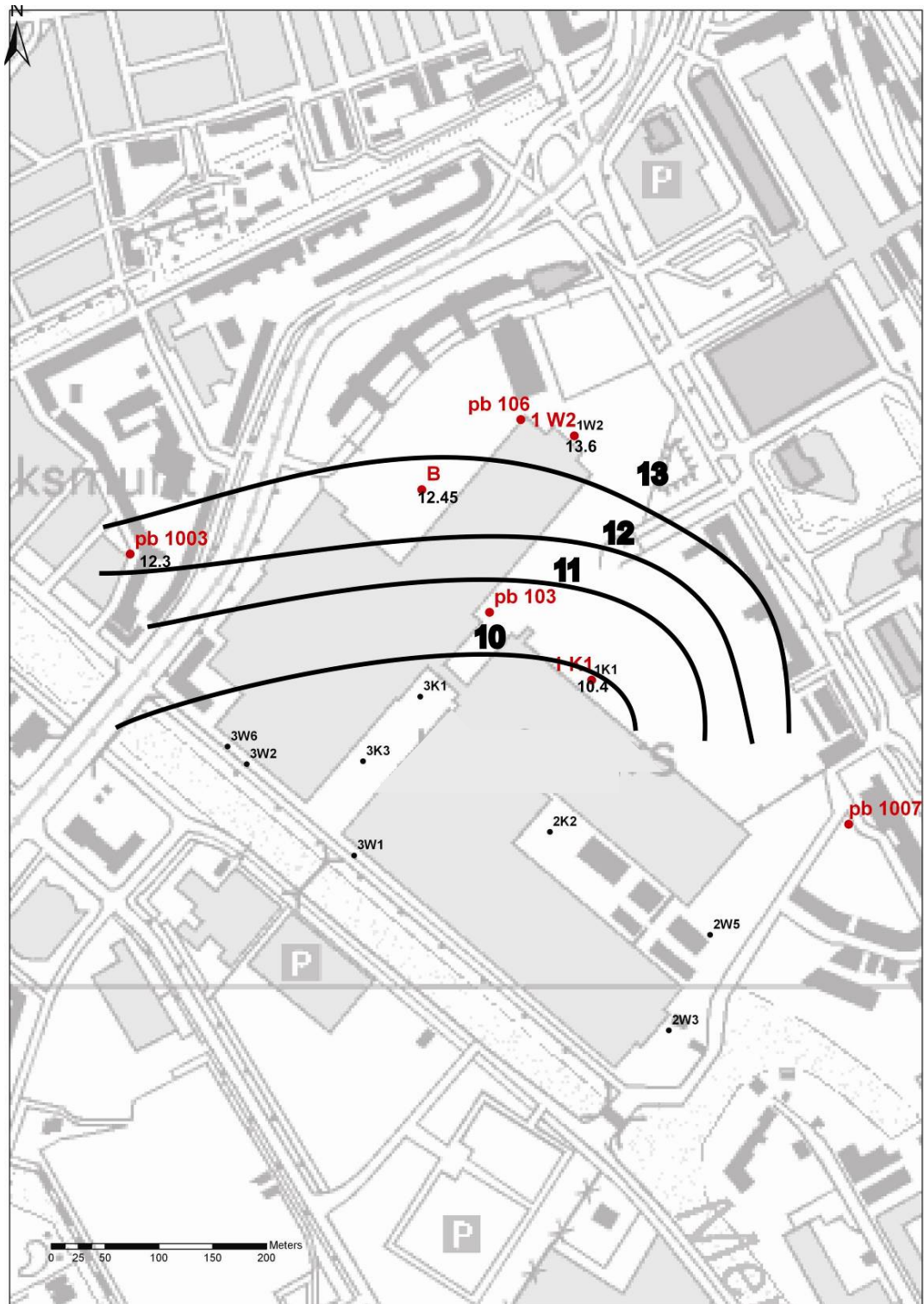
Isothermen kaart ondiep (15-20 m -mv) in december 2009



Isothermen kaart ondiep (15-20 m -mv) in juli 2009



Isothermen kaart diep (30-50 m -mv) in december 2009



Isothermen kaart diep (30-50 m -mv) in juli 2009

## **Bijlage IV**

### **Meetnet locatie Strijp-S**



Locatie Strijp-S

Peilbuis (filterstelling) datum bemonstering	29SH (29-30 m-mv)			29SH (39-40 m-mv)			29SH (49-50 m-mv)			30SBP (28-30 m-m		
	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011
filterdiepte (m)	29-30	29-30	29-30	38-40	38-40	38-40	48-50	48-50	48-50	28-30	28-30	28-30
g.w.s bovenkantpb (m)	2,5	2,2	2,6	2,6	2,2	2,6	2,6	2,2	2,6	3,0	3,0	2,7
geleidbaarheid (µS/cm)	733	553	1250	659	498	1280	523	443	1020	810	810	659
pH (pH)	6,8	6,9	7,9	7,1	7,1	10,1	7,2	7,2	8,0	7,3	7,3	7,1
redox (mv)	-152	-102	-49	-125	-151	-220	-152	-147	-163	-121	-121	-132
spoelvolume (l)	80	20	25+20	80	20	25+20	25	25	25+20	25	25	25
temperatuur (°C)	13,9	12,4	13,8	14,3	12,4	13,6	14,1	12,4	13,6	14,2	14,2	13,2
zuurstof (mg/L)	0,15	0,34	0,04	0,18	0,18	0,2	0,12	0,18	0,1	0,4	0,4	0,2
Ammonium (NH4)(mg/l)	2,3		1,6	1,5		2,0	< 0,5		1,8	2,7		
bicarbonaat (mg/l)	260		210	240		< 20	220		90	340		
Chloride (Cl) (mg/l)	94	85	300	72	66	366	52	57	254	93	93	99
Nitraat (NO3) (mg/l)	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	<
Ortho-Fosfaat (PO4) (mg/l)	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	<
Sulfaat (SO4) (mg/l)	117	130	175	123	106	208	69	76	142	128	128	142
sulfide (mg/l)	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
TOC na purgen (mg/l)	5,7		14	5,0		29	5,2		16	7,8		
waterstof (nM)	1,2		4,0	1,3		2,8	2,2		60			
ethaan (µg/l)	< 15	< 15	< 15	< 15	24	< 15	< 15	24	28	16	< 15	<
etheen (µg/l)	58	53	26	14	54	26	14	53	38	306	306	338
Methaan (µg/l)	98	227	115	51	479	136	39	435	400	142	142	149
1,1,1-trichloorethaan (µg/l)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
1,1-dichloorethaan (µg/l)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
1,1-dichlooretheen (µg/l)	28,0	20,6	9,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,9	5,0	5,0	6,4
1,2-dichloorethaan (µg/l)	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
Benzeen (µg/l)	< 8,4	< 2,8	4,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	8,5	2,0	2,0	2,0
chloorethaan (µg/l)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
cis-1,2-dichlooretheen (µg/l)	4776	3859	2113	5,0	621	236	5,6	630	1800	2494	2494	3095
Ethylbenzeen (µg/l)	< 2,0		< 2,0	2,0		2,0	2,0		< 2,0	2,0	< 2,0	<
m-Xyleen (µg/l)	< 2,0		< 2,0	2,0		2,0	2,0		< 2,0	2,0	< 2,0	<

**Locatie Strijp-S**

Peilbuis (filterstelling) datum bemonstering	29SH (29-30 m-mv)						29SH (39-40 m-mv)						29SH (49-50 m-mv)						30SBP (28-30 m-m													
	15-9-2010		14-4-2011		28-9-2011		15-9-2010		14-4-2011		28-9-2011		15-9-2010		14-4-2011		28-9-2011		15-9-2010		14-4-2011		28-9-2011		15-9-2010		14-4-2011		28-9-2011			
	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0
Naftaleen (µg/l)	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0
o-Xyleen (µg/l)	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0
p-Xyleen (µg/l)	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0
Tetrachlooretheen (µg/l)	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0
Toluene (µg/l)	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0	<	2,0
trans-1,2-dichlooretheen (µg/l)	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0
Trichlooretheen (µg/l)	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0	<	5,0
vinylchloride (µg/l)		593		434		285		4,9		256		79		5,0		318		460		927		1285										
Aluminium Al (gefiltreerd) (µg/l)		5,5				7,4		4,9				56		15				6,7		6,2												
Antimoon Sb (gefiltreerd) (µg/l)		0,0				0,8		0,0				1,6		0,0				1,6		0,0												
Arsen As (gefiltreerd) (µg/l)	<	0,4	<	4,4	<	4,4	<	0,4	<	0,4	<	9,5	<	0,4	<	0,4	<	7,7	<	0,4	<		<		<		<		<			
Barium Ba (gefiltreerd) (µg/l)		77				61		63				50		36				83		81												
Boor B (gefiltreerd) (µg/l)		97				65		13				44		10				99		11												
Cadmium Cd (gefiltreerd) (µg/l)	<	0,01	<		<	0,0	<	0,003	<		<	0,0	<	0,0	<		<	0,0	<	0,003	<		<		<		<		<			
Calcium Ca (gefiltreerd) (mg/l)		120				174		114				148		90				115		147												
Chroom Cr (gefiltreerd) (µg/l)		1,5				85		1,1				57		1,0				65		1,4												
Fosfor P (gefiltreerd) (mg/l)		0,2				0,3		0,3				0,0		0,3				0,1		0,2												
IJzer Fe (gefiltreerd) (mg/l)		5,8				1,0		8,1				0,3		4,1				0,8		8,4												
Kalium K (gefiltreerd) (mg/l)	<	2,0	<		<	77	<	2,0	<		<	98	<	2,0	<		<	65	<	2,0	<		<		<		<		<			
Kobalt Co (gefiltreerd) (µg/l)		0,2				0,6		0,2				0,5		0,2				0,6		0,4												
Koper Cu (gefiltreerd) (µg/l)		0,4				16		0,4				10,9		0,5				12,1		0,5												
Lithium Li (gefiltreerd) (µg/l)		13,0				67		9,0				120		13				83		9,0												
Lood Pb (gefiltreerd) (µg/l)	<	0,0	<		<	0,1	<	0,0	<		<	0,3	<	0,2	<		<	0,2	<	0,0	<		<		<		<		<			
Magnesium Mg (gefiltreerd) (mg/l)		12,3				3,6		10,2				0,2		6,1				4,4		12,8												
Mangaan Mn (gefiltreerd) (µg/l)		611				147		785				42		524				138		441												
Molybdeen Mo (gefiltreerd) (µg/l)		0,1				10		0,2				15		0,1				12		0,3												
Natrium Na (gefiltreerd) (mg/l)		34,8				81		31,3				98		26				87		56												
Nikkel Ni (gefiltreerd) (µg/l)		0,9				34		1,0				25		1,4				28		1,1												
Strontium Sr (gefiltreerd) (mg/l)		0,3				1,3		0,3				1,2		0,3				0,8		0,4												

Locatie Strijp-S

Peilbuis (filterstelling) datum bemonstering	29SH (29-30 m-mv)		29SH (39-40 m-mv)		29SH (49-50 m-mv)		30SBP (28-30 m-m	
	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011
Thallium Tl (gefiltreerd) (µg/l)	< 0,03		< 0,1	< 0,03		< 0,1	< 0,03	< 0,03
Titaan Ti (gefiltreerd) (µg/l)	5,5		1,4	5,5		0,7	5,9	0,8
Uranium U (gefiltreerd) (µg/l)	0,0		2,5	0,0		0,6	0,0	1,3
Vanadium V (gefiltreerd) (µg/l)	< 2,0		6,0	< 2,0		11,3	< 2,0	< 4,2
Yttrium Y (gefiltreerd) (µg/l)	0,2		0,1	0,1		0,0	0,2	0,1
Zink Zn (gefiltreerd) (µg/l)	0,4		< 1,5	0,5		< 1,5	2,1	< 1,5
Zirkonium Zr (gefiltreerd) (µg/l)	0,5		4,9	0,4		5,5	0,3	2,1
Zwavel S (gefiltreerd) (mg/l)	43		60	46		69	25	50
Stabiele C isotopen 1,1-dichlooretheen (C13 ‰)	-27		-26					-32
Stabiele C isotopen_Benzeen (C13 ‰)	-25		-23					-23
Stabiele C isotopen_cis DCE (C13 ‰)	-19		-20			-19		-13
Stabiele C isotopen_PCE (C13 ‰)	-27							
Stabiele C isotopen_TCE (C13 ‰)	-30							
Stabiele C isotopen_VC (C13 ‰)	-33		-37			-33		-33
Adenylyl sulfite reductase (aprA) (Cellen/ml)	1,30E+05		3,50E+04	4,40E+03		3,60E+04		
Bacterial ammonium monooxygenase (amoA) (Cellen/ml)	< 1,60E-01		< 6,60E-01	< 1,50E-01		< 2,00E+01		
Denitrificatie (NarG) (gen copies/ml)	1,26E+03		1,68E+04	9,69E+02		2,97E+03		
Denitrificatie (NirK) (gen copies/ml)	4,78E+00		8,42E+03	< 1,00E+00		1,49E+03		
Denitrificatie (NirS) (gen copies/ml)	3,46E+01		2,71E+03	8,41E+01		9,51E+02		
Denitrificatie (NosZ) (gen copies/ml)	4,56E+01		1,78E+03	5,20E+01		2,61E+02		
E.coli (Glucuronidase) (gen copies/ml)	< 1,00E+00		< 1,00E+00	< 1,00E+00		< 1,00E+00		
Enterobacteriaceae (23S rRNA) (gen copies/ml)	5,30E+00		1,23E+00	1,65E+00		< 1,00E+00		
Gallionella ferruginea (Cellen/ml)	2,20E+01		1,40E+03	1,20E+01		4,20E+03		
Geobacter sp. (Cellen/ml)	6,80E+04		9,50E+02	2,10E+03		5,20E+03		
Leptothrix sp. & Sphaerotilus sp. (Cellen/ml)	< 1,10E+00		5,20E+02	3,80E+02		4,80E+03		
Methyl coenzyme M reductase (mcrA) (Cellen/ml)	1,40E+01		6,90E+02	4,20E+00		3,40E+03		
Sulfite reductase (dsrA) (Cellen/ml)	4,70E+03		6,40E+02	5,00E+00		< 2,00E+01		
Sulfite reductase (dsrB) (Cellen/ml)	9,00E+03		1,60E+02	2,10E+02		5,50E+04		
Thiosulfate oxygenase (soxB) (Cellen/ml)	4,60E+02		9,00E+03	1,70E+02		6,80E+04		

Locatie Strijp-S

Peilbuis (filterstelling) datum bemonstering	29SH (29-30 m-mv)			29SH (39-40 m-mv)			29SH (49-50 m-mv)			30SBP (28-30 m-m	
	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011
Total Archaea (Cellen/ml)	5,10E+04		2,70E+04	1,80E+04		1,10E+05					
Total Bacteria (Cellen/ml)	9,80E+05		1,80E+06	3,80E+04		1,30E+07					
trichlooretheenA (DNA uit Deltares methode) (gen copies/ml)	< 2,00E+00		< 3,00E+00	< 2,00E+00		< 3,00E+00	< 2,00E+00		< 3,00E+00	< 2,00E+00	
vcrA (DNA uit Deltares methode) (gen copies/ml)	1,93E+00		8,92E+02	< 1,00E+00		1,46E+03	4,35E+00		2,39E+03	< 1,00E+00	
bvcA (DNA uit Deltares methode) (gen copies/ml)	< 1,00E+00		8,11E+02	< 1,00E+00		5,84E+02	5,38E+01		3,16E+03	< 1,00E+00	<
Dcoc (DNA uit Deltares methode) (gen copies/ml)	< 3,00E+00		7,39E+03	< 3,00E+00		6,71E+03	3,60E+01		1,61E+04	< 3,00E+00	
Dehalococcoides sp. (Cellen/ml)	< 5,50E-01		4,50E+02	< 5,40E-01		1,90E+03					
Polaromonas JS666 (Cellen/ml)			1,00E+01			1,20E+02					
etnC (Alkene monoxygenase) (Cellen/ml)			2,90E+01			8,20E+01					
etnE (Epoxyalkane coenzym m transferase) (Cellen/ml)			2,20E+01			< 2,00E+01					
EaCoMT (gen copies/ml)	< 4,00E+00		7,30E+01	< 4,00E+00		< 4,00E+00	< 4,00E+00		5,47E+01	< 4,00E+00	

v)	30SBP (38-40 m-mv)				30SBP (48-50 m-mv)				31SAN (28-30 m-mv)				31SAN (38-40 m-mv)				31SAN (48-50 m-mv)				40 (30 π)
	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	
28-30	38-40	38-40	38-40	38-40	48-50	48-50	48-50	48-50	28-30	28-30	28-30	28-30	38-40	38-40	38-40	38-40	48-50	48-50	48-50	48-50	38-50
3,0	3,0	2,7	3,0	3,0	2,7	2,7	2,9	2,9	3,1	3,1	2,7	3,1	3,1	2,7	3,0	3,0	3,0	2,6	3,0	3,0	3,0
758	674	471	475	605	457	426	426	426	705	607	607	599	574	495	568	598	489	489	568	568	568
6,9	7,2	7,2	7,0	7,5	7,7	7,5	7,5	7,5	7,3	6,9	6,9	6,3	7,4	6,1	6,8	7,4	7,2	7,2	6,8	6,8	6,8
-105	-138	-144	-129	-169	-180	-156	-156	-156	-111	-139	-139	-77	-130	-137	-92	-148	-149	-149	-115	-115	-115
25	30	25	25	35	30	25	25	25	25	15	15	25	20	20	25	30	20	20	25	25	25
14,3	13,8	13,0	14,0	13,8	12,9	13,9	13,9	13,9	13,9	12,6	12,6	14,0	13,8	12,6	13,7	13,6	12,4	12,4	13,7	13,7	13,7
0,2	0,08	0,14	0,3	0,07	0,12	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,1	0,18	0,17	0,35	0,1	0,12	0,12	0,15	0,15	0,15
2,6	1,4		1,0	< 0,5		0,5	0,5	0,5	1,7			1,1	1,4		0,9	1,2			0,9	0,9	0,9
320	220		200	230		210	210	210	300			270,0	230,0		230	230			210	210	210
112	80	68	61	58	55	41	41	41	63	70	70	60,6	48,4	52	47	51	51	51	58	58	58
0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5			< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5			< 0,5	< 0,5	< 0,5
0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5			< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5			< 0,5	< 0,5	< 0,5
150	128	105	82	89	78	52	52	52	120	120	120	122,2	99,9	118	105	109	110	110	127	127	127
0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0		0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
5,1	< 5,0		5,2	11,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	5,0			5,1	5,0		< 5,0	< 5,0			< 5,0	< 5,0	< 5,0
15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
284	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	71	53	107	107	14	14	14	14	14	14	14	14	14
172	33	64	82	36	204	112	112	112	59	116	74	74	20	42	37	15	37	37	25	25	25
5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
7,2	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	14,7	10,5	42	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
2374	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	14,0	14,0	14,0	64,1	31,2	76,5	76,5	5,0	5,0	11,1	5,0	5,8	5,8	5,4	5,4	5,4
2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			< 2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0			< 2,0	< 2,0	< 2,0
2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			< 2,0	< 2,0		< 2,0	< 2,0			< 2,0	< 2,0	< 2,0











1-mv)	4A (29-30 m-mv)				5/5A (29-30 m-mv)				5/5A (43-44 m-mv)				6 (29-30 m-mv)				6 (46-47 m-mv)			
	15-9-2010		28-9-2011		15-9-2010		28-9-2011		15-9-2010		28-9-2011		15-9-2010		28-9-2011		15-9-2010		28-9-2011	
	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<	14-4-2011	<
010	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
	5,5	3,3	3,3	3,3	5,6	5,6	4,8	4,8	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,3	3,3	3,3	3,8	3,8	3,8	2,5
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,02	< 0,02	0,0	0,0	0,0	< 0,02	< 0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,02	< 0,02
	1,5	1,6	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	5,5	5,5	1,0	1,0	3,5	3,5	3,5	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,5
	87	71	56	56	529	529	88	88	80	80	67	67	67	83	83	83	63	63	62	62
	6,0	5,7	5,7	5,7	1110	1110	1110	1110	36	36	31	31	31	35	35	35	23	23	27	27
	< 0,003	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,003	< 0,003	0,0	0,0	0,0	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,0	< 0,0
	73	73	90	90	90	90	129	129	89	89	94	94	94	136	136	136	106	106	104	104
	1,1	8,3	1,1	1,1	1,1	1,1	11	11	1,1	1,1	19	19	19	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	50	50
	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
	18	21	6,1	6,1	6,1	6,1	11	11	6,0	6,0	7,4	7,4	7,4	5,8	5,8	5,8	4,1	4,1	3,7	3,7
	< 2,0	1,1	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	1,0	1,0	< 2,0	< 2,0	0,9	0,9	0,9	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	1,0	1,0
	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0	1,9	1,9	1,6	1,6	1,6	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3
	0,4	1,9	0,3	0,3	0,3	0,3	2,3	2,3	0,4	0,4	4,0	4,0	4,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	9,4	9,4
	7,0	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,0	4,0	2,6	2,6	2,6	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	2,4	2,4
	0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,1	< 0,1
	11	12	8,3	8,3	8,3	8,3	14	14	7,1	7,1	8,8	8,8	8,8	12	12	12	8,6	8,6	8,3	8,3
	827	650	354	354	354	354	915	915	864	864	844	844	844	495	495	495	559	559	572	572
	0,1	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0	0,2	0,2	1,3	1,3	1,3	0,9	0,9	0,9	0,4	0,4	2,4	2,4
	78	72	29	29	29	29	50	50	30	30	28	28	28	46	46	46	35	35	37	37
	0,7	4,2	1,0	1,0	1,0	1,0	6,2	6,2	0,7	0,7	8,4	8,4	8,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	19	19
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3



1-mv)	4A (29-30 m-mv)				5/5A (29-30 m-mv)				5/5A (43-44 m-mv)				6 (29-30 m-mv)				6 (46-47 m-mv)				
	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	15-9-2010	14-4-2011	28-9-2011	28-9-2011	
010	3,10E+04		1,90E+04		4,10E+04		1,20E+05		6,20E+04		5,00E+04										
	8,10E+04		5,20E+04		6,90E+04		2,40E+05		9,20E+04		1,10E+06										
	< 2,00E+00		< 3,00E+00		< 2,00E+00		< 3,00E+00		< 2,00E+00		< 3,00E+00		< 2,00E+00		< 2,00E+00		< 2,00E+00		< 3,00E+00		< 3,00E+00
	< 1,00E+00		< 1,00E+00		1,44E+00		5,50E+00		7,39E+02		3,04E+02		5,42E+01		1,59E+01		1,06E+04		1,34E+04		1,34E+04
	< 1,00E+00		< 2,00E+00		1,17E+01		1,27E+01		5,03E+02		1,98E+02		1,00E+00		< 2,00E+00		1,00E+00		< 2,00E+00		< 2,00E+00
	< 3,00E+00		1,09E+02		3,00E+00		2,89E+03		9,92E+02		4,29E+03		2,56E+02		8,13E+03		2,80E+03		1,42E+04		1,42E+04
	< 5,50E-01		< 3,30E-01		1,50E+01		1,00E+01		2,50E+02		2,00E+02										
			< 3,30E-01				< 4,10E-01				2,70E+00										
			< 3,30E-01				2,40E+02				2,30E+01										
			< 3,30E-01				1,00E+02				1,60E+01										
	< 4,00E+00		< 4,00E+00		5,90E+03		7,47E+02		1,63E+02		< 4,00E+00		5,28E+02		4,48E+01		6,35E+01				1,48E+01

## **Bijlage V**

# **Meetgegevens meetrondes locatie Strijp-S**

# Legenda

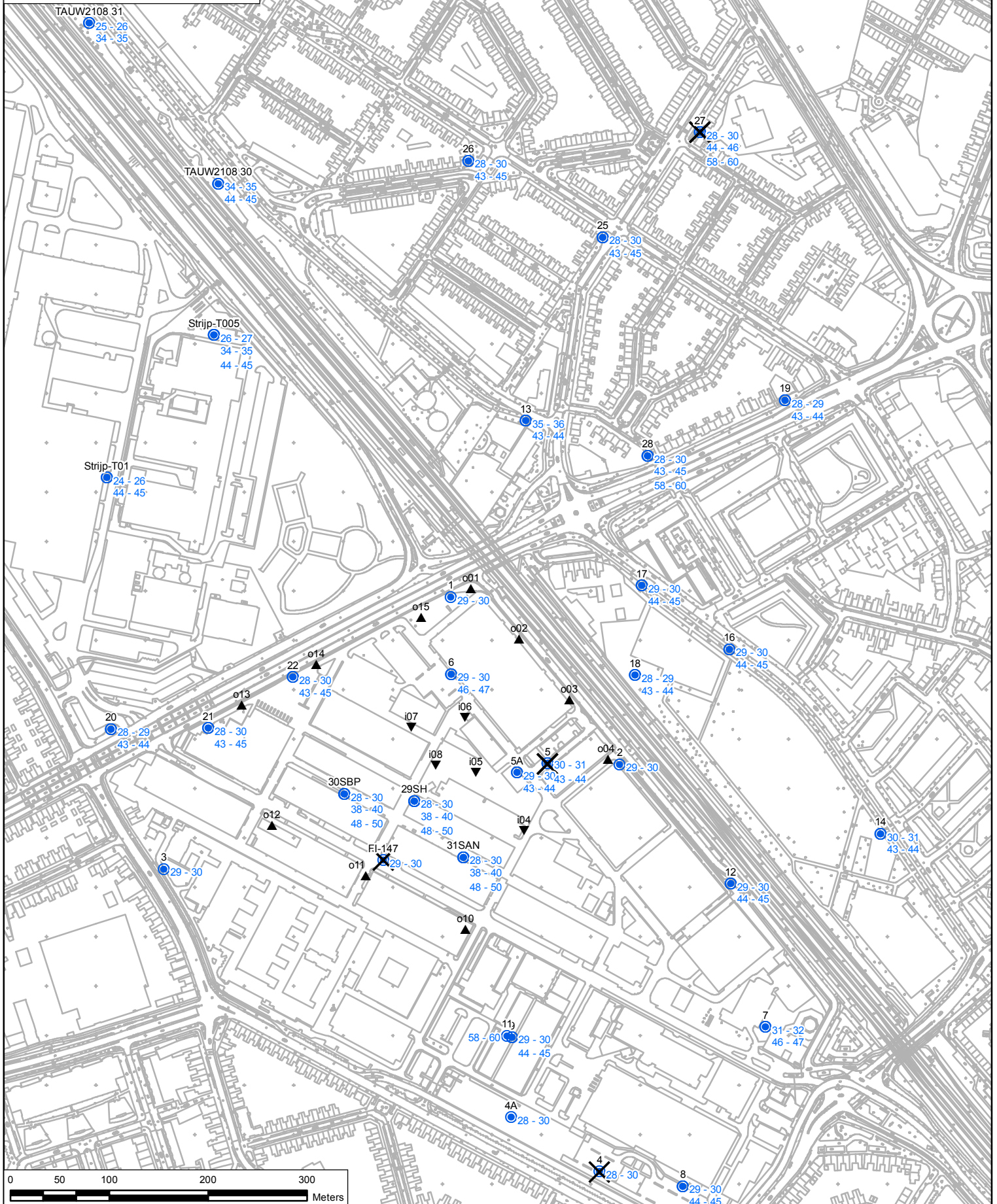
- 25 - 35 Filterstelling (m-mv)
- ▼ Infiltratiefilter sanergy
- ▲ Onttrekkingsfilter sanergy
- Peilbuis
- ✕ meetpunt niet meer bemonsterbaar



opdrachtgever: Philips/PSB  
 project: monitoring Sanergy  
 onderwerp: peilbuizen deklaag  
 (25-60 m-mv)

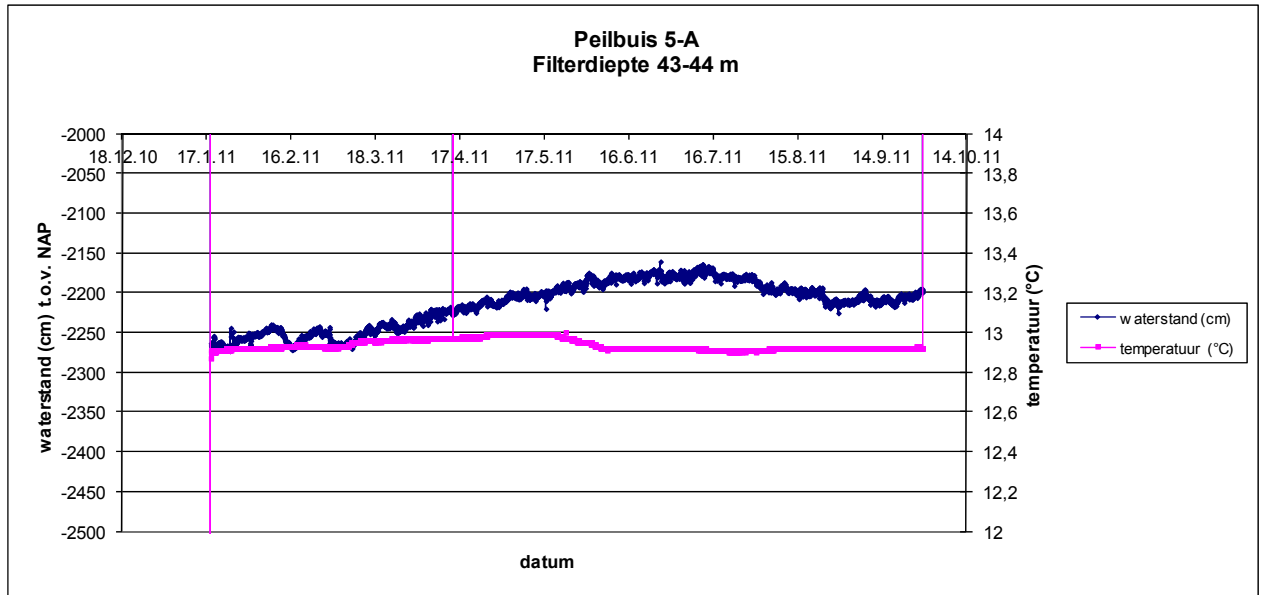
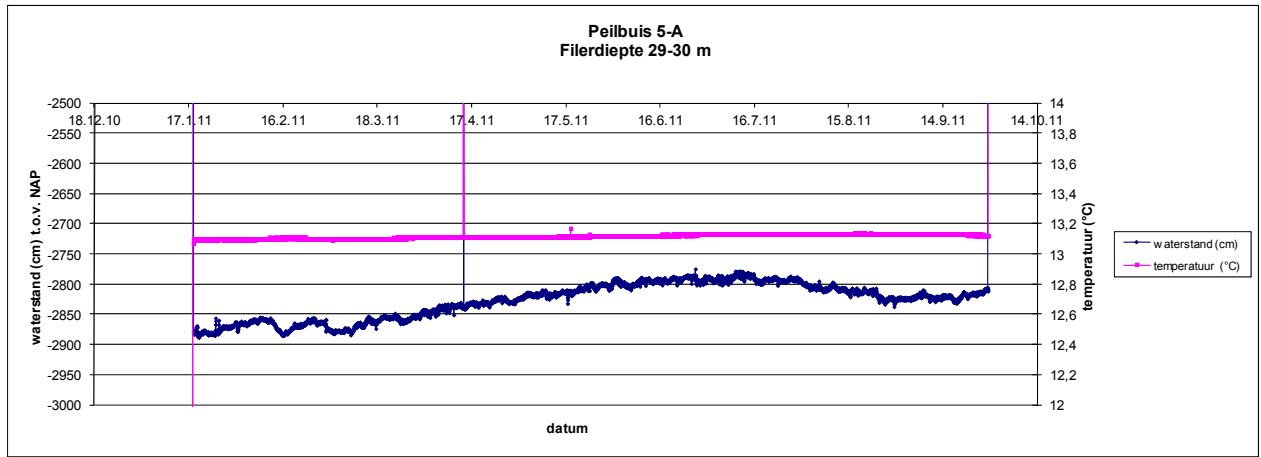
gelekend : Stavermanj	goedgekeurd :
datum : 25-10-2011	datum :
schaal : 1:5000	projectleider : R. Verburg
bladformaat : A3	vestiging : 's-Hertogenbosch
locatie : l:\geoinformatie\ArcMAP\Peilbuizen.mxd	
PDF : pdf\Peilbuizen2560_20111025.pdf	

projectnummer	tekening	versie
110504.201134.005	1.2	1

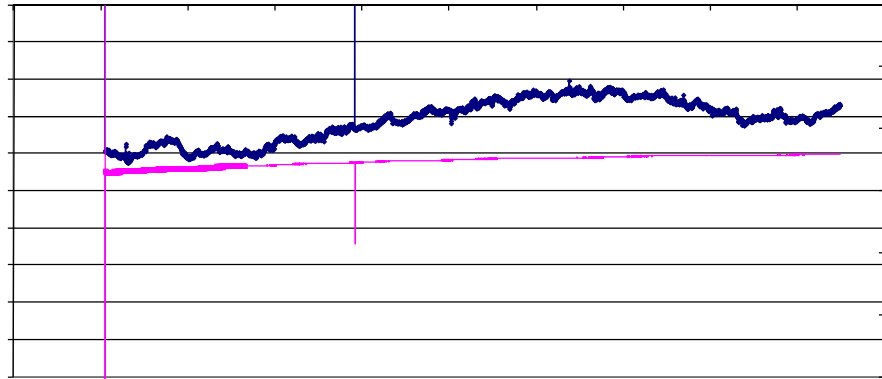


## **Bijlage VI**

### **Fysische metingen Strijp-S**







## Deelnemende bedrijven en instanties

Agentschap NL / Bodem+

Arcadis

Bioclear

Brabant Water - Hydreco

Deltares

Eneco

Essent

Gemeente Almelo

Gemeente Amersfoort

Gemeente Apeldoorn

Gemeente Den Bosch

Gemeente Deventer

Gemeente Haarlem

Gemeente Hengelo

Gemeente Tilburg

Gemeente Utrecht

Gemeente Zwolle

Havenbedrijf Rotterdam

IF Technology

Ministerie van Infrastructuur & Milieu

NVOE

Productschap Tuinbouw

Provincie Drenthe

Provincie Flevoland

Provincie Friesland

Provincie Gelderland

Provincie Groningen

Provincie Limburg

Provincie Noord-Brabant

Provincie Noord-Holland

Provincie Overijssel

Provincie Utrecht

Provincie Zeeland

Provincie Zuid-Holland

SBNS

SKB

Vewin

Vitens

Wageningen Universiteit

Waterschap Groot Salland

Waterschap Regge en Dinkel

