



# Meer met Bodemenergie

## Gebiedsgericht grondwaterbeheer

Inpassing van bodemenergie  
in bodemgericht-  
grondwaterbeheer - kansen  
en aandachtspunten





# **Rapport 11 – Gebiedsgericht grondwaterbeheer**

**Inpassing van bodemenergie in gebiedsgrondwaterbeheer –  
kansen en aandachtspunten**

**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

Maurice Henssen, Bioclear  
Niels Hartog, Deltares

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

Rachelle Verburg, Arcadis  
Hans Slenders, Arcadis  
Jan Frank Mars, Bodem+  
Eric van Griensven, Brabant Water  
Reinder Slager, gemeente Zwolle  
Marcel van Vulpen, provincie Drenthe  
Patrick van Beelen, RIVM  
Arno Peekel, SKB  
Jan Pals, Stichting Bodemsanering NS  
Martijn Smit, Wageningen Universiteit

## Datum

20 juni 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 Hettterscheid, 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  
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

In dit deelrapport van het Meer met Bodemenergie project is de inzet van WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte benadering en context weergegeven. Het speelveld en toepassing van gebiedsgericht grondwaterbeheer is inmiddels veel breder dan alleen de focus op hoe om te gaan met verontreinigingen. Verontreinigingen spelen weliswaar een belangrijke rol en het beheer ervan dient goed afgewogen te worden, maar zijn niet per definitie leidend voor hoe gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt ingericht en uitgevoerd. Dit is ook sterk afhankelijk gebleken van de partij (vaak gemeente en provincie) in kwestie. Een brede en integrale insteek vormt dan ook de basis voor hoe inzet van WKO systemen in verontreinigd gebied en in gebiedsgericht grondwaterbeheer kan worden geïntegreerd. Gebiedsgericht betekent in ultieme vorm integraal - rekening houdend met verschillende, soms moeilijk te vergelijken c.q. af te wegen aspecten. Hierbij valt te denken aan de afweging van verschillende soorten duurzame energie, en daaraan verbonden klimaataspecten, economische aspecten, boven- en ondergronds ruimtegebruik, sanering en risicobeheersing aangaande verontreinigingen.

Voor wat betreft de omgang met verontreinigingen binnen een gebiedsgerichte context kan worden gesteld dat – afgeleid uit de Circulaire Bodemsanering 2009 – de focus ligt bij een risicogebaseerde insteek. Dit houdt in dat verspreiding van verontreiniging buiten een vastgesteld gebied voorkomen moet worden. Binnen het gebied mogen verontreinigingen zich eventueel wel verplaatsten maar dat mag niet leiden tot risico's binnen dit gebied. Wat kwaliteit en kwaliteitsverbetering van het grondwater betreft dient het grondwater in ieder geval te voldoen aan de criteria die nodig zijn voor het beoogde gebruik. Door het bevoegde gezag kunnen aanvullende eisen worden gesteld bijvoorbeeld voor verdergaande kwaliteitsverbetering aangaande verontreinigingsituatie.

In het kader van WKO systemen binnen een gebiedsgerichte context betekent dit dat er onderscheid kan worden gemaakt tussen niet-verontreinigde gebieden waarvoor een gebiedsgerichte aanpak (op dit moment nog zeer beperkt voorkomend) is opgesteld en gebieden waarbij juist een gebiedsgerichte aanpak wordt toegepast om verontreinigingen te kunnen beheeren (vaak voorkomende aanleiding). Uit deze rapportage komt naar voren dat de toepassing van WKO-systemen in zowel gebieden met als zonder grondwaterverontreinigingen zowel kansen als aandachtspunten biedt. De concrete invulling en afweging daarvan voor een specifiek beheersgebied is zo divers als de beheersdoelstellingen en gebiedspecifieke condities dat zijn. Deze rapportage geeft voor een specifiek beheersgebied dan ook slechts mogelijke kansen en aandachtspunten weer, ter inspiratie en nuancering.

Samenvattend kan worden gesteld dat toepassing van WKO in niet-verontreinigde gebieden binnen een gebiedsgerichte context zeer goed mogelijk is en combinatiemogelijkheden biedt. Grondwateronttrekkingen die toch al noodzakelijk zijn in een bepaald gebied, kunnen prima gecombineerd worden met energiewinning of klimaatbeheersingsystemen. De kwaliteit van het water speelt daarin een weinig onderscheidende rol.

In het geval dat WKO systemen in een (mogelijk) verontreinigd gebied wordt ingezet, speelt de interactie tussen WKO systeem en verontreiniging wel een belangrijke rol. Terugvertaald naar de randvoorwaarden van een gebiedsgerichte benadering zijn de vragen in hoeverre WKO systemen een positief effect op verwijdering van verontreiniging hebben en in hoeverre WKO systemen risico's ten gevolge van verontreiniging kunnen verminderen relevant.

Voor de inpassing van WKO-systemen binnen gebieden met verontreinigd grondwater hangt de afweging met name af van de gestelde beheersdoelstellingen, alsmede van locatie- en beheersgebiedspecifieke technische factoren. Maar ook de doelstellingen omtrent gewenste kwaliteit en eventuele kwaliteitsverbetering zijn zeer relevant: Indien een sterke kwaliteitsverbetering wenselijk is of geëist wordt, stelt dit (veel) hogere eisen aan het bodemsysteem en aan de inpassing van WKO systemen in het gebied dan wanneer kwaliteitsverbetering an sich geen randvoorwaarde is.

Als in de afgelopen jaren het beeld is ontstaan dat WKO-systemen als vanzelfsprekend leiden tot verbetering van de verontreinigingssituatie, dan is dit onterecht. Anderzijds, spelen er naast bodembelangen ook andere factoren een rol bij de keuze voor gebiedsgericht. Zo vervult de inpassing van WKO-systemen de maatschappelijke behoefte voor meer duurzame energiesystemen. Door deze belangen, niet sectoraal, maar integraal af te wegen worden de mogelijkheden voor een pragmatische invulling vergroot. Vanuit deze optiek worden de beheersdoelstellingen voor de grondwaterkwaliteit afgestemd op het niveau tot waar aanvaardbare risico's, ook op lange termijn, niet overschreden worden.

Duidelijk is geworden dat naast potentieel positieve effecten door de interactie tussen WKO-systemen en verontreinigingen er ook negatieve effecten kunnen optreden. Het versneld in oplossing gaan van DNAPL als gevolg van de door een WKO geïnitieerde toegenomen dynamiek is daarvan een voorbeeld. Of en in welke mate dit soort effecten uiteindelijke netto negatief uitwerken hangt sterk samen met de biologische afbraakcapaciteit in de bodem. Hoewel binnen gebiedsgericht grondwater beheer in toenemende mate meerwaarde gezocht wordt in de integratie van verschillende functies, kan ook het bewust (deels) gescheiden houden van functies een afgewogen invulling zijn voor gebiedsgericht grondwaterbeheer.



Alvorens in een verontreinigd gebied (grootschalige) WKO systemen toe te staan dient een afweging te gemaakt te worden die sterk bepaald wordt door met name de kwaliteitseisen die men vanuit bevoegd gezag aan het grondwater oplegt. In het onderliggende rapport is aangegeven welke voorinformatie relevant is voor deze afweging. Is kwaliteitsverbetering een harde eis? Dan zal positionering van WKO systemen in relatie tot mogelijke DNAPL gevoelige gebieden én aantoonbare aanwezigheid van biologisch afbraakpotentieel belangrijke voorinformatie en aandachtspunten zijn. Is de gebiedsgrens ruim en zijn kwaliteitseisen met name op risico's bij gebruik gericht, dan zijn bepaalde parameters veel minder relevant.

Om een gedegen afweging in het kader van inpassing van WKO systemen in verontreinigde gebieden te kunnen maken zijn de volgende twee vragen relevant:

**Vraag 1: Is het reëel om te verwachten dat WKO in grootschalig verontreinigd gebied substantieel kan bijdragen aan het verbeteren van de grondwaterkwaliteit?**

De waargenomen - positieve - effecten op één van de gemonitoorde verontreinigde locaties laat zien dat er door toegenomen dynamiek als gevolg van het rondpompen van grote volumina grondwater veranderingen in het grondwater kunnen plaatsvinden. Bacterie-aantallen nemen op deze locatie toe en er worden plaatselijke veranderingen van TOC gemeten. Uit de monitoring is het echter onduidelijk wat de oorzaak hier van is en of dit een generiek, op andere locaties te verwachten effect is. De verwachting is wel dat, indien er geen WKO was toegepast, deze extra menging en het waargenomen effect – met welke bron dan ook – waarschijnlijk niet was opgetreden. Met andere woorden: er kunnen positieve effecten teweeg worden gebracht door toepassing van een WKO. Vervolgmonitoring moet echter nog aantonen dat hierdoor ook versnelde afbraak optreedt en of effecten generiek te verwachten zijn ook op andere locaties.

Een belangrijke parameter om te bepalen of een WKO een bijdrage kan leveren aan de grondwaterkwaliteit is de biologische afbraakcapaciteit. In het overgrote deel van de gebieden waarvoor op dit moment een gebiedsaanpak in de maak is blijkt er onvoldoende inzicht te zijn in deze parameter. Harde onderbouwing van het al dan niet aanwezig zijn van afbraak maakt het moeilijk om op voorhand effecten van menselijke interacties in de ondergrond te kunnen voorspellen of meenemen.

Resumerend lijkt dus de ambitie om via WKO-systemen de **van nature optredende** in situ processen te versnellen en daarmee versneld een kwaliteitsverbetering te realiseren te optimistisch. Zoals toegelicht dient verdere monitoring meer zicht te geven op met name de oorzaak van de positieve trend die op één van de locaties is aangetroffen. Combinaties van WKO-systemen met **gestimuleerde afbraak** kan daarbij een aanvullende bijdrage leveren.

**Vraag 2: Biedt WKO een mogelijkheid om de verontreinigingslast te beheersen? Welke combinaties met ander onder- of bovengronds gebruik kan er via WKO worden gemaakt?**

Er blijken goede mogelijkheden te zijn ten behoeve van het beheersen van verontreiniging of meer in het algemeen verlaging van risico's in een gebiedsgerichte context.

De op dit moment meest veilige manier om WKO – of liever gezegd energietoepassing – te integreren is gebruik van onttrekkingen waarbij warmte of koude wordt gewonnen uit de onttrokken waterstroom, zonder herinjectie van het water voor energieopslag doeleinden. Deze variant vormt een perfect koppel met gebiedsgericht grondwaterbeheer. Dit is alleen een haalbare business case als onttrokken water nuttig kan worden gebruikt bovengronds. In een groot deel van de gevallen in binnenstedelijk gebied kan afzet van onttrokken water in grote hoeveelheden lastig zijn. Vandaar dat naar verwachting veel doubletten of recirculatiesystemen toegepast zullen worden waar al het water weer wordt geïnfiltrerd. Deze systemen bieden in hun normale toepassingsvorm geen beheersend effect.

Het effect van weglekken van verontreiniging of het niet beheersen van verontreiniging is minder kritisch in een gebiedsgerichte aanpak als er afbraakprocessen actief zijn die de verspreiding deels tegen gaan.

Een andere interessante variant vormt de optie om een deelstroom van het onttrokken water bovengronds te lozen. Hiermee ontstaat een netto onttrekking waarmee een verontreiniging beheerst kan worden.

Een aspect dat meespeelt en gebruikt kan worden bij toepassing van WKO-systemen (doubletten of recirculatie) is menging van verontreinigd water met schoon water. Door het WKO-systeem zullen concentraties dalen. Indien WKO-systemen stroomafwaarts van een verontreinigd gebied worden geplaatst zal dit (deels) resulteren in verlaging van concentraties. Hierdoor kunnen concentraties in stroomafwaartse richting – richting een gebiedsgrens - onder een bepaalde risicodrempel-waarde komen (bijvoorbeeld I- of T-waarde) en zodoende kan een WKO risicoverlagend werken.



## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	4
1 Inleiding: waarom een gebiedsgerichte aanpak? .....	9
1.1 Driver voor gebiedsgericht grondwaterbeheer en een gebiedsgerichte aanpak	9
1.2 Gebruik van de ondergrond .....	10
1.3 Wettelijk kader in relatie tot gebiedsgericht grondwaterbeheer en WKO's .....	11
2 WKO-systemen binnen gebiedsgerichte aanpak .....	14
2.1 WKO-systemen in relatie tot verschillende gebruiksmogelijkheden van grondwater en verschillende doelstellingen .....	14
3 Effecten van WKO-systemen op verontreinigingen en op grondwaterkwaliteit .....	18
3.1 Status van de kennis over effecten bij aanvang MMB .....	18
3.2 Resultaten veldmetingen MMB pilotlocaties .....	20
3.2.1 Effecten op grondwaterkwaliteit .....	20
3.2.2 Effecten WKO op verontreiniging en afbraak .....	21
3.3 Modelmatige evaluatie van effecten van WKO-systemen in verontreinigd gebied .....	23
3.3.1 Belangrijke processen en modelinstrumentarium .....	24
3.3.2 Casestudy 'Uithof' .....	25
3.3.3 Bespreking modelscenario's .....	27
3.3.4 Locatiespecifieke factoren .....	30
4 Mogelijke configuraties en inzet van WKO-systemen binnen een gebiedsgericht beheersgebied .....	33
4.1 Meerdere WKO's in een gebied .....	33
4.2 Wanneer is er een positief effect op afbraak als gevolg van WKO-toepassing mogelijk? .....	37
Vertaling naar de praktijk binnen een gebiedsgerichte context .....	38
4.3 Verschillende inpassingen van WKO-systemen in een gebiedsgerichte aanpak 39	
5 Informatiebehoefte en monitoring ten behoeve van WKO in gebiedsgerichte aanpak	44
6 WKO in gebiedsgericht grondwaterbeheer in de praktijk .....	47
6.1 Beschouwing cases: aanpak en leerpunten .....	47
6.2 Case 1: Gebiedsgerichte aanpak Stationsgebied Utrecht .....	48
6.3 Case 2: Gebiedsgerichte aanpak Kanaalzone Apeldoorn .....	54
6.4 Case 3: Gebiedsgericht beheerplan centrumgebied Zwolle .....	57
7 De kansen en aandachtspunten van WKO bij gebiedsgericht grondwaterbeheer ...	63
7.1 Integratie binnen gebiedsgericht beheer van grondwaterverontreinigingen ...	64
Literatuur .....	68

# 1 Inleiding: waarom een gebiedsgerichte aanpak?

## 1.1 Driver voor gebiedsgericht grondwaterbeheer en een gebiedsgerichte aanpak

Nederland kent met zijn bijna 17 miljoen inwoners een stevige druk binnen met name het stedelijke gebied. Druk in de vorm van milieugerelateerde aspecten, energie- en waterbehoefte, woongelegenheden naast industriële activiteiten. In de voorbije decennia is daar – naast de opgetreden en nog steeds plaatsvindende verstedelijking en industrialisatie – ook nog de aandacht voor klimaatverandering en klimaatadaptatie bij gekomen. De mogelijk van invloed zijnde klimatologische veranderingen, het ruimtelijk orderingsbeleid in Nederland en de van nature optredende geologische en geohydrologische veranderingen samen leiden ook tot een telkens actueler thema als “natte voeten problematiek”. Daardoor is peilbeheer in Nederland een groeiend aandachtspunt, niet alleen meer in het landelijke gebied voor optimale gewasgroei. Voldoende schoon grondwater voor drinkwaterbereiding is en blijft belangrijk, inclusief het waarborgen van voldoende reserves. Maar ook effectief water(her)gebruik, bijvoorbeeld in de industrie of in combinatie met natuur(ontwikkeling) is relevant.

Als gevolg van de verstedelijking en industrialisatie is er daarnaast in nagenoeg alle stedelijke gebieden sprake van grootschalige grond- en grondwaterverontreinigingen. Een problematiek die een zeer grote investering vergt van zowel overheid als bedrijfsleven indien al deze verontreiniging volledig verwijderd zou worden. Een complicerende factor bij de stedelijke grondwaterverontreinigingen is dat het in de praktijk lastig blijkt te zijn om gebieden met grootschalige diepere bodem- en grondwaterverontreinigingen in het kader van de Wet bodembescherming (Wbb) effectief aan te pakken. Enerzijds omdat het moeilijk is om de aard en omvang van de verontreiniging in beeld te brengen en de veroorzaker vaak niet traceerbaar of niet meer aansprakelijk te stellen is. Anderzijds omdat de (maatschappelijke) kosten voor het volledig opruimen vaak te hoog geacht worden, terwijl de drijfveer om diepere grondwaterverontreinigingen snel aan te pakken vaak niet groot is.

Vanuit de overheid zijn de (noodzakelijke) ambities op het gebied van het terugdringen van energieverbruik en de daaraan gekoppelde CO<sub>2</sub>-uitstoot vastgesteld. Een ambitie die de nodige inspanning en investering vergt en waarbij bijvoorbeeld inzet van duurzame energiebronnen een must is geworden. Duurzame energie kan bijvoorbeeld in de vorm van WKO-systemen. Een aanpak die in een stedelijk gebied waarin ook de maatschappelijke behoeften aan peil en grondwaterbeheer, alsmede de aanwezigheid en het beheer van grootschalige grondwaterverontreiniging meegewogen dienen te worden.

Evident is dus dat er een steeds grotere druk op het gebruik van het bodem- en grondwatercompartiment is ontstaan. Hierdoor wordt het grondwater – zeker in stedelijk gebied – vaker multifunctioneel gebruikt of beheerd. Vanuit de verschillende overheidsambities – zeker op energiegebied - neemt momenteel de behoefte sterk toe om de diepere ondergrond voor meerdere functies te gebruiken. Hierbij kunnen verontreinigingen in het grondwater een stagnerende invloed hebben op de ontwikkeling van deze nieuwe gebruiksfuncties. Slimme combinaties van gebruik van de ondergrond zijn derhalve wenselijk. Niet in de laatste plaats omdat het ook een ambitie van de overheid is om de maatschappelijke kosten, verbonden aan verontreiniging, te verlagen.

Dit is de reden dat vanuit de Rijksoverheid ruimte wordt gecreëerd binnen het beleid om de mogelijkheden van de ondergrond beter te kunnen benutten en daarmee verschillende beleidsdoelen – klimaat, energie, leefbaarheid, verontreiniging en kosten – te optimaliseren. Praktische invulling daarvan vindt de afgelopen jaren plaats door verschillende partijen, die mogelijkheden hebben onderzocht voor het gebiedsgericht benutten van de ondergrond.

Een daarbij in ontwikkeling zijnde stap is de afwegingsmethodiek die gebruikt kan worden om de verschillende belangen met elkaar te vergelijken, wegingsfactoren toe te kennen en op grond daarvan een goed onderbouwde keuze voor het gebruik van de ondergrond en de invulling van gebiedsgericht grondwaterbeheer te kunnen maken. Afwegingen bijvoorbeeld op basis van People, Planet, Profit (3P's), MCA (multicriteria analyse) of LCA (lifecycle analysis). De uitdaging is immers om ook mogelijk tegenstrijdige belangen en gebruiksvormen af te wegen.

## 1.2 Gebruik van de ondergrond

Gebiedsgericht grondwaterbeheer heeft voor een groot deel zijn oorsprong in het “verontreiniging en sanering” werkveld: hoe kunnen we op verantwoorde en kostenefficiënte wijze onze grootschalige verontreiniging beheren? Meer recent is daar nog de afweging over het op een kostenefficiënte, pragmatische en verantwoorde manier combineren met andere ondergrondse toepassingen bij gekomen. Vanuit dit startpunt zijn ook beleidmatig aanpassingen (zoals via de Circulaire Bodem 2009) voorgesteld om de mogelijkheden te verruimen. Duidelijk is dat – ook locatie- en situatieafhankelijk – niet altijd de verontreiniging het leidende en bepalende aspect is in de aanpak en afweging. Gebruik van de ondergrond en gebiedsgericht grondwaterbeheer kan zich ook – vanzelfsprekend – richten op gebieden met andere problematiek. Denk aan wateroverlast, of juist verdroging, industriële activiteiten met impact via grondwateronttrekkingen op de ondergrond.

Dit betekent dat verschillende processen in/bij c.q. gebruiken van grondwater actueel zijn:

- Onttrekkingen voor drinkwater;
- Onttrekkingen voor koelwater of proceswater;
- Peilbeheer;
- Hemelwaterafkoppeling;
- Natuur- en/of beekherstel;
- Energie uit de bodem via WK(O) systemen;
- Bufferpotentieel van de bodem en grondwater;
- Verschillende chemische en biologische processen die functioneel (kunnen) zijn: denk aan afbraakpotentie, zuiverende/filterende werking van de bodem en grondwater.

Het speelveld en toepassing van gebiedsgericht grondwaterbeheer is dus veel breder (geworden) dan alleen de focus op hoe om te gaan met verontreinigingen. Verontreinigingen spelen weliswaar een belangrijke rol en het beheer ervan dient goed afgewogen te worden, maar zijn niet per definitie leidend voor hoe gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt ingericht en uitgevoerd. Dit is ook sterk afhankelijk gebleken van de partij (vaak gemeente en provincie) in kwestie.

De voorbije jaren is rondom gebiedsgericht grondwaterbeheer door de verschillende actoren – gemeenten, provincies, beleidsmakers en adviseurs – in de verschillende cases aandacht gegeven aan de juridische en beleidsmatige aspecten en de organisatorische en financiële aspecten. Recent (januari 2012) is ook vanuit het wettelijke kader via de circulaire Bodemsanering 2009 aanvullend houvast geboden aan de invulling van gebiedsgericht beheer en de daarbij horende randvoorwaarden.

Op enkele punten is duidelijkheid gekomen, zoals de regel dat in principe alleen een overheidsorgaan als verantwoordelijk gebiedsbeheerder mag optreden en de rol van een afkoopregeling, waarbij de verantwoordelijkheid voor het (diepere) grondwater van een (private) partij kan overgaan naar de gebiedsbeheerder en waarbij de probleemhebber financieel bijdraagt aan het beheer. Over de meer technische en ruimtelijke implicaties, zoals bij het toepassen van WKO-systemen in grootschalig verontreinigde gebieden, is echter nog weinig bekend.

### **1.3 Wettelijk kader in relatie tot gebiedsgericht grondwaterbeheer en WKO's**

Als het gaat om verontreinigingen en de omgang/aanpak daarvan vormt de Wet bodembescherming (Wbb) het wettelijke kader voor de sanering van bodemverontreinigingen. Gevallen van bodemverontreiniging waarbij sprake is van milieuhygiënische risico's moeten op basis van de Wbb worden gesaneerd. Indien op basis van de Wet bodembescherming niet met spoed hoeft te worden gesaneerd, dan kan de sanering in het algemeen worden uitgevoerd op daarvoor geschikte momenten, zoals bijvoorbeeld bij nieuwe ontwikkelingen op de locaties. Planontwikkeling is momenteel de belangrijkste motor voor de aanpak van de ernstig verontreinigde locaties.

De traditionele gevalsgerichte aanpak is bij grootschalige verontreinigingen vaak niet goed bruikbaar. In stedelijke gebieden, met name in de centra waar van oudsher industriële activiteiten hebben plaatsgevonden, is de kans reëel aanwezig dat zich daar grootschalige en mogelijk in elkaar overlopende (grondwater)verontreinigingen bevinden. Voor dicht bij elkaar gelegen verontreinigingsbronnen biedt het Wbb instrumentarium de ruimte om voor een clusteraanpak te kiezen, waarbij de (in elkaar lopende) grondwaterverontreiniging geclusterd aan te pakken zijn. Hierdoor kunnen ook de kosten van de aanpak door de verschillende partijen gezamenlijk worden gedragen.

In voorgenoemde situaties is en blijft het uitgangspunt dat de verontreinigingen binnen de reeds geldende verontreinigingscontour blijven, waarbij het uitgangspunt is dat op kosteneffectieve wijze kwaliteitsverbetering plaatsvindt. In deze uitgangssituatie is de plaatsing van een WKO-systeem mogelijk conflicterend als een open WKO-systeem door de onttrekkingen en infiltratie verontreinigd grondwater verplaatst, bijvoorbeeld naar schone gebieden. Dit kan het bevoegd gezag op grond van de huidige wet- en regelgeving als ongewenst aanmerken en acties eisen om deze verplaatsing te voorkomen.

De gevals aanpak en deels ook de clusteraanpak kan in bepaalde gevallen nog te weinig ruimte bieden om op effectieve wijze om te gaan met zeer grootschalige en complexe verontreinigingen. Als deze verontreinigingen ook nog aanwezig zijn in (stedelijk) gebied waar ontwikkelingen en gebruik van de ondergrond vanuit maatschappelijk oogpunt gewenst zijn, dan is een gebiedsgerichte aanpak via de Wbb-gebiedsgericht wenselijk.

In de circulaire bodemsanering 2009 die recent in januari 2012 is vastgesteld wordt daarom aandacht besteed aan de mogelijkheden om een gebiedsgerichte aanpak mogelijk te maken. Uitgangspunt hierbij is nog steeds, conform het vigerende beleid, dat grondwaterverontreiniging geen onaanvaardbare risico's voor mens en ecosysteem met zich mee mag brengen. Voor de gebiedsaanpak van grootschalige grondwaterverontreinigingen waarbij gebiedsgericht grondwaterbeheer is ingesteld gelden bijzondere regels. Het beheersen van de verontreiniging op een duurzame en verantwoorde manier is het uitgangspunt, met risicobeheersing als belangrijk punt. Verspreiding van verontreiniging tot **buiten het vastgestelde gebied** is ongewenst en wordt zoveel mogelijk voorkomen. **Binnen het gebied** geldt daarentegen dat eventuele verspreiding van verontreiniging acceptabel kan zijn, mits dit niet strijdig is met aangegeven beoogde functies van het betreffende grondwater ter plekke. Vrijelijk vertaald: mits de beoogde functie van het gebruik van het grondwater niet in gevaar komt door eventuele extra verspreiding van verontreiniging, dan is verspreiding geen onoverkomelijk probleem (meer). Door natuurlijke verwijderingsprocessen (zowel fysisch, biologisch als chemisch) – ook wel *natural attenuation* genoemd -, eventueel ondersteund door aanvullende in-situ maatregelen/saneringsacties kan de verontreiniging in het gebied verder afnemen. Belangrijk is daarbij hoe het beheer van het grondwater plaatsvindt en dat dit duurzaam gebeurt. Een gevolg hiervan is ook dat bijvoorbeeld het onderzoek naar pluimomvang en afbakening van verontreinigingen van de individuele gevallen niet meer noodzakelijk is. Grensbewaking blijft daarbij wel relevant.

Bronsaneringen blijven een belangrijke mogelijkheid om eerder tot een kwaliteitsverbetering te komen, doordat de verontreinigingsbron korter nalevert of er daling van de flux - verontreinigingsmassa per tijd- naar het grondwater optreedt. Naast bronsaneringen – een vereiste vanuit derden om te kunnen deelnemen aan de gebiedsgerichte aanpak, met overdracht van hun verantwoordelijkheid voor de grondwaterverontreiniging – kunnen ook *natural attenuation* processen optreden die het grondwater verbeteren. Daarnaast kunnen infrastructurele aanpassingen die in het belang van bovengrondse ontwikkelingen worden aangebracht (zoals onder andere WKO-systemen, industriële onttrekkingen, peilbeheer-onttrekkingen), op langere termijn bijdragen aan verbetering van de grondwaterkwaliteit.

Hiermee kunnen, voor wat betreft de ruimte binnen de wettelijke kaders voor gebiedsgericht grondwaterbeheer, de mogelijkheden voor de inpassing van WKO's als volgt samengevat worden:

- Verspreiding van verontreiniging in een gebiedsgerichte aanpak met een vastgesteld gebied onder strikte voorwaarden acceptabel is en dat daarmee inzet van (open) WKO-systemen daardoor beter inpasbaar is geworden;
- Gebiedsgerichte aanpak, ondanks eventuele verspreiding van verontreiniging binnen het vastgestelde gebied, daarbij niet mag leiden tot verhoogde risico's voor mens en ecosysteem;
- WKO-systemen kunnen bijdragen aan het versterken van het realiseren van de doelstelling tot kwaliteitsverbetering in een gebiedsgerichte benadering;
- Ingrepen in het grondwatersysteem middels bijvoorbeeld WKO's geen verhoogde risico tot verspreiding van verontreiniging **buiten** bijvoorbeeld de gebiedsgrens met zich mee mogen brengen.

Een belangrijk aspect voor de toepassing van WKO's in een gebiedsgerichte benadering is dan ook:

- a) Welke effecten heeft een (cluster van ) WKO-syste(e)men eventueel op het grondwater en op verontreinigingen op een gebiedsschaal (vanuit het oogpunt van kwaliteit van grondwater in relatie tot andersoortig gebruik van hetzelfde grondwater);
- b) in welke mate risico's ontstaan dan wel bestaande risico's binnen een gebied kunnen worden voorkomen of verminderd als gevolg van inzet van WKO-systemen (vanuit het oogpunt van risicobeheersing binnen gebiedsgerichte aanpak).

Zoals gesteld in het voorwoord richt dit rapport uit Meer met Bodemenergie zich op de meer technische aspecten van WKO-systemen binnen en gebiedsgerichte aanpak.

Meer juridische en organisatorische aspecten zijn door andere partijen onderzocht en gerapporteerd, zoals:

- Handleiding Juridische Helderheid in Grondwaterbeheer (Januari 2012) (SKB);
- Organisatie en financiering van gebiedsgericht grondwaterbeheer (Mei 2011 (Unvoeringsprogramma Bodemconvenant));
- Handreiking Masterplannen Bodemenergie (Oktober 2011) (SKB).



## 2 WKO-systemen binnen gebiedsgerichte aanpak

### 2.1 WKO-systemen in relatie tot verschillende gebruiksmogelijkheden van grondwater en verschillende doelstellingen

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 is gebiedsgericht grondwaterbeheer meer dan energie en meer dan verontreiniging. Het duurzaam gebruiken én beheren van grondwater en ondergrond is het overkoepelende principe. Voor het inpassen van verschillende bodem-energiesystemen is het belangrijk dat de verschillende uitvoeringsvormen duidelijk zijn. Daarom worden in dit hoofdstuk beknopt de verschillende gebruiksvormen van grondwater beschreven, met hun link naar WKO-gerelateerde systemen.

#### **Verschillende bodemenergiesystemen**

Bodemenergiesystemen zijn alle systemen die (I) warmte en/of koude uit het bodem/grondwatersysteem onttrekken of (II) die warmte en koude in de bodem periodiek opslaan en vervolgens weer onttrekken. In de eerste categorie valt geothermie, waarbij op grote diepte wordt onttrokken (voor warmtevraag) en die systemen waarbij grondwater via open systemen wordt onttrokken ten behoeve van warmte- of koudevraag, zonder dat het onttrokken water opnieuw wordt geïnfiltreerd. Dit zijn dus geen WKO-systemen, aangezien opslag niet plaatsvindt. In het kader van dit rapport zijn geothermiesystemen buiten beschouwing gelaten, enerzijds omdat ze niet zijn beschouwd en anderzijds omdat de directe relatie met gebiedsgericht grondwaterbeheer nauwelijks aanwezig is. In de tweede categorie vallen de open en gesloten systemen die worden benut om warmte en/of koude (nagenoeg altijd beiden) uit de bodem te onttrekken en daarbij ook de bodem als opslagmedium voor koude en warmte te benutten. De open systemen bestaan daarbij uit minimaal twee putten. Hier zijn verschillende uitvoeringsvormen: doubletten (een koude en een warme bron, in verschillende configuraties) of recirculatie (twee bronnen waarvan één bron constante temperatuur en de andere bron afwisselend kouder of warmer dan de omgeving). Gesloten warmtewisselaars combineren deze functie (of warmte eruit halen, met afkoeling van bodem/grondwater tot gevolg of vice versa).

Elk van de verschillende systemen biedt mogelijkheden tot combinaties en inzet in een gebiedsgerichte aanpak, waarbij inzet afhankelijk is van de andere gebruiksmogelijkheden van het grondwater in het gebied, de wensen en eisen ten aanzien van (kwaliteit van) het grondwater. Op basis van deze configuraties van de verschillende bodemenergiesystemen kan een combinatie met andere toepassingen worden gemaakt. Deze worden hier kort aangegeven.

## **Koppeling van bodemenergiesystemen aan andere functies cq. andere doelstellingen**

### *Bodemenergiesystemen, peilbeheer, industriële onttrekkingen*

Vaak vormen beheersdoelstellingen een belangrijk onderdeel van gebiedsgericht grondwaterbeheer. Dit kunnen bijvoorbeeld grondwateronttrekkingen zijn die nodig zijn voor peilbeheer. Ook kunnen industriële onttrekkingen nodig zijn voor proceswater of koelwater. Bodemenergiesystemen waarbij netto wateronttrekking plaatsvindt, passen prima bij deze “gebruiksvormen” van het grondwater. Uit de onttrokken waterstroom, voor industriële doelstelling of peilbeheer, kan dan eerst energie worden gewonnen.

In gebieden waar geen verontreiniging voorkomt kunnen deze combinaties technisch gezien relatief makkelijk worden gecreëerd. Mogelijk dat voor een bepaalde toepassing wel conditionering van het onttrokken water noodzakelijk is alvorens dit kan worden ingezet. WKO-systemen kunnen verandering van grondwatersamenstelling veroorzaken (MMB Rapportage 3/4), maar deze veranderingen zullen in de meest voorkomende gevallen van weinig negatieve invloed op de gebruiksmogelijkheden daarna zijn. Hoofdstuk 3 zal verder in gaan op grondwaterkwaliteitsveranderingen binnen het kader van gebiedsgericht grondwaterbeheer.

### *Bodemenergiesystemen in verontreinigde gebieden*

Binnen gebiedsgericht grondwaterbeheer is er ook een maatschappelijke behoefte aan de inpassing van WKO-systemen ter terugdringing van het energieverbruik door klimaatbeheersing van gebouwen. De toepassing van open WKO-systemen binnen een gevalsgerichte aanpak wordt momenteel belemmerd in de aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen vanwege het voorziene risico op verspreiding. Voorop bij de inpassing van WKO-systemen in een gebiedsgerichte aanpak staan de beheersdoelstellingen. De inpassing van WKO-systemen kan hier, afhankelijk van de condities, een verwaarloosbare dan wel positieve of negatieve invloed hebben. Hoofdstuk 3 zal verder in gaan op grondwaterkwaliteitsveranderingen binnen het kader van gebiedsgericht grondwaterbeheer.

Een belangrijke doelstelling binnen een gebiedsgerichte aanpak is in nagenoeg alle cases dat er geen verspreiding van verontreiniging met een bepaalde concentratie buiten de gedefinieerde gebiedsgrens zal plaatsvinden. Hiervoor is van belang dat er een goed beeld is van de (potentiële) verplaatsing van verontreinigingen binnen het gebied en met name van verspreiding in de richting van de gebiedsgrens. Open WKO-systemen die zich binnen het beheersgebied bevinden kunnen hierbij van sterke invloed zijn, zoals enerzijds snellere verspreiding van verontreinigingen richting gebiedsgrens en anderzijds sterke verdunning van verontreinigingsconcentraties. Daar waar de beheersdoelstelling een netto afname van (opgeloste) verontreinigingsvracht omvat, is ook de netto invloed van WKO-systemen op de mate waarin er afbraak plaatsvindt binnen het beheersgebied van belang.

In een beschouwing van de risico's geeft de Technische Commissie Bodembescherming (TCB, 2009) aan dat bij licht verontreinigd of diffuus verontreinigd grondwater in het stedelijk gebied de interactie tussen open WKO-systemen en verontreinigingen in principe nuttig kan zijn, maar dat de kans bestaat dat een WKO bijdraagt aan de verdere verspreiding van de verontreiniging. Voorts wijst de TCB op de mogelijkheid dat door WKO-systemen in stedelijk gebied diffuse verontreinigingen gemengd kunnen worden waarbij het volume verontreinigd grondwater in zijn totaliteit zou kunnen toenemen. Tevens kan de verontreiniging in horizontale en verticale richting verplaatst worden. In beide gevallen is er sprake van een achteruitgang van grondwaterkwaliteit die de TCB ongewenst vindt.

Het verlagen van de totale verontreinigingsvracht binnen het gebied is in meerdere gevallen een streven vanuit de initiatiefnemer voor gebiedsgericht grondwaterbeheer. Dit streven staat vaak naast de andere doelstellingen vanuit dezelfde initiatiefnemer, zoals meer duurzame energie, CO<sub>2</sub>-emissie reductie, en terugdringen van wateroverlast. Deze aspecten worden in een gebiedsgerichte aanpak onderling afgewogen.

Trendomkering wordt, ook vanuit het wettelijke kader, gezien als belangrijk gegeven en doel. Echter, vanuit de wetenschap dat er ook nog onopgelost product, met name in met VOCI's verontreinigde gebieden, aanwezig kan zijn, kan ook een toename van totale verontreinigingsconcentraties in het grondwater optreden. Het al dan niet bereiken van een trendomkering is daarbij ook afhankelijk – zoals algemeen onderkend – van de mate waarin bronsaneringen worden uitgevoerd.

Het voornamelijk voornaamste argument dat gebruikt wordt om open WKO-systemen toch toe te laten in verontreinigd grondwater is dat de beïnvloeding van het bodem- en grondwatersysteem door WKO-systemen mogelijk een netto gunstig effect zou hebben op de grondwaterverontreiniging. Het gaat daarbij in principe alleen om verontreinigingen die van nature ook afbreken in de bodem en het grondwater, te weten organische verontreinigingen als aromatische of gechloreerde koolwaterstoffen. Daarbij worden er in de praktijk globaal vier manieren aangedragen waarop WKO een gunstig effect zou kunnen hebben op de verontreinigingsvracht in het diepe grondwater:

1. Het gebruik van WKO-systemen om grondwaterverontreinigingen te beheersen;
2. Het rondpompen van (verontreinigd) grondwater kan ertoe leiden dat er een sterke daling van de (gemiddelde) concentratie aan verontreiniging ontstaat, waardoor ook risico's van de verontreiniging afnemen;
3. De verhoogde temperatuur in de warme bron kan de eventueel al optredende natuurlijke afbraak van (afbreekbare) verontreinigingen versnellen.
4. Het rondpompen van (verontreinigd) grondwater zou gunstig kunnen zijn voor de natuurlijke afbraak in een WKO-systeem door het mengen van de verontreinigingen met hulpstoffen en bacteriën.

Afhankelijk dus van de doelstellingen en eisen omtrent de verontreiniging – beheersing van de totale vracht, of netto afname van verontreinigingsvracht gewenst – kan WKO hier prima ingepast worden. Zeker voor beheersdoelstellingen en voor risicoreductie als gevolg van verdunning kunnen open WKO-systemen een positieve bijdrage leveren.

Of WKO-systemen ook tot extra afbraak of verwijdering van verontreiniging leiden is relevant indien de doelstelling van trendomkering en vrachtverwijdering een sterk bepalende factor is in de doelstellingen van het gebiedsgerichte grondwaterbeheer.

## 3 Effecten van WKO-systemen op verontreinigingen en op grondwaterkwaliteit

### 3.1 Status van de kennis over effecten bij aanvang MMB

Een belangrijke vraag bij aanvang van het Meer met Bodemenergie project was: welke effecten heeft een WKO-systeem op het bodemsysteem en hoe verenigbaar zijn eventuele effecten met andere gebruiken van grondwater? Over de chemische, biologische en fysische effecten was bij aanvang van het project relatief weinig bekend en datgene wat er was, was niet samengevoegd beschikbaar. Vandaar dat binnen MMB naast een uitgebreide literatuurstudie, ook veldmetingen op veldlocaties zijn uitgevoerd, aangevuld en ondersteund met modelmatige uitwerkingen.

Effecten op biologische en chemische parameters zijn op 9 locaties via veldmetingen vastgesteld. De resultaten hieruit zijn in andere deelrapporten van MMB vastgelegd en uitvoerig beschreven (Deelrapporten 3 en 4). In deze rapportage wordt derhalve volstaan met een korte overzicht van de conclusies aangaande biologische en chemische effecten in de context van een gebiedsgerichte aanpak.

Effecten op grondwaterkwaliteit van grootschaliger gebruik van WKO-systemen binnen een beheersgebied, door interferentie of aanwezigheid van verontreinigingen als puur product in zaklagen (DNAPL, dense non-aqueous phase liquid), worden in dit hoofdstuk uitgewerkt. Van deze interferentie en effect op DNAPL zijn geen veldmetingen voorhanden en zijn conclusies en doorvertaling naar de gebiedsgerichte aanpak dan ook gebaseerd op modelmatige beschouwingen.

Veel van de openstaande technische vragen spitsen zich toe op het enerzijds faciliteren van het gebruik van de (verontreinigde) ondergrond voor WKO en anderzijds het benutten van de mogelijk beheersende en een eventueel sanerende functie van WKO-systemen. Om de mogelijkheid voor het combineren van WKO en gebiedsgericht grondwaterbeheer in beeld te brengen, zijn al diverse studies uitgevoerd voor de lopende initiatieven. Het betreft in alle gevallen 'desktop studies'; er is nog geen ervaring opgebouwd in pilots of volledig geïmplementeerde trajecten, zeker niet met meetresultaten c.q. monitoring waaruit de overall effecten van de gebiedsgerichte aanpak met daarin WKO-systemen inzichtelijk zijn.

Ook gaan die studies er veelal van uit dat WKO altijd optimaal kan worden ingezet in de gebiedsgerichte aanpak en daarmee dus per definitie positief bijdragen aan de algehele doelstelling. Opvallend is dat deze doelstellingen vaak ook een sanerend karakter hebben, terwijl in praktijk de doelstellingen van gebiedsgericht grondwaterbeheer breder (kunnen) zijn. De reeds uitgevoerde (verkennde) studies geven wel een goede doorkijk naar diverse procesmatige, technische en organisatorische aandachtspunten voor het combineren van gebiedsgericht grondwaterbeheer en WKO. Hieronder wordt op enkele specifieke zaken nader ingegaan:

- *Effecten van open WKO's op grondwaterverontreinigingen:*

Tot nu toe werden met name de mogelijk gunstige effecten van WKO's benoemd (zowel mengeffect als temperatuureffect), maar over de werking daarvan is nog veel onbekend. Dit wordt niet expliciet benoemd in de beschikbare studies. Er wordt geredeneerd dat de grotere geïnduceerde grondwaterstroming in combinatie met een hogere temperatuur leidt tot versnelde afbraak van de verontreiniging. Onderbouwing van deze aannamen ontbreekt. Er is nog onvoldoende gedegen wetenschappelijk onderzoek voorhanden die deze redenatie onderbouwt, zoals ook aangegeven door de TCB (2009). De TCB vindt dat deze ontwikkeling aanvullend onderzoek verdient. Ook wordt er geen rekening gehouden met invloeden, zoals de aanwezigheid van zaklagen, die mogelijk negatieve effecten kunnen hebben op de ontwikkeling van de concentraties en de totale vracht aan verontreinigingen. Tegelijkertijd wordt aangegeven dat op veel locaties met verontreinigd grondwater de verontreinigingsbronnen, zoals zaklagen, niet zijn uitgekarteerd.

- *Grondwatermodellering:*

Grondwatermodellering is een veelvuldig gebruikte methodiek om het verspreidingsgedrag van verontreinigingen in grondwatersystemen te beschrijven. Hierbij is het vaak ook belangrijk het optreden van afbraakprocessen mee te nemen. Het tot nu gebruikte modelinstrumentarium blijkt echter niet goed geschikt te zijn om het effect van WKO-systemen in grootschalig verontreinigd gebied in beeld te brengen. Waar in de werkelijkheid de onttrokken verontreinigingsvracht direct weer wordt geïnjecteerd, is het niet mogelijk dit proces in de beschikbare modelcodes adequaat te simuleren. Ook kan onvoldoende ruimtelijk detail er in modelleringsstudies voorzorgen dat deze te grofmazig zijn, waardoor geen goed inzicht in de verplaatsing van verontreinigingen kan ontstaan.

Het integreren van WKO-systemen in grondwatermodellen en de daarbij behorende stoftransportmodellering wijkt af van conventionele modellen voor de beschrijving van pluimontwikkeling en kan daardoor tot afwijkingen in de modellering voor WKO-systemen leiden. Door het niet goed (kunnen) modelleren kan het voorkomen dat concentraties sterk worden versmeert en dus mogelijk veel sneller zullen dalen in het model dan in de werkelijkheid. Daarbij bestaat dus de kans dat er over- of onderschatting van bepaalde verontreinigingsconcentraties worden gevisualiseerd.



Om rekening te kunnen houden met de daadwerkelijke effecten van WKO's binnen een gebiedsgerichte beheersaanpak is het nodig om alle relevante processen die kunnen bijdragen aan deze effecten modelmatig te beschouwen. Het modelleren van grondwatertransport van verontreinigingen en eventuele afbraak voor een individueel WKO-systeem of in een gebiedsgerichte setting vereist dus een vernieuwde aanpak en aanpassingen van bestaande modelcodes. Hiermee wordt ook tegemoet gekomen aan de behoefte om beter onderbouwde keuzes te kunnen maken voor het ontwerp van het bij de gebiedsgerichte aanpak benodigde monitoringnetwerk en de frequentie van monitoren. Ook kan voor verschillende varianten van een gebiedsgerichte beheersaanpak vergeleken worden in welke mate deze aan de gestelde beheersdoelstellingen voldoen.

### **Focus van Meer met Bodemenergie in dit rapport**

Specifiek voor de inzet van WKO bij gebiedsgericht grondwaterbeheer worden in dit Meer Met Bodemenergie rapport de volgende vragen behandeld:

- Welke combinaties met ander onder- of bovengronds gebruik kunnen er via WKO binnen gebiedsgericht beheer worden gemaakt?
- Kunnen WKO-systemen bijdragen aan het realiseren van een risico-gebaseerd gebiedsgericht grondwaterbeheer?
- Hoe kunnen open WKO-systemen een mogelijkheid bieden om de verontreinigingslast te beheersen?
- Kunnen open WKO-systemen in grootschalig verontreinigd gebied substantieel bijdragen aan het verbeteren van de grondwaterkwaliteit, en zo ja onder welke condities?
- Onder welke condities zijn er mogelijk negatieve effecten van open WKO-systemen op de verontreinigingscondities?

## **3.2 Resultaten veldmetingen MMB pilotlocaties**

In het kader van de inpasbaarheid van WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte aanpak zijn verschillende, onderzochte aspecten van belang: verandert door WKO-toepassing de chemische en/of biologische samenstelling en zo ja, welk effect heeft dat op het gebruik van grondwater voor andere toepassingen? En heeft toepassing van WKO een effect op verontreinigingen?

### **3.2.1 Effecten op grondwaterkwaliteit**

Bij gebruik van grondwater voor bijvoorbeeld proces- of koelwater, maar ook bij bijvoorbeeld beekherstel of peilbeheer (met daaraan gebonden lozing van onttrokken water) kan de chemische en biologische samenstelling van belang zijn.

Voor detailinformatie over de effecten van WKO-systemen op grondwaterkwaliteit wordt verwezen naar de MMB rapporten 3 en 4, maar samenvattend kan gesteld worden dat het onderzoek op de 9 locaties heeft uitgewezen dat bij de temperatuursbereiken die met de huidige WKO-systemen worden gecreëerd (in de range van tot 25 °C) er nagenoeg geen significante veranderingen in chemische of biologische samenstelling optreden. Alleen bij hoge temperatuur opslagsystemen treden wel duidelijke veranderingen in chemische samenstelling op die effect kunnen hebben op de toepasbaarheid voor andersoortig gebruik. Denk bijvoorbeeld aan verhoogde calciumgehalten, die tot extra scaling kunnen leiden. Microbiologisch zijn er eveneens weinig verschillen waargenomen en bijvoorbeeld stimulatie van pathogene (ziekteverwekkende) organismen is niet aangetoond in WKO beïnvloede gebieden. Daar waar temperatuurverschillen in de genoemde temperatuurrange niet tot significante grondwaterkwaliteitsveranderingen leidden op de onderzochte locaties, zorgde menging van verschillende grondwatertypen wel tot waarneembare kwaliteitsveranderingen. In de context van gebiedsgerichtgrondwater beheer en de mogelijkheid voor het gebruik van grondwater voor andere doeleinden lijkt met name het mengen over sterke chloridegradienten (zoet en zout grondwater) een aandachtspunt. Maar bijvoorbeeld ook veranderingen in ijzerconcentraties door menging kunnen de toepasbaarheid van het grondwater voor andere doeleinden beïnvloeden. Hierbij wordt de invloed van menging met name van mogelijke invloed geacht op de toepasbaarheid van het grondwater als proces – en/of drinkwater beïnvloeden, alsmede mogelijk ook de waterkwaliteit voor grondwaterontvangende natuurgebieden.

### 3.2.2 Effecten WKO op verontreiniging en afbraak

WKO-systemen hebben het kenmerk dat er verschillen in grondwatertemperatuur optreden, naast verhoogde ook lagere temperaturen. In verschillende bodemsaneringsprojecten zijn er ervaringen opgedaan met het sanerende effect (bv. door versnelde desorptie of afbraak) van verhoogde temperaturen thermische saneringstechnieken, zoals electroreclamatie of sixphase heating. De toegepaste temperaturen (30 -100°C) zijn bij deze technieken in de regel hoger dan bij de meeste WKO-systemen. Binnen Meer Met Bodemenergie is onderzoek gedaan op 2 met VOCl verontreinigde WKO locaties (met temperaturen < 20°C). De resultaten van dit onderzoek naar de effecten van de aanwezige WKO-systemen op de VOCl verontreinigingen zijn gedetailleerd beschreven in rapportage 9. Daarnaast is er een modelinstrumentarium ontwikkeld waarmee op basis van locatie en/of gebiedsspecifieke condities en eigenschappen de te verwachten netto effecten van een WKO-systeem op de grondwaterverontreinigingssituatie te bepalen zijn. In deze modelbenadering kunnen de netto-effecten van de mate van verdunning, de mate en wijze van afbraak alsmede het eventueel optreden van (versnelde) nalevering uit zaklagen of immobiele zones (bv. kleilagen) integraal worden bepaald en afgewogen. Vanuit dat perspectief worden hieronder de 2 met VOCl verontreinigde WKO locaties beschreven, waarna een nadere beschrijving van het modelonderzoek illustreert onder welke condities welke effecten op de grondwaterverontreinigingssituatie te verwachten zijn.

### **WKO locatie centrum Utrecht**

Op de onderzochte WKO locatie centrum Utrecht is ongeveer 20 jaar lang een WKO installatie actief in een met VOCIs verontreinigd grondwaterpakket. De VOCIs bestaan voornamelijk uit de afbraakproducten cis-DCE en VC. De daarbij waargenomen aanwezigheid van specifieke organismen en de isotoopsignatuur voor deze componenten suggereren dat er afbraak heeft plaatsgevonden. Ook in andere delen van de Utrechtse ondergrond die (nog) niet door WKO-systemen zijn beïnvloed worden deze componenten als voornaamste VOCIs gevonden. Er heeft dus biologische afbraak van VOCIs plaatsgevonden maar er zijn geen indicaties dat door de WKO installatie **netto meer** afbraak optreedt dan zonder WKO-systeem. Dus de natuurlijke afbraakprocessen worden hier waarschijnlijk niet extra gestimuleerd door het WKO-systeem, noch door de temperatuurverschillen van enkele graden, noch door de extra dynamiek.

Na 20 jaar lijkt het net zo min dat het WKO-systeem negatieve effecten heeft gehad op de verontreinigingssituatie. Er zijn geen sterke verhogingen van VOCIs aangetroffen die op versterkte oplossing van zaklagen zouden wijzen. Wel zijn er lokaal hogere concentraties te vinden die lijken te wijzen op nalevering. Ook lijkt het WKO-systeem niet geleid te hebben tot grotere verspreiding in vergelijking tot andere delen van de Utrechtse ondergrond. Dit beperkt de mate waarin versterkte afbraak onder sediment-gelimiteerde condities zou kunnen optreden. Het is echter waarschijnlijker dat de heersende redox-condities de belangrijkste belemmering zijn voor de verdere afbraak van cis-DCE en VC.

### **WKO locatie Strijp-S**

Het WKO recirculatie systeem op de locatie Strijp-S is in 2011 in bedrijf genomen. Ook hier zijn de afbraakproducten cis-DCE en VC de voornaamste VOCIs in het grondwater. Er zijn dus ook hier aanwijzingen dat er onder de condities zonder WKO natuurlijk afbraak van VOCIs optreedt of heeft opgetreden. Op de locatie zijn zowel vóór als na het opstarten van het WKO-systeem monsters genomen zodat het effect van verhoogde grondwaterdynamiek op de VOCl afbraak en ongewenste VOCl verspreiding onderzocht kon worden. Vooralsnog verschuiven de concentraties nog niet eenduidig in een richting die op versterkte zaklaag oplossing of afbraak zou wijzen. Wel lijkt er water het WKO-systeem ingetrokken te worden, waardoor er binnen het WKO-systeem in de eerste monitoringsronde hogere organisch stof gehalten én verhoogde aantal afbraak-gerelateerde bacteriën zijn waargenomen. Door de WKO-toepassingen lijken de condities voor afbraak, in ieder geval op een deel van de locatie, dus te zijn verbeterd. Aangezien het WKO-systeem tijdens de bemonstering minder was doorgespoeld dan verwacht is het echter nog te vroeg om conclusies te trekken over de effecten op de gehele locatie. Ook moet nog blijken hoe zich dit verhoudt ten opzichte van hoe de verontreinigingssituatie zou hebben ontwikkeld zonder WKO. Hiervoor is verdere monitoring nodig, om te bekijken of de ogenschijnlijk verbeterde condities zich enerzijds verder uitbreiden (blijvend effect, op grotere, functionele schaal) en anderzijds of dit inderdaad – conform verwachting – dan ook leidt tot versnelde afbraak van verontreiniging ten opzichte van een niet door WKO beïnvloede zone met verontreiniging. Met andere woorden: verdwijnen de oorspronkelijke intermediaire afbraakproducten nu ook sneller en worden ze omgezet in gewenste eindproducten in het WKO beïnvloede gebied?

### *Ervaringen met invloed van temperatuur op afbraak*

In verschillende bodemsaneringsprojecten zijn tevens ervaringen opgedaan met het effect van verhoogde temperaturen op de sanering. Zo zijn er verschillende thermische saneringstechnieken, zoals electroreclamatie of sixphase heating, toegepast waarbij de temperatuur van de bodemmatrix en het grondwater (sterk) is verhoogd. Deze fysische saneringstechnieken, gebaseerd op het gegeven dat door de verhoogde temperatuur desorptie van verontreiniging wordt versneld met een versnelde verwijdering van verontreiniging tot gevolg, bleek ook in verschillende gevallen de biologische afbraak te stimuleren.

De ervaringen bij deze saneringen tonen aan dat biologische processen worden versneld. Bij de sanering in Nieuwpoort – een van de eerste saneringen met electrobioreclamatie – is de bodem opgewarmd tot circa 40 °C. Bij deze temperatuur bleek de desorptie toe te nemen en werden de vrijgekomen componenten ten opzichte van referentiegebieden (zonder temperatuurverhoging) snel afgebroken. De betreffende temperatuur was daarbij dus circa 4 keer zo hoog als de natuurlijk voorkomende temperatuur. Bij deze temperatuur bleken dezelfde verontreiniging-afbrekende bacteriën voor te komen en actief te zijn dan in de niet verhoogde temperatuur-bereiken.

Soortgelijke effecten werden aangetroffen bij toepassing van Sixphase Heating in Zwijndrecht waarbij de temperatuur opliep tot circa 80 °C. Bij deze temperatuur trad voornamelijk fysische verwijdering van verontreiniging op, maar bleken de gechloreerde ethenen verontreinigingen afbrekende organismen nog steeds in verhoogde aantallen aanwezig te zijn. Deze populatie herstelde zich weer (en nam in aantallen toe) nadat de temperatuur verder daalde en bij dosering van koolstofbronnen.

De voorgaande ervaringen geven aan dat bij verhoogde temperaturen tot 40 °C interessant kunnen zijn en versnelling van natuurlijk optredende afbraakprocessen kunnen genereren. En dat tevens bij sterk verhoogde temperaturen bepaalde populaties aan bacteriën zich standhouden in de bodem. Wat aangeeft dat er veerkracht in de bodempopulaties zit.

### **3.3 Modelmatige evaluatie van effecten van WKO-systemen in verontreinigd gebied**

Gebiedsgericht grondwaterbeheer kent voor een belangrijk deel zijn oorsprong in het op effectieve wijze omgaan met grootschalig verontreinigd grondwater, dat niet op de traditionele gevalsgerichte aanpak makkelijk gerealiseerd kan worden. Binnen het kader van een gebiedsgericht beheer van verontreinigd grondwater kunnen het ontwerp van open WKO-systemen op de verontreinigingssituatie mogelijk zo op elkaar afgestemd worden dat er meerdere doelen te behalen zijn. Een beter inzicht in het gedrag van grondwaterverontreinigingen en de sterke vraag naar duurzame energie hebben ervoor gezorgd dat deze interactie steeds meer onder de aandacht is gekomen.

Het voor open WKO vereiste onttrekken en infiltreren van grondwater wordt ook bij sanerings- en beheersmaatregelen van bodemverontreinigingen toegepast. Daarnaast zou menging, verspreiding en temperatuursverhoging natuurlijke afbraak van VOCIs kunnen stimuleren, wat vooral een positief effect zou hebben op reeds in het grondwater opgeloste verontreinigingen. Aan de andere kant is vanuit ervaringen met grondwatersanering ook bekend dat zaklagen lange tijd voor nalevering van VOCl aan het grondwatersysteem kunnen zorgen. Een belangrijk aspect van WKO in combinatie van gebiedsgericht grondwaterbeheer is derhalve de impact die (één of meerdere) WKO's kunnen hebben op verwijdering of beheersing van verontreiniging.

Zowel de ruimtelijke als temporele schaal waarover gebiedsgericht grondwaterbeheer zich uitstrekt is groot. Cruciaal bij een goede onderbouwing van gebiedsgericht grondwaterbeheer is de mate waarin een realistische voorspelling kan worden gedaan over hoe de grondwaterkwaliteit beïnvloedt zal worden door de (geplande) gebiedsgerichte maatregelen. Op basis hiervan kan ook de meest zinvolle en efficiënte monitoring worden vorm gegeven. Om tot een realistische inschatting te komen van de effecten van een WKO-systeem op grondwaterverontreinigingen moeten alle mogelijk relevante processen meegenomen kunnen worden.

Nog los van het effect van meerdere WKO op verontreinigingen binnen een beheersgebied, zijn voornamelijk de mogelijke effecten van een individueel WKO-systeem op grondwaterverontreinigingen onvoldoende bekend. Doel van de uitgevoerde modelstudie voor de interactie tussen verontreinigingen was dan ook het integreren van een breed scala aan relevante processen in één model. Hiervoor zijn met behulp van een casestudy bepalende factoren en risico's onderzocht, waarbij vooral ook de invloed van zaklagen is meegenomen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste aspecten van het modelonderzoek toegelicht. Een overzicht van dit onderzoek is recent gepubliceerd {Zuurbier, 2011 #126} en voor een gedetailleerde MMB-rapportage van de volledige modelstudie met achtergronden wordt verwezen naar het daarvoor opgestelde rapport.

### 3.3.1 Belangrijke processen en modelinstrumentarium

Standaard voor het uitvoeren van het transportmodellering van mobiele verontreinigingen zijn de processen van advectie, dispersie en retardatie (sorptie aan sedimentkorrels door mobiele verontreinigingen). Daarnaast zijn in de modelleringsaanpak de aanvoer van mobiele verontreinigingen uit bronzones (bijvoorbeeld zaklagen) en natuurlijke afbraak van de verontreiniging in oplossing als mogelijke processen opgenomen. Ook zonder de installatie van een WKO-systeem kunnen deze processen al plaatsvinden, het netto effect van een WKO wordt dus bepaald door de mate waarin een WKO-systeem de verontreinigingssituatie verandert ten opzichte van de autonome ontwikkeling die zonder WKO-systeem zou plaatsvinden. Er is daarom in deze modelstudie ook een vergelijking gemaakt met de ontwikkeling onder autonome condities zonder WKO-systeem.

De combinatie van WKO en saneringen is voornamelijk beschouwd voor VOCl verontreinigingen. Daarom is perchloroethyleen (PER, PCE) voor deze modelstudie als uitgangsverontreiniging gekozen. De natuurlijke afbraak geschiedt in het geval van VOCIs doorgaans sequentieel, waarbij broncomponenten PER en TRI (trichlooretheen) via de afbraakcomponenten cis-DCE en vinylchloride (VC) afgebroken worden naar etheen.

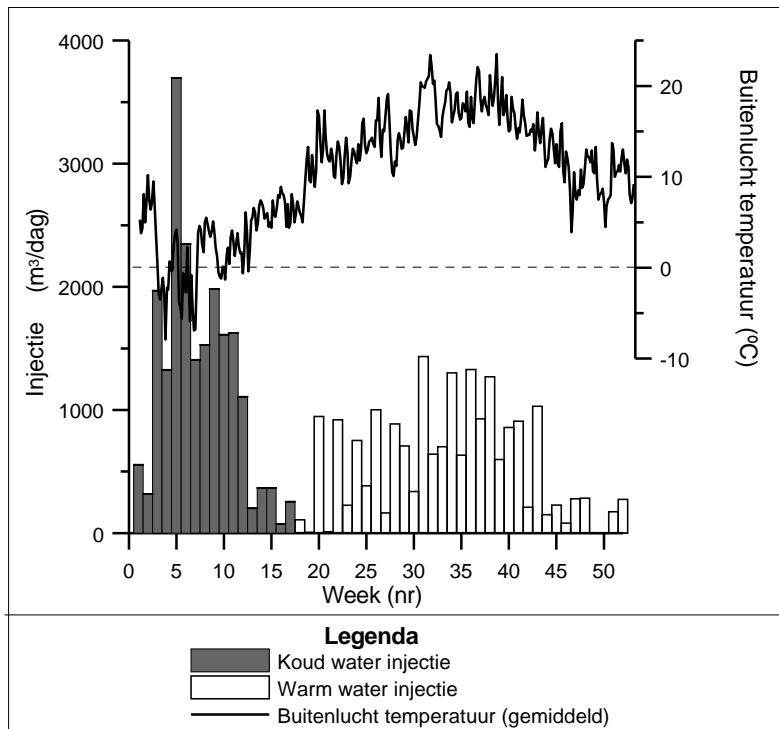
De snelheid van deze natuurlijke afbraak is sterk afhankelijk van de heersende redox-condities. Zo is bekend dat PER en TRI snel anaeroob afbreken onder sterk anaerobe condities, terwijl cis-DCE en VC daarentegen onder deze condities langzamer afbreekbaar kunnen zijn. In dat geval kan daardoor 'ophoping' van cis-DCE en vinylchloride ontstaan. Sequentieel afbraak is daarom opgenomen in het model. Een belangrijk aspect dat het effect van WKO-systemen op de mate van afbraak bepaald is welke factor deze afbraak onder de autonome condities limiteerd. Als er voldoende reactief organisch materiaal aanwezig is kan de limiterende factor de hoogte van verontreinigingsconcentratie zelf zijn. Deze condities treden bijvoorbeeld op als er hulpstoffen worden toegediend om de natuurlijke afbraak te versnellen. Onder natuurlijke omstandigheden is echter vaak de natuurlijke afbraakcapaciteit van de bodem limiterend en kan een contact met een groter bodemvolume leiden tot versnelde afbraak. De effecten van deze twee verschillende condities zijn ter vergelijking meegenomen in deze modelstudie.

De modelcode PHT3D is gebruikt om natuurlijke afbraak en oplossing vanuit een zaklaag binnen het grondwatersysteem te modelleren. Binnen deze modelcode wordt MODFLOW gebruikt om grondwaterstroming te modelleren. Daarnaast is om het onttrekken en injecteren via lange filters en de daarmee samengaande menging in de put te simuleren een recente package binnen MODFLOW (de Multi-Node-Well) gebruikt. De door deze menging verkregen concentratie werd in het model direct geïnjecteerd ter plaatse van de injectieput, waarvoor een aanpassing in de oorspronkelijke modelcode is gemaakt. Hiermee is de basis gelegd van om de effecten van WKO op verontreinigingen onder specifieke condities modelmatig te beschrijven en de te verwachten ontwikkeling te bepalen.

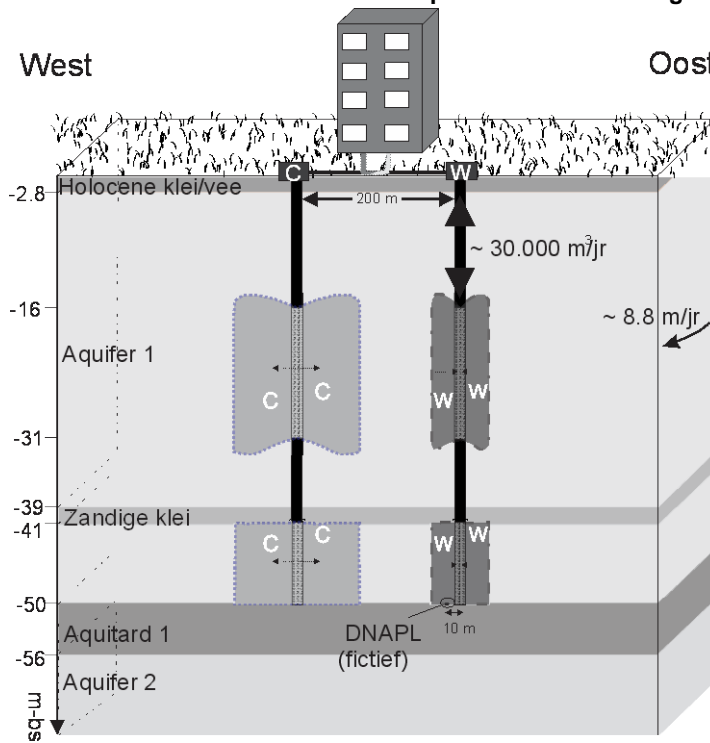
### 3.3.2 Casestudy 'Uithof'

Om de geïntegreerde modelcode te testen en bepalende factoren en risico's te analyseren is gebruik gemaakt van informatie over de bestaande WKO-installatie ter plaatse van de 'Uithof' te Utrecht. Hoewel deze locatie niet verontreinigd is, is voor deze locatie gekozen omdat er gedetailleerde informatie beschikbaar was met betrekking tot bodemopbouw, WKO-configuratie en verpompte debieten (figuur 3.1). De in dit model beschreven VOCl-verontreiniging is dus fictief. In het model is de bestaande WKO-configuratie vereenvoudigd door het dubbele doublet te vervangen door 1 doublet. De hydrogeologische opzet van het model is geschematiseerd weergegeven in figuur 3.2.





figuur 3.1 De geobserveerde buitenluchttemperatuur en gebruikte pompgebieden voor de WKO installatie op de locatie “Uithof” gedurende een jaar



figuur 3.2 Gesimplificeerde bodemopbouw en WKO-configuratie ‘Uithof’

Met het ontwikkelde model zijn vervolgens een flink aantal verschillende modelscenario's uitgevoerd, waarbij de invloed van verschillende factoren is onderzocht. De 4 belangrijkste scenario's staan vermeld in figuur 3.3. Voor de scenario's die rekening hielden met de aanwezigheid van een zaklaag, is een 0,3 meter hoge kleine bron van 630 liter PEE onderin de eerste aquifer geplaatst.

Als startpunt voor alle vier hoofdscenario's (tabel 3.1) is een modelmatig gegenereerde pluim als uitgangspunt genomen. De scenario's zijn doorgerekend voor een duur van 20 jaar. Voor elk scenario is een sediment-gelimiteerde en verontreinigings-gelimiteerde afbraak opgenomen (halfwaarde tijd van ~4 jaar). In het referentie scenario (autonoom) verspreidt deze pluim zich zonder WKO verder onder het optreden van afbraak. In de overige scenario's (2-4) is het WKO-systeem in werking gezet in de aan- en afwezigheid van een zaklaag en/of afbraak.

### 3.3.3 Bespreking modelscenario's

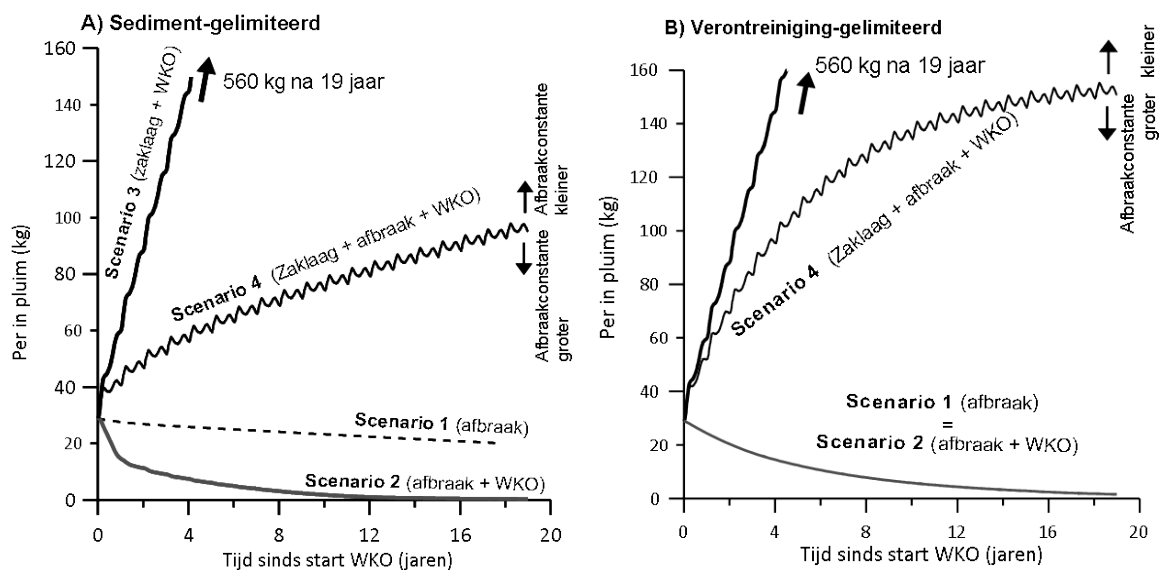
De uitkomsten van de verschillende scenario's geven aan dat de ontwikkeling van de massa PER in de pluim (figuur 3.3) zowel toe als af kan nemen ten opzichte van het referentiescenario en dat dit afhankelijk is van de verontreinigings- en afbraakcondities waaronder er gemodelleerd is. In scenario 3 zorgt het optreden van versnelde oplossing van een zaklaag door de verhoogde grondwaterstroming in het WKO-systeem tot sterke toename van de verontreinigingsmassa in de pluim ten opzichte van het referentie scenario (1). Bij het optreden van afbraak kan een deel van deze massatoename gecompenseerd worden en de totale verontreinigingsmassa stabiel worden met de tijd. De verontreinigingsmassa waarbij deze stabiel wordt hangt af van de mate waarin afbraak plaatsvindt, bij sterkere afbraak is deze massa lager. Het al dan niet optreden van biologische afbraak en de snelheid waarmee dit optreedt is dus van grote invloed op de eindresultante.

**tabel 3.1 Gemodelleerde hoofdscenario's casestudy 'Uithof'**

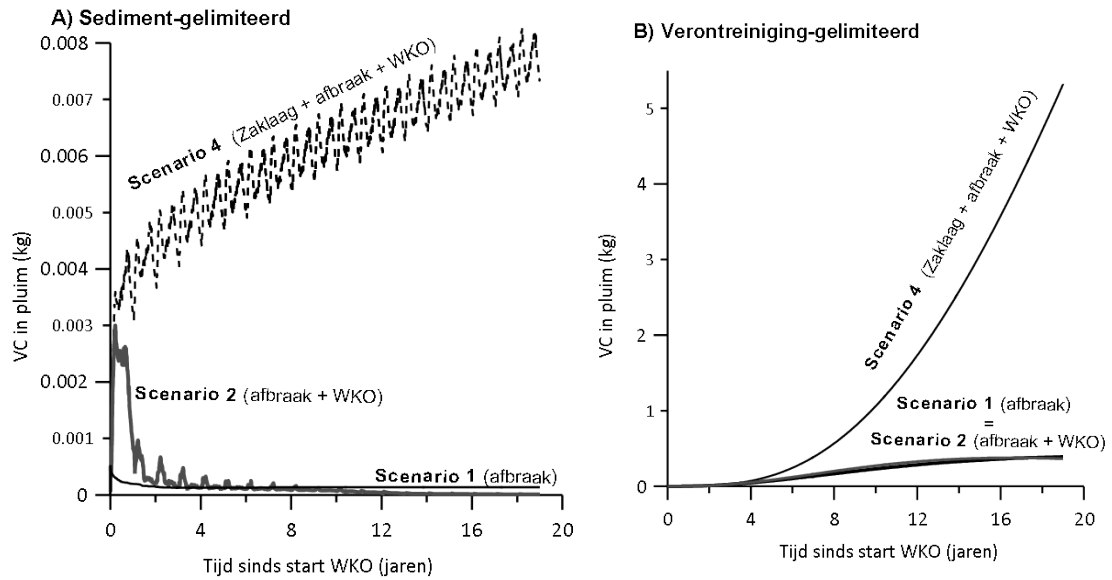
Scenario	Kenmerk	Afbraak	WKO	Zaklaag	Effect
1	referentie: WKO, zaklaag afwezig	X			Volume concentratie >I blijft groot
2	afwezigheid zaklaag	X	X		Volume >I neemt af, volume >S juist eerst toe
3	afwezigheid afbraak		X	X	Snelle toename vracht, groot volume >I
4	alle factoren aanwezig	X	X	X	Afhankelijk van verhoudingen

Scenario 2 toont de ontwikkeling van verontreinigingsmassa in het grondwater in de afwezigheid van versterkte oplossing uit een zaklaag. Hierbij valt op dat voor het geval waarin de afbraak gelimiteerd wordt door de afbraakcapaciteit in het sediment (figuur 3.3) de verontreinigingsmassa sterk afneemt ten opzichte van het referentie scenario (1). Dit is het gevolg van het verspreiden van de grondwaterpluim over een groter bodemvolume dan in het referentie scenario. Daar waar de afbraak gelimiteerd wordt door de verontreinigingsconcentratie leidt deze verspreiding niet tot versterkte afbraak aangezien de met deze verspreiding gepaard gaande concentratieverduunning evenredig lagere afbraak-snelheden tot gevolg heeft. De periodiciteit die te zien is in de ontwikkeling van de verontreinigingsmassa hangt samen met de afwisseling van injectie en extractie van grondwater in het WKO-systeem.

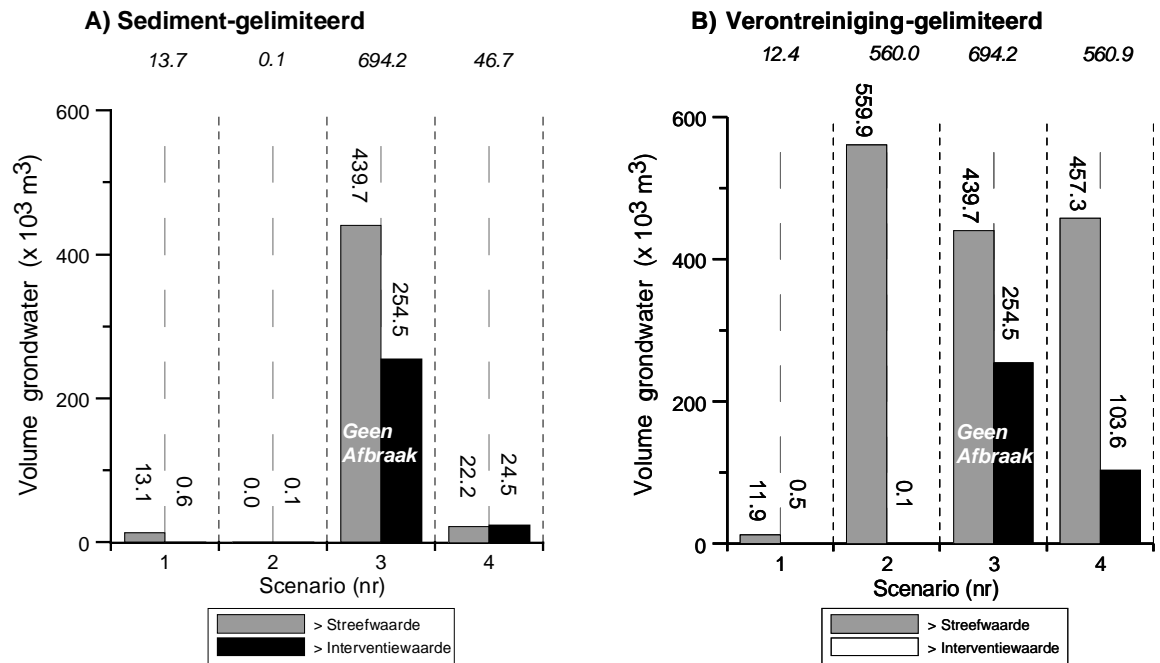
Voor de ophoping van het afbraakproduct vinylchloride (figuur 3.4) kan het zelfde gezegd worden, zij het dat de totale verontreinigingsmassa's veel lager zijn. Ook accumuleert VC onder de ingestelde afbraak condities sterker als de afbraak verontreinigings-gelimiteerd is.



figuur 3.3 **Ontwikkeling van verontreinigingsmassa in de pluim als Per met A) sediment-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4. en B) verontreiniging-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4**



**figuur 3.4** Ontwikkeling van verontreinigingsmassa in de pluum als vinylchloride (VC) met A) sediment-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4. en B) verontreiniging-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4



**figuur 3.5** Per verontreinigingsvolumes na 20 jaar met A) sediment-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4. en B) verontreiniging-gelimiteerde afbraak voor scenario's 1, 2 en 4

Niet alleen de ontwikkeling van de verontreinigingsmassa in het grondwater verschilt voor de verschillende scenario's, ook de ontwikkeling van verontreinigingsvolumes verschilt. De scenario's met een WKO-systeem leiden allen tot een initiële vergroting van het verontreinigingsvolume door verdunning over een groter bodemvolume ten opzichte het referentiescenario. Na 20 jaar (figuur 3.5) is alleen voor de scenario's met een zaklaag (3 en 4) het totale volume verontreinigd met PER groter dan voor het referentiescenario. Voor de afbraak onder verontreinigings-gelimiteerde condities valt op dat het verontreinigingsvolume na 20 jaar (figuur 3.5) vele malen groter is dan voor het referentiescenario. Dit ondanks dat de totale afname in verontreinigingsmassa gelijk is voor deze scenario's (figuur 3.5). Dit komt doordat de verspreiding van de verontreiniging in het WKO-systeem onder deze afbraakcondities wel leidt tot het optreden van afbraak in een groter bodemvolume, maar dat de door verdunning verlaagde concentraties ook tot evenredig lagere afbraaksnelheden leiden. Hierdoor is vooral het volume met concentraties boven de streefwaarde persistent.

### 3.3.4 Locatiespecifieke factoren

De hierboven behandelde processen zijn afhankelijk van de in deze case study gebruikte locatiespecifieke factoren. Deze zijn van belang bij het inschatten van de te verwachten verontreinigingontwikkeling onder andere condities. In deze studie werden drie locatiespecifieke factoren verwerkt die een belangrijke rol spelen bij de afweging van de invloed en het ontwerp van WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte beheeraanpak van verontreinigd grondwater:

1. filterlengte van in het WKO –systeem gebruikte filters ten opzichte van de dikte (en breedte) van de pluim bepaalt de mate van menging, verspreiding en verdunning.
2. de limiterende condities voor afbraak en de afbraakconstante bepalen de mate waarin afbraak kan optreden.
3. de aanwezigheid, het volume en de locatie van een zaklaag ten opzichte van het beïnvloedingsgebied van WKO kan zorgen voor een langdurige toename van verontreinigingsconcentraties, zelfs bij het optreden van menging en afbraak.

De mate van verspreiding is in de gemodelleerde cases uitzonderlijk hoog, er wordt een pluim van een 0,3 m hoge bronzone verdunt met grondwater uit een pakket met een totale dikte van 24 m (figuur 3.2). Met deze verticale verdunningsfactor van 80 wordt met name sediment-gelimiteerde afbraak gestimuleerd ten opzicht van het referentiescenario (figuur 3.3). Als verontreinigingen reeds een ruimere verspreiding hebben zal de installatie van een WKO-systeem voor minder aanvullende verspreiding kunnen zorgen. Deels wordt de mogelijkheid voor verspreiding ook beperkt door de onwenselijkheid verontreinigingen te introduceren in nog schone delen van een aquifersysteem.

De referentiescenario's voor de afname van PER massa onder sediment-gelimiteerde en verontreinigings-gelimiteerde condities, laten zien dat de afbraak in het tweede geval veel sneller verloopt. In dit geval komt de gebruikte afbraakconstante overeen met een halfwaarde tijd van ongeveer 4 jaar. Een relatief snelle waarde voor afbraak als deze onder niet gestimuleerde condities zou plaatsvinden. Hoewel de sediment-gelimiteerde afbraak (figuur 3.4) leidt tot veel langzamere afname van de verontreinigingsmassa, kan deze wel sterk worden versneld bij voldoende hoge mate van verspreiding. Voor het inschatten van het effect van een WKO-systeem op de totale afname van de verontreinigingsmassa is het dus van belang vast te stellen op welke wijze de microbiele afbraak van verontreinigingen wordt gelimiteerd. Hierbij moet trouwens worden opgemerkt dat het model er vooralsnog vanuit gaat dat de redoxcondities in de aquifer geschikt zijn voor afbraak en niet negatief of positief worden beïnvloedt worden door menging in het WKO-systeem. Ook de effecten van temperatuur zijn vooralsnog niet meegenomen, aangezien deze niet significant werden geacht voor de temperatuursverschillen zoals die optreden in het gemodelleerde WKO-systeem (Rapportage 3+4).

De scenario's laten duidelijk zien dat de aanwezigheid van zaklagen in het model kan leiden tot een sterke toename van de totale verontreinigingsmassa **in het grondwater** (figuur 3.3). Natuurlijk blijft de totale massa die aanwezig is en was in/aan de bodem, in het grondwater en als puur product gelijk, maar de verdeling over deze segmenten verandert. Dit is wel van belang omdat een puur productlaag in het midden van een gebied minder risicovol kan zijn dan een verhoogde concentratie in het grondwater, welke zich naar de grens van een gebied kan verplaatsen. De toename in het grondwater komt doordat het WKO-systeem zorgt voor extra grondwaterstroming langs de zaklagen in vergelijking met het referentiescenario. Doordat de opgeloste concentraties in het WKO-systeem laag gehouden worden door menging laag gehouden is er een sterke drijvende kracht voor het in oplossing gaan van PER uit de zaklaag. Ondanks dat de gemodelleerde zaklaag een relatief kleine dimensie heeft, is het effect van oplossing ervan groot.

Ook de locatie van de zaklaag ten opzicht van het WKO-systeem is van belang. Voor scenario's waar de zaklaag buiten het intrekgebied maar nog wel in het hydrologisch beïnvloede gebied lag was de mate van versnelde zaklaagoplossing kleiner doordat concentraties niet verdund werden in het WKO-systeem. In situaties waar de bronnen niet (deels) uit vrij oplosbare zaklagen bestaan, maar waar er bijvoorbeeld alleen langzame nalevering uit slecht doorlatende lagen plaatsvindt, zal het effect van het WKO-systeem op de verontreinigingstoename minder groot zijn. Wel moet ook dan voor een netto afname van de totale verontreinigingsmassa in het grondwater, net als voor de autonome situatie zonder WKO, de mate van afbraak sterker zijn dan de nalevering. Bij voldoende verspreiding van de verontreiniging en afbraak onder sediment-gelimiteerde condities kan daarbij de afbraak in de WKO versterkt worden ten opzichte van de autonome situatie.



### *Resumé*

Bovenstaande analyse toont aan dat voorafgaand aan de toepassing van WKO in met verontreinigde grondwatersystemen de locatiespecifieke kennis van verontreinigings situatie (met name aanwezigheid van zaklagen), afbraakcondities en de bodemopbouw van groot belang zijn. Deze kennis kan samen met kennis over de ligging van mogelijke receptoren nabij de locatie worden gebruikt om de risico's van WKO in verontreinigde grondwatersystemen te bepalen. Het in deze studie gebruikte geïntegreerde modelinstrumentarium kan helpen bij slimmer configureren van WKO-systemen in verontreinigde grondwatersystemen, teneinde ongewenste verspreiding van verontreinigingen richting receptoren te voorkomen. De ontwikkeling van het huidige geïntegreerde model voor de interactie tussen WKO en grondwaterverontreinigingen kan nog verder verfijnd worden, met name in relatie tot redox-gevoelige afbraak. Hiermee kunnen dan ook eventuele redox-effecten op afbraak door menging in het WKO-systeem worden meegenomen. Voor WKO-systemen met grotere temperatuurverschillen ( $>20^{\circ}\text{C}$ ) tussen koude en warme bron en bij loslaten van de thermische balans kunnen ook temperatuursafhankelijke afbraaksnelheden worden meegenomen. Met deze uitbreidingen kan het modelinstrumentarium voor het bepalen van de effecten van WKO op verontreinigde grondwatersystemen nog verder worden verbeterd.

Deze modelstudie laat duidelijk zien dat het toepassen van WKO-systemen in gebieden met kans op DNAPL een extra risico met zich mee kan brengen. Zeker wanneer de WKO's zeer dichtbij of in DNAPLs worden geplaatst. In praktijk zal de locatie van puur product in zaklagen vaak niet goed bekend zijn, wel is het vaak duidelijk binnen welke **delen** van een beheersgebied het voorkomen van zaklagen het waarschijnlijkst is. Dit betekent dat het Conceptual Site Model (CSM), ofwel de inschatting van hoe de ondergrond in elkaar steekt en waar en in welke vorm – vanuit bodemonderzoek en historisch onderzoek afgeleid – verontreiniging aanwezig kan zijn, een zeer belangrijke schakel vormt. Een schakel die informatie kan geven omtrent de risico's van toepassing van WKO's, waarbij vanzelfsprekend de beoogde locatie van WKO's ten opzichte van mogelijke DNAPL én de gebiedsgrens een belangrijke rol speelt. Daarnaast kan de plaatsing van WKO filters door zaklagen ook aantasting van (kunststof) filter- en leidingmateriaal optreden door direct contact met pure fase. Ook vanuit dat oogpunt is de (mogelijke) aanwezigheid van zaklagen dus een aandachtspunt in sterk verontreinigde gebieden.

Ook is evident vanuit deze modelexercitie dat het al dan niet aanwezig zijn van biologische afbraakprocessen en de snelheid van afbraak eveneens van groot belang kan zijn: is er al afbraakpotentie die ook actief is, dan zijn risico's – ook in DNAPL gevoelig gebied - daardoor kleiner, mits de afbraakcapaciteit na inwerkingstelling van het WKO-systeem hoog genoeg is. Aanvullend onderzoek naar dergelijke processen binnen het beheergebied in een vroegtijdig stadium kan daarom wenselijk zijn.

## 4 Mogelijke configuraties en inzet van WKO-systemen binnen een gebiedsgericht beheersgebied

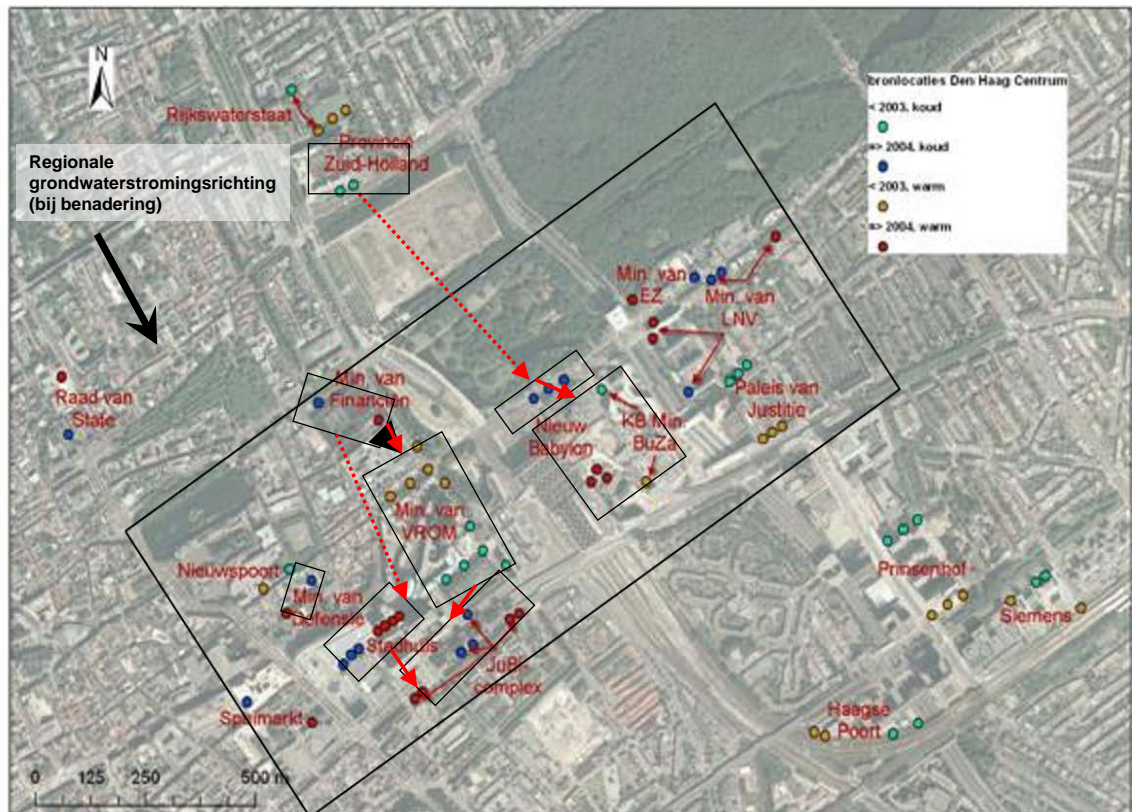
### 4.1 Meerdere WKO's in een gebied

De effecten van meerdere WKO's binnen een beheersgebied zijn voor een groot deel cumulatief. Verschillende of tegengestelde effecten op de ontwikkeling van de verontreinigingssituatie zijn echter mogelijk afhankelijk van variaties in WKO-systemen en verontreinigingssituaties. Net als voor individuele systemen kan voor een beheersgebied het optreden en mechanisme van afbraak, verandering van redox-condities en de aanwezigheid van zaklagen beschouwd worden. De vastgestelde grenzen van het beheersgebied, zowel lateraal als verticaal, ten opzichte van de mate van verontreinigingsverspreiding in de uitgangssituatie bepalen de ruimte van mogelijke verspreiding en mogelijk de mate van versterkte afbraak als deze gelimiteerd wordt door interactie met het sediment.

Daarnaast kunnen WKO-systemen ook elkaars verspreidingseffecten versterken. Binnen het kader van een gebiedsgericht beheer, inclusief verontreinigd grondwater, kunnen het ontwerp van open WKO-systemen, onttrekkingen ten behoeve van andere doelstellingen (industriële, peilbeheer) op de verontreinigingssituatie mogelijk zo op elkaar afgestemd worden dat er meerdere doelen te behalen zijn.

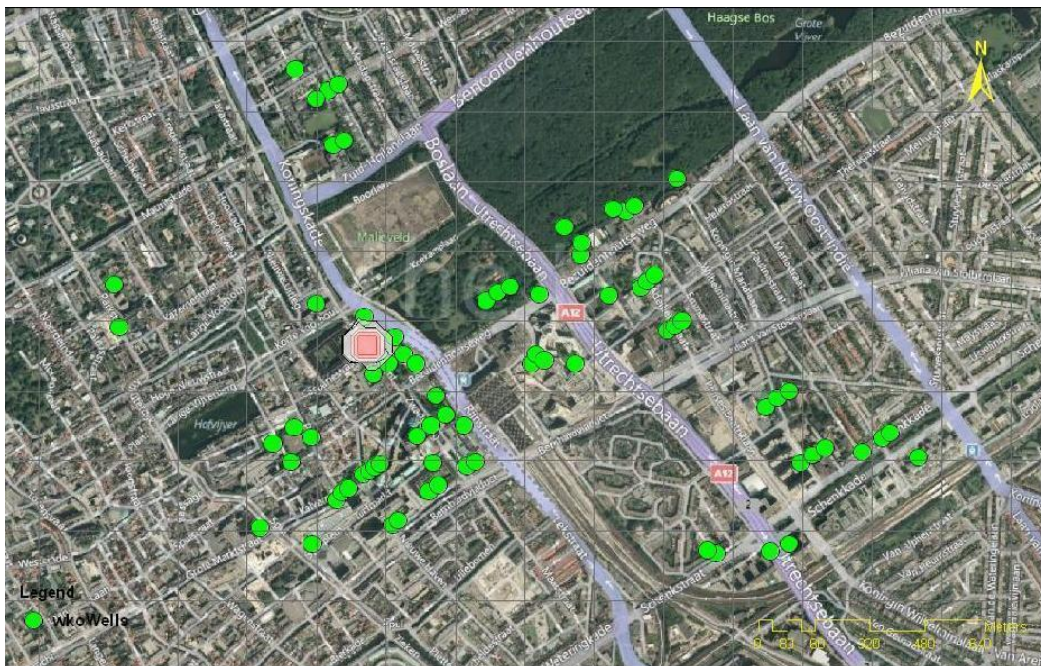
Binnen de contouren van een beheersgebied komen in de regel meerdere systemen voor, of worden deze voorzien in de toekomst. Zoals beschreven in de rapportage over interferentie van WKO-systemen (Rapportage 9), hoeft een grote dichtheid aan open WKO-systemen niet te leiden tot een gemiddelde afname van de energetische efficiëntie voor het totaal van de aanwezige systemen. Een grotere dichtheid van systemen werkt echter wel bevorderend voor de mate en snelheid waarmee verontreinigingen zich door het beheersgebied kunnen verspreiden. Om dit te illustreren is een hypothetische verontreinigingsbron geplaatst binnen de configuratie van WKO-systemen zoals deze beschreven in Rapportage 9 voor de casus Den Haag (figuur 4.1). De ontwikkeling van de grondwaterverontreinigingssituatie is gemodelleerd voor een periode van 10 jaar (figuur 4.1).

De gemodelleerde verontreinigingsbron (bv. een zaklaag) geeft een constante concentratie af aan voorbij stromend grondwater. Het optreden van afbraak van verontreiniging is in deze modellering niet beschouwd. De resultaten laten zien dat in het gemodelleerde scenario de invloed van actieve WKO-systemen de verspreiding in de richting van de regionale grondwaterstromingsrichting wordt versneld en dat er laterale verspreiding versterkt wordt. Daarnaast vindt er ook stroomopwaartse verplaatsing van grondwaterverontreiniging plaats door grondwataantrekking van een bovenstroom gelegen WKO-systeem.



**figuur 4.1** WKO-systemen in de ondergrond van Den Haag. De pijlen zijn hypothetische verspreidingspaden voor verspreiding van verontreinigingen. Locatie van de bronnen van de vergunde WKO-systemen in het eerste watervoerende pakket. De groen/gele bronnen zijn vóór of in 2003 vergund, de blauw/rode bronnen zijn vanaf 2004 (t/m 2007) vergund





a: na 1,5 maand



b: na 10 jaar

figuur 4.2 Verspreiding van verontreinigingen vanuit een hypothetische constante verontreinigingsbron (willekeurig gekozen locatie) onder invloed van WKO-systemen in de ondergrond van Den Haag. Figuur 4.2a laat de initiële situatie zien, 1,5 maand na introductie van de verontreinigingsbron Figuur 4.2b laat de verspreidingsituatie zien na 10 jaar. De contourlijnen geven de fractie de volgende fracties ( $C/C_0$ ) van de verontreinigingsconcentratie bij de bron zien: 0.001, 0.01, 0.1, 0.5 en 0.9

Uit deze modelmatige beschouwing zijn een aantal aspecten te extraheren die een rol spelen bij de mate van verspreiding door open WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte aanpak:

- De open WKO-systemen zorgen naast verdunning, ook voor verspreiding buiten het bereik van de individuele WKO-systemen.
- Bij lagere regionale grondwaterstroming is de relatieve bijdrage van WKO-systemen binnen het beheersgebied ten opzichte van autonome verspreiding door achtergrondstroming relatief het hoogst.
- Naar mate de dichtheid van WKO-systemen meer in het verlengde van elkaar liggen in de richting van de achtergrondstroming wordt het verspreiden in deze richting versterkt. Zonering van WKO-systemen binnen een beheersgebied zou dit kunnen versterken dan wel afremmen.

De mate waarin de cumulatieve effecten van WKO-systemen binnen het beheersgebied gewenst dan wel ongewenst worden geacht, hangt primair af van het kader van doelstellingen dat voor het beheersgebied gehanteerd, en geïnterpreteerd wordt. Moet er bijvoorbeeld verontreinigingsmassa verdwijnen door het (versterkt) optreden van natuurlijke afbraak of is het behalen van een bepaalde verontreinigingsconcentratie door verdunning voldoende? Bij toenemend ambitieniveau, nemen ook de factoren toe die ter onderbouwing van het grondwaterbeheersplan beschouwd dienen te worden. Ter illustratie hiervan worden in de bovenstaande tabel een aantal factoren voor verschillende beheersdoelstellingen gewogen.

De mate waarin deze doelstellingen gehaald kunnen worden hangt vervolgens af van de volgende factoren:

- gebiedsspecifieke factoren, en de variatie daarin binnen de ruimtelijke kaders van het beheersgebied: type verontreiniging, heersende condities voor afbraak (m.n. redox), filterstelling WKO ten opzichte van de aanwezigheid van verontreinigingen;
- verontreinigings specifieke factoren: afbreekbaarheid, retardatiefactoren en normstelling.

Aangezien WKO-systemen onder bepaalde condities ook kunnen leiden tot **toename** van de **opgeloste** verontreinigingsmassa en concentraties kan, indien de toegepaste WKO dichtbij een gebiedsgrens is gesitueerd kan, dit mogelijk juist leiden tot een verhoogd risico op overschrijding van de doelstellingen (verontreinigingsconcentratie of flux) voor de systeemgrens. Een netto onttrekking voor enkele WKO-systemen die op strategische locaties staan binnen het beheersgebied kunnen bijdragen aan het beheersen van verspreidingsrisico's over de beheersgrenzen.



## 4.2 Wanneer is er een positief effect op afbraak als gevolg van WKO-toepassing mogelijk?

Deze vraag speelt in een groot aantal cases én in relatie tot het wettelijke kader rondom verontreinigde gebieden een belangrijke rol. Vandaar dat in het Meer met Bodemenergie project op een tweetal verontreinigde locaties (Strijp-S en Utrecht centrum) waar WKO-systemen aanwezig in de verontreiniging zijn metingen zijn verricht om op deze vraag antwoord te verkrijgen, aangevuld met laboratoriumexperimenten. Zoals al uit voorgaande paragrafen blijkt zal een WKO-systeem op verschillende parameters invloed hebben. Hoewel temperatuur van invloed is op afbraak, is deze relatief gering voor WKO-systemen met een thermische balans. Des te meer omdat uit metingen op 9 locaties gebleken is dat de temperatuursverschillen – behalve bij de “hoge” temperatuuropslag systemen (boven 30°C) relatief klein zijn en zich vaak beperken tot 2-6 graden ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur.

Open WKO-systemen hebben ook een duidelijke menginvloed. Of misschien beter gezegd een contactinvloed: door een groot volume water rond te pompen worden waterdeeltjes – met daarin verontreinigingen – op grote schaal rondgepompt door de vaste bodemmatrix. Dit leidt tot een groter contactoppervlak tussen verontreiniging en aan bodem gehechte organismen en vaste matrixcomponenten, zoals bijvoorbeeld organisch materiaal. Gedeeltelijk en geleidelijk zal daarbij ook door diffusie- en dispersieprocessen menging van waterfasen (het oorspronkelijke grondwater en het ingebrachte water, dat warmer of kouder is en mogelijk een andere samenstelling heeft) plaatsvinden.

Als door WKO-systemen verontreinigingen over een grote bodemvolume verspreiden kan dit de netto afbraak stimuleren, doordat er een grotere aanspraak op de natuurlijke afbraakcapaciteit gedaan kan worden. Wel leidt dit dan per definitie, in ieder geval initieel, tot grotere verspreiding van de verontreiniging. Of deze vergrote verspreiding daadwerkelijk leidt tot versterkte afbraak hangt in sterke mate af van hoe mengingsprocessen in de WKO leiden tot veranderde afbraakcondities (met name redox). Dit wordt bepaald door de typen grondwater die gemengd worden en in welke verhouding.

Hoewel uitdampingsrisico naar het maaiveld daarbij in ogenschouw genomen moeten worden, kan ook het optreden van opwaartse verspreiding van dechloreringsproducten cis-DCE en vinylchloride (VC) leiden tot vergrote mogelijkheid tot oxidatieve afbraak. Aanwijzingen voor het aanwezig zijn van deze oxidatieve microbiële potentie in het grondwater vormt het aantreffen van het gen wat betrokken is bij de micro-aerofiele afbraak van VC (*etnC*) in een aantal monsters op de door ons onderzochte verontreinigde locaties (Rapportage 9).

### **Vertaling naar de praktijk binnen een gebiedsgerichte context**

Bij gebruik van de huidige veelvuldig toegepaste open WKO-systemen is het temperatuur-effect zeer gering. De meeste WKO-systemen functioneren met een relatief klein temperatuurverschil van enkele graden (temperatuur in de bodem fluctueert vaak tussen 6 en 20°C). Bij deze temperaturen zal noch vanuit de versnelling van biologische afbraakprocessen, noch vanuit het aanvullend vrijkomen van organisch materiaal als gevolg van de verhoogde temperatuur een positief effect te verwachten zijn bij toepassing van WKO-systemen.

Naast een (vaak zeer bescheiden) temperatuurstijging zal bij toepassing van open WKO-systemen ook een groot volume water worden verplaatst. Hierdoor zal (plaatselijk) in de WKO zone de grondwatersnelheid toenemen en daarmee de mogelijke interactie met de gronddeeltjes. Uit berekeningen van verschillende WKO-systemen blijkt dat alleen heel direct rondom de infiltratie/onttrekkingsfilters de snelheid sterk verhoogd wordt, maar dat in een overgroot deel van het WKO-beïnvloede gebied de snelheid slechts een factor 5-10 ten opzichte van de normale grondwaterstromingssnelheid toeneemt. Hiervan worden geen grote invloeden verwacht.

Het rondpompen van grote volumes grondwater zal er echter toe leiden dat er mogelijk water van verschillende kwaliteiten met elkaar wordt gemengd en/of met andere grondmatrices in contact komt. Over het algemeen worden WKO-systemen geplaatst in matig tot relatief goed doorlatende bodempakketten, en daarmee vaak bestaand uit zandpakketten. Vanuit geochemisch oogpunt zijn dit vaak bodemlagen die ijzerreducerende tot sulfaatreducerende omstandigheden kennen. In deze zandlagen kunnen plaatselijk best sterker anaerobe condities voorkomen, bijvoorbeeld op plekken waar klei- of organisch rijkere tussenlagen voorkomen. Menging van grondwaterkwaliteiten is ongewenst, maar zal in praktijk – en ook in een gebiedsgerichte aanpak, waarin mogelijk combinaties met ander water- of energiegebruik plaatsvindt – voorkomen. De kans is daarbij zeer reëel dat deze waterverplaatsingen derhalve leiden tot minder anoxische redoxconditie in het uiteindelijke, grootschalig gemengde water. Dit houdt enerzijds in dat bepaalde sterk anaerobe microniches – en de daarin mogelijk plaatsvindende afbraakprocessen - waarschijnlijk worden verstoord, maar dat anderzijds afbraakprocessen die juist onder deze licht anoxische, minder gereduceerde condities goed werken meer kans krijgen.

Het is dus sterk afhankelijk van welke afbraakprocessen aanwezig zijn c.q. geïnitieerd kunnen worden in de bodem of WKO-toepassing, en zeker als dit grootschalig binnen een gebiedsgerichte aanpak gebeurt, positief effect kan hebben. Dit pleit ook voor een meer gedegen onderzoek van biologische processen in de betreffende ondergrond waar gebiedsgerichte en WKO's zijn gepland. Welke processen zijn aanwezig c.q. zijn dominant, of worden naar verwachting dominant bij grootschalige menging.



### 4.3 Verschillende inpassingen van WKO-systemen in een gebiedsgerichte aanpak

Vanuit de in hoofdstuk 3 genoemde effectenstudies en effectenmetingen, mogelijk positief of negatief, kan er aan verschillende configuraties gedacht worden waarin WKO-systemen een rol spelen.

#### **Combinaties van onttrekkingen**

Zoals al in hoofdstuk 2 benoemd bestaan open WKO-systemen uit onttrekkingen en infiltraties van grondwater. Indien het om niet-verontreinigd grondwater handelt kan onttrokken water worden gebruikt voor andere doeleinden. Vanuit kwaliteitstechnische aspecten worden geen problemen verwacht hiermee zolang er niet over sterke gradiënten gemengd wordt. De kwaliteit van het onttrokken water zal dan redelijk vergelijkbare samenstelling hebben als het natuurlijke grondwater waarin geen WKO-systeem actief is. Daarnaast is immers ook het effect op de chemische en biologische kwaliteit – zeker bij de gematigde temperatuurstijgingen bij de meest WKO-systemen – zeer gering.

Dit betekent dat WKO-systemen juist in een gebiedsgerichte context wellicht ook beter een energiebalans kunnen waarborgen, aangezien waterstromen mogelijk ook voor andere doeleinden kunnen worden ingezet (proceswater, koelwater, beekherstel).

WKO-systemen waarbij water continu wordt onttrokken en niet wordt geherinfiltrated (alleen warmte- of koudewinning) lenen zich prima voor combinaties met bijvoorbeeld peilbeheer. Eén van de meest belangrijke criteria bij deze gebruiks- en combinatievormen is of de kwantitatieve hoeveelheden water wel te verenigen zijn. Hoeveel watervolume is nodig voor de energievoorziening en komt dat overeen c.q. in dezelfde range als de watervolumes die bijvoorbeeld voor beekherstel of proces/koelwater nodig zijn (voor optimaal rendement). Afwijking van deze volumes ten opzichte van elkaar hoeft trouwens niet perse een struikelblok te zijn, aangezien menging van verschillende waterbronnen ook een optie is.

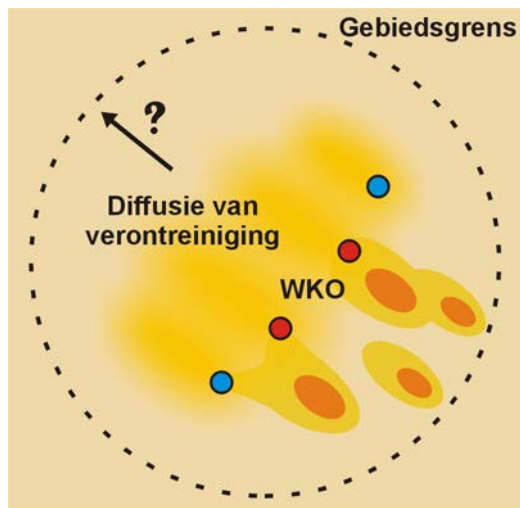
#### **WKO-systemen in combinatie met beheersactiviteiten**

Een belangrijke randvoorwaarde in het gebiedsgerichte grondwaterbeheer, en dan met name indien het handelt om (verwachte) verontreinigde gebieden, is om minimaal de risico's als gevolg van de verontreiniging weg te nemen c.q. te beheersen.

Dit betekent in praktijk dat bijvoorbeeld de concentraties in het grondwater niet sterk mogen stijgen, omdat daarmee risico's – bijvoorbeeld van uitdamping vanuit ondiepe bodemlagen – zou kunnen optreden. Of dat door toegenomen opgeloste concentraties in de waterfase bepaalde gebiedsgrenzen worden bedreigd.

Een eigenschap van open WKO-systemen is dat er een sterke opmenging plaatsvindt als gevolg van het rondpompen van grote volumina water. Dit heeft een verdunnend effect op de concentraties. Tenminste, als de betreffende WKO's niet in een DNAPL gevoelig gebied staan (zie vorige hoofdstuk).

Praktisch gezien kan een WKO-systeem – of meerdere WKO-systemen – in stroomafwaartse richting van sterk verontreinigde gebieden (bijvoorbeeld een centrumgebied in de stad waar de meeste brongebieden en pluimen zich bevinden) een gunstig effect hebben. Door de wegstromende pluimen te mengen is er kans dat stroomafwaarts bij de gebiedsgrens geen overschrijding met verhoogde concentraties plaats gaat vinden (figuur 4.3).

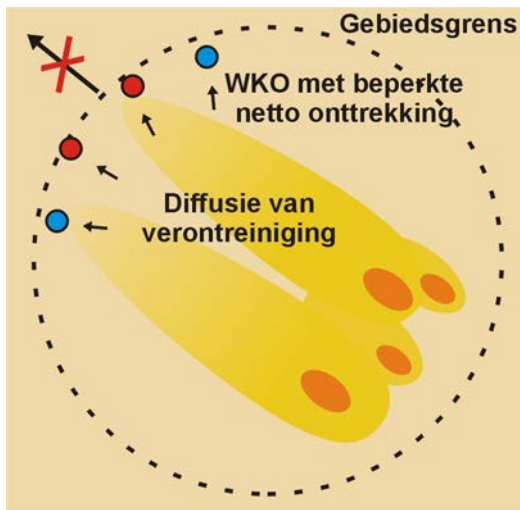


**figuur 4.3** Versterkte verdunning van verontreinigingspluimen kunnen leiden tot voldoende afname van concentraties bij de gebiedsgrens

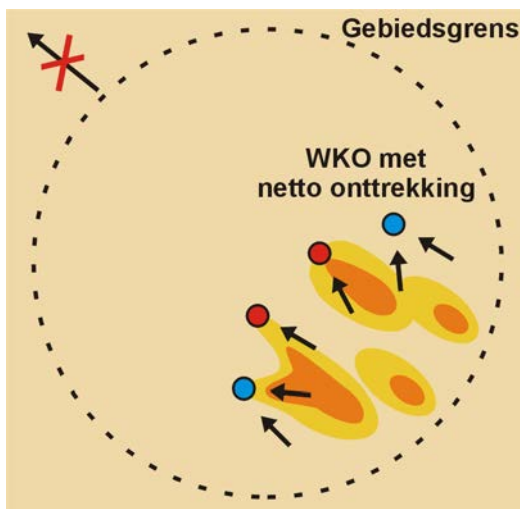
Dit is een variant die onafhankelijk is van het al dan niet optreden van een positief effect op afbraak, maar is puur gebaseerd op verdunning. Of een dergelijke variant acceptabel is, is sterk afhankelijk **in een gebiedsgerichte aanpak** van de doelstelling van de beheerder in het gebied, de andere (dan verontreiniging) doelstellingen zoals bijvoorbeeld op energiegebied of peilbeheer en de onderlinge afweging van deze verschillende aspecten (PPP-afweging). Indien deze variant wel acceptabel is dan kunnen open WKO-systemen zonder veel problemen worden toegepast, waarbij een groter volume met lage concentraties (>S-waarde) kunnen ontstaan.

Indien het alleen verdunnen van verontreiniging, ook binnen de uitgevoerde afweging vanuit de gebiedsgerichte invulling, ongewenst of onacceptabel is, dan kan extra verwijdering van verontreiniging op gebiedsschaal invulling krijgen door:

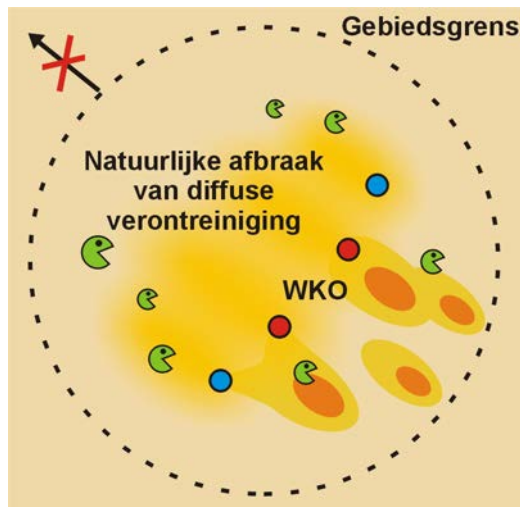
- Eenzijdige onttrekking van grondwater uit te voeren (in combinatie met warmte/koude winning), waarbij grondwater desgewenst gezuiverd wordt (figuur 4.4 en figuur 4.5).
- Open opslagsystemen toe te passen indien er al een natuurlijk afbraakproces in de betreffende bodem/grondwatersysteem binnen het gebied is vastgesteld. In dit geval is het namelijk wel aannemelijker dat door grootschalige menging een positief effect kan ontstaan op de afbraak (figuur 4.6).



figuur 4.4 Afvangen van te hoge verontreinigingsconcentraties bij gebiedsgrens door WKO-systemen met netto onttrekking



figuur 4.5 Invangen van verontreinigingspluimen door WKO-systemen met netto onttrekking



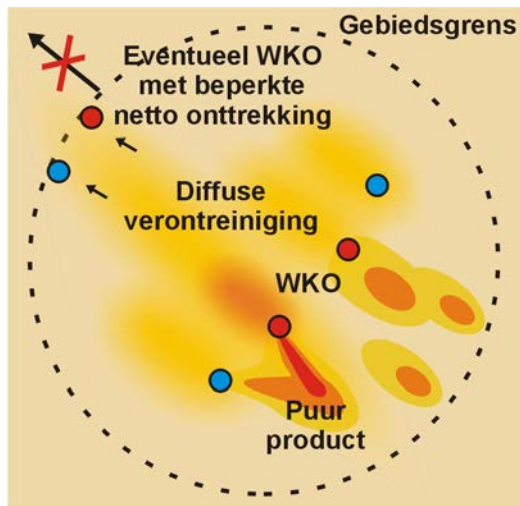
**figuur 4.6** Het beheersen van de grondwaterverontreinigingssituatie binnen de gebiedsgrens onder condities waarbij de verspreiding van verontreinigingen door WKO-systemen en optimaal gebruik van de afbraakcapaciteit van de ondergrond kan leiden tot voldoende verontreinigingsafname

Eenzijdige onttrekking van grondwater op de gebiedsgrens (figuur 4.4) heeft hierbij als mogelijk voordeel dat het handelt om slechts lage concentraties aan verontreiniging die weinig zuivering behoeven. Daarnaast worden verdunningseffecten en eventuele natuurlijk optredende afbraakprocessen ten volle benut. Anderzijds nemen de te behandelen grondwatervolumes mogelijk toe. Naarmate dichter bij de sterker verontreinigde gebieden wordt beheerst nemen de concentraties toe, met ook een grotere zuiveringsinspanning tot gevolg.

#### **WKO in combinatie met in situ afbraak**

Zoals blijkt uit de metingen verricht aan de verontreinigde WKO locaties is er een kans dat door toepassing van WKO in een verontreinigde gebied er processen worden geïnitieerd die tot verbeterde condities voor afbraak leiden. Dit kan echter alleen op treden als in een dergelijk gebied afbraakprocessen al in meer of mindere mate actief zijn. In die gebieden waar al geen afbraak van nature plaatsvond lijkt een WKO-systeem alleen geen meerwaarde voor afbraak te bieden. Belangrijk daarbij is wel zo goed mogelijk beeld te hebben van welke afbraakprocessen (bijvoorbeeld reductief of oxidatief) optreden om op basis daarvan te kunnen inschatten of (grootschalige) WKO toepassing tot positieve effecten zou kunnen leiden.

In sterk verontreinigde gebieden, waar op grond van de bodemopbouw, de verontreinigingshistorie (gebruikte volumes aan producten) aanleiding kan hebben gegeven tot puur product in de zone waarin de WKO gepland is, is het noodzakelijk rekening te houden met de interactie tussen het WKO-systeem en zaklagen. Indien de gebiedsgrens relatief ver van het DNAPL en WKO gebied ligt zijn de risico's waarschijnlijk beperkt, ook als de DNAPL door de WKO wordt gemobiliseerd. Dit risico wordt verder verlaagd als vanuit vooronderzoek duidelijk is dat natuurlijke afbraakprocessen actief zijn. Dit werkt als positieve tegenhanger van het extra vrijkomen van verontreinigingsmassa in de opgeloste vorm. Afhankelijk van de mate waarin versterkte zaklaag oplossing optreedt, kunnen natuurlijk optredende afbraakprocessen onvoldoende zijn om een netto verslechtering van de grondwaterverontreinigingssituatie te voorkomen. Een optie ter overweging is verder dat in dergelijke gebieden een netto onttrekking (via WKO-systemen dan wel via eenzijdig gebruikte warmte/koude winning via onttrekking) een risico-beheersend effect heeft (figuur 4.7).



**figuur 4.7** Het beheersen van de grondwaterverontreinigingssituatie binnen de gebiedsgrens onder condities waarbij de verspreiding van verontreinigingen door WKO-systemen en optimaal gebruik van de afbraakcapaciteit van de ondergrond kan leiden tot voldoende verontreinigingsafname

### Stimulering van verwijdering van verontreiniging

Indien aanvullende verwijdering van verontreiniging een noodzakelijke randvoorwaarde is, vanuit eis of wens, dan kunnen toevoegingen aan het grondwater ten behoeve van afbraak interessant zijn, juist in een gebiedsgerichte context. Naast de toevoeging van electrondonoren (zoals een extra koolstofbron) kan ook de toevoeging van alleen VOCl-afbrekende organismen leiden tot versnelde afbraak van VOCl. Van dit gegeven kan optimaal gebruik worden gemaakt als kunstmatig ingebrachte bacteriën zich als gevolg van WKO-systemen kunnen/zullen verplaatsen door de bodemmatrix en zodoende (langzaam maar gestaag) afbraak creëren (zie Meer met Bodemenergie rapport 10).

## 5 Informatiebehoefte en monitoring ten behoeve van WKO in gebiedsgerichte aanpak

Zoals blijkt uit de voorgaande hoofdstukken is de inpassing van WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte aanpak, onder de daarbij relevante aspecten goed mogelijk. De mate waarin een WKO-systeem bijdraagt aan de totale kwaliteit van het grondwater, en met name aangaande verontreinigingen, is daarbij sterk afhankelijk van een aantal facetten.

Naarmate de eisen die aan het grondwater worden gesteld hoger zijn, bijvoorbeeld de eis dat er een netto verwijdering van verontreinigingsmassa moet plaatsvinden, neemt ook de mate van benodigd vooronderzoek en informatie betreffende de condities van de bodem en het grondwater toe. Met deze informatie kan dan ook worden ingeschat of een WKO-systeem effect zal hebben in het behalen van de betreffende doelstellingen. In dit hoofdstuk gaan we in op de informatie die nodig is om tot een afgewogen invulling te komen van het of en hoe toe te passen van een WKO-systeem: welke informatie, welke parameters zijn van belang in een bepaalde omstandigheid en welke parameters komen in aanmerking voor monitoring (tabel 5.1). We onderscheiden hierin twee verschillende omstandigheden: toepassingen in niet-verontreinigd en in verontreinigd gebied.

### **Toepassing in gebiedsbeheer zonder grondwaterverontreinigingen**

Voor de toepassing van WKO-systemen in een gebiedsgerichte benadering is het van belang de kwantitatieve en kwalitatieve behoeften van grondwatergebruikers binnen het beheersgebied te kennen. Naast kwalitatieve wensen voor bijvoorbeeld industriële en drinkwateronttrekkingen, kunnen ook natuurgebieden afhankelijk zijn van een bepaald watertype. Hoewel WKO-systemen in principe netto geen water injecteren of onttrekken kunnen periodieke vernatting of verdroging toch voor effecten zorgen op bijvoorbeeld oppervlaktewater. Ook moet er bij de inpassing van WKO-systemen zoveel mogelijk rekening worden met toekomstige ontwikkelingen, zoals het stoppen of starten van grote onttekingen of de inpasbaarheid van (tijdelijke) grote bemalingen.

Daar waar in de diepte grote variatie in grondwatersamenstelling afwezig is of de filterstellingen en debieten van de WKO-systemen daar goed op ingesteld zijn zal het door WKO gemengde grondwater in vele gevallen direct bruikbaar zijn voor andere toepassingen. Als door menging van watertypen de grondwaterkwaliteit wordt beïnvloed kunnen naast zoutgehalten met name ook parameters als calcium en carbonaat (hardheid), ijzer, en zwavelverbindingen (redox) relevant zijn. Voor het inschatten van de (potentiële) grondwaterkwaliteitsveranderingen is inzicht nodig in de variatie in grondwaterkwaliteit. Deze zal zich voor een relatief klein gebied vooral op verschillende diepte tot uitdrukking gebracht worden al kunnen er door lokale (hydrogeologische) elementen ook lateraal verschillen in grondwatersamenstelling aanwezig zijn.

### **Toepassing in verontreinigd gebied**

Indien WKO's in (potentieel) verontreinigd gebied worden toegepast is de inpassing, naast de kwantitatieve en kwaliteitsbehoefte van grondwatergebruikers in het gebied, ook afhankelijk van de doelstelling binnen het gebied voor wat betreft de verontreiniging. Dient verontreiniging te worden verwijderd, te worden afgebroken of is beheersing (en sterk verlaagde concentraties) voldoende? Bij toenemende eisen neemt ook de behoefte aan voorinformatie toe.

#### *Doelstelling: beheersing van verontreiniging, lage concentraties acceptabel*

Bij deze doelstelling is nagenoeg geen aanvullende informatie nodig van het grondwater. WKO-systemen kunnen hier met name als verdunnend voor de verontreinigingconcentraties werken. Waar nodig kunnen de WKO-systemen die gepositioneerd zijn aan de buitenrand van het gebied, voor een netto onttrekking zorgen. Het al dan niet aanwezig zijn van afbraakpotentie is niet van doorslaggevend belang. Het grootste effect wordt bereikt door verdunning en daarmee worden de risico's beheersbaar.

Alleen als WKO's in DNAPL gevoelig gebied worden geplaatst kan dit leiden tot problemen. Om dit te voorkomen kan op basis van een Conceptual Site Model het risico van verplaatsing van sterk verhoogde concentraties worden ingeschat en desgewenst worden gemodelleerd.

#### *Doelstelling: netto verwijdering van verontreinigingsmassa in de loop van de tijd*

Indien de doelstelling ten aanzien van de verontreiniging strikter wordt, neemt ook de behoefte aan voorinformatie toe. Zoals is beschreven in de eerdere hoofdstukken kan de toepassing van een WKO negatief (vrijkomen van meer massa in de waterfase), neutraal of positief (verbeteren van afbraakcondities) zijn.

Kwaliteitsverbetering kan eigenlijk maar op twee manieren worden bereikt: een versnelde verwijdering van verontreiniging uit de waterfase door netto onttrekking (en desgewenst bovengrondse zuivering) of door (eventueel versnelde) afbraak in de bodem zelf. In het eerste geval is het met name van belang de parameters voor de lozing van het verontreinigde grondwater te bepalen.

In het tweede geval geldt dat afbraakprocessen een belangrijke rol zullen moeten spelen. Zoals blijkt uit het bovenstaande kunnen (biologische) afbraakprocessen van grote waarde zijn, zeker ook in de gebiedsgerichte aanpak. Deze processen kunnen ervoor zorgen dat - mogelijk door invloed van WKO-systemen - verlaagde concentraties, verspreid over een groter gebied kunnen worden afgebroken en op de vastgestelde gebiedsgrens een bepaalde concentratie niet meer bereiken (onder de risicogrens).



Dit betekent dat het wenselijk is om deze processen te onderbouwen. Hierop zou een deel van de monitoring bij inzet van WKO-systemen in een gebiedsgerichte aanpak gefocust moeten zijn. Dit houdt in dat naast het monitoren van verontreinigingconcentraties en de binnen WKO-systemen gevraagde parameters – debieten, energiebalansen, grondwaterkwaliteit– ook afbraak gerelateerde parameters van belang zijn. Doel hiervan is systeemkennis op te bouwen: of biologische afbraakprocessen een rol spelen en in welke mate. Dit geeft enerzijds inzicht in wat deze processen kunnen betekenen voor de kwaliteitsontwikkeling binnen een gebied en anderzijds welk effect optreedt bij inzet van bepaalde systemen (WKO, onttrekkingen, infiltraties).

Vandaar dat het in kaart brengen cq. bepalen van afbraakprocessen toegevoegde waarde heeft. Hierbij moet rekening gehouden worden dat afbraakprocessen door de inwerkingstelling van een WKO door mengingseffecten in positieve dan wel negatieve zin beïnvloedt kunnen worden. Hierbij zijn van belang parameters als redoxcondities in het grondwater, aanwezigheid en activiteit van specifieke micro-organismen, aanwezigheid van verschillende redoxlagen. Met deze informatie kan de bijdrage van een of meerdere WKO-systemen worden ingeschat, of een WKO-systeem positief of negatief kan uitwerken.

**tabel 5.1 Relevante monitoringsparameters bij toepassing van WKO's in relatie tot doelstelling**

Situatie	Doelstelling	Parameters van belang:
Toepassing in niet-verontreinigd gebied	Functioneel (multi)gebruik van waterfase	- Bepaling in grondwater van lozingsparameters (eisen oppervlaktewater of riool)
Toepassing in (potentieel) verontreinigd gebied	Beheersing van verontreiniging (minimale variant), Geen humane of ecologische risico's binnen gebied, geen verspreiding van verhoogde concentratie buiten het gebied	- Bepalen via CSM van kans op DNAPL in relatie tot vermoedelijk locatie WKO - Bij DNAPL-gevoeligheid: bepalen van afbraakpotentieel binnen WKO-beïnvloede gebied en daaromheen - Indien niet DNAPL-gevoelig: geen verdere parameters van belang
	Netto verwijdering van verontreinigingsmassa	- Bepalen via CSM van kans op DNAPL in relatie tot vermoedelijk locatie WKO - Bij DNAPL-gevoeligheid: bepalen van afbraakpotentieel binnen WKO-beïnvloede gebied en daaromheen - Bepaling van biologisch afbraakpotentieel in het door WKO-beïnvloede gebied, vaststelling dominante processen. Op basis daarvan effect van WKO in te schatten

## 6 WKO in gebiedsgericht grondwaterbeheer in de praktijk

In Nederland is het concept gebiedsgericht grondwaterbeheer inmiddels in enkele gebieden voorbereid dan wel geïmplementeerd, waarbij WKO-systemen in meer of minder grote mate een rol vervullen (o.a. Rotterdam, het Gooi, Utrecht Centrum, Apeldoorn, Zwolle). Uit de eerder uitgevoerde literatuurstudie en de inventarisatie van de lopende initiatieven, die zich met name in de planvormingsfase bevinden, zijn enkele belangrijke discussiepunten naar voren gekomen. Opvallend is dat in een groot aantal gevallen geanticipeerd wordt op het versterken c.q. stimuleren van biologische afbraak in de ondergrond als gevolg van toepassing van WKO-systemen. Dit kan in het kader van een gebiedsgerichte aanpak relevant zijn, wanneer een belangrijke doelstelling bij een gebiedsgerichte benadering is het op langere termijn verbeteren van de grondwaterkwaliteit. Bijvoorbeeld om daarmee risico's van verdere verspreiding tot over de gebiedsgrens te reduceren. Deze kwaliteitsverbetering kan op verschillende manieren worden gerealiseerd, zoals het actief saneren van brongebieden, waardoor nalevering naar het grondwater sterk wordt verminderd of het (versneld) laten afbreken van verontreiniging in het grondwatersysteem.

### 6.1 Beschouwing cases: aanpak en leerpunten

In verschillende gemeenten c.q. regio's in Nederland is of wordt een gebiedsgerichte aanpak uitgewerkt, waarin tevens WKO-systemen in meer of mindere mate een belangrijke rol spelen. Voorbeelden daarvan zijn de volgende:

- *Gebiedsgericht grondwaterbeheer Rotterdamse haven*; initiatief van Havenbedrijf Rotterdam, de Gemeente Rotterdam en DCMR; risicogerichte aanpak van de historische verontreinigingen in het havengebied; zal dit jaar resulteren in een Grondwaterbeheerplan dat gericht is op het wegnemen van de risico's en niet zozeer op totale sanering van het gebied. Men onderzoekt tevens de mogelijkheden om duurzaam gebruik van bodem, water en energie te combineren met de saneringsopgave.
- *Masterplan Grondwatersaneringen het Gooi (MpG)*; in de omgeving Hilversum ('zandgemeente') bedreigen grootschalige grondwaterverontreinigingspluimen onder meer de drinkwaterwinning in het gebied. Er is een convenant opgesteld tussen Provincie Noord-Holland, diverse gemeentes, het waterschap en andere partijen in het gebied voor het gebiedsgerichte beheer van het verontreinigde grondwater. In dit gebied hangen stedelijk waterbeheer, waterwinningen en peilbeheer sterk met elkaar samen, wat aanzienlijke implicaties heeft voor de aanpak van de diepe grondwaterverontreinigingen.

- *Biowasmachine Utrecht CS gebied*; initiatief van Gemeente Utrecht en Projectorganisatie Stationsgebied (POS); er is een SP voor combinatie WKO en bodemsanering in de geplande gebiedsontwikkeling beschikt. Dit maakt de weg vrij om op grote schaal WKO-systemen te installeren binnen het Utrecht CS gebied waarvan de diepere ondergrond grootschalig verontreinigd is.
- *Gebiedsgericht grondwaterbeheer Gemeente Apeldoorn*; gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt breed opgepakt, waarbij zowel stedelijk waterbeheer als benutting van bodemenergie wordt gecombineerd met de grondwatersaneringsopgave. Voor de herontwikkeling langs de kanaalzone is een technisch ontwerp gemaakt voor combinatie concept voor bodemsanering, peilbeheer en energiewinning.
- *Gebiedsgericht grondwaterbeheer Gemeente Zwolle*; Voor het centrumgebied van de gemeente Zwolle is een gebiedsbeheerplan opgesteld met een duidelijk plaats en rol voor WKO-systemen, om daarmee ook de ambities van de gemeente Zwolle op het gebied van duurzame energie te realiseren.

De initiatieven in Utrecht, Zwolle en Apeldoorn richten zich specifiek op het combineren van bodemenergie met bodemsanering dan wel het beheersen van verontreinigingen. Deze projecten worden daarom nader uitgelicht in dit hoofdstuk. Het belangrijkste verschil tussen de initiatieven is het feit dat in Apeldoorn duidelijk gebruik gemaakt wordt van de achtergrondstroming (die veel hoger is dan in Utrecht en Zwolle) voor het ontwerp van de sanerings- en beheersvariant. In Apeldoorn is het de bedoeling om het verontreinigde grondwater actief af te vangen en dat te combineren met energiewinning. In Utrecht en Zwolle wordt een meer passieve insteek gekozen door het toelaten van WKO installaties in verontreinigd gebied en door middel van monitoring vast te stellen of de doelstellingen de gebiedsgerichte aanpak worden gehaald. Natural attenuation en het mogelijk gunstige effect van WKO's zorgen daar voor een geleidelijke afname van de verontreinigingsvracht. Hieronder worden de genoemde initiatieven nader toegelicht.

## 6.2 Case 1: Gebiedsgerichte aanpak Stationsgebied Utrecht

### *Achtergrond*

De individuele gevallen van bodemverontreiniging in de ondergrond van Utrecht zijn in grote mate vermengd. Technisch is het nagenoeg ondoenbaar om de gevallen te onderscheiden. Voor een realistische, praktisch uitvoerbare en kosteneffectieve benadering van de gevallen van grondwaterverontreiniging in de ondergrond van Utrecht worden de verontreinigingen gelijktijdig (geclusterd) aangepakt. De gebiedsgerichte aanpak in Utrecht richt zich op het mogelijk maken van WKO-systemen in verontreinigd gebied, waarbij beheersing van de verontreiniging (doel 1) en vervolgens afname van de verontreiniging in de komende decennia (doel 2) wordt nagestreefd. De focus ligt hierbij op het eerste watervoerende pakket (tussen 5 en circa 50 meter minus maaiveld), omdat in die bodemlaag de verontreinigingen sterk vermengd zijn en omdat op die diepte de effecten van de bovengrondse ontwikkelingen ingrijpen: er wordt gestreefd naar inzet van WKO-systemen in deze bodemlaag om duurzame energie te kunnen faciliteren. In dit gebiedsgerichte grondwaterbeheerplan betreft het dus primair grondwatergebruik voor open WKO-systemen en zijn de relevante beleidsthema's duurzame energie en beheersing/sanering van verontreiniging. Andere typen grondwatergebruik spelen nauwelijks een rol.

De verontreinigingen tot 5 m-mv (“ondiepe bronlocaties”) zijn gekoppeld aan een locatie met een bodembedreigende activiteit en een bevestigde bron. In tegenstelling tot de diepere verontreinigingen kunnen de ondiepe bronlocaties helder worden onderscheiden van elkaar. De keuze voor het opstellen van een gefaseerd saneringsplan is mogelijk in het kader van artikel 38 lid 3 van de Wet Bodembescherming, waarmee het bevoegd gezag de mogelijkheid heeft te beschikken op een saneringsplan waarbij de aanpak in de tijd wordt uitgezet, en nog niet alle informatie ten aanzien van het geval en de saneringsaanpak in detail bekend is. Dit is toegestaan zolang “het belang van de bescherming van de bodem zich daartegen niet verzet” (Arcadis, 2009).

De omvang van de bodemverontreiniging is groot en de verontreinigingen bevinden zich voornamelijk in het grondwater ter plaatse van het Stationsgebied. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket in Utrecht is op grote schaal verontreinigd met voornamelijk gechloreerde koolwaterstoffen (VOCI). Hoofdzakelijk worden de componenten cis 1,2-dichlooretheen (cis) en vinylchloride (VC) aangetroffen. De redoxcondities in het watervoerende pakket van Utrecht zijn niet optimaal voor anaerobe natuurlijke afbraak (reductieve dechlorering). Er zijn echter wel tekenen dat afbraak– in ieder geval gedeeltelijk tot cis-DCE en VC - is opgetreden. De onderbouwing van de afbraak is summier.

In de nabijheid van het centrum van Utrecht zijn kwetsbare objecten bekend:

- Drinkwaterwinning Leidsche Rijn.
- Drinkwaterwinning Groenekan.
- Het tweede watervoerende pakket als strategische voorraad en waarvan verontreiniging daarom voorkomen moet worden.

#### *Doelstelling*

In de gekozen oplossing voor het Utrecht CS gebied (Arcadis, 2009) wordt benutten van de bodem voor het toepassen van WKO gecombineerd met bodemsanering. Daarnaast maakt de schaal van de grondwaterverontreinigingsproblematiek in de Utrechtse ondergrond sanering zo complex en kostbaar, dat een gevalsgerichte aanpak op uiterst lastig is; er wordt gekeken naar het grotere geheel binnen het systeemgebied. De gebiedsgerichte aanpak maakt het nuttige gebruik van de bodem mogelijk in het systeemgebied mits aan de volgende doelstellingen wordt voldaan:

1. er geen risico's optreden voor mens, plant of dier door het gebruik van de ondergrond;
2. de ondergrond geschikt wordt gemaakt voor de beoogde functie; waaronder duurzaam gebruik van het grondwater voor energieopslag;
3. de gemiddelde grondwaterkwaliteit in het systeemgebied op termijn verbetert;
4. de verspreiding van de verontreiniging over de systeemgrens wordt voorkomen.

#### *Het toegepaste concept*

Bij herontwikkelingsactiviteiten van de omvang van het Stationsgebied is altijd sprake van ingrepen in de ondergrond, die het grondwater beïnvloeden (stromingsrichting, -snelheid en de grondwaterstanden). Vooral de gewenste WKO-systemen en bouwputbemalingen zullen grote invloed hebben op de grondwaterverontreinigingen.

Het Biowasmachineconcept in Utrecht houdt in dat door het verspreid toepassen van WKO op grote schaal in de ondergrond een systeem ontstaat waarbij het grondwater voortdurend in beweging is. Men heeft de verwachting dat dit een positief effect heeft op de natuurlijke afbraak en afname van verontreinigingen in het grondwater. De van nature aanwezige microbiologie en aanwezige voedingsstoffen worden beter gemengd met de verontreinigingen (Arcadis, 2009). Er worden echter geen referenties gegeven van deze gunstige aanname en onderbouwing van voedingsstoffen en bacterieaanwezigheid is nauwelijks voorhanden. Hoewel uit labproeven is gebleken dat menging een gunstig effect heeft op de natuurlijke afbraak (TNO, 1999a en b), zijn er geen resultaten van veldproeven bekend.

Modelberekeningen voorspellen het optreden van een structurele daling van de verontreinigingconcentraties, die grotendeels wordt toegeschreven aan het rondpompen en verdunnen van de verontreinigingen. In alle 4 de scenario's er van uit gegaan dat er enige mate van natuurlijke afbraak optreedt. Een scenario zonder afbraak is niet meegenomen.

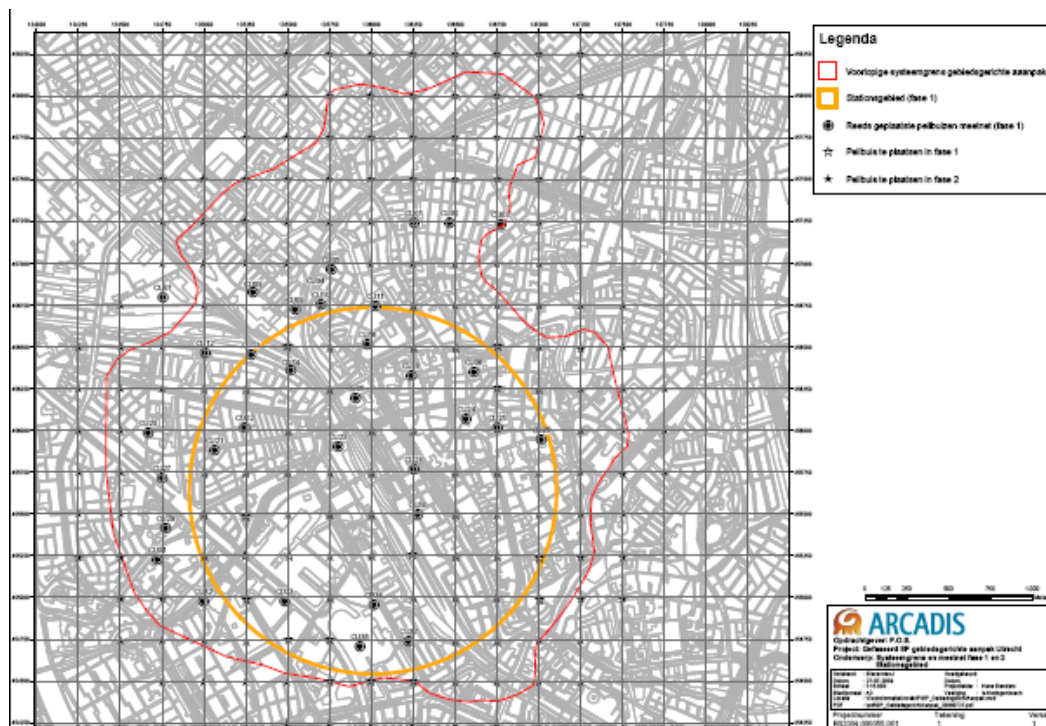
Met de vrachtberekeningen is modelmatig in beeld gebracht wat het effect is van het op grote schaal toepassen van WKO-systemen:

- In de scenario's zowel met als zonder WKO's is sprake van een afnemende vracht en dus kwaliteitsverbetering. Dit is het gevolg van het veronderstellen van een afbraakcomponent.
- 30 jaar naleverende bronzones leiden tot bijna 1.300 kg extra verontreiniging, terwijl in deze periode circa 2.300 kg door afbraak of sorptie aan de bodemmatrix uit het grondwater verdwijnt. Wegnemen van bronzones (3 a 4 maatgevende bronnen) zal leiden tot een snellere en grotere kwaliteitsverbetering van het grondwater. Bronsanering vormt dus een belangrijke kwaliteitsverbetering.
- Het toestaan van WKO's in het Stationsgebied levert circa 400 kg extra vrachtverwijdering op. Dit is met name gebaseerd op een toename van de afbraaksnelheid en een grotere sorptie-bijdrage (groter volume);
- Uit het geringe verschil tussen de scenario's met verschillende halfwaardetijden in het menggebied volgt dat verdunning en sorptie een beduidend aandeel hebben in de afname van de concentraties.

In het stationsgebied Utrecht is verspreiding binnen de grenzen van het systeemgebied toegestaan, onder de conditie dat in zijn algemeenheid de grondwaterkwaliteit in het gebied verbetert, maar verspreiding over de systeemgrenzen mag niet (Arcadis, 2009). Hierbij is vooralsnog de gebiedsgrens niet aangegeven. Deze moet nog worden vastgesteld (onder andere op basis van gegevens uit het tot 2013 lopende Citychlor-project).

Of mogelijke verspreiding over de systeemgrens kan plaatsvinden, moet worden gemonitord. Als de beoogde effecten niet bereikt worden, (bijvoorbeeld als ontoelaatbare verspreiding optreedt van verontreinigingen tot buiten het gebied) moet actief worden ingegrepen (Arcadis, 2009). De genoemde systeemgrens heeft min of meer dezelfde functie als de zogenaamde ‘planes of compliance’ uit de kaderrichtlijn water. Aan de onderkant wordt het systeem begrensd door de scheiding van het watervoerende pakket en de onderliggende scheidende laag tussen 45 en 50 m-mv. Volgens Arcadis (2009) is er op dit moment is (nog) geen aanleiding om significante verontreiniging van het tweede watervoerende pakket te veronderstellen.

De systematiek om het grondwater te monitoren voor het Utrecht CS gebied is praktisch vertaald door de peilfilters in het saneringsgebied in een raster van 250 bij 250 meter te plannen. De rastergrootte is dusdanig gekozen dat er een werkbare situatie ontstaat waarbij de “pakkans” nog steeds acceptabel is. De monitoringspunten zijn zodanig gepland (in het raster) dat de verwachting is dat een deel van de monitoringslocaties “schoon” is (concentraties lager dan de streefwaarde) en een deel van de monitoringslocaties verontreinigd is (concentraties hoger dan de tussenwaarde).



figuur 6.1 Beoogd grondwatermeetnet gebiedsgerichte aanpak Utrecht CS gebied (naar Arcadis, 2009)



Op elk rasterpunt (elke monitoringslocatie) worden op meerdere dieptetrajecten monitoringsfilters geïnstalleerd. Er wordt gebruik gemaakt van filters van 4 meter lengte om de kans te vergroten om de verontreiniging te detecteren. Daarbij gaat het om de gemiddelde, gebiedsgerichte, grondwaterkwaliteit, en niet om de concentraties op microniveau. In principe zal het grondwater jaarlijks bemonsterd en geanalyseerd worden op de meest relevante verontreinigingen. Een hogere frequentie levert bij de gekozen netwerkfstanden en stroomsnelheden geen extra informatie op (Arcadis, 2009).

De kwaliteitsverbetering in het systeemgebied wordt gemonitord door de totale vracht (som VOCl) in het systeemgebied te berekenen aan de hand van de peilbuisconcentraties en een ingeschat grondwatervolume waarvoor de betreffende concentratie als maatgevend wordt beschouwd. Een dalende vracht duidt op een kwaliteitsverbetering. Het uitgebreide grondwatermeetnet maakt deze benadering mogelijk (Arcadis, 2009).

De processen in de ondergrond van Utrecht zijn door de ingrepen en de schaal waarop deze plaatsvinden zeer complex. Daarnaast is niet duidelijk hoe en wanneer de bronnen van verontreiniging in de deklaag worden aangepakt. Het kan daarom niet worden uitgesloten dat in de aanvangsperiode (door de verhoogde dynamiek in met name het Stationsgebied), een toenemende vracht gemeten zal worden. Binnen de saneringsdoelstelling van de gebiedsgerichte aanpak is deze stijging toegestaan, mits deze van tijdelijke aard is, en de vracht op termijn weer zal dalen onder de nulsituatie.

### **Vertaling van resultaten en aanvullingen vanuit Meer met Bodemenergie**

Indien we de huidige resultaten en bevindingen vertalen naar de Utrechtse situatie dan kan worden geconcludeerd dat de WKO-systemen met name in eerste instantie een verdunnend effect teweeg zullen brengen. Concentraties in het gebied waar (naar verwachting) WKO-systemen geplaatst worden dalen als gevolg van menging. Uit de metingen ter plaatse van een WKO-systeem in verontreinigd gebied in het centrumgebied is voorts nog naar voren gekomen dat er geen duidelijke versnelling plaatsvindt van bijvoorbeeld de afbraak in de nabijheid c.q. binnen een WKO-systeem.

In Utrecht is de doelstelling niet alleen het beheersen van de verontreiniging binnen het gebied maar ook een kwaliteitsverbetering van het grondwater op de langere termijn te realiseren. Dit stelt, zoals verwoord in hoofdstuk 5 ook hogere eisen aan het totale systeem (bodem, water, aan te leggen infrastructuur) en vergt mogelijk ook meer voorinformatie omtrent het systeem (bodem en water) alvorens grootschalige toepassing van WKO's verantwoord kan worden ingezet.

Een belangrijk aandachtspunt voor het centrumgebied Utrecht kan zijn de potentiële aanwezigheid van DNAPLs. Nagenoeg alle WKO-systemen zullen naar verwachting worden geplaatst ter hoogte van (of zeer dicht bij) de oorspronkelijke kerngebieden (in de bovengrond). Het is daardoor niet ondenkbaar dat als gevolg van WKO-systemen DNAPLs versneld worden gemobiliseerd, met als gevolg stijging van concentraties aan bijvoorbeeld PER. Een aanbeveling in deze is dan ook om op basis van informatie van de verschillende (voormalige) bronnen en het CSM (bodemopbouw etc.) de kans van aanwezigheid van DNAPLs in een bepaald gebied in kaart te brengen en deze te bezien in relatie tot de beoogde WKO-locaties.



In de modelruns voor het centrum gebied Utrecht is rekening gehouden met biologische afbraak, maar deze is nog niet eerder onderbouwd. Het onderbouwen van deze processen – welke processen en in welke mate - is in gang gezet met Citychlor, waar de verschillende bekende afbraakroutes en –mogelijkheden worden onderzocht (zowel reductieve dechlorering als micro-aerofiele afbraak van cis-DCE en VC). Op basis van het resultaat hiervan kan beter worden ingeschat wat de effecten van grootschalig WKO gebruik zullen zijn. En of de eerder gestelde doelstelling met betrekking tot kwaliteitsverbetering mogelijk is zonder dat daarvoor aanvullende acties (buiten de voorgestelde WKO's) nodig zijn, dan wel dat de ambitie moet worden bijgesteld (tot beheersing van de verontreiniging).

Het onderzoeken en vaststellen – liefst voordat grootschalige WKO's zijn geplaatst – van biologische afbraakcapaciteit is van belang: in het kader van de beoogde kwaliteitsverbetering en in het kader van de mogelijke risicoverlaging bij aanwezigheid van DNAPL's.

Naar verwachting zal het grootschalig gemengde grondwater een redoxconditie opleveren die matig gereduceerd zal zijn, en waaronder strikt anaerobe, reductieve afbraak niet zal verlopen. Daarentegen kunnen micro-aerofiele processen daardoor meer kans krijgen. Het vooraf bepalen van de verwachte redoxconditie, na menging, is daarin dan ook relevant, omdat dit bepalend is voor welke processen kunnen (blijven) optreden.

Wat pleit voor de tot nu toe gevolgde aanpak van Utrecht aangaande de monitoring is dat het (grotendeels) aangelegde monitoringsnetwerk de gelegenheid biedt om op veel verschillende punten én diepten de concentraties aan verontreinigingen te bepalen. Aanwezigheid van DNAPL moet zich vertalen in (lage) concentraties oorspronkelijk product (zoals PER) op dieptes c.q. plekken waar je deze niet zou verwachten – bijvoorbeeld omdat in de omgeving alleen intermediaire producten zoals c-DCE en VC worden waargenomen. Indien de Utrechtse monitoring in dit opzicht geen vreemde patronen laat zien dan is de kans op DNAPL's relatief klein en zal grootschalige WKO toepassing niet direct negatieve impact hebben.

Het monitoringsnetwerk van Utrecht geeft ook de gelegenheid om monitoring op een ander vlak goed te kunnen uitvoeren: het opdoen van systeemkennis. Meting van de concentraties aan verontreinigingen is vanzelfsprekend relevant maar geeft mogelijk een te beperkt beeld van het totale systeem. Afhankelijk van het al dan niet voorkomen van secundaire bronnen kunnen verontreinigingsconcentraties aan oorspronkelijk product, maar ook intermediaire producten tijdelijk – gedurende enkele jaren – stijgen, alvorens deze weer dalen. Vandaar dat minstens zo belangrijk is om de essentiële processen ook te meten: welke redoxconditie is er en verandert deze? Welke biologische processen treden op en veranderen deze? Welke veranderingen treden op in geohydrologie? De combinatie van deze parameters geeft inzicht in onderliggende, optredende processen en daartoe leent het monitoringsnetwerk van Utrecht zich goed.

Wat de beoogde configuratie betreft, lijkt de gekozen insteek – met name bestaande uit doubletten – logische, echter wel met bovenstaande opmerkingen in gedachten houdend. Is het een DNAPL gevoelig gebied, en waar bevinden zich de bronnen ten opzichte van deze mogelijke DNAPL-zones? Hoe groot is de afstand tussen het centrumgebied en de definitieve gebiedsgrens? En is er biologische afbraak actief? Is de afstand tussen het centrumgebied en de grens groot, dan is er voldoende buffer, ook als er toch DNAPL versneld in oplossing zou gaan.

Wellicht dat het zinvol kan zijn om naast het huidige gebruik van grondwater voor WKO-systemen te bezien of ander watergebruik interessant is binnen het stationsgebied. Door bijvoorbeeld grondwater ook op nog andere manieren te gebruiken kan de flexibiliteit van het systeem worden vergroot. Bijvoorbeeld als netto onttrekking van (licht) verontreinigd grondwater toch nodig blijkt te zijn na verloop van tijd.

### 6.3 Case 2: Gebiedsgerichte aanpak Kanaalzone Apeldoorn

#### *Achtergrond*

Binnen de gemeente Apeldoorn vindt in de Kanaalzone een herontwikkeling plaats. Daarbij wordt veel nieuwbouw gerealiseerd. Naast een kans voor duurzame energie via energieopslag zullen de aanwezig verontreinigingen (met name gechloreerde ethenen, cis-dichlooretheen; plaatselijk kunnen zaklagen zorgen voor langdurige nalevering) in het gebied en de omgeving een aandachtspunt zijn bij de herontwikkeling. Deze verontreinigingen zijn in het grondwater aanwezig en spelen een rol bij het inpassen van energielevering vanuit de bodem. De gemeente Apeldoorn wil echter voorkomen dat verontreinigingen een belemmering gaan vormen voor de toepassing van energieopslag (IF, 2009).

Voor heel Apeldoorn is in 2007 een studie uitgevoerd waarin nagegaan is in hoeverre een koppeling gemaakt kan worden tussen saneringstechnieken en de toepassing van energieopslag. Hierdoor zullen verontreinigingen niet belemmerend werken op de duurzame energievoorziening, maar kan een duurzame energievoorziening juist mogelijkheden bieden voor een gebiedsgerichte aanpak van verontreinigingen in de gemeente Apeldoorn.

#### *Doelstelling*

In Apeldoorn heerst in met name het ondiepe watervoerende pakket (waar zich de grootste verontreinigingsvracht bevindt) een hoge grondwaterstroomsnelheid. Hierdoor is het niet mogelijk om warmte en koude in de bodem op te slaan met de bedoeling dit later weer te gebruiken (Bioclear et al., 2009). Daarom wordt een variant gericht op recirculatie of eenzijdig gebruik (via onttrekking) van het grondwater als het meest haalbare geacht. Aangezien de Kanaalzone grootschalig wordt herontwikkeld gaat nu de gedachte uit naar een gebiedsgerichte aanpak met betrekking tot energiewinning en de benodigde saneringen. De Kanaalzone ligt in dat opzicht strategisch: veel van de Apeldoornse verontreinigde locaties liggen bovenstrooms van de Kanaalzone. Verplaatsing van deze verontreiniging concentreert zich grotendeels juist in de richting van en – na verloop van tijd – onder de Kanaalzone door. Hier biedt de herontwikkeling van deze zone wellicht kansen voor combinaties.

Het beoogde combinatiesysteem kent 3 doelstellingen:

- Energiebenutting uit de ondergrond.
- Positieve beïnvloeding c.q. beheersing van de grondwaterverontreiniging.
- Peilbeheer en eventueel beekherstel.

Voor de situatie in Apeldoorn geldt dat men wil werken aan trendomkering van de verontreinigingssituatie in het gehele gebied (Bioclear et al., 2009). Dit betekent dat geen strikte saneringsdoelstellingen in de zin bij bijvoorbeeld te behalen concentratieniveaus op een bepaalde termijn worden gehanteerd. Wel dient er een daadwerkelijke vermindering van de totale vracht aan VOCl's te worden gerealiseerd.

#### *Concept*

Bij de kanaalzone in Apeldoorn blijkt op basis van ervaringen met andere projecten dat het sanerend effect van het oppompen en weer infiltreren van grondwater gering is. Het mengen van grondwater is onvoldoende om tot afbraak van verontreinigingen te leiden. Dit komt mede doordat de afbraakcondities in de Kanaalzone niet heel gunstig zijn. Een temperatuurstijging voegt hier in principe niets aan toe. Door de hoge grondwaterstromingssnelheid is een WKO-systeem met koude en warme bronnen niet effectief.

Binnen de gebiedsgerichte aanpak blijkt daarom dat een variant gericht op het oppompen van grondwater en na zuivering lozen op het kanaal het hoogste percentage sanerend effect heeft (IF, 2008). Deze variant van energiewinning is ook prima voor warmte en koude levering te gebruiken. Ook wordt onderzocht of er stroomafwaarts van de kanaalzone een bioscherm kan worden aangelegd waarin de verontreiniging wordt afgebroken. Het bodemenergiesysteem wordt daarbij gebruikt om hulpstoffen voor de natuurlijke afbraak (koolstofbron) toe te voegen aan het passerende grondwater voor het in stand houden van het scherm. Er is een ontwerp gemaakt waarin de eerder beschreven modulaire aanpak wordt onderzocht (zie Bioclear 2009). Het belangrijkste verschil tussen de Apeldoornse casus en het Biowasmachine concept in Utrecht is dat in het geval van Apeldoorn men meer is aangewezen op actieve maatregelen gezien de beperkte mogelijkheden voor natuurlijke afbraak en vooral de grote achtergrondstroming van het grondwater. Wel biedt de Apeldoornse situatie van nature mogelijkheden om de verontreinigingen goed te beheersen en een bodemenergiesysteem goed te combineren met zowel beheersing van de verontreiniging als peilbeheer. Hier komen dus meerdere functies bij elkaar, waardoor ook de afweging van belangen en doelstellingen breder kunnen zijn: energie, peilbeheer, beekherstel, sanering.

In Apeldoorn is het systeem erop gericht om de verontreinigingslast geheel benedenstrooms af te vangen en met (of uit) dit onttrokken water meerwaarde te creëren in de vorm van energie of peilbeheer. Dit beperkt de noodzaak om voorafgaand aan implementatie uitgebreid de processen in de ondergrond te volgen. Monitoring is dan ook met name op deze benedenstroomse zone gericht. In de Apeldoorn studies wordt niet ingegaan op een gebiedsgerichte monitoring (Bioclear et al., 2009; IF, 2009). Wel wordt uitgebreid aangegeven hoe moet worden gemonitord om een goede werking van het systeem te garanderen. De kwaliteitsverbetering c.q. trendomkering wordt in de Apeldoornse situatie gedefinieerd als: het voorkomen van grootschalige verplaatsing van pluimen verder stroomafwaarts van de Kanaalzone en het beheersen van de pluimen aan de stroomopwaartse kant. Deze toekomstige situatie is beter dan de verwachte situatie zonder een dergelijke Kanaalzone-aanpak.

#### *Financieel model*

De huidige status is dat de gemeente Apeldoorn een Gebiedsgericht grondwater beheer plan heeft opgesteld en een raamsaneringsplan waarin de aanpak die de gemeente volgt beschrijft. Hierin komt naar voren dat ondergrondse activiteiten die een beheersende of positief stimulerende werking kan hebben op de verontreiniging ingepast moet kunnen worden, ook als dit een (lokale) verplaatsing van verontreiniging tot gevolg heeft.

Een interessant concept waar in Apeldoorn over wordt nagedacht is om deze mogelijkheden te kunnen benutten door als gemeente zelf een actieve rol te vervullen in de realisatie. Indien zich een herontwikkeling voordoet in of nabij een gebied met verontreinigd grondwater dan kan de gemeente Apeldoorn optreden als leverancier van warmte en koude. Een WKO-systeem kan bijvoorbeeld door de kennis die de gemeente heeft van de omgeving en met name van verontreinigingen strategisch geplaatst worden, zodat dit systeem eventuele beheerskosten of saneringskosten vermindert. Indien hierdoor saneringsactiviteiten van derden kunnen worden vermindert of over genomen kan dit leiden tot een afkoop door derden richting te gemeente. Daarbij is een model dat de gemeente Apeldoorn de aanleg en het onderhoud van het WKO-systeem – de putten, pompen en warmtewisselaar - vervolgens zelf in de hand neemt en bovengrondse gebruikers in staat stelt deze warmte en/of koude af te nemen tegen een vergoeding per m<sup>3</sup> grondwater. Uit financiële calculaties blijkt dat dit voor beide partijen (de gemeente en de gebruiker) tot voordeel kan leiden. Door toepassing van de WKO worden verontreinigingen beheerst of gesaneerd, terwijl de gebruiker goedkoper energie krijgt.

### **Vertaling van resultaten en aanvullingen vanuit Meer met Bodemenergie**

De casus zoals die voor Apeldoorn is uitgewerkt komt in vele opzichten overeen met de resultaten en bevindingen uit Meer met Bodemenergie. In Apeldoorn wordt niet perse geanticipeerd op verbeterde of versnelde afbraak van verontreiniging als gevolg van het gebruiken van WKO-systemen. WKO is strikt genomen hier ook niet juist omdat onttrokken waterstromen worden gebruikt voor energiewinning. Van opslag is geen sprake. De energiesystemen worden niet alleen voor beheersing van de verontreiniging ingezet, maar onttrekken van grondwater op strategische plekken dient ook andere doelen, zoals peilbeheer en beekherstel. Dit blijkt, mits er logische afzetkanalen zijn voor de onttrokken waterstroom en kosten voor het bruikbaar maken van het water voor het beoogde bovengrondse gebruik terugverdiend kunnen worden, een goede optie.

In Apeldoorn wordt dit concept overwogen om met name stroomafwaarts van het overgrote deel van de verontreinigingslocaties (en bijbehorende pluimen) te gaan toepassen. Dit betekent enerzijds dat hierdoor een bepaald gebied – het stroomafwaartse deel – wordt beschermd, maar dat stroomopwaarts geen specifieke kwaliteitsverbetering wordt gegenereerd door toepassing van het energiesysteem. Kwaliteitsverbetering, mits een doelstelling, moet op andere manieren worden gecreëerd (zoals bronsanereringen en het daarmee verminderen van nalevering richting (diep) grondwater).

Ook monitoringstechnisch biedt de Apeldoorn aanpak voordelen aangezien de monitoring zich kan richten op sec de voor het gebruik van het grondwater relevante parameters (beekherstel, dus als oppervlaktewater, proceswater of infiltratiewater).

## **6.4 Case 3: Gebiedsgericht beheerplan centrumgebied Zwolle**

### *Achtergrond*

De case Zwolle is in de voorbije 2-3 jaren uitgewerkt in een Gebiedsbeheerplan Ondergrond voor het centrumgebied in Zwolle, waarmee de mogelijkheid wordt geboden om WKO-systemen in verontreinigd gebied toe te passen. Vergelijkbaar met andere steden, zoals Utrecht, Apeldoorn en Rotterdam, komen grootschalige verontreinigingen voor in de binnenstad van Zwolle. Zwolle groeit en dat betekent dat er verschillende binnenstedelijke herontwikkelingen gepland zijn. Bij deze herontwikkelingen is vaak op een of andere wijze grondwater(gebruik) betrokken.

In Zwolle is een integrale aanpak uitgewerkt, waarbij verschillende toepassingen c.q. gebruik van de ondergrond in het kader van lokale maatschappelijke ontwikkelingen en wensen zijn geïntegreerd. Daarin is ook een belangrijke rol weggelegd voor WKO-systemen. Vanuit de bodemgesteldheid in Zwolle blijkt dat toepassing van open WKO-systemen goed mogelijk is. Dit betekent dat dit een mogelijke duurzame energietoepassing is, die past binnen de ambitie van de gemeente Zwolle om meer duurzame energie te gaan benutten en zo de CO<sub>2</sub>-emissie van de stad te reduceren. Duurzame energie is als belangrijk bestempeld en ook als zodanig in de People, Planet, Profit-afweging gewaardeerd.



### Concept

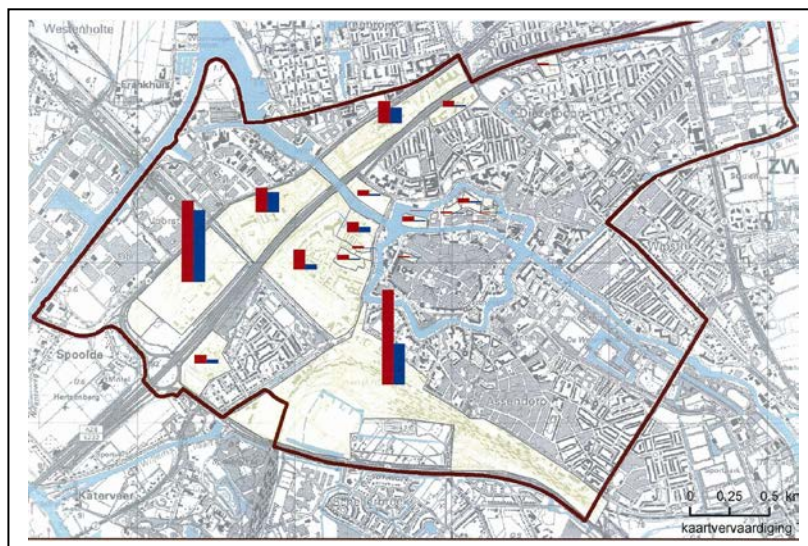
Een belangrijke insteek die Zwolle heeft gekozen is om functies aan de verschillende delen van de stad toe te kennen en ook vast te stellen, zowel in horizontaal als in verticaal vlak. Dit is uniek in Nederland tot nu toe. Deze aanpak heeft ertoe geleid dat bepaalde gebieden zijn bestempeld als “stedelijk gebruik”, “energiegebruik”, “drinkwater”, “agrarisch gebruik”. Bijvoorbeeld ten zuiden van het stedelijke gebied van Zwolle bevindt zich de onttrekking van Vitens ten behoeve van drinkwaterbereiding. Dit vormt daarmee dan ook de (kritische) functie Drinkwater. Andere delen rondom het centrumgebied hebben bijvoorbeeld de functie Agrarisch gebruik, of stedelijk gebruik, of energiegebruik.

### Doelstelling

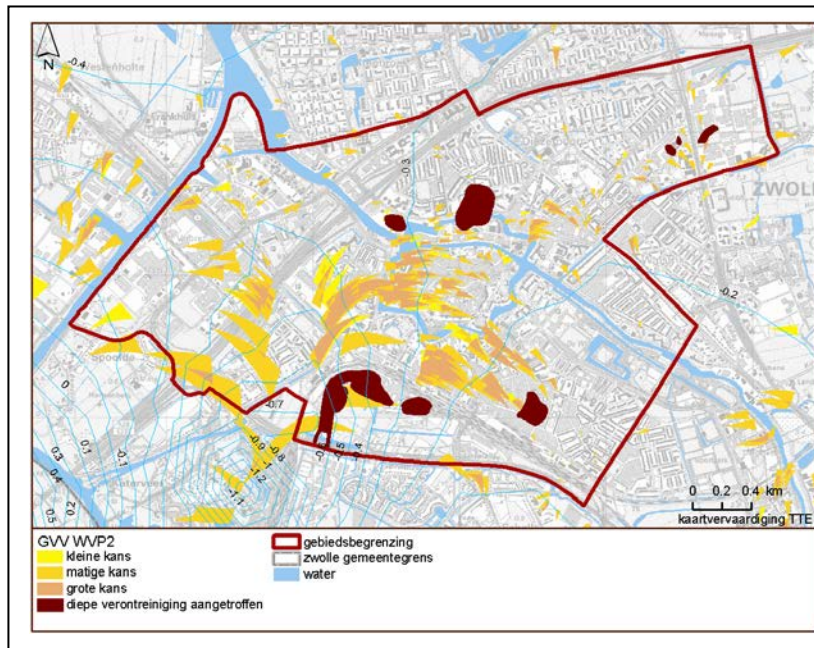
De doelstelling van de gemeente Zwolle met de gebiedsgerichte aanpak is het opheffen van stagnaties bij binnenstedelijke herontwikkelingen en duurzame energievoorziening met WKO mogelijk maken, met name in verontreinigde gebieden.

Bij elk van de gedefinieerde functies in de ondergrond horen kwaliteitsnormen voor het grondwater: welke concentraties zijn al dan niet acceptabel om de betreffende beoogde en gewenste functie uit te oefenen. Alleen indien de kwaliteit van het grondwater de toepassing van de betreffende functie belemmerd, dient de kwaliteit verbeterd te worden.

Wat de kwaliteitsdoelstelling aangaande verontreinigingen betreft en eventuele kwaliteitsverbetering: Kwaliteitsverbetering kan worden gedefinieerd – in het kader van een gebiedsgerichte aanpak - als “het dusdanig verbeteren van de kwaliteit van het grondwater waardoor maatschappelijke behoeften (zoals bijvoorbeeld toepassing van duurzame energie) kunnen worden gerealiseerd op verantwoorde wijze en waarbij de kwaliteit van het grondwater geen limitatie c.q. stagnatie meer oplevert voor het implementeren van deze maatschappelijk behoeften bij initiatiefnemers”. Verantwoord betekent in deze context ook dat omliggende gebieden niet negatief worden beïnvloed door de kwaliteit in het betreffende voor gebiedsgericht beheer bestempelde gebied”.



figuur 6.2 Herontwikkellocaties Zwolle met WKO potentie (bron TTE)



figuur 6.3 verontreinigingen en bekende bronnen (bron TTE)

#### Relatie met verontreiniging

Op grond van de verontreinigingssituatie (bekende en potentiële verontreinigde locaties) en de geohydrologie binnen Zwolle is in kaart gebracht waar verontreiniging zich naartoe verplaatst als gevolg van de natuurlijke stromingsrichting. Hierbij is ook al rekening gehouden met de verwachte verandering in richting als gevolg van herpositionering van enkele drinkwaterwinputten. Dit geeft een beeld van waar verontreiniging terecht zal komen en of dit vanuit de functies die aan de verschillende ondergrondse sectoren zijn toegewezen, tot problemen gaat leiden. Parallel hieraan is inzichtelijk gemaakt welke herontwikkelingen waar gaan plaatsvinden en hoe WKO's hierbij geplaatst kunnen worden. Bij goed georganiseerde inpassing kunnen deze WKO's verdere verplaatsing van verontreiniging, met name bij kritische functieovergangen, voorkomen.

Een belangrijk effect op verontreiniging van de potentiële WKO-systemen in Zwolle zal menging en verdunning zijn. Er zijn verschillende scenario's met betrekking tot de concentratie-ontwikkelingen van de verontreinigingen binnen het gebied doorgerekend: 1) autonome groei (zonder saneringen en herontwikkelingen), 2) aanpak van spoedlocaties humaan, 3) aanpak alle spoedlocaties, 4) aanpak van dynamische locaties (met herontwikkeling). Hieruit blijkt dat in nagenoeg alle scenario's dat het grondwatervolume met streefwaarde-concentraties aromatenverontreiniging in het 1<sup>e</sup> wvp toeneemt van circa 75% tot 90%.



De VOCl verontreiniging neemt toe van 10% tot circa 30%. In het 2<sup>e</sup> wvp komt geen aromaten voor, maar wel VOCl waarvan de S-contour toeneemt van 25 tot 50%. De I-waarde contour blijft in alle scenario's voor aromaten en VOCl in het 1<sup>e</sup> wvp stabiel tussen 0,5 en 1%. Voor de VOCl in het 2<sup>e</sup> wvp bedraagt deze I-contour (aan totaal volume van het beheergebied) ook circa 1%. Conclusie is dat in de gebiedsgerichte aanpak met name het volume met licht verontreinigd grondwater toeneemt (in alle scenario's).

#### *Koppeling WKO en bodemsanering*

Het doel van het gebiedsgericht grondwaterbeheer in Zwolle is, vanuit WKO gezien, vooral het scheppen van voorwaarden waarbinnen maximaal gebruik kan worden gemaakt van de energiepotentie van de ondergrond. Als WKO (kostenneutraal of tegen geringe meerkosten) een bijdrage kan leveren aan het verontreinigingsvraagstuk dan is dat mooi meegenomen. Vanuit de functies binnen het gebied ('Stedelijk gebruik' en 'Energie') is het in principe niet nodig om te komen tot een kwaliteitsverbetering van het grondwater. De grondwaterkwaliteit voldoet immers over het algemeen aan de gehanteerde risicogrenswaarden. Wel is het van belang om te voorkomen dat verontreinigingen zich verspreiden tot buiten het beheersgebied en daarmee een bedreiging vormen voor de kwaliteitseisen van de bodemfuncties in de aanpalende gebieden.

Grootschalige toepassing van WKO-systemen kan bijdragen aan mogelijk risicoreductie op de grenzen van het gebied. Door het rondpompen van waterstromen ondergronds zal een daling van concentraties als gevolg van verdunning optreden. Van deze effecten zou extra gebruik gemaakt kunnen worden door de invloedstralen van systemen te vergroten (vergroten debiet) of door het gericht plaatsens van een WKO-systeem op een strategische plek (net voor een kritische gebiedsgrens).

Zwolle heeft in haar uitwerking van een gebiedsgericht beheer geconcludeerd dat het faciliteren van grootschalige toepassing van WKO-systemen een positief bijkomend effect kan hebben door menging (verdunnen) van concentraties. Wegens gebrek aan praktijkervaring met aanvullende stimulering van afbraak is in Zwolle besloten geen gebruik te maken van actief sanerende WKO-systemen en dit ook niet te stimuleren. Het verder actief gebruik maken van deze systemen ten behoeve van extra sanering was niet tegen geringe meerkosten te bewerkstelligen.

#### *Maakbaarheid van het plan*

Tijdens de uitwerking van het plan is naar voren gekomen dat weliswaar open WKO-systemen een belangrijke rol kunnen vervullen in het verlagen van de risico's van verontreiniging – in dit geval het risico dat bepaalde concentraties in een gebied met en andere functie terecht komen – maar dat voor dit effect wel de locatie van de WKO-systemen belangrijk is. Dit betekent dat de gemeente Zwolle grip moet hebben op de plaatsing van WKO's om haar ambitie met betrekking tot de verontreiniging te kunnen invullen en tot een risicoverlaging te komen. Gebieden waarvan verwacht wordt dat het druk gaan worden kunnen door gemeente en provincie als interferentiegebied aangewezen worden.

Door het centrumgebied als interferentiegebied aan te wijzen wordt bewerkstelligd dat binnen dit gebied gesloten systemen vergunningplichtig worden en kan een masterplan afgedwongen worden. Door het opstellen van een masterplan kan regie worden gevoerd met als doel een optimale benutting van de schaarse ondergrondse ruimte. Door het opstellen van beleidsregels (zowel gemeente als provincie stellen een eigen set beleidsregels op die alleen voor henzelf bindend zijn) krijgt het masterplan een juridische status.

### **Vertaling van resultaten en aanvullingen vanuit Meer met Bodemenergie**

Vergelijkbaar met de case Utrecht is in Zwolle de mogelijkheid om WKO-systemen te plaatsen in verontreinigde gebieden. In het geval van Zwolle wordt nauwelijks geanticipeerd op stimulering van afbraakprocessen als gevolg van mogelijke WKO-systemen. Zwolle verwacht dat met name verdunning als gevolg van menging een belangrijke rol speelt en dat daardoor concentratiegrenzen tussen twee verschillende functies niet worden overschreden. Kwaliteitsverbetering wordt met name verwacht van bronsaneringen die op dynamische/herontwikkel locaties kunnen plaatsvinden.

Dit houdt in dat Zwolle met name risicoreductie als gevolg van WKO-systemen als belangrijke bijdrage ziet. De configuratie die daarvoor is gekozen leent zich daar ook toe: WKO-systemen zijn – op grond van de herontwikkel locaties voorzien aan de zuidwest, noord kant. In de noord kant zijn met name verontreinigingspluimen aanwezig. Hier kan door plaatsing van WKO-systemen een mengeffect worden gecreëerd, wat ervoor zorgt dat concentraties verlagen. In de zuidwest hoek is een aandachtspunt dat hier – aangezien hier ook voormalige brongebieden aanwezig zijn – DNAPLs kunnen bestaan in de diepere ondergrond, met als mogelijk gevolg dat PER wordt gemobiliseerd door de WKO's. Gezien het vooralsnog ontbreken van een uitgebreid(er) monitoringsnetwerk is hier ook van te voren weinig inzicht in te krijgen. Bovendien liggen eventuele WKO's bij de zuidwest kant ook redelijk dicht bij de gebiedsgrens, waardoor – als DNAPLs worden gemobiliseerd – deze relatief snel de gebiedsgrens bereiken door het rondpompeffect van de betreffende WKO. Hier zouden vangnet constructies (bijvoorbeeld een netto onttrekking en gebruik van het water voor energie) relevant kunnen zijn.

Als monitoringsinsteek wordt vooralsnog gedacht aan het in ieder geval bewaken middels monitoringsfilters van die delen van de gebiedsgrens waar een kritische functieovergang is: van energiegebruik naar bijvoorbeeld drinkwater of agrarisch gebruik. Dit levert weliswaar voor de risicobeheersing voldoende informatie op – waar moet eventueel grondwater worden beheerst -, maar zal geen systeemkennis opleveren. Hiertoe zal extra informatie via monitoring moeten worden verzameld, welke in Zwolle met name gericht is op risico-inventarisatie en –beheersing. Daarvoor kan de monitoring die bij WKO-systemen gevraagd wordt worden benut en worden uitgebreid: het meten van verontreinigingsconcentraties in de betreffende onttrokken waterstromen (van zowel koude als warme bronnen). Deze informatie is prima bruikbaar om vast te stellen enerzijds in hoeverre er verdunning optreedt en anderzijds of er (ongewenste) mobilisatie van DNAPL verontreiniging optreedt.

Vooralsnog geldt wel dat de (verwachte) doublet-systemen geen beheersende werking zullen hebben als deze niet over een groot deel van de verontreiniging reiken. Bovendien geldt per definitie, idem als in de Utrecht case, dat doubletten nooit een sluitende beheersing kunnen opleveren, aangezien er vanuit grondwaterstroming altijd een waterverlies (en thermisch verlies) zal zijn dat in de ordegrootte van 10-30% beloopt. Alleen doublet- of recirculatiesystemen met een deel netto onttrekking of eenzijdig gebruikte systemen – zoals alleen onttrekking en energiebenutting – zijn 100% benutbaar voor beheersing.

## 7 De kansen en aandachtspunten van WKO bij gebiedsgericht grondwaterbeheer

Uit deze rapportage komt naar voren dat de toepassing van WKO-systemen in zowel gebieden met als zonder grondwaterverontreinigingen zowel kansen als aandachtspunten bestaan. De concrete invulling en afweging daarvan voor een specifiek beheersgebied is zo divers als de beheersdoelstellingen en gebiedspecifieke condities dat zijn. Deze rapportage geeft voor een specifiek beheersgebied dan ook slechts mogelijke kansen en aandachtspunten weer, ter inspiratie en nuancering. Zo is het duidelijk geworden dat naast potentieel positieve effecten door de interactie tussen WKO-systemen en verontreinigingen er ook negatieve effecten kunnen optreden. Hoewel binnen gebiedsgericht grondwaterbeheer in toenemende mate meerwaarde gezocht wordt in de integratie van verschillende functies en koppeling van meerdere ondergrondse activiteiten, kan ook het bewust (deels) gescheiden houden van functies een afgewogen invulling zijn voor gebiedsgericht grondwaterbeheer.

Voor de inpassing van WKO-systemen binnen gebieden met verontreinigd grondwater hangt de afweging met name af van de gestelde beheersdoelstellingen, alsmede van locatie- en beheersgebiedspecifieke technische factoren. Als in de afgelopen jaren het beeld is ontstaan dat WKO-systemen als vanzelfsprekend leiden tot verbetering van de verontreinigingssituatie, dan is dit onterecht. Anderzijds, spelen er naast bodembelangen ook andere factoren een rol bij de keuze voor gebiedsgericht. Zo vervult de inpassing van WKO-systemen de maatschappelijke behoefte voor meer duurzame energiesystemen. Door deze belangen, niet sectoraal, maar integraal af te wegen maakt vergroot de mogelijkheden een pragmatische invulling te geven aan gebiedsgericht grondwaterbeheer. Vanuit deze optiek zouden de beheersdoelstellingen voor de grondwaterkwaliteit worden afgestemd tot het niveau tot waar aanvaardbare risico's, ook op lange termijn, niet overschreden.

De mogelijkheden om WKO's verantwoord in te zetten binnen gebiedsgericht beheer hangt af van de mate van inzicht in:

- Aanwezige kwantitatieve en kwalitatieve eisen en wensen van grondwatergebruikers, binnen en buiten het beheersgebied, nu en in de toekomst

Voor verontreinigde condities komen daar de volgende aspecten bij:

- Initiële ruimtelijke verspreiding van verontreinigingen.
- Aanwezigheid en aard van verontreinigingsbronnen.
- De afbraak condities en mechanismen.
- Redox-condities in de ondergrond en de effecten van WKO systemen daarop.
- De mate van verdunning die binnen de grenzen van het beheersgebied mogelijk is.

Op basis hiervan kan het nieuw ontwikkelde modelinstrumentarium verschillende variëteit voor gebiedsgericht beheer door rekenen. Ook kan de monitoringsaanpak worden afgestemd op de voorspelde ontwikkeling van de verontreinigingssituatie binnen het beheersgebied.

## 7.1 Integratie binnen gebiedsgericht beheer van grondwaterverontreinigingen

Hoewel de integratie van WKO-systemen met de aanpak van grondwaterverontreinigingen, ook binnen MMB, de meeste aandacht vraagt, hoeven WKO-systemen niet noodzakelijkerwijs te interacteren met verontreinigingen binnen gebiedsgericht beheer. Zo kunnen deze ruimtelijk gescheiden worden door WKO-systemen toe te passen in een ander watervoerend pakket dan waar de verontreinigingen zich bevinden. Daar waar in de ruimtelijke inrichting van de ondergrond WKO-systemen wel met verontreinigingen interacteren zijn, refererend aan hoofdstuk 1, paragraaf 1.3, dit de belangrijkste vragen:

1. Is het reëel om te verwachten dat WKO in grootschalig verontreinigd gebied substantieel kan bijdragen aan het verbeteren van de grondwaterkwaliteit?
2. Biedt WKO een mogelijkheid om de verontreinigingslast te beheersen? Welke combinaties met ander onder- of bovengronds gebruik kan er via WKO worden gemaakt?

Uit de resultaten van MMB, zoals beschreven in de verschillende rapportages en uit voorgaande hoofdstukken van dit rapport kan het volgende worden geconcludeerd.

### **Vraag 1: Is het reëel om te verwachten dat WKO in grootschalig verontreinigd gebied substantieel kan bijdragen aan het verbeteren van de grondwaterkwaliteit?**

Op basis van de huidige resultaten en uitgevoerde monitoring blijkt niet dat er perse een overduidelijk stimulerend effect is van de natuurlijke situatie. Op één van de locaties lijkt biologische afbraak op te treden, maar is de afbraaksnelheid laag en niet zeker of deze door WKO wordt gestimuleerd. Dit laat onverlet dat er toch ook positieve effecten kunnen zijn. De waargenomen - positieve - effecten op één van de gemonitorte verontreinigde locaties laat wel zien dat er door toegenomen dynamiek als gevolg van het rondpompen van grote volumina grondwater wel veranderingen in het grondwater kunnen plaatsvinden. Bacterieaantallen nemen toe en er worden veranderingen van TOC plaatselijk gemeten. Uit de monitoring is het echter onduidelijk waar dit vandaan komt en of dit een generiek, op andere locaties te verwachten effect is. De verwachting is wel dat, indien er geen WKO was toegepast, deze extra menging en het waargenomen positieve effect waarschijnlijk niet was opgetreden. Vervolgmonitoring moet echter nog aantonen dat hierdoor ook versnelde afbraak optreedt. En met het achterhalen van de bron van deze verandering zal kunnen worden bepaald of effecten generiek te verwachten zijn ook op andere locaties.

Een belangrijke rol speelt dat op het overgrote deel van de gebieden waarvoor een gebiedsaanpak in de maak is en waar WKO's worden overwogen er niet of nauwelijks inzicht is in een, toch in deze context, belangrijke parameter: biologische afbraakprocessen. Harde onderbouwing van het al dan niet aanwezig zijn van afbraak maakt het moeilijk om op voorhand effecten van menselijke interacties in de ondergrond te kunnen voorspellen of meenemen. Is het juist handig om minder gereduceerde condities te krijgen, bijvoorbeeld door het mengen van waterpakketten of is dit juist ongunstig? Dit hangt sterk af van welke processen dominant zijn, of geïnitieerd kunnen worden in de bodem.

Resumerend lijkt dus de ambitie om via WKO-systemen de **van nature optredende** in situ processen te versnellen en daarmee versneld een kwaliteitsverbetering te realiseren te optimistisch. Het is dus op dit moment realistisch om WKO-systemen in eerste instantie in het kader van (risico)beheersing te zien en te benutten en op de tweede plaats de gewenste kwaliteitsverbetering te zien als optie van de WKO-systemen. Zoals toegelicht dient verdere monitoring meer zicht te geven op met name de oorzaak van de positieve trend die op een van de locaties is aangetroffen. Combinaties van WKO-systemen met **gestimuleerde afbraak** kan daarbij een aanvullende bijdrage leveren (zie hierna).

Onafhankelijk van de vraag of WKO al dan niet een natuurlijk proces stimuleert blijft de vraag of er afbraak optreedt wel zeer relevant, bijvoorbeeld in het kader van risico's van gebiedsgrens overschrijdingen of in het geval er door WKO juist verontreiniging wordt gemobiliseerd.

**Vraag 2: Biedt WKO een mogelijkheid om de verontreinigingslast te beheersen? Welke combinaties met ander onder- of bovengronds gebruik kan er via WKO worden gemaakt?**

Als het gaat om het toepassen van WKO-systemen ten behoeve van het **beheersen** van verontreiniging of meer in het algemeen van risico's in een gebiedsgerichte context, dan blijken hier goede mogelijkheden te liggen. Daar tegenover staan ook wat aandachtspunten.

Zoals toegelicht in hoofdstuk 4 (wettelijk kader) speelt risicobeheersing en risicogericht denken in een gebiedsgerichte aanpak een belangrijk rol. Dit betekent dat de vraag is: zorgt een WKO-systeem voor een verlaging van risico's of beheersing van risico's?. Het antwoord daarop hangt af van de lokale situatie waar de WKO wordt toegepast.

Indien een (of meerdere) WKO-systemen in een DNAPL gevoelig gebied worden geplaatst dan is een reële optie dat monitoring aantoont dat verontreinigingsconcentraties stijgen. Dit negatieve effect kan (deels) teniet worden gedaan wanneer er een actief biologisch proces aanwezig is. Indien dit niet zeker is, zou het plaatsen van WKO-systemen in DNAPL kritisch tegen het licht moeten worden gehouden en worden overwogen dit niet toe te staan. Zeker niet als het gebied zich dichtbij de gebiedsgrens bevindt.

De op dit moment meest veilige manier om WKO – of liever gezegd energietoepassing – te integreren is gebruik van onttrekkingen waarbij warmte of koude wordt gewonnen uit de onttrokken waterstroom, zonder herinjectie van het water voor energieopslag doeleinden. Deze variant vormt een perfect koppel met gebiedsgericht grondwaterbeheer. Dit is echter alleen een haalbare business case indien het onttrokken water – dat als beheermaatregel kan worden gebruikt, en zelfs met een debiet wat hoger kan zijn dan sec nodig voor de beheersing van verontreiniging – nuttig kan worden gebruikt bovengronds.

Gezien de goede match met gebiedsgericht beheer zou dit de eerste stap in verkenning van mogelijkheden kunnen/moeten zijn. Een aandachtspunt hierbij is – vergelijkbaar met WKO-systemen – de mogelijke impact van DNAPLs: indien deze worden aangetrokken en als zodanig worden beheerst – wat positief is – dan stijgen de kosten voor behandeling van het water mogelijk zeer sterk, zodat daardoor de businesscase wellicht niet meer realiseerbaar wordt. Als beheersmaatregel aan de rand van het gebied, met weinig kans op DNAPL, vormt energieonttrekking (koude of warmte) een goede optie.

In een groot deel van de gevallen in binnenstedelijk gebied zal wellicht afzet van onttrokken water in grote hoeveelheden (om het interessant voor energiewinning te maken) lastig zijn. Vandaar dat naar verwachting veel doubletten of recirculatiesystemen toegepast zullen worden die netto geen grote hoeveelheden grondwater onttrekken.

Zoals toegelicht in de verschillende cases bieden deze systemen in hun normale toepassingsvorm geen beheersend effect. Er gaat immers 20-30% - afhankelijk van de natuurlijke stromingsnelheid van het grondwater en van het toegepaste debiet – verloren. Aan energie maar dus ook aan weglekken van “beheerste” verontreiniging. Ook hier speelt het al dan niet aanwezig zijn van (biologische en chemische) afbraak processen een rol. Het effect van weglekken van verontreiniging of het niet beheersen van verontreiniging is minder kritisch in een gebiedsgerichte aanpak als er afbraakprocessen actief zijn. Verplaatsing van verontreiniging is immers simpelweg een feit en indien dit gebalanceerd wordt met afbraak is dit waarschijnlijk acceptabel.

Een variant die wel vaker wordt benoemd is de optie om een netto onttrekking toe te passen in het WKO-systeem. De netto onttrekking die vanuit beheersing (lees: het opheffen van de natuurlijke stroming) nodig is, is vaak relatief klein ten opzichte van het voor energietoepassing gebruikte waterdebiet. In principe is dit debiet vergelijkbaar met een traditionele beheersmaatregel, zoals die uit de bodem- en grondwatersaneringswereld al bekend is en biedt daarom weinig voordeel. De kosten van een traditionele beheersing zitten grotendeels in het bovengrondse behandelingssysteem niet per definitie in de kosten voor putten en pompen. Dit laatste onderdeel is juist wat in een WKO-systeem al aanwezig is en zouden de kosten kunnen zijn die bespaard worden. Dit biedt echter te weinig voordeel. Alleen indien bovengronds gebruik van water – zoals in de energietoepassing zonder opslag – mogelijk is, dan kan deze netto onttrekking wel effectief in een traditionele WKO worden geïntegreerd.



Een aspect dat zeker meespeelt bij toepassing van WKO-systemen (doubletten of recirculatie) is menging van verontreinigd water. Door het WKO-systeem zullen concentraties sterk dalen (een en ander afhankelijk van waar bronnen worden geplaatst. Indien WKO-systemen stroomafwaarts van een verontreinigd gebied worden geplaatst zal dit (deels) resulteren in verlaging van concentraties indien verontreiniging in aanraking komt met de invloedstraal van de WKO. Een sterkere daling van concentraties treedt op c.q. is realiseerbaar als de WKO in de verontreinigde zone zelf wordt geplaatst. Het water dat door afstroming niet wordt beheerst zal al een verdunningsstap hebben doorlopen als gevolg van mengen van water. Indien berekening c.q. extrapolatie van verontreinigingsgegevens voor en na opmengen laat zien dat concentraties onder een bepaalde risicodrempelwaarde komen (bijvoorbeeld I- of T-waarde) dan kan een WKO op deze wijze risico-verlagend werken.

Opgemerkt moet worden dat dit geen duurzame oplossing is indien nalevering van verontreiniging vanuit bovenliggende lagen blijft optreden, zeker als er geen “verwijderende” processen zijn, zoals afbraak. Duurzame inzet kan dus alleen als er geen DNAPLs worden gemobiliseerd en als de kraan boven wordt dichtgezet. Dan kan door menging een concentratie blijvend worden bereikt die onder risicogrenzen blijft en als zodanig acceptabel kunnen zijn binnen een gebiedsgerichte aanpak.

Een laatste relevante toepassing is het gebruiken van de WKO als transportmedium: bijna gratis transport van grondwater. Zoals eerder toegelicht (vraag 1) is het onzeker of natuurlijk processen worden gestimuleerd door WKO toepassingen. En ook is geconstateerd dat indien afbraak afwezig is, dit negatief is in het kader van het afstroomverlies dat er bij WKO-systemen (indien geen netto onttrekking wordt toegepast) in principe altijd optreedt. In die gevallen kan het WKO-systeem wellicht wel effectief worden gebruikt om als transport van grondwater, met eventueel ingebrachte stoffen, te fungeren.

## Literatuur

Arcadis, 2009.

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

Zuurbier, 2011, # 126.

## 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

